

도재용 코발트-크롬 금속관의 변연적합도 비교

전병욱, 김부섭

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과, 치과기공기재학회

Comparison of the Marginal Fitness of Ceramic Co-Cr Metal Crown

Byung-Wook Jeon, Bu-Sob Kim

Dept. of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan

[Abstract]

Purpose: In this study, the marginal fitness of ceramic Co-Cr metal crown made by precision casting, milling, and selective laser melting method were compared.

Methods: The ceramic Co-Cr metal crown manufactured by precision casting used the lost wax(LC specimen) method. The abutment were scanned and then made by milling(CM specimen), selective laser melting(CS specimen) method. The specimen were cut bucco-lingual and mesio-distal, and absolute marginal discrepancy and marginal gap were measured using a digital microscope. The surface roughness of the crown was also observed.

Results: On the bucco-lingual axial, absolute marginal discrepancy was the LC specimen $31.72(\pm 4.58)\mu\text{m}$, the CM specimen $78.29(\pm 3.28)\mu\text{m}$ and the CS specimen $143.13(\pm 3.83)\mu\text{m}$, respectively. On the bucco-lingual axial, marginal gap was the LC specimen $22.70(\pm 1.46)\mu\text{m}$, the CM specimen $22.70(\pm 1.49)\mu\text{m}$ and CS specimen $99.60(\pm 1.57)\mu\text{m}$, respectively.

Conclusion: For ceramic Co-Cr metal crowns, LC specimen was superior for absolute marginal discrepancy and marginal gap. The surface of metal crowns by selective laser melting were the roughest.

● **Key words :** Selective laser melting(SLM), CAD/CAM, Precision casting, Cobalt-Chromium, Marginal fitness

교신저자	성명	김 부 섭	전화	051-510-0593	E-mail	bskim@cup.ac.kr	
	주소	부산광역시 금정구 오륜대로 57 부산가톨릭대학교 치기공학과					
접수일	2015. 4. 30		수정일	2015. 6. 20		확정일	2015. 6. 23

I. 서론

기능성과 정밀성 그리고 심미성이 요구되는 치과보철물은 최근에는 국내외를 막론하고 심미성이 강조되어 금속-도재관과 전부도재관을 많이 사용하고 있다(Kim CY et al., 2010). 전부도재관은 심미성과 생체적합성이 우수하여 사용이 늘고 있으나 높은 취성과 낮은 인장강도의 기계적 특성으로 인해 적용 범위가 한정적이다. 따라서 전부도재관에 비하여 심미성이 다소 부족하나 기계적 특성이 우수한 금속-도재관을 주로 사용하고 있다(Ryu SY et al, 2000).

금속-도재관용으로 사용되는 합금은 귀금속 합금과 비귀금속 합금으로 크게 분류된다. 귀금속 합금은 내식성 및 생체적합성이 좋아 널리 사용되었으나 탄성계수가 낮고 가격 상승으로 인한 경제적인 이유로 사용이 제한되고 있다. 반면, 비귀금속 합금은 기계적 강도가 우수하고 귀금속과 비교하면 가격이 저렴하여 경제적으로도 유리한 장점 때문에 많이 사용되고 있다. 비귀금속 합금은 Ni-Cr계와 Co-Cr계 합금으로 분류되며, 유도자기장을 사용하는 주조기의 보급으로 Co-Cr 합금의 주조가 쉬워지면서 Ni-Cr 합금보다 생체 안정성이 우수한 Co-Cr 합금의 사용에 관심이 집중되고 있다.

이러한 금속-도재관을 제작하는 방법으로는 전통적인 방법인 정밀주조법과 디지털 치과기공 기술의 하나인 CAD/CAM 시스템이 치과보철물 분야에서 중요한 자리를 차지하고 있다. 기존 시스템은 치과기공사가 수작업으로 제작하다 보니 시간도 오래 걸리고, 여러 단계의 제작과정에서 제작 오차도 발생하며, 필요한 기자재도 많아 불편한 면이 많았다. 그러나 기존 수작업과는 달리 CAD/CAM 시스템은 컴퓨터에 의해서 지대치를 스캔하고 보철물을 설계하여 절삭 가공 과정을 통해 제작하는 방법으로 제작 시간이 적게 걸리고, 정밀도가 높으며, 비용을 절감할 수 있다(Besimo C et al., 1997; Sturdevant JR et al., 1999). 하지만 절삭방식의 CAD/CAM 시스템은 절삭공구의 마모와 가공 시 발생하는 열로 인하여 하부구조의 변형 우려가 있어 가공법 및 소재의 보완이 필요하다(Oh MS et al., 2002).

이의 해결을 위해 최근 디지털 치과기공 기술 중 하나로

3D CAD 데이터 파일로부터 얻어진 단면데이터로부터 IR-Fiber 레이저를 이용하여 해당 영역의 메탈 파우더에 층을 쌓으면서 레이저를 주사하여 메탈 파우더를 녹여 응고시켜 3차원 금속 분야를 제작하는 레이저 선택용융가공법(Selective Laser Melting, SLM)이 소개되고 있다(Ben Vandenbroucke and Jean-Pierre Kruth, 2007). 직접 적층 용융으로 절삭 가공방법보다 제작 시간이 빠르고, 생산성이 우수하고 정밀성이 높은 것으로 소개되고 있다(Song YA, 1999).

치과보철물은 기능과 심미성의 조화를 이루기 위해서 여러 가지 요건을 갖추어야 한다. 그중에서도 변연적합도는 보철물의 성공 여부를 결정하는 중요한 요소 중에 하나이다. 변연적합도를 비교한 연구로 Kim 등(2003)은 lost wax법으로 제작한 PFM crown의 변연적합도가 17 μm 로 보고하였으며, Kim 등(2009), Uh 등(2010)은 연구 보고서에서 CAD/CAM 시스템들을 통해 지르코니아 코어를 제작하여 장비 간의 비교를 통해 Cerasys 85.7 μm , KaVo Everest 80.3 μm , Lava 96.37 μm , Procera 62.3 μm , Lava 45.3 μm , Cerec inLab 71.2 μm , 의 변연적합도를 연구하였다. 하지만, 주조법, 밀링법 그리고 레이저 선택용융가공법으로 제작한 도재용 금속관 변연적합도 상호비교 연구한 자료는 미비한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 레이저 선택용융가공법으로 가공한 Co-Cr 소재의 금속-도재관의 변연적합도 관찰을 위해 주조법, 밀링법 그리고 레이저 선택용융가공법으로 코핑을 제작하여 변연적합도를 측정하여 비교 관찰을 하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 실험재료

1) Co-Cr 합금

본 연구에 사용된 합금은 주조법에서는 Wirobond C(Bego, Germany), 밀링법에서는 Co-Cr계 합금으로 된 원통형 밀링용 블록(Doowonid, Korea), 그리고 레이저 선택용융가공법에서는 Co-Cr계 합금분말(ASM75 powder type, MTT, Germany)을 사용하였다(Table 1).

Table 1. Chemical composition of the study alloys

Alloy	Composition(wt.%)							
	Co	Cr	Mo	Si	W	Mn	In	Ce.
Wirobond C	61	26	6	<1	5	-	<1	<1
Co-Cr powder	62.1	29.8	6.9	-	-	1	-	-

2) 지대주

지대주는 아랫면의 직경이 8 mm, 높이 5 mm, 3° taper, 1 mm shoulder 변연을 갖는 치아 형태가 되도록 316L stainless steel(KOS, Korea)을 CNC로 가공하였다(Fig. 1).

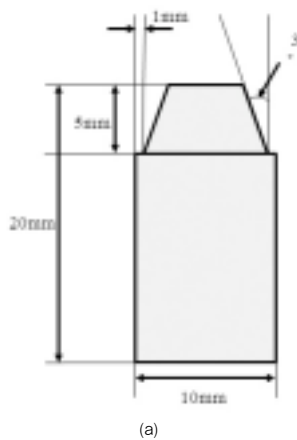


Fig. 1. Lab. analog diagram (a) & picture (b)

2. 시편제작

금속-도재관의 변연적합도 관찰을 하고자 주조법, 밀링법 그리고 레이저 선택용융가공법으로 코핑을 제작하여 지대주와 변연간격을 측정하여 비교 관찰하였다(Table 2).

Table 2. Classification of experimental groups

Type	Group
Lost wax - Casting	LC
CAD - Milling	CM
CAD - SLM	CS

1) 주조법을 이용한 시편제작

LC시편은 lost-wax법으로 납형을 제작하고 주입선 부착, 매몰, 소환 과정을 제조회사의 지시에 따라 작업하였으며, 주조는 금속의 일정한 용융온도 유지를 위해 고주파 주조기(Fornax T, Bego, Germany)를 이용하여 주조하였다. Sandblasting을 하고 내면의 적합을 위하여 기포 등을 제거하였다. Finishing이 끝난 후 지대주와 적합을 시켰다.

2) 밀링법을 이용한 시편제작

CM시편은 3D Scanner(3series, dental wings Inc., Canada)를 이용하여 지대주의 3차원 자료를 스캔하였다. 여기에 금속관 제작을 위한 3D 데이터로 디자인을 완료한 후 5축 밀링 기계(ARUM5X, Doowonid, Korea)를 이용해 금속관을 제작한 후 지대주와 적합을 시켰다.

3) SLM법을 이용한 시편제작

CS시편은 3D Scanner를 이용하여 지대주의 3차원 자료를 스캔한 후 3D 데이터로 디자인이 완료된 .stl 파일을 가지고 SLM 기계(SLM250, MTT, Germany)를 이용해 금속관을 제작한 후 지대주와 적합을 시켰다.

3. 기기분석

1) 표면 형상 관찰

언마되지 않은 시편들의 표면 형상을 digital microscope (VHX-600, KEYENCE Co., Japan)를 통하여 관찰하였다.

2) 변연적합도 측정

절단과 연마까지 마친 시편들의 절대변연오차와 변연 간격을 digital microscope를 통하여 관찰하였다(Fig. 2).

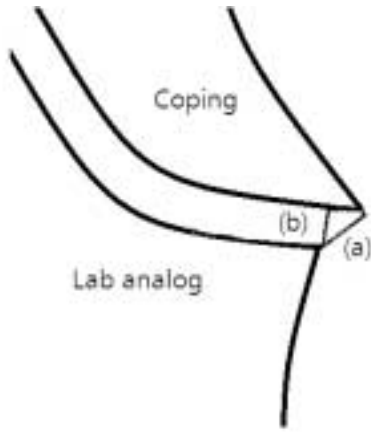


Fig. 2. Measuring points of specimen (a) Absolute marginal discrepancy, (b) Marginal gap

3) 통계 처리

모든 측정값은 window용 SPSS V.18.0 프로그램을 사용하여 통계 처리하였다. 각 제작법에 해당하는 변연 간격의 평균값과 표준편차를 구하고 각 그룹간의 유의차를 검정하기 위하여 95% 신뢰도로 one-way ANOVA (SPSS version 18.0, SPSS Inc., USA)test를 시행하여 분석하였고, 사후검정으로 Scheffe's test를 실시하였다.

III. 결 과

1. 표면 형상

각각의 제작법으로 제작된 금속-도재관을 현미경을 사용하여 500배율로 관찰하였다(Fig. 3). Lost wax법으로 납형 제작 후 주조법으로 제작한 LC시편과 CAD후 밀링법으로 제작한 CM시편과 CAD후 SLM법으로 제작한 CS시편 중 SLM법으로 제작한 CS시편의 표면 형상이 가장 거칠게 나타났다.

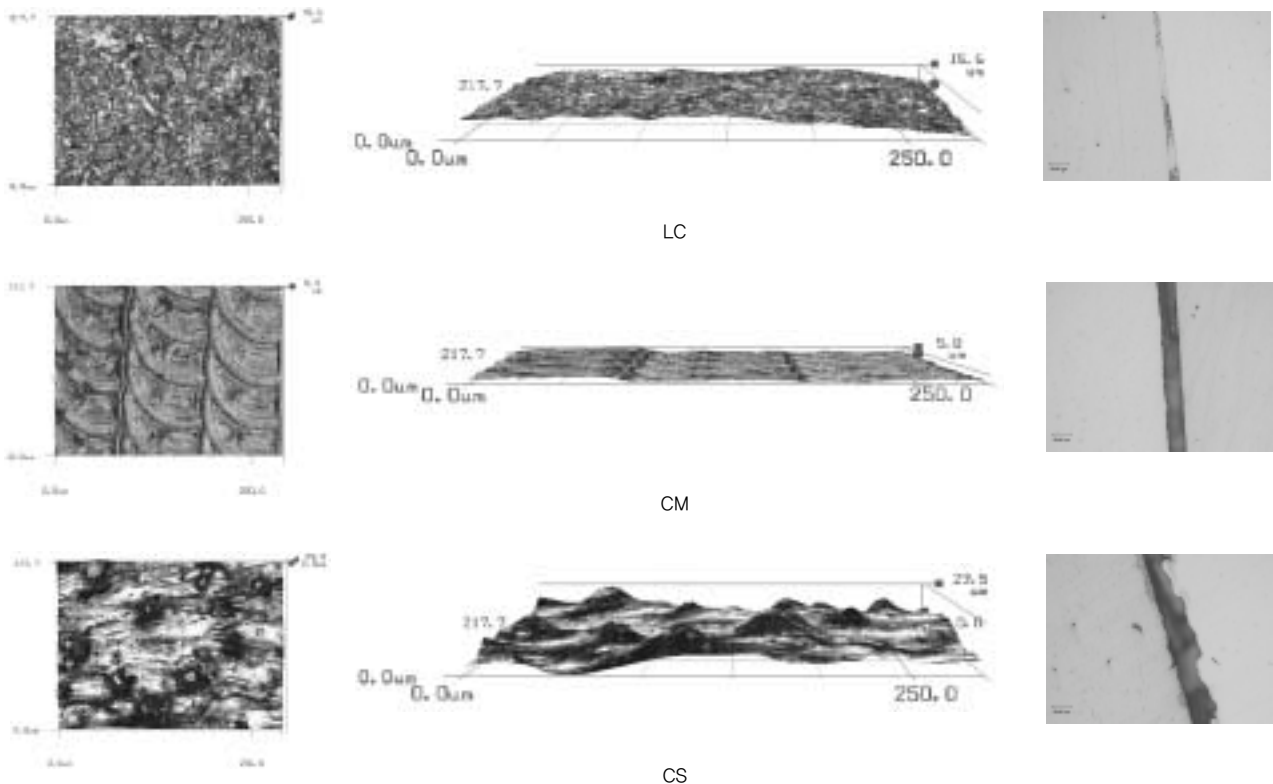


Fig. 3. Surface characteristics of specimens(×500)

2. 변연적합도

각각의 제작법으로 제작된 금속-도재관을 현미경을 사용하여 100배율로 관찰하였다. 각 시편에서 협·설 방향의 절대변연오차의 평균과 표준 편차는 LC시편에서 $31.72(\pm 4.58)\mu\text{m}$, CM시편에서 $78.29(\pm 3.28)\mu\text{m}$, CS시편에서 $143.13(\pm 3.83)\mu\text{m}$ 로 나타났다. 그리고 변연간격의 평균과 표준 편차는 LC시편에서 $22.70(\pm 1.46)\mu\text{m}$, CM시편에서 $22.70(\pm 1.49)\mu\text{m}$, CS시편에서 $99.60(\pm 1.57)\mu\text{m}$ 로 나타났다(Fig. 4).

변연간격의 결과를 통계 분석한 결과 절대변연오차에서 LC시편이 CM시편과 유의차가 나타났으며($p < 0.05$), CS시편이 LC시편과 CM시편간에 유의차가 나타났다($p < 0.05$). 그리고 변연간격에서 CS시편이 LC시편과 CM시편간에 유의차가 나타났다($p < 0.05$)(Table 3, 4).

Table 3. Absolute marginal discrepancy of specimens, as analyzed by one way ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Group	313309.684	2	15654.842	1011.896	.000
Within Group	185.650	12	15.471		
Total	31495.334	14			

Table 4. Marginal gap of specimens, as analyzed by one way ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Group	19713.571	2	9856.786	4331.771	.000
Within Group	27.306	12	2.275		
Total	19740.877	14			

각 시편에서 근·원심 방향의 절대변연오차의 평균과 표준 편차는 LC시편에서 $24.13(\pm 0.44)\mu\text{m}$, CM시편에서 $69.13(\pm 1.73)\mu\text{m}$, CS시편에서 $69.85(\pm 2.91)\mu\text{m}$ 로 나타났다. 그리고 변연간격의 평균과 표준 편차는 LC시편에서 $13.70(\pm 1.21)\mu\text{m}$, CM시편에서 $19.19(\pm 0.71)\mu\text{m}$, CS시편에서 $70.65(\pm 2.46)\mu\text{m}$ 로 나타났다(Fig. 5).

변연간격의 결과를 통계 분석한 결과 변연간격에서 CS시편이 CM시편과 유의차가 나타났으며($p < 0.05$), LC시편이 CM시편과 CS시편간에 유의차가 나타났다($p < 0.05$). 그리고 절대변연오차에서 LC시편이 CS시편과 CM시편간에 유의차가 나타났다($p < 0.05$)(Table 5, 6).

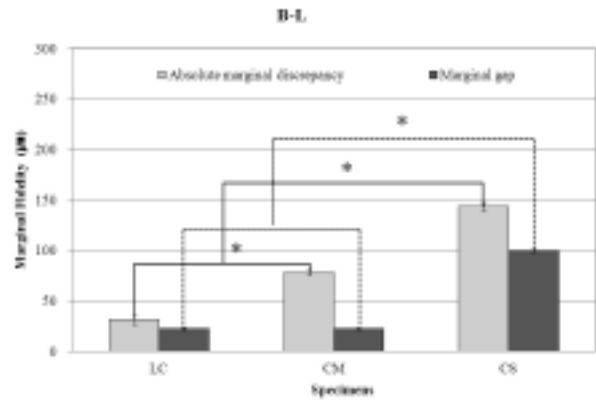


Fig. 4. Mean and standard deviations of absolute marginal discrepancy & marginal gap(bucco-lingual axial)

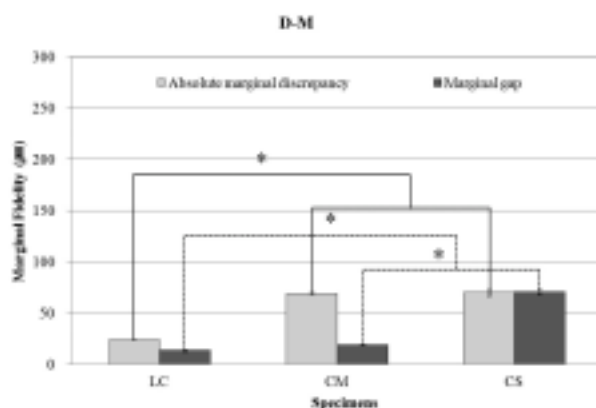


Fig. 5. Mean and standard deviations of absolute marginal discrepancy and marginal gap(mesio-distal axial)

Table 5. Absolute marginal discrepancy of specimens, as analyzed by one way ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Group	6858.518	2	3429.259	882.406	.000
Within Group	46.635	12	3.886		
Total	6905.154	14			

Table 6. Marginal gap of specimens, as analyzed by one way ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Group	9868.677	2	4934.339	1841.176	.000
Within Group	32.160	12	2.680		
Total	9900.837	14			

IV. 고 찰

본 연구에서는 레이저 선택용융가공법으로 가공한 코발트-크롬 소재의 금속-도재관의 변연적합도 관찰을 위해 주조법, 밀링법 그리고 레이저 선택용융가공법으로 도재용 하부구조를 제작하여 변연간격을 측정하여 비교 관찰하여 임상적으로 적합한 변연적합도를 보이는지 조사해 보고자 하였다.

변연적합도는 적합도가 떨어질수록 접착제의 빠른 용해를 일으키고(Felton DA et al., 1991), 미세누출이 증가하고 지각 과민을 일으키거나 이차 우식의 가능성, 치태 및 음식물의 침착, 치은 조직의 염증을 유발하여 보철물 수명을 감소시키는 원인이 되기 때문에 보철물에 큰 영향을 미친다(Bader JD et al., 1991). 또한 보철물의 적합성 증진을 위해서는 적절한 시멘트 공간에 대한 고려가 필요하다(Hung SH et al., 1990). 이론적으로 필요한 시멘트 피막 후경이 25-40 μ m임에도 불구하고(Boening KW et al., 2000), 임상적으로는 보철물의 수명을 고려할 때 100-200 μ m정도는 수용할 만한 범위에 있다는 연구 보고가 있다(Wang CJ et al., 1992).

변연적합도에 대한 선행 연구에서 Chan 등(1998), Mitchem 등(1994)은 전통적인 주조법에 의해 제작된 수복물은 최적의 가공 조건에서 50 μ m 이하의 변연적합도를 구현 할 수 있다고 하였으며, 임상에서는 5년 이상 구강 내에 있었던 1,000개의 수복물을 조사하여 120 μ m의 변연간격이 임상적으로 받아들일 수 있는 한계라고 보고 하였

다(McLean JW and Von Fraunhofer JA., 1971; McLean JW, 1972). 또, Oh 등(2006)은 주조법과 밀링법으로 제작한 티타늄 코핑의 변연적합도가 각각 43.03 μ m, 144.64 μ m라는 연구 결과를 보고하였다.

보철물의 적합도에 관한 측정 기준에 대해서는 여러 연구에서 정의되는 바가 다르지만, Holmes 등(1989)은 지대치의 변연부에서 수복물의 내면까지 수직 거리를 변연간격이라고 정의하였고, 지대치 변연과 수복물 변연 사이의 거리인 절대변연오차는 변연에서 생기는 오차 중 최댓값을 보이는 부분이므로 임상적으로 유용한 기준이 될 수 있다고 하였다.

본 연구에서는 실험의 다른 요인을 동일하게 하기 위해 시멘트의 두께와 종류에 따른 변연 오차를 배제하기 위해 접착 없이 측정하였으므로 시멘트 합착 후에는 변연 사이의 간격이 보다 증가할 것으로 보인다. 또한, CNC로 밀링하여 금속 지대주를 제작하였고, 측면 각도도 균일하게 삭제하였으므로 실제 치아 모형과는 차이가 있을 수 있다.

전통적인 주조법에 의해 제작된 수복물은 최적의 가공 조건에서 50 μ m이하의 변연적합을 구현 할 수 있다는 보고와 일치하였으며, 임상적 연구들을 볼 때 SLM법으로 제작한 CS시편의 절대변연오차 값만 제외하고, 보철물은 120 μ m이하의 변연 간격을 수용할 수 있다는 보고와도 일치한다.

본 연구에서는 lost-wax법으로 납형을 제작한 후 고주파 주조기를 사용하여 주조법으로 제작한 금속관의 변연적합도가 우수한 것으로 나타났다. 정밀주조법에서 변연

적합도에 영향을 미치는 요인은 재료의 특성, 합금의 용융 및 주조방법(Choi UJ et al., 1999), 재료와 기구의 사용에서 제조회사 설명서의 지시를 정확히 지키는 것을 들 수 있다. 주조법으로 제작한 금속관의 변연적합도가 협·설 방향 31.72 μ m, 근·원심 방향 24.13 μ m로 가장 우수하다는 결과로 미루어 현재의 치과 정밀주조법은 사용 재료와 주조기술, 장비의 비약적인 발전에 힘입어 정밀한 변연적합도를 구현하고 있다고 생각된다(Chung DW and Yang HS, 2006).

밀링법에서 변연적합도에 영향을 미치는 요인은 절삭공구의 형태 결함과 마모의 정도 차이, 절삭과정에서 기계의 떨림이나 회전축의 흔들림에 의해 오류가 발생할 수 있다(Mormann WH and Schug J, 1997). 본 연구의 결과 협·설 방향 78.29 μ m, 근·원심 방향 69.13 μ m의 변연적합도 오류는 이러한 요인들이 영향을 미쳤다고 사료된다.

그러나 본 연구에서 관찰하고자 한 SLM법으로 제작한 금속관의 변연적합도는 143.13 μ m로 임상적 허용범위를 벗어났다. 그 이유로는 레이저 가공에 의한 거친 표면으로 인한 것으로 판단된다. SLM법으로 가공된 코핑은 레이저에 의한 분말의 선택용융으로 인해 거친 표면이 발생하는 것으로 판단된다. 이러한 거친 표면을 해결하려는 방법이 연구되어야 할 것으로 사료된다.

도재-금속관을 제작하는 방법으로는 아직은 미흡하지만, 계속 기계는 발전할 것이고 기존의 수작업 방식에서 오는 불편함을 해결해 줄 것이기에 향후 더 정밀해진다면서 많이 사용될 것으로 예상해 본다.

도재-금속관의 변연적합도를 측정할 연구만 하고 임상적 적용을 말하기에는 부족한 면이 있다. 그래서 이 외에도 도재 축성 전후의 변연적합도 측정, 단일 금속관이 아닌 교의치 금속관의 변연적합도 측정에 관한 연구도 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한, SLM법에 관한 연구는 부족하므로 앞으로 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

레이저 선택용융가공법으로 가공한 코발트-크롬 소재

의 도재용 하부구조의 변연적합도 관찰을 위해 주조법, 밀링법 그리고 레이저 선택용융가공법으로 도재용 하부구조를 제작하여 변연적합도를 측정하여 비교 관찰하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. 도재용 코발트-크롬 금속관의 절대변연오차와 변연간격은 주조법으로 제작한 금속관이 가장 우수하였다.

2. 표면 거칠기 특성은 레이저 선택용융가공법으로 제작한 금속관의 표면이 가장 거칠었다.

REFERENCES

- Bader JD, Rozier RG, McFall W Jr, Ramsey D. Effect of crown marginal on periodontal conditions in regularly attending patients. *J Prosthet Dent*, 65(1), 75-79, 1991.
- Ben Vandenbroucke, Jean-Pierre Kruth. Selective laser melting of biocompatible metals for rapid manufacturing of medical parts. *Rapid Prototyping Journal*, 13(4), 196-203, 2007.
- Besimo C, Jeger C, Guggenheim R. Marginal adaptation of titanium frameworks produced by Cad/Cam techniques. *Int J Prosthodont*, 10(6), 541-546, 1997.
- Boening KW, Wolf BH, Schmidt AE, Kastner K, Walter MH. Clinical fit of Procera Allceram Crowns. *J Prosthet Dent*, 84(4), 419-424, 2000.
- Chan DC, Blackman R, Kaiser DA, Chung K. The effect of sprue design on the marginal accuracy of titanium casting. *J Oral Rehabil*, 25(6), 424-429, 1998.
- Choi UJ, Shin MH, Kim YS. A study on the castability of base metal alloys which sprue shape and materials used in the production of dental prosthodonties. *Kor Aca Den Tech*, 21(1),

- 83-92, 1999.
- Chung DW, Yang HS. The effect of casting machine and investment on the castability of titanium alloy. *J Kor Acad Prosthodont*, 44(5), 654-664, 2006.
- Felton DA, Kanoy BE, Bayne SC, Wirthman GP. Effect of in vivo crown margin discrepancies on periodontal health. *J Prosthet Dent*, 65(3), 357-364, 1991.
- Holmes JR, Bayne SC, Holland GA, Suilik WD. Considerations in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent*, 62(4), 405-408, 1989.
- Huh JB, Park CG, Kim HY, Park CK, Shin SW. Evaluation using replica technique on the marginal and internal fitness of zirconia cores by several CAD/CAM systems. *J Kor Acad Prosthodont*, 48(2), 135-142, 2010.
- Hung SH, Hung KS, Eick JD, Chappell RP. Marginal fit of porcelain-fused-to-metal and two type of ceramic crown. *J Prosthet Dent*, 63(1), 26-31, 1990.
- Kim CY, Chung IS, Choi SM. Effects of property transformation and marginal gap depending on heat-treatment of metal-porcelain by gold electro-forming system. *The Journal of the Korea Contents Association*, 10(6), 352-359, 2010.
- Kim NJ, Hwang KS, Park YD. A comparison of marginal fitness by dental alloys. *J Kor Aca Den Tech*, 25(1), 29-40, 2003.
- Kim SJ, Jo KH, Lee KB. A comparison of the fidelity of various zirconia-based all-ceramic crowns fabricated with CAD/CAM systems. *J Kor Acad Prosthodont*, 47(2), 148-155, 2009.
- McLean JW, Von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*, 131(3), 107-111, 1971.
- McLean JW. Polycarboxylate cements. Five years experience in general practice. *Br Dent J*, 132(1), 9-15, 1972.
- Mitchem JC, Wagner PC, Ferracane JL. Marginal adaptation of the concept inlay system. *Am J Dent*, 7(5), 232-234, 1994.
- Mormann WH, Schug J. Grinding precision and accuracy of fit of CEREC2 CAD-CAM inlays. *J Am Dent Assoc*, 128(1), 47-53, 1997.
- Oh MS, Yoon IN, Baek DK. Study of the thermal deflection error and the deflection error induced by the cutting force. *Journal of the Korean society of industrial application*, 5(4), 373-378, 2002.
- Oh SY, Vang MD, Yang HS, Park SW, Park HO. The study about the marginal fit of the casting titanium and machine-milled titanium coping. *J Kor Acad Prosthodont*, 44(1), 20-28, 2006.
- Ryu SY, Lim JH, Cho IH. A study on the color stability of porcelain fused to metal crown. *J Kor Acad Prosthodont*, 38(1), 73-84, 2000.
- Song Yong Ak. State of the Art in Laser-Assisted Rapid Prototyping of Metallic Parts. *Journal of KWS*, 17(3), 8-12, 1999.
- Sturdevant JR, Bayne SC, Heymann HO. Margin gap size of ceramic inlays using second-generation CAD/CAM equipment. *J Esthet Dent*, 11(4), 206-214, 1999.
- Wang CJ, Millstein PL, Nathanson D. Effect of cement, cement space, marginal design, seating aid materials, and seating force on crown cementation. *J Prosthet Dent*, 67(6), 786-790, 1992.