

Degassing 조건이 Ni-Cr 합금의 도재결합력에 미치는 영향

부산대학교 치과대학 치과보철학교실

이은화 · 전영찬 · 정창모 · 임장섭

I. 서 론

오늘날 도재전장금관은 우수한 강도, 심미성, 내구성 그리고 구강내에서의 안정성과 같은 장점으로 인하여 치과임상에서 가장 선호되는 보철 치료의 한 형태이다. 도재가 갖는 낮은 전단 및 인장 강도와 충격에 대한 취약성을 극복하여 성공적인 도재전장금관을 제작하기 위해서는 도재와 금속간의 견고한 결합을 얻는 것이 무엇보다도 중요하다.

도재와 금속간의 결합 기전에는 기계적 결합, 화학적 결합, 도재와 금속의 열팽창계수 차이에 따른 압축력에 의한 결합 그리고 분자간 인력(van der Waals force)에 의한 결합 등이 있는데 이 중 가장 높은 비중으로 작용하는 것은 화학적 결합으로 알려져 있다¹⁻³⁾.

화학적 결합은 degassing이나 도재소성 과정 중에 금속표면에 형성된 산화물이 도재내로 확산되어 도재내 산화물과 공유결합이나 이온결합을 함으로써 이루어진다²⁾. 따라서, 금속표면의 산화막의 형성과 이를 위한 degassing은 도재전장금관 제작에 있어 매우 중요한 과정이며 합금의 종류에 따라 적절한 조건을 추구하여야 한다.

자체의 산화가 어려워 Sn, In, Fe 등의 원소들을 미량 첨가하여 산화막 형성을 유도하는 귀금속합금의 경우 충분한 계류시간을 부여하는 degassing방법이 도재결합에 유리하다고 보고되어 있지만³⁻⁵⁾ 비귀금속 합금에서는 열처리동안 합금의 주성분들이 쉽게 산화되어 과도한 산화막이 형성될 수 있기 때문에, 적절한 산화막 형성에 필요한 degassing방법은

합금제조사나 연구자들 사이에 여전히 논란이 되고 있다.

합금의 종류와 도재간의 결합에 대해 선학들은 다양한 의견들을 보이고 있는데 McLean 등⁶⁻⁸⁾은 비귀금속 합금의 과도한 산화막은 자체의 강도가 약하여 파절되기 쉽고 도재내로 확산된 Cr₂O₃가 계면 도재의 열팽창계수를 감소시켜 압축응력에 의한 도재균열을 야기하여 귀금속합금에 비해 낮은 도재결합력을 보인다고 보고하였다.

반면, Moffa 등^{9,10)}은 귀금속 합금과의 비교시 Cr 산화물을 가진 비귀금속 합금의 결합력이 오히려 우수한 것으로 보고하였으며, Carter 등¹¹⁾은 degassing과정 중에 생성된 Ni-Cr합금의 산화물을 그대로 두고 도재를 소성한 것이 연마를 통해 산화막을 제거하고 소성한 것보다 도재 결합력이 훨씬 우수하였다고 보고하였다.

Ni-Cr 합금의 degassing처리시 외층에는 빨리 생성되는 NiO가, 내층에는 Cr₂O₃가, 그리고 그 사이에는 이 두 산화물의 반응으로 NiCr₂O₄가 형성된다^{12,13)}. 이들의 비율과 전체 산화물의 양은 Cr과 기타 미량 원소들의 함량과 degassing시의 온도, 시간, 진공여부에 따라 달라지며, 산화물의 생성은 도재와의 화학적인 결합에는 물론, 금속표면의 미세 구조를 변화시켜 기계적 결합에도 영향을 줄 수 있다고 알려져 있는데, 실제 기공과정에서는 선택된 합금에 대해 시간, 진공여부와 같은 degassing조건을 달리하여 산화를 조절할 수 있다.

본 연구에서는 국내에서 널리 사용되는 두 가지 Ni-Cr 합금의 적절한 degassing조건을 알아보고자

degassing시의 고온계류시간과 진공여부를 달리 한 금속-도재시편군들의 결합력을 측정, 비교하였다.

II. 연구재료 및 방법

본 연구를 위하여 Ni-Cr 합금으로 Verabond® (Aalba Dent. Inc, U.S.A.)와 Rexillium® III (Rx Jeneric Inc, U.S.A.)를(Table 1), 그리고 도재는 Ceramco® II(Ceramco Inc, U.S.A.)를 사용하였다.

1. 금속시편제작

판상의 금속시편을 제작하기 위하여 0.6mm 두께의 plastic sheet를 이용, 가로 30mm, 세로 10mm의 납형을 만들어 인산염계 매몰재로 매몰하고 고주파 전기주조기로 주조하였다.

주조체를 매몰재로부터 분리한 후 주조과정 중에 생긴 산화막과 오염을 제거하기 위해 기공용 carbide bur를 이용하여 도재가 피개될 금속 표면을 연

마하고 50 μ m의 산화알루미늄을 분사하여 균일한 표면요철을 부여하였다. 금속 표면에 부착된 오염물을 제거하기 위하여 acetone에 담구어 10분간 초음파 세척을 한 후 증기세척을 시행하였다.

Table 2와 같이 degassing조건에 따라 합금 당 5개의 군으로 나누어, 군 당 8개씩, 총 80개의 금속시편을 제작하였다.

2. Degassing 처리

1) Verabond 합금군

Degassing의 온도조건은 합금 제조사의 지시를 근거로 하였고 진공 여부와 최고온도에서의 계류시간을 달리하여 V1군은 대조군으로 degassing을 시행하지 않았으며, V2군은 진공하에서 1200°F에서 1800°F까지 분당 75°F의 온도상승률로 가열시켰으며 V3군과 V4군은 진공하에서 1200°F에서 1800°F까지 가열 후 최고온도에서 각각 5분, 10분간 계류하였고 V5군은 제조사의 지시에 따라 대기중에서 가열만 시행하였다.

Table 1. Technical data of alloys used in study

	Verabond	Rexillium III
Composition(%)	Ni(77.9) Cr(12.6) Mo(5) Al(2.9) Be(1.95) Co(0.45)	Ni(74~78) Cr(12~14) Mo(4~6) Be(1.8)
Yield strength(psi)	121,000	116,300
Elastic modulus(psi)	30.4×10^6	37×10^6
CTE(/°C)(25~500°C)	14.8×10^{-6}	14.06×10^{-6}

Table 2. Degassing condition of experimental groups

Verabond		Rexillium III	
V1	No degassing	R1	No degassing
V2	1200~1800°F, under vacuum	R2*	1200~1825°F, under vacuum
V3	1200~1800°F, 5min holding under vacuum	R3	1200~1825°F, 5min holding under vacuum
V4	1200~1800°F, 10min holding under vacuum	R4	1200~1825°F, 10min holding under vacuum
V5*	1200~1800°F, in air	R5	1200~1825°F, in air

Temperature raised at a rate of 75°F/min.

* Degassing condition recommended by the alloy manufacturer.

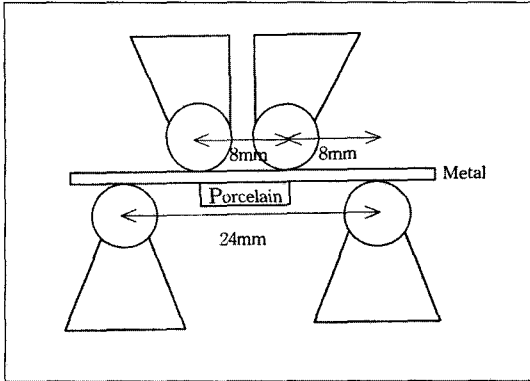


Fig. 1. Four-point flexural test arrangement.

2) Rexillum III 합금군(R1~R5군)

1825°F를 최고온도로 하고 그 외의 degassing 조건 즉, 진공여부, 최고온도에서의 계류시간 및 온도상승률은 Verabond의 실험군들과 동일하게 적용하였다. R2군과 같이 진공하에서 가열하는 방법이 제조사의 지시에 부합되는 것으로 Verabond와는 차이가 있었다.

3. 도재 소성

처리된 금속면의 중앙에 가로 8mm, 세로 10mm, 두께 1.2mm의 도재층을 축조하였다. Ceramco II의 paint- σ -pake을 이용한 2차례의 불투명 도재소성, 2차례의 상아질색 도재소성, 그리고 마지막으로 natural glazing까지 총 5차례의 소성과정을 거쳤다.

4. 4점굴곡시험

만능시험기(Model 4301, Instron Corp., England)

상에서 4점굴곡시험¹⁵⁻¹⁷⁾을 시행하였으며(Fig. 1), 0.5mm/min.의 cross head speed로 하중을 가하여 처음으로 분리가 일어나는 시점의 하중을 결합강도로 계산하였다¹⁶⁾.

III. 연구성적

각 실험군들의 평균결합강도는 Table 3과 4, Fig. 2와 3과 같으며 one-way ANOVA와 Duncan's multiple range test를 시행하여 degassing조건에 따른 결합강도의 차이를 검증하였다.

Verabond시편의 경우 제조사의 추천에 따라 대기 하에서 degassing처리를 한 V5군이 가장 높은 결합력(2.79kg)을 보였고 다음으로는 진공하에서 가열 후 최고온도에서 5분 계류한 V3군(2.74kg), 10분 계류한 V4군(2.66kg)순으로 높게 나타났다. Degassing을 하지 않은 V1군(2.47kg)과 진공하에서 가열 후 최고온도에서 계류하지 않은 V2군(2.39kg)은 상대적으로 낮은 결합력을 보였다. V1군과 V2군, V3군과 V5군, V4군과 V5군 사이에는 각각 통계학적으로 유의할 만한 차이를 나타내지 않았다(Table 3).

Rexillum III의 경우에는 R4군(2.99kg), R5군(2.94kg), R3군(2.86kg), R2군(2.76kg), R1(2.74kg)군 순으로 평균결합강도가 높게 나타났다. R4군과 R5군은 R1군과 R2군에 비해 유의성 있게 높은 값을 보였다(Table 4).

파절이 일어난 후 금속면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 모든 실험군에서 표면에 얇은 도재층이 부분적으로 남아 있는 복합형의 실패양상을 나타냈으며 V3군과 V4군, R4와 R5군은 그들의 대조군에 비하여 도재층의 응집실패(cohesive failure)양상이 두드러지게 나타났다(Fig. 4, 5).

Table 3. Means and standard deviations of bond strength for Verabond groups

Group	N	Mean(kgs)±SD	Duncan's grouping
V1	8	2.47 ± 0.14	A
V2	8	2.39 ± 0.13	A
V3	8	2.74 ± 0.15	C
V4	8	2.66 ± 0.08	B
V5	8	2.79 ± 0.08	B C

Groups with the same letter are not significantly different at $\alpha=0.05$

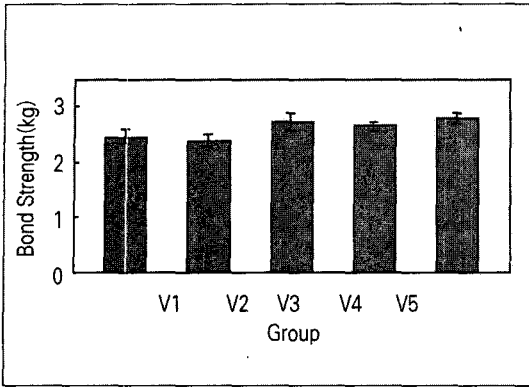


Fig. 2. Mean bond strength of Verabond groups.

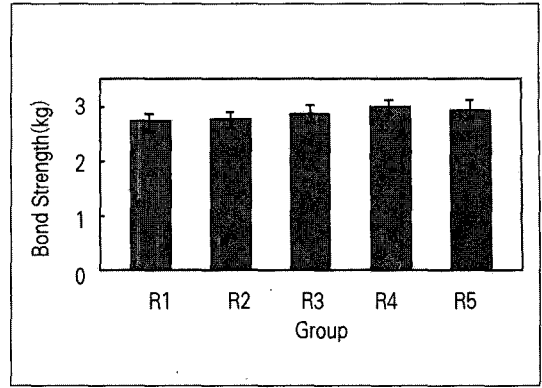


Fig. 3. Mean bond strength of Rexillium III groups.

Table 4. Means and standard deviations of bond strength for Rexillium III groups

Group	N	Mean(kgs) ± SD	Duncan's grouping
R1	8	2.71 ± 0.17	A
R2	8	2.76 ± 0.15	A
R3	8	2.86 ± 0.16	A B
R4	8	2.99 ± 0.13	B
R5	8	2.94 ± 0.18	B

Groups with the same letter are not significantly different at $\alpha=0.05$

IV. 총괄 및 고찰

도재 소성전에 시행되는 합금의 degassing은 적절한 금속-도재간 결합을 이루는 데에 매우 중요하다. 산화열처리라고도 불리는 degassing의 목적은 (1) 소성 과정 중 연소되어 도재내 기포와 균열의 잠재적 시작점이 될 수 있는 유기 물질을 금속으로부터 제거하고, (2) 주조 후 매몰재 내에서 주조체가 불균등하게 냉각되면서 유발되는 내부 응력을 해소시키며, (3) 도재와의 결합에 도움을 주는 산화막을 형성하기 위한 것이다^{5,18}.

Dent 등⁵은 산화 경향이 낮은 귀금속 합금의 경우 대기하에서 오랜 시간 고온에 노출시키는 degassing 방법이 도재와의 결합에 유리하다고 보고하였으며, Jochen 등¹⁹은 Au-Pd 합금이나 Ag-Pd 합금에서 degassing처리는 도재 결합력을 전혀 향상시키지 못하므로 주조 후 sandblasting과 세척을 시행한 뒤 바로 불투명 도재를 축조할 것을 추천하였다.

비귀금속 합금은 가격이 저렴하고 견고하며 영구 변형에 대한 저항성과 sag resistance가 높은 장점이

로 인하여 1970년대 이후 고가의 금합금의 대용으로 임상에서 널리 사용되고 있으나, 가공이 어렵고 주조수축률이 높아 정밀도가 다소 떨어지는 단점이 있다⁷. 또한 열처리나 도재 소성 중에 산화되기 쉬운 주성분들로 인하여 산화막이 과도하게 형성될 수 있는데, Wight 등²⁰은 Ni-Cr합금의 degassing시 최고 온도에서의 계류 시간을 증가시킨 경우 도재 결합력이 감소되었다고 보고하였다. 한 편 Wu 등²¹은 degassing처리 자체와 온도, 시간, 산소분압과 같은 degassing조건은 비귀금속 합금의 도재 결합력에 아무런 영향을 주지 못한다고 보고하였으며, Carter 등¹¹은 degassing처리 후 Ni-Cr 합금의 표면을 연마할 경우 표면 산화물이 결집되어 산화막을 그대로 두고 도재를 소성한 경우에 비하여 도재 결합력이 감소되며 이는 degassing시간이 짧은 경우 더욱 현저해진다고 하였다.

본 연구에서는 두 가지 Ni-Cr합금에 대해 고온에서의 계류시간과 진공여부를 달리하여 degassing을 시행하고 도재 결합력을 측정, 비교하여 적절한 degassing방법을 알아보려고 하였다.

고온계류의 효과를 비교하기 위하여 진공하에서 가열 후 최고온도에서 5분과 10분의 계류시간을 부여하였는데 Verabond의 경우 5분과 10분 동안 고온 계류를 시행한 V3군과 V4군이 계류를 부여하지 않은 V2군에 비해 높은 결합력을 보였으며 Rexillum III에서는 5분간 고온계류한 R3군과 계류를 시행하지 않은 R2군은 통계학적으로 상호 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나, 10분간 고온계류한 R4군은 R2군보다 높은 결합력을 보였다. 이와 같이 진공하에서 Ni-Cr합금을 degassing하는 경우 고온계류를 부여하는 것이 도재와의 결합에 유리하였으나 유의성 있는 결합력 증가를 가져오기 위해 요구되는 시간은 금속별로 다소 차이가 있었다.

Degassing의 주요 조건 중 진공여부는 고온계류시간보다 영향이 더 큰 것으로 나타났는데, Verabond와 Rexillum III 모두에서 대기중에서 처리한 V5군, R5군이 대조군인 V1군, R1군은 물론이며 같은 온도 조건으로 진공처리한 V2군, R2군에 비해 현저히 높은 결합력을 보였다. Verabond는 합금제조회사의 지시에 부합되는 결과를 얻었으나 Rexillum III의 경우에는 차이가 있었다. 이러한 실험 결과를 볼 때 Daftary와 Donovan의 주장처럼 금속에 따라 degassing이나 산부식 등의 도재소성 전처리의 영향이 달라지므로 기공사들은 자신이 사용하는 금속과 도재에 맞는 방법을 정립해 두는 것이 바람직하다고 하겠다²²⁾.

산화막이 도재용착에 도움을 주는 측면은 다양한데 우선 산화물의 생성으로 금속표면의 조도가 증가되며 접촉각의 감소로 인한 도재의 젖음성이 향상되어 기계적인 결합력이 높아질 뿐만 아니라 결과적으로 도재와 금속이 반응을 할 수 있는 면적이 증가되어 화학적인 결합도 촉진되게 된다¹⁴⁾.

본 실험의 결과로부터 충분한 degassing을 통하여 형성된 산화막이 Ni-Cr 합금의 도재결합력을 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있었는데, 이는 산화막 자체의 취약한 강도나 Cr₂O₃와 같은 특정산화물의 부작용으로 인해 Ni-Cr 합금의 도재결합력을 의심한 McLean⁶⁻⁸⁾의 주장과는 다소 상반된 결과이다. McLean은 도재에 인위적으로 Cr을 첨가하여 변화된 열팽창계수를 측정함으로써 비귀금속 합금의 Cr 산화물이 도재의 열팽창 계수를 낮출 것이라는 데에 비중을 두었으나 실제로 현대의 비귀금속 합금과 도

재의 결합에서 그러한 문제를 야기할 수 있는 분량의 Cr 산화물이 도재내로 확산되는지 여부가 확인되어야 할 것이다. 열처리된 Ni-Cr 합금에 도재를 소성한 후 계면에 인접한 금속과 도재의 성분 분석을 시행한 결과 금속측에서 계면을 지나 도재측으로 오면서 Ni이나 Cr의 함량이 급격히 감소되었다고 한 김등¹⁴⁾의 보고에서 알 수 있듯이 실제 계면을 통해 도재로 확산되는 Cr 산화물의 양이 걱정할 정도는 아닌 것 같다. 또한 김과 조²³⁾는 Ni-Cr합금 표면에 Ni, Cr, Al, Ti, In, Sn을 각각 sputtering하고 degassing을 시행하여 도재와의 결합력을 측정된 결과, NiO이나 Cr₂O₃의 도재결합력이 귀금속 합금에서 나타나는 In₂O₃나 SnO₂의 도재결합력에 비하여 차이가 없음을 보고하였다.

Ni-Cr합금의 degassing방법에서 계류시간증가와 높은 산소분압의 효율성을 비교해볼 때 높은 산소분압, 즉 대기중에서 고온계류없이 구조체를 가열하는 것이 훨씬 안전하고 효과적인 방법이라고 생각된다. 이는 고온계류정도와는 달리 대기하 degassing 시 두 가지 Ni-Cr 합금 모두 일괄되게 도재결합력이 향상되었을 뿐만 아니라 long span bridge 등의 금속 구조물을 고온에 장시간 노출시켰을 때 발생할 수 있는 sagging 등의 변형가능성^{11, 24, 25)}도 감소시킬 수 있기 때문이다.

높은 산소 분압을 적용하는 것은 짧은 시간동안 많은 양의 산화물을 생성시킬 수 있는데, Baran²⁶⁾은 대기상태에서 열처리시 진공상태에서 열처리한 경우보다 3배 정도 두껍게 산화막이 형성되었다고 보고하였다. 본 연구에서 사용된 Verabond와 Rexillum III는 산화를 조절하는 Be를 함유하고 있어 과도하게 많은 산화막이 형성되지는 않은 것으로 생각된다. 산화조절 외에도 Be는 합금의 결정을 미세화하고 용점을 낮추어 구조성과 조작성을 향상시킴으로써 비귀금속 합금의 물성에 유리하게 작용하지만 인체에 대한 독성으로 인해 사용상 주의를 요하며 다른 원소로 대체하려는 노력이 계속되고 있다²⁷⁾.

임상과 기공작업에서 합금을 선택할 때는 경제성과 더불어 물성에 대한 정확한 이해가 요구된다. 화학적 결합의 유도과 함께 금속-도재간의 성공적인 결합을 이루는데 필요한 요구조건으로는 소성 과정에서 유리화 온도 이하로 냉각될 때 발생하는 응력을 최소화할 수 있도록 합금과 도재가 상호 유사한

열팽창계수를 가지는 것인데 두 재료간의 이상적인 범위를 벗어난 약간의 차이는 경우에는 slow cooling 과 같은 냉각 방법의 조정으로 보상될 수도 있다. 본 연구에서 사용된 Verabond는 $14.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, Rexillium III는 $14.09 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 의 열팽창계수를 가지는데, 이는 Ceramco II 도재의 제조사가 추천하는 이상적 또는 사용가능한 범위에 속하는 값들이어서 소성 후 별도의 냉각시간을 부여하지는 않았다. 열팽창계수 외에도 도재용 합금이 갖추어야 할 물성으로는 높은 강도, 변형과 sagging에 대한 저항성인데 전체 기공과정동안 정확도를 유지하며 기능시 교합력에 의한 변형과 도재 파절을 방지하기 위한 것이다.^{11,24,25)}

본 연구에서 금속도재결합력의 측정을 위해 사용한 4점굴곡시험은 시편제작이 비교적 간단하고 재료의 두께가 임상적으로 근거가 있으며 결합의 실패를 가시적으로 쉽게 확인할 수 있다는 장점을 갖는 반면, 사용된 금속의 탄성률이 파절하중치에 크게 영향을 주기 때문에 다른 금속간에서는 도재결합력에 대한 직접적인 비교가 곤란하다는 단점을 갖는다. 본 실험에서 측정된 도재결합력은 Rexillium III시편이 Verabond시편에 비해 전반적으로 높은 수치를 보였는데 이 역시 두 금속의 탄성률의 차이에서 기인한 것이라고 사료된다. 결합력으로 측정된 금속도재간 파절 하중은 두 금속의 탄성변형 범위를 넘지 않는 것으로 탄성률이 높은 Rexillium III가 높은 파절하중을 갖는 것은 당연하며 이는 순수히 도재-금속간 결합력의 우수함을 의미하는 것은 아니라 하겠다. 금속간의 비교를 위해서는 금속 물성에 따른 영향을 최소화할 수 있는 형태의 실험방법이 필요할 것으로 생각된다. 하지만 한가지 금속으로 제작된 시편내에서 degassing방법에 따른 도재결합력의 차이를 비교하는 것은 가능하다고 할 수 있다.

본 실험에서 파절된 금속면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 이전의 여러 문헌들에서 보고된 것과 같이 모든 시편군에서 복합형의 파절 양상을 보였는데^{16,28,29)} 얇은 도재층이 금속표면에 부분적으로 남는 도재의 응집실패(cohesive failure)양상과 계면에서의 부착실패(adhesive failure)양상이 혼합되어 나타났으며, 높은 결합력을 보인 V3, V5군과 R4, R5군들에서 도재의 응집실패 경향이 더 우세하게 나타났다. 이는 금속과 도재의 결합강도가 도재의 파절 강도보

다 높아 계면이 아닌 도재층내의 파절을 야기한 것으로 생각된다. 하지만 파절 양상 자체를 결합력과 직접적으로 결부시킬 수는 없는데 시편형태와 실험 방법에 따라 하중이 집중되는 부분이 다를 수 있기 때문이다.

임상적으로 성공적인 도재전장금관 치료를 위해서는 적절한 도재소성전처리를 통한 강력한 금속-도재 결합을 유도하는 것과 더불어 제작 과정 중에 생길 수 있는 응력과 변형을 최소화하며 기능중의 도재 파절을 예방하기 위하여 도재를 충분히 지지할 수 있는 형태의 금속하부구조물의 제작도 매우 중요하다.

이상에서 살펴본 바와 같이, Ni-Cr 합금으로 도재전장금관을 제작하는 경우 적절한 degassing은 견고한 금속-도재 결합을 이루기 위한 필수적인 과정이며 이러한 과정으로 얻어진 산화막은 '과도한' 것이 아니라 '충분한' 것이라는 확신을 얻을 수 있었다.

V. 결 론

도재용 Ni-Cr합금의 적절한 degassing방법을 알아보기 위하여 진공여부와 고온계류시간을 달리하여 degassing을 적용하여 도재-금속 판상 시편을 제작하고 4점굴곡시험을 시행하였다. 합금은 Verabond와 Rexillium III를 사용하였으며, 함께 사용된 도재는 Ceramco II였다.

대조군인 비처리군과 degassing방법에 따라 진공하에서 일정온도 구간내에서 가열한 군, 가열 후 최고 온도에서 5분, 10분간의 계류를 시행한 군, 대기중에서 가열만 시행한 군으로 분류하여 도재결합력을 측정, 비교하였으며 파절 양상을 주사전자현미경을 통해 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 대기하에서 degassing을 시행하는 것은 Ni-Cr합금의 도재결합력을 향상시켰다.
2. Ni-Cr합금을 진공하에서 degassing하는 경우에는 고온에서 일정시간 계류하는 것이 도재결합력에 유리하였다.
3. 분리 후 금속면에는 얇은 도재층이 부분적으로 남아 있었고 결합력이 높았던 군일수록 도재층의 cohesive failure 양상이 두드러졌다.

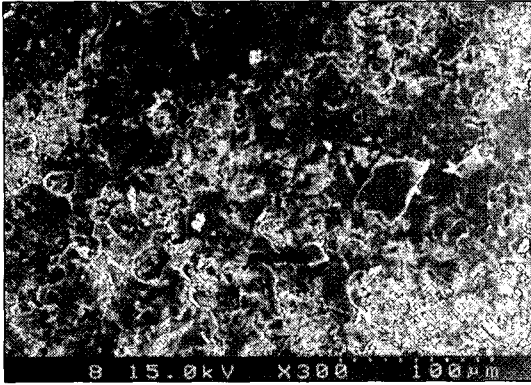
참 고 문 헌

1. Knap FJ, Ryge G. Study of bond strength of dental porcelain fused to metal. *J Prosthet Dent*, 1966;45:1047-51.
2. Shell JS, Nielsen JP. Study of the bond between gold alloys and porcelain. *J Dent Res* 1962;41:1424-37.
3. Yamamoto M. *The metal-ceramics*. Chicago: Quintessence; 1985. p.110, p438.
4. Ohno H, Karazawa Y, Kawashima I, Shiokawa N. Structure of high temperature oxidation zone of gold alloys for metal-porcelain bonding containing small amount of In and Sn. *J Dent Res* 1983;62:774-9.
5. Dent RJ, Preston JD, Moffa JP, Caputo A. Effect of oxidation on ceramometal bond strength. *J Prosthet Dent* 1982;47:59-62.
6. McLean JW. Letter to the editor in reader's round table. *J Prosthet Dent* 1974; 31:691-2.
7. McLean JW. The Metal-ceramic restoration. *Dent Clin North Am* 1983;27: 747-61.
8. McLean JW, Sced, IR. The strength of metal ceramic bonds with base metal containing Cr. *Brit Dent J* 1973;132:232-4.
9. Moffa JP, Lugassy AA, Guckes AD, Gentleman LG. An evaluation of non-precious alloys for use with porcelain veneers, Part I. Physical properties. *J Prosthet Dent* 1973;30:424-31.
10. Moffa JP. Letter to the editor in reader's round table. *J Prosthet Dent* 1974; 31:692-3.
11. Carter JM, Al-Mudafar J, Sorensen SE. Adherence of a nickel-chromium alloy and porcelain. *J Prosthet Dent* 1979;41:167-172.
12. Baran GR. Oxide kinetics of some Ni-Cr alloys. *J Dent Res* 1983;62:51-5.
13. Baran GR. The metallurgy of Ni-Cr alloys for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent* 1983;50:639-50.
14. Kim YH, Lee SH, Yang JH, Jung HY. Metal surface change by heat treatment of Ni-Cr alloys. *J Korean Acad Prosthodont* 1989;27:219-41.
15. Coffey JP, Anusavice KJ, Deltoff PH, et al. Influence of contraction mismatch and cooling rate on flexural failure of PFM systems. *J Dent Res* 1988;67:61-5.
16. Caputo AA, Dunn B, Reisbick MH. A Flexural Method for Evaluation of Metal-Ceramic Bond strengths. *J Dent Res* 1977;56:1501-6.
17. Dehoff PH, Anusarice KJ, Hathcock, PW. An Evaluation of the four-point flexural test for Metal-Ceramic Bond strength. *J Dent Res* 1982;61:1066-9.
18. Papazoglou E, Brantley WA, Johnston WM, et al. Effects of dental laboratory processing variables and in vitro testing medium on the porcelain adherence of high-palladium casting alloys. *J Prosthet Dent* 1998;79:514-9.
19. Jochen DG, Caputo AA, Matyas J. Effect of metal surface treatment on ceramic bond strength. *J Prosthet Dent* 1986;55:186-8.
20. Wight TA, Bauman JC, Pelleu GB. An evaluation of four variables affecting the bond strength of porcelain to nonprecious alloy. *J Prosthet Dent* 1977;37:570-7.
21. 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* 1991;66:439-44.
22. Daffray F, Donovan F. Effect of four pre-treatment techniques on porcelain-to-metal bond strength. *J Prosthet Dent* 1986;56:535-9.
23. Kim KN, Cho SA. Effect of nonprecious metallic oxide on the chemical bonding between dental alloy and porcelain. *J Korean Acad Prosthodont* 1987;25:317-25.
24. Gelmalmaz D, Alkumru HN. Marginal fit changes during porcelain firing cycles. *J*

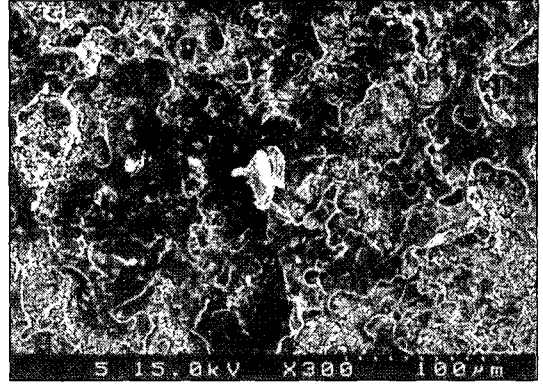
- Prosthet Dent 1995;73:49-54.
25. Camrbell SD, Sirakian A, Pelletier LB, Giordano RA. Effects firing cycle and surface finishing on distortion of metal ceramic castings. *J Prosthet Dent* 1995;74:476-81.
 26. Baran GR. Auger chemical analysis of oxides on Ni-Cr alloys. *J Dent Res* 1984;63:76-80.
 27. Naylor WP. Introduction to metal ceramic technology. Chicago: Quintessence: 1992. p.36
 28. Unsalo EU, Lassila VP, Yli-Urpo AU. Bonding of dental porcelain to ceramic-metal alloys. *J Prosthet Dent* 1987;57:26-9.
 29. Kang SH. A study on bond strength of porcelain with non precious alloy. *J Korean Acad Prosthodont* 1980;18:49-56.

Reprint request to:

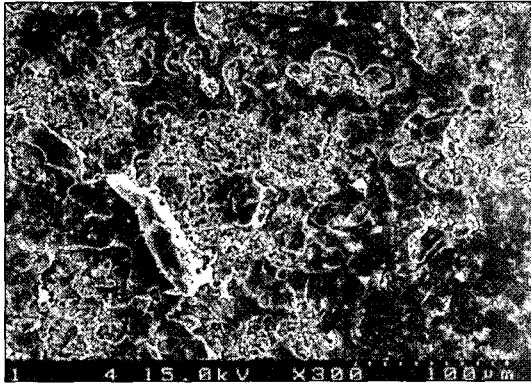
Young-Chan Jeon, D.D.S., M.S.D., Ph.D.
Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Pusan National University
1-10, Ami-Dong, Seo-Gu, Pusan, 602-739, Korea
cmjeong@hyowon.cc.pusan.ac.kr



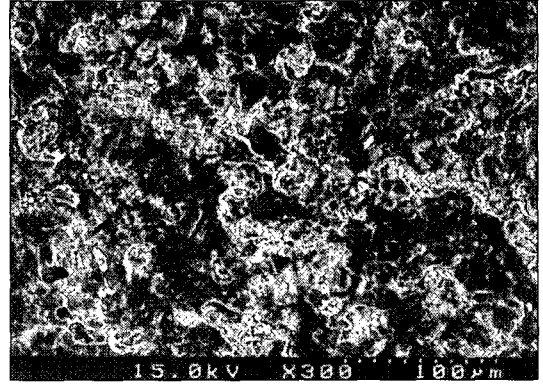
a. V1 group, no degassing.



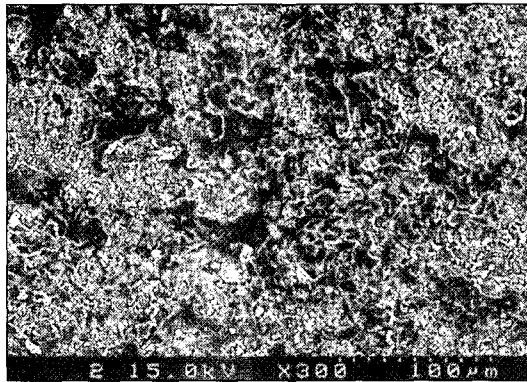
b. V2 group, heating from 1200°F to 1800°F under vacuum.



c. V3 group, holding for 5 min. at 1800°F after heating under vacuum.

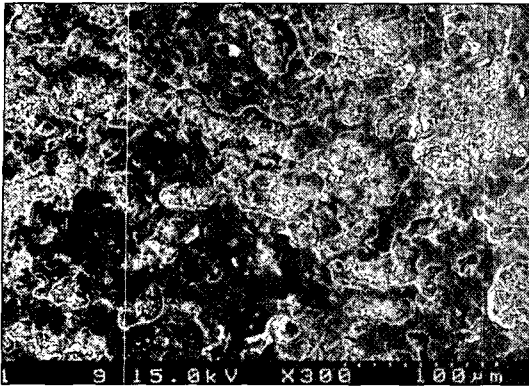


d. V4 group, holding for 10 min. at 1800°F after heating under vacuum.

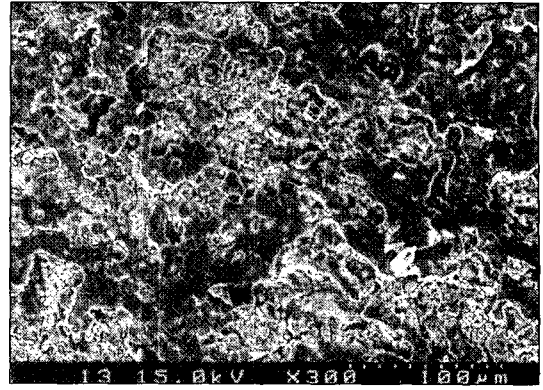


e. V5 group, heating from 1200°F to 1800°F in air.

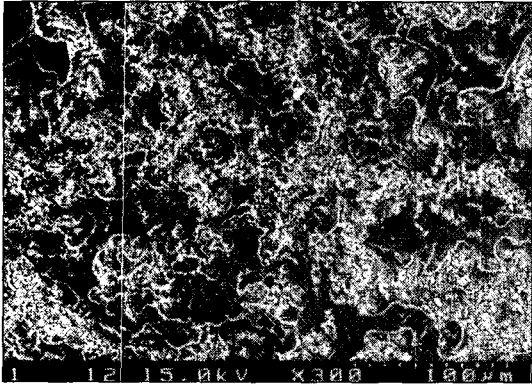
Fig. 4. Verabond surface after ceramic-metal bond test ($\times 300$).



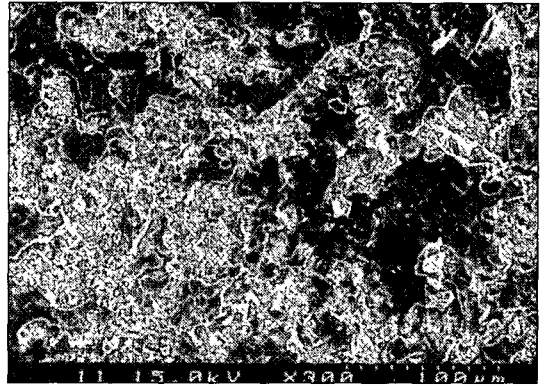
a. R1 group, no degassing.



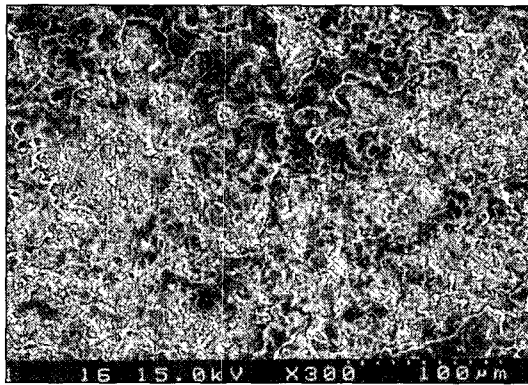
b. R2 group, heating from 1200°F to 1825°F under vacuum.



c. R3 group, holding for 5 min. at 1825°F after heating under vacuum.



d. R4 group, holding for 10 min. at 1825°F after heating under vacuum.



e. R5 group, heating from 1200°F to 1825°F in air.

Fig. 5. Rexillum III surface after ceramic-metal bond test($\times 300$).

ABSTRACT

**EFFECT OF DEGASSING CONDITION ON CERAMIC
BOND STRENGTH OF Ni-Cr ALLOYS**

Eun-Hwa Lee, Young-Chan Jeon, Chang-Mo Jeong, Jang-Seop Lim

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Pusan National University

This study evaluated the effect of degassing on the ceramic bond strength of two Ni-Cr alloys under varying holding time at the upper limit temperature and atmospheric conditions.

Metal specimens were divided into 5 groups for each alloy according to degassing conditions prior to porcelain application : no degassing, degassing under vacuum without hold, degassing under vacuum with hold for 5 min. and 10 min. respectively at the upper limit temperature and degassing in air. Total number of metal ceramic specimens was eighty and each group had eight specimens.

The ceramic bond strength was measured by four-point flexural test using Instron and the fractured surface was examined under SEM.

The results obtained were as follows.

1. Degassing in air improved the ceramic bond strength of Ni-Cr alloys.
2. In degassing under vacuum, hold at the upper limit temperature was advantageous to the ceramic bonding of Ni-Cr alloys.
3. After ceramic metal bond test, metal surfaces were partially covered with the thin porcelain layer, and the cohesive failures in porcelain were predominant in groups showing higher ceramic bond strength.