

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กระบวนการผลิตยางฟองน้ำ

หลักการสำคัญของการผลิตยางฟองน้ำประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ 3 ขั้นตอนคือ (1) ทำให้น้ำยางเกิดฟองเป็นฟองอากาศหรือฟองของก๊าซต่าง ๆ (2) ทำให้น้ำยางที่เป็นฟองแล้วเกิดเจลในเบ้าหรือในบริเวณที่กำหนด และ (3) วัลคาไนซ์ฟองยางที่ได้

แนวความคิดและการค้นคว้าทดลอง เพื่อผลิตยางรูปทรงสำหรับใช้งานในด้านต่างๆ ได้มีมานานแล้ว และหลักการพื้นฐานของการทำยางที่มีรูปทรงได้ประสบความสำเร็จอย่างชัดเจน เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1929 ซึ่งเป็นเทคนิคที่เรียกว่ากระบวนการแบบคั้นล้อป หรือกระบวนการซิลิโคฟลูออไรด์ เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการผลิตยางฟองน้ำ ประกอบด้วยการทำให้น้ำยางเป็นฟองด้วยการใช้เครื่องกลตีหรือปั่นอากาศเข้าไปในน้ำยางที่มีส่วนผสมของสารเคมีต่าง ๆ อย่างเหมาะสมแล้ว เมื่อได้ฟองดีแล้วจึงเติมสารเคมีที่จะช่วยให้เกิดเจลอย่างช้า ๆ (Delayed - action gelling agent) เพื่อให้ฟองเหลวได้มีเวลาฟอร์มรูปร่างตามแบบของเบ้าก่อนเกิดการเจล จากนั้นจึงวัลคาไนซ์ฟองเจลที่เปียก แล้วนำฟองยางที่ได้ล้าง อบแห้งและตกแต่งในขั้นสุดท้ายต่อไป (Morton, 1995)

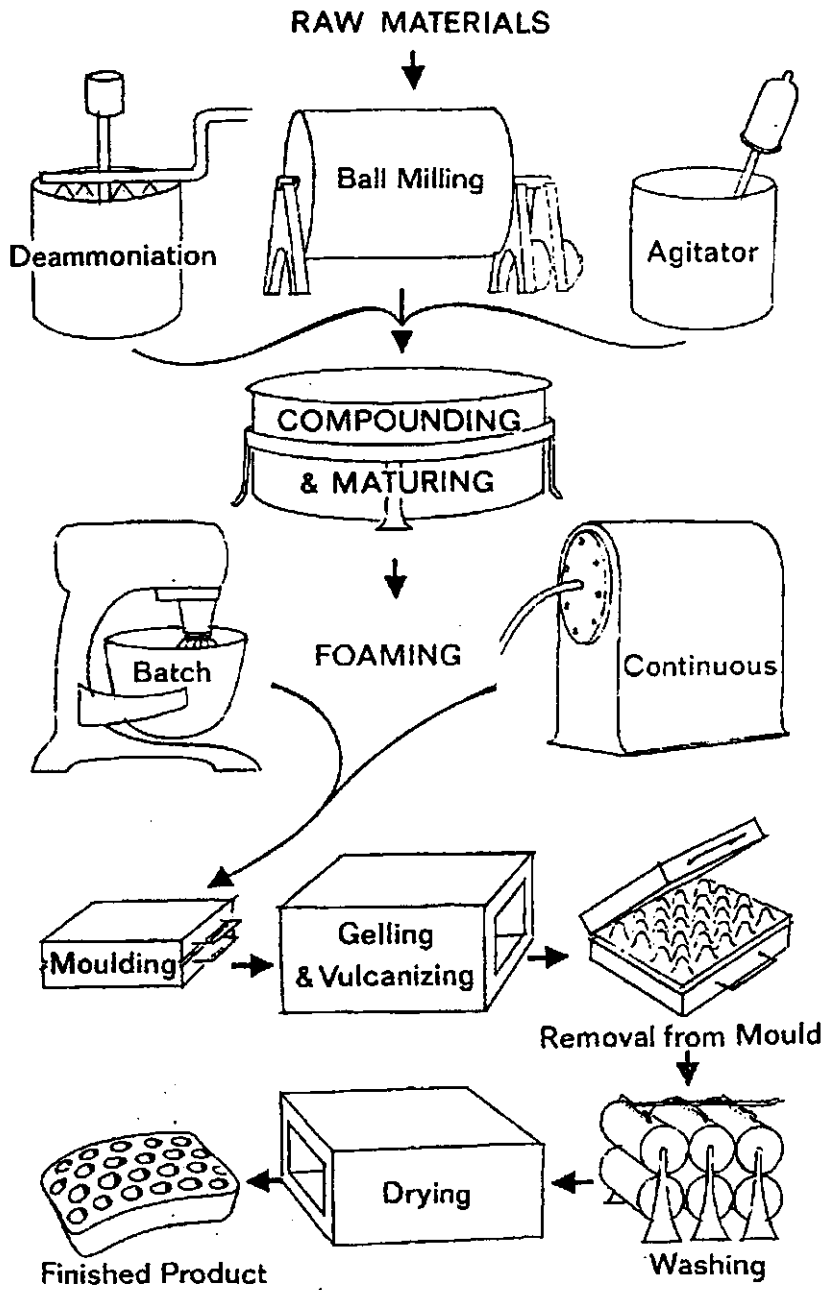
สำหรับวิธีการอื่น ๆ ที่มีการค้นคว้าและยังคงมีการผลิตกันในปัจจุบัน ได้แก่วิธีการของ Joseph Talalay ซึ่งคิดค้นราวปี ค.ศ. 1936 เรียกว่า กระบวนการแบบทาลาเลย์ (Talalay process) (Blackley, 1997a) ซึ่งกระบวนการนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง กระบวนการแบบทาลาเลย์ในปัจจุบัน สามารถสรุปโดยย่อได้ดังนี้ เริ่มต้นจากการทำให้น้ำยางที่ปั่นเป็นฟองโดยทางกล ทำให้ฟองตัวโดยใช้ระบบสูญญากาศแล้วใช้ความเย็นทำให้ฟองยางเกิดการเจล ซึ่งเทคนิคความเย็นนี้ใช้ส่วนผสมของเอทิลีน ไกลคอล-น้ำ ให้ได้อุณหภูมิประมาณ -30 องศาเซลเซียส หล่อระบบเบ้าที่บรรจุฟองน้ำยางที่ฟองตัวแล้วเพื่อให้ฟองยางที่ได้มีอุณหภูมิต่ำ แล้วจึงผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปที่เบ้าระบบสูญญากาศ ซึ่งได้เปลี่ยนเป็นส่วนผสมของคาร์บอนไดออกไซด์-อากาศ จากนั้นจึงอุ่นเบ้าให้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 2 ระดับเป็น 4 องศาเซลเซียส และต่อมาเป็น 38 องศาเซลเซียสจากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 110 องศาเซลเซียสตามลำดับ เพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์

กระบวนการทำยางฟองน้ำอีกเทคนิคหนึ่งคือ กระบวนการรีเวเท็กซ์ (Revertex process) (Blackley, 1997b) โดยกระบวนการนี้จะใช้น้ำยางชั้น 75 % จากวิธีการระเหยน้ำและรักษาไว้ด้วยโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้น้ำยางฟูตัวโดยใช้ก๊าซออกซิเจน ซึ่งได้มาจากการแตกตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ที่ถูกเร่งการแตกตัวด้วยสารตัวเร่ง (ที่อาจมาจากพวกฮีโมโกลบิน หรือ ยีสต์

๑๗๑) แล้วทำการเกิดเจลโดยใช้โซเดียมซิติโคฟลูออไรด์ร่วมกับแอมโมเนียมซัลเฟต แล้ววัลคาไนซ์ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นานอย่างน้อย 20 นาที

## 2.2 การผลิตยางฟองน้ำโดยกระบวนการแบบคั้นด้อป

หลักการและขั้นตอนโดยสังเขปของกระบวนการของคั้นด้อป มีดังต่อไปนี้ วัตถุประสงค์ใช้น้ำยางธรรมชาติชั้น (Klemperer and Frisch, 1991) ชั้นแรกจะทำการปรับปริมาณแอมโมเนียในน้ำยาง น้ำยางที่ปรับแอมโมเนียแล้วเติมสารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ สบู่ สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่ง สารช่วยเกิดฟอง สารป้องกันการเสื่อมสลายของยาง สารตัวเติม ซึ่งสารเหล่านี้อาจเติมในรูปสารแขวนลอย (Dispersion) หรือสารละลาย (Solution) หรืออิมัลชัน (Emulsion) ทั้งนี้แล้วแต่ธรรมชาติของสารนั้น ๆ การผสมสารเคมีต่าง ๆ อาจจะแบ่งเติมเป็นสองช่วง โดยที่เมื่อเติมส่วนหนึ่งในช่วงแรกแล้วจะทิ้งน้ำยางไว้ระยะหนึ่ง (Maturation) แล้วจึงเติมส่วนที่เหลือในช่วงที่สอง หลังจากปั่นน้ำยางเป็นฟองแล้ว ขณะที่การปั่นฟองเกือบสมบูรณ์จะเติมซิงค์ออกไซด์ที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอย และสารก่อเจลเสริม แล้วจึงใส่สารก่อเจลหลัก เป็นตัวสุดท้าย แล้วจึงเทฟองยางลงในเบ้าอลูมิเนียม หลังจากนั้นฟองยางเริ่มมีการเจลอย่างช้า ๆ ในเบ้า ซึ่งเรียกระบบนี้ว่าการทำให้เกิดการเจลอย่างช้า ๆ (Delayed-action gelling system) จากนั้นนำฟองน้ำไปวัลคาไนซ์ฟองน้ำโดยใช้ความร้อน ซึ่งปกติใช้ไอน้ำ ขั้นตอนต่อไปเปิดเบ้าลอกฟองยางที่วัลคาไนซ์แล้วและยังเปียกอยู่ออกจากเบ้า นำไปล้างน้ำเพื่อกำจัดสิ่งที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น สบู่ หรือสารเคมีอื่น แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ซึ่งลำดับการเตรียมฟองน้ำ (NR Technical Bulletin, 1966a) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลำดับการเตรียมฟองน้ำ

## 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมฟองน้ำด้วยกระบวนการแบบดันล้อย

### 2.3.1 การปรับปริมาณแอมโมเนียในน้ำยาง

น้ำยางที่ใช้ในการทำฟองน้ำโดยมากจะเป็นน้ำยางธรรมชาติชั้น ซึ่งจะต้องมีการปรับปริมาณแอมโมเนียให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตฟองน้ำที่เลือกใช้ ซึ่งอาจโดยการเติมฟอร์มาลดีไฮด์ หรือใส่แอมโมเนียออกจากน้ำยาง โดยทั่วไป การใส่แอมโมเนียจากน้ำยาง ทำได้โดยการพ่นอากาศขึ้นไปผิวของน้ำยางพร้อม ๆ กับกวนน้ำยางอย่างช้า ๆ เช่นด้วยความเร็วประมาณ 50 รอบต่อนาที เป็นต้น จนกระทั่งปริมาณแอมโมเนียในน้ำยาง มีค่าประมาณ 0.12 – 0.22% ในทางปฏิบัติ ถ้าในกรณีที่ใช้กระบวนการตีฟองแบบไม่ต่อเนื่อง จะควบคุมให้มีปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางประมาณ 0.22 % ส่วนถ้าเลือกใช้กระบวนการตีฟองอย่างต่อเนื่อง จะควบคุมให้มีปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางประมาณ 0.12 % (NR Technical Bulletin, 1966b)

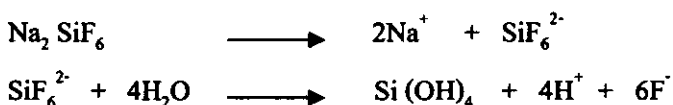
### 2.3.2 การเตรียมสารเคมี

เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ จึงต้องเตรียมให้สารเคมีนั้น อยู่ในรูปของสารแขวนลอย โดยการใช้นิเทศการบดสารเคมีโดยอาศัยแรงทางกลให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 1-5 ไมครอน ขณะเดียวกันจะใช้สารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) เพื่อช่วยให้สารเคมีที่บดสามารถแขวนลอยในตัวกลางที่เป็นน้ำได้อย่างเสถียร

### 2.3.3 กระบวนการทำให้เกิดการเจลอย่างช้า ๆ (นนทศักดิ์, 2523b)

กระบวนการทำให้เกิดการเจลอย่างช้า ๆ มีความสำคัญต่อการเตรียมฟองน้ำยางธรรมชาติอย่างมาก จัดเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้น้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้ว เกิดการสูญเสียความเสถียรอย่างช้า ๆ ระบบนี้จะใช้สารก่อเจล (Gelling agent) เป็นตัวที่ทำให้เกิดการเจลขึ้น ซึ่งสารก่อเจลที่สำคัญจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของฟลูออรีน (Fluoro - complexes) ตัวที่นิยมที่ใช้มากที่สุดคือ โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ โดยจะเตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยในตัวกลางที่เป็นน้ำ ซึ่งมีค่า pH ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3.3

เมื่อใส่โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ลงในน้ำยางแล้ว มีผลทำให้ค่า pH ของน้ำยางลดลง โดยปกติน้ำยางธรรมชาติชั้นจะมีค่า pH มากกว่า 9 แต่หลังจากใส่สารก่อเจลแล้ว ค่า pH ของน้ำยางจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ เหลือประมาณ 7.5 เชื่อว่าระบบการทำงานของสารก่อเจลต่อฟองน้ำเกิดปฏิกิริยาดังนี้



ไฮโดรเจนอ็อกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเป็นสาเหตุให้น้ำยางผสมสารเคมี มีค่า pH ลดลง พร้อม ๆ กับการเกิดซิลิคอนไฮดรอกไซด์ (Silicon hydroxide,  $(\text{Si}(\text{OH})_4)$ ) ซึ่งจะดูดสารพวกสบู่จากอนุภาคของน้ำยาง ทำให้ฟองน้ำเกิดการสูญเสียความเสถียรหรือเจล โดยทั่วไปการเจลโดยสมบูรณ์ภายในระยะเวลา 10-15 นาที

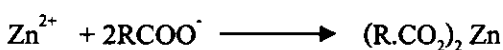
การใส่โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์จะช่วยควบคุมเวลาในการเจล ในขณะที่เดียวกันก็ช่วยในการจัดตัวของฟองยางให้มีการจับตัวแน่นขึ้นและสามารถยึดติดกันได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

#### 2.3.4 ผลของการใช้ซิงค์ออกไซด์ (นนทศักดิ์, 2523c)

การใส่ซิงค์ออกไซด์ลงในน้ำยาง ซิงค์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ จึงเกิดเป็นซิงค์ไฮดรอกไซด์ (Zinc hydroxide,  $(\text{Zn}(\text{OH})_2)$ ) ซึ่งจะเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นซิงค์อ็อกไซด์ ดังปฏิกิริยาดังนี้



แต่ในน้ำยางมีแอมโมเนียอยู่ด้วย ดังนั้นซิงค์อ็อกไซด์ (Zinc ion,  $\text{Zn}^{2+}$ ) สามารถทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ได้เกิดเป็นสารเชิงซ้อนของซิงค์แอมมีน (Zinc ammine complexes,  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_n^{2+}$ ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อได้รับความร้อน ดังปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



ซึ่งซิงค์คาร์บอกซิเลตที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble zinc carboxylate) จะเกิดการตกตะกอนที่ผิวของอนุภาคยาง ซึ่งส่งผลให้ความเสถียรของน้ำยางลดลง

#### 2.3.5 การเกิดการเจลของฟองน้ำที่มีซิงค์ออกไซด์ และโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ร่วมกัน (นนทศักดิ์, 2523d)

การใส่ซิงค์ออกไซด์ และโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ร่วมกันจะทำให้เกิดการเจลในน้ำยางขึ้นดีมาก ขึ้น โดยผลรวมของโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์แตกตัวและการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน

ของซิงค์เอมีน (Zinc ammine complexes) จากซิงค์ออกไซด์ที่อยู่ในน้ำยาง สำหรับการแตกตัวของไฮเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ คือเป็นการทำให้เกิดกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) และเกิดกรดซิลิซิก (Silicic acid) ที่ไปอุดสบู่ที่ผิวของอนุภาคยาง แต่สำหรับสารประกอบเชิงซ้อนของซิงค์เอมีนจะไปรวมตัวกับสบู่เกิดเป็น Insoluble zinc soap ขึ้น ซึ่งทั้งสองอย่างล้วนไปทำลายสบู่ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยให้น้ำยางมีความเสถียร เมื่อสบู่ถูกทำลายไปเรื่อย ๆ ความเสถียรของน้ำยางจะลดลงจนเกิดการเจลขึ้น

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chapman *et. al* (1930) รายงานว่าฟองน้ำสามารถเตรียมขึ้นจากน้ำยางคอมเปาต์ที่มีส่วนผสมของสารที่ทำให้เกิดฟอง แล้วทำให้เกิดฟองโดยการตีปั่นหรือโดยการเป่าอากาศเข้าไป และพบว่าสารที่ทำให้เกิดฟองที่เหมาะสมคือแอมโมเนียมโอเลต (Ammonium oleate) ส่วนสารเจลหลักที่ใช้เหมาะสมเมื่อใช้กับสารที่ทำให้เกิดฟองคือ ไฮเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ โพแทสเซียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Potassium silicofluoride) หรือแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulphate) โดยสามารถที่จะเติมลงไปก่อนหรือหลังจากการเกิดฟองก็ได้

Wolf (1938) รายงานว่าการใช้ของเหลวที่ให้ออกซิเจนโดยไม่ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) หรือของแข็งที่ให้ออกซิเจน เช่น Alkali metal peroxide หรือ Alkali metal per salt ซึ่งสารดังกล่าวจะให้ก๊าซออกซิเจนซึ่งทำให้เกิดฟองขึ้น ในการนี้อาจมีการใช้ตัวเร่ง เช่น เกลือของเหล็ก หรือฮีโมโกลบินซึ่งเสริมให้เกิดก๊าซออกซิเจนได้ดีขึ้น กระบวนการทำฟองขางนี้จะมีการใช้สารเจล เช่น Alkali silicofluorides หรือซิงค์ออกไซด์ร่วมกับเกลือแอมโมเนียม (Ammonium salt) จากนั้นเทใส่เบ้าแล้วทำฟองน้ำเกิดการรูปคงตัวด้วยความร้อน

Talay (1938) รายงานว่าเพื่อป้องกันการเกิดเป็นฟิล์มที่ชั้นผิว (Surface skin) ของฟองน้ำ เบ้าที่ใช้จะถูกเคลือบด้วยสารที่สามารถลดแรงตึงผิวของน้ำยางและสารเหล่านี้จะต้องไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของตัวหรือการเจลของน้ำยาง โดยสารที่เหมาะสมคือซัลโฟเนต โลรอล (Sulphonated lorol) และสารที่รู้จักทางการค้าคือ Igepon A, Igepon T, Nekal BX และ Lissapol C โดยสามารถใช้ได้ทั้งกับเบ้าที่เป็นรูปพรุน เช่น เบ้าไม้ หรือเบ้าที่ไม่เป็นรูปพรุน เช่น เบ้าโลหะ แต่เบ้าโลหะเป็นเบ้าที่นิยมใช้มากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเบ้าที่ทำจากอลูมิเนียม

Clayton (1943) พบว่าในการทำฟองน้ำโดยการตีปั่นน้ำยางขึ้นเพื่อให้เกิดเป็นฟองและใช้ Alkali silicofluoride เป็นสารเจลหลักร่วมกับการใช้ซิงค์ออกไซด์ การใช้ Alkali hydroxide และสารที่สามารถตกตะกอนซิงค์ไอออน แต่ไม่ทำให้น้ำยางสูญเสียสภาพเช่น Alkali tetraborate, Alkali

carbonate หรือ Alkali metaphosphate ผสมเข้าไปในน้ำยาง จะช่วยป้องกันการลดลงของ pH อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นการเพิ่มเวลาในการจับตัวของฟองยางให้ช้าลงได้ เพื่อที่จะให้ซิลิโคฟลูออไรด์ (Silicofluoride) สามารถเกิดการจับตัวอย่างช้า ๆ และมีเวลาที่จะให้ฟองยางมีการเช็ดตัวมากขึ้น ฟองยางที่ได้จะมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

Stamberger and Dover (1943) ได้รายงานถึงวิธีที่ทำให้ฟองยางในการทำฟองน้ำมีอายุยาวนานขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการวัลคาไนซ์ด้วย ซิงค์ออกไซด์ กำมะถัน สารตัวเร่งอื่น ๆ และยังสามารถทำให้ฟองน้ำกลับมามีฟองใหม่ได้ โดยการใช้สารเคมีในกลุ่มของสารประกอบแคตไอออนิกที่มีสายโซ่ยาว (Cationic long chain compounds) และสารประกอบแอนไอออนิกที่มีสายโซ่ยาว (Anionic long chain compounds) ใส่เข้าไปในน้ำยางคอมเพาต์ สารในกลุ่มแอนไอออนิกที่มีสายโซ่ยาว จะอยู่ในรูปของสบู่ที่เตรียมจากอัลคาลีน (alkali) หรือเกลือแอมโมเนียมของกรดพาล์มิติก (Palmitic acid) กรดสเตียริก (Stearic acid) หรือกรดโอเลอิก (Oleic acid) ส่วนในสารประกอบแคตไอออนิกที่มีสายโซ่ยาวมักเป็นสบู่ในกลุ่มของฟลูออเรทอนารีแอมโมเนียม (Quaternary ammonium) ซัลโฟเนียม (Sulphonium) หรือฟอสโฟเนียม (Phosphonium) ตัวอย่างของสบู่ชนิดที่ใช้ ได้แก่ ซิลิโคนไพริดีเนียมโบรไมด์ (Cetyl pyridinium bromide) โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Dodecyl trimethyl ammonium bromide) สตีริลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Stearyl trimethyl ammonium bromide)

United Stated Rubber Co. (1944) ได้ออกแบบกระบวนการผลิตฟองน้ำให้มีความเสถียรของโครงสร้างของฟองน้ำยางธรรมชาติ ความแข็งแรงของฟองยางที่จับตัว (Wet coagulum) ภายหลังการเทใส่เข้า รวมทั้งความทนทานต่อการโค้งงอของฟองน้ำยาง เพิ่มสูงขึ้น และยังสามารถใส่สารตัวเติมได้สูงถึง 200 phr โดยไม่ทำให้สมบัติที่กล่าวมาข้างต้นเสียหาย ซึ่งเทคนิคใหม่นี้ทำได้โดยการเติมกรดแทนนิก (Tannic acid) เทนิน (Tannin) กรดกัลโลแทนนิก (Gallotannic acid) หรือกรดไดกัลลิก (Digallic acid) ลงในน้ำยาง และนำน้ำยางไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาฟาเรนไฮด์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้น จากนั้นก็นำน้ำยางที่เตรียมได้เข้าสู่กระบวนการปกติของการทำฟองน้ำปกติ ในทางปฏิบัติที่นิยม คือใช้สารแทนนิน (Tanning agent) ในปริมาณ 0.1 – 0.5 phr และใช้อุณหภูมิในการอุ่นน้ำยางประมาณหรือสูงกว่า 100 องศาฟาเรนไฮด์ ถ้าน้ำยางไม่เกิดการสูญเสียความเสถียรมากเกินไปอาจใช้เวลาในการอุ่นน้ำยางได้นานถึง 48 ชั่วโมง

Binns (1947) รายงานว่าการใช้ปริมาณกรดไขมันที่มีลักษณะคล้ายไข (Wax-like nature) ที่สูง ตัวอย่างเช่นกรดสเตียริกที่ถูกทำปฏิกิริยา Saponified ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ หรือค่าอื่นที่ระเหยได้ง่าย เติมลงในน้ำยางคอมเพาต์ ซึ่งภายหลังการตีฟอง ทำให้จับตัวและให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ๗ อุณหภูมิสูงนี้ กรดไขมันจะตกตะกอนและทำให้เกิดการเช็ด

ตัวของฟองยางเกิดเป็นแบบโครงสร้างแบบสามมิติ ข้อดีในการใส่สบู่ Stearic acid คือ ทำให้ อัตราส่วนของอากาศต่อยางสูง เป็นผลให้ได้ฟองน้ำที่มีเซลล์ กลม

Greenup and Whalay (1941) พบว่าในการผลิตฟองน้ำยางธรรมชาติแบบใช้เบ้า ซึ่งกระทำ โดยการเทฟองยางลงในเบ้าแล้วทิ้งไว้ให้ฟองยางเกิดการคงตัว จากนั้นวัลคาไนซ์ มีข้อด้อยคือ ลักษณะผิวของฟองยางที่ได้จะเป็นแบบที่อากาศจะไม่สามารถแพร่ผ่านได้ แต่ปัญหานี้สามารถ แก้ไขได้โดยการทำให้เกิดการจับตัวที่ชั้นผิวของฟองทันที ดังนั้นน้ำยางคอมปอนด์ที่ใช้จะมีส่วนผสม ในปริมาณเล็กน้อยของแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulphate) แล้วเทฟองยางลงในเบ้าที่ได้ทำ ด้วยสารละลายของแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งได้ตั้งทิ้งไว้ให้แห้งเสียก่อน เทคนิคนี้จะทำให้เกิดการจับ ตัวที่ผิวของฟองน้ำยางในทันทีที่เทใส่เบ้า จากนั้นค่อยปล่อยให้ฟองยางเกิดการคงรูป ฟองน้ำยางที่ ได้จะมีโครงสร้างของเซลล์สม่ำเสมอพร้อมทั้งมีผิวฟองน้ำที่มีความพรุน

Wohler *et. al.* (1951) รายงานว่าโดยทั่วไปการทำฟองน้ำยางจากน้ำยางสังเคราะห์ผสม ร่วมกับน้ำธรรมชาติ มักเกิดการหดตัวในระหว่างการเจลหรือระหว่างวัลคาไนซ์ ซึ่งการหดตัวอาจมี มากกว่า 50 % ของปริมาตร การใช้สารในกลุ่มของเอมีนจะช่วยลดปัญหาด้านการหดตัวของฟองน้ำ ลงได้ สารเอมีนที่ใช้ได้จากสารในกลุ่มของไซโคลเฮกซิล (Cyclohexyl) เบนซิล (Benzyl) นอร์มัล โพรพิล (n-propyl) นอร์มัลบิวทิล (n-butyl) และแอมมีวเอมีน (n-amyl amines) สารเอมีนอาจเตรียม ให้อยู่ในรูปสบู่ที่ได้จากกรดไขมัน จาก Oleic, Stearic acid, Palmitic acid หรือ Ricinoleic acid ฯลฯ

Wingfoot Corp. (1951) รายงานว่าการใช้เศษฟองน้ำยางที่ถูกบดให้มีขนาดเล็กกว่า 32 เมช (Mesh) ในปริมาณตั้งแต่ 1-40 % โดยน้ำหนัก ผสมเข้าไปในน้ำยางธรรมชาติที่ได้ปรับสภาพใน เรื่องของความเสถียรอย่างเพียงพอ โดยการเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) Alkali metal hydroxide หรือสบู่ประเภทสบู่โพแทสเซียมโอเลียด (Potassium oleate soap) สบู่โร ซิน (Rosin soap) โซเดียมสเตียเรต (Sodium stearate) โพแทสเซียมลอริลซัลเฟต (Potassium lauryl sulfate) ซัลฟูเนตไฮโดรคาร์บอน (Sulfonated hydrocarbons) และโซเดียมอัลคิลเนฟทาลีนซัลเฟต (Sodium alkyl naphthalene sulfate) ฟองน้ำที่ได้มีสมบัติทางกายภาพที่ไม่ด้อยไปกว่าฟองน้ำที่ เตรียมโดยวิธีปกติ

Boyd and Mcfadden (1952) ได้รายงานถึงการใส่สารเคมีเพื่อควบคุมการเจลของการเกิด ฟองยางให้ช้าหรือหยุดลง โดยการใช้โซเดียม โพแทสเซียม หรือแอมโมเนียมฟลูออไททาเนต (Ammonium fluotitanates) ร่วมกับการใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ถ้าใช้ในปริมาณที่สมมูลย์ทางเคมีกับฟลูออไททาเนต (Fluotitanats) จะยับยั้งการเกิดการเจล แต่ถ้า ใช้ในปริมาณน้อยลง จะช่วยทำให้การเจลเกิดช้าลง ในทางปฏิบัติแล้ว จะใช้ประมาณ 0.4-0.5 โมล



ของไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) ต่อ โมลของฟลูออโรไททานเนต เพื่อให้ได้การเจลในระดับที่น่าพอใจ ณ อุณหภูมิประมาณ 22 องศาเซลเซียส

Newnham (1953) ว่าความตึงผิวของสารละลายสบู่เมื่อมีซิงค์ออกไซด์อยู่ด้วย มีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อ pH อยู่ในช่วง 9 – 10 แต่จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ pH ต่ำกว่า 9 ซึ่งจะส่งผลให้เกิดฟองอากาศไม่เกิดการรวมตัวในระหว่างกระบวนการเจลด้วยความร้อน ถ้าใช้ความร้อนอย่างรวดเร็วเพื่อทำให้เกิดการเจลแล้ววัดคาบในซิงค์ต่อไป การที่ความตึงผิวของฟองอากาศค่อนข้างสูงทำให้ผนังของฟองอากาศไม่แตกได้โดยง่ายซึ่งทำให้เกิดแรงดันภายในเซลล์เพิ่มขึ้น จนเกิดการแตกเป็นริ้วภายในเนื้อฟองน้ำ ซึ่งผลนี้จะไม่เกิดกับเซลล์ฟองน้ำที่บาง เนื่องจากมีอากาศและแอมโมเนียสามารถแพร่ผ่านได้ง่ายขึ้น ในกรณีที่เซลล์มีความหนาแน่น ผลที่เกิดขึ้นอาจรุนแรงเพียงพอที่จะทำให้ฟองยางเกิดการแยกชั้นหรือแตกออกจากกัน หนทางที่จะหลีกเลี่ยงการแยกชั้นและควบคุม โครงสร้างของเซลล์ คืออัตราของการให้ความร้อนจะต้องช้า ๆ เพื่อให้การเพิ่มขึ้นของความดันภายในเซลล์ถูกชดเชยกับการแพร่ผ่านออกไป

McKean and Newnham (1954) รายงานว่าการเติมสบู่แคตไอออนิก (Cationic soap) ในปริมาณเล็กน้อยทำให้ประจุบางส่วนของอนุภาคน้ำยางเป็นกลาง โดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง Cationic soap กับ Anionic protection บนอนุภาคของยาง เป็นผลให้ความเสถียรเชิงกลของน้ำยางลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องในเรื่องการปรับปรุงลักษณะการเจลของน้ำยาง การลดลงของเวลาการเจลและค่า pH สามารถปรับปรุงโครงสร้างของฟองน้ำได้

Neale and Fishbein (1955) ได้รายงานถึงกระบวนการผลิตฟองน้ำยางจากน้ำยางธรรมชาติที่ใช้ซิงค์ออกไซด์และใช้โซเดียมซัลไฟด์ฟลูออไรด์เป็นสารเจล โดยมีการใช้สารในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ไฮดรอกไซด์ (Organic hydroxy compound) ได้แก่อัลฟาเนพทอล (Alpha-naphthol) และเบต้าเนพทอล (Beta-naphthol) ซึ่งสามารถเพิ่มค่า pH ในการเจลได้ถึง 0.3 หน่วยจากเดิม ปริมาณที่ใช้คือ 0.5-2% โดยน้ำหนักของยางแห้ง โดยฟองน้ำยางธรรมชาติที่ได้มีโครงสร้างดี มาก ไม่เกิดการแตกหรือยุบตัว

Jones *et. al.* (1955) รายงานถึงเรื่องการใช้โพลีอัลไคลีนโพลีเอมีน (Polyalkylene polyamine) ในการทำฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ เพื่อเสริมสมบัติด้านความแข็งแรงและความสม่ำเสมอของฟองยางที่เจล รวมทั้งเสริมสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการกด และให้ความสม่ำเสมอของโครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำ โดยโพลีอัลไคลีนโพลีเอมีนที่ใช้ ได้แก่ ไดเอทิลีนไตรอะมีน (Diethylene triamine) ไตรเอทิลีนเตตระอะมีน (Triethylene tetramine) เตตระเอทิลีนเพนตามีน (Tetraethylene pentamine) เพนตามีนเฮกซะอะมีน (Pentamethylene hexamine) ไดโพรพิลีนไตรอะมีน (Dipropylene triamine) หรือสารผสมของเอมีนเหล่านี้ ปริมาณของเอมีนที่ใช้

ขึ้นกับชนิดของสารที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยาง ถ้าน้ำยางถูกรักษาด้วยโพลีคลอโรฟีเนต (Polychlorophenate) ร่วมกับแอมโมเนีย จะใช้ในปริมาณที่มากกว่าน้ำยางที่ถูกเก็บรักษาด้วยแอมโมเนียเดี่ยว ๆ นอกจากนั้นยังขึ้นกับปริมาณของสบู่ที่ใช้ในการเตรียมฟองน้ำ ในกรณีน้ำยางธรรมชาติที่ถูกรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย ที่มีปริมาณของสบู่จากกรดไขมัน 0.1-2% โดยน้ำหนักยาง ปริมาณที่เหมาะสมของโพลีอัลไคลีนโพลีเอมีน (Polyalkylene Polyamines) คือ 0.1-1.0% โดยน้ำหนักยาง

Hay and Richardson (1955) ได้รายงานถึงการใช้อย่างน้อยของเทอเทียร์เอมีนออกไซด์ (Tertiary amine oxide) ในน้ำยางคอมเป็คตามปกติของการทำฟองน้ำโดยเทคนิคการใช้โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์เป็นสารก่อเจลหลัก จะช่วยแก้ปัญหาในเรื่องการยุบตัวของโครงสร้างเซลล์ขณะเจล ปัญหาเรื่องการหดตัว และให้ฟองยางที่มีความสม่ำเสมอทางโครงสร้างและสมบัติมากขึ้น โดยปริมาณของเทอเทียร์เอมีนออกไซด์ที่ใช้คือ 0.25-0.50% โดยน้ำหนักของยาง

Calvert (1957) ได้เสนอเทคนิคการใช้ก๊าซช่วยในการจับตัว (Coagulating gas) ในการเตรียมฟองน้ำจากน้ำยาง โดยหลักการพื้นฐานคือ การนำน้ำยางคอมเป็คมาทำให้เกิดฟอง จากนั้นจัดให้ได้รูปทรง ทำให้ยางเกิดการเจลด้วยก๊าซ แล้ววัลคาไนซ์ฟองยางที่ได้ต่อไป ก๊าซช่วยในการจับตัวโดยมากจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งอาจจะใช้เดี่ยวๆ หรือใช้ร่วมกับอากาศหรือก๊าซไนโตรเจน เทคนิคนี้จะทำให้ได้ฟองน้ำที่มีโครงสร้างและสมบัติที่ดีขึ้น

Calvert (1962) ได้ทำฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ โดยใช้ระบบการเจลด้วยไดฟีนิลกวานิดีนไดคลอโรฟลูออไรด์ (Diphenyl guanidine/sodium silicofluoride) พบว่าการเชื่อมทะลุต่อของเซลล์หรือการซึมผ่านของอากาศ (Permeability) จะไม่เกิดขึ้นจนกระทั่งค่า pH ของฟองยางได้ลดลงอย่างน้อย 0.4 หน่วยจากค่า pH ๗ จุดที่เกิดการเจล การเชื่อมทะลุต่อของเซลล์จะเกิดขึ้นก่อนข้างช้า ๗ อุณหภูมิห้อง แต่จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น ๆ ของการเกิดการวัลคาไนซ์ ในระบบดังกล่าวจะไม่พบปัญหาในเรื่องการเกิดการแยกชั้นภายในฟองน้ำที่ได้ การเกิดการเชื่อมทะลุต่อของเซลล์จะเริ่มต้น ๗ pH ที่อยู่ในช่วงประมาณ 7.9-8.6

Gorton (1971) ได้รายงานว่าการหดตัวของฟองน้ำสัมพันธ์กับการคลายตัวของความเค้น (Stress relaxation) ของฟองยาง และพบว่าฟองน้ำยางธรรมชาติมีสมบัติด้านการคลายตัวของความเค้นที่ต่ำและมีการหดตัวที่ค่อนข้างสูง ในทางตรงกันข้าม ยางเอสบิอาร์มีสมบัติด้านการคลายตัวของความเค้นที่สูงและมีการหดตัวที่ค่อนข้างต่ำ นอกจากนั้นยังพบว่าการบ่มน้ำยาง (Maturation) ซึ่งทำให้เกิด การเชื่อม โยงของสายโซ่โมเลกุลในปริมาณเล็กน้อยจะลดสมบัติด้านการคลายตัวของความเค้น ส่งผลให้มีการหดตัวที่เพิ่มขึ้น ส่วนการใช้น้ำยางเบลนด์พบว่าการหดตัวจะลดลงอย่างมาก

เมื่อมีการใช้น้ำยางเอสปีอาร์ผสมเข้าไปเพียงเล็กน้อย และพบว่าปริมาณน้ำในคอมเปาต์และปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การหดตัวของฟองน้ำเพิ่มขึ้นเช่นกัน