

ผลของเมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซานอนในน้ำยาประสานท่อที่มีต่อสมบัติ  
ด้านการยึดติดของข้อต่อพีวีซีแข็ง



นางสาวจิตตินันท์ จุฑะกาญจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1776-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF METHYL ETHYL KETONE AND CYCLOHEXANONE IN ADHESIVE ON  
ADHESION CHARACTERISTICS OF RIGID PVC FITTING



Miss Jittinun Choothakan

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering  
Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic year 2002  
ISBN 974-17-1776-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของเมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซาโนนในน้ำยาประ- สานท่อที่มีต่อสมบัติด้านการยึดติดของข้อต่อพีวีซีแข็ง
โดย	นางสาวจิตตินันท์ จุฑะกาญจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.วิทย์ สุนทรนันท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายธีรชน วชิราคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร.วิทย์ สุนทรนันท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(นายธีรชน วชิราคม)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.สิริจุฑาทาร์ตน์ ไคววาสารัช)

นางสาวจิตตินันท์ จูทะกาญจน์ : ผลของเมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซาโนนในน้ำยา  
ประสานท่อที่มีต่อสมบัติด้านการยึดติดของข้อต่อพีวีซีแข็ง(EFFECTS OF METHYL ETHYL  
KETONE AND CYCLOHEXANONE IN ADHESIVE ON ADHESION  
CHARACTERISTICS OF RIGID PVC FITTING) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.วิทย์  
สุนทรนันท์ , อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : นายธีรชน วชิราคม ,76 หน้า. ISBN 974-17-1776-8

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาน้ำยาประสานท่อพีวีซี ที่มีต้นทุนต่ำในขณะยังคง  
คุณสมบัติในการยึดติดที่ดี โดยศึกษาการทดแทนตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน ซึ่งจัดเป็นตัวทำ  
ละลายที่ใช้กันอย่างแพร่หลายด้วยตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซาโนน โดยที่ตัวทำ  
ละลายทั้งสองชนิด จะมีราคาถูกกว่าและมีอันตรายต่อผู้ใช้งานต่ำกว่า จากการศึกษาพบว่า ถึงแม้ว่า  
เมทิลเอทิลคีโตนจะมีความสามารถในการแพร่ซึมลึกเข้าสู่ผิวสัมผัสของวัสดุดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ  
เตตระไฮโดรฟิวเรน แต่เมทิลเอทิลคีโตนสามารถถูกใช้เป็นตัวทำละลายแทนเตตระไฮโดรฟิวเรนได้  
มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากตัวทำละลายทั้งสองต่างมีความสามารถในการทำละลาย  
พีวีซีเรซินได้เช่นกันส่งผลต่อราคาต้นทุนที่ลดต่ำลง แต่ปริมาณของตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติในการ  
ระเหยได้เร็วยังคงมีปริมาณไม่แตกต่างจากเดิม เนื่องจากตัวทำละลายทั้งสองต่างเป็นตัวทำละลายที่มี  
ความดันไอสูง ดังนั้นการเติมตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนผสมลงในน้ำยาประสานท่อ ในสัดส่วน  
มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าให้คุณสมบัติในการยึดติดของน้ำยาประสานท่อดีขึ้น ทั้งนี้  
เนื่องจากอัตราการระเหยของตัวทำละลายที่ต่ำลง ส่งผลให้เป็นการเพิ่มระยะเวลาในการยึดติด อย่างไรก็ตาม  
การมีปริมาณของไซโคลเฮกซาโนนอยู่มาก จะส่งผลในเชิงลบ เนื่องจากไซโคลเฮกซาโนนมี  
ความสามารถในการแพร่ซึมเข้าสู่ผิวสัมผัสของท่อพีวีซีต่ำ ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งในด้านต้นทุนในการ  
ผลิตและคุณสมบัติในการยึดติด พบว่าองค์ประกอบของน้ำยาประสานท่อที่เหมาะสม ประกอบด้วย  
พีวีซีเรซิน 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน 4.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวทำ  
ละลายเมทิล-เอทิลคีโตน 44.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนน 36  
เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 427 1408421 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: ADHESIVE / SOLVENT CEMENT / SOLVENT WELDING / PVC PIPING

JITTINUN CHOOTHAKAN: EFFECTS OF METHYL ETHYL KETONE AND  
CYCLOHEXANONE IN ADHESIVE ON ADHESION CHARACTERISTICS OF RIGID  
PVC FITTING. THESIS ADVISOR: WIT SOONTARANUN, Ph.D., THESIS COADVISOR  
: CHERACHON VASHILACHOM ,76 pp. ISBN 974-17-1776-8

This research aimed to develop a solvent cement for PVC pipe of lower cost while maintaining adequate joint strength. The substitution of tetrahydrofuran (THF), the commonly used solvent, by methyl ethyl ketone (MEK) and cyclohexanone were investigated as the latter two solvents are cheaper and less hazardous. It was found that, in spite of its comparatively poorer ability to diffuse into PVC substrate, MEK could be used as substitute for THF up to 90 percent due to their similarity in the solubility for PVC resins. The cost could then be lower substantially but the amount of volatile chemicals remained more or less the same as both solvents exhibit high vapor pressure. The introduction of low vapor pressure solvent like cyclohexanone up to 30 percent was found to enhance the joint strength appreciably. This was because less evaporation rate caused by the presence of cyclohexanone led to the prolonged retention time at the joint. However too much cyclohexanone addition could result in an adverse effect due to its relatively poor diffusion power into PVC substrate. Upon considering cost and resulted joint strength, the optimal composition for solvent cement for PVC pipe was found as follows: 15 wt% PVC resin, 4.9 wt% THF, 44.1 wt% MEK, and 36 wt% cyclohexanone.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Chemical Engineering

Field of study Chemical Engineering

Academic year 2002

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อ.ดร. วิทย์ สุนทรนันท์ และ คุณเชิรชน วชิราคม ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและข้อคิดเห็นในด้านวิชาการ ตลอดจนให้การอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงาน วิจัยชิ้นนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล และ อ.ดร.สิริจุฑารัตน์ โคควาวิสารัช ที่กรุณาเป็นประธาน กรรมการและกรรมการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณบริษัทท่อน้ำไทย บริษัทตราช่าง บริษัทพีซีซีอีเอชซี บริษัทแอสเพลแกน และ บริษัทชัย วัฒนภาวียง ในการอนุเคราะห์สารเคมีต่างๆ ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือเคมีพอลิเมอร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ในการ อนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์

นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณกิตติศักดิ์ ปิงสมบุญณียง อีกทั้งอาจารย์ เพื่อนๆและน้องๆ ที่คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่คอยให้การช่วยเหลืออีกทั้ง ยังให้กำลังใจและให้คำปรึกษา

ท้ายที่สุดต้องขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับ คุณพ่อ คุณแม่ พี่เกดและน้องนิว ซึ่งคอยเป็น กำลังใจและแรงผลักดันให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี พระเจ้าคุ้มครอง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 มูลเหตุและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	7
3.1 การเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม.....	7
3.1.1 คุณสมบัติของสารละลายผสม.....	7
3.2 กลไกการยึดติดของน้ำยาประสานท่อ.....	10
3.2.1 การเตรียมน้ำยาประสานท่อ.....	11
3.2.2 การยึดติดของน้ำยาประสานท่อบนผิวท่อพีวีซีและข้อต่อพีวีซีแข็ง.....	15
3.3 การเพิ่มคุณภาพในการยึดติดระหว่างน้ำยาประสานท่อกับผิวสัมผัสของท่อพีวีซี.....	19
บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	23
4.1 วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำยาประสานท่อพีวีซีทางการค้า.....	23
4.1.1 GPC (Gel Permeation Chromatography).....	23
4.1.2 NMR (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy).....	23
4.1.3 TGA (Thermogravimetric Analysis).....	24

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 เตรียมตัวอย่างน้ำยาประสานท่อพีวีซีด้วยสูตรต่างๆ.....	24
4.2.1 รายการของวัสดุและสารเคมี.....	24
4.2.2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยาประสานท่อพีวีซี.....	24
4.3 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆของตัวทำละลายและน้ำยาประสานท่อ.....	27
4.3.1 ทดสอบการแพร่ซึมบนผิวท่อพีวีซี.....	27
4.3.2 การหาความหนืด.....	27
4.2.3 การทดสอบสมบัติการยึดติด.....	28
4.2.4 การทดสอบการรั่วซึม.....	29
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	32
5.1 ผลการวิเคราะห์น้ำยาประสานท่อทางการค้า.....	32
5.1.1 ผลการทดสอบด้วยเทคนิค GPC.....	32
5.1.2 ผลการทดสอบด้วยเทคนิค NMR.....	34
5.1.3 ผลการทดสอบด้วยเทคนิค TGA.....	40
5.2 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆของตัวทำละลายและน้ำยาประสานท่อ.....	44
5.2.1 ทดสอบการแพร่ซึมบนผิวท่อพีวีซี .....	44
5.2.2 การหาความหนืด.....	46
5.2.3 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง.....	49
5.2.3.1 วิเคราะห์ผลการเตรียมน้ำยาประสานท่อสูตรที่ I และ II.....	49
5.2.3.2 วิเคราะห์ผลการเตรียมน้ำยาประสานท่อสูตรที่ III และ IV.....	52
5.2.3.3 วิเคราะห์ผลการเตรียมน้ำยาประสานท่อสูตรที่ V.....	55
5.2.3.4 วิเคราะห์ผลการเตรียมน้ำยาประสานท่อสูตรที่ VI.....	56
5.2.3.5 การเปรียบเทียบน้ำยาประสานท่อ.....	58
5.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบการรั่วซึม.....	59
5.3 การวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	59
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัย.....	61
6.1 สรุปผลงานวิจัย.....	61
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
เอกสารอ้างอิง.....	63



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก. ตารางแสดงผลการทดลอง.....	67
ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่ามาตรฐานการทดสอบ.....	71
ภาคผนวก ค. รูปฝึกมาตรฐาน.....	73
ประวัติผู้ทำวิทยานิพนธ์.....	76



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญญัตราสาร

ตาราง	หน้า	
3.1	ตัวทำละลายที่เหมาะสมกับพอลิเมอร์.....	9
3.2	ค่าการละลายของตัวทำละลายและพอลิเมอร์.....	13
3.3	แสดงค่าพลังงานในการแยกโมเลกุล (Peel Energy) เมื่อพื้นผิวสัมผัสมีความขรุขระ ในรูปแบบที่แตกต่างกัน.....	21
4.1	ส่วนผสมของน้ำยาประสานท่อสูตรต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	25
5.1	แสดงการวิเคราะห์สเปกตรัม H-NMR ที่เกิดขึ้นจากการเครื่อง NMR ของน้ำยา ประสานท่อทางการค้าของทั้ง 2 บริษัท.....	34
5.2	แสดงการวิเคราะห์สเปกตรัม C-NMR ที่เกิดขึ้นจากการเครื่อง NMR ของน้ำยา ประสานท่อทางการค้าของทั้ง 2 บริษัท.....	39
5.3	การลดลงของน้ำหนักของสารตัวอย่างที่หายไป.....	40
5.4	ผลการทดลองหาความหนืดของน้ำยาประสานท่อสูตรที่ I และ II.....	46
5.5	ผลการทดลองหาความหนืดของน้ำยาประสานท่อสูตรที่ III และ IV.....	48
5.6	แสดงราคาต้นทุนการผลิตน้ำยาประสานท่อสูตรที่ VI.....	59
5.7	แสดงการประมาณราคาต้นทุนการผลิตน้ำยาประสานท่อทั้ง 2 บริษัท.....	60
ก. 1	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร I เทียบกับเวลาของ การประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	67
ก. 2	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร II เทียบกับเวลาของ การประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	67
ก. 3	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร III เทียบกับเวลา ของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	68
ก. 4	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร IV เทียบกับเวลา ของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	68
ก. 5	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร V เทียบกับเวลา ของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	69
ก. 6	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร VI เทียบกับเวลา ของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	69

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ก.7	ผลการเปรียบเทียบน้ำยาประสานท่อที่ทำการทดลองกับน้ำยาประสานท่อทางการค้า.	70
ก.8	ผลการทดสอบการแพร่ซึมของตัวทำละลายบนผิวท่อพีวีซี.....	70



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
3.1 ลักษณะการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นกับพอลิเมอร์ .....	11
3.2 แสดงแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพีวีซีเรซิน.....	11
3.3 แสดงขบวนการการทำละลายด้วยตัวทำละลาย.....	12
3.4 โครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลาย.....	14
3.5 โครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการละลายด้วยตัวทำละลาย.....	14
36. แสดงความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในการยึดติด ค่าพลังงานที่ใช้ในการแยกโมเลกุล (Peeling Energy) และน้ำหนักโมเลกุลของสาร.....	18
3.7 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในการยึดติด ค่าพลังงานที่ใช้ในการแยกโมเลกุล (Peeling Energy) และน้ำหนักโมเลกุลของสาร.....	19
3.8 แสดงลักษณะของผิวสัมผัสที่เกิดความขรุขระ.....	20
3.9 แสดงลักษณะของสารยึดติดบนพื้นผิวสัมผัส.....	20
4.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมน้ำยาประสานท่อ.....	25
4.2 การเตรียมท่อพีวีซีเพื่อทดสอบอัตราการแพร่ซึมของตัวทำละลาย.....	27
4.3 เครื่องทดสอบความหนืด.....	28
4.4 แสดงวิธีการเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบแรงดึง.....	29
4.5 แสดงขั้นตอนการต่ออุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบการรั่วซึม.....	30
4.6 อุปกรณ์ทดสอบการรั่วซึม.....	31
5.1 ผลโครมาโตแกรมของน้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทย.....	32
5.2 ผลโครมาโตแกรมของน้ำยาประสานท่อของบริษัทตราช้าง.....	33
5.3 รูปสเปกตรัม H-NMR ของน้ำยาประสานท่อบริษัทท่อน้ำไทย.....	35
5.4 รูปสเปกตรัม C-NMR ของน้ำยาประสานท่อบริษัทตราช้าง.....	36
5.5 รูปสเปกตรัม H-NMR ของน้ำยาประสานท่อบริษัทท่อน้ำไทย.....	37
5.6 รูปสเปกตรัม C-NMR ของน้ำยาประสานท่อบริษัทตราช้าง.....	38
5.7 โครมาโตแกรมแสดงร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของบริษัทท่อน้ำไทย.....	41
5.8 โครมาโตแกรมแสดงร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของบริษัทตราช้าง.....	42
5.9 ผลการทดสอบการแพร่ซึมของตัวทำละลายบนผิวท่อพีวีซี.....	44

## สารบัญภาพ (ต่อ)

### ภาพประกอบ

5.10	ระยะเวลาแพร่ซึมของตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนในท่อพีวีซี ที่เวลา 1 2 5 และ 7 ชั่วโมง.....	44
5.11	ระยะเวลาแพร่ซึมของตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนในท่อพีวีซี ที่เวลา 1 2 5 และ 7 ชั่วโมง.....	45
5.12	ระยะเวลาแพร่ซึมของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนน ในท่อพีวีซีที่เวลา 1 2 5 และ 7 ชั่วโมง.....	45
5.13	แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาแพร่ซึมเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน.....	45
5.14	ลักษณะของน้ำยาประสานท่อที่เป็นเจลขุ่น ไม่สามารถนำมาใช้งานได้.....	47
5.15	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร I เทียบกับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	49
5.16	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร II เทียบกับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	50
5.17	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร III เทียบ กับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	52
5.18	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร IV เทียบกับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	53
5.19	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร V เทียบกับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	55
5.20	ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร VI เทียบกับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ.....	57
5.21	ผลการเปรียบเทียบน้ำยาประสานท่อที่ทำการทดลองกับน้ำยาประสานท่อทางการค้า	58
ค.1	สเปกตรัมมาตรฐานจาก H-NMR ของเมทิลเอทิลคีโตน.....	74
ค.2	สเปกตรัมมาตรฐานจาก H-NMR เตตระไฮโดรฟิวเรน.....	74
ค.3	สเปกตรัมมาตรฐานจาก H-NMR ไซโคลเฮกซาโนน.....	75
ค.4	สเปกตรัมมาตรฐานจาก C-NMR เตตระไฮโดรฟิวเรน.....	75
ค.5	สเปกตรัมมาตรฐานจาก C-NMR ไซโคลเฮกซาโนน.....	76

## คำอธิบายสัญลักษณ์

$A_c$	=	พลังงานที่ใช้ในการแยกการยึดติด
cp	=	เซ็นติพอยท์
Cyclo	=	ไซโครเฮกซาโนน
dc/dx	=	การแพร่ในแนวแกน x ต่อพื้นที่
$^{\circ}\text{C}$	=	องศาเซลเซียส
$D_d$	=	ค่าคงที่ของการเคลื่อนที่บนพื้นผิวสัมผัส
$D_f$	=	สัมประสิทธิ์การแพร่
$\Delta G_m$	=	Gibbs Free Energy of Mixing
HVOC	=	High Volatile Organic Compound
$h_c, \epsilon_d$	=	ค่าคงที่ทางไฟฟ้า
$\Delta H_m$	=	การเปลี่ยนแปลงความร้อนของสารละลายผสม
$\Delta H_v$	=	การเปลี่ยนแปลงความร้อนในขณะที่เกิดการระเหยของตัวทำละลาย
$k_3$	=	ค่าคงที่ซึ่งบอกถึงความแข็งแรงพันธะของพอลิเมอร์
$k_4$	=	ค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\pi/3$ เป็นค่าคงที่ที่แสดงในรูปของลักษณะโมเลกุลของพอลิเมอร์
LVOC	=	Low Volatile Organic Compound
$I_p$	=	ค่าความลึกของการซึมผ่าน
M	=	มวลโมเลกุลของพอลิเมอร์
MEK	=	เมทิลเอทิลคีโตน
MPa	=	เมกกะพาสคาล
N	=	เลขอวกาศ
$N_c$	=	จำนวนสายโซ่ของสารยึดติดที่เชื่อมระหว่างผิวสัมผัส
P	=	ค่าพลังงานที่ใช้ในการแยกโมเลกุลของพอลิเมอร์
ppm	=	หนึ่งในล้านในล้านส่วน
R	=	ค่าคงที่ของก๊าซ
$\Delta S_m$	=	การเปลี่ยนแปลงความเป็นระเบียบของสารละลายผสม
T	=	อุณหภูมิเป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์
$t_c$	=	ช่วงเวลาที่สารยึดติดสัมผัสกับพื้นผิวสัมผัส
THF	=	เตตระไฮโดรฟิวเรน

## คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

$\Delta U_V$	=	พลังงานภายในของโมเลกุลในขณะที่เกิดการระเหยของตัวทำละลาย
$V_C$	=	ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ณ. บริเวณช่องว่างของผิวสัมผัส
$V_m$	=	ปริมาณโดยโมล
$w$	=	ปริมาณของสารที่เกิดการแพร่ในแนวแกน X ต่อหน่วยพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลง ความเข้มข้น
$dw$	=	การเปลี่ยนแปลง ปริมาณสารที่แพร่ผ่าน
$\beta$	=	ค่าคงที่ ที่เป็นตัวกำหนดความเร็วของสัมประสิทธิ์การแพร่กับเวลา
$\delta$	=	Chemical Shift
$\delta_s$	=	ค่าการละลาย (เมกะพาสคาล)
$\phi$	=	สัดส่วนโดยปริมาตร
$\rho$	=	ความหนาแน่นของพอลิเมอร์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 มูลเหตุและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันท่อพลาสติกได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นงานทางด้านอุตสาหกรรม งานโครงสร้าง งานทางด้านเกษตร และงานทางด้านการเชื่อมต่อระบบต่างๆ เป็นต้น ท่อพลาสติกที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบันคิดเป็นร้อยละ 83 % ของปริมาณการใช้ท่อพลาสติกคือ ท่อพลาสติกชนิดที่ทำมาจากพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า ท่อพีวีซี (PVC) ท่อพลาสติกชนิดพีวีซี แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แบบท่อพลาสติกพีวีซีแบบแข็งและแบบอ่อน โดยท่อพลาสติกพีวีซีแบบแข็งเป็นที่นิยมมากกว่า

เดิมการเชื่อมต่อท่อหรือข้อต่อต่างๆ เข้าด้วยกันด้วยเทคนิคเชิงกล ก่อให้เกิดปัญหาด้านความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุบริเวณรอยต่อ อีกทั้งอายุการใช้งานของอุปกรณ์เสริมบริเวณรอยต่อนั้นมีน้อยมาก ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน สาเหตุหลักเนื่องมาจากจะเกิดรอยแตกร้าวตรงบริเวณรอยต่ออยู่บ่อยครั้ง อันเกิดมาจากความบกพร่องของอุปกรณ์เสริมนั่นเอง จึงส่งผลให้ต้องทำการเปลี่ยนอุปกรณ์เสริมบริเวณนั้นบ่อยครั้ง ดังนั้นได้มีการคิดค้นการเชื่อมต่อโดยใช้สารละลาย ซึ่งจะทำหน้าที่หลักเชื่อมต่อบริเวณท่อและข้อต่อต่างๆ เข้าด้วยกันโดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เสริมต่างๆ สารละลายที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมระบบท่อและข้อต่อต่างๆ เรียกว่า น้ำยาประสานท่อ ข้อดีของการใช้น้ำยาประสานท่อพีวีซี คือ สามารถลดระยะเวลาในการเชื่อมอุปกรณ์เข้าด้วยกัน เพิ่มอายุการใช้งานและความทนทานของระบบท่อและระบบข้อต่อต่างๆ และยังสามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานได้

น้ำยาประสานท่อจัดเป็นสารยึดติด (Adhesive) หรือกาว (Glue) เป็นผลิตภัณฑ์ทางเคมีที่ใช้ในการยึดติดวัสดุประเภทต่างๆ เข้าด้วยกัน น้ำยาประสานท่อที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายมากกว่า 30 ปี ไม่ว่าจะเป็นในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ในที่พักอาศัย ในงานวางระบบการเชื่อมต่อ เป็นต้น ปัจจุบันมีความจำเป็นต้องใช้น้ำยาประสานท่อพีวีซีแข็งในการเชื่อมท่อพีวีซีแข็งและข้อต่อพีวีซีแข็งเข้าด้วยกันตามรูปแบบที่กำหนดขึ้นต่างๆ กัน เช่น ท่อพีวีซีแข็งที่ใช้สำหรับเป็นท่อน้ำดื่ม ข้อต่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้กับท่อรับความดัน ท่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้ร้อยสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์ และข้อต่อพีวีซีแข็งสำหรับใช้กับท่อไม่รับความดัน เป็นต้น

น้ำยาประสานท่อพีวีซีมีองค์ประกอบหลัก คือ พีวีซีเรซินละลายอยู่ในตัวทำละลาย โดยตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุด คือ เตตระไฮโดรฟูเวรน (Tetrahydrofuran, THF) เพราะมีคุณสมบัติใช้เป็นตัวทำ



ละลายผงพีวีซีที่ดีที่สุดแต่เป็นตัวทำละลายที่มีราคาต้นทุนสูงมาก แต่เป็นตัวทำละลายที่จัดเป็นสารระเหยที่มีพิษต่อร่างกาย เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตแต่ยังคงคุณสมบัติการยึดติดที่ดีของน้ำยาประสานท่อพีวีซี งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการทดแทนตัวทำละลายเดตระไฮโดรพีวเรนด้วยตัวทำละลายชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติใช้เป็นตัวทำละลายผงพีวีซีได้คล้ายคลึงกับเดตระไฮโดรพีวเรน แต่มีสภาพความเป็นพิษน้อยกว่า เช่น ตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone, MEK) และตัวทำละลายไซโคล-เฮกซาโนน (Cyclohexanone, Cyclo) แต่ราคาต้นทุนในการผลิตจะถูกลงกว่า และทำการหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของเมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซาโนนในน้ำยาประสานท่อที่มีผลต่อสมบัติด้านการยึดติดของข้อต่อพีวีซีแข็งที่สัดส่วนต่างๆ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาองค์ประกอบของน้ำยาประสานท่อ และผลขององค์ประกอบที่มีต่อสมบัติด้านการยึดติดต่อพีวีซีแข็งซึ่งประกอบด้วย การทดสอบแรงดึง (Tensile strength) และการรั่วซึม (Leak test)

1. สัดส่วนของพีวีซีเรซินที่เป็นองค์ประกอบของน้ำยาประสานท่อในช่วง 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. สัดส่วนและชนิดของตัวทำละลายที่ประกอบด้วย
  - Tetrahydrofuran 0 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
  - Methyl Ethyl Ketone 0 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
  - Cyclohexanone 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. สำหรับสูตรน้ำยาประสานท่อที่ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงได้ตามค่ามาตรฐานแล้วจึงนำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการรั่วซึม

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลจากการศึกษาจะได้แนวทางสำหรับการพัฒนาหลักสูตรของน้ำยาประสานท่อพีวีซี ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งานและมีต้นทุนต่ำลง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Patel และ Ave (1994) ได้ทำการศึกษาการลดปริมาณของสารระเหยที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำยาประสานท่อพีวีซี (Solvent Cement Adhesive) โดยทำการศึกษาผลของการปรับสัดส่วนของตัวทำละลายที่มีต่อปริมาณของสารระเหยและสมบัติการยึดติด โดยมีเป้าหมายเพื่อควบคุมปริมาณของสารระเหยให้ไม่เกิน 450 กรัมต่อลิตรของน้ำยาประสานท่อ ในขณะที่ยังคงคุณสมบัติการยึดติดที่ดี โดยทำการทดลอง 2 วิธี ดังนี้

1. ทำการลดปริมาณของตัวทำละลายที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound, VOC) โดยมีการเพิ่มสัดส่วนของพีวีซีเรซินให้มากขึ้น จากงานวิจัยจะพบว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณของพีวีซีเรซินในสัดส่วนที่มากขึ้น โดยประมาณ 1 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนของพีวีซีที่นิยมใช้งานคือ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ปริมาณการใช้ตัวทำละลายประเภท VOC น้อยลงได้ แต่ถ้าเพิ่มปริมาณของพีวีซีเรซินมากขึ้นไปอีกจะส่งผลถึงลักษณะการบวมตัวของพีวีซีเรซินและยังมีพีวีซีเรซินบางส่วนที่ไม่เกิดการละลาย ส่งผลทำให้น้ำยาประสานท่อที่มีลักษณะเป็นสารละลายที่มีความหนืดสูงไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจึงทำการลดน้ำหนักโมเลกุลของพีวีซีเรซิน แต่จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการทดสอบวัดค่าความสามารถในการทนแรงดึงพบว่าได้ผลที่ไม่ดี ดังนั้นจึงมีการใช้อะคริลิกเรซิน (Acrylic Resin) ผสมรวมกับพีวีซีเรซิน พบว่าให้ค่าทนแรงดึงที่ดี โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเรซิน 2 ชนิด คือ พีวีซีเรซิน 10 ถึง 22 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและอะคริลิกเรซิน 2 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณรวมของเรซินที่ใช้งานในช่วง 18 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2. ทำการลดปริมาณของตัวทำละลายประเภท VOC โดยการใช้น้ำยาละลายที่มีความดันไอต่ำ (Low Vapor Pressure Solvent) ได้แก่ ไซโคลเฮกซานอน และ N-methyl pyrrolidone (NMP) ซึ่งเป็นสารละลายที่ระเหยช้า ผสมกับตัวทำละลายที่ระเหยได้ง่าย ได้แก่ เตตระไฮโดรฟิวเรน และ เมทิลเอทิลคีโตน จากผลการทดลองพบว่าค่าการทนแรงดึงดีขึ้นกว่าการใช้ตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว

อัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้มีดังนี้

- เตตระไฮโดรฟิวเรน 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- เมทิลเอทิลคีโตน 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

โดยอัตราส่วนการใช้งานของสารละลายผสมของทั้ง 2 ชนิด ต้องไม่เกิน 55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จึงจะให้ผลการทดลองที่ดี ส่วนอัตราส่วนของสารละลายที่ระเหยช้ามีดังนี้

- ไซโคลเฮกซาโนน ปริมาณใช้งาน 10 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
  - เอ็น-เมทิล ไพโรลิดอน (N-methyl pyrrolidone) ปริมาณใช้งาน 0 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- เมื่อทดลองใช้เรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะทำให้ปริมาณการใช้สารละลายเกิน 450 กรัมต่อลิตร และผลของค่าการทดสอบการทนแรงดึงก็ให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร

Deierdorf (1987) ทำการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบพีวีซีเรซินที่มีค่า K-Value ช่วง 50-63 ทำการละลายด้วยตัวทำละลายพวก Cyclic Solvent คือ เตตระไฮโดรฟิวเรน และ ไซโคลเฮกซาโนน และตัวทำละลายจำพวก Non-Cyclic Solvent ได้แก่ เมทิลเอทิลคีโตน และ ไดเมทิลฟอมาไมด์ (Dimethylformamide) โดยใช้มาตรฐาน DIN 16,970 เป็นตัวกำหนด จากการวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้นจะพบว่า การใช้ผงพีวีซีเรซินที่มีค่า K-Value 58 ละลายในตัวทำละลาย Cyclic solvent เพียงประเภทเดียว โดยมีอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน 5 ถึง 7 ส่วน ต่อตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนน 1 ส่วน จะให้ค่า Creep Resistant ค่าความเสถียรเชิงความร้อน (Thermal Stability) และ Gap-Filling ตรงตามมาตรฐานมากที่สุด

Hushebeck และ Wales (1978) ทำการศึกษาผลของค่าความหนืด (Inherent Viscosity) ที่เหมาะสมต่อการเลือกใช้ผงพีวีซีซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำยาประสานท่อพีวีซี โดยเลือกใช้สารละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนเป็นตัวทำละลาย ผลที่ได้จากการวิจัยพบว่า Inherent Viscosity ที่เหมาะสมของผงพีวีซีเมื่อละลายในตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน จะอยู่ในช่วง 0.80-0.95 และมีค่าความถ่วงจำเพาะของสาร 1.4

Yue และ Chui (1987) ได้นำเสนอเกี่ยวกับลักษณะความสามารถในการยืดติด (Intrinsic Strength) ของน้ำยาประสานท่อ ซึ่งจะสามารถอธิบายได้จากค่า Critical Principal Strain ( $\epsilon_c$ ) จากงานวิจัยพบว่าค่าความสามารถในการยืดติดจะแปรผันโดยตรงกับค่า Critical Principal Strain และยังพบอีกว่าเมื่อใช้ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน ทำให้ชิ้นงานทดสอบมีค่าความสามารถในการยืดติดสูงกว่าการใช้เมทิลเอทิลคีโตนเป็นตัวทำละลาย

งานวิจัยจะแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน โดยการทดลองในส่วนแรก พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Critical Principal Strain และค่ายืดติด ซึ่งเกิดจากการเพิ่มพื้นที่สัมผัสบริเวณรอยต่อที่เกิดการซ้อนทับกันของชิ้นงานทดสอบ กำหนดระยะของชิ้นงานที่ซ้อนทับให้มีค่าระหว่าง 10 ถึง 80 มิลลิเมตร ใช้ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนเป็นตัวทำละลายโดยไม่มีการใช้ผงพีวีซีเรซิน จากการทดสอบในส่วนนี้

พบว่า เมื่อระยะเวลารอยต่อที่เกิดการซ้อนทับกันของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงถึงค่า Critical Principal Strain มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงจึงมีค่าแรงดึงมากขึ้น การเพิ่มพื้นที่การยึดติดให้กับ ชิ้นงานทดสอบเป็นการเพิ่ม Critical Principal Strain ให้กับชิ้นงาน เนื่องจากค่า Critical Principal Strain จะแสดงถึงความแข็งแรงบริเวณรอยต่อที่เกิดจากการแพร่ของตัวทำละลายเข้าไปในชิ้นงานทดสอบ ดังนั้น เมื่อตัวทำละลายมีความสามารถในการแพร่เข้าไปยังบริเวณผิวสัมผัสของท่อพีวีซีได้มาก ดังนั้นจึงเกิดการ จัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ที่แข็งแรงบริเวณรอยต่อ มีผลทำให้เป็นการเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติด ให้กับชิ้นทดสอบ ค่าแรงดึงที่วัดได้จึงมีค่าสูง

การทดลองในส่วนที่สองเพื่อหาตัวทำละลายที่เหมาะสมที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบมีความสามารถในการยึดติดที่ดี โดยเลือกใช้ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน และเมทิลเอทิลคีโตนในการทำละลายพีวีซีเรซิน กำหนดอัตราส่วนของผงพีวีซีเรซิน 0 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำชิ้นงานที่ทำด้วยน้ำยาประสานท่อที่ เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง ทำการทดสอบหาค่า ความสามารถในการยึดติดโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile) มี Load Cell Speed 5 มิลลิเมตรต่อวินาที จากการทดลองในส่วนแรกพบว่า ชิ้นงานทดสอบที่ทำด้วยน้ำยาประสานท่อที่เตรียมจากตัวทำละลายเต ระไฮโดรฟิวเรนโดยไม่ใช้ผงพีวีซีเรซินในการเตรียมน้ำยาประสานท่อจะให้ค่าแรงดึง 3.36 เมกกะพาสคาล ซึ่งจัดเป็นค่าที่มากที่สุด ส่วนกรณีการใช้เมทิลเอทิลคีโตนเป็นตัวทำละลาย น้ำยาประสานท่อที่มีค่าแรงดึงที่ ดีที่สุดจะต้องมีส่วนผสมของพีวีซีเรซินในอัตราส่วนของพีวีซีเรซิน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะให้ค่าแรงดึง 3.11 เมกกะพาสคาล

## บทที่ 3

### ทฤษฎี

สารยึดติด (Adhesive) เป็นผลิตภัณฑ์ทางเคมีที่ใช้ในการยึดติดวัสดุประเภทต่างๆ เข้าด้วยกัน สามารถแบ่งประเภทของสารยึดติดได้เป็น 5 ประเภท (Lampman และคณะ, 1990) ได้แก่ Structural-Adhesive, Hot Melt-Adhesive, Pressure Sensitive-Adhesive, Solvent Base-adhesive และ Ultraviolet Electron Beam Cure-Adhesive สารยึดติดประเภท Solvent Base-Adhesive จัดเป็นสารยึดติดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำและสามารถนำมาใช้งานได้ง่าย สารยึดติดดังกล่าวต้องอาศัยน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย น้ำยาประสานท่อ (Solvent Cement หรือ Solvent Welding) ที่ใช้กันในอุตสาหกรรมจัดเป็นสารยึดติดประเภทที่ต้องอาศัยตัวทำละลายประเภทสารอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย การผลิตน้ำยาประสานท่อทำได้โดยนำผงพีวีซีเรซินมาทำละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม เมื่อทาน้ำยาประสานทอลงบนท่อพีวีซีแข็งหรือข้อต่อพีวีซีแข็ง น้ำยาประสานท่อจะเกิดการแพร่ซึมเข้าสู่ผิวสัมผัสของท่อพีวีซี เมื่อเวลาผ่านไปตัวทำละลายจะเกิดการระเหยทำให้โมเลกุลของพีวีซีเรซินและพีวีซีที่ผิวท่อจะเกิดการเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical Crosslink) ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรง

#### 3.1 การเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม

เนื่องจากกลไกสำคัญของการยึดติดด้วยน้ำยาประสานท่ออยู่ที่ความสามารถในการแพร่ซึมของน้ำยาประสานท่อเข้าสู่เนื้อวัสดุบริเวณผิวที่ต้องการประสาน ดังนั้นการเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมกับชนิดของพอลิเมอร์ (Packham, 1992) จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อขบวนการการยึดติด การเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมกับชนิดของพอลิเมอร์ต้องคำนึงถึง ความสามารถในการละลายของตัวทำละลายและพอลิ-เมอร์เรซิน

##### 3.1.1 อุณหพลศาสตร์ของสารละลายผสม

สารละลายผสมเป็นการผสมกันของสารสองชนิดหรือมากกว่าที่ผสมเข้ากันในระดับโมเลกุล (Molecular Scale) ที่อุณหภูมิต่ำและความดันคงที่ สิ่งจำเป็นทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) ที่จะทำให้สารสองชนิดสามารถเกิดการละลายเข้ากันได้ของตัวทำละลายกับพอลิเมอร์สามารถอธิบายได้โดย

อาศัยหลักการทางอุณหพลศาสตร์ของทฤษฎี Gibbs Free Energy of Mixing,  $\Delta G_m$  ของสารละลายผสม (มาลิณี ชัยศุกกิจสินธ์, 2539) ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนของสารละลายผสม (Enthalpy of Mixing,  $\Delta H_m$ ) กับค่าความเป็นระเบียบของสารละลายผสม (Entropy of Mixing,  $\Delta S_m$ ) อธิบายได้ตามสมการที่ 3.1

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m \quad 3.1$$

เมื่อ  $\Delta H_m$  คือ การเปลี่ยนแปลงความร้อนของสารละลายผสม ( $\text{J mol}^{-1}$ )

$\Delta S_m$  คือ การเปลี่ยนแปลงความเป็นระเบียบของสารละลายผสม ( $\text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature, T) (K)

การผสมจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อค่า  $\Delta G_m$  ของระบบเป็นค่าลบ ถ้า  $\Delta G_m$  มีค่ามากกว่าศูนย์ สารละลายจะไม่เกิดการผสมกัน และเมื่อ  $\Delta G_m$  มีค่าเท่ากับศูนย์ การผสมกันของสารละลายจะมีค่าเท่ากับอัตราการแยกตัวของสารละลายผสม โดยทั่วไปเอนโทรปี ( $\Delta S_m$ ) จะมีค่าเป็นบวก เมื่อเกิดการผสม เนื่องจากการจัดเรียงตัวซึ่งมีความเป็นระบบที่ลดลง โมเลกุลของพอลิเมอร์จะเปลี่ยนแปลงจากสภาพเรซินเป็นสภาพโมเลกุลอิสระ ดังนั้นตัวแปรหลักที่จะกำหนดความสามารถในการละลายได้ จึงขึ้นอยู่กับเอนทัลปีของการผสม ( $\Delta H_m$ )

ทั้งนี้ค่าเอนทัลปีของการผสมสามารถประมาณได้ จากความสัมพันธ์ของ Hildebrand

$$\Delta H_m = V_m \phi_1 \phi_2 (\delta_{s1} - \delta_{s2})^2 \quad 3.2$$

เมื่อ  $\Delta H_m$  คือ ความร้อนของสารละลายผสม (cal)

$\phi_1$  คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลาย

$\phi_2$  คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของพอลิเมอร์

$\delta_{s1}$  คือ ค่าการละลายของตัวทำละลาย ( $(\text{cal cm}^{-3})^{1/2}$ )

$\delta_{s2}$  คือ ค่าการละลายของพอลิเมอร์ ( $(\text{cal cm}^{-3})^{1/2}$ )

$V_m$  คือ ปริมาตรโดยโมล ( $\text{cm}^3$ )

ตารางที่ 3.1 ตัวทำละลายที่เหมาะสมกับพอลิเมอร์ (Packham, D.E.P., 1992)

Polymer		Solvents employed	
Name	Normal morphology	Type	Examples
Acrylic (polymers and copolymers) PVC and some vinyl chloride copolymers	Glassy	Chlorinated hydrocarbons dichloroethane	Dichloromethane
	Glassy	Homopolymer: selected ketones Copolymers: some ketones and esters	Tetrahydrofuran Tetrahydrofuran, dioxane, butal acetate
Polystyrene and styrene copolymers	Glassy	Aromatic hydrocarbons (especially for the homopolymer), chlorinated hydrocarbons, ketones (especially for the copolymers)	Toluene, dichloroethane, methylethyl ketone
Modified polyphenylene oxide	Glassy	Chlorinated hydrocarbons dichloroethane	Dichloromethane
Polysulphone	Glassy	Chlorinated hydrocarbons dichloroethane	Dichloromethane
Polycarbonate	Glassy (can be partially crystallized by heating or solvent treatment)	Chlorinated hydrocarbons dichloroethane	Dichloromethane
Cellulose esters (especially nitrate, acetate and acetate/butyrate) Polyamides	Some may be partly crystalline	Selected ketones, esters and chlorinated hydrocarbons	Methylethyl ketone, acetone, butyl acetate, dichloromethane
	Partly crystalline	Phenolic compounds, some bivalent metal salt solutions	Phenol, resorcinol, cresols (aqueous or alcoholic solutions), calcium chloride (alcoholic solution)



จากสมการที่ 3.2 จะแสดงให้เห็นว่า ค่า  $\Delta H_m$  มีค่าเป็นศูนย์หรือเป็นบวกเท่านั้น ตามหลักการทางอุณหพลศาสตร์ของทฤษฎี Gibbs Free Energy of Mixing ของสารละลายผสม การผสมกันของสารมักจะเกิดเมื่อค่า  $\Delta H_m$  เป็นบวกน้อยๆ ดังนั้นเมื่อค่าการละลายของสารทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกัน จึงทำให้ค่า  $\Delta H_m$  มีค่าเป็นบวกน้อยๆ และเมื่อ  $\Delta H_m$  มีค่าเป็นศูนย์ แสดงว่าค่าการละลายของสารทั้ง 2 จะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นการละลายเข้ากันระหว่างตัวทำละลายกับพอลิเมอร์จึงเกิดขึ้นได้ดี

### 3.2 กลไกการยึดติดของน้ำยาประสานท่อ

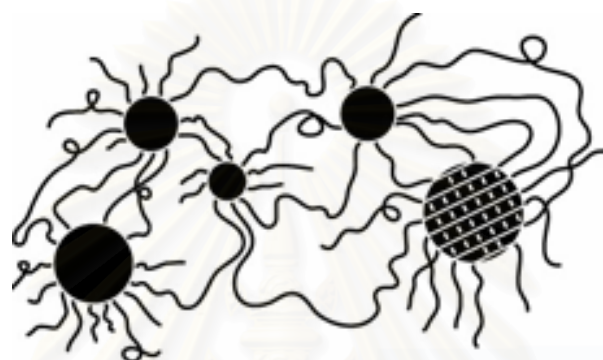
การเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นขบวนการที่ทำให้สายโซ่ตรงของพอลิเมอร์ เกิดการเชื่อมโยงหลายมิติ โดยโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์จะมีการเปลี่ยนแปลง พอลิเมอร์สามารถเกิดการเชื่อมโยงได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ การเชื่อมโยงทางเคมี (Chemical Crosslink) เป็นการลดโมเลกุลอิสระของสายโซ่พอลิเมอร์

เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยพันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond) หรือพันธะไอออนิก (Ionic Bond) พันธะที่เชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจะมีความแข็งแรง พอลิเมอร์จะมีความสามารถที่จะทนอุณหภูมิได้สูงขึ้น โมเลกุลมีความแข็งแรงและความเสถียรของรูปร่างมากยิ่งขึ้น ดังนั้นต้องใช้พลังงานมากในการสลายพันธะที่เกิดขึ้น และการเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical Crosslink) เป็นการเชื่อมโยงกันด้วยแรงอ่อนๆหรือพันธะในชั้นทุติยภูมิ สายโซ่พอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยงทางกายภาพจะมีความสามารถในการขึ้นรูปหรือไหลได้ที่อุณหภูมิสูง โดยที่สายโซ่สามมิติสามารถเปลี่ยนแปลงย้อนกลับเป็นโมเลกุลของสายโซ่ตรงได้เมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นกลไกการยึดติดของน้ำยาประสานท่อจะเกิดการเชื่อมโยงแบบกายภาพ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Chemical Crosslink

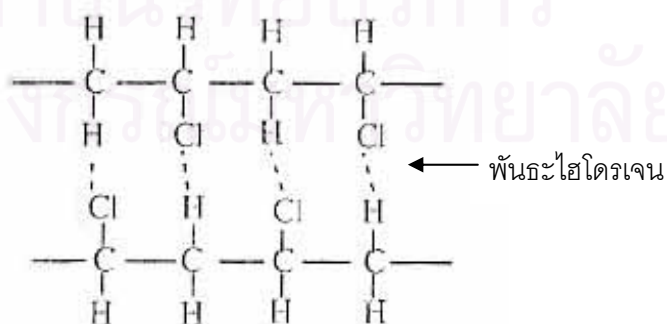


Physical Crosslink

รูปที่ 3.1 ลักษณะการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นกับพอลิเมอร์ (Ulrich, E., 1990)

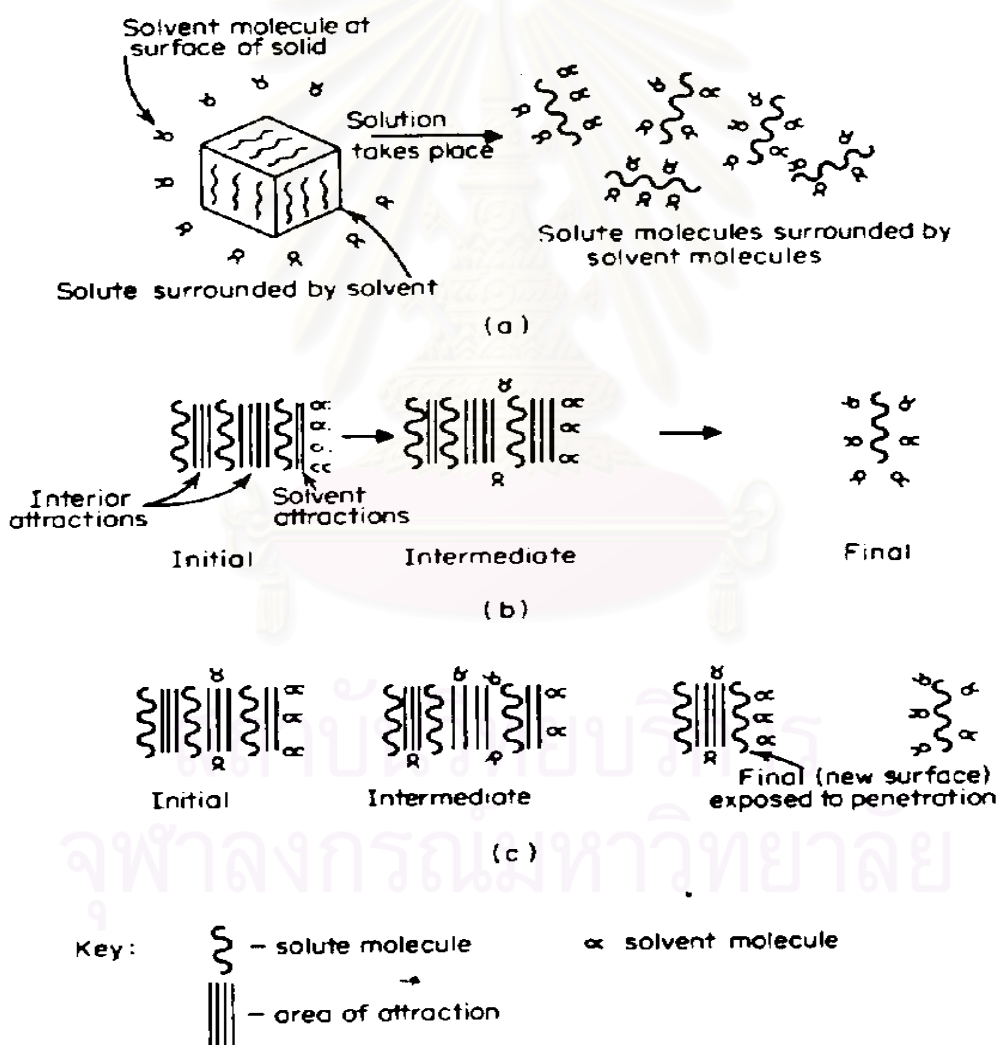
### 3.2.1 การเตรียมน้ำยาประสานท่อ

เนื่องจากพีวีซีเรซินมีแรงดึงดูดของสองสายโซ่โมเลกุลเป็นแบบพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมต้อระหว่างสายโซ่โมเลกุลด้วยหมู่ไฮโดรเจน (H) อะตอมและหมู่อะตอมคลอรีน (Cl) อะตอมของสองสายโซ่โมเลกุล ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพีวีซีเรซิน (มาลินี ชัยคุภกิจสินธ์, 2538)

การเตรียมน้ำยาประสานท่อทำได้โดยผสมตัวทำละลายกับพีวีซีเรซิน ตัวทำละลายที่ผสมกับพีวีซีเรซินจะแพร่เข้าไปตามช่องว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุล (Pore Side) ของพีวีซีเรซิน ทำให้เกิดการทำให้ละลายพันธะไฮโดรเจน ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างสายโซ่โมเลกุล ซึ่งพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของพีวีซีเรซินจัดเป็นพันธะเชื่อมโยงประเภททุติยภูมิ (Secondary Bond) ซึ่งต้านการเคลื่อนที่ของโมเลกุล ดังนั้นเมื่อพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพีวีซีเรซินถูกทำลายด้วยอิทธิพลของตัวทำละลาย ดังนั้นสายโซ่โมเลกุลของพีวีซีเรซินจึงเกิดการเคลื่อนที่ (Mobility) ดังรูปที่ 3.3 การละลายที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อตัวทำละลายสามารถทำลายพันธะที่เชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ได้ทั้งหมด ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่อย่างอิสระ



รูปที่ 3.3 แสดงขบวนการการทำให้ละลายด้วยตัวทำละลาย (Chaeles, V.C., 1993)

รูป a. แสดงการแพร่ซึมของตัวทำละลายภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ รูป b. แสดงขั้นตอนในการแพร่ซึมของตัวทำละลายบริเวณช่องว่างภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Interior Attraction) รูป (c) แสดงการแพร่ซึมของตัวทำละลายบนพื้นผิวสัมผัส

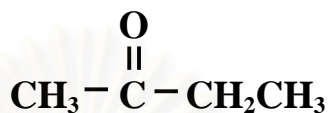
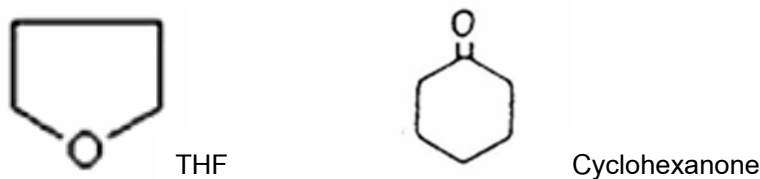
การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมต้องพิจารณาถึงค่าการละลายของตัวทำละลายและของพอลิเมอร์ ต้องมีค่าใกล้เคียงกันตามตารางที่ 3.2 ตัวทำละลายที่มีค่าการละลายที่ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์จะมีความสามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ได้ดี

ตารางที่ 3.2 ค่าการละลายของตัวทำละลายและพอลิเมอร์ (Burgess, 1982)

สาร	ค่าการละลาย ( $\delta_s$ ) เมกะพาสคาล
Polyvinyl chloride	18.5
Tetrahydrofuran	18.6
Methyl ethyl Ketone	18.9
Cyclohexanone	20.2

ในกรณีของน้ำยาประสานท่อพีวีซี ตัวทำละลายที่ดีที่สุดจาก ตารางที่ 3.1 คือ เตตระไฮโดรฟิวเรน เนื่องจากมีค่าการละลายใกล้เคียงกับพีวีซีเรซินมากที่สุด และเตตระไฮโดรฟิวเรนจัดเป็นตัวทำละลายในกลุ่มของเอสเทอร์จัดเป็นกลุ่มที่มีสภาพความเป็นขั้วสูง ส่วนเมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซานอนจัดเป็นตัวทำละลายกลุ่มของคีโตน ซึ่งตัวทำละลายทั้งหมดจัดเป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยหมู่มีขั้ว (สุนันทนา วิบูลย์จันทร์, 2539) ดังนั้นจึงมีความสามารถละลายพีวีซีเรซินได้เพราะพีวีซีเรซินจัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้วที่เกิดขึ้นจากพันธะไฮโดรเจน

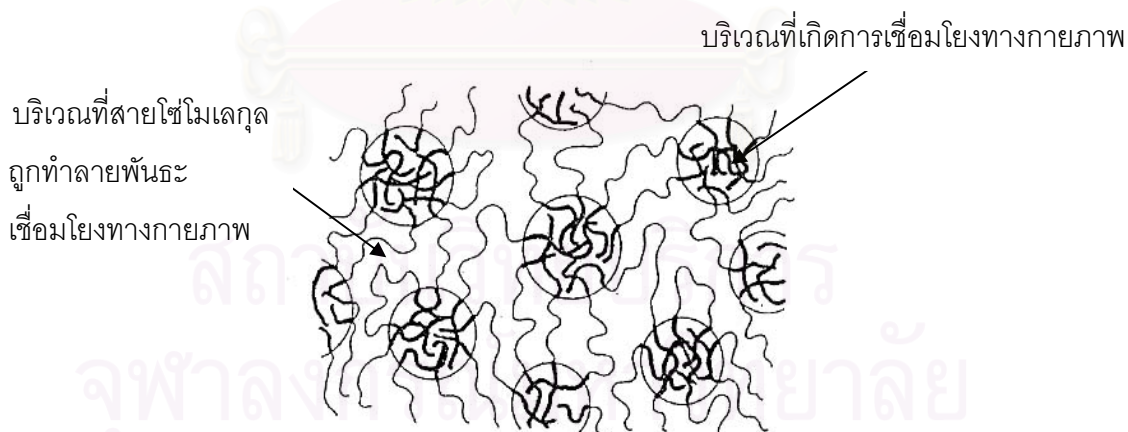
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



MEK

**รูปที่ 3.4** โครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลาย

อย่างไรก็ดี ปริมาณตัวทำละลายที่เพียงพอ เป็นสิ่งที่จำเป็นในการทำละลายอย่างสมบูรณ์ หากปริมาณตัวทำละลายไม่เพียงพอ จะยังคงมีโมเลกุลหรือบางส่วนของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ที่เกิดการเชื่อมโยงทางกายภาพ ดังรูปที่ 3.5 ทำให้น้ำยาประสานท่อที่ได้มีความหนืดสูงหรือมีสภาพคล้ายเจล ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้งานได้



**รูปที่ 3.5** โครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการละลายอย่างไม่สมบูรณ์

(Young, R.J. and Lovell, P.A., 1991)

### 3.2.2 การยึดติดของน้ำยาประสานท่อบนผิวท่อพีวีซีและข้อต่อพีวีซีแข็ง

เมื่อทำน้ำยาประสานที่ผสมได้ลงบนผิวของท่อพีวีซีและข้อต่อพีวีซี สารละลายผสมแพร่ซึมผ่านโครงสร้างโมเลกุลของท่อพีวีซี เมื่อสารละลายผสมแพร่ซึมผ่านโครงสร้างโมเลกุลของท่อพีวีซีตัวทำละลายเกิดการระเหย ทำให้โมเลกุลของท่อพีวีซีเกิดการเชื่อมโยงทางกายภาพกับโมเลกุลของพีวีซีเรซิน

ตามโครงสร้างแบบจำลองของ Voyutakii ซึ่งอาศัยทฤษฎีการแพร่ซึมของสารยึดติด Voyutakii ได้เสนอทฤษฎีการแพร่ของการยึดติดซึ่งเป็นการแสดงคุณสมบัติการยึดติดบนวัสดุชนิดพอลิเมอร์ โดยการแพร่จะเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) หรือสายโซ่ของพอลิเมอร์และเกิดการยึดติดบริเวณที่สารละลายผสมแพร่ผ่าน เมื่อสารละลายผสมเกิดการแพร่ผ่านบริเวณที่ต้องการการยึดติด จะเกิดการละลายซึ่งกันและกันระหว่างสารละลายผสมกับพอลิเมอร์

Vasenin เสนอสมมติฐานเกี่ยวกับการแพร่ระหว่างผิวสัมผัส (Modelling Interfacial Diffusion) ขึ้นกับค่าความแข็งแรงในการยึดติด (Joint Strength) เวลาที่สารยึดติดสัมผัสกับวัสดุ (Contact time) อุณหภูมิ ชนิดของพอลิเมอร์ มวลโมเลกุลและความหนืดของสารละลายผสม เพื่อเป็นการพิสูจน์สมมติฐานดังกล่าว Vasenin ได้สร้างแบบจำลองของการแพร่ผ่านพื้นผิวสัมผัส โดยอาศัยกฎข้อที่หนึ่งของ Fick ทำการพิจารณาการแพร่ผ่านของสารละลายผสมในแนวแกนขึ้นอยู่กับปริมาณของสารยึดติดที่จะแพร่ผ่านพื้นที่ผิวสัมผัสเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่เปลี่ยนไปของสารยึดติด ในช่วงเวลาที่สนใจศึกษา สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.3

$$dw = -D_f dt (dc/dx) \quad 3.3$$

เมื่อ  $dw$  คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารที่แพร่ผ่าน

$w$  คือ ปริมาณของสารที่เกิดการแพร่ในแนวแกน  $x$  ต่อหน่วยพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลง

ความเข้มข้น ( $\text{mol cm}^{-2}$ )

$D_f$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ ( $\text{cm}^2 \text{s}$ )

$dc/dx$  คือ การแพร่ในแนวแกน  $X$  ต่อพื้นที่ ( $\text{mol cm}^{-4}$ )

แต่ข้อจำกัดของสมการที่ 3.3 คือ การแพร่อยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State) เมื่อความเข้มข้นในระบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

Vasenin ได้ใช้กฎของ Fick ในการหาความลึกในการแพร่ซึมของโมเลกุลที่เกิดการแพร่ (Depth of Penetration,  $l_p$ ) โดยสมมติว่าโมเลกุลที่เกิดการแพร่มีการแพร่ระหว่างพื้นผิวเข้าไปยังพื้นผิวสัมผัส ณ ช่วงเวลาที่สารยึดติดสัมผัสกับพื้นผิวสัมผัสมีค่าเท่ากับ  $t_c$  และค่าคงที่ของการแพร่ต่อเวลา สามารถแสดงได้ ดังสมการที่ 3.4

$$D_f = D_d t_c \cdot \beta \quad 3.4$$

- เมื่อ  $D_d$  คือ ค่าคงที่ของการเคลื่อนที่บนพื้นผิวสัมผัส  
 $\beta$  คือ ค่าคงที่ ที่เป็นตัวกำหนดความเร็วของสัมประสิทธิ์การแพร่กับเวลา  
 $t_c$  คือ ช่วงเวลาที่สารยึดติดสัมผัสกับพื้นผิวสัมผัส (s)

นำค่าที่ได้จากสมการที่ 3.4 มาคำนวณหาค่าความลึกของการซึมผ่านของสารยึดติด (Depth of Penetration,  $l_p$ ) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.5

$$l_p = \frac{(\pi D_d t_c^{1/2})^{1/2}}{k_3} \quad 3.5$$

- เมื่อ  $k_3$  คือ ค่าคงที่ซึ่งบอกถึงความแข็งแรงพันธะของพอลิเมอร์  
 $t_c$  คือ ช่วงเวลาที่สารยึดติดสัมผัสกับพื้นผิวสัมผัส (s)  
 $D_d$  คือ ค่าคงที่ของการเคลื่อนที่บนพื้นผิวสัมผัส

จำนวนสายโซ่โมเลกุลระหว่างสารยึดติดกับพื้นผิวสัมผัส สามารถหาได้โดยสมการที่ 3.6

$$N_c = \left( \frac{2N\rho}{M} \right)^{2/3} \quad 3.6$$

- เมื่อ  $N$  คือ เลขอวกาโตร  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของพอลิเมอร์ ( $\text{g cm}^{-3}$ )  
 $M$  คือ มวลโมเลกุลของพอลิเมอร์

$N_c$  คือ จำนวนสายโซ่ของสารยึดติดที่เชื่อมระหว่างผิวสัมผัส

จากสมการที่ 3.6 จะพบว่า  $N_c$  จะแปรผกผันกับมวลโมเลกุลของพอลิเมอร์ ถ้ามีปริมาณของมวลโมเลกุลของพอลิเมอร์มากจะมีผลทำให้  $N_c$  มีค่าน้อยจะทำให้จำนวนสายโซ่ของสารยึดติดที่เชื่อมระหว่างผิวสัมผัสมีน้อย ส่งผลให้สายโซ่และโมเลกุลของพอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนได้ง่าย ดังนั้นจึงทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการแยกโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Peeling Energy, P) จะมีค่าน้อยตามสมการที่ 3.7 พลังงานในการแยกระหว่างผิวสัมผัสทั้งสอง จะเป็นสัดส่วนของความลึกของการซึมผ่านของสารยึดติดและจำนวนสายโซ่ที่เชื่อมระหว่างผิวสัมผัสทั้งสอง

$$P = l_p N_c = k_4 \left( \frac{2N\rho}{M} \right)^{2/3} D_d^{1/2} t_c^{1/4} \quad 3.7$$

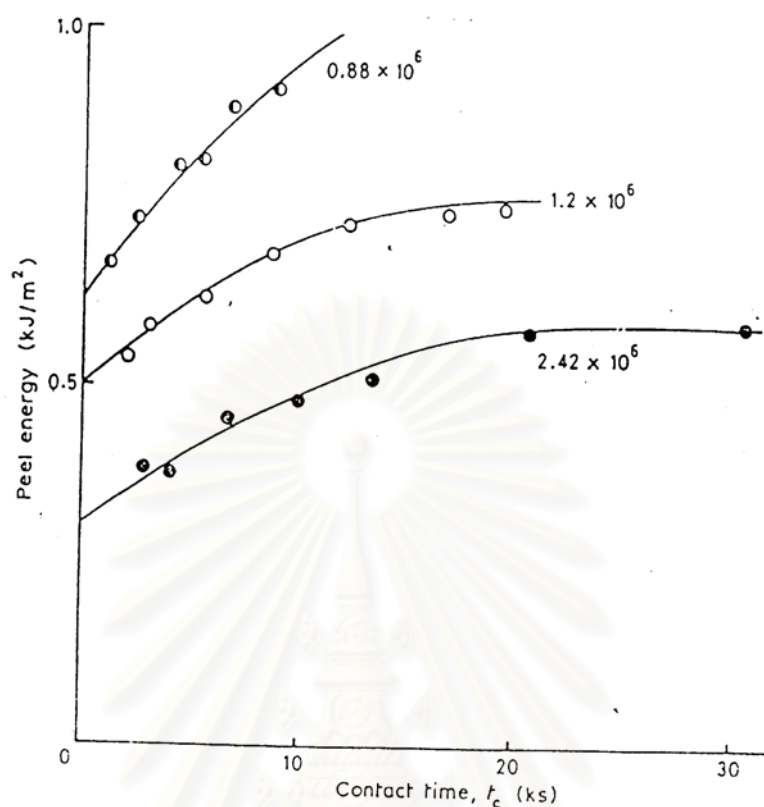
เมื่อ  $k_4$  คือ ค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\pi^{1/2}/3$  เป็นค่าคงที่ที่แสดงในรูปของลักษณะโมเลกุลของพอลิเมอร์

$t_c$  คือ ช่วงเวลาที่สารยึดติดสัมผัสกับพื้นผิวสัมผัส (s)

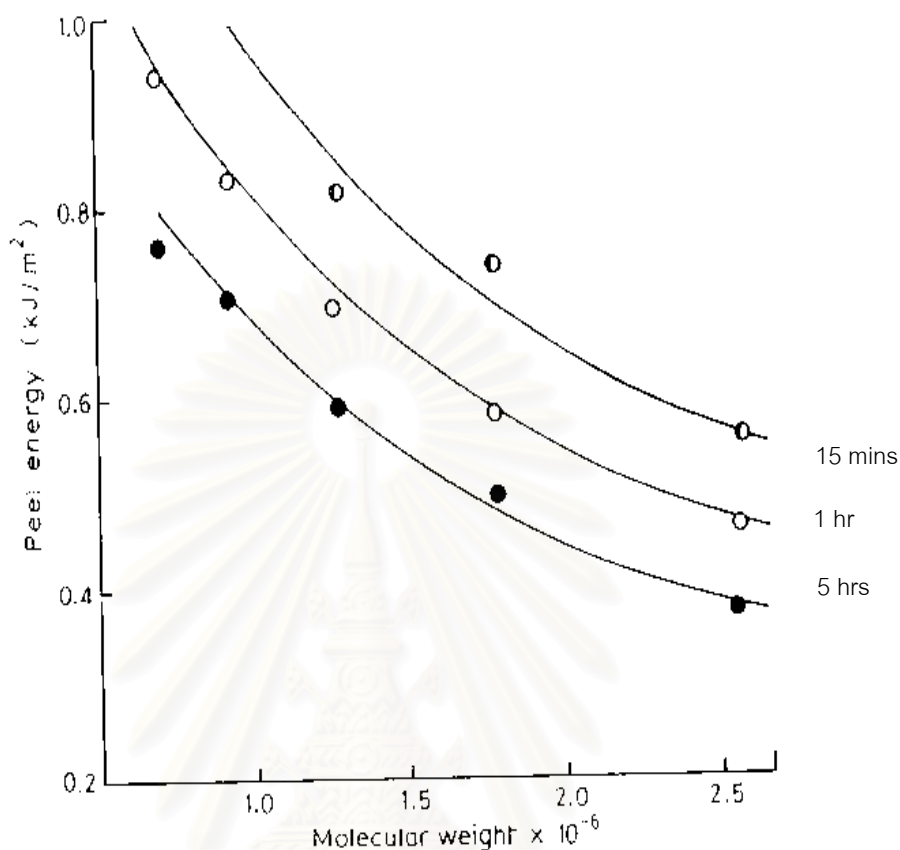
$D_d$  คือ ค่าคงที่ของการเคลื่อนที่บนพื้นผิวสัมผัส

ค่าความแข็งแรงของการยึดติด (Adhesive Strength) ของสารยึดติดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนโมเลกุลของสารยึดติดที่ซ้อนกันระหว่างวัสดุ 2 ชิ้น จากรูปที่ 3.6 ศึกษาผลของเวลาที่สารยึดติดสัมผัสกับชิ้นงาน สำหรับพอลิไอโซบิวทิลีนซึ่งมีมวลโมเลกุลต่างกัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อมวลโมเลกุลของพอลิเมอร์มีค่ามากขึ้นจะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและพลังงานในการแยกโมเลกุลมีค่าน้อยลง เมื่อพิจารณาให้เวลาในการวิเคราะห์คงที่ และจากรูปที่ 3.7 พิจารณาให้มวลโมเลกุลของพอลิไอโซบิวทิลีนมีค่าคงที่ เมื่อเวลาในการทดลองมากขึ้นจะต้องใช้พลังงานในการแยกโมเลกุลมีค่ามากขึ้น จากความสัมพันธ์จากดังกล่าวจึง สามารถนำมาวิเคราะห์ผลของ ค่าความแข็งแรงในการยึดติด (Joint Strength) ที่ Vasenin ได้เสนอว่า จะขึ้นกับเวลาที่สารยึดติดสัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุ (Contact time) และมวลโมเลกุลของพอลิเมอร์ ค่าพลังงานในการแยกโมเลกุลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความแข็งแรงในการยึดติด (Joint Strength)





รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในการยึดติด และค่าพลังงานที่ใช้ในการแยก  
โมเลกุล (Peeling Energy) ของพอลิไอโซบิวทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน  
(Kinloch, J.A., 1990)

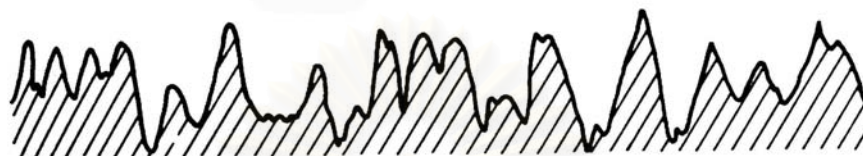


รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพลังงานที่ใช้ในการแยก โมเลกุล (Peeling Energy) ของพอลิไอโซบิวทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ เมื่อเวลาที่ใช้ในการยึดติดต่างๆ (Kinloch, J.A., 1990)

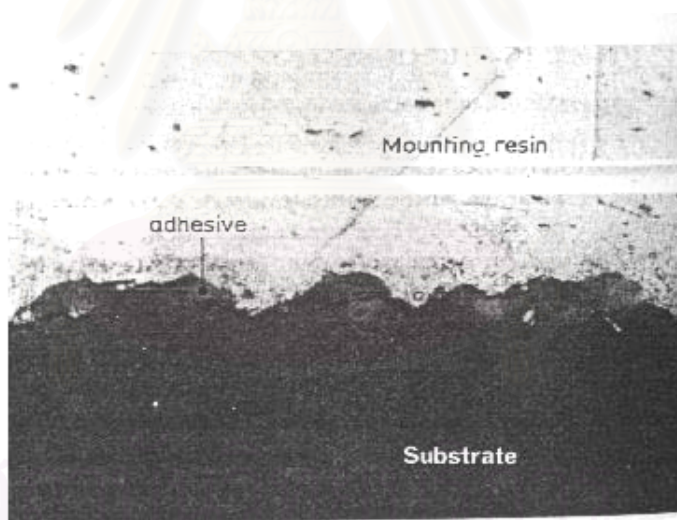
### 3.3 การเพิ่มคุณภาพในการยึดติดระหว่างน้ำยาประสานท่อกับผิวสัมผัสของท่อพีวีซี

ทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับชิ้นงานท่อพีวีซี ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีเชิงกลของการยึดติด (Mechanical Interlocking Theory of Adhesive) เป็นทฤษฎีที่กล่าวถึง การเพิ่มคุณสมบัติการยึดติดของสารยึดติดกับพื้นผิวสัมผัส โดยการทำให้พื้นผิวสัมผัสมีความขรุขระ (Irregularities of the Substrate Surface) การเพิ่มความขรุขระให้กับพื้นที่ผิวสัมผัสทั้ง 2 จะส่งผลถึงการเพิ่มขึ้นของค่าแรงดึง (Tensile Strength) และค่ามอดูลัส (Modulus) ณ บริเวณรอยต่อของวัสดุ บริเวณที่ผิวสัมผัสเกิดความขรุขระจะมีลักษณะเป็นโพรงหรือช่อง (Cavity) กระจายตัวไปบนผิวสัมผัสของวัสดุแสดงตามรูปที่ 3.8 ทำให้กลไกการยึดติดเกิดได้ดี ณ บริเวณนี้ โพรงหรือช่องที่กระจายตัวบนผิวสัมผัสนั้นเกิดเป็นรอยแยกต่างๆขึ้นซึ่งรอยแยก

ดังกล่าวนี้เรียกว่า Ink-bottle pits ดังนั้นเมื่อเทสารยึดติดลงบนพื้นผิวสัมผัสของวัสดุที่มีการเพิ่มผิวสัมผัสแล้ว สารยึดติดจะไหลซึมเข้าไปตามรอยแยกหรือโพรงต่างๆของพื้นผิวที่ขรุขระและบริเวณรอยต่อต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของผิวสัมผัสที่เกิดความขรุขระ (Kinloch, J.A., 1990)



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของสารยึดติดบนพื้นผิวสัมผัส (Kinloch, J.A., 1990)

เมื่อสารยึดติดแห้งกลายเป็นของแข็งจะเกิดการยึดเกาะกับวัสดุบริเวณนั้นอย่างแข็งแรง การทำให้พื้นผิวสัมผัสมีความขรุขระจึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสสารยึดติดให้มากขึ้น เมื่อสารละลายสัมผัสกับพื้นที่ผิวของวัสดุแล้ว ที่บริเวณนั้นจะเกิดแรงยึดติด (Joint Strength) ของพื้นผิวทั้ง 2 ชนิด ค่า

พลังงานในการแยกโมเลกุล (Peel Energy) ในลักษณะที่พื้นผิวสัมผัสของการยึดติดมีรูปแบบที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าพลังงานในการแยกโมเลกุล (Peel Energy) เมื่อพื้นผิวสัมผัสมีความขรุขระในรูปแบบที่แตกต่างกัน (Kinloch, J.A., 1990)

Surface topography		Peel energy	
Description	Diagrammatic representation	$\text{kJ/m}^2$	$\text{lbf/in}$
Flat		0.66	3.8
Flat + 0.3 $\mu\text{m}$ dendrites		0.67	3.8
Flat + 0.3 $\mu\text{m}$ dendrites + oxidation		0.77	4.4
3 $\mu\text{m}$ high-angle pyramids		1.0	5.9
2 $\mu\text{m}$ low-angle pyramids + 0.3 $\mu\text{m}$ dendrites		1.3	7.4
2 $\mu\text{m}$ low-angle pyramids + 0.3 $\mu\text{m}$ dendrites + oxidation		1.5	8.8
3 $\mu\text{m}$ high-angle pyramids + 0.3 $\mu\text{m}$ dendrites + oxidation		2.4	13.5
Nickel foil with club-headed nodular structures		2.3	13.1

กรณีพื้นผิวสัมผัสเป็นพลาสติก ลักษณะการเกิดกลไกการยึดติดบนวัสดุที่เป็นพลาสติกจะเกิดขึ้นได้ ต้องมีการเตรียมพื้นผิวพลาสติกก่อนที่จะทำการทดสอบการยึดติดลงบนพื้นผิววัสดุ วิธีการเตรียมพื้นผิวสัมผัสอยู่หลายวิธีเช่น การใช้กระแสไฟฟ้าในการเตรียมพื้นผิวสัมผัสของพอลิโพรพิลีนเสนอโดย Perrin และ Pettett

Wake ได้ทำการเสนอสูตรการคำนวณหาค่าแรงดึงสูงสุดบริเวณข้อต่อ (Optimum Joint Strength) โดยได้ทำการทดลองจากข้อมูลของ Perrin และ Pettett ดังแสดงในสมการที่ 3.8

$$\text{Optimum Joint Strength} = \text{Constant} \times \text{Mechanical interlocking component} \times \text{interfacial chemical component} \quad 3.8$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะพบว่า ค่าความแข็งแกร่งของการยึดติดสามารถควบคุมได้โดยอาศัยกลไกการยึดติด ดังนั้นการเตรียมพื้นที่ผิวสัมผัสจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อขั้นตอนการยึดติด



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 4.1 วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำยาประสานท่อพีวีซีทางการค้า

นำน้ำยาประสานท่อพีวีซีทางการค้าของสองบริษัทมาวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบของน้ำยาประสานท่อ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำยาประสานท่อพีวีซีทางการค้าจะถูกใช้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำยาประสานท่อพีวีซีในงานวิจัยนี้

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำยาประสานท่อพีวีซีอาศัยเทคนิคประกอบกัน 3 อย่าง คือ

##### 4.1.1 GPC (Gel Permeation Chromatography)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย (Molecular Weight,  $M_w$ ) โดยนำน้ำยาประสานท่อตัวอย่างของทั้งสองบริษัทมาละลายในตัวทำละลายออกจนหมด จากนั้นนำของแข็งที่ได้มาทำละลายด้วยเตตระไฮโดรฟิวเรน (Tetrahydrofuran, THF) ให้มีความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และใช้เครื่อง GPC (U-Water รุ่น Water 150-CV) ในการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักโมเลกุล โดยฉีดสารละลายตัวอย่างลงในคอลัมน์ PL Gel ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และกำหนดอัตราการไหลที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้พอลิสไตรีนเป็นสารที่ใช้ในการสอบเทียบ

##### 4.1.2 NMR (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสาร โดยทำการเตรียมสารละลายตัวอย่างใน  $CDCl_3$  (Deuterated Chloroform) ให้มีความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโดยปริมาตร สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค H-NMR และความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโดยปริมาตร สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค C-NMR โดยใช้เครื่อง (Magan รุ่น NMR-1) ในการวิเคราะห์หาระดับพลังงานที่แตกต่างกันของนิวเคลียสที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก ผลจากการทดสอบด้วยเครื่อง NMR จะแสดง Chemical Shift ( $\delta$ ) ซึ่งเกิดจากการเกิดเรโซแนนซ์ของโปรตอนหรือคาร์บอน

#### 4.1.3 TGA (Thermogravimetric Analysis)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาสัดส่วนของสารต่างๆที่เกิดจากการสลายตัวเนื่องจากการให้ความร้อน โดยการตัดชิ้นงานสารตัวอย่างให้มีขนาดใกล้เคียงกัน น้ำหนักประมาณ 1-5 มิลลิกรัม แล้วนำมาบรรจุลงในภาชนะทดสอบเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA (Perkinelmer รุ่น TGA-7) ทดสอบภายใต้สภาวะอากาศปกติ โดยใช้อัตราการเพิ่มความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA จะแสดงผลเป็นโครมาโตแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงของมวลสารเมื่อมีการให้ความร้อน

### 4.2 เตรียมตัวอย่างน้ำยาประสานท่อพีวีซีด้วยสูตรต่างๆ

#### 4.2.1 รายการของวัสดุและสารเคมี

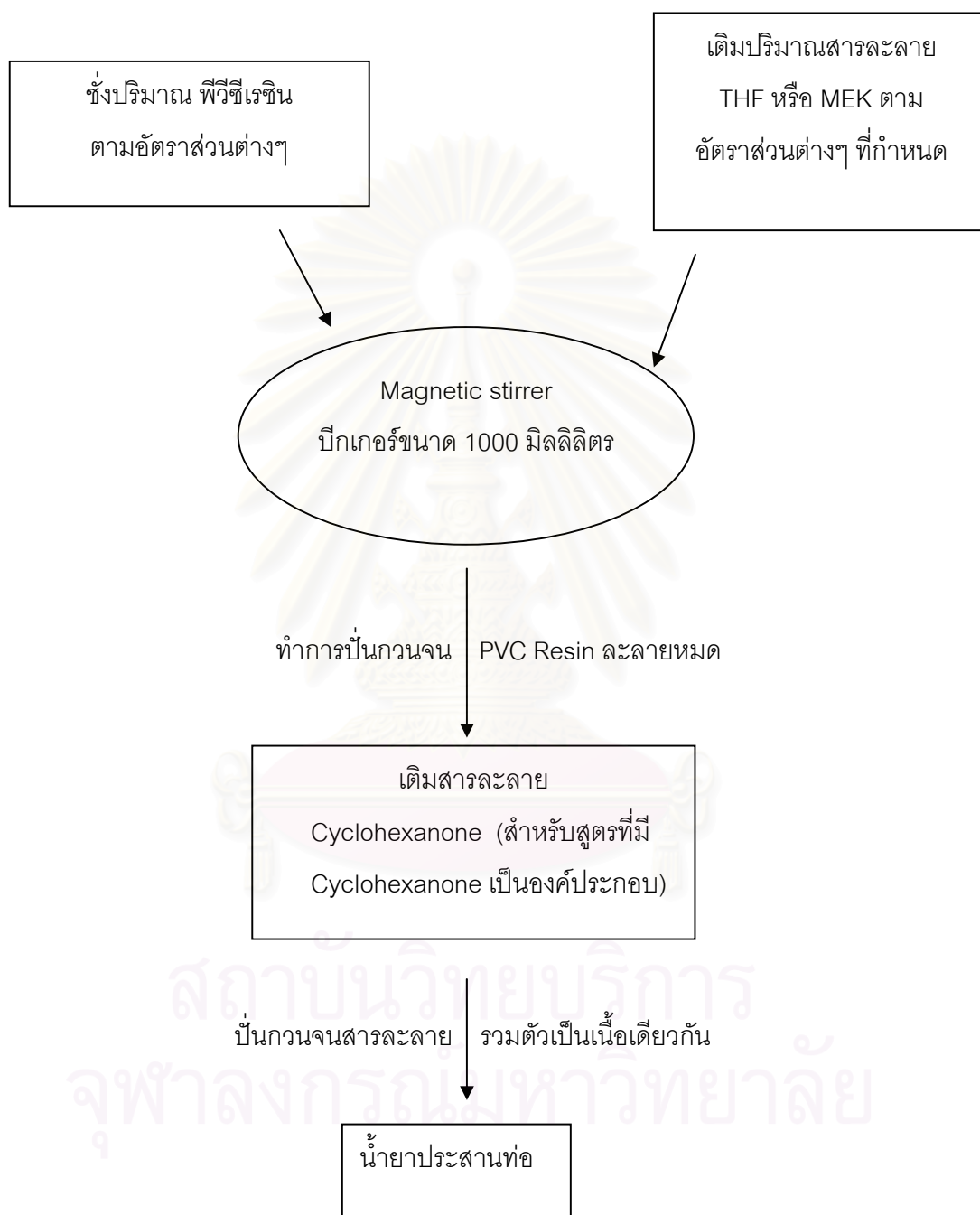
- พีวีซีเรซิน เกรด 68GP#80001P6063 ที่มีค่า K-Value อยู่ระหว่าง 0.68-0.74 ของบริษัท ทีพีซี อ็อกซี จำกัด ราคา 22 บาทต่อกิโลกรัม
- เตตระไฮโดรฟิวเรน เกรดอุตสาหกรรม ราคา 110 บาทต่อกิโลกรัม ของบริษัท แลปสแกน จำกัด
- เมทิลเอทิลคีโตน เกรดอุตสาหกรรม ราคา 32 บาทต่อกิโลกรัม ของบริษัท แลปสแกน จำกัด
- ไซโคลเฮกซานอน เกรดอุตสาหกรรม ราคา 47 บาทต่อกิโลกรัม ของบริษัท แลปสแกน จำกัด

#### 4.2.2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยาประสานท่อพีวีซี

ทำการเตรียมตัวอย่างของน้ำยาประสานท่อพีวีซีตามขั้นตอนแผนภาพที่ 4.1 ด้วยสูตรต่างๆ ดังนี้ โดยในแต่ละสูตรประกอบด้วยตัวอย่างย่อยๆที่มีส่วนผสมต่างๆกันดังแสดงในตารางที่ 4.1

- I พีวีซีเรซินที่มีเตตระไฮโดรฟิวเรนเป็นตัวทำละลาย
- II พีวีซีเรซินที่มีเมทิลเอทิลคีโตนเป็นตัวทำละลาย
- III พีวีซีเรซินที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเตตระไฮโดรฟิวเรนและไซโคลเฮกซานอน เป็นตัวทำละลาย
- IV พีวีซีเรซินที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซานอนเป็นตัวทำละลาย
- V พีวีซีเรซินที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเตตระไฮโดรฟิวเรนและเมทิลเอทิลคีโตน

VI พิวซีเรซินที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเตตระไฮโดรฟิวเรน เมทิลเอทิลคีโตนและไซโคล-เฮกซาโนน



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมน้ำยาประสานท่อ



ตารางที่ 4.1 ส่วนผสมของน้ำยาประสานท่อสูตรต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยนี้

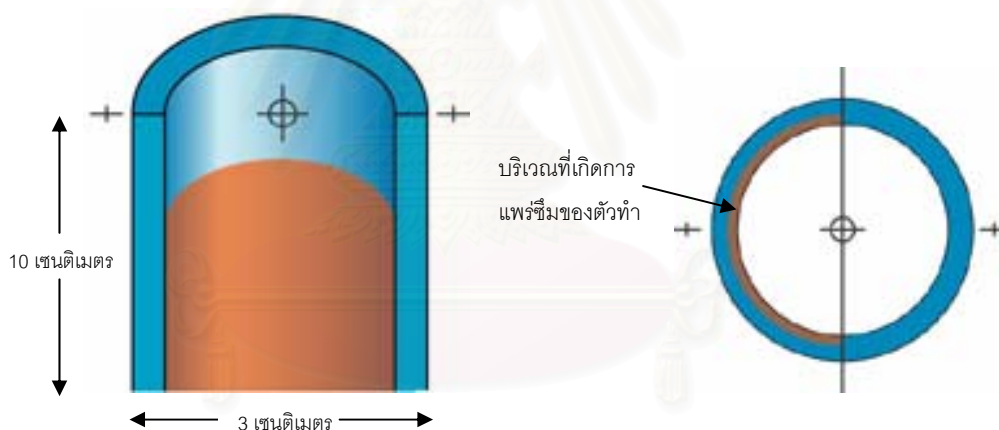
		สัดส่วนของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)			
		PVC	THF	MEK	Cyclohexanone
สูตรที่ I	1	10	90	-	-
	2	15	85	-	-
	3	20	80	-	-
	4	30	70	-	-
สูตรที่ II	1	10	-	90	-
	2	15	-	85	-
	3	20	-	80	-
	4	30	-	70	-
สูตรที่ III	1	15	75	-	10
	2	15	65	-	20
	3	15	55	-	30
	4	15	45	-	40
	5	15	35	-	50
สูตรที่ IV	1	15	-	75	10
	2	15	-	65	20
	3	15	-	55	30
	4	15	-	45	40
	5	15	-	35	50
สูตรที่ V	1	15	42.5	42.5	-
	2	15	34.0	51	-
	3	15	25.2	59.5	-
	4	15	17.0	68	-
	5	15	8.5	76.5	-
	6	15	4.25	80.75	-
สูตรที่ VI	1	15	5.5	49.5	30
	2	15	5.3	47.7	32
	3	15	5.1	45.9	34
	4	15	4.9	44.1	36
	5	15	4.7	42.3	38
	6	15	4.5	40.5	40

### 4.3 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆของตัวทำละลายและน้ำยาประสานท่อ

#### 4.3.1 ทดสอบการแพร่ซึมบนผิวท่อพีวีซี (Diffusion)

ทดสอบหาระยะการแพร่ซึมของตัวทำละลาย เติตระไฮโดรฟิวเรน เมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซานอน ทำการทดลองที่อุณหภูมิ  $37 \pm 2$  องศาเซลเซียส โดยเตรียมท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร และสูง 10 เซนติเมตร จำนวน 24 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.2 เทตัวทำละลายแต่ละชนิดลงไปในท่อพีวีซีที่เตรียมไว้ปริมาณ 30 มิลลิลิตร ต่อ 1 ตัวอย่าง ปิดฝาท่อพีวีซี ทำการทดลองที่เวลา 1 2 5 7 12 18 24 และ 48 ชั่วโมง

นำท่อพีวีซีที่ทำการทดลองที่เวลาต่างๆตามรูปที่ 4.2 มาทำการวัดระยะที่ตัวทำละลายแพร่ซึมเข้าไปในผิวท่อของท่อพีวีซีเรซิน โดยทำการตัดท่อที่ระยะความสูง 5 เซนติเมตร แล้ววัดระยะการแพร่ซึมของตัวทำละลายที่ซึมลงในท่อพีวีซีทั้งหมด 5 จุด บนชิ้นงานทดสอบ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของระยะการแพร่ซึมของตัวทำละลายบนผิวท่อ



รูปที่ 4.2 การเตรียมท่อพีวีซีเพื่อทดสอบอัตราการแพร่ซึมของตัวทำละลาย

#### 4.3.2 การหาความหนืด (Viscosity)

นำส่วนผสมของน้ำยาประสานท่อที่เตรียมตามสูตรที่ I II III และ IV ในตารางที่ 4.1 มาทำการหาความหนืดของน้ำยาประสานท่อ โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Cannon Instrument Company รุ่น LV2000) โดยกำหนดอัตราเร็วที่ 12 รอบต่อนาที เลือกใช้หัวเข็มทดสอบเบอร์ L2 ขอบเขตของความหนืด 100 ถึง 1,000 เซ็นติพอยท์



รูปที่ 4.3 เครื่องทดสอบความเหน็ด

#### 4.3.3 การทดสอบสมบัติการยึดติด (Tensile Strength)

นำน้ำยาประสานท่อที่ผสมได้ตามหัวข้อ 4.2 และตัวอย่างน้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทย และบริษัทตราช้างมาทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการยึดติด (Lloyd Instrument รุ่น LR30) ใช้ในการวิเคราะห์ค่าแรงดึง โดยใช้สภาวะการทดลองตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก 1032 (2534) โดยใช้แรงดึง 30 กิโลนิวตัน ดึงขึ้นงานด้วยอัตราเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อนาที

##### การเตรียมชิ้นงาน

ตัดชิ้นงานท่อพีวีซีแข็งชนิดมาตรฐานมอก.17 ชั้นคุณภาพ 13.5 ให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 1 นิ้ว และยาว 3.0 นิ้ว แสดงดังรูปที่ 4.4 จำนวน 2 ชิ้น นำมาตัดด้วยกระดาษทรายน้ำขนาด เม็ดขัดสี 120 หรือขนาดใกล้เคียง ให้มีลักษณะผิวหน้าเป็นรอยหยาบเล็กน้อยขนาด  $1 \times 1.5$  นิ้ว เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสให้กับชิ้นงาน

นำน้ำยาประสานท่อที่ผสมได้ตามหัวข้อ 4.2 มาทำการทดสอบด้วยเครื่องทำการทดสอบสารยึดติด โดยท่อน้ำประสานท่อดลงบริเวณรอยต่อที่ตัดกระดาษทรายไว้เรียบร้อยแล้วบนชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.4 ทิ้งชิ้นงานให้แห้งเป็นเวลา 2 5 12 และ 24 ชั่วโมง ก่อนแล้วจึงนำมาทำการทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง



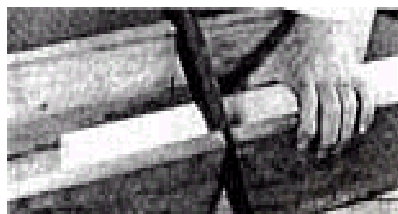
รูปที่ 4.4 แสดงวิธีการเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบแรงดึง (มาตรฐาน มอก.1032 (2534))

#### 4.3.4 ทดสอบการรั่วซึม (Leak Test)

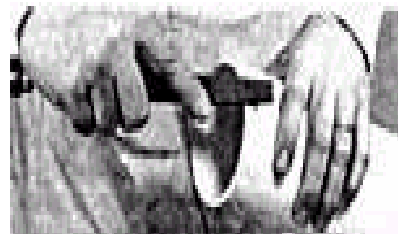
สำหรับสูตรน้ำยาประสานท่อที่ให้ค่าแรงดึงตามมาตรฐาน มอก.1032 (2534) และ ASTM 2564 (1993)ให้นำมาทดสอบการรั่วซึมด้วยเครื่องทดสอบการรั่วซึม (Amtax รุ่น AT-15) ในการวิเคราะห์คุณสมบัติในการรับความดันบริเวณรอยต่อของชิ้นงานทดสอบ

#### การเตรียมชิ้นงาน

เตรียมท่อพีวีซีแข็ง ดังรูปที่ 4.5 ท่อพีวีซีแข็งตามมาตรฐาน มอก.17 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว จำนวน 2 ท่อน โดยสวมต่อเข้ากับข้อต่อพีวีซีแข็งแบบท่อตรง ตามมาตรฐาน มอก.94 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว จำนวน 2 ท่อน ให้ชิ้นทดสอบมีความยาวรวม 16 นิ้ว ทำน้ำยาประสานท่อลงบนผิวด้านในข้อต่อท่อพีวีซีแข็งและผิวด้านนอกของท่อพีวีซีแข็งส่วนที่จะสวมต่อกัน โดยให้ความยาวของท่อพีวีซีส่วนที่สวมเข้าไปในข้อต่อด้านละ 1.5 นิ้ว ทำการต่อชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.6 เติมน้ำให้เต็มชิ้นทดสอบไม่ให้มีอากาศเหลืออยู่ภายในอัดน้ำในชิ้นทดสอบด้วยอัตราส่วนสม่ำเสมอที่อุณหภูมิ  $27 \pm 2$  องศาเซลเซียส ให้ความดัน 1 เมกะพาสคาล ภายในเวลา 20 วินาที รักษาความดันนี้ไว้เป็นเวลา 5 นาทีแล้วตรวจสอบรอยต่อระหว่างท่อ



(1)



(2)



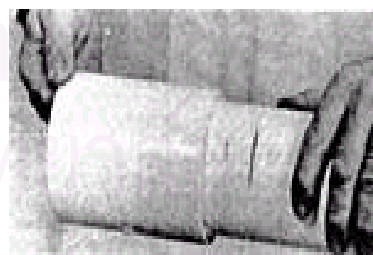
(3)



(4)

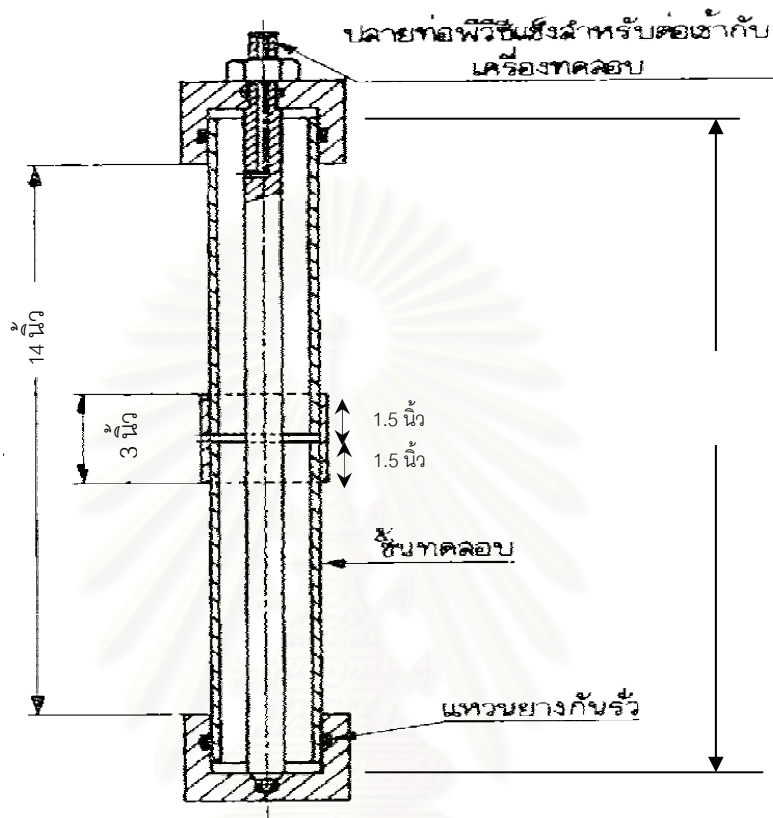


(5)



(6)

รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการต่ออุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบการรั่วซึม



รูปที่ 4.6 อุปกรณ์ทดสอบการรั่วซึม (Leak Test) (มาตรฐาน มอก.1032 (2534))

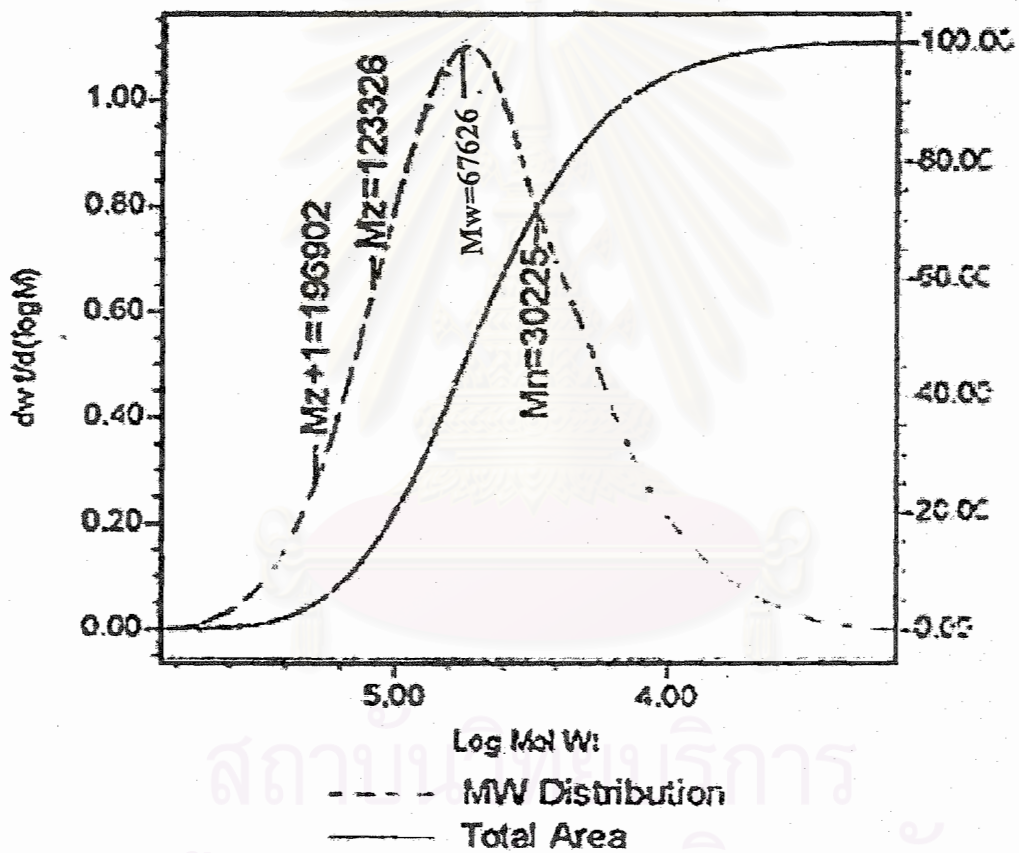
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

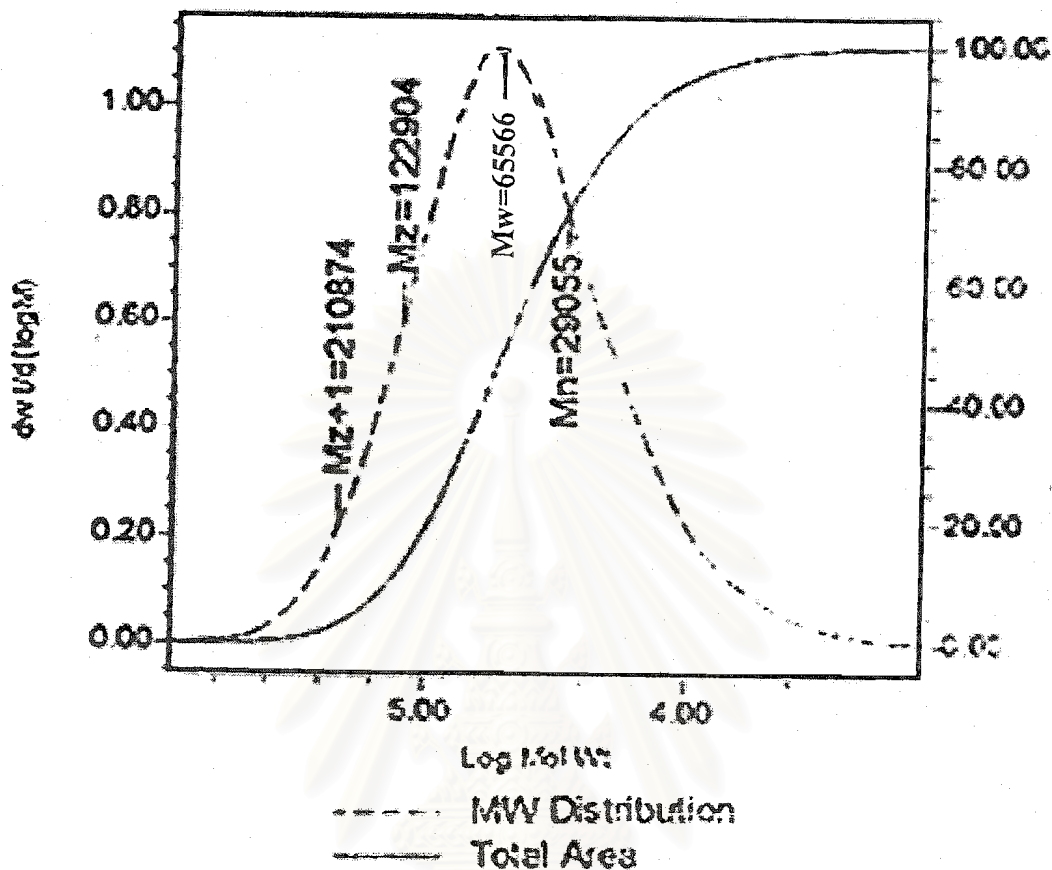
### วิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 5.1 ผลการวิเคราะห์น้ำยาประสานท่อทางการค้า

##### 5.1.1 ผลการทดสอบด้วยเทคนิค GPC (Gel Permeation Chromatography)



รูปที่ 5.1 ผลโครมาโตแกรมของน้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทย



รูปที่ 5.2 ผลโครมาโตแกรมของน้ำยาประสานท่อของบริษัทตราช้าง

ผลการวิเคราะห์น้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทยและบริษัทตราช้าง ด้วยเทคนิค GPC แสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย ( $M_w$ ) ของน้ำยาประสานท่อทั้ง 2 บริษัทแสดงดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ พบว่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของน้ำยาประสานท่อบริษัทท่อน้ำไทยมีค่าเท่ากับ 67,626 ส่วนค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของน้ำยาประสานท่อบริษัทตราช้างมีค่าเท่ากับ 65,566 เนื่องจากเทคนิค GPC เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกและตรวจหาสารประกอบที่มีโมเลกุลสูงและใช้ในการหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิเมอร์ แต่ในบางครั้งการแยกพอลิเมอร์ไม่สามารถกระทำได้ดีสมบูรณ์ สาเหตุเกิดมาจากพอลิเมอร์นั้นประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดลองนี้จะบอกค่าของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำยาประสานท่อทั้ง 2 บริษัท ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของทั้ง 2 บริษัท มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงนำผลของการวิเคราะห์นี้ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้พีวีซีเรซินในการทำการวิจัย



### 5.1.2 ผลการทดสอบด้วยเทคนิค NMR (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)

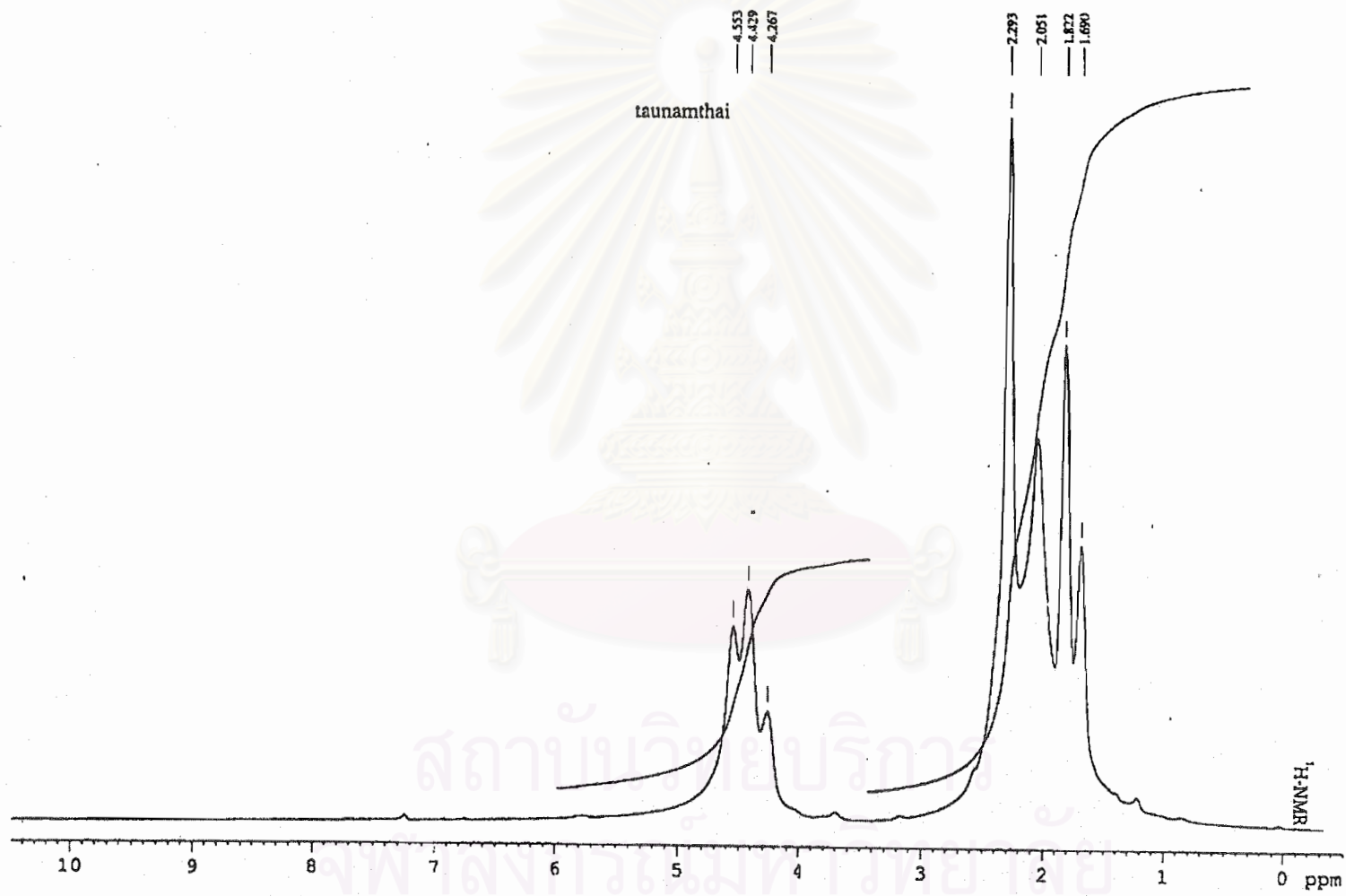
จากสเปกตรัม H-NMR ของน้ำยาประสานท่อบริษัทท่อน้ำไทย (รูปที่ 5.3) และบริษัทตราช้าง (รูปที่ 5.4) พบว่าจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกัน เมื่อทำการวิเคราะห์จำนวนโปรตอนในโมเลกุลของสารผสมจากการวิเคราะห์พบว่าสเปกตรัมเกิดขึ้นหลายพีคแสดงให้เห็นว่าในโมเลกุลของสารผสมจะประกอบด้วยสารหลายชนิดซึ่งสเปกตรัม H-NMR ของสารแต่ละชนิดจะมีพีคปรากฏขึ้นที่ตำแหน่งแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลของสารโดยรอบ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 แสดงการวิเคราะห์สเปกตรัม H-NMR ที่เกิดขึ้นจากการเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง NMR ของน้ำยาประสานท่อทางการค้าของทั้ง 2 บริษัท เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาตรฐาน ค.1 ค.2 และ ค.3 ในภาคผนวก

ตารางที่ 5.1 แสดงการวิเคราะห์สเปกตรัม H-NMR ที่เกิดขึ้นจากการเครื่อง NMR ของน้ำยาประสานท่อทางการค้าของทั้ง 2 บริษัท

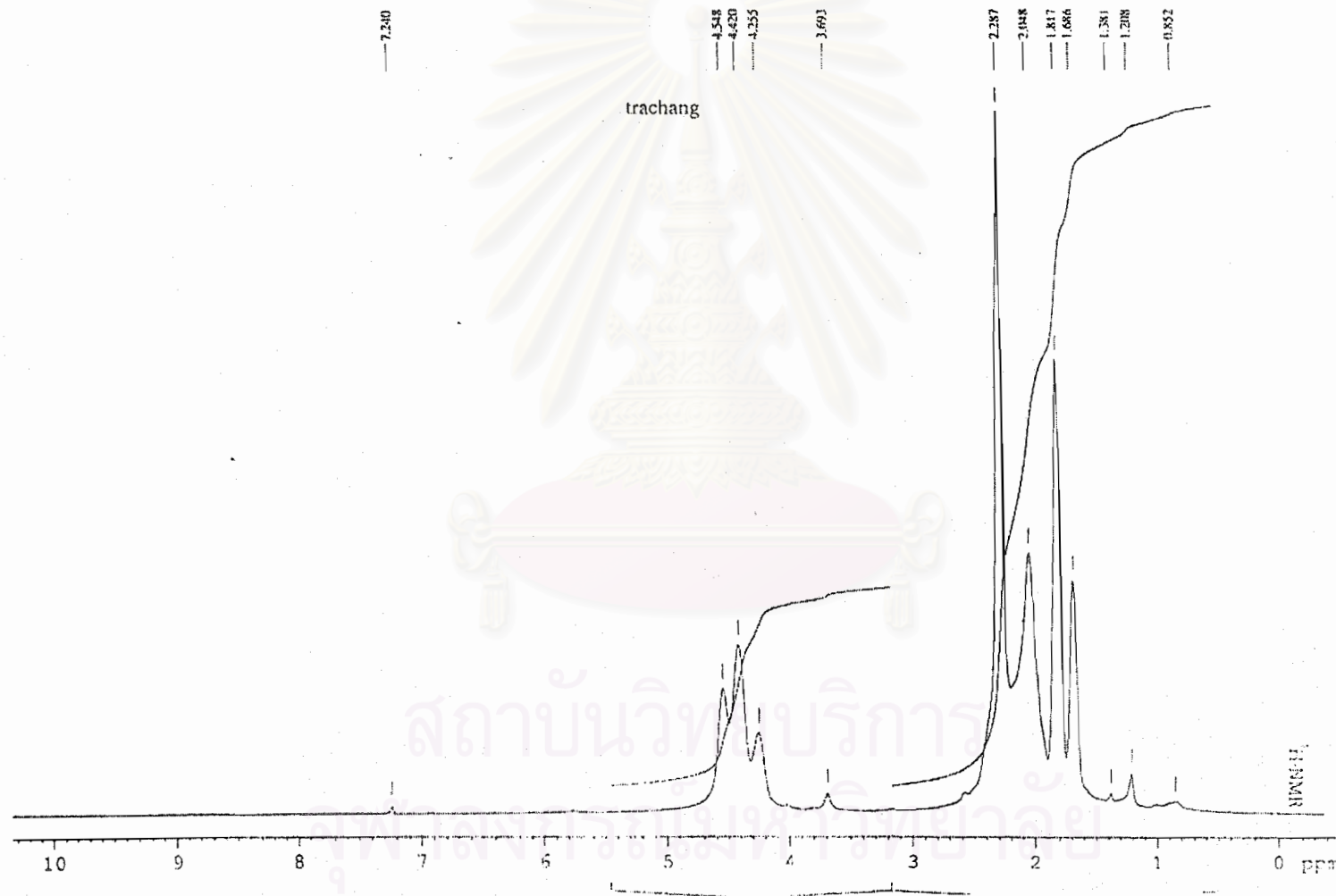
หมู่ฟังก์ชัน	Chemical Shift Value ( $\delta$ ) (ppm)		
	ค่ามาตรฐาน	ท่อน้ำไทย	ตราช้าง
$\begin{array}{c} \text{—CH—} \\   \end{array}$	0.8 -1.7	1.69-1.82	0.8-1.82
$\begin{array}{c} \text{—CH}_2\text{—C—} \\ \quad \quad \quad \parallel \\ \quad \quad \quad \text{O} \end{array}$	2.1-2.7	2.05-2.29	2.04-2.29
$\text{—CH}_2\text{—O— และ —CH}_2\text{Cl}$	4.2-4.5	4.26-4.55	4.26-4.54

สเปกตรัมที่มีหลายพีคแสดงให้เห็นว่าโมเลกุลมีโปรตอนมากกว่า 1 ชนิดที่ไม่เท่าเทียมกันในด้านโครงสร้างทางเคมี โดยที่โปรตอนแต่ละชนิดจะมีค่าคุณสมบัติในการยืดและสั้น (Stretching and Bending) แตกต่างกันไปเนื่องจากผลของธาตุหรือหมู่ต่างๆที่อยู่รอบๆไฮโดรเจนอะตอมตัวนั้น (แมน อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2535) จากสเปกตรัม H-NMR จะมีค่า Chemical Shift ( $\delta$ ) ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานสามารถระบุได้ว่าเป็นพีคเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ผลของสารผสมจากตารางที่ 5.1 ซึ่งจะประกอบด้วยพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซีเรซิน จะเกิดเรโซแนนซ์ที่ประมาณ 4.2 ถึง 4.5 พีพีเอ็ม ซึ่งจะถูกใช้เป็นองค์ประกอบหลักของการทำน้ำยาประสานท่อและมีส่วนที่ใช้เป็นตัวทำละลาย (Solvent) ได้แก่สารจำพวกเตตระไฮโดรฟิวเรนซึ่งจะเกิดเรโซแนนซ์ต่างกันอยู่ 2 กลุ่ม คือ เรโซแนนซ์ที่ประมาณ 4.2 ถึง 4.5 พีพีเอ็ม และเรโซแนนซ์ที่ประมาณ 0.8 ถึง 1.7 พีพีเอ็ม และไซโคลเฮกซาโนน จะเกิดเรโซแนนซ์ต่างกันอยู่ 2 กลุ่ม คือ เรโซแนนซ์ที่ประมาณ 2.1 ถึง 2.7 พีพีเอ็ม และเรโซแนนซ์ที่ประมาณ 0.8 ถึง 1.7 พีพีเอ็ม

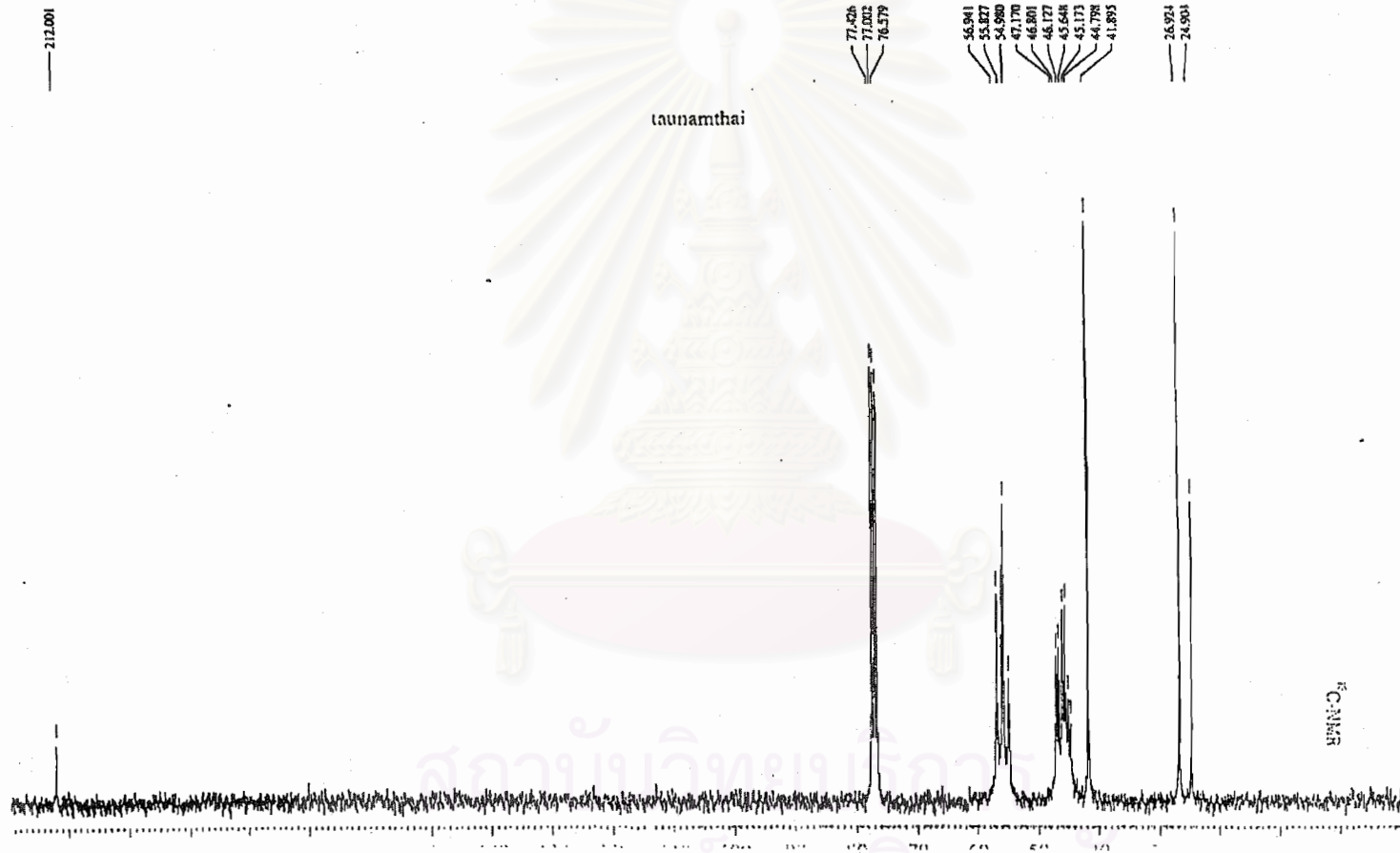
รูปที่ 5.3 สเปกตรัม  $^1\text{H-NMR}$  ของน้ำยาประสานท่อบริษัทท่อน้ำไทย



รูปที่ 5.4 สเปกตรัม  $^1\text{H-NMR}$  ของน้ำยาประสานท่อบริษัทตราช้าง

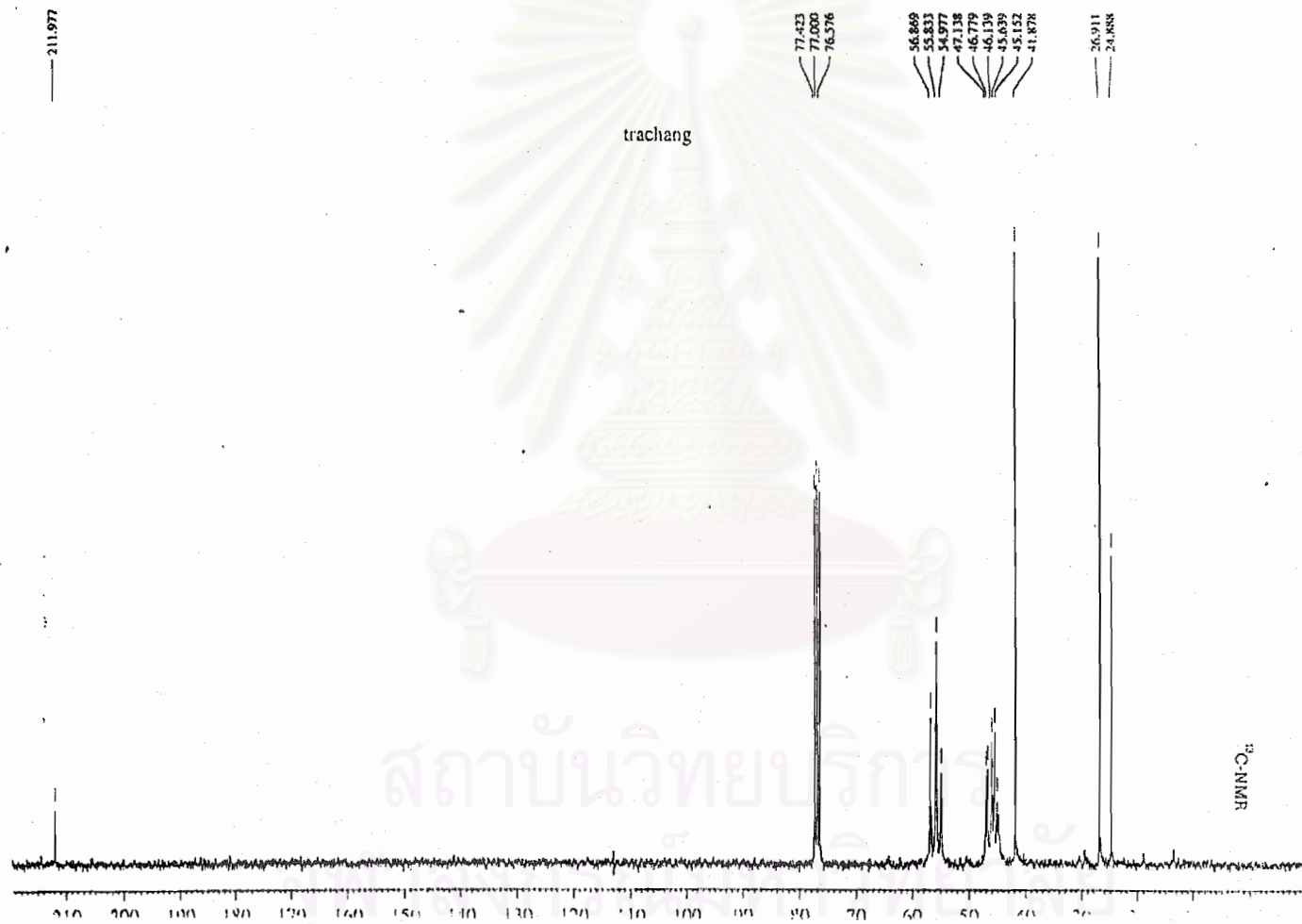


รูปที่ 5.5 สเปกตรัม C-NMR ของน้ำยาประสานท่อบริษัทท่อน้ำไทย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.6 สเปกตรัม  $^{13}\text{C-NMR}$  ของน้ำยาประสานท่อบริษัทตราช้าง



เมื่อนำน้ำยาประสานท่อมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค C-NMR ซึ่งเป็นการวิเคราะห์จำนวนของคาร์บอนในโมเลกุลซึ่งเมื่อวิเคราะห์สเปกตรัมเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ H-NMR จะพบว่าสเปกตรัมที่เกิดจากการวิเคราะห์แบบ C-NMR จะให้ Chemical Shift ( $\delta$ ) ที่มีช่วงกว้างกว่าและสามารถวิเคราะห์ได้ง่ายกว่าแบบ H-NMR จากสเปกตรัมที่ทำการทดลองของน้ำยาประสานท่อบริษัทท่อน้ำไทย (รูปที่ 5.5) และบริษัทตราช้าง (รูปที่ 5.6) พบว่าน้ำยาประสานท่อของทั้ง 2 บริษัท มีสูตรโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน เนื่องจากตำแหน่งของสเปกตรัมที่เกิดขึ้นอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าของ  $\delta$  ที่แสดงผลจากสเปกตรัมมาตรฐานตามเอกสารในภาคผนวกรูปที่ ค.4 และ รูปที่ ค.5 พบว่าน้ำยาประสานท่อทั้ง 2 บริษัทมีค่า  $\delta$  และรูปแบบของพีคที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับมาตรฐาน ดังแสดงผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงการวิเคราะห์สเปกตรัม C-NMR ที่เกิดขึ้นจากการเครื่อง NMR ของน้ำยาประสานท่อทางการค้าของทั้ง 2 บริษัท

หมู่ฟังก์ชัน	Chemical Shift Value ( $\delta$ ) (ppm)		
	ค่ามาตรฐาน	ท่อน้ำไทย	ตราช้าง
$\begin{array}{c} \text{—C—} \\    \\ \text{O} \end{array}$	185-218	212.00	211.98
$\begin{array}{c} \text{—CH—} \\   \\ \text{O} \end{array}$	56-80	76.58-77.42	76.57-77.42
—CH <sub>2</sub> Cl—	40-50	41.89-47.17	44.87-47.10
—CH <sub>2</sub> —	26-34	24.90-26.92	24.88-26.91

ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลสเปกตรัมสามารถสันนิษฐานได้ว่าน้ำยาประสานท่อทั้ง 2 บริษัท ประกอบด้วยพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซีเกิดเรโซแนนซ์ที่ประมาณ 40 ถึง 50 พีพีเอ็ม และตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เตตระไฮโดรฟิวเรนเกิดเรโซแนนซ์ต่างกันอยู่ 2 กลุ่ม คือ เรโซแนนซ์ที่ประมาณ 56 ถึง 80 พีพีเอ็ม และเรโซแนนซ์ที่ประมาณ 26 ถึง 34 พีพีเอ็มและไซโคลเฮกซานอน เกิดเรโซแนนซ์ต่างกันอยู่ 2 กลุ่ม คือ เรโซแนนซ์ที่ประมาณ 185 ถึง 218 พีพีเอ็ม และเรโซแนนซ์ที่ประมาณ 26 ถึง 34 พีพีเอ็ม

### 5.1.3 ผลการทดสอบด้วยเทคนิค TGA (Thermogravimetric Analysis)

จากโครมาโตแกรมแสดงร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของบริษัทท่อน้ำไทยในรูปที่ 5.7 และบริษัท ตราช้างในรูปที่ 5.8 เมื่อให้ความร้อนแกชิ้นงานทดสอบในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การลดลงของน้ำหนักของสารตัวอย่างที่หายไป

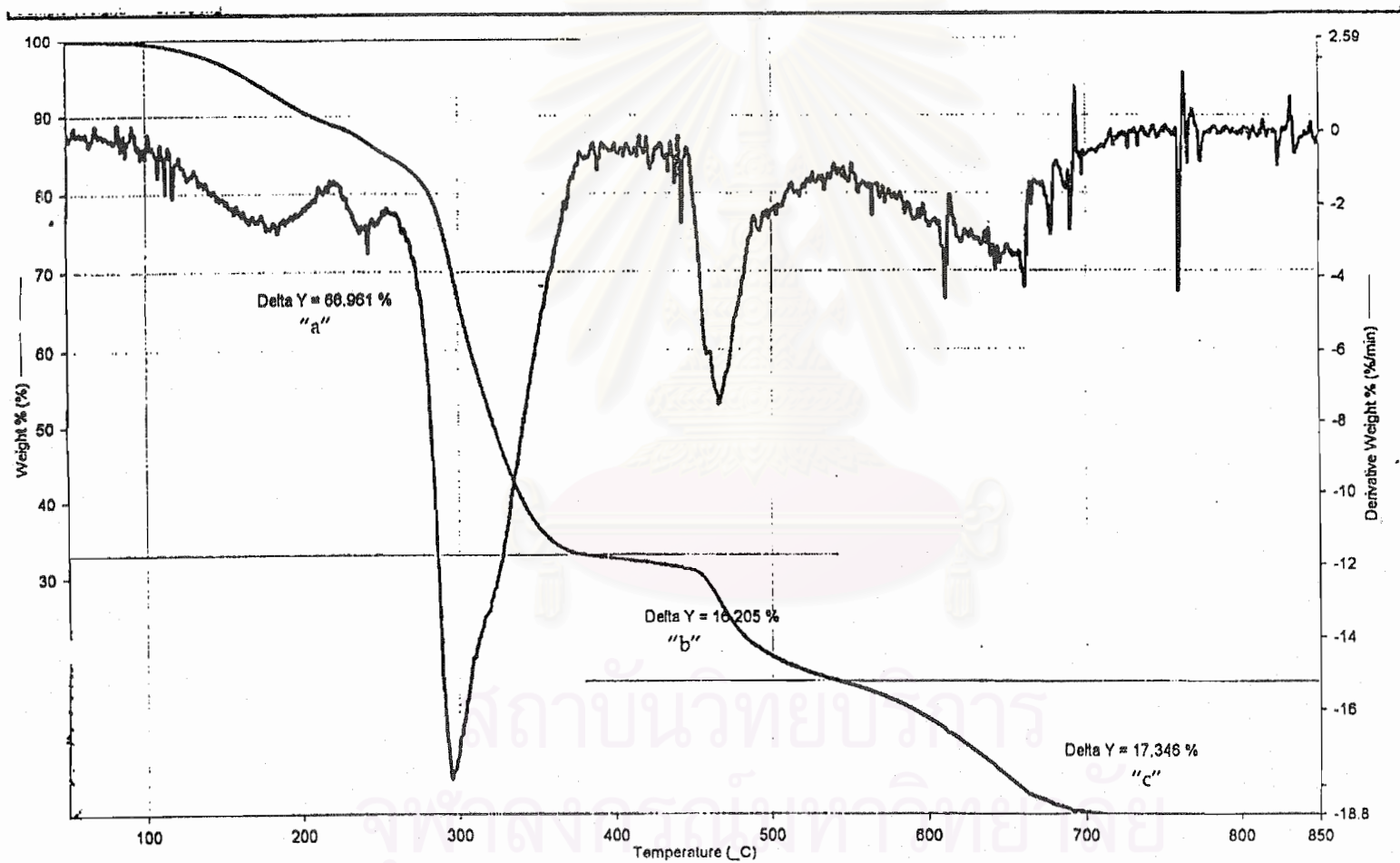
สารตัวอย่าง	ร้อยละของน้ำ หนักที่หายในช่วง อุณหภูมิ 50 - 400 °C	ร้อยละของน้ำ หนักที่หายในช่วง อุณหภูมิ 400 - 530 °C	ร้อยละของน้ำ หนักที่หายในช่วง อุณหภูมิ 530 - 720 °C	ร้อยละของน้ำ หนักที่หายในช่วง อุณหภูมิ 720 - 800 °C
ท่อน้ำไทย	66.44	16.21	17.35	0
ตราช้าง	61.71	16.98	15.98	5.33

จากตารางที่ 5.3 พบว่าเกิดการลดลงของน้ำหนักอย่างมากในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส เป็นผลจากการสลายตัวและการระเหยของตัวทำละลายซึ่งจะเกิดในช่วงต้นๆของการให้ความร้อน คือ 90-270 องศาเซลเซียส เนื่องจากตัวทำละลายมีจุดเดือดที่ต่ำเช่น เตตระไฮโดรฟิวเรน มีจุดเดือดที่ 65-66 องศาเซลเซียส และไซโคลเฮกซานอน มีจุดเดือดอยู่ที่ 155-156 องศาเซลเซียส ดังนั้นตัวทำละลายจึงสลายตัวได้เร็วในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น จากผลการทดลองจะเห็นว่าน้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทยมีการใช้ปริมาณของตัวทำละลายพีวีซีเรซินมากกว่าของบริษัทตราช้าง

ช่วงอุณหภูมิ 400-530 องศาเซลเซียส ตัวทำละลายเกิดระเหยจนหมดเนื่องจากจุดเดือดของตัวทำละลายมีค่าต่ำ ดังนั้นในช่วงอุณหภูมินี้พบว่าพีวีซีเรซินจะเกิดการสลายตัวเนื่องจากการให้ความร้อน

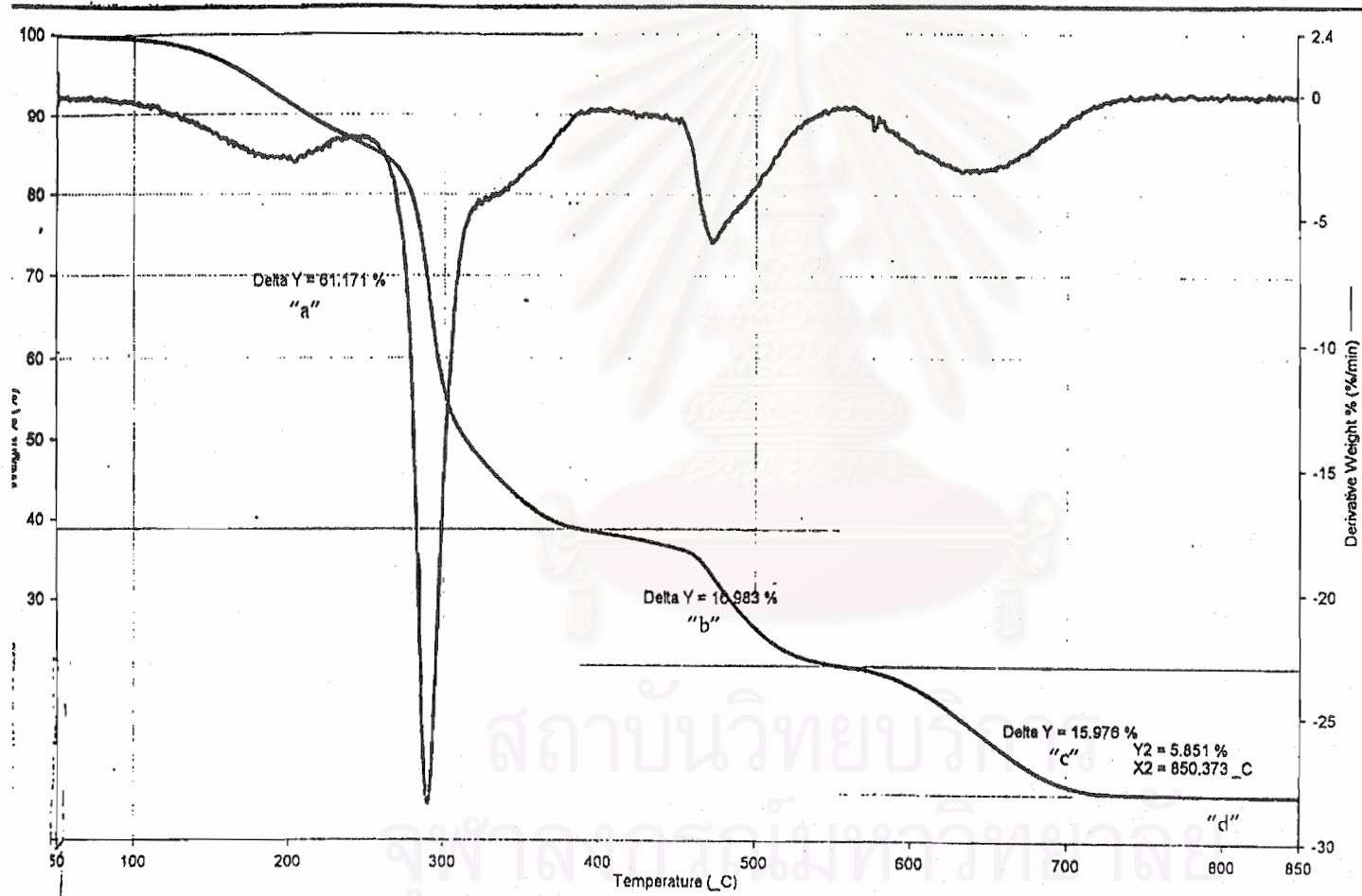
ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 530-720 องศาเซลเซียส แสดงร้อยละของสารอนินทรีย์หรือพวกสารเติมเต็ม (Filler) ที่ต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในการทำให้เกิดการสลายตัวได้ (Hunt และ Jane, 1993) ซึ่งโดยปกติแล้วสารอนินทรีย์หรือสารเติมเต็มที่เป็นส่วนประกอบในพอลิเมอร์จะมีจุดเดือดสูง เช่น การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางด้านความร้อนหาปริมาณสัดส่วนของสารประกอบที่อยู่ในพีวีซี จะพบว่าในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 500 องศาเซลเซียส สารเติมเต็มจำพวกสารอนินทรีย์จะมีการสลายตัวออกมา และหลังจากที่สารเติมเต็มมีการสลายตัวออกมา ในบางกรณีสารตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์จะกลายเป็นขี้เถ้า (Wendlandt, W.M., 1986)

รูปที่ 5.7 โคจรมาโตแกรมแสดงร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของบริษัทท่อน้ำไทย





รูปที่ 5.8 โคจรมาโตแกรมแสดงร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของบริษัทตราช้าง



จากการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากตารางที่ 5.3 และโครมาโตแกรมจากรูปที่ 5.7 และ 5.8 จะพบว่า น้ำยาประสานท่อทั้ง 2 บริษัท มีปริมาณการใช้ตัวทำละลายและพีวีซีเรซินใกล้เคียงกัน แต่น้ำยาประสานท่อของบริษัทตราช้างมีการเติมสารเติมเต็มด้วย

ดังนั้นผลจากการวิเคราะห์ด้วยด้วยเทคนิค GPC NMR และ TGA พบว่าน้ำยาประสานท่อพีวีซีของทั้ง 2 บริษัท ประกอบด้วยพีวีซีเรซินประมาณ 16.21 ถึง 16.98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน และตัวทำละลายไซโคลเฮกซานอน ประมาณ 61.71 ถึง 66.44 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

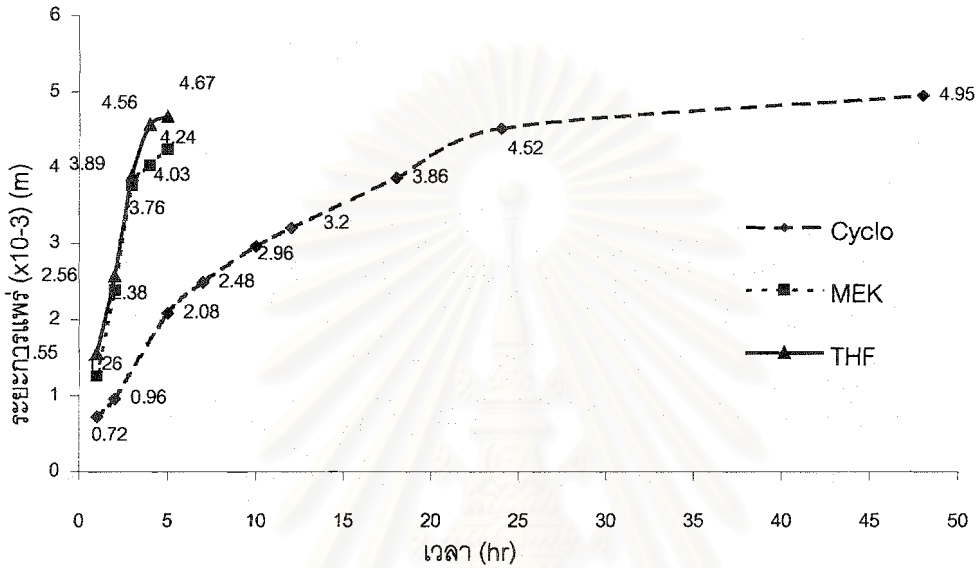


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

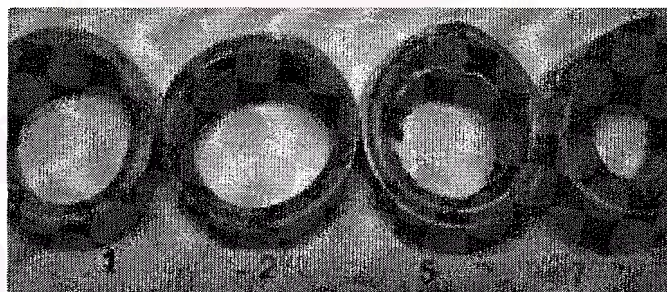
5.2. การทดสอบคุณสมบัติต่างๆของตัวทำละลายและน้ำยาประสานท่อ

5.2.1 ทดสอบการแพร่ซึมบนผิวท่อพีวีซี (Diffusion)

งานวิจัยเพื่อทดสอบหาระยะการแพร่ซึมของตัวทำละลาย เตตระไฮโดรฟิวเรน เมทิลเอทิลคีโตน และไซโคลเฮกซาโนน ทำการทดลองที่เวลา 1 2 5 7 12 10 18 24 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบการแพร่ซึมของตัวทำละลายบนผิวท่อพีวีซี



รูปที่ 5.10 ระยะการแพร่ซึมของตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนในท่อพีวีซี ที่เวลา 1 2 5 และ 7 ชั่วโมง

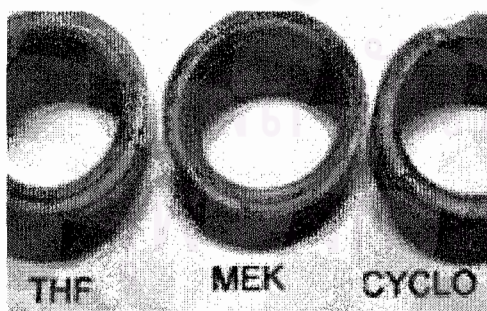


รูปที่ 5.11 ระยะเวลาการแพร่ซึมของตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนในท่อพีวีซี  
ที่เวลา 1 2 5 และ 7 ชั่วโมง

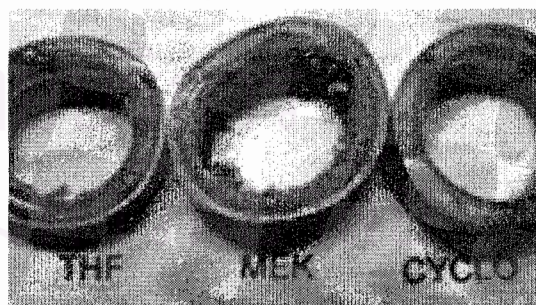


รูปที่ 5.12 ระยะเวลาการแพร่ซึมของตัวทำละลายไซโคลเฮกซานอน ในท่อพีวีซี  
ที่เวลา 1 2 5 และ 7 ชั่วโมง

จากรูป 5.10 ถึง 5.12 พบว่า เมื่อเวลาที่ตัวทำละลายสัมผัสกับท่อพีวีซีนานขึ้น จะมีผลทำให้ตัวทำละลายแพร่ซึมเข้าไปในท่อพีวีซีได้ระยะมากขึ้น



ที่เวลา 2 ชั่วโมง



ที่เวลา 5 ชั่วโมง

รูปที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการแพร่ซึมเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน

จากรูป 5.13 เมื่อพิจารณาระยะการแพร่ซึมระหว่างตัวทำละลายแต่ละตัวไฮโดรฟิวเรนกับตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน พบว่าระยะเวลาการแพร่ซึมของตัวทำละลายทั้ง 2 มีระยะที่ใกล้เคียงกัน ที่เวลาทดสอบเดียวกัน แต่ความสามารถของตัวทำละลายแต่ละตัวไฮโดรฟิวเรน สามารถแพร่ซึมเข้าไปในท่อพีวีซีได้ดีที่สุด เนื่องจากตัวทำละลายแต่ละตัวไฮโดรฟิวเรน มีค่าการละลายใกล้เคียงกับค่าการละลายของพีวีซีพอลิเมอร์มากกว่าในกรณีของตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซาโนน ตามลำดับ ดังนั้นจึงมีความสามารถในการละลายเข้ากันได้ดีระหว่างพอลิเมอร์กับตัวทำละลาย ส่งผลให้ตัวทำละลายสามารถทำลายพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ในท่อพีวีซีมีมาก ทำให้ระยะเวลาการแพร่ซึมของตัวทำละลายแต่ละตัวไฮโดรฟิวเรนมีค่ามากกว่าที่ใช้ตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซาโนนเป็นตัวทำละลาย ที่เวลาทดสอบเดียวกัน

### 5.2.2 การหาความหนืด (Viscosity)

ทำการศึกษาผลของความหนืดของน้ำยาประสานท่อในสูตรที่ I II III และ IV

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองหาความหนืดของน้ำยาประสานท่อสูตรที่ I และ II

		สัดส่วนของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)			Viscosity (Cp)		
		PVC	THF	MEK	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
สูตรที่ I		0	100	-	-	-	0.365
	1	10	90	-	608.0	612.0	610.0
	2	15	85	-	700.0	706.0	703.0
	3	20	80	-	-	-	-
	4	30	70	-	-	-	-
สูตรที่ II		0	-	100	-	-	0.438
	1	10	-	90	622.0	619.0	620.5
	2	15	-	85	725.0	723.0	724.0
	3	20	-	80	-	-	-
	4	30	-	70	-	-	-

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากตารางที่ 5.4 แสดงผลของความหนืดของน้ำยาประสานท่อในสูตรที่ I และ II จะพบว่าปริมาณของพีวีซีเรซินมีผลต่อความหนืดของน้ำยาประสานท่อ โดยที่น้ำยาประสานท่อทั้ง 2 สูตรที่มีอัตราส่วนพีวีซีเรซิน 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะมีค่าความหนืดมากกว่าที่อัตราส่วนพีวีซีเรซิน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีปริมาณของพีวีซีเรซินมาก ทำให้จำนวนของสายโซ่โมเลกุลของพี-

วีซีเรซินมีจำนวนมากกว่า ดังนั้นในสภาพของสารละลายจึงมีโอกาสที่จะเกิดการเคลื่อนที่ชนกันระหว่างโมเลกุลได้มากกว่า การชนกันของโมเลกุลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน จึงต้องมีการชดเชยพลังงานที่สูญเสียไป โดยที่การชดเชยพลังงานที่สูญเสียไปถูกวัดออกมาในรูปของความหนืด ดังนั้นกรณีที่ใช้ปริมาณพีวีซีเรซินมาก ค่าความหนืดที่วัดได้มีค่ามากกว่า เมื่อเทียบกับที่มีปริมาณพีวีซีเรซินน้อย

จากการเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำยาประสานท่อที่ใช้ตัวทำละลายต่างชนิดกัน จากตารางที่ 5.4 พบว่าค่าความหนืดของน้ำยาประสานท่อที่เตรียมจากตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน (0.438 Cp) จะมีความหนืดมากกว่าน้ำยาประสานท่อที่เตรียมจากตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน (0.365 Cp) เนื่องจากความหนืดของตัวทำละลายจะขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล ลักษณะและรูปร่างการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนและเมทิลเอทิลคีโตน จัดเป็นสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลเท่ากันคือ 72 แต่เมทิลเอทิลคีโตน มีลักษณะการจัดเรียงตัวที่มีลักษณะความเป็นกิ่ง (Branching) โดยที่เตตระไฮโดรฟิวเรนมีลักษณะการจัดเรียงตัวเป็นวง ดังนั้นความไม่เป็นระเบียบของโมเลกุลของตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนจะส่งผลทำให้โมเลกุลมีโอกาสเกิดการเคลื่อนที่ชนกันได้มากกว่า ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน จึงทำให้ตัวทำละลายมีความหนืดมากกว่า และเมื่อวิเคราะห์เรื่องการแพร่ซึมในหัวข้อ 5.2.1 เปรียบเทียบกับผลของความหนืดของตัวทำละลาย พบว่าค่าการแพร่ซึมของตัวทำละลายจะขึ้นอยู่กับค่าความหนืดของตัวทำละลายด้วย โดยน้ำยาประสานท่อสูตรที่มีการใช้ตัวทำละลายที่มีค่าความหนืดมาก จะส่งผลทำให้มีระยะเวลาการแพร่ซึมของน้ำยาประสานทอลงสู่ผิวสัมผัสของท่อพีวีซีได้น้อย ซึ่งแสดงว่าน้ำยาประสานท่อกรณีที่ใช้ตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนเป็นตัวทำละลายจะมีระยะเวลาการแพร่ซึมต่ำกว่าตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน



รูปที่ 5.14 ลักษณะของน้ำยาประสานท่อที่เป็นเจลขุ่น ไม่สามารถนำมาใช้งานได้

เมื่อทำการวิเคราะห์อัตราส่วนพีวีซีเรซินต่อตัวทำละลาย 20 ต่อ 80 และ 30 ต่อ 70 พบว่าที่อัตราส่วนดังกล่าวน้ำยาประสานท่อมักมีลักษณะเป็นเจลขุ่น ดังรูปที่ 5.14 เนื่องจากตัวทำละลายมีปริมาณไม่เพียงพอจะแพร่เข้าไปทำลายพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พีวีซีเรซิน ให้เกิดเป็นสารละลายทั้งหมดได้ ดังนั้นจึงไม่นำมาวัดความหนืดและไม่เหมาะสมต่อการเตรียมน้ำยาประสานท่อม

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองหาความหนืดของน้ำยาประสานท่อมสูตรที่ III และ IV

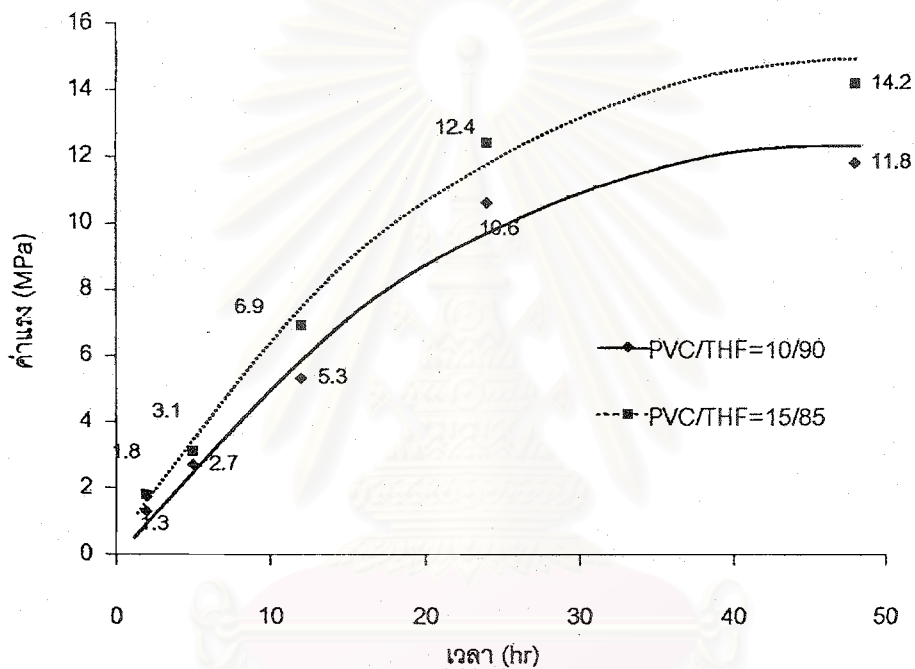
		สัดส่วนของตัวทำละลาย (เปอร์เซ็นต์)				Viscosity (Cp)		
		PVC	THF	MEK	Cyclo	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
สูตรที่ III	1	15	75	-	10	709.4	707.0	708.2
	2	15	65	-	20	716.8	715.0	715.9
	3	15	55	-	30	721.8	722.2	722.0
	4	15	45	-	40	725.9	724.1	725.0
	5	15	35	-	50	729.7	731.1	730.4
สูตรที่ IV	1	15	-	75	10	731.2	731.8	731.5
	2	15	-	65	20	739.6	738.4	739.0
	3	15	-	55	30	745.0	744.6	744.8
	4	15	-	45	40	751.2	748.8	750.0
	5	15	-	35	50	756.0	755.0	755.5

จากตารางที่ 5.5 พบว่าแนวโน้มของการเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนในปริมาณที่มากขึ้นในน้ำยาประสานท่อมที่ใช้ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนหรือตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนเป็นตัวทำละลายหลัก มีผลทำให้ความหนืดของน้ำยาประสานท่อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนเป็นตัวทำละลายที่มีความหนืด 1.465 Cp ในขณะที่ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนมีค่าความหนืด 0.365 Cp และตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน 0.438 Cp (Brandrup, J. and Immergut, E.H., 1999) ดังนั้นเมื่อผสมตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนในน้ำยาประสานท่อม จึงทำให้น้ำยาประสานท่อมมีความหนืดเพิ่มขึ้น

### 5.2.3 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Strength)

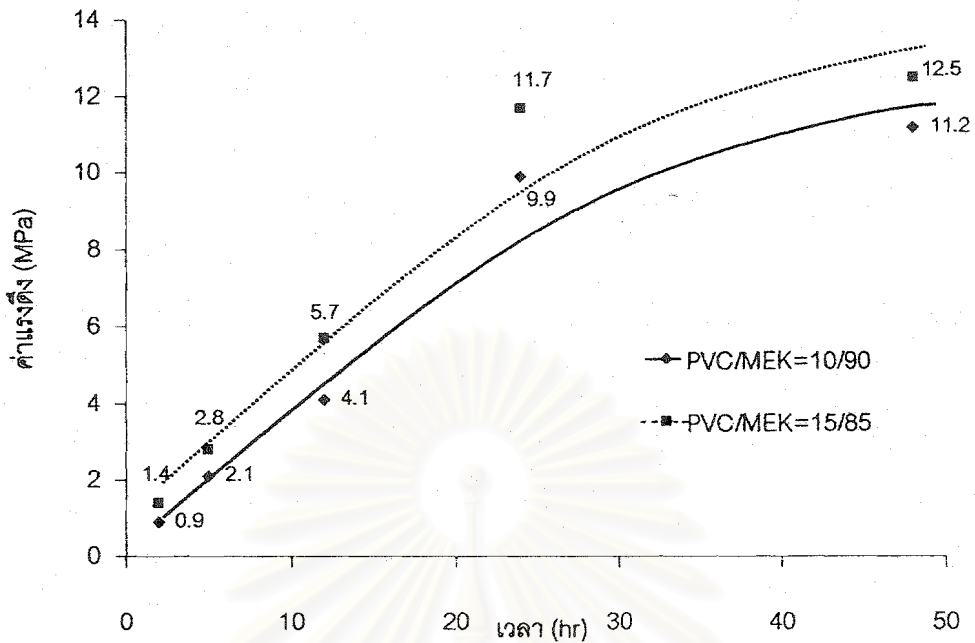
#### 5.2.3.1 วิเคราะห์ผลการเตรียมน้ำยาประสานท่อสูตรที่ I และ II

งานวิจัยในส่วนนี้ทำการศึกษาผลของการยึดติดของน้ำยาประสานท่อในสูตรที่ I และ II เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพีวีซีเรซินต่อตัวทำละลาย โดยเลือกใช้ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนและเมทิลเอทิลคีโตน ทำการทดลองหาค่าแรงดึงที่เวลา 2 5 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.15 และ 5.16 ทั้งนี้ตัวอย่างที่มีสัดส่วนพีวีซีเรซินตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไม่เกิดการละลายที่สมบูรณ์ จึงไม่นำมาพิจารณาในการทดลองนี้



รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร I เทียบกับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ





รูปที่ 5.16 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร II เทียบกับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ

พิจารณาเวลาในการประสานที่ต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อใช้เวลาในการประสานมากขึ้นค่าการยึดติดจะมีค่ามากขึ้น จากสมการความสัมพันธ์ของ Vasenin ชิ้นงานที่มีค่าการยึดติดสูงจะมีค่าความลึกในการแพร่ซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลสูง ซึ่งค่าความลึกในการแพร่ซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลจะแปรผันตรงกับเวลาที่น้ำยาประสานท่อสัมผัสกับชิ้นงาน (ดูสมการที่ 3.5 ประกอบ)

เมื่อนำน้ำยาประสานท่อลงบนผิวสัมผัสของท่อพีวีซี จะเกิดการแพร่ซึมของน้ำยาประสานท่อลงไปในผิวสัมผัสของท่อพีวีซี สายโซ่ของพีวีซีเรซินในน้ำยาประสานท่อ จะเกิดการเคลื่อนที่แทรกตัวไปเกี่ยวพันตามช่องว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุลของท่อพีวีซี ทำให้เกิดการเชื่อมโยงแบบกายภาพระหว่างสายโซ่ของโซ่โมเลกุลของท่อพีวีซีกับสายโซ่ของพีวีซีเรซินในน้ำยาประสานท่อ เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น น้ำยาประสานท่อมักมีการแพร่ซึมลงในท่อพีวีซีได้ลึกขึ้น ส่งผลทำให้เกิดเกี่ยวพันของสายโซ่เชื่อมโยงแบบกายภาพระหว่างสายโซ่โมเลกุลของท่อพีวีซีกับพีวีซีเรซินมากขึ้น ดังนั้นเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ทำให้ค่าแรงดึงที่วัดได้มีค่ามากกว่าชิ้นงานที่ผ่านการยึดติดด้วยน้ำยาประสานท่อในช่วงระยะเวลาสั้น

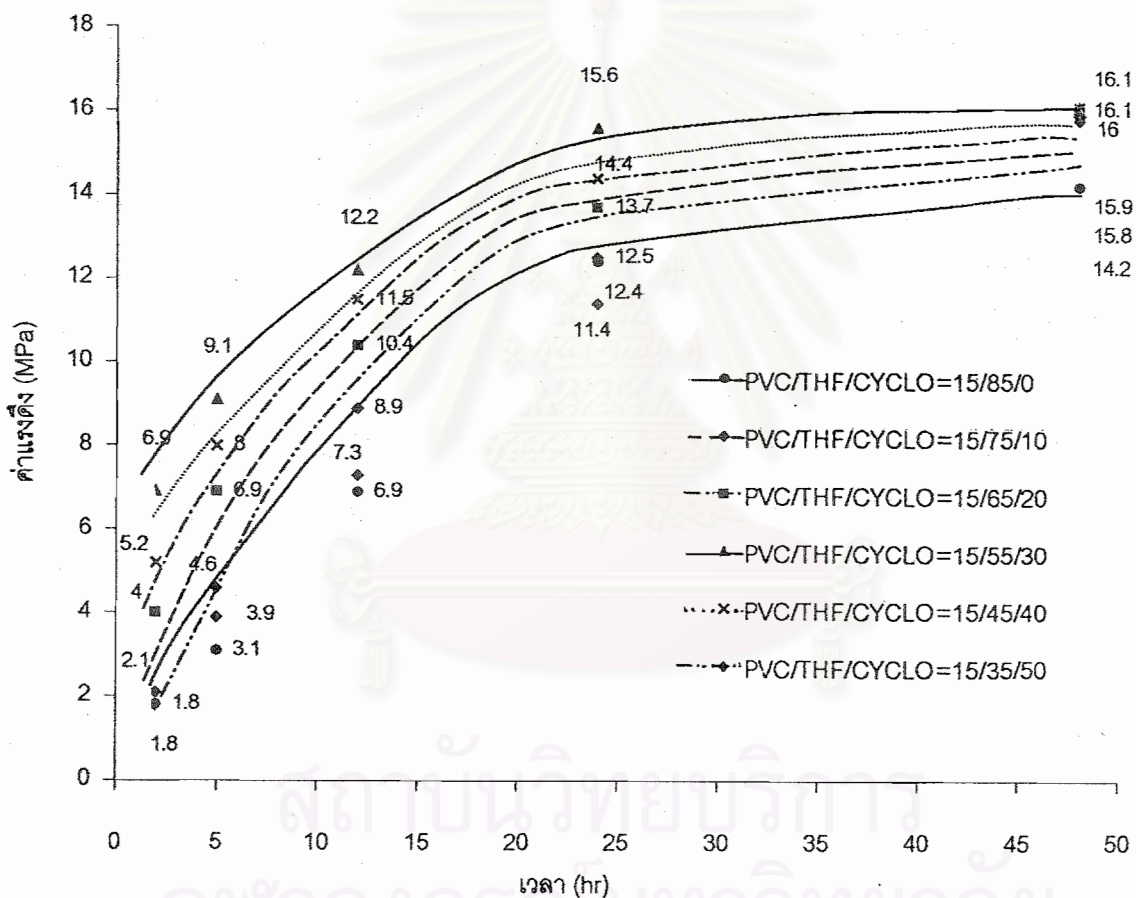
เมื่อพิจารณาอัตราส่วนพีวีซีเรซินต่อตัวทำละลายที่แตกต่างกัน โดยใช้ตัวทำละลาย คือ เตตระไฮโดรฟิวเรนและเมทิลเอทิลคีโตน พบว่าที่ค่าแรงดึงของชิ้นงานทดสอบและความสามารถในการแพร่ซึมเข้าไปในท่อพีวีซี กรณีที่เลือกใช้ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนมีค่ามากกว่ากรณีที่เลือกใช้ตัวทำละลาย

เมทิลเอทิลคีโตน ณ เวลาทดสอบและอัตราส่วนเดียวกัน เนื่องจากการแพร่ซึมของน้ำยาประสานท่อขึ้นกับความสามารถในการทำละลายของตัวทำละลาย ซึ่งจากผลการทดสอบการแพร่ซึมในหัวข้อ 5.2.1 พบว่า เตตระไฮโดรฟิวเรนมีความสามารถในการแพร่ซึมสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีอุณหพลศาสตร์ของการละลาย ดังนั้นความแข็งแรงของการยึดติดของน้ำยาประสานท่อที่มีเตตระไฮโดรฟิวเรนเป็นตัวทำละลายจึงมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้เมทิลเอทิลคีโตนเป็นตัวทำละลาย

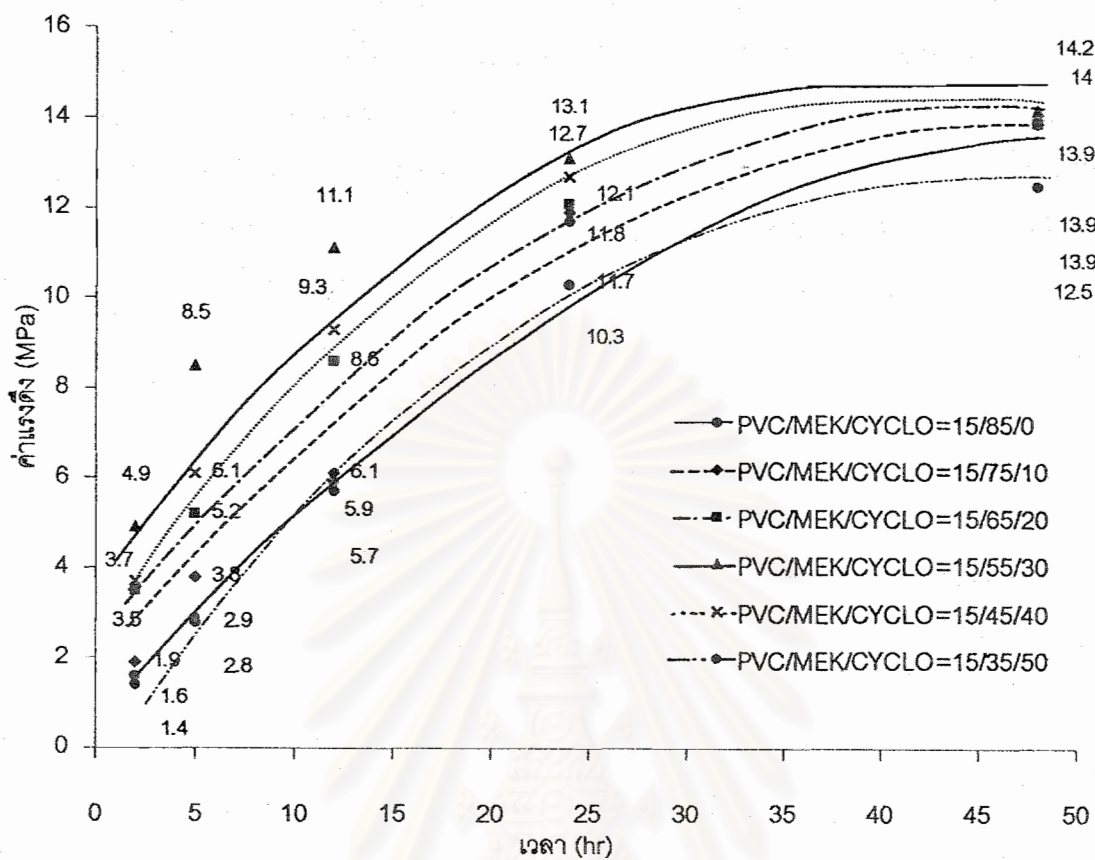
เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าความแข็งแรงของการยึดติดกรณีที่ใช้ปริมาณของพีวีซีเรซิน 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าน้ำยาประสานท่อที่มีอัตราส่วนพีวีซีเรซิน 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะมีการยึดติดมากกว่าที่อัตราส่วนพีวีซีเรซิน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากเมื่อเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์จะทำให้มีจำนวนของสายโซ่โมเลกุลของพีวีซีเรซินจำนวนมาก ดังนั้นเมื่อนำน้ำยาประสานท่อไปทา ลงบนผิวสัมผัสท่อพีวีซี จึงทำให้มีปริมาณของพีวีซีเรซินที่เกิดการแพร่ซึมลงสู่ท่อพีวีซีได้มากกว่า ส่งผลถึงค่าแรงดึงที่มีค่ามากขึ้น

### 5.2.3.2 วิเคราะห์ผลการเตรียมน้ำยาประสานท่อสูตรที่ III และ IV

ในการทดลองส่วนนี้ได้ศึกษาผลของการยึดติดของน้ำยาประสานท่อในสูตรที่ III และ IV เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนซึ่งเป็นตัวทำละลายที่จัดเป็นตัวทำละลายประเภทระเหยได้ช้า โดยกำหนดขอบเขตของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนน 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และกำหนดอัตราส่วนของพีวีซีเรซินคงที่ที่ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการทดลองหาค่าแรงดึงที่เวลา 2 5 12 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.17 และ 5.18



รูปที่ 5.17 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร III เทียบกับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ



รูปที่ 5.18 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร IV เทียบกับ เวลา ของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ

จากการทดสอบความสามารถในการแพร่ซึมที่แตกต่างกันของตัวทำละลายแต่ละชนิด โดยตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนมีอัตราการแพร่ซึมต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนและเมทิลเอทิลคีโตน ประกอบกับความแตกต่างของค่าความดันไอ (ตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนมีค่าความดันไอต่ำกว่าตัวทำละลายทั้งสองอยู่มาก โดยตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนมีค่าความดันไอ 2 มิลลิเมตรปรอท ในขณะที่ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนและเมทิลเอทิลคีโตนมีค่าความดันไอ 143 มิลลิเมตรปรอท และ 70 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ) ทำให้คาดคะเนได้ว่า การเติมตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนในน้ำยาประสานท่อที่มีตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนและเมทิลเอทิลคีโตน เป็นตัวทำละลายหลัก จะส่งผลทั้งในด้านบวกและด้านลบ กล่าวคือ ในด้านบวก จะทำให้น้ำที่ลดอัตราการระเหยของตัวทำละลายทำให้ค่าความดันไอรวม (Total Vapor Pressure) ของน้ำยาประสานท่อลดลง เป็นไปตามกฎของ Raoult มีผลทำ

ให้มีปริมาณของตัวทำละลายที่จะเกิดการแพร่ซึมลงในผิวท่อพีวีซีมากขึ้น ณ เวลาที่ต้องการทดสอบ ซึ่งผลในเชิงบวกจะเห็นได้ชัดเจนที่เวลาในการยึดติดที่น้อย (น้อยกว่า 48 ชั่วโมง) และเปอร์เซ็นต์การเติมไซโคลเฮกซาโนนที่ปริมาณต่ำๆ (ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) โดยความแข็งแรงของชิ้นงานจะมีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนที่มากขึ้นไปอีก จะส่งผลในเชิงลบ กล่าวคือ ไซโคลเฮกซาโนนจัดเป็นตัวทำละลายที่ความสามารถในการทำละลายพีวีซีเรซินต่ำสุด จึงมีอัตราการแพร่ซึมต่ำที่สุด ดังนั้นการมีปริมาณอัตราส่วนของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนผสมอยู่มากในน้ำยาประสานท่อ จึงส่งผลทำให้น้ำยาประสานท่อมีความสามารถในการแพร่ซึมต่ำลง ทำให้ผลในเชิงลบเริ่มมีอิทธิพลมากกว่าผลในเชิงบวก ดังนั้นจึงทำให้ความแข็งแรงของการยึดติดมีค่าต่ำลงตามสัดส่วนของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนที่เพิ่มขึ้น

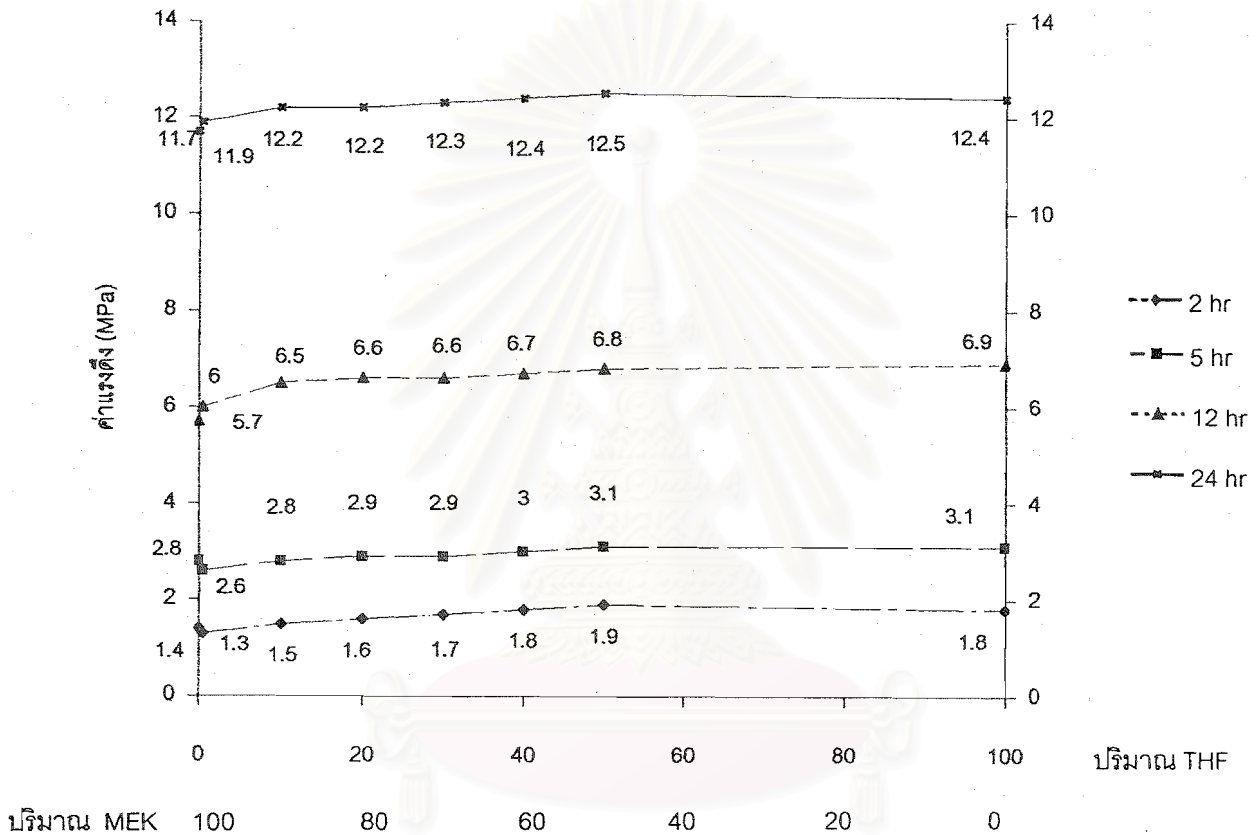
อย่างไรก็ตาม หากปล่อยให้กระบวนการในการประสานเกิดขึ้นที่ระยะเวลาสั้นเพียงพอ (ในที่นี้ประมาณ 48 ชั่วโมง) จะเห็นว่าน้ำยาประสานท่อที่มีส่วนผสมของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนน กลับให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากการที่ตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนน มีเวลาเพียงพอที่จะแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อท่อพีวีซีที่กำลังทำการเชื่อมต่อกับระดับความลึกใกล้เคียงกันกับตัวทำละลายอื่นๆ (ดูตารางที่ 5.4 ประกอบ) จึงเป็นผลทำให้ความแข็งแรงของการประสานไม่แตกต่างกันมากนัก

โดยสรุปแล้วจะเห็นว่าการใช้ตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนน ร่วมกับตัวทำละลายที่ระเหยได้เร็ว อย่างตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนและเมทิลเอทิลคีโตน สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของการประสานที่ระยะเวลาด้าน โดยสัดส่วนของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนที่ใช้ต้องไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 5.2.3.3 วิเคราะห์ผลการเตรียมน้ำยาประสานท่อสูตรที่ v

สำหรับการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์หาอัตราส่วนของตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน และเมทิลเอทิลคีโตน มีจุดประสงค์เพื่อต้องการลดปริมาณการใช้เตตระไฮโดรฟิวเรนและเลือกใช้ตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนเป็นตัวทำละลายพีวีซีเรซินแทน กำหนดอัตราส่วนของพีวีซีเรซินคงที่ที่ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และควบคุมอัตราส่วนของตัวทำละลายผสมทั้งสองไม่เกิน 85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการทดลองหาค่าแรงดึงที่เวลา 2 5 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ



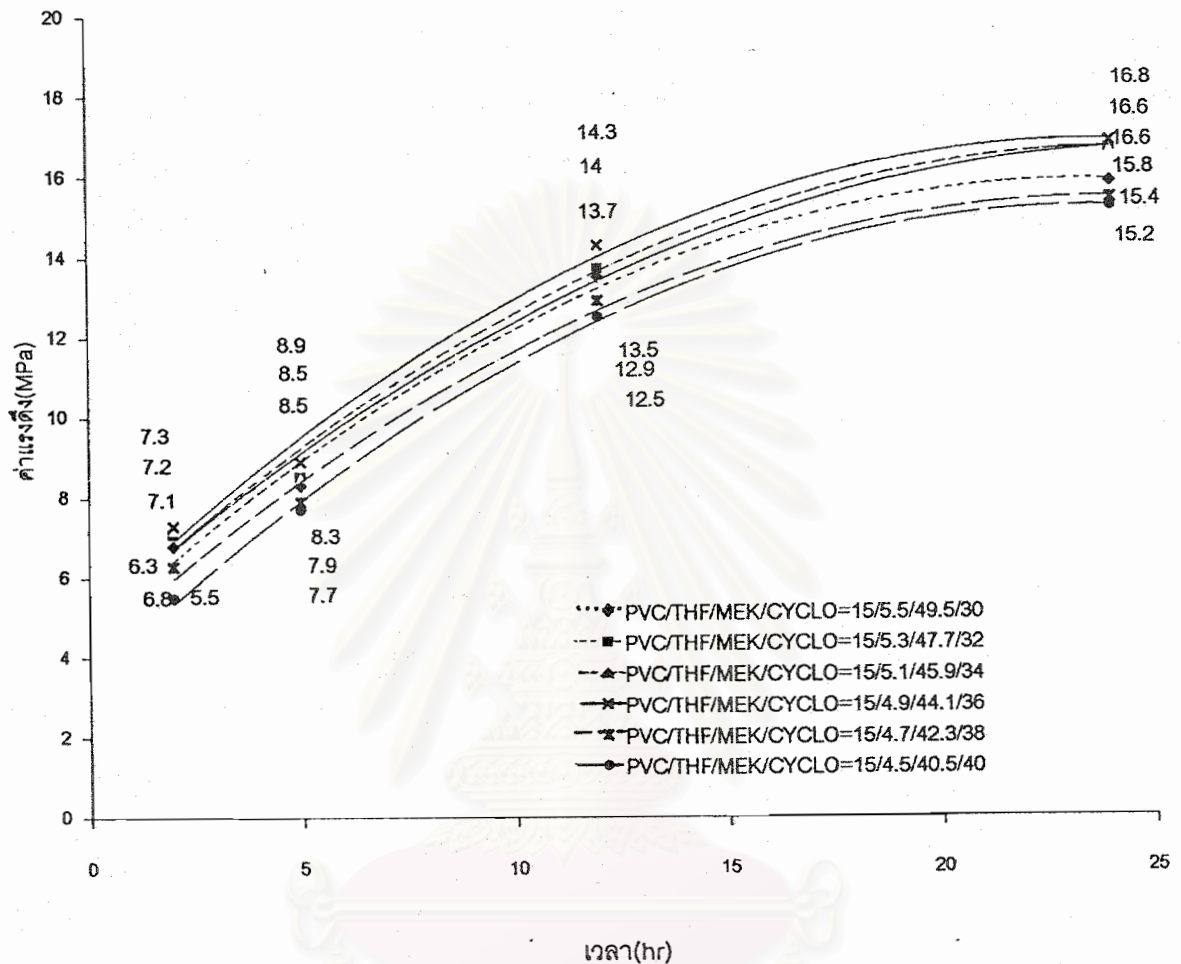
รูปที่ 5.19 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร v เทียบกับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ

เนื่องจากตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนมีค่าการละลายใกล้เคียงกับพีวีซีเรซิน จึงมีความสามารถทำละลายพีวีซีเรซินได้เช่นเดียวกัน และยังมีอัตราการแพร่ซึมที่ด้อยไปกว่าตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นตัวทำละลายหลักในการทำละลายพีวีซีเรซิน แต่ยังคง

ต้องมีอัตราส่วนของตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน เนื่องจากตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนเป็นตัวทำละลายที่มีค่าการละลายใกล้เคียงกับพีวีซีเรซิน (ดูจากตาราง 3.3 ประกอบ) และมีความสามารถในการแพร่ซึมลงในผิวท่อพีวีซีมากที่สุด ดังนั้นการมีตัวทำละลายดังกล่าวเพียงเล็กน้อยผสมอยู่ในน้ำยาประสานท่อ จึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการทำละลายพีวีซีเรซินและการแพร่ซึมของตัวทำละลายได้ดีกว่าการใช้เมทิลเอทิลคีโตนเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนเพียง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีส่วนช่วยให้ค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าแรงดึงใกล้เคียงกับการใช้อัตราส่วนตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนมากกว่านี้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้มีค่าน้อยกว่าค่าแรงดึงของน้ำยาประสานท่อกรณีที่ใช้ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนเพียงอย่างเดียว แต่จะมีค่ามากกว่าเมื่อใช้ตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนเพียงอย่างเดียว ซึ่งให้เห็นว่าตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการผลิตน้ำยาประสานท่อ

#### 5.2.3.4 วิเคราะห์ผลการเตรียมน้ำยาประสานท่อสูตรที่ VI

จากผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารต่างๆที่ใช้ในการเตรียมน้ำยาประสานท่อ โดยกำหนดอัตราส่วนของพีวีซีเรซินคงที่คือ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สัดส่วนของตัวทำละลายที่ระเหยได้เร็วอยู่ในช่วง 45 ถึง 55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยกำหนดอัตราส่วนของตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนต่อเมทิลเอทิลคีโตน คือ 1 ต่อ 9 และสัดส่วนของตัวทำละลายไซโคลเฮกซานอนอยู่ในช่วง 30 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการทดลองหาค่าแรงดึงที่เวลา 2 5 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 5.20 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร  $V_1$  เทียบกับ เวลา ของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ

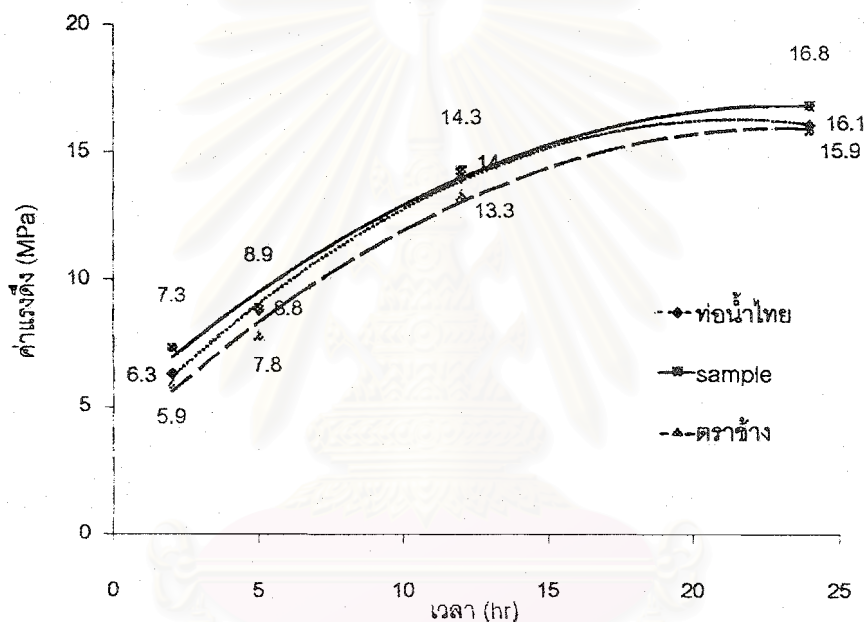
ผลของการวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยาประสานท่อ โดยพิจารณาจากค่าแรงดึงที่มากที่สุด จะได้อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ พีวีซีเรซิน 15 ส่วน ต่อเตตระไฮโดรฟิวเรน 4.9 ส่วน ต่อเมทิลเอทิลคีโตน 44.1 ส่วน ต่อไซโคลเฮกซาโนน 36 ส่วน เนื่องจากที่อัตราส่วนดังกล่าวมีสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างตัวทำละลายที่ระเหยได้เร็วและตัวทำละลายที่ระเหยได้ช้า ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Patel, N.D. และ Ave, P.R ในปี 1994 และ Yue, C.Y และ Chui, C.M. ในปี 1987 ที่กำหนดอัตราส่วนของตัวทำ



ละลายที่ระเหยได้เร็วไม่เกิน 55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และตัวทำละลายที่ระเหยได้ช้าไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนของงานวิจัยนี้จะมีผลให้ค่าแรงดึงของชิ้นงานทดสอบมีค่าที่สุด

### 5.2.3.5 การเปรียบเทียบน้ำยาประสานท่อ

เปรียบเทียบค่าแรงดึงของน้ำยาประสานท่อที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองในสูตรที่ VI คือ พีวีซีเรซิน 15 ส่วน ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน 4.9 ส่วน ตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน 44.1 ส่วนและตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนน 36 ส่วน กับน้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทยและบริษัทตราช้าง



รูปที่ 5.21 ผลการเปรียบเทียบน้ำยาประสานท่อที่ทำการทดลองกับน้ำยาประสานท่อทางการค้า

จากรูปที่ 5.21 แสดงการเปรียบเทียบผลของน้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทย บริษัทตราช้าง และน้ำยาประสานท่อที่ได้จากการทดลอง พบว่าค่าแรงดึงของน้ำยาประสานท่อที่ได้จากการทดลองให้ค่าทดสอบแรงดึงไม่ด้อยไปกว่าค่าแรงดึงที่เกิดจากการใช้น้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทยและบริษัทตราช้าง

ในหัวข้อ 5.1 จากผลการวิเคราะห์น้ำยาประสานท่อทางการค้าของบริษัทท่อน้ำไทยและบริษัทตราช้าง แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนผสมกับตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนเท่านั้น

ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าแรงดึงของน้ำยาประสานท่อสูตรต่างๆที่ได้จากการทดลอง ซึ่งมีการลดอัตราส่วนผสมตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนลง และเพิ่มตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนและตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนในอัตราส่วนที่เหมาะสม พบว่าค่าแรงดึงของน้ำยาประสานท่อที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่ด้อยไปกว่าน้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทยและบริษัทตราช่าง - แสดงให้เห็นว่าตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนและตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนสามารถใช้เป็นตัวทำละลายพีวีซีเรซินในการผลิตน้ำยาประสานท่อได้เมื่อเลือกสัดส่วนที่เหมาะสม

#### 5.2.4 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบการรั่วซึม (Leak test)

ทำการทดสอบชิ้นงานจำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งใช้ตัวอย่างน้ำยาประสานท่อเหมือนกับการทดลองที่

5.2.3.5 เมื่อทำการทดสอบโดยการเติมน้ำให้เต็มขึ้นทดสอบไม่ให้มีอากาศเหลืออยู่ภายใน อัดน้ำในขึ้นทดสอบด้วยอัตราส่วนสม้าเสมอ ให้ความดัน 1 เมกะพาสคาล แล้วรักษาความดันให้คงที่ไว้เป็นเวลา 5 นาที จากการทดสอบที่สภาวะดังกล่าว พบว่าไม่เกิดรอยรั่วที่จุดต่อใดๆบริเวณรอยต่อ แสดงว่าน้ำยาประสานท่อทุกตัวอย่างผ่านเกณฑ์การวิเคราะห์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1032

### 5.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงต้นทุนในการผลิตน้ำยาประสานท่อ โดยการนำตัวอย่างที่ให้ค่าแรงดึงที่ดีที่สุดจากการทดลองการเตรียมน้ำยาประสานท่อสูตรที่ VI สามารถคำนวณต้นทุนของวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตได้ดังแสดงตามตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงราคาต้นทุนในการผลิตน้ำยาประสานท่อสูตรที่ VI

สาร	น้ำยาประสานท่อสูตรที่ VI	
	ปริมาณ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)
PVC Resin	15	330.00
THF	4.9	539.00
MEK	44.1	1,411.20
CYCLO	36	1,692.00
รวม	100	3,972.20

นำผลจากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 5.1 มาประมาณถึงต้นทุนในการผลิตน้ำยาประสานท่อพีวีซีทางการค้าของ 2 บริษัท ซึ่งจะสามารถสร้างสมการในการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตได้ โดยขอบเขตของสมการจะไม่นรวมราคาต้นทุนของ Filler ในขบวนการผลิต

$$\text{ต้นทุน} = (P \times 22) + (A \times 110) + (B \times 47) \quad 5.1$$

เมื่อ P คือ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพีวีซีเรซิน (กิโลกรัม)

A เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน (กิโลกรัม)

B เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนน (กิโลกรัม)

ทั้งนี้เนื่องจากไม่ทราบว่ามีสัดส่วนตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนและไซโคลเฮกซาโนน ของน้ำยาประสานท่อทางการค้าเป็นอย่างไร จึงกำหนดให้ปริมาณของตัวทำละลายทั้งสองชนิดแปรเปลี่ยนในช่วงตั้งแต่ 6.7 ถึง 60.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 5.7 แสดงการประมาณราคาต้นทุนในการผลิตน้ำยาประสานท่อของทั้ง 2 บริษัท

น้ำยาประสานท่อ	P	ตัวทำละลาย		Total (Baht)
		A	B	
ท่อน้ำไทย	16.21	6.7	60.3	3,927.72
		60.3	6.7	7,304.52
ตราช้าง	16.98	6.7	60.3	3,944.66
		60.3	6.7	7,321.46

จากตารางที่ 5.7 ราคาต้นทุนในการผลิตน้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทยจากการประมาณอยู่ระหว่าง 3,927.72 ถึง 7,304.52 บาท ต่อ 100 กิโลกรัมและบริษัทตราช้างอยู่ระหว่าง 3,944.66 ถึง 7,321.46 บาท ต่อ 100 กิโลกรัม

ดังนั้นจากการวิเคราะห์แสดงผลการเปรียบเทียบราคาต้นทุนจากตารางที่ 5.6 และ 5.7 แสดงว่าน้ำยาประสานท่อพีวีซีที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถลดต้นทุนการผลิตได้

## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลของเมทิลเอทิลคีโตนและไซโคลเฮกซาโนนในน้ำยาประสานท่อที่มีต่อสมบัติด้านการยึดติด เพื่อจะได้ใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาหาสูตรน้ำยาประสานท่อพีวีซีที่เหมาะสม สามารถนำมาลดต้นทุนในการผลิตและยังช่วยลดอันตรายอันเกิดจากการใช้ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน การทดลองในขั้นต้นเป็นการวิเคราะห์หาส่วนผสมของตัวอย่างน้ำยาประสานท่อพีวีซีทางการค้าของ 2 บริษัท คือ บริษัทท่อน้ำไทยและบริษัทตราช้าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านการทดสอบแรงดึงและการรุ่มซึมของน้ำยาประสานท่อพีวีซี จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GPC NMR และ TGA พบว่าน้ำยาประสานท่อพีวีซีของทั้ง 2 บริษัท ประกอบด้วยพีวีซีเรซิน ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนและตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนน

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตน้ำยาประสานท่อ จึงทำการลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน โดยใช้ตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตนที่มีราคาถูกกว่าเป็นตัวทำละลายพีวีซีเรซินแทน เนื่องจากมีค่าการละลายใกล้เคียงกับพีวีซีเรซิน จึงมีความสามารถทำละลายพีวีซีเรซินได้เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอัตราการแพร่ซึมที่ต่ำกว่าตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน คุณสมบัติด้านการรับแรงกระทำที่ใช้น้ำยาประสานท่อที่มีเมทิลเอทิลคีโตนเป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียวจะมีค่าต่ำกว่าการใช้เตตระไฮโดรฟิวเรนเป็นตัวทำละลายหลัก จึงยังเป็นสิ่งจำเป็นที่ยังคงส่วนผสมที่เป็นเตตระไฮโดรฟิวเรนไว้ โดยพบว่าสัดส่วนของเตตระไฮโดรฟิวเรนเพียง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่จะให้ค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าแรงดึงใกล้เคียงกับการใช้เตตระไฮโดรฟิวเรนเพียงชนิดเดียว

นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนลงในน้ำยาประสานท่อ สามารถทำหน้าที่ลดอัตราการระเหยของน้ำยาประสานท่อ ส่งผลให้เป็นการเพิ่มปริมาณของน้ำยาประสานท่อที่สามารถเกิดการแพร่ซึมลงในผิวท่อพีวีซี ณ เวลาต่างๆมากขึ้น จึงสามารถการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของการประสาน โดยเฉพาะที่เวลาการยึดติดน้อยกว่า 48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดข้อด้อยอันเกิดจากการใช้ไซโคลเฮกซาโนน ซึ่งมีอัตราการแพร่ซึมที่ต่ำกว่าเตตระไฮโดรฟิวเรนและเมทิลเอทิลคีโตนมาก มีอิทธิพลเหนือข้อเด่นในการลดอัตราการระเหยของน้ำยาประสานท่อ อันเป็นผลให้ความแข็งแรงของการยึดติดมีค่าต่ำลง ปริมาณสัดส่วนของตัวทำละลายไซโคลเฮกซาโนนที่ใช้ไม่ควรเกิน 30

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลจากการวิจัยพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตน้ำยาประสานท่อที่ให้ค่าแรงดึงสูงสุด ประกอบด้วยพีวีซีเรซิน 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรน 4.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวทำละลายเมทิลเอทิลคีโตน 44.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและตัวทำละลายไซโคลเฮกซานอน 36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติด้านการยึดติดและการรั่วซึมตามมาตรฐาน มอก1032 (2534) และ ASTM D-2564 ของน้ำยาประสานท่อที่ได้จากงานวิจัย พบว่าน้ำยาประสานท่อที่ได้ให้ผลของค่าแรงดึงและการรั่วซึมผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ น้ำยาประสานท่อที่ได้จากงานวิจัยยังให้ค่าแรงดึงไม่ด้อยไปกว่าค่าแรงดึงที่วัดได้จากน้ำยาประสานท่อของทั้ง 2 บริษัท ณ เวลาในการทดสอบเดียวกัน ในส่วนของ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการผลิต พบว่าน้ำยาประสานท่อที่ได้จากงานวิจัยจะมีราคาต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าของน้ำยาประสานท่อของบริษัทท่อน้ำไทยและตราช้าง และจากการลดปริมาณของตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนในสูตรการผลิตน้ำยาประสานท่อ จึงส่งผลให้เป็นการลดอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายอันเนื่องมาจากไอระเหยของตัวทำละลายขณะใช้งาน

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการเพิ่มคุณภาพในการยึดติดสามารถทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับท่อพีวีซี ดังนั้นควรมีการทดลองและศึกษาถึงลักษณะรูปแบบต่างๆของพื้นที่ผิวสัมผัส เพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรงบริเวณรอยต่อที่น้ำยาประสานท่อสัมผัสกับท่อพีวีซี
2. ควรใช้ท่อพีวีซีที่มีความหนามากกว่า 0.5 เซนติเมตร ในการทดสอบหาระยะในการแพร่ซึมของตัวทำละลาย เพื่อศึกษาแนวโน้มของตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวเรนและเมทิลเอทิลคีโตน ที่เวลาทดสอบมากขึ้น
3. น้ำยาประสานท่อทุกสูตรควรมีการทดสอบการยึดติดที่ 1 , 7 และมากกว่า 24 ชั่วโมง เพื่อผลของการวิเคราะห์ค่าแรงดึงที่มีความถูกต้องยิ่งขึ้น
4. ควรวัดระยะเวลาการแพร่ซึมของตัวทำละลายโดยใช้เครื่องมือวัดระยะเวลาการแพร่ซึมที่มีความละเอียดของเครื่องมือสูง เพื่อให้ผลการทดลองที่มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- เกษม ลักษณะณานิवास, "วัตถุประสงค์สำหรับซ่อมแซม", *ข่าวสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, สำนักพิมพ์กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กรุงเทพมหานคร, 2536
- นิทัศน์ จิระอรุณ, "วัสดุพอลิเมอร์", *เคมีพอลิเมอร์*, สำนักพิมพ์หน่วยพิมพ์เอกสารและตำราภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2534
- นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล, "อุตสาหกรรมการผลิตการ", *ปฏิบัติการเคมีพอลิเมอร์ 2*, สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ๙ ลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2536
- มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์, "วัสดุพอลิเมอร์", *เคมีพอลิเมอร์ 1*, สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ๙ ลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2538
- แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, "นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี", *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*, สำนักพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพมหานคร, 2535.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, "น้ำยาประสานท่อพีวีซีแข็งและข้อต่อพีวีซีแข็ง มอก.1032-2543", สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร, 2534.
- สุนันทนา วิบูลย์จันทร์, "พันธะและโครงสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์", *เคมีอินทรีย์*, โครงการเอกสารวิชาการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัยมหิดล, กรุงเทพมหานคร, 2539
- อรุณี คงศักดิ์ไพศาล, "การใช้เครื่องมือวัด", *การวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*, สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ๙ ลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2535
- อิทธิพล แจ่มชัด, "คุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์", *ฟิสิกส์พอลิเมอร์*, สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ๙ ลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2542

### ภาษาอังกฤษ

- ASTM D2564-93, "Standard Specification for Solvent Cement for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Piping System", *Annual Book of ASTM Standard*, 1996.
- ASTM D2855-93, "Standard Practice for Making Solvent-Cement Joint with Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Pipe and Fitting", *Annual Book of ASTM Standard*, 1996.
- Billmeyer, F.W., "Textbook of Polymer Science", John Wiley and Sons, Singapore, 1984
- Bishopp, J.A. and Haslam, J.J., "Chemical and Mechanical Characterization of Adhesive Matrices", *Int.J.Adhesion and Adhesive*, 41(1993)111-119.

- Brandrup, J. and Immergut, E.H., "Polymer Handbook", Wiley and sons, USA, 1999.
- Burgess, R.H., "Manufacture and Processing of PVC", : Macmillan Canada CTD, Canada, 1982.
- Chaeles, V.C., "Handbook of Adhesive bonding", McGraw Hill, USA, 1993
- Charles, J.P. and Jacquelyn, B., "NMR Spectra", Aldrich Chemical Company, USA, 1993
- Cook, R.W. and Tod, D.A., " A Study of the Cure of Adhesives Using Dynamic Mechanical Analysis", *Int.J.Adhesion and Adhesiv* ., **40**(1993)157-162.
- Dierdorf, H.R., " Adhesive for PVC", *United State Patent No. 4,672,084*, 1987.
- Ebewele ,O.R., " Polymer Science and Technology", CRC Press, USA, 1996
- Haines, P.J., "Thermal Methods of Analysis Principles Applications and Problems", Blackie Academic and Professional, USA, 1995.
- Harrington Company., " *Installation Thermoplastic Piping Systems basic Principles of Solvent Cement* ", <http://e-readlands.uor.edu>
- Hunt, B.J. and Jane, M.I., "Polymer Characterisation", Balance Academic Professional, USA , 1993.
- Hushebeck, H.R. and Wales, N.P., "Polyvinyl Chloride Solvent Weld Primer Composition", *United State Patent No. 4,098,719*, 1978.
- International Journal of Adhesive .*Adhesive for Polyvinyl Chloride Pipe* .  
<http://www.elsevier.nl:80/locate/inca/30430>
- ISP Corporation Company., "*Basic Principles of Solvent Cement* ",  
[http://www.ipscorp.com/wo\\_html/basic.html](http://www.ipscorp.com/wo_html/basic.html)
- Jones, R.A.; Lake, A., and Witenhafer, D.E., " Producing Heat Stable Vinyl Chloride Polymer at Low Temperature in The Presence of Tetrahydrofuran", *United State Patent No. 4,070,534* , 1978.
- Kinloch, J.A., "*Adhesion and Adhesives Science and Technology*", Chapman and hall ,UK, 1990 .
- Kusomran, K. and Limthakoon, W., "Appications of Spectroscopic Techniques in Organic Chemical", Wiley and sons , USA, 1984.

- Mahendra, D.I.; Xinyun, X., and Gerberich, W.W., "Near-Surface Formation in Chemical",  
*Journal of Polymer Science:PartB.*, **39**(2001)1824-1838.
- Lampman, H.F.; Abel, L.A., and Whealton, N.D., "Engineering Material Handbook Adhesive  
and Sealant", The Material Information Society, USA, 1990
- Mark, S.M., " Polymer Science Dictionary", Elsevier Applied Science, London, 1989.
- Meador, A.L. and Runyon, W.L., " Process for Coating a Surface and the Coated Surface",  
*United State Patent No. 3,900,687* ,1973
- Patel, N.D. and Ave, P.R., "Low VOC (Volatile Organic Compound) Solvent-base CPVC  
Pipe Adhesive which Maintain Joint Adhesive Performance", *United State  
Patent No. 5,470,894* ,1994.
- Northridge, N.D.P. and Downey, M.W.B., " Low VOC (Volatile Organic Compound) Solvent  
base PVC Pipe Adhesive which Maintain Joint Adhesive Performance" ,  
*United State Patent No. 5,422,388* ,1993.
- Packham, D.E.P., "Handbook of Adhesion", Longman Scientific and Technical, England,  
1992.
- Prest, W.M. and Luca, D.J., " the Alignment of Polymers during the Solvent-coating",  
*Process. Journal Apply Physic.*, **51**(1980)5170-5174.
- Young, R.J. and Lovell, P.A., "Introduction to Polymers", Chapman and Hall, London, 1991
- Stand, M.R.; Hampstead, N.H., and Briggs, P.C., " Adhesive Compositions and Adhesively  
Joined Pipe Segment", *United State Patent No. 5,656,345*, 1997.
- Spears Company., " Solvent Cement Welded Joint", <http://spearsmfg.com>
- Sperling, L.H., " Introduction to Physical Polymer Science", Wiley and sons, USA, 1992.
- Ulrich, E., " Introduction to Polymer Physical ", Springer-Verlag, Berlin, 1990
- Wade, L.G., "Organic Chemistry", Prentic Hall International, USA, 1999.
- Wendlandt, W.M., "Chemical Thermal Analysis", John Wiley and Sons ,USA, 1986
- Yue, C.Y. and Chui, C.M., " On the Structure and Strength of Solvent-Welding Joint ",  
*Journal Adhesion.*, **24**(1987)155-171.





ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก. 1 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร I เทียบกับเวลาของการประสานที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ

PVC	THF	2 hr			5 hr			12 hr			24 hr			48 hr		
		Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean
10	90	1.569	1.055	1.312	2.698	2.752	2.725	5.442	5.18	5.311	11.254	9.942	10.598	11.042	12.648	11.845
15	85	1.888	1.782	1.835	2.921	3.283	3.102	6.857	6.943	6.9	11.237	13.465	12.351	13.515	14.961	14.238
20	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ก. 2 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร II เทียบกับเวลาของการประสานที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ

PVC	MEK	2 hr			5 hr			12 hr			24 hr			48 hr		
		Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean
10	90	1.125	0.683	0.904	2.156	2.08	2.118	3.956	4.24	4.098	9.875	9.967	9.921	11.164	11.19	11.177
15	85	1.236	1.562	1.399	3.012	2.65	2.831	5.563	5.831	5.697	12.1	11.37	11.735	12.818	12.226	12.522
20	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ก. 3 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร III เทียบกับเวลาของการประสานที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ

PVC	THF	CYC	2 hr			5 hr			12 hr			24 hr			48 hr		
			Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean
15	75	10	2.072	2.15	2.111	4.39	4.766	4.578	9.128	8.718	8.923	12.34	12.62	12.48	15.783	16.011	15.897
15	65	20	4.193	3.891	4.042	7.029	6.721	6.875	10.87	9.992	10.431	13.026	14.412	13.719	16.151	15.845	15.998
15	55	30	6.93	6.882	6.906	9.051	9.125	9.088	12.055	12.367	12.211	16.3	14.94	15.62	16.202	15.936	16.069
15	45	40	5.234	5.218	5.226	8.182	8.182	8.004	10.972	12.044	11.508	14.217	14.217	14.427	15.963	16.101	16.032
15	35	50	1.892	1.712	1.802	3.832	4.015	3.924	7.115	7.438	7.299	12.16	10.7	11.43	16.005	15.999	16.002

ตารางที่ ก. 4 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร IV เทียบกับเวลาของการประสานที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ

PVC	MEK	CYC	2 hr			5 hr			12 hr			24 hr			48 hr		
			Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean
15	75	10	1.996	1.741	1.868	3.271	4.295	3.783	5.804	6.446	6.125	11.611	11.999	11.805	14.252	13.678	13.965
15	65	20	3.645	3.751	3.698	6.039	6.111	6.075	9.351	9.291	9.321	12.73	-	12.73	14.199	13.783	13.991
15	55	30	5.465	4.319	4.892	8.471	-	8.471	11.27	10.97	11.12	12.54	13.68	13.09	13.831	14.508	14.169
15	45	40	3.766	3.276	3.517	4.79	5.556	5.173	8.56	8.724	8.641	12.84	11.25	12.05	14.002	14.07	14.036
15	35	50	1.716	1.369	1.565	2.973	2.835	2.904	5.833	5.959	5.896	10.305	-	10.305	14.102	14.12	14.111

ตารางที่ ก. 5 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร V เทียบกับเวลาของการประสาน ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ

PVC	THF	MEK	2 hr			5 hr			12 hr			24 hr		
			Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean
15	4.25	80.75	1.333	1.271	1.302	2.715	2.653	2.684	5.982	6.026	6.004	11.920	11.926	11.923
15	8.5	76.5	1.501	1.495	1.498	2.883	2.801	2.842	6.566	6.498	6.532	12.325	12.085	12.205
15	17	68	1.605	1.645	1.625	2.937	2.951	2.944	6.686	6.492	6.589	12.211	12.187	12.199
15	25.5	59.5	1.698	1.724	1.711	2.906	2.888	2.897	6.628	6.600	6.614	12.365	12.263	12.314
15	34	51	1.772	1.798	1.785	2.917	3.087	3.002	6.661	6.741	6.701	12.455	12.411	12.433
15	42.5	42.5	1.921	1.881	1.901	3.022	3.200	3.111	6.801	6.753	6.777	12.555	12.453	12.504

ตารางที่ ก. 6 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของท่อที่เชื่อมด้วยน้ำยาประสานท่อสูตร VI เทียบกับเวลาของการประสานที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ

PVC	THF	MEK	CYC	2 hr			5 hr			12 hr			24 hr		
				Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean
15	5.5	49.5	30	6.012	6.630	6.321	8.274	-	8.274	13.456	13.556	13.506	15.623	15.985	15.804
15	5.3	47.7	32	6.799	7.420	7.109	8.788	8.180	8.484	13.560	13.882	13.721	16.490	16.810	16.550
15	5.1	45.9	34	8.155	6.238	7.196	8.907	8.201	8.524	15.010	13.036	14.023	16.892	16.328	16.610
15	4.9	44.1	36	6.697	7.901	7.299	9.103	8.825	8.934	14.202	14.430	14.316	16.360	17.310	16.830
15	4.7	42.3	38	7.042	6.706	6.824	8.074	7.768	7.921	11.330	14.554	12.942	15.440	-	15.440
15	4.5	40.5	40	6.014	5.012	5.513	7.869	7.611	7.740	12.564	12.664	12.614	14.970	15.530	15.230

ตารางที่ ก.7 ผลการเปรียบเทียบน้ำยาประสานท่อที่ทำการทดลองกับน้ำยาประสานท่อทางการค้า

ชนิดของน้ำยาประสานท่อ	2 hr			5 hr			12 hr			24 hr		
	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean	Tensile1	Tensile2	mean
บริษัทท่อน้ำไทย	6.363	-	6.363	9.106	8.602	8.854	14.110	13.910	14.010	15.920	16.300	16.110
Sample 1	6.697	7.901	7.299	9.103	8.825	8.934	14.262	14.430	14.316	16.360	17.310	16.830
บริษัทตราช้าง	5.605	6.396	5.987	7.825	7.873	7.849	13.100	13.440	13.270	15.220	16.640	15.930

หมายเหตุ: น้ำยาประสานท่อ Sample 1 เป็นน้ำยาประสานท่อตามอัตราส่วน พีวีซีเรซินต่อเตตระไฮโดรฟิวเรนต่อเมทิลเอทิลคีโตนต่อไซโครเฮกซานอน คือ 15:4.9:44.1:36

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบการแพร่ซึมของตัวทำละลายบนผิวท่อพีวีซี

สาร	ระยะที่ตัวทำละลายแพร่ซึม ( $\times 10^{-3}$ เมตร)								
	1 (hr)	2 (hr)	5 (hr)	7 (hr)	10 (hr)	12 (hr)	18 (hr)	24 (hr)	48 (hr)
THF	1.55	2.56	3.89	4.56	4.67	-	-	-	-
MEK	1.26	2.38	3.76	4.03	4.24	-	-	-	-
CYCLO	0.72	0.96	2.08	2.48	2.96	3.20	3.86	4.52	4.95

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

## ● มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1032-2534

## 1. ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นเนื้อเคียวกับ: ไม่เป็นก้อน ปราศจากสิ่งแปลกปลอม  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจหีนิจ

## 2. ความสามารถในการเคลือบ

เมื่อใช้แปรงขนอ่อนทาน้ำยาประสานท่อลงบนแผ่นพีวีซีแข็งที่มีผิวเรียบ สะอาดและแห้ง ในแนวราบ ที่อุณหภูมิ  $27 \pm 2$  องศาเซลเซียสแล้ว น้ำยาประสานท่อต้องมีความข้นเหลวพอที่จะไหล เป็นฟิล์มที่ต่อเนื่องกัน และมีผิวหน้าเรียบ (ยกเว้นร่องอากาศที่ฝังอยู่ในเนื้อฟิล์ม)  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจหีนิจ

## 3. การติดแน่น

- 3.1 ประเภทใช้กับท่อรับความดัน ต้องมีค่าความต้านแรงเฉือนไม่น้อยกว่า 8 เมกะพาสคัล  
3.2 ประเภทใช้กับท่อไม่รับความดัน ต้องมีค่าความต้านแรงเฉือนไม่น้อยกว่า 2 เมกะพาสคัล

## 4. การรั่วซึมภายใต้ความดัน

เมื่อทดสอบตามข้อ 7.3 แล้ว รอยต่อระหว่างท่อพีวีซีแข็งและข้อต่อท่อพีวีซีแข็งต้องติดแน่น และไม่รั่วซึม

## 5. ความทนความดันในระยะเวลานาน (เฉพาะประเภทใช้กับท่อรับความดัน)

เมื่อทดสอบตามข้อ 7.4 แล้ว รอยต่อระหว่างท่อพีวีซีแข็งและข้อต่อท่อพีวีซีแข็งต้องติดแน่น และไม่รั่วซึม

## 6. ผลที่เกิดขึ้นกับน้ำ (เฉพาะประเภทใช้กับท่อรับความดัน)

ต้องไม่ทำให้หน้ามีกลิ่น รส และสี เปลี่ยนไปจากเดิม และต้องไม่มีสารที่เป็นพิษละลายออกมาจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยเมื่อทดสอบตามข้อ 7.5 แล้ว ปริมาณตะกั่ว และคิบุกโคแอลคิลตั้งแต่ C<sub>4</sub> ขึ้นไป ที่สกัดได้ ต้องไม่เกินที่กำหนดในตาราง

รายการ	ปริมาณสารที่เป็นพิษ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	
	สกัดครั้งที่ 1	สกัดครั้งที่ 3
ตะกั่ว	1.0	0.3
คิบุกโคแอลคิลตั้งแต่ C <sub>4</sub> ขึ้นไป (วัดเป็นปริมาณของคิบุก)	-	0.02

## 7. อายุการเก็บ

น้ำยาประสานท่อที่เก็บไว้ในภาชนะบรรจุที่เปิดสนิทในสภาพปกติที่อุณหภูมิห้อง นับจากวันที่ทำเป็นเวลา 9 เดือนสำหรับประเภทใช้กับท่อรับความดัน และเป็นเวลา 3 เดือนสำหรับประเภทใช้กับท่อไม่รับความดัน ต้องยังคงมีคุณลักษณะที่ต้องการตามข้อ 1, ข้อ 2. และข้อ 3.

### ● มาตรฐาน ASTM D-2564

#### 1. สำหรับท่อรับความดัน

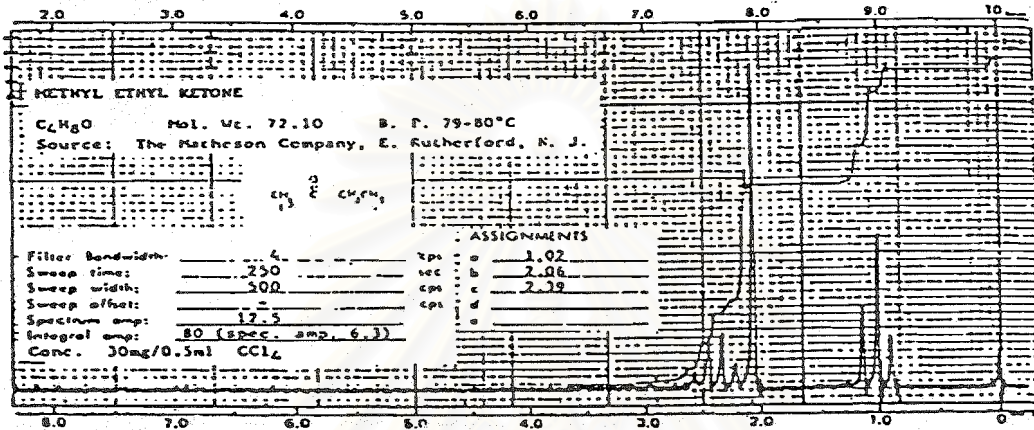
เวลาที่ใช้ทดสอบ (ชั่วโมง)	ค่าแรงดึง (เมกะพาสคาล)
2	1.7
16	3.4
หลังจาก 48	6.4

2. มาตรฐานของการวัดความเหน็ด กำหนดขอบเขต 90 ถึง 1,600 เซ็นติพอยท์ (cp)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ค

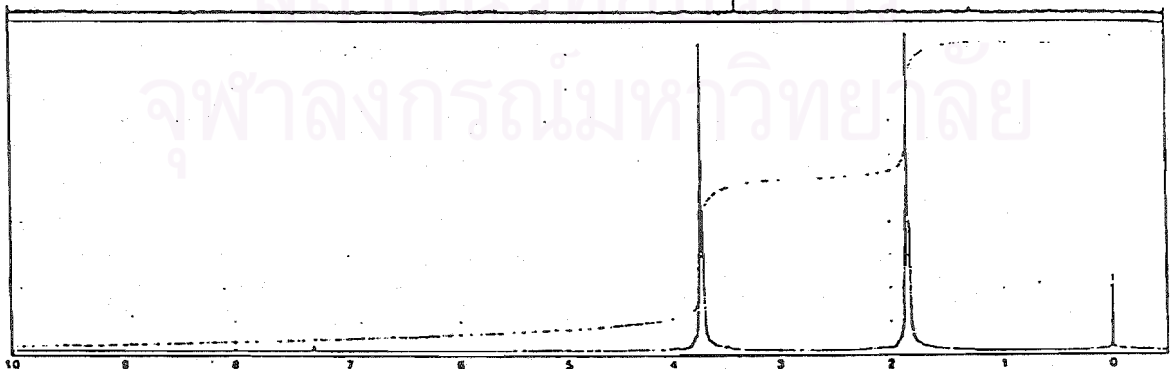
รูปที่ ค.1 สเปกตรัมมาตรฐานจาก H-NMR ของเมทิลเอทิลคีโตน (แมน อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2535)



Chemical Shift of H-NMR (ppm)

รูปที่ ค.2 สเปกตรัมมาตรฐานจาก H-NMR เตตระไฮโดรฟูแรน (Charles, J.P. and Jacquelyn, B., 1993)

Tetrahydrofuran, 99.5+%  
 $C_4H_8O$   $n_D^{20}$  1.4070  
 FW 72.11 Fp 1°F  
 mp -105°C 60 MHz: 1, 199D  
 bp 67°C FT-IR: 1, 238A  
 $CDCl_3$  OE-300 d 0.886 VP-FT-IR: 3, 313D



Chemical Shift of H-NMR (ppm)

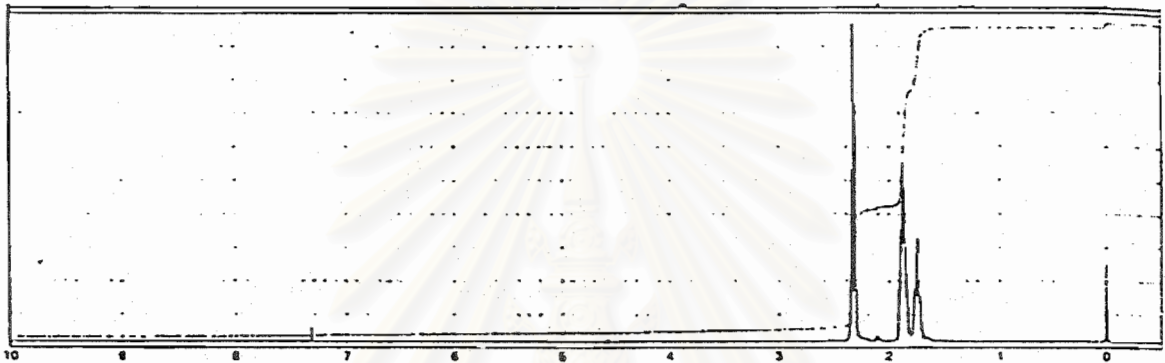


รูปที่ ก.3 สเปกตรัมมาตรฐานจาก H-NMR ไซโคลเฮกซานอน (Charles, J.P. and Jacquelyn, B., 1993)

Cyclohexanone, 99.8%  
 $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$   
 $\text{FW } 98.15$   
 $\text{mp } -47^\circ\text{C}$   
 $\text{bp } 155^\circ\text{C}$   
 $d \ 0.947$

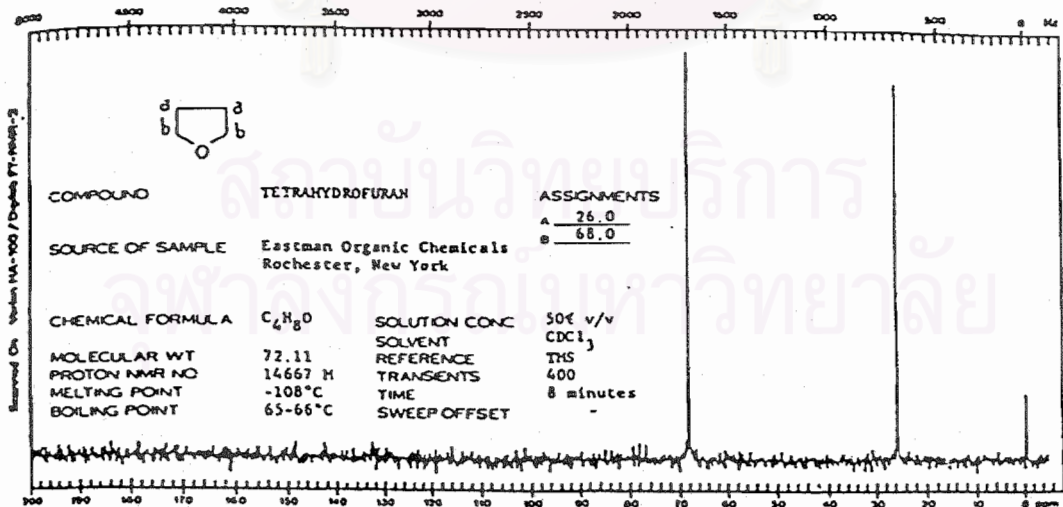
$n_D^{20} \ 1.4500$   
 $\text{Fp } 116^\circ\text{F}$   
 $60 \text{ MHz: } 1,394\text{C}$   
 $\text{FT-IR: } 1,432\text{C}$   
 $\text{VP-FT-IR: } 3,517\text{C}$

$\text{CDCl}_3$                       OE-300



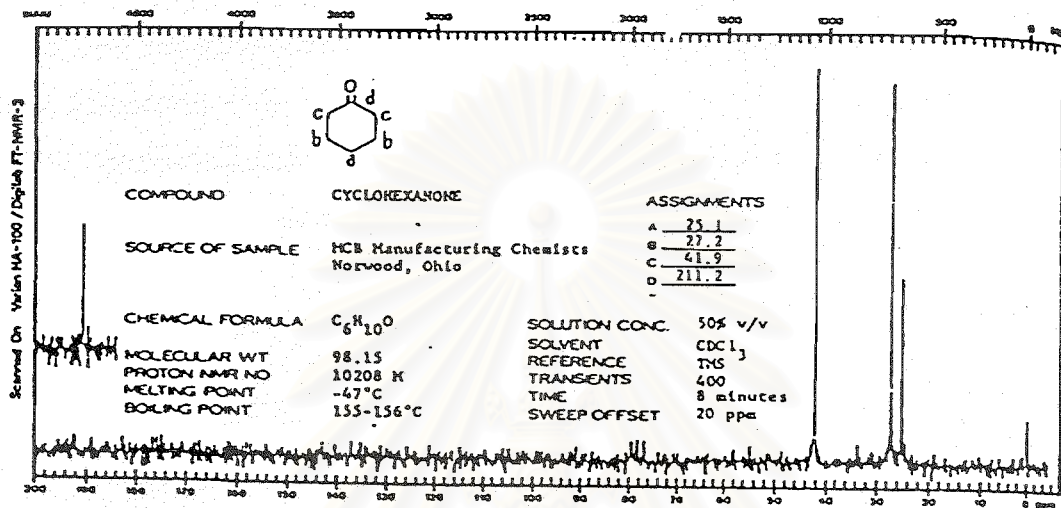
Chemical Shift of H-NMR (ppm)

รูปที่ ก.4 สเปกตรัมมาตรฐานจาก C-NMR เตตระไฮโดรฟูแรน (แมน อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2535)



Chemical Shift of C-NMR (ppm)

รูปที่ ๓.5 สเปกตรัมมาตรฐานจาก C-NMR ไซโคลเฮกซานอน (แมน อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2535)



Chemical Shift of C-NMR (ppm)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียน

จิตตินันท์ จุฑะกาญจน์ เกิดที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร วันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2519 จบการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม เมื่อปี พ.ศ. 2540 หลังจบการศึกษาระดับปริญญาตรีได้เข้าทำงานบริษัท คอสโม จำกัด จำกัดในตำแหน่งนักเคมี ในปี พ.ศ. 2540 ในปี พ.ศ. 2541 เข้าทำงานที่บริษัทอินเตอร์กูด (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่ง Technical Sale and Service แผนก Adhesive และในปี พ.ศ. 2543 เข้าทำงานที่บริษัทเซ็นเทเซีย (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่ง Technical Sale and Service แผนก Cosmetic Colors



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย