

# การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของร่องบากบน ฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มโดย ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ \*

ตุลธวัช วัฒนสินทรัพย์<sup>1)</sup> และ สำราจ อินแบน<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

<sup>2)</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Email : thanawath@gmail.com

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของร่องบากบนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยศึกษาอิทธิพลของความลึกร่องบาก และอิทธิพลของร่องบากรอง โดยสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม กำหนดให้ความลึกของร่องบากหลักที่ 50%, 62.5%, 75% และ 87.5% ของความหนาฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม และระยะยกปลายแหวนดิ่งระดับ 2, 4, 6 และ 8 mm. ตามลำดับ แบบจำลองของแหวนดิ่งเป็นวัตถุแข็งเกร็งและฝากระป๋องทำจากโลหะ AA5182 กำหนดให้มีคุณสมบัติทางกลพลาสติกแบบกฏยกกำลังไอโซทรอปิก (Power Law of Isotropic Plasticity) เอลิเมนต์สามเหลี่ยมสี่หน้าสี่จุดต่อ แบบจำลองสัมผัสกันแบบผิวสัมผัสกับผิวสัมผัส ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้ ระยะยกปลายแหวนดิ่งที่ระดับใดๆ ค่าความเค้นวอนมิสเชสมีค่าไม่สม่ำเสมอตลอดแนวยาวร่องบากหลัก โดยที่ขนาดความลึกร่องบากหลัก 87.5% ของความหนาฝากระป๋อง มีค่าความเค้นและความเครียดวอนมิสเชสสูงสุดในช่วงบริเวณที่ใกล้กับมุมยึด ทั้งนี้ในทุกระยะยกปลายแหวนดิ่งกระทำต่อร่องบากหลักที่ลึก 75% ของความหนาฝากระป๋อง จะปรากฏว่าเริ่มมีอิทธิพลต่อความเสียหายแล้ว นอกจากนี้ร่องบากรองยังมีอิทธิพลต่อค่าความเค้นและความเครียดต่อร่องบากหลัก

**คำสำคัญ :** ร่องบาก, ฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

---

\* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2550

# Strength Analysis of Notch on a Beverage Can Lid by using Finite Element Method\*

Tunthanawath Thanasinsappaya<sup>1)</sup> and Samruad Inban<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, 40002

<sup>2)</sup> Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, 40002

Email : thanawath@gmail.com

## ABSTRACT

This study was carried out with an objective to analyze the strength of the notch on the lid of a beverage can by finite element method. Influence of the depth of the main score and the anti-fracture score were studied by constructing a finite-element model of the lid. Depths of the notch were specified to be 50%, 62.5%, 75% and 87.5% of the thickness of the lid. The displacements of the lifting ring were specified to be 2, 4, 6 and 8 mm. The lifting ring was assumed to be made from a rigid material which the lid was AA5182 aluminum whose mechanical properties obey the power law of isotropic plastic. The structure of the element was taken as a 10-node tetrahedron and the contact model as surface to surface model. Results of the analysis revealed that for any displacement value of the lifting ring Von-mises stresses were not uniform over the length of the notch. At 87.5% depth of the main score, the lid was found to have the maximum Von-mises stresses and strains in the vicinity of the rivet. In the case of 75% depth of the main score, every displacement value revealed the onset of the damage of the lid. Furthermore, the anti-fracture score influences the stresses and strains of the main score.

**Keywords** : notch, beverage can lid, finite element method.

---

\* Original manuscript submitted: November 15, 2006 and Final manuscript received: April 15, 2007

## บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตกระป๋องบรรจุเครื่องดื่มในประเทศไทย มีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างสูง เห็นได้จากผลิตภัณฑ์กระป๋องต่างๆ ที่มีการนำไปใช้บรรจุเครื่องดื่มเป็นจำนวนมาก จากอดีตการพัฒนากระบวนการผลิตจนถึงปัจจุบันซึ่งอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากบริษัทต่างประเทศสู่ประเทศไทย มีความจำเป็นต่อผู้ประกอบการอย่างยิ่งที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์กระป๋องบรรจุเครื่องดื่มให้ได้คุณภาพ โดยนำไปสู่การวิจัยแบบการพึ่งพาตนเองในประเทศ

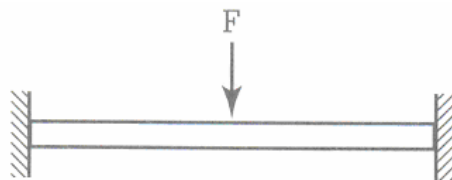
อุตสาหกรรมการผลิตกระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม ประกอบไปด้วยขั้นตอนการผลิตและขั้นตอนที่มีการตรวจสอบคุณภาพอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นกระบวนการผลิตฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ต้องมีการตรวจสอบ เพื่อให้ได้ฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มที่เหมาะสมแก่การใช้งาน ซึ่งพบว่าร่องบากบนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มจะมีรูปแบบร่องบากที่ซับซ้อน จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้ทำการศึกษารูปแบบร่องบากให้เป็นไปตามวิธีการออกแบบด้านงานวิศวกรรม

ในการศึกษาองค์ประกอบของลักษณะรูปร่างที่มีผลต่อความเสียหายแก่ร่องบากบนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม เมื่อมีการยกแหวนดึงฝากระป๋อง โดยนำวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ และการคำนวณเชิงตัวเลขหรือการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีความสามารถและมีประสิทธิภาพมาใช้ในการศึกษาอิทธิพลของการกระจายความเค้นและความเครียดของร่องบากบนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม

## กลศาสตร์วิศวกรรม

### คานประเภทริสเตรน (Restrain Beam)

จากการสังเกตรูปแบบการใช้งานฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม พบว่ารูปแบบการใช้งานเมื่อยกปลายแหวนดึงขึ้นเพื่อถอดฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มนั้น รูปแบบคล้ายกับคานยึดปลายสองข้าง และถูกแรงกระทำแบบจุด ณ บริเวณระหว่างคาน ดังนั้นรูปแบบคานที่มีลักษณะคล้ายกับรูปแบบดังกล่าวนี้ จึงเป็นรูปแบบคานแบบริสเตรน (Restrain Beam) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบคานริสเตรนซึ่งมีขอบเขตปัญหาคล้ายกับการใช้งานของฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม

เมื่อพิจารณาคานที่ถูกภาระภายนอกกระทำ ไม่ว่าจะเป็นแรงกระทำแบบจุด (Concentrated Load) แรงกระทำแบบกระจาย (Distributed Load) หรือผสมกันทั้งสองแบบ การโก่งงอของคานย่อมเกิดขึ้นไม่มากก็น้อย

จากสูตรของการดัดงอ (Flexure Formula) จะได้  $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$  ดังนั้น

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (1)$$

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (2)$$

เมื่อ

$M$  = โมเมนต์ดัดที่เกิดกับคาน (Bending Moment)

$E$  = โมดูลัสความยืดหยุ่น (MPa)

$I$  = โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia)

$\rho$  = รัศมีความโค้งของคาน (mm.)

### ทฤษฎีความเสียหาย (Theory of Failure)

ทฤษฎีความเค้นเฉือนอ็อกตาฮีดรัล จะให้ผลเหมือนกับทฤษฎีพลังงานของการเปลี่ยนรูปสูงสุด โดยพิจารณาจากความเค้นแทนที่จะใช้พลังงานและบางครั้งทฤษฎีความเค้นเฉือนอ็อกตาฮีดรัลนี้มีชื่อเรียกว่า Mises-Hencky เรียกว่าง่าย ๆ ว่าเป็นหลักเกณฑ์ของ Von-mises

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (3)$$

### ทฤษฎีการสัมผัส (Contact Theory)

การสัมผัสของชิ้นส่วนสองชิ้นส่วนมีรายละเอียดการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ตามทฤษฎีการสัมผัสของเฮิร์ตซ์ (Hertz Contact Theory) [P. Boresi Richard, 2003] เป็นดังนี้

$$d = Ax^2 + By^2 \quad (4)$$

โดยที่

$d$  = ระยะทางทั้งหมดที่ใช้ในการสัมผัส

$x, y$  = ค่าพิกัดแกนที่ใช้ในการวิเคราะห์

$$A = \frac{1}{4} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2} \right) - \frac{1}{4} \sqrt{\left[ \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R'_1} \right) + \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R'_2} \right) \right]^2 - 4 \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R'_1} \right) \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R'_2} \right) \sin^2 \alpha}$$

$$B = \frac{1}{4} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2} \right) + \frac{1}{4} \sqrt{\left[ \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R'_1} \right) + \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R'_2} \right) \right]^2 - 4 \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R'_1} \right) \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R'_2} \right) \sin^2 \alpha}$$

$R_1, R_2$  = รัศมีความโค้งของวัตถุที่ 1 และวัตถุที่ 2 ตามลำดับ

$R'_1, R'_2$  = รัศมีความโค้งอีกด้านของวัตถุที่ 1 และวัตถุที่ 2 ตามลำดับ

$\alpha$  = มุมระหว่างระนาบของรัศมีความโค้งหลักของจุดสัมผัส

#### การวิเคราะห์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสถิต (Static Finite Element Analysis)

การวิเคราะห์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสถิตเป็นการวิเคราะห์ปัญหาโดยตัดผลกระทบเนื่องจากตัวห้ำงและแรงเฉื่อยของระบบออก ยกเว้นผลกระทบเนื่องจากความเร่งสถิต สมการของการวิเคราะห์เป็นไปตามสมการที่ (5)

$$[K] \{u\} = \{F\} \quad (5)$$

หรือ

$$[K] \{u\} = \{F^a\} + \{F^r\} \quad (6)$$

โดยที่

$$[K] = \sum_{m=1}^N [K_e] = \text{เมตริกซ์ความแข็งแรงต้งรวม (Total Stiffness Matrix)}$$

$$\{u\} = \text{เมตริกซ์การเคลื่อนตัวของจุด (Nodal Displacement Matrix)}$$

$$N = \text{จำนวนเอลิเมนต์ (Number of Element)}$$

$$K_e = \text{เมตริกซ์ความแข็งแรงของเอลิเมนต์ (Element Stiffness Matrix)}$$

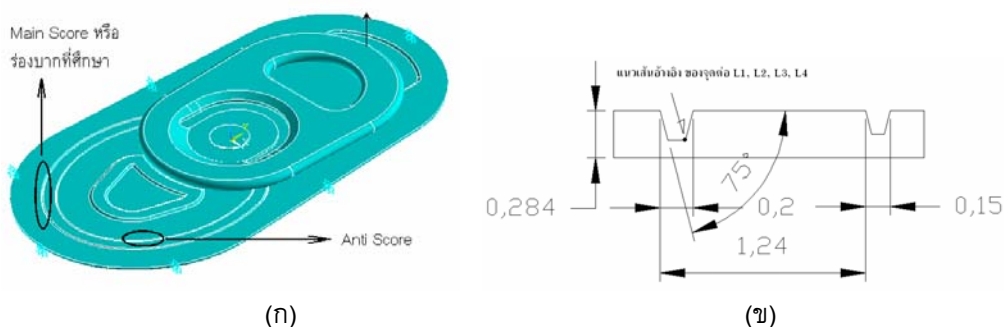
$$\{F^a\} = \text{ภาระทั้งหมดที่กระทำ (Total Applied Load)}$$

$$\{F^r\} = \text{แรงปฏิกิริยา (Reaction Load)}$$

## ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาการกระจายตัวของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของร่องบากบนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. การสร้างแบบจำลองสามมิติของชิ้นส่วนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มและแหวนดิ่ง ดังรูปที่ 2(ก) ประกอบด้วยร่องบากสองประเภทคือ ร่องบากหลัก (Main Score) ทำหน้าที่ในการฉีกขาดขณะเปิดใช้งาน และ ร่องบากรอง (Anti-Fracture Score) ทำหน้าที่ป้องกันการฉีกขาดขณะที่มีการขึ้นรูปร่องบากหลักในกระบวนการผลิต [S.H.A. Boers, 2005] ซึ่งมีรายละเอียดร่องบาก ดังรูปที่ 2(ข)



รูปที่ 2 (ก) แบบจำลองสามมิติของชิ้นส่วนฝากระป๋องและแหวนดิ่ง  
(ข) รายละเอียดร่องบากในการศึกษา

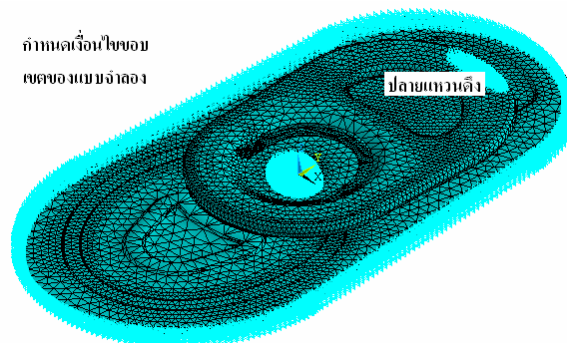
2. พฤติกรรมวัสดุของฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มทำจากโลหะ AA5182 ซึ่งจากการศึกษาคุณสมบัติวัสดุ AA5182 ของ [M. Brunet, 1998] นั้นพบว่าวัสดุมีสมบัติพลาสติกแบบกฎยกกำลังไอโซทรอปิก (Power law Isotropic plasticity)  $\sigma$  (MPa) =  $371.2(0.00324 + \epsilon)^{0.17}$

สมบัติทางกล	แหวนดิ่ง (Rigid Body)	ฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม (AA5182)
$E$ (GPa)	200	146.642
$\nu$	0.33	0.33
$\sigma_y$ (MPa)	-	130
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2680	2650
$n$	-	0.17

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของวัสดุแหวนดิ่งและฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม

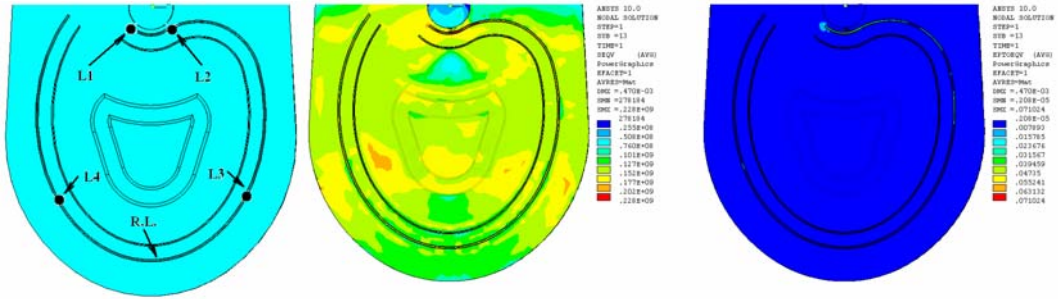
3. เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้กับแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้แก่ ภาวะที่กระทำรวมไปถึงข้อบังคับการเคลื่อนที่ของจุดต่างๆ ในแบบจำลอง ภาวะที่กระทำสำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ ระยะยกปลายแหวนดิ่งเพื่อกดลงฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการกำหนดภาวะให้กับการวิเคราะห์ปัญหาที่มีการสัมผัสกัน การกำหนดระยะการเคลื่อนที่ของผิวบริเวณขอบของชิ้นส่วนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มและบริเวณหมุดยึดแหวนดิ่ง กำหนดให้  $u_x = u_y = u_z = 0$  และระยะยกปลายแหวนดิ่งระยะ  $u_z = 2, 4, 6$  และ  $8$  mm. ตามลำดับ ดังรูปที่ 3

4. การกำหนดเอลิเมนต์ให้กับแบบจำลอง เลือกใช้เอลิเมนต์สามมิติแบบสามเหลี่ยมสี่หน้าสิบจุดต่อ (10-Node Tetrahedral Element Structural) [Saeed Moaveni, 1999] เป็นเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับโครงสร้างที่มีความซับซ้อน ซึ่งในหนึ่งเอลิเมนต์ประกอบไปด้วยจุดต่อ (Node) ทั้งหมด 10 จุดต่อคือ I, J, K, L, M, N, O, P, Q และ R มีดัชนีชี้วัดทิศทางการเคลื่อนที่ (Degree of Freedom) 3 แกนคือ x, y และ z มีคุณลักษณะที่สามารถรองรับการโก่งงออย่างมาก (Large Deflection) ค่าความเครียดอย่างมาก (Large Strain) การสัมผัสกันระหว่างแหวนดิ่งกับชิ้นส่วนของฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองของกระบวนการเพื่อการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกคู่สัมผัสแบบผิวสัมผัสต่อผิวสัมผัส (Surface-to-Surface) [Jeong Kim, 2006] ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงเงื่อนไขขอบเขตและเอลิเมนต์สำหรับแบบจำลอง

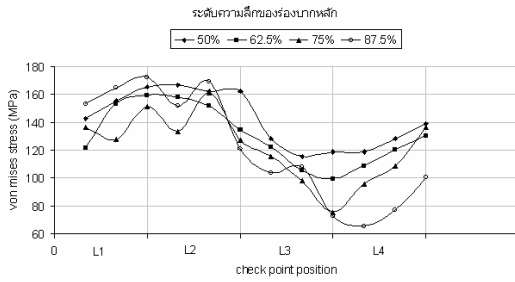
5. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น กำหนดให้อยู่ที่ตำแหน่งแนวเส้นอ้างอิง (Referent Line, R.L.) ซึ่งแนวดังกล่าวจะเป็นแนวเส้นขอบนอกด้านในของร่องบากหลัก ซึ่งมีช่วงระยะของจุดต่อ  $L_1, L_2, L_3, L_4$  ตามลำดับ ดังรูปที่ 4



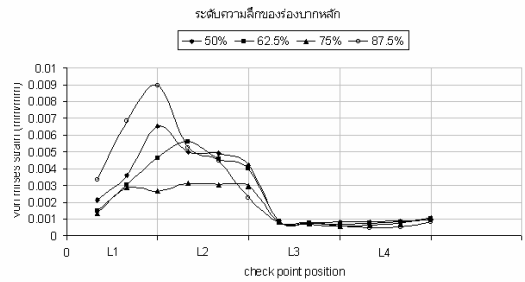
(ก) (ข)  
**รูปที่ 4** (ก) แสดงแนวเส้นอ้างอิงและระยะจุดต่อตามแนวยาวร่องบากหลัก  
 (ข) แสดงการกระจายความเค้นและความเครียดของร่องบาก

### ผลการศึกษา

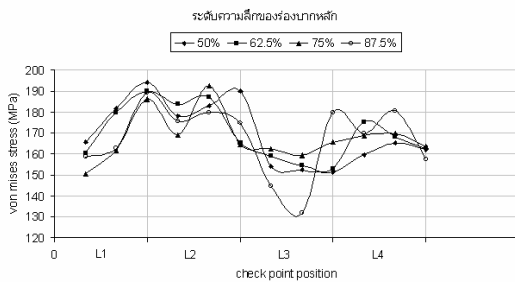
1. ผลการศึกษาอิทธิพลของความลึกของร่องบากหลัก (Main Score) บนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มที่มีผลต่อความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น ในการศึกษาพิจารณาเฉพาะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับความลึกของร่องบากหลักที่ระดับความลึก 50%, 62.5%, 75% และ 87.5% ของความหนาฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม ที่ระยะยกปลายแหวนตั้ง 2, 4, 6 และ 8 mm. ตามลำดับ ได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 5



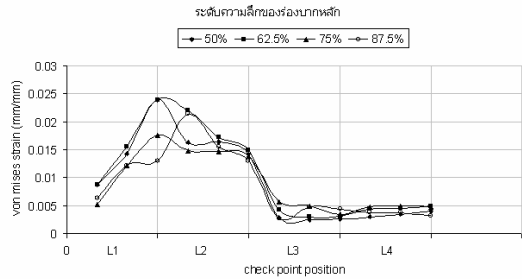
ก) แสดงความเค้นวอนมิสเซอร์ระยะยก 2 mm.



ข) แสดงความเครียดวอนมิสเซอร์ระยะยก 2 mm.

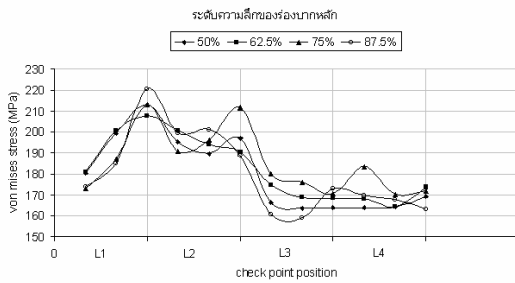


ค) แสดงความเค้นวอนมิสเซอร์ระยะยก 4 mm.

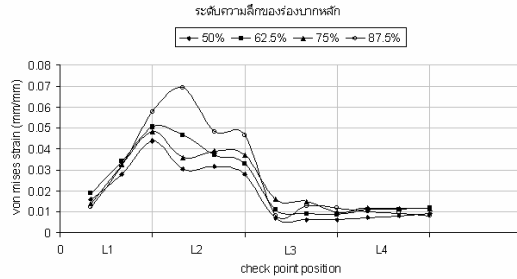


ง) แสดงความเครียดวอนมิสเซอร์ระยะยก 4 mm.

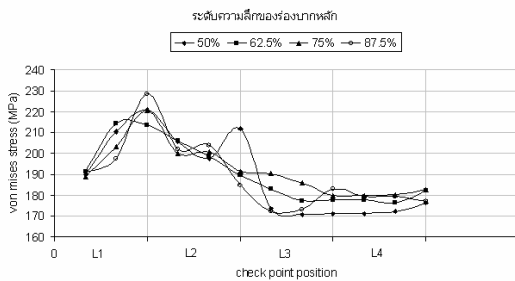




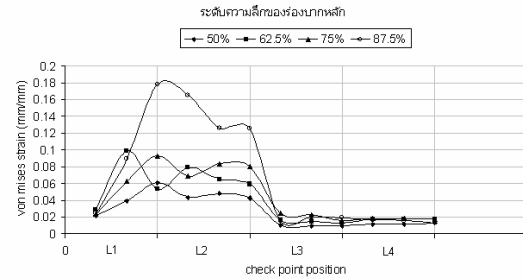
จ) แสดงความเค้นวอนมิสเซอร์ยะยก 6 mm.



ฉ) แสดงความเครียดวอนมิสเซอร์ยะยก 6 mm.



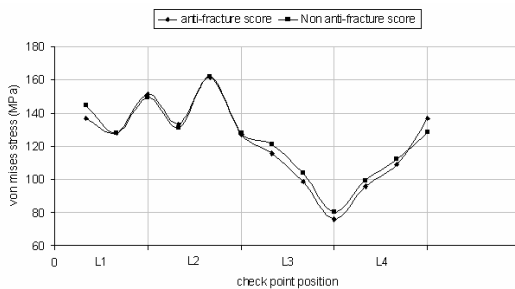
ช) แสดงความเค้นวอนมิสเซอร์ยะยก 8 mm.



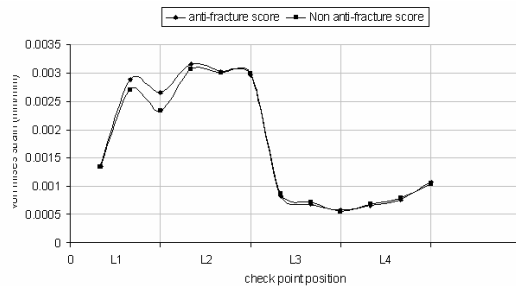
ซ) แสดงความเครียดวอนมิสเซอร์ยะยก 8 mm.

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นวอนมิสเซอร์ยะและความเครียดวอนมิสเซอร์ยะ  
กับระยะของจุดต่อตลอดแนวยาวร่องบากที่ระยะยกปลายแหวนดิ่งต่างๆ

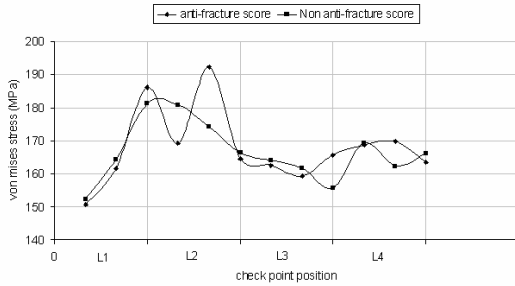
2. ผลการศึกษาอิทธิพลของร่องบากรอง (Anti-Fracture Score) ที่มีผลต่อความเค้นและความเครียดของร่องบากหลัก (Main Score) จากผลการวิเคราะห์ข้อ 1 ร่องบากหลักที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานคือร่องบากหลักขนาด 75% ของความหนาฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม จึงเลือกใช้ร่องบากหลักขนาดดังกล่าวในการศึกษาอิทธิพลของร่องบากรอง จากการศึกษาของ [E. Wootton, 1994] กล่าวว่าร่องบากรองนั้นถูกสร้างขึ้นพร้อมกับการขึ้นรูปร่องบากหลัก เพื่อป้องกันการฉีกขาดของร่องบากหลัก ดังนั้นจึงศึกษาผลความเสียหายของร่องบากหลัก จากกรณีที่มีร่องรองและกรณีที่ไม่มีย่องบากรอง ได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 6



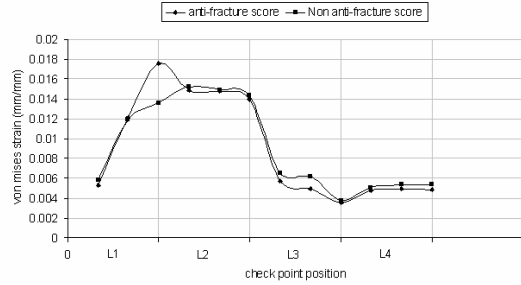
ก) แสดงความเค้นวอนมิสเซอร์ยะยก 2 mm.



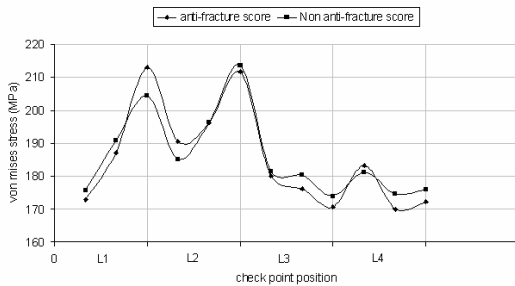
ข) แสดงความเครียดวอนมิสเซอร์ยะยก 2 mm.



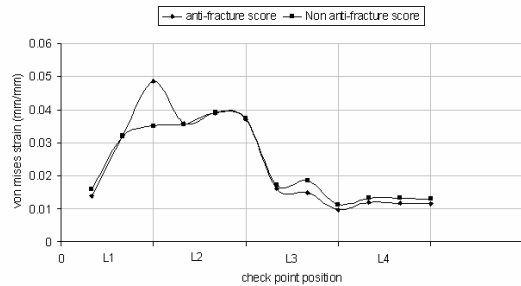
ก) แสดงความเค้นวอนมิสเซอร์ระยะยก 4 mm.



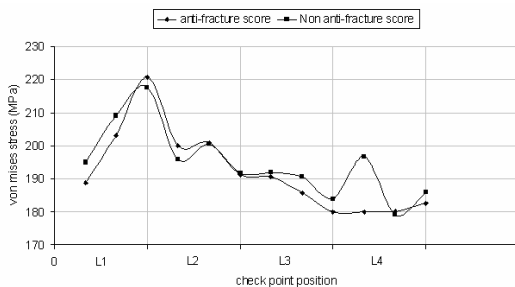
ง) แสดงความเครียดวอนมิสเซอร์ระยะยก 4 mm.



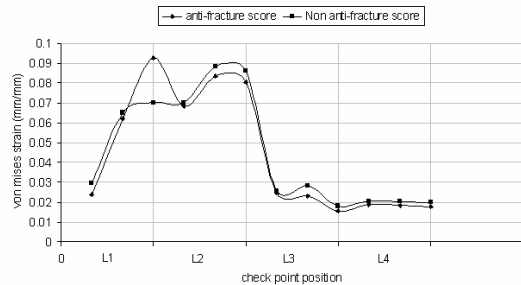
จ) แสดงความเค้นวอนมิสเซอร์ระยะยก 6 mm.



ฉ) แสดงความเครียดวอนมิสเซอร์ระยะยก 6 mm.



ช) แสดงความเค้นวอนมิสเซอร์ระยะยก 8 mm.



ซ) แสดงความเครียดวอนมิสเซอร์ระยะยก 8 mm.

**รูปที่ 6** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นวอนมิสเซอร์และความเครียดวอนมิสเซอร์  
ที่ระยะของจุดต่อตลอดแนวยาวร่องบากที่ระยะยกปลายแหวนดิ่งต่างๆ

### สรุปผลการวิจัย

1. สรุปผลการวิเคราะห์อิทธิพลของความลึกของร่องบากหลัก (Main score) บนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มที่มีผลต่อความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น ผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ร่องบากที่เกิดความเสียหายสูงสุดคือ 82.5%, 62.5%, 50% และ 75% ของความหนาฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มตามลำดับ เมื่อพิจารณาความเค้นครากของวัสดุพบว่า ร่องบากหลักที่เริ่มเกิดความเสียหายเนื่องจากค่า

ความเค้นที่เกิดขึ้นเกินความเค้นครากคือร่องบากหลักขนาด 75% ของความหนาฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม เมื่อเริ่มยกปลายแหวนดิ่ง ดังนั้นความลึกของร่องบากหลักจึงมีส่วนสำคัญ ในการทำให้เกิดความเสียหายของร่องบากหลักต่อการใช้งานฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม ความลึกของร่องบากที่มากขึ้นมีผลให้ความเสียหายสูงขึ้น เมื่อภาระแรงกระทำเท่ากัน

2. สรุปผลการวิเคราะห์อิทธิพลของร่องบากรอง (Anti-Fracture Score) ที่มีผลต่อความเค้นและความเครียดของร่องบากหลัก (Main Score) การวิเคราะห์อิทธิพลร่องบากรองของฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า ที่ภาระของแรงกระทำที่เท่ากัน ในบริเวณร่องบากหลักที่ใกล้กับตำแหน่งของหมุดยึดระหว่างแหวนดิ่งกับฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มนั้น ฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มกรณีมีร่องบากรอง ความเสียหายจะสูงกว่ากรณีที่ไม่มีร่องบากรอง

## วิเคราะห์ผลการศึกษา

ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงของร่องบากบนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม แสดงให้เห็นว่าเมื่อฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มรับภาระแรงกระทำเพิ่มขึ้น ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับร่องบากจะมีผลเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อิทธิพลของความลึกร่องบากก็มีผลเช่นเดียวกันคือ ที่ระดับความลึกของร่องบากหลักที่มากขึ้น ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับร่องบากมีผลเพิ่มขึ้นเช่นกัน ความลึกของร่องบากหลักที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานจากการศึกษาในครั้งนี้ คือ ร่องบากหลักที่มีขนาดความลึก 75% ของความหนาฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม และต้องประกอบด้วยร่องบากรอง เพื่อช่วยให้ร่องบากหลักมีความเสียหายเพิ่มขึ้น ในบริเวณร่องบากหลักที่ใกล้กับหมุดยึดของแหวนดิ่งกับฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม

ข้อสังเกตค่าความเค้นซึ่งเป็นค่าอ้างอิงความเสียหายตามทฤษฎีความเสียหาย ซึ่งพบว่าค่าความเค้นบริเวณตำแหน่ง  $L_1$  มีค่ามากกว่าตำแหน่ง  $L_4$  ซึ่งพิจารณาเป็น 2 ประเด็น คือกรณีที่ภาระแรงกระทำเท่ากัน ค่าความเค้นที่ตำแหน่ง  $L_1$  มีค่าที่สูงกว่าตำแหน่ง  $L_4$  เนื่องจากตำแหน่งของ  $L_1$  เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับบริเวณรับแรงมากกว่าตำแหน่งของ  $L_4$  และกรณีที่ภาระแรงมีการเปลี่ยนแปลง(ที่ระยะยกปลายแหวนดิ่งระดับต่าง ๆ) ค่าความเค้นที่ตำแหน่ง  $L_1$  มีค่าที่สูงกว่าตำแหน่ง  $L_4$  เนื่องจากตำแหน่งของ  $L_1$  เป็นบริเวณเริ่มต้นของร่องบาก เมื่อรับภาระแรงที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงเกิดความเค้นสะสม ณ ตำแหน่งของ  $L_1$  ส่วนตำแหน่งของ  $L_4$  ซึ่งเป็นร่องบากปกติเมื่อรับภาระแรงที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงมีการถ่ายเทความเค้นสู่บริเวณอื่นหรือข้างเคียง

## เอกสารอ้างอิง

- Arthur P. Boresi Richard, J. Schmidt and Omar M. Sidebottom. **Advanced Mechanics of Material**. 6<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley & Sons., Inc. ; 2003.
- S.H.A. Boers, P.J.G. Schreurs, M.G.D. Geers. Operator-split damage-plasticity applied to groove forming in food can lids. **International Journal of Solids and Structures** 2005; 4154-4178.

- M. Brunet, S. Mguil, F. Morestin. Analytical and experimental studies of necking in sheet metal forming processes. **Journal of Materials Processing Technology** 1998; 40-46.
- Saeed Moaveni. **Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS**. New Jersey: Practice-Hall; 1999.
- Jeong Kim, Joo-Cheol Yoon, Beom-Soo Kang. Finite element analysis and modeling of structure with bolted joints. **Applied Mathematical Modelling** 2006.
- Eric Wootton, Alcan Deutshland, GmbH Göttingen. **Case Study on Can Making**. TALAT Lecture 3710. [online] 1994.