

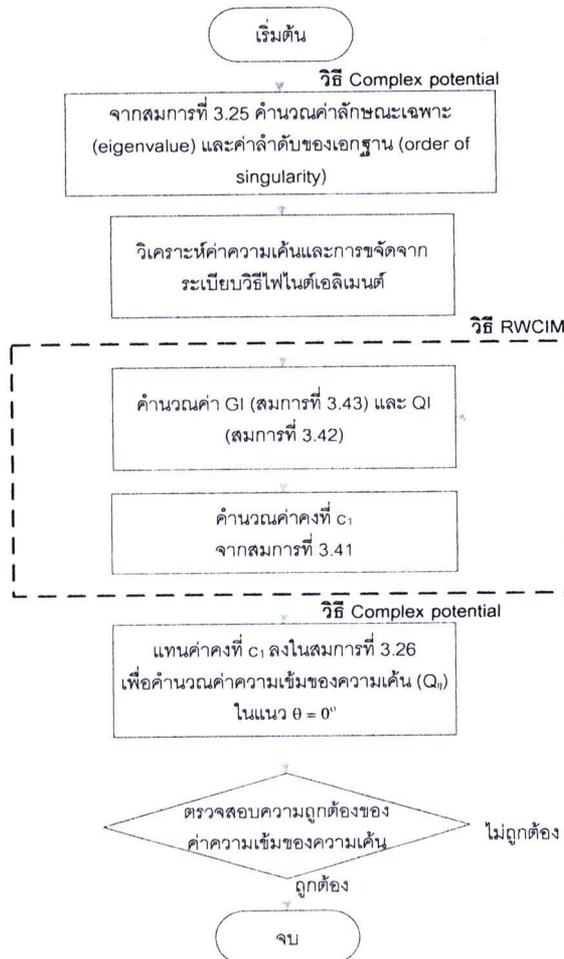
## บทที่ 6

### การวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้น

ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นด้วยวิธีคอมเพล็กซ์โพเทนเชียล และวิธีรีทิคิฟโปรคอลเวิร์คคอนทัวริอิกรัล (RWCIM), การวิเคราะห์ผลของค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบของแรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่และความสัมพันธ์ของช่วงของค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบของแรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่ของการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลังและการทดลองแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตร

#### 6.1 วิธีการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นด้วยวิธีคอมเพล็กซ์โพเทนเชียลและวิธีรีทิคิฟโปรคอลเวิร์คคอนทัวริอิกรัล (RWCIM)

วิธีการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นของลิมของสองวัสดุสามารถอธิบายได้ตามขั้นตอนของรูป flow chart (รูปที่ 6.1) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้น

6.1.1 คำนวณค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue,  $\lambda_i$ ) ในสมการที่ 3.25 โดยวิธีมูลเลอร์ (แสดงวิธีมูลเลอร์ในภาคผนวก ข.) และผลมีดังต่อไปนี้

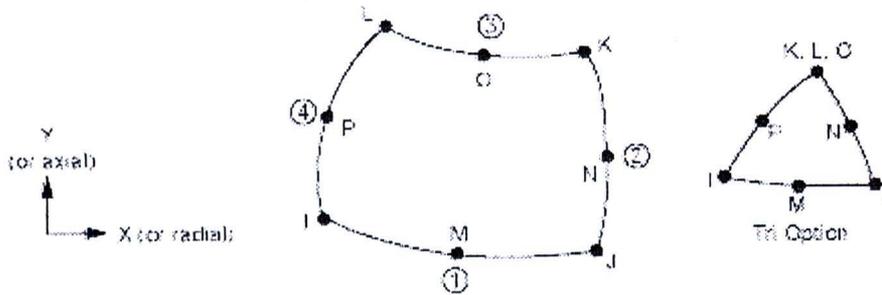
กรณีความเค้นระนาบมีค่าลักษณะเฉพาะเท่ากับ 0.729 และค่าลำดับเอกฐาน (order of singularity,  $\alpha_i$ ) เท่ากับ 0.271

และกรณีความเค้นระนาบค่าลักษณะเฉพาะเท่ากับ 0.674 และค่าลำดับเอกฐานเท่ากับ 0.326

6.1.2 วิเคราะห์ค่าความเค้นและการขจัดโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยเอลิเมนต์ที่ใช้เป็นเอลิเมนต์ชนิด plane82 (แสดงดังรูปที่ 6.2) ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

6.1.2.1 ลักษณะเอลิเมนต์เป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมโดยมีจำนวนจุดภายในเอลิเมนต์เท่ากับ 8 จุด (I, J, K, L, M, N, O, P) ถ้ากรณีเอลิเมนต์เป็นรูปสี่เหลี่ยมแต่ละจุดจะไม่มีทับซ้อนกัน แต่ถ้ากรณีรูปสามเหลี่ยมจะมีจุดทับซ้อนกัน 3 จุดคือ K,L,O โดยงานวิจัยนี้ใช้เอลิเมนต์เป็นรูปสี่เหลี่ยมในการวิเคราะห์

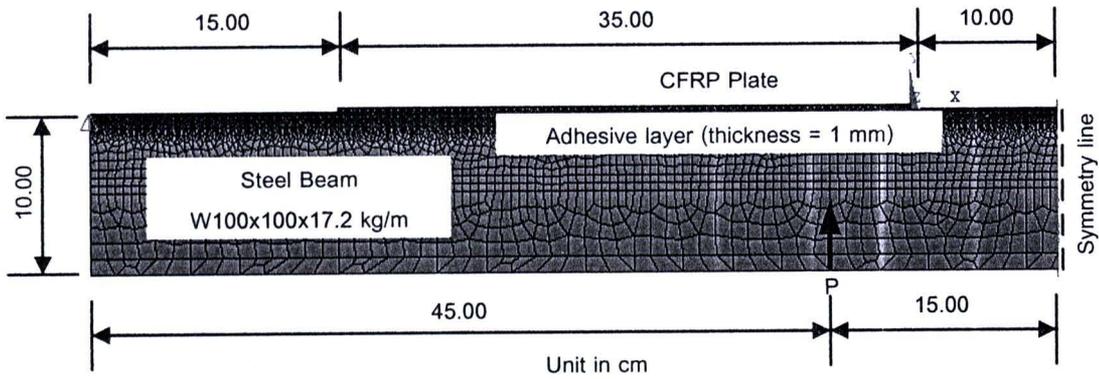
6.1.2.2 ทิศทางการขจัด (DOF) ในแต่ละจุดจะมี 2 ทิศทางคือ  $U_x$  (แกน  $x$ ) และ  $U_y$  (แกน  $y$ )



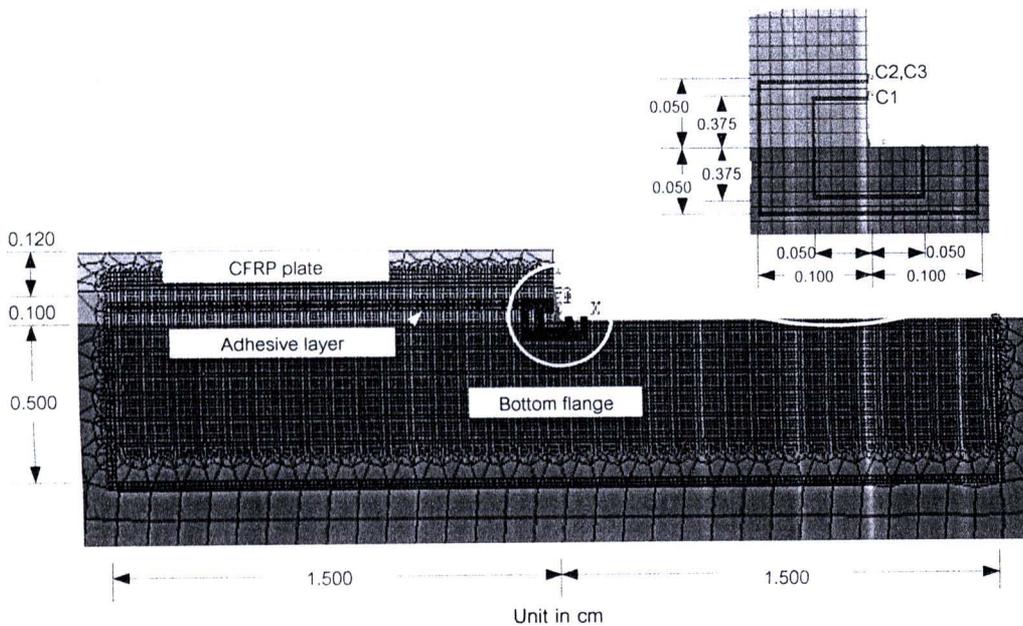
รูปที่ 6.2 รูปทรงของเอลิเมนต์ plane 82 ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในกรณีโมเดลการวิเคราะห์คานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอน ใช้เอลิเมนต์ plane82 ชนิดความเค้นระนาบแบบมีความหนา

เนื่องจากโมเดลและแรงกระทำมีความสมมาตรรอบแกน  $y$  ดังนั้นจึงสามารถทำการวิเคราะห์โมเดลนี้เพียงครึ่งเดียวได้แสดงดังรูปที่ 6.3(ก) และแสดงผลการวิเคราะห์ภายในวิถี C1, C2 และ C3 (ระนาบ  $x-y$ ) เพื่อใช้คำนวณค่าความเข้มของความเค้นแสดงดังรูปที่ 6.3(ข)



(ก) โมเดลคานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนโดยมีจุด (0,0) ที่ผิวสัมผัสผัดระหว่างท้องคานเหล็ก (bottom flange) กับชั้นวัสดุประสาน (adhesive layer) ที่ปลายแผ่นเสริมกำลัง ซึ่งโมเดลนี้มีจำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 92149 เอลิเมนต์และขนาดเอลิเมนต์เล็กสุดเท่ากับ  $2.5 \times 10^{-3}$  ซม.

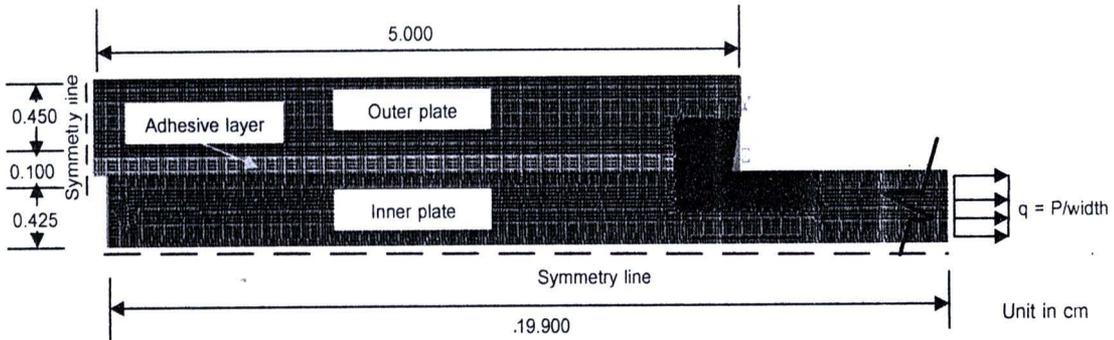


(ข) ภาพขยายบริเวณปลายแผ่นเสริมกำลัง (CFRP plate) กับท้องคานเหล็กเพื่อแสดงวิถี C1, C2 และ C3

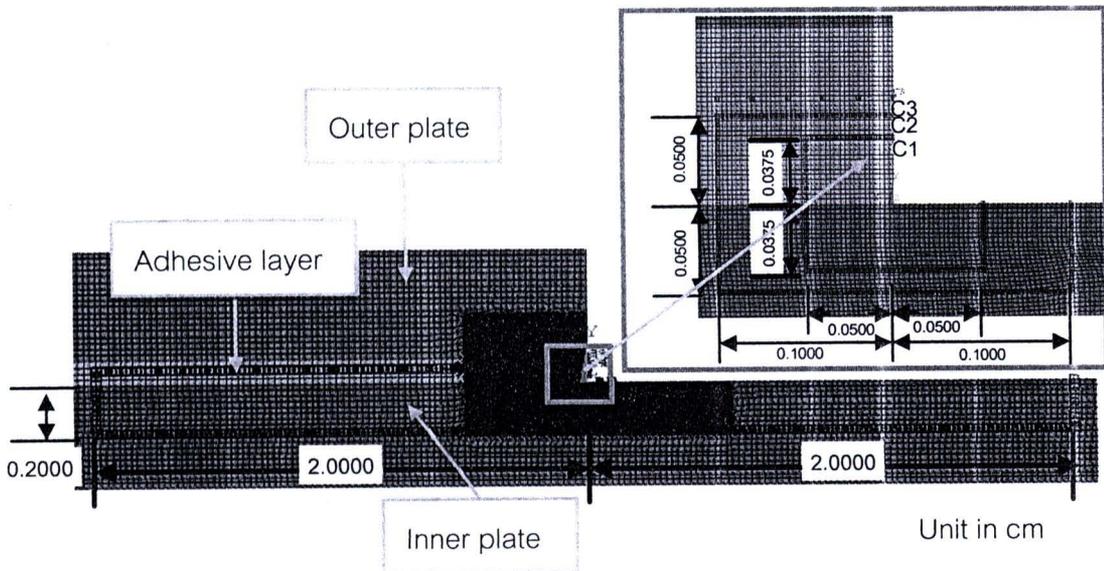
รูปที่ 6.3 โมเดลคานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในกรณีโมเดลการวิเคราะห์แผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตรใช้เอลิเมนต์ plane82 ชนิดความเค้นระนาบแบบมีความหนาและความเครียดระนาบ เนื่องจากโมเดลและแรงกระทำมีความสมมาตรทางด้านแกน  $x$  และ  $y$  ดังนั้นจึงสามารถทำการวิเคราะห์เพียง 1/4 ของโมเดลได้แสดงดัง

รูปที่ 6.4(ก) และแสดงผลการวิเคราะห์ภายในวิธี C1, C2 และ C3 (ระนาบ  $x-y$ ) เพื่อใช้คำนวณค่าความเข้มของความเค้นแสดงดังรูปที่ 6.4(ข)



(ก) โมเดลแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตร โดยมีจุด (0,0) อยู่ที่มุมฉากของผิวสัมผัสระหว่างแผ่นเหล็กรับแรงตามแนวแกน (inner plate) กับชั้นวัสดุประสาน (adhesive layer) ซึ่งโมเดลนี้มีจำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 68943 เอลิเมนต์ และขนาดเอลิเมนต์เล็กสุดเท่ากับ  $2.5 \times 10^{-3}$  ซม.



(ข) ภาพขยายบริเวณปลายแผ่นเหล็กประกบ (outer plate) กับแผ่นเหล็กรับแรงตามแนวแกนเพื่อแสดงวิธี C1, C2 และ C3

รูปที่ 6.4 โมเดลแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตรในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

6.1.3 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์คงที่  $c_1$  ในสมการที่ 3.25 โดยใช้วิธี RWCIM ตามขั้นตอนต่อไปนี

6.1.3.1 คำนวณค่า  $QI$  จากสมการที่ 3.42

$$QI = - \int_{\theta=-\theta_1}^{\theta=\theta_2} \left( \{V_j(+\lambda_1)\}^T [I_2] \{V_j(-\lambda_1)\} \right) r_{inner} d\theta \quad (3.42)$$

โดยที่  $\lambda_1 = 0.729$  สำหรับกรณีความเค้นระนาบ  
 $\lambda_1 = 0.674$  สำหรับกรณีความเค้นเครียดระนาบ  
 $r_{inner} = 0.0001$  ซม.

### 6.1.3.2 คำนวณค่า $GI$ จากสมการที่ 3.43

$$GI = \int_{C_{OUTER}} \left( [Y_{FEM}^{ns}] [I_2] [Y_{eig}^{ns}] \right) ds \quad (3.43)$$

โดยที่ค่าสนามความเค้น  $Y_{FEM}^{ns}$  และ  $Y_{eig}^{ns}$  แสดงที่มาในภาคผนวก ข.

หมายเหตุ งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีกฎสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal rule) ในประมาณค่าจากการอินทิเกรตสมการที่ 3.42 และ 3.43 โดยที่ในสมการที่ 3.42 จะพิจารณาจุดบน  $r_{inner}$  (วิธีภายใน) จำนวน 100 จุด และสมการที่ 3.43 จะพิจารณาจุดบนวิถี

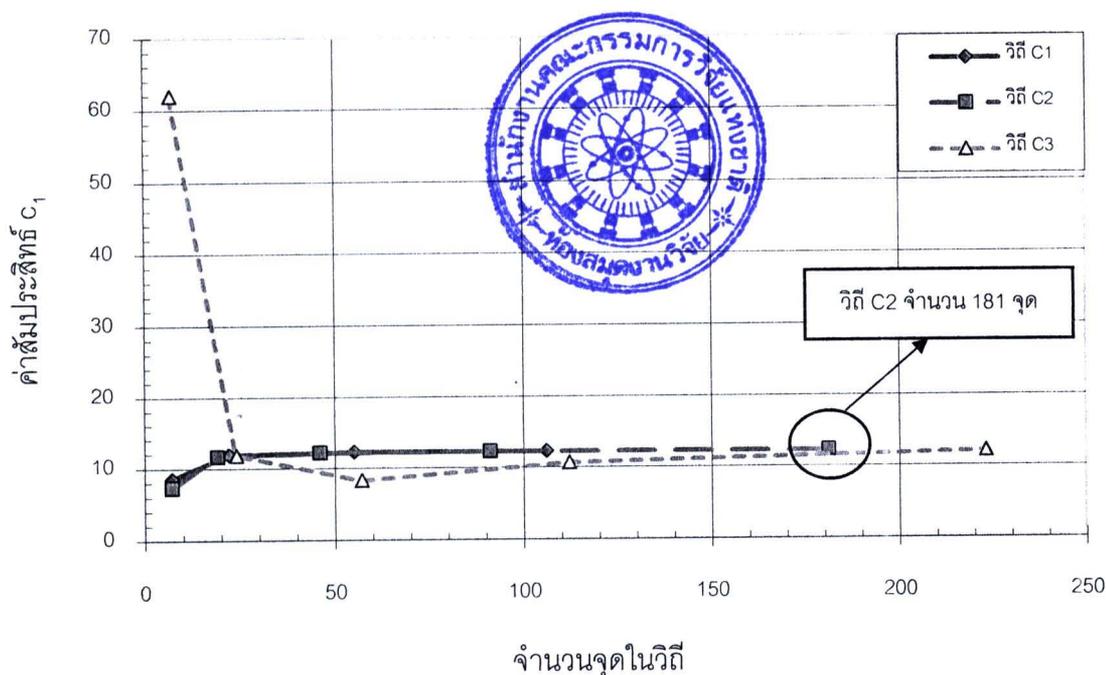
### 6.1.3.3 คำนวณค่าคงที่ $c_1$ จากสมการที่ 3.41

$$c_1 = GI / QI \quad (3.41)$$

จากนั้นตรวจสอบความลู่เข้าค่าของ  $c_1$  ที่คำนวณได้จากวิธี RWCIM ในแต่ละวิถี (C1, C2 และ C3) ที่มาจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงดังตารางที่ 6.1-6.3 ตารางที่ 6.1 กรณีวิเคราะห์ค่าคงที่  $c_1$  ในคานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนภายใต้แรงกระทำ 1 ตัน ในความเค้นระนาบ

| จำนวนจุดในแต่ละวิถี | ค่า $c_1$ ที่คำนวณได้ในแต่ละวิถี |         |        |
|---------------------|----------------------------------|---------|--------|
|                     | C1                               | C2      | C3     |
| 7                   | 8.550                            | 7.342   | 62.010 |
| 19                  |                                  | 11.664  |        |
| 22                  | 11.910                           |         |        |
| 24                  |                                  |         | 11.840 |
| 46                  |                                  | 12.164  |        |
| 55                  | 12.279                           |         |        |
| 57                  |                                  |         | 8.344  |
| 91                  |                                  | 12.278  |        |
| 106                 | 12.288                           |         |        |
| 112                 |                                  |         | 10.665 |
| 181                 |                                  | 12.283* |        |
| 223                 |                                  |         | 12.079 |

จากตารางที่ 6.1 สามารถสร้างกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $c_1$  ของแต่ละวิถี C1, C2, และ C3 กับจำนวนจุดในแต่ละวิถีเพื่อหาความลู่เข้าของค่า  $c_1$  ได้ดังรูปที่ 6.5

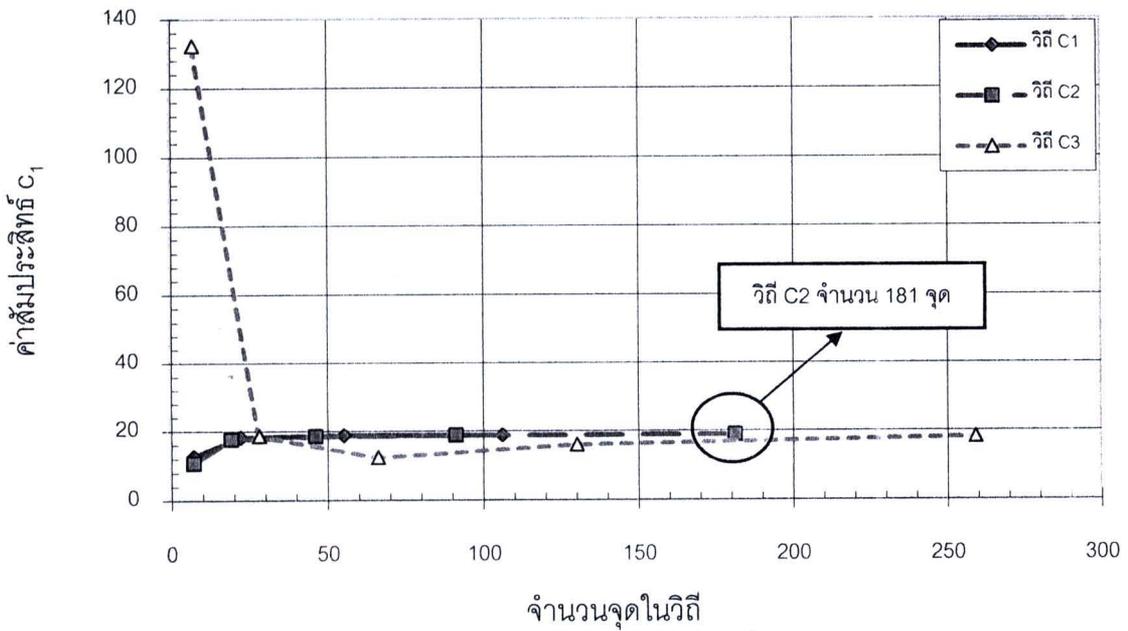


รูปที่ 6.5 ความถี่ของค่าตัวแปร  $c_1$  กับจำนวนจุดในแต่ละวิธี C1, C2 และ C3 ของกรณีวิเคราะห์คานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนภายใต้แรงกระทำ 1 ตัน ในความเค้นระนาบ

ตารางที่ 6.2 กรณีวิเคราะห์แผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตรภายใต้แรงกระทำ 1 ตัน ในความเค้นระนาบ

| จำนวนจุดในแต่ละวิธี | ค่า $c_1$ ที่คำนวณได้ในแต่ละวิธี |         |         |
|---------------------|----------------------------------|---------|---------|
|                     | C1                               | C2      | C3      |
| 7                   | 12.735                           | 10.75   | 132.357 |
| 19                  |                                  | 17.648  |         |
| 22                  | 18.271                           |         |         |
| 28                  |                                  |         | 18.671  |
| 46                  |                                  | 18.584  |         |
| 54                  | 18.824                           |         |         |
| 55                  |                                  |         | 12.403  |
| 91                  |                                  | 18.794  |         |
| 106                 | 18.863                           |         |         |
| 130                 |                                  |         | 16.307  |
| 181                 |                                  | 18.884* |         |
| 259                 |                                  |         | 18.309  |

จากตารางที่ 6.2 สามารถสร้างกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $c_1$  ของแต่ละวิธี C1, C2 และ C3 กับจำนวนจุดในแต่ละวิธีเพื่อหาความถี่ของค่า  $c_1$  ได้ดังรูปที่ 6.6

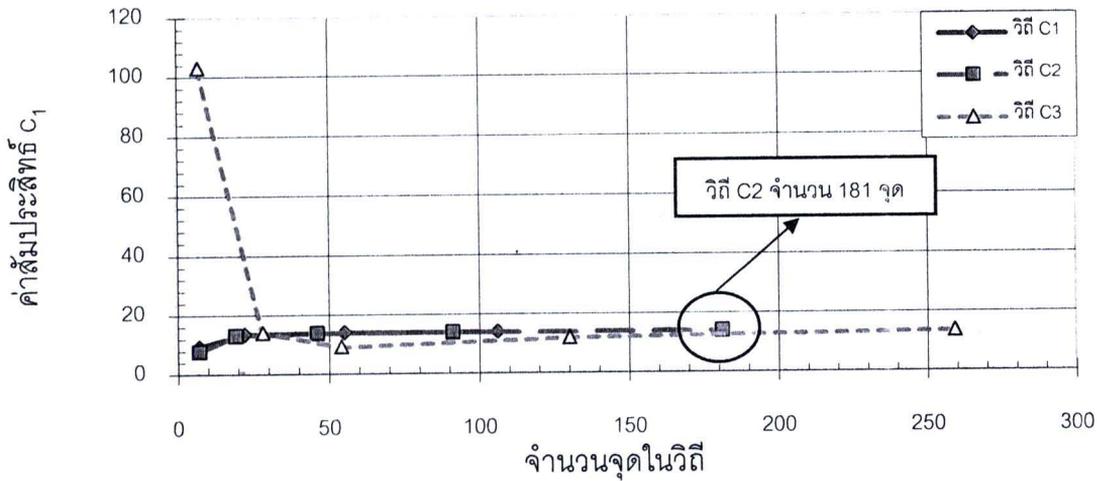


รูปที่ 6.6 ความลู่เข้าของค่าตัวแปร  $c_1$  กับจำนวนจุดในแต่ละวิธี C1, C2 และ C3 ของกรณีวิเคราะห์แผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตรภายใต้แรงกระทำ 1 ตัน ในความเค้นระนาบ

ตารางที่ 6.3 กรณีวิเคราะห์แผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตรภายใต้แรงกระทำ 1 ตัน ในความเค้นระนาบ

| จำนวนจุดในแต่ละวิธี | ค่า $c_1$ ที่คำนวณได้ในแต่ละวิธี |         |         |
|---------------------|----------------------------------|---------|---------|
|                     | C1                               | C2      | C3      |
| 7                   | 9.492                            | 7.909   | 103.206 |
| 19                  |                                  | 13.204  |         |
| 22                  | 13.602                           |         |         |
| 28                  |                                  |         | 14.156  |
| 46                  |                                  | 13.921  |         |
| 55                  |                                  |         | 9.362   |
| 66                  | 14.107                           |         |         |
| 91                  |                                  | 14.087  |         |
| 106                 | 14.140                           |         |         |
| 130                 |                                  |         | 12.034  |
| 181                 |                                  | 14.158* |         |
| 259                 |                                  |         | 13.739  |

จากตารางที่ 6.3 สามารถสร้างกราฟค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $c_1$  ของแต่ละวิธี C1, C2 และ C3 กับจำนวนจุดในวิธีเพื่อหาความลู่เข้าของค่า  $c_1$  ได้ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 ความถี่ของค่าตัวแปร  $c_1$  กับจำนวนจุดในแต่ละวิธี C1, C2 และ C3 ของกรณีวิเคราะห์แผ่นเหล็กประกบกับคู้แบบสมมาตรภายใต้แรงกระทำ 1 ตัน ในความเครียดระนาบ

จากผลการวิเคราะห์ค่า  $c_1$  พบว่าวิธี C2 ที่มีจำนวน 181 จุด จะให้ค่าเข้าใกล้ค่าคงที่มากที่สุดในทุกกรณี

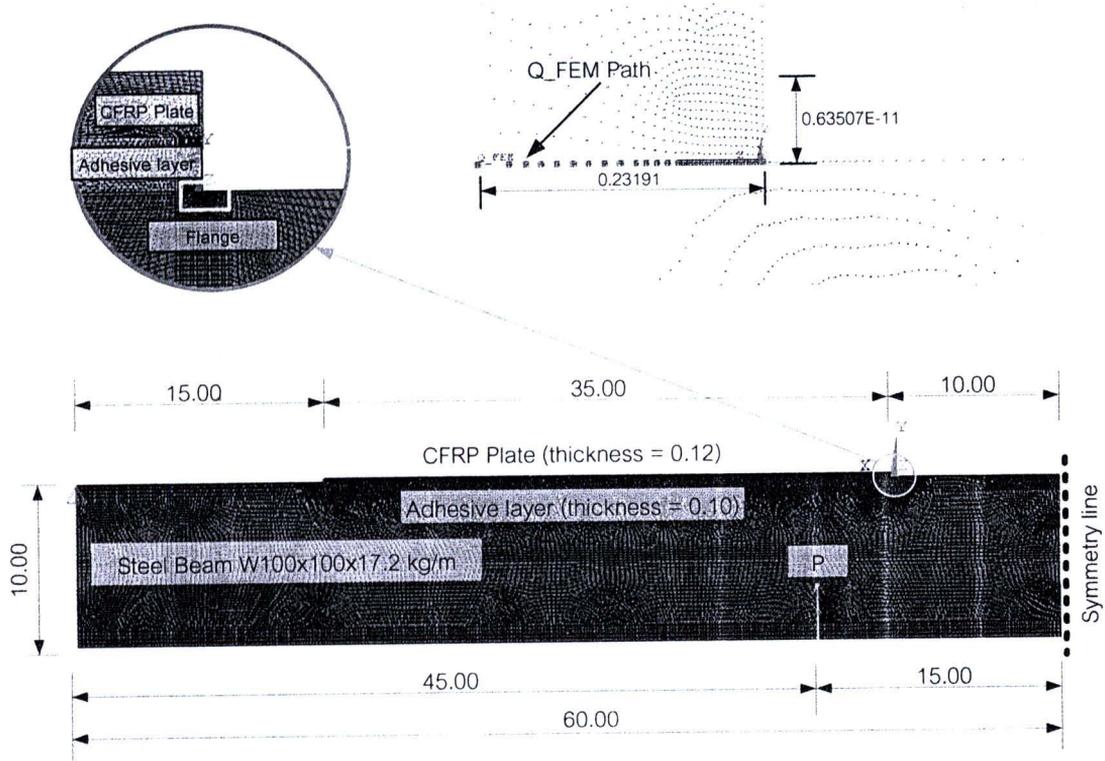
6.1.3.4 เลือกค่า  $c_1$  ในวิธีที่มีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่มากที่สุดแทนลงในสมการที่ 3.27

6.1.4 ทำการตรวจสอบค่าความเข้มของความเค้น

6.1.4.1 สำหรับกรณีคานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอน ค่าความเข้มของความเค้นจากวิธี RWCIM จะถูกเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้โครงข่ายละเอียดมากในโมเดลคานเหล็กที่เสริมกำลัง (แสดงโมเดลการวิเคราะห์และการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นดังรูปที่ 6.8 และ 6.9) เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง แสดงดังตารางที่ 6.4 (แสดงขั้นตอนในภาคผนวก ข.)

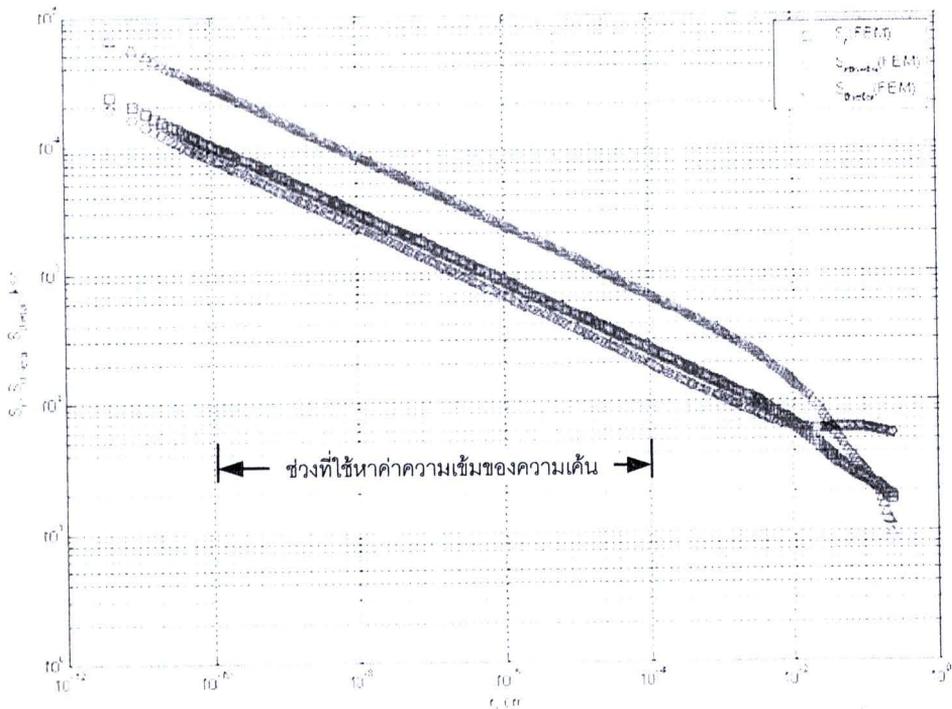
ตารางที่ 6.4 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของค่าความเข้มของความเค้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้โครงข่ายละเอียดมากในกรณีการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอน

| แรง (กก.)                      | $Q_{ij}$ , $\alpha_{ij}$ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้โครงข่ายละเอียดมาก (กก./ตร.ซม.-ซม. <sup>0.271</sup> ) |               |          |               |          |               | $Q_{ij}$ , $\alpha_{ij}$ จากวิธี RWCIM (กก./ตร.ซม.-ซม. <sup>0.271</sup> ) |               |          |               |          |               |
|--------------------------------|--|---------------|----------|---------------|----------|---------------|---|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
|                                | $Q_{rr}$   | $\alpha_{rr}$ | $Q_{r0}$ | $\alpha_{r0}$ | $Q_{00}$ | $\alpha_{00}$ | $Q_{rr}$  | $\alpha_{rr}$ | $Q_{r0}$ | $\alpha_{r0}$ | $Q_{00}$ | $\alpha_{00}$ |
| 4000                           | 20.20  | 0.271         | 15.28    | 0.271         | 56.16    | 0.271         | 21.16   | 0.271         | 15.83    | 0.271         | 57.77    | 0.271         |
| % ความคลาดเคลื่อนของวิธี RWCIM |  |               |          |               |          |               | 4.73  | 0.00          | 3.61     | 0.00          | 2.86     | 0.00          |



Unit in cm

รูปที่ 6.8 โมเดลละเอียดของคานเหล็กที่เสริมกำลังในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้โครงข่ายละเอียดมาก (ความเค้นระนาบ)



รูปที่ 6.9 ค่าความเค้น (S) กับระยะผิวสัมผัสระหว่างผิวคานเหล็กกับชั้นวัสดุประสาน (r) จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้โครงข่ายละเอียดมาก (ความเค้นระนาบ)

จากรูปที่ 6.8 แสดงโมเดลละเอียดของคานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในปัญหาแบบความเค้นระนาบ โดยโมเดลนี้มีจำนวนเอลิเมนต์เป็น 106203 เอลิเมนต์และขนาดเอลิเมนต์เล็กสุดเป็น  $4.2338 \times 10^{-12}$  ซม. และวิธีที่ใช้หาค่าความเข้มของความเค้น (Q\_FEM Path)

จากกราฟ  $S_r$ (FEM),  $S_{\theta}$ (FEM) และ  $S_{\theta}$ (FEM) ในรูปที่ 6.9 พบว่าบริเวณเอกฐานเด่น (singularity dominate-zone) อยู่ในช่วง  $10^{-10} < r < 10^{-4}$  ซึ่งช่วงนี้มีความชัน ( $\alpha_1 = 1 - \lambda_1$ ) ในแต่ละเส้นเท่ากันทั้งสามเส้นคือ 0.271 และจากความชันนี้นำมาคำนวณค่าความเข้มของความเค้นในระนาบเชิงขั้ว ( $Q_{rr}$ ,  $Q_{r\theta}$  และ  $Q_{\theta\theta}$ ) จะได้เท่ากับ 20.20, 15.28 และ 56.16 ตามลำดับ

จากตารางที่ 6.4 ลำดับของเอกฐานที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้โครงข่ายละเอียดมากมีความแตกต่างกับทฤษฎีเป็น 0.00 %, 0.00 % และ 0.00 % ตามลำดับ และค่าความเข้มของความเค้นที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ขนาดเล็กมีความแตกต่างจากทฤษฎีเป็น 4.73 %, 3.61 % และ 2.86 % ตามลำดับ

6.1.4.2 สำหรับกรณีแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตร ค่าความเข้มของความเค้นจากวิธี RWCIM ในแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตรจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มของความเค้นในแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตรในงานวิจัยของ อัครวัชร เล่นวารี (2002) เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง แสดงดังตารางที่ 6.5 และ 6.6

ตารางที่ 6.5 แรงบิดและค่าความเข้มของความเค้นของแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตร (อัครวัชร เล่นวารี 2002)

| ตัวอย่าง<br>การทดลอง | แรงบิด<br>(กก.) | ความเค้นระนาบ (กก./ตร.ซม.-ซม. <sup>0.271</sup> ) |               |                    | ความเค้นระนาบ (กก./ตร.ซม.-ซม. <sup>0.326</sup> ) |               |                    |
|----------------------|-----------------|--|---------------|--------------------|--|---------------|--------------------|
|                      |                 | $Q_{rr}$   | $Q_{r\theta}$ | $Q_{\theta\theta}$ | $Q_{rr}$   | $Q_{r\theta}$ | $Q_{\theta\theta}$ |
| NC-1                 | 9858            | 82.3   | 61.6          | 224.8              | 88.8   | 56.9          | 160.6              |
| NC-2                 | 7580            | 63.3   | 47.4          | 172.9              | 68.3   | 43.8          | 123.5              |
| NC-3                 | 8956            | 74.8   | 56.0          | 204.2              | 80.7   | 51.7          | 145.9              |
| NC-4                 | 9831            | 82.1   | 61.4          | 224.2              | 88.5   | 56.8          | 160.2              |

ตารางที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นโดยอ้างอิงแรงบิดจากตารางที่ 6.5

| ตัวอย่าง<br>การทดลอง | แรงบิด<br>(กก.) | ความเค้นระนาบ (กก./ตร.ซม.-ซม. <sup>0.271</sup> ) |               |                    | ความเค้นระนาบ (กก./ตร.ซม.-ซม. <sup>0.326</sup> ) |               |                    |
|----------------------|-----------------|--|---------------|--------------------|--|---------------|--------------------|
|                      |                 | $Q_{rr}$   | $Q_{r\theta}$ | $Q_{\theta\theta}$ | $Q_{rr}$   | $Q_{r\theta}$ | $Q_{\theta\theta}$ |
| NC-1                 | 9858            | 80.1   | 59.9          | 218.6              | 85.4   | 54.8          | 154.6              |
| NC-2                 | 7580            | 61.6   | 46.1          | 168.1              | 65.7   | 42.1          | 118.8              |
| NC-3                 | 8956            | 72.8   | 54.4          | 198.6              | 77.6   | 49.8          | 140.4              |
| NC-4                 | 9831            | 79.9   | 59.8          | 218.0              | 85.2   | 54.6          | 154.1              |

จากตารางที่ 6.5 และ 6.6 สามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นของแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตร แสดงดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนจากผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นในกรณีการทดลองแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตร

| ตัวอย่างการทดลอง | แรงวิบัติ (กก.) | % ความคลาดเคลื่อนในกรณีความเค้นระนาบ |               |                    | % ความคลาดเคลื่อนกรณีความเค้นเครียดระนาบ |               |                    |
|------------------|-----------------|--------------------------------------|---------------|--------------------|--|---------------|--------------------|
|                  |                 | $Q_{rr}$                             | $Q_{r\theta}$ | $Q_{\theta\theta}$ | $Q_{rr}$                                 | $Q_{r\theta}$ | $Q_{\theta\theta}$ |
| NC-1             | 9858            | -2.70                                | -2.72         | -2.74              | -3.78                                    | -3.72         | -3.76              |
| NC-2             | 7580            | -2.73                                | -2.80         | -2.77              | -3.81                                    | -3.83         | -3.77              |
| NC-3             | 8956            | -2.74                                | -2.79         | -2.72              | -3.81                                    | -3.74         | -3.76              |
| NC-4             | 9831            | -2.73                                | -2.68         | -2.75              | -3.72                                    | -3.82         | -3.78              |
| ค่าเฉลี่ย        |                 | -2.73                                | -2.75         | -2.75              | -3.78                                    | -3.78         | -3.77              |

จากตารางที่ 6.7 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนจากผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นในแต่ละกรณีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทั้งสองกรณี

นอกจากนี้ถ้านำค่าความเข้มของความเค้นในทิศทางใดๆ เปรียบเทียบกับค่าความเข้มของความเค้นในทิศทาง  $r-r$  ( $Q_{rr}$ ) พบว่าในกรณีความเค้นระนาบของทั้งสองการทดลองมีสัดส่วนเท่ากันคือ 1, 0.75 และ 2.73 และในกรณีความเค้นเครียดระนาบในการทดลองรอยต่อประกบคู่แบบสมมาตรมีสัดส่วนเป็น 1, 0.64 และ 1.81

## 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบของแรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่

ในหัวข้อนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบการหลุดล่อนที่ปลายแผ่นเสริมกำลังในคานเหล็กและความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่วงความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบการวิบัติของแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตร

### 6.2.1 ผลวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นของการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนภายใต้แรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่

จากการทดลองพบว่าพฤติกรรมการหลุดล่อนของแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนนั้นจะเกิดที่ปลายแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนที่ห่างออกจากเส้นศูนย์กลางออกไปข้างละ 15 ซม.

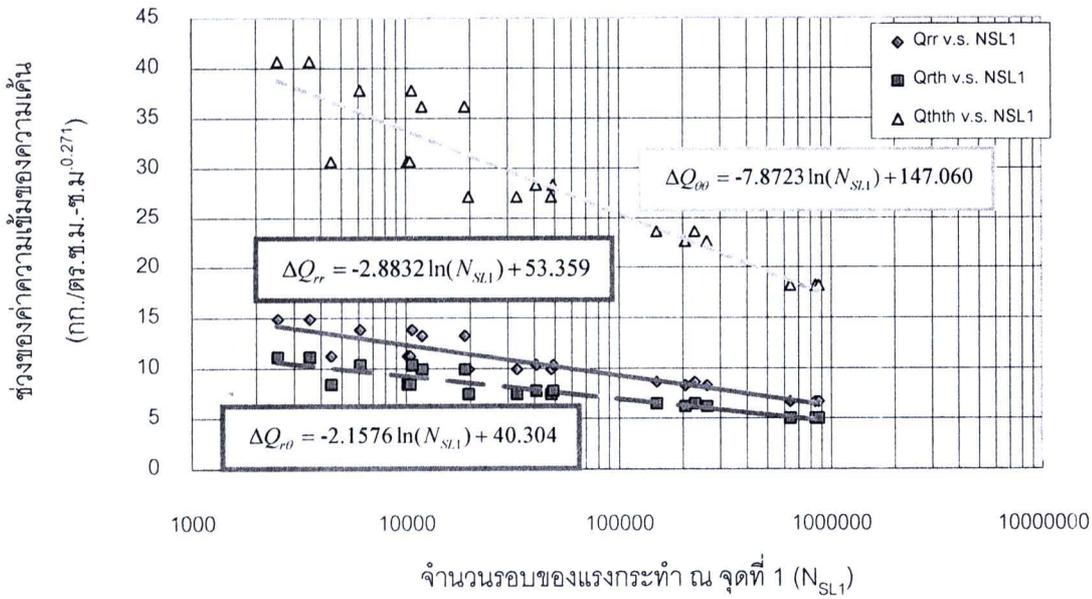
ซึ่งจุดนี้อยู่ในช่วงของความเค้นสูงสุด (ความเค้นเอกฐาน) โดยความเค้นสูงสุดนี้จะถูกอธิบายด้วยช่วงความเข้มของความเค้น และในบริเวณดังกล่าวนี้จะนำไปสู่การวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นด้วยวิธีคอมเพล็กซ์โพเทนเชียลและวิธี RWCIM ซึ่งผลค่าความเข้มของความเค้นที่วิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ผลการวิเคราะห์ช่วงค่าความเข้มของความเค้นที่ทำให้แผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนเกิดการหลุดล่อนออกจากคานที่เสริมกำลัง

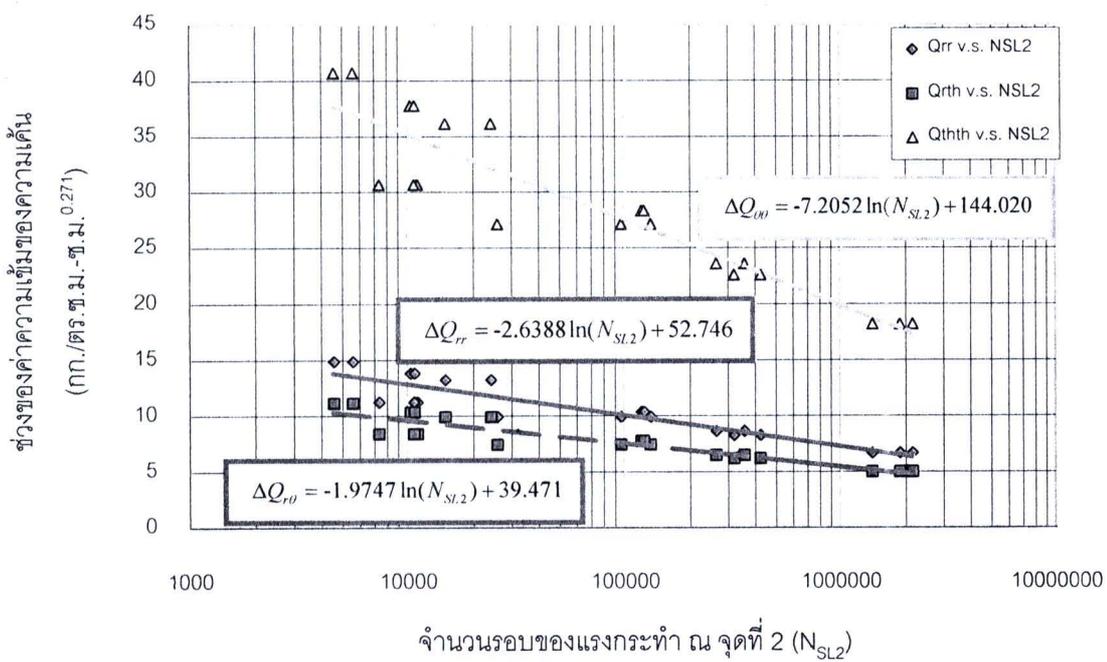
| ลำดับการทดลอง | ทิศแผ่นเสริมกำลัง | $t_u$<br>(มม.) | $\frac{P_{max}}{P_{static}}$ | $\Delta P$<br>(กก.) | $\Delta Q_{ij}$ (กก./ตร.ซม.-ซม. <sup>0.271</sup> ) |                      |                           |
|---------------|-------------------|----------------|------------------------------|---------------------|--|----------------------|---------------------------|
|               |                   |                |                              |                     | $\Delta Q_{rr}$                                    | $\Delta Q_{r\theta}$ | $\Delta Q_{\theta\theta}$ |
| BSC901        | ได้               | 1.03           | 0.90                         | 6120                | 32.37  | 24.22                | 88.39                     |
|               | เหนือ             | 1.01           | 0.90                         | 6120                | 32.37  | 24.22                | 88.39                     |
| BSC801        | ได้               | 1.10           | 0.80                         | 5440                | 28.77  | 21.53                | 78.56                     |
|               | เหนือ             | 0.80           | 0.80                         | 5440                | 30.37  | 22.72                | 82.91                     |
| BSC802        | ได้               | 0.95           | 0.80                         | 5440                | 28.77  | 21.53                | 78.56                     |
|               | เหนือ             | 0.86           | 0.80                         | 5440                | 30.37  | 22.72                | 82.91                     |
| BSC651        | ได้               | 1.12           | 0.65                         | 4420                | 23.38  | 17.49                | 63.83                     |
|               | เหนือ             | 0.84           | 0.65                         | 4420                | 24.67  | 18.46                | 67.36                     |
| BSC652        | ได้               | 0.75           | 0.65                         | 4420                | 24.67  | 18.46                | 67.36                     |
|               | เหนือ             | 0.82           | 0.65                         | 4420                | 24.67  | 18.46                | 67.36                     |
| BSC601        | ได้               | 0.85           | 0.60                         | 4080                | 22.77  | 17.04                | 62.18                     |
|               | เหนือ             | 0.90           | 0.60                         | 4080                | 22.77  | 17.04                | 62.18                     |
| BSC602        | ได้               | 0.80           | 0.60                         | 4080                | 22.77  | 17.04                | 62.18                     |
|               | เหนือ             | 0.80           | 0.60                         | 4080                | 22.77  | 17.04                | 62.18                     |
| BSC501        | ได้               | 0.84           | 0.50                         | 3400                | 18.98  | 14.20                | 51.82                     |
|               | เหนือ             | 1.02           | 0.50                         | 3400                | 17.98  | 13.46                | 49.10                     |
| BSC502        | ได้               | 0.78           | 0.50                         | 3400                | 18.98  | 14.20                | 51.82                     |
|               | เหนือ             | 0.90           | 0.50                         | 3400                | 18.98  | 14.20                | 51.82                     |
| BSC401        | ได้               | 0.94           | 0.40                         | 2720                | 14.39  | 10.77                | 39.28                     |
|               | เหนือ             | 1.06           | 0.40                         | 2720                | 14.39  | 10.77                | 39.28                     |
| BSC402        | ได้               | 0.98           | 0.40                         | 2720                | 14.39  | 10.77                | 39.28                     |
|               | เหนือ             | 0.90           | 0.40                         | 2720                | 15.18  | 11.36                | 41.45                     |

โดยที่ตัวอักษรเรียงหน้าสีแดงในตารางที่ 6.8 หมายถึงจำนวนค่าความเข้มของความเค้นโดยพิจารณาความหนาของชั้นวัสดุประสาน ( $t_u$ ) < 0.90 มม.

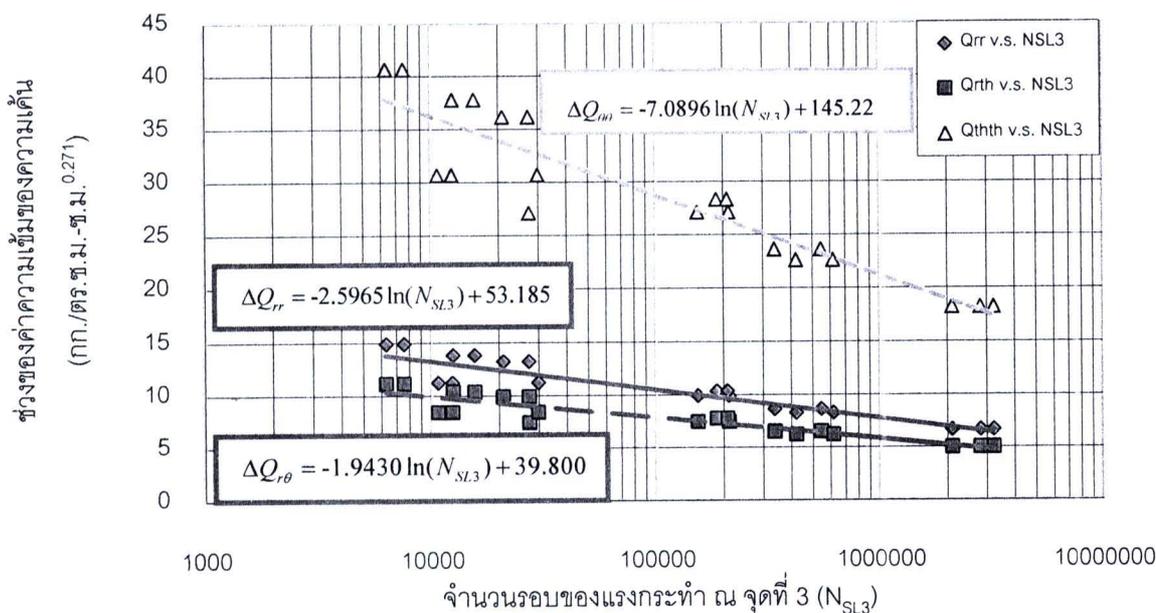
จากตารางที่ 6.8 สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของค่าความเข้มของความเค้น (ความเค้นระนาบ) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดใดๆ (ตารางที่ 5.1) ดังรูปที่ 6.10 - 6.12



รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของค่าความเข้มของความเค้นในความเค้นระนาบกับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 1 ในการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลังภายใต้แรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่



รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของค่าความเข้มของความเค้นในความเค้นระนาบกับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 2 ในการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลังภายใต้แรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่



รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของค่าความเข้มของความเค้นในความเค้นระนาบกับจำนวนรอบการหลุดล่อนของแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนในคานเหล็กในการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลังภายใต้แรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่

จากรูปที่ 6.10 - 6.12 เขียนสมการความสัมพันธ์ของช่วงของค่าความเข้มของความเค้น (ในระบบพิกัดเชิงขั้ว) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 1, 2, และ 3 ของกราฟสัญญาณการตรวจจับการหลุดล่อนของแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนในคานเหล็กด้วยกระแสไฟฟ้า (รูปที่ 5.1) ได้ดังกรณีต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ช่วงค่าความเข้มของความเค้นในกรณีการวิเคราะห์แบบความเค้นระนาบ (กก./ตร.ซม.-ซม.<sup>0.271</sup>) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 1 (จุดกำเนิดรอยร้าว) ในช่วงที่ 1 "ระยะกำเนิดรอยร้าว" (จุด 0 ถึงจุดที่ 1) สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 1 ( $N_{SL1}$ ) ในการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลัง

$$\Delta Q_{rr} = -2.8832 \ln(N_{SL1}) + 53.359 \quad ; \quad R^2 = 0.88 \quad (6.1ก)$$

$$\Delta Q_{r\theta} = -2.1576 \ln(N_{SL1}) + 40.304 \quad ; \quad R^2 = 0.88 \quad (6.1ข)$$

$$\Delta Q_{\theta\theta} = -7.8723 \ln(N_{SL1}) + 147.060 \quad ; \quad R^2 = 0.88 \quad (6.1ค)$$

กรณีที่ 2 ช่วงค่าความเข้มของความเค้นในกรณีการวิเคราะห์แบบความเค้นระนาบ (กก./ตร.ซม.-ซม.<sup>0.271</sup>) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 2 (จุดรอยร้าวเติบโต 1) ในช่วงที่ 2 "ระยะรอยร้าวเติบโต 1" (จุด 1 ถึงจุดที่ 2) สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 2 ( $N_{SL2}$ ) ในการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลัง

$$\Delta Q_{rr} = -2.6388 \ln(N_{SL2}) + 52.746 \quad ; \quad R^2 = 0.86 \quad (6.2ก)$$

$$\Delta Q_{r\theta} = -1.9747 \ln(N_{SL2}) + 39.471 \quad ; \quad R^2 = 0.86 \quad (6.2ข)$$

$$\Delta Q_{\theta\theta} = -7.2052 \ln(N_{SL2}) + 144.020 \quad ; \quad R^2 = 0.86 \quad (6.2ค)$$

กรณีนี้ที่ 3 ช่วงค่าความเข้มของความเค้นในกรณีการวิเคราะห์แบบความเค้นระนาบ (กก./ตร.ซม.-ซม.<sup>0.271</sup>) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 3 (จุดรอยร้าวเติบโต 2, จุดปลายแผ่นหลุดล่อน) ในช่วงที่ 3 “ระยะรอยร้าวเติบโต 2” (จุด 2 ถึงจุดที่ 3) สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 3 ( $N_{SL3}$ ) ในการทดลองคานเหล็กที่เตรียมกำลัง

$$\Delta Q_{rr} = -2.5965 \ln(N_{SL3}) + 53.185 \quad ; \quad R^2 = 0.87 \quad (6.3ก)$$

$$\Delta Q_{r\theta} = -1.9430 \ln(N_{SL3}) + 39.800 \quad ; \quad R^2 = 0.87 \quad (6.3ข)$$

$$\Delta Q_{\theta\theta} = -7.0896 \ln(N_{SL3}) + 145.22 \quad ; \quad R^2 = 0.87 \quad (6.3ค)$$

## 6.2.2 ผลวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นของการทดลองแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตรภายใต้แรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่

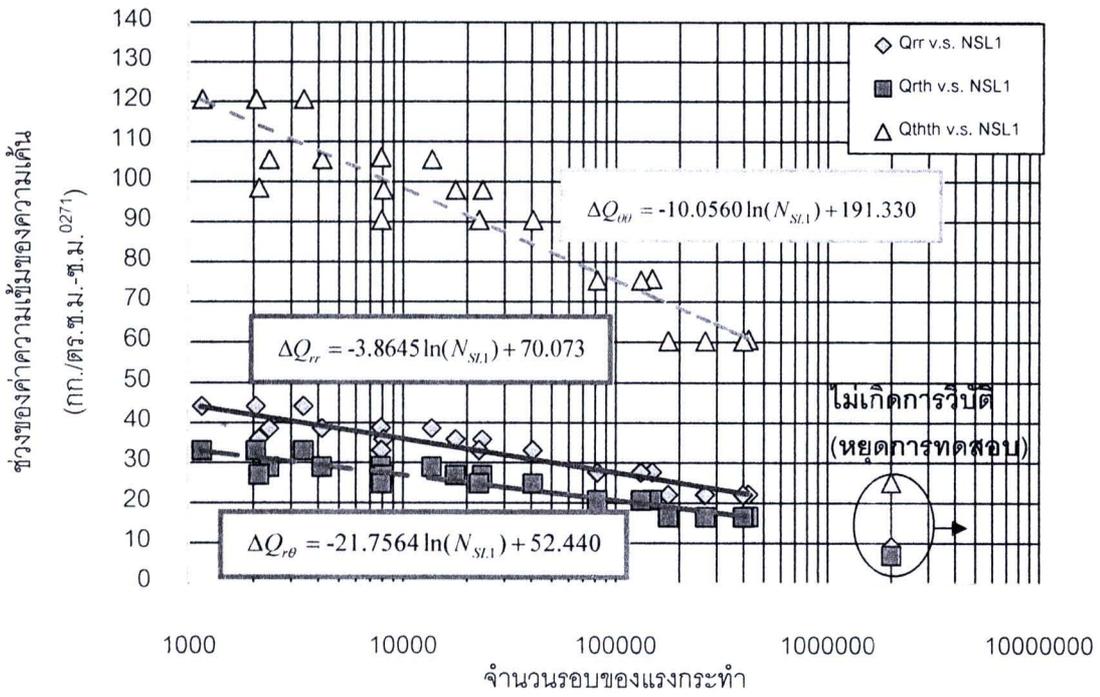
จากการทดลองพบว่าพฤติกรรมการหลุดวิบัติของแผ่นประกบกับคู่แบบสมมาตรนั้นจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อเกิดรอยร้าว ซึ่งผลงานวิจัยส่วนใหญ่บอกว่าบริเวณผิวสัมผัสระหว่างทั้งสองวัสดุที่ปลายแผ่นประกบหรือปลายแผ่นทาบในรอยต่อมักจะเกิดความเค้นสูงที่สุด (ความเค้นเอกฐาน) ดังนั้นพารามิเตอร์ที่จะบอกความรุนแรงของความเค้นสูงที่สุด (ค่าความเข้มของความเค้น) นี้จะสามารถหาได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีคอมเพลคซ์โพเทนเชียลและวิธี RWCIM ซึ่งผลค่าความเข้มของความเค้นที่วิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในบริเวณผิวสัมผัสระหว่างผิวของแผ่นเหล็กประกบด้านข้างกับชั้นวัสดุเชื่อมประสาน

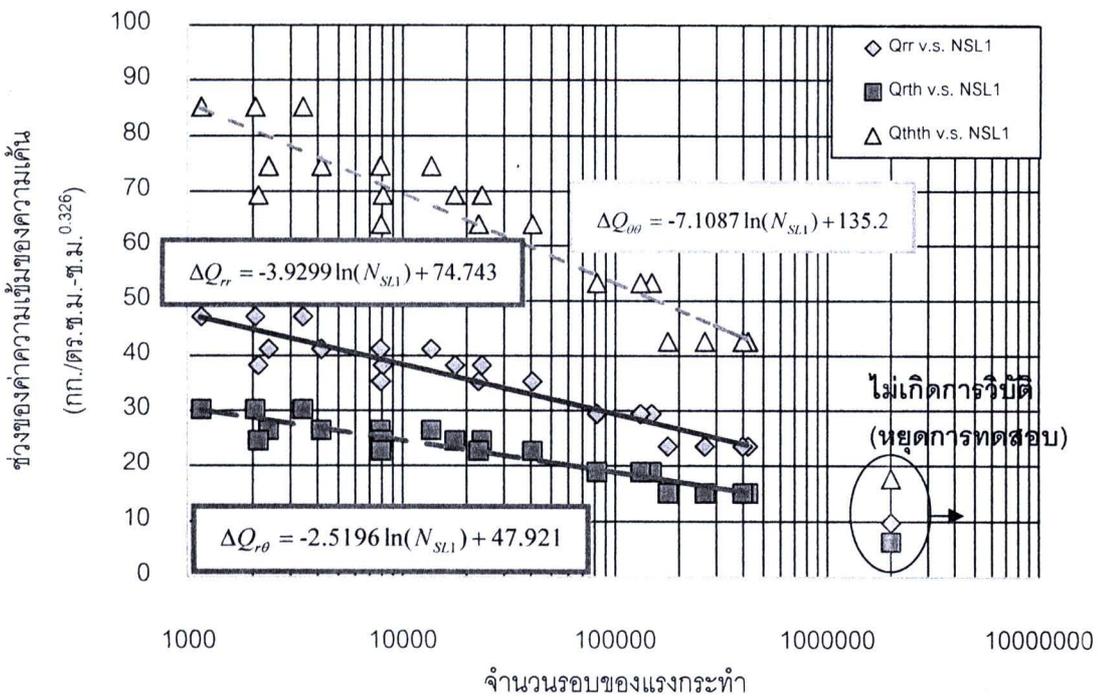
| ตัวอย่าง<br>ทดลอง | $t_a$<br>(มม.) | $\frac{P_{max}}{P_{static}}$ | $\Delta P$<br>(กก.) | $\Delta Q_{ij}$ ความเค้นระนาบ<br>(กก./ตร.ซม.-ซม. <sup>0.271</sup> ) |                      |                           | $\Delta Q_{ij}$ ความเครียดระนาบ<br>(กก./ตร.ซม.-ซม. <sup>0.326</sup> ) |                      |                           |
|-------------------|----------------|------------------------------|---------------------|---|----------------------|---------------------------|---|----------------------|---------------------------|
|                   |                |                              |                     | $\Delta Q_{rr}$   | $\Delta Q_{r\theta}$ | $\Delta Q_{\theta\theta}$ | $\Delta Q_{rr}$   | $\Delta Q_{r\theta}$ | $\Delta Q_{\theta\theta}$ |
| DSJ801            | 0.99           | 0.80                         | 5440                | 44.19   | 33.07                | 120.65                    | 47.15   | 30.23                | 85.29                     |
| DSJ802            | 1.05           | 0.80                         | 5440                | 44.19   | 33.07                | 120.65                    | 47.15   | 30.23                | 85.29                     |
| DSJ803            | 1.11           | 0.80                         | 5440                | 44.19   | 33.07                | 120.65                    | 47.15   | 30.23                | 85.29                     |
| DSJ701            | 1.04           | 0.70                         | 4760                | 38.67   | 28.93                | 105.57                    | 41.26   | 26.45                | 74.63                     |
| DSJ702            | 0.95           | 0.70                         | 4760                | 38.67   | 28.93                | 105.57                    | 41.26   | 26.45                | 74.63                     |
| DSJ703            | 1.22           | 0.70                         | 4760                | 38.62   | 28.93                | 105.57                    | 41.26   | 26.45                | 74.63                     |
| DSJ704            | 0.86           | 0.70                         | 4760                | 38.81   | 29.07                | 106.10                    | 41.27   | 26.46                | 74.65                     |
| DSJ651            | 0.84           | 0.65                         | 4420                | 36.04   | 26.99                | 98.52                     | 38.32   | 24.57                | 69.32                     |
| DSJ652            | 1.14           | 0.65                         | 4420                | 35.90   | 26.87                | 98.03                     | 38.31   | 24.56                | 69.30                     |
| DSJ653            | 0.92           | 0.65                         | 4420                | 35.90   | 26.87                | 98.03                     | 38.31   | 24.56                | 69.30                     |
| DSJ654            | 1.25           | 0.65                         | 4420                | 35.86   | 26.86                | 98.03                     | 38.31   | 24.56                | 69.30                     |
| DSJ601            | 1.22           | 0.60                         | 4080                | 33.10   | 24.80                | 90.49                     | 35.36   | 22.67                | 63.97                     |
| DSJ602            | 0.98           | 0.60                         | 4080                | 33.14   | 24.80                | 90.49                     | 35.36   | 22.67                | 63.97                     |
| DSJ603            | 0.98           | 0.60                         | 4080                | 33.14   | 24.80                | 90.49                     | 35.36   | 22.67                | 63.97                     |
| DSJ501            | 0.77           | 0.50                         | 3400                | 27.72   | 20.76                | 75.78                     | 29.48   | 18.90                | 53.32                     |
| DSJ502            | 1.29           | 0.50                         | 3400                | 27.59   | 20.66                | 75.41                     | 29.47   | 18.89                | 53.31                     |
| DSJ503            | 1.08           | 0.50                         | 3400                | 27.62   | 20.67                | 75.41                     | 29.47   | 18.89                | 53.31                     |
| DSJ401            | 1.21           | 0.40                         | 2720                | 22.07   | 16.53                | 60.33                     | 23.58   | 15.12                | 42.65                     |
| DSJ402            | 0.86           | 0.40                         | 2720                | 22.18   | 16.61                | 60.63                     | 23.58   | 15.12                | 42.66                     |
| DSJ403            | 1.08           | 0.40                         | 2720                | 22.09   | 16.53                | 60.33                     | 23.58   | 15.12                | 42.65                     |
| DSJ404            | 1.33           | 0.40                         | 2720                | 22.07   | 16.53                | 60.33                     | 23.58   | 15.12                | 42.65                     |
| DSJ171            | 1.15           | 0.17                         | 1130                | 9.21  | 6.89                 | 25.14                     | 9.79  | 6.28                 | 17.72                     |
| DSJ172            | 0.84           | 0.17                         | 1130                | 9.21  | 6.90                 | 25.19                     | 9.80  | 6.28                 | 17.72                     |
| DSJ173            | 0.95           | 0.17                         | 1130                | 9.20  | 6.88                 | 25.14                     | 9.79  | 6.28                 | 17.72                     |

โดยที่ตัวอักษรเอียงหนาสีแดงและตัวอักษรหนาสีน้ำเงินในตารางที่ 6.9 หมายถึงค่านวนค่าความเข้มของความเค้นโดยพิจารณาความหนาของชั้นวัสดุประสานในกรณี  $t_a < 0.90$  มม. และ  $t_a > 1.15$  มม. ตามลำดับ

จากตารางที่ 6.9 สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของค่าความเข้มของความเค้น (ความเค้นระนาบและความเครียดระนาบ) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุด ที่ 1 (ตารางที่ 5.4) แสดงดังรูปที่ 6.13 - 6.14



รูปที่ 6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของค่าความเข้มของความเค้นในกรณีความเค้นระนาบกับจำนวนรอบการวิบัติของแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตร



รูปที่ 6.14 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของค่าความเข้มของความเค้นในกรณีความเค้นระนาบกับจำนวนรอบการวิบัติของแผ่นเหล็กประกบกับคู่แบบสมมาตร

จากรูปที่ 6.13 - 6.14 เขียนสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มของความเค้น (ในระบบพิกัดเชิงขั้ว) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 1 ของกราฟสัญญาณการตรวจจับสนัยการวิบัติของแผ่นเหล็กประกบคู่แบบสมมาตรด้วยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อม (รูปที่ 5.6) ได้ดังกรณีต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ช่วงค่าความเข้มของความเค้นในกรณีการวิเคราะห์แบบความเค้นระนาบ (กก./ตร.ซม.-ซม.<sup>0.271</sup>) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 1 (จุดกำเนิดรอยร้าว, จุดวิบัติ) ในช่วงที่ 1 "ระยะกำเนิดรอยร้าว" (จุด 0 ถึงจุดที่ 1) สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของความเค้น (กรณีความเค้นระนาบ) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 1 ( $N_{SL1}$ ) ในการทดลองแผ่นเหล็กประกบคู่แบบสมมาตร

$$\Delta Q_{rr} = -3.6845 \ln(N_{SL1}) + 70.073 \quad ; \quad R^2 = 0.88 \quad (6.4ก)$$

$$\Delta Q_{r\theta} = -2.7564 \ln(N_{SL1}) + 52.440 \quad ; \quad R^2 = 0.88 \quad (6.4ข)$$

$$\Delta Q_{\theta\theta} = -10.0560 \ln(N_{SL1}) + 191.330 \quad ; \quad R^2 = 0.88 \quad (6.4ค)$$

กรณีที่ 2 ช่วงค่าความเข้มของความเค้นในกรณีการวิเคราะห์แบบความเครียดระนาบ (กก./ตร.ซม.-ซม.<sup>0.326</sup>) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 1 (จุดกำเนิดรอยร้าว, จุดวิบัติ) ในช่วงที่ 1 "ระยะกำเนิดรอยร้าว" (จุด 0 ถึงจุดที่ 1) สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของความเค้น (กรณีความเครียดระนาบ) กับจำนวนรอบของแรงกระทำ ณ จุดที่ 1 ( $N_{SL1}$ ) ในการทดลองแผ่นเหล็กประกบคู่แบบสมมาตร

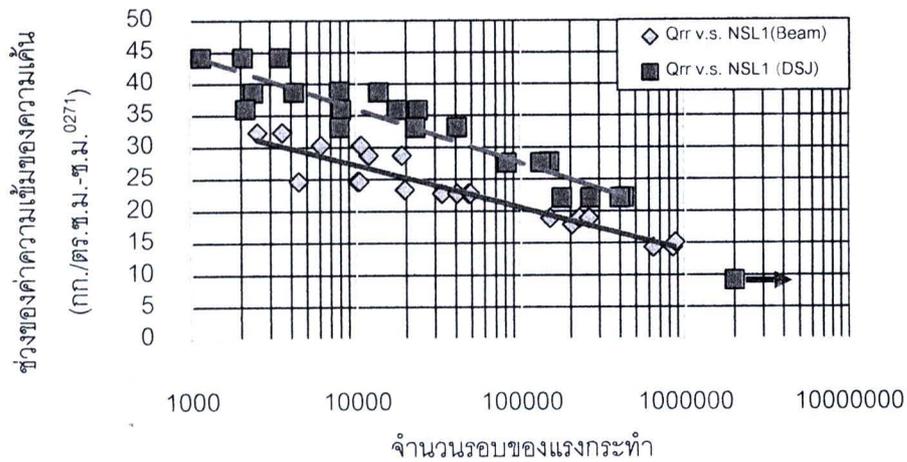
$$\Delta Q_{rr} = -3.9299 \ln(N_{SL1}) + 74.743 \quad ; \quad R^2 = 0.88 \quad (6.5ก)$$

$$\Delta Q_{r\theta} = -2.5196 \ln(N_{SL1}) + 47.921 \quad ; \quad R^2 = 0.88 \quad (6.5ข)$$

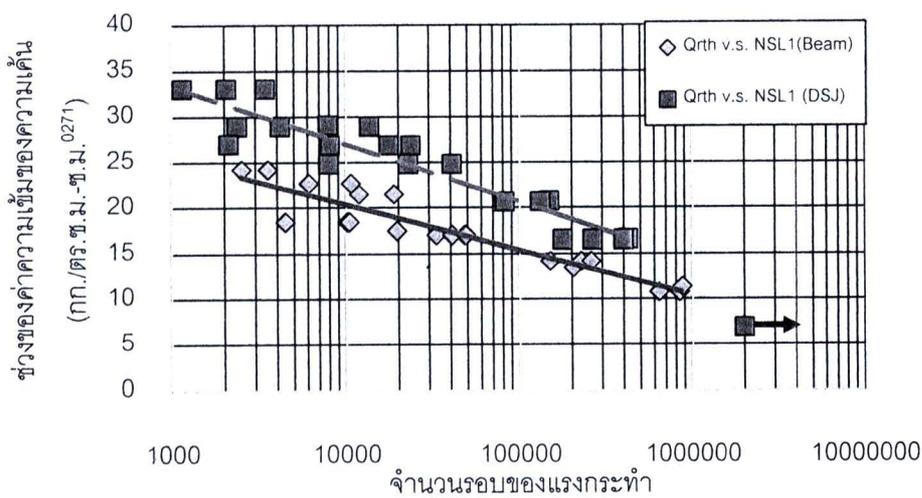
$$\Delta Q_{\theta\theta} = -7.1087 \ln(N_{SL1}) + 135.2 \quad ; \quad R^2 = 0.88 \quad (6.5ค)$$

### 6.3 การเปรียบเทียบสมการความสัมพันธ์

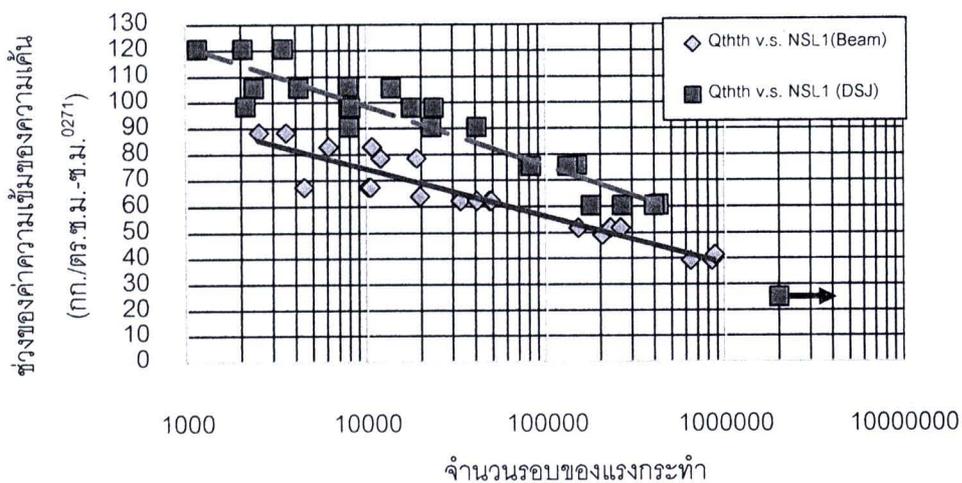
จากพฤติกรรมของการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนภายใต้แรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่และพฤติกรรมการวิบัติของแผ่นเหล็กประกบคู่แบบสมมาตรภายใต้แรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่จะมีช่วงที่ 1 เหมือนกัน (ระยะการกำเนิดรอยร้าว) หรือพฤติกรรมของช่วงที่ 1 ในสองการทดลองเหมือนกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำสมการความสัมพันธ์ของช่วงของค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบที่ทำให้เกิดรอยร้าว ( $N_{SL1}$ ) ในกรณีความเค้นระนาบของทั้งสองการทดลองมาเปรียบเทียบกันแสดงดังรูปที่ 6.15



(ก) ความเข้มของความเค้นในทิศทาง  $r-r$  กับจำนวนรอบของแรงกระทำ



(ข) ความเข้มของความเค้นในทิศทาง  $r-\theta$  กับจำนวนรอบของแรงกระทำ



(ค) ความเข้มของความเค้นในทิศทาง  $\theta-\theta$  กับจำนวนรอบของแรงกระทำ

รูปที่ 6.15 เปรียบเทียบสมการความสัมพันธ์ของช่วงของค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบที่ทำให้เกิดรอยร้าว ( $N_{SL1}$ ) ของการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลังกับการทดลองแผ่นเหล็กประทับคู่

แบบสมมาตร

จากรูปที่ 6.15 พบว่าสมการความสัมพันธ์ของช่วงของค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบของแรงกระทำที่ทำให้เกิดรอยร้าวในการทดลองแผ่นเหล็กประกบคู่แบบสมมาตรไม่เท่ากับสมการความสัมพันธ์ของช่วงของค่าความเข้มของความเค้นกับจำนวนรอบของแรงกระทำที่ทำให้เกิดรอยร้าวในการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลังซึ่งหมายถึง สมการทำนายการเกิดรอยร้าวในการทดลองแผ่นเหล็กประกบคู่แบบสมมาตรภายใต้แรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่ได้ไม่สามารถนำมาใช้ทำนายอายุการเกิดรอยร้าวในผิวสัมผัสระหว่างผิวเหล็กกับชั้นวัสดุประสานในการทดลองคานเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนภายใต้แรงกระทำเป็นรอบแอมพลิจูดคงที่ได้