บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าความต้านทานการแตกหักของพอร์ซเลนของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดยึดแน่นด้วยซีเมนต์บนฟันหลักยึดรากเทียมและมีด้านสบฟันเป็นพอร์ซเลนทั้งหมดซึ่งกำหนดให้มีขนาดเท่ากับฟันหลังบนที่มีความสูง 7.5 ม.ม.และมีการออกแบบความสูงในแนวดิ่งของส่วนโลหะรองรับทางด้านประชิดที่ต่างกันแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังตาราง 2.1

กลุ่มที่	ความสูงของส่วนโลหะรองรับด้านประชิดฟัน	ความหนาของพอร์ซเลน	จำนวน(ชิ้น)
1	0.5 ม.ม. (แถบโลหะ)	7.0 ม.ม.	10
2	2.5 ม.ม.	5.0 ม.ม.	10
3	4.0 ม.ม.	3.5 ม.ม.	10
4	5.5 ม.ม.	2.0 ม.ม.	10

ตาราง 2.1 แสดงจำนวนกลุ่มตัวอย่างและจำนวนชิ้นตัวอย่าง

เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

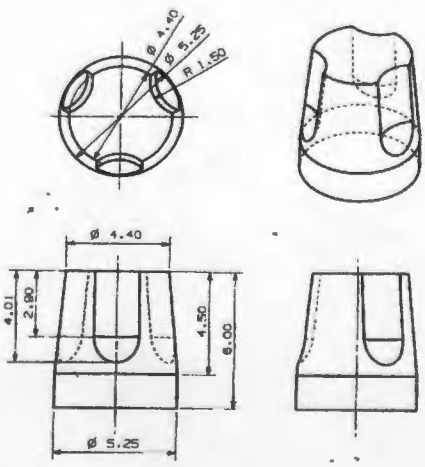
1. เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัดระบบไฮดรอริก (Instron 8872 ,INSTRON,USA)
2. เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด LLOYD (LR10K,LLOYD Instruments,England)
3. เครื่องทดสอบความแข็งวัสดุ (Durometer) (Instrument,Pacific Transducer,USA)
4. กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (stereomicroscope) (ANTI-FUNJli MEJI Techno Co.,LTD,Japan)
5. เครื่องวัดความหนา(Crown gauge)
6. เครื่องโปรไฟล์โปรเจคเตอร์ (ROI,Ram Optical Instrument)
7. ฟันหลักรากเทียมจำลองระบบรีเพลสชนิดอีซี่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (Easy Abutment Analog, Replace, Noble Biocare ,Sweden)
8. โลหะ Noritake Super Alloy EX-3 (Novodent, Japan)
9. พอร์ซเลน Super porcelain EX-3 (Noritake, Novodent ,Japan)
10. ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (Hy-Bond,Shofu,Japan)
11. แบบจำลองฟันหลักรากเทียม แป้นยึดแบบจำลองและหัวกด
12. ชุดเครื่องมือคึงครอบฟันออกจากแบบจำลอง

ขั้นตอนการเตรียมฟันหลักยึดรากเทียมจำลอง ชุดแบบจำลองทดสอบ และหัวกดทดสอบ

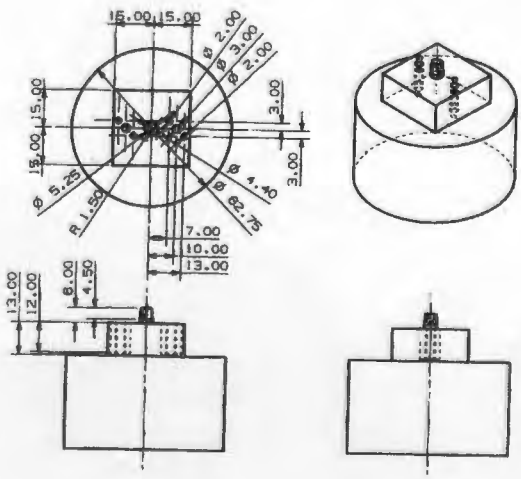
วัดขนาดของตัวแทนของฟันหลักยึดรากเทียม ระบบรีเพลสซนิคอีซี่ (Replace Easy implant abutment Analog : Noble Biocare,Sweden) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ม.ม. โดยใช้เครื่องวัดโปรไฟล์โปรเจคเตอร์ (ROI, Ram Optical Instrument) ของหน่วยปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (รูปที่36,37) เครื่องจะขยายภาพขนาดชิ้นงานจากกล้องส่องกำลังขยายสูง สามารถวัดขนาดชิ้นงานได้โดยการกำหนดตำแหน่งที่จะวัดบนจอคอมพิวเตอร์ และแสดงผลได้ละเอียดเป็นทศนิยมห้าตำแหน่งและมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 36 Easy Abutment Analog

รูปที่ 37 (ROI,Ram Optical Instrument)

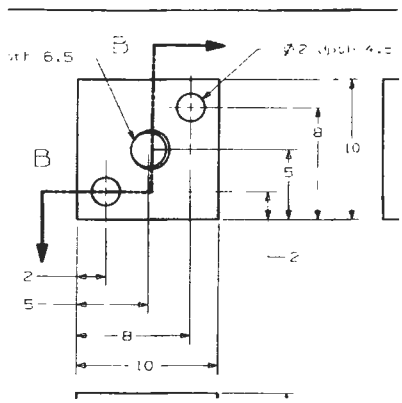


รูปที่ 38 แสดงแบบฟันหลักยึดรากเทียมจำลอง

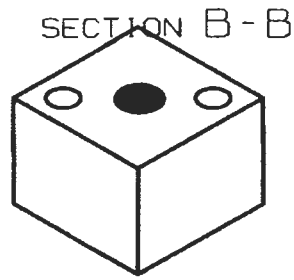


รูปที่ 39 แสดงแบบชุดแบบจำลองสำหรับทดสอบ

I22917950



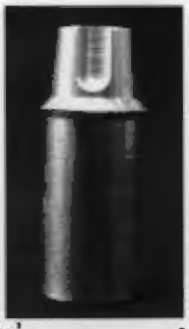
รูปที่ 40 แสดงแบบตำแหน่งยึดสัมผัสข้างเคียงจำลอง



รูปที่ 41 แสดงแบบสัมผัสข้างเคียงจำลอง

ทำการวัดขนาดตัวแทนฟันหลักยึดรากเทียมในแต่ละบริเวณอย่างละเอียด แต่ละตำแหน่งวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้เป็นต้นแบบในการออกแบบจำลองฟันหลักยึดรากเทียมในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมออโตแคท (Auto-CAD) ออกแบบให้ส่วนของฟันหลักยึดรากเทียม (Implant abutment) มีเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณบ่า 6 ม.ม. ความสูง 5.0 ม.ม. องศาความสอบ 10 องศา ลักษณะเหมือนตัวแทนฟันหลักยึดรากเทียมต้นแบบ ซึ่งจะใช้เป็นฟันหลักยึดรากเทียมจำลองในการสร้างชิ้นงานตัวอย่าง (รูปที่ 38) ออกแบบชุดแบบจำลองสำหรับทดสอบซึ่งประกอบด้วยฟันหลักยึดรากเทียมและส่วนสัมผัสฟันประชิดซึ่งสามารถถอดออกได้ยึดอยู่บนแป้นทดสอบเดียวกัน ซึ่งสามารถปรับตำแหน่งซ้าย-ขวาโดยการเลื่อนบนรางเพื่อปรับตำแหน่งการกดแรงทดสอบ (รูปที่ 39-41) หลังจากนั้นได้ทำการสร้างฟันหลักยึดรากเทียมจำลอง โดยการกลึงชิ้นโลหะจากเครื่องจักรกลซีเอ็นซี (Computer numerical control,CNC) ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมขนาดของชิ้นฟันหลักยึดรากเทียมจำลองโดยใช้โลหะทองเหลืองซึ่งมีค่า สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น 96-110 GPa และสัมประสิทธิ์เฉือน 36-41 GPa ใกล้เคียงกับ ไททาเนียม ที่มีค่า 110-120 GPa และ 39-44 GPa ตามลำดับ (Craig,2002; Anusavice,2003) ในการสร้างฟันหลักยึดรากเทียมจำลอง 4 ชิ้น และชุดแบบจำลองสำหรับทดสอบ 1 ชุด (รูปที่ 42-43) หลังจากนั้นนำชิ้นงานจำลองที่สร้างกลับเข้าเครื่องวัดโปรไฟล์โปรเจคเตอร์เพื่อตรวจสอบขนาดทุกบริเวณซ้ำอีกครั้ง ทำให้ได้ฟันหลักยึดรากเทียมจำลองที่มีขนาดใกล้เคียงกันมาก โดยฟันหลักยึดรากเทียมจำลองทั้ง 4 ชิ้นและตัวชุดแบบจำลองสำหรับทดสอบมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 ไมครอน

ในส่วนของชุดหัวกดทดสอบ (รูปที่44) ทำการออกแบบในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมออโตแคท (Auto-CAD) ให้หัวกดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 ม.ม. พื้นผิวหน้าตัดทรงกลม และทำการกลึงชิ้นโลหะจากเครื่องจักรกลซีเอ็นซี โดยใช้โลหะสเตนเลสสตีลเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางและปลายแท่งหัวกดซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนได้ทำจากโลหะคาร์ไบด์ รวมถึงในการสร้างรางยึดเพื่อให้ชุดแบบจำลองสำหรับทดสอบสามารถเคลื่อนตำแหน่งซ้าย-ขวาได้ (รูปที่ 45) โดยใช้โลหะทองเหลือง

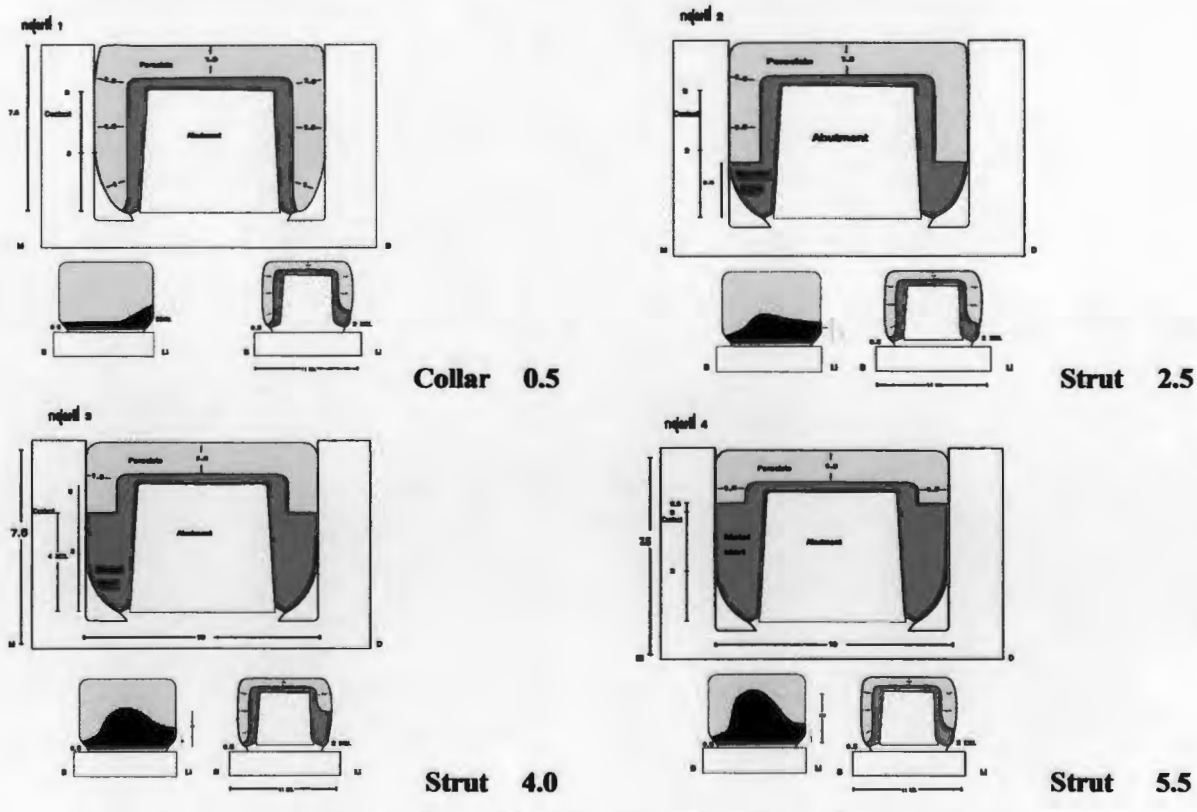


รูปที่ 42 ฟันหลักยึดรากเทียมจำลอง

รูปที่ 43 ชุดแบบจำลองสำหรับทดสอบ

รูปที่ 44 หัวกดทดสอบ

รูปที่ 45 รางเลื่อนสำหรับปรับตำแหน่งชุดแบบจำลองสำหรับทดสอบ

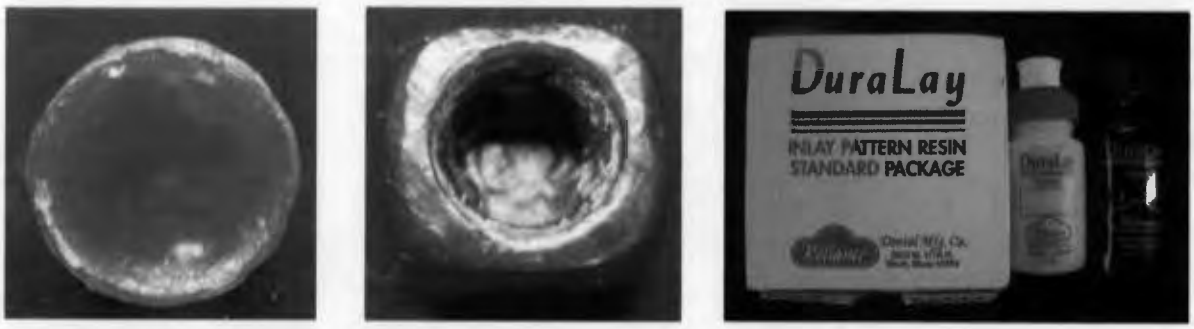


รูปที่ 46 แสดงการออกแบบโครงโลหะที่มีความสูงโลหะด้านประชิดฟัน 4 แบบ

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

ทำการเตรียมครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน ชนิดยึดแน่นกับฟันหลักยึดรากเทียมด้วยซีเมนต์ที่มีความสูงของส่วนโครงโลหะรองรับทางด้านข้างฟันในแนวดิ่งที่ต่างกัน (รูปที่ 46) โดย

1. แต่งขี้ผึ้งรูปร่างครอบฟันเต็มซี่ ขนาดกว้าง 11 ม.ม. ยาว 10 ม.ม. สูง 7.5 ม.ม. ตามที่กำหนด (Wheeler,2003; Kraus,1993; Renner,1985) โดยใช้ขี้ผึ้ง Green inlay (Ranfert,Germany) บนแม่แบบฟันหลักยึดรากเทียมจำลอง (รูปที่ 48) ซึ่งผิวด้านในที่สัมผัสฟันหลักยึดรากเทียม จะสร้างจาก อะคริลิก ดูราเล (acrylic duralay) เพื่อป้องกันการเปลี่ยนรูปร่างจากการถอดใส่ (รูปที่ 47) หลังจากนั้นใช้ซิลิโคน ชนิดพุตตี้ (Lab putty; Coltene Whaledent, New Jersy,U.S.A.) สร้างแม่แบบ หมายเลข 1 สำหรับควบคุมขนาดรูปร่างครอบฟันเต็มซี่ (full contour) (รูปที่ 49) (Marker,1986; Lund,1992; O'Boyle,1997; Cho,2002 ; Yidrim,2003; Kang,2003; Torrado,2004) โดยจะต้องวัดความหนาขี้ผึ้งครอบฟันเต็มซี่ ในแต่ละบริเวณ (ด้านสบฟัน ด้านแก้ม ด้านลิ้น ด้านประชิดบริเวณใกล้สบฟัน กึ่งกลางฟันและบริเวณคอฟัน) ด้วยเครื่องวัดความหนา (wax gauge) (Gardner,2002; Ulusoy,2002; Ku,2002) และจะต้องมีสัมผัสประชิดที่ระยะความสูง 3-5 มม.



รูปที่ 47 แสดงการสร้างพื้นผิวด้านในของครอบฟันด้วยอคริลิก ดูราเล ก่อนที่จะทำการแต่งขี้ผึ้ง

รูป 48 แสดง ขี้ผึ้งชิ้นงานครอบฟันเต็มซี่

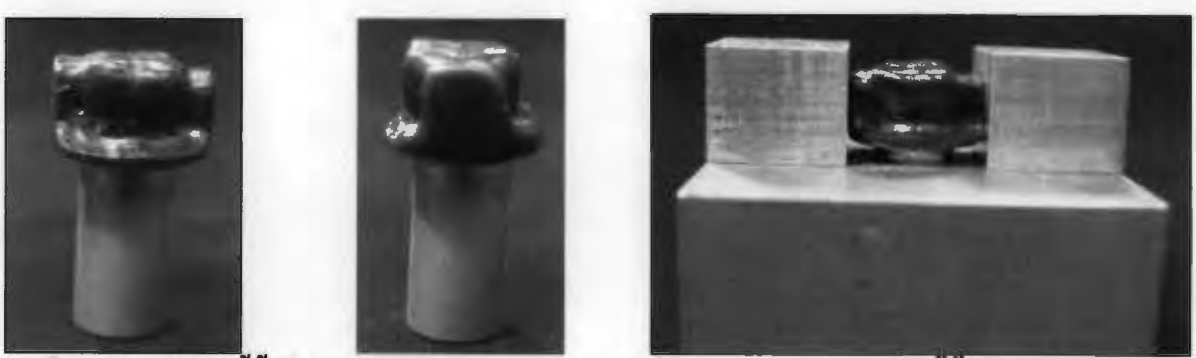
รูป 49 แสดงแม่แบบ หมายเลข 1

2. ใช้ คัตแบค (cut-back) เทคนิค ในการตัดแต่งขี้ผึ้งออกด้วยความหนาเท่าๆกัน เพื่อสร้างพื้นที่สำหรับพอกพอร์ซเลนที่มีความหนา ด้านสบฟัน ด้านแก้ม ด้านลิ้น ด้านประชิด บริเวณใกล้สบฟัน

กึ่งกลางฟันและบริเวณคอฟัน 1.5 ม.ม. ซึ่งจะได้เป็น แบบขี้ผึ้ง (wax pattern) กลุ่มที่ 1 ของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนชนิดยึดแน่นบนฟันหลักยึดรากเทียมด้วยซีเมนต์ ที่มีด้านสบฟันทั้งหมดเป็นพอร์ซเลนและมีความสูงของโครงโลหะรองรับทางด้านประชิดสูง 5.5 ม.ม. (รูปที่ 50) ซึ่งจะใช้เครื่องวัดความหนาของแบบขี้ผึ้งในแต่ละตำแหน่ง โดยเฉพาะด้านประชิดฟันจะวัด 3 ตำแหน่ง คือ ใกล้ด้านสบฟัน กึ่งกลางฟัน ใกล้คอฟัน ดังตาราง 2.2 และนำไปเทียบกับความหนาในแต่ละตำแหน่งของขี้ผึ้งรูปร่างครอบฟันเต็มซี่ รวมทั้งนำไปวางเทียบในแม่แบบ หมายเลข 1

ตำแหน่ง		ความหนา โลหะ + พอร์ซเลน	ความหนาโครงโลหะ
ด้านสบฟัน		2.3 ม.ม.	0.8 ม.ม.
ด้านแก้ม		3.4 ม.ม.	1.9 ม.ม.
ด้านลิ้น		3.4 ม.ม.	1.9 ม.ม.
ด้านประชิด (ใกล้สบฟัน)	ซ้าย	3.1 ม.ม.	1.6 ม.ม.
ด้านประชิด (กึ่งกลาง)	ซ้าย	3.1 ม.ม.	1.6 ม.ม.
ด้านประชิด (ใกล้คอฟัน)	ซ้าย	2.9 ม.ม.	1.4 ม.ม.
ด้านประชิด (ใกล้สบฟัน)	ขวา	3.3 ม.ม.	1.8 ม.ม.
ด้านประชิด (กึ่งกลาง)	ขวา	3.3 ม.ม.	1.8 ม.ม.
ด้านประชิด (ใกล้คอฟัน)	ขวา	3.1 ม.ม.	1.6 ม.ม.

ตาราง 2.2 แสดงความหนารวมโลหะและพอร์ซเลน และความหนาโครงโลหะ



รูปที่ 50 แสดงโครงขี้ผึ้งที่มีความสูงด้านประชิด 5.5 มม. ที่ได้จากคัตแบค เทคนิค ขี้ผึ้งครอบฟันเต็มซี่

3. นำแบบขี้ผึ้งที่ได้ไปยึดกับแกนค้างรูเท (sprue wax) (Technowax ; Protechno,spain) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ม.ม.และตัวก่อเบ้า (crucible former) (Shofu,Japan) ขนาด 3 นิ้ว เพื่อนำไปลงเบ้า

ในอินเวสเมนต์ชนิดฟอสเฟต (Ceramvest Hispeed ;Protechno spain) ที่ผสมอัตราส่วนผงและน้ำตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด คือ 100 กรัม ต่อน้ำยา 21.5 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 6.5 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องผสมสูญญากาศ (Multivac 4 ;Degussa) จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในสภาพปกติที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) อย่างน้อย 45 นาทีให้แข็งตัวเต็มที่ จึงนำไปเผาในเตาเผา (TX-50 ;UGin dentaire) ที่อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วปรับอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้น 8 องศาเซลเซียส/นาที จนกระทั่งอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส คงไว้นาน 30 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 14 องศาเซลเซียส/นาที จนถึงอุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส แล้วคงอุณหภูมินี้ไว้ 30 นาที เพื่อไล่ขี้ผึ้งให้หมดไปและทำให้ปูนหล่อโลหะมีอุณหภูมิสูงพอสำหรับเหวี่ยงโลหะ จากนั้นจึงย้ายเบ้าปูนหล่อโลหะจากเตาเผามาสู่เตาเหวี่ยงโลหะ(Degutron ; Degussa) เพื่อเหวี่ยงโครงโลหะ กลุ่มที่ 1 จำนวน 1 ชิ้น (รูปที่ 51-56) เพื่อใช้เป็นต้นแบบชิ้นงานโดยใช้โลหะ นิกเกิล-โครเมียม (Noritake Super Alloy EX-3 ,Novodent) ซึ่งมีส่วนประกอบดังตาราง 2.3

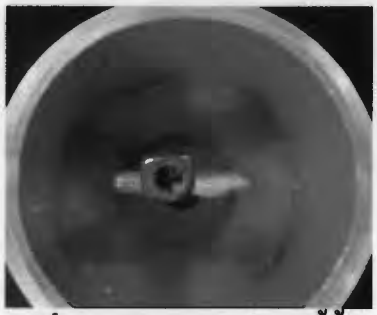
โลหะ	Ni	Mo	Cr	Ga
ปริมาณ	62.8 %	7.1 %	19.1 %	2.0 %

ตาราง 2.3 แสดงส่วนประกอบของโลหะ Noritake EX-3 (Noritake,Japan)

เป็นโลหะนิกเกิล-โครเมียม สำหรับงานบูรณะโลหะเคลือบเซรามิก มีจุดหลอมเหลว 1190-1245 °C และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน 13.4 x 10^{-6} /°C

เมื่อได้โครงโลหะมาแล้ว นำมาตัดแกนค้างรูเทออกด้วยแผ่นคาร์บอรันดัม (carborundum disk) ทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลทราโซนิก กำจัดผิวที่ไม่สม่ำเสมอและส่วนเกินออกด้วยหัวกรอคาร์ไบด์รูปกลมหมายเลข ½ ขัดแต่งโครงโลหะด้วยคาร์ไบด์ชนิดละเอียด และหัวสโตน (Dedeco International Inc. New york U.S.A.) วัดความหนาแต่ละบริเวณให้ได้ขนาดที่กำหนดด้วยเครื่องวัดความหนาครอบฟัน (crown gauge) จากนั้นนำมาเป่าทรายด้วยผงขัดอลูมินัส-ออกไซด์ (Aluminous oxide) ขนาด 50 ไมครอน(Sand storm;Vanman) ที่ความดัน 80 psi และระยะห่าง 10 ม.ม. เพื่อเป็นการทำความสะอาด และนำมาทำความสะอาดในเครื่องทำความสะอาดอัลทราโซนิก นาน 5 นาที (รูป 57-58) นำไปลองในฟันหลักยึดรากเทียมจำลอง โดยใช้ฟิตเช็กเกอร์ (fit checker)(GC Corporation ,Tokyo Japan) และกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (ML 9300 ,MEIJI , Japan) กำลังขยาย 10 กรอแต่งด้านในด้วยหัวกรอจนโครงโลหะแนบสนิท (รูปที่ 59) นำมาสร้างแม่แบบซิลิโคน หมายเลข 2 (รูปที่ 60) สำหรับสร้างโครงขี้ผึ้งในกลุ่มที่ 1 จำนวน 13 ชิ้น และนำโครงขี้ผึ้งจำนวน 3 ชิ้นซึ่งสร้างจากแม่แบบมาสร้างโครงขี้ผึ้งตัวอย่างแต่ละกลุ่ม โดยจะทำการตัดแต่งความสูงของส่วนโลหะรองรับด้านประชิดให้มีความสูงต่างกัน คือ 4 ม.ม. 2.5 ม.ม. และ 0.5 ม.ม. (รูปที่ 64) หลังจากนั้นนำโครงขี้ผึ้งตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมาเหวี่ยงโลหะ (รูปที่ 65) เพื่อใช้สร้างแม่แบบซิลิโคน หมายเลข 3 , 4 , 5 (รูปที่ 61,62,63) สำหรับสร้าง

โครงขี้ผึ้งในแต่ละกลุ่มต่อไป (Marker,1986; Lund,1992; O'Boyle,1997; Cho,2002; Yidrim,2003; Kang,2003; Torrado,2004)



รูปที่ 51 แสดงการยึดโครงขี้ผึ้งกับแกนค้างรูเท

รูปที่ 52 แสดงเครื่องผสม Multivac4

รูปที่ 53 แสดงเบ้าที่ลงอินเวสเมนต์

รูปที่ 54 แสดงเตาเผา TX-50

รูปที่ 55 แสดงโลหะ Noritake EX-3

รูปที่ 56 แสดงเตาเหวี่ยงโลหะ Degutron

รูปที่ 57 แสดงการตัดแกนค้างรูเท

รูปที่ 58 แสดงเครื่องเป่าทราย Sand strom

รูปที่ 59 แสดงโครงโลหะที่ออกแบบให้มีโลหะรองรับพอร์ซเลนด้านประชิดฟันสูง 5.5 มม.

รูปที่ 60 แสดงแม่แบบหมายเลข 2

รูปที่ 61 แสดงแม่แบบหมายเลข 3

รูปที่ 62 แสดงแม่แบบหมายเลข 4

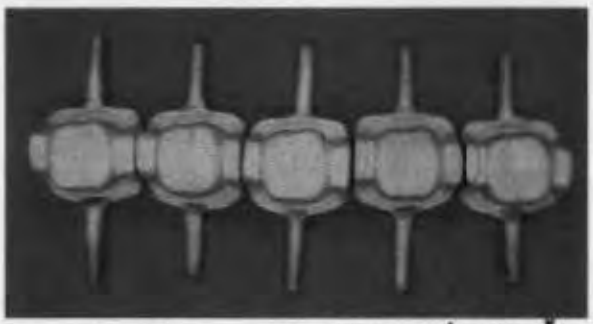
รูปที่ 63 แสดงแม่แบบหมายเลข 5

4. นำโครงขี้ผึ้งที่ถูกสร้างจากแม่แบบซิลิโคน ทั้ง 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น มาติดแท่งสำหรับจับยึดเพื่อดึงชิ้นงานออกก่อนนำไปเหวี่ยงโลหะโดยใช้โลหะนิกเกิล-โครเมียม ทำการกรอแก้ไขส่วนเกิน วัดความหนาแต่ละบริเวณให้ได้ขนาดที่กำหนด และทำความสะอาดพื้นผิวตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วจากนั้นนำไปลองในฟันหลักยึดรากเทียมจำลอง โดยใช้ฟีลเซ็กเกอร์และกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (ML 9300 ,MEIJI , Japan) กำลังขยาย 10

กรอแต่งด้านในด้วยหัวกรอจนโครงโลหะเนบสนิท (Castellani,1994; Andersson,1994; Kang,2002; Torrado,2004) และมีสัมผัสประชิดในกลุ่มที่ 3 และ 4 ตรวจสอบด้วยฟีดเช็กเกอร์ให้มีรูปร่างวงรี ขนาด 2x2.5 ม.ม. (รูปที่ 67-70)

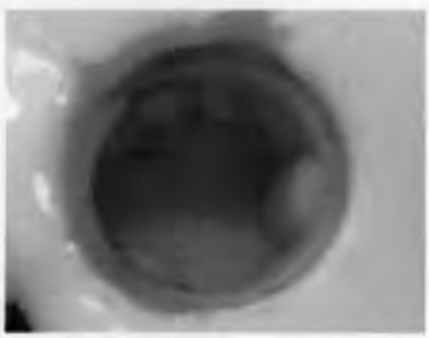
รูปที่ 64 แสดงโครงขี้ผึ้งทั้ง 4 กลุ่ม

รูปที่ 65 แสดงโครงโลหะทั้ง 4 กลุ่ม



รูปที่ 66 แสดง โครงโลหะแบบติดแท่งจับยึดเพื่อใช้ดึงชิ้นงานออก

รูปที่ 67 แสดง silicone disclosing medium



รูปที่ 68 แสดงการตรวจสอบความแนบสนิทของครอบฟัน

รูปที่ 69 แสดงกล้องจุลทรรศน์

รูปที่ 70 แสดงภาพความแนบสนิทของขอบครอบฟัน

5. เตรียมพื้นผิวโครงโลหะตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตโดยทำความสะอาดพื้นผิวด้วยไอน้ำ (Steam cleaner;Prrodent) แล้วเผาในเตาเผาพอร์ซเลนสูญญากาศ (Porcelain furnance ;KDF Master spirit 120) อุณหภูมิ 980 องศาเซลเซียส (อัตราเพิ่มอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส /นาที) นาน 5 นาที แล้วจึงนำโครงโลหะมาเป่าทรายด้วยผงขัดอลูมินัส-ออกไซด์ (Aluminous oxide) ขนาด 50 ไมครอน (Mini Sab2 ;UGin dentaire) ที่ความดัน 80 psi และระยะห่าง 10 ม.ม. เพื่อกำจัดชั้นออกไซด์ที่ผิวโลหะ จากนั้นทำความสะอาดในน้ำไหลและเครื่องทำความสะอาดด้วยความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleanser) ร่วมกับน้ำกลั่น 5 นาทีจากนั้นทำให้แห้ง เพื่อควบคุมชั้นออกไซด์ก่อนทำการพอกพอร์ซเลน (McLean,1980; Yamamoto,1990) (รูปที่ 71-73)

รูปที่ 71 แสดงเครื่อง stream cleaner

รูปที่ 72 แสดงเครื่องเป่าทราย Mini Sab 2

6. พอกชั้นพอร์ซเลนลงบนโครงโลหะต้นแบบ 2 ชิ้น ซึ่งพอร์ซเลนที่ใช้ในการทดลองนี้คือ Super Porcelain EX-3 (Noritake ,Novodent) (รูปที่ 74) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนเท่ากับ 12.0-13.0 x 10^{-6} /องศาเซลเซียส โดยชั้นแรกจะเป็นการทาโอเพคพอร์ซเลนชั้นแรกบนโครงโลหะ จากนั้นนำไปเผา ในเตาเผาพอร์ซเลนสูญญากาศ (Porcelain furnance ;KDF Master spirit 120) เพื่อไล่สิ่งสกปรกตกค้างบนผิวโครงโลหะให้ผ่านชั้นพอร์ซเลน ไปทำให้เกิดชั้นออกไซด์ที่มีความสำคัญในการสร้างพันธะเคมีระหว่างโครงโลหะกับพอร์ซเลน และช่วยหลอมอนุภาคของพอร์ซเลนเข้าด้วยกัน(sintering) เพื่อให้เกิดการยึดติดของโครงโลหะและชั้นพอร์ซเลน ขั้นตอนต่อมาทาโอเพคพอร์ซเลนชั้นที่สอง เพื่อบังสีของโลหะต่อจากนั้นทาพอร์ซเลนส่วนตัวฟันและพอร์ซเลนเคลือบฟัน โดยในขั้นตอนการพอกพอร์ซเลนจะทำการอัดแน่น (condensation) ด้วยเครื่องอิเล็คโทรนิคไวเบเตอร์ (Ceramsonic II ;Shofu ,Japan) และกำจัดของเหลวส่วนเกินโดยซับออกด้วยกระดาษทิชชู (McLean,1980; Yamamoto,1990) จนได้ครอบฟันที่มีขนาดชดเชยการหดตัว 10-20 % เมื่อเทียบกับขนาดตัวอย่างปกติ และครอบฟันอีกชิ้นที่มีขนาดชดเชยการ

หดตัว 20-40 % เมื่อเทียบกับขนาดตัวอย่างปกติ (ขั้นตอนการพอกพอร์ซเลนดังรูป 75) จากนั้นนำไปเผาตามอุณหภูมิของบริษัทผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งมี อุณหภูมิการเผาตามตาราง 2.4

	ทิ้งไว้ก่อนเผา (นาที)	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อัตราการให้ความร้อน (°C/นาที)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	คงอุณหภูมิไว้นาน (นาที)
ออกซิเดชั่น	8	600	55	980	1
พอร์ซเลนทึบแสงครั้งที่ 1	3	650	55	960	1
พอร์ซเลนทึบแสงครั้งที่2	5	650	55	950	0
เผาตัวฟันครั้งที่ 1	7	600	45	920	0
เผาตัวฟันครั้งที่ 2	7	600	45	910	0
เผาเคลือบ	5	-	50	-	0

ตาราง 2.4 แสดงอุณหภูมิและเวลาการเผาพอร์ซเลนในแต่ละชั้น

ภายหลังการเผา จะได้ชิ้นงานครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน ต้นแบบชิ้นที่ 1 ที่มีขนาดใหญ่กว่าชิ้นงานปกติ 10-20 % เพื่อใช้สร้างแม่แบบเรซิน หมายเลข 6 (รูปที่ 77) สำหรับตรวจสอบขนาดชิ้นงานขณะพอกพอร์ซเลนก่อนเผาของทุกกลุ่มตัวอย่าง (Yashinari,1994) และได้ชิ้นงานครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน ต้นแบบชิ้นที่ 2 ที่มีลักษณะรูปร่างถูกต้องของชิ้นงานปกติ นำมาวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนาครอบฟัน และนำไปตรวจสอบกับแม่แบบซิลิโคนรูปร่างครอบฟันเต็มซี่ หมายเลข 1 กรอปรับแต่งด้วยหัวกรอหินสำหรับกรอพอร์ซเลนและหัวกรอหินชนิดละเอียดขัดแต่งให้เรียบร้อย ล้างทำความสะอาดและนำไปผ่านกระบวนการเคลือบ (glaze) (Super porcelain EX-3,Novodent) หลังจากนั้นนำครอบฟันไปลองในแบบจำลองฟันหลักยึดรากเทียมที่มีสัมผัสประชิด ให้ครอบฟันเข้าตำแหน่งขอบแนบสนิทโดยรอบ ตรวจสอบด้วยฟีลเซ็กเกอร์ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์ชนิดเสตอริโอ กำลังขยาย 10 และมีสัมผัสประชิดกับแบบจำลองด้านข้างโดยใช้ฟีลเซ็กเกอร์ตรวจสอบ ให้มีลักษณะรูปวงรีขนาด 2x2.5 ม.ม. หลังจากนั้นนำครอบฟันพอร์ซเลนตัวอย่างมาสร้างแม่แบบ เรซิน หมายเลข 7 (รูปที่ 78) (Yashinari,1994) และแม่แบบโลหะโคบอลต์-โครเมียม หมายเลข 8 (รูปที่ 79) เพื่อตรวจสอบรูปร่างครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนภายหลังการเผาของทุกกลุ่ม (Castellani,1994)

รูปที่73 แสดงการเผาโครงโลหะในเครื่อง KDF Master spirit 120 ก่อนพอกพอร์ซเลน

รูปที่ 74 แสดง Super Porcelain EX-3 (Noritake,Novodent)

1. ทา โอเพค ชั้นที่ 1

2. ทา โอเพค ชั้นที่ 2

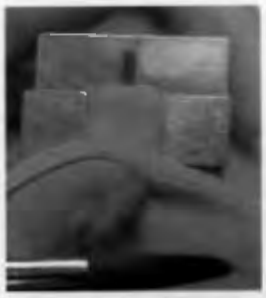
3. หลังเผาโอเพค

4. พอกส่วนพอร์ซเลนตัวฟัน

5. อัดแน่นด้วยเครื่องไวเบรเตอร์

6. ซับของเหลวด้วยทิชชู

7. พอกพอร์ซเลนเคลือบฟัน



8. ซับของเหลวด้วยทิชชู

9. คัดแบคพอร์ซเลน

10. พอกพอร์ซเลนโปร่งแสง จะได้ขนาดครอบฟันใหญ่กว่าปกติ

11. เผาพอร์ซเลนให้หดตัว

รูปที่ 75 แสดงวิธีการพอกพอร์ซเลนบนโครงโลหะ

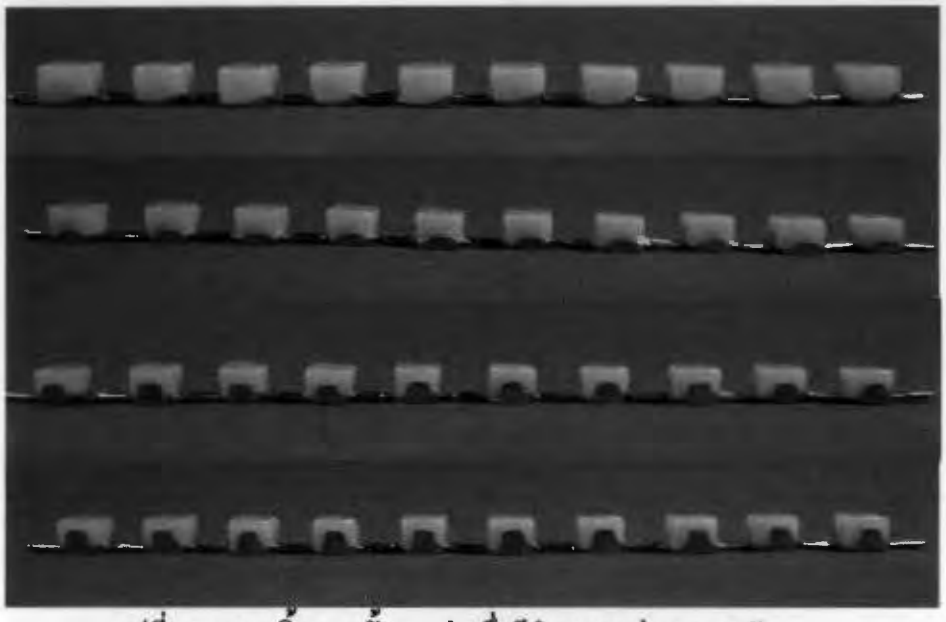
รูปที่ 76 แสดงครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนต้นแบบซึ่งมีความสูงโลหะด้านประชิด 5.5 มม.

รูปที่ 77 แสดงแม่แบบหมายเลข 6

รูปที่ 78 แสดงแม่แบบหมายเลข 7

รูปที่ 79 แสดงแม่แบบหมายเลข 8

รูปที่ 80 แสดงชิ้นงานครอบฟัน 4 กลุ่ม



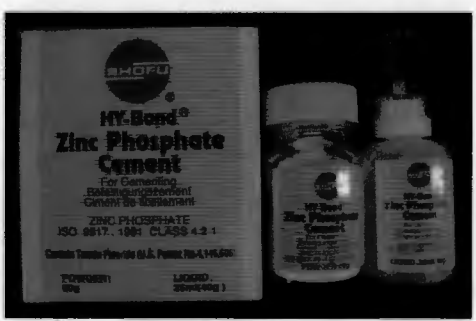
รูปที่ 81 แสดงชิ้นงานทั้ง 4 กลุ่ม ซึ่งมีจำนวนกลุ่มละ 10 ตัว

7. นำชิ้นงานทุกชิ้นมาลองในแบบจำลองฟันหลักยึดรากเทียม ที่มีสัมผัสประชิดกับแบบจำลองทางด้านข้าง ดังที่ได้กล่าวไปแล้วทุกชิ้น (รูปที่ 81)

ขั้นตอนการทดสอบค่าความต้านทานการแตกของพอร์ซเลนของครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน

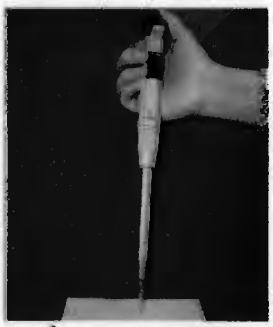
ก่อนที่จะทำการทดสอบ นำชิ้นงานที่ได้มาตรวจดู ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ กำลังขยาย 10 ว่ามีรอยร้าวในชิ้นงานหรือไม่ ถ้ามีให้ตัดออกไป ถ้าไม่มีนำชิ้นงานที่ได้ทำความสะอาดในน้ำไหลแล้วนำไปเขย่าความถี่เหนือเสียงนาน 5 นาที จากนั้นทำให้แห้ง นำชิ้นงานไปยึดบนแบบจำลองฟันหลักยึดรากเทียมที่มีสัมผัสประชิดแบบจำลองฟันด้านข้างเดียง ด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์(Hy-Bond,Shofu,Japan) โดยผสมซีเมนต์ตามอัตราส่วนและคำแนะนำที่บริษัทกำหนดไว้ ซึ่งจะมีอัตราส่วนผง : ส่วนเหลว 1.2 กรัม : 0.5 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แบ่งส่วนผงเป็นกองๆ แล้วเกลี่ยส่วนผงเข้าผสมทีละกอง ผสมเป็นวงกว้าง เป็นเวลา 90 วินาที จนได้ความหนืดตามต้องการ โดยการผสมบนแผ่นแก้วที่อุณหภูมิห้อง (23 องศาเซลเซียส , 50% Rh+/- 5%) ด้วยผู้ทดสอบคนเดียว จากนั้นทาซีเมนต์ด้วยแปรงสำเร็จรูป Ultrabrush plus (Microbrush corporation,WI,USA) ที่ด้านในของครอบฟันให้ทั่วและสม่ำเสมอ (รูปที่ 82-86)

จากนั้นทำให้ชิ้นงานเข้าที่โดยใช้แรงกดจากนิ้วมือ (finger pressure) ตามด้วย แรงกดจากเครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer model ASTM D 2240 ,Pacific transducer Co.,CA,U.S.A.) น้ำหนัก 5 กก. เป็นเวลา 10 นาที (Jorgensen,1960) เขี่ยซีเมนต์ส่วนเกินออกก่อนซีเมนต์ก่อตัวหลังจากนั้น นำชิ้นงานที่ได้มาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ กำลังขยาย 10 อีกครั้ง ว่ามีรอยร้าวหรือไม่ ถ้ามีให้ตัดออกจากการทดสอบ (รูปที่ 87-88) ถ้าไม่มีให้นำชิ้นงานที่ยึดอยู่บนแบบจำลอง เก็บไว้ในภาชนะที่มีความชื้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator รุ่น Contherm 160M ,Contherm Scientific Ltd. ,New Zealand) เป็นเวลา 1 ชม. (Craig,2002; Piwowarczyk,2001)



รูปที่ 82 แสดง ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์

รูปที่ 83 แสดงเครื่องชั่งผง



รูปที่ 84 แสดงปิเปต

รูปที่ 85 แสดงซีเมนต์ส่วนผงและเหลว

รูปที่ 86 แสดงแปรง Ultra brush และการทาซีเมนต์

รูปที่ 87 แสดงวิธีการกดชิ้นงานหลังซีเมนต์ด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์

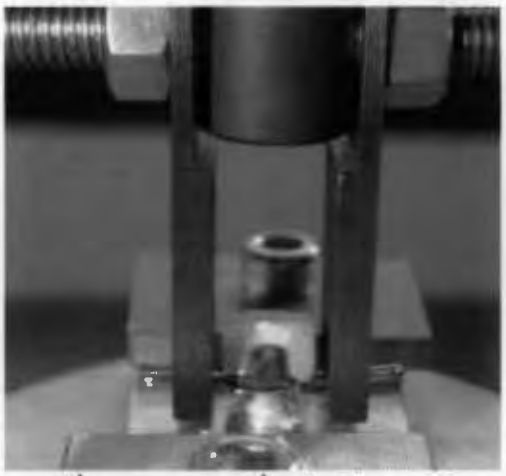
รูปที่ 88 แสดงภาพพอร์ซเลนที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ กำลังขยาย 10 ตรวจรอยร้าว

นำชิ้นงานที่ยึดบนแบบจำลองมาทดสอบแรงกดในแนวดิ่ง (vertical compressive load) โดยยึดบนแท่นทดสอบที่ยึดบนเครื่องทดสอบสากล Instron universal testing machine (รุ่น 8872,Instron,USA) ที่ใช้หัวกด (stanless steel cylinder holder with carbide pin rounded edges) เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 ม.ม. น้ำหนักสูงสุดของหัวกด 10 กิโลนิวตัน จากนั้นปรับตำแหน่งหัวกดลงที่กึ่งกลางในแนวด้านแก้ม-ลิ้น ของบริเวณสันริมฟันของชิ้นงานครอบฟันซึ่งเป็นด้านที่ถอดแท่งตัวแทนสัมผัสประชิดฟันด้านข้างออก เคลื่อนหัวกดด้วยความเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตรต่อนาที จนแตก ทำการบันทึกค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานแตก หน่วยเป็นนิวตัน จากนั้นนำชิ้นงานที่แตก มาตรวจดูตำแหน่งที่แตกด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ กำลังขยาย 10 (รูปที่ 89-90)

รูปที่ 89 แสดงเครื่อง Instron

รูปที่ 90 แสดงการกดของหัวกดบนชิ้นงาน

รูปที่ 91 แสดงเครื่อง Lloyd



รูปที่ 92 แสดงชุดเครื่องมือดึงครอบฟัน

ทุกครั้งที่ทำการทดสอบชิ้นงานใหม่จะทำการดึงชิ้นงานเก่าออก โดยใช้เครื่องมือดึงครอบฟันออกจากแบบจำลอง ด้วยเครื่อง LLOYD (LR10K,England) หลังจากนั้นทำการล้างซีเมนต์ออกจากชุดแบบจำลองฟันหลักรากเทียมสำหรับทดสอบ (รูปที่ 91-94) โดยใช้น้ำกลั่นร่วมกับเครื่องทำความสะอาดด้วยความถี่เหนือเสียง (Branson 5210, Bransonic ultrasonic cleanser Co.,Germany)

รูปที่ 93 แสดง ฟันหลักจำลองภายหลังการทดสอบ

รูปที่ 94 แสดงหัวกดภายหลังการทดสอบ

(ทั้งฟันหลักรากเทียมจำลองและหัวกดทดสอบ ไม่พบมีความเสียหายเกิดขึ้นภายหลังการทดสอบ)

ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการบันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานแตกของชิ้นงานทั้ง 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของเครื่อง Instron universal testing machine หลังจากนั้นนำข้อมูลที่บันทึกได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอส รุ่น 13.0 (SPSS version 13.0) วิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบพาราเมตริกซ์ ชนิด One-way Analysis of Variance (ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกลุ่มว่ามีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95