

บทที่ 5

การอภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์การกระจายของความเค้นในกระดูกอบรอกเทียมพบว่าในรอกเทียมทุกแบบที่นำมาทดสอบมีลักษณะรูปแบบของการกระจายความเค้นในกระดูกอบรอกเทียมที่คล้ายกันคือ ความเค้นส่วนมากจะกระจายอยู่ในบริเวณกระดูกทึบที่อยู่รอบรอกเทียม โดยมีความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่ส่วนบนสุดของบริเวณรอยต่อระหว่างรอกเทียมกับกระดูกทึบซึ่งสอดคล้องกับการละลายของกระดูกทึบในทางคลินิก ส่วนในบริเวณกระดูกพรุนซึ่งติดกับบริเวณส่วนกลางของรอกเทียม จะมีความเค้นกระจายอยู่น้อยกว่าบริเวณกระดูกทึบอย่างชัดเจน เนื่องจากค่าความเค้นจะแปรผันตรงกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นตามกฎของฮุก ดังนั้นกระดูกทึบที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่ากระดูกพรุนมากจึงมีความเค้นกระจายอยู่มากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ามีความเค้นสะสมมากที่บริเวณส่วนปลายรอกเทียมเนื่องจากเป็นส่วนที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรงที่กระทำ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการศึกษาของ Abani¹⁴ Stegaroiu³⁸ Holmgren³⁹ Rieger⁴¹ Yasuyuki⁴⁴ Meijer^{45,46} Meijer⁴⁷ Papavasiliou⁴⁸ Kitoh⁴⁹ และ Teixeira⁵⁰ แต่ขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Rieger^{16,27,31} ที่พบว่าความเค้นสูงสุดเกิดที่บริเวณปลายรอกเทียม จากการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ในการออกแบบรอกเทียมสามารถวิเคราะห์ผลการศึกษาดังนี้

1. ผลของความสอของรากเทียมต่อการกระจายความเค้นในกระดูกอบรากเทียม



1.1 ทรงกระบอ

1.2 ทรงสอบ 4 องศา

1.3 ทรงสอบ 8 องศา

รูปที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดูกอบรากเทียมทรงกระบอ ทรงสอบ 4 องศา และ ทรงสอบ 8 องศา พบว่ามีความใกล้เคียงกันมากยกเว้นบริเวณปลายรากเทียมที่มีความสอมากขึ้นจะมีความเค้นสะสมมากขึ้นด้วย

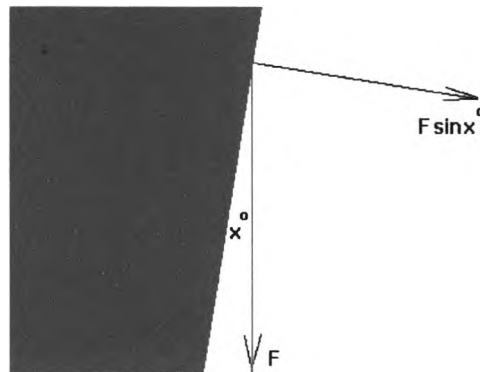
ตารางที่ 3 แสดงค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดในกระดูกอบรากเทียมทรงกระบอ ทรงสอบ 4 องศา และ ทรงสอบ 8 องศา

| แบบจำลอง | ค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดในกระดูก (N/mm ²) |
|-------------------|--|
| 1.1 ทรงกระบอ | 54.28 |
| 1.2 ทรงสอบ 4 องศา | 58.18 |
| 1.3 ทรงสอบ 8 องศา | 61.62 |

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดูกอบรากเทียมทรงกระบอ รากเทียมทรงสอบ 4 องศา และรากเทียมทรงสอบ 8 องศา (รูปที่ 21) จะพบว่ามีขอบเขตการกระจายความเค้นที่คล้ายกันมากแต่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยในบริเวณส่วนปลายรากเทียม โดยรากเทียมที่มีความสอมากขึ้นจะมีขอบเขตการกระจายความเค้นบริเวณปลายรากเทียมแคบลง เมื่อพิจารณาค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดในกระดูก (ตารางที่ 3) ที่เกิดบริเวณส่วนบนสุดของรอยต่อระหว่างรากเทียมกับกระดูกที่พบว่ารากเทียมทรงกระบอที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดน้อยที่สุดคือ 54.28 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร รากเทียมทรงสอบ 4 องศา มีค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดมากขึ้นเป็น 58.18 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และรากเทียมทรงสอบ 8 องศา มีค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดมากที่สุดคือ 61.62 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร รากเทียมทรงสอบ 4 องศา และ 8 องศา มีค่าความเค้น

ฟอนมิสเซสสูงที่สุดมากกว่ารากเทียมทรงกระบอกคิดเป็นร้อยละ 6.70 และ 11.91 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

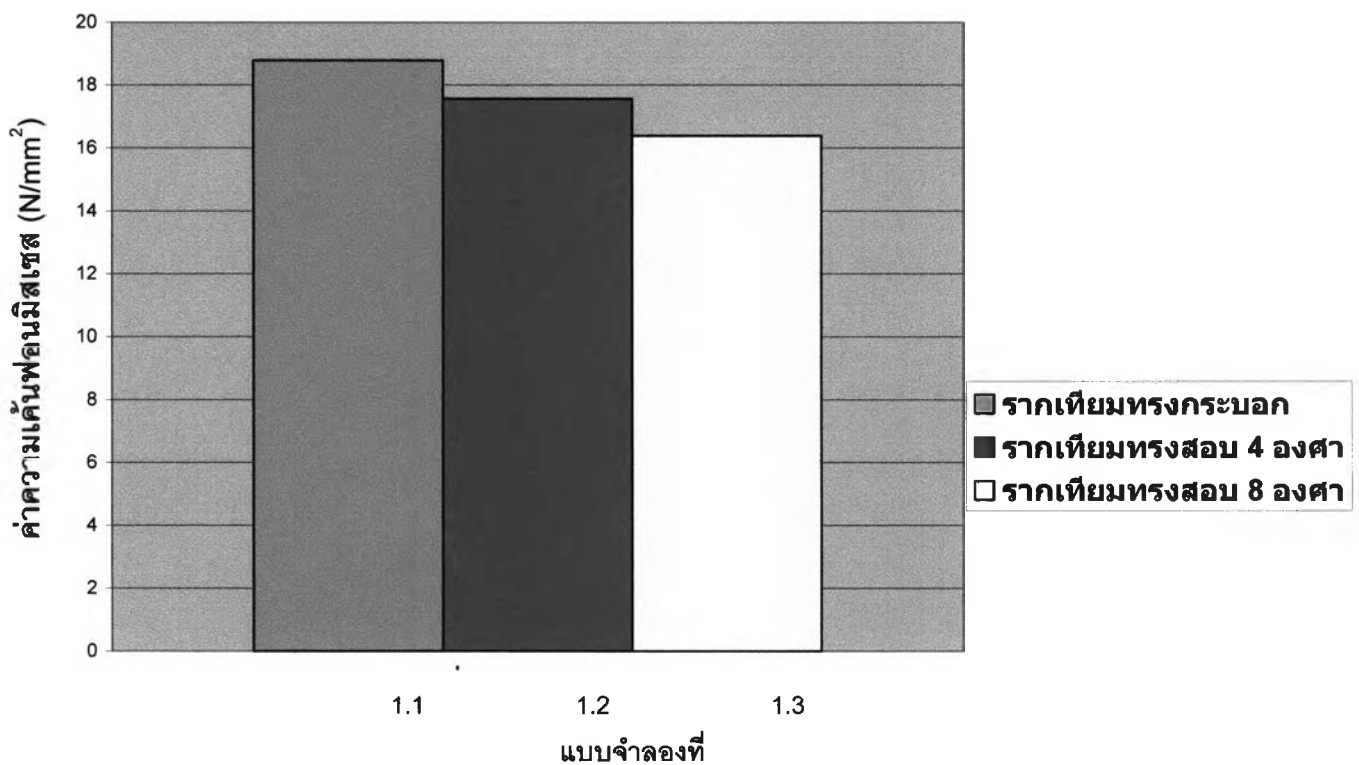
ความแตกต่างของการกระจายความเค้นของรากเทียมที่มีความสอต่างกันนี้เป็นผลมาจากทิศทางการกระจายความเค้นที่เปลี่ยนไปตามมุมของความสอของรากเทียม เมื่อพิจารณาบริเวณกระดูกที่บอบรากเทียมซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นสูงสุดในรากเทียม ทรงกระบอกการถ่ายทอดความเค้นสู่กระดูกที่บอบบริเวณผิวด้านข้างของรากเทียมจะเกิดน้อยกว่า เพราะทิศทางของความเค้นจะขนานไปกับผิวของรากเทียมและกระดูก ดังนั้นความเค้นที่กระจายไปในกระดูกที่บอบข้างของรากเทียมจึงมีน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับรากเทียมที่มีความสอที่จะมีความเค้นส่วนหนึ่งที่มีทิศทางไปยังกระดูกที่บอบรากเทียม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างรากเทียมทรงสอ 4 องศา และ 8 องศาในทางตรีโกณมิติพบว่า เมื่อแตกแรงออกเป็นแรงกดที่กระทำกับกระดูก จะเป็นผลคูณของแรงและค่า \sin ของมุมสอของรากเทียม (รูปที่ 22) ($\sin 8^\circ = 0.14$, $\sin 4^\circ = 0.07$) ดังนั้นปริมาณความเค้นฟอนมิสเซสสูงที่สุดที่เกิดในกระดูกที่บอบรากเทียมสอ 8 องศาจึงมีขนาดที่มากกว่าที่เกิดขึ้นในรากเทียมสอ 4 องศา



รูปที่ 22 แสดงการแตกแรงจากผิวของรากเทียม (X คือองศาความสอของรากเทียม F คือแรงที่กระทำต่อรากเทียม) เมื่อแนวแรงทำมุมกับผิวรากเทียมเท่ากับ x จะสามารถแตกแรงตั้งฉากกับผิวรากเทียมเป็นแรง $F \sin X^\circ$ กระทำกับกระดูก

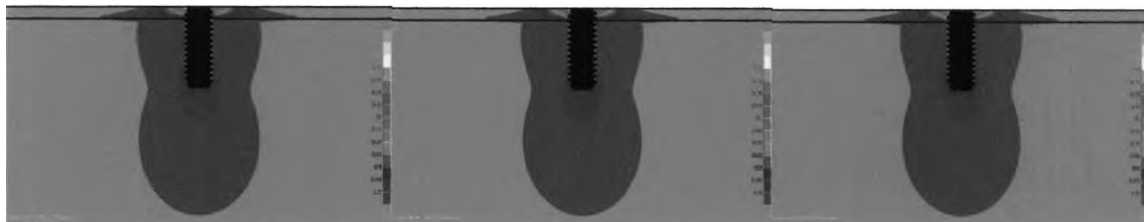
เมื่อเปรียบเทียบความเค้นที่เกิดบริเวณปลายรากเทียมที่มีขอบเขตการกระจายความเค้นที่แตกต่างกัน (รูปที่ 21) พบว่ารากเทียมที่มีความสอมากขึ้นจะมีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงที่สุดในกระดูกรอบปลายรากเทียมจะมีค่าลดลง (แผนภูมิที่ 2) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อรากเทียมมีความสอมากขึ้นจะมีความเค้นกระจายในส่วนของกระดูกที่เป็นสัดส่วนที่มากขึ้นทำให้ความเค้นที่กระจายในกระดูกพรวนรวมถึงบริเวณปลายรากเทียมมีค่าน้อยลง

จากผลการทดลองจึงกล่าวได้ว่าความสอของรากเทียมมีผลโดยตรงกับการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากเทียม โดยรากเทียมทรงกระบอกจะกระจายความเค้นไปที่รอบ ๆ ปลายรากเทียมทำให้ค่าความเค้นสูงสุดในบริเวณกระดูกที่มีค่าต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับรากเทียมทรงสอบ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Siegele และ Soltesz⁴²



แผนภูมิที่ 2 แสดงค่าความเค้นฟอนมิสสูงสุดกระดูกรอบปลายรากเทียมที่มีความสอแตกต่างกัน

2. ผลจากรูปร่างเกลียวของรากเทียมทรงกระบอกต่อการกระจายความเค้น ในกระดูกรอบรากเทียม



2.1 เกลียวรูปตัววี

2.2 เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส

2.3 เกลียวแบบบัทเทรส

รูปที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากเทียมทรงกระบอก ที่มีเกลียวรูปตัววี เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส และเกลียวแบบบัทเทรส พบว่ามีความคล้ายกันทั้งในส่วนกระดูกทึบและกระดูกพรุน

ตารางที่ 4 แสดงค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดในการ์ดรอบรากเทียม ของรากเทียมทรงกระบอก ที่มีเกลียวรูปตัววี เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส และเกลียวแบบบัทเทรส

| แบบจำลอง | ค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด (N/mm ²) |
|--|--|
| 2.1 รากเทียมทรงกระบอก-เกลียวรูปตัววี | 50.11 |
| 2.2 รากเทียมทรงกระบอก-เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส | 49.54 |
| 2.3 รากเทียมทรงกระบอก-เกลียวแบบบัทเทรส | 48.49 |

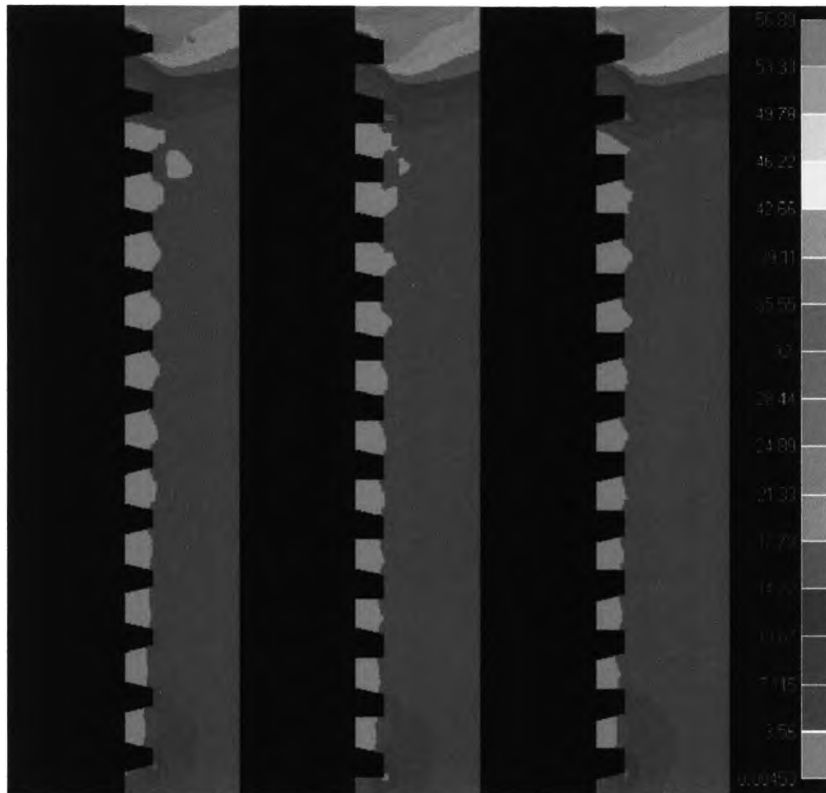
ตารางที่ 5 แสดงค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดในการ์ดรอบเกลียวแรกของรากเทียมทรงกระบอก ที่มีเกลียวรูปตัววี เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส และเกลียวแบบบัทเทรส

| แบบจำลอง | ค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด รอบเกลียวแรก (N/mm ²) |
|--|---|
| 2.1 รากเทียมทรงกระบอก-เกลียวรูปตัววี | 38.74 |
| 2.2 รากเทียมทรงกระบอก-เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส | 38.62 |
| 2.3 รากเทียมทรงกระบอก-เกลียวแบบบัทเทรส | 39.35 |

จากการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดุกรอบรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวแตกต่างกันสามชนิดคือ เกลียวรูปตัววี เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส และ เกลียวแบบบัทเทรส (รูปที่ 23) พบว่าขอบเขตการกระจายของความเค้นในกระดุกรอบรากเทียมที่มีเกลียวแตกต่างกันทั้งสามแบบนี้มีลักษณะที่เหมือนกันทั้งในส่วนกระดูกทึบและกระดูกพรุน ค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดที่เกิดขึ้นในกระดุกรอบรากเทียม (ตารางที่ 4) ในเกลียวแบบต่าง ๆ มีความแตกต่างกันไม่มากนักโดยเรียงจากมากไปน้อยคือ รากเทียมที่มีเกลียวรูปตัววี (50.11 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) รองลงมาคือเกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส (49.54 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร มีความแตกต่างจากเกลียวรูปตัววีคิดเป็นร้อยละ 1.14) และเกลียวแบบบัทเทรส (48.49 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร มีความแตกต่างจากเกลียวรูปตัววีคิดเป็นร้อยละ 3.23) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าความเค้นฟอนมิสเชสที่เกิดขึ้นในกระดุกรอบเกลียวแต่ละชนิดในแบบจำลองเดียวกันพบว่ากระดุกรอบเกลียวแรกซึ่งเป็นกระดูกทึบมีค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเกลียวบริเวณอื่น ๆ และความเค้นในกระดูกที่ปลายเกลียวแรกจะมีค่ามากกว่าในเกลียวที่สองซึ่งอยู่ในกระดูกทึบเช่นกัน เมื่อพิจารณาค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดในกระดุกรอบเกลียวแรกของเกลียวแต่ละแบบ (ตารางที่ 5 และ แผนภูมิที่ 6) พบว่ารากเทียมที่มีเกลียวแบบบัทเทรส มีค่าความเค้นฟอนมิสเชสในกระดุกรอบเกลียวสูงที่สุด (39.35 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) รองลงมาคือเกลียวรูปตัววี (38.74 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) และน้อยที่สุดคือเกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส (38.62 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) ความแตกต่างของเกลียวรูปตัววีต่อเกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส และ บัทเทรส คิดเป็นร้อยละ 0.31 และ 3.07ตามลำดับ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าแม้รูปร่างของเกลียวจะมีความแตกต่างกันแต่ผลของการกระจายความเค้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งขัดแย้งกับการอธิบายผลของรูปร่างของเกลียวต่อการกระจายความเค้นในกระดูกของ Misch⁴³ ที่กล่าวว่าเกลียวรูปตัววีจะมีความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นที่ขอบบริเวณใต้เกลียวมากกว่าเกลียวแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (square thread) ถึง 10 เท่า ซึ่งความแตกต่างของมุมเกลียวที่ Misch ได้อธิบายไว้นั้นไม่แตกต่างกับมุมเกลียวรูปตัววี และเกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส ที่ใช้ในการศึกษานี้ ทั้งนี้จากการอธิบายของ Misch นั้นพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นกับเกลียวเดี่ยว ในขณะที่การศึกษานี้มีเกลียวข้างเคียงที่อาจส่งผลต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในเกลียวถัดไป (รูปที่ 24) หากสังเกตจากการกระจายความเค้นในกระดูกที่อยู่ระหว่างเกลียวจะพบว่ามีความเค้นเกิดขึ้นน้อยมาก แต่ความเค้นจะเริ่มมากขึ้นที่บริเวณปลายเกลียวเป็นต้นไป ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการรวมของความเค้นในทิศทางต่าง ๆ กันที่เกิดขึ้นในกระดูกระหว่างเกลียว นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากอัตราส่วนระหว่าง

ความยาวของเกลียวกับเส้นผ่านศูนย์กลางของรากเทียมที่มีความแตกต่างกันมากจนทำให้ผลของการกระจายความเค้นขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่ารูปร่างของเกลียว หากมีการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากเทียมลงอาจทำให้เห็นอิทธิพลของรูปร่างของเกลียวมีผลต่อการกระจายความเค้นมากขึ้นซึ่งควรจะมีการศึกษาต่อไป จากเหตุผลนี้เองทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดในกระดูกรอบรากเทียมทรงกระบอกที่มีรูปร่างเกลียวต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน นอกจากนี้อิทธิพลดังกล่าวแล้ว Rieger¹⁶ พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่นำมาใช้ทำรากเทียมก็มีผลต่อความเค้นที่จะเกิดในกระดูกที่อยู่ระหว่างเกลียวนี้ด้วย



รูปที่ 24 แสดงการกระจายความเค้นในกระดูกรอบเกลียวรูปตัววี เกลียวแบบรีเวิร์สพัทเทส และเกลียวแบบพัทเทส ของรากเทียมทรงกระบอก จะพบมีความเค้นในกระดูกที่อยู่ระหว่างเกลียวมีค่าน้อยมากโดยจะเริ่มมีความเค้นให้เห็นที่บริเวณปลายเกลียวเป็นต้นไป

จากการที่รูปร่างของเกลียวที่ต่างกันไม่มีผลต่อการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากเทียมนั้น อาจเป็นไปได้ว่าผลรวมของความเค้นทั้งหมดที่เกิดขึ้นรอบเกลียวนั้นอาจเป็นการรวมกันของความเค้นต่างชนิดกัน ดังนั้นเพื่อหาความแตกต่างของการกระจายความเค้นในกระดูกรอบเกลียวทั้งสามชนิดซึ่งพบว่าเกิดค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดในตำแหน่งเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน จึงพิจารณาค่าความเค้นตั้งฉากแกนตั้ง ความเค้นตั้งฉากแกนนอน และความเค้นเฉือน ซึ่งเป็นค่าที่ใช้คำนวณหาความเค้นฟอนมิสเชส ตามสมการ

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + 6\tau_{xy}^2}$$

$\sigma_{\text{von Mises}}$ = ความเค้นฟอนมิสเซส

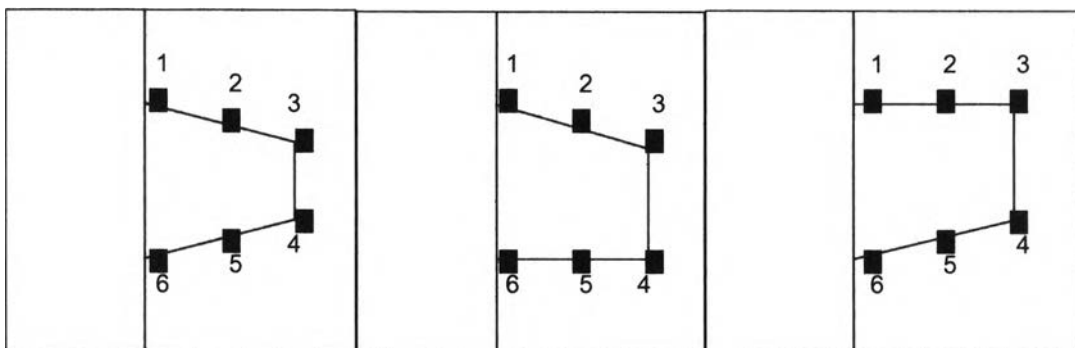
τ_{xy} = ความเค้นเฉือน

σ_x = ความเค้นตั้งฉากแกนนอน

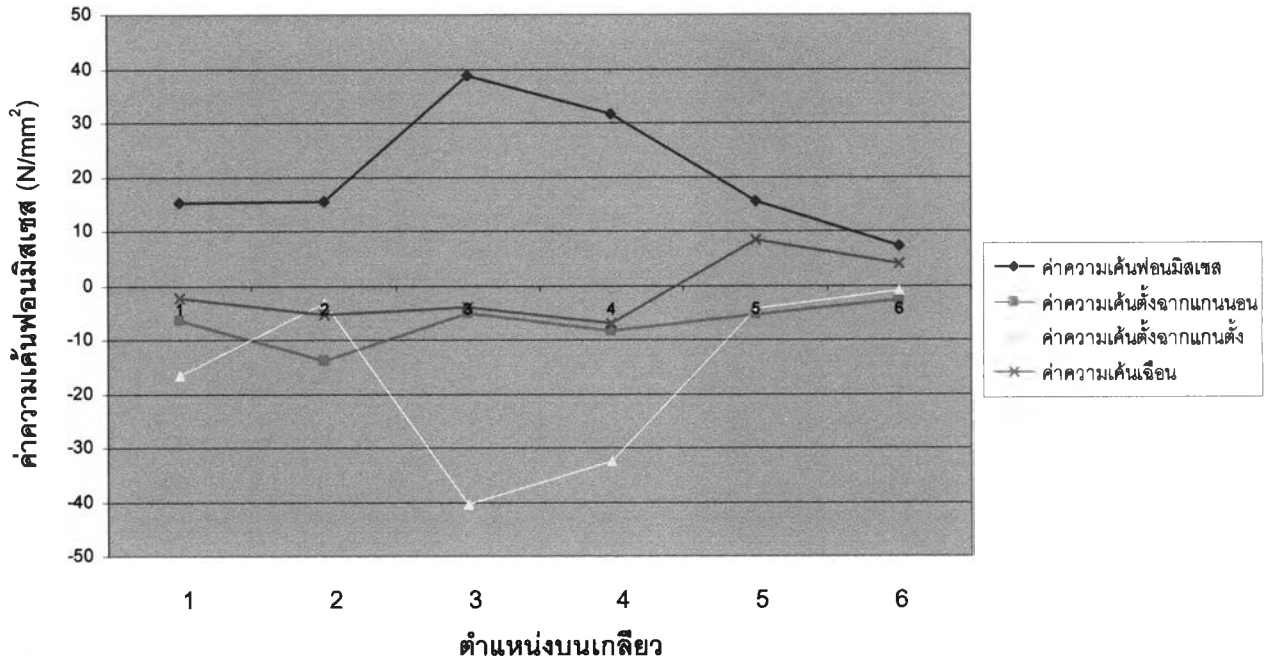
σ_y = ความเค้นตั้งฉากแกนตั้ง

โดยเลือกพิจารณาดำแหน่งในกระดุกรอบเกลียวแรกของเกลียวแต่ละแบบทั้งหมดหกตำแหน่ง (รูปที่ 25) และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาความแตกต่างกันของค่าความเค้นทั้งสามชนิด ณ ตำแหน่งเดียวกัน

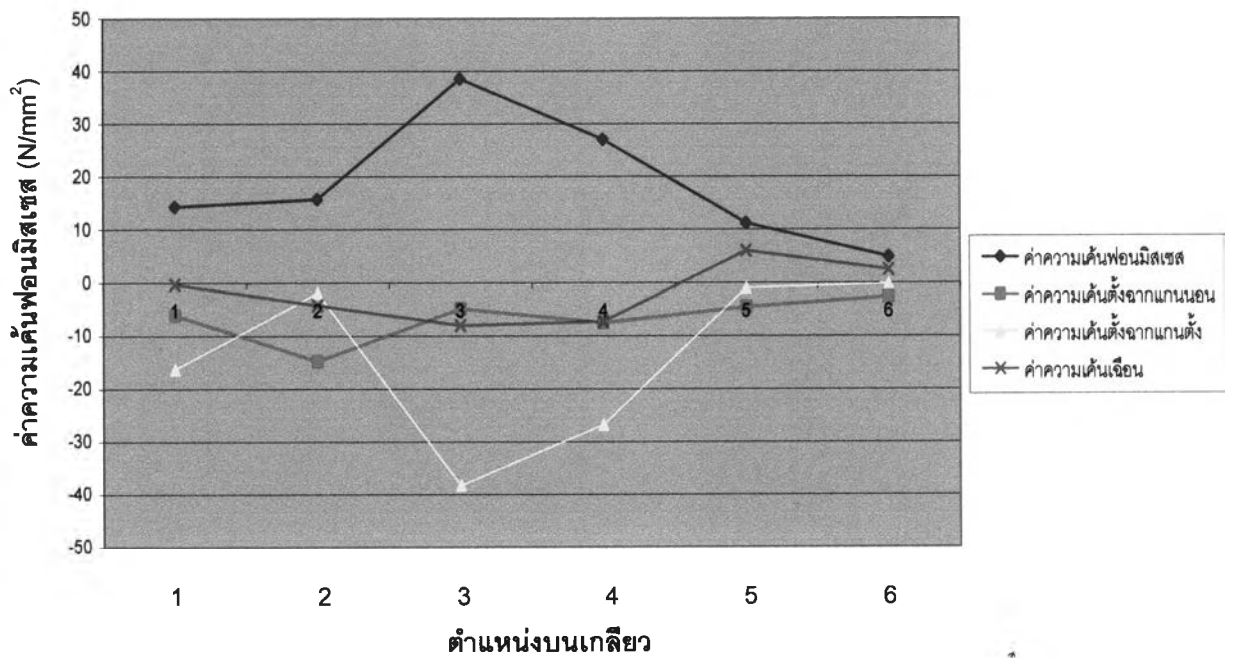
เมื่อพิจารณาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นตามตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งหมดตำแหน่ง มีความแตกต่างของค่าความเค้นที่เกิดในกระดุกรอบเกลียวแรกของเกลียวทั้งสามแบบนี้้น้อยมาก จึงสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ว่ารูปร่างเกลียวทั้งสามแบบนี้มีผลน้อยมากต่อการกระจายความเค้นในกระดุกรอบรากเทียม (แผนภูมิที่ 3-5)



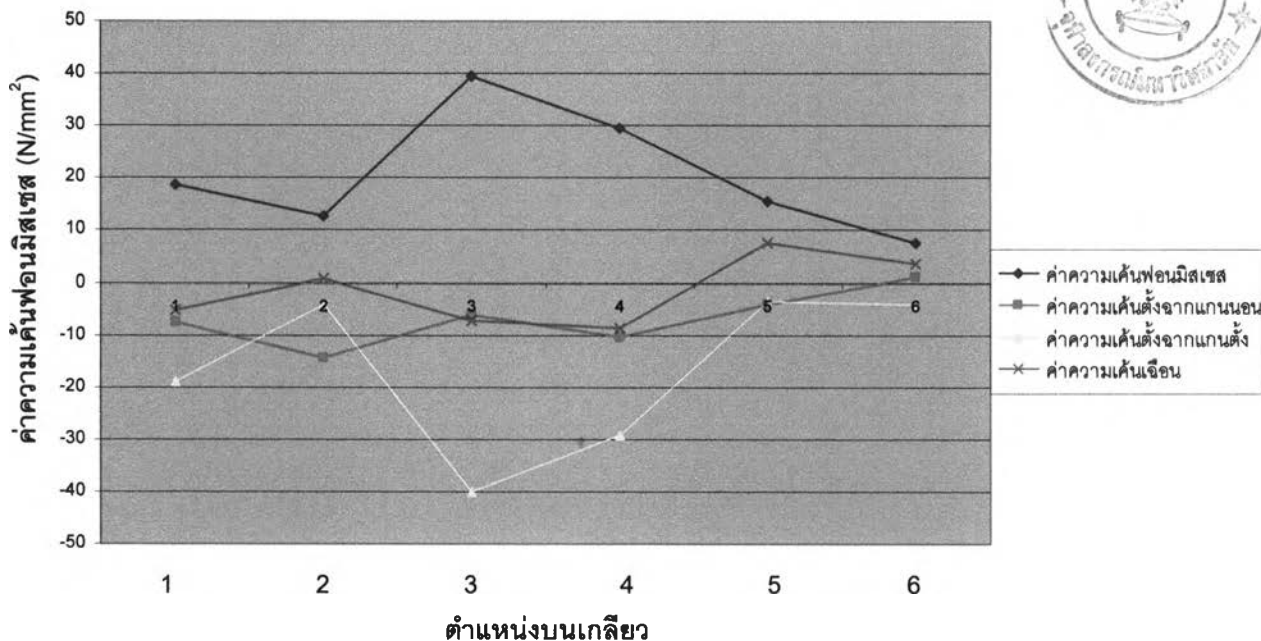
รูปที่ 25 แสดงตำแหน่งของกระดุกรอบเกลียวแรกของรากเทียมสามแบบที่ใช้พิจารณาค่าความเค้นตั้งฉากแกนนอน ความเค้นตั้งฉากแกนตั้ง ความเค้นเฉือน และความเค้นฟอนมิสเซส



แผนภูมิที่ 3 แสดงค่าความเค้นในกระดุกหกตำแหน่งรอบเกลียวแรกของรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวรูปตัววี



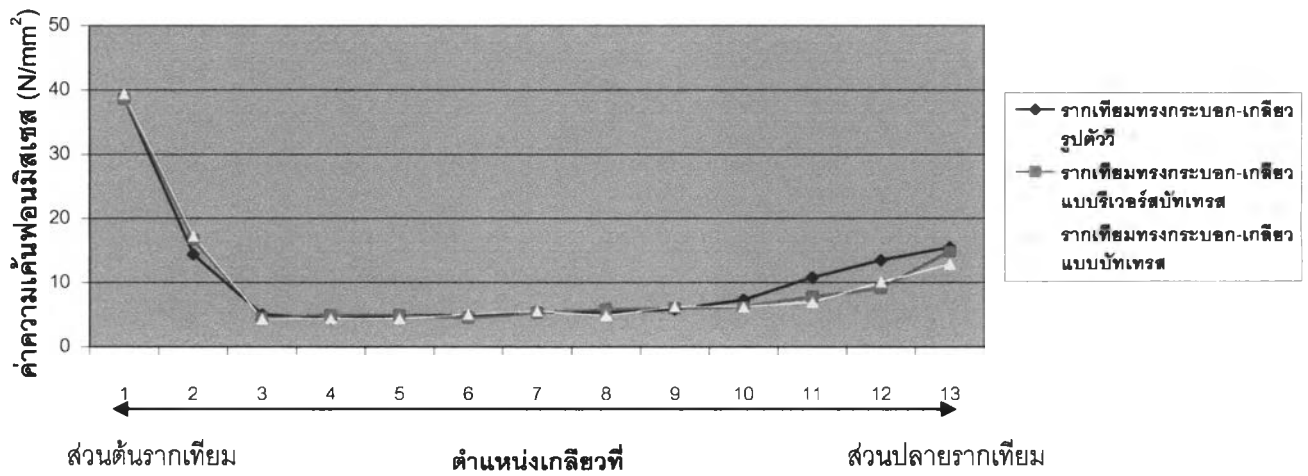
แผนภูมิที่ 4 แสดงค่าความเค้นในกระดุกหกตำแหน่งรอบเกลียวแรกของรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวแบบวีวีร์สับทเทรต



แผนภูมิที่ 5 แสดงค่าความเค้นในกระดุกหกตำแหน่งรอบเกลียวแรกของรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวแบบบัทเทรส

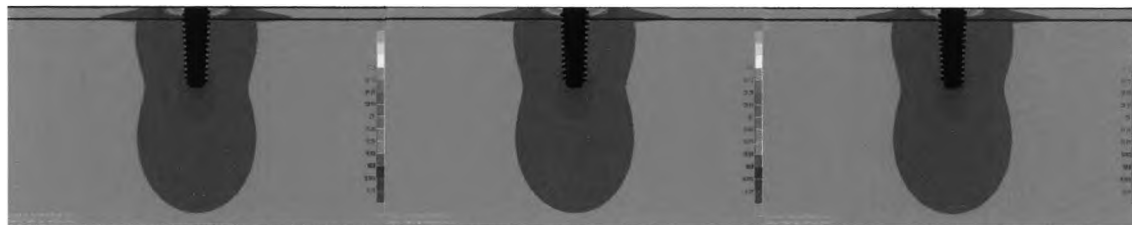
เมื่อทำการเปรียบเทียบรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวกลุ่มนี้กับรากเทียมทรงกระบอกที่ไม่มีเกลียวจะพบว่ารากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวมีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดในกระดุกต่ำกว่าอย่างชัดเจน แสดงว่าการเพิ่มเกลียวแบบใดก็ตามให้กับรากเทียมจะทำให้มีการกระจายความเค้นดีขึ้นและค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดที่เกิดในกระดุกที่มีค่าลดลง อย่างไรก็ตามค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดในกระดุกรอบเกลียวแรกของเกลียวแบบบัทเทรสก็มีค่ามากที่สุดด้วย จึงต้องให้ความระมัดระวังในจุดนี้เช่นกัน

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลของความสอและผลของการเพิ่มเกลียวจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงความสอของรากเทียมจะมีผลต่อการกระจายความเค้นในกระดุกรอบรากเทียมมากกว่าผลจากรูปร่างของเกลียว



แผนภูมิที่ 6 แสดงค่าความเค้นพอนมิสเซตสูงสุดในกระดูกรอบเกลียวเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวแตกต่างกันสามชนิด

3. ผลจากรูปร่างเกลียวของรากเทียมทรงสอบ 4 องศาต่อการกระจายความเค้น
ในกระดูกรอบรากเทียม



3.1 เกลียวรูปตัววี 3.2 เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส 3.3 เกลียวแบบบัทเทรส

รูปที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากเทียมทรงสอบ 4 องศา
ที่มีเกลียวรูปตัววี เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส และ เกลียวแบบบัทเทรส พบว่ามีความคล้ายกัน
ทั้งในกระดูกทึบและกระดูกพรุน

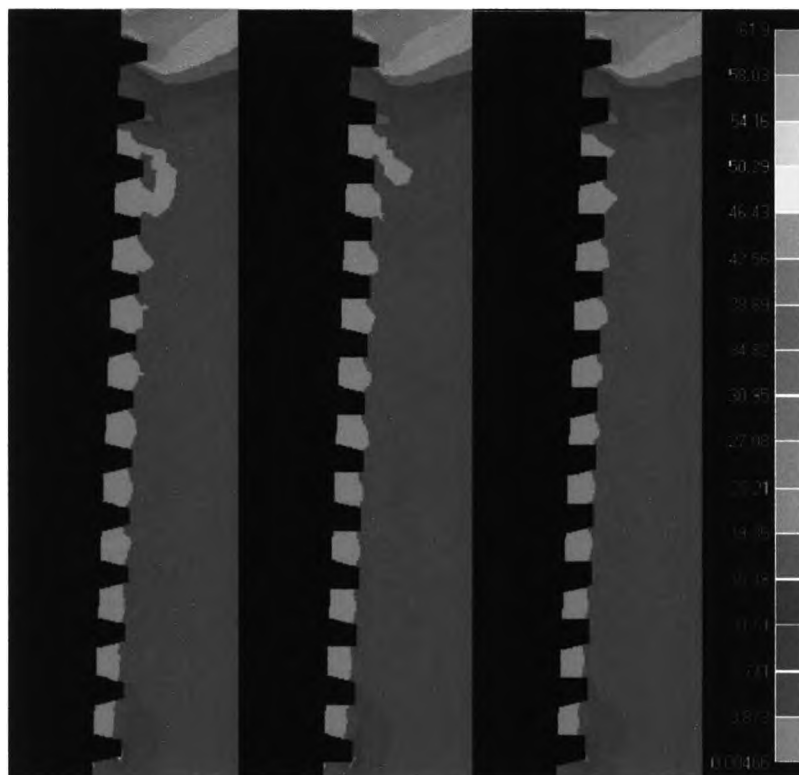
ตารางที่ 6 แสดงค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดในการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากเทียมทรงสอบ 4 องศา
ที่มีเกลียวรูปตัววี เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส และ เกลียวแบบบัทเทรส

| แบบจำลอง | ค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุด (N/mm ²) |
|--|--|
| 3.1 รากเทียมทรงสอบ 4 องศา-เกลียวรูปตัววี | 53.87 |
| 3.2 รากเทียมทรงสอบ 4 องศา-เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส | 53.33 |
| 3.3 รากเทียมทรงสอบ 4 องศา-เกลียวแบบบัทเทรส | 52.29 |

ตารางที่ 7 แสดงค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดในการกระจายความเค้นรอบเกลียวแรก ของรากเทียมทรงสอบ
4 องศาที่มีเกลียวรูปตัววี เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส และ เกลียวแบบบัทเทรส

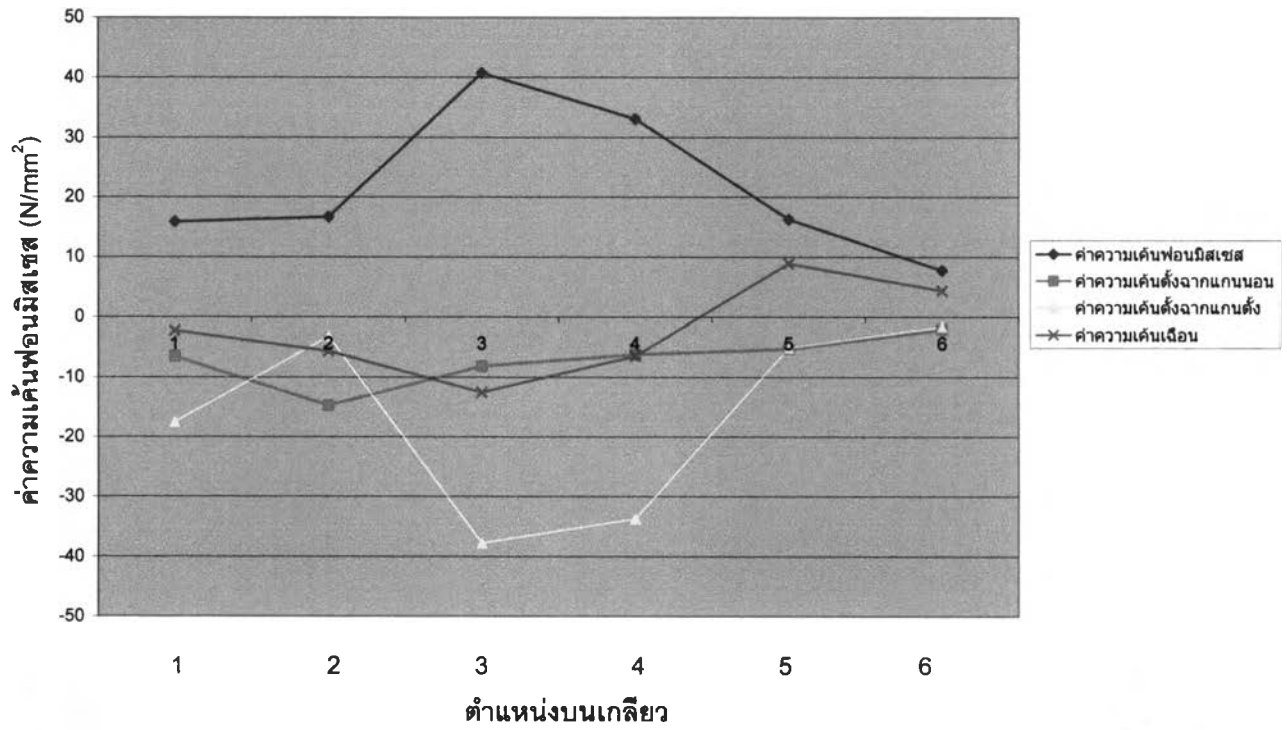
| แบบจำลอง | ค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดรอบเกลียวแรก (N/mm ²) |
|--|--|
| 3.1 รากเทียมทรงสอบ 4 องศา-เกลียวรูปตัววี | 40.73 |
| 3.2 รากเทียมทรงสอบ 4 องศา-เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส | 40.84 |
| 3.3 รากเทียมทรงสอบ 4 องศา-เกลียวแบบบัทเทรส | 40.78 |

จากการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดูกอบรากเทียมทรงสอบ 4 องศาที่มีเกลียวแตกต่างกันสามชนิดคือ เกลียวรูปตัววี เกลียวแบบรีเวิร์สβάทเทรล และ เกลียวแบบβάทเทรล (รูปที่ 26 และ 27) พบว่าการกระจายของความเค้นฟอนมิสเซลในกระดูกอบรากเทียมทรงสอบที่มีเกลียวแตกต่างกันสามแบบนี้มีรูปแบบที่ไม่แตกต่างกันทั้งในส่วนของกระดูกทึบและกระดูกพรุน ค่าความเค้นฟอนมิสเซลสูงสุดซึ่งเกิดบริเวณกระดูกทึบ (ตารางที่ 6) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการเพิ่มเกลียวในรากเทียมทรงกระบอกคือ เกลียวรูปตัววี มีค่าความเค้นฟอนมิสเซลสูงสุด มากที่สุด (53.87 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) รองลงมาคือเกลียวแบบรีเวิร์สβάทเทรล (53.33 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร มีความแตกต่างเมื่อเทียบกับเกลียวรูปตัววีคิดเป็นร้อยละ 1.00) และเกลียวแบบβάทเทรล มีค่าน้อยที่สุด (52.29 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร มีความแตกต่างเมื่อเทียบกับเกลียวรูปตัววีคิดเป็นร้อยละ 2.93) (ตารางที่ 6) อย่างไรก็ตามเกลียวทั้งสามแบบให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซลสูงสุดซึ่งเกิดในบริเวณกระดูกทึบใกล้เคียงกัน

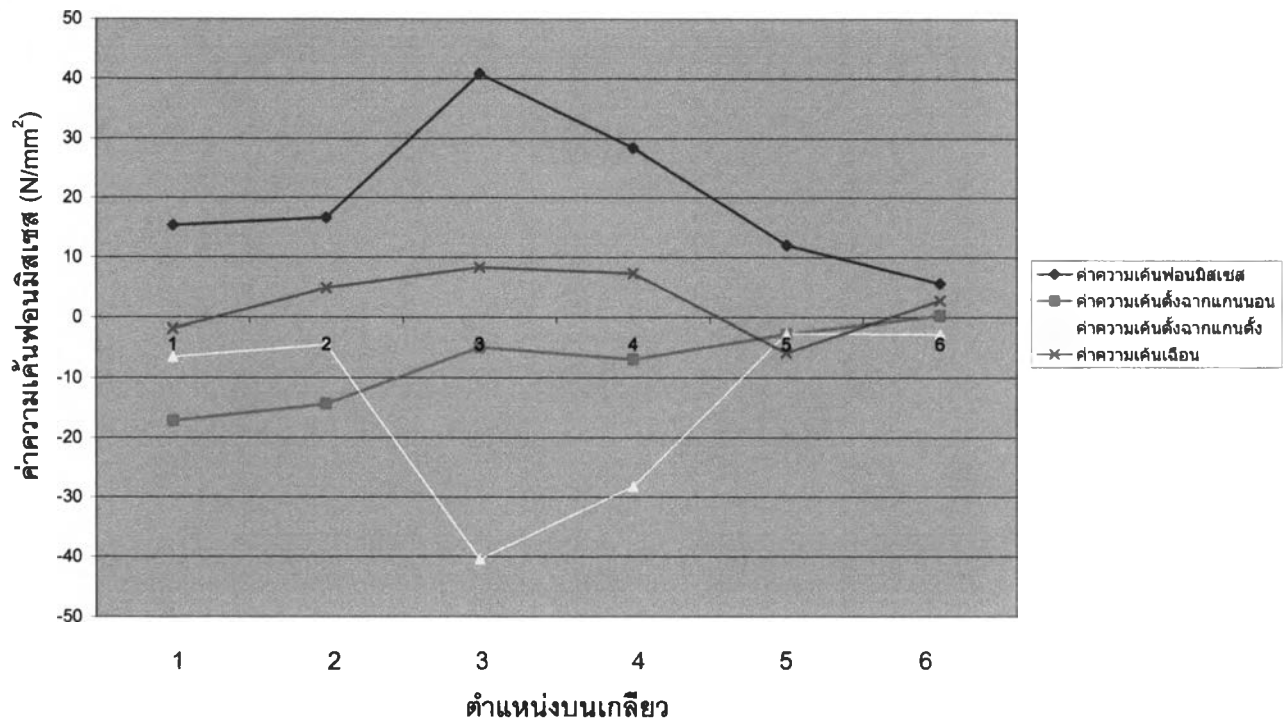


รูปที่ 27 แสดงความเค้นที่เกิดในกระดูกอบเกลียวรูปตัววี เกลียวแบบรีเวิร์สβάทเทรล และ เกลียวแบบβάทเทรล ของรากเทียมทรงสอบ 4 องศา ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวแตกต่างกันสามชนิด คือพบว่ามีความเค้นเกิดขึ้นน้อยมากในกระดูกที่อยู่ระหว่างเกลียว

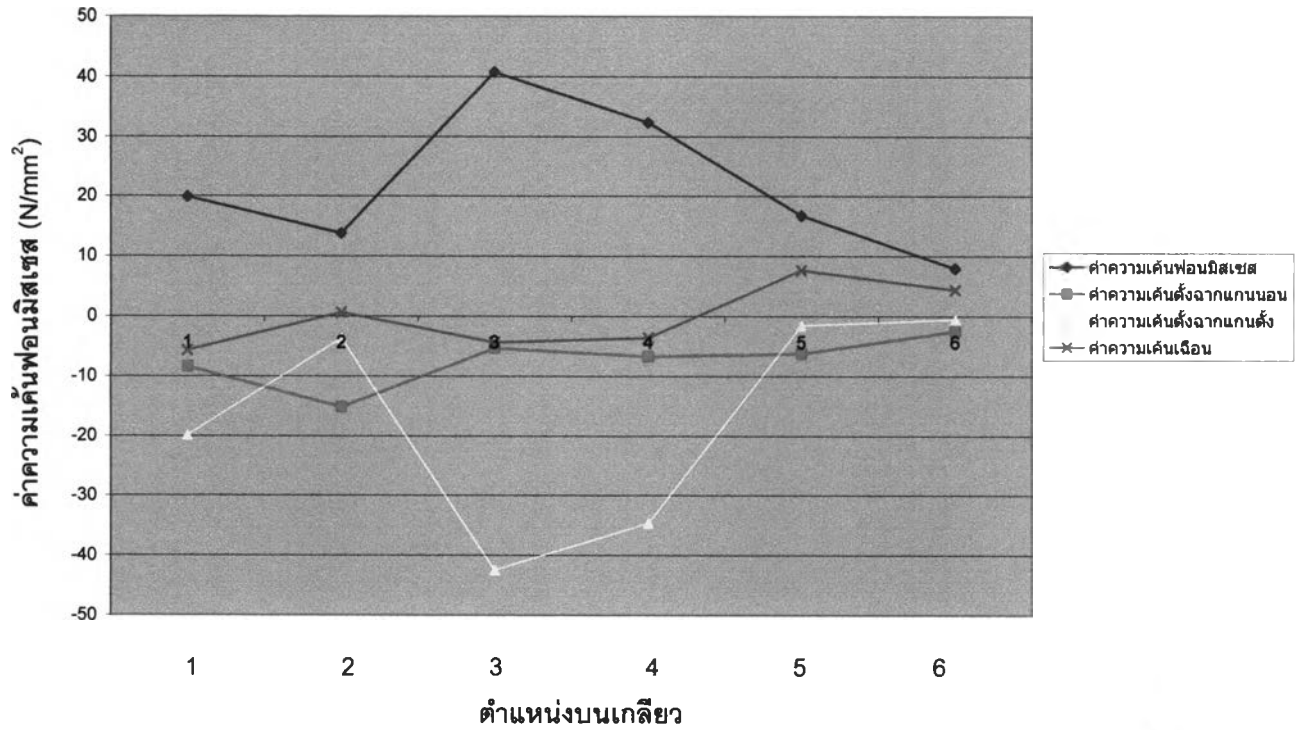
เมื่อพิจารณาค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดในกระดุมรอบเกลียวแรก ซึ่งอยู่ในกระดุมที่บของเกลียวทั้งสามแบบ (ตารางที่ 7 และแผนภูมิที่ 7) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยเกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส มีค่ามากที่สุด (40.84 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) รองลงมาคือเกลียวแบบบัทเทรส (40.78 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) และ เกลียวรูปตัววีมีค่าน้อยที่สุด (40.73 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เกลียวแบบรีเวิร์สบัทเทรส แตกต่างจากเกลียวรูปตัววี ร้อยละ 0.27 และเกลียวแบบบัทเทรส แตกต่างจากเกลียวรูปตัววี ร้อยละ 0.12) ซึ่งสอดคล้องกับกรณีของรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวทั้งสามแบบ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นตั้งฉากแกนนอน ความเค้นตั้งฉากแกนตั้ง และ ความเค้นเฉือน หกตำแหน่งเช่นเดียวกับกรณีรากเทียมทรงกระบอกก่อนหน้า ในกระดุมรอบเกลียวแรกของเกลียวทั้งสามชนิด (แผนภูมิที่ 7-9) จะพบว่ามีค่าแตกต่างกันน้อยมากเช่นเดียวกับกับกรณีของรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวแตกต่างกันทั้งสามชนิด จึงเป็นการยืนยันได้ว่ารูปร่างเกลียวมีผลน้อยมากต่อการกระจายความเค้นและค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดที่เกิดขึ้นในกระดุม



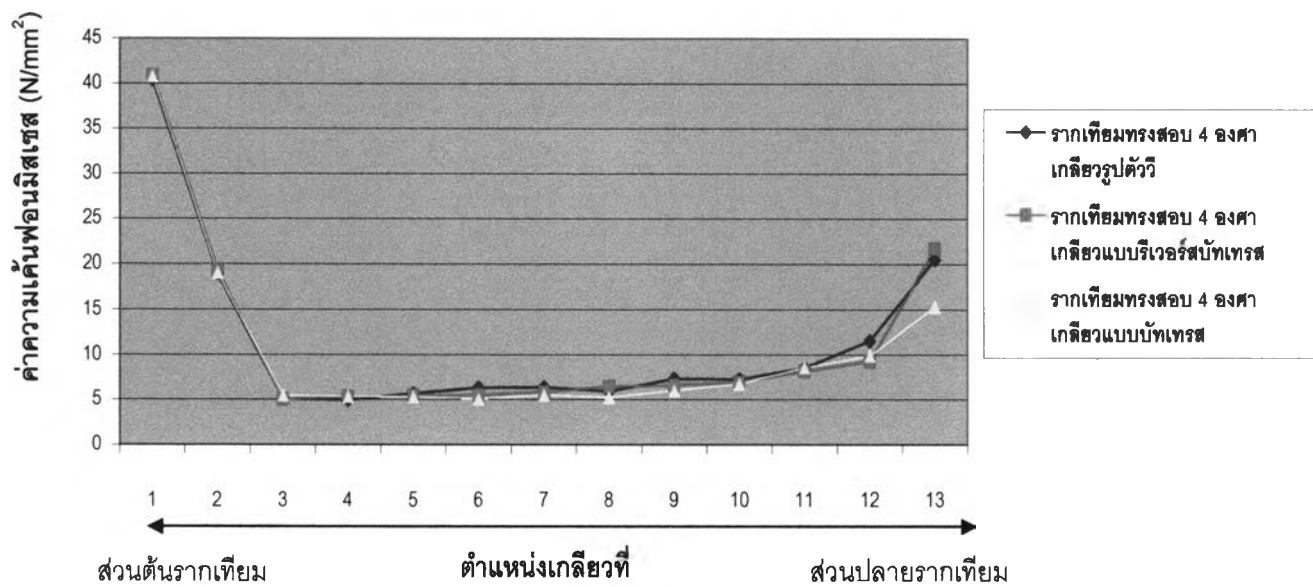
แผนภูมิที่ 7 แสดงค่าความเค้นในกระดุกหกตำแหน่งรอบเกลียวแรกของรากเทียมทรงสอบ 4 องศาที่มีเกลียวรูปตัววี



แผนภูมิที่ 8 แสดงค่าความเค้นในกระดุกหกตำแหน่งรอบเกลียวแรกของรากเทียมทรงสอบ 4 องศาที่มีเกลียวแบบวีเวิร์สบีทเทรส



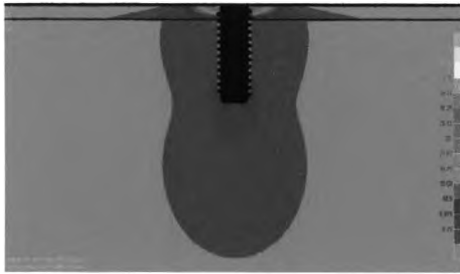
แผนภูมิที่ 9 แสดงค่าความเค้นในกระดุกหกตำแหน่งรอบเกลียวแรกของรากเทียมทรงสอบ 4 องศาที่มีเกลียวแบบนัทเทรต



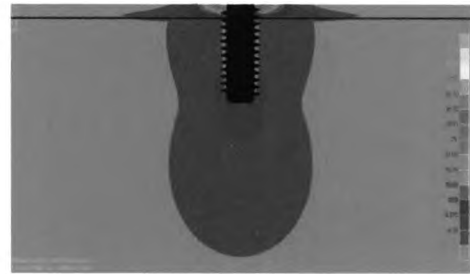
แผนภูมิที่ 10 แสดงค่าความเค้นพอนนิสเชสสูงสุดในกระดุกรอบเกลียวเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองรากเทียมทรงสอบ 4 องศาที่มีเกลียวแตกต่างกันสามชนิด

เมื่อทำการเปรียบเทียบการใส่เกลียวในรากเทียมกลุ่มนี้กับการใส่เกลียวในรากเทียมทรงกระบอก จะพบว่าค่าความเค้นพอนมิสเซสสูงสุดในกระดูกรอบรากเทียมของกลุ่มรากเทียมทรงสอบ 4 องศา มีค่ามากกว่าในรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวแบบเดียวกัน (คิดเป็นร้อยละ 6.98 7.11 และ 7.27 ตามลำดับ) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการเปรียบเทียบระหว่างรากเทียมไม่มีเกลียวแต่มีความสอบต่างกัน และรากเทียมทรงสอบจะมีค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกที่บมากกว่ารากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวแบบเดียวกัน

4. ผลของความยาวของเกลียวต่อการกระจายความเค้นในกระดุกรอบรากเทียม



4.1 เกลียว 0.4 มิลลิเมตร



4.2 เกลียว 0.8 มิลลิเมตร

รูปที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดุกรอบรากเทียมทรงกระบอก ที่มีเกลียวรูปตัววีความยาวเกลียว 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร พบว่ามีความคล้ายกันทั้งใน กระดุกทึบและกระดุกพรุน

ตารางที่ 8 แสดงค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดในกระดุกรอบรากเทียมทรงกระบอก ที่มีเกลียวรูปตัววีความยาว 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร

| แบบจำลอง | ค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุด (N/mm ²) |
|--------------------------|--|
| 4.1 ความยาวเกลียว 0.4 mm | 50.11 |
| 4.2 ความยาวเกลียว 0.8 mm | 46.94 |

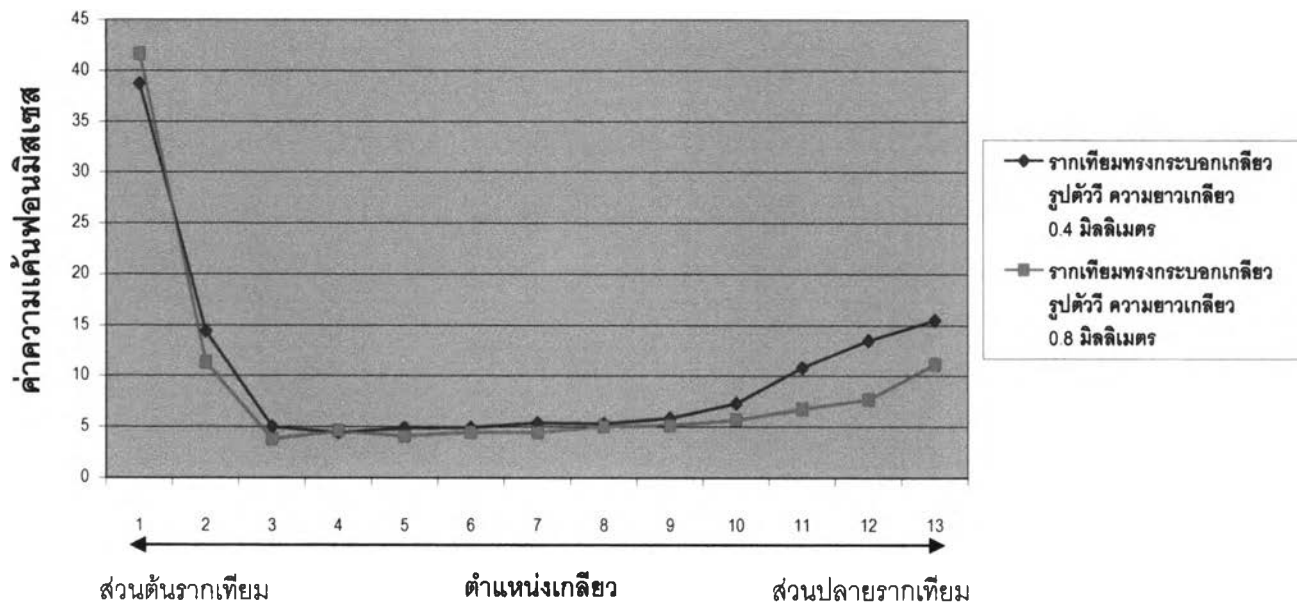
ตารางที่ 9 แสดงค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดในกระดุกรอบเกลียวแรกของรากเทียมทรงกระบอก ที่มีเกลียวรูปตัววี ความยาว 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร

| แบบจำลอง | ค่าความเค้นฟอนมิสเชสสูงสุดรอบเกลียวแรก (N/mm ²) |
|--------------------------|--|
| 4.1 ความยาวเกลียว 0.4 mm | 38.74 |
| 4.2 ความยาวเกลียว 0.8 mm | 41.65 |

จากการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดูกอบรากเทียมทรงระบอกเกลียวรูปตัววี ที่มีความยาวของเกลียวแตกต่างกันคือ 0.4 มิลลิเมตร และ 0.8 มิลลิเมตร (รูปที่ 28) การเลือกเกลียวรูปตัววี มาเปรียบเทียบเนื่องจากผลการทดลองพบว่ารูปร่างของเกลียวมีผลน้อยมากต่อการกระจายความเค้นในกระดูกอบรากเทียม ดังนั้นเกลียวแบบใดแบบหนึ่งจึงสามารถเป็นตัวแทนเกลียวแบบอื่นได้

จากรูปที่ 28 พบว่าการกระจายของความเค้นในกระดูกอบรากเทียมทรงระบอกเกลียวรูปตัววีที่มีความยาวเกลียวทั้ง 0.4 มิลลิเมตร และ 0.8 มิลลิเมตร มีรูปแบบการกระจายของความเค้นคล้ายกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าความเค้นพอนมิตสูงสุดสุดในกระดูกอบรากเทียม (ตารางที่ 8) พบว่ารากเทียมทรงระบอกเกลียวรูปตัววีที่มีความยาว 0.4 มิลลิเมตร มีค่าความเค้นพอนมิตสูงสุดมากกว่า (50.11 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) ในขณะที่รากเทียมทรงระบอกเกลียวรูปตัววียาว 0.8 มิลลิเมตร มีค่าความเค้นพอนมิตสูงสุดน้อยกว่า (46.94 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) ซึ่งมีความแตกต่างคิดเป็น ร้อยละ 6.33 แสดงว่าความยาวของเกลียวที่มากขึ้นมีผลทำให้มีการกระจายความเค้นเข้าไปในกระดูกพรุนมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มความยาวของเกลียวเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการกระจายความเค้นสู่กระดูกโดยเฉพาะในกระดูกพรุนซึ่งเป็นบริเวณที่สัมผัสกับเกลียวส่วนใหญ่ ทำให้ค่าความเค้นพอนมิตสูงสุดที่กระดูกที่บิมีค่าน้อยลง

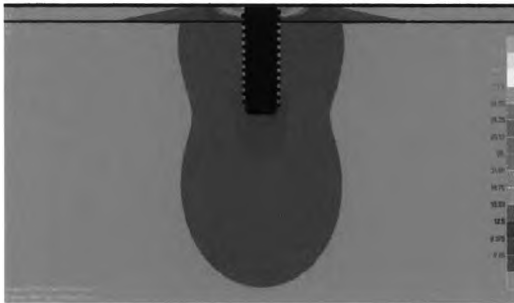
เมื่อพิจารณาค่าความเค้นพอนมิตในกระดูกอบเกลียวแรก (ตารางที่ 9 และแผนภูมิที่ 11) พบว่าเกลียวยาว 0.8 มิลลิเมตรมีค่ามากกว่าเกลียวยาว 0.4 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.51 เนื่องจากความยาวของเกลียวที่เพิ่มขึ้นทำให้ปลายเกลียวแคบและมีลักษณะเป็นมุมแหลมมากขึ้นทำให้เกิดการสะสมความเค้นในกระดูกในบริเวณนี้มากด้วย⁵¹ หากการสะสมความเค้นในบริเวณนี้มีมากเกินไปก็อาจจะทำให้เกิดการละลายของกระดูกในบริเวณนี้ตามมาได้ ดังนั้นหากต้องการเพิ่มความยาวเกลียวเพื่อผลในการกระจายความเค้นที่ดีขึ้นควรพิจารณาไม่ให้เกิดการสะสมความเค้นที่ปลายเกลียวมากเกินไป นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดการเชื่อมยึดของกระดูกกับรากเทียมที่ยากขึ้น



แผนภูมิที่ 11 แสดงค่าความเค้นฟอนมิสเซตสูงสุดของแต่ละเกลียวเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวรูปตัววี ความยาวเกลียว 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร

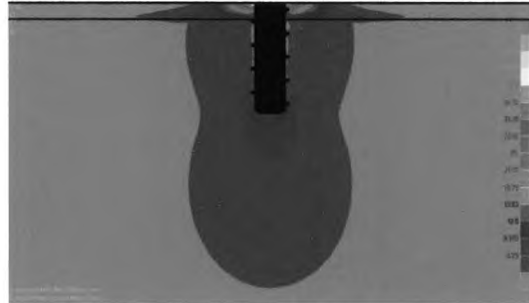
สรุปได้ว่าความยาวของเกลียวมีผลต่อการกระจายความเค้นและค่าของความเค้นฟอนมิสเซตสูงสุดในกระดูกรอบรากเทียมและความเค้นฟอนมิสเซตสูงสุดในกระดูกรอบเกลียว โดยเกลียวที่ยาวขึ้นส่งผลให้ค่าของความเค้นฟอนมิสเซตสูงสุดในกระดูกรอบรากเทียมนี้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับข้อสรุปจากการศึกษาของ Rieger¹⁷ ที่พบว่าการที่มีเกลียวขนาดเล็กบนรากเทียมทรงกระบอกนั้นมีผลน้อยมากกับการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากเทียม

5. ผลของระยะระหว่างเกลียวต่อการกระจายความเค้นในกระดุมรอบรากเทียม



5.1 ระยะระหว่างเกลียว

0.4 มิลลิเมตร



5.2 ระยะระหว่างเกลียว

1.6 มิลลิเมตร

รูปที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดุมรอบรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวรูปตัววีระยะระหว่างเกลียว 0.4 และ 1.6 มิลลิเมตร พบว่ามีความคล้ายกันทั้งในกระดุมทึบและในกระดุมพรุน

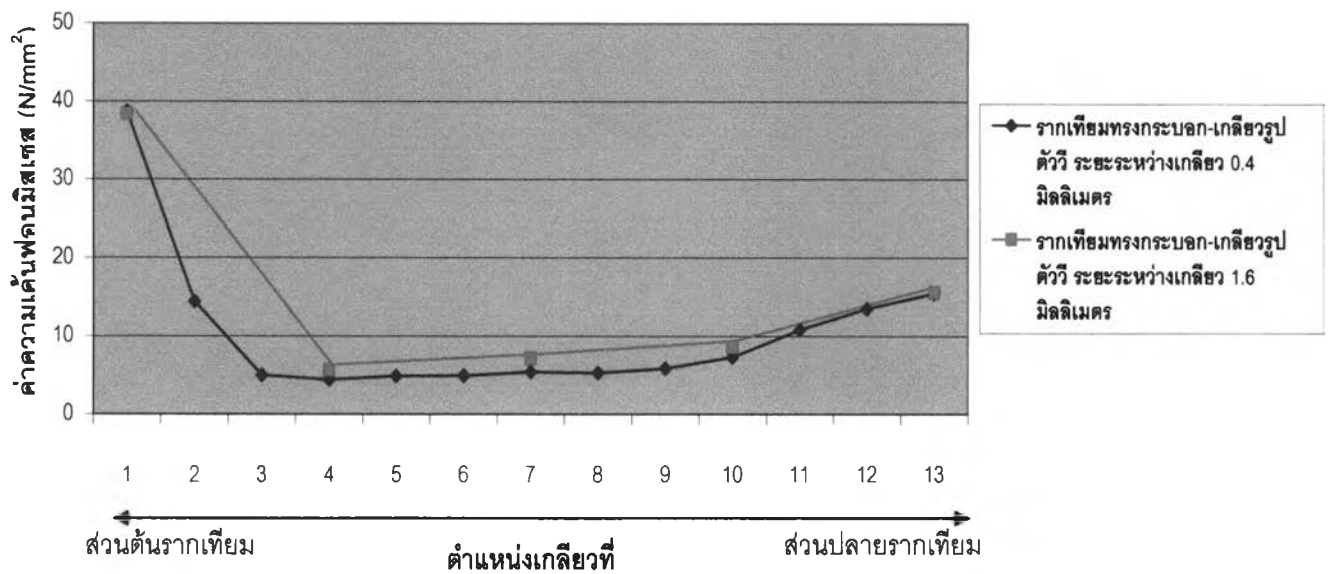
ตารางที่ 10 แสดงค่าความเค้นพอนมิสเชสสูงสุดในกระดุมรอบรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวรูปตัววีระยะระหว่างเกลียว 0.4 และ 1.6 มิลลิเมตร

| แบบจำลอง | ความเค้นพอนมิสเชสสูงสุด (N/mm ²) |
|------------------------------|---|
| 5.1 ระยะระหว่างเกลียว 0.4 mm | 50.11 |
| 5.2 ระยะระหว่างเกลียว 1.6 mm | 53.90 |

ตารางที่ 11 แสดงค่าความเค้นพอนมิสเชสสูงสุดในกระดุมรอบเกลียวแรกของรากเทียมทรงกระบอกที่มีเกลียวรูปตัววีและมีระยะระหว่างเกลียวเท่ากับ 0.4 และ 1.6 มิลลิเมตร

| แบบจำลอง | ความเค้นพอนมิสเชสสูงสุด รอบเกลียวแรก (N/mm ²) |
|------------------------------|--|
| 5.1 ระยะระหว่างเกลียว 0.4 mm | 38.74 |
| 5.2 ระยะระหว่างเกลียว 1.6 mm | 38.36 |

จากการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดุกอบรากเทียมทรงกระบอก เกลียวรูปตัววีระยะระหว่างเกลียวแตกต่างกันคือ 0.4 และ 1.6 มิลลิเมตร (รูปที่ 29) จะเห็นได้ว่า รูปแบบการกระจายความเค้นในกระดุกอบรากเทียมทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อ พิจารณาค่าความเค้นพอนมิตเซตสูงสุดที่บริเวณส่วนกระดุกที่บ (ตารางที่ 10) พบว่ารากเทียมที่มี ระยะระหว่างเกลียว 0.4 มิลลิเมตร และ 1.6 มิลลิเมตร มีค่า 50.11 และ 53.90 นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างคิดเป็นร้อยละ 7.03 การเพิ่มระยะระหว่างเกลียวหรือลด จำนวนเกลียวนั้นเป็นการลดลงของพื้นที่ในการกระจายแรงโดยเฉพาะในส่วนกระดุกพุนที่สัมผัสกับ รากเทียมทำให้การกระจายความเค้นในกระดุกพุนน้อย ดังนั้นค่าความเค้นพอนมิตเซตสูงสุดใน กระดุกอบรากเทียมจึงมีค่าสูงขึ้น



แผนภูมิที่ 12 แสดงค่าความเค้นพอนมิตเซตสูงสุดของแต่ละเกลียวเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองรากเทียม ทรงกระบอกเกลียวแตกต่างกันสามชนิด

จากค่าความเค้นพอนมิสเชสสูงสุดในกระดุมรอบเกลียวแรก ซึ่งอยู่ในกระดุมที่บ (ตารางที่ 11 และ แผนภูมิที่ 12) พบว่ารากเทียมทั้งสองแบบ มีค่าความเค้นพอนมิสเชสสูงสุดในกระดุมรอบเกลียวใกล้เคียงกันมาก (แตกต่างกันร้อยละ 0.98) แสดงให้เห็นว่าระยะระหว่างเกลียวไม่มีผลต่อค่าความเค้นพอนมิสเชสสูงสุดที่เกิดขึ้นในกระดุมรอบเกลียว

จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่าความสอของรากเทียมมีผลต่อการกระจายความเค้นในกระดุมรอบรากเทียม โดยรากเทียมทรงกระบอกจะให้ค่าความเค้นพอนมิสเชสสูงสุดในกระดุมที่บ รอบรากเทียมน้อยลง นอกจากนี้การใส่เกลียวบนรากเทียมด้วยเกลียวแบบใดก็ตาม การเพิ่มความยาวของเกลียวและการลดระยะระหว่างเกลียวจะทำให้การกระจายความเค้นในกระดุมรอบรากเทียมดีขึ้น