대한치과기공학회지 제26권 제1호 2004년 7월
J Kor Aca Den Tech 26(1) : 105~114, 2004

Sprue와 Wax Pattern의 각도 및 방향에 따른 주조성 연구

원광보건대학 치기공과
고 명 원, 최 운 재, 정 희 선

【Abstract】

A Study on the Castability Depending On Angle and Direction of Sprue and Wax Pattern

Myoung-Won Koh, Un-Jea Choi, Hee-Sun Chung
Dept. of Dental Lab. Technology, Wonkwang Health Science College

This study obtained the following consequences, as a result of the comparative analysis for the castability depending on an angle of the sprue and wax pattern in case of manufacturing dental prostheses, for the castability depending on direction, and for the castablility of sprue, which attached the reserve to each different 3.5mm roll wax(sprue wax) and to 2.5mm sprue wax.

1. As a result of the comparative analysis for the castability depending on an angle of the sprue and wax pattern, the best castability was shown when the angle of the sprue and wax pattern is 180°Δ(straight line), and the lowest castability was shown in 45°Δ, which was curved most, and there was no statistical significance.

2. As a result of the comparative analysis for the castability of an angle depending on direction, the best castability was shown in the farthest side from the direction of centrifugal casting, and the lowest castability was shown in the same side as the direction of centrifugal casting, and there was no statistical significance.

3. Given comparing the castability depending on the pattern of sprue, the better castability was shown in 135°Δand 180°Δwhen using 3.5mm roll wax(sprue wax), compared to attaching the reserve to 2.5mm sprue wax.

• Key word : Angle, Direction, Castability

교신저자 ■성 명 : 고 명 원 ■전 화 : 018-416-6979 ■E-mail : kohwomn@hanmar.com
■주 소 : 전북 익산시 신용동 344-2 원광보건대학 치기공과

Ⅰ. 서 론

국부의치 금속 구조물(partial denture frame work) 제작에 쓰이는 금속 재료로는 귀금속합금과 비귀금속합금으로 크게 분류되며, 귀금속 합금에는 금합금이, 비귀금속합금은 chrome-cobalt 합금이 대표적으로 사용되어 왔다(정경풍, 1996).

그러나 귀금속합금의 가격이 고가이기 때문에 비귀금속합금의 사용이 증가되고 있다. 비귀금속합금은 귀금속합금에 비하여 가격이 저렴하고 견고성, 항복인장강도(ultimate tensile strength), 탄성계수, 영구변형에 대한 저항성(resistance to permanent deformation)이 높은 이유 등으로 금속의 두께를 줄여서 제작할 수 있는 장점과 주조성, 조작의 용이성, 부식저항성 및 생물학적 적합성 등에 단점이 있다고 알려져 있다(최운재 외 2인, 1999). 특히 비귀금속합금은 귀금속합금에 비해 낮은 주조성이 문제가 되고 있다(김장주, 1998).

치과 보철물 제작시 정확한 보철물 제작을 위해서는 인상(impression)에서부터 최종연마(final polishing)까지 모든 과정이 다 중요하다. 그러나 특히 주조는 다른 과정보다 더 많은 실패를 하고 있으므로 새로운 기계 개발과 새로운 주조기법 및 재료들을 개발하는 것이 급선무라고 볼 수 있다(정경풍과 최운재, 1999).

치과 영역의 주조는 인체에 사용되는 생체 재료를 제작하는 과정에 사용되므로 그 활용측면이 큰 만큼 그에 따른 정밀도와 요구되는 여러 가지 특성이 있는데 특히 생체재료의 특성을 변화시키지 않는 범위에서 작업이 이루어져야 하므로 주조 결함이 생기거나 화학적, 기계적 성질이 변화되지 않도록 주의하여야 한다(최운재와 소정모, 2002).

또한 치과보철물 제작과정은 상당히 복잡하고 정밀도가 요구되며 wax pattern이 완성되면 매몰하기 전에 spruing을 하여야 하는데 spruing을 하는 목적은 cavity로부터 wax pattern을 빼내기 위한 손잡이 역할을 하고 casting ring을 일정한 위치에 매몰하는데 지주(support)역할을 하며 매몰재가 경화된 후에 주입선을 뽑아낸 구멍은 casting ring을 가열할 때의 용융된 wax 및 그 기화된 가스의 배출로가 되는 등 각종 역할을 함과 동시에 그 주목적은 casting시에 wax pattern이 기화 배출되어 형성된 주형(casting mold)내로 용융된 주조합금의 유입 즉, 주입되는 sprue way를 만들어 주는 것이다(한택선, 2001 ; 최운재와 소정모, 2002)

주조금속의 수복물은 wax pattern을 제작하여 주조과정에서 얼마나 정확하게 금속을 용융하여 주형공간에 주입하느냐에 따라 변화될 수 있는 주조체의 결함을 줄일 수 있다. 주조성은 wax pattern이 제거된 주형공간에 용융된 금속이 완전하게 들어가는 능력이라 할 수 있고 이러한 주조성에 영향을 미치는 요인으로는 wax pattern의 크기와 형태의 안정성(Hoollenback, 1959 ; Phillips, 1950 ; White, 1993), 매몰재의 조작방법 및 합금의 특성(Presswood, 1983 ; Jarvis, 1984 ; Asgar, 1985 ; Rasmussen, 1986, : Hong, 1988), 합금과 매몰재 사이의 적합성(Vermilyea, 1983), 주조하는 동안 mold 공간의 방향, mold내 합금의 유입로와 가스의 배출(Rieger, 1986), 소환 등을 들 수 있다(김장

주, 1998).

그 동안 주조성에 관해서는 많은 국내의 학자들의 연구결과가 있었고, 주입선과 관련된 여러 가지 조건들이 주조성에 미치는 영향 등 많은 연구발표가 있었다. 그러나 주입선과 wax pattern의 각도에 따른 주조성에 대하여는 연구된 자료가 거의 없어 본 연구자는 wax pattern과 주입선의 각도 및 wax pattern의 방향 등에 따른 주조성을 알아보고자 실험을 실시하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구의 실험재료로는 시편 제작시 Plastic Screen mesh와 12gauge 1/2 round casting wax를 사용하였고, sprue 부착은 ring 12개(ring 1개당 4개 시편 매몰됨)는 길이 2㎝의 2.5mm sprue wax에 reservoir를 부착하여 매몰하였으며, ring 12개(ring 1개당 4개 시편 매몰됨)는 길이 2㎝의 3.5㎜ roll wax(sprue wax)에 reservoir는 부착하지 않고 매몰하였다. 주입선 각도에 따른 주조성 비교분석을 위하여 각도를 각각 45도, 90도, 135도, 180도로 1개의 ring에 4개의 시편을 매몰하였다. 매몰재는 모두 multi-vest를 사용하였으며, ring은 모두 metal로 된 partial denture ring(지름 85㎜×길이60㎜)을 사용하였다. 주조시 사용되는 matal은 모두 Vera PDS(Partial denture용 metal로 ring 1개에 30g씩)을 사용하여 주조하였다〈표 1〉.

〈표 1〉 Materials and instruments for castability test

Plastic screen mesh (Korea)
Casting wax (Dae Dong. Korea)
Crucible former (Korea)
Vacuum mixer (Whip mix Co, U.S.A)
Sprue wax (Dae Dong, Korea)
Vera PDS cr-co alloy (AALBA DENTINC, U.S.A)
Electric burn out furnace (Sae Ki Electronics. Co, Korea)
Casting machine (Kerr Co, U.S.A)
Sand blaster (Sae Ki Co, Korea)

1. 실험방법

1) 실험시편 제작

〈표 2〉 Numbering of ring(wax pattern)

각도 / sprue	45도	90도	135도	180도	Total
2.5mm sprue wax + reservoir	3(12)	3(12)	3(12)	3(12)	12(48)
3.5mm roll wax (sprue wax)	3(12)	3(12)	3(12)	3(12)	12(48)
Total	6(24)	6(24)	6(24)	6(24)	24(96)

Sprue의 주입선 각도에 따른 주조성 비교분석을 위하여 기성으로 제작되어 시판되고 있는 방충망(Plastic screen mesh)을 20칸×10칸이 되게 cutting한 후 주입선과 wax pattern의 각도를 각각 45도, 90도, 135도, 180도로 1개의 ring에 같은 각도 4개의 시편을 각기 다른 방향으로 매몰하였다. 시편은 12gauge 1/2 round casting wax를 이용하여 방충망 인접변 3변을 앞뒤로 부착하여 ㄴ자형으로 시편을 만들고 sprue를 부착하였는데, sprue는 길이 2㎝의 2.5mm sprue wax에 reservoir를 부착하였고, ring 12개(ring 1개당 4개 시편 매몰됨)는 길이 2㎝의 3.5㎜ roll wax(sprue wax)에 reservoir는 부착하지 않았다〈표 2〉〈그림 1〉.

〈그림 1〉 Wax pattern for castability test

2) 매몰(Investing)

정확한 주조체를 얻기 위해 매몰하기 전에 시편(Plastic screen mesh)에 모두 wetting agent를 도포하고 casting ring은 직경 85㎜, 길이 60㎜의 metal ring을 사용하였으며, 내면에 asbestos를 ring의 길이보다 약 4㎜ (1/6inch) 짧게 내장하고 물(water)을 바른 다음 multi-vest investment를 제조회사의 지시내용대로 매몰 소환하였다〈표 3〉.

〈표 3〉 Physical Properties of multi-vest investment

Liquid/Powder ratio	12 / 100
Pouring Time	3 1/2 - 4 1/2 minutes
Setting Time	4 1/2 - 5 1/2 minutes
Setting Expansion	0 - 0.1%
Hygroscopic Expansion	0 - 0.5%
Thermal Expansion	0.8 - 1.0%
Compressive Strength	1,800PSI, 30minutes(1260㎏/㎠)

3) 소환(Burn out)

소환은 매몰 후 실온에서 경화시킨 다음 12시간 후 ring의 방향을 주입구가 아래로 향하도록 electric burn out furnace에 넣고 서서히 2시간 30분에 걸쳐 온도가 950℃가 되었을 때, 다시 30분간 계류시킨 후 주조하였다.

4) 주조(Casting)

주조기는 spring tension을 이용한 Kerr(U.S.A)회사에서 제작한 원심주조기(Centrifugal casting machine)와 Oxygen-Propane gas를 이용하여 ring 한 개당 30g의 Vera PDS cr-co alloy를 넣고 주조한 후 ring을 공기 중에 완전히 bench cooling 시킨 다음 매몰재를 제거하고 sand blasting 하였다〈그림 2〉. 원심압력은 모두 동일하게 4번을 감아서 사용하였다. 그리고 주조는 가능한 오차를 줄이기 위해 electric burn out furnace에 6개씩 넣고 가운데 부분에 있는 ring부터 3분 간격으로 주조하였다.

〈그림 2〉 Casting body for castability test

5) 자료측정 방법

자료 측정은 Sprue의 각도에 따른 주조성 비교와 각도에 따른 주조방향의 비교 그리고 sprue의 두께에 따른 주입선 각도의 주조성을 비교하였는데, 모든 비교분석은 각각 Pattern(1개 pattern 칸수는 200칸임)의 칸수를 세어서 백분율로 환산하여 평균값의 차이를 SPSS에 의한 ANOVA를 실시하여, 유의성을 보았다.

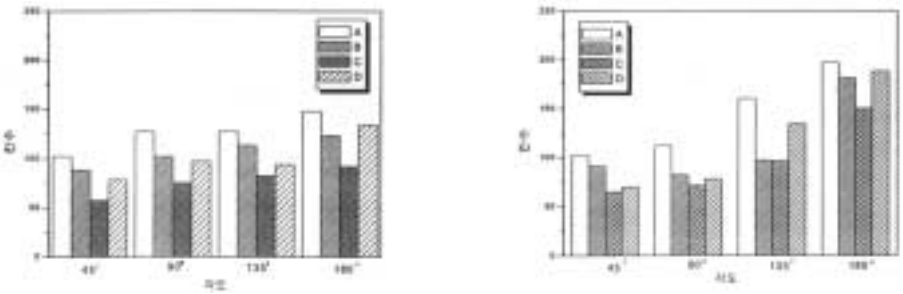
Ⅲ. 연구결과

주조성 실험결과는 〈표 4〉와 같았으며, 수치는 평균 칸수만을 기록하였다.

〈표 4〉 result of castability test

방 향 / 각 도	sprue	A (원심주조방향의 반대쪽)	B (원심주조방향의 위쪽)	C (원심주조방향의 아래쪽)	D (원심주조방향과 같은쪽)
45도	2.5㎜	102	88	57	78
	3.5㎜	102	91	65	70
90도	2.5㎜	127	102	75	97
	3.5㎜	112	82	71	78
135도	2.5㎜	127	113	82	94
	3.5㎜	160	97	96	137
180도	2.5㎜	148	123	92	134
	3.5㎜	197	181	150	188

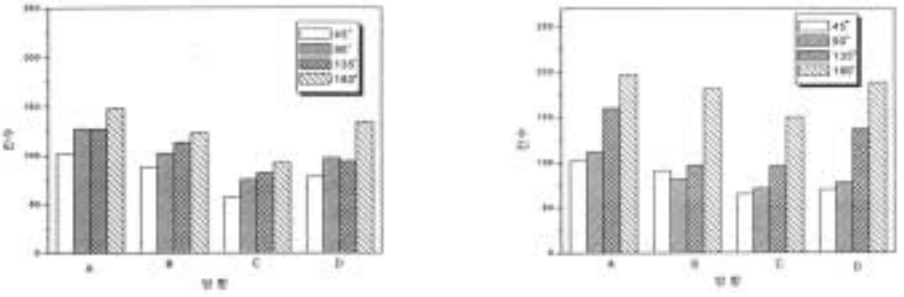
먼저 Sprue의 각도에 따라 주조성에 미치는 영향을 알아보기 위해 wax pattern과 주입선의 각도를 각각 45도, 90도, 135도, 180도로 하고, 2.5㎜ sprue wax에 reservoir를 부착한 경우의 결과는 주입선과 wax pattern의 각도가 180도(일직선)일 때 가장 좋은 주조성이 나타났으며, 다음으로 135도가 90도보다 약간 주조성이 좋았고, 주입선과 wax pattern의 각도가 가장 많이 꺾인 45도에서 주조성이 가장 낮게 나타났다. 3.5㎜ roll wax(sprue wax)에 reservoir를 부착하지 않은 경우의 결과는 주입선과 wax pattern의 각도가 180도(일직선)일 때 가장 좋은 주조성이 나타났으며, 다음으로 135도, 90도 순이었으며, 45도에서 주조성이 가장 낮게 나타났다〈그림 3〉.



2.5㎜ sprue wax + reservoir　　3.5㎜ roll wax

〈그림 3〉 Castability depending on angle

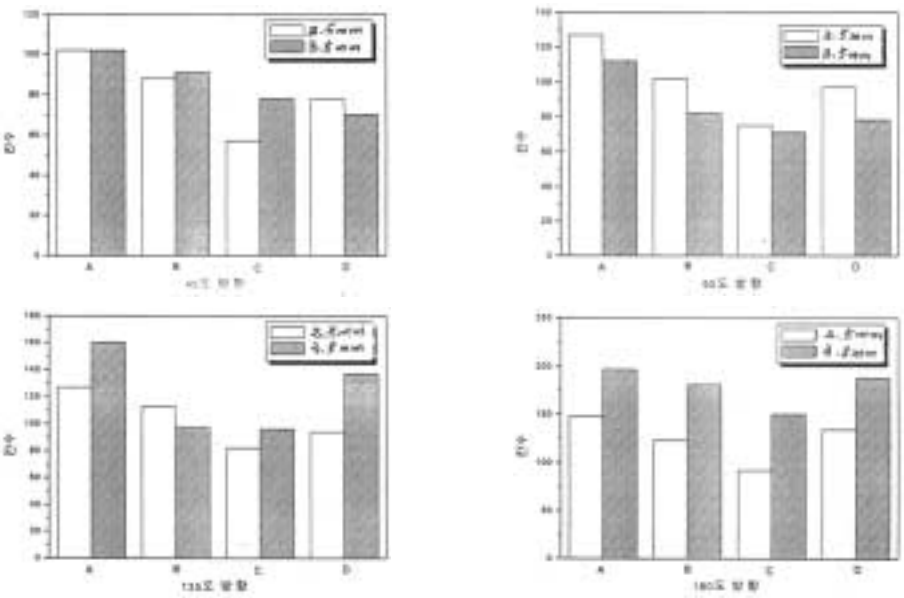
또한 방향에 따른 각도의 주조성을 살펴본 결과 2.5㎜ sprue wax에 reservoir를 부착한 경우에는 원심주조압이 돌아가는 방향에서 가장 먼 쪽(A)의 경우에 주조성이 가장 좋게 나타났고, 주입선의 방향이 위(B), 아래(D)에서 각각 비슷한 주조성이 나타났으며, 원심주조압이 돌아가는 같은 방향(C)의 주조성이 가장 낮게 나타났다. 3.5㎜ roll wax(sprue wax)에 reservoir를 부착하지 않은 경우의 결과 역시 원심주조압이 돌아가는 방향과 가장 먼 쪽(A)의 경우에 주조성이 가장 좋게 나타났으며, 주입선의 방향이 위(B), 아래(D)에서 각각 비슷한 주조성을 보였고, 원심주조압이 돌아가는 같은 방향(C)의 경우에 주조성이 가장 낮게 나타났다〈그림 4〉.



2.5㎜ sprue wax + reservoir　　3.5㎜ roll wax

〈그림 4〉 Castability depending on direction

2.5㎜ sprue wax에 reservoir를 부착한 경우와 3.5㎜ roll wax(sprue wax)에 reservoir를 부착하지 않은 경우의 주조성을 비교해 보면 주입선과 wax pattern의 각도가 45도인 경우와 90도인 경우 약간의 차이는 있으나 비슷한 주조성을 보인 반면에 135도의 경우와 180도의 경우에는 3.5㎜ roll wax(sprue wax)에 reservoir를 부착하지 않은 경우가 2.5㎜ sprue wax에 reservoir를 부착한 경우보다 우수한 주조성이 나타났다〈그림 5〉.



〈그림 5〉 A comparison of castability by sprue

Ⅳ. 총괄 및 고찰

치과보철학의 한 분야인 국부의치의 frame work는 제작 시 많은 구성요소가 포함되어 있으며, 구성요소의 미세한 부분까지 정확히 주조되어야 만이 각 구성요소의 기능이 최대한 발휘될 수 있을 것이다.

일반적으로 치과용 금속 재료로는 귀금속 합금과 비귀금속 합금이 많이 사용되어지고 있다는 사실은 이미 잘 알려져 있다. 귀금속 합금은 국내생산량이 적고 외국 수입의존도가 높은 실정이므로 경제적으로 환자들에게 부담이 되어 가격이 저렴한 금합금 대용합금 개발에 많은 연구발표가 있었다.

최근에는 환자 자신이 건강과 심미성을 요구하면서 gold frame work 제작이 늘고 있으며, gold electrofoming system 또한 chrome-cobalt alloy의 견고성과 gold의 심미성과 생체친화적인면을 가미한 frame work도 소개되면서 점차 귀금속 합금의 사용도 늘고 있는 추세이다.

그러나, 치과보철물은 아직까지도 비귀금속 합금에 많이 의존하고 있으며, 귀금속 합금에 비해 낮은 주조성이 문제가 되고 있어, 재료개발과 주조기법에 많은 연구가 필요하다.

특히 주조성에 영향을 미치는 요인으로 wax pattern의 크기 및 형태, investment의 종류, sprue의 설치방법, burn out 방법, casting시 wax pattern의 방향 및 주조방법 등이 있다.

sprue에 관한 연구를 살펴보면 각각 Hinman(1981)과 Hesby(1980)는 sprue 설치방법과 wax pattern의 venting, investment의 두께 등에 관한 연구와 최석순(1989)의 sprue의

길이와 주조압이 비귀금속 합금의 주조성에 미치는 영향에 관한 연구 등이 있었다. 최운재와 소정모(2002)는 치과보철물 제작시 sprue 부착 형태가 주조성에 미치는 영향, 최운재(1999)등은 치과보철물 제작시 사용되는 sprue의 재료 및 형태가 비귀금속 합금의 주조성에 미치는 영향에 관한 연구, 김웅철(1981)은 주입선의 설치 방법이 금속의 주조성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구 등 sprue에 관하여 적지 않은 부분에서 연구된 바 있었으나, sprue와 wax pattern의 각도에 따른 주조성에 대한 연구는 발표된 바 없으므로 본 연구에서는 sprue와 wax pattern의 각도, 방향에 따른 주조성에 대하여 연구 분석하고자 하였다.

많은 치과기공소에서는 기존의 이론을 바탕으로 치과보철물을 제작하면서 나름대로의 노하우를 더해 주조성에서 실패율을 줄이고 있는 실정이다. 모든 치과보철학 분야에서 sprue의 설치 방법은 매우 중요한 부분을 차지하며, 특히 국부의치 분야에서는 framework이 다른 치과보철물에 비해 비중이 큰 편에 속하고 따라서 국부의치의 모든 구성요소와 정확한 주조체를 요구하기 위해 main sprue와 보조 sprue를 이용하고 있는데 연결되는 각도에 따라서 주조성을 비교 연구하기 위해 sprue(3.5㎜ roll wax와 2.5㎜ sprue wax)와 wax pattern의 각도(45도, 90도, 135도, 180도), 방향에 따른 주조성을 실험하였다.

실험을 하기 위해 비교적 치과기공소(실)에서 많이 사용하고 있는 재료들을 구입하여 준비하였고, 시편 제작시에도 일률적으로 정밀도를 높여 제작하였으며, multi-vest를 이용한 매몰에서도 제조회사의 지시사항을 지켜 실험을 실시하였다. 소환시에도 오차를 줄이기 위해 가능한 모든 ring을 같은 조건으로 소환을 하였으며, 주조시에도 blow-pipe의 불꽃조정과 metal (Vera PDS cr-co alloy)의 용융 및 metal의 양, 원심주조압 등을 동일한 조건으로 주조하였다. 그러나 동일한 재료와 조건, 방법으로 실험을 하여도 동일한 결과가 일률적으로 나타나지 않고 각기 다른 결과가 나타났다.

각도별로 주조성을 보면 2.5㎜ sprue wax에 reservoir를 부착한 경우나 3.5㎜ roll wax(sprue wax)를 사용한 경우 모두 주입선과 wax pattern의 형태가 180도(일직선)인 경우에서 다른 각도의 경우보다 좋은 주조성이 나타났으며, 주입선과 wax pattern의 형태가 가장 많이 꺾인 45도의 경우에 주조성이 가장 낮게 나타났다.

방향별로 주조성을 보면 2.5㎜ sprue wax에 reservoir를 부착한 경우나 3.5㎜ roll wax(sprue wax)를 사용한 경우 모두 원심주조기의 주조 방향에서 가장 먼 쪽의 경우에 주조성이 가장 좋게 나타났으며, 주조 방향과 같은 쪽의 경우에서 주조성이 가장 낮게 나타났다. 이 결과는 정경풍과 최운재(1999)의 연구와 거의 비슷한 결과를 보여주었다.

그리고 3.5㎜ roll wax(sprue wax)를 사용한 경우와 2.5㎜ sprue wax에 reservoir를 부착한 경우의 주조성을 비교해 보면 45도나 90도에서는 근소한 차이에서 비슷한 주조성이 나타났지만, 135도와 180도에서는 3.5㎜ roll wax (sprue wax)를 사용한 경우가 2.5㎜ sprue wax에 reservoir를 부착한 경우보다 상당히 우

수한 주조성이 나타났다.

그러나 본 실험의 결과를 비교해 보면 모든 과정을 정밀하고 동일한 조건에서 해야하지만, 시편 제작에서부터 주조까지의 모든 과정에서 오차가 전혀 없게 한다는 것은 사실상 불가능한 일이라고 할 수 있으며, 동일한 시편과 조건, 방법 등으로 실험을 실시하더라도 매번 결과가 일률적으로 나타나지 않고, 여러 형태의 다른 결과가 나타나 대부분 평균 수치를 사용하고 있으므로 그 결과를 완벽하다고 볼 수는 없으며, 더 많은 시편과 다양한 방법의 연구가 필요하다고 할 수 있다.

이러한 결과를 볼 때 wax pattern의 제작에서부터 주입선의 형태와 길이, 부착방법, 매몰재의 종류, 매몰 방법, 매몰시 온도, 소환시의 조건, 계류시간, 주조기의 종류, 주조 압력, 주조시간, 불꽃의 세기 등 여러 조건에서 주조체에 영향을 미치므로 정확하고 보다 나은 주조체를 제작하기 위해서는 이러한 모든 분야에서 전문적이고 세심한 연구가 필요하다고 할 수 있을 것이다.

Ⅴ. 결 론

본 연구는 치과 보철물 제작 시 주입선과 wax pattern의 각도에 따른 주조성과 방향에 따른 주조성 그리고 각기 다른 3.5㎜ roll wax(sprue wax)와 2.5㎜ sprue wax에 reservoir를 부착한 주입선의 주조성을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 주입선과 wax pattern의 각도에 따른 주조성을 비교 분석한 결과 주입선과 wax pattern의 각도가 180도(일직선)일 경우 가장 좋은 주조성이 나타났고, 가장 많이 꺾인 45도에서 가장 낮은 주조성이 나타났으며 통계적 유의성은 없었다.

2. 방향에 따른 각도의 주조성을 비교 분석한 결과 원심주조 방향과 가장 먼 쪽에서 주조성이 가장 좋게 나타났고, 원심주조 방향과 동일한 쪽에서 주조성이 가장 낮게 나타났으며, 통계적 유의성은 없었다.

3. sprue 형태에 따라 주조성을 비교해 보면 3.5㎜ roll wax(sprue wax)를 사용한 경우가 2.5㎜ sprue wax에 reservoir를 부착한 경우에 비해 135도와 180도에서 보다 좋은 주조성이 나타났다.

참 고 문 헌

김웅철. 주입선의 설치 방법이 금속의 주조성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. 대한치과기공학회지, 제10권 5-10, 1981.

김장주. 비귀금속 합금을 이용한 주조체의 주조성과 Roughness에 관한 연구. 대한치과기공학회지, Vol, 20, No. 1, 1998.

정경풍. 국부의치 제작에 사용되는 Chorme Cobalt Alloy의 재주조 횟수에 따른 인장강도 및 경도 변화에 대한 실험적 연구. 대한치과기공학회지, Vol, 18, No. 1, 1996.

정경풍, 최운재. 국부의치 제작에 사용되는 Chrome Cobalt Alloy 주조시 매몰방법과 주조방향이 주조성에 미치는 영향

에 관한 연구. 대한치과기공학회지, Vol, 21, No. 1, 1999.

최석순. Sprue의 길이와 주조압이 비귀금속 합금의 주조성에 미치는 영향에 관한 연구. 대한치과기공학회지, Vol, 11, No. 1, 1989.

최운재, 소정모. 치과보철물 제작시 Sprue 부착 형태가 주조성에 미치는 영향. 대한치과기공학회지, Vol, 23, No. 2, 2002.

최운재, 신무학, 김연수. 치과보철물 제작시 사용되는 sprue의 재료 및 형태가 비귀금속 합금의 주조성에 미치는 영향에 관한 연구. 대한치과기공학회지, Vol, 21, No. 1, 1999.

한택선. 보존수복기공학, 대학서림, p123, 2001.

Asgar K, Arfaei AH. : J Prosthet Dent. 54 : 60-63, 1985.

Hesby DA, Kobes P, Graver D, Pelleu GB. : Physical properties of a repeatedly used nonprecious metal alloy. J. Pros. Dent. 44 : 291, 1980.

Hinman RW, Tesk JA, Whitlock RP, Parry EE. and Durkowski JS. : Use of a castabilility test for optimizing mold and casting temperature, Int. Dent. Res. Abstr. No. 374, 1981.

Hollenback GM, Rhoads JE. : IJ. South Calif State Dent Assoc. 27 : 1-11, 1959.

Hollenback GM, Rhoads JE. : Part Ⅱ. J South Calif State Dent Assoc. 27 : 419-434, 1959.

Hong JM, Razzoog ME. : J Prosthet Dent. 59 : 420-425, 1988.

Jarvis RH, Jenkins TJ, Tedesco LA. : J Prosthet Dent. 51 : 490-494, 1984.

Phillips RW, Biggs DH. : J Am Dent Assoc. 41 : 28-37, 1950.

Presswood RG. : J Prosthet Dent. 50 : 36-39, 1983.

Rasmussen ST, Doukoudakis AA. : J Prosthet Dent. 55 : 447-453, 1986.

Rieger MR, Tanquist RA. : J Prosthet Dent. 55 : 686-690, 1986.

Vermilyea SG, Kuffler NJ, Tamura JJ. : J Prosthet Dent. 50 : 651-653, 1983.

White GE. Quintessence, 115, 1993.