

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ วัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติผสมสารตัวเติม

คณะผู้วิจัย

1. ดร.สมหมาย ช่างเขียน
2. รศ.ดร.เจริญ นาคะสรรค์
3. นาย เจะอูติง เจะมุ

สังกัด

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

สารบัญ	i
หน้าสรุปโครงการวิจัย	1
บทคัดย่อ	4
Abstract	5
กิตติกรรมประกาศ	6
เนื้อหา	7
2.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	7
2.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	7
2.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง	7
2.3.1 วัสดุกำบังนิวตรอน	7
2.3.2 แนวคิดในการวิจัย	9
2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.4 วิธีการ	12
2.4.1 ยางและสารเคมี	12
2.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	13
2.4.3 การเตรียมชิ้นยางทดสอบ	19
2.4.4 ทดสอบสมบัติการกำบังนิวตรอน สมบัติเชิงกลและสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นยาง	22
2.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	24
2.5.1 ผลการกำบังนิวตรอนและค่าภาคตัดขวางที่ได้จากตัวอย่างที่ปริมาณบอแรกซ์ต่างๆ	24
2.5.2 สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์เมื่อวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน	26
2.5.3 สมบัติเชิงไฟฟ้าของยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์เมื่อวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน	32
2.6 สรุปผล	33
2.7 ข้อเสนอแนะ	34
2.8 เอกสารอ้างอิง	34
2.9 แบบสรุปโครงการวิจัย	36
2.10 ภาคผนวก	39

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)

- (1) ชื่อโครงการ วัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติผสมสารตัวเติม
Neutron shielding materials from natural rubber and additive substance
- (2) ชื่อหัวหน้าโครงการ ดร. สมหมาย ช่างเขียน
หน่วยงาน ภาควิชาวิทยาศาสตร์
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000
โทรศัพท์ 073313928-50 ต่อ 1833
โทรสาร 073335130
E-mail csommai@bunga.pn.psu.ac.th
- (3) ผู้ร่วมวิจัย 1. รศ.ดร. เจริญ นาคะสรรค์
 นักศึกษา 2. นายจะอูติง แจ่มมู
- (4) งบประมาณโครงการ 300,000 บาท
- (5) ระยะเวลาดำเนินการ 18 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2553 ถึงวันที่ 1 มีนาคม 2555
- (6) ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ
ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกและมีการส่งออกยางธรรมชาติไปขายยังต่างประเทศเป็นรายใหญ่ที่สุดตั้งแต่ปี พ.ศ.2534 เป็นต้นมา โดยส่วนใหญ่ประมาณ 90% เป็นการส่งออกในรูปยางดิบ และประมาณ 10% ของยางที่ผลิตใช้สำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในประเทศและส่งออก ดังนั้นการเพิ่มมูลค่ายางพาราจึงควรมุ่งเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อการส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์แทนการส่งออกยางดิบให้มากขึ้น ดังนั้นทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องควรจะหันมาให้ความร่วมมือในการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติให้มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง การใช้ประโยชน์จากธาตุกัมมันตรังสีในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (non destructive test) จำเป็นต้องมีวัสดุกำบังรังสีที่ดีเพื่อผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีที่ไม่สูงเกินค่าที่กำหนดตามมาตรฐานความปลอดภัย (Maximum permissible dose) ดังนั้นวัสดุกำบังรังสีจึงมีความสำคัญ โดยจะต้องเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาในการใช้งาน ออกแบบให้มีรูปทรงได้ตามต้องการ และมีสมบัติในการกำบังรังสีแต่ละชนิดได้ดี ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่สามารถนำมาขึ้นรูปให้มีรูปทรงต่างๆได้หลากหลายและมีสมบัติในการกำบังรังสีได้

ถ้ามีการผสมวัสดุที่ดัดกลืนรังสีแต่ละชนิดเพิ่มเข้าไปในกระบวนการผลิต ซึ่งมีโอกาสที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติกำบังรังสีที่ดีและลดการนำเข้าวัสดุกำบังรังสีจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่งด้วย

(7) วัตถุประสงค์

7.1 เพื่อเตรียมวัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติผสมสารตัวเติม

(8) ผลการดำเนินงาน

ความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่ผสมบอแรกซ์เป็นสารตัวเติมมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้น

ค่า Tensile strength ของยางที่ผสมบอแรกซ์มีค่าลดลงเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้น

สมบัติความเป็นยางลดลงเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้นซึ่งเห็นได้จากค่า Elongation at break ลดลง

ค่า Modulus เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้นทำให้วัสดุที่ได้มีสมบัติการคงรูปที่ดี

สมบัติการกำบังนิวตรอนของยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์โดยผสมบอแรกซ์ดีขึ้นเมื่อปริมาณของบอแรกซ์ที่ใช้เพิ่มขึ้น และสามารถคำนวณค่าภาคตัดขวางมหภาคของวัสดุที่เตรียมได้ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในงานออกแบบผนังกำบังรังสีในงานทางรังสีประยุกต์ต่อไป

(9) สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่ายางธรรมชาติที่ผสมบอแรกซ์เป็นสารตัวเติมมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้นและมีสมบัติในการกำบังนิวตรอนได้ดีขึ้นเนื่องจากค่าภาคตัดขวางมหภาคเพิ่มขึ้น จากผลดังกล่าวทำให้ทราบค่าภาคตัดขวางที่สัมพันธ์กับปริมาณบอแรกซ์ตามสมการ

$$Y = 0.28 - (5.00 \times 10^{-4})X + (4.67 \times 10^{-5})X^2$$

วัสดุกำบังนิวตรอนจากยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์ที่ได้มีสมบัติเด่นในด้านการคงตัวซึ่งใช้งานได้ดีกว่าอยู่ในรูปผงหรือในรูปแก้วซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำและยังมีสมบัติต้านทานไฟฟ้าได้ดีหรือมีความเป็นฉนวนสูงแม้ว่าจะเติมบอแรกซ์ในปริมาณที่มากก็ตาม แสดงว่าวัสดุกำบังนิวตรอนนี้สามารถใช้ในโครงสร้างที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงๆเป็นแหล่งจ่ายไฟ เช่น ใช้กับหลอดเครื่องเร่งนิวตรอนในเครื่องตรวจวัดโลหะเบต ผลการวิจัยที่ได้ทำให้ทราบถึงค่าภาคตัดขวางมหภาคของยางธรรมชาติผสมสารตัวเติมบอแรกซ์ที่ระดับต่างๆ และนำค่าที่คำนวณได้ไปใช้ในการออกแบบผนังกำบังเทอร์มินัลนิวตรอนได้อย่างสะดวกโดยไม่ต้องไปคำนวณจากองค์ประกอบแต่ละส่วน

(10) ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เพื่อกำบังนิวตรอนจากยางธรรมชาติที่ผ่านการวัลคาไนซ์ด้วยซัลเฟอร์ซึ่งเป็นยางแผ่นรมควันใหม่ทั้งหมด ถ้าสามารถขึ้นรูปวัสดุกำบังนิวตรอนได้ด้วยการเพิ่มยางรีเคลมหรือยางคลัมป์โดยที่สมบัติการกำบังนิวตรอนไม่เสียไปก็จะเป็นการช่วยลดปริมาณยางเหลือทิ้งได้อีกทางหนึ่งและเป็นการลดต้นทุนของวัสดุกำบังที่ผลิตได้อีกทางหนึ่งด้วย

(11) ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

11.1 ได้วัสดุกำบังนิวตรอนที่เหมาะสมต่อการใช้งานเนื่องจากสามารถเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อบอแรกซ์ได้ตามค่าภาคตัดขวางมหภาคที่ต้องการ

11.2 ได้วัสดุกำบังนิวตรอนที่ใช้ในงานประยุกต์ด้านต่างๆได้ดีโดยเฉพาะมีสมบัติความเป็นฉนวนสูง

11.3 เผยแพร่ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ และนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมระดับประเทศ

วัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติผสมสารตัวเติม

บทคัดย่อ

วัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) สามารถเพิ่มความต้องการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศให้มากขึ้นจากการวิจัยเพื่อผลิตวัสดุกำบังนิวตรอนดังกล่าวโดยระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันพบว่าเมื่อเพิ่มบอแรกซ์ในสัดส่วนสูงขึ้น ค่าภาคตัดขวาง มหภาคของวัสดุที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นด้วยรูปแบบที่แน่นอนโดยมีค่าภาคตัดขวาง 0.48 cm^{-1} ที่ 60 phr บอแรกซ์ ส่วนสมบัติเชิงกลมีค่าลดลงเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้น สมบัติความต้านทานทางไฟฟ้ายังคงสูงอยู่ในกลุ่มวัสดุที่เป็นฉนวน และการบ่มเร่งด้วยความร้อนมีผลต่อสมบัติเชิงกล

Neutron shielding materials from natural rubber and additive substance

Abstract

This rubber composite neutron shielding produced with borax can use more natural rubber in our country. The study results of natural rubber/borax produced by sulphur vulcanization process shows that the increasing of borax composite the increasing macroscopic neutron cross-section in a certain formula. In 60 phr borax it macroscopic neutron cross section was 0.48 cm^{-1} . The mechanical properties decrease while increasing of borax, but electrical resistivity still high as insulation materials. Thermal oxidative aging was affected the above mechanical properties.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่อนุญาตให้ใช้เครื่องมือวิจัยและห้องปฏิบัติการวิจัย ขอขอบคุณ รศ.ดร.ไตรภพ ผ่องสุวรรณ ที่อนุญาตให้ใช้แหล่งกำเนิดนิวตรอนชนิด $\text{Pu}^{238}/\text{Be}^9$ ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ในงานวิจัยนี้ และคณะกรรมการพิจารณาทุนชุดโครงการวิจัยแห่งชาติยางพารา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ที่อนุมัติให้ทุนวิจัยในครั้งนี้

ดร.สมหมาย ช่างเขียน
รศ.ดร.เจริญ นาคะสรรค์
นายเจอะอุตัง เจะมู

เนื้อหาการวิจัย

2.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกและมีการส่งออกยางธรรมชาติไปขายยังต่างประเทศเป็นรายใหญ่ที่สุดตั้งแต่ปี พ.ศ.2534 เป็นต้นมา โดยส่วนใหญ่ประมาณ 90% เป็นการส่งออกในรูปยางดิบ และประมาณ 10% ของยางที่ผลิตใช้สำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในประเทศและส่งออก ดังนั้นการเพิ่มมูลค่ายางพาราจึงควรมุ่งเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อการส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์แทนการส่งออกยางดิบให้มากขึ้น ดังนั้นทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องควรจะหันมาให้ความร่วมมือในการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติให้มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง การใช้ประโยชน์จากธาตุกัมมันตรังสีในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (non destructive test) จำเป็นต้องมีวัสดุกำบังรังสีที่ดีเพื่อผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีที่ไม่สูงเกินค่าที่กำหนดตามมาตรฐานความปลอดภัย (Maximum permissible dose) ดังนั้นวัสดุกำบังรังสีจึงมีความสำคัญ โดยจะต้องเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาในการใช้งาน ออกแบบให้มีรูปทรงได้ตามต้องการ และมีสมบัติในการกำบังรังสีแต่ละชนิดได้ดี ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่สามารถนำมาขึ้นรูปให้มีรูปทรงต่างๆ ได้หลากหลายและมีสมบัติในการกำบังรังสีได้ถ้ามีการผสมวัสดุที่ดูดกลืนรังสีแต่ละชนิดเพิ่มเข้าไปในกระบวนการผลิต ซึ่งมีโอกาสที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติกำบังรังสีที่ดีและลดการนำเข้าวัสดุกำบังรังสีจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมวัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติผสมสารตัวเติมขึ้นเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ยางธรรมชาติในทางรังสีประยุกต์

2.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.2.1 เพื่อเตรียมวัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติผสมสารตัวเติม

2.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 วัสดุกำบังนิวตรอน

สมบัติของเป้าหรือวัสดุกำบังนิวตรอนขึ้นอยู่กับตัวแปรหนึ่งที่เรียกว่าค่าภาคตัดขวางนิวตรอน (neutron cross section) ของธาตุหรือสารประกอบซึ่งเป็นเป้า โดยมีหน่วยเป็น บาร์น (barn) ซึ่ง $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ และค่าภาคตัดขวางนี้เรียกว่าเป็นค่าภาคตัดขวางจุลภาค (microscopic cross section) ใช้สัญลักษณ์เป็น σ มีความหมายว่าเป็นค่าโอกาสของนิวเคลียสที่จะเกิดอันตรกิริยากับลำนิวตรอน ค่าโอกาสในการเกิดอันตรกิริยานี้มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ซึ่งนิวตรอนมองเห็น และเมื่อพิจารณาค่าภาคตัดขวางจุลภาคคูณกับปริมาณความหนาแน่นนิวไคลด์ (N) ผลลัพธ์ที่ได้เรียกว่าค่าภาคตัดขวางมหภาค (macroscopic cross section) ใช้สัญลักษณ์เป็น Σ และมีหน่วยเป็น cm^{-1} ดังนั้นความสัมพันธ์ของค่าภาคตัดขวางมหภาคกับค่าภาคตัดขวางจุลภาคเป็นดังสมการที่ 1

$$\Sigma = N\sigma \text{ [cm}^{-1}\text{]} \quad 1$$

ลักษณะการเกิดอันตรกิริยาของนิวตรอนกับนิวเคลียสของธาตุเป้าแสดงดังรูปที่ 1 เมื่ออัตราการเกิดอันตรกิริยา R [reactions/sec] เกิดขึ้นกับปริมาตรเล็ก ๆ ที่มีพื้นที่ A [cm^2] และหนา x [cm] โดยมีนิวตรอนที่มีความ

หนาแน่น n [neutrons/cm³] เคลื่อนที่เข้าหาด้วยความเร็ว V [cm/sec] จากความสัมพันธ์ตามรูปที่ 1 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของ R ซึ่งเป็นปริมาณกับปริมาณอื่นๆได้ดังสมการที่ 2

$$R \propto A \cdot x \cdot n \cdot V \cdot N \text{ [reactions/sec]} \quad 2$$

และเมื่อเขียนในรูปสมการที่เท่ากันด้วยการเพิ่มค่าคงที่ σ ในสมการที่ 2 ได้

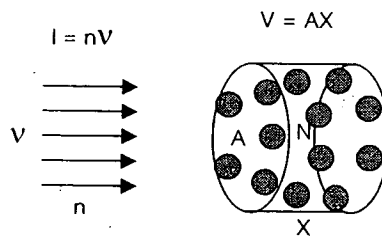
$$R = \sigma \cdot A \cdot x \cdot n \cdot V \cdot N \text{ [reactions/sec]} \quad 3$$

และเมื่อปริมาตรของเป้า $V = A \cdot x$ จะสามารถหาความหนาแน่นของอัตราการเกิดอันตรกิริยา ได้ดังสมการที่ 4

$$R' = R/V = R/A \cdot x = n \cdot V \cdot N \cdot \sigma \text{ [reactions/cm}^3 \cdot \text{sec]} \quad 4$$

จึงได้ค่าคงที่ σ ของสมการซึ่งมีหน่วยเป็น cm² ดังนี้

$$\sigma = R' / n \cdot V \cdot N \left[\frac{[\text{reactions}/(\text{cm}^3 \cdot \text{sec})]}{[\text{neutrons}/\text{cm}^3] \cdot [\text{cm}/\text{sec}] \cdot (\text{nuclei}/\text{cm}^3)} \right] \text{ หรือ cm}^2 \quad 5$$

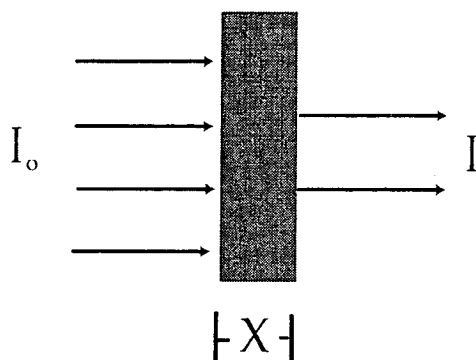


รูปที่ 1 ลักษณะอัตราการเกิดอันตรกิริยาของนิวตรอนที่กระทำกับเป้าที่มีปริมาตร V

เมื่อทราบความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) [gm/cm³] น้ำหนักอะตอม M [amu] และค่าคงที่ Avogadro (A_v) จะสามารถหาความหนาแน่นของนิวเคลียสเป้าได้ด้วยสมการ

$$N = \frac{\rho}{M} A_v \quad 6$$

เมื่อนำตัวอย่างที่เตรียมได้ในแต่ละแบบมาวางกำบังนิวตรอนโดยใช้ผลึกหรือหัววัด TLD-600 และ TLD-700 วัดปริมาณนิวตรอนเมื่อมีวัสดุกำบังขวางกั้นเทียบกับเมื่อไม่มีวัสดุกำบังกั้น (รูปที่ 2) นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณด้วยสมการที่ 7

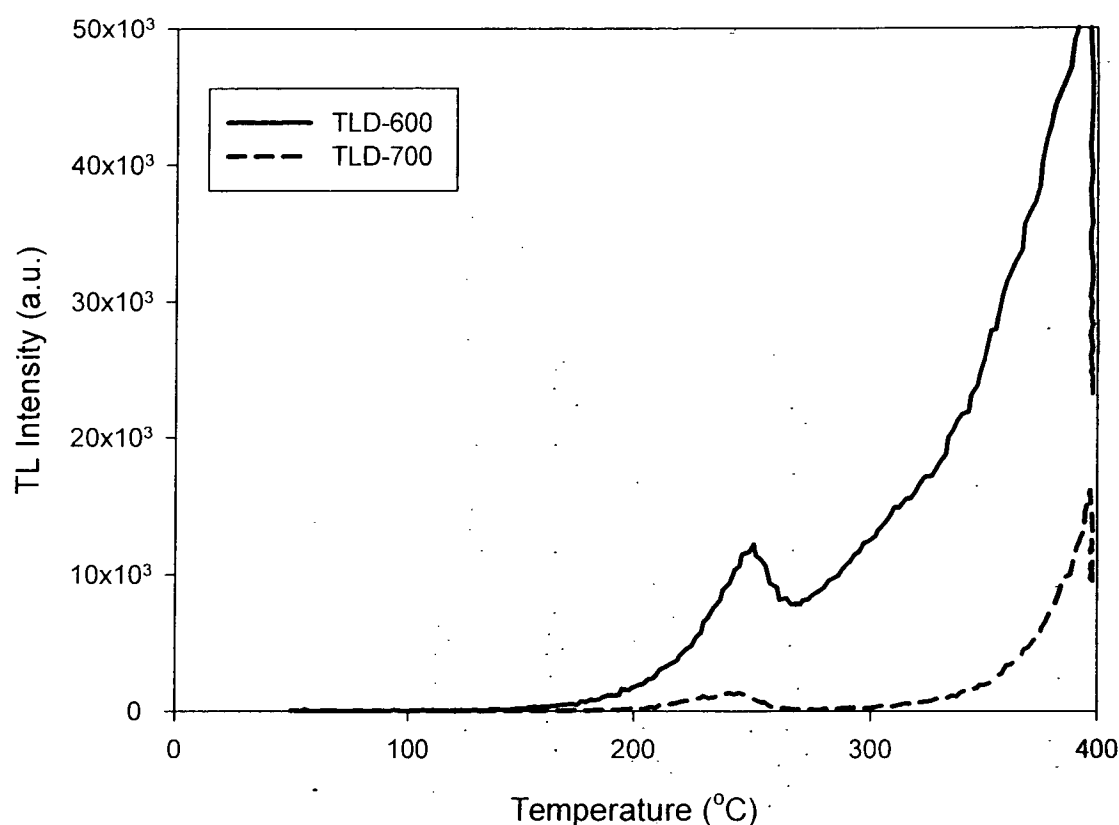


รูปที่ 2 ลักษณะลำนิวตรอนที่ลดลงเมื่อผ่านวัสดุกำบังหนา x

เมื่อ I_0 และ I เป็นความเข้มรังสีที่ตกกระทบและทะลุผ่านตัวกลางความหนา X ตามลำดับ ซึ่งมีค่าภาคตัดขวางมหภาค Σ ถ้าวัสดุกำบังเป็นนิวเคลียสของธาตุเดี่ยวค่าภาคตัดขวางก็จะสามารถคำนวณจากสมการที่ 1 และ 6 ได้โดยตรงหรือสามารถหาข้อมูลมาตรฐานที่ได้มีการตีพิมพ์ค่าภาคตัดขวางของธาตุต่างๆไว้อย่างครบถ้วนแล้ว แต่สำหรับตัวอย่างที่เป็นสารประกอบจากธาตุที่หลากหลายและมีสัดส่วนที่ต่างกัน การคำนวณเพื่อหาค่าภาคตัดขวางไม่สามารถทำได้โดยง่ายโดยเฉพาะในวัสดุพอลิเมอร์ซึ่งมีจำนวนอะตอมของธาตุในโซ่พอลิเมอร์ไม่จำกัดหรือตรวจวัดได้ยากดังนั้นการหาค่าภาคตัดขวางของวัสดุที่เตรียมได้จึงใช้การหาค่าโดยวิธีกราฟเมื่อทำการวัดปริมาณนิวตรอนที่ผ่านวัสดุกำบังซึ่งมีความหนา (x) แตกต่างกันด้วยหัววัด TLD-600 และ TLD-700 โดยผลของ Glowcurve จาก TLD-600 และ TLD-700 แสดงดังรูปที่ 3

2.3.2 แนวคิดในการวิจัย

จากสมบัติของยางธรรมชาติเมื่อผ่านการวัลคาไนซ์แล้วจะมีลักษณะยืดหยุ่นโค้งงอได้ง่ายจึงสะดวกต่อการทำไปใช้ในงานกำบังรังสีที่มีรูปทรงไม่แน่นอนหรือสมบัติการคืนรูปของขึ้นยางเมื่อต้องรับแรงกดแรงดึง ดังนั้นเมื่อเติมสารที่มีธาตุองค์ประกอบที่มีค่าภาคตัดขวางในการกำบังเทอร์มอลนิวตรอนสูงผสมในกระบวนการวัลคาไนซ์ วัสดุที่ผลิตได้ก็จะใช้เป็นวัสดุกำบังนิวตรอนได้



รูปที่ 3 Glowcurve จาก TLD-600 ซึ่งวัดปริมาณรังสีรวมทั้งนิวตรอนและแกมมาที่เกิดจาก

Pu/Be ส่วน TLD-700 วัดเฉพาะปริมาณรังสีแกมมา ดังนั้นปริมาณนิวตรอนที่วัดได้ก็จะเท่ากับ ผลต่างของพื้นที่ใต้กราฟของหัววัดทั้งสอง

2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S.E. Gwaily, M.M. Badawy, H.H. Hassan and M. Madani (2002a) ได้ทำการวิจัย เรื่อง Natural rubber composites as thermal neutron radiation Shields I B₄C/NR composites ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถของ B₄C ที่ผสมอยู่ในยางธรรมชาติ (B⁴C: 40 HAF/NR) ในอัตราส่วนต่างๆ ในการลดทอนรังสีนิวตรอน พบว่าอัตราส่วนที่ประกอบด้วย B₄C 20 phr ทำให้ได้ค่า linear absorption coefficient ที่สูงที่สุดคือ 0.34 cm และทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงตามค่าอุณหภูมิและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของส่วนประกอบที่ผลิตได้ร่วมด้วย

S.E. Gwaily, M.M. Badawy, H.H. Hassan and M. Madani (2002b) ได้ทำการวิจัย เรื่อง Natural rubber composites as thermal neutron radiation shields II H₃BO₃ /NR composites โดยศึกษาส่วนผสมวัสดุที่มีส่วนผสมของกรดบอริก (H₃BO₃) กับยางธรรมชาติ (40 phr of HAF carbon black) ในการกำบังเทอร์มัลนิวตรอน พบว่าที่ส่วนผสมของกรดบอริก 30 phr จะมีค่า total macroscopic cross section สูงที่สุด เท่ากับ 0.29 cm⁻¹ และทำการศึกษเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงตามค่าอุณหภูมิและคุณสมบัติทางไฟฟ้า

ของวัสดุกำบังรังสีในอัตราส่วนต่างๆผลิตได้ร่วมด้วย ซึ่งพบว่า Thermal oxidative aging มีผลกระทบต่อวัสดุเหล่านี้มากกว่าผลจากค่าอุณหภูมิและคุณสมบัติทางไฟฟ้า

สรารุณี พรหมเมศร (2545) ได้ทำการวิจัยเรื่อง วัสดุกำบังนิวตรอนซ้ำที่สามารถบั่นชั้นรูปได้ เป็นการใช่วัสดุ ได้แก่ FLMO, ดินน้ำมันไฮเคย์ กับ ไดออกทิลพาลาเลต หรือ กลีเซอรอล ผลการวิจัยพบว่าส่วนผสมที่ประกอบด้วย FLMO กับไดออกทิลพาลาเลตและกรดบอริกในอัตราส่วน 1:0.6:0.7 สามารถผสมเข้ากันได้ดี สามารถบั่นชั้นรูปได้ง่ายและมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับกำบังนิวตรอนซ้ำ ซึ่งพบว่าค่า HVL และภาคตัดขวางมหภาคต่อนิวตรอนซ้ำของส่วนผสมนี้มีค่าประมาณ 0.2 cm และ 3.4767 cm^{-1} ตามลำดับ

S.I. Bhuiyan, F.U. Ahmed, A.S. Mollah and M.A. Rahman (1989) ทำการวิจัยเรื่อง Studied of the Neutron Transport and Shielding Properties of Locally Developed Shielding Material: Poly-Boron เป็นการศึกษาสมบัติการกำบังนิวตรอนของโพลีโบรอน (Poly-boron) ซึ่งเป็นวัสดุผสมของโพลีเอทิลีน ลีน พาราฟินและโบรอน จากการวิจัยโพลีโบรอนมีค่าภาคตัดขวางมหภาค $0.161 \pm 0.0057 \text{ cm}^{-1}$ ที่ความหนา 5 ซม. ซึ่งดีกว่าภาคตัดขวางมหภาคของพาราฟิน (0.109 cm^{-1})

Samir Abdul-majid and Fadel Othman (1994) ทำการวิจัยเรื่อง Neutron Attenuation Characteristics of Polyethylene, Polyvinyl Chloride, and Heavy Aggregate Concrete and Mortars ในงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการกำบังรังสีของคอนกรีตโดยการเติมโพลีเมอร์ แร่แบไรต์ (Barite) และไพไรต์ (Pyrite) เพื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนและความสามารถในการกำบังนิวตรอนและรังสีแกมมา จากการวิจัยพบว่าวัสดุผสมของโพลีเอทิลีนกับปูนขาวและวัสดุผสมของโพลีไวนิลคลอไรด์กับปูนขาวให้ผลการกำบังที่ดี แต่วัสดุชนิดแรกให้ผลที่ดีกว่า

Waleed H. Abulfaraj (1994) ทำการวิจัยเรื่อง Special Concrete Shield Selection Using the Analytic Hierarchy Process งานวิจัยนี้เป็นงานวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ โดยเทคนิค Analytic Hierarchy Process (AHP) เพื่อเลือกวัสดุผสมของโพลีเอทิลีนและโพลีไวนิลคลอไรด์กับคอนกรีต โดยการเติมแร่แบไรต์และ ไพไรต์ลงไปด้วย พบว่าวัสดุที่ให้ผลดีที่สุด คือ ไพไรต์-โพลีเอทิลีน-คอนกรีต

Reinhard Erast Vogel (1971) ทำการวิจัยเรื่อง Shape Polymeric Shield Against Neutron and Gamma Radiation งานวิจัยนี้เป็นการประดิษฐ์วัสดุที่มีความสามารถในการกำบังนิวตรอนและรังสีแกมมาที่ทำให้อยู่ในรูปของแผ่นแข็ง แผ่นที่มีความยืดหยุ่นและการเคลือบผิววัสดุ โดยใช้พลาสติกเช่นยางในธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์มาผสมกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 9 อะตอมขึ้นไปซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและในกรดไขมันนั้นจะมีอะตอมของโลหะบางตัวเช่น ตะกั่ว บิสมัท ทังสแตเนียม เซอโคเนียม เหล็ก ดีบุก แคดเมียม ลิเทียมและ แบร์เรียม

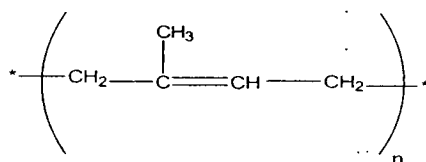
Kenneth T. Faler (1968) ทำการวิจัยเรื่อง Castable Neutron Shield โดยการประดิษฐ์วัสดุที่มีลักษณะคล้ายสบู่ แต่มีความสามารถในการกำบังนิวตรอนและสามารถหล่อขึ้นรูปใหม่ได้หลายครั้งวัสดุที่เลือกใช้เป็น

สารประกอบของลิเทียมอันได้แก่ ลิเทียม-6 คาร์บอนเนต หรือ ลิเทียม-6 ไฮดรอกไซด์ มาผสมกับกรดไขมันสายยาว เช่น กรดสเตียริก โดยผสมในสัดส่วนกรดสเตียริก 4-6 ส่วนต่อสารประกอบลิเทียม 1 ส่วน

2.4 วิธีการวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน

2.4.1 ยางและสารเคมี

1) ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ยางธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองคือยางแผ่นรมควันชั้น 3 จากสหกรณ์การยางอำเภอโคกโพธิ์ จังหวัดปัตตานี โดยยางธรรมชาติมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยหน่วยซ้ำกันของไอโซพรีนดังนี้



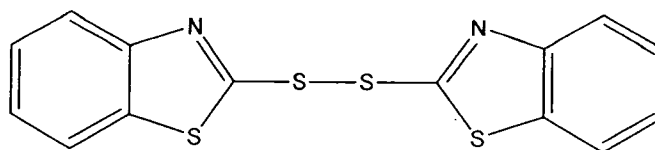
2). สารเคมี

2.1 กรดสเตียริก (Stearic acid) ใช้เป็นสารกระตุ้นในปฏิกิริยาร่วมกับซิงค์ออกไซด์ ผลิตโดยบริษัท Imperial Chemical จำกัด ประเทศไทย

2.2 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ใช้เป็นสารกระตุ้นในกระบวนการวัลคาไนเซชันของยาง ผลิตโดยบริษัท Global Chemical Co.,Ltd, ประเทศไทย

2.3 กำมะถัน (Sulphur) มีสูตรโครงสร้าง S_8 ใช้เป็นสารวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ ผลิตโดยบริษัท Ajax Chemical Co., Ltd ประเทศเนเธอร์แลนด์

2.4 2,2-ไดไธโอบิส เบนโซโรอาโซล (2,2-Dithiobisbenzothiazole, MBTS) ใช้เป็นสารตัวเร่งในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ผลิตโดยบริษัท Flexsys ประเทศเบลเยียม น้ำหนักโมเลกุล 332 กรัมต่อโมล



2.5 เขม่าดำ เกรด N-330

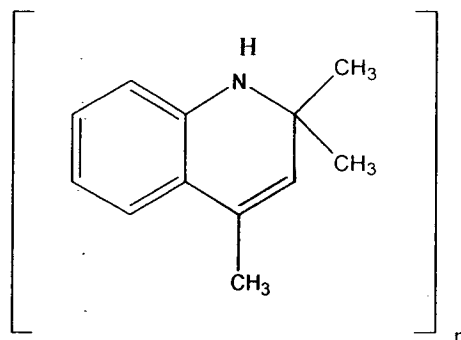
ใช้เป็นสารตัวเติมชนิดสารประสิทธิภาพในยาง ผลิตโดยบริษัทไทยคาร์บอนแบล็คจำกัด ประเทศไทย

2.6 น้ำมันพาราฟินิก

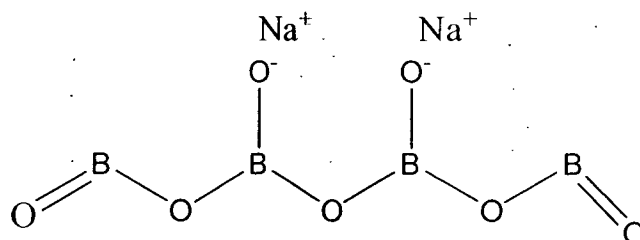
น้ำมันใช้เป็นสารช่วยในการแปรรูป ทำให้สารเคมีโดยเฉพาะสารตัวเติมสามารถกระจายตัวในยางได้ดีขึ้น ผลิตโดยบริษัท Akrochem ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.7 2,2,4-ไตรเมทิล-1,2-ไดไฮโดรควิโนลีน (TMQ)

สารต้านทานการเสื่อมจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือ แอนต้ออกซิแดนท์ มีลักษณะเป็นเม็ดสีน้ำตาลอมดำ มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500 กรัมต่อโมล ผลิตโดยบริษัท Flexsys ประเทศเบลเยียม

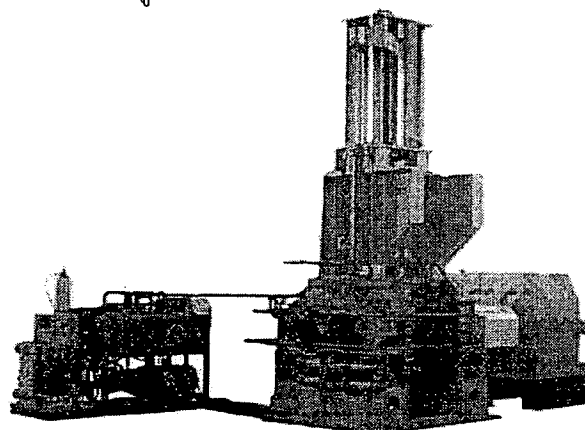


2.8 โซเดียมบอเรต (Sodium borate) หรือ บอแรกซ์ มีสูตรทางเคมีว่า $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ มีน้ำหนักโมเลกุล 381.4 มีลักษณะไม่มีกลิ่น เป็นผลึกละเอียดหรือผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ 95%



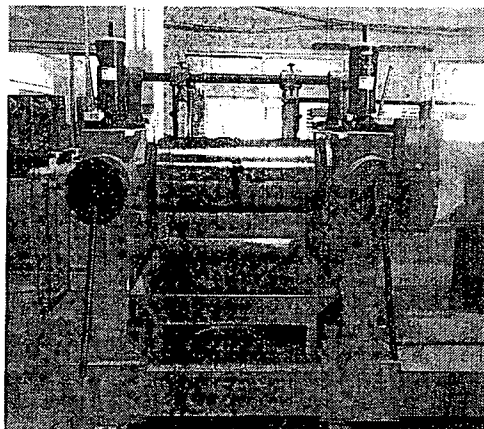
2.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1) เครื่องผสมยางระบบปิด (Internal Mixer) เป็นเครื่องบดผสมยางกับสารเคมี ประกอบด้วยโรเตอร์ 2 โรเตอร์ หมุนเข้าหากัน ทำให้เกิด Friction ระหว่างปีกของโรเตอร์ ห้องผสมมีปริมาตร 410 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยใช้ความร้อนไหลเวียนเข้าไป ความเร็วโรเตอร์สามารถปรับได้ตามต้องการ ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 4



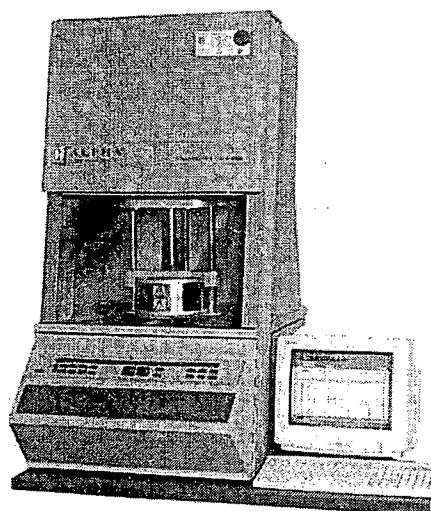
รูปที่ 4 เครื่องผสมยางระบบปิด (Internal Mixer)

2) เครื่องผสมยาง 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill) มีลูกกลิ้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยาว 14 นิ้ว ความเร็วผิวลูกกลิ้งหน้า 21.4 รอบ/นาที ความเร็วผิวลูกกลิ้งหลัง 25.7 รอบ/นาที อัตราส่วนความเร็วเท่ากับ 1:1.21 สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงสุดที่ 399 องศาเซลเซียสผลิตโดยทางหุ้นส่วนจำกัดชัยเจริญการช่าง ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two Roll mill)

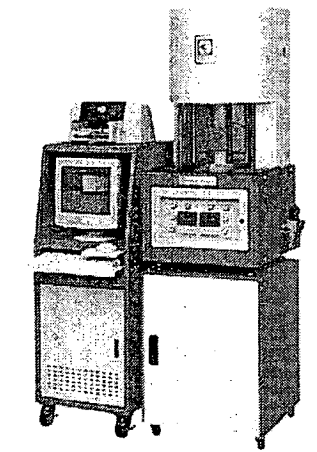
3) เครื่องรีโอมิเตอร์แบบแผ่นหมุน (Oscillating Disk Rheometer, ODR) เป็นเครื่องรุ่น ODR 2000 ใช้โรเตอร์แบบ Biconical Disk ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3993 นิ้ว หมุนกลับไปมา ทำมุม 1° ด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที สามารถปรับอุณหภูมิการทดสอบได้สูงสุดที่ 200 องศาเซลเซียส ผลิตโดย บริษัท Monsanto Co.,Ltd ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้สำหรับวิเคราะห์สมบัติการวัลคาไนซ์ (Cure properties) ของยางคอมปาวด์ ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบแผ่นหมุน (Oscillating Disk Rheometer, ODR)

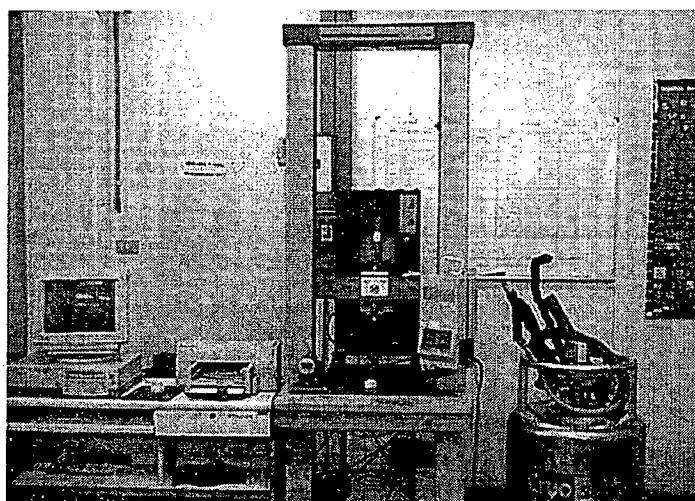
4) เครื่องมูนีวิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer) รุ่น Viscal ผลิตโดย Tech Pro Co., Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้วัดความหนืดมูนีของยาง ประกอบด้วยแผ่นโลหะที่หมุนในยาง สามารถควบคุม

อุณหภูมิได้ วัดแรงบิดที่เกิดขึ้นในการหมุนของแผ่นโลหะในยาง ด้วยความเร็วคงที่ 2 รอบ/นาที การทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้โรเตอร์ขนาดเล็กในการทดสอบ ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 7



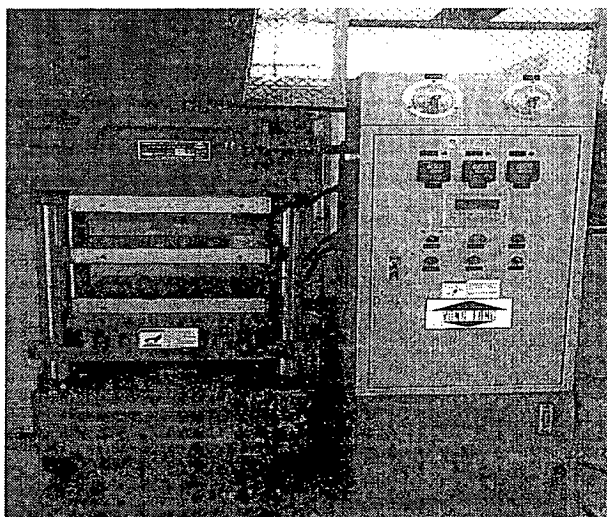
รูปที่ 7 เครื่องมูนีวิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer)

5) เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensometer) เป็นเครื่องยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H 10KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment ประเทศอังกฤษ ใช้วัดแรงดึง สามารถรับแรงได้สูงสุด 10 KN มี load cell ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากค่าแรงที่ได้ผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นค่าแรงดึงในหน่วยนิวตัน สามารถตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.001-1000 มิลลิเมตรต่อนาที ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 8



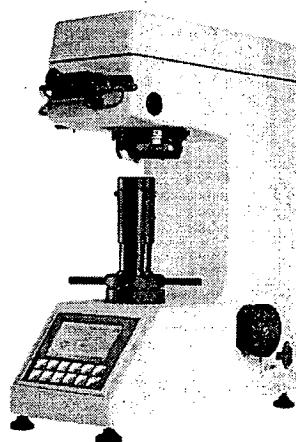
รูปที่ 8 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensometer)

6) เครื่อง Compression Molding รุ่น G30H-15-CX เป็นเครื่องสำหรับอัดยางเข้าแบบพิมพ์ โดยใช้ระบบไฮดรอลิก ให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า มี 2 ชั้น แต่ละชั้นมีขนาด 20x20 นิ้วผลิตโดยบริษัท Wabash ประเทศสหรัฐอเมริกา ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 9



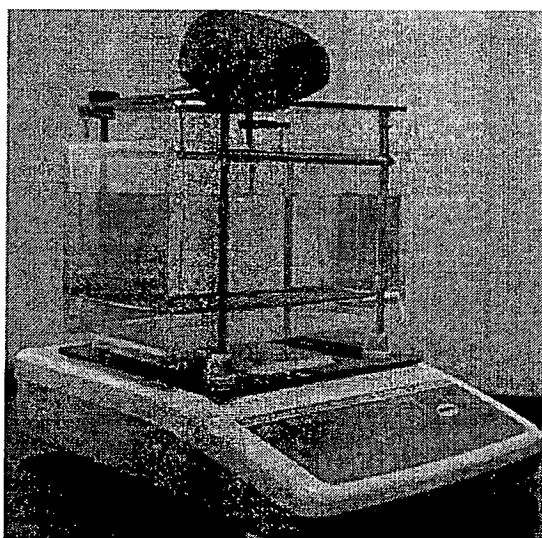
รูปที่ 9 เครื่องอัดเบ้า (Compression Molding)

7) เครื่องวัดความแข็ง (Hardness Tester) เป็นเครื่องหาความแข็งเทียบกับพื้นที่หน้าตัดโดยใช้แบบ Shore Durometer ความแข็งที่ทดสอบได้มีหน่วยเป็น Shore A ผลิตโดย Cogenix, Wallace ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 10



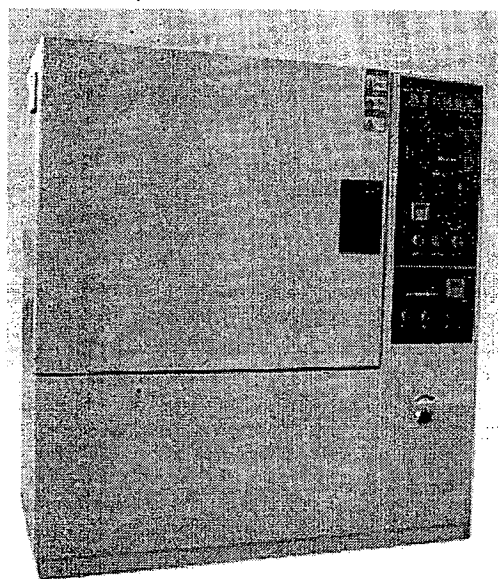
รูปที่ 10 เครื่องวัดความแข็ง (Hardness Tester)

8) เครื่องหาความหนาแน่นของชิ้นงาน (Electronic Densimeter) รุ่น MD-200S เป็นเครื่องมือสำหรับหาความหนาแน่นของยาง, ผลิตโดย Mirage ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 11



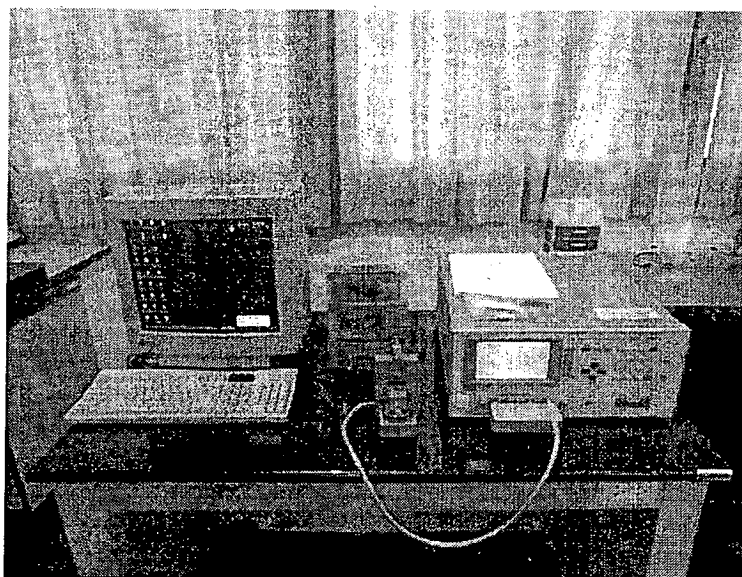
รูปที่ 11 เครื่องหาความหนาแน่นของชิ้นงาน (Electronic Densimeter)

9) ตู้อบบ่มเร่ง (Thermal ageing) สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วงตั้งแต่ อุณหภูมิห้องจนถึง 300 องศาเซลเซียส ใช้ในการบ่มเร่งยางเพื่อทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 12



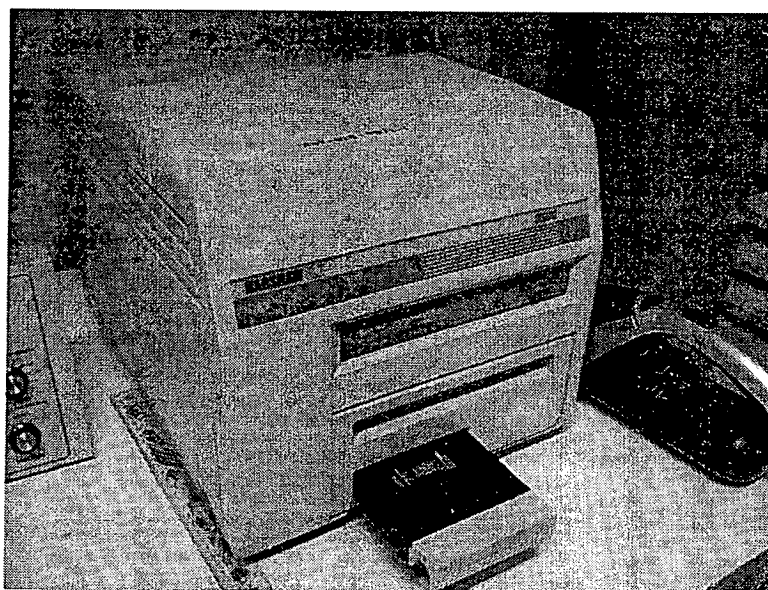
รูปที่ 12 ตู้อบบ่มเร่ง (Thermal ageing)

10) เครื่องทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า (Precision LCR meter) เป็นเครื่องของ Agilent รุ่น 4285A มีช่วงการใช้งานที่ 75kHz-30MHz และมี probe size 5 mm. ในการดูแลของห้องปฏิบัติการวิจัยนาโนเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 เครื่องทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า

11) เครื่อง Thermoluminescence reader เป็นเครื่องอ่านค่าปริมาณนิวตรอนจากหัววัด TLD-600 และ TLD-700 ยี่ห้อ Harshaw TL Reader 3500 โดยปรับตั้งเครื่องให้อ่านผลที่อุณหภูมิจาก 0-400 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 14

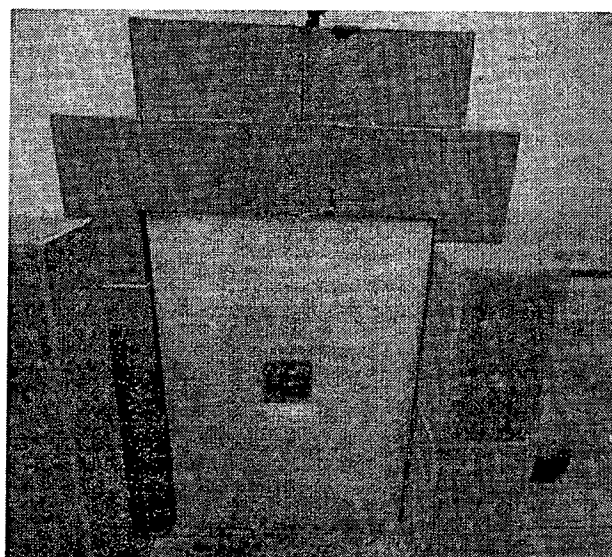


รูปที่ 14 เครื่อง Thermoluminescence reader

12) แหล่งกำเนิดนิวตรอน เป็นนิวตรอนชนิดไอโซโทปบรรจุอยู่ในวัสดุกำบังแบบพาราฟินและปิดเพิ่มด้วยบอริกเอซิกที่บรรจุอยู่ในกล่องไม้ ดังรูปที่ 15 แหล่งกำเนิดนิวตรอนที่ใช้เป็นชนิด $\text{PU}^{238}/\text{Be}^9$ โดยมีลักษณะทั่วไปดังนี้ แหล่งกำเนิดนิวตรอนมีส่วนผสมของธาตุพลูโตเนียม 93% ทั้งหมดถูกบรรจุอยู่ในภาชนะรูปทรงกระบอกทำจากโลหะสแตนเลสหนา 2 ชั้นคือ ชั้นใน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.48 เซนติเมตร สูง 7.4 เซนติเมตร ชั้นนอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 เซนติเมตร สูง 7.4 เซนติเมตร และมีความแรงรังสีเท่ากับ 14.5 Ci (ณ ปี 2555)

2.4.3 การเตรียมชิ้นยางทดสอบ

1.1 เตรียมยางธรรมชาติผสมกรดบอริก ที่อัตราส่วนยางธรรมชาติต่อบอริกที่ระดับต่างๆโดยเพิ่มบอริกครั้งละ 10 phr (100/0, 100/10, 100/20, 100/30, 100/40, 100/50, 100/60) การเตรียมวัสดุกำบังนิวตรอนโดยวัสดุคาน้ำด้วยระบบก้ำมะกัณ รายละเอียดการผสมยางและสารเคมีแสดงดังตารางที่ 1 ทำการผสมยางกับสารเคมีโดยใช้เครื่องผสมยางแบบปิด ตามวิธีมาตรฐาน ASTM-D3184-89 (2000) ซึ่งมีลำดับขั้นตอนและระยะเวลาแสดงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 กล่องพาราฟินบรรจุแหล่งกำเนิดนิวตรอนเพื่อทดสอบชิ้นตัวอย่าง

1.2 ตัดชิ้นยางผสมสารเคมี (Rubber Compound) ที่ได้ไปหาเวลาการสุกของยางด้วยเครื่อง Oscillating Disc Rheometer (ODR) จะได้กราฟระหว่าง Torque กับ Time นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา T_{90} จากสมการ

$$T_{90} = T_{\min} + (T_{\max} - T_{\min}) 0.9$$

นำค่า T_{90} ที่ได้ไปพล็อตกราฟเพื่อหาเวลาการสุกของยาง

ตารางที่ 1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการคอมปาวด์

ยางและสารเคมี	ระบบกำมะถัน ปริมาณ (phr)
ยางธรรมชาติ (RSS NO.3)	100
สารตัวเติม (เขม่าดำ, N330)	40
น้ำมันพาราฟินิก (Paraffinic oil)	10
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)	5
กรดสเตียริก (Stearic acid)	2
2,2,4- ไตรเมททิล-1,2-ไดไฮโดรควิโนลีน (TMQ)	1
สารตัวเร่ง (MBTS)	1
กำมะถัน (Sulfur, S ₈)	2
Borax	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60

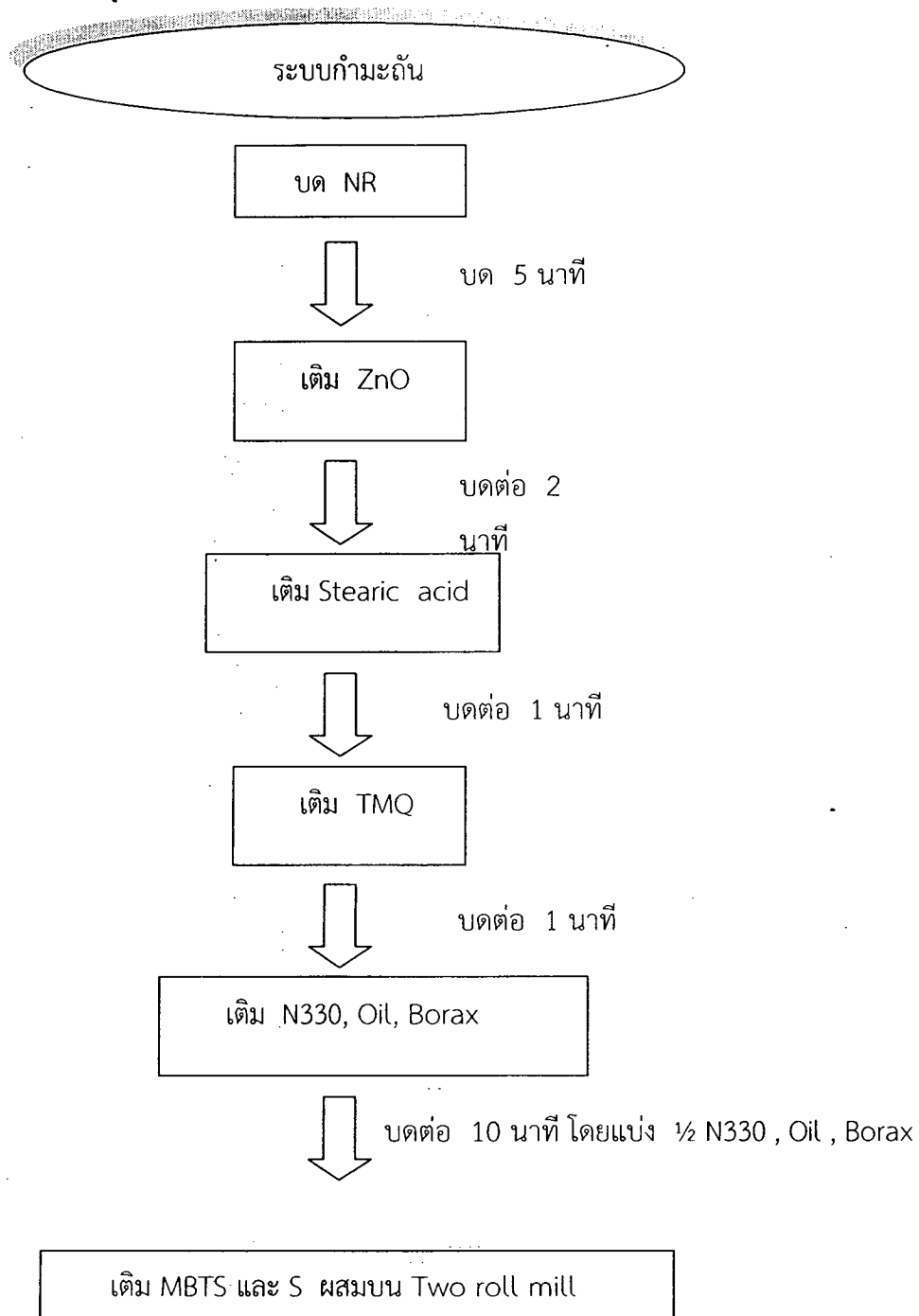
1.3 นำยางผสมสารเคมีไปอัดขึ้นรูปด้วย เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding) โดยแม่พิมพ์ (Mould) ที่ใช้เป็นแม่พิมพ์ที่ใช้อัดขึ้นยางที่ใช้ทดสอบการกำบังนิวตรอนมีขนาดความกว้าง 6 cm ยาว 7 cm และหนา 2.5 cm และ แม่พิมพ์ที่ใช้อัดยางที่ใช้ทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยนำแผ่นยางไปตัดด้วยเครื่องตัดแผ่นยางเป็นรูปดัมเบล กระบวนการวัลคาไนซ์ขึ้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 16

2.4.4 ทดสอบสมบัติการกำบังนิวตรอน สมบัติเชิงกลและสมบัติทางไฟฟ้าของขึ้นยาง

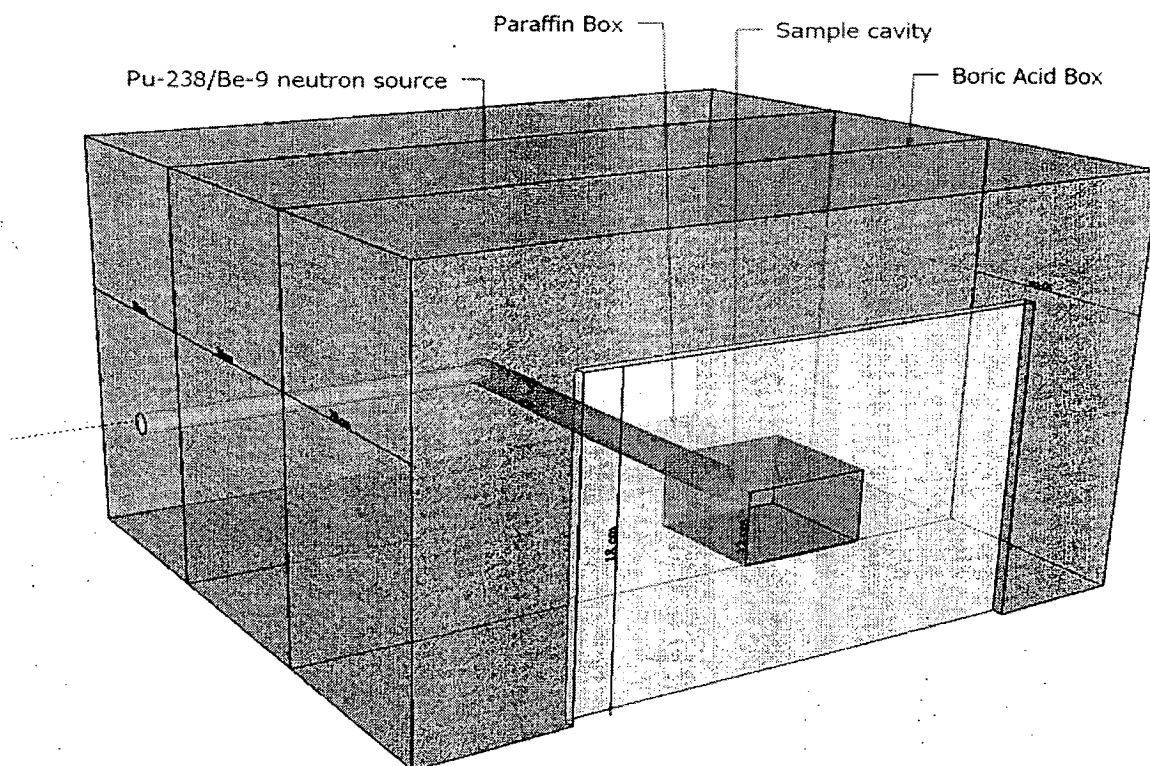
การตรวจวัดการกำบังนิวตรอนด้วยหัววัด TLD-600 และ TLD-700

(1) จัดวางชิ้นตัวอย่างให้อยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา กับหัววัด TLD-600 TLD-700 ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยวางในช่องวางตัวอย่างของระบบทดสอบการกำบังนิวตรอนดังรูปที่ 17 ทำการบันทึกค่าปริมาณรังสีที่ตกกระทบหัววัดในเวลา 30 นาทีเมื่อไม่มีวัสดุกำบังและเมื่อมีวัสดุกำบัง 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้นตามลำดับ โดยที่ความหนาเท่ากับ 0 cm, 2.5 cm, 5 cm และ 7.5 cm ตามลำดับ

(2) นำผลการวัดปริมาณนิวตรอนที่ได้ (ผลต่างของพื้นที่ใต้กราฟจาก TLD-600 และ TLD-700 ตามรูปที่ 3) ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีที่หัววัดได้รับกับความหนาของวัสดุกำบังเพื่อหาค่าภาคตัดขวางมหภาคของวัสดุที่ผลิตได้



รูปที่ 16 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุกำบังนิวตรอนวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน



รูปที่ 17 ระบบทดสอบการกำบังนิวตรอนของชิ้นตัวอย่าง

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นยาง

สมบัติทางกายภาพของชิ้นยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์โดยใช้บอแรกซ์เป็นสารตัวเติมที่จะใช้ในการทดสอบ คือ สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) สมบัติความยาวยืดเมื่อขาด (Elongation at break) มอดุลัส (Modulus) ความแข็งของยาง (Hardness) และสมบัติการนำไฟฟ้าโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการดึง (Tensile testing machine)

(1) นำแผ่นยางที่ตัดเป็นรูปดัมเบล มาวัดความหนา ความกว้างด้วยเครื่องมือโครมิเตอร์ดิจิตอล โดยใช้ดัมเบล 6 ตัว ต่อหนึ่งตัวอย่างมาใช้ในการทดสอบ

(2) นำตัวดัมเบลมาติดตั้งด้วยเครื่อง Tensile testing machine ซึ่งควบคุมให้ทำงานด้วยระบบของตัวเอง ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกลในด้านการยืดดึง โดยการทดสอบจะทำที่อุณหภูมิห้อง โดยกำหนดระยะระหว่างหัวจับชิ้นงานซึ่งจะมี Grips จับยางเป็นแบบอัดโนมัดติ (self-tightening) เป็นความยาวก่อนยืด (L_0) เท่ากับ 50 มม. และแรงดึงจะสม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน เมื่อดึงยางขึ้น แรงดึงยางจะมากขึ้นจนยางถูกดึงจนขาดและจะต้องทำให้ยางขาดบริเวณตรงกลางชิ้นงาน นำค่าที่ได้ซึ่งมีข้อมูลของ Extension (mm) , Force(N) , Thickness (mm) width (mm) ไปคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้

1) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

ความต้านทานต่อแรงดึงหรือความเค้นเนื่องจากการดึง คือ แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

เมื่อ F คือ แรงดึงสูงสุดเมื่อถูกดึงจนขาดหน่วยเป็น นิวตัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นยาง หน่วยเป็น ตารางเมตร

σ คือ ความเค้นเนื่องจากการดึง หน่วยเป็น ปาสคาล (Pa)

2) ความยาวยืดเมื่อขาด (Elongation at Break)

เมื่อให้แรงดึงอย่างสม่ำเสมอจนทำให้ความยาวของยางเพิ่มขึ้นจนยางขาด สามารถที่จะหาเปอร์เซ็นต์ของความยาวยืดจนขาด เทียบกับความยาวเดิม ได้จากสมการ

$$\% \varepsilon = \frac{(L - L_0)}{L_0} \times 100$$

เมื่อ $\% \varepsilon$ คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนรูปร่างตามยาวเนื่องจากการดึง

L คือ ความยาวของแผ่นยางเมื่อถูกดึงจนขาด

L_0 คือ ความยาวของแผ่นยางก่อนถูกดึง

3) มอดุลัส (Modulus)

มอดุลัส คือ สมบัติในการต้านการเปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากการดึง ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียด ตามสมการ

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{หน่วย (Pa)}$$

เมื่อ σ คือ ความเค้นเนื่องจากการดึง

ε คือ ความเครียดเนื่องจากการดึง

2. การทดสอบความแข็งของยางด้วยเครื่อง Shore Durometer Type A

ความแข็งของยางสามารถวัดได้โดยเครื่อง Shore Durometer Type A หรือชอร์ A (shore A) เป็นสเกลที่นิยมใช้มากที่สุดในการวัดความแข็งของยางคงรูป (Vulcanized rubber) ในการทดสอบเมื่อแป้นกดของ Durometer ถูกกดให้สัมผัสแนบสนิทกับผิวหน้าของยางชิ้นทดสอบ เข็มกดของเครื่องทดสอบจะเจาะลงไปบนผิวหน้าของชิ้นยางทดสอบ ในขณะเดียวกันผิวหน้าของชิ้นยางทดสอบก็จะออกแรงต้าน (แรงต้านที่เกิดจากการที่ทำให้ยางเกิดการเปลี่ยนรูปทรง) ทำให้เข็มกดยุบตัวพร้อมกับออกแรงไปดันสปริงซึ่งติดอยู่ที่เข็มกดให้เคลื่อนที่ โดยระยะเคลื่อนที่ของสปริงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงต้านของผิวหน้าของยางชิ้นทดสอบที่กระทำต่อเข็มกด โดยทั่วไปมาตรฐานการทดสอบจะกำหนดให้อ่านค่าความแข็งของยางภายใน 1 วินาที ภายหลังจากที่หัวกดสัมผัสแนบสนิทกับผิวหน้าของชิ้นยางทดสอบ

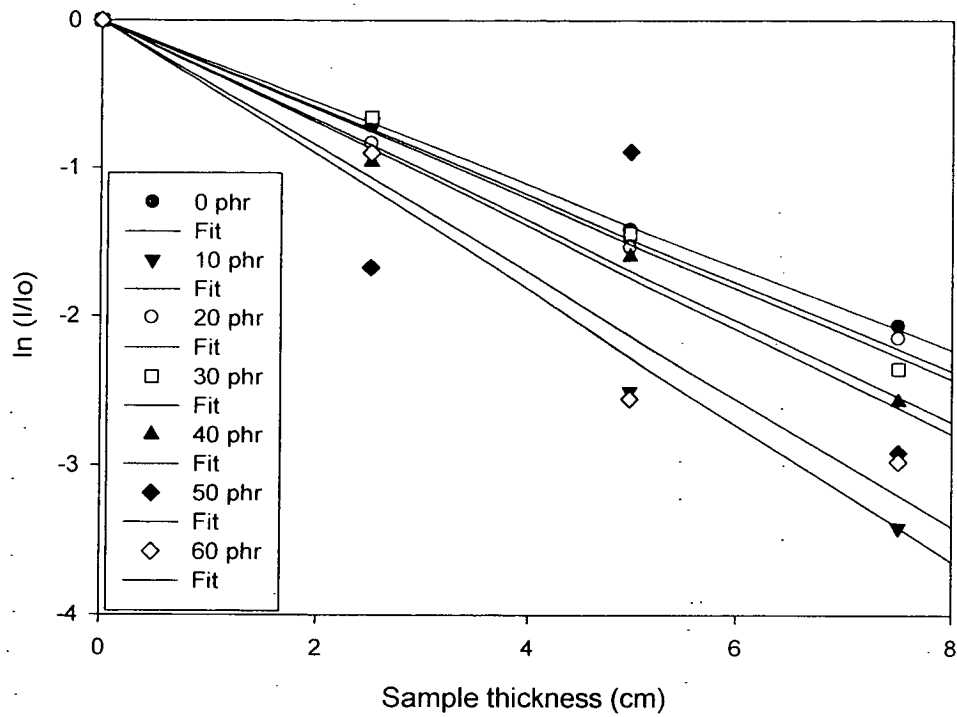
การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นยาง

ชิ้นยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์โดยใช้บอแรกซ์เป็นสารตัวเติมที่จะใช้ในการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าเป็นตัวอย่างชุดเดียวกับที่เตรียมไว้ทดสอบสมบัติการกำบังนิวตรอนโดยนำตัวอย่างดังกล่าวมาตรวจวัดด้วยเครื่อง Precision LCR meter ของ Agilent รุ่น 4285A ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 10

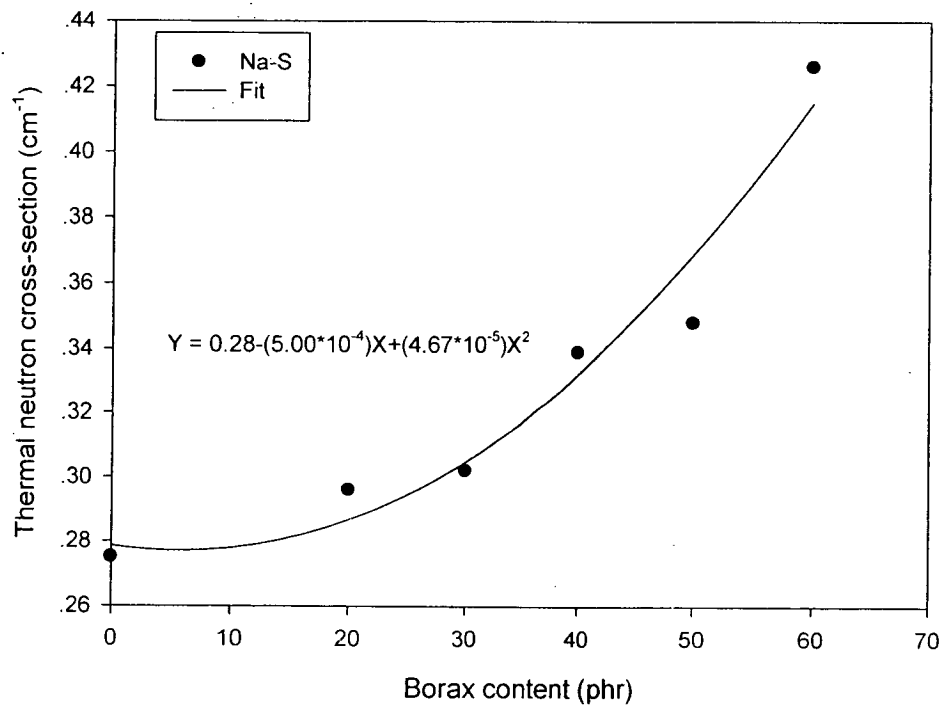
2.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

2.5.1 ผลการกำบังนิวตรอนและค่าภาคตัดขวางที่ได้จากตัวอย่างที่มีปริมาณบอแรกซ์ต่างๆ

ผลการศึกษาตัวอย่างยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์ที่มีปริมาณบอแรกซ์จาก 0 – 60 phr เมื่อนำมากำบังนิวตรอนและตรวจวัดปริมาณนิวตรอนที่ผ่านวัสดุกำบังด้วยหัววัด TLD-600 และ TLD-700 โดยที่แต่ละช่วงการผสมตัวอย่างที่ได้จะทำการเพิ่มความหนาของชิ้นวัสดุกำบังเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงกราฟของค่า $\ln(I/I_0)$ กับค่าความหนาของวัสดุกำบังผลการวัดที่ได้แสดงในรูปที่ 18 โดย slope ของกราฟในรูปที่ 18 คือค่า Σ ของวัสดุกำบังที่เตรียมได้แต่ละ phr และนำค่า Σ ไปเขียนกราฟที่เป็นฟังก์ชันกับปริมาณบอแรกซ์ แสดงในรูปที่ 19



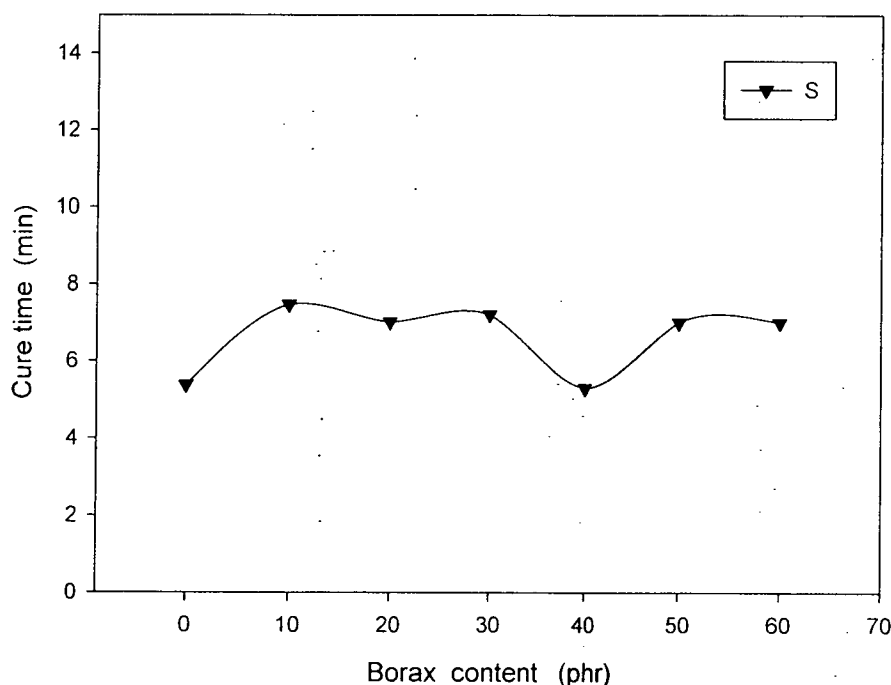
รูปที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(I/I_0)$ กับความหนาของวัสดุกำบังที่มีบอแรกซ์แตกต่างกัน



รูปที่ 19 ค่าภาคตัดขวางมหภาค (cross-section) ของวัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตได้

2.5.2 สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์เมื่อวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน

เมื่อเตรียมตัวอย่างโดยการเพิ่มสารตัวเติม Borax ในสัดส่วน 10-60 phr ด้วยอัตราการเพิ่มขึ้น 10 phr โดยทำการทดสอบ cure time ได้ผลดังแสดงในกราฟที่ 20 คือได้ค่า cure time อยู่ที่ 8 นาทีที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และเพื่อให้ทราบผลของสมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า จึงนำตัวอย่างที่ เตรียมได้ส่วนหนึ่งมาทดสอบสมบัติต่างๆดังนี้



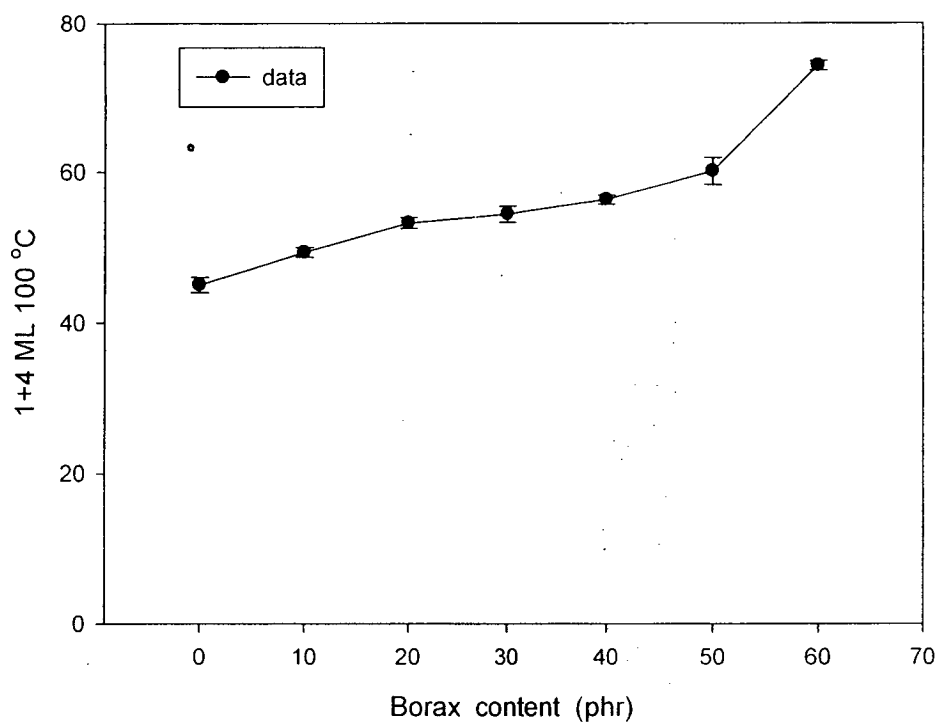
รูปที่ 20 cure time ของชิ้นทดสอบที่ปริมาณบอแรกซ์ต่างกัน

1. ค่าความหนืดของยางผสมบอแรกซ์

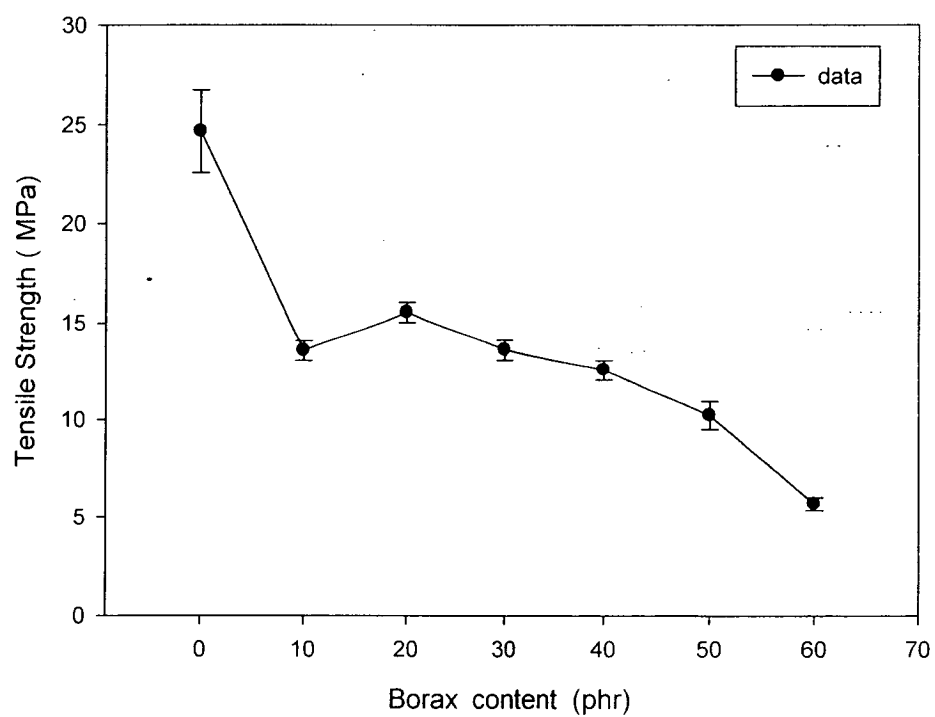
นำยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์ที่เก็บไว้ 24 ชั่วโมงไปทดสอบหาค่าความหนืดโดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 1 นาที และทดสอบ 4 นาที อ่านค่าความหนืดที่ได้ ผลแสดงดังรูปที่ 21 ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อใส่บอแรกซ์ในยางมากขึ้นเนื่องจากบอแรกซ์จะเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลยางเพิ่มขึ้น

2. ค่าความทนทานต่อแรงดึง

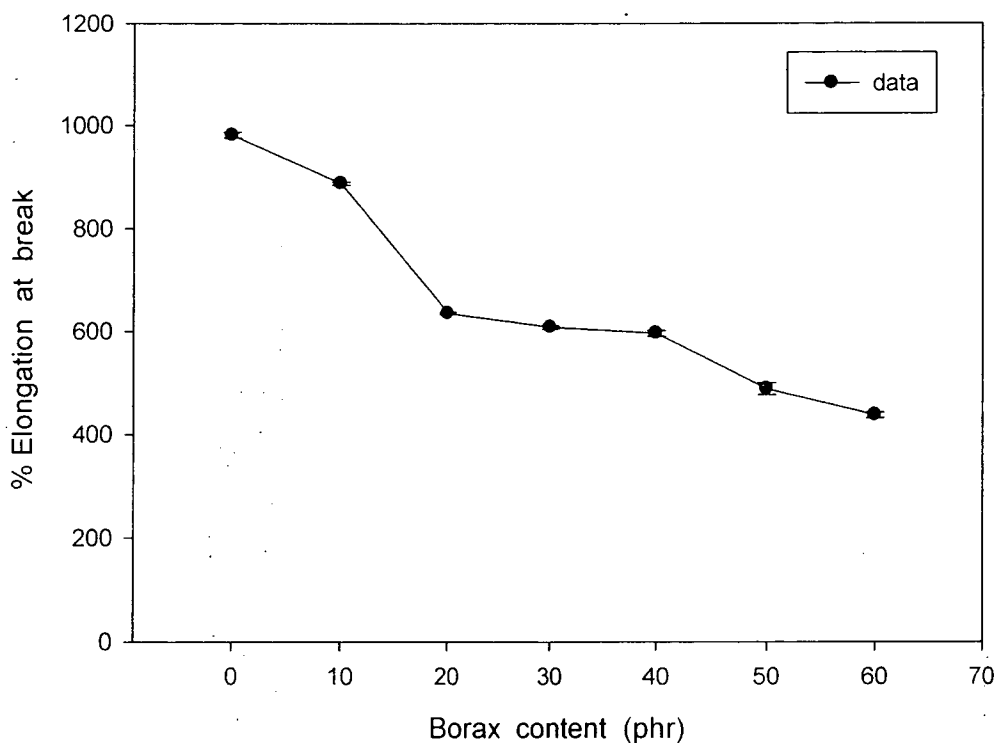
ความทนทานต่อแรงดึงของยางผสมบอแรกซ์ที่ปริมาณ 0-60 phr วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (รูปที่ 22) ผลที่ได้พบว่าค่าความทนทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณบอแรกซ์ที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 21 ผลของค่าความหนืดกับปริมาณบอแรกซ์ที่ปริมาณต่าง ๆ กัน



รูปที่ 22 ความทนทานต่อแรงดึงจนขาด (tensile strength) ของวัสดุที่เตรียมได้



รูปที่ 23 ความสามารถในการยืดจนขาดของวัสดุที่เตรียมได้

3. ค่าความสามารถในการยืดจนขาด

ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของยางธรรมชาติที่ผสมบอแรกซ์มีค่าลดลงเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้น ผลดังแสดงในรูปที่ 23

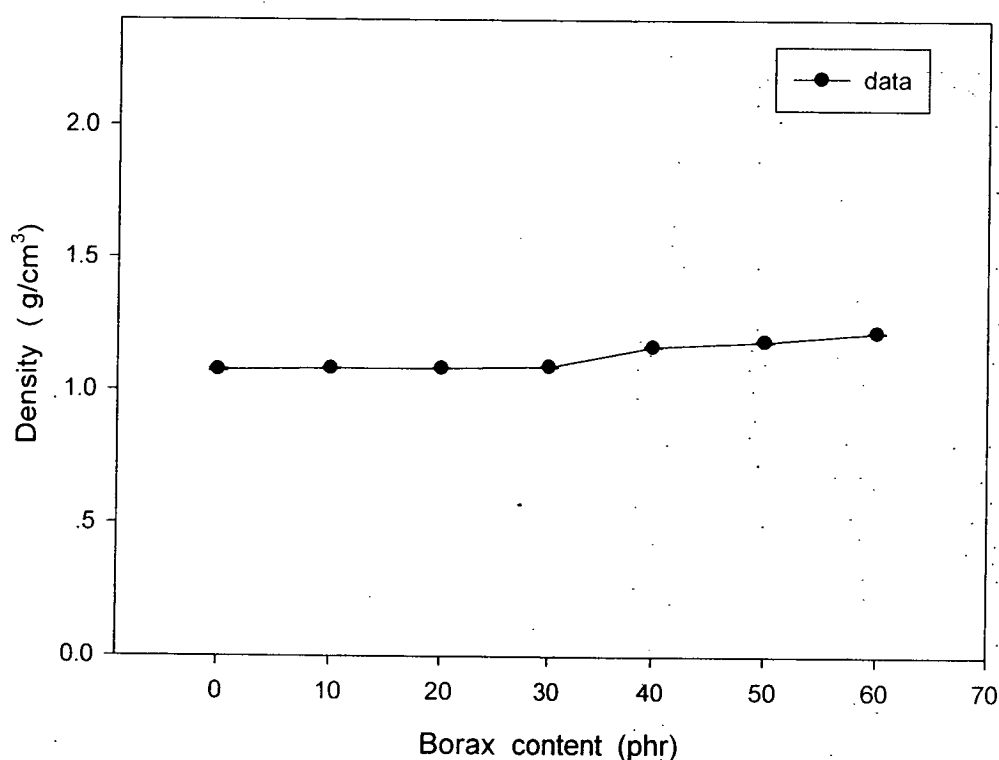
4. ค่าความหนาแน่น

เมื่อเพิ่มปริมาณบอแรกซ์ในยางธรรมชาติมากขึ้น ความหนาแน่นของวัสดุที่เตรียมได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 24

5. สมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)

การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์ระบบกำมะถันในอัตราส่วน 100/0, 100/10 100/20 ,100/30 ,100/40 ,100/50และ 100/60 โดยการเตรียมขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D624-98 ตัดชิ้นงานเป็นแบบ (Angle ASTM DIE C) แล้วนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensile resistance tester ที่อุณหภูมิห้องใช้ Load cell 500 นิวตัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวจับ 500 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์ แสดงดังรูปที่ 25 พบว่าเมื่อเติมบอแรกซ์เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของวัสดุที่ได้ลดลง เนื่องจากบอแรกซ์ไม่สามารถเชื่อมเฟสของยางธรรมชาติได้หรือเนื่องจากพันธะระหว่างอนุภาคบอแรกซ์และโมเลกุลยางไม่แข็งแรงจึงทำให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง

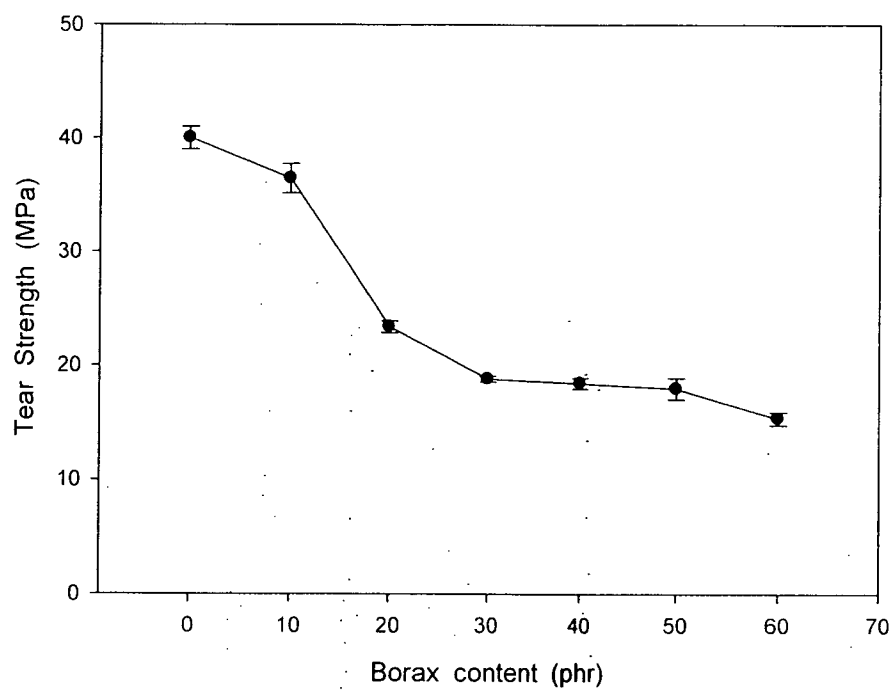
ผลการวัดค่า Tensile Strength และ Tear Strength ของยางที่เติมบอแรกซ์ซึ่งเป็น filler ให้ผลต่ำกว่ายางที่ไม่เติม filler เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมปริมาณมากครั้งละ 10 phr ผสมไปในยาง ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติม filler-filler interaction สูงจนทำให้อันตรกิริยาระหว่างยางและสารตัวเติม Rubber-filler interaction ลดลง จึงมีผลให้ค่า Tensile Strength และ Tear Strength ของตัวอย่างที่เติม filler ต่ำกว่ายางที่ไม่ได้เติม filler



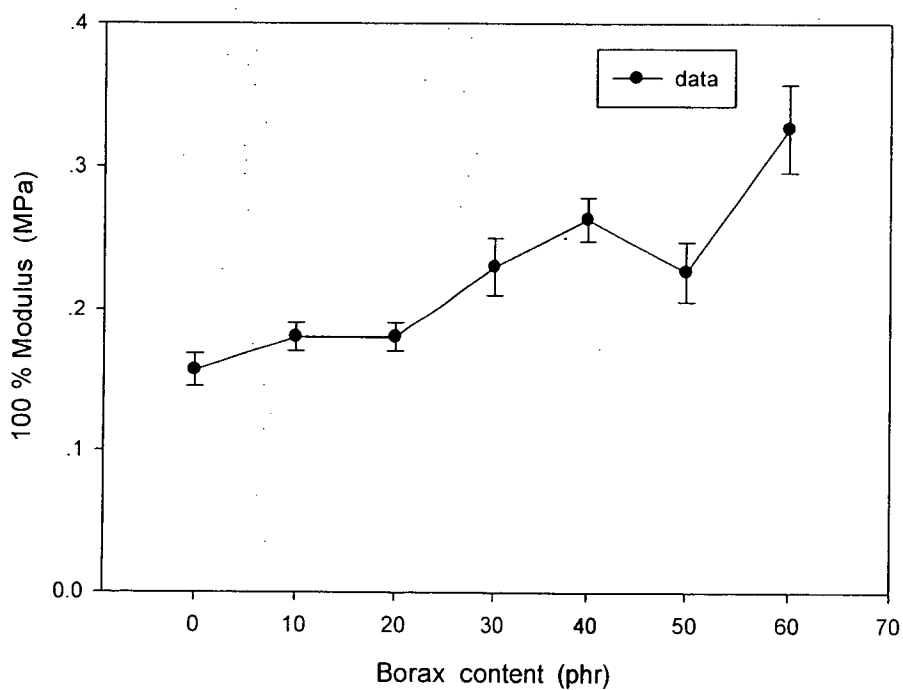
รูปที่ 24 ค่าความหนาแน่นของวัสดุที่เตรียมได้กับปริมาณบอแรกซ์ที่ใช้

6. ค่ามอดูลัส

ค่ามอดูลัสมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณบอแรกซ์มากขึ้นมอดูลัสก็จะมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 26
ค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 100% ของยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของบอแรกซ์ เนื่องจากโมเลกุลของยางเกิดการเคลื่อนที่ได้ยากขึ้นเพราะจะถูกจำกัดการเคลื่อนที่ไว้โดยอนุภาคบอแรกซ์โดยจะสอดคล้องกับความแข็ง



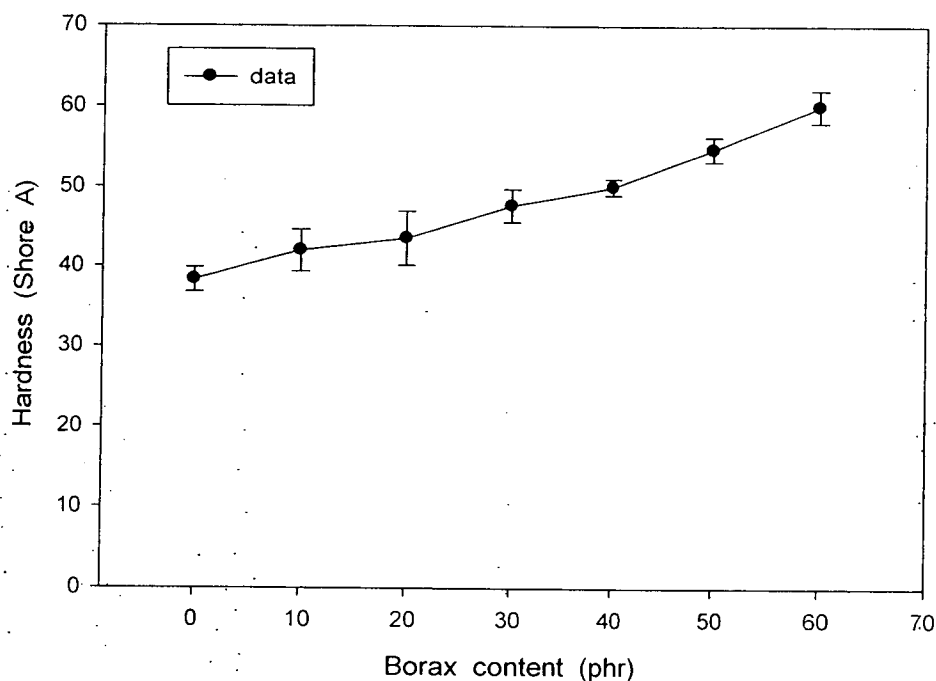
รูปที่ 25 ความต้านทานต่อการฉีกขาดของวัสดุที่เตรียมได้



รูปที่ 26 ค่าโมดูลัสที่ 100% กับปริมาณบอแรกซ์ที่ปริมาณต่างๆ

7. ค่าความแข็ง

ความแข็งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240-97 โดยใช้เครื่อง Durometer Hardness (Shore A) ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง โดยวางชิ้นงานที่มีความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร บนแท่นทดสอบ ทำการทดสอบ ชิ้นงานตัวอย่างห้าตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งใช้เวลา 30 วินาที เพื่อหาค่าเฉลี่ย ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 27

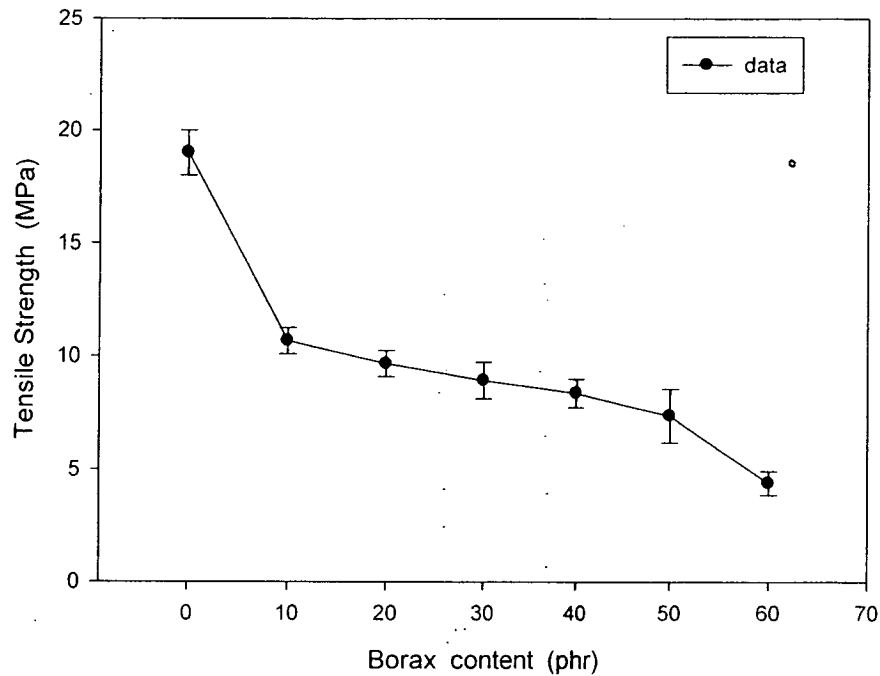


รูปที่ 27 ค่าความแข็งของวัสดุที่เตรียมได้กับปริมาณบอแรกซ์ที่ปริมาณต่างๆ

ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาคบอแรกซ์ไปกีดขวางการเคลื่อนที่ของโซโม่เลกุลยาง เมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้น ความยืดหยุ่นของยางก็น้อยลง ทำให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น

8. การทดสอบความต้านทานต่อการถูกบ่มเร่งด้วยความร้อน (Aging property)

นำชิ้นทดสอบยางวัลคาไนซ์รูปดัมเบลวางในตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D412-51T เมื่อครบกำหนดวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบค่าเทนไซล์ ผลของการทดสอบได้แสดงดังรูปที่ 28 ค่าเทนไซล์จากรูปที่ 28 เมื่อเทียบกับรูปที่ 22 ซึ่งเป็นชิ้นทดสอบที่ไม่ได้บ่มเร่งพบว่าค่าเทนไซล์ภายหลังการบ่มเร่งจากรูปที่ 28 มีค่าต่ำกว่าที่ทุกค่า phr เดียวกัน แสดงว่าในขณะบ่มเร่งด้วยความร้อนเกิดการสลายพันธะเชื่อมขวางที่เกิดขึ้นในยางและการตัดสายโซโม่เลกุลยางจึงส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลหลังบ่มเร่งลดลงตามลำดับ



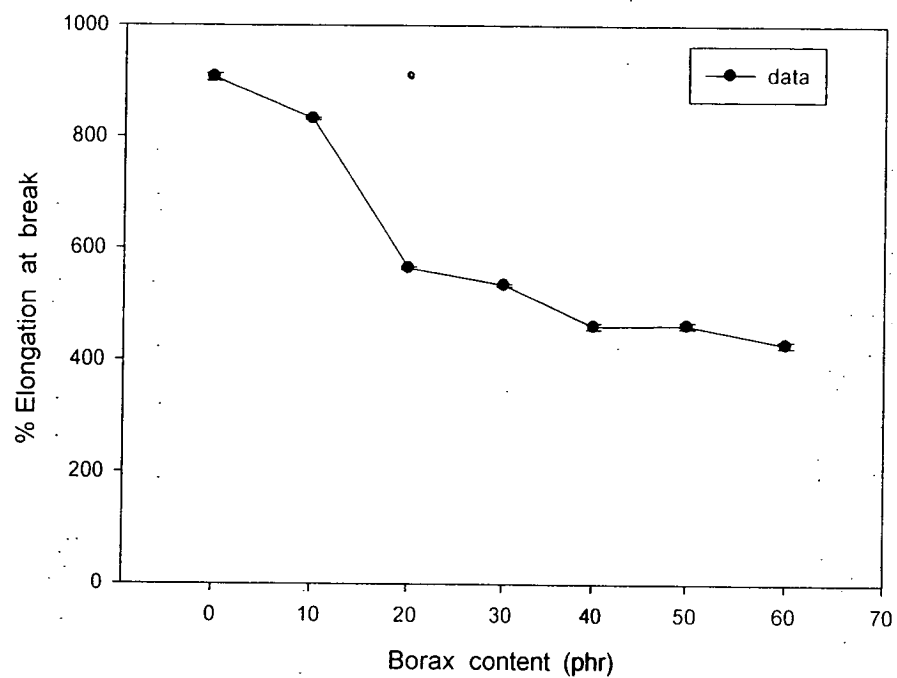
รูปที่ 28 ค่าเทนไซล์ของขึ้นตัวอย่างหลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

9. ค่าความสามารถในการยึดจนขาดหลังบ่มแรง

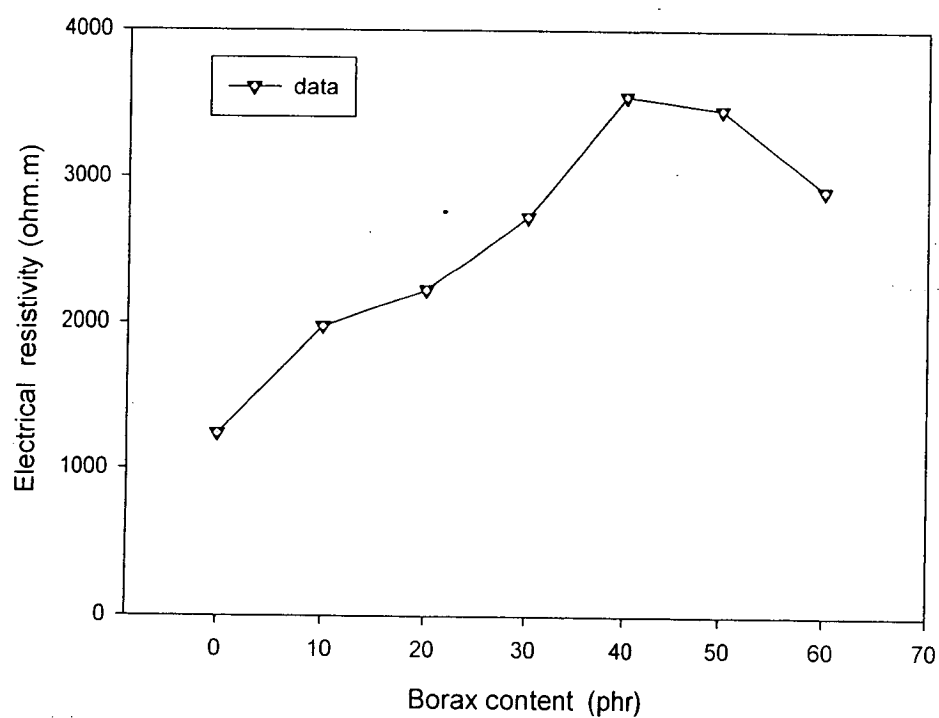
ความสามารถในการยึดจนขาดของยางผสมบอแรกซ์ปริมาณที่ใช้ 0-60 phr จะเห็นว่าค่าความสามารถในการยึดจนขาดภายหลังการบ่มแรงมีแนวโน้มลดลงดังแสดงในรูปที่ 29 และเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟในรูปที่ 22 พบว่าค่าความสามารถในการยึดจนขาดของวัสดุที่เตรียมได้มีค่าลดลงจากตัวอย่างที่ไม่บ่มแรงที่ระดับ phr เดียวกันแสดงให้เห็นว่าความร้อนมีผลให้เกิดการสลายพันธะเชื่อมขวางที่เกิดขึ้นในยาง

2.5.3 สมบัติเชิงไฟฟ้าของยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์เมื่อวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน

ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์ที่ผ่านการวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันดังกราฟรูปที่ 30 ให้ผลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมาตกลงอีกครั้งเมื่อปริมาณบอแรกซ์มากขึ้นถึง 40 phr เป็นต้นไป แต่ก็ลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 40-60 phr จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่เตรียมได้ยังคงมาสภาพความเป็นฉนวนที่ดีเหมาะที่จะใช้ในการกำบังส่วนของหลอดนิวตรอนซึ่งมีส่วนของไฟฟ้าศักย์สูงป้อนอยู่ตลอดช่วงการใช้งาน



รูปที่ 29 ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของชิ้นตัวอย่างหลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 30 สมบัติทางไฟฟ้าของยางผสมบอแรกซ์ซึ่งวัดค่าในชุดด้วยระบบก้ำมะถัน

2.6 สรุปผล

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่ายางธรรมชาติที่ผสมบอแรกซ์เป็นสารตัวเติมมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับสมบัติค่าความแข็งแรงและความหนืดที่เพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกันเมื่อปริมาณบอแรกซ์มากขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงดึง ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดและค่าความสามารถในการยืดจนขาดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้น ส่วนค่ามอดูลัส (100% มอดูลัส) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงว่าขึ้นตัวอย่างทนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดี ส่วนสมบัติทนทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดด้อยลงเมื่อขึ้นตัวอย่างถูกบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100 เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สมบัติทางไฟฟ้ามีความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเนื่องจากค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้นและไปลดต่ำลงเพียงเล็กน้อยที่ปริมาณบอแรกซ์ 40-60 phr ส่วนค่าภาคตัดขวางมหภาค (cross section) ของตัวอย่างที่เตรียมได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณบอแรกซ์ที่เติมในยางธรรมชาติด้วยสมการดังนี้

$$Y = 0.28 - (5.00 \times 10^{-4})X + (4.67 \times 10^{-5})X^2$$

เมื่อ X คือปริมาณบอแรกซ์ในหน่วย phr Y คือ ค่าภาคตัดขวางมหภาคของขึ้นตัวอย่างหน่วย (cm^2) ค่าภาคตัดขวางที่ได้ก็นำไปใช้ในการออกแบบผนังกำบังนิวตรอนตามวัตถุประสงค์ของงานแต่ละอย่างต่อไป

2.7 ข้อเสนอแนะ

วัสดุกำบังนิวตรอนที่ดีจะต้องมีค่าภาคตัดขวางมหภาคสูงในงานทางห้องปฏิบัติการจึงมักใช้โบรอนที่อยู่ในรูปแบบสารเคมีที่มีราคาถูกที่สุดคือการใช้บอริกเอซิกบรรจุในกล่องไม้เพื่อกำบังโดยตรง แต่เมื่อต้องการวัสดุที่มีการออกแบบให้มีรูปร่างตามความต้องการที่หลากหลายและมีความทนทานต่อแรงที่มากกระทำมากขึ้น การเลือกผลิตวัสดุที่อยู่ในรูปการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติผสมบอแรกซ์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งแม้ว่าบอแรกซ์จะซื้อหาได้ยากและแพงกว่าบอริกเอซิกแต่เพราะบอริกเอซิกเมื่อผสมในยางธรรมชาติและวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันตัวอย่างที่ได้จึงไม่สุกหรือเกิดการวัลคาไนซ์ที่ไม่สมบูรณ์ขึ้น ดังนั้นความเข้ากันได้ของสารตัวเติมที่มีสมบัติกำบังนิวตรอนกับสารเคมีอื่นๆเพื่อการวัลคาไนซ์ก็เป็นส่วนที่ต้องพิจารณาอีกทางหนึ่งเช่นกัน

2.8 เอกสารอ้างอิง

1. S.E. Gwaily, M.M. Badawy, H.H. Hassan and M. Madani 2002a Natural rubber composites as thermal neutron radiation shields I. B4C/NR composites. Polymer Testing 21: 129-133.
2. S.E. Gwaily, M.M. Badawy, H.H. Hassan and M. Madani 2002b Natural rubber composites as thermal neutron radiation shields II. H3BO3/NR composites. Polymer Testing 21: 513-517.
3. สราวุฒิ พรหมเมศร (2545) วัสดุกำบังนิวตรอนที่สามารถขึ้นรูปได้ วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. S.I. Bhuiyan, F.U. Ahmed, A.S. Mollah and M.A. Rahman 1989 Studied of the Neutron Transport and Shielding Properties of Locally Developed Shielding Material: Poly-Boron. Health Physics. 57(5): 819-824.

5. Samir Abdul-majid and Fadel Othman 1994 Neutron Attenuation Characteristics of Polyethylene, Polyvinyl Chloride, and Heavy Aggregate Concrete and Mortars. *Health Physics*. 66(3): 3327-3338.
6. Waleed H. Abulfaraj 1994 Special Concrete Shield Selection Using the Analytic Hierarchy Process. *Nuclear Technology*. 107(2): 215-226.
7. Reinhard Erast Vogel 1971 Shape Polymeric Shield Against Neutron and Gamma Radiation. US patent 3609372.
8. Kenneth T. Faler 1968 Castable Neutron Shield. US patent 3471414.

แบบสรุปโครงการวิจัย

สัญญาเลขที่ RDG5350056

ชื่อโครงการ วัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติ
ผสมสารตัวเติม

หัวหน้าโครงการ ดร.สมหมาย ช่างเขียน สถาบัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

โทรศัพท์ 073-313931 ต่อ 1833 โทรสาร 073-335130 E-mail: csommaib@bunga.pn.psu.ac.th

ความสำคัญ/ความเป็นมา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกและมีการส่งออกยางธรรมชาติไปขายยังต่างประเทศเป็นรายใหญ่ที่สุดตั้งแต่ปี พ.ศ.2534 เป็นต้นมา โดยส่วนใหญ่ประมาณ 90% เป็นการส่งออกในรูปยางดิบ และประมาณ 10% ของยางที่ผลิตใช้สำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในประเทศและส่งออก ดังนั้นการเพิ่มมูลค่ายางพาราจึงควรมุ่งเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อการส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์แทนการส่งออกยางดิบให้มากขึ้น ดังนั้นทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องควรจะหันมาให้ความร่วมมือในการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติให้มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง การใช้ประโยชน์จากธาตุกัมมันตรังสีในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (non destructive test) จำเป็นต้องมีวัสดุกำบังรังสีที่ดีเพื่อผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีที่ไม่สูงเกินค่าที่กำหนดตามมาตรฐานความปลอดภัย (Maximum permissible dose) ดังนั้นวัสดุกำบังรังสีจึงมีความสำคัญ โดยจะต้องเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาในการใช้งาน ออกแบบให้มีรูปทรงได้ตามต้องการ และมีสมบัติในการกำบังรังสีแต่ละชนิดได้ดี ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่สามารถนำมาขึ้นรูปให้มีรูปทรงต่างๆได้หลากหลายและมีสมบัติในการกำบังรังสีได้ถ้ามีการผสมวัสดุที่ดูดกลืนรังสีแต่ละชนิดเพิ่มเข้าไปในกระบวนการผลิต ซึ่งมีโอกาสที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติกำบังรังสีที่ดีและลดการนำเข้าวัสดุกำบังรังสีจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อเตรียมวัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติผสมสารตัวเติม

ผลที่ได้รับ	บรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่...	โดยทำให้...
ได้ความสัมพันธ์ของค่า ภาคตัดขวางมหภาคกับปริมาณ บอแรกซ์ที่เป็นสารตัวเติม	1. เพื่อใช้ประโยชน์ยางธรรมชาติ ในระบบกำบังนิวตรอน	ทำให้ออกสูตรยางผสมบอแรกซ์ ได้เหมาะสมกับการออกแบบการ ใช้งานวัสดุกำบังนิวตรอนคือเมื่อ เพิ่มบอแรกซ์มากขึ้น ค่า ภาคตัดขวางมหภาคของวัสดุ กำบังที่ได้จะเพิ่มขึ้น นั่นคือวัสดุ กำบังนิวตรอนที่ได้มี ความสามารถในการกำบัง นิวตรอนได้ดีขึ้นที่ความหนาเท่า เดิม
จากการศึกษาสรุปได้ว่ายาง ธรรมชาติที่ผสมบอแรกซ์เป็นสาร ตัวเติมมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้น ค่า Tensile strength ของยางที่ ผสมบอแรกซ์มีค่าลดลงเมื่อ ปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้น คุณสมบัติความเป็นยางลดลงเมื่อ ปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้นซึ่งเห็นได้ จาก Elongation at break ลดลง ค่า Modulus เพิ่มขึ้นเมื่อ ปริมาณบอแรกซ์เพิ่มขึ้นแสดงว่า วัสดุที่ได้มีการเปลี่ยนรูปร่างยาก ขึ้น และยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ โดยผสมบอแรกซ์มีคุณสมบัติใน การกำบังนิวตรอนได้ดีขึ้นตาม ปริมาณของบอแรกซ์ที่เพิ่มขึ้น	1. เพื่อใช้ประโยชน์ยางธรรมชาติ ในระบบกำบังนิวตรอน	ได้วัสดุกำบังรังสีที่ผลิตจากยาง ธรรมชาติผสมบอแรกซ์ซึ่งมี คุณสมบัติ ยืดหยุ่น ความเป็น ฉนวนไฟฟ้าที่ดี และ มี ความสามารถในการกำบังเทอร์ มัลนิวตรอนได้ดี

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผู้วิจัยมีแผนงานที่จะนำวัสดุกำบังรังสีที่ได้ไปออกแบบเพื่อใช้ในเครื่องตรวจวัดถูระเบิด

การประชาสัมพันธ์

นำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับประเทศ

ภาคผนวก

สรุปข้อคิดเห็นผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ
 “วัสดุกำบังนิวตรอนที่ผลิตจากยางธรรมชาติผสมสารตัวเติม”
 สัญญาเลขที่ RDG5350056

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
1. ปรับวิธีการเขียนบทคัดย่อใหม่ตามข้อเสนอแนะ	1. แก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิตามเอกสารหน้า i และ ii
2. เพิ่มเติมค่าที่ได้จากการวัดในแต่ละสมบัติไว้ในรายงาน	2. ไม่แก้ไขเนื่องจากข้อมูลในการวัดในแต่ละสมบัติได้นำมาวิเคราะห์และแสดงผลเชิงกราฟแล้ว
3. เพิ่มเติมข้อมูล cure time	3. แก้ไขตามข้อเสนอแนะโดยแสดงในกราฟรูปที่ 20 หน้า 26
4. เพิ่มเติมเหตุผลที่ค่า Tensile Strength และ Tear Strength ในยางที่เติม filler ต่ำกว่ายางที่ไม่เติม filler	4. อธิบายในพารากราฟที่แรก หน้า 29
5. ยางที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นยาง Unvulcanised หรือ ยาง Vulcanised	5. แก้ไขตามข้อเสนอแนะโดยแสดงในหัวข้อ 2.4 หน้า 12