

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติอบรังสี  
โดยกระบวนการ

Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.

พ.ศ. ๒๕๖๓

ปีการศึกษา 2538

เลขหม..... 2638

เลขทะเบียน..... 26214

วัน, เดือน, ปี 16 ต.ค. 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A Study of Preparation of High Impact Polystyrene by using  
Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation Process**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the Degree of Bachelor of Science  
Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang**

**1995**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกจากน้ำยาธรรมชาติอบรังสี  
โดยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer /  
Bulk Polymerisation

โดย นางสาวณัฐริกา แวศักดิ์  
นางสาววิชชุดา สุวรรณวัฒนา

ภาควิชา เคมี

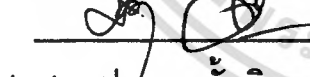
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ประเสริฐ คุณคำชู  
ผศ.ดร.ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์

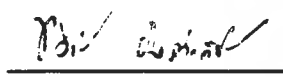
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้นับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
หัวหน้าภาควิชาเคมี  
( ผศ.ดร.เวชรชัย ไชยสิทธิ์ )

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

  
ประธานกรรมการ  
( ดร.ประเสริฐ คุณคำชู )

  
กรรมการ  
( ผศ.ดร.ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์ )

  
กรรมการ  
( ดร.ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย )

  
กรรมการ  
( อ.จุฑารัตน์ ศิริชัยสิทธิ์ )

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติอาบรังสี โดยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation	
นักศึกษา	นางสาวณัฐริกา	แนวศักดิ์
	นางสาววิชชุดา	สุวรรณวัฒนา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ประเสริฐ	คุณคำชู
	ผศ.ดร.ประมวล	ตั้งปริบูรณ์รัตน์
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2538	

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation โดยใช้น้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการอาบรังสีแกมมา เพื่อให้มีปริมาณพันธะเชื่อมโยงบอนอนุภาคยางต่าง ๆ กัน จากนั้นนำเทคนิคเฟสทรานสเฟอรัมาใช้กับน้ำยางธรรมชาตินี้ เพื่อทำการเคลื่อนย้ายอนุภาคของยางธรรมชาติที่  $\text{pH} = 9$  เข้าสู่ชั้นสไตรีนโมโนเมอร์ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกเบนซิลไดเมทิลเฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นไทเทรนต์ ณ จุดยุติของการไทเทรต อนุภาคของยางจะเข้าไปกระจายตัวและบวมอยู่ในสไตรีนโมโนเมอร์ โดยได้ศึกษาผลของปริมาณพันธะเชื่อมโยงบอน และปริมาณยางในสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีต่อจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกจากสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่นี้ โดยกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ ทำการศึกษาสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมขึ้น เปรียบเทียบกับโพลีสไตรีนที่ไม่มีอนุภาคยางกระจายตัวอยู่ พร้อมกันนี้ยังได้ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมได้จากกระบวนการนี้ด้วยกล้องอิเล็กตรอนไมโครสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title      A study of preparation of High Impact Polystyrene by  
using Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk  
Polymerisation process

Name                              Miss Nuttira      Vawsuk  
   Miss Witchuda      Suwanwatana

Special Project Advisor      Dr. Prasert      Khunkamchoo  
   Asst. Prof. Dr. Pramuan      Tangboriboonrat

Department                      Chemistry

Academic Year                  1995

### Abstract

The special project involved the study of preparation of High Impact Polystyrene by using Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation process.  $\gamma$  - Radiation Vulcanization Natural Rubber Latex (RVNRL) having various crosslinking density was employed to improve impact property of polystyrene.

The crosslinked rubber particles at pH 9 were transferred from an aqueous serum phase into a styrene monomer phase by titration with a cationic surfactant (benzylidimethylhexadecylammonium chloride). At the end point , the particles would be dispersed and swollen into styrene phase and HIPS was subsequently obtained by using bulk polymerisation process. In order to obtain the conditions for preparing HIPS , the effect of radiation dose rate and rubber content on the kinetic of bulk polymerisation of rubber swollen styrene was investigated. The impact property and morphology of HIPS prepared were also studied.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่อง การเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติอับรังสี โดยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภท ข ของ มหาวิทยาลัยมหิดลประจำปี 2538 ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหิดลไว้ ณ ที่นี้

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลือของผู้มีพระคุณหลาย ๆ ท่าน ดังมีรายนามต่อไปนี้

ผศ.ดร. ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ ดร. ประเสริฐ คุณคำชู อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินงานด้วยดีตลอดมา

ดร. ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ อ. จุฑารัตน์ ศิริชัยสิทธิ์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ แนะนำ และแก้ไขให้รายงานนี้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

ศ.ดร. เสาวรภย์ บัวเล็ก อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ตู้อบสูญญากาศ (1430D : SHEL LAB)

นางสาวชะวະณี ศิริชัยวัฒน์ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานทั้งหลาย

นางสาวสุภลักษณ์ จินดาประเสริฐ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ให้ความอนุเคราะห์ในการสละเวลาช่วยสอนใช้เครื่อง Zetasizer 4 (MALVERN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณวิชัย ลั่นทอง เจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ให้ความ  
อนุเคราะห์อำนวยความสะดวกในการใช้ Transmission Electron Microscope : H-300 (HITACHI)

บริษัท ระยองบางกอกรับเบอร์ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์น้ำยางธรรมชาติที่ใช้  
ในการศึกษาโครงการพิเศษนี้

เจ้าหน้าที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ให้ความอนุเคราะห์ช่วยอำนวยความสะดวกในการอบรังสีแกมมาน้ำยางธรรมชาติ

บริษัท ซีซีเอส เอ็นจิเนียริง จำกัด ให้ความอนุเคราะห์ในการออกแบบและ  
สร้างแม่พิมพ์

นอกจากผู้มีรายนามข้างต้น ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ และผู้คอยให้กำลังใจ  
ใจในการทำงานเป็นอย่างสูง ที่ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ณัฐริกา แวศักดิ์  
วิชาชุดา สุวรรณวัฒนา

29 มี.ค. 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1.3 กระบวนการเตรียมโดย Emulsion Polymerisation/ Phase Transfer / Bulk Polymerisation	16
2.4.2 กลไกการรับแรงกระแทก	20
2.4.3 ผลของอนุภาคยางที่มีต่อสมบัติของโพลีสไตรีนเหนียวทน แรงกระแทก	21
<b>บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน</b>	<b>23</b>
3.1 สารเคมี	23
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	24
3.3 การทำสไตรีนให้บริสุทธิ์	25
3.4 การตกผลึกเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์	25
3.5 นํ้ายางธรรมชาติ	25
3.5.1 การศึกษาสมบัติทั่วไปของนํ้ายางธรรมชาติ	25
ก) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC)	25
ข) ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC)	26
ค) การวัดขนาดอนุภาคของนํ้ายาง	26
ง) การวัดค่า Zeta Potential	27
3.5.2 การเตรียมนํ้ายางธรรมชาติชนิดร่างแห โดยใช้วิธีการอราบรังสีแกมมา (RVNRL)	28
3.5.3 การศึกษาสมบัติของ RVNRL	28
ก) การวัดขนาดอนุภาค	28
ข) การวัดค่า Zeta Potential	28
ค) อัตราการบวมตัว	29
ง) การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	29
3.6 การศึกษาเทคนิคเฟสทรานสเฟอร์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 การศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก	32
3.7.1 การศึกษาผลของการใช้ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสีต่างกันต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่	32
3.7.2 การศึกษาผลของปริมาณยางที่มีต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่	34
3.8 การเตรียมพลาสติกโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) โดยกระบวนการ Emulsion polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation	34
3.9 การทดสอบสมบัติของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก	36
3.10 การศึกษาโครงสร้างพื้นฐานวิทยาและการกระจายตัว	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	40
4.1 สมบัติโดยทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ	40
4.1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC)	40
4.1.2 ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC)	41
4.1.3 ขนาดอนุภาค	41
4.1.4 Zeta Potential	42
4.2 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการอบรังสีแกมมา (RVNRL)	42
4.2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC)	42
4.2.2 ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC)	42
4.2.3 การศึกษาขนาดอนุภาคและค่า Zeta Potential ของ RVNRL	43
4.2.4 การศึกษาอัตราการบวมตัว (Swelling Ratio) ของ RVNRL	44
4.2.5 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของ RVNRL	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการศึกษาการเคลื่อนย้ายอนุภาคยางเข้าไปในสไตรีนโมโนเมอร์โดยใช้เทคนิคเฟสทรานสเฟอ์[การหาค่า Critical Transfer Concentration (CTC)]	49
4.4 ผลการศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS)	52
4.4.1 ผลของการใช้ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มต่างกันต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่	52
4.4.2 ผลของปริมาณยางที่มีต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่	57
4.5 การเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกจาก RVNRL โดยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation	66
4.6 ความสามารถการทนต่อแรงกระแทก	68
4.7 การศึกษา Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกด้วยกล้อง Transmission Electron Microscope	71
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	76
5.1 สรุปผลการทดลอง	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	78
ภาคผนวก	79
เอกสารอ้างอิง	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางอักษรย่อ

HIPS	โพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (High Impact Polystyrene)
HIPMMA	โพลีเมธิลเมทาไครเลตทนแรงกระแทก (High Impact Poly(methyl methacrylate))
RVNRL	น้ำยางธรรมชาติที่มีโครงสร้างเป็นร่างแหโดยการอบรังสีแกมมา ( $\gamma$ -Radiation Vulcanised Natural Rubber Latex)
n-BA	นอร์มอลบิวทิลอะคริเลต (n-Butyl Acrylate)
$D_v$	ความเข้มของรังสีที่ให้ค่า Tensile Strength ของ Dried Film สูงสุด (Vulcanisation Dose)
MFA	โมโนฟังก์ชันเนลอะคริเลต (Monofunctional Acrylate)
2-EHA	2-เอธิลเฮกซิลอะคริเลต (2-Ethylhexyl Acrylate)
phr	part per hundred rubber
kGy	หน่วยของความเข้มรังสี , kilo gray
$T_g$	อุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass Transition)
KOH	โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide)
CTC	ความเข้มข้นวิกฤติในการเคลื่อนย้าย (Critical Transfer Concentration)
$H_v$	อัตราการบวมตัว (Swelling Ratio)
SDS	โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium Dodecylsulphate)
DVB	ไดไวนิลเบนซิลโมโนเมอร์ (Divinylbenzyl Monomer)
%TSC	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content)
%DRC	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content)
TEM	Transmission Electron Microscope
g/ml	กรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) ของน้ำยางธรรมชาติชนิด แอมโมเนียสูง	40
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) ของน้ำยางธรรมชาติชนิด แอมโมเนียสูง	41
ตารางที่ 4.3 แสดงขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง จากเครื่องวัดขนาดอนุภาค Mastersizer-X (MALVERN)	41
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) ของ RVNRL ที่ผ่านการอบ รังสีที่ความเข้มรังสีต่างกัน	43
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) ของ RVNRL ที่ผ่านการอบ รังสีที่ความเข้มรังสีต่างกัน	43
ตารางที่ 4.6 แสดงอัตราการบวมตัว (Swelling Ratio) ของแผ่นยางที่เตรียมจาก RVNRL	45
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสมบัติเชิงกลของแผ่นยางที่เตรียมจาก RVNRL ซึ่งทดสอบ โดยใช้เครื่องวัด Tensile รุ่น Shimadzu Autograph S - 100	47
ตารางที่ 4.8 แสดงค่า CTC ของ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี ต่างกัน โดยใช้สารละลายเบนซิลไดเมทิลเฮกซะเดคซิล แอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 0.013 M เป็นไทเทรนต์	50
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความชันกราฟและเวลาที่โพลีเมอร์ไรซ์ได้เปอร์เซ็นต์ คอนเวอร์ชัน 100 % ของสไตรีนที่มี RVNRL ที่ผ่านการอบรังสี ที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ กันบวมตัวอยู่	56
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความชันกราฟและเวลาที่โพลีเมอร์ไรซ์ได้เปอร์เซ็นต์ คอนเวอร์ชัน 100 % ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่ใน ปริมาณต่าง ๆ กัน	63
ตารางที่ 4.11 แสดงลักษณะของชิ้นงานโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่ได้ จากกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์	67

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าการทนต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรง กระแทกซึ่งเตรียมจาก RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 12 kGy ด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation เมื่อปริมาณยางในสไตรีน เปลี่ยนแปลงไป	69
ตารางที่ ก.1 แสดงผลการศึกษาค้นคว้าหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ สไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 10 kGy ปริมาณยาง 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร บวมตัวอยู่	78
ตารางที่ ก.2 แสดงผลการศึกษาค้นคว้าหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ สไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 12 kGy ปริมาณยาง 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร บวมตัวอยู่	79
ตารางที่ ก.3 แสดงผลการศึกษาค้นคว้าหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ สไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 14 kGy ปริมาณยาง 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร บวมตัวอยู่	80
ตารางที่ ก.4 แสดงผลการศึกษาค้นคว้าหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ สไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 12 kGy ปริมาณยาง 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร บวมตัวอยู่	81
ตารางที่ ก.5 แสดงผลการศึกษาค้นคว้าหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ สไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 12 kGy ปริมาณยาง 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร บวมตัวอยู่	82
ตารางที่ ก.6 แสดงผลการศึกษาค้นคว้าหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ สไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 12 kGy ปริมาณยาง 0.035 กรัมต่อมิลลิลิตร บวมตัวอยู่	83
ตารางที่ ก.7 แสดงผลการศึกษาค้นคว้าหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ สไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 12 kGy ปริมาณยาง 0.04 กรัมต่อมิลลิลิตร บวมตัวอยู่	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงวิธีการทำ RVNRL	7
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพันธะเชื่อมโยงของยางธรรมชาติ กับ n-BA	9
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการเคลื่อนย้ายของอนุภาคลาเทกซ์ เมื่อไทเทรตด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก ที่มีตัวทำละลายอินทรีย์หรือโมโนเมอร์	11
รูปที่ 2.4 แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่ผลิตโดยการผสมเชิงกล	14
รูปที่ 2.5 แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่ผลิตจากกระบวนการสารละลาย	15
รูปที่ 2.6 แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่ผลิตจาก Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation โดยใช้อนุภาคยางธรรมชาติ RVNRL จากการศึกษาของ Tangboriboonrat [3]	17
รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกโดยกรรมวิธีที่ใช้ทั่วไป และกรรมวิธี Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation	19
รูปที่ 3.1 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก	35
รูปที่ 3.2 Notch Cutting Apparatus (YASUDA)	37
รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (258 - PC Impact Tester : YASUDA)	38
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลของปริมาณรังสีแกมมา ที่มีต่ออัตราบวมตัว (Swelling Ratio) ของยาง RVNRL	46
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus 100 และ 300 ของ RVNRL ที่ปริมาณความเข้มข้นรังสีต่าง ๆ กัน	48
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของการโพลีเมอไรส์สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 10 kGy บวมตัวอยู่ด้วยปริมาณ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร	53
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของการโพลีเมอไรส์สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ด้วยปริมาณ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ การโพลีเมอไรส์ไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 14 kGy บวมตัวอยู่ ด้วยปริมาณ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร	55
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ การโพลีเมอไรส์ไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ ด้วยปริมาณ 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร	58
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ การโพลีเมอไรส์ไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ ด้วยปริมาณ 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร	59
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ การโพลีเมอไรส์ไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ ด้วยปริมาณ 0.035 กรัมต่อมิลลิลิตร	61
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของ การโพลีเมอไรส์ไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ ด้วยปริมาณ 0.04 กรัมต่อมิลลิลิตร	62
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยางในสไตรีนกับความชันกราฟที่ แสดงเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันในการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มี อนุภาคยางบวมตัวอยู่	64
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยางในสไตรีนกับค่าการทนต่อ แรงกระแทกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก	70
รูปที่ 4.12.ก และ ข แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียม ด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation (กำลังขยาย 15 K เท่า)	72

**สารบัญรูป (ต่อ)**

	หน้า
รูปที่ 4.13 ก แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation (กำลังขยาย 50 K เท่า)	73
รูปที่ 4.13 ข แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation (กำลังขยาย 50 K เท่า)	74



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ :-

ในปัจจุบันโพลีเมอร์ผสม (Polymer Blends) ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สะดวกสามารถใช้ปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของโพลีเมอร์ที่มีอยู่เดิม โพลีเมอร์ผสมประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญในทางการค้าได้แก่ โพลีเมธิลเมทาไครเลตเหนียวทนแรงกระแทก (HIPMMA) และโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ซึ่งสามารถเตรียมได้หลายวิธีเช่น การผสมเชิงกลในรูปของแข็ง การผสมในรูปของสารละลาย และการผสมในรูปของลาเทกซ์ ซึ่งวิธีการผสมในรูปของลาเทกซ์นั้นเป็นวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคยาง ตลอดจนโครงสร้างสัณฐานวิทยาของยางได้อีกด้วย

Heim [1] ได้ทำการศึกษาการเตรียมโพลีเมธิลเมทาไครเลตเหนียวทนแรงกระแทก (HIPMMA) โดยใช้กระบวนการ Emulsion (latex) / Phase Transfer / Suspension Polymerisation ซึ่งเทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ได้แก่การไทเทรตประจุบนผิวอนุภาคลาเทกซ์ยางอะไครเลต ในเมธิลเมทาไครเลตโมโนเมอร์ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก ณ จุดยุติของการไทเทรตอนุภาคยางจะเป็นกลาง และเกิดการเคลื่อนย้ายเฟสจากชั้นน้ำเข้าไปอยู่ในชั้นโมโนเมอร์ หลังจากนั้นเมื่อนำชั้นโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางกระจายตัวอยู่ไปทำการโพลีเมอไรเซชันแบบแขวนลอย จะได้ HIPMMA

สำหรับโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) โดยทั่วไปสามารถเตรียมได้โดยการนำยางสังเคราะห์ ได้แก่ โพลีบิวทะไดอีนมาละลายในสไตรีนโมโนเมอร์ แล้วทำการโพลีเมอไรเซชัน เมื่อเกิดการโพลีเมอไรซ์ไปได้ประมาณ 10 % พบว่าจะเกิดการกลับเฟสคืออนุภาคยางบิวทะไดอีนจะเข้าไปกระจายตัวอยู่ในโพลีสไตรีน จากการศึกษาพบว่าอนุภาคยางที่จะทำให้สมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีนเพิ่มขึ้นได้นั้น ต้องมีขนาดอนุภาคมากกว่า 1 ไมโครเมตร ซึ่งโดยทั่วไปการเตรียมอนุภาคของยางสังเคราะห์ด้วยเทคนิคโพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชันจะได้อนุภาคยางที่มีขนาดเล็กกว่าที่ต้องการ จึงมีการสังเคราะห์อนุภาคยางในลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Core / Shell ขึ้น เพื่อให้อนุภาคของยางสังเคราะห์ที่ได้มีขนาดใหญ่มากพอ และมีความเข้ากันได้ (Compatibility) ระหว่างยางกับโพลีเมอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยรับแรงกระแทกในโพลีสไตรีนได้ดี แต่มีข้อเสียคือเมื่อนำไปเตรียมพลาสติกทนแรงกระแทกจะมี Phase Volume สูง และเกิดการกราฟที่ระหว่างยางด้วยตัวเอง แต่การกราฟที่ระหว่างยางกับโพลีเมอร์เกิดได้ยาก

ต่อมาได้มีการศึกษาการเตรียม HIPS โดยละลายยางธรรมชาติในสไตรีนตามวิธีข้างต้น แทนการใช้ยางสังเคราะห์โพลีบิวทะไดอิน [2] พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการแยกเฟสของโครงสร้างสัณฐานวิทยา (2 - Phase Morphology) ส่วนสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ HIPS ที่เตรียมได้นี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ปริมาณยาง น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคนิคนี้มีความยุ่งยาก และไม่สามารถควบคุมสมบัติของ HIPS ได้ดีเท่าที่ควร

Tangboriboonrat [3-5] ได้ทำการพัฒนากระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation เพื่อนำมาใช้ในการเตรียมโพลีเมอร์ผสม HIPS จากน้ำยางธรรมชาติ เนื่องจากคาดว่าอนุภาคของยางที่มีการกระจายตัวแบบ Polydisperse อาจมีผลต่อการรับแรงกระแทกได้ดีกว่าอนุภาคยางที่มีการกระจายตัวแบบ Monodisperse ที่พบในยางสังเคราะห์ โดยทำการศึกษาน้ำยางธรรมชาติที่มีโครงสร้างเป็นร่างแหโดยการอบรังสีแกมมา ( $\gamma$  - Radiation Vulcanised Natural Rubber Latex , RVNRL) ด้วยเทคนิคเฟสทรานสเฟออร์ ซึ่งพบว่าสามารถทรานสเฟออร์อนุภาคของยางจากชั้นน้ำไปยังชั้นของสไตรีนโมโนเมอร์ได้ ถ้าเลือกสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไปอย่างเหมาะสม และเมื่อลองเตรียม HIPS จากกระบวนการข้างต้นนี้จะได้ HIPS ที่มีอนุภาคยางธรรมชาติช่วยเพิ่มความสามารถในการทนต่อแรงกระแทกของ โพลีสไตรีนได้

สำหรับโครงการพิเศษนี้ จะพัฒนากระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation มาใช้เตรียม HIPS จากน้ำยางธรรมชาติที่มีโครงสร้างเป็นร่างแหโดยการอบรังสีแกมมา (RVNRL) โดยจะทำการศึกษาถึงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ HIPS อันได้แก่ ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของอนุภาคยาง ปริมาณยาง และความเข้ากันได้ของอนุภาคยางในโพลีเมอร์ผสม เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคนิคเฟสทรานสเฟออร์ที่นำมาใช้นี้ได้ช่วยลดขั้นตอนต่าง ๆ ที่ยุ่งยากในการเตรียมโพลีเมอร์ผสมลง

ดังนั้นการศึกษานี้จะเป็นต้นแบบในการนำน้ำยางธรรมชาติไปใช้ในการเตรียม HIPS ในทางอุตสาหกรรมต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ :-

- 1) ศึกษาและพัฒนาการเตรียมโพลีเมอร์ผสมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) โดยตรงจากน้ำยางธรรมชาติ โดยใช้กระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation
- 2) ศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอร์ไฮดรอกซีของสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่ด้วยกระบวนการโพลีเมอร์ไฮดรอกซีแบบบัลค์ โดยศึกษาผลของยางที่มีปริมาณร่างแหต่างกัน และปริมาณยางในสไตรีน
- 3) ศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยา และสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่เตรียมขึ้น

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย :-

ในการศึกษาวิธีเตรียมโพลีเมอร์ผสมชนิดทนแรงกระแทก HIPS จากน้ำยางธรรมชาติ โดยใช้เทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย สะดวก เพื่อนำไปใช้เตรียม HIPS ที่มีคุณภาพดีขึ้นและมีราคาถูก ตลอดจนเป็นการขยายการใช้ยางธรรมชาติให้กว้างขวางขึ้น

ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้จึงมีการวิจัยที่ครอบคลุมถึง

- 1) การศึกษาวิธีเตรียมน้ำยางธรรมชาติที่มีโครงสร้างเป็นร่างแหโดยการอบรังสีแกมมา (RVNRL) ตลอดจนสมบัติของน้ำยางธรรมชาติที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่ด้วยกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ โดยศึกษาผลของยางที่มีปริมาณร่างแหต่างกัน และปริมาณยางในสไตรีน

3) การศึกษาวิธีเตรียมและสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ HIPS จากน้ำยางธรรมชาติ โดยใช้กระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation

4) การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอันได้แก่ ปริมาณยางในสไตรีน ที่มีผลต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่เตรียมขึ้น

5) การศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยา และสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่เตรียมขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ลวเทกซ์:-

ลวเทกซ์ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนของโพลีเมอร์ที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลาง (Dispersed Phase) และส่วนของตัวกลาง (Dispersion medium) ลวเทกซ์มีลักษณะเหมือนน้ำมัน มีสีขาวขุ่น ซึ่งเกิดจากการกระจายตัวอย่างเสถียรของโพลีเมอร์ในตัวกลางที่เป็นน้ำ สามารถแบ่งลวเทกซ์ออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ ดังนี้

##### 2.1.1 ลวเทกซ์ธรรมชาติ [9]

หมายถึง ลวเทกซ์ที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติโดยมากได้จากยาง *Hevea Brasiliensis* ซึ่งมีองค์ประกอบอยู่ 3 ส่วนคือ

- ส่วนของอนุภาคยาง มีประมาณ 35 % โดยน้ำหนัก
- ส่วนของน้ำ มีประมาณ 55 % โดยน้ำหนัก
- ส่วนของลูทอยด์ (สีเหลือง) อีกประมาณ 10 % โดยน้ำหนัก

อนุภาคยางธรรมชาติ ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนที่มีลักษณะโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาว และไม่ละลายน้ำ พวก ซีส-1,4-โพลีไอโซพรีน โดยมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง  $5 \times 10^4$  ถึง  $3 \times 10^6$  [8] และมีลักษณะรูปร่างทั้งรีและกลม มีการกระจายตัวของอนุภาคเป็นแบบ Polydisperse ซึ่งมีขนาดแตกต่างกันขนาดโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ  $2 \times 10^3 - 2 \times 10^5$  นาโนเมตร [14] ส่วนที่ผิวของอนุภาคยางห่อหุ้มด้วยชั้นของฟอสโฟไลปิดและโปรตีน ทำให้อนุภาคยางธรรมชาติมีสภาพเป็นบวกหรือลบขึ้นอยู่กับ pH ของระบบ โดยมีจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric Point) ประมาณ 3.6 ดังนั้นที่ผิวของอนุภาคยางจะแสดงประจุที่ผิวเป็นลบ เมื่อมี pH มากกว่า 3.6 และแสดงประจุบวกเมื่อ pH น้อยกว่า 3.6 คุณสมบัติที่ดีของลวเทกซ์ธรรมชาติ คือมีความแข็งแรงขณะเป็นเจลสูง (High Wet-Gel Strength) ทำให้เกิดฟิล์มเมื่อแห้งได้เร็วมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 ลาเท็กซ์สังเคราะห์

หมายถึง อนุภาคโพลีเมอร์ที่เตรียมจากกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน ซึ่งมีลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบ Monomodal จากการศึกษาของ Khothi และ Phrudsaphan [10] โดยได้เตรียมลาเท็กซ์สังเคราะห์ชนิดโพลีบิวทิลอะโครเลต พบว่าลาเท็กซ์ที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 50 ถึง 90 นาโนเมตร ซึ่งโดยทั่วไปแล้วลาเท็กซ์สังเคราะห์จะมีอายุการใช้งานนานกว่าลาเท็กซ์ธรรมชาติ เนื่องจากมีความเสถียรมากกว่า และสามารถควบคุมการเกิดผลิตภัณฑ์ให้มีขนาดตามต้องการได้

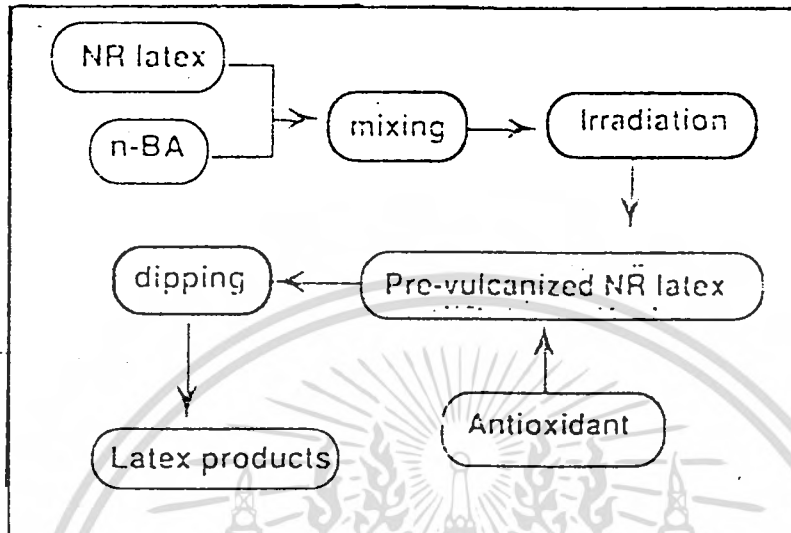
## 2.2 การวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติด้วยรังสีแกมมา [16]

วัลคาไนซ์เซชัน คือ กระบวนการเกิดพันธะเชื่อมโยงของยาง ซึ่งสามารถทำให้เกิดได้โดยการใช้สารเคมี หรือ ใช้รังสี

RVNRL ( $\gamma$ -Radiation Vulcanised Natural Rubber Latex) คือ นํ้ายางธรรมชาติที่ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงของโพลีเมอร์ โดยใช้รังสีแกมมา

ทั้งนี้ RVNRL จะมีความบริสุทธิ์สูง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยวิธีอื่น เช่น Sulphur หรือ Peroxide Vulcanization รูปที่ 2.1 แสดงถึงวิธีการทำ RVNRL ซึ่งประกอบด้ว้วิธีการทำ 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การผสมนํ้ายางธรรมชาติ กับ Sensitizer และ นอร์มอลบิวทิลอะโครเลต (n-BA)
2. ฉายรังสีแกมมา



รูปที่ 2.1 แสดงวิธีการทำ RVNRL

สมบัติของ RVNRL จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำยางธรรมชาติ ปริมาณของ Sensitizer และชนิดของแอนติออกซิแดนท์ที่ใช้ ซึ่งวิธีการ RVNRL ดีกว่าการใช้ซัลเฟอร์วัลคาไนซ์ขั้นต้นคือ

1. จะไม่มี N-nitrosamine
2. มีความเป็นพิษต่ำ
3. มีการดูดกลืนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ต่ำ

### 2.2.1 Sensitizer ที่ใช้ในการทำ RVNRL

#### ก) คาร์บอนเตตระคลอไรด์

Halogenated Hydrocarbon เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และคลอโรฟอร์ม พบว่าสามารถลด Dv (ความเข้มของรังสีที่ให้ค่า Tensile Strength ของ Dried Film สูงสุด) ถึง 50 kGy ด้วย 5 Part per Hundred Rubber (phr) ของคาร์บอนเตตระคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข) โมนอฟังก์ชันแอลอะคริเลต (Monofunctional Acrylate ,MFA)

โมนอฟังก์ชัน เช่น 2-เอธิลเฮกซิลอะคริเลต (2-Ethylhexyl Acrylate ,2EHA) และ นอร์มอลบิวทิลอะคริเลต (n-Butyl acrylate ,n-BA) จะเป็นตัวเร่งการเกิด RVNRL โดยประสิทธิภาพของ Sensitizer จะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ MFA เพิ่มขึ้นด้วย ในทำนองเดียวกันเมื่อลดอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass Transition ,  $T_g$ ) ของโมนอเมอร์ลงก็จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพได้เช่นกัน โดยทั่วไปแล้วมักเลือกใช้ n-BA เป็น Sensitizer เนื่องจากสามารถกำจัดได้ง่ายเมื่อเกิดการตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ แต่ปัญหาหนึ่งที่มีมักเกิดขึ้นเมื่อใช้ n-BA เป็น Sensitizer คือ มักทำให้ความหนืดของน้ำยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดการจับตัวรวมกันเป็นก้อน แต่สามารถแก้ไขได้โดยการใส่โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวช่วยเพิ่มความเสถียรหรือช่วยเพิ่มการกระจายตัวของน้ำยางธรรมชาติ โดยจากการศึกษาพบว่า KOH 2 phr ก็เพียงพอที่จะช่วยเพิ่มการกระจายตัวของน้ำยางธรรมชาติเมื่อเติม n-BA 5 phr

#### 2.2.2 กลไกของการเตรียม RVNRL เมื่อใช้ MFA

จากการศึกษากลไกของการเตรียม RVNRL เมื่อใช้ MFA จะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายสายโซ่ MFA ดังแสดงในสมการที่ 1) - 10)

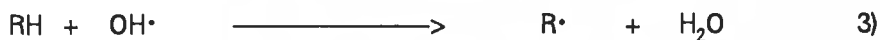
Radiolysis of NR



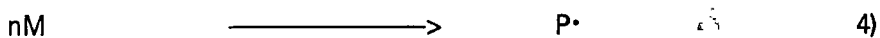
Radiolysis of water



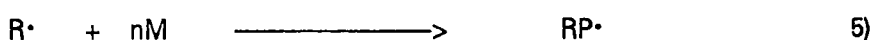
Hydrogen abstraction



Homopolymerisation

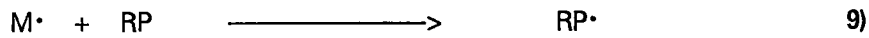
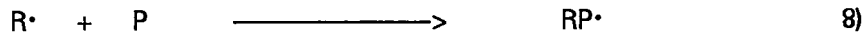
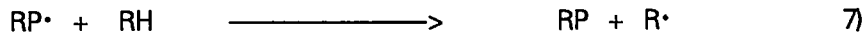
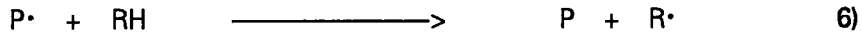


Graft Homopolymerisation

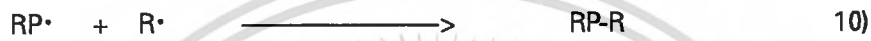


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chain transfer



Termination



เมื่อ

RH คือ ยางธรรมชาติ

M คือ Monofunctional Acrylate (MFA)

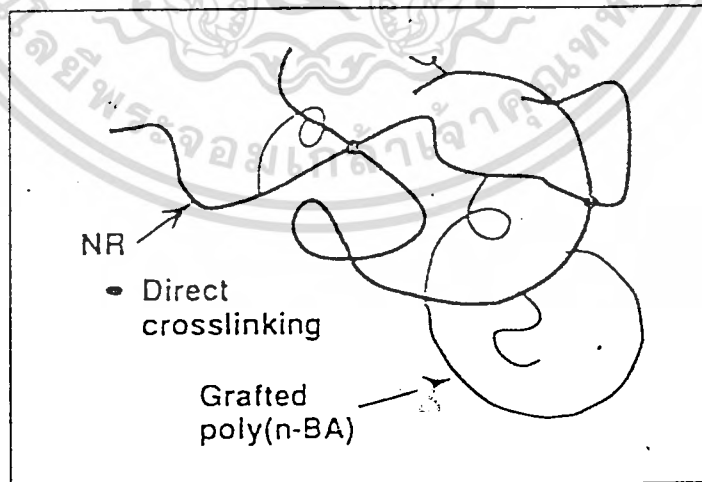
P คือ โพลีเมอร์ของ MFA

P $\cdot$ , RP $\cdot$  คือ สายโซ่อนุมูลอิสระ

การเคลื่อนย้ายสายโซ่ไปยังโมโนเมอร์สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



โดยรูปที่ 2.2 แสดงถึงโครงสร้างของการเกิดพันธะเชื่อมโยง



รูป 2.2 โครงสร้างของพันธะเชื่อมโยงของยางธรรมชาติ กับ n-BA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Minoura [17] พบว่าอัตราการเกิดพันธะเชื่อมโยงในน้ำยางธรรมชาติสามารถเพิ่มได้โดยการเติม Halogenic Hydrocarbon เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ หรือ คลอโรฟอร์ม แต่จากการศึกษาของ Kartowardoyo และ Sundarri [18] พบว่าถ้ามีการฉายรังสีที่มีความเข้มเกินกว่า 4 Mrad อัตราการฉายรังสีจะไม่ขึ้นกับ Sensitizer

โดยทั่วไปแล้วน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการอบรังสีแล้วค่า Tensile Strength และความเหนียวจะสูงขึ้นตามความเข้มของรังสีที่ใช้ในการฉาย

### 2.3 เทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ (Phase Transfer Technique) :-

เทคนิคเฟสทรานสเฟอร์นี้พัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Heim [19] เพื่อใช้ในการหาปริมาณประจุบนผิวของลาเทกซ์สังเคราะห์ที่มีการเชื่อมโยง (Crosslinked Synthetic Latex) เช่น โพลีสไตรีน โพลีเมธิลเมทาไครเลต และโพลีบิวทิลอะไครเลต หลักการคือการเลือกเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่มีประจุตรงข้ามกับประจุบนผิวของอนุภาคลาเทกซ์ ทำให้ประจุบนผิวของอนุภาคลาเทกซ์ในน้ำเป็นกลาง อนุภาคที่เป็นกลางนี้จะไม่สามารถกระจายตัวในน้ำได้อย่างเสถียร แต่จะลอยขึ้นแล้วกระจายตัวอยู่ในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ (ไม่ละลายน้ำ) ที่เติมลงไป ด้วยวิธีการนี้สามารถคำนวณหาปริมาณประจุที่ผิวของอนุภาคโพลีเมอร์ได้จากปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป แล้วทำให้อนุภาคเป็นกลางพอดี ซึ่งคือค่า Critical Transfer Concentration (CTC)

การหาค่า CTC เป็นไปตามสมการดังนี้

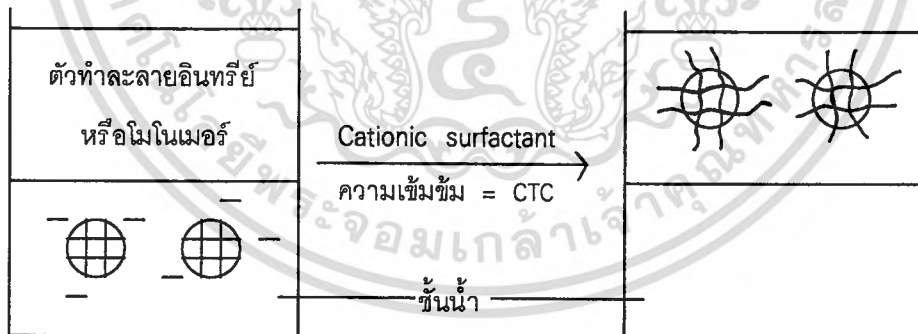
$$CTC = \frac{V \times C}{10 \times MW \times (\%TSC) \times m} \dots\dots\dots(2.1)$$

โดยที่

CTC = ความเข้มข้นวิกฤติในการเคลื่อนย้าย (Critical Transfer Concentration) , ปริมาณโมลของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ต่อน้ำหนักเป็นกรัมของลาเทกซ์แห้ง

- $V$  = ปริมาตรของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เมื่อถึงจุดยุติ , มิลลิลิตร  
 $C$  = ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ , กรัมต่อลิตร  
 $MW$  = น้ำหนักโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว  
 $\%TSC$  = ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในลาเทกซ์  
 $m$  = น้ำหนักลาเทกซ์ , กรัม

Heim ได้ใช้เทคนิคนี้ในการไทเทรตลาเทกซ์ที่เสถียรด้วยประจุลบที่ผิวของอนุภาค โดยการเติมสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic Surfactant) ลงในลาเทกซ์ โดยมีตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำอยู่ด้วย ที่จุดยุติของการไทเทรต อนุภาคของโพลีเมอร์จะเป็นกลาง โดยมีประจุลบที่ผิวของอนุภาคเท่ากับปริมาณประจุบวกที่เติมลงไป เมื่ออนุภาคเป็นกลาง อนุภาคดังกล่าวจะเคลื่อนจากชั้นน้ำไปแขวนลอยอยู่ในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของสารละลายในชั้นน้ำที่ขุ่น กลายเป็นสารละลายใสทันที ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการเคลื่อนย้ายของอนุภาคลาเทกซ์ เมื่อไทเทรตด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก ที่มีตัวทำละลายอินทรีย์หรือโมโนเมอร์

พบว่าอนุภาคของลาเทกซ์สังเคราะห์สามารถเคลื่อนย้ายได้จนกระทั่งเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักของลาเทกซ์ในสารละลายอินทรีย์มีค่าประมาณ 70 % หลังจากการทรานสเฟอรรูปของลาเทกซ์จะกระจายเป็นเนื้อเดียว และรวมตัวในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ด้วยแรงกระทำระหว่างโพลีเมอร์กับตัวทำละลาย ทำให้อนุภาคเสถียรอยู่ได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีอนุภาคยางรวมตัวสามารถแยกออกได้โดยการเซนตริฟิวจ์

อัตราการรวมตัว ( $H_v$ ) สามารถวัดได้จากขนาดอนุภาคที่รวมตัวและไม่รวมตัว ดังนี้

$$H_v = (\phi / \phi_0)^3 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

โดยที่

$\phi$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคลาเทกซ์ที่รวมตัวในตัวทำละลายอินทรีย์ ภายหลังจากการทำเฟสทรานสเฟอ์

$\phi_0$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคลาเทกซ์ในชั้นน้ำก่อนการทำเฟสทรานสเฟอ์

นอกจากนี้เทคนิคเฟสทรานสเฟอ์ยังสามารถใช้ได้กับน้ำยางธรรมชาติ โดย Tangboriboonrat [6] ได้นำเทคนิคนี้มาใช้ในการหาปริมาณประจุบนผิวของน้ำยางธรรมชาติชนิดร่างแหโดยใช้วิธีการอับรังสีแกมมา เป็นที่ทราบกันว่าโครงสร้างที่ผิวของน้ำยางธรรมชาติมีลักษณะซับซ้อนมากกว่าน้ำยางสังเคราะห์ และขนาดอนุภาคของยางธรรมชาติเป็นแบบ Polydisperse ผลการศึกษาพบว่ากลไกการทรานสเฟอ์แตกต่างจากในกรณีของลาเทกซ์สังเคราะห์

โดยสรุปเทคนิคเฟสทรานสเฟอ์สามารถใช้แยกอนุภาคลาเทกซ์ออกจากส่วนที่เป็นน้ำ โดยจะได้อนุภาคโพลีเมอร์แขวนลอยในตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งถ้าใช้โมโนเมอร์เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ก็จะสามารถเตรียมโพลีเมอร์ผสมได้จากการโพลีเมอไรซ์โมโนเมอร์ที่มีอนุภาคของโพลีเมอร์จากการทำเฟสทรานสเฟอ์แขวนลอยอยู่ เช่นการผลิตโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก

(HIPS) โดยใช้สไตรีนโมโนเมอร์เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ แล้วเคลื่อนย้ายอนุภาคยางเข้าไปในสไตรีนโมโนเมอร์ ทำการโพลีเมอไรเซชัน นอกจากนี้ยังเป็นเทคนิคที่สามารถใช้ในการวัดหาปริมาณการเกิดการเชื่อมโยง (Crosslink Density) ของอนุภาคลาเทกซ์ได้ง่าย และรวดเร็วอีกด้วย

## 2.4 โพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (High Impact Polystyrene : HIPS)

โพลีสไตรีนเริ่มผลิตในทางการค้าครั้งแรกตั้งแต่ปี 1934 โดยบริษัท ดาวเคมีคอล (Dow Chemical Co.Ltd.) ประเทศสหรัฐอเมริกา และบริษัท ไอ.จี.ฟาราเบน (I.G. Farben) ประเทศเยอรมัน ในช่วงก่อนสงครามโลกเล็กน้อยสหรัฐอเมริกาได้ผลิตโพลีสไตรีนเป็นจำนวนมากเพื่อใช้ทำยางสังเคราะห์ (ยางบิวทอะไดเอิน - สไตรีน) เนื่องจากการขาดแคลนยางธรรมชาติ หลังสงครามสงบแล้ว ปริมาณสไตรีนเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก จึงได้ผลิตโพลีสไตรีนและนำไปใช้งานต่าง ๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ตัวอย่างเช่น เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก ผสมได้ง่าย ไม่ดูดซับน้ำ โปร่งใส ขึ้นรูปได้ง่าย มีความแข็งแรงสูง สามารถหลอมนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ได้เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของสไตรีนเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก

ข้อเสียที่เด่นชัดซึ่งทำให้คุณสมบัติอื่น ๆ ของโพลีสไตรีนด้อยลงไปคือ ความเปราะและมีความต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงนำไปสู่การพัฒนาปรับปรุงให้โพลีสไตรีนมีความเหนียวทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นโดยการเติมยางลงไปในโพลีสไตรีน ซึ่งเรียกพลาสติกที่ได้รับการปรับปรุงนี้ว่า “โพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก” (High Impact Polystyrene : HIPS)

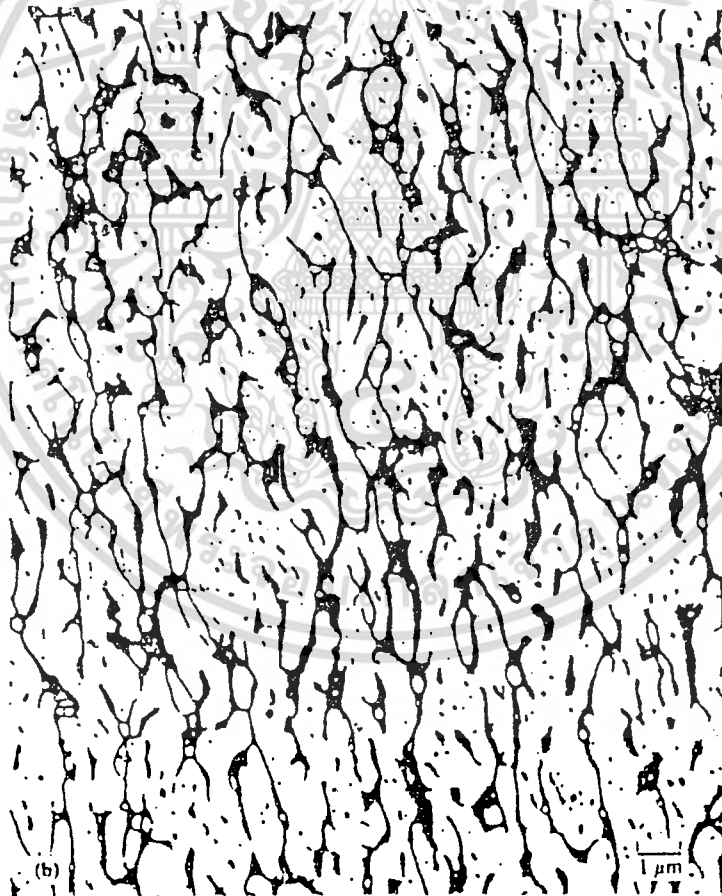
โพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ประกอบด้วยโพลีสไตรีนซึ่งมียางโพลีบิวทอะไดเอิน ที่มีขนาดอนุภาคยาง 1 - 10 ไมโครเมตรกระจายตัวอยู่ สมบัติทางกายภาพของพลาสติกชนิดนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณยางที่กระจายตัวอยู่ในโพลีสไตรีน และการกระจายตัวของอนุภาคยางขนาดต่าง ๆ

## 2.4.1 กระบวนการผลิตโพลีไสตไทรีนเหนียวทนแรงกระแทก

พลาสติกเหนียวทนแรงกระแทก (Toughened Plastic) โดยทั่วไปมีกระบวนการเตรียมดังนี้

### 2.4.1.1 กระบวนการเตรียมที่ใช้กันโดยทั่วไป

ก) การผสมเชิงกล เป็นกระบวนการที่เก่า โดยในการผลิตจะนำโพลีเมอร์ที่เป็นของแข็ง 2 ชนิด มาผสมกันโดยทางกลด้วยเครื่องบดยางหรือเครื่องผสม กระบวนการนี้เป็นกระบวนการพื้นฐานที่สุดและยังคงมีการใช้อยู่ในปัจจุบัน ลักษณะโครงสร้างของโพลีไสตไทรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่ผลิตโดยการผสมเชิงกลนี้แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดง Morphology ของโพลีไสตไทรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ซึ่งผลิตโดยการผสมเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) กระบวนการกราฟฟิโคโพลีเมอร์ในรูปสารละลาย ขั้นตอนของกระบวนการนี้ จะเป็นการเตรียมสารละลายสไตรีน-โพลิเมอร์ที่มีอนุภาคยางกระจายตัวอยู่อย่างเสถียร หลังจากนั้นทำการโพลีเมอไรซ์ขึ้นต้นให้เกิดเป็นโพลีเมอร์ประมาณ 30 % โดยระหว่างโพลีเมอไรซ์จะต้องทำการปั่นกวนตลอดเวลา เพื่อทำให้เกิดการกลับเฟส (Phase Inversion) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบแขวนลอย หรือแบบบัลค์ต่อไป กระบวนการนี้นิยมใช้ในการผลิตโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นกระบวนการโพลีเมอไรซ์ร่วมของสไตรีน-โพลิเมอร์กับอนุภาคยาง ลักษณะโครงสร้างของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่ผลิตโดยกระบวนการสารละลายแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่ผลิตจาก กระบวนการสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) กระบวนการกราฟฟิโคโพลีเมอร์ในรูปอิมัลชัน ในกระบวนการนี้จะเติมสไตรีน โมนิเมอร์ลงไปใน “ Seed Latex “ ที่มีอยู่ก่อน แล้วโพลีเมอไรซ์โพลีเมอร์ดังกล่าว โดยในสารละลายจะเติมสารลดแรงตึงผิว (Emulsifying Agent) เพื่อควบคุมไม่ให้โมนิเมอร์ถูกโพลีเมอไรซ์เป็นไฮโม่โพลีเมอร์ในสารละลายชั้นน้ำ แต่จะเข้าล้อมรอบอนุภาคยางแล้วจึงเกิดการโพลีเมอไรซ์อนุภาคยางและโมนิเมอร์ อนุภาคยางและโพลีเมอร์จะมีลักษณะเป็น “Core/Shell “ ซึ่งจะทำให้ขนาดของ Seed Latex ใหญ่ขึ้น และมีความเข้ากันได้ระหว่างยางกับโพลีสไตรีนเพิ่มขึ้น Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่ผลิตโดยกระบวนการนี้เป็นเช่นเดียวกับรูปที่ 2.5

#### 2.4.1.2 กระบวนการเตรียมโดย Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Suspension Polymerisation

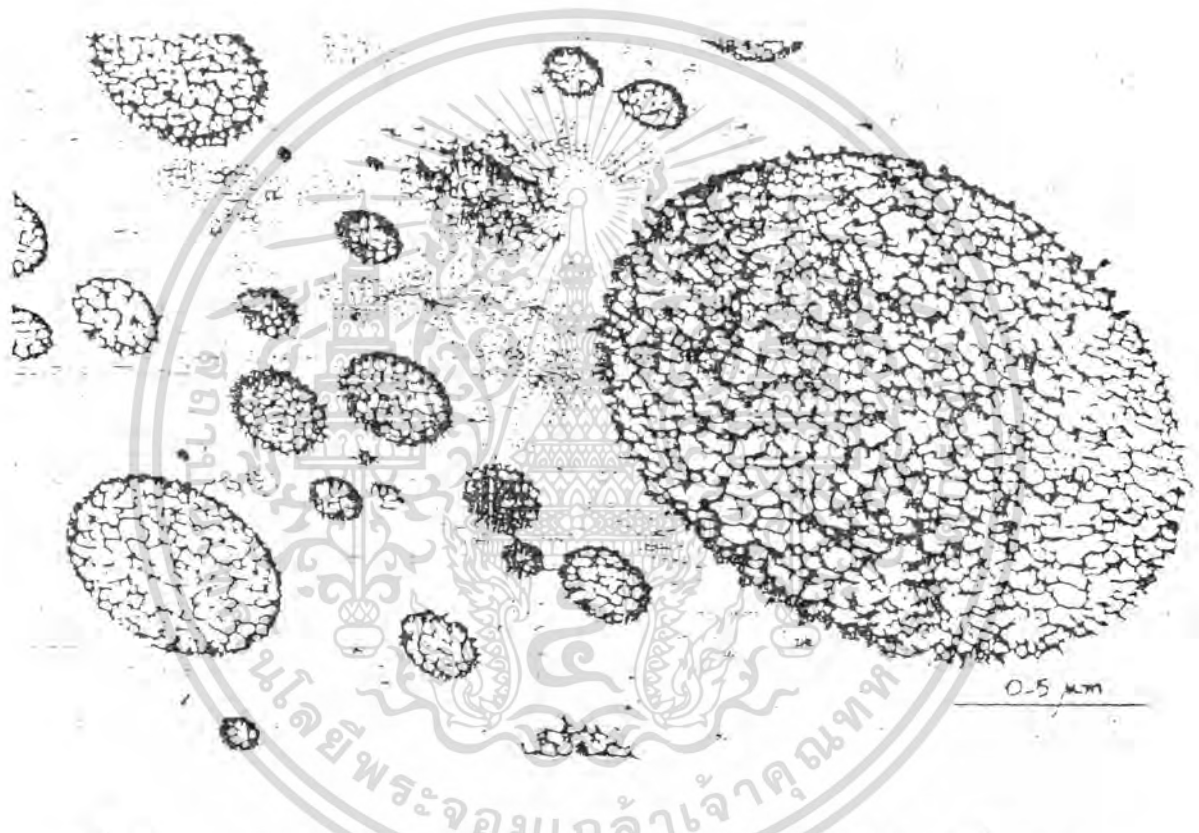
Heim [19] ได้นำเทคนิคนี้มาใช้โดยนำลาเท็กซ์สังเคราะห์โพลีบิวทิลอะโครเลต ซึ่งเตรียมได้จากกระบวนการอิมัลชันโพลีเมอไรเซชัน นำมาเตรียมโพลีเมธิลเมทาโครเลตเหนียวทนแรงกระแทก (HIPMMA) ด้วยเทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ โดยการไทเทรตลาเท็กซ์สังเคราะห์โพลีบิวทิลอะโครเลตที่มีประจุลบที่ผิวอนุภาค ด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก และใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ คือ เมธิลเมทาโครเลตโมนิเมอร์ อนุภาคของโพลีบิวทิลอะโครเลต จะเคลื่อนย้ายจากชั้นน้ำไปยังชั้นของโมนิเมอร์แล้ววมตัวอยู่ จากนั้นนำเอาชั้นของโมนิเมอร์ ที่มีอนุภาคยางโพลีบิวทิลอะโครเลตกระจายตัวอยู่ไปโพลีเมอไรซ์ โดยกระบวนการแบบแขวนลอย

#### 2.4.1.3 กระบวนการเตรียมโดย Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation

Tangboriboonrat [3] ได้นำเทคนิคนี้มาใช้เตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) โดยใช้เทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ ไทเทรต RVNRL ซึ่งมีประจุลบที่ผิวอนุภาคด้วยเบนซิล-ไดเมธิลเฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เมื่ออนุภาคของ RVNRL เป็นกลาง จะทำให้อนุภาคไม่เสถียรในชั้นน้ำ จึงเกิดการเคลื่อนย้ายเข้าสู่ชั้นโมนิเมอร์ จากนั้นนำชั้นสไตรีนโมนิเมอร์ที่มี

อนุภาคของ RVNRL กระจายตัวอยู่ไปทำการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ เมื่อนำ HIPS ที่เตรียมได้ ไปทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก จะพบว่ามีความสามารถทนต่อแรงกระแทกได้เพิ่มขึ้น

โครงสร้างสัณฐานวิทยา (Morphology) ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่ผลิตจากการใส่อนุภาคยางธรรมชาติลงในโพลีสไตรีน จากการศึกษาของ Tangboriboonrat [3] แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่ผลิตจาก Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation โดยใช้ อนุภาคยางธรรมชาติ RVNRL จากการศึกษาของ Tangboriboonrat [3]

Wonglumsum [8] ได้นำเทคนิคนี้มาใช้เตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) เช่นกัน โดยเตรียมจากน้ำยางสังเคราะห์โพลีบิวทิลอะครีเลตที่เสถียรโดยการสังเคราะห์ ด้วยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) ที่มีปริมาณสารเชื่อมโยงไดไวนิลเบนซิลโมโนเมอร์ (DVB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง ๆ กัน แล้วใช้เทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ โดยวิธีการไทเทรตด้วยเบนซิลไดเมทิลเฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์กับน้ำยางสังเคราะห์ชนิดนี้ มีผลทำให้ผิวอนุภาคยางสังเคราะห์โพลีบิวทิลอะโครเลตเป็นกลาง และเกิดการเคลื่อนย้ายเข้าสู่ชั้นสไตรีนโมโนเมอร์ได้ โดยที่ค่าความเข้มข้นวิกฤติในการเคลื่อนย้าย (CTC) อยู่ในช่วง  $7 \times 10^{-5}$  ถึง  $9 \times 10^{-5}$  โมลของสารลดแรงตึงผิวต่อกรัมของน้ำยางแห้ง จากนั้นทำการโพลีเมอไรซ์ชั้นของสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางโพลีบิวทิลอะโครเลตกระจายอยู่ โดยวิธีโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ จะพบว่า HIPS ที่เตรียมได้มีการกระจายตัวของอนุภาคสม่ำเสมอ เมื่อมองด้วยตาเปล่า และเมื่อ HIPS มีเปอร์เซ็นต์อนุภาคยางสูงขึ้น HIPS จะสามารถโค้งงอได้

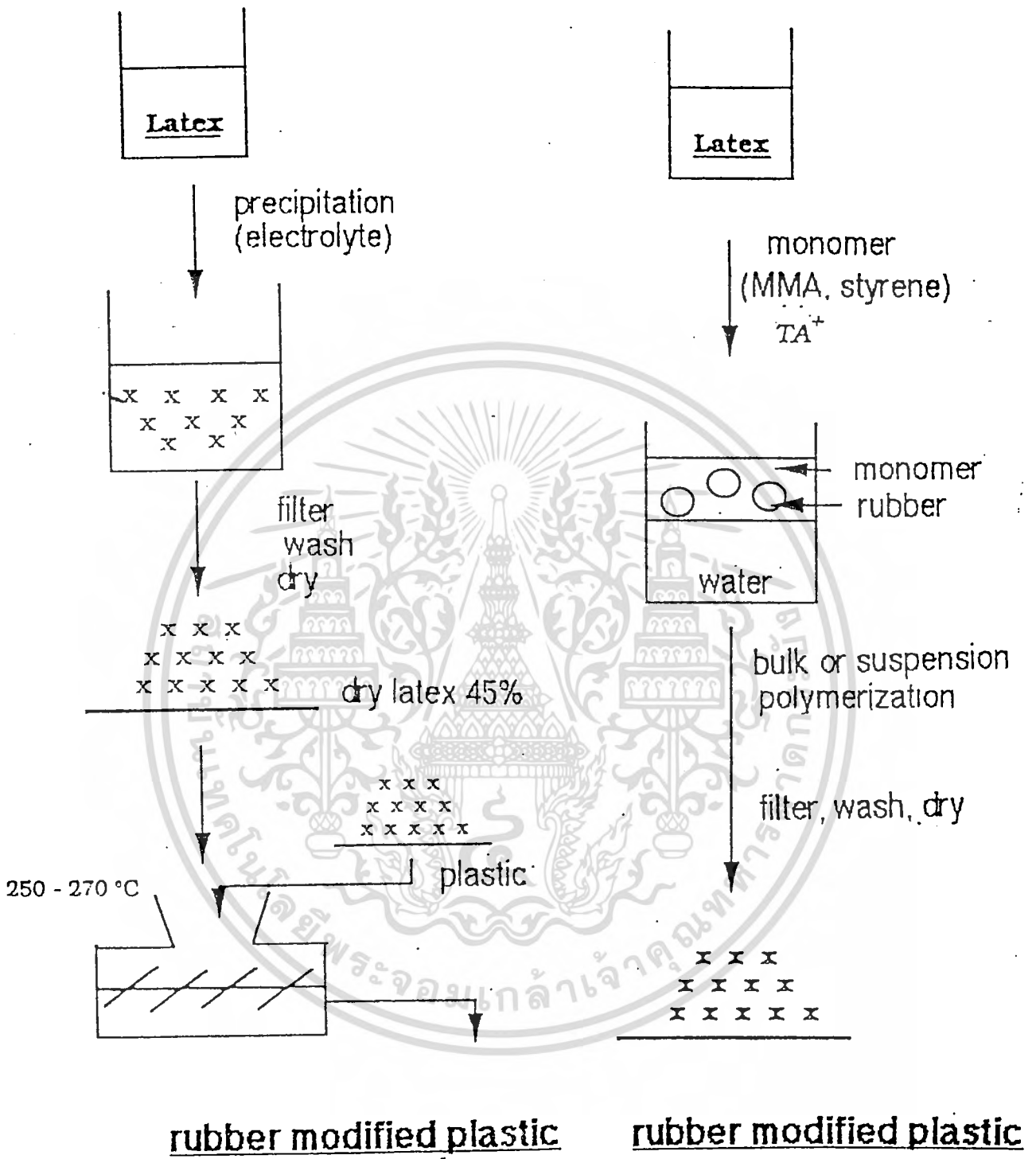
นอกจากนี้แล้ว Khothai และ Phrudsaphan [10] ได้ศึกษาถึงการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) โดยใช้น้ำยางสังเคราะห์โพลีบิวทิลอะโครเลต ด้วยกระบวนการเตรียมดังกล่าวข้างต้น พบว่าสามารถเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกได้ถ้าปริมาณยางเพิ่มขึ้น แต่ยังมีปัญหาจากการที่อนุภาคของยางกระจายตัวไม่สม่ำเสมอในโพลีสไตรีน โดยเฉพาะยางที่เชื่อมโยงด้วยเอทิลีนไกลคอลไดเมทาโครเลตจะเห็นการแยกเฟสกันอย่างชัดเจน แต่เมื่อเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) โดยกระบวนการเดิมแต่ใช้น้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการพรีวัลคาไนซ์ ด้วยเปอร์ออกไซด์แบบ Direct Method พบว่าการเคลื่อนย้ายอนุภาคยางดังกล่าวเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณเนื้อยางหลังการทำเฟสทรานสเฟอร์ได้

จากกรรมวิธีการผลิตโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ในหัวข้อที่ 2.4.1.2 และ 2.4.1.3 ที่ผ่านมา จะพบว่าในกรรมวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก สามารถลดข้อบกพร่องของการกระจายตัวของอนุภาคยางที่ไม่ค่อยสม่ำเสมอ และสามารถลดขั้นตอนการผลิต เช่น การตกตะกอนน้ำยาง การกรองทำให้สามารถประหยัดเวลาในการผลิตลงได้มาก โดยในเบื้องต้นพบว่าเทคนิคนี้ทำให้ได้โพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่สามารถควบคุมการกระจายตัวของอนุภาคยางได้

การเปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก โดยกรรมวิธีที่ใช้ทั่วไปและกรรมวิธี Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk or Suspension Polymerisation แสดงในรูปที่ 2.7

**Classical process**

**Emulsion / transfer / bulk or suspension process**



รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกโดยกรรมวิธีที่ใช้ทั่วไป และกรรมวิธี Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk or Suspension Polymerisation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 กลไกการรับแรงกระแทก

ทฤษฎีที่ใช้ในการอธิบายกลไกการรับแรงกระแทกของยางใน HIPS ที่ทำให้ โพลีสไตรีนมีความสามารถทนต่อแรงกระแทก ได้แก่

1. ทฤษฎี Craze โดย Merz et al. (1956) ตั้งสมมุติฐานว่า ยางดูดซับพลังงาน โดยขบวนการทำให้บรรเทาทางกล (Mechanical Damping) โดยเสนอว่า อนุภาคยางจะทำหน้าที่ ดูดซับพลังงาน เมื่อได้รับแรงกระแทกแล้วทำให้เกิดรอยแตกเล็ก ๆ (Craze) ขึ้นที่ผิว

Bucknall และ Smith [13] เสนอว่าความเค้นที่ทำให้เกิดแนวสีขาวเป็นความเค้นที่ทำให้เกิด Craze ไม่ใช่การแตก แต่สามารถนำไปสู่การแตกต่อไปได้ เมื่อวัสดุได้รับความเค้นอนุภาคยางจะเป็นจุดเริ่มต้นในการเกิด Craze และทำหน้าที่ควบคุมการขยายตัวของ Craze ด้วย โดย Craze จะเกิดขึ้น ณ จุดที่มีความเครียดสูงสุด ใกล้กับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคยาง และมีการขยายตัวออกไปในแนวที่มีความเครียดสูงสุด การขยายตัวของ Craze จะหยุดลงเมื่อพลังงานของความเค้นที่ปลายมีค่าต่ำกว่าจุดวิกฤติสำหรับการแผ่ขยาย หรือเมื่อมีอนุภาคยางกีดขวาง จะมีผลทำให้เกิด Craze เล็ก ๆ จำนวนมาก ส่งผลให้วัสดุสามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้นก่อนที่จะเกิดการแตกหัก

2. ทฤษฎีการเกิดจุดครากเนื่องจากแรงเฉือน (Shear Bands) จะใช้อธิบายพลาสติกเหนียวที่มีความยืดหยุ่นเป็นส่วนมากมักจะไม่นำมาใช้อธิบายในโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก ทฤษฎีนี้เสนอโดย Newman และ Strella ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า การใส่ยางเพื่อเพิ่มสมบัติความเหนียวอาจเป็นเหตุให้เกิดจุดครากขึ้นแทนเนื่องจากเกิดแรงเฉือนขึ้นในวัสดุ โดยเป็นผลมาจากการดึงในสามทิศทาง และเกิดมีปริมาตรที่ว่างเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดจุดครากขึ้นแทนที่จะเกิดการแตกหัก ทำให้วัสดุเกิดการเสียรูปร่างภายใต้สภาวะต่ำกว่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature,  $T_g$ )

๓

### 2.4.3 ผลของอนุภาคของยางที่มีต่อสมบัติของโพลีเอทิลีนเหนียวทนแรงกระแทก

สมบัติของโพลีเอทิลีนเหนียวทนแรงกระแทก โดยทั่วไปขึ้นกับ

1. การกระจายตัวของยางขนาดอนุภาคต่าง ๆ กัน
2. รูปร่างของอนุภาคยาง
3. โครงสร้างภายในอนุภาคยาง

Heim [19] ได้ศึกษาผลของขนาดของอนุภาคยางที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโพลีเอทิลีนเมทาโครเลต พบว่าขนาดของอนุภาคยางในช่วง 200 - 250 นาโนเมตร เป็นขนาดที่เหมาะสมในการเกิด Deformation และควบคุมการขยายของ Deformation อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้โพลีเอทิลีนเมทาโครเลตดังกล่าวมีสมบัติทนแรงกระแทกเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กเกินไปจะสามารถสร้าง Craze หรือ Shear Bands ได้ แต่จะไม่สามารถหยุดหรือควบคุมการขยายของรอยแตกในวัสดุได้ ส่วนอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นนั้นมีความสามารถในการเป็นจุดเริ่มเกิด Craze น้อย แต่ตรงกันข้ามจะควบคุมการขยายของรอยแตกได้ดีกว่า

นอกจากนี้ Heim ยังพบว่าการใช้อนุภาคยางที่มีขนาดแตกต่างกัน จะมีผลต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโพลีเอทิลีนเมทาโครเลตด้วย ในกรณีดังกล่าว Heim ได้ใช้ยางที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันผสมลงไปในโพลีเอทิลีนเมทาโครเลต พบว่ายางที่มีอนุภาคขนาดเล็กซึ่งมีขนาดต่ำกว่า 1 ไมโครเมตรมีความสามารถในการเริ่มเกิด Craze หรือ Shear Bands ได้ดี และยางที่มีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตรจะทำหน้าที่ในการหยุดหรือควบคุมการขยายตัวของ Deformation ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การใช้ยางที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันช่วยรักษาสมบัติทนต่อแรงกระแทก และยังช่วยรักษาสมบัติความมันเงาไว้ได้อย่างดี

Tangboriboonrat [3-5] ได้ศึกษาการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกโดยใช้ยางธรรมชาติจากลาเทกซ์ซึ่งมีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมาก และมีโครงสร้างที่ผิวซับซ้อนกว่าลาเทกซ์สังเคราะห์ ผลจากการทดลองในขั้นต้นพบว่า โพลีสไตรีนที่เตรียมได้มีสมบัติทนทานต่อแรงกระแทกดีขึ้น

จากการศึกษาของ Cook , Rudin และ Plumtree [15] พบว่า ขนาดของอนุภาคยางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2 ไมโครเมตร จะไม่ทำให้ HIPS ทนแรงกระแทกได้ดีขึ้น ส่วนขนาดอนุภาคของยางที่ช่วยให้ HIPS ทนแรงกระแทกได้มากขึ้น จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 2-3 ไมโครเมตร ที่ 8% โดยน้ำหนักของยาง

เมื่อไม่นานมานี้ ได้มีการศึกษาถึงขนาดของอนุภาคยางที่มีการกระจายตัวแบบ Bimodal คือมีขนาดของอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กและใหญ่กระจายตัวอยู่ใน HIPS ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติด้านการทนต่อแรงกระแทกมากกว่าการกระจายตัวแบบ Monomodal ดังนั้นจึงเป็นการน่าสนใจที่จะศึกษาการนำน้ำยางธรรมชาติมาช่วยปรับปรุงความสามารถในการทนทานต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีน เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในช่วงที่กว้าง

## บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินการ

### 3.1 สารเคมี :-

ชื่อสารเคมี	เกรด	แหล่งที่มา
1. สไตรีนโมโนเมอร์	analytical grade	Fluka
2. น้ำยาธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง	-	บริษัท ระยองบางกอก รับเบอร์ จำกัด จ.ระยอง
3. เบนซิลไดเมทิลเฮกซะเดคซิล แอมโมเนียมคลอไรด์	analytical grade	Fluka
4. เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์	analytical grade	Fluka
5. อะซีโตน	commercial grade	-
6. โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์	analytical grade	Fluka
7. คาร์บอนเตตระคลอไรด์	analytical grade	Merck
8. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	analytical grade	Sigma
9. เมทานอล	commercial grade	-
10. คลอโรฟอร์ม	analytical grade	Merck
11. แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต	analytical grade	Fluka
12. โซเดียมไฮดรอกไซด์	analytical grade	Fluka
13. กรดอะซิติก	analytical grade	Merck
14. โทลูอีน	analytical grade	Merck

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ :-

1. เครื่องฉายรังสีแกมมา
2. เครื่องวัดขนาดอนุภาค Mastersizer-X (MALVERN)
3. เครื่องวัดค่า Zeta Potential Zetasizer 4 (MALVERN)
4. เครื่องวัด Tensile Autograph s-100 (SHIMADZU)
5. Transmission Electron Microscope : TEM : H - 300 (HITACHI)
6. เครื่องทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก : 258 PC Impact Tester (YASUDA)
7. เครื่อง Notch Cutting Apparatus (YASUDA)
8. เครื่องเซนตริฟิวจ์ : SORVALL RC 50 PLUS (DUPONT)
9. ตู้อบสูญญากาศ : 1430 D (SHEL LAB)
10. แม่พิมพ์
11. ตู้อบ
12. แท่งแม่เหล็กพร้อมเครื่องปั่นกวนไฟฟ้า
13. บิวเรต
14. ขวดรูปชมพู่
15. เทอร์โมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทำสไตรีนให้บริสุทธิ์ :-

- 1) เทโมโนเมอร์ใส่ในกรวยแยก ทำการสกัดด้วยสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % น้ำหนักโดยน้ำหนักในปริมาณที่ต่างกัน จำนวน 3 ครั้ง เก็บชั้นบนไว้
- 2) ทำการล้างโดยสกัดด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่ง pH เป็นกลาง เก็บชั้นของโมโนเมอร์ที่ได้ในขวดสีชา
- 3) ใส่แอนไฮดรัสไซเตียมซัลเฟตพอประมาณลงในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 - 5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 1 คืนในตู้เย็น เมื่อต้องการใช้โมโนเมอร์จึงนำมารองเอาแอนไฮดรัสไซเตียมซัลเฟตออก

### 3.4 การตกผลึกเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ :-

- 1) ละลายเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ในคลอโรฟอร์มที่อุณหภูมิห้องจะได้สารละลายเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ที่อิ่มตัว
- 2) หยดสารละลายเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ที่ได้ลงในเมธานอล จะได้ผลึกของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ที่บริสุทธิ์
- 3) นำไปกรอง และทำให้แห้งโดยนำไปใส่ไว้ในเคซิเคเตอร์

### 3.5 น้ำยารวมชาติ :-

น้ำยารวมชาติที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำยารวมชาติ High Ammonia (Concentrate HA Latex) จากบริษัท ระวังของบางกอกกรีนเบอร์ จำกัด ๑.ระยอง

### 3.5.1 การศึกษาสมบัติทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ

#### ก) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% Total Solid Content ,%TSC)

- 1) ชั่งน้ำยางประมาณ  $1.0 \pm 0.5$  กรัม (บันทึกน้ำหนักละเอียด) เกลงใน petridish ที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว ทำให้น้ำยางแผ่กระจายทั่ว petridish
- 2) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $70 \pm 2$  องศาเซลเซียส จากนั้นนำ petridish ใส่ใน เดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนน้ำหนักคงที่ (น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม)

การคำนวณ :

$$\%TSC = \frac{\text{น้ำหนักของยางแห้งหลังจากนำมาระเหยน้ำออก} \times 100}{\text{น้ำหนักของน้ำยาง}} \dots\dots\dots(3.1)$$

#### ข) ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% Dry Rubber Content ,%DRC)

- 1) ชั่งน้ำยางประมาณ 5 กรัม (บันทึกน้ำหนักละเอียด) เกลงใน petridish ที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว ทำให้น้ำยางแผ่กระจายทั่ว petridish
- 2) ค่อย ๆ หยดกรดอะซิติกเข้มข้น 5% ปริมาตรโดยปริมาตร เพื่อตกตะกอนน้ำยาล้างแผ่นยางด้วยน้ำกลั่น
- 3) นำชิ้นยางไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $70 \pm 2$  องศาเซลเซียส นำ petridish ใส่ใน เดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนน้ำหนักคงที่ (น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 5 มิลลิกรัม)

การคำนวณ :

$$\%DRC = \frac{\text{น้ำหนักของยางแห้งหลังจากจับตัวด้วยกรดอะซิติก} \times 100}{\text{น้ำหนักของน้ำยาง}} \dots\dots\dots(3.2)$$

### ค) การวัดขนาดอนุภาคของน้ำยาง

ทำการวัดขนาดอนุภาคยางธรรมชาติ โดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค Mastersizer-X (MALVERN) มีขั้นตอนการทำดังนี้

- 1) ทำ aligning ของ laser power ให้ได้ค่าประมาณ 60 % ขึ้นไป
- 2) ทำการวัด background โดยใช้น้ำกลั่น
- 3) ใส่ตัวอย่างธรรมชาติลงในอ่าง Sample ที่มีน้ำกลั่นอยู่แล้ว ให้มีค่าของ obscuration ประมาณ 10 - 30 %
- 4) ทำการวัดขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติ
- 5) บันทึกค่าขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ยจากเครื่อง

### ง) การวัดค่า Zeta Potential

ทำการวัดค่า Zeta Potential ของอนุภาคยางธรรมชาติ โดยใช้เครื่องวัดค่า Zeta Potential Zetasizer 4 (MALVERN) มีขั้นตอนการทำดังนี้

- 1) เตรียมตัวอย่างยางธรรมชาติที่จะนำมาวัด โดยการเจือจางน้ำยางธรรมชาติด้วยน้ำกลั่น 3A ที่ผ่านการ Degas แล้ว ในอัตราส่วนน้ำกลั่น 20 - 30 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 หยด
- 2) เลือกโปรแกรมการวัดค่า Zeta Potential (Zeta Window) จากคอมพิวเตอร์ ใส่ข้อมูลของสารตัวอย่างที่วัด ได้แก่ ชนิดของน้ำยางธรรมชาติ pH ที่ทำการวัด จำนวนครั้งที่ต้องการวัดต่อ 1 ตัวอย่าง ฯลฯ
- 3) ล้างเซลล์ในเครื่องวัดค่า Zeta Potential ด้วยน้ำกลั่น 3A ประมาณ 3 ครั้ง
- 4) นำสารตัวอย่างคือน้ำยางธรรมชาติที่เจือจางแล้วมาวัดค่า Zeta Potential โดยให้หลอดดูดดูดสารตัวอย่างประมาณ 20 มิลลิลิตร ซัดเข้าสู่เซลล์แล้วคาหลอดดูดไว้ที่ช่องฉีดสารตัวอย่าง
- 5) กดปุ่มเพื่อให้เครื่องทำการวัดค่า Zeta Potential
- 6) เมื่อทำการวัดเสร็จแล้ว นำหลอดดูดที่ฉีดคาไว้ ออก แล้วทำการล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่น 3A หลาย ๆ ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) อัตราการบวมตัว (Swelling Ratio)

- 1) เทน้ำยางที่ได้ลงใน petridish ตั้งทิ้งไว้ หรืออบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $70 \pm 2$  องศาเซลเซียส จะได้แผ่นฟิล์มของยาง
- 2) ตัดยางแผ่นที่ได้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสน้ำหนักไม่เกิน 0.5 กรัม (บันทึกน้ำหนักละเอียด) นำไปแช่ในโหลสุญญากาศเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง จนกระทั่งแผ่นยางอิมมิดี
- 3) ชั่งแผ่นยางที่บวมตัวในโหลสุญญากาศด้วยกระดาษกรอง แล้วนำมาชั่ง และบันทึกน้ำหนักไว้

การคำนวณ :

$$\% \text{ swelling ratio} = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

เมื่อ  $W_t$  = น้ำหนักของแผ่นยางหลังแช่โหลสุญญากาศ, กรัม

$W_0$  = น้ำหนักของแผ่นยางแห้ง, กรัม

ง) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของ RVNRL

ก่อนที่จะศึกษาสมบัติทางกายภาพของ RVNRL ได้นั้น จะต้องทำการเตรียมให้เป็นแผ่นฟิล์มโดยใช้แม่พิมพ์กระจกแผ่นเรียบ ดังนี้

- 1) กรองน้ำยาง RVNRL ที่ได้ผ่านแผ่นกรองอูมิเนียนขนาด 250 เมช เพื่อกำจัดส่วนที่มีขนาดใหญ่ออกไป
- 2) นำน้ำยาง RVNRL ที่กรองได้ เทลงในแม่พิมพ์กระจกแผ่นเรียบให้เต็ม ซึ่งจะก่อให้เกิดฟิล์มที่มีความเรียบ และมีความหนาสม่ำเสมอ
- 3) หลังจากหล่อชิ้นงานเรียบเรียบร้อยแล้ว ทิ้งไว้ให้น้ำระเหยบ้างเพื่อที่จะให้ผิวหน้าของน้ำยางแข็งขึ้น จะได้ผิวหน้าที่เรียบโดยใช้เวลาประมาณ 15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปอบทำให้ยางคงรูปที่อุณหภูมิ  $70$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ถอดออกจากแม่พิมพ์

เมื่อได้ฟิล์มของยางธรรมชาติแล้ว จะนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

### 1. การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

#### การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบโดยนำฟิล์มที่ได้จากการทำให้ยางคงรูปมาตัดเป็นรูปดัมเบลล์ จำนวนประมาณ 5 ชิ้น ทำเครื่องหมายพิกัด (Gauge Range) ให้ถูกต้องและชัดเจน โดยมีความยาวพิกัด  $25.0 \pm 0.1$  มิลลิเมตร วัดความหนาของชิ้นทดสอบในช่วงระยะความยาวพิกัด 3 จุด โดยใช้ไมโครมิเตอร์ แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาพื้นที่ภาคตัดขวาง (A) ของชิ้นตัวอย่างที่จะทดสอบ และชิ้นตัวอย่างนี้จะต้องถูกเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง หลังจากการทำให้ยางคงรูป

#### การคำนวณ

การคำนวณความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด จากสูตร

$$\text{Tensile Strength (TS)} = F/A$$

เมื่อ TS = ความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด , MPa

F = แรงดึงสูงสุด , N

A = พื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบ ,  $\text{mm}^2$

### 2. การทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด

#### การเตรียมชิ้นทดสอบ

เหมือนกับข้อ 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณ

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด คำนวณจากสูตร

$$\% E = \frac{\text{ความยาวของเครื่องหมายพิคัดขณะขาด} - \text{ความยาวพิคัดก่อนทดสอบ}}{\text{ความยาวพิคัดก่อนทดสอบ}} \times 100$$

### 3. ค่า Modulus 100 และ 300

#### การเตรียมชิ้นงาน

เหมือนกับข้อ 1

#### การคำนวณ

$$\text{Modulus} = \text{Stress}$$

ในการศึกษาค่า Modulus 100 และ 300 ของ RVNRL จะคิดจากแรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดที่มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดเท่ากับ 100 และ 300 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

### 3.6 การศึกษาเทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ :-

การใช้เทคนิคเฟสทรานสเฟอร์กับน้ำยางธรรมชาติชนิดวางแหโดยวิธีการอบรังสีแกมมา (RVNRL) มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1) รั้ง RVNRL มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนลาเทกซ์มีค่า %TSC เป็น 6 % ขณะนี้ลาเทกซ์จะมี pH ประมาณ 9

2) ใส่ RVNRL (6 %TSC) 5 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 15 กรัม และ สไตรีนโมโนเมอร์ 10 มิลลิลิตรจากนั้นกวนสารในขวดรูปชมพู่อย่างสม่ำเสมอด้วยชุดกวนแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการไทเทรตลาเทกซ์ธรรมชาติด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกเบนซิลไดเมทิล-เฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ณ จุดยุติจะสังเกตเห็นสารละลายใสขึ้น และเมื่อหยุดกวนจะเกิดการแยกชั้นทันทีโดยชั้นล่างจะใส และชั้นบนจะขุ่น

4) บันทึกปริมาตรของไทเทรนต์ที่ใช้จนถึงจุดยุติ เพื่อนำไปใช้คำนวณหาค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเคลื่อนย้าย ( Critical Transfer Concentration , CTC ) ดังสมการ 2.1 หน้า 10

### 3.7 การศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) :-

การศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ในการเตรียม โพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกนี้ จะศึกษาผลของ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มต่างกัน และผลของปริมาณยางในสไตรีนที่มีต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่

#### 3.7.1 การศึกษาผลของการใช้ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มต่างกันต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่

ขั้นตอนในการศึกษามีดังนี้

1) นำเทคนิคเฟสทรานสเฟอร์มาใช้กับน้ำยางธรรมชาติชนิดร่างแหโดยวิธีการอบรังสีแกมมา (RVNRL) ที่มีปริมาณความเข้มรังสีที่ได้รับ 10 , 12 , 14 kGy ตามลำดับ โดย RVNRL ที่ใช้นี้จะมีปริมาณยางในสไตรีนคงที่ ด้วยการเตรียมยางธรรมชาติทั้ง 3 ชนิดให้มีปริมาณยางในสไตรีนเป็น 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร

2) ทำการไทเทรต RVNRL ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกเบนซิลไดเมทิล-เฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร จนถึงจุดยุติ (สารละลายข้างล่างใสข้างบนขุ่น) ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้ RVNRL เกิดการเคลื่อนย้ายและเข้าไปกระจายตัวอยู่ในชั้นสไตรีนโมโนเมอร์อย่างสมบูรณ์

3) ใช้หลอดหยดที่แห้งดูดชั้นของสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางกระจายตัวอยู่ใส่งในหลอดเซนตริฟิวส์

4) นำชั้นสไตรีนโมโนเมอร์ไปทำการเซนตริฟิวจ์ด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ : SORVALL RC 50 PLUS (DUPONT) เพื่อแยกน้ำและตะกอนยางออกโดยใช้ความเร็วรอบ 1000 rpm เป็นเวลาประมาณ 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

5) นำชั้นสไตรีนโมโนเมอร์ที่ผ่านการเซนตริฟิวจ์แล้ว มาเติมเบนโซิลเปอร์ออกไซด์จำนวน 1 % น้ำหนักโดยน้ำหนักสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางกระจายตัวอยู่ ค่อย ๆ คนให้เบนโซิลเปอร์ออกไซด์ละลายหมด

6) ทำการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ในหลอดทดลองเพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์โดย

6.1 ชั่งน้ำหนักหลอดทดลอง บันทึกไว้

6.2 เติมสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางกระจายตัวอยู่ที่ผสมเบนโซิลเปอร์ออกไซด์แล้วในข้อ 5 ลงในหลอดทดลองประมาณ 2.0 กรัม ชั่งน้ำหนัก บันทึกไว้

6.3 นำหลอดทดลองในข้อ 6.2 ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันเป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง

6.4 นำหลอดทดลองในข้อ 6.3 ออกจากตู้อบ และนำไปดูดเอาสไตรีนโมโนเมอร์ที่เหลืออยู่ออกโดยใช้ตู้อบสูญญากาศ : 1430D (SHEL LAB)

6.5 ชั่งน้ำหนักหลอด ฝาถูก และส่วนของสไตรีนโมโนเมอร์ที่เกิดการโพลีเมอไรเซชัน บันทึกไว้

6.6 คำนวณหา เปอร์เซนต์คอนเวอร์ชันจาก

$$\text{เปอร์เซนต์คอนเวอร์ชัน} = \frac{\text{น้ำหนักโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้น} \times 100}{\text{น้ำหนักโมโนเมอร์ที่ชั่งไว้}}$$

6.7 ทำซ้ำข้อ 6.1 - 6.6 โดยเพิ่มเวลาที่ใช้ในการโพลีเมอไรเซชันเป็น 1 , 1.5 , 2.0 , ..... , 15 ชั่วโมง ตามลำดับ

7) นำเปอร์เซนต์คอนเวอร์ชันที่คำนวณได้ในข้อ 6.6 และ 6.7 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์คอนเวอร์ชันกับเวลาที่ใช้ในการโพลีเมอไรเซชัน เพื่อหาความชันกราฟซึ่งแสดงถึงอัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชัน และเวลาที่ใช้ในการโพลีเมอไรเซชันจนเปอร์เซนต์คอนเวอร์ชันเป็น 100 %

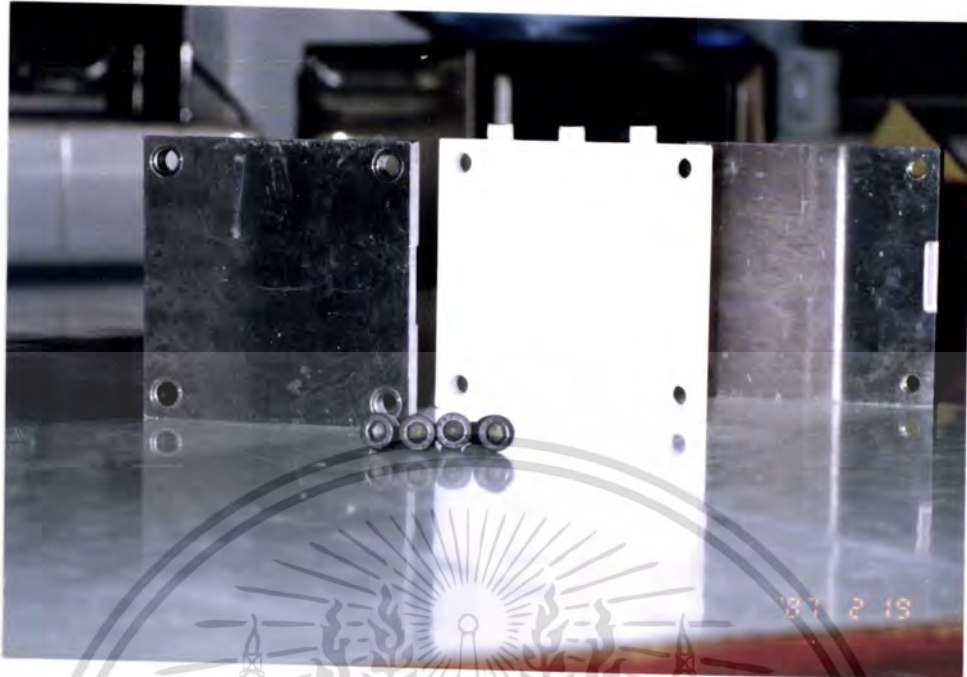
### 3.7.2 การศึกษาผลของปริมาณยางที่มีต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่

ทำเหมือนข้อ 3.7.1 แต่เลือกใช้ RVNRL ที่มีปริมาณความเข้มข้นที่ได้รับ 12 kGy %TSC เป็น 2 , 4 , 6 , 7 และ 8 % เพื่อให้มีปริมาณยางในสไตรีน 0.01 , 0.02 , 0.03 , 0.035 และ 0.04 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

### 3.8 การเตรียมพลาสติกโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) โดยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation :-

หลังจากได้น้ำยางธรรมชาติชนิดร่างแหโดยการอาบรังสี RVNRL จะนำเทคนิคเฟสทรานสเฟอ์มาใช้กับน้ำยางธรรมชาตินี้ โดยเลือกใช้ RVNRL ที่มีปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ 12 kGy และให้มีปริมาณยางในสไตรีนต่าง ๆ กัน โดยเตรียม RVNRL ให้มีปริมาณเนื้อยางทั้งหมด (%TSC) เป็น 2 , 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะได้ปริมาณยางในสไตรีนเป็น 0.01 , 0.02 และ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ณ จุดยุติของการไทเทรต RVNRL ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกเบนซิลไดเมทิลเฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์ อนุภาคยางในชั้นน้ำจะเคลื่อนย้ายไปอยู่ในชั้นของสไตรีนโมโนเมอร์ ต่อจากนั้นจะนำชั้นของสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางกระจายตัวอยู่นี้ มาเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก ด้วยกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ใช้หลอดหยดที่แห้งดูดชั้นของสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางกระจายอยู่ ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวจ์
- 2) นำชั้นสไตรีนโมโนเมอร์ไปทำการเซนตริฟิวจ์ด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ : SORVALL RC 50 PLUS (DUPONT) เพื่อแยกน้ำและตะกอนยางออกโดยใช้ความเร็วรอบ 1000 rpm เป็นเวลาประมาณ 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- 3) นำชั้นสไตรีนโมโนเมอร์ที่ผ่านการเซนตริฟิวจ์แล้วมาเติมเบนโซิลเปอร์ออกไซด์จำนวน 1 % น้ำหนักโดยน้ำหนักของสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางกระจายตัวอยู่ ค่อย ๆ คนให้เบนโซิลเปอร์ออกไซด์ละลายหมด



รูปที่ 3.1 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก

4) ใช้หลอดหยดดูดสไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางกระจายตัวอยู่ในแม่พิมพ์ที่แสดงในรูปที่ 3.1 ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ ปิดจุกแม่พิมพ์ให้แน่นป้องกันสไตรีนระเหย จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส โดยเวลาที่ใช้ในการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลด์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางปริมาณต่าง ๆ กันบวมตัวอยู่นั้น สามารถทราบได้จากข้อมูลของการศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลด์ดังนี้

ปริมาณยางในสไตรีน ( กรัมต่อมิลลิลิตร )	เวลาที่ใช้ในการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลด์ ( ชม. )
0.01	3
0.02	3.5
0.03	4
0.04	5

จากข้อมูลในตารางจะนำไปใช้ในการกำหนดเวลาที่จะใช้ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก ที่มีปริมาณยางต่าง ๆ กัน เพื่อนำไปศึกษาผลของปริมาณยางที่มีต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการโพลีเอไมด์เรซินแบบบับเบิล สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยางบวมตัวและกระจายตัวอยู่ ซึ่งได้จากเทคนิคเฟสทรานสเฟอร์นั้น เวลาที่ใช้ทั้งหมดจะต้องเผื่อเวลาที่แม่พิมพ์เทฟลอนจะมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่เกิดโพลีเอไมด์) อีก 3 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นเวลาที่ใช้ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่มีปริมาณยางในสไตรีนโมโนเมอร์ต่าง ๆ กันจะเป็นดังนี้

ปริมาณยางในสไตรีน ( กรัมต่อมิลลิลิตร )	เวลาที่ใช้ในการโพลีเอไมด์เรซินแบบบับเบิล ( ชม. )
0.01	6
0.02	6.5
0.03	7
0.04	8

5. นำชิ้นงานโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่หล่อได้ออกจากแม่พิมพ์ แล้วทำการตัดชิ้นงานที่ได้เพื่อนำไปทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก โดยให้มีขนาดตาม ASTM D256 93a [23] ดังนี้

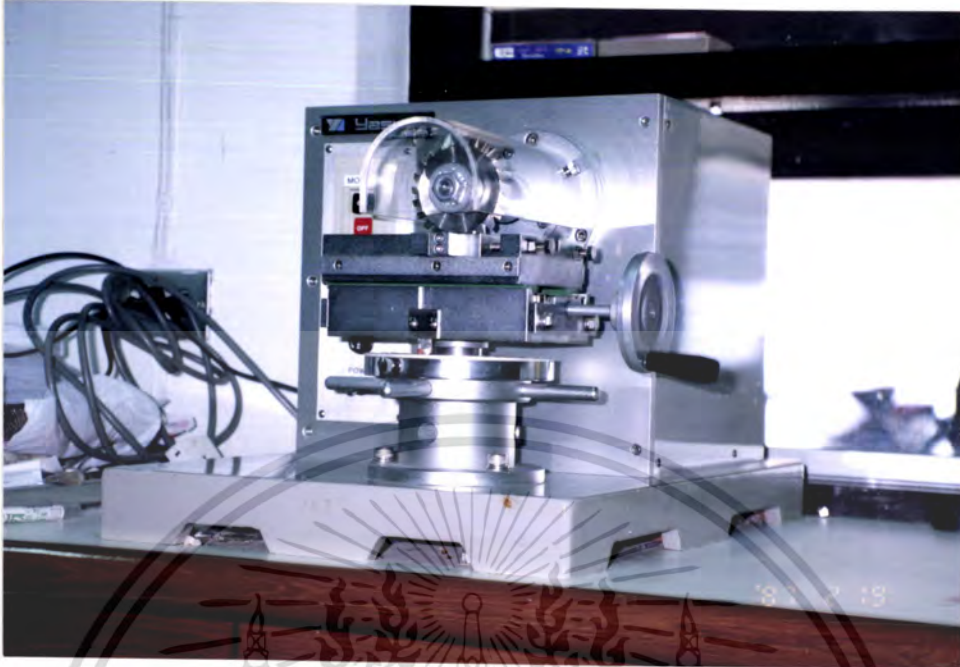
ความกว้าง =  $12.70 \pm 0.15$  มิลลิเมตร

ความยาว = 60.30 - 63.50 มิลลิเมตร

### 3.9 การทดสอบสมบัติของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก :-

หลังจากได้แห้งตัวอย่างของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก จะนำไปทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength) ต่อไป

แห้งตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก จะต้องถูกเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแห้งตัวอย่างมาทำการ Notch ด้วยเครื่อง Notch Cutting Apparatus (YASUDA) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 Notch Cutting Apparatus (YASUDA)

ก) การ Notch แท่งตัวอย่างด้วยเครื่อง Notch Cutting Apparatus (YASUDA)

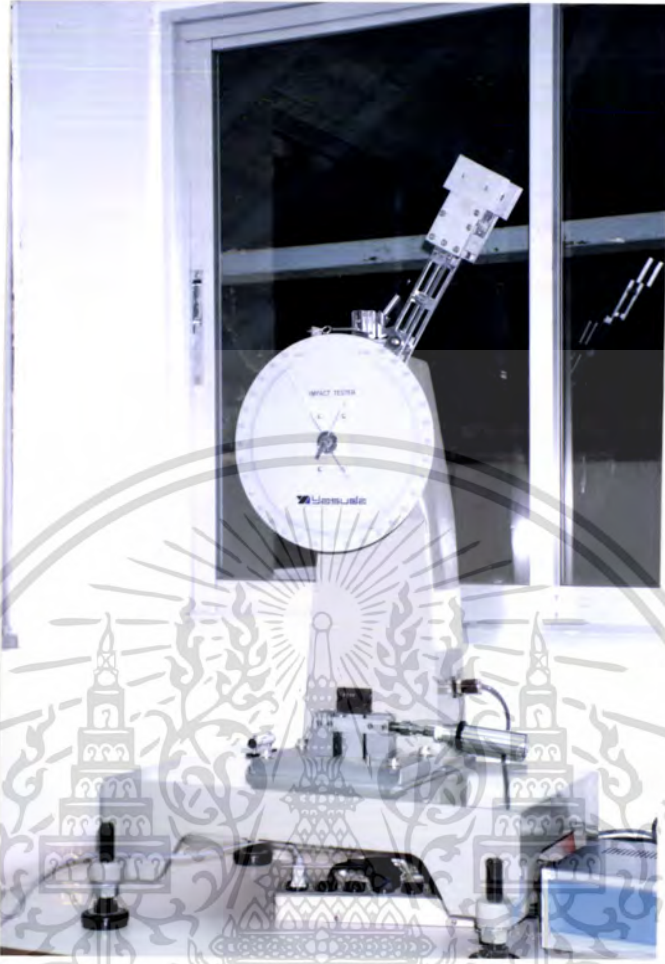
1. วางแท่งตัวอย่างในช่องใส่ชิ้นงาน แล้วยึดให้แน่น
2. กดสวิตช์เปิดเครื่อง ให้ใบมีดตัดหมุน
3. ค่อย ๆ หมุนแท่งตัวอย่างผ่านใบมีดที่กำลังหมุนอยู่ จะได้แท่งตัวอย่างที่มี Notch

ตามต้องการ

ข) การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก

นำแท่งตัวอย่างที่ผ่านการ Notch แล้วมาทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก : 258 PC Impact Tester (YASUDA) ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก : 258 - PC Impact Tester (YASUDA)

ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

- 1) วัดความหนา และความกว้างของแท่งตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบ โดยวัดอย่างละ 3 จุด พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ย
  - 2) ตรวจสอบค้อน Pendulum โดยทดลองเหวี่ยงขณะที่ไม่มีแท่งตัวอย่าง
  - 3) ใส่ข้อมูลขนาดชิ้นงานของแท่งตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ
  - 4) ยกค้อน Pendulum ขึ้น ทำการยึดชิ้นงานเข้ากับแท่นยึด เพื่อเตรียมทำการทดสอบ
- สมบัติการทนต่อแรงกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ปลดปล่อย Pendulum ให้เหวี่ยงลงมาตีชิ้นงาน แล้วรับตัวค้อนที่เหวี่ยงกลับมาให้ ล็อคเข้าที่ตำแหน่งเดิม
- 6) อ่านค่าการทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานที่วัดได้ ซึ่งมีหน่วยเป็น  $\text{kgf.cm/cm}^2$

### 3.10 การศึกษาโครงสร้างและกาวกระจายตัว :-

การศึกษาโครงสร้างและการกระจายตัวของอนุภาคยางในโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation จะศึกษาโดยใช้ Transmission Electron Microscope : TEM (H - 300 : HITACHI) ชิ้นงานโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกจะถูกตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปแช่ในสารละลายออกซิเมียม-เตตรอกไซด์เข้มข้น 1 % น้ำหนักโดยน้ำหนักน้ำกลั่น 2 วัน จากนั้นนำมาตัดเฉือนให้ได้ชิ้นงานที่มีลักษณะแผ่นบางที่สุด แล้วจึงนำมาส่องดู Morphology และการกระจายตัวของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมได้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและดำเนินงาน

#### 4.1 สมบัติโดยทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ :-

น้ำยางธรรมชาติที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้เป็นน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง จากบริษัท ระยะเวลาของบงกกรับเบอร์ จำกัด โดยจะทำการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของน้ำยางธรรมชาติ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ต่อไปซึ่งสมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) , ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) ขนาดอนุภาค และค่า Zeta Potential

##### 4.1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC)

จากการนำน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง มาหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) ของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง

ครั้งที่	น้ำหนักลาเทกซ์ก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักลาเทกซ์หลังอบ (กรัม)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC)
1	1.07	0.66	61.68
2	1.22	0.75	61.48
3	1.13	0.69	61.06
		เฉลี่ย	$61.41 \pm 0.32$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC)

ผลของการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) ของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง แสดงดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) ของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง

ครั้งที่	น้ำหนักลาเท็กซ์ก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักลาเท็กซ์หลังอบ (กรัม)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%DRC)
1	5.04	3.07	60.91
2	5.05	3.08	60.99
3	5.04	3.09	61.31
		เฉลี่ย	$61.07 \pm 0.21$

#### 4.1.3 ขนาดอนุภาค

ผลของการวัดขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง โดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค Mastersizer-X (MALVERN) แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงจากเครื่องวัดขนาดอนุภาค Mastersizer-X (MALVERN)

ครั้งที่	ขนาดอนุภาค (นาโนเมตร)
1	404.5
2	408.1
3	414.3
เฉลี่ย	$409.0 \pm 4.9$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 Zeta Potential

ผลของการวัดค่า Zeta Potential ของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูง ที่ pH เท่ากับ 5 โดยใช้เครื่อง Zetasizer 4 (MALVERN) ได้ค่า Zeta Potential เท่ากับ  $-36.0 \pm 2.5$  mV

#### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองได้น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียสูงที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) ได้เท่ากับ 61.41 % ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) ได้เท่ากับ 61.07 % และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ  $409 \pm 4.9$  นาโนเมตร เป็นที่น่าสังเกตว่า ค่า Zeta Potential ของน้ำยางที่ศึกษานี้เป็นลบ นั่นคือที่ pH เท่ากับ 5 ที่ผิวของอนุภาคของยางจะแสดงประจุลบ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองที่มีผู้ศึกษาไว้โดยทั่วไป

#### 4.2 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการอบรังสีแกมมา (RVNRL) :-

จากการนำน้ำยางธรรมชาติไปผ่านการอบรังสีแกมมาโดยใช้ความเข้มรังสีที่แตกต่างกันดังนี้คือ 10, 12 และ 14 kGy แล้วนำ RVNRL ที่ได้ไปศึกษาสมบัติต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาต่อไป ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาได้แสดงผลไว้ดังนี้คือ

##### 4.2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC)

ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) ของ RVNRL ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) ของ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ ความเข้มรังสีกัน

ความเข้มรังสี (kGy)	% TSC
10	52.44 ± 0.03
12	53.17 ± 0.36
14	51.62 ± 0.79

#### 4.2.2 ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC)

ผลของการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) ของ RVNRL ได้แสดงไว้ในตารางที่

4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) ของ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ ความเข้มรังสีกัน

ความเข้มรังสี (kGy)	% DRC
10	50.18 ± 3.52
12	50.79 ± 0.34
14	48.92 ± 1.69

#### 4.2.3 การศึกษาขนาดอนุภาคและค่า Zeta Potential ของ RVNRL

ผลของการวัดขนาดอนุภาคของRVNRL โดยใช้เครื่อง Mastersizer-X (MALVERN)

พบว่าขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากับ 442 ± 3.7 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผลของการวัดค่า Zeta Potential ของ RVNRL ที่ pH เท่ากับ 5 โดยใช้เครื่อง Zetasizer 4 (MALVERN) จะได้ค่า Zeta Potential เท่ากับ  $-37.7 \pm 2.1$  mV

### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 ผลการทดลองแสดงค่า %TSC และมี % DRC เท่ากับ 50 % และมีขนาดอนุภาคซึ่งได้ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $442 \pm 3.7$  นาโนเมตร ซึ่งขนาดดังกล่าวเมื่อบวมตัวใน Good Solvent ของโพลีเมอร์แล้วอาจเป็นขนาดอนุภาคที่เหมาะสมสามารถใช้ในการปรับปรุงความสามารถในการทนทานต่อแรงกระแทกได้ซึ่งจะทำการศึกษาต่อไป

ส่วนค่า Zeta Potential ของ RVNRL ที่ pH 5 ที่ได้จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่ามีค่าเป็นลบ ซึ่งแสดงว่าที่ผิวของอนุภาคของ RVNRL มีประจุที่ผิวเป็นลบ ผลที่ได้สอดคล้องตามที่ได้มีการศึกษาไว้ คือ อนุภาคของยางธรรมชาติจะมีจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric Point) ที่ประมาณ 3.6 จึงแสดงประจุที่ผิวเป็นลบ เมื่อมี pH มากกว่า 3.6 ดังนั้นจึงสรุปว่าสามารถใช้เทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ ในการเคลื่อนย้ายอนุภาคของ RVNRL จากชั้นน้ำไปยังชั้นของสไตรีนโพรพิลีนโคโพลีเมอร์ได้ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกเป็นไทแทนต์ และสามารถนำชั้นสไตรีนโพรพิลีนโคโพลีเมอร์นี้ไปโพลีเมอร์ไรซ์เตรียม HIPS ต่อไปได้

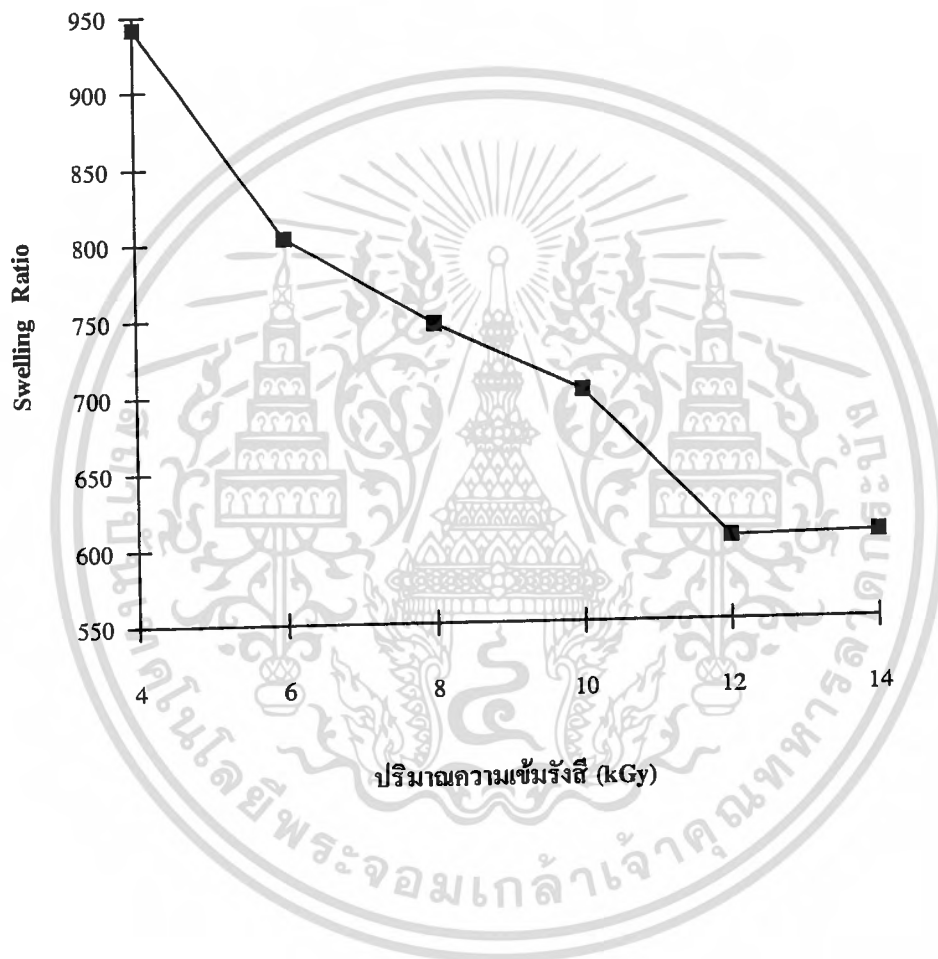
#### 4.2.4 การศึกษาอัตราการบวมตัว (Swelling Ratio) ของ RVNRL

การศึกษ้อัตราการบวมตัวทำเพื่อที่จะตรวจสอบการเกิดพันธะเชื่อมโยงของแผ่นยางที่เตรียมจาก RVNRL ซึ่งได้ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ นั้น ผลของการศึกษาได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงอัตราการบวมตัว (Swelling Ratio) ของแผ่นยางที่เตรียมจาก RVNRL

ความเข้มรังสี (kGy)	Swelling Ratio (%)
4	941
6	803
8	746
10	701
12	604
14	606

จากตารางที่ 4.6 แสดงอัตราการบวมตัว (Swelling Ratio) ของ RVNRL ซึ่งมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีแกมมา (kGy) โดยสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กันได้ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลของความเข้มรังสีแกมมา ที่มีต่ออัตราการบวมตัว (Swelling Ratio) ของ ยาง RVNRL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าแผ่นยางที่เตรียมจาก RVNRL มีโครงสร้างเป็นร่างแห เนื่องจากไม่ละลายในโทลูอีนแต่จะบวมตัวได้ และที่ความเข้มรังสีน้อย ๆ จะมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยง (Crosslink Density) น้อย ซึ่งก็จะทำให้มี Swelling Ratio ที่มาก แต่เมื่อความเข้มรังสีที่ใส่เพิ่มขึ้น Crosslink Density ก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และ Swelling Ratio ก็จะค่อย ๆ ลดลงไปด้วย จนกระทั่ง Crosslink Density เริ่มจะคงที่ที่ความเข้มรังสีเท่ากับ 12 kGy ซึ่งเป็นความเข้มรังสีที่จะให้ Crosslink Density สูงสุด หรือมี Swelling Ratio ต่ำสุด จากนั้น Swelling Ratio จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มรังสีเพิ่มมากขึ้นถึง 14 kGy

#### 4.2.5 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของ RVNRL

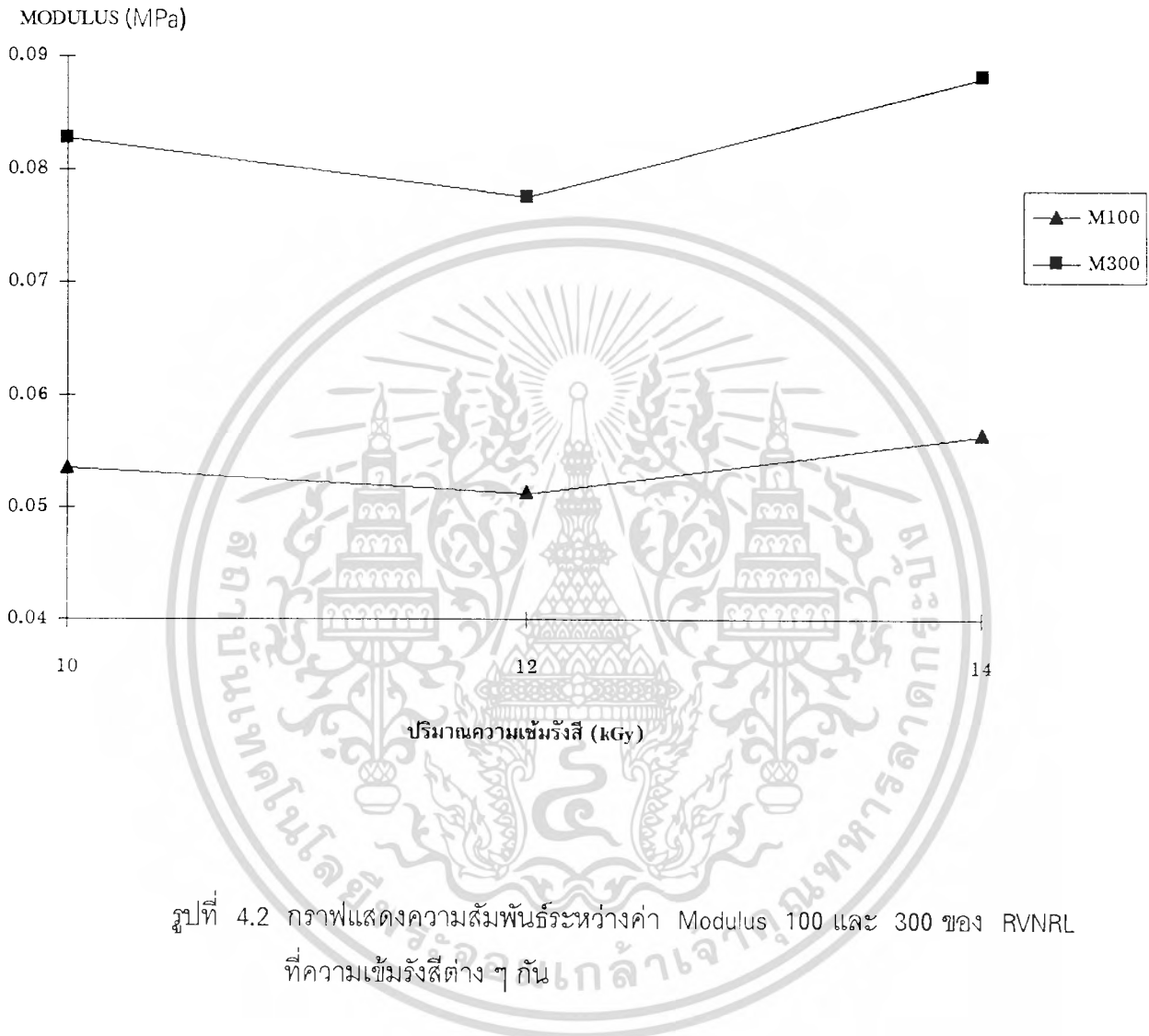
ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของ RVNRL นี้ จะศึกษาโดยใช้วิธีการใช้ดึง Tensile เพื่อที่จะหาค่าความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) เปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) Modulus 100 และ 300 เพื่อที่จะสนับสนุนการเกิดพันธะเชื่อมโยงของ RVNRL และศึกษาสมบัติเชิงกลของ RVNRL โดยสามารถทดสอบได้โดยใช้เครื่องวัด Tensile Autograph s-100 (SHIMADZU) ซึ่งคำนวณได้ค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสมบัติเชิงกลของแผ่นยางที่เตรียมจาก RVNRL ซึ่งทดสอบโดยใช้เครื่องวัด Tensile Autograph s-100 (SHIMADZU)

ความเข้มรังสี (kGy)	Modulus 100 (MPa)	Modulus 300 (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)
10	0.52	0.81	1.01	846
12	0.50	0.76	1.01	805
14	0.55	0.86	0.92	796

จากตารางที่ 4.7 เมื่อนำค่า Modulus 100 และ 300 นำไปเขียนกราฟกับความเข้มรังสีต่าง ๆ จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus 100 และ 300 ของ RVNRL ที่ความเข้มรังสีต่างๆ กัน

### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่า Modulus 100 และ 300 ของ RVNRL ที่ความเข้มรังสีเท่ากับ 10, 12, 14 kGy แทบจะไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้มรังสีที่ใช้ใกล้เคียงกันมากเกินไป และจาก Swelling Ratio ของ RVNRL จากตารางที่ 4.6 เมื่อใช้ความเข้มรังสีเท่ากับ 10, 12, 14 kGy ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้ Crosslink Density มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักเช่นกัน ซึ่งส่งผลให้ค่า Modulus 100 และ 300

ของ RVNRL มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ผลการศึกษาการเคลื่อนย้ายอนุภาคยางเข้าไปในสไตรีนโมโนเมอร์โดยใช้เทคนิค เฟสทรานสเฟอร์ | การหาค่า Critical Transfer Concentration (CTC) |

ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก ด้วยเทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ สามารถทำได้โดยการย้ายอนุภาคของยาง RVNRL จากชั้นน้ำไปยังชั้นสไตรีนโมโนเมอร์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก คือ สารละลายเบนซิลไดเมทิลเฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในน้ำที่มีความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ( $1.209 \times 10^{-2}$  โมลต่อลิตร)

เนื่องจากที่ pH ตั้งแต่ 5 ขึ้นไป อนุภาค RVNRL แสดงประจุลบ ดังนั้นเมื่อไทเทรต RVNRL ที่ pH = 9 ด้วยเบนซิลไดเมทิลเฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่มีประจุบวก จนถึงค่าความเข้มข้นวิกฤติในการเคลื่อนย้าย (CTC) จะทำให้ผิวของอนุภาค RVNRL เป็นกลาง ซึ่งอนุภาคของ RVNRL ไม่สามารถอยู่ในชั้นน้ำได้ แต่จะเคลื่อนย้ายไปอยู่ในชั้นสไตรีนโมโนเมอร์แทน ซึ่งจะทำให้สไตรีนโมโนเมอร์ที่จากเดิมมีลักษณะที่ใสจะเปลี่ยนเป็นลักษณะขุ่น

Critical Transfer Concentration (CTC) สามารถคำนวณได้จากปริมาณของเบนซิลไดเมทิลเฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยค่า CTC ที่คำนวณได้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 เมื่อใช้ความเข้มรังสีเท่ากับ 10, 12 และ 14 kGy ณ ปริมาณยางต่าง ๆ กันดังนี้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า CTC ของ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสีต่างกัน ที่ pH = 9 โดยใช้สารละลายเบนซิลไดเมทิลเฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.013 M เป็นไทเทรนต์

ความเข้มรังสี (kGy)	ปริมาณยางในสไตรีน (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่า CTC ( $\times 10^{-5}$ )	ค่าเฉลี่ย
10	0.01	$5.99 \pm 0.31$	
	0.02	$6.34 \pm 0.42$	
	0.03	$6.22 \pm 0.8$	
	0.04	$6.38 \pm 0.29$	$6.23 \pm 0.17$
12	0.01	$6.75 \pm 0.77$	
	0.02	$6.12 \pm 0.44$	
	0.03	$5.77 \pm 0.26$	
	0.04	$5.77 \pm 0.65$	$6.13 \pm 0.33$
14	0.01	$6.90 \pm 0.71$	
	0.02	$6.33 \pm 0.30$	
	0.03	$5.98 \pm 0.73$	
	0.04	$5.50 \pm 0.58$	$6.17 \pm 0.41$

#### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.8 ค่า CTC ซึ่งหมายถึงจำนวนโมลของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่ใช้ในการไทเทรตอนุภาคยางแห้ง 1 กรัม ให้เกิดการเคลื่อนย้ายจากชั้นน้ำไปสู่ชั้นอินทรีย์ ซึ่งคือสไตรีนโมโนเมอร์ พบว่าค่า CTC สามารถใช้บ่งบอกจำนวนประจุลบที่ล้อมรอบอนุภาคยางได้ โดยในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า ค่า CTC ของ RVNRL มีค่าอยู่ประมาณ  $6.18 \pm 0.30$  ซึ่งไม่ขึ้นกับปริมาณยางในสไตรีน และปริมาณความเข้มรังสีที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการศึกษาทำให้ต้องเลือกใช้ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสีตั้งแต่ 10 kGy ขึ้นไปเพื่อเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) เนื่องจากที่ความเข้มรังสีต่ำกว่า 10 kGy เมื่อทดลองใช้เทคนิคเฟสทรานสเฟอร์แล้ว อนุภาคของ RVNRL จะไม่เกิดการเคลื่อนย้ายเข้าสู่ชั้นสไตรีนโมโนเมอร์ โดยสามารถสังเกตได้จากชั้นน้ำซึ่งมีอนุภาค RVNRL กระจายตัวอยู่ จะเกิดตะกอนและจับตัวกันเป็นก้อน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มรังสีต่ำ ๆ จะมีค่า Crosslink Density ต่ำ ทำให้สไตรีนโมโนเมอร์เข้าไปบวมตัวอยู่ในน้ำอย่างมาก จึงทำให้อนุภาคของ RVNRL ที่กระจายตัวอยู่ในชั้นน้ำไม่สามารถเคลื่อนย้ายเข้าสู่ชั้นสไตรีนโมโนเมอร์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

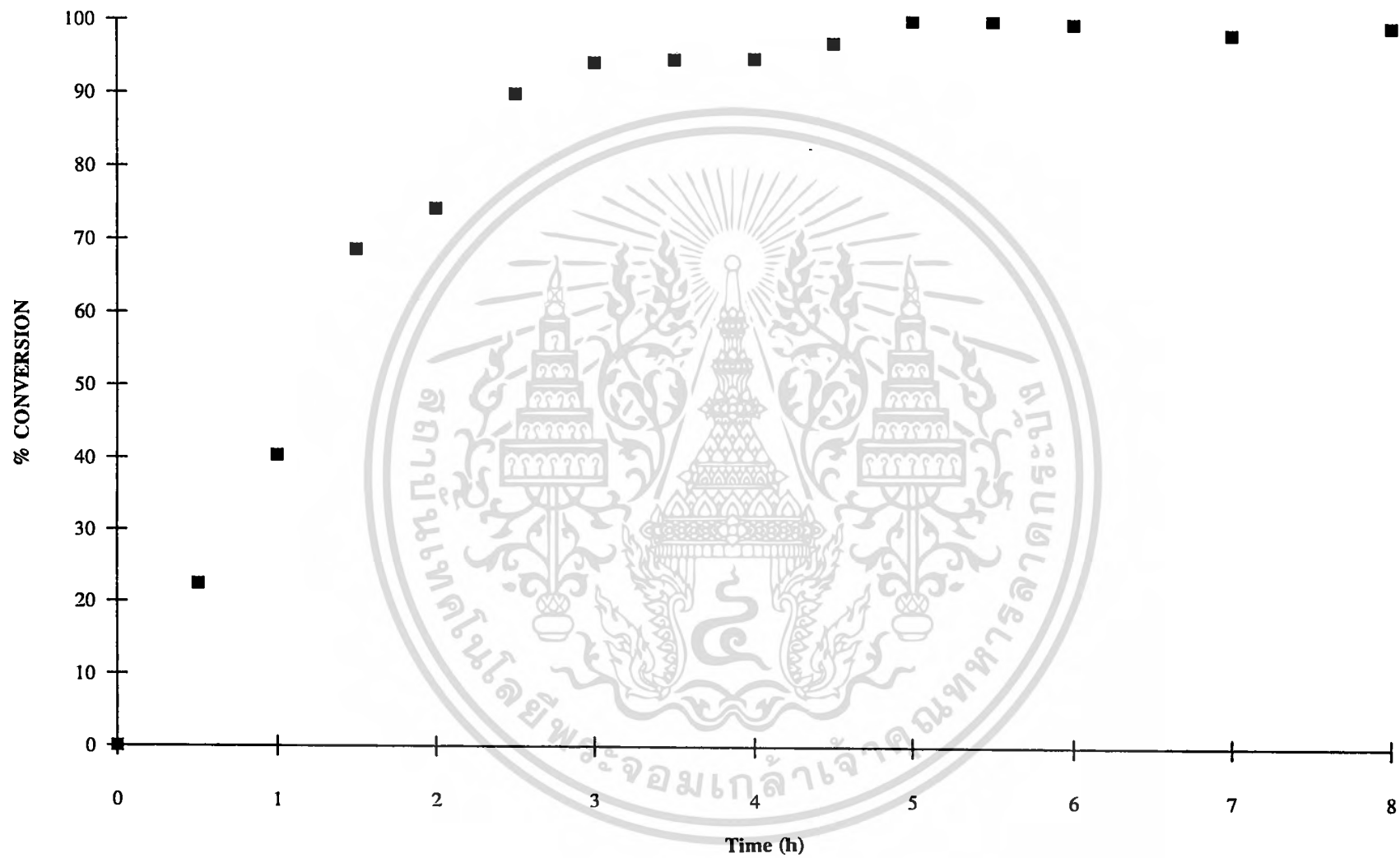
#### 4.4 ผลการศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันแบบบัลค์ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียว ทนแรงกระแทก (HIPS)

การศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคของยาง  
บวมตัวอยู่ หลังจากทรานสเฟอร์โดยใช้กระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชันแบบบัลค์ก็เพื่อใช้เป็นข้อมูล  
ในการศึกษาการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ซึ่งข้อมูลจากการศึกษาทาง  
จลนศาสตร์นี้จะบอกให้ทราบถึงอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันของโพลีสไตรีนเหนียว  
ทนแรงกระแทก และเวลาที่จะนำไปใช้ในการเตรียม HIPS (เวลาที่เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันเป็น  
100%) ด้วยกระบวนการโพลีเมอร์ไรเซชันแบบบัลค์ต่อไป โดยจะศึกษาผลของการใช้ RVNRL ที่  
ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มต่างกัน และผลของปริมาณยางที่มีต่ออัตราการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน  
แบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่

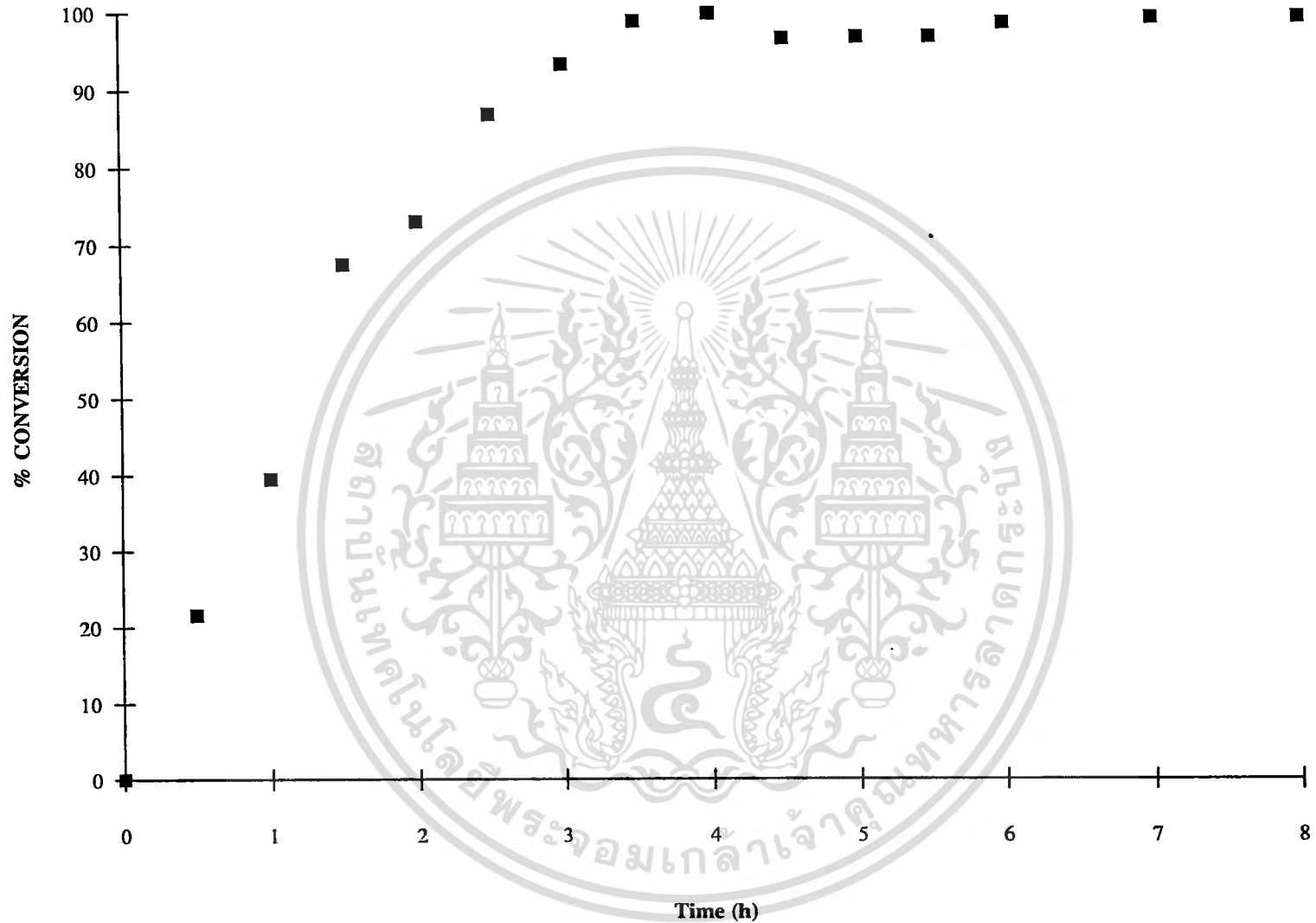
##### 4.4.1 ผลของการใช้ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มต่างกันต่ออัตราการเกิด โพลีเมอร์ไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่

การศึกษาหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชัน (% conversion) ของสไตรีนที่มีอนุภาคของ  
ยางธรรมชาติที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 10 , 12 และ 14 kGy บวมตัวอยู่ตามลำดับ  
หลังจากทำเฟสทรานสเฟอร์โดยใช้เบนซิลไดเมทิลเฮกซะเดคซิลแอมโมเนียมคลอไรด์เป็น  
ไทเทรนต์ และให้มีปริมาณยางในสไตรีนคงที่ คือ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตรได้ผลดังแสดงในตารางที่  
ก.1 - ก.3 ในภาคผนวก

เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันของการโพลีเมอร์ไรเซชันของสไตรีนที่มีน้ำยาง  
ธรรมชาติที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ บวมตัวอยู่ มาเขียนกราฟกับเวลาของการ  
โพลีเมอร์ไรเซชันจะได้รับความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.3 - 4.5



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของการโพลีเมอไรซ์  
 สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 10 kGy บวมตัวอยู่ด้วยปริมาณ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของการโพลีเมอไรซ์  
 สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ด้วยปริมาณ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของการโพลีเมอไรซ์ สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 14 kGy บวมตัวอยู่ด้วยปริมาณ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร

จากผลการทดลองสังเกตเห็นได้ว่าอัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางทั้งสามชนิดบวมตัวอยู่นั้น มีลักษณะคล้ายกันโดยในช่วงแรกจะเกิดการโพลีเมอไรเซชันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ดูได้จากเส้นกราฟที่มีการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันอย่างรวดเร็ว) จนกระทั่งในช่วงสุดท้ายอัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันจะต่ำลง กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันน้อย จนกระทั่งเข้าสู่ค่าคงที่ประมาณ 100 %

อัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางทั้งสามชนิดบวมตัวอยู่ ซึ่งหาได้จากความชันกราฟในรูปที่ 4.3 - 4.5 แสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความชันกราฟและเวลาที่เกิดโพลีเมอไรเซชันได้เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชัน 100% ของสไตรีนที่มี RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสีต่างๆ กันบวมตัวอยู่

ความเข้มรังสี (kGy)	ความชันกราฟ	เวลาที่เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชัน 100 % (ชม.ม.)
10	38	5
12	38	4
14	37	4.5

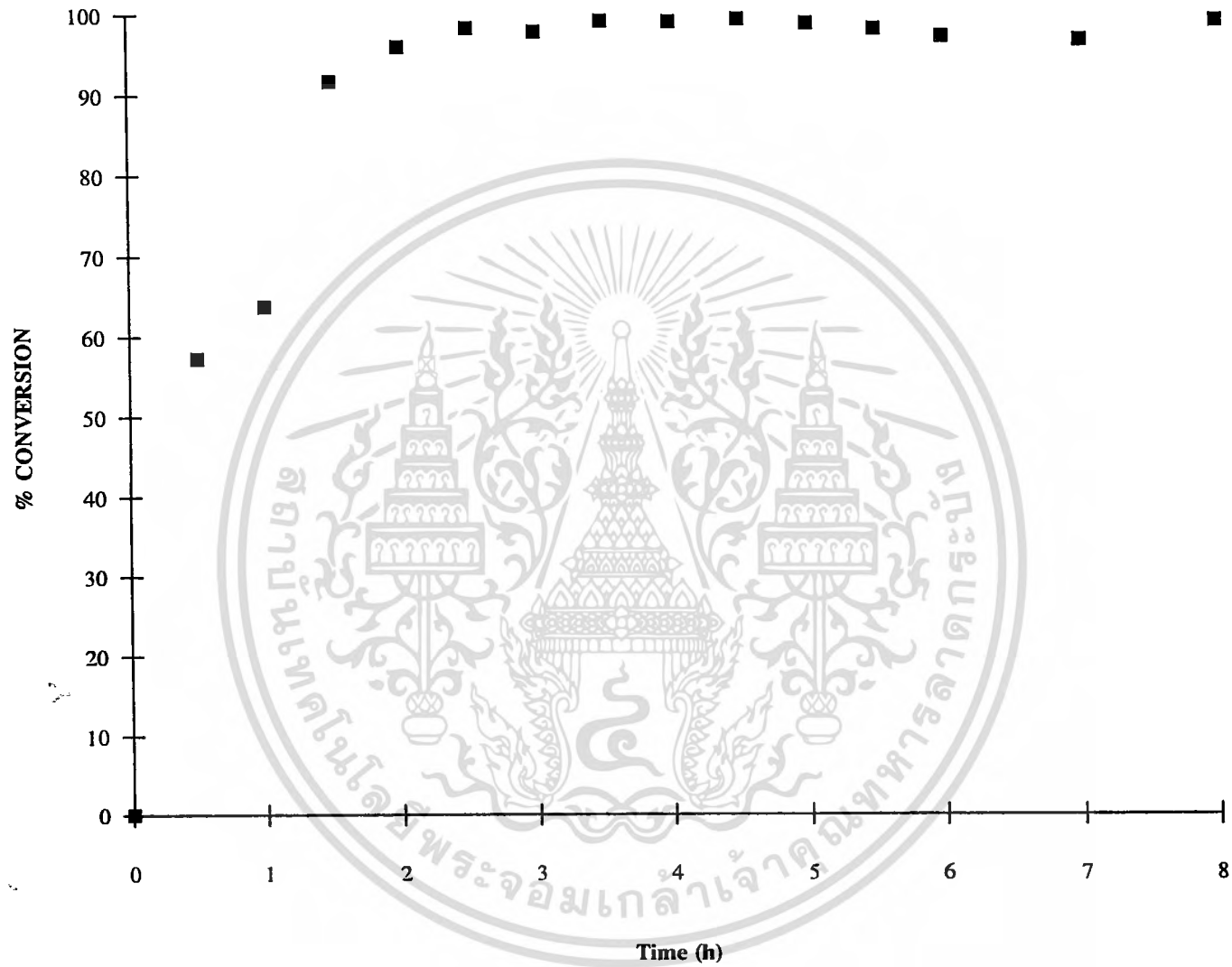
จากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าความเข้มของรังสีที่ใช้ซึ่งบ่งถึงปริมาณพันธะเชื่อมโยง (ซึ่งจะมีปริมาณพันธะเชื่อมโยงมากขึ้นเมื่อความเข้มรังสีที่ใช้มากขึ้น) ไม่มีผลต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนในกรณีนี้ กล่าวคือเมื่อใช้ RVNRL ที่มีปริมาณพันธะเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ความชันกราฟซึ่งก็บ่งถึงอัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณรังสีที่ใช้ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้มีการเชื่อมโยงในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน จึงมีสไตรีนที่เข้าไปบวมตัวอยู่ในปริมาณพอ ๆ กัน จนทำให้สังเกตเห็นไม่เห็นผลของปริมาณพันธะเชื่อมโยงที่มีต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันดังกล่าว ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของ Swelling Ratio และ Modulus 100 และ 300 ของแผ่นยางที่ได้จาก RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสีต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในข้อ 4.2.4 และ 4.2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

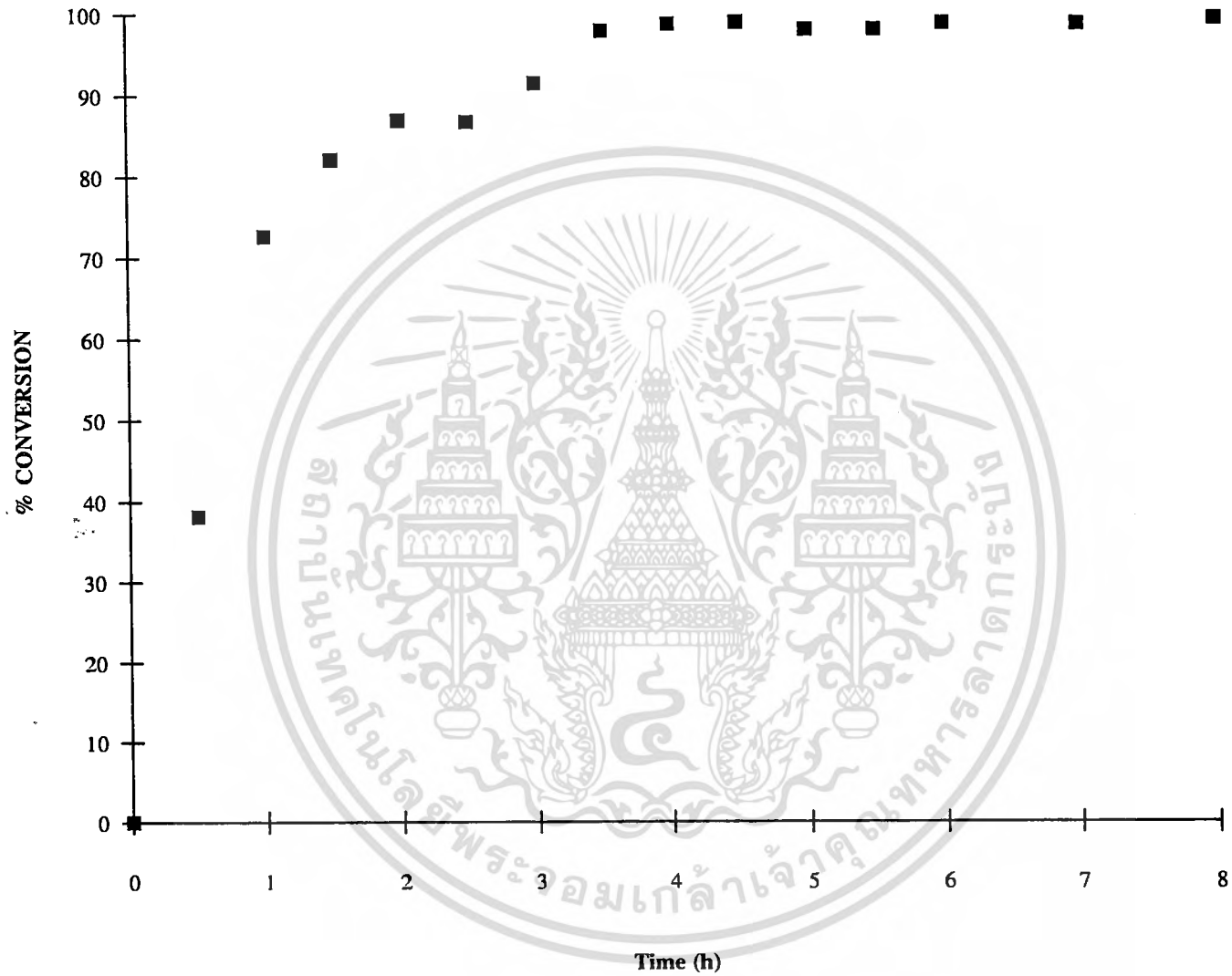
#### 4.4.2 ผลของปริมาณยางที่มีต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่

เนื่องจากผลการทดลองในข้อ 4.4.1 ได้พบว่าปริมาณพันธะเชื่อมโยงของอนุภาคของยางไม่มีผลต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชัน ในการทดลองตอนนี้จึงสนใจศึกษาถึงผลของปริมาณยางที่มีต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่ในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยเลือกทำการศึกษาค้นหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่ โดยจะใช้กระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ 1 % น้ำหนักโดยน้ำหนักสไตรีนโมโนเมอร์เป็นตัวริเริ่ม ใช้ RVNRL ที่ผ่านการอบรังสี 12 kGy ซึ่งมีปริมาณยางในสไตรีนที่ต่างกันมีค่าดังนี้ 0.01 (2%TSC) , 0.02 (4%TSC) , 0.03 (6%TSC) , 0.035 (7%TSC) และ 0.04 (8%TSC) กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ก.2 และ ก.4 - ก.7 ในภาคผนวก

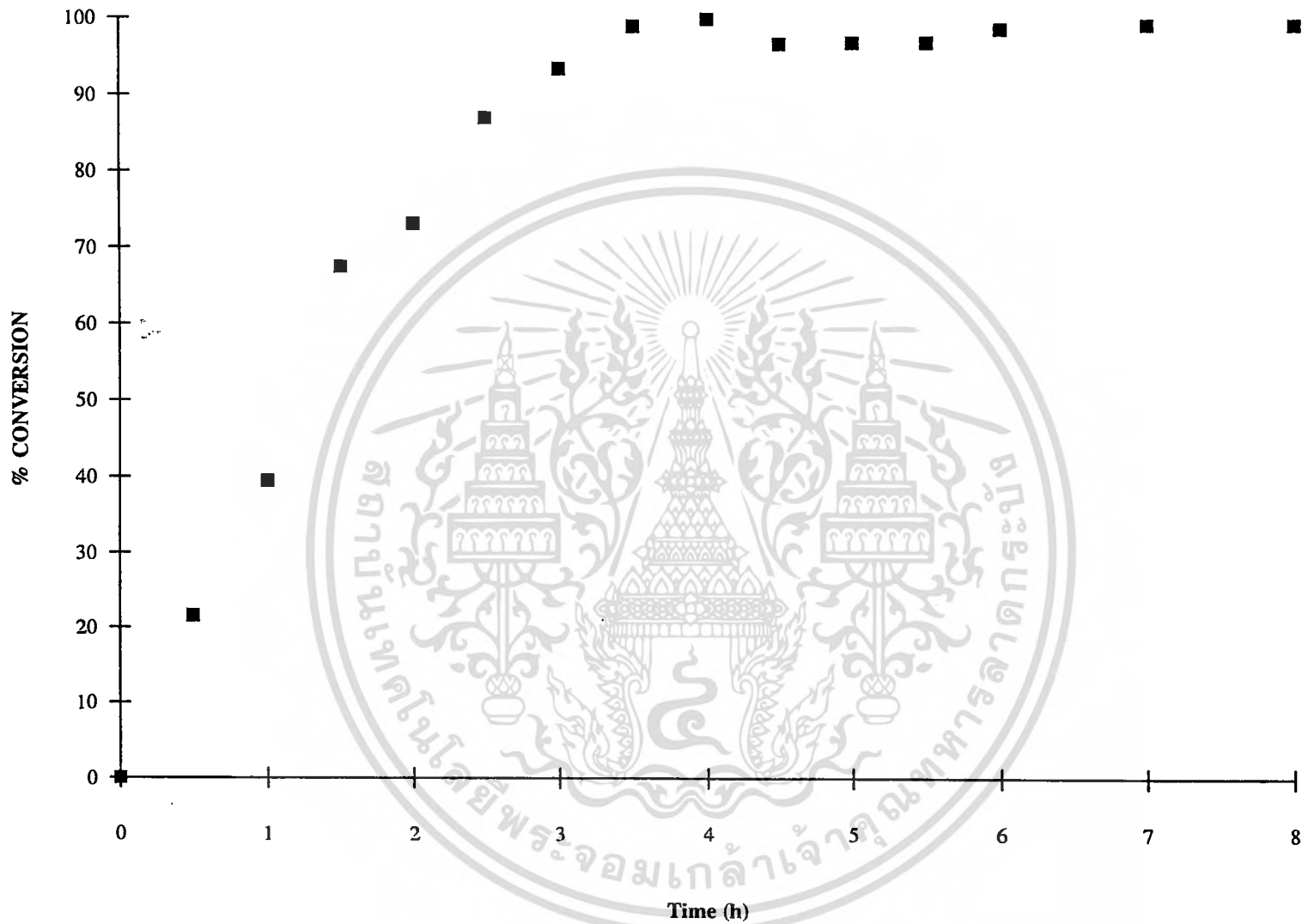
เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ และปริมาณยางในสไตรีนต่าง ๆ กันมาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.6 - 4.9 และเมื่อนำกราฟ 4.6 - 4.9 มาหาความชันเพื่อศึกษาอัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชัน และเวลาที่ใช้ในการโพลีเมอไรเซชันที่ทำให้มีเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชัน 100% ได้ค่าแสดงในตารางที่ 4.10



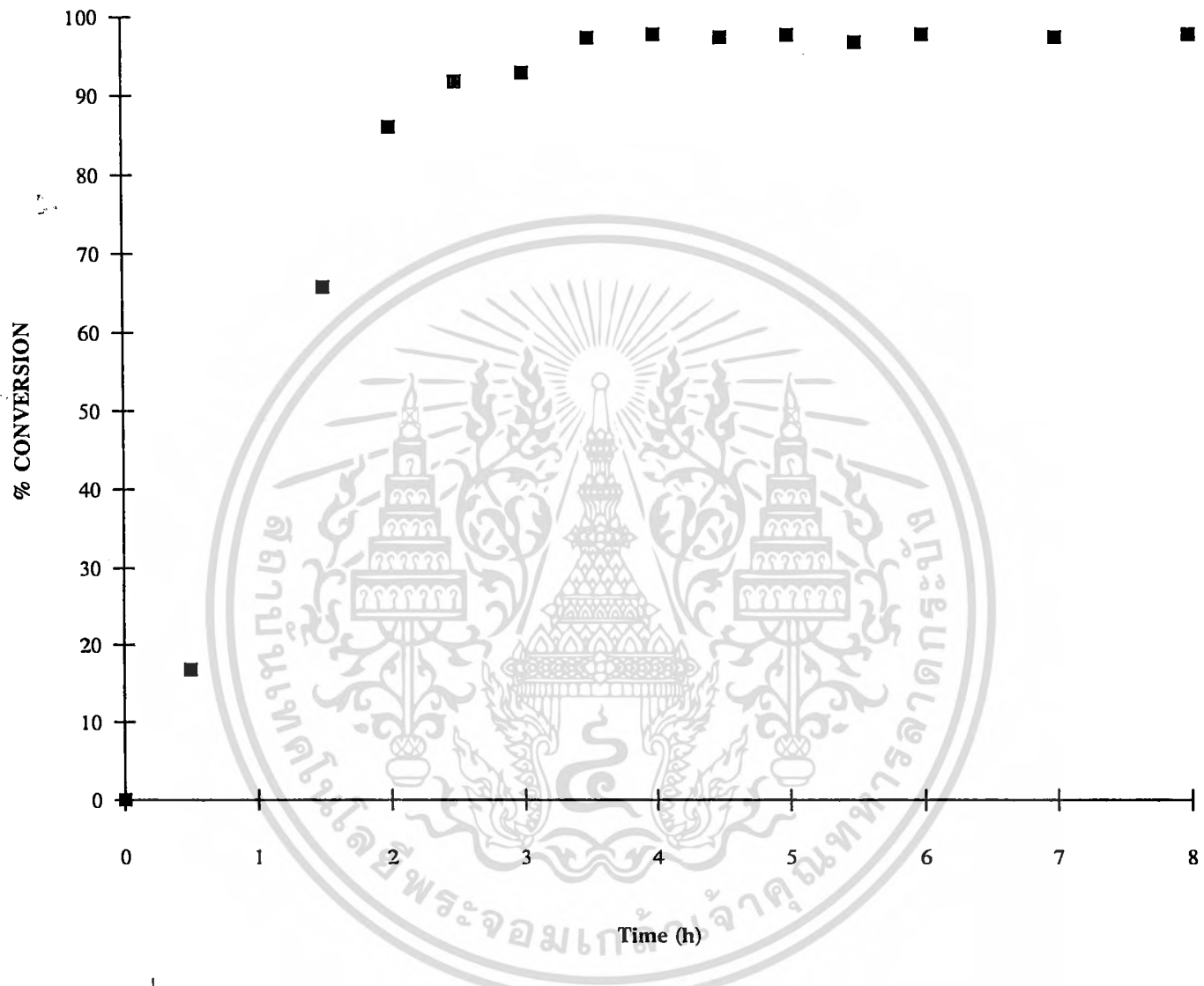
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของการโพลีเมอไรซ์ สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ด้วยปริมาณ 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร



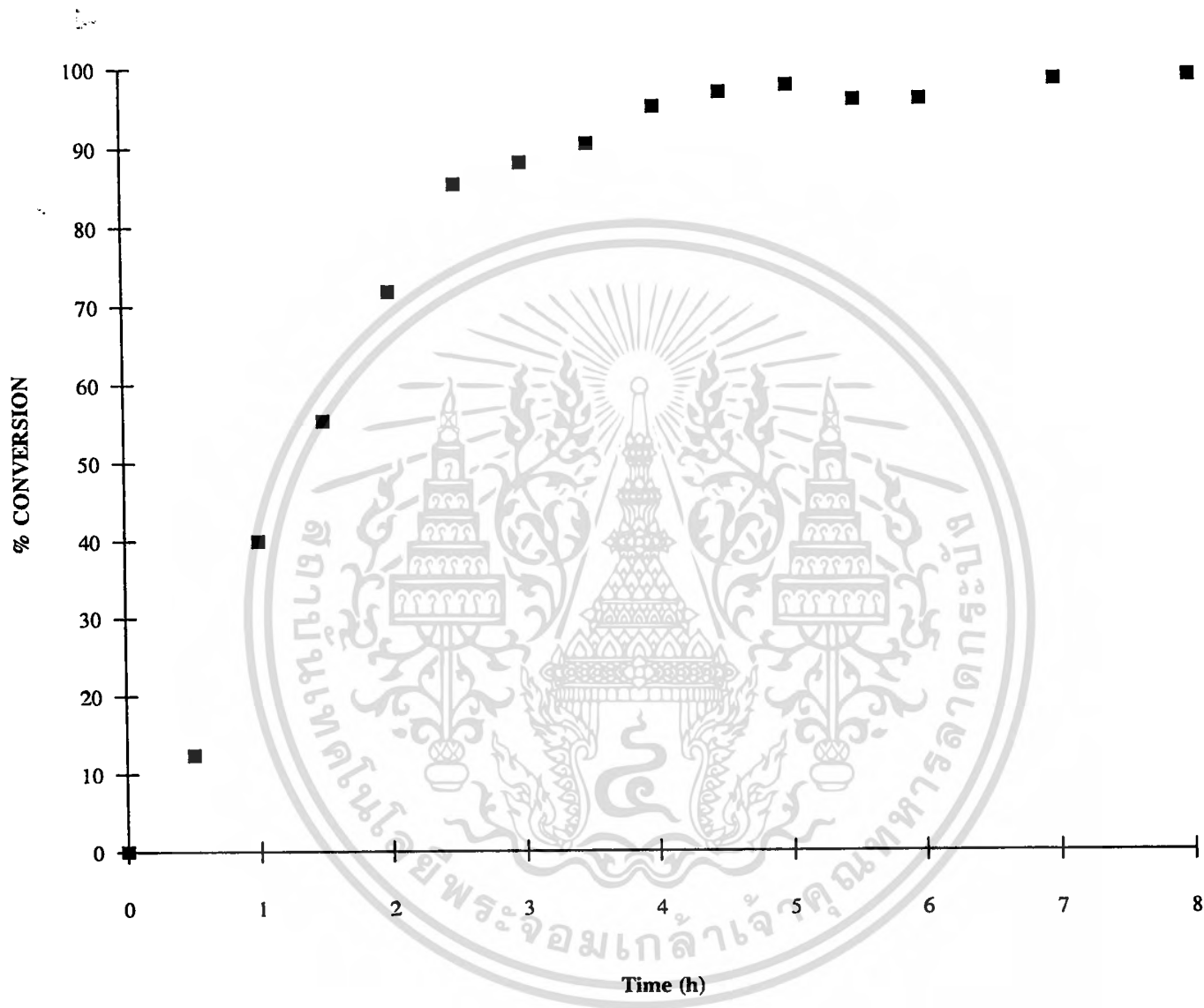
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของการโพลีเมอไรซ์  
 สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ด้วยปริมาณ 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของการโพลีเมอไรซ์  
 สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ด้วยปริมาณ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของการโพลีเมอไรซ์ สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ด้วยปริมาณ 0.035 กรัมต่อมิลลิลิตร



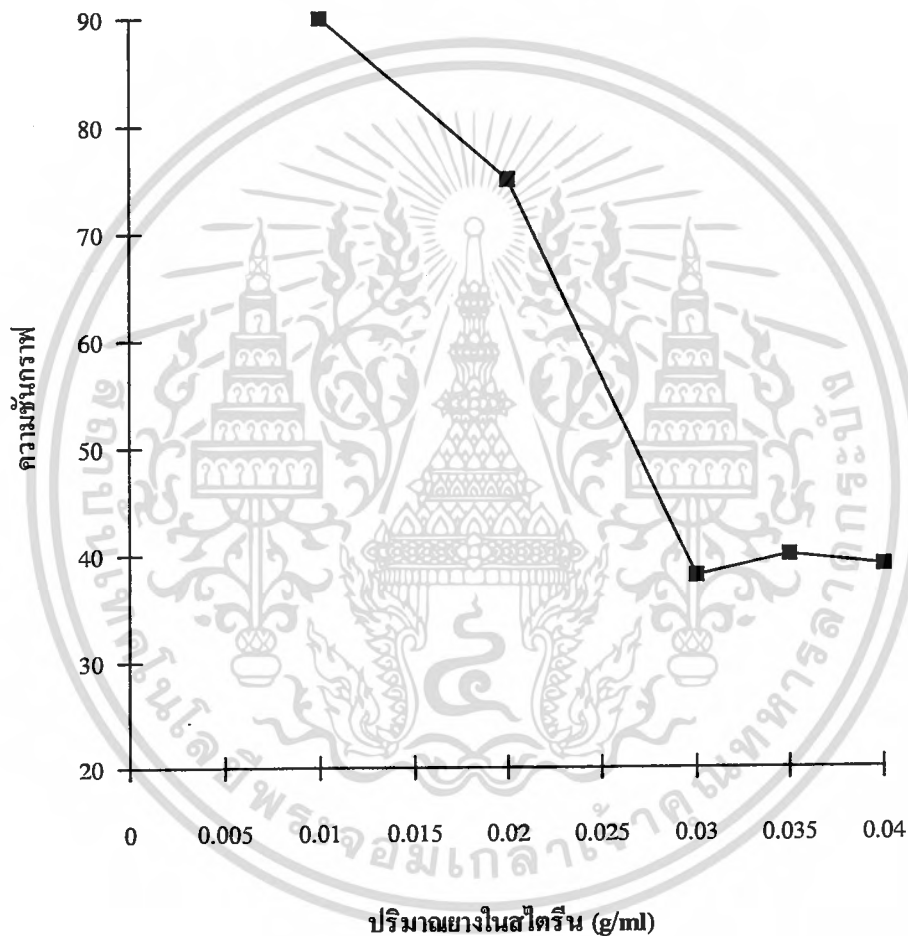
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของการโพลีเมอไรซ์ สไตรีนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง RVNRL 12 kGy บวมตัวอยู่ด้วยปริมาณ 0.04 กรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความชันกราฟและเวลาที่โพลีเมอไรซ์ของสไตรีนที่มีอนุภาคของยางบวม  
ตัวอยู่ จนได้เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชัน 100 % เมื่อปริมาณยางในสไตรีนเปลี่ยนแปลง

ปริมาณยางในสไตรีน (g/ml)	ความชันกราฟ	เวลาที่เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชัน 100 % (ช.ม.)
0.01	90	3
0.02	75	3.5
0.03	38	4
0.035	40	5
0.04	39	5

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยางในสไตรีนกับความชันกราฟที่หาได้  
แสดงดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยางไนสไตรีนกับความชันกราฟที่แสดงเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันในการเกิดฟิล์มเอโรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อปริมาณยางในสไตรีนเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่ (ดูจากค่าความชันกราฟ) มีค่าลดลงอย่างมาก แต่เมื่อถึงจุดหนึ่ง คือที่ปริมาณยางในสไตรีนเท่ากับ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร อัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันเริ่มคงที่เมื่อปริมาณยางในสไตรีนเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า การที่ในช่วงแรกที่ปริมาณยางยังน้อยอยู่นั้น ยางมีผลต่อการเกิดโพลีเมอไรเซชันอย่างมาก (ดูได้จากค่าความชันกราฟที่ลดลงอย่างรวดเร็ว) อาจเป็นเพราะอนุภาคของยางที่บวมตัวนั้นสามารถกระจายตัวอยู่ในสไตรีนได้ดี แต่เมื่อมีปริมาณยางมากขึ้นอาจทำให้ไปขัดขวางการเกิดขึ้น Propagation ของสายโซ่โพลีสไตรีนได้ โดยอาจทำให้เกิด Chain Transfer ที่ผิวของอนุภาคยาง หรือมีการหน่วงการเกิดปฏิกิริยา (Retardation) เนื่องจากมี Impurity จาก Non Rubber ในยาง ซึ่งเมื่อปริมาณยางเพิ่มมากขึ้น ทำให้มี Non Rubber เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งมีผลในการหน่วงการเกิดปฏิกิริยา และอาจทำให้เกิด Chain Transfer ที่ผิวของอนุภาคยางมากขึ้นด้วย ต่อมาเมื่อปริมาณยางมีมากขึ้นจนถึงจุดหนึ่งค่าอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาจะคงที่ กล่าวคือ ปริมาณยางในสไตรีนไม่มีผลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันอีกต่อไป อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น ได้เกิดขึ้นสูงสุดแล้วเมื่อเพิ่มปริมาณยางต่อไป จึงทำให้ไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาอีก

ดังนั้นในการที่จะศึกษาการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก โดยไม่ต้องทำให้ปริมาณยางมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา จึงสามารถศึกษาได้โดยเลือกใช้จากจุดที่ปริมาณยางในสไตรีนตั้งแต่ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตรเป็นต้นไป ซึ่งกราฟระหว่างปริมาณยางในสไตรีนกับความชันกราฟที่แสดงเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันในการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่เริ่มคงที่

โดยสรุป ในการศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่ พบว่า

1) RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มต่างๆกัน ซึ่งทำให้ยางธรรมชาติมีปริมาณพันธะเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มรังสีมากขึ้น และจนถึงจุดหนึ่ง (ความเข้มรังสี 14 kGy) ปริมาณพันธะเชื่อมโยงจะคงที่ ไม่มีผลต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่

2) ปริมาณยางในสไตรีนมีผลต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันดังนี้

- ในช่วงแรก ปริมาณยางในสไตรีน 0.01 - 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งปริมาณยางมีน้อย การเพิ่มขึ้นของปริมาณยางในสไตรีนจะทำให้อัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่มีค่าลดลงอย่างมาก
- เมื่อปริมาณยางในสไตรีนมีมากจนถึงจุดหนึ่งคือที่ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร เป็นต้นไป ปริมาณยางในสไตรีนจะไม่มีผลต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่อีกต่อไป

จากข้อมูลทางจลนศาสตร์นี้ ทำให้สามารถเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการโพลีเมอไรเซชัน ปริมาณยางในสไตรีน อุณหภูมิที่ใช้ในการโพลีเมอไรเซชัน และตัวริเริ่มที่ใช้ ซึ่งจะเตรียมเพื่อนำไปใช้เป็นชิ้นงานในการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกต่อไป

#### 4.5 การเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกจาก RVNRL โดยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation

จากการศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่ โดยเลือกทำการศึกษา RVNRL ที่ผ่านการอบรังสี 12 kGy และให้มีปริมาณยางในสไตรีนต่าง ๆ กัน ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ทำให้ได้สภาวะในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกดังนี้

อุณหภูมิที่ใช้ในการโพลีเมอไรเซชัน : 80 องศาเซลเซียส

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ : เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ 1 % น้ำหนักโดยน้ำหนักสไตรีน  
โมโนเมอร์

เวลาที่ใช้ในการโพลีเมอไรเซชัน และปริมาณยางในสไตรีน : ดูจากตารางที่ 4.10

ลักษณะของชิ้นงานโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่ได้จากกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ในแม่พิมพ์เทพล่อนแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงลักษณะของชิ้นงานโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่ได้จากกระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์

ชิ้นงาน	ลักษณะทางกายภาพ
โพลีสไตรีนบริสุทธิ์	ใส เปราะ
HIPS : ปริมาณยาง 0.01 g/ml	ขุ่นเล็กน้อย โค้งงอได้เล็กน้อย
HIPS : ปริมาณยาง 0.02 g/ml	ขุ่นเพิ่มขึ้น โค้งงอได้เล็กน้อย
HIPS : ปริมาณยาง 0.03 g/ml	ขุ่นเพิ่มขึ้น โค้งงอได้เล็กน้อย
HIPS : ปริมาณยาง 0.04 g/ml	มีสีขาวขุ่น โค้งงอได้เล็กน้อย

ลักษณะของชิ้นงานโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมได้นี้จะมีลักษณะขาวขุ่น (ในขณะที่โพลีสไตรีนบริสุทธิ์จะใส) และมีความยืดหยุ่นสามารถโค้งงอได้เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากมีอนุภาคยางกระจายอยู่ในโพลีสไตรีน และอนุภาคยางสามารถรับแรงได้จึงทำให้ชิ้นงานมีความยืดหยุ่นและโค้งงอมากขึ้น เป็นที่น่าสังเกตเห็นว่าโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกจะมีลักษณะขาวขุ่นและสามารถโค้งงอได้มากขึ้นเมื่อปริมาณยางในสไตรีนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แล้วพบว่าชิ้นงานที่เตรียมได้มีการกระจายตัวของอนุภาคยางอย่างสม่ำเสมอ และมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด

#### 4.6 สมบัติการทนต่อแรงกระแทก

ในการศึกษาผลของปริมาณยางในสไตรีนต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของ โพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก ซึ่งเตรียมจาก RVNRL ที่ผ่านการอบรังสี 12 kGy โดยผ่าน กระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation และให้มีปริมาณ ยางในสไตรีนเป็น 0 , 0.01 , 0.02 และ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

เมื่อนำชิ้นงานโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมได้และผ่านการทำ Notch เรียบร้อยแล้ว มาทำการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการทนต่อ แรงกระแทก : 258 PC Impact Tester (YASUDA) ด้วยวิธีทดสอบแบบ Izod ตามมาตรฐาน ASTM D 256-93a [23] ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.12



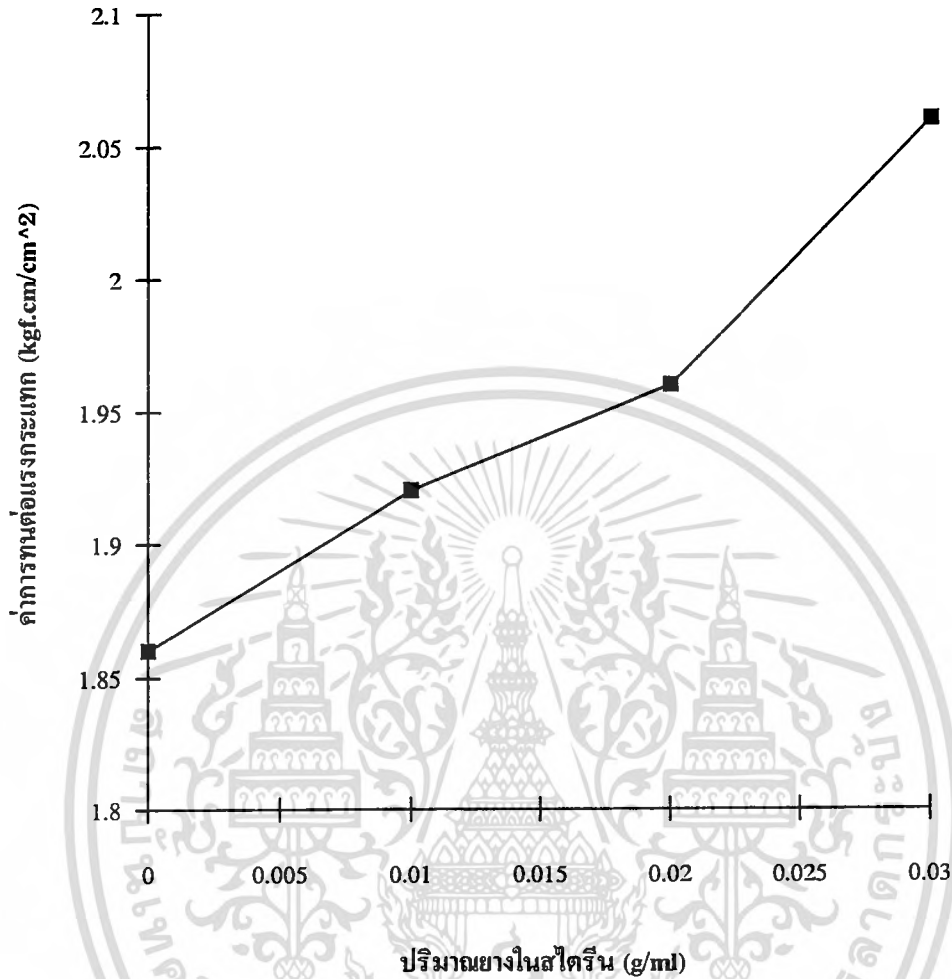
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าการทนต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกซึ่งเตรียมจาก RVNRL 12 kGy ด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation เมื่อปริมาณยางในสไตรีนเปลี่ยนแปลงไป

ปริมาณยางในสไตรีน (g/ml)	ค่าการทนต่อแรงกระแทก (kgf.cm/cm <sup>2</sup> )	ค่าเฉลี่ย
0	1.95	1.86 ± 0.26
	2.25	
	1.73	
	1.52	
0.01	2.1	1.92 ± 0.24
	2.05	
	1.54	
	2.28	
	1.64	
0.02	1.69	1.96 ± 0.22
	1.85	
	2.34	
	1.84	
	2.08	
0.03	2.39	2.06 ± 0.31
	2.06	
	1.59	
	2.39	
	1.89	

จากตารางที่ 4.12 เมื่อนำค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงกระแทกมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณยางในสไตรีนจะได้กราฟดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยางในสไตรีนกับค่าการทนต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก

จากรูป 4.11 เมื่อมีปริมาณยางในสไตรีนเพิ่มขึ้น โพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกจะมีสมบัติการทนต่อแรงกระแทกเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคยางที่กระจายตัวอยู่ในโพลีสไตรีนจะทำหน้าที่ดูดซับพลังงาน เมื่อได้รับแรงกระแทกจะทำให้เกิด Craze ขึ้นที่ผิวของอนุภาคยาง ด้วยเหตุนี้โพลีสไตรีนจึงรับแรงได้เพิ่มขึ้นก่อนที่จะมีการแตกหักดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.4.2

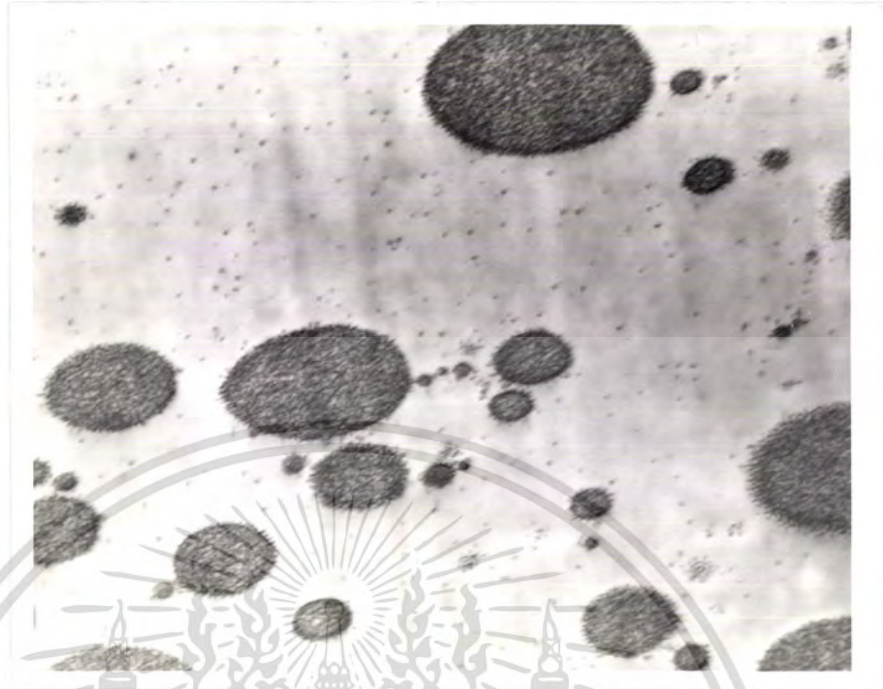
ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าการทนต่อแรงกระแทกที่วัดได้นี้มีค่าน้อยมาก ทำให้ไม่สามารถเห็นค่าการทนทานต่อแรงกระแทกที่เพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าปริมาณยางในโพลีสไตรีนมีน้อยเกินไป ทำให้การดูดซับพลังงานมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าการทนต่อแรงกระแทกจึงเพิ่มขึ้นไม่มาก

#### 4.7 การศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยา (Morphology) ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก ด้วยกล้อง Transmission Electron Microscope : TEM : H - 300 (HITACHI)

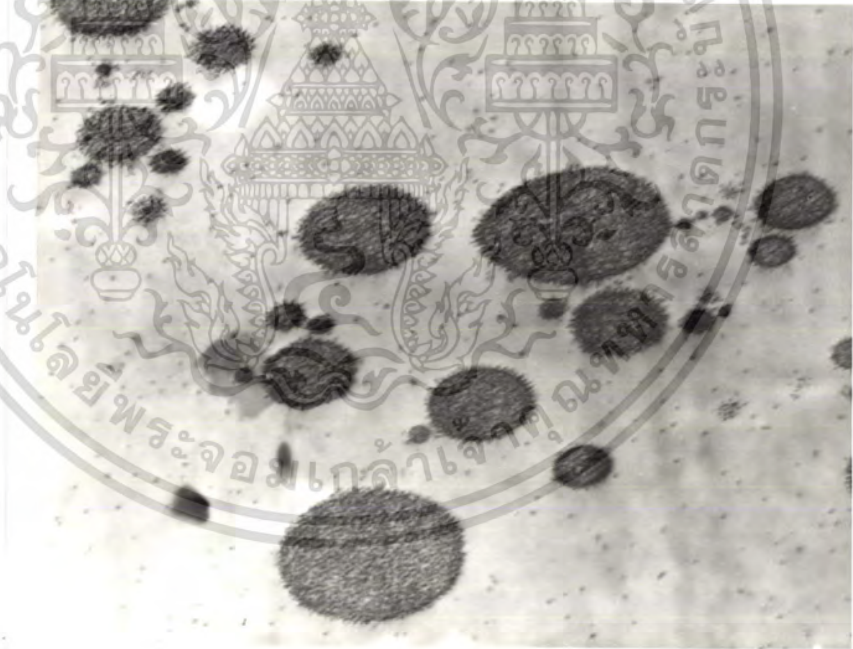
โพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) โดยทั่วไปประกอบด้วยโพลีสไตรีนซึ่งมียางบิวทอะไดอีนที่มีขนาดอนุภาคยาง 1 - 10  $\mu\text{m}$  กระจายตัวอยู่ ซึ่ง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมได้ด้วยกระบวนการต่าง ๆ กันได้แสดงไว้ในบทที่ 2

สำหรับโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมได้จากกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation โดยใช้ RVNRL 12 kGy และมีปริมาณยางในสไตรีน 0.03 g/ml สามารถศึกษา Morphology ได้จากรูปถ่ายจากกล้อง Transmission Electron Microscope : TEM : H - 300 (HITACHI) ได้ผลดังรูปที่ 4.12 ก - 4.13 ข

รูป 4.12 ก



รูป 4.12 ข



รูปที่ 4.12 ก และ ข แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation (กำลังขยาย 15 K เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.12 ก และ ข จะเห็นว่าโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation นี้จะมี Morphology ที่มีอนุภาคยางธรรมชาติกระจายตัวอยู่ในเนื้อโพลีสไตรีนแบบสุ่ม (random) มีขนาดอนุภาคยางที่แตกต่างกันซึ่งเป็นไปตามลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติซึ่งเป็นแบบ Polydisperse

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า อนุภาคยางที่กระจายตัวอยู่ในโพลีสไตรีนนั้นมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป อนุภาคยางที่มีขนาดเล็กจะยังมีลักษณะเป็นเม็ดกลม แต่อนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่รูปร่างจะไม่กลม อาจเป็นผลมาจากการที่สไตรีนเข้าไปรวมตัวอยู่ในเม็ดยางในปริมาณต่าง ๆ กัน จึงทำให้อนุภาคยางมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกัน กอปรกับการที่อนุภาคยางธรรมชาติมีขนาดและรูปร่างต่างกันไปตามอายุของการเกิดอนุภาคซึ่งทำให้ลักษณะการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเป็นแบบ Polydisperse โดยธรรมชาติ



รูปที่ 4.13 ก แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation (กำลังขยาย 50 K เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ข แสดง Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation (กำลังขยาย 50 K เท่า)

จากรูปที่ 4.13 ก และ ข เมื่อเพิ่มกำลังขยายมากขึ้น จะสังเกตเห็นว่าที่บริเวณผิวของอนุภาคยังไม่เรียบซึ่งอาจเป็นผลมาจาก Protein - Lipid Membrane ที่ห่อหุ้มผิวของอนุภาคยางธรรมชาติ นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่าภายในอนุภาคของยางมีการเชื่อมโยงเนื่องจากรังสีแกมมา ซึ่งเห็นเป็นบริเวณร่างแหสีดำในรูป ส่วนของสีขาวที่อยู่ภายในอนุภาคเป็นโพลีสไตรีนโมโนเมอร์ที่เข้าไปรวมตัวอยู่ในอนุภาคของยางที่เป็นร่างแหดังกล่าว ส่วนบริเวณสีขาวรอบนอกคือโพลีสไตรีนที่เป็น Matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation นี้ จะเห็นได้ว่า Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่ได้มีลักษณะคล้ายกับ Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมด้วยกระบวนการอื่น ๆ ดังได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.4.1 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ากระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation นี้ อาจใช้เป็นเทคนิคที่สามารถนำไปเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกได้ เพราะนอกจากจะสามารถใส่อนุภาคยางธรรมชาติลงในสไตรีนเพื่อเพิ่มสมบัติการทนต่อแรงกระแทกแล้ว กระบวนการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่ได้ศึกษานี้ยังเป็นกรรมวิธีที่ง่าย สะดวก สามารถลดขั้นตอนการผลิต เช่น การตกตะกอนน้ำยาง การกรอง ทำให้ประหยัดเวลาในการผลิตลงได้มาก และสามารถควบคุมปริมาณยาง และการกระจายตัวของอนุภาคยางที่จะเติมลงในโพลีสไตรีนได้อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation ของน้ำยางธรรมชาติชนิดร่างแหโดยใช้วิธีอับรังสีแกมมา (RVNRL) เพื่อพัฒนาการเตรียมและสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) สามารถสรุปได้ว่า

1) สามารถเตรียมน้ำยางธรรมชาติชนิดร่างแหโดยใช้วิธีอับรังสีแกมมา (RVNRL) ที่มีปริมาณร่างแหต่าง ๆ กันตามความเข้มของรังสีที่ใช้ โดยเมื่อใช้ความเข้มของรังสี 4 , 6 , 8 , 10 , 12 และ 14 kGy ตามลำดับ ปริมาณร่างแหของน้ำยางธรรมชาติจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มรังสีที่ใช้เพิ่มขึ้น กล่าวคือ การบวมตัวของสารละลายโพลีเมอร์ใน RVNRL จะลดลงจนกระทั่งถึงจุดที่ปริมาณความเข้มรังสีที่ใช้เท่ากับ 12 kGy พบว่า เมื่อปริมาณความเข้มรังสีที่ใช้เพิ่มขึ้น การบวมตัวจะเริ่มคงที่ อาจเป็นเพราะว่า ปริมาณร่างแหที่เกิดขึ้นในน้ำยางธรรมชาติมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้ความเข้มรังสีที่ 12 kGy และเมื่อใช้ปริมาณความเข้มรังสีเพิ่มขึ้นมากกว่านี้ จึงไม่มีผลทำให้ปริมาณร่างแหที่เกิดขึ้นในน้ำยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

2) เมื่อใช้เทคนิคเฟสทรานสเฟอริคชัน RVNRL ที่มีปริมาณความเข้มรังสีที่ได้รับแตกต่างกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า RVNRL ที่มีปริมาณความเข้มรังสีที่ได้รับน้อยกว่า 10 kGy ไม่สามารถเกิดการเคลื่อนย้ายอนุภาคยางธรรมชาติเข้าสู่ชั้นสไตรีนโมโนเมอร์อย่างสมบูรณ์ได้ อาจเป็นเพราะปริมาณร่างแหที่น้อยเกินไป ทำให้มีความหนืดมากขึ้นจนอนุภาคยางไม่สามารถเข้าไปกระจายตัวและบวมอยู่ในชั้นสไตรีนโมโนเมอร์ได้ ส่วน RVNRL ที่มีปริมาณความเข้มรังสีที่ได้รับตั้งแต่ 10 kGy ขึ้นไป สามารถเกิดการเคลื่อนย้ายอนุภาคยางธรรมชาติเข้าสู่ชั้นสไตรีนโมโนเมอร์ได้อย่างสมบูรณ์ โดยอนุภาคยาง RVNRL จะเข้าไปกระจายและบวมตัวอยู่ในชั้นของสไตรีนโมโนเมอร์ได้

3) เมื่อทำการศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีน-โมโนเมอร์ ที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่โดยใช้กระบวนการโพลีเมอไรเซชันแบบบัลค์ ในการเตรียมโพลีสไตรีน เหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) พบว่า

3.1 RVNRL ที่มีปริมาณความเข้มข้นที่ได้รับต่าง ๆ กัน ซึ่งทำให้มีปริมาณ ร้างแหต่าง ๆ กัน เมื่อนำมาศึกษาจลนศาสตร์พบว่า ปริมาณร้างแหไม่มีผลต่ออัตราการเกิด โพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่

3.2 ปริมาณยางในสไตรีนมีผลต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มี อนุภาคยางบวมตัวอยู่ดังนี้

เมื่อปริมาณยางในสไตรีนยังมีน้อยอยู่ คือ ในช่วง 0.01 - 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร การเพิ่มขึ้นของปริมาณยางในสไตรีนจะทำให้อัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาค ยางบวมตัวอยู่มีค่าลดลงอย่างมาก

เมื่อปริมาณยางในสไตรีนมีมากกว่า 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าปริมาณยาง ในสไตรีนจะไม่มีผลต่ออัตราการเกิดโพลีเมอไรเซชันของสไตรีนที่มีอนุภาคยางบวมตัวอยู่อีกต่อไป

4) ในการทดลองเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation โดยใช้ RVNRL พบว่า ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคยางอย่างสม่ำเสมอ มีสีขาวขุ่นและมีความ ยืดหยุ่นสามารถโค้งงอได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับโพลีสไตรีนบริสุทธิ์ เมื่อนำชิ้นงานที่เตรียม ได้นี้ไปทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก พบว่า ค่าการทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ ยางในสไตรีนเพิ่มขึ้น แม้ว่า ค่าการทนต่อแรงกระแทกที่เพิ่มขึ้นจะยังไม่มาก ซึ่งอาจเป็นเพราะ ปริมาณยางในสไตรีนมีน้อยเกินไป และมีค่าใกล้เคียงกัน

5) ในการศึกษา Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่ เตรียมได้จากกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation โดย ใช้ RVNRL พบว่าอนุภาคยางธรรมชาติจะมีการกระจายตัวแบบสุ่ม และเข้าไปบวมตัวอยู่ใน โพลีสไตรีนด้วยขนาดอนุภาคและรูปร่างที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีลักษณะ Morphology ที่คล้ายกับ Morphology ของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่เตรียมกันด้วยกระบวนการอื่น ๆ ดัง นั้นกระบวนการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) วิธีนี้จึงอาจเป็นวิธีการเตรียม

โพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่ง และยังสามารถควบคุมปริมาณยางที่จะใส่ลงในโพลีสไตรีนได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องเกี่ยวกับกระบวนการ Emulsion Polymerisation / Phase Transfer / Bulk Polymerisation ในการเตรียมโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) ซึ่งยังมีหัวข้อเรื่องที่ควรทำการศึกษาค้นคว้าต่อไปอีก ได้แก่

- 1) ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทกที่เตรียมขึ้น อันได้แก่
  - ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของอนุภาคยางธรรมชาติ
  - ความเข้ากันได้ของอนุภาคยางธรรมชาติ
  - ปริมาณพันธะเชื่อมโยงในน้ำยางธรรมชาติ
- 2) ศึกษาลักษณะการแตกของโพลีสไตรีนเหนียวทนแรงกระแทก (HIPS) โดยใช้กล้องอิเล็กตรอนไมโครสโคป
- 3) ศึกษาการนำเทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ เพื่อใช้ในการเตรียมพลาสติกเหนียวทนแรงกระแทกชนิดอื่น

### ภาคผนวก

การศึกษาจลนศาสตร์ของการเกิดโพลีเมอร์ไซเทรนโมโนเมอร์ที่มีอนุภาคยาง  
บวมตัวอยู่ โดยการหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันของการเกิดโพลีเมอร์ไซเทรนที่เวลาต่าง ๆ

$$\text{เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชัน (\% CONVERSION)} = \frac{\text{น้ำหนักโพลีเมอร์}}{\text{น้ำหนักโมโนเมอร์}} \times 100$$

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการศึกษหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของสไตรีนที่มีอนุภาคยาง  
RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 10 kGy ปริมาณยาง 0.03 กรัมต่อ  
มิลลิลิตรบวมตัวอยู่

เวลา (ชม.)	นน.ภาชนะ (กรัม)	นน.ภาชนะ + โมโนเมอร์ (กรัม)	นน.โมโนเมอร์ (กรัม)	นน.ภาชนะ + โพลีเมอร์ (กรัม)	นน.โพลีเมอร์ (กรัม)	% CONVERSION
0	0	0	0	0	0	0
0.5	8.996	10.415	1.419	9.315	0.319	22.48
1	8.947	10.947	2.000	9.754	0.807	40.35
1.5	9.001	10.718	1.717	10.179	1.178	68.61
2	9.006	10.847	1.841	10.373	1.367	74.25
2.5	9.037	10.878	1.841	10.691	1.654	89.84
3	9.005	10.823	1.818	10.718	1.713	94.22
3.5	9.029	11.019	1.990	10.912	1.883	94.62
4	9.163	11.081	1.918	10.981	1.818	94.79
4.5	9.097	11.287	2.190	11.220	2.123	96.94
5	8.908	10.944	2.036	10.945	2.037	100.05
5.5	9.035	10.965	1.930	10.966	1.931	100.05
6	9.094	10.848	1.754	10.842	1.748	99.66
7	8.090	9.815	1.725	9.785	1.695	98.26
8	8.105	9.700	1.595	9.689	1.584	99.31
9	8.213	9.966	1.753	9.974	1.761	100.46
10	8.200	10.300	2.100	10.233	2.033	96.81
11	8.251	11.215	2.964	11.154	2.903	97.94
12	8.136	10.864	2.728	10.818	2.682	98.31
13	8.113	10.374	2.261	10.307	2.194	97.04
14	8.17	9.699	1.529	9.699	1.529	100.00
15	8.189	10.241	2.052	10.259	2.070	100.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ตามสมควร  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงผลการศึกษหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของสไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 12 kGy ปริมาณยาง 0.03 กรัมต่อ มิลลิลิตร บวมตัวอยู่

เวลา (ชม.)	นนภาชนะ (กรัม)	นนภาชนะ + โมโนเมอร์ (กรัม)	นนโมโนเมอร์ (กรัม)	นนภาชนะ + โพลีเมอร์ (กรัม)	นนโพลีเมอร์ (กรัม)	% CONVERSION
0	0	0	0	0	0	0
0.5	8.922	10.279	1.357	9.215	0.293	21.59
1	9.160	10.592	1.442	9.719	0.569	39.46
1.5	9.068	10.674	1.616	9.987	0.929	57.49
2	9.047	10.531	1.484	10.131	1.084	73.05
2.5	8.990	10.443	1.453	10.239	1.249	85.96
3	9.027	11.318	2.291	11.167	2.140	93.41
3.5	8.971	9.987	1.016	9.976	1.005	98.92
4	8.982	10.113	1.131	10.112	1.130	99.91
4.5	9.074	9.569	0.495	9.547	0.473	95.56
5	8.910	9.825	0.915	9.796	0.886	96.83
5.5	8.953	10.102	1.149	10.066	1.113	96.87
6	9.012	9.952	0.940	9.939	0.927	98.62
7	8.070	9.817	1.747	9.804	1.734	99.26
8	8.262	10.304	2.042	10.290	2.028	99.31
9	8.164	10.641	2.477	10.626	2.462	99.39
10	8.908	11.194	2.286	11.130	2.222	97.20
11	8.160	11.141	2.981	11.138	2.978	99.90
12	8.189	10.746	2.557	10.748	2.559	100.08
13	8.288	11.709	3.421	11.708	3.420	99.97
14	8.166	10.325	2.159	10.314	2.148	99.49
15	8.225	10.608	2.383	10.582	2.357	98.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงผลการศึกษาคายโพธิ์เรซินคอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของสไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 14 kGy ปริมาณยาง 0.03 กรัมต่อ มิลลิลิตรรวมตัวอยู่

เวลา (ช.ม.)	นนภาชนะ (กรัม)	นนภาชนะ + โมโนเมอร์ (กรัม)	นน โมโนเมอร์ (กรัม)	นนภาชนะ + โพลีเมอร์ (กรัม)	นน โพลีเมอร์ (กรัม)	% CONVERSION
0	0	0	0	0	0	0
0.5	8.987	10.581	1.594	9.301	0.314	19.70
1	9.188	10.606	1.418	9.612	0.424	29.92
1.5	8.968	10.467	1.499	9.533	0.565	37.69
2	9.017	10.824	1.807	10.162	1.145	63.36
2.5	9.075	11.051	1.976	10.839	1.764	89.27
3	8.984	10.578	1.594	10.530	1.546	96.99
3.5	9.079	10.925	1.846	10.898	1.819	98.54
4	9.114	11.007	1.893	10.982	1.868	98.68
4.5	9.075	10.587	1.512	10.592	1.517	100.33
5	9.013	11.018	2.005	10.998	1.985	99.00
5.5	8.891	11.019	2.128	10.997	2.106	98.97
6	9.043	10.836	1.793	10.815	1.772	98.83
7	8.086	10.377	2.291	10.357	2.271	99.13
8	8.321	10.695	2.374	10.641	2.320	97.73
9	8.853	9.312	0.459	9.304	0.451	98.26
10	8.244	10.659	2.415	10.639	2.395	99.17
11	8.108	9.845	1.737	9.835	1.727	99.42
12	8.234	9.893	1.659	9.884	1.650	99.46
13	8.164	9.659	1.495	9.649	1.485	99.33
14	8.180	9.716	1.536	9.702	1.522	99.09
15	8.130	10.028	1.898	10.022	1.892	99.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงผลการศึกษาหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของสไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีด้วยความเข้มรังสี 12 kGy ปริมาณยาง 0.01 กรัมต่อ มิลลิลิตรรวมตัวอยู่

เวลา (ชม.)	นนภาชนะ (กรัม)	นนภาชนะ + โมโนเมอร์ (กรัม)	นนโมโนเมอร์ (กรัม)	นนภาชนะ + โพลีเมอร์ (กรัม)	นนโพลีเมอร์ (กรัม)	% CONVERSION
0	0	0	0	0	0	0
0.5	9.041	10.684	1.643	9.981	0.940	57.21
1	9.007	11.344	2.337	10.497	1.490	63.76
1.5	9.033	11.219	2.186	11.038	2.005	91.72
2	8.904	11.343	2.439	11.245	2.341	95.98
2.5	8.956	11.379	2.423	11.337	2.381	98.27
3	9.094	11.340	2.246	11.291	2.197	97.82
3.5	8.949	11.365	2.416	11.344	2.395	99.13
4	9.209	11.626	2.417	11.602	2.393	99.01
4.5	9.029	11.508	2.479	11.492	2.463	99.35
5	8.981	11.063	2.082	11.038	2.057	98.80
5.5	8.960	11.060	2.100	11.020	2.060	98.10
6	9.133	10.997	1.864	10.944	1.811	97.16
7	8.310	10.334	2.024	10.267	1.957	96.69
8	8.211	10.216	2.005	10.197	1.986	99.06
9	8.221	9.409	1.188	9.398	1.177	99.07
10	8.329	10.125	1.796	10.112	1.783	99.28
11	8.319	10.322	2.003	10.305	1.986	99.15
12	8.378	10.745	2.367	10.717	2.339	98.82
13	8.458	11.252	2.794	11.202	2.744	98.21
14	8.455	11.003	2.548	10.992	2.537	99.57
15	8.479	11.161	2.682	11.157	2.678	99.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 แสดงผลการศึกษาหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของสไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 12 kGy ปริมาณยาง 0.02 กรัมต่อ มิลลิลิตรรวมตัวอยู่

เวลา (ข.ม.)	นน.ภาชนะ (กรัม)	นน.ภาชนะ + โมโนเมอร์ (กรัม)	นน.โมโนเมอร์ (กรัม)	นน.ภาชนะ + โพลีเมอร์ (กรัม)	นน.โพลีเมอร์ (กรัม)	% CONVERSION
0	0	0	0	0	0	0
0.5	9.146	10.897	1.751	9.815	0.669	38.21
1	9.034	10.838	1.804	10.344	1.310	72.62
1.5	9.008	10.999	1.991	10.642	1.634	82.07
2	9.206	11.120	1.914	10.870	1.664	86.94
2.5	9.160	11.113	1.953	10.854	1.694	86.74
3	9.137	10.112	0.975	10.029	0.892	91.49
3.5	9.147	10.412	1.265	10.385	1.238	97.87
4	9.163	10.687	1.524	10.667	1.504	98.69
4.5	9.118	11.269	2.151	11.246	2.128	98.93
5	9.083	11.136	2.053	11.096	2.013	98.05
5.5	9.165	11.359	2.194	11.316	2.151	98.04
6	9.201	10.971	1.770	10.950	1.749	98.81
7	8.342	10.341	1.999	10.315	1.973	98.70
8	8.303	10.226	1.923	10.213	1.910	99.32
9	8.397	10.280	1.883	10.260	1.863	98.94
10	8.121	10.493	2.372	10.482	2.361	99.54
11	8.304	10.148	1.844	10.119	1.815	98.43
12	8.295	10.335	2.040	10.326	2.031	99.56
13	8.336	10.609	2.273	10.571	2.235	98.33
14	8.406	10.392	1.986	10.378	1.972	99.30
15	8.303	10.575	2.272	10.562	2.259	99.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 แสดงผลการศึกษาหาเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของสไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 12 kGy ปริมาณยาง 0.035 กรัมต่อ มิลลิลิตรรวมตัวอยู่

เวลา (ชม.)	นน.ภาชนะ (กรัม)	นน.ภาชนะ + โมโนเมอร์ (กรัม)	นน.โมโนเมอร์ (กรัม)	นน.ภาชนะ + โพลีเมอร์ (กรัม)	นน.โพลีเมอร์ (กรัม)	% CONVERSION
0	0	0	0	0	0	0
0.5	9.104	10.371	1.267	9.316	0.212	16.73
1.5	9.295	11.162	1.867	10.523	1.228	66.77
2	9.153	11.040	1.887	10.778	1.625	86.12
2.5	8.988	10.905	1.917	10.747	1.759	91.76
3	9.147	11.033	1.886	10.899	1.752	92.90
3.5	9.168	11.084	1.916	11.033	1.865	97.34
4	9.166	11.044	1.878	11.002	1.836	97.76
4.5	9.026	10.868	1.842	10.820	1.794	97.39
5	9.139	10.986	1.847	10.943	1.804	97.67
5.5	9.055	11.030	1.975	10.966	1.911	96.76
6	9.225	11.109	1.884	11.067	1.842	97.77
7	8.913	10.927	2.014	10.874	1.961	97.37
8	9.016	11.067	2.051	11.021	2.005	97.76
9	9.089	11.277	2.188	11.215	2.126	97.17
10	9.076	11.030	1.954	10.964	1.888	96.62
11	9.090	10.996	1.906	10.959	1.869	98.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 แสดงผลการศึกษาคายโพธิ์แซนด์คอนเวอร์ชันที่เวลาต่าง ๆ ของสไตรีนที่มีอนุภาคยาง RVNRL ที่ผ่านการอบรังสีที่ความเข้มรังสี 12 kGy ปริมาณยาง 0.04 กรัมต่อ มิลลิลิตรบวมตัวอยู่

เวลา (ช.ม.)	นน.ภาชนะ (กรัม)	นน.ภาชนะ + โมโนเมอร์ (กรัม)	นน.โมโนเมอร์ (กรัม)	นน.ภาชนะ + โพลีเมอร์ (กรัม)	นน.โพลีเมอร์ (กรัม)	% CONVERSION
0	0	0	0	0	0	0
0.5	9.180	10.931	1.751	9.396	0.216	12.34
1	9.001	10.805	1.804	9.722	0.721	39.97
1.5	9.056	10.679	1.623	9.954	0.898	55.33
2	9.200	10.588	1.388	10.196	0.996	71.76
2.5	9.316	10.808	1.492	10.590	1.274	85.39
3	9.136	10.437	1.301	10.282	1.146	88.09
3.5	9.226	10.569	1.343	10.441	1.215	90.47
4	9.251	10.724	1.473	10.652	1.401	95.11
4.5	9.121	10.716	1.595	10.666	1.545	96.87
5	9.124	10.750	1.626	10.714	1.590	97.79
5.5	9.108	10.552	1.444	10.493	1.385	95.91
6	9.248	10.756	1.508	10.696	1.448	96.02
7	8.368	9.811	1.443	9.788	1.420	98.41
8	8.312	9.941	1.629	9.923	1.611	98.90
9	8.257	9.607	1.35	9.577	1.320	97.78
10	8.204	10.082	1.878	10.065	1.861	99.09
11	8.304	10.148	1.844	10.095	1.791	97.13
12	8.295	10.335	2.04	10.304	2.009	98.48
13	8.431	9.672	1.241	9.649	1.218	98.15
14	8.403	9.969	1.566	9.943	1.540	98.34
15	8.335	9.612	1.277	9.569	1.234	96.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Heim Ph., Ph.D. Thesis, Universite de Haute Alsace, Mulhouse, France (1987).
2. Fuangfoo S., M.Sc. Thesis, Mahidol University, Bangkok, Thailand (1987).
3. Tangboriboonrat P., Ph.D. Thesis, Universite de Haute Alsace, Mulhouse, France (1991).
4. Tangboriboonrat P., Heim P. and Riess G., "Polymer Materials Synthesis and Characterisation Regio Macro" (1991).
5. Tangboriboonrat P. and Riess G., Contribution to the Polymer Colloids Group Newsletter (1990).
6. Tangboriboonrat P., Suchiva K. and Riess G., *Polymer*, 35(23), p.5144-5145 (1994).
7. Tangboriboonrat P., Suchiva K. and Riess G., *Polymer*, 36(4), p.781-785 (1995).
8. Wonglumsum P., "Study of the Phase Transfer Technique for Preparing High Impact Polystyrene from Poly(butyl acrylate) Latex", Bachelor's Special Project, Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (1992).
9. Chaiworaporn K. and Wongwaipanich S., "Study of Phase Transfer Technique with Cationic Surfactant for the Characterisation of Crosslinked Polystyrene Latex and the Preparation of Polymer Blend of Polystyrene and Poly(butyl acrylate)", Bachelor's Special Project, Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (1992).
10. Khothai C. and Phrudsaphan P., "Study of Phase Transfer Technique of Poly(butyl acrylate) and Natural Rubber Latex - Development of the Preparation and Properties of High Impact Polystyrene (HIPS)", Bachelor's Special Project, Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (1993).
11. Kroschwitz J., Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Wiley - Interscience Publication, p.1121-1122, 1127-1129 (1990).
12. Gazeley K.F., Gorton A.D.T. and Pendle T.D., Natural Rubber Science and Technology , (Roberts A.D.,ed) Oxford Science Publications, Oxford, p.63-97, Chapter 3 (1988).
13. Bucknall C.B., Toughened Plastics, Applied Science Publishers, p.182-212 (1987).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

14. Blackley D.C., High Polymer Latices, vol.1, Maclaren and Sons, p.3-5, 214-216, 261-262 (1966).
15. Cook D.G., Rudin A. and Plumtree A., "The Use of Latex - Modified Polystyrene as a Model System for HIPS:Effect of Particle Size", *J. Appl. Polym. Sci.*, 45, p.75-84 (1990).
16. Makuuchi K., Progress in Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (1994).
17. Minoura Y., "Studies on the  $\gamma$ -Irradiation of Natural Rubber Latex", *J. Appl. Polym. Sci.*, 5(14), p.233-239 (1961).
18. Kartowardoyo S. and Sundardi FL., "Studies on the Preparation and Use of Co-60 Gamma Ray Irradiation Natural Latex", *J. Appl. Polym. Sci.*, 21, p.1072 (1977).
19. Heim P., Wrotecki C. and Gaillard P., "Rubber Toughening of Poly(methyl methacrylate) Part I:Effect of the Size and Hard Layer Composition of the Rubber Particle", *Polym. Eng. Sci.*, 31(4), p.213-217 (1991).
20. Heim P., Wrotecki C. and Gaillard P., "Rubber Toughening of Poly(methyl methacrylate) Part II:Effect of a Twin Population of Particle Size", *Polym. Eng. Sci.*, 31(4), p.218-222 (1991).  
Malvern Instruments Limited. Windows Sizes Reference Manual (Diffraction Reference) ,
21. Manual Number Man 0073, Issue 1.0, Nov. (1992).
22. Kuhakarn S., M.Sc. Thesis, Department of Chemistry (Polymer Science), Faculty of Graduate studies, Mahidol University, Bangkok, Thailand (1995).
23. Standard ASTM, 1993, Method D256-93a.
24. Vongbunimit K., M.Sc. Thesis, Department of Chemistry (Polymer Science), Faculty of Graduate studies, Mahidol University, Bangkok, Thailand (1992).