

■■■■■■■■■■
論 文
 ■■■■■■■■■■

티타늄합금 주조용 치과매몰재의 조성에 따른 경화거동 및 용탕반응성에 관한 연구

정국진 · 여인동* · 심광보

A Study on the Hardening Behavior and Metal-Mold Reaction in Dental Investment Materials for Titanium Castings

Kuk-Jin Jeong, In-Dong Yeo* and Kwang-Bo Shim

Abstract

Hardening behavior and metal-mold reaction of phosphate bonded investments for titanium and titanium alloys were investigated. Alumina and Y_2O_3 -stabilized zirconia, which are thermodynamically more stable than Titania, were used as major filler materials. $NH_4H_2PO_4$ was used as binder, and MgO was used as hardening acceleration material. A different composition ratio of binder and hardening acceleration material had effected on general hardening behavior and castings. And adding Y_2O_3 -stabilized zirconia to alumina, metal-mold reaction characteristics for castings was evaluated. Considering working conditions and effects on castings, the best composition ratio conditions were both 10:10 and 12:8($NH_4H_2PO_4$ vs. MgO). On the other hand, increasing the contents of Y_2O_3 -stabilized zirconia for filler material, metal-mold reaction layer of titanium castings was greatly decreased.

(Received September 17, 1999)

1. 서 론

티타늄 및 티타늄합금은 비중이 낮은 반면 고강도, 산(acid)등에 매우 잘 견디는 뛰어난 부식저항성 및 생체친화성을 가진 재료로 알려져 있다. 이러한 물성을 응용하여 생체용 임플란트 재료로서의 연구가 꾸준히 진행중에 있으며, 치과용 의치재료로서의 연구도 생체친화성/기계적물성의 두 분야로 나뉘어 활발한 연구가 진행되어 왔다[1-4]. 그러나, 티타늄은 이러한 뛰어난 물성을 지님에도 불구하고 주조시에 Ni-Cr, Co-Cr등의 다른 고용점을 갖는 치과용금속에 비하여 용탕의 유동성이 매우 나쁘고[5], 또한 O, N, H등과 활발히 반응하여 이른바 “ α -case”라고 불리는 산화층(TiO_2)을 매우 쉽게 형성한다. 이러한 산화층은 주조체의 경도를 높여 취성(brittleness)의 성질을 가지게 함으로써 물성저하의 원인이 되므로 진공상태에서의 주조공정을 요구하게 되며 또한 티타늄과의 반응을 피하기 위한 적절한 매몰재재료 선정이 필수적인 요건이 된다.

보편적인 치과용 티타늄합금 주형매몰재 재료는 TiO_2 보다 열역학적으로 안정한 내화물들이 사용되고 있으며(Fig.1의 여러 가지 산화물에 대한 Ellingham diagram[8]을 참조), 크게 MgO계, CaO계, Al_2O_3 계의 세가지 계통으로 구분이 되고 있다. MgO를 주충진재로 사용하는 매몰재의 경우 Al_2O_3 계에 비하여 반응성 측면에서는 유리하나 매몰재의 건조 및 경화시간이 긴 단점이 있어 이를 보완하기 위하여 바인더로 Castable cement의 원료가 되는 알루미나 시멘트를 첨가하여 경화시간을 단축시키는 연구가 수행되고 있으며, CaO계통의 경우 티타늄용탕과의 반응성이 거의 없는 매우 우수한 주조체를 얻을수 있으나, 연화액으로 물을 사용할수 없다는 치명적인 약점이 존재한다[6].

본 연구에서는 알루미나를 충진재로, 그리고 $NH_4H_2PO_4$ 와 MgO를 각각 바인더와 경화촉진제로 선정하였다. $NH_4H_2PO_4$ 와 MgO는 평상시 분말상태로 존재하나 연화액인 물과 만나게 되면 다음과 같은 반응이 일어나면서 열을 발산하고 경화되는 현상이 일어나

한양대학교 공과대학 무기재료공학과(Department of Ceramic Engineering, Hanyang Univ.)

*한국생산기술연구원 중소기업기술개발지원센터(Korea Institute of Industrial Technology)

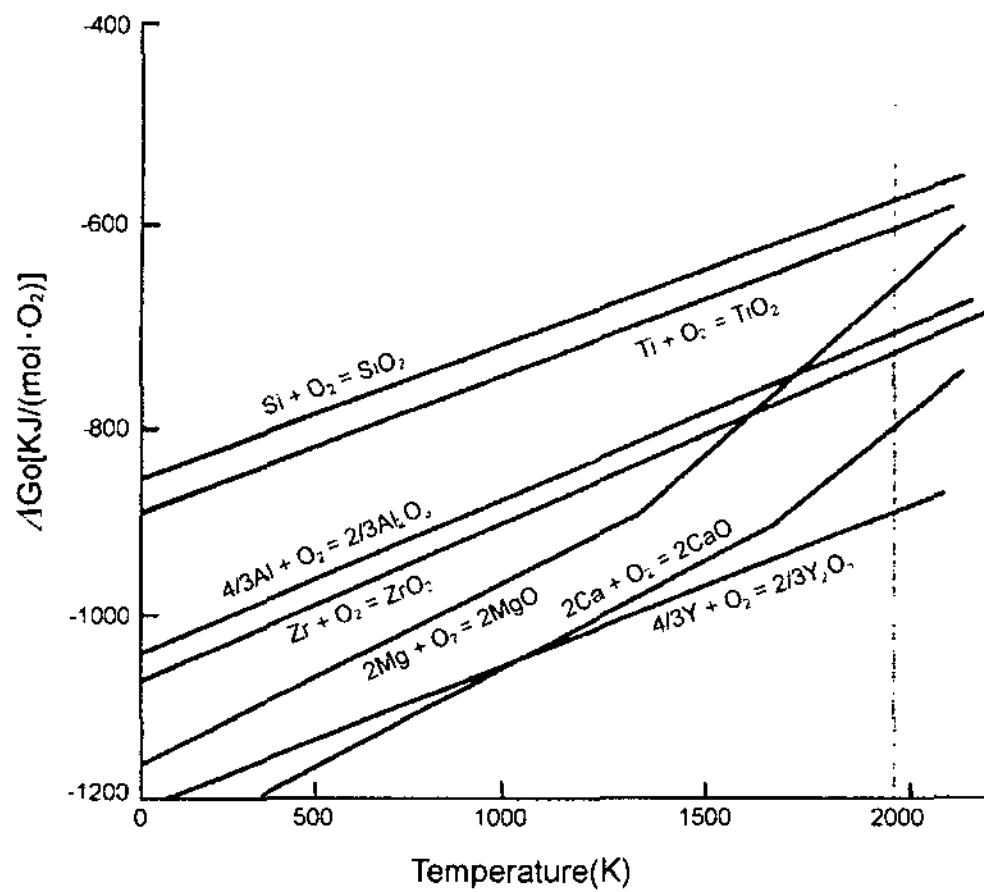
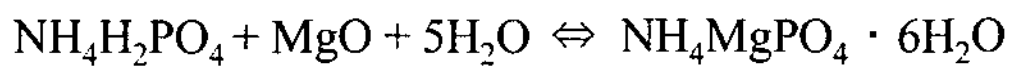


Fig. 1. Ellingham diagram of the formation of various refractory oxides(ref. [8])

계 된다.



위의 반응식에 근거하여 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 와 MgO 의 성분비의 변화는 경화거동에 많은 영향을 미칠것으로 생각된다. 따라서, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 와 MgO 의 성분비를 달리해서 상온 및 온도상승에 따른 반응생성물을 조사하여 경화거동에 미치는 영향을 알아보았고, 역시 바인더로 사용되는 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 및 경화촉진제인 MgO 의 성분비를 각각 달리한 매몰재가 주조체에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 충전재의 조성을 알루미나-지르코니아의 2성분계로 하여 주조체와의 반응성을 연구하였다.

2. 실험방법

2.1 재료

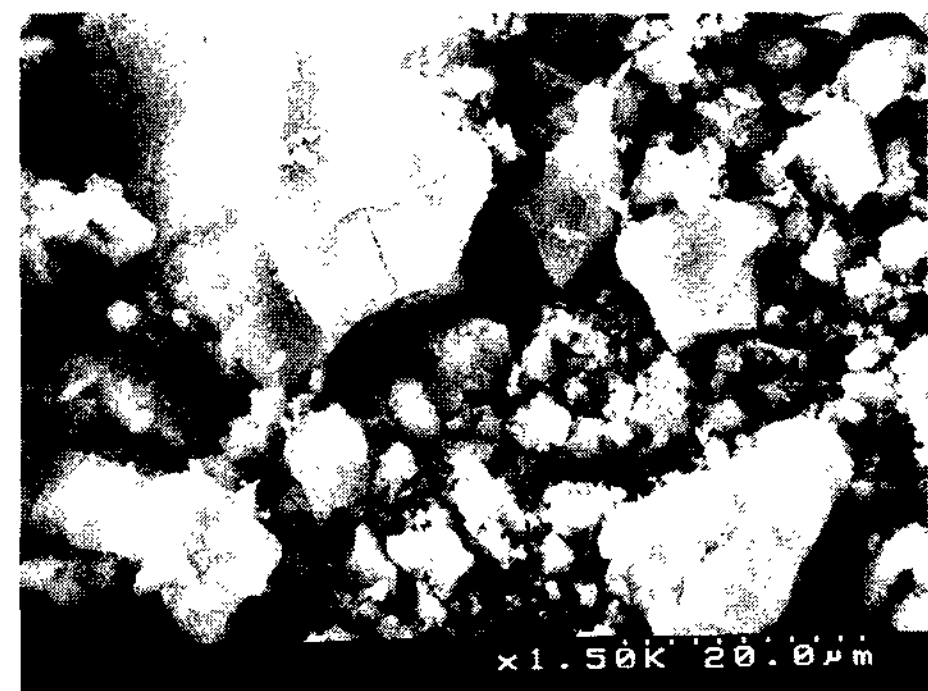
Table. 1에 주형제작에 사용된 내화물 및 바인더재료의 일반적인 성상을 나타내었고 Photo 1에는 충전재로 사용한 Al_2O_3 와 경화촉진제로 사용한 MgO 의 입형을

Table 1. General Properties of Mold Materials

Materials	Characteristics
Al_2O_3	Purity : 98.5%, Mean Diameter:31.04 μm
ZrO_2	Purity : 99.5%(Y_2O_3 3%-Stabilized ZrO_2)
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	Purity : 98.5%(24hr Ball Milling)
MgO	Purity : 93%(SiO_2 4.5%, CaO 1.5%, Fe_2O_3 1%) Mean Diameter:14.61 μm



(a) Al_2O_3



(b) MgO

Photo. 1. Particle Shape and Size of Filler and Hardening Materials

나타내었다. 정밀주조용 주형제작에 있어서는 사용재료의 입도 및 입자의 형상, 비중등이 주형의 물성에 많은 영향을 미치게 된다. 예로서 입자가 너무 미립일 경우에는 연화액과 접촉하는 입자의 표면적이 넓어져서 결과적으로 많은량의 연화액을 필요로 하기 때문에 강도저하의 원인이 될 수 있고, 또한 입도분포가 좁고 편중되게 되면 입자들의 충전성이 떨어지기 때문에 역시 필요이상의 연화액을 필요로하여 주형의 물성에 영향을 미치게 된다. 이러한 근거에 비추어서 충전재로 사용한 Al_2O_3 는 0.635 mm ~ 202.8 mm의 넓은 입도분포를 가지면서 평균입도 31.04 μm 의 다소 조대한 분말을 사용하였다. $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 는 원료분말을 볼밀로 12시간동안 분쇄처리하였고, MgO 는 magnesite를 750°C에서 하소하여 제조한 경소마그네시아를 사용하였으며, 첨가량이 10 wt%내외로서 상대적으로 알루미나에 비하여 적기 때문에 입도분포가 연화액의 량에 영향을 미치지 않을것으로 판단되어 알루미나보다 미분인 14.61 μm 의 평균입도를 가지는 재료를 사용하여

NH₄H₂PO₄와의 반응면적이 넓어지도록 하였다. Al₂O₃와 더불어 충전제로 사용되는 ZrO₂는 분쇄용 내화물 볼의 원료가 되는 이트리아(Y₂O₃) 안정화 지르코니아를 사용하였다. 일반 지르코니아가 1,000°C 근처에서 monoclinic → tetragonal로 相轉移하는 반면 안정화 지르코니아는 CaO, Y₂O₃ 등을 ZrO₂에 소량 고용시킨 재료로서 상온에서 고온상인 tetragonal로 존재하는 것이 특징이다. 본 연구에서 일반지르코니아가 아닌 안정화 지르코니아를 사용한 이유는 고온에서 상전이로 인한 용적변화에 따른 열충격을 방지하기 위함이며, 티타늄과의 반응성이 일반지르코니아보다 우수하다고 알려져 있기 때문이다[8].

한편 주조용 금속으로는 ASTM Grade-1의 CP-titanium을 30φ×16 mm의 크기로 제작, 준비 하였다.

2.2 실험방법

Table. 2에 각각의 경화거동 및 티타늄과의 물리·화학적 용탕반응성을 측정하기 위한 매몰재의 조성을 나타내었다. 슬러리제작시 경화시간, 강도등의 여러 가지 물성이 연화액의 온도 및 실내온도의 영향을 많이 받게되므로, 모든 시편에 대하여 연화액 20°C, 실내온도 23°C로 설정하여 측정하였다. 연화액으로는 물을 사용하였는데 NH₄H₂PO₄와 MgO의 비가 10:10일 때 가장 적합한 유동성을 나타내는 비율인 매몰재 100g당 17 ml를 넣어 impeller mixer에서 1분간 혼합하고 다시 진공탈포기에서 1분간 탈포하였다.

Table. 2. Composition ratio of each investments

(a) Composition ratio for hardening behavior test and castings surface test

Sample Name	Composition	Al ₂ O ₃ (wt%)	NH ₄ H ₂ PO ₄ (wt%)	MgO (wt%)
A	Contents	80	6	14
B			8	12
C			10	10
D			12	8
E			14	6

(b) Composition ratio for metal-mold reaction test

Sample-name	Composition	Al ₂ O ₃ (wt%)	ZrO ₂ (wt%)	NH ₄ H ₂ PO ₄ (wt%)	MgO (wt%)
F	Contents	80	0	10	10
G		64	16		
H		48	32		
I		32	48		

경화온도의 측정은 매몰재 100g을 슬러리로 제작한 후, 열을 최대한 빼앗기지 않도록 하기 위하여 1회용 종이컵에 매몰시킨후 슬러리의 최고발열온도를 측정하였으며, 경화시간은 연화액을 부어 슬러리를 제작하기 시작한 시점부터 최고발열온도가 나타나는 시점까지의 경과시간을 경화시간으로 선정하여 측정하였다.

압축강도는 알루미늄재료의 분할형금형(50φ×50mm)에 매몰재 슬러리를 붓고 70분동안 경화시킨후 상온에서 측정하였고, 소성후의 압축강도측정은 70분동안 경화시킨 시편을 1,000°C까지 10°C/min으로 승온시키고, 1시간유지, 로냉시킨 시편의 압축강도를 측정하였으며, 매몰재를 상온, 250°C, 750°C, 1000°C까지 소성하여 각각의 온도영역에서 생성되는 열화학적 생성물을 X-선회절분석을 통하여 규명하였다.

매몰재의 점결력등의 차이에 의한 물리적인 용탕반응성 및 확산에 의한 용탕과의 반응성을 측정하기 위한 주조체의 제작을 위하여 20φ×45 mm의 몰드중앙에 직경 7φ의 봉상왁스패턴을 슬러리로 매몰시켰다. 다시 매몰된 시편을 150°C에서 1시간동안 탈왁스시킨후에 매몰재를 1,000°C까지 예비가열하고, 아르곤분위기하에 진공-아크용해하여 주조하였다. 주조체의 분석은 내화물을 고정시키고 NH₄H₂PO₄와 MgO의 조성을 변화시켜 주조한 시편(A, B, C, D, E)에 대하여 SEM을 사용한 표면성상 및 WDX를 사용하여 임의의 세영역에 대한 성분비의 평균을 구하였다. 한편 NH₄H₂PO₄와 MgO의 조성을 고정시키고 내화물의 조성을 변화시킨 시편(F, G, H, I)에 대하여는 파단면을 WDX-line profile로 분석하여 산화층의 두께를 규명하였다.

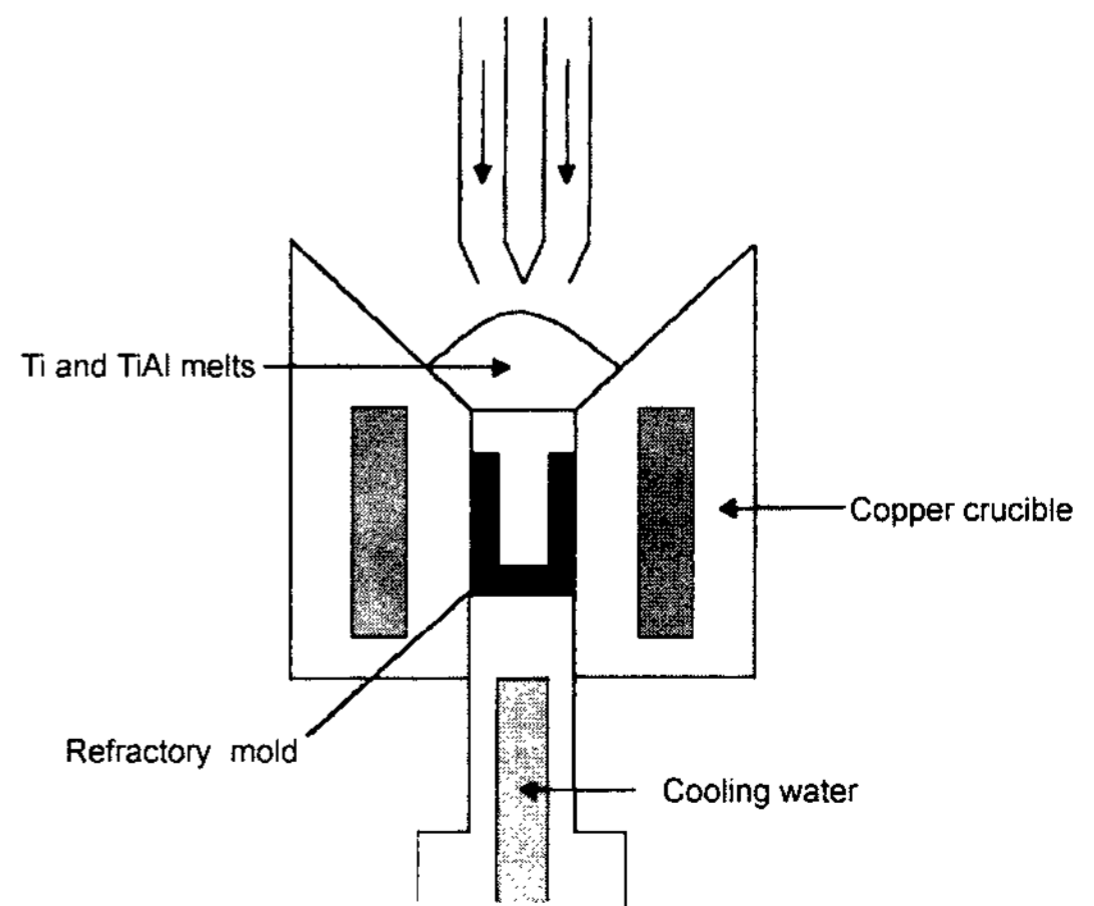


Fig. 2. Schematic diagram of Plasma arc melting furnace

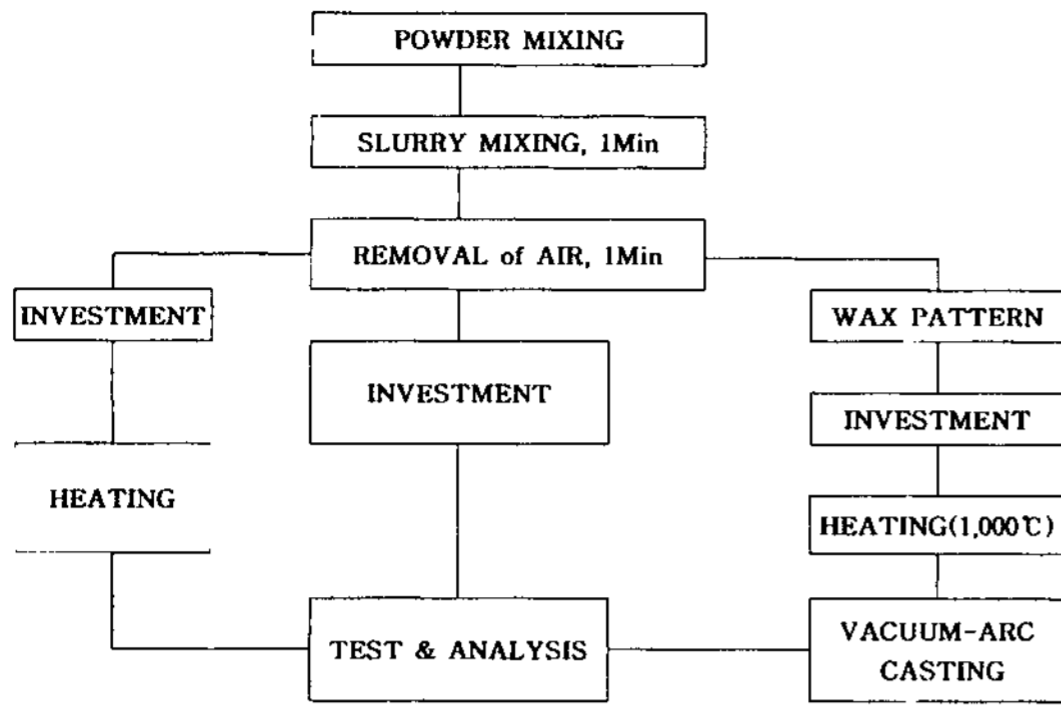


Fig. 3. Flow chart of Experimental method

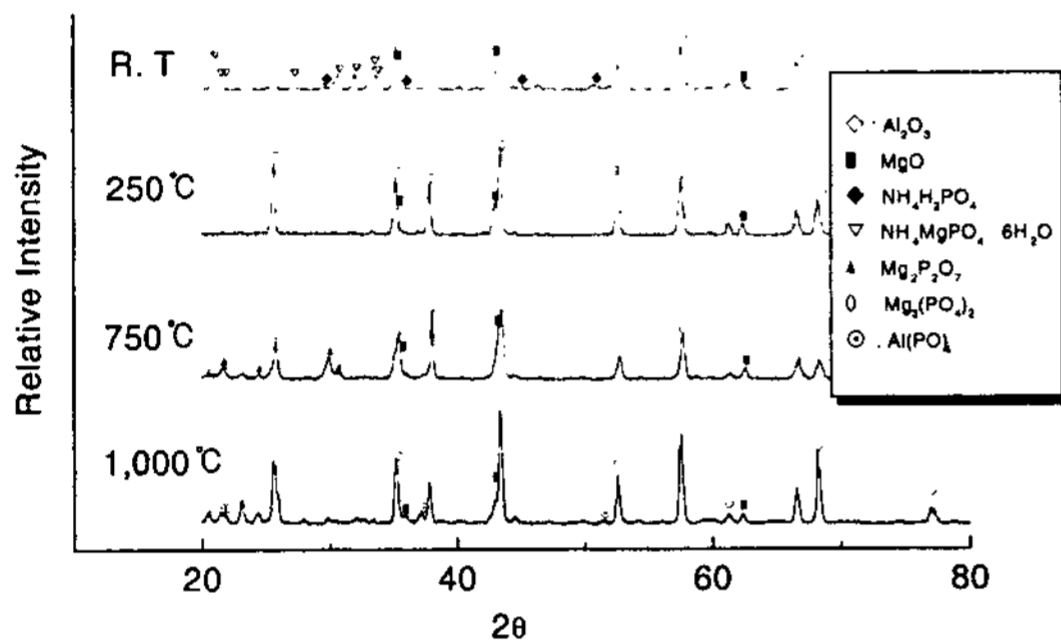


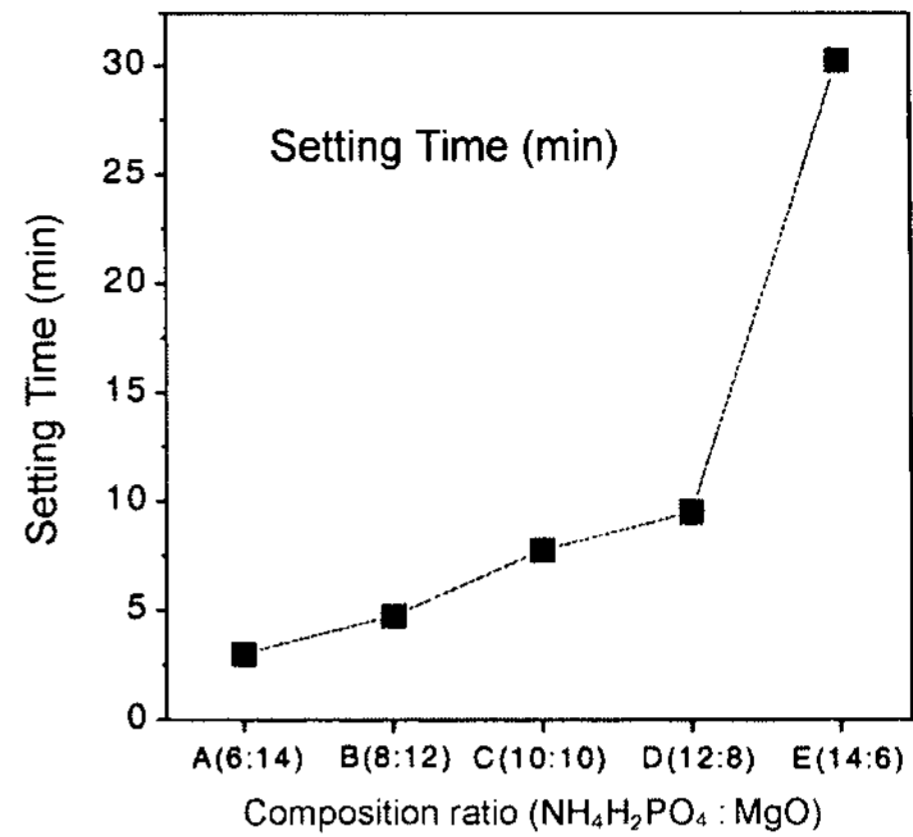
Fig. 4. XRD analysis of “Al₂O₃ 80% + NH₄H₂PO₄ 10% + MgO 10%” at each temperature

Fig. 2에는 본실험에 사용된 주조기의 구조를 모식도로 나타냈으며, Fig. 3에서는 전반적인 공정을 흐름도로 나타내었다.

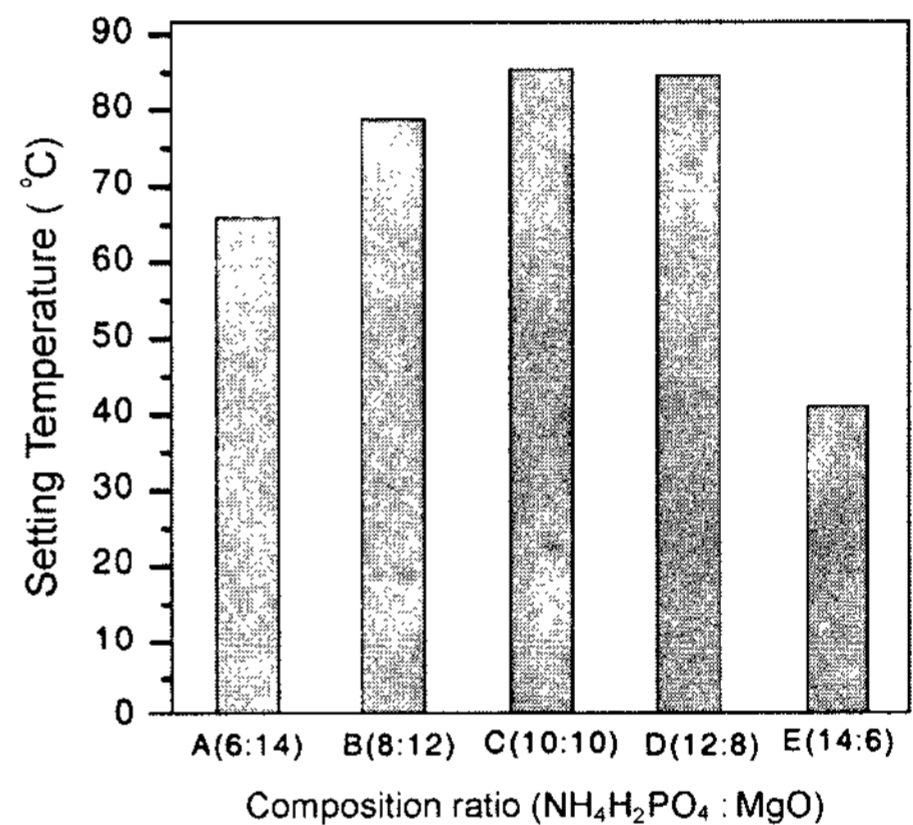
3. 결과 및 고찰

3.1 매몰재의 NH₄H₂PO₄와 MgO의 성분비에 따른 경화거동

Fig. 4에는 알루미나 80%, NH₄H₂PO₄ 10%, MgO 10% 조성의 시편을 가지고 상온에서 고온(250°C, 750°C, 1000°C)까지 승온하는 동안 발생하는 여러 가지 생성물을 XRD 분석결과를 보여준다. 상온에서는 H₂O, 그리고 NH₄H₂PO₄와 MgO의 자발적인 반응에 의하여 NH₄H₂PO₄·6H₂O의 수화물이 생성되었다. NH₄H₂PO₄·6H₂O가 상온에서 발열반응을 일으키면서 생성됨에 따라 상온에서의 강도를 유지하게 된다. 이러한 수화생성물이 250°C가 되면 거의 분해되어 충전제인 알루미나 및 NH₄H₂PO₄와 반응하지 않고 남아있는 MgO만 나타나고 이러한 현상은 700°C부근까지 계



(a) Setting Time



(b) Setting Temperature

Fig. 5. Influence of NH₄H₂PO₄ vs. MgO composition ratio on setting time and temperature

속하여 나타나는데 저온결정상은 분해되고, 고온상인 Mg₂P₂O₇이 완전히 생성되지 않고 (Mg₂P₂O₇)_n의 사슬 형태를 이루면서 비정질적인 성향을 가지고 끊어지고 이어짐을 반복한다고 알려져 있다[7]. 그러한 사슬들이 750°C에서는 완전한 결정상인 Mg₂P₂O₇과 Mg₃(PO₄)₂으로 변화한다. 계속하여 1,000°C부근에서는 Mg₂P₂O₇이 거의 사라지면서 Mg₃(PO₄)₂와 더불어 충전제인 Al₂O₃와 반응한 Al(PO₄)₃가 주생성물로 나타나고 있으며 이러한 반응생성물들이 고온에서의 강도에 기여하게 된다고 생각된다.

Fig. 5에 NH₄H₂PO₄와 MgO의 성분비에 따른 경화 시간 및 경화온도를 나타내었으며, Fig. 6에는 Fig. 5에서 나타난 것과 같은 조성을 가진 시편의 상온에서 70분동안 유지시킨 시편과 1,000°C까지 가열하였다가

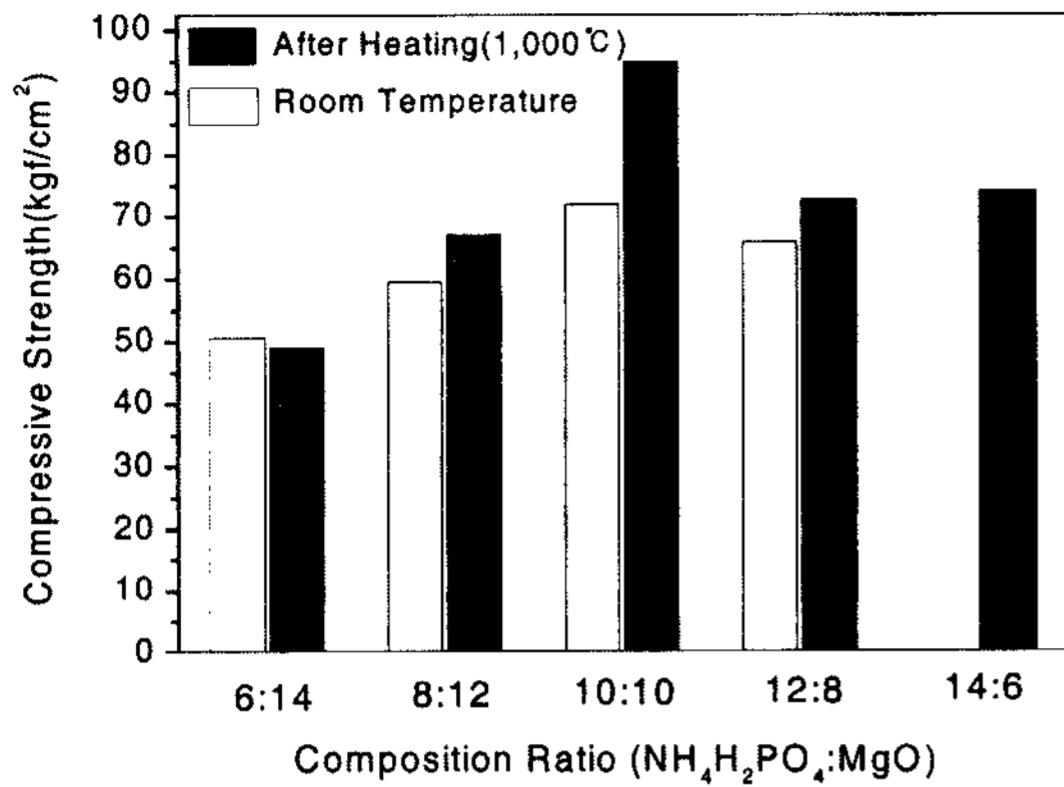


Fig. 6. Influence of NH₄H₂PO₄ vs. MgO composition ratio on compressive strength at room temperature and after 1,000°C heating

로냉시킨후의 압축강도를 나타내었다. NH₄H₂PO₄가 증가하고 MgO의 양이 감소할수록 경화시간이 증가하는 경향이 나타났으며, 특히 NH₄H₂PO₄와 MgO의 비가 14:6인 E의 경우에는 경화시간이 매우 지연됨을 알 수 있다. 이는 바인더의 역할을 하는 NH₄H₂PO₄가 충분히 있다 하더라도 경화를 촉진시켜주는 MgO가 일정량 이하가 되면 단시간에는 충분한 반응이 이루어지지 않기 때문이고, 그러한 영향에 의하여 경화온도 역시 다른 시편에 비하여 감소하고 있음이 Fig. 5(b)에 나타나고 있다. 반대로 경화촉진제의 양이 많아지고 바인더의 양이 감소하게 되면 반응의 속도가 매우 빨라지게 되나, Fig. 6에서의 상온압축강도를 비교하여 보면 A와 B가 C와 D조성의 경우보다 감소한다. Fig. 7은 각 조성에 따른 시편을 24시간 실온에서 방치한후에 얻은 XRD 분석결과이다. Fig. 7의 상대강도비교를 행하여 본 결과 A, B에 비하여 C와 D의 조성에 있어서 상온강도에 영향을 미치는 수화생성물인 NH₄H₂PO₄ · 6H₂O의 생성량이 상대적으로 다량 생성되고 있음이 보여진다. E의 경우에는 경화속도가 매우 늦어져서 슬러리 제작후 70분후에는 상온강도를 측정할 수 없었다. 그러나, Fig. 7에서 보여지듯이 24시간 후에는 E시편이 가장 많은 양의 수화생성물을 생성하고 있음을 알 수 있다. 이론적으로 수화물생성의 최적조건을 고려하여 보면 NH₄H₂PO₄(114.98g/mol)와 MgO(40.3g/mol)의 무게비가 약 4:1일 경우, 즉 1:1의 몰비를 가질 때라고 보여지기 때문에, 결국 무게비 4:1에 가장 가까운 E조성이 가장 다량의 NH₄MgPO₄ · 6H₂O가 생성되기 위한 조건임을 알 수 있으나 발열반

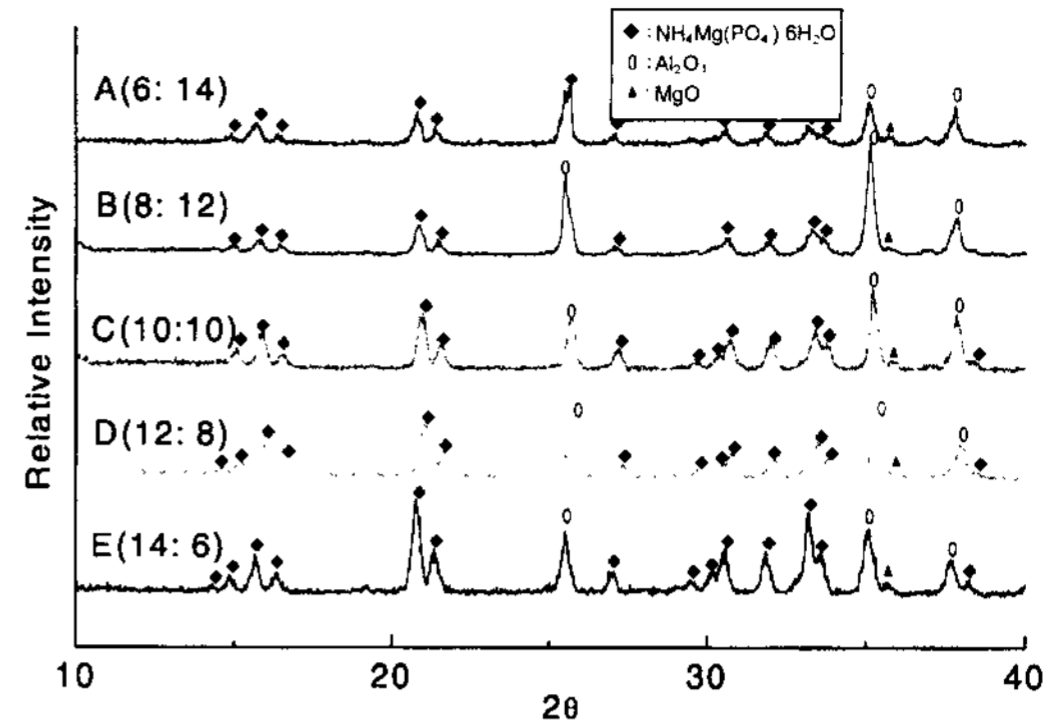


Fig. 7. XRD analysis of various composition investments (NH₄H₂PO₄ vs MgO) of room temperature condition

응 및 그에 따른 경화를 촉진시켜주는 MgO함량의 부족으로 인하여 충분한 발열반응이 구현되지 않는다. 따라서, E조성의 경우에는 NH₄MgPO₄ · 6H₂O를 생성시키기 위하여 충분한 시간을 요구함을 알 수 있다. 결론적으로 이러한 바인더와 경화제의 조성상의 특성으로 보았을 때 가장 적합한 조성은 10:10 또는 12:8의 비율에서 결정된다고 여겨진다.

한편 1,000°C까지 소성한후 로냉시킨 시편의 압축강도를 Fig. 6에서 비교하면 대체로 상온압축강도에 비하여 다소 높은 범위에 분포하여 비례하고 있음이 보여지며, 전반적으로 NH₄MgPO₄의 양이 MgO에 비하여 적게 첨가된 A, B 시편에 비하여 C, D, E 시편의 소성후 압축강도가 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 상온에서 생성되는 NH₄MgPO₄ · 6H₂O때문에 나타나는 강도에 의한 영향이라기 보다는 고온에서 생성되는 비가역적인 열화학적 생성물인 Mg₃(PO₄)₂ 및 Al(PO₄)₃ 그리고 P₂O₅등에 의한 영향이라 보여진다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 각시편을 1,000°C까지 소

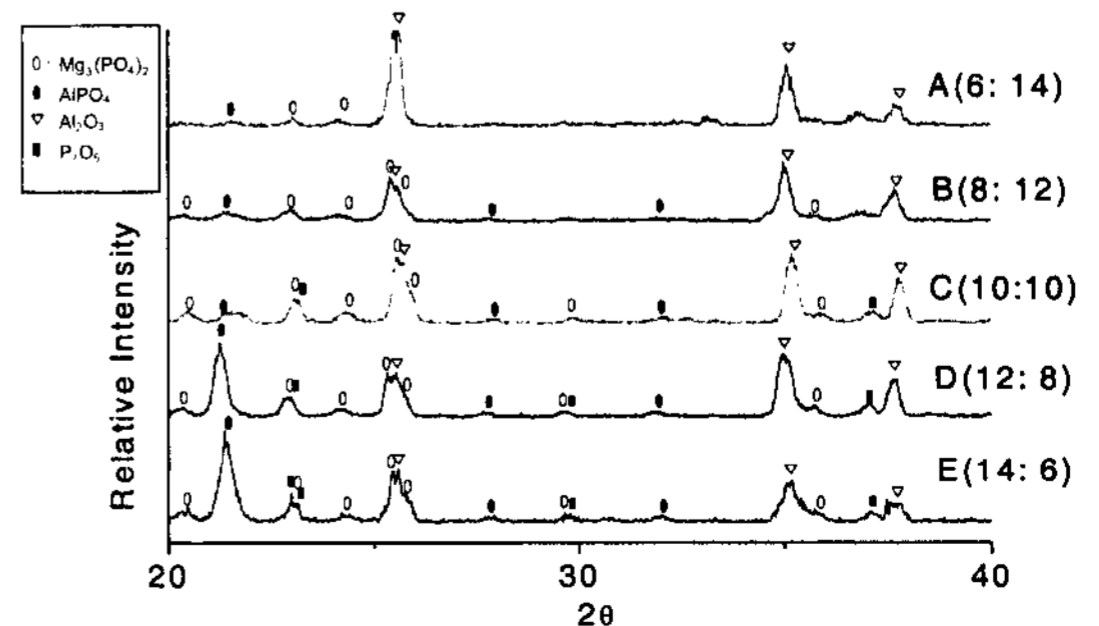


Fig. 8. XRD analysis of various composition investments (NH₄H₂PO₄ vs MgO) after heating(1,000°C)

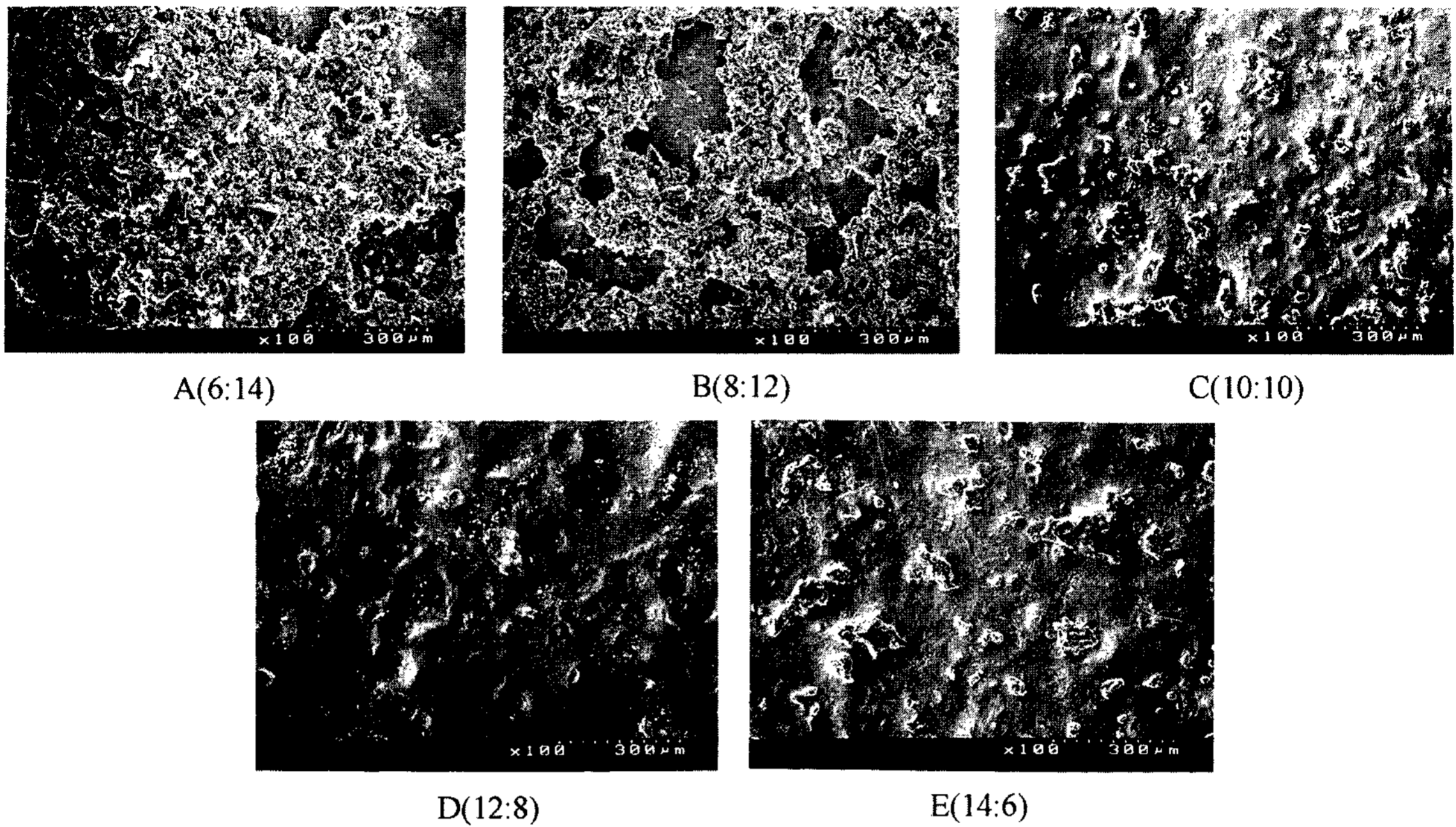


Photo 2. SEM image of Ti-castings surface as a various composition ratio of investment($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ vs. MgO)

성한 후 로냉시킨 시편의 XRD분석결과를 보면 A, B 시편에 비하여 C, D, E 시편에 있어서 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Al}(\text{PO})_4$ 그리고 P_2O_5 가 상대적으로 다량 생성되어 있음을 알 수 있다. 결과적으로 Fig. 6에 나타나는 그래프상에는 상온압축강도와 소성후의 압축강도가 비슷한 경향을 띄고 있으나 그 원인은 서로 다른 메카니즘에 기인함으로 생각된다.

3.2 내화물의 성분비에 따른 주조체표면 및 용탕반응성분석

Photo 2에는 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 및 MgO 의 성분비가 다른 다섯가지 매몰재에 대하여 주조한 주조체의 표면형상

을 나타내었으며, Table. 3에 표면성분에 대한 WDX 정량분석 결과를 나타내었다. 성분분석결과를 보면 A와 B조성의 주형으로 주조한 시편에서는 매몰재성분이 물리적으로 용탕에 침투하여 소착되는 현상이 보여지고 있고, C, D, E조성으로 제조한 시편에서는 비교적 매끈한 TiO_2 의 산화층이 보여지고 있다. A, B조성의 시편에서 소착이 일어나는 원인은 적당하지 못한 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 및 MgO 의 성분비에 따른 것이라 볼 수 있다. 즉, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 가 MgO 에 비하여 너무 소량 첨가됨으로써 3.1절에서 설명한 것처럼 충분한 반응생성물을 만들지 못하기 때문이라 생각된다. 즉, 매몰재의 점결력약화로 인하여 전체적인 강도저하를 보이는 동

Table. 3. WDX quantitative analysis of castings surface cast in Pure Ti with investment of various composition ratio($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ vs. MgO)

Composition ratio($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$: MgO)	Element	wt%				
		O	Mg	Al	P	Ti
A (6:14)		50.52	14.92	30.43	1.39	2.74
B (8:12)		40.11	9.38	41.62	1.74	7.15
C (10:10)		18.60	1.32	0.40	0.09	75.59
D (12:8)		20.08	0.04	3.19	0.60	76.69
E (14:6)		13.81	0.02	1.15	3.78	82.24

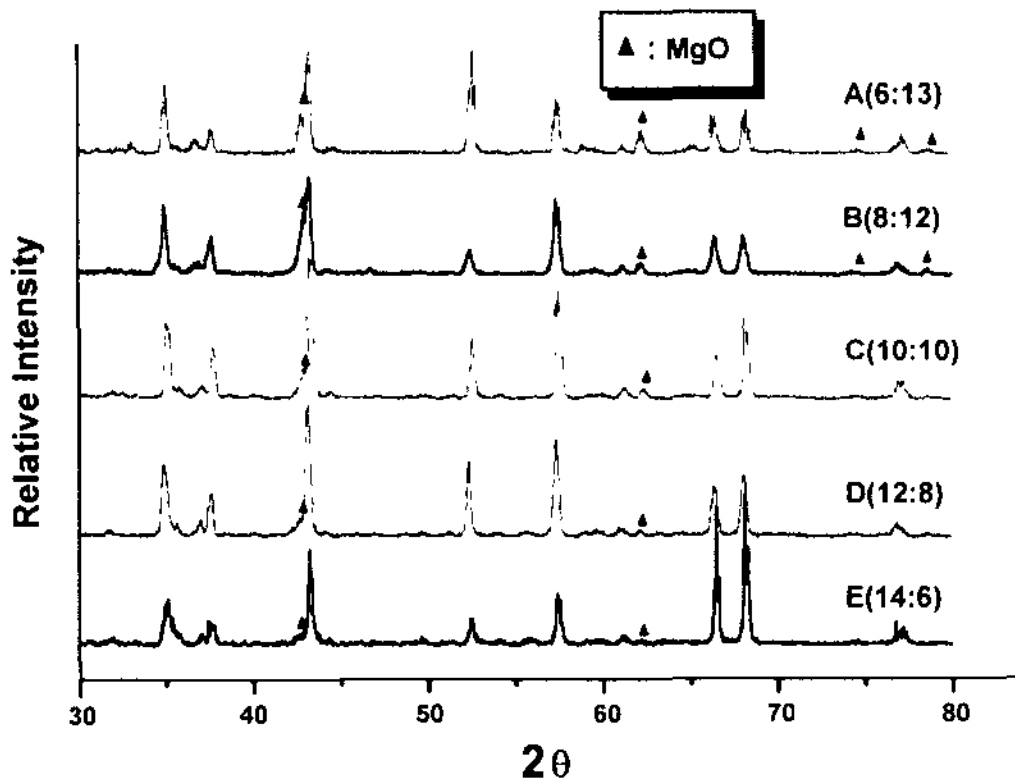


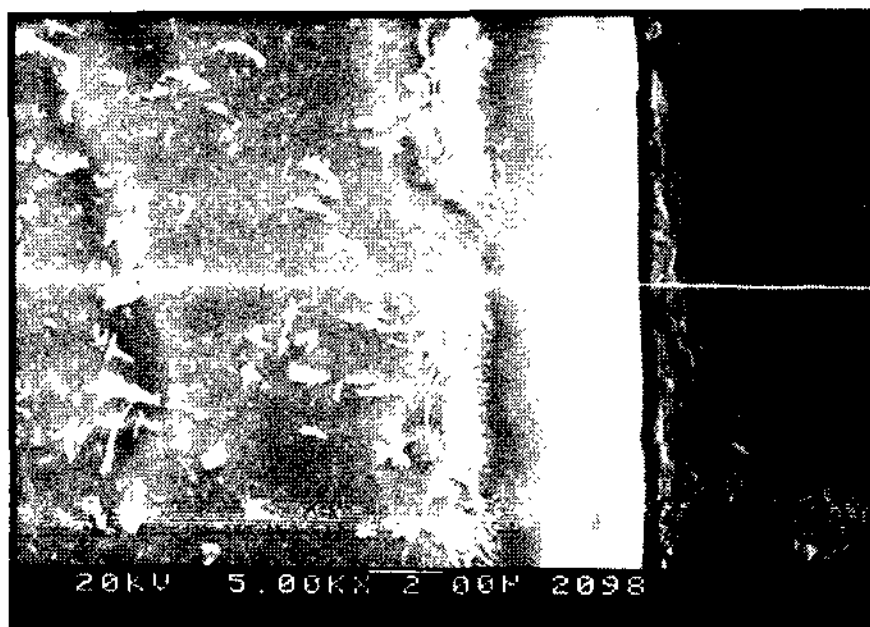
Fig. 9. XRD analysis of remaining MgO in various composition ratio after heating(1,000°C)

시에 충전재인 Al₂O₃의 일부 및 경화에 참여하지 않고 잔류하는 MgO가 유리된 상태로 존재하며, 따라서 이러한 분말들이 Ti용탕이 주입될 때 용탕에 물리적으로 흡착된다고 보여진다. Fig. 9에 나타나는 바와 같이 X 선회절분석을 통한 MgO의 peak비교를 통하여 본 결

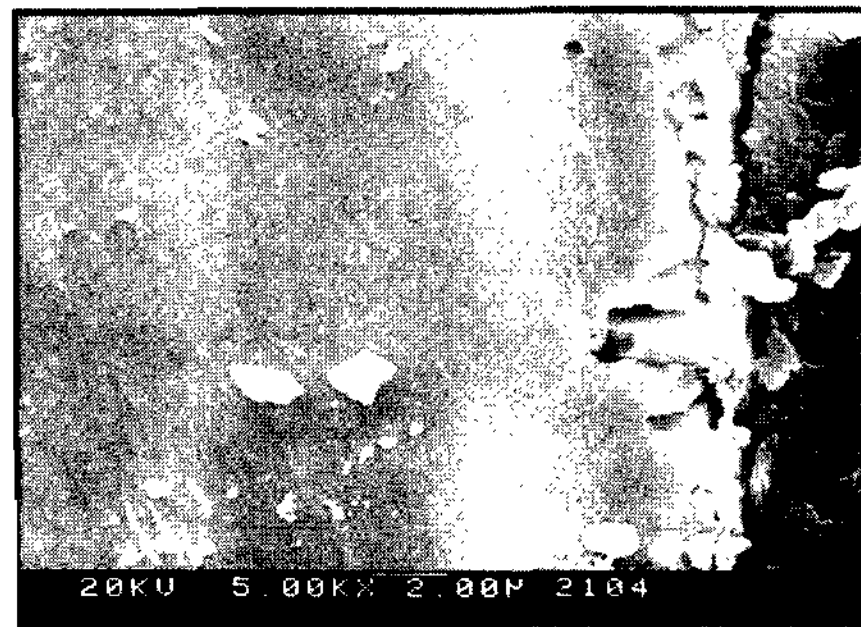
과 C, D, E에 비하여 A, B조성에서 잔류 MgO가 많이 존재함을 알 수 있다.

앞절에서 NH₄H₂PO₄와 MgO의 조성변화에 따른 경화거동 및 용탕과의 물리적 반응성을 비교한 결과 가장 적합한 NH₄H₂PO₄와 MgO의 조성이 10:10또는 12:8이 됨을 알 수 있었다. 따라서, NH₄H₂PO₄와 MgO를 10:10으로 고정시키고 충전제를 80%범위내에서 Al₂O₃와 Y₂O₃-안정화 지르코니아의 조성을 변화시켜 주조하였다. Photo 3은 주조한 시편의 단면을 분석한 결과이다.

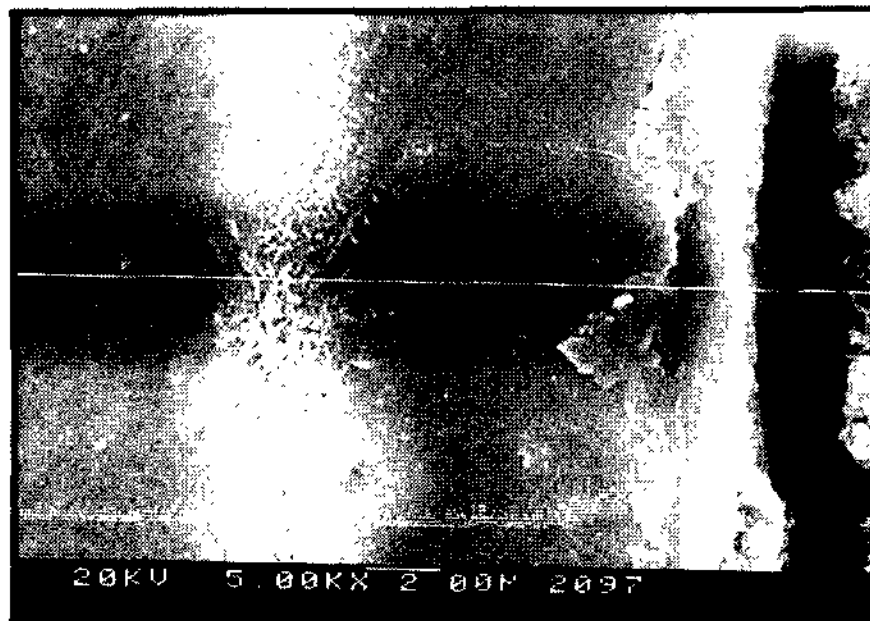
Al₂O₃만을 사용한 F조성에서는 약 5 μm정도의 산화층이 뚜렷하게 형성되고 있다. 그러나, Y₂O₃-안정화 지르코니아의 양이 늘어나게 될 수록 산화층은 점점 얇아지게 되어 H에서는 평균 3 μm정도로 줄어들고 있음을 볼 수 있으며 I와 같이, Y₂O₃-안정화 지르코니아가 충전재의 50%이상 점유하게 되면 산화반응층이 약 2 μm정도로 거의 나타나지 않는 경향을 볼 수 있었다. 이는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 지르코니아는 알루미늄보다 더 안정한 화합물로 존재하기 때문임을 알 수



(a) F(Al₂O₃ 80%)



(b) G(Al₂O₃ 64% + ZrO₂ 16%)



(c) H(Al₂O₃ 48% + ZrO₂ 32%)



(d) I(Al₂O₃ 32% + ZrO₂ 48%)

Photo. 3. SEM image and WDX oxygen line profile analysis of surface oxide layer

있으며, 안정화지르코니아의 첨가가 용탕과 매몰재의 반응성을 감소시켰다고 생각된다.

4. 결 론

알루미나를 충전제로 한 인산염계 매몰재에서 바인더와 경화촉진제의 성분비 및 내화물의 성분비에 따른 경화거동 및 주조체와의 반응성에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

1) 알루미나-인산염계 매몰재는 상온에서 $NH_4H_2PO_4 \cdot 6H_2O$ 를 생성하므로써 상온에서 형태를 유지할수 있는 강도를 부여하게 되며, 고온으로 소성시켰을 경우에는 열화학반응이 일어나 새로운 생성물인 $Al(PO)_4$, $Mg_3(PO_4)_2$, P_2O_5 가 생성되어 고온소성후의 강도를 유지하여 주었다. 결론적으로 상온과 고온에서의 강도발현은 서로 다른 생성물에 기인한다.

2) $NH_4H_2PO_4$ 와 MgO 의 조성비에 있어서 $NH_4H_2PO_4$ 의 량이 MgO 에 비하여 다량 존재하면 경화발열반응의 속도가 지연되고 반대로 MgO 의 량이 $NH_4H_2PO_4$ 에 비하여 과량존재하게 되면 급격한 경화반응이 일어나 작업성을 떨어뜨리고 또한, 주조시 매몰재의 접결력부족으로 인한 소착의 원인이 되었다. 따라서 작업

성 및 용탕과의 반응성적인 측면에서 볼때, $NH_4H_2PO_4$ 와 MgO 의 적절한 조성비는 12 : 8과 10 : 10정도의 비에서 결정되었다.

3) 충전제 조성에서 Y_2O_3 -안정화 지르코니아의 함량이 증가할수록 용탕과의 반응층의 두께가 감소함을 관찰할수 있었다. 이것은 지르코니아의 열역학적 안정도가 알루미나에 비하여 우수하다는데 기인한다.

참 고 문 헌

- [1] B. Kasemo : J. Prosthetic Dentistry, 6(1983)49
- [2] C. Y. An, Y. S. Kim : J. kor. Prosthetic Dentistry, 2(1990)28
- [3] Sadami Tsutsumi : The 3rd international symposium on titanium in dentistry, (1995)74
- [4] Kyo-Han Kim : The 3rd international symposium on titanium in dentistry, (1995)66
- [5] Mutsao Yamauchi, Makoto Sakai, and Joji Kawano : Dent. Mater. J, 7,1(1988)39
- [6] Yoshiaki Tani : The 3rd international symposium on titanium in dentistry, (1995)1
- [7] Robert Neiman : J Dent. Res, 59,9(1980)1478
- [8] S. S. Lee : Dept. of Advanced Material Eng. Major in Metallic Materials. The Graduate School of Sung Kyun kwan University. 1998