การวิเคราะห์อิทธิพลของความลึกฟันเกลียวและระยะพิทช์ในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กต่อการกระจายความเค้นในกระดูกโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

นพรัตน์ สีหะวงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

Email: Nop_me@hotmail.com

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดความลึกของฟันเกลียว และระยะพิทช์ของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก ที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ สำหรับในการศึกษานี้สกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่ ได้ทำการศึกษาเป็นแบบชนิดหัวกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร ความยาวเกลียว 12 มิลลิเมตร ขนาดความลึกของฟันเกลียวและระยะพิทช์แตกต่างกัน 20 ขนาด คือ ขนาดความลึกของฟันเกลียว 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 มิลลิเมตร ในแต่ละขนาดความลึกของฟันเกลียวจะมีระยะพิทช์ 0.7, 0.75, 0.8 และ 0.85 มิลลิเมตร ตามลำดับ ภาระที่ใช้ทำการวิเคราะห์ในแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์นี้จะเป็นแรงที่ใช้ในการจัดฟันจริงมีขนาด 0.4905 นิวตัน (50 กรัม) จากผลการศึกษาพบว่า ค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กเกิดขึ้นที่บริเวณเกลียวแรกของสกรู และค่าความเค้นสูงสุดดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดความลึกฟันเกลียวมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าต่ำสุดที่ระยะพิทช์เท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร ส่วนค่าความเค้นหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นของกระดูกทึบ พบว่าเกิดขึ้นบริเวณเกลียวแรกของสกรูเช่นเดียวกับค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นบนสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก โดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความลึกฟันเกลียวมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ระยะพิทช์เท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร

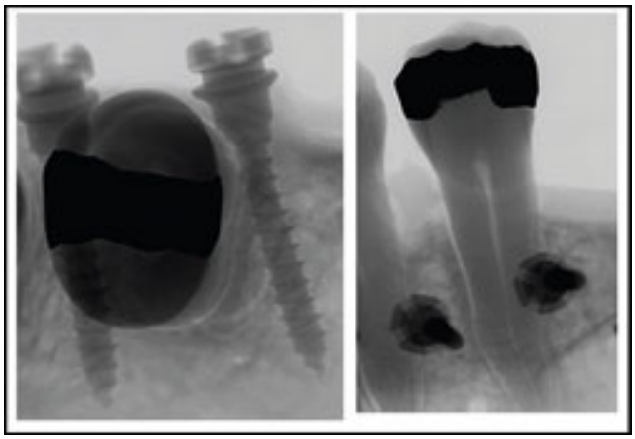
คำสำคัญ : ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element), สกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก (Mini-Screw Implant)

1. บทนำ

ปัจจุบันการรักษาทางด้านทันตกรรมมีความเจริญรุดหน้าอย่างมาก โดยได้มีการคิดค้นการนำเอาวัสดุประเภทโลหะที่มีความแข็งแรงและต้านทานการกัดกร่อน มาประยุกต์สร้างเป็นอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆเพื่อใช้ในการรักษา เช่น การประยุกต์ใช้ไททาเนียมในการทำรากฟันเทียม การจัดฟันเป็นอีกหนึ่งวิธีในการรักษาทางด้านทันตกรรมที่ปัจจุบันมีผู้ให้ความนิยมอย่างมาก ซึ่งเป็นการรักษาที่มีจุดประสงค์ที่จะเคลื่อนฟันที่มีการวางตัวไม่ถูกต้องตามสุขลักษณะทางด้านทันตกรรมให้อยู่ตำแหน่งที่เหมาะสมและวางตัวเป็นระเบียบ โดยการเคลื่อนฟันนี้ส่วนใหญ่แล้วจำเป็นต้องใช้ฟันกรามด้านในทำหน้าที่เป็นหลักยึด แต่ด้วยลักษณะวิธีการดังกล่าวจะพบว่าแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันจะส่งผลให้ฟันกรามด้านในที่ทำหน้าที่เป็นหลักยึดนั้นเกิดการเคลื่อนตัวด้วยซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น

ดังนั้นจากปัญหาที่พบ จึงได้มีการคิดค้นรูปแบบการจัดฟันแบบใหม่ด้วยการประยุกต์ใช้รากเทียม (Dental Implant) มาเป็นหลักยึดแทนฟันกรามด้านใน โดยทำให้มีขนาดเล็กลงเรียกว่า สกรูอิมแพลนท์ ขนาดเล็ก (Mini-Screw Implant) เพื่อใช้ฝังไปที่บริเวณกระดูกฟันกรามซึ่งจะทำหน้าที่เป็นหลักยึดแทนฟันกรามด้านใน ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ด้วยวิธีการนี้จะทำให้ปัญหาการเคลื่อนตัวของฟันกรามด้านในหมดไป และเมื่อฟันถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้วแล้วสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กนี้จะถูกนำออกไป

รูปที่ 1 การฝังสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กลงในกระดูกฟันกรามเพื่อเป็นหลักยึดในการจัดฟัน



รูปที่ 2 ภาพฉายรังสีเอกซ์เรย์การฝังสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กลงในกระดูกฟันกราม

แม้ว่าวิธีการจัดฟันที่ได้มีการพัฒนาโดยการนำสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กมาใช้เป็นหลักยึดในการจัดฟันนี้มีการทำการทดลองและได้นำไปใช้ในการรักษาจริงแล้วก็ตาม แต่จากการศึกษาพบว่า ด้านคุณสมบัติชีวกลไก (Biomechanical Property) ของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กนั้นมีเพียงการศึกษาผลกระทบของคุณสมบัติของกระดูกฟันกรามที่มีผลต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้น [9, 10] ส่วนการศึกษาตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อลักษณะการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นทั้งในตัวสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก และกระดูกบริเวณโดยรอบ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก ความยาวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก และลักษณะของภาระที่กระทำกับสกรูที่มีต่อความเค้นที่เกิดขึ้น จะเป็นการศึกษาในส่วนของรากเทียมทั้งหมด [3-8] ดังนั้น เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวสำหรับในกรณีของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในวิเคราะห์ [1] เนื่องจากสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กนั้นมีรูปร่างที่ซับซ้อนและวิธีการนี้สามารถที่จะศึกษาคุณสมบัติและความสัมพันธ์ดังที่กล่าวมาในข้างต้นได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งในการศึกษานี้จะได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้น 2 ตัวแปรคือ

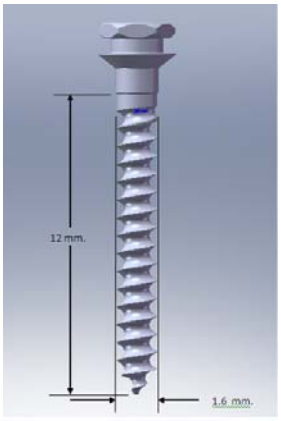
1. ขนาดความลึกของฟันเกลียว
2. ระยะพิทช์ของเกลียว

2. ผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อการกระจายความเค้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกบริเวณโดยรอบ

การวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อการกระจายความเค้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกบริเวณโดยรอบจะทำโดยการปรับเปลี่ยนระยะพิทช์ของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กซึ่งมีด้วยกัน 4 ขนาดคือ 0.7, 0.75, 0.8 และ 0.85 มิลลิเมตร ซึ่งในแต่ละระยะพิทช์จะประกอบไปด้วยขนาดความลึกของฟันเกลียวที่แตกต่างกัน 5 ขนาดคือ 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้นในการศึกษานี้จะประกอบไปด้วยแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 20 แบบ โดยจะมีขั้นตอนการวิเคราะห์ในแต่ละแบบจำลองดังนี้

2.1 Pre-Processing

สร้างแบบจำลองที่จะใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SolidWorks ซึ่งแบบจำลองจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ สกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก เป็นเกลียวขวา ทำจากวัสดุไทเทเนียม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร ความยาวเกลียว 12 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยจะมีขนาดความลึกฟันเกลียวและระยะพิทช์แตกต่างกัน 20 ขนาดตามที่ระบุไว้ข้างต้น ชั้นกระดูกทึบ (Cortical Bone) เป็นชั้นกระดูกที่แข็งแรงและมีความหนาแน่นสูงมีความหนา 1.5 มิลลิเมตร ชั้นกระดูกพรุน (Cancellous Bone) เป็นชั้นกระดูกที่มีความหนาแน่นต่ำมีความหนา 15 มิลลิเมตร กำหนดคุณสมบัติของวัสดุทั้ง 3 ส่วนดังแสดงในตารางที่ 1

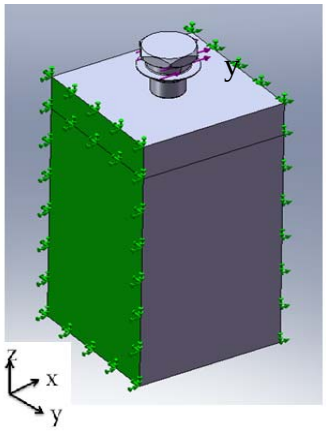


รูปที่ 3 รายละเอียดสกรูอิมแพลนท์มีขนาดเล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 mm. และมีขนาดความยาวเกลียว 12 mm.

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุต่างๆในแบบจำลอง [8]

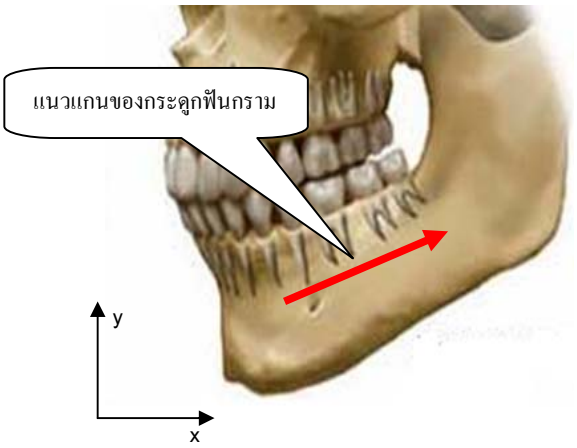
วัสดุ	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio
Titanium	110	0.35
กระดูกทึบ	13.7	0.3
กระดูกพรุน	1.85	0.3

สำหรับภาระที่กระทำกับสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่ใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละแบบจำลองจะมีขนาด 0.4905 นิวตัน (50 กรัม) ซึ่งเป็นแรงที่ใช้ในการจัดฟันจริงทั่วไป โดยแรงดังกล่าวจะกระทำบริเวณคอของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กในทิศทางขนานกับระนาบของผิวกระดูก ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะของภาระที่กระทำเมื่อระนาบของผิวกระดูกคือระนาบ x–y

กำหนดเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง โดยกำหนดให้แกน x คือทิศทางของแนวแกนของกระดูกฟันกรามดังรูปที่ 5 ดังนั้นผิวที่ตั้งฉากกับแนวแกน x จะถูกกำหนดให้มีสภาวะเงื่อนไขขอบเป็นแบบยึดแน่น (Fixed) ส่วนระนาบที่ตั้งฉากกับแกน y จะถูกกำหนดให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวแกน x และระนาบที่ตั้งฉากกับแกน z ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ผิวด้านนอกของชั้นกระดูกทึบถูกกำหนดให้เป็นพื้นผิวอิสระ และผิวด้านในของกระดูกพรุนกำหนดให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกน x ได้ สำหรับชนิดของเอลิเมนต์ที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์นี้คือ Ten Nodes Tetrahedral



รูปที่ 5 แนวแกนของกระดูกฟันกราม

2.2 การ Solve-Processing

วิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม Cosmos Works

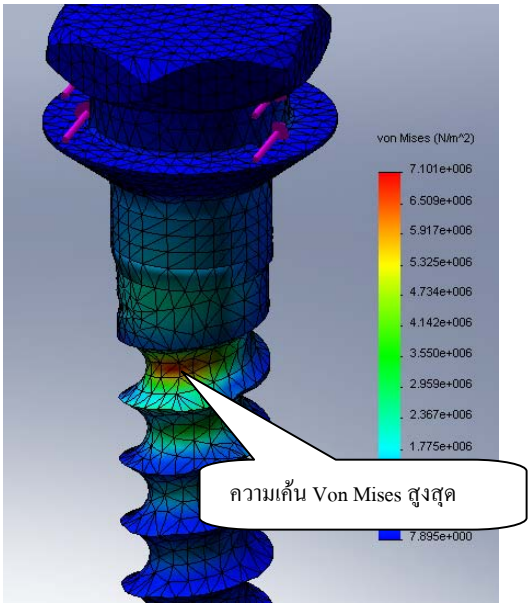
2.3 การ Post-Processing

สำหรับค่าความเค้นที่ได้จากการวิเคราะห์ในการศึกษานี้จะมุ่งเน้นที่ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกทึบเป็นหลัก เนื่องจากกระดูกพรุนนั้นจากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าความเค้นที่เกิดขึ้นจะน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับสองส่วนแรกดังที่ได้กล่าวมา โดยในส่วนของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กเนื่องจากเป็นวัสดุไทเทเนียมซึ่งจัดเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและเหนียว ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลจะใช้

ทฤษฎีพลังงานเสียรูปสูงสุด [2] และพิจารณาความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นเป็นหลัก และสำหรับชั้นกระดูกทึบนั้นเนื่องจากมีลักษณะเป็นวัสดุที่แข็งเปราะ ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลจะใช้ทฤษฎีความเค้นฉากสูงสุด [2] และพิจารณาความเค้นหลัก (Principal Stress) สูงสุดที่เกิดขึ้น

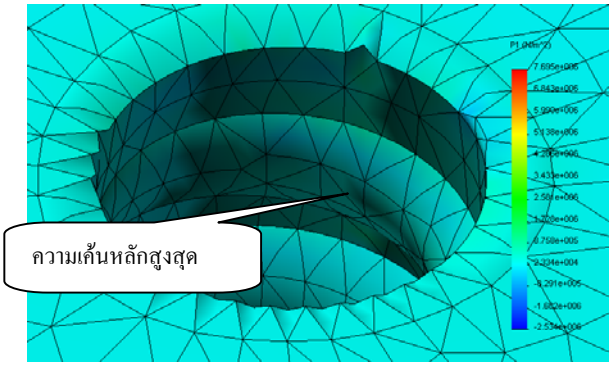
3 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อการกระจายความเค้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกบริเวณโดยรอบ

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้ง 20 แบบที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนขนาดความลึกฟันเกลียวและระยะพิทช์ของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก ในส่วนของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กจะพบว่าค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณเกลียวแรกสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กดังรูปที่ 6



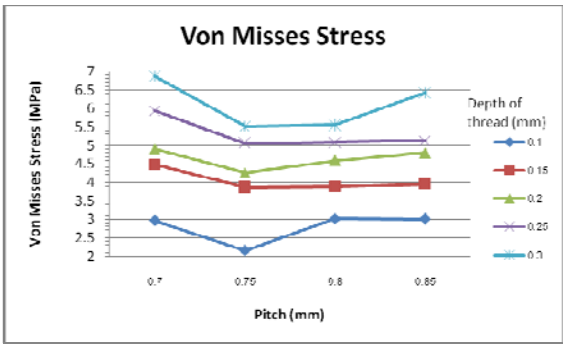
รูปที่ 6 ความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดสขึ้นบนสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก

สำหรับชั้นกระดูกทึบนั้นจะพบว่าค่าความเค้นหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณเกลียวแรกตำแหน่งเดียวกันกับความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นบนสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กดังรูปที่ 7

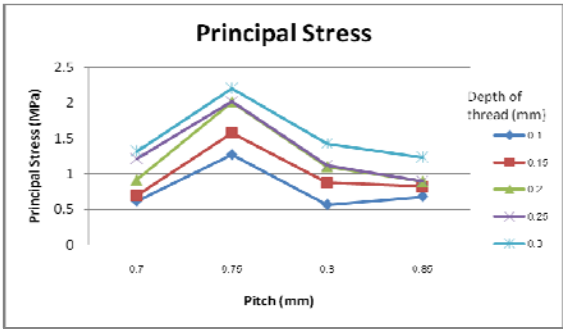


รูปที่ 7 ความเค้นหลัก (Principal Stess) สูงสุดในชั้นกระดูกทึบ

ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและในชั้นของกระดูกทึบ จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามขนาดของความลึกฟันเกลียวและระยะพิทช์ของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะสามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 ซึ่งจะเป็นความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและความเค้นหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบตามลำดับ



รูปที่ 8 ความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก



รูปที่ 9 ความเค้นหลัก (Principal Stress) สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบ

4. สรุปผลและวิจารณ์

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นบนสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กจะเกิดขึ้นที่บริเวณเกลียวแรกของสกรู โดยจะมีค่าต่ำสุดที่ระยะพิทช์ของฟันเกลียวมีค่าเท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร ที่ความลึกฟันเกลียวต่างๆและจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะพิทช์เบียงเบนไปจากนี้ เมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นบนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกฟันเกลียวมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเค้นหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชั้นกระดูก จะเกิดขึ้นบนชั้นกระดูกทึบที่บริเวณเกลียวแรกของสกรูเช่นเดียวกับความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นบนสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อระยะพิทช์ของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กมีค่าเท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร ในแต่ละขนาดความลึกฟันเกลียว และจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อขนาดความลึกฟันเกลียวเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นมาเปรียบเทียบกับความครากของไทเทเนี่ยม (550 Mpa) [8] ในกรณีของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและความเค้นประลัยของกระดูกทึบ (100 Mpa) [8] จะพบว่าในกรณีของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กนั้นจะมีค่าความปลอดภัย 80.14 และในกรณีของกระดูกทึบจะมีค่าความปลอดภัย 45.35 ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าความปลอดภัยที่สูงมากจึงไม่น่าจะเกิดการเสียหายขึ้นแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในการจัดฟันคือการเคลื่อนตัวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กอันเนื่องมาจากการเสียรูปของกระดูก ดังนั้นสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นหลักยึดในการจัดฟันนั้น ควรจะเป็นขนาดที่ทำให้เกิดความเค้นบนกระดูกนั้นน้อยที่สุด จากลักษณะความต้องการดังกล่าว สกรูอิมแพลนท์ที่มีความเหมาะสมจะต้องมีความลึกของฟันเกลียวต่ำที่สุดและควรหลีกเลียงสกรูที่มีระยะพิทช์เท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] อนุชา พรมวังขวา. เอกสารประกอบการสอนวิชาไฟไนต์เอลิเมนต์, ภาควิชาวิศกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2544.

[2] อภิวันท์ พลชัย. ความแข็งแรงของวัสดุตอนสอง, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2531.

[3] ธงชัย ฟองสมุทร และนพรัตน์ สีหะวงษ์, การวิเคราะห์ตัวแปรของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กต่อการกระจายความเค้นในกระดูกโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, ตุลาคม 2549

[4] Allahyar Geramy and Steven M. Morgano (2004). Finite Element Analysis of three designs of an implant-supported molar crow. The Journal of Prosthetic Dentistry. 92, 434-440.

[5] Atilla Sertgoz and Sungur Guvener (1996). Finite Element Analysis of the effect of cantilever and Implant length on stress distribution in an implant-supported fixed prosthesis. The Journal of Prosthetic Dentistry. 92, 434-440.

[6] Baris Simsek, Erkan Erkmen , Dervis Yilmaz and Atilim Eser (2005). Effect of different inter-implant distances on stress distribution around implants in posterior mandible. JJBE. 991, 1-15.

[7] Lucie Himmlova, Tatjana Dostalova, Alois Kacovsky and Svatava Konvickova. Influence of implant length and diameter on stress distribution. The Journal of Prosthetic Dentistry. 91, 20-25.

[8] Gurcan Eskitascioglu, Aslihan Usumez, Mujude Sevimay, Emel Soykan and Elif Unsal (2004). The influence of occlusal loading location on stress transferred to implant-supported protheses and supporting bone. The Journal of Prosthetic Dentistry.91, 144-150.

[9] Huldan Implikcioglu 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 Prosthetic Dentistry. 30, 41-46.

[10] Birte Melsen and Carlalberta Verna (2005). Miniscrew-implant: The Aahus Anchorage System. Elsevier Inc. 24-31.

[11] M. Sevimay, F. Turhan, A.Killcarslan, and G. Eskitascioglu (2005). Three dimensional finite element analysis of the effect of difference bone quality on stress distribution in an implant-supported crown. The Journal of Prosthetic Dentistry. 93, 227-234.