

เทคนิคการตัดขวางของการจำลองการอัดรีดเป่าขึ้นรูปเพื่อกำหนดความหนาพาริสันสำหรับ
รูปแบบซับซ้อนของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่น

Cross Section Technique of Extrusion Blow Molding Simulation to Determine the Parison
Thickness for Complex Shape of Lubricant Oil Bottles

ณัฐพร พลอยสุข และ ชาคกริต สุวรรณจำรัส*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

*ติดต่อ: อีเมลล์ chakrit.suv@mahidol.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 662 889 2138 ต่อ 6416, เบอร์โทรสาร 662 889 2138 ต่อ 6429

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้จำลองกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูป (Extrusion Blow Molding) ของกระป๋องเพื่อลดการลองผิดลองถูกในการหาค่าความหนาของพาริสัน (Parison) ซอฟต์แวร์เฉพาะทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ เช่น B-SIM, Ansys-POLYFLOW และ RHEOWARE นิยมนำมาใช้จำลองกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก กระป๋องน้ำมันหล่อลื่นผลิตจากพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) มีรูปร่างซับซ้อนทำให้การคำนวณความหนาพาริสันด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปทำได้ยากและสิ้นเปลืองเวลามาก การปฏิบัติงานจริงเพื่อกำหนดความหนาพาริสันในการเป่ากระป๋องน้ำมันหล่อลื่นไม่จำเป็นต้องใช้ความหนาของพาริสันทั้งหมดจากผลการจำลอง การใช้ความหนาเฉพาะหน้าตัดใดๆ ตามความสูงของพาริสันเพียงพอต่อการเป่ากระป๋องน้ำมันหล่อลื่นที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะนำเสนอเทคนิคการจำลองกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปในแนวหน้าตัดขวางของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นรูปร่างซับซ้อนโดยใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ทั่วไป (MSC.MARC) แบบจำลองการเป่าขึ้นรูปกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นรูปร่างเติมใบได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองในแนวหน้าตัดขวาง เทคนิคการตัดขวางมีการเตรียมแบบจำลองง่าย และให้ผลแม่นยำมากกว่าแบบจำลองกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นรูปร่างเติมใบ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 17.07% เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความหนาของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นจริง

คำสำคัญ : การตัดขวาง การเป่าขึ้นรูป พาริสัน ความหนา กระป๋อง

Abstract

In the present day, finite element method (FEM) is employed to simulate the extrusion blow molding of bottles to reduce the trial and error for setting parison thickness. Finite element software such as B-SIM, Ansys-POLYFLOW and RHEOWARE is favored to simulate the extrusion blow molding of plastic products. Lubricant oil bottles are produced by high density polyethylene had complex shape therefore the calculation of parison thickness is difficult and consumes time. The actual work for setting thickness of parison for blowing bottles is unnecessary to use all of parison thickness from the simulation result. Thickness at any cross section of parison is adequate to blow a complex shape bottle. This research aimed to propose technique to simulate the extrusion blow molding in cross section of a complex shape bottle using the general finite element software-MSC.MARC. The extrusion blow molding model of full shape of a bottle was compared with a cross section model. The cross section technique had simply preparation and accuracy result more than the full shape model of a lubricant oil bottle which obtained an average error of 17.07% when compared with thickness of real bottles.

Keywords : Cross Section, Blow Molding, Parison, Thickness, Bottle.

CST-04

1. บทนำ

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model) ในกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดความหนาพาริสัน (Parison) ที่สามารถถูกเป่าขึ้นเป็นรูปร่างกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนาหรือน้ำหนักที่ต้องการ ขั้นตอนการเตรียมแบบจำลองประกอบด้วยแบบจำลองพาริสัน และแบบจำลองของเบ้าแม่พิมพ์ (Mold Cavity) แบบจำลองพาริสันจะถูกวางไว้ระหว่างแบบจำลองเบ้าแม่พิมพ์ จากนั้นเบ้าแม่พิมพ์จะปิดด้วยการเคลื่อนที่เข้าหากันและบีบพาริสัน ต่อมาการกำหนดแรงดันลมภายในพาริสันจะดันให้ผนังพาริสันพอง และขยายตัวไปติดเบ้าแม่พิมพ์ และเมื่อพาริสันขยายตัวจนเต็มเบ้าแม่พิมพ์ก็จะทำให้ได้ความหนาของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นที่ต้องการ แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการเป่าขึ้นรูปกระป๋องรูปร่างสมมาตรรอบแกนมีการพัฒนาและนำมาใช้ในการผลิตกระป๋องพลาสติก [1] และยังได้มีการนำเทคนิคการหาค่าเหมาะสม (Optimization) หลากหลายวิธี ได้แก่ วิธีฟัซซี่ (Fuzzy) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อให้หาค่าเหมาะสมของความหนาพาริสัน [2-4] การทำนายความหนากระป๋องด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติของกระป๋องรูปร่างสมมาตรรอบแกนสามารถทำได้ง่ายและมีความคลาดเคลื่อนจากการทดลองจริงน้อยมาก แต่ถ้าหากนำแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติไปใช้ทำนายความหนากระป๋องหรือภาชนะกลวงรูปร่างไม่สมมาตรหรือซับซ้อนจะทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง Shinji และ Kosei [5] ได้ใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์กระป๋องรูปร่างสี่เหลี่ยม ซึ่งผลิตจากโพลีโพรพิลีน (PolyPropylene) ขนาดความกว้างxความยาวxความสูง เท่ากับ 140x190x300 mm และพบว่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างพาริสันและแม่พิมพ์ และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 100-260 W/m²K และ 1 ตามลำดับ Liu [6] ได้ทำการจำลองการเป่าภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยม 2 มิติ รูปร่างสมมาตรตามแกน (Axisymmetric) โดยใช้แบบจำลองวัสดุวิสโคเอลาสติก (Viscoelastic) ในการคำนวณลักษณะการขยายตัวของพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) และใช้เอลิเมนต์

(Element) ชนิด 6 โหนด (Node) Debbant และคณะ [7] ได้จำลองการเป่ากระป๋องพลาสติกชนิดมีหูจับโดยใช้แบบจำลองวิสโคเอลาสติกในการคำนวณการขยายตัวของโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง และใช้เอลิเมนต์ชนิดเมมเบรน (Membrane) ทำให้ได้ผลการทำนายความหนากระป๋องใกล้เคียงกับผลการทดลอง แบบจำลองวัสดุวิสโคเอลาสติกชนิด KBKZ ถูกนำไปใช้ในการจำลองการเป่าผลิตภัณฑ์กลวงชนิดอื่นๆ เช่น ถังน้ำมันได้ดี และสามารถกำหนดความหนาพาริสันที่ไม่สม่ำเสมอเพื่อใช้ในการจำลองได้ [8, 9] นอกจากวัสดุวิสโคเอลาสติกชนิด KBKZ แล้วแบบจำลองไม่เชิงเส้นของวัสดุไฮเปอร์เอลาสติก (Nonlinear Hyperelastic) ของ Mooney-Rivlin ได้มีการนำมาใช้แสดงพฤติกรรมของการขยายตัวของวัสดุโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลท (Polyethylene Terephthalate) ในการผลิตภาชนะและกระป๋องซึ่งสามารถทำนายความหนาของผลิตภัณฑ์ได้ดีเช่นกัน [10]

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการเป่าขึ้นรูปภาชนะกลวงและกระป๋องพลาสติกจากผลงานวิจัยที่ได้สืบค้นมีรูปร่างซับซ้อนน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดปัจจุบัน (พ.ศ.2558) จึงทำให้ผลการคำนวณความหนาผลิตภัณฑ์มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อนำมาใช้งาน และยังต้องใช้เวลาในการจัดเตรียมแบบจำลองนานขึ้น หรืออาจเกิดการลู่ออกของผลเฉลย ซึ่งทำให้ไม่สามารถจำลองการเป่าขึ้นรูปภาชนะกลวงในปัจจุบันได้

2. วิธีการทดลอง

2.1 กระบวนการเป่าขึ้นรูปกระป๋องน้ำมันหล่อลื่น

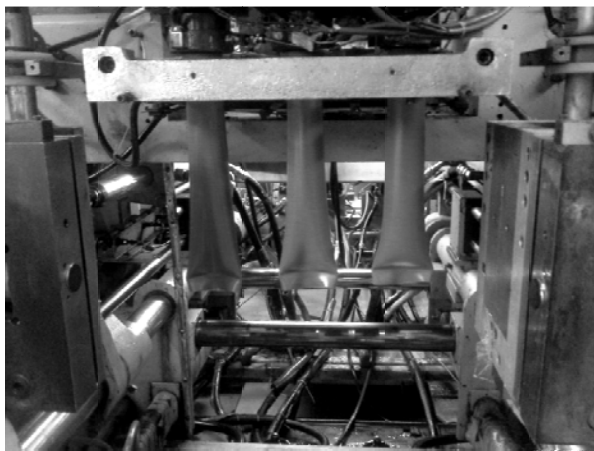
การอัดรีดเป่ากระป๋องน้ำมันหล่อลื่นความจุ 1 ลิตร (รูปที่ 1) ซึ่งผลิตจากวัสดุโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงเกรด H6140B โดยใช้เครื่องอัดรีดเป่ายี่ห้อ Sinco รุ่น 5000DC อัดรีดพาริสันผ่านหัวตาย (Die) จำนวน 3 หัวต่อการเป่ากระป๋องน้ำมันหล่อลื่น 1 ครั้ง (รูปที่ 2) พาริสันจำนวน 2 หลอดต่อหัวตายใดๆ จะถูกตัดเพื่อนำมาวัดความหนาโดยกำหนดตำแหน่งการวัด 12 จุด ตามเส้นรอบวง และกำหนดตำแหน่งการวัด 10 จุด ตามความยาวแนวตั้ง (Column) ของพาริสัน (รูปที่ 3)

กระป๋องน้ำมันหล่อลื่นจำนวนทั้งหมด 30 ใบ ได้มาจากกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปที่มีการตั้งค่าการเป่าในกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปแสดงในตารางที่ 1 ถูกนำมา

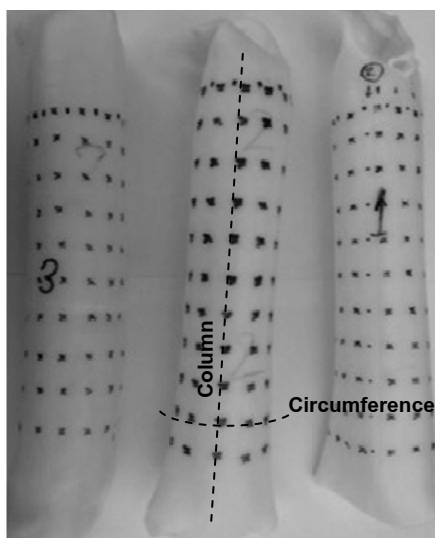
CST-04



รูปที่ 1 ครอบป้องกันน้ำมันหล่อลื่นความจุ 1 ลิตร ผลิตจากวัสดุโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงเกรด H6140B



รูปที่ 2 การอัดรีดพาริสันจากหัวตาย 3 หัว ด้วยเครื่องอัดรีดเป่าขึ้นรูปครอบป้องกันน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 3 แสดงการกำหนดจุดเพื่อวัดความหนาตามแนวความยาว และเส้นรอบวงของพาริสัน

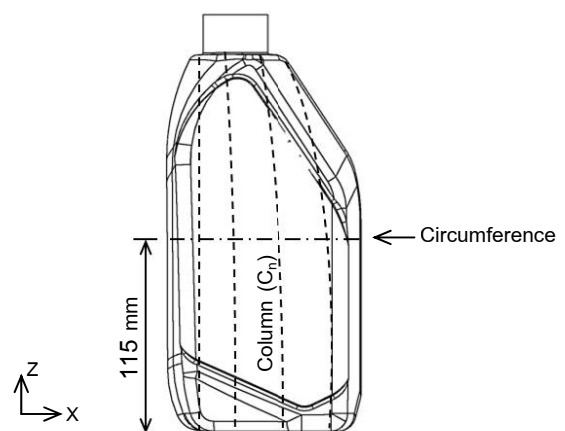
วัดความหนาโดยกำหนดตำแหน่งการวัดให้สอดคล้องกับตำแหน่งการวัดความหนาของพาริสันแสดงได้ในรูปที่ 4

2.2 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระบวนการเป่าขึ้นรูปครอบป้องกันน้ำมันหล่อลื่นรูปร่างเติมใบประกอบด้วยแบบจำลองของเบ้าแม่พิมพ์ และแบบจำลองของพาริสัน (รูปที่ 5) ความหนาเฉลี่ยตามแนวความยาวของพาริสันจะถูกนำมาใช้เพื่อเป็นความหนาเริ่มต้นรอบเส้นรอบวงของพาริสันโดยการแสดงเป็นเจดซี (Contour) ของความหนาของแบบจำลองพาริสัน ความหนาเฉลี่ยมากที่สุดจะแสดงด้วยสีเหลือง และความหนาที่น้อยที่สุดจะแสดงด้วยสีน้ำเงินตามลำดับ เอลิเมนต์ชนิดแผ่นบาง (Shell Element) รูปร่างสี่เหลี่ยมจำนวน 2,880 เอลิเมนต์ ถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองพาริสัน โดยมีการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุของพาริสันแสดงได้ด้วยสมการ (1) และ (2)

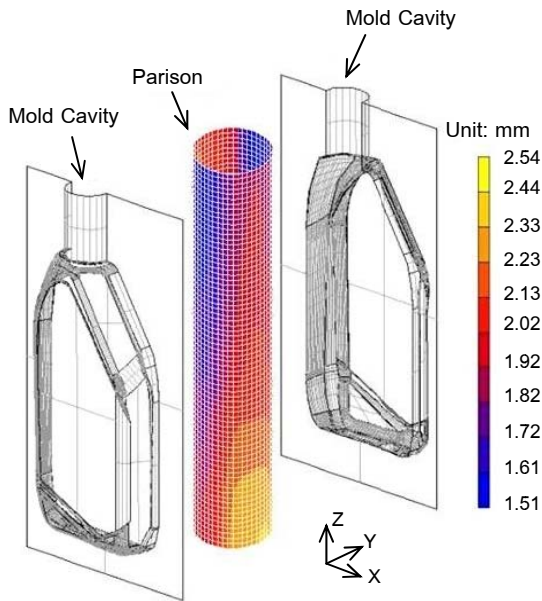
ตารางที่ 1 ค่าการเป่าขึ้นรูปครอบป้องกันน้ำมันหล่อลื่นความจุ 1 ลิตร ในกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูป

Condition	Value	Unit
Parison Diameter	52	mm
Blowing Time	20	sec
Pre-Blowing Time	0.3	sec
Blowing Pressure	6	bar
Pre-Blowing Pressure	0.1	kPa



รูปที่ 4 แสดงเส้นทางของการวัดความหนาครอบป้องกันน้ำมันหล่อลื่นความจุ 1 ลิตร ($n = 1, 2, 3, \dots, 6$)

CST-04



รูปที่ 5 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นแบบเต็มใบ

$$G(t) = G_0 - \sum_{i=1}^n G_i \left(1 - e^{-t/\tau_i}\right) \quad (1)$$

$$\log a_T = \frac{-C_1(T - T_{ref})}{C_2 + (T - T_{ref})} \quad (2)$$

เมื่อ $G(t)$ คือ โมดูลัสการผ่อนคลายความเค้นเฉือน

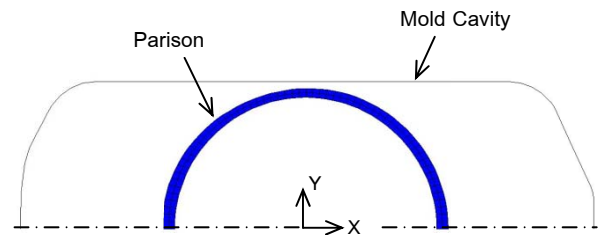
τ คือ เวลาการผ่อนคลาย

a_T คือ ฟังก์ชันการเลื่อนเวลาของอุณหภูมิ

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิง

สมการ (1) เป็นสมการของวัสดุวิสโคอีลาสติกซึ่งใช้ในการแสดงผลการขยายตัวของพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่อุณหภูมิ 180°C โดยสมการ (2) เป็นสมการของ Williams-Landel-Ferry (WLF) ถูกนำมาใช้ในการแสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพาริสันขณะมีการขยายตัว [8]

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นในแนวตัดขวางแสดงในรูปที่ 6 แบบจำลองถูกสร้างเป็นแบบสมมาตรตามแนวแกน x และพิจารณาแนวตัดขวางที่ตำแหน่งความสูงวัดจากกันกระป๋อง 115 mm แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของพาริสันจะถูกสร้างด้วยการใช้เอลิเมนต์ชนิดแผ่นบางรูปร่างสี่เหลี่ยมชนิดระนาบความเครียด (Plane Strain) ในระนาบ X-Y



รูปที่ 6 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นในแนวตัดขวาง

จำนวน 120 เอลิเมนต์ การกำหนดวัสดุเช่นเดียวกับแบบจำลองกระป๋องรูปร่างเต็มใบ ความหนาตามเส้นรอบวงของพาริสันในระนาบ X-Y กำหนดได้ด้วยการสร้างแบบจำลองพาริสันให้มีระยะห่างระหว่างเส้นรอบวงภายในและภายนอกเท่ากับความหนาเฉลี่ยในแต่ละแนวตั้งตามเส้นรอบวงซึ่งวัดค่าได้จากพาริสันจริง เป้าแม่พิมพ์ตามแนวตัดขวางจะถูกกำหนดให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) และถูกวางในตำแหน่งที่แม่พิมพ์ปิด โดยมีการกำหนดค่าตัวแปรของการเป่าเหมือนกับแบบจำลองกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นรูปร่างเต็มใบ

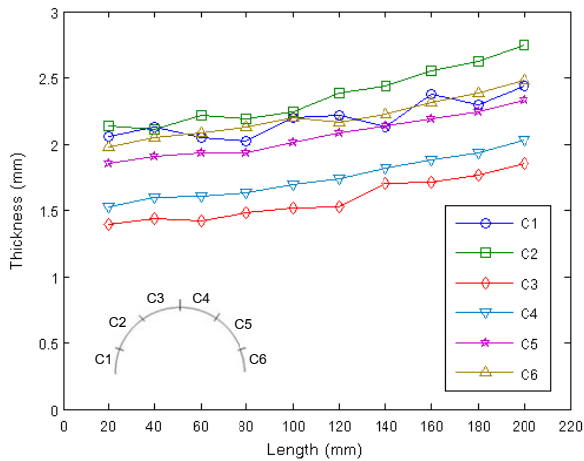
แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการเป่ากระป๋องน้ำมันหล่อลื่นความจุ 1 ลิตร ทั้งสองแบบจำลองใช้ซอฟต์แวร์ MSC.MARC ในการวิเคราะห์ โดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีหน่วยประมวลผลกลาง Core i5 ความเร็ว 3.3 MHz และใช้หน่วยความจำชนิด DDR III ความจุ 4 GB

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวัดความหนาของพาริสันสามารถแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความยาวของพาริสันได้ในรูปที่ 7 โดยความหนาเฉลี่ยตามความยาวในแนวตั้งของตำแหน่งการวัดรอบๆ พาริสันแสดงค่าได้ในตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของความหนาพาริสันจะถูกนำไปใช้เป็นค่าเริ่มต้นของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลการจำลองการเป่าขึ้นรูปกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นรูปร่างเต็มใบสามารถแสดงลำดับการพองตัวของพาริสันจนกระทั่งมีรูปร่างเป็นกระป๋องความจุ 1 ลิตร ได้ในรูปที่ 8 การกระจายความหนาของพาริสันขณะพองตัวแสดงได้ด้วยเจตสี โดยสีเหลืองจะมีค่าความหนาสูงสุด และสีน้ำเงินจะมีค่าความหนาน้อยสุดตามลำดับ

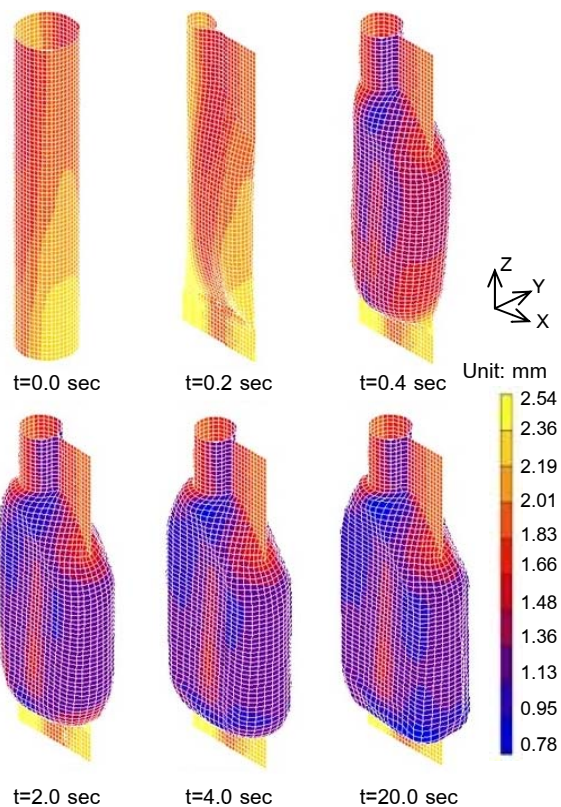
CST-04



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความยาวของพาริสัน

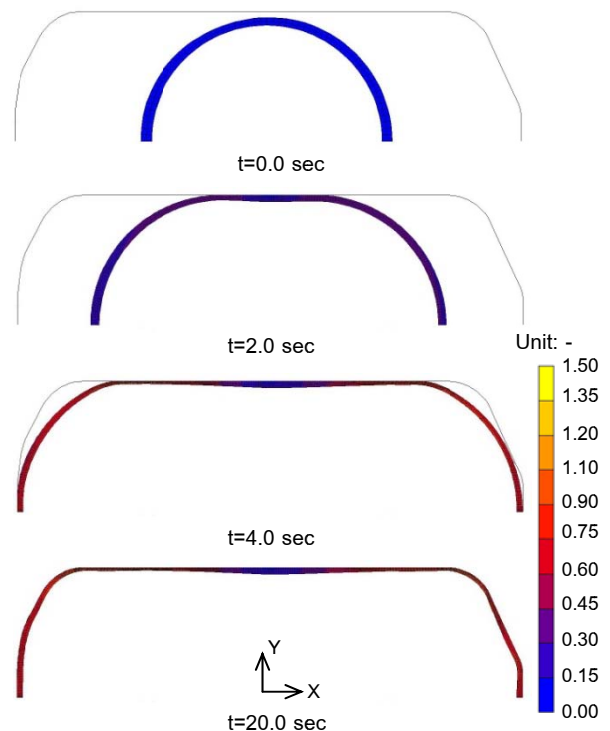
ตารางที่ 2 แสดงค่าความหนาเฉลี่ยตามความยาวของพาริสันในแต่ละแนวตั้ง (Column) ตามเส้นรอบวง

Parison Thickness (mm)					
C1	C2	C3	C4	C5	C6
2.191	2.363	1.581	1.748	2.062	2.202



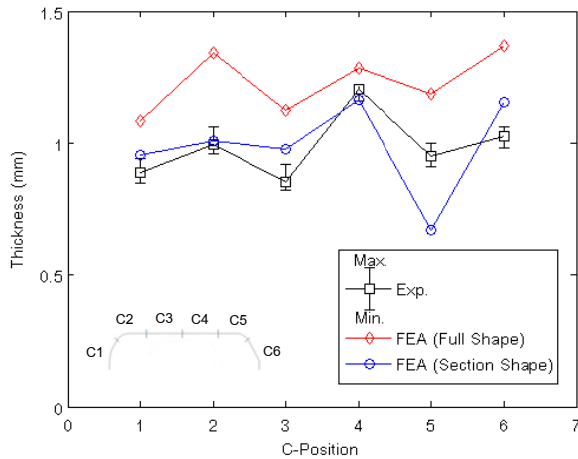
รูปที่ 8 ผลการจำลองการเป่าขึ้นรูปกระป๋องน้ำมันหล่อลื่น
รูปร่างเต็มใบ ณ เวลาใดๆ

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในแนวตัดขวางของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นที่ความสูงจากกันกระป๋อง 115 mm มีผลการคำนวณแสดงลำดับการขยายตัวของพาริสันจนกระทั่งปะทะผิวของเบ้าแม่พิมพ์ได้ในรูปที่ 9 การกระจายความหนาของพาริสันขณะขยายตัวสามารถแสดงเป็นเจดสีของค่าความเครียด (Strain) โดยบริเวณที่มีค่าความเครียดสูงสุดจะแสดงด้วยสีเหลือง และบริเวณที่มีค่าความเครียดต่ำสุดจะแสดงด้วยสีน้ำเงิน ความหนาของกระป๋องบริเวณมุมกระป๋องจะมีค่าน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ โดยจะสังเกตได้ว่าเป็นบริเวณที่มีค่าความเครียดสูงสุด และเมื่อวัดระยะห่างระหว่างผนังด้านนอกนอกและด้านในของกระป๋องจะทำให้ได้ค่าความหนาของกระป๋องจากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ความหนาที่วัดได้จากแบบจำลองกระป๋องรูปร่างเต็มใบและแนวตัดขวางนำมาเปรียบเทียบกับความหนาเฉลี่ยที่ได้จากการวัดกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นจริงสามารถแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบความหนาสุดท้ายของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระป๋องรูปร่างเต็มใบและในแนวตัดขวาง มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.61% และ 17.07% ตามลำดับ



รูปที่ 9 การขยายตัวของพาริสันของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในแนวตัดขวางที่เวลา 0, 2, 4 และ 20 วินาที

CST-04



รูปที่ 10 กราฟแสดงความหนาสุดท้ายของกระป๋อง
น้ำมันหล่อลื่นความจุ 1 ลิตร

4. สรุป

การวิเคราะห์กระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นรูปร่างซับซ้อน ซึ่งใช้วัสดุโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงความจุ 1 ลิตร ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทำให้สามารถคำนวณความหนาสุดท้ายจากกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นได้ก่อนการผลิตจริง แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในแนวหน้าตัดขวางสามารถทำนายความหนาของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นได้แม่นยำมากกว่าแบบจำลองเต็มใบ ซึ่งพิสูจน์ได้จากการเปรียบเทียบความหนากระป๋องภายหลังการเป่าสิ้นสุดของแบบจำลองแบบเต็มใบและแบบจำลองในแนวตัดขวางกับความหนาของกระป๋องน้ำมันหล่อลื่นจริงค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กระป๋องรูปร่างเต็มใบและแนวตัดขวางมีค่า 31.61% และ 17.07% ตามลำดับ นอกจากความแม่นยำในการคำนวณเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการอัดรีดเป่าขึ้นรูปกระป๋องพลาสติกรูปร่างซับซ้อนในแนวหน้าตัดขวางและเวลาในการประมวลผลมีค่าน้อยกว่าแบบจำลองการเป่ากระป๋องพลาสติกแบบเต็มใบ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองเพื่อสนับสนุนการวิจัยจากบริษัทปิโตรพัฒนาพลาสติก จำกัด (มหาชน)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gupta, S., Uday, V., Raghuwanshi, A.S., Chowkshey, S., Das S.N. and Suresh, S. (2013).

Simulation of Blow Molding Using Ansys Polyflow, *APCBEE Procedia*, vol. 5, pp. 468-473.

- [2] Yu, J.H. and Juang, J.Y. (2009). Design Optimization of Extrusion-Blow-Molded Parts Using Prediction-Reliability-Guided Search of Evolving Network Modeling, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 117(1), pp. 222-234.

- [3] Yu, J.C., Chen X.X., Hung, T.R., and Thibault, F. (2004). Optimization of extrusion blow molding processes using soft computing and Taguchi's method, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 15(5), pp. 625-634.

- [4] Huang, G.Q. and Huang, H.X. (2007). Optimizing parison thickness for extrusion blow molding by hybrid method, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 182(1-3), pp. 512-518.

- [5] Shinji, I. and Kosei, K. (1995). Direct observation and simulation of blow molding process, *Nippon Steel Technical Resort*, vol. 67, pp. 43-48.

- [6] Lin, S.J. (1999). Computer simulation of the inflation process in blow molding, *Journal of Reinforce Plastics and Composites*, vol. 18(8), pp. 759-774.

- [7] Debbaut, B., Homerin, O. and Jirraj, N. (1999). A comparison between experiments and predictions for the blow molding of an industrial part, *Polymer Engineering and Science*, vol. 39(9), pp. 1812-1822.

- [8] Laroche, D., Kabanemi, K.K., Pecora, L. and Diraddo, R.W. (1999). Intergrated numerical modeling of the blow molding process, *Polymer Engineering and Science*, vol. 39(7), pp. 1223-1233.

- [9] Tanifuji, S.I., Kikuchi, T., Takimoto, J.I. and Koyama, K. (2000). Overall numerical simulation of extrusion blow molding process, *Polymer Engineering and Science*, vol. 40(8), pp. 1878-1893.

- [10] Marckmann, G., Verron, E. and Pesenx, B. (2001). Finite element analysis of blow molding and thermoforming using a dynamic explicit procedure, *Polymer Engineering and Science*, vol. 41(3), pp. 426-439.