

การศึกษาอิทธิพลของรูปแบบร่องบากที่มีผลต่อค่าความแข็งแรง
ของร่องบากบนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

The Effect of Notch Profiles to Notch Strength on Lid Beverage Can
using Finite Element Method

ตุลธวัช ฐนสินทรัพย์¹ สรรวจ อินแบน²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทร 0-4320-2845 โทรสาร 0-4320-2849 Email: thanawath@gmail.com¹ saminb@kku.ac.th²

Tunthanawath Thanasinsappaya¹ Samruad Inban²

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University,

Khon Kaen, 40002 Thailand

Tel: 0-4320-2845 Fax: 0-4320-2849 Email: thanawath@gmail.com¹ saminb@kku.ac.th²

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลรูปแบบร่องบากที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของร่องบากบนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เรียกว่า ANSYS [1] เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติของฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม(Lid Beverage Can) และแหวนดึง (Tab) [2],[3] โดยกำหนดให้แบบจำลองรับภาระแรงกระทำบริเวณปลายแหวนดึง สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมวัสดุเป็นแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear-Elastic) ทำการศึกษาารูปแบบร่องบากแบบ Trapezoid, Asymmetric, และ Parabolic ตามลำดับ และพิจารณาค่าความเค้นเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณร่องบากในแต่ละรูปแบบจากโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มระยะยกปลายแหวนดึง ค่าความเค้นเสียหายที่เกิดขึ้นในร่องบากจะมีค่าสูงขึ้นและรูปแบบร่องบากที่เกิดความเสียหายสูงสุดคือรูปแบบชนิดที่เป็น Parabolic, Trapezoid และ Asymmetric ตามลำดับ

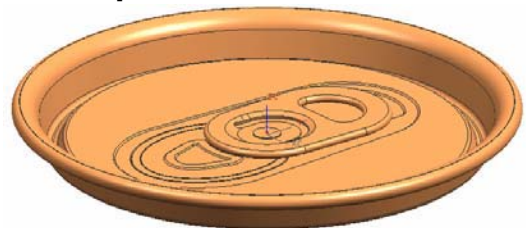
Abstract

The objective of this study is to study effect of notch profiles to notch strength on lid beverage can using finite element method. Created 3D model of easy open can. The load is applied at the end of the tab. The material model is linear-elastic to study notch profiles Trapezoid, Asymmetric and Parabolic. To consideration each notch profiles to notch strength in finite element programs. The result found that, the damage trend to increase if the displacement of the end tab is upper. The

maximum damage of notch profile is Parabolic, Trapezoid and Asymmetric respectively.

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตกระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม (Lid Beverage Can) ประกอบไปด้วยขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อน ดังนั้นควรที่จะมีการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อให้ได้ฝากระป๋องที่เหมาะสมต่อการใช้งาน จากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าร่องบากบนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มมีรูปแบบร่องบากเพื่อประโยชน์แก่การใช้งาน 3 รูปแบบคือ Trapezoid, Asymmetric, และ Parabolic [4] ดังนั้นจึงทำการศึกษารูปแบบร่องบากโดยการสร้างแบบจำลองสามมิติของฝากระป๋องบรรจุและแหวนดึง (Tab) ดังรูปที่ 1 พร้อมกำหนดให้พฤติกรรมวัสดุฝากระป๋อง เป็นเนื้อเอกพันธ์ (Homogeneous) มีคุณสมบัติไอโซโทรปิก(Isotropic) การวิเคราะห์วัสดุเป็นแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear-Elastic) และแหวนดึงเป็นวัสดุแข็งแรง ทำการศึกษาระยะยกของแหวนที่มีผลต่อความเสียหายของแต่ละรูปแบบของร่องบาก



รูปที่ 1 ฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มและแหวนดึง

2. ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีผิวสัมผัส (Contact Theory) [5]

การสัมผัสกันของชิ้นงานคู่ประกอบเป็นสิ่งสำคัญต่อการศึกษาการสัมผัสกันระหว่างชิ้นงานเป็นการสัมผัสแบบเชิงเส้น มีรายละเอียดการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ตามทฤษฎีการสัมผัสของเฮิร์ตซ์ (Hertz Contact Theory)

$$d = Ax^2 + By^2 \quad (1)$$

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

α = มุมระหว่างระนาบของรัศมีความโค้งหลักของจุดสัมผัส

2.1.1 การสัมผัสแบบเชิงเส้น

จากการศึกษาเมื่อการสัมผัสเกิดการลื่นไถล ความเค้นเฉือนบริเวณพื้นที่สัมผัสจะเกิดแรงต้านความเสียดทานขึ้น Smith และ Liu ได้คิดใช้สมการในการหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นดังนี้

$$\sigma_{zz} = -\frac{b}{\pi\Delta} \left[z(b\phi_1 - x\phi_2) + \beta z^2 \phi_2 \right] \quad (2)$$

$$\sigma_{xx} = -\frac{b}{\pi\Delta} \left\{ z \left(\frac{b^2 + 2z^2 + 2x^2}{b} \phi_1 - \frac{2\pi}{b} - 3x\phi_2 \right) + \beta \left[(2x^2 - 2b^2 - 3z^2) \phi_2 + \frac{2\pi x}{b} + 2(b^2 - x^2 - z^2) \frac{x}{b} \phi_1 \right] \right\} \quad (3)$$

$$\sigma_{yy} = -\frac{2vb}{\pi\Delta} \left\{ z \left(\frac{b^2 + x^2 + z^2}{b} \phi_1 - \frac{\pi}{b} - 2x\phi_2 \right) + \beta \left[(x^2 - b^2 - z^2) \phi_2 + \frac{\pi x}{b} + (b^2 - x^2 - z^2) \frac{x}{b} \phi_1 \right] \right\} \quad (4)$$

$$\sigma_{zx} = -\frac{b}{\pi\Delta} \left\{ z^2 \phi_2 + \beta \left[(b^2 + 2x^2 + 2z^2) \frac{z}{b} \phi_1 - 2\pi \frac{z}{b} - 3xz\phi_2 \right] \right\} \quad (5)$$

โดยที่

$$\phi_1 = \frac{\pi(M+N)}{MN\sqrt{2MN+2x^2+2z^2-2b^2}}$$

$$\phi_2 = \frac{\pi M - N}{MN\sqrt{2MN+2x^2+2z^2-2b^2}}$$

เมื่อ

$$M = \sqrt{(b+x)^2 + z^2}$$

$$N = \sqrt{(b-x)^2 + z^2}$$

2.2 ความเสียหายของวัสดุ

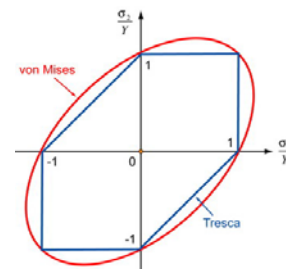
2.2.1 ทฤษฎีความเสียหายอ็อคตาอีดรัล [5]

วัสดุจะเริ่มแตกเมื่อความเค้นเฉือนอ็อคตาอีดรัลสูงสุดในชิ้นงานที่อยู่ภายใต้ความเค้นรวม มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนอ็อคตาอีดรัลที่ได้จากการทดสอบด้วยการดึงอย่างง่าย ในกรณีความเค้นในระบบ 3 มิติ ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) ดังสมการ

$$\frac{1}{3} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_y \quad (6)$$

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_y^2 \quad (7)$$

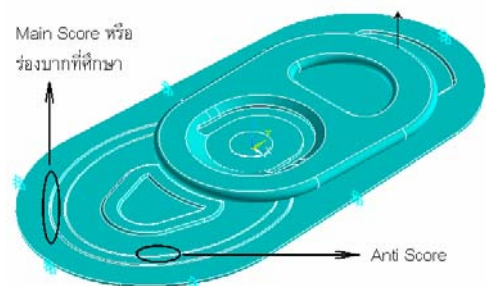
รูปที่ 2 อธิบายความเสียหายที่เกิดขึ้นด้วยรูปวงรี พบว่าจากสมการที่ 7 อยู่ในรูปของผลต่างของความเค้นหลักเท่านั้น เมื่อเพิ่มค่าของความเค้นหลักในแต่ละตัวเท่าๆกัน จะไม่มีผลของการครากตัวของวัสดุเปลี่ยนไป



รูปที่ 2 ขอบเขตการครากตามทฤษฎีความเสียหายอ็อคตาอีดรัล

3. การดำเนินการวิจัย

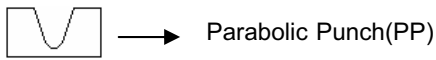
สร้างแบบจำลองฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่มและแหวนดิ่งสำหรับเปิดฝา โดยสร้างรูปแบบร่องบากบนฝากระป๋องบรรจุเครื่องดื่ม Trapezoid, Asymmetric, และ Parabolic ดังรูปที่ 3



AMM043



Asymmetric Punch(AP)



Parabolic Punch(PP)



Trapezoid Punch(TP)

รูปที่ 3 แบบจำลองการวิเคราะห์และลักษณะร่องบาก

3.1 คุณสมบัติของวัสดุ

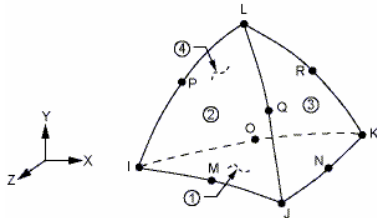
วัสดุชิ้นงานกำหนดให้มีคุณสมบัติแบบไอโซโทรปิกแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น ซึ่งกำหนดให้แหวนดึง(Tab) ทำจากวัสดุ AA5052 และฝากระป๋องทำจากวัสดุ AA5182 โดยคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

	E (GN/m ²)	ν
Tab [2], [6]	70	0.33
Lid End [3], [7]	69.6	0.33

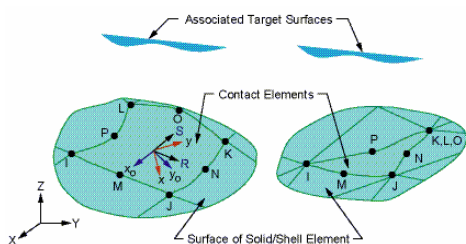
3.2 เอลิเมนต์

การศึกษากำหนดให้เอลิเมนต์ของแบบจำลองเป็นโครงสร้างสามเหลี่ยมสี่หน้า สิบจุดต่อ (10-Node Tetrahedral Structural Solid) คือ I, J, K, L, M, N, O, P, Q และ R สามองศาอิสระเคลื่อนที่ในทิศทาง X ทิศทาง Y และทิศทาง Z ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะเอลิเมนต์ 10-Node Tetrahedral Structural Solid [1]

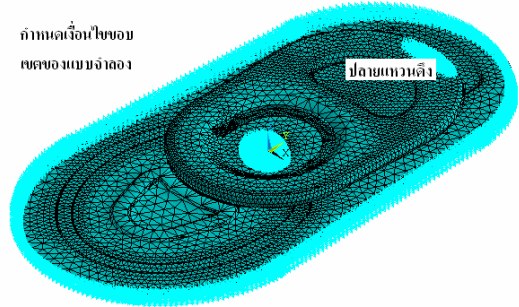
ในการวิเคราะห์แบบจำลองพบว่าการสัมผัสของชิ้นส่วนแหวนดึงและฝากระป๋องซึ่งจำเป็นต้องกำหนดเอลิเมนต์การสัมผัสของทั้งสองชิ้นส่วนซึ่งกำหนดให้เอลิเมนต์การสัมผัสกันเป็นแบบ ผิวสัมผัสกับผิวสัมผัส (Surface to Surface) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เอลิเมนต์สัมผัส แบบผิวสัมผัสกับผิวสัมผัส [1]

3.3 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

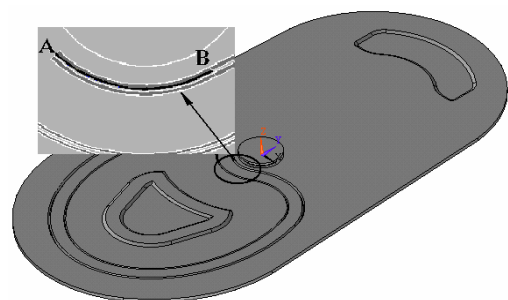
รูปร่างแบบจำลอง ภายหลังที่มีการกำหนดเอลิเมนต์และเอลิเมนต์สัมผัส และการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการเคลื่อนที่ของผิวขอบชิ้นส่วนฝากระป๋อง $u_x = u_y = u_z = 0$ และระยะยกปลายแหวนดึง $u_z = 2, 4, 6$ และ 8 mm. ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

3.4 วิธีการวัดค่าพารามิเตอร์

เนื่องจากการศึกษาเป็นการศึกษาโครงสร้างสามมิติที่มีความซับซ้อน จึงจำเป็นต้องมีจุดหรือแนวอ้างอิงในการพิจารณาความเป็นไปได้ที่จะเกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงาน และจากความรู้เรื่องคานยึดที่ปลายด้านหนึ่งและกำหนดปลายคานอีกด้านหนึ่งรับภาระกระทำ พบว่าเกิดความเสียหายที่บริเวณปลายคานที่ยึด ดังนั้นในการพิจารณาการศึกษานี้ จึงกำหนดแนวอ้างอิง AB ซึ่งเป็นเส้นแนวขอบนอกด้านในของร่องบากหลัก (Main Score) เพื่อใช้ในการพิจารณาความเสียหาย ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แนวอ้างอิงประกอบการพิจารณาความเสียหาย

4. ผลการศึกษา

4.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องแม่นยำ จึงเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการคำนวณโดยใช้สมการแม่นยำตรง ตามทฤษฎีของ Hertz [8] ซึ่งได้ผลการเปรียบเทียบปัญหา Static Hertz Problem ดังตารางที่ 2

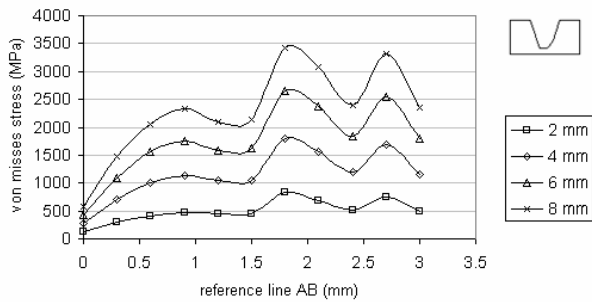
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับสมการแม่นยำตรง

ระยะทั้งหมดที่ใช้ในการสัมผัส (mm.)	FEM	Exact Solution	Error (%)
d	1.010	1.011	0.89

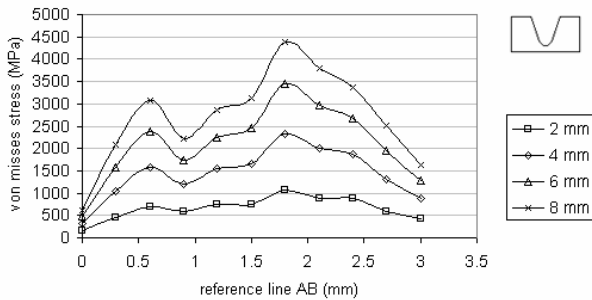
AMM043

4.1 ศึกษาอิทธิพลของระยะยกปลายแหวนดิ่งต่อร่องบากรูปแบบต่าง ๆ

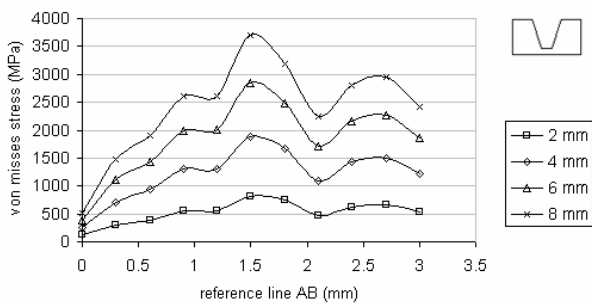
ในกระบวนการศึกษากำหนดรูปแบบร่องบาก 3 รูปแบบ คือ trapezoid, asymmetric, และ parabolic เพื่อพิจารณาค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นบนร่องบากในแต่ละรูปแบบ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระยะยกของปลายแหวนดิ่งที่ระดับ 2, 4 และ 8 mm จากการศึกษาพบว่า ระยะยกปลายแหวนดิ่งที่มีขนาดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเสียหายในแนวอ้างอิง AB เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 8



ก) รูปแบบร่องบากแบบ Asymmetric



ข) รูปแบบร่องบากแบบ Parabolic



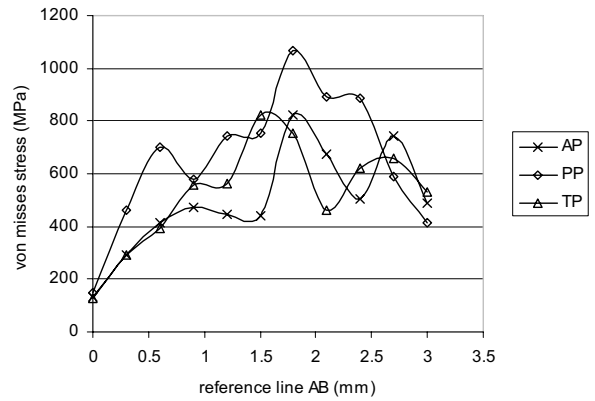
ค) รูปแบบร่องบากแบบ Trapezoid

รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและระยะแนวอ้างอิง AB โดยพิจารณาระยะยกปลายแหวนดิ่งในแต่ละรูปแบบร่องบาก

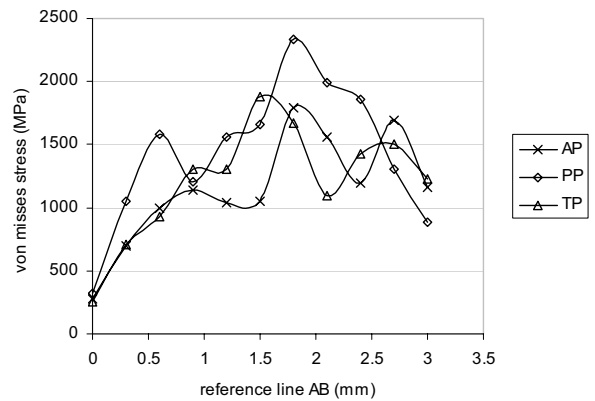
4.2 ศึกษาอิทธิพลของรูปแบบร่องบากต่อความเสียหายที่เกิดขึ้น

การศึกษาค่าอิทธิพลของรูปแบบร่องบากแบบ trapezoid,

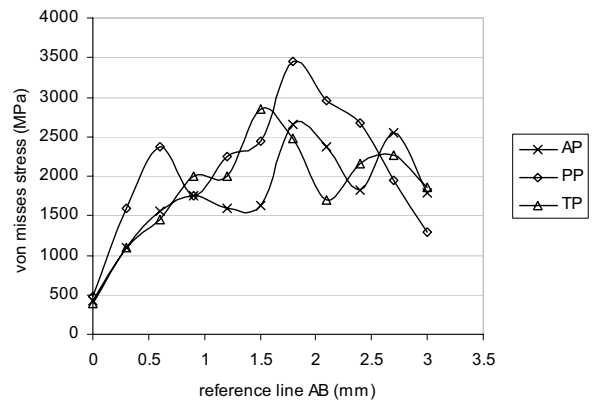
asymmetric, และ parabolic ต่อความเสียหายที่เกิดขึ้น ในแต่ละระยะการยกปลายแหวนดิ่ง 2, 4, 6 และ 8 mm. จากการพิจารณาความเค้นเสียหายของแนวอ้างอิง AB พบว่าความเสียหายสูงสุดเกิดขึ้นกับร่องบากแบบ parabolic, trapezoid และ asymmetric ตามลำดับ ดังรูปที่ 9



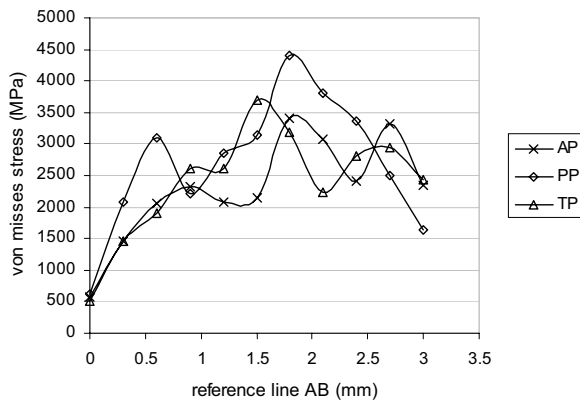
ก) ระยะยกปลายแหวนดิ่ง 2 mm.



ข) ระยะยกปลายแหวนดิ่ง 4 mm.



ค) ระยะยกปลายแหวนดิ่ง 6 mm.



ง) ระยะยกปลายแหวนถึง 8 mm.

รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและระยะทางบนแนว AB โดยพิจารณาเปรียบเทียบรูปแบบร่องบากแต่ละระยะยกปลายแหวนถึง

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะยกปลายแหวนถึง เมื่อระยะยกปลายแหวนถึงสูงขึ้น ความเสียหายที่เกิดกับร่องบากจะเพิ่มขึ้น และการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบร่องบาก พบว่ารูปแบบร่องบากที่มีความเสียหายสูงสุดคือ รูปแบบของร่องบากแบบ parabolic, trapezoid และ asymmetric ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Theory Manual, ANSYS Release 10.0 Help Files.
- [2] Introduction to Canmaking, PAC international, inc., 1995.
- [3] Eric Wootton, Alcan Deutschland GmbH and Gottingen. Case Study on Can Marking. EAA-European Aluminium Association, 1994.
- [4] S.H.A. Boers, P.J.G. Schreurs, M.G.D. Geers., 2005. Operator-split damage-plasticity applied to groove forming in food can lids. International Journal of Solids and Structures 42., 4154-4178, December 1, 2004.
- [5] Arthur P.Boresi , Richard J. Schmidt and Omar M. Sidebottom. Advanced Mechanics of Materials. 6th ed. John Wiley & Sons, inc., 1999.
- [6] Material property data. AA5182, AA5052 Available from: <http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum>.
- [7] ตูลฐนวัฒน์ ชนสิทธิ์พย์, ส้ารวจ อินแบน. การศึกษาอิทธิพลของขนาดและรูปร่างรอยบากต่อค่าความเค้นเข้มข้นในโลหะอลูมิเนียม AA5182 โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต.
- [8] VM63. Static Hertz Contact Problem, ANSYS Release 10.0 Help Files.