บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารไวปฏิกิริยาโพลิไทออลสามชนิดและ 2-Ethyl Hexyl Acrylate ร่วมกับ CCl_4 ศึกษาถึงความสามารถเป็นสารไวปฏิกิริยาของสารดังกล่าว ศึกษาถึงผลของตัวออกซิไดซ์ ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นยางโดยเปรียบเทียบเมื่อใช้สารไวปฏิกิริยาเป็น CCl_4 ศึกษาผลการปรับปรุงคุณภาพในส่วนผสมที่ดีที่สุดโดยการชะละลาย

จากผลการทดลองใช้สารไวปฏิกิริยาต่าง ๆ กันคือ สารโพลิไทออล สามชนิด ได้แก่

1. Pentaerythritol Tetrakis-3-Mercaptopropionate
2. Trimethylol Propane Tris-3-Mercapto Propionate
3. 1,4 Butane Diol Dithiopropionate

สารโมโนฟังค์ชันเนล โมโนเมอร์ หนึ่งชนิดคือ 2Ethyl hexyl acrylate (2EHA) และสารฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอน หนึ่งชนิดคือ Carbon Tetra Chloride (CCl_4) พบว่า สาร CCl_4 สาร 2EHA มีความเป็นสารไวปฏิกิริยาสูงมากสาร Polythiol ตัวที่ 3 คือ 1,4 Butane diol Dithiopropionate มีความเป็นสารไวปฏิกิริยาปานกลาง สาร Polythiol ตัวที่ 1 และ 2 มีความเป็นสารไวปฏิกิริยาต่ำ ดังข้อสรุปโดยละเอียดดังต่อไปนี้

6.1.1 ลักษณะการเป็นสารไวปฏิกิริยาของ Polythiol I ยังไม่ดีนักปกติค่าCrosslink ที่ดีควรมีค่าประมาณ 13×10^{18} ถึง 19×10^{18} Cosslink / cm^3

6.1.2 ลักษณะการเป็นสารไวปฏิกิริยาของ Polythiol II ยังไม่ดีนักแต่มีค่าสูงกว่า Polythiol I เล็กน้อย

6.1.3 Polythiol III ปริมาณ 1 phr Dose มากกว่า 40 kGy มีลักษณะการเป็นสารไวปฏิกิริยามากที่สุดในกลุ่ม Polythiol ทั้งสามและมีแนวโน้มเป็นสารไวปฏิกิริยาที่ดีได้

6.1.4 ในสารไวปฏิกิริยา CCl_4 ความเข้มข้นที่ดีที่สุดคือ 5 phr ที่ปริมาณรังสีประมาณ 40-42 kGy ให้ค่า Tensileสูงสุดมากกว่า 25 MPa ที่ความเข้มข้นปริมาณอื่น ๆ 3 phr จะดีที่สุดที่ปริมาณรังสีประมาณ 38-40 kGy แต่จะให้ค่า Tensile ต่ำกว่าที่ 5 phr ส่วนที่ความเข้มปริมาณ 1 phr จะให้ค่า Tensile ดีที่สุดที่ปริมาณรังสีประมาณ 38-40 kGy แต่ค่า Tensile จะต่ำกว่า 5 phr และ 3 phr

6.1.5 กรณีสารไวปฏิกิริยาร่วมของ Polythiol IและCCl_4 พบว่าสารPolythiol I เป็นสารหน่วงความไวปฏิกิริยาของ CCl_4

6.1.6 กรณีสารไวปฏิกิริยาร่วมของ Polythiol II และ CCl_4 พบว่าสาร Polythiol II เป็นตัวหน่วงความไวปฏิกิริยาของ CCl_4 เช่นเดียวกับ Polythiol I แต่หน่วงน้อยกว่า Polythiol I เล็กน้อย

6.1.7 พบว่า Polythiol III ก็มีลักษณะเป็นสารไวปฏิกิริยาร่วมกับ CCl_4 ในลักษณะเป็นตัวหน่วง CCl_4 เช่นเดียวกับกรณีของPolythiol I,II จะเห็นได้ชัดว่าคุณสมบัติการเป็นสารไวปฏิกิริยาของ CCl_4 ที่ความเข้มข้นเท่ากันมีค่าลดลงทั้งนี้เป็นผลจากอิทธิพลของ Sulphur ที่อยู่ใน Polythiol Compound ทุกตัวซึ่งปกติSulphur มีผลทาง Suppress Radiation Vulcanization

6.1.8 กรณีที่ใช้สารไวปฏิกิริยา 2EHA ค่า Tensile ที่ความเข้ม 9 phr จะให้ค่าสูงสุด ที่ 15 kGyปริมาณ 6 phr ให้ค่า Tensile สูงสุดที่ Dose 18 kGy และ 3 phr ให้ค่า Tensileสูงสุดที่ตำแหน่ง36 kGy

กรณีใช้สารไวปฏิกิริยาร่วม 2EHA:CCl_4 ค่า Tensile สูงสุดจะอยู่ที่ Dose ปริมาณ 11-12 kGy โดยอัตราส่วน 6:1 จะอยู่ที่ Dose 11 kGy และค่า 6:1.5 , 6:2 อยู่ที่ 12 kGy โดยค่า Tensileของ 6:1 จะมากที่สุดตามด้วย 6:1.5 และ 6:2 ผลจากการใช้สารไวปฏิกิริยาร่วม 2EHA:CCl_4ปริมาณ 5:0.5 , 5:1 , 5:1.5 พบว่าที่ความเข้มข้นปริมาณ 5:1.5 จะให้ค่า Tensile สูงสุดที่ Dose ประมาณ 14 kGy และมีค่าTensile ประมาณ 21 MPa ความเข้มข้นปริมาณ 5:0.5จะให้ค่า Tensile สูงสุดที่ Dose 18 kGy และค่า Tensile สูงสุดประมาณ 24 MPa ความเข้มข้นปริมาณ 5:1 จะให้ค่าTensileสูงสุดที่Dose ประมาณ 15 kGy และให้ค่า Tensile สูงสุดประมาณ 25.6 MPa

จะเห็นว่าการเกิด Crosslinkings จากสารไวปฏิกิริยาร่วมจะสามารถเกิดได้สูงกว่าและดีกว่าสารไวปฏิกิริยาเดี่ยว ๆ ที่ทุก ๆ ความเข้มข้น

จากค่าทั้งหมดทุก ๆ ลัดส่วนสามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นสารไวปฏิกิริยา 2EHA:CCl_4 อัตราส่วน 5:1 phr ที่ Dose 15 kGy เป็นค่าที่ดีที่สุดในบรรดา 9 ชุดที่ทดลอง จากผลการทดลองสามารถสรุปเป็นภาพรวมได้ว่าค่า Swelling ที่จะทำให้ค่า Tensile Stregth สูงสุดจะอยู่ที่ค่าประมาณ 52% - 58% ค่าการเกิด Crosslink Density ที่จะทำให้ค่า Tensile สูงสุดอยู่ที่ค่าระหว่าง 16×10^{18} - 20×10^{18} C.L./cm^3 ค่าสูงสุด Tensile จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยระดับจุลภาคของยางเองแต่ยังไม่สามารถระบุได้ว่าปัจจัยดังกล่าวคืออะไร

6.1.9 ในกลุ่มสารไวปฏิกิริยาที่ทดสอบทุกตัวพบว่าสารไวปฏิกิริยาร่วม CCl_4:2EHA อัตราส่วน 5:1 ปริมาณ 6 phr Dose 15 kGy เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการทำการวัลแคนไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี

6.1.10 จากผลการทดลองสาร Oxidizing สรุปได้ว่า H_2O_2 ไม่มีผลกับสารไวปฏิกิริยาในกรณี Polythiol I,II,III,CCl_4:2EHA แต่ไม่ได้สรุปรวมว่า Oxidizing

Agent ตัวอื่น ๆ จะมีผลเช่นเดียวกับ H_2O_2 หรือไม่

6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

6.2.1 ผลของ Polythiol I ต่อการเป็นสารไวปฏิกิริยาและอัตราส่วนที่เหมาะสมจากตารางที่ ก.1 ที่columnPI และภาพที่ 5-1 ค่าเจลของยางที่ได้จากความเข้มข้นสารไวปฏิกิริยาปริมาณ 5 , 4 , 3 , 2 , 1 phr ให้ความแตกต่างที่ไม่เด่นชัดแต่มีค่าโดยสรุปต่ำกว่า 90% ที่ทุกค่าปริมาณรังสีแสดงว่าการเกิดครอสลิงค์ยังไม่ดีนัก เมื่อดูผลที่ตาราง ก.3 ประกอบภาพที่ 5-9 , 5-10 , 5-11 , 5-12 , 5-13 จะพบว่าค่า Tensile ที่ ค่าสูงสุด อยู่ในระดับต่ำกว่า 10 MPa และข้อมูลมีลักษณะการกระจายสูง ค่า Modulus สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ Dose ที่เพิ่มขึ้นค่า Elongation at break ต่ำลงเมื่อค่าปริมาณรังสีสูงขึ้นค่า Swelling ลดลงเมื่อเทียบกับ Dose ที่สูงขึ้นแต่ที่ Mininum Swelling ยังมีค่าสูงกว่า 95% ค่าการเกิด Crosslinking ของยางที่ตำแหน่งค่าสูงสุด มีค่าประมาณ 8.0298×10^{16} C.L/cm^3

6.2.2 ผลของ Polythiol II ต่อการเป็นสารไวปฏิกิริยาและอัตราส่วนที่เหมาะสมจากตารางที่ ก.1 ที่columnPII และภาพที่ 5-2 ค่าเจลที่ได้แสดงไว้ที่ค่าความเข้มข้นปริมาณ 5,4 , 3 , 2 , 1 phr แสดงความแตกต่างไม่เด่นชัด และค่าโดยสรุปต่ำกว่า 90% ที่ทุกปริมาณรังสีแสดงว่าการเกิดครอสลิงค์ยังไม่ดีนักแต่อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นต่ำมีความเป็นสารไวปฏิกิริยาสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบผลจากตารางที่ ก.4 ประกอบกับภาพที่ 5-14 , 5-15 , 5-16 , 5-17 , 5-18 ค่า Tensile ที่ ค่าสูงสุด อยู่ในระดับที่ยังต่ำกว่า 9 MPa และข้อมูลยังมีลักษณะการกระจายสูง ค่า Modulus สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ Dose ที่เพิ่มขึ้นค่า Elongation at break ต่ำลงเมื่อค่าปริมาณรังสีสูงขึ้นค่า Swelling % ลดลง เมื่อเทียบกับ Crosslinking ที่ค่าสูงสุดมีค่าประมาณ 9.28×10^{16} C.L/cm^3 เมื่อเทียบสถานะภาพความเป็นสารไวปฏิกิริยากับ Polythiol I จะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย โดยเฉพาะเมื่อเทียบกันโดยใช้ค่าเจลจะเห็นว่า ที่ 1 phr ของ Polythiol II จะมีความเป็นสารไวปฏิกิริยาสูงกว่าของ Polythiol I ค่า Swelling % ของPolythiol II ต่ำกว่า 90% เล็กน้อยค่าการเกิด Crosslinking จะสูงกว่า Polythiol I เล็กน้อยที่ตำแหน่งDose 45 kGy

6.2.3 ผลของ Polythiol III ต่อการเป็นสารไวปฏิกิริยาและอัตราส่วนที่เหมาะสมจากตารางที่ ก.1 ที่columnPIII และภาพที่ 5-3 ค่าเจลที่ได้แสดงไว้ที่ค่าความเข้มข้นปริมาณ 5,4,3,2,1 phr แสดงความแตกต่างไม่เด่นชัดนักแต่อย่างไรก็ตามที่ปริมาณรังสีสูงกว่า 36kGy จะให้ค่าเจลโดยเฉลี่ยสูงกว่า 90% แสดงว่าการเกิดครอสลิงค์ ที่จุดปริมาณรังสีมากกว่า 36kGy มีค่าดีขึ้นกว่า Polythiol I , II มากโดยเฉพาะที่ค่าความเข้มข้นสารไวปฏิกิริยา 1 phrจะมีค่าสูงกว่าจุดความเข้มข้นอื่น ๆ สรุปได้ว่าปริมาณ Polythiol III ปริมาณ 1phr มีความเป็นสารไวปฏิกิริยาดีที่สุดที่ปริมาณรังสีมากกว่า 40 kGy เมื่อเทียบกับสารไวปฏิกิริยาประเภท Polythiol ด้วยกันเมื่อเทียบผลจากตารางที่ ก.5,ก.6 และภาพประกอบที่ 5-19 , 5-20 , 5-21 , 5-22 , 5-23 Tensile ที่ค่าสูงสุดมีค่าต่ำกว่า 9 MPa ที่ความเข้ม 1 phr และต่ำกว่า 5.08 MPa ที่

ความเข้มข้น 5 phr ค่า Modulus สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ Dose ที่สูงขึ้น Elongation at break มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับDoseที่สูงขึ้นค่า Swelling % ที่ความเข้มข้น 5 phr(E6X1) จะมีค่าต่ำสุดที่ประมาณ 95% ที่ Dose 45 kGy ที่ความเข้มข้น 1 phr (E6x2) จะมีค่าต่ำสุดประมาณ 70% ที่ Dose 40 kGy ,ค่า Crosslinking density ที่ความเข้มข้น 5 phr (เส้น E7x2) จะมีค่าที่ Dose 45 kGy มีค่าประมาณ $8.0x10^{18}$ C.L./cm^3 ที่ความเข้มข้น 1phr (เส้น E7X1) จะมีค่าที่ Dose 40 kGy ประมาณสูงกว่า $13x10^{18}$ C.L./cm^3 จากผลของค่า Tensile , Swelling และ Crosslinking จะเห็นว่าPolythiol IIIจะมีความเป็นสารไวปฏิกิริยาที่สุดที่ 1phr และ Dose สูงกว่า 40 kGy ทั้งนี้จะถือค่าการเกิด Swelling ต่ำกว่า 70% และค่าเกิดครอสลิงค์สูงกว่า 13 x 10^{18} C.L./cm^3 แต่ผลของค่า Tensile ที่ยังมีค่าต่ำกว่า 9MPa แสดงถึงการจัดตัวในระดับ Micro ของยาง ยังไม่เหมาะสมพอแต่อย่างไรก็ตามยังคงถือว่า Polythiol III เป็นสารไวปฏิกิริยาที่ดีที่สูดในกลุ่ม Polythiol ด้วยกัน

6.2.4 ผลของ CCl_4 ต่อการเป็นสารไวปฏิกิริยาและอัตราส่วนที่เหมาะสมจากตารางที่ ก.1ที่columnC และภาพที่ 5-4 ค่าเจลที่ได้แสดงไว้ที่ความเข้มข้นปริมาณ 5 , 4 , 3 , 2 , 1 phr ในกลุ่มข้อมูลแสดงความแตกต่างกันเล็กน้อยเลือกทำการตรวจสอบละเอียดที่ปริมาณความเข้มข้น 5 , 3 , 1 phr จากข้อมูลทั้งชุด ทุกค่าความเข้มข้นมีค่าเจลสูงถึง 93% ตั้งแต่ปริมาณรังสี 18 kGy ขึ้นไป ซึ่งพอจะถือเป็นจุดเกิดการครอสลิงค์เต็มที่ซึ่งจะต้องถือจากจุด 94% ขึ้นไป ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ค่าปริมาณรังสีตั้งแต่ 30 kGy ขึ้นไปเมื่อเทียบผลจากตารางที่ ก.7,ก.8,ก.9 และภาพประกอบที่ 5-22 , 5-25 , 5-26 , 5-27 , 5-28 ค่า Tensile จะเห็นว่าทั้งสามความเข้มข้นจะให้ ค่าสูงสุด Tensile ที่ค่า Dose ประมาณ 38-42 kGy โดยแต่ละค่าจะมีค่าแตกต่างดังนี้ที่ค่าความเข้มข้น 5 phr (F5X) จะให้ค่า Tensile ค่าสูงสุดกว่า 25 MPa ที่ค่า Dose ประมาณ 40-42 kGy ค่าความเข้ม 3 phr (F3X) จะให้ค่า Tensile ค่าสูงสุดประมาณ 24.5 Mpa ที่ค่า Dose ประมาณ 40 kGy ค่าความเข้ม 1 phr (F1X) จะให้ค่า Tensile ค่าสูงสุดประมาณ 23.6 MPa ที่ค่า Dose ประมาณ 40 kGy ค่า Elongation at break จะลดลงเมื่อ Dose เพิ่มขึ้นในหมู่สามความเข้มข้น 5 phr จะมีค่าน้อยที่สุด ตามด้วย 3 phr และ 1 phr แต่ข้อมูลของ Elongation at break. มีการกระจายสูง ค่า Modulus จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นตาม Dose ที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับชุดอื่น ๆ แต่ความแตกต่างที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่เด่นชัด ค่า Swelling % ในกลุ่มค่า Swelling ที่ทำให้เกิด Crosslinking ดีที่สุดประมาณ 60% จนถึง 54% ซึ่งที่สามความเข้มข้นให้ค่า Swelling แตกต่างกันคือที่ความเข้มข้น 5 phr จะเริ่มเข้าสู่การเกิด Crosslinking ที่ 25 kGy 3 phr เริ่มที่ประมาณ 30 kGy ส่วนค่า 1 phr เริ่มที่ประมาณ 32 kGy ค่า Crosslinking Density ทั้งสามความเข้มข้นจะมีค่าแตกต่างกันเด่นชัดโดยจะถือค่าครอสลิงค์มีค่าประมาณ (15-20)$x10^{18}$C.L./cm^3 จะเห็นว่าจุดที่ดีที่สุดควรจะมีค่า17-18 x 10^{18} C.L./cm^3 จะเห็นว่าที่ความเข้ม 3,1 phr จะมีค่า C.L ที่ค่าสูงสุด Dose ประมาณ 40-42 kGy ส่วนที่ 5 phrมีค่าสูงสุดที่ Crosslink

ประมาณ 22×10^{18} C.L./cm^3

6.2.5 ผลของการใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมระหว่าง CCl_4 กับ Polythiol I อัตราส่วน (1:1) จากตารางที่ ก.1 ที่columnCP1 และภาพที่ 5-5 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 5 , 4 , 3 , 2 , 1 phr ค่าเจลที่แสดงในกลุ่มมีความแตกต่างกันไม่เด่นชัด แต่โดยเฉลี่ยแล้วที่ตำแหน่ง Dose มากกว่า 40 kGy มีค่าสูงกว่า 90% โดยเฉพาะที่ 5 phr มีค่ามากกว่า 91% แต่ที่ Dose ปริมาณ 30 kGy ซึ่งเมื่อเทียบกับข้อมูลชุด C จะเห็นว่าการเกิด Crosslinking ถูกลดลง หรืออาจสรุปได้ว่า Polythiol I ทำให้การเกิด Crosslinking จาก CCl_4 ลดลงเมื่อเทียบผลจากตารางที่ ก.10 และภาพประกอบที่ 5-29 , 5-30 , 5-31 , 5-32 , 5-33 ค่า Tensile จะเห็นว่าค่าที่มีในรูปเป็นกราฟที่มีความชันสูงที่ Dose สูงสุดประมาณ 48 kGy มีค่าประมาณ 20.5 MPa แต่ยังไม่ถึงช่วง ค่าสูงสุด เมื่อเทียบกับชุด 6.2.4 หรือยังต้องการรังสีอีกจำนวนหนึ่งจึงจะถึงช่วงค่าสูงสุดค่า Modulus มีค่าเพิ่มขึ้นที่ Dose เพิ่มขึ้น ค่า Elongation at break จะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับ Dose ที่เพิ่มขึ้นแต่มีการกระจายของข้อมูลมาก ค่า Swelling % ที่ค่าต่ำสุด ประมาณ 65 % ยังมีการครอสลิงค์ไม่สูงพอเทียบกับ 6.2.4 ค่าการเกิด Corsslinking density มีค่าสูงสุดประมาณ 15×10^{18} ซึ่งอยู่ในช่วงการเกิดครอสลิงค์ที่สูงแต่ยังไม่ถึงช่วงที่เหมาะสมคือประมาณ $17 \times 10^{18} - 18 \times 10^{18}$ C.L./cm^3

6.2.6 ผลของการใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมระหว่าง CCl_4 กับ Polythiol II

จากตารางที่ ก.1 ที่column CPII และภาพที่ 5-6 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 5 , 4 , 3 , 2 , 1 phr ค่าเจลที่แสดงในกลุ่มมีความแตกต่างกันไม่เด่นชัด โดยเฉลี่ยที่ตำแหน่ง Dose มากกว่า 36 kGy มีค่าสูงกว่า 91% เมื่อเทียบผลกับชุด C ในภาพ 5-4 จะแสดงให้เห็นว่าการเกิดครอสลิงค์มีค่าลดลงเช่นเดียวกับ 6.2.5 เมื่อเทียบผลจากตารางที่ ก.11 ประกอบกับภาพที่ 5-34 , 5-35 , 5-36 , 5-37 , 5-38 ค่า Tensile จะมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 17 MPa ค่า Modulus แสดงว่ายังไม่ถึงจุดที่เกิดครอสลิงค์พอดีส่วนค่าCrosslinking Density สูงสุดมีค่าประมาณ 15×10^{18} C.L./cm^3 ที่ Dose 40-45 kGy ซึ่งยังไม่ถึงจุดพอดีเช่นกัน

6.2.7 ผลของการใช้สารไวปฏิกิริยาร่วมระหว่าง CCl_4 กับ Polythiol III จากตารางที่ ก.1 ที่columnCPIII และภาพที่ 5-7 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 5,4,3,2,1 phr ค่าเจลที่แสดงในกลุ่มมีความแตกต่างกันไม่เด่นชัด ค่า Dose ที่สูงกว่า 36 kGy จะให้ค่าเจลสูงกว่า 91% เช่นเดียวกับกรณีของ 6.2.5 , 6.2.6 คือมีลักษณะเป็นตัวหน่วง CCl_4 เช่นเดียวกัน เมื่อเทียบผลตามตารางที่ ก.12 และภาพที่ 5-39,5-40,5-41,5-42,5-43 ค่าTensile จะให้ค่าสูงสุดที่ 14 MPa ค่า Modulus เพิ่มขึ้นเมื่อ Dose เพิ่มขึ้นค่า Elongation at break ลดลงเมื่อ Dose ลดลงค่า Swelling ที่จุดต่ำสุดมีค่าประมาณ 65% ค่าCrosslinking Density สุดสุดมีค่าประมาณ 15×10^{18} C.L./cm^3 เมื่อเทียบผลตามภาพที่ 5-44,56-45โดยค่า Swelling และค่าCrosslinking Density ตามกรณีที่ได้จากสารไวปฏิกิริยาร่วม Polythiol I กับCCl_4 Polythiol IIกับ CCl_4 เป็นสารไวปฏิกิริยาปริมาณ 3 phr และ Polythiol III กับ CCl_4

เทียบกับกรณี CCl_4 เป็นสารไวปฏิกิริยา ปริมาณ 3phr จะเห็นได้ชัดว่าคุณสมบัติการเป็นสารไวปฏิกิริยาของ CCl_4 ที่ความเข้มข้นเท่ากันมีค่าลดลงทั้งนี้เป็นผลจากอิทธิพลของ Sulphur ที่อยู่ใน Polythiol Compound ทุกตัวซึ่งปกติSulphur มีผลทาง Suppres Radiation Vulcanization นั้นเอง

6.2.8 ผลของการใช้สารไวปฏิกิริยา 2 EHA และสารไวปฏิกิริยาร่วม 2EHA และ CCl_4 จากตารางที่ ก.2 และภาพประกอบที่ 5-8 จะเห็นว่าค่าเจลที่ใช้ 2EHA : CCl_4 (5:1) เป็นสารไวปฏิกิริยาร่วมจะให้ค่าสูงกว่า 93% ที่ค่า Dose เริ่มตั้งแต่ 7.8 kGy แสดงว่าค่าการเกิด Crosslink ของยางที่ใช้ CCl_4 ร่วมกับ 2EHA เป็นสารไวปฏิกิริยาใช้ปริมาณรังสีต่ำมากเมื่อเทียบผลจากตารางที่ ก.13 , ก.14 , ก.15 , ซึ่งใช้ 2EHA เป็นสารไวปฏิกิริยาเดี่ยวประกอบกับภาพที่ 5-46 , 5-47 , 5-48 ค่า Tensile ที่ปริมาณความเข้ม 9 phr จะให้ค่าสูงสุด ที่ 15 kGyปริมาณ 6 phr ให้ค่าTensileสูงสุดที่Dose 18 kGyและ 3 phr ให้ค่า Tensileสูงสุดที่ตำแหน่ง36 kGy ทั้งนี้ค่า Tensile ที่ได้จากแต่ละตัวยังไม่สามารถระบุได้เพราะการทดลองชุดนี้มีปัญหาความชื้นสูง Tensile ที่ได้ใช้เป็นตัวเทียบในลักษณะสัมพันธ์ได้ทั้งนี้เพราะค่าอื่นๆยังใช้ได้ค่าSwelling จะเห็นว่าค่า Swelling ที่ความเข้มข้น 2EHA 9 phr จะเข้าสู่จุดเกิดCrosslink เหมาะสมคือ 55%-50% ที่ Dose 15 kGyความเข้ม6phr ค่า Swelling ที่ 55% เริ่มที่ Dose 22 kGy และ 3 phr เริ่มที่ Dose ประมาณ 38 kGy เช่นกัน ส่วนค่าการเกิด Crosslinking Density ตามภาพที่ 5-46 จะเห็นว่าที่ช่วงที่เกิดเหมาะสมคือ (17-18) x 10^{18} C.L./cm^3 นั้นที่ความเข้มข้น 9 phr จะเริ่มที่ Dose 13-15 kGy ที่ความเข้ม 6 phr จะเริ่มที่ Dose 16-18 kGy ส่วนที่ความเข้ม 3 phr จะเริ่มที่ค่า Doseประมาณ 32-40 kGy เมื่อเทียบผลจากตารางที่ ก.16 , ก.17 , ก.18 และภาพประกอบที่ 5-52 , 5-53 , 5-54 เป็นการที่ใช้สารไวปฏิกิริยาร่วม 2EHA:CCl_4 ปริมาณ (6:1), (6:1.5), (6:2) phrตามลำดับจะเห็นว่าที่ภาพ5-52ค่าTensileสูงสุดจะอยู่ที่ Dose ปริมาณ 11-12 kGy โดยอัตราส่วน 6:1 จะอยู่ที่ Dose11kGy และค่า6:1.5,6:2 อยู่ที่ 12 kGy โดยค่า Tensile ของ6:1จะมากที่สุดตามด้วย 6:1.5 และ 6:2 จะให้ค่า Tensile น้อยที่สุดทั้งนี้ค่าTensileจากกราฟยังไม่สามารถใช้เป็นค่าจริง ๆ ได้เพียงใช้เป็นค่าเปรียบเทียบเท่านั้น เพราะมีปัญหาเรื่องความชื้นที่ปนอยู่ในแผ่นยางสูงหลังทำให้แห้งค่า Swelling จะมีค่า 55% ที่ Dose ประมาณ 10-20 kGy ค่า Crosslinking Density จะมีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 17 x 10^{10} - 18 x 10^{18} C.L./cm^3 ที่ Dose ประมาณ 8-13 kGy เมื่อเปรียบเทียบผลทางความเหมาะสมทางปริมาณรังสีในชุด 9 : 0 , 6:0 , 3:0 กับแบบผสม 6:1 , 6:1.5 , 6:2 จะได้ตามภาพที่ 5-49 , 5-50 , 5-51 จะเห็นว่าการเกิด Crosslinkings จากสารไวปฏิกิริยาร่วมจะสามารถเกิดได้สูงกว่าและดีกว่าสารไวปฏิกิริยาเดี่ยว ๆ ที่ทุก ๆ ความเข้มข้นตามภาพที่ 5-51เมื่อเทียบผลจากตารางที่ ก.19 , ก.20 , ก.21 , ก.22 , ก.23 ร่วมกับภาพที่ 5-55 , 5-56 , 5-57, 5-58 , 5-59 ซึ่งเป็นผลจากการใช้สารไวปฏิกิริยาร่วม 2EHA : CCl_4 ปริมาณ (5:0.5) , (5:1) , (5:1.5) จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นปริมาณ 5:1.5 จะให้ค่า Tensile

สูงสุด ที่ Dose ประมาณ 14 kGy และ Tensileประมาณ 21 MPa ความเข้มข้นปริมาณ 5:0.5 จะให้ค่า Tensile สูงสุดที่ Dose 18 kGy และค่า สูงสุด Tensile ประมาณ 24 MPa ความเข้มข้นปริมาณ 5:1 จะให้ค่าTensileสูงสุดที่Dose ประมาณ 15 kGy และให้ ค่าสูงสุด Tensileประมาณ 25.6 MPa เมื่อดูค่า Elongation at break. และ Modulus จะเห็นความแตกต่างเล็กน้อยแต่เมื่อพิจารณาคล้องกับค่า Tensile และค่า Crosslinking Density ตามภาพที่ 5-58 ที่ให้ค่าCrosslink ประมาณ 18 x 10^{19} สอดคล้องที่ 14 kGy,15 kGy และ 18 kGy ตามลำดับ

6.2.9 ผลการเติมตัวออกซิไดซ์ ลงร่วมกับสารไวปฏิกิริยาในสูตรต่าง ๆ ตารางที่ ก.24 ประกอบกับภาพที่5-60 จะเห็นว่าผลจากการเติม H_2O_2 ปริมาณ 1phr ลงร่วมกับสารไวปฏิกิริยาชนิด Polythiol I จะเห็นว่าข้อมูลของทั้งที่เติม H_2O_2 (C8X) และไม่เติม H_2O_2 ไม่มีผลกับการเป็นสารไวปฏิกิริยาของ Polythiol I

ตามตารางที่ ก.25 ประกอบกับภาพที่ 5-61 จะเห็นว่าผลจากการเติม H_2O_2 ปริมาณ 1phr ลงร่วมกับสารไวปฏิกิริยาชนิด Polythoil II ข้อมูลของที่เติม H_2O_2 (D8X) และไม่เติม H_2O_2 (D2X) มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณี Polythoil I คือไม่แตกต่างกันจนเห็นได้เด่นชัดกล่าวคือ H_2O_2 ไม่มีผลกับการเป็นสารไวปฏิกิริยาของ Polythiol II

ตามตารางที่ ก.26 ประกอบกับภาพที่ 5-62 จะเห็นว่าผลจากการเติม H_2O_2 ปริมาณ 1phr ลงร่วมกับสารไวปฏิกิริยาชนิด Polythiol III ข้อมูลของที่เติม H_2O_2(E8X)ที่ไม่เติมH_2O_2 (E5X) ให้ผลเช่นเดียวกับกรณีของ Polythiol I , II กล่าวคือ H_2O_2 ไม่มีผลกับการเป็นตัวไวของ Polythiol III

ตามตารางที่ ก.27 และภาพประกอบที่ 5-63 จะเห็นว่าผลจากการเติม H_2O_2 ปริมาณ 1phr ลงร่วมกับสารไวปฏิกิริยาปกติ CCl_4 ตามรูป(F8X) คือส่วนที่เติม H_2O_2 (F3X) คือส่วนที่ไม่เติมH_2O_2 ถึงแม้ว่ารูปจะแสดงความแตกต่างในแง่ปริมาณแรง Tensile แต่ก็ไม่แสดงการลดของ Dose ปกติความแตกต่างปริมาณนี้ยังไม่สามารถระบุว่า H_2O_2 จะมีผลกับสารไวปฏิกิริยาหรืออาจสรุปว่า H_2O_2 ไม่มีผลกับการลดลงของ Dose ใน CCl_4

ตารางที่ ก.28 และภาพประกอบที่ 5-64 , 5-65 , 5-66 เป็นการแสดงผลการเติม H_2O_2 ร่วมลงใน 2EHA:CCl_4 จากภาพแสดงผลของ Tensile (K1X) คือตัวที่ไม่เติม H_2O_2 (K2X) คือตัวที่เติม H_2O_2 ลักษณะข้อมูลกระจายไปมาแบบกรณี CCl_4 ทั้งค่า Modulus และ Elongation at break ก็กระจายเช่นเดียวกันซึ่งอาจสรุปได้ว่า H_2O_2 ไม่มีผลกับการเป็นสารไวปฏิกิริยาของ2EHA :CCl_4

6.2.10 จากตารางที่ 5-1 กรณีที่ใช้ NH_3 2% ชะละลายยางฉายรังสีจากประเทศญี่ปุ่นพบว่าที่เวลา 24 ชั่วโมงจะให้ค่า Tensile Strength สูงสุด

จากตารางที่ 5-2 กรณีที่ใช้ NH_3 2% ชะละลายยางจากประเทศญี่ปุ่นพบว่าเวลา 5 นาทีจะให้ค่า Tensile Strength สูงสุด

จากตารางที่ 5-3 กรณีที่ใช้ NH_3 2% ชะละลายยางตามสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า 2EHA : CCl_4 (5:1)phr ปริมาณรังสี 15 kGy จะให้ค่า Tensile Strength สูงสุดคือ 28.78 MPa

6.3 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยหัวข้อต่าง ๆ ที่นับว่าเป็นก้าวแรกของการวิจัยและพัฒนาเรื่องการวัลแคนไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี สำหรับการจะประยุกต์ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมสมควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

- ศึกษาความเหมาะสมของน้ำยางดิบจากแหล่งต่าง ๆ
- ศึกษา Monofunctional Monomer อื่น ๆ ในการใช้เป็นสารไวปฏิกิริยา
- ศึกษาการผสมกันระหว่างน้ำยางวัลแคนไนซ์กับน้ำยางดิบว่าผลทำให้คุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลาย ๆ อย่างดีขึ้นหรือไม่
- ศึกษาเงื่อนไขการชะละลายเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ Tensile Strength ให้สูงขึ้น
- ศึกษาถึงผลของตัวคงสภาพต่าง ๆ เช่น สาร Antioxidant, Antiozonant และสาร Stabilizer ตัวอื่น ๆ ที่ช่วยให้ยางคงสภาพได้นานขึ้น
- การศึกษาถึงต้นทุนการผลิตน้ำยางวัลแคนไนซ์โดยรังสีเปรียบเทียบกับน้ำยางวัลแคนไนซ์โดยซัลเฟอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย