

## บทที่ 5

### ผลการศึกษาการกระจายความเค้นจากแบบจำลอง

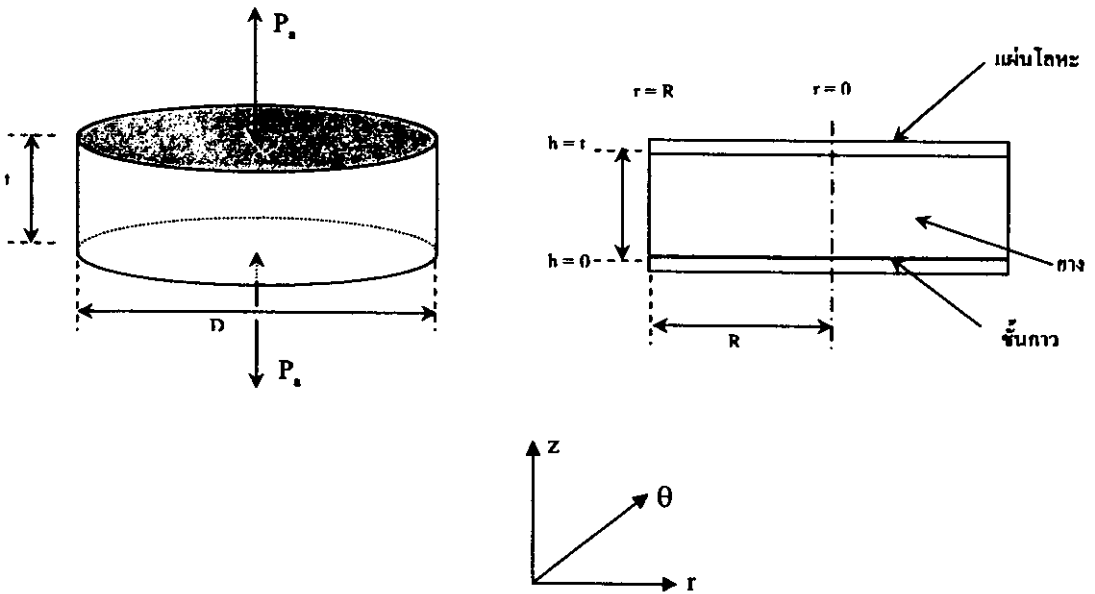
ในการศึกษาผลกระทบของชั้นกาวบางต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยางของชิ้นงานแบบค้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้ทำการศึกษาชิ้นงานที่มีรูปร่างและลักษณะการรับแรงแบบต่างๆ จำนวน 4 แบบคือ

ชิ้นงานแผ่นกลม (Circular Bonded Disc) รับแรงกด ดังรูปที่ 5.1

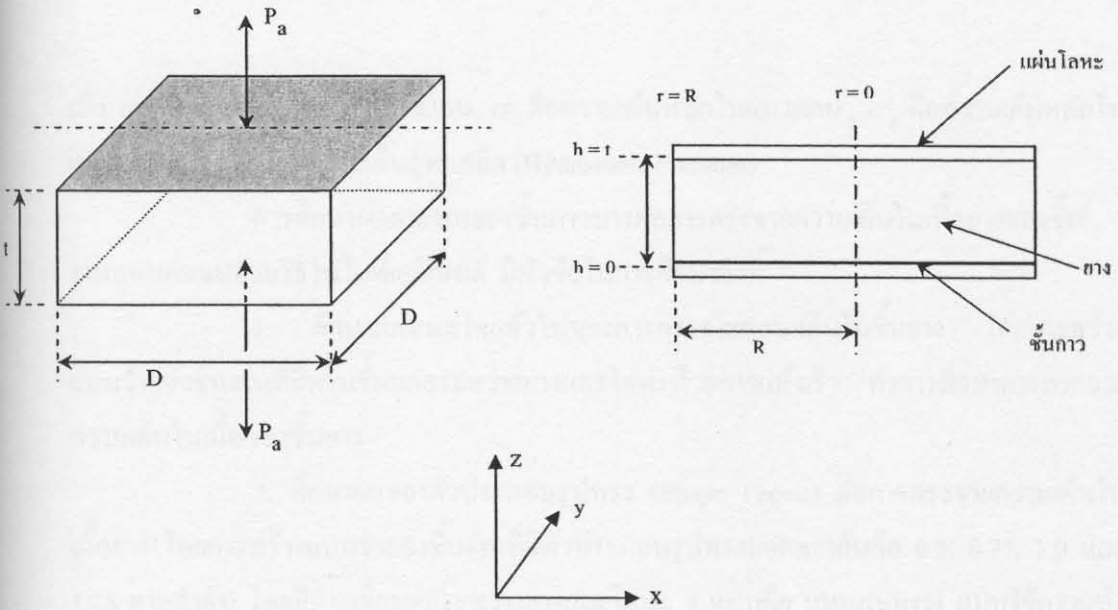
ชิ้นงานแผ่นกลม (Circular Bonded Disc) รับแรงดึง ดังรูปที่ 5.1

ชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยม (Rectangular Bonded Block) รับแรงกด ดังรูปที่ 5.2

ชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยม (Rectangular Bonded Block) รับแรงดึง ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 ลักษณะชิ้นงานแผ่นกลมรับแรงกด และ ดึง



รูปที่ 5.2 ลักษณะชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยมรับแรงกด และ ดึง

การศึกษาการกระจายความเค้นจากแบบจำลอง มุ่งเน้นศึกษาตัวแปรที่มีผลทำให้ความเค้นในชิ้นงานเปลี่ยนไป โดยศึกษาความเค้นในเนื้อภายในของค่าความเค้นอุทกสถิต (Hydrostatic Pressure) ในเนื้อยาง ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้เกิดการเกิดความเสียหาย (W.V. Chang and S.H. Peng, 1992) และ (I. M. Ward, 1983) โดยในชิ้นงานพิกัดตรงกระบอกหรือแผ่นกลมความเค้นอุทกสถิตมีค่าเท่ากับ

$$\sigma_h = \frac{\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z}{3} \quad (5.1)$$

เมื่อ  $\sigma_r$  คือความเค้นหลักในแนวรัศมี,  $\sigma_\theta$  คือความเค้นหลักในแนวเส้นสัมผัส,  $\sigma_z$  คือความเค้นหลักในแนวแรง และ  $\sigma_h$  คือ ความเค้นอุทกสถิต (Hydrostatic Pressure)

ชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีพิกัดฉากจะมีค่าความเค้นอุทกสถิต (Hydrostatic Pressure) ในเนื้อยางเท่ากับ

$$\sigma_h = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (5.2)$$

เมื่อ  $\sigma_1$  คือความเค้นหลักในแนวแกน,  $\sigma_2$  คือความเค้นหลักในแนวแกน,  $\sigma_3$  คือความเค้นหลักในแนวแรง และ  $\sigma_h$  คือ ความเค้นอุทกสถิต (Hydrostatic Pressure)

การศึกษาผลกระทบของชั้นกาวบางต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยางของชิ้นงานแบบต่อชนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีหัวข้อในการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาลักษณะโดยทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นยาง โดยการสร้างแบบจำลองชิ้นงานที่มีการเชื่อมต่อระหว่างยางและโลหะด้วยกาวแห้งเร็ว ทำการศึกษาการกระจายความเค้นในเนื้อของชิ้นยาง

2. ศึกษาผลของตัวประกอบรูปทรง (Shape Factor) ต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง โดยการสร้างแบบจำลองชิ้นงานที่มีตัวประกอบรูปทรงแตกต่างกันคือ 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 ตามลำดับ โดยมีการเชื่อมต่อระหว่างยางและโลหะ 3 แบบคือ แบบสมบูรณ์ แบบใช้กาวแห้งเร็ว และแบบใช้กาวยาง โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะการกระจายของความเค้นบริเวณที่มีแนวโน้มเกิดความเค้นสูงสุด

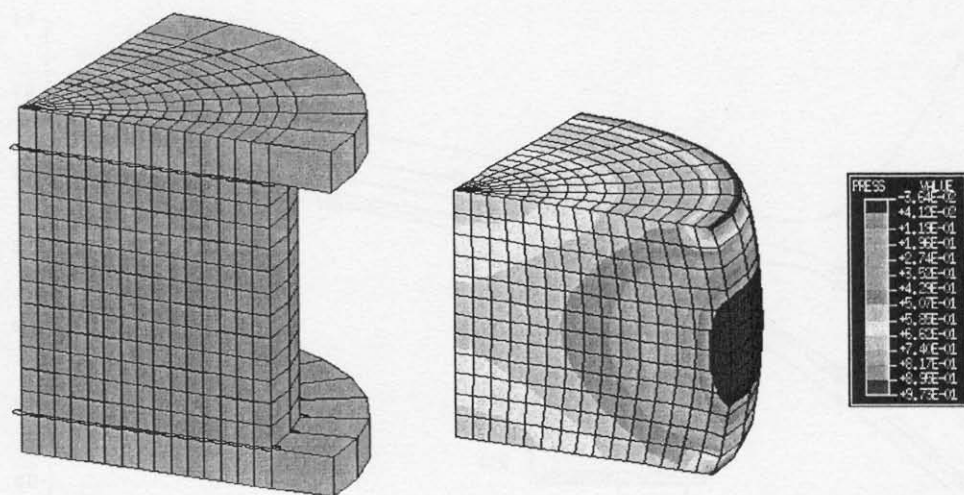
3. ศึกษาผลของความแข็งแรงของกาวต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง โดยทำการเปลี่ยนค่าความแข็งแรงของกาวขนาดต่างๆ ในแบบจำลอง และทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองที่มีการเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ โดยทำการศึกษาเฉพาะชิ้นงานที่รับแรงกด เนื่องจากชิ้นงานที่รับแรงดึง จะเกิดความเสียหายที่ชั้นกาว เมื่อกาวที่ใช้มีความแข็งแรงต่ำ เช่น กาวยาง

4. การศึกษาผลของความแข็งแรงของกาวต่อค่าความแข็งแรงเชิงกดของชิ้นงาน ศึกษาในทอมความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจากแบบจำลองของชิ้นงานยาง โดยใช้กาวที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ กาวแห้งเร็วและกาวยาง และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดกับชิ้นงานลักษณะเดียวกันที่ถูกเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์และชิ้นงานที่ไม่มีการเชื่อมต่อด้วยวัสดุยึดติด โดยทำการศึกษาเฉพาะชิ้นงานที่รับแรงกด

## 5.1 ผลการศึกษาการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นกลมเมื่อรับแรงกด

### 5.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นยางแผ่นกลม

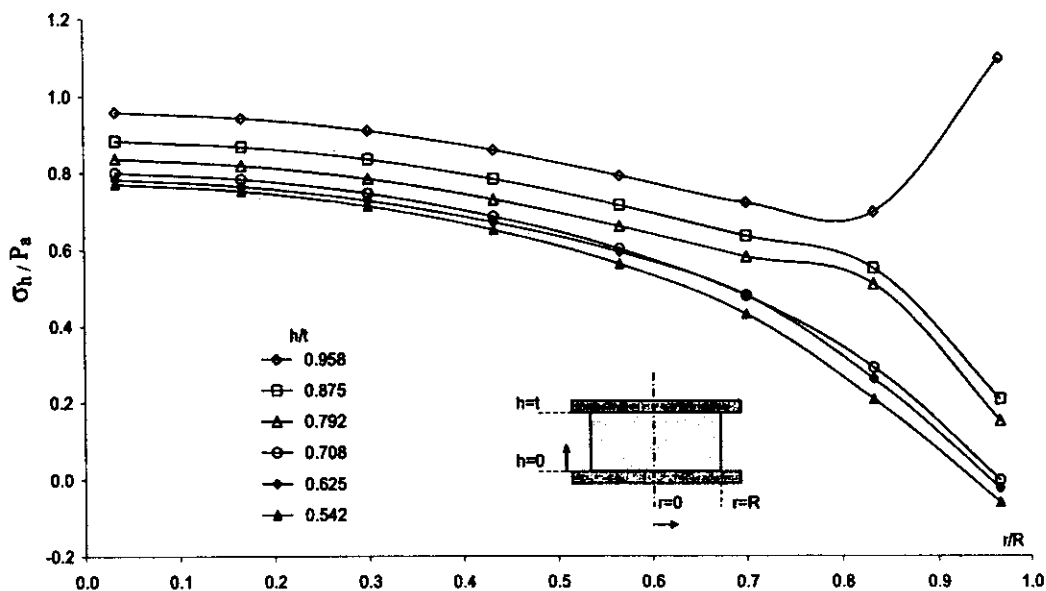
ในการศึกษาลักษณะทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นกลมเมื่อรับแรงกด โดยการสร้างแบบจำลองชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm ความหนาเนื้อยาง 20 mm มีค่าตัวประกอบรูปทรงเท่ากับ 0.5 เชื่อมต่อระหว่างยางและโลหะด้วยกาวแห้งเร็ว ความหนาชั้นกาว 0.1 mm รับแรงกดคงที่ 0.745 MPa มีค่าความเครียดกด (Compression Strain) 10% สามารถจำลองลักษณะการกระจายความเค้นในรูปของ ความเค้นอุทกสถิตในเนื้อยาง ได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างลักษณะการกระจายความเค้นในเนื้อยาง

จากรูปที่ 5.3 พบว่าการกระจายของความเค้นอุทกสถิตในเนื้อยางมีความสมมาตรในแนวรัศมี ความเค้นอุทกสถิตในเนื้อยางมีค่าสูงสุดบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อยางและแผ่นโลหะ และลดลงต่ำสุดบริเวณตรงกลางของเนื้อยาง และสามารถแสดงผลบนกราฟสองแกนดังรูปที่ 5.4

จากกราฟรูปที่ 5.4 พบว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิต ( $\sigma_h$ ) กับแรงดันที่กระทำ ( $P_a$ ) มีค่าสูงบริเวณใกล้รอยต่อระหว่างกาวกับยาง หรือความหนา  $h/t = 0.958$  (ใกล้ 1) และเปรียบเทียบในแนวรัศมีพบว่า อัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำมีค่าสูงบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางชิ้นยาง หรือรัศมี  $r/R=0.033$  (ใกล้ 0) และจากกราฟพบว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำจะมีค่าสูงบริเวณขอบของรอยต่อระหว่างกาวกับยาง ซึ่งบริเวณดังกล่าวพบว่าลักษณะเอลิเมนต์ของยางจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากที่สุดเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกด



รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h / P_a$  ตามแนวรัศมีของชิ้นงานเมื่อชิ้นงานรับแรงกด

### 5.1.2 ผลของตัวประกอบรูปทรง (Shape Factor) ต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง

ในการศึกษาผลของรูปร่างของชิ้นงานต่อการกระจายของความเค้น จะศึกษาในเทอมของตัวประกอบรูปทรง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับรูปร่างชิ้นงานดังสมการ

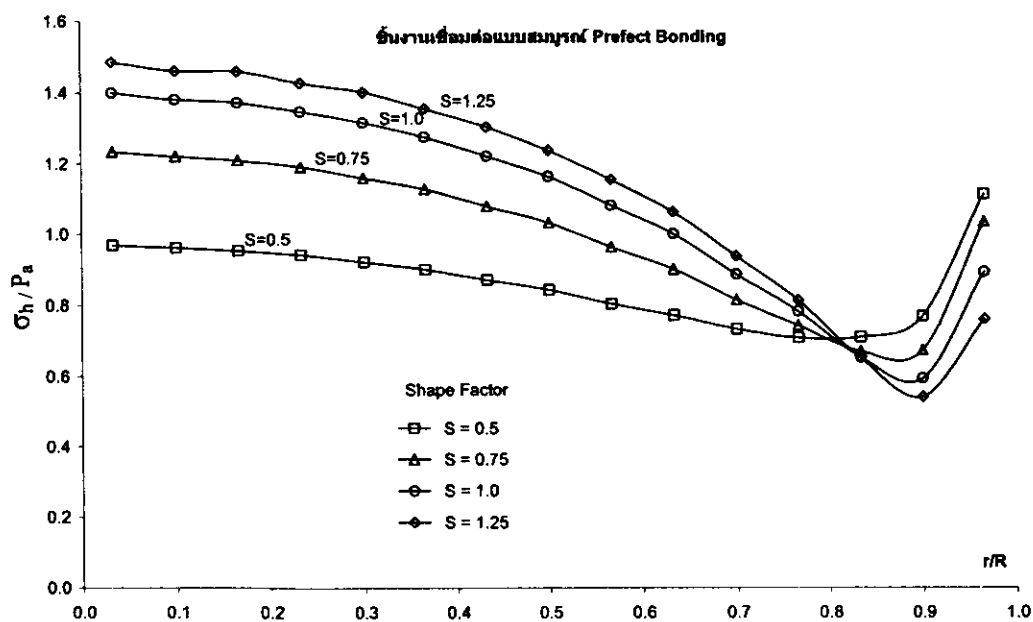
$$S = \frac{D}{4t} \quad (5.3)$$

เมื่อ  $S$  คือ ตัวประกอบรูปทรง (Shape Factor),  $D$  คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน และ  $t$  คือ ความหนาของชิ้นงาน โดยทำการจำลองแบบชิ้นงานที่มีตัวประกอบรูปทรงต่างกันคือ ตัวประกอบรูปทรง 0.5 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 20 mm, ตัวประกอบรูปทรง 0.75 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm หนา 10 mm, ตัวประกอบรูปทรง 1.0 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 10 mm และตัวประกอบรูปทรง 1.25 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm หนา 10 mm ตามลำดับ และในแต่ละขนาดจำลองให้มีการเชื่อมต่อระหว่างยางและโลหะ 3 แบบคือ แบบสมบูรณ์ แบบใช้กาวแห้งเร็ว และแบบใช้กาวยาง โดยจำลองสถานการณ์ให้แบบจำลองรับแรงกดคงที่จนชิ้นงานมีความเครียดแรงกด 10% และได้ผลการจำลองสถานการณ์ดังนี้

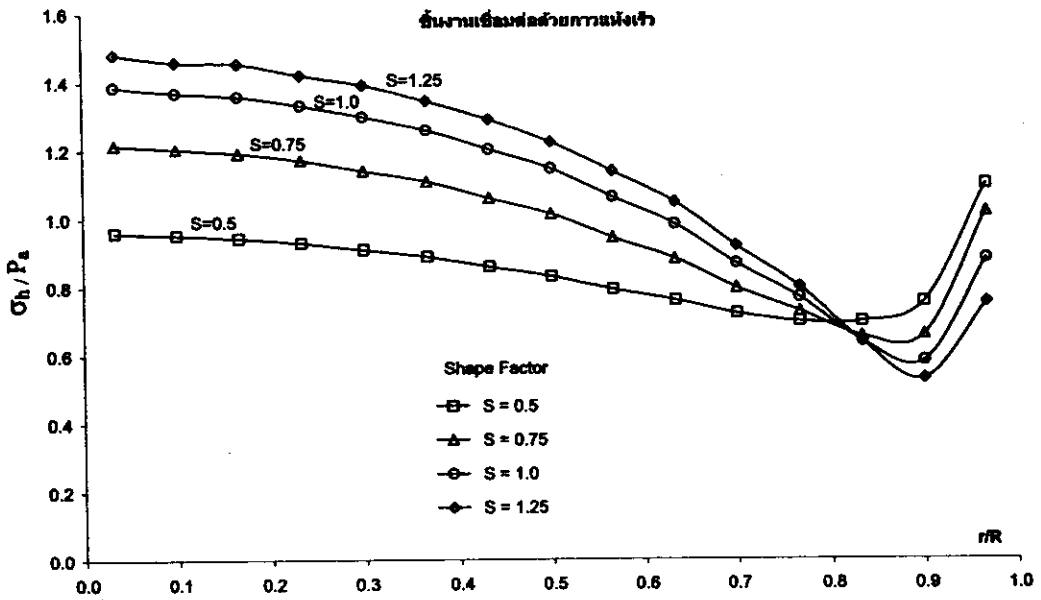
กราฟรูปที่ 5.5 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างความเค้นออกสถิตกับแรงดันที่กระทำในเนื้อยางของชิ้นงานขนาดตัวประกอบรูปทรง 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 บิดคดขึ้นยางกับแผ่นโลหะแบบสมบูรณรับแรงกดจนมีความเครียด 10% โดยมีค่าแรงดันที่กระทำเท่ากับ 0.745 MPa, 1.133 MPa, 1.82 MPa และ 2.9 MPa ตามลำดับ

กราฟรูปที่ 5.6 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างความเค้นออกสถิตกับแรงดันที่กระทำในเนื้อยางของชิ้นงานขนาดตัวประกอบรูปทรง 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 บิดคดขึ้นยางกับแผ่นโลหะด้วยกาวแห้งเร็ว ความหนาชั้นกาว 0.1 mm กาวมีความต้านทานแรงดึง  $E = 5.8$  MPa ความต้านทานแรงเฉือน  $G = 2.6$  MPa รับแรงกดจนชิ้นงานมีความเครียด 10% โดยมีแรงดันที่กระทำเท่ากับ 0.74 MPa, 1.1 MPa, 1.74 MPa และ 2.67 MPa ตามลำดับ

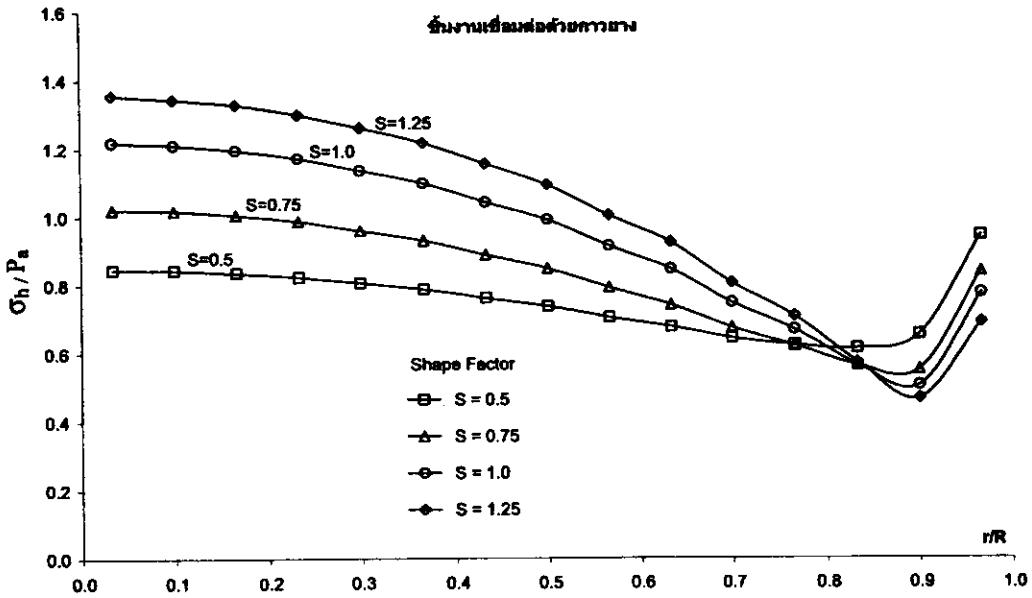
กราฟรูปที่ 5.7 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างความเค้นออกสถิตกับแรงดันที่กระทำในเนื้อยางของชิ้นงานขนาดตัวประกอบรูปทรง 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 บิดคดขึ้นยางกับแผ่นโลหะด้วยกาวยาง ความหนาชั้นกาว 0.1 mm กาวมีความต้านทานแรงดึง  $E = 1.128$  MPa ความต้านทานแรงเฉือน  $G = 0.154$  MPa รับแรงกดจนชิ้นงานมีความเครียด 10% โดยมีแรงดันที่กระทำเท่ากับ 0.68 MPa, 0.82 MPa, 1.18 MPa และ 1.64 MPa ตามลำดับ



รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h / P_0$  ตามแนวรัศมีของชิ้นยาง ที่ตำแหน่งความหนา  $h/t = 0.96$  ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อแบบสมบูรณ์



รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h / P_a$  ตามแนวรัศมีของชั้นงาน ที่ตำแหน่งความหนา  $h/t = 0.96$  ของชั้นงานที่เชื่อมต่อกับคานงอโค้ง

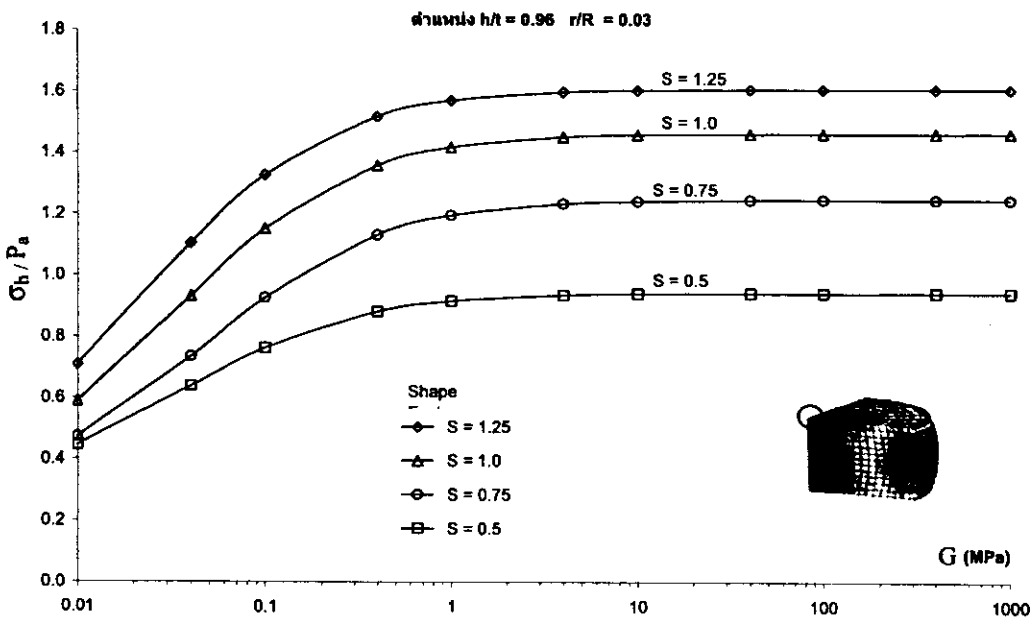


รูปที่ 5.7 แสดงลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h / P_a$  ตามแนวรัศมีของชั้นงาน ที่ตำแหน่งความหนา  $h/t = 0.96$  ของชั้นงานที่เชื่อมต่อกับคานตรง

จากกราฟรูปที่ 5.5, 5.6 และ 5.7 ซึ่งแสดงลักษณะการกระจายของอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำตามแนวรัศมีของชิ้นยางของชิ้นงานที่มีตัวประกอบรูปทรงต่างๆ กันพบว่า ชิ้นงานที่ค่าตัวประกอบรูปทรงสูงหรือมีพื้นที่รอยต่อระหว่างกาวและยางมากหรือมีความหนาของยางน้อย จะมีค่าของอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำสูงกว่าชิ้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงต่ำ

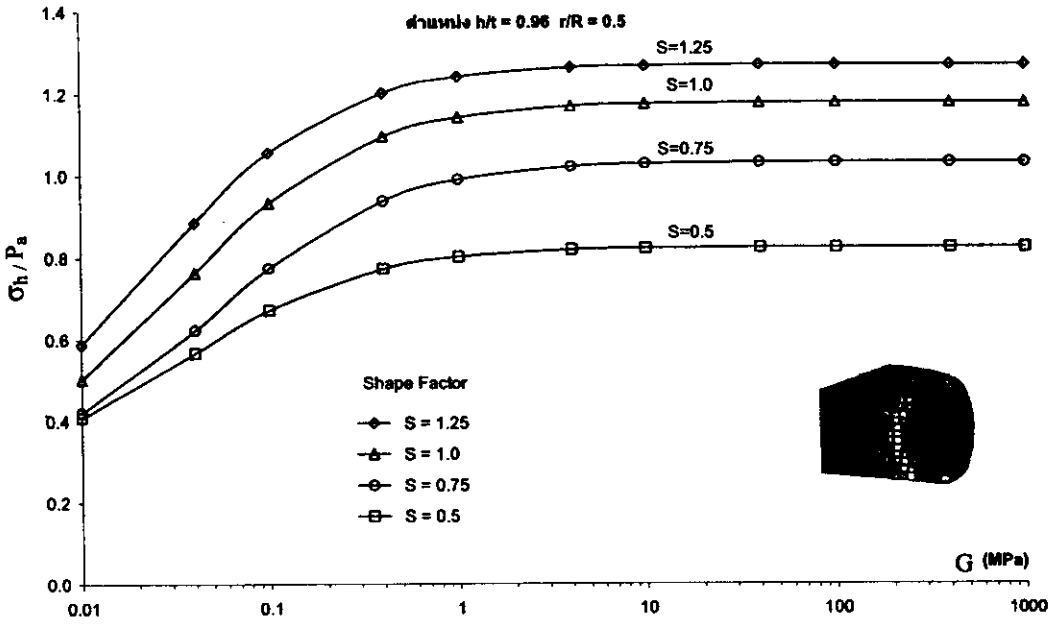
### 5.1.3 ผลความแข็งแรงของกาวต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง

ในการศึกษาผลของความแข็งแรงของกาวต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยางเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกดผ่านแบบจำลอง โดยการสร้างแบบจำลองชิ้นงานขนาดต่างๆ (ตัวประกอบรูปทรง = 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25) ที่มีการเชื่อมต่อกับชิ้นกาวความหนาคงที่ 0.1 mm และเปลี่ยนสมบัติค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว (G) 0.01, 0.04, 0.1, 0.4, 1, 4, 10, 40, 100, 400 และ 1000 MPa โดยมีค่าความต้านทานแรงดึง (E) คงที่ 5 MPa (ค่าความต้านทานแรงดึงของกาวไม่มีผลต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยางเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกด) ทำการจำลองสถานการณ์โดยจำลองแรงกดคงที่ 1.0 MPa และทำการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำ ( $\sigma_h / P_o$ ) ของชิ้นยางบริเวณที่มีค่าความเค้นสูง

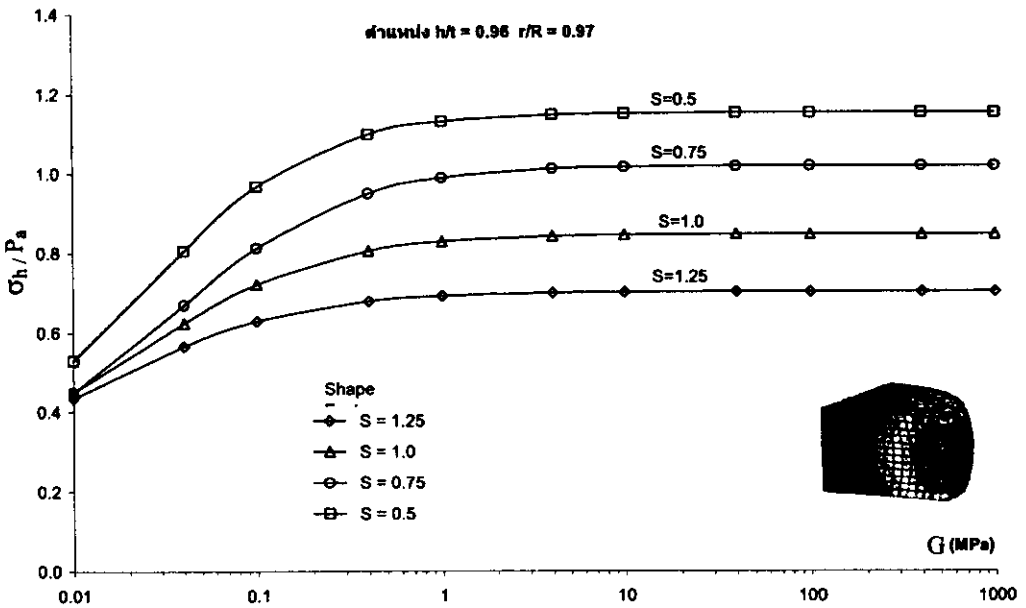


รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\sigma_h / P_o$  ในเนื้อยาง ที่ตำแหน่ง  $h/t = 0.96$ ,  $r/R = 0.03$  กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว





รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\sigma_h / P_0$  ในเนื้อยาง ที่ตำแหน่ง  $h/t = 0.96$ ,  $r/R = 0.5$  กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว

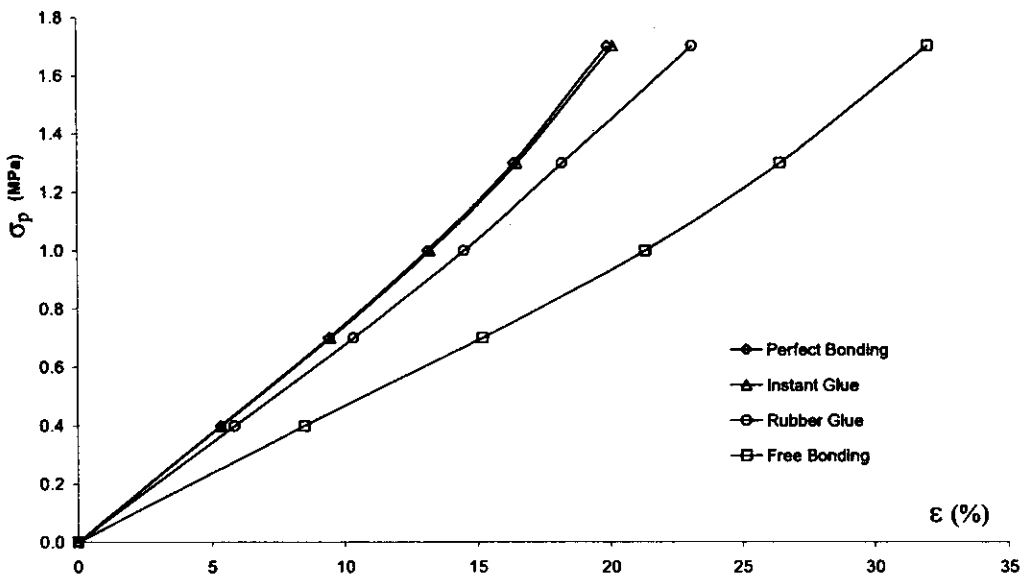


รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\sigma_h / P_0$  ในเนื้อยาง ที่ตำแหน่ง  $h/t = 0.96$ ,  $r/R = 0.97$  กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว

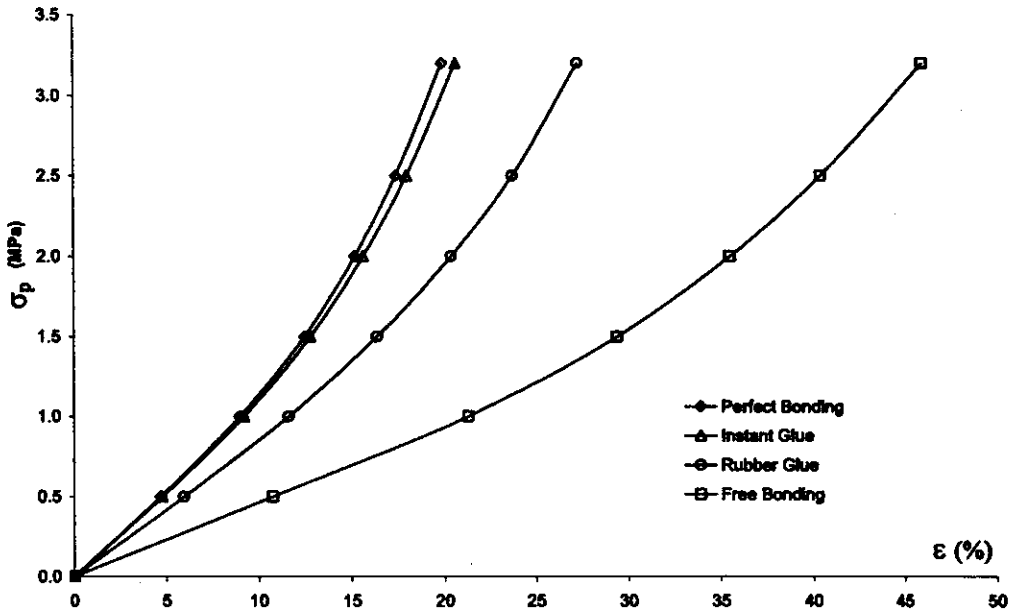
จากกราฟรูปที่ 5.8, 5.9 และ 5.10 พบว่าค่าความเค้นอุทกสถิตที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจะมีค่าลดลง เมื่อกาวที่ใช้มีสมบัติความต้านทานแรงเฉือนลดลงต่ำกว่า 10 MPa และค่าความเค้นอุทกสถิตในชิ้นงานจะมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าความเค้นอุทกสถิตในชิ้นงานที่เชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ เมื่อสมบัติความต้านทานแรงเฉือนของกาวที่ใช้เชื่อมต้อมีค่ามากกว่า 10 MPa

#### 5.1.4 ผลความแข็งแรงของกาวต่อความแข็งแรงเชิงกคของชิ้นงาน

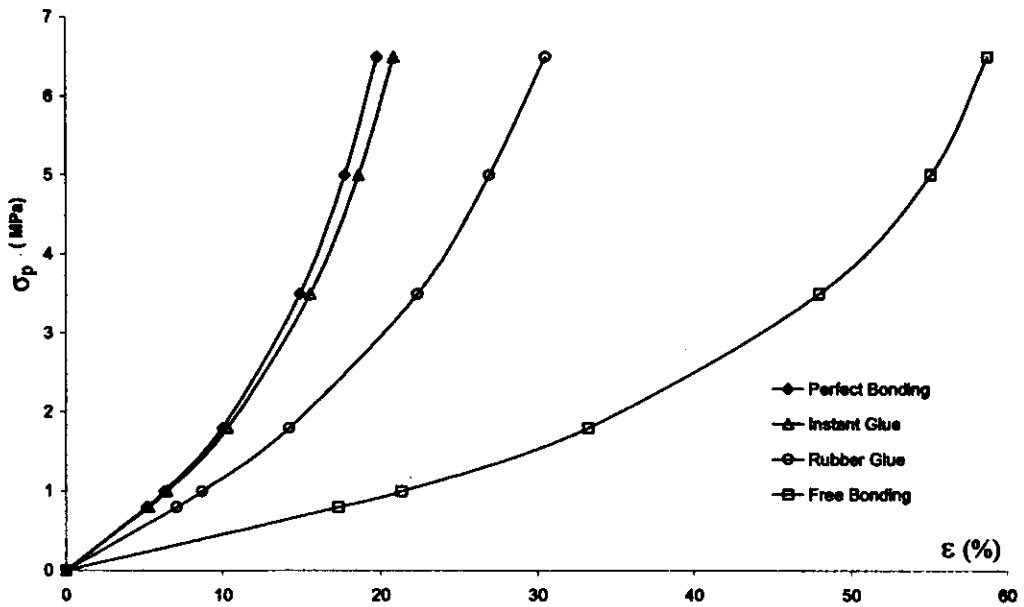
ในการศึกษาผลของความผลของความแข็งแรงของกาวความแข็งแรงเชิงกคของชิ้นงาน ศึกษาในเทอมความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรม ( $\sigma_p$ ) และความเครียด ( $\epsilon$ ) จากแบบจำลองของชิ้นงานยาง โดยใช้กาวที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ กาวแห้งเร็ว (ความต้านทานแรงดึง  $E = 5.8$  MPa ความต้านทานแรงเฉือน  $G = 2.6$  MPa) และกาวยาง (ความต้านทานแรงดึง  $E = 1.128$  MPa ความต้านทานแรงเฉือน  $G = 0.154$  MPa) และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดกับชิ้นงานลักษณะเดียวกันที่ถูกเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ และชิ้นงานที่ไม่มีการเชื่อมต่อด้วยวัสดุยึดติด



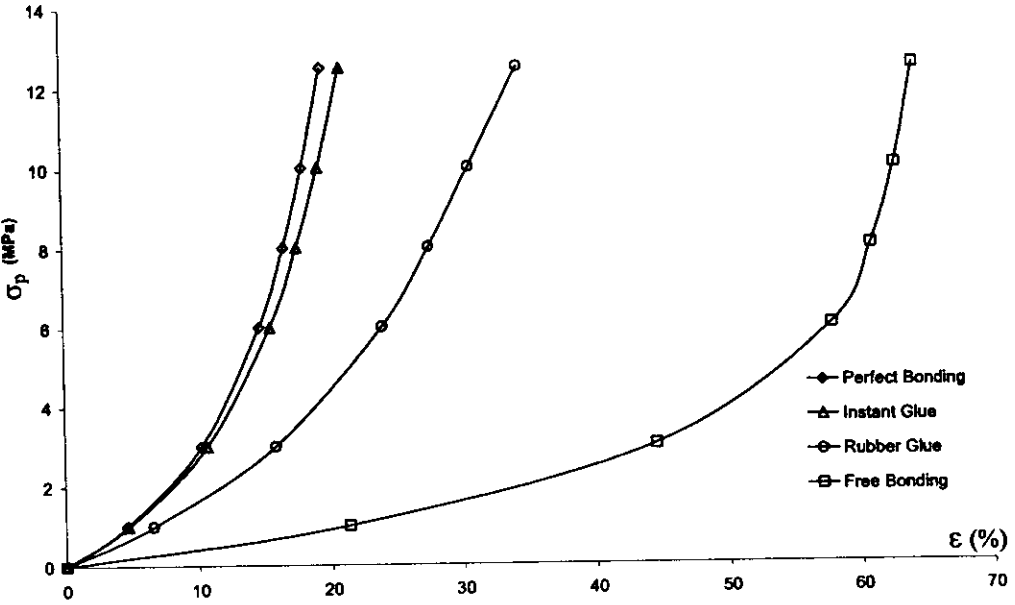
รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียดของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 20 mm ตัวประกอบรูปทรง 0.5



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียดของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง 0.75



รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียดของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง 1.0



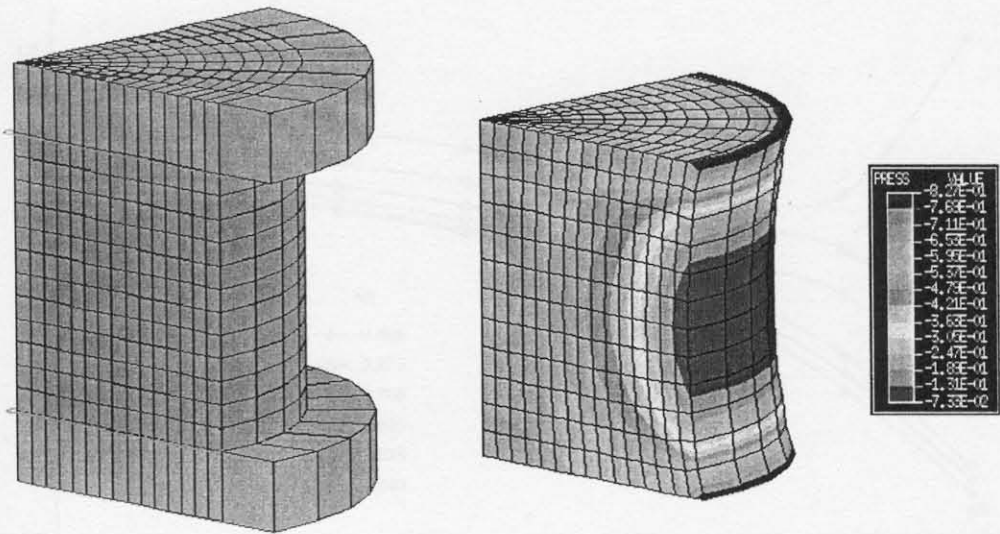
รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียดของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง 1.25

จากกราฟรูป ที่ 5.11, 5.12, 5.13 และ 5.14 พิจารณาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นที่ค่าความเครียดเดียวกันพบว่าชิ้นงานที่ยึดติดแบบสมบูรณ์มีค่าความเค้นสูงสุด ลำดับถัดมาเป็นชิ้นงานที่ยึดติดด้วยกาวแห้งเร็ว กาวยาง และชิ้นงานที่ไม่มีการยึดติดมีค่าความเค้นต่ำสุด และจากกราฟยังพบว่าชิ้นงานที่เชื่อมต่อกับกาวจะทำให้ความแข็งแรงของยางที่ความเครียดใดๆลดลงเมื่อเทียบกับความแข็งแรงของยางที่เชื่อมต่อบนแบบสมบูรณ์ที่ความเครียดเดียวกัน และชิ้นงานที่เชื่อมต่อกับกาวที่มีความแข็งแรงสูงจะมีความแข็งแรงของยางสูงกว่าชิ้นงานที่เชื่อมต่อกับกาวที่มีความแข็งแรงต่ำ

## 5.2 ผลการศึกษาการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นกลมเมื่อรับแรงดึง

### 5.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นยางแผ่นกลม

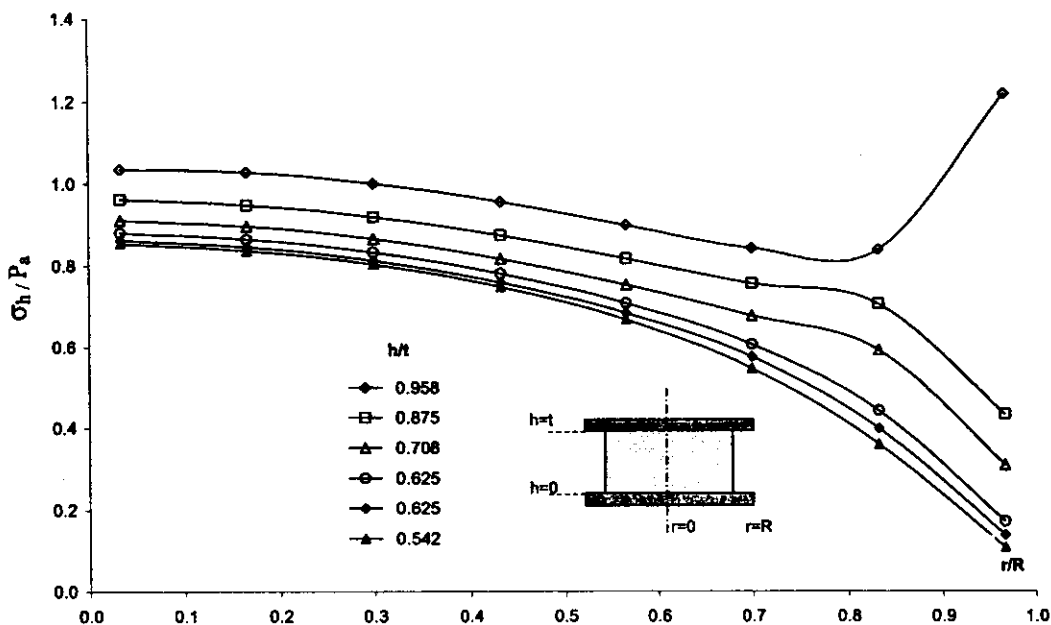
ในการศึกษาลักษณะทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นกลมเมื่อรับแรงดึง โดยการสร้างแบบจำลองชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm ความหนาเนื้อยาง 20 mm มีค่าตัวประกอบรูปทรงเท่ากับ 0.5 เชื่อมต่อระหว่างยางและโลหะด้วยกาวแห้งเร็ว ความหนาชั้นกาว 0.1 mm รับแรงดึงคงที่ 0.68 MPa มีค่าความเครียดดึง (Tension Strain) 10% สามารถจำลองลักษณะการกระจายความเค้นในรูปของความเค้นอุทกสถิตในเนื้อยาง ได้ดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 ตัวอย่างลักษณะการกระจายความเค้นในเนื้อยาง

จากรูปที่ 5.15 พบว่าการกระจายของความเค้นอุทกสถิตในเนื้อยางมีความสมมาตรในแนวรัศมี ค่าความเค้นอุทกสถิตในเนื้อยางมีค่าสูงสุดบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อยางและแผ่นโลหะ และจะลดลงต่ำสุดบริเวณตรงกลางของเนื้อยาง และสามารถแสดงผลบนกราฟสองแกนดังรูปที่ 5.16

จากกราฟรูปที่ 5.16 พบว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำจะมีค่าสูงบริเวณใกล้รอยต่อระหว่างกาวกับยาง หรือความหนา  $h/t = 0.958$  (ใกล้ 1) และเปรียบเทียบในแนวรัศมีพบว่า อัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำจะมีค่าสูงบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางชั้นยาง หรือรัศมี  $r/R = 0.033$  (ใกล้ 0) และจากกราฟพบว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำจะมีค่าสูงบริเวณขอบของรอยต่อระหว่างกาวกับยาง ซึ่งบริเวณดังกล่าวพบว่าลักษณะเอลิเมนต์ของยางจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากที่สุดเมื่อชิ้นงานได้รับแรงดึง



รูปที่ 5.16 แสดงลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h / P_a$  ตามแนวรัศมีของซึ้นยางเมื่อซึ้นงานรับแรงดึง

### 5.2.2 ผลของตัวประกอบรูปทรง (Shape Factor) ต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง

ในการศึกษาผลของรูปร่างของซึ้นงานยางต่อการกระจายของความเค้น จะศึกษาในเทอมของตัวประกอบรูปทรงซึ่งมีความสัมพันธ์กับรูปร่างซึ้นงานคังสมการ

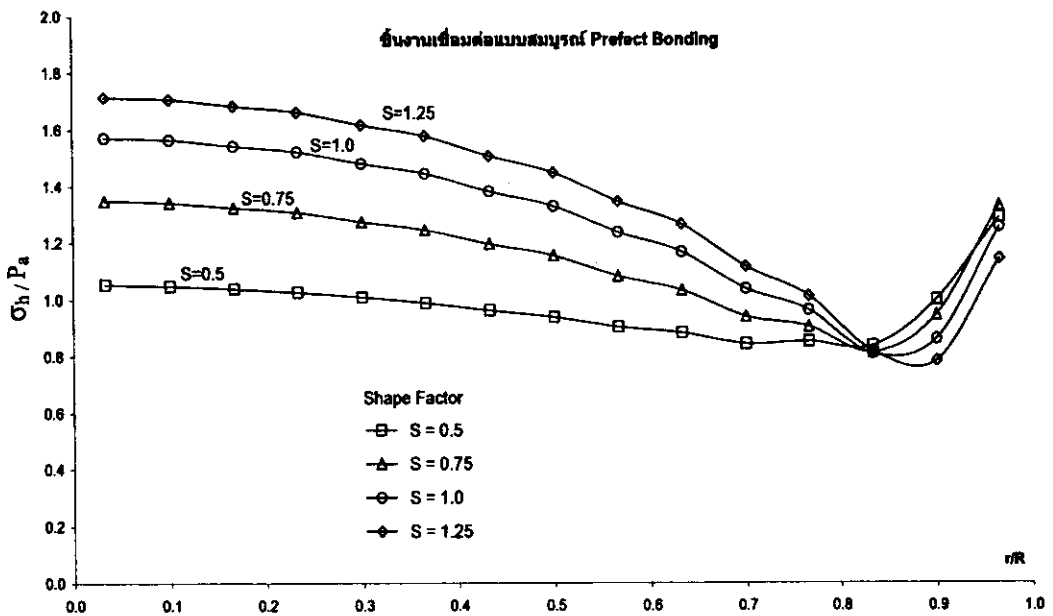
$$S = \frac{D}{4t} \quad (5.4)$$

เมื่อ  $S$  คือ ตัวประกอบรูปทรง (Shape Factor),  $D$  คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของซึ้นยาง และ  $t$  คือความหนาของซึ้นยาง

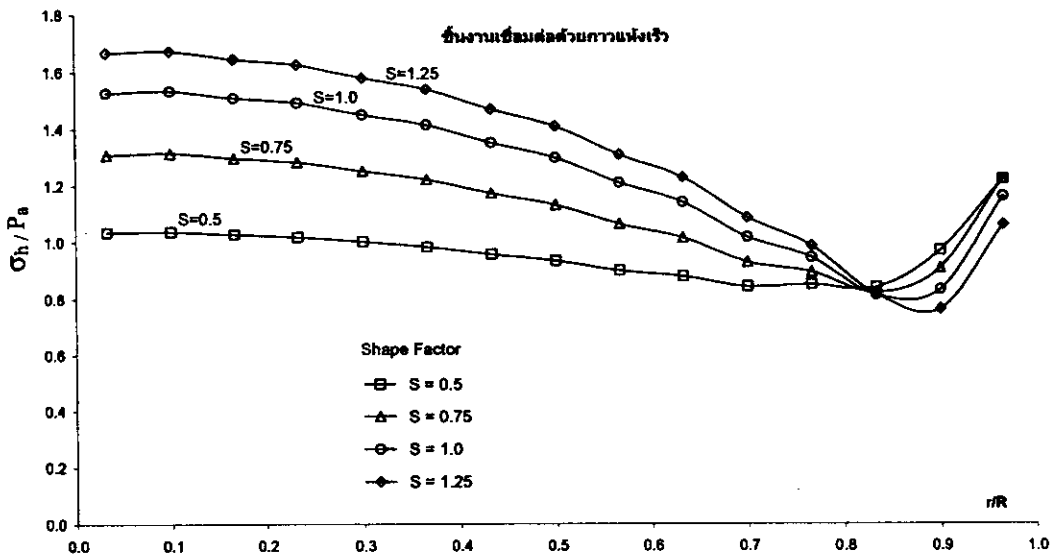
โดยทำการจำลองแบบซึ้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงต่างกันคือ ตัวประกอบรูปทรง 0.5 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 20 mm, ตัวประกอบรูปทรง 0.75 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง 1.0 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 10 mm และตัวประกอบรูปทรง 1.25 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm หนา 10 mm ตามลำดับ และในแต่ละขนาดจำลองให้มีการเชื่อมต่อระหว่างยางและโลหะ 2 แบบคือ แบบสมบูรณ์และแบบใช้กาวแห้งเร็ว และจำลองสถานการณ์ให้แบบจำลองรับแรงกดคงที่ที่จึ้นงานมีความเครียดแรงกด 10% และได้ผลการจำลองสถานการณ์ดังนี้

กราฟรูปที่ 5.17 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างความเค้นออกสถิตกับแรงดันที่กระทำในเนื้อยางของชิ้นงานขนาด ตัวประกอบรูปทรง 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 ยึดติดชิ้นยางกับแผ่นโลหะแบบสมบูรณ์ รับแรงดึงจนมีความเครียด 10% โดยมีค่าแรงดันที่กระทำเท่ากับ 0.7 MPa, 0.98 MPa, 1.43 MPa และ 2.1MPa ตามลำดับ

กราฟรูปที่ 5.18 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างความเค้นออกสถิตกับแรงดันที่กระทำในเนื้อยาง ของชิ้นงานขนาด ตัวประกอบรูปทรง 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 ยึดติดชิ้นยางกับแผ่นโลหะด้วยกาวแห้งเร็ว ความหนาชั้นกาว 0.1 mm กาวมีความต้านทานแรงดึง  $E = 5.8$  MPa ความต้านทานแรงเฉือน  $G = 2.6$  MPa รับแรงดึงจนชิ้นงานมีความเครียด 10% โดยมีค่าแรงดันที่กระทำเท่ากับ 0.68 MPa, 0.92 MPa, 1.3 MPa และ 2.1MPa ตามลำดับ



รูปที่ 5.17 แสดงลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h / P_a$  ตามแนวรัศมีของชิ้นยาง ที่ตำแหน่งความหนา  $h/t = 0.96$  ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อแบบสมบูรณ์



รูปที่ 5.18 แสดงลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h / P_0$  ตามแนวรัศมีของชิ้นยาง ที่ตำแหน่งความหนา  $h/t = 0.96$  ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อกับกาวแห้งเร็ว

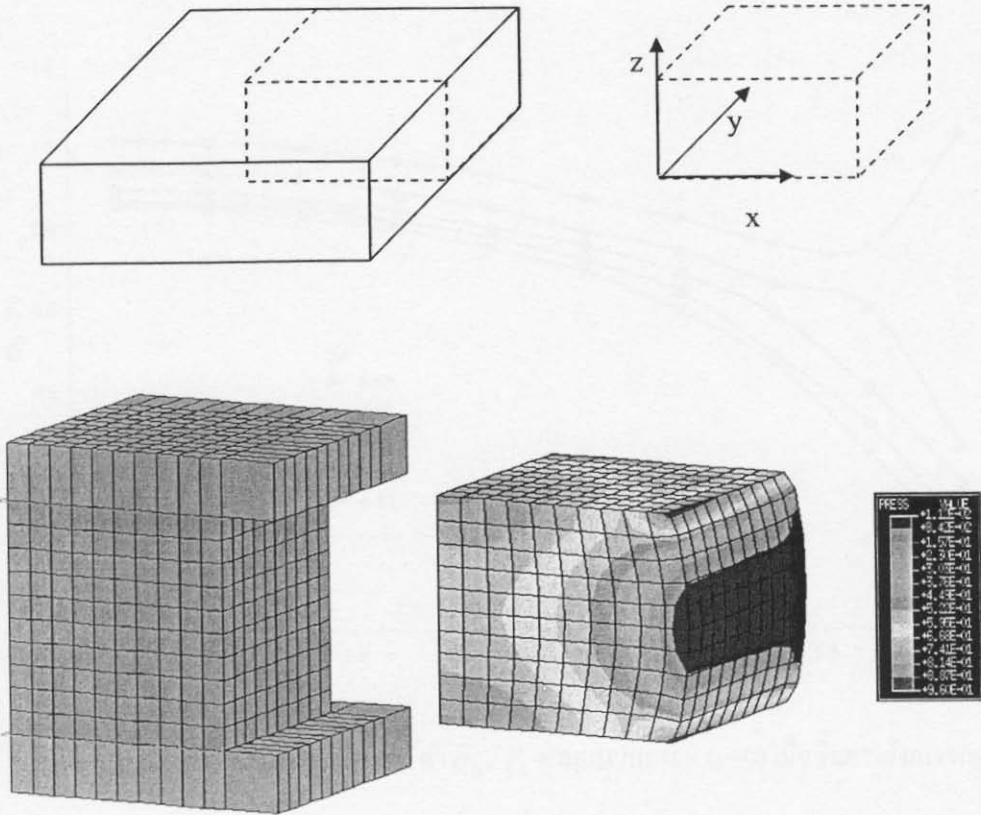
จากกราฟรูปที่ 5.17 และ 5.18 ซึ่งแสดงลักษณะการกระจายของอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับค่าแรงคั้นที่กระทำตามแนวรัศมีของชิ้นยางของชิ้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงต่างๆกันพบว่า ชิ้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงสูงหรือมีพื้นที่รอยต่อระหว่างกาวและยางมาก หรือมีความหนาของยางน้อยจะมีค่าของอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงคั้นที่กระทำสูงกว่าชิ้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงต่ำ

### 5.3 ผลการศึกษาการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นสี่เหลี่ยมเมื่อรับแรงกด

#### 5.3.1 ลักษณะโดยทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นยางแผ่นสี่เหลี่ยม

ในการศึกษาลักษณะทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นสี่เหลี่ยมเมื่อรับแรงกด โดยการสร้างแบบจำลองชิ้นงานขนาดความกว้าง ยาว  $40 \times 40$  mm ความหนาเนื้อยาง 20 mm มีค่าตัวประกอบรูปทรงเท่ากับ 0.5 เชื่อมต่อระหว่างยางและโลหะด้วยกาวแห้งเร็ว ความหนาชั้นกาว 0.1 mm รับแรงกดคงที่ 0.82 MPa มีค่าความเครียดกด (Compression Strain) 10% สามารถจำลองลักษณะการกระจายความเค้นในรูปของความเค้นอุทกสถิตในเนื้อยางได้ดังรูปที่ 5.19

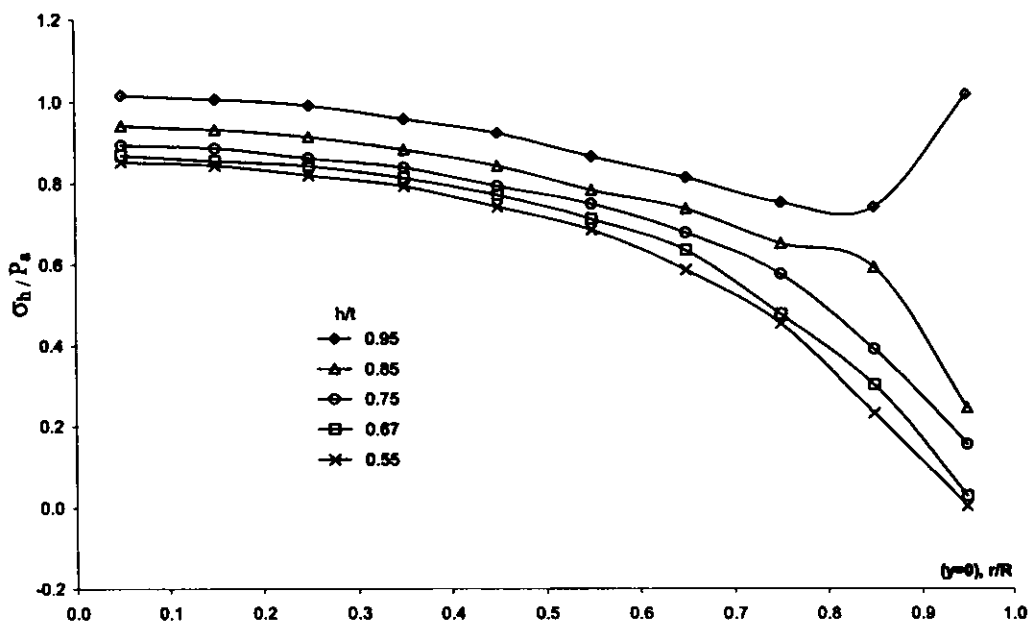




รูปที่ 5.19 ตัวอย่างลักษณะการกระจายความเค้นในเนื้อยาง

จากรูปที่ 5.19 พบว่าการกระจายของความเค้นอุทกสถิตในเนื้อยางมีค่าสูงสุดบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อยางและแผ่นโลหะ และจะลดลงต่ำสุดบริเวณตรงกลางของเนื้อยาง และสามารถแสดงผลบนกราฟสองแกนดังรูปที่ 5.20

จากรูปที่ 5.20 พบว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำจะมีค่าสูงบริเวณใกล้รอยต่อระหว่างกาวกับยาง หรือความหนา  $h/t = 0.958$  (ใกล้ 1) และเปรียบเทียบกับแนวแกน  $x$  ( $y = 0$ ) พบว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำจะมีค่าสูงบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางชิ้นยาง หรือตำแหน่งในแนวแกน  $x$ ,  $x/X = 0.05$  (ใกล้ 0) และจากรูปพบว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำจะมีค่าสูงบริเวณขอบของรอยต่อระหว่างกาวกับยาง ซึ่งบริเวณดังกล่าวพบว่าลักษณะเอลิเมนต์ของยางจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากที่สุดเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกด



รูปที่ 5.20 แสดงลักษณะการกระจาย ค่า  $\sigma_h / P_a$  ตามแนวแกน  $x (y=0)$  เมื่อชิ้นยางรับแรงกด

### 5.3.2 ผลของ ตัวประกอบรูปทรง (Shape Factor) ต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง

ในการศึกษาผลของรูปร่างของชิ้นงานยางต่อการกระจายของความเค้น จะศึกษา ในเทอมของตัวประกอบรูปทรงซึ่งมีความสัมพันธ์กับรูปร่างชิ้นงานดังสมการ

$$S = \frac{D}{4t} \quad (5.5)$$

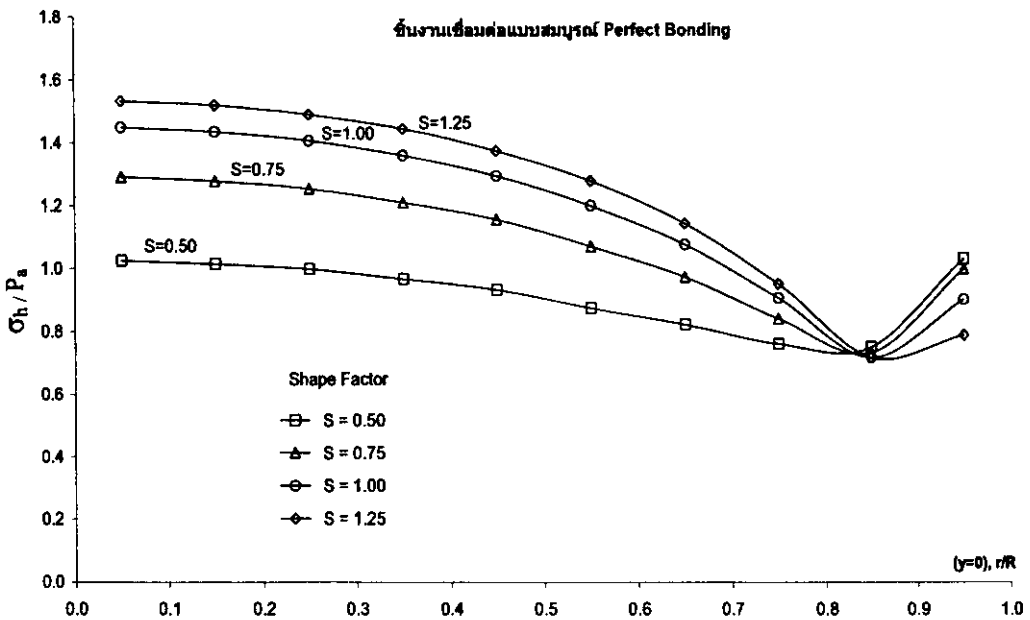
เมื่อ  $S$  คือตัวประกอบรูปทรง (Shape Factor),  $D$  คือขนาดความกว้าง ยาว ของชิ้นยาง และ  $t$  คือ ความหนาของชิ้นยาง

โดยทำการจำลองแบบชิ้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงต่างกันคือ ค่าตัวประกอบรูปทรง 0.5 มีความกว้าง ยาว 40 mm หนา 20 mm ตัวประกอบรูปทรง 0.75 มีความกว้าง ยาว 30 mm หนา 10 mm, ตัวประกอบรูปทรง 1.0 มีความกว้าง ยาว 40 mm หนา 10 mm และค่าตัวประกอบรูปทรง 1.25 มีความกว้าง ยาว 50 mm หนา 10 mm ตามลำดับ และในแต่ละขนาดจำลอง ให้มีการเชื่อมต่อบนหว่างยางและโลหะ 3 แบบคือ แบบสมบูร์น แบบใช้กาวแห้งเร็ว และแบบใช้กาวยาง และจำลองสถานการณ์ให้แบบจำลองรับแรงกดคงที่จนชิ้นงานมีความเครียดแรงกด 10% และได้ผลการจำลองสถานการณ์ดังนี้

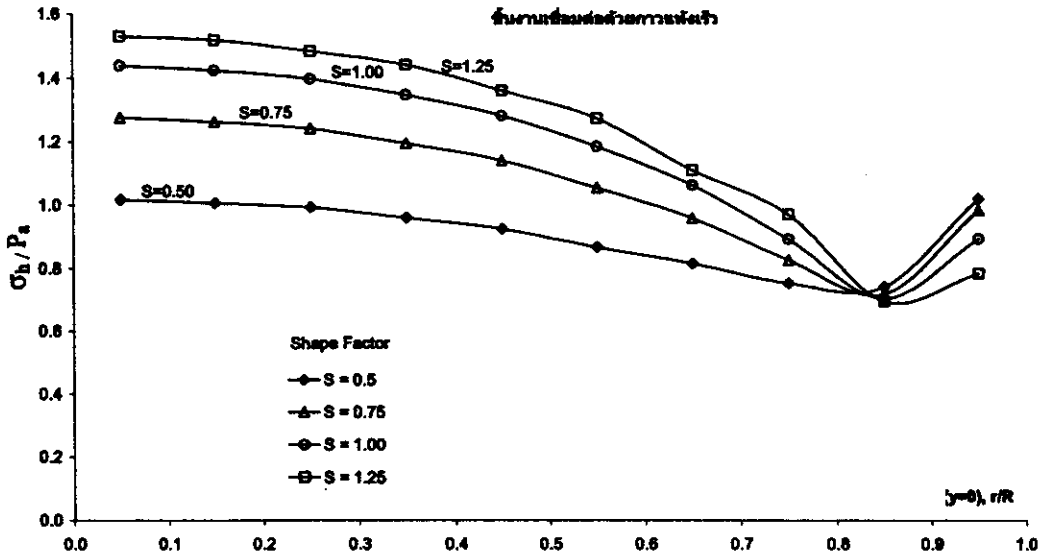
กราฟรูปที่ 5.21 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างความเค้นออกสถิตกับแรงดันที่กระทำในเนื้อของชิ้นงานขนาดตัวประกอบรูปทรง 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 บิดคดขึ้นข้างกับแผ่นโลหะแบบสมบูรณ์รับแรงกดจนมีความเครียด 10% โดยมีค่าแรงดันที่กระทำเท่ากับ 0.83 MPa, 1.35 MPa, 2.2 MPa และ 3.53 MPa ตามลำดับ

กราฟรูปที่ 5.22 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างความเค้นออกสถิตกับแรงดันที่กระทำในเนื้อของชิ้นงานขนาดตัวประกอบรูปทรง 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 บิดคดขึ้นข้างกับแผ่นโลหะด้วยกาวแห้งเร็ว ความหนาชั้นกาว 0.1 mm กาวมีความต้านทานแรงดึง  $E = 5.8$  MPa ความต้านทานแรงเฉือน  $G = 2.6$  MPa รับแรงกดจนชิ้นงานมีความเครียด 10% โดยมีค่าแรงดันที่กระทำเท่ากับ 0.82 MPa, 1.3 MPa, 2.1 MPa และ 3.32 MPa ตามลำดับ

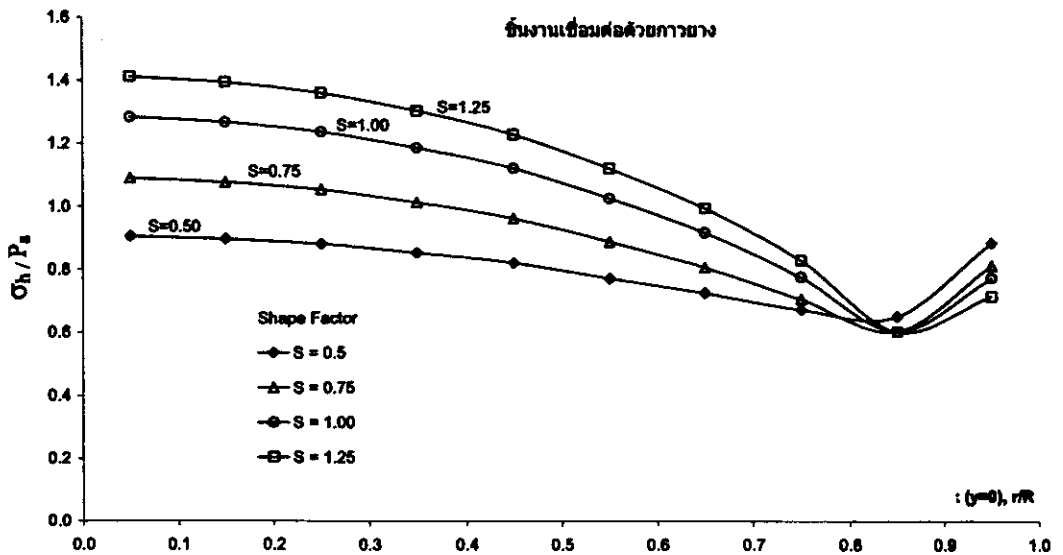
กราฟรูปที่ 5.23 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างความเค้นออกสถิตกับแรงดันที่กระทำในเนื้อของชิ้นงานขนาดตัวประกอบรูปทรง 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 บิดคดขึ้นข้างกับแผ่นโลหะด้วยกาวยาง ความหนาชั้นกาว 0.1 mm กาวมีความต้านทานแรงดึง  $E = 1.128$  MPa ความต้านทานแรงเฉือน  $G = 0.154$  MPa รับแรงกดจนชิ้นงานมีความเครียด 10% โดยมีค่าแรงดันที่กระทำเท่ากับ 0.74 MPa, 0.96 MPa, 1.38 MPa และ 1.96 MPa ตามลำดับ



รูปที่ 5.21 ลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h / P_a$  ตามแนวแกน x (y=0) ของชิ้นงานที่ตำแหน่งความหนา  $h/t = 0.96$  ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อแบบสมบูรณ์



รูปที่ 5.22 ลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h / P_0$  ตามแนวแกน x (y=0) ของชิ้นงานที่ตำแหน่งความหนา  $h/t = 0.96$  ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อกับค้ำวางหงัวยาว

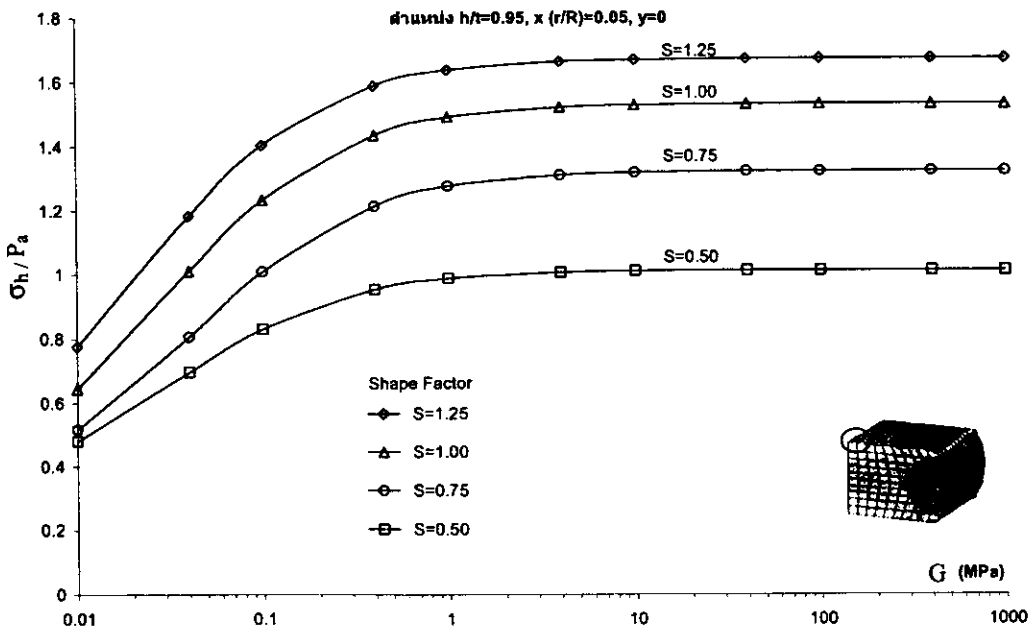


รูปที่ 5.23 ลักษณะการกระจายของค่า  $\sigma_h / P_0$  ตามแนวแกน x (y=0) ของชิ้นงานที่ตำแหน่งความหนา  $h/t = 0.96$  ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อกับค้ำวางยาว

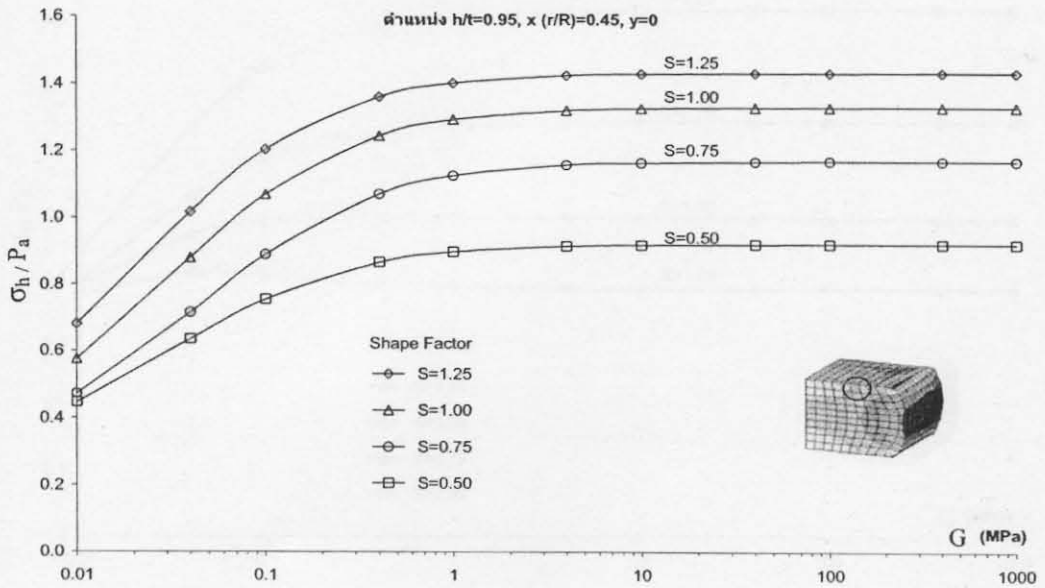
จากกราฟรูปที่ 5.21, 5.22 และ 5.23 ซึ่งแสดงลักษณะการกระจายของความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำตามแนวแกน  $x$  ( $y=0$ ) ของชิ้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงต่าง ๆ กัน พบว่า ชิ้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงสูง หรือมีพื้นที่รอยต่อระหว่างกาวและยางมาก หรือมีความหนาของยางน้อย จะมีค่าของความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำสูงกว่าชิ้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงต่ำ

### 5.3.3 ผลความแข็งแรงของกาว ต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง

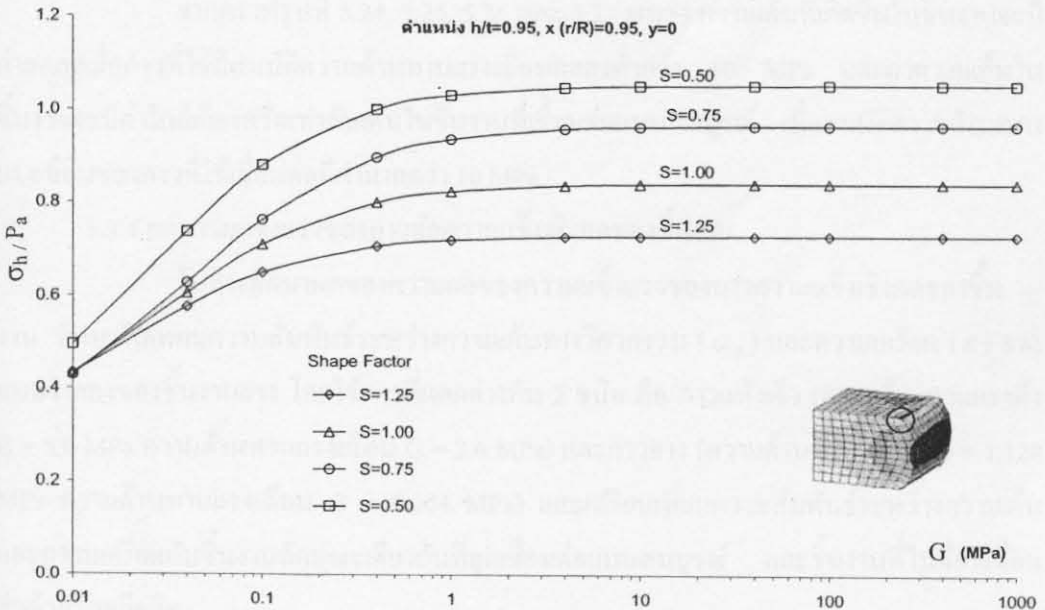
ในการศึกษาผลของความแข็งแรงของกาวต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยางเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกดผ่านแบบจำลอง โดยการสร้างแบบจำลองชิ้นงานขนาดต่างๆ (ตัวประกอบรูปทรง = 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25) ที่มีการเชื่อมต่อดัวยชั้นกาวความหนาคงที่ 0.1 mm และเปลี่ยนสมบัติค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว ( $G$ ) 0.01, 0.04, 0.1, 0.4, 1, 4, 10, 40, 100, 400 และ 1000 MPa โดยมีค่าความต้านทานแรงดึง ( $E$ ) คงที่ 5 MPa (ค่าความต้านทานแรงดึงของกาวไม่มีผลต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยางเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกด) ทำการจำลองสถานการณ์ โดยจำลองแรงกดคงที่ 1.0 MPa และทำการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำของชิ้นยางบริเวณที่มีค่าความเค้นสูง



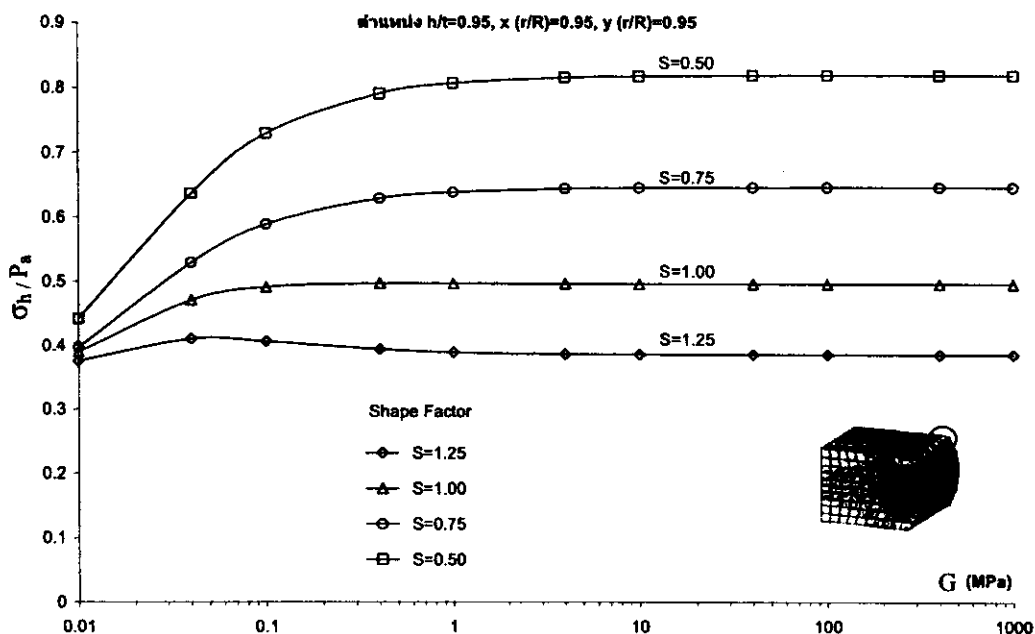
รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\sigma_h / P_a$  ในเนื้อยาง ที่ตำแหน่ง  $h/t = 0.96$ ,  $x (r/R) = 0.05$ ,  $y = 0$  กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว



รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\sigma_h / P_a$  ในเนื้อเยื่อที่ตำแหน่ง  $h/t = 0.96, x(r/R) = 0.45, y = 0$  กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว



รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\sigma_h / P_a$  ในเนื้อเยื่อที่ตำแหน่ง  $h/t = 0.96, x(r/R) = 0.95, y = 0$  กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว

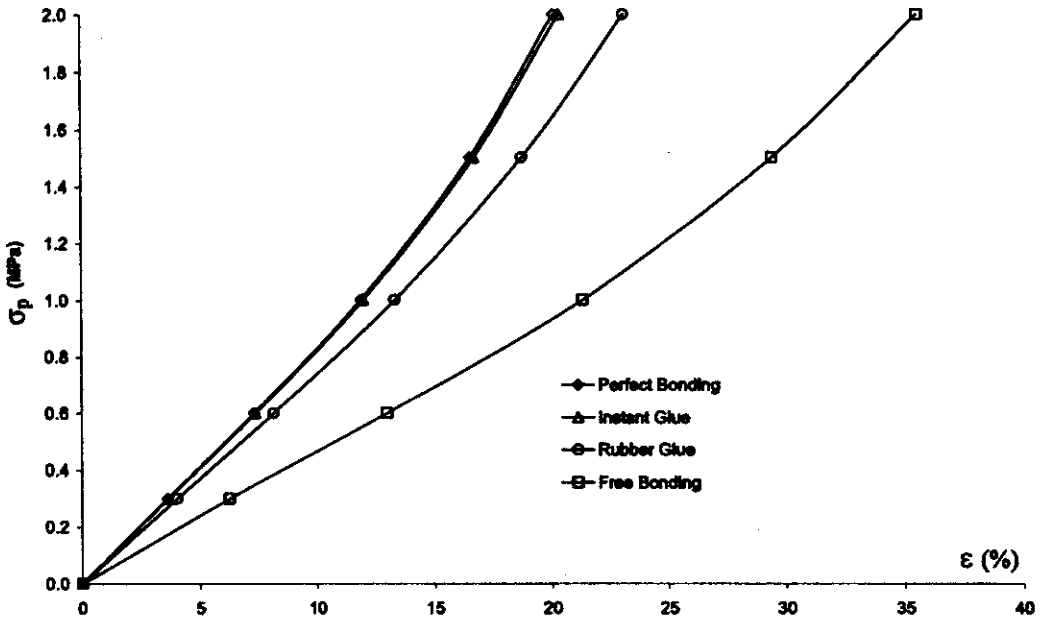


รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\sigma_h / P_a$  ในเนื้อเยื่อที่ ตำแหน่ง  $h/t = 0.96$ ,  $x(r/R) = 0.95$ ,  $y(r/R) = 0.95$  กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว

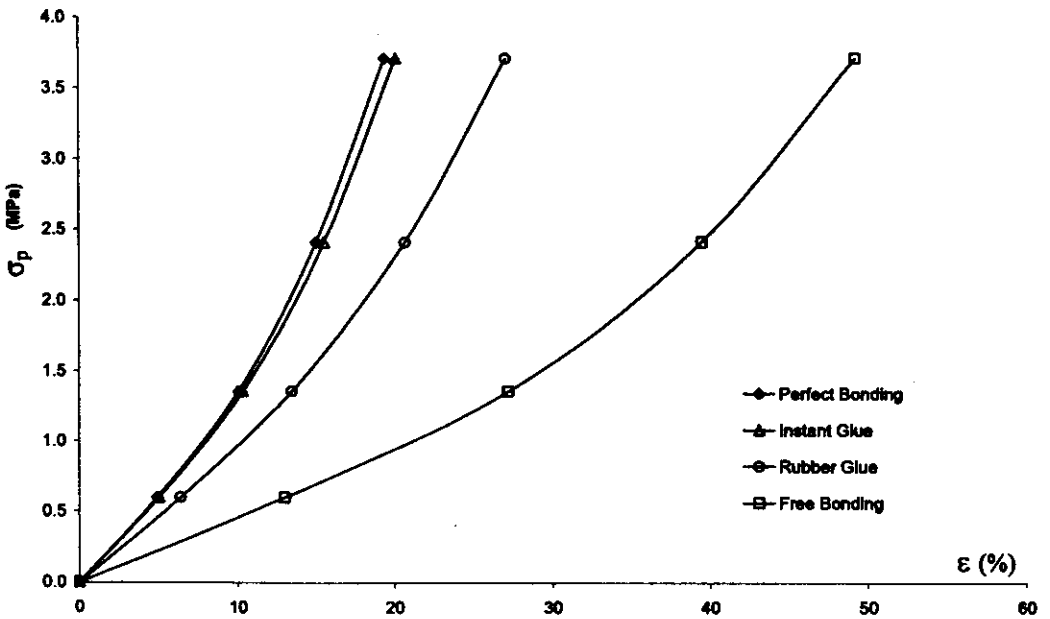
จากกราฟรูปที่ 5.24, 5.25, 5.26 และ 5.27 พบว่า ความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจะมีค่าลดลงเมื่อกาวที่ใช้มีสมบัติความต้านทานแรงเฉือนลดลงต่ำกว่า 10 MPa และค่าความเค้นในชิ้นงานจะมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับเค้นในชิ้นงานที่เชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ เมื่อสมบัติความต้านทานแรงเฉือนของกาวที่ใช้เชื่อมต้อมีค่ามากกว่า 10 MPa

#### 5.3.4 ผลความแข็งแรงของกาวต่อความแข็งแรงเชิงคคของชิ้นงาน

ในการศึกษาผลของความผลของความแข็งแรงของกาวความแข็งแรงเชิงคคของชิ้นงาน ศึกษาในทอมความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรม ( $\sigma_p$ ) และความเครียด ( $\epsilon$ ) จากแบบจำลองของชิ้นงานยาง โดยใช้กาวที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ กาวแห้งเร็ว (ความต้านทานแรงดึง  $E = 5.8$  MPa ความต้านทานแรงเฉือน  $G = 2.6$  MPa) และกาวยาง (ความต้านทานแรงดึง  $E = 1.128$  MPa ความต้านทานแรงเฉือน  $G = 0.154$  MPa) และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดกับชิ้นงานลักษณะเดียวกันที่ถูกเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ และชิ้นงานที่ไม่มีการเชื่อมต่อด้วยวัสดุยึดติด

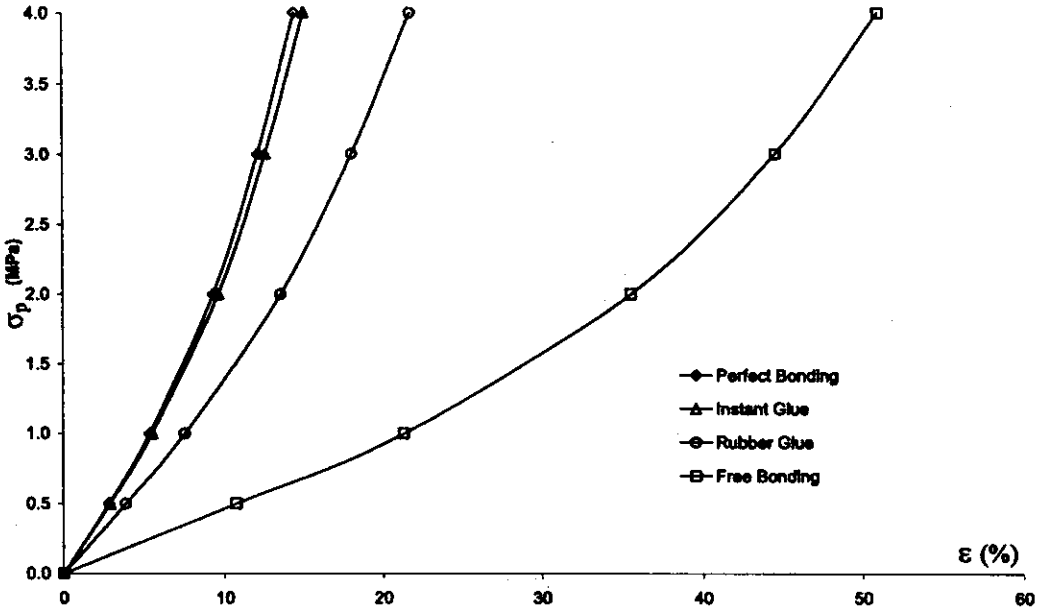


รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของชิ้นงานขนาด ความกว้าง ยาว 40 mm หน้า 20 mm ตัวประกอบรูปทรง 0.5

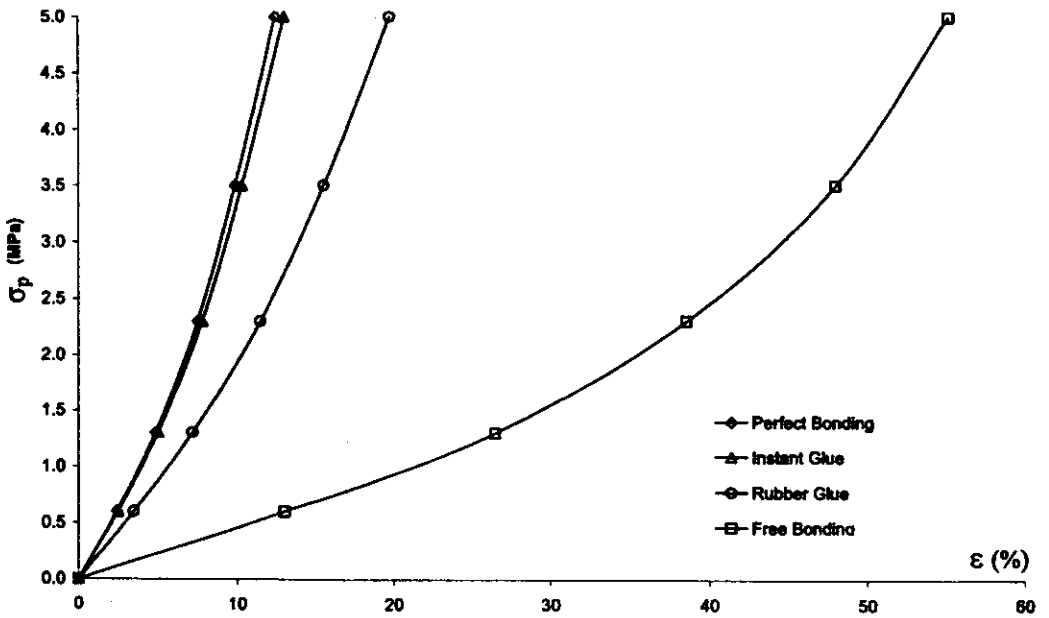


รูปที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของชิ้นงานขนาด ความกว้าง ยาว 30 mm หน้า 10 mm ตัวประกอบรูปทรง 0.75





รูปที่ 5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของชิ้นงานขนาด ความกว้าง ขาว 40 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง 1.0



รูปที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของชิ้นงานขนาด ความกว้าง ขาว 50 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง 1.25

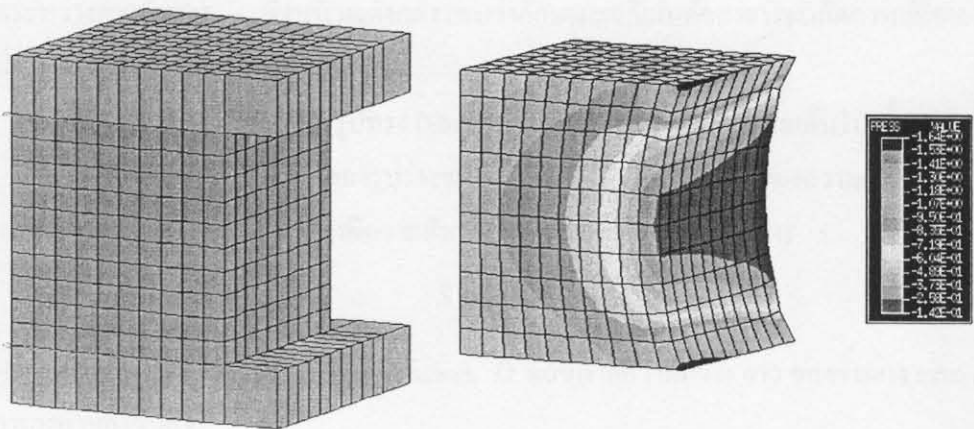
จากกราฟรูป ที่ 5.28, 5.29, 5.30 และ 5.31 พิจารณาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นที่ค่าความเครียดเดียวกัน พบว่าชิ้นงานที่ยึดติดแบบสมบูรณ์มีค่าความเค้นสูงสุด ลำดับถัดมาเป็นชิ้นงานที่ยึดติดด้วยกาวแห้งเร็ว กาวยาง และชิ้นงานที่ไม่มีการยึดติดมีค่าความเค้นต่ำสุด และจากกราฟยังพบว่าชิ้นงานที่เชื่อมต่อด้วยกาวจะทำให้ความแข็งของยางที่ความเครียดใดๆลดลง เมื่อเทียบกับความแข็งของยางที่เชื่อมต่อบแบบสมบูรณ์ที่ความเครียดเดียวกัน และชิ้นงานที่เชื่อมต่อด้วยกาวที่มีความแข็งแรงสูง จะมีความแข็งของยางสูงกว่าชิ้นงานที่เชื่อมต่อด้วยกาวที่มีความแข็งแรงต่ำ

#### 5.4 ผลการศึกษาการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นสี่เหลี่ยมเมื่อรับแรงดึง

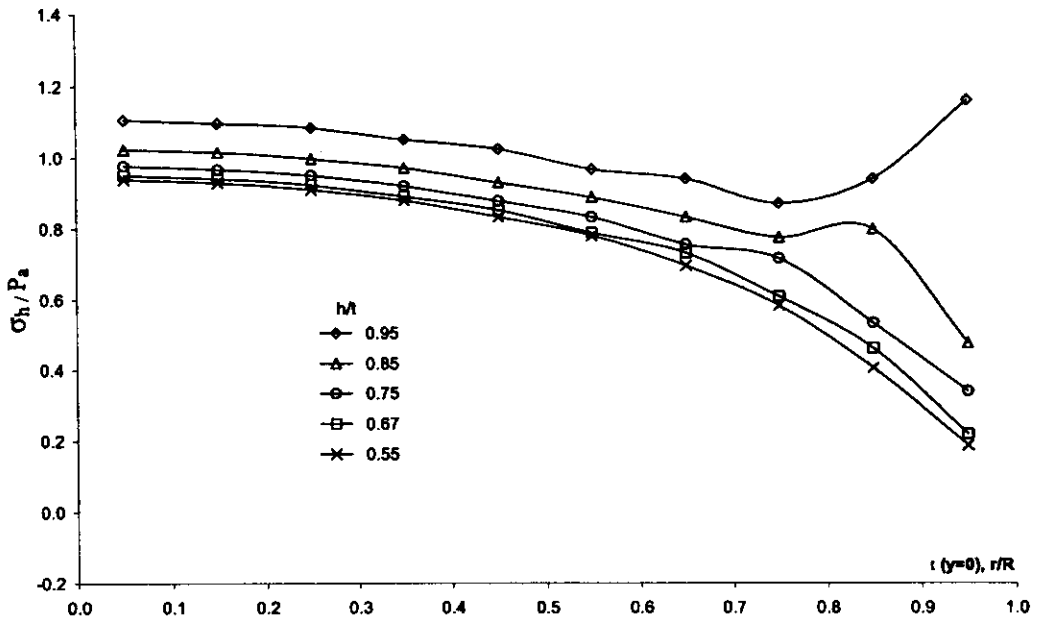
##### 5.4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นยางแผ่นสี่เหลี่ยม

ในการศึกษาลักษณะทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นสี่เหลี่ยมเมื่อรับแรงกด โดยการสร้างแบบจำลองชิ้นงานขนาดความกว้าง ยาว 40 x 40 mm ความหนาเนื้อยาง 20 mm มีค่าตัวประกอบรูปทรงเท่ากับ 0.5 เชื่อมต่อระหว่างยางและโลหะด้วยกาวแห้งเร็ว ความหนาชั้นกาว 0.1 mm รับแรงดึงคงที่ 0.73 MPa มีค่าความเครียดดึง (Compression Strain) 10% สามารถจำลองลักษณะการกระจายความเค้นในรูปของ ความเค้นอุทกสถิตในเนื้อยาง ได้ดังรูปที่ 5.32

จากรูปที่ 5.32 พบว่าการกระจายของความเค้นอุทกสถิตในเนื้อยางมีค่าสูงสุดบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อยางและแผ่นโลหะ และจะลดลงต่ำสุดบริเวณตรงกลางของเนื้อยาง และสามารถแสดงผลบนกราฟสองแกนดังรูปที่ 5.33



รูปที่ 5.32 ตัวอย่างลักษณะการกระจายความเค้นในเนื้อยาง



รูปที่ 5.33 แสดงลักษณะการกระจาย ค่า  $\sigma_h / P_0$  ตามแนวแกน  $x$  ( $y=0$ ) เมื่อชิ้นยางรับแรงดึง

จากกราฟรูปที่ 5.34 พบว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำจะมีค่าสูงบริเวณใกล้รอยต่อระหว่างกาวกับยาง หรือความหนา  $h/t = 0.958$  (ใกล้ 1) และเปรียบเทียบในแนวแกน  $x$  ( $y = 0$ ) พบว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำจะมีค่าสูงบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางชิ้นยาง หรือตำแหน่งในแนวแกน  $x$ ,  $x/X = 0.05$  (ใกล้ 0) และจากกราฟพบว่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตต่อแรงดันที่กระทำจะมีค่าสูงบริเวณขอบของรอยต่อระหว่างกาวกับยาง ซึ่งบริเวณดังกล่าวพบว่าลักษณะเอลิเมนต์ของยางจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากที่สุด เมื่อชิ้นงานได้รับแรงดึง

#### 5.4.2 ผลของตัวประกอบรูปทรง (Shape Factor) ต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง

ในการศึกษาผลของรูปร่างของชิ้นงานยางต่อการกระจายของความเค้น จะศึกษาในทอมของตัวประกอบรูปทรงซึ่งมีความสัมพันธ์กับรูปร่างชิ้นงานดังสมการ

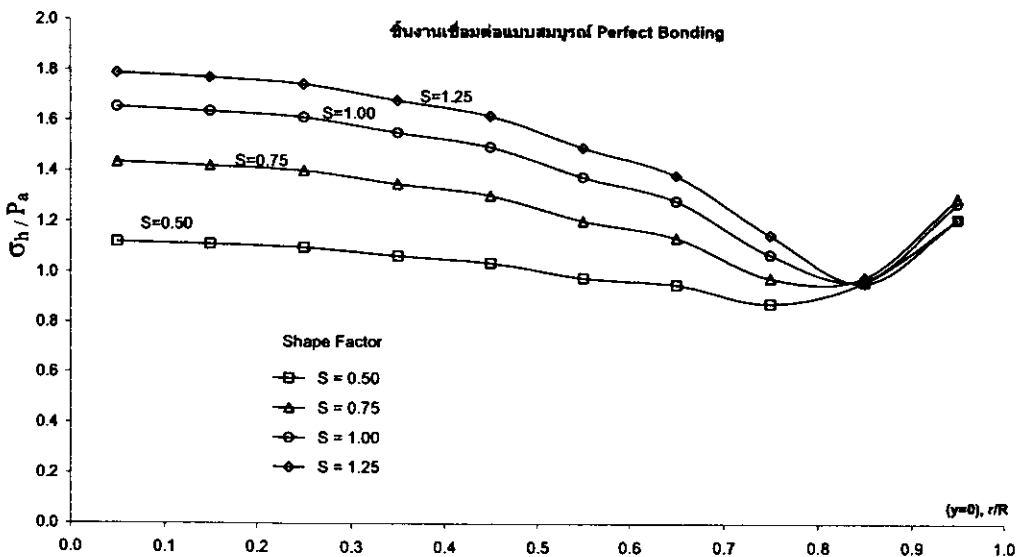
$$S = \frac{D}{4t} \quad (5.6)$$

เมื่อ  $S$  คือ ตัวประกอบรูปทรง (Shape Factor),  $D$  คือขนาดความกว้าง ยาว ของชิ้นยาง และ  $t$  คือ ความหนาของชิ้นยาง

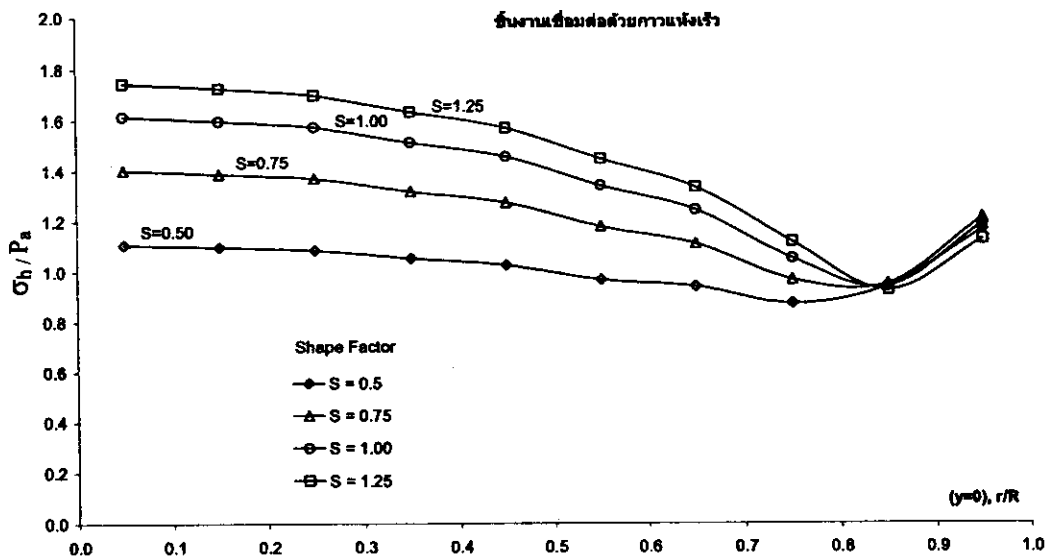
โดยทำการจำลองแบบชิ้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงต่างกันคือ ตัวประกอบรูปทรง 0.5 มีความกว้าง ยาว 40 mm หนา 20 mm, ตัวประกอบรูปทรง 0.75 มีความกว้าง ยาว 30 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง 1.0 มีความกว้าง ยาว 40 mm หนา 10 mm และตัวประกอบรูปทรง 1.25 มีความกว้าง ยาว 50 mm หนา 10 mm ตามลำดับ และในแต่ละขนาด จำลองให้มีการเชื่อมต่อระหว่างยางและโลหะ 2 แบบคือ แบบสมบูรณและแบบใช้กาวแห้งเร็ว และจำลองสถานการณ์ให้แบบจำลองรับแรงดึงคงที่จนชิ้นงานมีความเครียดแรงกด 10% และได้ผลการจำลองสถานการณ์ดังนี้

กราฟรูปที่ 5.34 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำในเนื้อยาง ของชิ้นงานขนาดตัวประกอบรูปทรง 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 ยึดติดชิ้นยางกับแผ่นโลหะแบบสมบูรณ รับแรงดึงจนมีความเครียด 10% โดยมีแรงดันที่กระทำเท่ากับ 0.75 MPa, 1.11 MPa, 1.68 MPa และ 2.53 MPa ตามลำดับ

กราฟรูปที่ 5.35 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างความเค้นอุทกสถิตกับแรงดันที่กระทำในเนื้อยาง ของชิ้นงานขนาดตัวประกอบรูปทรง 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 ยึดติดชิ้นยางกับแผ่นโลหะด้วยกาวแห้งเร็ว ความหนาชั้นกาว 0.1 mm กาวมีความต้านทานแรงดึง  $E = 5.8$  MPa ความต้านทานแรงเฉือน  $G = 2.6$  MPa รับแรงกดจนชิ้นงานมีความเครียด 10% โดยมีค่าแรงดันที่กระทำเท่ากับ 0.73 MPa, 1.04 MPa, 1.51 MPa และ 2.17 MPa ตามลำดับ



รูปที่ 5.34 แสดงลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h / P_a$  ตามแนว แกน x ( $y=0$ ) ของชิ้นยาง ที่ตำแหน่งความหนา  $h/t = 0.96$  ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อแบบสมบูรณ



รูปที่ 5.35 แสดงลักษณะการกระจายค่า  $\sigma_h/P_a$  ตามแนวแกน x (y=0) ของชั้นงาน ที่ตำแหน่งความหนา  $b/t = 0.96$  ของชั้นงานที่เชื่อมต่อกับคานาเหล็กเร็ว

จากกราฟรูปที่ 5.34 และ 5.35 ซึ่งแสดงลักษณะการกระจายของอัตราส่วนระหว่างความเค้นออกทุกสติดกับแรงคั้นที่กระทำในเนื้อขาง ตามแนวแกน x (y=0) ของชั้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงต่างๆ กันพบว่า ชั้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงสูง หรือมีพื้นที่รอยต่อระหว่างคานาและขางมาก หรือมีความหนาของขางน้อย จะมีค่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นออกทุกสติดกับแรงคั้นที่กระทำสูงกว่าชั้นงานที่มีค่าตัวประกอบรูปทรงต่ำ