บทที่ 3 การวิเคราะห์แบบจำลองเบื้องต้น

บทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์แบบจำลองเบื้องต้น โดยเริ่มการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 2 มิติ ที่ใช้ในการทดสอบการเลือกใช้ผิวสัมผัสระหว่างสกรูกับชิ้นงาน ตามงานวิจัยของ Montgomery [5] จากนั้นจะทำการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ เปรียบเทียบค่า ความดันสัมผัส (Contact Pressure) กับแบบจำลอง 2 มิติ ขั้นตอนต่อไปทำการวิเคราะห์การขยายตัวของแบบจำลองสกรู 3 มิติ โดยการเปรียบเทียบค่าการขยายตัวจากทางทฤษฎี กับค่าที่ได้จากโปรแกรม และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความดันสัมผัสจากการเพิ่มอุณหภูมิ

3.1 การขยายตัวของสกรูจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบการเลือกใช้ผิวสัมผัสระหว่างสกรู กับชิ้นงานที่นำมาประกอบกัน โดยเริ่มจากแบบจำลอง 2 มิติ ไปสู่แบบจำลอง 3 มิติ รวมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์การขยายตัวของแบบจำลองเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และเปรียบเทียบการคำนวณการขยายตัวของ Boltในแบบจำลอง 3 มิติ กับ ค่าที่ได้จากโปรแกรม Abaqus

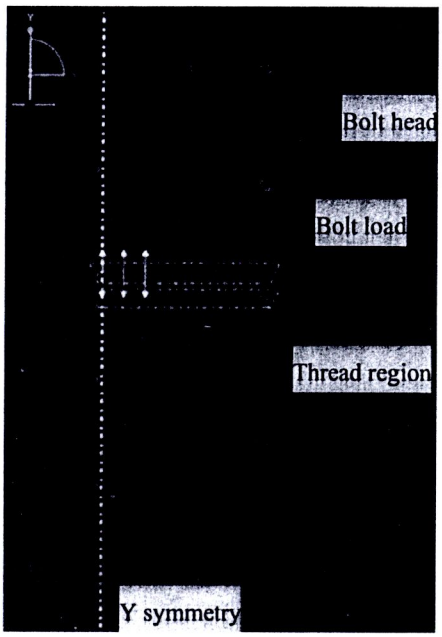
3.1.1 แบบจำลองสกรู

3.1.1.1 แบบจำลองสกรูแบบสมมาตรรอบแกน (Axisymmetric model)

ในขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์จะทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสกรู ที่มีเงื่อนไขขอบเขต บริเวณสัมผัสของสกรูกับชิ้นงานที่ต้องการประกอบแตกต่างกัน โดยการใช้แบบจำลอง 2 มิติ

แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบนั้นได้อ้างอิงให้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Montgomery เนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่ได้กำหนดขนาดที่แน่นอนของตัว Bolt กับ Hole ไว้ในงานวิจัย และเพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบผลของความเค้น โดยที่ Bolt มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร, ระยะพิตช์ 6 มิลลิเมตร และ Thread half-angle 30 องศา โหลดที่กระทำจะให้เป็น Bolt load ขนาด 2533.69 kN และ ความดัน ขนาด 0.04138 N/mm^2 เงื่อนไขขอบเขตจะกำหนดให้ขอบด้านซ้ายและขวาของ Hole กับขอบด้านซ้ายของ Bolt เป็น x symmetry ส่วนขอบด้านล่างของ Hole กำหนดให้เป็น y symmetry ดังแสดงในรูปที่ 3.1

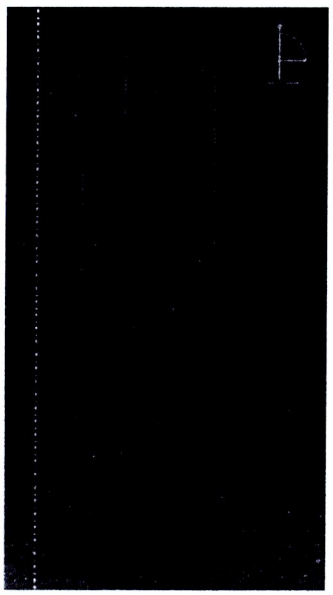
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

ในส่วนของการสัมผัสระหว่าง Bolt และ Hole บริเวณ Thread region ซึ่งผลจากงานวิจัยของ Montgomery ระบุว่าการตั้งค่าผิวสัมผัสระหว่างเกลียว และสลักเกลียวด้วย Smear contact นั้นให้ผลใกล้เคียงกับโมเดลด้วยรูปแบบเกลียวจริง ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ผลของความเค้นแม่นยำที่สุด แต่ใช้เวลาในการสร้างแบบจำลอง และวิเคราะห์มาก

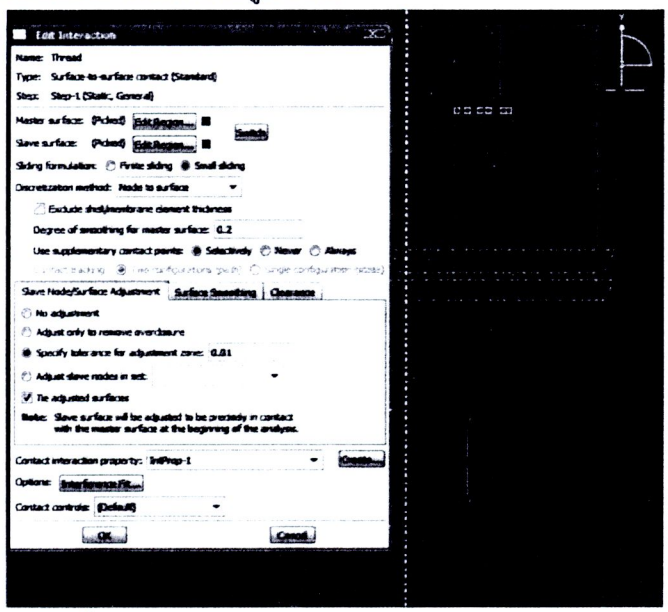
การทดสอบครั้งนี้ได้ทำการทดสอบแบบ Axisymmetric (2D) ในการแบ่งเอลิเมนต์ (Mesh) ได้ใช้เอลิเมนต์แบบ Axisymmetric Stress ในการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูป 3.2



รูปที่ 3.2 การแบ่งเอลิเมนต์ในการทดสอบ

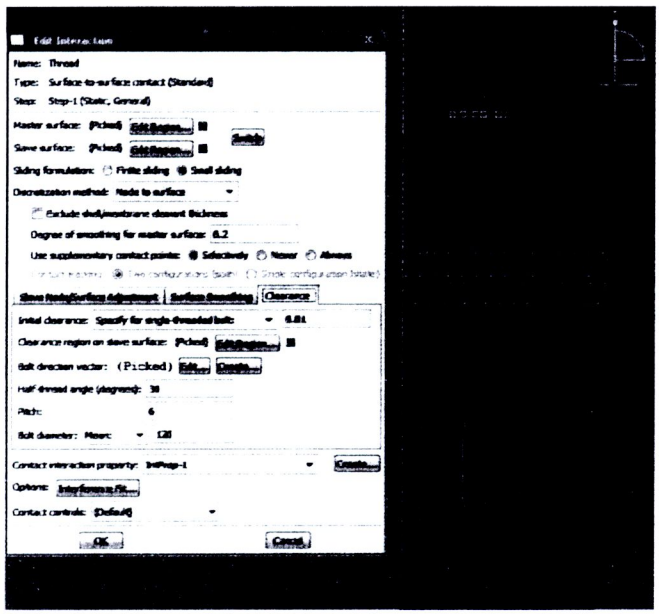
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 19 มิ.ย. 2555
เลขทะเบียน 250328
เลขเรียกหนังสือ

การตั้งค่าผิวสัมผัสส่วนที่ต่างกันของทั้งสองกรณีคือ ในกรณีของ Tied simulation กำหนดระยะ Tolerance สำหรับ Adjustment zone (บริเวณ Thread region) เท่ากับ 0.01 และจะทำเครื่องหมายที่ตัวเลือก Tie adjusted surfaces ดังแสดงในรูปที่ 3.3



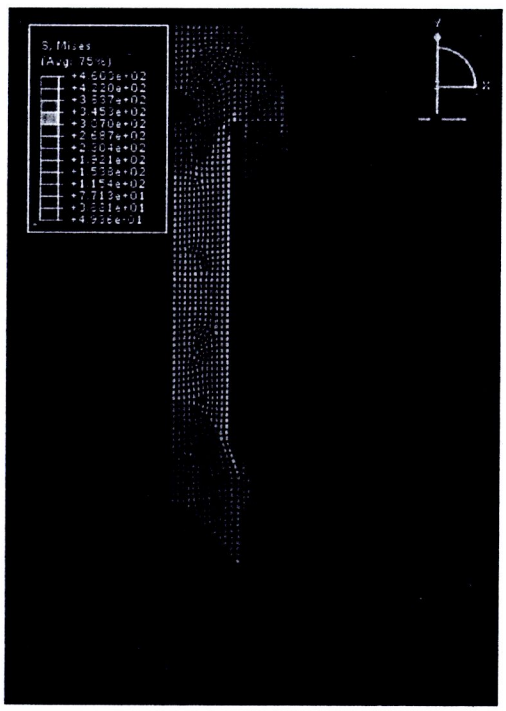
รูปที่ 3.3 การตั้งค่า Interactions บริเวณ Thread region ของ Tied simulation

กรณีของ Smear Simulation ตั้งค่าในส่วนของ Tab ที่เรียกว่า Clearance โดยกำหนด Initial clearance เท่ากับ 0.01 ในส่วนของ Clearance region on slave surface ให้เลือก Surface บริเวณ Thread ของตัว Bolt และ Bolt direction vector ให้เลือกทิศทางของ Bolt จากบนลงล่าง ใส่ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ Bolt เพื่อจำลองลักษณะของเกลียวได้แก่ pitch, bolt diameter และ half-thread angle (degree) ดังแสดงในรูปที่ 3.4

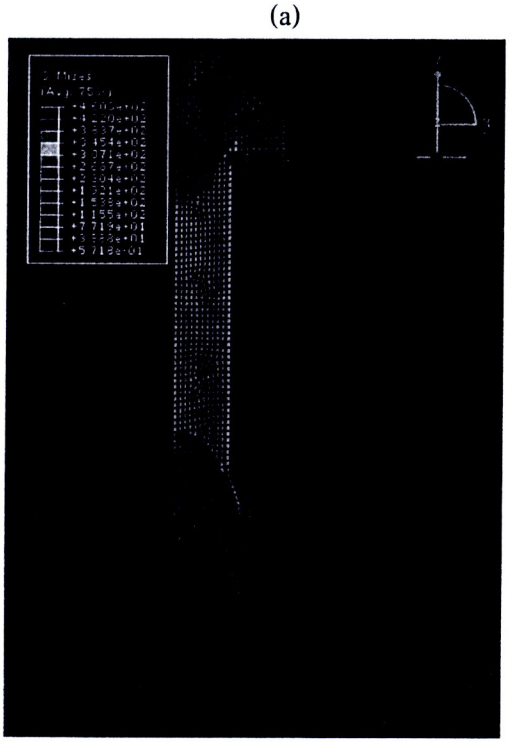


รูปที่ 3.4 การตั้งค่า Interactions บริเวณ Thread region ของ Smear simulation

ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นลักษณะของความเค้นบริเวณที่มีการสัมผัส ทั้งบริเวณ Bolt head และ Thread region มีลักษณะคล้ายคลึงกับลักษณะความเค้นบริเวณที่มีการสัมผัสของงานวิจัย Montgomery ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งในการทดสอบนั้นได้ใช้ทั้งวิธีการ (a) Tied simulation และ (b) Smear simulation เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณเกลียวสัมผัส และตัว Bolt



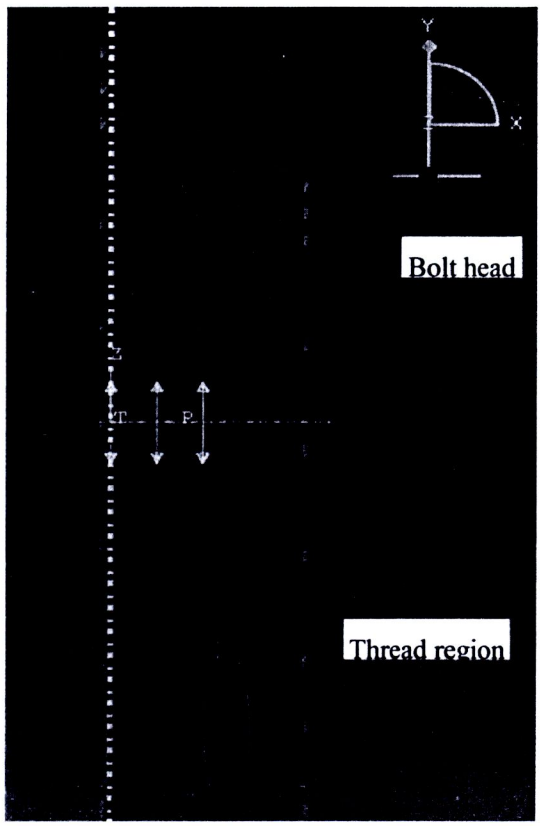
(a)



(b)

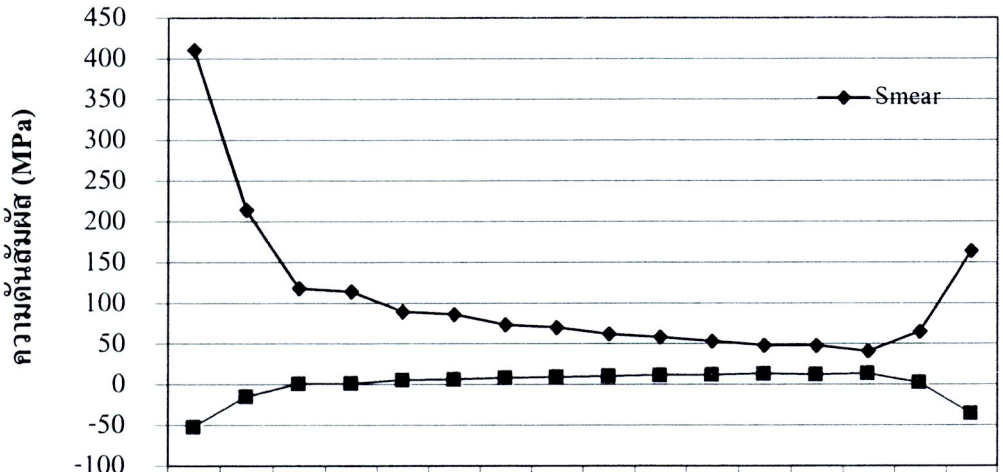
รูปที่ 3.5 ลักษณะของความเค้นที่เกิดขึ้น (a) Tied simulation (b) Smear simulation

ขั้นตอนต่อไปจะทำการเปรียบเทียบความดันสัมผัสบริเวณที่มีการสัมผัสระหว่าง Bolt กับ Hole และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ระหว่าง Tied simulation กับ Smear simulation แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบนั้น จะมีลักษณะดังรูป 3.6 โดยมีการตัดแบบจำลองในส่วนของ Hole ให้มีลักษณะไม่ซับซ้อนเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์



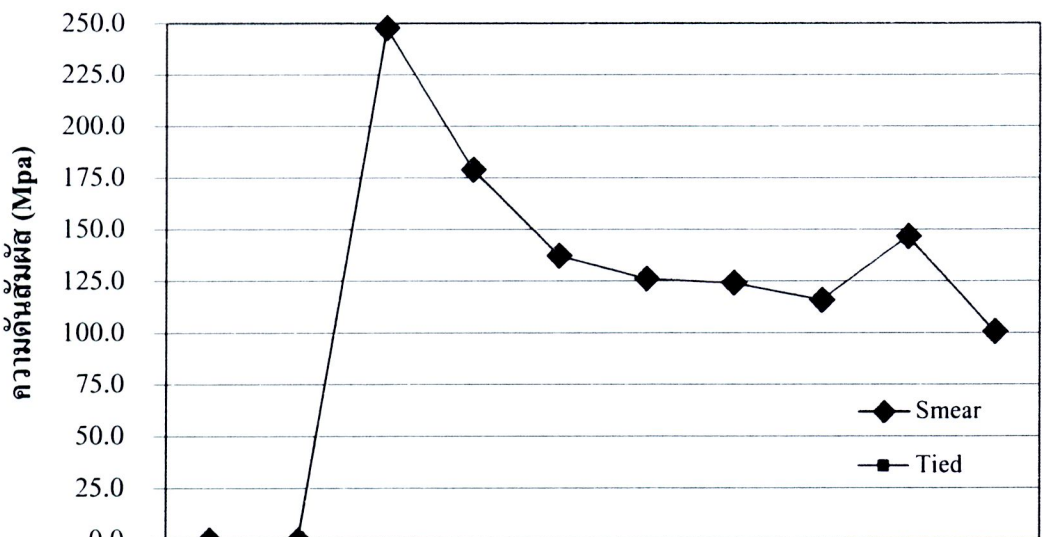
รูปที่ 3.6 แบบจำลองที่ใช้ในเปรียบเทียบค่าความดันสัมผัส

ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความดันสัมผัสของทั้งสองกรณีนั้นพบว่าบริเวณ Thread region นั้นมีค่าความดันสัมผัสต่างกันมากโดยเฉพาะบริเวณ node แรก และ node สุดท้ายดังแสดงในรูปที่ 3.7 ในขณะที่ค่าความดันสัมผัสบริเวณ Head ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองกรณีมีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งเป็นบริเวณที่ให้ความสนใจมากกว่า เนื่องจากบริเวณนี้จะส่งผลกระทบค่อนข้างมากต่อการขยายตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Run time) นั้น Tied simulation จะใช้เวลาน้อยกว่า Smear Simulation คือ 7 และ 12 วินาที ตามลำดับ เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้การวิเคราะห์โดยให้ผิวสัมผัสระหว่างสกรู กับชิ้นงานแบบ Tied simulation



Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Smear	411	215	119	115	90	87	74	71	62	59	54	48	48	41	65	165
Tied	-52	-14	1.3	1.7	5.8	6.6	8.6	9.6	11	12	12	14	13	14	2.8	-35

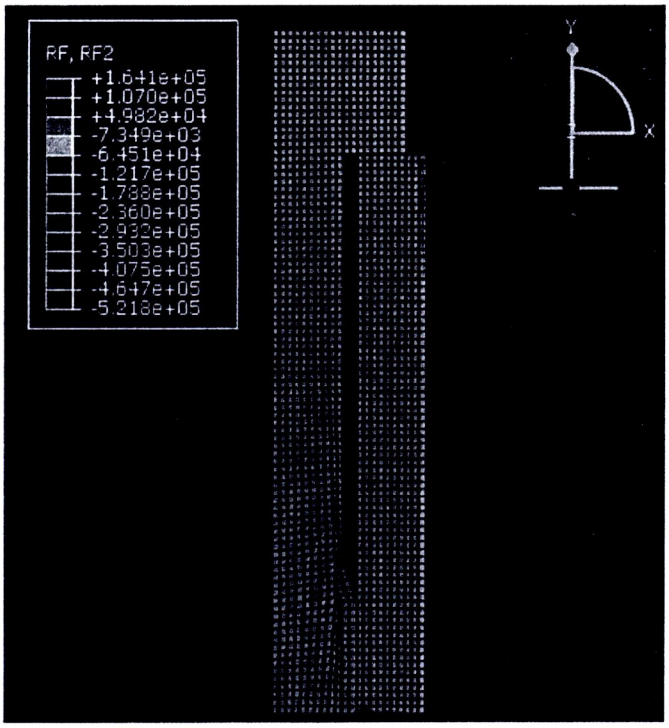
รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Node กับ ค่าความดันสัมผัสบริเวณ Thread region



Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Smear	0.0	0.0	247.9	179.2	137.6	126.3	124.4	116.0	146.9	100.8
Tied	0.0	0.0	247.8	179.2	137.6	126.3	124.4	116.0	146.9	100.8

รูปที่ 3.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Node กับ ค่าความดันสัมผัสบริเวณ Screw head

ขั้นตอนต่อมาได้ทำการตรวจสอบหาค่าแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแกน Y ของแบบจำลองที่ใช้ผิวสัมผัสแบบ Tied simulation ว่ามีค่าเท่ากับโหลดที่ให้ไปในขั้นต้นหรือไม่ เพื่อให้แน่ใจว่าการทดสอบครั้งนี้มีความถูกต้อง สามารถนำไปอ้างอิงในขั้นต่อไปได้ โดยใช้แบบจำลองเดียวกับการเปรียบเทียบค่าความดันสัมผัสในข้างต้น ซึ่งลักษณะของแรงปฏิกิริยาที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงในรูป 3.9

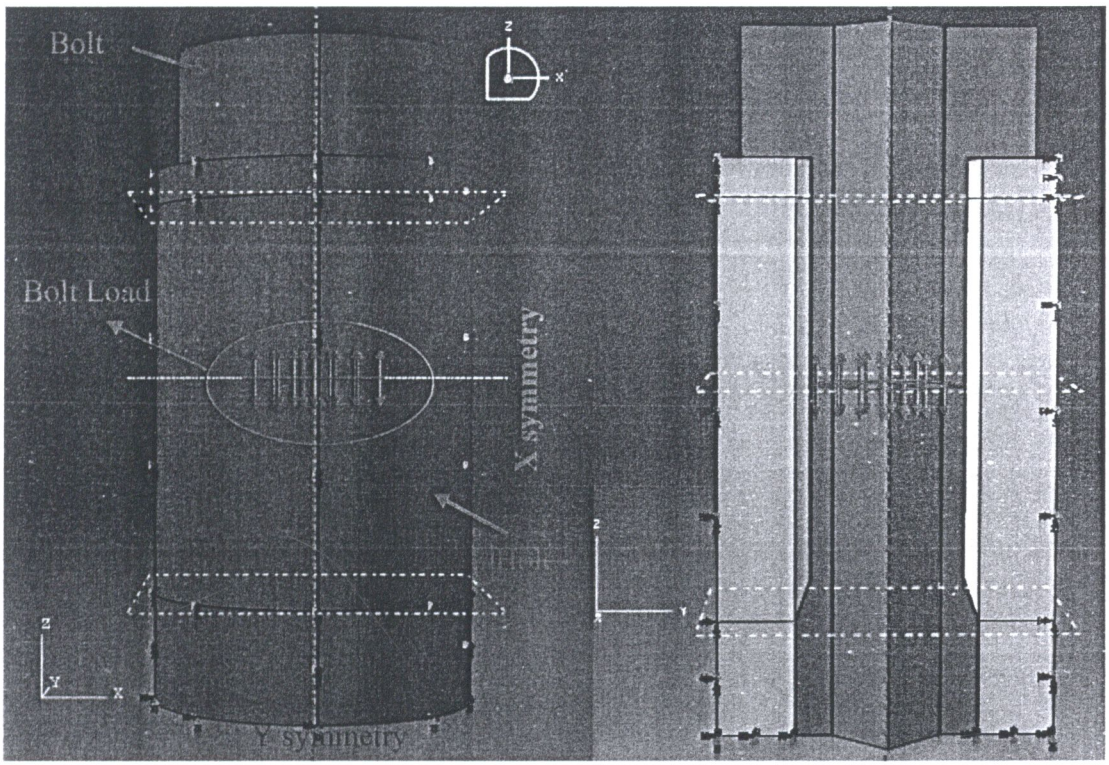


รูปที่ 3.9 ค่า Reaction Force ในแนวแกน Y

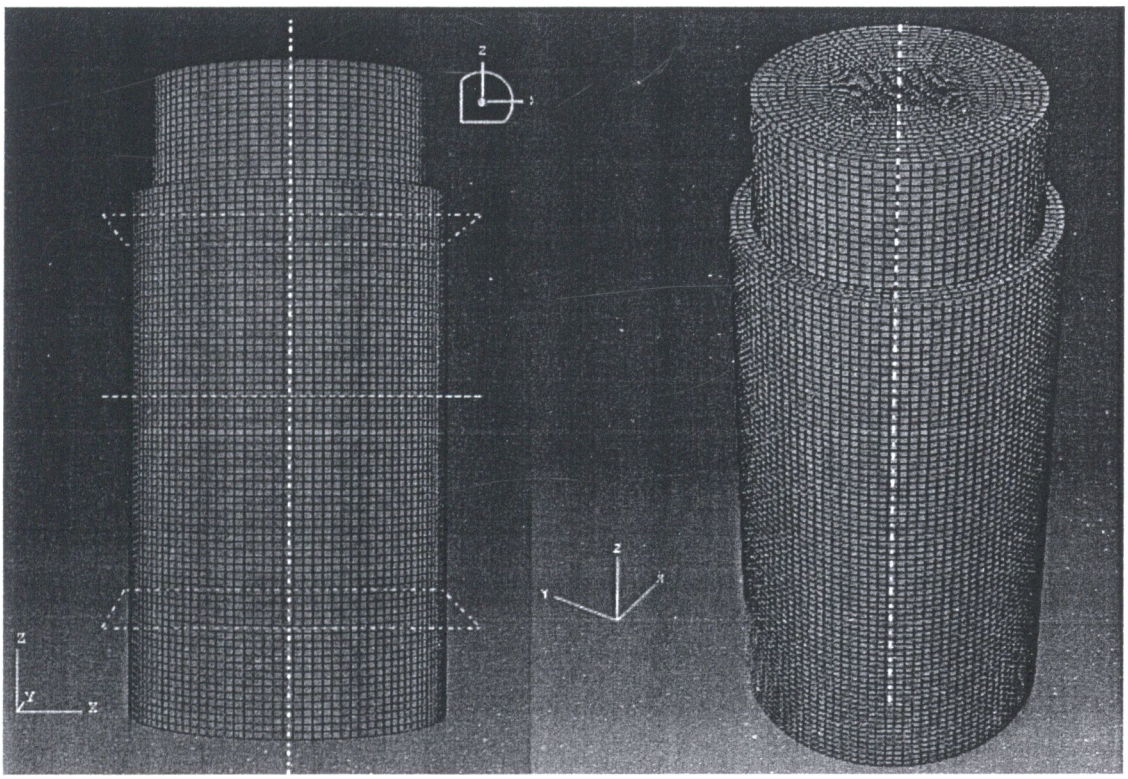
ผลที่ได้จากการทดสอบหาค่าแรงปฏิกิริยาในแนวแกน Y ทั้งทิศทางที่เป็นบวก และทิศทางที่เป็นลบมีค่าใกล้เคียงกันคือ 2378 kN (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับโหลดที่ให้ไปในขั้นต้น คือ 2545 kN เหตุที่ทำให้ค่าแรงปฏิกิริยามีค่าทั้งบวก และลบ เนื่องจาก Bolt load ที่ใส่เข้าไปตรงบริเวณผิวด้านในของ Bolt นั้นมีค่าทั้ง แรงอัด และ แรงดึงดังแสดงในแบบจำลองข้างต้นในรูปที่ 3.6

3.1.1.2 แบบจำลองสกรู 3 มิติ

ขั้นตอนนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าความดันสัมผัสของการวิเคราะห์แบบ Tied simulation ใน แบบจำลอง Axisymmetric กับ แบบจำลอง 3 มิติ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 3 มิติ เพราะในการวิเคราะห์ชิ้นงานจริงจะทำการวิเคราะห์แบบจำลองที่เป็น 3 มิติ โดยแบบจำลองที่ใช้ในการเปรียบเทียบนี้ได้อ้างอิงขนาด, โหลด และค่าเงื่อนไขขอบเขตจากแบบจำลองที่ใช้ในแบบจำลอง Axisymmetric ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และการแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลอง แสดงในรูป 3.11 โดยจะใช้เอลิเมนต์แบบ 3D Stress

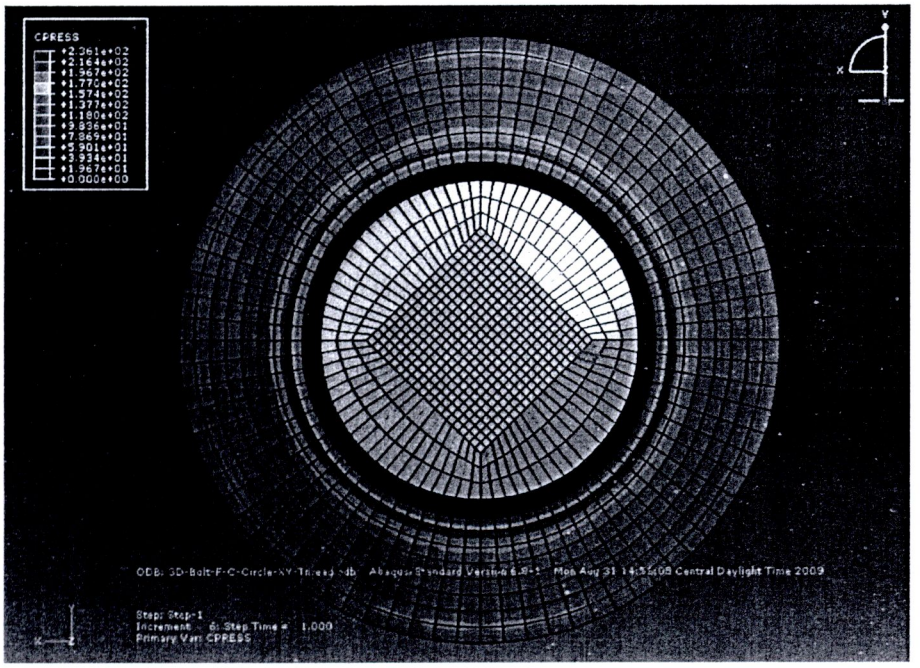


รูปที่ 3.10 แบบจำลอง 3 มิติ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าความดันสัมผัส

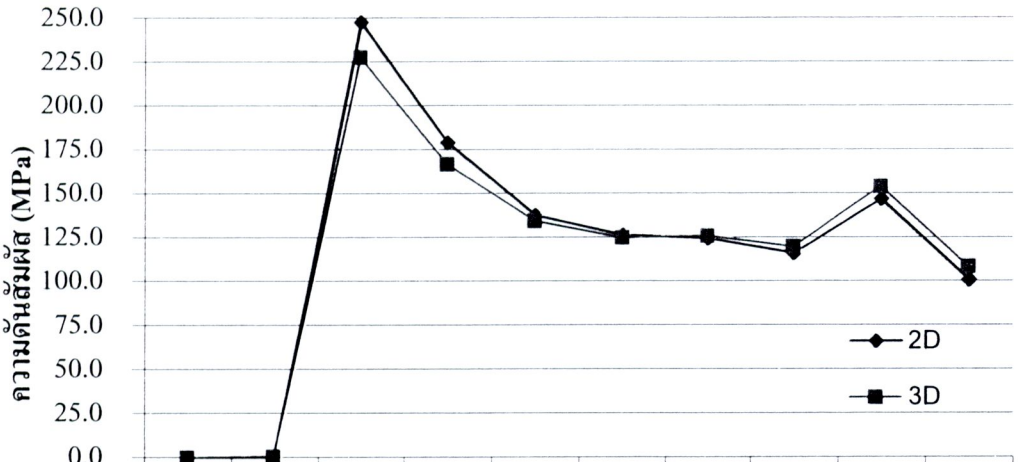


รูปที่ 3.11 การแบ่งเอลิเมนต์แบบจำลอง 3 มิติ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าความดันสัมผัส

ในการเปรียบเทียบนั้น จะหาค่าเฉลี่ยความดันสัมผัสของแบบจำลอง 3 มิติ ในแต่ละเส้นรอบวงดังแสดงในรูปที่ 3.12 เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับตำแหน่งเดียวกันกับ node ของแบบจำลองใน 2 มิติ พบว่าค่าที่ได้นั้นแตกต่างกันไม่มาก ดังแสดงในกราฟที่ 3.13



รูปที่ 3.12 แสดงค่าความดันสัมผัสบริเวณ Bolt head ของแบบจำลอง 3 มิติ

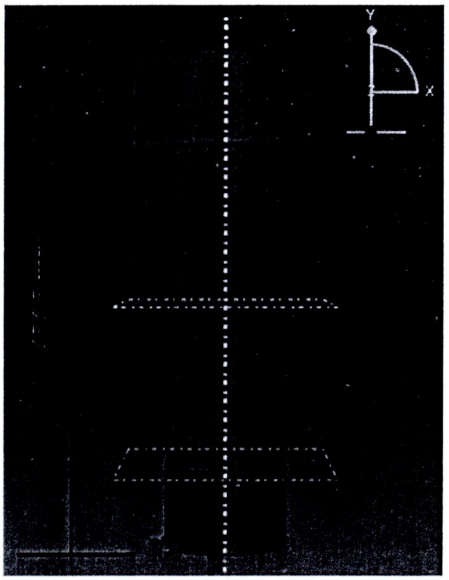


Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2D	0.0	0.0	247.8	179.2	137.6	126.3	124.4	116.0	146.9	100.8
3D	0.0	0.6	227.9	166.9	134.5	124.9	126.0	119.9	154.3	108.5

รูปที่ 3.13 กราฟเปรียบเทียบค่าความดันสัมผัสที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง 2 มิติ กับ 3 มิติ

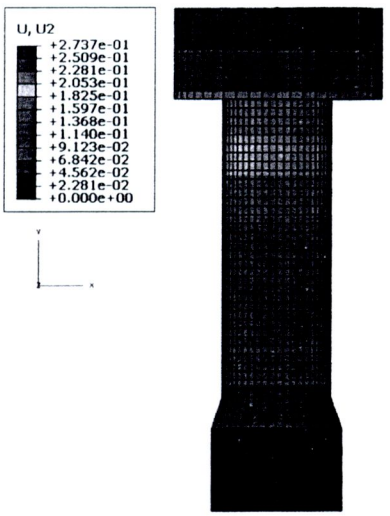
3.1.2 การคลายตัวของสกรูเนื่องจากอุณหภูมิ

ขั้นตอนนี้ทำการทดสอบการขยายตัวของ 3D Bolt ในโปรแกรม Abaqus เทียบกับการคำนวณ เมื่อ Bolt ได้รับความร้อนมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 35 องศาเซลเซียส แบบจำลอง Bolt ที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงในรูปที่ 3.14 โดยกำหนดให้ Bolt มีความยาว 454.5 mm และค่าเงื่อนไขขอบเขตจะทำการยึดติดด้านล่างของ Bolt ไม่ให้มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y



รูปที่ 3.14 แบบจำลอง Bolt ที่ใช้ในการทดสอบการขยายตัวเนื่องจากความร้อน

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การขยายตัวของ Bolt เมื่อมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 35 องศาเซลเซียส พบว่าบริเวณบนสุดของ Bolt จะมีการขยายตัวจากความยาวเดิมในทิศทางแกนบวก Y เป็นค่าเท่ากับ 0.2737 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ส่วนในแนวแกนอื่น ๆ นั้นไม่ได้ให้ความสนใจ เนื่องจาก Bolt มีลักษณะเป็นแท่งยาว จึงสนใจในทิศทางแนวแกนของ Bolt เท่านั้น



รูปที่ 3.15 ผลการขยายตัวในแนวแกน Y ของ Bolt

สำหรับการคำนวณสูตรที่ใช้คือ

$$\delta_l = \alpha \Delta T L \tag{3.1}$$

เมื่อ δ_l = ระยะที่ Bolt ขยายตัว

α = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

L = ความยาว Bolt

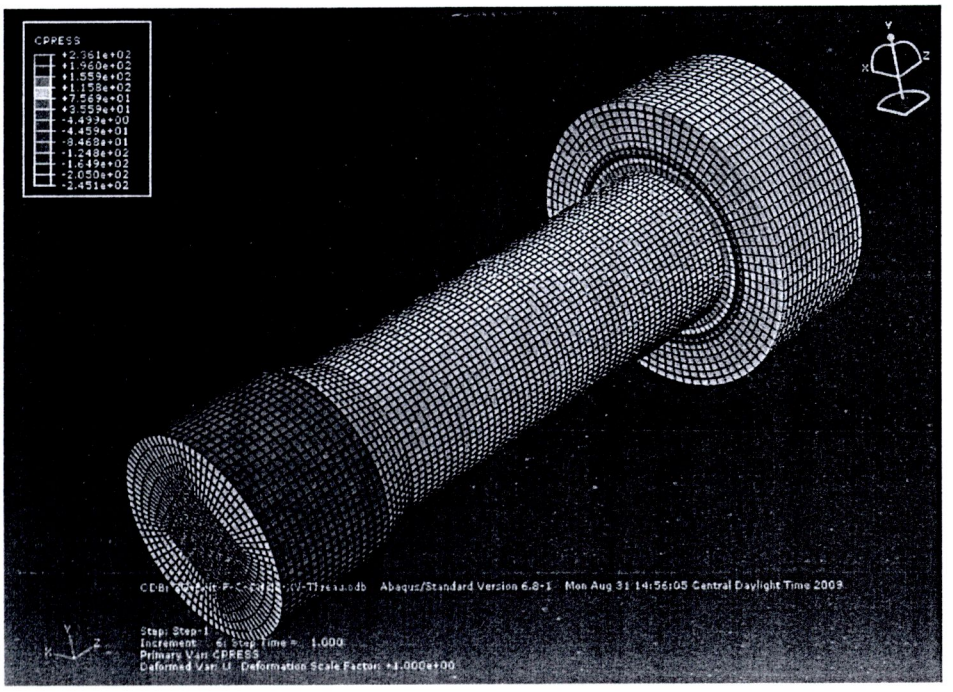
วัสดุของ Bolt ที่ใช้ในวิเคราะห์เป็น SUS XM 7 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (α) เท่ากับ 17.2×10^{-6} /°C ให้อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔT) เท่ากับ 35 องศาเซลเซียส เพราะฉะนั้นค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0.2736 mm เท่ากับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางโปรแกรม

3.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงความดันสัมผัสจากการเพิ่มอุณหภูมิ

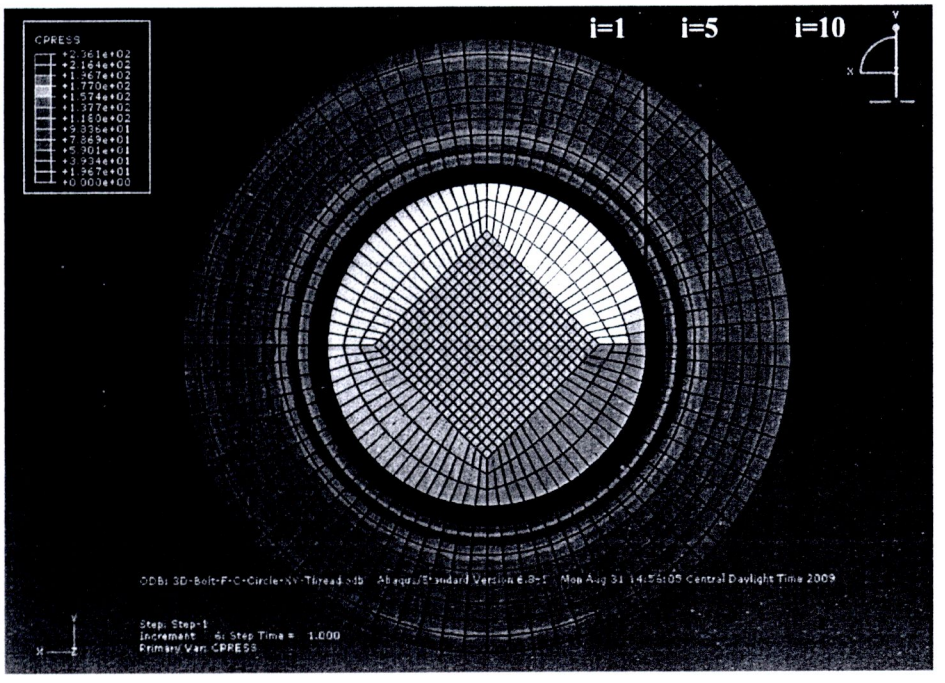
เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นวัสดุจะมีการขยายตัว ซึ่งจะขยายตัวมากน้อยนั้นขึ้นอยู่ค่าสัมประสิทธ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด เพราะฉะนั้นเมื่อวัสดุต่างชนิดกันถูกยึดติดกัน เมื่อได้รับความร้อนก็จะทำให้เกิดการขยายตัวไม่เท่ากัน นั่นเป็นเหตุทำให้ค่าความดันสัมผัส มีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้ในขณะที่ไม่ได้รับความร้อน จากข้อสังเกตนี้ทำให้เราทำการทดสอบหาค่าความดันสัมผัส เพื่อดูว่ามีค่าลดลง หรือมากขึ้น เมื่อให้ความร้อนเพิ่มสูงขึ้น

การทดสอบนี้จะใช้แบบจำลองสามมิติแบบ Tied simulation โดยแบบจำลองจะมีลักษณะเหมือนแบบจำลองที่แสดงในรูป 3.10 สำหรับสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการป้อนค่าให้กับโปรแกรมนั้น ได้ใช้ SUS XM 7 สำหรับสกรู และ ADC 12 สำหรับวัสดุที่ใช้ทำ Base ในการแบ่งเอลิเมนต์นั้นแบบจำลองที่ไม่ได้ให้อุณหภูมิจะใช้เอลิเมนต์แบบ 3D Stress ส่วนแบบจำลองที่ให้อุณหภูมินั้นจะใช้เอลิเมนต์แบบ Coupled Temperature-Displacement

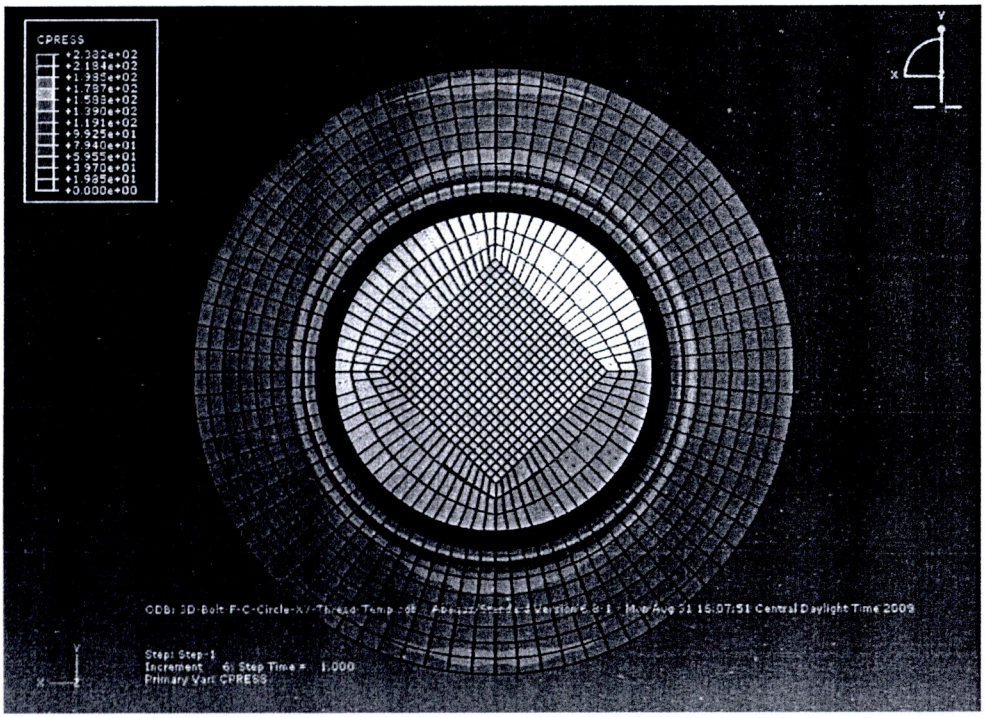
ผลที่ได้จากการทดสอบขณะที่ยังไม่ได้ให้อุณหภูมิกับ Bolt มีลักษณะดังรูปที่ 3.16 เมื่อตัดแบบจำลองบริเวณส่วน Head เพื่อดูค่าความดันสัมผัสจะได้ดังรูปที่ 3.17 และผลจากการเพิ่มอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (จาก 25°C เป็น 60°C) ค่าความดันสัมผัสเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.16 ค่าความดันสัมผัสที่เกิดขึ้นในบริเวณเกลียว และ Head



รูปที่ 3.17 ค่าความดันสัมผัสบริเวณ Head



รูปที่ 3.18 ค่าความดันสัมผัสบริเวณ Bolt head เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

นำผลที่ได้คำนวณหาค่าแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละ Node โดยเฉลี่ยตามสมการ

$$F_i = \left[\pi\left(\overline{r_i}\right)^2 - \pi\left(\overline{r_{i-1}}\right)^2 \right] \overline{P_i} \qquad i \text{ เริ่มตั้งแต่ 1 ถึง 9}$$

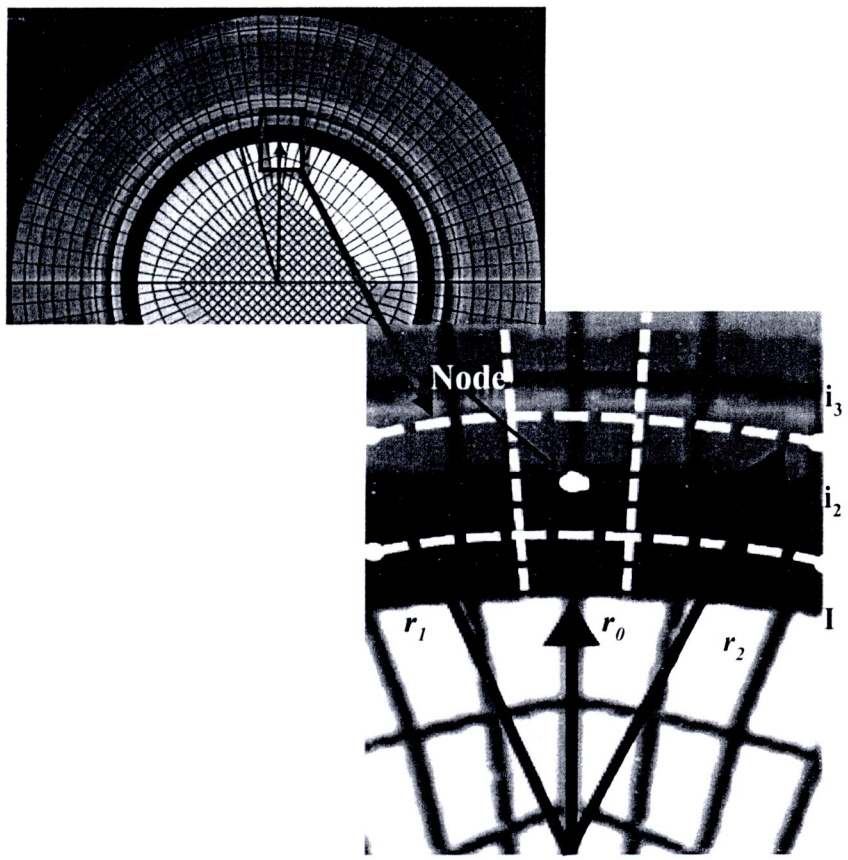
$\overline{F_i}$ คือ แรงโดยเฉลี่ยในรอบรัศมีเดียวกัน

$\overline{r_0}$ คือ รัศมีเริ่มต้น

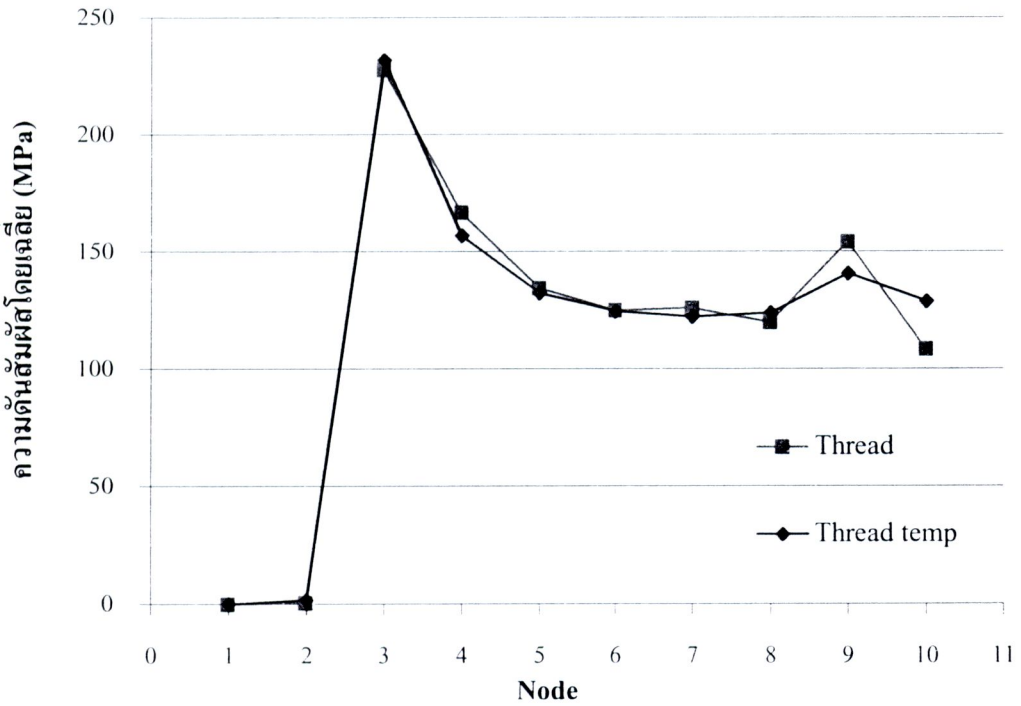
$\overline{r_i}$ คือ รัศมีเฉลี่ยระหว่าง i แต่ละวง (ดังแสดงในรูป 3.19)

$\overline{P}$ คือ ค่าความดันสัมผัสโดยเฉลี่ยในแต่รอบละรัศมี i

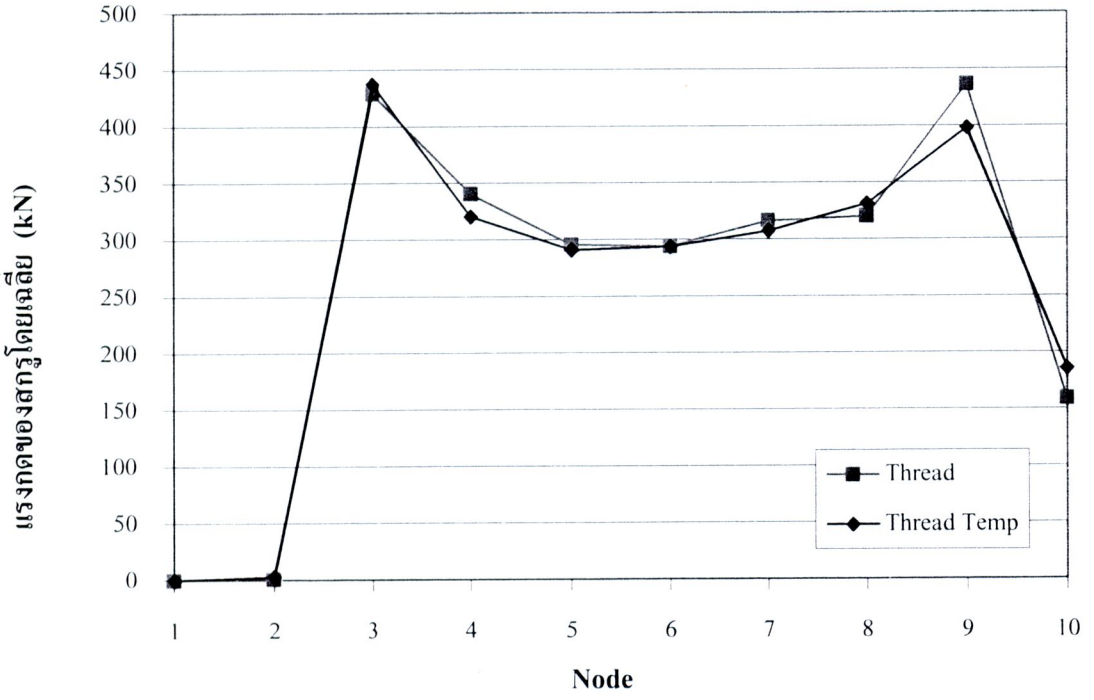
จากการคำนวณข้างต้น ผลที่ได้พบว่าค่าเฉลี่ยของความดันสัมผัสในแต่ละแนวรัศมีมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปกราฟที่ 3.20 ทำให้ค่าของแรงเฉลี่ยของ Node ในแต่ละแนวรัศมีมีค่าลดลงด้วยดังแสดงในรูปกราฟที่ 3.21



รูปที่ 3.19 ระบุค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าแรงกดของสกรู



รูปที่ 3.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Node กับ ค่าความดันสัมผัสโดยเฉลี่ย



รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Node กับ แรงกดของสกรูโดยเฉลี่ย

เมื่อนำค่าแรงกดของสกรูโดยเฉลี่ยที่คำนวณได้จากความดันสัมผัสเปรียบเทียบกับค่าแรงกดของสกรูที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ดังแสดงในตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากโปรแกรมในส่วนของแรงดันสัมผัส (Contact normal force) มีค่าใกล้เคียงค่า Bolt load ที่ใส่ให้กับแบบจำลองในการวิเคราะห์มากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากความดันสัมผัส ด้วยเหตุนี้การศึกษาในขั้นตอนต่อไปจะพิจารณาค่าแรงกดของสกรูจากค่าที่ได้จากโปรแกรมโดยตรง

ตารางที่ 3.1 ค่าแรงกดของสกรูระหว่างค่าจากการคำนวณ และค่าที่ได้จากโปรแกรม Abaqus

แรงกดของสกรู	ก่อนได้รับอุณหภูมิ	หลังจากได้รับอุณหภูมิ
แรงกดของสกรูจากการคำนวณ (kN)	2594.07	2569.10
แรงกดของสกรูจากโปรแกรม (kN)	2545.16	2545.00