

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ (Blackley, 1997b: 78-105)

น้ำยางธรรมชาติที่กรีดยกจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่น มีความหนาแน่น 0.975 – 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าความเป็นกรด – ด่าง 6.0 – 7.0 ขนาดอนุภาคของยางอยู่ระหว่าง 400 – 25,000 Å โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเกิน 4,000 Å น้ำยางมีลักษณะเป็นสารละลายคอลลอยด์ (Colloid) ชนิดไฮโดรโซล (Hydrosol : สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย) น้ำยางจะมีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างไฮโดรฟิลิก กับไฮโดรโฟบิก แต่ลักษณะไฮโดรโฟบิกจะเด่นชัดกว่าจากการศึกษาของ Kovuttikulrangsie and Tanaka (1999) โดยใช้เครื่อง Coulter LS-230 ในการหาขนาดอนุภาคยางธรรมชาติ พบว่าขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามอายุของต้นยาง ยางธรรมชาติพันธุ์ต่าง ๆ กัน ไม่มีความแตกต่างของการกระจายของอนุภาคยาง การกระจายของอนุภาคยางที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว อยู่ระหว่าง 0.04 - 4.0 ไมครอน ขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1 ไมครอน จากการศึกษาของ Ohya, *et al.*, (2000) โดยใช้เครื่อง Light Scattering Analytical Method ในการหาขนาดอนุภาคยางธรรมชาติ พบว่าอนุภาคยางจากน้ำยางธรรมชาติสด จะมีลักษณะการกระจายตัวแบบ Bimodal Peak ปรากฏที่ตำแหน่ง 0.3 ไมครอน และ 1.0 ไมครอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยประมาณ 1.07 ไมครอน เมื่อทำการแยกส่วนโดยกระบวนการปั่นแยก โดยนำส่วนครีมที่ได้มาทำการวัดขนาดอนุภาค จะพบว่าการกระจายตัวจะมีลักษณะเป็น Unimodal สามารถแบ่งขนาดอนุภาคเฉลี่ย (Mean Particle Size) ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.0 ไมครอน และ น้อยกว่า 0.3 ไมครอน และจากการศึกษาของ Tangpakdee, *et al.*, (1999) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค Horiba LA – 910 Particle Size Distribution Analyser (Small Volume Module) พบว่าการกระจายของอนุภาคยางในส่วนของครีม (Cream) และส่วนของเซรัม (Serum) ที่แยกมาจากน้ำยางสด มีลักษณะดังนี้ อนุภาคยางในส่วนของครีม การกระจายของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.1 - 3.0 ไมครอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคโดยเฉลี่ย 1.03 ไมครอน มีลักษณะเป็น Bimodal ในส่วนของเซรัมการกระจายตัวของอนุภาคยางมีลักษณะเป็น Unimodal มีการกระจายของอนุภาคยางอยู่ในช่วง 0.05 - 0.3 ไมครอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 0.13 ไมครอน และในน้ำยางสดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแยกส่วน พบว่าจะมีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคยางเช่นเดียวกับในส่วนของครีม นอกจากนี้การศึกษขนาดอนุภาคของยางธรรมชาติสามารถศึกษาโดยใช้วิธี

การอื่น ๆ ได้อีก เช่นการใช้ Electroacoustics ซึ่งจะให้ผลสอดคล้องกับการทดสอบด้วยเครื่อง Transmission Electron (Li, *et al.*, 2000)

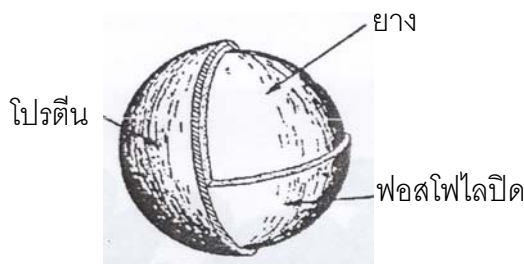
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด (Blackley, 1997b: 79)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36
เนื้อยางแห้ง	33
สารพวกโปรตีน	1 – 1.5
สารพวกเรซิน	1 – 2.5
จีเอ็ม	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

## 2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง

### 2.1.1.1 ส่วนของเนื้อยาง (Rubber Phase)

อนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนพวก ซิส 1,4-โพลีไอโซพรีน (Cis – 1,4 polyisoprene) มีความหนาแน่นประมาณ 0.92 กรัมต่อมิลลิเมตร รูปร่างของอนุภาคยางมีทั้งรูปกลมและรูปลูกแพร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.02 – 3.0 ไมครอน ไม่ละลายน้ำ และมีลักษณะเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ อนุภาคยางในสภาพน้ำยางสดห่อหุ้มด้วยชั้นของสารพวกไขมันและสารพวก โปรตีน โดยสารพวกไขมันจะอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นพวกฟอสโฟไลปิด ชนิดแอลฟาเลซิทิน ( $\alpha$ -Lecithin) ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวอนุภาคยาง ลักษณะของรูปร่างอนุภาคยางแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปร่างลักษณะของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ (Blackley, 1997b: 94)

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของส่วนของเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติ (Blackley, 1997b: 83)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
ยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ (กระจายอยู่ในไฮโดรคาร์บอน)	10
สารพวกไขมัน	3
สารพวกโปรตีน	1

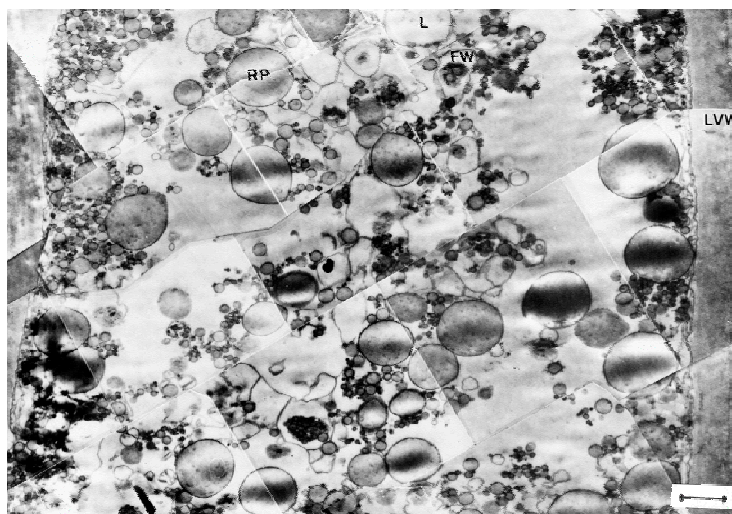
### 2.1.1.2 ส่วนที่เป็นน้ำ (Aqueous Phase)

ส่วนที่เป็นน้ำหรือเซรัมของน้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารเคมีต่าง ๆ ดังนี้คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดอะมิโน

### 2.1.1.3 ส่วนของลิวทอยด์และสารอื่น (Lutoids and Other Particulate Phases)

ลิวทอยด์หรือที่เรียกว่า วิสคอยด์ (Viscoids) มีลักษณะเป็นอนุภาครูปกลมมีเยื่อบางห่อหุ้มอยู่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 – 5 ไมครอน หนักกว่าอนุภาคยาง ภายในเยื่อบางของลิวทอยด์ประกอบด้วยของเหลวเรียกว่า บี-เซรัม (B-Serum) สามารถเกิดปฏิกิริยาออสโมซิส (Osmotic) ได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางมีผลให้ลิวทอยด์เกิดการบวมพอง หรือพองตัวแล้วแตกออก ส่งผลให้ความหนืดน้ำยางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังประกอบด้วย อนุภาคฟรี-วิสลิง (Frey wysling) มีลักษณะกลม สีเหลืองเข้ม ขนาดใหญ่กว่าอนุภาคยาง มีความหนาแน่นกว่าอนุภาคยางเล็กน้อย สีเหลืองของอนุภาคฟรี-วิสลิง เนื่องจากสารคาโรตินอยด์ แต่จะไม่พบอนุภาคฟรี-วิสลิง ในน้ำยางชั้นที่ใสแอมโมเนีย เนื่องจากถูกแยกออกระหว่างการปั่นน้ำยาง หรืออาจละลายในเซรัมขณะเติมแอมโมเนียลงในน้ำยาง

Yeang, *et al.*, (2002) ได้รายงานเกี่ยวกับการกระจายตัวของอนุภาคต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในท่อน้ำยาง (Mature Latex Vessel) พบว่าจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.2



**รูปที่ 2.2** ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ  
 (Electron micrograph of a longitudinal section of a mature latex vessel. RP = Rubber Particle; L = Lutoid; FW = Frey – Wyssling Particle; LVW = Latex Vessel Wall. Scale bar = 1  $\mu\text{m}$ .) (Yeang, *et al.*, 2002)

### 2.1.2 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติชั้น

น้ำยางธรรมชาติชั้นเตรียมมาจากกระบวนการปั่นแยกน้ำยางธรรมชาติสด เป็นการปั่นแยกเอาน้ำออกให้เหลือปริมาณเนื้อยางมากขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งน้ำยางธรรมชาติชั้นเป็น 2 ชนิด คือ น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Natural Rubber Latex, HA Type) และน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia Concentrated Natural Rubber Latex, LA Type) (Gazeley, *et al.*, 1990: 63-65) ซึ่งสมบัติของน้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดแอมโมเนียสูง แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดแอมโมเนียสูงที่ต้องการตามมาตรฐาน  
ASTM D1076-97 ผลิตโดยวิธีการปั่นแยก

Properties	HA
Total solids content (TSC), min, %	61.5
Dry rubber content (DRC), min, %	60.0
Total solid content minus dry rubber content, max, %	2.0
Total alkalinity calculated as ammonia, as % latex	0.60 min
Sludge content, max, %	0.10
Coagulum content, max, %	0.050
KOH number, max	0.80
Mechanical stability, min, s	650
Copper content, max, % of total solids	0.0008
Manganese content, max, % of total solid	0.0008
Color on visual inspection	no pronounced blue or gray
Odor after neutralization with boric acid	no putrefactive odor

ได้มีการศึกษาขนาดอนุภาคของน้ำยางชั้นหลังกระบวนการปั่นแยกโดย Pendle and Swinyard (1991) ซึ่งนำน้ำยางสดมาผ่านกระบวนการปั่นแยกเพื่อผลิตน้ำยางชั้น พบว่าขนาดอนุภาคของยางจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ในช่วง 510 – 600 นาโนเมตร ในกรณีของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Latex) และในน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia Concentrated Latex) จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ในช่วง 480 – 550 นาโนเมตร และพบว่าลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค (Particle Size Distribution) ของน้ำยางทั้งสองชนิด โดยใช้เครื่อง Photon Correlation Spectroscopy จะมีลักษณะเป็น Bimodal

## 2.2 การเตรียมสารเคมีสำหรับผสมน้ำยางคอมเพาต์ (Blackley, 1997a: 9-27)

### 2.2.1 เครื่องมือบดย่อยสาร

โดยทั่วไปการเตรียมสารเคมีดีสเพอร์ชันสำหรับใช้ในงานน้ำยาง ขั้นตอนแรกคือการผสมสารเคมีที่เป็นผงกับน้ำ และใส่สารที่เป็นตัวช่วยให้เกิดการกระจายตัวของดีสเพอร์ชัน (Dispersing Agent) และใส่สารให้เกิดความคงตัว (Colloid Stabilizer) ในปริมาณเล็กน้อย แล้วนำสารเคมีไปทำการบดสารเคมีผสมด้วยเครื่องบด เพื่อทำการบดย่อยอนุภาคของสาร แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ทำหน้าที่บดย่อยสารอนุภาคเล็กละเอียดที่เกาะกันอยู่ ให้แยกออกจากกัน ขนาดอนุภาคจะไม่ลดลง และจะไม่บดย่อยสารขนาดอนุภาคใหญ่ นิยมใช้เตรียมดีสเพอร์ชันของสารเคมีพวกซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) เคลอิโอไนท์เคลย์ (Kaolinite Clay) และไวติง (Whiting) เป็นต้น เครื่องมือประเภทนี้เรียกว่า คอลลอยด์มิล (Colloid Mills)

2. ทำหน้าที่บดย่อยสารอนุภาคขนาดใหญ่ หรืออนุภาคที่เกาะกันแน่นให้มีขนาดเล็กลง เครื่องมือประเภทนี้ได้แก่ บอลมิล (Ball Mills), เพบเบิลมิล (Pebble Mills), บีดมิล (Bead Mills), แซนดมิล (Sand Mills), อุลตราโซนิคมิล (Ultrasonic Mills), ไวเบรชันมิล (Vibration Mills) และ แอททริชันมิล (Attrition Mills)

#### 2.2.1.1 คอลลอยด์มิล (Colloid Mills)

เครื่องมือประเภทนี้อาศัยหลักการบดย่อยสารด้วยแรงเฉือน ความเร็วสูงมาก ซึ่งเหมาะในการเตรียมสารดีสเพอร์ชัน ของพวกที่มีอนุภาคละเอียดมาก ตัวอย่างเครื่องคอลลอยด์มิล เช่น Premier Colloid Mill และ Hurrell Colloid Mill

#### 2.2.1.2 บอลมิลและเพบเบิลมิล (Ball Mill and Pebble Mill)

เครื่องมือประเภทนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานน้ำยาง ส่วนสำคัญของเครื่องประกอบด้วยลูกกลิ้งยางเรียงขนานคู่กัน 1 คู่ ลูกกลิ้งลูกหนึ่งจะต่อกับมอเตอร์ ซึ่งจะนุดให้ลูกกลิ้งหมุนขณะใช้งาน และหม้อบรรจุสารที่ต้องการทำดีสเพอร์ชัน (Ball Mill Pot) จะวางนอนอยู่บนระหว่างคู่ของลูกกลิ้งยาง หม้อดังกล่าวอาจทำด้วยสแตนเลสหรือทำด้วยกระเบื้อง หม้อที่ทำจากสแตนเลส และภายในบรรจุลูกบดทำจากเหล็ก (Steel Balls) เรียกว่าบอลมิล ส่วนหม้อที่ทำจากกระเบื้อง และภายในบรรจุลูกบดทำจากกระเบื้อง (Porcelain Balls) เรียกว่าเพบเบิลมิล ซึ่งเพบเบิลมิลจะมีน้ำหนักน้อยกว่าบอลมิล และการหมุนของหม้อบดต้องใช้ความเร็วสูงกว่าบอลมิล เนื่องจากต้องการเอาชนะการลื่นไถลระหว่างลูกบดเพบเบิลและผนังของหม้อบดเพบเบิล นอกจากนี้แล้วพบว่า เพบเบิลมิลจะมีความจุน้อยกว่าบอลมิลกรณีที่มีขนาดอนุภาคลูกบดเท่ากัน และจะใช้

พลังงานในการบดน้อยกว่าบดมิล หลักการทำงานของลูกบดภายในหม้อบดเมื่อหม้อหมุนรอบตัวบดสารภายในหม้อจะเคลื่อนที่หมุนไปด้วย แต่จะหมุนตามหม้อไปเพียงช่วงสั้น ๆ แล้วก็จะตกกลับลงมา ทำให้อนุภาคของสารภายในหม้อถูกลูกบดกระทบและเกิดแตกขึ้นมา ซึ่งจะเกิดวัฏจักรอย่างนี้หมุนเวียนไปเรื่อย ๆ ตลอดการบดสารเคมี

ประสิทธิภาพของการบดมิลขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ ๆ ดังนี้คือ (วารสาร, 2525: 46-47)

1. ความเร็วในการหมุนของหม้อบดสาร ถ้าเร็วขึ้นส่งผลให้อัตราความเร็วของการบดเพิ่มขึ้นถึงจุดเต็มที่สุดหนึ่ง ซึ่งหากยังเพิ่มความเร็วในการหมุนของหม้อบดเพิ่มขึ้นอีก จะส่งผลให้ลดประสิทธิภาพในการบดสาร เนื่องจากลูกบดจะถูกปั่นไปติดอยู่ที่ข้างหม้อบดด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Force) และลูกบดไม่สามารถตกลงมาเพื่อไปกระทบสารให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงได้

2. ขนาดของลูกบดที่ใช้ในการบด ลูกบดขนาดเล็กจะบดสารได้เร็วกว่าลูกบดขนาดใหญ่ เนื่องจากจำนวนลูกบดที่ตกกระทบกระแทกสารให้แตกมีมาก แต่ลูกบดขนาดเล็กมีข้อเสียคือ มีปัญหายุ่งยากในการเทดิสเพอร์ชันออกจากหม้อ และการแยกลูกบดออกจากดิสเพอร์ชัน ตลอดจนปัญหาเกี่ยวกับการเกิดความร้อนและความไม่บริสุทธิ์ของดิสเพอร์ชันที่ได้

3. โดยทั่วไปนิยมใช้ลูกบดขนาดต่าง ๆ มาผสมกัน มากกว่าการใช้ลูกบดขนาดเดียวในการบดสารเคมี คาดว่าอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการที่ลูกบดขนาดเล็กกว่าสามารถแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างช่องว่างของลูกบดขนาดใหญ่

4. ลูกบดสามารถทำมาจากวัสดุชนิดต่าง ๆ ได้ พบว่าลูกบดที่ทำจากเหล็กจะบดได้เร็วกว่าลูกบดที่ทำมาจากกระเบื้อง หรือหินที่มีขนาดเท่า ๆ กัน ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะของเนื้อสาร ลูกบดเหล็กจะมีความหนาแน่นมากกว่าลูกบดที่ทำจากกระเบื้อง

5. ประสิทธิภาพของบดมิลสัมพันธ์โดยตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของบดมิล ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มการเคลื่อนที่ของลูกบดในหม้อบดขนาดใหญ่

6. ถ้าความหนืดของสารผสมที่ต้องการเตรียมดิสเพอร์ชัน ก่อนข้างหนืดมากจะทำให้ประสิทธิภาพการบดลดลง โดยทั่วไปควรปรับความหนืดของสารผสมให้พอเหมาะ ไม่กระทบต่อการเคลื่อนที่ของลูกบดในการกระทบสารเคมีทำให้เกิดการแตกกระจาย ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของสารเคมีลดลง

จากการทดลองของ Fisher (1941) พบว่าปริมาตรลูกหินที่ใส่ในหม้อบด ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ในช่วง 45 - 50 % ของปริมาตรทั้งหมด ถ้าใส่ลูกหินเกินกว่านี้พบว่าจะใช้พลังงานในการหมุนลดลง แสดงถึงการเคลื่อนไหวของลูกหินลดลง การบดก็จะลดลงด้วย การหมุนของหม้อบดจะหมุนด้วยอัตราเร็วคงที่ หม้อยิ่งหมุนเร็วประสิทธิภาพในการบดก็จะสูงขึ้นตามด้วย

แต่จะมีความเร็วสูงสุดค่าหนึ่งที่เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมาก ทำให้ลูกหินติดข้างหม้อบดไม่ตกลงมากระแทกกัน ความเร็วดังกล่าวเรียกว่า Critical Speed ที่ความเร็วดังกล่าวจะไม่เกิดการบดเลย ดังนั้นความเร็วของหม้อบดต้องไม่เกินค่า Critical Speed ซึ่ง Fisher (1941) ได้ให้สมการที่แสดงความเร็วของ Critical Speed ของบอลมิล ดังนี้

$$S_c = 54.19 / R^{1/2} \quad (2.1)$$

โดยที่

$$S_c = \text{ความเร็ววิกฤต (รอบต่อนาที)}$$

$$R = \text{รัศมีของหม้อ (ฟุต)}$$

ปริมาตรของสารเคมีกับน้ำที่จะบดใส่พอท่วมลูกหินเท่านั้น เหลือช่องว่างอากาศภายในเอาไว้ โดยทั่วไปจะให้ปริมาตรทั้งหมด สารเคมี และน้ำ รวมกันประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของปริมาตรความจุของหม้อบด (Stem, 1955 อ้างถึงใน บุญธรรม, 2532: 106-109)

Gorton and Pendle (1981b) ศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวของสารเคมีที่ใช้ผสมในคอมเปาต์ ที่มีขนาดอนุภาคต่าง ๆ กัน โดยใช้ Mill ชนิด Megapot Mill ใช้เวลาในการบดต่างกัน พบว่าผลกระทบของเวลาต่อขนาดอนุภาคสารเคมีเป็นดังนี้ ZDEC, Antioxidant WSP และ 2246 เมื่อใช้เวลาในการบดนานขึ้นขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยจะลดลง ส่วน ZMBT และ ZDBC ใช้เวลาในการบดนาน ๆ ทำให้เกิดการกลับมารวมตัวกันใหม่อีกครั้งของอนุภาคขนาดเล็ก (Re-aggregation) มีผลทำให้ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น สามารถควบคุมหรือป้องกันได้โดยใช้ Dispersing Agent ส่วน Sulphur พบว่าการลดขนาดอนุภาคขึ้นอยู่กับเวลา จะลดลงแบบคงที่ ต้องการเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ในการบดเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่ต้องการ และได้ศึกษาถึงอิทธิพลของเทคนิคการบดพบว่า เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการบดสารเคมีแบบ Vibro Energy Mill, Ordinary Ball Mill และ Attritor พบว่า Vibro Energy Mill ใช้เวลาในการบดน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาค 1.6 ไมครอน (dn) แต่เครื่องมือทั้งสามชนิดจะให้ดิสเพอร์ชันที่มีคุณภาพดีเช่นกัน

## 2.2.2 สูตรและการเตรียมดิสเพอร์ชัน

หลักสำคัญในการพิจารณาเติมสารดิสเพอร์ชันลงในน้ำยางมีดังนี้ (Blackley, 1997a: 1-2)

1. ขนาดของอนุภาคสารเคมีที่ถูกทำให้แขวนลอยในตัวกลางที่เป็นน้ำ จะต้องถูกบดให้มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับขนาดของอนุภาคยางในน้ำยางที่ใช้ เพื่อให้สารเคมีสามารถกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในน้ำยางคอมเปาต์ ในระหว่างที่นำไปผสมให้เข้ากับน้ำยาง นอกจากนั้นแล้ว ยังช่วยลดปัญหาการตกตะกอนแยกตัวออกของสารเคมีในระหว่างการเก็บรักษาน้ำยางคอมเปาต์



2. ระบบความเสถียรคอลลอยด์ (Colloid Stability) ของคิสเปอร์ชันที่เตรียมขึ้น ควรจะต้องเข้ากันได้กับน้ำยางที่ใช้ โดยทั่วไปคิสเปอร์ชันควรจะต้องมีระบบความเสถียรในระบบเดียวกันกับของน้ำยางที่ใช้ มิฉะนั้นแล้ว อาจเกิดปัญหาความไม่เสถียรของน้ำยางคอมเปคต์ที่ได้ ซึ่งมีผลทำให้น้ำยางคอมเปคต์ที่ได้มีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น และมีความทนทานต่อสารเคมีหรือมีความเสถียรเชิงกล ในระดับที่ลดต่ำลง ในกรณีที่ระบบความเสถียรคอลลอยด์ที่แตกต่างกันมากๆ ระหว่างคิสเปอร์ชันและน้ำยาง มีผลทำให้น้ำยางคอมเปคต์ที่ได้สูญเสียสภาพได้

3. pH ของคิสเปอร์ชันที่เตรียมขึ้น จะต้องมีสภาพของค่า pH เท่ากับหรือใกล้เคียงกับน้ำยางที่ใช้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดผลกระทบต่อความสมดุลของกรด-ด่างของน้ำยาง เมื่อเติมคิสเปอร์ชันเข้าไปในน้ำยาง นอกจากนั้น Ionic Strength ของส่วนที่เป็นน้ำในคิสเปอร์ชัน จะต้องใกล้เคียงกับ Ionic Strength ของส่วนที่เป็นน้ำในน้ำยางด้วย

หลักการสำคัญในการออกสูตรและเตรียมคิสเปอร์ชันมีดังต่อไปนี้ (วารสาร, 2525: 49-53)

1. สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารหลักที่ต้องการ ควรเป็นสัดส่วนธรรมดาๆ เช่น เป็น 2/3, 1/2, 1/3, หรือ 1/4 ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการคำนวณเปลี่ยนเป็นน้ำหนักของสารหลักให้เป็นน้ำหนักของคิสเปอร์ชัน เช่น เมื่อต้องการใช้กำมะถันน้ำหนัก 2.5 ส่วน (แห้ง) จะใช้กำมะถันคิสเปอร์ชัน 50 % น้ำหนักเท่ากับ  $(2.5 \times 100) / 50 = 5$  ส่วน (เหลว) เป็นต้น

2. วิธีการโดยทั่ว ๆ ไปในการเตรียมสารผสม (Dispersion Slurry) ขั้นตอนแรกทำการผสมสารละลายของตัวการทำให้เกิดคิสเพิส (Dispersing Agents) และสารช่วยความคงตัว (Colloid Stabilizers) กับน้ำให้เข้ากัน แล้วเติมสารที่เป็นผงแห้งลงในสารละลายดังกล่าว ภายใต้สภาวะการกวนด้วยความเร็วสูง

3. ในการเตรียมกำมะถันคิสเปอร์ชันมักเกิดปัญหา เนื่องจากมีความยุ่งยากในการทำให้กำมะถันแตกกระจาย และกำมะถันมักจะรวมตัวและตกตะกอนอย่างรวดเร็ว หลังจากเตรียมเป็นคิสเปอร์ชันแล้ว ดังนั้นในการเตรียมกำมะถันคิสเปอร์ชันนิยมใช้สารที่เป็นตัวการทำให้เกิดการคิสเพิส (Dispersing Agents) ในปริมาณค่อนข้างมาก คือ 2 - 2.5 ส่วน ต่อ 100 ส่วนของกำมะถัน และควรใช้สารช่วยความคงตัว (Colloid Stabilizers) อย่างน้อย 1 ส่วน สารช่วยความคงตัวอาจจะใช้พวกเคซีน หรืออาจจะใช้ Non - Inorganic Ethoxylate แทนได้ จากตารางที่ 2.4 พบว่าใช้เวลาในการบดลบล่อนค่อนข้างนานกว่าสารชนิดอื่น ใช้เวลาประมาณ 72 ชั่วโมง เพื่อใช้ได้กำมะถันคิสเปอร์ชัน ที่มีขนาดอนุภาคละเอียด สำหรับการผลิตพวกสายยางยืด หรือพวกงานจุ่มแบบพิมพ์ ความจำเป็นอีกประการหนึ่งของการเตรียมกำมะถันคิสเปอร์ชันคือการเติมสาร "Thickener" เพื่อช่วยลดหรือชะลอการตกตะกอน ในสูตรดังตารางที่ 2.4 แนะนำให้ใช้เบนโทไนท์เคลย์ หรืออาจ

จะใช้ เมทิลเซลลูโลส 1 % ของกัมมะถันแทนก็ได้ การเติมสาร Thickeners แนะนำให้เติมหลังจากเสร็จสิ้นจากกระบวนการบดคัสเปอร์ชัน

4. การเตรียมคัสเพิชั่นของสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ สามารถเตรียมให้มีความเข้มข้นได้ถึง 50 % ยกเว้นการเตรียมพวกซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต มีแนวโน้มจะเกิดรวมตัวกันและตกตะกอนได้ เพื่อความสะดวกนิยมเตรียมให้เข้มข้น 33 % และใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ ที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น เมทิลเซลลูโลสประมาณ 1 % ของสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เพื่อช่วยเสริมความคงตัวของคัสเพิชั่นและช่วยป้องกันการตกตะกอน

5. การเตรียมซิงค์ออกไซด์คัสเพิชั่น สามารถเตรียมโดยใช้การบดมิลหรือ อุลตราโซนิคมิล สำหรับกระบวนการจุ่มแบบพิมพ์ และผลิตสายยางยืด นิยมใช้กระบวนการบดมิลในการเตรียมคัสเพิชั่นมากกว่า โดยสามารถใช้สบู่แอมโมเนียม (Ammonium Soap) เติมลงในคัสเพิชั่นเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้เกิดการกระจายตัวได้ และควรระวังการเกิดซิงค์ออกไซด์รวมตัวกัน เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลของซิงค์-เอมีน (Zinc - Amine Ions) กับอนุมูลของสบู่ (Soap Anion)

6. จากสูตรการเตรียมคัสเพิชั่นในตารางที่ 2.4 แสดงการเตรียมคัสเพิชั่นของระบบวัล

คาไนซ์ ซึ่งเตรียมแบบแยกสารแต่ละตัว คือ กัมมะถันคัสเพิชั่น ซิงค์ออกไซด์คัสเพิชั่น และคัสเพิชั่นของสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิดสารเตรียมคัสเพิชั่นแบบรวมได้ กล่าวคือ สามารถนำสารคัสเพิชั่นมาผสมรวมกันได้ โดยใช้อัตราส่วนตามสูตรการผสมตามที่ต้องการ ซึ่งจะเป็นการลดจำนวนครั้งของการชั่งตวงสาร เท่ากับเป็นการลดความผิดพลาดในน้ำหนักของสารด้วย นอกจากนี้ยังอาจรวมเอาสารพวกต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและสารอื่น ๆ ที่ต้องการใช้ในปริมาณน้อย ๆ ทำเป็นคัสเพิชั่นรวมกับสารวัลคาไนซ์ได้ด้วย

7. การเตรียมคัสเพิชั่นสารต้านปฏิกิริยาการออกซิเดชัน มักมีปัญหายุ่งยากเนื่องจากธรรมชาติของสารประเภทนี้เป็นเรซิน จึงมีการคิดวิธีการใหม่ ๆ เพื่อแก้ปัญหา โดยการใช้สารตัวเติมเฉื่อย ที่มีขนาดอนุภาคละเอียด (Fine Particle Inert Filler) มาเป็นตัวนำพา (Carrier) พบว่าสารเคลอิโอไนท์เคลย์ (Kaolinite Clays) นิยมนำมาทำเป็นสารตัวนำพาซึ่งใช้ได้ผลดีที่สุด จากตารางที่ 2.4 พบว่า ปริมาณเคลอิโอไนท์เคลย์ที่ใช้เท่ากับปริมาณของสารต้านปฏิกิริยาการออกซิเดชันสามารถเตรียมคัสเพิชั่นเข้มข้น 50 % ได้ ปริมาณการใช้สารทำให้เกิดการกระจาย (Dispersing Agent) และสารช่วยความคงตัว (Colloid Stabilizers) ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงกว่าคัสเพิชั่นชนิดอื่น การเกิดคัสเพิชั่นของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นไปได้ดังนี้คือ เมื่อสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดการแตกกระจายตัวออกของอนุภาค อนุภาคละเอียดของเคลย์จะเข้าไป

เคลือบรอบ ๆ ผิวของอนุภาคสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ส่งผลให้ไม่เกิดการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่แตกกระจายออกแล้ว

8. การเตรียมดีสเพอร์ชันของสารตัวเติม เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และเคลอิโอไนท์เคลย์ มักจะเตรียมให้มีความเข้มข้น 67 % และบางเกรดสามารถเตรียมให้เข้มข้นได้ถึง 75 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค และการกระจายตัวของอนุภาคสารตัวเติม เนื่องจากในสูตรคอมพาค์ของผลิตภัณฑ์บางชนิด ต้องการใช้สารตัวเติมในปริมาณที่มาก จึงแนะนำให้เตรียมดีสเพอร์ชันโดยการผสมน้ำในปริมาณที่น้อย โดยทั่วไปสารตัวเติมจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กละเอียด ซึ่งจะทำให้สามารถจับเป็นก้อนได้ง่าย จึงจำเป็นต้องเตรียมดีสเพอร์ชันสารตัวเติม โดยการผ่านคอลลอยด์มิล หากการผ่านคอลลอยด์มิลไม่เพียงพอ ต้องทำการบดโดยการผ่านอูลตราโซนิกมิลอีกรอบ และบางครั้งจำเป็นต้องลดปริมาณของแข็งในส่วนผสมของดีสเพอร์ชันลง เพื่อเป็นการลดความหนืดของสารผสมที่จะผ่านเข้าเครื่องบดชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างสูตรผสมของดีสเพอร์ชัน (Blackley, 1997a: 20)

Ingredient	Parts by Mass									
	Sulphur		Accelerator		Zinc Oxide		Antioxidant		Filler	
	Dry	Actual	Dry	Actual	Dry	Actual	Dry	Actual	Dry	Actual
Sulphur (Dry)	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-
Accelerator (Dry)	-	-	67	67	-	-	-	-	-	-
Zinc Oxide (Dry)	-	-	-	-	100	100	-	-	-	-
Antioxidant (Dry)	-	-	-	-	-	-	50	50	-	-
Filler (Dry)	-	-	-	-	-	-	-	-	133	133
Sodium methylene-bis-(naphthalenesulphonate) (as 10% m/m aqueous solution)	2.5	25	1	10	1	10	1.5	15	1	10
Fatty – alcohol ethoxylate (as 20% m/m aqueous solution)	-	-	1	5	1	5	1.5	7.5	0.5	2.5
Ammonium caseinate (as 15% m/m aqueous solution)	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-
Kaolinite clay (Dry)	-	-	-	-	-	-	50	50	-	-
Bentonite clay (as 5% m/m aqueous slurry)	1	20	-	-	-	-	-	-	-	-
Water	-	48	-	118	-	85	-	77.5	-	54.5
Suggested grinding treatment	Ball mill for 72 hours		Ball mill for 24 hours		Colloid mill, ultrasonic mill; or ball mill for 18 hours		Ball mill for 24 hours		Colloid mill or ultrasonic mill	
Total solid content (% m/m)	52.25		34.50		51.00		51.50		67.25	
Nominal content of active ingredient (% m/m)	50		33		50		25		67	

Calvert (1982: 8-9) ได้บรรยายถึงวิธีการเตรียมสารเคมีสำหรับการผสมกับน้ำยางไว้ว่า การเตรียมดีสเพอร์ชันต้องมีการบดให้ขนาดอนุภาคสารเคมีเล็กลง โดยใช้กระบวนการ Ball Mill, Attritor หรือ Colloid Mill โดยทั่วไปจะบดสารเคมีให้มีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 5 ไมครอน ในกรณีที่สารเคมีเป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ ต้องมีการเติมสาร Dispersing Agent เพื่อช่วยให้สารเคมีที่ถูกบดเกิดการกระจายตัวแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำได้อย่างเสถียร การเตรียมดีสเพอร์ชันสามารถเตรียมให้มีความเข้มข้นในช่วงตั้งแต่ 30 - 70 % แต่ที่นิยมมากที่สุดคือการเตรียมให้มีความเข้มข้น 50 % ส่วนในกรณีที่สารเคมีสามารถละลายน้ำได้ มักจะเตรียมสารในรูปสารละลาย (Aqueous Solution) โดยมีข้อจำกัดในการเตรียมคือ ความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมจะต้องไม่สูงเกินไปเพราะจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Shock Effect และมีผลต่อ pH ของน้ำยางคอมพาวด์ นอกจากนี้สารละลายที่เตรียมต้องไม่ประกอบด้วยไอออนที่ทำให้เกิดความไม่เสถียรในน้ำยาง เช่น Polyvalent เป็นต้น โดยหลักการทั่วไปแล้ว จะแนะนำให้เตรียมสารละลายให้มีสมบัติและลักษณะที่ใกล้เคียงกับน้ำยางมากที่สุด

### 2.3 ส่วนประกอบของคอมพาวด์น้ำยางธรรมชาติ

หลักการผสมสารเคมีอื่น ๆ ลงในน้ำยางมีลักษณะคล้ายกับการผสมในยางแข็ง แต่จะมีข้อแตกต่างอยู่บ้างเล็กน้อย คือ สารต่าง ๆ ที่จะผสมลงในน้ำยางต้องผ่านการเตรียมให้เป็นของเหลวหรือให้อยู่ในสถานะเป็ยกก่อน ทั้งนี้เพราะการใช้สารต่าง ๆ ในสภาวะแห้งเติมลงในน้ำยาง จะทำให้เกิดปัญหาการจับตัวของน้ำยางได้ ยกเว้นได้มีการปรับน้ำยางให้สามารถรับสารในสภาวะแห้ง ๆ ได้ สารเคมีที่ใช้ในการผสมกับน้ำยางธรรมชาติประกอบด้วยสารต่อไปนี้ (วารสาร, 2525: 18-42)

1. น้ำยาง
2. สารวัลคาไนซิง (Vulcanizing agents)
3. สารเร่งปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ (Accelerators)
4. สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidants)
5. สารเพิ่มและสารสีต่าง ๆ (Fillers and Pigments)
6. สารพวกผิวหน้าไวต่อปฏิกิริยา (Surface Actives Agents)
7. สารช่วยปรับความหนืดและสารช่วยป้องกันคอลลอยด์ (Viscosity Modifiers and Protective Colloids)
8. สารอื่น ๆ

### 2.3.1 สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent)

การวัลคาไนซ์คือกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่อยู่ใสภาพที่ไม่คงตัวให้เป็นยางที่รักษารูปทรงได้ ในลักษณะยืดหยุ่น หรือแข็งกระด้าง โดยการใช้สารวัลคาไนซ์ ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุล เรียกว่า Crosslink ตรงจุดที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา สารวัลคาไนซ์ที่ใช้สำหรับยางธรรมชาติคือ กำมะถัน ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของกำมะถันจะเป็น  $S_8$  ซึ่งจะเสถียรมาก ต้องใช้พลังงานในการแตกวงแหวนโมเลกุลกำมะถันสูงถึง 64 kcal/mol (Pauling, 1944 อ้างถึงใน จิตรา, 2532: 2) จึงต้องใช้อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์สูงเมื่อใช้กำมะถันเป็นสารวัลคาไนซ์ การละลายของกำมะถันในยางจะขึ้นอยู่กับชนิดของยาง สำหรับยางธรรมชาติ และยางเอส บี อาร์ กำมะถันจะละลายได้ค่อนข้างดีที่อุณหภูมิห้อง แต่สำหรับยางบิวทาไดอิน และยางไนไตรล์ กำมะถันจะละลายได้ยากพบว่าความสามารถในการละลายของกำมะถันในยางธรรมชาติที่อุณหภูมิห้องสามารถละลายได้สูงสุด 1.5 phr (Weng, *et al.*, 2000) โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นกำมะถันจะละลายได้มากขึ้น ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส กำมะถันสามารถละลายได้ 1% เมื่อเทียบกับยาง 100 ส่วน แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 75 องศาเซลเซียส กำมะถันสามารถละลายได้ถึง 6% (Twiss, 1928) เมื่อตั้งทิ้งไว้กำมะถันที่เป็นส่วนเกินจะตกผลึกออกมา ผลึกนั้นอาจจะตกอยู่ในเนื้อยาง หรือออกมาที่ผิวของยางก็ได้ การตกผลึกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกำมะถันที่มากเกินพอนั้น และความสามารถในการแพร่ของกำมะถันในยางซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของยาง นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับส่วนผสมอื่น ๆ เช่น สารตัวเร่ง เป็นต้น การตกผลึกออกมาที่ผิวของยางเรียกว่า การบลูม (Bloom) ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาที่ทำให้ยางต่ออย่างไม่ติดกัน ถ้ามีรอยแนวของกำมะถันที่ตกผลึกที่ผิวมากนั้นไว้

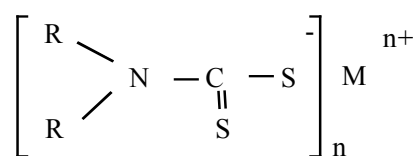
Blackley (1997a: 35-36) รายงานว่าปริมาณกำมะถันที่ใช้ในการเตรียมคอมพาวด์น้ำยางธรรมชาติประมาณ 1 - 2 phr แบ่งการเชื่อมโยงโมเลกุล (Crosslink) ของคอมพาวด์ Sulphur - Vulcanization ตามปริมาณกำมะถันที่เชื่อมโยงใน Single Crosslink เป็น 3 ประเภท คือ Monosulphidic, Disulphidic และ Polysulphidic ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทการเชื่อมโยงโมเลกุลต่อสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) และ สมบัติหลังการให้ความร้อน (Ageing Behaviour) ของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ พบว่า การเชื่อมโยงโมเลกุลแบบ Polysulphidic จะให้สมบัติทางด้าน Tensile Properties สูง ส่วน Monosulphidic จะให้สมบัติทางด้านทนความร้อนได้ดี (Stable Thermal) กว่า Polysulphidic การเตรียมคอมพาวด์ที่ใช้กำมะถันเป็นสารวัลคาไนซ์ในน้ำยางธรรมชาติ พบว่าจะเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลแบบ Polysulphidic มากกว่า เนื่องจากอัตราส่วนในการใช้กำมะถันต่อสารตัวเร่ง จะเป็นระบบกำมะถันปกติ (Conventional System) มากกว่า ระบบอีวี (Efficient Vulcanization System) และในกระบวนการวัลคาไนซ์จะทำให้ อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเกิด Polysulphidic Crosslink มากกว่า

การเชื่อมโยงโมเลกุล (Crosslink) แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ การเชื่อมโยงโมเลกุลทางเคมี (Chemical Crosslinks) และการเชื่อมโยงโมเลกุลทางกายภาพ (Physically Effective Crosslinks) ความแตกต่างระหว่างการเชื่อมโยงโมเลกุลทางเคมีและทางกายภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลยางเพิ่มขึ้น ฉะนั้นการเชื่อมโยงโมเลกุลของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ จะหมายถึงเฉพาะการเชื่อมโยงโมเลกุลทางเคมีเท่านั้น เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง และไม่ผ่านกระบวนการบดผสม (Mastigation) ในขั้นตอนการเตรียมคอมเปคต์ก่อนการขึ้นรูป ผลกระทบของปริมาณการเชื่อมโยงโมเลกุลต่อสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ ซึ่งรายงานโดย Porter (1988) อ้างถึงใน Blackley (1997a: 40-43) พบว่าการเพิ่มปริมาณการเชื่อมโยงโมเลกุลส่งผลให้ค่า Elastic Modulus และ Hardness เพิ่มขึ้น ระยะยืดจนขาดลดลง ค่า Tensile Strength และค่า Tear Strength จะขึ้นสูงสุดแล้วลดลง เมื่อปริมาณการเชื่อมโยงโมเลกุลเพิ่มขึ้น โดย Tear Strength จะมีความชันมากกว่าค่า Tensile Strength ที่ปริมาณการเชื่อมโยงโมเลกุลต่ำกว่า โดยใช้ค่า Relaxed Modulus ที่ระยะยืด 100% เป็นตัวตรวจวัดความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink Density)

### 2.3.2 สารเร่งปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ (Accelerators)

เนื่องจากการวัลคาไนซ์ในน้ำยาง ไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับปัญหาเรื่องยางคงรูปก่อนกำหนด (Scorch) และในกระบวนการวัลคาไนซ์มักจะใช้อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงมักใช้สารประเภทที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา สารที่นิยมใช้กันมากจะเป็นพวกเกลือของไดไทโอคาร์บาเมต จะเป็นเกลือประเภทแคทไอออน (Cations) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทกว้าง ๆ คือเกลือของโลหะ (Metal Ions) และเกลือของแอมโมเนียม (Substituted Ammonium Ions) นิยมใช้เกลือของกรดไดอัลไธโอคาร์บาเมต (Dialkyldithiocarbamic Acids)

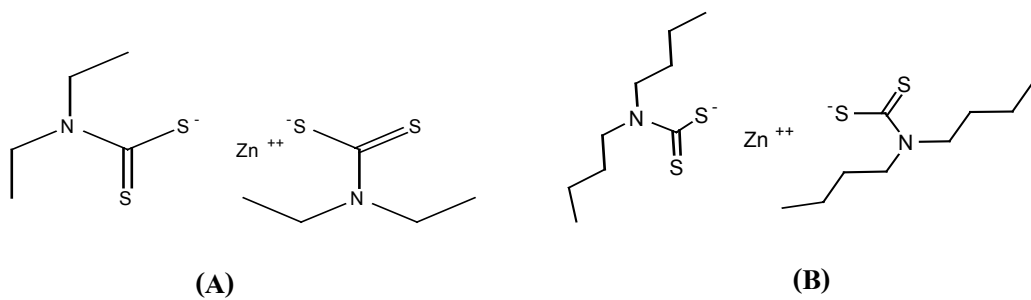
โครงสร้างทั่วไปของเกลือของกรดไดไทโอคาร์บาเมต แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของเกลือของกรดไดไทโอคาร์บาเมต

ในทางทฤษฎีเอสลิคกรุปทั้งสองของแต่ละโมเลกุลอาจแตกต่างกัน แต่ในทางปฏิบัติแล้ว

กรุปทั้งสองเป็นชนิดเดียวกัน อนุมูลเป็นได้ทั้งอนุมูลของโลหะหรือสารพวกแอมโมเนียม และความแตกต่างระหว่างเกลือของเอมีนกับของโลหะแอลคาไล (Alkali Metal) คือเกลือของเอมีนละลายน้ำได้ ส่วนเกลือของโลหะแอลคาไลไม่ละลายน้ำ สารพวกไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตที่นิยมใช้ในเทคโนโลยีน้ำยางมากที่สุดคือ ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc Diethyldithiocarbamate) กับ ซิงค์ไดบูทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc di-n-butylthiocarbamate) เป็นสารตัวเร่งเสริม ถึงแม้ว่าซิงค์ไดไทโอคาร์บาเมตสามารถปลดปล่อย Zinc Ions ออกมาได้ในพื้นที่ของของเหลวในน้ำยาง (Latex Aqueous Phase) ซึ่งจะส่งผลไปลดความเสถียรของคอลลอยด์ของน้ำยางที่ถูกทำให้เสถียรโดยใช้คาร์บอกซิเลต (Carboxylate Stabilized) เพียงเล็กน้อย ผลกระทบนี้จะขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียด้วย เนื่องจากความสามารถในการละลายในตัวกลางที่เป็นของเหลวต่ำ (Low Solubility in Aqueous Media)



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของสารตัวเร่งไดไทโอคาร์บาเมต (A) Zinc-n-diethyldithiocarbamate และ (B) Zinc-n-dibutyldithiocarbamate

Robinson Brothers (1953) Quoted in Blackley (1997a: 45-47) รายงานผลการทดลองแปรระยะเวลาการวัลคาไนซ์ต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มจากน้ำยางธรรมชาติ โดยใช้สารตัวเร่งประเภทซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ ซิงค์ลูเพทีดินไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc Lupetidinedithiocarbamate), ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc Diethyldithiocarbamate) และซิงค์เพนตะเมทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc Pentamethylenedithiocarbamate) โดยใช้ปริมาณสารตัวเร่งโดยน้ำหนักเท่ากัน แต่จะมีค่าความเข้มข้นรวมเป็นโมลาร์ (Overall Molar Concentrations) ในยางต่างกัน เนื่องจากสารตัวเร่งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน พบว่า Zinc Lupetidinedithiocarbamate (ZLDC) จะว่องไวต่อปฏิกิริยามากที่สุด มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด แม้ใช้ระยะเวลาการวัลคาไนซ์น้อย ค่า

ความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดจนขาดจะไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการวัลคาไนซ์ แสดงให้เห็นว่าสารตัวเร่ง ZLDC มีผลให้เกิดกระบวนการวัลคาไนซ์เร็วที่สุด Zinc Pentamethylenedithiocarbamate (ZPMDC) จะว่องไวต่อปฏิกิริยาน้อยที่สุด มีค่า Tensile Strength ต่ำที่สุดที่ระยะเวลาการวัลคาไนซ์เท่ากัน ส่วน Zinc Diethyldithiocarbamate (ZDEC) จะว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่า ZPMDC แต่น้อยกว่า ZLDC โดยทั่วไปแล้วพบว่าความว่องไวต่อปฏิกิริยาของ Zinc Dialkyldithiocarbamate ซึ่งจะใช้เป็นสารตัวเร่งของกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ถ้าความยาวสายโซ่ของ Alkyl Group เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ได้มีการทดลองยืนยันผลของความว่องไวต่อปฏิกิริยาของ Zinc Dialkyldithiocarbamate โดย Winspear (1954) Quoted in Blackley (1997a: 47-48) โดยทำการแปรชนิดของสารตัวเร่งไดเอทิลไดไทโอคาร์บามต 3 ชนิดคือ Dimethyl, Diethyl และ Di-n-Butyldithiocarbamate พบว่า Zinc Dimethyldithiocarbamate (ZDMDC) จะว่องไวต่อปฏิกิริยาน้อยที่สุด ส่วน Zinc di-n-Butyldithiocarbamate (ZDBDC) จะว่องไวต่อปฏิกิริยามากที่สุด ซึ่งจากการทดลองสามารถยืนยันได้ว่าผลกระทบของความยาวของสายโซ่ Alkyl Group ต่อความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารตัวเร่งในกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันของยางธรรมชาติ ถ้าความยาวสายโซ่ของ Alkyl Group เพิ่มขึ้น ความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารตัวเร่งจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มดีขึ้น เนื่องจากความสามารถในการละลายของ Zinc Dialkyldithiocarbamate ในยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

Du Pont (1954) Quoted in Blackley (1997: 50-52) ศึกษาสารตัวเร่งประเภท Dithiocarbamate ซึ่งสามารถละลายน้ำได้โดยใช้ Sodium di-n-Butyldithiocarbamate เป็นสารตัวเร่งในกระบวนการวัลคาไนซ์โดยการใช้กำมะถัน เตรียมแผ่นฟิล์มจากน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางสังเคราะห์ Styrene – Butadiene Rubber พบว่าในน้ำยางธรรมชาติปริมาณสารตัวเร่งที่ใช้เพียง 0.5 pphr สามารถเกิดการวัลคาไนซ์ได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และสามารถวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 1 อาทิตย์ การเพิ่มปริมาณสารตัวเร่งไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการวัลคาไนซ์ (Rate of Vulcanization) แต่จะมีผลต่อการเพิ่มระดับการวัลคาไนซ์ (State of Vulcanization) โดยพบว่าค่าโมดูลัสจะเพิ่มขึ้น และค่า Permanent Set จะลดลง กรณีของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางสังเคราะห์ Styrene – Butadiene Rubber พบว่าต้องใช้ปริมาณสารตัวเร่งมากกว่าน้ำยางธรรมชาติ ใช้ประมาณ 1.0 pphr จึงจะทำให้เกิดการวัลคาไนซ์อย่างรวดเร็ว แต่จะมีค่า Tensile Strength ต่ำ เนื่องจากเมื่อได้รับแรงดึงจะทำให้เกิดการตกลึกในแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ได้น้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่มีระดับการวัลคาไนซ์ที่ต่ำกว่า การเพิ่มปริมาณสารตัวเร่งจาก



1.0 phr ไปเป็น 3.0 phr ส่งผลให้เพิ่มระดับการวัลคาไนซ์มากกว่าอัตราการวัลคาไนซ์ โดยพบว่าค่าโมดูลัสจะเพิ่มขึ้น และค่า Permanent Set จะลดลง

Miller and Power (1959) Quoted in Blackley (1997a: 53-54) ศึกษาสารตัวเร่งชนิดไดไทโอคาร์บาเมต 2 ชนิด คือ ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตและซิงค์ไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมต โดยทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจาก Isobutene – Isoprene Rubber Latex และทำการ Postvulcanized ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าถ้าใช้สารตัวเร่ง Zinc Diethyldithiocarbamate จะเกิดกระบวนการวัลคาไนซ์ได้เพียงเล็กน้อย ภายใต้สภาวะที่ใช้อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียส แต่พบว่าถ้าใช้สารตัวเร่ง Zinc di-n-Butyldithiocarbamate ร่วมกับ Activated Dithiocarbamate ที่สามารถละลายน้ำได้ สามารถใช้อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่า นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงทุกช่วงอุณหภูมิการวัลคาไนซ์มีค่าสูงกว่า

การใช้ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต ทำให้น้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียเริ่มเกิดคริมแข็งขึ้นอย่างช้า ๆ ภายใต้สภาวะปกติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดอนุมูลซิงค์ขึ้นอย่างช้า ๆ ใดๆก็ตามลักษณะดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นกับการใช้ซิงค์เพนตะเมทิลลีน ไดไทโอคาร์บาเมต ซึ่งอาจเป็นเพราะสารนี้มีความสามารถในการละลายในเซรุ่มได้ดี ปัญหาเหล่านี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าใช้สารตัวเร่งไดไทโอคาร์บาเมตชนิดที่ไม่มีซิงค์เป็นองค์ประกอบ ปัญหาอีกประการหนึ่งของการใช้สารตัวเร่งพวกไดไทโอคาร์บาเมตคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักเกิดรอยดำหนิ เนื่องจากสารทองแดงได้ง่าย เพราะเมื่อผลิตภัณฑ์ไปสัมผัสกับสารที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบแม้เพียงเล็กน้อย จะเกิดเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลของสารพวก Copper Dithiocarbamate ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับไดไทโอคาร์บาเมตที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ การพิจารณาการเลือกใช้สารตัวเร่งชนิดไดไทโอคาร์บาเมต ขึ้นอยู่กับความต้องการไดไทโอคาร์บาเมตชนิดที่สามารถละลายน้ำได้หรือชนิดที่ละลายน้ำไม่ได้ สำหรับชนิดที่ละลายน้ำได้สามารถผสมเข้ากับน้ำยางได้ง่ายกว่าชนิดที่ไม่ละลายน้ำ แต่พวกที่ละลายน้ำได้จะไวต่อปฏิกิริยาน้อยกว่าพวกที่ไม่ละลายน้ำ อย่างไรก็ตามแนะนำให้ใช้พวกที่ละลายน้ำไม่ได้สำหรับงานที่จำเป็นต้องล้างผลิตภัณฑ์ในน้ำก่อนนำไปวัลคาไนซ์ ถึงแม้ยอมรับกันว่าพวกที่ละลายน้ำจะไม่สามารถละลายออกขณะผ่านน้ำร้อนก็ตาม