

การศึกษาเพื่อใช้สารประกอบโพลีโทอลและ2-เอทิลเอกซิลอะครีเลตร่วมกับ
คาร์บอนเตตราคลอไรด์เป็นสารไวปฏิกิริยาสำหรับการวัลแคนไนซ์
น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี

นายชาติชาย พรสุขศิริ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-569-766-4


ลิขสิทธิ์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015287

I 17498063

A STUDY OF USING POLYTHIOL COMPOUNDS AND 2-ETHYL HEXYL ACRYLATE
WITH CARBON TETRACHLORIDE AS SENSITIZERS FOR RADIATION
VULCANIZATION OF NATURAL RUBBER LATEX

Mr. Charitchai Polsuksiri



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Nuclear Technology
Graduate School
Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-569-766-4



พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ชาติชาย พรสุขศิริ : การศึกษาเพื่อใช้สารประกอบโพลีไทออลและ 2-เอทิลเฮกซิลอะครีเลต ร่วมกับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เป็นสารไวปฏิกิริยาสำหรับการวัลแคนไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี (A STUDY OF USING POLYTHIOL COMPOUNDS AND 2-ETHYL HEXYL ACRYLATE WITH CARBON TETRACHLORIDE AS SENSITIZERS FOR RADIATION VULCANIZATION OF NATURAL RUBBER LATEX) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ 126 หน้า.

ได้ทดลองใช้สารประกอบโพลีไทออล 3 ชนิดเป็นสารไวปฏิกิริยาสำหรับการวัลแคนไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี พบว่า 1.4 บิวเทนไดออลโพรเพน ทริส-3-เมอร์แคปโตโพรไฟโอเนต มีแนวโน้มเป็นสารไวปฏิกิริยาได้ ให้ค่าความต้านแรงดึงของแผ่นยางสูงสุดประมาณ 14 MPa ที่ความเข้มข้น 1 phr และปริมาณรังสี 45 kGy สำหรับการทดลองใช้ 2-เอทิลเฮกซิลอะครีเลต เป็นสารไวปฏิกิริยาพบว่าความเข้มข้นขนาด 3 phr จะให้ค่าความต้านแรงดึงของแผ่นยางสูงสุดประมาณ 23 MPa ที่ 35 kGy ถ้าใช้สารไวปฏิกิริยานี้ร่วมกับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ในอัตราส่วน 5 : 1 ที่ความเข้มข้น 6phr จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นยางสูงสุดประมาณ 25 MPa ที่ 15 kGy จากการศึกษาจึงพบว่าสำหรับการวัลแคนไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสีโดยใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมด้วยนี้ที่ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดจะมีค่าความหนาแน่นการครอสลิงค์ประมาณ 18×10^{18} C.L./cm³

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี
สาขาวิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต ชาติชาย พรสุขศิริ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว


CHARTCHAI POLSUKSIRI : A STUDY OF USING POLYTHIOL COMPOUNDS AND
2-ETHYL HEXYL ACRYLATE WITH CARBON TETRACHLORIDE AS SENSITIZERS
FOR RADIATION VULCANIZATION OF NATURAL RUBBER LATEX. THESIS ADVISOR:
ASST. PROF. CHYAGRIT SIRI-UPATHUM, 126 PP.

Experiments on using 3 different compounds of polythiol and an acrylate as sensitizer for radiation vulcanization were conducted. It was found that 1,4 butane diol propane tris-3-mercapto propionate showed the tendency to be a good sensitizer. The tensile strength of the rubber film prepared from the irradiated latex was found to be 14 MPa at sensitizer concentration of 1 phr and radiation dose of 45 kGy. As for 2-ethyl hexyl acrylate(2EHA), the maximum tensile strength of rubber film was found to be 23 MPa at concentration of 3 phr and radiation dose of 35 kGy. The mixture of 2EHA and CCl_4 at various ratio was also used as sensitizer. The optimum ratio was found to be 5:1 at concentration of 6 phr and radiation dose of 15 kGy. The maximum tensile strength was as high as 25 MPa. The study also revealed that the radiation vulcanized latex with crosslink density of about 18×10^{18} C.L./ cm^3 would give the rubber film of highest tensile strength.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี.....
สาขาวิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี.....
ปีการศึกษา 2532.....

ลายมือชื่อนิสิต 6.ศิริภาพ พ.ร.จ.พ.ศิริ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร หัวหน้าภาควิชา นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี ที่ได้กรุณาให้ความสนับสนุนงานวิจัยเรื่องนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ชยากริต คิริอุปถัมภ์ และอาจารย์ ภาควิชา นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยีทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ แก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา สุชีวะ แห่งภาควิชา เคมี มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ได้กรุณา ให้คำปรึกษา แนะนำ แก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ และ ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องทดสอบแรงดึง

ขอขอบพระคุณ คุณจินดารมย์ ชวเจริญพันธ์ แห่งสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติที่กรุณาอนุเคราะห์และ แนะนำการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ กรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องตัดชิ้นยาง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณแม่ที่วิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้.....	3
2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเคมีรังสี.....	4
2.1 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับรังสี.....	4
2.1.1 ชนิดของรังสีและแหล่งกำเนิดรังสี.....	4
2.1.2 กลไกการถ่ายพลังงานของรังสีแต่ละประเภท.....	5
2.1.3 หน่วยของรังสีและปริมาณรังสี.....	6
2.1.4 การวัดปริมาณรังสี.....	7
2.2 ผลของรังสีต่อโมเลกุล.....	8
2.2.1 โมเลกุลในสถานะเฝ้า.....	10
2.2.2 ไอโอไนซ์เซชัน.....	11
2.3 ผลผลิตทางเคมีจากรังสี.....	14
2.3.1 ไอโอไนคิล.....	14
2.3.2 ค่า G.....	14
2.4 ผลของรังสีต่อ Monomer และปฏิกิริยา Polymerization.....	15

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.1 กลไกแบบ Free Radical.....	16
2.5 ผลของรังสีต่อ Polymer ที่เกิดจาก crosslink.....	18
3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเคมีของน้ำยางธรรมชาติ.....	22
3.1 เรื่องทั่วไปเกี่ยวกับยาง Latex.....	22
3.1.1 การผลิตยางเข้มข้นและวิธีการเก็บรักษา น้ำยางสด.....	22
3.1.2 ชนิดน้ำยาง Latex เข้มข้นตามลักษณะของสาร รักษาสภาพน้ำยาง.....	26
3.1.3 มาตรฐานน้ำยางชั้นต่าง ๆ	27
3.1.4 คุณสมบัติของ Latex ที่สำคัญและการปรับปรุงค่า.....	28
3.2 การวัลแคนไนซ์ยางธรรมชาติ.....	31
3.2.1 ความเป็นมาของการวัลแคนไนซ์.....	31
3.2.2 ค่าความหนาแน่นของการครอสลิงค์.....	31
3.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพของยาง วัลแคนไนซ์กับองศาครอสลิงค์.....	32
3.2.4 ผลของโครงสร้างของครอสลิงค์ต่อคุณสมบัติทาง กายภาพของยางวัลแคนไนซ์.....	32
3.2.5 การวัลแคนไนซ์โดยซิลิเฟอรั.....	35
3.2.6 การวัลแคนไนซ์โดยรังสีที่ปราศจากสารไวปฏิกิริยา.....	38
3.2.7 การวัลแคนไนซ์โดยรังสีที่มีสารไวปฏิกิริยาเข้าร่วม.....	39
4 วัสดุอุปกรณ์และการดำเนินการวิจัย.....	41
4.1 วัสดุอุปกรณ์ประเภทสารเคมี.....	41
4.2 อุปกรณ์เครื่องมือ.....	41
4.3 การดำเนินการวิจัย.....	49
4.4 การดำเนินการวิจัยขั้นปรับปรุงคุณภาพ.....	57
5 ผลการวิจัย.....	58

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.1 ผลการทดลองการใช้สารไวปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ตาม	
สูตรในบทที่ 4	58
5.1.1 ผลของ Polythiol I ต่อการ Vulcanization.....	58
5.1.2 ผลของ Polythiol II ต่อการ Vulcanization....	58
5.1.3 ผลของ Polythiol III ต่อการ Vulcanization...58	
5.1.4 ผลของ CCl_4 ต่อการเกิด Vulcanization.....	58
5.1.5 ผลของการใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมระหว่าง CCl_4 กับ	
Polythiol I.....	59
5.1.6 ผลของการใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมระหว่าง CCl_4 กับ	
Polythiol II.....	59
5.1.7 ผลของการใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมระหว่าง CCl_4 กับ	
Polythiol III.....	59
5.1.8 ผลของการใช้สารไวปฏิกิริยา 2EHA และสารไวปฏิกิริยาร่วม	
ของ 2EHA และ CCl_4	59
5.2 ผลของตัวออกซิไดซ์ต่อการวัลแคนไนซ์.....	60
5.2.1 ผลของ H_2O_2 ต่อการเป็นสารไวปฏิกิริยา ของ	
Polythiol I.....	60
5.2.2 ผลของ H_2O_2 ต่อการเป็นสารไวปฏิกิริยา ของ	
Polythiol II.....	60
5.2.3 ผลของ H_2O_2 ต่อการเป็นสารไวปฏิกิริยา ของ	
Polythiol III.....	60
5.2.4 ผลของ H_2O_2 ต่อการเป็นสารไวปฏิกิริยา ของ	
CCl_4	60
5.2.5 ผลของ H_2O_2 ต่อการเป็นสารไวปฏิกิริยา ของ	
2EHA: CCl_4	60
5.3 ผลการปรับคุณภาพโดยการชะละลายที่เงื่อนไขต่าง ๆ	60
5.3.1 ผลของการชะละลายด้วยสารละลายแอมโมเนีย 2x.....	60

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3.2 ผลการชะละลายด้วยน้ำอุณหภูมิ 60 °C ที่เวลาต่าง ๆ....	61
5.4 ผลการทดสอบค่าทางสถิติสำหรับค่า T_b , SWELLING , CROSSLINK DENSITY.....	62
6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	103
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	103
6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	105
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	110
เอกสารอ้างอิง.....	111
ภาคผนวก ก. ตารางแสดงผลการทดลองอย่างละเอียด.....	115
ประวัติผู้เขียน.....	126

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าไอโอไนซ์เซชันของธาตุและสารประกอบบางตัว.....	12
2.2 ค่า G ต่าง ๆ ของน้ำและไอน้ำ.....	15
2.3 กลุ่มโพลีเมอร์ที่มีโอกาสเกิดการ Degradation และ Crosslinking.....	20
3.1 ผลของ FATTY ACID SOAPS ต่อ ค่า MST.....	29
3.2 ผลของ Latex Compound ที่ 28-30°.....	29
5.1 แสดงการชะละลายที่เวลาต่างๆในสารละลาย ammonia 2 %.....	60
5.2 แสดงการชะละลายที่เวลาต่างๆในน้ำอุณหภูมิ 60° C.....	60
5.3 แสดงการชะละลายที่เวลาต่างๆในสารละลาย ammonia 2 % นาน 24 ชั่วโมง.....	60
5.4 แสดงการชะละลายที่เวลาต่างๆในน้ำอุณหภูมิ 60° C นาน 5 นาที.....	60
ก.1 แสดงค่าเวลากับปริมาณรังสีที่มีสารไวปฏิกิริยา ความเข้มข้น ขนาดต่าง ๆ.....	116
ก.2 แสดงผลของเจลกัมกับปริมาณรังสีที่มีสารไวปฏิกิริยา ZEHA....	117
ก.3 แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb, M.O.600%, Eb, SWELLING, CROSSLINK DENSITY ของสารไวปฏิกิริยา Polythiol I.....	118
ก.4 แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb, M.O.600%, Eb, SWELLING, CROSSLINK DENSITY ของสารไวปฏิกิริยา Polythiol II.....	118
ก.5 แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb, M.O.600%, Eb, SWELLING, CROSSLINK DENSITY ของสารไวปฏิกิริยา Polythiol III ขนาด 1phr.....	118
ก.6 แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb, M.O.600%, Eb, SWELLING, CROSSLINK DENSITY ของสารไวปฏิกิริยา Polythiol III ขนาด 3 phr.....	118
ก.7 แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb, M.O.600%, Eb, SWELLING, CROSSLINK DENSITY ของสารไวปฏิกิริยา CC1 ₄ ขนาด 5 phr....	119
ก.8 แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb, M.O.600%, Eb, SWELLING, CROSSLINK DENSITY ของสารไวปฏิกิริยา CC1 ₄ ขนาด 3 phr....	119
ก.9 แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb, M.O.600%, Eb, SWELLING, CROSSLINK DENSITY ของสารไวปฏิกิริยา CC1 ₄ ขนาด 1 phr....	119

ก.10	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb, M.O.600%, Eb, SWELLING, CROSSLINK DENSITY ของสารไวปฏิกิริยา CCl_4 และ Polythiol I.....	119
ก.11	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb, M.O.600%, Eb, SWELLING, CROSSLINK DENSITY ของสารไวปฏิกิริยา CCl_4 และ Polythiol II.....	120
ก.12	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb, M.O.600%, Eb, SWELLING, CROSSLINK DENSITY ของสารไวปฏิกิริยา CCl_4 และ Polythiol III.....	120
ก.13	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Tb ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA ขนาด 9, 6 และ 3 phr.....	121
ก.14	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่า Crosslink ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA ขนาด 9,6 และ 3 phr.....	121
ก.15	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่า Swelling ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA ขนาด 9,6 และ 3 phr.....	121
ก.16	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่า Tb ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCl_4 ขนาด 6:1, 6:1.5 และ 6:2 phr.....	121
ก.17	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่า Crosslink ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCl_4 ขนาด 6:1, 6:1.5 และ 6:2 phr.....	122
ก.18	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่า Swelling ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCl_4 ขนาด 6:1, 6:1.5 และ 6:2 phr.....	122
ก.19	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่า S.T. ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCl_4 ขนาด 5:0.5, 5:1.5 และ 5:1 phr.....	122
ก.20	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อ Eb ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCl_4 ขนาด 5:0.5, 5:1 และ 5:1.5 phr.....	122
ก.21	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่า M.O.600% ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCl_4 ขนาด 5:0.5, 5:1 และ 5:1.5 phr.....	123
ก.22	แสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่า Swelling ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCl_4 ขนาด 5:0.5, 5:1 และ 5:1.5 phr.....	123

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.23 แสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่า Crosslink ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCl ₄ ขนาด 5:0.5, 5:1 และ 5:1.5 phr.....	123
ก.24 แสดงผลของปริมาณรังสีและ Tb จากผลของ H ₂ O ₂ ในสารไวปฏิกิริยา Polythiol I.....	124
ก.25 แสดงผลของปริมาณรังสีและ Tb จากผลของ H ₂ O ₂ ในสารไวปฏิกิริยา Polythiol II.....	124
ก.26 แสดงผลของปริมาณรังสีและ Tb จากผลของ H ₂ O ₂ ในสารไวปฏิกิริยา Polythiol III.....	124
ก.27 แสดงผลของปริมาณรังสีและ Tb จากผลของ H ₂ O ₂ ในสารไวปฏิกิริยา CCL ₄	124
ก.28 แสดงผลของปริมาณรังสีและ Tb จากผลของ H ₂ O ₂ ในสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCL ₄	125
ก.29 แสดงผลของปริมาณรังสีและ Eb จากผลของ H ₂ O ₂ ในสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCL ₄	125
ก.30 แสดงผลของปริมาณรังสีและ M.O. จากผลของ H ₂ O ₂ ในสารไวปฏิกิริยา 2EHA : CCL ₄	125

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	รูปแสดงการดูดกลืนพลังงานของแสง UV และรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....9
2.2	รูปแสดงการกระจายของอิออนและ โมเลกุลที่อยู่ในสถานะ ว่างใน เส้นทางของอิเล็กตรอนความเร็วสูง.....9
2.3	รูปแสดงพลังงานศักย์ของ โมเลกุลที่มีอะตอมคู่ในสภาพปกติและ สภาวะ ว่าง.....10
2.4	รูปแสดงการเกิด Intersystem Crossing จากสถานะ Singlet ไปยัง Triplet ในสภาวะ ว่าง.....11
2.5	รูปแสดงการกระจายและ Spin ของ อิเล็กตรอนในสภาวะต่าง ๆ....11
2.6	รูปแสดงขั้นตอนต่าง ๆ ในการเกิด Polymerization จากรังสี.....15
2.7	รูปแสดงอัตราของปฏิกิริยา Polymerization เทียบกับ dose rate ที่ 20 °C.....17
2.8	รูปแสดงอัตราของปฏิกิริยาทางทฤษฎีเทียบกับเศษส่วนโมล.....18
2.9	รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Acrylonitriles เวลาที่ถูกรังสีที่ dose rate ต่าง ๆ.....19
2.10	รูปแสดงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นกับ dose ที่เพิ่มขึ้น.....21
3.1	รูปแสดงภาพตัดขวางของ เครื่องปั้นน้ำอย่างขึ้น.....24
3.2	รูปแสดงคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ กับค่า crosslink density...33
3.3	รูปแสดงโครงข่ายแบบต่าง ๆ ของ crosslink.....33
3.4	รูปแสดงลำดับขั้นของการเกิดวัลแคนไนซ์.....34
3.5	รูปแสดงการวัลแคนไนซ์ที่มีตัวเร่งเข้าร่วมปฏิกิริยา.....35
4.1	รูปรวมเครื่องฉายรังสีของ บ.แกมมาตรอน จ.ก.....43
4.2	รูปแสดงทิศทางการเคลื่อนที่เข้าฉายรังสี.....44
4.3	รูปแสดงแท่งต้นกำเนิดรังสีของเครื่องฉายรังสี.....45
4.4	รูปแสดงตำแหน่งการวางน้ำยาเพื่อฉายรังสี.....46
4.5	รูปแสดงด้านบนตำแหน่งวางขวดเป็นวงกลมรอบแท่งกำเนิดรังสี.....46

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6	รูปแสดงตู้ควบคุมต้นกำเนิดรังสี.....46
4.7	รูปแสดงตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีภายในห้องที่มีผนังกำบังรังสี concrete หนา 1.5 เมตร.....46
4.8	รูปชุด Sieve ห่ออย่างหาค่าเฉลี่ย.....47
4.9	รูปเครื่องตัดชิ้นยางและตัวอย่างยางที่ตัดเป็นรูป Dumbell.....48
4.10	รูปแสดงเครื่องมือกลั่นหาปริมาณเฉลี่ย.....48
4.11	รูปแสดงเครื่องทดสอบแรงดึงของ Instron 1026 และเครื่อง บันทึกผล.....49
5.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกับ Dose ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารไวปฏิกิริยา Polythiol I.....64
5.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกับ Dose ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารไวปฏิกิริยา Polythiol II.....65
5.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกับ Dose ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารไวปฏิกิริยา Polythiol III.....66
5.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกับ Dose ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารไวปฏิกิริยา CC ₁67
5.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกับ Dose ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารไวปฏิกิริยาร่วม CC ₁ กับ Polythiol I.....68
5.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกับ Dose ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารไวปฏิกิริยาร่วม CC ₁ กับ Polythiol II.....69
5.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกับ Dose ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารไวปฏิกิริยาร่วม CC ₁ กับ Polythiol III.....70
5.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกับ Dose ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CC ₁71
5.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา Polythiol I.....72

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M.O.600% กับปริมาณรังสีของสารไพลูทิกิริยา Polythiol I.....	72
5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Eb กับปริมาณรังสีของสารไพลูทิกิริยา Polythiol I.....	73
5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling กับปริมาณรังสีของสาร ไพลูทิกิริยา Polythiol I.....	73
5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสาร ไพลูทิกิริยา Polythiol I.....	74
5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไพลูทิกิริยา Polythiol II.....	74
5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M.O.600% กับปริมาณรังสีของสาร ไพลูทิกิริยา Polythiol II.....	75
5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Eb กับปริมาณรังสีของสารไพลูทิกิริยา Polythiol II.....	75
5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling. กับปริมาณรังสีของสาร ไพลูทิกิริยา Polythiol II.....	76
5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสาร ไพลูทิกิริยา Polythiol II.....	76
5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tb กับปริมาณรังสีของสารไพลูทิกิริยา Polythiol III.....	77
5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า M.O.600% กับปริมาณรังสีของสาร ไพลูทิกิริยา Polythiol III.....	77
5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Eb กับปริมาณรังสีของสารไพลูทิกิริยา Polythiol III.....	78
5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling กับปริมาณรังสีของสาร ไพลูทิกิริยา Polythiol III.....	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา Polythiol III.....	79
5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄	79
5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M.O.600% กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄	80
5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Eb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄	80
5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา CCl ₄	81
5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา CCl ₄	81
5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol I.....	82
5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M.O.600% กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol I.....	82
5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Eb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol I.....	83
5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol I.....	83
5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol I.....	84
5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol II.....	84
5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M.O.600% กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol II.....	85
5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Eb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol II.....	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol II.....	86
5.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol II.....	86
5.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไว ปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol III.....	87
5.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M.O.600x กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol III.....	87
5.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Eb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol III.....	88
5.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol III.....	88
5.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา CCl ₄ + Polythiol III.....	89
5.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา รูป 5.24, 5.29, 5.34, 5.39.....	89
5.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา รูปที่ 5.28, 5.33, 5.38, และ 5.43.....	90
5.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา 2EHA 9,6 และ 3 phr.....	90
5.47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA 9,6 และ 3 phr.....	90
5.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA 9,6 และ 3 phr.....	91
5.49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CCl ₄ 9:0, 6:0, 3:0, 6:1, 6:1.5, 6:2 phr.....	91

5.50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CC1 ₄ 9:0, 6:0, 3:0, 6:1, 6:1.5, 6:2 phr.....	93
5.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสารไว ปฏิกิริยา 2EHA:CC1 ₄ 9:0, 6:0, 3:0, 6:1, 6:1.5, 6:2 phr.....	94
5.52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CC1 ₄ 6:1, 6:1.5, 6:2 phr.....	95
5.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสารไว ปฏิกิริยา 2EHA:CC1 ₄ 6:1, 6:1.5, 6:2 phr.....	95
5.54 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Swelling กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CC1 ₄ 6:1, 6:1.5, 6:2 phr.....	96
5.55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CC1 ₄ 5:0.5, 5:1, 5:1.5 phr.....	96
5.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Eb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CC1 ₄ 5:0.5, 5:1, 5:1.5 phr.....	97
5.57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M.O.600% กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CC1 ₄ 5:0.5, 5:1, 5:1.5 phr.....	97
5.58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Crosslink กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา 2EHA:CC1 ₄ 5:0.5, 5:1, 5:1.5 phr.....	98
5.59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Swelling กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา 2EHA:CC1 ₄ 5:0.5, 5:1, 5:1.5 phr.....	98
5.60 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา Polythiol II และ H ₂ O ₂	99
5.61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา Polythiol I และ H ₂ O ₂	99
5.62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา Polythiol III และ H ₂ O ₂	100

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา CCl ₄ และ H ₂ O ₂	100
5.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CCl ₄ และ H ₂ O ₂	101
5.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Eb กับปริมาณรังสีของสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CCl ₄ และ H ₂ O ₂	101
5.66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M.O.600% กับปริมาณรังสีของสาร ไวปฏิกิริยา 2EHA:CCl ₄ และ H ₂ O ₂	102

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย