

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



การประยุกต์ใช้สารสนเทศในการอนุรักษ์โบราณวัตถุ

๒๒๖.

ดล รัตนรักษ์

๑/๑๔/๓

บุญรักษ์ กาญจนวราณิชย์

๒๕๓๖

๖๑๒๕๒๔๓๑๑

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๓๖

APPLICATION OF ROSIN IN RESTORATION AND CINSERVATION OF
ARCHAEOLOGICAL WOODEN OBJECTS

DOL RATTANARAK

BOONRUK KANJANAWARAWANICH

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1993

หัวข้อโครงการพิเศษ

การประยุกต์ใช้ชิ้นสนในการอนุรักษ์โบราณวัตถุ

โดย

นายศล รัตน์รักษ์

นายบุญรักษ์ กาญจนวราภิชัย

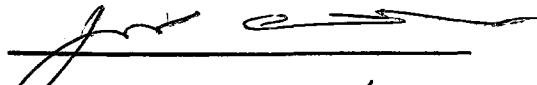
ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

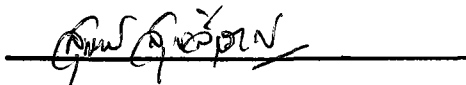
ดร.ศิริชัย หวังเจริญตระกูล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้รับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ. นงนุช เกตรานวรวงษ์)

รักษาการหัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ


(ผศ.ดร.สุนิตย์ สุขสำราญ)

ประธานกรรมการ


(ผศ.ดร. สักดา ไตรศักดิ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประยุกต์ใช้ชิ้นสนในการอนุรักษ์โบราณวัตถุ	
นักศึกษา	นายคณ	รัตนรักษ์
	นายบุญรักษ์	กาญจนวรวณิชย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ศิริชัย	หวังเจริญตระกูล
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2537	

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการประยุกต์นำชิ้นสนมาใช้ในการสงวนรักษาและอนุรักษ์ศิลปโบราณวัตถุประเภทไม้ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของชิ้นสน เช่น สมบัติการละลาย การหาปริมาณสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายในโทลูอีน สมบัติทางความร้อน ค่าแสดงความเป็นกรด ค่าสaponนิไฟเคชันนัมเบอร์ และการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของโครงสร้างของโมเลกุลของชิ้นสน ส่วนที่สองเป็นการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างชิ้นสนกับซีลีออส และชิ้นสน ซีลีออสและสารเสริมแรงประเภทเทอร์โมพลาสติก สารเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ในการศึกษานี้คือ คาร์บอกซีเมซิลเซลูโลส(CMC) และพอลิไวโนลอะซิเตด (PVAc) ชิ้นงานที่ได้จากสูตรผสมในอัตราส่วนต่างๆ จะถูกนำมาทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานคือ ความแข็งแรงต่อแรงอัด และค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน

จากการศึกษาพบว่า ชิ้นงานที่เตรียมจากการหลอมชิ้นสนด้วยความร้อนในสูตรผสมอัตราส่วนชิ้นสนต่อซีลีออสในอัตราส่วน 6:4 โดยน้ำหนัก เป็นสูตรผสมของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดสูงสุด ค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดเท่ากับ 175 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร สำหรับในกรณีที่เติมสารเสริมแรงโดยเตรียมด้วยวิธีใช้ความร้อนหลอมชิ้นสนพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ ชิ้นสน:CMC:ซีลีออส ในอัตราส่วน 5:2:3 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดมีค่าเท่ากับ 191.43 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

ในกรณีชิ้นงานที่เตรียมจากการใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชิ้นสนโดยใช้อซิโตนเป็นตัวทำละลาย สารเสริมแรงในกรณีนี้เลือกใช้พอลิไวนิลอะซิเตด (PVAc) สูตรผสมที่ให้ความแข็งแรงต่อแรงอัดสูงสุดคือ ชิ้นสน:PVAc:ซีลีออส ในอัตราส่วน 5:1:4 ที่ค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดเท่ากับ 69.07 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร โดยใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลายที่ 45 ± 3 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 21 วัน และพบว่าถ้าใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดก็จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่จะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดต่ำกว่าวิธีการที่ใช้ความร้อนในการหลอมชิ้นสน

การศึกษาค่าดูดซึมน้ำ จะเลือกศึกษาเฉพาะสูตรผสมที่เตรียมจากวิธีการใช้ความร้อนเพื่อหลอมละลายชิ้นสน โดยไม่มีการผสม CMC เพราะชิ้นงานที่ผสม CMC นั้น CMC มีคุณสมบัติที่สามารถละลายได้ในน้ำ ผลจากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นงานจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของซีลีออสมากขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นงาน พบว่าบางสูตร เช่น สูตรอัตราส่วนชิ้นสน:ซีลีออส เท่ากับ 7:3 โดยน้ำหนักจะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสูงสุดคือ เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 24.14 ขณะที่สูตรผสมที่มีอัตราส่วน ชิ้นสน:ซีลีออส เท่ากับ 10:0 โดยน้ำหนักจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเลย สำหรับชิ้นงานที่เตรียมจากสูตรผสมโดยการ ใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชิ้นสน พบว่าไม่สามารถจะนำชิ้นงานมาทำการทดลองได้เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดบาง การระเหยของตัวทำละลายทำให้ชิ้นงานขรุขระ และเนื้อของชิ้นงานเกิดการ แยกตัวจากกัน

The results of the studies show that the formular prepared by melting rosin and mixing with sawdust in the ratio of 6:4 by weight gives a compressive strength 175 kg/cm^2 . The formular prepared by melting rosin and mixing with CMC and sawdust in the ratio of 5:2:3 by weight provides the better compressive strength 191.43 kg/cm^2 .

The formular prepared by dissolving rosin in acetone and mixing with PVAc and sawdust in the ratio of 5:1:4 by weight and after evaporation of the solvent for 21 days yields a product with compressive strength 69.04 kg/cm^2 under temperature 45 ± 3 °C. It also found that the longer time of evaporating solvent supplies a product with higher compressive strength.

Water absorption and dimensional tests show that increasing volume of sawdust in the formular results in increasing the dimension change of the product. On the other hand increasing volume of rosin in the formular produces a product with less water absorption.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.ศิริชัย หวังเจริญตระกูล เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในทุกด้านของการจัดทำโครงการพิเศษ ขอขอบคุณร้านบุญองค์เฟอร์นิเจอร์ ที่กรุณาอนุเคราะห์วัสดุคิบบในโครงการพิเศษ ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยเฉพาะคุณประทีป สิทธิพิทยา ที่กรุณาดูแลการใช้เครื่องทดสอบแรงอัดตลอดเวลา และสุดท้ายขอขอบคุณเป็นอย่างสูงสำหรับ ดร.ประยงค์ ดวงดี ที่กรุณาให้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องมือเพื่อจัดพิมพ์โครงการพิเศษนี้

ดล รัตน์รักษ์

บุญรักษ์ กาญจนวราวิชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ท
คำอธิบายคำย่อ	ด
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบข่ายของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 การแบ่งประเภทของชิ้น	5
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของชิ้น	7
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นสน	7
2.4 กระบวนการผลิตชิ้นสน	8
2.5 คุณภาพของชิ้นสนและการทดสอบชิ้นสน	11
2.6 การประยุกต์และการใช้ชิ้นสนในอุตสาหกรรม	13
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินการ	
3.1 วัสดุและเคมีภัณฑ์	15
3.2 เครื่องมือวิเคราะห์และตรวจสอบ	16

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของชิ้นสน	
3.3.1 การศึกษาสมบัติการละลายของชิ้นสน	16
3.3.2 การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของชิ้นสนโดยใช้เครื่อง ดีฟเพื่อ เรนเช็ลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์	18
3.3.3 การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของชิ้นสนโดยใช้เครื่อง เทอร์โมกราฟิเมตริกแอนาไลซิส	18
3.3.4 การหาปริมาณสิ่งเจือปนในชิ้นสนที่ไม่ละลายในโทลูอีน	18
3.3.5 การหาค่าสปอนนิฟิเคชันนิมเบอร์	19
3.3.6 การหาค่าแสดงความเป็นกรด	20
3.3.7 การศึกษาโครงสร้างขององค์ประกอบของชิ้นสนด้วยเครื่อง อินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	20
3.4 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชิ้นสนกับขี้เถ้าลอย	
3.4.1 การผสมสูตรชิ้นสนกับขี้เถ้าลอยด้วยการใช้ความร้อนเพื่อละลายชิ้นสน	21
3.4.2 การผสมสูตรชิ้นสนกับขี้เถ้าลอยด้วยการใช้ตัวทำละลายเพื่อละลาย ชิ้นสน	21
3.4.3 การทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชิ้นสนกับ ขี้เถ้าลอยที่เตรียมจากวิธีการต่างๆ	24
3.4.4 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของสูตรผสมชิ้นสนกับขี้เถ้าลอย ที่เตรียมจากวิธีการต่างๆ	24
3.4.5 การทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชิ้นสน ขี้เถ้าลอยและเทอร์โมพลาสติก	28
3.4.6 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของสูตรผสมชิ้นสน ขี้เถ้าลอยและ เทอร์โมพลาสติก	29

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของชั้นสน	
4.1.1 การศึกษาสมบัติการละลายของชั้นสน	30
4.1.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของชั้นสนโดยใช้เครื่อง ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์	31
4.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของชั้นสนโดยใช้เครื่อง เทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส	31
4.1.4 การหาปริมาณสิ่งเจือปนในชั้นสนที่ไม่ละลายในโทลูอีน	33
4.1.5 การหาค่าสaponification index	33
4.1.6 การหาค่าแสดงความเป็นกรด	33
4.1.7 การศึกษาโครงสร้างขององค์ประกอบของชั้นสนด้วยเครื่อง อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	34
4.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชั้นสนกับขี้เถ้า	
4.2.1 การทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสน กับขี้เถ้าที่เตรียมจากวิธีการต่างๆ	34
4.2.2 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของสูตรผสมชั้นสนกับขี้เถ้าที่ เตรียมจากวิธีการต่างๆ	37
4.3 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชั้นสน ขี้เถ้าและเทอร์โมพลาสติก	
4.3.1 การทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสน ขี้เถ้าและเทอร์โมพลาสติก	39
4.3.2 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของสูตรผสมชั้นสน ขี้เถ้าและ เทอร์โมพลาสติก	41
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการวิจัย	
5.1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของชั้นสน	42
5.1.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมระหว่างชั้นสนกับ ซี 4 ซี เลือย	43
5.1.3 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมระหว่างชั้นสน ซี 4 ซี เลือยและเทอร์โมพลาสติก	46
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	53
5.3 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก ก	57
ภาคผนวก ข	69
ภาคผนวก ค	71

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติการละลายของชิ้นสนในตัวทำละลายต่างๆ	30
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางความร้อนและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิต่างๆของชิ้นสน	31
ตารางที่ 4.3 แสดงช่วงอุณหภูมิและร้อยละโดยน้ำหนักที่สูญหายไปในช่วงอุณหภูมิต่างๆของชิ้นสน	33
ตารางที่ 4.4 แสดงเลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันของชิ้นสนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	34
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชิ้นสนกับซีลีเนียมด้วยวิธีการใช้ความร้อนละลายชิ้นสน	36
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชิ้นสนกับซีลีเนียมในอัตราส่วน 6:4 โดยน้ำหนักด้วยวิธีการใช้ตัวทำละลายที่มีระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลายต่างกัน	37
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าร้อยละโดยน้ำหนักและร้อยละโดยปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการดูดซึมน้ำของสูตรผสมชิ้นสนกับซีลีเนียมที่เตรียมด้วยวิธีการใช้ความร้อนในการละลายชิ้นสน	38
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชิ้นสน ซีลีเนียมและ CMC	39
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชิ้นสน ซีลีเนียมและ PVAc โดยใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 14 วันและ 21 วัน	40
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นสนที่ใช้ในการวิจัยกับมาตรฐาน FSC หมายเลข LLL-R-626b	42

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของ(1)อะไบติก แอซิด(abietic acid)และ (2)พิมาลิค แอซิด(pimeric acid)	8
รูปที่ 1.2 แสดงสเปกตรัมของชั้นสนสำหรับมาตรฐานสีต่างๆ	12
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบแรงอัดรุ่น Instron 1026	17
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะสูตรผสมชั้นสนกับซีลีสและขี้เถ้า	22
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะสูตรผสมชั้นสน ซีลีสและ CMC ขี้เถ้า	22
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะสูตรผสมชั้นสนกับซีลีสที่เตรียมจากวิธีใช้ตัวทำละลายเพื่อ ละลายชั้นสน	23
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะแม่พิมพ์ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อใช้ทดสอบความแข็งแรง ต่อแรงอัด	23
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะแม่พิมพ์ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ	25
รูปที่ 3.7 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัด	25
รูปที่ 3.8 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ	26
รูปที่ 3.9 (ก)แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัด ที่เตรียมเสร็จแล้ว (ข)แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำที่ เตรียมเสร็จแล้ว	26
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการวางชิ้นงานในเครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัด	27
รูปที่ 4.1 เทอร์โมแกรมของชั้นสนจากเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์	32
รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของชั้นสน	35
รูปที่ 5.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความแข็งแรงต่อแรงอัดกับสูตรผสมชั้นสนกับ ซีลีสที่เตรียมด้วยวิธีการใช้ความร้อนเพื่อละลายชั้นสน	43

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรชั้นสนะซีลีออส อัตราส่วน 6:4 ที่เตรียมจากวิธีการใช้ความร้อนหลอมละลายชั้นสนกับสูตร 6:4 ที่เตรียมจากวิธีใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชั้นสน	44
รูปที่ 5.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากการดูดซึมน้ำกับสูตรผสมชั้นสนกับซีลีออสที่เตรียมด้วยวิธีการใช้ความร้อนเพื่อละลายชั้นสน	45
รูปที่ 5.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื่องจากการดูดซึมน้ำกับสูตรผสมชั้นสนกับซีลีออสที่เตรียมด้วยวิธีการใช้ความร้อนเพื่อละลายชั้นสน	45
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงต่อแรงอัดกับสูตรผสมชั้นสน ซีลีออส และ CMC	47
รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงต่อแรงอัดกับสูตรผสมชั้นสน ซีลีออส และพอลิไวนิลอะซิเตตโดยใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 14 วัน	48
รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงต่อแรงอัดกับสูตรผสมชั้นสน ซีลีออส และพอลิไวนิลอะซิเตตโดยใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 21 วัน	49
รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงอัดสำหรับสูตรผสมชั้นสน ซีลีออสและพอลิไวนิลอะซิเตตระหว่างที่ใช้เวลาระเหยตัวทำละลาย 14 วัน และ 21 วัน	50
รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรที่ใช้เทอร์โมพลาสติกต่างกันคือ CMC และพอลิไวนิลอะซิเตต(ทั้งที่ใช้เวลาระเหยตัวทำละลาย 14 และ 21 วัน	51
รูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดสูงสุดสำหรับสูตรที่เตรียมจากวิธีต่างๆเทียบกับไม้โมก(wood 1) ไม้สัก(wood 2) ไม้เต็ง(wood3) และพลาสติกเทอร์โมเซตของบริษัท ชีบา-ไกก้า จำกัด	52

คำอธิบายคำย่อ

CMC คือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl-cellulose)

PVAc คือ พอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl acetate)

°C คือ องศาเซลเซียส

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีประวัติศาสตร์มาช้านาน ซึ่งสามารถยืนยันได้จากหลักฐานการขุดค้นทางโบราณคดี ศิลปโบราณวัตถุจำนวนมากได้จากการขุดค้นทางโบราณคดี นับตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ นอกจากนี้ยังพบโบราณสถานที่สร้างขึ้นในสมัยต่างๆอยู่ทั่วประเทศไทย แต่เนื่องจากโบราณวัตถุที่ค้นพบ รวมทั้งโบราณสถานต่างๆมักจะถูกฝังอยู่ในสภาพชำรุด แตกหักไม่สมบูรณ์ อันเนื่องมาจากการเสื่อมสลายด้วยสาเหตุต่างๆตามธรรมชาติ เช่น แสงแดด ลม ฝน ความชื้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากสภาพภูมิอากาศ มลภาวะและจากการทำลายของสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์ ฉะนั้นก่อนที่จะเก็บรักษาศิลปโบราณวัตถุและโบราณสถานเหล่านี้ไว้เพื่อการศึกษาต่อไป จึงจำเป็นต้องหาวิธีที่จะต้องดำเนินการสงวนรักษาและอนุรักษ์ศิลปโบราณวัตถุและโบราณสถานเหล่านี้ให้คงสภาพดีและมีความแข็งแรง

ไม้ นับเป็นวัตถุหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการทำศิลปโบราณวัตถุและโบราณสถาน แต่เนื่องจากไม้เป็นอินทรีย์วัตถุที่ประกอบด้วย เซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) เป็นองค์ประกอบหลัก สามารถเสื่อมสภาพได้ง่ายจากสัตว์ประเภทกัดแทะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตร้อนชื้น ปลวกนับเป็นศัตรูที่สำคัญของไม้ บ่อยครั้งที่พบศิลปโบราณวัตถุที่ทำจากไม้มีสภาพเป็นโพรงเพราะถูกทำลายโดยปลวก

การสงวนรักษาและอนุรักษ์ศิลปโบราณวัตถุประเภทไม้ที่จำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงของส่วนที่เป็นโพรงและเป็นรูพรุนอันเนื่องมาจากการที่ถูกกัดกินของแมลง มีการนำเอาสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ประเภทเทอร์โมเซต (thermoset) ซึ่งผลิตโดย บริษัท ซึบ้า-ไกกิ จำกัด (CIBA-GEIGY) ซึ่งประกอบด้วย Aradite SV427 และ Hardener HV427 ผลิตกันที่ห้องปฏิบัติการนำเข้าจากประเทศเยอรมันนี้ โดยบริษัทผู้ผลิตได้ทำการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพของพอลิ

เมอร์สังเคราะห์นี้แล้วว่ามีสมบัติใกล้เคียงกับสมบัติของไม้จากธรรมชาติ แต่ข้อเสียของพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดนี้คือเมื่อผสมให้เข้ากันจะเกิดการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ให้สารประกอบที่มีการจับตัวของพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบเชื่อมโยง (cross-linked) พอลิเมอร์ที่ได้จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือกำจัดออกได้ด้วยวิธีการธรรมดา เช่น การละลายออกด้วยตัวทำละลาย ดังนั้นในกรณีที่เกิดความผิดพลาดในการอนุรักษ์ หรือหากมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ในอนาคตที่มีสมบัติที่ดีกว่าพอลิเมอร์ตัวนี้ จะไม่สามารถแยกสารพอลิเมอร์ตัวเดิมนี้ออกจากชิ้นโบราณวัตถุได้ หรือถ้าจำเป็นต้องทำการแยกสารพอลิเมอร์ตัวนี้ออกก็อาจจะสร้างความเสียหายกับโบราณวัตถุนั้น

โครงการงานวิจัยนี้ จึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุธรรมชาติที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่นชันสน (rosin) โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี แล้วนำมาประยุกต์ด้วยการผสมกับสารตัวเติม (filler) เช่น ใยเส้นใยและเพิ่มความแข็งแรงโดยการผสมพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) อื่นๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของชันสนให้ดีขึ้น เพื่อจะนำทดแทนพอลิเมอร์สังเคราะห์ประเภทเทอร์โมเซตที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพราะชันสน หรือชันสนผสมสารเทอร์โมพลาสติกสามารถกำจัดออกได้ง่ายและมีราคาถูกกว่าวัสดุพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซตที่ใช้กันอย่างมาก

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของชันสน

1.2.2 เพื่อศึกษา ประยุกต์ และพัฒนาสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่เตรียมจากการผสมสูตรของชันสนและใยเส้นใยให้ได้ค่าใกล้เคียงกับพอลิเมอร์เทอร์โมเซตของบริษัท ชีบ้า-โกกิ จำกัด เพื่อนำมาใช้ในงานสงวนรักษาและอนุรักษ์ศิลปโบราณวัตถุประเภทไม้

1.3 ขอบข่ายของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของชั้นสน

- สมบัติการละลาย
- สมบัติทางความร้อน
- สิ่งเจือปนที่ไม่ละลายในโทลูอีน
- ค่าแสดงความเป็นกรด(acid number)และค่าสaponification index
- โครงสร้างขององค์ประกอบทางเคมีของชั้นสน

1.3.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชั้นสนกับซีเมนต์ในอัตราส่วนต่างๆ

- สมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัด (compressive strength)
- สมบัติการดูดซึมน้ำ (water absorption)

1.3.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชั้นสน ซีเมนต์ และเทอร์โมพลาสติก

เช่น PVAc และ CMC ในอัตราส่วนต่างๆ

- สมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัด (compressive strength)
- สมบัติการดูดซึมน้ำ (water absorption)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย

- 1.4.1 จะได้วัสดุที่มีสมบัติที่ใกล้เคียง กับพอลิเมอร์เทอร์โมเซตสังเคราะห์ ที่ใช้ในการสงวนรักษาและอนุรักษ์ศิลปโบราณวัตถุประเภทไม้ที่ใช้กันอยู่แต่ข้อดีของวัสดุนี้คือ สามารถกำจัดออกได้ง่ายถ้าเกิดความผิดพลาดในการอนุรักษ์หรือหากสามารถหาผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ที่มีสมบัติที่ดีกว่าวัสดุนี้ในอนาคต ขณะที่พอลิเมอร์เทอร์โมเซต ที่ใช้ในการอนุรักษ์ศิลปโบราณวัตถุที่ทำด้วยไม้ที่ใช้กันอยู่มีข้อจำกัดคือจะจับตัวกับเนื้อไม้อย่างถาวรไม่สามารถที่จะกำจัดออกได้ง่าย

1.4.2 ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ใช้วัตถุดิบคือชิ้นสนที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น จึงทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำทำให้ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสงวนรักษา และอนุรักษ์ศิลปโบราณวัตถุ และโบราณสถานที่ทำด้วยไม้อย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่จะต้องสั่งซื้อพอลิ

เมอร์สังเคราะห์จากต่างประเทศ

1.4.3 ผลิตภัณฑ์ใหม่จะประกอบด้วยสารประกอบหลักคือ ชิ้นสน และซีลีเนียม ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

ทฤษฎี

ชั้น หมายถึง ของแข็งอสัณฐาน(amorphous)ที่หลอมละลายได้เมื่อได้รับความร้อน และติดไฟได้เมื่อนำไปเผาไฟ มีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ มีลักษณะโปร่งแสงจนถึงโปร่งใส มีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาล เป็นสารที่เกิดจากรอยแผลของต้นไม้ ชั้นสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ไม่ละลายน้ำ ไม่นำไฟฟ้า ใช้กันมากในการทำน้ำมันวานิช หมึกพิมพ์ อุตสาหกรรมทำพลาสติก และอื่นๆ

2.1 การแบ่งประเภทของชั้น

ชั้นไม้ที่เป็นที่รู้จักดีมาแต่โบราณมีอยู่หลายชนิดดังต่อไปนี้

1. ชั้นสน(Rosin) เป็นชั้นที่ได้จากไม้สกุลสน(*Pinus*) มีไม้สนหลายชนิดที่ใช้เป็นแหล่งเก็บยางสนเพื่อนำมาใช้ทำชั้นสน เช่น ฟีนัส พอนเดอโรซา (*Pinus ponderosa*) ในอเมริกาเหนือและฟีนัส พินาสเตอร์(*Pinus pinaster*)ในยุโรป ชั้นสนมีสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นเฉพาะตัว นอกจากจะใช้ในการยาเรือแล้ว ยังใช้มากในการทำสบู่ กระดาษ สี และอื่นๆ

2. ชั้นแซนดาราค(Sandarac) ได้จากต้นเตตราคลินิส อาติคลูตา (*Tetraclinis articulata*)ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกาเหนือและในทวีปออสเตรเลีย ชั้นแซนดาราคมีลักษณะเป็นของแข็งไม่มีสีจนถึงสีเหลืองอ่อน ในทางการค้าอาจเรียกว่า ไวท์กัม (white Gum) หรือออสเตรเลียกัม เฟียว กัม (australian pure gum) ชั้นชนิดนี้ละลายได้ดีในอัลกอฮอล์ น้ำมันสนและเอสเทอร์ นิยมใช้มากในการทำน้ำมันขัดเงา

3. ชั้นแมสติก(Mastic) เป็นชั้นไม้ที่รู้จักกันมานานตั้งแต่ก่อนคริสตกาล ได้จากต้นนิสตาเซียเลนติสคัส(*Pistacia lentiscus*) ซึ่งมีมากในทวีปแอฟริกาเหนือและแถบเมดิเตอร์เรเนียน ชั้นชนิดนี้มีลักษณะเป็นเม็ดกลมมาสีเหลืองอ่อน ใช้ทำหมากฝรั่งและน้ำมันชักเงา

4. ชันอีลิมี (Elemi) ได้จากต้นไม้หลายชนิดในวงศ์ เบอร์เซราเซีย (*Burseraceae*) เช่น ต้นคานาเรียมลูโซนิคัม (*Canarium lizonicum*) ซึ่งพบมากในหมู่เกาะฟิลิปปินส์ หรือต้นบอสเวลเลียฟรีเรอานา (*Boswellia frereana*) และอะไมริสอีลิมีเฟอรา (*Amyris elemifera*) ซึ่งพบมากในทวีปอเมริกาใต้ ชันอีลิมีมีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นแรง และมีเนื้ออ่อน ใช้มากในการทำน้ำมันชักเงา

5. ชันจากต้นตะเคียนตาแมว (Dammar) ได้จากต้นตะเคียนตาแมว (*Balanocarpus heimii King*) ซึ่งเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ชันเป็นหมู่ๆ อยู่ตามป่าดิบ ทางจังหวัดยะลาและนราธิวาส ชันมีลักษณะเป็นก้อนสีขาวเหลืองใส เพราะหักเป็นก้อนเล็กๆ ง่าย เมื่อยังสดมีสีค่อนข้างขาว เก็บไว้นานๆ จะกลายเป็นสีเหลือง เมื่อบดเป็นผงจะกลายเป็นสีขาวบริสุทธิ์ และมีกลิ่นชันแรงมาก เมื่อเผาไฟมีควันสีขาวนิดหน่อย ไม่ติดไฟ ใช้สำหรับผสมน้ำมันทาไม้ และน้ำมันชักเงาอย่างดี เป็นชันที่มีค่าสูงสุดชนิดหนึ่งที่ส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ

6. ชันเต็ง ได้มาจากต้นเต็ง (*Shorea obtusa Wall*) ซึ่งเป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงใหญ่ ชันทั่วไปตามป่าแดงทั่วประเทศ เว้นป่าขี้ไต้ ชันมีสีเหลืองแก่ปนน้ำตาลเพราะหักเป็นก้อนเล็กๆ ง่าย เมื่อบดละเอียดแล้วมีสีเหลืองอ่อน เมื่อเผามีควันสีดำมาก ติดไฟง่าย นิยมใช้ทำขี้ไต้ชันยาเรือและยานาวไม้

7. ชันรัง ได้จากต้นรัง (*Pentacme siamis Kurz*) ซึ่งเป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงใหญ่ ชันทั่วไปตามป่าแดงทั่วประเทศ เว้นแต่ทางป่าขี้ไต้ มีปริมาณพอประมาณ ลักษณะชันเป็นก้อนมีสีตั้งแต่น้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลแก่ ใสพอประมาณ แข็ง หักเป็นก้อนเล็กยาก เมื่อบดละเอียดแล้วมีสีขาวอมเหลือง ชันมีกลิ่นอ่อนมาก เมื่อเผามีควันสีขาวติดไฟง่าย

ในโครงการวิจัยนี้ เลือกใช้ชันสนเป็นวัสดุหลักในการศึกษา จึงจะเลือกพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติต่างๆ ของชันสนเพียงอย่างเดียว

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของชันสน

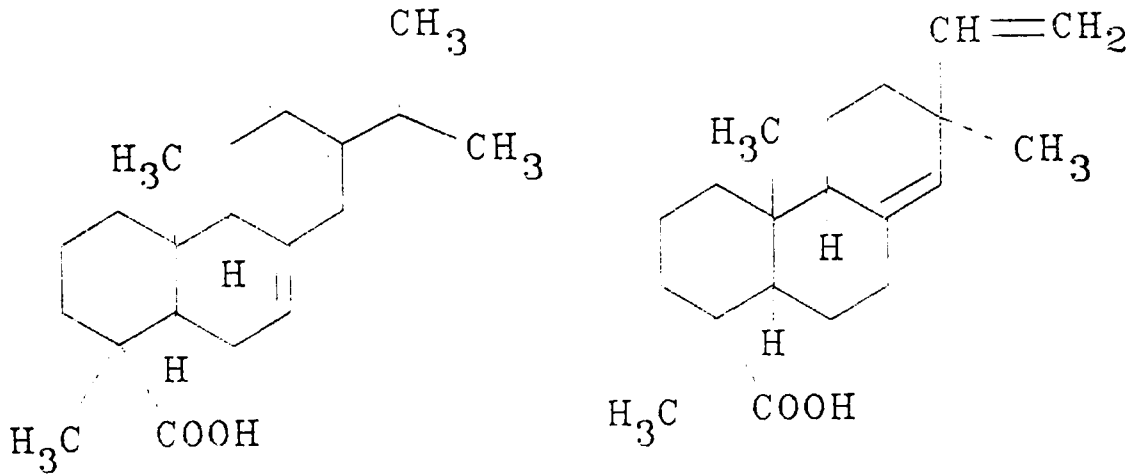
ชันสน โดยปกติจะเป็นของแข็งเป็นก้อน ขนาดต่างๆมีความเปราะแตกหักง่าย มีค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (glass transition temperature, T_g) ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิที่อ่อนตัว (ring and ball softening point) ที่ 75 องศาเซลเซียส น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของชันสนประมาณ 300 การที่ชันสนยังคงความแข็งได้ที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากชันสนมีค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชันสูง และเพราะโครงสร้างของชันสน เมื่อให้ความร้อนสูงกว่าค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชันเล็กน้อย ชันสนจะอ่อนตัวลงเพียงเล็กน้อย แต่ค่าความหนืดยังสูง เมื่อให้ความร้อนจนถึงค่าอุณหภูมิอ่อนตัวแล้วความหนืดของชันสนจะลดลงอย่างมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของชันสน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการนำชันสนไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ

ชันสนเป็นสารที่ประกอบด้วยสารหลายชนิด เพราะว่าโครงสร้างของชันสนประกอบด้วยส่วนที่มีชีวิตรวมอยู่กับ ส่วนที่เป็นวงแหวนไซโคลอะลิฟาติก (cycloaliphatic) โดยทั่วไปชันสนจะมีค่าแสดงความเป็นกรด (acid number) ประมาณ 162 และค่าสปอนนิฟิเคชัน (saponification number) ประมาณ 168 ชันสนสามารถละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิด เช่น ตัวทำละลายอะลิฟาติก ตัวทำละลายอะโรมาติก เอสเทอร์ อีเทอร์ และอื่นๆอีกมาก และเพราะชันสนสามารถละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิด จึงนับเป็นประโยชน์มากในการนำไปประยุกต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของสารพวกพอลิเมอร์

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของชันสน

สารประกอบหลักที่พบในชันสน คือสารประกอบประเภท ไดเทอร์พีน (diterpene) พวกโมโนคาร์บอกซิลิกแอซิด (monocarboxylic acids) หลายตัวและพอลิเมอร์ของสารประกอบกลุ่มนี้ ประมาณร้อยละ 90 มีโครงสร้างแบบ อะไบแทน (abietane) และพิมารัน (pimarane) ตัวอย่างเช่น อะไบติก แอซิด (abietic acid) (1) และพิมาลิกแอซิด (pimaric acid) (2) ส่วนที่เหลืออีกประมาณ 10% ของชัน จะเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน สารประ

กอบของเอสเทอร์ และในกรณีของชันทอลด์ออสล์ (tall oil rosin) จะมีกรดไขมันอยู่ด้วย ประมาณ 2-5%



รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของ (1)อะไบติก แอซิด(abietic acid) และ (2)พิมาลิก แอซิด (pimaric acid)

2.4 กระบวนการผลิตชันสน

การผลิตชันสนในเชิงการค้ามีวิธีการผลิตอยู่ 3 วิธี

1. กัมโรซิน (Gum rosin) ในอดีตการผลิตชันสนทั้งหมดได้จากการผลิตวิธีนี้วิธีเดียว การเก็บยางสนทำได้ง่าย ปัจจัยที่เกี่ยวกับการผลิตนี้คือ ช่วงเวลาในการกรีดและความลึกของรอยกรีด การกรีดต้นสนต้องกรีดเป็นรูปตัววี โดยต้องกรีดให้ลึกถึงท่อน้ำยาง ทางที่กรีดจะถูกทาด้วย สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 50% เพื่อกระตุ้นและยืดเวลาการไหลของน้ำยาง เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำยางมากที่สุด น้ำยางที่ไหลออกมาจากรอยกรีดจะไหลผ่านรางที่รองรับลงสู่ถ้วยโลหะ เมื่อทิ้งไว้ น้ำยางที่อยู่ในถ้วยโลหะ จะกลายเป็นชันสนซึ่งเป็นของแข็ง เพราะน้ำมันสน (turpentine) บางส่วนจะระเหยไป ทำให้ผิวหน้าของสารมีลักษณะที่ไม่เรียบ ("Catface")

ถ้วยและรางที่ใช้ในการกรีดเอาน้ำยาง เมื่อใช้ไปนานๆจะมีคราบเกาะที่ผิวของภาชนะหนาขึ้นและ ทำให้ผิวไม่เรียบจนเป็นอุปสรรคในการไหลของน้ำยาง เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการขัดคราบ ยางที่ติดบนผิวของรางและถ้วยออกเพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บ สะสมยางสน

ในการใช้สารกระตุ้นเพื่อเพิ่มปริมาณการไหลของน้ำยางนั้น ห้องปฏิบัติการที่ฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถพัฒนาสารเคมีที่ใช้กระตุ้นการไหลของน้ำยางโดยใช้สารที่มีลักษณะ เป็นครีม (paste) ซึ่งประกอบด้วย 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซี อะซีติก แอซิด (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) กับกรดซัลฟูริก ในกระบวนการโอลัสตี (Olustee) การเก็บยางสนจะมีการเติมน้ำมันสนเพื่อทำใหยางสนอยู่ในสภาพของเหลว มีการเติมออกซาลิก แอซิดลงไปปริมาณ เล็กน้อย เพื่อทำให้เหล็กตกตะกอนออกมาในรูปออกซาลेट สารละลายนี้จะถูกให้ความร้อนด้วย ไอน้ำที่อุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส จากนั้นจะทำกรรงและล้างสารละลายด้วยน้ำเพื่อ ขจัดออกซาลิก แอซิด และกรดที่ละลายน้ำได้ หลังจากนั้นสารละลาย จะถูกสปาร์ก (sparged) ด้วยไอน้ำที่ความดันสูง เพื่อขจัดน้ำมันสนออก ส่วนที่เหลือคือชันสน (gum rosin) จะถูกนำไปเก็บไว้ในภาชนะบรรจุ ชันสนที่ได้จากการผลิตด้วยวิธีนี้ จะมีสีต่างกันไป ขึ้นกับการ ดูแลรักษาในการเก็บและการผลิต ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนสีคือ การให้ความ ร้อนนานเกินไป หรือการมีเกลือของเหล็กหลงเหลืออยู่แม้จะมีเพียงเล็กน้อยจากกระบวนการผลิต

2. วูดโรซิน (Wood rosin) แหล่งที่ให้ชันสนคือ ตอไม้สน จากการวิเคราะห์ของต้น สน พบว่ามีชันสน 19% น้ำมันสน 4% เรซินที่ไม่ละลายในแก๊สโซลีน 4% น้ำ 23% ส่วนที่เหลือ 50% จะเป็นพวกเซลลูโลส และลิกนิน

วิธีการผลิตเริ่มจากการดึงตอต้นสนขึ้นมาจากดิน หลังจากนั้นนำตอที่ได้ไปเลื่อยเพื่อทำ ให้มีขนาดเหมาะสมต่อการสกัด

วิธีการสกัดประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. นำไม้สนมาขจัดน้ำมันโดยการใช้อิอน้ำ
2. ให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้นที่มีในไม้ ออก
3. แยกเรซินออกมาโดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย

4. อบไอน้ำเพื่อจัดตัวทำละลายออกไป

วิธีที่นิยมใช้กันคือ สกัดทั้งน้ำมัน และสารพวกเรซินออกในขั้นตอนเดียวภายใต้ความดัน และเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ควรเลือกตัวทำละลายที่ใช้สกัดเรซินที่ไม่รวมตัวกับน้ำ เพื่อทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการสกัด ปริมาณตัวทำละลาย อุณหภูมิและความดัน ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพ สำหรับการเลือกชนิดของตัวทำละลาย จะขึ้นกับชนิดของสารที่ต้องการสกัด เช่น อะลิฟาติก ใช้สกัดได้แต่เทอร์พีน(terpene)และพวกซินส เป็นต้น

ในระยะแรกที่มีการผลิตซิน(wood rosin)ด้วยวิธีนี้ ตลาดมีความต้องการน้อยมาก เนื่องจากตัวซินมีสีแดงเข้มซึ่งจัดว่าเป็นข้อด้อย เมื่อเทียบกับซิน(gum rosin) ซึ่งมีสีเหลือง ต่อมาก็มีการทำให้สีของซินจางลงโดยวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ แต่ก็ยังให้ผลที่ไม่ดีพอ จนมีการค้นพบว่าม็องด์ประกอบของสีอยู่ 2 แบบในซินสนคือ ส่วนที่มองเห็นได้และส่วนที่แฝงอยู่ การขจัดสีที่ไม่ต้องการออกทำได้โดยใช้ตัวทำละลาย เช่น เฟอร์ฟูรอล(furfural) กระบวนการสกัดสีที่ไม่ต้องการออกจากซินสน ประกอบด้วยระบบการสกัดแบบของเหลว-ของเหลว(liquid - liquid extraction)โดยการใช้ตัวทำละลายที่เป็นไฮโดรคาร์บอนประเภทอะลิฟาติก สำหรับสกัดซินสนที่มีสีจางและ เฟอร์ฟูรอลในการสกัดซินสนที่มีสีเข้ม เพราะฉะนั้นจึงทำให้ระบบนี้มีความยืดหยุ่นสูงในการผลิตซินสีอ่อนแก่ต่างๆโดยการเปลี่ยนอัตราส่วนของตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด

3. ทอลลอลอโรซิน(Tall oil rosin)เป็นน้ำมันที่ประเทศสวีเดนทำขึ้นได้ก่อน มาจากคำว่า "Tallolja" วิธีทำโดยการเติมกรดลงไปในห้องสุญซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการฟอกกระดาษด้วยกรดกำมะถัน

ซินที่ผลิตได้จากวิธีนี้ประกอบด้วยสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดประมาณ 70-90% ซึ่งเป็นสารพวกกรดไขมันและเรซินแอซิด(resin acids) ในขบวนการผลิตจะสกัดสารที่ต้องการด้วยเบส สารที่มีฤทธิ์เป็นกรดที่อยู่ในเนื้อไม้จะถูกละลายด้วยของเหลวอุณหภูมิสูง ของเหลวนี้นี้เมื่อทำให้เย็นแล้วจะมีส่วนที่เป็นสีน้ำตาลลอยอยู่ที่ผิวหน้า และถูกแยกออกมา ส่วนนี้เรียกว่า โซป สกิมมิง(soap skimming)สารส่วนที่ออกมานี้จะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับกรดแร่เพื่อทำให้กลายเป็น ซินดิบ(crude

tall oil) ซึ่งในเนื้อไม้หนัก 1 ตัน จะสามารถนำมาผลิตชันดิบได้ประมาณ 70-100 ปอนด์

ชันดิบที่ได้จากการผลิตด้วยวิธีนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. เรซินแอซิด(resin acid)

2. กรดไขมัน

วิธีที่จะใช้แยกชันชนิดนี้มีอยู่หลายวิธี โดยอาศัยความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี แต่วิธีที่นิยมใช้คือ การกลั่นลำดับส่วนที่ความดันต่ำ ชันที่ผลิตได้จากวิธีนี้มีกรดไขมันปนอยู่ประมาณ 2-4 % มีสีอ่อน มีค่าแสดงความเป็นกรด(acid number)สูง มีความเป็นผลึกสูง และมีกำมะถันปนอยู่ด้วยประมาณ 200-1000 ส่วนในล้านส่วน

2.5 คุณภาพของชันสนและการทดสอบชันสน

ชันสน สามารถแบ่งออกได้เป็นเกรดต่างๆ โดยดูจากสีและการทดสอบสิ่งเจือปน จุดอ่อนตัว ค่าแสดงความเป็นกรด และสaponification number วิธีที่การทดสอบมีรายละเอียดใน Federal Specification LLL-R-626b ซึ่งอธิบายสั้นๆดังต่อไปนี้

เกรดสี(Color Grades) เป็นการวัดสเปกตรัมของแสงที่ผ่านแก้วซึ่งเตรียมจากการผสมซีเมนต์ของแก้ว Jena และแก้ว Corning เป็นลูกบาศก์ขนาด 7/8 นิ้ว แก้วชนิดนี้จะให้สเปกตรัมที่เหมาะสมกับชัน การส่องผ่านสูง สเปกตรัมของชันสำหรับแต่ละมาตรฐานแสดงในรูปที่ 1.2 มาตรฐานถูกระบุในเทอมของ 1931 CIE colorimetric coordinate system เกรดของชันมีตั้งแต่ X, WW, WG, N, M, K, I, H, G, F, E, D มาตรฐาน X จะเป็นสีเหลืองอ่อน N เป็นสีอำพันทอง H เป็นสีอำพันเข้มปนแดง D เป็นสีแดงเข้ม

สิ่งเจือปน ชันปกติจะสีสดและใส ปราศจากสิ่งเจือปนต่างๆ วัตถุแปลกปลอมที่อาจพบปนอยู่กับชัน เช่น ทราย เปลือกไม้ ชันไม้ สิ่งเจือปนจะวัดในรูปของสารที่ไม่ละลายในโทลูอีน

จุดอ่อนตัว ขึ้นและอนพันธ์ของขึ้นเป็นของแข็งอสัณฐาน(amorphous) มีจุดหลอม
เหลวที่ไม่แน่นอน สำหรับการควบคุมคุณภาพมีหลายวิธีในการวัดอุณหภูมิที่ขึ้นเกิดการไหล ได้ถูกคิด
และพัฒนา แต่วิธีที่นิยมในห้องปฏิบัติการทั่วไปคือวิธี ตาม ASTM E-28-58T

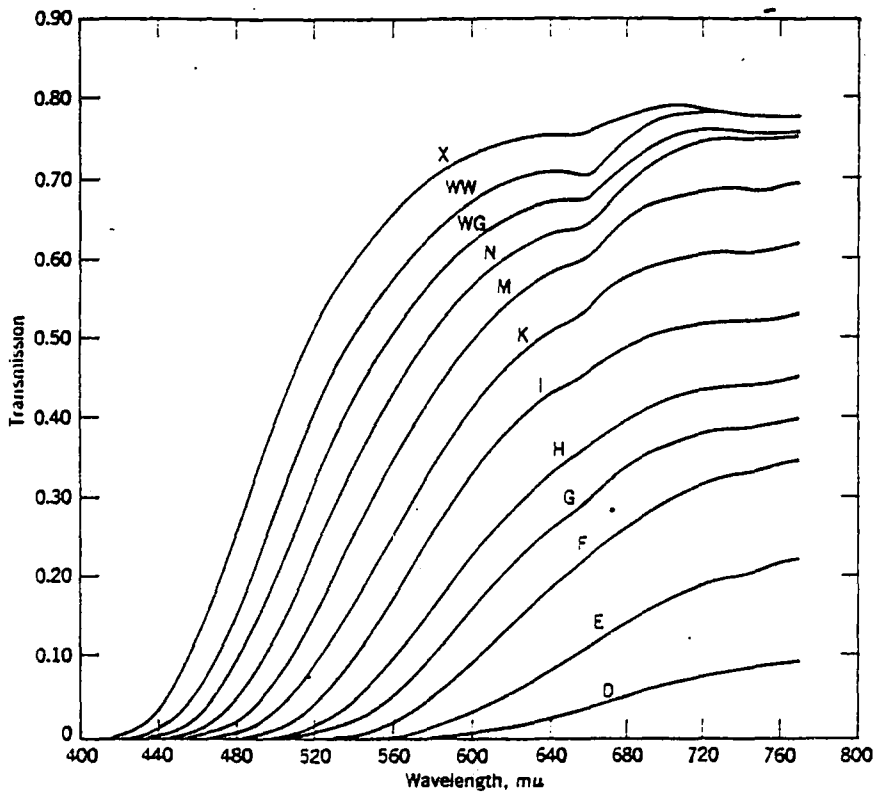


Fig. 1. Spectral transmission curves for rosin samples selected to match in color the glass standards (14).

รูปที่ 1.2 แสดงสเปกตรัมของขึ้นสนสำหรับมาตรฐานสีต่างๆ

ค่าแสดงความเป็นกรด(Acid number) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของโปตัส
เซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง เพื่อทำให้ตัวอย่างน้ำหนัก 1 กรัมเป็นกลางตาม
วิธีทดลอง ASTM D 465

Saponification number หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์
ที่ต้องใช้เพื่อทำให้เกิดสบู่ของสารตัวอย่างที่หนัก 1 กรัมตามวิธีทดลอง ASTM D 464

2.6 การประยุกต์และการใช้ชันในอุตสาหกรรม

ปัจจุบันได้มีการนำเอาชันไปใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายอย่าง แต่สามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ชันที่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ(Unmodified Rosin)
2. ชันที่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ (Modified Rosin)

1. ชันที่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ(Unmodified Rosin) ส่วนมากชันที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติมักจะใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ โดยใช้ชันเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการทนน้ำของกระดาษ ทำให้กระดาษแข็งขึ้น ชันที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 เกรดคือ

1. เกรดที่ไม่มีสี เหมาะสำหรับการทำงานกระดาษที่มีคุณภาพสูง มีความขาว ใส สะอาด เช่น กระดาษเขียนหนังสือ กระดาษแข็ง กระดาษเคลือบต่างๆ

2. เกรดคุณภาพปานกลาง มักมีสีคล้ำใช้ในการทำงานกระดาษสี กระดาษอื่นๆ ที่ไม่ต้องการสีขาวใสสะอาด นอกจากการทำงานกระดาษแล้วก็มีการใช้ชันในการทำกาวเทียมสำหรับติดแผ่นเทพซึ่งกาวที่ผลิตได้จะมีคุณภาพดีกว่ากาวที่ทำจากหนังสัตว์ เพราะกาวหนังสัตว์มีกลิ่นเหม็น แต่กาวนี้ไม่มีกลิ่นเหม็น นอกจากอุตสาหกรรมที่กล่าวมาแล้วก็ยังมีการใช้ชันในการผลิต สี หมึกพิมพ์ สบู่ ยาง ฯลฯ

การใช้ชันในอุตสาหกรรมต่างๆของทุกวันนี้ได้ลดลงมากเพราะว่า

1. ชันที่ได้ผ่านการโม่ดิฟายด์(Unmodified rosin) มักจะตกผลึกในตัวทำละลายและ

2. เนื่องจากโครงสร้างของชันเป็นโม่เลกุลที่ไม่อิมิตัวเพราะมีพันธะคู่จึงทำให้ชันสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศทั่วไป

นอกจากนี้ชันสามารถเกิดปฏิกิริยากับเกลือของโลหะหนักได้ เช่น ในน้ำมันวานิช

2. ชันที่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ(Modified Rosin) คือชันที่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการทำปฏิกิริยาเคมี เช่น เอสเทอร์ฟิเคชัน(Esterification) ปัจจุบันปริมาณการ

ใช้ชั้นสนที่ผ่านการโม่คิฟายด์แล้วมีสูงกว่าการใช้ชั้นสนที่อื่นโม่คิฟายด์(Unmodified Rosin) ตัวอย่างการนำชั้นสนที่โม่คิฟายด์แล้วมาประยุกต์ใช้งานได้แก่

1. โรซินโม่คิฟายด์ฟีนอลิกเรซิน แอนด์ เพียวฟีนอลิกเรซิน (Rosin modified phenolic resin and pure phenolic resin) เป็นชั้นสนที่มีฟีนอลิกเรซิน(phenolic resin)ผสมอยู่ ไม่ละลายน้ำไม่ละลายในแอลกอฮอล์ จึงนำไปใช้ทำหมึกพิมพ์ออฟเซต(offset) สีทาคอนกรีต ฉนวนไฟฟ้าต่างๆ สีที่ทนน้ำยาเคมีต่างๆ

2. โรซินโม่คิฟายด์มาเลอิกเรซิน(Rosin modified maleic resin)เป็นชั้นสนที่มีมาเลอิกเรซิน(maleic resin)ผสมอยู่ เกิดจากการนำเอาชั้นสนไปทำปฏิกิริยากับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ แล้วเอสเทอริไฟอิง(esterifying)ด้วยกลีเซอรอล นิยมใช้ทำสีน้ำมันวานิช แลคเกอร์ เซลแลค หมึกพิมพ์ที่ละลายในแอลกอฮอล์

3. ไลม์เรซิน(Lime resin) ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับชั้นสน นิยมใช้ทำ สีน้ำมันวานิช หมึกพิมพ์สี และชั้นปิดยางมะตอย

4. อิมัลซิไฟเออร์(Emulsifier) เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ทำจากชั้นสนธรรมชาติ โดยนำชั้นสนมาทำปฏิกิริยาทางเคมีกับ กลีโอบิตส์ ซีมหรือกลีโอบิตส์เดียมซึ่งจะให้สารที่มีคุณสมบัติช่วยลดความตึงผิวของน้ำทำให้เกิดสภาวะอิมัลชัน ใช้เป็นสารที่เติมใส่ในการพอลิเมอร์เรซินแบบแขวนลอยหรือแบบอิมัลชัน เช่น ในการเตรียมสไตรีนรับเบอร์ คลอโรพรีนรับเบอร์ และใช้ในการทำอะคริลิก ไนไตรล์ บิวตะไดอีน สไตรีน เทอพอลิเมอร์ (acrylic nitrile butadiene-styrene terpolymer) เป็นต้น

5. เคมีคอลฟอร์ชีวริงกัม(Chemical for chewing gum) ทำจากยางสน เอสเทอริไฟด์(esterified)ด้วยกลีเซอริน(glycerin) ซึ่งทำเป็นหมากฝรั่งได้ดี

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการนำชั้นสนไปโม่คิฟายด์เพื่อประยุกต์ให้เหมาะกับงานอุตสาหกรรมอื่นๆอีกมากมาย

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินการ

3.1 วัสดุและเคมีภัณฑ์

ชิ้นส่วน	เกรดการค้า	
กรดไฮโดรคลอริก	ความเข้มข้น 36.5 %	J.T.Baker Inc.
โปติสเชื่อมไฮดรอกไซด์	เกรดวิเคราะห์	Carlo Erba Inc.
เมซิลแอลกอฮอล์	เกรดวิเคราะห์	J.T.Baker Inc.
เอซิลแอลกอฮอล์	เกรดวิเคราะห์	J.T.Baker Inc.
ไฮโซโพรพิลแอลกอฮอล์	เกรดวิเคราะห์	J.T.Baker Inc.
โทลูอีน	เกรดวิเคราะห์	J.T.Baker Inc.
แอมโมเนีย	เกรดการค้า	
สารตัวเติม ได้แก่ ไม้เลื่อยจากไม้สัก ขนาดอนุภาคต่างๆกัน		
สารช่วยเสริมแรงประเภทเทอร์โมพลาสติก ได้แก่		
CMC	เกรดการค้า	
PVAc	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 45,000	BDH Chemical Co.,Ltd.

แผ่นพลาสติกพีวีซี ขนาด 0.3 และ 0.5 เซนติเมตรสำหรับทำแม่พิมพ์

ซามสแตนเลสสำหรับผสม

3.2 เครื่องมือวิเคราะห์และตรวจสอบ

เครื่องทดสอบแรงอัด Instron 1026 Instron Co.,Ltd.

(ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล)

เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Jasco IR-810 Jasco Co.,Ltd.

เครื่องดีพีเพอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ DSC 50 Shimadzu Co.,Ltd.

เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส TGA 51 Dupont Co.,Ltd.

เครื่องชั่ง

ตุ้มน้ำ

ตะแกรงร่อนขนาด 30, 50, 100 เมช

3.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของชั้นสน

3.3.1 การศึกษาสมบัติการละลายของชั้นสน

ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่

โทลูอีน

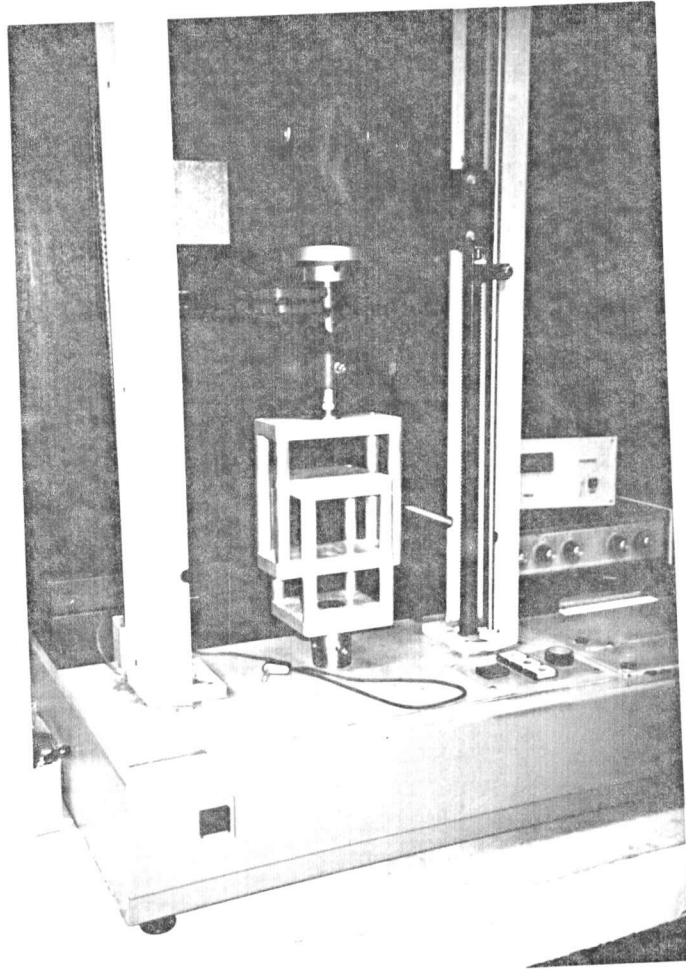
แอสिटอน

เมซิลแอลกอฮอล์

เอซิลแอลกอฮอล์

ไฮโซโพรพิลแอลกอฮอล์

นำชั้นสนมาบดให้ละเอียด ซึ่งชั้นสนหนัก 0.5 กรัม ใส่ปิกเกอร์ขนาด 50 มิลลิตร ใช้ตัวทำละลายแต่ละชนิดปริมาตร 10 มิลลิตรผสมเข้าไปในชั้นสนและคนตลอดเวลาถ้าไม่ละลายนำไปให้ความร้อนเพื่อช่วยในการละลาย บันทึกการละลายของชั้นสนในตัวทำละลายแต่ละชนิดเพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบต่อไป



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบแรงอัด Instron 1026

3.3.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของชิ้นสนโดยใช้เครื่องดีฟเฟอเรน

ซีลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ นำชิ้นสนมาบดให้ละเอียดใส่ในอลูมิเนียมเซลล์ ปิดผนึกแล้วนำไปวัดสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องเครื่องดีฟเฟอเรนซีลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ซึ่งตั้งสภาวะดังนี้

dT/dt	20	องศาเซลเซียสต่อนาที
T(hold)	400	องศาเซลเซียส
(hold)	0	นาที
Sampling int.	1	นาที
Nitrogen flow.	20	มิลลิลิตรต่อนาที

3.3.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของชิ้นสนโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิ

เมตริกแอนาไลซิส นำชิ้นสนมาบดละเอียด ซึ่งน้ำหนักในช่วง 20-40 มิลลิลิตรใส่ในช่องใส่สารตัวอย่างของเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอนาไลซิส แล้วทำการวัดสมบัติทางความร้อนโดยตั้งสภาวะดังนี้

TGA weight Units	:	2
Segment : 1	Type : 3	Initial Temp. 30.00 °C
Segment : 2	Type : 5	Isothermal 5.00 min
Segment : 3	Type : 4	Ramp 20 °C/min. To 900 °C

3.3.4 การหาปริมาณสิ่งเจือปนในชิ้นสนที่ไม่ละลายในโทลูอีน

ก. เตรียมกุกุชชิวีเบลที่มีฐานเป็นแอสเบสตอสขนาด 25 มิลลิลิตร โดยล้างด้วยโทลูอีนให้สะอาด อบที่อุณหภูมิในช่วง 105-110 องศาเซลเซียส 30 นาที แล้วนำมาใส่เดสซิเคเตอร์ ปล่อกให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง ซึ่งหาน้ำหนักของกุกุชชิวีเบล

ข. ชั่งชิ้นสนที่บดละเอียด 50 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร เติมโทลูอีน 150 มิลลิลิตร คนและให้ความร้อนจนกว่าจะได้สารละลายใส กรองผ่านกุกุชชิวีเบลที่

เตรียมไว้ในข้อที่ 1 ถ้าสารละลายยังมีสิ่งตกค้างให้กรองซ้ำแล้วล้างด้วยโทลูอีนที่ร้อน

ค. นำกุชครูซีเบิ้ลที่มีตะกอนอยู่จากข้อ ข. มาอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ นำมาใส่ในเคสซิเคเตอร์ให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่าร้อยละของปริมาณสิ่งเจือปนในชั้นสนที่ไม่ละลายในโทลูอีน

3.3.5 การหาค่าสปอนนิฟิเคชันนัมเบอร์

ก. เตรียมสารละลายมาตรฐาน KHP 0.125 โมลาร์ นำ KHP ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง ชั่ง KHP ที่อบแล้วให้ได้น้ำหนัก 6.3822 กรัม ละลายในน้ำ 150 มิลลิลิตร แล้วปรับให้มีปริมาตร 250 มิลลิลิตรด้วยไฮโซโพรพิล แอลกอฮอล์ โดยใช้เวลาปริมาตร

ข. เตรียมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ ชั่งโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 8.2513 กรัม ละลายด้วยเอทิลแอลกอฮอล์และทำให้มีปริมาตร 250 มิลลิลิตร หาคความเข้มข้นแน่นอนด้วยการไทเทรตกับสารละลายในข้อ ก. โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ เก็บสารละลายนี้ในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท

ค. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์ ชั่งกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 36.5% มา 12.4865 กรัม เจือจางด้วยน้ำจนมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร หาคความเข้มข้นแน่นอนด้วยการไทเทรต กับสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ในข้อ ข. โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

ง. ชั่งชั้นสนที่บดละเอียดในชั่งน้ำหนัก 2.95-3.05 กรัมลงในขวดกันกลมขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารช่วยการละลาย(ตัวทำละลายผสมระหว่างโทลูอีนและไฮโซโพรพิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 1:1) 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ในข้อ ข. ลงไป 50 มิลลิลิตร

จ. รีฟลักซ์สารในข้อ ง. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาถ่ายสารละลายใส่บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร ล้างด้วยไฮโซโพรพิลแอลกอฮอล์ครั้งละ 100 มิลลิลิตร 3 ครั้ง รักษากุชครูซีของสารละลายให้อยู่ในช่วง 60-70 องศาเซลเซียสจนกว่าจะทำการไทเทรต

ฉ. โทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกในข้อ ค. โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน
เป็นอินดิเคเตอร์

ซ. ทำสารละลายแบลงค์ โดยเริ่มทำตั้งแต่ข้อ ง. แต่ไม่ต้องใส่ชิ้นสน

ช. คำนวณค่าสปอนนอฟิเคชันนัมเบอร์

3.3.6 การหาค่าแสดงความเป็นกรด (Acid number)

ก. ชั่งชิ้นสนที่บดละเอียดในช่วง 3.95 - 4.05 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด
400 มิลลิลิตร เติมเอซิดแอลกอฮอล์ 200 มิลลิลิตรคนให้ละลาย (ให้ความร้อนช่วยการละลายถ้า
จำเป็น) จากนั้นปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง

ข. โทเทรตสารละลายในข้อ ก. ด้วยสารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์
0.5 โมลาร์ จากข้อ 3.3.5 ข. โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

ค. คำนวณค่าแอสิดนัมเบอร์

3.3.7 การศึกษาโครงสร้างขององค์ประกอบของชิ้นสนด้วยเครื่องอินฟราเรด

สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ เตรียมชิ้นสนสำหรับการวัดโดยใช้วีกีเคปอาร์ดิสต์ (KBr disc) แล้ววัด
ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ในช่วงเลขคลื่น 4000 - 625 cm^{-1}

3.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชิ้นสนกับขี้เถ้า

ในการศึกษานี้ จะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมระหว่างชิ้นสนกับขี้เถ้าจาก 10:0
9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 4:6 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก) และมีวิธีการผสม 2 แบบ คือ

3.4.1. การผสมสูตรชิ้นสนกับขี้เถ้าด้วยการใช้ความร้อนเพื่อละลายชิ้นสน

3.4.2. การผสมสูตรชิ้นสนกับขี้เถ้าด้วยการใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชิ้นสน

3.4.1 สูตรการผสมชั้นสนกับขี้เถ้าโดยการใช้ความร้อนเพื่อละลายชั้นสน

ก. การเตรียมสารตัวเติม นำขี้เถ้ามาอุ่นผ่านตะแกรงขนาด 30, 60 และ 100 เมชตามลำดับ เก็บขี้เถ้าที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมชไว้ใช้เป็นสารตัวเติม

ข. สูตรการผสมชั้นสนกับขี้เถ้าโดยการให้ความร้อนหลอมละลายชั้นสน

ข.1. ชั่งน้ำหนักชั้นสนตามอัตราส่วนข้างต้น (ตอนต้นของ 3.4) (ทั้งนี้ น้ำหนักรวมจะขึ้นกับการนำไปใช้คือถ้าทำชิ้นงานเพื่อทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัด น้ำหนักรวมประมาณ 60 กรัม และการทำชิ้นงานสำหรับวัดสมบัติการดูดซึมน้ำจะมีน้ำหนักรวมของสูตรผสมประมาณ 40 กรัม)

ใส่ในชามอลูมิเนียมสำหรับผสม ให้ความร้อนจนหลอมเหลว และมีความหนืดต่ำโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 120-140 องศาเซลเซียส

ข.2. ชั่งขี้เถ้าตามอัตราส่วนข้างต้น ค่อยๆ เทใส่ในชั้นสน ที่หลอมเหลวจากข้อ ข.1. โดยกวนของผสมตลอดเวลาจนกว่าขี้เถ้าจะหมดและของผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันโดยควบคุมเวลาไม่ให้เกิน 10 นาที

ข.3. ในกรณีที่ของผสมที่ได้มีลักษณะเหลวมาก จะสามารถเทลงแม่พิมพ์ได้ทันที แต่ถ้าของผสมมีลักษณะหนืดมาก จะต้องทำการปั่นให้มีขนาดใกล้เคียงกับแม่พิมพ์ก่อนจะบรรจุลงแม่พิมพ์ โดยในการบรรจุลงแม่พิมพ์ทุกครั้งจะมีการชั่งน้ำหนักเพื่อให้ได้เนื้อสารที่เท่าเทียมกันทุกชิ้นงาน ข้อควรระวังคือ จะต้องปฏิบัติการอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันชั้นสนเย็นตัวและแข็งตัวก่อนจะเต็มแม่พิมพ์

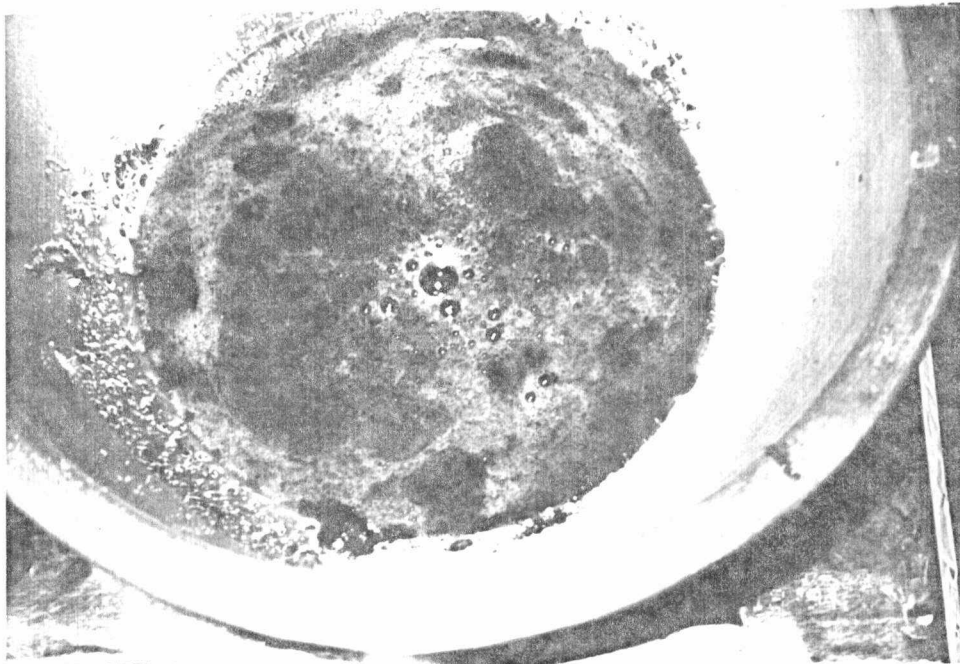
ข.4. ปลอ่ยให้ชิ้นงานในแม่พิมพ์เย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วแกะแม่พิมพ์ออก

3.4.2 สูตรการผสมชั้นสนกับขี้เถ้าโดยการใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชั้นสน

สำหรับข้อ 3.4.2 นี้ ในกรณีที่ของสูตรผสมชั้นสนกับขี้เถ้าจะเลือกทำเฉพาะสูตรที่ทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัดของชิ้นงานที่เตรียมด้วยวิธีในข้อ 3.4.1 แล้วได้ค่าสูงที่สุด

ก. บดและชั่งชั้นสนตามอัตราส่วนข้างต้นที่กำหนดไว้ในข้อ 3.4.1

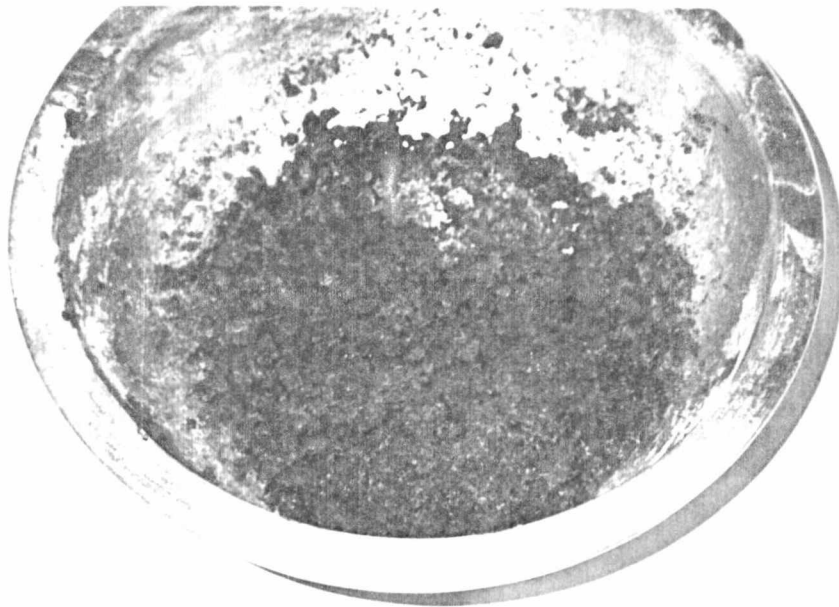
ข. ชั่งขี้เถ้าตามอัตราส่วนข้างต้นที่กำหนดไว้ในข้อ 3.4.1 นำขี้เถ้าผสมกับชั้นสนที่บดละเอียดตามอัตราส่วนต่างๆแล้วทำการกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน



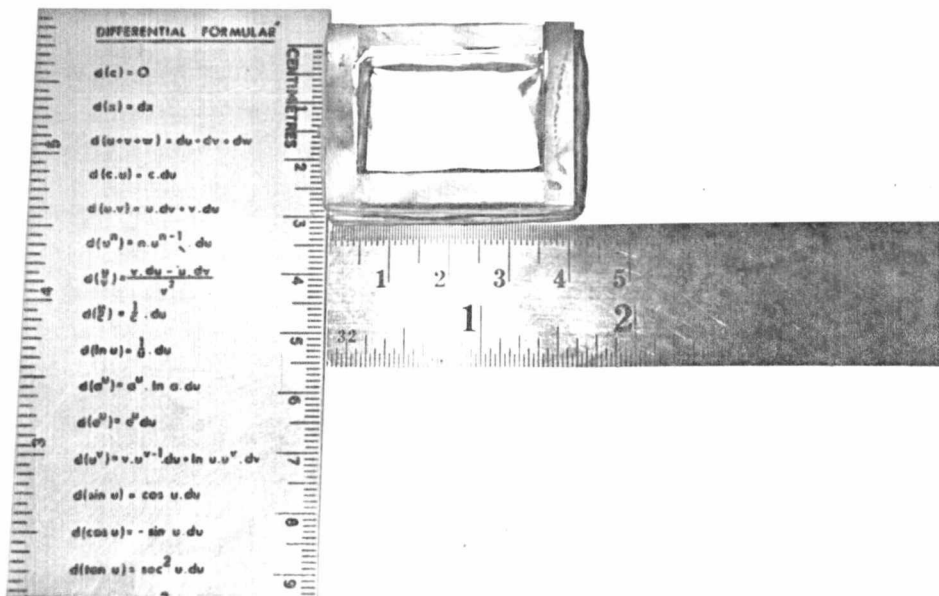
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของผสมระหว่างชั้นสนกับซีเมนต์ละเอียดร้อน



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของผสมระหว่างชั้นสน ซีเมนต์ละเอียดและ CMC ร้อน



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของผสมระหว่างชั้นสนกับที่เลื่อยที่เตรียมจากวิธีใช้ตัวทำละลาย เพื่อละลายชั้นสน



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะแม่พิมพ์ที่ใช้เตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัด

ค. ใช้ตัวทำลายคือแอซิโตนเติมลงไปเพื่อละลายชั้นสน โดยใช้ตัวทำลายในอัตราส่วน 30-50% ของน้ำหนักชั้นสน หรือในบางกรณีจะต้องใช้ตัวทำลายในปริมาณมากพอที่จะละลายชั้นสนจนหมด วิธีนี้จะไม่จำเป็นต้องรีบเทลงแม่พิมพ์

ง. ระบายแอซิโตนบางส่วนออกจนของผสมมีลักษณะเหนียวข้น จึงเทใส่แม่พิมพ์

จ. อบทั้งชิ้นงานและแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 45 ± 3 องศาเซลเซียส เพื่อระบายแอซิโตนในการทดลองนี้จะใช้เวลา 5 วัน และ 9 วัน (เวลาที่ใช้ในการระเหยขึ้นกับปริมาณของตัวทำลายที่ใช้) ระยะเวลาที่ใช้สำหรับการทดลองนี้กำหนดขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของผลการทดลอง ฉะนั้นในเวลา 9 วันตัวทำลายอาจจะระเหยไม่หมด ควรมีการเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ระเหยตัวทำลายออกไปอีก จนกว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะมีค่าคงที่หรือค่าใกล้เคียงกัน)

3.4.3 การทดสอบสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสนกับซีเลอซท์

เตรียมจากวิธีการต่างๆ

ก. ผสมสูตรชั้นสนกับซีเลอซท์โดยใช้ความร้อนละลายชั้นสนตามวิธีในข้อ 3.4.1 และ 3.4.2 เทลงในแม่พิมพ์สำหรับหล่อชิ้นงานเพื่อทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัด โดยในแม่พิมพ์จะมีแผ่นอลูมิเนียมฟรอยด์รองอยู่ แต่ละสูตรสำหรับแต่ละวิธีจะทำชิ้นงานสูตรละ 7 ชิ้น

ข. ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยถอดออกมาพร้อมกับแผ่นอลูมิเนียมฟรอยด์และไม่ต้องแกะแผ่นอลูมิเนียมฟรอยด์ออก

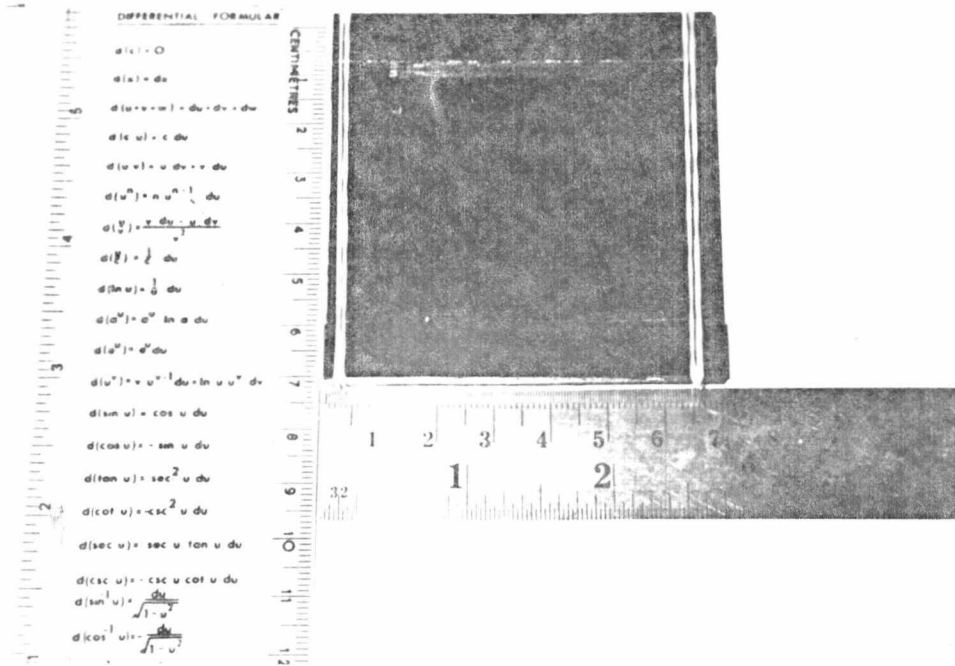
ค. นำไปทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัด โดยให้อัตราการเคลื่อนที่ของแท่นขวางเท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อนาที (ความเร็วต่ำที่สุดของเครื่องมือ)

3.4.4 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของสูตรผสมชั้นสนกับซีเลอซท์ที่เตรียมจากวิธี

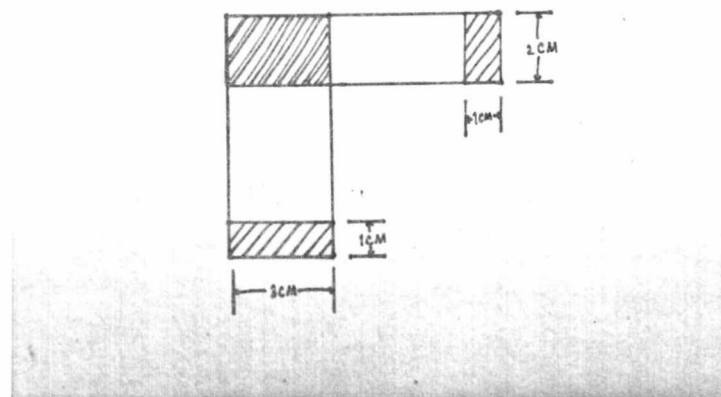
การต่างๆ

ก. เตรียมชิ้นงาน โดยการผสมสูตรระหว่างชั้นสนและซีเลอซท์โดยใช้ความร้อนละลายชั้นสน (ข้อ 3.4.1 และ 3.4.2) แต่ละจำนวนชิ้นงานเหลือสูตรละ 3 ชิ้นและใช้แม่พิมพ์สำหรับหล่อชิ้นงานเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำแทน

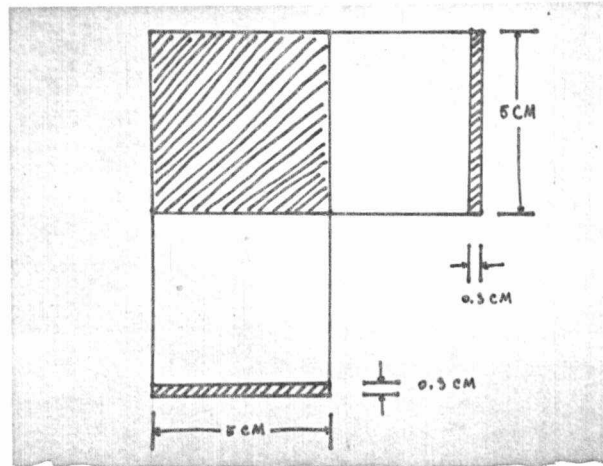
ข. ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และแกะแผ่นอลูมิเนียมเฟรมพร้อมตัวออก



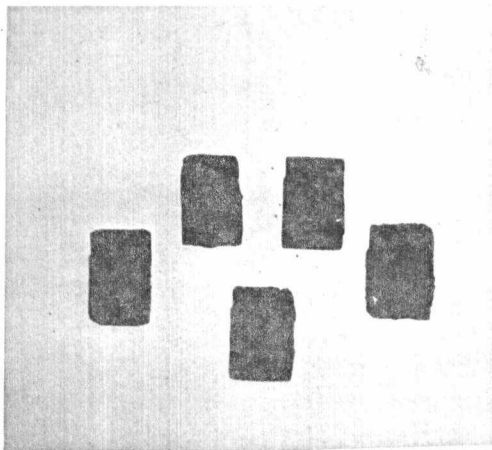
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของแม่พิมพ์ที่ใช้เตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ



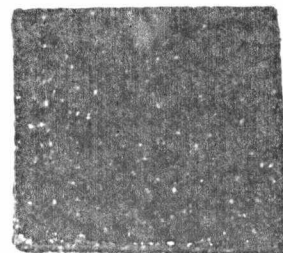
รูปที่ 3.7 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัด



รูปที่ 3.8 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ



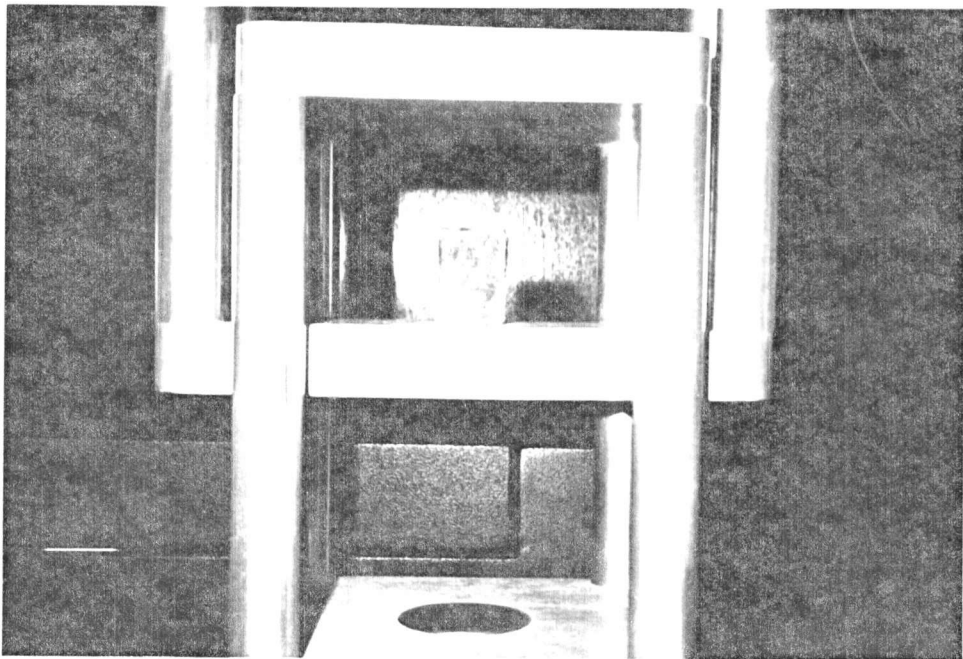
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.9 (ก) แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัดที่เตรียมเสร็จแล้ว

(ข) แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำที่เตรียมเสร็จแล้ว



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการวางชิ้นงานในเครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัด

ค. นำชิ้นงานไปอบที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำออกมาใส่ในเตสซิเคเตอร์ ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง

ง. นำชิ้นงานทุกชิ้นมาชั่งน้ำหนักและวัดขนาดโดยเฉลี่ยของชิ้นงานโดยให้ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่ทำการวัดขนาดไว้

จ. แخذชิ้นงานในน้ำเย็น ควบคุมอุณหภูมิให้ได้ 24 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ISO-62)

ฉ. นำชิ้นงานขึ้นจากน้ำ ซับหยดน้ำที่ผิวให้แห้ง ทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดชิ้นงานหลังการแช่น้ำโดยการวัดขนาดให้วัด ณ ตำแหน่งเดิมที่ทำเครื่องหมายไว้

ช. คำนวณหาค่าร้อยละของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป และค่าร้อยละของปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป

3.4.5 การทดสอบสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสนธิ์เฉลี่ยและเทอร์โมพลาสติก

ก. เทอร์โมพลาสติกที่ใช้ในการศึกษา นี้ ใช้เป็นสารช่วยเสริมแรงโดยเลือกใช้ 2 ชนิดคือ

ก.1 CMC ซึ่งมีสมบัติคือละลายน้ำได้ดีแต่ ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้น้อยมาก ดังนั้นในการผสมสูตรจะใช้แต่วิธีการผสมสูตรชั้นสนธิ์เฉลี่ยด้วยการใช้ความร้อนเพื่อละลายชั้นสนธิ์

ก.2 PVAc ซึ่งสามารถละลายในแอลกอฮอล์ได้ แต่เนื่องจาก PVAc มีจุดอ่อนตัวที่สูงกว่าชั้นสนธิ์มากดังนั้นถ้าใช้วิธีการผสมสูตรชั้นสนธิ์เฉลี่ยด้วยการใช้ความร้อนเพื่อละลายชั้นสนธิ์จะทำให้เกิดความหนืดสูงในช่วงอุณหภูมิผสมซึ่งทำให้การผสมสูตรเป็นไปได้ยาก ดังนั้นในการผสมสูตรที่ใช้ PVAc จะใช้แต่วิธีการผสมสูตรชั้นสนธิ์เฉลี่ยด้วยการใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชั้นสนธิ์

ข. สูตรที่ใช้ในการผสม จะถือว่าเทอร์โมพลาสติกที่ใช้จะนำมาใช้แทนชั้นเฉลี่ยในแต่ละอัตราส่วน เพราะฉะนั้นอัตราส่วนระหว่าง ชั้นสนธิ์-เทอร์โมพลาสติก:ชั้นเฉลี่ยจะเป็น 9:1:0 8:1:1, 7:1:2, 7:2:1, 6:1:3, 6:2:2, 6:3:1, 5:1:4, 5:2:3, 5:3:2, 5:4:1 ตามลำดับ

ค. แม่พิมพ์ในการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัดและการดูดซึมน้ำจะเป็นแบบเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่างสูตรผสมชั้นสนับที่ ๔ เลื่อย

ง. การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสม ชั้นสนับเทอร์โมพลาสติก:
ขี้เลื่อย

ง.1 ในกรณีของการใช้ CMC จะทำการผสมขี้เลื่อยกับ CMC โดยการกวนผสมก่อนจะผสมกับชั้นสนับหลอมเหลวให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเทลงในแม่พิมพ์

ง.2 ในกรณีของการใช้ PVAc จะทำการละลาย PVAc ด้วยตัวทำละลาย คือ แอซิโตนก่อน โดยน้ำหนักของตัวทำละลายที่ใช้จะอยู่ในช่วง 180-300 % ของน้ำหนัก PVAc แล้วจึงเทลงในชามผสมที่มีชั้นสนับละเอียดกับขี้เลื่อยผสมอยู่ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ระเหยตัวทำละลายจนของผสมมีความหนืด จึงเทลงในแม่พิมพ์ เตรียมชิ้นงานไว้ 2 ชุด ชุดแรกใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 14 วัน และชุดที่สองใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 21 วัน

ง.3 ทำการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงอัดของตัวอย่างทุกสูตรโดยให้สภาวะเหมือนกับการทดสอบของสูตรอื่นๆ

3.4.6 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของสูตรผสมชั้นสนับ ขี้เลื่อยและเทอร์โม

พลาสติก

ทำการผสมสูตร ชั้นสนับ:CMC:ขี้เลื่อยด้วยวิธีให้ความร้อนละลายชั้นสนับ และสูตรชั้นสนับ:PVAc:ขี้เลื่อยด้วยวิธีให้ตัวทำละลายเพื่อละลายชั้นสนับ(เหมือนข้อ 3.4.5) แต่ใช้แม่พิมพ์สำหรับเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำแทน ในแต่ละสูตรจะเตรียม 3 ชิ้นงาน จากนั้นทำการถอดแบบและลอกแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ออก ทำการทดสอบการดูดซึมน้ำของสูตรผสมที่เตรียมขึ้น

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของชั้นสน

4.1.1 การศึกษาสมบัติการละลายของชั้นสน

จากการศึกษาพบว่า ชั้นสนสามารถละลายในตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองทั้ง

5 ตัวได้หมดโดยมีลักษณะของการละลายดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติการละลายของชั้นสนในตัวทำละลายต่างๆ

ตัวทำละลาย	สมบัติในการละลาย
โทลูอีน	ละลายได้ค่อนข้างดี แต่ต้องมีการคนสารละลายเพื่อช่วย การละลาย
แอสซิโตน	ละลายได้ดีมาก
เมซิลแอลกอฮอล์	ละลายได้พอใช้ ต้องคนสารละลายและให้ความร้อนช่วย
เอซิลแอลกอฮอล์	ละลายได้พอใช้ ต้องคนสารละลายและให้ความร้อนช่วย
ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์	ละลายได้พอใช้ ต้องคนสารละลายและให้ความร้อนช่วย

ดังนั้นในการวิจัยนี้จะใช้ตัวทำละลายคือแอสซิโตนตลอดการวิจัย ยกเว้นการทดสอบ

เรื่องการหาปริมาณสิ่งเจือปนในชั้นสนที่ไม่ละลายในโทลูอีน

4.1.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของชั้นสนโดยใช้เครื่องดีฟเฟอเรนเชียล

สแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

ลักษณะทางความร้อนและปฏิกิริยาที่เกิดในช่วงอุณหภูมิต่างๆของชั้นสน แสดง
ในตารางที่ 4.2

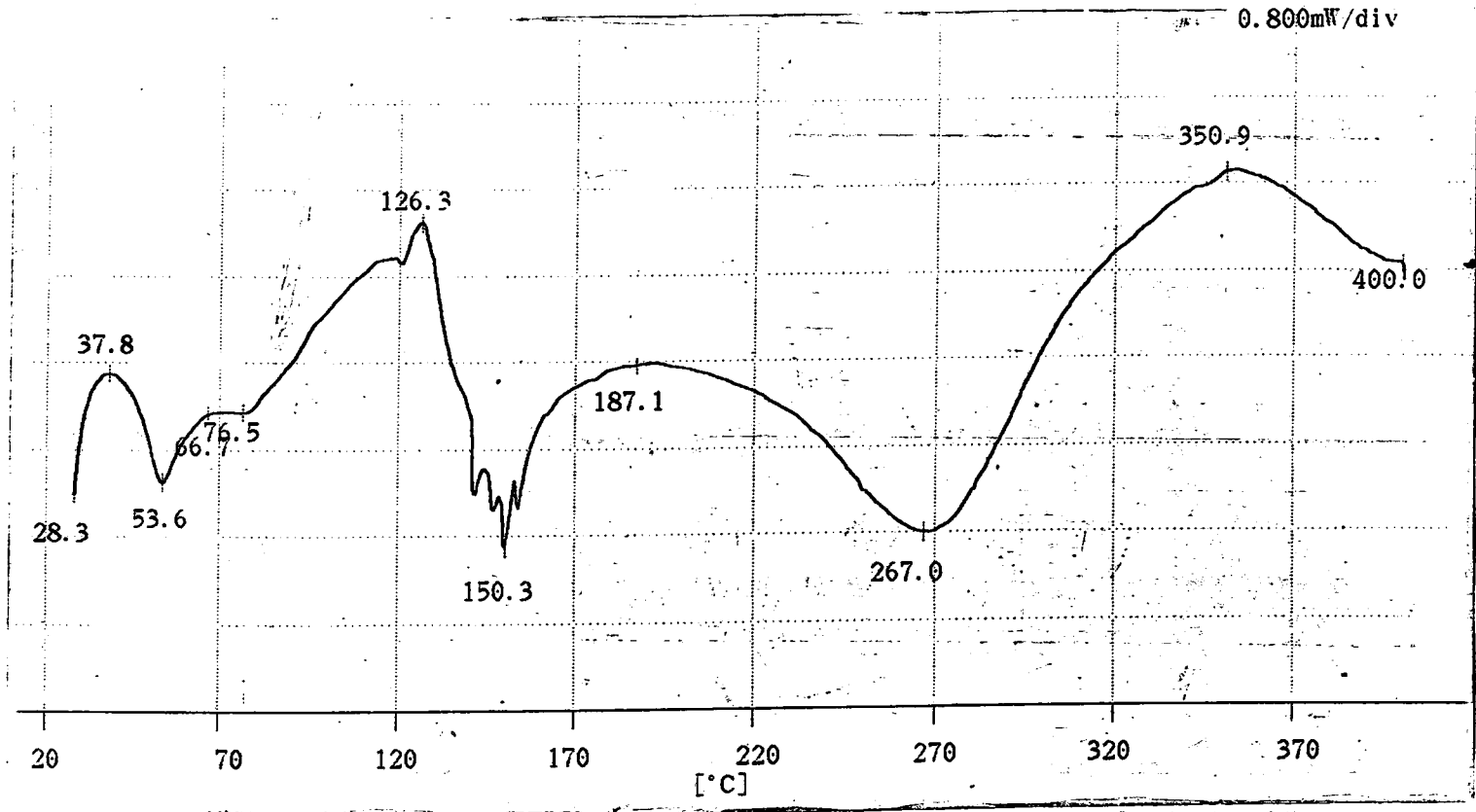
ตารางที่ 4.2 สมบัติทางความร้อนและปฏิกิริยาที่เกิดในช่วงอุณหภูมิต่างๆของชั้นสน

ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ลักษณะทางความร้อนและปฏิกิริยา
37.8-66.7	ดูดความร้อน เนื่องจากการระเหยของน้ำมันสนบางส่วนที่มีหลงเหลือ ในชั้นสน
76.5-140.0	คายความร้อน เนื่องจากเกิดเป็นผลึกชั่วคราวในขณะหลอมเหลว
140.0-187.1	ดูดความร้อน เนื่องจากเกิดการหลอมเหลว
187.1-350.9	ดูดความร้อน เนื่องจากเกิดการสลายตัว

4.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของชั้นสนโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอ

นาไลซิส

รูปที่ 4. 1 แสดงเทอร์โมแกรมของชิ้นสนิมจากเครื่องพิมพ์เออาร์นที่ใช้ผสมกาน้ำใบโคลอรัมเตอร์



ตารางที่ 4.3 แสดงช่วงอุณหภูมิและร้อยละโดยน้ำหนักที่สูญหายไปในช่วงอุณหภูมิต่างๆ
ของชั้นสน

ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละโดยน้ำหนักที่หายไป
200-320	82
320-420	17
ส่วนที่เหลือหลังจาก 900 °C	1

4.1.4 การหาปริมาณสิ่งเจือปนในชั้นสนที่ไม่ละลายในโทลูอีน

จากการทดลอง พบว่า ชั้นสนเกรดการค้าที่ใช้ในการทดลองนี้ มีปริมาณสิ่ง
เจือปนในชั้นสนที่ไม่ละลายในโทลูอีน เฉลี่ยเท่ากับ 0.0855%

4.1.5 การหาค่าสปอนนิฟิเคชันนัมเบอร์

จากการทดลอง พบว่า ชั้นสนเกรดการค้าที่ใช้ในการทดลองนี้ มีค่าสปอนนิฟิเค
ชันนัมเบอร์เฉลี่ยเท่ากับ 132.22

4.1.6 การหาค่าแสดงความเป็นกรด

จากการทดลอง พบว่า ชั้นสนเกรดการค้าที่ใช้ในการทดลองนี้ มีค่าแสดงความ
เป็นกรดเฉลี่ยเท่ากับ 179.46

4.1.7 การศึกษาโครงสร้างขององค์ประกอบทางเคมีของชั้นสนด้วยเครื่องอินฟรา

เรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ 4.4 แสดงเลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันของชั้นสนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

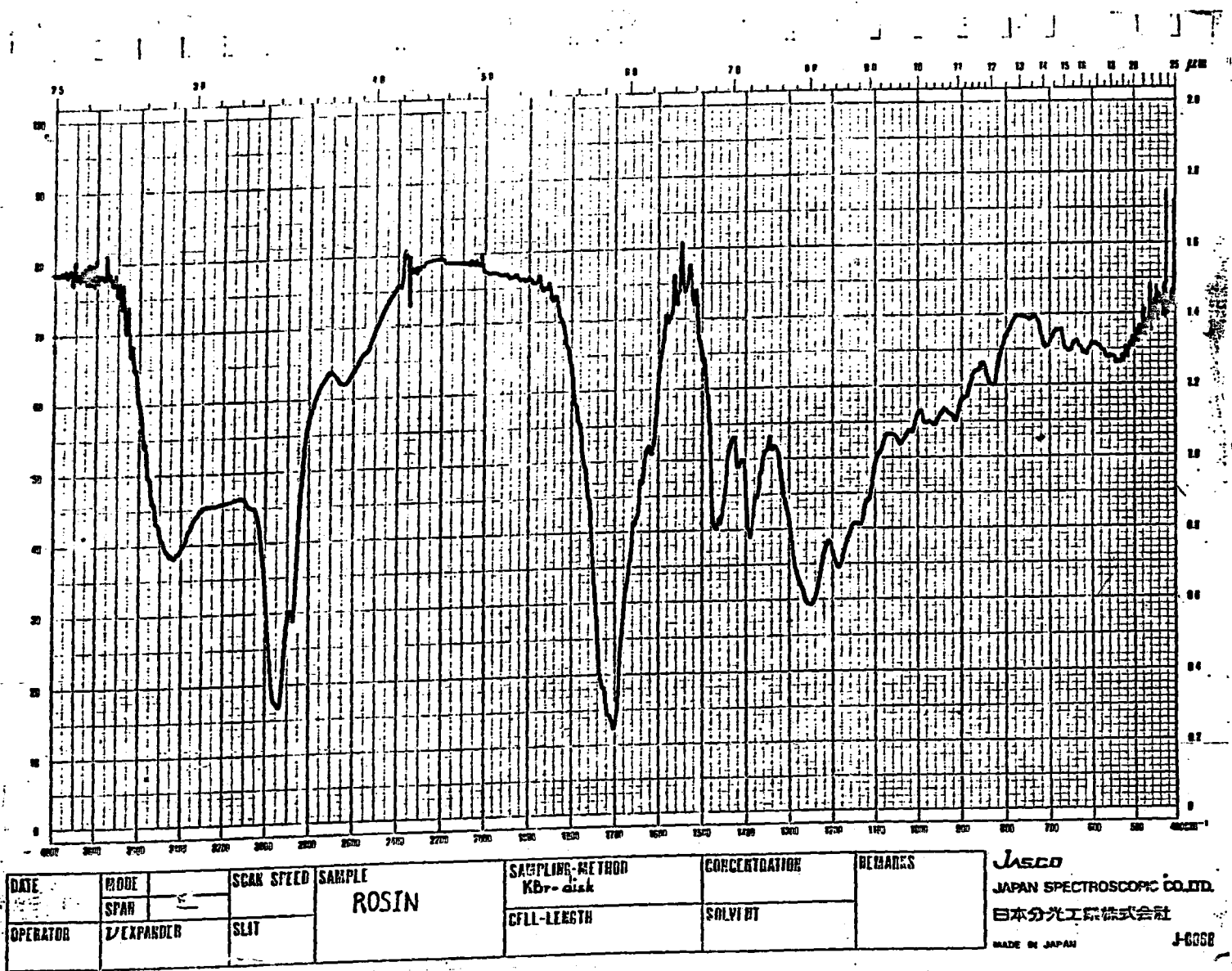
เลขคลื่น (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน
3700-3100	O-H
3100-2700	C-H (stretching)
1710	C=O
1680	C=C (stretching)
1460 และ 1380	-CH ₂ (bending)
1070	C-O (stretching)

4.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชั้นสนกับขี้เถ้า

4.2.1 การทดสอบสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสนกับขี้เถ้า

เตรียมจากวิธีการต่างๆ

รูปที่ 2 แสดงอินฟราเรดของเรซิน



DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE ROSIN	SAMPLING METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
OPERATOR	SPAN	SLIT		KBr-disk	SOLVENT	
	1/EXPANDER			CELL-LENGTH		

JASCO
 JAPAN SPECTROSCOPIC CO., LTD.
 日本分光工業株式会社
 MADE IN JAPAN J-C058

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสนับกับซีเมนต์ด้วยวิธีการใช้ความร้อนละลายชั้นสนับ

สูตร ชั้นสนับ:ซีเมนต์	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
4:6	15.43
5:5	73.08
6:4	175.00
7:3	128.13
8:2	98.58
9:1	74.00
10:0	9.00

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการทำชั้นงานด้วยวิธีการผสมชั้นสนับกับซีเมนต์ด้วยวิธีใช้ความร้อนในการหลอมชั้นสนับคือ สูตร ชั้นสนับ:ซีเมนต์ในอัตราส่วน 6:4 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเลือกใช้สูตรนี้ในการเตรียมชั้นงานสูตรผสมชั้นสนับกับซีเมนต์โดยใช้ตัวทำละลายในการศึกษาขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสนกับซีเมนต์ในอัตรา
ส่วน 6:4 โดยน้ำหนักด้วยวิธีการใช้ตัวทำลายที่มีระยะเวลาในการระเหยตัวทำลายต่างกัน

เวลาในการระเหยตัวทำลาย ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส(วัน)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
5	44.92
9	79.57

4.2.2 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของสูตรผสมชั้นสนกับซีเมนต์ที่เตรียมจากวิธี

การต่างๆ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าร้อยละโดยน้ำหนักและร้อยละโดยปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป
เนื่องจากการดูดซึมน้ำของสูตรผสมชั้นสนกับขี้เลื่อยที่เตรียมด้วยวิธีการใช้ความร้อนในการละลาย
ชั้นสน

สูตร ชั้นสน: ขี้เลื่อย	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ร้อยละโดยปริมาตร
10:0	0.000	0.019
9:1	14.270	11.141
8:2	0.404	1.551
7:3	24.144	17.795
6:4	20.381	16.812

หมายเหตุ สำหรับสูตร 5:5 และ 4:6 เมื่อทำการแช่น้ำจะเกิดการบวมจนแตก ไม่สามารถ
วัดขนาดและชั่งน้ำหนักได้

สำหรับสูตรที่เตรียมด้วยวิธีใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชั้นสน ไม่สามารถทำการทดสอบ
ได้เนื่องจากชั้นงานต้องมีขนาดบางมาก ดังนั้นการผสมสูตรต้องทำให้เหลวมาก (ใช้ตัวทำละลาย
มาก) และเมื่อปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยออกจะทำให้ชั้นงานเกิดเป็นหลุมที่ผิวงานมากจนไม่
สามารถใช้ทดสอบได้

4.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชั้นสน ⁴ซีเลอยและเทอร์โมพลาสติก

4.3.1 การทดสอบสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสน ⁴ซีเลอยและเทอร์โมพลาสติก

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสน ⁴ซีเลอยและ CMC

สูตร ชั้นสน:CMC: ⁴ ซีเลอย	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)
5:1:4	151.25
5:2:3	191.43
5:3:2	164.46
5:4:1	122.79
6:1:3	134.25
6:2:2	184.71
6:3:1	174.00
7:1:2	109.58
7:2:1	151.50
ชั้นสน:CMC = 5:5	156.67

จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 พบว่าสูตรที่มีค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดมากที่สุดคือ สูตร
ชั้นสน:CMC:⁴ซีเลอย ในอัตราส่วน 5:2:3

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสม ชั้นสนธิ์ 4 และ PVAc

โดยใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 14 วันและ 21 วัน

สูตรผสม (ชั้นสนธิ์ 4 และ PVAc)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	
	เวลา 14 วัน	เวลา 21 วัน
5:1:4	71.07	69.07
5:2:3	72.42	52.36
5:3:2	33.36	59.36
5:4:1	10.58	33.21
6:1:3	51.14	60.14
6:2:2	2.38	64.28
6:3:1	3.06	56.64
7:2:1	2.89	3.96
7:1:2	2.89	58.36
8:1:1	2.57	28.07

4.3.2 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของสูตรผสม ชั้นสน ชี้เลื่อย และเทอร์โม

ผลาสติก

- กรณีใช้ CMC สามารถทำชิ้นงานได้ แต่เนื่องจาก cmc ละลายน้ำ ทำให้ชิ้นงานเปื่อยยุ่ย และแตกออก จึงไม่สามารถทำการทดสอบได้

- กรณีใช้พอลิไวนิลอะซิเตด ไม่สามารถทดสอบชิ้นงานได้ เนื่องจากแบบพิมพ์บางมาก ในการขึ้นรูปจำเป็นต้องทำให้สูตรผสมมีความหนืดต่ำพอจะขึ้นรูปได้ ทำให้ในขณะที่ทำการระเหยตัวทำละลายออกนั้น ผิวชิ้นงานเกิดรูขนาดใหญ่ขึ้น จนไม่สามารถทดสอบชิ้นงานได้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของชิ้นสน

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของชิ้นสนที่ใช้ในการวิจัยกับมาตรฐาน

FSC หมายเลข LLL-R-626b

สมบัติทางกายภาพ	มาตรฐาน Ferederal Specification	ชิ้นสนที่ใช้ในการวิจัย
ปริมาณสิ่งเจือปนในชิ้นสน ที่ไม่ละลายในโทลูอีน	< 0.05%	0.0855%
ค่าสปอนนิฟิเคชันนิมเบอร์	> 162	132.22
ค่าแอสชึนนิมเบอร์	> 150	179.46

ก) จากตารางที่ 5.1 พบว่า ชิ้นสนที่ใช้ในการวิจัย มีค่าปริมาณสิ่งเจือปนในชิ้นสน
ที่ไม่ละลายในโทลูอีนสูงกว่ามาตรฐาน ค่าสปอนนิฟิเคชันต่ำกว่ามาตรฐาน แต่มีค่าแสดงความ
เป็นกรดต่ำกว่ามาตรฐาน

ข) จากสมบัติทางความร้อนที่ศึกษาด้วยเครื่องดีฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ และเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส พบว่า จะเกิดการสลายตัวของชั้นสนในช่วงอุณหภูมิ 187.1 องศาเซลเซียสขึ้นไป ดังนั้นสำหรับวิธีการใช้ความร้อนเพื่อละลายชั้นสน ต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 187.1 องศาเซลเซียส

ค) จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของชั้นสนด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าชั้นสนมีหมู่ฟังก์ชันสำคัญคือ หมู่คาร์บอกซิลิก ซึ่งยืนยันด้วยสัญญาณที่

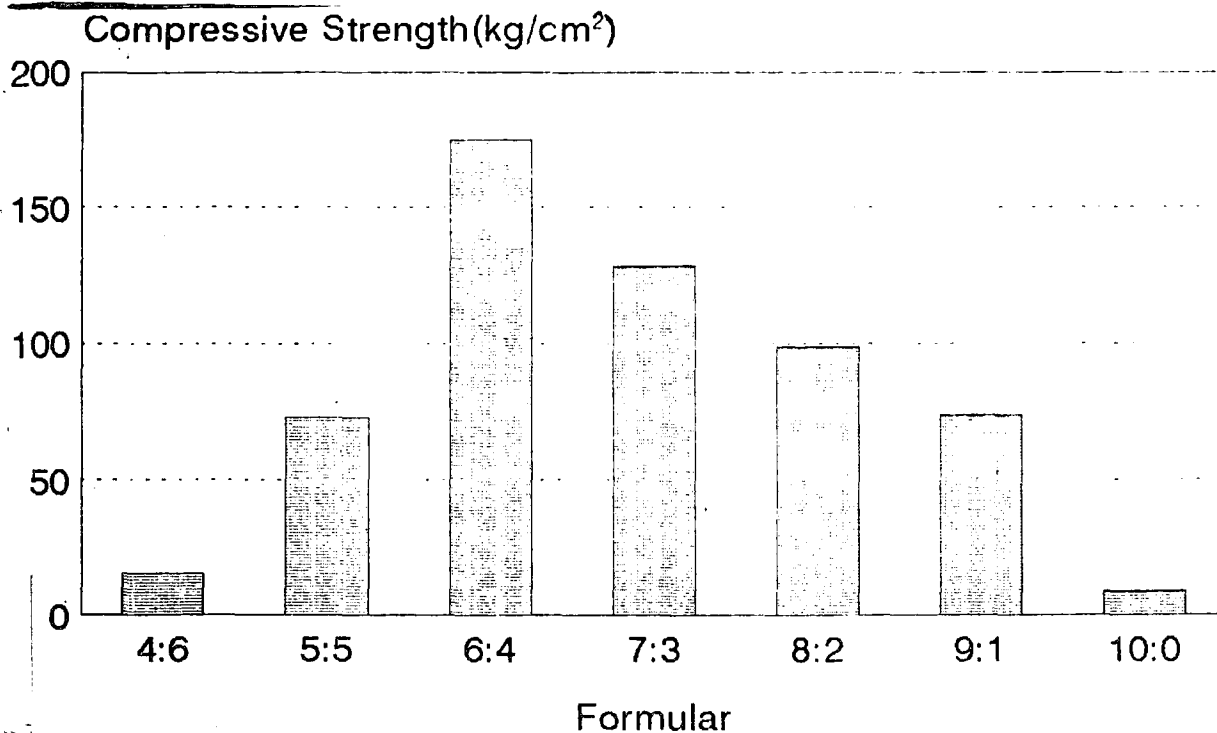
- 3700-3100 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงของ O-H stretching

- 1710 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงของ C=O

และหมู่ methylene ซึ่งยืนยันด้วยการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ 2850-3000 cm^{-1}

5.1.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชั้นสนกับขี้เลื่อย

ความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสนกับขี้เลื่อยแสดงในรูป 5.1

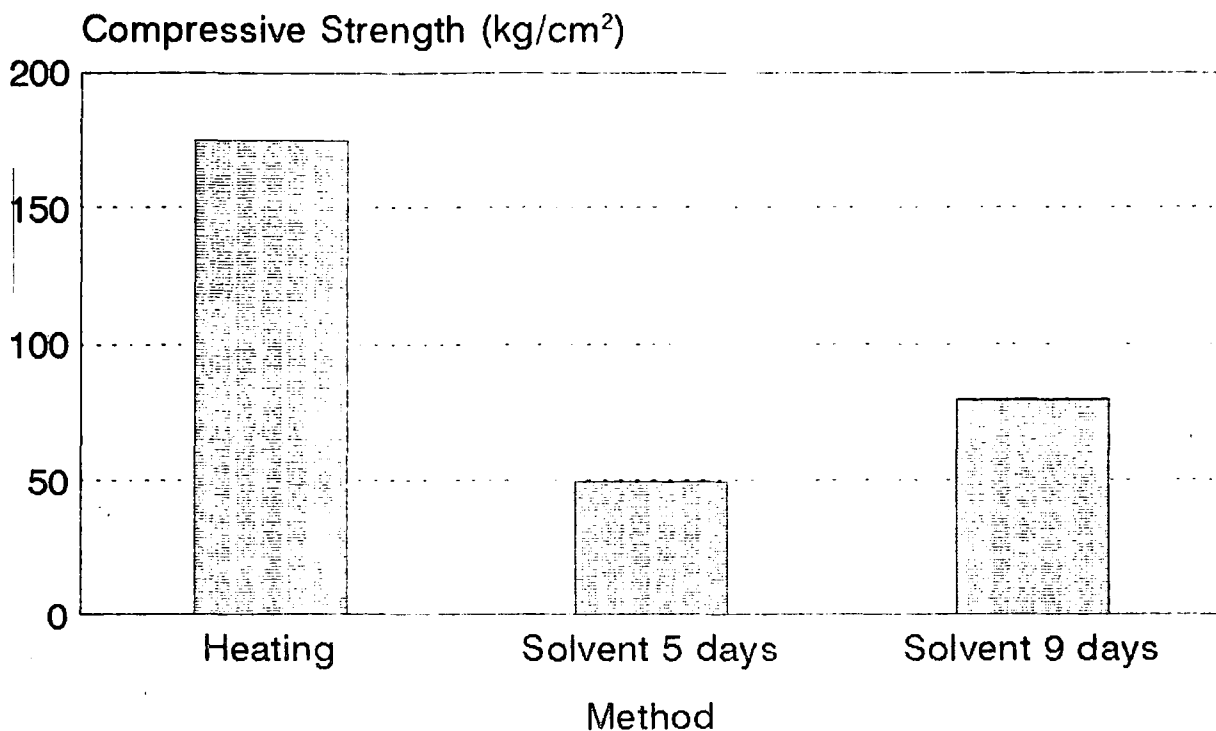


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความแข็งแรงต่อแรงอัดกับสูตรผสมชั้นสนกับ

ขี้เลื่อยที่เตรียมด้วยวิธีการใช้ความร้อนเพื่อละลายชั้นสน

จากรูปที่ 5.1 พบว่าสูตรที่มีค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดสูงสุด คือ สูตรชั้นสนะซี เลือยที่ อัตราส่วน 6:4 โดยน้ำหนัก

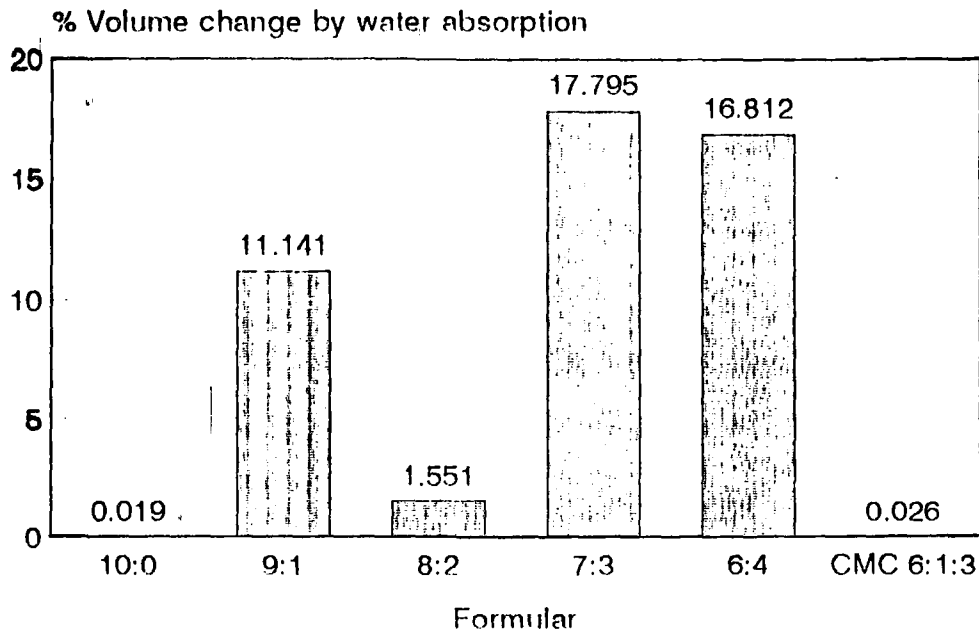
การเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตร 6:4 ที่เตรียมจากวิธีการใช้ความร้อนหลอมละลายชั้นสนกับสูตร 6:4 ที่เตรียมจากวิธีใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชั้นสน (เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 5 วันและ 9 วัน) ดังแสดงในรูปที่ 5.2



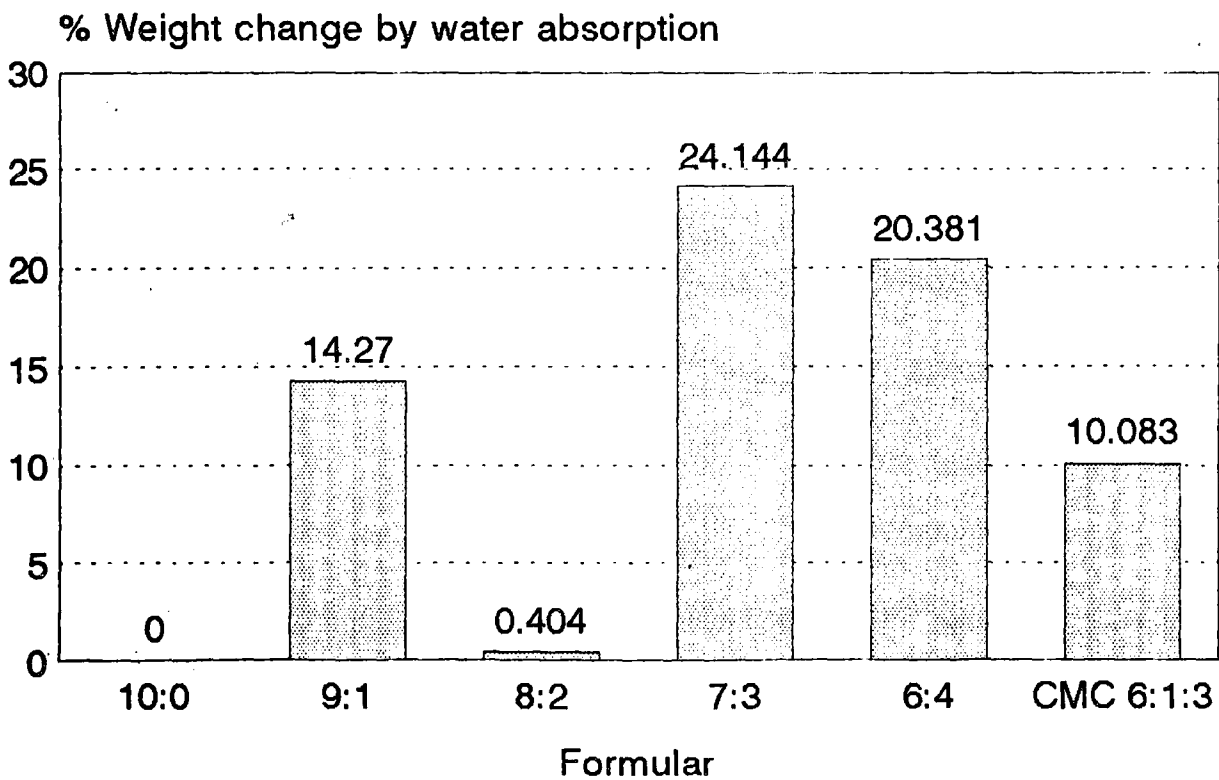
รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรชั้นสนะซี เลือย อัตราส่วน 6:4 ที่เตรียมจากวิธีการใช้ความร้อนหลอมละลายชั้นสนกับสูตร 6:4 ที่เตรียมจากวิธีใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชั้นสน

ข้อมูลที่ได้จากรูป 5.2 พบว่าสูตรที่ใช้ความร้อนหลอมละลายชั้นสนจะมีความแข็งแรงต่อแรงอัดสูงกว่าการเตรียมด้วยวิธีการใช้ ตัวทำละลายในการละลายชั้นสน และสำหรับสูตรที่เตรียมจากวิธีใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชั้นสน เมื่อเวลาที่ใช้ในการระเหยตัวทำละลาย มากขึ้น ความแข็งแรงต่อแรงอัดจะเพิ่มขึ้น

ค่าสมบัติการดูดซึมน้ำของสูตรผสมชั้นสนกับซี เลือย แสดงในรูป 5.3 และ 5.4



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากการดูดซึมน้ำ กับสูตรผสมชั้นสนกับซีเมนต์ที่เตรียมด้วยวิธีการใช้ความร้อนเพื่อละลายชั้นสน



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื่องจากการดูดซึมน้ำ กับสูตรผสมชั้นสนกับซีเมนต์ที่เตรียมด้วยวิธีการใช้ความร้อนเพื่อละลายชั้นสน

ผลจากการเปรียบเทียบจากรูป 5.3 และ 5.4 พบว่าข้อมูลสูตร 8:2 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาตร และน้ำหนักเนื่องจากการดูดซึมน้ำซึ่งมีค่าที่ต่ำผิดปกติ ดังนั้นจะตัดออกจากการพิจารณา

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชิ้นงานเนื่องจากการดูดซึมน้ำพบว่า

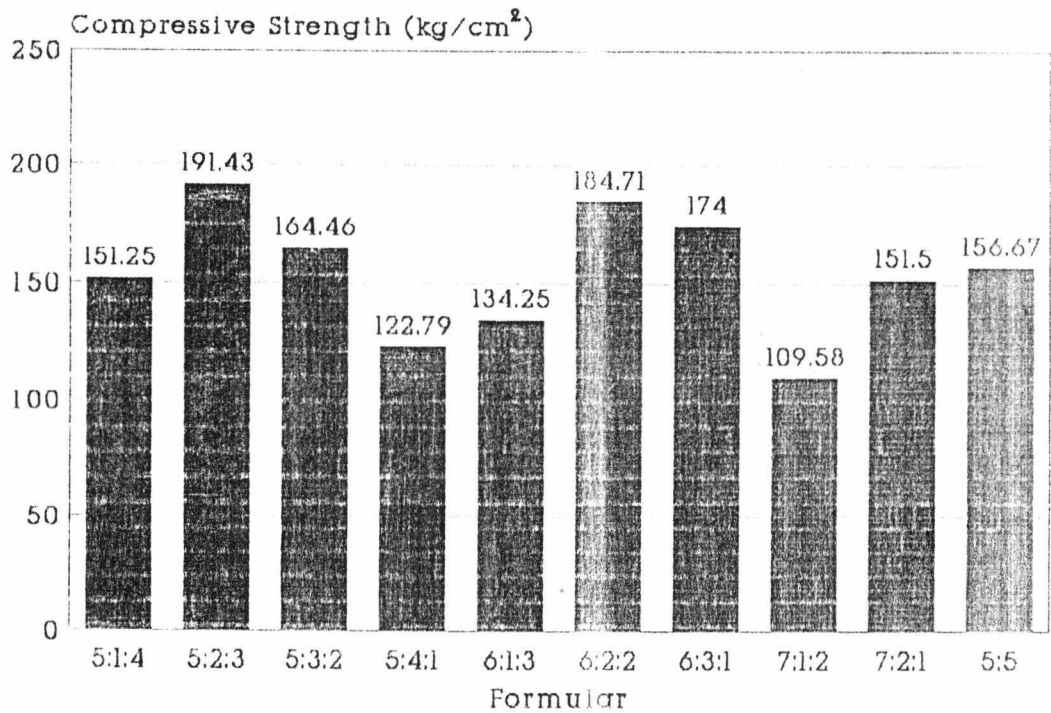
-สูตร 10:0 เกือบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงปริมาตร

-สำหรับสูตร 9:1, 7:3, 6:4 พบว่ามีแนวโน้มจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของซีเมนต์เพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นงานเนื่องจากการดูดซึมน้ำ จากผลการทดลองพบว่าสูตรสูตรที่อัตราส่วนระหว่างชั้นสนะซีเมนต์เท่ากับ 7:3 จะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักมากที่สุด (ดูดซึมน้ำมากที่สุด) และสูตร 10:0 จะไม่ดูดซึมน้ำเลย

5.1.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมระหว่างชั้นสนะ ซีเมนต์และเทอร์โม

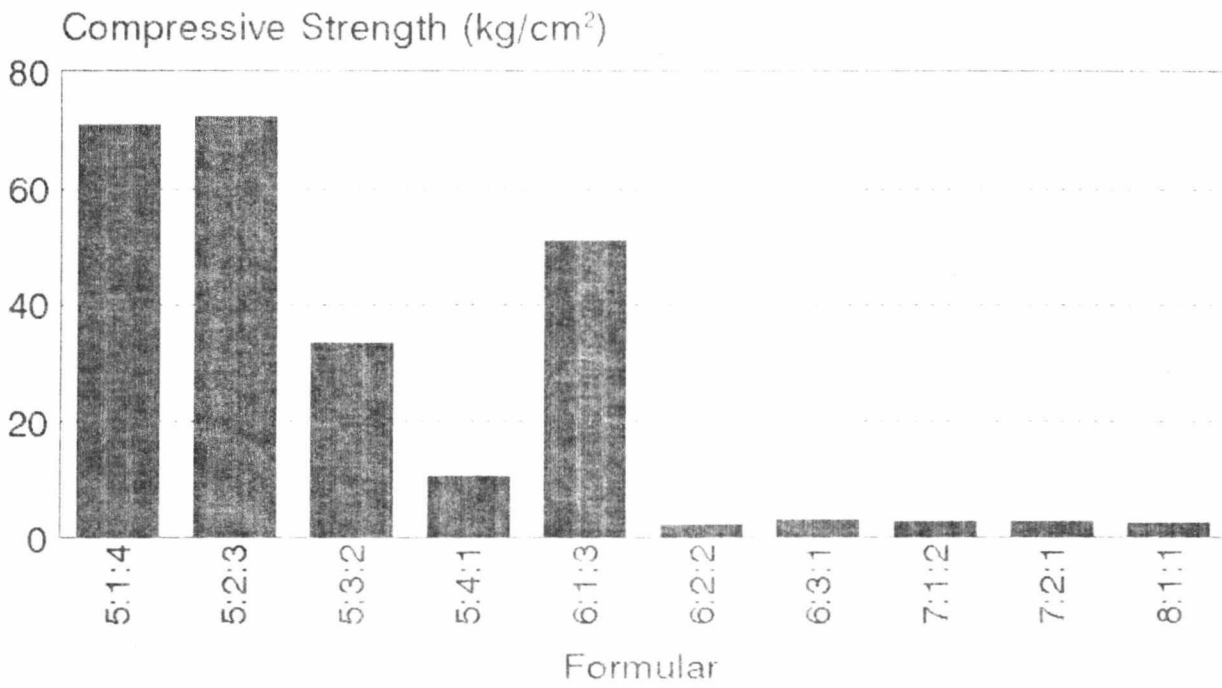
พลาสติก



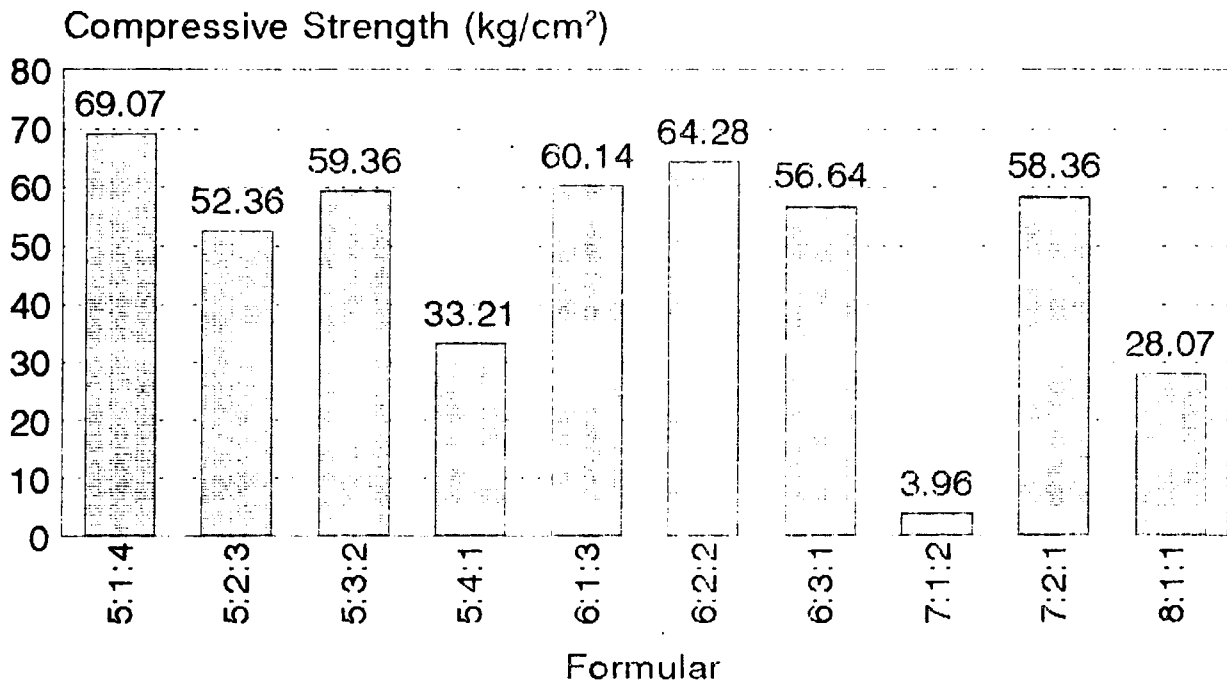
5:5 = Rosin:CMC

รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงต่อแรงอัดกับสูตรผสมขี้ผึ้ง ที่เลือก และ CMC

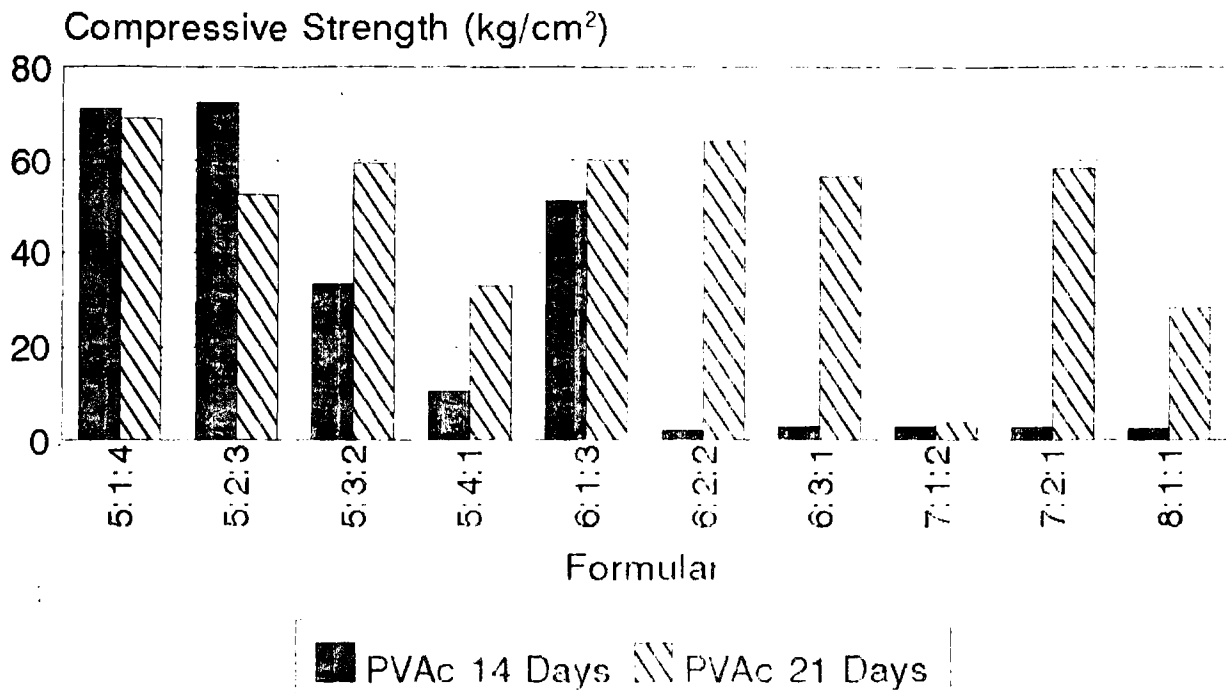
จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่า สูตรที่มีความแข็งแรงต่อแรงอัดมากที่สุดคือ สูตรที่มีอัตราส่วน ขี้ผึ้ง:CMC ที่เลือกเท่ากับ 5:2:3 และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรผสม ขี้ผึ้งกับขี้ผึ้งที่มีความแข็งแรงต่อแรงอัดสูงสุด พบว่าสูตรที่มีการใช้ CMC จะมีความแข็งแรงต่อแรงอัดสูงกว่า แต่ถ้าใช้ CMC แทนขี้ผึ้งเลย ค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดจะต่ำกว่าสูตรที่มีขี้ผึ้งผสมอยู่ด้วย



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงต่อแรงอัดกับสูตรผสมชั้นสนิมเหล็ก และพอลิไวน์ลอะซีเตตโดยใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 14 วัน



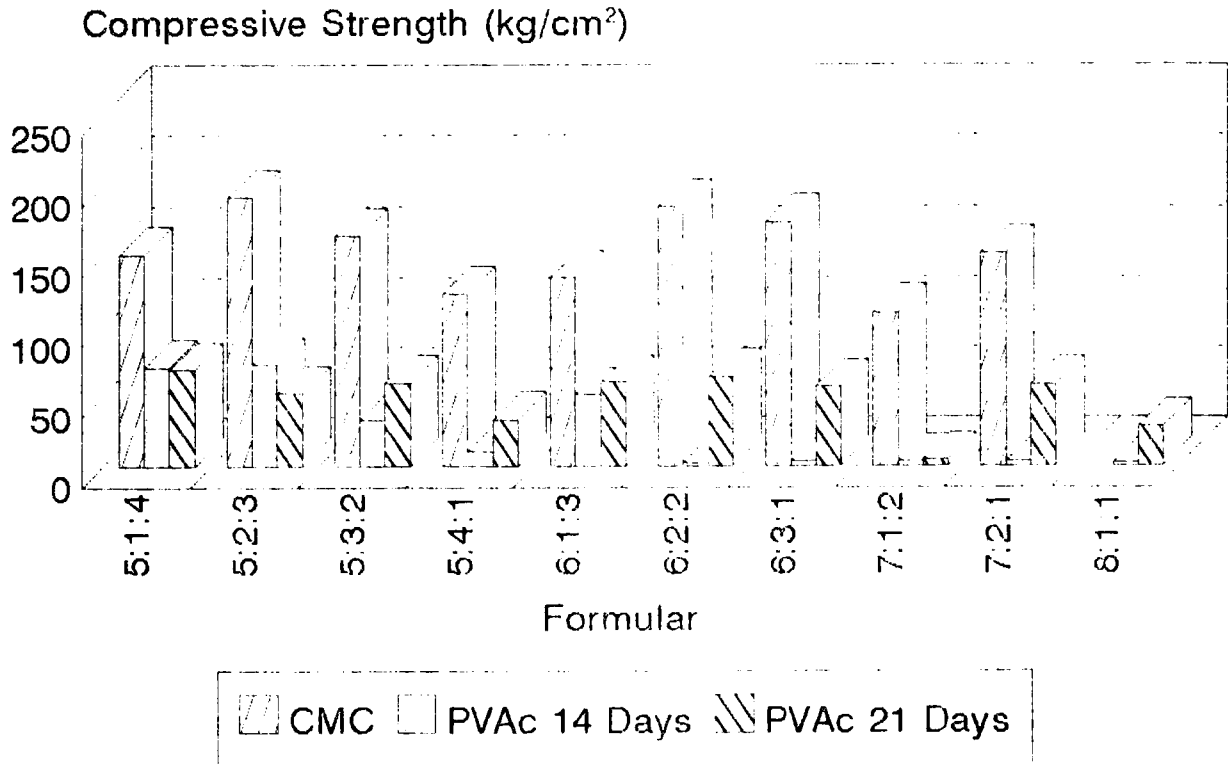
รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงต่อแรงอัดกับสูตรผสมชั้นสนิมซีเมนต์ และพอลิไวนิลอะซิเตตโดยใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 21 วัน



รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงอัดสำหรับสูตรผสมซีเมนต์ ชั้นสน และพอลิไวนิลอะซิเตดระหว่างที่ใช้เวลาระเหยตัวทำละลาย 14 วันและ 21 วัน

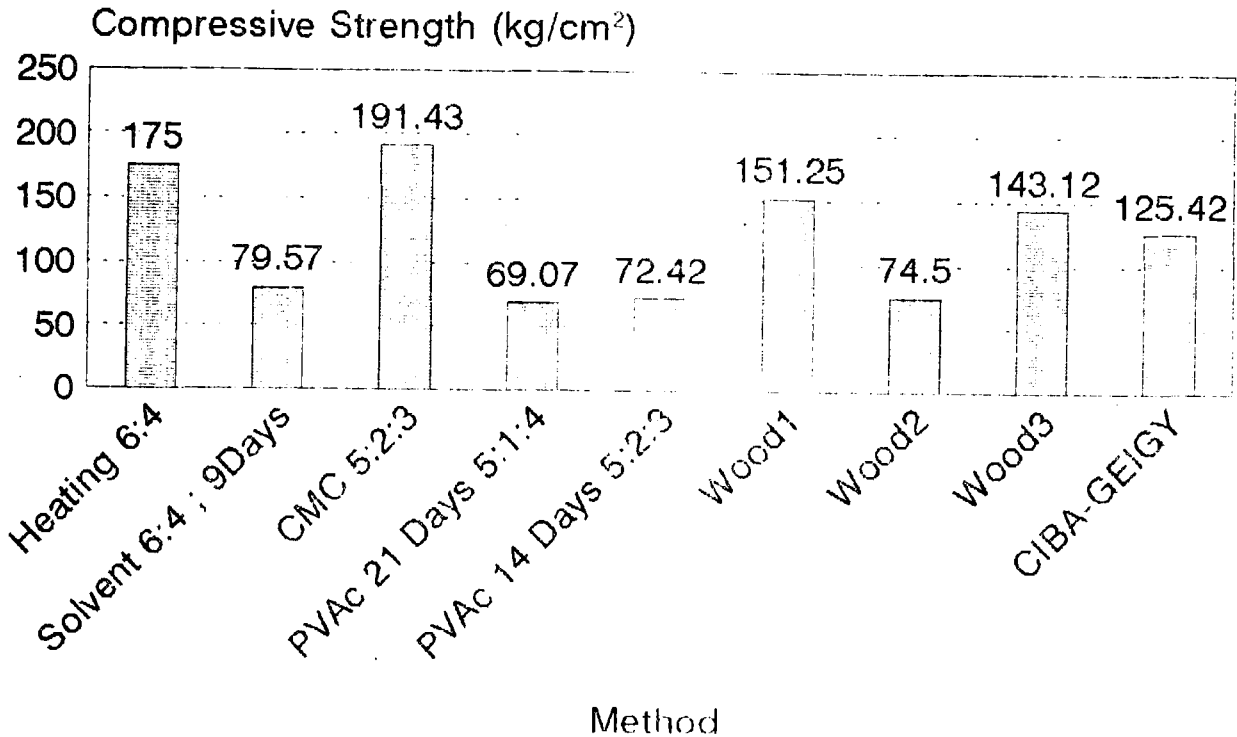
จากการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงอัดของชิ้นงานที่ใช้เวลาระเหยตัวทำละลายต่างกันดังแสดงในรูปที่ 5.6 (14 วัน) และรูปที่ 5.7 (21 วัน) พบว่าสูตรที่มีความแข็งแรงต่อแรงอัดของชิ้นงานสูงที่สุดคือสูตรที่มีอัตราส่วนชั้นสน:PVAc:ซีเมนต์เท่ากับ 5:2:3 และ 5:1:4 ตามลำดับ

รูปที่ 5.8 แสดงค่าการเปรียบเทียบต่อแรงอัดของสูตรผสมชั้นสน ซีเมนต์ และพอลิไวนิลอะซิเตดที่ใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลายต่างกัน พบว่าข้อมูลมีแนวโน้มแสดงให้เห็นว่าเวลาในการระเหยตัวทำละลายจะมีผลต่อความแข็งแรงของแรงอัด กล่าวคือ เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ความแข็งแรงต่อแรงอัดจะมากขึ้น



รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงอัดของสูตรที่ใช้เทอร์โมพลาสติกต่างกันคือ CMC และพอลิไวโนลอะซิเตด (ทั้งที่ใช้เวลาระเหยตัวทำละลาย 14 และ 21 วัน)

ข้อมูลที่ได้จากรูปที่ 5.9 แสดงให้เห็นว่าสูตรที่ใช้ CMC จะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดสูงกว่า แต่ทั้งนี้ยังไม่สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองกับสูตรที่ใช้พอลิไวโนลอะซิเตดได้ เนื่องจากกรรมวิธีในการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบไม่สามารถใช้วิธีเดียวกันได้ ทั้งนี้เพราะสูตรที่ใช้พอลิไวโนลอะซิเตดจะมีผลจากการที่ตัวทำละลายระเหยไม่หมด ซึ่งทำให้ความแข็งแรงต่อแรงอัดมีค่าต่ำกว่าในกรณีสูตรที่ใช้ CMC ซึ่งไม่มีการใช้ตัวทำละลาย



รูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดสูงสุด สำหรับสูตรที่เตรียมจากวิธีต่างๆเทียบกับชิ้นไม้ของไม้โมก (wood 1) ชิ้นไม้ของไม้สัก (wood 2) ชิ้นไม้ของไม้เต็ง (wood 3) และพลาสติกเทอร์โมเซตของบริษัท ซีบ้า-ไกกี จำกัด

ข้อมูลที่ได้จากรูปที่ 5.10 พอจะสรุปได้ว่า

- สูตรที่ใช้ CMC จะมีค่าความแข็งแรงสูงสุด เมื่อเทียบกับทุกวิธี และสูงกว่าค่ามาตรฐานค่าสุดของสารพอลิเมอร์เทอร์โมเซตของบริษัท ซีบ้า-ไกกี จำกัด ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเกิดจากการที่ CMC ซึ่งเป็นเซลลูโลสที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมีค่าความแข็งแรงมากกว่าซีลื้อยซึ่งเป็นเซลลูโลสที่ไม่ผ่านการปรับปรุง แต่ในบางสูตรที่มีปริมาณ CMC มากเกินไปจะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดต่ำลงเนื่องจาก ขนาดเม็ดของ CMC มีขนาดใหญ่กว่าซีลื้อยมาก เมื่อ CMC มีปริมาณมากจะทำให้เกิดที่ว่างระหว่างเม็ดของ CMC มาก ซึ่งซีลื้อยที่มีขนาดเล็กกว่าจะแทรกตัวเข้าไปเสริมแรง แต่ถ้าซีลื้อยมีปริมาณน้อยจะแทรกเข้าไปไม่ถึงถึงความแข็งแรงจึงน้อยลง

- สูตรที่ใช้ตัวทำละลายจะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่เตรียมจากวิธีอื่นๆ

- สูตรที่มีค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดสูงกว่าค่ามาตรฐานต่ำสุดของสารพอลิเมอร์เทอร์โมเซตของบริษัท ซีบ้า-ไกเก้ จำกัด ได้แก่

สูตรผสมชั้นสนกับซีล้อยที่ใช้วิธีการให้ความร้อนเพื่อหลอมละลายชั้นสน และสูตรที่ใช้ CMC

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชั้นสนกับซีล้อย (ข้อ 5.1.2) และจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสูตรผสมชั้นสน ซีล้อยและเทอร์โมพลาสติก (ข้อ 5.1.3) สามารถวิจารณ์ผลการทดลองโดยรวมของการศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่วิจัย ได้ดังนี้

ก) สูตรที่มีความแข็งแรงมากที่สุดคือสูตรที่ใช้ CMC เป็นสารช่วยเสริมแรง แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ CMC สามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นจะไม่สามารถใช้กับบริเวณที่มีความชื้นหรือในที่ๆสามารถถูกน้ำได้

ข) สูตรที่มีความแข็งแรงมากกว่าสารพอลิเมอร์ของCiba-Geigy ได้แก่

- สูตรผสมชั้นสนกับซีล้อย ที่เตรียมจากวิธีการให้ความร้อนหลอมละลายชั้นสน
- สูตรที่ใช้ CMC เป็นสารเสริมแรง

ซึ่งทั้งสองสูตรนี้ เหมาะสำหรับงานหล่อแบบ หรืองานที่ต้องใช้แม่พิมพ์ เนื่องจากในการเตรียมจะให้ความร้อนที่ค่อนข้างสูงไม่เหมาะที่จะขึ้นรูปด้วยมือ

ค) สูตรที่มีการใช้ตัวทำละลาย จะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงอัดต่ำ และเมื่อเวลาในการระเหยตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถระเหยตัวทำละลายออกไปได้มากขึ้น สูตรที่มีการใช้ตัวทำละลายนี้ จะเหมาะสำหรับการปั้น เพราะสามารถปรับความหนืดได้ตามต้องการ โดยการให้ความร้อนเพื่อระเหยตัวทำละลายหรือการเพิ่มปริมาณตัวทำละลาย การผสมสูตรด้วยวิธีนี้มีข้อเสียที่สำคัญคือ

1 ระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลายจะนานมาก และไม่เหมาะที่จะทำชิ้นงานที่มีความหนาหลายๆได้ เพราะ

1.1 ตัวทำละลายที่อยู่ภายในชิ้นงานจะระเหยออกได้ยาก

1.2 ตัวทำละลายที่เหลืออยู่ในชิ้นงานจะทำให้ชิ้นงานไม่มีความแข็งแรง

2 ไม่สามารถนำชิ้นงานไปอบไล่ตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงได้ เพราะจะทำให้ตัวทำละลายเดือดหรือเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว อันจะส่งผลให้ผิวของชิ้นงานเกิดการบวม ปูดเป็นฟอง หรือบางแห่งจะมีการยุบตัว ทำให้ผิวชิ้นงานเสียหายได้

ง) ราคาของวัสดุที่ทำการวิจัยนี้ จะมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าราคาผลิตภัณฑ์ของ Ciba-Geigy

ราคาผลิตภัณฑ์ของCiba-Geigy

(aradite sv427 และ hardener hv427) 30 ก.ก.ราคา 25000 บาท

ราคาชิ้นสนเกรดการค้า กิโลกรัมละ 45 บาท

ราคา CMC เกรดการค้า กิโลกรัมละ 500 บาท

ราคาตัวทำละลายอะซิโตน ลิตรละ 40 บาท

5.3 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ มีจุดประสงค์เพื่อจะหาวัสดุราคาถูกที่ทำได้ในท้องถิ่น และมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ประเภทเทอร์โมพลาสติก ที่ไม่สามารถเกิดการเชื่อมโยงแบบร่างแห สามารถละลายในตัวทำละลายทั่วไปเมื่อต้องการจัดออก ในการศึกษาวิจัยนี้ เลือกชิ้นสนเป็นวัสดุในการทดลอง เพราะมีสมบัติพื้นฐานใกล้เคียงกับวัสดุที่ต้องการ แต่ในการพัฒนา และปรับปรุงสมบัติทางกายภาพคือ ความแข็งแรงต่อแรงอัดของชิ้นสน เพื่อทดแทนการใช้สารสังเคราะห์ประเภทเทอร์โมเซทของ Ciba-Geigy พบว่าสมบัติทางกายภาพอื่นๆของชิ้นสนยังไม่ดีพอจะนำไปใช้จริง เช่นสมบัติการทนแรงกระแทก (impact resistance) ซึ่งชิ้นสนปกติจะมีค่าการทนแรงกระแทกต่ำมาก จึงควรทำการวิจัยปรับปรุงสมบัติดังกล่าวต่อไป นอกจากนี้สารเทอร์

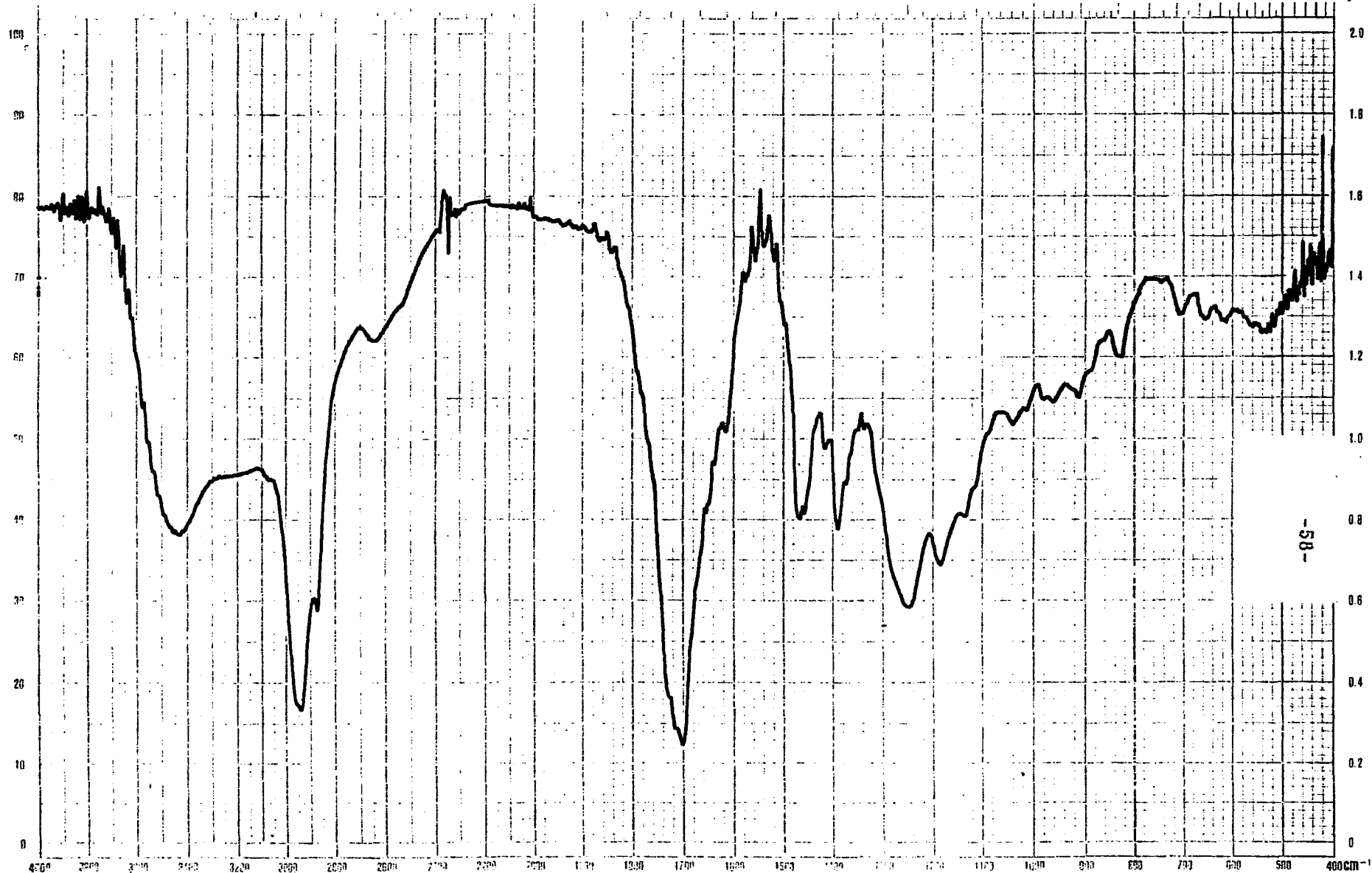
โพลีเอสเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ยังมีข้อเสีย เช่น CMC สามารถละลายน้ำได้ในขณะที่ชั้นสนิมไม่ละลายน้ำ หรือพอลิไวนิลอะซิเตด ซึ่งมีค่าการละลายในตัวทำละลายทั่วไปต่ำและทำให้เกิดความหนืดสูง นอกจากนี้พอลิไวนิลอะซิเตดยังสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไอน้ำในอากาศได้ ดังนั้นการวิจัยขั้นต่อไปจึงจำเป็นต้องทดลองหาพอลิเมอร์ที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงด้วย รวมถึงการปรับปรุง พัฒนาควบคุมสีของชิ้นงาน

เอกสารอ้างอิง

1. Jay B. Class, Hercules Research Center " Encyclopedia of Polymer Science and Engineering " vol.14 ,second edition ,438-453
2. อากุร ตัณฑุทโท " ยางไม้และชิ้นไม้ " วนสาร 31(4),ต.ค.-ธ.ค.2516,363-372
3. อากุร ตัณฑุทโท " การใช้ประโยชน์ขึ้นสน และน้ำมันสนในการอุตสาหกรรม " วนสาร 28(2), เม.ย.-มิ.ย.2513,197-202
4. ประวิทย์ ลีลาจามวงศ์ และ ด้วง พุศุศุภ " การใช้ขึ้นเป็นตัวทำให้เกิดอิมัลชัน " วารสาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 5(1-2),มิ.ย.-ธ.ค.2521,17-30
5. บุญถม ฮาโพธิ์ " ชิ้นไม้ " น.ส.พ.อุตสาหกรรม 1(3),ก.ค.2490,223-227
6. พร้อม พันธชาติ " ลักษณะของขึ้นและยางไม้ชนิดต่างๆ " วนสาร 18(4),ต.ค.03,86-90
7. ศิริชัย หวังเจริญตระกูล และ วิจารณ์ อรัณยสะนาค "ผลการวิเคราะห์ขึ้นจากเรื่อรางเกวียน" ศิลปากร 2535 ,35(2) 71-75
8. International Standard(1973),Plastics-Determination of Compressive Properties ,ISO-604
9. American Society of Testing Materials(1987),Standard Test Methods for Toluene-Insoluble Solid Matter in Rosin ,ASTM.D269-52
10. International Standard(1980),Plastics-Determination of Water Absorption ,ISO-62
11. Federal Specification(1957),Rosin Gum,Rosin Wood and Rosin Tall Oil ,LLL-R-626b
12. American Society of Testing Materials(1987),Standard Test Methods for Acid Number of Rosin ,ASTM.D465-82
13. American Society of Testing Materials, Standard Test Methods for Saponification Number of Naval Store Products Including Tall Oil and Other Related Product ,ASTM.D464-91

ภาคผนวก ก
สเปคตรัมของชั้นชนิดต่างๆ

1. อินฟราเรดสเปคตรัม

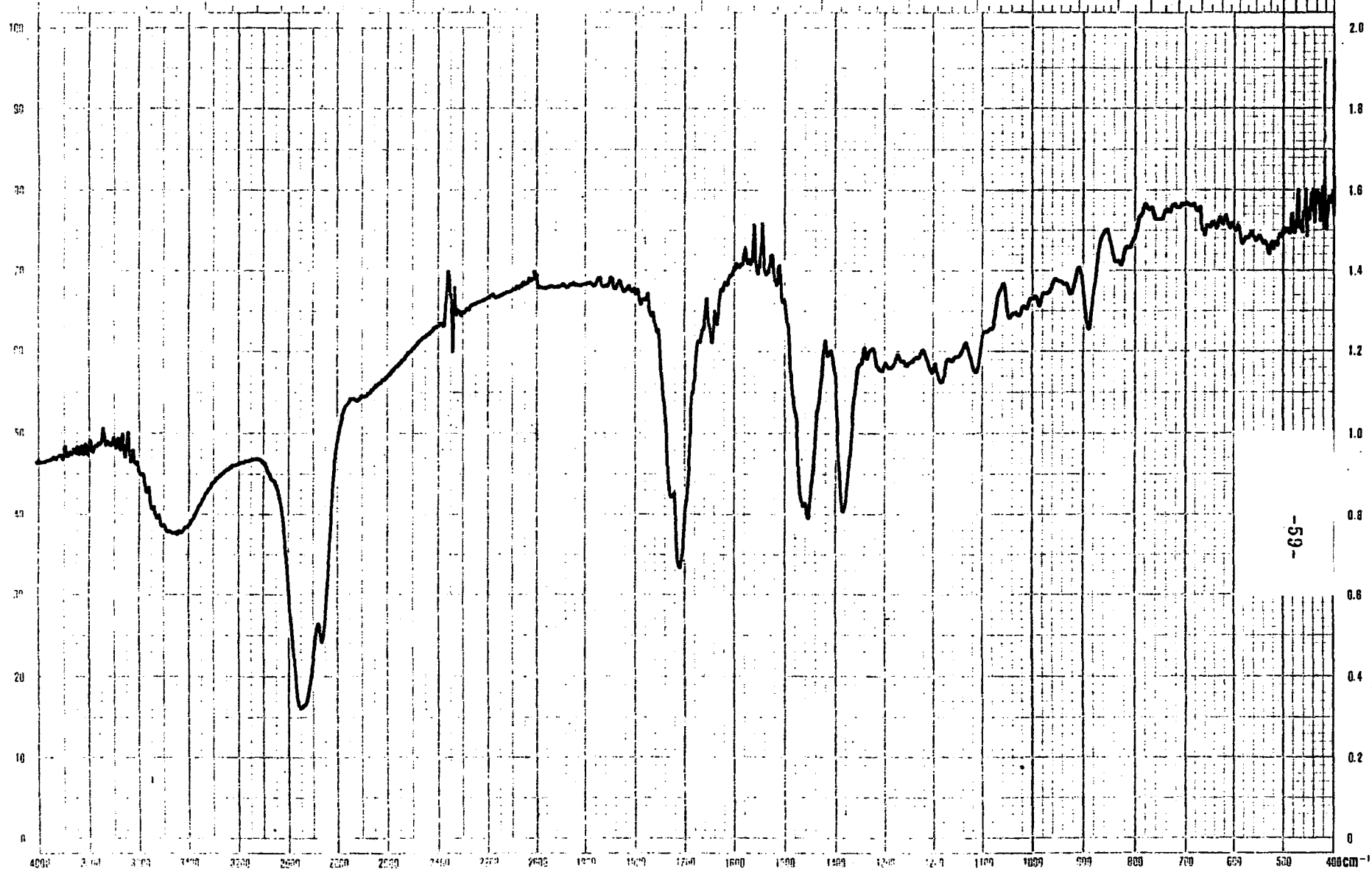


-58-

DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
	SPAN		ROSIN	KBr-disk		
OPERATOR	L/EXPANDER	SLIT		CELL-LENGTH	REPLANT	

JSCCO
 JAPAN SPECTROSCOPIC CO., LTD.
 日本分光工業株式会社
 MADE IN JAPAN

J-0068

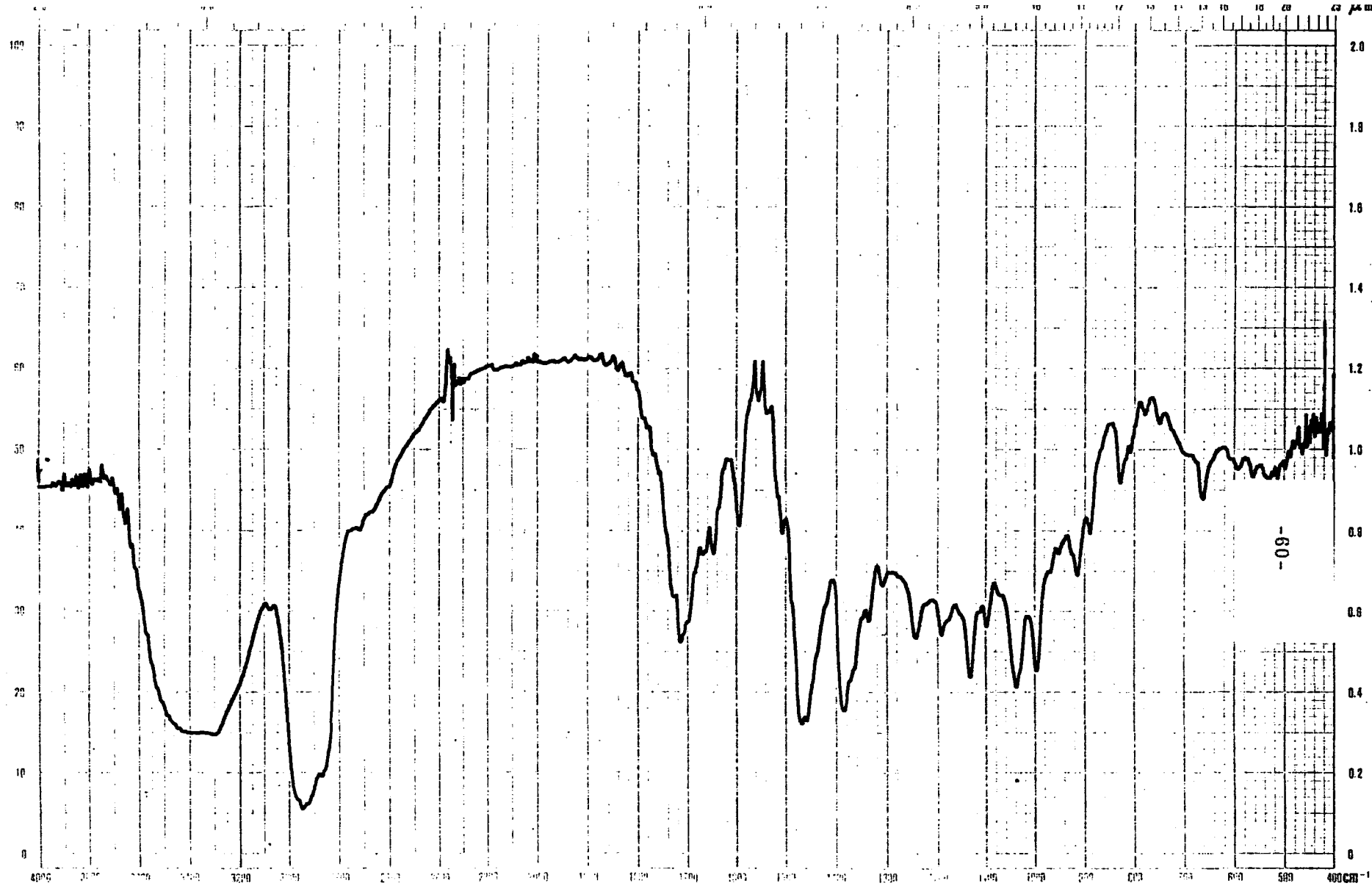


-59-

DATE	WAVE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
	SPAN		DAMMA	KBr-disk		
OPERATOR	EZEKINDER	SLIT		CELL-LENGTH		

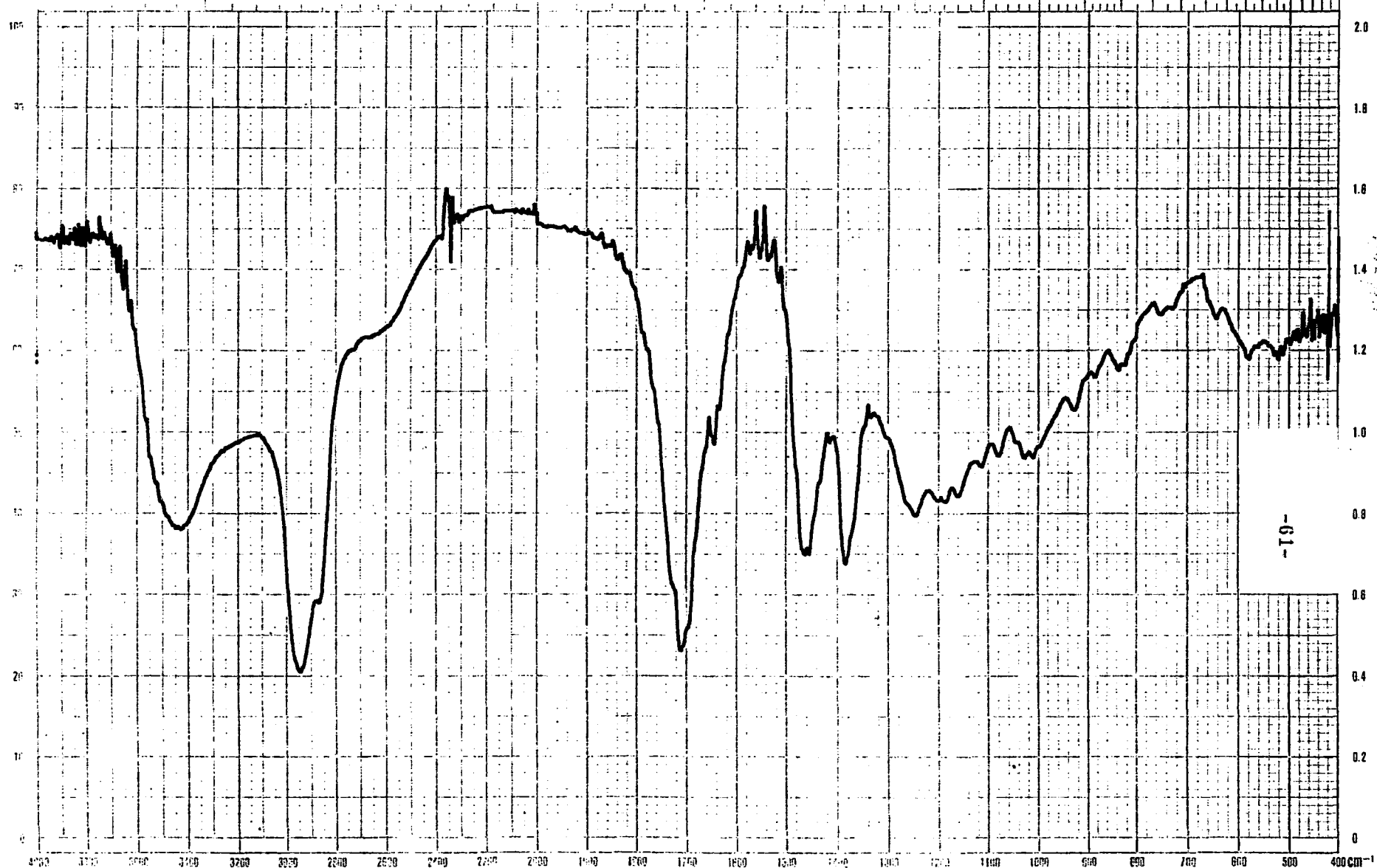
JASCO
 JAPAN SPECTROSCOPIC CO., LTD.
 日本分光工業株式会社
 MADE IN JAPAN

J-0068



DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING METHOD	CONCENTRATION	REMARKS	JASCO JAPAN SPECTROSCOPIC CO. LTD. 日本分光工業株式会社 MADE IN JAPAN
	SPAN		ELEM1	KBr-disk			
OPERATOR	ALEXANDER	SLIT					

J-0068

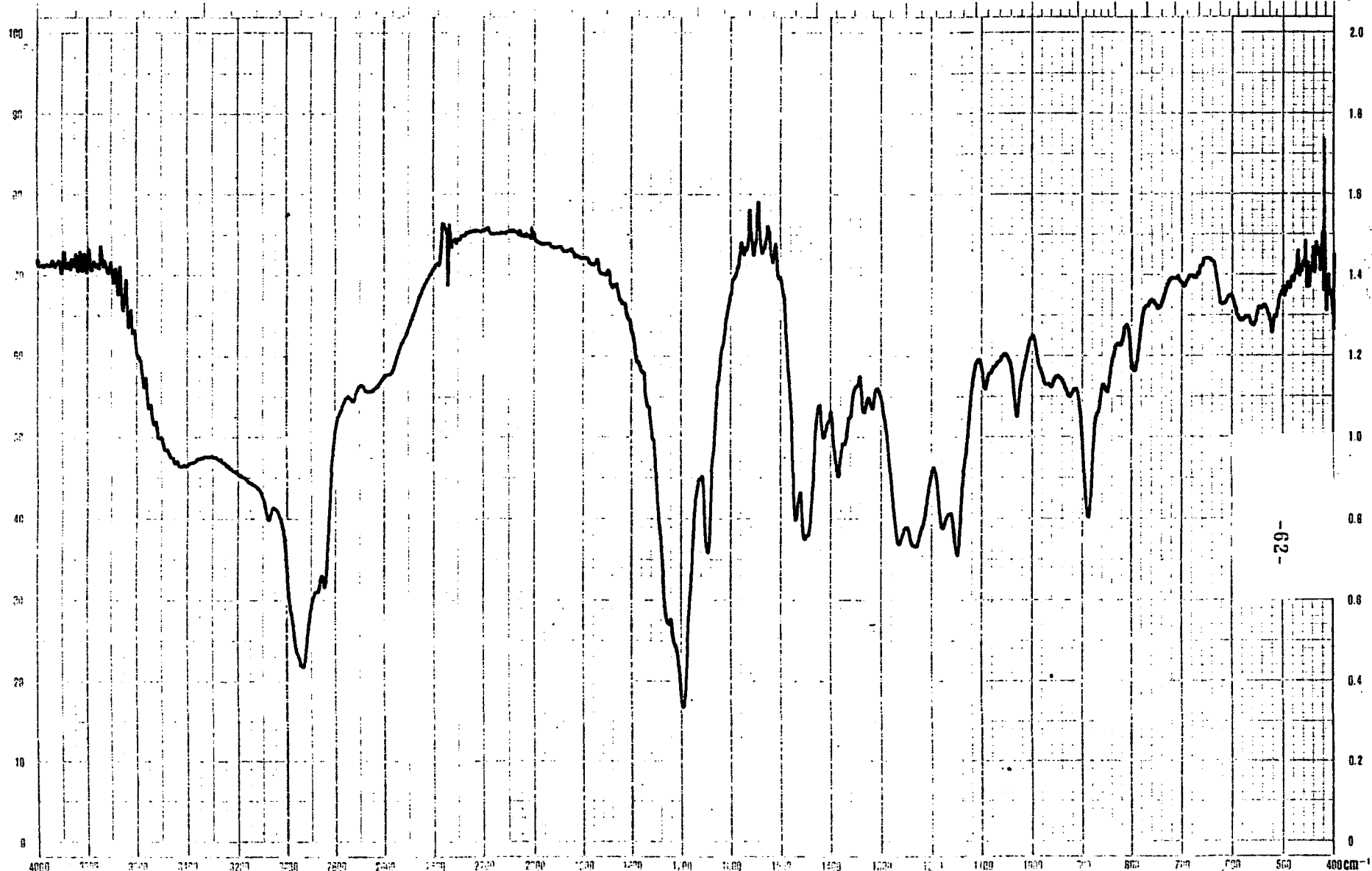


-19-

DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE MASTIC	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS
OPERATOR	SPAN	SLIT		KBr-disk		
	1/EXPANDER			CELL-LENGTH		

JASCO
 JAPAN SPECTROSCOPIC CO., LTD.
 日本分光工業株式会社
 MADE IN JAPAN

J-0068



-62-

DATE	MODE	SCAN SPEED	SAMPLE	SAMPLING-METHOD	CONCENTRATION	REMARKS	JASCO JAPAN SPECTROSCOPIC CO., LTD. 日本分光科学株式会社 MADE IN JAPAN
	SPAN		SANDARAC	KBr-disk			
OPERATOR	1/EXPANDED	SLIT		CELL LENGTH			

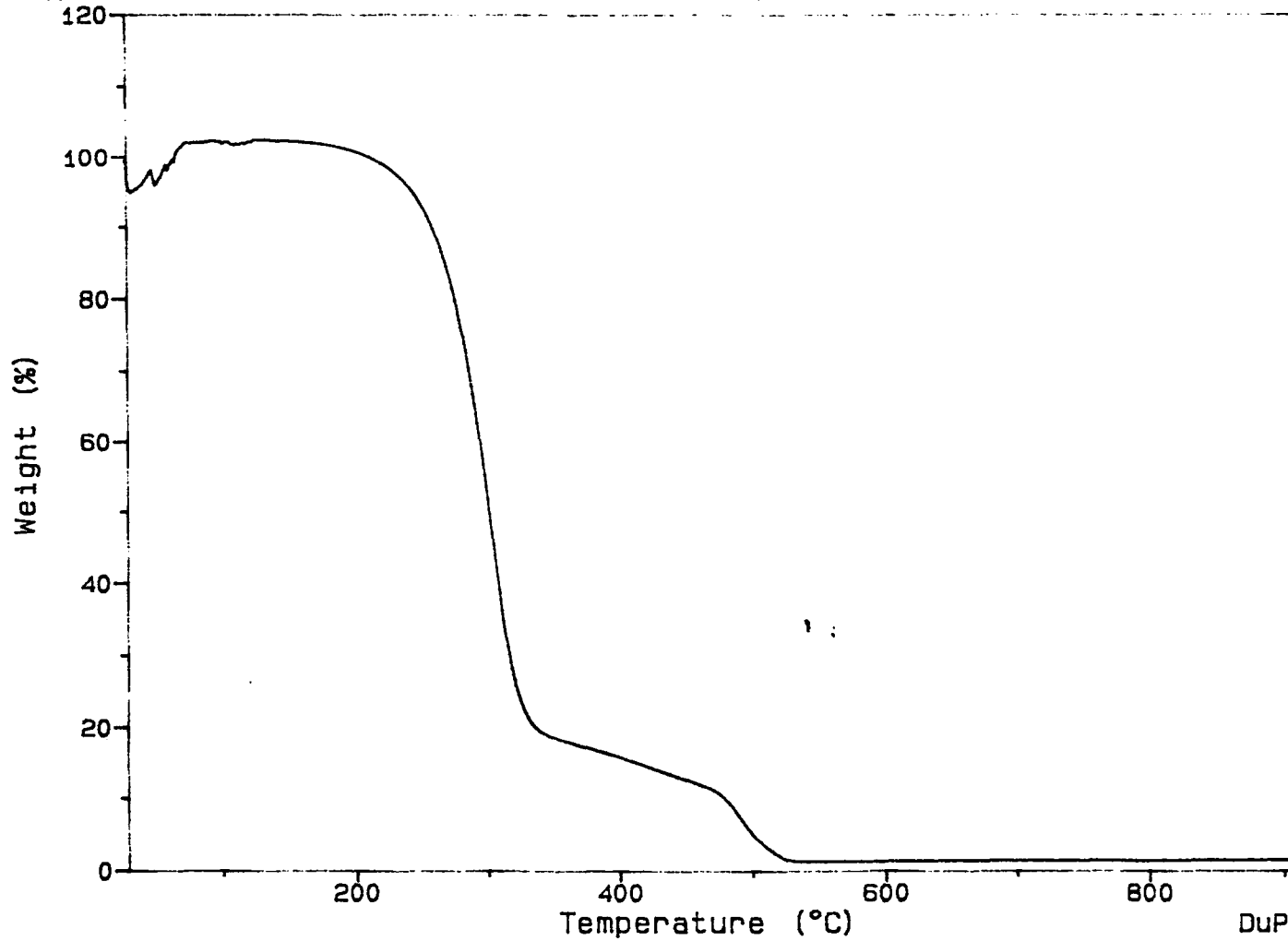
J-0088

Sample: ROSIN
Size: 13.0740 mg Kcell: 1.0000
Method: ROSIN
Comment: PROJECT

TGA

Run: 22
Operator: DOL
KMITL

2. เปรียบเทียบการทดลองเครื่องเทอร์โมกราฟิแคเลอริมิเตอร์

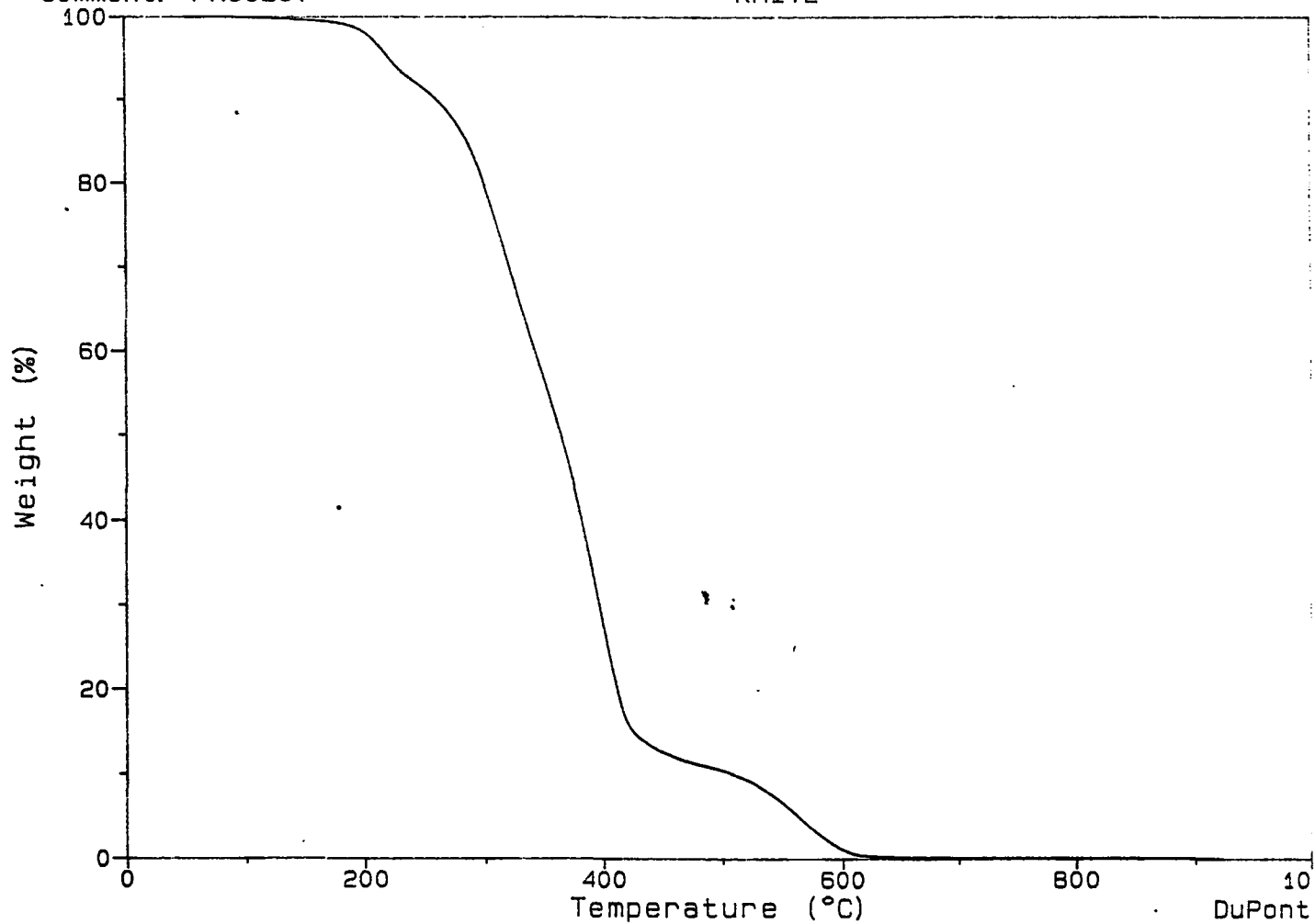


DuPont 9000

Sample: SANDARAC
Size: 15.9870 mg Kcell: 1.0000
Method: DOL
Comment: PROJECT

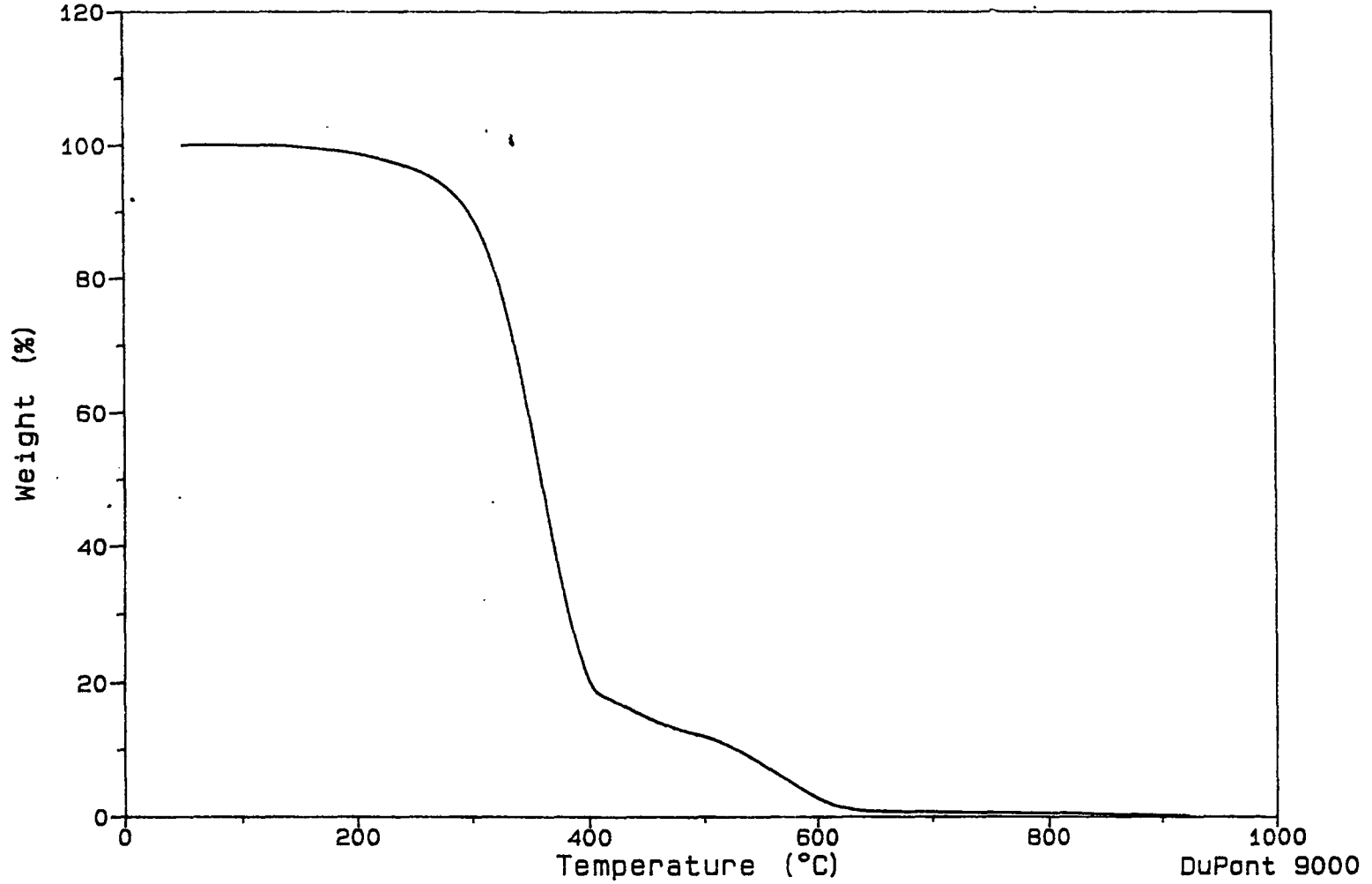
TGA
KMITL

Run: 31
Operator: DOL



Sample: DAKMAR
Size: 17.0360 mg Kcell: 1.0000
Method: DOL
Comment: PROJECT

Run: 32
TGA Operator: DOL
KMITL



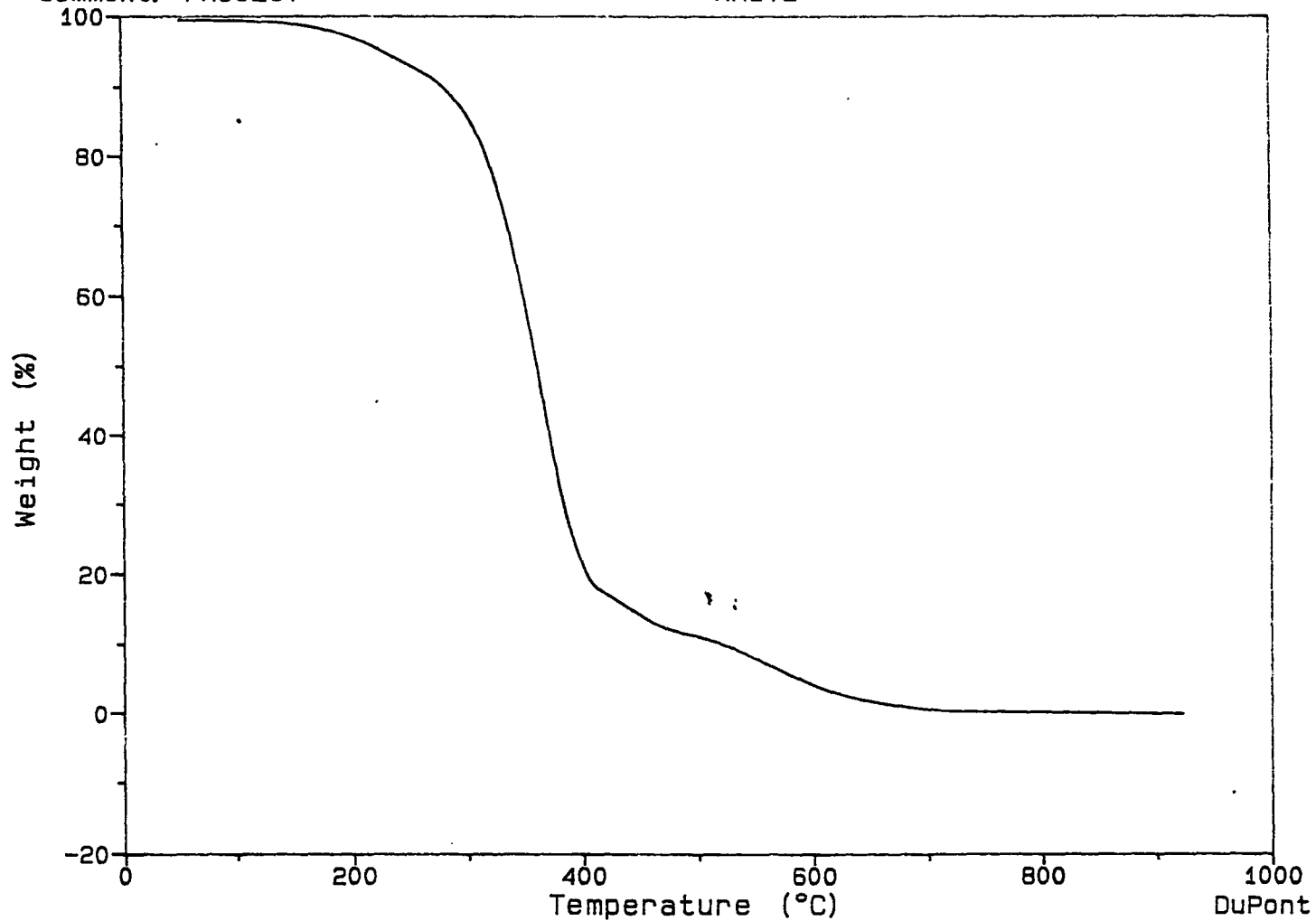
Sample: MASTIC
Size: 22.1370 mg Kcell: 1.0000
Method: MASTIC
Comment: PROJECT

Run: 27

TGA

Operator: DOL

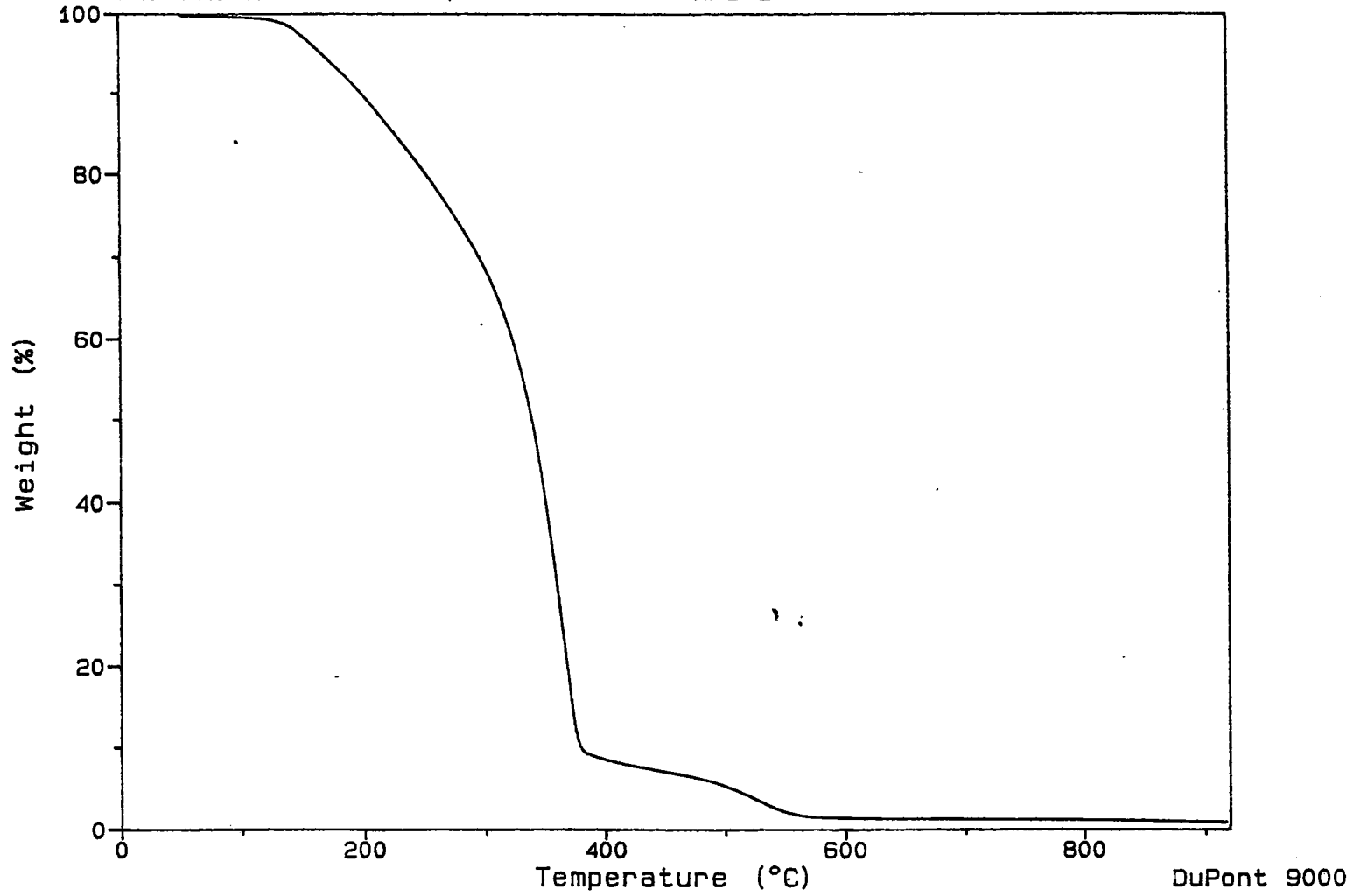
KMITL



-66-

Sample: ELEMI
Size: 19.5700 mg Kcell: 1.0000
Method: ELEMI
Comment: PROJECT

Run: 28
TGA Operator: DOL
KMITL

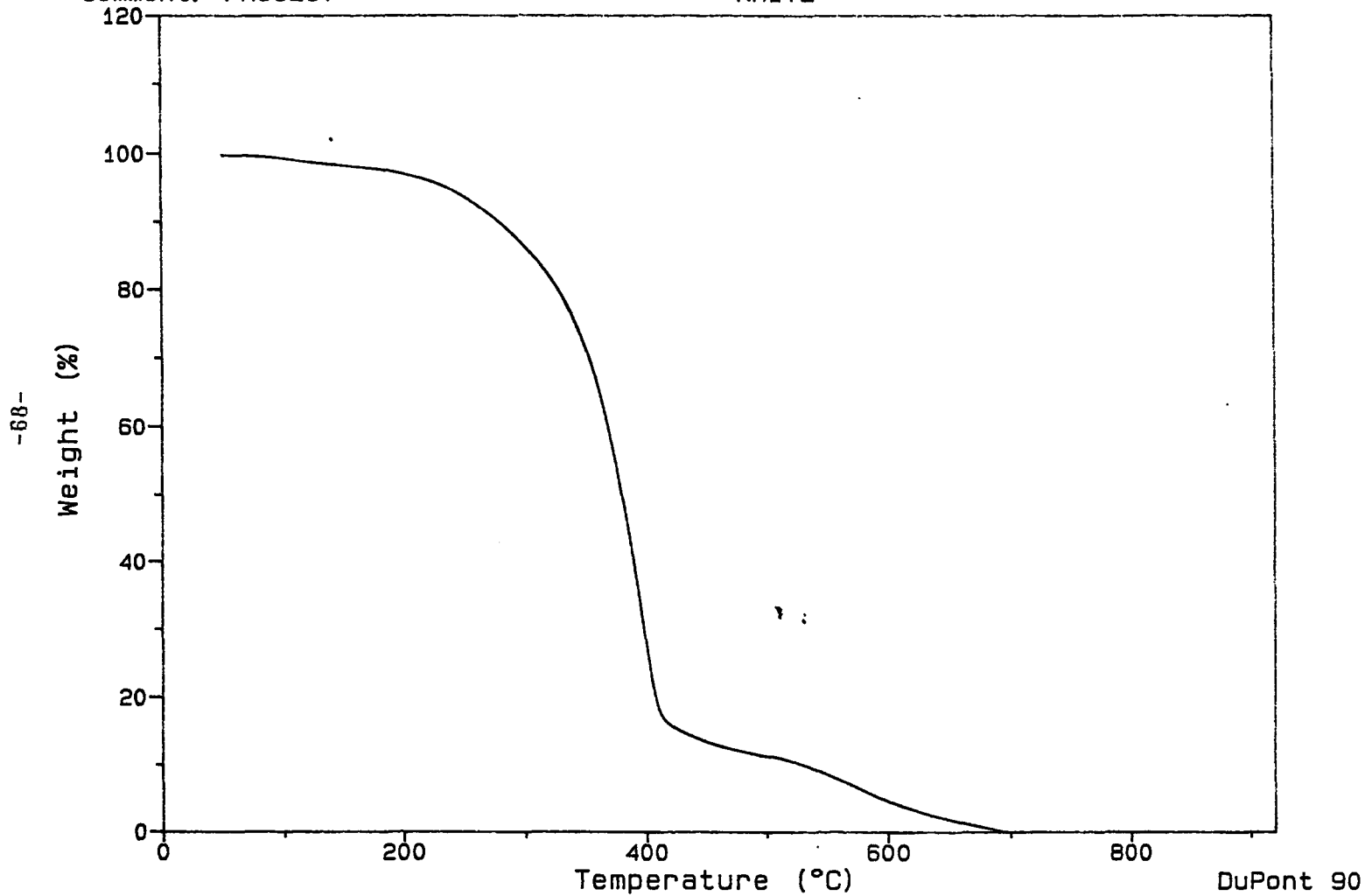


-67-

Sample: RESIN
Size: 20.3620 mg Kcell: 1.0000
Method: RESIN
Comment: PROJECT

TGA

Run: 26
Operator: DOL
KMITL



ภาคผนวก ข
การคำนวณค่าต่างๆในการทดลอง

1. ค่าร้อยละของปริมาณสิ่งเจือปนในชั้นสนที่ไม่ละลายในโทลูอีน

<u>สูตร</u>		$(A-B)*100/M$
เมื่อ	A	คือ น้ำหนักของครุฑีเปิลหลังการกรอง
	B	คือ น้ำหนักของครุฑีเปิลก่อนการกรอง
	M	คือ น้ำหนักชั่งของชั้นสน

2. ค่าสปอนนิฟิเคชันนัมเบอร์

<u>สูตร</u>		$[(B-A)N*56.1]/C$
เมื่อ	A	คือ มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานกรดที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายแปลงค์
	B	คือ มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานกรดที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายตัวอย่าง
	N	คือ ความเข้มข้นของกรด มีหน่วยเป็นโมลาร์
	C	คือ น้ำหนักชั่งของตัวอย่าง
56.1	คือ	มวลโมเลกุลของโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์

3. ค่าแสดงความเป็นกรด (Acid number)

<u>สูตร</u>		(AN*56.1)/B
เมื่อ	A	คือ มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายตัวอย่าง
	N	คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์
	B	คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง
	56.1	คือ มวลโมเลกุลของโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์

4. ค่าร้อยละของน้ำหนักและปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการดูดซึมน้ำ

<u>สูตร</u>		
ร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก		$(W2-W1)*100/W1$
ร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาตร		$(V2-V1)*100/V1$
เมื่อ	W1	คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนการทดสอบ
	W2	คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังการทดสอบ
	V1	คือ ปริมาตรของชิ้นงานก่อนการทดสอบ
	V2	คือ ปริมาตรของชิ้นงานหลังการทดสอบ

ภาคผนวก ค
ข้อมูลการทดลอง

1. การหาปริมาณสิ่งเจือปนในชั้นสนที่ไม่ละลายในโทลูอีน

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำหนักครุฑิเปิลเปล่า(กรัม)	29.0461	29.7565	29.7462
น้ำหนักชั่งของชั้นสน(กรัม)	50.0086	50.0040	50.0015
น้ำหนักครุฑิเปิลหลังการทดลอง(กรัม)	29.0715	29.7816	29.7714
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น(กรัม)	0.0254	0.0251	0.0249

2. การหาค่าสปอนนิฟเคชันนัมเบอร์

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ 0.4913 โมลาร์

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำหนักชั่งของชั้นสน(กรัม)	2.9600	2.9605	2.9599
ปริมาตรของกรดที่ใช้เพื่อไทเทรต			
สารละลายแบลงค์(มิลลิลิตร)	42.1	42.1	42.1
ปริมาตรของกรดที่ใช้เพื่อไทเทรต			
สารละลายตัวอย่าง(มิลลิลิตร)	27.9	27.9	27.9

3. การหาค่าสปอนนิฟเคชันนัมเบอร์

ความเข้มข้นของสารละลายโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ 0.5008 โมลาร์

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำหนักชั่งของชั้นสน(กรัม)	3.9540	3.9500	3.9500
ปริมาตรของสารละลายโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เพื่อไทเทรต			
สารละลายตัวอย่าง(มิลลิลิตร)	25.3	25.1	25.0

4. การทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงต่อแรงอัด

4.1 สูตรผสมชั้นสนกับซีเมนต์

สูตร (ชั้นสน:ซีเมนต์)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
10:0	27.0	13.5
	22.0	11.0
	18.0	9.0
	18.0	9.0
	5.0	2.5
X	18.0	9.0
SD	66.1	33.0
9:1	200.0	100.0
	192.0	96.0
	174.0	87.0
	135.0	67.5
	134.0	67.0
	120.0	60.0
	81.0	40.5
X	148.0	74.0
SD	42.7	21.4

สูตร (ชั้นสนธิ์เลือก)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
8:2	243.0	121.5
	205.0	102.5
	205.0	102.5
	195.0	97.5
	180.0	90.0
	155.0	77.5
X	197.2	98.6
SD	29.33	14.7
7:3	267.5	133.8
	260.0	130.0
	252.5	126.2
	242.0	121.0
	150.0*	75.0
	150.0*	75.0
X	256.2	128.1
SD	9.7	4.8

หมายเหตุ ค่าที่มี * คือค่าที่ทำการ Q-test ไม่ผ่านดังนั้นจึงถูกตัดออกจากการคำนวณ

สูตร (ชั้นสนะซี่เลื่อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:4	435.0	217.5
	430.0	215.0
	340.0	170.0
	305.0	152.5
	300.0	150.0
	290.0	145.0
	X	350.0
SD	66.1	33.0
5:5	187.0	93.5
	183.0	91.5
	136.0	68.0
	136.0	68.0
	128.0	64.0
	107.0	53.5
	X	146.2
SD	31.9	16.0

สูตร (ชั้นสนะซีเลอช)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
4:6	30.0	15.0
	36.0	18.0
	23.8	11.8
	20.5	10.2
	30.8	15.4
	38.0	19.0
	37.0	18.5
X	30.9	15.4
SD	6.8	3.4

4.2 สูตรผสมชั้นสน กับ CMC

สูตร (ชั้นสน=CMC)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
1:1	450.0*	225.0
	330.0	165.0
	315.0	157.5
	295.0	147.5
X	313.3	156.7
SD	17.6	8.8

4.4 สูตรผสมชั้นสน CMC กับซีล้อย

สูตร (ชั้นสน:CMC:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:1:4	340.0	170.0
	335.0	167.5
	300.0	150.0
	295.0	147.5
	290.0	145.0
	255.0	127.5
	X	302.5
SD	31.4	15.7

สูตร (ชั้นสน:CMC:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:2:3	430.0	215.0
	425.0	212.5
	390.0	195.0
	375.0	187.5
	365.0	182.5
	360.0	180.0
	335.0	167.5
	X	382.8
SD	34.7	17.4

สูตร (ชั้นสน:CMC:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:3:2	420.0	210.0
	412.5	206.2
	385.0	192.5
	330.0	165.0
	290.0	145.0
	255.0	127.5
	210.0	105.0
	X	328.9
SD	81.2	40.6

สูตร (ชั้นสน:CMC:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:4:1	335.0	167.5
	313.0	156.5
	300.0	150.0
	280.0	140.0
	168.0	84.0
	165.0	82.5
	158.0	79.0
	X	245.6
SD	78.4	39.2

สูตร (ชั้นสนะ:CMC=สี่เหลี่ยม)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:1:3	383.0	191.5
	305.0	152.5
	260.0	130.0
	255.0	127.5
	245.0	122.5
	163.0	81.5
X	268.5	134.2
SD	72.6	36.3

สูตร (ชั้นสนะ:CMC=สี่เหลี่ยม)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:2:2	423.0	211.5
	410.0	205.0
	400.0	200.0
	380.0	190.0
	375.0	187.5
	325.0	162.5
	273.0	136.5
X	369.4	184.7
SD	53.0	26.5

สูตร (ชั้นสน:CMC:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:3:1	445.0	222.5
	408.0	204.0
	363.0	181.5
	350.0	175.0
	275.0	137.5
	245.0	122.5
	X	348.0
SD	69.7	34.8

สูตร (ชั้นสน:CMC:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
7:1:2	305.0	152.5
	255.0	127.5
	225.0	112.5
	200.0	100.0
	200.0	100.0
	130.0	65.0
	X	219.2
SD	58.9	29.5

สูตร (ชั้นสน:CMC:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
7:2:1	370.0	185.5
	358.0	179.0
	305.0	152.5
	270.0	135.0
	260.0	130.5
	255.0	127.5
	X	303.0
SD	50.5	25.3

4.5 สูตรผสมชั้นสน PVAcกับซีล้อย เวลาในการระเหยตัวทำละลายคือ 21 วัน

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:1:4	170.0	85.0
	170.0	85.0
	160.0	80.0
	153.0	76.5
	116.0	58.0
	123.0	61.5
	75.0	37.5
X	138.1	69.1
SD	35.2	17.6

4.3 สูตรผสมชั้นสนกับซีเมนต์เตรียมด้วยวิธีการใช้ตัวทำละลายเพื่อละลายชั้นสน

เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 5 วัน

สูตร (ชั้นสน:ซีเมนต์)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:4	121.0	60.5
	109.0	54.5
	98.0	49.0
	95.0	47.5
	94.0	47.0
	82.0	41.0
X	99.8	49.9
SD	13.5	6.8

เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 9 วัน

สูตร (ชั้นสน:ซีเมนต์)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:4	194.0	97.0
	192.0	96.0
	154.0	77.0
	152.0	76.0
	151.0	75.5
	136.0	68.0
	135.0	67.5
X	159.1	79.6
SD	24.4	12.2

สูตร (ชิ้นส่วน:PVAc:ขี้เถ้า)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:2:3	82.0	41.0
	123.0	61.5
	107.0	53.5
	114.0	57.0
	120.0	60.0
	92.0	46.0
	95.0	47.5
X	104.7	52.4
SD	15.4	7.7

สูตร (ชิ้นส่วน:PVAc:ขี้เถ้า)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:3:2	138.0	69.0
	148.0	74.0
	162.0	81.0
	31.0	15.5
	68.0	34.0
	136.0	68.0
	148.0	74.0
X	118.7	59.4
SD	49.2	24.6

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:4:1	48.0	24.0
	122.0	61.0
	60.0	30.0
	52.0	26.0
	66.0	33.0
	23.0	11.5
	94.0	47.0
X	66.4	33.2
SD	32.4	16.2

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:1:3	123.0	61.5
	134.0	67.0
	132.0	66.0
	128.0	64.0
	110.0	55.0
	110.0	55.0
	105.0	52.5
X	120.3	60.1
SD	11.81	5.9

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:2:2	95.0	47.5
	132.0	66.0
	124.0	62.0
	120.0	60.0
	137.0	68.5
	146.0	73.0
	146.0	73.0
X	128.6	64.3
SD	17.8	8.9

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:3:1	62.0	31.0
	123.0	61.5
	126.0	63.0
	145.0	72.5
	132.0	66.0
	123.0	61.5
	82.0	41.0
X	113.3	56.7
SD	29.8	14.9

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีลือบ)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
7:2:1	10.0	5.0
	8.0	4.0
	6.0	3.0
	11.5	5.8
	6.0	3.0
	9.0	4.5
	5.0	2.5
X	7.9	3.9
SD	2.4	1.2

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีลือบ)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
7:1:2	120.0	60.0
	129.0	64.5
	122.0	61.0
	142.0	71.0
	88.0	44.0
	96.0	48.0
	120.0	60.0
X	116.7	58.4
SD	18.7	9.4

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
8:1:1	27.0	13.5
	38.0	19.0
	85.0	42.5
	35.0	17.5
	80.0	40.0
	50.0	25.0
	78.0	39.0
	X	56.1
SD	24.3	12.2

4.6 สูตรผสมชั้นสน PVAcกับซีล้อย เวลาในการระเหยตัวทำละลายคือ 14 วัน

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:1:4	160.0	80.0
	120.0	60.0
	150.0	75.0
	154.0	77.0
	156.0	78.0
	130.0	65.0
	125.0	62.5
	X	142.1
SD	16.6	8.3

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีลี้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:2:3	118.0	59.0
	162.0	81.0
	126.0	63.0
	174.0	87.0
	139.0	69.5
	148.0	74.0
	147.0	73.5
X	144.9	72.5
SD	19.4	9.7

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีลี้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:3:2	40.0	20.0
	100.0	50.0
	46.0	23.0
	38.0	19.0
	61.0	30.5
	100.0	50.0
	82.0	41.0
X	66.7	33.4
SD	27.2	13.6

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
5:4:1	23.0	11.5
	26.0	13.0
	30.0	15.0
	9.0	4.5
	15.0	7.5
	24.0	12.0
X	21.2	10.6
SD	7.7	7.8

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีล้อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:1:3	94.0	47.0
	157.0	78.5
	120.0	60.0
	91.0	45.6
	105.0	52.5
	96.0	48.0
	53.0	26.5
	X	102.3
SD	31.6	15.8

สูตร (ชั้นสนะ:PVAc:ซีลีส)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:2:2	7.0	3.5
	6.0	3.0
	4.0	2.0
	4.0	2.0
	3.0	1.5
	4.5	2.2
X	4.8	2.4
SD	1.5	0.8

สูตร (ชั้นสนะ:PVAc:ซีลีส)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
6:3:1	4.5	2.2
	10.0	5.0
	1.5	0.8
	8.5	4.2
X	6.1	3.0
SD	3.8	1.9

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีลอส)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
7:1:2	64.0	32.0
	111.0	55.5
	88.0	44.0
	19.0	9.5
	126.0	63.0
	13.0	6.5
	22.0	11.0
X	63.3	31.6
SD	46.6	13.3

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีลอส)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
7:2:1	4.0	2.0
	5.0	2.5
	7.0	3.5
	5.0	2.5
	3.0	1.5
	10.0	5.0
	6.5	3.2
X	5.8	2.9
SD	2.3	1.2

สูตร (ชั้นสน:PVAc:ซีเลื่อย)	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
8:1:1	6.0	3.0
	3.0	1.5
	3.0	1.5
	3.0	1.5
	6.0	3.0
	5.0	2.5
	10.0	5.0
X	5.1	2.6
SD	2.5	1.3

4.7 อื่นๆ

สูตร	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
CIBA-GEIGY	225.0	112.5
	260.0	130.0
	265.0	132.5
	220.0	110.0
	250.0	125.0
	285.0	142.5
X	250.8	125.4
SD	24.8	12.4

สูตร	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
ไม้โมก	300.0	150.0
	305.0	152.5
	305.0	152.5
	300.0	150.0
X	302.5	151.2
SD	2.9	1.4

สูตร	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
ไม้สัก	130.0	65.0
	140.0	70.0
	125.0	62.5
	150.0	75.0
	200.0	100.0
X	149.0	74.5
SD	30.1	15.0

สูตร ไม้เต็ง	แรงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ความแข็งแรงต่อแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
	310.0	155.0
	295.0	147.5
	275.0	137.5
	265.0	132.5
X	286.2	143.1
SD	20.2	10.1