

# น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (pre-vulcanized latex)

**น้ำยางพรีวัลคาไนซ์** หมายถึง น้ำยางชั้นที่ผ่านกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของยางเกิดพันธะเคมีเชื่อมโยง (การวัลคาไนซ์) อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนและสารเคมีที่เหมาะสม น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ยังคงสถานะเป็นของไหล ดังนั้น น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ถือว่าเป็นน้ำยางกึ่งสำเร็จรูปที่สามารถขึ้นรูปเป็นยางวัลคาไนซ์ได้โดยไม่ต้องให้ความร้อนอีก จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางประเภทจุ่มแบบพิมพ์หรือหล่อแบบพิมพ์ เช่น ถุงมือยาง ลูกโป่งเส้นด้ายยางยืด ของเล่นเด็ก เป็นต้น



**ปฏิกิริยาพรีวัลคาไนเซชัน** คือ ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลยางบางส่วนเกิดเป็นโครงสร้างแบบร่างแหขึ้นภายในอนุภาคยาง ดังนั้นแผ่นยางแห้งที่ได้จะมีโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมโยงเช่นเดียวกับที่พบในยางแห้งที่ผ่านการวัลคาไนซ์

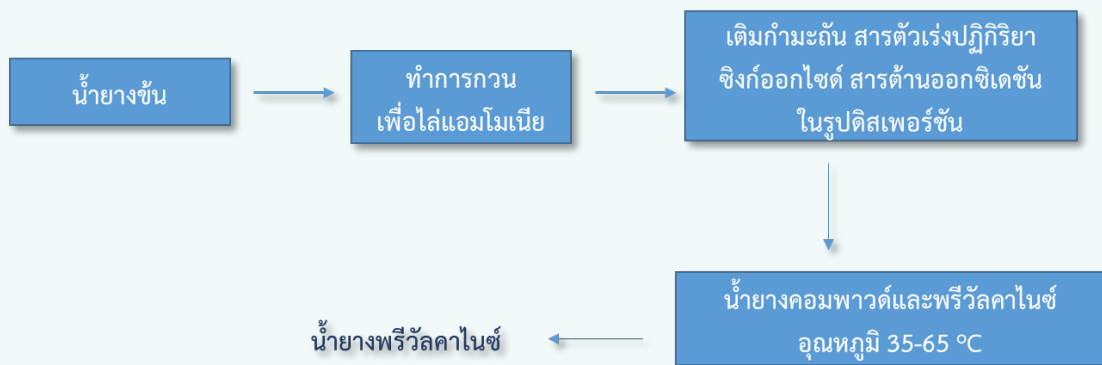
การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์จะใช้น้ำยางชั้นแอมโมเนียสูงผสมกับสารวัลคาไนซ์ (กำมะถันหรือเพอร์ออกไซด์) แต่ถ้าเป็นการวัลคาไนซ์ด้วยรังสีจะต้องมีสารเซนติไซเซอร์ร่วมด้วย โดยทั่วไปแล้วการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีอยู่หลายวิธี ในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ดังนี้

1. การพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน
2. การพรีวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์
3. การพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแกมมา

## 1. การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน

การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง กระบวนการเตรียมเริ่มจากการนำน้ำยางชั้นมาเติมสารรักษาสภาพน้ำยางแล้วให้ความร้อนกับน้ำยางในถังที่อุณหภูมิ 32-38 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเติมดิสเพอร์ชัน<sup>1</sup> ของซิงก์ออกไซด์ ดิสเพอร์ชันของกำมะถัน และดิสเพอร์ชันของสารตัวเร่งปฏิกิริยา ลงในน้ำยาง (น้ำยางและสารเคมีที่ผสมกันแล้วเรียกว่า น้ำยางคอมพาวด์) แล้วให้ความร้อนแก่น้ำยางคอมพาวด์ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส และรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระดับนี้ (เวลาและอุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นกับระบบการวัลคาไนซ์และระดับการเชื่อมโยงของพันธะที่ต้องการ) หลังจากนั้นลดอุณหภูมิของน้ำยางคอมพาวด์ลงด้วยวิธี หล่อเย็นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และนำน้ำยางคอมพาวด์ออกมาจากถัง เก็บไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อทำการแยกสารเคมีส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกแล้วเติมสารต้านออกซิเดชันลงไปก็จะได้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (ดังรูปที่ 1)

<sup>1</sup> ดิสเพอร์ชัน (dispersion) คือ การเตรียมสารเคมี เช่น กำมะถัน ซิงก์ออกไซด์ สารตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปของแข็งที่กระจายอยู่ในน้ำ สารเคมีที่เตรียมได้จะต้องมีสมบัติเป็นคอลลอยด์เหมือนกับน้ำยางมากที่สุด



### รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน

ปี ค.ศ. 1996 Ho และคณะ ได้ศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของอนุภาคยางด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจากแรงอะตอม (atomic force microscopy) ของฟิล์มจากน้ำยางที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันและตั้งทิ้งไว้ 8 วัน พบว่า การพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงสายโซ่พอลิเมอร์ไม่สม่ำเสมอในอนุภาคยาง ซึ่งจะพบว่าการเชื่อมโยงแบบร่างแหที่หนาแน่นบริเวณรอบนอก ในขณะที่บริเวณด้านในอนุภาคมีความหนาแน่นน้อยกว่า

ปี ค.ศ. 1997 Cudby และคณะ ได้ศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของอนุภาคฟิล์มจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน พบว่า การพรีวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการนี้มีเกิดการเชื่อมโยงเป็นร่างแหอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งอนุภาค

ปี ค.ศ. 2002 ศ.ดร.ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์ และคณะ ได้ศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของอนุภาคยางพรีวัลคาไนซ์โดยการนำเทคนิคเฟสทรานสเฟอร์<sup>2</sup> และพอลิเมอร์เซชันแบบบัลค์ เริ่มจากการเตรียมตัวอย่างการศึกษาอนุภาคน้ำยางในน้ำยางธรรมชาติที่เติมสารเคมีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน แล้วตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้สารเคมีกระจายตัว และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วดูโครงสร้างพื้นฐานของอนุภาคยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่า การเชื่อมโยงร่างแหมีความสม่ำเสมอเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์เกิดการแตกตัวขึ้นในน้ำแล้วแพร่เข้าไปในอนุภาคอย่างทั่วถึง และเมื่อให้ความร้อนจึงเกิดปฏิกิริยาได้สม่ำเสมอทั่วทั้งอนุภาค

ข้อจำกัดของการพรีวัลคาไนซ์น้ำยางด้วยกำมะถันคือ จำเป็นต้องมีการจัดเก็บน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ก่อนที่จะนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ในด้านการควบคุมปฏิกิริยาทำได้ค่อนข้างยาก กล่าวคือ เมื่อหยุดให้ความร้อนในการพรีวัลคาไนซ์ กำมะถันหรือสารตัวเร่งปฏิกิริยายังสามารถเกิดการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิห้องได้อีก อาจส่งผลให้ต้องมีการปรับกระบวนการผลิต

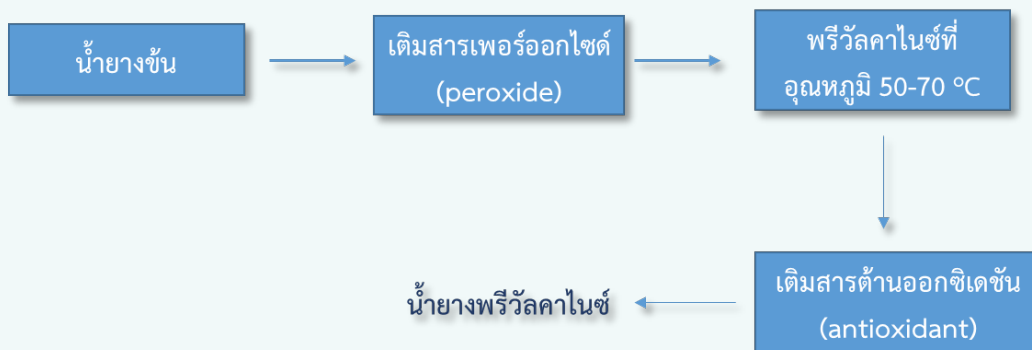
#### ข้อดีของการพรีวัลคาไนซ์น้ำยางด้วยกำมะถัน

1. น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันสามารถใช้งานง่าย
2. ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันจะมีความใส

<sup>2</sup> เทคนิคเฟสทรานสเฟอร์ (phase transfer) คือ การทำให้อนุภาคพอลิเมอร์เป็นกลางด้วยการไทเทรตด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุตรงข้ามกับประจุบนผิวของอนุภาคลงไปในลาเท็กซ์ ก่อนการไทเทรตจะเห็นชั้นลาเท็กซ์สีขาวขุ่นอยู่ชั้นล่าง (ชั้นน้ำ) ส่วนชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่เข้ากับน้ำจะเป็นส่วนใสที่อยู่ชั้นบน เมื่อทำการไทเทรตด้วยสารลดแรงตึงผิวจนถึงจุดยุติของการไทเทรตอนุภาคพอลิเมอร์จะเป็นกลาง อนุภาคพอลิเมอร์จะเคลื่อนจากชั้นล่างไปแขวนลอยอยู่ในชั้นบนของตัวทำละลายอินทรีย์

## 2. การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์

การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ เริ่มจากการนำน้ำยางข้นมาผสมกับเพอร์ออกไซด์ (organic peroxide) แล้วให้ความร้อนเพื่อให้เพอร์ออกไซด์เกิดการแตกตัว จากนั้นเติมสารต้านออกซิเดชันลงไปก็จะได้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (รูปที่ 2) การวัลคาไนซ์ด้วยวิธีนี้โมเลกุลของเพอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดจากการแตกตัวจะแพร่กระจายจากวิภาคของเหลวไปยังวิภาคยาง ซึ่งอนุภาคยางที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์จะเกิดการวัลคาไนซ์อย่างไม่สม่ำเสมอ บริเวณผิวของอนุภาคยางจะเกิดการเชื่อมโยงพันธะสูง ส่วนบริเวณด้านในหรือตรงกลางอนุภาคจะมีการเชื่อมโยงพันธะต่ำ ดังนั้นสมบัติเชิงกลของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์จะด้อยกว่าน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน



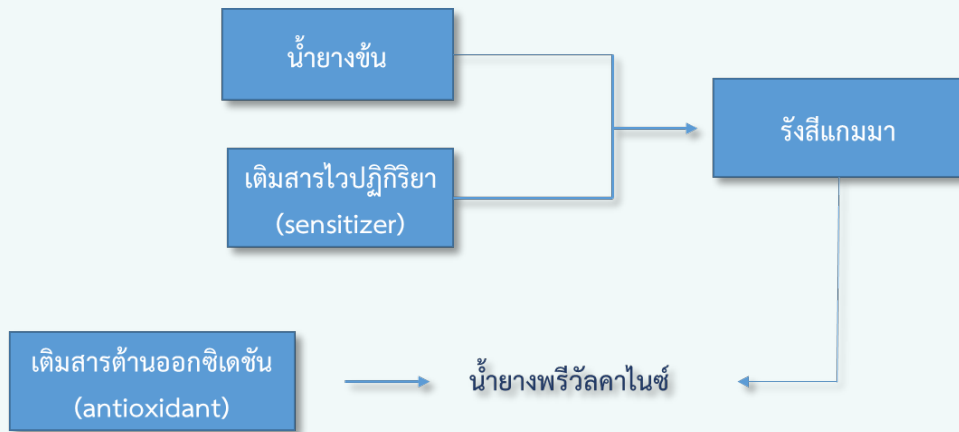
รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยสารเพอร์ออกไซด์

ปี ค.ศ 1997 Cudby ได้ศึกษาโครงสร้างสัณฐานของอนุภาคยางด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy; TEM ในน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ ด้วยระบบเทอร์เชียรี-บิวทิลไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (t-butyl hydroperoxide; tBHP) ร่วมกับน้ำตาลฟรักโทส พบว่า อนุภาคยางธรรมชาติมีโครงสร้างร่างแหที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะมีความหนาแน่นบริเวณผิวของอนุภาคมากกว่าบริเวณด้านใน

ปี ค.ศ 2003 ศ.ดร.ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์ และคณะ ได้ศึกษาโครงสร้างสัณฐานของอนุภาคยางในน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยระบบเทอร์เชียรี-บิวทิล ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ร่วมกับน้ำตาลฟรักโทส พบว่า อนุภาคยางธรรมชาติที่พรีวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์มีโครงสร้างร่างแหบริเวณผิวอนุภาคมากกว่าบริเวณด้านใน ซึ่งงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cudby

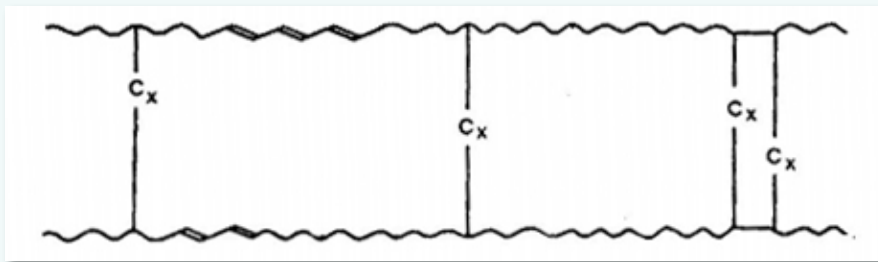
## 3. การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแกมมา

กระบวนการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โดยการฉายรังสีแกมมาเริ่มจากการนำน้ำยางข้น (ชนิดแอมโมเนียสูง) เติมสารที่มีความไวต่อปฏิกิริยา (sensitizers) เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>), นอร์มอล-บิวทิลอะคริเลต (n-butyl acrylate; n-BA) และรักษาสภาพน้ำยาง จากนั้นทำการฉายรังสีแกมมาซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งกำเนิดโคบอลต์ 60 (<sup>60</sup>Co) แล้วเติมสารต้านออกซิเดชันลงไป (ดังรูปที่ 3) เมื่อโมเลกุลยางได้รับรังสีจะเกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระ (free radicals) และจะเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยางแบบคาร์บอน-คาร์บอน (โครงสร้างการเชื่อมโยงโมเลกุล ดังรูปที่ 4) การควบคุมการวัลคาไนซ์/พรีวัลคาไนซ์ของยางขึ้นกับปริมาณรังสีที่ใช้ เมื่อหยุดฉายรังสีปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันจะหยุดทันที



รูปที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแกมมา

ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางที่ผ่านการพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแกมมาจะมีสมบัติความทนความร้อนสูงกว่าผลิตภัณฑ์จากน้ำยางที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน เนื่องจากโมเลกุลเชื่อมโยงด้วยพันธะคาร์บอน - คาร์บอน



รูปที่ 4 โครงสร้างโมเลกุลยางเมื่อวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

ปี ค.ศ. 1995 Haque, M.E. ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มน้ำยางธรรมชาติที่มีการใช้สารไวต่อปฏิกิริยาต่างๆ การศึกษาเริ่มจากการนำน้ำยางมาผสมสารไวต่อปฏิกิริยา (sensitizer) เช่น n-butyl acrylate (n-BA) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>) และรักษาสภาพน้ำยาง หลังจากนั้นนำน้ำยางที่ผสมสารไวต่อปฏิกิริยาแล้วไปฉายรังสีแกมมา แล้วทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบางโดยเทน้ำยางลงบนกระจก ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำให้แห้งจนสังเกตเห็นว่าฟิล์มใส จากนั้นนำฟิล์มไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มมาทดสอบสมบัติต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของฟิล์มน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการวัลคาไนซ์ด้วยรังสีโดยใช้สารไวต่อปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ในปริมาณ 5 phr ปริมาณรังสี 12 kGy)

สารไวต่อปฏิกิริยา	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	ความทนต่อการฉีกขาด (MPa)	300%โมดูลัส (MPa)	500%โมดูลัส (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
ไม่เติม	14.38	8.25	1.47	1.47	1400
n-BA	30.66	23.23	2.63	3.18	1100
CCl <sub>4</sub>	21.36	18.44	2.33	2.48	1200
CHCl <sub>3</sub>	24.85	20.17	2.62	2.86	1200
n-BA+CCl <sub>4</sub>	25.59	22.02	2.22	2.82	950
n-BA+CHCl <sub>3</sub>	23.79	24.47	1.72	2.32	940
n-BA + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	15.32	16.53	0.83	1.63	1160

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าสมบัติความทนต่อแรงดึงของฟิล์มที่ผ่านการฉายรังสีที่มีการใช้สารไวต่อปฏิกิริยาจะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงกว่าฟิล์มที่ไม่ได้เติมสารไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งการใช้สารไวต่อปฏิกิริยา n-BA จะให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุด และให้สมบัติต่างๆ ดีกว่าการใช้สารไวต่อปฏิกิริยาชนิดอื่น นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาสมบัติความทนต่อแรงดึงของฟิล์มน้ำยางที่เตรียมจากน้ำยางสด (field latex) และ concentrated lattices ที่ผ่านการหมุนเหวี่ยง 1-3 ครั้ง ใช้สารไวต่อปฏิกิริยา n-BA ปริมาณ 5 phr พบว่า ค่าความทนต่อแรงดึงจะมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้น้ำยางที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงจำนวน 3 ครั้ง ปริมาณรังสี 12 kGy และเมื่อให้ปริมาณรังสีมากกว่า 12 kGy แนวโน้มความทนต่อแรงดึงจะมีค่าลดลง

ปี พ.ศ. 2539 ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ และคณะ ได้ทำการศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีให้มีประสิทธิภาพโดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ร่วมกับสารไวต่อปฏิกิริยา (sensitizers) เพื่อหาวิธีการลดปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติลง โดยการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสีบางส่วนก่อน แล้ววัลคาไนซ์ต่อจนสมบูรณ์ด้วยกระบวนการรีดอกซ์ งานวิจัยนี้ได้ใช้สารไวต่อปฏิกิริยาร่วม คือ n-BA กับ t-butyl hydroperoxide โดยวัลคาไนซ์บางส่วนด้วยการฉายรังสีที่ 4 kGy แล้วทำการวัลคาไนซ์ต่อด้วยกระบวนการรีดอกซ์ โดยการเติมฟรุกโตส (fructose) หรือเติม tetra-ethylene pentamine ในเบื้องต้นได้ศึกษาหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ใช้ในการวัลคาไนซ์เมื่อใช้สารไวต่อปฏิกิริยาร่วม พบว่า มีค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยงสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณรังสี 8 kGy และทำการศึกษาต่อโดยการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติบางส่วนแล้วทำการวัลคาไนซ์ต่อด้วยกระบวนการรีดอกซ์ พบว่า การวัลคาไนซ์ร่วมกับกระบวนการรีดอกซ์สามารถลดปริมาณรังสีในการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติได้

ปี พ.ศ. 2552 คมกฤษ ฤทธิรงค์ และคณะ ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณรังสีแกมมาและสารไวต่อปฏิกิริยาต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำยางธรรมชาติฉายรังสี โดยได้เลือกใช้สารไวต่อปฏิกิริยา 3 ชนิด คือ n-butyl acrylate (n-BA), tetrachloroethylene (C<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) และ trichloromethane (CHCl<sub>3</sub>) โดยกระบวนการเตรียมน้ำยางธรรมชาติมาผสมสารเคมีและสารไวต่อปฏิกิริยา แล้วนำไปฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 10, 12, 14, 16, 18 kGy (กรณีใช้สารไวต่อปฏิกิริยาชนิดเดียว) แต่สำหรับสารไวต่อปฏิกิริยาผสมนำไปฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 14, 16, 18, 20, 22 kGy แล้วนำน้ำยางที่ผ่านการฉายรังสีมาขึ้นรูปให้เป็นแผ่นฟิล์มบางแล้วนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า น้ำยางสูตรที่ใช้สารไวต่อปฏิกิริยา n-BA ใช้ปริมาณรังสี 18 kGy จะให้ค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยง (crosslink density) มากที่สุด ( $16.6 \times 10^{-20}$  CL/mol)

น้ำยางสูตรที่ใช้สารไวต่อปฏิกิริยา n-BA กับ  $C_2Cl_2$  ใช้ปริมาณรังสี 22 kGy จะให้ค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยงมากที่สุด ( $23.1 \times 10^{-20}$  CL/mol) ส่วนน้ำยางสูตรที่ใช้สารไวต่อปฏิกิริยา n-BA กับ  $CHCl_3$  ใช้ปริมาณรังสี 22 kGy จะให้ค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยงมากที่สุด ( $28.2 \times 10^{-20}$  CL/mol) สำหรับน้ำยางสูตรที่ใช้สารไวต่อปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด n-BA,  $C_2Cl_2$  และ  $CHCl_3$  ใช้ปริมาณรังสี 22 kGy จะให้ค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยงมากที่สุด ( $47.4 \times 10^{-20}$  CL/mol) ดังนั้น การใช้สารไวต่อปฏิกิริยาร่วมกันสามารถเพิ่มค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยงได้

### ข้อดีของการพรีวัลคาไนซ์น้ำยางด้วยรังสีแกมมา

1. การควบคุมปฏิกิริยาทำได้ง่าย ปฏิกิริยาจะหยุดทันทีเมื่อหยุดฉายรังสี
2. ขั้นตอนการผลิตน้ำยางวัลคาไนซ์ไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องใช้สารเคมีมาก
3. ไม่มีสารตกค้าง เช่น สารไนโตรซามีน จึงนิยมนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น ถุงมือยาง สายยางให้น้ำเกลือ ถุงยางอนามัย และของเล่นเด็ก
4. ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีความใส และมีความยืดหยุ่น
5. ช่วยลดการแพ้โปรตีน
6. ช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ
7. ช่วยลดพลังงานในการผลิต

ดังนั้น การใช้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ได้จากการฉายรังสีแกมมามีการใช้สารเคมีในปริมาณน้อยกว่าน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ใช้ระบบกำมะถัน และมีสิ่งเจือปนหรือสิ่งตกค้างน้อย นอกจากนี้พันธะคาร์บอน-คาร์บอนที่เกิดขึ้นจะทำให้ยางมีความทนต่อความร้อนได้ดี จึงเหมาะที่จะนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์

### เอกสารอ้างอิง

1. “Pre-vulcanized latex concentrated”, Global Handbook and Directory on NR&SR Lattices, Rubber Asia Publication, 2006
2. Makuuchi, K., “An Introduction to radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex”, T.R.I. Global Co., Ltd., 2003
3. Haque, M.E., “Radiation dose required for the vulcanization of natural rubber latex”, *Radiat. Phys. Chem.* 48(4), 1996
4. Cudby, P.E.F. and Devies, “Microstructure of peroxide prevulcanised latex films, *J.nat Rubb.Res.*, 12 (67), 1997
5. Ho, C.C. and Khew, M.C., “Surface morphology of prevulcanized natural rubber latex films by atomic force microscopy:new insight into the prevulxanization mechanism, *Langmuir*, 15, 6208, 1999
6. Sanggribsub, S., and Tangboriboonrat, P., “Toughnee enhancement of high impact polystyrene based on  $\gamma$ -radiation vulcanized natural rubber latex by using block copolymer, *J. Appl.Polym. Sci.*, 85, 1307, 2002

7. Tangboriboonrat, P., et al. "Toughness and morphology of radiation-crosslinked natural rubber modified polystyrene" *Polym. Int.*, 52,1198, 2003
8. ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์, "พอลิเมอร์คอลลอยด์" พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ: รวยเจริญการพิมพ์, 2545
9. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์, "กระบวนการผลิตน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีให้มีประสิทธิภาพโดยใช้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ร่วมกับสารไวปฏิกิริยา", 2539
10. ปรีดีเปรม จงรักษ์, ปริญญา อรุณวิสุทธิ "ผลของสารป้องกันออกซิเดชันต่อน้ำยางที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสี" 2537
11. คมกฤษ ฤทธิรงค์ และคณะ, "อิทธิพลของโดสรังสีแกมมาและสารไวปฏิกิริยาต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำยางธรรมชาติฉายรังสี" การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 11, กรุงเทพฯ, 2552