

การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติ
พรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีโดยการควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสี



นายอนิรุทธิ์ ส่องศรี

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

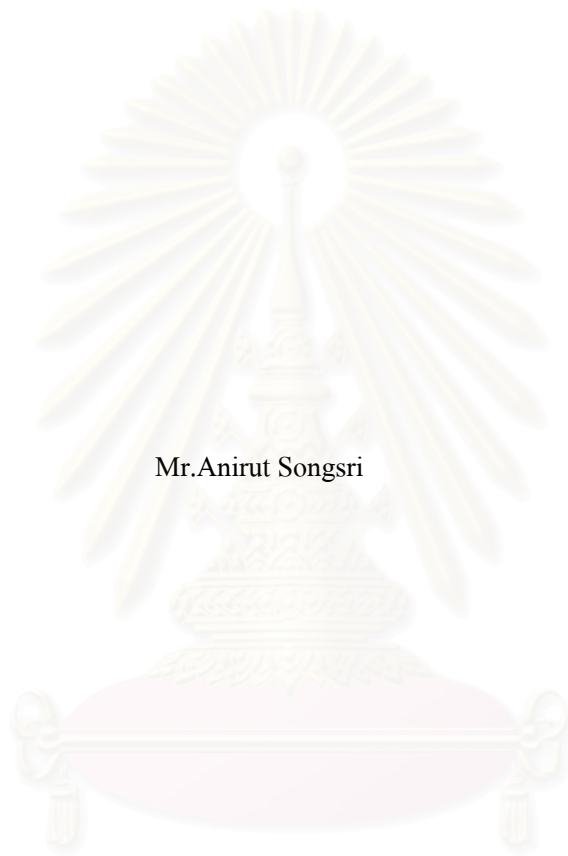
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MECHANICAL PROPERTIES IMPROVEMENT OF RADIATION PRE-VULCANIZED
NATURAL RUBBER LATEX FILMS
BY CONTROLLING OF IRRADIATION TEMPERATURE



Mr.Anirut Songsri

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

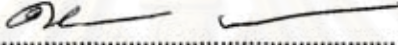
Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

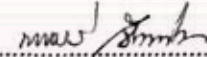
Academic Year 2006

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติ
พรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีโดยการควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสี
โดย นายอนิรุทธิ์ ส่งศรี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์

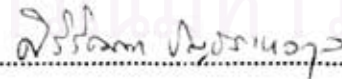
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

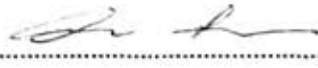

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ชีเรก ตาวันย์ศิริ)

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทนัสชาว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

อนิรุทธิ์ ส่องศรี : การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีโดยการควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสี (MECHANICAL PROPERTIES IMPROVEMENT OF RADIATION PRE-VULCANIZED NATURAL RUBBER LATEX FILMS BY CONTROLLING OF IRRADIATION TEMPERATURE อ. ที่ปรึกษา: รศ. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์, 98 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาและปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีโดยการควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีภายใต้เงื่อนไขของปริมาณรังสีแกมมา และอุณหภูมิขณะฉายรังสีรวมถึงการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ได้จากเงื่อนไขต่างๆ การควบคุมอุณหภูมิต่ำทดลองตั้งแต่ 5 องศาเซลเซียส ถึง 60 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณรังสีต่างๆ จาก 0-30 kGy พบว่าความหนืดของน้ำยางจะเพิ่มขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่อุณหภูมิสูง การบวมของฟิล์มยางในตัวทำละลายอินทรีย์อย่างหลังวัลคาไนซ์ในการฉายรังสีที่อุณหภูมิต่ำจะบวมน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงที่ปริมาณรังสีเดียวกัน ขณะที่คุณสมบัติความต้านแรงดึงจนขาดของยางหลังวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำจะสูงกว่าที่อุณหภูมิสูงที่ปริมาณรังสีเดียวกัน ดังนั้นการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางจากการวัลคาไนซ์ด้วยรังสีจึงสามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิขณะฉายรังสีน้ำยางชั้นกับสารไวปฏิกิริยา เช่น การฉายรังสีน้ำยางที่ 10 องศาเซลเซียส จะได้ฟิล์มยางที่มีความต้านแรงดึง 25.3 MPa ที่ปริมาณรังสีที่วัลคาไนซ์ 28 kGy เปรียบเทียบกับการฉายรังสีน้ำยางที่ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ค่าความต้านแรงดึงเพียง 15.1 MPa ที่ปริมาณรังสีที่วัลคาไนซ์ 19 kGy

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิเวศลิขรเทคโนโลยี

สาขาวิชา นิเวศลิขรเทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต นายอนิรุทธิ์ ส่องศรี
ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา.....

##4770524821 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD : MECHANICAL PROPERTIES / RADIATION PRE-VULCANIZED /
NATURAL RUBBER / NATURAL RUBBER

ANIRUT SONGSRI : MECHANICAL PROPERTIES IMPROVEMENT OF
RADIATION PRE-VULCANIZED NATURAL RUBBER LATEX FILMS BY
CONTROLLING OF IRRADIATION TEMPERATURE. THESIS ADVISOR: ASSOC.
PROF. CHYAGRIT SIRI-UPATHUM, 98 pp.

The objective of this research was to improve mechanical properties of radiation pre-vulcanized natural rubber latex films by controlling of irradiation temperature. The studies included the effects of radiation dose and irradiation temperature to mechanical properties of the rubber films. The irradiation temperature was varied from 5 °C to 60 °C. It was found that the viscosity of the latex increased as temperature increased. The swelling of the rubber films was smaller at lower irradiation temperature than that of at high temperature for the same radiation dose. The tensile strength at vulcanization dose of the radiation vulcanized natural rubber films from latex irradiated at low temperature was found to be higher than that of at high temperature. It is concluded that to increase mechanical properties of radiation vulcanized rubber films, the latex with sensitizer is to be irradiated at low temperature of 10 °C. The vulcanization dose, however has to be increased from 18 kGy for room temperature (32 °C) irradiation to 25 kGy

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Nuclear Technology
Field of study Nuclear Technology
Academic year 2006

Student's signature *Anirut Songsri*
Advisor's signature *Chyagrit Siri-Upathum*

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงพี่สาวและพี่ชายของข้าพเจ้าที่ต้องทนลำบากในการผลักดันให้ข้าพเจ้ามีความมานะพยายามเรียนจนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชยกริต ศิริอุถัมภ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ ที่ให้โอกาสเข้ามาทดลองเรียน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ เดโช ทองอร่าม ที่ให้คำแนะนำและให้ยืมเครื่องทำความเย็นและข้อแนะนำดีๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอบคุณ พี่บัญชา พี่บี พี่โจ เกลิมพงษ์ และเพื่อนๆ ในภาคที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอบพระคุณ คุณพลชิต บัวแก้ว คุณกุลทิวา วัฒนาวินวิทย์ คุณจิตติมา เพ็ชรพราว และคุณสายสุดา ทองแสง แห่งสถาบันวิจัยยาง ที่ช่วยเหลือทดสอบสมบัติเชิงกลโดยคิดราคาพิเศษ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัยครั้งนี้.....	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 รังสีแกมมา (gamma ray).....	3
2.2 หน่วยของรังสี (Radiation Units).....	4
2.2.1 กัมมันตภาพ (activity).....	4
2.2.2 เอกซ์โพเชอร์ (exposure).....	4
2.2.3 แอบซอร์บโดส (absorded dose).....	4
2.2.4 โดสอิกวิวาเลนต์ (dose equivalent).....	4
2.3 ปฏิกริยาเคมีของการฉายรังสีโพลีเมอร์.....	5
2.3.1 กลไกการเกิดปฏิกริยาเคมี.....	5
2.4 ปริมาณที่บ่งถึงผลของรังสีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโมเลกุลของสาร.....	6
2.5 การเกิดครอสลิงค์และการเสื่อมสลายของโพลีเมอร์โดยรังสี.....	6
2.6 น้ayangธรรมชาติ.....	8
2.6.1 การรักษาสภาพและการเสียสภาพของน้ำyang.....	8

2.6.2 สารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง (Presevatives).....	9
2.6.3 สารเคมีทำให้น้ำยางจับตัว (Coagulant).....	9
2.7 การวัลคาไนซ์น้ำธรรมชาติด้วยรังสี.....	10
2.7.1 การเกิดครอสลิงค์ในน้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี.....	10
2.8 การเติมสารไวปฏิกิริยา (sensitizer) เพื่อลด vulcanization dose.....	10
2.9 กลไกการเกิดวัลคาไนซ์ของน้ำยางธรรมชาติที่ใช้ monofunction monomer เป็นสารไวปฏิกิริยา.....	11
2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลขณะฉายรังสี.....	12
2.10.1 สารไวปฏิกิริยา.....	12
2.10.2 ปริมาณรังสีและอัตราการได้รับรังสี.....	12
2.10.3 การเลือกใช้น้ำยาง.....	12
2.10.4 ออกซิเจน.....	14
2.11 ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล.....	14
2.11.1 แหล่งที่มาของยาง.....	14
2.11.2 การบ่มน้ำยาง.....	14
2.12 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสมจะนำมาทำวัลคาไนซ์ด้วยรังสี.....	15
2.13 การเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากออกซิเจน (oxygen aging).....	15
2.14 การทดสอบคุณสมบัติฟิล์มยางจากการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติด้วยรังสี...	16
2.14.1 การทดสอบความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile strength) ตาม ASTM D412.....	16
2.14.2 การหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด (Elongation at break , E_b) ตาม ASTM D412.....	16
2.14.3 การทดสอบ Modulus ตามมาตรฐาน ASTM D412.....	17
2.14.4 การหา Swelling Ratio.....	17
2.14.5 Permanent set%.....	17
3. วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และการดำเนินการวิจัย.....	18
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20

4. ผลการวิจัย.....	22
4.1 ผลการทดลองคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางจากบริษัท แพนไบโอเทคโนโลยี จำกัด.....	22
4.1.1 ที่ 5 องศาเซลเซียส.....	22
4.1.2 ที่ 10 องศาเซลเซียส.....	26
4.1.3 ที่ 15 องศาเซลเซียส.....	30
4.1.4 ที่ 20 องศาเซลเซียส.....	34
4.1.5 ที่ 25 องศาเซลเซียส.....	38
4.1.6 ที่ 32 องศาเซลเซียส.....	42
4.1.7 ที่ 40 องศาเซลเซียส.....	46
4.1.8 ที่ 45 องศาเซลเซียส.....	50
4.1.9 ที่ 50 องศาเซลเซียส.....	54
4.1.10 ที่ 55 องศาเซลเซียส.....	58
4.1.11 ที่ 60 องศาเซลเซียส.....	62
4.2 ผลการทดลองคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางจากบริษัท ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด.....	66
4.2.1 ที่ 10 องศาเซลเซียส.....	66
4.2.2 ที่ 32 องศาเซลเซียส.....	70
4.2.3 ที่ 45 องศาเซลเซียส.....	74
4.2.4 ที่ 55 องศาเซลเซียส.....	78
4.3 เปรียบเทียบความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆของบริษัท แพนไบโอเทคโนโลยี จำกัด (ก) และ บริษัท ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด (ข).....	82
4.4 ผลการทดลองหา Vulcanization dose และค่าความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ.....	84
4.5 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ Vulcanization dose ทั้งก่อนและหลังบ่มเร่งเมื่อเดิมสารด้านการเชื่อมTNPP.....	88
4.6 ผลการทดลองหาค่า Permanent set และ Swelling Ratio ของฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางพริ้วลคาไนซ์ที่ให้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดก่อนและหลังบ่มเร่ง...	89

บทที่	หน้า
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	91
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	91
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	92
เอกสารอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก ก.....	96
ภาคผนวก ข.....	97
ประวัติผู้เขียน.....	98



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 Quality factor.....	5
2.2 แสดงผลของรังสีต่อโพลิเมอร์แต่ละชนิด.....	7
2.3 แสดงส่วนประกอบของน้ำยางสด.....	8
4.1 ตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางชั้นที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 5 องศาเซลเซียส.....	22
4.2 ตารางที่ 4.2 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 5 องศาเซลเซียส.....	23
4.3 ตารางที่ 4.3 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 5 องศาเซลเซียส	24
4.4 ตารางที่ 4.4 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	26
4.5 ตารางที่ 4.5 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	27
4.6 ตารางที่ 4.6 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	28
4.7 ตารางที่ 4.7 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 15 องศาเซลเซียส	30
4.8 ตารางที่ 4.8 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 15 องศาเซลเซียส.....	31
4.9 ตารางที่ 4.9 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 15 องศาเซลเซียส.....	32
4.10 ตารางที่ 4.10 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 20 องศาเซลเซียส.....	34
4.11 ตารางที่ 4.11 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 20 องศาเซลเซียส.....	35

ตารางที่	หน้า
4.39 ตารางที่ 4.39 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32 องศาเซลเซียส.....	72
4.40 ตารางที่ 4.40 แสดงค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส.....	74
4.41 ตารางที่ 4.41 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส.....	75
4.42 ตารางที่ 4.42 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส.....	76
4.43 ตารางที่ 4.43 แสดงค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส.....	78
4.44 ตารางที่ 4.44 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส.....	79
4.45 ตารางที่ 4.45 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส.....	80
4.46 ตารางที่ 4.46 ค่า Vulcanization dose และค่าความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ.....	84
4.47 ตารางที่ 4.47 ค่า Elongation at break ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆที่ Vulcanization dose.....	85
4.48 ตารางที่ 4.48 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆที่ Vulcanization dose.....	86
4.47 ตารางที่ 4.49 คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางก่อนและหลังบ่มแรง ฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	88
4.48 ตารางที่ 4.50 คุณสมบัติ Permanent set ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ.....	89
4.49 ตารางที่ 4.51 คุณสมบัติ Permanent set ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางก่อนและหลังบ่มแรง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	89
4.50 ตารางที่ 4.52 คุณสมบัติ Swelling Ratio ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ.....	90

ตารางที่	หน้า
4.50 ตารางที่ 4.53 คุณสมบัติ Swelling Ratio ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง ก่อนและหลังบ่มแรง ที่ 10 องศาเซลเซียส.....	90
5.1 แสดงมาตรฐานถุงมือผ่าตัดทางการแพทย์ตาม ASTM D 3577.....	91
5.2 แสดงผลการทดลองที่อุณหภูมิค่าประมาณ 10 องศาเซลเซียส.....	92



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

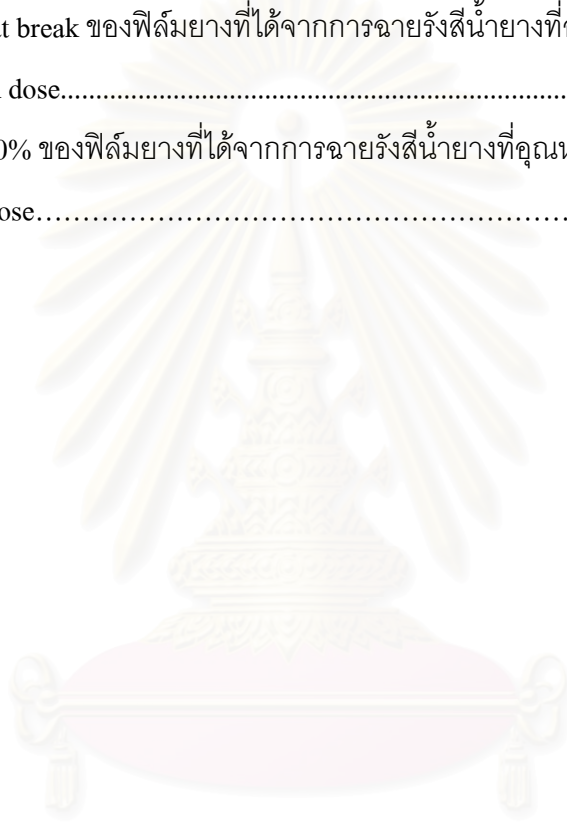
สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การสลายตัวของโคบอลต์-60.....	3
2.2 การเกิดอนุมูลอิสระของโมเลกุลน้ำทางธรรมชาติ.....	10
2.3 การเกิด radiolysis ของน้ำโดยรังสี.....	10
2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของน้ำยาง (RH) ที่มีน้ำอยู่ด้วยกับ monofunctional monomer (M) โดยรังสี.....	12
2.5 แผนภาพการเชื่อมโยงในสายโซ่ไอโซพรีน โดยรังสี.....	12
2.6 ผลของอัตราการได้รับรังสีต่อคุณสมบัติเชิงกล.....	13
2.7 ผลของการปั่นต่อคุณสมบัติเชิงกล.....	13
2.8 การเกิดตัดทอนสายโซ่ไอโซพรีนเมื่อฉายรังสี ในสถานะที่มีออกซิเจนอยู่ด้วย.....	14
2.9 ผลของการบ่มน้ำยางต่อคุณสมบัติเชิงกล.....	15
3.1 เครื่องฉายรังสีแกมมาโคบอลต์-60.....	18
3.2 ถังใส่น้ำยางขณะฉายรังสี.....	19
3.3 เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกล.....	19
4.1 ค่าค่าความต้านทานการดึงจนขาด ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางชั้นที่ ปริมาณรังสีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส.....	22
4.2 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 5 องศาเซลเซียส.....	23
4.3 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 5 องศาเซลเซียส.....	24
4.4 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 5 องศาเซลเซียส.....	25
4.5 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณ รังสีต่างๆที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	26
4.6 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสี ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	27

รูปที่	หน้า
4.36 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 50 องศาเซลเซียส.....	57
4.37 ค่าความต้านทานการดึงขนาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส.....	58
4.38 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสี ต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส.....	59
4.39 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส.....	60
4.40 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส.....	61
4.41 ค่าความต้านทานการดึงขนาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณ รังสีต่างๆ ที่ 60 องศาเซลเซียส.....	62
4.42 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 60 องศาเซลเซียส.....	63
4.43 ค่า Modulus 300%ขนาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 60 องศาเซลเซียส.....	64
4.44 ค่า Modulus 600%ขนาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 60 องศาเซลเซียส.....	65
4.45 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณ รังสีต่างๆที่ 10 องศาเซลเซียส.....	66
4.46 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 10 องศาเซลเซียส.....	67
4.47 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 10 องศาเซลเซียส.....	68
4.48 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 10 องศาเซลเซียส.....	69
4.49 แสดงค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32 องศาเซลเซียส.....	70

รูปที่	หน้า
4.50 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32 องศาเซลเซียส.....	71
4.51 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32 องศาเซลเซียส.....	72
4.52 รูปที่ 4.52 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32 องศาเซลเซียส.....	73
4.53 รูปที่ 5.53 แสดงค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส.....	74
4.54 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส.....	75
4.55 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส.....	76
4.56 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส.....	77
4.57 แสดงค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส.....	78
4.58 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส.....	79
4.59 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส.....	80
4.60 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส.....	81
4.61 ความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 10 องศาเซลเซียส ของบริษัทแพน ไบ โอเทค จำกัด (ก) กับ บริษัทไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด (ข).....	82
4.62 ความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 32 องศาเซลเซียส ของบริษัทแพน ไบ โอเทค จำกัด (ก) กับ บริษัทไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด (ข).....	82

4.63	ความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส ของบริษัทแพน ไบโอเทค จำกัด (ก) กับ บริษัทไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด (ข).....	83
4.64	ค่า Vulcanization dose และค่าความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ.....	84
4.65	ค่า Elongation at break ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ Vulcanization dose.....	85
4.66	ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ Vulcanization dose.....	86



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

การทำให้ยางคงรูปที่ใช้กันอยู่ในโรงอุตสาหกรรมสามารถทำได้ด้วยการใช้กำมะถัน (sulfur) หรือการใช้เปอร์ออกไซด์ (peroxide) แต่วิธีคงรูปดังกล่าวจะมีสารเคมีตกค้างเช่น ZDEC , ZnO , Sulfur ด้วยเหตุนี้ การวัลคาไนซ์ด้วยรังสีจึงเหมาะสำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับผิวหนังหรืออวัยวะคน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์อย่างไรก็ตามจากคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงจนขาด (Tensile Strength , T_b) ของฟิล์มยางจากการวัลคาไนซ์ด้วยรังสียังต่ำประมาณ 22 MPa ขณะที่การวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน > 30 MPa และการวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) 25 MPa จะเห็นว่าการวัลคาไนซ์ด้วยรังสียังไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความต้านทานแรงดึงจนขาด (T_b) สูงๆ เช่น ถุงมือผ่าตัดทางการแพทย์ต้องมีความต้านทานแรงดึงจนขาด (T_b) อย่างต่ำ 24 MPa (ASTM D – 3577)

ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิขณะวัลคาไนซ์ด้วยรังสีเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิขณะฉายรังสีต่อความต้านทานแรงดึงจนขาดของฟิล์มยางและเลือกใช้เงื่อนไขของอุณหภูมิที่ให้ค่า T_b สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสี โดยการควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 หาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับพรีวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติโดยการควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีตั้งแต่ 5 - 60 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากค่าความต้านทานการดึงจนขาด ค่า Modulus (Mod 300, 600%) ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด (Elongation at break, E_b)

1.3.2 นำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ให้คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ดีที่สุดจากเงื่อนไขในข้อ 1.3.1 มาเติมและไม่เติมสารต้านการเสื่อม (antioxidant) แล้วทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางก่อนและหลังการบ่มเร่ง (accelerated aging)

1.3.3 หาค่า Permanent set และหาค่า crosslink density หรือค่า swelling ของฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ให้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดก่อนและหลังบ่มเร่ง

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่อุณหภูมิตั้งแต่ 5 – 60 องศาเซลเซียสในช่วงปริมาณรังสี 0-30 kGy โดยใช้สารไวปฏิกิริยา คือ n-BA 5 phr และล้างด้วย 1% NH_3 16 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และอบที่ 70°C 1 ชั่วโมง

1.4.3 ทดสอบคุณสมบัติต่างๆของฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีภายหลังการควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสี ดังนี้

1.4.3.1 หา T_g , Mod, E_p ของน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีก่อนและหลังการบ่มเร่ง

1.4.3.2 หาค่า permanent set และค่า Crosslink density ของฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีก่อนและหลังการบ่มเร่ง (aging)

1.4.4 สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้

ได้เทคนิคการผลิตน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีโดยควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ฟิล์มยางที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นและใช้เป็นข้อมูลในอุตสาหกรรมการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงเช่น ถุงมือผ่าตัด สายยางในทางการแพทย์และจุนกมยาง เป็นต้น

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

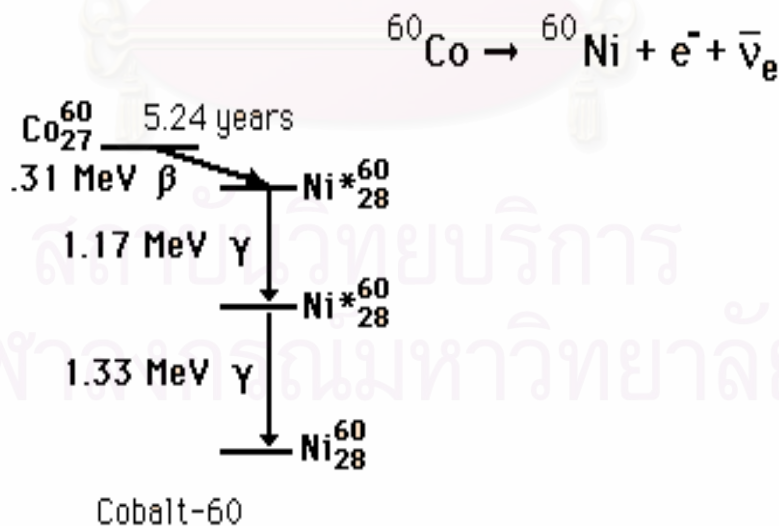
2.1 รังสีแกมมา (gamma ray) [3]

รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น ไม่มีประจุและไม่มีมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแสง มีอำนาจทะลุทะลวงสูง สามารถผ่านร่างกายมนุษย์ หรือวัตถุหนาๆ รังสีแกมมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการฆ่าเชื้อสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์และในอุตสาหกรรมถนอมอาหาร

รังสีแกมมาเกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสของอะตอมของธาตุที่เป็นไอโซโทปรังสี เช่น โคบอลต์-60 ซึ่งได้มาจากการนำโคบอลต์-59 ไปอบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่มีฟลักซ์สูงๆ



โคบอลต์-60 จะสลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1.17 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ และ 1.33 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ ดังนั้นพลังงานรวมเท่ากับ 2.50 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ โดยจะสลายตัวให้ นิกเกิล-60 ซึ่งอยู่ในสถานะเสถียรและมีค่าครึ่งชีวิต 5.272 ปี ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การสลายตัวของโคบอลต์-60

2.2 หน่วยของรังสี (Radiation Units) [2]

2.2.1 กัมมันตภาพ (activity) คือความแรงของสารกัมมันตรังสีมีหน่วยเป็น คูรี โดย 1 คูรี หมายถึง ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพ 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที

$$1 \text{ curie} = 3.7 \times 10^{10} \text{ disintegration per second (dps)}$$

สำหรับหน่วยสากล(SI unit) กำหนดเป็น เบ็กเกอร์เรล (Becquerel, Bq) โดยที่

$$1 \text{ becquerel} = 1 \text{ dps}$$

2.2.2 เอกซ์โพเชอร์ (exposure) คือการวัดประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนเมื่อรังสีผ่านไปในอากาศมีหน่วยเป็นเรินต์เกน (roentgen, R)

ปริมาณรังสี 1 เรินต์เกน หมายถึง ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศหนัก 0.001293 กรัม (1 cm^3) ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานแตกตัวเกิดเป็นประจุไฟฟ้า 1 electrostatic unit (esu) ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (0°C , 760 mm/Hg) โดย

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

สำหรับ SI unit ใช้ C/kg โดยที่

$$1 \text{ C/kg} = 3881 \text{ R}$$

2.2.3 แอบซอร์บโดส (absorbed dose) ปริมาณรังสีที่ตัวกลางใดๆดูดกลืนไว้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวกลางนั้น เมื่อรังสีผ่านเข้าไป ซึ่งอาจจะเขียนได้ว่า

$$1 \text{ rad} = \text{พลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืน } 100 \text{ erg / น้ำหนักของตัวกลาง (g)}$$

SI unit กำหนดให้ จูลต่อกิโลกรัม หรือเกรย์ (gray, Gy) เป็นหน่วยสำหรับแอบซอร์บโดส โดยที่

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

$$\text{หรือ } 1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

2.2.4 โดสอิควิวาเลนต์ (dose equivalent) แม้รังสีแต่ละชนิดถ่ายเทพลังงานให้กับตัวกลางเท่ากันก็ตาม หากตัวกลางเป็นเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตผลทางชีวภาพที่เกิดแตกต่างกัน เช่น fast neutrons 0.01 Gy ทำให้เกิดผลทางชีวภาพได้เท่ากับรังสีแกมมา 0.1 Gy ดังนั้นเพื่อเปรียบเทียบอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีแต่ละชนิดต้องนำค่า absorbed dose คูณกับ Quality Factor(Q) ของรังสีแต่ละชนิด ซึ่งค่า Quality Factor ของรังสีแต่ละชนิดดังตารางที่ 2.1 หน่วยของ dose equivalent คือ rem (radiation equivalent man) โดยกำหนดให้

$$\text{Dose equivalent (rem)} = \text{absorbed dose(rad)} \times \text{Q (quality factor)}$$

ในระบบ SI Unit หน่วยของ equivalent ใช้ว่า ซีเวิร์ต (sievert, Sv) โดย

$$H(\text{Sv}) = D(\text{Gy}) \times Q$$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

ตารางที่ 2.1 Quality factor [12]

Radiation	Q
gamma, x-rays	1
β -rays($E > 0.003$ MeV)	1
β -rays($E > 0.003$ MeV)	1.7
Neutron, proton, alpha	10
heavy recoil nuclei	20

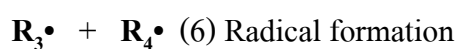
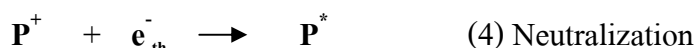
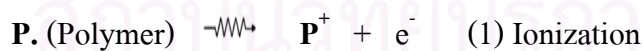
2.3 ปฏิกิริยาเคมีของการฉายรังสีโพลีเมอร์

2.3.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี

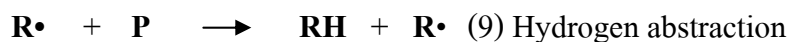
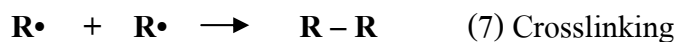
ขั้นตอนแรก การฉายรังสีโพลีเมอร์ทำให้เกิดคู่อิออน (สมการที่ 1) และโพลีเมอร์ที่ถูกกระตุ้น (สมการที่ 2) ปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นมาก ใช้เวลาน้อยกว่า 10^{-6} วินาที อิเล็กตรอน ไอออนและโพลีเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาต่อไป (สมการที่ 3 และ 4) โพลีเมอร์ที่ถูกกระตุ้นจะแตกออกเป็น 2 อนุมูลอิสระ (สมการที่ 5 และ 6) ปฏิกิริยาในสมการที่ 5 นำไปสู่การเสื่อมสภาพของโพลีเมอร์

ขั้นตอนที่สอง อนุภาคที่ว่องไวสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยากับอนุภาคด้วยกันเองหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของตัวกลางได้ เช่น ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลในสมการที่ 7 หรือเกิดการเสื่อมสภาพในสมการที่ 8 ถ้าตัวกลางในการฉายรังสีมีโมเลกุลที่ไม่อิมตัวที่สามารถจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไลเซชันได้ อนุมูลอิสระจะเข้าไปทำปฏิกิริยาตรงพันธะคู่ของโมเลกุลทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไลเซชันแบบต่อกิ่ง (Grafting) ขึ้นดังสมการที่ 12 และ 13

Primary Process



Secondary Process



2.4 ปริมาณที่บ่งถึงผลของรังสีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโมเลกุลของสาร

ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงในโมเลกุลของสารในสารใดโดยรังสีทำให้เกิดสารใหม่ เกิดอนุมูลอิสระ เกิด species ใดๆหรือการลดลงของสารเดิม การเกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุล การแตกของพันธะเคมีใดๆในวิชาเคมีรังสี (Radiation Chemistry) และกระบวนการทางรังสี (Radiation Processing) มักจะใช้ค่า G-value ซึ่งหมายถึงจำนวนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานรังสี 100 eV

2.5 การเกิดครอสลิงค์และการเสื่อมสลายของโพลิเมอร์โดยรังสี

การอธิบายเหตุผลที่เกิดครอสลิงค์และการเสื่อมสลายของโมเลกุลโพลิเมอร์ใช้หลักความเกะกะ (steric effect) ของโมเลกุลโพลิเมอร์ โพลิเมอร์ที่เกิดเสื่อมสลายจะมีความร้อนในการเกิดโพลิเมอร์ (heat of polymerization) ต่ำกว่าค่าที่ได้จากคำนวณที่ไม่คิดผลของความเกะกะนั้น นอกจากนี้สายโซ่มีหมู่เกะกะทำให้เกิด Franck-Rabinowitch cage effect กล่าวคือพวก active species จะไม่รวมตัวกันเองแต่จะทำให้สายโซ่ของโพลิเมอร์ในตัวเองขาดได้ง่ายขึ้น สำหรับโพลิเมอร์ที่เกิดการเสื่อมสลายโดยรังสีนี้ยังพบว่าเมื่อให้ความร้อนจะเกิดไพโรไลซิสเป็นโมโนเมอร์ได้ดีด้วย สำหรับโพลิเมอร์ที่ไม่มีหมู่ข้างๆสายโซ่เกะกะจะมีทำอิสระในการเคลื่อนที่ของสายโซ่ตามแนวแกนเมื่อเกิดอนุมูลอิสระขึ้นที่สายโซ่โดยรังสีจึงมีโอกาสทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่อีกสายโซ่หนึ่งที่อยู่ข้างเคียงได้ จึงเกิดการเชื่อมโยงของสายโพลิเมอร์ได้โดยง่าย การจำแนกชนิดของโพลิเมอร์ตามตารางที่ 2.2 ต้องคำนึงว่าการฉายรังสีต้องทำในบรรยากาศของแก๊สเฉื่อยเท่านั้นและอาจเปลี่ยนแปลงได้โดยเงื่อนไขต่างๆเช่น อุณหภูมิ ชนิดของแก๊สที่บรรจุอยู่และส่วนประกอบที่ผสมอยู่ในโพลิเมอร์โดยเฉพาะสารที่เติม (additive) เพื่อทดลองถึงผลกระทบในกรณีที่เป็นโพลิเมอร์ชนิดที่เสื่อมสลายหลายชนิดจะมีการเร่งการเสื่อมสลายในภาวะที่มีตัวเติมออกซิเจน

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของรังสีต่อโพลิเมอร์แต่ละชนิด

Group 1 Cross – linking Polymers	Group 2 Degrading Polymers
<p>Polyethylene</p> $\text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—}$ <p>Polypropylene</p> $\begin{array}{c} \text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—} \\ \qquad \qquad \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Polystyrene</p> $\begin{array}{c} \text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—} \\ \qquad \qquad \\ \text{C}_6\text{H}_5 \qquad \qquad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ <p>Polyacrylates</p> $\begin{array}{c} \text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—} \\ \qquad \qquad \\ \text{COOR} \qquad \qquad \text{COOR} \end{array}$ <p>Polyacrylamide</p> $\begin{array}{c} \text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—} \\ \qquad \qquad \\ \text{CONH}_2 \qquad \qquad \text{CONH}_2 \end{array}$ <p>Polyvinyl chloride</p> $\begin{array}{c} \text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—} \\ \qquad \qquad \\ \text{Cl} \qquad \qquad \text{Cl} \end{array}$ <p>Polyamide ; polyester;</p> <p>Polyvinyl alcohol ; Polyacroleine</p> <p>Natural rubber;Polysiloxanes</p>	<p>Polyisobutylene</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \\ \text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—} \\ \qquad \qquad \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Poly – methylstyrene</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \\ \text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—} \\ \qquad \qquad \\ \text{C}_6\text{H}_5 \qquad \qquad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ <p>Polymethacrylates</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \\ \text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—} \\ \qquad \qquad \\ \text{COOR} \qquad \qquad \text{COOR} \end{array}$ <p>Polymethacrylamide</p> $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \\ \text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—} \\ \qquad \qquad \\ \text{CONH}_2 \qquad \qquad \text{CONH}_2 \end{array}$ <p>Polyvinylidene chloride</p> $\begin{array}{c} \text{Cl} \qquad \qquad \text{Cl} \\ \qquad \qquad \\ \text{— CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{- CH}_2\text{—} \\ \qquad \qquad \\ \text{Cl} \qquad \qquad \text{Cl} \end{array}$ <p>Cellulose and derivatives</p> <p>Polytrifluorochloroethylene</p>

2.6 น้ำยางธรรมชาติ [1]

น้ำยางสดมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือมีสีครีมคล้ายนม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอยมีความหนาแน่น 0.975 – 0.980 กรัม/มิลลิเมตร มี pH ประมาณ 6.5 – 7 ความหนืดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับส่วนประกอบในน้ำยาง ฤดูกาลกรีดและพันธุ์ยาง ส่วนประกอบในน้ำยางมีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง การกรีด อายุต้นยาง และฤดูกาล ส่วนประกอบของน้ำยางดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของน้ำยางสด

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์(โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด(Total Solid Content, TSC)	27 - 48
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	25 - 45
สารพวกโปรตีน	1 - 1.5
เถ้า	1
น้ำตาล	1
น้ำ.....ในปริมาณที่รวมแล้วเป็น	100

ยางธรรมชาติ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีคาร์บอน 5 อะตอมและไฮโดรเจน 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรเคมีคือ C_5H_8 เรียกชื่อทางเคมีว่า โพลีไอโซพรีน (Polyisoprene) หนึ่งสายโซ่ประกอบด้วยไอโซพรีน 1,500-15,000 หน่วย

2.6.1 การรักษาสภาพและการเสียสภาพของน้ำยาง

ในทางเคมีน้ำยางจัดเป็นสารแขวนลอยที่มีส่วนของอนุภาคยาง (rubber particle) กระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่าเซรัม (serum) และเป็นที่ทราบกันดีว่าในน้ำยางมีส่วนของโปรตีน ส่วนโปรตีนนี้จะเคลือบอยู่รอบผิวของอนุภาคยางซึ่งมีความสำคัญเพราะชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางรวมตัวกัน นอกจากชั้นโปรตีนจะห่อหุ้มทำหน้าที่รักษาสถานภาพเป็นของเหลวให้น้ำยางแล้ว ในน้ำยางยังมีอนุภาคลบของคาร์บอกซีเลต (Carboxylate $RCOO^-$) ซึ่งก่อให้เกิดการผลัดกันระหว่างอนุภาคยาง ดังนั้นน้ำยางคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ด้วยปัจจัย 2 ประการ

1. ชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มยาง
2. อนุภาคคาบ็อกซีเลต

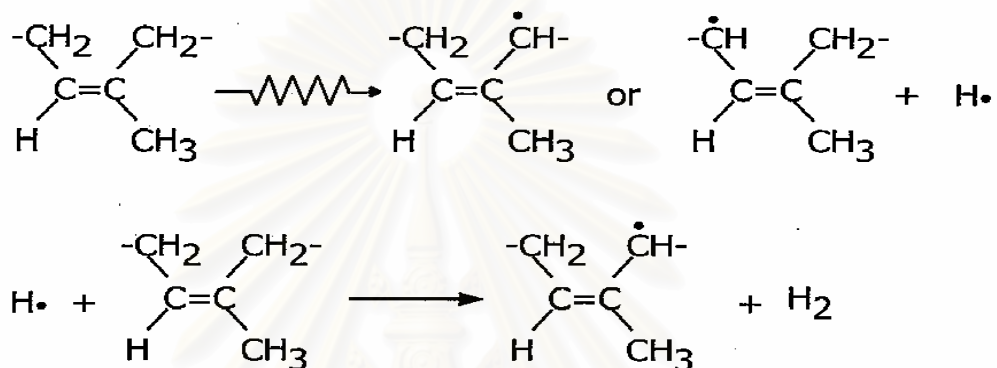
การเสียสภาพจากการเป็นของเหลวของน้ำยางเกิดจากปัจจัยสองประการดังกล่าว เช่น การสูญเสียน้ำ (dehydrate) ในชั้นของโปรตีน การทำลายอนุภาคลบของคาร์บอกซีเลตทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนของยางเรียกว่า โคแอกกูลัม (coagulum)

2.7 การวัลคาไนซ์น้ำธรรมชาติด้วยรังสี [3]

การวัลคาไนซ์น้ำธรรมชาติด้วยรังสีก็คือการทำน้ำอย่างพรีวัลคาไนซ์แต่ใช้รังสีแทนซัลเฟอร์ตามปกติ น้ำอย่างพรีวัลคาไนซ์ที่ได้จึงไม่มีสารเร่งเจือปน

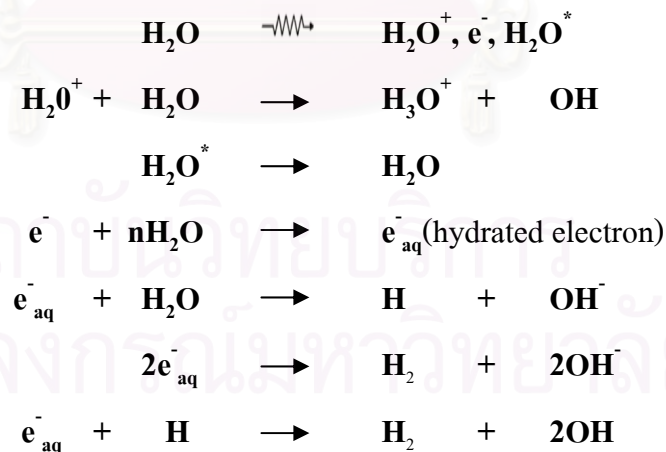
2.7.1 การเกิดครอสลิงค์ในน้ำอย่างธรรมชาติด้วยรังสี

โมเลกุลของน้ำอย่างธรรมชาติเป็นโพลิเมอร์ชนิดครอสลิงค์เมื่อฉายรังสี กล่าวคือมีค่า G-Value ของการเกิดครอสลิงค์มากกว่าการเสื่อมสลาย การเกิดเป็นอนุมูลอิสระของโพลิไอโซพรีนเป็นไปตามกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเกิดอนุมูลอิสระของโมเลกุลน้ำอย่างธรรมชาติ

ในการวัลคาไนซ์น้ำขุ่นเนื่องจากมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 40% และน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ $\text{OH}\cdot$, $\text{H}\cdot$ และ Hydrated electrons กลไกการเกิดปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.3



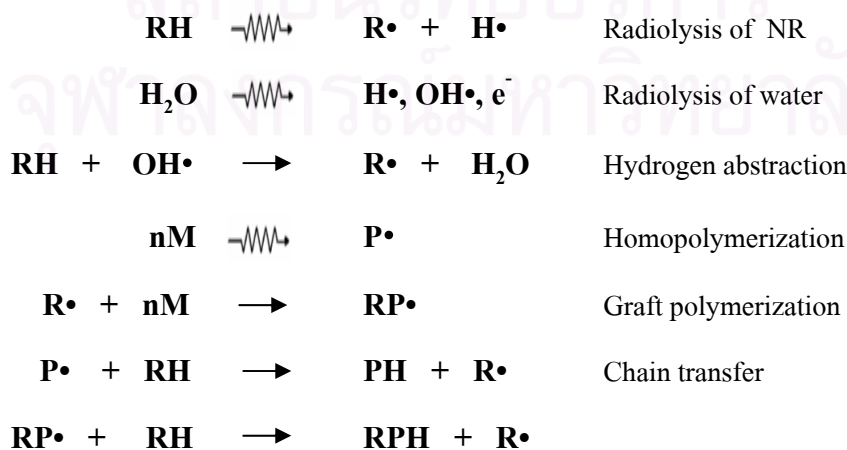
รูปที่ 2.3 การเกิด radiolysis ของน้ำโดยรังสี

2.8 การเติมสารไวปฏิกิริยา (sensitizer) เพื่อลด vulcanization dose [4]

การเติม monofunctional monomer เช่น n-butyl acrylate (n-BA) สามารถลดปริมาณ vulcanization dose ลงเหลือประมาณ 15 kGy การใช้ monofunctional monomer นี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อกิ่งขึ้นก่อน โดยมี monomer นั้นจับตัวกันเป็น homopolymer สั้นๆ เป็น pendant chain เมื่อต่อกิ่งกับ backbone polymer คือ polyisoprene แล้วจึงจับตัวกันเองเกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติขึ้น monofunctional monomer ที่เติมจึงเป็นเสมือน crosslinking agent และเป็นตัวเติมที่ทำให้ vulcanization dose ลดลง มีการศึกษาของกลไกการเกิดปฏิกิริยาของ n-BA โดยรังสี สรุปว่า n-BA ที่อยู่ในส่วนที่เป็นน้ำในน้ำยางข้นไม่มีส่วนในการเพิ่มประสิทธิภาพการวัลคาไนซ์น้ำยาง เฉพาะ n-BA ที่อยู่ในอนุภาคยางเท่านั้นที่เพิ่มประสิทธิภาพการวัลคาไนซ์น้ำยางและโดย hydrated electron เท่านั้นที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาครอสลิงค์ ปกติเติม n-BA ลง 5 phr ซึ่งจะลดจะได้ vulcanization ที่ประมาณ 15- 18 kGy ขึ้นกับแหล่งที่มาและพันธุ์ยาง ถ้าใช้ n-BA ปริมาณน้อยจะต้องเพิ่มปริมาณรังสี

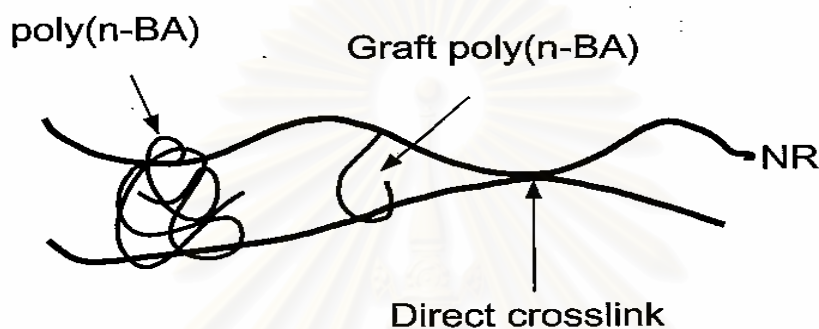
2.9 กลไกการเกิดวัลคาไนซ์ของน้ำยางธรรมชาติที่ใช้ monofunctional monomer เป็นสารไวปฏิกิริยา

เนื่องจากการพบว่าในปฏิกิริยาการเกิดครอสลิงค์ของ synthetic polyisoprene โดยรังสีที่มี monofunctional monomer อยู่ด้วย intermediate products ที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยาจะพบ component เดียวที่เป็นผลจากการรวมของ polyisoprene และ monomer อยู่ด้วยเสมอซึ่งแสดงว่ามีการเกิด chain transfer ของอนุมูลอิสระไปสู่ monomer ที่เติมลงด้วยซึ่งเป็นการต่อกิ่ง (grafting) ของสายโซ่ polyisoprene กับ monomer ก่อนและหลังจากนั้นจึงเกิดการเชื่อมโยงของ grafted products เป็นร่างแหสามมิติมีโครงสร้างของการเชื่อมโยงได้สามแบบ กลไกการเกิดปฏิกิริยาและแสดงดังรูปที่ 2.4 รูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพการเชื่อมโยงในสายโซ่โซ่ไอโซพรีนที่มี monofunctional monomer โดยรังสี





รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของน้ำยาง (RH) ที่มีน้ำอยู่ด้วยกับ monofunctional monomer (M) โดยรังสี



รูปที่ 2.5 แผนภาพการเชื่อมโยงในสายโซ่ไอโซพรีนโดยรังสี

2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลขณะฉายรังสี

2.10.1 สารไวปฏิกิริยา มีคุณสมบัติเพื่อลดปริมาณรังสีในการฉายรังสีเพราะการฉายรังสีน้ำยางอย่างเดียวต้องใช้ปริมาณรังสีสูงทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงดังนั้นสารไวปฏิกิริยาคควรมีคุณสมบัติดังนี้

2.9.1.1 ราคาไม่แพง

2.9.1.2 หาได้ง่ายตามท้องตลาด

2.9.1.3 สารที่ไม่เป็นพิษ

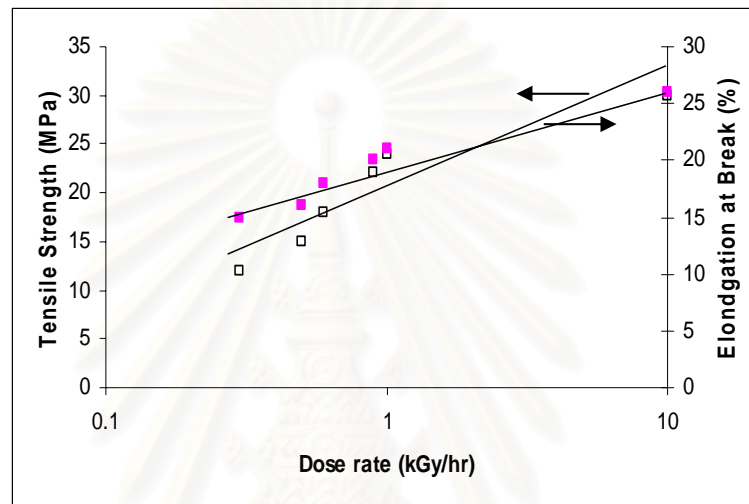
2.9.1.4 ใช้ปริมาณรังสีน้อย

2.9.1.5 ให้คุณสมบัติเชิงกลสูง

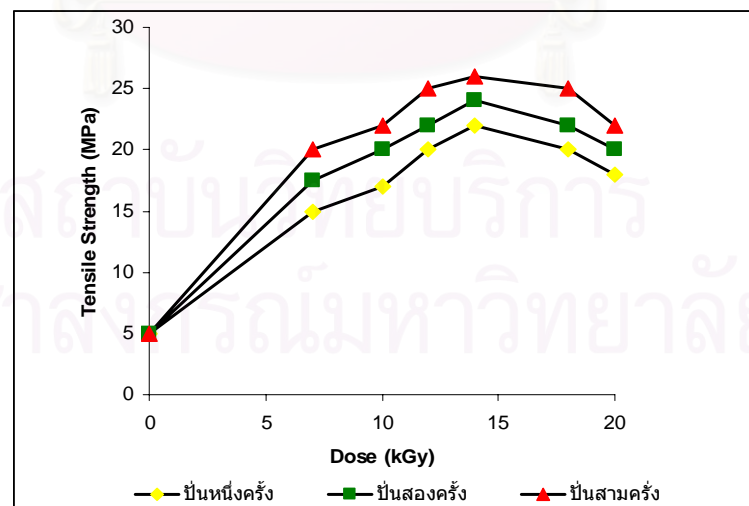
2.9.1.6 แยกออกได้ง่ายหลังฉายรังสี

2.10.2 ปริมาณรังสีและอัตราการได้รับรังสี คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับและยังขึ้นกับอัตราการได้รับรังสีโดยคุณสมบัติเชิงกลจะแปรผันตามอัตราการได้รับรังสีเนื่องจากความเข้มข้นของ n-BA ลดลงขณะฉายรังสีจากการถูกใช้ไปในการเกิดร่างแหสามมิติและส่วนหนึ่งละลายไปในน้ำ สามารถเขียนกราฟอัตราการได้รับรังสีกับคุณสมบัติเชิงกลดังแสดงในรูปที่ 2.6

2.10.3 การเลือกใช้น้ำยาง คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำยาง เนื่องจากการปั่นจะช่วยเอาส่วนที่ไม่ใช่อนุภาคยางออกไปโดยส่วนที่ไม่ใช่อนุภาคยางจะไปรบกวนการรวมตัวกันของอนุภาคยางทำให้ฟิล์มยางที่ได้มีคุณสมบัติเชิงกลต่ำ การปั่นน้ำยางควรปั่นเพียงครั้งเดียวเพราะโปรตีนมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางการปั่นหลายครั้งจะทำให้คุณสมบัติเชิงกลต่ำลงเนื่องจากโปรตีนถูกปั่นออกไปและทำให้อนุภาคของยางใหญ่ขึ้นเพราะไม่มีอะไรมาห่อหุ้มอนุภาคยาง ดังแสดงในรูปที่ 2.7



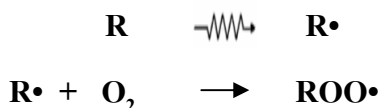
รูปที่ 2.6 ผลของอัตราการได้รับรังสีต่อคุณสมบัติเชิงกล [3]



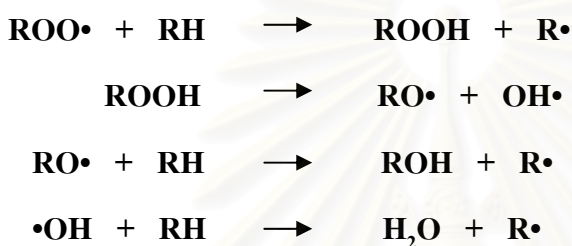
รูปที่ 2.7 ผลของการปั่นต่อคุณสมบัติเชิงกล [3]

2.10.4 ผลของออกซิเจน [9] การฉายรังสีน้ำยางในอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นเกิดเป็นอนุมูลอิสระเปอร์ออกซีทำให้เกิดการตัดทอน (Degradation) โมเลกุลของยาง กลไกการเกิดปฏิกิริยาตามรูปที่ 2.8

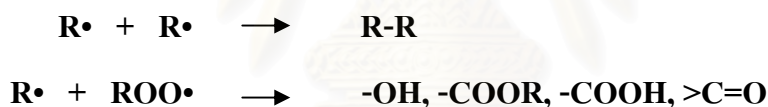
Initiation



Propagation



Termination

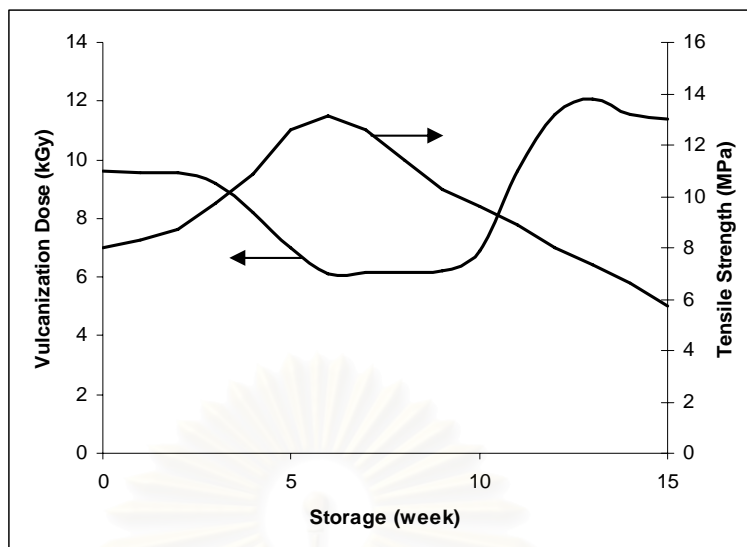


รูปที่ 2.8 การเกิดตัดทอนสายโซ่ไอโซพรีนเมื่อฉายรังสี ในสภาวะที่มี ออกซิเจนอยู่ด้วย

2.11 ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล

2.11.1 แหล่งที่มาของน้ำยาง น้ำยางสดที่ได้จากแหล่งต่างๆ จะมีอัตราส่วนขององค์ประกอบที่แตกต่างกัน จำนวนของแข็งทั้งหมด (%TSC) แตกต่างมีปริมาณแมกนีเซียมแตกต่างกันโดยปริมาณแมกนีเซียมทำให้เวลาความคงตัวของเครื่องกล (Mechanical stability time, MST) ต่ำลง เมื่อ MST ต่ำทำให้เกิดอนุภาคของยางรวมตัวกันทำให้เกิด Microfloculation ทำให้คุณสมบัติเชิงกลที่ได้ต่ำ

2.11.2 การบ่มน้ำยาง น้ำยางชั้นที่นำมาใช้ควรปล่อยให้สักระยะเพื่อให้คุณสมบัติ Green Strength สูงขึ้นและใช้ Vulcanization dose น้อย เนื่องจากเกิดการวัลคาไนซ์โดยแบคทีเรียและปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



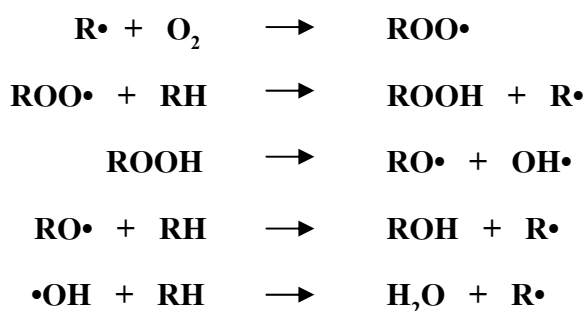
รูปที่ 2.9 ผลของการบ่มน้ำยางต่อคุณสมบัติเชิงกล [3]

2.12 น้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสมจะนำมาทำวัลคาไนซ์ด้วยรังสีมีสมบัติ ดังนี้ [3]

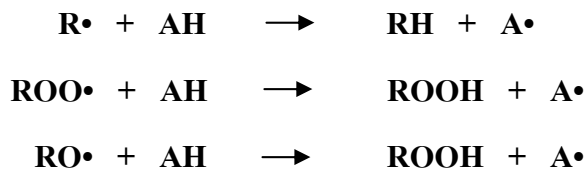
- 3.12.1 เป็นน้ำยางชั้นธรรมชาติชนิดที่มีแอมโมเนียสูง
- 3.12.2 ระยะเวลาการปล่อยให้ยางคงตัว (maturing period) อย่างน้อย 6 สัปดาห์
- 3.12.3 ความแข็งแรงของยางดิบ (green strength) อย่างน้อย 7 เมกะพาสคัล
- 3.12.4 เวลาคงความเสถียรต่อการปั่น (mechanical stability time) อย่างน้อย 800 วินาที
- 3.12.5 ปริมาณแมกนีเซียม (magnesium content) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
- 3.12.6 ค่ากรดไขมันระเหยได้ (VFA number) ไม่เกิน 0.02 %

2.13 การเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากออกซิเจน (oxygen aging) [8]

ยางคงรูปที่มีพันธะคู่หลงเหลืออยู่ในโมเลกุลสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ (เรียกปฏิกิริยาออกซิเดชัน) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกิดผ่านอนุมูลอิสระผลิตภัณฑ์ชนิดแรกที่เกิดในระหว่างการเกิดออกซิเดชัน คือ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) ซึ่งจะแตกตัวต่อไปให้อนุมูลอิสระที่พร้อมทำปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป ดังแสดงในสมการ



การหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ดังกล่าวสามารถทำได้โดยการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไป เพื่อจับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นหรือเพื่อให้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นแตกตัวต่อไปเป็นส่วนไม่เป็นอันตรายต่อการเสื่อมสภาพของยาง ดังแสดงในสมการ



อนุมูลมีนับเป็นปัจจัยที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากออกซิเดชันไม่เพียงเกิดขึ้นที่ผิวยางเท่านั้นยังเกิดขึ้นได้ทั่วทั้งก้อนยาง โดยทั่วไปการเสื่อมสภาพอาจทำให้ยางอ่อนลงเพราะโมเลกุลถูกตัดทอนหรืออาจทำให้ยางแข็งขึ้นเพราะเกิดการเชื่อมโยงมากขึ้น ตัวอย่างสารป้องกันการเสื่อมที่นิยมเลือกใช้ เช่น

- TNPP (tris(nonylated phenyl)phosphate)
- DAHD (2,5-di-tert-amylhydroquinone)

2.14 การทดสอบคุณสมบัติการวัดคาบในเชิงธรรมชาติด้วยรังสี [11]

2.14.1 การทดสอบความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile strength) ตาม ASTM D412

$$\text{Tensile strength } (T_b) = F \cdot 9.87 / A \quad \text{N/mm}^2 \text{ หรือ MPa}$$

โดยที่

F = แรงดึงสูงสุดเมื่อยืดจนขาด มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

A = พื้นที่ตัดขวางของแผ่นยางทดสอบ (mm²)

2.14.2 การหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่จุดขาด (Elongation at break, E_b) ตาม ASTM D412

$$\text{Elongation break}(E_b) = (L - L_0) / L_0$$

โดยที่

L = ความยาวของแผ่นยางทดสอบเมื่อถูกดึงจนขาด

L₀ = ความยาวของแผ่นยางก่อนทดสอบ

2.14.3 การทดสอบ Modulus ตามมาตรฐาน ASTM D412

$$\text{Modulus } (Mod_{600}) = (F(600\%) \cdot 100) / A$$

โดยที่

F = แรงดึงที่ความยาวเมื่อยืด 600%

A = พื้นที่ตัดขวางของแผ่นยางทดสอบ (mm²)

2.14.4 การหา Swelling Ratio

$$\text{Swelling Ratio (Q)} = 1 + (d_1/d_2)(W_1/W_2) - d_1/d_2$$

โดยที่

W_1 = น้ำหนักก่อนบวม

W_2 = น้ำหนักหลังบวม

d_1 = ความหนาแน่นของยาง

d_2 = ความหนาแน่นของตัวทำละลาย

2.14.5 Permanent set%

$$\text{Permanent set\% (PS)} = (L_f - L_i) / L_i$$

โดยที่

L_f = ความยาวหลังยืด 100% หนึ่งชั่วโมงโดยวัดหลังจาก
ปล่อยสามสิบนาที

L_i = ความยาวก่อนยืด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 น้ำยางชั้น DRC 60% จากบริษัท แพนไบโอเทคโนโลยี จำกัด และบริษัท ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด

3.1.2 สารไวปฏิกิริยา (sensitizer) คือ Normal butyl acrylate (n-BA) Technical Grade

3.1.3 สารรักษาความเสถียรของน้ำยาง (stabilizer) คือ Potassium hydroxide (KOH) AR Grade.

3.1.4 สารป้องกันการเสื่อม คือ TNPP (Tris nonylated phenyl phosphite)

3.1.5 สารเคมีอื่นๆ เช่น Ammonium hydroxide (NH₄OH) AR Grade

3.1.6 น้ำกลั่น

3.1.7 ตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อค่า swelling ratio

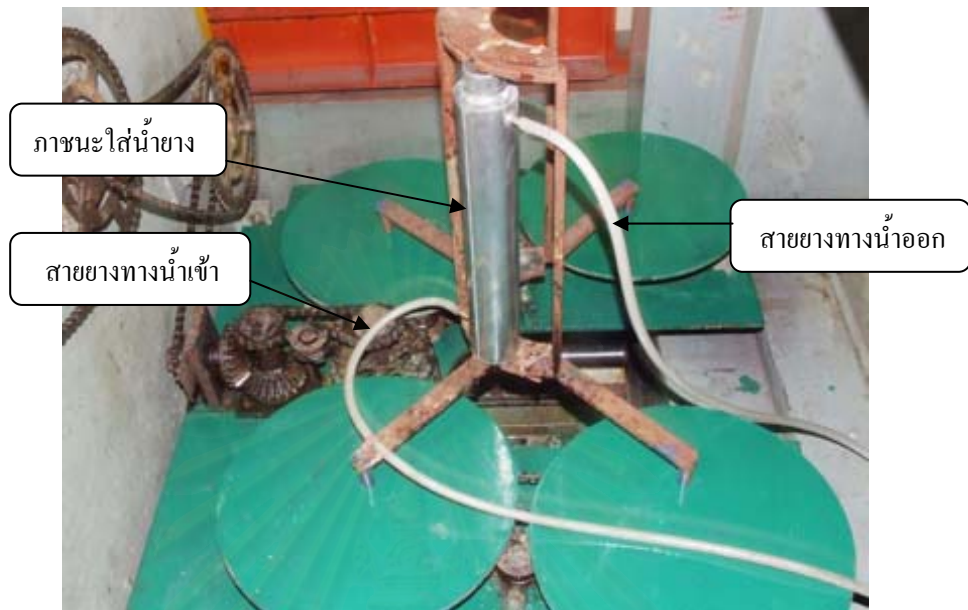
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 จากบริษัท Institute of Isotope ประเทศอังกฤษ รุ่น BSV-06 ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงดังรูปที่ 3.1 [5]



รูปที่ 3.1 เครื่องฉายรังสีแกมมาโคบอลต์-60

3.2.2 ภาพขณะใส่น้ำยางขณะฉายรังสี แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพขณะใส่น้ำยางในเครื่องฉายรังสี

3.2.3 เครื่องทดสอบแรงดึงของ LLOYD Instrument รุ่น LR 5k ของสถาบันวิจัยยาง แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine)

- 3.2.4 ปีกเกอร์ขนาดต่างๆ
- 3.2.5 ตะแกรงขนาด 200 เมช
- 3.2.6 เครื่องชั่ง
- 3.2.7 เครื่องบดบอลมิล (Ball Mill)
- 3.2.8 ป้อนน้ำขนาดเล็ก
- 3.2.9 เครื่องทำความเย็น
- 3.2.10 Water bath
- 3.2.11 คลิปหนีบ
- 3.2.12 แผ่นแก้วมีขอบขนาด 15 x15 cm
- 3.2.13 ตู้อบ
- 3.2.14 Magnetic Stirrer และ Magnetic Bar

3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมน้ำยางก่อนฉายรังสี

3.3.1.1 กรองน้ำยางชั้น 60% ด้วยตะแกรงขนาด 200 เมช ลงในปีกเกอร์ วางปีกเกอร์ บน magnetic stirrer

3.3.1.2 ใส่ magnetic bar กวนน้ำยางตลอดเวลา

3.3.1.3 เติมสารละลาย 1% NH_3 เพื่อเจือจางน้ำยางชั้นเป็น 50% DRC กวนน้ำยาง ประมาณ 15 นาที

3.3.1.4 เติมสารละลาย 1% KOH ให้ได้ความเข้มข้น KOH ในน้ำยางเป็น 0.2 phr กวน น้ำยางประมาณ 15 นาที

3.3.1.5 ค่อยๆเติมสารไวปฏิกิริยาปริมาณ 5 phr และกวนต่อประมาณหนึ่งชั่วโมง

3.3.2 การฉายรังสีน้ำยางจากบริษัท แพนไบโอเทคโนโลยี จำกัด และบริษัท ไทยรับเบอร์ เทคโนโลยี จำกัด ที่อุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 5 – 60 °C

3.3.2.1 บรรจุน้ำยางที่เตรียมลงในภาชนะแล้ว ฉายรังสีที่ 0, 8, 12, 15, 18, 21, 24, 28 และ 30 kGy

3.3.3 เตรียมแผ่นฟิล์มทดลอง

3.3.3.1 นำน้ำยางที่ฉายรังสีปริมาณต่างๆมาประมาณ 22 ml เติมน้ำกลั่นประมาณ 18 ml กวนด้วยแท่งแก้วให้เข้ากันแล้วเทผ่านตะแกรง 200 เมช ลงบนกระดาษที่มีขอบขนาด 15 X 15 cm ที่ปรับระดับให้อยู่ในแนวระนาบแล้ว

3.3.3.2 ทิ้งแผ่นฟิล์มไว้ให้แห้ง

3.3.3.3 นำฟิล์มที่ได้ไปล้างด้วยสารละลาย 1% NH_3 เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

3.3.3.4 นำแผ่นฟิล์มที่ล้างแล้วตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วอบที่อุณหภูมิ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในถุงสุญญากาศ

3.3.4 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ทดลองตามมาตรฐาน ASTM D3577

3.3.5 นำตัวอย่างที่ได้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีเพื่อทดลอง Aging Properties โดยการเติมสารป้องกันยางเสื่อม TNPP ปริมาณ 1 และ 2 phr แล้วแบ่งฟิล์มยางเป็นสองชุด ชุดแรกนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ชุดที่สองนำไปอบที่ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

3.3.6 ทดสอบคุณสมบัติ Permanent set ของฟิล์มยางที่ Vulcanization dose ของอุณหภูมิต่างๆ และที่ Aging Properties

3.3.7 หาค่า Swelling Ratio ของฟิล์มยางที่ได้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

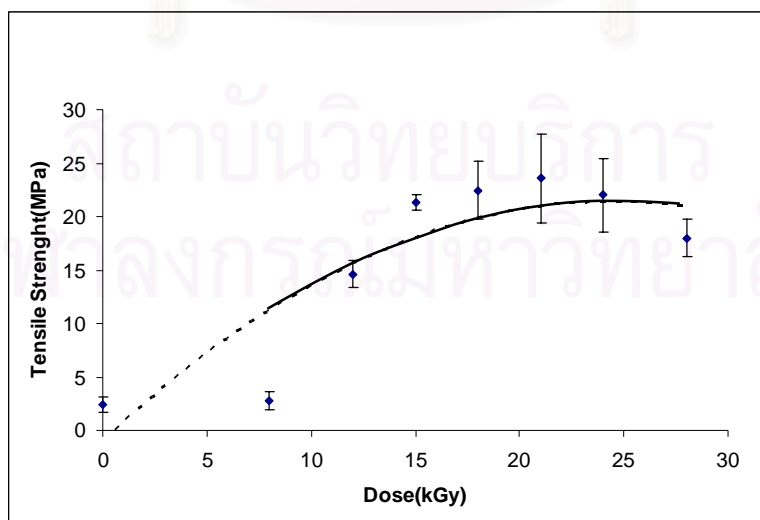
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ทำมาจากน้ำยางชั้นจากบริษัท แพนไปโอ เทคโนโลยี จำกัด วัลคาไนซ์ด้วยรังสี

4.1.1 ที่ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี น้ำยางชั้นที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 5 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	2.39 ± 0.69
8	2.77 ± 0.81
12	14.60 ± 1.26
15	21.34 ± 0.69
18	22.46 ± 2.68
21	23.56 ± 4.17
24	22.00 ± 3.39
28	17.97 ± 1.73

N = 9

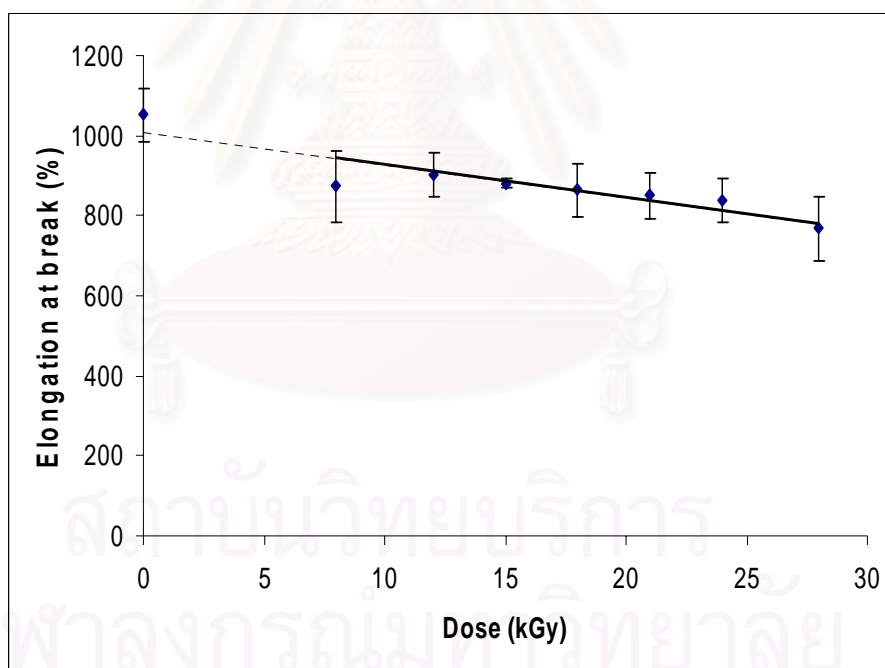


รูปที่ 4.1 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางชั้นที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 5 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Elongation at break (%)
0	1052 ± 67
8	873 ± 89
12	900 ± 55
15	880 ± 11
18	864 ± 66
21	850 ± 57
24	836 ± 55
28	768 ± 79

N = 9

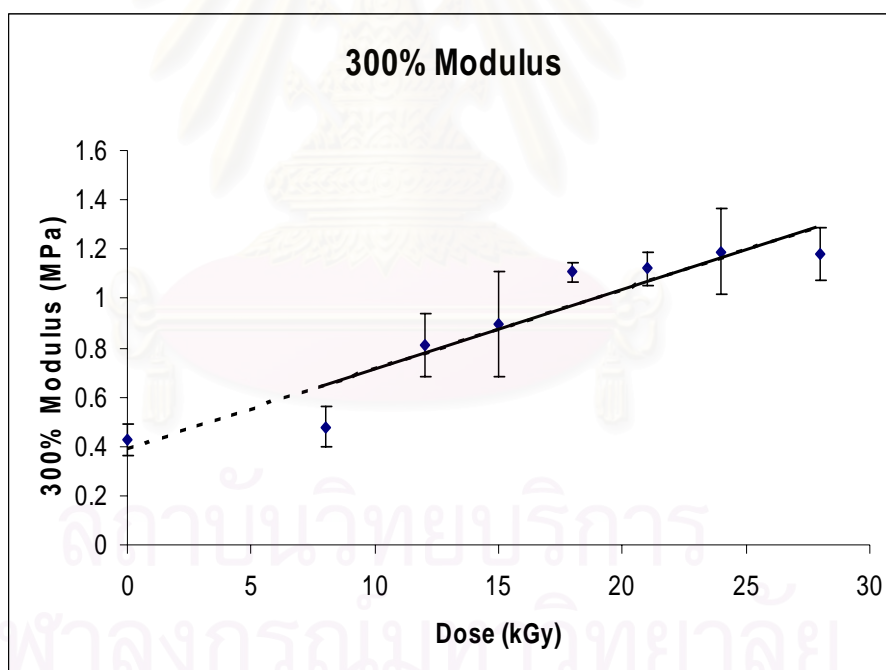


รูปที่ 4.2 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 5 องศาเซลเซียส

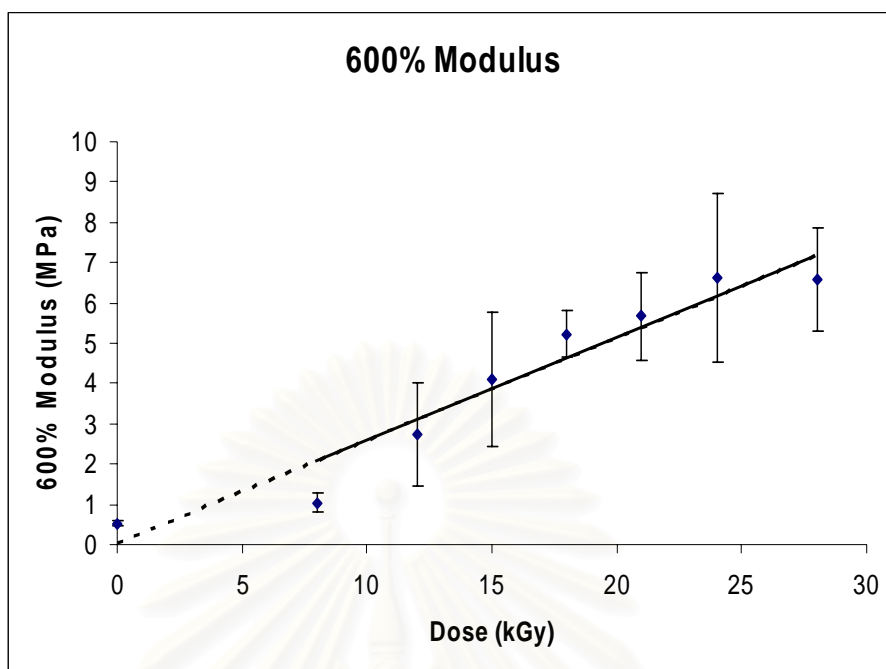
ตารางที่ 4.3 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 5 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.426 ± 0.063	0.527 ± 0.075
8	0.478 ± 0.081	1.035 ± 0.227
12	0.810 ± 0.130	2.739 ± 1.274
15	0.896 ± 0.213	4.100 ± 1.274
18	1.107 ± 0.040	5.232 ± 0.567
21	1.121 ± 0.068	5.671 ± 1.192
24	1.191 ± 0.175	6.622 ± 2.079
28	1.181 ± 0.107	6.565 ± 1.282

N = 9



รูปที่ 4.3 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
องศาเซลเซียส



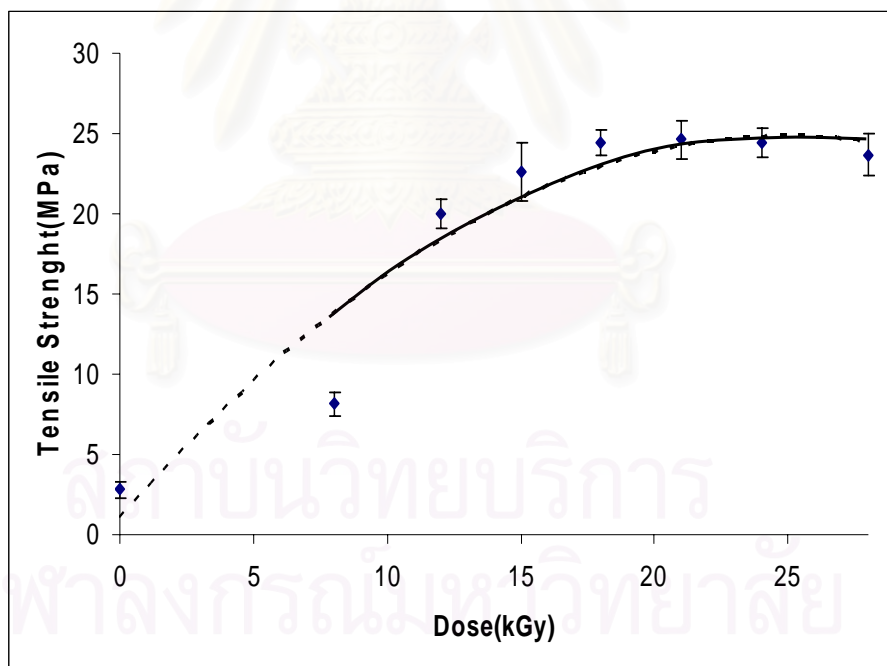
รูปที่ 4.4 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
องศาเซลเซียส

4.1.2 ที่ 10 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.4 ค่าความต้านทานการดึงขนาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี น้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่อุณหภูมิ 10 เซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength(MPa)
0	2.78 ± 0.46
8	8.14 ± 0.74
12	19.98 ± 0.91
15	22.58 ± 1.83
18	24.46 ± 0.82
21	24.65 ± 1.20
24	24.44 ± 0.86
28	23.67 ± 1.30

N = 9

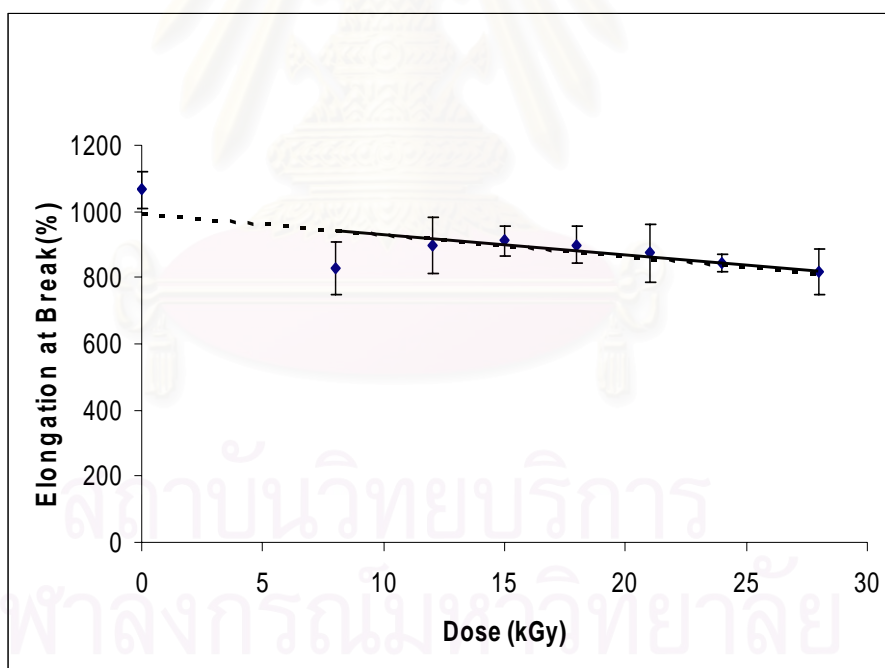


รูปที่ 4.5 ค่าความต้านทานการดึงขนาดของฟิล์มยางที่ได้จากฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่าง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.5 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	Elongation at break (%)
0	1064 ± 54
8	829 ± 79
12	897 ± 86
15	910 ± 47
18	898 ± 56
21	875 ± 87
24	842 ± 26
28	817 ± 69

N = 9

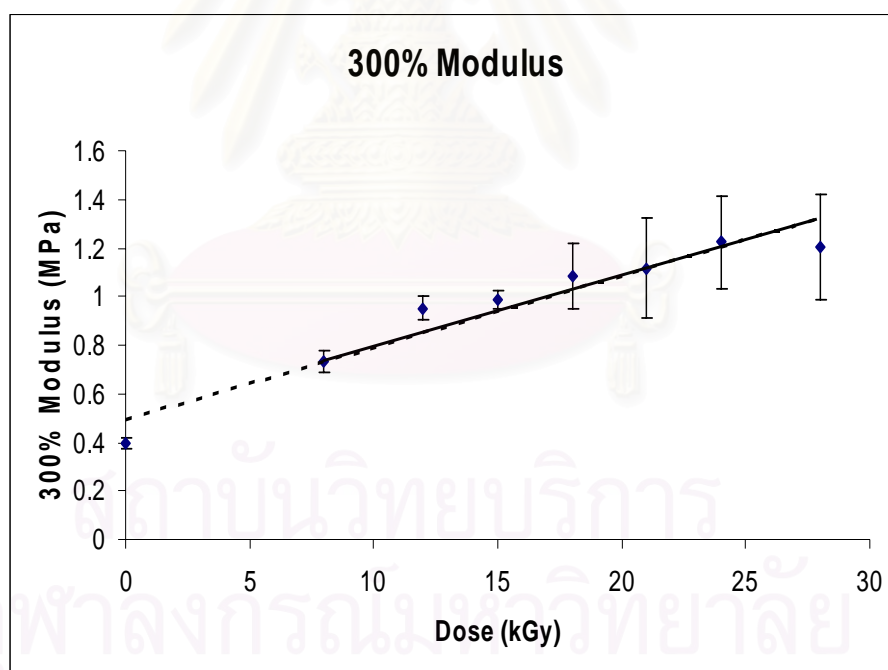


รูปที่ 4.6 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

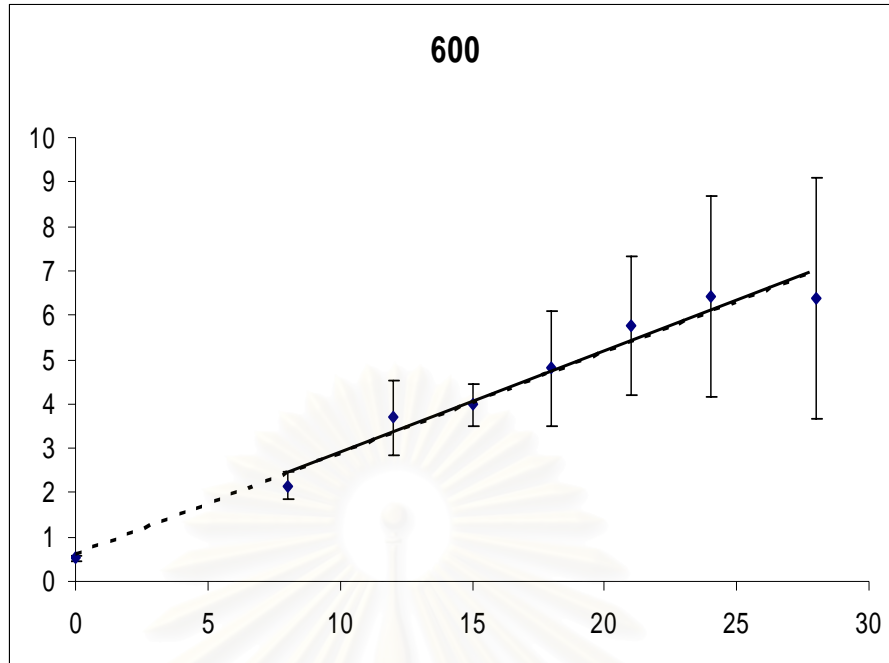
ตารางที่ 4.6 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.395 ± 0.020	0.518 ± 0.050
8	0.731 ± 0.042	2.151 ± 0.307
12	0.951 ± 0.049	3.686 ± 0.839
15	0.988 ± 0.039	3.985 ± 0.469
18	1.083 ± 0.132	4.794 ± 1.278
21	1.116 ± 0.205	5.766 ± 1.573
24	1.225 ± 0.190	6.417 ± 2.251
28	1.203 ± 0.215	6.377 ± 2.712

N = 9



รูปที่ 4.7 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

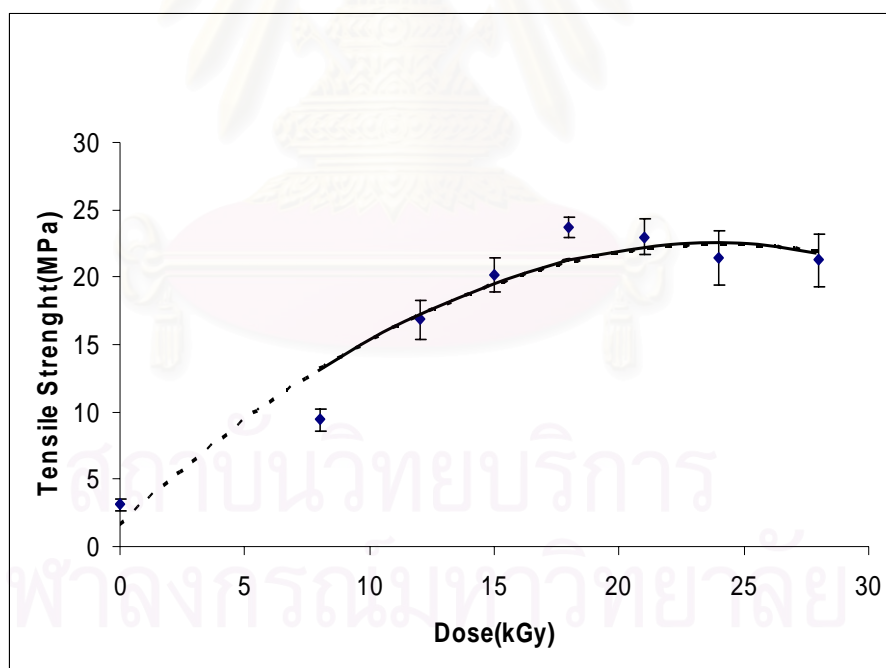
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ที่ 15 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.7 ค่าความต้านทานการดึงขนาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 15 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	3.11 ± 0.43
8	9.41 ± 0.78
12	16.86 ± 1.45
15	22.16 ± 1.27
18	22.70 ± 0.77
21	22.98 ± 1.36
24	21.41 ± 2.00
28	21.24 ± 1.92

N=9

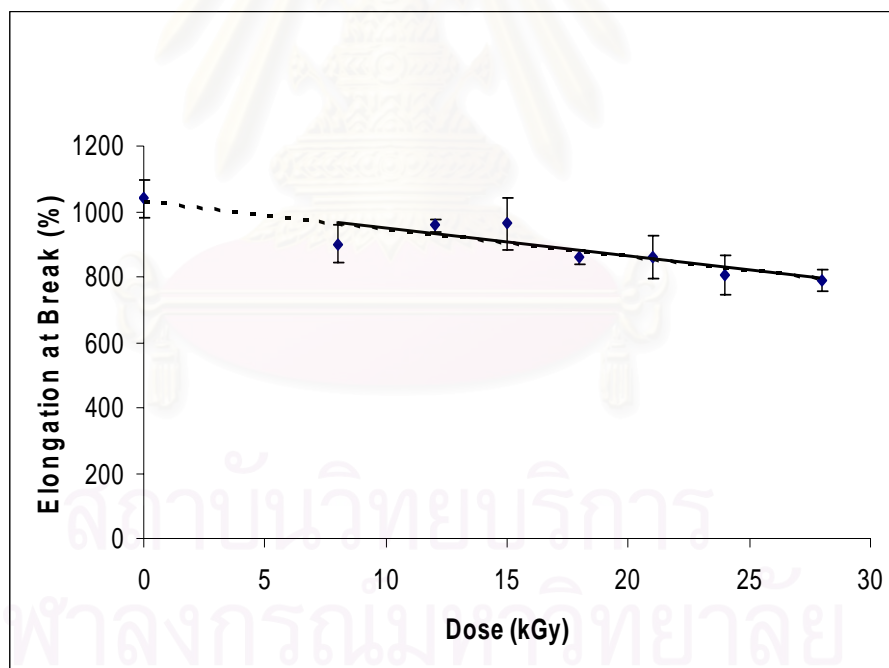


รูปที่ 4.9 ค่าความต้านทานการดึงขนาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 15 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.8 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 15 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	Elongation at break (%)
0	1038 ± 59
8	900 ± 57
12	956 ± 21
15	962 ± 79
18	860 ± 23
21	862 ± 65
24	806 ± 58
28	790 ± 31

N = 9

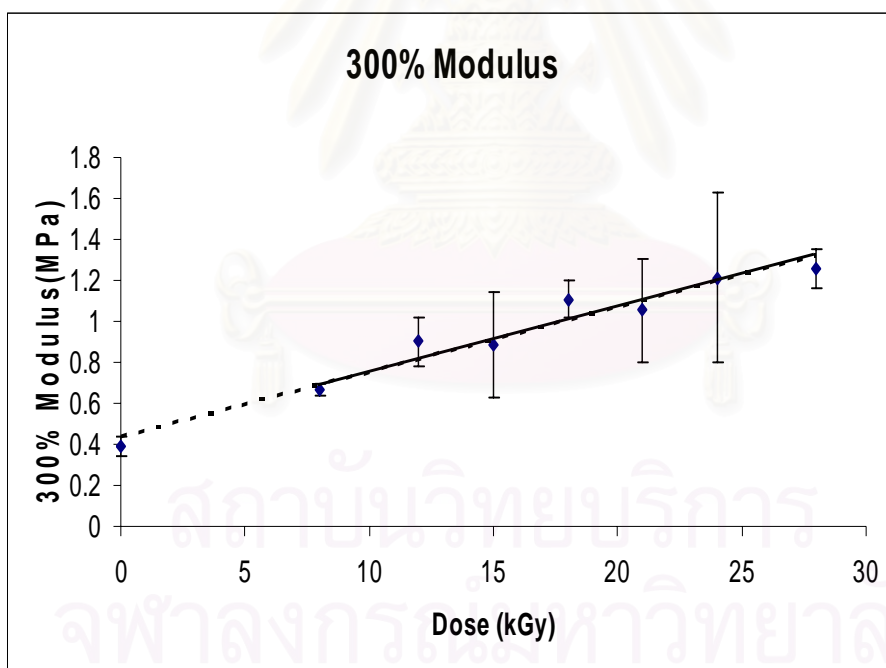


รูปที่ 4.10 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 15 องศาเซลเซียส

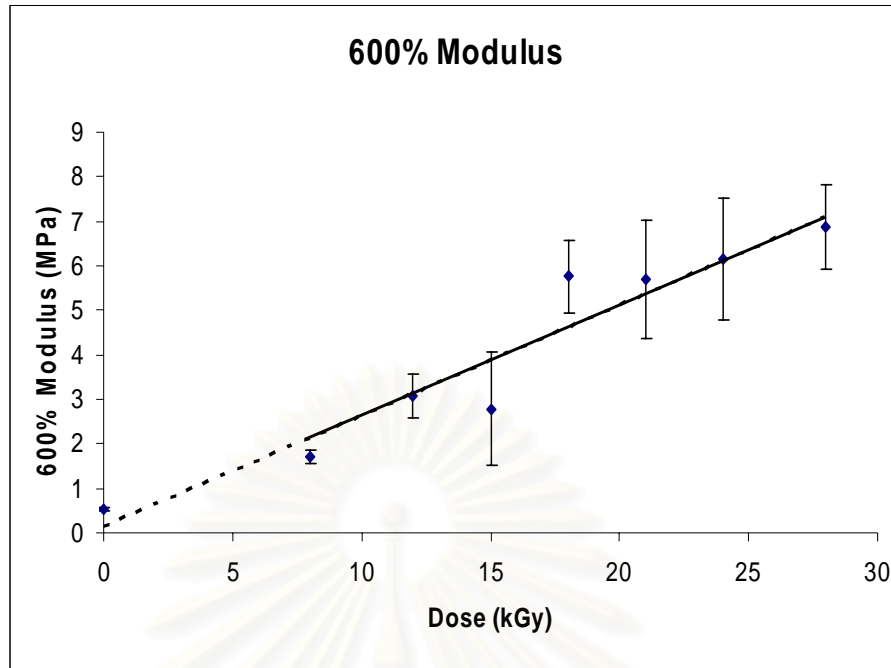
ตารางที่ 4.9 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 15 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.388 ± 0.047	0.540 ± 0.043
8	0.669 ± 0.028	1.700 ± 0.154
12	0.901 ± 0.117	3.071 ± 0.506
15	0.883 ± 0.258	2.780 ± 1.266
18	1.106 ± 0.090	5.760 ± 0.827
21	1.053 ± 0.250	5.697 ± 1.329
24	1.212 ± 0.415	6.150 ± 1.374
28	1.255 ± 0.094	6.862 ± 0.943

N = 9



รูปที่ 4.11 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
15 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 15 องศาเซลเซียส

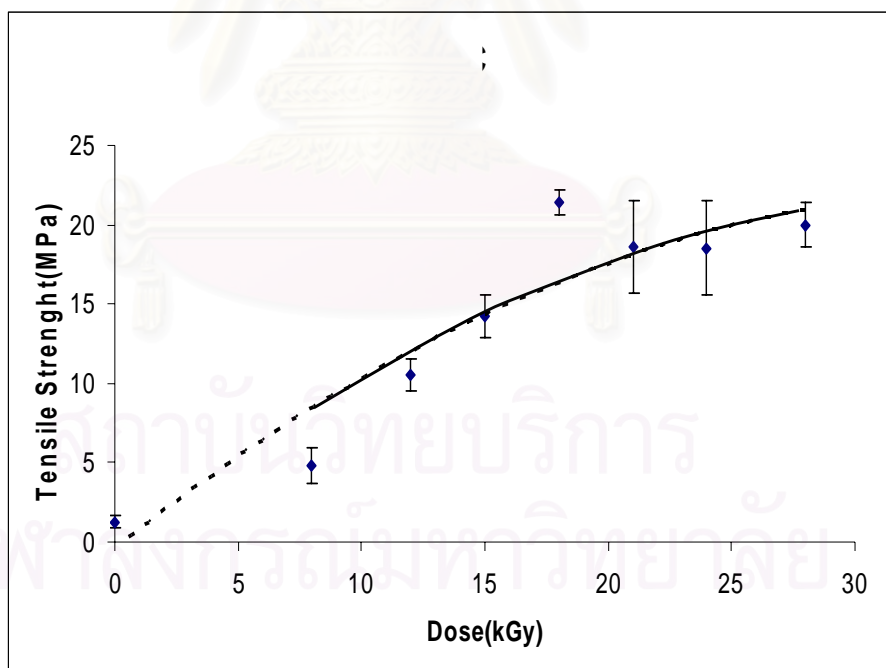
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 ที่ 20 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.10 ค่าความต้านทานการดึงขนาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี น้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 20 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	1.28 ± 0.34
8	10.51 ± 1.09
12	10.51 ± 1.98
15	14.27 ± 1.36
18	21.40 ± 2.91
21	18.61 ± 2.91
24	18.51 ± 2.98
28	20.00 ± 1.36

N = 9

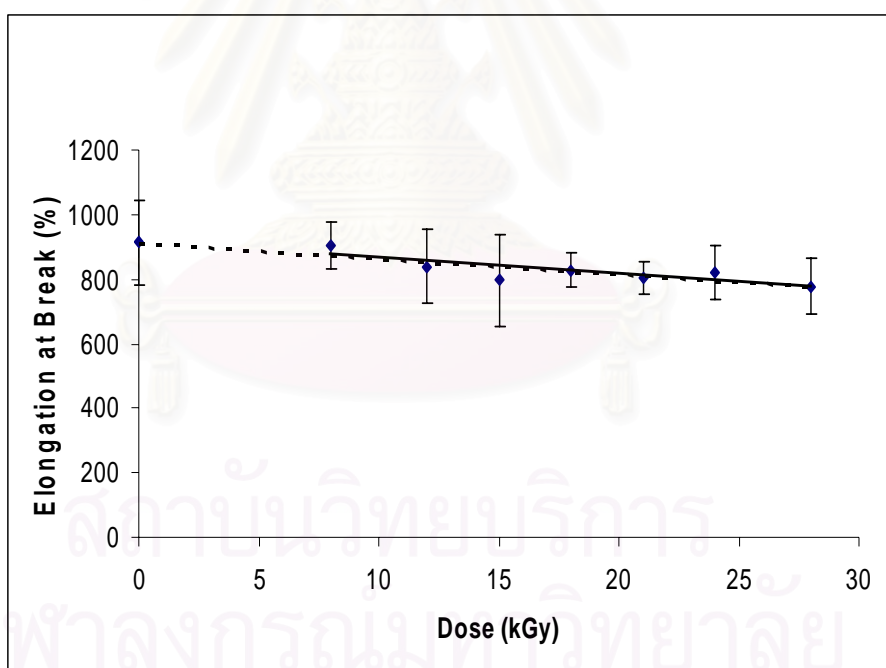


รูปที่ 4.13 ค่าความต้านทานการดึงขนาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 20 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.11 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 20 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	Elongation at break (%)
0	914 ± 131
8	904 ± 73
12	838 ± 113
15	796 ± 141
18	828 ± 52
21	804 ± 51
24	821 ± 82
28	777 ± 87

N = 9

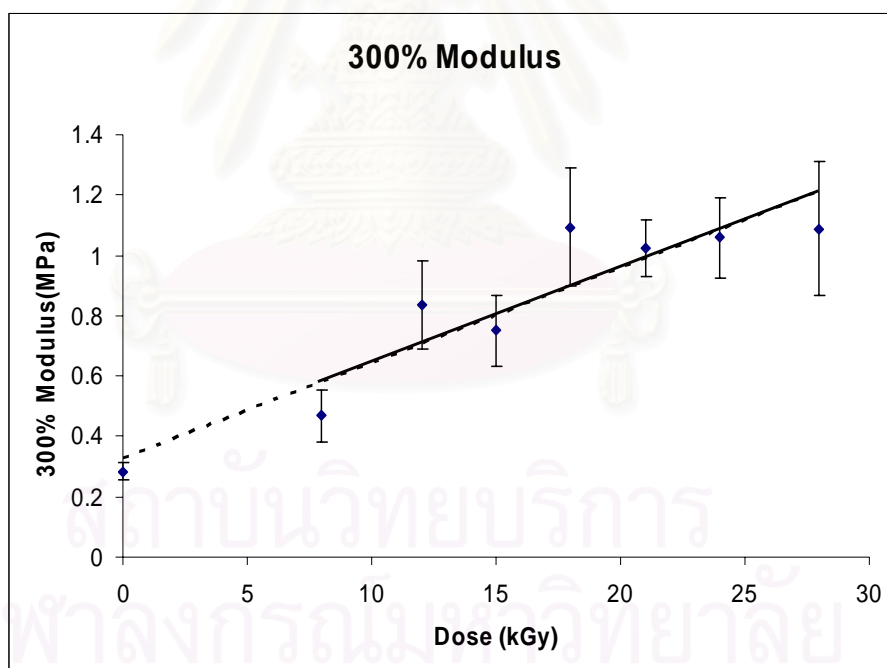


ตารางที่ 4.14 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่
20 องศาเซลเซียส

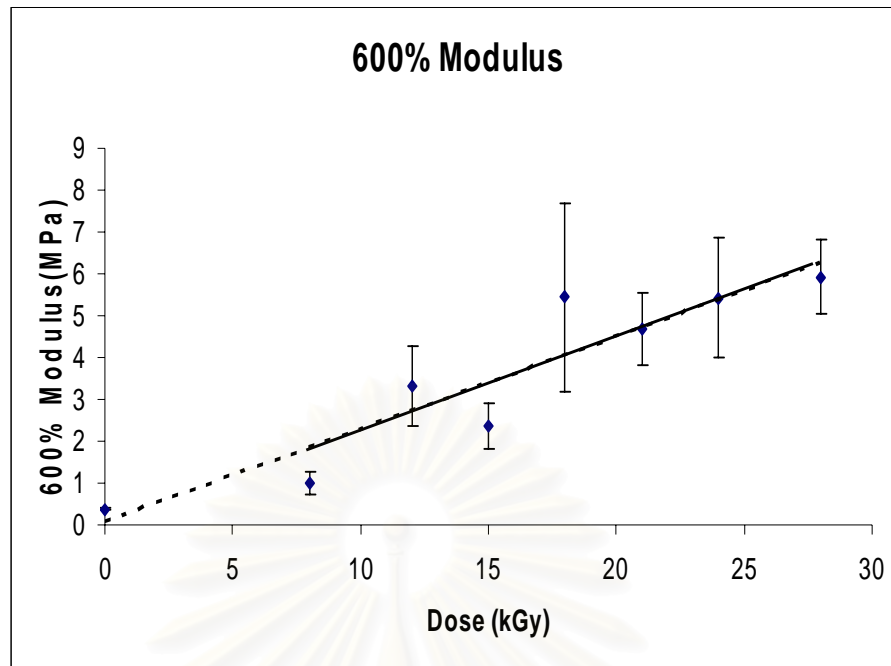
ตารางที่ 4.12 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 20 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.283 ± 0.029	0.373 ± 0.028
8	0.468 ± 0.085	1.014 ± 0.278
12	0.833 ± 0.146	3.319 ± 0.959
15	0.751 ± 0.117	2.376 ± 0.543
18	1.094 ± 0.197	5.442 ± 2.254
21	1.025 ± 0.093	4.675 ± 0.878
24	1.058 ± 0.132	5.425 ± 1.438
28	1.089 ± 0.224	5.919 ± 0.881

N = 9



รูปที่ 4.15 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 20
องศาเซลเซียส



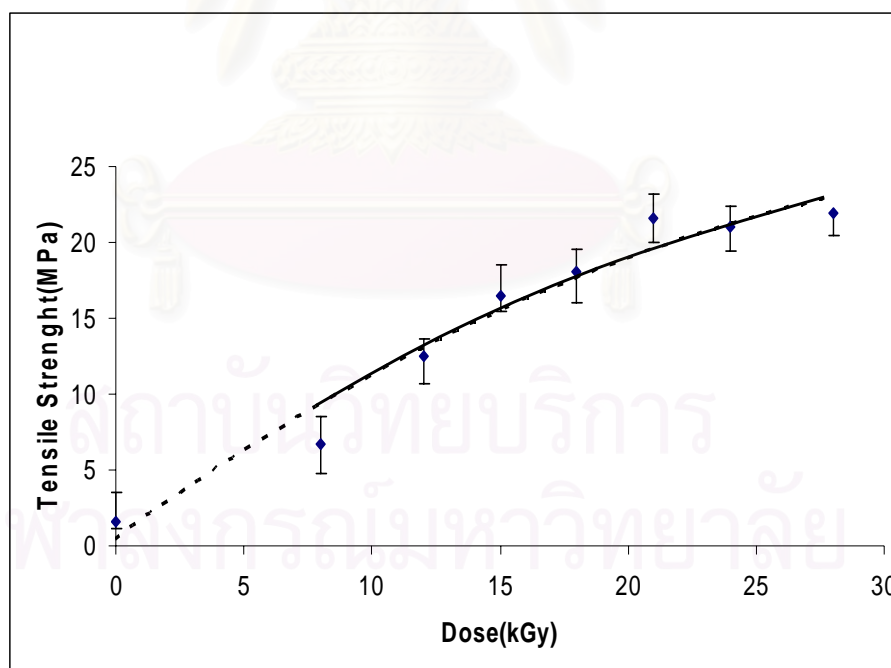
รูปที่ 4.16 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 20 องศาเซลเซียส

4.1.5 ที่ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.13 ค่าความต้านทานการดึงขนาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี
น้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 25 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	1.64 ± 0.46
8	6.70 ± 1.90
12	12.55 ± 1.82
15	16.51 ± 1.03
18	18.03 ± 1.99
21	21.60 ± 1.56
24	20.98 ± 1.59
28	21.96 ± 1.45

N = 9

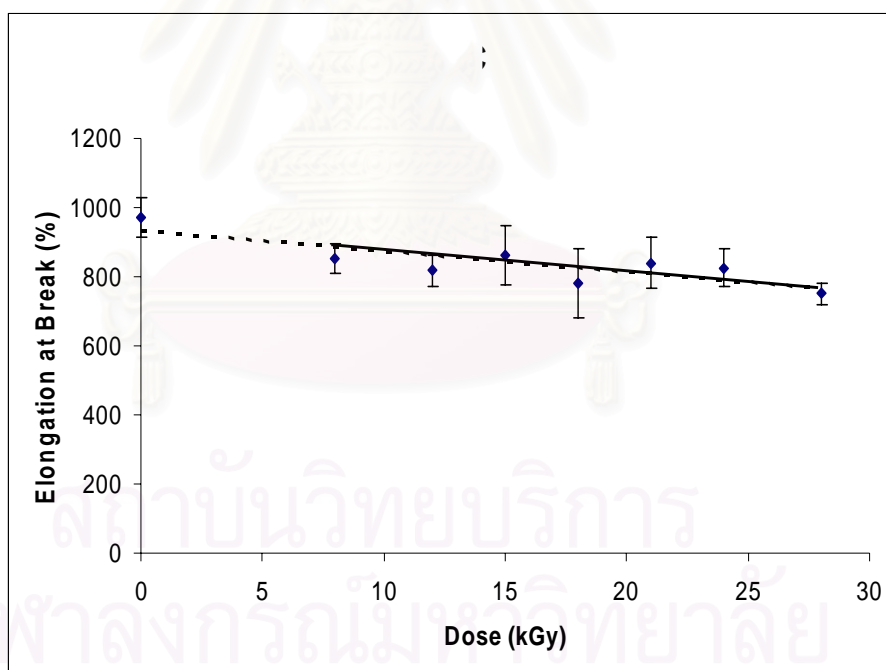


รูปที่ 4.17 ค่าความต้านทานการดึงขนาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสี
ต่างๆ ที่ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.14 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 25 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	Elongation at break (%)
0	971 ± 56
8	852 ± 41
12	817 ± 45
15	863 ± 86
18	781 ± 100
21	840 ± 75
24	826 ± 56
28	752 ± 30

N = 9

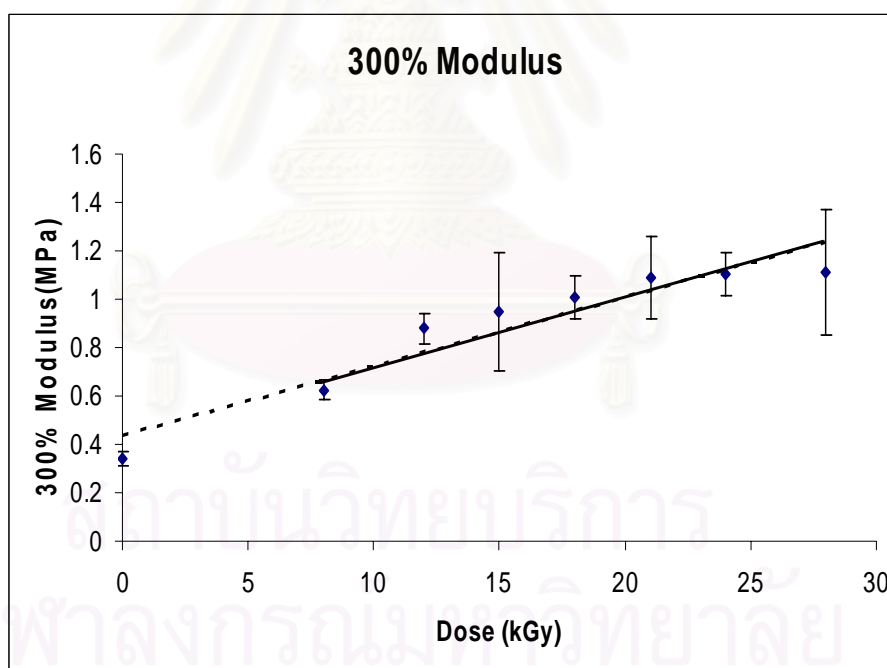


รูปที่ 4.18 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 25
องศาเซลเซียส

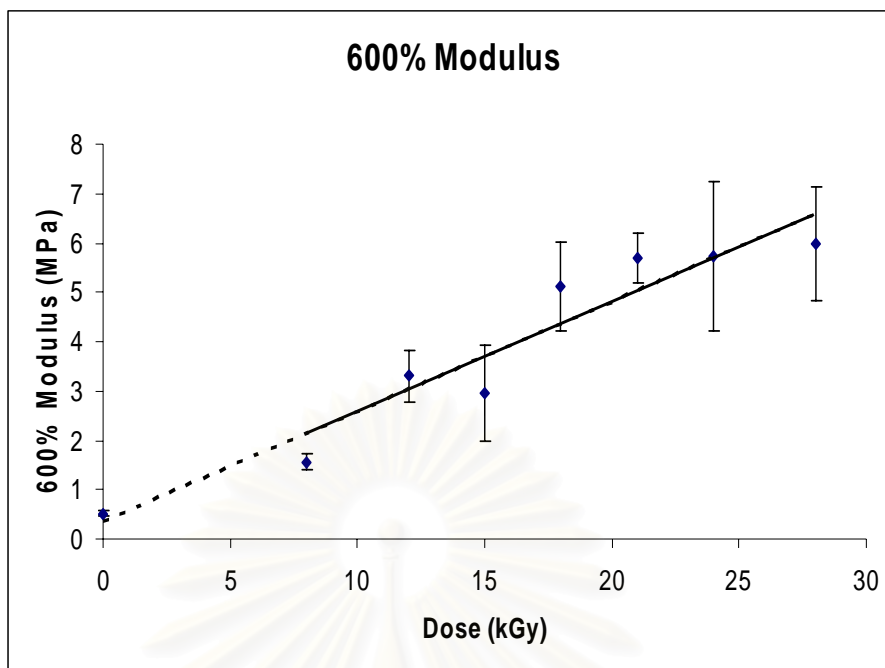
ตารางที่ 4.15 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 25 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.341 ± 0.027	0.519 ± 0.053
8	0.623 ± 0.041	1.562 ± 0.152
12	0.878 ± 0.064	3.304 ± 0.512
15	0.949 ± 0.242	2.954 ± 0.987
18	1.008 ± 0.092	5.129 ± 0.509
21	1.085 ± 0.170	5.687 ± 0.509
24	1.102 ± 0.088	5.729 ± 1.505
28	1.109 ± 0.258	5.995 ± 1.150

N = 9



รูปที่ 4.19 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 25
องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.20 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 25 องศาเซลเซียส

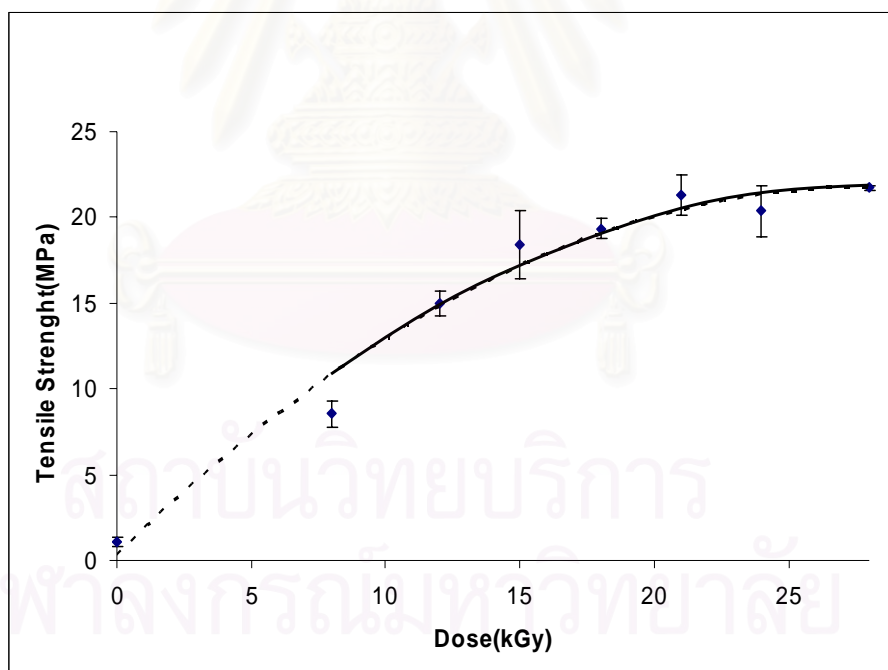
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.6 ที่ 32 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.16 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี
น้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 32 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	1.06 ± 0.28
8	8.54 ± 0.74
12	14.98 ± 0.69
15	18.45 ± 1.98
18	19.35 ± 0.60
21	21.30 ± 1.16
24	20.36 ± 1.51
28	21.72 ± 0.12

N = 9

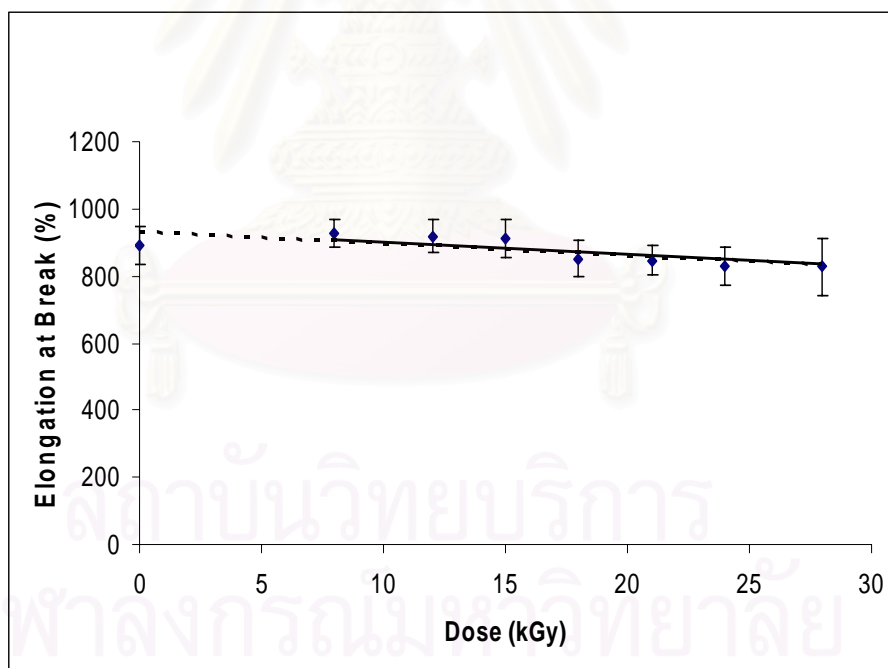


รูปที่ 4.21 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสี
ต่างๆ ที่ 32 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.17 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 32 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	Elongation at break (%)
0	890 ± 57
8	929 ± 41
12	919 ± 50
15	910 ± 57
18	852 ± 52
21	846 ± 44
24	860 ± 58
28	827 ± 85

N = 9

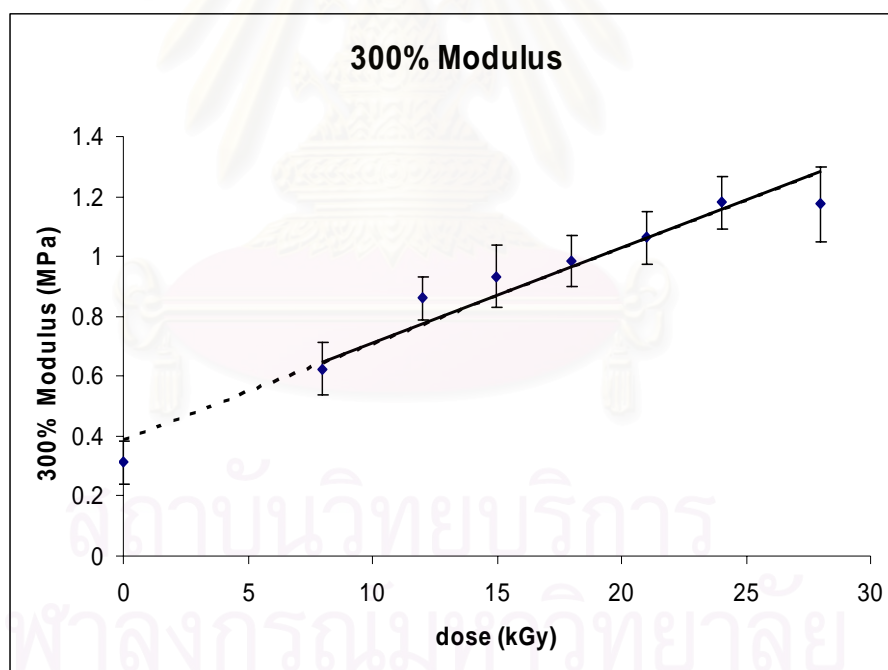


รูปที่ 4.22 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 32
องศาเซลเซียส

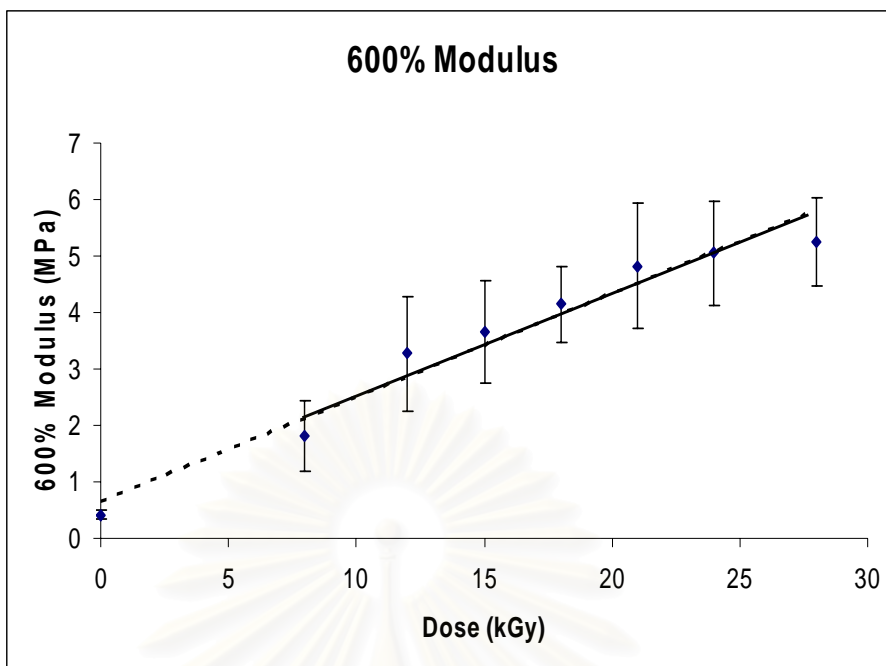
ตารางที่ 4.18 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 32 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.311 ± 0.072	0.420 ± 0.083
8	0.624 ± 0.089	1.815 ± 0.617
12	0.860 ± 0.071	3.269 ± 1.006
15	0.932 ± 0.104	3.659 ± 0.911
18	0.984 ± 0.085	4.143 ± 0.670
21	1.063 ± 0.086	4.826 ± 1.109
24	1.180 ± 0.087	5.054 ± 0.928
28	1.174 ± 0.124	5.255 ± 0.788

N = 9



รูปที่ 4.23 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32
องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.24 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32 องศาเซลเซียส

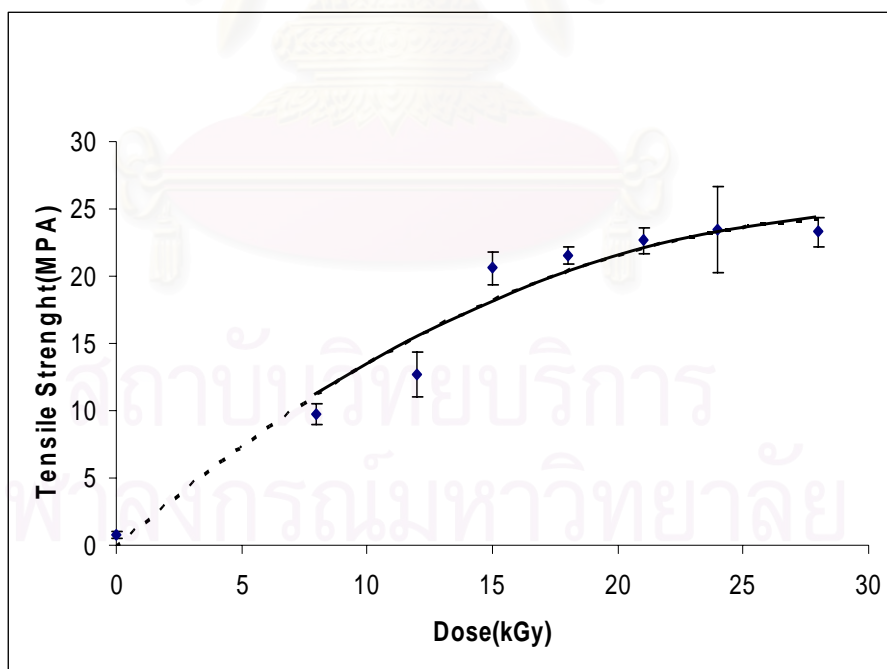
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.7 ที่ 40 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.19 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี น้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 40 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	0.76 ± 0.24
8	9.76 ± 0.77
12	12.69 ± 1.66
15	20.59 ± 1.26
18	21.51 ± 0.65
21	22.63 ± 0.96
24	23.48 ± 3.25
28	23.29 ± 1.10

N = 9

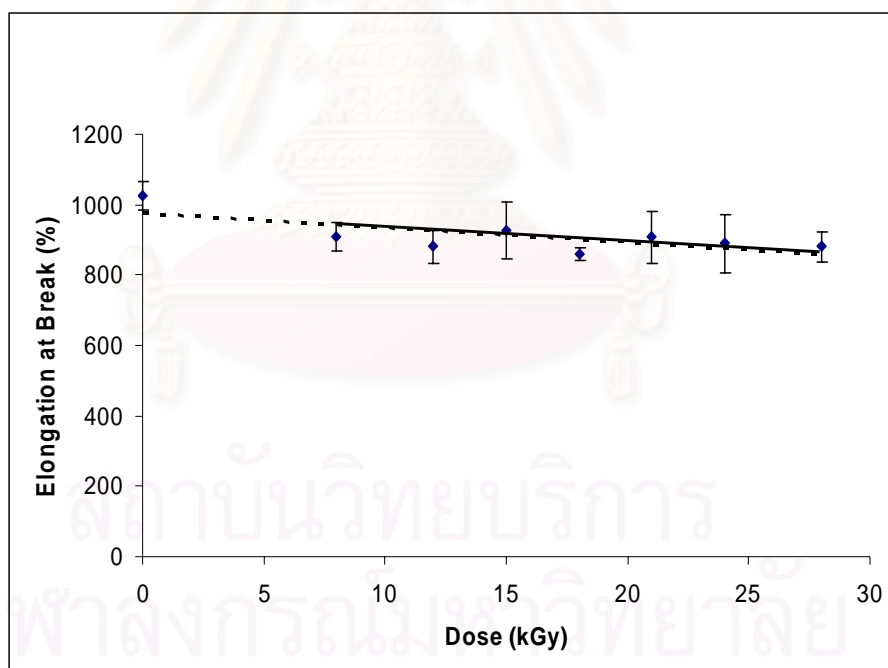


รูปที่ 4.25 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 40 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.20 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 40 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Elongation at break (%)
0	1025 ± 39
8	908 ± 41
12	880 ± 45
15	928 ± 80
18	861 ± 17
21	907 ± 74
24	889 ± 81
28	881 ± 43

N = 9

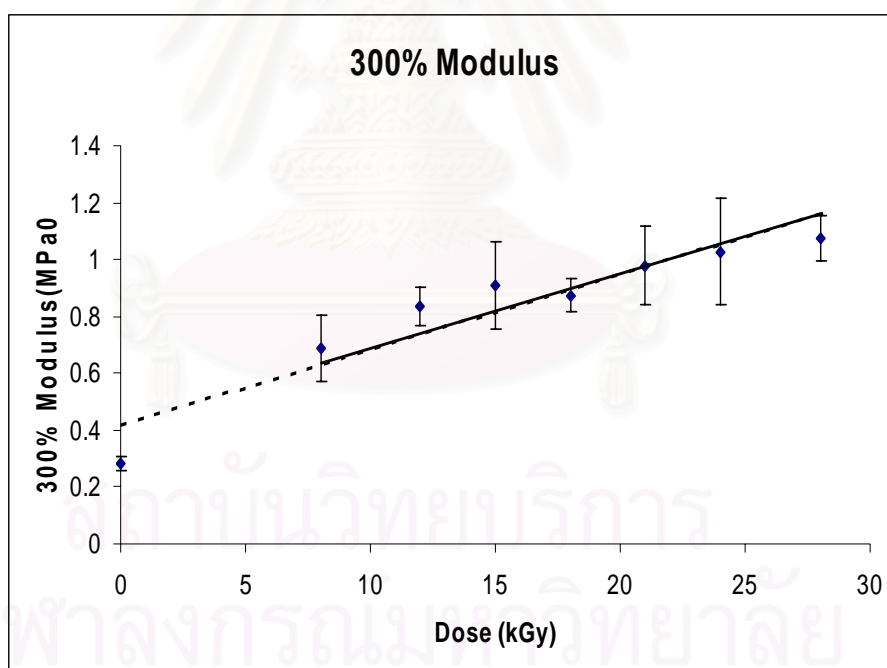


รูปที่ 4.26 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่
40 องศาเซลเซียส

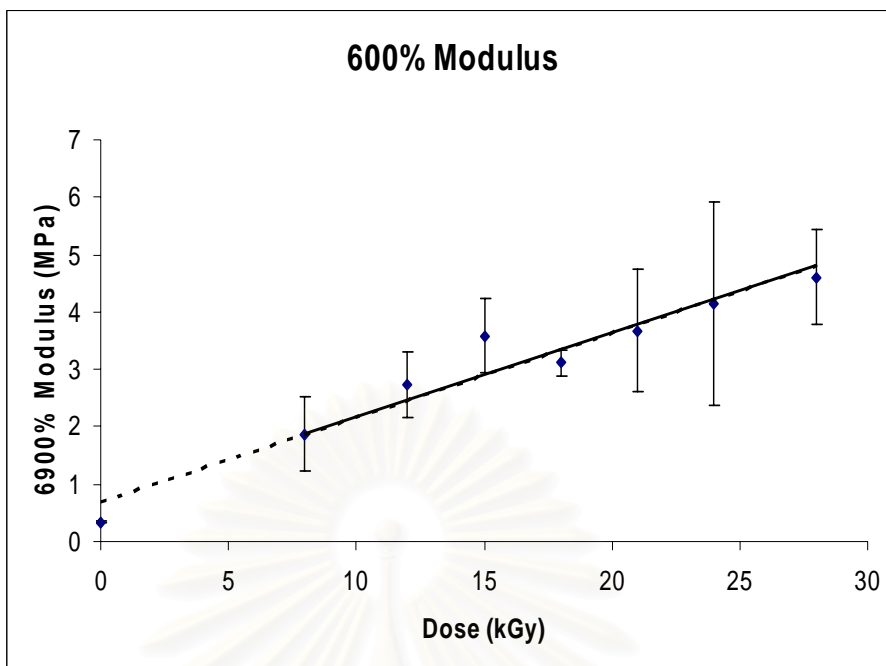
ตารางที่ 4.21 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 40 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	300%Modulus	600%Modulus
0	0.287 ± 0.026	0.339 ± 0.020
8	0.688 ± 0.117	1.877 ± 0.655
12	0.836 ± 0.067	2.725 ± 0.574
15	0.910 ± 0.104	3.659 ± 0.911
18	0.984 ± 0.056	3.112 ± 1.067
21	0.978 ± 0.137	3.676 ± 1.067
24	1.027 ± 0.187	4.133 ± 1.771
28	1.075 ± 0.077	4.609 ± 0.831

N = 9



รูปที่ 4.27 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
40 องศาเซลเซียส



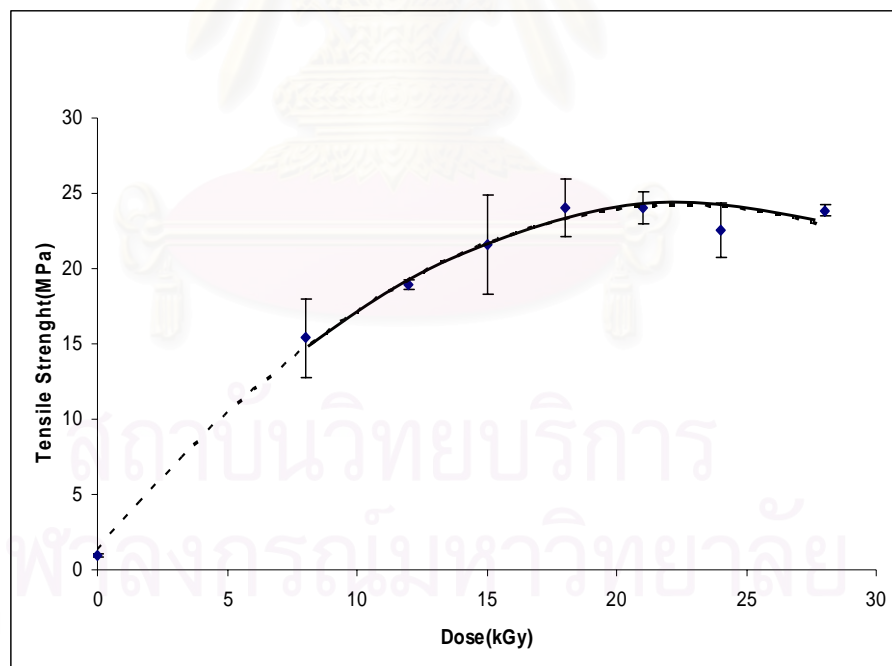
รูปที่ 4.28 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 40 องศาเซลเซียส

4.1.8 ที่ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.22 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 45 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	0.97 ± 0.14
8	15.40 ± 2.62
12	18.91 ± 0.32
15	21.58 ± 3.30
18	24.04 ± 1.90
21	24.03 ± 1.07
24	22.51 ± 1.81
28	23.88 ± 0.81

N = 9

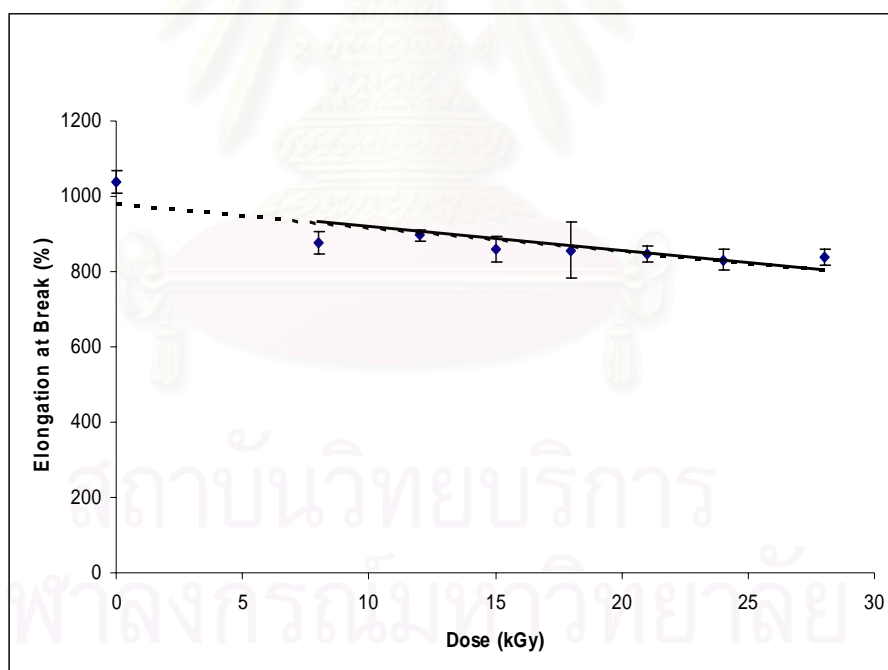


รูปที่ 4.29 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.23 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 45 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Elongation at break (%)
0	1037 ± 29
8	876 ± 28
12	896 ± 13
15	860 ± 35
18	856 ± 75
21	848 ± 21
24	831 ± 27
28	839 ± 22

N = 9

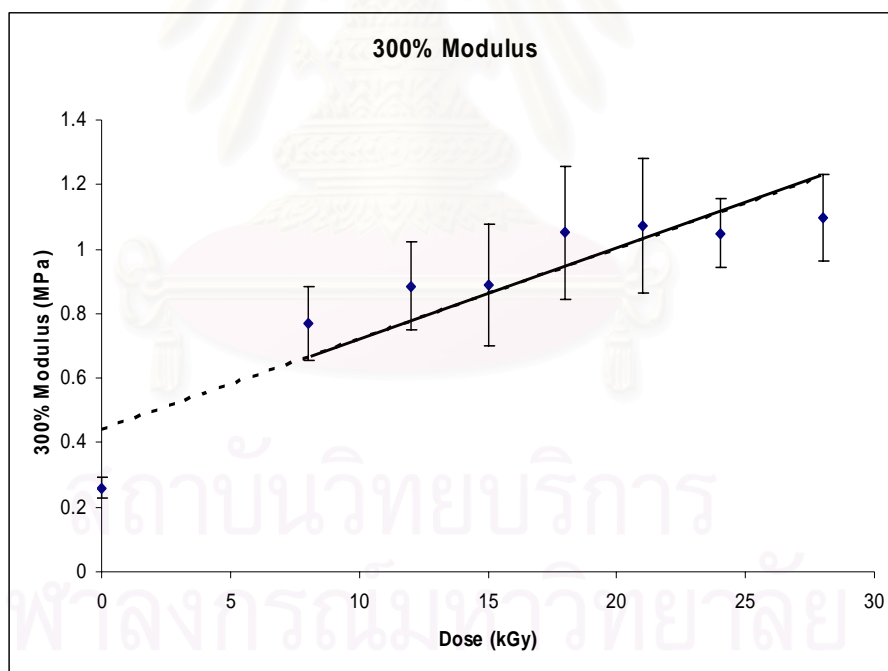


รูปที่ 4.30 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่
45 องศาเซลเซียส

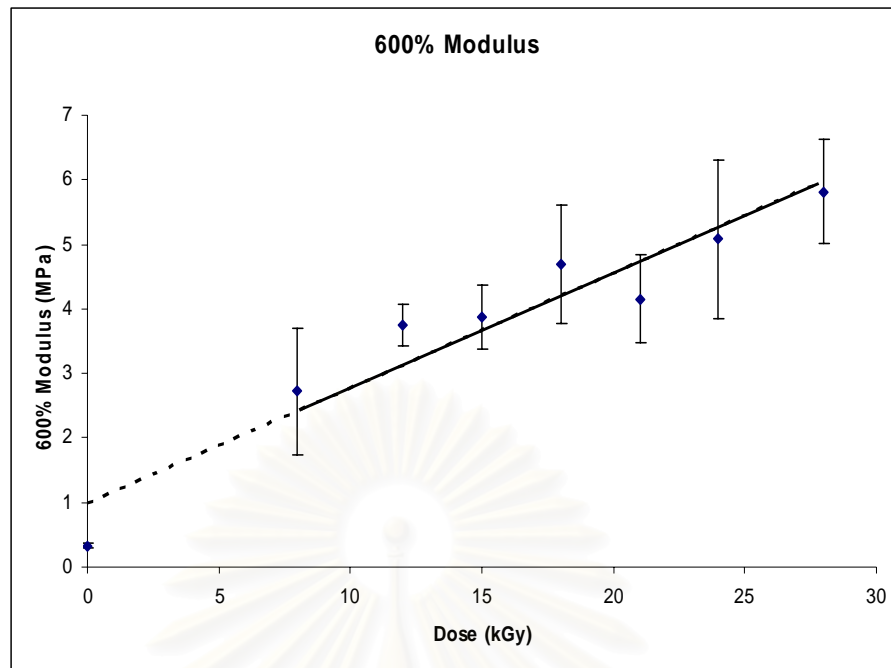
ตารางที่ 4.24 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 45 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.259 ± 0.031	0.334 ± 0.028
8	0.771 ± 0.113	2.727 ± 0.980
12	0.884 ± 0.137	3.746 ± 0.323
15	0.888 ± 0.186	3.870 ± 0.497
18	1.051 ± 0.207	4.693 ± 0.917
21	1.072 ± 0.207	4.157 ± 0.687
24	1.049 ± 0.108	5.076 ± 1.230
28	1.098 ± 0.133	5.816 ± 0.799

N = 9



รูปที่ 4.31 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่
45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.32 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 45 องศาเซลเซียส

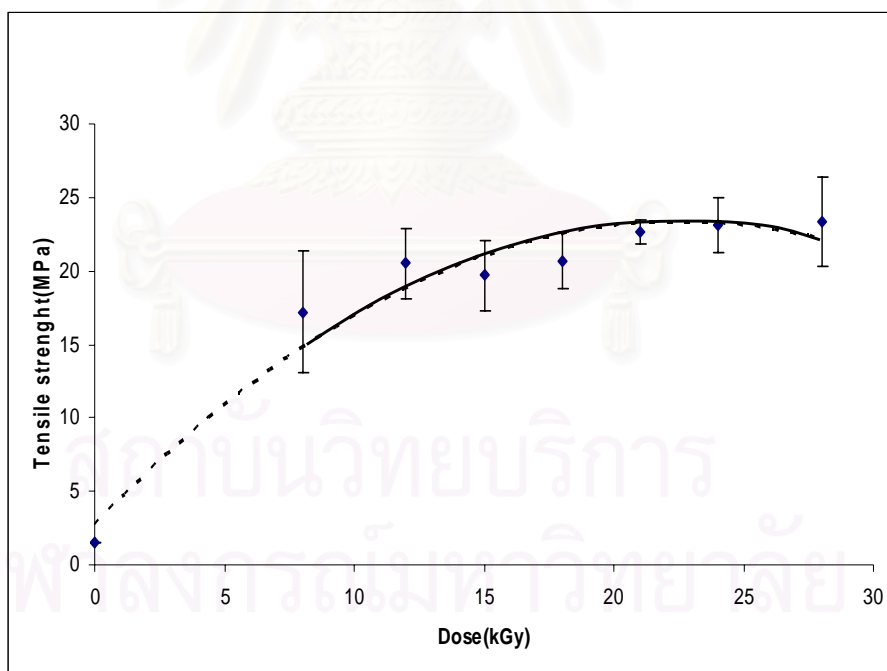
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.9 ที่ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.25 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี
น้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 50 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	1.51 ± 0.01
8	17.21 ± 4.16
12	20.51 ± 2.38
15	20.71 ± 2.37
18	20.71 ± 1.97
21	22.65 ± 0.77
24	23.11 ± 1.90
28	23.36 ± 3.04

N = 9

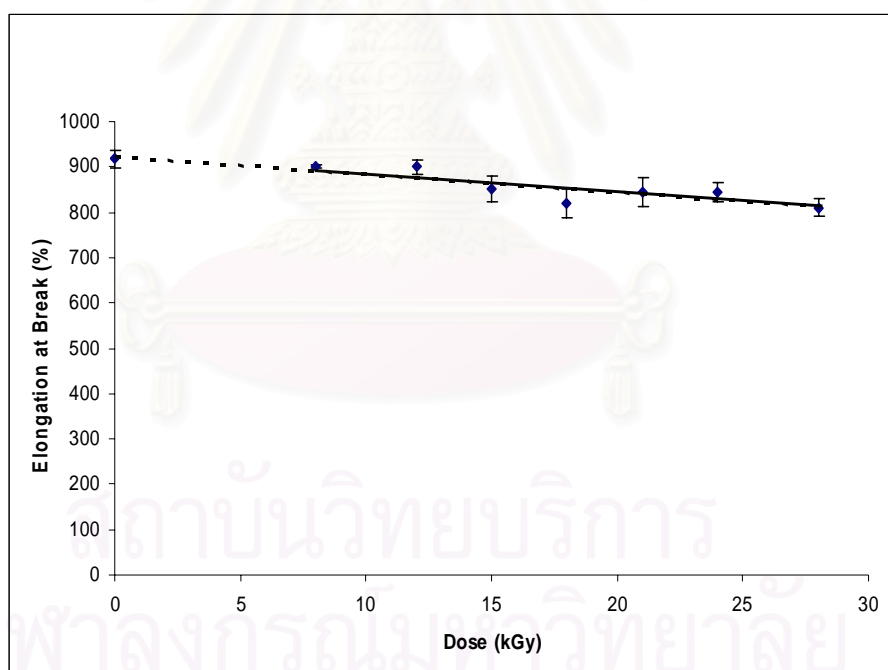


รูปที่ 4.33 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสี
ต่างๆ ที่ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.26 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 50 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Elongation at break (%)
0	917 ± 29
8	901 ± 4
12	900 ± 15
15	850 ± 28
18	819 ± 32
21	844 ± 30
24	845 ± 21
28	810 ± 20

N = 9

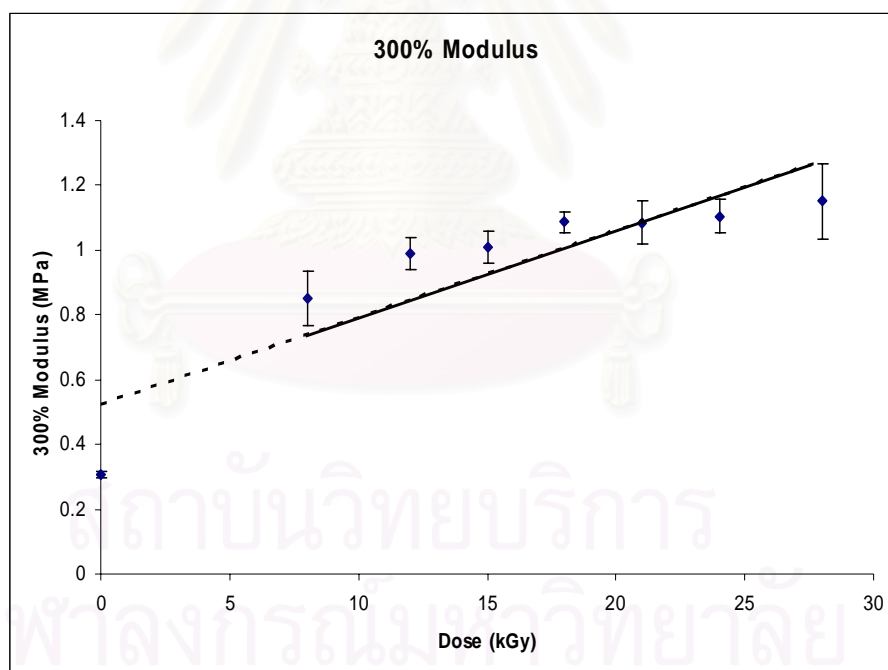


รูปที่ 4.34 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
50 องศาเซลเซียส

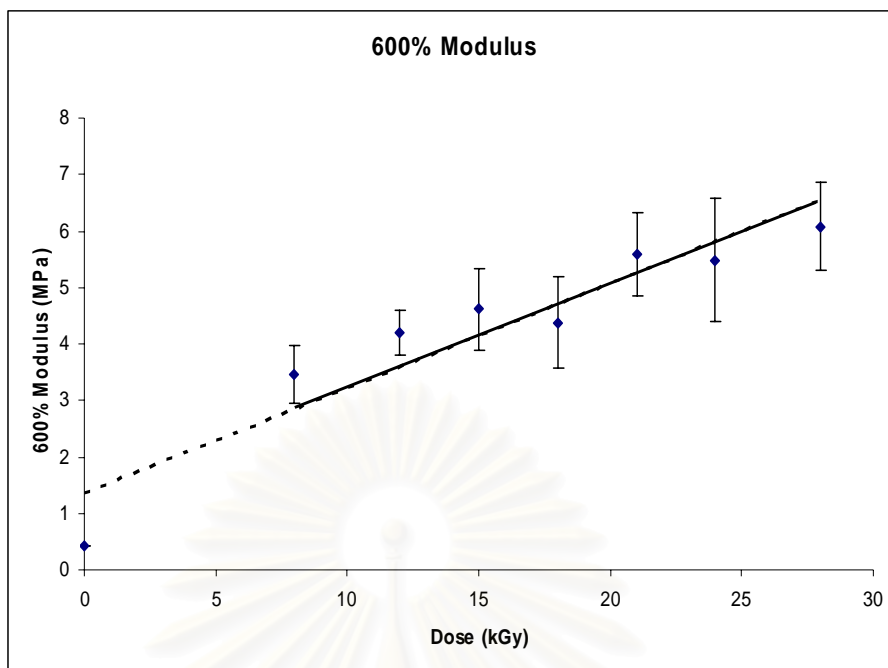
ตารางที่ 4.27 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสี
ต่างๆ ที่ 50 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.306 ± 0.010	0.426 ± 0.009
8	0.852 ± 0.084	3.466 ± 0.509
12	0.988 ± 0.048	4.197 ± 0.386
15	1.008 ± 0.050	4.615 ± 0.732
18	1.086 ± 0.034	4.376 ± 0.802
21	1.084 ± 0.066	5.587 ± 0.749
24	1.105 ± 0.049	5.488 ± 1.092
28	1.152 ± 0.116	6.079 ± 0.772

N = 9



รูปที่ 4.35 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่
50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.36 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 50 องศาเซลเซียส

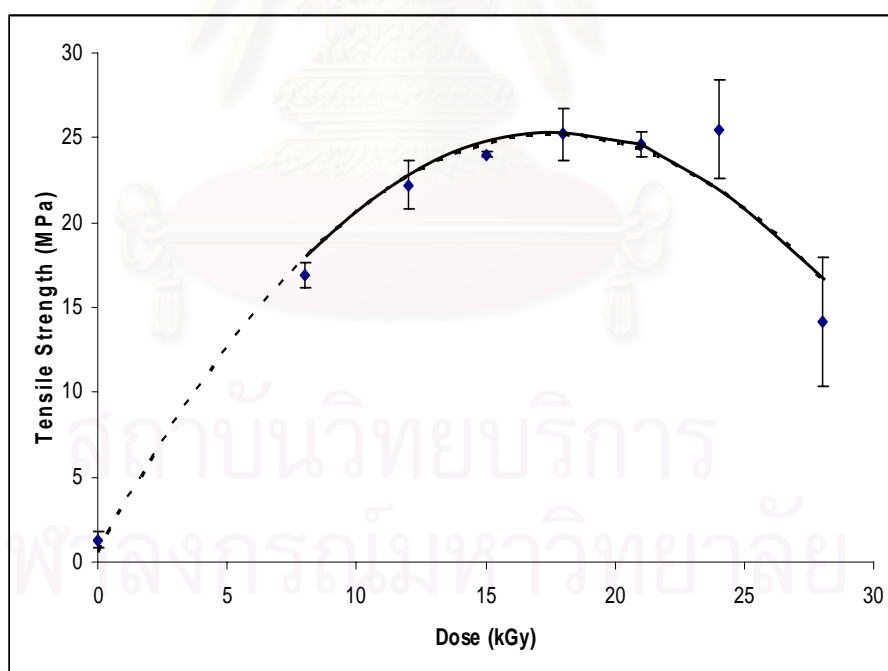
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.10 ที่ 55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.28 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี
น้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	1.29 ± 0.49
8	16.90 ± 0.79
12	22.21 ± 1.43
15	24.02 ± 0.13
18	25.21 ± 1.51
21	24.59 ± 0.75
24	25.49 ± 2.91
28	14.17 ± 3.79

N = 9

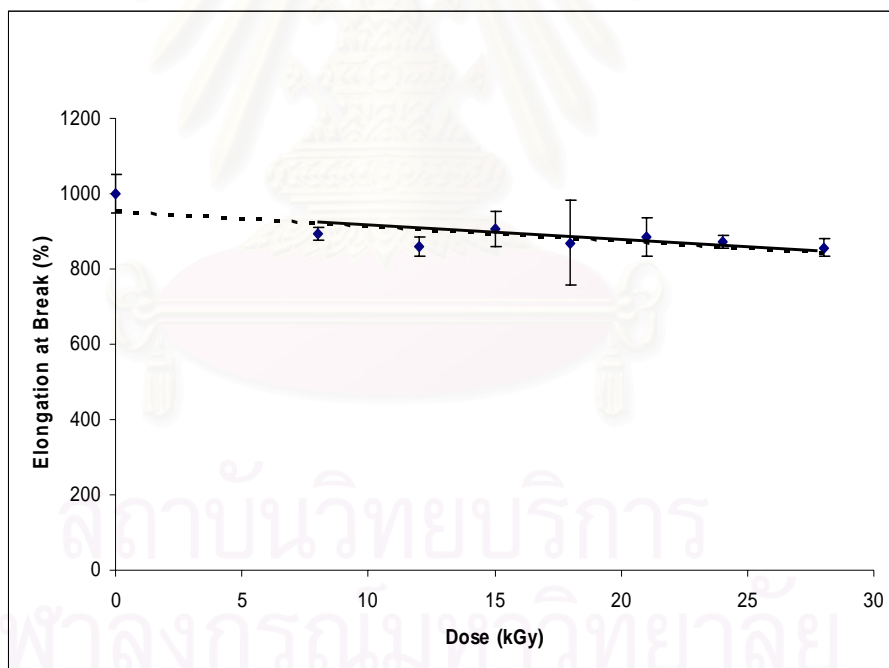


รูปที่ 4.37 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสี
ต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.29 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Elongation at break (%)
0	999 ± 50
8	893 ± 16
12	860 ± 26
15	906 ± 46
18	870 ± 112
21	884 ± 51
24	872 ± 17
28	857 ± 23

N = 9

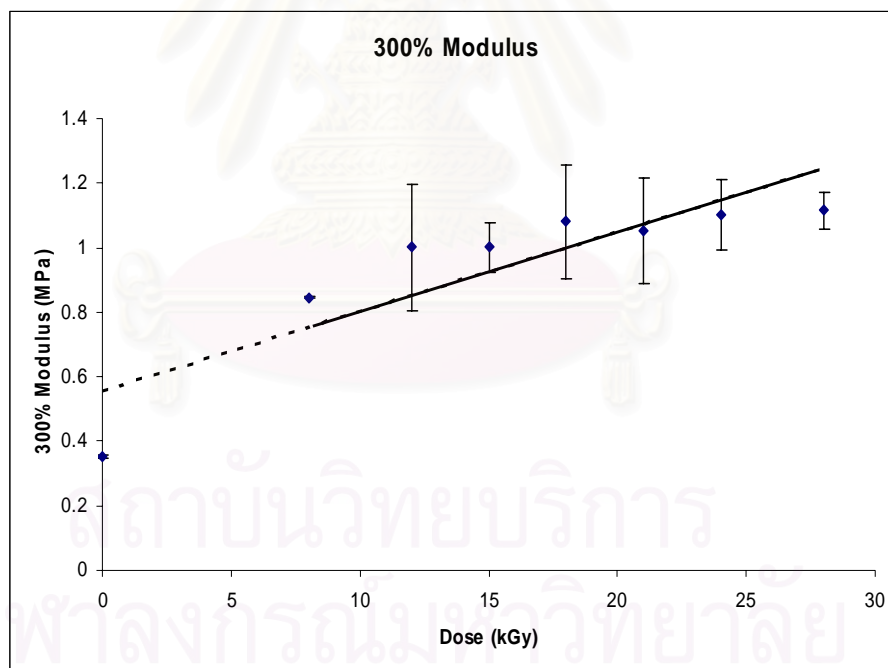


รูปที่ 4.38 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่
55 องศาเซลเซียส

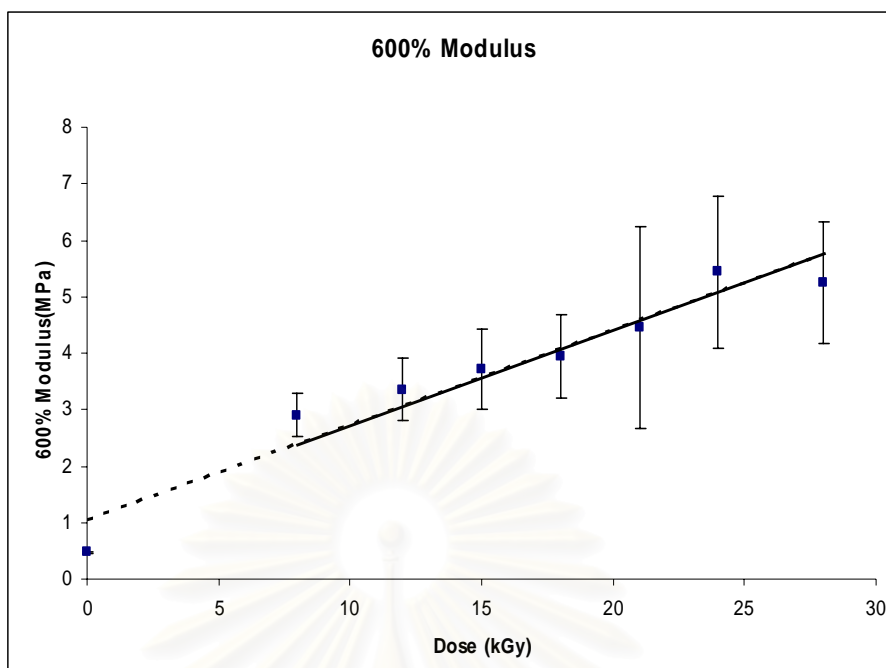
ตารางที่ 4.30 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ที่ปริมาณรังสี
ต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.353 ± 0.006	0.475 ± 0.009
8	0.845 ± 0.003	2.907 ± 0.391
12	1.000 ± 0.198	3.357 ± 0.545
15	1.007 ± 0.075	3.713 ± 0.704
18	1.081 ± 0.175	3.955 ± 0.738
21	1.052 ± 0.164	4.452 ± 1.490
24	1.102 ± 0.110	5.442 ± 1.340
28	1.115 ± 0.056	5.248 ± 1.067

N = 9



รูปที่ 4.39 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่
55 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.40 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส

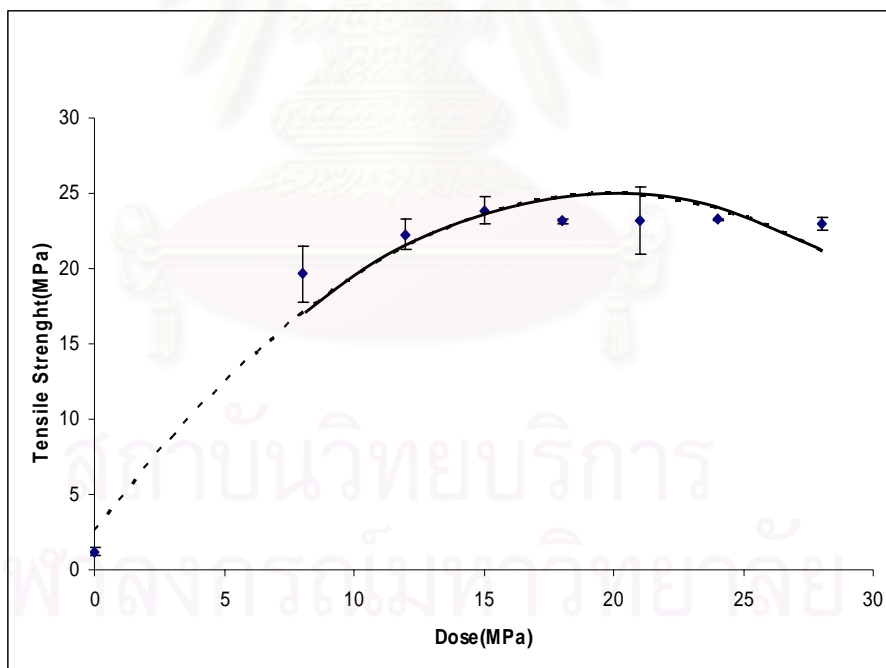
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.11 ที่ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.31 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 60 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	1.18 ± 0.25
8	19.60 ± 1.86
12	22.20 ± 1.00
15	24.80 ± 0.89
18	23.10 ± 0.18
21	23.29 ± 2.19
24	23.20 ± 0.08
28	22.90 ± 0.46

N = 9

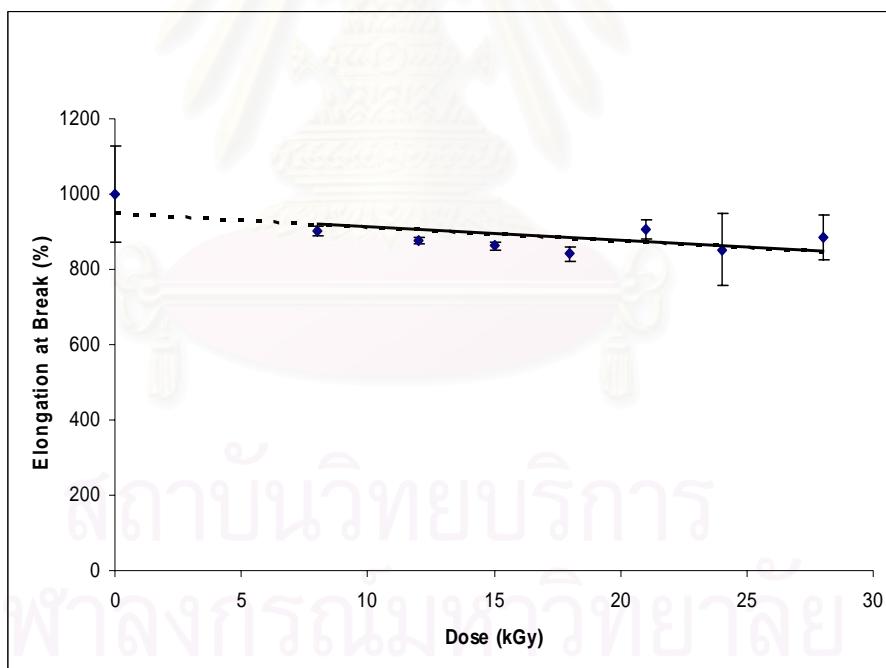


รูปที่ 4.41 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.32 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 60 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Elongation at break (%)
0	999 ± 128
8	901 ± 12
12	877 ± 9
15	863 ± 11
18	841 ± 20
21	907 ± 24
24	853 ± 97
28	885 ± 58

N = 9

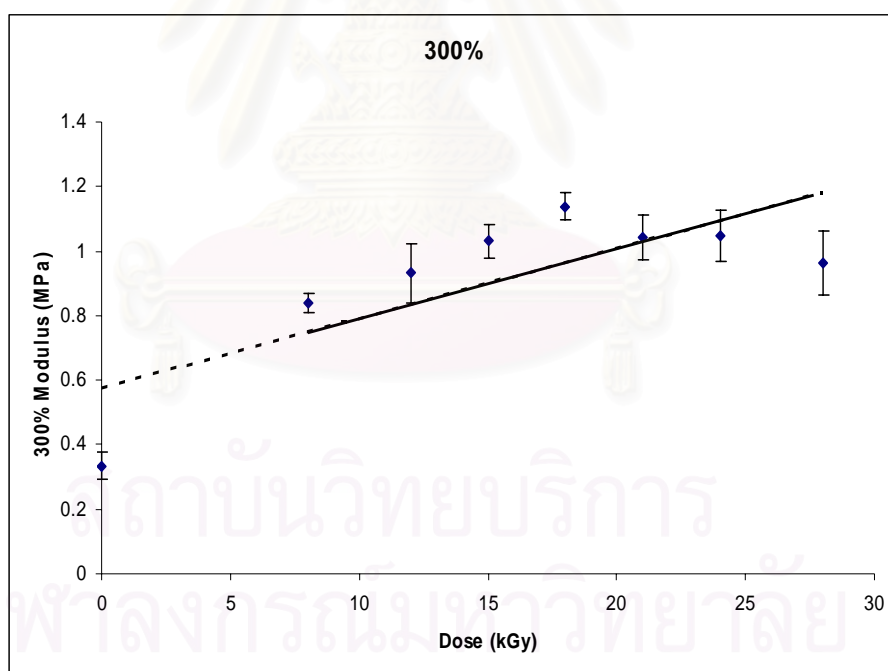


รูปที่ 4.42 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่
60 องศาเซลเซียส

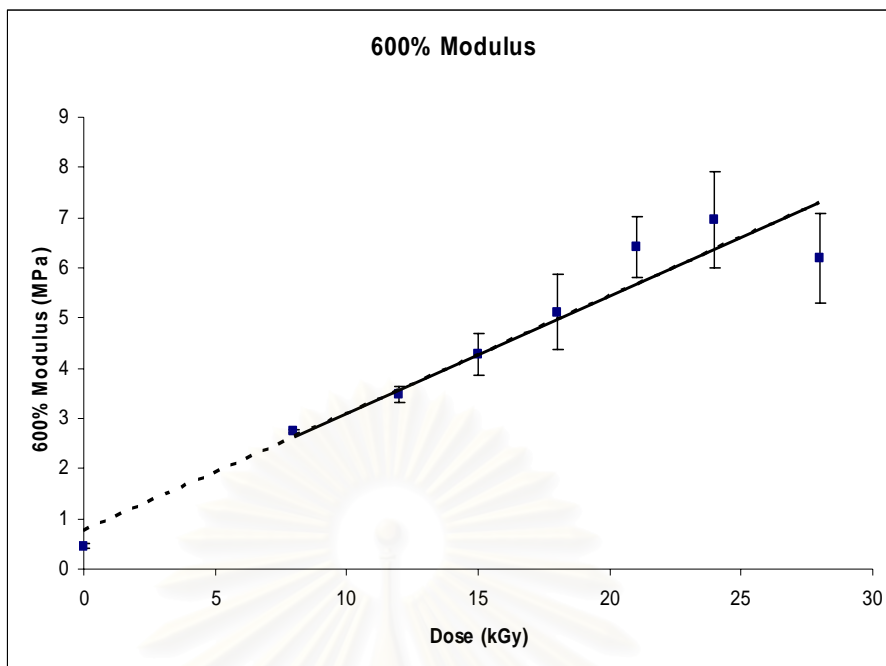
ตารางที่ 4.33 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 60 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.335 ± 0.043	0.452 ± 0.047
8	0.840 ± 0.031	2.742 ± 0.036
12	0.931 ± 0.092	3.464 ± 0.160
15	1.031 ± 0.052	4.270 ± 0.416
18	1.139 ± 0.042	5.119 ± 0.738
21	1.044 ± 0.070	6.408 ± 0.614
24	1.048 ± 0.078	6.958 ± 0.965
28	0.962 ± 0.100	6.194 ± 0.890

N = 9



รูปที่ 4.43 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.44 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 60 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

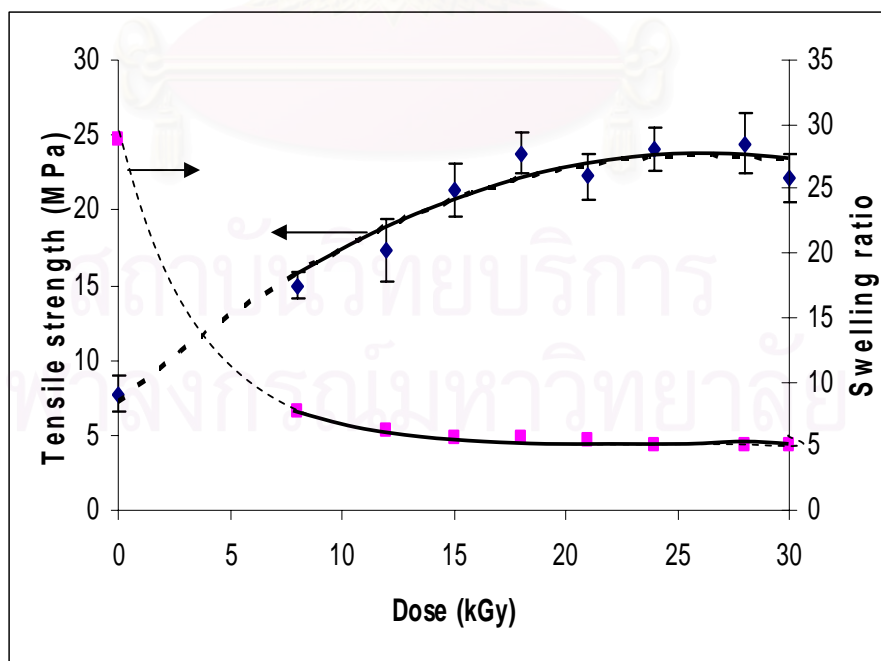
4.2 ผลการทดลองคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ทำจากน้ำยางชั้นจากบริษัท ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด วัดคาร์โบไฮเดรตด้วยรังสี

4.2.1 ที่ 10 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.34 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี น้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 10 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)	Swelling Ratio
0	7.76 ± 0.63	28.74
8	14.94 ± 0.88	7.75
12	17.31 ± 2.03	6.13
15	21.36 ± 1.77	5.63
18	23.78 ± 1.36	5.61
21	22.22 ± 1.59	5.39
24	24.10 ± 1.47	5.11
28	24.42 ± 2.01	5.04
30	22.15 ± 1.62	5.03

N = 9

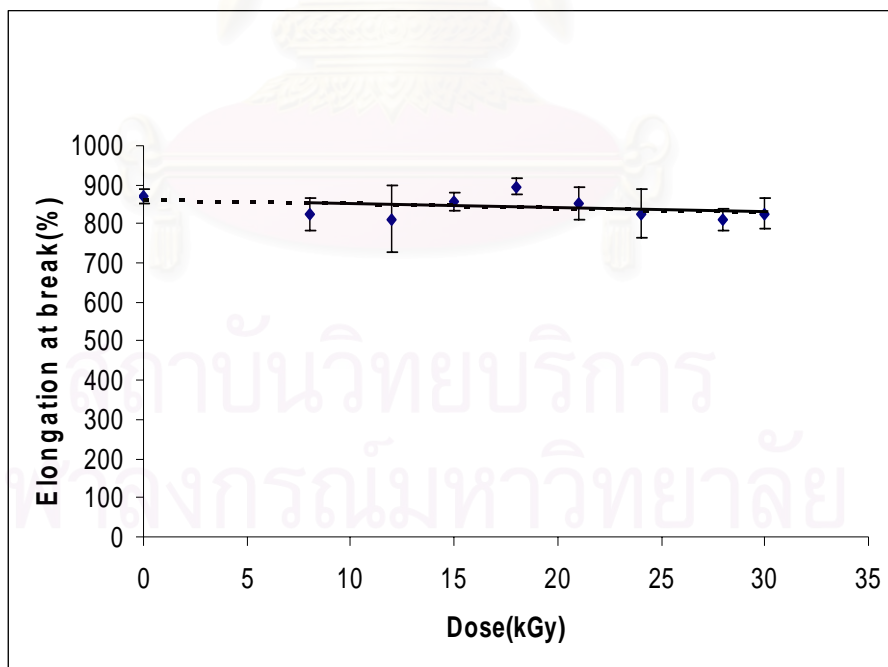


รูปที่ 4.45 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 10 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.35 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 10 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	Elongation at break (%)
0	872±18
8	823±41
12	813±89
15	855±23
18	895±21
21	853±42
24	826±62
28	811±26
30	825±39

N = 9

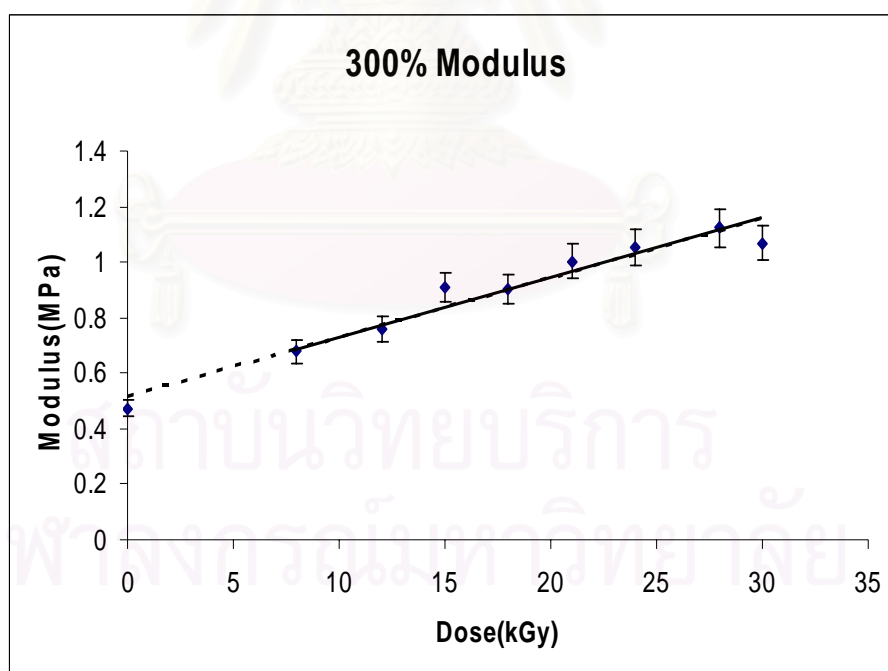


รูปที่ 4.46 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
10 องศาเซลเซียส

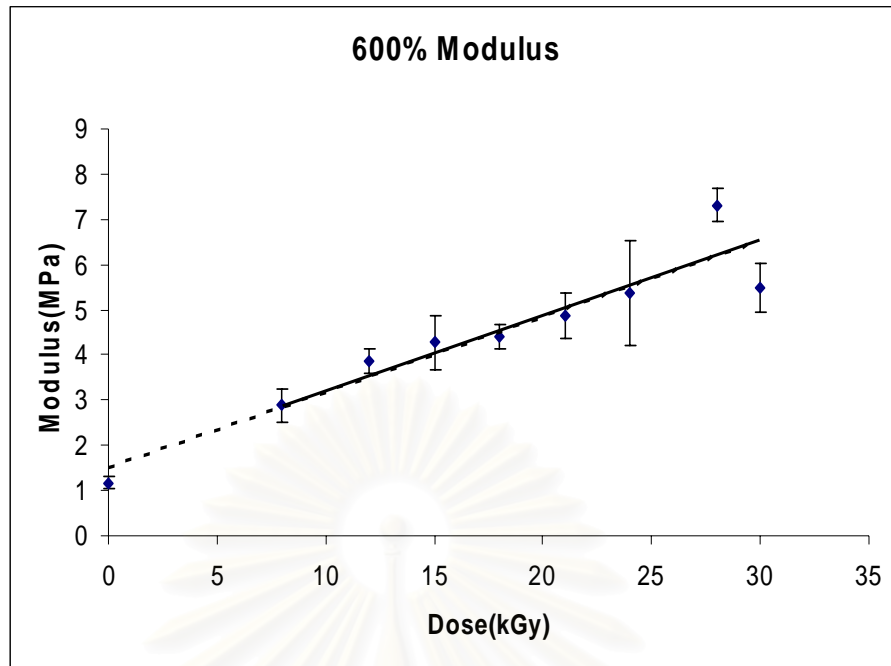
ตารางที่ 4.36 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 10 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.473±0.023	1.171±0.130
8	0.678±0.042	2.886±0.362
12	0.760±0.004	3.859±0.263
15	0.908±0.026	4.230±0.595
18	0.904±0.067	4.410±0.277
21	1.000±0.028	4.856±0.495
24	1.054±0.027	5.369±1.140
28	1.122±0.039	7.313±0.373
30	1.069±0.011	5.482±0.542

N = 9



รูปที่ 4.47 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
10 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.48 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 10 องศาเซลเซียส

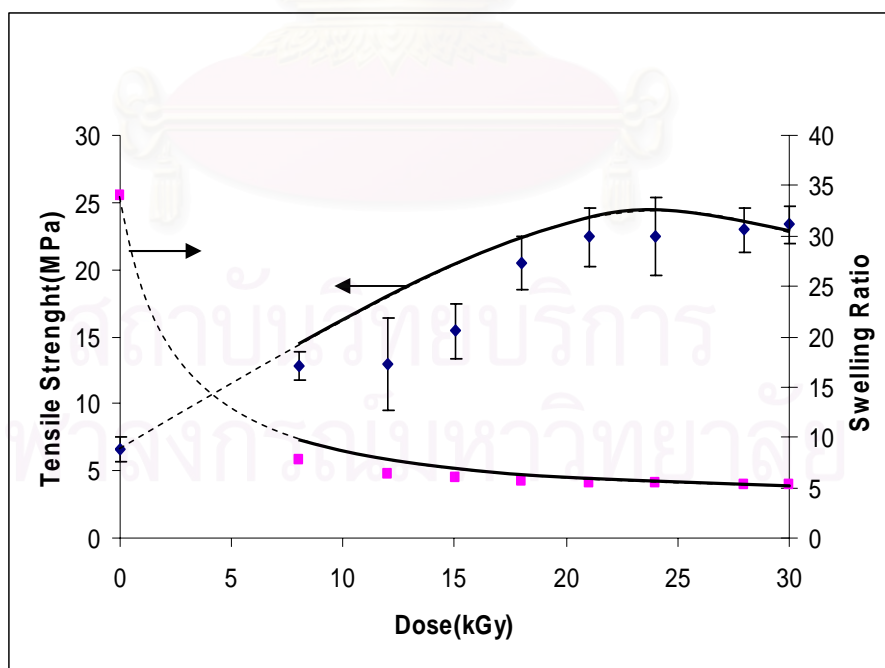
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ที่ 32 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.37 แสดงค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)	Swelling Ratio
0	6.63 ± 0.93	33.96
8	12.80 ± 1.04	7.70
12	12.98 ± 3.43	6.26
15	15.42 ± 7.65	6.02
18	20.45 ± 6.55	5.72
21	22.41 ± 2.15	5.51
24	22.45 ± 2.91	5.40
28	22.98 ± 1.63	5.34
30	23.33 ± 1.38	5.32

N = 9

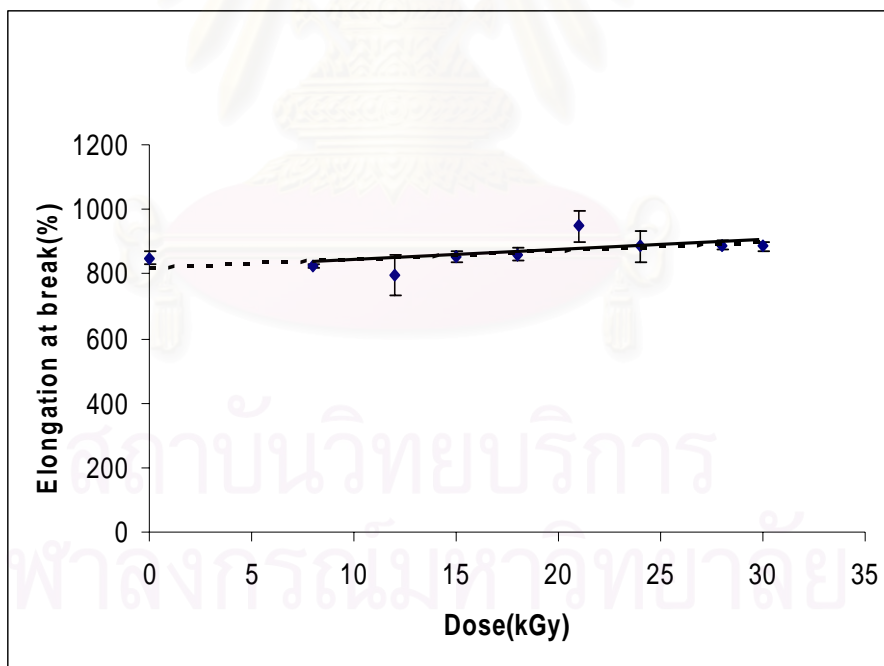


รูปที่ 4.49 แสดงค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.38 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Elongation at break (%)
0	849±18
8	823± 5
12	796±64
15	853±18
18	861±21
21	872 ±49
24	884±48
28	889±14
30	885±15

N = 9

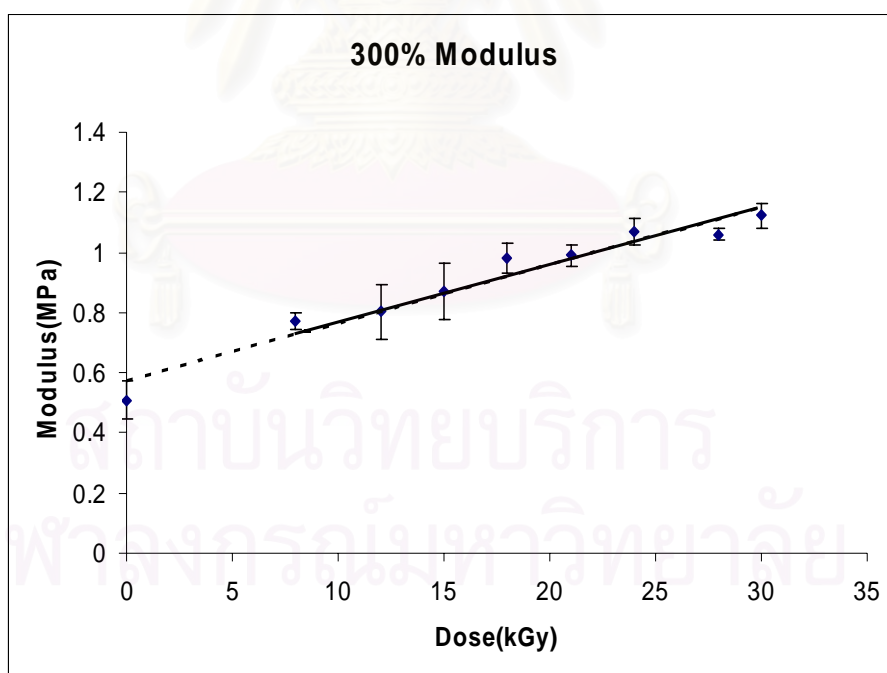


รูปที่ 4.50 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
32 องศาเซลเซียส

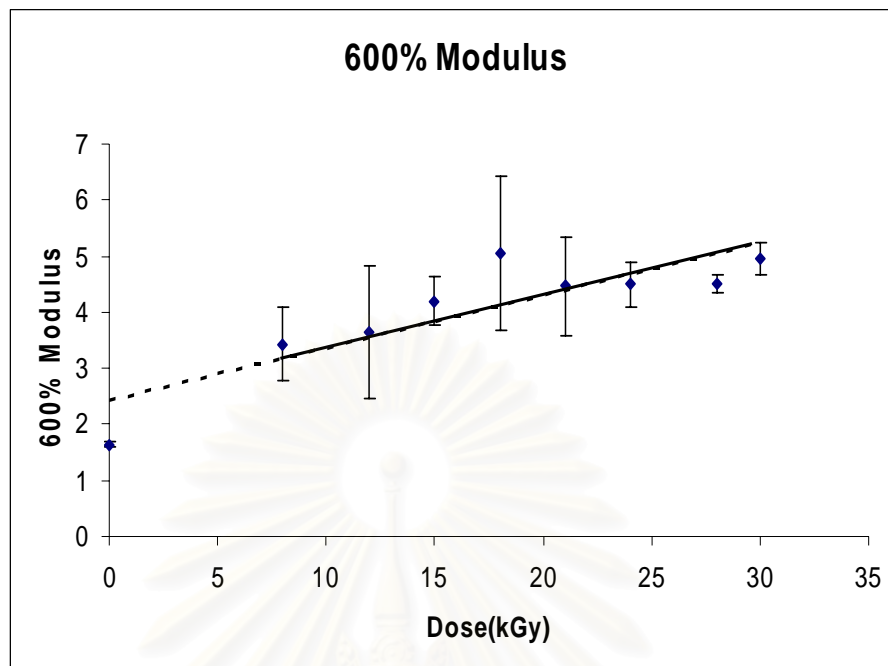
ตารางที่ 4.39 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 32 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.508±0.063	1.646±0.063
8	0.772±0.027	3.425±0.659
12	0.802±0.090	3.643±1.190
15	0.870±0.094	4.203±0.444
18	0.979±0.050	5.045±1.367
21	0.989±0.037	4.460±0.885
24	1.070±0.046	4.495±0.408
28	1.060±0.020	4.510±0.158
30	1.122±0.040	4.944±0.291

N = 9



รูปที่ 4.51 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
32 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.52 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 32 องศาเซลเซียส

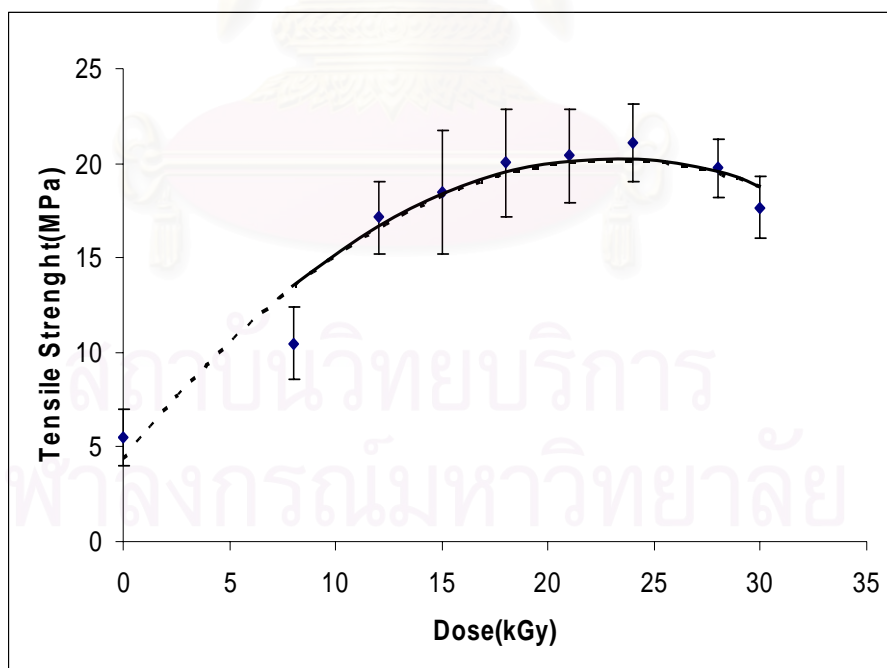
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 ที่ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.40 แสดงค่าความต้านทานการดึงขนาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	5.49 ± 1.52
8	10.49 ± 1.95
12	17.12 ± 1.94
15	18.47 ± 3.23
18	20.03 ± 2.84
21	20.42 ± 2.48
24	21.08 ± 2.01
28	19.73 ± 1.51
30	17.64 ± 1.63

N = 9

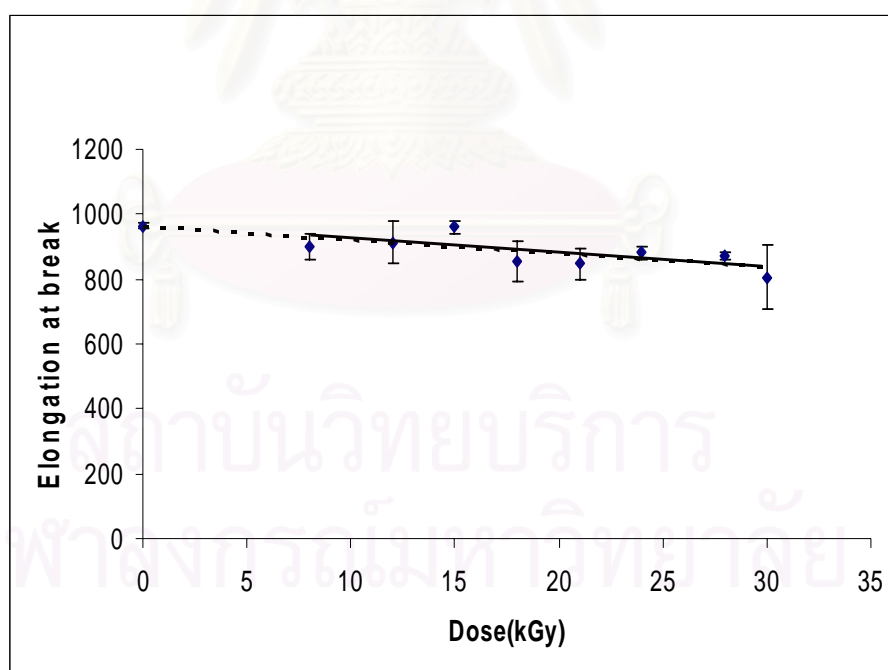


รูปที่ 4.53 แสดงค่าความต้านทานการดึงขนาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.41 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	Elongation at break (%)
0	964 ± 9
8	900 ± 42
12	914 ± 64
15	960 ± 18
18	854 ± 62
21	847 ± 47
24	882 ± 19
28	871 ± 11
30	805 ± 99

N = 9



รูปที่ 4.54 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
45 องศาเซลเซียส

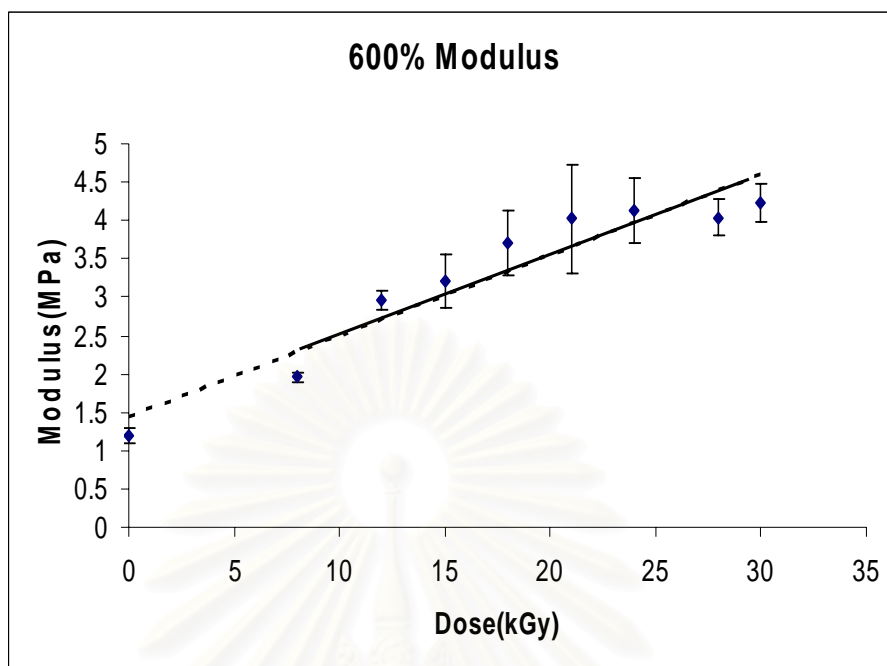
ตารางที่ 4.42 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 45 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.502 ± 0.043	1.192 ± 0.090
8	0.685 ± 0.058	1.957 ± 0.059
12	0.785 ± 0.031	2.951 ± 0.124
15	0.853 ± 0.053	3.205 ± 0.351
18	0.924 ± 0.029	3.715 ± 0.420
21	0.976 ± 0.029	4.020 ± 0.703
24	1.020 ± 0.046	4.120 ± 0.428
28	1.088 ± 0.025	4.039 ± 0.243
30	1.067 ± 0.040	4.227 ± 0.252

N = 9



รูปที่ 4.55 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.56 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 45 องศาเซลเซียส

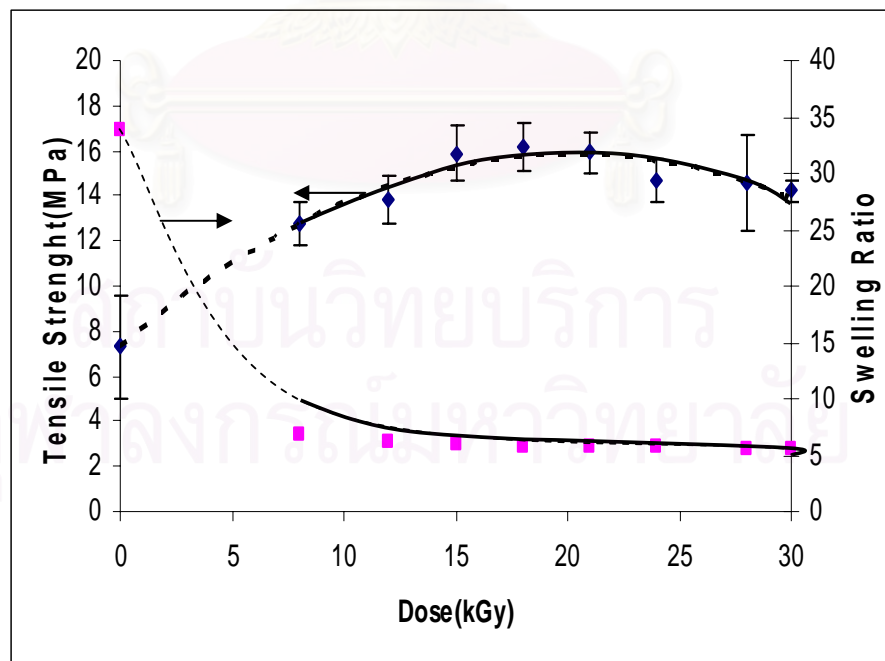
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 ที่ 55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.43 แสดงค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)	Swelling Ratio
0	7.31 ± 2.14	33.82
8	12.80 ± 0.97	6.83
12	13.85 ± 1.07	6.15
15	15.89 ± 1.19	6.03
18	16.19 ± 1.08	5.83
21	15.92 ± 0.93	5.77
24	14.68 ± 0.98	5.71
28	14.22 ± 0.46	5.56
30	17.64 ± 1.63	5.45

N = 9

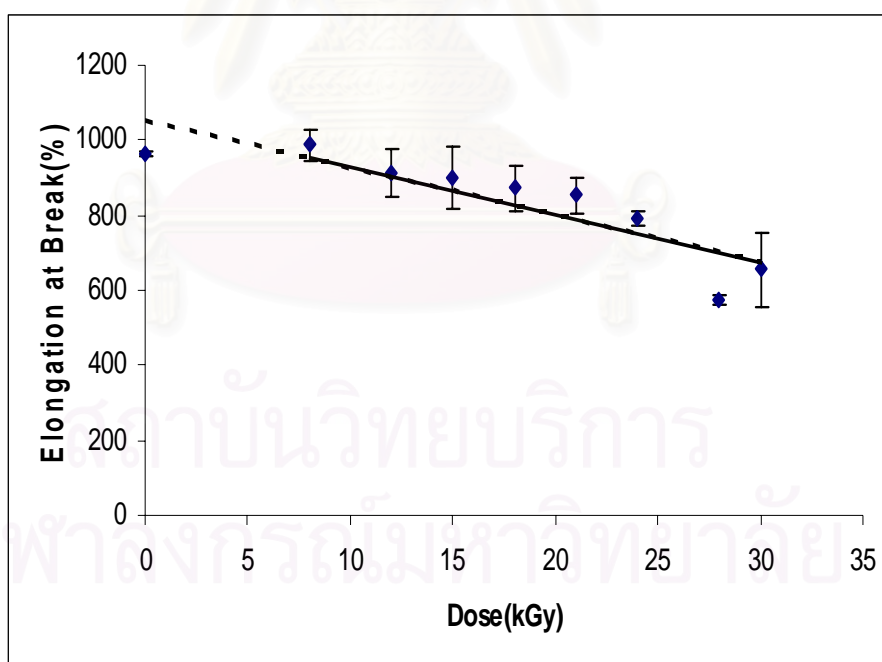


รูปที่ 4.57 แสดงค่าความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.44 ค่าความยืดออกจนขาด (Elongation at break) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยาง
ที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	Elongation at break (%)
0	964 ± 81
8	988 ± 42
12	914 ± 64
15	898 ± 82
18	872 ± 62
21	854 ± 47
24	790 ± 19
28	575 ± 11
30	656 ± 99

N = 9

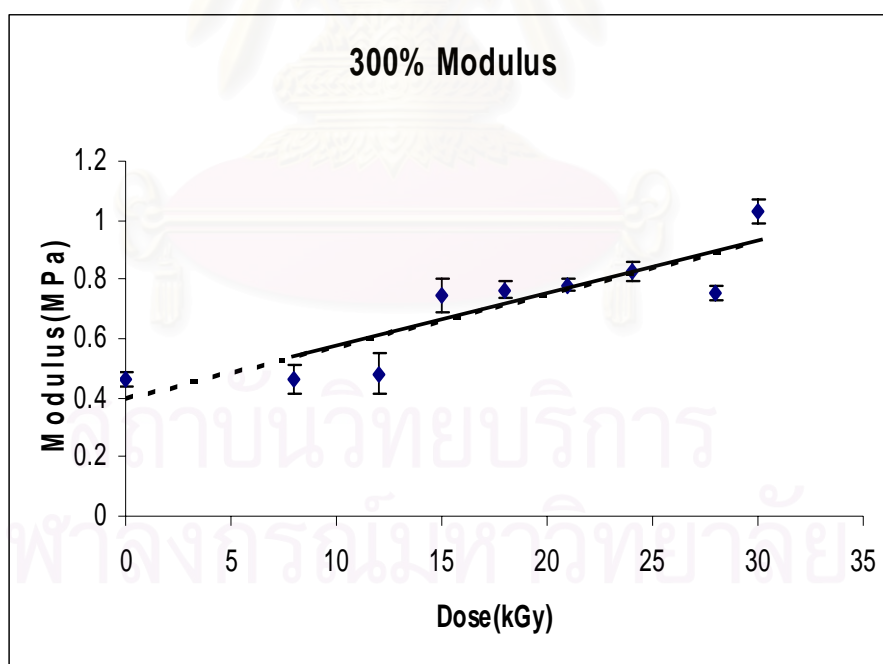


รูปที่ 4.58 ค่าความยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
55 องศาเซลเซียส

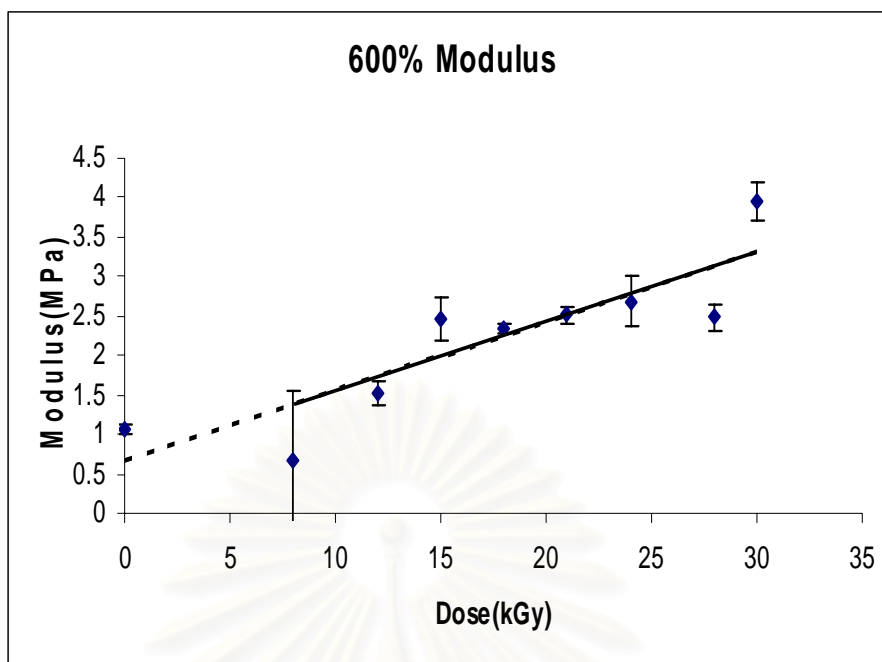
ตารางที่ 4.45 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ
ที่ 55 องศาเซลเซียส

Dose(kGy)	300%Modulus	600%modulus
0	0.461 ± 0.021	1.073 ± 0.066
8	0.459 ± 0.047	0.674 ± 0.885
12	0.743 ± 0.068	1.517 ± 0.145
15	0.743 ± 0.057	2.455 ± 0.276
18	0.765 ± 0.031	2.345 ± 0.056
21	0.782 ± 0.023	2.512 ± 0.105
24	0.826 ± 0.030	2.690 ± 0.333
28	0.751 ± 0.024	2.485 ± 0.169
30	1.026 ± 0.040	3.953 ± 0.252

N = 9



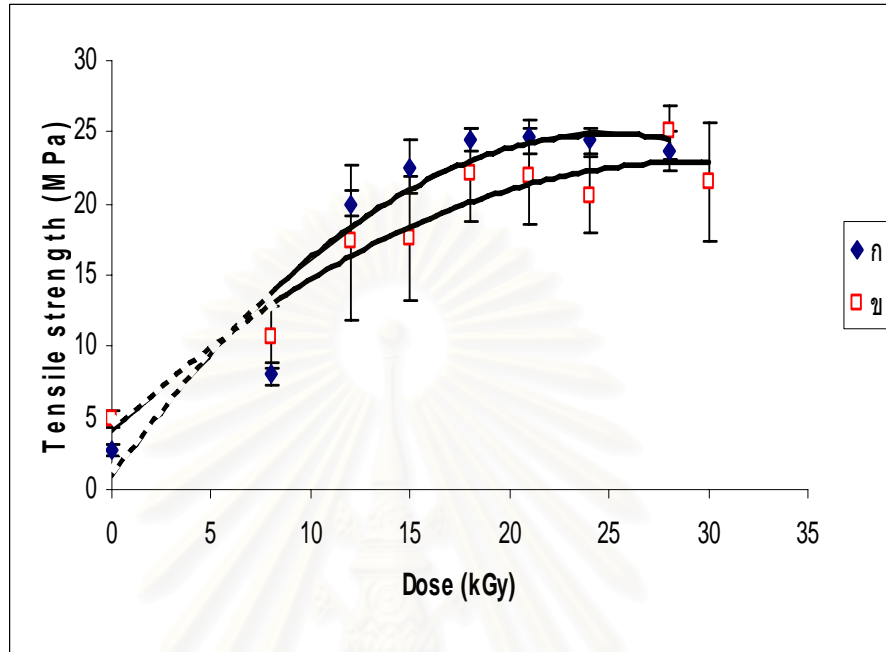
รูปที่ 4.59 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่
55 องศาเซลเซียส



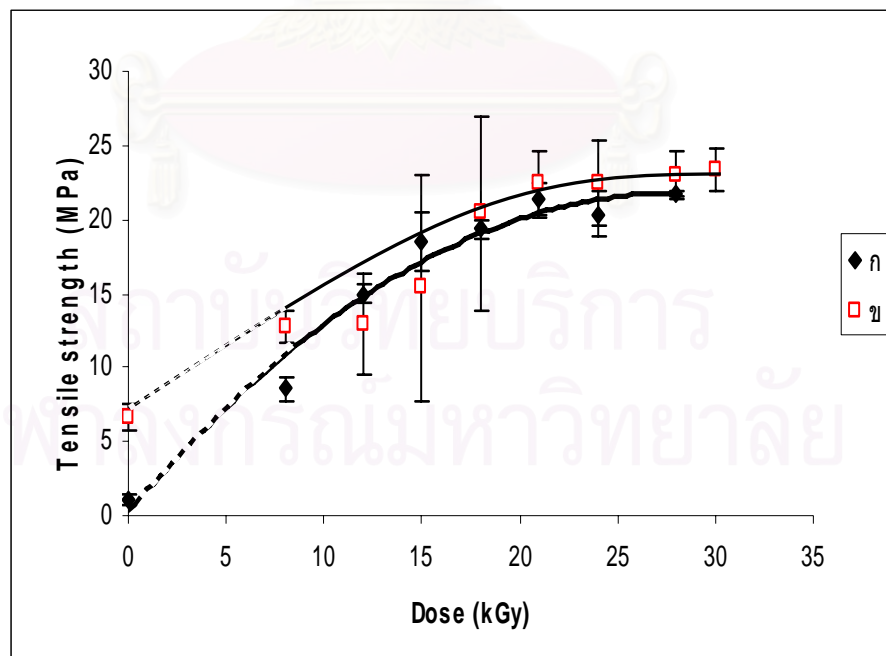
รูปที่ 4.60 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่ 55 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

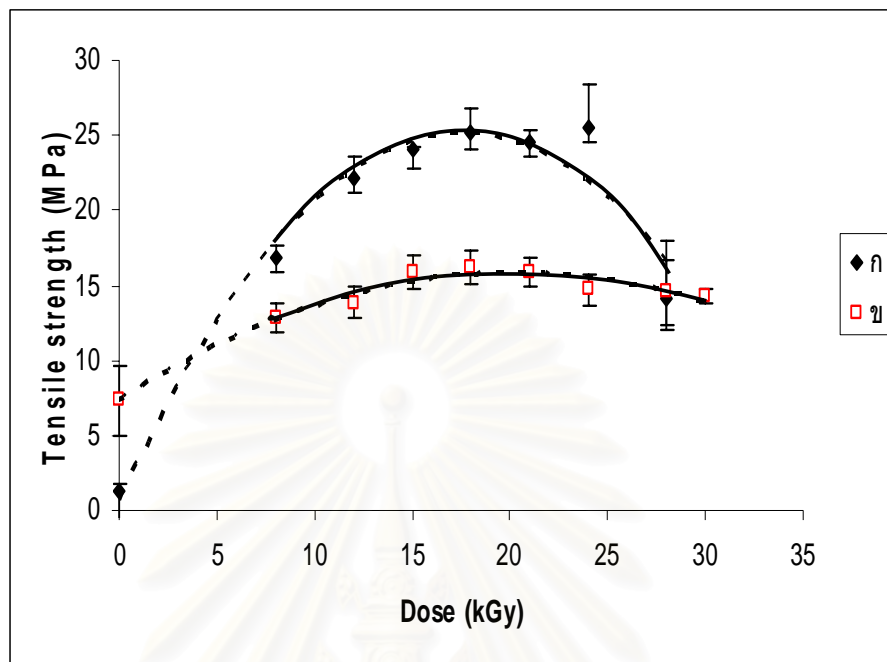
4.3 เปรียบเทียบความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี น้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆที่อุณหภูมิต่างๆของบริษัท แปงไบโอเทค จำกัด (ก) และ บริษัท ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด (ข)



รูปที่ 4.61 ความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 10 องศาเซลเซียส ของบจก. แปงไบโอเทค (ก) กับ บจก. ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี (ข)



รูปที่ 4.62 ความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 32 องศาเซลเซียส ของบจก. แปงไบโอเทค (ก) กับ บจก. ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี (ข)



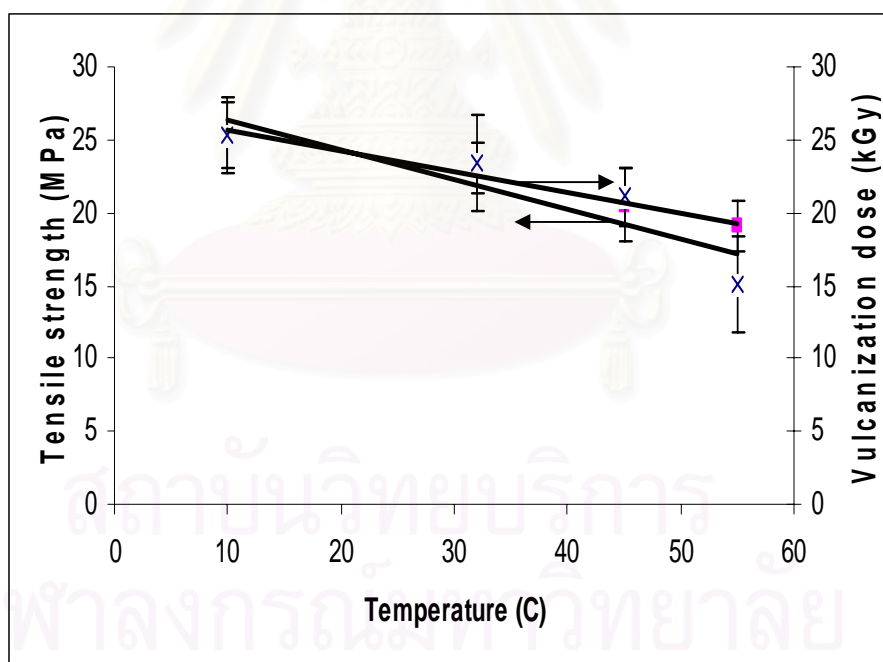
รูปที่ 4.63 ความต้านทานการดึงขนาดของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่ปริมาณรังสีต่างๆ ที่ 55 องศาเซลเซียส ของบจก.แพนไบโอเทค (ก) กับ บจก.ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี่ (ข)

4.4 ผลการทดลองหา Vulcanization dose และคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี น้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.46 ค่า Vulcanization dose และค่าความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสี
น้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิที่ฉายรังสีน้ำยาง (องศาเซลเซียส)	Vulcanization dose (kGy)	Tensile strength ของฟิล์มยาง (MPa)
10	25.33 ± 2.18	25.25 ± 2.61
32	23.00 ± 1.73	23.43 ± 3.33
45	20.50 ± 2.48	21.08 ± 2.01
55	19.00 ± 1.73	15.08 ± 3.31

N = 9

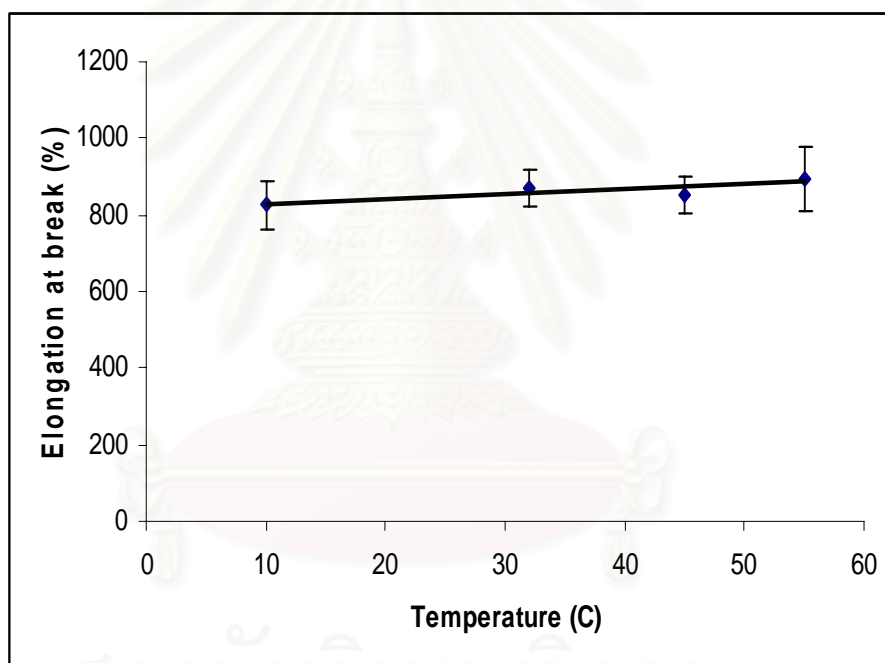


รูปที่ 4.64 ค่า Vulcanization dose และค่าความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่
อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.47 ค่า Elongation at break ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆที่
Vulcanization dose

อุณหภูมิที่ฉายรังสีน้ำยาง (องศาเซลเซียส)	Elongation at break ของฟิล์มยาง (%)
10	826 ± 62
32	872 ± 49
45	854 ± 47
55	898 ± 82

N = 9

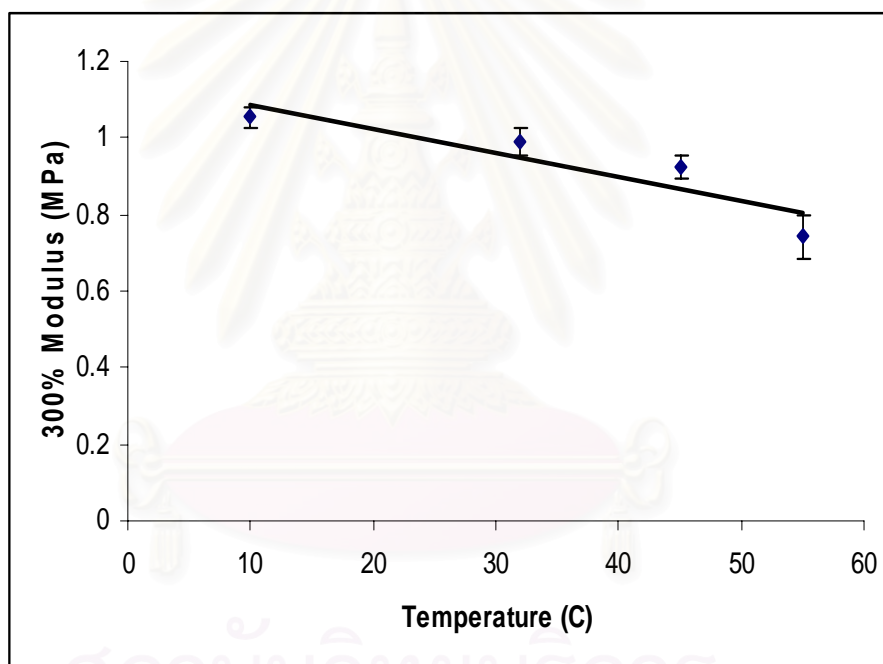


รูปที่ 4.65 ค่า Elongation at break ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆที่
Vulcanization dose

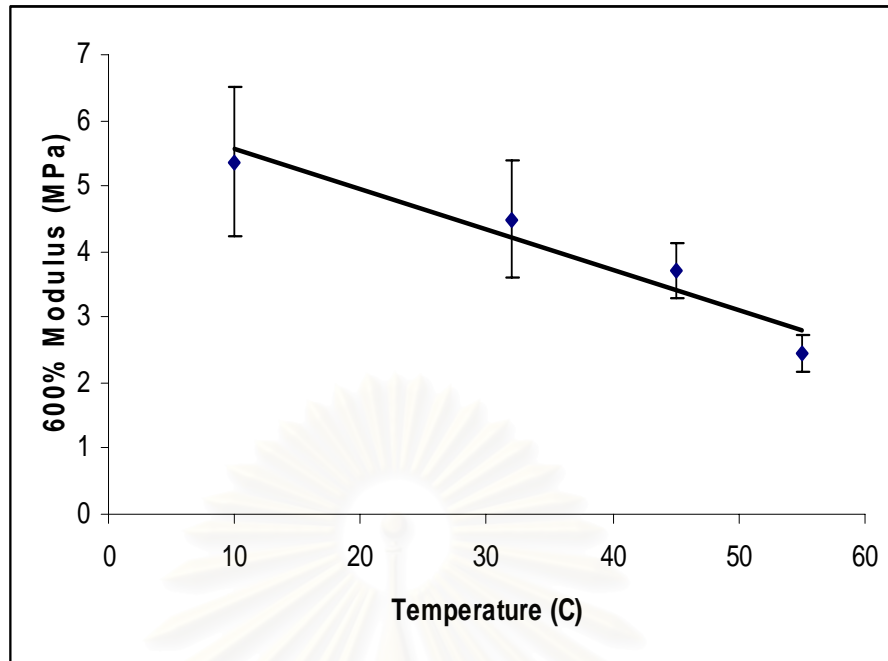
ตารางที่ 4.48 ค่า Modulus 300%, 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆที่
Vulcanization dose

อุณหภูมิที่ฉายรังสีน้ำยาง (องศาเซลเซียส)	Modulus 300% (kGy)	Modulus 600% (MPa)
10	1.054 ± 0.027	5.369 ± 1.14
32	0.987 ± 0.037	4.495 ± .885
45	0.924 ± 0.029	3.715 ± 0.42
55	0.743 ± 0.057	2.455 ± 0.276

N = 9



รูปที่ 4.66 ค่า Modulus 300% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆที่
Vulcanization dose



รูปที่ 4.67 ค่า Modulus 600% ของฟิล์มยางที่ได้จากการฉายรังสีน้ำยางที่อุณหภูมิต่างๆที่
Vulcanization dose

4.5 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ Vulcanization dose ทั้งก่อนและหลังบ่มเร่งเมื่อเติม TNPP

ตารางที่ 4.49 คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางก่อนและหลังบ่มเร่ง ฉายรังสีน้ำยาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

สารป้องกันการเสื่อม		Tensile strength (MPa)			Elongation at break (%)		
		ก่อนบ่ม	หลังบ่ม	%	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม	%
		เร่ง	เร่ง	decrease	เร่ง	เร่ง	decrease
ไม่เติม TNPP		25.10	19.95	21	815	705	13
เติม TNPP	1 phr	22.97	21.36	7	736	670	9
	2 phr	22.24	21.19	5	709	634	10

N = 3

สารป้องกันการเสื่อม		Modulus 300 %			Modulus 600 (%)		
		ก่อนบ่ม	หลังบ่ม	%	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม	%
		เร่ง	เร่ง	increase	เร่ง	เร่ง	increase
ไม่เติม TNPP		0.836	0.991	18	4.599	6.021	30
เติม TNPP	1 phr	0.935	1.058	13	5.187	6.030	15
	2 phr	0.957	1.038	9	4.857	5.352	25

N = 3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ผลการทดลองหาค่า Permanent set และ Swelling Ratio ของฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ให้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดก่อนและหลังบ่มเร่ง

ตารางที่ 4.50 คุณสมบัติ Permanent set ของฟิล์มยางที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิที่ฉายรังสีน้ำยาง (องศาเซลเซียส)	Permanent set (%)
10	5.00
32	5.25
45	5.28
55	5.28

N = 3

ตารางที่ 4.51 คุณสมบัติ Permanent set ของฟิล์มยางก่อนและหลังบ่มเร่ง

ที่ 10 องศาเซลเซียส 25 kGy		Permanent set (%)
ก่อนบ่มเร่ง	0 phr	5.00
	1 phr	5.20
	2 phr	5.20
หลังบ่มเร่ง	0 phr	6.25
	1 phr	5.28
	2 phr	5.28

N = 3

ตารางที่ 4.52 คุณสมบัติ Swelling Ratio ของฟิล์มยางที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิที่ฉายรังสีน้ำยาง (องศาเซลเซียส)	Swelling ratio
10	5.194
32	5.458
45	5.759
55	5.977
น้ำยางที่ไม่ฉายรังสี	40.386

N = 3

ตารางที่ 4.53 คุณสมบัติ Swelling Ratio ของฟิล์มยางก่อนและหลังบ่มเร่ง

ที่ 10 องศาเซลเซียส 25 kGy		Swelling ratio
ก่อนบ่มเร่ง	0 phr	5.168
	1 phr	5.165
	2 phr	5.187
หลังบ่มเร่ง	0 phr	6.001
	1 phr	5.648
	2 phr	5.726

N = 3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของน้ำยางพริ้วเวลาไนซ์ด้วยรังสีให้ได้ฟิล์มยางที่มีความต้านแรงดึงขนาดสูงขึ้นจากการใช้น้ำยางชั้น 60% จากบริษัท แพนไบโอเทคโนโลยี จำกัด และ บริษัท ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด พบว่าที่อุณหภูมิทำให้ผลในลักษณะเดียวกันคือ Tensile Strength สูงขึ้นแต่ต้องใช้ปริมาณรังสีสูงขณะที่อุณหภูมิห้องให้ Tensile Strength ประมาณ 22 MPa ทั้งสองบริษัท และที่อุณหภูมิสูงน้ำยางชั้นจากบริษัท ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด ให้ Tensile Strength ต่ำ ปริมาณรังสีที่ใช้ก็ต่ำแต่น้ำยางชั้นจากบริษัท แพนไบโอเทคโนโลยี จำกัด ให้ Tensile Strength สูง ปริมาณรังสีที่ใช้ต่ำ คาดว่าอันเนื่องมาจากน้ำยางชั้นของบริษัทแพนไบโอเทคโนโลยี จำกัด มีคุณสมบัติที่ไม่ดี ดังนี้

1. Magnesium Content สูงถึง 34 ppm ซึ่งไม่ควรเกิน 10 ppm
2. Maturing period นานเกินไป
3. Green strength ต่ำมาก โดยน้ำยางที่ดีควรมีค่าเกิน 7 MPa

เพราะฉะนั้นควรเลือกน้ำยางจากบริษัท ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด มาพริ้วเวลาไนซ์ด้วยรังสี เนื่องจากเป็นน้ำยางคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดในหัวข้อ 2.12 ดังนั้นจึงเอาข้อมูลน้ำยางชั้นของบริษัทมาสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิทำให้ Tensile Strength สูงแต่ใช้ปริมาณรังสีสูง ส่วน E_0 มีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามอุณหภูมิ Mod มีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 10 องศาเซลเซียส แต่จะต้องใช้ Vulcanization dose ในการฉายรังสีเพิ่มขึ้นคือ 25 kGy โดยใช้ n-BA 5 phr เป็นสารไวปฏิกิริยา ได้คุณสมบัติเชิงกลเกินกว่ามาตรฐาน ASTM D 3577 ที่กำหนดมาตรฐานของถุงมือผ่าตัดทางด้านการแพทย์ แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงมาตรฐานถุงมือผ่าตัดทางด้านการแพทย์ตาม ASTM D 3577 [10]

คุณสมบัติ	Tensile Strenght (MPa)	Elongation at Break (%)
ก่อนบ่มเร่ง	> 24 MPa	> 750 %
หลังบ่มเร่ง	> 18 MPa	> 560 %

จากการทดลองได้คุณสมบัติเชิงกลที่สูงกว่ามาตรฐาน ASTM D 3577 ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองที่อุณหภูมิค่าประมาณ 10 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติ	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)
ก่อนบ่มเร่ง	25.10 MPa	815 %
หลังบ่มเร่ง	19.95 MPa	705 %

ในการเติมสารป้องกันการเสื่อมที่ปริมาณ 1 phr และ 2 phr ได้ค่าคุณสมบัติเชิงกลต่างกันเล็กน้อยเพราะฉะนั้นควรเติม 1 phr โดยให้ค่า Tensile Strength หลังบ่มลดลงเพียง 7% ในขณะที่ไม่เติมสารป้องกันการเสื่อมลดลง 21% ส่วนสีของฟิล์มยางหลังบ่มเร่งคล้ายกัน ค่า Elongation at Break หลังบ่มเร่งถ้าเติมสารป้องกันการเสื่อมลดลง 9% ถ้าไม่เติมลดลงประมาณ 13% และค่า Modulus 300% หลังบ่มเร่งถ้าเติมสารป้องกันการเสื่อมจะเพิ่มขึ้น 13 % ถ้าไม่เติมเพิ่มขึ้น 18% และ Modulus 600% หลังบ่มเร่งถ้าเติมสารป้องกันการเสื่อมจะเพิ่มขึ้น 15 % ถ้าไม่เติมเพิ่มขึ้น 30%

คุณสมบัติ Permanent set ที่ Vulcanization dose ที่อุณหภูมิต่างๆได้ค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยได้ค่าประมาณ 5% ส่วนที่ 10 °C เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งพบว่า Permanent set หลังบ่มเร่งค่าเพิ่มขึ้นมากประมาณ 25% แต่ถ้าเติมสารป้องกันการเสื่อม Permanent set ค่าเพิ่มขึ้นเพียง 2%

คุณสมบัติ Swelling ratio ที่ปริมาณรังสีต่างๆพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีการบวมต่อตัวทำละลายอินทรีย์ยิ่งลดลง ส่วนการบวมที่ Vulcanization dose ที่อุณหภูมิต่างๆพบว่าที่อุณหภูมิ 10 °C การบวมน้อยที่สุดแสดงว่า Crosslink density สูง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งพบว่า Swelling Ratio หลังบ่มเร่งค่าเพิ่มขึ้นมากประมาณ 16% แต่ถ้าเติมสารป้องกันการเสื่อม Permanent set ค่าเพิ่มขึ้นเพียง 9%

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาและวิจัยต่อไปในการลดปริมาณ โพรดินแล้วมาฉายรังสีที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกล

5.2.2 ควรมีการทดลองและปฏิบัติการจุ่มเป็นถุงมือยางทางการแพทย์ให้ใหญ่ขึ้นในระดับห้องทดลอง และระดับอุตสาหกรรมของการวัลคาไนซ์ด้วยรังสี เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ในอนาคต

5.2.3 ควรมีการศึกษาและทดลองต่อไปในการฉายรังสีด้วยลำอิเล็กตรอนที่อุณหภูมิต่ำเพื่อ
ศึกษาคุณสมบัติเชิงกล



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หนังสืออ้างอิง

1. จิตติมา ชาญญาติ. การปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มยางที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีโดยการเติมซิลิกา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
2. ปราบธาดา คิ้วสุวรรณ. การทำให้แผ่นยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีมีความเสถียร โดยเติมสารป้องกันยางเสื่อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
3. K. Makuuchi. An Introduction to Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex. Bangkok : T.R.I.Global Co., Ltd, 2003.
4. ชยากกริต ศิริอุปถัมภ์, กฤษณา สุชีวะ, มานิตย์ ช้อนสุข, วิศิษฐ์ กสิวิวัฒน์. การขยายกำลังการผลิตน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสีสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมด้วยเครื่องฉายรังสีแกมมาขนาดเล็. รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์, 2547.
5. ธเนศ อินทรลักษณ์. การพัฒนาท่อโพลีเอทีลีน/เอทีลีน ไวนิลอะซิเตตหดตัวได้ด้วยความร้อนโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
6. Alumanda M. Dela Rosa, Lucille V. Abad, Sta Ana-RElleve, Charito O. Tranquilan and Cristina L. Pascual. "RADIATION VULCANIZATION OF PHILIPPINE NATURAL RUBBER LATEX," in The Second International Symposium on RVNRL, Kuala Lumpur, Malasia.1996, pp. 15-35.
7. CHEN ZHONGGHAI, K. Makuuchi "n-Butyl Acrylate as a Sensitizer for Radiation of Natural Rubber Latex," in PROCESSINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RADIATION VULCANIZATION OF NATURAL RUBBER LATEX , ed Sueo MACHI, 1990, pp. 326-334.
8. พงษ์ธร แซ่ฮุย. สารเคมียาง, พิมพ์ครั้งที่ 1, ปทุมธานี : สำนักพิมพ์ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ, 2548.
9. J.W.T Spinks and R.J. Woods, AN INTRODUCTION TO RADIATION CHEMISTRY, John Wiley & Sons, 1980.
10. Standard Specification for Rubber Surgical Gloves. ASTM : D 3577.
11. กุลธิดา วงศ์กนิวัฒน์. A study of gamma-radiation of natural rubber latex, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาโพลีเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 1992.

12. นวตฉวี รุ่งชนเกียรติ. วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.

กรุงเทพ : สำนักพิมพ์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

บริษัท แปงไบโอเทคโนโลยี จำกัด

Our Reference	LOT NO. 031	
Date of Production	3/ม.ค./48	
Expiry Date	31/ธ.ค./49	
Date Testing	30/ม.ค./49	
		HA
T.S.C. (Total Solid Content % by Weight)		61.55
D.R.C. (Dry Rubber Content % by weight)		60.21
Non Rubber Solid (%)		1.34
Alkalinity (% on total weight)		0.64
Alkalinity (% on total phase)		1.66
M.S.T. (Mechanical Stability Time at 55% T.S.C.) in seconds		968
V.F.A. (Volatile Fatty Acid Number)		0.046
PH		10.42
KOH Number		0.65
Magnesium Content (PPM on Latex)		34.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

บริษัท ไทยรับเบอร์เทคโนโลยี จำกัด

Our Reference	H1002HAT 5	
Type of Latex	High Ammonia	
Date of Production	17/10/2006	
Date Testing	04/12/49	
		HA
T.S.C. (Total Solid Content % by Weight)		61.46
D.R.C. (Dry Rubber Content % by weight)		60.02
Non Rubber Solid (%)		1.44
Ammonia Content (% on total weight)		0.70
Ammonia Content (% on total phase)		1.85
M.S.T. (Mechanical Stability Time at 55% T.S.C.) in seconds		878
V.F.A. (Volatile Fatty Acid Number)		0.0245
PH		10.77
KOH Number		0.5329
Magnesium Content (PPM on Latex)		0
Specific Gravity		0.9447
Viscosity (60% TS.Spinle no.1.60rpm) cps.		65.8
Coagulum Content, ppm (mesh)		24

ประวัติผู้เขียน

นาย อนิรุทธิ์ ส่องศรี เป็นบุตรนายสมนึกและนางอำนาจ ส่องศรี มีภูมิลำเนาอยู่ที่ 60 ม.1 ต.พุดดินนา อ.คลองท่อม จ.กระบี่ จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนวัดแจ้งวิทยา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนแสงทอง ระดับปริญญาบัณฑิตที่สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา สาขาวิชาฟิสิกส์ ระดับปริญญาโทเข้าศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่ 2547 - 2549



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย