

การพัฒนาวัสดุกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำที่มีความยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยยางพาราธรรมชาติ
ยางสังเคราะห์เอสปีอาร์และบิสมีท

นายนิพัฒน์ เขาทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

DEVELOPMENT OF FLEXIBLE LOW-ENERGY GAMMA RAY SHIELDING MATERIAL
COMPOSING OF NATURAL RUBBER-SYNTHETIC SBR AND BISMUTH

Mr.Nipat kaotong

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

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

นิพนธ์ เขาทอง : การพัฒนาวัสดุกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำที่มีความยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยยางพาราธรรมชาติ ยางสังเคราะห์เอสบีอาร์และบิสมัท (Development of Flexible low-energy gamma ray shielding material composing of natural rubber- synthetic SBR and bismuth) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
 ผศ.ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสง, 92 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการขึ้นรูปน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสบีอาร์ ในอัตราส่วนต่างๆร่วมกับวัสดุกำบังรังสี ได้แก่บิสมัทแบบผง และสารละลายบิสมัทในสัดส่วนที่ต่างกัน โดยใช้เครื่องกวนสารเคมีที่ความเร็ว 500รอบต่อนาที เป็นเวลา 25นาที และเทลงบนแบบพิมพ์ที่มีความหนา 5มม. ผลการวิจัยพบว่าส่วนผสมที่ประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสบีอาร์ ในอัตราส่วนในอัตราส่วน 50:50 สามารถลดทอนรังสีแกมมาได้ดีเมื่อเทียบกับสัดส่วนทั้งหมด เมื่อนำมารวมกับบิสมัทชนิดผง 100 phr มีค่าการลดทอนรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม -137(662 keV) ที่ 27.7 % และไอโอดีน -131(364 keV) ที่ 48.9 % และน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสบีอาร์ อัตราส่วน 50:50ร่วมกับบิสมัทชนิดสารละลาย20 phr มีค่าการลดทอนรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม -137 (662 keV)ที่ 26.6 % และไอโอดีน -131(364 keV) ที่ 39.4 % และจากการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาพบว่ามีกระจายตัวของวัสดุกำบังรังสีสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงานและสามารถกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีพลังงานต่ำได้ดี

ภาควิชา.....วิศวกรรมนิวเคลียร์.....ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา..นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2555.....

5270355921 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : FLEXIBLE LOW ENERGY GAMMA RAY / NATURAL RUBBER

/ SYNTHETIC SBR

NIPAT KAOTONG : DEVELOPMENT OF FLEXIBLE LOW-ENERGY GAMMA
RAY SHIELDING MATERIAL COMPOSING OF NATURAL RUBBER-STYENE
SBR AND BISMUTH. ADVISOR:ASST.PROF DOONYAPONG
WONGSAWAENG Ph.D, 92 pp.

This research developed a flexible low energy gamma ray shielding material by blending PVNRL and SBR in the presence of radiation shielding materials, bismuth powder and bismuth solution. The results indicate that PVNRL/SBR blend, with the blend ratio of 50/50 in the presence of bismuth can shield low energy gamma rays. The obtained shielding material with 100 phr of bismuth powder gave 27.7 % attenuation of gamma radiation emitted by nuclide ^{137}Cs (662 keV) and 48.9 % attenuation of gamma ray generated by nuclide ^{131}I (364 keV). The presence of 20 phr bismuth solution 26.6 % attenuation of gamma radiation emitted by nuclide ^{137}Cs (662 keV) and 39.4 % attenuation of gamma ray generated by nuclide ^{131}I (364 keV).

Department : Nuclear Engineering Student's Signature

Field of Study : Nuclear Technology Advisor's Signature

Academic Year : 2555

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ดุจยพงศ์ วงศ์แสงวง ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ แนะนำและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมนิเวศศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้คำแนะนำและสนับสนุนในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบุคลากรทุกท่าน จากส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ เกษตรที่ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับวัตถุดิบและวิธีการในการขึ้นรูปยางพาราธรรมชาติ

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ และน้องๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมนิเวศศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนเสมอมา จนสามารถสำเร็จการศึกษาได้อย่างลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 บทนำ.....	4
2.2 คุณสมบัติของรังสีแกมมา.....	4
2.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม 137.....	4
2.4 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ไอโอดีน 131.....	5
2.5 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีลีเนียม 75.....	6
2.6 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร.....	6
2.6.1 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect).....	6
2.6.2 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton effect).....	7
2.6.3 ปรากฏการณ์แพร์โปรดักชัน (Pair Production).....	8
2.7 การลดทอนรังสีแกมมา.....	10
2.8 ยาง.....	14
2.9 ยางธรรมชาติ (Natural rubber) รูปแบบของยางธรรมชาติ.....	14
2.10 โครงสร้างของยางธรรมชาติ.....	14
2.11 คุณสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ.....	16

2.12	การผสมยางธรรมชาติกับพอลิเมอรัชนิดอื่น.....	17
2.13	ยางสไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene – Butadiene Rubber, SBR)	18
2.14	โครงสร้าง การผลิต และคุณสมบัติของยาง SBR.....	18
2.15	คุณสมบัติทั่วไปของยางสไตรีนบิวตาไดอีน.....	20
2.16	การผสมยาง SBR กับพอลิเมอรัชนิดอื่นๆ.....	21
2.17	การใช้งานยาง SBR.....	21
2.18	บิสมีท ลักษณะบิสมีท.....	22
2.19	กรดซัลฟิวริกหรือ กรดกำมะถัน (sulfuric acid หรือ sulphuric acid).....	23
2.20	โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซดาไฟ (NaOH).....	24
บทที่ 3วิธีการดำเนินการวิจัย		
3.1	วัสดุและอุปกรณ์วิจัย.....	25
3.1.1	ต้นกำเนิดรังสีแกมมา.....	25
3.1.1.1	ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Caesium-137).....	25
3.1.1.2	ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ไอโอดีน 131 (¹³¹ I).....	26
3.1.1.3	ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีลีเนียม 75 (Selenium 75).....	26
3.1.2	ระบบวัดรังสีแกมมา.....	27
3.1.2.1	หัววัดรังสีชนิด Gamma Scintillator.....	27
3.1.2.2	ระบบนับวัด.....	27
3.1.3	น้ำยางพาราธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ (Vulcanizable natural rubber Latex).....	28
3.1.4	น้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ (Carboxylated Styrene/Butadiene latex รุ่น DOW LATEX 832) จากบริษัท DOW CHEMICAL THAILAND LTD.....	28
3.1.5	วัสดุดูดกลืนรังสีแกมมา.....	29
3.1.6	เครื่องแก้ว.....	29
3.1.7	แท่นขึ้นรูปแผ่นยาง.....	29
3.1.8	เครื่องผสมสาร.....	30
3.1.9	เครื่องชั่ง.....	30
3.1.10	กรดกำมะถัน หรือ กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid หรือ Sulphuric acid).....	30
3.1.11	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ หรือ คอสติคโซดา)	31
3.1.12	กระดาษลิตมัส (Litmus).....	31
3.1.13	เครื่องวัดความดำ (Radiographic density).....	31

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.2.1 การหาสัดส่วนของยางที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมา.....	32
3.2.1.1 เตรียมชิ้นงานตัวอย่าง.....	32
3.2.1.2 การหาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มีอัตราส่วน ของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์.....	33
3.2.1.3 การหาสัดส่วนของผงบิสมีทที่เหมาะสมในการผสมน้ำยางธรรมชาติ พรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์.....	34
3.2.1.4 การหาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มีอัตราส่วน ของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่มี บิสมีทแบบผง ที่มีความหนา 0.5 ซม.....	36
3.2.1.5 นำสัดส่วนของน้ำยางที่กำบังรังสีที่ดีที่สุดมาผสมกับสารละลายบิสมีท เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม.....	38
3.2.1.6 การหาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มี อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ และยางสังเคราะห์ เอสปี อาร์ 50:50 สารละลาย บิสมีท 10 phr ที่ความหนา 0.5 ซม.....	39
3.2.1.7 การหาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มีอัตราส่วน ของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ 50:50 สารละลายบิสมีท 20 phr ความหนา 0.5 ซม.....	40
3.2.1.8 การทดสอบหาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มี อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปี อาร์ 50:50 แบบสารละลายบิสมีท 20phr และ10phr ผสมบิสมีท แบบผง100 phr มีความหนา 0.5 ซม.ถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาเพื่อ ทดสอบหาความแตกต่าง.....	41
3.2.1.9 การทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับ น้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ 50:50 สารละลายบิสมีท 10phr และ 20 phr และน้ำยางพารา กับบิสมีทแบบผง 100 phr โดยการอบที่ อุณหภูมิ 100 องศา เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	43
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	44
4.1 การหาสัดส่วนของน้ำยางที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมา.....	44

4.2 การหาสัดส่วนการผสมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับบิสมีทแบบผง	47
4.3 การนำน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท 10 phr.....	50
4.4 การนำน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท 20 phr.....	54
4.5 การทดสอบหาความสามารถในการกำบังรังสีของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลาย บิสมีท 10 phr และ 20 phr และน้ำยางพารากับบิสมีทแบบผง 100 phr โดยการ ถ่ายภาพ ด้วยรังสีเพื่อทดสอบการทะลุผ่านของรังสีแกมมา.....	58
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 อภิปรายผลการวิจัย.....	63
5.1.1 การหาสัดส่วนของยางที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมา.....	63
5.1.2 การหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมา.....	63
5.1.3 การลดทอนรังสีแกมมาของวัสดุกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำที่ผลิตได้.....	67
5.1.4 การถ่ายภาพวัสดุกำบังรังสีแกมมาด้วยรังสีแกมมา	70
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	71
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	71
5.4 รายการอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	74
ภาคผนวก ข.....	89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	92

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	อัตราส่วนน้ำหนักและปริมาตรของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ผสมกับบิสมันท์แบบผง ตามน้ำหนัก(กรัม).....	36
3.2	คุณสมบัติของยาง จากส่วนอุตสาหกรรมยาง กรมวิชาการเกษตร น้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ใน50:50 สารละลายบิสมันท์10 phr และ 20 phr และบิสมันท์แบบผง100 phr.....	43
4.1	ผลการทดลองหาสัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ซีเซียม-137 (Cs-137) จำนวนนับรังสี/30 วินาที (Background 7805) (I _o = 81,474).....	44
4.2	ผลการทดลองหาสัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ไอโอดีน-131 (¹³¹ I) จำนวนนับรังสี/30 วินาที (Background 7468) (I _o = 74,589)	46
4.3	ผลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ปริมาตร 100 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ซีเซียม-137 (Cs-137) (Background 7891) (I _o = 73,360)	48
4.4	ผลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ปริมาตร 100 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ไอโอดีน-131 (¹³¹ I) (Background 7468) (I _o = 82,705).....	49
4.5	ผลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมันท์ที่ 10 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ซีเซียม-137 (Cs-137) (Background 7891) (I _o = 73,850).....	51
4.6	ผลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมันท์ที่ 10 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ไอโอดีน-131 (¹³¹ I) (Background 7468) (I _o = 82,730).....	53

ตารางที่	หน้า
4.7 ผลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมีท์ที่ 20 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ซีเซียม-137 (Cs-137) (Background 7891) (I ₀ = 73,787).....	55
4.8 ผลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมีท์ที่ 20 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ไอโอดีน-131 (¹³¹ I) (Background 7468) (I ₀ = 75,573).....	56
4.9 สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) HVL (Half Value Layer) ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า...	57
4.10 สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) TVL (Tenth Value Layer) ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/10 เท่า.....	58
4.11 ค่าความดำของแผ่นฟิล์มที่อ่านด้วยเครื่องวัดความดำ (Densitometer) น้ำยางธรรมชาติกับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับบิสมีท์แบบผง ปริมาณ 100phr.....	59
4.12 ค่าความดำของแผ่นฟิล์มที่อ่านด้วยเครื่องวัดความดำ (Densitometer) น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท์ 10 phr.....	60
4.13 ค่าความดำของแผ่นฟิล์มที่อ่านด้วยเครื่องวัดความดำ (Densitometer) น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท์ 20 phr.....	62

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ไอโอดีน-131 เกิดจากเทลลูเรียม-130 และสลายตัวเป็นซีซียม-131.....	5
2.2	ผังการสลายตัวของไอโอดีน-131.....	5
2.3	ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....	6
2.4	ทิศทางการเคลื่อนที่ของแกมมาฟotonจากปรากฏการณ์คอมป์ตัน.....	7
2.5	ปรากฏการณ์คอมป์ตัน.....	8
2.6	การเกิดแฟร์โปรดักชัน.....	9
2.7	การเกิดแอนนิฮิเลชัน.....	9
2.8	ช่วงความสำคัญของอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก คอมป์ตัน และแฟร์โปรดักชัน ที่ขึ้นกับเลขเชิงอะตอมของตัวกลาง และพลังงานของรังสีแกมมา.....	9
2.9	สัมประสิทธิ์การลดเชิงมวลในตะกั่วของรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ.....	11
2.10	เมื่อรังสีแกมมาความเข้ม I_0 กระบอบสสารหนา x และมีความเข้มหลังผ่านสสาร I	11
2.11	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นในบิสมัทของรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ.....	13
2.12	สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ.....	15
2.13	สูตรโครงสร้างทางเคมีของยาง SBR.....	19
2.14	ภาพก้อนบิสมัท (Bismuth).....	22
2.15	แสดงลักษณะบิสมัทในรูปแข็งและผง.....	23
2.16	กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid หรือ Sulphuric acid), H_2SO_4	23
2.17	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ.....	24
3.1	ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Caesium-137).....	25
3.2	ตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Caesium-137).....	25
3.3	อุปกรณ์ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ไอโอดีน 131.....	26
3.4	อุปกรณ์ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีลีเนียม 75 (Selenium 75).....	26
3.5	หัววัดรังสีแกมมา Ludlum Model 44-10 Gamma Scintillator(Sodium iodide (NaI)).....	27
3.6	ระบบนับวัด Ludlum Model 2200 Scaler ratemeter.....	27
3.7	น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์(Vulcanizable natural rubber latex) ชนิดน้ำ	
	ยางหล่อเป่ายางจากส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.....	28

ภาพที่	หน้า	
3.8	น้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ (Carboxylated Styrene/Butadiene latex DOW LATEX 832) จากบริษัท DOW CHEMICAL THAILAND LTD.....	28
3.9	บิสมีทแบบผงBi(Bismuth).....	29
3.10	เครื่องแก้วและหลอดทดลองที่ใช้ในงานวิจัย.....	29
3.11	แท่นขึ้นรูปแผ่นยาง.....	29
3.12	เครื่องผสมและกวนสารสาร Hot Plate & Magnetic Stirrer (Model HS-2).....	30
3.13	เครื่องชั่งวัสดุ(YAMAVAR KITCHEN SCALE CAP.2 Kg).....	30
3.14	กรดกำมะถัน หรือ กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid หรือ Sulphuric acid).....	30
3.15	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ หรือ คอสดิกโซดา).....	31
3.16	กระดาษลิตมัส (Litmus).....	31
3.17	เครื่องวัดความดำ (Radiographic density).....	31
3.18	น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ในแท่นพิมพ์.....	32
3.19	แผ่นน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่แห้งแล้ว.....	32
3.20	เครื่องมืออุปกรณ์ระบบวัดตัวอย่าง.....	33
3.21	ชิ้นงานว่างปิดท่อนำรังสี.....	33
3.22	ชั่งน้ำหนักบิสมีทแบบผงในถ้วยตวง.....	34
3.23	บิสมีทแบบผง ผสมกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสมแล้ว.....	35
3.24	เทส่วนผสมทั้งหมดลงบนแท่นพิมพ์.....	35
3.25	แผ่นบิสมีทแบบผง ผสมกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่แห้งแล้ว.....	35
3.26	แผ่นยางแบบผสมบิสมีทแบบผงที่แห้งแล้ว.....	37
3.27	เครื่องมืออุปกรณ์ระบบวัดตัวอย่าง.....	37
3.28	ชิ้นงานว่างปิดท่อนำรังสี.....	37
3.29	สารละลายบิสมีท.....	38
3.30	สารละลายบิสมีทกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสมเสร็จแล้ว.....	38
3.31	เครื่องมืออุปกรณ์ระบบวัดตัวอย่างแบบสารละลายบิสมีท 10phr.....	39
3.32	แสดงชิ้นงานว่างปิดท่อนำรังสี.....	40

ภาพที่	หน้า
3.33 เครื่องมืออุปกรณ์ระบบวัดตัวอย่างแบบสารละลายบิสมีท 20 phr.....	41
3.34 แสดงชิ้นงานว่างปิดท่อนำรังสี.....	41
3.35 แผ่นยางแต่ละชนิดที่นำมาวางทับกัน.....	42
3.36 ต้นกำเนิดรังสี ตัวอย่างแผ่นยาง และแผ่นฟิล์มอยู่ในตำแหน่งต่างๆ.....	42
4.1 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมาซีเซียม-137 (Cs-137) ของยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์ กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ในอัตราส่วนต่างๆ.....	45
4.2 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมาไอโอดีน-131 (¹³¹ I) ของยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์กับ ยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ในอัตราส่วนต่างๆ	46
4.3 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Cs-137) ของน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคา ไนซ์ กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ปริมาตร 100 phr.....	48
4.4 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ไอโอดีน-131 (¹³¹ I) ของน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์ กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ปริมาตร 100 phr.....	50
4.5 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Cs-137) ของน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคา ไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมีทที่ 10 phr.....	52
4.6 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ไอโอดีน-131 (¹³¹ I) ของน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์ กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมีทที่ 10 phr.....	53
4.7 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Cs-137) ของน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคา ไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมีทที่ 20 phr.....	55
4.8 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ไอโอดีน-131 (¹³¹ I) ของน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์ กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมีทที่ 20 phr.....	57
4.9 ภาพถ่ายน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มา ผสมกับบิสมีทแบบผง100 phr.....	58
4.10 กราฟแสดงค่าความดำตามจุดในตารางที่ 4.11.....	59
4.11 ภาพถ่ายน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 ปริมาตร 400 มิลลิลิตรมาผสมกับสารละลายบิสมีทปริมาตร 40 มิลลิลิตร.....	60
4.12 กราฟแสดงค่าความดำตามจุดในตารางที่ 4.12.....	61
4.13 ภาพถ่ายน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 ปริมาตร 400 มิลลิลิตรมาผสมกับสารละลายบิสมีทปริมาตร 80 มิลลิลิตร.....	62

ภาพที่		หน้า
4.14	กราฟแสดงค่าความดำตามจุดในตารางที่ 4.13.....	62
5.1	กราฟการกำบังรังสีแกมมาจาก ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม 137.....	69
5.2	กราฟการกำบังรังสีแกมมาจาก ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ไอโอดีน 131.....	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีการใช้วัสดุกัมมันตรังสีจำนวนมากรังสี (Radiation) รังสีเป็นส่วนหนึ่งของธรรมชาติ โดยมาจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ปะปนในสิ่งแวดล้อมทั่วไป หรือมาจากรังสีที่มีต้นกำเนิดจากภายนอกโลกของเรา รังสีคือพลังงานที่แผ่ออกมาจากต้นกำเนิดในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ แสงสว่าง รังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมา เป็นต้น และ/หรือ ในลักษณะของอนุภาคที่มีความเร็วสูง เช่น แอลฟา และเบต้า เป็นต้น

ปัจจุบันวัสดุกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแกมมา ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วไปการใช้ประโยชน์ของรังสีแกมมา ส่วนใหญ่มักจะใช้ในงานวิจัยทางด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร ศึกษาวิจัยและด้านอุตสาหกรรม เช่น การใช้รังสีแกมมาในการผลิตสารเภสัชรังสีที่ใช้ทางด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์ การปรับปรุงพันธุ์พืช การถ่ายภาพวัสดุด้วยรังสีแกมมา รังสีแกมมาใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดการกลายพันธุ์ในสิ่งมีชีวิต เนื่องจากพลังงานสูง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับดีเอ็นเอ งานวิจัยและทางด้านการแพทย์ ใช้วัสดุกัมมันตรังสีที่มีพลังงานต่ำและพลังงานสูง ในการทำงานของนักวิจัยหรือบุคคลที่ทำงานทางด้านรังสีมีกฎ ในการทำงานเกี่ยวกับสารรังสีว่า ในการทำงานทางด้านรังสีจะต้องให้ได้รับปริมาณรังสีให้น้อยที่สุดในการทำงานจะต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด อยู่ห่างจากสารรังสีให้มากที่สุดเท่าที่ทำงานได้ และจะต้องมีวัสดุกำบังรังสีเพื่อป้องกันให้นักวิจัยหรือบุคคลที่ทำงานทางด้านรังสี ได้รับรังสีให้น้อยที่สุด ในด้านผลกระทบต่อบุคคลหรือนักวิจัยที่ทำงานทางด้านรังสี จะมีผลกระทบต่อร่างกายที่เกิดขึ้นกับส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับรังสีเป็นแบบเฉียบพลันหรือได้รับแบบต่อเนื่อง ผลที่เกิดขึ้นทางพันธุกรรมหมายถึงผลที่เกิดขึ้นในเซลล์สืบพันธุ์ โดยจะทำให้เป็นหมัน ในปัจจุบันเรื่องวัสดุกำบังรังสีส่วนใหญ่จะใช้แผ่นตะกั่ว และแท่นตะกั่ว ที่มีน้ำหนักมาก ซึ่งทำให้มีผลกระทบของการทำงานจากความล้าช้าในการวางแท่นตะกั่วเป็นตัวกำบังรังสีเพื่อให้ได้รับรังสีน้อยที่สุดในการทำงาน บางครั้งในการทำงาน การขนย้ายวัสดุที่มีน้ำหนักมากอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่ายต่อบุคคลกรและทรัพย์สิน เพราะฉะนั้นวัสดุอุปกรณ์กำบังรังสีจะต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันรังสีได้ดีและมีน้ำหนักเบา เพื่อสะดวกในการขนย้าย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

รังสีแกมมา (Gamma Ray) ใช้สัญลักษณ์ γ เกิดจากการที่นิวเคลียสที่อยู่ในสถานะกระตุ้นกลับสู่สถานะพื้นฐานโดยการปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา รังสีแกมมา ก็คือโฟตอนของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรังสีเอ็กซ์แต่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าและมีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงมากกว่ารังสีเอ็กซ์ไม่มีประจุไฟฟ้าและมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าแสง ดังนั้นการคำนึงถึงหลักการป้องกันอันตรายจากรังสีจึงมี

ความสำคัญอย่างมากเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังแกมมาที่มีความปลอดภัยในการทำงานมากที่สุด นอกจากนี้ใช้เวลาให้สั้นที่สุด และทำงานในระยะทางที่ห่างจากต้นกำเนิดรังสีให้มากที่สุดแล้ว วัสดุที่ใช้กำบังรังสีก็นับว่ามีส่วนสำคัญเป็นอย่างมาก และเพื่อความสะดวกในการทำงานในห้องปฏิบัติการ วัสดุที่ใช้ในการกำบังรังสีจึงควรเป็นวัสดุที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ยึดหยุ่นได้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อบุคลากร นักวิจัย ในห้องปฏิบัติการได้

งานวิจัยนี้จึงสนใจทำการศึกษาวิธีการออกแบบ วัสดุกำบังรังสีแกมมาระดับพลังงานต่ำ ที่มีความยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์หรือน้ำยางหล่อแก้ว ยางสังเคราะห์ เอสบีอาร์ และบิสมีทเป็นองค์ประกอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อพัฒนาวัสดุกำบังรังสีแกมมาระดับพลังงานต่ำที่มีความยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ ยางสังเคราะห์เอสบีอาร์ และบิสมีท

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1.3.1 พัฒนาวัสดุกำบังรังสีแกมมาโดยใช้น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ และยางสังเคราะห์ SBR เป็นวัสดุหลัก โดยใช้อัตราส่วนของ น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ต่อน้ำยางสังเคราะห์ SBR เท่ากับ 10:90, 20:80, 30:70, 40:60 และ 50:50 หรือสัดส่วนอื่นที่เหมาะสม เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด
- 1.3.2 ทำการผลิตแผ่นยางขนาดไม่เกิน 100 ตารางเซนติเมตร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดทอนปริมาณรังสีแกมมาเมื่อใช้ ส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์ SBR ที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 1 ซึ่งแต่ละแผ่นผสมร่วมกับบิสมีท
- 1.3.3 ทดสอบความสามารถในการลดทอนปริมาณรังสีแกมมาโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาพลังงานต่ำ
- 1.3.4 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่พัฒนาขึ้น ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพเป็นต้น

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ศึกษาวิธีการขึ้นรูปแผ่นยางจากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และ ยางสังเคราะห์ SBR โดยทดลองขึ้นรูปในอัตราส่วนต่างๆ

- 1.4.3 ออกแบบและผลิตแผ่นยางตัวอย่างที่มีส่วนประกอบของ บิสม์ทแบบผงและการประกอบสารละลาย
- 1.4.4 ทดสอบความสามารถการลดทอนรังสีแกมมาของแผ่นยางตัวอย่าง
- 1.4.5 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่พัฒนาขึ้น
- 1.4.6 สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

พัฒนาวัสดุกำบังรังสีแกมมาต้นแบบที่ใช้ในยางธรรมชาติพรีวัลคานไนซ์ ยางสังเคราะห์เอสปีอาร์และบิสม์ท ที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีแกมมาป้องกันอันตรายจากรังสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่(2551) เป็นการศึกษา การใช้ยาง STR 5 L ผสมผงเฟอร์ไรต์ป้องกันรังสีแกมมา (Ferrite-STR 5L Rubber Composites as Gamma Radiation Shields) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาที่ทำให้อยู่ในรูปแผ่นแข็ง ได้นำยาง STR 5L ผสมผงเขม่าดำสูงสุด 20 phr และผงเฟอร์ไรต์สูงสุด 100 phr ขึ้นรูปให้มีความหนา 3-5 มม. แผ่นยางสามารถลดทอนรังสีแกมมาจากรังสี ^{241}Am ได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่า HVL = 3 มม. ค่า Attenuation coefficient = 2.31 ซม^{-1}

1.6.2 Jackson Heighe ,Jan M.Krol(1996) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Flexible radiation Shielding Material เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถของยางพาราธรรมชาติ กับวัสดุที่ลดทอนรังสีแกมมามี ดีบุก บิสม์ท พลวง แบเรียม แคลเซียม เงิน และตะกั่ว ในรูปวัสดุที่เป็นผงในอัตราส่วนต่างๆ ในการลดทอนรังสีแกมมา พบว่าในการผสมแบบผงมีประสิทธิภาพในการลดทอนรังสีแกมมาได้ดีกว่าการผสมกับสารละลาย 10%ถึง40% x 60% ของน้ำหนัก กันรังสีแกมมาที่พลังงาน 662 keV

1.6.3 จักรพงษ์ แก้วขาว,วีระพงศ์ จิวประดิษฐ์กุลและพิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ(2552) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าภาคตัดขวางรวมและค่าเลขอะตอมยังผลของระบบแก้ว ที่พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ผลที่ได้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตะกั่ว อันเนื่องมาจากโอกาสในการเกิดการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการกระเจิงคอมป์ตันเป็นอันตรกิริยาหลักของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวม

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 บทนำ

การพัฒนาวัสดุกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำในงานวิจัยนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาและทำความเข้าใจในคุณสมบัติและข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้องกับรังสีแกมมาเสียก่อน โดยใน ส่วนนี้จะกล่าวถึงรังสีแกมมาในหัวข้อต่างๆ ดังนี้คือ คุณสมบัติของรังสีแกมมา ชนิดของรังสีแกมมา อันตรกิริยาที่ทำให้รังสีแกมมา การลดทอนพลังงานของรังสีแกมมา

2.2 คุณสมบัติของรังสีแกมมา

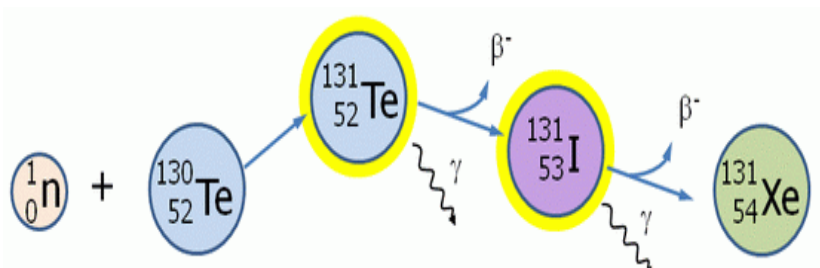
รังสีแกมมาค้นพบโดย พอล วิลลาร์ด (Paul Villard) นักฟิสิกส์ฝรั่งเศส พอล วิลลาร์ด ค้นพบรังสีแกมมาจากการศึกษากัมมันตภาพรังสีที่ออกมาจากยูเรเนียม ซึ่งถูกค้นพบมาก่อนแล้ว ว่าบางส่วนจะเบนไปทางหนึ่ง เมื่อผ่านสนามแม่เหล็กบางส่วนจะเบนไปอีกทางหนึ่ง กัมมันตภาพรังสีทั้งสองประเภทนี้ คือ รังสีแอลฟา และรังสีบีตา รังสีแกมมา (Gamma ray) คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่มีช่วงความยาวคลื่นสั้นกว่ารังสีเอกซ์ (X-ray) ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 10^{-13} ถึง 10^{-7} หรือคลื่นที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 10^{-13} นั่นเอง การที่ความยาวคลื่นสั้นนั้น ย่อมหมายถึงความถี่ที่สูง และพลังงานที่สูงตามไปด้วย ดังนั้นรังสีแกมมาถือเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูงสุดในบรรดาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

2.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม 137

ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ตัวแรก ซีเซียม 137 จำนวน 1 ตัวโดยมีรายละเอียด ดังนี้ต่อไปนี้ซีเซียม-137 (Cs-137) เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุซีเซียมซึ่งเป็นผลผลิตฟิชชันที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน ซีเซียม-137 มีครึ่งชีวิต 30.17 ปี ประมาณ 95% สลายตัวโดยการปลดปล่อยรังสีบีตาแล้วกลายเป็นแบเรียม-137m (Barium-137m) ซึ่งเป็นไอโซโทปกึ่งเสถียร (Metastable) หรือไอโซเมอร์ของแบเรียม-137 (^{137m}Ba , Ba-137m) ส่วนอีก 5% สลายตัวไปเป็นไอโซโทปเสถียรโดยตรงแบเรียม-137m (Ba-137m) สลายตัวให้รังสีแกมมา โดยมีครึ่งชีวิต 2.55 นาทีซีเซียม-137 ปริมาณ 1 กรัม มีกัมมันตภาพรังสี 3.215 เทราเบคเคอเรล (Terabecquerel, TBq) โฟตอนจากไอโซโทปรังสีแบเรียม-137m มีพลังงาน 662 keV

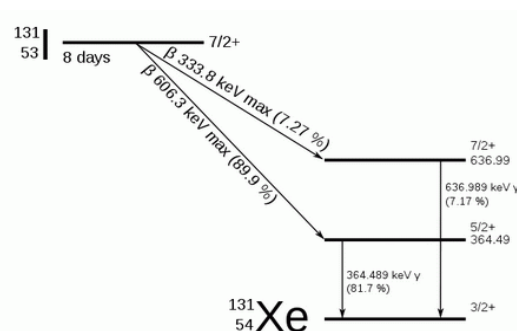
2.4 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ไอโอดีน 131

ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ตัวที่สอง ไอโอดีน 131 จำนวน 1 ตัวมีกัมมันตภาพรังสี 20.8มิลลิวรี่ (mCi) โดยมีรายละเอียดดังนี้ต่อไปนี้เป็นไอโอดีน-131 (^{131}I) อาจเรียกว่านิวไคลด์รังสีเป็นไอโซโทปรังสีที่สำคัญของไอโอดีน ซึ่งเป็นธาตุที่มีหลายไอโซโทปรังสี ไอโอดีน-131 สลายตัวโดยมีครึ่งชีวิตประมาณ 8 วัน



ภาพที่ 2.1 ไอโอดีน-131 เกิดจากเทลลูเรียม-130 และสลายตัวเป็นซีนอน-131

ไอโอดีน-131 สลายตัวให้รังสีเบต้าที่เราสามารถเห็นไอโอดีน-131 ได้ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ (Nuclear medicine) เช่นการใช้กล้องรังสีแกมมา (Gamma cameras) ในการรักษา เนื่องจาก 10% ของรังสีจากไอโอดีน-131 เป็นรังสีแกมมา ขณะที่อีก 90% เป็นรังสีเบต้าที่ทำให้ลายเซลล์โดยไม่มีผลต่อการเห็นภาพแต่โดยทั่วไปมักจะใช้ไอโอดีน-131 ในงานวิจัย



ภาพที่ 2.2 มังการสลายตัวของไอโอดีน-131

นิวไคลด์กัมมันตรังสีของไอโอดีน-131 มี 78 นิวตรอนในนิวเคลียสขณะที่นิวไคลด์เสถียรของไอโอดีน-127 มี 74 นิวตรอน ไอโอดีน-131 มีครึ่งชีวิต 8 วันโดยการสลายตัวจะให้รังสีแกมมาต่อจากรังสีบีต้าแล้วกลายเป็นไอโซโทปเสถียรของซีนอน-131 (^{131}Xe) การสลายตัวของไอโอดีน-131 ส่วนใหญ่จะให้รังสีบีต้าพลังงาน 606 keV (89%) และรังสีแกมมาพลังงาน 364 keV (81%)

ส่วนที่เหลือเป็นรังสีบีต้าพลังงาน 248 – 807 keV กับรังสีแกมมาพลังงาน 723 keV นอกจากนั้นพลังงานส่วนที่เหลือจะทำให้เกิดแอนตินิวตริโน (Antineutrino) ซึ่งมักเกิดร่วมกับกระบวนการสลายตัวให้รังสีบีต้า

2.5 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีลีเนียม 75 (Selenium 75)

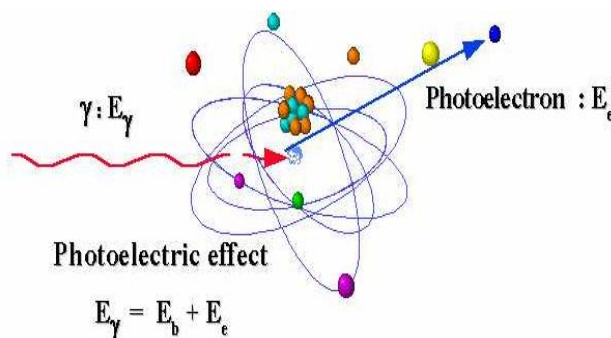
ซีลีเนียม 75 (Selenium 75) คือธาตุไอโซโทปรังสีสัณฐานลักษณะคือ Se ในธรรมชาติปรากฏอยู่หลายสถานภาพ มีค่าครึ่งชีวิต 119.779 วัน ให้รังสีแกมมาหลายพลังงาน gamma: 0.066 MeV (1.02 %) 0.097 MeV (3.41 %) 0.121 MeV (16.7 %) 0.136 MeV (59.2 %) 0.265 MeV (59.8 %) 0.401 MeV (11.4 %)

2.6 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร

2.6.1 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect)

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เมื่อแกมมาโฟตอนกระทบสสาร แล้วถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอนของสสาร ทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกจากอะตอม เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) โดยมีพลังงาน E_e เท่ากับผลต่างของพลังงานของแกมมาโฟตอน $h\nu$ กับพลังงานยึดเหนี่ยว (B.C.) ดังสมการ

$$E_e = h\nu - B.E. \quad (1)$$



ภาพที่ 2.3 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

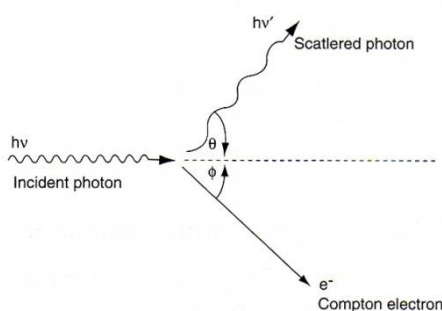
สำหรับรังสีแกมมาพลังงานสูง โฟโตอิเล็กตรอนจะมีทิศทางในแนวเดียวกับแกมมาโฟตอน และจะทำมุมกับทิศทางเดิม เมื่อรังสีแกมมามีพลังงานต่ำ อันตรกิริยานี้มักเกิดขึ้นกับอิเล็กตรอนวงใน K และขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมา (E) และเลขอะตอมของสสาร (Z) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

สำหรับรังสีแกมมาพลังงานสูง เห็นได้ว่า ปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริกจะเกิดมากขึ้น เมื่อรังสีแกมมามีพลังงานลดต่ำลง และในตัวกลางที่มีเลขอะตอมสูง โดยอันตรกิริยานี้มีความสำคัญเมื่อรังสีแกมมามีพลังงานน้อยกว่า 1 MeV กระทั่งกับตัวกลางที่มีเลขอะตอมสูง ๆ แต่ถ้ารังสีแกมมามีพลังงานน้อยกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอมแล้ว อิเล็กตรอนจะไม่หลุดออกจากอะตอม ถ้ารังสีแกมมามีพลังงานมากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอม จะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก หลังจากโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกไปแล้ว อิเล็กตรอนจากวงโคจรรอบนอกจะเข้ามาแทนที่ โดยการปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเป็นการดูดกลืนรังสีแกมมาทั้งหมดแล้วให้อิเล็กตรอนและรังสีเอกซ์ออกมา

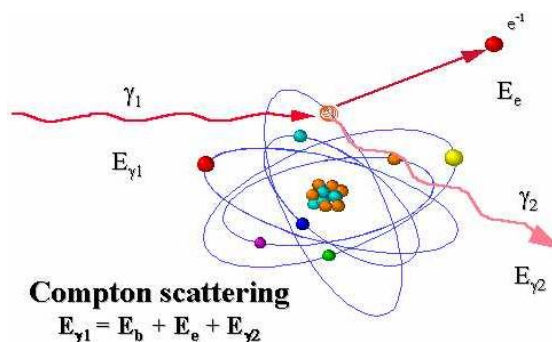
2.6.2 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton Effect)

ปรากฏการณ์คอมป์ตัน แกมมาโฟตอนเข้าชนกับอิเล็กตรอนในอะตอมของสสารแบบยึดหยุ่นในการชนแบบนี้ ทั้งโมเมนตัมและพลังงานไม่สูญหาย โฟตอนจะเสียพลังงานบางส่วนให้อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรไปในทิศทางทำมุม ϕ กับทิศทางการเคลื่อนที่เดิมของโฟตอน เรียกอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปนี้ว่า คอมป์ตันอิเล็กตรอน (Compton electron) ส่วนโฟตอนที่มีพลังงานลดลงจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ไป โดยทำมุม θ กับทิศทางการเคลื่อนที่เดิม และมีความยาวคลื่นมากขึ้น ดังภาพที่ 2.4 และ 2.5 โดยพลังงานของโฟตอนที่เข้าชน $h\nu$ และพลังงานของโฟตอนที่สะท้อนออกไป $h\nu'$ มีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \left(\frac{h\nu}{mc^2}\right)(1 - \cos \theta)} \quad (2)$$



ภาพที่ 2.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแกมมาโฟตอนจากปรากฏการณ์คอมป์ตัน



ภาพที่ 2.5 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน

จะเห็นได้ว่าความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับมุมสะท้อนของโฟตอน ไม่เกี่ยวข้องกับพลังงานของโฟตอนที่ตกกระทบ ปรากฏการณ์คอมป์ตันเกิดขึ้นได้ดีกับสสารที่มีค่าเลขอะตอมสูง และลดลงเมื่อพลังงานโฟตอนสูงขึ้น ซึ่งประมาณได้ว่า

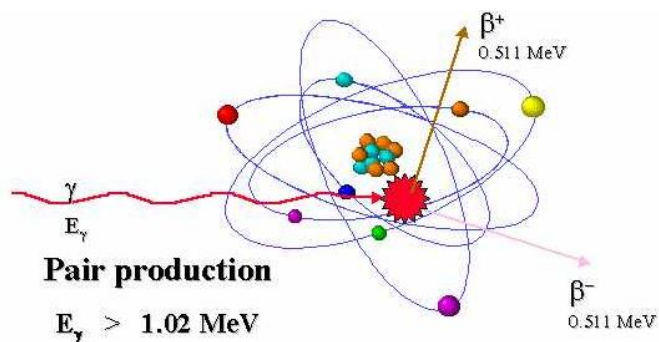
ข้อแตกต่างระหว่างปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก และปรากฏการณ์คอมป์ตัน ก็คือ โฟโตอิเล็กทริกเป็นการดูดกลืนโฟตอนทั้งหมดที่มากระทบ ส่วนปรากฏการณ์คอมป์ตัน เพียงแต่ลดขนาดของพลังงานเดิมของโฟตอน โฟตอนที่มีพลังงานลดต่ำลงนี้ อาจจะทำอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกได้อีก เนื่องจากอันตรกิริยานี้เกิดได้ง่ายขึ้น เมื่อโฟตอนมีพลังงานต่ำ

2.6.3 ปรากฏการณ์แพร์โปรดักชัน (Pair Production)

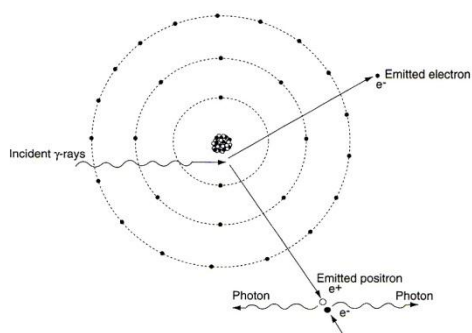
อันตรกิริยาแพร์โปรดักชันเป็นแบบหนึ่งของการดูดกลืนแกมมาโฟตอน เมื่อโฟตอนมีพลังงานอย่างน้อย 1.02 MeV เมื่อวิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสของอะตอม โฟตอนจะหายไป โดยใช้พลังงานไปในการสร้างอิเล็กตรอนกับโพสิตรอนขึ้นมาหนึ่งคู่ ดังนั้น แกมมาโฟตอนต้องมีพลังงานไม่ต่ำกว่า 1.02 MeV พลังงานที่เกินส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน มีบางส่วนเท่านั้นที่ถ่ายเทให้กับนิวเคลียสของอะตอม โอกาสของการเกิดอันตรกิริยาแพร์โปรดักชันขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมา และเลขเชิงอะตอมของสสารโดย

หลังจากการเกิดแพร์โปรดักชัน โพสิตรอนอาจจะรวมตัวกับอิเล็กตรอนอื่น แล้วให้โฟตอน 2 ตัว ซึ่งมีพลังงานตัวละ 0.51 MeV เรียกว่า แอนนิฮิเลชัน (Annihilation) ดังภาพที่ 2.6 แต่อย่างไรก็ตามโฟตอนพลังงานต่ำนี้มีพลังงานต่ำ และกระจัดกระจายไปทุกทิศทุกทาง จากสมการแสดงว่าอันตรกิริยาแพร์โปรดักชันเพิ่มขึ้น สำหรับสสารที่มีเลขเชิงอะตอมของสสารและพลังงานของโฟตอนที่เกินกว่า 1.02 MeV เมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก และคอมป์ตันจะลดลง แต่แพร์โปรดักชันเพิ่มขึ้น สำหรับสสารที่มีเลขเชิงอะตอมสูงและรังสีแกมมาที่มีพลังงาน

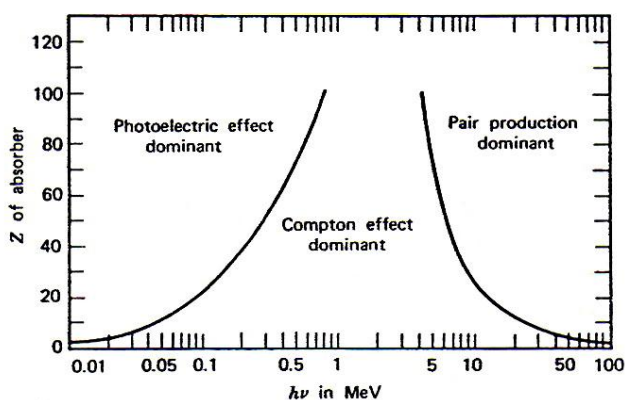
มากกว่า 5 MeV แล้ว แพร่โปรัดักชันเป็นกระบวนการดูดกลืนโฟตอนที่มีความสำคัญที่สุดดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 การเกิดแพร์โปรดักชัน



ภาพที่ 2.7 การเกิดแอนนิฮิเลชัน



ภาพที่ 2.8 ช่วงความสำคัญของอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก คอมป์ตัน และแพร์โปรดักชัน ที่ขึ้นกับเลขเชิงอะตอมของตัวกลาง และพลังงานของรังสีแกมมา

2.7 การลดทอนรังสีแกมมา

เมื่อรังสีแกมมาผ่านเข้าไปในสสารหรือตัวกลางใด ๆ บางส่วนของรังสีถูกดูดกลืนโดยอันตรกิริยาต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว บางส่วนก็จะกระเจิงไป และบางส่วนผ่านออกมาได้ ความเข้มของรังสีแกมมาลดลงในลักษณะเอกซ์โพเนนเชียล เมื่อพิจารณารังสีแกมมาพลังงานเดียว (Monoenergetic of gamma rays) เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง การสูญเสียความเข้มของรังสีในความหนา dx ของตัวกลางที่จุดใด ๆ เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มของรังสีที่จุดนั้น กับความหนาของตัวกลาง นั่นคือ

$$dI = -\mu I dx \quad (3)$$

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx \quad (4)$$

เมื่อ I คือ ความเข้มของแกมมาโฟตอนหน่วย โฟตอน/ตารางซ.ม.วินาที

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) ซม.⁻¹

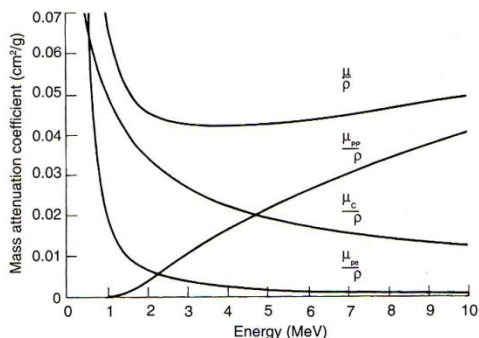
เมื่อรังสีแกมมากระทบตัวกลางจะเกิดอันตรกิริยาทั้ง 3 ประเภท อันได้แก่ การดูดกลืนเนื่องจากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก แพร่โปรดักชัน และการกระเจิงจากปรากฏการณ์คอมป์ตัน ค่า μ ที่ใช้ในสมการจึงเป็นสัมประสิทธิ์การลดเนื่องจากแต่ละอันตรกิริยา ดังสมการ

$$\mu = \mu_{PE} + \mu_C + \mu_{PP} \quad (5)$$

เมื่อ μ เป็นสัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้นรวม และ μ_{PE} , μ_C , μ_{PP} เป็นสัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น เนื่องจากอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก คอมป์ตัน และแพร่โปรดักชัน ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงนี้ อาจกล่าวในพจน์ของสัมประสิทธิ์การลดเชิงมวล (Mass attenuation coefficient) ซึ่งมีหน่วย ซม.⁻¹/กรัม โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

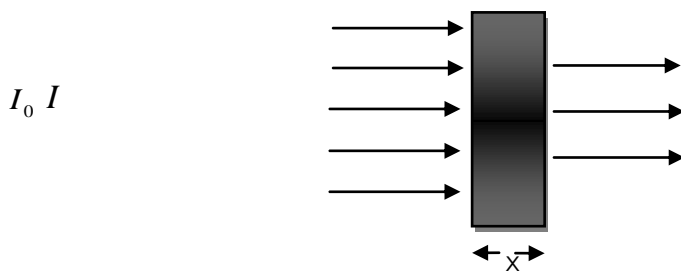
$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu_{PE}}{\rho} + \frac{\mu_C}{\rho} + \frac{\mu_{PP}}{\rho} \quad (6)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การลดเชิงมวล ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมาและชนิดของสสารที่รังสีแกมมาทำอันตรกิริยา และภาพที่ 2.9 แสดงสัมประสิทธิ์การลดเชิงมวลในตะกั่วของรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ ค่า μ_{PE}/ρ และ μ_C/ρ มีค่ามาก เมื่อรังสีแกมมามีพลังงานต่ำ และลดลงเมื่อพลังงานมีค่ามากขึ้น ส่วน μ_{PP}/ρ มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าพลังงาน และ μ/ρ เป็นสัมประสิทธิ์การลดเชิงมวลรวม ซึ่งมีค่าต่ำสุดเมื่อรังสีแกมมามีพลังงานประมาณ 3.5 MeV



ภาพที่ 2.9 สัมประสิทธิ์การลดเชิงมวลในตะกั่วของรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ

ถ้า I_0 เป็นความเข้มเดิมของรังสีแกมมาพลังงานเดียวที่เป็นลำขนานแคบ ๆ เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนา x เซนติเมตร ความเข้มของรังสีแกมมาที่ผ่านตัวกลางออกมาได้ คือ I ดังภาพที่ 2.10สามารถคำนวณหา I ได้จากการอินทิเกรตสมการด้านล่าง



ภาพที่ 2.10 เมื่อรังสีแกมมาความเข้ม I_0 กระทบสสารหนา x และมีความเข้มหลังผ่านสสาร I

ในส่วนของรังสีถูกดูดกลืนโดยอันตรกิริยาต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว บางส่วนก็จะกระเจิงไป และบางส่วนผ่านออกมาได้ ความเข้มของรังสีแกมมาลดลงในลักษณะเอกซ์โพเนนเชียลจากสมการด้านบนนั้น เมื่อใส่อินทิเกรตเข้าในสมการฟังก์ชัน

$$-\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = \int_0^x dx \tag{7}$$

$$\ln\left(\frac{I_x}{I_0}\right) = -\mu x \tag{8}$$

$$\frac{I_x}{I_0} = e^{-\mu x} \tag{9}$$

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (10)$$

จะได้สมการเอกซโพเนนเชียล $I = I_0 e^{-\mu x}$

เมื่อ I_0 คือความเข้มของรังสีแกมมาโฟตอนก่อนผ่านสสาร

I คือ ความเข้มของรังสีแกมมาโฟตอนหลังผ่านสสาร

x คือ ความหนาของสสาร

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient)

จากค่า μ สามารถคำนวณค่า HVL (Half Value Layer) และ TVL (Tenth Value Layer) ซึ่งหมายถึง ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า และ 1/10 เท่าของความเข้มเดิม ได้จากสมการ

$$HVL = 0.693 / \mu \quad (11)$$

$$TVL = 2.3 / \mu \quad (12)$$

จากความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีก่อนผ่านอุปกรณ์กำบังรังสี (I_0) และปริมาณรังสีภายหลังผ่านอุปกรณ์กำบังรังสี (I) เมื่อพิจารณาในแง่ของ Half-Value Layer

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (13)$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu(HVL)} \quad (14)$$

จะได้ว่า

$$e^{\mu(HVL)} = 2 \quad (15)$$

$$\ln e^{\mu(HVL)} = \ln 2 \quad (16)$$

$$\mu(HVL) = \ln 2 \quad (17)$$

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (18)$$

$$HVL = \frac{0.693}{\mu} \quad (19)$$

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Tenth-Value Layer

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (20)$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{10} = e^{-\mu(TVL)} \quad (21)$$

จะได้ว่า

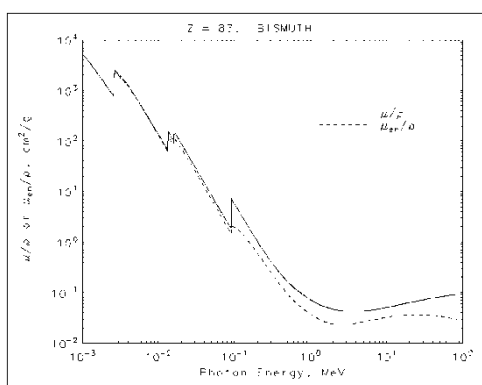
$$e^{\mu(TVL)} = 10 \quad (22)$$

$$\ln e^{\mu(TVL)} = \ln 10 \quad (23)$$

$$TVL = \frac{2.30}{\mu} \quad (24)$$

รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีอำนาจทะลุทะลวงสูง ในการเลือกวัสดุกำบังรังสีแกมมา อาจพิจารณาได้จากค่า HVL โดยวัสดุที่เหมาะสม จะมีค่า HVL ต่ำ เส้นกราฟปรากฏรอยหยัก แสดงถึงระดับพลังงานที่ต้องใช้ในการผลิตอิเล็กตรอนออกจากวงโคจร เช่น ที่ K-edge แสดงระดับพลังงานที่ใช้เพื่อผลิตให้อิเล็กตรอนในวง K ออกจากอะตอม หลังจากอิเล็กตรอนหลุดออกไป อิเล็กตรอนที่วงนอกจะเข้ามาแทนที่ ทำให้มีการปล่อยรังสีเอกซ์ โดยรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะมีพลังงานต่ำกว่าพลังงานของโฟตอนที่ผลิตอิเล็กตรอนออกไป จะเห็นได้ว่าวัสดุที่มีเลขเชิงอะตอมสูง แม้ว่าจะเหมาะสมกับการกำบังรังสีแกมมา แต่ก็ปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาด้วย ดังนั้นในการกำบังรังสีแกมมา จึงต้องคำนึงถึงรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นด้วย

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) ในรูปด้านล่าง จะแสดงถึงการลดทอนรังสีแกมมาในระดับพลังงานต่างๆที่ผ่านบิสมัท ตามภาพที่ 2.11 ด้านล่าง



ภาพที่ 2.11 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นในบิสมัทของรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ

$$\text{Bi (Z = 83) Atomic weight: } A_r = 208.9804 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{Nominal density: } \rho \text{ (gcm}^{-3}\text{)} = 9.7300$$

$$\sigma_a \text{ (Barns/atom)} = [\mu / \rho] \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)} \times 3.47020\text{E}+02$$

$$E \text{ (ev)} [\mu / \rho] \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)} = f_2 \text{ (e atom}^{-1}\text{)} \times 2.01360\text{E}+05$$

2.8 ยาง

ในงานวิจัยนี้วัสดุหลักที่จะนำมาทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์กำบังรังสีแกมมาระดับพลังงานต่ำที่มีความยืดหยุ่นประกอบด้วย น้ำยางพรีวัลคาไนซ์หรือน้ำยางหล่อเบ้า และยางสไตรีนบิวตาไดอีน ซึ่งการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหล่านี้จึงควรเข้าใจถึงธรรมชาติและคุณสมบัติต่างๆ เพื่อให้สามารถนำวัสดุเหล่านี้มาใช้งานให้ถูกวิธีและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.9 ยางธรรมชาติ (Natural rubber) รูปแบบของยางธรรมชาติ

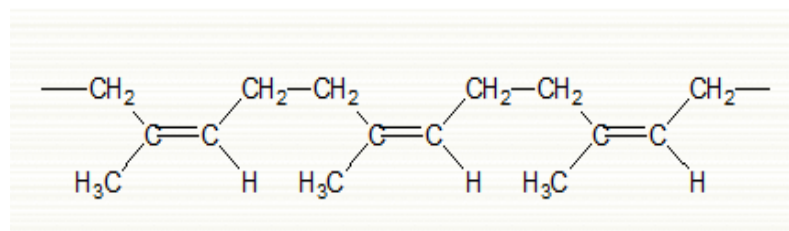
ยางธรรมชาติหรือยางพาราส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพาราซึ่งเป็นไม้ป่าที่มีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) ประมาณ 30 % (โดยน้ำหนัก) แขนงลอยอยู่ในน้ำ ปริมาณของเนื้อยางแห้งขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล โดยทั่วไปยางธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่

น้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางมีปริมาณน้ำมากเกินไป ไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) เพื่อลดปริมาณน้ำในน้ำยางสดจนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 60% โดยน้ำหนัก เรียกน้ำยางที่ได้นี้ว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) แต่เนื่องจากในน้ำยางมีสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โปรตีน และ ฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อยซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถถูกย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์หรือเชื้อแบคทีเรียได้เป็นก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน หรือสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น น้ำยางจึงสามารถบดเน่าส่งกลิ่นเหม็นได้จึงต้องมีการเติมสารแอมโมเนียลงไปหรืออาจใช้สารเคมีแอมโมเนียเข้มข้นสูงถึง 0.7 % ร่วมกับสารเคมีอื่นๆ เพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้น น้ำยางชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกว่า High Ammonia Latex หรือ Ha latex ส่วนน้ำยางที่ใช้แอมโมเนีย มีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.2% ก็จำเป็นต้องใช้สารเคมีอื่นๆ ร่วมด้วยเช่น ZnO/TMTD 0.02% หรือใช้กรดบอริก 0.2% หรือใช้ Santobrite 0.2% เป็นต้น ซึ่งน้ำยางชนิดหลังนี้เรียกว่า Low Ammonia หรือ LA latex

2.10 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (Cis-1,4-Polyisoprene) กล่าวคือ โมเลกุลยาง 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C₅H₈) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm³ ที่อุณหภูมิ 20 °C และมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature-T_g) ประมาณ -72 °C นั้น

หมายความว่าหากนำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่า $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$ คุณสมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว



ภาพที่ 2.12 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

จากภาพที่ 2.12 จะเห็นว่าใน 1 หน่วยของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และมีหมู่แอลฟาเมทิลีน (α -methylene) ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกัมมันตอยู่ ดังนั้นพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของยางจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกัมมันต อย่างไรก็ตาม พันธะคู่เหล่านี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆได้อีก เช่นออกซิเจน หรือโอโซน ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ หรือการปฏิกิริยาระหว่างยาง (ที่ตำแหน่งพันธะคู่) กับสารเคมีต่างๆเหล่านี้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

โดยทั่วไป ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะ เช่น ที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อยางถูกยืด โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบ ยางจึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำหรือที่เรียกว่า ‘Low temperature crystallization’ จะพบในกรณีนี้ที่เก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลานาน โดยยางจะมีอัตราเร็วในการตกผลึกสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำประมาณ $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ การตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำนี้จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำยางไปผสมให้เข้ากับสารเคมีหรือสารตัวเติมอื่นๆได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลึกที่เกิดขึ้นก็จะถูกทำลาย ยางจะอ่อนตัวลงและกลับสู่สภาพเดิม ด้วยเหตุนี้ประเทศในเมืองหนาวจึงต้องนำยางธรรมชาติมาอบที่อุณหภูมิ $50-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ เพื่อให้ยางอ่อนก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ส่วนการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือที่เรียกว่า “Strain-induced crystallization” จะพบเมื่อยางถูกยืดจนมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้นประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีคุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน กล่าวคือ ยางจะเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสง (Transparent) ไปเป็นทึบแสง (Opaque) ซึ่งจะสังเกตได้ง่ายในยางคงรูปที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม นอกจากนี้ การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีคุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น

นั่นคือ ยางจะมีความคงทนต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขีดถูสูงขึ้น

2.11 คุณสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ความยืดหยุ่น (Elasticity)คุณสมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติ กล่าวคือยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง

ความเหนียวติดกัน (Tack)ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีคุณสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกันเช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength)เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้สามารถแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากการเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งคุณสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มักมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้นอกจากมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าไปช่วยเท่านั้น

ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกยืด ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง

คุณสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties)ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติเชิงพลวัตที่ดี มีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยังมีค่าความต้านทานต่อการล้าตัว (Fatigue resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

ความต้านทานต่อการขีดถู (Abrasion resistance)ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขีดถูสูงแต่ยังด้อยกว่ายาง SBR เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขีดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Electrical insulation)ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific resistivity) สูงถึง 10^{15} หรือ 10^{16} ohm.cm

ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance)เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น ยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้ายางเกิดการคงรูปเนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติในยางคงรูปซึ่งจะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยางคงรูปจึงเพียงแต่เกิดการบวมตัว

ในตัวทำละลายเหล่านี้เท่านั้น อย่างไรก็ตาม การบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้คุณสมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือ แอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังมีความทนต่อการกัดและต่างเจือจางได้ดีแต่ไม่ทนต่อการดไนตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น

การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (Aging properties)
เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่าปฏิกิริยา ออกซิเดชัน) โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดส์ได้ง่าย นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซน เพราะเมื่อยางถูกยึดและได้รับโอโซนนานๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยืดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารป้องกันการเสื่อมสภาพ Anti-Degradants และ ไข:wax) ลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมากๆ

2.12 การผสมยางธรรมชาติกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น

เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นยางไม่มีขั้ว จึงสามารถผสมให้เข้ากันได้ดีกับยางที่ไม่มีขั้วชนิดต่างๆ ได้ดี เช่น ยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) ยางพอลิไอโซพรีน (IR) และยางบิวตาไดอีน (ER) นอกจากนี้ในบางครั้งอาจผสมกับยางไนไตรล์ (NBR) ได้ในระดับหนึ่ง (ควรใช้ยางไนไตรล์เกรดที่มีปริมาณอะโครโลไนไตรล์ต่ำและถ้าเป็นไปได้ควรทำการเติมสารช่วยให้เข้ากัน (Compatibilizer) ลงไปด้วยเล็กน้อยเพื่อให้ยางธรรมชาติและยางไนไตรล์เข้ากันได้ดียิ่งขึ้น) การนำยางธรรมชาติมาผสมกับยางสังเคราะห์จะเป็นการรวมเอาคุณสมบัติที่ดีของทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ไว้ด้วยกัน กล่าวคือ คุณสมบัติที่ดีของยางธรรมชาติที่จะถูกส่งผ่านไปให้ยางสังเคราะห์ได้แก่ความสามารถในการขึ้นรูปที่ดี ความเหนียวติดกัน คุณสมบัติเชิงพลวัต รวมถึงความร้อนสะสมที่ต่ำระหว่างการใช้งาน ในทำนองเดียวกัน คุณสมบัติที่ดีของยางสังเคราะห์บางประการก็จะถูกถ่ายเทให้แก่ยางธรรมชาติ เช่น ความต้านทานต่อการขีดถู (เมื่อผสมกับยางบิวตาไดอีน BR) ความทนทานต่อความร้อน (เมื่อผสมกับยางไนไตรล์ NBR) หรือยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนมอนอเมอร์ (EPDM) ความทนทานต่อน้ำมัน (เมื่อผสมกับยางไนไตรล์ NBR) หรือความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากโอโซน (เมื่อผสมกับยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนมอนอเมอร์ EPDM) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในการผสมยางธรรมชาติให้เข้ากับยางสังเคราะห์นั้น ผู้ผสมจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่อาจมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของยางผสมอันได้แก่ ความเหนียวและระบบการคงรูป

ของยางที่จะนำมาผสมกัน โดยทั่วไปแล้ว ก่อนที่จะนำยางทั้งสองชนิดมาผสมเข้าด้วยกันนั้นควรทำการบดยางธรรมชาติให้มีความเหนียวติดกันใกล้เคียงกับยางสังเคราะห์ก่อน เพราะจะทำให้ยางทั้งสองชนิดนั้นผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น ส่วนการผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์บางตัวที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลน้อย เช่น ยางบิวไทล์ (IIR) หรือยางเอทธิลีนโพรพิลีนไดอีนมอโนเมอร์ (EPDM) ก็ควรเลือกระบบการคงรูปให้เหมาะสม ไม่เช่นนั้นยางทั้งสองชนิดซึ่งมีคุณสมบัติการคงรูปที่แตกต่างกันมากนี้อาจเกิดการแยกเฟสกันในระหว่างกระบวนการคงรูปได้ การเลือกใช้ยางสังเคราะห์เกรดที่มีปริมาณพันธะคู่สูงอาจช่วยบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการคงรูปได้ นอกจากความเหนียวและระบบการคงรูปแล้ว ในบางกรณีที่ต้องการนำยางที่มีความเป็นขั้วแตกต่างกันมาผสมกัน อาจจำเป็นต้องพิจารณาถึงความสามารถในการกระจายตัวของสารตัวเติมหรือสารเคมีในแต่ละเฟสของยางที่จะนำมาผสมกันด้วย (โดยเฉพาะสารตัวเร่งปฏิกิริยา) เพราะสารตัวเติมหรือสารตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะมีความเป็นขั้วแตกต่างกัน และสารเคมีเหล่านี้ก็จะอยู่ในเฟสของยางที่มีความเป็นขั้วใกล้เคียงกับตัวมันเองเท่านั้น ซึ่งการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอขององค์ประกอบเหล่านี้ในยางแต่ละเฟส อาจทำให้คุณสมบัติของยางผสมที่ได้ ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

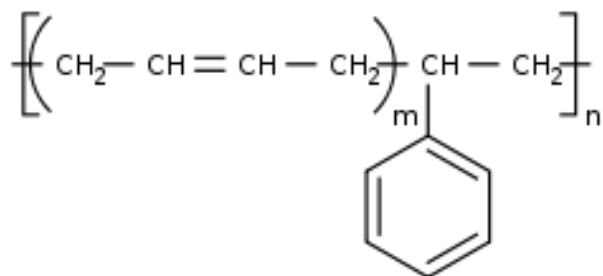
2.13 ยางสไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene – Butadiene Rubber, SBR)

ยาง SBR เป็นยางสังเคราะห์ที่สำคัญและใช้กันมานานมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรม การสังเคราะห์ และผลิตยาง SBR ในเชิงการค้าได้ถูกริเริ่มในประเทศเยอรมัน ในช่วงสงครามโลก (ในช่วงปี ค.ศ. 1930) โดยการเตรียมโคลิพอลิเมอร์ ระหว่างสไตรีนและบิวตาไดอีนด้วยวิธีพอลิเมอร์ไรซ์เซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization) ได้เป็นยาง SBR ซึ่งมีชื่อเรียกในสมัยนั้นว่ายาง Buna-S และได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตมาเรื่อยๆ ต่อมาในปี ค.ศ. 1942 ในระหว่างการเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 ญี่ปุ่นได้ครอบครองประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้ปริมาณการผลิตยาง SBR เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศในแถบยุโรป โดยในช่วงระยะเวลาระหว่างปี ค.ศ. 1942-1944 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ผลิตยาง SBR มากถึง 1 ล้านตันภายใต้ชื่อว่ายาง GR-S (Government Rubber Styrene) ปัจจุบันยาง SBR จัดว่าเป็นยางสังเคราะห์เอนกประสงค์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมีราคาไม่แพง และมีราคาค่อนข้างคงที่

2.14 โครงสร้าง การผลิต และคุณสมบัติของยาง SBR

ยาง SBR เป็นโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ของสไตรีน (Styrene monomer) และมอนอเมอร์ทั้งสองของบิวตาไดอีน (Butadiene monomer) โดยมีปริมาณของสไตรีนอยู่ในช่วง 23-40% มอนอเมอร์ทั้งสองชนิดมีการจัดเรียงตัวแบบไม่มีแบบแผน (Random copolymer)

นอกจากนี้สายโมเลกุลของยาง SBR ยังมีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้ไม่สามารถเกิดการตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ยางจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ เวลาใช้งานจึงจำเป็นต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย



ภาพที่ 2.13 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยาง SBR

ยาง SBR ที่ใช้กันโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ผลิตจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในรูปของอิมัลชัน (Emulsion polymerization) และยางที่ได้จะใช้ชื่อย่อว่า E-SBR แต่ในบางกรณียาง SBR ก็อาจผลิตได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในรูปของสารละลาย (Solution polymerization) ได้เช่นกัน และเรียกกยางที่ได้ว่า L-SBR

ยาง E-SBR ยังแบ่งย่อยได้อีกเป็น 2 กลุ่มตามอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ ได้แก่ ยาง E-SBR แบบเย็น (Cold rubber) ซึ่งใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ประมาณ 5°C และยาง E-SBR แบบร้อน (Hot rubber) ซึ่งใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ประมาณ 50 °C หรือสูงกว่านี้ ยาง E-SBR ที่มีขายเชิงการค้าส่วนใหญ่จะเป็นยางแบบเย็นที่มีค่าความหนืดมูนิ ML 1+4 @ 100°C อยู่ในช่วง 30-120 หรือมีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 250,000-800,000 ยาง SBR เกรดที่มีความหนืดต่ำจะทำให้กระบวนการผสมบนลูกกลิ้งเป็นไปได้โดยง่าย สามารถผสมสารตัวเติมและน้ำมันให้เข้ากับยางได้ง่าย นอกจากนี้ ยางยังมีการหดตัวน้อยกว่าและยางที่ได้จากการอัดผ่านดาวยอกมา (Extrudate) จะมีพื้นผิวที่เรียบสวยกว่ายาง SBR เกรดที่มีความหนืดสูง ในทำนองกลับกัน ยาง SBR เกรดที่มีความหนืดสูงก็จะทำให้ยางที่อยู่ในสภาพที่ยังไม่คงรูปมีความแข็งแรงสูงกว่า (Higher green strength) ทำให้ยางคงรูปมีรูพรุนน้อยกว่า สามารถเติมสารตัวเติมและน้ำมันลงไป ในยางได้มากกว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีราคาต่ำกว่า นอกจากนี้ยาง SBR เกรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ ยังทำให้ยางคงรูปที่ได้มีคุณสมบัติการกระด้างกระตอนที่สูงกว่าและมีคุณสมบัติเชิงกลบางประการ เช่น ความทนทานต่อแรงดึง และค่า Compression set ที่ดีกว่าอีกด้วย

2.15 คุณสมบัติทั่วไปของยางสไตรีนบิวตาไดอิน

ยาง SBR เป็นยางประเภทใช้งานได้ทั่วไปเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ เพราะสามารถใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ยาง SBR มีค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิต้องประมาณ 0.93 g/cm^3 เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ ยาง SBR มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่า การนำไปใช้งานและสมบัติของยางคงรูปจึงสม่ำเสมอ นอกจากนี้ ยาง SBR ยังมีสิ่งเจือปนน้อยกว่า และที่สำคัญคือไม่ต้องบดยางให้หยาบก่อนทำการผสมเคมียางเนื่องจากยางชนิดนี้ถูกสังเคราะห์มาให้มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมากนัก ยางจึงมีความเหนียวเหมาะสมที่ทำให้สารเคมีกระจายตัวได้ดีและยางสามารถไหลได้ง่ายในระหว่างการขึ้นรูปแบบต่างๆ ยิ่งไปกว่านั้น ยาง SBR ยังมีแนวโน้มที่จะเกิดยางตายในระหว่างกระบวนการผลิตน้อยกว่ายางธรรมชาติ (Less tendency to scorch in processing) เพราะยาง SBR มีอัตราเร็วในการคงรูปช้า และถูกออกซิไดส์ได้ช้ากว่ายางธรรมชาติ (ทนต่อความร้อนได้ดีกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย) ดังนั้นจึงทำให้สามารถทำการผสมยางในเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิสูงกว่าได้ ด้วยเหตุนี้ ยาง SBR จึงมีข้อดีเหนือกว่ายางธรรมชาติโดยมีกระบวนการแปรรูปที่ง่ายกว่า ประหยัดทั้งกำลังงานและเวลาตลอดจนต้นทุนการผลิต

ความเหนียวติดกัน (Tack) ยาง SBR มีคุณสมบัติความเหนียวติดกันต่ำ ดังนั้น ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางประเภท เช่น ยางล้อรถยนต์ จึงจำเป็นต้องใช้ยางธรรมชาติที่มีคุณสมบัติความเหนียวติดกันที่ดีเข้าช่วย

ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยาง SBR มีความยืดหยุ่นต่ำกว่ายางธรรมชาติ และค่าความยืดหยุ่นของยางจะลดลงหากยางมีปริมาณของสไตรีนสูงขึ้น

ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) เนื่องจาก ยาง SBR ไม่สามารถเกิดการตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ยางชนิดนี้จึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ

ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ยาง SBR มีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดต่ำมากโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงๆ เนื่องจากยางชนิดนี้ไม่สามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด

ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ยาง SBR ที่เสริมแรงด้วยสารตัวเติมเสริมแรง เช่น เขม่าดำ จะมีความต้านทานต่อการขัดถูสูงกว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย

ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ (Aging properties) ยาง SBR มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล ดังนั้น จึงเสื่อมสภาพเร็วในสภาวะที่มีออกซิเจน โอโซน แสงแดด และความร้อน

ความทนทานต่อน้ำมันและสารเคมี (Oil and chemical resistance) ยาง SBR จัดเป็นยางที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีความทนทานต่อน้ำมันปิโตรเลียม และตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนต่ำ แต่จะทนต่อกรดและด่างเจือจาง แอลกอฮอล์ น้ำ ไกลคอล เกลือ และน้ำมันซิลิโคนได้เป็นอย่างดี

ความเป็นฉนวน (Electrical insulator) ยาง SBR จัดเป็นยางที่ไม่มีขั้วจึงมีความเป็นฉนวนสูง โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะอยู่ในช่วง 10^{14} - 10^{15} ohm.cm

การกระด้างกระดอง (Rebound resilience) ยาง SBR มีการกระด้างกระดองต่ำกว่ายางธรรมชาติมาก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ยางจะมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนสูง (มี Hysteresis สูง-) ดังนั้นเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัต ยาง SBR จึงมีความร้อนสะสมสูงกว่ายางธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้ ยาง SBR จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานในการผลิตยางล้อรถยนต์ที่มีขนาดใหญ่ได้ เพราะความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นอาจสูงมากพอที่จะทำให้ยางเกิดระเบิดได้

อุณหภูมิของการทำงาน (Service temperature) โดยทั่วไป ยาง SBR สามารถนำไปใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -50°C ถึง 100°C และเนื่องจากยาง SBR ไม่สามารถตกผลึกได้ที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงไม่ก่อให้เกิดยางแข็งตัวเมื่อเก็บไว้หรือเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลาสั้นๆ

2.16 การผสมยาง SBR กับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

ยาง SBR เป็นยางที่มีความเป็นขั้วต่ำ ดังนั้น จึงสามารถนำไปผสมกับยางที่ไม่มีขั้วชนิดต่างๆ ได้โดยง่าย ปกติ นิยมนำไปผสมกับยาง BR หรือยางธรรมชาติในการผลิตยางล้อรถยนต์ ในกรณีนี้ ยาง BR ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านความต้านทานต่อการขีดถูและช่วยลดความร้อนสะสมในระหว่างการใช้งานของยางล้อรถยนต์ ในขณะที่ยางธรรมชาติจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติเชิงพลวัตให้ดีขึ้น เป็นต้น ส่วนการนำยาง SBR ไปผสมกับยางที่มีขั้ว เช่น ยาง NBR จะสามารถทำได้ก็ต่อเมื่อใช้ยาง NBR เกรดที่มีปริมาณอะโครโลไนไตรล์ต่ำๆ เท่านั้น

2.17 การใช้งานยาง SBR

ยาง SBR จัดเป็นยางสังเคราะห์ที่สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายและสามารถใช้แทนยางธรรมชาติได้ (ยกเว้นในกรณีของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณสมบัติเชิงพลวัตที่ดี) ดังนั้นยางชนิดนี้จึงถูกนำไปใช้ในการผลิตสายพาน พื้นรองเท้า ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อยาง ผลิตภัณฑ์ยางทางการแพทย์ บรรจุภัณฑ์อาหาร และที่สำคัญคือยางชนิดนี้ส่วนมากจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยางล้อของยางขนาดเล็กโดยผสมกับยางชนิดอื่นๆ เช่น ยางบิวตาไดอีน (BR) และยางธรรมชาติ (NR)

2.18 บิสมัทลักษณะบิสมัท

ผู้ค้นพบ ฐัจักโดยชาวตะวันออก กรีกและโรมัน ตั้งแต่สมัยโบราณแต่หลักฐานไม่เด่นชัด ศตวรรษที่ 15 Basil Valentine เรียกธาตุนี้ว่า Wismut ปลายศตวรรษที่ 16 Georgus Agricola เปลี่ยนชื่อ Wismuth ไปเป็น Bisemutum ซึ่งเป็นชื่อลาตินกลางศตวรรษที่ 18 J. Pott, C. Geoffrey และ T. Bergman ได้ทำการศึกษาธาตุนี้อย่างจริงจัง จนแน่ใจว่าเป็นธาตุที่มีสมบัติเป็นโลหะชนิดหนึ่งในสภาพแวดล้อมแร่ที่สำคัญของธาตุเป็น Bismuthmite และ bismite บิสมัทเกิดขึ้นตามธรรมชาติเป็นโลหะและพบเป็นผลึกในแร่ซัลไฟด์ของนิกเกิล, เงินและดีบุกบิสมัทที่มีการผลิตส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการถลุงแร่ตะกั่วและทองแดงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกาพื้นที่ที่มีการขุด เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โบลิเวีย, เปรู, ญี่ปุ่น, เม็กซิโกและแคนาดาแต่จะทำการผลิตในขอบเขตของกฎหมาย 3,000 ตันต่อปี



ภาพที่ 2.14 ภาพก้อนบิสมัท(Bismuth)

สัญลักษณ์ของบิสมัท คือ Bi และเลขอะตอม 83 บิสมัทมีน้ำหนักมาก ลักษณะเป็นของแข็งสีขาวอมแดง เพราะ หลอมละลาย ที่ 279°C องศา ซึ่งหลอมละลายที่อุณหภูมิต่ำ เป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่เร็ว มีสมบัติพิเศษ คือนำไปผสมกับโลหะอื่นให้เป็นโลหะแข็งซึ่งจะมีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิต่ำบิสมัทจะไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำ โดยโครงสร้างพื้นฐานจะไม่ละลายในน้ำดีเกลือผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของบิสมัทไม่ถือว่าเป็นพิษและภัยคุกคามต่อสิ่งแวดล้อมและไม่เป็นพิษแต่ก็ควรจะได้รับการจัดการด้วยความระมัดระวังบิสมัทเป็นโลหะที่ค่อนข้างเปราะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่น่าสนใจบิสมัทเป็นตัวนำที่ไม่ดีของไฟฟ้าและความร้อนไม่เป็นสนิมในบรรยากาศบิสมัทไม่เป็นที่ฐัจักมีบทบาทใดๆที่สำคัญซึ่งแตกต่างจากตะกั่วและโลหะหนักอื่น ๆ ส่วนใหญ่โลหะที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ - บิสมัทจะหายากในธรรมชาติ การใช้ประโยชน์ผสมบิสมัทผลิตภัณฑ์ยาและเคมีภัณฑ์ใช้ในการบัดกรีท่อประปา โลหะที่ผสมบิสมัท ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำทางด้านอุตสาหกรรมไฟฟ้าเป็นตัวละลายของโลหะที่ผสมบิสมัทในระบบดับเพลิงในอาคารในตัวฉีกน้ำดับไฟหรือสเปรย์น้ำดับเพลิงบิสมัทเป็นโลหะที่ค่อนข้างเฉื่อย

และไม่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อมใช้เป็นโลหะผสมของโลหะใช้บัดกรีวงจรรอิเล็กทรอนิกส์สารบิสมาทที่ใช้ใน ยารักษาโรคกระเพาะอาหารการรักษาแผลในกระเพาะอาหาร, ครีมฟ่อนคลายและเครื่องสำอาง บิสมาทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตเส้นใยอะคริลิกไม่เป็นพิษ



ภาพที่ 2.15 แสดงลักษณะบิสมาทในรูปแข็งและผง

2.19 กรดซัลฟิวริกหรือ กรดกำมะถัน (Sulfuric acid หรือ Sulphuric acid)



ภาพที่ 2.16 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid หรือ Sulphuric acid), H_2SO_4

กรดกำมะถัน หรือ กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid หรือ Sulphuric acid) , H_2SO_4 ละลายได้ในน้ำที่ทุกความเข้มข้น ค้นพบโดย จาเบียร์ เฮย์ยัน (Jabir Ibn Hayyan) นักเคมีชาวอาหรับ พบว่า กรดซัลฟิวริกมีประโยชน์มากมายและเป็นสารเคมีที่มีการผลิตมากที่สุด รองจากน้ำ ในปี ค.ศ. 2001 ทั่วโลกผลิตรวมกันประมาณ 165 ล้านตัน ประโยชน์ของกรดกำมะถันได้แก่ ใช้ในการผลิตปุ๋ย กระบวนการผลิตแร่ การสังเคราะห์เคมี การกำจัดน้ำเสีย ใช้เป็นสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่และกระบวนการกลั่นน้ำมัน

สามารถผลิตกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 100% แต่จะมีการสูญเสีย SO_3 ที่จุดเดือดทำให้กรดที่ได้เหลือความเข้มข้นประมาณ 98.3% กรดความเข้มข้น 98% มีเสถียรภาพมากในการเก็บ

รักษา รูปแบบผลิตภัณฑ์นี้ของกรดจะถูกเรียกว่า กรดซัลฟิวริก เข้มข้น ("concentrated" sulfuric acid) ผลิตภัณฑ์ของ กรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นอื่นมีดังนี้:

33.5%, เรียก กรดแบตเตอรี่ (battery acid) ใช้ใน แบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรด

62.18%, เรียก แชมเบอร์ (chamber) หรือ กรดปุ๋ย (fertilizer acid)

77.67%, เรียก โทเวอร์ (tower) หรือ กรดโกลเวอร์ (Glover acid)

98%, เรียก กรดซัลฟิวริก เข้มข้น (concentrated)

2.20 โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซดาไฟ (NaOH)



ภาพที่ 2.17 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ

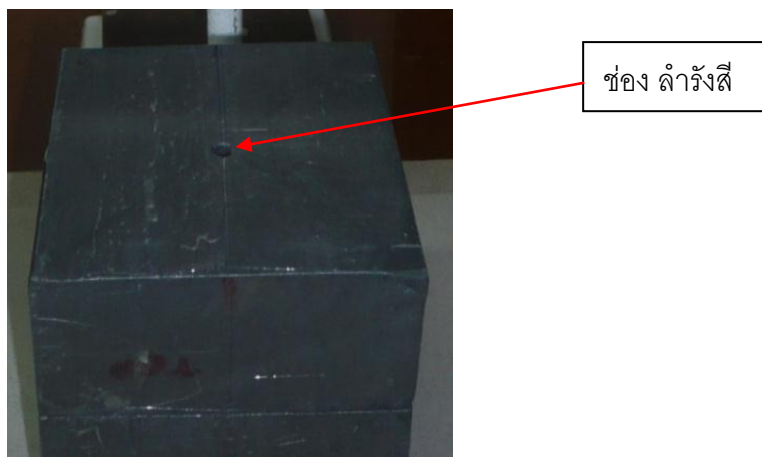
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟเป็นของแข็งลักษณะผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่ระเหย ไม่ติดไฟ น้ำหนักโมเลกุล 40.01 เป็นด่างแก่ จุดหลอมเหลว 318 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 2.13 ละลายน้ำได้ดีและเกิดความร้อนสูง และมีควันหรือละอองสารเมื่อถูกความชื้น จะเยิ้มได้ง่ายสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมักอยู่ในรูปของแข็งเป็นเม็ด (Pellets) ทางอุตสาหกรรมอาจอยู่ในรูปของเหลวละลายน้ำชนิดเข้มข้น เป็นแผ่นหรือเป็นแท่งทำปฏิกิริยากับกรดได้เกลือของสาร และทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้สบู่ นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ง่ายเกิดโซเดียมคาร์บอเนตสารนี้ได้จากการผ่านกระแสไฟฟ้าในน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งโซเดียมไอออนจะไปที่ขั้วบวก (Cathode) ซึ่งมีแผ่นแอสเบสตอสป้องกัน คลอรีนแล้วทำปฏิกิริยากับน้ำปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนได้โซเดียมไฮดรอกไซด์โซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ในอุตสาหกรรมผ้า พลาสติก สีย้อม ฟอกย้อม แร่ โลหะทำแม่พิมพ์ เป็นสารเคมีสำคัญ สำหรับผลิตสบู่ กระดาษ ใยสังเคราะห์และใช้ในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนให้บำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดเพื่อให้เป็นกลางและการล้างพื้นผิวต่างๆ ให้สะอาดโดยเฉพาะการล้างไขมันออก

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

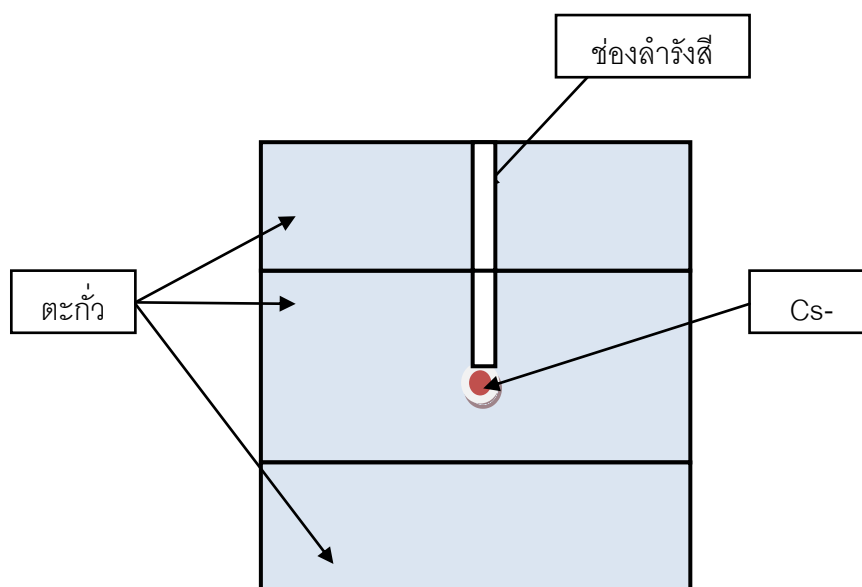
3.1 วัสดุและอุปกรณ์วิจัย

3.1.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

3.1.1.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Caesium-137)

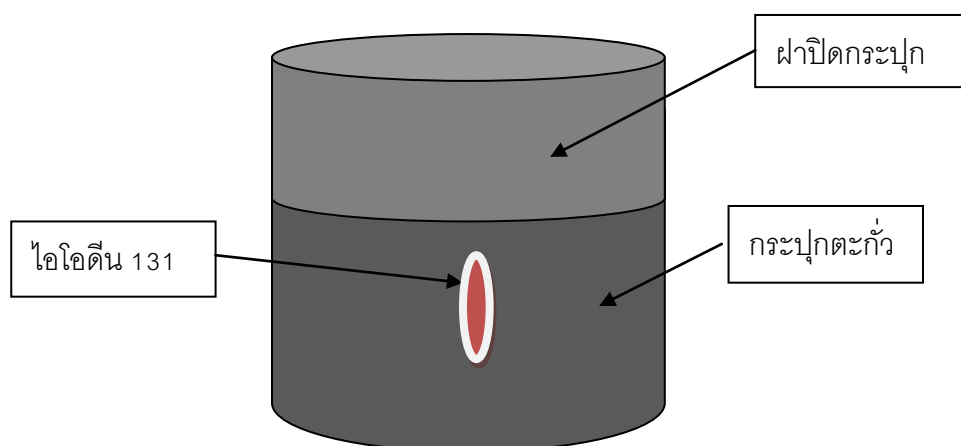


ภาพที่ 3.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Caesium-137)



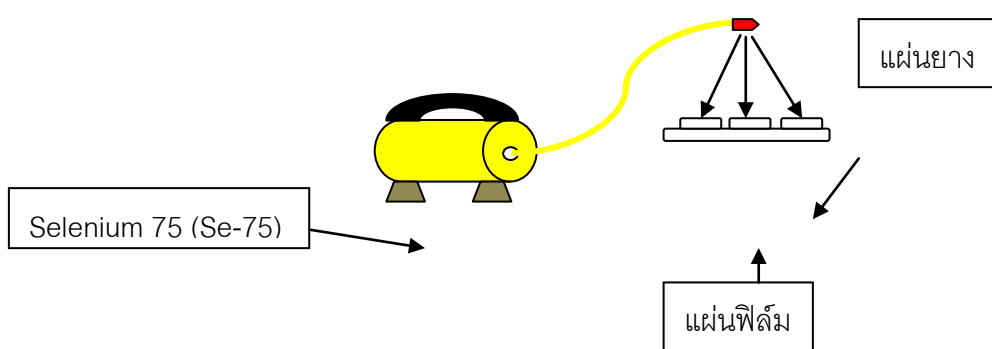
ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Caesium-137)

3.1.1.2 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ไอโอดีน 131



ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ไอโอดีน 131

3.1.1.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีลีเนียม 75 (Selenium 75)



ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีลีเนียม 75 (Selenium 75)

3.1.2 ระบบวัดรังสีแกมมา

3.1.2.1 หัววัดรังสีชนิดGamma Scintillator



ภาพที่ 3.5 หัววัดรังสีแกมมา Ludlum Model 44-10 Gamma Scintillator
(Sodium iodide (NaI))

3.1.2.2 ระบบนับวัด



ภาพที่ 3.6 ระบบนับวัด Ludlum Model 2200 Scaler ratemeter

3.1.3 น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ (Vulcanizable natural rubber latex)



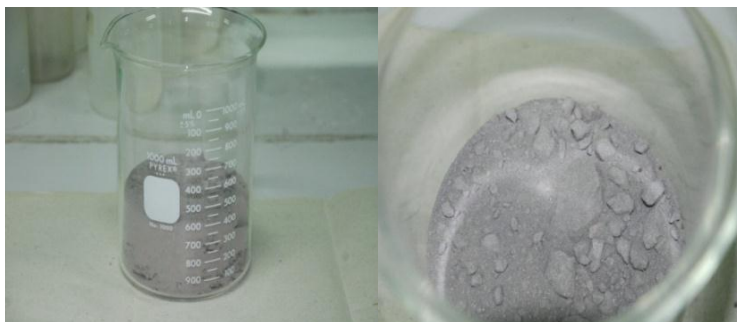
ภาพที่ 3.7 น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ (Vulcanizable natural rubber latex) ชนิดน้ำยางหล่อเป่าจากส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ เกษตร

3.1.4 น้ำยางสังเคราะห์เอสบีอาร์ (Carboxylated Styrene/Butadiene latex DOW LATEX 832) จากบริษัท DOW CHEMICAL THAILAND LTD



ภาพที่ 3.8 น้ำยางสังเคราะห์เอสบีอาร์ (Carboxylated Styrene/Butadiene latex DOW LATEX 832) จากบริษัท DOW CHEMICAL THAILAND LTD

3.1.5 วัสดุอุดกิลินรังสีแกมมา



ภาพที่ 3.9 บิสมัทแบบผง Bi (Bismuth)

3.1.6 เครื่องแก้ว ได้แก่ แท่งแก้วคนสาร กระจกบดตวง และปิเกตอร์



ภาพที่ 3.10 เครื่องแก้วและหลอดทดลองที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.7 แท่นขึ้นรูปแผ่นยาง



ภาพที่ 3.11 แท่นขึ้นรูปแผ่นยาง

3.1.8 เครื่องผสมและกวนสาร



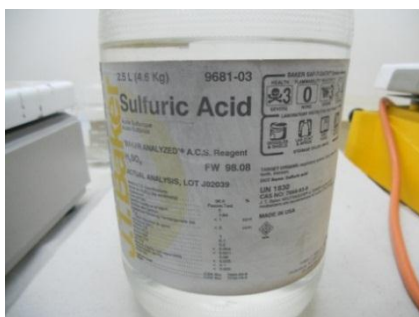
ภาพที่ 3.12 เครื่องผสมและกวนสาร Hot Plate & Magnetic Stirrer (Model HS-2)

3.1.9 เครื่องชั่งวัสดุ



ภาพที่ 3.13 เครื่องชั่งวัสดุ (YAMAVAR KITCHEN SCALE CAP. 2 Kg)

3.1.10 กรดกำมะถัน หรือ กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid หรือ Sulphuric acid)



ภาพที่ 3.14 กรดกำมะถัน หรือ กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid หรือ Sulphuric acid)

3.1.11 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ หรือ คอสดิกโซดา)



ภาพที่ 3.15 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ หรือ คอสดิกโซดา)

3.1.12 กระดาษลิตมัส (Litmus)



ภาพที่ 3.16 กระดาษลิตมัส (Litmus)

3.1.13 เครื่องวัดความดำ (Radiographic densitometer)



ภาพที่ 3.17 เครื่องวัดความดำ (Radiographic densitometer)

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การหาสัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมา

3.2.1.1 เตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

ทดลองขึ้นรูปแผ่นยางที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ และน้ำยางสังเคราะห์ เอสบีอาร์ ที่มีอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้

1. นำน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ (Pre-vulcanizable natural rubber latex) และน้ำยางสังเคราะห์ เอสบีอาร์ เทรวมกันในบีกเกอร์โดยมีอัตราส่วนและปริมาตร 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 0:100
2. คนส่วนผสมทั้งหมดในบีกเกอร์ให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 10 นาที
3. เทส่วนผสมทั้งหมดลงบนแท่นพิมพ์แล้วทิ้งไว้จนส่วนผสมทั้งหมดแห้งและสามารถลอกออกจากพิมพ์ได้



ภาพที่ 3.18 น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสบีอาร์ ในแท่นพิมพ์



ภาพที่ 3.19 แผ่นน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสบีอาร์ ที่แห้งแล้ว

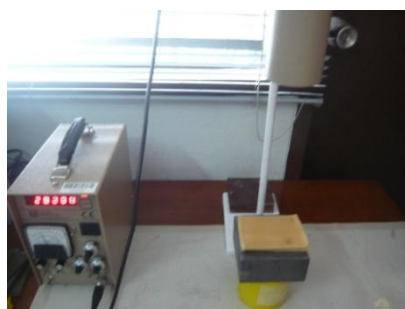
3.2.1.2 การหาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มี อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์

หาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่มีอัตราส่วนต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. จัดระบบวัดรังสีแกมมาโดยจัดวางอุปกรณ์และระบบวัดตามภาพที่ 3.20 และภาพที่ 3.21 ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาในตะกั่ว และหัววัดรังสีแกมมาด้านบนระยะห่าง 25 ซม. ทำการนับวัดรังสีแกมมา
2. ทำการปิดกันรังสีด้วยตะกั่วเพื่อวัดค่า รังสีในธรรมชาติ
3. ทำการวัดค่ารังสีเริ่มต้น จำนวน 3 ครั้งหาค่าเฉลี่ย
4. ทำการนำยางที่ผสมกับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ตามสัดส่วน วางไว้ที่ตำแหน่งระหว่างต้นกำเนิดรังสีแกมมากับหัววัดรังสี
5. ทำการนับวัดรังสีแกมมา ทำซ้ำ 3 ครั้งหาค่าเฉลี่ย
6. เปลี่ยนแผ่นยางทำการทดลองตามข้อ 4-5



ภาพที่ 3.20 เครื่องมืออุปกรณ์ระบบวัดตัวอย่าง



ภาพที่ 3.21 ชิ้นงานวางปิดท่อนำรังสี

3.2.1.3 การหาสัดส่วนของผงบิสมีทที่เหมาะสมในการผสมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์

ทำการผสมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ กับผงบิสมีทในอัตราส่วนต่างๆตามตารางที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ (Pre-vulcanizable natural rubber latex) และ น้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ เทรวมกันในบีกเกอร์โดยมีอัตราส่วนปริมาตรที่ 50: 50
2. คนส่วนผสมทั้งหมดในบีกเกอร์ให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 10 นาที
3. นำบิสมีทแบบผงตามสัดส่วนของน้ำหนักผสมกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ ที่คนเข้ากันดีแล้วเทลงในบีกเกอร์ให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 10 นาที
4. เทส่วนผสมทั้งหมดลงบนแท่นพิมพ์แล้วทิ้งไว้จนส่วนผสมทั้งหมดแห้งและสามารถลอกออกจากพิมพ์ได้
5. ผสมผงบิสมีทตามน้ำหนักในตารางที่ 3.1 ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 1-4



ภาพที่ 3.22 ชั่งน้ำหนักบิสมีทแบบผงในถ้วยตวง



ภาพที่ 3.23 บิสมีทแบงผง ผสมกับน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลไนด์และ
น้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ทีที่ผสมแล้ว



ภาพที่ 3.24 เทส่วนผสมทั้งหมดลงบนแท่นพิมพ์



ภาพที่ 3.25 แผ่นบิสมีทแบงผง ผสมกับน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลไนด์
และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ทีที่แห้งแล้ว

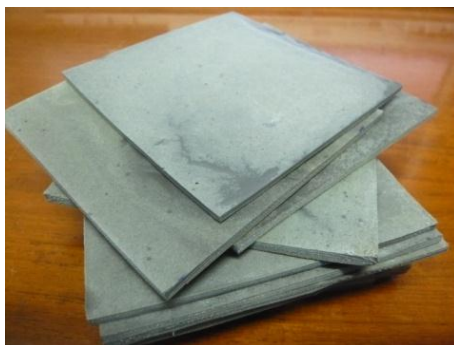
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนน้ำหนักและปริมาณของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ผสมกับบิสม์ทแบบผง ตามน้ำหนัก(กรัม)

น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ 50 กรัม ต่อน้ำ ยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ 50:50 อัตราส่วนโดย ปริมาตร	บิสม์ทแบบผง (กรัม)
1	25
2	50
3	75
4	100
5	125
6	150

3.2.1.4 การหาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มี ส่วนผสมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ยางสังเคราะห์เอสปีอาร์และ บิสม์ทแบบผงที่ความหนา 0.5 ซม.

หาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มีส่วนผสมน้ำ
ยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ ยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ และบิสม์ทแบบผงโดยเพิ่มความหนา
ตามจำนวนชิ้นงาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. จัดระบบวัดรังสีแกมมาโดยจัดวางอุปกรณ์และระบบวัดตามภาพที่ 3.27 และ
ภาพที่ 3.28 ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาในตะกั่ว และหัววัด
รังสีแกมมาด้านบนระยะห่าง 25 ซม. ทำการนับวัดรังสีแกมมา
2. ทำการปิดกันรังสีด้วยตะกั่วเพื่อวัดค่า รังสีในธรรมชาติ
3. ทำการวัดค่ารังสีเริ่มต้น จำนวน 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย
4. นำยางที่ผสมกับบิสม์ทแบบผง วางไว้ที่ตำแหน่งระหว่างต้นกำเนิดรังสีแกมมากับ
หัววัดรังสี
5. ทำการนับวัดรังสีแกมมา ทำซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย
6. เพิ่มความหนาของแผ่นยางครั้งละ 0.5 ซม. ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 4-5



ภาพที่ 3.26 แผ่นยางแบบผสมบิสมัทแบบผงที่แห้งแล้ว



ภาพที่ 3.27 เครื่องมืออุปกรณ์ระบบวัดตัวอย่าง



ภาพที่ 3.28 ชิ้นงานวางปิดก่อนนำรังสี

3.2.1.5 นำสัดส่วนของน้ำยางที่กำบังรังสีที่ดีที่สุดมาผสมกับสารละลายบิสมีทเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม

น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ กับสารละลายบิสมีทในอัตราส่วนต่างๆตามอัตราส่วน 40,50,60,70,80,90,100 (มิลลิลิตร) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ (Pre-vulcanizable natural rubber latex) และ น้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ เทรวมกันในปิกเกอร์โดยมีอัตราส่วนของปริมาตรที่ 200 : 200 มิลลิลิตรให้ได้ปริมาตร 400 มิลลิลิตร
2. คนส่วนผสมทั้งหมดในปิกเกอร์ให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 10 นาที
3. นำสารละลายบิสมีทตามสัดส่วนของปริมาตรตามอัตราส่วน 40,50,60,70,80,90,100 (มิลลิลิตร) ผสมกับน้ำยางที่คนเข้ากันดีแล้ว เทลงในปิกเกอร์ให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 20 นาที
4. เทส่วนผสมทั้งหมดลงบนแท่นพิมพ์แล้วทิ้งไว้จนส่วนผสมทั้งหมดแห้งและสามารถลอกออกจากพิมพ์ได้
5. ทำการผสมสารละลายบิสมีทเพิ่มตามจำนวน และทำตามขั้นตอนที่ 1-4 จนครบ



ภาพที่ 3.29 สารละลายบิสมีท



ภาพที่ 3.30 สารละลายบิสมีทกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสมเสร็จแล้ว

ปริมาตรของสารละลายบิสมีท์ (มิลลิลิตร) ที่จะผสมกับน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่อัตราส่วน 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 (มิลลิลิตร)

3.2.1.6 การหาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มี

อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์ และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ 50:50 โดยมีอัตราส่วนของปริมาตร สารละลาย บิสมีท์ 10 phr ที่ความหนา 0.5 ซม.

หาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่มีแบบสารละลายบิสมีท์ 10 phr ตามความหนาต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. จัดระบบวัดรังสีแกมมาโดยจัดวางอุปกรณ์และระบบวัดตามภาพที่ 3.31 ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาและหัววัดรังสีแกมมาด้านบนบนทำการนับวัดรังสีแกมมา
2. ทำการปิดกันรังสีด้วยตะกั่วเพื่อวัดค่า รังสีในธรรมชาติก่อน แล้วทำการบันทึกค่า
3. ทำการวัดค่ารังสีเริ่มต้น จำนวน 3 ครั้งหาค่าเฉลี่ย
4. ทำการนำแผ่นยางที่ผสมกับสารละลาย บิสมีท์ วางไว้ที่ตำแหน่งระหว่างต้นกำเนิดรังสีแกมมากับหัววัดรังสี
5. ทำการนับวัดรังสีแกมมา ทำซ้ำ 3 ครั้งหาค่าเฉลี่ย
6. ทำการเพิ่มความหนาของแผ่นยางครั้งละ 0.5 ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 4-5



ภาพที่ 3.31 เครื่องมืออุปกรณ์ระบบวัดตัวอย่างแบบสารละลายบิสมีท์ 10%



ภาพที่ 3.32 แสดงชิ้นงานวางปิดท่อน้ำรังสี

3.2.1.7 การหาความสามารถในการกักบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มี

อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติชาติพีวีลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่มี 50:50โดยมีอัตราส่วนของปริมาตรสารละลายบิสมีท 20 phr มีความหนา 0.5 ซม.

หาความสามารถในการกักบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติพีวีลคาไนซ์ และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ 50: 50โดยมีอัตราส่วนของปริมาตร ผสมบิสมีทแบบสารละลาย 20 phr โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. จัดระบบวัดรังสีแกมมาโดยจัดวางอุปกรณ์และระบบวัดตามภาพที่ 3.32 ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาและหัววัดรังสีแกมมาด้านบนทำการนับวัดรังสีแกมมา
2. ทำการปิดกันรังสีด้วยตะกั่วเพื่อวัดค่า รังสีในธรรมชาติก่อน แล้วทำการบันทึกค่า
3. ทำการวัดค่ารังสีเริ่มต้น จำนวน 3 ครั้งหาค่าเฉลี่ย
4. ทำการนำแผ่นยางที่ผสมกับสารละลายบิสมีท วางไว้ที่ตำแหน่งระหว่างต้นกำเนิดรังสีแกมมากับหัววัดรังสี
5. ทำการนับวัดรังสีแกมมา ทำซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย
6. ทำการเพิ่มความหนาของแผ่นยางครั้งละ 0.5 ซม. ทำการทดลองซ้ำ 4-5



ภาพที่ 3.33 เครื่องมืออุปกรณ์ระบบวัดตัวอย่างแบบสารละลายบิสมีท์ 20%



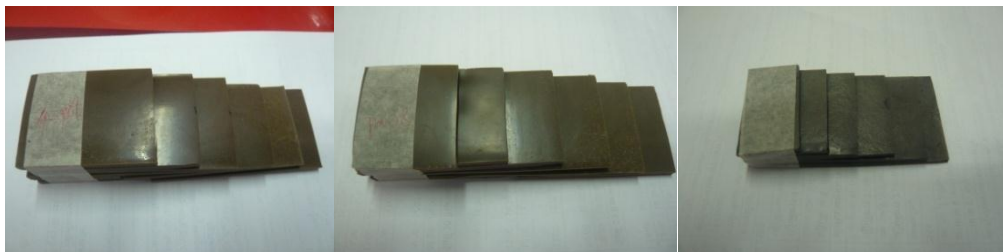
ภาพที่ 3.34 ชิ้นงานว่างปิดท่อนำรังสี

3.2.1.8 การทดสอบหาความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสบีอาร์ 50: 50 แบบสารละลายบิสมีท์ 20 phr และ 10 phr และน้ำยางพาราผสมบิสมีท์แบบผง 100 phr มีความหนา 0.5 ซม. ถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาเพื่อทดสอบหาความแตกต่าง

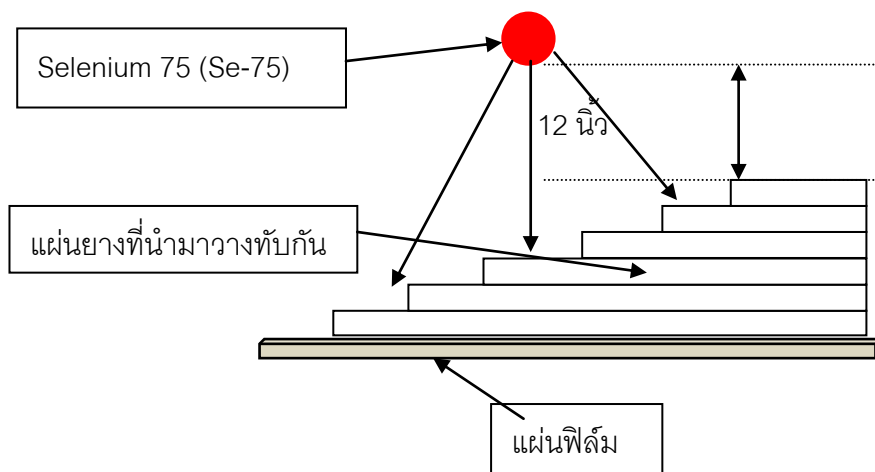
ทดสอบด้วยการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาเพื่อหาความแตกต่างหรือความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาของแผ่นยางแต่ละชนิด ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. นำแผ่นยางชนิดต่างๆ มาตัดให้ได้ขนาด กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่นหลังจากนั้นก็ตัดแผ่นยางในความยาวที่ 13, 11, 9, 7 และ 5 เซนติเมตร แล้วนำมาซ้อนทับกันตามภาพที่ 3.34
2. จัดเรียงแผ่นยางแต่ละชนิดวางบนแผ่นฟิล์ม และมาร์ค ด้วยตัวเลขตะกั่ว
3. ทำการจัดตำแหน่งระหว่าง ต้นกำเนิดรังสี ตัวอย่างแผ่นยาง และแผ่นฟิล์มอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมตามภาพที่ 3.35

5. เริ่มทำการถ่ายภาพรังสีแกมมาโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีSelenium 75 (Se-75)เป็นเวลา 15 นาที
6. นำแผ่นฟิล์มไปล้างและนำไปตากแดดให้แห้ง



ภาพที่ 3.35 แผ่นยางแต่ละชนิดที่นำมาวางทับกัน



ภาพที่ 3.36 ต้นกำเนิดรังสี ตัวอย่างแผ่นยาง และแผ่นฟิล์มอยู่ในตำแหน่งต่างๆ

3.2.1.9 การทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ 50:50 สารละลายบิสมีท 10 phr และ 20 phr และน้ำยางกับบิสมีทแบบผง 100 phr โดยการอบที่อุณหภูมิ 100 องศา เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของยาง จากส่วนอุตสาหกรรมยาง กรมวิชาการเกษตร น้ำยางสังเคราะห์ เอสปีอาร์ใน 50:50 สารละลายบิสมีท 10 phr และ 20 phr และน้ำยางกับบิสมีทแบบผง 100 phr

สมบัติ	ตัวอย่างทดสอบ		
	100 phr	10 phr	20 phr
การบ่มแรงที่ 100 องศา 48 ชม.	*	A	A
การต้านแรงดึง	*	4.5	2.2
ความเค้นดึงเมื่อมีการยืดร้อยละ 500 (MPA)	*	5.8	3.4

หมายเหตุ : * ไม่สามารถทดสอบได้ เนื่องจากแผ่นยางเกิดละลาย

A ยังคงสภาพเดิม เกิดการอ่อนตัว

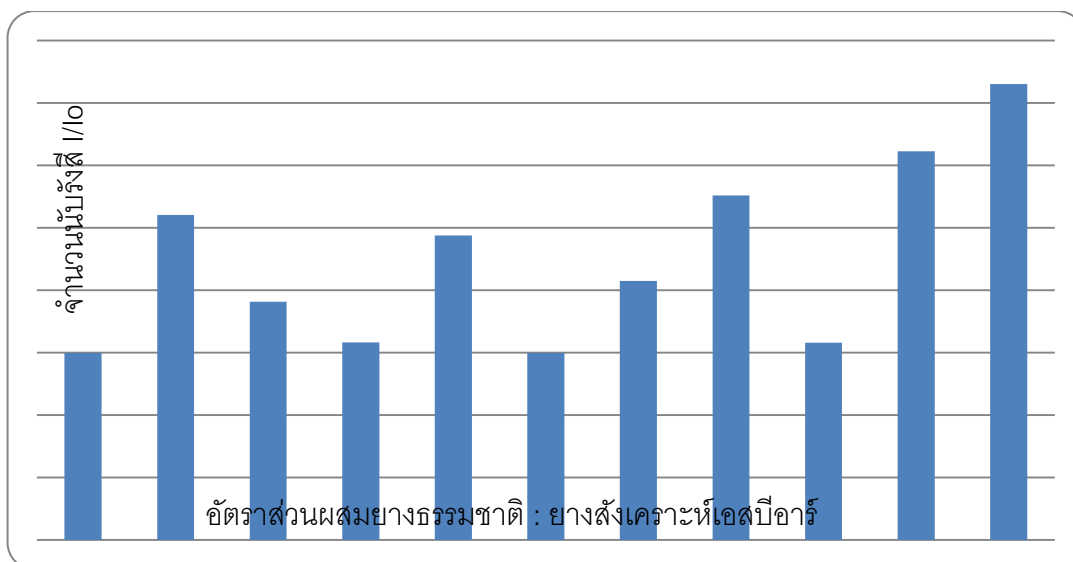
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การหาสัดส่วนของน้ำยางที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมา

จากการทดลองหาสัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าน้ำยางในแต่ละส่วนผสมมีความแตกต่างกันน้อยมาก ในการกำบังรังสีแกมมา เมื่อนำชิ้นงานที่มีอัตราของน้ำยางในอัตราส่วนที่ต่างกันและมีความหนาที่เท่ากัน ไปกำบังรังสีแกมมา จากต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม-137 (Cs-137) และไอโอดีน-131 (¹³¹I) พบว่าน้ำยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ สามารถนับวัดรังสีแกมมา ได้ใกล้เคียงกันขึ้นอยู่กับพลังงานของต้นกำเนิดรังสี ดังนั้นจะต้องเปรียบเทียบค่าจำนวนนับวัดในแต่ละชนิดของต้นกำเนิดรังสี

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาสัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ซีเซียม-137 (Cs-137) จำนวนนับรังสี/30 วินาที (Background 7805) ($I_0 = 81,474$)

น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ ต่อยางสังเคราะห์เอสปีอาร์	I	I - Background	I / I ₀
0:100	76,079	68,274	0.837
10:90	76,439	68,634	0.842
20:80	76,213	68,408	0.839
30:70	76,107	68,302	0.838
40:60	76,386	68,581	0.841
50:50	76,079	68,274	0.837
60:40	76,267	68,462	0.837
70:30	76,490	68,685	0.843
80:20	76,106	68,301	0.838
90:10	76,606	68,801	0.844
100:0	76,781	68,976	0.846

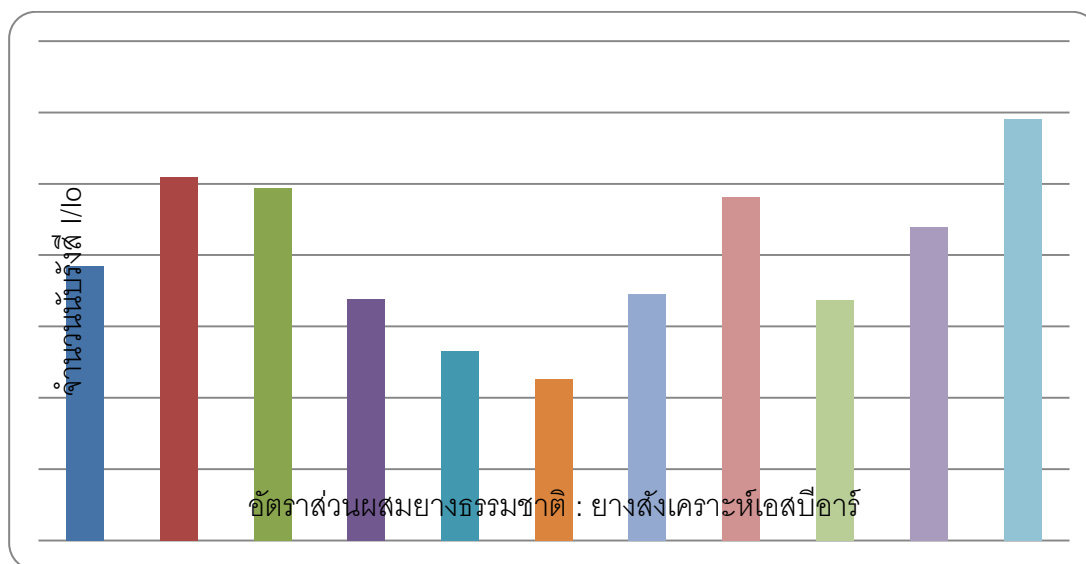


ภาพที่ 4.1 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมาซีเซียม-137 (Cs-137) ของยางธรรมชาติพีวีดีคาไนซ์ กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ในอัตราส่วนต่างๆ

จากการทดลองหาสัดส่วนของน้ำยางที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม-137 พบว่าน้ำยางธรรมชาติพีวีดีคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ สามารถนับวัดรังสีแกมมา ได้ใกล้เคียงกัน สังเกตจากตารางของค่า I/10 จะอยู่ระหว่าง 0.830 – 0.840 ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมาก และเมื่อนำตัวเลขจากตารางมาแสดงเป็นกราฟแล้ว ทำให้กราฟแต่ละแท่งสูงต่ำไม่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติพีวีดีคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์สามารถใช้ได้ทุกอัตราส่วน ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม-137

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาสัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ไอโอดีน-131 (^{131}I) จำนวนนับรังสี/30 วินาที (Background 7468) ($I_0 = 74,589$)

น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ ต่อยางสังเคราะห์เอสปีอาร์	I	I - Background	I / I_0
0:100	76,408	68,940	0.924
10:90	76,874	69,406	0.930
20:80	76,814	69,346	0.929
30:70	76,233	68,765	0.921
40:60	75,963	68,495	0.918
50:50	75,818	68,350	0.916
60:40	76,257	68,789	0.922
70:30	76,766	69,298	0.929
80:20	76,226	68,758	0.921
90:10	76,610	69,142	0.926



ภาพที่ 4.2 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมาไอโอดีน-131 (^{131}I) ของยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ในอัตราส่วนต่างๆ

จากการทดลองหาสัดส่วนของน้ำยางที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี ไอโอดีน-131 (¹³¹I) พบว่าน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ สามารถนับวัดรังสีแกมมา ได้ใกล้เคียงกัน สังเกตจากตารางของค่า I/I₀ จะอยู่ระหว่าง 0.910 – 0.930 ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมาก และเมื่อนำตัวเลขจากตารางมาแสดงเป็นกราฟแล้ว ทำให้กราฟแต่ละแห่งสูงต่ำไม่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์สามารถใช้ได้ทุกอัตราส่วน ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี ไอโอดีน-131 (¹³¹I)

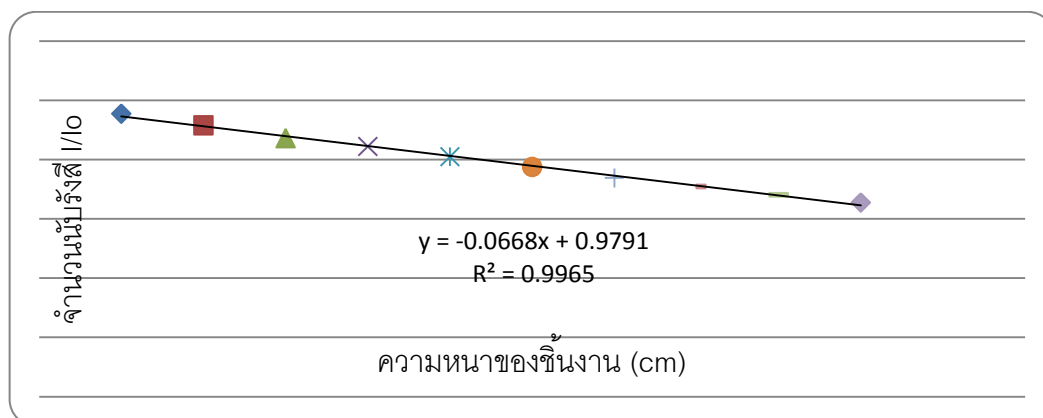
จากผลการทดลองวัดค่าการทะลุผ่านของรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีแกมมาทั้ง ซีเซียม-137 และ ไอโอดีน-131 (¹³¹I) น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 ที่ปริมาณ 100 มิลลิลิตร กำบังรังสีได้ดีพอสมควรจากการทดลองและที่สำคัญคุณสมบัติทางโครงสร้างของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน และเกิดผลึกเนื่องจากการยึดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีคุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์โครงสร้างทางโมเลกุลที่ไม่เป็นระเบียบเมื่อเติมสารตัวเติมเสริมแรง สามารถทำให้ยางมีการหดตัวน้อยกว่าและมีความเหนียวสูงจึงทนต่อแรงดึงได้ดีและทนทานต่อการฉีกขาด เมื่อนำน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี

4.2 การหาสัดส่วนการผสมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50: 50 มาผสมกับบิสมันท์แบบผง

จากการทดลองผสมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 ที่ปริมาณ 100 มิลลิลิตรและเพิ่มบิสมันท์แบบผงอัตราส่วน 25,50,75,100,125,150 ในส่วนการผสมที่ 25,50,75 กรัม นั้น ในขณะที่ผสมบิสมันท์แบบผงลงในน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 สามารถสังเกตได้ว่าผงของบิสมันท์ที่เทลงนั้นจับตัวเป็นก้อนในบางส่วนต้องเพิ่มระยะเวลาในการคนให้เข้ากันได้มาก เมื่อทำเทลงในแท่นพิมพ์ เมื่ออย่างแห้งจะเห็นได้ชัดเจนว่าผงบิสมันท์ไม่ได้กระจายอยู่ในเนื้อยางจะลอยตัวเป็นก้อนเล็กในเนื้อยางและเมื่อทำการผสมผงบิสมันท์มากกว่า 100 phr จะเห็นได้ชัดเจนเลยว่าผงบิสมันท์ตกตะกอนไม่กระจายอยู่ในเนื้อยางช่วงเวลาเทลงในแท่นพิมพ์ตะกอนที่ตกค้างอยู่ก่อนแก้วทดลอง ส่วนที่ 100 phr นั้นเมื่อผสมแล้วสามารถเทลงในแท่นพิมพ์ได้หมด แสดงว่าในน้ำยางที่ผสมน้ำยางธรรมชาติกับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ 50:50 จะผสมผงบิสมันท์ได้มากที่สุดที่ 100 phr จึงนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นที่มีความหนา 0.5 ซม. ซึ่งพบว่าความหนาของชิ้นงานจะแปรผันตรงกับค่าลดทอนรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีโดย เมื่อความหนาของงานเพิ่มขึ้นร้อยละการลดทอนรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ปริมาตร 100 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ซีเซียม-137 (Cs-137) (Background 7891) ($I_0 = 73,360$)

ความหนาของ ชิ้นงาน(ซม.)	I	I - Background	I / I ₀
0.5	77,254	69,363	0.945
1	73,,946	66,055	0.900
1.5	69,611	61,720	0.841
2	66,798	58,907	0.802
2.5	63,093	55,202	0.752
3	60,933	53,042	0.723
3.5	57,496	49,605	0.676
4	55,177	47,286	0.644
4.5	53,161	45,270	0.617
5	50,937	43,046	0.586



ภาพที่ 4.3 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Cs-137) ของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ปริมาตร 100 phr

คำนวณค่า μ คือ สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) HVL (Half Value Layer) และ TVL (Tenth Value Layer) ซึ่งหมายถึง ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า และ 1/10 เท่า ของความเข้มเดิมจากตารางที่ 4.3 ก็จะได้คำนวณค่า μ ได้โดย

$$\mu = \left(\ln \frac{I}{I_0} \right) / (\text{ความหนาของชิ้นงาน})$$

ในตารางที่ 4.3 ความหนาของชิ้นงานที่ 0.5 ซม.

$$\mu = (\ln 0.945515267) / 0.5 \text{ ซม.} = 0.11205$$

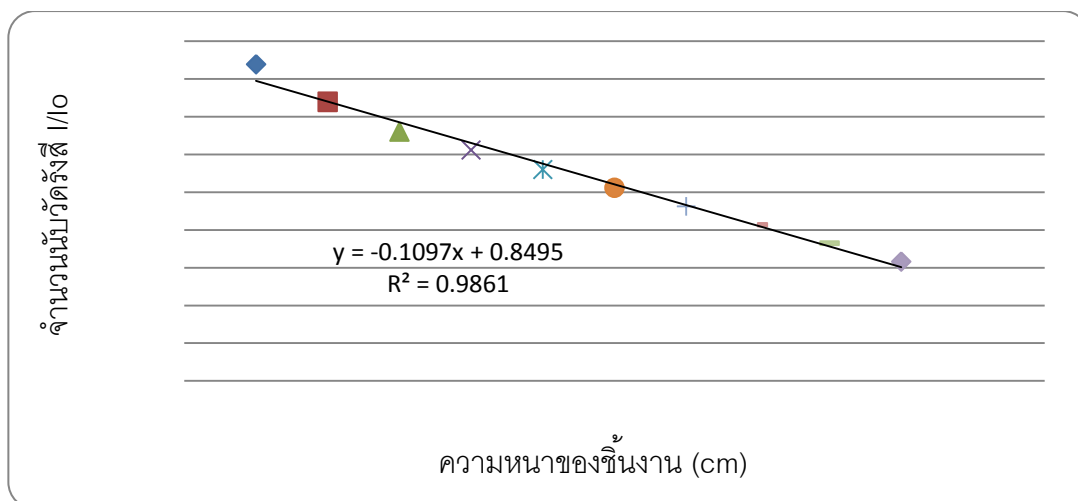
จากสมการ HVL = 0.693/ μ และ TVL = 2.3/ μ

$$\text{HVL} = 0.693/0.11205 = 6.1847 \text{ ซม.}$$

$$\text{TVL} = 2.3/0.11205 = 20.5265 \text{ ซม.}$$

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของน้ำยาธรรมชาติฟิวรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ปริมาตร 100 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ไอโอดีน-131 (^{131}I) (Background 7468) ($I_0 = 82705$)

ความหนาของชิ้นงาน(cm)	I	I - Background	I / I ₀
0.5	70,556	63,088	0.838
1	63,080	55,612	0.739
1.5	57,157	49,689	0.660
2	53,486	46,018	0.611
2.5	49,606	42,138	0.560
3	45,935	38,467	0.511
3.5	42,264	34,796	0.462
4	38,593	31,125	0.413
4.5	34,922	27,454	0.364
5	31,251	23,783	0.316



ภาพที่ 4.4 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ไอโอดีน-131 (^{131}I) ของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ปริมาตร 100 phr

คำนวณค่า μ คือ สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) HVL (Half Value Layer) และ TVL (Tenth Value Layer) ซึ่งหมายถึง ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า และ 1/10 เท่า ของความเข้มเดิมจากตารางที่ 4.4 ก็จะได้คำนวณค่า μ ได้โดย

$$\mu = \left(\ln \frac{I}{I_0} \right) / (\text{ความหนาของชั้นงาน})$$

ในตารางที่ 4.3 ความหนาของชั้นงานที่ 0.5 ซม.

$$\mu = (\ln 0.83852) / 0.5 \text{ ซม.} = 0.35222$$

จากสมการ $\text{HVL} = 0.693/\mu$ และ $\text{TVL} = 2.3/\mu$

$$\text{HVL} = 0.693/0.35222 = 1.9675 \text{ ซม.}$$

$$\text{TVL} = 2.3/0.35222 = 6.5300 \text{ ซม.}$$

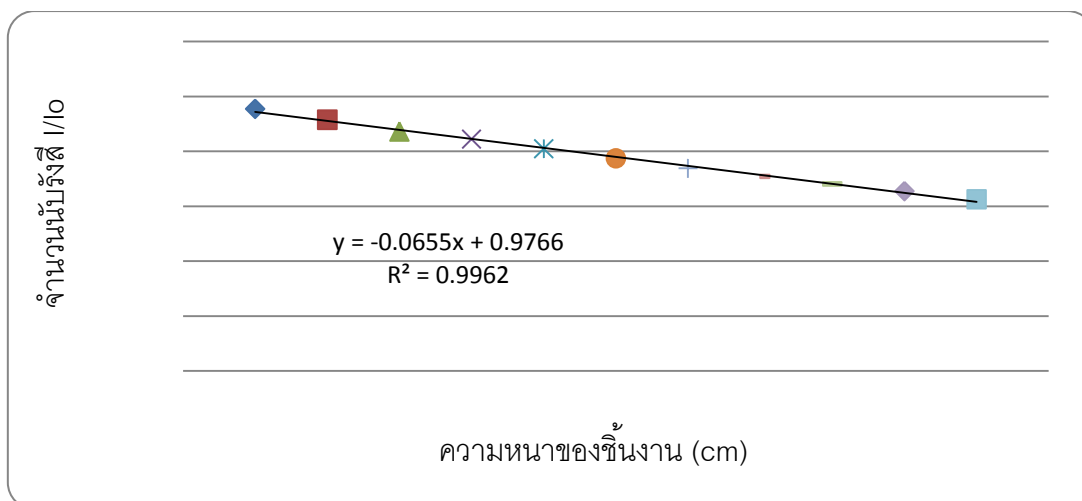
4.3 การนำน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท 10 phr

จากการทดลองนำน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท ปริมาตร 2.5, 5, 7.5 และ 10 phr พบว่าสารละลายบิสมีทที่ 2.5, 5 และ 7.5 phr การกระจายของสารละลายบิสมีทไม่เป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่ผสมน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ทำการเพิ่มปริมาตรสารละลายบิสมีทเป็น 10 phr และเพิ่มเวลาการคนอีก 10 นาที พบสารละลายบิสมีทกระจายเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วทำ

การผสมสารละลายบิสมีท์ที่ 10 phr โดยเพิ่มเวลาการคนส่วนผสมเป็น 25 นาที แล้วเทลงในแท่นพิมพ์ให้ได้จำนวน 12 ชิ้นงาน จะต้องนำไปตากแดดให้แห้ง

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมีท์ที่ 10 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ซีเซียม-137 (Cs-137) (Background 7891) ($I_0 = 73,850$)

ความหนาของ ชิ้นงาน (ซม.)	I	I - Background	I / I ₀
0.5	78,530	70,513	0.954
1	75,605	67,588	0.915
1.5	72,444	64,427	0.872
2	70,370	62,353	0.844
2.5	67,811	59,794	0.809
3	65,244	57,227	0.774
3.5	62,518	54,501	0.737
4	60,370	52,353	0.708
4.5	58,306	50,289	0.680
5	56,391	48,374	0.655
5.5	54,197	46,180	0.625
6	52,008	43,991	0.595



ภาพที่ 4.5 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Cs-137) ของน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลไอที กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสเมทที่ 10 phr

คำนวณค่า μ คือ สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) HVL (Half Value Layer) และ TVL (Tenth Value Layer) ซึ่งหมายถึง ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า และ 1/10 เท่า ของความเข้มเดิมจากตารางที่ 4.5 ก็จะได้คำนวณค่า μ ได้โดย

$$\mu = \left(\ln \frac{I}{I_0} \right) / (\text{ความหนาของชั้นงาน})$$

ในตารางที่ 4.3 ความหนาของชั้นงานที่ 0.5 ซม.

$$\mu = (\ln 0.95481) / 0.5 \text{ ซม.} = 0.09247$$

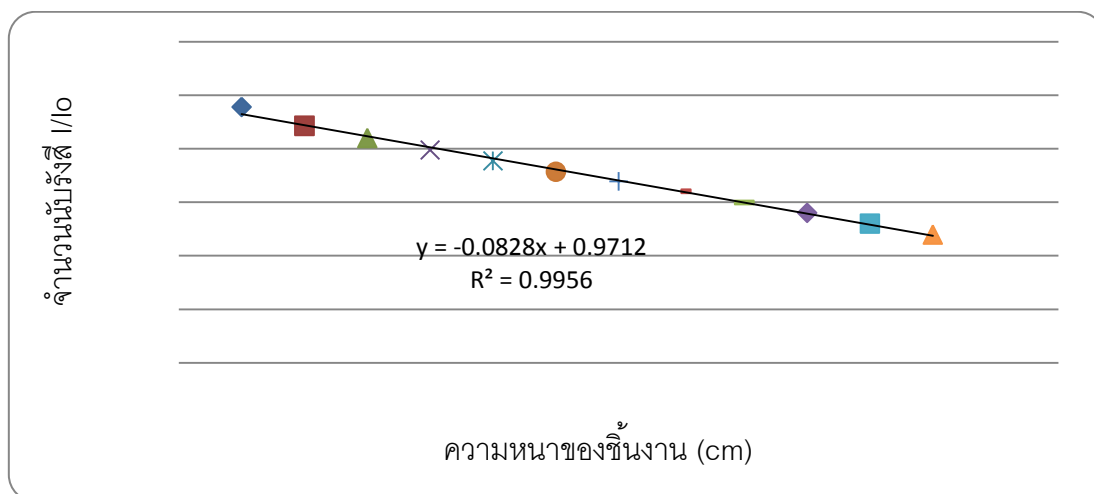
จากสมการ $HVL = 0.693/\mu$ และ $TVL = 2.3/\mu$

$$HVL = 0.693/0.09247 = 7.4943 \text{ ซม.}$$

$$TVL = 2.3/0.09247 = 24.8729 \text{ ซม.}$$

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสม์ที่ 10 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ไอโอดีน-131 (^{131}I) (Background 7468) ($I_0 = 82,730$)

ความหนาของ ชั้นงาน (ซม.)	I	I - Background	I / I ₀
0.5	79,412	71,944	0.955
1	74,132	66,664	0.885
1.5	70,690	63,222	0.840
2	67,297	59,829	0.794
2.5	64,260	56,792	0.754
3	61,212	53,744	0.714
3.5	58,520	51,052	0.678
4	55,711	48,243	0.641
4.5	52,580	45,112	0.599
5	49,650	42,182	0.560
5.5	46,620	39,152	0.520
6	43,550	36,082	0.479



ภาพที่ 4.6 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ไอโอดีน-131 (^{131}I) ของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสม์ที่ 10 phr

คำนวณค่า μ คือ สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) HVL (Half Value Layer) และ TVL (Tenth Value Layer) ซึ่งหมายถึง ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า และ 1/10 เท่า ของความเข้มเดิมจากตารางที่ 4.6 ก็จะได้คำนวณค่า μ ได้โดย

$$\mu = \left(\ln \frac{I}{I_0} \right) / (\text{ความหนาของชิ้นงาน})$$

ในตารางที่ 4.3 ความหนาของชิ้นงานที่ 0.5 ซม.

$$\mu = (\ln 0.95591) / 0.5 \text{ ซม.} = 0.09017$$

จากสมการ HVL = 0.693/ μ และ TVL = 2.3/ μ

$$\text{HVL} = 0.693/0.09017 = 7.0866 \text{ ซม.}$$

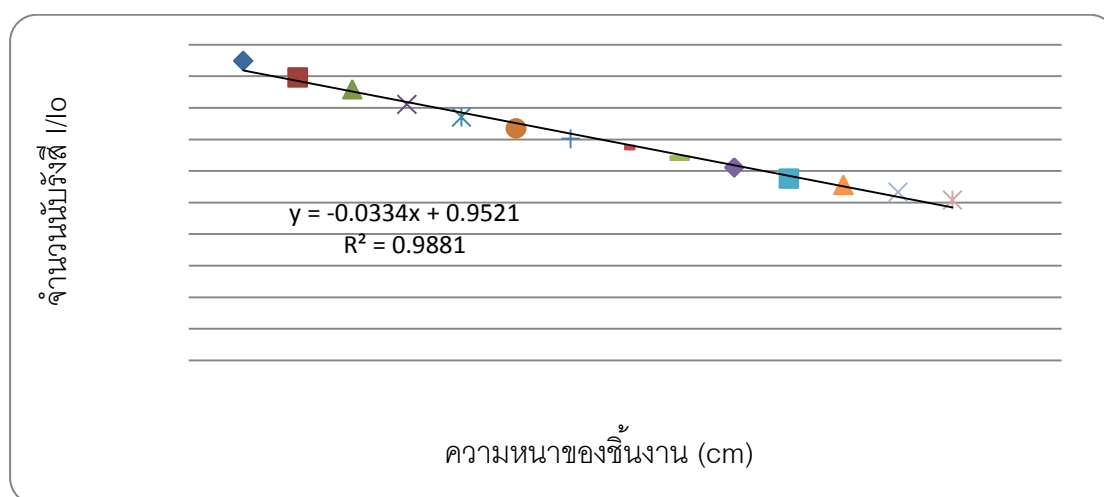
$$\text{TVL} = 2.3/0.09017 = 25.5073 \text{ ซม.}$$

4.4 การนำน้ำยาธรรมชาติฟิวรีวัลคาไนซ์กับน้ำยาสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท 20 phr

จากการทดลองนำน้ำยาธรรมชาติฟิวรีวัลคาไนซ์กับน้ำยาสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท ปริมาตร 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5 และ 25 phr พบว่าสารละลายบิสมีทที่ 22.5 และ 25 phr สารละลายบิสมีทมีการตกตะกอน และเพิ่มเวลาการคนอีก 10 นาที พบสารละลายบิสมีทก็ยังมีตกตะกอน เพราะฉะนั้นส่วนผสมสารละลายบิสมีทที่ 20 phr เป็นส่วนผสมกับน้ำยาพาราธรรมชาติที่ผสมน้ำยาสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยไม่มีการตกตะกอน โดยเพิ่มเวลาการคนส่วนผสมเป็น 25 นาที แล้วเทลงในแท่นพิมพ์ให้ได้จำนวน 12 ชิ้นงาน นำไปตากแดดอีกครั้งให้แห้ง

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสม์ที่ 20 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ซีเซียม-137 (Cs-137) (Background 7891) ($I_0 = 73787$)

ความหนาของ ชั้นงาน (ซม.)	I	I - Background	I / I ₀
0.5	77,896	70,005	0.948
1	74,031	66,140	0.896
1.5	71,261	63,370	0.858
2	67,733	59,842	0.811
2.5	64,750	56,859	0.770
3	62,123	54,232	0.734
3.5	59,703	51,812	0.702
4	57,612	49,721	0.673
4.5	55,189	47,298	0.641
5	52,976	45,085	0.611
5.5	50,390	42,499	0.575
6	48,922	41,031	0.556



ภาพที่ 4.7 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Cs-137) ของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสม์ที่ 20 phr

คำนวณค่า μ คือ สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) HVL (Half Value Layer) และ TVL (Tenth Value Layer) ซึ่งหมายถึง ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า และ 1/10 เท่า ของความเข้มเดิมจากตารางที่ 4.7 ก็จะได้คำนวณค่า μ ได้โดย

$$\mu = \left(\ln \frac{I}{I_0} \right) / (\text{ความหนาของชิ้นงาน})$$

ในตารางที่ 4.3 ความหนาของชิ้นงานที่ 0.5 ซม.

$$\mu = (\ln 0.94874) / 0.5 \text{ ซม.} = 0.10523$$

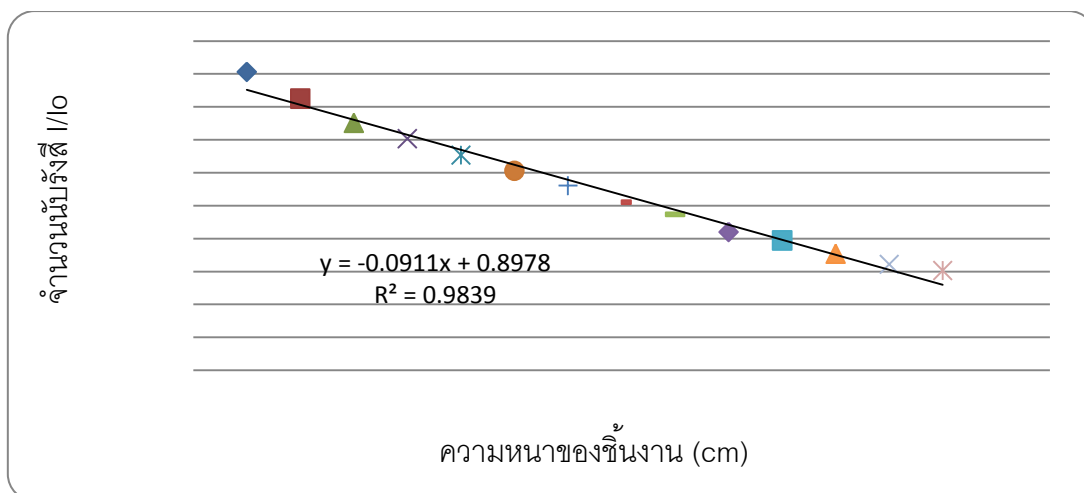
จากสมการ HVL = 0.693/ μ และ TVL = 2.3/ μ

$$\text{HVL} = 0.693/0.10523 = 6.5855 \text{ ซม.}$$

$$\text{TVL} = 2.3/0.10523 = 21.8568 \text{ ซม.}$$

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองของน้ำยาธรรมชาติฟิวรีวัลคาไนซ์กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมีท์ที่ 20 phr ในการกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิด ไอโอดีน-131 (^{131}I) (Background 7468) ($I_0 = 75573$)

ความหนาของ ชิ้นงาน(ซม.)	I	I - Background	I / I ₀
0.5	75,956	68,488	0.906
1	69,816	62,348	0.825
1.5	64,264	56,796	0.751
2	60,648	53,180	0.703
2.5	56,858	49,390	0.653
3	53,278	45,810	0.606
3.5	49,845	42,377	0.560
4	46,078	38,610	0.510
4.5	43,242	35,774	0.473
5	39,206	31,738	0.419
5.5	37,269	29,801	0.394
6	34,233	26,765	0.354



ภาพที่ 4.8 กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ไอโอดีน-131 (^{131}I) ของน้ำยางธรรมชาติพีวีแอลไนด์ กับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมัทที่ 20 phr

คำนวณค่า μ คือ สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) HVL (Half Value Layer) และ TVL (Tenth Value Layer) ซึ่งหมายถึง ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า และ 1/10 เท่า ของความเข้มเดิมจากตารางที่ 4.8 ก็จะได้ค่า μ ได้โดย

$$\mu = \left(\ln \frac{I}{I_0} \right) / (\text{ความหนาของชิ้นงาน})$$

ในตารางที่ 4.3 ความหนาของชิ้นงานที่ 0.5 ซม.

$$\mu = (\ln 0.90624) / 0.5 \text{ ซม.} = 0.19688$$

จากสมการ HVL = $0.693/\mu$ และ TVL = $2.3/\mu$

$$\text{HVL} = 0.693/0.19688 = 3.5199 \text{ ซม.}$$

$$\text{TVL} = 2.3/0.19688 = 11.6822 \text{ ซม.}$$

ตารางที่ 4.9 สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) HVL (Half Value Layer) ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า

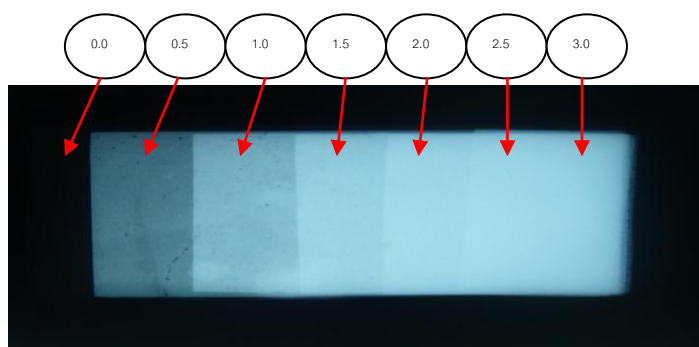
ต้นกำเนิดรังสี	บิสมัทผง 100 phr	สารละลาย 10 phr	สารละลาย 20 phr
ซีเซียม-137 (Cs-137)	6.1847 ซม.	7.4943 ซม.	6.5855 ซม.
ไอโอดีน-131 (^{131}I)	1.9675 ซม.	7.0866 ซม.	3.5199 ซม.

ตารางที่ 4.10 สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) TVL (Tenth Value Layer) ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/10 เท่า

ต้นกำเนิดรังสี	บิสมีทผง 100 phr	สารละลาย 10 phr	สารละลาย 20 phr
ซีเซียม-137 (Cs-137)	20.5265 ซม.	24.8729 ซม.	21.8568 ซม.
ไอโอดีน-131 (¹³¹ I)	6.5300 ซม.	25.5073 ซม.	11.6822 ซม.

4.5 การทดสอบหาความสามารถในการกำบังรังสีของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท 10 phr และ 20 phr และน้ำยางกับบิสมีทแบบผง 100 phr โดยการถ่ายภาพด้วยรังสีเพื่อทดสอบการทะลุผ่านของรังสีแกมมา

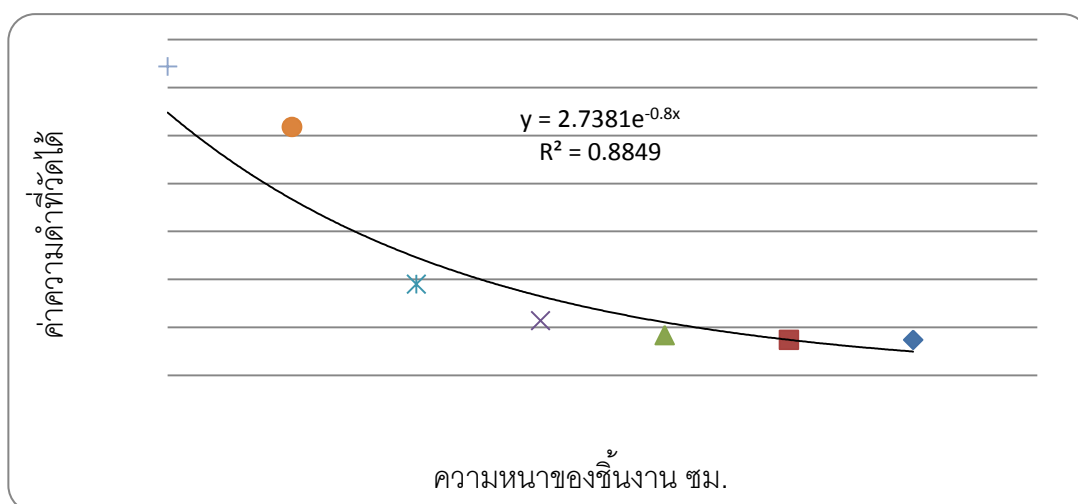
จากการนำชิ้นงาน ทดสอบด้วยโดยการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา ทำการเตรียมชิ้นงานจัดเรียงกันเป็นชั้นบันไดทั้งสามแบบ ใช้เวลาประมาณ 10 นาทีตามภาพที่ 4.9 - 4.11 ที่มีความหนาต่างๆ ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 เซนติเมตร มาทำการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาได้ภาพที่แสดงในรูปที่ 4.9 - 4.11



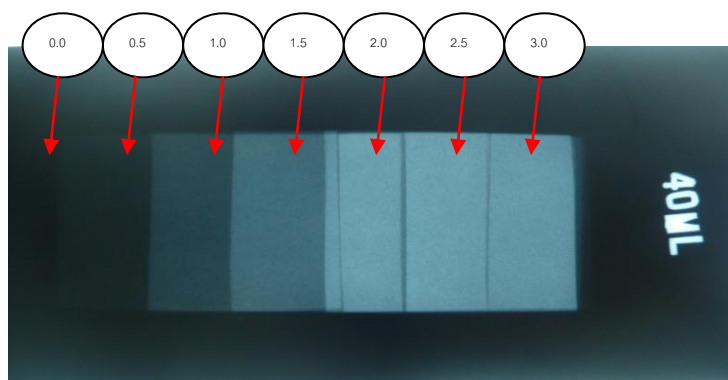
ภาพที่ 4.9 ภาพถ่ายน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 ปริมาตร 100 phr

ตารางที่ 4.11 ค่าความดำของแผ่นฟิล์มที่อ่านด้วยเครื่องวัดความดำ (Densitometer) น้ำยางธรรมชาติกับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 ปริมาตร 100 phr

ความหนาของชิ้นงาน ซม.	ค่าความดำที่วัดได้
3.0	0.37
2.5	0.37
2.0	0.42
1.5	0.57
1.0	0.95
0.5	2.59
0.0	3.22



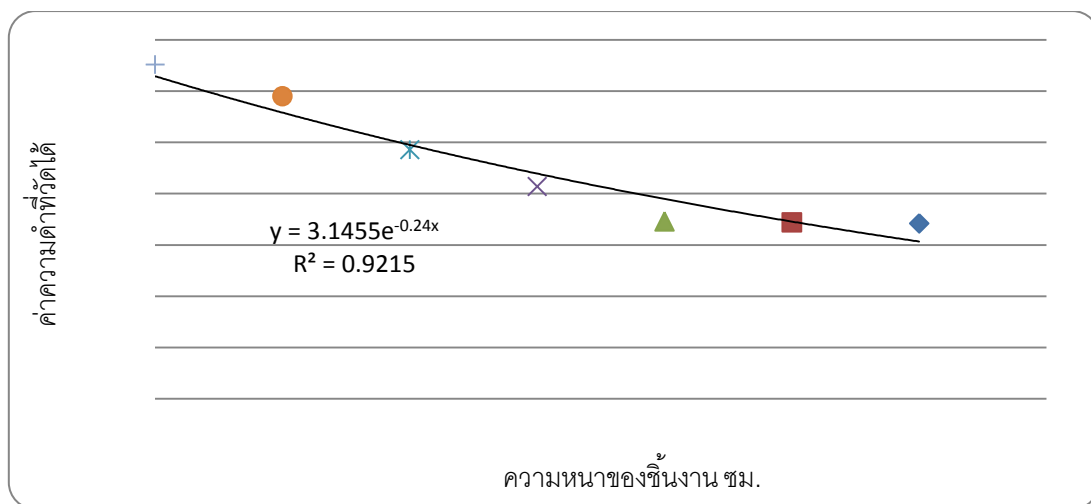
ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความดำตามจุดในตารางที่ 4.11



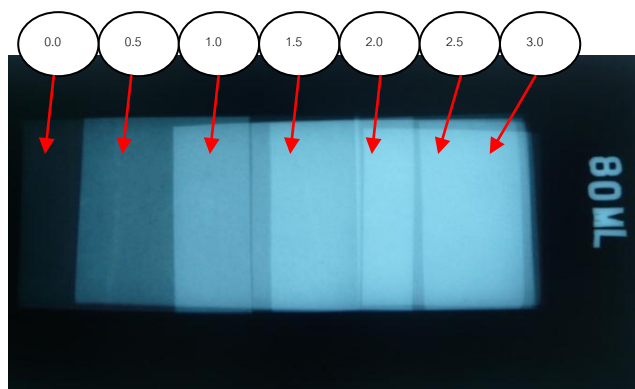
ภาพที่ 4.11 ภาพถ่ายน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50
มาผสมกับสารละลายบิสมันท์ 10 phr

ตารางที่ 4.12 ค่าความดำของแผ่นฟิล์มที่อ่านด้วยเครื่องวัดความดำ (Densitometer) น้ำยาง
ธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมันท์ 10 phr

ความหนาของชิ้นงาน ซม.	ค่าความดำที่วัดได้
3.0	1.71
2.5	1.72
2.0	1.73
1.5	2.07
1.0	2.43
0.5	2.95
0.0	3.26



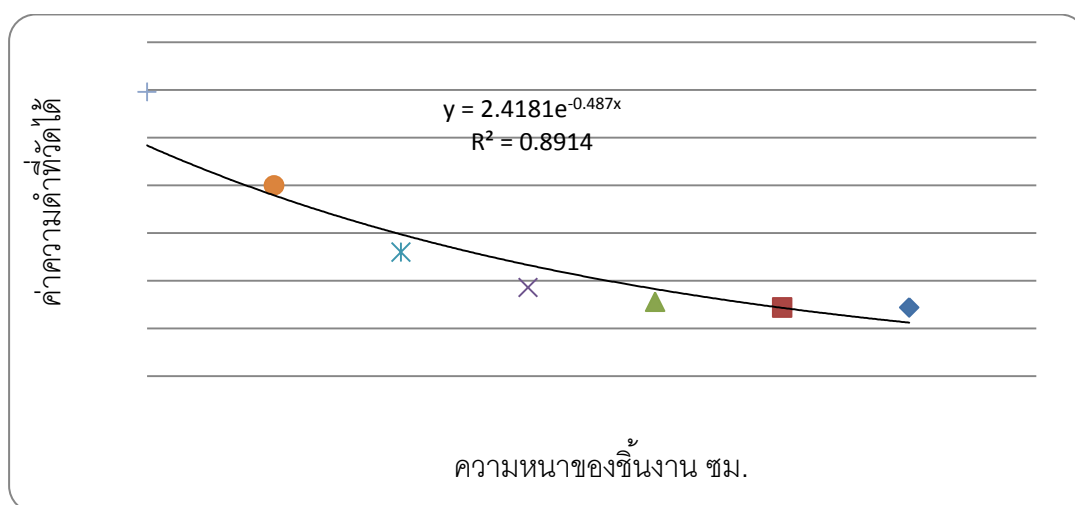
ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความต่ำตามจุดในตารางที่ 4.12



ภาพที่ 4.13 ภาพถ่ายน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50
มาผสมกับสารละลายบิสม์ที่ 20 phr

ตารางที่ 4.13 ค่าความดำของแผ่นฟิล์มที่อ่านด้วยเครื่องวัดความดำ (Densitometer) น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายยบีสมีท 20 phr

ความหนาของชิ้นงาน ซม.	ค่าความดำที่วัดได้
3.0	0.72
2.5	0.72
2.0	0.78
1.5	0.93
1.0	1.30
0.5	2.00
0.0	2.98



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความดำตามจุดในตารางที่ 4.13

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

5.1.1 การหาสัดส่วนของยางที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมา

จากผลการวิจัยพบว่าสัดส่วนของยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ในอัตราส่วนต่างๆ มีความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาใกล้เคียงกัน แม้ว่าโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ จะมีความแตกต่างกันคือยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายยาวและยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ประกอบด้วย Butadiene 75 % และ styrene 25% แต่ก็มียอดประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยอะตอมของ คาร์บอน และไฮโดรเจน เช่นเดียวกันแม้ว่ายางสังเคราะห์เอสปีอาร์จะมีจำนวนอะตอมของ คาร์บอน และไฮโดรเจนที่มากกว่ายางพาราธรรมชาติ

ดังนั้นในการเลือกสัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์ เอสปีอาร์ที่จะนำไปใช้ในการกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำ สามารถนำไปใช้ได้ในทุกๆอัตราส่วน แต่อัตราส่วนที่ดีที่สุดคืออัตราส่วน 50:50ที่คงคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์ เอสปีอาร์ ได้ดีที่สุดจากการทดลองคุณสมบัติเชิงกล

5.1.2 การหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมา

จากการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำ สามารถเลือกใช้อัตราส่วนของยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ดังนั้นในการหาวัสดุกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำที่เหมาะสมจึงเลือก อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ในอัตราส่วน 50:50 ให้เป็นตัวแปรคงที่ ในการนำมาขึ้นรูปร่วมกับวัสดุกำบังรังสีในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ บิสมีทแบบผง และสารละลายบิสมีท เพื่อหาปริมาณที่ผสมเข้ากันพอดีและให้ได้มากที่สุด ที่สามารถผสมให้เข้ากับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ เพื่อนำมาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำบังรังสีแกมมาที่พลังงานต่ำ จากการวิจัยได้กำหนดชิ้นงานในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ผสมกับบิสมีทแบบผงอัตราส่วน 25,50,75,100,125 และ150 phr ในอัตราส่วนผสมที่ 25,50,75 กรัม นั้น ในขณะที่ผสมบิสมีทแบบผงลงในน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 สามารถสังเกตเห็นได้ว่าผงของบิสมีทที่ผสมลงนั้นจับตัวเป็นก้อนบ้างและบางส่วนกระจายเข้ากับน้ำยาง จำเป็นต้องเพิ่มระยะเวลาในการคนส่วนผสมทั้งสองส่วนให้เข้ากัน ให้ได้มากที่สุดเมื่อทำการเทส่วนผสมลงในแท่นพิมพ์ เมื่อน้ำยางแห้งสนิทแล้ว จะเห็นได้ชัดเจนว่าผง

บิสมีทไม่ได้กระจายอยู่ในเนื้อยางจะลอยตัวเป็นก้อนเล็กๆในบางส่วนในเนื้อยางและบางส่วนก็ตกตะกอนอยู่ที่พื้นด้านล่างของแผ่นยาง

เมื่อทำการเพิ่มส่วนผสมบิสมีทแบบผงมากกว่า 100 phrพบว่าบิสมีทจะตกตะกอนไม่กระจายอยู่ในเนื้อยาง ในการเทน้ำยางลงในแท่นพิมพ์พบว่า จะมีตะกอนที่ตกค้างอยู่กันแแก้วทดลอง ส่วนที่ 100 phr นั้นเมื่อผสมแล้วสามารถเทลงแท่นพิมพ์ได้หมดแต่ก็ยังมีตกตะกอนเล็กน้อย แสดงว่าในน้ำยางที่ผสมน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ 50:50 จะผสมบิสมีทได้มากที่สุดที่ 100 phr สามารถผสมกันได้ดี มีการตกตะกอนของบิสมีทแบบผงเล็กน้อย เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วทำการหล่อแผ่นยางที่ความหนา 0.5 ซม.ตามที่ต้องการ

การทดลองในส่วนที่สองนั้นได้นำบิสมีทแบบผงมาทำให้เป็นของเหลวหรือให้เป็นสารละลายบิสมีทโดยการนำกรดต่างๆ มาทดลอง ละลายบิสมีทแบบผงเช่น กรดกำมะถัน หรือกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid หรือ Sulphuric acid) เป็นกรดที่สามารถละลายบิสมีทแบบผงให้เป็นสารละลายได้ แต่ต้องมีปริมาตรที่เหมาะสม เมื่อได้สารละลายบิสมีทแล้วยังไม่สามารถผสมกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ได้ เพราะสารละลายยังมีความเป็นกรดสูง จะต้องทำการเจือจาง เนื่องจากกรดซัลฟิวริกมีความเข้มข้นสูงจะทำให้น้ำยางจับตัวกันเป็นก้อนและมีความหนืดสูงจนไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ ต้องเพิ่มความร้อนให้สารละลายบิสมีท และสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผสมกับน้ำกลั่น ให้มีอุณหภูมิที่เท่ากันแล้วค่อยๆผสมเข้าด้วยกันในปริมาณที่น้อยๆ เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้น นำสารละลายบิสมีทมาล้างกับน้ำกลั่น เพื่อขจัดสิ่งสกปรกออกจากสารละลาย จนกว่าคราบที่สารละลายออกจนหมด แล้วรอให้สารละลายระเหยเพื่อให้ปริมาตรของสารละลายบิสมีทมีความเข้มข้นสูง และเมื่อได้ปริมาตรที่ต้องการแล้วทำการปรับค่า pH อีกครั้งเพื่อให้ได้ค่า pH ที่เหมาะสมที่สามารถผสมกับน้ำยางได้ดี ไม่จับตัวเป็นก้อนและหนืดเพื่อสามารถนำไปผสมกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ จะได้ไม่จับตัวเป็นก้อนในการขึ้นรูป ทำการทดลองนำน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่มีปริมาตร 400 มิลลิลิตร(น้ำยางที่ 400 มิลลิลิตรจะได้แผ่นยาง 1 แผ่นขนาด 10 * 20 * 0.5 ซม.) มาผสมกับสารละลายบิสมีทปริมาตร 2.5,5,7.5 และ 10phr พบว่าสารละลายบิสมีทที่ 2.5 phr การกระจายของสารละลายบิสมีทเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่ผสมน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ เมื่อมองด้วยตาเปล่าพบว่าความเข้มข้นของน้ำยางมากกว่าสารละลายบิสมีท ทำการเพิ่มปริมาตรสารละลายบิสมีทเป็น 5 phr ก็ยังคงสภาพเดิม ทำการเพิ่มปริมาตรสารละลายบิสมีทเป็น 7.5 phr และเพิ่มเวลาการคนอีก 10 นาที ยังคงสภาพเดิมแต่ สีของน้ำยางเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีเทา สังเกตเห็นส่วนผสมยังไม่ทั่วถึงกัน ทำการเพิ่มเป็น 10 phr พบว่าสารละลายบิสมีทกระจายเป็นเนื้อเดียวกันพอสมควรจากการสังเกตด้วยตาเปล่า เมื่อได้อัตราส่วน

เริ่มต้นที่เหมาะสมแล้วทำการผสมสารละลายบิสมีท์ที่ 10 phr โดยเพิ่มเวลาการคนส่วนผสมเป็น 25 นาที แล้วทดลองในแทนพิมพ์นี้คือการผสมสารละลายบิสมีท์ที่น้อยที่สุด ที่สามารถกำบังรังสีพลังงานต่ำได้

เมื่อได้อัตราส่วนผสมที่น้อยที่สุดแล้วที่สามารถกำบังรังสีแกมมาที่พลังงานต่ำได้แล้ว เริ่มทำการผสมสารละลายบิสมีท์ให้ได้มากที่สุดโดยการสังเกตการตกตะกอนของสารละลายบิสมีท์ โดยเริ่มที่สารละลายบิสมีท์ปริมาณ 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5 และ 25 phr โดยการเติมสารละลายบิสมีท์ที่ 12.5 phr ลงไปนํ้าอย่าง และคอยสังเกต การตกตะกอนของสารละลายบิสมีท์ที่ผสมลงไป และเพิ่มสารละลายบิสมีท์ที่ 15 phr ถ้ายังไม่พบการตกตะกอนก็เพิ่มสารละลายเป็น 17.5 phr และ 20 phr จากการผสมสารละลายที่เพิ่มขึ้นนั้น สังเกตพบว่าสารละลายบิสมีท์ที่ 22.5 phr และ 25 phr ของสารละลายบิสมีท์ เริ่มมีการตกตะกอนเล็กน้อย และเพิ่มเวลาการคนสารละลายกับนํ้าอย่างอีก 10 นาที เพื่อให้สารละลายบิสมีท์ที่ผสมกับนํ้าอย่างนั้น ให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบสารละลายบิสมีท์ก็ยังมีตกตะกอน เพราะฉะนั้นส่วนผสมสารละลายบิสมีท์ที่ 20 phr เป็นส่วนผสมสารละลายบิสมีท์กับนํ้าอย่างธรรมชาติพีวีแอลคาไนท์ที่ผสมนํ้าอย่างสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันที่ดีที่สุด ในอัตราส่วนที่กำหนดขึ้นนั้น โดยมีการตกตะกอนน้อยที่สุดในการผสมทั้งสองชนิด โดยเพิ่มเวลาการคนส่วนผสมเป็น 25 นาที และทำการขึ้นรูปแผ่นยาง ให้ได้ตามจำนวนที่ต้องการ

ผลการนำอัตราส่วนผสมต่างๆมาขึ้นรูปเป็นแผ่นยางตามที่ต้องการครบทั้ง 3 แบบ แบบส่วนผสมนํ้าอย่างธรรมชาติพีวีแอลคาไนท์ที่ผสมนํ้าอย่างสังเคราะห์เอสปีอาร์กับบิสมีท์แบบผง แบบส่วนผสมนํ้าอย่างธรรมชาติพีวีแอลคาไนท์ที่ผสมนํ้าอย่างสังเคราะห์เอสปีอาร์กับสารละลายบิสมีท์ 10 phr และ แบบส่วนผสมนํ้าอย่างธรรมชาติพีวีแอลคาไนท์ที่ผสมนํ้าอย่างสังเคราะห์เอสปีอาร์กับสารละลายบิสมีท์ 20 phr ผลการนำส่วนผสมทั้งสองอย่างมาผสมกันแล้วนั้น พบว่าชิ้นงานที่มีส่วนผสมของบิสมีท์แบบผงนั้น ขึ้นรูปได้ยาก ไม่สามารถที่จะทำให้บิสมีท์กระจายได้ทั่วทั้งชิ้นงานได้ เนื่องจากบิสมีท์แบบผงมีมวลที่หนักกว่านํ้าอย่างจึงทำให้บิสมีท์แบบผงมีการตกตะกอนเร็วมาก และเป็นกลุ่มก้อนกระจายในนํ้าอย่าง บิสมีท์แบบผงที่ผสมเข้าไปนั้น ไม่กระจายสม่ำเสมอทั่วแผ่นได้ จึงไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่สมบูรณ์ได้ แต่ชิ้นงานบิสมีท์แบบผงสามารถกำบังรังสีที่พลังงานต่ำได้ดีที่สุด ส่วนการผสมนํ้าอย่างกับสารละลายบิสมีท์ที่ 10 และ 20 phr นั้น การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยสารละลายบิสมีท์สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ง่าย และมีการกระจายของสารละลายบิสมีท์ไปทั่วชิ้นงาน และมีความสมบูรณ์ของชิ้นงาน ประสิทธิภาพการกำบังรังสี ส่วนผสมที่ 20 phr สามารถกำบังรังสีได้ใกล้เคียงกับบิสมีท์แบบผง

เมื่อทำการขึ้นรูปวัสดุกำบังรังสีแกมมาที่มีส่วนผสมของวัสดุกำบังรังสีได้แก่ บิสมีท์แบบผง สารละลายบิสมีท์ กับนํ้าอย่างธรรมชาติพีวีแอลคาไนท์ที่ผสมนํ้าอย่างสังเคราะห์เอสปีอาร์ ในอัตราส่วน

ต่างๆ ทั้ง 3 ชนิดเป็นแผนยาคงรูปที่มีขนาด $10 \times 20 \times 0.5$ ซม. ชนิดละ 2 แผ่น และนำไปตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานเหล่านี้ ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งการบ่มเร่งด้วยความร้อนนี้เพื่อแทนสภาวะที่เสมือนจริงว่าชิ้นงานวัสดุกำบังรังสีแกมมาถูกใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่งและนำชิ้นงานมาตัดด้วยมีดให้มีขนาด ความหนา 0.2 มิลลิเมตร แล้วทดสอบการต้านแรงดึง จากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานเหล่านี้ พบว่าชิ้นงานที่ผสมบิสมีทแบบผงกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่ผสมน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ มีความคงสภาพได้ไม่นานเมื่อนำเข้าเตาอบ เพราะเกิดความร้อนสะสมในเนื้อโลหะของบิสมีทแบบผง ทำให้แผ่นยางเกิดการละลาย ส่วนแผ่นยางที่มีส่วนผสมแบบสารละลายบิสมีท มีความคงทนได้ดี การหาความเค้นดึงเมื่อมีการยืดร้อยละ 500 (MPa) จะพบว่าชิ้นงานในส่วนที่มีสารละลายบิสมีท 10 phr มีความสามารถทนแรงความเค้นดึงได้ดีกว่า 20 phr เพราะว่าจำนวนเนื้อโลหะในน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่ผสมน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ มีผลต่อความคงทนต่อสภาพการใช้งาน โดยที่น้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ที่ผสมน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์นั้นมีความคงที่คืออยู่แล้ว เนื่องจากสายโมเลกุลของยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ มีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบทำให้ไม่สามารถเกิดการตกผลึกได้เมื่อถูกยืดยางจึงมีความยืดหยุ่นต่ำและมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง

ความจำเป็นที่ต้องใช้น้ำยางแผ่นคงรูปที่มีการผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางสังเคราะห์ เอสปีอาร์เนื่องจากยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ สามารถทนต่อความเป็นกรดของกรดบอริก และ กรดกำมะถัน หรือ กรดซัลฟิวริกได้ดีกว่ายางธรรมชาตินอกจากนั้นยังมีคุณภาพสม่ำเสมอแต่ไม่มีความยืดหยุ่น ซึ่งการผสมยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์เข้าเพิ่มเข้าไปจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานให้มีความยืดหยุ่นและต้านต่อแรงดึง ทนทานต่อแรงยืด รวมทั้งทนต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นดังนั้นหากใช้น้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ในการขึ้นรูปชิ้นงานเพียงอย่างเดียวก็จะทำให้ชิ้นงานมีแต่ความแข็งไม่มีความยืดหยุ่นเท่าที่ควร และถ้าใช้น้ำยางธรรมชาติเพียงอย่างเดียวจะทำให้การทนต่อสารเคมีและกรดได้น้อย นอกจากนั้นยังมีเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วยเนื่องจาก แม้ว่ายางสังเคราะห์เอสปีอาร์จะมีราคาสูงแต่ก็มีราคาค่อนข้างคงที่และมีความผันผวนน้อย และการนำยางธรรมชาติมาใช้ก็เพื่อเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติ

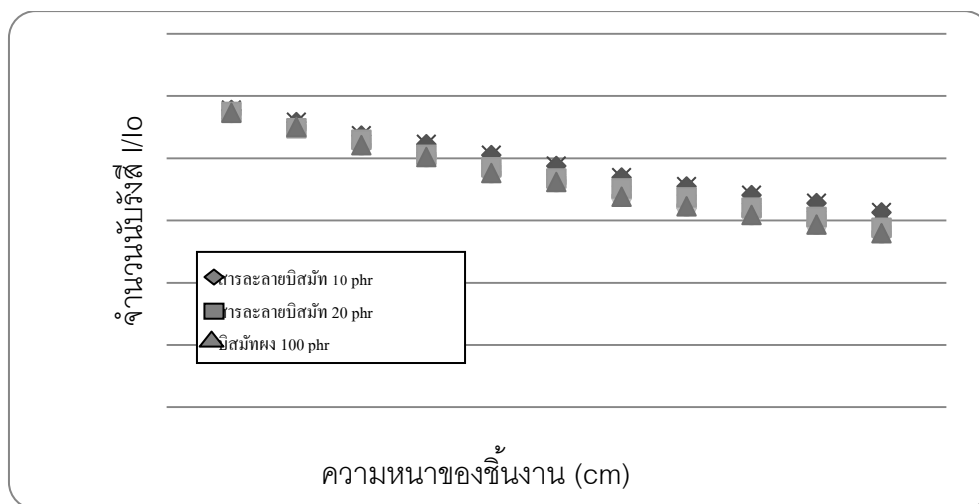
เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วชิ้นงานที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปใช้งานเป็นวัสดุกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำ ที่อาจนำมาตัดแปลงเป็นเสื้อกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำ สำหรับสวมใส่เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานที่ต้องใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาได้แก่ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ในอัตราส่วน 50:50 ร่วมกับสารละลายบิสมีทปริมาตร 20 phr

5.1.3 การลดทอนรังสีแกมมาของวัสดุกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำที่ผลิตได้

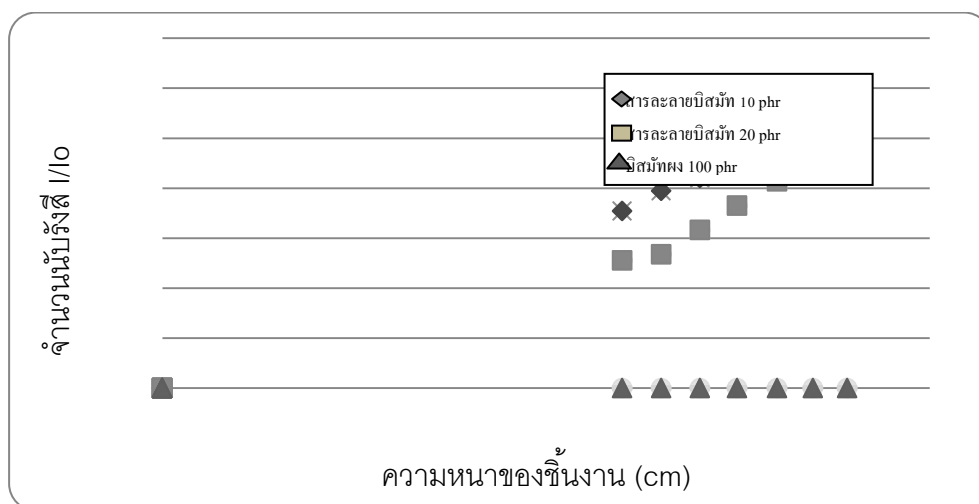
จากผลการวิจัย การกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำจากต้นกำเนิด ซีเซียม 137 โฟตอนจากไอโซโทปรังสีแบเรียม-137m มีพลังงาน 662 keV จำนวน 1 ตัวมีกัมมันตภาพรังสี 11.7743×10^6 เบคเคอเรล (Bq) เมื่อพิจารณาจากพลังงานที่ 662 keV จะเกิด อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก และอันตรกิริยาคอมป์ตัน ส่วนอันตรกิริยาแพรโปรดักชันจะไม่เกิดขึ้นเพราะว่ากรณีที่่จะเกิดอันตรกิริยาแพรโปรดักชันโฟตอนของรังสีแกมมาจะต้องมีพลังงานอย่างน้อย 1.02 MeV จากทฤษฎี จากวิจัยการกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำด้วยการนับวัดการทะลุผ่าน ชีงงานโดยการเพิ่มจำนวนชิ้นงานหรือความหนาของชิ้นงานในการกำบังรังสีแกมมาเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชิ้นงานและค่าการลดทอนรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม 137 พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของชิ้นงานจะทำให้จำนวนนับวัดรังสีแกมมามีค่าลดลงในลักษณะเชิงเส้นตรง เนื่องจากการลดทอนรังสีแกมมาได้น้อยเพราะซีเซียม 137 มีความแรงรังสีมาก พร้อมกับมีพลังงานที่ค่อนข้างสูงเมื่อความหนาของชิ้นงานเพิ่มทำให้มีตัวกำบังรังสีมากขึ้นได้แก่ น้ำยางธรรมชาติและน้ำยางสังเคราะห์ เอสปีอาร์และมีวัสดุกำบังรังสีได้แก่ บิสมัทแบบผง และสารละลายบิสมัทที่เพิ่มมากขึ้นตาม ส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นของน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางสังเคราะห์ เอสปีอาร์และมีวัสดุกำบังรังสีมากขึ้นด้วย วัสดุกำบังรังสีและน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางสังเคราะห์ เอสปีอาร์สามารถดูดซับอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาได้มากขึ้น ซึ่งผลการลดลงของจำนวนนับวัดนี้จะสอดคล้องกับการลดลงของรังสีแกมมาตามทฤษฎี และสามารถเขียนเป็นสมการคือ ตามภาพกราฟต่างๆรวมทั้งเมื่อความหนาของชิ้นงานเพิ่มขึ้นจะทำให้มีค่าการลดทอนของรังสีแกมมาของชิ้นงานเพิ่มขึ้นในลักษณะ ภาพที่ 4.3 มีสมการเส้นตรง $y = -0.066x + 0.979$ และ $R^2 = 0.996$ จำนวนนับรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Cs-137) ของน้ำยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ปริมาตร 100 phr ภาพที่ 4.5 มีสมการเชิงเส้น $y = -0.065x + 0.976$ และ $R^2 = 0.996$ กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Cs-137) ของน้ำยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ผสมสารละลายบิสมัทที่ 10 phr ภาพที่ 4.7 มีสมการเชิงเส้น $y = -0.033x + 0.952$ และ $R^2 = 0.988$ กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ซีเซียม-137 (Cs-137) ของน้ำยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมัทที่ 20 phr หมายถึงร้อยละการลดทอนรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดและความหนาของชิ้นงาน ตามลำดับจากกราฟสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มความหนาของชิ้นงานจนถึงระดับหนึ่ง จำนวนนับวัดรังสีแกมมามีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกับค่าการลดทอนเริ่มมีค่ามากขึ้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มความหนาของชิ้นงานก็อาจไม่ได้ทำให้มีความสามารถในการลดทอนปริมาณรังสีแกมมาหรือการกำบังรังสีแกมมาเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มความหนาของชิ้นงานในการนำไปทำเป็นวัสดุกำบังรังสีแกมมามากไปกว่านี้อาจทำให้เกิดความสิ้นเปลืองไม่คุ้มค่า

จากผลการวิจัย การกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำ จากต้นกำเนิด ไอโอดีน 131 จำนวน 1 ตัวมีกัมมันตภาพรังสี 20.8 มิลลิคูรี (mCi) สลายตัวจะให้รังสีแกมมาต่อจากรังสีบีต้าแล้วกลายเป็น ไอโซโทปเสถียรของซีนอน-131 (^{131}Xe) การสลายตัวของไอโอดีน-131 ส่วนใหญ่จะให้รังสีบีต้า พลังงาน 606 keV (89%) และรังสีแกมมาพลังงาน 364 keV (81%) ส่วนที่เหลือเป็นรังสีบีต้า พลังงาน 248 – 807 keV กับรังสีแกมมาพลังงาน 723 keV จะเกิดอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก และ อันตรกิริยาคอมป์ตัน จากการวิจัยการกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำด้วยการนับวัดการทะลุผ่าน ชีงงาน ก็จะทำให้การทดลองแบบเดียวกันกับต้นกำเนิด ซีเซียม 137 โดยการเพิ่มจำนวนชีงงานหรือ ความหนาของชีงงานในการกำบังรังสีแกมมาเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชีงงาน และค่าการลดทอนรังสีแกมมา จากต้นกำเนิดรังสี ซึ่งต้นกำเนิดรังสีแกมมาเป็นไอโอดีน 131 พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของชีงงานจะทำให้จำนวนนับวัดรังสีแกมมามีค่าลดลงมากในลักษณะ เอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) และเชิงเส้นตรง เนื่องจากเมื่อความหนาของชีงงานเพิ่มทำให้มีตัว กำบังรังสีแกมมามากขึ้นได้แก่น้ำยางธรรมชาติและน้ำยางสังเคราะห์ เอสปีอาร์และมีวัสดุกำบัง รังสีได้แก่ บิสมัทแบบผง และสารละลายบิสมัทที่เพิ่มมากขึ้นตาม ส่งผลให้ชีงงานมีความหนาแน่น ของน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางสังเคราะห์ เอสปีอาร์และมีวัสดุกำบังรังสีมากขึ้นด้วย วัสดุกำบัง รังสีและน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์สามารถดูดซับอิเล็กตรอนที่หลุดออกมา ได้มากขึ้นเพราะรังสีแกมมาของไอโอดีนนี้มีพลังงานค่อนข้างต่ำ ซึ่งผลการลดลงของจำนวนนับวัดนี้ จะสอดคล้องกับการลดลงของรังสีแกมมาตามทฤษฎี และสามารถเขียนเป็นสมการคือ ตามภาพ กราฟต่างๆรวมทั้งเมื่อความหนาของชีงงานเพิ่มขึ้นจะทำให้มีค่าการลดทอนของรังสีแกมมาของ ชีงงานเพิ่มขึ้นในลักษณะ ที่แสดงในกราฟ ภาพที่ 4.4 มีสมการเส้นตรง $y = -0.109x + 0.849$ และ $R^2 = 0.986$ กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ไอโอดีน-131 (^{131}I) ของน้ำยางธรรมชาติกับยาง สังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ที่ปริมาตร 100 phr ภาพที่ 4.6 มีสมการเชิงเส้น $y = -0.082x + 0.971$ และ $R^2 = 0.995$ กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ไอโอดีน-131 (^{131}I) ของน้ำยางธรรมชาติกับ ยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมัทที่ 10 phr ภาพที่ 4.8 มีสมการเชิง เส้น $y = -0.091x + 0.897$ และ $R^2 = 0.983$ กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ไอโอดีน-131 (^{131}I) ของ น้ำยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ที่ผสม 50:50 ผสมสารละลายบิสมัทที่ 20 phr หมายถึงร้อยละการลดทอนรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดและความหนาของชีงงาน ตามลำดับจาก กราฟสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มความหนาของชีงงานจนถึงระดับหนึ่ง จำนวนนับวัดรังสี แกมมามีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกับค่าการลดทอนเริ่มมีค่ามากขึ้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มความ หนาของชีงงานก็อาจไม่ได้ทำให้มีความสามารถในการลดทอนปริมาณรังสีแกมมาหรือการกำบัง รังสีแกมมาเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มความหนาของชีงงานในการนำไปทำเป็นวัสดุกำบังรังสีแกมมา มากไปกว่านี้อาจทำให้เกิดความสิ้นเปลืองไม่คุ้มค่า

จากผลการทดลองการก้ำบั้งรังสีแกมมาด้วยการนับวัดการทะลุผ่านชิ้นงานทั้งสามชนิดของต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม 137 และ ไอโอดีน 131 ชิ้นงานทั้งสามชนิดสามารถลดทอนรังสีแกมมาได้แตกต่างกันตามส่วนผสมของบิสมีทในลักษณะที่ต่างกัน แต่ยังคงคุณสมบัติในการก้ำบั้งรังสีแกมมาของบิสมีท โดยการเปรียบเทียบจากกราฟที่ได้จากการทดลอง พบว่า รังสีแกมมาที่พลังงานต่ำสามารถก้ำบั้งรังสีแกมมาได้ดี



ภาพที่ 5.1 กราฟการก้ำบั้งรังสีแกมมาจาก ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม 137



ภาพที่ 5.2 กราฟการก้ำบั้งรังสีแกมมาจาก ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ไอโอดีน 131

5.1.4 การถ่ายภาพวัสดุกำบังรังสีแกมมาด้วยรังสีแกมมา

ผลการทดสอบแผนผังที่ผสมวัสดุกำบังรังสี เพื่อตรวจสอบการกระจายของวัสดุกำบังรังสีแกมมาในเนื้อเยื่อที่มีความสม่ำเสมอของชิ้นงานวัสดุกำบังรังสีแกมมา จึงนำชิ้นงานที่มีส่วนผสมต่างๆ ทั้ง 3 แบบไปถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีแกมมา Selenium 75 (Se-75) โดยทำการประยุกต์ชิ้นงานให้มีความหนาที่แตกต่างกันโดยออกแบบชิ้นงานให้มีลักษณะเป็นขั้นบันได (Step wedge) โดยนำชิ้นงานมาเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ ตามภาพที่ 4.9 นำยางพาราธรรมชาติกับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 ปริมาตร 100 phr ภาพที่ 4.12 นำยางธรรมชาติพีวีคลาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท 10 phr และภาพที่ 4.14 นำยางธรรมชาติพีวีคลาไนซ์กับน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ที่ 50:50 มาผสมกับสารละลายบิสมีท 20 phr เพื่อให้สามารถถ่ายภาพชิ้นงานที่มีความหนาต่างๆ โดยมีเงื่อนไขเดียวกันทั้งด้าน geometry และปริมาณรังสีที่ชิ้นงานได้รับ จากนั้นจึงนำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความดำ (density หรือ radiographic density) ในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงาน ผลการวิเคราะห์พบว่าในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงาน แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานมีการกระจายตัวของวัสดุกำบังรังสี บิสมีทแบบผงและสารละลายบิสมีท ที่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน มีเพียงบางจุดเท่านั้นเท่านั้นที่มีลักษณะเป็นจุดสีดำอาจเนื่องมาจากฟองอากาศขนาดเล็กที่เกิดขึ้นขณะทำการขึ้นรูปชิ้นงานทำให้ในตำแหน่งนั้นมีความหนาของเนื้อเยื่อและวัสดุกำบังรังสีในปริมาณที่น้อยกว่าบริเวณอื่นๆ ของชิ้นงาน จึงส่งผลให้มีรังสีแกมมา จากต้นกำเนิดรังสีตกลงบนตัวรับภาพมากกว่าจุดอื่นที่มีวัสดุกำบังรังสีที่มากกว่า และเมื่อพิจารณาค่าความดำของชิ้นงานรูปขั้นบันไดในตำแหน่งความหนา 2.0, 2.5 และ 3.0 ซม. พบว่าในแต่ละตำแหน่งมีค่า ความดำที่ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำชิ้นงานมาเรียงซ้อนกันเพื่อเพิ่มความหนาจะทำให้ชิ้นงานยังมีความสม่ำเสมอในการกำบังรังสีแกมมา เช่นเดียวกับที่ใช้เพียงชิ้นเดียว เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของค่า ความดำในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงานรูปขั้นบันได แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชิ้นงานและค่า ความดำเฉลี่ยพบว่าได้กราฟความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นเอกซ์โปเนนเชียล ในกราฟของภาพที่ 4.10 ที่มีสมการ $y = 2.738e^{-0.8x}$ และ $R^2 = 0.884$ ภาพที่ 4.13 $y = 3.145e^{-0.24x}$ และ $R^2 = 0.921$ ภาพที่ 4.15 $y = 2.418e^{-0.48x}$ และ $R^2 = 0.891$

5.2 สรุปผลการวิจัย

ผลงานวิจัยนี้สามารถผลิตวัสดุกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์และน้ำยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ในอัตราส่วน 50:50 ร่วมกับสารละลายบิสม์ที่ 20 phr โดยใช้วิธีการผสมส่วนประกอบทั้งหมดด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 25 นาที และเทลงบนแท่นพิมพ์ปูนพลาสติกเตอร์ที่มีความหนา 0.5 ซม. จากการวิจัยพบว่าความหนาของชิ้นงานวัสดุกำบังรังสีแกมมามีความสัมพันธ์ต่อจำนวนนับรังสีที่ได้จากต้นกำเนิดรังสีแกมมาพลังงานต่ำ โดยเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นจะทำให้จำนวนนับรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีมีค่าลดลงแบบสมการเชิงเส้น จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม 137 และไอโอดีน 131 ดังสมการเชิงเส้น $y = -0.033x + 0.952$ และ $R^2 = 0.988$ กราฟจำนวนนับรังสีแกมมา ซีเซียม-137 และสมการเชิงเส้น $y = -0.091x + 0.897$ และ $R^2 = 0.983$ กราฟจำนวนนับรังสีแกมมาไอโอดีน 131 เมื่อความหนาของชิ้นงานเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าร้อยละของการลดทอนรังสีแกมมามีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะสมการ $y = -0.033x + 0.952$ และมีค่า $R^2 = 0.988$ จากต้นกำเนิดซีเซียม 137 และสมการ $y = -0.091x + 0.897$ และ $R^2 = 0.983$ กราฟจำนวนนับรังสีแกมมาไอโอดีน 131 โดยความหนาที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเป็นวัสดุสำหรับทำเสื้อกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำคือที่ความหนา 3 ซม. ที่ได้จากการนำชิ้นงานที่มีความหนา 0.5 ซม. มาเรียงซ้อนกัน 6 ชั้น ซึ่งมีค่าของการลดทอนรังสีแกมมาที่ 26.6% จากต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม 137 และ 39.4% จากต้นกำเนิดรังสี ไอโอดีน 131 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าวัสดุกำบังรังสีแกมมาพลังงานต่ำที่ผลิตได้นี้สามารถกำบังรังสีแกมมาในย่านพลังงานต่ำได้ดี

สำหรับภาพที่ถ่ายชิ้นงานด้วยรังสีแกมมามีความดำ (density หรือ radiographic density) ในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงานที่ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานสามารถกำบังรังสีแกมมาได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. วัสดุกำบังรังสีที่เลือกใช้ในการผลิตวัสดุกำบังรังสีแกมมาคือ บิสมัท ซึ่งมีเลขอะตอมที่ 83 มีมากกว่า ตะกั่วมีเลขอะตอมที่ 82 เพื่อเพิ่มความสามารถในการกำบังรังสีควรหาวัสดุที่มีเลขอะตอมสูงๆ เพื่อให้มีการกำบังรังสีมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น
2. ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณและคุณสมบัติของกรดแต่ละชนิดที่สามารถเติมเข้าไปในน้ำยาลดสมระหว่าง ยางพาราธรรมชาติและยางสังเคราะห์เอสปีอาร์ ว่าสามารถใช้ปริมาณที่มากที่สุดได้เท่าใดที่สามารถละลายโลหะธาตุต่างๆได้ และยังทำให้สามารถขึ้นรูปยางให้เป็นแผ่นได้และมีสารชนิดใดบ้างที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของยางที่มีองค์ประกอบของวัสดุกำบังรังสีแกมมาให้มีความแข็งแรงและคงทนในการใช้งานมากยิ่งขึ้น
3. ควรศึกษาวิธีการขึ้นรูปวัสดุกำบังรังสีแกมมาให้มีการกระจายตัวของวัสดุกำบังรังสีอย่างสม่ำเสมอในชิ้นงานที่มีความหนาหลายๆ
4. ควรศึกษาอายุการใช้งานของวัสดุกำบังรังสีแกมมานี้ในหน่วยปริมาณโดสของรังสีแกมมาที่ได้รับเพื่อให้ทราบว่า จะสามารถรองรับโดสรังสีแกมมาพลังงานต่ำในการใช้งานจริงได้มากน้อยเพียงใด

รายการอ้างอิง

- [1] ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
หาดใหญ่ ทำการวิจัยเรื่อง การใช้อย่าง STR 5 L ผสมผงเฟอร์ไรต์ป้องกันรังสี
แกมมา (Ferrite-STR 5L Rubber Composites as Gamma Radiation
Shields)
- [2] Jackson Heigte ,Jan M.Krolได้ทำการวิจัยเรื่อง Flexible radiation Shielding
Material ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถของยางพาราธรรมชาติ กับวัสดุ
ที่ลดทอนรังสีแกมมามี ดีบุก บิสมัท พลวง แบเรียม แคดเมียม เงิน และตะกั่ว ใน
รูปวัสดุที่เป็นผงในอัตราส่วนต่างๆ
- [3] พงษ์ธร แซ่อูย. ยาง : ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ซี
เอ็ดยูเคชั่น , 2548.
- [4] นวลฉวี รุ่งฉนเกียรติ.วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2545.
- [5] ศัลักษณ์ ทรรพนันท์. เคมีนิวเคลียร์.กรุงเทพฯ :สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
.2527
- [6] สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 1 .กระทรวงวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี
- [7] สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2 .กระทรวงวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี
- [8] อุตสาหกรรมยางสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตรและกรมวิทยาศาสตร์บริการ
- [9] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี.ยาง SBR .ยางพาราธรรมชาติ .บิสมัท. กรดกำมะถัน.
[ออนไลน์]. 2552:<http://th.wikipedia.org>. (มีนาคม2554)

ภาคผนวก ก

บิสมัท (Bismuth) สัญลักษณ์ Bi

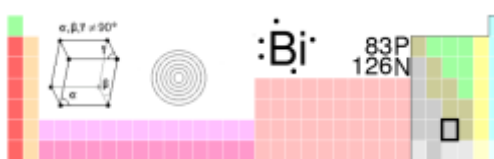

คุณสมบัติเฉพาะของบิสมัท

- ความหนาแน่น 9.8 kg / dm³
- จุดหลอมเหลว 217 องศาเซลเซียส
- ความต้านทานจำเพาะ $1.07 \frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{A}}$

บิสมัท เป็นโลหะแข็งเหมือนพลาสติก มีเม็ดเกรนมากและเปราะ สีค่อนข้างแดง บิสมัทใช้เป็นวัสดุโลหะผสม ช่วยลดจุดหลอมเหลวให้น้อยลง เช่น ทำฟิวส์ไฟฟ้า โลหะผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่ำสุด มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้ บิสมัท 50 % ดีบุก 12.5 % ตะกั่ว 25 % และแคดเมียม 12.5 % จะมีจุดหลอมเหลวต่ำประมาณ 55 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังใช้ทำคอมโพสิตทนแสงไฟได้ดีเหมือนกระจก การถลุงบิสมัททำได้โดยการถลุงด้วยเตาไฟฟ้า

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทั่วไปบิสมัท(Bismuth)

เลขอะตอม	83
น้ำหนักอะตอม	208.98037
ประเภทธาตุ	โลหะ
โครงสร้างผลึก	Rhombohedra
จุดหลอมเหลว	271.4 องศาเซลเซียส = 520.52 ° F = 544.55 K
จุดเดือด	1,564.0 องศาเซลเซียส = 2847.2 ° F = 1837.15 K
รัศมีอะตอม	1.63 Å (อังสตรอม Å = 10 ⁻¹⁰ m)
รัศมีโควาเลน	1.46 Å

บิสมัท ตะกั่ว-----พอลิเนียม	
	
คุณสมบัติทั่วไป	
ชื่อ, สัญลักษณ์, เลขอะตอม	บิสมัท, Bi, 83
อนุกรมเคมี	โลหะหลังทรานซิชัน
หมู่, คาบ, บล็อก	15, 6, p
ลักษณะ	
มวลอะตอม	208.98038 (2)กรัม/โมล
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³
อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน	2, 8, 18, 32, 18, 5
คุณสมบัติทางกายภาพ	
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ใกล้ r.t.)	9.78 ก./ซม. ³
ความหนาแน่นของของเหลวที่ m.p.	10.05 ก./ซม. ³
จุดหลอมเหลว	544.7 K (271.5 °C)
จุดเดือด	1837 K(1564 °C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	11.30 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการหลอมเหลว	11.30 กิโลจูล/โมล

ตารางที่ ก.2 วงโคจรของอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นของบิสมัท

ชั้นอิเล็กตรอน	Energy (MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{en}/ρ (cm ² /g)
	1.00000E-03	5.441E+03	5.427E+03
	1.50000E-03	2.468E+03	2.455E+03
	2.00000E-03	1.348E+03	1.336E+03
	2.57960E-03	7.724E+02	7.612E+02
M5	2.57960E-03	1.777E+03	1.731E+03
	2.63305E-03	1.850E+03	1.799E+03
	2.68760E-03	1.852E+03	1.802E+03
M4	2.68760E-03	2.576E+03	2.500E+03
	3.00000E-03	2.053E+03	1.996E+03
	3.17690E-03	1.774E+03	1.725E+03
M3	3.17690E-03	2.048E+03	1.992E+03
	3.42677E-03	1.707E+03	1.659E+03
	3.69630E-03	1.415E+03	1.378E+03
M2	3.69630E-03	1.498E+03	1.460E+03
	3.84472E-03	1.366E+03	1.329E+03
	3.99910E-03	1.243E+03	1.211E+03
M1	3.99910E-03	1.297E+03	1.264E+03
	4.00000E-03	1.296E+03	1.263E+03
	5.00000E-03	7.580E+02	7.386E+02
	6.00000E-03	4.855E+02	4.721E+02
	8.00000E-03	2.378E+02	2.295E+02
	1.00000E-02	1.360E+02	1.298E+02
	1.34186E-02	6.491E+01	6.064E+01
L3	1.34186E-02	1.560E+02	1.234E+02
	1.50000E-02	1.160E+02	9.358E+01
	1.57111E-02	1.027E+02	8.346E+01
L2	1.57111E-02	1.416E+02	1.069E+02
	1.60457E-02	1.351E+02	1.024E+02

	1.63875E-02	1.282E+02	9.769E+01
L1	1.63875E-02	1.478E+02	1.116E+02
	2.00000E-02	8.952E+01	7.060E+01
	3.00000E-02	3.152E+01	2.617E+01
	4.00000E-02	1.495E+01	1.255E+01
	5.00000E-02	8.379E+00	7.004E+00
	6.00000E-02	5.233E+00	4.320E+00
	8.00000E-02	2.522E+00	1.999E+00
	9.05259E-02	1.856E+00	1.434E+00
K	9.05259E-02	7.380E+00	2.073E+00
	1.00000E-01	5.739E+00	1.951E+00
	1.50000E-01	2.082E+00	1.071E+00
	2.00000E-01	1.033E+00	6.014E-01
	3.00000E-01	4.163E-01	2.532E-01
	4.00000E-01	2.391E-01	1.414E-01
	5.00000E-01	1.656E-01	9.411E-02
	6.00000E-01	1.277E-01	7.017E-02
	8.00000E-01	9.036E-02	4.758E-02
	1.00000E+00	7.214E-02	3.730E-02
	1.25000E+00	5.955E-02	3.039E-02
	1.50000E+00	5.285E-02	2.678E-02
	2.00000E+00	4.659E-02	2.389E-02
	3.00000E+00	4.279E-02	2.347E-02
	4.00000E+00	4.242E-02	2.475E-02
	5.00000E+00	4.317E-02	2.626E-02
	6.00000E+00	4.437E-02	2.772E-02
	8.00000E+00	4.725E-02	3.020E-02
	1.00000E+01	5.025E-02	3.213E-02
	1.50000E+01	5.721E-02	3.514E-02
	2.00000E+01	6.276E-02	3.632E-02

ตารางที่ ก.3 ตารางธาตุ

**Periodic Table
of the Elements**

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra																

* Lanthanide Series
+ Actinide Series

59 Ce	60 Pr	61 Nd	62 Pm	63 Sm	64 Eu	65 Gd	66 Tb	67 Dy	68 Ho	69 Er	70 Tm	71 Yb	72 Lu
89 Th	90 Pa	91 U	92 Np	93 Pu	94 Am	95 Cm	96 Bk	97 Cf	98 Es	99 Fm	100 Md	101 No	102 Lr

คุณสมบัติของซีเซียม-137

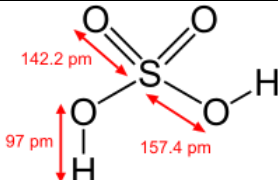
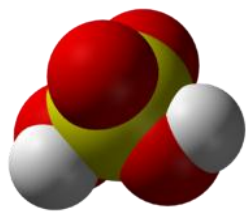
ชื่อ	ซีเซียม-137 (Caesium-137)
สัญลักษณ์	^{137}Cs หรือ 137-Cs
จำนวนนิวตรอน	82
จำนวนโปรตอน	55
ครึ่งชีวิต	30.17 ปี
เกิดจากไอโซโทป	ซีนอน-137 ($^{137}\text{Xe}, \beta^-$)
สลายไปเป็นไอโซโทป	แบเรียม-137m ($^{137\text{m}}\text{Ba}$)
มวลของไอโซโทป	136.907 u
พลังงานของรังสีบีต้า	1.176 MeV
พลังงานของรังสีแกมมา	662 keV

กรดกำมะถัน หรือ กรดซัลฟิวริกคุณสมบัติทางฟิสิกส์

ถึงแม้ว่าเราสามารถผลิตกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 100% แต่จะมีการสูญเสีย SO_3 ที่จุดเดือดทำให้กรดที่ได้เหลือความเข้มข้นประมาณ 98.3% กรดความเข้มข้น 98% มีเสถียรภาพมากในการเก็บรักษา รูปแบบผลิตภัณฑ์นี้ของกรดจะถูกเรียกว่า กรดซัลฟิวริก *เข้มข้น* ("concentrated" sulfuric acid) ผลิตภัณฑ์ของ กรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นอื่นมีดังนี้:

- 33.5%, เรียก กรดแบตเตอรี่ (battery acid) ใช้ใน แบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรด
- 62.18%, เรียก แชมเบอร์ (chamber) หรือ กรดปุ๋ย (fertilizer acid)
- 77.67%, เรียก โทเวอร์ (tower) หรือ กรดโกลเวอร์ (Glover acid)
- 98%, เรียก กรดซัลฟิวริก *เข้มข้น* (concentrated)

ตารางที่ ก.4 คุณสมบัติทั่วไป กรดกำมะถัน หรือ กรดซัลฟิวริก

กรดกำมะถัน หรือ กรดซัลฟิวริก	
	
	
ชื่อตาม IUPAC	Sulfuric acid
ชื่ออื่น	Oil of vitriol
เลขทะเบียน CAS	[7664-93-9] ^[CAS]
UN number	1830
RTECS number	WS5600000
คุณสมบัติ	
สูตรเคมี	H_2SO_4
มวลต่อหนึ่งโมล	98.08 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	clear, colorless, odorless liquid
ความหนาแน่น	1.84 g/cm ³ , liquid
จุดหลอมเหลว	10 °C, 283 K, 50 °F
จุดเดือด	290 °C, 563 K, 554 °F

ความสามารถละลายได้ในน้ำ	miscible
ความหนืด	26.7 cP (20 °C)
ความอันตราย	
MSDS	ICSC 0362
EU classification	Corrosive (C)
EU Index	016-020-00-8
R-phrases	R35
S-phrases	(S1/2), S26, S30, S45
จุดวาบไฟ	Non-flammable

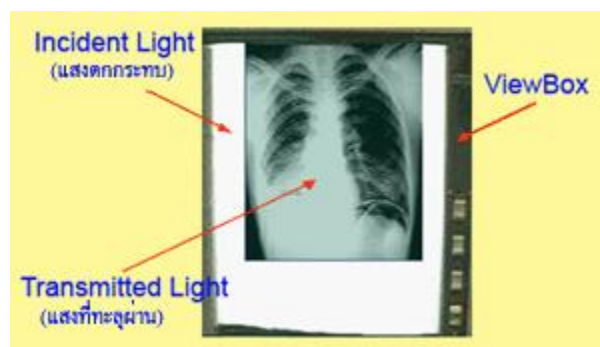
คุณสมบัติโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ

สูตรเคมี	NaOH
มวลต่อหนึ่งโมล	39.997 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	White solid
ความหนาแน่น	2.1 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	318 °C (591 K)
จุดเดือด	1390 °C (1663 K)
ความสามารถละลายได้ในน้ำ	111 g/100 ml (20 °C)

ความดำ (density)

ความดำ (density หรือ radiographic density) หมายถึงปริมาณความดำที่ปรากฏบนภาพรังสีบนฟิล์มโดยความดำนี้เกิดจากสีดำของโลหะเงิน (black metallic silver) หลังจากฟิล์มได้รับแสงและผ่านกระบวนการสร้างภาพทางเคมีแล้วจึงทำให้เกิดภาพที่มองเห็นได้

$$\text{ความดำ (D)} = \log (\text{แสงตกกระทบ} / \text{แสงที่ทะลุผ่าน})$$



ตัวอย่างการคำนวณ ความดำ (D) = $\log (100/50)$

$$D = \log 2 = 0.5$$

ความดำ (D) = $\log (100/10)$

$$D = \log 10 = 1$$

ด้านล่างนี้เป็นตัวอย่างแสดงความดำของภาพรังสี (radiographic density), เปอร์เซ็นต์ของรังสีที่ทะลุผ่าน (percent of light transmission) และวิธีการคำนวณค่า

ตารางที่ ก.5 วิธีการคำนวณค่าความดำ

ความดำของภาพรังสี	เปอร์เซ็นต์ของรังสีที่ทะลุผ่าน	วิธีการคำนวณค่าความดำ
0.25	56 %	$\log(100/56) = \log 1.79 = 0.25$
0.5	31 %	$\log(100/31) = \log 3.23 = 0.5$
1.0	10 %	$\log(100/10) = \log 10 = 1.0$
2.0	1 %	$\log(100/1) = \log 100 = 2.0$
3.0	0.1 %	$\log(100/0.1) = \log 1,000 = 3.0$
4.0	0.01 %	$\log(100/0.01) = \log 10,000 = 4.0$

เครื่องวัดความดำ (densitometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดำบนฟิล์มเอกซเรย์

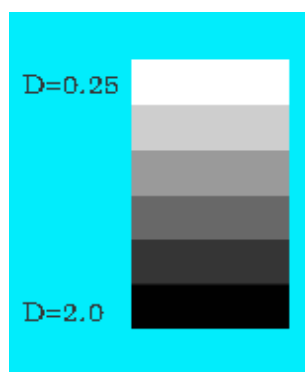


เครื่องวัดความดำ (densitometer)

ค่าความดำที่ใช้ในการวินิจฉัยภาพรังสีอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 2.00

ถ้าค่าความดำต่ำกว่า 0.25 ภาพจะขาวเกินไป

ถ้าค่าความดำสูงกว่า 2.00 ภาพจะดำมองเห็นได้ยากขึ้น



ฟิล์มทุกชนิดมีความดำอยู่เล็กน้อยในตัวของมันเองแม้ว่าจะยังไม่ได้รับปริมาณรังสีเลยก็ตาม ซึ่งความดำนี้เกิดขึ้นบางส่วนเกิดจากสารสีน้ำเงิน (blue dye) ที่ผสมเข้าไปในชั้นฐาน (base) ของฟิล์มระหว่างกระบวนการผลิตสารสีน้ำเงินที่เติมเข้าไปนี้ทำให้ภาพทางรังสีที่ได้ดูแล้วสบายตาขึ้น



ภาพถ่ายของ blue base film บน view box

การทดสอบสารละลายกรด – เบส

การทดสอบสารละลายกรด เบส ของสารต่างๆที่ใช้ในบ้านจะทดสอบกับสารที่เรียกว่าอินดิเคเตอร์ (Indicators) ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือสารที่สมบัติเป็นกรด เป็นเบส และเป็นกลาง อินดิเคเตอร์ที่ใช้ได้แก่กระดาษลิตมัส , ยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ และเครื่องตรวจสอบค่า pH ซึ่งเมื่อทดสอบจะได้ผลดังนี้

1. ใช้กระดาษลิตมัส

- สารที่เป็นกรด จะเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน
- สารที่เป็นเบส จะเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง
- สารที่เป็นกลาง จะไม่เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส

2. ใช้ยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ กรด- เบสจะทำให้กระดาษ ยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ เป็นสีต่างๆ ที่ค่า pH ต่างกัน ทำให้ทราบได้ว่าสารใดเป็นกรด เบสหรือ กลาง และสามารถทราบค่า pH ของสารได้อย่างคร่าวๆ

3. ใช้เครื่องตรวจสอบ pH (pH meter) การตรวจสอบด้วย pH meter ทำให้ทราบค่า pH ที่แน่นอน สามารถบอกสมบัติความเป็นกรด - เบสได้ชัดเจน ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- ค่า pH ต่ำกว่า 7.0 สารมีสมบัติเป็นกรด
- ค่า pH เท่ากับ 7.0 สารมีสมบัติเป็นกลาง
- ค่า pH มากกว่า 7.0 – 14.0 สารมีสมบัติเป็นเบส

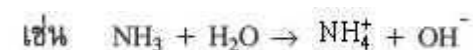
การตรวจสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลาย

เราสามารถตรวจสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลายได้ด้วยอินดิเคเตอร์ซึ่งเป็นสารที่ใช้บอกสมบัติบางอย่างในปฏิกิริยาเคมีโดยการเปลี่ยนสีหรือการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางอย่างที่มองเห็นได้สารที่นำมาใช้ในการตรวจสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลายต่างๆ เรียกว่า " อินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส (acid-base indicator)"อินดิเคเตอร์ (indicator) คือสารที่ใช้ตรวจสอบไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ได้เนื่องจากสารละลายที่เป็นกรดจะมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนมากกว่าสารละลายที่เป็นเบส

กรดเป็นสารประกอบไฮโดรเจนเมื่อละลายอยู่ในน้ำจะแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออน



เบสเป็นไฮดรอกไซด์ของโลหะหรืออนุมูลที่มีค่าเทียบเท่าโลหะซึ่งเมื่อละลายอยู่ในน้ำจะแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน



- อินดิเคเตอร์แต่ละชนิดจะมีการตรวจสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลายแตกต่างกันอินดิเคเตอร์ที่นิยมใช้กันมากมี 2 ประเภท คือกระดาษลิตมัสและยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์
1. กระดาษลิตมัสเป็นอินดิเคเตอร์ที่เรารู้จักกันดี กระดาษลิตมัสมี 2 สี ได้แก่กระดาษลิตมัสสีแดงและกระดาษลิตมัสสีน้ำเงิน



เมื่อใช้กระดาษลิตมัสตรวจสอบสารละลายจะสามารถจำแนกสารได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- + สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรดจะเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินไปเป็นสีแดง
- + สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบสจะเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีแดงไปเป็นสีน้ำเงิน
- + สารละลายที่มีสมบัติเป็นกลาง จะไม่ทำปฏิกิริยากับกระดาษลิตมัสทั้งสีน้ำเงินและสีแดง กระดาษลิตมัสจึงไม่เปลี่ยนสี

2. ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์เป็นอินดิเคเตอร์ที่มีการเปลี่ยนสีเกือบทุกค่า pH จึงใช้ทดสอบหาค่า pH ได้ดีอินดิเคเตอร์ชนิดนี้มีทั้งแบบที่เป็นกระดาษและแบบสารละลาย



รูปแสดงกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์



รูปแสดงการเปลี่ยนสีของกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์

ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์แบบสารละลายจะเปลี่ยนสีเมื่อใช้ทดสอบสารละลายที่มีค่า pH อยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- + ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นสารละลายสีไม่มีสีซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูเมื่อใช้ทดสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 8.3-10.0
- + เมทิลเรดเป็นสารละลายสีแดงซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อใช้ทดสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 4.2-6.2
- + บรอมไทมอลบลูเป็นสารละลายสีเหลืองซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเมื่อใช้ทดสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0-7.6
- + ฟีนอลเรดเป็นสารละลายสีเหลืองซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อใช้ทดสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.8-8.4

ตารางที่ ก.6 ตารางแสดงช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์บางชนิด

อินดิเคเตอร์	ช่วง pH ที่เปลี่ยนสี	สีที่เปลี่ยน
เมทิลออเรนจ์	3.1-4.4	แดง-เหลือง
เมทิลเรด	4.2-6.3	แดง-เหลือง
ลิตมัส	5.0-8.0	แดง-น้ำเงิน
บรอมไทมอลบลู	6.0-7.6	เหลือง-น้ำเงิน
ฟีนอลเรด	6.8-8.4	เหลือง-แดง
ฟีนอล์ฟทาลีน	8.3-10.0	ไม่มีสี-ชมพูเข้ม

ตารางที่ ก.7 ตารางแสดงช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์จากธรรมชาติบางชนิด

ชนิดของพืช	ช่วง pH ที่เปลี่ยนสี	สีที่มีการเปลี่ยนแปลง
อัญชัน	1-3	แดง-ม่วง
กุหลาบ	3-4	ชมพู-ไม่มีสี
กระเจี๊ยบ	6-7	แดง-เขียว
ชงโค	6-7	ชมพู-เขียว
บานไม่รู้โรย	8-9	แดง-ม่วง
ดาวเรือง	9-10	ไม่มีสี-เหลือง
ผักกาดรอง	10-11	ไม่มีสี-เหลือง

การใช้อินดิเคเตอร์ในการทดสอบหาค่า pH ของสารละลายนั้นจะทราบค่า pH โดยประมาณเท่านั้น ถ้าต้องการทราบค่า pH ที่แท้จริงจะต้องใช้เครื่องมือวัด pH ที่เรียกว่า "พีเอชมิเตอร์ (pH meter)" ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดค่า pH ของสารละลายได้เป็นเวลานานติดต่อกันทำให้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของสารละลายได้ และค่า pH ที่อ่านได้จะมีความละเอียดมากกว่าการใช้อินดิเคเตอร์

ภาคผนวก ข

การคำนวณ สมการเอกซ์โพเนนเชียล

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

เมื่อ I_0 คือความเข้มของรังสีแกมมาไฟตอนก่อนผ่านสสาร

I คือ ความเข้มของรังสีแกมมาไฟตอนหลังผ่านสสาร

x คือ ความหนาของสสาร

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient)

จากค่า μ สามารถคำนวณค่า HVL (Half Value Layer) และ TVL (Tenth Value Layer) ซึ่งหมายถึง ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า และ 1/10 เท่าของความเข้มเดิม ได้จากสมการ

$$\text{HVL} = 0.693/\mu$$

$$\text{TVL} = 2.3/\mu$$

จากความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีก่อนผ่านอุปกรณ์กำบังรังสี I_0 และปริมาณรังสี ภายหลังจากผ่านอุปกรณ์กำบังรังสี (I) เมื่อพิจารณาในแง่ของ Half-Value Layer

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu(\text{HVL})}$$

$$\text{จะได้ว่า } e^{\mu(\text{HVL})} = 2$$

$$\ln e^{\mu(\text{HVL})} = \ln 2$$

$$\mu(\text{HVL}) = \ln 2$$

$$\text{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

$$\text{HVL} = \frac{0.693}{\mu}$$

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Tenth-Value Layer

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{10} = e^{-\mu(\text{TVL})}$$

จะได้ว่า $e^{\mu(TVL)} = 10$

$$\ln e^{\mu(TVL)} = \ln 10$$

$$TVL = \frac{2.30}{\mu}$$

ตารางที่ 4.1 และ 4.2 ผลการคำนวณในตาราง $\frac{I}{I_0}$ เพื่อหาอัตราการทะลุผ่านของรังสีแกมมา เช่น

I_0 คือความเข้มของรังสีแกมมาโฟตอนก่อนผ่านสสาร

I คือ ความเข้มของรังสีแกมมาโฟตอนหลังผ่านสสาร

$$\text{Background} = 7805$$

$$I_0 = 81474$$

$$I = 76079 - 7805 = 68274$$

$$\text{ดังนั้น } \frac{I}{I_0} = 68274 / 81474 = 0.837985124$$

ตารางที่ 4.3 ถึง 4.8 ผลการคำนวณในตารางของ $\frac{I}{I_0}$ จะเมื่อกับตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะเพิ่มการ

คำนวณค่า μ คือ สัมประสิทธิ์การลดเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) HVL (Half Value Layer) และ TVL (Tenth Value Layer) ซึ่งหมายถึง ความหนาของตัวกลางที่ทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง 1/2 เท่า และ 1/10 เท่า ของความเข้มเดิม

จากตารางที่ 4.3 ก็จะคำนวณค่า μ ได้โดย

$$\mu = \left(\ln \frac{I}{I_0} \right) / (\text{ความหนาของชิ้นงาน})$$

เช่น ในตารางที่ 4.3 ความหนาของชิ้นงานที่ 0.5 ซม.

$$\mu = (\ln 0.945515267) / 0.5$$

$$= 0.1251076$$

$$\text{จากสมการ HVL} = 0.693/\mu \text{ และ TVL} = 2.3/\mu$$

$$\text{HVL} = 0.693/0.1251076$$

$$= 5.539230 \text{ ซม.}$$

$$\text{TVL} = 2.3/0.1251076$$

$$= 18.38416 \text{ ซม.}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนิพัฒน์ เขาทอง เกิดเมื่อวันที่ 11 เดือนพฤษภาคม 2518 ที่จังหวัดสตูล สำเร็จการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาไฟฟ้า จากภาควิชาไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคสตูล จังหวัดสตูล เมื่อปีการศึกษา 2537 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงสาขา ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ จากภาควิชาไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เมื่อปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์ สาขาไฟฟ้าสื่อสาร จากภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม เมื่อปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาคศึกษานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2552