

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการศึกษา

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการดำเนินงานตามขั้นตอนและระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัยดังแสดงไว้ในบทที่ 3 ซึ่งจะประกอบด้วยเนื้อหาและรายละเอียดของผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าความเค้นดัดสูงสุดและค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์

4.2 ผลการคำนวณหาค่าความเค้นดัดสูงสุดและค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

4.3 ผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองทางไฟไนต์อีลิเมนต์

4.4 ผลการศึกษาผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ

4.5 ผลการศึกษาผลกระทบของมุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กเทียบกับแนวแรงที่ขนานกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ

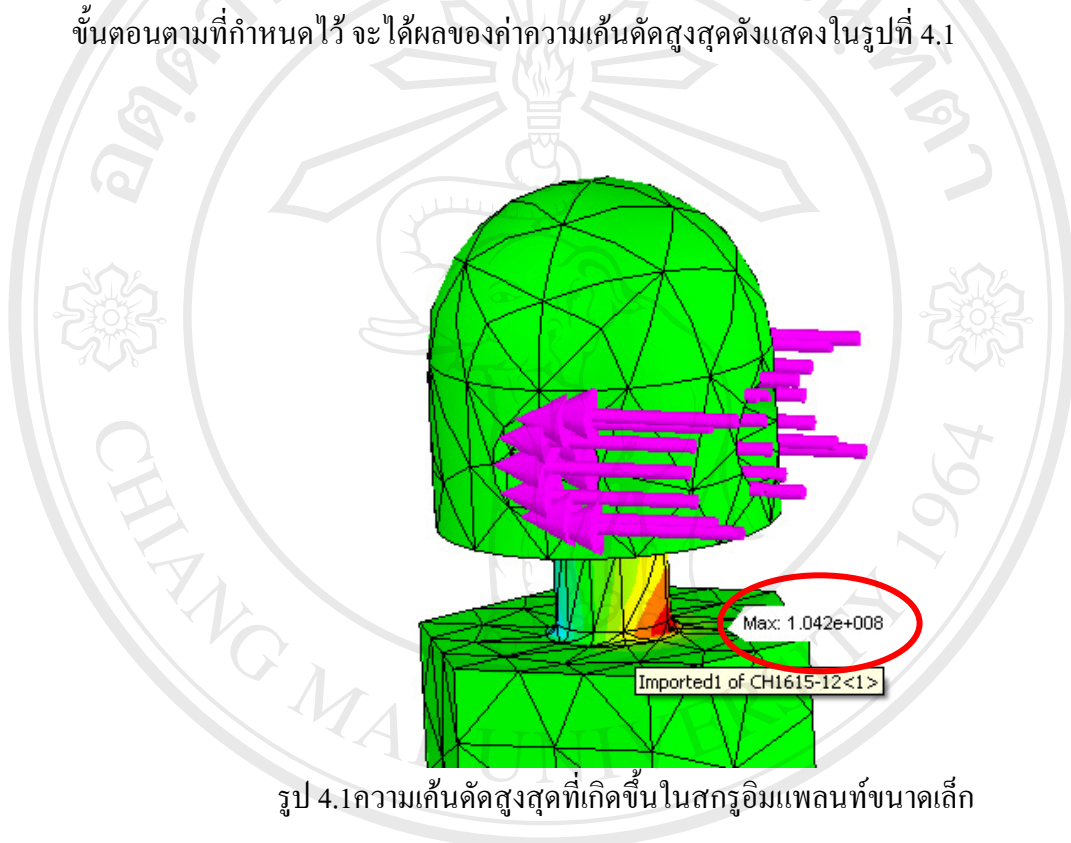
4.6 ผลการศึกษาผลกระทบของทิศทางของแรงที่กระทำกับสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กเทียบกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ

4.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าความเค้นดัดสูงสุดและค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์

4.1.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าความเค้นดัดสูงสุดในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก

สำหรับการวิเคราะห์ค่าความเค้นดัดสูงสุดในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์เพื่อการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์สำหรับในการศึกษานี้

ได้เลือกทำการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ที่สกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตรและมีขนาดความยาวเกลียว 12 มิลลิเมตร(CH1615-12) โดยการกำหนดให้ค่าคุณสมบัติของวัสดุในชิ้นส่วนชั้นกระดูกทึบและกระดูกพรุนมีลักษณะเป็นวัตถุแข็งเกร็ง ในการศึกษาจะมุ่งศึกษาค่าความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก เพื่อนำค่าความเค้นดัดสูงสุดดังกล่าวนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเค้นดัดสูงสุดที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเมื่อทำการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ตามวิธีการและขั้นตอนตามที่กำหนดไว้ จะได้ผลของค่าความเค้นดัดสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 4.1

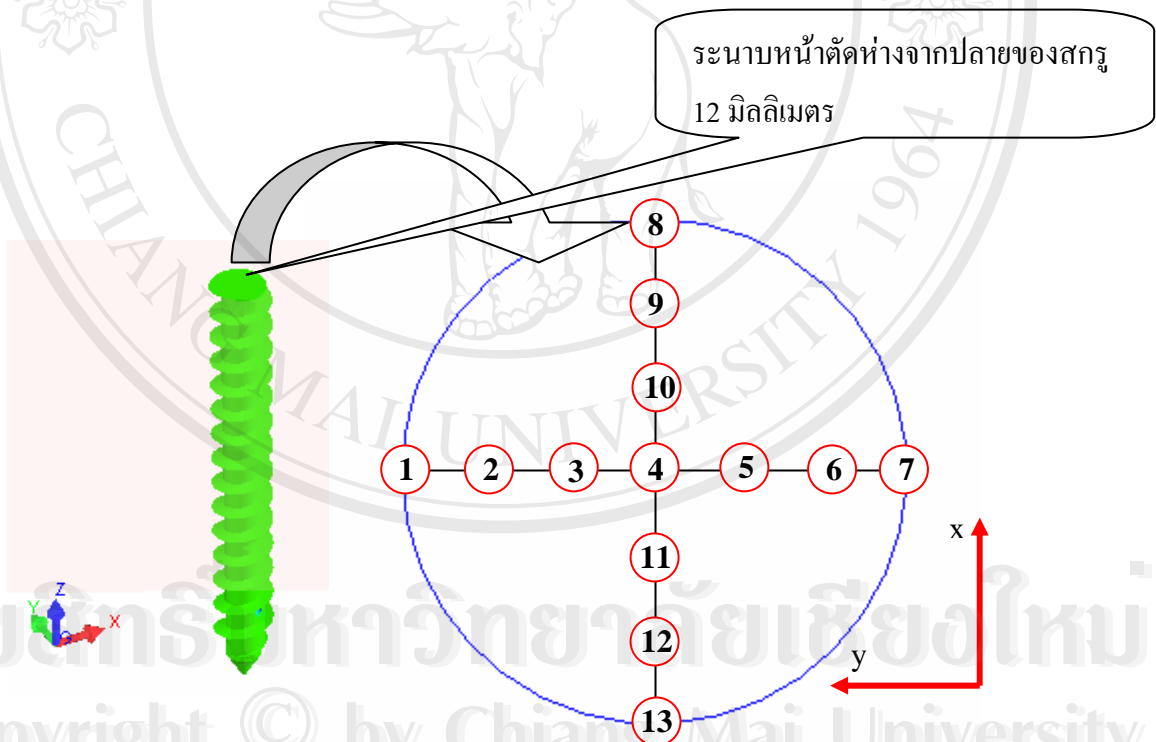


รูป 4.1 ความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเป็นความเค้นดึงมีขนาด 104.2 เมกะปาสกาล ซึ่งเมื่อพิจารณาตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นดัดสูงสุดดังกล่าวจะพบว่ามีความสอดคล้องกับทฤษฎี คือ ค่าความเค้นดัดสูงสุดนั้นเกิดขึ้นบนส่วนคอของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นส่วนที่มีขนาดของหน้าตัดรองรับโมเมนต์ดัดน้อยที่สุด(ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร) และจากรูปที่ 4.1 จะพบว่าค่าความเค้นดัดสูงสุดดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งรอยต่อกับตัวของสกรูซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม โดยตำแหน่งดังกล่าวจะอยู่ห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางของรูที่หัวของสกรูอิมแพลนท์เป็นระยะทาง 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวจะเป็นตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดบนหน้าตัดส่วนคอของสกรูอิมแพลนท์ เมื่อพิจารณาดังนี้จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่เกิดความเค้นดัดสูงสุดนั้นมีความถูกต้องและสอดคล้องกับทฤษฎี ดังนั้นจะได้นำค่าพิกัด

ตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นดัดสูงสุดนี้ ไปคำนวณหาค่าความเค้นดัดสูงสุดด้วยสมการคณิตศาสตร์ ในหัวข้อต่อไป เพื่อนำมาเปรียบเทียบและยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์

4.1.2 ผลการวิเคราะห์หาค่าความเค้นในแนวแกน โดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก การวิเคราะห์หาค่าความเค้นในแนวแกน โดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก จะทำการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองขนาดเดียวกันกับกรณีการวิเคราะห์หาค่าความเค้นดัดสูงสุด แต่แรงที่กระทำกับตัวของสกรูจะเป็นแรงในแนวแกนของสกรู โดยผลของค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยที่จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์จะเป็นค่าความเค้นโดยเฉลี่ยที่ระนาบตัดห่างจากปลายของสกรู 12 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์เท่ากับ 1.3 มิลลิเมตรและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางราก 1 มิลลิเมตร เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของความเค้นในแนวแกนที่เกิดขึ้นจะได้ผลดังนี้



รูป 4.2 ตำแหน่งที่ทำการหาค่าความเค้นในแนวแกน

ตารางที่ 4.1 ค่าความเค้นในแนวแกน

ตำแหน่ง	ค่าความเค้น(N/m <sup>2</sup> )
1	4.02 x 10 <sup>5</sup>
2	4.49 x 10 <sup>5</sup>
3	4.58 x 10 <sup>5</sup>
4	4.67 x 10 <sup>5</sup>
5	4.59 x 10 <sup>5</sup>
6	4.41 x 10 <sup>5</sup>
7	4.03 x 10 <sup>5</sup>
8	3.97 x 10 <sup>5</sup>
9	4.48 x 10 <sup>5</sup>
10	4.53 x 10 <sup>5</sup>
11	4.57 x 10 <sup>5</sup>
12	4.44 x 10 <sup>5</sup>
13	4.12 x 10 <sup>5</sup>

จากข้อมูลค่าความเค้นที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้ง 12 จุดในตารางที่ 4.1 จะได้ค่าความเค้นเฉลี่ยของค่าความเค้นในแนวแกนที่เกิดขึ้นในสกรูอิမ်เพลนท์ขนาดเล็ก คือ  $4.38 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

#### 4.2 ผลการคำนวณหาค่าความเค้นตัดสูงสุดและค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยของสกรูอิမ်เพลนท์ขนาดเล็กด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

4.2.1 การใช้ทฤษฎีความยืดหยุ่นพิจารณาปัญหาที่เป็นลักษณะของคานยื่นหน้าตัดคงที่รูปวงกลมเพื่อหาค่าความเค้นตัดสูงสุด ซึ่งวิธีการนี้จะทำโดยการกำหนดฟังก์ชันความเค้นที่สอดคล้องกับสมการควบคุม โดยในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ฟังก์ชันความเค้นที่ใช้ในการแก้ปัญหาอยู่ในรูปของสมการพหุนาม

$$\phi = a_1xy^3 + a_2xy \quad (4.1)$$

จากฟังก์ชันความเค้นที่กำหนด จะสามารถหาค่าคงที่ได้จากสภาวะเงื่อนไขขอบและจะทำให้ได้สมการองค์ประกอบความเค้นที่ใช้ในการหาค่าความเค้นตัดที่เกิดขึ้น คือ

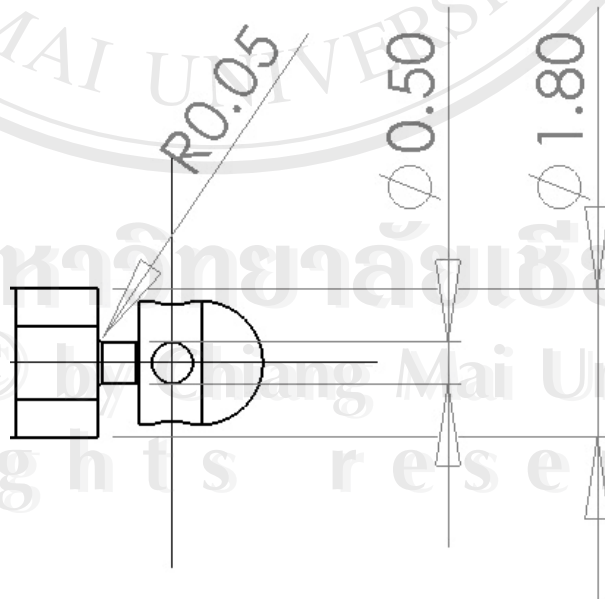
$$\sigma_x = \frac{4Pxy}{\pi^4} \quad (4.2)$$

เมื่อได้สมการที่ใช้ในการหาค่าความเค้นดัดก็จะสามารถหาค่าความเค้นดัดสูงสุดเพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าความเค้นดัดสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีการไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยการแทนค่าพิกัด  $x$  และ  $y$  ที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ จากภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าพิกัด  $x$  คือ ระยะทางจากจุดศูนย์กลางของรูที่หัวของสกรูอิมเพลนต์ขนาดเล็กถึงตำแหน่งที่เกิดความเค้นดัดสูงสุด ค่าพิกัด  $y$  คือ ค่ารัศมีระนาบหน้าตัดรูปทรงกลมของคอของสกรูอิมเพลนต์ขนาดเล็ก ดังนั้นค่าพิกัด  $x$  และ  $y$  ที่ทำให้เกิดค่าความเค้นดัดสูงสุดที่จะนำไปแทนลงในสมการที่ 4.2 คือ  $x = 1.5$  มิลลิเมตรและ  $y = 0.25$  มิลลิเมตร ทำการแทนค่าพิกัดลงในสมการที่ 4.2 จะได้

$$\sigma_{x,MAX} = \frac{4(0.4905)(1.5 \times 10^{-3})(0.25 \times 10^{-3})}{\pi(0.25 \times 10^{-3})^4}$$

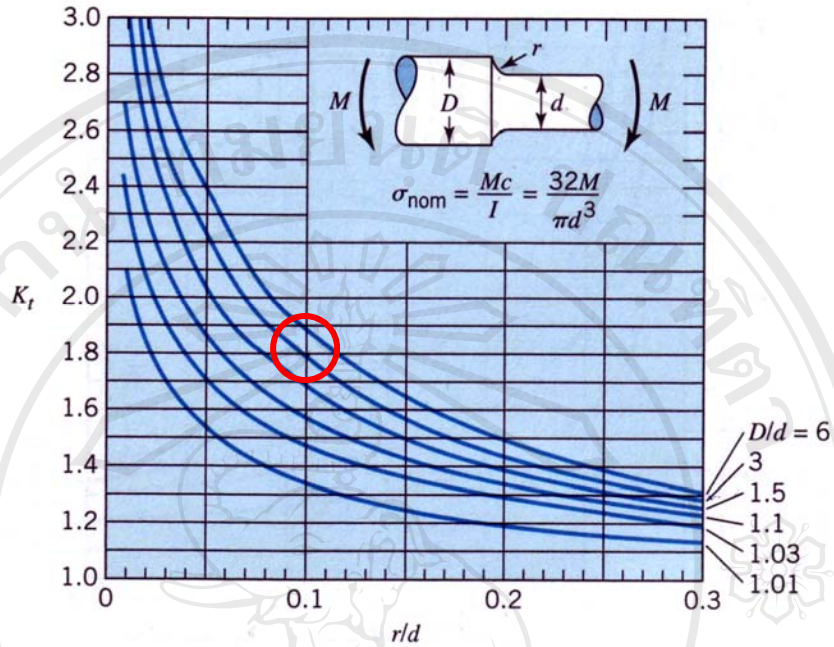
$$\sigma_{x,MAX} = 59.95 \text{ MPa}$$

4.2.2 การใช้ค่าความเข้มของหน่วยแรงที่ใช้หาค่าความเค้นดัดในกรณีที่เพลากลมเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของหน้าตัดมาคูณกับค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากหัวข้อที่ 4.2.1



รูป 4.3 ขนาดของสกรูอิมเพลนต์ที่ใช้ในการหาค่า SCF





รูป 4.4 ค่า SCF ที่ใช้ในกรณีศึกษาเมื่อ  $D/d = 3.6$  และ  $r/d = 0.1$

จากขนาดของสกรูอิมแพลนที่แสดงในรูปที่ 4.2 จะได้อัตราส่วนขนาด  $D/d$  และ  $r/d$  ที่จะใช้ในการหาค่าความเข้มของหน่วยแรงในรูปที่ 4.3 คือ

$$\frac{D}{d} = \frac{1.8}{0.5} = 3.6$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0.05}{0.5} = 0.1$$

เมื่อนำอัตราส่วนขนาดที่ได้ไปอ่านค่าจากกราฟในรูปที่ 4.3 จะได้อัตราส่วนความเข้มของหน่วยแรง คือ

$$SCF = 1.8$$

ดังนั้นค่าความเค้นดัดสูงสุดที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$\text{Maximum Bending Stress} = 59.95 \times 1.8$$

$$\text{Maximum Bending Stress} = 107.92 \text{ MPa}$$

#### 4.2.3 การคำนวณหาค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนที่ขนาดเล็ก

การคำนวณหาค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนที่ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 โดยการแทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางพิทซ์และเส้นผ่านศูนย์กลางรากของระนาบหน้าตัดที่ทำการพิจารณาหาค่าความเค้นในแนวแกนด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ ซึ่งในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ทำการพิจารณาที่ระนาบหน้าตัดห่างจากปลายของสกรู 12 มิลลิเมตร ที่ระนาบดังกล่าวจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิทซ์เท่ากับ 1.3 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางราก 1 มิลลิเมตร ทำการแทนค่าลงในสมการ จะได้ว่า

$$\sigma = \frac{4F}{\pi\left(\frac{d_p + d_r}{2}\right)^2}$$

$$\sigma = \frac{4(0.4905)}{\pi\left(\frac{1.3 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-3}}{2}\right)^2}$$

$$\sigma = 4.72 \times 10^5 \frac{N}{m^2}$$

จากผลการคำนวณ ค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนที่ขนาดเล็กที่ระนาบตัดห่างจากปลายของสกรู 12 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ  $4.72 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

#### 4.3 เปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองทางไฟไนท์อีลิเมนต์

##### 4.3.1 การเปรียบเทียบค่าความเค้นตัดสูงสุด

จากผลการวิเคราะห์หาค่าความเค้นตัดสูงสุดด้วยแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ในหัวข้อที่ 4.1.1 และการคำนวณหาค่าความเค้นตัดสูงสุดจากสมการทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 4.2 จะได้นำมาเปรียบเทียบกันเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ โดยจะยึดความถูกต้องของผลการคำนวณที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังนี้

$$\% \text{ Different} = \frac{\sigma_{\text{math}} - \sigma_{\text{FEM}}}{\sigma_{\text{math}}} \times 100$$

$$\% \text{ Different} = \frac{107.92 - 104.20}{107.92} \times 100$$

$$\% \text{ Different} = 3.45$$

จากผลการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างของค่าความเค้นตัดสูงสุดที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์กับผลจากวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 3.95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นจะถือว่าแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้มีความถูกต้องเพียงพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรที่ได้กำหนดไว้ในขอบเขตงานวิจัย

#### 4.3.2 การเปรียบเทียบค่าความเค้นในแนวแกน โดยเฉลี่ย

จากผลการวิเคราะห์หาค่าความเค้นในแนวแกน โดยเฉลี่ยด้วยแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ในหัวข้อที่ 4.1.2 และการคำนวณหาค่าความเค้นในแนวแกน โดยเฉลี่ยจากสมการทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 4.2.2 จะได้นำมาเปรียบเทียบกันเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ โดยจะยึดความถูกต้องของผลการคำนวณที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังนี้

$$\% \text{ Different} = \frac{\sigma_{\text{math}} - \sigma_{\text{FEM}}}{\sigma_{\text{math}}} \times 100$$

$$\% \text{ Different} = \frac{4.72 \times 10^5 - 4.38 \times 10^5}{4.72 \times 10^5} \times 100$$

$$\% \text{ Different} = 7.2$$

จากผลการเปรียบเทียบที่ได้ถึงแม้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะมีค่ามากถึง 7.2 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากผลการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์นั้นเป็นเพียงค่าเฉลี่ยของค่าความเค้นในแนวแกนที่เกิดขึ้นไม่ใช่ผลเฉลยแม่นยำ ดังนั้นจะถือว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กนี้ เป็นค่าที่ยอมรับได้

#### 4.4 ผลการศึกษาผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ

การวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ จะทำการศึกษาดูด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์โดยการสร้างแบบจำลองของสกรูอิมแพลนท์และกระดูกโดยรอบ ทำการปรับเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว



ของสกรูอิมแพลนต์ขนาดเล็กในแต่ละแบบจำลอง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งหมด 4 ขนาด คือ 1.6, 1.5, 1.4 และ 1.3 มิลลิเมตร ซึ่งในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดความยาวเกลียวที่แตกต่างกัน 5 ขนาด คือ 6, 7, 8, 10 และ 12 มิลลิเมตร ดังนั้นแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียวของสกรูอิมแพลนต์ขนาดเล็กที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนต์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ จะมีทั้งหมด 20 แบบจำลอง โดยค่าความเค้นที่นำมาวิเคราะห์จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

#### 4.4.1 ค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนต์ขนาดเล็ก

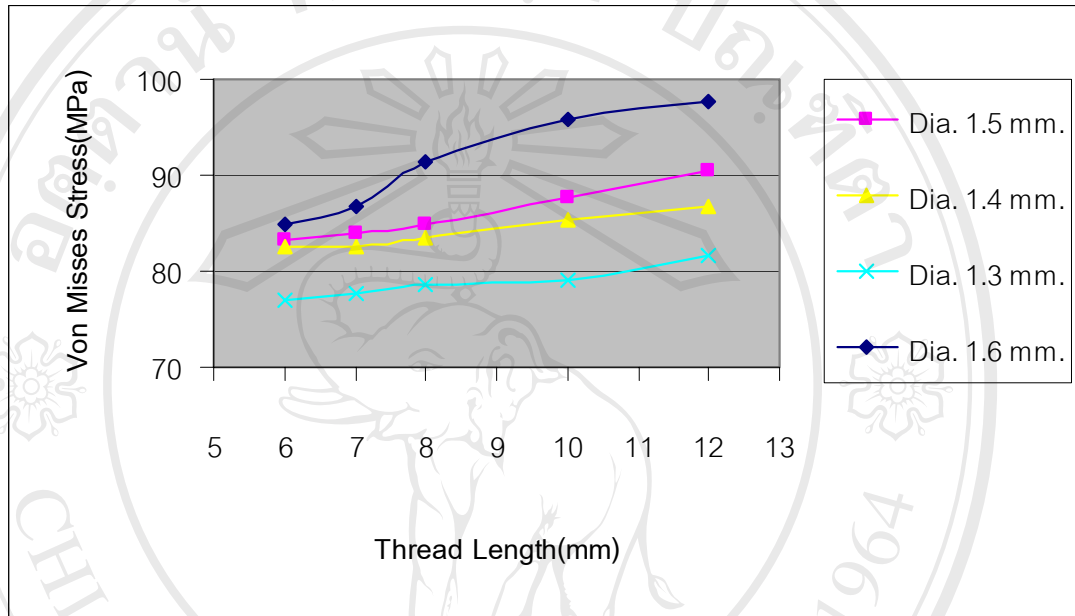
เนื่องจากสกรูอิมแพลนต์นั้นทำมาจากไทเทเนียมซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงและจัดอยู่ในวัสดุที่เหนียว ดังนั้นในการพิจารณาการเสียหายจึงเลือกทฤษฎีพลังงานเสียรูปสูงสุดมาใช้ในการพิจารณา ด้วยเหตุนี้ในการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในส่วนของสกรูอิมแพลนต์ขนาดเล็ก จึงศึกษาถึงค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นเพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นครากของไทเทเนียมซึ่งมีค่าเท่ากับ 550 เมกกะปาสกาล<sup>1</sup> จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียวของสกรูอิมแพลนต์ขนาดเล็กแตกต่างกันทั้ง 20 แบบ จะได้ผลของค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนต์ขนาดเล็ก ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนต์ขนาดเล็กในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว

Von Mises Stress (MPa)		ขนาดความยาวเกลียว(mm)				
		6	7	8	10	12
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(mm)	1.6	84.882	86.63	91.32	95.77	97.72
	1.5	83.32	83.92	84.87	87.75	90.41
	1.4	82.57	82.58	83.45	85.32	86.67
	1.3	77.02	77.65	78.7	79.07	81.72

<sup>1</sup>Haldun Iplikcioglu and Kivanc Akca (2001). Comparative evaluation of the effect of diameter, length and number of implants supporting three-unit fixed partial protheses on stress distribution in the bone. *The Journal of Dentistry*. 30, 41-46.

ค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว ในตารางที่ 4.1 สามารถนำเสนอในรูปแบบของกราฟเพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียวที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูป 4.5 ความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว

#### 4.4.2 ค่าความเค้นหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบ

สำหรับค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในส่วนของกระดูกที่รองรับการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กนั้น จากผลของการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ทั้ง 20 แบบ ซึ่งให้เห็นว่าค่าความเค้นสูงสุดจะเกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบ ซึ่งเป็นกระดูกชั้นนอกที่มีความแข็งแรงและความหนาแน่นสูง ส่วนในชั้นของกระดูกพรุนนั้นจะพบว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นจะน้อยมาก ซึ่งค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกพรุนจะน้อยกว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบประมาณ 50 -60 เท่า ดังนั้นค่าความเค้นที่จะนำมาวิเคราะห์สำหรับการศึกษานี้ จะเป็นค่าความเค้นหลักที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบเท่านั้น

จากลักษณะคุณสมบัติของชั้นกระดูกทึบที่มีลักษณะที่แข็งและเปราะ ดังนั้นในการพิจารณาความเสียหายของวัสดุจึงเลือกเกณฑ์การแตกหักของ Coulomb-Mohr มาใช้ในการวิเคราะห์ ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบ จะศึกษาถึงค่าความเค้นหลัก

ที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเค้นยังผลโดยใช้สมการ 2.44 และนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเค้นประลัย (Ultimate Stress) ที่กระดูกทึบสามารถรับได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าความเค้นประลัย (ความเค้นดึง) ที่กระดูกทึบสามารถรับได้ คือ ค่าความเค้นดึงขนาด 100 เมกะปาสกาล<sup>2</sup>

จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ทั้ง 20 แบบ จะได้ค่าความเค้นหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบมีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.2 , 4.3 และ 4.4 ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณหาค่าความเค้นยังผลสูงสุด จะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 ค่าความเค้นหลัก  $\sigma_1$  สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบในแต่ละขนาด  
เส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว

ค่าความเค้นหลักสูงสุด (MPa)		ขนาดความยาวเกลียว(mm)				
		6	7	8	10	12
ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง(mm)	1.6	4.98	3.87	3.23	3.01	2.87
	1.5	5.36	4.24	4.14	3.78	3.64
	1.4	10.88	9.71	6.26	6.02	5.73
	1.3	14.01	12.87	10.53	10.21	9.67

ตารางที่ 4.4 ค่าความเค้นหลัก  $\sigma_2$  สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบในแต่ละขนาด  
เส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว

ค่าความเค้นหลักสูงสุด (MPa)		ขนาดความยาวเกลียว(mm)				
		6	7	8	10	12
ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง(mm)	1.6	-2.21	-2.03	-1.96	-1.91	-1.84
	1.5	-2.27	-2.01	-2.02	-2.04	-2.3
	1.4	-4.09	-2.85	-2.79	-4.03	-3.37
	1.3	-5.79	-5.39	-5.32	-4.79	-4.64

<sup>2</sup>Haldun Iplikcioglu and Kivanc Akca (2001). Comparative evaluation of the effect of diameter, length and number of implants supporting three-unit fixed partial protheses on stress distribution in the bone. *The Journal of Dentistry*. 30, 41-46.

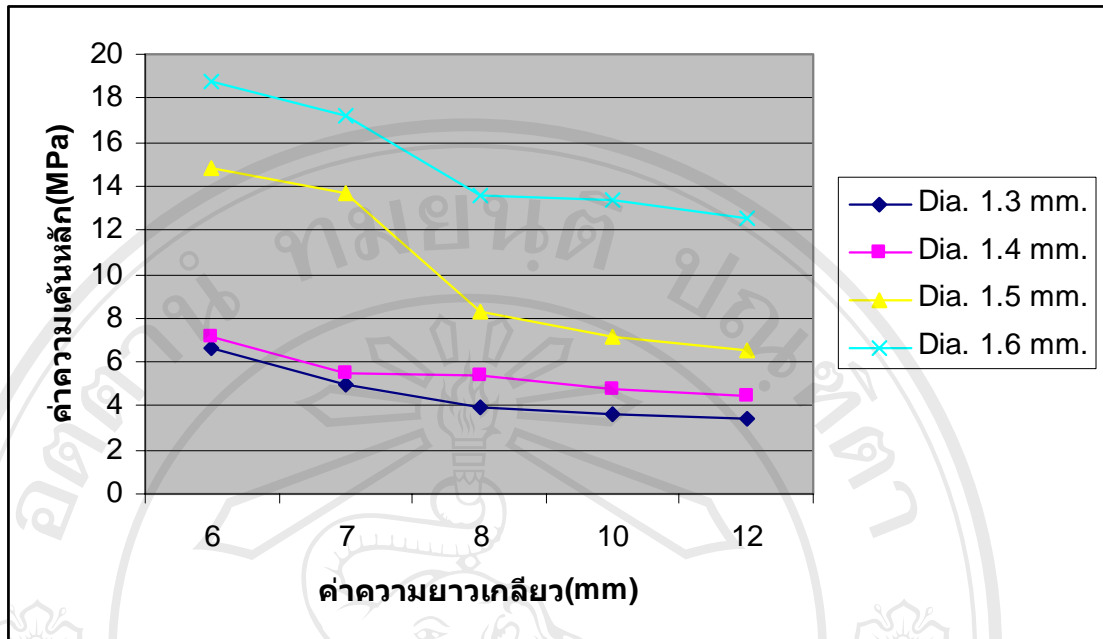
ตารางที่ 4.5 ค่าความเค้นหลัก  $\sigma_3$  สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบในแต่ละขนาด  
เส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว

ค่าความเค้นหลักสูงสุด (MPa)		ขนาดความยาวเกลียว(mm)				
		6	7	8	10	12
ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง(mm)	1.6	11.91	11.06	10.86	10.23	9.84
	1.5	12.94	12.65	12.51	12.02	11.85
	1.4	16.29	14.61	14.35	13.39	12.39
	1.3	24.2	19.58	16.3	15.63	13.01

ตารางที่ 4.6 ค่าความเค้นยังผล ( $\sigma_m$ ) สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบในแต่ละขนาด  
เส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว

ค่าความเค้นหลักสูงสุด (MPa)		ขนาดความยาวเกลียว(mm)				
		6	7	8	10	12
ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง(mm)	1.6	6.59	4.94	3.97	3.64	3.46
	1.5	7.16	5.53	5.37	4.79	4.42
	1.4	14.84	13.71	8.28	7.17	6.53
	1.3	18.8	17.23	13.56	13.36	12.59

ค่าความเค้นยังผลสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว ในตารางที่ 4.5 สามารถนำเสนอในรูปแบบของกราฟเพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียวที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูป 4.6 ความเค้นยังผลสูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนที่ขนาดเล็กในแต่ละขนาด  
เส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว

#### 4.5 ผลการศึกษาผลกระทบของมุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนที่ขนาดเล็กเทียบกับแนวแรงที่ ขนานกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนที่ขนาดเล็ก และกระดูกโดยรอบ

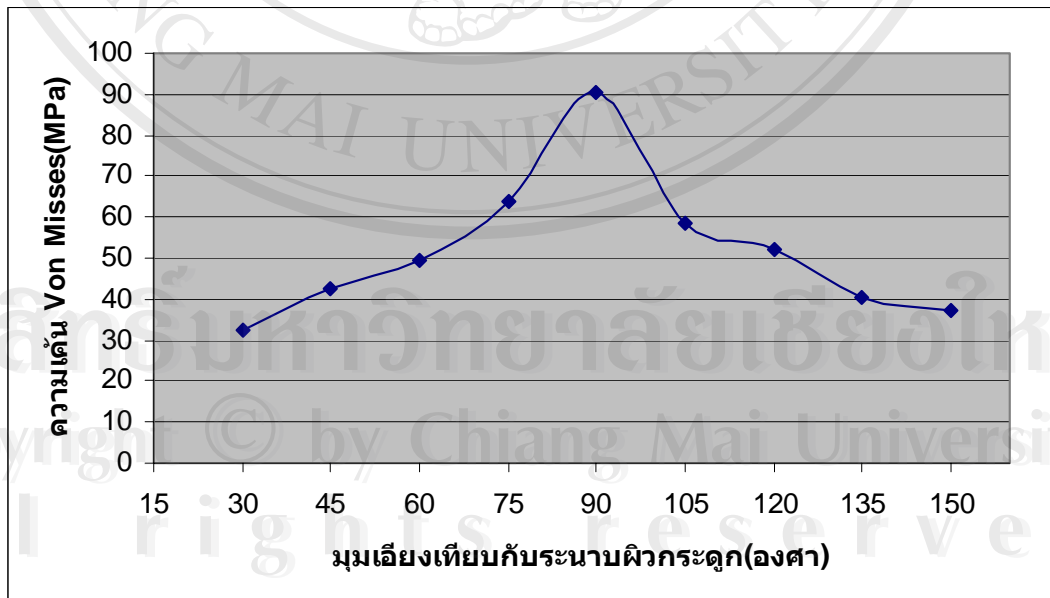
การศึกษาผลกระทบของมุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนที่ขนาดเล็กเทียบกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนที่ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบในการศึกษานี้ได้เลือกแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ที่สกรูอิมแพลนที่ขนาดเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตรและมีขนาดความยาวเกลียว 12 มิลลิเมตร มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยทำการวิเคราะห์มุมเอียงของการฝังตัวที่มุมขนาด 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 และ 150 องศา เทียบกับแนวแรงที่ขนานกับระนาบผิวของกระดูก เมื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ที่กำหนด จะได้ผลของค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนที่ขนาดเล็กและค่าความเค้นยังผลสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกที่บด ดังแสดงในตารางที่ 4.4



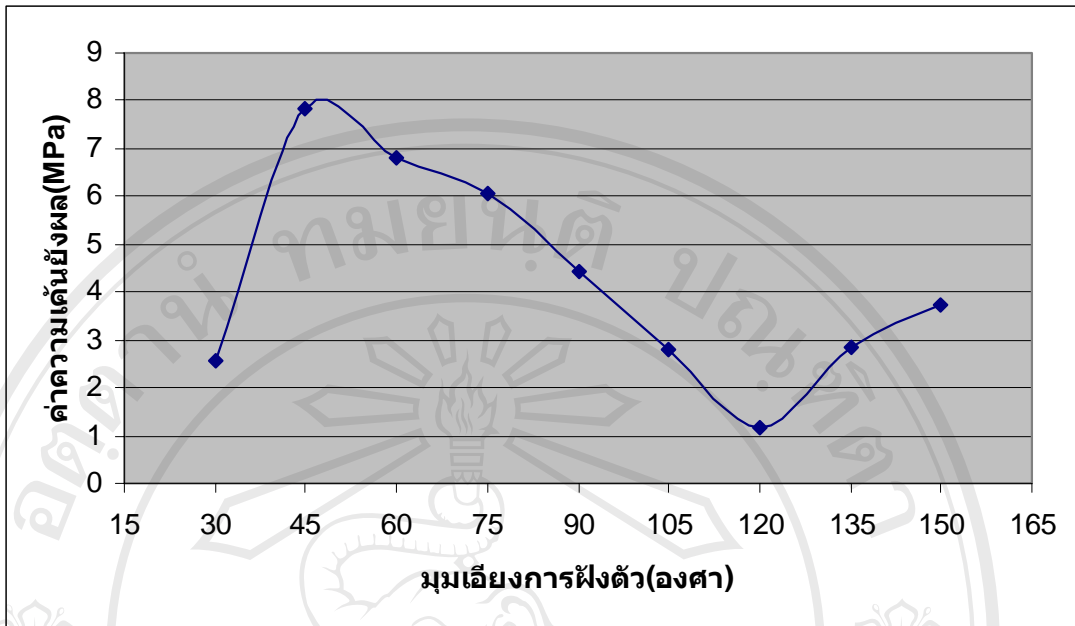
ตารางที่ 4.7 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของแบบจำลองที่มุมเอียงการฝังตัวของ  
สกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กต่างๆ

ความเค้นสูงสุด (MPa)	มุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กเทียบกับระนาบผิวของกระดูก (องศา)								
	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Von Mises	32.71	42.38	49.5	64.09	90.41	58.26	52.38	40.5	37.26
ความเค้นหลัก $\sigma_1$	2.47	5.75	5.04	4.53	3.64	3.06	2.19	2.53	2.95
ความเค้นหลัก $\sigma_2$	-2.27	-2.19	-1.96	-1.91	-2.3	-3.52	-2.22	-1.95	-1.56
ความเค้นหลัก $\sigma_3$	3.54	5.84	6.85	8.84	11.85	6.22	5.88	5.41	4.48
ความเค้นยังผล $\sigma_m$	2.58	7.82	6.83	6.05	4.42	2.78	1.16	2.86	3.75

ค่าความเค้น Von mises และค่าความเค้นยังผลที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของแบบจำลองดังที่ได้นำเสนอในตารางที่ 4.4 สามารถนำเสนอในรูปแบบของกราฟ เพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบของมุมเอียงของการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์เทียบกับแนวแรงที่งานานกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



รูป 4.7 ความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่มุมเอียงการฝังตัว  
ของสกรูอิมแพลนท์ต่างๆ



รูป 4.8 ความเค้นยังผลที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกที่มุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ต่างๆ

#### 4.6 ผลการศึกษาผลกระทบของทิศทางของแรงที่กระทำกับสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กเทียบกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ

การศึกษาผลกระทบของทิศทางของแรงที่กระทำกับสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กเทียบกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ ในการศึกษานี้ได้เลือกแบบจำลองเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์จำนวน 3 แบบจำลองจากทั้งหมด 20 แบบจำลอง โดยเลือกแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ที่สกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5, 1.4 และ 1.3 มิลลิเมตร ซึ่งทั้ง 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดความยาวเกลียว 12 มิลลิเมตร โดยในการศึกษาผลกระทบทิศทางของแรงดึงที่กระทำกับสกรูอิมแพลนท์นี้ จะทำการศึกษาทิศทางของแรงดึงที่ทำมุม -15, -10, 0, 10 และ 15 องศา เทียบกับระนาบผิวของกระดูก จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ทั้ง 3 แบบ จะได้ค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและค่าความเค้นหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกที่บิในแต่ละแบบจำลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมเพลนที่ขนาดเล็ที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ

ความเค้น Von Mises สูงสุด(MPa)	ทิศทางของแรงดึงเทียบกับระนาบผิวของกระดูก(องศา)				
	-15	-10	0	10	15
CH1312-12	76.24	78.89	81.72	76.47	73.34
CH1413-12	77.88	80.73	86.67	80.43	83.13
CH1514-12	77.55	80.46	90.41	75.82	81.67

ตารางที่ 4.9 ค่าความเค้นหลัก  $\sigma_1$  สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ

ความเค้นหลักสูงสุด (MPa)	ทิศทางของแรงดึงเทียบกับระนาบผิวของกระดูก(องศา)				
	-15	-10	0	10	15
CH1312-12	10.67	15.2	9.67	13.49	13.01
CH1413-12	7.35	14.08	5.73	9.73	10.25
CH1514-12	7.2	14.05	3.64	9.06	8.63

ตารางที่ 4.10 ค่าความเค้นหลัก  $\sigma_2$  สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ

ความเค้นหลักสูงสุด (MPa)	ทิศทางของแรงดึงเทียบกับระนาบผิวของกระดูก(องศา)				
	-15	-10	0	10	15
CH1312-12	-3.89	-4.85	-4.64	-4.38	-3.64
CH1413-12	-3.15	-2.77	-3.37	-2.89	-2.79
CH1514-12	-3.93	-4.38	-2.3	-6.39	-9.66

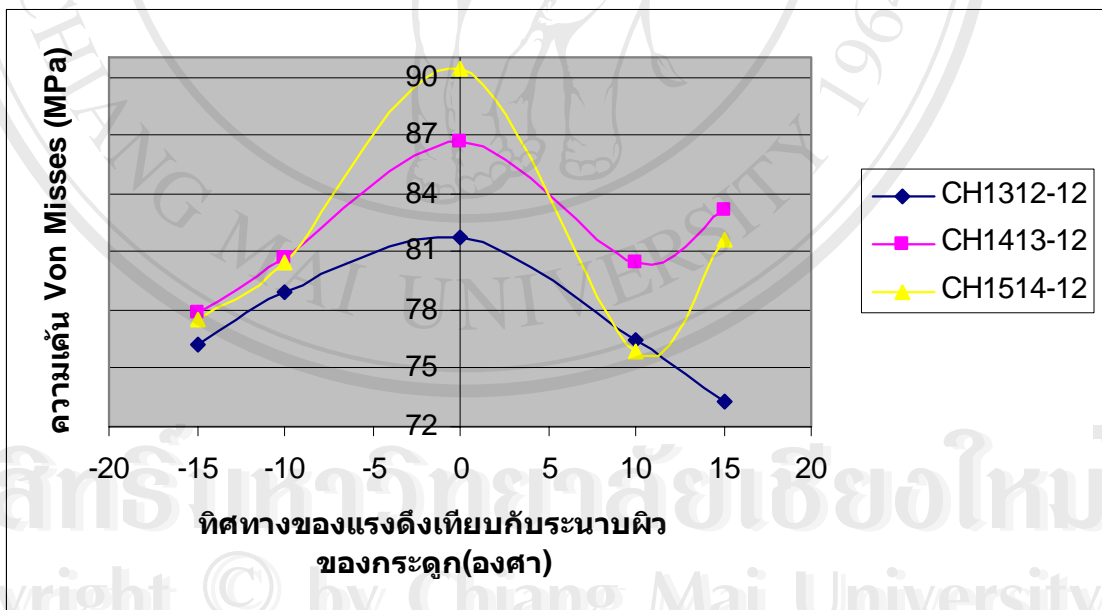
ตารางที่ 4.11 ค่าความเค้นหลัก  $\sigma_3$  สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ

ความเค้นหลักสูงสุด (MPa)	ทิศทางของแรงดึงเทียบกับระนาบผิวของกระดูก(องศา)				
	-15	-10	0	10	15
CH1312-12	20.64	19.91	13.01	17.9	20.01
CH1413-12	15.52	14.21	12.39	15.43	15.71
CH1514-12	13.72	12.06	11.85	14.62	14.72

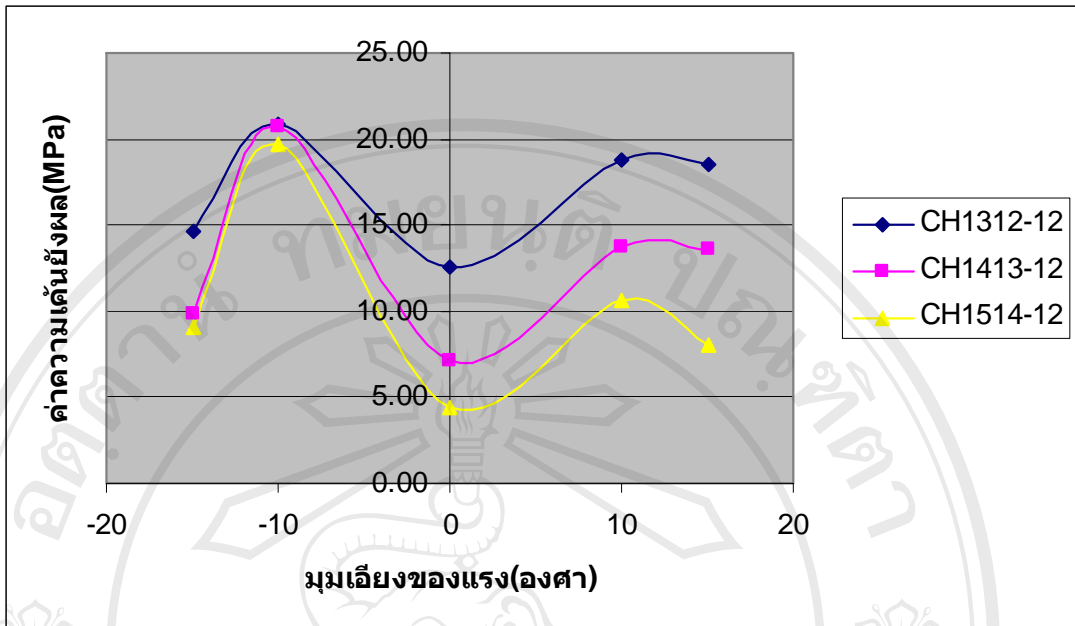
ตารางที่ 4.12 ค่าความเค้นยังผล  $\sigma_m$  สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ

ความเค้นยังผลสูงสุด (MPa)	ทิศทางของแรงดึงเทียบกับระนาบผิวของกระดูก(องศา)				
	-15	-10	0	10	15
CH1312-12	14.63	20.86	12.59	18.81	18.48
CH1413-12	9.79	20.69	7.10	13.72	13.61
CH1514-12	9.10	19.69	4.41	10.60	7.99

ค่าความเค้น Von Mises และค่าความเค้นยังผลที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของแบบจำลอง ดังที่ได้นำเสนอในตารางที่ 4.5 และ 4.9 สามารถนำเสนอในรูปแบบของกราฟ เพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบของทิศทางของแรงดึงเทียบกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



รูป 4.9 ความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ



รูป 4.10 ความเค้นยังผลสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกที่บที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ