

납형의 크기와 형태가 티타늄의 주조성에 미치는 영향

서윤정¹ · 오계정² · 이효일¹ · 신유진¹ · 김홍주³ · 박상원^{1,2*}

¹전남대학교 치의학전문대학원 보철학교실, ²전남대학교 미래형생체부품소재 RIS사업단, ³대전 선치과병원 보철센터

Effect of different pattern size and pattern shape on castability of commercially pure titanium

Yoon-Jeong Seo¹, MSD, Gye-Jeong Oh², PhD, MSD, Hyo-Il Lee¹, MSD, Yoo-Jin Shin¹, MSD, Hong-Joo Kim³, DDS, MSD, Sang-Won Park^{1,2*}, DDS, MSD, PhD

¹Department of Prosthodontics, Dental Science Research Institute, School of Dentistry, Chonnam National University, Gwangju, Korea

²RIS Foundation for Advanced Biomaterials, Dental Science Research Institute, School of Dentistry, Chonnam National University, Gwangju, Korea

³Prosthodontic Clinic, Daejeon Sun Dental Hospital, Daejeon, Korea

Purpose: The purpose of this study was to investigate the effect of geometrically different wax pattern shapes and sizes on the castability of Grade2 Cp-Ti (commercially pure titanium). **Materials and methods:** Total of 40 mesh wax pattern (61 mm × 24 mm, 207 grids), (61 mm × 17 mm, 138 grids) was cast in this experiment. Depending on the geometrical shape of the wax pattern, 8 groups was organized; Flat, Semicircular, Horse-shoe and V-shape, each consisting 5 samples. Runner-bar sprue was used in all patterns. The number of completely cast grid in wax pattern served as a measure for the castability of commercially pure titanium. **Results:** The mean value of square count in each group was as followed; 133.20 squares in group SS (96.52%), 132.40 squares in group SH (95.94%), 132.00 squares in group SF (95.65%), 127.60 squares in group SV (91.43%), 198.60 squares in group LF (95.94%), 197.80 squares in group LV (95.56%), 196.40 squares in group LS (94.88%), and 188.00 squares in group LH (90.82%). **Conclusion:** Within the limitations of this study the results indicate that there were no stistically significant difference in castability of titanium regarding wax pattern shape ($P>.05$). However, Small size wax patterns were showing the noticeable castability more than Large size pattern. (*J Korean Acad Prosthodont* 2013;51:261-8)

Key words: Titanium; Castability; Wax pattern; Size; Shape; Sprue

서론

치과 분야에서 주조 티타늄의 사용은 티타늄 전용 주조기 및 매몰재의 개발과 주조과정에 대한 다양한 연구 결과로 인해 가능해졌다.^{1,4} 현재 티타늄을 이용하여 보철물을 제작하는 방법으로는 CAD-CAM (Computer Aided Design-Computer Aided Manufacturing)을 이용하는 방법과 방전 가공을 이용하는 ProCera 법⁵ 그리고 전통적인 용융금속주조법이 있다.

용융금속주조법은 일반적인 금관 제작 방법과 동일하여 티타늄을 이용한 보철물 제작시 많이 사용되지만 티타늄 주조는 electric arc나 고주파 유도 용융법을 이용하여 아르곤이나 헬륨 분위기 하에서 티타늄을 용융시킨 다음 가압 흡인 또는 원심 주조하는 방식으로 주조되며 전용 주조기와 매몰재가 필요하다.⁶ 티타늄은 높은 용융점($1,670 \pm 50^\circ\text{C}$)과 낮은 밀도 및 기체와의 강한 친화성, 매몰재와의 높은 반응성으로 기존의 주조 방식을 사용해서는 주조하기 어려운 단점을 가진다.⁷ 이러한 특

*Corresponding Author: Sang-Won Park

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Chonnam National University,

300 Yongbong-Ro, Buk-gu, Gwangju, 500-070, Korea

+82 62 530 5638; e-mail, psw320@chonnam.ac.kr

Article history: Received August 8, 2013 / Last Revision August 26, 2013 / Accepted September 16, 2013

*본 연구는 전남대학교병원 학술연구비(CRI11014-1)에 의하여 연구되었음.

© 2013 The Korean Academy of Prosthodontics

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

성 때문에 지난 20여년간 치과영역에서의 티타늄 주조에 관한 다양한 연구와 많은 발전에도 불구하고 티타늄 주조체에서 불완전한 주조와 내부 기포와 같은 주조 결함은 흔히 관찰되며 명확히 해결되지 못한 실질적인 문제들이 남아있는 실정이다. 이러한 티타늄의 여러 단점 중에 특히 주조성이 낮다는 점은 기공 과정에서 많은 어려움을 야기시킨다.

좋은 주조체를 얻기 위한 주입선에 관한 연구들 중 runner bar를 이용한 주입선의 설계 방법은 매몰 중에 일어날 수 있는 납형의 변형을 최소화할 수 있으며 주조 시 모든 부분에 걸쳐 동시에 용융 금속을 끌고루 유입시킬 수 있어 주조성이 높아진 다른 연구들이 있다.⁸

그동안 티타늄의 주조성에 대한 연구들은 격자형 납형, 단일 주조금판, 브릿지, RPD 프레임, 클래스프 등 다양한 모형으로 주조성과 함께 내부기포, 변연 재현성 등이 연구되어 왔다.⁹⁻¹⁵ 단일 주조판이나 브릿지와 같이 크기가 작은 주조체의 경우 주입선의 길이와 방향의 조절이 용이하나, RPD의 경우 납형의 크기가 크고 3차원의 구조를 가지고 있어 주조 링 안에 위치시킬 때 공간의 제약을 받아 주입선의 길이나 방향에 영향을 받는다고 보고되고 있다.^{16,17} 따라서 납형의 크기 및 형태에 따른 주입선의 길이나 방향조절에 대한 연구가 필요하다.

대부분의 기존 연구들은 납형이 2차원적 평면 형태를 유지하며, 납형의 크기가 한가지로 한정적으로 설정되며, 납형의 구조 및 주입선의 설계가 단순한 연구들이 대부분이다.

본 연구는 임상에서 제작되는 RPD보철물의 다양한 크기와 형태를 모방하고자 납형을 RPD 크기에 맞추어 Wax Pattern을 Small Pattern군과 Large Pattern군으로 나누었고, 다양한 보철물의 기하학적 형태를 재현하기 위해 Flat형, Semicircular형, Horse-shoe형, V-shape형 등의 4가지 형태로 제작하여 티타늄의 주조성에 어떠한 영향을 주는지 확인하고자 하였다.

연구 재료 및 방법

1. 실험군의 분류

실험군은 총 8개의 그룹으로, 납형의 크기에 따라 Small군과 Large군으로 나누었다. 또한 각각 Flat, Semicircular, Horse-Shoe

Table 1. Experimental groups used in this study

Pattern size	Pattern design	Code (n = 5)
Small (138 Grids)	Flat	SF
	Semicircular	SS
	Horse-shoe	SH
	V-shape	SV
Large (207 Grids)	Flat	LF
	Semicircular	LS
	Horse-shoe	LH
	V-shape	LV

및 V-Shape형으로 납형의 기하학적 형태를 따라 4개의 하위군으로 나누었다(Table 1).

2. 납형 제작과 주입선 형성

1) 납형의 크기 및 디자인

격자 사이 공간 1.9 mm, 두께 0.76 mm인 사각 망의 왁스패턴(Grids RN II, Dentaaurum, Germany)을 사용하여 납형을 제작하였다. Small군은 가로 61 mm, 세로 17 mm (가로 23개, 세로 6개 격자)의 직사각형 형태로 총 138개의 격자가 되도록 하였으며, Large군은 가로 61 mm, 세로 24 mm (가로 23개, 세로 9개 격자)의 형태로 총 207개의 격자가 포함되도록 하였다(Fig. 1).

직사각형의 납형을 굴곡시키지 않은 Flat형과 각각 Semicircular형, Horse-shoe형 혹은 V-shape형으로 굴곡시키기 위하여 치과용 석고(Neo model plaster, plumstone; Mutsumi chemical industries co. Ltd, Japan)로 지표블록(stone block index) (Fig. 2)을 제작하고 납형을 지표블록의 표면에 적합시켜 납형의 굴곡도와 형태를 일정하게 제작하였다.

2) 주입선 디자인 및 부착

주입선(Roll-wax, Dae-dong industry, Korea)의 형태는 runner bar로 하였다. Crucible former와 runner bar를 연결하는 main 주입선은 2개를 사용하였다. 매몰 후 주형 상면과 납형 간 4.5 mm의 공간을 유지하기 위하여 runner bar에서 base former까지 1 cm가 되도록 하였다.

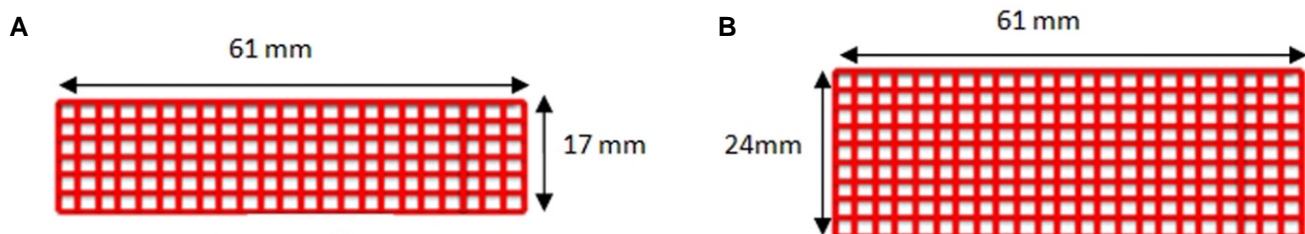


Fig. 1. Schematic representation of pattern size. A: Small, B: Large.

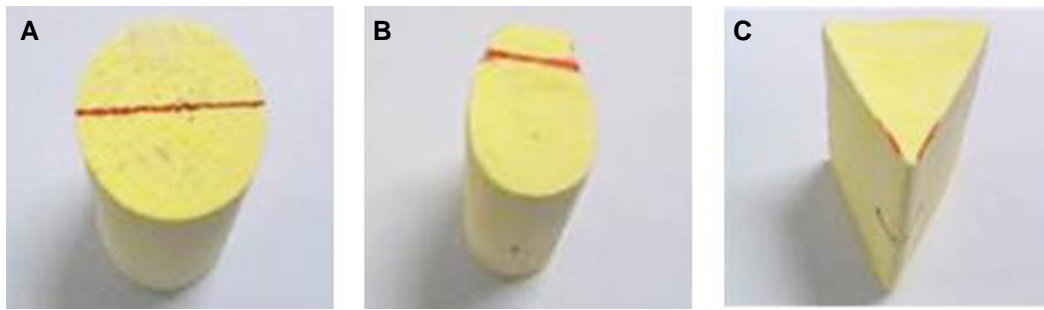


Fig. 2. Stone block indexes used for fabricating wax patterns. A: Semicircular, B: Horse-shoe, C: V-shape.

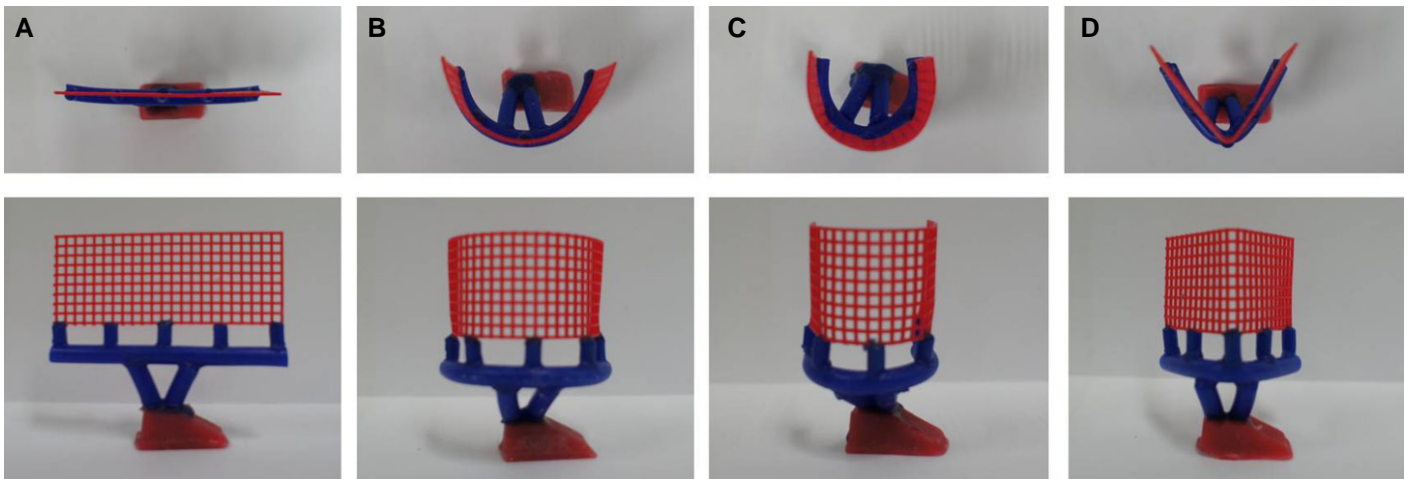


Fig. 3. Wax patterns of each group. A: Flat, B: Semicircular, C: Horse-shoe, D: V-shape.

Mixing time		Burn-out schedule (heating speed: 6°C/mm)					
1 min	Waiting time	16 min	20 min	150 min	Slowly		
		↓	↓	↓	↓		
		70°C	150°C	250°C	1000°C	430°C	
		↑	↑	↑	↑		
	Holding time	4 min	90 min	90 min	90 min	casting	

Fig. 4. Preheating schedule of the invested molds.

납형의 형태에 따라 main 주입선의 부착 각도가 달라지므로 실험군별로 main 주입선의 길이를 다르게 조절하였다. Runner bar는 직경 5 mm의 sprue wax를 납형의 가로길이와 동일하도록 길이 61 mm로 설정하고 납형의 굴곡 형태와 일치하도록 지표 블록에 맞추어 굴곡 시켰다. Runner bar와 납형을 연결하는 lead 주입선은 직경 4 mm, 길이 5 mm로 runner bar에 일정한 간격으로 5등분한 위치에 부착하였다. 각 군별로 완성된 주형은 Fig. 3과 같다.

3. 매몰과 주조

티타늄 주조 전용 매몰재인 실리카계 매몰재(Rematitan Plus®, Dentarum, Germany)를 제조회사의 지시에 따라 액체/분말 비율을 맞추어 1분간 진공상태에서 혼합하여 주형을 매몰하여 실온에 1시간 동안 경화시킨 후, 소환로(OVMAT 2009, MANFREDI, Italy)에 넣었다. 소환과정과 온도설정은 Fig. 4와 같다.

아르곤 가스를 사용한 아크용융 방식의 원심 주조기(Ti Cast Super R®, Selec, Japan)를 사용하여 총 40개의 납형을 주조하였다.

티타늄은 질량 40 g, 직경 30.10 mm, 높이 12.85 mm, 순도 99.5%의 티타늄 ingot (Titan ingot JS2, Selec, Japan)을 사용하여 주조하였고, 주조 후 실온에서 20분 이상 서냉하였다.

4. 주조성 측정 및 통계처리

40개의 완성된 주조체에서 각각 207개 및 138개의 격자 중 완전하게 재현된 격자의 개수를 척도로 하여 납형의 재현 정도를 육안으로 관찰하였다. 통계처리는 IBM SPSS Statistics 19.0 Standard를 사용하였다. 납형의 크기와 형태에 따른 티타늄의 주조성을 유의수준 5%에서 이원변량 분산분석(Two-way ANOVA)을 이용하였다.

결과

완전하게 재현된 격자의 개수를 측정한 평균, 재현율, 표준편차, 그리고 최대값 및 최소값을 Table 2에 나타내었다. 납형의 크기에 따른 평균 재현율 비교 시 Small Pattern군의 평균 재현율은 95.14%, Large Pattern군의 평균 재현율은 94.30%으로 납형의 크기가 작은 것이 큰 것보다 주조성이 높았다.

또한 납형의 형태변화에 따른 격자 수는 Small Pattern군에서는 SS가 평균 133.20개, 재현율 96.52%로 주조성이 가장 높게 나타

났고, SH, SF, SV의 순서로 주조성이 감소하는 경향을 보였으며, 평균 127.60개, 재현율 92.46%로 SV이 주조성이 가장 낮았다.

Large Pattern군에서는 LF가 198.60개, 재현율 95.94%로 주조성이 가장 높았고, LV, LS, LH의 순서로 주조성이 감소하였으며, 평균 188.00개, 재현율 90.82%로 LH가 주조성이 가장 낮았다 (Fig. 5).

납형의 형태와 크기에 따른 티타늄의 주조성을 유의수준 5%에서 이원변량 분산분석(Two-way ANOVA)을 이용하여 분석한 결과, 티타늄의 주조는 납형 크기와 형태 두 요인간 상호작용이 존재하지 않은 것으로 나타났다($P>.05$). 납형의 크기에 따른 비교에서 유의한 차이를 보였으나($P<.05$), 형태에 따른 비교에서는 주조성에 큰 차이가 없음을 알 수 있었다($P>.05$). 즉, 납형의 크기에 따라 주조성에 영향을 주는 것을 확인하였지만, 납형의 기하학적 형태에 따라서는 티타늄의 주조성에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

주조체를 육안으로 관찰한 결과, 용융 금속이 전혀 주입되지 않아 재현되지 않은 현상과 채워지지 않아야 할 격자 공간이 용융 금속으로 채워진 현상이 나타났는데 특히 Small Pattern군에서는 SS 및 SH가 거의 완벽하게 주조되었으며, Large Pattern군에서는 LH를 제외한 모든 군에서 완벽한 주조체를 나타내었다 (Fig. 6).

Table 2. Castability measurements of specimens

Group		N	Mean	SD	Max	Min	Reproducibility (%)
SF		5	132.00	5.66	137	123	95.65
SS	Small	5	133.20	3.96	138	128	96.52
SH	(138 Grids)	5	132.40	3.51	138	129	95.94
SV		5	127.60	7.50	138	121	92.46
	Average		131.30	5.16	-	-	95.14
LF		5	198.60	4.93	205	192	95.94
LS	Large	5	196.40	6.58	205	187	94.88
LH	(207 Grids)	5	188.00	14.32	201	169	90.82
LV		5	197.80	7.73	206	187	95.56
	Average		195.20	8.39	-	-	94.30

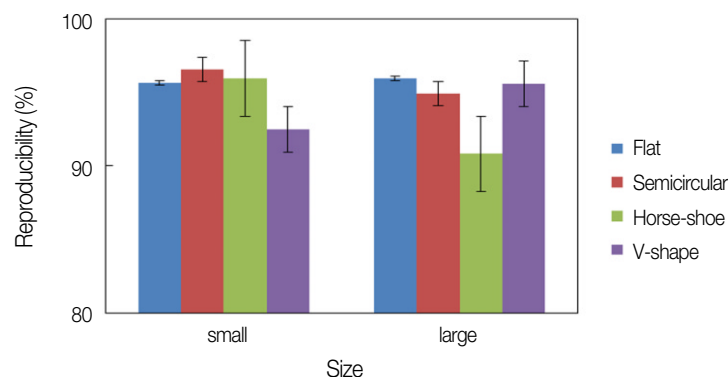


Fig. 5. Titanium castability of shapes and size on the wax pattern.

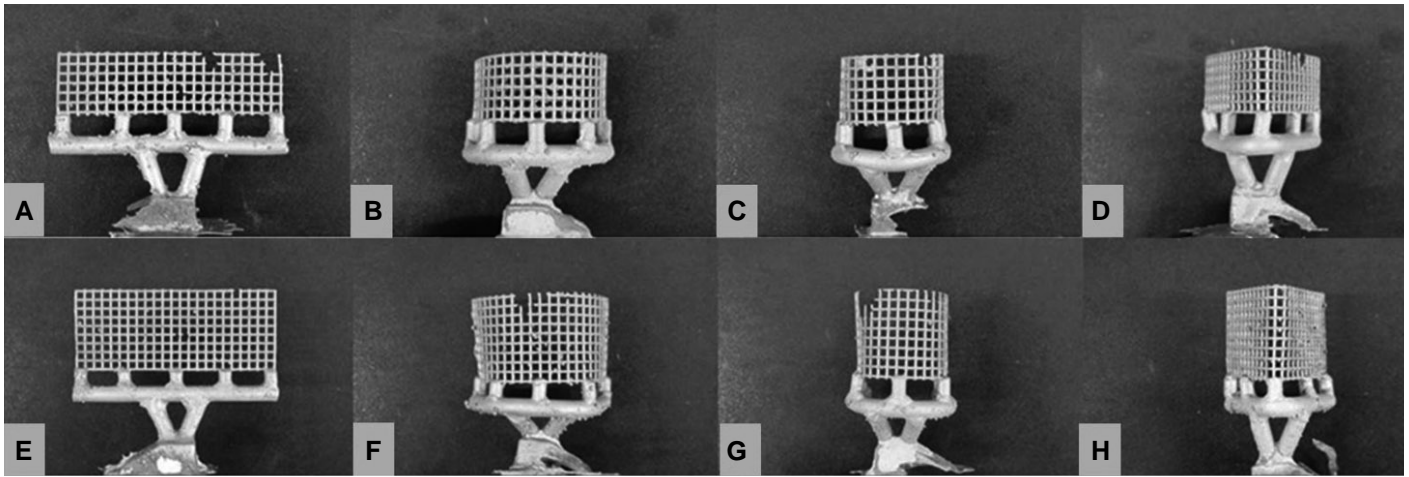


Fig. 6. Sample of casted mesh patterns. A: Small Flat, B: Small Semicircular, C: Small Horse-shoe, D: Small V-shape, E: Large Flat, F: Large Semicircular, G: Large Horse-shoe, H: Large V-shape.

고찰

티타늄은 치과용 생체재료로서 각광 받으며 그 사용 범위를 확대시키기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 티타늄은 고융점과 낮은 밀도 및 기체와의 강한 친화성, 매몰재와의 높은 반응성으로 인해 주조하기 어려운 단점이 있다.¹⁸ 이러한 어려움을 극복하기 위해 티타늄 전용 주조기와 매몰재 등이 개발되었으나 여전히 내부기포와 같은 주조 결함이 발생하고 있는 실정이다. 따라서 주조성을 향상하기 위해 주조 과정에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 요인에 대한 연구가 계속되고 있으며 특히 주조 과정에서 쉽게 조작이 가능한 요인들이 티타늄의 주조성에 어떤 영향을 주고 있는지에 대한 평가가 이루어지고 있다.

본 실험에서 사용한 격자 납형은 주조성을 평가하기에 충분히 복잡한 강(complicated cavity)을 제공하며 그물형 패턴은 가느다란 섬조로 엮여 있으므로 주조성에 영향을 주는 주조 재료 및 온도, 기술 또는 다른 조건들의 변화에 민감하게 반응할 것이라 여겨져 주조성을 평가하기에 적합하다.^{19,20} 또한 본 실험에서 사용된 격자 납형의 두께는 0.76 mm로 완성된 주조체에 임상적인 결함을 줄 수 있는 기포의 크기는 보통 0.25-0.5 mm (RPD clasp, occlusal rest 기준), 0.5-3 mm (RPD 주연결장치 기준)이라는 점을 고려한다면²¹ 본 실험에 사용한 격자 간격 및 두께는 이러한 기포를 추가적인 방사선 사진 촬영 없이 육안으로 확인할 수 있다는 점에서 주조성을 평가하기 용이하다고 판단되었다.

격자형 납형을 사용한 기존의 실험에서는 납형의 평면 형태를 유지하여 모델을 제작하였다. 평면 형태를 이용할 경우 주조링에 적합시킬 수 있는 격자 납형의 크기가 한정적일 수 있으며 주조링에 대한 위치 설정이나 주입선의 설계가 단순하다. 따라서 본 실험에서는 단일주조금판과 같이 크기가 작은

주조체와 RPD 프레임과 같이 크기가 큰 주조체를 모방하여 납형을 Small Pattern군과 Large Pattern군으로 구분하고 RPD 클래스프, 금속충전관 등 크고 작은 형태의 커브를 가진 보철물을 제작하는 임상의 상황 모방을 위해 각각 Flat, Semicircular, Horse-shoe, V-shape형 등의 3차원적 구조로 변형시켜 구분하였다. 주입선의 형태 역시 납형에 따라 자연스레 변형되도록 하였다. 주입선은 주형 내로 유입되는 용융 금속의 속도와 양을 조절하는 기전으로 주입선의 형태, 모양, 위치와 방향 등이 금속의 주조성에 영향을 미칠 수 있다.²¹⁻²³ RPD 주조 시 runner bar sprue를 사용할 것을 추천하고 있는데 이는 기술적인 측면에서 runner bar sprue는 손쉽게 다룰 수 있으며, 한 개의 runner bar 만이 필요하고, 납형의 기하학적 구조에 맞게 변형시킬 수 있으며, 제한 없이 ingate의 개수를 조절할 수 있기 때문에 변연부까지 금속의 접근이 용이하다는 장점을 지니기 때문이다.²⁴ 또한 runner-bar sprue는 용융 금속의 유입속도를 감소시켜 매몰재에 대한 충격을 감소시키며, 주조수축을 보상하기 위한 reservoir 역할을 하고 원심주조기 사용시 높은 원심력으로 인한 충격을 상쇄할 수 있고 기공실 제작이 용이하다. 납형의 3차원적 구조의 변화에 따른 티타늄의 주조성을 평가하는데 목적이 있는 본 실험에서는 납형의 특정 기하학적 구조를 모방할 수 있는 runner-bar sprue design을 채택하였다. 티타늄의 주입선 설계에 대해서는 아직 일치된 견해가 없으므로²⁵ 주입선에 따른 티타늄 주조성을 연구한 기존의 연구와 종래 합금을 이용한 보철물의 제작에 사용되는 runner-bar sprue의 추천 설계 방법을 참고²⁶⁻²⁹하여 본 실험의 주입선을 설계하였다.

격자 납형의 주조 결과 크기에 따른 결과에서 납형의 재현율 비교 시 Small Pattern군의 평균 재현율은 95.14%, Large Pattern군의 평균 재현율은 94.30%로 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다, 그러나 형태에 따른 주조성은 Small Pattern군에서는 SS의

주조성이 가장 높게 나타났으며, SH, SF, SV의 순서로 주조성이 감소하는 경향이 나타났고, Large Pattern군에서는 LF의 주조성이 가장 높았으며 LV, LS, LH의 순서로 주조성이 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

즉, 본 실험의 결과 납형의 크기에 따라 주조성에 약간의 차이가 있는 것으로 나타났고 격자 납형의 기하학적 형태변화에 따라 티타늄의 주조성에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

이처럼 Small Pattern군이 Large Pattern군 보다 우수한 재현성을 보인 것은 납형의 크기가 작은 Small Pattern군에서 용융된 금속이 속도의 감소 없이 납형의 가장자리로 유입 될 수 있어 변연부까지 금속의 접근을 용이하게 하였을 것으로 생각된다. 또한 Small Pattern군에서 V-Shape형의 주조성이 가장 낮았고 Large Pattern군에서는 Horse-sou형의 주조성이 가장 낮았는데 이는 용융금속이 유입될 때 크기가 작은 주형에서 V자 형태로 꺾이는 동안 발생하는 와류에 의한 것으로 판단되며^{28,29} 상대적으로 큰 주형에서는 용융금속이 유입이 시작되는 U자 형태의 굴곡으로 인해 유입속도가 감소하였을 것으로 생각된다.

내부 기포는 용융된 금속이 흘러 들어가는 동안 와류가 형성되면서 용융된 금속으로 기체가 함입될 때 발생한다.³⁰ 이 와류는 주입선의 비효율적인 구조, 매몰재의 통기성, 주형과 용융금속의 온도차, 티타늄 ingot 내에 존재하던 기포, 납형의 주조링 안에서의 설정 위치 등 여러 가지 원인이 있는 것으로 알려져 있다.³¹⁻³⁴ 외부기포는 매몰재를 혼합할 때 충분히 제거되지 않은 기포 등에 의해 매몰재가 격자 사이사이 공간에 충분히 들어가지 못하여 발생한 것으로 추정된다.³⁵⁻⁴⁰ 주조체를 육안으로 관찰해보았을 때 격자가 완전히 재현이 되지 않은 것을 용융금속이 전혀 주입이 되지 않은 경우와 빈 공간으로 남아있어야 할 격자 공간이 용융 금속으로 채워져 버린 경우로 나눌 수 있었다. 전자는 주조성 및 내부기포를 판단할 수 있는 척도라 할 수 있으며 후자는 외부기포에 의한 것이라고 판단된다. 따라서 더 정밀하고 완전한 티타늄 주조체를 얻기 위해서는 티타늄의 주조성 및 기포 형성에 영향을 주는 다른 요인들에 대한 실험 연구가 추가적으로 필요할 것이라 생각된다.

결론

본 연구에서 격자 납형의 크기 및 형태 변화가 티타늄의 주조성의 변화에 어떠한 영향을 주는지 계측하고 상호 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 납형의 재현율을 비교해 볼 때 Small군의 평균 재현율은 95.14% 이고, Large의 평균 재현율은 94.30%로 Small군의 재현율이 더 높은 것으로 나타났다.
2. 납형의 형태 변화에 따른 티타늄 주조성에 대한 Small Pattern군의 평균값은 SS 133.20개(96.52%), SH 132.40개(95.94%), SF 132.00개(95.65%), SV는 127.60개 (92.46%) 순으로 감소하였다
3. 납형의 형태 변화에 따른 티타늄 주조성에 대한 Large

Pattern군의 평균값은 LF 198.60개(95.94%), LV 197.80개(95.56%), LS 196.40개(94.88%), LH 188.00개(90.82%)순으로 감소하였다.

4. 티타늄의 주조성은 크기에 따른 평가에서 약간의 차이가 있었고 형태에 따라서는 유의할 만한 결과를 나타내지 않았다($P>.05$).

이상의 연구결과를 종합해보면, 주조체의 크기가 작을수록 주조성이 높아짐을 알 수 있었고 형태에 따른 주조성에서는 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었다. 임상에서 적용 가능한 다양한 형태의 보철물 제작을 위한 효과적인 납형의 형태와 크기에 관한 연구가 이어져야 할 것으로 생각된다.

References

1. Hansson HA, Albrektsson T, Brånemark PI. Structural aspects of the interface between tissue and titanium implants. J Prosthet Dent 1983;50:108-13.
2. Parr GR, Gardner LK, Toth RW. Titanium: the mystery metal of implant dentistry. Dental materials aspects. J Prosthet Dent 1985;54:410-4.
3. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. Int J Oral Maxillofac Implants 1986; 1:11-25.
4. Bessing C, Bergman M. The castability of unalloyed titanium in three different casting machines. Swed Dent J 1992;16:109-13.
5. Mori T, Jean-Louis M, Yabugami M, Togaya T. The effect of investment type on the fit of cast titanium crowns. Aust Dent J 1994;39:348-52.
6. Okabe T, Hero H. The use of titanium in dentistry. Cell Mater 1995;87:211-30.
7. Cho LR, Yi YJ, Park CJ. The effects of spure and invents on the casting accuracy and porosity of Ti-Ni castings. J Korean Acad Prosthodont 2003;41:342-50.
8. Park JK, Jeong CM, Jeon YC. The effect of sprue design on the marginal reproducibility of cast titanium crowns. J Korean Acad Prosthodont 2002;40:344-51.
9. Kim ST, Vang MS, Yang HS, Park SW, Park HO, Lim HP. The effect of casting machine and investment on the castability of titanium. J Korean Acad Prosthodont 2007;45:522-33.
10. Burnett CA, Maguire H. Sprue design in removable partial denture casting. J Dent 1996;24:99-103.
11. Chai TI, Stein RS. Porosity and accuracy of multiple-unit titanium castings. J Prosthet Dent 1995;73:534-41.
12. Chan D, Guillory V, Blackman R, Chung KH. The effects of sprue design on the roughness and porosity of titanium castings. J Prosthet Dent 1997;78:400-4.
13. Takahashi J, Zhang JZ, Okazaki M. Effect of casting methods on castability of pure titanium. Dent Mater J 1993;12:245-52.
14. Kusakari H, Ozaki Y, Hoshino H. Cast titanium crown-for a better fitness and less porosity [in Janpanes]. Quintessence. Dent Technol 1998;23:17-23.
15. DeWald E. The relationship of pattern position to the flow of gold

- and casting completeness. *J Prosthet Dent* 1979;41:531-4.
16. Blackman R, Barghi N, Tran C. Dimensional changes in casting titanium removable partial denture frameworks. *J Prosthet Dent* 1991;65:309-15.
17. Bridgeman JT, Marker VA, Hummel SK, Benson BW, Pace LL. Comparison of titanium and cobalt-chromium removable partial denture clasps. *J Prosthet Dent* 1997;78:187-93.
18. Watanabe K, Okawa S, Miyakawa O, Nakano S, Honma H, Shiokawa N, Kobayashi M. Relationship between titanium flow and casting contamination caused by mold materials. *J Dent Mater* 1992;11:662-71.
19. Watanabe I, Woldu M, Watanabe K, Okabe T. Effect of casting method on castability of titanium and dental alloys. *J Mater Sci Mater Med* 2000;11:547-53.
20. Baltag I, Watanabe K, Miyakawa O. Internal porosity of cast titanium removable partial dentures: influence of sprue direction and diameter on porosity in simplified circumferential clasps. *Dent Mater* 2005;21:530-7.
21. Herø H, Syverud M, Waarli M. Mold filling and porosity in castings of titanium. *Dent Mater* 1993;9:15-8.
22. Syverud M, Herø H. Mold filling of Ti castings using investments with different gas permeability. *Dent Mater* 1995;11:14-8.
23. Heo SM, Jeon YC, Jeong CM, Lim JS, Jeong HC. The effect of sprue design on the internal porosity of titanium castings. *J Korean Acad Prosthodont* 2006;44:147-56.
24. Love LD. Sprue design to minimize casting defects in base-metal castings. *Quintessence Dent Technol* 1987;11:195-7.
25. Matin KA, Manderson RD. The influence of sprue design on cobalt chromium alloy casting defects. *J Dent* 1984;12:175-82.
26. Wu M, Wagner I, Sahm PR, Augthun M. Numerical simulation of the casting process of titanium removable partial denture frameworks. *J Mater Sci Mater Med* 2002;13:301-6.
27. Wu M, Augthun M, Wagner I, Sahm PR, Spiekermann H. Numerical simulation of the casting process of titanium tooth crowns and bridges. *J Mater Sci Mater Med* 2001;12:485-90.
28. Watanabe K. Merit and demerit of runner bar for crown-bridge titanium casting-sink vortex causes internal defects [in Japanese]. *Quintessence Dent Technol* 1999;24:19-25.
29. Chan DC, Blackman R, Kaiser DA, Chung K. The effect of sprue design on the marginal accuracy of titanium castings. *J Oral Rehabil* 1998;25:424-9.
30. Ryge G, Kozak SF, Fairhurst CW. Porosities in dental gold castings. *J Am Dent Assoc* 1957;54:746-54.
31. Blackman R, Barghi N, Tran C. Dimensional changes in casting titanium removable partial denture frameworks. *J Prosthet Dent* 1991;65:309-15.
32. Andersson M, Bergman B, Bessing C, Ericson G, Lundquist P, Nilson H. Clinical results with titanium crowns fabricated with machine duplication and spark erosion. *Acta Odontol Scand* 1989;47:279-86.
33. Hruska AR, Borelli P. Quality criteria for pure titanium casting, laboratory soldering, intraoral welding, and a device to aid in making uncontaminated castings. *J Prosthet Dent* 1991;66:561-5.
34. Syverud M, Okabe T, Herø H. Casting of Ti-6Al-4V alloy compared with pure Ti in an Ar-arc casting machine. *Eur J Oral Sci* 1995;103:327-30.
35. Watanabe K, Okawa S, Miyakawa O, Nakano S, Shiokawa N, Kobayashi M. Molten titanium flow in a mesh cavity by the flow visualization technique. *Dent Mater J* 1991;10:128-37.
36. Chung DW, Yang HS. The effect of casting machine and investment on the castability of titanium alloy. *J Korean Acad Prosthodont* 2006;44:654-64.
37. al-Mesmar HS, Morgano SM, Mark LE. Investigation of the effect of three sprue designs on the porosity and the completeness of titanium cast removable partial denture frameworks. *J Prosthet Dent* 1999;82:15-21.
38. Compagni R, Faucher RR, Yuodelis RA. Effects of sprue design, casting machine, and heat source on casting porosity. *J Prosthet Dent* 1984;52:41-5.
39. Vidovic Y, Chung HG, Mori T. Enhancement of a titanium denture frame model: mold temperature and spruing factors. *Dent Mater J* 1995;14:256-62.
40. Preston JD, Berger R. Some laboratory variables affecting ceramo-metal alloys. *Dent Clin North Am* 1977;21:717-28.

납형의 크기와 형태가 티타늄의 주조성에 미치는 영향

서윤정¹ · 오계정² · 이효일¹ · 신유진¹ · 김홍주³ · 박상원^{1,2*}

¹전남대학교 치의학전문대학원 보철학교실, ²전남대학교 미래형생체부품소재 RIS사업단, ³대전 선치과병원 보철센터

연구 목적: 본 연구는 납형의 크기 및 형태 변화가 티타늄의 주조성에 어떠한 영향을 미치는지 확인하고자 하였다.

연구 재료 및 방법: 납형의 크기에 따라 Small Pattern군과 Large Pattern군으로 나누었고, 각각 Flat, Semicircular, Horse-shoe 및 V-shape형으로 납형의 형태에 따라 4개의 하위군으로 나누어 총 8개의 군으로 분류하였다. 모든 납형의 주입선은 Runner-bar형으로 하였다. 티타늄 주조 전용 매몰재인 실리카계 매몰재(Rematitan Plus®, Dentarum, Germany)를 이용하여 매몰하였고, 아크용융 방식의 원심 주조기(Ti Cast Super R®, Selec, Japan)를 사용하여 주조하였다. 주조성 평가는 완전한 형태로 주조된 격자의 개수를 척도로 재현 정도를 확인하였다. 통계처리는 SPSS ver. 19.0 for WIN (SPSS, Inc. Chicago, IL, USA)를 사용하였다. 납형의 크기 및 형태에 따른 티타늄의 주조성을 이원변량 분산분석(Two-way ANOVA)을 이용하여 분석하였다.

결과: 납형의 평균 재현율은 Small Pattern군은 95.14%, Large Pattern군은 94.30%로 Small Pattern군의 주조성이 유의하게 높았다($P<0.05$). 납형의 형태 변화에 따른 주조성은 Small Pattern군에서 Semicircular군 133.20개(96.52%), Horse-shoe군 132.40개(95.94%), Flat군 132.00개(95.65%), V-shape군 127.60개(92.46%) 순으로 감소하였다. Large Pattern군은 Flat군 198.60개(95.94%), V-shape군 197.80개(95.56%), Semicircular군 196.40개(94.88%), Horse-shoe군 188.00개(90.82%)순으로 감소하였다. Small Pattern군과 Large Pattern군 모두에서 납형의 형태변화에 따른 주조성은 유의할 만한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

결론: 주조체의 크기가 작을수록 주조성이 높아짐을 알 수 있었고 형태에 따른 주조성에서는 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었다. (대한치과보철학회지 2013;51:261-8)

주요단어: 티타늄; 주조성; 납형; 크기; 형태; 주입선

*교신저자: 박상원

500-070 광주광역시 북구 용봉동 300번지 전남대학교 치의학전문대학원 보철학교실
062-530-5638; e-mail, psw320@chonnam.ac.kr

원고접수일: 2013년 8월 8일 / 원고최종수정일: 2013년 8월 26일 / 원고채택일: 2013년 9월 16일

© 2013 대한치과보철학회

© 이 글은 크리에이티브 커먼즈 코리아 저작자표시-비영리 3.0 대한민국 라이선스에 따라 이용할 수 있습니다.

*본 연구는 전남대학교병원 학술연구비(CRI11014-1)에 의하여 연구되었음.