

15480,



รายงานโครงการวิจัย

เรื่อง

การวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยการฉายรังสี

Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex

โดย

ปริญญา อรุณวิสุทธี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่

ธวัช ชิตตระการ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่

สมหมาย ช่างเขียน

ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่

จิราพร อินทร์จันทร์

ศูนย์วิจัยยางสงขลา ภาควิชาเกษตรและสหกรณ์ หาดใหญ่

ร.ม.อ.

เลขที่	TS 1891 / 16 2534 - 1
เลขทะเบียน	015832
	12 ก.พ. 2533

บทคัดย่อ

การวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยการฉายรังสีโดยใช้น้ำยางชั้นจากแหล่งต่างๆในประเทศ เมื่อใช้สารไวปฏิกิริยารูปชนิดต่างๆ คือ n-BA, n-BA/HPO, n-BA/CCl₄, n-BA/HPO/CCl₄ เพื่อศึกษาถึงปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ หลังจากการใช้สารไวปฏิกิริยารูปชนิดเดียวกันพบว่า โดสที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ของน้ำยางจากแหล่งต่างๆไม่เท่ากัน และค่าความทนแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางมีค่าอยู่ระหว่าง 20-23 MPa น้ำยางที่ให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุดที่โดสเหมาะสมต่ำๆจะถูกเลือกมาทดสอบกับสารไวปฏิกิริยารูปชนิดอื่นๆ จากการทดลองพบว่า n-BA จะให้โดสที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์สูงกว่า 15 kGy เมื่อใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมกันคือ 0.1phr HPO/5 phr n-BA, 0.5 phr CCl₄/5 phr n-BA โดสที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์จะลดต่ำลงเหลือประมาณ 10 kGy แต่เมื่อใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมกันทั้งสามชนิดคือ 0.1 phr HPO/0.5phr CCl₄/5 phr n-BA โดสที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์ประมาณ 10 kGy เช่นกัน แต่ค่าทนแรงดึงได้สูงสุดจะต่ำกว่ากรณีที่ใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมกันสองชนิด สำหรับการยืดตัวจนขาดประมาณ 1000% และค่าคืนตัวของยางหลังจากถูกยืดประมาณ 4.0 ซึ่งเป็นค่าที่ค่ามาตรฐานสำหรับถุงมือยางที่ใช้ทางการแพทย์ยอมรับได้ จากค่าโมดูลัสที่ 300% ได้ค่าประมาณ 1.0 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำแสดงถึงความนุ่มเมื่อสัมผัส แผ่นฟิล์มที่เตรียมได้มีความโปร่งใส และในการทดลองนี้ยังได้ศึกษาผลของการล้างแผ่นยางด้วยน้ำและด้วยสารละลายแอมโมเนียพบว่าค่าความทนแรงดึงสูงสุดไม่แตกต่างกัน

สัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	American Society for Testing and Material
BS	British Standard
HPO	t-Butylhydroperoxide
JIS	Japanese Industrial Standard
kGy	Gray, หน่วยปริมาณรังสี, 1 Gy = 1 Joule/kg, 1 kGy = 1000 Gy
MPa	1 Pascal = 1 Newton/mm ² , 1 MPa = 10.197 kg/cm ²
n-BA	n-Butyl Acrylate
phr	part per hundred rubber
ppb	part per billion
RVNRL	Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex
TSC	Total Solid Content

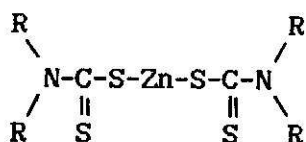
สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
สัญลักษณ์และคำย่อ	iii
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย	3
1.2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.2.2 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.2.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. การวิจัย	3
2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการดำเนินการวิจัย	3
2.1.1 วัสดุและอุปกรณ์	3
2.1.2 ขั้นตอนของการวิจัย	4
2.2 ผลการวิจัย	7
2.2.1 ผลของสารไวปฏิกิริยาชนิดต่างๆต่อน้ำยางจากแหล่งต่างๆ	7
2.2.2 ผลของการชะล้างต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นยาง	7
3. วิจารณ์และสรุป	7
3.1 ผลของสารไวปฏิกิริยาชนิดต่างๆต่อน้ำยางจากแหล่งต่างๆ	7
3.2 ผลของการชะล้างต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นยาง	8
4. ข้อเสนอแนะ	9
ตารางที่ 1-7	10-12
รูปที่ 1-6	13-17
เอกสารอ้างอิง	18
ภาคผนวก	19

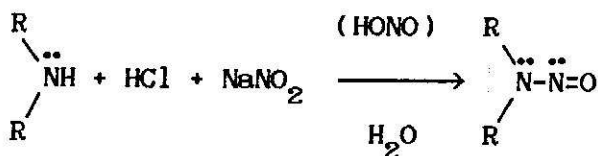
1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

น้ำยางวัลคาไนซ์ (vulcanized latex) หรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (pre-vulcanized latex) เป็นน้ำยางที่เตรียมขึ้นโดยให้มีการครอสลิงค์ (cross-linking) ระหว่างโมเลกุลของยาง เพื่อนำไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ยางแบบจุ่ม (dipping products) เช่น ลูกโป่ง, ถังมือยาง, จุกนม, ถังยางอนามัย เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วการผลิตน้ำยางวัลคาไนซ์ นอกจากจะใช้กำมะถันเป็นตัวทำให้เกิดการครอสลิงค์แล้ว ยังต้องเติมสารเคมีชนิดอื่นอีก เช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารกระตุ้น (activator), สารเร่งปฏิกิริยา (accelerator) แล้วให้ความร้อนจะทำให้โมเลกุลของยางเกิดการครอสลิงค์ด้วยสะพานซัลไฟด์ (sulphide bridge) ดังแสดงในรูปที่ 1 (1) สารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ได้แก่ สารอินทรีย์ที่มีกำมะถันหรือไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น สารพวกไดอัลคิลไดไธโอคาร์บาเมต (dialkyl dithiocarbamate) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังแสดง



สารนี้จะทำให้เกิดเอมีนทุติยภูมิ (secondary amines) และคาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbon disulphide) สารพวกเอมีนเมื่อเกิดปฏิกิริยากับออกไซด์ของไนโตรเจน จะทำให้เกิดสารไนโตรซามีน (nitrosamine) ดังแสดงในปฏิกิริยา (2)



สารไนโตรซามีนเชื่อว่าเป็นสารที่ก่อมะเร็ง (carcinogenic) และสารไดอัลคิลไดไธโอคาร์บาเมตที่เหลือจากปฏิกิริยา อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและบางรายอาจเกิดการแพ้ (allergy) ได้ หลังจากการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ยาง พบไนโตรซามีนซึ่งมีความเข้มข้นค่อนข้างสูงดังแสดงในตารางที่ 1 (3) หลายประเทศในแถบยุโรปมีการกำหนดปริมาณสารไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์บางประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับเด็กดังแสดงใน

ตารางที่ 2 (4)

รังสีแกมมา (gamma rays) นำมาใช้ในอุตสาหกรรมโพลีเมอร์ ในแง่ที่เป็นตัวทำให้เกิดอนุมูล (radical) เช่น อุตสาหกรรมการผลิตฉนวนหุ้มสายไฟ, โฟม, การเคลือบผิววัสดุ เป็นต้น การใช้รังสีแกมมาในการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติ ถูกนำมาเผยแพร่เป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1956 ⁽⁵⁾ ซึ่งโดสของการวัลคาไนซ์สูงมาก (>300 kGy) ในทางอุตสาหกรรมถือว่าไม่คุ้มทุนในการผลิต ต่อมามีการใช้สารไวปฏิกิริยา (sensitizer) ที่เหมาะสมบางตัวเติมลงในน้ำยางก่อนนำไปฉายรังสีเช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride, CCl_4) พบว่าลดโดสของการวัลคาไนซ์ลงเหลือ 40 kGy ⁽⁶⁾ ซึ่งมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 2 ⁽⁷⁾ และเกิดการครอสลิงค์ของโมเลกุลยางด้วยพันธะ C-C การใช้สารไวปฏิกิริยาพวกโพลิฟังก์ชันัล โมโนเมอร์ (polyfunctional monomer, PFM) เช่น 1,6-เฮกเซนไดออลไดอะครีเลต (1,6-hexanediol diacrylate, A-HD) ซึ่งเป็นพวกไฮโดรฟิลิกโมโนเมอร์ (hydrophilic monomer) จะความสามารถในการละลายในเนื้อยางได้น้อยกว่า PFM ตัวอื่น ๆ เพราะโมเลกุลของยางเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) แต่ประสิทธิภาพในการวัลคาไนซ์สูงกว่า PFM ตัวอื่น และเนื่องจาก A-HD ละลายในเนื้อยางได้น้อยจึงทำให้เสถียรภาพของน้ำยางต่ำลง จึงมีการเติมสารช่วยทำให้เสถียร (stabilizer) ลงในน้ำยางร่วมกับ A-HD เช่น ลิโกริน (li groin), โมโนฟังก์ชันัลโมโนเมอร์ (monofunctional monomer, MFM) พบว่า ⁽⁹⁻¹⁰⁾ ลดโดสของการวัลคาไนซ์ลงเหลือ 15kGy และนอกจากนี้ยังพบว่า MFM ยังทำหน้าที่เป็นสารไวปฏิกิริยาร่วม (co-sensitizer) อีกด้วยกล่าวคือ เมื่อใช้ A-HD ร่วมกับ 2-ethyl hexyl acrylate (2-EHA) จะลดโดสของการวัลคาไนซ์ลงเหลือ 10 kGy ⁽¹¹⁾ เนื่องจาก MFM มีราคาถูกกว่าและการละลายเข้าในเนื้อยางได้ดีกว่า PFM จึงมีการศึกษา MFM หลายชนิด และพบว่า 2-EHA ⁽¹²⁾ อย่างเดียวจะมีโดสของการวัลคาไนซ์เท่ากับ 30 kGy แต่เมื่อใช้ร่วมกับ CCl_4 จะลดโดสของการวัลคาไนซ์ลงเหลือ 15 kGy ⁽¹³⁾ และเชื่อว่าโมเลกุลของยางจะเกิดการครอสลิงค์ด้วยสะพานโมโนเมอร์ (monomer bridge) ดังแสดงในรูปที่ 3 ⁽¹⁴⁾ ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นได้มากกว่ากรณีที่ใช้ CCl_4 เป็นสารไวปฏิกิริยา

เนื่องจากกลิ่นของ 2-EHA ค่อนข้างแรงและจุดเดือดสูง จึงเป็นยากที่จะกำจัด 2-EHA ที่ยังคงเหลือตกค้างอยู่ผลิตภัณฑ์ยางออกให้หมด จึงมีการนำเอา n-butyl acrylate (n-BA) ซึ่งเป็น MFM อีกตัวมาใช้แทนที่ 2-EHA ในแง่ที่ สารนี้ระเหยง่ายกว่าและพบว่าสามารถลดโดสของการวัลคาไนซ์ลงเหลือ 12 kGy ⁽¹⁵⁾ โดยที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) เป็นสารช่วยทำให้เสถียร ต่อมามีการนำเอาไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, HPO) มาใช้ร่วมกับ MFM เช่นเมื่อเติมคิวมินไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (cumene hydroperoxide) ลงในน้ำยางที่มี 2-EHA และ CCl_4 พบว่าลดโดสของการวัลคาไนซ์ลงเหลือ 10 kGy ⁽¹³⁾

และเมื่อศึกษา HPO หลายตัวร่วมกับ n-BA พบว่า t-บิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (t-butyl hydroperoxide, HPO1) สามารถลดโดสของการวัลคาไนซ์ลงเหลือเพียง 8 kGy⁽¹⁶⁾ และนอกจากนี้ยังพบว่า การเติม n-BA ลงในน้ำยางก่อนนำไปฉายรังสีเพียง 1-2 ชั่วโมงจะทำให้น้ำยาง RVNRL มีเสถียรภาพสูงกว่าและให้ค่าทนแรงดึงสูงสุดสูงกว่า เมื่อเติม n-BA แล้วทิ้งไว้ค้างคืน

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ เป็นการหาชนิดและปริมาณสารไวปฏิกิริยาที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติที่ได้จากแหล่งต่างๆ โดยการฉายรังสี

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. หาโดสของการวัลคาไนซ์ ของน้ำยางจากแหล่งต่างๆ
2. หาชนิดและปริมาณของสารไวปฏิกิริยา ที่สามารถลดโดสของการวัลคาไนซ์
3. หาวิธีลดปริมาณสารเคมีที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์

1.2.2 ขอบเขตของการวิจัย

1. หาชนิดและปริมาณสารไวปฏิกิริยาที่เหมาะสม เติมลงในน้ำยางตัวอย่างที่ได้จากแหล่งต่างๆ แล้วนำไปฉายรังสีด้วยโดสสะสมต่างๆ
2. ทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางที่ได้ แล้วหาโดสของการวัลคาไนซ์
3. เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของยางเมื่อล้างด้วยน้ำและเมื่อล้างด้วยสารละลายแอมโมเนีย

1.2.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้น้ำยางธรรมชาติจากแหล่งที่เหมาะสมในการใช้ฉายรังสี
2. ได้ชนิดของสารไวปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สามารถลดโดสของการวัลคาไนซ์

2. การวิจัย

2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1.1 วัสดุ อุปกรณ์

1. น้ํายางธรรมชาติ เป็นน้ํายางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ISO 2004 - 1979 (E) จากแหล่งผลิตต่างๆ 3 แหล่งคือ บ.จะนะน้ํายาง จำกัด, บ.ยางงาม จำกัด, และ บ.ชัยพลาเท็กซ์ จำกัด

2. สารไวปฏิกิริยา

- CCl_4 , A.R Grade, บ. E Merck จำกัด, เยอรมัน
- n-BA, Technical Grade, บ. Toagosei Chem. Ind. จำกัด, ญี่ปุ่น
- t-Butyl hydroperoxide, บ. Nihon Yoshi, ญี่ปุ่น

3. สารเคมีอื่นๆ

- KOH, A.R. Grade, บ. Baker Chem. จำกัด, ฮอลแลนด์
- NH_4OH 27%, A.R. Grade, บ. E. Merck จำกัด, เยอรมัน
- Toluene, Technical Grade, บ. E. Merck จำกัด, เยอรมัน

4. อุปกรณ์

- เครื่องกวนด้วยแม่เหล็ก, บ. Sybron จำกัด, อังกฤษ
- เครื่องฉายรังสี Gamma Beam-650, บ. Atomic Energy of Canada, แคนาดา, ความแรงรังสี 4.0 kGy/h (2533) ที่ pitch diameter 30 cm (รายละเอียดของเครื่อง ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก)

- Nylon thin film FWT-60-00 dosimeter, บ. Farwest Technology, ส.ร.อ

- เครื่องทดสอบแรงดึง Instron 1026

- เครื่องทดสอบแรงดึง Instron 1026

2.2.1 ขั้นตอนของการวิจัย

1. การเตรียมน้ำยางก่อนฉาย ใช้ส่วนผสมตามสูตรต่อไปนี้

น้ำหนักแห้ง (ส่วน), phr

	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4
น้ำยาง 60% TSC	100	100	100	100
KOH 10%	0.2	0.2	0.2	0.2
n-BA	5.0	5.0	5.0	5.0
CCl_4	0.0	0.0	0.5	0.5
HPO	0.0	0.1	0.0	0.1
NH_3 1%	เจียน้ำยางใหม่ปริมาณ 50% TSC			

เตรียมน้ำยางตามสูตรดังกล่าว ให้มีน้ำหนักรวมประมาณ 700 g ในบีกเกอร์ขนาด 1 L การเติมสารต่างๆจะต้องเติมพร้อมกันหมด (ยกเว้น n-BA) แล้วกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งไว้ค้างคืน จากนั้นเติม n-BA แล้วกวนต่อไปอีก 1 ชั่วโมง

2. การฉายรังสีน้ำยาง เทน้ำยางที่ได้จากข้อ 1 ลงในขวดแก้วที่มีฝาเกลียวปิดขนาด 100 cm^3 ขวดละ 90 cm^3 ปิดฝาให้แน่นแล้วติด nylon film dosimeter ไว้ที่ผิวนอกขวด

2 ด้านนำไปฉายรังสีให้ได้โดสสะสมต่างๆ

3. การเตรียมแผ่นฟิล์มทดสอบโดยนำน้ำยางที่ฉายรังสีแล้วประมาณ 35 cm^3 ผสมกับน้ำ 10 cm^3 กวนให้เข้ากัน และเทผ่านตระแกรงขนาด 250 เมช ลงบนแผ่นกระจกขนาด $15 \times 15 \text{ cm}^2$ ที่มีขอบสูงประมาณ 1 mm ทั้งให้แห้งจนใส่ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำแผ่นยางไปแช่ในน้ำ (หรือในสารละลายแอมโมเนีย 1%) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นยางขึ้นมาล้างด้วยน้ำกลั่น ตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปอบที่ 70°C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง นำแผ่นยางที่แห้งมาโรยด้วยแป้งฝุ่น (talcum powder) เพื่อกันไม่ให้แผ่นยางติดกัน ก่อนนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยาง

4. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยาง

สมบัติทางกายภาพของยาง ที่ใช้เป็นหลักในการพิจารณา คือ สมบัติค่าความทนแรงดึงได้สูงสุด (tensile strength, Tb), สมบัติโมดูลัส (modulus), สมบัติการยืดจนขาด (elongation at break, Eb), สมบัติการคืนตัวของยางหลังจากถูกยืด (permanent tension set, PS) และสมบัติการบวมของยางในตัวทำละลาย (linear swelling index)

การทดสอบสมบัติของยางทำตามมาตรฐานของ ISO 37-1977(E) หรือ

ASTM D 412-80

- สมบัติความความทนแรงดึงได้สูงสุด

หาได้โดยบันทึกแรงดึงขณะที่แผ่นยางถูกดึงจนขาดซึ่งหาได้จากสูตร

$$T_b = F/A$$

เมื่อ F = แรงดึงสูงสุด เมื่อยางถูกดึงจนขาด หน่วยเป็น กิโลกรัม

A = พื้นที่ตัดขวางของแผ่นยาง หน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร

หน่วยของ Tb เป็น kg/cm^2 และในหน่วย SI เป็น เมกะปาสคาล

(MPa) โดยที่ $1 \text{ MPa} = 10.197 \text{ kg/cm}^2$

- สมบัติโมดูลัส

คือ ความต้านแรงดึงเมื่อยางถูกดึงจนถึงจุดที่กำหนดซึ่งมักเป็นที่ 300% หรือ 600% หาได้โดยบันทึกค่าแรงดึงที่จุดที่ยางถูกดึงออก 300% หรือ 600% ของความยาวเดิม แล้วแทนค่าในสูตร

$$\text{modulus} = f/A$$

เมื่อ f = แรงดึงเมื่อขยายได้ความยาวตามที่ต้องการ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

โลกรัม

A = พื้นที่ตัดขวางของแผ่นยาง หน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร

- สมบัติการยืดจนขาด

คือเปอร์เซ็นต์ของความยาวที่ย่างยืดออกจนขาดเมื่อเทียบกับความยาว

เดิม ซึ่งหาได้จากสูตร

$$Eb = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

เมื่อ L = ความยาวของแผ่นยางเมื่อถูกดึงจนขาด

L_0 = ความยาวของแผ่นยางก่อนถูกดึง

- สมบัติการคืนตัวของยางหลังจากถูกยืด

ใช้วิธีตามมาตรฐานของ ISO2285 - 1985 (E) โดยตัดยางแล้วทำเครื่องหมายให้ระยะห่างกัน 2.5 cm แล้วนำไปดึงให้ยางยืดออก 100% นาน 24 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้ยางคืนตัวนาน 30 นาที วัดระยะห่างของเครื่องหมายอีกครั้ง แล้วแทนค่าในสูตร

$$PS = \frac{L - L_0}{L_s - L_0} \times 100$$

เมื่อ L_0 = ระยะห่างของเครื่องหมายก่อนนำยางไปดึง

L_s = ความยาวที่ดึงยางไว้ตามเวลาที่กำหนด

L = ระยะห่างของเครื่องหมายที่ทำไว้หลังจากดึงยางแล้วและปล่อยให้

ไว้นาน 30 นาที

- การทดสอบดัชนีการบวมของยางในตัวทำละลาย

ใช้ตามมาตรฐานของ BS 1673 : Part 4.1963 โดยตัดยาง วัดและบันทึกความยาวแล้วนำไปแช่ในโหลอื่นที่ 25 °C นาน 24 ชั่วโมง แล้ววัดความยาวของชิ้นตัวอย่าง แทนค่าลงในสูตร

$$\text{Linear swelling index} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

เมื่อ L = ความยาวของยางหลังจากแช่ใน โทลูอีน
 L_0 = ความยาวของยางก่อนแช่ใน โทลูอีน

2.2 ผลการวิจัย

2.2.1 ผลของสารไวพฏิกิริยานิตต่างๆต่อน้ำยางจากแหล่งต่างๆ

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางที่เตรียมได้จาก น้ำยางธรรมชาติที่ได้จากแหล่งต่างๆ โดยใช้สารไวพฏิกิริยาชุดที่ 1, 2 และ 3 ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 3, 4 และรูปที่ 4, 5

สำหรับน้ำยางจากแหล่ง ค. เมื่อเติมสารไวพฏิกิริยาลงไป น้ำยางจะข้นและหนืดขึ้นมากจนไม่สามารถนำไปเตรียมแผ่นฟิล์มได้

การทดสอบความทนแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางที่เตรียมได้จากน้ำยางจากแหล่งก. โดยใช้สารไวพฏิกิริยาชุดที่ 2, และ 4 ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 6

สำหรับสมบัติทางกายอื่นๆเช่น ค่าโมดูลัส เบอร์เซนต์การยืดจนขาด สมบัติการคืนตัวของยางหลังจากถูกยืด ดัชนีการบวมของยางในตัวทำละลายของแผ่นยางที่เตรียมได้จากน้ำยางจากแหล่ง ก. โดยใช้สารไวพฏิกิริยาชุดที่ 2 โดยใช้โดสสะสมที่ 9.22 kGy ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6

2.2.2 ผลของการแช่ล้างต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นยาง

เมื่อแช่แผ่นยางที่เตรียมได้จากน้ำยางจากแหล่ง ก. ด้วยสารไวพฏิกิริยาชุดที่ 1 ที่ โดสสะสมต่างๆในน้ำและสารละลายแอมโมเนีย 1% แล้วนำไปทดสอบวัดค่าความทนแรงดึงได้สูงสุด ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7

3. วิจารณ์และสรุป

3.1 ผลของสารไวปฏิกิริยานิตต่างๆต่อน้ำยางจากแหล่งต่างๆ

จากรูปที่ 4 และ 5 เมื่อใช้ n-BA เป็นสารไวปฏิกิริยา โดสที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ของน้ำยางจากแหล่ง ก. และ ข. สูงกว่า 15 kGy และค่าทนแรงดึงได้สูงสุดประมาณ 20-23 MPa แต่เมื่อใช้น้ำยางจากแหล่ง ค. หลังจากเติม n-BA แล้วตั้งทิ้งไว้ค้างคืน น้ำยางจะข้นและหนืดขึ้น แสดงให้เห็นว่าน้ำยางจากแหล่ง ค. ไม่เหมาะกับสารไวปฏิกิริยานิตนี้ เมื่อใช้สารไวปฏิกิริยา HPO ร่วมกับ n-BA กับน้ำยางที่ได้จากแหล่ง ก. และ ข. พบว่าโดสที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ลดต่ำกว่า 15 kGy และค่าทนแรงดึงสูงสุดประมาณ 20-23 MPa แสดงให้เห็นว่า HPO มีส่วนในการลดโดสของการวัลคาไนซ์ให้ต่ำลง และเมื่อใช้ CCl_4 ร่วมกับ n-BA สำหรับ

น้ำยางจากแหล่ง ก. พบว่า CCl_4 ช่วยลดโด้สของการวัลคาไนซ์ให้ต่ำลง เช่นเดียวกับเมื่อใช้ HPO ในกรณีที่ใช้กับน้ำยางจากแหล่ง ข. พบว่าโด้สของการวัลคาไนซ์ต่ำลงเช่นกัน แต่ค่าทนแรงดึงสูงสุดมีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ HPO แสดงให้เห็นว่า สารไวปฏิกิริยาแต่ละชนิดให้ผลกับน้ำยางที่มาจากแหล่งต่างๆต่างกัน

จากรูปที่ 6 ในกรณีที่ใช้สารไวปฏิกิริยาหลายตัวร่วมกันคือ n-BA/HPO/ CCl_4 พบว่า โด้สของการวัลคาไนซ์พวกับเมื่อใช้ n-BA/HPO แต่ค่าทนแรงดึงสูงสุดลดต่ำลง เป็นไปได้ว่า HPO 0.1 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสม ในการใช้ร่วมกับ 5 phr n-BA และ CCl_4 0.5 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ร่วมกับ 5 phr n-BA แต่เมื่อยังคงใช้ HPO และ CCl_4 ปริมาณคงเดิมร่วมกับ 5 phr n-BA แม้ว่าโด้สของการวัลคาไนซ์จะเท่าเดิมก็ตามแต่ค่าทนแรงดึงสูงสุดต่ำลง ซึ่งอาจเกิดจากการครอสลิงค์ที่หนาแน่นเกินไป หรือปริมาณของ CCl_4 ที่เหลืออยู่จะทำหน้าที่เป็นตัวแทรก (inclusion) ในแผ่นยาง จึงมีผลทำให้ค่าทนแรงดึงสูงสุดของแผ่นต่ำลง จากการทดลองนี้แสดงให้เห็น CCl_4 0.5 phr เป็นปริมาณที่ไม่เหมาะสมกับการใช้ร่วมกับ 0.1 phr HPO และ 5 phr n-BA

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่า ค่าโมดูลัสที่ 300% ค่อนข้างต่ำกล่าวคือ มีค่าประมาณ 1.0 แสดงถึงความนุ่มมือของแผ่นฟิล์มเมื่อสัมผัส และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดจนขาดประมาณ 1000 ค่าคืนตัวของยางหลังการถูกยืดประมาณ 4.0 ซึ่งเป็นค่าที่เกินกว่าระดับมาตรฐานที่กำหนดสำหรับถุงมือยางทางการแพทย์ (JIS Z 4810; Eb = 700%, PS = 10%)

3.2 ผลการชะล้างต่อสมบัติทางกายภาพของแผ่นยาง

จากตารางที่ 7 จะเห็นว่าที่โด้สสะสมเดียวกัน ค่าทนต่อแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางเมื่อชะล้างด้วยน้ำและสารละลายแอมโมเนียมีค่าไม่แตกต่างกันมาก

จากการทดลองดังกล่าวทั้งหมด พอสรุปได้ว่า

1. สารไวปฏิกิริยาแต่ละชนิดมีต่อน้ำยางจากแหล่งต่างๆไม่เหมือนกัน กล่าวคือ n-BA จะมีโด้สที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์ต่อน้ำยางจากแหล่ง ก. และ ข. ที่ค่ามากกว่า 15 kGy และค่าทนแรงดึงสูงสุดประมาณ 22 MPa ส่วนน้ำยางจากแหล่ง ค. นั้นไม่สามารถใช้กับสารไวปฏิกิริยาตัวนี้ได้

2. เมื่อใช้ HPO หรือ CCl_4 ร่วมกับ n-BA เป็นสารไวปฏิกิริยาร่วมกันกับแหล่งน้ำยาง ก. จะมีโด้สที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์ประมาณ 10 kGy ค่าทนแรงดึงได้สูงสุดประมาณ 22 MPa และไม่แตกต่างกัน แต่สำหรับน้ำยางจากแหล่ง ข. จะมีโด้สที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์ประมาณ 10 kGy เช่นกัน ค่าทนแรงดึงสูงสุดเมื่อใช้ CCl_4 ร่วมกับ n-BA ประมาณ 19 MPa ซึ่งต่ำกว่าเมื่อใช้ HPO ร่วมกับ n-BA ซึ่งจะมีค่าทนแรงดึงสูงสุดประ

มาก 22 MPa

3. เมื่อใช้สารไวปฏิกิริยา HPO, CCl_4 ร่วมกับ n-BA โดสที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์ประมาณ 10 kGy แต่ค่าทนแรงดึงสูงสุดต่ำกว่าเมื่อใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมกันสองชนิด
4. สมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น มีความนุ่มมือเมื่อสัมผัส สมบัติการยืดจนขาด การคืนตัวของยางหลังจากถูกยืด มีค่าที่ค่ามาตรฐานยอมรับได้ ส่วนการชะล้างแผ่นยางด้วยน้ำ และสารละลายแอมโมเนีย ไม่ทำให้ค่าทนแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางแตกต่างกัน

4. ข้อเสนอแนะ

1. ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันที่ขึ้นรูปโดยใช้น้ำยางที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน แล้วเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์นั้น
 2. วิเคราะห์หาปริมาณสารตกค้างในผลิตภัณฑ์ เช่น สารพวกไนโตรซามีน สารไวปฏิกิริยา แล้วเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำยางที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน
 3. เฝ้าผลิตภัณฑ์ หาปริมาณ ถ้า ออกไซด์ของกำมะถันและไนโตรเจน แล้วเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน
 4. ทดสอบความอยู่ตัวของน้ำยางที่ฉายรังสี โดยทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่างๆ ด้วยการวัดความหนืด ความคงตัวต่อเครื่องกล แล้วทดสอบสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการตั้งน้ำยางทิ้งไว้
 5. ศึกษาถึงปัจจัยที่ทำให้น้ำยางจากแหล่งต่างๆ มีผลต่อสารไวปฏิกิริยาชนิดต่างๆ โดยใช้น้ำยางสดจากแหล่งต่างๆ โดยไม่ต้องเติมสารเคมีใดๆ ก่อนนอกจากแอมโมเนีย
 6. ทดลองในระดับมาตรฐานส่วนที่ใหญ่ขึ้น โดยใช้กับเครื่องฉายรังสีระดับการผลิตเชิงอุตสาหกรรมของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
-

ตารางที่ 1 Volatile nitrosamines in rubber articles

Products	Nitrosamines present	Concentration ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Nursing -bottle nipples (teats) and pacifiers	N-nitrosodimethylamine	up to 200
	N-nitrosodiethylamine	up to 100
	N-nitrosodibutylamine	up to 70
	N-nitrosopiperidine	up to 100
Rubber toys	N-nitrosodimethylamine	up to 25
	N-nitrosodibutylamine	up to 10
Gloves	N-nitrosodimethylamine	up to 10
	N-nitrosodiethylamine	up to 10
	N-nitrosopiperidine	up to 100
Air balloon	N-nitrosodimethylamine	up to 150
	N-nitrosodiethylamine	up to 30

ตารางที่ 2 Nitrosamine limits concerning teats and soothers

	Federal Republic of Germany	Netherlands	Denmark	United ^a Kingdom	EEC ^b
Nitrosamines (ppb)	10	1	5	30 total 15 each	20 total 10 each
Nitrosatable amines (ppb)	200	20	50	-	200
Extraction method	artificial saliva	artificial saliva	artificial saliva	Dichloro methane	not fixed

^a Regulation for soothers only

^b Draft directive 11/6/87

ตารางที่ 3 ค่าความทนแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางที่เตรียมน้ำยางจากแหล่ง ก. ที่โดสละสม
ต่างๆเมื่อใช้สารไวปฏิกิริยาต่างชนิดกัน

โดสละสม (kGy)	สารไวปฏิกิริยา		
	ชุดที่ 1 (MPa)	ชุดที่ 2 (MPa)	ชุดที่ 3 (MPa)
4.61	6.25	10.65	12.22
7.24	9.39	21.42	15.86
9.22	11.37	23.02	22.03
11.85	19.90	23.29	22.23
13.83	23.10	21.91	21.49
16.13	23.20	20.37	21.85
18.43	23.04	18.00	13.80

ตารางที่ 4 ค่าความทนแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางที่เตรียมจากน้ำยางแหล่ง ข. ที่โดสละสม
ต่างๆเมื่อใช้สารไวปฏิกิริยาต่างกัน

โดสละสม (kGy)	สารไวปฏิกิริยา		
	ชุดที่ 1 (MPa)	ชุดที่ 2 (MPa)	ชุดที่ 3 (MPa)
4.61	5.01	17.97	10.57
7.24	7.95	21.25	17.20
9.22	10.00	23.82	19.14
11.85	18.26	22.67	19.50
13.83	20.54	23.24	18.81
16.13	17.55	20.99	18.16
18.43	21.26	21.98	17.97

ตารางที่ 5 ค่าความทนแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางที่เตรียมได้จาก RVNRL ที่โดสสะสมต่าง ๆ โดยใช้สารไวพิกิริยาชุดต่างๆ โดยใช้น้ำยางจากแหล่ง ก.

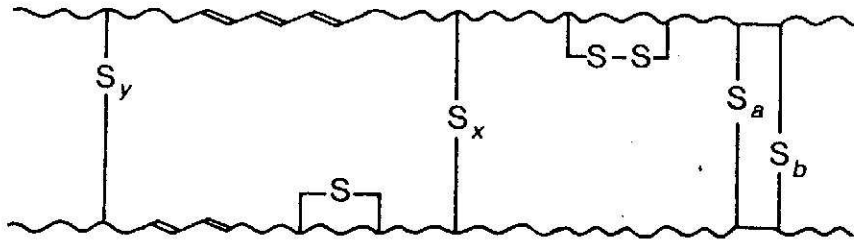
โดสสะสม (kGy)	สารไวพิกิริยา	
	ชุดที่ 2 (MPa)	ชุดที่ 4 (MPa)
0	8.22	11.81
5.01	21.10	19.50
7.56	21.41	20.00
9.94	20.50	19.11
12.47	20.75	16.62

ตารางที่ 6 แสดงค่าสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางที่เตรียมได้จาก RVNRL ที่โดสสะสม 9.22 kGy โดยใช้สารไวพิกิริยาชุดที่ 2 จากน้ำยางแหล่ง ก.

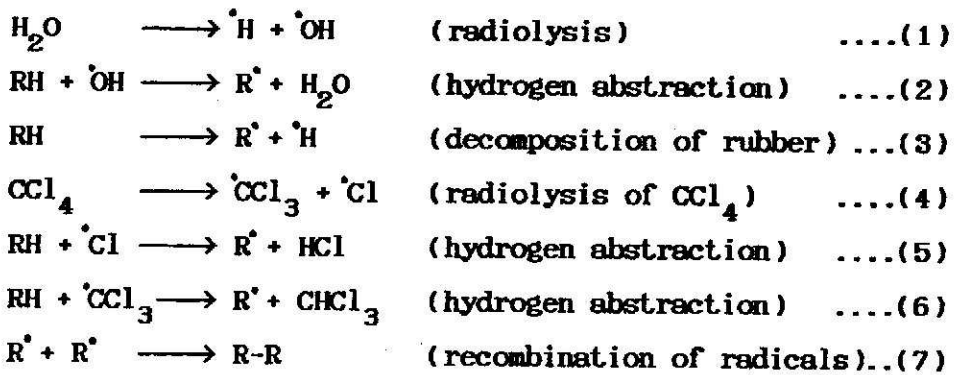
Tb (MPa)	300% Modulus (MPa)	Eb (%)	PS (%)	Swelling ratio
23.02	1.00	1000	4.0	7.5

ตารางที่ 7 ค่าความทนแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางเมื่อชะล้างด้วยน้ำและสารละลายแอมโมเนีย 1%

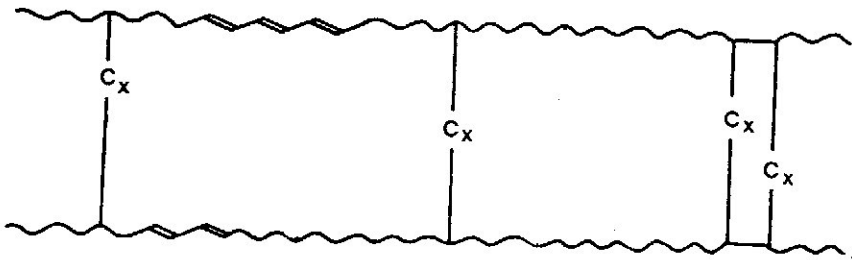
โดสสะสม (kGy)	ในน้ำ (MPa)	ในสารละลาย NH_3 (MPa)
7.24	13.35	12.47
9.22	22.35	23.63
11.85	20.82	16.34
13.83	18.80	20.99
16.13	17.18	16.02
18.43	17.33	16.57



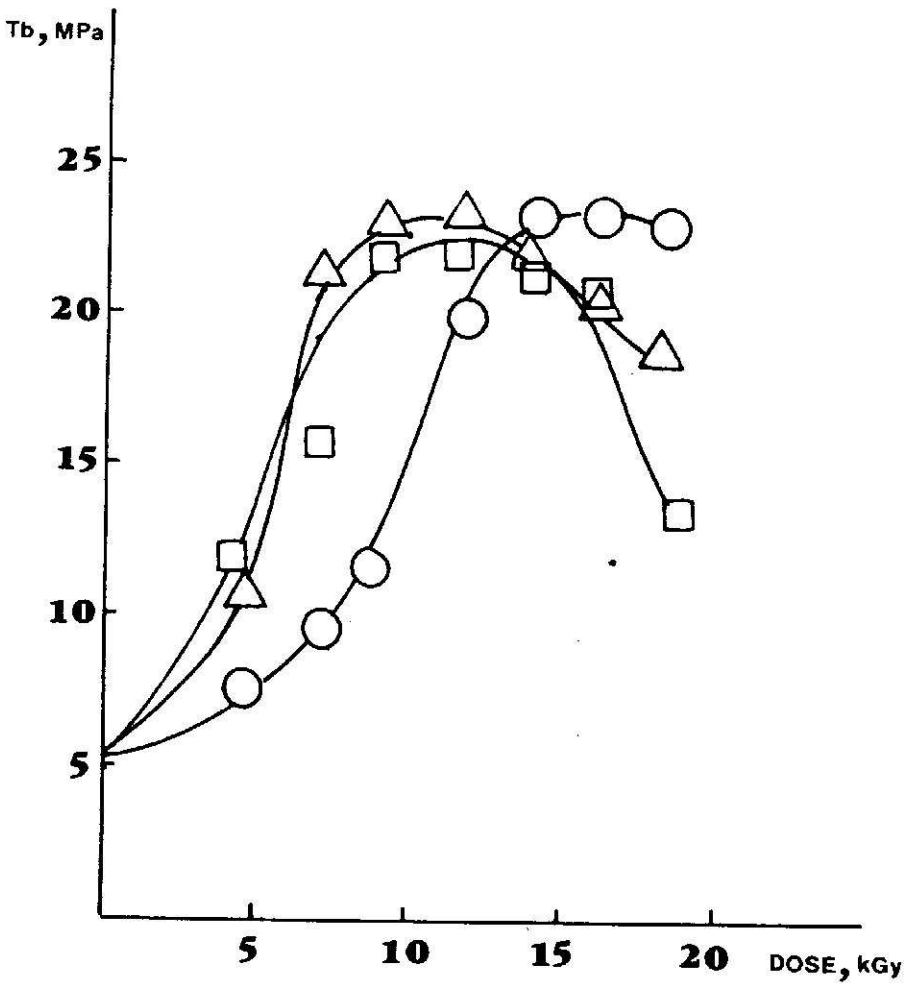
รูปที่ 1 แผนภาพแสดงโครงสร้างอย่างง่ายของโมเลกุลยางที่เกิดครอสลิงค์ด้วยสะพานซัลไฟด์



รูปที่ 2 แสดงกลไกการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเมื่อใช้ CCl_4 เป็นสารไวปฏิกิริยา

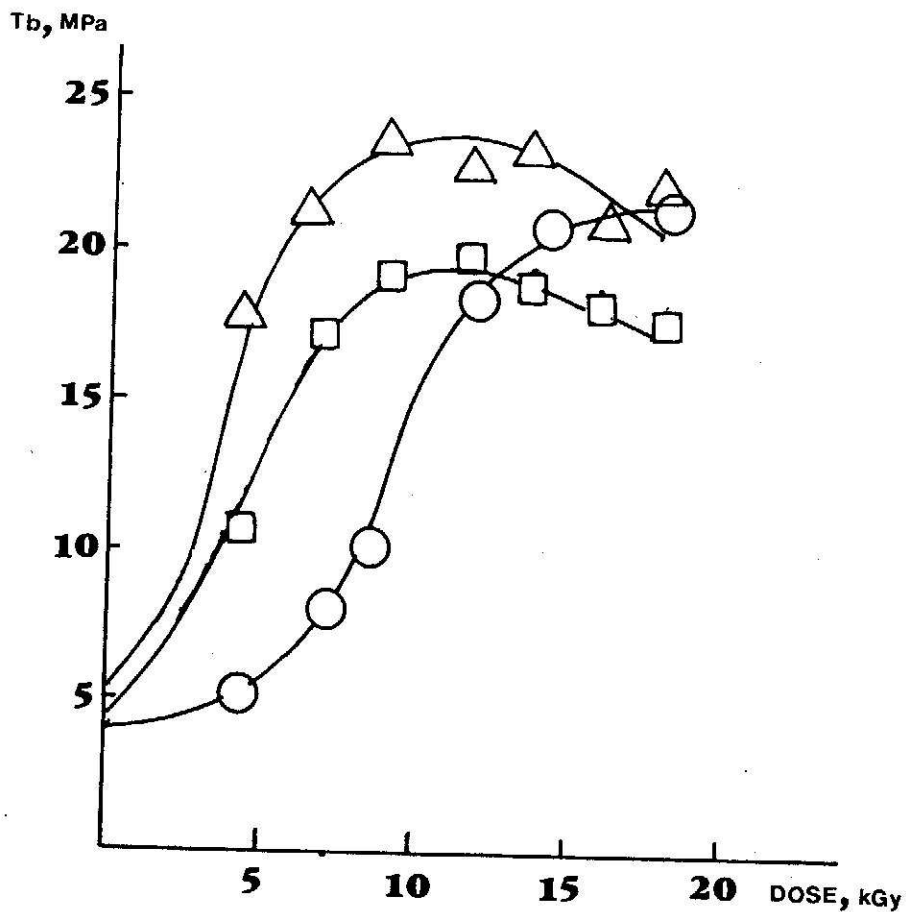


รูปที่ 3 แผนภาพแสดงโครงสร้างไม่เหลกขางเมื่อเกิดการครอสลิงค์ด้วยสะพานไมโนเมอร์ เมื่อวัลคาไนส์นํ้ายางด้วยรังสีโดยใช้ไมโนเมอร์เป็นสารไวปฏิกิริยา



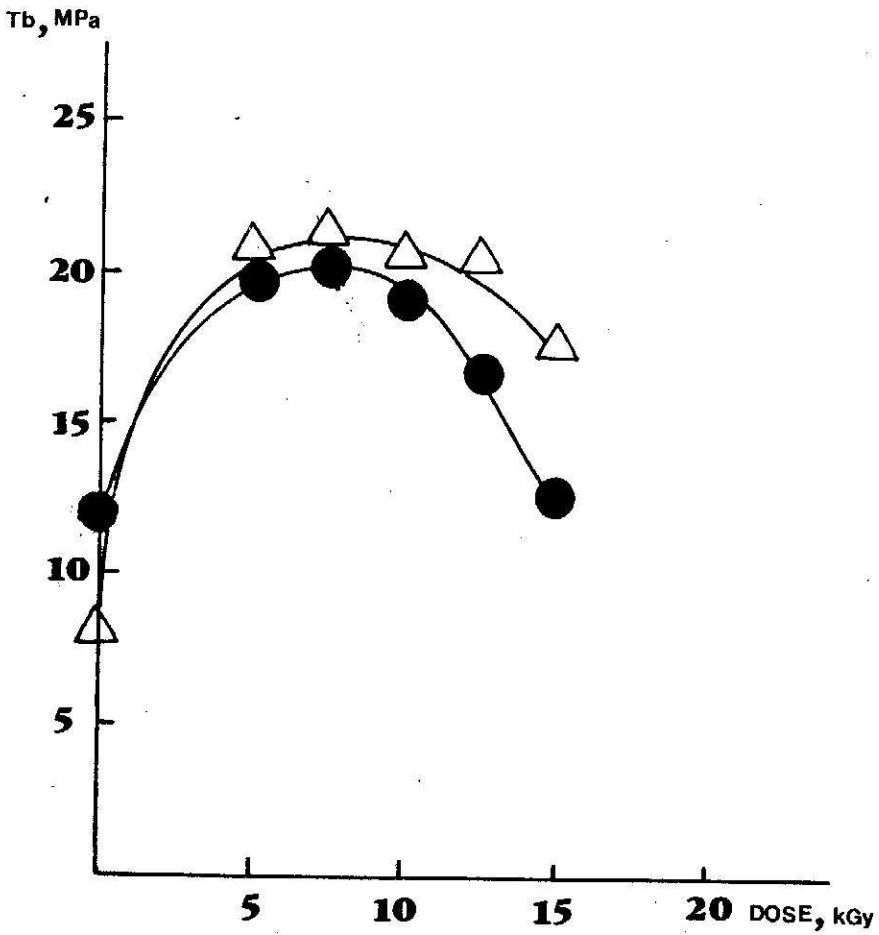
รูปที่ 4. ค่าทานแรงดึงได้สูงสุดของแผ่นยางที่เตรียมได้จากน้ำยางธรรมชาติแหล่ง ก. ที่โดสละสมต่างๆ เมื่อใช้สารไวปฏิกิริยาต่างชนิดกัน

(○ = n-BA, △ = HPO/n-BA, □ = CCl₄/n-BA)



รูปที่ 5. ค่าทนแรงดึงได้สูงสุดของแผ่นยางที่เตรียมได้จากน้ำยางธรรมชาติแหล่ง ช.
ที่โดสละสมต่างๆ เมื่อใช้สารไวปฏิกิริยาต่างชนิดกัน

(○ = n-BA, △ = HPO/n-BA, □ = CCl₄/n-BA)



รูปที่ 6. ค่าทนแรงดึงได้สูงสุดของแผ่นยางที่เตรียมได้จากน้ำยางธรรมชาติแหล่ง ก. ที่โดสละสมต่าง ๆ เมื่อใช้สารไวปฏิกิริยาต่างชนิดกัน

(○ = HPO/n-BA, ● = HPO/CCl₄/n-BA)

เอกสารอ้างอิง

1. A.D.Roberts, **Natural Rubber Science and Technology**, Oxford Univ. Press, 1988
2. T.W.Graham Solomons, **Organic Chemistry**, 4th ed, John Wiley & Sons, Inc., 1988
3. Speigelhalder and Preussmann R., **Environmental Carcinogens Selected Methods of Analysis**, Vol.1, No.41, Int. Agency for Research on Cancer, Cylon, 1983
4. H.Neipel, **RVNRL in Europe**, Proc.of the Int.Sym.of RVNRL, JAERI-M 89-228, 1990
5. B.W.Pounder, **British Patent 853, 926**, 1960
6. Y.Minoura and M.Asoe, **J.appl.Polym.Sci.**, 5, ,401, 1961
7. K.Makuuchi., **Recent Progress in RVNRL**, unpublished paper, 1989
8. F.Sundardi, M.Utama, S.Iskandar, and Herwinarni, **Development of Condom and Gloves from RVNRL**, Proc.of the Int.Sym.of RVNRL, JAERI-M 89-228, 1990
9. K.Makuuchi and M.Hagiwara, **J.Appl.Polym.Sci.** 29,965, 1984
10. K.Makuuchi, M.Hagiwara and T.Serizawa, **Radiat.Phys.Chem.**, 24,203,1984
11. K.Makuuchi and K.Tsushima, **RVNRL with Acrylic Monomers**, Int.Rubber Conf., KL, Malaysia, 1985
12. K.Makuuchi and K.Tsushima, **J.Soc.Rubber Ind., Japan**, 61, 478, 1988
13. R.Devendra and K.Makuuchi, **Combination Effect of Carbon Tetrachloride with 2-Ethylhexyl Acrylate as Sensitizer for RVNRL**, Proc.of the Int.Sym.of RVNRL, JAERI-M 89-228, 1990
14. S.Chyagrit, K.Makuuchi, and I.Ishigaki, **Radiation Vulcanization Mechanism of Liquid Isoprene with 2-Ethylhexyl Acrylate**, Proc.of the Int.Sym.of RVNRL, JAERI-M 89-228, 1990
15. C.Zhonghai and K.Makuuchi, **n-Butyl Acrylate as a Sensitizer for RVNRL**, Proc.of the Int.Sym.of RVNRL, JAERI-M 89-228, 1990
16. P.Aroonvisoot and K.Makuuchi, **Selection of Hydroperoxide as Co-Sensitizer for n-Butyl Acrylate**, Proc.of the Int.Sym.of RVNRL, JAERI-M 89-228, 1990

เครื่องฉายรังสีระดับกึ่งห้องปฏิบัติการ

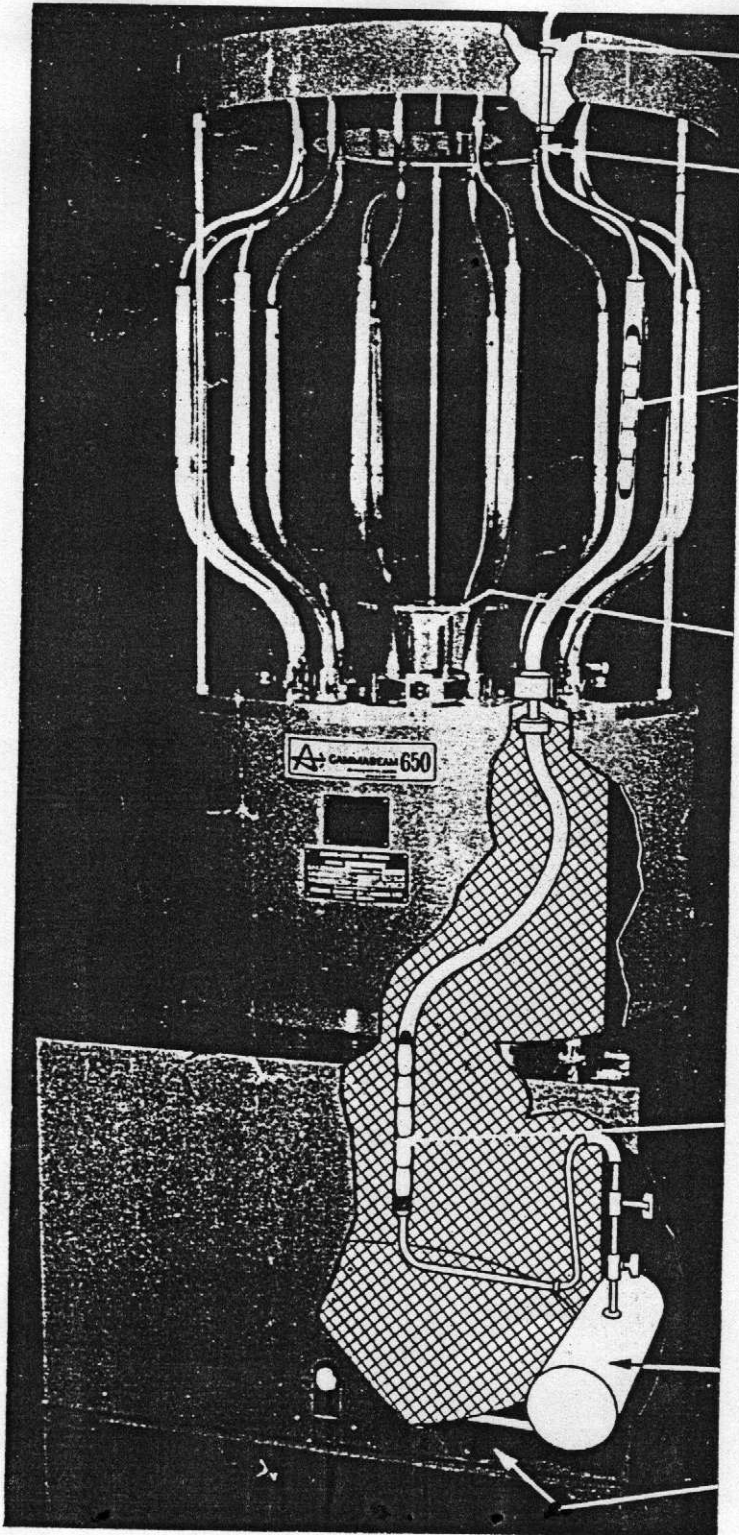
เครื่องฉายรังสีแกมมาบีม 650 (GAMMA BEAM) เป็นเครื่องฉายรังสีที่ผลิตโดย บริษัท Atomic Energy of Canada Limited (AECL) ปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น Nordion International Incorporation แห่งประเทศแคนาดา เครื่องฉายรังสีชนิดนี้ได้รับการออกแบบให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับใช้ในงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ และระดับโรงงานกึ่งห้องปฏิบัติการ สามารถปรับอัตราความแรงรังสี (dose rate) ได้หลายระดับ การฉายรังสีทำได้รอบตัว (panoramic irradiator) ลักษณะของเครื่องประกอบด้วย

1. ท่อบรรจุต้นกำเนิดรังสี Co-60 ทำด้วยเหล็กไวส์นัมมีจำนวนทั้งหมด 12 ท่อ เรียงกันเป็นทรงกระบอก ล้อมรอบแท่นสำหรับวางตัวอย่างเพื่อฉายรังสี ท่อบรรจุต้นกำเนิดรังสีทั้ง 12 ท่อนี้สามารถกางออกจนสุด และหุบเข้าหาจุดศูนย์กลางได้ ระยะห่างระหว่างท่อที่อยู่ตรงกันข้ามเรียกว่า เส้นผ่าศูนย์กลาง (pitch diameter) เมื่อต้องการความแรงรังสีเท่าใด สามารถทำได้โดยการกางหรือหุบท่อบรรจุต้นกำเนิดรังสี ความแรงรังสีขึ้นกับเส้นผ่าศูนย์กลาง และปริมาณรังสีจาก Co-60 ที่มีอยู่ ที่เส้นผ่าศูนย์กลางที่แคบที่สุดคือ 11.4 cm จะมีความแรงรังสีสูงสุดและที่เส้นผ่าศูนย์กลางที่กว้างที่สุดคือ 82.5 cm จะมีความแรงรังสีต่ำสุด

2. ต้นกำเนิดรังสี ขณะที่ยังไม่ได้ฉายรังสีเม็ด Co-60 จะบรรจุอยู่ในท่อที่หุ้มด้วยตะกั่วหนา เพื่อกักรังสีไม่ให้เป็นอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานขณะนำตัวอย่างเข้าฉายรังสี กลไกการฉายรังสีถูกควบคุมด้วยตู้ควบคุมซึ่งอยู่นอกห้องฉายรังสี ขณะฉายรังสี Co-60 จะเคลื่อนขึ้นสู่ตำแหน่งฉายรังสีด้วยระบบลมอัด กรณีที่มีเหตุขัดข้อง Co-60 จะตกลงสู่ที่เก็บด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก หรืออาจใช้ลวดต้นเม็ด Co-60 จากภายนอกห้องฉายรังสีให้ตกลงยังที่เก็บได้

3. การฉายรังสี ห้องฉายรังสีประกอบด้วยผนังและหลังคาคอนกรีตหนา 1.5 m เพื่อกักรังสีแก่ผู้ปฏิบัติงานขณะฉายรังสี เมื่อต้องการฉายรังสีผู้ปฏิบัติงานจะต้องนำตัวอย่างเข้าไปวางที่แท่นฉายรังสี แล้วปรับเส้นผ่าศูนย์กลางตามความแรงรังสีที่ต้องการ การฉายรังสีสามารถวางสารตัวอย่างไว้ตรงกลางวงล้อมของท่อ Co-60 หรือจะวางโดยรอบนอกก็ได้ ตู้ควบคุมการฉายรังสีจะมีระบบความปลอดภัยภายในติดต่อกับกลไกการปิดและเปิดประตูห้องฉายรังสี เพื่อป้องกันการผิดพลาด หากประตูไม่เปิดระบบล็อกภายในจะไม่ยอมให้ Co-60 เคลื่อนขึ้นสู่ตำแหน่งฉายรังสี และหาก Co-60 ยังไม่กลับสู่บริเวณที่เก็บที่เป็นตะกั่วหนา ทำให้ปริมาณรังสีภายในห้องฉายรังสีสูง ซึ่งจะเป็นอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงาน ระบบล็อกภายในจะทำงาน ทำให้ไม่สามารถเปิดประตูห้องฉายรังสีได้ ที่ตู้ควบคุมจะมีสวิตช์ควบคุมการทำงานของท่อบรรจุ Co-60 แต่ละท่อแยกกันจึงสามารถเลือกใช้หรือไม่ใช้ท่อใดท่อนึงก็ได้ ในขณะที่เดินเครื่องไฟเลี้ยงจะปรากฏบนสวิตช์เหล่านั้น เพื่อแสดงว่ามี Co-60 ขึ้นที่ท่อใดบ้าง

เครื่องฉายรังสีแกมมาบีม 650



Emergency return cables

Pivot points

Source in irradiate position

Removable sample stand

Source in storage position

Compressed air tank

Air inlet