

บทที่ 3

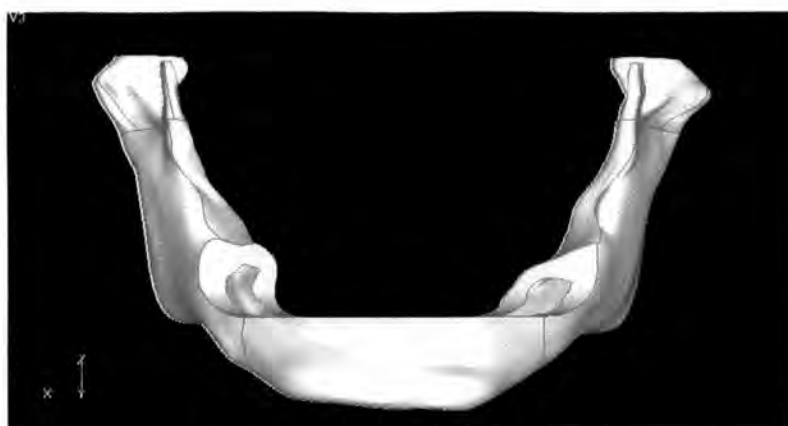
ระเบียบวิธีการวิจัย

ข้อจำกัดของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิจัย

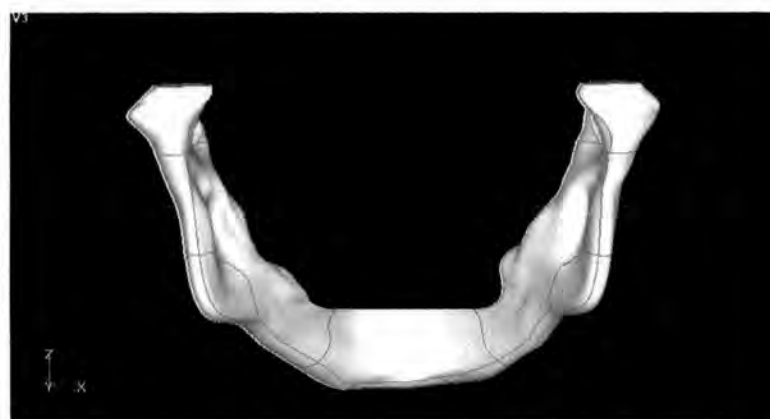
เนื่องจากชากรรไกรมนุษย์มีรูปร่างที่แตกต่างไปตามพันธุกรรม เพศ อายุ ลักษณะการทำงานของระบบกระดูก และอื่นๆ ทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นในคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการจำลองเพียงแค่ชากรรไกรของผู้ป่วยคนเดียวไม่สามารถเป็นตัวแทนของชากรรไกรล่างในประชากรทุกกลุ่มได้ นอกจากนี้องค์ประกอบภายในของกระดูกชากรรไกร ได้แก่ ปริมาณและคุณสมบัติของกระดูกทึบและกระดูกโปร่ง ยังมีความแตกต่างกันในแต่ละคนอีกด้วย ซึ่งความแตกต่างขององค์ประกอบภายในชากรรไกรมีผลต่อปริมาณแรงเค้นและลักษณะการกระจายของแรงเค้นในชากรรไกรและรากเทียมเมื่อมีแรงบดเคี้ยวลงบนฟันปลอมทับรากเทียม จากปัจจัยเหล่านี้ทำให้ไม่สามารถนำผลของแรงเค้นที่วัดได้จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์มาเป็นสิ่งกำหนดปริมาณแรงเค้นในคนเมื่อมีแรงบดเคี้ยวจริง เพราะแบบจำลองนั้นไม่สามารถเป็นตัวแทนของประชากรได้อย่างแท้จริง

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

จำลองภาพสามมิติ ของชากรรไกรล่างโดยอาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายรังสีคอมพิวเตอร์สามมิติ (3 Dimensional CT images) ชากรรไกรล่างของผู้ป่วยไว้พื้นที่รับการถ่ายภาพรังสีคอมพิวเตอร์สามมิติจากแผนกรังสีวินิจฉัย รพ. จุฬาลงกรณ์ เนื่องจากการถ่ายภาพรังสีคอมพิวเตอร์สามมิติสามารถแสดงรูปร่างของกระดูกชากรรไกรได้ดีและมีขนาดเท่าจริง จากกลุ่มภาพถ่ายรังสีตัดแนวนอน (Cross section) ของชากรรไกรล่างจำนวน 60 ภาพ แต่ละภาพตัดห่างกัน 2 มม. นำมาเขียนต่อกันให้เป็นภาพลายเส้นของชากรรไกรล่างที่มีรูปร่างเท่าชากรรไกรจริงและเป็นภาพสามมิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Solid Edge) ภาพต่างแสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 และ 3.6



ภาพที่ 3.1 แสดงภาพด้านหน้าของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์



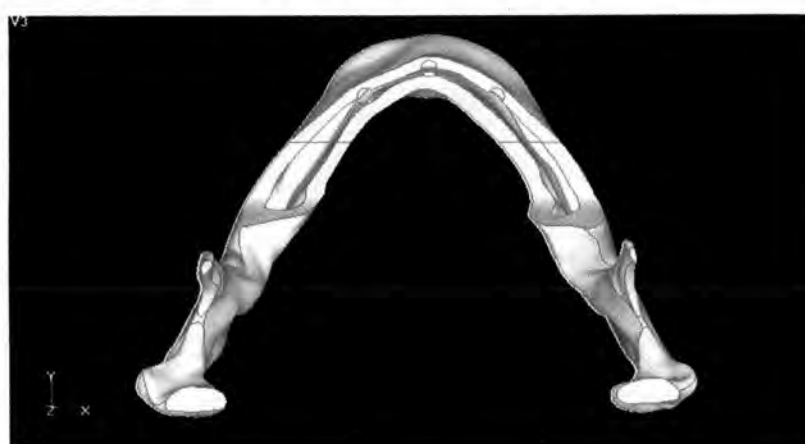
ภาพที่ 3.2 แสดงภาพด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์



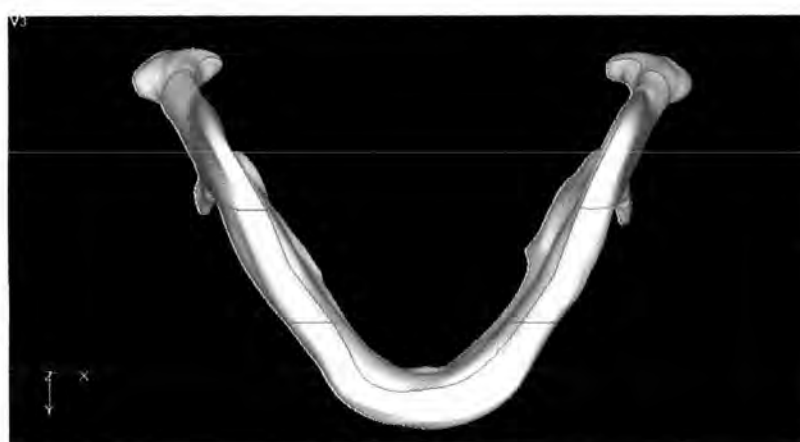
ภาพที่ 3.3 แสดงภาพด้านข้างและด้านบนของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพที่ 3.4 แสดงภาพด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพที่ 3.5 แสดงภาพด้านบนของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพที่ 3.6 แสดงภาพด้านล่างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

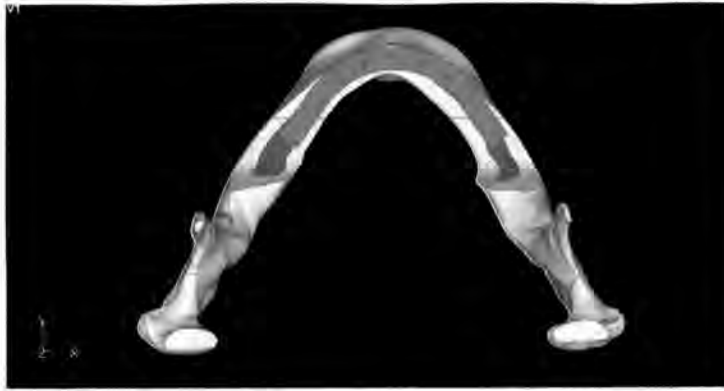
การกำหนดตำแหน่งของรากเทียมในขากรรไกรล่างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

เนื่องจากตำแหน่งของรากเทียมที่ถูกฝังในขากรรไกรล่างจะฝังไว้ที่บริเวณด้านหน้าต่อรูข้างคาง เพราะมักจะเป็นบริเวณที่มีความสูงของกระดูกพอเพียงสำหรับให้ฝังรากเทียมได้ จากการศึกษาของ Wang และคณะ⁴⁶ เกี่ยวกับตำแหน่งของรูข้างคางในขากรรไกรล่างของคนจีนไม่จำกัดเพศ จำนวน 100 ชิ้น พบว่าจำนวนมากกว่าครึ่งหนึ่งของขากรรไกรที่ถูกนำมาเป็นตัวแทนของประชากรในการศึกษานี้ มีตำแหน่งของรูข้างคางอยู่ตรงกับปลายรากฟันกรามน้อยซี่ที่สอง และได้หาค่าเฉลี่ยของระยะห่างในขากรรไกรมนุษย์ระหว่างรูข้างคางและกึ่งกลางด้านหน้าของขากรรไกรล่าง (mandibular symphysis) พบว่า มีค่าเฉลี่ยของระยะนี้ 28.06 มม. ซึ่งตรงกันกับการศึกษาของ Shankland⁴⁷ ศึกษาตำแหน่งของรูข้างคางในขากรรไกรล่างของคนอินเดียจำนวน 138 ชิ้น พบว่า 76.4 % ของขากรรไกรที่พบรูข้างคางตรงกับปลายรากฟันกรามน้อยซี่ที่สองและส่วนใหญ่ตำแหน่งทั้งสองข้างจะค่อนข้างสมมาตรกัน แต่การศึกษาของ Moiseiwitsch⁴⁸ พบต่างจากการศึกษาทั้งสองชิ้นแรก โดยศึกษาจากขากรรไกรล่างของคนในแถบตอนเหนือของอเมริกา ซึ่งมีทั้งจากคนเชื้อชาติอเมริกัน แอฟริกัน 45 ชิ้น และคนขาว 60 ชิ้น พบว่าส่วนใหญ่จะพบรูข้างคางที่ตำแหน่งระหว่างฟันกรามน้อยทั้งสองซี่ และมากกว่าครึ่งหนึ่งมีลักษณะสมมาตรทั้งสองข้าง จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของรูข้างคางมีความหลากหลายและมีปัจจัยหลายอย่างที่นำจะมีความเกี่ยวข้องได้แก่ เชื้อชาติ และเพศ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาทั้งสามชิ้นจะสรุปได้ว่าตำแหน่งที่พบรูข้างคางจะอยู่ในช่วงของตำแหน่งระหว่างปลายรากฟันกรามน้อยทั้งสองซี่ไปจนถึงบริเวณระหว่างปลายรากฟันกรามน้อยซี่ที่สองกับกันกรามซี่ที่หนึ่ง แทบจะไม่พบว่ามี ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งรูข้างคางไปมากกว่านี้ เนื่องจากในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ต้องการให้มีรากเทียมจำนวน 5 ราก เทียมที่ระยะระหว่างรูข้างคางด้านหน้าของขากรรไกรล่าง จากการศึกษาของ Wang และคณะ⁴⁷ ซึ่งหาค่าเฉลี่ยของระยะนี้ได้เท่ากับ 56.12 มม. ดังนั้นรากเทียมแต่ละตัวจะต้องมีการกระจายตัวให้อยู่ห่างกันประมาณ 11 มม. เมื่อวัดจากจุดศูนย์กลางของแต่ละรากเทียม และแต่ละรากเทียมมีปริมาณกระดูกล้อมรอบเหลือเป็นจำนวนที่มากพอที่จะเกิดการยึดติดบนผิวรากเทียมได้ คุณสมบัติของรากเทียมถูกกำหนดให้

เป็นไททาเนียมดัดตารางที่ 1 และการกำหนดตำแหน่งของรากเทียมในแบบจำลองจะ มีการเรียงตัวของรากเทียมในลักษณะที่เป็นดังภาพที่ 3.7 และ 3.8



ภาพที่ 3.7 การเรียงตัวของรากเทียมตามส่วนโค้งของขากรรไกร โดยรากเทียมแต่ละตำแหน่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ห่างจากกันประมาณ 11 มม. และกระจายตัวจนกระทั่งได้ระยะห่างระหว่างรากเทียมตำแหน่งหน้าสุดและหลังสุดในแนวหน้าหลังเท่ากับ 10 มม. ส่วนสีน้ำเงินแสดงส่วนของฟันปลอมชนิดไฮบริดซึ่งครอบทับอยู่บนรากเทียม และกำหนดให้มีส่วนยื่นด้านท้ายออกมาจากรากเทียมตำแหน่งสุดท้าย 20 มม.



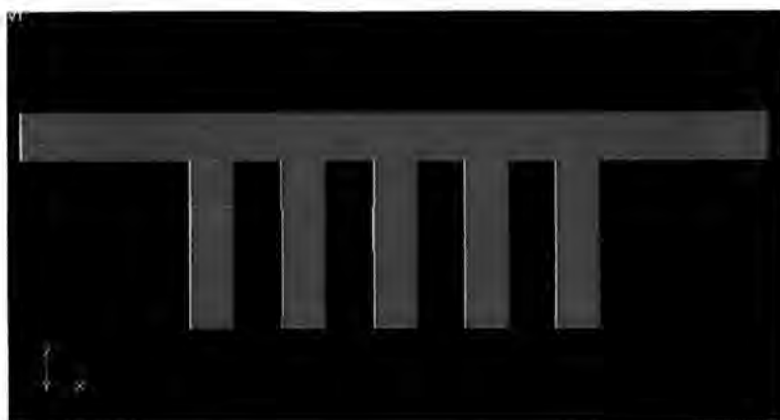
ภาพที่ 3.8 แสดงการเรียงตัวของรากเทียมในขากรรไกรซึ่งมีตำแหน่งอยู่หน้าต่อรูข้างคาง

การกำหนดขนาดของรากเทียม

กำหนดให้สร้างรากเทียมที่ถูกฝังในขากรรไกรมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกยาว 10 มม. หน้าตัดเป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.75 มม. และฝังอยู่ในกระดูกขากรรไกรล่างที่ถูกจำลองขึ้นในตำแหน่งต่างๆเป็นจำนวน 5 รากเทียม ดังแสดงในภาพที่ 3.9 และ 3.10 โดยมีส่วนที่เชื่อมกับฟันปลอมไฮบริดเป็นรูปทรงกระบอกเรียกว่าหลักยึด ส่วนที่อยู่บนสุดคือส่วนโครงโลหะของฟันปลอมไฮบริดซึ่งมีลักษณะเป็นคานโค้ง



ภาพที่ 3.9 แสดงภาพด้านข้างและด้านบนเฉพาะส่วนแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของรากเทียม, หลักยึด และส่วนโครงโลหะของฟันปลอมไฮบริดเป็นรูปคานโค้ง



ภาพที่ 3.10 แสดงภาพด้านหลังแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงเฉพาะส่วนของ รากเทียม,หลักยึดและส่วนโครงโลหะของฟันปลอมไฮบริด

อนุমানว่าการเจริญของกระดูกมาประชิดรากเทียม (osseointegration) จะทำให้รากเทียมยึดติดกับกระดูกเป็นหน่วยเดียวกัน ส่วนของหลักยึดสูง 4 มม. จากขอบบนของกระดูก หลักยึดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับรากเทียมคือ 3.75 มม. (ภาพที่ 3.9 และ 3.10) หลักยึดบนรากเทียมทั้งหมดถูกกำหนดคุณสมบัติสำหรับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ให้เป็นไททานเนียมเช่นเดียวกับรากเทียม ด้านบนของหลักยึดเป็นโครงโลหะโค้งมีรูปร่างคล้ายตัวยูเป็นคานโค้งตามความโค้งของขากรรไกร (ภาพที่ 3.9 และ 3.10) ถูกกำหนดคุณสมบัติสำหรับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ให้เป็นโลหะผสมระหว่างทองกับพาลาเดียม (Ag-Pd alloy) ซึ่งเป็นโลหะที่นิยมใช้เพื่อทำโครงโลหะสำหรับฟันปลอมชนิดไฮบริด⁴⁹ คานโค้งโลหะถูกยึดไว้กับหลักยึดโดยการขันเกลียวด้วยสกรูทอง ที่มีหัวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. และหนา 1 มม. และส่วนแกนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. และยาว 4 มม. (ภาพที่ 3.11) โครงโลหะมีความหนาในแนวตั้ง 4 มม. และแนวราบประมาณ 6 มม. (ภาพที่ 3.10) มีส่วนยื่นจากรากเทียมตัวสุดท้ายทั้งสองข้างไปทางด้านท้ายยาวข้างละ 20 มม. โดยระยะนี้กำหนดจากด้านท้าย (distal surface) ของหลักยึดตัวสุดท้ายถึงตำแหน่งท้ายสุดของฟันปลอม กำหนดให้ระยะระหว่างรากเทียมตัวหน้าสุดและหลังสุดเป็นค่าคงที่คือ 10 มม. (ภาพที่ 3.7) ส่วนของตัวฟันปลอมทำด้วยอคริลิก

ที่มีความหนาในแนวตั้ง 13 มม. และแนวราบ 6 มม. ส่วนของฟันปลอมซึ่งเป็นอคริลิกจะยึดอยู่บนด้านบดเคี้ยวและด้านข้างแก้มของโครงโลหะ กำหนดให้มีช่องซึ่งเป็นทางผ่านของสกรูที่ใช้ยึดโครงโลหะและฟันปลอมไว้กับรากเทียมทางด้านบดเคี้ยว โดยมีจำนวนและตำแหน่งของสกรูตามรากเทียม (ภาพที่ 3.12) ลักษณะของช่องเป็นทรงกระบอกซึ่งมีหน้าตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. ในช่องนี้จะถูกปิดไว้ด้วยวัสดุอุดคอมโพสิต (composite resin) จึงกำหนดคุณสมบัติของวัสดุในตำแหน่งนี้สำหรับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นคอมโพสิตเรซิน วัสดุทุกชนิดภายในแบบจำลองถูกกำหนดให้คุณสมบัติมีความสม่ำเสมอ (homogeneous) และเป็นวัสดุชนิดไอโซโทรปิก (isotropic material) ซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1 ภาพของส่วนต่างๆที่ประกอบเป็นแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกแสดงไว้ดังภาพ 3.13

- 3.16



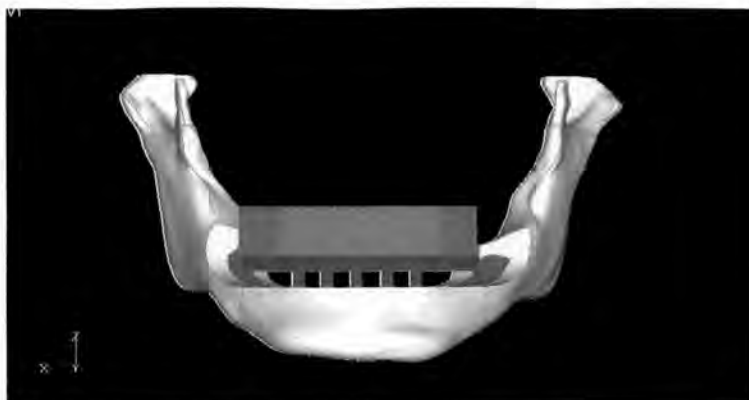
ภาพที่ 3.11 แสดงภาพสกรูซึ่งใช้ยึดโครงโลหะและฟันปลอมไว้กับรากเทียมทางด้านบดเคี้ยว



ภาพที่ 3.12 แสดงส่วนของอคริลิกเรซินซึ่งเป็นบริเวณของฟันปลอมพลาสติก ซึ่งเป็นองค์ประกอบด้านบนของฟันปลอมไฮบริด

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของกระดูก รากเทียม และฟันปลอมในแบบจำลอง

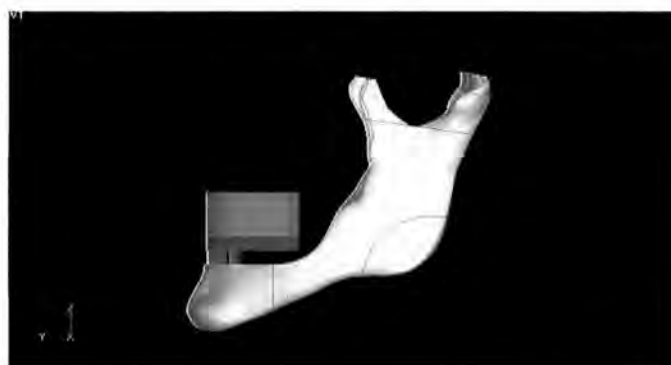
Isotropic materials	Young's Mod of Elasticity (Gpa)	Poisson's Ratio (μ)	References
Cancellous bone	0.378	0.30	Korioth and Hannam, 1994 ²⁰
	1.37	0.30	Meijer et al, 1992 ⁴⁵
	0.215	0.30	Yang et al, 1999 ⁵⁰
	11	0.30	Andersen et al, 1991 ⁵¹
	1.37	0.30	Barbeir et al, 1998 ⁵²
	1.4	0.30	Teixeira et al, 1998 ⁵³
Cortical bone	13.7	0.30	Meijer et al, 1992 ⁴⁵
	172	0.30	Bidez et a, 1992 ⁵⁴
	13.7	0.30	Andersen et al, 1991 ⁵¹
	13.7	0.30	Barbeir et al, 1998 ⁵²
	13.7	0.30	Teixeira et al, 1998 ⁵³
Titanium (abutment, implant)	110	0.35	Lewinstein et al, 1995 ²⁵
	107	0.34	Bidez et a, 1992 ⁵⁴
	110	0.33	Barbeir et al, 1998 ⁵²
	115	0.35	Teixeira et al, 1998 ⁵³
Co-Cr alloy (framework)	218	0.33	Sertgöz, 1997 ⁵⁵
Gold alloy (framework and screws)	80	0.33	Lewinstein et al, 1995 ²⁵
	90	0.30	Bidez et a, 1992 ⁵⁴
	84.6	0.40	Yang et al, 1999 ⁵⁰
Resin composite (screw closure and occlusal material)	2.7	0.35	Sertgöz, 1997 ⁵⁵
Resin (denture base, occlusal material)	2.7	0.35	Sertgöz, 1997 ⁵⁵



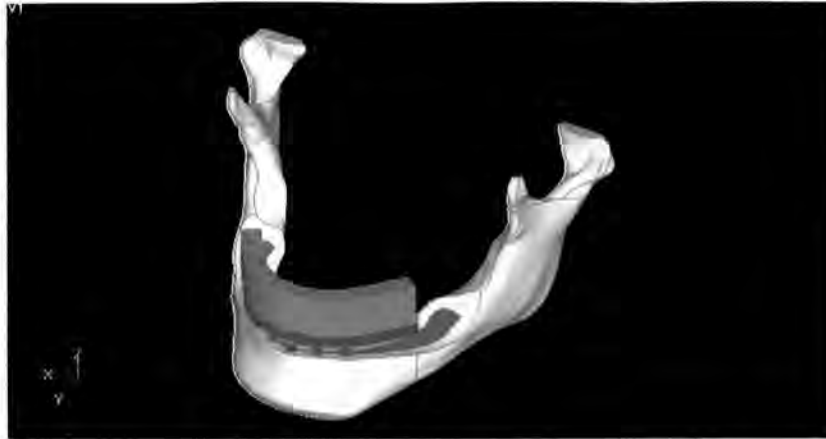
ภาพที่ 3.13 แสดงภาพด้านหน้าของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ จากภาพนี้สามารถมองเห็นส่วนของหลักยึดและฟันปลอมไฮบริดซึ่งประกอบด้วยโครงโลหะแสดงด้วยส่วนสีน้ำเงิน และอคริลิกซึ่งแสดงด้วยส่วนสีชมพู



ภาพที่ 3.14 แสดงภาพด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพที่ 3.15 แสดงภาพด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์



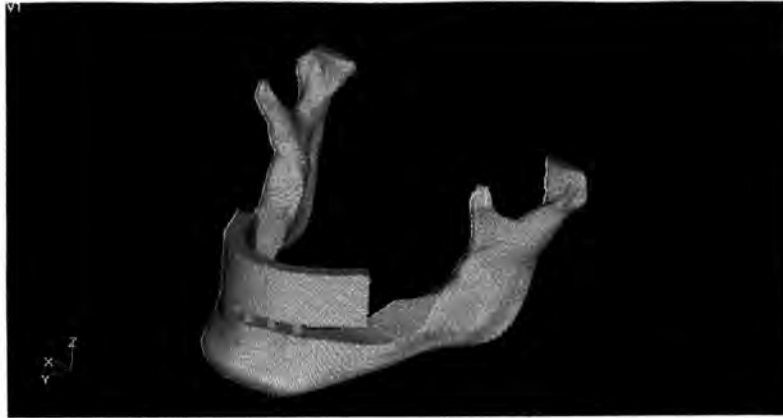
ภาพที่ 3.16 แสดงภาพด้านข้างและด้านบนของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

การกำหนดจำนวนและชนิดของเอลิเมนต์ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

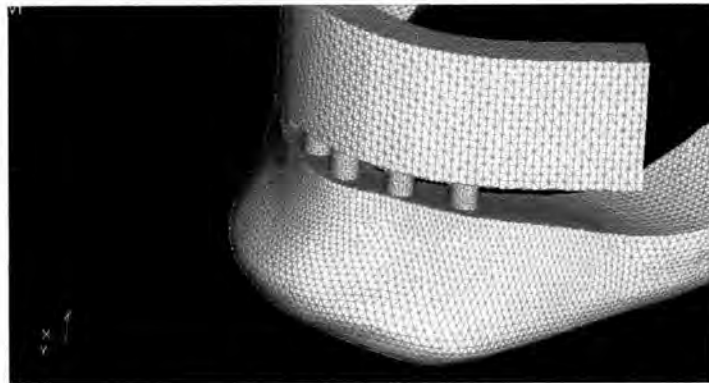
การกำหนดรูปร่างของเอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MSCNastran for Window) กำหนดให้มีความเหมาะสมกับแต่ละส่วนของแบบจำลองโดยอัตโนมัติ (Automatic mesh) โดยรูปร่างของเอลิเมนต์ที่ได้เป็นรูปสามมิติทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral) สิบจุดต่อ (Ten-Node Tetrahedral Element) ดังภาพที่ 3.17 โดยแต่ละด้านของเอลิเมนต์มีขนาด 0.5 มม. เหตุผลที่เลือกเอลิเมนต์ลักษณะนี้เนื่องจากรูปร่างของเอลิเมนต์สามารถปรับให้เข้ากับแบบจำลองซึ่งมีรูปร่างซับซ้อนได้ง่ายและให้ผลการคำนวณที่แม่นยำกว่า



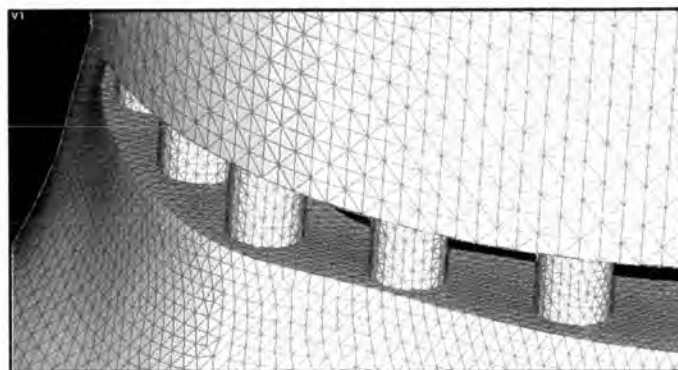
ภาพที่ 3.17 แสดงแบบจำลองซากกรรไกรล่าง ภายในถูกแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อยรูปสามมิติทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral)



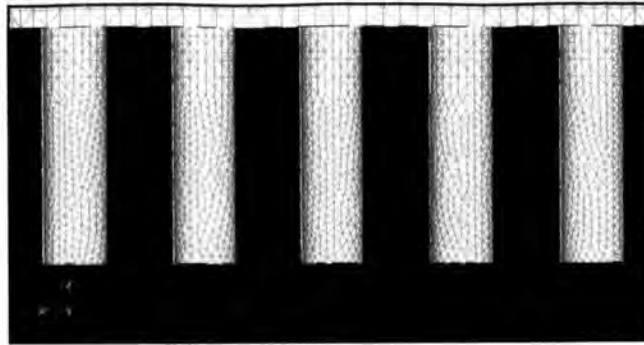
ภาพที่ 3.18 แสดงแบบจำลองขากรรไกรล่างและฟันปลอมไฮบริดคร่อมทับบนรากเทียม ภายในถูกแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อย



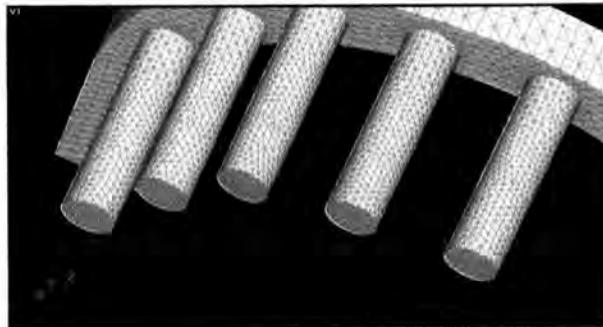
ภาพที่ 3.19 แสดงภาพขยายของแบบจำลองขากรรไกรล่างและฟันปลอมไฮบริดคร่อมทับบนรากเทียม ภายในถูกแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อย



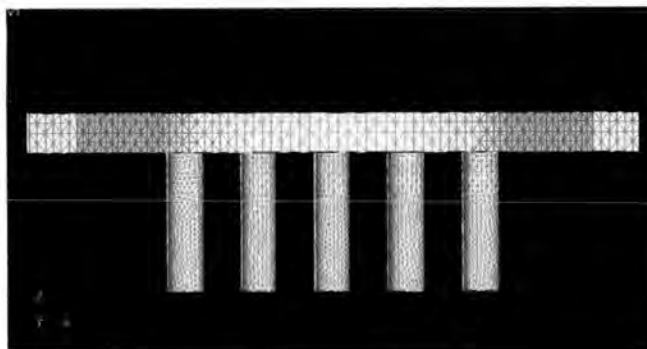
ภาพที่ 3.20 แสดงแบบจำลองขากรรไกรล่างและฟันปลอมไฮบริดคร่อมทับบนรากเทียม ภายในถูกแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อย



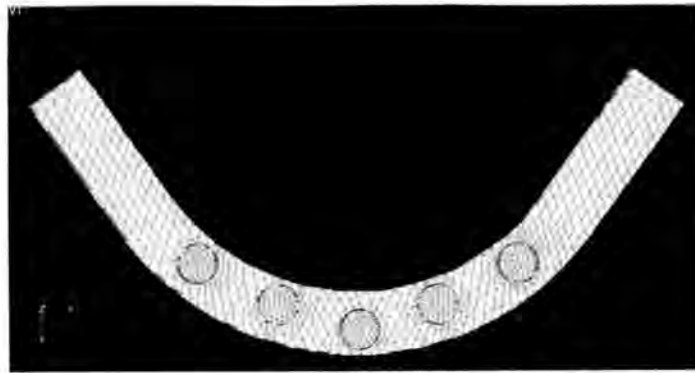
ภาพที่ 3.21 แสดงด้านหน้าของแบบจำลองซึ่งมีการแบ่งเอลิเมนต์ในรากเทียมที่ฝังในขากรรไกร



ภาพที่ 3.22 แสดงด้านล่างและด้านข้างของแบบจำลองซึ่งมีการแบ่งเอลิเมนต์ในรากเทียมที่ฝังในขากรรไกร และส่วนของหลักยึดกับโครงโลหะฟันปลอมไฮบริด



ภาพที่ 3.23 แสดงด้านหลังของแบบจำลองซึ่งมีการแบ่งเอลิเมนต์ในรากเทียมที่ฝังในขากรรไกร และส่วนของหลักยึดกับโครงโลหะฟันปลอมไฮบริด



ภาพที่ 3.24 ด้านบนของแบบจำลองส่วนของโครงโลหะพินปลอมไฮบริด แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ย่อย

เพื่อสร้างแบบจำลองของกระดูกโปร่งที่มีเส้นใยกระดูก (bone trabeculae) ซึ่งเป็นสิ่งที่มีรูปร่างเล็ก การกำหนดเอลิเมนต์ที่บริเวณนี้จึงต้องมีขนาดเล็กลงด้วยเพื่อความเที่ยงตรงของแบบจำลอง การศึกษาของ Sato และคณะ²⁸ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับบริเวณที่เป็นเส้นใยกระดูก ซึ่งอ้างถึงความกว้างของเส้นใยกระดูกว่ามีขนาดประมาณ 150-250 μm ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะใช้เอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 600 μm (75 μm X 8) ผลของการศึกษากล่าวว่าการลดขนาดของเอลิเมนต์ลงจาก 600 μm ไปเป็น 300 μm ให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีขึ้นเพราะการลดขนาดเอลิเมนต์ทำให้รูปร่างของแบบจำลองเหมือนกับรูปร่างจริงได้มากกว่า แต่การลดขนาดจาก 300 μm ไปเป็น 150 μm หรือการลดจาก 150 μm ไปเป็น 75 μm ไม่ทำให้ผลของแรงเค้นที่วัดได้จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติเปลี่ยนแปลงไป แสดงถึงว่าไม่มีความจำเป็นในการลดขนาดของเอลิเมนต์ลงไปมากกว่าระดับนี้แล้ว ซึ่งการใช้เอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเป็นการลดเวลาและหน่วยความจำในการคำนวณได้ดี

การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

การกำหนดคุณสมบัติของกระดูกในแบบจำลองจากมีความยุ่งยากและมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากความเป็นจริงแล้วคุณสมบัติของกระดูกไม่สม่ำเสมอ (nonhomogeneous) และเป็นวัสดุกลุ่มออร์โธโทรปิก นอกจากนั้นยังมีความแตกต่างของคุณสมบัติเหล่านี้ในแต่ละบุคคล ซึ่งขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ อายุ สายพันธุ์กรรม และปริมาณของแร่ธาตุที่สะสมอยู่ในกระดูก เป็นต้น แต่งานวิจัยต่างๆมักจะกำหนดให้คุณสมบัติของกระดูกเป็นไอโซโทรปิกและมีความสม่ำเสมอโดยตลอดเพราะทำได้ง่ายกว่า เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติความยืดหยุ่น (elastic properties) ของกระดูกในส่วนของศีรษะและใบหน้ามีแต่ในกระดูกขากรรไกรล่างเท่านั้น²⁶ ดังนั้นการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในบริเวณของกระดูกศีรษะและใบหน้าจึงมักจะกำหนดคุณสมบัติโดยใช้ค่าของกระดูกชิ้นอื่นที่มีความคล้ายคลึงกันมาแทน และเมื่อยังไม่มีการศึกษาที่แสดงคุณสมบัติของกระดูกที่แน่นอน คุณสมบัตินี้ของกระดูกจึงมักจะถูกกำหนดให้เป็นวัสดุไอโซโทรปิกในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ แต่ Koriath และ Versluis²⁶ กล่าวว่า การสร้างแบบจำลองกระดูกโดยกำหนดคุณสมบัติให้กระดูกเป็นวัสดุไอโซโทรปิก พบว่าสามารถเกิดความผิดพลาดได้มากถึง 45 องศาของแนวแกนแรงเค้นหลัก ดังนั้นแบบจำลองที่ทำขึ้นส่วนใหญ่จะไม่สามารถสร้างได้เหมือนธรรมชาติ และข้อจำกัดเหล่านี้ทำให้แรงเค้นที่วัดได้ในแบบจำลองไม่ใช่ปริมาณของแรงเค้นที่เกิดขึ้นจริงในขากรรไกรมนุษย์ ในกระดูกขากรรไกรประกอบด้วยกระดูกโปร่ง (cancellous bone) ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยกระดูกที่ไม่ติดต่อกัน (discontinuous) ซึ่งยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของเส้นใยกระดูกมากนัก ทำให้การจำลองแบบจำลองส่วนนี้ทำได้ยากเพราะขาดรายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติที่เพียงพอ นอกจากนั้นอวัยวะปริทันต์ (periodontal ligament) ยังเป็นส่วนที่จำลองยากที่สุดในขากรรไกร เนื่องจากคุณสมบัติและการทำหน้าที่ที่ซับซ้อนของมันเอง ตามตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุต่างๆในแบบจำลองถูกกำหนดให้เป็นวัสดุไอโซโทรปิกและคุณสมบัติมีความสม่ำเสมอ (Homogeneous) ตลอดทั้งชิ้น

การกำหนดคุณสมบัติที่ขอบ (Boundary condition) ของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

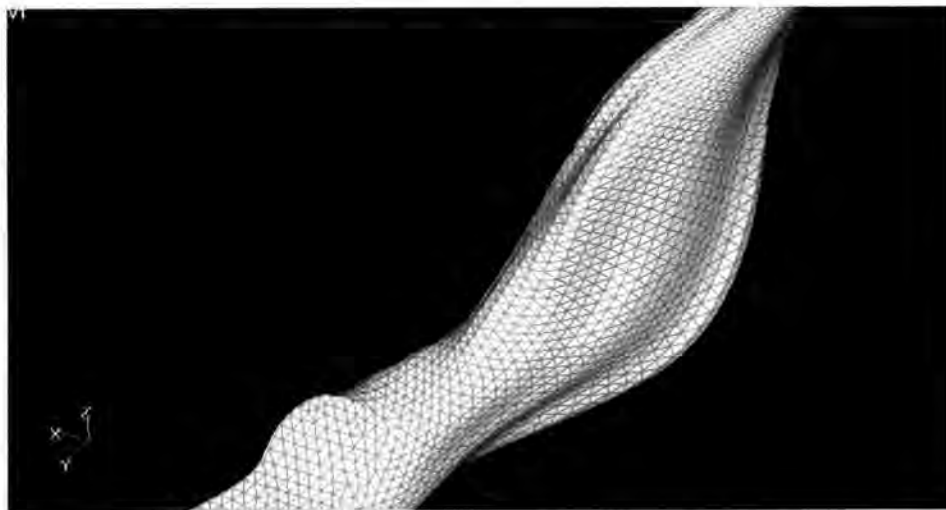
จากการศึกษา¹ ได้กำหนดคุณสมบัติที่ขอบของแบบจำลองไว้สองอย่าง อย่างแรกคือตำแหน่งที่ยึดขากรรไกรไว้ (Constrain) แบบจำลองขากรรไกรจะถูกกำหนดให้จุดที่บริเวณหัวคอนดอยล์ทั้งสองข้างของกระดูกขากรรไกรล่างซึ่งเป็นตำแหน่งยึดเกาะของกล้ามเนื้อแลทเทอเรียล เทอริกอยด์ (Lateral pterygoid muscle) ทำให้ขากรรไกรล่างสามารถหมุนรอบแกนสมมติซึ่งผ่านใจกลางของหัวคอนดอยล์ทั้งสองข้าง และจุดหมุนที่หัวคอนดอยล์นี้ไม่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงในแนวตั้ง และตำแหน่งที่สองคือตำแหน่งที่มีการยึดของกล้ามเนื้อแมสซีเตอร์ (Masseter muscle) กับกระดูกขากรรไกรล่าง กำหนดให้แรงปฏิกิริยามีทิศทางเดียวกับการวางตัวของกล้ามเนื้อ



ภาพที่ 3.25 แสดงบริเวณของหัวคอนไดล์ (Condylar process) ซึ่งกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่มียึดเกาะของกล้ามเนื้อแลทเทอเรียล เทอริกอยด์ (Lateral pterygoid muscle)



ภาพที่ 3.26 บริเวณของหัวคอนไดล์ (Condylar process) ซึ่งกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่มียึดเกาะของกล้ามเนื้อแลทเทอเรีย เทอริกอยด์ (Lateral pterygoid muscle)





ภาพที่ 3.27 แสดงบริเวณส่วนของขากรรไกรซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการยึดของกล้ามเนื้อแมสซีเตอร์ (Masseter muscle) กับกระดูกขากรรไกรล่าง

กำหนดคุณสมบัติที่ขอบอีกค่าหนึ่งคือกำหนดปริมาณ ทิศทาง และตำแหน่งของแรงซึ่งกระทำต่อฟันปลอม โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม โดยทั้งสองกลุ่มจะมีจำนวนและการเรียงตัวของรากเทียมแตกต่างกัน กลุ่มแรกมีรากเทียมจำนวนสองรากเทียมส่วนกลุ่มที่สองมีรากเทียมจำนวนห้ารากเทียมสำหรับรองรับฟันปลอมไฮ

บริด ลักษณะการเรียงตัวของรากเทียมในแต่ละกลุ่มทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 จากแบบจำลองซึ่งสร้างให้มีรากเทียมจำนวน 5 รากเทียมอยู่ในขากรรไกร รากเทียมที่อยู่ตรงกลางจะถูกลบออกจากแบบจำลองดั้งเดิมเพื่อให้ได้แบบจำลองซึ่งมีจำนวนรากเทียมที่มีจำนวนและการเรียงตัวตามที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 2 ทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดแบบจำลองที่มีจำนวนและการเรียงตัวของรากเทียมที่ต่างออกไปตามที่กำหนดให้แต่ละกลุ่มทดลอง เนื่องจากแต่ละแบบจำลองถูกลอกแบบมาจากแบบจำลองเริ่มต้นอันเดียวกันจึงมีความเหมือนกันทุกประการ รวมถึงจำนวนและรูปร่างของเอลิเมนต์ด้วย แต่ละแบบจำลองต้องประกอบด้วยรากเทียมลำดับที่ 1,3 และ 5 ซึ่งอยู่ในตำแหน่งเดียวกันในทุกแบบจำลองและเป็นตำแหน่งที่กำหนดให้มีการวัดแรงเค้น ตำแหน่งที่กำหนดให้เป็นตำแหน่งสำหรับวัดแรงเค้นมีความสำคัญคือ เมื่อเปรียบเทียบแรงเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละแบบจำลองจะเป็นการเปรียบเทียบแรงเค้นที่เกิดขึ้นในเอลิเมนต์เดียวกันและเป็นตำแหน่งเดิมเสมอ ดังนั้นจึงควบคุมให้แต่ละแบบจำลองมีความแตกต่างเพียงแค่ปัจจัยที่กำหนดให้คือจำนวนและการเรียงตัวของรากเทียมเท่านั้น

ตารางที่ 2 แสดงกลุ่มทดลอง 2 กลุ่ม กำหนดให้การเรียงตัวและจำนวนรากเทียมแตกต่างกัน

กลุ่ม	ลำดับของรากเทียม
1	1,3,5 
2	1,2,3,4,5 

หลังจากนั้นจึงกำหนดตำแหน่งและปริมาณแรงบดเคี้ยว การกำหนดแรงบดเคี้ยวจะถูกแบ่งออกเป็นสองตอนซึ่งมีจุดประสงค์แตกต่างกัน ในตอนที่หนึ่ง กำหนดให้จุดสบบนฟันปลอมมีจำนวนและการกระจายตัวบนฟันปลอมอย่างสม่ำเสมอและมีแรงลงบนจุดสบเหล่านั้น (ภาพที่ 3.28) ดังจะกล่าวรายละเอียดต่อไป การกำหนดแรงเคี้ยวลักษณะนี้จะคล้ายคลึงกับลักษณะของการเกิดแรงเมื่อกำลังเข้าสู่ช่วงท้ายสุดของวงจรบดเคี้ยวซึ่งทำให้มีการแตะกันอย่างสม่ำเสมอพร้อมกันบนด้านบดเคี้ยวหลายจุดหรือในขณะที่ผู้ป่วยมีการทำงานไม่ปกติ (parafuction) ส่วนตอนที่สอง กำหนดให้แรงจากการบดเคี้ยวลงเพียงบริเวณด้านท้ายของฟันปลอมตั้งแต่ขอบด้านท้ายสุดของรากเทียมไปจนถึงขอบด้านหลังสุดของฟันปลอม การกำหนดแรงบดเคี้ยวลักษณะนี้จะคล้ายคลึงกับขณะที่ผู้ป่วยมีการเคี้ยวอาหารอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงข้างเดียวซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้บ่อยในช่วงต้นของวงจรบดเคี้ยว



ภาพที่ 3.28 แสดงตำแหน่งของจุดที่กำหนดให้แรงบดเคี้ยวลงบนด้านสบฟันของฟันปลอม (ตอนที่ 1)

ตอนที่หนึ่งของการกำหนดแรงบดเคี้ยว แบบจำลองแต่ละกลุ่มจะถูกทดสอบด้วยปริมาณแรงเคี้ยวที่ต่างกัน 20 แบบ การศึกษาของ Suzuki และคณะ⁵⁶ ในผู้ป่วยกลุ่มที่ใส่ฟันปลอมไฮบริดสบกับฟันปลอมทั้งปาก พบว่าแรงจากการบดเคี้ยวในกลุ่มที่ใส่ฟันปลอมทับรากเทียมมีค่าอยู่ในช่วง 163.6-342.1 N จากการศึกษาของ Falk, Laurell และ Lundgren⁵⁷ และ Lundgren, Falk และ Laurell⁵⁸ ศึกษาปริมาณแรงกัดในคนใส่ฟันปลอมติดแน่นคร่อมทับรากเทียมในขากรรไกรล่างสบกับฟันปลอมทั้งปากในขากรรไกรบน ซึ่งพบว่าแรงกัดในบริเวณฟันหน้ามีค่าต่ำกว่าแรงกัดที่วัดได้บริเวณฟันหลัง การศึกษาของ Jemt, Book และ Karlsson⁵⁹ วัดแรงกัดสูงสุด (maximum bite force) ในผู้ป่วยที่บูรณะช่องปากด้วยฟันปลอมคร่อมทับรากเทียมในตำแหน่งฟันกรามน้อยข้างขวามีค่าเฉลี่ย 160 N (75-320 N) ที่ตำแหน่งฟันกรามน้อยข้างซ้ายมีค่าเฉลี่ย 170 N (85-360 N) และที่ตำแหน่งปลายฟันหน้ามีค่าเฉลี่ย 135 N (45-235 N) เมื่อรวมทุกตำแหน่งแล้วจะเฉลี่ยแรงเคี้ยวเป็น 167 N (85-295 N) และการศึกษาของ Fontijn-Tekamp และคณะ⁶⁰ ศึกษาแรงกัดในผู้ป่วยไร้ฟัน โดยเปรียบเทียบแรงกัดของฟันปลอมทับรากเทียมชนิดถ่ายทอดแรงลงบนรากเทียมทั้งหมด ฟันปลอมทับรากเทียมชนิดถ่ายทอดแรงบนรากเทียมบางส่วน และฟันปลอมทั้งปากล่างเมื่อสบกับฟันปลอมทั้งปากบน ในการศึกษานี้ใช้เครื่องมือวัดคือ เครื่องวัดความเครียด (miniature strain gauge) และส้อมกัด (bite fork) เมื่อให้ผู้ป่วยกัดลงมาเต็มแรงเหมือนเคี้ยวอาหาร (maximum bite force) เมื่อใช้เครื่องมือวัด

ความเครียดวัดที่ตำแหน่งพื้นหน้าจะมีค่าต่ำกว่าบริเวณพื้นเขี้ยวและต่ำกว่าบริเวณพื้นกราม

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดให้จุดสบมีการกระจายสม่ำเสมอบนพื้นปดอมติดแน่นมีจำนวน 12 จุด (ภาพที่ 3.26) และกำหนดให้แรงบดเคี้ยวในพื้นหน้าและพื้นหลังมีขนาดไม่เท่ากัน โดยแรงบดเคี้ยวจะเพิ่มขึ้นจากบริเวณพื้นหน้าไปยังพื้นหลัง ดังที่พบในการศึกษาของ Jemt และคณะ⁵⁹ และทดสอบโดยการให้แรงแต่ละกลุ่มทดลองโดยจุดสบ 4 จุดบนพื้นหน้า 4 ซี่ จะกำหนดแรง 45-245 N จุดสบบนพื้นเขี้ยวแต่ละข้างถูกกำหนดแรง 65-265 N และจุดสบอีก 6 จุด บนพื้นหลัง กำหนดให้แรงเคี้ยว 85-285 N (ภาพที่ 3.28) กำหนดให้การให้แรงบดเคี้ยวครั้งแรกเริ่มที่ค่า 45 N ในพื้นหน้า 4 ตำแหน่ง ค่า 65 N ที่พื้นเขี้ยว และค่า 85 N ที่พื้นหลัง 4 จุด หลังจากนั้นแรงครั้งถัดไปจะเพิ่มขึ้นทุกๆ 5 N ในทุกๆจุดรับแรง รวมเป็นให้แรงบดเคี้ยวจำนวน 21 ชุดบนแบบจำลองทั้งสองกลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มทดลองจะได้รับแรงบดเคี้ยวทุกชุดเหมือนกันทุกประการ ยกตัวอย่างเช่น แรงชุดแรกที่กำหนดให้มีค่า 45-65-85 (พื้นหน้า-พื้นเขี้ยว-พื้นหลัง) แรงชุดที่สองจะมีค่า 50-70-90 แรงชุดที่สามมีค่า 55-75-95 และค่าทั้งสามจะค่อยๆเพิ่มเป็นลำดับดังที่ได้กล่าวไปแล้วจนกระทั่งถึงแรงชุดสุดท้ายซึ่งมีค่า 245-265-285 เป็นต้น (ภาพที่ 3.29)

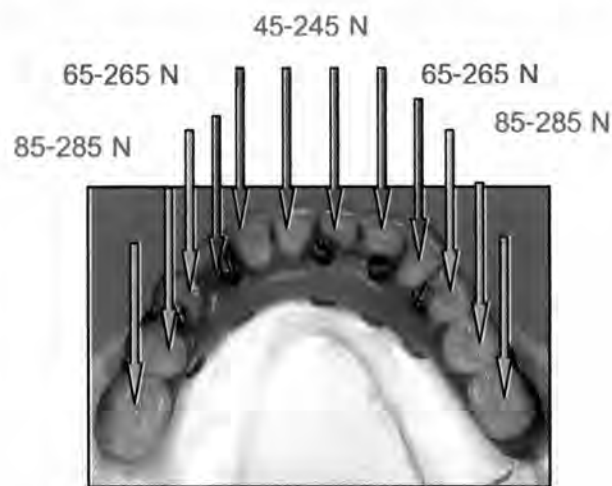
ดังนั้น จะได้ว่า

แรงครั้งที่ 1 มีปริมาณ 245 N ที่พื้นหน้า, 265 N ที่พื้นเขี้ยว และ 285 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 2 มีปริมาณ 240 N ที่พื้นหน้า, 260 N ที่พื้นเขี้ยว และ 280 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 3 มีปริมาณ 235 N ที่พื้นหน้า, 255 N ที่พื้นเขี้ยว และ 275 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 4 มีปริมาณ 230 N ที่พื้นหน้า, 250 N ที่พื้นเขี้ยว และ 270 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 5 มีปริมาณ 225 N ที่พื้นหน้า, 245 N ที่พื้นเขี้ยว และ 265 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 6 มีปริมาณ 220 N ที่พื้นหน้า, 240 N ที่พื้นเขี้ยว และ 260 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 7 มีปริมาณ 215 N ที่พื้นหน้า, 235 N ที่พื้นเขี้ยว และ 255 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 8 มีปริมาณ 210 N ที่พื้นหน้า, 230 N ที่พื้นเขี้ยว และ 250 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 9 มีปริมาณ 205 N ที่พื้นหน้า, 225 N ที่พื้นเขี้ยว และ 245 N ที่พื้นหลัง

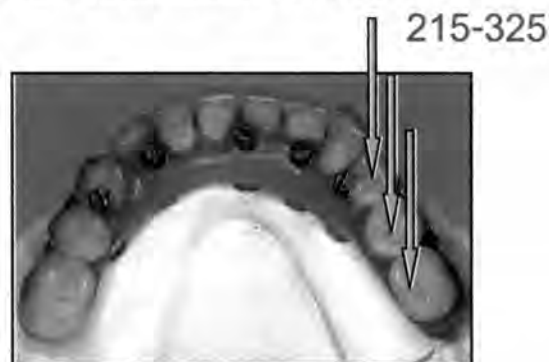
แรงครั้งที่ 10 มีปริมาณ 200 N ที่พื้นหน้า, 220 N ที่พื้นซ้าย และ 240 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 11 มีปริมาณ 195 N ที่พื้นหน้า, 215 N ที่พื้นซ้าย และ 235 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 12 มีปริมาณ 190 N ที่พื้นหน้า, 210 N ที่พื้นซ้าย และ 230 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 13 มีปริมาณ 185 N ที่พื้นหน้า, 205 N ที่พื้นซ้าย และ 225 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 14 มีปริมาณ 180 N ที่พื้นหน้า, 200 N ที่พื้นซ้าย และ 220 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 15 มีปริมาณ 175 N ที่พื้นหน้า, 195 N ที่พื้นซ้าย และ 215 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 16 มีปริมาณ 170 N ที่พื้นหน้า, 190 N ที่พื้นซ้าย และ 210 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 17 มีปริมาณ 165 N ที่พื้นหน้า, 185 N ที่พื้นซ้าย และ 205 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 18 มีปริมาณ 160 N ที่พื้นหน้า, 180 N ที่พื้นซ้าย และ 200 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 19 มีปริมาณ 155 N ที่พื้นหน้า, 175 N ที่พื้นซ้าย และ 195 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 20 มีปริมาณ 150 N ที่พื้นหน้า, 170 N ที่พื้นซ้าย และ 190 N ที่พื้นหลัง
 แรงครั้งที่ 21 มีปริมาณ 145 N ที่พื้นหน้า, 165 N ที่พื้นซ้าย และ 185 N ที่พื้นหลัง

จากการศึกษาของ Fontijn-Tekamp และคณะ⁶⁰ วัดแรงกัดโดยใช้เครื่องมือวัดความเครียดที่ข้างขวาบริเวณตำแหน่งพินกรามซี่ที่หนึ่งของฟันปลอมชนิดถ่ายถอดแรงบนรากเทียมเท่านั้น แรงกัดมีค่าตั้งแต่ 125.3-312.1 N โดยไม่จำกัดเพศ ดังนั้นในตอนที่สองนี้จึงกำหนดตำแหน่งของแรงที่ด้านขวาของฟันปลอม ให้แรงลงหลังต่อรากเทียมตัวสุดท้ายของข้างขวาและให้แรง 20 ครั้ง (ภาพที่ 3.30) แรงมีค่าตั้งแต่ 215-325 N และเมื่อให้แรงแต่ละครั้งจะให้แรงเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 N บันทึกปริมาณแรง เค้นที่ตำแหน่งกระดูกประชิดกับผิวรากเทียมเป็นจำนวน 5 ตำแหน่ง กำหนดให้แต่ละจุดที่บริเวณด้านประชิดของกระดูกและรากเทียมที่ใช้บันทึกแรงเค้นเป็นเอลิเมนต์หนึ่งของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ การบันทึกค่าแรงเค้นจากทุกๆแบบจำลองจะถูกกำหนดให้เป็นเอลิเมนต์เดียวกันเสมอ ณ ตำแหน่งนั้น เพื่อที่สามารถนำค่านั้นเปรียบเทียบกันระหว่างแบบจำลองได้ การกำหนดจุดวัดค่าแรงเค้นที่ด้านประชิดของกระดูกและรากเทียมเหมือนดังตอนที่หนึ่งคือจุด 1, 2, 3, 4 และ 5

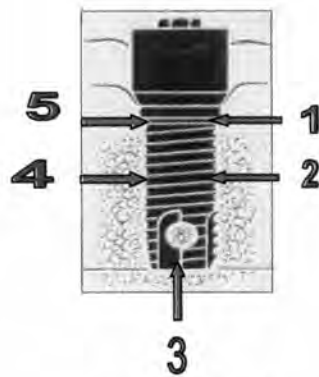
บันทึกปริมาณแรงเค้นที่เกิดขึ้นตามตำแหน่งที่แสดงในภาพที่ 3.31, 3.32 และ 3.33 ที่ตำแหน่งกระดูกประชิดกับฉีกรากเทียมเป็นจำนวน 5 ตำแหน่ง กำหนดให้แต่ละจุดที่บริเวณด้านประชิดของกระดูกและรากเทียมที่ใช้บันทึกแรงเค้นเป็นเอลิเมนต์หนึ่งของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ การบันทึกค่าแรงเค้นจากทุกๆแบบจำลองจะถูกกำหนดให้เป็นเอลิเมนต์เดียวกันเสมอ ณ ตำแหน่งนั้น เพื่อที่สามารถนำค่านั้นเปรียบเทียบกับกันระหว่างแบบจำลองได้ การกำหนดจุดวัดค่าแรงเค้นที่ด้านประชิดของกระดูกและรากเทียมจะมีสองจุด (จุด 1 และ 5) ที่ตำแหน่งอยู่ในกระดูกทึบ และสามจุด (จุด 2, 3 และ 4) ที่ตำแหน่งอยู่ในกระดูกโปร่ง ทำให้สามารถเห็นความแตกต่างของค่าแรงเค้นในกระดูกต่างคุณสมบัติทั้งสองชนิดได้ด้วย สำหรับจุด 1 และ 5 เป็นตำแหน่งที่อยู่บริเวณคอของรากเทียม ซึ่งจากการศึกษาของ Meijer และคณะ²⁹ กล่าวว่า เป็นบริเวณที่มักพบปริมาณแรงเค้นได้สูงสุด



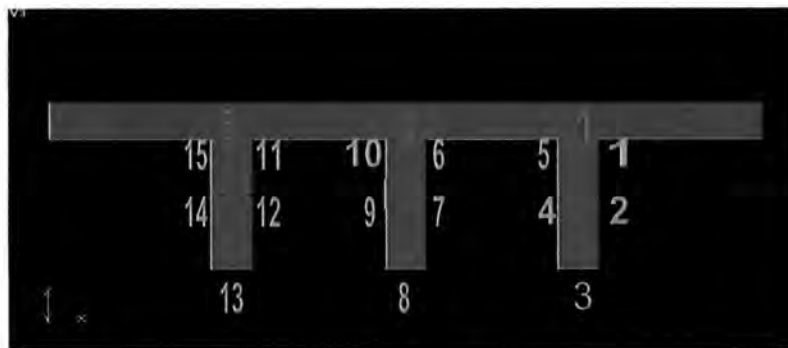
ภาพที่ 3.29 แรงบดเคี้ยวบนฟันปลอมไฮบริดในการทดลองครั้งที่ 1



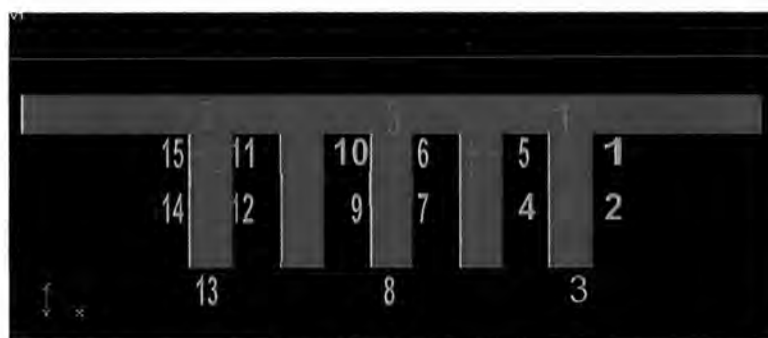
ภาพที่ 3.30 แรงบดเคี้ยวบนฟันปลอมไฮบริดในการทดลองตอนที่ 2



ภาพที่ 3.31 ตำแหน่งวัดแรงเค้นบนผิวรากเทียมประชิดกับกระดูกอบรากเทียม



ภาพที่ 3.32 ตำแหน่งวัดแรงเค้นบนผิวรากเทียม (ตัวเลขสีเหลือง) และตำแหน่งของรากเทียมที่ 1,3 และ 5 (ตัวเลขสีแดง) ในแบบจำลองของกลุ่มทดลองที่ 1



ภาพที่ 3.33 ตำแหน่งวัดแรงเค้นบนผิวรากเทียม (ตัวเลขสีเหลือง) และตำแหน่งของรากเทียมที่ 1,3 และ 5 (ตัวเลขสีแดง) ในแบบจำลองของกลุ่มทดลองที่ 2

บันทึกค่าแรงเค้นที่วัดได้ในแต่ละจุดบนผิวรากเทียมแต่ละรากเทียมในทุกแบบจำลองลงในตารางบันทึกข้อมูล ข้อมูลจากการให้แรงทั้งสองส่วนถูกวิเคราะห์และสรุปผลแยกจากกัน นำข้อมูลจากตารางบันทึกข้อมูลมาวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเค้นที่ผิวประชิดรากเทียมและกระดูกเป็นตัวแปรอิสระ (y) ซึ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ กับตัวแปรอิสระ (x_1) หรือแรงจากการบิดเคี้ยวที่ถูกกำหนดให้ลงบนพื้นปลอมซึ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณเช่นกัน และตัวแปรอิสระอีกตัวคือกลุ่มทดลองที่มีความแตกต่างของจำนวนและการเรียงตัวของรากเทียมซึ่งเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ (x_2) เมื่อเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลายตัวที่มีตัวแปรอิสระมีทั้งตัวแปรเชิงปริมาณและตัวแปรเชิงคุณภาพด้วยจึงวิเคราะห์ด้วยสมการความถดถอยเชิงซ้อนซึ่งกำหนดตัวแปรเทียม (Dummy variable) ขึ้น และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรเทียมจะเป็นค่าที่แสดงผลต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม (y) เมื่อตัวแปรเทียมมีค่าต่างๆกับเมื่อตัวแปรเทียมมีค่าเป็นศูนย์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรเทียมสามารถแสดงความแตกต่างของค่าแรงเค้นที่ผิวประชิดรากเทียมและกระดูก (y) ที่ระดับต่างๆของตัวแปรเชิงคุณภาพ (x_2) ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรเทียมจึงเป็นการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าแรงเค้นที่ผิวประชิดรากเทียมและกระดูก (y) ที่ระดับต่างๆของตัวแปรเชิงคุณภาพ (x_2) หรือแต่ละกลุ่มทดลองที่มีความแตกต่างของจำนวนและการเรียงตัวของรากเทียมนั่นเอง

เนื่องจากการทดลองนี้ทำขึ้นในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และข้อมูลจากการวิเคราะห์ได้จากแบบจำลองสมมติ ดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วว่าการสร้างแบบจำลองไฟไนต์มีข้อจำกัดหลายอย่าง ซึ่งทำให้ไม่สามารถจำลองแบบจำลองชากรรไกร์และอวัยวะบิดเคี้ยวที่เป็นตัวแทนของตัวอย่างประชากรได้ ข้อมูลจากแบบจำลองจึงอาจจะไม่ตรงกับข้อมูลที่ควรจะได้ถ้าออกแบบการทดลองในช่องปาก ถ้าต้องการข้อมูลจากมนุษย์จำเป็นต้องทำการทดสอบเพิ่มเติม โดยใช้เครื่องมือวัดและออกแบบการศึกษาที่ทำในสิ่งมีชีวิตซึ่งจะมีตัวแปรจำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถควบคุมตัวอย่างให้

เหมือนกันได้ ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษานี้จะมาจากการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกลุ่มทดลองซึ่งตัวอย่างถูกควบคุมตัวแปรบางอย่างไว้ได้ ซึ่งเป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ ยากถ้าออกแบบการทดลองในมนุษย์ ยกตัวอย่างเช่น ขนาดของขากรรไกร ขนาดของฟันปลอม ขนาดของรากเทียมและระยะห่างระหว่างรากเทียม คุณสมบัติของกระดูก ตำแหน่งและปริมาณแรงเคี้ยว เป็นต้น และข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อออกแบบการศึกษาในสิ่งมีชีวิตจริงจะมีข้อสรุปจากข้อมูลที่เป็นตัวแทนจากประชากรที่ต้องการศึกษาอย่างแท้จริง