การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าดัชนีความแข็งเชิงกดของฟองน้ำลาเท็กซ์

Study of factors effecting indentation hardness index of natural latex foam

2

กาจพันธ์ สกุลแก้ว[1*], ประเสริฐ แซ่จู[1]
Kartpan Sakulkaew[1*], Prasert Saeju[1]

บทคัดย่อ

ฟองน้ำลาเท็กซ์ทำมาจากน้ำยางธรรมชาติมีลักษณะเป็นรูพรุน ระบายอากาศและรองรับน้ำหนักกดได้ดีจึงนิยมใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์หมอนและที่นอน ค่าดัชนีความแข็งเชิงกดเป็นสมบัติที่สำคัญอันหนึ่งซึ่งสะท้อนถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฟองน้ำลาเท็กซ์ได้เป็นอย่างดี งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าดัชนีความแข็งเชิงกดของฟองน้ำลาเท็กซ์ตามวิธีการทดสอบในมาตรฐาน มอก. 2747-2559 และ ISO 2439-2008 (Method A) เช่น ความหนาแน่น ความหนาของชิ้นทดสอบ ตำแหน่งที่ตัดตัวอย่างเพื่อนำมาเตรียมเป็นชิ้นทดสอบ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการวัดดัชนีความแข็งเชิงกดของฟองน้ำลาเท็กซ์

Abstract

Latex foam made from natural rubber latex has porous texture, good ventilation, and excellent load carrying capacity; therefore, it is widely used to make products such as pillows and mattresses. Indentation hardness index is one of the major properties that reflect the quality of latex foam products. This research aims to investigate the factors, affecting the indentation hardness index determined in accordance with TIS 2747-2559, and ISO 2439-2008, for example, density, thickness, location where the test pieces were obtained. This study has shown that these factors play a significant role in determining the indentation hardness index of the latex foam.

คำสำคัญ : ฟองน้ำลาเท็กซ์ ดัชนีความแข็งเชิงกด ความหนาแน่น
Keywords : Latex foam, Indentation hardness index, Density

[1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ กองวัสดุวิศวกรรม
*Corresponding author e-mail address: kartpan@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ความแข็ง (hardness) หรือดัชนีความแข็งเชิงกด (indentation hardness index) เป็นสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของฟองน้ำลาเท็กซ์ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการรองรับน้ำหนักกด และความยากง่ายในการทำให้ฟองน้ำลาเท็กซ์นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับแรงหรือน้ำหนักกด ค่าดัชนีความแข็งเชิงกดนิยมใช้ในการกำหนดชั้นคุณภาพของฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ เช่น ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศมาเลเซีย [1] กำหนดความอ่อนแข็งด้วยค่าดัชนีความแข็งเชิงกด ดังนี้ ฟองน้ำลาเท็กซ์ประเภทนิ่ม ที่ดัชนีความแข็งเชิงกดมีค่าน้อยกว่า 100 นิวตัน ฟองน้ำลาเท็กซ์ประเภทแข็งปานกลาง ที่ดัชนีความแข็งเชิงกดมีค่าตั้งแต่ 100 นิวตัน ถึง 170 นิวตัน และฟองน้ำลาเท็กซ์ประเภทแข็ง ที่ดัชนีความแข็งเชิงกดมีค่ามากกว่า 170 นิวตัน สำหรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไทย มาตรฐานเลขที่ มอก. 2747-2559 กำหนดประเภทความแข็งของฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอนโดยใช้ค่าดัชนีความแข็งเชิงกดร่วมกับค่าความหนาแน่น ดังนี้ ฟองน้ำลาเท็กซ์ประเภทนิ่ม ที่ดัชนีความแข็งเชิงกดมีค่าน้อยกว่า 100 นิวตัน และมีความหนาแน่น อยู่ระหว่าง 61 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 70 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรฟองน้ำลาเท็กซ์ประเภทแข็งปานกลาง ที่ดัชนีความแข็งเชิงกดมีค่าตั้งแต่ 100 นิวตัน ถึง 170 นิวตัน และมีความหนาแน่น อยู่ระหว่าง 71 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 80 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฟองน้ำลาเท็กซ์ประเภทแข็ง ที่ดัชนีความแข็งเชิงกดมีค่ามากกว่า 170 นิวตัน และมีความหนาแน่น อยู่ระหว่าง 81 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 90 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนั้นค่าดัชนีความแข็งเชิงกดสามารถนำไปใช้ในการกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฟองน้ำสำหรับใช้ทำที่นอนผู้ป่วยได้อีกด้วย [2] โดยรายงานค่าความแข็งในรูปของ SAG-index หรือ support factor ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบยุบตัวลงไปร้อยละ 65 ของความหนาเริ่มต้นต่อน้ำหนักกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบยุบตัวลงไปร้อยละ 25 ของความหนาเริ่มต้น ค่า SAG-index มีค่าแปรผกผันตรงกับระดับของการยุบและห่อตัวของฟองน้ำไปตามโครงสร้างร่างกายของผู้นอน ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของข้อต่อและโครงสร้างกระดูกรวมไปถึงประสิทธิภาพของการนอน (รูปที่ 1) ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบสมบัติของวัสดุ รวมทั้งโครงสร้างของที่นอนให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมได้

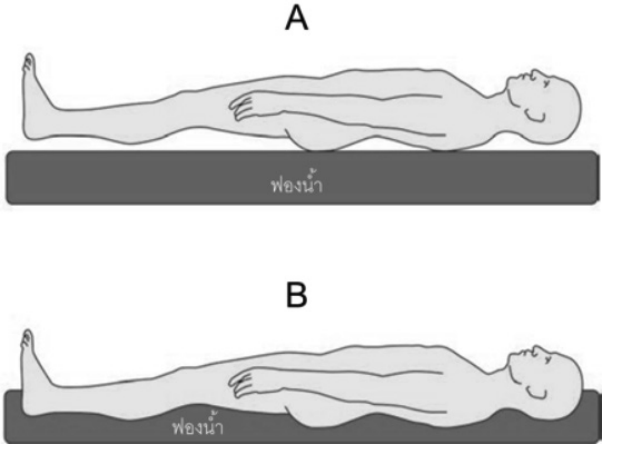
วิธีมาตรฐานสำหรับวัดความแข็งของฟองน้ำลาเท็กซ์ มีอยู่หลายวิธี เช่น ASTM D 1055 กำหนดให้ใช้แผ่นกดรูปวงกลมแบนกดลงไปบนชิ้นงานด้วยอัตราเร็วในการกดที่กำหนด เพื่อให้ชิ้นทดสอบยุบตัวร้อยละ 25 จากความหนาเริ่มต้น ค่าแรงอ่านที่อ่านได้ หน่วยนิวตัน คือ ค่าดัชนีความแข็งของชิ้นทดสอบ (รูปที่ 2) สำหรับ ISO 2439 [3] กำหนดวิธีวัดความแข็งของฟองน้ำลาเท็กซ์ไว้ทั้งหมด 5 วิธี โดยแต่ละวิธีให้ข้อมูลที่ได้จากผลการวัดแตกต่างกัน เช่น วิธี A ผลที่ได้จากการวัดด้วยวิธี A เรียกว่า ดัชนีความแข็งเชิงกด ซึ่งได้จากวัดค่าแรงกด ณ วินาทีที่ 30 ภายหลังจากกดให้ชิ้นทดสอบยุบตัวและคงไว้ที่ร้อยละ 40 ของความหนาเริ่มต้น (รูปที่ 3) วิธีดังกล่าวนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ทั่วไปในการวัดความแข็งของฟองน้ำลาเท็กซ์

วิธี B ผลที่ได้จากการวัดด้วยวิธี B เรียกว่า Indentation hardness characteristics ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัวของฟองน้ำลาเท็กซ์ที่ ร้อยละ 25 ร้อยละ 40 และร้อยละ 65 ของความหนาเริ่มต้น

วิธี C ผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี C เรียกว่า Indentation hardness check ขั้นตอนการวัดเหมือนกับวิธี A แต่การอ่านค่าแรงกดจะอ่านค่าทันทีที่ชิ้นทดสอบยุบตัวร้อยละ 40 ของความหนาเริ่มต้น วิธีดังกล่าวนี้เหมาะสำหรับการทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฟองน้ำเพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์ และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบกระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการผลิตในกรณีที่ชิ้นทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์

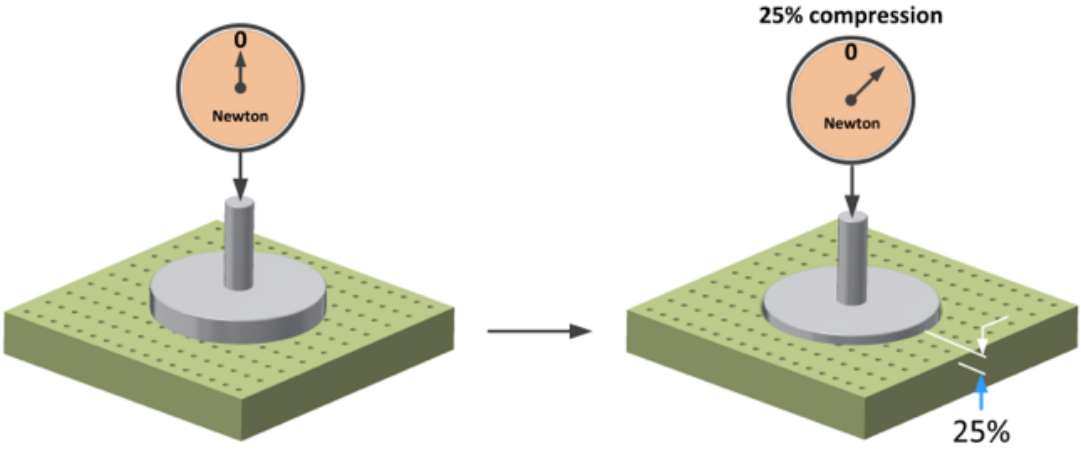
วิธี D ผลที่ได้จากการวัดด้วยวิธี D เรียกว่า Low Indentation hardness index โดยวัดค่าแรงกด ณ วินาทีที่ 20 ภายหลังจากกดให้ชิ้นทดสอบสอบยุบตัวและค้างไว้ที่ร้อยละ 25 ของความหนาเริ่มต้น วิธีดังกล่าวนี้เหมาะสำหรับใช้ในการตัดสินคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดหรือไม่

วิธี E ผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี E ได้แก่ สัมประสิทธิ์การยุบตัว (Compressive deflection coefficient) และ อัตราการสูญเสียความยืดหยุ่น (Hysteresis loss rate) สามารถนำผลที่ได้มาใช้เป็นข้อมูล ในการพัฒนาปรับปรุงให้วัสดุฟองน้ำนั้นให้มีค่าดัชนีความแข็งเชิงกดเหมาะสมกับการใช้งานตามที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่วัดได้ไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับขนาด

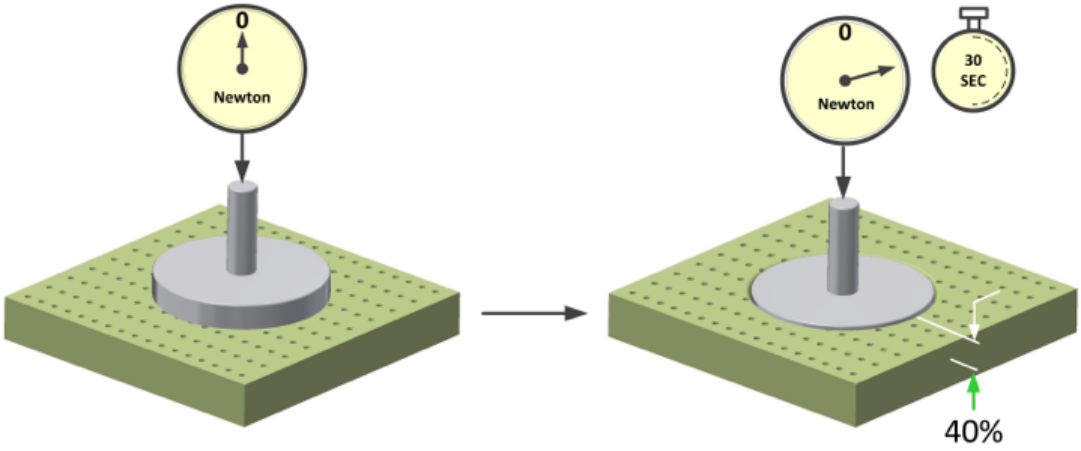


รูปที่ 1 ที่นอนฟองน้ำมีค่า SAG-index หรือ support factor แตกต่างกัน ที่นอนฟองน้ำ (A) มีค่า SAG-index สูงกว่า ที่นอนฟองน้ำ (B) ซึ่งหุ้มห่อตัวของผู้นอนได้มากกว่าที่นอนฟองน้ำ (A) [2]

ของชิ้นตามที่วิธีทดสอบมาตรฐานระบุไว้เท่านั้น ค่าดัชนีความแข็งเชิงกดได้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกด้วย ซึ่งในการศึกษา ทดลองครั้งนี้ ได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนา และตำแหน่งการเรียงตัวของแกน (Core) ที่อยู่ภายในวัสดุฟองน้ำ ที่มีผลต่อค่าดัชนีความแข็งเชิงกด เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีสมบัติตามที่ต้องการ อีกทั้งนำไปใช้เป็นข้อมูลในการจัดทำมาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์ฟองน้ำให้มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 ดัชนีความแข็งเชิงกดวัดโดยกดให้ชิ้นทดสอบฟองน้ำยุบตัวร้อยละ 25 ของความหนาเริ่มต้น แล้วอ่านค่าแรงกด หน่วยนิวตัน (ASTM D 1055)



รูปที่ 3 ดัชนีความแข็งเชิงกดวัดโดยกดให้ชิ้นทดสอบฟองน้ำยุบตัวร้อยละ 40 ของความหนาเริ่มต้น เป็นเวลา 30 วินาที แล้วอ่านค่าแรงกด หน่วย นิวตัน ณ วินาทีที่ 30 (ISO 2439)

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องเตรียมชิ้นทดสอบฟองน้ำลาเท็กซ์ ประกอบด้วยใบมีดตั้งอยู่ในแนวตั้งฉากกับที่วางตัวอย่าง (รูปที่ 4) ใบมีดของเครื่องเตรียมชิ้นทดสอบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ กำลังของแรงขับของมอเตอร์เท่ากับ 2 แรงม้า

2.1.2 เครื่อง Universal testing machine ของ Zwick model Z010 S/N 149616/2001 ใช้ในการวัดแรงกดของชิ้นทดสอบที่ระยะยุบตัวต่างๆ

2.1.3 แผ่นกดชิ้นทดสอบ ทำด้วยสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร และมีความหนา 10 มิลลิเมตร

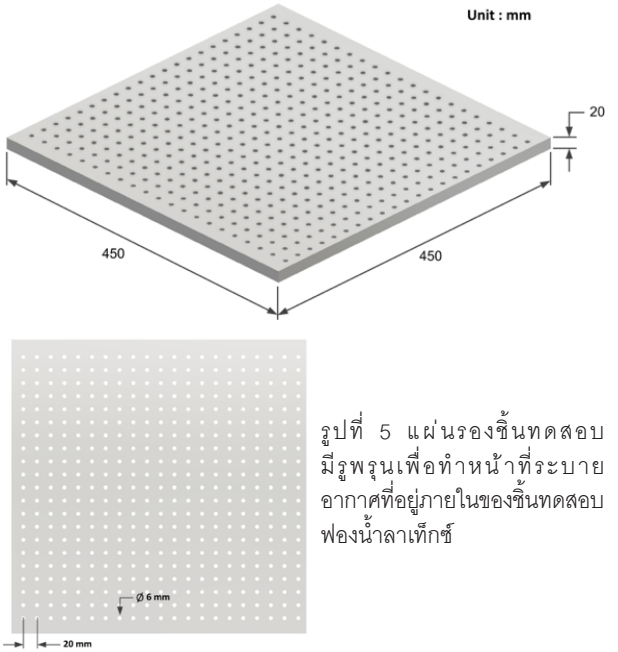
2.1.4 แผ่นรองชิ้นทดสอบ มีรูพรุนขนาด 6 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของรูเจาะ (Pitch) 20 มิลลิเมตร (รูปที่ 5)

2.1.5 เครื่อง Profile projector ของ Mitutoyo รุ่น PJ-3000 ใช้ในการวัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบความหนาแน่น

2.1.6 Horizontal linear gauge ของ Mitutoyo ติดตั้งรวมอยู่กับ AFG digital force gauge ของ Mecmesin เพื่อใช้ควบคุมแรงกดให้อยู่ในช่วง 90 พาสคัล–110 พาสคัล ตามข้อกำหนดใน มอก. 2747-2559 อุปกรณ์นี้ใช้ในการวัดความหนาของชิ้นทดสอบความหนาแน่น

2.1.7 เครื่องชั่งอ่านค่าละเอียด 0.1 มิลลิกรัม ของ Satorious S/N 25705930 สำหรับชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบความหนาแน่น

รูปที่ 4 เครื่องเตรียมชิ้นทดสอบฟองน้ำลาเท็กซ์

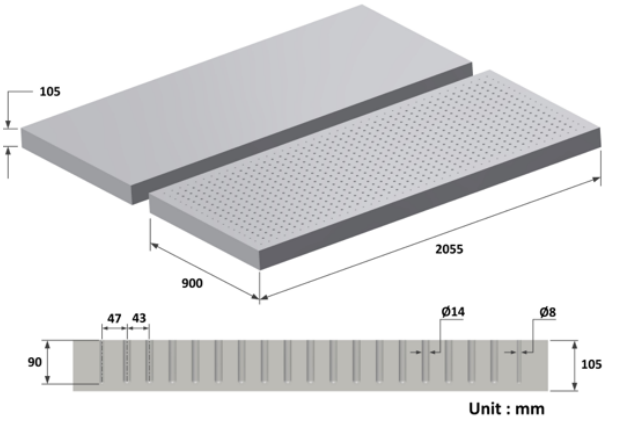


รูปที่ 5 แผ่นรองชิ้นทดสอบมีรูพรุนเพื่อทำหน้าที่ระบายอากาศที่อยู่ภายในของชิ้นทดสอบฟองน้ำลาเท็กซ์

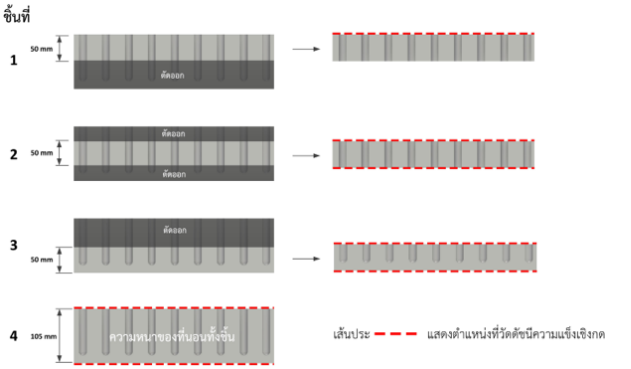
2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

2.2.1 ชิ้นทดสอบดัชนีความแข็งเชิงกด

นำฟองน้ำลาเท็กซ์มาวางบนแท่นวางตัวอย่างของเครื่องเตรียมตัวอย่าง ปรับเลื่อนแผ่นประคองตัวอย่างให้แนบสัมผัสกับชิ้นตัวอย่างด้วยแรงที่เหมาะสม ไม่ออกแรงบีบตัวอย่างให้เสียรูป ปรับเลื่อนแท่นวางตัวอย่างเพื่อป้อนตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคงที่เข้าหาใบมีด เพื่อตัดเป็นชิ้นทดสอบให้มีขนาด ความกว้าง 380 มิลลิเมตร ความยาว 380 มิลลิเมตร และความหนา 50 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นทดสอบที่ใช้ในการศึกษาผลของตำแหน่งของการวัดที่มีต่อค่าดัชนีความแข็งเชิงกดของฟองน้ำลาเท็กซ์ ใช้ชิ้นทดสอบที่เตรียมจากที่นอนฟองน้ำลาเท็กซ์ (รูปที่ 6) ในการเตรียมชิ้นทดสอบ ได้ตัดชิ้นทดสอบที่ตำแหน่งต่าง ๆ (รูปที่ 7) แล้วนำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้มาหาค่าดัชนีความแข็งเชิงกด ในกรณีที่ใช้ชิ้นทดสอบเดียวกันในการวัดค่าดัชนีความแข็งเชิงกด ในการวัดค่าแต่ละครั้งจะให้ชิ้นทดสอบพักคืนตัวเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาทดสอบ



รูปที่ 6 ขนาดตัวอย่างที่นอนฟองน้ำที่นำมาใช้เตรียมชิ้นทดสอบเพื่อศึกษาของค่าดัชนีความแข็งเชิงกดของชิ้นทดสอบที่เตรียมจากตำแหน่งต่าง ๆ



รูปที่ 7 แสดงภาพตัดขวางและตำแหน่งที่ตัดตัวอย่างเพื่อเตรียมเป็นชิ้นทดสอบ (เส้น --- คือ ด้านที่วัดค่าดัชนีความแข็งเชิงกด)

2.2.2 ชิ้นทดสอบความหนาแน่น

นำฟองน้ำลาเท็กซ์ (ประเภทนิ่ม แข็งปานกลาง และแข็ง) มาวางบนแท่นวางตัวอย่างของเครื่องเตรียมตัวอย่าง ปรับเลื่อนแผ่นประคองตัวอย่างให้แนบสัมผัสกับชิ้นตัวอย่างด้วยแรงที่เหมาะสม ไม่ออกแรงบีบตัวอย่างให้เสียรูป ปรับเลื่อนแท่นวางตัวอย่างเพื่อป้อนตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคงที่เข้าหาใบมีด ตัดฟองน้ำลาเท็กซ์เป็นชิ้นทดสอบที่มีลักษณะตันเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความกว้างด้านละ 50±1 มม. และความหนา 40±1 มม. เตรียมชิ้นทดสอบความหนาแน่นจำนวน 5 ชิ้น ของความแข็งแต่ละประเภท

2.3 วัดดัชนีความแข็งเชิงกด

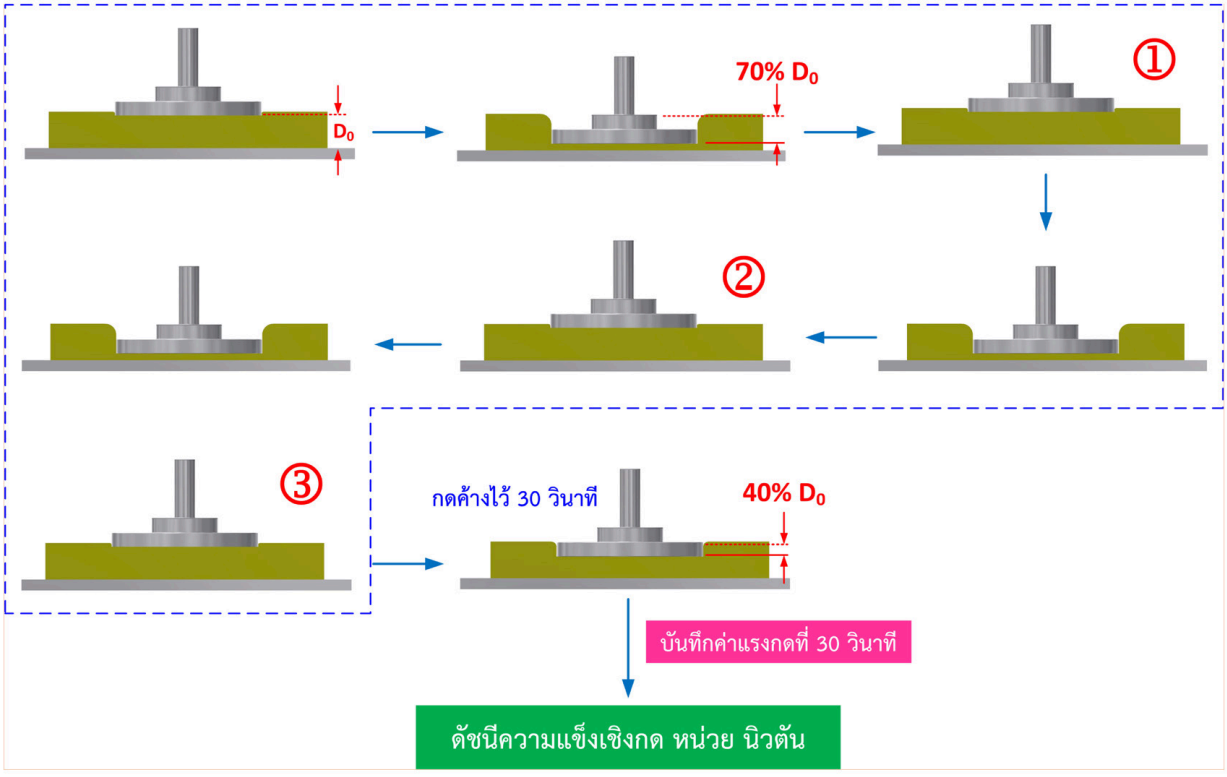
ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ ใช้วิธีวัดค่าดัชนีความแข็งเชิงกดตามมาตรฐาน มอก. 2747 - 2559 [4] ซึ่งอ้างถึงวิธีการทดสอบดัชนีความแข็งเชิงกดตามมาตรฐาน ISO 2439 ดังนี้

2.3.1 ยึดแผ่นกดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตรกับ Load cell ขนาด 10 kN ของเครื่อง Universal testing machine

2.3.2 วางชิ้นทดสอบบนแผ่นรองชิ้นทดสอบ (รูปที่ 5)

2.3.3 กดชิ้นทดสอบด้วยแรงกด 5 นิวตัน ด้วยอัตราเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อนาที ที่จุดนี้เครื่องทดสอบจะบันทึกความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ และปรับค่าแรงกดให้มีค่าเป็นศูนย์

2.3.4 กดชิ้นทดสอบด้วยแผ่นกดให้ชิ้นทดสอบยุบตัวลงไปร้อยละ 70 จากความหนาเริ่มต้น ด้วยอัตราเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วให้แผ่นกดเคลื่อนที่กลับมาที่ตำแหน่งเริ่มต้น ทำซ้ำกันเช่นนี้จนกระทั่งครบ 3 รอบ กดให้ชิ้นทดสอบยุบตัวอีกครั้งหนึ่ง ที่ระยะยุบตัวร้อยละ 40 จากความหนาเริ่มต้น แล้วกดค้างไว้ที่จุดนี้เป็นเวลา 30 วินาที อ่านค่าแรงกดที่จุดนี้ที่วินาทีที่ 30 ค่าที่อ่านได้คือ ค่าดัชนีความแข็งเชิงกดของชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็นนิวตัน แผนภาพสรุปการวัดดัชนีความแข็งเชิงกดของฟองน้ำลาเท็กซ์ ตามวิธีของ ISO 2439 (รูปที่ 8)



รูปที่ 8 การวัดดัชนีความแข็งเชิงกดของฟองน้ำลาเท็กซ์ ตามมาตรฐาน ISO 2439 ค่าดัชนีความแข็งเชิงกดวัดโดยกดให้ชิ้นทดสอบ ยุบ-คลายตัวที่ระยะยุบตัวร้อยละ 70 จำนวน 3 รอบ ในรอบที่ 4 กดให้ชิ้นทดสอบยุบตัวร้อยละ 40 แล้วคงไว้ที่ตำแหน่งนี้เป็นเวลา 30 วินาที ค่าแรงกด (หน่วยนิวตัน) ที่อ่านได้ที่วินาทีที่ 30 คือ ค่าดัชนีความแข็งเชิงกด (D0 คือ ความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบที่กดด้วยแรง 5 นิวตัน และใช้เป็นความหนาอ้างอิงในการคำนวณระยะยุบที่ระยะต่าง ๆ ของชิ้นทดสอบ)

2.4 วัดความหนาแน่น

2.4.1 ชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

2.4.2 วัดมิติของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องมือในข้อ 2.1.5 และ 2.1.6 คำนวณหาความหนาแน่นจากสูตร

$$\rho = \frac{m}{v} \times 10^6$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น หน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

m คือ น้ำหนัก หน่วยกรัม

v คือ ปริมาตร หน่วยลูกบาศก์มิลลิเมตร

2.5 วัดแรงกดที่ระยะยุบตัวต่าง ๆ

2.5.1 ยึดแผ่นกดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร กับ load cell ขนาด 10 kN ของเครื่อง universal testing machine

2.5.2 วางชิ้นทดสอบบนแท่นวางแผ่นรองชิ้นทดสอบ

หมายเหตุ เลือกใช้ชิ้นทดสอบที่มีความหนาแน่น 3 ระดับ เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกด (ไม่ได้คำนึงถึงประเภทของฟองน้ำตาม มอก. 2747-2559) ดังนี้ 63.0 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 73.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 90.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.5.3 กดชิ้นทดสอบด้วยแรงกด 5 นิวตัน ด้วยอัตราเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อนาที ที่จุดนี้เครื่องทดสอบจะบันทึกความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ และปรับค่าแรงกดให้มีค่าเป็นศูนย์

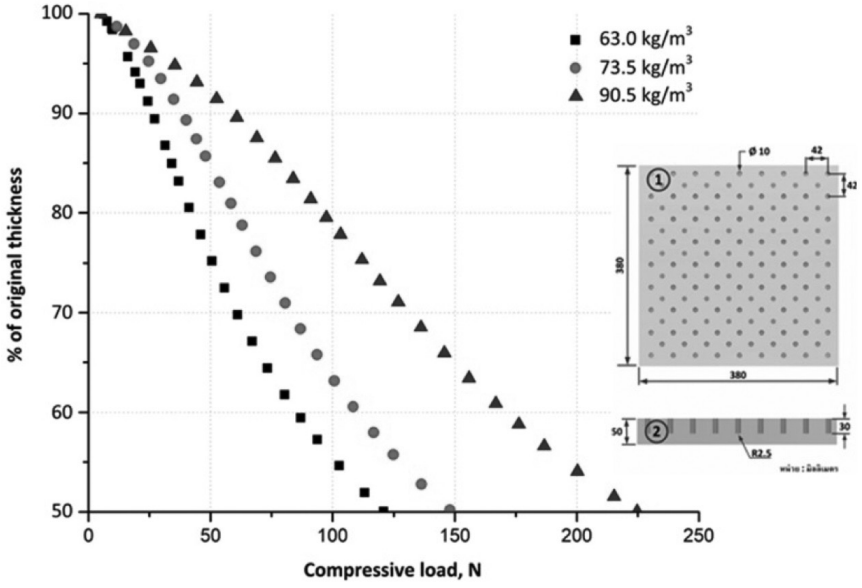
2.5.4 กดชิ้นทดสอบด้วยแผ่นกดให้ชิ้นทดสอบยุบตัวลงไปด้วยอัตราเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อนาที อ่านค่าแรงกดที่ระยะยุบตัวต่างๆ จนกระทั่งชิ้นทดสอบยุบตัวลงไปร้อยละ 50

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

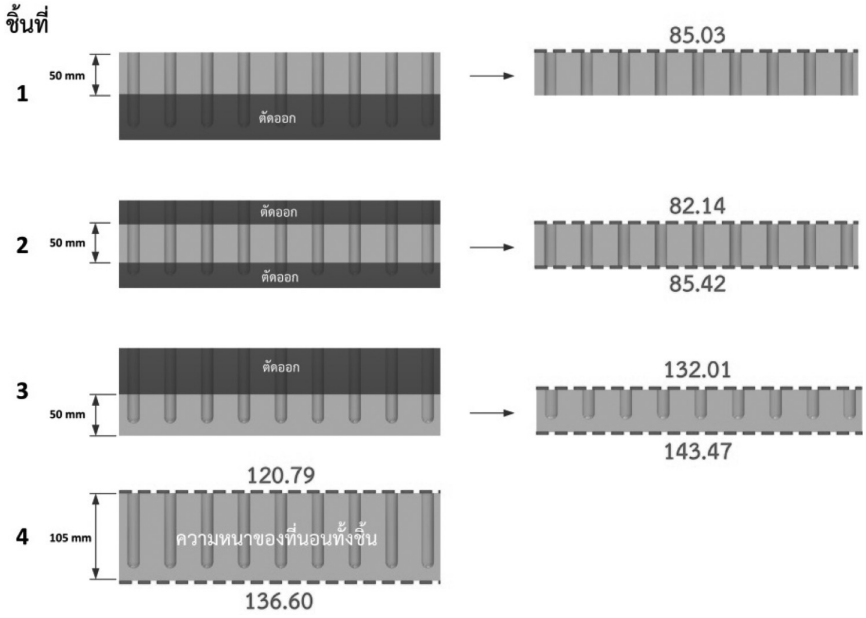
ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของการยุบตัวของฟองน้ำลาเท็กซ์ (ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความแข็งเชิงกด)กับความหนาแน่น (63.0 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 73.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 90.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) แสดงดังในรูปที่ 9 จากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการรองรับน้ำหนักของฟองน้ำลาเท็กซ์มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยฟองน้ำลาเท็กซ์ที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด (90.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สามารถรองรับน้ำหนักกดได้มากที่สุด จากกราฟรูปที่ 9 ที่ระยะยุบตัวร้อยละ 50 พบว่า ฟองน้ำลาเท็กซ์ที่มีความหนาแน่น 90.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถรองรับน้ำหนักได้ถึง 225 นิวตัน ในขณะที่ฟองน้ำลาเท็กซ์ ที่มีความหนาแน่น 63.0 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรรองรับน้ำหนักได้เพียง 125 นิวตัน เท่านั้น ซึ่งมีค่าลดลงประมาณสองเท่าของฟองน้ำลาเท็กซ์ที่มีความหนาแน่นสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามวลของเนื้อยางฟองน้ำลาเท็กซ์ที่เพิ่มขึ้นต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น) ส่งผลทำให้ฟองน้ำมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดีขึ้น และมีช่วงของการรองรับแรงกดที่กว้างมากขึ้นอีกด้วย รูปที่ 10 แสดงผลการวัดค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่ระดับชั้นต่าง ๆ ของฟองน้ำลาเท็กซ์ จากการผลทดลองจะเห็นได้ว่าถ้าตัดชิ้นทดสอบตรงตำแหน่งประมาณกึ่งกลางของตัวอย่าง(ชิ้นที่ 2) ค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่วัดอยู่ที่ค่าประมาณ 84 นิวตัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าดัชนีความแข็งเชิงกดของตัวอย่างชิ้นที่ 1 เมื่อเปรียบโครงสร้างของชิ้นทดสอบทั้งสองชิ้น (ชิ้นที่ 1 และชิ้นที่ 2) พบว่ามีโครงสร้างเหมือนกัน นั่นคือมีแกน แทงทะลุผ่านผิวหน้าทั้งสองด้าน ในขณะที่ตัวอย่างชิ้นที่ 3 ซึ่งมีแกนแทงทะลุผ่านเพียงด้านเดียว ค่าดัชนีความแข็งเชิงกดของด้านที่ไม่มีแกนแทงทะลุผ่านมีค่าดัชนีความแข็งเชิงกดสูงกว่าค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่วัดจากด้านที่มีแกนแทงทะลุผ่านซึ่งวัดจากชิ้นทดสอบชิ้นเดียวกัน

เมื่อเปรียบค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่วัดจากชิ้นทดสอบขนาดมาตรฐานมีความหนา 50 มิลลิเมตร (ชิ้นที่ 1 ชิ้นที่ 2 และชิ้นที่ 3) กับค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่วัดได้จากชิ้นผลิตภัณฑ์โดยตรง พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือ ชิ้นทดสอบที่มีแกนแทงทะลุผ่านผิวหน้าทั้งสองด้าน (ชิ้นที่ 1 และชิ้นที่ 2) มีค่าดัชนีความแข็งเชิงกดต่ำกว่าค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่วัดจากชิ้นผลิตภัณฑ์ซึ่งมีแกนไม่แทงทะลุผ่านไปยังผิวหน้าอีกด้านหนึ่ง (ชิ้นที่ 4) นอกจากนั้นยังพบอีกว่าค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่ผิวหน้าในแต่ละด้านของชิ้นทดสอบซึ่งมีแกนไม่แทงทะลุผ่านไปยังผิวหน้าอีกด้านหนึ่งของชิ้นทดสอบ (ชิ้นที่ 3) มีค่าดัชนีความแข็งเชิงกดสูงกว่าค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่วัดจากชิ้นผลิตภัณฑ์ (ชิ้นที่ 4) ทั้งๆ ที่ชิ้นทดสอบที่ 3 และชิ้นทดสอบที่ 4 มีโครงสร้างภายในเหมือนกันมีความแตกต่างกันเพียงเฉพาะความหนาและความยาวของแกนภายในเท่านั้น นอกจากนั้นยังพบอีกว่าแม้ว่าใช้ชิ้นทดสอบขนาดความหนามาตรฐาน ตำแหน่งที่เลือกตัดชิ้นทดสอบก็มีผลต่อค่าดัชนีความแข็งเชิงกดเช่นเดียวกัน รูปที่ 11 (A) แสดง Hysteresis loop ของฟองน้ำลาเท็กซ์ที่มีความหนาแน่นเท่ากัน (75.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) แต่มีขนาดความหนา และรูปแบบการจัดเรียงตัวของแกนกลางแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าระดับของการสูญเสียพลังงาน (พื้นที่ใน loop) โดยประมาณมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ใต้ loop ของกราฟทั้งสองพบว่าฟองน้ำลาเท็กซ์ขนาดความหนา 150 มิลลิเมตร ซึ่งมีแกนไม่ทะลุผ่านชิ้นทดสอบ มีพื้นใต้ loop มากกว่า เมื่อพิจารณาค่า Resilience (ค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถในการคืนตัวของวัสดุ หาได้จากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้ loop ต่อพื้นที่ใน loop) พบว่าฟองน้ำลาเท็กซ์ขนาดความหนา 150 มิลลิเมตร มีค่า Resilience สูงกว่า ดังนั้นชิ้นทดสอบดังกล่าวนี้มีความสามารถในการคืนตัวสูงกว่า รูปที่ 11 (B) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัว

จนกระทั่งถึงร้อยละ 40 พบว่าชิ้นทดสอบขนาดความหนา 150 มิลลิเมตร ซึ่งมีแกนไม้แทงทะลุผ่านชิ้นทดสอบ มีความสามารถในการต้านการเปลี่ยนรูปร่างและมีค่าดัชนีความแข็งเชิงกดมากกว่าชิ้นทดสอบขนาดความหนา 50 มิลลิเมตร ซึ่งผลจากการศึกษาทดลอง เหล่านี้สามารถนำใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน นอกจากนั้น ยังได้ข้อมูลสนับสนุนที่สำคัญซึ่งชี้ให้เห็นว่า การนำผลที่ได้จากการทดสอบวิธีมาตรฐานไปเปรียบเทียบกับผลที่เกิดขึ้นกับการใช้งานจริงในภาคปฏิบัติจะต้องทำด้วยความระมัดระวังและรอบคอบ ในกรณีของฟองน้ำลาเท็กซ์ บางครั้งค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่วัดได้จากชิ้นทดสอบขนาดมาตรฐานไม่ได้เป็นค่าดัชนีความแข็งเชิงกดซึ่งเป็นตัวแทนที่แท้จริงของชิ้นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคนำไปใช้งานจริง

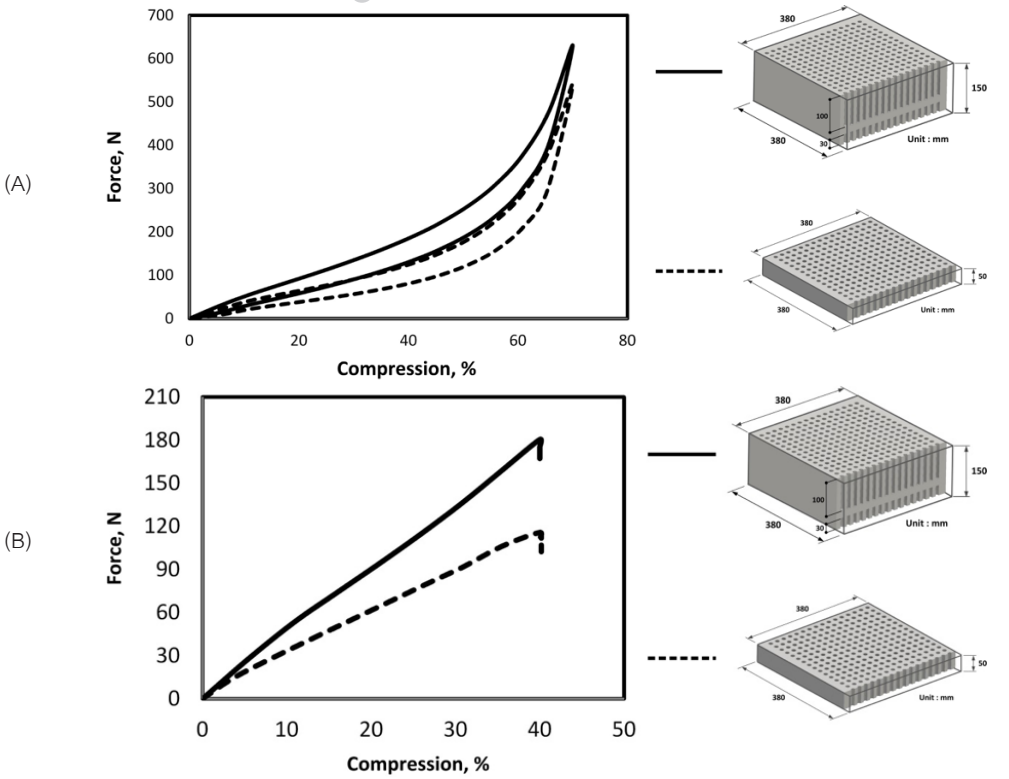


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบที่มีค่าความหนาแน่นต่าง ๆ (รูปทางด้านขวามือ) เปลี่ยนแปลงรูปร่าง (ยุบตัว) ที่ระยะยุบตัวต่าง ๆ



หมายเหตุ 1. เส้นประ ---- แสดงตำแหน่งที่วัดดัชนีความแข็งเชิงกด
2. ตัวเลขที่แสดงอยู่ด้านบนและด้านล่างของเส้นประคือค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่อ่านได้ตำแหน่งนั้น หน่วยนิวตัน

รูปที่ 10 ผลการวัดดัชนีความแข็งเชิงกดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นทดสอบ ในรูปแสดงภาพตัดขวางเพื่อแสดงให้เห็นถึงแกน ที่อยู่ด้านในของฟองน้ำลาเท็กซ์ ชิ้นทดสอบมีขนาด : 380 มม. × 380 มม. (เส้น ---- คือ ด้านที่ใช้วัดค่าดัชนีความแข็งเชิงกด)



รูปที่ 11 (A) Hysteresis loop ของรอบที่ 3 ในขั้นตอนการวัดค่าดัชนีความแข็งเชิงกด (B) การลดลงของแรงกดภายหลังจากคงระยะยุบตัวไว้ที่ร้อยละ 40 ของฟองน้ำลาเท็กซ์ (ความหนาแน่น 75.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งมีความหนา และรูปแบบของแกนภายในแตกต่างกัน

4. **สรุป** (Conclusions)

ผลจากการศึกษาทดลองสามารถสรุปได้ ดังนี้

4.1 ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฟองน้ำลาเท็กซ์ (ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความแข็งเชิงกด) มีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าความหนาแน่นของฟองน้ำลาเท็กซ์ (น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร) ที่เพิ่มขึ้น

4.2 ค่าดัชนีความแข็งเชิงกดของฟองน้ำลาเท็กซ์ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นทดสอบและตำแหน่งของแกนที่อยู่ภายในชิ้นทดสอบ

4.3 ค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่วัดได้จากชิ้นทดสอบขนาดมาตรฐานไม่ได้เป็นค่าดัชนีความแข็งเชิงกดที่แท้จริงของชิ้นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคนำไปใช้งานจริง ดังนั้นในการแปลผลการทดสอบจากชิ้นทดสอบขนาดมาตรฐานจึงควรตระหนักถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชิ้นทดสอบด้วย เช่น ตำแหน่งที่ตัดชิ้นทดสอบมีแกนแทงทะลุผ่านทั้งสองด้านหรือไม่ หรือมีแกนแทงทะลุผ่านเพียงด้านเดียว ความหนาของชิ้นทดสอบ เป็นต้น

5. **กิตติกรรมประกาศ** (Acknowledgement)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กลุ่มงานยางและผลิตภัณฑ์ยางที่ช่วยเตรียมตัวอย่างชิ้นทดสอบฟองน้ำลาเท็กซ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

6. **เอกสารอ้างอิง** (References)

[1] MALAYSIAN STANDARD. *MS 679:2011. Latex foam rubber mattresses for domestic and general use – Specification* (Second revision). 2011.

[2] SOPPI, E., J. LEHTIÖ and H. SAARINEN. An overview of polyurethane foams in higher specification foam mattresses. *Ostomy Wound Manage. 2015*, **61**(2), 38-46.

[3] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 2439:2008. Flexible cellular polymeric materials-Determination of harness (indentation technique)*. 2008.

[4] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. *มอก. 2747-2559. ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน*. 2559.