บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

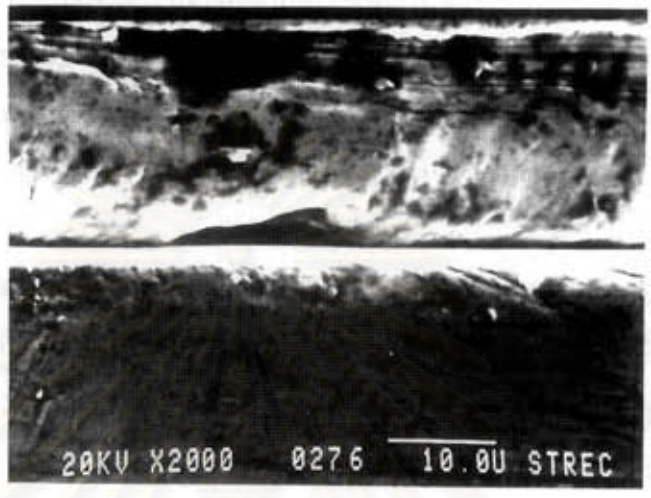
จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าการขันสกรูยึดตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองซ้ำๆ ทำให้ช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นๆของการทดลอง แต่เมื่อขันสกรูได้ประมาณ 10ครั้ง กลับพบว่าการขันสกรูในครั้งต่อๆไป มิได้ทำให้ช่องว่างลดลงอย่างรวดเร็วเหมือนในช่วงต้นๆของการทดลอง แต่จะมีการลดลงที่น้อยมากหรือแทบจะคงที่ ทำให้เส้นสมการถดถอยของความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล สิ่งที่พอจะอธิบายผลที่เกิดขึ้น ก็คือ กลไกของการการสึกและการเปลี่ยนรูปของผิวโลหะ จากที่เราทราบว่าผิวโลหะมิได้เรียบสนิทแต่จะมีส่วนขรุขระสูงๆต่ำๆที่ผิว เรียกว่า "asperity" ซึ่งถูกคลุมด้วยแผ่นฟิลม์ของไอน้ำหรือไฮโดรคาร์บอนในชั้นนอกสุด ชั้นถัดเข้ามาก็คือชั้นอ๊อกไซด์ของโลหะ และชั้นในสุดเป็นส่วนบนสุดของโลหะ เมื่อโลหะไถลบนผิวซึ่งกันและกัน จะมีการรีดส่วนที่เป็นชั้นของไอน้ำและอ๊อกไซด์ออกไป ทำให้ผิวโลหะมีการสัมผัสกัน ส่วนยอดของส่วนขรุขระจะสัมผัสกันก่อน ก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น ในกรณีที่แรงที่มากระทำมีค่ามากกว่าความแรงจุดครากของส่วนขรุขระ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกและมีการเปลี่ยนรูปไปจนกว่าส่วนนั้นๆจะต้านทานแรงที่มากระทำได้ ในขณะเดียวกันยอดของส่วนขรุขระบางส่วนถูกตัดเฉือนออกไป ส่วนที่เหลือจึงเรียบขึ้นเสมือนยอดแหลมของกรวยถูกตัดออกไป(Buckley, 1981) เมื่อผิวโลหะไถลซึ่งกันและกันหลายๆครั้ง เศษโลหะที่หลุดจากผิวโลหะเหล่านี้จะผสมกันเกิดเป็นชั้นบางๆ(Blauและคณะ,1992) เรียกว่า "transfer film" ซึ่งบางส่วนหลุดออกไป แต่ส่วนใหญ่ยังคงอยู่ระหว่างผิวโลหะทั้งสอง ดังนั้นจากผลของการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกของส่วนขรุขระที่เกิดขึ้นรวดเร็วในช่วงต้นๆ ร่วมกับการสึกของส่วนขรุขระบางส่วน จึงทำให้ช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองลดลงอย่างรวดเร็ว

ในการขันสกรูครั้งต่อๆไป ยอดของส่วนขรุขระที่มีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร จะได้รับแรงเค้นเฉือนอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปต่อไปเรื่อยๆ ในลักษณะเช่นนี้ระนาบของเกรน(grain)จะเกิดการซ้อนทับกัน เป็นการยับยั้งการเคลื่อนของระนาบเกรนในครั้งต่อๆไป ทำให้จุดครากของโลหะส่วนนี้สูงขึ้น ร่วมกับมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนเกรนต่อหน่วยปริมาตร เสมือนเกิดการอัดเกรนให้มีขนาดลดลง(Phillip และMoore,1994) ประกอบกับส่วนแหลมคมของส่วนที่ขรุขระเรียบขึ้นเรื่อยๆ และมี transfer filmที่คั่นกลางระหว่างโลหะทั้งสองเพิ่มขึ้น การสึกของ

โลหะจึงช้าลง ด้วยเหตุนี้ช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลองจึงลดลงอย่างช้าๆในช่วงท้ายของการขันสกรู สอดคล้องกับการอธิบายเรื่อง settling effect (Jorneus และคณะ,1992) ที่ว่า ปริมาณ settling จะขึ้นกับ ความขรุขระเริ่มต้นของโลหะ ความแข็งผิวของโลหะ และปริมาณของแรงที่มากระทำ

ในขณะที่ผลของการทดลองในตัวรากเทียมกลับแตกต่างกัน โดยพบว่าในช่วงแรกๆของการขันสกรู ช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมไม่ได้ลดลงอย่างรวดเร็ว แต่การขันสกรูซ้ำต่อไปเรื่อยๆ มีแนวโน้มที่จะทำให้ช่องว่างลดลง ที่เกิดเหตุการณ์เช่นนี้น่าจะเนื่องมาจากผิวของตัวหลัก และสกรู มีความเรียบขึ้นจากการขันสกรูซ้ำบนตัวรากเทียมจำลองมาก่อน ประกอบกับความแข็งผิวของทั้งตัวหลักกับตัวรากเทียมมีค่าใกล้เคียงกัน เพราะว่าเป็นโลหะผสมชนิดเดียวกัน การสึกจึงเกิดได้น้อยทำให้ช่องว่างลดลงอย่างช้าๆ

จากความรู้ที่ได้นี้ทำให้เราทราบว่า ก่อนการประดิษฐ์ฟันปลอมบนตัวรากเทียมจำลอง ถ้าทำการขันสกรูซ้ำเพื่อให้ตัวหลักแนบกับตัวรากเทียมจำลองจนไม่มีช่องว่าง ซึ่งจำนวนครั้งในการขันสกรูในรากเทียมจำลองทั้ง 3ตัวนี้คือประมาณ 28 ครั้ง เมื่อนำตัวหลักไปสวมบนตัวรากเทียมในช่องปากจะทำให้ช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากในทางปฏิบัติจะไม่ทำการขันสกรูเพื่อยึดตัวหลักกับตัวรากเทียมซ้ำเหมือนในการทดลองนี้ ซึ่งการขันสกรูในช่องปากเพียง 2 หรือ 3 ครั้ง ไม่ได้ทำให้ช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ในการทดลองนี้พบว่าช่องว่างที่เกิดขึ้นในรากเทียมทั้ง 3ตัว เมื่อขันสกรูยึดตัวหลักกับตัวรากเทียมครั้งแรกมีค่าประมาณ .17 ถึง .45 ไมโครเมตร ซึ่งช่องว่างมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้เชื้อ Escherichia coli ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 1.1-1.5 ไมโครเมตร และยาว 2–6ไมโครเมตร(Jansen และคณะ,1997)เล็ดลอดเข้าไปภายในตัวรากเทียมได้ เชื้อโรคตัวนี้นิยมใช้ในการทดสอบ การฆ่าเชื้อ การทำให้ปลอดเชื้อ และการปนเปื้อนเชื้อในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการตรวจโดยรอบตัวรากเทียม กลับพบว่า รอยต่อบางตำแหน่งมีรอยตำหนิ(defect) ทำให้เกิดช่องว่างประมาณ 3-4ไมโครเมตร ซึ่งจะพบได้ 2 หรือ 3ตำแหน่ง ดังรูปที่ 83 แต่คาดว่ารอยตำหนิเหล่านี้อาจจะทำให้เกิดช่องว่างเฉพาะบริเวณขอบเท่านั้น บริเวณผิวสัมผัสที่อยู่ด้านในน่าจะแนบสนิทกัน ดังนั้นเพื่อจะทำการพิสูจน์ว่าช่องว่างบริเวณรอยต่อเหล่านี้สามารถป้องกันการเล็ดลอดของเชื้อโรคตัวนี้ได้หรือไม่ สามารถทำการทดสอบโดยการเพาะเชื้อเช่นเดียวกับการทดลองของJansen และคณะ(1997)



รูปที่ 83 แสดงรอยตำหนิที่บริเวณขอบของตัวหลักที่ทำให้ช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียม มีขนาดประมาณ 3ไมโครเมตร

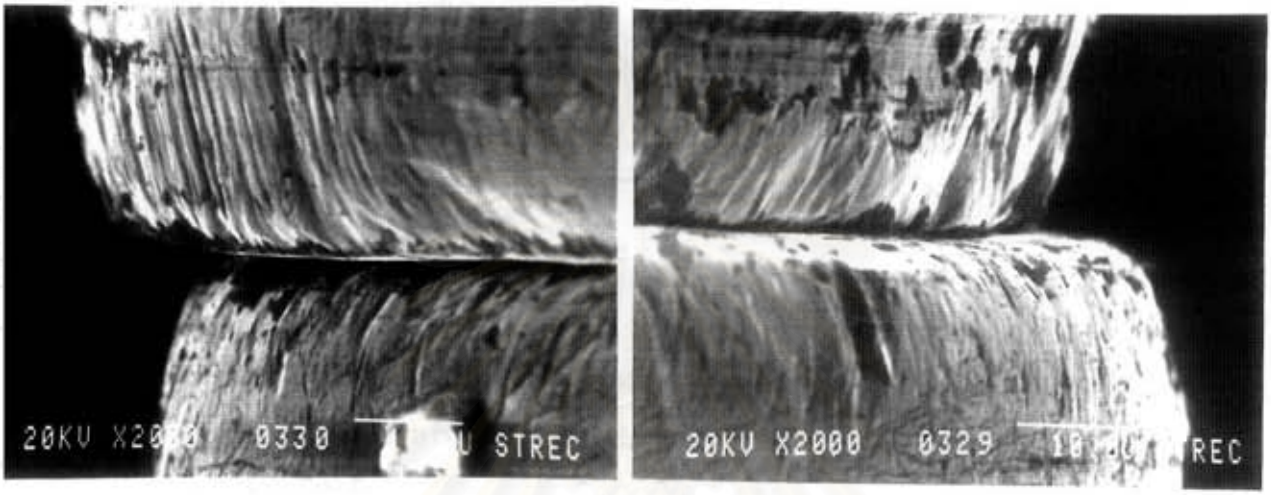
ส่วนผลการทดลองเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ของระยะในแนวระนาบที่ตัวหลักหมุนบนตัวรากเทียมจำลองและตัวรากเทียม กับ จำนวนครั้งในการขันสกรู กลับพบว่ามีความสัมพันธ์ที่ไม่แน่นอน ในการขันสกรูครั้งหนึ่งๆ ระยะที่เครื่องหมายบนตัวหลักขยับจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองในแต่ละด้านอาจจะแตกต่างกันหรือมีการขยับในทิศทางที่ต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากตัวหลักสามารถขยับตัวในแนวระนาบบนตัวรากเทียมจำลองได้ทุกทิศทาง นอกเหนือจากการที่ตัวมันเองสามารถหมุนบนตัวรากเทียมจำลองในขณะที่ขันสกรู สิ่งที่เป็นการยืนยันเหตุผลนี้คือ การที่ขอบของตัวหลักมิได้เชื่อมต่อกับขอบของตัวรากเทียมจำลองในแนวเส้นตรงเดียวกันเมื่อมองทางด้านข้าง แต่จะมีการเหลื่อมกันของขอบทั้งสอง ถ้าด้านใดของตัวหลักที่มีขอบเหลื่อมออกทางด้านนอกเมื่อเทียบกับขอบของตัวรากเทียมจำลอง ขอบของตัวหลักในด้านตรงข้ามมักจะเหลื่อมเข้ามาทางด้านในเมื่อเทียบกับขอบของตัวรากเทียมจำลอง ดังรูปที่ 84 ซึ่งมักจะเกิดเหตุการณ์นี้ทั้ง 4 ด้าน และระยะที่เหลื่อมกันในแต่ละด้านก็จะไม่เท่ากัน นอกจากนี้ระยะที่ขอบของตัวหลักเหลื่อมกับขอบของตัวรากเทียมจำลองในด้านเดียวกันก็อาจจะไม่เท่ากันในการ

ขันสกรูแต่ละครั้ง แสดงให้เห็นว่าตัวหลักมีความอิสระในการขยับได้ทุกทิศทางส่งผลให้เครื่องหมายในแต่ละด้านขยับในทิศทางตรงข้ามกันได้ ซึ่งอธิบายได้โดยการใช้ภาพซ้อนของตัวหลักบนตัวรากเทียมจำลองเมื่อมองจากด้านบน(top view) ดังรูปที่ 85 , 86 โดยระยะที่ขอบของตัวหลักเหลื่อมกับขอบของตัวรากเทียมจำลองมีค่าอยู่ในช่วง 2.8 –11.6, 6.7 –12.6, 5.87–10.6ไมโครเมตร ในรากเทียมจำลองตัวที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของMaและคณะ(1997)ที่พบว่า ตัวหลักต่อยอดระบบBranemarkสามารถขยับบนตัวหลักจำลองในแนวระนาบได้ทุกทิศทางเป็นระยะทาง 37.1ไมโครเมตร

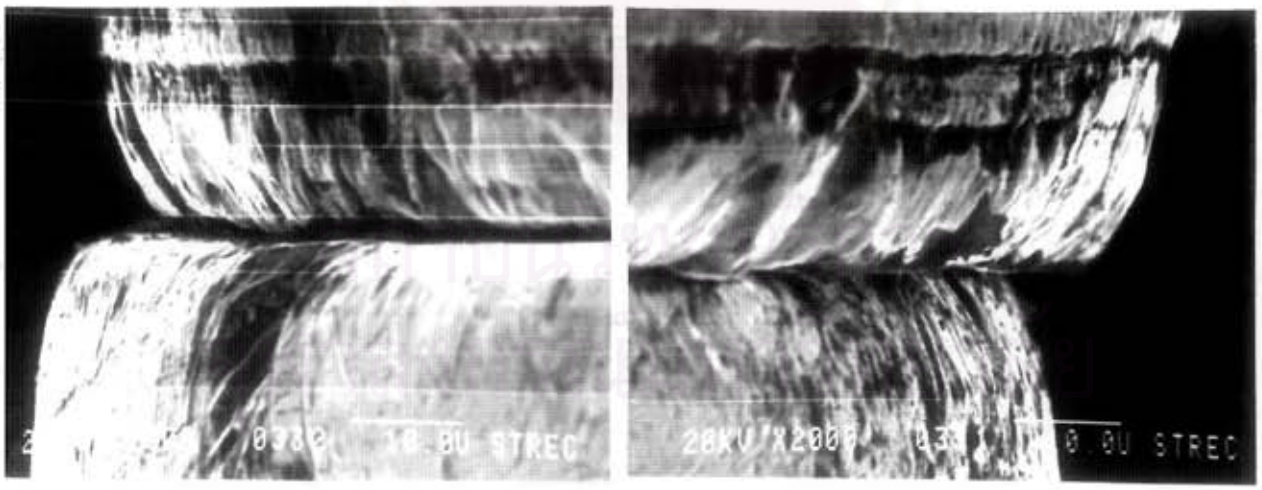
เมื่อนำตัวหลักที่ผ่านการขันสกรูซ้ำบนตัวรากเทียมจำลองไปสวมบนตัวรากเทียม พบว่ามีการเหลื่อมของขอบตัวหลักกับขอบของตัวรากเทียมด้วยเช่นกัน โดยระยะที่เหลื่อมกันมีค่าอยู่ในช่วง 0 -13.8 ,4.63 –12.7, 0 –9.74ไมโครเมตร ในรากเทียมตัวที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และระยะที่ขอบของตัวหลักเหลื่อมกับขอบของตัวรากเทียมจะไม่เท่ากับระยะที่เคยเหลื่อมกับขอบของตัวรากเทียมจำลองในด้านเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าสามารถทำให้ช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลอง และ ตัวหลักกับตัวรากเทียมมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ตำแหน่งตัวหลักในแนวระนาบยังคงแตกต่างกัน ดังนั้นฟันปลอมที่ประดิษฐ์ให้แนบสนิทพอดีตัวหลักที่ยึดกับตัวรากเทียมจำลอง เมื่อนำไปสวมบนตัวหลักที่ยึดกับตัวรากเทียม จึงไม่แนบสนิทพอดี ในกรณีที่ใช้ฟันปลอมแบบติดแน่นที่ยึดติดกับตัวหลักโดยการใช้สกรู ซึ่งส่วนใหญ่โครงโลหะของฟันปลอมชนิดนี้มักมีการบิดเบี้ยวในขั้นตอนการหล่อ ซึ่งอาจมีค่าได้ประมาณ 25ไมโครเมตร(Riedyและคณะ, 1997) ยิ่งทำให้โครงโลหะไม่แนบสนิทพอดีกับตัวหลักมากยิ่งขึ้น (Kallasและคณะ, 1994) โดยเฉพาะฟันปลอมที่รองรับด้วยรากเทียมหลายๆตัว เมื่อขันสกรูยึดฟันปลอมนี้กับตัวหลัก จะทำให้เกิดแรงเค้นต่อฟันปลอมและบริเวณรอยต่อของตัวรากเทียมกับกระดูก

จากการทดลองของ Fusayama,Ide และHosada,1964 ; Eame,O Neal, Monteiro , Miller , Roan และCohen,1978; Campagni, Preston และReisbeck,1982; Campagni, Wright และ Martinoff,1986; Pilo, Cardash, Baharav และHelft,1988 พบว่าความหนาของไดน์สเปสเซอร์ (die spacer)ที่ทาบนผิวแม่แบบ(die)ของฟันหลัก ก่อนการแต่งขี้ผึ้งของฟันปลอมแบบติดแน่นมีค่าประมาณ 20–40 ไมโครเมตร ดังนั้นการใช้ฟันปลอมติดแน่นด้วยซีเมนต์ซึ่งมีการเว้นช่องว่างระหว่างด้านในของฟันปลอม กับ ตัวหลักเพื่อเป็นที่อยู่ของซีเมนต์ โดยการทาไดน์สเปสเซอร์บนผิวแม่แบบตัวหลักก่อนการแต่งขี้ผึ้งของฟันปลอม น่าจะสามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนของตัวหลักและการบิดเบี้ยวของโครงโลหะของฟันปลอมที่เกิดขึ้น ทำให้ฟันปลอมมีความแนบสนิทพอดีกับตัวหลัก(Hebel และGajjar,1997) นอกจากนี้ฟันปลอมติดแน่นด้วยซีเมนต์ยัง

มีข้อดีกว่า ทั้งในแง่ความแข็งแรงของพอสเลน และอคริลิคเรซิน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีรูตรง. บริเวณด้านบดเคี้ยวของฟันปลอม และให้ความสวยงามที่มากกว่าด้วย(Riedy,และคณะ,1997)

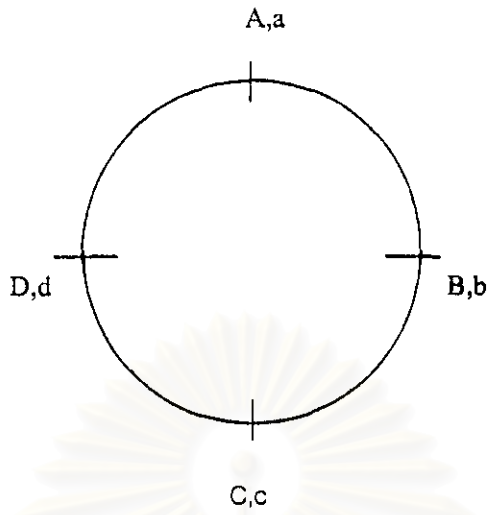


ด้านที่3 ด้านที่1

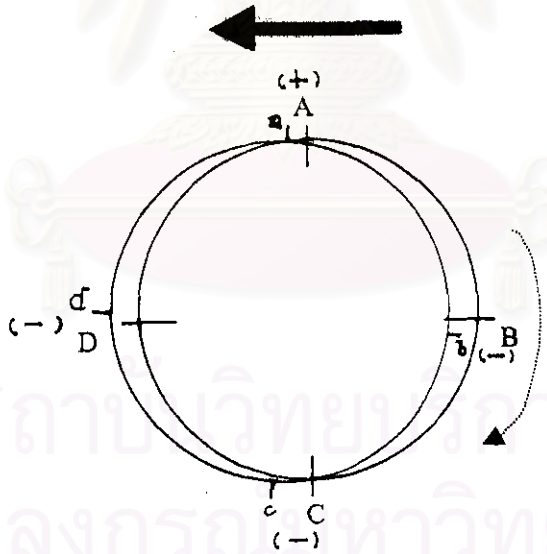


ด้านที่2 ด้านที่4

รูปที่ 84 แสดงการเหลื่อมกันของขอบตัวหลักกับขอบของตัวรากเทียมจำลองทั้ง 4ด้าน



รูปที่ 85 แสดงตำแหน่งของเครื่องหมายบนตัวหลักทั้ง 4ด้าน(a,b,c,d)เมื่อเทียบกับเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลองทั้ง 4ด้าน(A,B,C,D)เมื่อมองจากด้านบน ในเงื่อนไขที่สมมุติว่าขอบของตัวหลักพอดีกับขอบของตัวรากเทียมจำลอง



รูปที่ 86 แสดงทิศทางที่เครื่องหมายบนตัวหลักเคลื่อนออกจากเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลอง (- แสดงว่า เครื่องหมายบนตัวหลักเคลื่อนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เมื่อเทียบกับเครื่องหมายบนตัวรากเทียมจำลอง)โดย ลูกศรทึบ แสดงทิศทางการขยับของตัวหลัก ลูกศรจุดประ แสดงทิศทางการหมุนของตัวหลัก

ดังนั้นการขันสกรูของตัวหลักซ้ำหลายๆครั้ง เพื่อทำให้ตัวหลักแนบสนิทกับตัวรากเทียมจำลองก่อนนำตัวหลักมายึดกับตัวรากเทียม จะเป็นเพียงการควบคุมตำแหน่งตัวหลักในแนวดิ่งให้อยู่ตำแหน่งเดิมทั้งในตัวรากเทียมจำลองและตัวรากเทียม แต่ไม่สามารถควบคุมตำแหน่งตัวหลักในแนวระนาบได้ ถึงแม้จะประดิษฐ์ฟันปลอมให้มีความเที่ยงตรงเพียงใดแต่เมื่อนำมายึดกับตัวหลักในช่องปากกลับพบว่ามักจะไม่แนบสนิทพอดี ซึ่งความคลาดเคลื่อนในแนวระนาบของตัวหลักอาจจะมิได้เกิดจากขั้นตอนนี้แต่เพียงอย่างเดียว แต่อาจร่วมกับขั้นตอนการพิมพ์ปากและการสร้างแบบจำลอง โดยมีความคลาดเคลื่อนในแนวระนาบระหว่างตำแหน่งตัวต่อยอดถ่ายทอดกับตัวรากเทียม และ ตัวตัวยอดถ่ายทอดกับตัวรากเทียมจำลองในแบบจำลองในลักษณะคล้ายกับที่พบในการวิจัยนี้ จึงทำให้ความคลาดเคลื่อนนี้สูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย