

# การศึกษาอิทธิพลของขนาดและรูปร่างรอยบากต่อค่าความเค้นเข้มข้นใน โลหะอลูมิเนียม AA5182 โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

## The effect of Dimensional and Notch Profile to Stress Intensity Factor for Aluminum AA5182 by Finite Element Method

ตุลธวัช ธานสินทรัพย์<sup>1</sup> สารว จินแบน<sup>2</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทร 0-4320-2845 โทรสาร 0-4320-2849 Email: thanawath@gmail.com<sup>1</sup> saminb@kku.ac.th<sup>2</sup>

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

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

Khon Kaen, 40002 Thailand

โทร 0-4320-2845 โทรสาร 0-4320-2849 Email: thanawath@gmail.com<sup>1</sup> saminb@kku.ac.th<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาค่าความเค้นเข้มข้นต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดรอยบากโลหะอลูมิเนียม AA5182 โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS[1] โดยสร้างแบบจำลองของคานยื่น ที่มีรอยบากแบบตัววี(V-notch) รอยบากตัวยู(U-notch) และรอยบากปลายแหลม(sharp edge-notch) อยู่บริเวณกึ่งกลางคาน ในระนาบ 2 มิติขนาด 3×10 mm. โดยกำหนดให้แบบจำลองรับภาระแรงกระทำบริเวณปลายคาน การวิเคราะห์เป็นแบบความเครียดระนาบ พฤติกรรมวัสดุเป็นแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น(linear-elastic) ทำการศึกษาที่ความกว้างรอยบาก(open notch) 0.1, 0.2, 0.3 mm และความยาวรอยบากที่(notch length) 1, 1.2, 1.4, 1.6 และ 1.8 mm ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อค่าความกว้างและความยาวเท่ากัน ค่าความเค้นเข้มข้นของความเค้นของรอยบากปลายแหลม(sharp edge-notch) จะมีค่าสูงกว่ารอยบากรูปตัววี(V-notch) และรอยบากตัวยู(U-notch) ตามลำดับ

### Abstract

The objective of this study is to study effect of the dimension and notch profile to stress intensity factor of Aluminium AA5182 using finite element method, ANSYS Program. The 3×10 mm. two dimensional cantilever beam with V-notch, U-notch, sharp edge-notch at center were modeled. The load is applied at the end of the beam model. Plane strain analysis was used to simulate the results. The material model is linear-elastic. The open notch 0.1, 0.2, 0.3 mm. and the notch length 1, 1.2, 1.4, 1.6

and 1.8 mm. were considered in this study. The result found that; at the same notch dimension. The stress intensity factor of the sharp edge-notch is larger than the V-notch and U-notch.

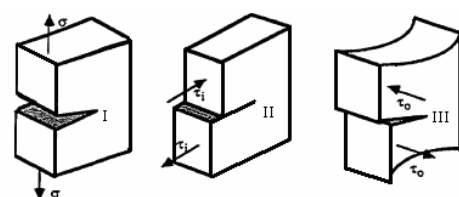
**Keywords:** stress intensity factor, notch profile, FEM

### 1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องเครื่องดื่มที่มีลักษณะฝากระป๋องทำจากวัสดุอลูมิเนียม AA5182 และเพื่อความสะดวกต่อการบริโภค ซึ่งต้องใช้แรงดึงฝากระป๋องให้ฉีกขาด เบื้องต้นจึงควรศึกษาพฤติกรรมรอยบากในวัสดุโลหะดังกล่าว โดยทำการวิเคราะห์หาลักษณะของมีรูปร่างรอยบากที่เหมาะสม ดังนั้นบทความนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดและรูปร่างรอยบากต่อค่าความเค้นเข้มข้นในแนวแกน(KI) และแนวภาคตัดขวางของคาน(KII) ด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยอาศัยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของคานยื่น

### 2. ทฤษฎี

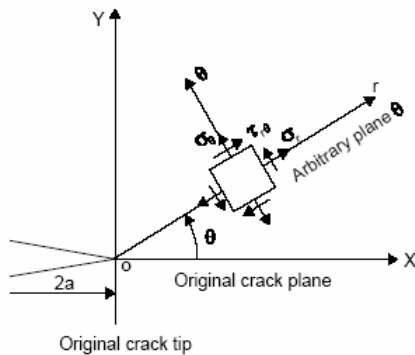
#### 2.1 ค่าตัวประกอบความเค้นเข้มข้น (Stress intensity factor)



รูปที่ 1 ลักษณะเบื้องต้นพิจารณาการแตกหัก

กลศาสตร์การแตกหัก (Fracture Mechanic) แบ่งลักษณะการแยกตัวของผิวรอยร้าวเป็น 3 โหมด คือ โหมดหนึ่ง Opening Mode ผิวรอยร้าวจะถูกดึงให้แยกออกจากกันโดยตรง โหมดสอง Shearing Mode ผิวรอยร้าวถูกเฉือนไปตามทิศของแรงกระทำ แรงเฉือนจะตั้งฉากกับขอบของรอยร้าว โหมดสาม Tearing Mode ผิวรอยร้าวจะถูกเฉือนให้ฉีกขาดโดยมีแรงเฉือนขนานกับรอยร้าวดังรูปที่ 1

Irwin[2] หาค่าการกระจายของความเค้นและการเปลี่ยนขนาดบริเวณรอบปลายรอยร้าวที่อยู่ภายใต้การแตกหักเชิงเส้น (linear-elastic fracture mechanics: LEFM) เป็นกรณีระนาบความเครียด (plane strain) เรียกว่าความเค้นเข้มข้น (Stress Intensity Factor: SIF) มีรูปแบบสมการตามสมการที่ (1)



รูปที่ 2 เอลิเมนต์ที่จุดปลายรอยร้าวที่มุม  $\theta$  ใดๆ

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta) \quad (1)$$

โดยที่  $K$  คือความเค้นเข้มข้น (stress intensity factor: SIF) เมื่อ  $K_I$ ,  $K_{II}$ ,  $K_{III}$  คือโหมดการแตกหัก โหมดหนึ่ง, โหมดสอง, โหมดสาม ตามลำดับ  $f_{ij}(\theta)$  คือฟังก์ชันขนาดที่มุม  $\theta$  เมื่อพิจารณาความเค้นบริเวณปลายรอยร้าวพบว่า  $r$  มีแนวโน้มเข้าใกล้ศูนย์ ดังรูปที่ 2

## 2.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะแบ่งโครงสร้างออกเป็นส่วนเล็กๆ เกิดจุดที่มาบรรจบกันเรียกว่า node ถ้าเรากำหนดตำแหน่งของจุดต่างๆ เราก็สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง การกระจายของชิ้นส่วน และแรงที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานส่วนนั้นได้ ชิ้นส่วนเล็กๆที่ใช้วิเคราะห์เชิงเส้นมีสมการคือ

$$[K]\{\delta\} = \{F\} \quad (2)$$

โดยที่  $[K]$  คือเมทริกซ์ความแข็งแรง  $\{F\}$  คือเวกเตอร์แรงกระทำ  $\{\delta\}$  คือเวกเตอร์การกระจายของจุด (node) ในแบบสามมิติ  $u, v, w$ [3]

$$u = \frac{K_I}{4G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left( (2\kappa - 1) \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{3\theta}{2} \right) - \frac{K_{II}}{4G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left( (2\kappa + 3) \sin \frac{\theta}{2} + \sin \frac{3\theta}{2} \right) + 0(r) \quad (3)$$

$$v = \frac{K_I}{4G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left( (2\kappa - 1) \sin \frac{\theta}{2} - \sin \frac{3\theta}{2} \right) - \frac{K_{II}}{4G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \left( (2\kappa + 3) \cos \frac{\theta}{2} + \cos \frac{3\theta}{2} \right) + 0(r) \quad (4)$$

$$w = \frac{2K_{III}}{G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \sin \frac{\theta}{2} + 0(r) \quad (5)$$

โดยที่  $u, v$  และ  $w$  เป็นการกระจายของระบบพิกัดเชิงเส้น

$r, \theta$  เป็นการกระจายของระบบพิกัดทรงกระบอก

$G$  เป็นโมดูลัสเฉือน

$K_I, K_{II}, K_{III}$  คือโหมดการแตกหัก โหมดหนึ่ง, โหมดสอง, โหมดสาม ตามลำดับ

$\kappa = 3 - 4\nu$  กรณีระนาบความเครียดสมมาตรแกนและ

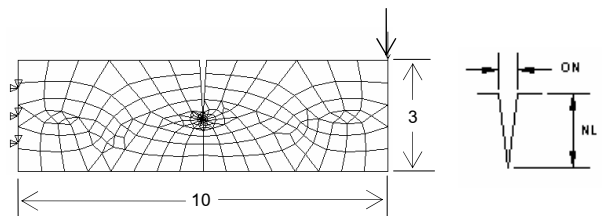
$\kappa = \frac{3\nu}{1 + \nu}$  กรณีระนาบความเค้น

$\nu$  เป็นสัดส่วนความยืดหยุ่น

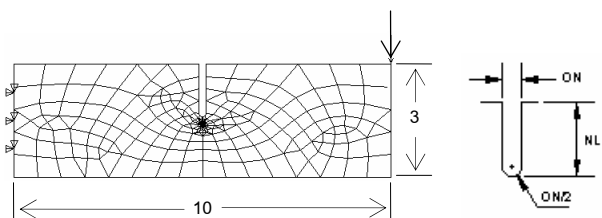
## 3. การดำเนินการวิจัย

### 3.1 การสร้างแบบจำลอง

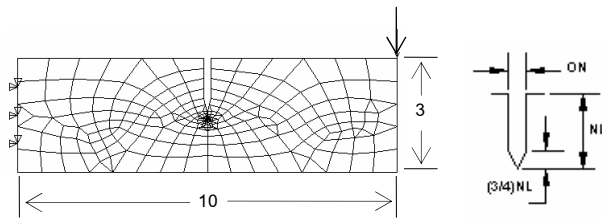
การศึกษาได้ทำการสร้างรูปแบบจำลองคานยื่นสองมิติ ขนาด  $3 \times 10$  mm. รับภาระแรงกระทำที่ปลายคาน โดยมีรอยบากอยู่ ณ บริเวณกึ่งกลางคาน ในการศึกษาทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของรอยบากต่างๆ คือ รอยบากตัววี (V-notch) รอยบากตัวยู (U-notch) และ รอยบากปลายแหลม (Sharp edge-notch) กำหนดให้ทุกรอยบากมีความกว้าง (open notch: ON) 0.1, 0.2, 0.3 mm และความยาว (notch length: NL) 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 mm และกำหนดรอยร้าวเริ่มต้น (pre-crack) บริเวณปลายรอยบาก ดังรูปที่ 3



a) V-notch



b) U-notch



c) Sharp edge-notch

รูปที่ 3 a) V-notch, b) U-notch, c) Sharp edge-notch

### 3.2 คุณสมบัติของวัสดุ

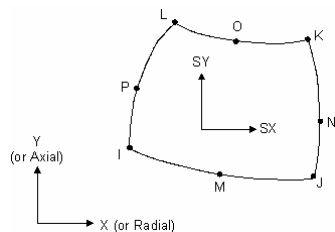
วัสดุชิ้นงานกำหนดให้มีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น โดยคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นดังตารางที่ 1[4]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

| ตัวแปร                                      | ค่า  |
|---------------------------------------------|------|
| โมดูลัสความยืดหยุ่น (E), kN/mm <sup>2</sup> | 69.6 |
| สัดส่วนความยืดหยุ่น, $\nu$                  | 0.33 |

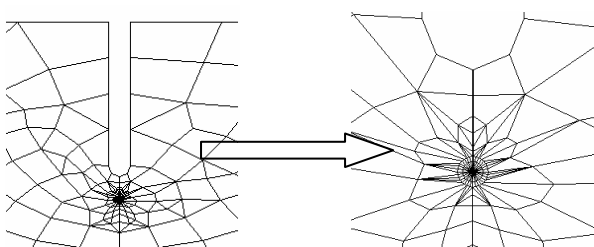
### 3.3 เอลิเมนต์

เอลิเมนต์ที่ใช้เป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม แปดจุดบรรจบ (quadrilateral – 8 node) คือ I, J, K, L, M, N, O และ P สององศาอิสระเคลื่อนที่ในทิศทาง x และทิศทาง y ดังรูปที่ 4 [5]



รูปที่ 4 ลักษณะเอลิเมนต์ quadrilateral – 8 node

ทำการแบ่งส่วนเอลิเมนต์บริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปและรับความเค้นกระทำ ในงานวิจัยนี้สนใจบริเวณที่ปลายรอยร้าว(crack-tip) เนื่องจากจะเกิดความเค้นหนาแน่น ณ บริเวณนี้ ดังนั้นจึงแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ที่บริเวณดังกล่าวให้มีความละเอียดสูง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 บริเวณส่วนที่ให้ความละเอียดของเอลิเมนต์

## 4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

### 4.1 กรณีศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

ในกรณีศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เบื้องต้นได้ทำการเปรียบเทียบผลจากการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (ANSYS) กับการวิเคราะห์ทางทฤษฎี[3] โดยสร้างแบบจำลองคานยื่นที่มีรอยบากตัว V กึ่งกลางคานดังรูปที่ 3 a)

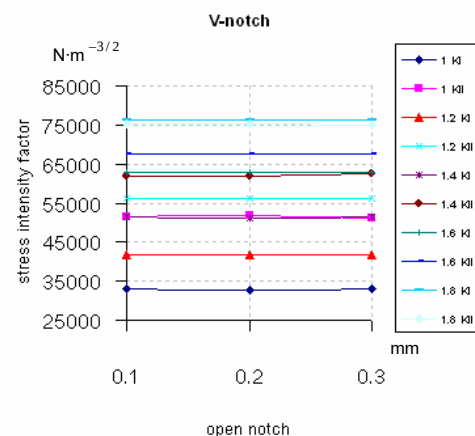
ดังนั้นผลการโดยเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับทฤษฎีเป็นดังตารางที่ 2

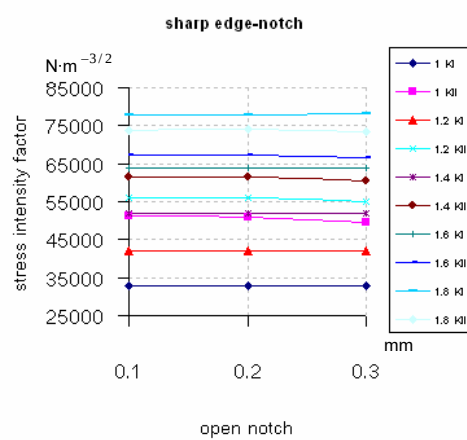
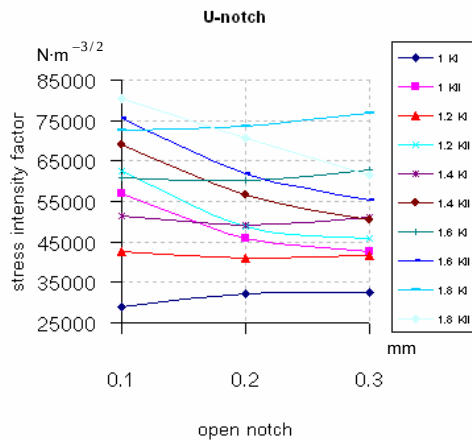
ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับทฤษฎี

|          | ANSYS<br>(kN·m <sup>-3/2</sup> ) | Theory<br>(kN·m <sup>-3/2</sup> ) | Error |
|----------|----------------------------------|-----------------------------------|-------|
| $K_I$    | 30.61                            | 30.72                             | 0.36% |
| $K_{II}$ | 37.04                            | 37.09                             | 0.13% |

### 4.2 ศึกษาการเพิ่มขนาดของความกว้างรอยบาก

ทำการศึกษาการเพิ่มขนาดความกว้างของรอยบาก เมื่อระดับความลึกของร่องบากคงที่ค่าหนึ่ง ของรอยบากตัววี(V-notch) รอยบากตัวยู(U-notch) และรอยบากปลายแหลม(sharp edge-notch) โดยทำการปรับค่าความกว้างต่างๆ คือขนาด 0.1, 0.2, 0.3 mm จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเข้มข้นและความกว้างรอยบากพบว่า รอยบากตัววี(V-notch) มีแนวโน้มของค่าความเค้นเข้มข้นในโหมดหนึ่ง (opening mode) และโหมดสอง(shearing mode) เป็นลักษณะเส้นตรง ส่วนรอยบากปลายแหลมนั้น จะมีแนวโน้มของค่าความเค้นเข้มข้นในโหมดสอง(shearing mode) ลดลง และรอยบากตัวยู(U-notch) มีแนวโน้มของค่าความเค้นเข้มข้นโหมดหนึ่ง(opening mode)เพิ่มขึ้น และค่าความเข้มข้นในโหมดสองลดลง ดังรูปที่ 6

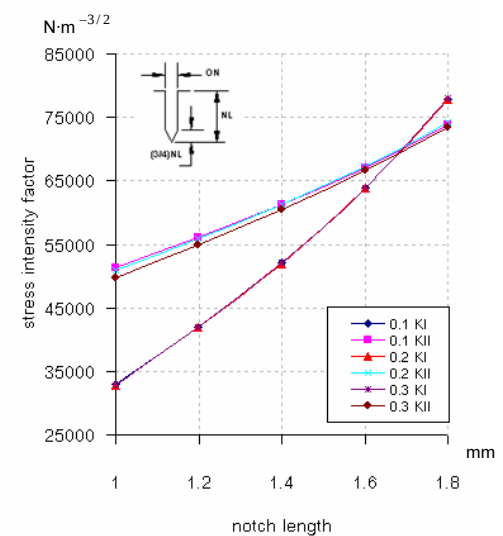
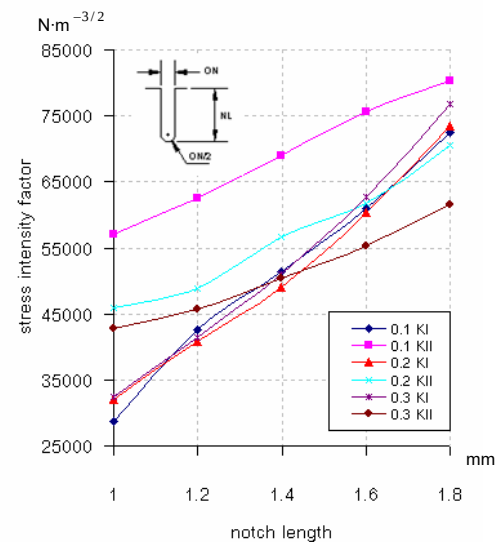
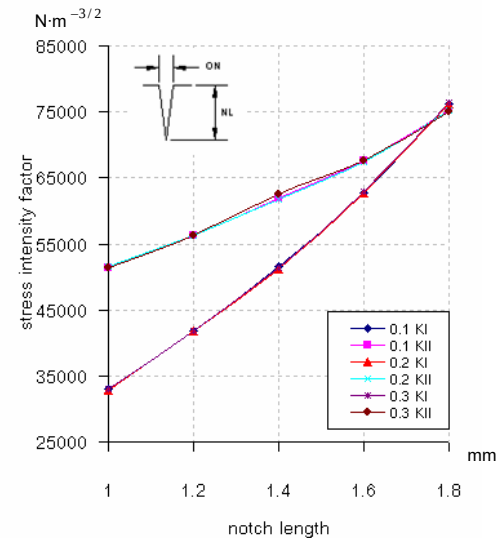




รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเข้มข้นและความกว้างของรอยบาก

#### 4.2 ศึกษาการเพิ่มขนาดของความลึกรอยบาก

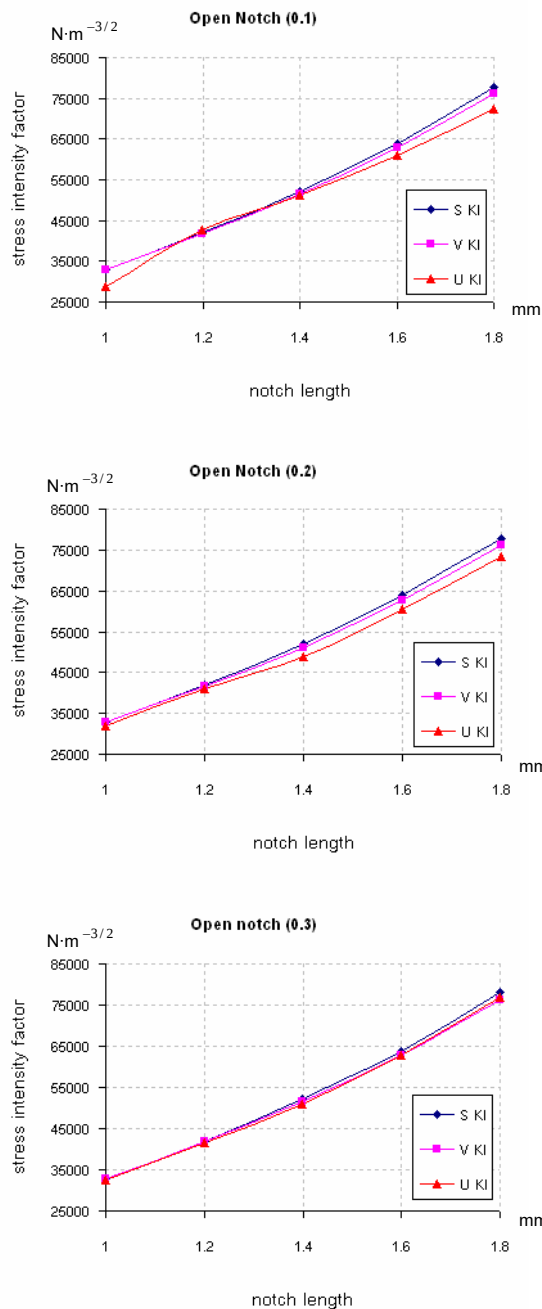
ทำการศึกษาการเพิ่มขนาดของความลึกรอยบาก เมื่อระดับความกว้างของรอยบากคงที่ค่าหนึ่ง ของรอยบากตัววี(V-notch) รอยบากตัวยู(U-notch) และรอยบากปลายแหลม(sharp edge-notch) โดยทำการปรับความลึกต่างกัน คือขนาด 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 mm ตามลำดับ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเข้มข้นและความลึกของรอยบากพบว่าค่าความเค้นเข้มข้นโหมดหนึ่ง(opening mode) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ค่าความเค้นเข้มข้นโหมดสอง(shearing mode) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และตัดกันที่จุดๆหนึ่ง หมายความว่าเมื่อเพิ่มความลึกมากขึ้นชิ้นงานจะเสียหายเนื่องจากภาระแรงกระทำของโหมดหนึ่ง(opening mode) มากกว่าโหมดสอง(shearing mode) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเข้มข้นและความลึกของรอยบากของรูปร่างรอยบาก

## 4.3 ศึกษาอิทธิพลของรูปร่างรอยบากต่อค่าความเค้นเข้มข้น

ทำการศึกษาอิทธิพลของรูปร่างรอยบากต่อค่าความเค้นเข้มข้น เมื่อขนาดความกว้างของรอยบากและความลึกของรอยบากเท่ากันที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ของรอยบากตัววี(V-notch) รอยบากตัวยู(U-notch) และรอยบากปลายแหลม(sharp edge-notch) ตามลำดับ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเข้มข้นและความลึกของรอยบากพบว่า รอยบากปลายแหลม(sharp edge-notch) มีค่าความเค้นเข้มข้นสูงสุด รองลงมาคือรอยบากตัววี(V-notch) และรอยบากตัวยู(U-notch) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเข้มข้นและความลึกของรอยบากของความกว้างปากรอยบาก

## 5. สรุปผล

จากการศึกษาค่าความเค้นเข้มข้นต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดรอยบากของอลูมิเนียม AA5182 โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำให้ทราบอิทธิพลของรูปร่างรอยบาก สรุปได้ดังนี้

1) เมื่อเพิ่มขนาดความกว้างของรอยบาก และให้ความลึกของรอยบากคงที่ค่าหนึ่ง พบว่าค่าความเค้นเข้มข้นในโหมดหนึ่ง(opening mode) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าความเค้นเข้มข้นในโหมดสอง(shearing mode) มีแนวโน้มลดลง

2) เมื่อเพิ่มขนาดความลึกของรอยบาก และให้ค่าความกว้างของรอยบากคงที่ค่าหนึ่ง ค่าความเค้นเข้มข้นในโหมดสอง(shearing mode) เพิ่มขึ้นบ้างๆ และค่าความเค้นเข้มข้นในโหมดหนึ่ง(opening mode) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และตัดกันที่จุดๆ หนึ่งอันเป็นผลของอิทธิพลในโหมดหนึ่งซึ่งมีค่าสูงกว่า

3) เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลเนื่องจากรูปร่างรอยบากพบว่า ความเสียหายซึ่งก็คือค่าความเค้นเข้มข้นในโหมดหนึ่ง(opening mode) จะเกิดกับรอยบากปลายแหลม (Sharp edge-notch) มากกว่าในรอยบากตัววี (V-notch) และรอยบากตัวยู (U-notch) ตามลำดับ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Theory Manual, ANSYS Release 8.1 Help Files
- [2] G.R. Irwin, "Analysis of Stress and Strains Near the End of a Crack Traversing a Plate," Journal of Applied Mechanics, 1957, Vol. 24, pp. 361-364.
- [3] P.C. Paris, G.C. Sih, "Stress Analysis of Cracks," Fracture Toughness and Testing and its Application, STP 381, 1965, pp. 30-83.
- [4] Material property data. AA5182-H19 [cited 9 February 2005]. Available from: <http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=M A5182H19>
- [5] A.V.Phan, "ANSYS TUTORIAL-2D Fracture Analysis", University of South Alabama