

주형온도가 CP Ti의 주조성에 미치는 영향

정종현 · 주규지 · 고은경*

(광주보건대학, 전남대학교 치과대학 치과재료학교실*)

Abstract

Influence of the Mold Temperature on the Castability of CP Ti

Jong-Hyun Jung, Kyu-Ji Joo, Eun-Kyoung Go*

Dept. of Dental Lab, Technology, Kwangju Health College
Dept. of Dental Materials Research Institute College of Dentistry, Chonnam National University*

The purpose of this study was to evaluate the titanium castability with a spin type casting machine(TiCast, Super R, Selec, Osaka, Japan). We tested phosphate bonded investment "Rematitan®Plus(Dentaurum, Inc., Pforzheim, Germany)" of mesh grid pattern and plate pattern. Four different mold temperatures(room temperature, 200°C, 400°C and 600°C) were prepared for the present study. In mesh grid pattern with spruing of $\phi 0.88$ mm diameter, when the mold temperature increased, high percentage of castability was gained. Mold temperature showed a highly significant($p < 0.05$) correlation on the castability, In plate pattern, the higher the mold temperature during casting, the greater the adhesive phenomenon between Ti surface and the investment.

◎ Key Words: the titanium castability, a spin type casting machine, phosphate bonded investment, mesh grid pattern and plate pattern

교신저자

■성명 : 정종현 ■전화 : 062-958-7692 ■E-mail : jhjung@www.kjhc.ac.kr
■주소 : 광주광역시 광산구 신창동 683-3 광주보건대학 치기공과

I. 서 론

용융 Ti은 화학적 활성도가 매우 높으므로 인산염계 SiO₂ 매몰재 주형에 주조되면 매몰재와의 반응으로 생성된 Si성분이 Ti 내부로 확산되어 Ti-Si 혼재층을 형성하고 Ti 주조체의 기계적 성질에 영향을 미친다(井田, 1988; Kuroiwa et al, 1990). 이때 주형의 온도가 높으면 반응성이 증가하므로(Luo et al, 1997) Ti 주조체의 양호한 기계적 성질을 얻기 위해서는 저온주형의 주조가 효과적인 수단이 될 수 있다.

그러나 저온 주형의 주조에는 소환과정이 길고 매몰재의 불충분한 열팽창량 및 낮은 주조성 등의 문제가 있다고 알려져 있다(Akaiwa et al, 1990; Kuroiwa et al, 1995).

저온주형의 주조성과 관련되고 Kuroiwa 등(1990, 1995)이 보고한 바에 의하면 주형온도에 따른 CP Ti의 주조성은 시편의 형상에 의해서도 다르게 나타났고, Yoneda 등(1998)이 보고한 바에 의하면 sprue선의 굵기, 설치방법 및 주조압 등도 주조성에 영향을 미치는 중요한 요인이 되고 있다.

이와 같은 내용을 바탕으로 본 연구에서는 Ti 전용 spin식 원심 주조시스템을 확립하기 위한 초기 단계의 연구로서 시편의 형상과 sprue선의 굵기를 다르게 하고 인산염계 매몰재의 주형온도가 CP Ti의 주조성에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험 재료

시료금속은 Table 1과 같은 화학적 조성의 CP Ti 제2종을 사용하였으며 매몰재는 Fig 1와 같이 SiO₂, MgO, Al₂O₃, P₂O₅가 주성분인 인산염계 Rematitan[®]Plus(Dentaurum, Inc., Pforzheim, Germany)를 사용하였다.

Table 1. Chemical compositions of specimen (wt.%)

CP Ti (Grade 2)	Compositions (wt.%)					
	Fe	C	H	O	N	Ti
	0.30	0.10	0.015	0.25	0.03	Bal.

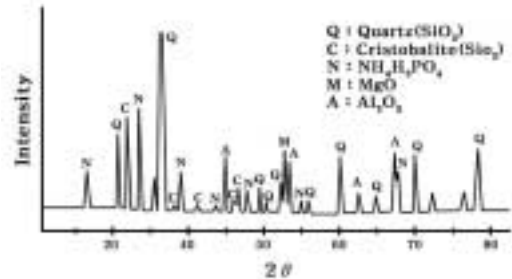


Fig 1. The X-ray diffraction patterns of the Rematitan[®] Plus investment.

2. 시편의 제작

1) X-선 검사 시편

두께 1.5mm 및 0.5mm의 plate wax를 10mm×10mm의 규격으로 잘라서 각 1개씩을 1조로 하여 crucible former에 spruing하였고, 각 온도별(실온, 200, 400 및 600℃)로 2조를 준비하였다(Fig 2). 이때 sprue선은 굵기 φ1.26mm,

길이 5mm의 casting wax로 하여 각 시료간의 용탕 주입조건이 동일하도록 하였다.

2) 주조성 검사 시편

Mesh grid wax pattern(RN II : Dentaaurum Co.)을 7칸×7칸의 격자(grid corner수: 56)가 되도록 잘라서 runner bar casting wax를 부착하고 4개를 1조로 하여 crucible former에 spruing하였다(Fig 3). 이때 sprue선은 길이 5mm이고 굵기 $\phi 1.26\text{mm}$ 및 $\phi 0.88\text{mm}$ 의 2종류별 casting wax로 하였다. 각 온도별(실온, 200, 400 및 600 $^{\circ}\text{C}$)로 2조를 준비하였다.

3) 매몰 소환 주조

매몰재를 제조회사의 규정에 따라 혼합하고 통상적인 방법으로 매몰하였다. 주형의 수축과 균열을 방지하기 위해 매몰 후 40분이 경과한 후에 소환로에 넣고 Fig.4에서 제시한 방법으로 주형을 가열하였다. 본 실험에서 시행한 주조시의 주형온도 분류는 실온, 200 $^{\circ}\text{C}$, 400 $^{\circ}\text{C}$, 600 $^{\circ}\text{C}$ 의 4단계로 설정하였고 실온에서 575 $^{\circ}\text{C}$ 까지 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 속도로 승온 시키고 575 $^{\circ}\text{C}$ 에서 30분간 계류시켰다. 이 온도에서는 매몰재의 주성분인 SiO_2 가 α 석영으로 존재하고 급가열시 균열이 발생할 수 있기 때문이다. 이후로 900 $^{\circ}\text{C}$ 까지 가열하여 60분간 계류시키고 다시 소환로에서 로냉 하여 주조 설정온도에 도달하면 60분간 계류 후에 주조를 시행하였다. 주조기는 Ti 전용 spin식 원심주조기(TiCast Super R, Selec, Osaka, Japan)를 사용하였다(Fig 5).

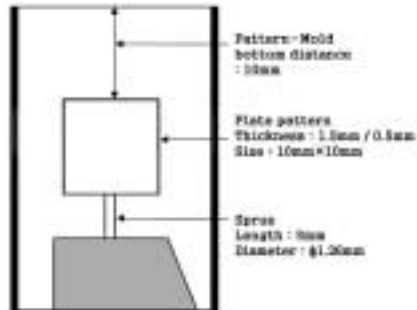
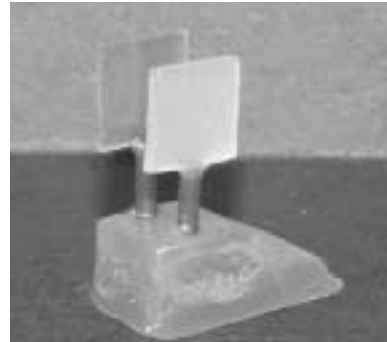


Fig 2. Schematic illustration of investing condition and plate pattern

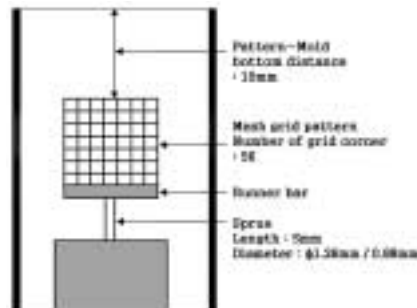
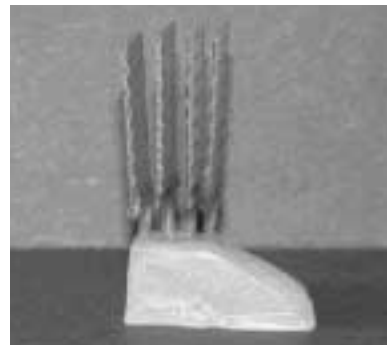


Fig 3. Schematic illustration of investing condition and mesh grid pattern

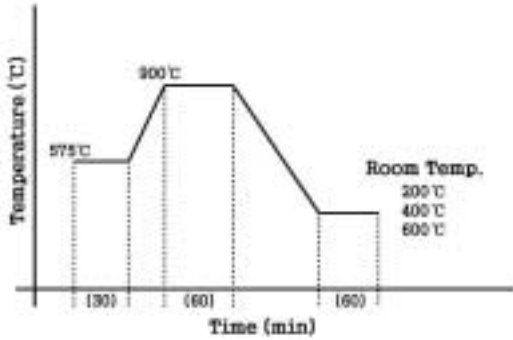


Fig 4. Heating mode of the casting mold



Fig 5. External view of TiCast Super R

3. X-선 검사

주조체의 내부 기포를 조사하기 위한 X-선 촬영은 (주)동아 제품의 X선 장치(RF 500-150)로 관전압 68kVp조건에서 시행하였고 CR에서 가장 적절한 사진농도로 image를 재구성하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 주조성 검사

Fig 6은 mesh grid pattern에 $\phi 1.25\text{mm}$ 및 $\phi 0.88\text{mm}$ 주입선을 설치하여 주형온도별로 주조한 주조체이다.

Fig 6 ABCD에서 보는 바와 같이 mesh grid pattern에 $\phi 1.26\text{mm}$ 주입선을 설치하여 주조한 결과는 실온주형에서 주조성이 약간 낮고 그 외 200, 400 및 600°C 주형온도에서는 주조성이 매우 높게 나타났다. 이처럼 주형온도에 따른 주조성 차이가 크게 나타나지 않은 것은 용융티타늄이 1600°C 이상으로 매우 높고 본 시험의 600°C 주형온도와도 1000°C 이상의 많은 차이가 나기 때문으로 생각된다. 이 온도는 현재 시행되고 있는 치과주조에서 용융금속과 주형간의 온도 차이에서 가장 크고 용융 금속을 실온의 크리스토타라이트 주형에 주입하는 경우에 해당한다. 용융금속과 주형온도 간의 높은 온도차에서도 주조성이 모두 양호하게 나타난 것은 sprue선의 굵기 및 위치 설정 등이 주형온도와는 무관하게 작용하도록 적당했을 것으로 생각되고 본 시험에 사용된 spin형 원심주조기가 3000rpm으로써 주입력이 매우 높기 때문으로 생각된다.

sprue의 굵기는 주조성과 매우 밀접하게 관련되어 있고 굵으면 주조성은 높지만 sprue 절단 및 다듬질에서 발생할 수 있는 결함을 줄이기 위해서는 최소한의 굵기로 충분한 주조성을 얻도록 spruing 방안이 강구되어야 한다 (Yoneda et al, 1998).

Fig 6 EFGH에서 보는 바와 같이 mesh

grid pattern에 $\phi 0.88\text{mm}$ 주입선을 설치하여 주조한 결과는 주형온도에 따라 주조성이 다르게 나타났다. Fig 7에서 보면 주조성은 실온의 20.53%, 200°C의 66.51%, 400°C의 86.16%, 600°C의 88.84%로 나타나서 저온 주형보다 고온 주형일수록 더 높은 경향을 보였고, 이때 주형온도에 따른 주조성의 변화는 Table 2의 상관분석표에서 보는 바와 같이 상관관계(상관계수: 0.986)에 있음을 알 수가 있고, 이는 통계학적으로도 유의하게 나타났다 ($p < 0.05$). 이와 같은 결과는 Oliveria 등 (2006)이 인산염계 매몰재 Rematitan®Plus

및 가압흡인주조기인 CYCLARC를 사용하여 주형온도가 Ti의 주조성에 미치는 영향의 연구에서 주형온도가 증가할 때 주조성이 높게 나타났다고 보고한 바와 일치하는 경향을 보였다. 동일한 온도에서도 주조성이 큰 차이가 나타난 것은 본 시험에 이용된 spin식 원심 주조기에서는 특수하게 고안된 crucible를 사용하고 있는데 crucible에 대한 sprue의 설치 위치 차이에 따른 것으로 생각되고 이에 대해서는 Watanabe(2002)가 원심력에 대해 수직방향으로 코리올리력이 작용하기 때문이라고 보고한바 있다.

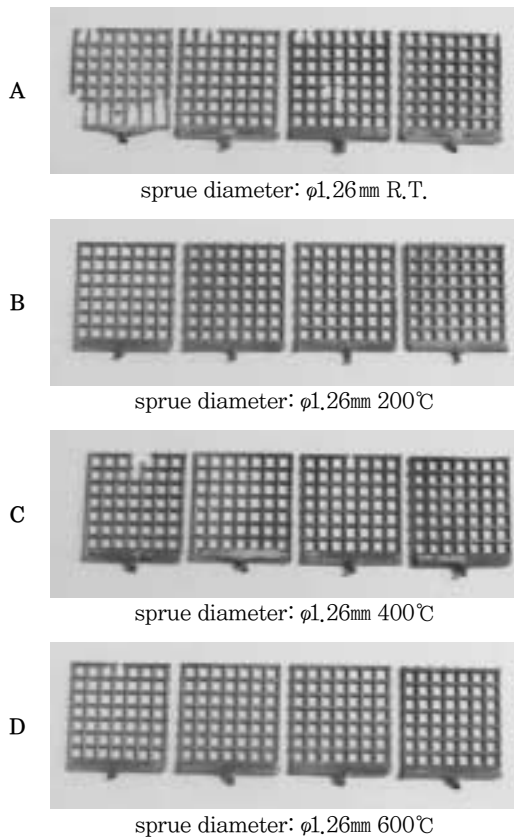


Fig 6. Appearance of as cast CP Ti castings under difference mold temperature; number of mesh grid corner:56, sprue diameter: $\phi 1.26\text{mm}$ (ABCD).

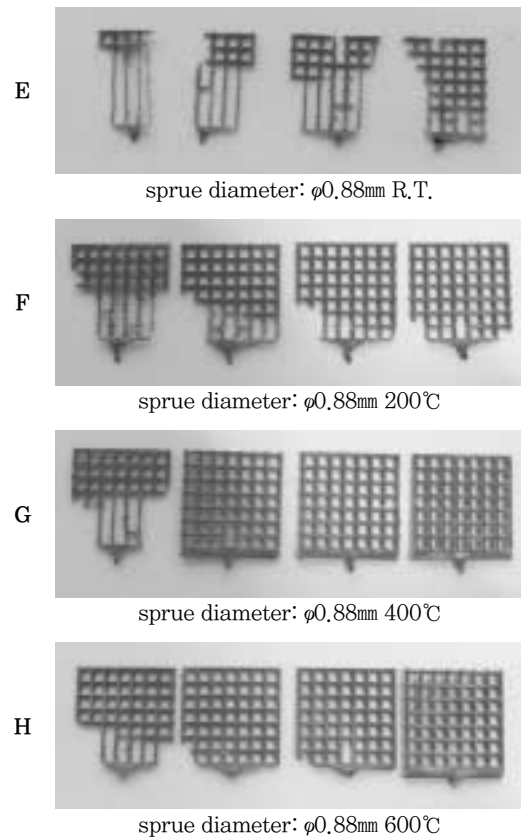


Fig 6. (continued) sprue diameter: $\phi 0.88\text{mm}$ (EFGH)

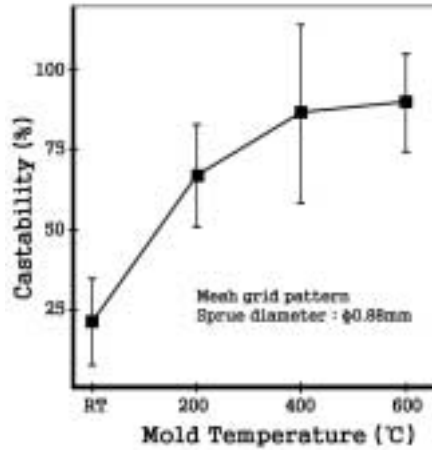


Fig 7. Effect of mold temperature on the castability of CP Ti; mesh grid pattern, sprue diameter: $\phi 0.88\text{mm}$

Table 2. Effect of mold temperature on the castability of CP Ti

Sprue diameter Specimen	Mold temperature(°C)				
	R.T.	200	400	600	
$\phi 0.88\text{mm}$ Mesh grid pattern	Mean	20.53	66.51	86.16	88.84
	SD	13.79	16.00	27.68	15.39
	Correlation coefficient	0.986*			

Mean: % n=8 *P<0.05 R.T.: Room temperature

2. X-선 검사

Fig 8은 $10 \times 10 \times 1.5\text{mm}$ 및 $10 \times 10 \times 0.5\text{mm}$ plate pattern의 각 주형온도에 따라 주조된 Ti 주조체 사진이다. 주형온도는 주조성과 밀접한 관계가 있고, 특히 금속의 응고시간에 영향을 미친다고 알려져 있지만(代田 et al, 1972), 본 시편의 외견상에서는 주형온도에 따른 주조성의 차이로 주입 불량 등의 결함은 나타나지 않았고 모두 양호하였다.

그러나 Ti 주조체 표면에 매몰재의 소착량은 시편 두께와 관계없이 온도가 상승함에 따라

증가하는 경향을 보였는데 실온주형 및 200°C 주형의 주조체에서는 매몰재의 소착이 거의 일어나지 않았으나 400°C 주형 및 600°C의 주형의 주조체에서는 매몰재의 소착량이 많았고 특히 600°C 주형의 주조체에서는 매몰재에 의해 피복되어 표면을 관찰할 수가 없었다. 이는 Ti와 매몰재의 반응에 의한 것으로 고온주형의 Ti 주조체는 표면뿐만 아니라 내부에도 영향을 받을 가능성이 높다. Ti용탕이 높은 온도의 주형에 주조되면 산화반응이 급격히 일어나는데 이때 Ti용탕이 매몰재 중의 SiO_2 를 분해하여 생성된 Si가 Ti 내로 확산되어 주조체

표면에 Ti-Si 혼재층을 형성하고 이로 인해 주조체의 기계적 성질에 영향을 미치게 된다. 산화물생성의 표준자유에너지표(日本金屬學會編, 1984)에 의하면 SiO_2 와 Ti는 수월하게 반응이 진행되는 것을 알 수 있지만 양호한 Ti 주조체를 얻기 위해서는 가능한 한 주형온도를 낮추어 반응을 억제해야 한다.

Fig 9는 $10 \times 10 \times 1.5\text{mm}$ 및 $10 \times 10 \times 0.5\text{mm}$ plate pattern의 각 주형온도에 따라 주조된 Ti 주조체의 X-선 사진이다. 두께 1.5mm plate pattern 경우에는 400°C 및 600°C 주형온도의 주조체에서 Ti 특유의 주조소 결함이 나타났고 그 외의 주형온도 주조체에서는 거의 나타나지 않았다. 두께 0.5mm plate pattern 경우에

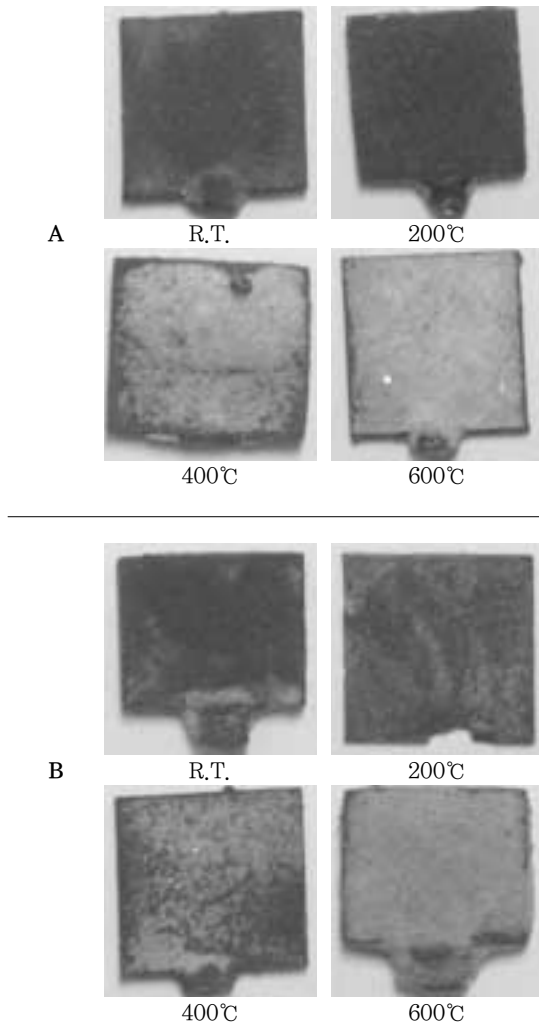


Fig 8. Appearance of as cast CP Ti castings under different mold temperature; A: $10 \times 10 \times 1.5\text{mm}$, B: $10 \times 10 \times 0.5\text{mm}$, R.T.: Room temperature

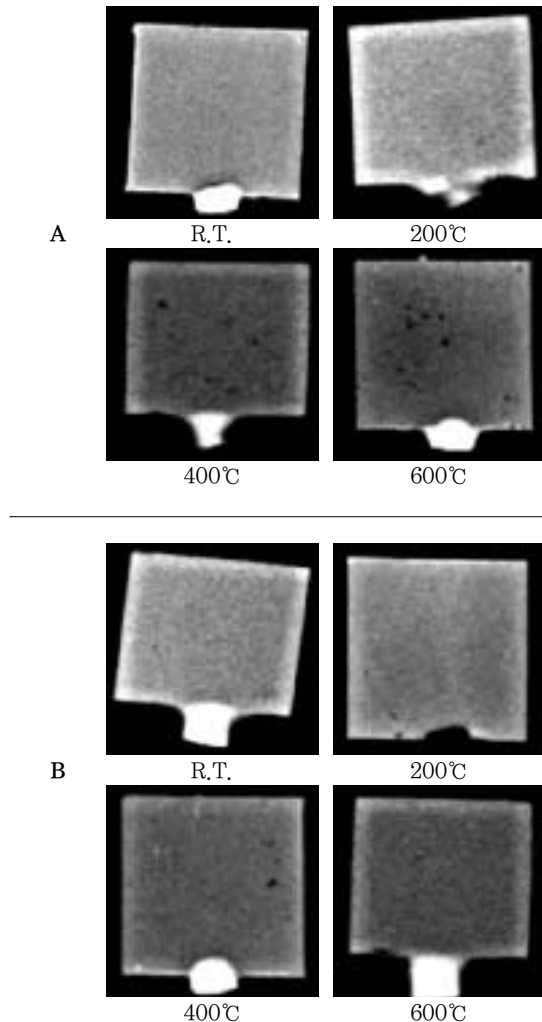


Fig 9. Radiograph of as cast CP Ti castings; A: $10 \times 10 \times 1.5\text{mm}$, B: $10 \times 10 \times 0.5\text{mm}$, R.T.: Room temperature

는 400℃ 주형온도에서 약간의 주조소 결함이 나타났다. 두께 1.5mm 및 0.5mm plate pattern에서 관찰된 모든 주조소는 $\phi 0.3\text{mm}$ 이하의 매우 작은 것이고 문제시 될만한 큰 결함은 확인되지 않았다. 주조소는 일반적으로 주조방식, sprue의 설치 방향 및 air vent의 설치유무와 관련 있는 것으로 알려져 있지만(紀宏 et al, 1986) 주형온도와도 연관 있을 것으로 생각된다.

IV. 결 론

인산염계 매몰재의 spin식 원심 주조 시스템을 확립하기 위한 초기 단계의 연구로서 시편의 형상과 sprue선의 굵기를 다르게 하고 주형온도(실온, 200℃, 400℃, 600℃)가 CP Ti의 주조성에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. $\phi 1.26\text{mm}$ sprue를 설치한 mesh grid pattern의 주조성은 주형온도에 따른 차이 없이 모두 양호하였다.
2. $\phi 0.88\text{mm}$ sprue를 설치한 mesh grid pattern의 주조성은 저온 주형보다 고온 주형일수록 더 높게 나타났고, 통계학적으로도 유의하였다($p < 0.05$).
3. plate pattern 주조체에서는 주형온도에 따른 외견상 주입 불량 등의 결함은 나타나지 않았고 모두 양호하였다.
4. plate pattern 주조체 표면에 매몰재의 소착량이 주형온도가 상승함에 따라 증가하는 경향을 보였다.
5. plate pattern 주조체의 X-ray검사 결과에서 주조소 결함이 고온 주형온도의 주

조체에서 약간씩 나타났다.

〈참고문헌〉

- 代田基朔 et al. 齒科鑄造(鑄造)操作條件(鑄造)率との關係 齒材器誌, 27, 43-52, 1972.
- 都賀谷紀宏 et al. 鑄造體の内部鑄造缺陷について 齒材器, 5(特)8, 90, 1986.
- 日本金屬學會編. 金屬 데이터ブック丸善, 90, 1984.
- 井田一夫. 純チタンとは何か宇宙工學(生體)材料までQDT, 13(8), 43-50, 1988.
- Akaiwa Y et al. Reaction product on the surface of titanium castings(Part 2). J Dent Mater, 9 Special 6:199, in Japanese, 1990.
- Kuroiwa A et al. Studies on Titanium Casting(Part 1) -Influence of the mold temperature on titanium casting. 齒科材料・器械, 9: 2, 1990.
- Kuroiwa A et al. Effect of mold temperature on the titanium casting, Matsumoto Shgaku, 21: 202, 1995.
- Luo X et al. The effect of the mold temperature on the mechanical properties and reaction layer structure of the titanium castings. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi, 32(6): 327, 1997.
- Oliveira PC et al. The effect of mold temperature on castability of CP Ti and Ti-6Al-4V casting into

phosphate bonded investment materials. Dent Mater. 16, 2006.

Yoneda T et al. Studies on the castability of pure Titanium(Part 3) Influence of casting pressure and sprue diameter on the titanium castability, 松本齒學, 24: 93, 1998.

Watanabe K. 齒科~~カ~~鑄造の現況と問題點, ~~カ~~の齒科技工 Part 2, QDT別冊, 38, 2002.