



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “กลุ่มโครงการวิจัยย่อยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ-มอ. (2)

: การควบคุมความแข็งของฟองยางธรรมชาติ”

Research and Development of Natural Rubber Latex and Products- PSU small project group (2)

: Controlling Hardness of Natural Rubber Foam.

โดย

ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย และคณะ

31 พฤษภาคม 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา”

โครงการ “กลุ่มโครงการวิจัยย่อยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ-มอ. (2)

: การควบคุมความแข็งของฟองยางธรรมชาติ”

Research and Development of Natural Rubber Latex and Products- PSU small project group (2)

: Controlling Hardness of Natural Rubber Foam.

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
2. ประยูร ศรีขวัญ	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
3. ยุสรี เมดา	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
4. กิตติศักดิ์ ทิสรอด	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเป็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปของผู้บริหาร

Executive Summary

ในอุตสาหกรรมฟองยางการจำแนกประเภทสินค้าจะกำหนดตามความแข็ง ซึ่งถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่มีหน่วยวัดเป็น RC (มอก.173-2519) อย่างไรก็ตาม การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบแบบทำลาย คือ ต้องมีการตัดขนาดชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบ ดังนั้นจึงไม่ได้รับความนิยม โดยทั่วไปวิธีการที่ทดแทนนั้นคือการวัดด้วยน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นจริง หรือ การวัดด้วยการสัมผัส (Perceive Density) ในขณะที่การควบคุมการผลิตเพื่อที่จะได้มาซึ่งความแข็งที่ต้องการนั้นคือการควบคุมความหนาแน่นเปียก นอกจากนี้ตัวแปรในการผลิตเช่นแบบเบ้า และเวลาในการเจลยังส่งผลต่อความแข็งสุดท้ายของฟองยางอีกด้วย

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ถึง ผลของตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อที่จะสามารถควบคุมความแข็งให้ได้ตามที่ต้องการ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพของสินค้าฟองยางธรรมชาติ และพัฒนาอุตสาหกรรมฟองยางธรรมชาติของประเทศไทย เพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับตลาดโลกได้

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการควบคุมความแข็งของฟองยาง โดยทำการวิจัยถึงการจำแนกระดับความแข็งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.173-2519) เทียบกับวิธีการวัดที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลของความหนาแน่นเปียก และความหนาแน่นแห้งของฟองยางธรรมชาติ รวมถึงตัวแปรในการผลิตอื่น ๆ คือ ลักษณะเบ้าแบบฝาเปิด และเบ้าแบบฝาปิด อีกทั้งผลของเวลาในการเจลต่อความแข็งของฟองยางธรรมชาติ

จากการศึกษาถึงวิธีการจำแนกประเภทความแข็งของฟองยางโดยใช้ระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพบว่า วิธีการที่โรงงานอุตสาหกรรมปัจจุบันใช้จำแนก ไม่ว่าจะเป็นความหนาแน่นจริง (True Density) หรือ Perceive Density จะไม่สามารถแยกแยะความแข็งของฟองยางเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้ โดยวิธีวัดจากความหนาแน่นจริงจะเกิดปัญหาที่ระดับ RC50-RC70 และ วิธี Perceive Density จะเกิดปัญหามากในระดับ RC15-RC25 (RC เป็นหน่วยมาตรฐานความแข็งที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปียกกับความหนาแน่นแห้งพบว่า สำหรับเบ้าแบบปิดฝาความหนาแน่นเปียกเพียงอย่างเดียวสามารถควบคุมความหนาแน่นแห้งของฟองยางได้ ในขณะที่เบ้าแบบเปิดฝาวเวลาในการเจลเป็นตัวแปรเสริมที่เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยที่เพิ่มเวลาเจลจะทำให้ความหนาแน่นแห้งเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นเปียกคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากการยุบตัวของฟองยางในขณะวัลคาไนซ์ ซึ่งการยุบตัวที่เกิดขึ้นมากกว่าในเบ้าแบบเปิดฝาเมื่อเทียบกับเบ้าแบบปิดฝา

นั้น เป็นผลต่อเนื่องทำให้ความหนาแน่นแข็งของฟองยางที่ได้จากเบ้าแบบปิดฝามีค่าต่ำกว่า ฟองยางที่เตรียมจากเบ้าแบบเปิดฝาค่าความหนาแน่นเป็ยกเท่ากัน

ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแบบ Indentation Hardness กับความหนาแน่นแข็งเป็นไปในลักษณะสมการยกกำลัง (power law) ทั้งฟองยางจากเบ้าแบบปิดฝา และเบ้าแบบเปิดฝา อย่างไรก็ตามฟองยางจากเบ้าแบบเปิดฝานั้นมีแนวโน้มค่าความแข็งที่ต่ำกว่า และความแตกต่างระหว่างค่าความแข็งนั้นสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นแข็งสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการยุบตัวของฟองยางที่เตรียมโดยเบ้าแบบเปิดฝาทำให้โครงสร้างเซลล์ของฟองยางเปลี่ยนจากทรงกลมเป็นทรงรี ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงลดลง

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการควบคุมความแข็งแรงของฟองยาง โดยทำการวิจัยถึงการจำแนก ระดับความแข็งแรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่มีหน่วยวัดเป็น RC (มอก.173-2519) เทียบ กับวิธีการวัดที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลของความหนาแน่น เปียก และความหนาแน่นแห้งของฟองยางธรรมชาติ รวมถึงตัวแปรในการผลิตอื่น ๆ คือ ลักษณะ เบ้าแบบฝาเปิด และเบ้าแบบฝาปิด อีกทั้งผลของเวลาในการเจลดต่อความแข็งแรงของฟองยางธรรมชาติ

จากการศึกษาถึงวิธีการจำแนกประเภทความแข็งแรงของฟองยางโดยใช้ระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพบว่า วิธีการที่โรงงานอุตสาหกรรมปัจจุบันใช้จำแนก ไม่ว่าจะเป็นความหนาแน่นจริง (True Density) หรือ Perceive Density จะไม่สามารถแยกแยะความแข็งแรงของฟองยางเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้ โดยวิธีวัดจากความหนาแน่นจริงจะเกิดปัญหาที่ระดับ RC50-RC70 และ วิธี Perceive Density จะเกิดปัญหามากในระดับ RC15-RC25 (RC เป็นหน่วยมาตรฐานความแข็งแรงที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปียกกับความหนาแน่นแห้งพบว่า สำหรับ เบ้าแบบปิดความหนาแน่นเปียกเพียงอย่างเดียวสามารถควบคุมความหนาแน่นแห้งของฟองยางได้ ในขณะที่เบ้าแบบเปิดเวลาในการเจลดเป็นตัวแปรเสริมที่เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยที่เพิ่มเวลาเจลดจะทำให้ความหนาแน่นแห้งเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นเปียกคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากการยุบตัวของฟองยางในขณะวัดคาโนซ์ ซึ่งการยุบตัวที่เกิดขึ้นมากกว่าในเบ้าแบบเปิดฝาเมื่อเทียบกับเบ้าแบบปิดฝานั้น เป็นผลต่อเนื่องทำให้ความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่ได้จากเบ้าแบบปิดฝามีค่าต่ำกว่า ฟองยางที่เตรียมจากเบ้าแบบเปิดฝามีความหนาแน่นเปียกเท่ากัน

ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงแบบ Indentation Hardness กับความหนาแน่นแห้งเป็นไปตามลักษณะสมการยกกำลัง (power law) ทั้งฟองยางจากเบ้าแบบปิดฝา และเบ้าแบบเปิดฝา อย่างไรก็ตามฟองยางจากเบ้าแบบเปิดฝานั้นมีแนวโน้มค่าความแข็งแรงที่ต่ำกว่า และความแตกต่างระหว่างค่าความแข็งแรงนั้นสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นแห้งสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการยุบตัวของฟองยางที่เตรียมโดยเบ้าแบบเปิดฝาทำให้โครงสร้างเซลล์ของฟองยางเปลี่ยนจากทรงกลมเป็นทรงรี ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงลดลง

คำสำคัญ ฟองน้ำ, ฟองยางธรรมชาติ, ฟองยาง, ความแข็ง, ความหนาแน่น

Abstract

In this research, factors controlling hardness of natural latex foam was studied. Comparison between Thailand Industrial Standard measuring hardness in RC unit (TIS 173-2519) and methods used in foam industries i.e. true density and perceive density were carried out. Relationship between wet density of foam and dry density of resulting foam varying manufacturing parameters i.e. types of mold (open and close mold), gel time were also studied.

It was found that both true density and perceive density method were having problems in categorized natural rubber foam into Thailand Industrial Standard. True density method had problem in the range of RC50-RC70 while perceive density method had problem in the range of RC15-RC25. (RCs are hardness unit used in Thailand Industrial Standard)

Relationship between wet and dry density of natural rubber foam preparing from close mold is a linear relationship. Wet density is directly related to dry density. However, foam preparing from open mold, effect of gel time will also added to the resulting dry density. The longer the gel time the higher the dry density at the same wet density. This is because in the case of open mold the extent of shrinkage in thickness direction is higher when gel time is higher. It also leads to higher dry density of natural rubber foam from open mold than close mold at the same wet density.

Power law relationship between indentation hardness and dry density was found for both close and open mold. Open mold tend to give a foam of lower hardness than close mold at similar dry density. The hardness differences increase when dry density increase. This is because cell structure changing from circular in close mold to ellipsoid in open mold which reduce load bearing capacity.

Keywords rubber foam, natural rubber foam, hardness, density

สารบัญ

บทสรุปของผู้บริหาร.....	i
บทคัดย่อ.....	iii
Abstract.....	iv
สารบัญ.....	v
สารบัญรูปภาพ.....	vi
สารบัญตาราง.....	viii
ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง.....	1
วัตถุประสงค์.....	4
วิธีการทดลอง.....	4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	5
สรุปผลการทดลอง.....	20
สรุปผลการดำเนินงานและผลที่ได้รับ.....	21
เอกสารอ้างอิง.....	22
ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ.....	23
ภาคผนวก.....	24

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและความหนาแน่นของฟองยาง.....	3
รูปที่ 2 ผลของขนาดของเซลล์ต่อความแข็งของฟองยางที่ความหนาแน่นต่าง ๆ	3
รูปที่ 3 ผลของรูปร่างของเซลล์ที่ต่างไปจากทรงกลม ต่อความแข็งของฟองยาง	4
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักกคที่เปลี่ยนจากค่าเริ่มต้นและจำนวนครั้งที่ กคของฟองยางความหนาแน่น 75 และ 100 kg/m ³ ความหนา 2 นิ้ว ที่ระยะกค 25 เปอร์เซ็นต์.....	6
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกคกับน้ำหนักกคของฟองยาง.....	8
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกคกับ Perceive Density ของฟองยาง ที่ระยะกค 25%.....	10
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกคกับ Perceive Density ของฟองยาง ที่ระยะกค 65%.....	10
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง sag factor กับ Perceive Density ของฟองยาง.....	11
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Perceive Density กับ True Density ของฟองยาง.....	11
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในหน่วยกิโลปาสกาล (KPa) กับ Perceive Density ของฟองยาง ที่ระยะกค 25%.....	12
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง True Density กับข้อขึ้นคุณภาพ (RC) ของฟองยาง.....	13
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Perceive Density กับข้อขึ้นคุณภาพ (RC) ของฟองยาง..	13
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปียกและความหนาแน่นแห้งของฟองยาง	14
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับความแข็งของฟองยางขนาดต่างกัน	15
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ SSF กับเวลาในการเจล.....	16
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเจลกับความหนาแน่นแห้งของฟองยาง.....	16
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ของความแข็งกับเวลาในการเจล.....	17
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปียกและความหนาแน่นแห้งของฟองยางจาก เข้าแบบเปิดฝาและเข้าแบบปิดฝา.....	17
รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปียกและความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่ เตรียมในเข้าแบบเปิดและเข้าแบบปิดที่เวลาในการเจลต่าง ๆ กัน.....	18
รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเจลกับความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่เตรียมด้วย เข้าเปิดฝาและเข้าปิดฝา.....	19
รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับความแข็งของฟองยางที่เตรียมด้วยเข้า เปิดฝาและเข้าปิดฝา.....	19

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 รายละเอียดของฟองยางความหนาแน่นต่าง ๆ.....	8
ตารางที่ 2 คุณลักษณะที่ต้องการทางกายภาพของยางฟองน้ำตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.173-2519).....	9
ตารางที่ 3 ค่าคงที่ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความแข็ง.....	15
ตารางที่ 4 ค่าคงที่ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับความหนาแน่นแห้ง.....	19

สัญญาเลขที่ RDG4750017

โครงการ “กลุ่มโครงการวิจัยย่อยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ-มอ. (2) :

การควบคุมความแข็งแรงของฟองยางธรรมชาติ“

รายงานฉบับสมบูรณ์

เนื้อหาการวิจัย

1. ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

ฟองยางธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์น้ำยางที่สำคัญอีกผลิตภัณฑ์หนึ่ง นอกจากจะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติแล้ว ภาพลักษณ์ และปัญหาต่าง ๆ ที่อาจจะพบในผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติด้านอื่น ๆ นั้นกลับไม่เป็นปัญหาในผลิตภัณฑ์ฟองยางธรรมชาติ ฟองยางธรรมชาติถูกมองว่าเป็นสินค้าคุณภาพสูงเมื่อเทียบกับฟองน้ำประเภทอื่น เช่น ฟองน้ำพอลิยูรีเทน และสูงกว่าฟองยางสังเคราะห์ ในการใช้งานฟองยางธรรมชาติมักจะมีผ้าหุ้มอีกอย่างน้อยหนึ่งชั้นเสมอ ปัญหาเพียงธรรมชาติจึงไม่พบในผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ฟองยางธรรมชาติ อีกทั้งกระแสความนิยมในการใช้สินค้าจากธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้นทำให้ความต้องการผลิตภัณฑ์ฟองยางจากชาตินั้นสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการศึกษาวิจัยด้านต่าง ๆ สำหรับผลิตภัณฑ์ฟองยางธรรมชาติจึงมีความสำคัญที่จะพัฒนาศักยภาพของประเทศไทย ไปสู่ผู้ผลิตฟองยางจากธรรมชาติในระดับต้นของโลกได้

ในการระบุคุณสมบัติในการซื้อขายฟองยางชาตินั้น นอกจากขนาดกว้างยาวและความหนาแล้ว ความแข็งแรงนั้นเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ใช้แยกประเภทในการจำหน่าย รวมไปถึงระดับราคาของสินค้าด้วย ความแข็งแรงของฟองยางชาตินั้น จะถูกควบคุมโดยความหนาแน่นของฟองยางธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติแล้วในกรณีที่สูตรยางที่ใช้คงที่ ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและความหนาแน่นของฟองยางธรรมชาติควรมีแนวโน้มที่คงที่ ด้วยเหตุนี้ในอุตสาหกรรมจึงใช้ความแข็งแรงและความหนาแน่นสลับกันเพื่อความสะดวก แต่การใช้ระบบเช่นนี้ทำให้เกิดปัญหาที่ตามมาเป็นอย่างมาก เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วความแข็งแรงกับความหนาแน่นของฟองยางชาตินั้นไม่ได้คงที่เสมอไป ยิ่งไปกว่านั้นฤดูของน้ำยางยังมีผลต่อความสัมพันธ์นี้อีกด้วย ทำให้ในการขายโดยระบุความหนาแน่นของฟองยางเพื่อที่จะสื่อถึงความแข็งแรงของฟองยางนั้นจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม

อย่างไรก็ตามในการผลิตฟองยางชาตินั้น เราไม่สามารถที่จะควบคุมความแข็งแรงโดยตรงได้ แต่จะควบคุมผ่านความหนาแน่นของฟองยางในขณะที่เป็นเจล ดังนั้นนอกจากสูตรยางที่คงที่แล้ว ยังมีปัจจัยที่นอกเหนือจากความควบคุมได้ เช่น อัตราการหดตัวของฟองยาง, โครงสร้างเซลล์ของฟองยาง เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนแล้วส่งผลต่อความแข็งแรงของฟองยางในขั้นสุดท้ายทั้งสิ้น ทำให้ไม่มีตัวแปรตรงใด ๆ ที่สามารถควบคุมความแข็งแรงของฟองยางขณะแห้งได้ ดังนั้นความเข้าใจ

ถึงความสัมพันธ์นี้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการควบคุมกระบวนการผลิตฟองยางธรรมชาติ ให้มีคุณสมบัติตามที่ลูกค้าต้องการ

มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแบบ indentation hardness กับความหนาแน่นของฟองยางแห้งมาบ้างแล้วในระดับหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความสัมพันธ์ทั่วไปสามารถเขียนได้ตามสมการที่ 1

$$H = K\rho^n \quad (1)$$

H คือ indentation hardness, ρ คือความหนาแน่นของฟองยาง และ n คือค่าคงที่มีค่าอยู่ในช่วง 2-3 ซึ่งค่าคงที่นี้จะขึ้นกับโครงสร้างของเซลล์ของฟองยาง ค่า K ซึ่งเป็นค่าคงที่อีกเช่นกันขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการทดสอบ indentation hardness และเป็นค่าที่แสดงถึง elastic modulus ของฟองยาง [1, 2]

Talalay [3] ได้แสดงความสัมพันธ์นี้มีค่า n เท่ากับ 2 สำหรับฟองยางที่ผลิตด้วยวิธี Talalay หลังจากนั้นก็มีข้อเสนอความสัมพันธ์ที่กว้างมากขึ้นโดย Shipley [4] ในปี 1962 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์สำหรับฟองยางที่ผลิตด้วยวิธี Dunlop โดยที่มีการเพิ่มตัวแปร c ที่จะแสดงถึงอัตราการอัดที่ใช้ในการทดสอบ indentation hardness สมการของ Shipley แสดงได้ดังสมการที่ 2

$$\log H = A + Bc + n \log \rho \quad (2)$$

ค่า A และ B นั้นไม่แปรผันกับ c แต่แปรผันกับสูตรของยาง ในการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง $\log H$ และ $\log r$ นั้นเป็นเส้นตรงในทุกช่วงอัตราการอัด อย่างไรก็ตามได้ตั้งข้อสังเกตว่าสารตัวเติมบางประเภทเช่น ไมกา (mica) ทำให้ความสัมพันธ์นั้นไม่เป็นเส้นตรง

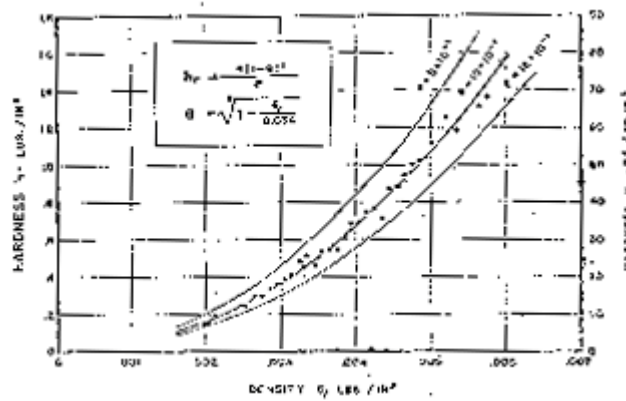
ในขณะเดียวกัน Talalay [3] ยังได้แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งกับการขยายตัวเชิงเส้นของฟองยาง หรืออีกนัยหนึ่งคือปริมาณอากาศที่อยู่ในฟองยาง โดยมีสมมุติฐานว่าค่า n ของสมการที่ 1 และ 2 เท่ากับ 2 ซึ่งสมการของ Talalay เป็นดังนี้

$$H = \frac{4}{p}(1 - \theta^2) \quad (3)$$

ในกรณีที่

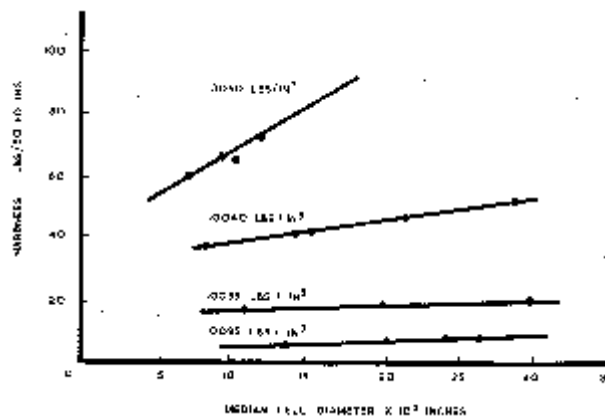
$$\theta = \phi^{1/3} = \sqrt[3]{1 - \frac{\rho}{\rho_0}} \quad (4)$$

p คือพารามิเตอร์ที่แสดงถึงคุณลักษณะของน้ำยางคอมปาวด์, ระบบการวัลคาไนซ์ และระบบการผลิต ϕ คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของอากาศในฟองยาง ซึ่งคำนวณได้จากความหนาแน่นของฟองยาง, ρ และความหนาแน่นของส่วนที่เป็นของแข็งในฟองยาง, ρ_0 ความสัมพันธ์เช่นนี้ให้ความสะดวกในการจำแนกประเภทของฟองยางด้วยพารามิเตอร์ p เพียงตัวเดียว (รูปที่ 1)

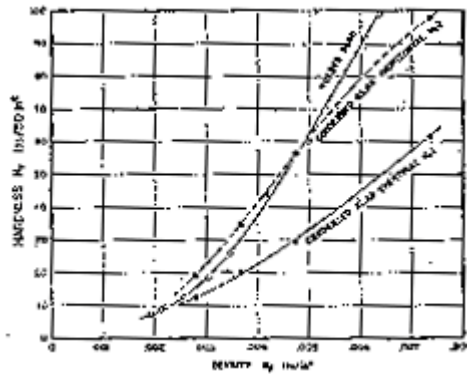


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและความหนาแน่นของฟองยาง [3]

ผลของลักษณะโครงสร้างของเซลล์ต่อความแข็งของฟองยางนั้นมีดังนี้ ขนาดเซลล์ที่ใหญ่กว่าจะรับแรงได้ดีกว่า หรือมีความแข็งที่สูงกว่า เซลล์ที่เป็นทรงกลมจะรับแรงได้ดีกว่า (รูปที่ 2) หรือมีความแข็งที่สูงกว่าเช่นเดียวกัน [3, 5] ในสายการผลิตนั้น ปัจจัยเหล่านี้ไม่สามารถควบคุมให้มีค่าคงที่ได้ กล่าวคือ ระบบการผลิตฟองยางด้วยวิธี Dunlop นั้น กลไกหน่วงเวลา (delayed action) นั้น จะถูกกำหนดโดยขนาดของเบ้า โดยที่เบ้าที่ใหญ่จะหน่วงเวลาเป็นเวลานานกว่าเบ้าที่เล็ก นอกจากนี้การใช้เบ้าที่ไม่มีฝาปิดยังทำให้เกิดฟองยางที่มีเซลล์ไม่เป็นทรงกลมอีกด้วย



รูปที่ 2 ผลของขนาดของเซลล์ต่อความแข็งของฟองยางที่ความหนาแน่นต่าง ๆ [5]



รูปที่ 3 ผลของรูปร่างของเซลล์ที่ต่างไปจากทรงกลม ต่อความแข็งของฟองยาง [3]

นอกจากปัจจัยทางการผลิตเหล่านี้แล้ว ผลของการหดตัวของฟองยางในขณะแห้งก็ยังมี ส่วนที่จะทำให้ การควบคุมความแข็งโดยผ่านทางความหนาแน่นขณะเป่าขึ้นไม่คงที่ ซึ่งยังไม่ทราบเป็นที่แน่ชัดว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลต่อการหดตัวของฟองยาง และการหดตัวของฟองยาง นั้นส่งผลต่อความแข็งมากน้อยอย่างไร

ดังนั้นจึงจะเห็นได้ว่า ในการที่จะสามารถผลิตสินค้าฟองยางธรรมชาติที่มีคุณภาพคงที่ตาม ที่ลูกค้าต้องการนั้น ความรู้เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับความหนาแน่น ซึ่งรวมไปถึง ปัจจัยทางการผลิตต่าง ๆ ที่ต้องเปลี่ยนแปลงตามลักษณะสินค้า เป็นเรื่องที่สำคัญมาก โดยเฉพาะ อย่างยิ่งข้อมูลเหล่านี้สำหรับวิธีการผลิตแบบ Dunlop ซึ่งเป็นวิธีที่ผู้ผลิตในประเทศไทยทั้งหมดใช้ ยังไม่เคยมีใครศึกษา และเผยแพร่มาก่อน จึงถือว่าเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญอย่างหนึ่งของอุตสาหกรรมน้ำยางของประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์

2.1. เพื่อที่จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับความแข็งของฟองยางธรรมชาติ และตัวแปรในการผลิต

2.2. เพื่อให้ได้องค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตฟองยางธรรมชาติ

3. วิธีการทดลอง

3.1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1. ยางธรรมชาติจากบริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม (1971) จำกัด
- 3.1.2. ถังเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ แบบมีการหล่อเย็น
- 3.1.3. เครื่องตีฟองน้ำ
- 3.1.4. เครื่องวัดความแข็งแบบ Indentation Hardness เครื่องประกอบด้วยแผ่นกดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร และเครื่องชั่งสำหรับวัดน้ำหนักกด
- 3.1.5. เครื่องตัดชิ้นทดสอบแบบแนวตั้ง เครื่องประกอบด้วยใบมีดที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง ใช้เตรียมน้ำยางทดสอบในด้านกว้างและยาว

- 3.1.6. เครื่องัดชิ้นทดสอบแบบแนวนอน เครื่องประกอบด้วยใบมีดที่เคลื่อนที่ในแนวนอนใช้เตรียมชิ้นทดสอบในด้านหนา
- 3.1.7. เบ้า และฝาเบ้าขนาดต่าง ๆ

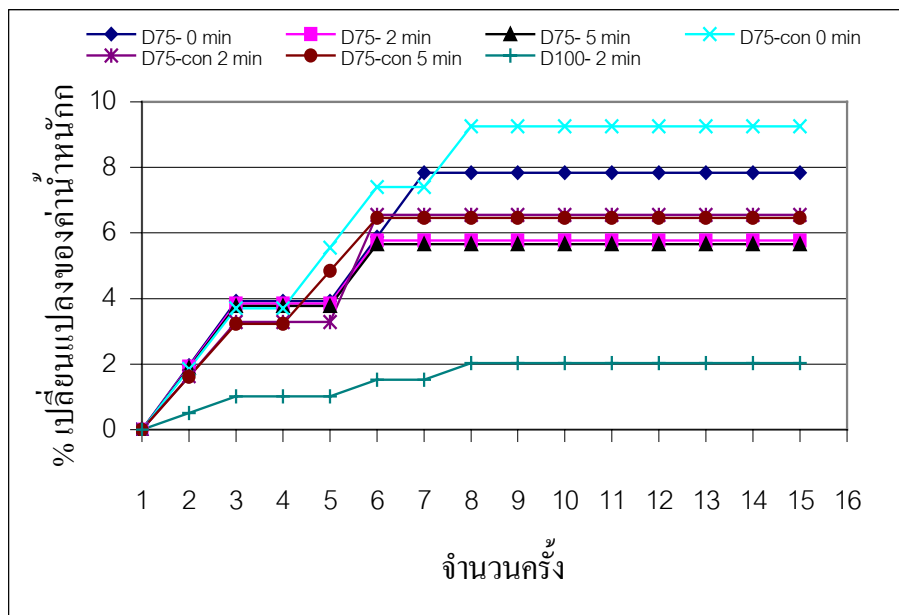
3.2. วิธีการทดลอง

- 3.2.1. การวัดความแข็งแบบ Indentation Hardness
- 3.2.1.1. นำชิ้นทดสอบวางบนฐานรองรับ
- 3.2.1.2. ปรับสภาพชิ้นทดสอบโดยการเลื่อนแผ่นกดให้ชิ้นทดสอบผิรุปรูจากระยะเดิมประมาณร้อยละ 50
- 3.2.1.3. วัดความแข็ง (หลังปรับสภาพไม่เกิน 5 นาที) โดยการเลื่อนแผ่นกดลงมาแตะกับชิ้นทดสอบแล้วใช้แรง (preload) 4.5 นิวตัน กดลงบนชิ้นทดสอบแล้ววัดความหนาของชิ้นทดสอบ โดยถือว่าความหนาที่วัดได้เป็นความหนาเดิม จากนั้นเพิ่มแรงกดจนความหนาลดลงจากเดิมร้อยละ 25 และ 65 บันทึกแรงกดเป็นกิโลกรัม (รวมแรงกด 4.5 นิวตันด้วย)
- 3.2.2. ศึกษาผลของน้ำหนักต่อความแข็งโดยการเตรียมฟองยางที่มีความหนาแน่นต่างกัน แล้วนำไปวัดความแข็ง
- 3.2.3. ในการทดลองนี้ทางผู้วิจัยแบ่งปัจจัยในการผลิตเป็นสองหัวข้อหลักคือ เวลาในการแข็งตัว และแบบเบ้าเปิด-ปิด ซึ่งการศึกษาผลทั้งสองอย่างนี้ต่อความแข็งของฟองยางธรรมชาติ
- 3.2.4. การเตรียมฟองยางนั้นจะใช้วิธีการเตรียมแบบดันลอป [6]

3.3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.3.1. การวัดความแข็งแบบ Indentation Hardness

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวัดความแข็งของฟองยางโดยวิธี Indentation Hardness ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.173-2519) ซึ่งเป็นวิธีที่มีลักษณะใกล้เคียงกับการใช้งานจริงของฟองยาง เช่น งานด้านเครื่องนอน โดยการกดตัวกดที่มีลักษณะเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตรซึ่งมีขนาดเล็กกว่าชิ้นทดสอบลงบนชิ้นทดสอบแล้ววัดแรงกดที่ใช้ทำให้ชิ้นทดสอบผิรุปรูตามปริมาณที่กำหนด ซึ่งจากการทดสอบเกี่ยวกับผลของวิธีวัดความแข็งแบบต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของความแข็งที่ได้ดังรูปที่ 4 พบว่าวิธีวัดความแข็งแบบ Indentation Hardness ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสามารถนำมาใช้วัดความแข็งของฟองยางได้เนื่องจากเป็นการวัดโดยปรับสภาพ (condition) ชิ้นทดสอบก่อนแล้ววัดความแข็งของฟองยางภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที หลังการปรับสภาพ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนจากค่าเริ่มต้นและจำนวนครั้งที่กดของ
 ฟองยางความหนาแน่น 75 และ 100 kg/m³ ความหนา 2 นิ้ว ที่ระยะกด 25 เปอร์เซ็นต์

หมายเหตุ

- D75- 0 min คือ ปรับสภาพ 1 ครั้งแล้ววัดทันที 15 ครั้ง
- D75- 2 min คือ ปรับสภาพ 1 ครั้งแล้วปล่อยไว้ 2 นาทีแล้ววัดเป็นค่าครั้งที่ 1 จากนั้นปล่อยไว้ 2 นาทีแล้ววัดเป็นค่าครั้งที่ 2 ทดสอบจนครบ 15 ครั้ง
- D75- 5 min คือ ปรับสภาพ 1 ครั้งแล้วปล่อยไว้ 5 นาทีแล้ววัดเป็นค่าครั้งที่ 1 จากนั้นปล่อยไว้ 5 นาทีแล้ววัดเป็นค่าครั้งที่ 2 ทดสอบจนครบ 15 ครั้ง
- D75- con 0 min คือ ปรับสภาพแล้ววัดทันทีเป็นค่าครั้งที่ 1 จากนั้นปรับสภาพแล้ววัดทันทีเป็นค่าครั้งที่ 2 ทดสอบจนครบ 15 ครั้ง
- D75- con 2 min คือ ปรับสภาพแล้วปล่อยไว้ 2 นาที แล้ววัดเป็นค่าครั้งที่ 1 จากนั้นปรับสภาพแล้วปล่อยไว้ 2 นาที แล้ววัดเป็นค่าครั้งที่ 2 ทดสอบจนครบ 15 ครั้ง
- D75- con 5 min คือ ปรับสภาพแล้วปล่อยไว้ 5 นาที แล้ววัดเป็นค่าครั้งที่ 1 จากนั้นปรับสภาพแล้วปล่อยไว้ 5 นาที แล้ววัดเป็นค่าครั้งที่ 2 ทดสอบจนครบ 15 ครั้ง
- D100- 2 min คือ ปรับสภาพ 1 ครั้งแล้วปล่อยไว้ 2 นาทีแล้ววัดเป็นค่าครั้งที่ 1 จากนั้นปล่อยไว้ 2 นาทีแล้ววัดเป็นค่าครั้งที่ 2 ทดสอบจนครบ 15 ครั้ง

จากรูปที่ 4 เป็นการวัดความแข็งแรงของฟองยางแบบต่าง ๆ พบว่าการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงที่วัดได้ในแต่ละแบบจะไม่เท่ากัน แต่แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 และเมื่อทำการวัดความแข็งแรงไปหลาย ๆ ครั้ง (ประมาณ 6-8 ครั้ง) พบว่าความแข็งแรงของฟองยางจะไม่เปลี่ยนแปลง

วิธีการวัดความแข็งแรงแบบปรับสภาพขึ้นทดสอบก่อน 1 ครั้งแล้วปล่อยไว้ 2 และ 5 นาที แล้ววัดความแข็งแรงที่ได้เป็นค่าครั้งที่ 1 จากนั้นปล่อยไว้ 2 และ 5 นาที แล้ววัดความแข็งแรงที่ได้เป็นค่าครั้งที่ 2 ทดสอบจนครบ 15 ครั้ง พบว่าค่าความแข็งแรงที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงต่ำที่สุดและเมื่อวัดผ่านไปจำนวน 6 ครั้งขึ้นไป ความแข็งแรงของฟองยางจะคงที่

รองลงมาเป็นการวัดค่าความแข็งแรงแบบปรับสภาพขึ้นทดสอบแล้วปล่อยไว้ 2 และ 5 นาที แล้ววัดความแข็งแรงที่ได้เป็นค่าครั้งที่ 1 จากนั้นปรับสภาพแล้วปล่อยไว้ 2 และ 5 นาที แล้ววัดความแข็งแรงที่ได้เป็นค่าครั้งที่ 2 โดยทดสอบจนครบ 15 ครั้ง พบว่าค่าความแข็งแรงของฟองยางจะคงที่เมื่อผ่านการวัดมาแล้วจำนวน 6 ครั้งขึ้นไปเช่นกัน

ส่วนการวัดความแข็งแรงแบบปรับสภาพขึ้นทดสอบก่อน 1 ครั้งแล้ววัดความแข็งแรงทันที จำนวน 15 ครั้งติดต่อกัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงที่ได้จะสูงโดยจะเริ่มคงที่เมื่อผ่านการวัดไปแล้ว 7 ครั้ง

วิธีการวัดความแข็งแรงที่ทำให้ค่าความแข็งแรงของฟองยางที่ได้เปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือการวัดแบบปรับสภาพขึ้นทดสอบแล้ววัดทันทีเป็นค่าครั้งที่ 1 จากนั้นปรับสภาพแล้ววัดทันทีเป็นค่าที่ 2 โดยวัดจนครบ 15 ครั้งเช่นกันซึ่งค่าความแข็งแรงจะเริ่มคงที่เมื่อผ่านการวัด 8 ครั้งไปแล้ว

เมื่อเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงที่ได้จากการวัดโดยวิธีแบบเดียวกันของฟองยางสองความหนาแน่นคือ 75 และ 100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าฟองยางความหนาแน่น 100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีความเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงต่ำกว่าฟองยางความหนาแน่น 75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจะได้ว่าฟองยางที่มีความหนาแน่นสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงที่ได้จากการทดสอบซ้ำหลาย ๆ ครั้งน้อยกว่าฟองยางที่มีความหนาแน่นต่ำ

จากรูปที่ 4 พบว่า การปรับสภาพก่อนการทดสอบมีผลต่อค่าความแข็งแรงที่วัดได้โดยวิธีตามมาตรฐานอุตสาหกรรม โดยความแข็งแรงมีค่าลดลง ถ้าหากมีการพักชิ้นงานก่อนทดสอบ 2-5 นาที ค่าความแข็งแรงจะลดลงน้อยลง และเมื่อมีการทำการทดสอบซ้ำค่าความแข็งแรงจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งคงที่หลังจากทดสอบไป 6-8 ครั้ง ฟองยางที่มีความหนาแน่นสูงกว่าจะมีความแข็งแรงที่ลดลงน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าในการทดสอบเพื่อวัดค่าความแข็งแรงนี้ โครงสร้างของฟองยางที่รับแรงบางส่วนจะถูกทำลายไปจนถึงระดับคงที่ในระดับหนึ่ง ดังนั้นเพื่อให้การทดสอบเป็นไปอย่างเที่ยงตรงที่สุดจึงต้องมีการปรับสภาพขึ้นต้นในฟองยางก่อน และระยะเวลาพักตัวหลังปรับสภาพนั้นควรต้องกำหนดให้คงที่ด้วย

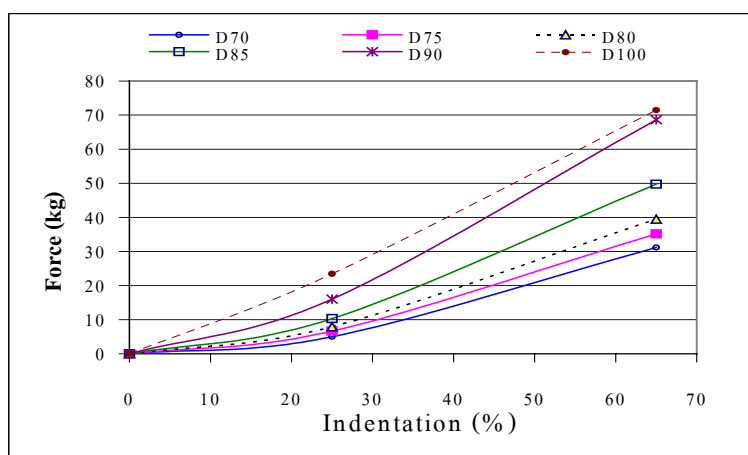
3.3.2. ความแข็งแรงของฟองยางธรรมชาติที่มีความหนาแน่นต่างๆ

ตารางที่ 1 รายละเอียดของฟองยางความหนาแน่นต่าง ๆ

Perceive Density, PD	True Density, TD (kg/m ³)	ชื่อชั้นคุณภาพ (RC)	น้ำหนักกด (kg)		ความเค้น (KPa)	sag factor
			กด 25%	กด 65%	กด 25%	
70	77.23	10-15	5.00	31.16	1.59	6.23
75	81.96	15	6.66	35.13	2.12	5.29
80	86.23	15-20	7.94	39.49	2.53	4.50
85	88.92	25-30	10.29	49.71	3.28	4.84
90	97.46	40	16.04	68.64	5.11	4.28
100	111.22	50-60	23.44	71.46	7.55	3.05

หมายเหตุ

- Perceive Density (PD) คือ การแบ่งเกรดของฟองยางที่ผู้ผลิต (บริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม (1971) จำกัด) ซึ่งแยกโดยการสัมผัสของผู้เชี่ยวชาญ
- True Density (TD) คือ ความหนาแน่นจริงของฟองยาง
- ชื่อชั้นคุณภาพ (RC) คือ ตัวเลขที่บ่งบอกถึงช่วงความแข็งแรงของฟองยางตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.173-2519) ดังตารางที่ 2
- sag factor คือ อัตราส่วนระหว่างค่าน้ำหนักกดที่ระยะกด 65 เปอร์เซ็นต์กับค่าน้ำหนักกดที่ระยะกด 25 เปอร์เซ็นต์ (Wolfe, 1982)

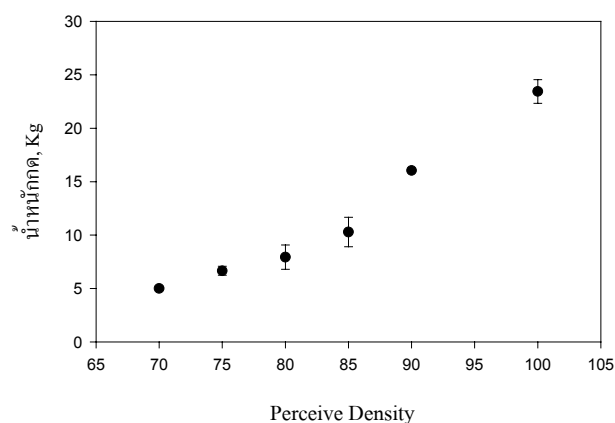


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกดกับน้ำหนักกดของฟองยาง

ตารางที่ 2 คุณลักษณะที่ต้องการทางกายภาพของยางฟองน้ำตามมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.173-2519)

ชนิด	ชื่อ ชั้น คุณภาพ	แรงกดที่ทำให้ความหนาของยางฟองน้ำลดลงร้อยละ 25 (ก่อนอบด้วยความร้อน)	
		กิโลปาสกาล	(ปอนด์ต่อ 50 ตารางนิ้ว)
กลวง	RC 5	0.7 ± 0.4	(5 ± 3)
	RC 10	1.4 ± 0.4	(10 ± 3)
	RC 15	2.1 ± 0.5	(15 ± 4)
	RC 20	2.5 ± 0.6	(20 ± 4)
	RC 25	3.5 ± 0.7	(25 ± 5)
	RC 30	4.2 ± 0.8	(30 ± 6)
	RC 40	5.6 ± 1.0	(40 ± 7)
	RC 50	6.9 ± 1.1	(50 ± 8)
	RC 60	8.3 ± 1.3	(60 ± 9)
	RC 70	9.7 ± 1.7	(70 ± 12)
	RC 80	12.5 ± 1.9	(90 ± 14)
ตัน	RC 11	1.5 ± 0.6	(11 ± 4)
	RC 20	2.8 ± 0.7	(20 ± 5)
	RC 35	4.9 ± 1.4	(35 ± 10)
	RC 55	7.7 ± 1.4	(55 ± 10)
	RC 80	11.1 ± 2.1	(80 ± 15)
	RC 150	20.8 ± 1.9	(150 ± 55)

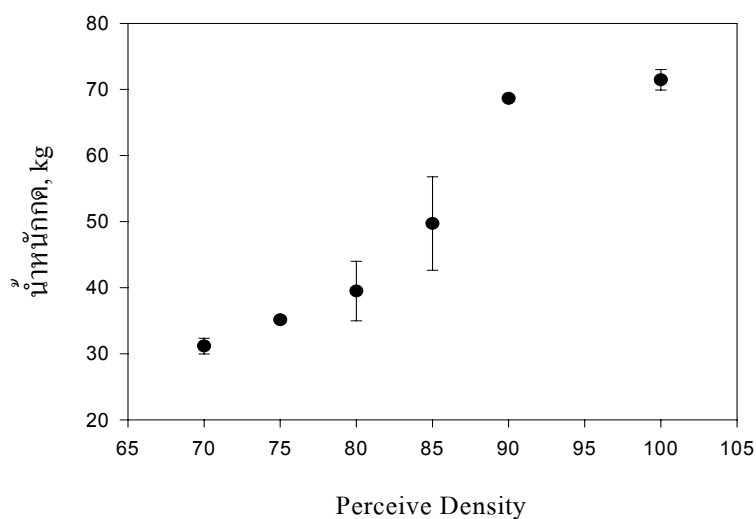
จากรูปที่ 5 เมื่อกดฟองยางให้ผิดรูปมากขึ้น น้ำหนักกดหรือความเค้นที่ใช้กระทำจะมากขึ้นตามไปด้วย โดยที่ฟองยางที่มีความหนาแน่นสูงจะต้องใช้น้ำหนักกดให้เกิดการผิดรูปมากกว่าฟองยางที่มีความหนาแน่นต่ำ นั่นคือมีความแข็งแรงสูงกว่าซึ่งจากการทดลองฟองยางที่มีความหนาแน่น 100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าน้ำหนักกดที่ระยะกดต่าง ๆ สูงที่สุด เนื่องจากฟองยางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะมีโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันโดยฟองยางที่มีความหนาแน่นสูงในโครงสร้างจะมีความเป็นรูพรุนต่ำหรือมีปริมาณเนื้อยางสูงทำให้มีความสามารถในการรับน้ำหนักสูงกว่าฟองยางความหนาแน่นต่ำซึ่งมีความเป็นรูพรุนสูง



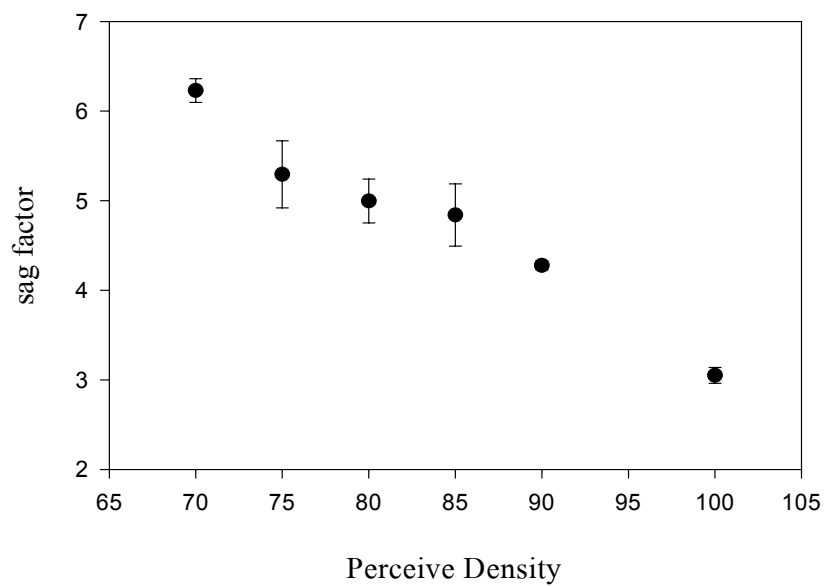
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับ Perceive Density ของฟองยาง ที่ระยะกด 25%

จากรูปที่ 6-7 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักกดกับความหนาแน่นของฟองยางที่ระยะกด 25 และ 65 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จะพบว่า Perceive Density ที่ใช้สัมผัส นั้นมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักกดที่ระยะ 25% ก่อนข้างดีมีความแปรปรวนต่ำ แต่ที่ระยะ 65% นั้น น้ำหนักกดมีแนวโน้มคงที่เมื่อ Perceive Density สูงขึ้น และ น้ำหนักกดที่วัดได้มีความแปรปรวนสูงขึ้น

รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับ Perceive Density ของฟองยาง ที่ระยะกด

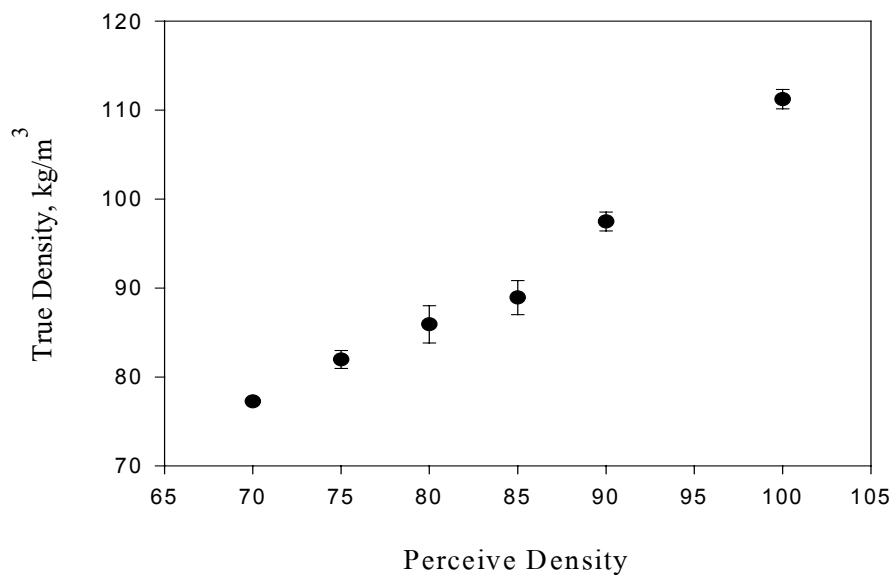


65%



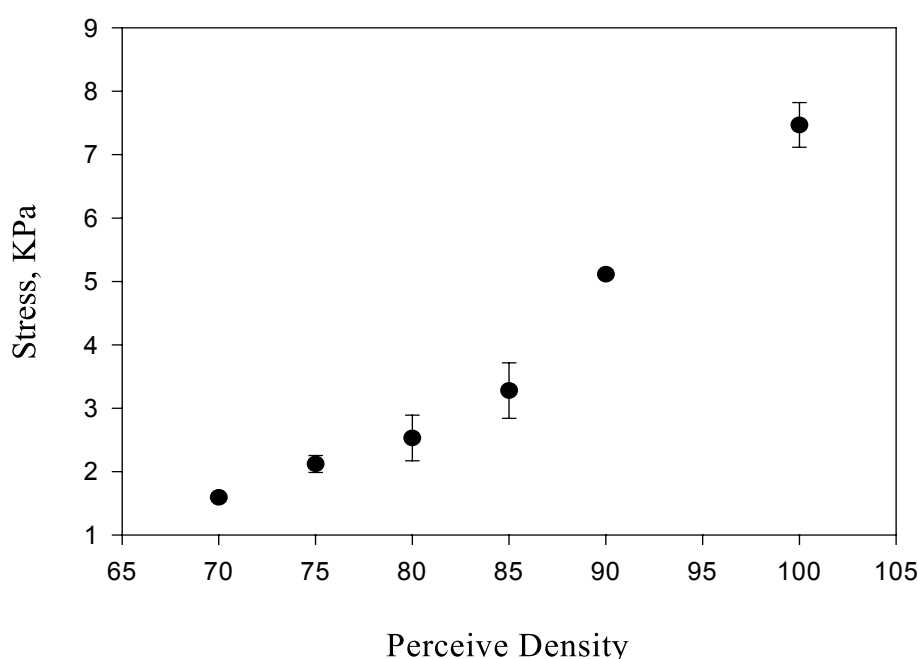
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง sag factor กับ Perceive Density ของฟองยาง

จากรูปที่ 8 เป็นค่า sag factor ของฟองยางมีความหนาแน่นต่าง ๆ โดยค่า sag factor เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักกดที่ระยะกด 65 เปอร์เซนต์กับค่าน้ำหนักกดที่ระยะกด 25 เปอร์เซนต์ (Wolfe, 1982) จะได้ว่าฟองยางที่มี Perceive Density สูงจะมีค่า sag factor ต่ำกว่าฟองยางที่มี Perceive Density ต่ำ นั่นคือความนุ่มสบายต่ำ (Wolfe, 1982)



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Perceive Density กับ True Density ของฟองยาง

ในรูปที่ 6-8 เป็นความสัมพันธ์ในเทอมของ Perceive Density ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่ผู้ผลิต (บริษัทปัตตานีอุตสาหกรรม (1971) จำกัด) ใช้ในการแบ่งเกรดของฟองยางที่ผลิตโดย perceive density มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นจริงของฟองยาง (True Density) เป็นดังรูปที่ 9 จะได้ว่าความหนาแน่นทั้งสองจะแปรผันโดยตรงกันในลักษณะเส้นตรง โดยค่าความหนาแน่นจริงของฟองยางมีค่าสูงกว่าค่า perceive density เล็กน้อย ดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าระบบ Perceive Density ที่เป็นระบบสัมพัทธ์นั้นเป็นการสัมผัสเพื่อประมาณค่าความหนาแน่นจริงของฟองยาง



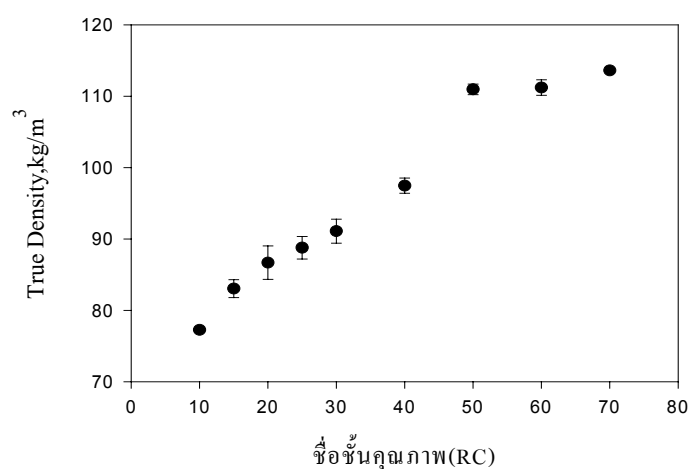
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในหน่วยกิโลปาสกาล (KPa) กับ Perceive Density ของฟองยาง ที่ระยะกด 25%

จากรูปที่ 10 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นในหน่วยกิโลปาสกาล (KPa) กับความหนาแน่นของฟองยางที่ระยะกด 25%

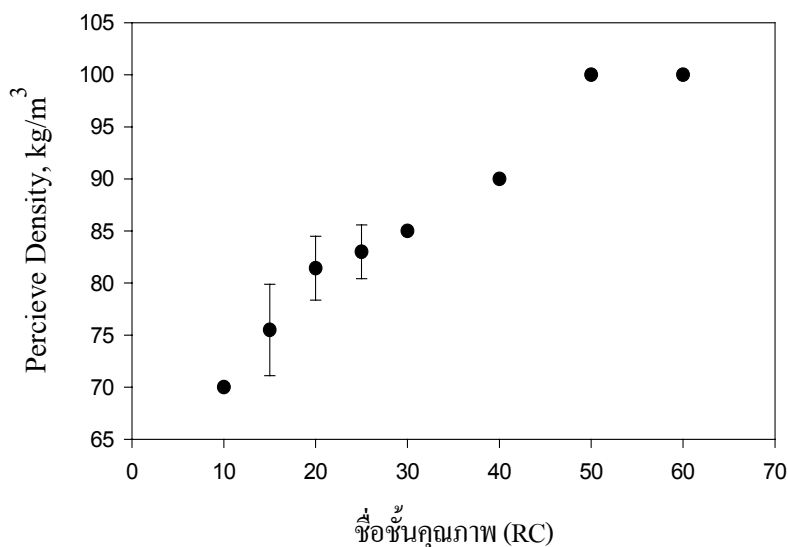
เมื่อนำค่า perceive density และ true density ของฟองยางมาเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.173-2519) จะได้ดังรูปที่ 11-12 พบว่าที่ชื่อชั้นคุณภาพ (RC) หนึ่ง ๆ ประกอบด้วยฟองยางที่มีความหนาแน่นเป็นช่วง ๆ เนื่องจากการแบ่งชื่อชั้นคุณภาพ (RC) ของฟองยางตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมในแต่ละชื่อนี้จะกำหนดเป็นช่วงความแข็งของฟองยาง

เมื่อพิจารณารูปที่ 9 จะเห็นว่าการใช้ความรู้สึกของผู้เชี่ยวชาญในการจำแนกความหนาแน่นของฟองยางนั้น จะค่อนข้างแม่นยำซึ่งเห็นจากความสัมพันธ์ที่เกือบเป็นเส้นตรง และในกรณีที่

ความหนาแน่น 80, 85 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรนั้นมีความกำกวมกันสูงมาก ซึ่งในปัจจุบันจะใช้ความรู้สึกเป็นหลักในการจำแนก นั้นหมายความว่าในช่วงความหนาแน่นดังกล่าว ความหนาแน่นจริงไม่สามารถที่จะแยกแยะประเภทสินค้าได้ดีเท่าที่ควร ในขณะที่ความหนาแน่นค่า perceive density นั้นเป็นการจำแนกประเภทตามความแข็งซึ่ง จากรูปที่ 10-11 นั้นจะเห็นได้ชัดว่าไม่สามารถแยกแยะได้ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะที่ความหนาแน่น 80-85 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรนั้นจะมีค่าความผิดพลาดสูงกว่าช่วงอื่นมาก อีกทั้งในช่วงระดับ RC 50, 60 และ 70 นั้น ทั้งระบบ perceive density และ true density ไม่สามารถแยกแยะได้เลย



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง True Density กับข้อัณคุณภาพ (RC) ของฟองยาง

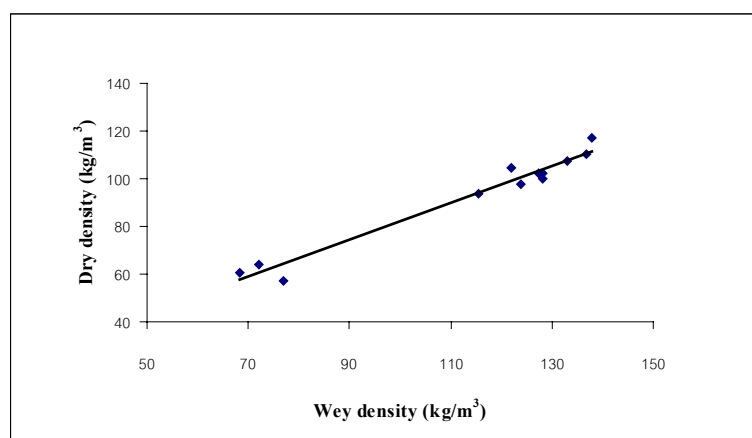


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Perceive Density กับข้อัณคุณภาพ (RC) ของฟองยาง

3.3.3. การศึกษาผลของความหนาแน่นต่อความแข็ง

ในการวิจัยขั้นตอนนี้เนื่องจากลักษณะการยุบตัวของฟองยาง ที่เกิดขึ้นกับเบ้าแบบฝาเปิดในบางครั้งมีค่าสูง ทำให้ขนาดขึ้นตัวอย่างที่ได้มีขนาดเล็กกว่าขนาดทดสอบมาตรฐานสำหรับทดสอบความแข็งแบบ Indentation Hardness ตามที่ใช้ในข้างต้นของหัวข้อ 3.3.1-3.3.2 ในการทดลองนี้ใช้ตัวอย่างขนาด 20x20x4 ซม. ซึ่งแรงที่วัดได้จะมีค่าต่ำกว่าการทดลองแรกสำหรับฟองยางที่มีความหนาแน่นเท่ากัน อย่างไรก็ตามการทดลองในลักษณะเช่นนี้ก็ไม่ใช่ข้อจำกัดถึง เรื่องที่จะศึกษาต่อไปแต่อย่างใด

รูปที่ 13 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งต่อความหนาแน่นเปียก ความหนาแน่นเปียกคือความหนาแน่นของฟองยางก่อนที่จะนำไปวัดคาโนซ์ ในขณะที่ความหนาแน่นแห้งคือความหนาแน่นของฟองยางหลังจากวัดคาโนซ์ และอบแห้งเรียบร้อยแล้ว จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าความหนาแน่นเปียก และความหนาแน่นแห้งมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง แสดงว่าสามารถใช้ความหนาแน่นเปียกของฟองยางในการควบคุมการผลิตเพื่อที่จะได้ความหนาแน่นแห้งที่ต้องการได้

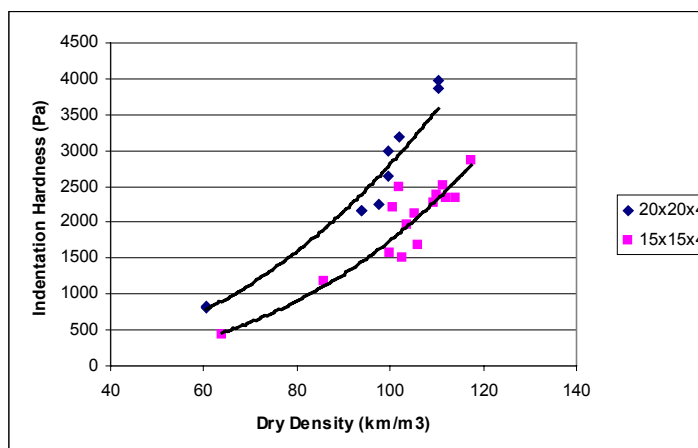


รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปียกและความหนาแน่นแห้งของฟองยาง

เมื่อนำฟองยางที่ได้มาทดสอบเพื่อหาความแข็งแบบ Indentation Hardness จะได้ผลตามรูปที่ 14 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในลักษณะสมการยกกำลัง (power law) เช่นเดียวกับสมการที่ 1 ผลของขนาดฟองยางต่อความแข็งได้ถูกแสดงในรูปนี้เช่นกัน โดยจะเห็นว่าขนาดฟองยาง 20x20x4 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าขนาดฟองยาง 15x15x4 ลูกบาศก์เซนติเมตรเล็กน้อย ดังนั้นในการวัดค่าความแข็งเพื่อเปรียบเทียบกันนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อย่างยิ่งที่ต้องใช้ขนาดของฟองยางที่เหมือนกันในการเปรียบเทียบกัน จากรูปที่ 14 เมื่อเทียบความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1 จะได้ค่าความสัมพันธ์ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าคงที่ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความแข็ง

	K	n
ขนาด 20x20x4 cm ³	0.0244	2.53
ขนาด 15x15x4 cm ³	0.0021	2.96

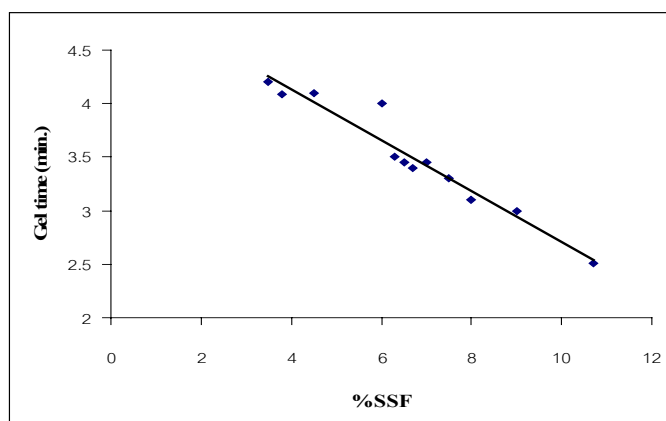


รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับความแข็งของฟองยางขนาดต่างกัน

จากรูปที่ 14 และตารางที่ 3 จะแสดงให้เห็นว่า ค่าความแข็งที่วัดได้จะมีความแปรปรวนสูงกว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปียกและความหนาแน่นแห้งและความแปรปรวนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดของชิ้นตัวอย่างเล็กลง สาเหตุน่าจะเกิดจากการที่การวัดนี้เป็นการวัดแบบ Indentation Hardness โดยขนาด 20x20x4 ลูกบาศก์เซนติเมตรนั้นจะมีขนาดใกล้เคียงกับแผ่นกดทำให้แรงที่เกิดจากแรงดึงผิวเข้ามาเพิ่มทำให้แรงที่วัดได้มีค่าสูงกว่าฟองยางขนาด 15x15x4 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่มีขนาดที่เล็กกว่าแผ่นกด การวัดจึงไม่เป็นแบบ Indentation Hardness นอกจากนี้มาตรวัดของเครื่องวัดที่มีความละเอียดต่ำยังส่งผลถึงค่าความแปรปรวนที่ได้อีกด้วย

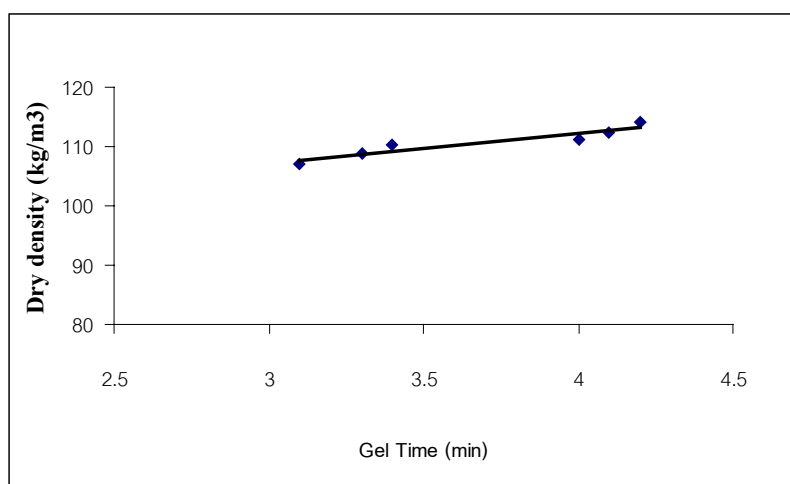
3.3.4. การศึกษาผลของเวลาในการเจดต่อความแข็ง

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของเวลาในการเจดต่อความแข็งของฟองยาง เนื่องจากขนาดและรูปร่างของเซลล์ของฟองยางนั้นจะมีผลต่อการรับแรง หรือความแข็งของฟองยาง เวลาในการเจดเร็วหรือช้าต่างกันอาจมีผลทำให้ขนาดเซลล์เปลี่ยนไปได้ ในรูปที่ 15 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Sodiumsilicofluoride (SSF) ต่อเวลาในการเจด เมื่อปริมาณ SSF สูงขึ้นเวลาในการเจดจะลดลง



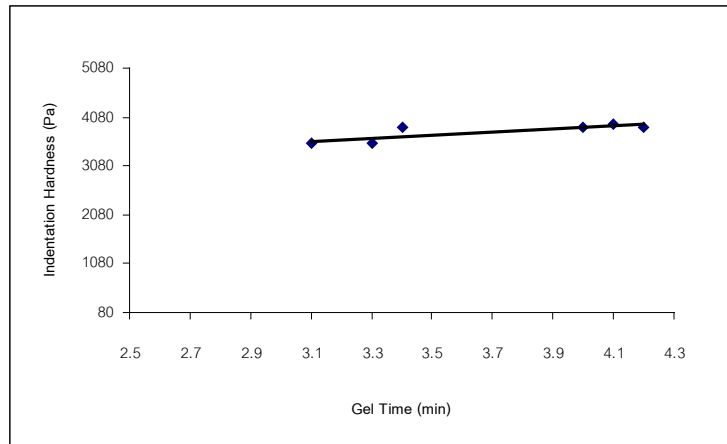
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ SSF กับเวลาในการเจล

เมื่อศึกษาถึงผลของเวลาในการเจลโดยใช้ฟองยางที่มีความหนาแน่นเป็ยกเท่ากัน โดยควบคุม โดยความหนาแน่นเป็ยกเริ่มต้นเท่ากันจะได้ผลดังรูปที่ 16 ซึ่งในการทดลองนี้ความหนาแน่นเป็ยกที่ใช้คือ 136.75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเวลาในการเจลเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นแห้งของฟองยางเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากปริมาณการยุบตัวตามแนวความหนาของฟองยางสูงขึ้นเมื่อเวลาในการเจลนั้นสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการที่เบ้ามีฝานั้นจะทำให้การลดลงตามแนวความหนานั้นมีค่าไม่มากนักเนื่องจากการยึดตัวของฟองยางเข้ากับฝาเบ้าในขณะกำลังแข็งตัว



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเจลกับความหนาแน่นแห้งของฟองยาง

เมื่อนำผลการวัดความแข็งแรงแบบ Indentation Hardness มาศึกษาเปรียบเทียบกับเวลาในการเจล จะพบว่าฟองยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 17 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลของเวลาในการเจลต่อความแข็งนั้นน้อยมากสำหรับการทำฟองยางโดยใช้เบ้าแบบปิดฝา

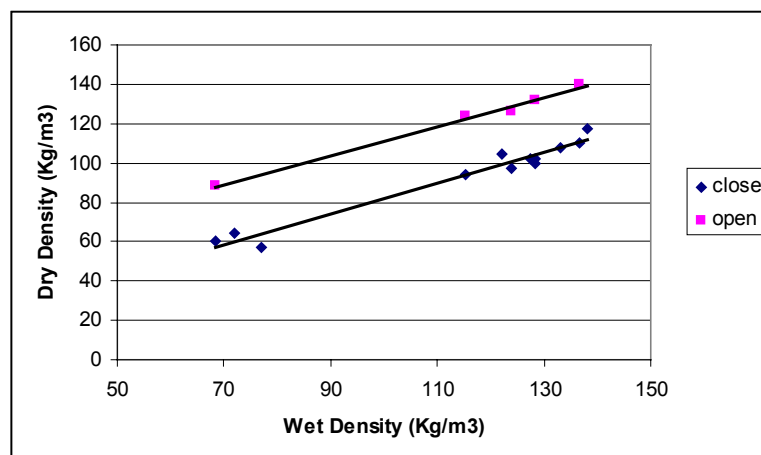


รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ของความแข็งกับเวลาในการเจล

3.3.5. การศึกษาผลของการใช้เบ้าแบบฝาเปิดต่อความแข็ง

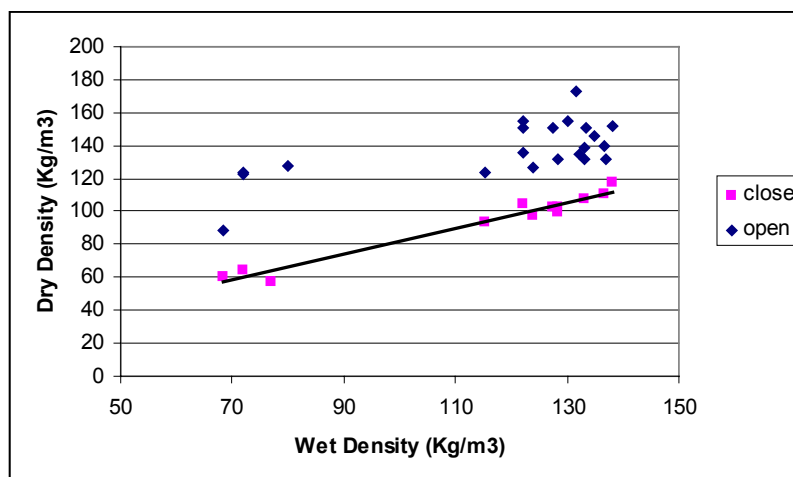
ขั้นตอนต่อไปนี้คือการศึกษาค่าผลของการใช้เบ้าแบบฝาเปิด เนื่องจากการที่ใช้เบ้าแบบเปิดฝานั้นฟองยางจะมีการยุบตัวสูงกว่าแบบปิดฝาเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น แบบเปิดฝามีการยุบตัวตามความหนาประมาณ 50-60% ในขณะที่แบบปิดฝานั้นจะยุบตัวโดยเฉลี่ยเพียง 10% เท่านั้น

รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปียกและความหนาแน่นของฟองยาง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้เบ้าแบบปิดฝา และแบบเปิดฝา ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเบ้าแบบเปิดฝานั้นให้ฟองยางความหนาแน่นแห้งที่สูงกว่าเบ้าแบบปิดฝาค่าความหนาแน่นเปียกเดียวกัน ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากปริมาณการหดตัวของฟองยางในเบ้าแบบเปิดฝาสีสูงกว่าแบบปิดฝาดังเห็นได้ชัด



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปียกและความหนาแน่นแห้งของฟองยางจากเบ้าแบบเปิดฝาและเบ้าแบบปิดฝา

ความสัมพันธ์ในรูป 18 –ของฟองยางจากเบ้าแบบเปิดฝายังเป็นความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรงเช่นเดียวกับแบบปิดฝา ซึ่งการทดลองนี้ปริมาณ SSF มีค่าคงที่นั่นคือเวลาในการเจลมีค่าคงที่เมื่อทำการแปรเวลาในการเจลผลการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปียกและความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่เตรียมในเบ้าแบบเปิดและเบ้าแบบปิดที่เวลาในการเจลต่าง ๆ กัน

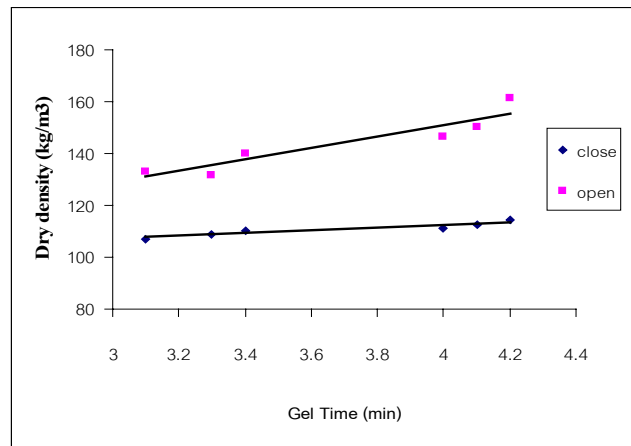
จากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในขณะที่เบ้าแบบปิดนั้นความสัมพันธ์ยังคงความเป็นเส้นตรงได้ดี แต่เบ้าแบบเปิดค่าความหนาแน่นแห้งนั้นกระจายอย่างมากเนื่องจากความแตกต่างของเวลาในการเจลของเบ้าแบบเปิดก่อให้เกิดการยุบตัวแตกต่างกันอย่างมาก ทำให้ความหนาแน่นแห้งที่ได้จากเบ้าแบบเปิดนั้นนอกจากจะขึ้นกับความหนาแน่นเปียกแล้วยังขึ้นกับเวลาในการเจลเป็นอย่างมากอีกด้วย เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับเวลาในการเจลจะได้ดังรูปที่ 20

จากรูปแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่เตรียมด้วยเบ้าแบบปิดฝานั้นมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับการเตรียมด้วยเบ้าแบบเปิดฝา โดยแนวโน้มของความหนาแน่นของฟองยางที่เตรียมด้วยเบ้าเปิดฝานั้นเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อเวลาในการเจลเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการยุบตัวของฟองยางที่เพิ่มขึ้นในขณะที่เวลาในการเจลดานขึ้น

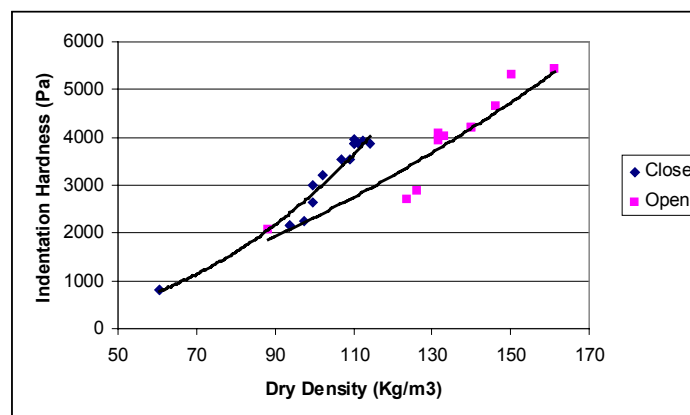
เมื่อนำฟองยางไปวัดค่าความแข็งแบบ Indentation Hardness โดยเปรียบเทียบระหว่างการใส่เบ้าแบบเปิดฝาและเบ้าแบบปิดฝา จะได้ผลดังรูปที่ 21 ซึ่งค่าคงที่ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1 นั้นแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าคงที่ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับความหนาแน่นแห้ง

	K	n
เบ้าแบบปิดฝา	0.0244	2.53
เบ้าแบบเปิดฝา	0.7360	1.75



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเจลกับความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่เตรียมด้วยเบ้าเปิดฝาและเบ้าปิดฝา



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับความแข็งของฟองยางที่เตรียมด้วยเบ้าเปิดฝาและเบ้าปิดฝา

รูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าความแข็งของฟองยางที่ได้จากเบ้าทั้งสองแบบนี้แตกต่างกัน โดยฟองยางจากเบ้าแบบปิดมีแนวโน้มของค่าความแข็งสูงกว่าเบ้าแบบเปิด ความแตกต่างของความแข็งของฟองยางจากเบ้าทั้งสองประเภทนั้นมากขึ้นเมื่อความหนาแน่นแห้งสูงขึ้น ทั้งนี้จะเป็นผลจากรูปร่างของเซลล์ที่แตกต่างกัน ในขณะที่ฟองยางจากเบ้าแบบปิดมีโครงสร้างเซลล์ที่เป็นลักษณะทรง

กลม [6] การยุบตัวในแนวความหนาของฟองยางจากเบ้าแบบเปิดนั้นทำให้เซลล์มีการยุบตัว เปลี่ยนจากทรงกลมเป็นลักษณะเป็นวงรี ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติการรับแรงที่ต่ำลง [3]

3.4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาถึงวิธีการจำแนกประเภทความแข็งของฟองยางโดยใช้ระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.173-2519) พบว่า วิธีการที่ปัจจุบันที่ใช้จำแนก ไม่ว่าจะเป็นความหนาแน่นจริง (True Density) หรือ Perceive Density จะไม่สามารถแยกแยะความแข็งของฟองยางเทียบกับมาตรฐานได้ โดยวิธีวัดจากความหนาแน่นจริงจะเกิดปัญหาที่ระดับ RC50-RC70 และ วิธี Perceive Density จะเกิดปัญหามากในระดับ RC15-RC25

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเทียบกับความหนาแน่นแห้งพบว่า สำหรับเบ้าแบบปิดค่าความหนาแน่นเพียงอย่างเดียวสามารถควบคุมความหนาแน่นแห้งของฟองยางได้ ในขณะที่เบ้าแบบเปิดค่าเวลาในการเจลเป็นตัวแปรเสริมที่เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยที่เพิ่มเวลาเจลจะทำให้ความหนาแน่นแห้งเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการยุบตัวของฟองยางในขณะวัลคาไนซ์ ซึ่งการยุบตัวที่เกิดขึ้นมากในเบ้าแบบเปิดค่านั้น เป็นผลต่อเนื่องทำให้ในขณะเดียวกันความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่ได้จากเบ้าแบบปิดมีค่าต่ำกว่า ฟองยางที่เตรียมจากเบ้าแบบเปิด

ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแบบ Indentation Hardness กับความหนาแน่นแห้งเป็นไปตามลักษณะสมการยกกำลัง (power law) ทั้งฟองยางจากเบ้าแบบปิดและเบ้าแบบเปิด อย่างไรก็ตามฟองยางจากเบ้าแบบเปิดค่านั้นมีแนวโน้มค่าความแข็งที่ต่ำกว่า และความแตกต่างระหว่างค่าความแข็งนั้นสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นแห้งสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการยุบตัวของฟองยางที่เตรียมโดยเบ้าแบบเปิดทำให้โครงสร้างเซลล์ของฟองยางเปลี่ยนจากทรงกลมเป็นทรงรี ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงลดลง

สรุปผลการดำเนินงาน และผลที่ได้รับ

ตารางแผนงาน

กิจกรรม	การปฏิบัติงาน	เดือนที่					
		1	2	3	4	5	6
1. เปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของฟองยาง (แห้ง, ก่อนแข็งตัว)	แผนงาน	☐	☐	☐			
	ปฏิบัติงานจริง	☐	☐	☐			
2. เปลี่ยนแปลงเวลาในการจับตัว	แผนงาน	☐	☐	☐	☐	☐	
	ปฏิบัติงานจริง			☐	☐	☐	
3. วิเคราะห์ผลขั้นต้น และ เขียนรายงานฉบับย่อ	แผนงาน		☐	☐			
	ปฏิบัติงานจริง			☐	☐		
4. ศึกษาผลของการใช้เบ้าแบบฝาเปิด	แผนงาน				☐	☐	
	ปฏิบัติงานจริง	☐	☐	☐	☐	☐	
5. วิเคราะห์ผล และเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์	แผนงาน					☐	☐
	ปฏิบัติงานจริง					☐	☐

ตาราง Output

Output		สาเหตุในกรณี ล่าช้า และการ แก้ไข
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	ผลสำเร็จ	
1. ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความแข็งของฟองยางธรรมชาติ	100%	
2. ได้ผลของตัวแปรในการผลิต(เวลาแข็งตัว) ต่อความแข็งของฟองยางธรรมชาติ	100%	
3. ได้ผลของตัวแปรในการผลิต (แบบเบ้าเปิด-ปิด)ต่อความแข็งของฟองยางธรรมชาติ	100%	
4. สรุปผลและเขียนรายงานวิจัย	100%	
5. อื่น ๆ		

เอกสารอ้างอิง

1. มอก. 173-2519, 2519, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางฟองน้ำ, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ
2. Blackley, D.C. (1997), *Polymer Latices : Science and Technology*, 2nd Edition, Vol. 3, Chapman&Hall, London.
3. Calvert, K.O. (1982), *Polymer Latices and Their Applications*, Applied Science Publishers Ltd, London.
4. Talalay, J. A. (1954), *Industrial and Engineering Chemistry*, **46**, 1530.
5. Shipley, F. W. (1962), *Journal of the Rubber Research Institute of Malaya*, **17**, 159.
6. Madge, E.W, (1962), *Latex Foam Rubber*, Maclaren & Son Ltd, London.

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของฟองยางธรรมชาติถึงแม้ว่าเป็นตัวแปรหลักที่ควบคุมความแข็งของฟองยางธรรมชาติ แต่ไม่ใช่ตัวแปรเดียว ตัวแปรในกระบวนการผลิต เช่น เวลาในการเจด รูปแบบของเบ้า เป็นต้น มีผลต่อความแข็งของฟองยางธรรมชาติ เช่นเดียวกัน ซึ่งตัวแปรทางการผลิตเหล่านี้ส่งผลต่อความแข็งของฟองยางโดยผ่านทางลักษณะของเซลล์ของฟองยางที่เกิดขึ้น ดังนั้น การวิจัยต่อเนื่องเพื่อเข้าใจถึงหลักการของการเกิดเซลล์ของฟองยาง และวิธีการควบคุมรูปแบบการเกิดเซลล์เหล่านี้จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ และควรมีการวิจัยต่อเนื่องต่อไป

ในขณะเดียวกันผลการวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมฟองยางธรรมชาติได้ทันที โดยความแข็งของฟองยางธรรมชาตินั้นถูกควบคุมด้วยความหนาแน่นของฟองยาง ซึ่งการควบคุมการผลิตให้คงที่นั้นจะทำให้ได้ผลผลิตที่มีความแข็งแรงที่ ด้วยการควบคุมความหนาแน่นเพียงอย่างเดียว

ภาคผนวก

เผยแพร่ผลงานในรูปแบบของการนำเสนอโปสเตอร์ในงานวิชาการวันวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ระหว่างวันที่ 17-18 สิงหาคม 2547

เผยแพร่ผลงานในรูปแบบของการนำเสนอโปสเตอร์ในงานวันยางพาราแห่งชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ระหว่างวันที่ 20-21 สิงหาคม 2547

โครงการ “กลุ่มโครงการวิจัยย่อยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ-มอ. (2) :

การควบคุมความแข็งของฟองยางธรรมชาติ”

Research and Development of Natural Rubber Latex and Products- PSU small project group (2) : Controlling Hardness of Natural Rubber Foam.

Executive Summary

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการจัดเนกประเภทความแข็งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.173-2519) เทียบกับวิธีการวัดที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลของความหนาแน่นเปลือก และความหนาแน่นแห้งของฟองยางธรรมชาติ รวมถึงค่าแปรในการผลิตอื่น ๆ คือ ลักษณะเป็นแบบฟองเปิด และแบบฟองปิด อีกทั้งผลของเวลาในการเจลดต่อความแข็งของฟองยางธรรมชาติ จากการศึกษาถึงวิธีการจำแนกประเภทความแข็งของฟองยางโดยใช้มอก.พวว่าวิธีการที่อุตสาหกรรมใช้จำแนก ไม่ว่าจะเป็นการหนาแน่นจริง (True Density) หรือ Perceive Density จะไม่สามารถแยกแยะความแข็งของฟองยางเทียบกับ มอก.ได้ โดยวิธีวัดจากความหนาแน่นจริงจะเกิดปัญหาที่ระดับ RC50-RC70 และ วิธี Perceive Density จะเกิดปัญหามากใน

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปลือกกับความหนาแน่นแห้งพบว่า สำหรับแบบเปิดค่าความหนาแน่นเปลือกความหนาแน่นแห้งของฟองยาง ในขณะที่แบบเปิดค่าความหนาแน่นแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเปลือกที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการดูดตัวของฟองยาง ซึ่งการดูดตัวเป็นผลต่อเนื่องทำให้ความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่ได้จากแบบเปิดมีค่าต่ำกว่า ฟองยางที่เตรียมจากแบบเปิดค่าที่ความหนาแน่นเปลือกเท่ากัน ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับความหนาแน่นแห้งเป็นไปในลักษณะสมการยกกำลัง (power law) อย่างไรก็ตามฟองยางจากแบบเปิดค่าที่นั้นก็มีแนวโน้มค่าความแข็งที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากการดูดตัวของฟองยางที่เตรียมโดยแบบเปิดค่าทำให้โครงสร้างเซลล์ของฟองยางเปลี่ยนแปลงทรงกลมเป็นทรงรี ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงลดลง

ความเป็มาและความสำคัญของเรื่อง

ในอุตสาหกรรมฟองยางมีการจำแนกประเภทสินค้าจะกำหนดตามความแข็ง ซึ่งถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.173-2519) โดยทั่วไปวิธีการที่ทดแทนนั้นคือการวัดด้วยน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นแห้ง หรือ การวัดด้วยการสัมผัส (Perceive Density) ในขณะที่การควบคุมการผลิตเพื่อที่จะได้มาซึ่งความแข็งที่ต้องการนั้นคือการควบคุมความหนาแน่นเปลือก นอกจากนี้ค่าแปรในการผลิตเช่น แบบเปิด และเวลาในการเจลดยังส่งผลต่อความแข็งสุดท้ายของฟองยางอีกด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาให้เข้าอย่างถ่องถึงถึง ผลของตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้เพื่อที่จะสามารถควบคุมความแข็งให้ได้ตามที่ต้องการ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพของสินค้าฟองยางธรรมชาติ

วัตถุประสงค์

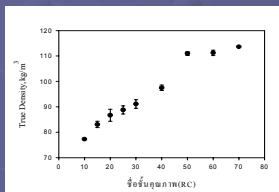
1. เพื่อที่จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับความแข็งของฟองยางธรรมชาติ และค่าแปรในการผลิต
2. เพื่อให้ได้องค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตฟองยางธรรมชาติ

วิธีการทดลอง

1. เตรียมฟองยางขนาด 20x20x2.5 ซม.² วัดความแข็งตาม มอก., ความหนาแน่นจริง และ perceive density
2. เตรียมฟองยางความหนาแน่นเปลือก 70-140 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในน้ำแบบเปิด นำไปวัดค่าในไซ และอบแห้ง
3. วัดความแข็งของฟองยาง
4. เตรียมฟองยางในน้ำแบบเปิด
5. แปรปรมาณไซเดมซิลโคฟลูออไรด์

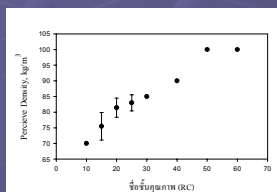
ระดับ RC15-RC25

ผลการทดลอง



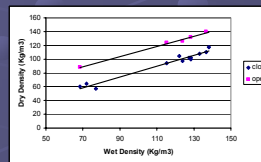
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง True Density กับระดับคุณภาพ (RC) ของฟองยาง

จากรูปที่ 1 และ 2 พบว่าวิธีการจำแนกฟองยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมคือ ความหนาแน่นจริง และ perceive density ไม่สามารถจำแนกประเภทของฟองยางตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้เท่าที่ควร

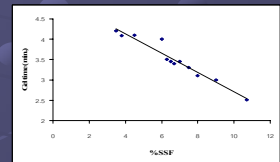


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Perceive Density กับระดับคุณภาพ (RC) ของฟองยาง

ที่ค่า RC 50-70 วัดค่าความหนาแน่นจริงได้ใกล้เคียงกัน ในขณะที่วิธี perceive density จะประสบปัญหาในช่วงชั้น RC 15-25 ในช่วงดังกล่าววิธีนี้มีความผิดพลาดสูง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปลือกและความหนาแน่นแห้งของฟองยางจากแบบเปิดและแบบปิด

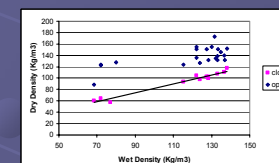


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ SSF กับค่าในการเจลด

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปลือกและความหนาแน่นแห้งของฟองยาง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าความหนาแน่นเปลือกและความหนาแน่นแห้งสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ทั้งแบบเปิดและแบบปิด

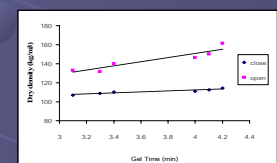
เพื่อศึกษาผลของเวลาในการเจลดของฟองยางต่อความแข็งของฟองยาง โดยการแปรปรมาณไซเดมซิลโคฟลูออไรด์ (SSF) 4-10%

รูปที่ 4 แสดงถึงผลของปริมาณไซเดมซิลโคฟลูออไรด์ต่อเวลาในการเจลด ปริมาณ SSF เพิ่มขึ้นเวลาในการเจลดลดลง



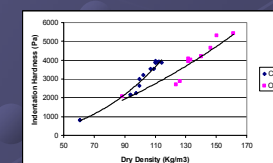
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปลือกและความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่เตรียมโดยแบบเปิดและแบบปิดค่าในการเจลดต่าง ๆ กัน

เมื่อแปรเวลาในการเจลด จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าเวลาในการเจลดไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในน้ำแบบเปิด แต่ในน้ำแบบปิด ความหนาแน่นแห้งของฟองยางแปรปรวนเป็นอย่างมาก และไม่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่ชัดเจนดังรูปที่ 1 อีกต่อไป



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเจลดกับความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่เตรียมโดยแบบเปิดและแบบปิด

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเวลาในการเจลดนั้นไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสำหรับแบบเปิด ความหนาแน่นแห้งมีค่าค่อนข้างคงที่ ในขณะที่สำหรับแบบเปิดความหนาแน่นแห้งเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการดูดตัวที่สูงกว่าเมื่อเวลาเจลดยาวกว่า



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปลือกกับความแข็งของฟองยางที่เตรียมด้วยวิธีเปิดและแบบปิด

รูปที่ 5 ความแข็งของฟองยางมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นแห้งแบบสมการยกกำลัง (power law) $H=K \cdot P^n$ ค่าทั้งที่ของสมการแสดงในตารางด้านล่าง

แบบเปิด	$K=0.02$ 44	$n=2.53$
แบบเปิด	$K=0.73$ 60	$n=1.75$

H คือความแข็งของฟองยางธรรมชาติ P คือความหนาแน่นแห้ง K และ n คือค่าคงที่

จากรูปจะเห็นว่าฟองยางที่ได้จากแบบเปิดมีความแข็งสูงกว่าที่ได้จากแบบเปิด ในขณะที่ความหนาแน่นแห้งเท่ากัน นอกจากนี้ ค่า P ของฟองยางจากแบบเปิดค่า แสดงถึงความสัมพันธ์ของความแข็งต่อความหนาแน่นแห้งที่สูงกว่าสำหรับแบบเปิด

การที่แบบเปิดมีความแข็งสูงกว่นั้นเนื่องจากผลของการดูดตัวของฟองยางจากแบบเปิดทำให้เซลล์ของฟองยางเปลี่ยนจากทรงกลมเป็นทรงรี และเสียคุณสมบัติในการรับแรงไป

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาถึงวิธีการจำแนกประเภทความแข็งของฟองยางโดยใช้ระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.173-2519) พบว่าวิธีการที่ปัจจุบันนี้ใช้จำแนก ไม่ว่าจะเป็นการหนาแน่นจริง (True Density) หรือ Perceive Density จะไม่สามารถแยกแยะความแข็งของฟองยางเทียบกับมาตรฐานได้ โดยวิธีวัดจากความหนาแน่นจริงจะเกิดปัญหาที่ระดับ RC50-RC70 และ วิธี Perceive Density จะเกิดปัญหามากในระดับ RC15-RC25

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเปลือกกับความหนาแน่นแห้งพบว่า สำหรับแบบเปิดค่าความหนาแน่นเปลือกที่เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการดูดตัวของฟองยางที่เตรียมโดยแบบเปิดค่าทำให้โครงสร้างเซลล์ของฟองยางเปลี่ยนแปลงทรงกลมเป็นทรงรี ทำให้คุณสมบัติในการรับแรงลดลง

โดยที่เพิ่มเวลาเจลดจะทำให้ความหนาแน่นแห้งเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการดูดตัวของฟองยางในขณะที่เวลาในไซ ซึ่งการดูดตัวที่เกิดขึ้นมากในแบบเปิดค่าที่นั้น เป็นผลต่อเนื่องทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งของฟองยางที่เตรียมจากแบบเปิดค่าต่ำกว่า ฟองยางที่เตรียมจากแบบเปิดค่าเท่ากัน

เอกสารอ้างอิง

1. มอก. 173-2519, 2519, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมฟองน้ำ, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ
2. Blackley, D.C. (1997), *Polymer Latices : Science and Technology*, 2nd Edition, Vol. 3, Chapman&Hall, London.
3. Calvert, K.O. (1982), *Polymer Latices and Their Applications*, Applied Science Publishers Ltd, London.
4. Talalay, J. A. (1954), *Industrial and Engineering Chemistry*, **46**, 1530.
5. Shipley, F. W. (1962), *Journal of the Rubber Research Institute of Malaya*, **17**, 159.
6. Madge, E.W. (1962), *Latex Foam Rubber*, Maclaren & Son Ltd, London.

คณะผู้วิจัย

ณัฐพล นิจสุทิน, สุวิธ วัฒนา, ปัทมา ศรีวิชัย และ ศิรศักดิ์ ทิศทอง
“ภาควิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรม” คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ วิทยาเขตภูเก็ต
Email: nnatapo@bunga.psu.ac.th



สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) (ความเท่าเทียมกันนี้เป็นของ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)