

การปรับปรุงคุณสมบัติของฉนวนสายไฟฟ้าชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ด้วยการฉายรังสีแกมมา

นาย ทวีศักดิ์ กิระวิทยา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-491-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF POLYVINYL CHLORIDE ELECTRICAL WIRE INSULATION  
PROPERTIES BY GAMMA IRRADIATION

Mr. Taweesak Kirawittaya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-332-491-7



ทวิตศักดิ์ กิระวิทยา : การปรับปรุงคุณสมบัติของฉนวนสายไฟฟ้าชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ด้วยการฉายรังสีแกมมา (IMPROVEMENT OF POLYVINYL CHLORIDE ELECTRICAL WIRE INSULATION PROPERTIES BY GAMMA IRRADIATION) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ , 146 หน้า. ISBN 974-332-491-7

ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของฉนวนสายไฟฟ้าชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา โดยการทดสอบคุณสมบัติความต้านแรงดึง เปอร์เซนต์ความยืดที่จุดขาด และการหาปริมาณเจล ซึ่งใช้แทนปริมาณโครงสร้างโมเลกุลที่มีการเชื่อมโยงแบบร่างแห

การวิจัยนี้ใช้วัสดุพีวีซีผสมเสริมเกรดสำหรับทำฉนวนสายไฟฟ้า ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบและนำไปฉายรังสีแกมมาในช่วง 0 ถึง 200 กิโลเกรย์ ภายใต้สภาวะบรรยากาศ สูญญากาศ และสภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน การทดสอบโดยการหาค่าความต้านแรงดึงและความยืดก่อนและหลังเร่งอายุการใช้งานเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีและการหาปริมาณเจลเทียบกับปริมาณรังสี พบว่า ค่าความต้านแรงดึงและความยืดในสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณรังสีสูงขึ้นในสภาวะสูญญากาศและไนโตรเจนมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ภายหลังจากบ่มเร่งอายุใช้งานความต้านแรงดึงและความยืดของชิ้นงานฉายรังสีภายใต้สภาวะต่างๆ มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับค่าความต้านแรงดึงและความยืดก่อนบ่มเร่งอายุใช้งาน และพบว่าปริมาณเจลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณรังสีสูงขึ้น

ภาควิชา ..... นวัตกรรมเทคโนโลยี  
สาขาวิชา ..... นวัตกรรมเทคโนโลยี  
ปีการศึกษา ..... 2541

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

# # C818940 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY  
KEY WORD: GAMMA IRRADIATION / PVC

TAWEESAK KIRAWITTAYA : IMPROVEMENT OF POLYVINYL CHLORIDE ELECTRICAL WIRE  
INSULATION PROPERTIES BY GAMMA IRRADIATION. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF.  
CHYAGRIT SIRI-UPATHUM, 146 pp. ISBN 974-332-491-7

A study of physical properties of gamma irradiated polyvinyl chloride (PVC) formulated for electrical wire insulator was conducted by measuring tensile strength, elongation at break and gel content of the test specimens as a function of dose.

Irradiation was done at the radiation dose ranging from 0 – 200 kGy in air, nitrogen gas, and vacuum. Tensile strength and elongation of the irradiated specimens both before and after accelerated aging in the air were found to decrease, whereas after irradiation in nitrogen and vacuum, there were no observable change, Gel content of specimens irradiated in air, nitrogen gas, and vacuum found to increase slightly with increasing radiation dose especially if the irradiation were done in nitrogen and in vacuum.

ภาควิชา..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
สาขาวิชา..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
ปีการศึกษา..... 2541

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



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นของการวิจัยมาตลอดด้วยดี และ ขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องจักร และ เครื่องทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ วรณศิริ จักรบุตร, อาจารย์ ณรงค์ชัย ไชยเจริญ และ นายบรรจง ภูคะฮาด ที่ช่วยเหลือในการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึง ขอขอบคุณ คุณบุญฉวี ศรีหมอก และ เพื่อนร่วมรุ่นที่ทำให้กำลังใจและความช่วยเหลืองานวิจัย และเนื่องจากทุนการวิจัยในครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ความเมตตากรุณาเป็นกำลังใจและสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการศึกษาครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย .....	2
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
2. ทฤษฎี .....	4
2.1 โพลีไวนิลคลอไรด์ .....	4
2.1.1 กระบวนการผลิตโพลีไวนิลคลอไรด์ .....	4
2.1.2 คุณสมบัติของโพลีไวนิลคลอไรด์ .....	5
2.2 สารเติมแต่งสำหรับโพลีไวนิลคลอไรด์ .....	6
2.2.1 แอนติออกซิแดนต์และสเตบิไลเซอร์ .....	6
2.2.2 พลาสติไซเซอร์ .....	7
2.2.3 ฟิลเลอร์ .....	9
2.2.4 สารเติมแต่งอื่นๆ .....	9

บทที่	สารบัญ (ต่อ)	
	2.2.4.1 สารที่ให้สี .....	9
	2.2.4.2 สารที่ช่วยหน่วงเหนี่ยวการติดไฟ .....	10
	2.2.4.3 สารที่ช่วยหล่อลื่น .....	10
	2.3 การเสื่อมสภาพ .....	11
	2.3.1 การย่อยสลายโดยความร้อน .....	12
	2.3.2 การย่อยสลายโดยพลังงานกล .....	13
	2.3.3 การย่อยสลายโดยพลังงานจากรังสี .....	14
	2.3.4 การย่อยสลายจากการไฮโดรลิซิส .....	16
	2.3.5 การย่อยสลายจากการถูกออกซิไดซ์ .....	16
	2.4 โครงสร้างโมเลกุลของโพลีเมอร์ .....	17
	2.5 ส่วนประกอบพื้นฐานของฉนวนสายไฟฟ้า.....	18
	3.วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการวิจัย .....	19
	3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานและทดสอบ .....	19
	3.1.1 พีวีซีผสมเสริมชนิดเม็ด .....	19
	3.1.2 Di-2- ethylhexyl phthalate (DOP) และEthylene glycol (EG). .....	19
	3.1.3 Tetrahydrofuran และ Methyl ethyl ketone.....	19
	3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานทดสอบ .....	19
	3.2.1 เครื่องผสมความเร็วสูง .....	19
	3.2.2 เครื่องหลอมและผสมแบบสองลูกกลิ้ง .....	20
	3.2.3 เครื่องอัด .....	20
	3.2.4 แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป .....	21
	3.2.5 เครื่องตัดขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับการทดสอบค่าความต้านแรงดึง ..	21
	3.2.6 เครื่องตัดขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับการทดสอบหาค่าเจล .....	22
	3.2.7 ตู้อบสำหรับปมเร่งอายุชิ้นงานทดสอบ .....	22
	3.3 เครื่องมือวัด .....	22



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่		
	3.3.1 เครื่องมือทดสอบความต้านแรงดึงและความยืด.....	22
	3.3.2 ชุดอุปกรณ์สำหรับค่าเจล .....	23
	3.4 อุปกรณ์ในการฉายรังสีและต้นกำเนิดรังสีแกมมา .....	24
	3.5 กรรมวิธีการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง .....	25
	3.6 กรรมวิธีการฉายรังสี .....	26
	3.7 กรรมวิธีการทดสอบวัดหาค่าความต้านแรงดึงและความยืด.....	26
	3.8 กรรมวิธีการทดสอบหาค่าเจล.....	27
	3.9 การทดสอบการสูญเสียของมวล .....	27
	4.ผลการทดลอง .....	28
	4.1 ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด.....	28
	4.2 ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด.....	67
	4.2 ผลทดสอบหาปริมาณเจล .....	106
	4.3 ผลทดสอบการสูญเสียมวล .....	123
	5.สรุปวิจารณ์ผลและข้อเสนอแนะ .....	134
	5.1 สรุปและวิจารณ์ผล.....	134
	5.2 ข้อเสนอแนะ .....	136
	รายการอ้างอิง .....	137
	ภาคผนวก .....	138
	ภาคผนวก ก .....	138
	ประวัติผู้เขียน .....	146

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน .....	28
4.2	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน .....	28
4.3	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน .....	29
4.4	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 15 ส่วน .....	29
4.5	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + EG 5 ส่วน .....	30
4.6	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + EG 10 ส่วน .....	30
4.7	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + EG 15 ส่วน .....	31
4.8	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 5 ส่วน	31
4.9	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 10 ส่วน	32
4.10	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน DOP 10 ส่วน + EG 5 ส่วน .	32
4.11	ผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP10 ส่วน + EG 10 ส่วน	33
4.12	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน .....	67
4.13	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน .....	67
4.14	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน .....	68
4.15	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 15 ส่วน .....	68
4.16	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + EG 5 ส่วน .....	69
4.17	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + EG 10 ส่วน .....	69
4.18	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + EG 15 ส่วน .....	70
4.19	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 5 ส่วน .....	70
4.20	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 10 ส่วน .....	71
4.21	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน + EG 5 .....	71
4.22	ผลทดสอบความยืดที่จุดขาด พีวีซี 100 ส่วน + DOP10 ส่วน + EG 10 ส่วน .....	72
4.23	ผลทดสอบหาค่าเจล พีวีซี 100 ส่วน .....	106
4.24	ผลทดสอบหาค่าเจล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน .....	106

## สารบัญตาราง (ต่อ)

## ตารางที่

4.25	ผลทดสอบหาค่าเฉลี่ย พีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน.....	107
4.26	ผลทดสอบหาค่าเฉลี่ย พีวีซี 100 ส่วน + DOP 15 ส่วน .....	107
4.27	ผลทดสอบหาค่าเฉลี่ย พีวีซี 100 ส่วน + EG 5 ส่วน.....	108
4.28	ผลทดสอบหาค่าเฉลี่ย พีวีซี 100 ส่วน+ EG 10 ส่วน .....	108
4.29	ผลทดสอบหาค่าเฉลี่ย พีวีซี 100 ส่วน+ EG 15 ส่วน .....	109
4.30	ผลทดสอบหาค่าเฉลี่ย พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน+ EG 5 ส่วน.....	109
4.31	ผลทดสอบหาค่าเฉลี่ย พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน+ EG 10 ส่วน.....	110
4.32	ผลทดสอบหาค่าเฉลี่ย พีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน+ EG 5 ส่วน.....	110
4.33	ผลทดสอบหาค่าเฉลี่ย พีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน+ EG 10 ส่วน.....	111
4.34	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน .....	123
4.35	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน +DOP 5 ส่วน .....	124
4.36	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน+DOP 10 ส่วน .....	125
4.37	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน+DOP 15 ส่วน .....	126
4.38	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน+EG 5 ส่วน .....	127
4.39	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน + EG 10 ส่วน .....	128
4.40	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน + EG 15 ส่วน .....	129
4.41	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 5 ส่วน .....	130
4.42	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 10 ส่วน .....	131
4.43	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน + EG 5 ส่วน .....	132
4.44	ผลทดสอบการสูญเสียยวมวล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน + EG 10 ส่วน .....	133

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixing chamber) .....	20
3.2	เครื่องหลอมและผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) .....	20
3.3	เครื่องอัด (Compreesion machine) .....	21
3.4	แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป .....	21
3.5	ตู้อบสำหรับบ่มแรงอายุขึ้นงานทดสอบ .....	22
3.6	เครื่องมือทดสอบความต้านแรงดึงและความยืด .....	22
3.7	ไมโครมิเตอร์ .....	23
3.8	เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ .....	23
3.9	เครื่องฉายรังสีแกมมา 10 กิโลคูรี .....	24
3.10	ภาชนะบรรจุขึ้นงานเพื่อนำเข้าฉายรังสี .....	24
4.1	กราฟผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาดขึ้นงานพีวีซี 100 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	34
4.2	กราฟผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาดขึ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	35
4.3	กราฟผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาดขึ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	36
4.4	กราฟผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาดขึ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 15 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	37
4.5	กราฟผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาดขึ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + EG 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	38
4.6	กราฟผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาดขึ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + EG 10 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	39
4.7	กราฟผลทดสอบความต้านแรงดึงที่จุดขาดขึ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + EG 15 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	40





## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

4.34	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	73
4.35	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	74
4.36	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	75
4.37	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 15 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	76
4.38	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + EG 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	77
4.39	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + EG 10 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	78
4.40	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + EG 15 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	79
4.41	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	80
4.42	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 10 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	81
4.43	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน + EG 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	82
4.44	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP10 ส่วน + EG 10 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะบรรยากาศ .....	83
4.45	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	84
4.46	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	85

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่			
4.47	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	100 ส่วน + DOP 10 ส่วน	86
4.48	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	100 ส่วน + DOP 15 ส่วน	87
4.49	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	100 ส่วน + EG 5 ส่วน	88
4.50	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	100 ส่วน + EG 10 ส่วน	89
4.51	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	100 ส่วน + EG 15 ส่วน	90
4.52	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 5 ส่วน	91
4.53	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 10 ส่วน	92
4.54	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	100 ส่วน + DOP 10 ส่วน + EG 5 ส่วน	93
4.55	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 10 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะสุญญากาศ .....	100 ส่วน + DOP 10 ส่วน + EG 10 ส่วน	94
4.56	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	100 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะ	95
4.57	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	100 ส่วน + DOP 5 ส่วน	96
4.58	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ฉายรังสีภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	100 ส่วน + DOP 10 ส่วน	97
4.59	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี ฉายรังสีภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	100 ส่วน + DOP 15 ส่วน	98



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

4.60	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + EG 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	99
4.61	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + EG 10 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	100
4.62	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + EG 15 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	101
4.63	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	102
4.64	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 10 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	103
4.65	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน + EG 5 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	104
4.66	กราฟผลทดสอบความยืดที่จุดขาดชิ้นงานพีวีซี 100 ส่วน + DOP10 ส่วน + EG 10 ส่วน ฉายรังสีภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อยไนโตรเจน .....	105
4.67	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน .....	112
4.68	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน .....	113
4.69	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน .....	114
4.70	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 15 ส่วน .....	115
4.71	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน + EG 5 ส่วน .....	116
4.72	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน + EG 10 ส่วน .....	117
4.73	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน + EG 15 ส่วน .....	118
4.74	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 5 ส่วน .....	119
4.75	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 5 ส่วน + EG 10 ส่วน ...	120
4.76	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน + DOP 10 ส่วน + EG 5 ส่วน ....	121
4.77	กราฟผลทดสอบหาปริมาณเจล พีวีซี 100 ส่วน + DOP10 ส่วน + EG 10 ส่วน ....	122