

## Vent의 형성이 도재전장 비귀금속합금 주조체의 변연부 적합도에 미치는 영향

고려대학교 의료원 치과기공실, 고려대학교 보건대학 치기공과\*, 마산대학 치기공과\*\*

김태석, 이성욱, 오세윤\*, 김웅철\*, 김지환\*, 유진호\*\*

=Abstract=

### The effect of vent on the marginal discrepancy of the PFM base metal castings

Tae-Suk Kim, Sung-Uk Lee, Sae-Yoon OH\*  
Woong-Chul Kim\*, Ji-Hwan Kim\*, Jin-Ho Yoo\*\*

*Dental Laboratory, Hospital, Korea University*  
*Dept. of Dental Technology, College of Health Sciences, Korea University\**  
*Dept. of Dental Technology, Masan College\*\**

This study was performed to investigate the effect of vent on the marginal discrepancy of PFM base metal castings.

Eighteen identical wax patterns of a maxillary 3 unit anterior bridge were fabricated. Nine cases out of them were vented with  $\phi$ 2.5mm sprue wax, for direct comparison as to the marginal discrepancy of the castings with the other non vented 9 ones.

The mean value of marginal discrepancies of the vented castings was  $85.02 \pm 25.57 \mu\text{m}$ , and that of the non vented was  $163.21 \pm 69.88 \mu\text{m}$  respectively. Statistical analysis revealed that marginal discrepancy of the vented casting was significantly reduced ( $p < 0.05$ ).

**Key words** : Vent, Marginal discrepancy, PFM Base metal

교신저자 : 김지환(전화 : 02-940-2843) E-mail : kjh2804@chollian.net  
분과학회논문 : 심미보철기공분과학회

## I. 서 론

도재전장 보철물의 하부구조물 제작을 위해 사용되는 비귀금속합금은 고온에서 안정적일 뿐 아니라, 가격이 저렴하면서도 비교적 정확한 주조체를 얻을 수 있어 도재전장 보철물의 제작시에 널리 사용되고 있다(Preston 과 Berger, 1977; Weiss, 1977).

그러나 도재전장 보철물용 비귀금속합금은 용융점이 높아 주조후의 수축량이 크고, 용융시에 흐름성이 낮은 등 귀금속합금에 비해 정확한 주조체를 얻기 힘든 단점이 있으며(Anusavice들, 1985; Anusavice과 Shafagh, 1986; 김웅철, 1987), 따라서 만족스러운 보철물을 얻기 위해서는 비귀금속합금의 주조시에는 보다 세심한 주의가 필요하다.

일반적으로 금속합금의 주조 재현성은 합금의 종류, 용융 및 주조 방법, 납형의 설계, 매몰재의 종류 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 즉 Vincent(1977)등과 Donovan(1985)등은 원심력을 증가시켰을 때 주조 재현성이 향상됨을 보고하였고, Vincent(1977)등과 Jarvis등(1984)은 주조 재현성을 향상시키기 위해서는 소환 온도와 주조 온도의 조화가 필요하다고 보고한 바 있다. 금속의 용융시 고열을 사용하는 방법과 금속 성분에 베릴륨을 첨가시키는 방법도 금속의 유동성을 증가시켜 주조성을 높여주는 것으로 알려져 있으나, 이들 방법은 금속의 과열로 인한 기포의 형성과 베릴륨의 독성 등으로 인해 여러 가지 문제점을 내포하고 있다(Vincent, 1977; Nielsen과 Shalits, 1977; Nielsen과 Shalits, 1980).

매몰재의 종류 역시 주조체의 적합도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 고온주조용합금의 매몰에 사용되는 인산염계 매몰재는 석고 결합 매몰재에 비해 밀도가 높아 통기성이 떨어지는 것으로

알려져 있으며(Johnston, 1971; Anderson, 1976), 따라서 Anderson(1976)과 Vincent(1977)등은 인산염계 매몰재를 사용할 경우 금속의 주조재현성을 높여주기 위해 납형 상부의 매몰재 층의 두께를 가능한 최소로 하고, ring 상단의 고온 매몰재를 일부 제거하는 것이 좋으며, vent의 형성 역시 매몰재의 통기성을 높여주는 효과적인 방법의 하나라고 보고한 바 있다.

그러나 이처럼 Anderson(1976)과 Vincent(1977)등이 금속의 주조재현성을 높여줄 수 있는 방법의 하나로 vent를 형성해주는 방법을 제시하고 있는 반면, 이진걸과 장완식(1985)은 실험을 통해 vent의 형성과 금속의 주조성과는 아무런 연관이 없다고 보고하는 등 vent의 형성 유무에 따라 주조재현성에 미치는 영향에 대해서는 서로 일치하지 않는 견해들이 제시되어 있다.

Vent의 형성이 주조재현성의 증가에 도움을 줄 수 있는 이유에 대해 Anderson(1976)과 Vincent(1977)등은 vent를 형성함에 따라 주형 내의 공기나 gas 등이 쉽게 방출될 수 있기 때문이라고 하였으나, 이들과 달리 Rawson등(1972)은 vent의 형성에 따라 나타나는 주조재현성이 증가되는 이유는 vent의 형성으로 인하여 매몰재의 통기성이 증가하였기 때문이라기 보다는 vent의 형성에 의해 주조체 부위가 우선적으로 냉각될 수 있기 때문이라고 보고한 바 있어, 주조체의 적합도 증가를 위해 사용되는 vent의 효과에 대해서도 서로 다른 견해들을 볼 수 있다.

앞서 기술하였듯이, 고온 주조용합금은 금속 자체의 낮은 주조성과 높은 수축율 등의 단점으로 인해 귀금속합금에 비해 주조후 만족스러운 적합도를 얻기 힘든 단점이 있는 만큼, 비귀금속합금의 주조후 적합도를 높여주기 위해서는 우선적으로 주조와 연관된 여러 가지 기본적인 요인들에

대한 세심한 주의를 기울이는 것이 필요하리라고 생각된다. 그리고 이러한 관점에서 볼 때, 비록 그 효과에 대해서는 서로 일치하지 않는 견해들이 보고되어 있기는 하나, vent의 형성은 비귀금속합금의 구조적합도를 높여주기 위한 효과적인 방안의 하나라고 생각되기에 본 연구에서는 vent의 형성 여부에 따라 비귀금속합금 구조체의 적합도에 미치는 영향을 실험을 통해 비교, 분석해 보았다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 작업모형의 제작

지대치 모양으로 삭제된 기성품 resin 치아를 사용하여 상악 전치부 3본 bridge의 모형을 제작하였다. 지대치로는 중절치와 견치를 선택하여 사용하였다. 전치부 3본 bridge의 작업모형은 먼저 교정용 resin을 사용하여 resin 모형을 만들고, 고무인상재를 사용하여 복제 경석고 모형을 제작하는 방법을 이용하였다. 복제모형 제작을 위해 사용한 고무인상재와 경석고는 Polyvinylsiloxan Impression Material(Extrude XP Type 0-Putty & Extrude® Type 3-light bodied, Kerr)와 Improved stone(GC Fujirock® EP) 이었다. 복제모형의 지대치 부위에는 통법에 따라 모형의 변연 1mm 상방까지 die spacer (TRU-FIT, GEORGE TAUB PROD. & FUSION CO. INC.)를 도포 하였다(그림1).

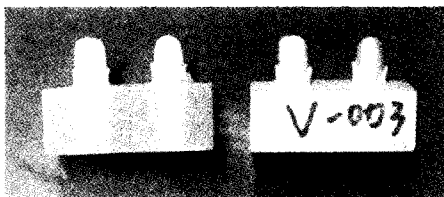


그림 1. 실험용 모형.

### 2. 납형의 제작

실험을 위해 총 20개의 납형을 제작하였다. 납형은 0.5mm의 균일한 두께로 한 개의 3본 bridge의 납형을 제작한 후, 고무인상재를 사용하여 3본 bridge 납형의 mold를 채득하고 여기에 용융된 왁스를 주입하는 방법을 이용하여, 20개의 납형 시편이 모두 동일한 조건을 갖추도록 하였다.

왁스의 용융을 위하여 Dipping pot(Renfert, Germany)를 이용하였으며 Universal modelling wax (Metalor®,Switzerland)를 적정 작업 온도인 65°C에서 완전 연화시킨 후(그림2), 스포이드를 이용하여 녹은 왁스를 인덱스의 주입구로 흘려 넣어 주입된 wax가 공기 방출구로 흘러나오도록 하였다. 용융된 wax가 주입되는 동안 경화되는 것을 방지하기 위하여 주입시간은 5초 이내로 하였다(그림3).

왁스가 완전히 경화된 다음 인덱스를 두개로 분리하고 경화수축으로 생긴 기포는 전기 조각도 (Wax-lectric, Renfert)를 이용하여 같은 종류의 왁스로 수정하였다.

변연의 적합성을 높이기 위해 납형의 두 지대치 사이를 가는 실로 분리한 후 재부착하였고, 변연 1mm 상부까지 삭제한 후 이 부위를 전기 조각도를 이용하여 Margin wax(Metalor, Switzerland)를 추가하였다.

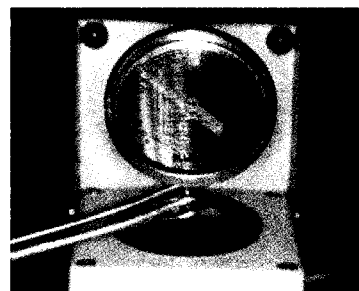


그림 2. Dipping pot(Renfert, Germany).

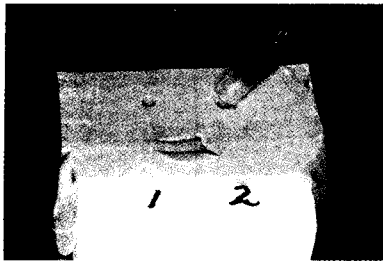


그림 3. 용융된 wax의 주입.

### 3. Vent와 주입선의 부착

시편은 vent를 형성하여준 10개의 시편(실험군)과 vent를 형성해주지 않은 10개의 시편(대조군)의 2개 군으로 구분하였다.

Rawson(1972)은 그의 실험에서 납형 가장자리 쪽의 vent 부위의 온도가 납형부위에 비해 325°F 정도가 낮음을 관찰한 바 있다. 따라서 ring 내부의 위치에 따른 온도의 차이로 인해 vent 부위의 금속이 먼저 냉각될 것이라는 점과 주입선 부위의 최소 두께를 고려하여, 10개의 시편에는 직경 2.5mm의 vent를 ring의 외벽 쪽 가까이에 위치하도록 부착하였다(그림4).

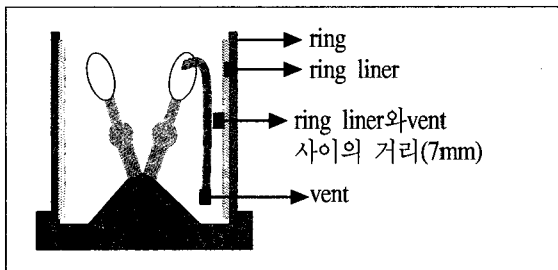


그림 4. Ring liner와 vent사이의 거리.

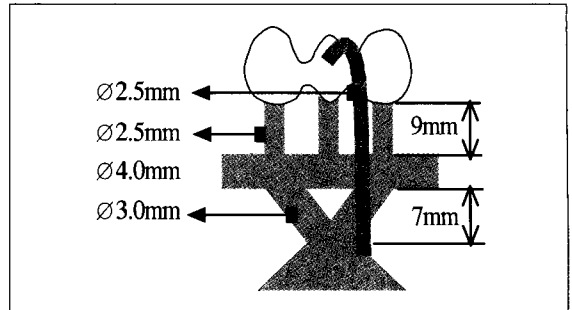


그림 5. 주입선과 vent의 형태와 크기.

주입선은 합금 제조회사의 지시에 따라 runner bar technic을 사용하여 그림5와 같은 방법으로 부착하였다.

### 4. 매몰, 소환 및 주조

냉각용 vent가 있는 경우와 없는 경우로 짝을 짓고, Uninvest<sup>®</sup> plus(Metalor, Switzerland)와 Verabond(AALBA DENT INC, USA)를 이용하여 제조회사의 지시에 따라 매몰 및 주조를 하였다.

주조는 원심주조기(kerr, USA)를 이용하였고 열원은 산소-프로판 혼합가스를 사용하였다. 주조후 링을 서냉 하였고, 주조체는 50 $\mu$ m aluminum oxide(Cobra, Renfert)로 blasting하였다. 내면에 생긴 기포등과 같은 이물질들은 6배율의 기공용 현미경(Mantis@Vision)을 이용하여 제거하였다.

### 5. 측정

주조후 완성된 3본 bridge에서 치형과 주조체의 적합성 여부는 견치 원심부의 동일 지점 변연에서 생성된 이개량을 측정하였다.

측정을 위해 bridge가 완전히 장착된 상태에서 중절치 치형과 주조체를 고정하고, 견치 원심부의 변연을 Zoom Stereo Microscope (KSZ-1A, JOIF)를

김태석, 이성욱, 오세윤, 김용철, 김지환, 유진호 : Vent 의 형성이 도재전장 비귀금속합금 주조체의 변연부 적합도에 미치는 영향

이용하여 200배의 비율로 확대하여 촬영하였다(그림 6).

절대 비교를 통한 실측값을 계산하기 위하여 디지털 캘리퍼스 (Mitutoyo, Japan)를 이용하여(그림 7), 50 $\mu$ m의 인위적인 틈을 만들어 Zoom Stereo Microscope로 촬영하였고, 인화한 사진상의 간격을 디지털 캘리퍼로 측정하여 식 1과 같이 50 $\mu$ m에 해당하는 사진상의 이개량으로 계수를 구해 실험군의 변연이개량을 환산하였다.

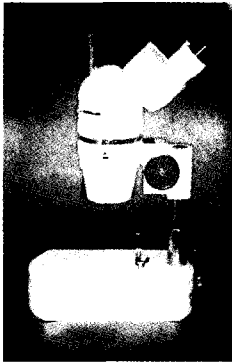


그림 6. Zoom Stereo Microscope(KSZ-1A, JOIF).

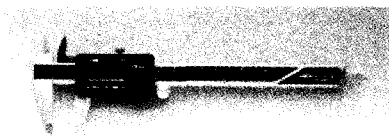


그림 7. Digital Caliper(Mitutoyo,Japan).

식. 1

$50\mu\text{m에 해당하는 사진상의 이개량}(6.4\text{mm}) :$ $\text{인위적인 디지털 캘리퍼스의 이개량}(50\mu\text{m})$ $= \text{실험군의 사진상 이개량}(\text{mm}) :$ $\text{실험군의 실제 이개량}(\mu\text{m})$
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

인화된 사진은 그림 8 및 그림9와 같다.

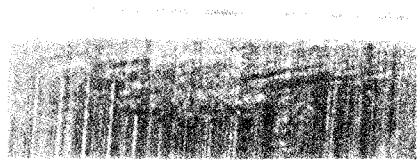
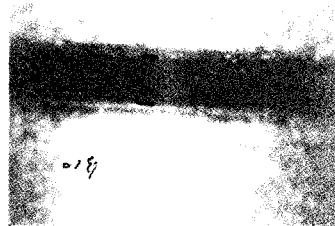


그림 8. 50 $\mu$ m의 현미경 사진(X 100).



(A)



(B)

(a) vent를 부착한 실험군의 경우  
(b) vent를 부착하지 않은 대조군의 경우

그림 9. 측정된 부위의 사진 ( X 200 ).

## 6. 통계분석

수집된 자료는 SAS system(SAS Institute Inc, Version. 6.12)을 이용하여 통계 분석하였다. Sapiro-Wilk Test를 하여 실험군에서 정규분포에 대한 검정값 0.89(P <0.18)와 대조군에서 0.84(P <0.07)를 얻어 정규성을 확인하고, 이어서 t-Test를 시행하여 95%의 유의수준으로 이개량에 대한

평균값의 차이를 검정하였다.

### III. 실험 결과

주조 후에 금속 주조체와 모형사이에서 발생된 변연부의 이개량은 그림10에 나타나 있다.

변연부에서 발생된 최소 및 최대이개량은 실험군에서 각각 56.88 $\mu$ m와 125.08 $\mu$ m이었고, 대조군에서는 각각 44.30 $\mu$ m와 314.10 $\mu$ m이었다. 변연부에서 발생된 평균이개량은 실험군과 대조군에서 각각 85.02 $\pm$ 25.57 $\mu$ m와 163.21 $\pm$ 69.88 $\mu$ m이었으며, 평균이개량은 대조군이 실험군에 비해 2배정도 증가한 것으로 나타났다.

vent의 부착 유,무에 따라 주조체의 변연부에서 발생된 이개량은 통계적으로 매우 유의하였다 ( $p < 0.05$ ). 분석결과는 표 1과 같다.

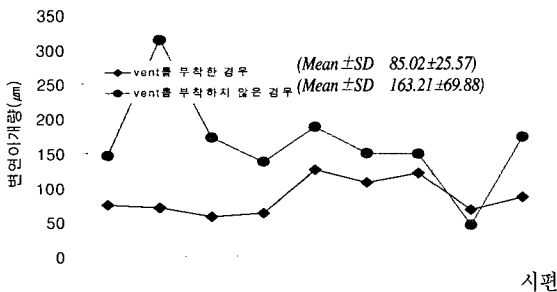


그림 10. Vent의 부착유,무에 따라 주조체의 변연부에서 발생한 이개량.

표 1. 통계분석 결과

#### T TEST PROCEDURE

T	N	Mean	Std Dev	Std Error	Variances	T	DF	Prob>  T
1	9	85.02	25.57	8.52	Unequal	-3.1523	10.1	0.0102
2	9	163.21	69.88	23.29	Equal	-3.1523	16.0	0.0062

For H0 : Variances are equal, F' = 7.47 DF = (8 , 8) Prob> F' = 0.0101  
 T=1 : 실험군, T = 2 : 대조군

### IV. 총괄 및 고찰

금속주조체의 최종 적합도는 인상과 모형의 제작과정에서 발생하는 인상재의 탄성변형과 모형재의 팽창, 그리고 납형의 제작과 매몰과정에서 발생하는 왁스의 수축과 매몰재의 불균일한 팽창 및 주조과정에서 발생하는 금속의 수축과 변형등 여러 가지 요인들의 복합적인 영향을 받게 된다 (Baran, 1983; Gourley, 1975).

한편 주조과정에서 발생하는 금속의 수축과 변형량은 금속의 종류에 따라서도 달라지는 것으로 알려져 있으며, 현재 도재전장주조관의 제작을 위해 널리 사용되고 있는 비귀금속합금은 높은 용융점과 낮은 흐름성, 그리고 주조 과정에서 발생하는 높은 수축량과 이에 따른 변형량의 증가 등의 단점으로 인해 귀금속합금에 비해 주조 적합도가 떨어지는 것으로 밝혀져 있다. 따라서 비귀금속합금의 주조 시에 보다 만족스러운 주조 적합도를 얻기 위한 여러 가지 방법들이 연구, 보고되어 왔으며 (Anderson, 1976; Baran, 1983; Donovan 등, 1985; Jarvis 등, 1984; Johnston 등, 1971; Nielsen 과 Shalits, 1977; Nielsen 과 Shalits, 1980; Vincent 등, 1977), Anderson(1976)과 Johnston 등(1971)과 Rawson 등(1972)은 비귀금속합금의 주조 적합도를 높여줄 수 있는 방법의 하나로 vent를 형성해 주는 방법을 제시한 바 있다.

앞서 기술하였듯이 vent를 형성함으로써 구조적 적합도에 미치는 효과에 대해서는 서로 일치하지 않는 견해를 볼 수 있다. 그러나 이들의 보고에서 vent의 형성이 비귀금속합금의 구조적합도를 높여 줄 수 있는 방법이라는 점에서는 공통된 견해를 볼 수 있는 만큼, vent의 형성이 비귀금속합금의 구조적합도를 높여줄 수 있으리라는 생각에서, 본 실험에서는 Rawson등(1972)의 보고를 참고하여 vent를 부착한 후, vent의 형성 유무에 따라 나타나는 구조체 변연부에서의 이개량의 차이를 관찰해 본 결과, 표1에 나타난 것 같이 vent를 형성해 준 경우에서 구조체 변연부 이개량이 통계학적으로 유의한 정도로 감소하는 것을 볼 수 있었다. 따라서 이와 같은 실험 결과는 vent의 형성이 비귀금속합금의 구조적합도를 높여줄 수 있다고 하였던 Anderson(1976)과 Johnston등(1971)과 Rawson 등(1972)등의 보고와 어느 정도 상통하는 결과라고 생각된다.

한편 Vent의 형성이 구조적합도에 미치는 효과에 대해서 Anderson(1976), Johnston(1971)등은 vent가 주형내의 공기와 gas의 배출을 유도하여 back pressure를 줄여 주는 기능이 있기 때문이라고 보고한 반면, Rawson등(1972)과 Vincent등(1977)은 vent의 형성에 의해 납형부 구조체의 냉각이 우선적으로 유도되기 때문이라고 보고한 바 있다.

본 실험에서도 형성된 vent가 납형부위의 금속의 냉각을 유도할 수 있도록 vent를 ring의 가장자리 쪽으로 위치하여 부착하였던 만큼, 본 실험에서의 결과 역시 vent가 공기 등의 배출 통로로 작용하기보다는 금속의 냉각을 유도할 수 있는 chill-set의 역할을 할 수 있도록 해주어야 한다고 하였던 Rawson등(1972) 등의 견해와 보다 일치하는 것이라고 생각된다.

그러나 Rawson등(1972)의 실험과 본 실험은 실험의 방법에서 다소의 차이가 있다. 즉, Rawson등(1972)의 방법과 달리, 본 실험에서는 vent의 부착 부위가 pontic 부위였으며 Rawson등(1972)이 vent와 주형부위 등 각 부위에서의 온도 차이를 확인하였던 것에 비해 본 실험에서는 ring 내의 각 부위에서의 온도를 확인하지 못하였다. 이와 같은 이유로 본 실험에서 나타난 vent의 구조적합도 증가 효과는 모두 vent의 chill-set 효과에 의한 것이라고 단정할 수 없으며, 따라서 vent가 구조재현성에 미치는 영향에 대해서는 앞으로도 지속적인 연구, 관찰이 필요하리라고 생각된다.

한편 본 실험에서 모형과 구조체의 변연부 사이에서 발생된 평균 이개량의 수치는 Duncan등(1982)의 실험에서 나타난 비귀금속 합금의 변연 이개량( $181 \pm 83.59 \mu\text{m}$ ,  $399 \pm 267.06 \mu\text{m}$ ,  $419 \pm 205.83 \mu\text{m}$ ,  $355 \pm 84.10 \mu\text{m}$ )에 비해 적은 수치였는데, 이는 아마도 재료의 개발을 통해 본 실험에서 사용하였던 재료들의 물리적인 성질등이 개선되었기 때문이 아닌가 추측된다.

금속의 구조재현성은 이러한 여러 가지 요인들 중 전체적인 보철물의 적합도에 가장 큰 영향을 주는 요인의 하나라고 할 수 있으며, 따라서 최근에는 Laser-welding, Spark-erosion, CNC-milling등의 새로운 방법들을 통해 비귀금속합금의 구조재현성을 높여줄 수 있는 여러 가지 방법들이 개발, 소개되고 있다(Huling과 Clark, 1977; Andersson등, 1996; Besimo등, 1997).

그러나, 비록 이런 새로운 방법들이 비귀금속합금의 구조재현성을 상당히 높일 수 있는 효과적인 방법이라고 보고되고 있기는 하나(Andersson등, 1996; Besimo등, 1997), 아직까지는 경제적인 부담 등의 이유로 인해 일반적으로 사용하기 힘든 어려

은 실정이라고 생각된다. 따라서 이런 의미에서 볼 때 보철물의 적합도를 높여주기 위해서는 우선적으로 주조와 연관된 여러 가지 요인들에 대한 세심한 주의를 기울이는 것이 중요하다고 생각되며, 이런 의미에서 본 연구에서의 관찰 결과 역시 비귀금속합금의 주조재현성의 증가에 다소의 도움이 되리라고 생각된다

## V. 결 론

Vent의 형성이 도재전장주조관 제작용 비귀금속합금의 주조적합도에 미치는 영향을 알아보기 위해 냉각용 vent를 부착한 경우와 부착하지 않은 두 가지 경우에서 주조 후 주조체변연 부위에서 주조체와 모형 사이에 발생하는 이개량을 실험적으로 관찰한 결과는 다음과 같았다.

- 1) 주조체와 모형 사이의 평균 변연이개량은 vent를 부착한 경우(실험군)와 vent를 부착하지 않은 경우(대조군)에 각각  $85.02 \pm 25.57 \mu\text{m}$ 와  $163.21 \pm 69.88 \mu\text{m}$ 였다.
- 2) 주조체와 모형 사이의 변연이개량은 vent를 부착한 경우가 vent를 부착하지 않은 경우에 비해 상당량 감소하였으며, 그 감소량은 통계학적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ).

## 참고문헌

김웅철. 치과재료학, 244-295, 1987.

이진걸, 장완식. VENT가 도재전장 주조관용 비귀금속합금의 주조성에 미치는 영향에 관한 연구. 대한치과보철학회지, 23(1) : 1985.

Anderson JN. Applied Dental Materials, ed. 5. Blackwill Scientific Publishing Co., 106-186, 1976.

Andersson M, Carlsson L, Persson M, Bergman B. Accuracy of machine milling and spark erosion with a CAD/CAM system. J Prosthet Dent, 76(2) : 187-193, Aug, 1996.

Anusavice KJ, Okabe T, Galloway SE et al. Flexure test evaluation of presoldered base metal alloys. J Prosthet Dent, 54:507-517, 1985.

Anusavice KJ, Shafagh I. Inert gas presoldering of nickel-chromium alloys. J Prosthet Dent, 55 : 317-323, 1986.

Baran RR. The metallurgy of Ni-Cr alloys for fixed prosthodontics. J Prosthet Dent, 50 : 639, 1983.

Besimo C, Jeger C, Guggenheim R. Marginal adaptation of titanium frameworks produced by CAD/CAM techniques. Int J Prosthodont, 10(6) : 541-6, Nov-Dec, 1997.

Donovan TE, White LE. Evaluation of an improved centrifugal casting machine. J Prosthet Dent. 53 : 609, 1985.

Duncan JD. The casting accuracy of nickel-chromium alloys for fixed prostheses. J Prosthet Dent, 47(1) : 63-8, Jan, 1982.

Gourley JM. Current status of semi-precious alloys in restorative dentistry. J Can Dent Assoc, 41 : 453-455, 1975.

Huling JS, Clark RE. Comparative distortion in three-unit fixed prostheses joined by laser welding, conventional soldering, or casting in one piece. J Dent Res, 128-134, 1977.

Jarvis RH, Jenkins TJ, Tedesco LA. A castability study of nonprecious ceramometal alloys. J Prosthet Dent, 51 : 490, 1984.



김태석, 이성욱, 오세윤, 김웅철, 김지환, 유진호 : Vent 의 형성이 도재전장 비귀금속합금 구조체의 변연부 적합도에 미치는 영향

- Johnston JF, Phillips RW, Dykema RW. Modern practice in crown and bridge prosthodontics, ed. 3. W.B. Saunders Co., 254-255, 1971.
- Nielsen JP, Shalits S. Dental porcelain in dental casting. J Dent Res, 59(Special issue A) : 432, 1980.
- Nielsen JP, Shalits S. Margin casting monitor. J Dent Res, 56(Special issue B) : 213, 1977.
- Preston JD, Berger R. Laboratory variables affecting ceramometal alloys. Dent Clin. North Am, 21 : 717, 1977.
- Rawson RD, Gregory GG, Lund MR. Photographic study of gold flow. J Dent Res, 51 : 1331, 1972.
- Vincent PF, Stevens L, Basford KE. A comparison of the casting ability of precious and nonprecious alloys for porcelain veneering. J Prosthet Dent, 37 : 527, 1977.
- Weiss PA. New design parameters : Utilizing the properties of Ni-Cr super alloys. Dent Clin North Am, 21 : 749, 1977.