สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมแวกซ์เพื่อใช้เป็นแบบหล่อ

นางสาวกัลยาณี เปรมเพ็ชร

นางสาววิราพร นิพนธ์กิจ

ปพ.
ก1127
2532

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน.เดือน.ปี.....

b 2549113

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

พ.ศ. 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation of Moldable Wax

Miss Kalyanee Premphet

Miss. Wiraporn Nipondhkit

Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Sciences

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเตรียมแวกซ์เพื่อใช้เป็นแบบหล่อ
โดย	นางสาวกัลยาณี เปรมเพ็ชร
	นางสาววิราพร นิพนธ์กิจ
ภาควิชา	เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย พนิชานันท์
	อาจารย์ อรวรรณ ชัยลภากุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักวิทยาศาสตรบัณฑิต

_____หัวหน้าภาควิชาเคมี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ

_____ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย พนิชานันท์)

_____กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. โกศัลย์ คูสำราญ)

_____กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

_____กรรมการ

(อาจารย์ อรวรรณ ชัยลภากุล)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเตรียมแวกซ์เพื่อใช้เป็นแบบหล่อ
นักศึกษา	นางสาวกัลยาณี เปรมเพ็ชร
	นางสาววิราพร นิพนธ์กิจ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ศิริชัย พนิชานันท์
	อาจารย์ อรวรรณ ชัยลภากุล
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2532

บทคัดย่อ

กระบวนการหล่อชิ้นงานโดยใช้เทียนเป็นตัวขึ้นแบบได้ทำกันมานานแล้ว โดยใช้ในการผลิตชิ้นงานซ้ำ ๆ กัน เป็นจำนวนมาก และมีลวดลายประณีต ซับซ้อน โดยเฉพาะงานทางด้านการทำเครื่องประดับ ในปัจจุบันต้องนำเทียนเข้าจากต่างประเทศ ทั้งหมดปีละหลายร้อยตัน ดังนั้นจุดประสงค์ของโครงงานพิเศษนี้ จะศึกษาถึงอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่เหมาะสม เพื่อใช้ในกระบวนการหล่อ ซึ่งในอนาคตจะช่วยลดการนำเข้าได้มาก นอกจากนี้ ยังศึกษาถึงผลของแวกซ์หลัก พอลิเอทิลีน และสารตัวเติมที่มีต่อเทียน พบว่าอัตราส่วนของเทียนที่ดีที่สุดคือ พาราฟินแวกซ์ 65 ส่วนโดยน้ำหนัก ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ 21 ส่วนโดยน้ำหนัก พอลิเทอร์พีนเรซิน 5 ส่วนโดยน้ำหนัก พอลิเอทิลีน 4 ส่วนโดยน้ำหนัก และพทาลิไมด์ 5 ส่วนโดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Preparation of Moldable Wax
Name	Miss Kalyanee Premphet
	Miss Wiraporn Nipondhkit
Special Project Adviser	Asst. Prof. Sirichai Panichanun
	Miss Orawan Chailapakul
Department	Chemistry
Academic Year	1989

ABSTRACT

Lost wax casting has been utilised for duplicating sophisticated designs for many years specially in the jewelry business. Many tons of waxes per year are used jewelry casting and the material has been imported 100% so the aim of this study was centred on preparing an appropriate wax to use for this industry which will reduce need to import the material in the future. The variation of base wax, polyethylene and filler has been studied and it was that a formulation of paraffin wax 65 wt.%, microcrystalline wax 21 wt.%, turpene 5 wt.%, polyethylene 4 wt.%, phthalimide 5 wt.% gone the appropriate results compared with the commercial waxes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ศิริชัย พนิชานันท์ อาจารย์ อรวรรณ ชัยลภากุล ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมตรวจสอบโครงงานพิเศษทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขให้รายงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์ พร้อมกันนี้ต้องขอขอบคุณรุ่นน้อง และเพื่อน ๆ ทุกคนที่มีส่วนช่วยให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลงด้วยดี

กัลยาณี เปรมเพ็ชร

วิราพร นิพนธ์กิจ

15 มีนาคม 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญตาราง		ฌ
สารบัญภาพ		ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ		ฑ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ขั้นตอนพื้นฐานของขบวนการ Lost Wax Casting	2
	1.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของเทียนหล่อ	12
	1.3 สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการเตรียมเทียนหล่อ	16
	1.4 ขอบเขตของการศึกษา	23
บทที่ 2	สรุปและวิจารณ์ผล	24
บทที่ 3	การทดลองและผลการทดลอง	27
	เครื่องมือที่ใช้	27
	สารเคมีที่ใช้	27
	การทดลองทั่วไป	28
	3.1 การเตรียมพทาลิไมด์	30
	3.2 การเตรียมเทียนผสม	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	38
เอกสารอ้างอิง	39
ประวัติผู้เขียน	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลของอัตราส่วนของแวกซ์หลักที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลวและค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม	32
2	ผลของพอลิเอทิลีนที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลวและค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม	33
3	ผลของพาราฟินไมด์และ HMTA ที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลวและค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม	34
4	ผลของปริมาณพอลิเอทิลีนที่มีต่อค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	แผนภาพแสดงกระบวนการหล่อโลหะโดยอาศัยเทียนเป็นตัวขึ้นแบบ	2
2	จุดบกพร่องที่เกิดบนแผ่นยางเนื่องมาจากฟองอากาศ	3
3	ผลของฟองอากาศที่มีต่อแม่แบบยางที่สุกตัวแล้ว	4
4	เครื่องฉีดเทียน	5
5	แบบเทียนที่ติดส่วนน้ำร่อง	5
6	การวางต้นเทียนในกระบอก	8
7	เครื่องเหวี่ยงทอง	10
8	เครื่องดูดอากาศ	11
9	ก. แสดงลักษณะโครงสร้างแบบสายโซ่ตรงของแวกซ์	14
	ข. แสดงลักษณะโครงสร้างแบบสายโซ่กิ่งของแวกซ์	14
11	อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าจุดหลอมเหลวของเทียนผสม	28
12	เครื่องวัดความแข็งเพเนโตรมิเตอร์	29
13	แสดงเข็มมาตรฐานที่ใช้	30
14	แสดงผลที่ได้จากสเปกตรัม IR	36
15	แสดงผลที่ได้จากสเปกตรัม NMR	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย
°ซ	องศาเซลเซียส
°ฟ	องศาฟาเรนไฮต์
EVA	เอทิลีนไวนิลแอซิเตต
HMTA	เฮกซะเมทิลีนเตตระมีน
PE	พอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

Lost Wax Casting เป็นการหล่อชิ้นงานโลหะ โดยอาศัยเทียนเป็นตัวชิ้นแบบ โดยทั่วไปนิยมใช้กับการหล่อชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก และปราณีตซับซ้อนซึ่งในกระบวนการนี้จะทำการฉีดแบบเทียนที่มีลักษณะ และรูปร่างเหมือนชิ้นงานจริงทุกประการจะถูกทำขึ้น และนำมาติดเป็นต้นเทียน (wax tree) จากนั้นจะนำปูนปลาสเตอร์ชนิดที่มีความแข็งพอที่จะทำเป็นแม่แบบมาหล่อรอบ ๆ ต้นเทียน เมื่อปูนปลาสเตอร์แข็งตัวดีแล้วจึงให้ความร้อนแก่แม่แบบปูนปลาสเตอร์ ต้นเทียนภายในจะหลอมออกมา ทำให้เกิดเป็นช่องว่าง (cavity) ภายในแม่แบบปูน ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนชิ้นงานที่ต้องการ จากนั้นจะหล่อโลหะ เช่น เงิน ทอง หรือโลหะผสมเข้าไปยังช่องว่างเหล่านี้ ซึ่งเมื่อทำลายแม่แบบปูนออกจะได้ชิ้นงานโลหะ ที่จำลองแบบมาจากแบบเทียนนั่นเอง

กระบวนการหล่อโลหะด้วยวิธีนี้ ได้มีใช้กันมาเป็นเวลานานแล้ว[1] เช่น ใช้ในการสร้างงานศิลปะ ในสมัยราชวงศ์ชาง (Shang dynasty) ของจีน หรือ ในช่วงศตวรรษที่ 16 ของยุโรป และ ในปี 1907 กระบวนการนี้ได้มีการพัฒนาขึ้นมาใช้ในวงการทันตแพทย์ โดยนำมาประยุกต์ในการหล่อ gold inlay และ dental bridge work ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคนิคนี้มาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ในการหล่อแบบส่วนประกอบเครื่องจักรยนต์ ที่มีความละเอียดซับซ้อน หรือ ใช้ในการหล่อโลหะที่มีค่า เช่น ทอง เงิน เป็นต้น การหล่อชิ้นงานโลหะที่มีขนาดเล็ก และ ต้องการความปราณีต ด้วยวิธีนี้นอกจากจะได้ชิ้นงานที่มีพื้นผิวดี มีขอบรูปร่างชัดเจน และ มีขนาดที่ถูกต้องแน่นอนแล้ว ยังมีข้อดีกว่าการใช้วิธีอื่นคือ เนื่องจากโลหะมีจุดหลอมเหลวสูงเกินกว่าที่จะใช้กับ วิธีการหล่อเข้าแม่พิมพ์ได้โดยตรงได้ นอกจากนี้ การทำแม่แบบที่เป็นเหล็ก (steel mold) ที่ต้องการขนาด ลวดลายของชิ้นงานที่ละเอียดนั้น ก็กระทำได้ยากอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ขั้นตอนพื้นฐานของกระบวนการ Lost Wax Casting

สามารถแบ่งได้เป็น 8 ขั้นตอนคือ

1.1.1 การขึ้นชิ้นงานด้วยมือ (Master-piece)

1.1.2 การทำแม่แบบยาง (Rubber mold)

1.1.3 การทำแบบเทียน (Wax pattern)

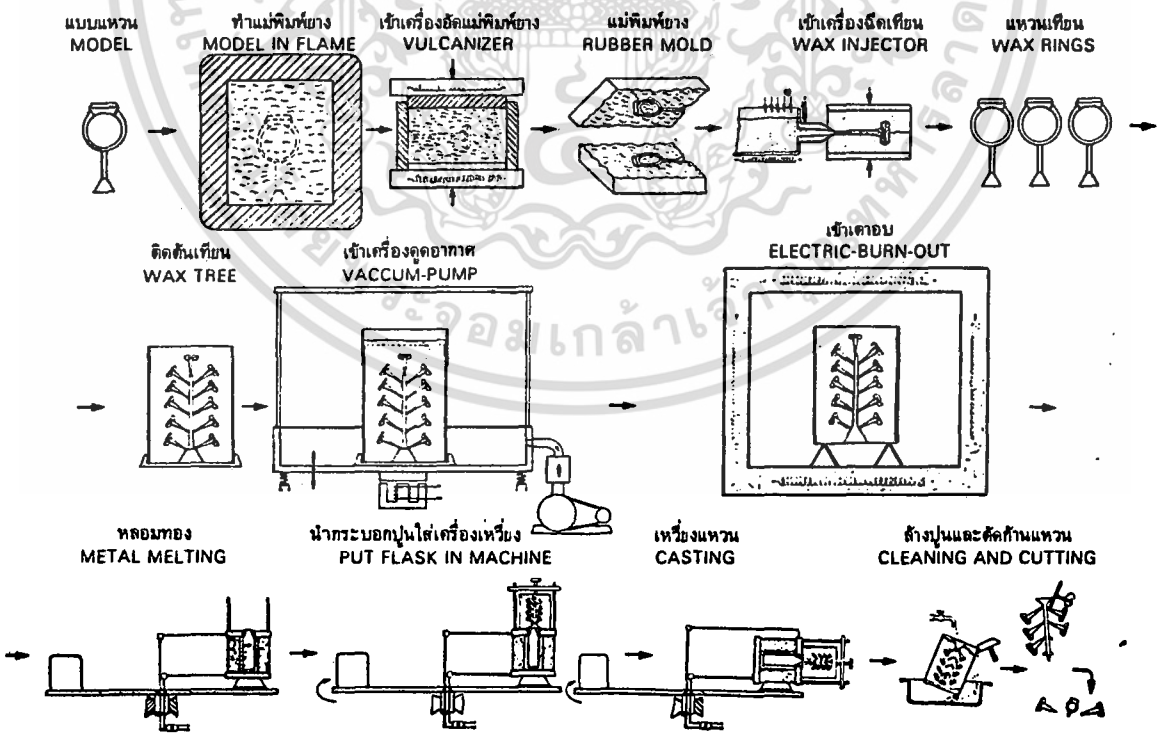
1.1.4 การติดส่วนนำร่องบนแบบ (Sprue & mount pattern)

1.1.5 การทำแม่แบบปูน (Invest pattern)

1.1.6 การหลอมแบบเทียนออก (Burn out pattern)

1.1.7 การหล่อ (Casting)

1.1.8 การตกแต่ง และ ขัดเงา (Finish & polish casting)



รูปที่ 1 แผ่นภาพแสดงกระบวนการหล่อโลหะโดยอาศัยเทียนเป็นตัวขึ้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

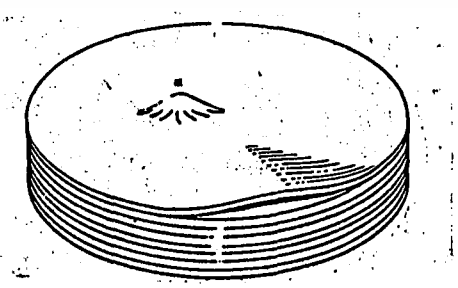
1.1.1 การขึ้นชิ้นงานด้วยมือ (Master-piece)

ขั้นแรกของการผลิตชิ้นงานหล่อโลหะ โดยการอาศัยเทียนเป็นตัวขึ้นแบบนี้คือ การสร้างชิ้นงานตัวอย่างเริ่มต้นที่มีลักษณะรูปร่าง และลวดลาย ตามที่ต้องการด้วยมือเสียก่อน เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการผลิตต่อไป โดยในการสร้างชิ้นงานด้วยมือจะขึ้นแบบคร่าว ๆ ก่อนโดยแกะลงบนลิ้นทะเล จากนั้นหล่อโลหะ หรือโลหะผสม ลงบนลิ้นทะเล จะได้แบบคร่าว ๆ ซึ่งจะนำไปทำการตกแต่ง และแกะลวดลายลงบนแบบ เพื่อให้ได้ลวดลายตามที่ต้องการ

1.1.2 การทำแม่แบบยาง (Rubber mold)

ยางที่ใช้ในการทำแม่แบบจะมีลักษณะเป็นแผ่น ก่อนที่จะนำมาใช้งาน ต้องทำความสะอาดก่อนด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม (จากผู้ขาย) โดยเฉพาะในบริเวณที่จะใช้ทำแม่แบบ ต้องมีการสำรวจจุดบกพร่องต่าง ๆ เช่น รู หรือ ปุ่มที่นูนขึ้นมา เพราะจะมีผลต่อแม่แบบยางที่ได้

ขั้นตอนในการทำแม่แบบยาง จะเริ่มต้นด้วยการวางแบบแหวน (model) บนแผ่นยางด้านหนึ่ง จากนั้นปิดทับแบบแหวนด้วยยางอีกด้านหนึ่ง นำไปเข้าเครื่องอัดเพื่อให้ยางสุกตัว ที่อุณหภูมิ ประมาณ 153 °ซ (307 °ฟ) เมื่อยางสุก ผ่าแยกเอาแบบแหวนออกจากยาง ซึ่งจะกระทำในขณะที่ยางยังร้อนอยู่ ทั้งนี้เนื่องจาก ถ้าปล่อยให้ยางเย็นตัว จะเกิดการหดตัว ทำให้ผ่าเอาแบบแหวนออกลำบาก หลังจากที่ผ่าแยกเอาแบบแหวนออกแล้ว จะได้แบบยางที่มีลักษณะตามแบบแหวน



รูปที่ 2 จุดบกพร่องที่เกิดบนแผ่นยาง เนื่องจากฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2 แผ่นยางก่อนที่จะนำมาใช้งาน จะต้องกำจัดฟองอากาศออกไปก่อน เพราะจะมีผลต่อแม่แบบยางที่สุกตัว ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ผลของฟองอากาศที่มีต่อแม่แบบยางที่สุกตัวแล้ว

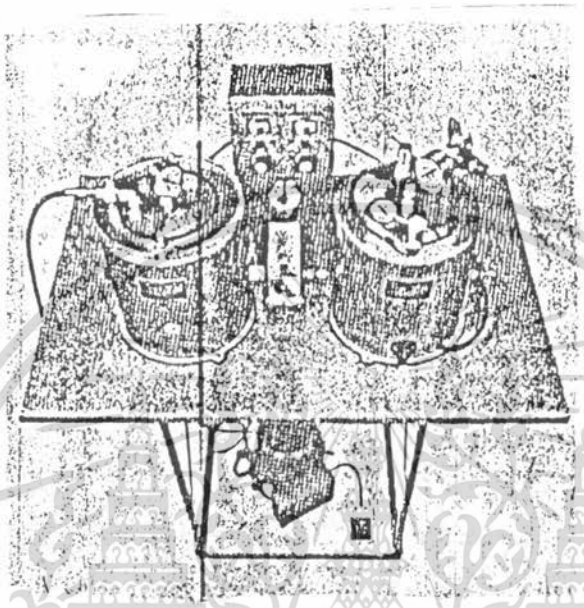
1.1.3 การทำแบบเทียน (Wax pattern)

หลังจากที่ได้แม่แบบยางแล้ว จะนำเทียนที่ใช้ในการฉีดมาเข้าเครื่องฉีดเทียน (wax injector) ดังรูปที่ 4 โดยใช้แบบยางเป็นแม่แบบ อุณหภูมิที่ใช้ในการฉีด จะอยู่ในช่วง 65 - 75 °ซ ขึ้นอยู่กับชนิดของเทียน เทียนจะถูกหลอมโดยความร้อน จากนั้นจะถูกแรงดันอัดเทียนที่หลอมตัวผ่านไปยังหัวฉีด (die nozzle) เข้าสู่แบบยาง จะได้แบบเทียนที่มีรูปร่างที่เหมือนแบบยาง

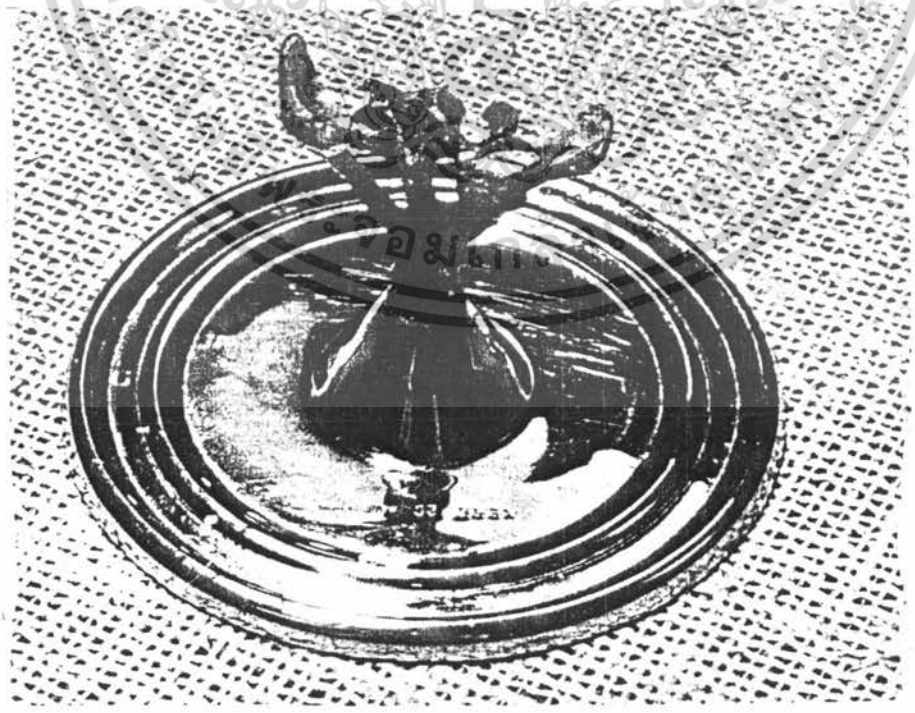
1.1.4 การติดส่วนนำร่องบนแบบ (Sprue & mount pattern)

แบบเทียนที่ได้จากการฉีดเรียบร้อยแล้วจะนำมาติดส่วนนำร่อง ดังรูปที่ 5 โดยส่วนนำร่องนอกจากจะช่วยให้แบบเทียนอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นทางไหลของโลหะหลอมเพื่อเข้าไปในแบบอีกด้วย ขนาดของส่วนนำร่องที่ใช้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของแบบเทียน โดยทั่วไปแล้ว ส่วนนำร่องควรมีความหนาเท่ากับส่วนที่หนาที่สุดของแบบเทียน และไม่ควรมีความยาวมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 เครื่องฉีดเทียบแบบระบบสูญากาศ



รูปที่ 5 แบบเทียบทดสอบส่วนน้ำร้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาปริมาณของโลหะที่จำเป็นต้องใช้ในการหล่อ[2]

หลังจากที่ติดส่วนนำร่องบนแบบเรียบร้อยแล้ว น้ำหนักรวมระหว่างส่วนนำร่องกับแบบเทียน จะเป็นตัวกำหนดปริมาณโลหะที่จำเป็นต้องใช้ในการหลอม ซึ่งสามารถหาได้โดยวิธีการแทนที่น้ำ (water displacement method) หรือ โดยวิธีการชั่งน้ำหนักรวมของแบบเทียน และ ส่วนนำร่อง (weighing the pattern)

วิธีการแทนที่น้ำ

เติมน้ำลงในกระบอกตวงประมาณ 2 ใน 3 ส่วน จากนั้นหย่อนแบบเทียนลงในกระบอกตวงที่สังเกตระดับน้ำไว้แล้ว โดยใช้ลวดขนาดเล็ก สังเกตระดับน้ำที่ถูกแทนที่โดยแบบเทียน แล้วค่อย ๆ หย่อนโลหะที่ต้องการหล่อลงไปแทน จนระดับน้ำขึ้นสูงเท่ากับระดับน้ำเมื่อหย่อนแบบเทียนลงไป

ในกรณีที่แบบเทียนยังไม่ได้ทำการติดส่วนนำร่อง ให้เติมโลหะลงไปอีกเล็กน้อยประมาณให้มีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำ 1 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นส่วนของส่วนนำร่อง

วิธีการชั่งน้ำหนักรวมของแบบเทียน และ ส่วนนำร่อง

การหาน้ำหนักของโลหะที่จำเป็นต้องใช้ในการหล่อด้วยวิธีนี้ ทำโดยการนำค่าน้ำหนักรวมของแบบเทียน และส่วนนำร่องที่ชั่งได้ คูณด้วยค่าความถ่วงจำเพาะของโลหะนั้น ๆ เช่น เงิน มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 10.5 ทอง 14K มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 13.4 เป็นต้น

ในกรณีที่แบบเทียนยังไม่ได้ทำการติดส่วนนำร่อง ให้เพิ่มน้ำหนักของโลหะสำหรับส่วนนำร่องไว้อีกประมาณ 40%

หลังจากที่ชั่งหาน้ำหนักของแบบเทียนเรียบร้อยแล้ว ควรทำความสะอาดแบบเทียน ก่อนที่จะนำแบบเทียนที่ติดส่วนนำร่องแล้วนี้มาติดเป็นต้นเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.5 การทำแม่แบบปูน[3] (Invest pattern)

วัสดุที่ใช้ทำแม่แบบสำหรับการหล่อ เรียกว่า อินเวสท์เมนต์ (investment) ซึ่งเป็นวัสดุผสมระหว่างปูนปลาสเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะ ซิลิกาให้สมบัติด้านความแข็ง กรดบอริก ช่วยให้การเปลี่ยนแปลงความร้อนคงที่ในระหว่างการหลอม และแกรไฟต์ ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำแม่แบบดังกล่าวมีลักษณะเป็นรูพรุนพอสมควร ดังนั้นแก๊สในเนื้อโลหะสามารถซึมผ่านออกไปได้ ในขณะที่มีการหลอม ซึ่งช่วยให้แม่แบบปูนไม่เกิดรอยร้าว หรือ หัก ในขณะที่ใช้งานภายใต้อุณหภูมิสูง ถึงแม้ว่าจะให้ความร้อนเป็นเวลานานที่อุณหภูมิสูงกว่า 732 °ซ (1350 °ฟ)

อินเวสท์เมนต์ที่ใช้จะมีลักษณะเป็นผง ในการใช้งานจะผสมกับน้ำ ทำให้มีลักษณะเป็นครีมข้น โดยน้ำที่ใช้ในการผสมควรมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง หรือ ประมาณ 21 - 27 °ซ (70 - 80 °ฟ) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการผสม น้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเร่งเวลาในการอยู่ตัวของปูนซึ่งอาจจะทำให้มีการอยู่ตัวที่ไม่ดี ในขณะที่ถ้าน้ำมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้เวลาในการอยู่ตัวนานขึ้น

การผสมจะทำในถ้วยยาง เนื่องจากสามารถเทส่วนผสมระหว่างอินเวสท์เมนต์กับ น้ำ ที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นออกได้ง่าย นอกจากนี้ถ้วยยางยังมีความอ่อนตัว ทำให้กำจัดเศษของอินเวสท์เมนต์ที่แห้งติดถ้วยออกได้ง่าย

การผสมเริ่มแรกจะเทน้ำใส่ถ้วยยางก่อน จากนั้นค่อย ๆ โรยอินเวสท์เมนต์ลงไป เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสม (น้ำต่ออินเวสท์เมนต์ ประมาณ 1 : 2.2) การผสมในส่วนนี้จะต้องอาศัยประสบการณ์มาก ถ้าใช้อินเวสท์เมนต์ในปริมาณที่มากเกินไป แบบปูนจะมีการอยู่ตัวที่ไม่ดี เมื่อผสมได้อัตราส่วนที่เหมาะแล้ว ใช้แท่งแก้ว หรือเครื่องปั่นผสมให้เข้ากัน โดยต้องระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ หลังจากที่ผสมกันจนทั่วแล้ว จะต้องมีการกำจัดฟองอากาศออก โดยใช้วิธีการสั่นสะเทือน (vibration) ซึ่งจะอาศัยกระแสไฟฟ้าในการทำงาน อากาศที่มีอยู่ในส่วนผสมจะผุดขึ้นที่ผิวของส่วนผสม และแตกออกไป นอกจากการใช้วิธีการสั่นสะเทือนแล้ว การกำจัดฟองอากาศอาจทำได้โดยใช้เครื่องสูบอากาศออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหล่อต้นเทียนด้วยปูนปลาสเตอร์ ดังรูปที่ 6 เพื่อให้ได้ผิวที่เรียบ และ มีการยึดติดที่ดี จะทำการเคลือบชั้นต้น (precoat) ก่อนโดยใช้แปรงขนอ่อนจุ่มในส่วนผสมปูนที่ผสมแล้ว ทำให้ทั่วเทียนหล่อโดยต้องไม่ให้เกิดฟองอากาศ และ มีความหนาไม่เกิน 1/8 นิ้ว เมื่ออยู่ตัวดีแล้วจึงทำการหล่อทับด้วยปูนต่อไป

การหล่อปูนทำได้ 2 วิธีคือ

- วางต้นเทียนให้อยู่กึ่งกลางของกระบอก ห่างจากด้านข้างของกระบอกประมาณ 3/8 นิ้ว และห่างจากด้านบนของกระบอก 1/2 นิ้ว โดยส่วนโคนของต้นเทียนจะอยู่ด้านบน จากนั้นหล่อปูนรอบ ๆ ต้นเทียนจนท่วมถึงปากกระบอก
- จุ่มต้นเทียนลงในกระบอกที่มีปูนปลาสเตอร์อยู่แล้วโดยให้อยู่ตรงกลางของกระบอก

ปล่อยให้ปูนอยู่ตัวประมาณ 12 ถึง 15 นาที ในทางปฏิบัติจะทิ้งไว้ที่สภาวะนี้อีกประมาณ 1 ถึง 2 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปหลอมต้นเทียนออก

รูปที่ 6 การวางต้นเทียนในกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.6 การหลอมแบบเทียนออก (Burn out pattern)

หลังจากที่ปูนหล่อไว้อยู่ตัวดีแล้ว จะนำกระบอกปูนไปอบขั้นต้น (preheat) ที่อุณหภูมิ 149 °ซ (300 °ฟ) จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิของเตาอบเป็น 732 °ซ (1350 °ฟ) ให้ความร้อนประมาณ 2 - 4 ชั่วโมง ต้นเทียนภายในแม่แบบปูนจะหลอมตัวไหลออกมา หรือที่เรียกว่า "burn out" ซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างที่มีลักษณะและรูปร่างเหมือนแบบเทียนอยู่ภายในแบบปูน และเมื่อทำการหลอมโลหะเข้าไปในแบบพิมพ์จะได้ชิ้นงานโลหะที่จำลองแบบมาจากแบบเทียนนั่นเอง

1.1.7 การหล่อ (Casting)

การหล่อโลหะเข้าไปในแม่แบบปูนทำได้หลายวิธี ตั้งแต่การเทโลหะหลอมลงไปในแบบปูนด้วยมือ หรือใช้เครื่องหล่อ เช่น

- เครื่องเหวี่ยงทอง (Centrifugal casting machine)

เครื่องหล่อทองประเภทนี้ จะอาศัยแรงหนีศูนย์กลางในการเหวี่ยงโลหะหลอมที่มีการชั่งประมาณน้ำหนักโลหะไว้แล้ว จากครูซิเบิล (crucible) เข้าไปในแม่แบบปูน ดังรูปที่ 5 และทำการอัดตันโลหะไว้จนโลหะหลอมเกิดการแข็งตัว โดยความเร็วของเครื่องเหวี่ยงเหวี่ยงนั้นจะต้องมีความเหมาะสม ซึ่งหาค่าได้จากการทดลอง โดยทั่วไปชิ้นงานที่มีขนาดเล็กจะใช้ความเร็วสูงกว่าชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่

- เครื่องดูด (Vacuum chamber)

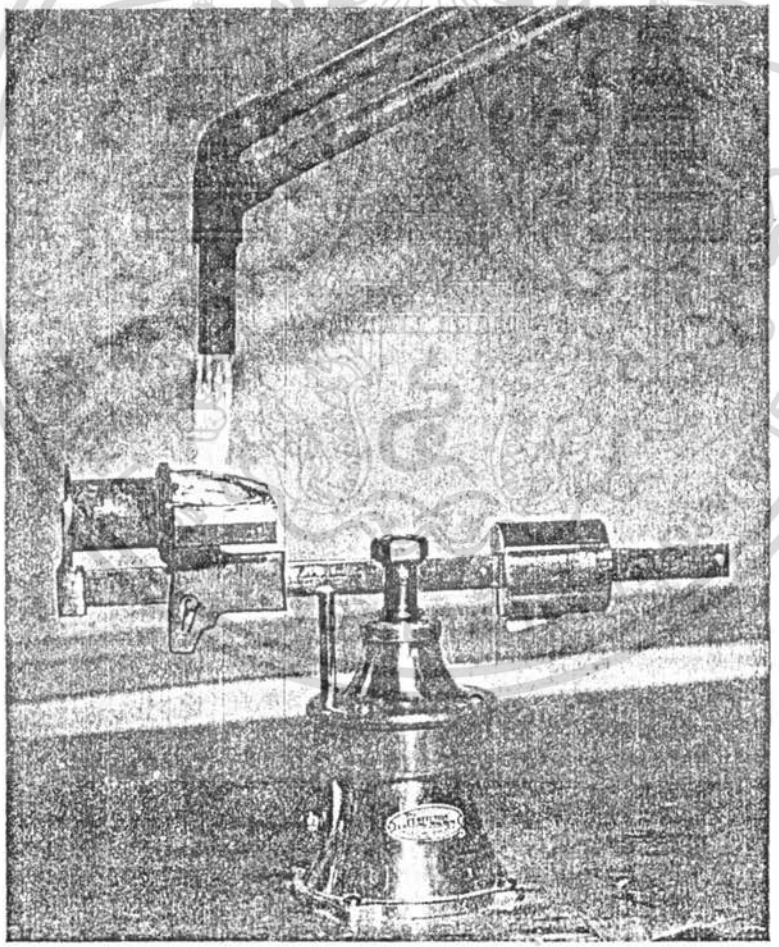
เครื่องหล่อประเภทนี้จะมีเครื่องสูบสุญญากาศ ทำหน้าที่ดูดอากาศรอบ ๆแบบ ดังรูปที่ 8 หลังจากที่โลหะหลอมพร้อมที่จะหล่อ ค่อย ๆ ลดการสูบลงพร้อมกับเทโลหะหลอมลงในกระบอกปูน จากนั้นหล่อเย็นกระบอกปูนด้วยน้ำเย็นจนโลหะหลอมแข็งตัว

1.1.8 การตกแต่งและขัดเงา (Finish and polish)

หลังจากที่แกะชิ้นงานโลหะออกจากปูนแล้ว ในบางครั้งจะมีปูนติดที่ชิ้นงาน ซึ่งสามารถกำจัดออกได้โดยใช้น้ำล้างหรือแปรงขัด จากนั้นนำชิ้นงานลงแช่ในสารละลายกรด

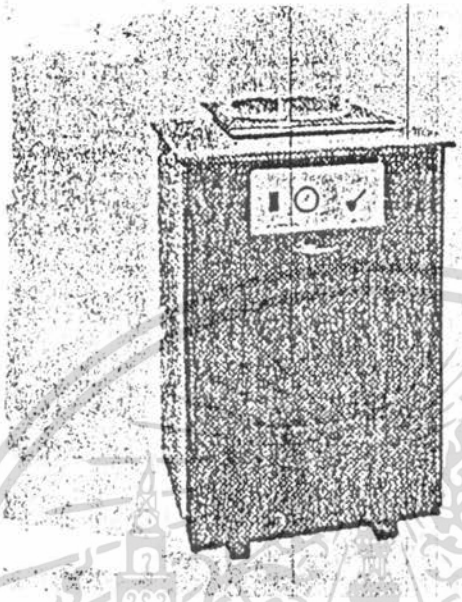
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อล้างออกไซด์ของโลหะที่ติดเป็นคราบสีดำออก และเพื่อช่วยให้ง่ายต่อการขัดเงา หลังจากทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว ชิ้นงานที่ได้จะถูกนำไปตัดส่วนเว้าร่องและขัดเงาต่อไป



รูปที่ 7 เครื่องเหวี่ยงทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 เครื่องตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของเทียนหล่อ[4]

โดยทั่วไปเทียน ที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นตัวขึ้นแบบจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่เป็นแวกซ์หลัก (base wax) ประมาณ 25-95 ส่วนโดยน้ำหนัก และสารตัวเติมเป็นส่วนย่อยในปริมาณไม่เกิน 50 ส่วนโดยน้ำหนัก

แวกซ์หลักที่เหมาะสมอาจเป็นแวกซ์ที่ได้จากปิโตรเลียม จากพืช หรือจากแร่ต่างๆ เช่น คานอบาร์แวกซ์ (carnauba wax) แวกซ์สังเคราะห์ (synthetic wax) และเทอร์โมพลาสติกเรซินต่างๆ เช่น ยางไม้ เทอร์พีนเรซิน (turpene resin) หรือเป็นส่วนผสมของสารต่างๆ ข้างต้นกับพอลิเมอร์สังเคราะห์หรือกับพอลิเมอร์ร่วม เช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนและไวนิลแอซีเตต เป็นต้น

แวกซ์หลักเหล่านี้ตามปกติจะมีการหลอมตัวที่อุณหภูมิประมาณ 42-82 °ซ (120-160 °ฟ) โดยส่วนผสมของแวกซ์หลักที่เหมาะสมจะประกอบด้วยพาราฟินแวกซ์ ซึ่งมีจุดหลอมเหลวประมาณ 57-71 °ซ (135-160 °ฟ) และไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ ซึ่งมีจุดหลอมเหลวประมาณ 54-82 °ซ (130-180 °ฟ) เป็นส่วนใหญ่ สำหรับอัตราส่วนที่นิยมใช้กันจะประกอบด้วย

พาราฟินแวกซ์	7-30 ส่วน
ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์	7-30 ส่วน
เรซินจากไม้	7-35 ส่วน
องค์ประกอบที่เป็นเรซิน (resin component) ซึ่งมีจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง 52-177 °ซ	3-35 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.1 พาราฟินแวกซ์และไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์

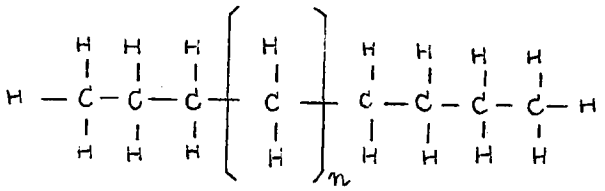
ทั้งพาราฟินแวกซ์และไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ต่างก็ได้จากปิโตรเลียมดิบ แต่ต่างกันที่กระบวนการแยก และสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยพาราฟินแวกซ์จะแยกออกมาโดยใช้วิธี Sweating ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่าสแลกแวกซ์ (slack wax) ส่วนไมโคร-คริสตัลไลน์แวกซ์ จะได้จากการนำเอากากที่เหลือ (residue) จากกระบวนการกลั่นมาตกผลึกด้วยตัวทำละลาย (solvent crystallisation method) สำหรับตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ โพรเพน และ คีโตน

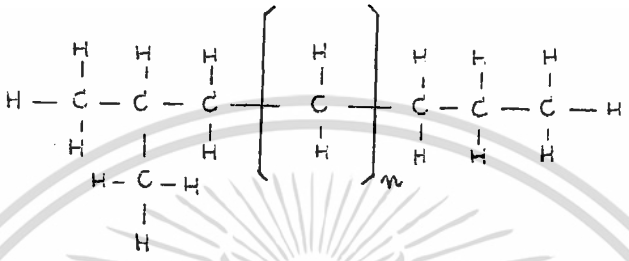
โครงสร้าง

พาราฟินแวกซ์และไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยสายโซ่ยาวของไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวเหมือนกัน แต่ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์จะมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่า โดยทั่วไปพาราฟินแวกซ์จะมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 360-420 และมีจำนวนคาร์บอนประมาณ 26-30 อะตอม ส่วนไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์จะมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 580-700 และมีจำนวนคาร์บอนประมาณ 41-50 อะตอม

จากการศึกษาโครงสร้างทางเคมีโดยอาศัยการกระเจิงของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) พบว่าพาราฟินแวกซ์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรงเป็นส่วนใหญ่ และสายโซ่กิ่งเป็นส่วนน้อย ส่วนโครงสร้างของไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์จะประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรงและสายโซ่กิ่งจัดเรียงตัวกันแบบสุ่ม (random) นอกจากนี้ยังพบว่าไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์จะมีขนาดของผลึกเล็กกว่าของพาราฟินแวกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 9 ก. แสดงลักษณะโครงสร้างแบบสายโซ่ตรง

ข. แสดงลักษณะโครงสร้างแบบสายโซ่กิ่ง

สมบัติของพาราฟินแวกซ์และไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์

	พาราฟินแวกซ์	ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์
ลักษณะทั่วไป	สีขาว แข็งแต่เปราะ ไม่มีกลิ่น-รส	สีขาว มีความเหนียวกว่า ไม่มีกลิ่น-รส
ค่าความแข็งเพเนเตรชัน ที่ 25 °ซ (มม./10)	น้อยกว่า 25	มากกว่า 50
น้ำหนักโมเลกุล	360-420	580-700
จุดหลอมเหลว (°ซ)	44-65.5	ประมาณ 88
ความหนืดที่ 99 °ซ.	40-45 วินาที	70-200 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 เรซินจากยางไม้

เรซินจากยางไม้ที่มีการนำมาใช้ โดยทั่วไปจะมีจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง 52-177 °ซ แต่จุดอ่อนตัวที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 132-152 °ซ เรซินเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลคู่ (dimer) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ refined wood rosin ที่สกัดจากไม้

สมบัติทั่วไปของเรซินเหล่านี้คือ

ความหนาแน่นที่ 20 °ซ	1.069 กรัมต่อมล.
จุดวาบไฟ (flash point)	< 87 °ฟ
น้ำหนักโมเลกุล	502
ปริมาณเถ้า	0.003 %โดยน้ำหนัก

1.2.3 องค์ประกอบที่เป็นเรซิน (resin component)

องค์ประกอบที่เป็นเรซินที่จะนำมาใช้อาจเป็นไวนิลโทลูอีนอัลฟาเมทิลสไตรีน (vinyltoluene ∝ - methylstyrene interpolymer resin) เทอร์พีนเรซิน โคพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนกับไวนิลแอซิเตต หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้ แต่ตัวที่นิยมใช้ เช่น EVA โคพอลิเมอร์ ซึ่งได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างเอทิลีนกับไวนิลแอซิเตต โดยควรมีปริมาณไวนิลแอซิเตตอยู่ในช่วง 20-35เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักและควรมีดัชนีการไหลตั้งแต่ 0.1 ถึง 450 นอกจาก EVA โคพอลิเมอร์แล้วตัวที่นิยมใช้ก็คือ เทอร์พีนเรซิน ซึ่งอาจเป็นเทอร์พีนที่ได้จากธรรมชาติ หรือจากการสังเคราะห์ เทอรพีนเรซินที่นำมาใช้ควรมีจุดอ่อนตัวอย่างต่ำ 60 °ซ(ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 71-260 °ซ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการเตรียมเทียนหล่อ

1.3.1 การคืนตัวและการหดตัวของแบบเทียน

ในการผลิตชิ้นงานหล่อโลหะโดยอาศัยเทียนเป็นตัวขึ้นแบบนั้น เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่จำเป็นจะต้องคำนึงถึงก็คือ คุณสมบัติของเทียนที่จะนำมาใช้ขึ้นแบบ ซึ่งนอกจากต้องสามารถฉีดได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 41-44 °ซ (105-110 °ฟ) แล้ว ยังต้องมีการหดตัวต่ำ (low-shrinkage) ในระหว่างการทำให้แบบเทียนเย็นตัวลงภายหลังการฉีด ไปยังอุณหภูมิที่จะนำแบบเทียนไปใช้ในการเตรียมแม่แบบปูนต่อไป

เนื่องจากเทียนเป็นของไหลแบบ non-Newtonian ดังนั้นในระหว่างการฉีดภายใต้ความดัน แรงเฉือน (shearing force) ที่เกิดขึ้นภายใน จะช่วยให้เทียนมีการไหลดีขึ้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องให้ความร้อนแก่เทียนจนกลายเป็นของเหลวอย่างสมบูรณ์เพื่อที่จะผ่านช่องของหัวไต (die) เมื่อเทียนถูกฉีดผ่านหัวไต เทียนในส่วนที่มีความบางจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วทำให้ไม่มีโอกาสที่จะเกิดการคลายตัว ซึ่งมีผลทำให้เทียนในส่วนนี้มีความถูกต้องของขนาดสูงเมื่อเทียบกับเทียนส่วนที่มีความหนา ซึ่งจะมีการหดตัวมากกว่า อัตราการเย็นตัวและการหดตัวที่ต่างกันนี้จะทำให้เกิดความเครียดขึ้นภายในแบบเทียน ผลก็คือเมื่อเกิดการผิดรูปไปของแบบเทียนจะมีการคลายความเครียดเกิดขึ้น สำหรับการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการผิดรูปไปของแบบเทียนนี้สามารถทำได้โดยเปลี่ยนหรือทำหัวไดใหม่ ซึ่งมีความยุ่งยากและมีราคาสูง ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่นิยมนำมาใช้

อีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาการผิดรูปไปของแบบเทียนอันเนื่องมาจากการหดตัวนี้ คือการใส่สารตัวเติม (solid filler)ที่เหมาะสมบางชนิดเข้าไปในส่วนผสมของเทียนที่ใช้เป็นตัวขึ้นแบบ ซึ่งสารตัวเติมที่นำมาใช้จะต้องมีการกระจายตัวของอนุภาคทั่วสารละลายของเทียนทั้งในขณะที่เป็นเทียนหลอมในขั้นของการฉีด และในขณะที่เป็นเทียนแข็งภายหลังการทำให้เย็น อย่างไรก็ตามการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เช่นนี้ถึงแม้จะช่วยลดการหดตัวลงได้ แต่มักจะก่อให้เกิดปัญหาข้างเคียงอื่น ๆ ขึ้น ดังนั้นในการที่จะเลือกใช้สารตัวเติมชนิดใดนั้นจะต้องคำนึงถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นตามมาด้วย เช่น

1. ปัญหาของเทียนที่มักเกิดขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับส่วนประกอบของปูนที่นำมาหล่อแบบ ที่ pH สูงๆ พบว่าจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมในเทียนกับส่วนประกอบในปูนที่ใช้ ซึ่งมีผลทำให้เกิดความไม่เรียบขึ้นที่ผิวด้านในของแม่แบบ จึงทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในการหล่อต่อไปได้ ดังนั้นสารตัวเติมที่จะนำมาใช้จะต้องสามารถใช้ร่วมกับส่วนผสมของปูนที่ได้ที่ pH ต่างๆ โดยเฉพาะที่ pH มากกว่า 9

2. ปัญหาอีกข้อหนึ่งที่ควรคำนึงถึงคือ แบบเทียนซึ่งมักจะต้องมีการสัมผัสกับน้ำ ทั้งในระหว่างการใช้งาน และระหว่างขบวนการอยู่เสมอ เช่น จะต้องมีการล้างแบบเทียนในน้ำเพื่อกระจายประจุไฟฟ้าสถิตย์ออกก่อนที่จะทำการหล่อแบบปูน ดังนั้นสารตัวเติมที่ใช้จึงไม่ควรละลายน้ำ เพราะถ้ามีการละลายของสารตัวเติมจากแบบเทียนไปในน้ำ จะทำให้สมบัติของแบบเทียนเสียไป

3. ปัญหาในการหลอมแบบเทียนออกจากแม่แบบปูน (dewaxing หรือ burn out) สารตัวเติมที่ดีจะต้องไม่เหลือกากตกค้างอยู่ในแบบปูนหลังจากการหลอมแบบเทียนออกไปหมดแล้ว เพราะจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของแม่แบบซึ่งจะต้องนำไปใช้หล่อโลหะต่อไป

4. สารตัวเติมที่เหมาะสมจะต้องไม่เกิดการรวมตัวเป็นก้อน (agglomerate) หรือเกิดเป็นเจล (gel) ขึ้นในอุปกรณ์ฉีด ก่อนทำการฉีด

5. จากการศึกษา (สิทธิบัตรเลขที่ 3,316,105) พบว่าสารตัวเติมที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น เอทิลีนสเตียราไมด์ (ethylene stearamide) เอทิลีน ไดลอราไมด์ (ethylene dilauramide) สามารถเข้ากันได้ดีกับแวกซ์หลักที่ใช้ในขณะที่ทำการผสมในระยะเริ่มต้น และที่อุณหภูมิก่อนฉีดเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปในแบบยาง ซึ่งความเข้ากันได้นี้จะมีผลทำให้การลดลงของการหดตัวของแบบเทียนลดน้อยลง และยังมีผลกระทบถึงสมบัติและส่วนประกอบของแบบเทียนซึ่งอาจเปลี่ยนไปได้

นอกจากสารตัวเติมที่ใช้จะต้องไม่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวแล้ว ยังต้องทำให้เทียนผสมที่ได้มีความแข็งแรงพอที่จะนำมาใช้ มีความอยู่ตัวที่อุณหภูมิห้อง มีความสามารถในการคืนตัวสูง และสามารถฉีดผ่านหัวได้ที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 °ซ นอกจากนี้ควรมีปริมาณเถ้า (ash content) ต่ำกว่า 0.03 % อีกด้วย

ตัวอย่างของสารตัวเติมบางชนิดที่มีการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการคืนตัวของแบบเทียน และปัญหาข้างเคียงที่เกิดขึ้น[5]

1. สารตัวเติมอนินทรีย์ (inorganic filler) เช่นผงไมกา (mica) หรือ ซิลิกา (silica) ได้ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของแบบเทียนมานานแล้ว แต่เนื่องจากสารตัวเติมเหล่านี้มีการเหลือตกค้างอยู่ในแบบปูนหลังจากที่เทียนผสมถูกหลอมออกไปหมดแล้ว ดังนั้นจึงไม่มีการนำมาใช้อีก

2. เขม่าดำ (carbon black) ปัญหาของเขม่าดำที่ทำให้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในแบบเทียน คือ เขม่าดำมีอนุภาคละเอียดมากจนทำให้เทียนผสมที่ได้ไม่แข็งแรงพอ

3. พอลิสไตรีน (polystyrene) ตามสิทธิบัตรเลขที่ 3,465,808 ได้ทำการศึกษาถึงผลของการนำพอลิสไตรีนมาใช้เป็นสารตัวเติมในเทียนผสม พบว่าจะเกิดปัญหาขึ้นในขั้นของการหลอมเทียนออกจากแบบปูน คือพอลิสไตรีนจะมีการหลอมตัวออกมาไม่พร้อมกับแบบเทียน ทำให้มีพอลิสไตรีนบางส่วนเหลือค้างในแบบปูน และถ้าไม่ควบคุมอัตราการให้ความร้อนให้พอเหมาะ พอลิสไตรีนที่เหลือนี้จะไหม้เกรียมทำให้ยากที่จะกำจัดออกจากแบบปูนได้ ซึ่งจะมีผลทำให้ผนังด้านในของแบบปูนไม่สมบูรณ์พอที่จะนำไปเป็นแม่แบบในการหล่อต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไดคาร์บอกซาไมด์ (dicarboxamide) ตามสิทธิบัตรเลขที่ 3,316,705 ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ไดคาร์บอกซาไมด์ เป็นสารตัวเติมในเทียนผสม พบว่ามีปัญหาที่เกิดขึ้นคือ เทียนผสมมีการคืนตัวน้อยลง และมีสมบัติอื่นเปลี่ยนไป ทั้งนี้เนื่องจากไดคาร์บอกซาไมด์สามารถละลายได้ในส่วนผสมของเทียน นอกจากนี้เนื่องจากการมีจุดหลอมเหลว และความหนืดที่สูง ทำให้การผสมเทียนสามารถทำได้ครั้งละน้อย ๆ เท่านั้น

5. กรดพทาลิก (phthalic acid) จากการศึกษาสิทธิบัตรเลขที่ 3,655,414 พบว่าสารตัวเติมประเภทนี้มีผลกระทบต่อแม่แบบปูน และมีแนวโน้มที่จะทำให้ เทียนหลอมมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

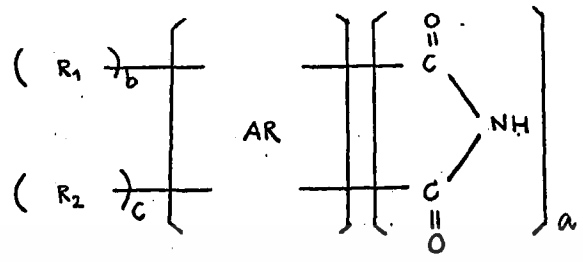
6. อิไมด์ของกรดพอลิคาร์บอกซิลิก (imides of polycarboxylic acid) ตามสิทธิบัตรเลขที่ 3,717,485 พบว่าอิไมด์เหล่านี้ให้ผลดีพอควร แต่เนื่องจากมีราคาสูงกว่าสารตัวเติมชนิดอื่นๆ จึงไม่นิยมนำมาใช้

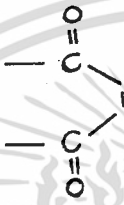
7. เพนตะเออริทริทอล (pentaerythritol) ปัญหาของสารตัวเติมชนิดนี้คือ มีแนวโน้มที่จะเกิดการรวมตัวเป็นก้อนเกาะบนผนังด้านในของแม่แบบปูน ทำให้ยากต่อการหลอมออก ดังได้ศึกษาไว้ในสิทธิบัตรเลขที่ 3,801,355 และ 3,884,708

8. เดคะคลอริเนตเตตไบเฟนิล (decachlorinated biphenyl) สารตัวเติมชนิดนี้ ปัจจุบันไม่อนุญาติให้นำมาใช้ เนื่องจากเป็นพิษ และก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย

จากการศึกษาผลของตัวเติมชนิดต่างๆ ที่มีต่อการคืนตัวของแบบเทียน จนถึงปัจจุบัน พบว่า แบบเทียนที่มีการหดตัวต่ำและมีการคืนตัวสูงนั้น มักประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ แวกซ์หลัก 25-95 ส่วนโดยน้ำหนัก และสารตัวเติม 5-75 ส่วนโดยน้ำหนัก ซึ่งสารตัวเติมที่เหมาะสมควรมีหมู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

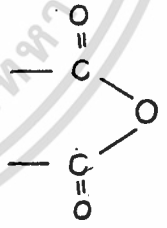


ซึ่งหมู่ R_1, R_2 และ  จะต่ออยู่กับคาร์บอนอะตอมของหมู่ AR

AR อาจเป็น เบนซีนนิวเคลียส (benzene nucleus)
หรือ ไบเฟนิลนิวเคลียส (biphenyl nucleus)

R_1 คือหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl)

R_2 อาจเป็นหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl) เมทอกซีคาร์บอนิล (methoxycarbonyl) หรือ เอทอกซีคาร์บอนิล (ethoxycarbonyl)

นอกจากนี้ R_1 และ R_2 สามารถอยู่ในลักษณะที่เป็น 

เมื่อ a เป็นจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 2

สำหรับสูตรที่นิยมใช้กันมาก

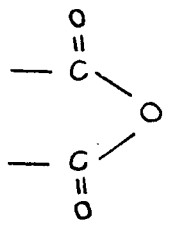
a จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 2

b,c เท่ากับ 0

AR ได้แก่ เบนซีน (benzene)

R_2 ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเมื่อรวมกับ R_1 จะได้เป็น 

ตัวอย่างของสารตัวเติมเหล่านี้ เช่น พทาลิไมด์ (phthalimide)
4,5-ไดคาร์บอกซีพทาลิไมด์ (4,5-dicarboxyphthalimide)
4-คาร์บอกซีพทาลิไมด์ (4-carboxyphthalimide)
3,4-ไบเฟนิลไดคาร์บอกซิไมด์ (3,4-biphenyldicarboxymide)
4-เมทอกซีคาร์บอนิลพทาลิไมด์ (4-methoxycarbonylphthalimide)

1.3.2 ความสามารถในการโค้งงอ (flexibility)

ในกระบวนการหล่อโลหะโดยใช้เทียนเป็นตัวขึ้นแบบนี้ ถ้าแบบเทียนมีความสามารถในการโค้งงอสูง จะทำให้โอกาสที่แบบเทียนนั้นจะเสียรูปไปหลังจากการโค้งงอน้อยลง สารตัวเติมที่นิยมใช้เติมลงไปในเทียนผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการโค้งงอคือ EVA

EVA เป็นพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนและไวนิลแอซิเตต มีลักษณะเป็นเม็ดใสจนถึงขุ่น มีหลายคุณภาพขึ้นอยู่กับปริมาณไวนิลแอซิเตต และน้ำหนักโมเลกุล EVA จัดเป็นเทอร์โมพลาสติกชนิดหนึ่ง ที่สามารถหลอมละลายได้เมื่อให้ความร้อนและแข็งตัวหลังจากทำให้เย็น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปผ่านขบวนการหลอมละลายได้หลายครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติที่สำคัญของ EVA

1. มีความสามารถในการยืดหยุ่นและโค้งงอได้ดี
2. มีน้ำหนักเบา
3. มีความสามารถในการโค้งงอสูงที่อุณหภูมิต่ำ
4. มีความสามารถในการสปริงตัวได้ดี
5. มีความคงทนต่ออุณหภูมิ และต่อแสงอัลตราไวโอเลต
6. ไม่เป็นพิษ และไม่ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

จากสมบัติของ EVA ที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า EVA มีสมบัติที่ดีในด้านของการคืนตัวและการโค้งงอ ดังนั้น EVA โดยเฉพาะคุณภาพที่มีปริมาณไวนิลแอซิเตตสูงจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านความโค้งงอให้กับเทียนผสม

1.3.3 ความแข็ง (hardness)

การปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งและความเป็นพลาสติกของแบบเทียนสามารถทำได้โดยการเติมสารตัวเติมที่เหมาะสมบางชนิดลงไป สำหรับสารตัวเติมที่เหมาะสมได้แก่ พอลิเอทิลีน โดยเฉพาะชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ประมาณ 2,000) ซึ่งสามารถละลายได้เล็กน้อยในน้ำมันสน (turpentine) ปิโตรเลียมแนฟทา (petroleum naphtha) ที่อุณหภูมิห้อง และละลายได้ในตัวทำละลายต่างๆ เช่น ไซลีน (xylene) โทลูอีน (toluene) แต่ไม่ละลายในน้ำ

จากการศึกษาพบว่าพอลิเอทิลีนจะมีผลต่อส่วนผสมเทียนดังนี้

: ความหนืดของส่วนผสมระหว่างปิโตรเลียมแวกซ์ และพอลิเอทิลีน จะสูงกว่าความหนืดของปิโตรเลียมแวกซ์เพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

: ความหนืดของเทียนผสมจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมพอลิเอทิลีน

: เมื่อทำการทดสอบจุดหลอมตัวโดยใช้วิธีหาค่า Drop melting point พบว่าส่วนผสมเทียนที่มีการผสมพอลิเอทิลีนจะติดอยู่ที่กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์นานขึ้นกว่าเดิม หรือมีช่วงการหยดตัวนานขึ้น นั่นเอง

1.3.4 จุดหลอมเหลว (melting point)

สมบัติที่สำคัญที่สุดของเทียนผสมที่จะนำไปฉีดเพื่อใช้เป็นตัวขึ้นแบบก็คือจุดหลอมเหลว ซึ่งจุดหลอมเหลวของเทียนที่เหมาะสมควรมีค่าตั้งแต่ 60 ถึง 76 °ซ จุดหลอมเหลวของเทียนผสมที่ได้ จะขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวขององค์ประกอบต่างๆ ในเทียนผสม โดยในการหาค่าจุดหลอมเหลวของเทียนผสมนี้จะใช้วิธีการหาค่า Drop melting point ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เทียนกลายเป็นของไหลหยดจากเทอร์โมมิเตอร์ ภายใต้สภาวะการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 127-87

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ในโครงงานพิเศษนี้ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของสารตัวเติม เฮกซะเมทิลีนเตตระมีน กับพทาลิไมด์ ศึกษาปริมาณของพอลิเอทิลีนที่มีต่อสมบัติด้านความแข็ง และจุดหลอมเหลวของเทียนผสม รวมทั้งหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเทียนผสมที่มีคุณสมบัติทัดเทียมกับเทียนที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
สรุปและวิจารณ์ผล

1. จากการศึกษาข้อมูลจากสิทธิบัตร พบว่า สารตัวเติมที่มีการหดตัวต่ำ ได้แก่ HMTA พทาลิไมด์ ซึ่งสารตัวเติมทั้งสองนี้ นอกจากจะให้การหดตัวต่ำแล้วยังมีข้อดีคือ ไม่มีกากเหลืออยู่ในแบบปูน หลังจากทำการหลอมเทียนออกแล้ว และยังไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ สำหรับ HMTA เป็นสารที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก ในขณะที่พทาลิไมด์มีราคาแพงและหาได้ยาก ดังนั้นในโครงงานพิเศษนี้ จึงทำการเตรียมพทาลิไมด์ขึ้นเองจากปฏิกิริยาระหว่าง พทาลิกแอนไฮไดรด์ และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ได้พทาลิไมด์ที่มีจุดหลอมเหลว 235 °ซ ซึ่งตรงกับพทาลิไมด์ตัวอย่างที่มีอยู่ นอกจากนี้ จากหลักฐานทางอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี พบค่าการดูดกลืนแสงหมู่คาร์บอนิลที่บริเวณเลขคลื่น 1720 - 1750 ซม.$^{-1}$ และที่บริเวณเลขคลื่น 3200 - 3500 ซม.$^{-1}$ แสดงตำแหน่งการยืดของพันธะไนโตรเจน-ไฮโดรเจนและจากหลักฐานทางนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี (NMR) ได้ค่า chemical shift ที่ 7.8 ppm. ซึ่งเป็นตำแหน่งสัญญาณของโปรตอนของวง แอโรมาติก ซึ่งจากหลักฐานดังกล่าวยืนยันได้ว่าสารที่เตรียมได้เป็นพทาลิไมด์

2. จากการทดลองศึกษาผลของอัตราส่วนของแวกซ์หลัก ที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลวและเพเนเตรชันของเทียนผสม ดังตารางที่ 1 พบว่า ช่วงการหลอมเหลวของเทียนผสมจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนของส่วนผสม โดยถ้าใช้สารที่มีจุดหลอมเหลวสูงเป็นส่วนผสมจะมีผลทำให้จุดหลอมเหลวของเทียนที่ได้สูงตามไปด้วย และในส่วนผสมเดียวกันเมื่อมีปริมาณของพาราฟินแวกซ์เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณของไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ลดลง จะทำให้จุดหลอมเหลวของเทียนลดลง และค่าเพเนเตรชันลดลงด้วย (ค่าเพเนเตรชันลดลงแสดงว่าค่าความเข้มเพิ่มขึ้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าในส่วนผสมที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย พอลิเทอร์พีนเรซิน 5 กรัม พาราฟินแวกซ์ 65 กรัม และ ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ 21 กรัม เป็นส่วนผสมที่ให้ค่าจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวของเทียนที่ขายในท้องตลาด (เทียบกับเทียนของบริษัท KERR และบริษัท CASTALDO) คือเท่ากับ 65 °ซ แต่ค่าเพเนเตรชันที่ได้ยังสูงอยู่ คือเท่ากับ 19.0 (1/10 มม.)

3. ในการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งของเทียนนั้น สารที่น่าสนใจศึกษา คือ พอลิเอทิลีน ดังนั้นในโครงงานพิเศษนี้จึงทำการศึกษาผลของพอลิเอทิลีนที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลว และเพเนเตรชันของเทียนผสม เพื่อหาปริมาณพอลิเอทิลีนที่เหมาะสมในการนำมาเตรียมเทียน ซึ่งจากการทดลองพบว่า ปริมาณของพอลิเอทิลีนที่เหมาะสม คือที่ 4% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นเปอร์เซนต์ที่ทำให้เทียนผสมที่ได้ มีค่าเพเนเตรชันเท่ากับเทียนที่ขายในท้องตลาด คือ เท่ากับ 11

4. จากการทดลองศึกษาและเปรียบเทียบผลของสารตัวเติม 2 ชนิด คือ HMTA และพทาลิไมด์ที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลวและค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม ดังตารางที่ 3 พบว่า เทียนที่ใช้พทาลิไมด์เป็นสารตัวเติม จะให้ค่าจุดหลอมเหลวและค่าเพเนเตรชันที่ใกล้เคียงกับเทียนที่จำหน่ายในท้องตลาดมากกว่าเมื่อใช้ HMTA เป็นสารตัวเติม แต่ค่าที่ได้นี้ไม่ต่างกันมากนัก และเนื่องจาก HMTA มีราคาถูกและหาได้ง่ายกว่าพทาลิไมด์มาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตอาจใช้ HMTA เป็นสารตัวเติมแทนการใช้พทาลิไมด์ได้

5. จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า อัตราส่วนของเทียนที่เหมาะสมที่จะใช้ในการหล่อแบบ คือ

พอลิเทอร์พีนเรซิน	5%
พาราฟินแวกซ์	65%
ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์	21%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเอทิลีน	4%
HMTA หรือ พทาลิไมด์	5%

ข้อเสนอแนะ

1. สารเคมีที่ใช้เป็นส่วนผสมของเทียนที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่ง คือ EVA เนื่องจาก EVA มีสมบัติในด้านการโค้งงอที่ดี เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในเทียน จะช่วยเพิ่มสมบัติด้านการโค้งงอและความเหนียวให้กับเทียนผสม ซึ่งมีประโยชน์ในขั้นของการฉีดเทียนเข้าแม่แบบยาง คือ ช่วยให้สามารถถอดแบบเทียนออกได้ง่าย โดยเฉพาะแบบชิ้นงานที่มีลวดลายมาก

2. นอกจากการศึกษาสมบัติด้านความแข็งและจุดหลอมตัวของเทียนแล้ว ควรนำเทียนที่ผสมได้ไปทดลองฉีดโดยใช้เครื่องฉีดเทียน เพื่อศึกษาความยากง่ายของการฉีดและการถอดออกจากแม่แบบยาง เพื่อที่จะได้ทราบสูตรของเทียนที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง นอกจากนี้ควรทำการหล่อแบบปูน เพื่อศึกษาการตกค้างของสารตัวเติมในแบบปูน ภายหลังการหลอมเทียนออกแล้วด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลองและผลการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ : อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ : JASCO

: NMR สเปกโทรมิเตอร์

: เครื่องวัดความแข็ง : HUMBOLDT UNIVERSAL PENETROMETER

: เครื่องวัดค่าจุดหลอมเหลว : BÜCHI 510

สารเคมีที่ใช้ : พทาลิกแอนไฮไดรด์

: แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

: พอลิเทอร์พีนเรซิน

: พาราฟินแวกซ์

: ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์

: พอลิเอทิลีน

: HMTA

: EVA

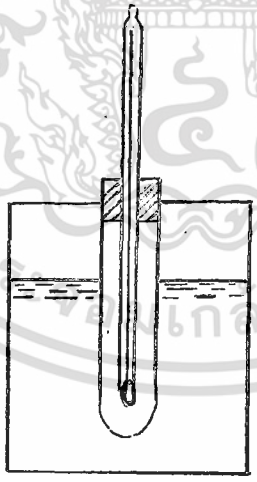
สารเคมีทุกตัวที่ใช้เป็นคุณภาพการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองทั่วไป

<u>การหาค่าจุดหลอมเหลวของเทียนผสม</u>[6]

ทำการหลอมเทียนผสมในบีกเกอร์ โดยให้ความร้อนกับเทียนผสมจนมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวที่ประมาณไว้ 11 °ซ และให้เทียนผสมที่หลอมแล้วมีความสูงจากก้นบีกเกอร์ประมาณ 12 $\pm$ 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำเทอร์โมมิเตอร์ที่ผ่านการแช่ในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4 °ซ จุ่มลงในเทียนหลอม และตั้งเทอร์โมมิเตอร์ขึ้นทันที (จะพบว่ามีเทียนเกาะบนเทอร์โมมิเตอร์) นำเทอร์โมมิเตอร์ที่ได้จุ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิ 16 °ซ ประมาณ 5 นาที จากนั้นเช็ดเทอร์โมมิเตอร์ให้แห้งแล้วใส่ลงในหลอดทดลองซึ่งมีจุดก็อกปิดอยู่ โดยให้ปลายกระเปาะอยู่สูงจากก้นหลอดประมาณ 15 มิลลิเมตร นำหลอดทดลองใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำอยู่ ให้ความร้อนกับน้ำในบีกเกอร์ สังเกตดูการหลอมของเทียน และอ่านค่าอุณหภูมิที่เทียนหยดแรกหยดลงมาจากกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์

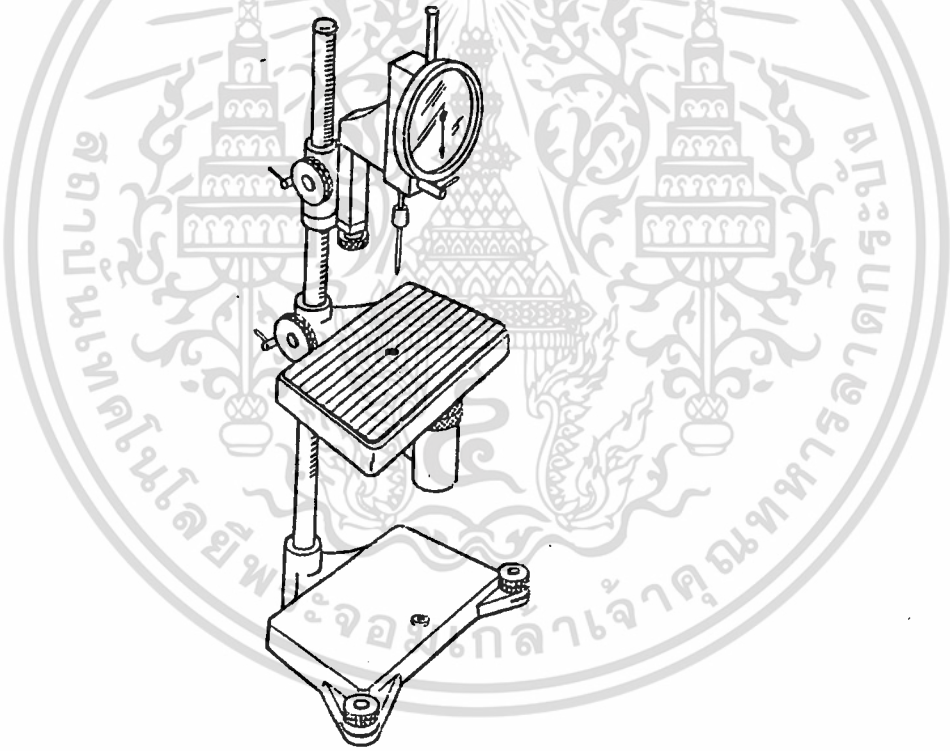


รูปที่ 10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าจุดหลอมเหลวของเทียนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

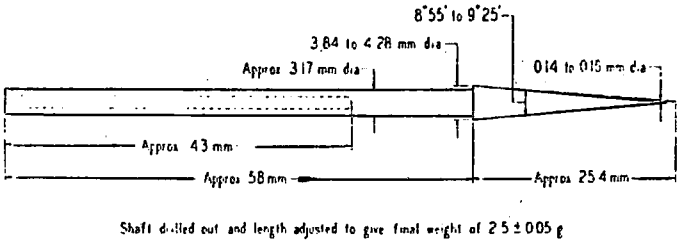
การหาค่าความแข็งของเทียนผสม โดยใช้วิธี Needle Penetration

นำเทียนผสมมาหลอมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นขึ้นรูปเทียนผสมในแบบซิลิโคน สำหรับชิ้นตัวอย่างที่จะนำมาวัดหาค่าความแข็งด้วยวิธีนี้ ควรมีความหนามากกว่าความลึกที่คาดว่าเข็มจะแทรกลงไปได้ จากนั้นนำเทียนตัวอย่างมาวัดหาความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็ง (penetrometer) โดยใช้น้ำหนักกด 100 กรัม กดลงบนชิ้นตัวอย่างนาน 5 วินาที อ่านค่าที่ได้ซึ่งจะอยู่ในหน่วย 1/10 มิลลิเมตร (วัดค่าความแข็งอย่างน้อย 4 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นตัวอย่าง)



รูปที่ 11 เครื่องวัดความแข็ง (penetrometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แสดงเข็มมาตรฐานที่ใช้

3.1 การเตรียมพทาลิไมด์[7]

ทำการรีฟลักซ์พทาลิกแอนไฮไดรด์ 500 กรัม (3.4 โมล) และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 444 มิลลิลิตร (6.6 โมล) ในขวดก้นกลม ให้ความร้อนโดยใช้เปลวไฟตรง โดยในตอนแรกให้ใช้ไฟอ่อนก่อนจากนั้นจึงค่อยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 300 °ซ ใช้เวลาในการให้ความร้อนทั้งสิ้น 3 ชั่วโมง โดยในชั่วโมงแรกเป็นการไล่น้ำออก และสองชั่วโมงที่เหลือสำหรับการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 300 °ซ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิถึง 300 °ซ แล้ว จะได้สารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน นำสารละลายที่ได้ไปกรอง

จะได้พทาลิไมด์ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็มสีขาว มีจุดหลอมเหลว ประมาณ 232-235 °ซ ประมาณ 470-480 กรัม หรือคิดเป็น 95-97%

พทาลิไมด์ที่ได้สามารถนำมาตกผลึก โดยใช้น้ำหรือแอลกอฮอล์ แต่เนื่องจากพทาลิไมด์สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย ดังนั้นอาจเกิดการสูญเสียพทาลิไมด์ประมาณ 4 กรัม ต่อน้ำที่ใช้ 1 ลิตร

3.1.1 <u>การตรวจวิเคราะห์ด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี</u>

ใช้วิธีบดพทาลิไมด์ซึ่งอยู่ในลักษณะที่เป็นของแข็งเข้ากับน้ำมันจอลจนได้เป็นเนื้อเดียวกัน และนำผลที่ได้มายืนยันว่าเป็นพทาลิไมด์

<u>ผลจากสเปกตรัม IR</u>

เกิดแบนด์ที่สำคัญบริเวณเลขคลื่น 3,200 - 3,500 ซม$^{-1}$ ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งการยืดของพันธะไนโตรเจน-ไฮโดรเจน และที่ 1,720 - 1,750 ซม$^{-1}$ แสดงตำแหน่งการดูดกลืนแสงของหมู่คาร์บอนิล

3.1.2 การตรวจวิเคราะห์ด้วย NMR สเปกโทรสโคปี

โดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลาย นำผลที่ได้มายืนยันว่าเป็นพทาลิไมด์

ผลจากสเปกตรัม NMR

พบ chemical shift ที่ 7.8 ppm. ซึ่งเป็นตำแหน่งสัญญาณของโปรตรอนของวงแอโรมาติก และที่ 1.6 ppm. ซึ่งเป็นตำแหน่งสัญญาณของโปรตรอนของหมู่ -NH

3.1.3 การหาค่าจุดหลอมเหลว

โดยใช้เครื่องหาจุดหลอมเหลว BÜCHI 510 พบว่าจุดหลอมเหลวของพทาลิไมด์ที่เตรียมได้มีค่าเท่ากับ 235 °ซ

3.2 การเตรียมเทียนผสม

จุดประสงค์หลักของหัวข้อการทดลองนี้ คือ การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเทียนเพื่อใช้เป็นตัวชี้นแบบที่มีคุณสมบัติทัดเทียมกับเทียนที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งมีค่าจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 65-75 °ซ และมีค่าเพเนเตรชัน (penetration) เท่ากับ 11

วิธีทดลอง

ทำการหลอมส่วนประกอบต่าง ๆ ของเทียนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยหลอมพาราฟินแวกซ์และไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน จากนั้นจึงใส่พอลิเทอร์พีนเรซิน พอลิเอทิลีน และสารตัวเติม คือ HMTA หรือพทาลิไมด์เป็นลำดับสุดท้าย ควรทำการปั่นกวนเพื่อให้การกระจายตัวของสารตัวเติมดีขึ้น จากนั้นขึ้นรูปเทียนผสมในแม่แบบซิลิโคน

สำหรับเทียนผสมที่เตรียมได้นี้ จะนำไปทดสอบหาค่าจุดหลอมเหลว และหาค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็ง ต่อไป

3.2.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนของแวกซ์หลักที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลว และค่าเพเนเตรชัน ของเทียนผสม

ทำการผสมเทียนตามอัตราส่วนต่อไปนี้ แล้วนำไปวัดหาค่าจุดหลอมเหลวและค่าเพเนเตรชัน

ส่วนผสมที่	พอลิเทอร์มินัลเรซิน (กรัม)	พาราฟินแวกซ์ (กรัม)	ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ (กรัม)
1	5.0	51.0	35.0
2	5.0	60.0	26.0
3	5.0	65.0	21.0

ตารางที่ 1 ผลของอัตราส่วนของแวกซ์หลักที่ที่ต่อค่าจุดหลอมเหลว และค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม

ส่วนผสมที่	จุดหลอมเหลว (°ซ)	ค่าเพเนเตรชัน (1/10 มม.)
1	70	21.5
2	68	19.0
3	65	19.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ศึกษาผลของพอลิเอทิลีนที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลว และค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม

โดยการเติมพอลิเอทิลีน 4% ลงในส่วนผสมเทียนตามส่วนผสมที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ 2 ผลของพอลิเอทิลีนที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลว และค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม

ส่วนผสมที่	จุดหลอมเหลว (°ซ)	ค่าเพเนเตรชัน (1/10 มม.)
1	58-86	18.5
2	61-86	16.0
3	65-75	15.0

3.2.3 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของพาราฟินไมด์และHMTA ที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลวและค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม

ทำการผสมพาราฟินไมด์หรือ HMTA ในปริมาณ 5% เพิ่มเข้าไปในส่วนผสมหลักของเทียน ได้แก่ พาราฟินแวกซ์ ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์ พอลิเทอร์พีนเรซิน และพอลิเอทิลีน ตามส่วนผสมทั้งสาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลของพทาลิไมด์ และ HMTA ที่มีต่อค่าจุดหลอมเหลวและค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม

ส่วนผสมที่	จุดหลอมเหลว (°ซ)		ค่าเพเนเตรชัน (1/10 มม.)	
	พทาลิไมด์	HMTA	พทาลิไมด์	HMTA
1	68-82	66-81	16.0	18.0
2	66-84	63-86	15.0	16.0
3	62-74	63-82	11.0	13.0

3.2.4 <u>ศึกษาผลของปริมาณพอลิเอทิลีนที่มีต่อค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม</u>

ทำการเติมพอลิเอทิลีนในปริมาณต่างๆ ลงในส่วนผสมเทียน ดังนี้

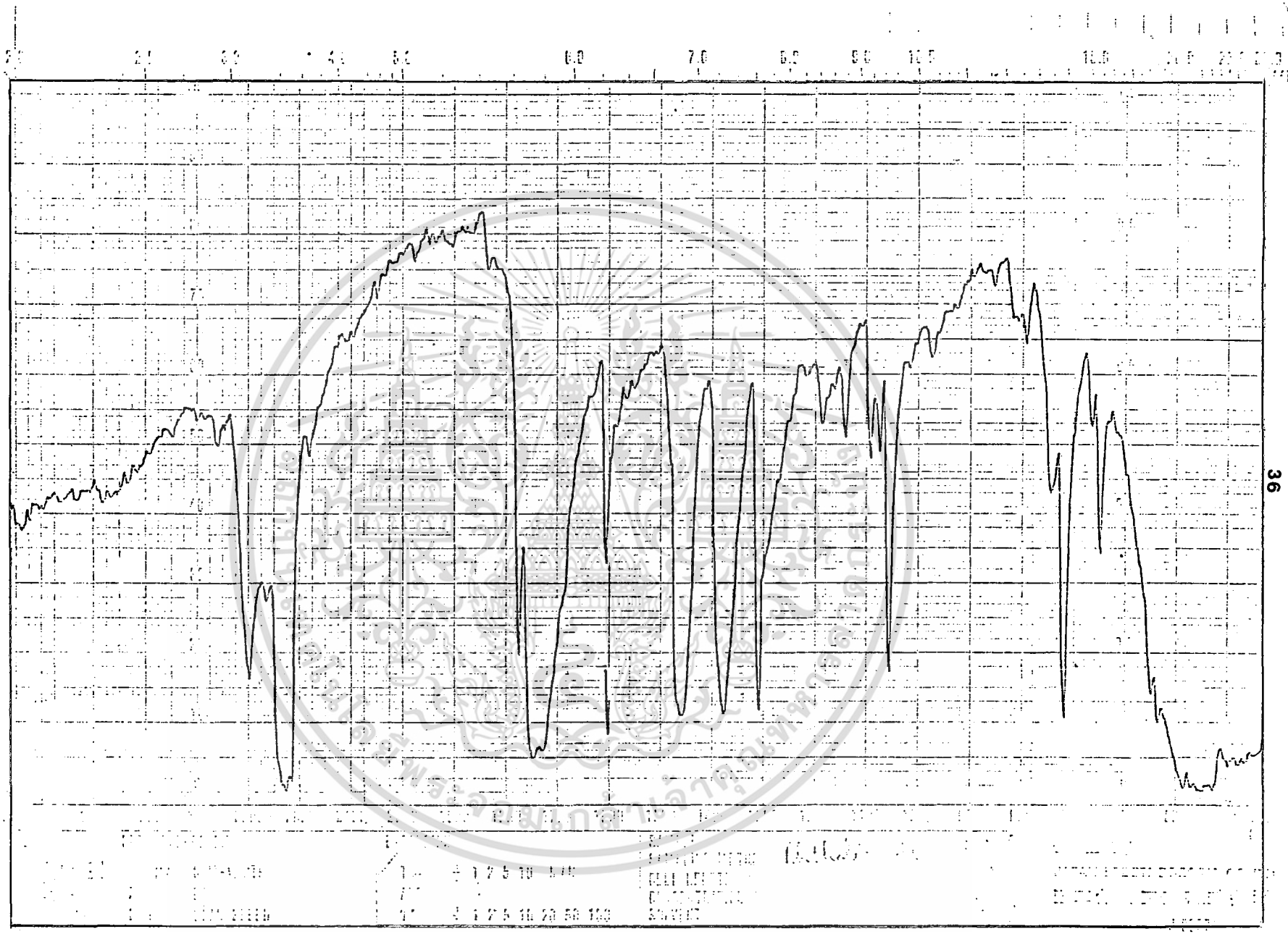
พาราฟินแวกซ์	65%
ไมโครคริสตัลไลน์แวกซ์	21%
พอลิเทอร์พีนเรซิน	5%
พทาลิไมด์	5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

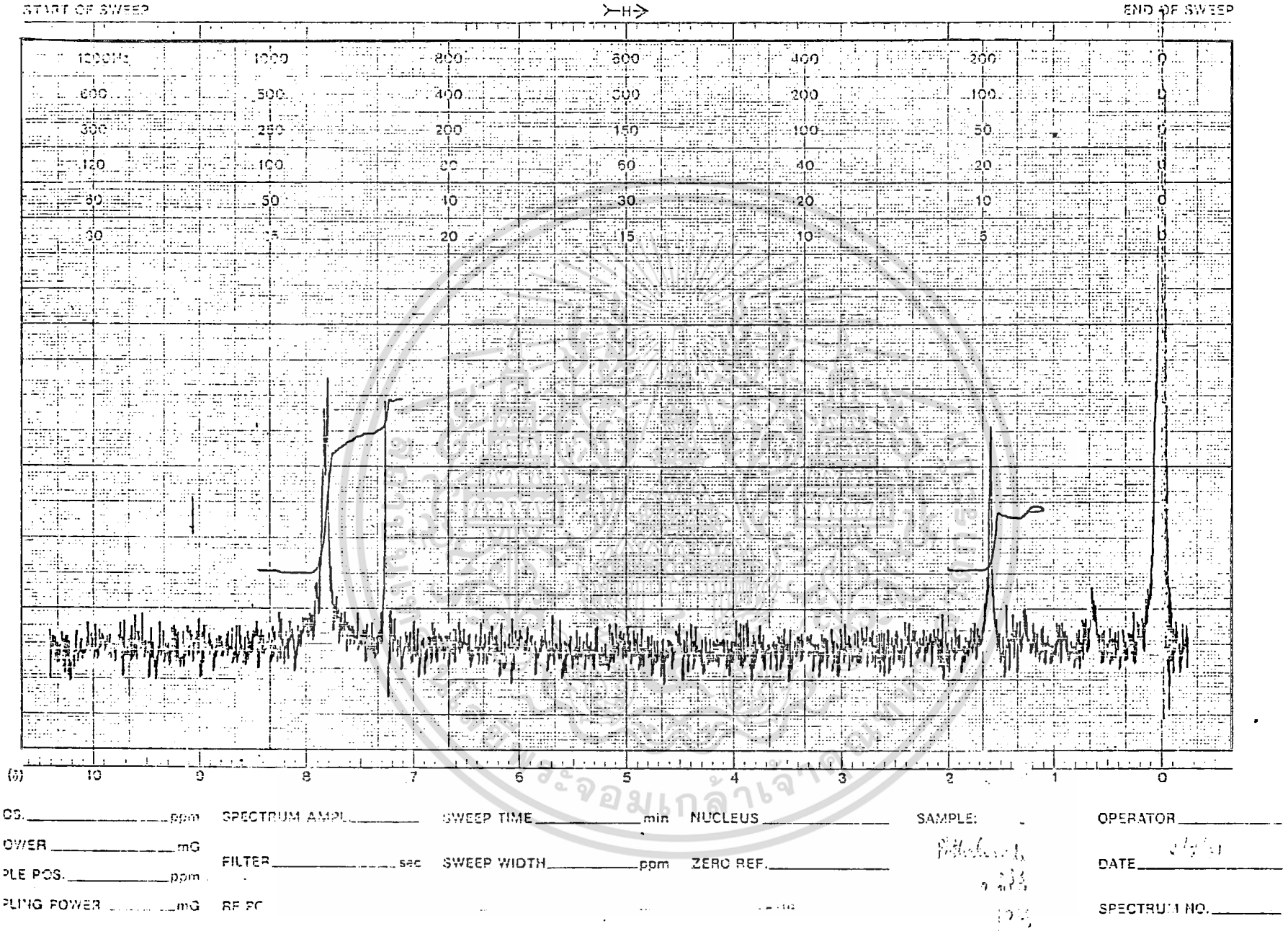
ตารางที่ 4 ผลของปริมาณพอลิเอทิลีนที่มีต่อค่าเพเนเตรชันของเทียนผสม

ปริมาณพอลิเอทิลีน (%)	ค่าเพเนเตรชัน (1/10 มม.)
1	15.0
2	14.5
3	13.0
4	11.0
5	11.0
6	10.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 แสดงผลที่ได้จากสเปกตรัม IR



รูปที่ 15 แสดงผลที่ได้จากสเปกตรัม NMR

บรรณานุกรม

1. Bennett, H. Industrial Waxes; Vol 1-2, Chemical Publishing Company Inc., New York, 1963.

2. Gonicberg, A.J.; Ritch, L.M. Printciple of Centrifugal Rubber Mold Casting; The Oster group, 1980.

3. Pack, G. Jewelry & Enameling; 3rd ed; D Van Nostrand Company, New York, 1941.

4. Petroleum Waxes: Characterization, Performance, and Additives, ASTM-TAPPI Symposium on Petroleum Waxes; Mack Printing Company, New York, 1963.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Koening, M. Wax Composition for Investment Casting and Casting Method. U.S. Patent 4,144,075 , 1977.

2. Story, M. Centrifugal Casting as a Jewelry Process, International Textbook Company, Pennsylvania, 1963, p 65-76.

3. Ammen, C.W. Lost Wax Investment Casting, Tab Book, 1977, Chapter 5.

4. Larson, A.E. Pattern Wax Composition. U.S. Patent 3,717,485 , 1977.

5. Macleod, D.M. Moldable Wax Composition. U.S. Patent 3,600,202 , 1968.

6. ASTM D 127-87 (1987). Standard Test Method for Drop Melting Point of Petroleum Wax Including Petrolatum.

7. Adams, R. ; Comant, J.B. ; Clarke,H.T. Organic Syntheses Vol.1, John Wiley & Son ; New York, 1983, p 446-448.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาว กัลยาณี เปรมเพ็ชร เกิดเมื่อวันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2510 จังหวัดกรุงเทพฯ จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสตรีวิทยา เมื่อปีการศึกษา 2525 และจบการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสตรีวิทยา เมื่อปีการศึกษา 2528 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นางสาว วิราพร นิพนธ์กิจ เกิดเมื่อวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2509 จังหวัดอุตรธานี จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนเทศบาล 1 โพศรี เมื่อปีการศึกษา 2525 และจบการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสตรีราชินูทิศ เมื่อปีการศึกษา 2528 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

15 มีนาคม 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้