

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

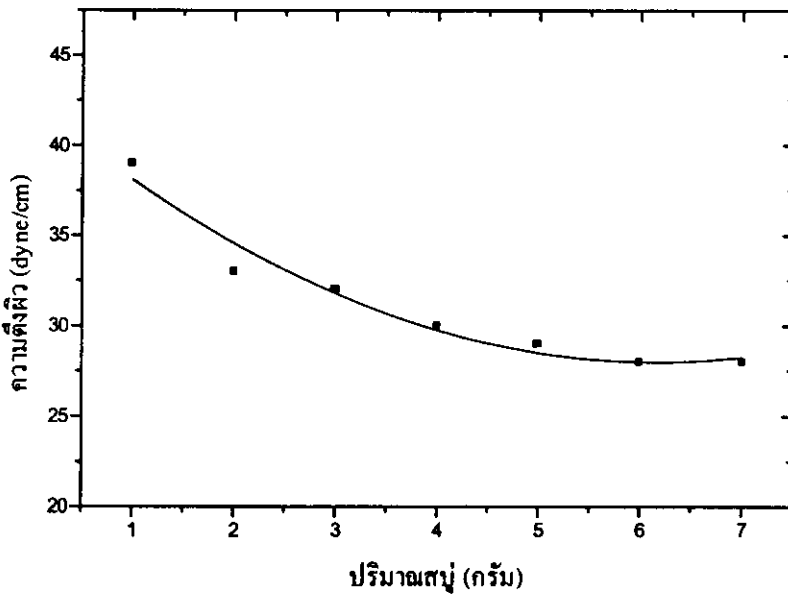
4.1 อิทธิพลของปริมาณสบู่ต่อสมบัติของฟองน้ำ

นำฟองน้ำที่เตรียมขึ้นตามวิธีที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.3.2.1 โดยแปรปริมาณสบู่ โฟแทสเซียมโอเลต 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 กรัม ตามสูตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1 จากนั้นสังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองน้ำ หลังจากวัลคาไนซ์ และนำฟองน้ำที่ได้มาทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ตามหัวข้อที่ 3.5.2

ผลของปริมาณสบู่โฟแทสเซียมโอเลตต่อพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัว หลังจากเติมสารก่อเจลหลัก และลักษณะของฟองน้ำหลังจากวัลคาไนซ์แสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองน้ำหลังการวัลคาไนซ์ที่ปริมาณสบู่ระดับต่างๆ

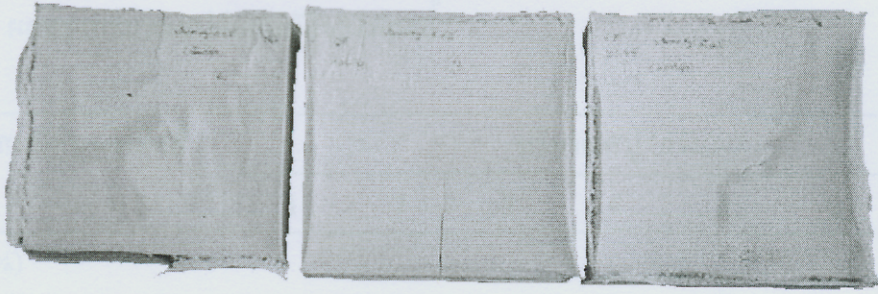
ปริมาณสบู่ (กรัม)	ลักษณะฟอง	ความสูง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์
1	เกิดฟองได้ยาก ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	1	2	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก ผิวหน้าไม่เรียบ และแข็ง
2	เกิดฟองได้ยาก ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	1.5	3	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก ผิวหน้าไม่เรียบ และแข็ง
3	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	2	4	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก แต่ผิวหน้าเรียบ และแข็ง
4	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	3	4	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อยลง ผิวหน้าเรียบขึ้นและนิ่มลง
5	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอมากกว่าที่ใช้สบู่ 4 กรัม	4	6	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อยลง ผิวหน้าเรียบขึ้นและนิ่มลง
6	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองเป็นครีมไม่สม่ำเสมอ	4.5	6	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมากกว่าที่ใช้สบู่ 5 กรัม ผิวหน้าแตก แต่นิ่ม
7	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองเป็นครีมไม่สม่ำเสมอ	5	7	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมากกว่าที่ใช้สบู่ 6 กรัม ผิวหน้าแตก และนิ่ม



รูปที่ 4.1 ความตึงผิวของน้ำยางชั้นเมื่อเพิ่มปริมาณสบู่

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการเตรียมฟองน้ำเมื่อใช้สบู่ในปริมาณน้อย ฟองเกิดขึ้นได้ยาก ลักษณะของฟองไม่สม่ำเสมอ และเวลาการเจลด่อนข้างสั้น แต่เมื่อใช้สบู่ในปริมาณเพิ่มขึ้น การตีฟองเกิดฟองง่ายขึ้น ลักษณะของฟองมีความละเอียดและสม่ำเสมอมากขึ้น เวลาการเจลดอนขึ้นตามปริมาณของสบู่ที่เพิ่มสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการตีฟองนั้นเป็นการใช้พลังงานกลในการกวนน้ำยาง และสบู่มีส่วนช่วยในการลดความตึงผิวของน้ำยางชั้น ซึ่งปริมาณสบู่เพิ่มขึ้นทำให้ความตึงผิวของน้ำยางลดลงด้วยหลังจากการเพิ่มปริมาณสบู่มากกว่า 5 กรัม น้ำยางชั้นมีแรงตึงผิวที่ค่อนข้างจะคงที่ แสดงดังรูปที่ 4.1 ณ จุดนี้ฟองยางมีความเสถียรมากที่สุด สามารถเก็บกักอากาศไว้ในฟองดีกว่า แต่เมื่อใช้ปริมาณสบู่มากขึ้นปริมาณ 6 - 7 กรัม ลักษณะฟองยางไม่ค่อยสม่ำเสมอมากนัก อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของสบู่เลยจากจุด Critical Micelle Concentration (c.m.c.) ของสบู่แล้ว เมื่อเพิ่มปริมาณลงไปจึงไม่มีผลที่ทำให้ความตึงผิวลดลงอีก (สมนึก, 2526) ซึ่งในจุดนี้สบู่อาจจะเริ่มรวมตัวเป็น ไมเซลล์แยกตัวออกจากอนุภาคยาง และมีไมเซลล์ในลักษณะแบบนี้มากขึ้นถ้าปริมาณสบู่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นการไม่สมดุลต่อการเกิดฟองยางและทำให้ฟองยางมีความเสถียรน้อยลง

ส่วนความสูงของฟอง จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สบู่ปริมาณ 1 กรัม ได้ความสูงของฟอง 1 เท่าของสารเคมีเดิม เนื่องจากสบู่ในปริมาณน้อยเกินไปความสามารถในการเกิดฟองจึงต่ำ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสบู่มากขึ้นเป็น 5 - 7 กรัม ได้ความสูงของฟองมากขึ้นเป็น 4 - 5 เท่าของสารเคมีเดิม อาจเนื่องมาจากสบู่เพิ่มขึ้น อาจไปทำให้ความตึงผิวของน้ำยางลดลง จึงทำให้เกิดฟองได้ง่ายขึ้น



ปริมาณสบู่ 1 กรัม

ปริมาณสบู่ 5 กรัม

ปริมาณสบู่ 7 กรัม

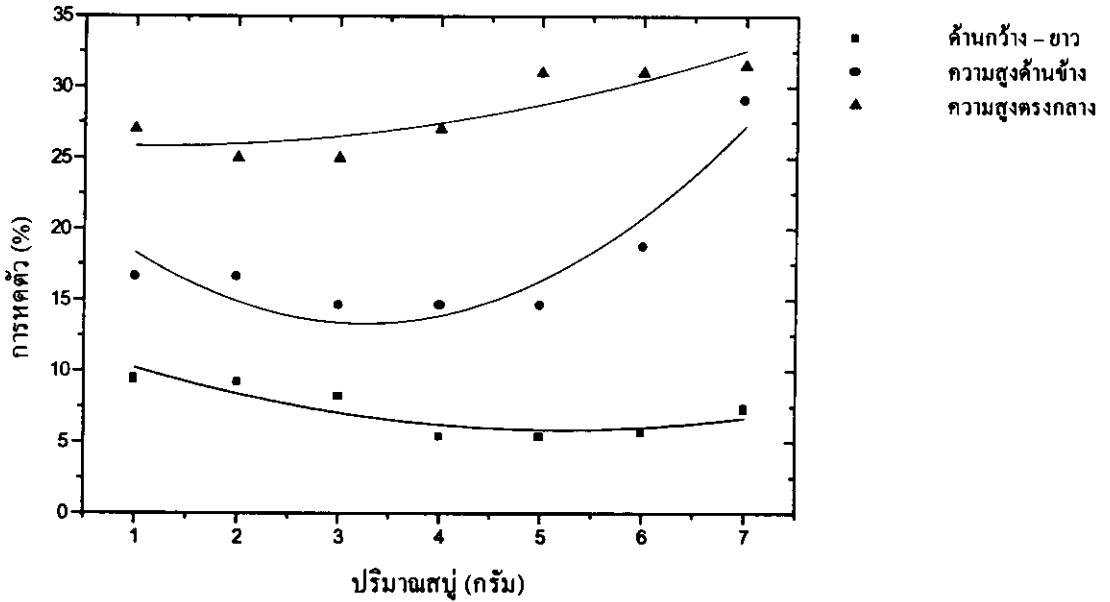
รูปที่ 4.2 ลักษณะของฟองน้ำที่ปริมาณสบู่ระดับต่าง ๆ

ลักษณะของฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์แสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อปริมาณสบู่ น้อยฟองน้ำผิวไม่ค่อยเรียบ เนื้อแน่น ฟองน้ำที่ได้มีการหดตัวสูง โดยเฉพาะสูตรที่ใช้สบู่ต่ำกว่า 5 กรัม เนื่องจากในการตีฟองเกิดฟองอากาศขึ้นค่อนข้างน้อยและไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผนังของฟองแข็ง เกลินไป จึงมีส่วนของเนื้ออย่างมากกว่า แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสบู่มากขึ้น ฟองน้ำมีผิวเรียบ สม่ำเสมอขึ้น นุ่ม ยืดหยุ่นมากขึ้น และหดตัวน้อยลง เนื่องจากการเกิดฟองได้มากขึ้นขนาดฟองละเอียดและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น แต่เมื่อใช้สบู่ปริมาณ 7 กรัม ผิวและขอบฟองน้ำไม่ค่อยเรียบ แตกเล็กน้อย ยุบตัวบางส่วน อาจเนื่องมาจากการจับตัวของฟองยางช้า จึงทำให้ฟองอากาศแตกบางส่วนก่อนที่ ฟองจะจับตัว

ผลของปริมาณสบู่โพแทสเซียมโอเลตต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัว ความหนาแน่น ความสามารถในการคืนรูป จำนวนเซลล์ และขนาดเซลล์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 – 4.6

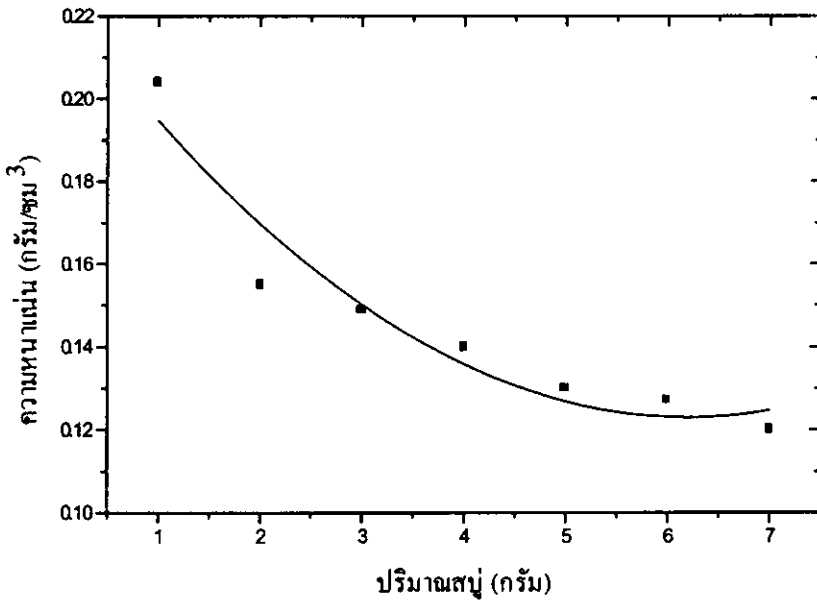
ตารางที่ 4.2 ผลของปริมาณสบู่ออกสมบัติน้ำ

สมบัติทางฟิสิกส์	ปริมาณสบู่ (กรัม)						
	1	2	3	4	5	6	7
การหดตัว (%)							
- ด้านกว้าง – ขาว	9.40	9.20	8.22	5.39	5.39	5.60	7.24
- ความสูงด้านข้าง	16.66	16.66	14.58	14.58	14.58	18.75	29.10
- ความสูงตรงกลาง	27.00	25.00	25.00	27.00	31.00	31.00	31.50
ความหนาแน่น (กรัม / ซม. ³)	0.204	0.155	0.149	0.140	0.130	0.127	0.120
ความสามารถในการคืนรูป (%)	8.60	8.60	8.00	7.30	6.60	6.00	5.30
จำนวนเซลล์ (ต่อเซนติเมตร)	32	32	30	27	26	24	22
ขนาดเซลล์ (เซนติเมตร)	0.031	0.031	0.033	0.037	0.038	0.042	0.045



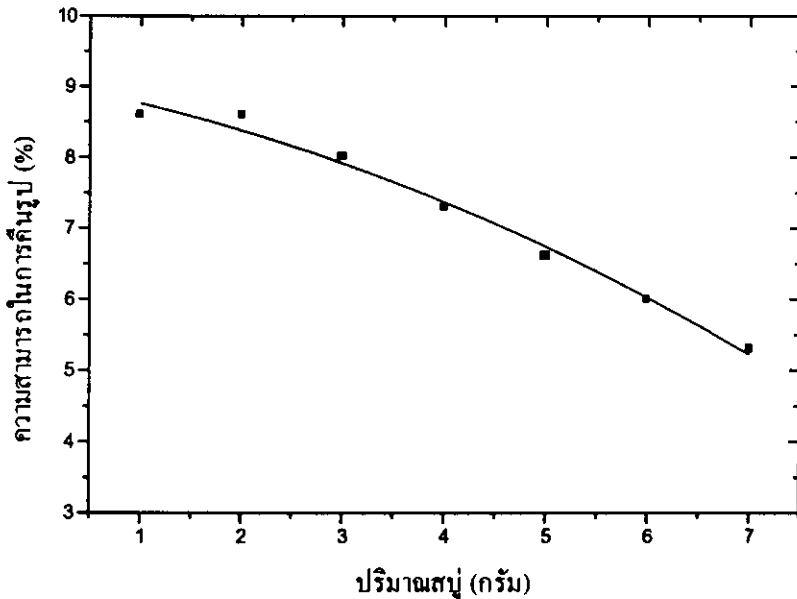
รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของฟองน้ำที่ปริมาณสปูระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 พบว่าด้านกว้าง - ขาวของฟองน้ำภายหลังจากการอบด้วยไอน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยที่สุดอยู่ที่ระดับประมาณ 5 - 9% ในขณะที่ฟองน้ำความสูงตรงใจกลางมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงที่สุด อยู่ที่ระดับประมาณ 25 - 32% จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของสปูมีผลต่อการหดตัว ในด้านต่าง ๆ ของฟองน้ำที่แตกต่างกัน โดยที่การหดตัวด้านกว้าง - ขาว จะมีน้อยที่สุด เมื่อปริมาณสปูอยู่ที่ประมาณ 5 - 6 กรัม การหดตัวของความสูงด้านข้าง จะเกิดขึ้นน้อยที่สุดเมื่อใช้สปูอยู่ที่ประมาณ 3 - 5 กรัม ส่วนการหดตัวของความสูงตรงใจกลาง จะเกิดน้อยที่สุดเมื่อปริมาณของสปูอยู่ที่ระดับประมาณ 2 - 3 กรัม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสปูมากกว่า 6 กรัม มีผลให้ฟองน้ำมีการการหดตัวเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ด้าน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้สปูในปริมาณที่น้อย มีการเกิดฟองได้ยากและฟองมีขนาดเล็ก ฟองที่ได้ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากแรงดึงผิวมาก การเกิดโครงสร้างเซลล์ที่มีขนาดเล็ก และการจับตัวของฟองยางเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อาจเนื่องมาจากความสมดุลของการจับตัวของยางกับฟองยางที่ได้โดยที่ยางมีการจับตัวก่อน อาจเป็นเพราะว่าน้ำยางเสียความเสถียรเร็วเกินไป จึงทำให้ลักษณะของเซลล์ไม่สม่ำเสมอ มีการเจลของฟองยางไม่ทั่วถึง และเมื่อมีการใช้ปริมาณสปูในระดับที่สูง ฟองยางใช้เวลาจับตัวยาวนานขึ้น อาจทำให้เม็ดฟองยางบางส่วนแตกก่อนที่จะมีการเจล เนื่องจากความไม่เสถียรของฟองเป็นเหตุให้ฟองน้ำหดตัวและยุบตัว



รูปที่ 4.4 ความหนาแน่นของฟองน้ำที่ปริมาณปุ๋ยระดับต่าง ๆ

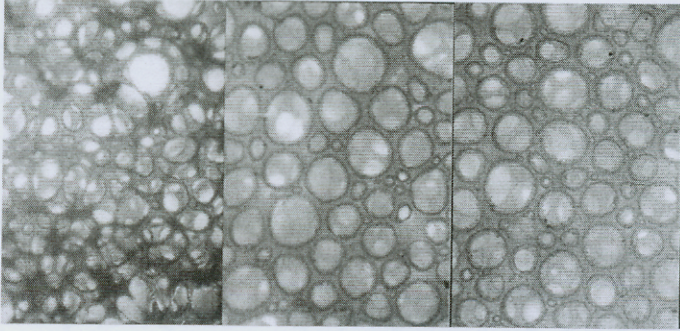
จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 ความหนาแน่นของฟองน้ำเมื่อใช้ปริมาณปุ๋ยต่างกัน พบว่าความหนาแน่นของฟองน้ำลดลงตามปริมาณปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น โดยความหนาแน่นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงการใช้ปุ๋ยในปริมาณต่ำ ๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากฟองน้ำที่ใช้ปุ๋ยปริมาณน้อยเกิดฟองได้ยาก ปริมาณของฟองมีน้อยและขนาดไม่สม่ำเสมอ อาจเนื่องจากปุ๋ยที่เติมลงไปใต้น้ำยางที่ปริมาณต่ำ ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้ความตึงผิวของน้ำยางลดต่ำลงได้เพียงเล็กน้อย จึงทำให้ความสามารถในการเกิดฟองยาก ดังนั้นในปริมาตรของฟองน้ำที่เท่ากันมีปริมาณของฟองอากาศน้อยกว่า ทำให้ฟองน้ำมีความหนาแน่นสูงกว่า ในทางกลับกันเมื่อใช้ปุ๋ยเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นมีค่าน้อยลง เนื่องจากการเกิดฟองได้ง่ายขึ้น ทำให้ฟองน้ำมีปริมาณของอากาศต่อหน่วยปริมาตรของฟองน้ำสูงกว่า



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการคืนรูปภายหลังจากการกดของฟองน้ำที่ปริมาณสปูระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของฟองน้ำที่ปริมาณการใช้สปูในระดับต่าง ๆ พบว่าความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของฟองน้ำได้ลดลงตามปริมาณสปูที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยความสามารถในการคืนรูปหลังการกดจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการทดสอบความสามารถในการคืนรูปหลังการกดเป็นการทำให้ขึ้นฟองน้ำมีการเปลี่ยนรูปร่างโดยการกดเป็นเวลานานถึง 22 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นเหตุให้โครงสร้างของเซลล์เปลี่ยนจากรูปร่างจากปกติ เป็นลักษณะแบน แน่น เป็นวงรี และบิดเบี้ยว และในขณะที่ทดสอบจะเพิ่มความร้อนให้กับฟองน้ำด้วย จึงทำให้โครงสร้างเซลล์เกิดความล้าและความเครียดเพิ่มขึ้น เมื่อปล่อยแรงกดทำให้โครงสร้างเซลล์ที่ไม่แข็งแรงคืนกลับสภาพเดิมได้น้อยหรือ โครงสร้างเซลล์อาจเกิดการแตกหรือฉีกขาด จึงทำให้เสียรูปไป เพราะฉะนั้นฟองน้ำหลังการทดสอบจึงมีความสามารถในการคืนรูปหลังการกดต่ำลง

ค่าความสามารถในการคืนรูปหลังการกดสูงเมื่อใช้สปูปริมาณน้อยนั้น อาจเนื่องจากขนาดโครงสร้างของเซลล์เล็กและมีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ จึงทำให้เซลล์มีความแข็งแรงน้อยลงหรือจากบางเซลล์มีความแข็งแรงกระด้าง ไม่มีความเป็นอิลาสติกมากนักจึงทำให้การกลับคืนรูปเดิมน้อย เมื่อใช้ปริมาณสปูมากขึ้น การกลับคืนรูปมีค่าเปอร์เซ็นต์ต่ำลง เนื่องจาก โครงสร้างของเซลล์มีความสม่ำเสมอและขนาดใหญ่กว่า มีการจัดเรียงตัวของ โครงสร้างฟองที่เป็นระเบียบมาก จึงมีความแข็งแรงของ โครงสร้างสูงกว่า เป็นเหตุให้ฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์ในการคืนรูปต่ำกว่า



ปริมาณสับ 1 กรัม ปริมาณสับ 5 กรัม ปริมาณสับ 6 กรัม

รูปที่ 4.6 ลักษณะ โครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำที่ปริมาณสับระดับต่าง ๆ (กำลังขยาย 4 เท่า)

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.6 โครงสร้างของเซลล์จากการนับโดยส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นว่าสูตรที่มีปริมาณสับ 1 กรัม มี 32 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร และสูตรที่มีปริมาณสับ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 กรัม มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 32, 30, 27, 26, 24 และ 22 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดของเซลล์ใหญ่ขึ้นและมีขนาดค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อมีปริมาณสับเพิ่มขึ้น ส่วนความสม่ำเสมอของเซลล์มากขึ้นเช่นกันเมื่อปริมาณของเพิ่มสูงขึ้น

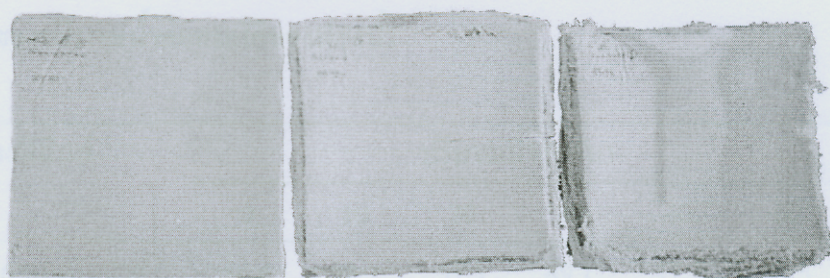
4.2 อิทธิพลของปริมาณน้ำต่อสมบัติของฟองน้ำ

นำฟองน้ำที่เตรียมขึ้นตามวิธีที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.3.2.1 โดยแปรปริมาณน้ำที่ใช้ 0, 10, 20, 30, 40 และ 60 กรัม ตามสูตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.2 จากนั้นสังเกตพฤติกรรมของการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองน้ำหลังจากวัลคาไนซ์ และนำฟองน้ำที่ได้มาทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ตามหัวข้อที่ 3.5.2

ผลของปริมาณน้ำต่อพฤติกรรมของการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก และลักษณะของฟองน้ำหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.3 พฤติกรรมของการเกิดฟองและลักษณะของฟองน้ำหลังการวัลคาไนซ์ที่ใช้ปริมาณน้ำระดับต่าง ๆ

ปริมาณน้ำ (กรัม)	ลักษณะฟอง	ความสูง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์
0	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองละเอียดสม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบและนุ่ม
10	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองละเอียดสม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบและนุ่ม
20	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองละเอียดสม่ำเสมอ	5	6	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบและนุ่ม
30	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองละเอียดไม่สม่ำเสมอ	4	6	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมากขึ้น ผิวหน้ามีรอยแตกบริเวณขอบ และแข็งขึ้น
40	เกิดฟองได้ยาก ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	3	6	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมากขึ้น มีรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าและบริเวณขอบ และฟองน้ำแข็งขึ้น
60	เกิดฟองได้ยากกว่า ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	2	7	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมากขึ้น มีรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าและบริเวณขอบ และฟองน้ำแข็งขึ้น



ปริมาณน้ำ 0 กรัม

ปริมาณน้ำ 30 กรัม

ปริมาณน้ำ 60 กรัม

รูปที่ 4.7 ลักษณะของฟองน้ำที่ปริมาณน้ำระดับต่าง ๆ

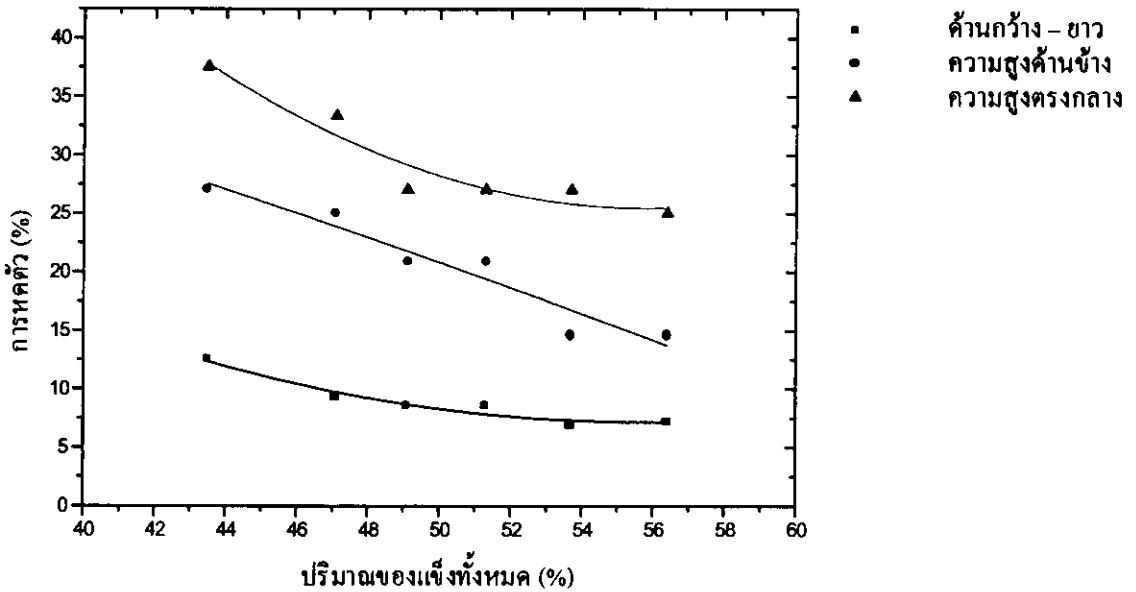
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการเตรียมฟองน้ำเมื่อเติมน้ำในสูตรปริมาณที่น้อยกว่า 20 กรัม ฟองยางเกิดขึ้นได้ง่าย ปริมาณของฟองมาก ลักษณะของฟองสม่ำเสมอ เวลาเจลอยู่ในช่วงประมาณ 5 – 6 นาที แต่เมื่อเติมน้ำในปริมาณเพิ่มมากกว่า 20 กรัม เกิดฟองได้ยากขึ้น ลักษณะของฟองมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ เวลาการเจलयาวนานขึ้นตามปริมาณของน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากปริมาณของน้ำเมื่อใช้ใน ช่วง 0 - 20 กรัม ไม่ทำให้เกิดภาพรวมของแรงดึงผิวของผิวสัมผัสระหว่างน้ำในน้ำยางกับอนุภาคของยางเปลี่ยนแปลงไปมากนัก แต่เมื่อใช้น้ำในสูตรเพิ่มมากขึ้นปริมาณ 30 – 60 กรัมอาจมีผลไปเพิ่มความตึงผิวทำให้สบู่มีความเข้มข้นน้อยลงความตึงผิวของน้ำยางเพิ่มขึ้น การเกิดฟองของฟองยางน้อยลงด้วย ทำให้การตีฟองได้ฟองยางที่ไม่ค่อยสม่ำเสมอ กล่าวคือขนาดของฟองเล็กใหญ่ไม่เท่ากัน ได้ความสูงของฟองเพียงแค่ประมาณ 2 - 4 เท่าของของเดิมเท่านั้น

ลักษณะของฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อปริมาณน้ำในสูตรต่ำกว่า 20 กรัม ฟองน้ำที่ได้มีผิวเรียบ สม่ำเสมอ นุ่ม ยืดหยุ่นดี หดตัวน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากการตีฟองเกิดฟองสม่ำเสมอ ฟองอากาศที่เกิดขึ้นละเอียดสม่ำเสมอ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น ฟองน้ำมีผิวไม่เรียบ ค่อนข้างแข็งกระด้าง มีรอยแตกบริเวณขอบและบริเวณผิวบางส่วนซึ่งเห็นได้ชัดเจน หดตัวมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากขณะตีฟองยางได้ปริมาณฟองน้อยลง ฟองมีขนาดเล็กและใหญ่ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การใช้น้ำในสูตรปริมาณมากขึ้น (ปริมาณของแข็งในสูตรลดน้อยลง) มีผลทำให้ความเข้มข้นของสบู่อลดลง ซึ่งอาจไปทำให้ความตึงผิวเพิ่มสูงขึ้น มีผลให้ประสิทธิภาพของการเกิดฟองลดลง

ผลของปริมาณน้ำต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัว ความหนาแน่น ความสามารถในการคืนรูป จำนวนเซลล์ และขนาดเซลล์ ได้แสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.8 – 4.11

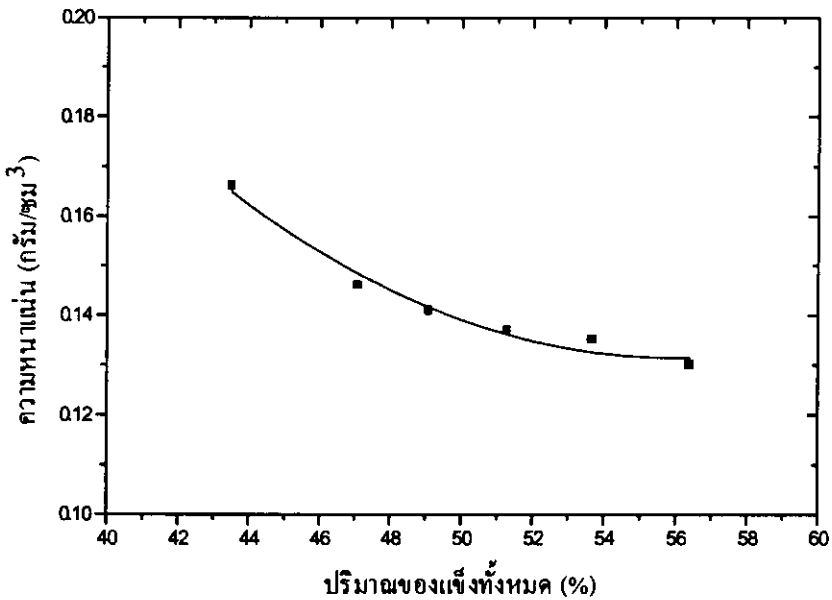
ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณน้ำต่อสมบัติของฟองน้ำ

สมบัติทางฟิสิกส์	ปริมาณน้ำ (กรัม)					
	0	10	20	30	40	60
(%) TSC ของน้ำยางคอมเพาต์	56.4	53.7	51.3	49.1	47.1	43.5
การหดตัว (%)						
- ด้านกว้าง – ยาว	7.23	6.90	8.55	8.55	9.37	12.49
- ความสูงด้านข้าง	14.58	14.58	20.83	20.83	25.00	27.08
- ความสูงตรงกลาง	25.00	27.00	27.00	27.00	33.33	37.50
ความหนาแน่น (กรัม / ซม. ³)	0.130	0.135	0.137	0.141	0.146	0.166
ความสามารถในการคืนรูป (%)	6.40	7.10	7.40	7.90	8.70	10.60
จำนวนเซลล์ (ต่อเซนติเมตร)	30	30	31	32	33	35
ขนาดเซลล์ (เซนติเมตร)	0.033	0.033	0.032	0.031	0.030	0.028



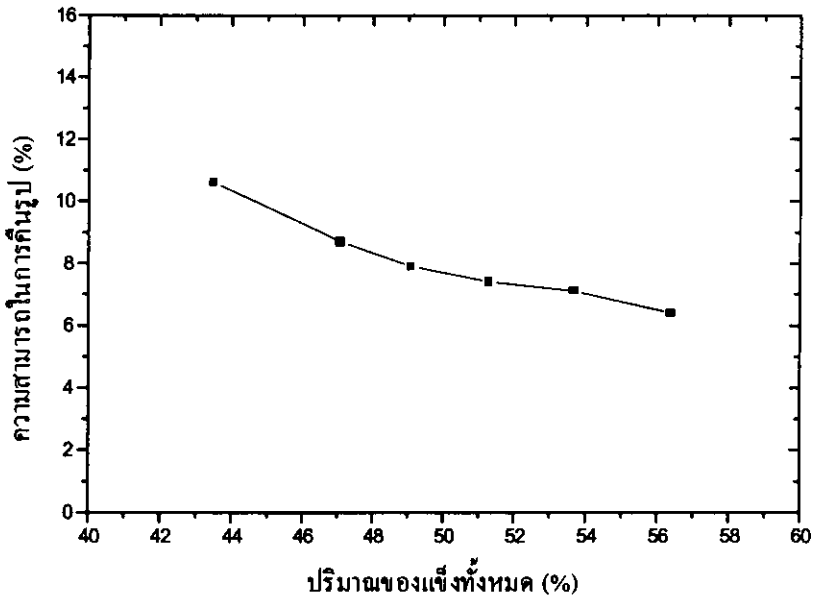
รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของฟองน้ำที่ปริมาณของแข็งระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.8 พบว่าด้านกว้าง - ขาวของฟองน้ำภายหลังการอบด้วยไอน้ำ มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยที่สุด ในขณะที่ความสูงตรงใจกลางของฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงที่สุด เมื่อพิจารณาการหดตัวของฟองน้ำจะเห็นได้ว่ามีค่าสูงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากหรือปริมาณของแข็งในสูตรมีจำนวนน้อยอย่างเห็นได้ชัด ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการใช้น้ำปริมาณของแข็งมากกว่า 48.8 % ได้ขนาดของฟองยางค่อนข้างคงที่ ลักษณะโครงสร้างของเซลล์ และการจัดเรียงตัวของเซลล์สม่ำเสมอ เวลาการเจลของฟองยางค่อนข้างเหมาะสม เป็นผลให้ฟองน้ำที่ได้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำ ส่วนการลดปริมาณของแข็งในสูตรลงเป็นผลให้ฟองยางมีความตึงผิวสูงมาก ได้ลักษณะโครงสร้างของเซลล์ไม่สม่ำเสมอ เซลล์เล็กเนื้ออย่างแน่น เนื่องจากปริมาณน้ำได้เพิ่มความตึงผิวของฟองยาง ทำให้ไม่เกิดความสมดุลขึ้นในส่วนผสม ฟองยางใช้เวลาเจलयาวนานขึ้น ซึ่งการเจลที่ใช้เวลามากขึ้นอาจทำให้เม็ดฟองยางบางส่วนแตกเนื่องจากเกิดความไม่สมดุลของฟองฟองอากาศในบริเวณรอบ ๆ จะมีการยุบตัวเข้าหากัน จึงเป็นเหตุให้ฟองน้ำหดตัว



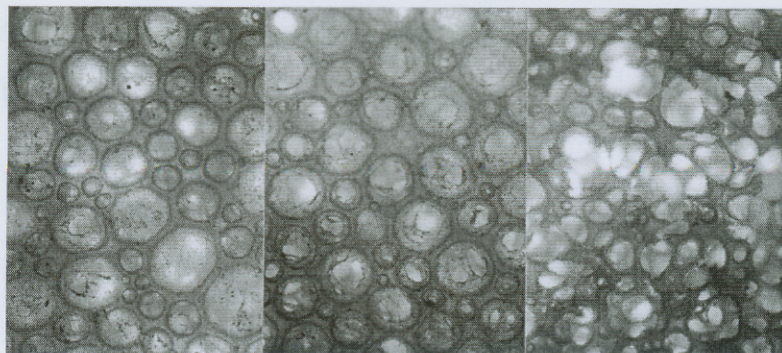
รูปที่ 4.9 ความหนาแน่นของฟองน้ำที่ปริมาณของแข็งระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.9 ความหนาแน่นของฟองน้ำที่มีปริมาณของแข็งต่างกัน จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของฟองน้ำมีค่าลดต่ำลงตามปริมาณของแข็งที่เพิ่มสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากฟองน้ำที่ใช้น้ำปริมาณน้อยหรือปริมาณของแข็งมาก ทำให้เกิดฟองยางได้ง่ายมีปริมาณของฟองยางมาก ฟองละเอียดและฟองมีความสม่ำเสมอเป็นผลให้โครงสร้างเซลล์มีขนาดใกล้เคียงและสม่ำเสมอ แต่เมื่อเติมน้ำในปริมาณที่มากขึ้นอาจทำให้ปริมาณของแข็งลดลง ทำให้ฟองน้ำเกิดฟองยากขึ้น เป็นผลให้โครงสร้างเซลล์เล็กและหนาแน่นขึ้น อาจเป็นผลจากฟองน้ำที่มีการหดตัวสูงขึ้นจึงทำให้ความหนาแน่นของเซลล์มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.10 ความสามารถในการขึ้นรูปหลังการกดของฟองน้ำที่ปริมาณของแข็งระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.10 ความสามารถในการขึ้นรูปหลังการกดของฟองน้ำมีความสอดคล้องกับความหนาแน่นมากคือ เมื่อใช้ปริมาณของน้ำในสูตรน้อยหรือปริมาณของแข็งมาก ความสามารถในการขึ้นรูปหลังการกดก็มีค่าค่อนข้างต่ำ และความสามารถในการขึ้นรูปหลังการกดจะค่อย ๆ แ่ลงตามปริมาณของแข็งในสูตรที่ลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากฟองน้ำมีการหดตัวค่าและความหนาแน่นต่ำ รวมทั้งฟองน้ำที่ใช้น้ำในสูตรปริมาณต่ำ ๆ ทำให้เกิดฟองมากและสม่ำเสมอ เช่นเดียวกับสูตรการเตรียมฟองน้ำปกติที่ไม่เติมน้ำ ฟองยางที่ได้มีขนาดฟองที่เหมาะสมจึงทำให้ความสามารถขึ้นรูปหลังการกดดีขึ้นตามไปด้วย เมื่อใช้ปริมาณน้ำมากขึ้นการหดตัวสูงขึ้น ความสามารถในการขึ้นรูปหลังการกดมีค่าสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากขนาดโครงสร้างของเซลล์เล็กลง และไม่มีควมสม่ำเสมอมากนัก



ของแข็ง 56.4 phr

ของแข็ง 51.3 phr

ของแข็ง 43.5 phr

รูปที่ 4.11 ลักษณะโครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำที่ปริมาณของแข็งระดับต่าง ๆ (กำลังขยาย 4 เท่า)

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.11 โครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำโดยส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นว่าสูตรที่มีปริมาณของแข็ง 56.4 phr มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 30 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร เซลล์มีขนาดเล็กและใหญ่สลับกัน กระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนสูตรที่มีปริมาณของแข็ง 53.7, 51.3, 49.1, 47.1 และ 43.5 กรัม มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 31, 32, 33 และ 35 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดของเซลล์โดยเฉลี่ยจะเล็กลง และความสม่ำเสมอของเซลล์จะน้อยลงเมื่อมีปริมาณของแข็งในสูตรที่ใช้ในการทำฟองน้ำลดลง

4.3 อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารก่อเจลเสริมต่อสมบัติของฟองน้ำ

นำฟองน้ำที่เตรียมขึ้นตามวิธีที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.3.2.1 โดยแปรชนิดของสารก่อเจลเสริมได้แก่ ไตรเอทิลีนเตตระมีน และวัลคาฟอรีอีเอฟเอที่ปริมาณ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 กรัม และเตตระเอทิลีนเพน-ทามีนที่ปริมาณ 1, 2, 2.5, 3, 3.5, 4 และ 5 กรัม และไดฟีนิลกัวนิตินที่ปริมาณ 1, 1.5, 2, 2.5, 3 และ 5 กรัม ตามสูตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.3 จากนั้นสังเกตพฤติกรรมของการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองน้ำหลังจากวัลคาไนซ์ และนำฟองน้ำที่ได้มาทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ตามหัวข้อที่ 3.5.2

ผลของชนิดและปริมาณสารก่อเจลเสริมต่อพฤติกรรมของการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัว หลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองน้ำหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.12 – 4.15

ผลของชนิดและปริมาณสารก่อเจดเสริมต่อพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัว
หลังจากเติมสารก่อเจดหลัก ลักษณะของฟองน้ำหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.5 และ
รูปที่ 4.12 – 4.15

ตารางที่ 4.5 พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองน้ำหลังการวัลคาไนซ์ที่ใช้ปริมาณและชนิดของสารเจลาเสริมที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณสาร ก่อเจลาเสริม (กรัม)	ลักษณะฟองหลังใส่สารก่อ เจลาเสริม	ความสูง (เท่า)	เวลาการเจลา (นาที)	ลักษณะฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์
EFA				
1	เกิดฟองเล็กและใหญ่ผสม กัน	5	ไม่เจลา	ไม่เป็นฟองน้ำ
2	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	7	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวลงบริเวณผิวหน้า และเกิดการหดตัวด้านข้าง และแข็ง
3	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	6	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวลงบริเวณผิวหน้า และเกิดการหดตัวด้านข้าง และแข็ง
4	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	6	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยบริเวณ ผิวหน้าและเกิดการหดตัวน้อยลง และ นุ่มลง
5	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำไม่ยุบตัว เกิดการหดตัวน้อย และ นุ่มลง
6	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยบริเวณ ผิวหน้าและเกิดการหดตัวมากขึ้น และ แข็ง
7	เกิดฟองเล็กและใหญ่ผสม กัน	5	เจลาเร็ว	เจลาเร็วบางส่วนและบางส่วนยุบตัวจน หมด
TETA				
1	เกิดฟองเล็กและใหญ่ผสม กัน	5	ไม่เจลา	ยุบตัวจนหมด
2	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	6	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยบริเวณ ผิวหน้าและเกิดการหดตัวน้อย และนุ่ม
3	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	6	ฟองน้ำไม่ยุบตัว เกิดการหดตัวน้อย และ นุ่มลง
4	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยบริเวณ ผิวหน้าและเกิดการหดตัวมากขึ้น แต่นุ่ม
5	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยบริเวณ ผิวหน้าและเกิดการหดตัวมากขึ้น แต่นุ่ม
6	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	2	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวมากและเกิดการหด ตัวมากขึ้น มีรอยแตกที่บริเวณผิวหน้า และบริเวณขอบ และฟองน้ำแข็งขึ้น
7	เกิดฟองเล็กและใหญ่ผสม กัน	5	เจลาเร็ว	เจลาเร็วมากทะลุเข้าเบ้าไม่ทัน

ตารางที่ 4.5(ต่อ)

ปริมาณสาร เจลเสริม (กรัม)	ลักษณะฟองหลังใส่สารเจล เสริม	ความสูง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์
TEPA				
1	เกิดฟองเล็ก ๆ	5	ไม่เจล	ขุบตัวจนหมด
2	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	6	ฟองน้ำเกิดการขุบตัวเล็กน้อยบริเวณ ผิวหนังและเกิดการหดตัวมาก และแข็ง
2.5	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำไม่ขุบตัว เกิดการหดตัวน้อย และ นิ่มลง
3	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำไม่ขุบตัว เกิดการหดตัวน้อย และ นิ่มลง
3.5	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำไม่ขุบตัว แต่เกิดการหดตัวมากขึ้น และแข็ง
4	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	3	ฟองน้ำไม่ขุบตัว แต่เกิดการหดตัวมากขึ้น และแข็ง
5	เกิดฟองเล็ก ๆ	5	เจลเร็ว	เจลเร็วมากทะลุเข้าเบ้าไม่ทัน
DPG				
1	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	4	4	ฟองน้ำเกิดการขุบตัวและหดตัวมาก มี รอยแตกที่บริเวณผิวหนังและบริเวณ ขอบ และฟองน้ำแข็งขึ้น
1.5	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	4	3	ฟองน้ำเกิดการขุบตัวและหดตัวมาก มี รอยแตกที่บริเวณผิวหนังและบริเวณ ขอบ และฟองน้ำแข็งขึ้น
2	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	4	2.5	ฟองน้ำเกิดการขุบตัวเล็กน้อย เกิดการหด ตัวน้อย และนิ่มลง
2.5	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	4	2	ฟองน้ำไม่ขุบตัว เกิดการหดตัวน้อย และ นิ่ม
3	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	4	0.5	ฟองน้ำขุบตัวมาก
5	เกิดเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	4	เจลเร็ว เท เข้าเบ้าไม่ได้	ไม่ได้ฟองน้ำ

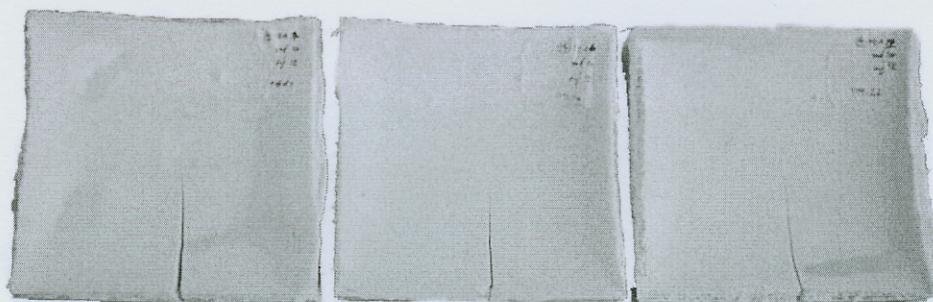


ปริมาณ EFA 2 กรัม

ปริมาณ EFA 5 กรัม

ปริมาณ EFA 6 กรัม

รูปที่ 4.12 ลักษณะของฟองน้ำที่ปริมาณวัลคาฟอรัอีเอฟเอระดับต่าง ๆ

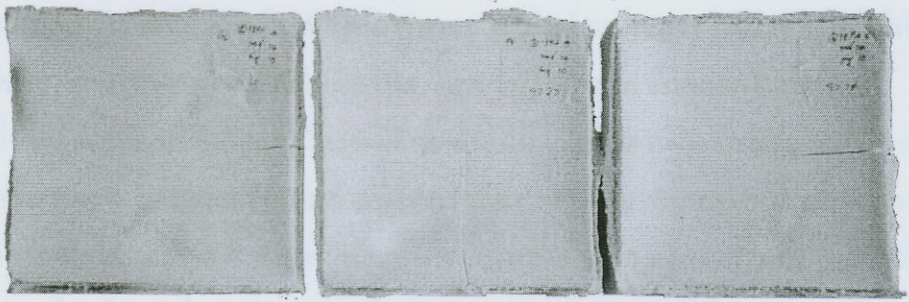


ปริมาณ TETA 2 กรัม

ปริมาณ TETA 3 กรัม

ปริมาณ TETA 6 กรัม

รูปที่ 4.13 ลักษณะของฟองน้ำที่ปริมาณไตรเอทิลีนเตตระมีนระดับต่าง ๆ

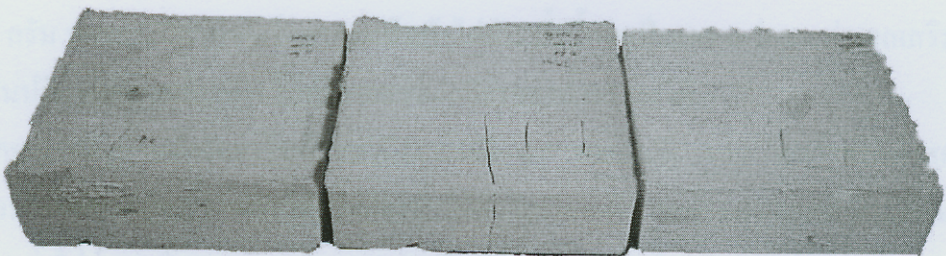


ปริมาณ TEPA 2 กรัม

ปริมาณ TEPA 2.5 กรัม

ปริมาณ TEPA 4 กรัม

รูปที่ 4.14 ลักษณะของฟองน้ำที่ปริมาณเตตระเอทิลีนเพนตามีนระดับต่าง ๆ



ปริมาณ DPG 1 กรัม

ปริมาณ DPG 2.5 กรัม

ปริมาณ DPG 3 กรัม

รูปที่ 4.15 ลักษณะของฟองน้ำที่ปริมาณไดฟีนิลกัวนิดินระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้วัลคาฟอรีเอเฟเอและไตรเอทิลินเตตระมีน เป็นสารก่อเจลเสริมในปริมาณ 1 กรัม พบว่าเกิดฟองได้ง่าย สม่าเสมอ หลังจากเติมสารเจลหลักประมาณ 7 – 8 นาที เกิดฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นและยุบตัวจนหมด ไม่เกิดการเจล ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสารก่อเจลเสริมในปริมาณน้อยเกินไป ทำให้การกระจายไม่สม่าเสมอและไม่ทั่วถึง จึงทำให้ไม่มีการเจลของฟองยาง ผลให้ฟองบางส่วนไม่มีความแข็งแรง ทำให้ฟองอากาศแตกไปก่อน

แต่เมื่อใช้วัลคาฟอรีเอเฟเอและไตรเอทิลินเตตระมีน เป็นสารก่อเจลเสริมในปริมาณเพิ่มมากขึ้นในระดับ 2 – 4 และ 2 กรัมตามลำดับ พบว่าเกิดฟองได้ง่าย สม่าเสมอ เนื้อฟองเป็นครีมละเอียด เวลาการเจลประมาณ 6 – 7 นาที และหลังจากนั้นเมื่อใช้สารก่อเจลเสริมทั้ง 2 มากขึ้นอีก ลักษณะของฟองเป็นครีมละเอียดสม่าเสมอ ส่วนเวลาการเจลของฟองยางได้ลดลงตามปริมาณสารก่อเจลเสริมที่เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฟองยางน่าจะมีความสมดุลมากขึ้นจากผลที่เวลาการเจลที่เหมาะสมเนื่องมาจากการกระจายตัวอย่างทั่วถึงของสารก่อเจลเสริม แต่เมื่อใช้สารก่อเจลเสริมในปริมาณมากเกินไปฟองยางเจลเร็วมากในบางส่วนและส่วนที่ไม่เจลได้ยุบตัวจนหมด อาจเป็นเพราะว่าสารก่อเจลเสริมในปริมาณมากเกินไปทำให้ฟองยางเจลเร็วมากโดยที่มีการกระจายตัวไม่ทั่วถึง ทำให้ฟองยางบางส่วนไม่มีการเจล

ส่วนการใช้เตตระเอทิลินเพนตามีนเป็นสารก่อเจลเสริมในปริมาณ 1 กรัม ฟองยางยุบตัวเช่นเดียวกับใช้วัลคาฟอรีเอเฟเอในปริมาณ 1 กรัม และเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้นในปริมาณ 2 – 4 กรัม การเกิดฟองได้ง่าย สม่าเสมอ แต่การเจลใช้เวลาลดลง เช่นเดียวกับกับใช้ไดฟีนิลควินิดีน ในปริมาณ 1 – 2.5 กรัม การเกิดฟองได้ง่าย สม่าเสมอ แต่เวลาการเจลลดลงตามปริมาณของไดฟีนิลควินิดีนที่เพิ่มขึ้น และเมื่อใช้เตตระเอทิลินเพนตามีนและไดฟีนิลควินิดีนเป็นสารก่อเจลเสริมในปริมาณ 5 กรัม ฟองยางมีการเจลเร็วมากทะลุเข้าเบ้าไม้ทันที ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าสารก่อเจลเสริมซึ่งเป็นเอมีนในปริมาณที่มากเกินไปอาจไปทำลายความเสถียรของน้ำยางลงได้

ลักษณะฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.12 พบว่าฟองน้ำสูตรที่ใช้วัลคาฟอรีเอเฟเอปริมาณ 2 กรัม ได้เนื้อฟองน้ำที่มีผิวไม่เรียบ ผิวกระด้าง จากการสังเกตลักษณะของเซลล์พบว่าไม่ค่อยสม่าเสมอมากนัก จะเห็นได้ว่าบริเวณผิวด้านบนของฟองน้ำเป็นรอยยุบขรุขระเป็นบางส่วน อาจเป็นเพราะว่ามีปริมาณวัลคาฟอรีเอเฟเอเกินไป ทำให้การกระจายไม่สม่าเสมอและไม่ทั่วถึง สูตรที่ใช้ปริมาณของวัลคาฟอรีเอเฟเอ 5 กรัม พบว่าฟองน้ำที่ได้มีผิวเรียบนุ่มและมีความยืดหยุ่นมากขึ้น อาจเนื่องมาจากมีการกระจายตัวของวัลคาฟอรีเอเฟเอในระดับที่ดีขึ้น หรืออาจเป็นเพราะว่าวัลคาฟอรีเอเฟเอซึ่งเป็นสารก่อเจลเสริมพวกที่มีองค์ประกอบของ ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) แอมโมเนีย (ammonia) และเอทิลคลอไรด์ (ethyl Chloride) ซึ่งเป็นสารตัวเร่งกลุ่มความเร็วปานกลาง (Medium accelerator) จำพวกโพลีเอมีน (Polyamine) ซึ่งสารเอมีน

โดยปกติแล้วเมื่อใส่ลงไปใต้น้ำยาง เชื่อว่าเอมีนส่วนใหญ่จะดูดซึมเข้าไปที่ผิวของน้ำยาง และเนื่องจากเอมีนมีความเป็นด่างมาก มันจะดูดเอาไฮโดรเจนไอออนเข้ากับตัวมัน ซึ่งอาจทำให้ stem potential ของเม็ดยางลดลง จึงเป็นเหตุใต้น้ำยางมีความเสถียรลดลง (นนทศักดิ์, 2523)

ส่วนสูตรที่ใช้ปริมาณของวัลคาฟอร์อีเอเฟอ 6 กรัม ฟองน้ำที่ได้มีผิวไม่ค่อยเรียบ และมีรอยแตกเล็กน้อยแต่หดรัดมากขึ้น อาจเนื่องมาจากการจับตัวที่เร็วขึ้นทำให้การกระจายของฟองอากาศไม่สม่ำเสมอและเกิดการรวมตัวของฟองก่อนที่มีการเจด เป็นเหตุให้ได้ฟองน้ำที่มีผิวไม่ค่อยเรียบ และแตกบางส่วนลักษณะเซลล์หยาบไม่สม่ำเสมอ

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.13 สูตรที่ใช้ไครเอทิลีนเตตระมีนปริมาณ 2 กรัม ลักษณะของฟองน้ำที่ได้มีเนื้อฟองน้ำหยาบ ผิวไม่ค่อยเรียบ เกิดการรวมฟองและขูดตัวเล็กน้อยบางส่วน การที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ไครเอทิลีนเตตระมีนในปริมาณน้อยเกินไป อาจทำให้ประสิทธิภาพในการช่วยทำให้ฟองยางให้มีขนาดละเอียดและสม่ำเสมอลดลง และรวมทั้งการจับตัวที่ช้าของฟองยาง จึงทำให้ฟองน้ำที่ได้มีลักษณะโครงสร้างเซลล์ไม่สม่ำเสมอ สูตรที่ใช้ไครเอทิลีนเตตระมีนปริมาณ 3 กรัม ลักษณะของฟองน้ำมีผิวเรียบมากขึ้น นุ่ม ความยืดหยุ่นมากกว่า เนื่องจากมีการจับตัวสม่ำเสมอดีขึ้น ลักษณะฟองน้ำผิวสม่ำเสมอยิ่งขึ้น อาจเป็นเพราะว่าความสม่ำเสมอในการเกิดฟองยางและความสม่ำเสมอของการจับตัวมีมากขึ้น รวมทั้งเวลาในการจับตัวของฟองยางเร็วขึ้น ซึ่งน่าจะมีความเหมาะสมมากที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณไครเอทิลีนเตตระมีนมากขึ้นเป็น 6 กรัม ลักษณะของฟองน้ำมีผิวเรียบเช่นกัน แต่ผิวแข็งกระด้างและฟองน้ำแข็งกว่า อาจเป็นเพราะว่าไครเอทิลีนเตตระมีน อาจไปทำลายความเสถียรของน้ำยางให้ลดลงมากขึ้น จึงทำให้ฟองยางเจดเร็วขึ้นกว่าเดิม

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.14 สูตรที่ใช้ เตตระเอทิลีนเพนทามีน ปริมาณ 2 กรัม ลักษณะของฟองน้ำมีผิวไม่ค่อยเรียบ ขูดตัวเป็นบางส่วน ความยืดหยุ่นน้อย ค่อนข้างแข็งกระด้าง และเมื่อใช้ปริมาณเตตระเอทิลีนเพนทามีนมากขึ้นเป็น 2.5 กรัม ฟองน้ำมีผิวเรียบ ความสม่ำเสมอที่ผิวมากขึ้น นุ่มและมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่วนสูตรที่ใช้เตตระเอทิลีนเพนทามีนปริมาณ 5 กรัม ลักษณะของฟองน้ำที่ได้มีผิวเรียบเช่นกัน เนื้อแน่นแต่แข็งกระด้างกว่า จากผลการทดลองนี้พอจะอธิบายได้ว่าเมื่อมีการใช้เตตระเอทิลีนเพนทามีนปริมาณน้อยเกินไป อาจทำให้ประสิทธิภาพในการช่วยทำให้ฟองยางให้มีขนาดละเอียดและสม่ำเสมอลดลง และรวมทั้งการเจดที่ค่อนข้างช้าของฟองยาง จึงทำให้ฟองน้ำที่ได้มีผิวไม่สม่ำเสมอ แต่เมื่อใช้เตตระเอทิลีนเพนทามีนปริมาณมากขึ้นเป็น 2.5 กรัม ฟองน้ำมีผิวที่สม่ำเสมอมากขึ้น อาจเป็นเพราะว่าความสม่ำเสมอในการเกิดฟองยางมากขึ้น รวมทั้งเวลาในการจับตัวของฟองยางเร็วขึ้นและมีความเหมาะสมมากขึ้น และการที่ใช้เตตระเอทิลีนเพนทามีนปริมาณมากขึ้นเป็น 5 กรัม ฟองน้ำที่ได้มีผิวสม่ำเสมอเช่นกัน แต่ผิวแข็งกระด้างกว่า

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.15 สูตรที่ใช้ไคฟิโนลแกวินิตินปริมาณ 1 กรัม ลักษณะของ ฟองน้ำที่ได้มีผิวไม่ค่อยเรียบ มีรอยแตกบริเวณขอบของชั้นฟองน้ำและขอบตัวบางส่วนเห็นได้ชัด สูตรที่ใช้ไคฟิโนลแกวินิตินปริมาณ 2.5 กรัม ลักษณะฟองน้ำมีผิวเรียบ นุ่ม และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น อาจเป็นเพราะว่าความสม่ำเสมอในการเกิดฟองยางและขนาดฟองมีความละเอียดใกล้เคียงกันมากขึ้นรวมทั้งเวลาเจลของฟองยางเร็วกว่าเดิมซึ่งมีความเหมาะสมยิ่งขึ้น จากการทดลองใช้ ไคฟิโนลแกวินิตินปริมาณมากขึ้นเป็น 3 กรัม ซึ่งสามารถควบคุมการทะลุเข้าทำให้เร็วขึ้นก่อนที่ฟองยาง จะจับตัว พบว่าฟองน้ำมีผิวขรุขระ แข็งกระด้างกว่า อาจเป็นเพราะว่าไคฟิโนลแกวินิตินอาจไปทำลาย ความเสถียรของน้ำยางให้ลดลงเร็วขึ้น ซึ่งเป็นการทำให้ฟองยางเจลเร็วกว่าปกติ

ผลของชนิดและปริมาณของสารก่อเจลเสริมต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัว ความหนาแน่น ความสามารถในการคืนรูป จำนวนเซลล์ และขนาดเซลล์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.16 – 4.31

ตารางที่ 4.6 ผลของชนิดและปริมาณของสารก่อกลศาสตร์ต่อสมบัติของฟองน้ำ

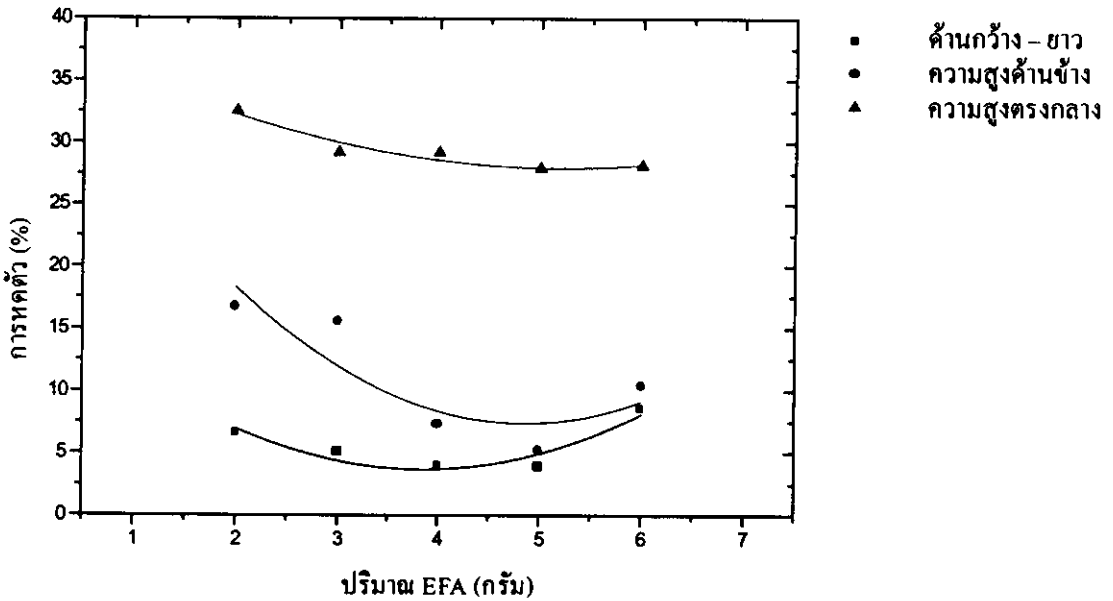
สมบัติทางฟิสิกส์	ปริมาณ EFA (กรัม)							ปริมาณ TETA (กรัม)						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
การหดตัว (%)														
- ด้านกว้าง - ยาว	*	6.58	5.07	3.95	3.95	8.55	*	*	4.74	4.41	5.26	6.71	6.91	*
- ด้านข้าง	*	16.66	15.63	7.29	5.21	10.42	*	*	13.00	12.00	12.50	13.00	13.50	*
- ตรงกลาง	*	32.50	29.16	29.16	27.90	28.12	*	*	12.50	12.00	12.50	13.00	14.00	*
ความหนาแน่น (%)	*	0.140	0.136	0.126	0.121	0.122	*	*	0.120	0.119	0.124	0.127	0.128	*
ความสามารถในการคืนรูป (%)	*	8.40	8.35	6.90	6.31	10.53	*	*	10.00	10.00	11.05	12.63	13.68	*
จำนวนเซลล์ (ต่อเซนติเมตร)	*	34	34	32	30	28	*	*	36	35	35	36	37	*
ขนาดเซลล์ (เซนติเมตร)	*	0.029	0.029	0.031	0.035	0.036	*	*	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	*

หมายเหตุ * หมายถึงไม่สามารถทดสอบได้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ผลของชนิดและปริมาณของสารก่อเจลเสริมต่อสมบัติของฟองน้ำ

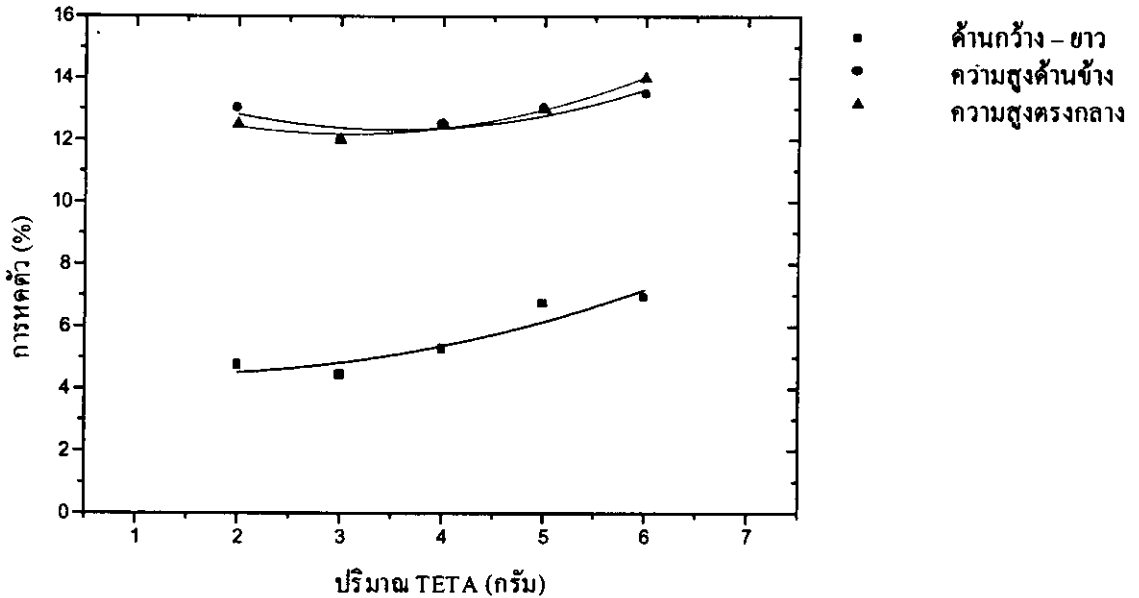
สมบัติทางฟิสิกส์	ปริมาณ TEPA (กรัม)					ปริมาณ DPG (กรัม)							
	1	2	2.5	3	3.5	4	5	1	1.5	2	2.5	3	5
การหดตัว (%)													
- ด้านกว้าง-ยาว	*	6.71	5.26	5.59	6.90	7.69	*	6.15	5.92	5.26	5.10	*	*
- ด้านข้าง	*	8.33	7.29	12.50	12.50	12.50	*	17.71	15.63	14.79	14.30	*	*
- ตรงกลาง	*	12.50	9.38	14.58	14.58	14.58	*	22.36	21.32	21.40	21.50	*	*
ความหนาแน่น (%)	*	0.122	0.122	0.123	0.123	0.125	*	0.128	0.119	0.117	0.114	*	*
ความสามารถในการคืนรูป (%)	*	8.94	8.94	9.47	9.47	9.47	*	11.57	10.52	10.52	10.52	*	*
จำนวนเซลล์ (ต่อเซนติเมตร)	*	35	38	40	40	41	*	39	37	36	36	*	*
ขนาดเซลล์ (เซนติเมตร)	*	0.028	0.026	0.025	0.025	0.024	*	0.026	0.027	0.028	0.028	*	*

หมายเหตุ * หมายถึงไม่สามารถทดสอบได้



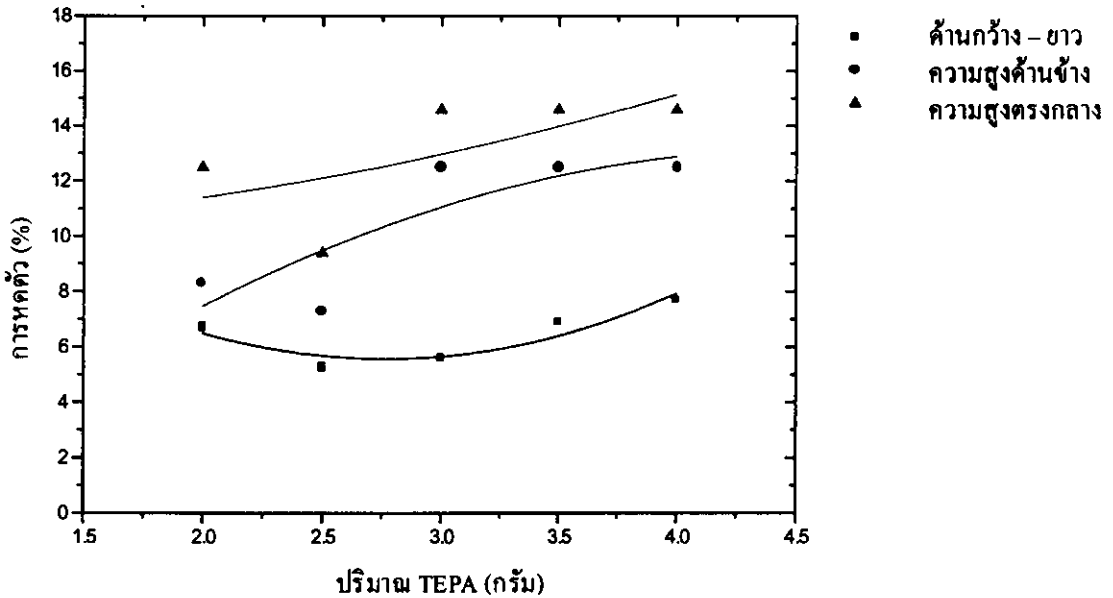
รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของฟองน้ำที่ปริมาณวัลคาฟอร์อีเอเฟอระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.16 พบว่าด้านกว้าง - ยาวของฟองน้ำภายหลังการอบด้วยไอน้ำเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยที่สุดอยู่ที่ระดับ 3.95 % ในขณะที่ความสูงตรงใจกลางของฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยที่สุดอยู่ที่ระดับ 28 % เมื่อพิจารณาการหดตัวของฟองน้ำในภาพรวมพบว่าการหดตัวมีค่าต่ำสุด เมื่อใช้วัลคาฟอร์อีเอเฟอปริมาณ 4 - 5 กรัม การใช้วัลคาฟอร์อีเอเฟอปริมาณน้อยกว่า 5 กรัม ฟองน้ำมีการหดตัวมาก อาจเป็นเพราะว่าการใช้วัลคาฟอร์อีเอเฟอ ปริมาณต่ำ ๆ ทำให้การจับตัวของฟองยางช้า จึงทำให้ฟองบางส่วนสามารถแตกตัวมารวมกันได้ เมื่อมีการแตกตัวแล้วส่วนของเซลล์รอบ ๆ จะมีการยุบตัวเข้าหากัน จึงเป็นเหตุให้การหดตัวมากขึ้น นอกจากนั้นการใช้ปริมาณน้อยเกินไปอาจทำให้การกระจายของวัลคาฟอร์อีเอเฟอไม่ทั่วถึง จึงทำให้ความละเอียดและความสม่ำเสมอของฟองมีน้อยลงประกอบกับการเจลที่ช้านั้นอาจทำให้ฟองแตกก่อนที่จะมีการเจล จึงทำให้เซลล์บางส่วนเกิดยุบตัวและหดตัวมาก แต่เมื่อใช้วัลคาฟอร์อีเอเฟอที่เหมาะสมคือ ประมาณ 4 - 5 กรัม ความสม่ำเสมอของฟองยางมากขึ้นฟองละเอียดมากและการเจลของฟองยางค่อนข้างเหมาะสม และเมื่อใช้วัลคาฟอร์อีเอเฟอ ปริมาณมากกว่า 5 กรัม ฟองน้ำมีการหดตัวสูงขึ้น เนื่องมาจากความไม่สมดุลของฟองยางซึ่งทำให้การเจลที่เร็วเกินไป เป็นเหตุให้การกระจายของฟองอากาศไม่สม่ำเสมอและเกิดการรวมตัวของฟองก่อนที่มีการเจลและเมื่อเกิดการเจลทำให้ไม่มีความสม่ำเสมอของเซลล์ฟองน้ำที่ได้ จึงมีเซลล์หยาบและหดตัวมากขึ้น



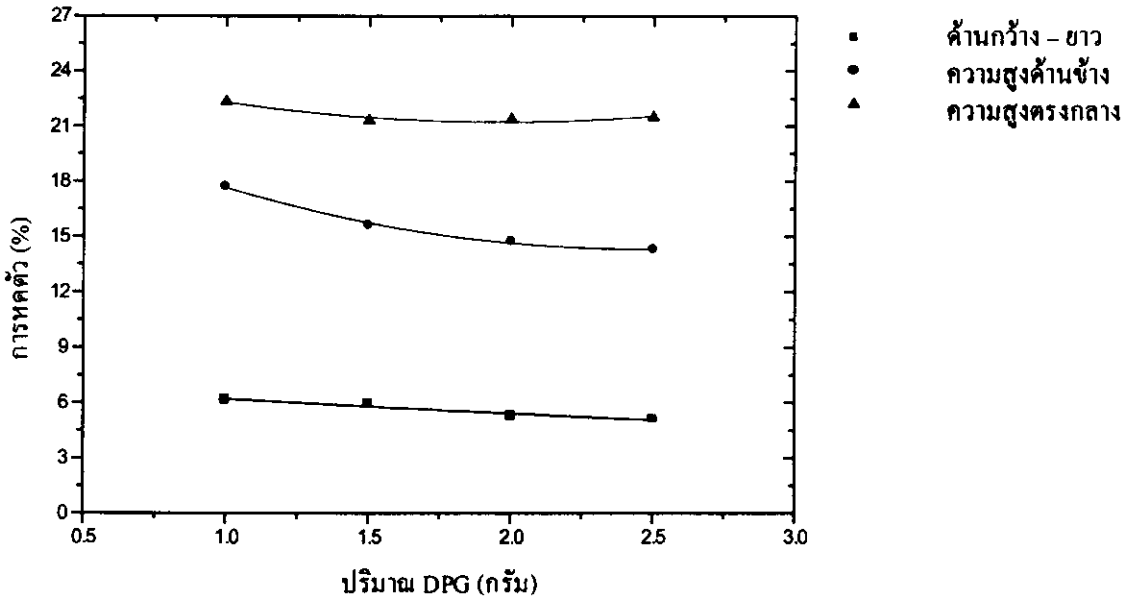
รูปที่ 4.17 เปอร์เซนต์การหดตัวของฟองน้ำที่ปริมาณไตรเอทิลีนเตตระมีนที่ระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.17 พบว่าความสูงด้านข้างและความสูงตรงใจกลางของฟองน้ำภายหลังจากอบด้วยไอน้ำ มีเปอร์เซนต์การหดตัวต่ำสุดที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันมากอยู่ในระดับประมาณ 12 % ในขณะที่ด้านกว้าง - ยาว มีเปอร์เซนต์การหดตัวอยู่ในระดับต่ำสุดประมาณ 4.41 % เมื่อพิจารณาการหดตัวในภาพรวม พบว่าการหดตัวจะมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้ไตรเอทิลีนเตตระมีนประมาณ 3 กรัม ทั้งนี้เชื่อว่าเนื่องมาจากความสม่ำเสมอในการเกิดฟองและความเหมาะสมในการเจลมากกว่าการใช้ไตรเอทิลีนเตตระมีนในระดับอื่นๆ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของไตรเอทิลีนเตตระมีนมากกว่า 3 กรัม พบว่าการหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ไตรเอทิลีนเตตระมีนปริมาณมากขึ้น ทำให้เกิดความสม่ำเสมอของฟองขายน้อยลงกว่าเดิม ทั้งนี้เชื่อว่าไตรเอทิลีนเตตระมีน อาจไปทำให้ความตึงผิวของสบูลดลง จึงทำให้มีการเจลเร็วกว่าเดิมและพบว่าขนาดของฟองไม่ค่อยสม่ำเสมอ กล่าวคือมีขนาดฟองเล็กและใหญ่ผสมกันไป จึงทำให้ฟองน้ำที่ได้มีการจัดเรียงเซลล์ไม่เป็นระเบียบมากนัก ได้ฟองน้ำที่มีเนื้อแน่นขึ้นเป็นเหตุให้ฟองน้ำที่ได้มีการหดตัวสูงขึ้น



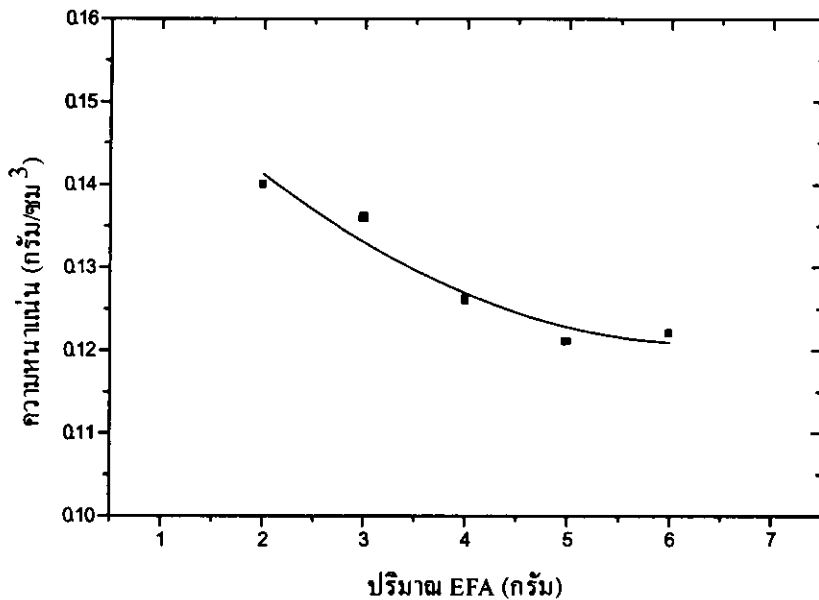
รูปที่ 4.18 ผลของเปอร์เซ็นต์การหดตัวของฟองน้ำที่ปริมาณเตตระเอทิลีนเพนทามีนที่ระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.18 พบว่าด้านกว้าง - ยาว ของฟองน้ำหลังการอบด้วยไอน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยที่สุดอยู่ที่ระดับ 5.26 % ในขณะที่ความสูงบริเวณตรงใจกลางของฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำที่สุดอยู่ที่ระดับ 9.38 % เมื่อพิจารณาการหดตัวในภาพรวม พบว่าการหดตัวต่ำสุดจะเกิดขึ้นเมื่อใช้เตตระเอทิลีนเพนทามีนปริมาณ 2.5 กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสม่ำเสมอในการเกิดฟองกล่าวคือ หลังจากเติมเตตระเอทิลีนเพนทามีนแล้วมีการจับตัวที่ดีความสม่ำเสมอมากกว่า จึงทำให้การหดตัวลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของเตตระเอทิลีนเพนทามีนมากกว่า 2.5 กรัม พบว่าการหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนเกือบจะค่อนข้างคงที่เมื่อปริมาณการใช้เตตระเอทิลีนเพนทามีนมากกว่า 3.0 กรัม



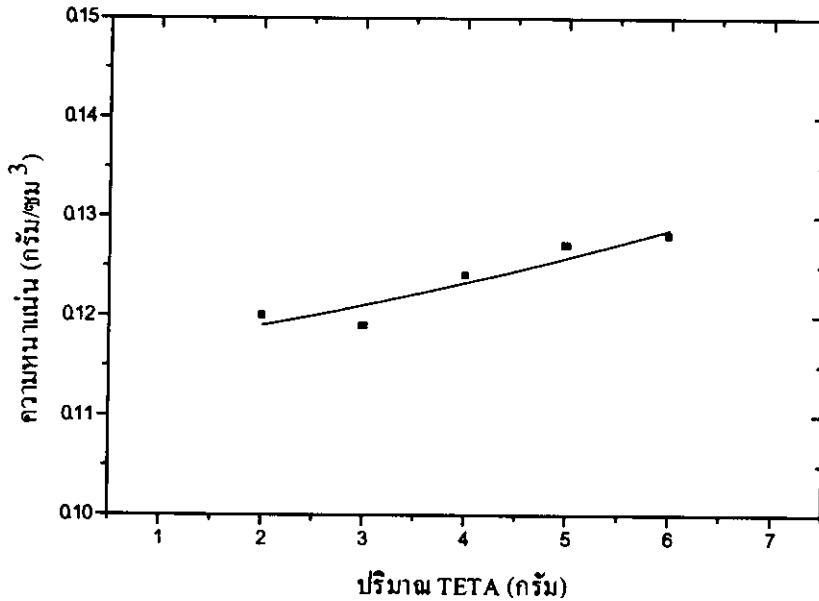
รูปที่ 4.19 เปอร์เซนต์การหดตัวของฟองน้ำที่ปริมาณไคฟีนิลกัวนิดีนระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.19 พบว่าด้านกว้าง - ยาวของฟองน้ำภายหลังการอบด้วยไอน้ำ มี เปอร์เซนต์การหดตัวต่ำที่สุดอยู่ที่ระดับ 5.10 % ในขณะที่ความสูงบริเวณด้านข้างของฟองน้ำมี เปอร์เซนต์การหดตัวต่ำที่สุดอยู่ที่ระดับ 14.30 % เมื่อพิจารณาการหดตัวในภาพรวม พบว่าการหดตัวมีแนวโน้มลดต่ำลงเล็กน้อยในทุกด้านเมื่อใช้ไคฟีนิลกัวนิดีนในปริมาณสูงขึ้นจนถึงระดับประมาณ 2.5 กรัม เมื่อเพิ่มไคฟีนิลกัวนิดีนในปริมาณที่สูงกว่า 2.5 กรัม ซึ่งในการทดลองน่าจะเป็นปริมาณที่มากเกินไป พบว่าปริมาณของฟองยางเป็นปกติหลังจากเติมไคฟีนิลกัวนิดีน แต่เมื่อเริ่มใส่สารก่อเจลหลักคือ โซเดียมซัลไฟโคฟลูออไรด์ลงไปปรากฏว่าฟองยางบางส่วนเจลเร็วมาก และบางส่วน ไม่มีการเจลเกิดฟองอากาศที่ใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นฟองยางมีการยุบตัวเกือบหมดใช้ไม่ได้



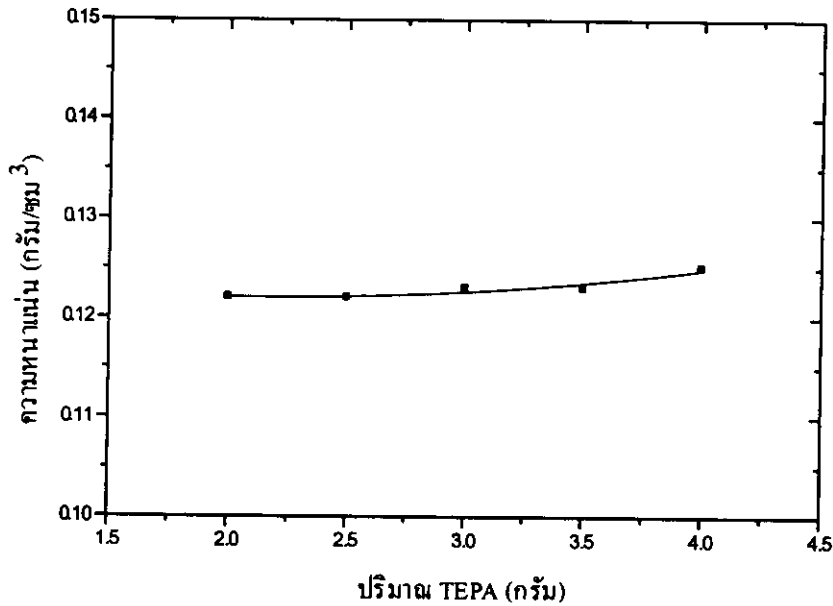
รูปที่ 4.20 ความหนาแน่นของฟองน้ำที่ปริมาณ วัลคาฟอร์ อีเอฟเอระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.20 ความหนาแน่นของฟองน้ำที่ใช้ปริมาณของวัลคาฟอร์อีเอฟเอในระดับต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของฟองน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้วัลคาฟอร์อีเอฟเอในปริมาณสูงขึ้น โดยจะมีค่าค่อนข้างจะคงที่ เมื่อใช้ปริมาณของวัลคาฟอร์อีเอฟเอมากกว่า 5 กรัม ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากฟองน้ำที่ใช้วัลคาฟอร์อีเอฟเอในปริมาณน้อยนั้นมีขนาดของเซลล์ไม่สม่ำเสมอ การเชื่อมต่อระหว่างเซลล์น้อยหรือการเกิดเซลล์ไม่สมบูรณ์ อาจเป็นเซลล์ปิดผสมอยู่บ้าง เมื่อนำฟองยางไปวัลคาไนซ์ทำให้เซลล์มีการหดตัวแน่นขึ้น และเมื่อใช้วัลคาฟอร์อีเอฟเอปริมาณมากขึ้นความสม่ำเสมอของเซลล์มากขึ้น การเจลของฟองยางสม่ำเสมอและสมบูรณ์มากขึ้น และเมื่อใช้วัลคาฟอร์อีเอฟเอปริมาณมากเกินไปฟองน้ำกลับมีความหนาแน่นสูงขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากฟองน้ำที่ใช้วัลคาฟอร์อีเอฟเอในปริมาณมากเกินไปมีความสม่ำเสมอของฟองน้อยลงเพราะฟองยางมีการเจลเร็วขึ้น จึงทำให้ฟองยางมีการเจลไม่ทั่วถึง



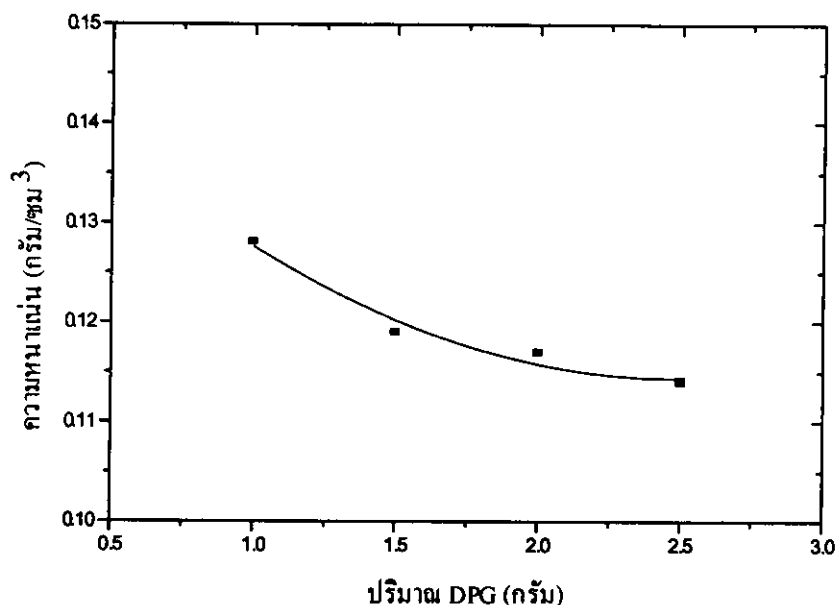
รูปที่ 4.21 ความหนาแน่นของฟองน้ำที่ปริมาณไตรเอทิลีนเตตระมีนระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.21 ความหนาแน่นของฟองน้ำมีค่าต่ำสุดในสูตรที่ใช้ไตรเอทิลีนเตตระมีนในปริมาณ 2 และ 3 กรัม แต่เมื่อใช้ไตรเอทิลีนเตตระมีนปริมาณมากขึ้นในช่วง 4 - 6 กรัมความหนาแน่นกลับเพิ่มสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อใช้ไตรเอทิลีนเตตระมีนปริมาณมากกว่า 3 กรัม การเจลของฟองยางเกิดเร็วขึ้นจนทำให้ฟองยางที่เกิดขึ้น ไม่สมดุลกับการเจล เป็นเหตุให้โครงสร้างของเซลล์ไม่แข็งแรงเกิดเป็นฟองอากาศได้น้อยลง เนื้อฟองยางมีความแน่นมากขึ้น



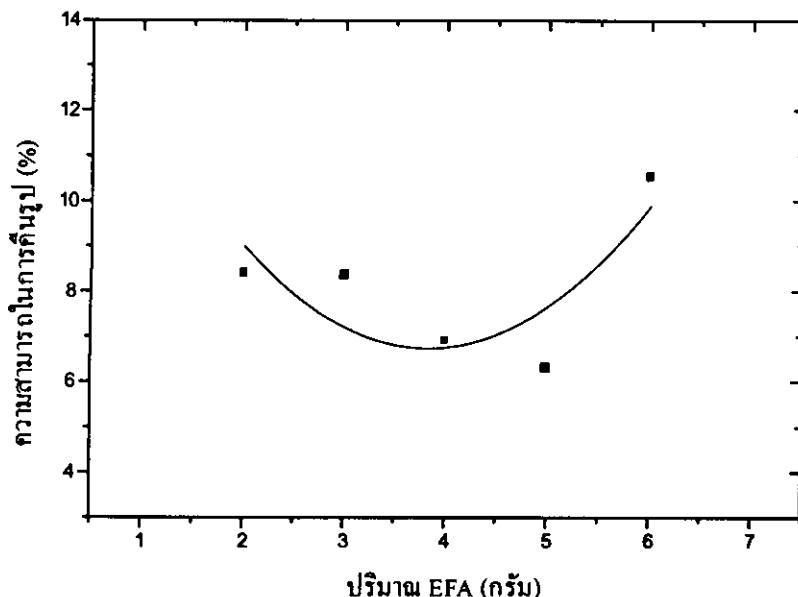
รูปที่ 4.22 ความหนาแน่นของฟองน้ำที่ปริมาณเตตระเอทิลีนเพนตามีนที่ระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.22 ความหนาแน่นของฟองน้ำที่ใช้ปริมาณของเตตระเอทิลีนเพนตามีนในระดับต่าง ๆ พบว่าค่อนข้างคงที่แต่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณของเตตระเอทิลีนเพนตามีนในปริมาณสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเจลที่เกิดขึ้นมีความรวดเร็วจึงทำให้โครงสร้างเซลล์ไม่สมบูรณ์มากนัก



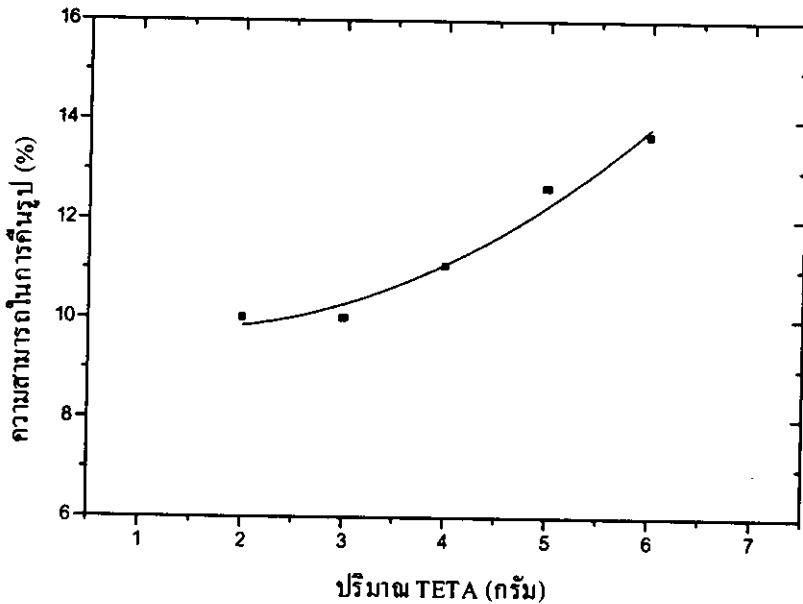
รูปที่ 4.23 ความหนาแน่นของฟองน้ำที่ปริมาณไคฟิซิลกัวนิตินที่ระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.23 ความหนาแน่นของฟองน้ำมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มปริมาณของไคฟิซิลกัวนิตินที่ใช้มากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของฟองและขนาดของเม็ดฟองที่เกิดขึ้นในขณะตีฟองมีความละเอียดสม่ำเสมอ แต่เมื่อใช้ไคฟิซิลกัวนิตินในปริมาณต่ำ ๆ ทำให้การกระจายตัวของสารก่อเจลเสริมไม่ทั่วถึงและการเจลที่เกิดขึ้นค่อนข้างช้า เป็นเหตุให้ฟองแตกบางส่วนซึ่งฟองที่แตกนั้นอาจยุบตัวรวมกันเป็นเนื้อยางที่แน่นขึ้นฟองน้ำที่ได้มีลักษณะของโครงสร้างเซลล์น้อยลง ทำให้ความหนาแน่นสูง แต่เมื่อใช้ไคฟิซิลกัวนิตินในปริมาณมากขึ้น โครงสร้างเซลล์มีความสม่ำเสมอมากกว่า ทำให้ความหนาแน่นต่ำกว่า



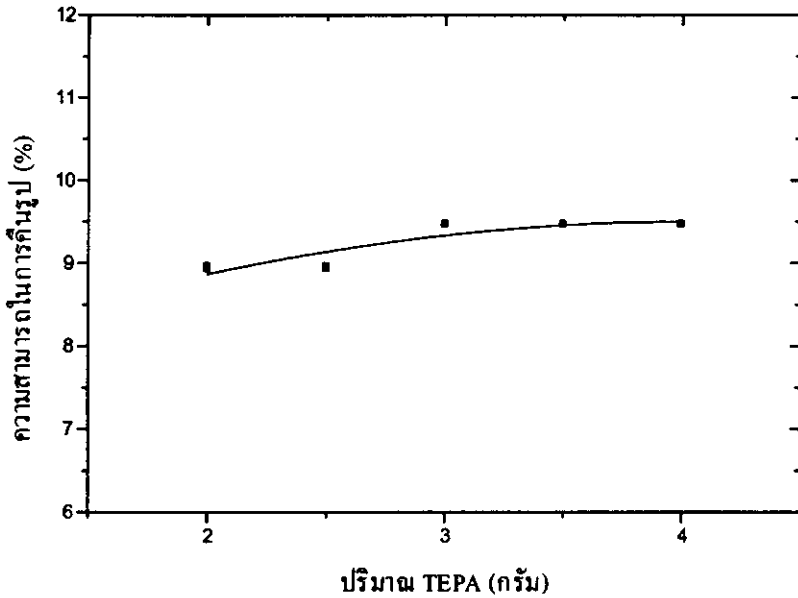
รูปที่ 4.24 ความสามารถในการคืนรูปร่างหลังการกดของฟองน้ำที่ปริมาณวัลคาฟอร์อีเอเฟอที่ระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.24 ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของฟองน้ำเมื่อใช้วัลคาฟอร์อีเอเฟอที่ระดับต่าง ๆ พบว่าความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของฟองน้ำมีค่าต่ำสุดที่ระดับ 6.31 % เมื่อใช้ปริมาณของวัลคาฟอร์อีเอเฟอเท่ากับ 5 กรัม และเมื่อใช้ปริมาณวัลคาฟอร์อีเอเฟอเพิ่มสูงขึ้นความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของฟองน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อใช้วัลคาฟอร์อีเอเฟอปริมาณน้อยขนาดของเซลล์ไม่มีความสม่ำเสมอ การเชื่อมต่อของเซลล์มีน้อยเมื่อถูกแรงกดเป็นเวลานานทำให้มีความเครียด เกิดความล้ากันในโครงสร้างเซลล์ ในทางกลับกันเมื่อใช้วัลคาฟอร์อีเอเฟอปริมาณมากเกินไป โครงสร้างเซลล์ก็จะไม่สม่ำเสมอ อาจเนื่องจากการเจลที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว



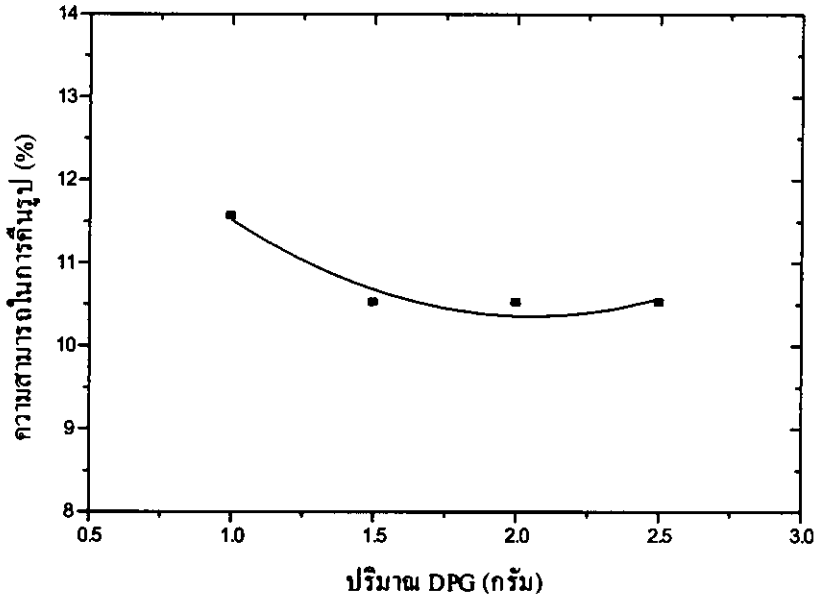
รูปที่ 4.25 ความสามารถในการคั้นรูปภายหลังการกดของฟองน้ำที่ปริมาณ ไตรเอทิลีนเตตระมินที่ระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.25 ความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดของฟองน้ำเมื่อใช้ ไตรเอทิลีนเตตระมินที่ระดับต่าง ๆ พบว่าความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดของฟองน้ำมีค่าค่อนข้างต่ำ และค่อนข้างคงที่เมื่อใช้ไตรเอทิลีนเตตระมินในปริมาณที่ต่ำกว่า 3 กรัม หลังจากนั้นความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้ไตรเอทิลีนเตตระมินในปริมาณที่มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้ไตรเอทิลีนเตตระมินในปริมาณต่ำกว่า 3 กรัม ซึ่งน่าจะเหมาะสมทำให้ความสม่ำเสมอของเซลล์มากขึ้น ความยืดหยุ่นจึงมากขึ้นด้วย แต่เมื่อใช้ไตรเอทิลีนเตตระมินปริมาณมากเกินไปอาจทำให้ขนาดของเซลล์เล็กและไม่มี ความสม่ำเสมอ การเชื่อมต่อของเซลล์มีน้อย ดังนั้นเมื่อถูกแรงกดเป็นเวลานานทำให้มีความเครียด ความล้ากันในโครงสร้างเซลล์ ส่งผลให้ฟองน้ำเกิดการคงตัวแข็งกระด้างและคืนตัวกลับได้น้อยกว่า



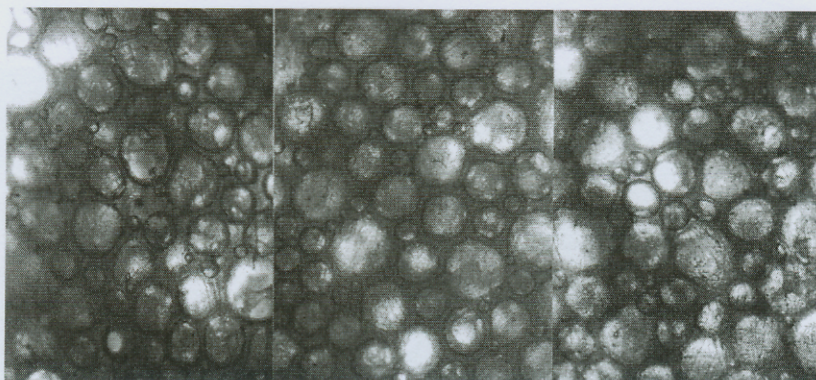
รูปที่ 4.26 ความสามารถในการคั้นรูปภายหลังการกดของฟองน้ำที่ปริมาณ
เตตระเอทิลีนเพนตามีนที่ระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.26 ความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดของฟองน้ำที่ปริมาณเตตระเอทิลีนเพนตามีนที่ระดับต่าง ๆ พบว่าสมบัติความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดของฟองน้ำมีค่าต่ำที่สุดอยู่ในช่วงประมาณ 9 % เมื่อใช้เตตระเอทิลีนเพนตามีนในปริมาณที่ต่ำกว่า 2.5 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากความสม่ำเสมอของเซลล์มีมากและเซลล์มีความแข็งแรงมาก ความยืดหยุ่นจึงมากขึ้นด้วย หลังจากนั้นความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดค่อยเพิ่มสูงขึ้นและค่อนข้างคงที่ในช่วงการใช้ เตตระเอทิลีนเพนตามีนปริมาณ 3 – 4 กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อใช้ปริมาณของเตตระเอทิลีนเพนตามีนเพิ่มมากขึ้น ลักษณะของโครงสร้างเซลล์เล็กกลงและมีโครงสร้างที่เกาะกะไม่สม่ำเสมอ เมื่อถูกแรงกดซึ่งทำให้โครงสร้างบิดเบี้ยวเสียรูป จึงทำให้การคั้นรูปช้าและคืนกลับได้น้อยกว่า



รูปที่ 4.27 ความสามารถในการคั้นรูปภายหลังการกดของฟองน้ำที่ปริมาณไคฟีนิลกัวนิดีนระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.27 ความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดของฟองน้ำที่ปริมาณไคฟีนิลกัวนิดีนระดับต่าง ๆ พบว่าความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดของฟองน้ำมีแนวโน้มลดต่ำลงจนเกือบจะคงที่อยู่ที่ระดับประมาณ 10.5 % เมื่อใช้ไคฟีนิลกัวนิดีนปริมาณสูงกว่า 1.5 กรัม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใช้ไคฟีนิลกัวนิดีนในปริมาณน้อยเกินไปอาจทำให้โครงสร้างของเซลล์จัดเรียงไม่เป็นระเบียบมีความกะกะมากขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการคั้นรูปภายหลังการกดช้า และจากการเกิดโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้โครงสร้างเซลล์แข็งกระด้างมีความยืดหยุ่นน้อย แต่เมื่อใช้ปริมาณมากขึ้นความสม่ำเสมอของฟอง อาจทำให้ขนาดของเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดดีขึ้น



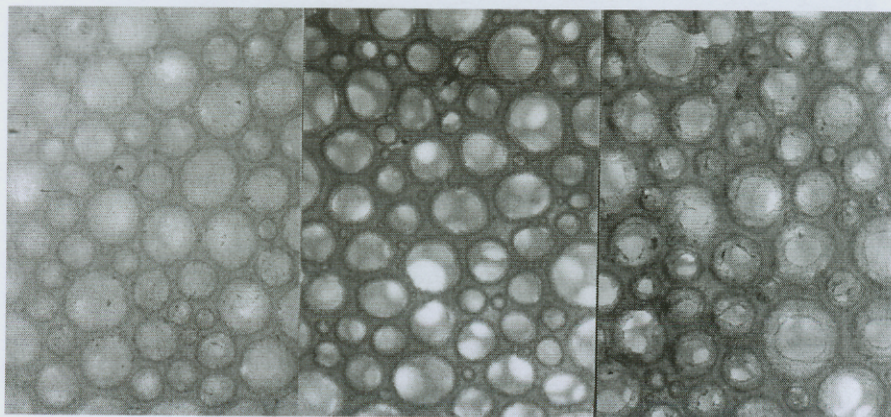
ปริมาณ EFA 2 กรัม

ปริมาณ EFA 5 กรัม

ปริมาณ EFA 6 กรัม

รูปที่ 4.28 ลักษณะโครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำที่ปริมาณวิตามินอีเอในระดับต่าง ๆ
(กำลังขยาย 4 เท่า)

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.28 โครงสร้างของเซลล์ของฟองน้ำโดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสูตรที่ใช้วิตามินอีเอ 2 กรัม มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 34 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร มีขนาดเซลล์เล็กและใหญ่ผสมกัน การจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ ส่วนสูตรที่ใช้ปริมาณวิตามินอีเอ 3, 4, 5 และ 6 กรัม มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 34, 32, 30 และ 28 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดของเซลล์จะใหญ่ขึ้นและความสม่ำเสมอมีมากขึ้นเมื่อใช้วิตามินอีเอในปริมาณเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะว่าการเกิดฟองมีความสม่ำเสมอ จึงทำให้โครงสร้างเซลล์สม่ำเสมอมากขึ้น



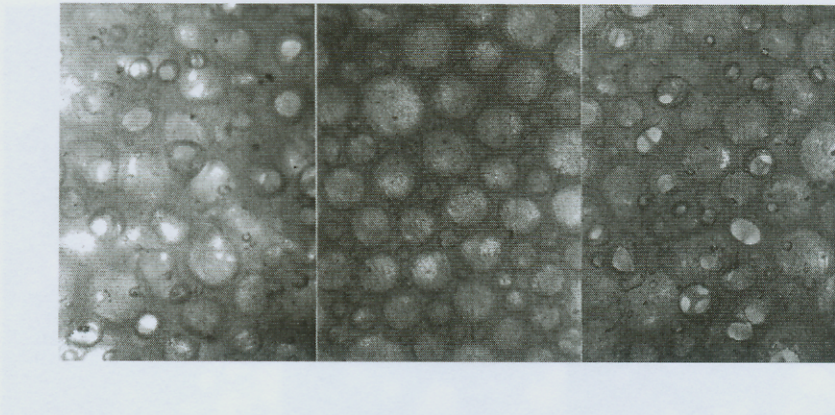
ปริมาณ TETA 2 กรัม

ปริมาณ TETA 3 กรัม

ปริมาณ TETA 6 กรัม

รูปที่ 4.29 ลักษณะโครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำที่ปริมาณไตรเอทิลีนเตตระมีนระดับต่าง ๆ (กำลังขยาย 4 เท่า)

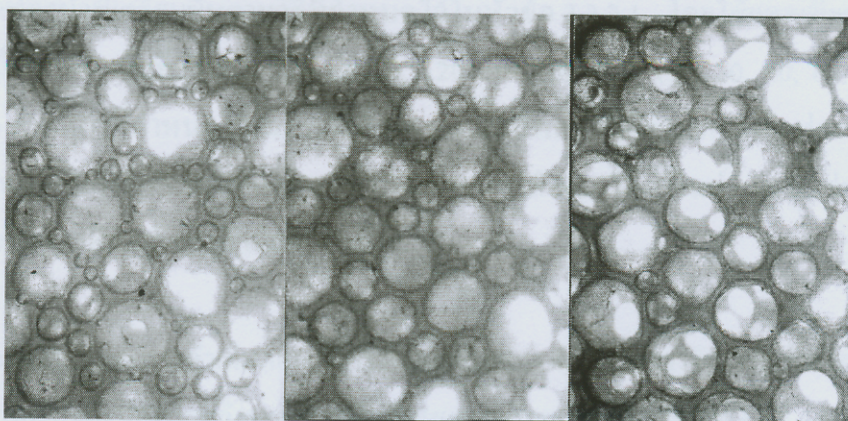
จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.29 เมื่อสังเกตตามโครงสร้างของเซลล์ของฟองน้ำโดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสูตรที่ใช้ไตรเอทิลีนเตตระมีน 2 กรัม มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 36 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร มีขนาดเซลล์เล็กและใหญ่ผสมกัน มีการบิดเบี้ยวของโครงสร้างเล็กน้อย การจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ บริเวณขอบของโครงสร้างเซลล์หนา อาจเป็นเพราะว่าการเกิดฟองไม่มีความสมบูรณ์ ส่วนสูตรที่ใช้ปริมาณไตรเอทิลีนเตตระมีน 3, 4, 5 และ 6 กรัม มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 35, 35, 36 และ 37 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดของเซลล์มีความใกล้เคียงกันมาก อาจเป็นเพราะว่าการเกิดฟองมีความสม่ำเสมอมากขึ้น จึงทำให้โครงสร้างเซลล์สม่ำเสมอ



ปริมาณ TEPA 2 กรัม ปริมาณ TEPA 2.5 กรัม ปริมาณ TEPA 4 กรัม

รูปที่ 4.30 ลักษณะโครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำที่ปริมาณเตตระเอทิลีนเพนตามีนระดับต่าง ๆ (กำลังขยาย 4 เท่า)

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.30 เมื่อสังเกตตามโครงสร้างของเซลล์ของฟองน้ำโดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสูตรที่ใช้เตตระเอทิลีนเพนตามีน 2 กรัม มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 35 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร มีขนาดเซลล์เล็กและใหญ่ผสมกัน มีการบิดเบี้ยวของโครงสร้างเซลล์เล็กน้อย การจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ อาจเป็นเพราะว่าการเกิดฟองไม่มีความสมบูรณ์ ส่วนสูตรที่ใช้ปริมาณเตตระเอทิลีนเพนตามีน 2.5, 3, 3.5 และ 4 กรัม มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 38, 40, 40 และ 41 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดของเซลล์มีความใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเล็กลงอย่างต่อเนื่อง อาจเป็นเพราะว่าการเกิดฟองมีความสม่ำเสมอแต่ได้ฟองอากาศที่เล็กลง และฟองน้ำมีการหดตัวมากขึ้น จึงทำให้โครงสร้างเซลล์เล็กลง



ปริมาณ DPG 1 กรัม

ปริมาณ DPG 2 กรัม

ปริมาณ DPG 2.5 กรัม

รูปที่ 4.31 ลักษณะโครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำที่ปริมาณไดฟีนิลกัวนิดีนระดับต่าง ๆ (กำลังขยาย 4 เท่า)

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.30 เมื่อสังเกตตามโครงสร้างของเซลล์ของฟองน้ำโดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าสูตรที่ใช้ไดฟีนิลกัวนิดีน 1 กรัม มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 39 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร มีขนาดเซลล์เล็กและใหญ่ผสมกัน การจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ เนื่องจากฟองยังมีการเจดที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนสูตรที่ใช้ปริมาณไดฟีนิลกัวนิดีน 1.5, 2 และ 2.5 กรัม มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 37, 36 และ 36 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดของเซลล์มีความใกล้เคียงกันมาก อาจเป็นเพราะว่าการเกิดฟองมีความสม่ำเสมอ

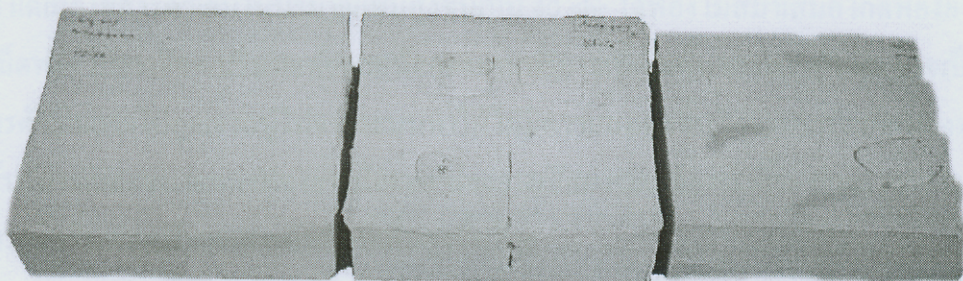
4.4 อิทธิพลของปริมาณสารตัวเติมต่อสมบัติของฟองน้ำ

นำฟองน้ำที่เตรียมขึ้นตามวิธีที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.3.2.1 โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต และเคลย์เป็นสารตัวเติมที่ปริมาณ 20, 40, 80, 120 และ 180 กรัม (10, 20, 40, 60 และ 90 phr ตามลำดับ) ตามสูตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.4 จากนั้นสังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองน้ำหลังจากวัลคาไนซ์ และนำฟองน้ำที่ได้มาทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ ตามหัวข้อที่ 3.5.2

ผลของปริมาณสารตัวเติมต่อพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองน้ำหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.7 และรูป 4.32 – 4.33

ตารางที่ 4.7 พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์ที่ชนิดและปริมาณสารตัวเติมระดับต่าง ๆ

ปริมาณสารตัวเติม(phr)	ลักษณะฟอง	ความสูง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์
CaCO ₃				
10	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองละเอียดสม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบและนุ่ม
20	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองละเอียดสม่ำเสมอ	4.5	3	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบและนุ่ม
40	เกิดฟองได้ยากขึ้น ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	4	2	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมากขึ้น ผิวหน้าเรียบ และแข็งขึ้น
60	เกิดฟองได้ยากขึ้น ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	3	1.5	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมากขึ้น ผิวหน้ามีรอยแตกบริเวณขอบ และแข็งขึ้น
90	เกิดฟองได้ยากขึ้น ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	3	1	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวและหดตัวมากขึ้น มีรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าและบริเวณขอบ และฟองน้ำแข็งขึ้น
Clay				
10	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองละเอียดสม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบและนุ่ม
20	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองละเอียดสม่ำเสมอ	4	3	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบและนุ่ม
40	เกิดฟองได้ยากขึ้น ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	4	3	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมากขึ้น ผิวหน้าเรียบ และแข็งขึ้น
60	เกิดฟองได้ยากขึ้น ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	3	2	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมากขึ้น ผิวหน้ามีรอยแตกบริเวณขอบ และแข็งขึ้น
90	เกิดฟองได้ยากขึ้น ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	3	1	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวและหดตัวมากขึ้น มีรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าและบริเวณขอบ และฟองน้ำแข็งขึ้น

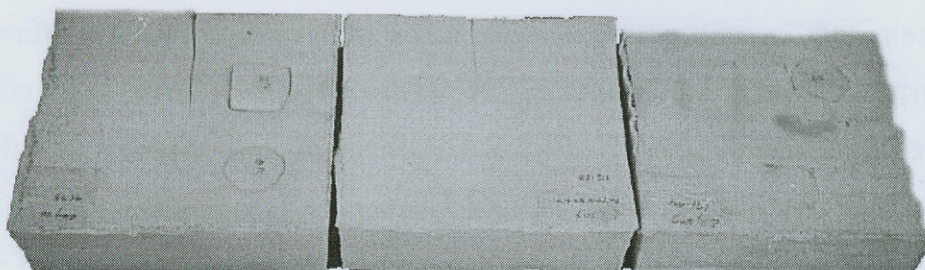


ปริมาณ CaCO_3 10 phr

ปริมาณ CaCO_3 40 phr

ปริมาณ CaCO_3 90 phr

รูปที่ 4.32 ลักษณะของฟองน้ำที่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตระดับต่าง ๆ



ปริมาณ Clay 10 phr

ปริมาณ Clay 40 phr

ปริมาณ Clay 90 กรัม

รูปที่ 4.33 ลักษณะของฟองน้ำที่ปริมาณเคลย์ ระดับต่าง ๆ

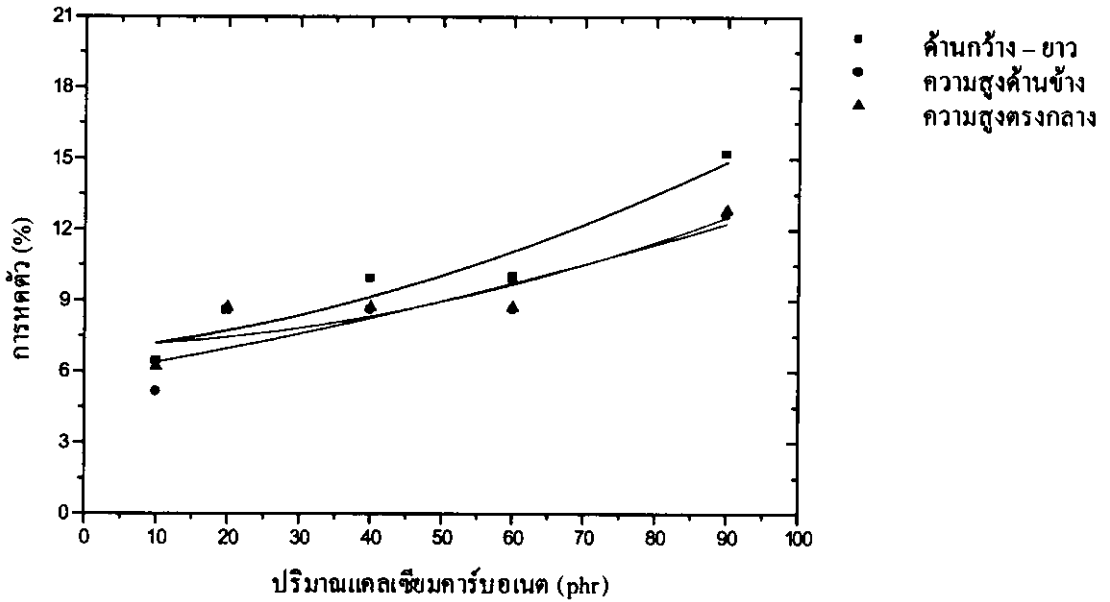
จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าการเตรียมฟองน้ำโดยใช้สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตหรือเคลย์ในช่วง 10 และ 20 phr จากการตีฟองได้ฟองอย่างที่สม่ำเสมอ ขนาดฟองละเอียดและเกิดฟองได้ง่าย แต่เมื่อใช้สารตัวเติมในปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเป็น 40 phr ได้ฟองไม่สม่ำเสมอ เกิดฟองยากขึ้น ขนาดเม็ดฟองไม่ละเอียด ปริมาณฟองลดน้อยลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสารตัวเติม อาจเป็นเพราะว่าสารตัวเติมอาจไปอุดเอาสบู่ไปจากระบบทำให้ไม่มีความสมดุลขึ้นในระบบการเกิดฟองน้ำ เป็นเหตุให้ปริมาณและขนาดของฟองขางน้อยลง ฟองขางเสถียรเร็วขึ้น ส่วนเวลาการเจลของฟองขางเร็วขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย

ลักษณะของฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์ จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.32 – 4.33 พบว่าสูตรที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตหรือเคลย์ผสมในปริมาณ 10 phr ลักษณะฟองน้ำที่ได้มีผิวเรียบและยืดหยุ่นดีมาก ลักษณะเซลล์สม่ำเสมอ เนื่องจากลักษณะของฟองขางขณะตีฟองนั้นขนาดของฟองขางมีความละเอียด และมีความสม่ำเสมอดี ปริมาณสารตัวเติมในปริมาณ 10 phr ไม่ทำให้ความเสถียรของน้ำขางที่ใช้ลดลงเลย ส่วนฟองน้ำสูตรที่ใช้สารตัวเติมในปริมาณ 40 phr ลักษณะผิวของฟองน้ำค่อนข้างแข็งกระด้างกว่า ความสม่ำเสมอของเซลล์จะต่างกันเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากสารตัวเติมมีผลทำให้ความเสถียรของน้ำขางลดลงซึ่งอาจจะไปอุดสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เข้าไปในตัวของมันอันจะทำให้เวลาในการเจลของฟองขางเร็วขึ้น เนื่องจากการทดลองใช้ สารลดแรงตึงผิวในปริมาณคงที่จึงเป็นเหตุให้โครงสร้างของฟองน้ำที่ได้ไม่สม่ำเสมอมากนัก แต่เมื่อสังเกตดูฟองน้ำในสูตรที่ใช้สารตัวเติมในปริมาณ 90 phr เห็นว่าฟองน้ำที่ได้มีผิวไม่สม่ำเสมอค่อนข้างแข็งกระด้าง เกิดรอยแตกเห็นได้ชัดเจน และมีการหดตัวมากกว่าสูตรอื่นที่ใช้สารตัวเติมในปริมาณที่ต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากมีปริมาณของฟองค่อนข้างน้อย ความละเอียดและความความสม่ำเสมอของฟองขางจึงน้อยลง ใช้เวลาในการเจลน้อยลงและขณะเทเข้าเบ้านั้นมีฟองบางส่วนเกิดการแตก ทั้งนี้อาจแก้ไขโดยการปรับความเสถียรของน้ำขางด้วยการเพิ่มปริมาณสบู่ในปริมาณที่สูงขึ้นหรืออาจมีการเติมน้ำเพื่อควบคุมให้ปริมาณของแป้งคงที่ แต่ในทางกลับกันเมื่อใส่สารตัวเติมในการทำฟองน้ำปริมาณน้อย ๆ จะไม่มีผลต่อการเกิดฟองและปริมาณของฟองเลยจึงทำให้ขนาดของฟองมากกว่าและสม่ำเสมอมากขึ้น ฟองน้ำที่ได้จึงดูสวยงาม เมื่อใช้มือจับรู้สึก นุ่ม และมีความยืดหยุ่นมากกว่า

ผลของปริมาณสารตัวเติมต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัว ความหนาแน่น ความสามารถในการคืนรูป จำนวนเซลล์ และขนาดเซลล์ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.34 – 4.39

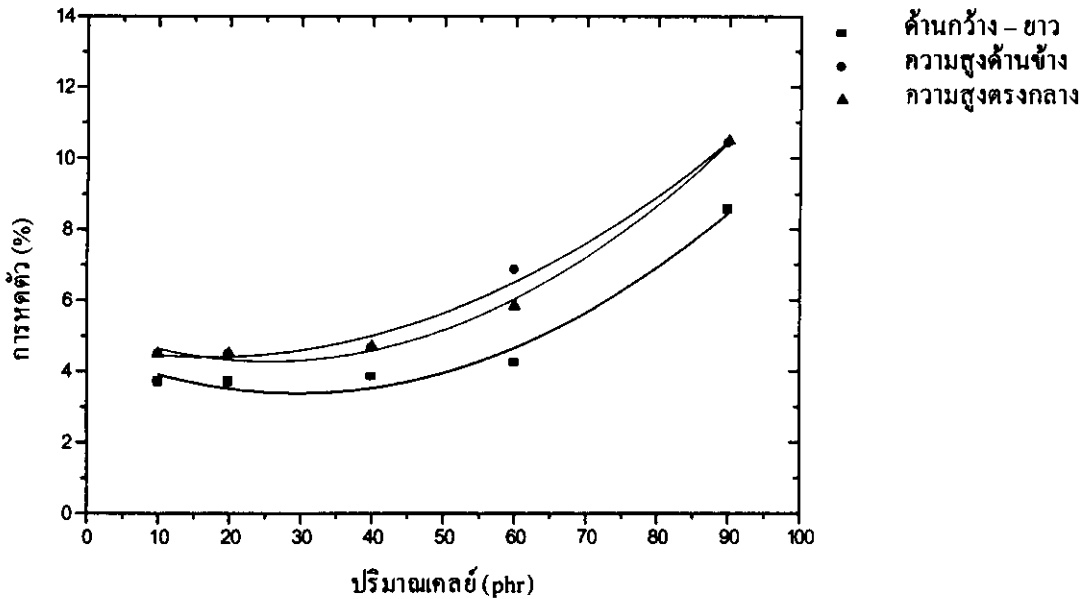
ตารางที่ 4.8 ผลของสารตัวเติมต่อสมบัติของพองน้ำ

สมบัติทางฟิสิกส์	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (phr)					ปริมาณแคลซ์ (phr)				
	10	20	40	60	90	10	20	40	60	90
การหดตัว (%)										
- ด้านกว้าง - ยาว	6.45	8.55	9.90	9.95	15.20	3.70	3.70	3.85	4.25	8.58
- ด้านข้าง	5.15	8.60	8.60	8.60	12.60	4.50	4.50	4.65	6.85	10.42
- ตรงกลาง	6.20	8.70	8.70	8.70	12.80	4.50	4.50	4.70	5.85	10.50
ความหนาแน่น (%)	0.1370	0.1430	0.1770	0.2190	0.2360	0.1650	0.1730	0.1820	0.1900	0.2140
ความสามารถในการคืนรูป (%)	35.40	36.84	38.15	39.47	42.10	16.00	17.45	18.68	20.35	23.93
จำนวนเซลล์	32	34	35	37	37	30	32	33	35	38
ขนาดเซลล์ (เซนติเมตร)	0.0312	0.0294	0.0285	0.0270	0.0270	0.0333	0.0312	0.0303	0.0285	0.0263



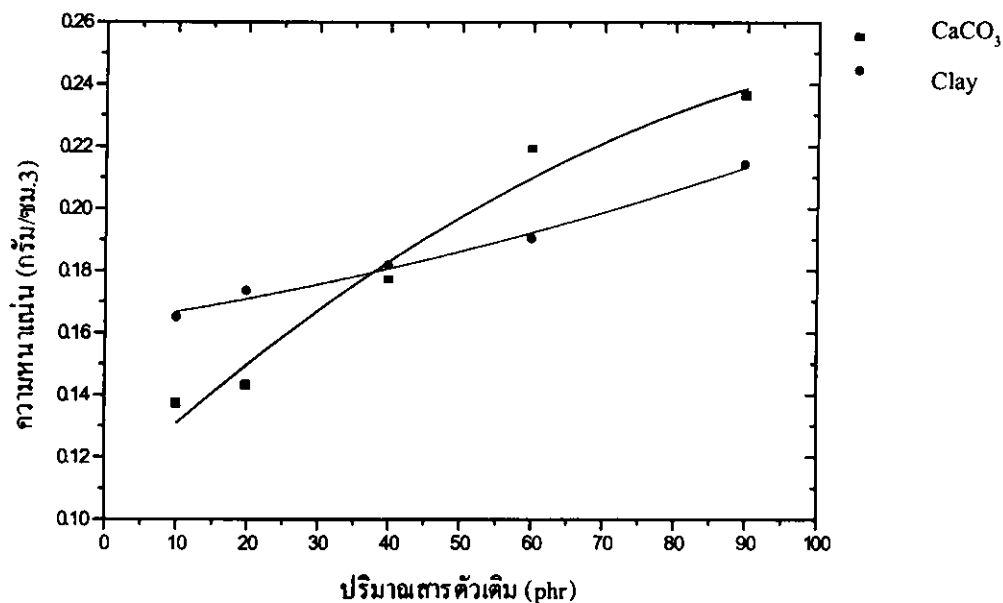
รูปที่ 4.34 เปอร์เซนต์การหดตัวของฟองน้ำที่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอนเนตระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.34 พบว่า ด้านกว้าง - ยาวของฟองน้ำภายหลังการอบด้วยไอน้ำ มีเปอร์เซนต์การหดตัวมาก โดยการหดตัวตรงใจกลางและด้านข้างมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และการหดตัวที่ตำแหน่งต่าง ๆ มีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกด้านเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอนเนตในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเหตุผลที่ว่าเมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตซึ่งเป็นสารตัวเติมลงไปอาจทำให้เปอร์เซนต์ของยางในน้ำยางมีน้อยลง เพราะมีส่วนของแคลเซียมคาร์บอนเนตเข้าไปแทนที่ ซึ่งแคลเซียมคาร์บอนเนตอาจมีการจับตัวกันแน่นหรืออาจตกตะกอนได้มากกว่าอนุภาคของยาง นอกจากนั้นแคลเซียมคาร์บอนเนตสามารถดูดเอาสบู่ออกไปจากอนุภาคยาง ทำให้ในการตีฟองเกิดเป็นฟองยางได้ยากขึ้นจึงทำให้การหดตัวสูง



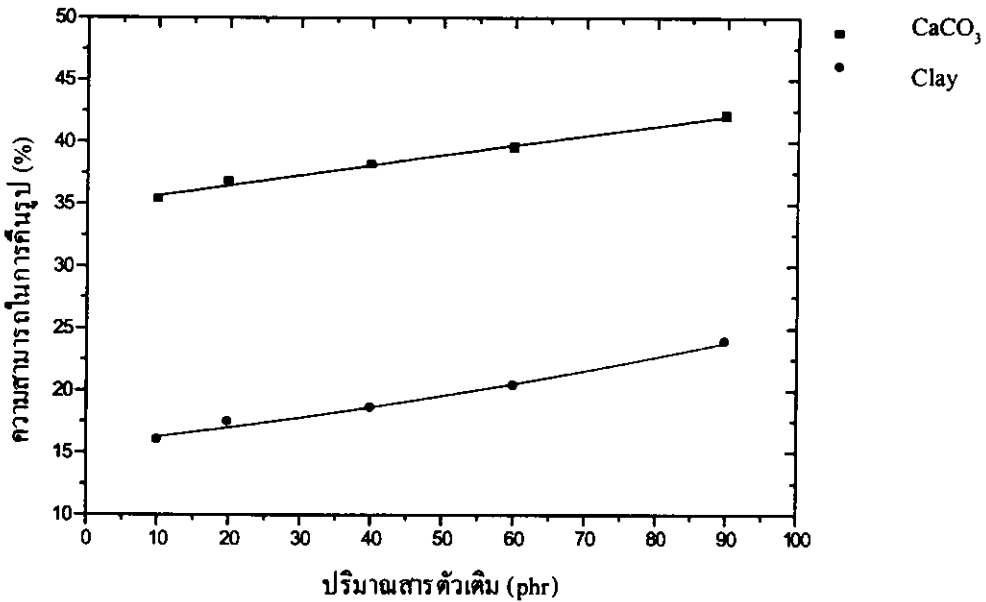
รูปที่ 4.35 ผลของเปอร์เซ็นต์การหดตัวของฟองน้ำที่ปริมาณเคลย์ระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.35 พบว่าด้านกว้าง - ยาวของฟองน้ำภายหลังจากการอบด้วยไอน้ำ มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำกว่าด้านอื่น ๆ ในขณะที่ความสูงตรงใจกลางและด้านข้างของชิ้นฟองน้ำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาการหดตัวที่ตำแหน่งเดียวกัน พบว่าการหดตัวที่ตำแหน่งต่าง ๆ ค่อนข้างคงที่อยู่ที่ระดับ 3.7 - 4.7 % เมื่อใช้เคลย์ผสมอยู่ในช่วงปริมาณ 10 - 40 phr และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกด้านของฟองน้ำเมื่อใช้เคลย์ผสมปริมาณมากขึ้น จากการทดลองจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวค่อนข้างคงที่ในช่วงการใช้เคลย์ที่ 10 - 40 phr อาจเนื่องมาจากระบบการเกิดฟองยังมีความสมดุลอยู่เป็นผลให้การหดตัวต่ำ แต่เมื่อใช้เคลย์ในปริมาณเพิ่มมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเหตุผลที่ว่าเมื่อเติมเคลย์ซึ่งเป็นสารตัวเติมลงไปอาจทำให้เปอร์เซ็นต์ของยางในน้ำยางมีน้อยลง เพราะมีส่วนของเคลย์เข้าไปแทนที่ ซึ่งเคลย์อาจมีการจับตัวกันแน่นหรืออาจตกตะกอนได้มากกว่าอนุภาคของยาง นอกจากนั้นเคลย์สามารถดูดเอาสบู่ ออกไปจากอนุภาคยาง ทำให้ในการตีฟองเกิดเป็นฟองยางได้ยากขึ้นจึงทำให้การหดตัวสูง



รูปที่ 4.36 ความหนาแน่นของฟองน้ำที่ปริมาณสารตัวเติมระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.36 พบว่าความหนาแน่นของฟองน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตหรือเคลย์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อผสมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตหรือเคลย์ลงไปสารตัวเติมได้เข้าไปแทนที่น้ำบางส่วนหนึ่ง นั่นก็หมายความว่าฟองน้ำจะมีส่วนของยางและสารตัวเติม จึงทำให้การเกิดเป็นฟองยากขึ้นขนาดของฟองจึงเล็กและไม่มีควมสม่ำเสมอของเซลล์ เป็นเหตุให้ความหนาแน่นสูงขึ้นหรืออาจเป็นเพราะว่าเมื่อใส่สารตัวเติมในปริมาณมากอนุภาคของสารตัวเติมซึ่งหนักกว่าสามารถค้อนุภาคของยางได้ จึงทำให้มีเซลล์อัดกันแน่นกว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟองน้ำที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตหรือเคลย์เป็นสารตัวเติม พบว่าฟองน้ำที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในปริมาณมากกว่า 40 phr นั้นความหนาแน่นสูงกว่าใช้เคลย์เป็นสารตัวเติมอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าเคลย์มีอนุภาคเล็กกว่าจึงสามารถเข้ากับน้ำยางได้ดีกว่า เซลล์จึงมีความสม่ำเสมอว่า



รูปที่ 4.37 ความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดของฟองน้ำที่ปริมาณสารตัวเติมระดับต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.37 ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของฟองน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตหรือเคลย์ที่เพิ่มขึ้น โดยที่การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตมีความสามารถในการคืนรูปหลังกดที่สูงกว่าการใช้เคลย์เป็นสารตัวเติม และมีแนวโน้มเช่นเดียวกับความหนาแน่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อผสมสารตัวเติมเข้าไปในสูตรยาง สารตัวเติมได้เข้าไปแทนที่น้ำบางส่วนหนึ่ง จึงทำให้การเกิดเป็นฟองยากขึ้น ขนาดของฟองจึงเล็กและไม่มีควมสม่ำเสมอ การจัดเรียงของเซลล์ไม่สม่ำเสมอเช่นกัน นอกจากนั้นการเพิ่มปริมาณของสารตัวเติมมีผลทำให้ความยืดหยุ่นของฟองน้ำลดลง เป็นเหตุให้เมื่อถูกแรงกดมีการคืนรูปกลับช้าและคืนกลับน้อยมากเมื่อใช้ปริมาณมาก การที่สารตัวเติมเคลย์มีค่าของความสามารถในการคืนรูปหลังกดต่ำกว่าการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมนั้น อาจเป็นผลเพราะเคลย์มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจึงสามารถเกิดแรงดึงดูดกับยางได้มากกว่า

จากตารางที่ 4.8 โครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำจากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า ฟองน้ำที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 10 – 90 phr มีจำนวนของเซลล์ 32, 34, 35, 37 และ 37 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตรตามลำดับ ลักษณะของเซลล์กลมมีขนาดเล็กใหญ่ผสมกันไป แต่ขนาดของเซลล์เริ่มมีขนาดแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อใช้ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมากขึ้น คือเซลล์มีขนาดใหญ่และ

เล็กมากผสมกันมีรูปร่างกลม รี และการจัดเรียงไม่ค่อยเป็นระเบียบ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก ปริมาณและขนาดของฟองยางในการตีฟองไม่สม่ำเสมอจึงทำให้เซลล์ไม่สม่ำเสมอ ส่วนฟองน้ำที่ ใช้เคลย์ 10 – 90 phr มีจำนวนของเซลล์ 30, 32, 33, 35 และ 38 เซลล์ต่อ 1 เซนติเมตรตามลำดับ ลักษณะของเซลล์ใกล้เคียงกับการใช้เคลย์คาร์บอนเนตเป็นสารตัวเติมคือ ลักษณะกลมมีขนาด เล็กใหญ่ผสมกันไป แต่ขนาดของเซลล์แตกต่างกันเมื่อใช้ปริมาณของเคลย์มากขึ้นคือ ขนาดเซลล์ เล็กใหญ่มีสัดส่วนต่างกันมากในแต่ละเซลล์ และมีรูปร่าง กลม รี ผสมกัน เนื่องจากปริมาณและ ขนาดของฟองยางในการตีฟองไม่สม่ำเสมอจึงทำให้เซลล์ไม่สม่ำเสมอด้วยและเหตุที่ขนาดฟองเล็ก บ้างใหญ่บ้างเมื่อใช้เคลย์มากขึ้น อาจเนื่องมาจากลักษณะและความไม่สม่ำเสมอในการจับตัวของ ฟองยาง

4.5 อิทธิพลของเวลาในการบ่มน้ำยางผสมสารเคมีต่อสมบัติของฟองน้ำ

นำฟองน้ำที่เตรียมขึ้นตามวิธีที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.3.2.2 โดยเลือกใช้สูตรที่ให้สมบัติของ ฟองน้ำดีที่สุดจากหัวข้อที่ 3.4.3 ของสารก่อเจลเสริมแต่ละตัว (วัลคาฟอรีเอเฟอ ไตรเอทิลีน- เตตระมีน เตตระเอทิลีนเพนตามีน และไดฟีนิลควินดีน) ทำการแปรเวลาในการบ่มเป็น 3, 6, 12, 16, 24, 30 และ 48 ชั่วโมง ตามสูตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.5 จากนั้นสังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการเจล หลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองน้ำหลังจากวัลคาไนซ์ และนำมาหา เปอร์เซ็นต์การหดตัว ความหนาแน่น ความสามารถในการคืนรูป จำนวนเซลล์ และขนาดเซลล์ ตาม หัวข้อที่ 3.5.2

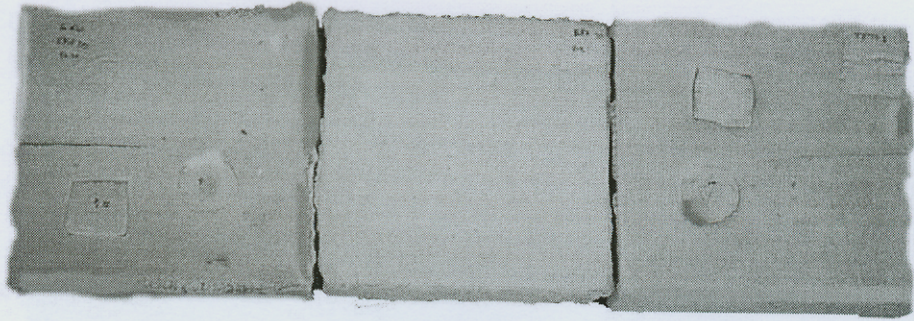
ผลของเวลาในการบ่มน้ำยางผสมสารเคมีต่อพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัว หลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองน้ำหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.9 และ รูปที่ 4.38 – 4.41

ตารางที่ 4.9 พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองน้ำหลังการวัลคาไนซ์ที่ใช้ ปริมาณและชนิดของสารก่อเจลเสริมที่เวลาบ่มระดับต่าง ๆ

เวลาบ่ม (ชั่วโมง)	ลักษณะฟอง	ความสูง (เท่า)	เวลาการบ่ม (นาที)	ลักษณะฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์
EFA				
3	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก มีรอยแตกที่บริเวณขอบ และฟองน้ำแข็ง
6	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก มีรอยแตกที่บริเวณขอบ และฟองน้ำแข็ง
12	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมาก มีรอยแตกที่บริเวณขอบ แต่ฟองน้ำนุ่มลง
16	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อยลง ผิวหน้าเรียบ และฟองน้ำนุ่มลง
24	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบ และฟองน้ำนุ่มลง
30	เกิดฟองได้ยากขึ้น เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบ และฟองน้ำนุ่มลง
48	เกิดฟองได้ยากขึ้น เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	2	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมากขึ้น ผิวหน้าไม่เรียบ แต่ฟองน้ำนุ่ม
TETA				
3	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมาก มีรอยแตกที่บริเวณขอบ และฟองน้ำแข็ง
6	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมาก มีรอยแตกที่บริเวณขอบ และฟองน้ำแข็ง
12	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมาก มีรอยแตกที่บริเวณขอบ และฟองน้ำแข็ง
16	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อยลง ผิวหน้าเรียบ และฟองน้ำนุ่มลง
24	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบ และฟองน้ำนุ่มลง
30	เกิดฟองได้ยากขึ้น เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	3	ฟองน้ำเกิดการหดตัวมากขึ้น ผิวหน้าไม่เรียบ และฟองน้ำแข็งขึ้น
48	เกิดฟองได้ยากขึ้น เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	2	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมากขึ้น ผิวหน้าไม่เรียบ และฟองน้ำแข็งขึ้น

ตารางที่ 4.9(ต่อ)

ปริมาณสาร เจลาติน (กรัม)	ลักษณะฟองหลังใส่สารเจลาติน	ความสูง (เท่า)	เวลาการเจลาติน (นาที)	ลักษณะฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์
TEPA				
3	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมาก ผิวหน้าไม่เรียบ และฟองน้ำแข็ง
6	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมาก ผิวหน้าไม่เรียบ และฟองน้ำแข็ง
12	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมาก ผิวหน้าไม่เรียบ และฟองน้ำแข็ง
16	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	5	ฟองน้ำเกิดการยุบและหดตัวน้อยลง ผิวหน้าเรียบ และฟองน้ำนุ่มลง
24	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	4.5	ฟองน้ำไม่ยุบตัว เกิดการหดตัวน้อยลง ผิวหน้าเรียบ และฟองน้ำนุ่มลง
30	เกิดฟองได้ยากขึ้น เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำไม่ยุบตัว เกิดการหดตัวมากขึ้น ผิวหน้าเรียบ และฟองน้ำแข็งขึ้น
48	เกิดฟองได้ยากขึ้น เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมากขึ้น ผิวหน้าไม่เรียบ และฟองน้ำแข็งขึ้น
DPG				
3	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมาก ผิวหน้าไม่เรียบมีรอยแตกที่บริเวณขอบ และฟองน้ำแข็ง
6	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมาก ผิวหน้าไม่เรียบมีรอยแตกที่บริเวณขอบ และฟองน้ำแข็ง
12	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมาก ผิวหน้าไม่เรียบมีรอยแตกที่บริเวณขอบ และฟองน้ำแข็ง
16	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำไม่ยุบตัว เกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบไม่มีรอยแตกที่บริเวณขอบ และฟองน้ำนุ่มลง
24	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	4	ฟองน้ำไม่ยุบตัว เกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบไม่มีรอยแตกที่บริเวณขอบ และฟองน้ำนุ่มลง
30	เกิดฟองได้ยากขึ้น เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	3	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมากขึ้น ผิวหน้าไม่เรียบ และฟองน้ำแข็งขึ้น
48	เกิดฟองได้ยากขึ้น เป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	5	2	ฟองน้ำเกิดการยุบตัวเล็กน้อยและหดตัวมากขึ้น ผิวหน้าไม่เรียบ และฟองน้ำแข็งขึ้น

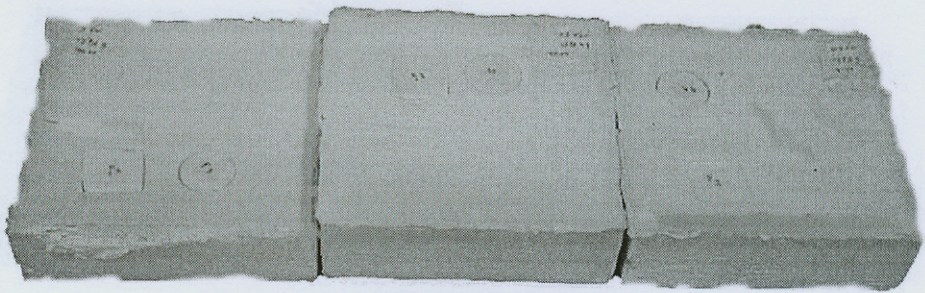


เวลาบ่ม 3 ชั่วโมง

เวลาบ่ม 24 ชั่วโมง

เวลาบ่ม 48 ชั่วโมง

รูปที่ 4.38 ลักษณะของฟองน้ำที่ใช้วัคคาฟอรัอีเอฟเอ เป็นสารก่อกเจลเสริมที่เวลาบ่มต่าง ๆ

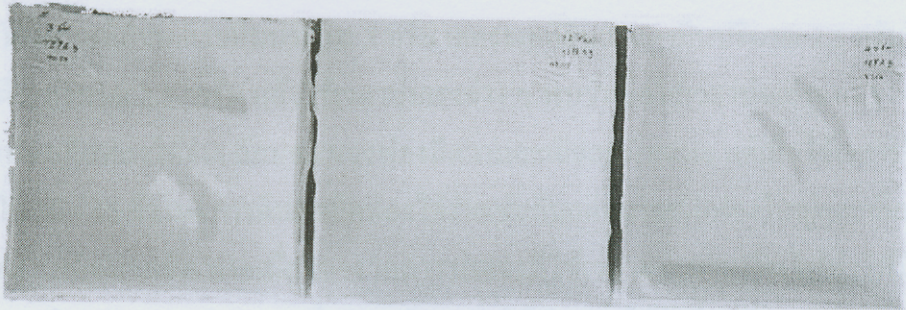


เวลาบ่ม 3 ชั่วโมง

เวลาบ่ม 24 ชั่วโมง

เวลาบ่ม 48 ชั่วโมง

รูปที่ 4.39 ลักษณะของฟองน้ำที่ใช้ไตรเอทิลินเตตระมีนเป็นสารก่อกเจลเสริมที่เวลาบ่มต่าง ๆ

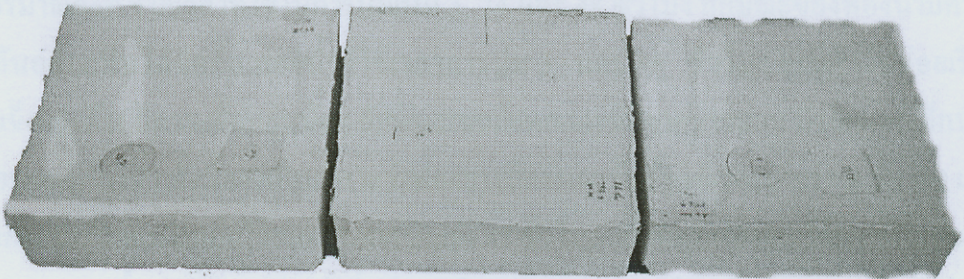


เวลาบ่ม 3 ชั่วโมง

เวลาบ่ม 24 ชั่วโมง

เวลาบ่ม 48 ชั่วโมง

รูปที่ 4.40 ลักษณะของฟองน้ำที่ใช้เตตระเอทิลีนเพนตามีนเป็นสารก่อเจลเสริมที่เวลาบ่มต่าง ๆ



เวลาบ่ม 3 ชั่วโมง

เวลาบ่ม 24 ชั่วโมง

เวลาบ่ม 48 ชั่วโมง

รูปที่ 4.41 ลักษณะของฟองน้ำที่ใช้ไดฟีนิลกัวนิดีนเป็นสารก่อเจลเสริมที่เวลาบ่มต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.9 เห็นได้ว่าพฤติกรรมการเกิดฟองในการเตรียมฟองน้ำเมื่อเลือกใช้สารก่อเจลเสริมแต่ละชนิดที่ให้สมบัติของฟองน้ำอยู่ในระดับคงที่และเหมาะสมที่สุด คือ วัลคาฟอรัอีเอฟเอ ปริมาณ 5 กรัม ไตรเอทิลีนเตตระมีนปริมาณ 3 กรัม เตตระเอทิลีนเพนตามีนปริมาณ 2.5 กรัม หรือ โคฟีนิลควินิติน ปริมาณ 2.5 กรัม แล้วใช้เวลาบ่มแรงต่าง ๆ พบว่าเมื่อใช้เวลาบ่มแรงจาก 3 - 24 ชั่วโมง การตีฟองเกิดฟองได้ง่าย ลักษณะของฟองมีความละเอียดสม่ำเสมอ แต่เมื่อใช้เวลาบ่มแรงยาวนานขึ้นเป็น 30 - 48 ชั่วโมง การตีฟองเกิดฟองได้ง่ายเช่นกันแต่ขนาดเม็ดฟองใหญ่และเล็กผสมกัน ไม่ค่อยสม่ำเสมอมากนัก อาจเนื่องมาจากการบ่มแรงที่ใช้เวลายาวนานเกินไปทำให้มีการวัลคาไนซ์ขึ้นมากในระบบบางส่วนและเมื่อนำมาตีฟองทำให้เกิดฟองได้ช้าขึ้น ปริมาณฟองยางที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันนักเพียงแต่ต้องใช้เวลาตีฟองนานขึ้นเมื่อใช้เวลาบ่มแรงนานขึ้น เวลาในการเจลของฟองยางมีแนวโน้มเร็วขึ้นเมื่อใช้เวลาในการบ่มแรงยาวนานขึ้น

ลักษณะฟองน้ำหลังวัลคาไนซ์ที่ใช้เวลาบ่มแรงต่าง ๆ พบว่าเมื่อใช้เวลาในการบ่มแรงในช่วง 3 - 16 ชั่วโมง ได้ฟองน้ำที่มีผิวไม่ค่อยเรียบ หดตัวมาก แต่เมื่อใช้เวลาบ่มเป็น 24 ชั่วโมง ได้ฟองน้ำที่มีความสม่ำเสมอมากขึ้น ยืดหยุ่นดี การหดตัวค่อนข้างต่ำ และเมื่อใช้เวลาบ่มนานขึ้นเป็น 30 - 48 ชั่วโมงได้ฟองน้ำไม่ค่อยสม่ำเสมอมากนัก ผิวไม่เรียบ มีรอยแตกและขูดตัวบางส่วน

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.38 - 4.41 ลักษณะของฟองน้ำจากการใช้สารก่อเจลเสริมทั้ง 4 ชนิดในปริมาณคงที่ จากเวลาที่ใช้ในการบ่มเป็น 3, 24 และ 48 ชั่วโมง ลักษณะของฟองน้ำมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือ ฟองน้ำที่ใช้เวลาการบ่ม 3 และ 48 ชั่วโมง จะมีผิวไม่ค่อยเรียบค่อนข้างแข็งกระด้าง มีความยืดหยุ่นน้อย ลักษณะเซลล์แตกและฉีกขาดบางส่วน มีรอยแตกเล็กน้อยบริเวณขอบของฟองน้ำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าฟองยางมีการเจลช้าเมื่อใช้เวลาบ่มแรง 3 ชั่วโมง และฟองยางมีการเจลเร็วเกินไปเมื่อใช้เวลาในการบ่มแรง 48 ชั่วโมง สาเหตุที่ฟองยางใช้เวลาในการเจลเร็วขึ้นน่าจะมาจากน้ำยางที่มีการบ่มแรงนั้นมีการเติมสบู่และสารตัวเร่งลงไปในช่วงการบ่มน้ำยางด้วย ซึ่งสบู่ก็มีผลทำให้ความเสถียรของน้ำยางสูงขึ้น โดยสบู่จะไปเกาะที่ผิวของฟองยาง แต่ในขณะที่เดียวกันสารตัวเร่งก็มีผลทำให้น้ำยางเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้นบางส่วน และยังใช้เวลาในการบ่มแรงนาน ๆ ขึ้นยังทำให้มีการเชื่อม โยงมากขึ้น อาจส่งผลทำให้ฟองยางมีการเจลเร็วขึ้นได้ แต่เมื่อใช้เวลาในการบ่มแรง 24 ชั่วโมง จากการตีฟองได้ลักษณะของฟองที่มีความละเอียดและสม่ำเสมอมาก หลังจากเติมสารเจลหลักลงไปฟองยางมีการเจลในช่วง 4 - 5 นาที หลังจากวัลคาไนซ์แล้วได้ฟองน้ำที่ผิวเรียบ ละเอียดสม่ำเสมอดีมาก มีความยืดหยุ่นสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเวลาการบ่มแรงน่าจะเหมาะสม ทำให้ฟองน้ำที่ได้มีรูปทรงที่สวยงาม

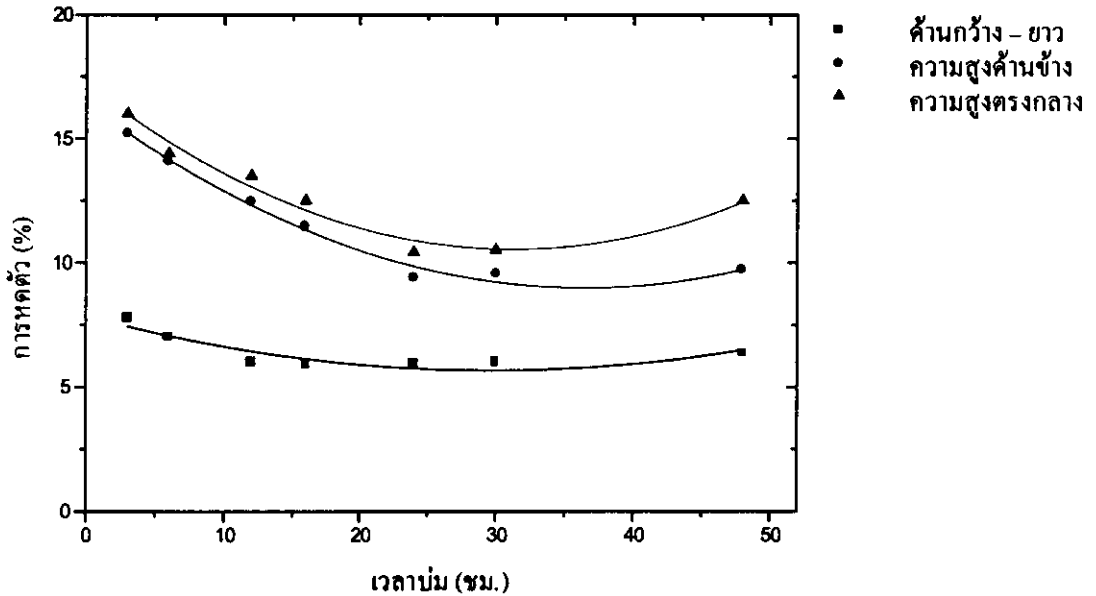
ผลของเวลาในการบ่มสารเคมีในการเตรียมฟองน้ำต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัว ความหนาแน่น ค่าความสามารถในการคืนรูปหลังการกด จำนวนเซลล์ แสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.42 – 4.47

ตารางที่ 4.10 ผลของเวลาบ่มน้ำยางคอมปาวด์โดยใช้สารก่อเจลเสริมต่างชนิดกัน

สมบัติทางฟิสิกส์	EFA 5 กรัม					TETA 3 กรัม								
	เวลาบ่ม (ชั่วโมง)					เวลาบ่ม (ชั่วโมง)								
	3	6	12	16	24	30	48	3	6	12	16	24	30	48
การหดตัว (%)														
- ค้านกว้าง - ขาว	7.80	7.00	6.00	5.92	5.92	6.00	6.38	7.58	5.78	5.07	4.93	4.93	6.25	7.05
- ค้านข้าง	15.25	14.10	12.45	11.46	9.38	9.55	9.70	9.30	9.00	8.45	6.50	4.16	5.21	6.25
- ตรงกลาง	16.00	14.40	13.50	12.50	10.42	10.50	12.50	9.45	9.00	8.45	6.50	4.16	5.21	7.29
ความหนาแน่น (%)	0.117	0.116	0.115	0.114	0.114	0.113	0.110	0.123	0.120	0.117	0.116	0.110	0.108	0.104
ความสามารถในการคืนรูป (%)	7.63	7.37	6.58	6.58	6.32	6.05	5.79	5.26	4.74	4.55	3.85	2.70	2.0	2.0
จำนวนเซลล์ (ต่อเซนติเมตร)	30	30	29	28	26	24	24	37	37	36	36	35	33	33
ขนาดเซลล์ (เซนติเมตร)	0.033	0.033	0.034	0.035	0.038	0.042	0.042	0.027	0.027	0.028	0.028	0.028	0.030	0.030

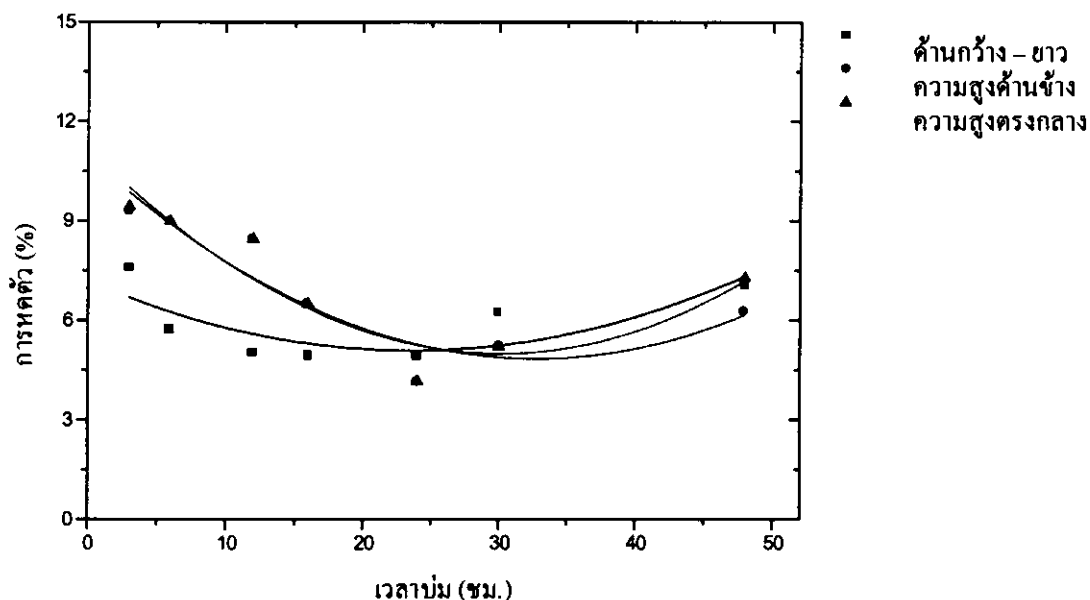
ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ผลของเวลาบ่มน้ำยางคอมปาวด์โดยใช้สารก่อเจลเสริมต่างชนิดกัน

สมบัติทางฟิสิกส์	TEPA 2.5 กรัม								DPG 3 กรัม							
	เวลาบ่ม (ชั่วโมง)								เวลาบ่ม (ชั่วโมง)							
	3	6	12	16	24	30	48	3	6	12	16	24	30	48		
การหดตัว (%)																
- ด้านกว้าง - ยาว	7.20	6.50	6.00	5.72	5.92	5.92	7.56	5.92	5.92	5.59	5.00	5.00	5.26	5.26		
- ด้านข้าง	14.10	13.50	13.00	12.50	10.42	11.46	12.50	9.60	9.45	9.05	8.75	8.75	8.70	8.70		
- ตรงกลาง	17.00	16.90	16.75	16.66	15.63	16.66	16.66	10.10	10.10	10.10	9.55	9.55	9.55	9.50		
ความหนาแน่น (%)	0.121	0.120	0.116	0.113	0.111	0.109	0.108	0.123	0.122	0.115	0.113	0.112	0.112	0.109		
ความสามารถในการคืนรูป (%)	5.53	5.53	5.00	3.16	3.10	3.00	2.95	7.37	6.84	6.50	6.05	6.00	5.79	5.45		
จำนวนเซลล์ (ต่อเซนติเมตร)	39	37	36	36	36	35	35	34	33	32	31	31	30	30		
ขนาดเซลล์ (เซนติเมตร)	0.026	0.027	0.027	0.028	0.028	0.028	0.028	0.029	0.030	0.031	0.032	0.032	0.033	0.033		



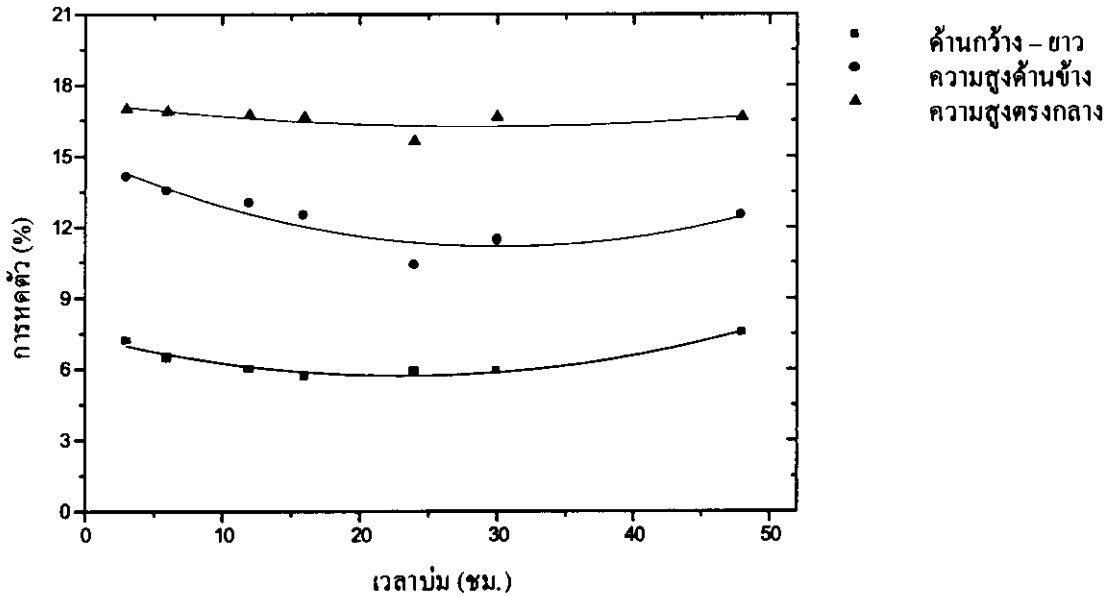
รูปที่ 4.42 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของฟองน้ำที่เวลาในการบ่มน้ำยางผสมสารเคมีระดับต่าง ๆ โดยใช้วัลคาฟอร์อีเฟอเป็นสารก่อเจลเสริม

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.42 พบว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของฟองน้ำภายหลังจากการอบตัวด้วยไอน้ำ จากการวัดค่าตรงตำแหน่งที่ดีที่สุดของแต่ละด้านดังนี้คือ ความสูงตรงใจกลางมีการหดตัวอยู่ที่ระดับ 10.42 % ส่วนการหดตัวด้านข้างอยู่ที่ระดับ 9.38 % และการหดตัวด้านกว้าง - ยาว อยู่ที่ระดับ 5.92 % โดยจะมีค่าต่ำสุดที่เวลาการบ่มประมาณ 24 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การหดตัวในภาพรวมจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อใช้เวลาในการบ่มในช่วง 3 - 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์การหดตัวกลับสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อใช้เวลาในการบ่ม 30 และ 48 ชั่วโมง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าฟองน้ำที่ใช้เวลาในการบ่มในช่วง 24 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำอาจเป็นเพราะว่าเวลาบ่ม 24 ชั่วโมง ทำให้เวลาเจลก่อนข้างเหมาะสมคือฟองยางมีการเจลขณะที่ฟองนั้นยังมีความแข็งแรงมากพอ และมีความสม่ำเสมออยู่ แต่เมื่อใช้เวลาบ่มนานขึ้นการเจลของฟองยางเร็วขึ้น จึงทำให้ฟองบางส่วนมีสารเคมีกระจายไม่สม่ำเสมอและไม่ทั่วถึง อาจเป็นสาเหตุให้ฟองน้ำมีการหดตัวที่สูงขึ้นได้



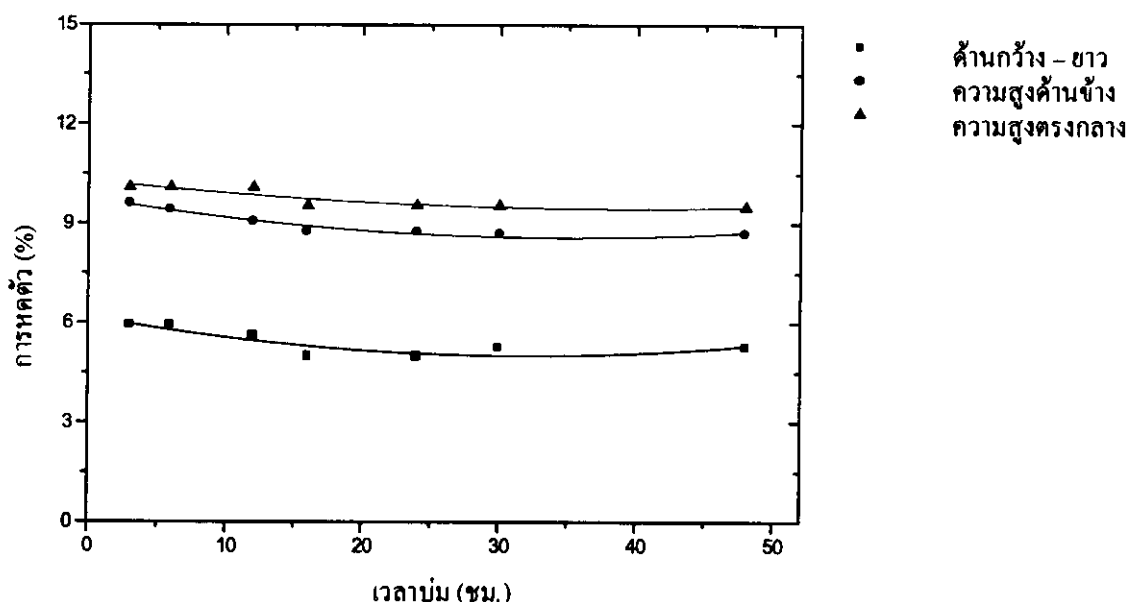
รูปที่ 4.43 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของฟองน้ำที่เวลาในการบ่มน้ำอย่างผสมสารเคมีที่ระดับต่าง ๆ โดยใช้ ไตรเอทิลีนแคดเตรนเป็นสารก่อเจลเสริม

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.43 พบว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของฟองน้ำภายหลังการอบด้วยไอน้ำจากการวัดความสูงตรงใจกลาง ด้านกว้าง - ขาว และความสูงด้านข้าง การหดตัวที่ต่ำที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อมีการบ่มน้ำประมาณ 24 ชั่วโมง โดยในแต่ละด้านอยู่ที่ระดับ 4.16, 4.93 และ 4.16 % ตามลำดับ อาจเป็นเพราะว่าเวลาเจลของฟองขาค่อนข้างเหมาะสมคือฟองขามีการเจลขณะที่ฟองนั้นยังมีความแข็งแรงมากพอ และมีความสม่ำเสมออยู่ แต่เมื่อใช้เวลาบ่มนานขึ้นฟองขามีการหดตัวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเจลของฟองขารวดเร็วขึ้น จึงทำให้ฟองบางส่วนมีสารเคมีกระจายไม่สม่ำเสมอและไม่ทั่วถึง



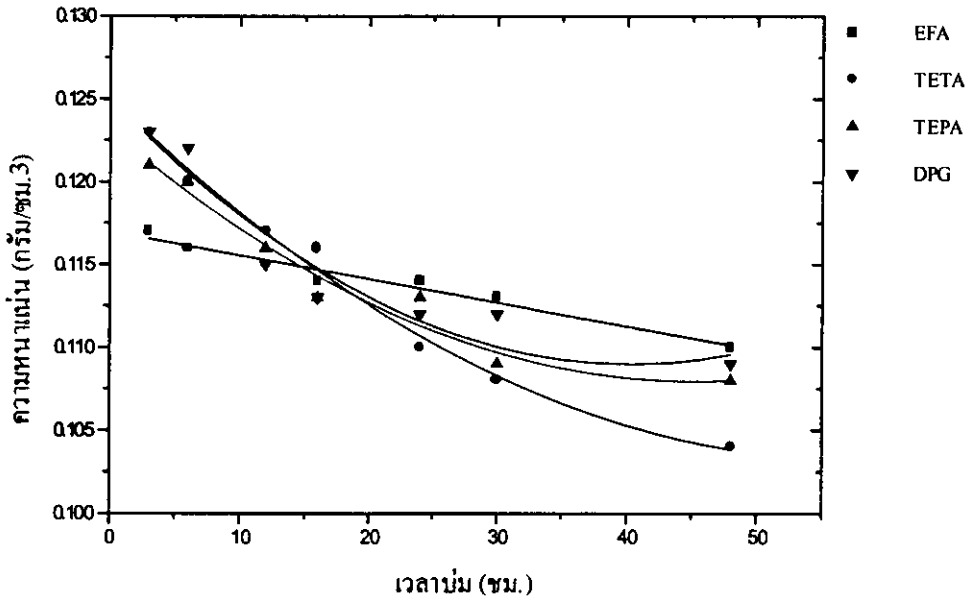
รูปที่ 4.44 เปอร์เซนต์การหดตัวของฟองน้ำที่เวลาในการบ่มน้ำอย่างผสมสารเคมีที่ระดับต่าง ๆ โดยใช้เตตระเอทิลีนเพนตามีนเป็นสารก่อเจลเสริม

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.44 พบว่าเปอร์เซนต์การหดตัวของฟองน้ำภายหลังการอบด้วยไอน้ำด้านกว้าง - ยาว มีเปอร์เซนต์การหดตัวต่ำที่สุดอยู่ที่ระดับ 5.72 % และเปอร์เซนต์การหดตัวความสูงตรงกลางมีการหดตัวอยู่ที่ระดับ 15.63 % และด้านข้างมีค่าอยู่ที่ระดับ 10.42% โดยการหดตัวในทุกด้านมีค่าต่ำสุดเมื่อบ่มน้ำยาวนาน 24 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาเปอร์เซนต์การหดตัวในภาพรวม จะเห็นว่าการหดตัวของฟองน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้เวลาการบ่มในช่วง 3 - 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปอร์เซนต์การหดตัวของฟองน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้เวลาในการบ่มเป็น 30 และ 48 ชั่วโมง คล้ายกับการหดตัวของฟองน้ำที่ใช้วัลคาฟอร์อีเอฟเอเป็นสารก่อเจลเสริม



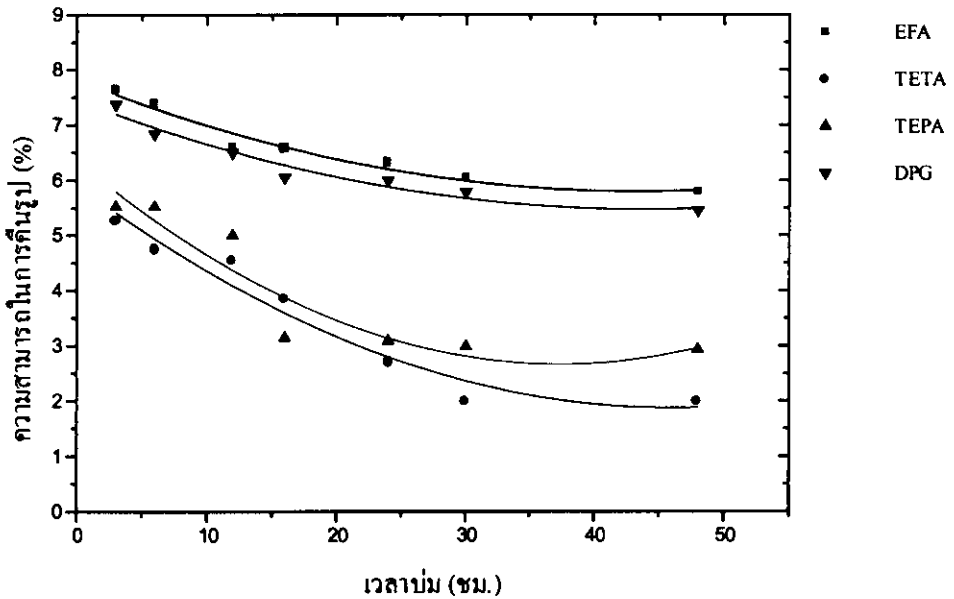
รูปที่ 4.45 เปอร์เซนต์การหดตัวของฟองน้ำที่เวลาในการบ่มน้ำอย่างผสมสารเคมีที่ระดับต่าง ๆ โดยใช้ ไคฟีนิลกัวนิดีนเป็นสารก่อเจลเสริม

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.45 พบว่าเปอร์เซนต์การหดตัวของฟองน้ำภายหลังการอบด้วยไอน้ำ ความสูงตรงใจกลางมีการหดตัวสูงที่สุดและความสูงด้านข้างมีเปอร์เซนต์การหดตัวสูงรองลงมา ส่วนเปอร์เซนต์การหดตัวด้านกว้าง ยาว มีการหดตัวต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาเปอร์เซนต์การหดตัวที่ต่ำสุดคือที่ระดับ 9.55, 8.75 และ 5.0 % ตามลำดับ ณ เวลาการบ่มที่ประมาณ 16 ชั่วโมง การหดตัวของฟองน้ำมีแนวโน้มลดลงที่เวลาการบ่มในช่วง 3 - 16 ชั่วโมง และหลังจากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อใช้เวลาในการบ่มยาวนานขึ้น จากการทดลองพบว่าเปอร์เซนต์การหดตัวของฟองน้ำมีค่าค่อนข้างสูงในช่วงที่ใช้เวลาการบ่มน้อย อาจเนื่องมาจากฟองยางมีการเจลช้าเกินไป และเมื่อใช้เวลาในการบ่มมากขึ้นฟองยางมีระยะเวลาการเจลที่เหมาะสมยิ่งขึ้น จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.42 - 4.45 การใช้เวลาในการบ่มที่แตกต่างกันจากการใช้สารเจลเสริมวัลคาฟอรีเอเฟอ ไตรเอทิลีนเตตระรีน เตตระเอทิลีนเพนตามีน และไคฟีนิลกัวนิดีนในปริมาณคงที่ จะเห็นได้ว่าเวลาในการบ่มมีผลต่อสมบัติการหดตัวของฟองน้ำคือเมื่อใช้เวลาบ่มสารเคมีและน้ำยางในเวลาอันสั้นฟองน้ำมีการหดตัวมากกว่าการใช้เวลาบ่มที่ยาวนานกว่าในทุกสูตรการทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในการบ่มนั้นจะเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้นบางส่วน ทำให้อุณหภูมิเกิดการเชื่อมโยงเกิดขึ้นก่อนที่จะมีการวัลคาไนซ์จริง แต่สังเกตได้ว่าทุกสูตรการทดลองการหดตัวมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้ระยะเวลาการบ่มประมาณ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.46 ความหนาแน่นของฟองน้ำต่อเวลาในการบ่มน้ำอย่างผสมสารเคมีที่ใช้สารก่อเจลเสริมชนิดต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.46 ความหนาแน่นของฟองน้ำเมื่อใช้เวลาในการบ่มที่แตกต่างกันจากการใช้สารก่อเจลเสริมวัลคาฟอรัอีเอฟเอ ไตรเอทิลีนเตตระมีน เตตระเอทิลีนเพนตามีน และไดฟีนิลทัวนิดีน พบว่าความหนาแน่นของฟองน้ำที่ได้มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เวลาในการบ่มน้อยลักษณะโครงสร้างเซลล์เล็กและใหญ่ปะปนกันไม่สม่ำเสมอ เป็นผลให้ฟองน้ำมีปริมาณของเนื้อเยื่อต่อหน่วยปริมาตรมากกว่า ทำให้ความหนาแน่นมากขึ้น แต่เมื่อใช้เวลานานขึ้น โครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำที่ได้มีขนาดใหญ่และสม่ำเสมอขึ้น ทำให้ความห่างของแต่ละเซลล์มากขึ้น จึงทำให้ความหนาแน่นน้อยลง นอกจากนี้การบ่มยังมีการกวนฟองอย่างต่อเนื่อง ทำให้ฟองน้ำมีความสม่ำเสมอและเกิดการวัลคาไนซ์ไปบางส่วน เมื่อทำการตีฟอง จึงทำให้เกิดฟองได้ง่าย ฟองมีความสม่ำเสมอมากขึ้น และหลังการเจลแล้วทำให้มีการยึดเกาะระหว่างผนังเซลล์สมบูรณ์และแข็งแรงมากขึ้น



รูปที่ 4.47 ความสามารถในการคั้นรูปภายหลังจากการกดของฟองน้ำต่อเวลาในการบ่มน้ำยาขจัดสารเคมีที่ใช้สารก่อเจลเสริมชนิดต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.47 ความสามารถในการคั้นรูปภายหลังจากการกดของฟองน้ำเมื่อใช้เวลาในการบ่มที่แตกต่างกันจากการใช้สารก่อเจลเสริมวัลคาฟอรีเอฟเอ ไตรเอทิลีนเตตระมีน เตตระเอทิลีนเพนตามีน และไคฟีนิลกัวนิติน จะมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เวลาในการบ่มที่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดมีการลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อใช้เวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการบ่มน้ำยาขจัดสารเคมี รวมทั้งสปู่ที่ผสมอยู่ในน้ำยาไม่สามารถเกาะตัวร่วมกับน้ำยาได้อย่างสม่ำเสมอ ความสมดุลของความเสถียรที่ผิวของอนุภาคยางยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อตีฟองน้ำ อาจส่งผลให้โครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำ รวมทั้งระยะเวลาการเจลไม่สมบูรณ์ อาจทำให้ฟองน้ำที่ได้มีความสามารถในการคั้นรูปหลังการกดภายหลังการบ่มแรงที่ไม่ดีพอ แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการบ่มน้ำยาเพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มความสมดุลระหว่างสารเคมี สปู่ กับอนุภาคยางมีความสมบูรณ์มากขึ้น ทำให้ฟองน้ำที่ได้มีโครงสร้างที่สมบูรณ์มากขึ้น ความยืดหยุ่นของฟองน้ำดีขึ้น ส่งผลต่อให้ฟองน้ำมีความสามารถในการคั้นรูปภายหลังจากการกดได้ดีขึ้น

จากตารางที่ 4.10 โครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำเมื่อใช้เวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้นโดยใช้สารก่อเจลเสริม วัลคาฟอรีเอฟเอ ไตรเอทิลีนเตตระมีน เตตระเอทิลีนเพนตามีน และไคฟีนิลกัวนิติน จากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ขนาดของเซลล์มีแนวโน้มใหญ่ขึ้นตามเวลาบ่มที่นานขึ้น โดยมี

รูปร่างเซลล์ กลมและสม่ำเสมอมากขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เวลาในการบ่มสารเคมีทำให้น้ำยางมีการวัลคาไนซ์ก่อนบางส่วน ซึ่งเชื่อว่าจะช่วยให้การเกิดฟองได้ดีและสม่ำเสมอมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารก่อเจลเสริมทั้ง 4 ชนิด ที่เวลาในการบ่มเดียวกัน ลักษณะและขนาดของเซลล์มีความคล้ายกันเป็นอย่างมาก โดยพบว่าขนาดและลักษณะเซลล์ของฟองน้ำที่ใช้เวลาบ่มน้อย มีลักษณะบิดเบี้ยว และขนาดไม่สม่ำเสมอ แต่เมื่อใช้เวลาบ่มนานขึ้น ลักษณะเซลล์กลม สม่ำเสมอมากขึ้น ขนาดมีความใกล้เคียงมากขึ้นเช่นกัน