

เอกสารอ้างอิง

- ADA council on scientific affairs. (2003). Titanium applications in dentistry. **J Am Dent Assoc**, 134(3), 347-349.
- Adachi, M., Mackert, J. R., Jr., Parry, E. E., & Fairhurst, C. W. (1990). Oxide adherence and porcelain bonding to titanium and Ti-6Al-4V alloy. **J Dent Res**, 69(6), 1230-1235.
- Anusavice, K. J. (2003). **Phillips' Science Of Dental Materials**. 11th ed. St Louis: W. B. Saunders.
- Atsu, S., & Berksun, S. (2000). Bond strength of three porcelains to two forms of titanium using two firing atmospheres. **J Prosthet Dent**, 84(5), 567-574.
- Binns, D. (1983). **The chemical and physical properties of dental porcelain**. Chicago, IL: Quintessence.
- Boening, K. W., Walter, M. H., & Reppel, P. D. (1992). Non-cast titanium restorations in fixed prosthodontics. **J Oral Rehabil**, 19(3), 281-287.
- Brown, D. (1997). All you want to know about titanium, but were afraid to ask. **Br dent J**, 182, 398-399.
- Cai, Z., Bunce, N., Nunn, M. E., & Okabe, T. (2001). Porcelain adherence to dental cast CP titanium: effects of surface modifications. **Biomaterials**, 22(9), 979-986.
- Charalambides, P. G., Lund, J., Evans, A. G., & Mcmeeking, R. M. (1989). A test specimen for determining the fracture resistance of bimaterial interfaces. Cited in Suansuwan, N. (2001). **Application of strain energy release rate to characterize the adhesion at ceramic-metal interfaces**. Ph.D. thesis in Biomaterials Science, University of Sydney, Australia.
- Chung, H. G., Swain, M. V., & Mori, T. (1997). Evaluation of the strain energy release rate for the fracture of titanium-porcelain interfacial bonding. **Biomaterials**, 18(23), 1553-1557.
- Craig, R. G., & Powers, J. M. (2002). **Restorative Dental Materials**. 11th ed. St Louis: The C.V. Mosby.

- Decha-umpai, A. (2009). **The adhesion of dental porcelain to titanium surface modified with alumina and silica blasting under argon atmosphere.** Master thesis in prosthodontics, Graduate school, Khon Kaen University.
- DeHoff, P. H., Anusavice, K. J., & Wang, Z. (1995). Three-dimensional finite element analysis of the shear bond test. **Dent Mater**, 11, 126-131.
- Donachie, M. J. (1988). **Titanium: A Technical Guide.** Metal park, Ohio: Asm International
- Giordano, R. A. (1996). Dental ceramic restorative systems. **Compend Contin Educ Dent**, 17(8), 779-782, 784-776 passim; quiz 794.
- Hammad, I. A., & Talic, Y. F. (1996). Designs of bond strength tests for metal-ceramic complexes: review of the literature. **J Prosthet Dent**, 75(6), 602-608.
- Hirata, T., Nakamura, T., Takashima, F., Maruyama, T., Taira, M., & Takahashi, J. (2001). Studies on polishing of Ti and Ag-Pd-Cu-Au alloy with five dental abrasives. **J Oral Rehabil**, 28(8), 773-777.
- Hussaini, I. S., & Wazzan, K. A. (2005). Effect of surface treatment on bond strength of low-fusing porcelain to commercially pure titanium. **J Prosthet Dent**, 94(4), 350-356.
- Ida, K., Tani, Y., Tsutsumi, S., Togaya, T., Nambu, T., Suese, K., et al. (1985). Clinical application of pure titanium crowns. **Dent Mater J**, 4(2), 191-195.
- Jones, T. K., Hansen, C. A., Singer, M. T., & Kessler, H. P. (1986). Dental implications of nickel hypersensitivity. **J Prosthet Dent**, 56, 507-509.
- Kasemo, B. (1983). Biocompatibility of titanium implants: surface science aspects. **J Prosthet Dent**, 49(6), 832-837.
- Kimura, H., Horng, C. J., Okazaki, M., & Takahashi, J. (1990). Oxidation effects on porcelain-titanium interface reactions and bond strength. **Dent Mater J**, 9(1), 91-99.
- Kononen, M., & Kivilahti, J. (2001). Fusing of dental ceramics to titanium. **J Dent Res**, 80(3), 848-854.
- Lacy, A. M. (1977). The chemical nature of dental porcelain. **Dent Clin North Am**, 21(4), 661-667.
- Lautenschlager, E. P., & Monaghan, P. (1993). Titanium and titanium alloys as dental materials. **Int Dent J**, 43(3), 245-253.

- Mackert, J. R., Jr., Parry, E. E., Hashinger, D. T., & Fairhurst, C. W. (1984). Measurement of oxide adherence to PFM alloys. **J Dent Res**, 63(11), 1335-1340.
- McCracken, M. (1999). Dental implant materials: commercially pure titanium and titanium alloys. **J Prosthodont**, 8(1), 40-43.
- McLean, J. W., & Huges, T. H. (1965). The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. **Br Dent J**, 251-267.
- McLean, J. W., & Wilson, A. D. (1980). Butt joint versus bevelled gold margin in metalceramic crowns. **J Biomed Mater Res**, 14(3), 239-250.
- Mori, T. (1993). Titanium. A review of investments for high temperature casting. **Aust Prosthodont J**, 7, 31-34.
- Naylor, W. (Eds.) (1992). **Introduction to Metal Ceramic Technology**. Illinois: Quintessence.
- O'Brien, W. J. (2000). Strengthening mechanisms of current dental porcelains. **Compend Contin Educ Dent**, 21(8), 625-630; quiz 632.
- Pang, I. C., Gilbert, J. L., Chai, J., & Lautenschlager, E. P. (1995). Bonding characteristics of low-fusing porcelain bonded to pure titanium and palladium-copper alloy. **J Prosthet Dent**, 73(1), 17-25.
- Papadopoulos, T., Tsetsekou, A., & Eliades, G. (1999). Effect of aluminium oxide sandblasting on cast commercially pure titanium surfaces. **Eur J Prosthodont Restor Dent**, 7(1), 15-21.
- Parr, G. R., Gardner, L. K., & Toth, R. W. (1985). Titanium: the mystery metal of implant dentistry. Dental materials aspects. **J Prosthet Dent**, 54(3), 410-414.
- Probster, L., Maiwald, U., & Weber, H. (1996). Three-point bending strength of ceramics fused to cast titanium. **Eur J Oral Sci**, 104(3), 313-319.
- Rosenblum, M. A., & Schulman, A. (1997). A review of all-ceramic restorations. **J Am Dent Assoc**, 128(3), 297-307.
- Sadeq, A., Cai, Z., Woody, R. D., & Miller, A. W. (2003). Effects of interfacial variables on ceramic adherence to cast and machined commercially pure titanium. **J Prosthet Dent**, 90(1), 10-17.



- Schmitz, K., & Schulmeyer, H. (1975). Determination of the adhesion of dental metal-porcelain bonding systems. **Dent Labor**, 23(12), 1416-1420.
- Suansuwan, N., & Swain, M. V. (1999). New approach for evaluating metal-porcelain interfacial bonding. **Int J Prosthodont**, 12(6), 547-552.
- Suansuwan, N., & Swain, M. V. (2003). Adhesion of porcelain to titanium and a titanium alloy. **J Dent**, 31(7), 509-518.
- Taira, M., Moser, J. B., & Greener, E. H. (1989). Studies of Ti alloys for dental castings. **Dent Mater**, 5(1), 45-50.
- Tholey, M. J., Waddell, J. N., & Swain, M. V. (2007). Influence of the bonder on the adhesion of porcelain to machined titanium as determined by the strain energy release rate. **Dent Mater**, 23(7), 822-828.
- Togaya, T., Kuwara, Y., Tsutsumi, S., Tani, Y., Ohyagi, S., Hiroshi, S., et al. (1992). Aluminous cement bonded magnesia investment for titanium casting. **J Jap Soc Dent mater Device**, 11(special issue), 264-265.
- Togaya, T., Suzuki, M., Tsutsumi, S., & Ida, K. (1983). An application of pure titanium to the metal porcelain system. **Dent Mater J**, 2(2), 210-219.
- Troia, M. G., Jr., Henriques, G. E., Mesquita, M. F., & Fragoso, W. S. (2008). The effect of surface modifications on titanium to enable titanium-porcelain bonding. **Dent Mater**, 24(1), 28-33.
- Wang, R. R., & Fenton, A. (1996). Titanium for prosthodontic applications: a review of the literature. **Quintessence Int**, 27(6), 401-408.
- Wang, R. R., & Fung, K. K. (1997). Oxidation behavior of surface-modified titanium for titanium-ceramic restorations. **J Prosthet Dent**, 77(4), 423-434.
- Wang, R. R., Welsch, G. E., & Monteiro, O. (1999). Silicon nitride coating on titanium to enable titanium-ceramic bonding. **J Biomed Mater Res**, 46(2), 262-270.
- Wataha, J. C. (2002). Alloys for prosthodontic restorations. **J Prosthet Dent**, 87(4), 351-363.
- Yamada, K., Onizuka, T., Endo, K., Ohno, H., & Swain, M. V. (2005). The influence of Goldbonder and pre-heat treatment on the adhesion of titanium alloy and porcelain. **J Oral Rehabil**, 32(3), 213-220.

Yamada, K., Onizuka, T., Sumii, T., & Swain, M. V. (2004). The effect of Goldbond on the adhesion between porcelain and pure titanium. **J Oral Rehabil**, 31(8), 775-784.

Yamamoto, M. (1985). **Metal-Ceramics Principles and Methods of Makoto Yamamoto**. Illinois: Quintessence.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลจากการทดสอบด้วยวิธีกดตัด 4 จุด

ตารางที่ 8 ค่าแรงเฉลี่ย (*P*) ที่ใช้ในการขยายรอยแตกในการทดสอบของแต่ละชั้นทดลอง

กลุ่มที่ 1		กลุ่มที่ 2		กลุ่มที่ 3		กลุ่มที่ 4	
ชั้น ทดลองที่	<i>P</i> (N)	ชั้น ทดลองที่	<i>P</i> (N)	ชั้น ทดลองที่	<i>P</i> (N)	ชั้น ทดลองที่	<i>P</i> (N)
1	43.6421762	1	55.7069778	1	62.2084999	1	63.3529781
2	53.5326280	2	53.5660629	2	50.7724285	2	51.1439534
3	42.6112576	3	53.8976405	3	62.0954990	3	40.9787658
4	35.6778791	4	50.9197548	4	61.9791870	4	53.5823988
5	48.5915389	5	60.6161745	5	77.2610215	5	62.2704604
6	47.2397333	6	53.6898782	6	51.5992813	6	58.5583076
7	61.2010127	7	41.4155807	7	47.8859647	7	53.1891257
8	40.6307651	8	34.5177009	8	43.5115585	8	51.0739419
9	45.8793640	9	59.7281106	9	47.7201462	9	45.9249420
10	38.8202209	10	37.9076403	10	32.5758972	10	42.3772067

ภาคผนวก ข
การคำนวณค่า G

ตารางที่ 9 ค่า Strain enegy release rate (G) ของแต่ละชั้นทดลอง

กลุ่มที่ 1		กลุ่มที่ 2		กลุ่มที่ 3		กลุ่มที่ 4	
ชั้น	G	ชั้น	G	ชั้น	G	ชั้น	G
ทดลองที่	(J/m ²)	ทดลองที่	(J/m ²)	ทดลองที่	(J/m ²)	ทดลองที่	(J/m ²)
1	7.654315	1	10.14126	1	11.68960	1	16.09599
2	7.949122	2	12.96282	2	13.18419	2	11.82810
3	8.991574	3	22.82175	3	21.64703	3	10.51551
4	8.952306	4	18.32593	4	22.57239	4	14.51854
5	12.26058	5	16.58463	5	20.81171	5	15.11336
6	8.031184	6	22.32476	6	11.88153	6	14.68417
7	13.17384	7	11.42485	7	15.59343	7	21.75953
8	12.61940	8	9.698966	8	10.57506	8	13.27327
9	14.26057	9	19.92946	9	18.79694	9	20.76171
10	15.22713	10	11.86743	10	9.771566	10	17.04152

$$G = \frac{\eta(P^2 l^2 (1 - \nu_m^2))}{E_m b^2 h^3}$$

- P หมายถึง

ค่าแรงที่ได้จากการทดสอบ
- l หมายถึง

ค่าระยะทางระหว่างจุดกดคู่ในกับจุดกดคู่ นอก ในแต่ละเส้น
- ν_m หมายถึง

ค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio) ของไทเทเนียม
- E_m หมายถึง

ค่าอีลาสติคมอดุลัส (Elastic modulus) ของไทเทเนียม
- b หมายถึง

ความกว้างของชั้นทดลอง
- h หมายถึง

ความหนาทั้งหมดของชั้นทดลอง
- η หมายถึง

ค่าคงที่ได้จากการคำนวณ ดังสมการที่ 4

ตารางที่ 10 ค่าคงที่ (η) ของแต่ละชั้นทดลอง

กลุ่มที่ 1		กลุ่มที่ 2		กลุ่มที่ 3		กลุ่มที่ 4	
ชั้นทดลองที่	η	ชั้นทดลองที่	η	ชั้นทดลองที่	η	ชั้นทดลองที่	η
1	5.47174282	1	4.71601686	1	3.73907769	1	5.25686969
2	3.36386179	2	5.42856488	2	5.56318435	2	5.03246243
3	5.25686969	3	9.59952036	3	6.72253884	3	6.29994145
4	7.83784571	4	8.08638455	4	7.58290562	4	5.92853659
5	5.92000990	5	5.23170892	5	4.66922549	5	4.92356548
6	4.18745121	6	8.86759257	6	5.60363089	6	5.95686379
7	4.02398274	7	8.07347485	7	7.39023954	7	7.88106067
8	8.36035987	8	9.59952036	8	6.72253884	8	5.56318435
9	7.59826724	9	6.11467239	9	9.89857904	9	9.79570233
10	9.48998652	10	8.65072789	10	9.13031527	10	9.53798030

$$\eta = \frac{3}{2} \left\{ \frac{1}{\left(\frac{h_m}{h}\right)^3} - \frac{\lambda}{\left(\left(\frac{h_p}{h}\right)^3 + \lambda \left(\frac{h_m}{h}\right)^3 + 3\lambda \left(\frac{h_p h_m}{h}\right) \left(\frac{h_p}{h} + \frac{\lambda h_m}{h}\right)^{-1}\right)} \right\}$$

- h_m หมายถึง

ความหนาของชั้นไทเทเนียมของชั้นทดลอง
- h_p หมายถึง

ความหนาของชั้นพอร์ซเลนของชั้นทดลอง
- h หมายถึง

ความหนาทั้งหมดของชั้นทดลอง
- λ หมายถึง

ค่าคงที่ได้จากการคำนวณ ดังสมการที่ 5

การคำนวณค่า λ จากสูตร

$$\lambda = \frac{E_m (1 - \nu_p^2)}{E_p (1 - \nu_m^2)}$$

$$\lambda = \frac{107.2 (1 - 0.2^2)}{66.3 (1 - 0.3^2)}$$

$$\lambda = 1.7057$$

E_m หมายถึง	ค่าอีลาสติคโมดูลัส (Elastic modulus) ของไทเทเนียม
E_p หมายถึง	ค่าอีลาสติคโมดูลัส (Elastic modulus) ของพอร์ซเลน
ν_m หมายถึง	ค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio) ของไทเทเนียม
ν_p หมายถึง	ค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio) ของพอร์ซเลน

ภาคผนวก ค
การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์



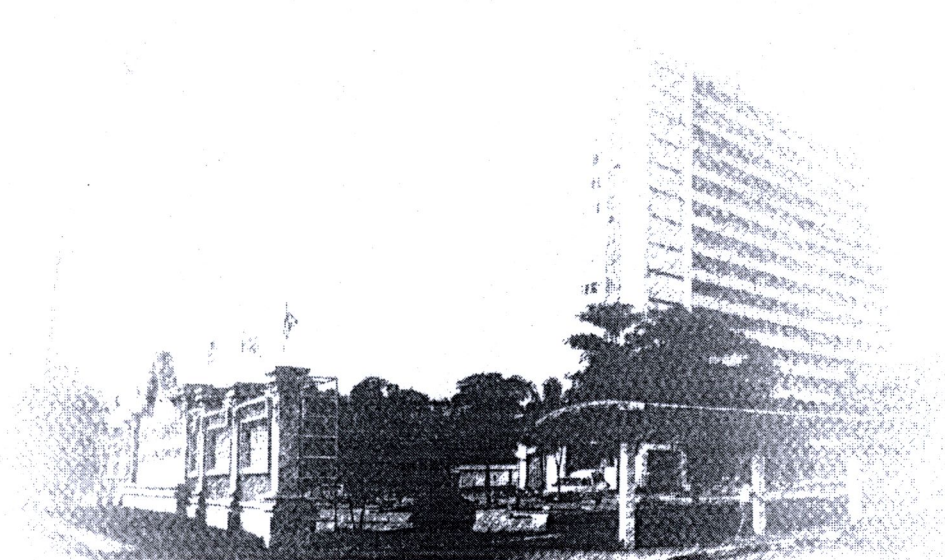
PROCEEDINGS

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๗

The 17th National Graduate Research Conference

และ การสัมมนาวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ชุมชน ครั้งที่ ๕

๒๕ มิถุนายน ๒๕๕๓ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์



บัณฑิตวิทยาลัย และสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

การเสนอผลงานวิจัยแบบโปสเตอร์ กลุ่ม.....วิทยาการสุขภาพ.....ห้อง.....บริเวณห้องโถง ห้องประชุมพุทธรักษา ชั้น 3.....

ลำดับที่	ชื่อผู้นำเสนอผลงาน	ระดับ	สาขาวิชา	ชื่องานวิจัย
P-HS-01	นางสาวประภาพร สุนทรศิริ	ป.โท	โภชนศาสตร์เพื่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ภาวะโภชนาการของผู้ป่วยมะเร็งที่ได้รับเคมีบำบัด ศูนย์มะเร็งอุดรธานี Nutrition Status of Cancer Patients Undergoing Chemotherapy Udonthani Regional Cancer Center
P-HS-02	นายยุทธนา อินทรหนองไผ่	ป.โท	ทันตกรรมประดิษฐ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผลการยึดติดระหว่างพอร์ซเลนและไทเทเนียมที่ผิวภายใต้บรรยากาศอาร์กอน The effect of sintering under argon atmosphere on the adhesion between dental porcelain and titanium
P-HS-03	นางสาววิญญา สุพัฒน์งามนธ์	ป.โท	ทันตกรรมประดิษฐ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	การเปรียบเทียบสมบัติด้านสีของกระเบื้องเคลือบโลหะผสมที่ทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดและการเผากระเบื้องเคลือบด้วยวิธีการเผาเคลือบแบบดั้งเดิม Comparison of color parameter of pressed on and conventional veneered porcelain to metal alloy

ผลการยึดติดระหว่างพอร์ซเลนและไทเทเนียมที่เผาภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

THE EFFECT OF SINTERING UNDER ARGON ATMOSPHERE ON THE ADHESION BETWEEN DENTAL PORCELAIN AND TITANIUM

ยุทธนา อินทรทองไฟ / ผศ.ดร.ภา สุโข

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีความพยายามที่จะนำไทเทเนียมมาใช้ในงานฟันเทียมชนิดติดแน่น แต่ปัญหาที่พบการยึดติดระหว่างไทเทเนียมและพอร์ซเลนมีค่าต่ำ จึงมีผู้คิดหาวิธีการต่างๆ เพื่อให้การยึดติดระหว่างไทเทเนียมกับพอร์ซเลนดีขึ้น แต่ยังไม่มีพบวิธีที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้ วัตถุประสงค์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการยึดติดระหว่างไทเทเนียมกับพอร์ซเลนเมื่อเผาในบรรยากาศอาร์กอนในระยะเวลาต่างกัน โดยวัดค่าการยึดติดในรูปของค่า strain energy release rate หรือค่า G (G -value) วิธีการวิจัย เหวี่ยงโลหะไทเทเนียมเป็นแผ่นขนาดประมาณกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตรหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 40 ชิ้น ชักผิวด้านที่จะยึดติดกับพอร์ซเลนด้วยกระดาษทรายน้ำ แล้วทาด้วยสารกัดผิวซึ่งมีส่วนผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% 60 มิลลิลิตร กรดไฮโดรฟลูออริก 40% 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 วินาทีแล้วล้างน้ำ หลังจากนั้นเป่าด้วยผงอะลูมินาขนาด 110 ไมครอนและทาผิวด้วยสารขัด โดยทั้งหมดทำในบรรยากาศอาร์กอน แบ่งชิ้นทดลองออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 10 ชิ้น โดยกลุ่มที่ 1 นำไปเผาในบรรยากาศปกติแล้วเคลือบผิวด้วยโอเพกและเดนทินพอร์ซเลนและเผาตามที่บริษัทกำหนดในบรรยากาศปกติ ส่วนที่เหลือนำไปเผาในบรรยากาศอาร์กอน หลังจากนั้นสร้างชั้นโอเพกและเดนทินพอร์ซเลนสำหรับกลุ่มที่ 2 และเผาในบรรยากาศปกติ ส่วนกลุ่มที่ 3 สร้างชั้นพอร์ซเลนในลักษณะเดียวกันแต่เผาในบรรยากาศอาร์กอนถึงชั้นโอเพกพอร์ซเลน ส่วนชั้นเดนทินพอร์ซเลนเผาในบรรยากาศปกติ กลุ่มที่ 4 เผาในบรรยากาศอาร์กอนทุกชั้นตอน จากนั้นนำขึ้นทดลองทั้งหมดมาขัดแต่งผิวให้เรียบและมีความหนาที่เท่ากันตลอด นำไปบากร่องด้านพอร์ซเลนลึกถึงผิวโลหะตามแนวขวางบริเวณกึ่งกลางชิ้นงานและใช้อุปกรณ์ตัดให้เกิดรอยร้าวแตกซึ่งชั้นตอนนี้ใช้น้ำมันก๊าดเคลือบขึ้นทดลองเพื่อป้องกันรอยแตกสัมผัสความชื้น จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) ในลักษณะการกดคด 4 จุด (Four-point bending) บันทึกค่าแรงเพื่อนำมาคำนวณค่า G ผลการศึกษา ได้ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม 1,2,3,4 ตามลำดับดังนี้คือ $10.90 \pm 2.87 \text{ J/m}^2$, $15.60 \pm 5.02 \text{ J/m}^2$, $15.67 \pm 4.87 \text{ J/m}^2$ และ $15.57 \pm 3.59 \text{ J/m}^2$ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแล้วเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบ Bonferroni พบว่าทุกกลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) สรุปผลการวิจัย ภายใต้ข้อจำกัดของ

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 17

และการสัมมนาวิชาการเพื่อเผยแพร่งานวิจัยสู่ชุมชน ครั้งที่ 5

การศึกษานี้พบว่าการยึดติดระหว่างไทเทเนียมกับพอร์ซเลนที่เกิดจากการเผาขึ้นทดลงในบรรยากาศอาร์กอนในระยะต่างๆกัน มีค่าไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: ไทเทเนียม, พอร์ซเลน, การยึดติด, บรรยากาศอาร์กอน, งานฟันปลอม

ABSTRACT

Nowadays there were attempts to use titanium for porcelain-fused-to-metal restorations in fixed prosthodontics. The problems occurred was the adhesion between titanium and porcelain was low. Many methods were therefore applied to improve the adhesion but they have not been solved. **Objective:** The study aimed to determine the adhesion between titanium and porcelain after firing under argon atmosphere at different stages. The adhesion was determined in terms of the strain energy release rate (G -value). **Materials and methods:** Forty titanium plates were cast and ground to a rectangular form of 8 mm. x 30 mm. x 1 mm. with silicon carbide paper. The bonding surface of titanium plate was etched with a mixture of 40% hydrofluoric acid 10 ml, 30% hydrogen peroxide 60 ml and distilled water 30 ml for 30 seconds and then rinsed with water. It was then blasted with 110 μ m alumina powder, cleaned in distilled water and applied with the bonder. The procedures were undertaken in argon atmosphere. All samples were divided into four groups. The samples in Group I, which were already applied with the bonder, were fired then applied with opaque and dentin porcelain and fired step by step conventionally. The rest of the samples were fired in argon atmosphere. In Group II the samples were then applied with opaque and dentin porcelain and fired step by step conventionally. Group III and IV samples were fired in argon atmosphere, applied with opaque porcelain and fired in argon atmosphere, and after applying dentin porcelain, only the Group IV samples were fired in argon atmosphere. The samples in all groups were ground to achieve the desired shape and size. They were then notched on the porcelain side across the width at the center and pre-crack was created. Kerosene was used during notching and pre-cracking to prevent the interface to contact with water or moisture in air. The notched samples were subjected to four-point bending force in a universal testing machine. The loading data were collected for G -value calculation. **Results:** the means and standard deviation of G -value for group I,II,III,IV were $10.90 \pm 2.87 \text{ J/m}^2$, $15.60 \pm 5.02 \text{ J/m}^2$, $15.67 \pm 4.87 \text{ J/m}^2$, $15.57 \pm 3.59 \text{ J/m}^2$ respectively. Findings from one-way ANOVA and Bonferroni test showed that the mean of G -value of all groups were not significantly

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 17
และการสัมมนาวิชาการเพื่อเผยแพร่งานวิจัยสู่ชุมชน ครั้งที่ 5



different ($p < 0.05$). **Conclusions:** Within the limitation of the study, it could be concluded that the adhesion between titanium and porcelain when firing the titanium-porcelain samples in argon atmosphere at the different stages were not significantly different.

Keywords: titanium, porcelain, adhesion, argon atmosphere, fixed prosthodontics

บทนำ

ในงานทันตกรรมประดิษฐ์ การบูรณะฟันด้วยครอบฟันที่ใช้โลหะร่วมกับพอร์ซเลนเป็นที่นิยมและใช้กันมากเนื่องจากพอร์ซเลนมีความสวยงามที่คล้ายคลึงกับฟันธรรมชาติและมีความแข็งแรงจากโลหะ แต่ครอบฟันชนิดนี้มีข้อควรคำนึงที่สำคัญคือการยึดติดระหว่างโลหะและพอร์ซเลน ซึ่งเกี่ยวข้องกับชั้นของออกไซด์ที่อยู่ระหว่างโลหะกับพอร์ซเลน เนื่องจากถ้าชั้นออกไซด์หนามากเกินไปจะมีผลทำให้การยึดติดล้มเหลวได้เพราะชั้นออกไซด์มีความเปราะและไม่แข็งแรงเกิดการแตกหักได้ (Wataha, 2002) ซึ่งจะทำให้ชั้นพอร์ซเลนแยกตัวจากโลหะ โดยทั่วไปโลหะที่ใช้คือทองผสมหรือทองขาวผสมซึ่งมีราคาสูง จึงมีความคิดที่จะนำโลหะไทเทเนียมซึ่งมีราคาถูกกว่ามาทดแทน เนื่องจากไทเทเนียมมีคุณสมบัติที่เข้ากับเนื้อเยื่อได้เป็นอย่างดี ความทนทานต่อการสึกกร่อน มีความแข็งแรงสูง แต่มีข้อด้อยคือไทเทเนียมจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดชั้นออกไซด์ที่หนามาก จึงมีผลทำให้การยึดติดระหว่างไทเทเนียมและพอร์ซเลนไม่แข็งแรง (Lautenschlager & Monaghan, 1993; Wang & Fenton, 1996; Wang & Fung, 1997)

ปัญหาสำคัญของการยึดติดระหว่างพอร์ซเลนและไทเทเนียม ชั้นออกไซด์ของไทเทเนียมจะหนาขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส ดังนั้นจำเป็นต้องใช้พอร์ซเลนชนิดพิเศษที่หลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800 องศาเพื่อให้เกิดการยึดติดโดยชั้นออกไซด์ไม่หนามากเกินไป (Pang *et al.*, 1995) และมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการปรับปรุงผิวไทเทเนียมก่อนการเคลือบชั้นพอร์ซเลนเพื่อส่งเสริมให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้น เช่นการขัดผิวไทเทเนียมด้วยผงอลูมินา (Papadopoulos, Tsetsekou, & Eliades, 1999) การใช้กรดกัดผิวโลหะสามารถช่วยเพิ่มการยึดติดได้เช่นกัน (Cai *et al.*, 2001) การเป่าทรายร่วมกับการใช้กรดกัดผิวไทเทเนียมก่อนทาสารยึดติด (Bonding agent) (Al Hussaini & Al Wazzan, 2005) การใช้สารยึดติดชนิดทอง (Gold bonderTM) (I 2003; Yamada *et al.*, 2005) การเผาพอร์ซเลนในสภาพแวดล้อมของก๊าซอาร์กอน (Atsu & Berksun, 2000) จากการศึกษาของซาเดคและคณะ (Sadeq *et al.*, 2003) พบว่าการเคลือบผิวไทเทเนียมด้วยทองคำก่อนการเคลือบชั้นพอร์ซเลนและเผาในสภาพแวดล้อมที่มีก๊าซอาร์กอนแทนที่ก๊าซออกซิเจน การยึดติดของพอร์ซเลนกับไทเทเนียมดีขึ้น เนื่องจากการเกิดชั้นออกไซด์ของไทเทเนียมน้อยลงได้ หรือการเคลือบผิวด้วยซิลิกอนไนไตรด์ (Wang, Welsch, & Monteiro, 1999) เพราะซิลิกาและอลูมินาซึ่งเป็นส่วนประกอบในพอร์ซเลนเป็นสารที่ทำ

ปฏิกิริยากับออกไซด์ของโลหะทำให้เกิดการยึดติดเกิดขึ้น แต่ผลการศึกษากการยึดติดเทียบกับโลหะทองกับพอร์ซเลนซึ่งเป็นโลหะที่ใช้มาดั้งเดิมยังไม่ชัดเจน

ในทางอุตสาหกรรมอาร์กอนถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเชื่อมตัดโลหะเนื่องจากอาร์กอนเป็นก๊าซเฉื่อย ดังนั้นจึงนิยมใช้อาร์กอนเป็นก๊าซปกคลุมในระหว่างเชื่อมเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานสัมผัสกับอากาศ อาร์กอนเป็นก๊าซเฉื่อยซึ่งเป็นก๊าซที่พบในบรรยากาศประมาณ 0.94% รองจากไนโตรเจน และออกซิเจน อาร์กอนไม่มีสีไม่มีกลิ่นและไม่เป็นพิษ จึงเกิดแนวคิดในการเตรียมชั้นทกอลง ซึ่งเคลือบชั้นพอร์ซเลนด้วยวิธีตามปกติและการเผาในบรรยากาศอาร์กอนซึ่งเป็นสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย โดยคาดว่าจะมีผลในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดชั้นออกไซด์ของโลหะไทเทเนียมที่บางทำให้การยึดติดระหว่างไทเทเนียมและพอร์ซเลนแข็งแรงมากขึ้น

ในการทดสอบการยึดติดของโลหะกับพอร์ซเลนสามารถออกแบบการทดสอบได้หลายลักษณะ เช่น ทดสอบด้วยแรงเฉือน (Shear test) ทดสอบด้วยแรงดึง (Tensile test) ทดสอบด้วยแรงเฉือนร่วมกับแรงดึง ทดสอบแรงบิดหมุน (Torsion test) หรือทดสอบด้วยแรงดัด (Bend, flexure test) (Hammad & Talic, 1996) อย่างไรก็ตามการทดสอบการยึดติดส่วนมากจะสัมพันธ์กับแรงที่กระทำกับระนาบพื้นผิวและระดับแรงที่กระทำ ทำให้วัดค่าความแข็งแรงการยึดอยู่ที่ไม่แท้จริงได้ยาก ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นที่แตกต่างกันของโลหะและพอร์ซเลนจะมีผลต่อการทดสอบ ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบกับโลหะและพอร์ซเลนที่ต่างระบบกันได้ (Chung, Swain, & Mori, 1997) Caputo และคณะ (1977) รายงานว่าการทดสอบด้วยวิธีการให้แรงลงสี่จุด (Four-point loading test) จะไม่เกิดแรงเฉือนและแรงดึงที่เกิดจากการแตก เนื่องจากมีการทำให้เกิดรอยแตกระหว่างพอร์ซเลนและโลหะเป็นแนวนำทางไว้ก่อน เครื่องมือสามารถประดิษฐ์ได้ง่ายและความหนาของพอร์ซเลนและโลหะจำลองสภาพใกล้เคียงกับสภาพในคลินิก และจากการศึกษาของ Chung และคณะ (1997) สรุปได้ว่าการทดสอบการทนทานต่อการเกิดรอยแตกระหว่างชั้นวัสดุสองชนิดสามารถใช้ในการวัดค่าการยึดติดระหว่างพื้นผิวพอร์ซเลนและไทเทเนียมได้ โดยเรียกค่าดังกล่าวว่า Strain energy release rate (G) ดังนั้นการทดสอบและวัดค่าความแข็งแรงด้วยวิธีนี้ความแตกต่างของโลหะไทเทเนียมและพอร์ซเลนจึงไม่มีผลต่อการวัดค่าในการทดสอบ

วัตถุประสงค์/ คำถามวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามูลการยึดติดระหว่างไทเทเนียมกับพอร์ซเลนเมื่อเผาในบรรยากาศอาร์กอนในระยะเวลาต่างกัน

H_0 : ค่าเฉลี่ยของ Strain energy release rate (G -value) ระหว่างไทเทเนียมกับพอร์ซเลนในการเผาขึ้นต่างๆในบรรยากาศอาร์กอนและบรรยากาศปกติไม่แตกต่างกัน

H_A: ค่าเฉลี่ยของ Strain energy release rate (*G*-value) ระหว่างไทเทเนียมกับพอร์ซเลน ในการเผาขึ้นต่างๆ ในบรรยากาศอาร์กอนและบรรยากาศปกติแตกต่างกัน

วิธีการวิจัย

เตรียมชิ้นไทเทเนียมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 8 X 30 X 1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จำนวน 40 ชิ้น ด้วยการเหวี่ยงจากโลหะไทเทเนียม (Commercially pure titanium, J3, J.Morita Corp., Japan) ขัดแต่งผิวไทเทเนียมให้เรียบด้วยกระดาษทรายน้ำ จากนั้นปรับผิวไทเทเนียมภายใต้บรรยากาศอาร์กอน โดยใช้สารกัดผิวซึ่งเป็นส่วนผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) 30% 60 มิลลิลิตร, กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) 40% 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตรเป็นเวลา 30 วินาที ล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วเป่าด้วยผงอลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 110 ไมครอน ที่ความดัน 3 บาร์ ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นทิ้งไว้แห้งแล้วทาสารยึด (Bonding agent) เพื่อเตรียมเผาในขั้นตอนต่อไปโดยสุ่มเลือกชิ้นทดลองแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆละ 10 ชิ้น

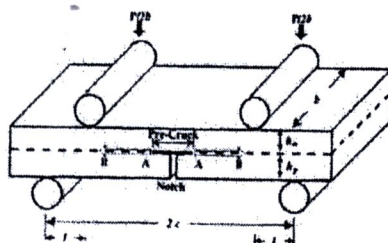
ชิ้นทดลองกลุ่มที่ 1 นำไปเผาภายใต้บรรยากาศปกติ จากนั้นสร้างชั้นพอร์ซเลน (Vita Titakeramik) ตามลำดับคือโอเพกและเดนทินและเผาในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิตามที่บริษัทกำหนด

ชิ้นทดลองกลุ่มที่ 2 นำไปเผาภายใต้บรรยากาศอาร์กอน จากนั้นสร้างชั้นโอเพกและเดนทิน พอร์ซเลนและเผาที่อุณหภูมิตามที่บริษัทกำหนดในบรรยากาศปกติ

ชิ้นทดลองกลุ่มที่ 3 นำไปเผาและสร้างชั้นโอเพกพอร์ซเลนและเผาภายใต้บรรยากาศอาร์กอน จากนั้นสร้างชั้นเดนทินพอร์ซเลนและเผาในบรรยากาศปกติ

ชิ้นทดลองกลุ่มที่ 4 นำไปเผาและสร้างชั้นพอร์ซเลนและเผาภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

หลังจากนั้นนำไปทำรอยร้าวแตก (Pre-cracked) โดยใช้ Rotary diamond-cutting blade กรอชั้นพอร์ซเลนบริเวณกึ่งกลางชิ้นทดลอง คลอดตามแนวขวางให้เกิดเป็นร่องลึกจนถึงชั้นโลหะและกว้างประมาณ 0.4 มิลลิเมตรใช้น้ำมันก๊าดหล่อขณะตัด แล้วใช้ Special bending jig คัดชิ้นทดลองโดยใช้แผ่นยางรองชิ้นทดลอง แล้วหมุนสกรูที่ละน้อยจนกระทั่งเกิดรอยแยกระหว่างชั้นพอร์ซเลนกับชั้นไทเทเนียม นำชิ้นทดลองไปทดสอบในลักษณะกดตัด 4 จุด (Four-point bending jig) ในเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine)



ภาพ 1 ลักษณะการกดคด 4 จุด (Four-point bending)

ใช้หัวกดในอัตราเร็ว 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที ให้เกิดรอยแตกขยายกว้างออกไปจนกระทั่งถึงแท่งกลมด้านใน ทำการบันทึกค่าแรงที่ใช้และระยะทางของหัวกดจากเครื่องเพื่อนำไปคำนวณหาค่า Strain energy release rate (G -value)

$$G = \frac{\eta[P^2 l^2 (1 - \nu_m^2)]}{E_m b^2 h^3} \quad (1)$$

P คือ แรงเฉลี่ยที่กด

η คือ ค่าต่างของ modulus ระหว่างพอร์ซเลนและไทเทเนียม

l คือ ระยะห่างระหว่างแท่งกลมข้างในกับข้างนอก

ν_m และ E_m คือ poisson's ratio และ elastic modulus ของโลหะ

b คือ ความกว้างของชิ้นทดลอง

h คือ ความหนาของชิ้นทดลอง

โดยค่า η คำนวณจากสูตร

$$\eta = \left(\frac{3}{2}\right) \left[\frac{1}{(h_m/h)^3} - \frac{\lambda}{((h_p/h)^3 + \lambda(h_m/h)^3 + 3\lambda(h_p h_m/h^2)((h_p/h) - (\lambda h_m/h))^{-1}} \right] \quad (2)$$

และสูตร

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 17
และการสัมมนาวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ชุมชน ครั้งที่ 5

$$\lambda = \frac{E_m(1 - \nu_p^2)}{E_p(1 - \nu_m^2)} \tag{3}$$

ν_p และ E_p คือ poisson 's ratio และ elastic modulus ของพอร์ซเลน
 h_p และ h_m คือ ความหนาของพอร์ซเลนและความหนาของโลหะตามลำดับ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย Strain energy release rate (G-value) ของการยึดติดระหว่างพอร์ซเลนกับไทเทเนียมด้วย One-way analysis of variance (ANOVA) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มเป็นคู่ Multiple comparison ด้วย Bonferroni test

ผล/สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าค่าแรงกับระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวกด (Load-displacement curve) จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงในแนวเฉียง (Slope) ในช่วงแรก แสดงถึงค่าแรงที่ยังไม่มีผลให้รอยแตกยาวขึ้นจากรอยเริ่มแตก จนกระทั่งค่าแรงคงที่ในขณะที่ระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวกดยังคงเพิ่มขึ้น แสดงว่ารอยแตกเริ่มเคลื่อนต่อจากรอยเริ่มแตก จากนั้นค่าแรงจะเริ่มสูงขึ้นเป็นแนวเฉียงอีกครั้งซึ่งแสดงถึงการเคลื่อนของรอยแตกไปถึงจุดคกู่ใน (Inner rollers) และเลขค่อออกไป เมื่อยังคงให้แรงต่อไปเรื่อย ๆ แรงนั้นอาจทำให้ส่วนพอร์ซเลนแตกหรือส่วนไทเทเนียมงอไปตามแรงกดดันนั้น ซึ่งไม่มีผลต่อการหาค่าการยึดติดระหว่างวัสดุทั้งสอง จึงออกแบบการทดสอบให้หยุดการให้แรงก่อนการเกิดสิ่งเหล่านี้ การสังเกตการเคลื่อนที่ของรอยแตกสามารถดูได้จากกราฟที่แสดงค่าแรงและระยะทางของหัวกดบนหน้าจอของเครื่องทดสอบสากล ค่าแรงที่คงที่แต่ทำให้รอยแตกเคลื่อนต่อจากรอยเริ่มแตกจะเห็นเป็นเส้นแนวราบแสดงถึงรอยแตกมีการเคลื่อนตัวอย่างเสถียร (Stable) ข้อมูลดิบของแรงในช่วงที่คงที่นี้จะเป็นส่วนที่นำไปคำนวณค่า G ค่อไป โดยแทนค่า P ในสมการที่ 1 ซึ่งค่าคงที่ต่างๆ จะคำนวณได้จากสมการที่ 2 และ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า G ของแต่ละกลุ่ม แสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและขอบเขตข้อมูลของค่า G ของแต่ละกลุ่มการศึกษา

กลุ่มที่	ค่า G เฉลี่ย (J/m ²)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
			ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
1	10.9035	2.8708	8.8498	12.9571
2	15.6082	5.0272	12.0119	19.2045
3	15.6742	4.8783	12.1844	19.1639
4	15.5762	3.5966	13.0033	18.1491

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 17
และการสัมมนาวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ชุมชน ครั้งที่ 5

จากผลการศึกษข้างต้นจะพบว่า กลุ่มที่ 1 คือกลุ่มที่เผาชิ้นงานในบรรยากาศปกติมีค่า G เฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 10.9 J/m^2 ส่วนกลุ่มอื่นมีค่า G เฉลี่ยใกล้เคียงกันคือประมาณ 15.6 J/m^2

เมื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า G เฉลี่ยของแต่ละกลุ่มโดยใช้การทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple comparisons) แบบบอนเฟอรอนนี (Bonferroni test) เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่า G โดยการจับคู่ทีละกลุ่มครบทุกกลุ่มโดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงในตารางที่ 2 และ 3

ตาราง 2 การเปรียบเทียบค่า G เฉลี่ย โดยใช้การทดสอบความแปรปรวนทางเดียว

	Sum of squares	df	Mean square	F	p-value
Between groups	116.856	3	55.619	3.167	0.056
Within groups	623.242	36	17.562		
Total	799.098	39			

ตาราง 3 การเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบบอนเฟอรอนนีของค่า G เฉลี่ยระหว่างกลุ่ม

การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย	p-value	ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
			ขีดจำกัดล่าง	ขีดจำกัดบน
กลุ่ม 1 – กลุ่ม 2	-4.7047	.100	-9.9373	.5279
กลุ่ม 1 – กลุ่ม 3	-4.7707	.092	-10.0033	.4619
กลุ่ม 1 – กลุ่ม 3	-4.6727	.104	-9.9053	.5599
กลุ่ม 2 – กลุ่ม 3	-.0660	1.000	-5.2986	5.1666
กลุ่ม 2 – กลุ่ม 4	.0320	1.000	-5.2006	5.2646
กลุ่ม 3 – กลุ่ม 4	.0980	1.000	-5.1346	5.3306

การเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างของค่า G เฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ โดยใช้การทดสอบความแปรปรวนทางเดียวตามตารางที่ 2 และการเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างของค่า G เฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ แบบบอนเฟอรอนนีตามตารางที่ 3 พบว่า ได้ค่านัยสำคัญมากกว่า 0.05 ทำให้สรุปได้ว่าค่า G เฉลี่ยของไทเทเนียมกับพอร์ซเลนในการเผาในบรรยากาศอาร์กอนและบรรยากาศปกติไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

อภิปรายผล

การศึกษานี้เป็นการวัดค่าการยืดตัวของไทเทเนียมกับพอร์ซเลนด้วยวิธีการทางกลศาสตร์ เป็นการวัดค่า Strain energy release rate (G -value) มีหน่วยเป็น J/m^2 โดยการทดสอบชนิดการกดคด 4 จุด (Four-point bending) ในเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) ซึ่งรอยแตกระหว่างชิ้นไทเทเนียมกับพอร์ซเลนในขณะทดสอบจะไม่มีลักษณะที่เป็นความเค้นสะสม และรอยแตกจะเคลื่อนไปอย่างเสถียร การทดสอบนี้นำวิธีการมาจากการศึกษาของ Suansuwan (Suansuwan, Swain, 2003) ซึ่งพัฒนามาจากการศึกษาของ Charalambides และคณะในปี 1989 ซึ่งผลการศึกษานี้ได้ข้อจำกัดของการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า ค่าการยืดตัวของไทเทเนียมกับพอร์ซเลนเมื่อเผาในบรรยากาศอาร์กอนในชั้นคอนต่างๆ กันกับค่าการยืดตัวเมื่อเผาในบรรยากาศปกติ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า G เฉลี่ยจะพบว่ากลุ่มที่ 1 ซึ่งเผาขึ้นทดลองที่หาชั้นสารยึดในบรรยากาศปกติมีค่าต่ำสุดคือ $10.90 \pm 2.87 J/m^2$ ในขณะที่ 3 กลุ่มมีค่า G เฉลี่ยที่ $15.60 \pm 5.02 J/m^2$, $15.67 \pm 4.87 J/m^2$ และ $15.57 \pm 3.59 J/m^2$ ตามลำดับซึ่งทั้งสามกลุ่มเริ่มเผาขึ้นทดลองที่หาชั้นสารยึดในบรรยากาศอาร์กอนเหมือนกันก่อนเคลื่อนขึ้นโอเพนและเค็นทินพอร์ซเลนในชั้นถัดไป ซึ่งชั้นสารยึดเป็นชั้นที่สัมผัสกับผิวไทเทเนียมโดยตรงและผลการทดลองทั้งสามกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Atsu และ Berkson ที่รายงานว่า การเผาในบรรยากาศอาร์กอนจะช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไทเทเนียมและทำให้การยืดตัวของไทเทเนียมกับพอร์ซเลนดีขึ้นเมื่อเทียบกับการเผาตามปกติ (Atsu & Berkson, 2000)

เมื่อนำค่า G เฉลี่ยมาเปรียบเทียบกับการศึกษาของอรุณวิทย์ เศรษฐอำไพ (Decha-umpai, 2009) จะพบว่าค่า G เฉลี่ยของกลุ่มที่ 1 ที่มีการปรับผิวและการหาสารยึดในบรรยากาศอาร์กอน มีค่าต่ำกว่าค่า G เฉลี่ยในการศึกษาของเศรษฐอำไพซึ่งมีค่า G เฉลี่ย $27.75 \pm 4.20 J/m^2$ มาก ทั้งนี้เนื่องจากมีวิธีการบางขั้นตอนที่ต่างกัน เช่น ขั้นตอนหาสารยึดผิวไทเทเนียมใช้ระยะเวลาต่างกัน ขั้นตอนการเป่าผงอะลูมินาไม่มีส่วนผสมของผงซิลิกา ระยะเวลาการเป่าทรายต่างกัน การล้างทำความสะอาดพื้นผิวหลังการเป่าทรายใช้น้ำกลั่นโดยไม่ได้ใช้เครื่องเขย่าความถี่สูงอาจทำให้พื้นผิวไม่สะอาดเพียงพอ อาจเป็นส่วนที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ทำให้การยืดตัวของไทเทเนียมกับพอร์ซเลนในการศึกษานี้ลดลง ทำให้ค่า G ต่ำกว่าการศึกษาที่ผ่านมา

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษานี้พบข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ การสร้างพื้นที่ทำงานเป็นกล่องปิดเพื่อบรรจุก๊าซอาร์กอนทำให้การเตรียมชิ้นงานในแต่ละขั้นตอนทำได้ยากลำบาก ได้แก่ การหาสารยึดผิว การเป่าผงอะลูมินา การล้างทำความสะอาดพื้นผิวไทเทเนียม จึงควรมีการพัฒนาออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ใน

การทดลองให้ดีขึ้น เพื่อให้ผลการศึกษามีโอกาสเกิดความคิดพลาน้อยลงและอาจพัฒนาเป็นอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานต่อไปในอนาคต

ควรมีการศึกษาการใช้ส่วนผสมของกรดที่ใช้กัดผิวไทเทเนียมเพื่อทำให้เกิดความขรุขระบนผิวไทเทเนียมว่าควรใช้ในลักษณะใด และระยะเวลาเท่าใดจึงจะได้ผิวที่มีลักษณะที่ต้องการ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการยึดติดระหว่างไทเทเนียมกับพอร์ซเลน

ควรมีการศึกษาปัจจัยการควบคุมปริมาณอาหารก่อนว่าปริมาณความเข้มข้นมากน้อยเท่าไรจึงจะทำให้เกิดชั้นออกไซด์ที่เหมาะสม ซึ่งอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการยึดติดระหว่างไทเทเนียมกับพอร์ซเลน

ผลการจากศึกษาการยึดติดระหว่างไทเทเนียมกับชั้นพอร์ซเลนด้วยวิธีการเผาในบรรยากาศที่แตกต่างที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ อาจไม่ได้ให้ค่าการยึดติดที่สูงแต่เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากนัก หากได้พัฒนาทั้งวัสดุอุปกรณ์และวิธีการในการเตรียมชิ้นงานให้ดีขึ้น อาจทำให้ได้ค่าการยึดติดที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามก็ควรมีการศึกษาการปรับผิวหรือการควบคุมการเกิดชั้นออกไซด์ด้วยวิธีอื่นๆ ที่อาจได้ผลที่ดีมากขึ้นต่อไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Al Hussaini, I., & Al Wazzan, K. A. (2005). Effect of surface treatment on bond strength of low-fusing porcelain to commercially pure titanium. *J Prosthet Dent*, 94(4), 350-356.
- Atsu, S., & Berksun, S. (2000). Bond strength of three porcelains to two forms of titanium using two firing atmospheres. *J Prosthet Dent*, 84(5), 567-574.
- Cai, Z., Bunce, N., Nunn, M. E., & Okabe, T. (2001). Porcelain adherence to dental cast CP titanium: effects of surface modifications. *Biomaterials*, 22(9), 979-986.
- Caputo, A., Dunn, B., & Reisbick, M. (1977). A flexure method for evaluation of metal-ceramic bond strengths. *J Dent Res* 56, 1501-1506.
- Chung, H. G., Swain, M. V., & Mori, T. (1997). Evaluation of the strain energy release rate for the fracture of titanium-porcelain interfacial bonding. *Biomaterials*, 18(23), 1553-1557.
- Decha-umpai A.(2009). **The adhesion of dental porcelain to titanium surface modified with alumina and Silica blasting under argon atmosphere.**[Master Thesis in Prosthodontics].Khon Kaen: The Graduate School,Khon Kaen University.
- Hammad, I. A., & Talic, Y. F. (1996). Designs of bond strength tests for metal-ceramic complexes: review of the literature. *J Prosthet Dent*, 75(6), 602-608.

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 17
และการสัมมนาวิชาการเพื่อเผยแพร่งานวิจัยสู่ชุมชน ครั้งที่ 5

- Lautenschlager, E. P., & Monaghan, P. (1993). Titanium and titanium alloys as dental materials. *Int Dent J*, 43(3), 245-253.
- Pang, I. C., Gilbert, J. L., Chai, J., & Lautenschlager, E. P. (1995). Bonding characteristics of low-fusing porcelain bonded to pure titanium and palladium-copper alloy. *J Prosthet Dent*, 73(1), 17-25.
- Papadopoulos, T., Tsetsekou, A., & Eliades, G. (1999). Effect of aluminium oxide sandblasting on cast commercially pure titanium surfaces. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 7(1), 15-21.
- Sadeq, A., Cai, Z., Woody, R. D., & Miller, A. W. (2003). Effects of interfacial variables on ceramic adherence to cast and machined commercially pure titanium. *J Prosthet Dent*, 90(1), 10-17.
- Suansuwan, N., & Swain, M. V. (2003). Adhesion of porcelain to titanium and a titanium alloy. *J Dent*, 31 (7), 509-518.
- Wang, R. R., & Fenton, A. (1996). Titanium for prosthodontic applications: a review of the literature. *Quintessence Int*, 27(6), 401-408.
- Wang, R. R., & Fung, K. K. (1997). Oxidation behavior of surface-modified titanium for titanium-ceramic restorations. *J Prosthet Dent*, 77(4), 423-434.
- Wang, R. R., Welsch, G. E., & Monteiro, O. (1999). Silicon nitride coating on titanium to enable titanium-ceramic bonding. *J Biomed Mater Res*, 46(2), 262-270.
- Wataha, J. C. (2002). Alloys for prosthodontic restorations. *J Prosthet Dent*, 87(4), 351-363.
- Yamada, K., Onizuka, T., Endo, K., Ohno, H., & Swain, M. V. (2005). The influence of Goldbonder and pre-heat treatment on the adhesion of titanium alloy and porcelain. *J Oral Rehabil*, 32(3), 213-220.



มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

เกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

นายยุทธนา อินทรหนองไผ่

ได้นำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา รูปแบบการนำเสนอแบบโปสเตอร์
ในการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๗
และ โครงการสัมมนาวิชาการและเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ชุมชน ครั้งที่ ๕
วันที่ ๒๕ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๕๓

(รองศาสตราจารย์โกวิท เชื้อมกลาง)
อธิการบดี

