

열처리가 Ni-Cr 합금으로 제작된 하부구조물의 변연 및 내면 간격에 미치는 영향

김재홍^{1*}, 김기백², 정재관²

¹동남보건대학교 치기공과, ²대전보건대학교 치기공(학)과

Effect of heat treatment of core fabricated by Ni-Cr alloy on marginal and internal fit

Jae-Hong Kim^{1*}, Ki-Baek Kim², Jae-Kwan Jung²

¹Department of Dental Technology, Dongnam Health University

²Department of Dental Lab Technology, Daejeon Health Institute of Technology

요약 보철물의 완성도를 평가할 수 있는 요소는 여러 가지가 있으나, 그 중 가장 중요한 하나는 보철물의 적합도이다. 합금은 기계적, 물리적 성질 그리고 연마성 개선을 위해 연화열처리나 경화열처리 과정을 거치는데, 이때의 열처리 방법이 Ni-Cr 합금 core의 변연 및 내면 간격에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 한다. 실험을 위해 하악 좌측 대구치가 지대치인 석고 모형 30개를 제작하고 dipping법을 이용하여, 3 group(A, B, C)으로 나누어 group당 10개, 총 30개의 Ni-Cr 합금 core를 제작 하였다. 이들을 열처리를 하지 않은 것과 연화, 경화 열처리 방법으로 열처리함에 따라 적합도를 silicone replica technique을 이용하여 측정하였다. 세 집단 간의 평균값에 유의한 차이가 있는지 알아보기 해 독립표본 t-검정으로 분석하였다($\alpha=0.05$). 실험 결과 변연 부위(1, 6)에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였으나($p<0.05$), 나머지 내면 부위(2, 3, 4, 5)에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 이러한 결과로 미루어 볼 때 Ni-Cr 합금은 열처리를 하지 않는 것이 적합도 측면에서 나을 것으로 사료된다. 이에 추가적인 임상적용 연구를 통해 더욱 심도 있는 평가되어야 할 것으로 판단된다.

Abstract The most important aspect determining the completeness of a prosthesis is its marginal and internal fit. Alloys are processed using a softening/hardening heat treatment method in order to improve their mechanical, physical properties and polishing properties. To examine how the heat treatment method affects the marginal and internal fit of the Ni-Cr alloy core, thirty dental stone models of the abutment of the mandibular left molar were manufactured. The Ni-Cr alloy cores were manufactured by the dipping method for the experiment and divided into three groups; A for no heat treatment, B for softening heat treatment and C for hardening heat treatment. The marginal and internal fits of all of the groups were measured by the silicone replica technique. A statistical analysis was performed using one-way ANOVA ($\alpha=0.05$) in order to examine whether there is a significant difference in the average values of the marginal and internal fits among the three groups and it was found that the marginal fits (1, 6) were significantly different ($p<0.05$), but the internal fits (2, 3, 4, 5) were not significantly different ($p>0.05$). These results show that Ni-Cr alloys should not be processed by the heat treatment method. However, they need to be confirmed in further clinical application studies.

Keywords : Hardening heat treatment, Marginal and internal fit, Ni-Cr alloy, Softening heat treatment, Silicone replica technique

*Corresponding Author : Jae-Hong Kim(Dongnam Health University)

Tel: +82-10-7767-7634 email: kjhong@dongnam.ac.kr

Received May 30, 2017

Revised (1st August 16, 2017, 2nd September 8, 2017)

Accepted September 15, 2017

Published September 30, 2017

1. 서론

치의학 분야에서 질병, 사고 또는 선천적 결손에 의해 상실된 치아 경조직을 대체하여 치아의 형태와 기능을 회복시키거나 보철 또는 교정을 통하여 심미성을 개선시키는 시술이 급증하고 있다. 치과 보철 치료 시 보다 높은 품질의 보철물을 제작하여 환자에게 수복하는 것은 전체적인 치료 만족도를 향상시킬 수 있는 중요한 요인이다. 완성도 높은 보철물을 이용하여 환자를 치료할 경우 구강기능 회복의 역할 뿐만 아니라 중요한 구강건강의 지표가 되기 때문이다 [1]. 변연(margin)은 치아의 undercut surface와 보철물이 이행되는 부위를 말하고, 보철물이 제 기능을 발휘하면서 장기간 사용 가능하게 하기 위해서는 무엇보다 중요한 것이 치관 보철물 margin의 정확한 적합성이 필요하다. 우수하지 못한 변연 적합도를 갖는 보철물의 경우 치석의 축적률이 높으며 이는 치과 기공사들에게는 재제작을, 환자에게는 충분한 의료서비스를 제공하지 못하며, 결과적으로 치과의사와 치과기공사간의 신뢰관계에도 악영향을 준다[2]. 비귀금속 합금은 금합금 대응으로 그 필요성이 요구되었는데, 1970년대 이후 귀금속 합금으로 가격상승으로 인해 개발이 촉진됨에 따라 Ni-Cr 합금이 각광 받게 되었다. 치과주조용 비귀금속 합금(non-precious)은 귀금속보다 가볍고, 가격이 저렴하며, 합금성분 중 Cr은 금속면에 chromium oxide의 일률적인 막을 입혀 구강 내 부식에 대한 저항을 증가시킨다. 또한 금속구조물을 가능한 얇게 만들어 도재의 두께를 충분히 부여할 수 있어 심미성을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라, 치아의 삭제량도 줄여 치아 조직을 보존할 수 있으며, 경제적인 면에서 유리하기 때문에 널리 사용되고 있다[3-5]. 그렇지만 비귀금속 합금은 주조온도가 높고 연신율이 낮은 단점이 있다. 또한 성분 중 Ni은 피부 구내염(allergic dermatitis)의 원인 중 하나이다[6].

합금은 기계적, 물리적 성질, 그리고 연마성을 개선위해 연화, 경화 열처리 과정을 거치는데, 연화열처리(softening heat treatment) - 용체화 열처리(solution heat treatment)란 연한 주조체를 얻기 위하여 주조 합금의 용융 온도보다 약간 낮은 온도의 물속에서 급냉(quenching)시키는 열처리 방법을 말하며 합금의 강도, 경도, 비례한도가 감소하고, 연성은 증가한다. 경화열처리(hardening heat treatment) - 시효경화(age hardening)란 강도와 경도가 강한 주조체를 얻기 위하여 주조 후, 링을 실온까지

서서히 냉각시키는 열처리 방법을 말하며 합금의 강도, 경도, 비례한도는 증가하고, 연성은 감소한다[7].

실제로 비귀금속 합금은 1000℃ 이상에서 1시간 이상 열처리해도 기계적 특성은 거의 변화하지 않는다. 하지만 Co-Cr 합금이나 Ni-Cr 합금의 미세 조직은 단순하지 않고, 조작성의 미묘한 변화가 이들의 미세 조직을 바꿀 수 있다[4]. Ni-Cr 합금의 열처리 실험에서 기계적 특성 중 인장강도는 감소하였고, 연신율은 별 변화가 없음을 보고하였다. Winkler 등[8]은 Ni-Cr 합금의 열처리에 관한 연구를 발표하였는데, 열처리 후 기계적 성질은 저하되었으나, 탄성률에는 별 변화가 없었음을 보고하였다. 따라서 본 연구의 목적은 열처리에 따라서 Ni-Cr 합금 core의 적합도에 영향을 미칠 것이라고 판단하여 silicone replica technique 측정 방법을 이용하여 측정된 후 결과를 비교 분석하여 적합도를 비교해보고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 실험 재료

본 실험의 시편인 metal core 제작은 비 귀금속 합금 중 Ni-Cr합금(Vera Bond 2V, Alba Dent, USA)를 사용하였으며, 재료의 성분과 기계적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Mechanical property of Vera Bond 2V

Property	Ni (71.85), Cr (12.89), Mo (9.00), Nb (4.00), Al (2.50), Si (0.50), Ti (0.35)
Density (g/cm ³)	8.2
Vickers hardness	373
Yield strength (psi)	108000
Tensile strength (psi)	148000
Elongation(%)	18
Melting interval(°C)	1290-1335

2.2 금속 주 모형 제작

주 모형은 Fig. 1과 같이 상악 우측 제 1대구치를 대상으로 하였다. 주 모형의 제작을 위해 합성수지로 제작된 표준형태의 전악 치아 모형(AG-3, Frasco GmbH, Terrang, Germany)을 선정 후 지대치 형성을 하였다.

지대치 형성을 위해 해당 치아 마다 치축면은 1mm, 교합면과 절단면은 1.2mm offset을 부여하는 동시에 측벽의 각도는 5도를 부여하였다. 변연의 디자인은 rounded-chamfer type으로 설정하였다. 저장된 디지털 지대치 모형의 파일을 공업용 가공장비(Arum DEG 5X, Doowon, Daejeon, Korea)를 이용하여 티타늄 절삭 공정으로 주 모형을 제작하였다.



Fig. 1. Metal master model

2.3 석고 작업모형 제작

작업 모형을 제작하기 위해 금속 주 모형을 실리콘 (Deguform, DeguDent GmbH, Germany)을 이용하여 몰드를 제작하였다. 제작된 30개의 복제 몰드 내면에 wetting agent(Picosilk®, Renfert, Hilzingen, Germany)를 도포한 후, 각각의 제작된 30개의 복제 몰드에 치과 기공 임상에서 빈번히 활용되는 Type IV 치과용 석고 이용하여 작업모형 10개씩 총 30개를 제작하였다.

2.4 하부구조물 제작

Core를 균일한 두께를 위해 wax pot(DS-430, DAEIL, Kroea)와 Wax(DVO DIP yeti, Yeti, Germany)를 이용하여 Dipping법으로 제작 하였다. wax를 적당히 용융시킨 후, 분리제를 도포한 치형을 거꾸로 잡고 왁스가 치경연까지 덮이도록 침적하여 꺼낸 다음, 치경연 하방의 왁스를 조각도로 제거하고, cervical wax(The cervical wax, Yeti, Germany)로 margin을 재형성 하였다. 이때 dipping된 왁스의 두께가 약 0.5mm의 균일한 두께가 되도록 하였다. 주입선은 10 gauge round wax를 사용하였으며, sprue선을 짧고 굵은 것으로 사용하였기 때문에 별도의 reservoir는 형성하지 않고 통법에 의해 매몰, 소환, 주조를 행하였다. 주조기는 저주과 주조기(SEIT Electronica, seital, Italy)를 사용하였다.

2.5 열처리

주조 후 매몰제를 파괴하지 않고 실온까지 공기 중에서 1시간 동안 냉각한 후, 매몰제를 제거하였다. 연화열처리(Softning heat treatment)는 도재로(Multimat NTX, pentsply degudent, Germany)를 이용하여 1100℃에서 60분간 유지한 후, 실온의 증류수에 급냉 시켰다[Fig. 2]. 경화열처리(hardning heat treatment)는 소환로(Multi, denfalfarm, ITAIY)를 이용하여 650℃에서 10분간 유지시킨 후, 실온까지 냉각 시켰다[Fig. 3].

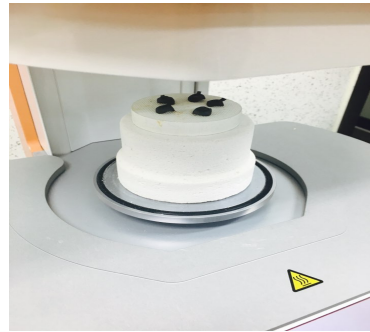


Fig. 2. Softening heat treatment process

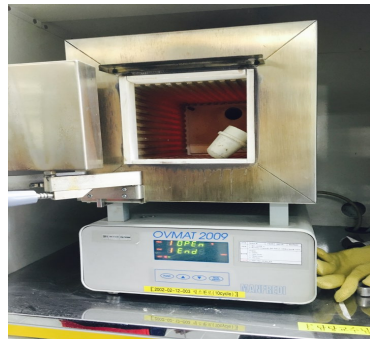


Fig. 3. Hardening heat treatment process

2.6 변연 및 내면간격 측정

모형과 core의 변연 및 내면의 적합도 측정 부위는 6 부위를 P1, P2, P3, P4, P5, P6으로 정의를 내리고 측정하였다. 변연부의 적합도(margin)를 P1, P6, 측벽의 적합도(axial wall)는 P2, P5, 교합면의 적합도(occlusal)를 P3, P4로 정의 하였다. 적합도는 silicone replica technique을 이용하여 측정하였다[Fig. 4]. 실리콘 복제 기술은 치과 보철물 내면과 치아와의 공간을 실리콘을 이용하여 복제한 후 실리콘의 두께를 측정하는 방법이다. 우선, core 내면에 연결 실리콘(Aquasil Ultra XLV,

Densply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)을 채운 후, core를 지대치 모형에 시적하고, 손가락으로 힘을 가하여 지대치 모형간의 거리를 복제 하였다. 실리콘이 최종 경화된 후 core를 지대치에서 조심히 분리 하였다. 연질 실리콘은 형태 유지가 어렵기 때문에 경질 실리콘 (Aquasil Ultra Monophase, Densply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)을 이용하여 보강하였다. 측정을 위하여 치과용 메스를 이용하여 실리콘 복제본을 총 4조각으로 절단하였으며, 측정의 신뢰성을 높이기 위하여 동일한 1명의 측정자가 측정지점의 정의에 따라 지정된 6 부위를 5회에 걸쳐서 측정한 후 평균값을 산출하였다. 절단된 단면에서 연질 실리콘의 두께를 측정하기 위하여 디지털 전자 현미경(KH-7700, HIROX, Tokyo, Japan)을 이용하여 160배 확대 후 연질 실리콘의 두께를 정해 놓은 적합도의 정의를 준수하여 측정하고 관찰 하였다 [Fig. 5].

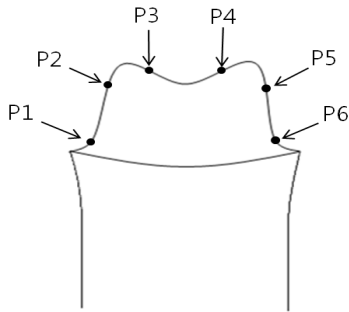


Fig. 4. Definition of measurement landmarks

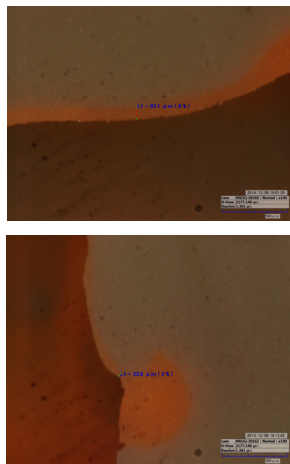


Fig. 5. Photography of cross section of silicone replica measured at x160 magnification using a digital microscope

적합도 간격의 임상적 수용 가능성에 대한 평가 기준은 다양하게 보고되고 있다. 본 연구에서는 McLean JW and von Fraunhofer[9]의 연구결과에서 제시된 허용수치로서 120 μ m을 적합도 기준으로 설정하였다. 그리하여 보철물의 변연 및 내면간격의 수치가 120 μ m이하로 측정된 경우에는 임상 기준치에 부합한 것으로 판단하였다.

2.7 통계 분석

본 연구의 통계처리에는 SPSS 12.0 for Windows 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 통계 분석을 실시하였다. 전자 현미경을 통해 총 30개의 시편에서 측정된 각 그룹의 변연 적합도와 내면 적합도의 평균과 표준편차를 계산하였다. 측정된 값들이 정규분포 여부를 확인하기 위해 실시한 Shapiro-Wilk 검정 결과에서 $p=0.189$ 의 값($p>0.05$)을 보여, 정규분포임을 확인하였다. 정규성 검정 결과를 토대로 모수 검정인 one-way ANOVA를 실시하여 실험 결과를 분석하였고, 제 1종 오류수준은 0.05로 하였다.

3. 연구 결과

Ni-Cr 합금의 열처리에 따른 적합도 평균의 비교는 6 부위를 개별적으로 비교하였다. 그 측정 결과 각 point에서의 평균은 다음과 같다[Tab. 2]. No treatment(82.78 μ m) 그룹의 모든 지점에서 Softening(87.89 μ m), Hardening(88.78 μ m) 그룹들 보다 변연 및 내면 적합도가 우수했으며, 연화 열처리에 비해 경화 열처리를 진행 할수록 변연 및 내면 적합도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 변연부 (P1, P6)에서는 No treatment 그룹(71.74 μ m, 70.97 μ m)과 Hardening(74.32 μ m, 77.78 μ m) 그룹에서 최대 간격을 나타내었으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).

Table 2. Mean(SDs) in μ m of adaptations of metal crown at each measuring point (n=30)

point	Group			p-value
	A(No treatment)	B(Softening)	C(Hardening)	
1	71.74 ^a (15.81)	72.68 ^a (14.06)	74.32 ^b (12.80)	0.042
2	80.89 (12.64)	85.33 (19.87)	85.80 (19.46)	0.110

3	103.97 (19.07)	104.31 (17.09)	106.66 (20.97)	0.578
4	92.25 (22.95)	93.34 (24.89)	95.66 (18.80)	0.462
5	91.15 (17.65)	92.11 (14.98)	93.34 (12.80)	0.347
6	70.97 ^a (17.04)	73.37 ^a (10.79)	77.78 ^b (19.36)	0.039
Total	82.78 (18.51)	87.89 (19.87)	88.78 (16.22)	0.189

*Data with the Different Letters are Significantly Different at 0.05 Significance Level. Lower cases mean the comparison in the types of heat treatment.

각 Margin, Axial wall, Occlusal 세 부위로 나눠서 관찰한 결과, 각 부위별로 아무런 처리를 하지 않은 No treatment 그룹과 비교하였을 때 연화 열처리를 진행한 Softening 그룹, 경화 열처리를 진행한 Hardening 그룹이 모든 부위에서 적합도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다[Tab. 3]. No treatment 그룹이 가장 우수한 적합도를 나타내었으며, Margin 부위에서는 Softening 그룹에서는 76.62 μm , Hardening 그룹에서는 79.37 μm 의 결과를 나타내었고, 이는 사후검정 결과 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 반면 axial wall, occlusal 부위에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

Table 3. Mean(SDs) in μm of adaptations for three parts in metal crown (n=30)

Parts	A(No treatment)	B(Softening)	C(Hardening)	P-value*
Margin	71.02 ^a (19.30)	76.62 ^b (13.49)	79.37 ^b (13.49)	0.033
Axial wall	81.42 (12.45)	82.10 (17.29)	85.64 (17.40)	0.351
Occlusal	99.89 (16.11)	100.43 (11.16)	102.74 (19.42)	0.595

*Data with the Different Letters are Significantly Different at 0.05 Significance Level. Lower cases mean the comparison in the types of heat treatment.

4. 고찰

보철물의 임상적 성패를 좌우하는 요소 중 가장 중요한 것이 변연과 내면의 적합도이다[10]. 적합도에 영향을 주는 요인으로는 사용된 인상 및 모형재료의 크기의 안정성, 납형제작 과정 시 변형, 매몰제의 수축 및 팽창, 소환 및 주조 방법, 금속구조물의 열처리 및 표면처리 등이 있는데 치과기공사는 이런 과정 사이에서 오차를 줄

이려는 노력이 필요하다.

치과용 합금은 구강 내에서 오랜 기간 동안 장착되어 있으며 늘 저작압을 받기 때문에 변형되거나 파절에 대한 저항성이 높아야 하는데 서론에서 언급한 바와 같이 Ni-Cr합금이 많이 사용되고 있다. 일반적으로 비귀금속 합금은 특별히 열처리를 시행하지 않은 상태에서 사용되고 있는데, 주조 직후에는 적합성이 우수하였던 보철물이 연삭에 의한 표면처리를 하거나, degassing 등에 의한 열처리를 하면 적합성이 낮아진다. 즉, 금속구조물이 반복 가열되면 주조체 안의 잔류응력이 해방되어 변형이 발생되며, 나아가 금속면을 연삭하는 등의 표면 처리를 해도 마찰열이 발생되거나 마찰 저항에 의한 외력이 가해져 잔류응력이 해방되므로 변형이 발생된다[11]. 금속 구조물의 이러한 변형은 금속 고유의 성질이어서 피할 수 없는데, 이러한 현상은 비귀금속 합금보다 귀금속 합금에 있어서 심하다고 알려져 있다[12]. 따라서 귀금속 합금을 사용할 때에는 주조 후 표면연삭 전에 열처리를 하면 주조응력이 제거되어 다음 과정에서 생기는 변형이 크게 감소된다고 하기 때문에 이 방법이 권장되고 있기도 하다[6]. 그러나 비귀금속 합금 사용 시 이러한 방법을 활용될 수 있는지에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 그리고 비귀금속 합금의 열처리에 따른 물성연구도 지속되어 왔다[13,14]. 그러나 대부분에 연구는 도재소성 열처리에 따른 재료의 물성변화에 집중되어 왔기 때문에 본 연구는 열처리가 비귀금속 합금 보철물의 적합도에 영향을 미치는지 분석하였다는 점에서 의의가 있다.

적합도 측정방법은 현재 가장 많이 사용되고 높은 신뢰도와 정확도를 갖는 실리콘 복제기술을 이용하였다[9]. 하지만 core와 지대치 모형간의 거리를 복제 시 손가락 힘을 사용한 것과, 실리콘 복제본 제작 후 측정까지의 시간이 길 경우 변형이 발생 할 수 있다는 문제점이 있었다. core의 적합도 측정 시 측정지점의 정의에 따라 지정된 6부위를 5회에 걸쳐서 측정한 후 평균값을 얻은 것은 측정부위에 따른 오차를 최소화 하고자 함이었다.

연구결과 모든 군의 적합도는 연구자들이 제시한 120 μm 을 벗어나지는 않았지만, 경화 열처리 시 적합도가 가장 낮았고(88.78 μm), 열처리를 하지 않은 것이 적합도가 가장 좋았다(82.78 μm). 부위 별 측정 시 변연 부위(1,6)에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

베릴륨을 함유하지 않은 합금은 복잡하고 여러 상으로 구성되는 미세조직을 가지고 있다[15]. 기지(matrix)

내에 분산된 석출물들은 복잡한 탄화물을 포함하고, 특히 니오비듐(Nb)을 함유하고 있는 합금에서는 몰리브덴-니오비듐-실리콘(Mo-Nb-Si)의 화합물을 포함한다. 이러한 석출물들은 합금이 도재 소성 과정 동안 받는 짧은 열처리 사이클에 비교적 영향을 받지 않는다는 결과와는 상반되는 것으로[4], Yamamoto가 지적하였듯이 반복가열에 의한 주조체 안의 잔류응력의 해방, 마찰저항에 따른 외력이 응력해방으로 이어진 결과 때문인 것으로 판단된다[6]. 또한 선행 연구들을 보면 금속관이 고온의 가열 과정에 의해 영향을 받는다고 보고한 연구들이 있으며, 금속관의 제작 시 뒤틀림 변형은 사용된 합금의 종류, 상부 재료가 소성되는 동안 발생하는 수축량의 차이, 하부 코어의 디자인, 두 재료 간의 열팽창 계수의 차이에 영향을 받는다고 보고 하였다[16]. 이는 금속은 탄성 물질이기에 가열하게 되면 최종 보철물의 적합도 증가한다는 결과를 보고하였으며, 이는 본 연구의 결과와 같은 원인으로 사료된다. 또한 같은 이유로 Campbell과 Pelletier는 금속관의 뒤틀림 변형의 대부분은 금속관의 산화막 소성과정에서 실시하는 열처리에서 대부분 발생한다고 보고하였다[17].

현재 임상에서 많이 사용되는 Ni-Cr 합금을 열처리 후 변연 및 내면간격을 비교해 봤을 때, 열처리를 하지 않는 것이 바람직하다고 생각된다. 하지만 각 군마다 시편의 개수가 너무 적고, 적합도 측정부위와 실험조건이 다르기 때문에 적합도 수치만 두고 비교하는 것은 본 실험 결과의 일반화에는 한계를 나타낸다. 앞으로 열처리에 따른 하부구조물의 기계적 성질변화, Ni-Cr 합금에 알맞은 열처리 조건에 관한 연구가 더욱 필요할 것으로 생각된다.

5. 결론

하악 좌측 제 1대구치 작업모형에 Ni-Cr 합금을 사용하여, 각 그룹(No treatment, Softening, Hardening)으로 나누어 그룹당 10개, 총 30개의 하부구조물을 제작 하였다. 이들을 여러 가지 열처리 방법으로 열처리함에 따라 적합도를 silicone replica technique를 이용하여 측정하고 비교 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 변연 및 내면 적합도는 열처리 하지 않은 것, 연화 열처리, 경화열처리 순으로 우수하였다.

2. Ni-Cr 합금의 core는 열처리를 하면 변연 및 내면 적합도에 영향을 미친다.

3. 변연 및 내면 적합도는 경화 열처리가 가장 떨어졌다. 따라서, 각각의 열처리에 따라 변연 및 내면 적합도의 차이를 보였으나 모두 120 μ m 이하로 임상적으로 적용 가능한 범위 내에 있는 것으로 사료되며, 치과기공 임상 현장에서 치과 보철물의 후처리에는 필요에 의해 행해져도 될 것이라 판단된다.

References

- [1] Y. S. Kim, B. H. Jun, "A study of comparative the mastication capability and life quality of elderly people using dentures or implants", J Korean Soc Dent Hyg, vol. 11, no. 5, pp. 629-636, 2011.
- [2] W. J. Shin, Y. S. Jeon, K. W. Lee, H. Y. Lee, D. H. Han, "Longevity and failure analysis of fixed restorations serviced in korea", J Kor Acad Prosthodont, v.43, no. 2, pp. 158-175, 2005.
- [3] Rekow ED, "High-technology innovations and limitations for restorative dentistry", Dent Clin North Am, vol. 37, no. 2, pp. 513-524, 1993.
- [4] Anusavice KJ, "Phillips science of dental material", 11th ed, pp. 621-654, Philadelphia, WB Saunders, 2003.
- [5] Fransson B, Oilo G, Gjeitanger R, "The fit of metal-ceramic crowns, a clinical study", Dent Mater, vol. 1, no. 5, pp. 197-199, 1985.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(85\)80019-1](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(85)80019-1)
- [6] Yamamoto M, "Color atlas basic technique for metal ceramics", 1st ed, Tokyo, Quintessence Publishing Co, 1990.
- [7] Taggart WH, "A new and accurate method of making gold inlays", Dent Cosmos, vol. 49, no. 11, pp. 117-121, 1907.
- [8] Winkler S, Morris HF, Monterio JM, "Changes in mechanical properties and microstructure following heat treatment of a nickel-chromium base alloy", J Prosthet Dent, vol. 52, no. 6, pp. 821-827, 1984.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(84\)80012-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(84)80012-8)
- [9] McLean JW, von Fraunhofer JA, "The estimation of cement film thickness by an in vivo technique", Br Dent J, vol. 131, no. 3, pp. 107-111, 1971.
DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4802708>
- [10] J. H. Kim, K. B. Kim, "An evaluation validity of the silicone replica technique at measurement on fit of fixed dental prostheses", J Dent Hyg Sci, vol. 12, no. 6, pp. 566-571, 2012.
- [11] Hamaguci H, Cacciatore a, Tueller VM, "Marginal distortion of the porcelain-bonded -to-metal complete crown : An SEM study", J Prosthet Dent, vol. 47, no. 2, pp. 146, 1982.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(82\)90178-0](https://doi.org/10.1016/0022-3913(82)90178-0)

- [12] McLean JW, "The science and art of dental ceramics", 1st ed, Chicago, Quintessence Publishing Co, 1979.
- [13] Morris HF, "Properties of cobalt-chromium metal ceramic alloys after heat treatment", J Prosthet Dent, vol. 63, no. 4, pp. 426-433, 1990.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(90\)90232-2](https://doi.org/10.1016/0022-3913(90)90232-2)
- [14] Wu Y, Moser JB, Jameson LM, Malone WFP, "The effect of oxidation heat treatment on porcelain bond strength in selected base metal alloys", J Prosthet Dent, vol. 66, no. 4, pp. 439-444, 1991.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(91\)90502-N](https://doi.org/10.1016/0022-3913(91)90502-N)
- [15] I. S. Kim, K. J. Min, "Comparison of dental porcelain baking methods by base-alloy and bonding strength by thermocycling", Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 11, pp. 772-779, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.2.772>
- [16] W. T. Buchanan, C. W. Svare, K. A. Turner, "The effect of repeated firings and strength on marginal distortion in two ceramometal systems", J Prosthet Dent, vol. 45, no. 5, pp. 502-506, 1981.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(81\)90035-4](https://doi.org/10.1016/0022-3913(81)90035-4)
- [17] S. D. Campbell, L. Pelletier, "Thermal cycling distortion of metal ceramics: part I-metal collar width", J Prosthet Dent, vol. 67, no. 5, pp. 604-608, 1992.

김 재 홍(Jae-Hong Kim)

[정회원]



- 2012년 8월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (이학석사)
- 2014년 8월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (이학박사)
- 2014년 9월 ~ 2016년 2월 : 고려대학교 보건과학연구소 연구교수
- 2016년 3월 ~ 2017년 2월 : 연세대학교 구강과학연구소 연구원
- 2017년 3월 ~ 현재 : 동남보건대학교 치기공과 교수

<관심분야>

디지털치의학, 치과재료, 치기공연구방법론

김 기 백(Ki-Baek Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (보건과학석사)
- 2014년 2월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (이학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 치기공(학)과 교수

<관심분야>

디지털치의학, 치과재료, 치과보철, 의공학

정 재 관(Jae-Kwan Jung)

[정회원]



- 2007년 2월 : 건양대학교 보건대학원 보건학과 (보건학석사)
- 2012년 8월 : 충북대학교 의과대학원 의공학과 (의학박사)
- 1999년 9월 ~ 2008년 2월 : 건양대학교병원 치과진료부 실장
- 2008년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 치기공(학)과 교수

<관심분야>

치과재료, 치기공, 치과보철, 의공학