

|||||  
**論 文**  
 |||||

**고온정밀주조용 인산염계 매몰재에 관한연구(I)**

- 매몰재의 특성에 미치는 규사의 입도와 입도분포의 영향 -

안 지 흥, 이 종 남

**Study on Phosphate Investment for High Temperature Precision Castings(I)**

- The Effect of Particle size and Distribution of Silica Sand on the characteristics of the Investment -

Ji-Hong Ahn , Jong-Nam Lee

**ABSTRACT**

In order to investigate the effect of particle size and distribution of silica sand on the characteristics of investment, W/P ratio, setting time, temperature change during setting, setting expansion, thermal expansion and compressive strength of the investments were measured. In this experiment, magnesia clinker and mono ammonium phosphate were used as binder, and particle size and distribution of silica sand were classified for convenience into 10 categories.

The main results obtained from this investigation were summerized as follows.

1. W/P ratio decreased with increase of particle size and evenness in distribution of sand grain.
2. Setting time decreased with increase of evenness in distribution of sand grain, and temperature during setting increased with evenness in distribution of sand grain.
3. Setting expansion decreased with increase of particle size, while it increased with evenness in distribution of sand grain.
4. Thermal expansion decreased with increase of particle size.
5. Compressive strength increased with increase of particle size and evenness in distribution of sand grain.

From above results, G.F.N. 250 sand which contains 30% of 50-100 mesh could be recommended for investment casting.

**I. 序 論**

과학이 제 궤도에 오르기 이전의 정밀주조시에는 오랫동안 주형재로서 점토가 이용되어 왔으나<sup>1) 2)</sup> 근세에 이르러 석고를 사용한 정밀주조법이 개발되면서 치과분야와 귀금속제조분야에서 발전, 계승되어 왔다. 따라서 석고계 매몰재에 관한 연구도 치과분야에서 많

이 이루어졌다.<sup>3) 4) 5)</sup> 그러나 석고는 Wax의 소각시 잔존하는 유리탄소와 반응하여 CaS를 생성하며 CaS와 석고가 반응하여 SO<sub>2</sub>가 발생되면서 열분해되기 때문에 고온용매몰재로는 부적합하다. 따라서 고온정밀주조시에는 내열성이 우수한 Ethyl Silicate,<sup>6)</sup> Colloidal Silica<sup>7) 8)</sup> 및 인산염<sup>9) 10) 11)</sup>을 결합재로 사용하는 매몰재가 사용되기 시작하였으나 Ethyl Silicate는 Sol의 보존상 문제점이 있고 Colloidal Silica는 Wax Pattern과의 친화력이 좋

\* 고려대학교 대학원

\*\* 고려대학교 공과대학 금속과 교수

지않은 등의 이유때문에 소형정밀주조시에는 인산염계 매몰재가 많이 사용되고 있으며 이에 대한 연구도 활발히 진행되어 왔다.<sup>12)</sup> 매몰재에 관한 연구는 주로 결합재의 성상이 매몰재의 제특성에 미치는 영향에 대하여 진행되었으며 기재에 관한 연구는 가열시 수축하는 Binder의 영향을 배제하고 기재의 열팽창만을 이용하기 위한 Binderless<sup>13) 14)</sup> 매몰재의 연구사례가 있으며 기재를 Silica<sup>15)</sup>에서 더 Stable한 Oxide로 바꾸는 연구가 보고된 정도이다.

한편 인산염계 매몰재의 연구도 주로 결합재에 관한 것이었으며 기재에 관한 연구사례는 미미하고 특히 인산암모늄과 마그네시아 클린커를 결합재로 한 매몰재에서의 Silica의 입도와 입도분포가 매몰재의 특성에 미치는 영향에 대한 구체적인 연구사례가 적은 실정이다.

그리하여 본 연구에서는 국산규사를 기재로 사용하여 규사의 입도와 입도분포가 매몰재의 특성에 미치는 영향을 체계적으로 조사하여 고온정밀주조용 매몰재의 바람직한 입도조건을 제시하고, 전량 수입에 의존하고 있는 고온정밀주조용 인산염계 매몰재의 국산화를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2-1 시료의 준비

#### 2-1-1 기 재

기재로는 대천산 인조규사를 Ball Mill로 분쇄한 후에 체질한 후에 입도를 분류하여 사용하였다. 규사의 화학조성은 Table.1과 같고 입형은 Photo.1의 a)와 같다.

#### 2-1-2 결합재

##### 1) 제 1인산염

제 1인산염은 시판 시약용 1급 제 1인산 암모늄을 Ball Mill로 분쇄한 후에 체질하여 200~270 mesh의 입도를 사용하였으며 화학조성은 Table.2와 같다.

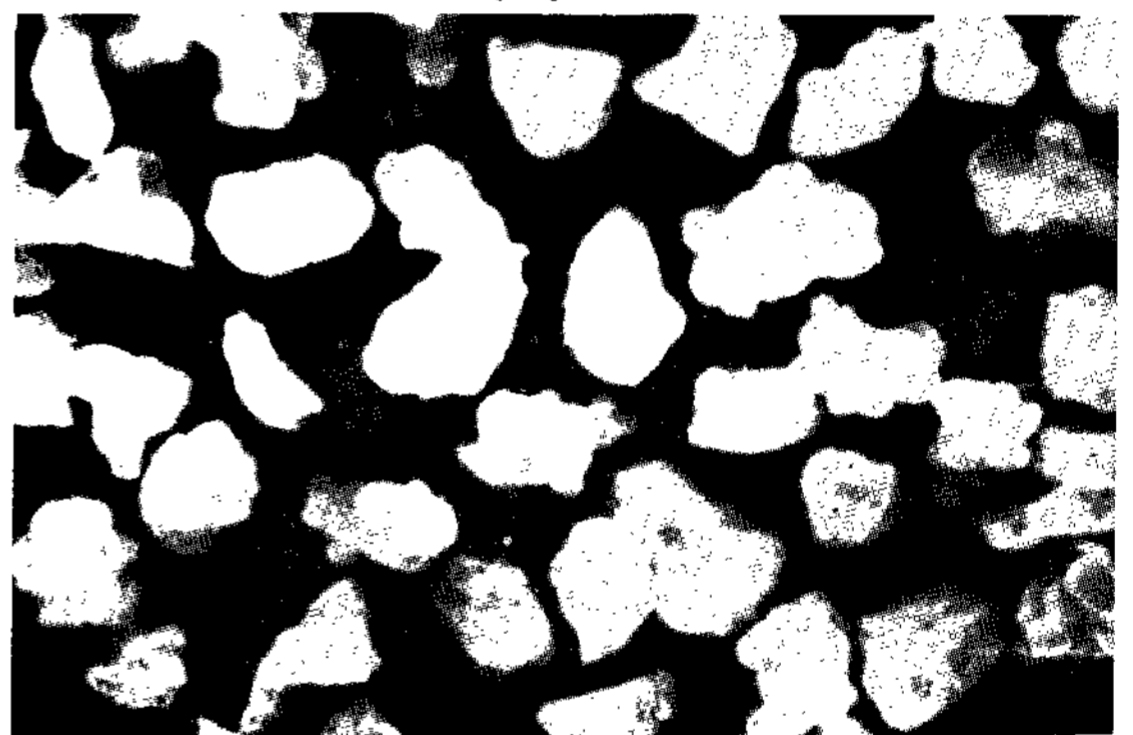
##### 2) 마그네시아 클린커

국산 삼산화석제품의 마그네시아 클린커를 Ball Mill로 분쇄한 후에 체질하여 270~325 mesh의 입도를 사용하였다. 마그네시아 클린커의 화학조성은

Table.3과 같으며 그 입형은 Photo.1의 b)와 같다.



(a)



(b)

Photo.1. Particle shapes of artificial silica and magnesia clinker (x10)  
(a) artificial silica sand  
(b) magnesia clinker

#### 2-1-3 매몰재 제조

매몰재의 특성에 미치는 규사의 입도와 입도분포의 영향을 알아보기 위하여 규사의 입도와 입도분포를 Table.4에 나타낸 바와 같이 분류하여 매몰재의 기재로 사용하였으며, 기재와 결합재의 혼합비는 중량비로 기재 80%에 마그네시아 클린커를 8%, 제 1인산 암모늄을 12%로 하였고 Vtype Mixer를 사용해 Table.1. Chemical compositions of artificial silica sand

Composition	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Others
Content (%)	99.46	0.18	0.02	0.34

15 분간 혼련하였다.

Table.2. Chemical compositions of mono ammonium phosphate

Composition	Content (%)
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	99.5
Chloride	0.005
Sulfate	0.02
Heavy Metals	0.003
Iron	0.003
Alkali Salts	0.4
Arsenic	0.005

Table.3. Chemical compositions of magnesia clinker

Composition	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ig-loss
Content (%)	93.5	2.20	2.60	0.70	0.80	0.20

Table.4. Particle size and distribution of artificial silica sand

size(mesh) sample	(Wt %)						G.F.N.
	70	100	140	200	270	325	
A	0	100	0	0	0	0	126
B	0	0	0	100	0	0	253
C	0	0	0	0	0	100	467
D	38	38	6	6	6	6	157
E	6	6	38	38	6	6	226
F	6	6	6	6	38	38	351
G	38	6	6	6	6	38	266
H	26	26	7.34	7.34	7.34	26	235
I	26	7.34	7.34	7.34	7.34	26	278
J	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	245

2 - 2 매물재 시험

2-2-1 혼수비 (W/P ratio) 결정

Table.4 에 나타난 입도와 입도분포를 갖는 기재로 만든 매물재 50 g 을 적량의 증류수를 섞어 Vacuum Mixer 에서 1 분간 Slurry Mixing 한 후에 Slump Test 하여 각 매물재의 적정 혼수비를 측정하였다. Slump Test 는 유리판위에 내경 20 ϕ × 30 mm 의 황동 mold 를 놓고 Slurry Mixing 된 매물재를 주입한 후, 1 분 경과 후에 mold 를 들어올렸을 때 매물재가 퍼지는 직경이 35 ± 2 mm 로 되면, 이 때에 첨가된 수

분의 무게를 매물재의 무게로 나눈 값을 혼수비로 하였다. 이 값을 고찰하는데 사용된 겉보기 밀도는 100 cc 메스실린더에 깔대기로 분말을 흘려넣어서 그 질량, 부피의 비를 구하여 측정하였다.

2-2-2 경화시간 측정

입도조건이 상이한 각 매물재를 각각의 적정 혼수비 하에서 Slurry Mixing 한 후에 내경 10 ϕ × 20 mm 의 황동 mold 에 주입하고 16) 17) A type Durometer (KORI SEIKI MFG. Co., LTD) 로 경도를 측정하여, Mixing 완료후로부터 경도값이 90 이 되는 시각까지를 그 매물재의 경화시간으로 하였다. 경화시간의 측정은 25 °C 의 항온조 내에서 하였다.

2-2-3 경화중의 온도변화

입도조건이 상이한 각 매물재를 각각의 적정 혼수비 하에서 Slurry Mixing 하여 25 °C 의 항온조 내에서 내경 30 ϕ × 30 mm 의 황동 mold 에 주입하고 Cu-C thermocouple 을 Slurry 상태의 매물재의 중심에 매몰시켜 시간에 따른 온도변화를 recorder 에 기록했다.

2-2-4 열팽창 시험

각각의 적정 혼수비 하에서 Slurry Mixing 된 매물재를 내경 10 ϕ × 20 mm 의 황동 mold 에 주입하고, 경화한 후 시편을 mold 로부터 분리시킨 다음 데시케이터 내에 2 일간 방치하여 자연건조 시켰다. 이같이 만든 10 ϕ × 20 mm 크기의 시편을 자체제작한 Dilatometer 를 사용하여 950 °C 까지의 열팽창률을 측정하였으며 열팽창 측정시 승온속도는 10 °C / 20 min 로 하였다.

2-2-6 상온압축강도 시험

각각의 적정 혼수비 하에서 Slurry Mixing 하여 제작된 10 ϕ × 20 mm 크기의 시편을 자체제작한 압축강도 시험기를 사용하여 상온에서 압축강도를 측정하였다.

2-2-7 주사전자현미경과 편광현미경 관찰

매물재 시편의 파면과 Binder 의 결합상태를 알아보기 위하여 압축강도 시편의 파면을 주사전자현미경 (JEOL, JSM-T200) 으로 관찰하였으며, 또한 매물재의 단면을 보기위해 매물재 시편을 박편으로 만들어 편광현미경으로 관찰하였다.

3 . 결과 및 고찰

3 - 1 혼수비에 미치는 규사의 입도와 입도분포의 영향

혼수비에 미치는 규사의 입도와 입도분포의 영향을 알아보기 위하여 Slump Test를 하여 결정된 각 매몰재의 혼수비를 Fig. 1에 나타내었다.

단일입도인 A, B, C를 기재로 한 매몰재의 적정 혼수비는 A의 0.26에서 B의 0.30 및 C의 0.31로 증가하여, 단일입도의 경우에 입도가 작아짐에 따라 혼수비가 증가하는 경향을 보였다. 또한 복합입도는 단일입도보다 혼수비가 작았으며 특히 G, H, I와 같이 중간크기의 입도를 적게 쓰며 큰 입도와 작은 입도를 위주로 복합된 규사를 기재로 한 매몰재는 혼수비가 작은 것을 알 수 있었다.

이와같은 현상은 본 실험에서 결합재의 배합비를 고정시켰으므로 적정 혼수비의 차이는 규사의 입도와 입도분포에 따른 기재의 특성에 기인된다고 생각된다.

Fig. 2에는 각 기재의 겉보기 밀도를 나타내었는데 이것을 Fig. 1의 혼수비의 결과와 비교해 보면, 겉보

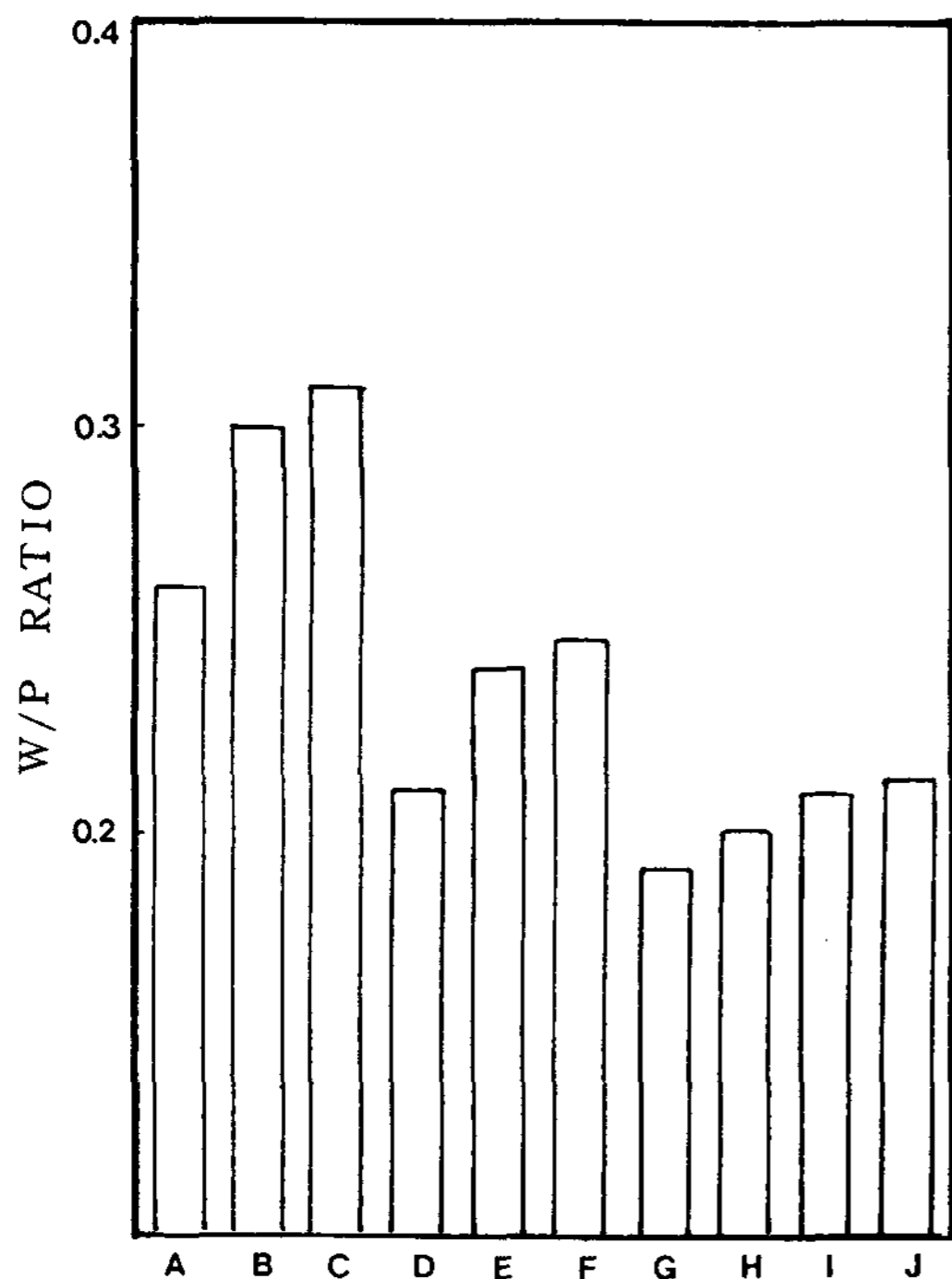


Fig. 1. The effect of particle size and distribution of silica sand on W/P ratio of phosphate investment

기 밀도가 큰 기재의 경우에 혼수비가 대체로 작은 것을 알 수 있다. 겉보기 밀도가 작아지면 그만큼 Powder는 공극률이 크며 매몰재가 함유할 수 있는 수분의 양이 많아지므로 혼수비가 커진다고 생각된다. 따라서 복합입도의 경우 대체로 혼수비가 작아지며 특히 큰 입도와 작은 입도의 규사가 서로 잘 충전되었을 것으로 생각되는 G, H, I의 기재는 혼수비가 작았다. 또한 단일입도의 경우, 겉보기 밀도가 작아서 공극률이 크기 때문에 혼수비가 크다고 생각되며 작은 입도의 기재가 더 공극률이 크므로 혼수비가 큰 것이라 생각된다.

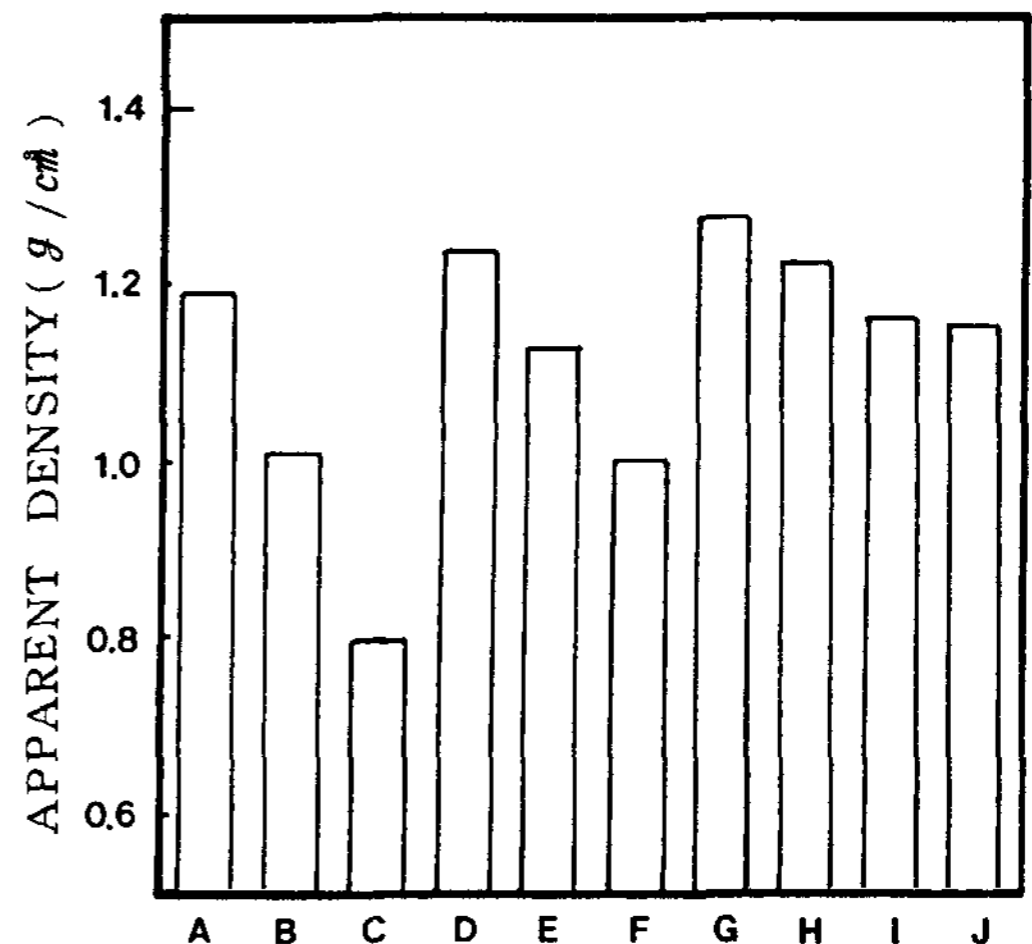


Fig. 2. Apparent density of the silica sand

또한 입도가 작아지면 Table . 4에서 알 수 있듯이 표면적이 커진다. 매몰재가 Slurry 상태로 되려면 기재를 수분이 Wetting시켜야 하므로 작은입도의 기재가 표면적이 커서 다소 혼수비가 커지리라고 생각된다. 그러나 표면적이 크다 할지라도 겉보기 밀도가 큰 기재를 쓴 매몰재는 혼수비가 크지 않았으며 따라서 결합재조건이 동일할 경우, 혼수비를 좌우하는 가장 큰 요인은 기재의 공극률이라고 생각된다.

3 - 2 경화시간에 미치는 규사의 입도와 입도분포의 영향

기재의 입도조건이 상이한 각 매몰재의 경화시간을 Fig. 3에 나타내었는데 각 매몰재들의 경화시간은 큰 차이가 없었으나 입도가 복합될수록 다소 경화시간이

짧은 경향을 보였다.

일반적으로 매몰재는 수분의 첨가에 의해 결합재들이 화학반응을 하여 경화하는 것이므로 경화시간은 기재의 입도조건보다는 결합재와 수분의 양에 관계되는데 본 실험에서는 결합재의 양을 고정시켰으므로 각 매몰재에 첨가한 수분의 양이 경화시간과 상관관계가 있다고 생각된다. 그러나 다소의 혼수비변화는 매몰재의 경화시간에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 생각되며, Fig.1에서 보는 바와 같이 혼수비는 입도의 차

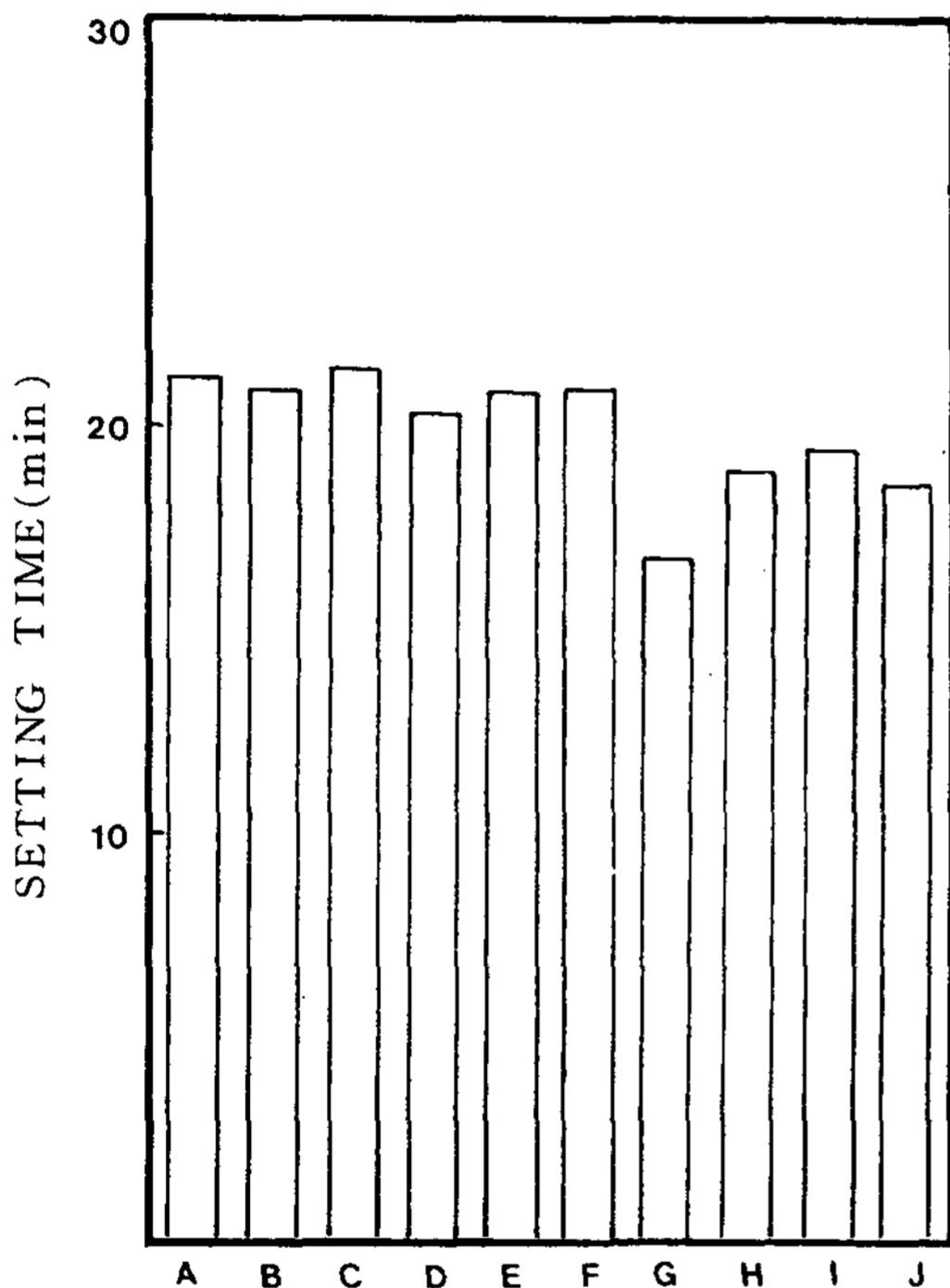


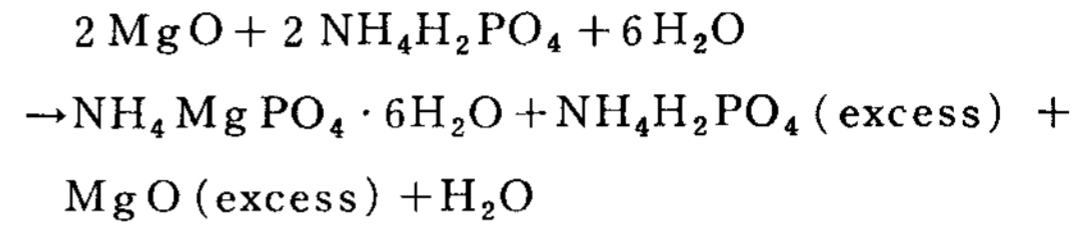
Fig. 3. The effect of particle size and distribution silica sand on setting time of phosphate investment

보다는 입도분포의 차이에 더 큰 영향을 받으므로 경화시간은 입도에 따른 차이는 미미하고 다만 입도가 복잡될수록 다소 저하하는 것이라고 생각된다. 또한 G는 제일 혼수비가 작기 때문에 경화시간은 가장 짧았다고 생각되는데 그 시간은 17분이었다. 본 실험에 얻어진 경화시간은 ADA 18)에서 규정하고 있는 경화시간인 5~25분의 범위 내에 모두 포함되는 것을 알 수 있었다.

3 - 3 경화중의 온도변화에 미치는 규사의 입도와

입도분포의 영향

매몰재는 수분이 첨가됨에 따라서 마그네시아 클린커의 주성분인 MgO와 인산염이 다음과 같이 반응하는데 19) 20)



이 반응은  $\Delta H$ 가  $-38.36 \text{Kcal/mol}$ 로서 발열반응이다. 따라서 매몰재의 온도가 상승하게 되는데 경화시 매몰재의 온도가 너무 높으면 Wax의 변형을 야기시키므로 좋지 않다. 따라서 본 실험에서는 기재의 입도와 입도분포가 매몰재의 경화시 온도상승에 어떤

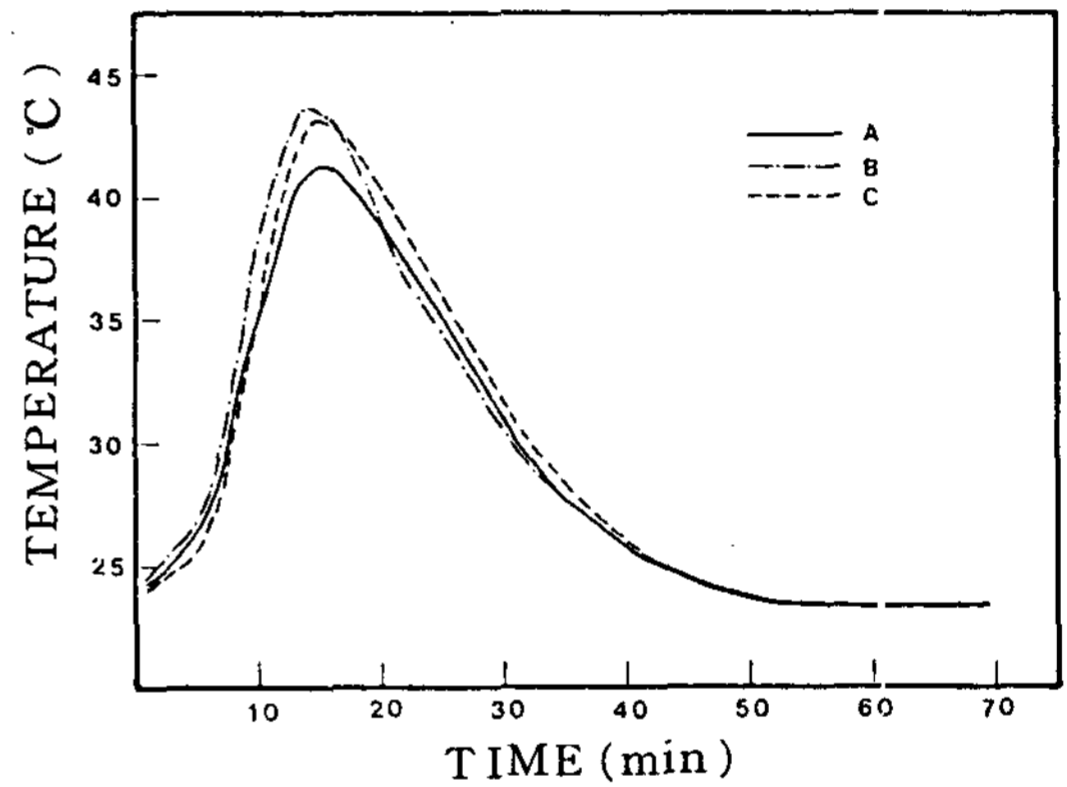


Fig. 4. The effect of particle size of silica sand on temperature change during setting of phosphate investment

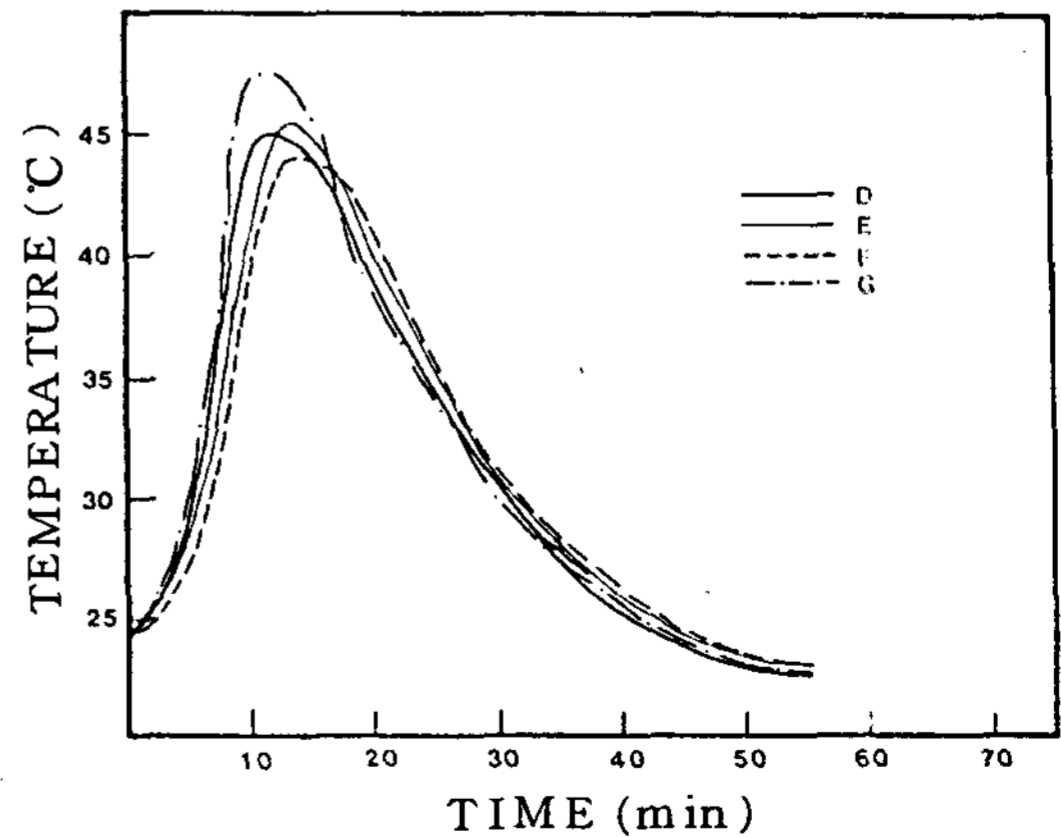


Fig. 5. The effect of particle size distribution of silica sand on temperature change during setting of phosphate investment

한 영향을 주는가를 조사하여 그 결과를 Fig.4,5,6에 나타냈다.

Fig. 4,5,6에서 보는 바와 같이 경화중의 매몰재 온도는 기재의 입도와 입도분포에 따라 그다지 큰 차이를 보이지 않았지만 단일입도의 경우보다 복합입도

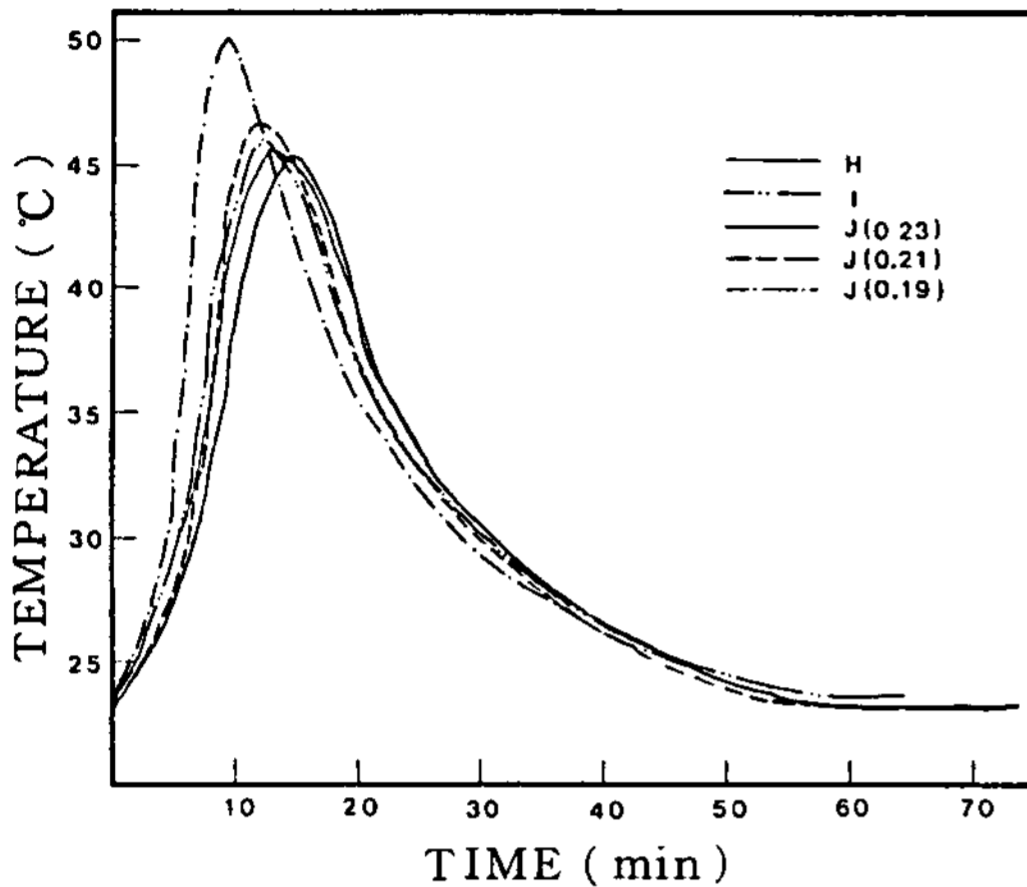


Fig. 6. The effect of particle size distribution of silica sand and W/P ratio on temperature change during setting of phosphate investment

의 경우가 매몰재의 온도가 다소 높은 것을 알 수 있었다.

이는 상기한 바와 같이 매몰재의 경화반응이 수분 첨가에 의해 결합재가 반응하는 것이므로 경화중의 온도는 반응하는 결합재의 양과 수분의 양에 따라 달라질 것이나, 본 실험에서는 결합재의 양을 고정시켰기 때문에 경화중의 매몰재 온도는 주로 첨가된 수분의 양에 의해 좌우된다고 생각된다.

그리하여 본 실험에서는 경화중의 온도변화에 큰 영향을 줄 것으로 생각되는 수분의 영향을 알아보기 위하여 J를 기재로 쓴 매몰재를 혼수비를 달리하여 Slurry Mixing한 후에 경화중의 온도변화를 측정하여 그 결과를 Fig.6에 나타내었다. 여기에서 보는 바와 같이 혼수비가 작으면 경화중 온도는 높으며 반응은 빨리 일어나는 것을 알 수 있었다. 이와같은 사실은 혼수비가 작으면 경화반응 초기에 Slurry 중에 있는  $NH_4H_2PO_4$ 의 농도가 높아져 반응이 촉진되어 매몰재의 온도가 높아지게 되는 것이라 생각된다. 따

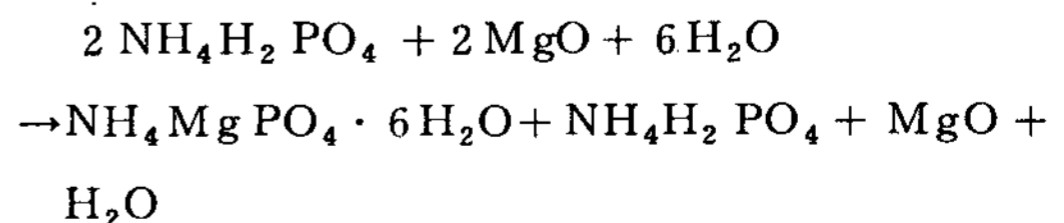
라서 복합입도가 단일입도보다 혼수비가 작아 경화중의 온도가 다소 높은 것으로 생각된다. 그러나 단일입도 A, B, C의 경우와 복합입도 D, E, F의 경우에 경화중의 매몰재의 온도가 입도의 차이에 따라 경향이 뚜렷하지 않은 것은 입도의 크기에 따른 혼수비의 차이가 크지 않으며 매몰재중에 있는 결합재의 분포상태가 다르기 때문인 것으로 생각된다. 즉 A매몰재의 혼수비가 B나 C매몰재보다 작지만 입도가 크기 때문에 매몰재중에 함유된 결합재가 B, C보다 뭉쳐있을 것으로 생각된다. 그러므로 수분이 첨가되었을 때 수분과 반응하는 결합재의 양은 결합재가 분산되어 있는 B, C보다 적을 것으로 기대되어 반응온도가 낮아질 것이라 기대되나 이것은 혼수비가 작아짐에 따른 온도의 상승요인과 어느 정도 상쇄되어 경화중의 온도변화의 차이가 뚜렷하지 않게 되는 것으로 생각된다.

이상으로부터, 규사의 입도와 입도분포가 경화중의 매몰재의 온도에 미치는 영향은 미미했으나 입도가 복합될수록 경화중의 온도는 다소 높아지는 것을 알 수 있었다. 그러나 각 매몰재의 경화중 온도는 정밀주조용 매몰재로 부적절할 정도의 한계온도에는 미치지 않음을 알 수 있었다.

### 3 - 4 경화팽창에 미치는 규사의 입도와 입도분포의 영향

Fig. 7,8,9는 경화시의 매몰재의 팽창을 나타낸 것인데 단일입도나 복합입도나 입도가 작은 것이 경화팽창이 큰 것을 알 수 있었으며 단일입도 보다는 복합입도가 팽창이 큰 경향을 보였다. 그런데 매몰재의 경화팽창은, 결합재가 반응시에 발열을 한다고 해도 온도가 그다지 높지 않아 그에 따른 규사의 열팽창은 매우 적기 때문에, 주로 결합재의 반응에 따라 생성물이 생기는 데 원인이 있다고 생각된다.

즉, 결합재의 상온화학반응은 19) 20)



와 같은데 여기서 생성물인  $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$ 가 반응이 진행됨에 따라 일종의 Crystal Growth를 하여 경화팽창이 야기되는 것으로 생각되는데 이러한

전해는 R·Earnshaw 의 연구<sup>21)</sup> 에서도 피력되고 있다. 이와같이 결합재의 반응이 매물재의 경화팽창에 기여하는 것을 알아보기 위하여 결합재만의 경화팽창을 측정하여 Fig. 10에 나타냈다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 결합재는 반응시간의 경과와 더불어 상당히 큰 팽창을 나타내고 있으며, 경화팽창의 원인이 주로 Binder 에 있음을 보여준다.

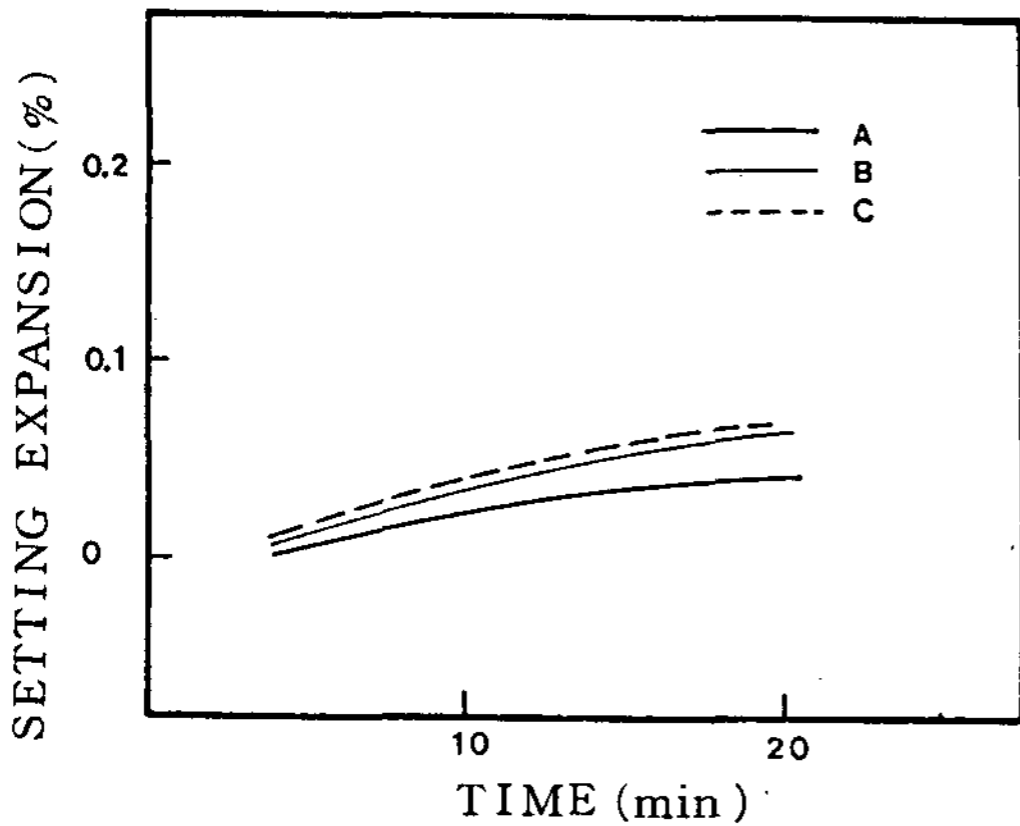


Fig. 7. The effect of particle size on setting expansion of phosphate investment

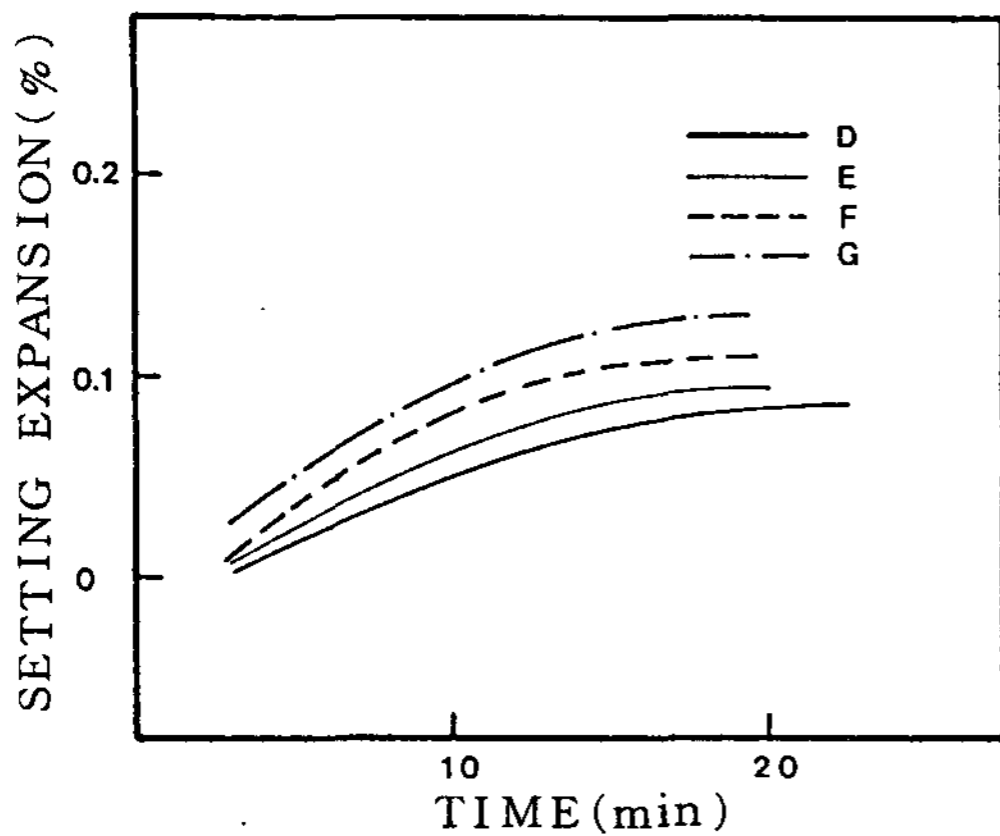


Fig. 8. The effect of particle size distribution on setting expansion of phosphate investment

따라서 Fig. 7, 8, 9에서 나타난 경화팽창의 차이는 기재의 입도조건에 따른 Binder의 분포상의 차이때문에 생긴다고 생각된다. 즉, 입도가 작아지면 입자의 수가 증가되어 입자간 접촉점이 많아지며 따라서 입자간에 Binder가 존재한다고 볼 때 결합재의 경화팽창시에 그 영향을 많이 받아 팽창이 크게 나타나는 것

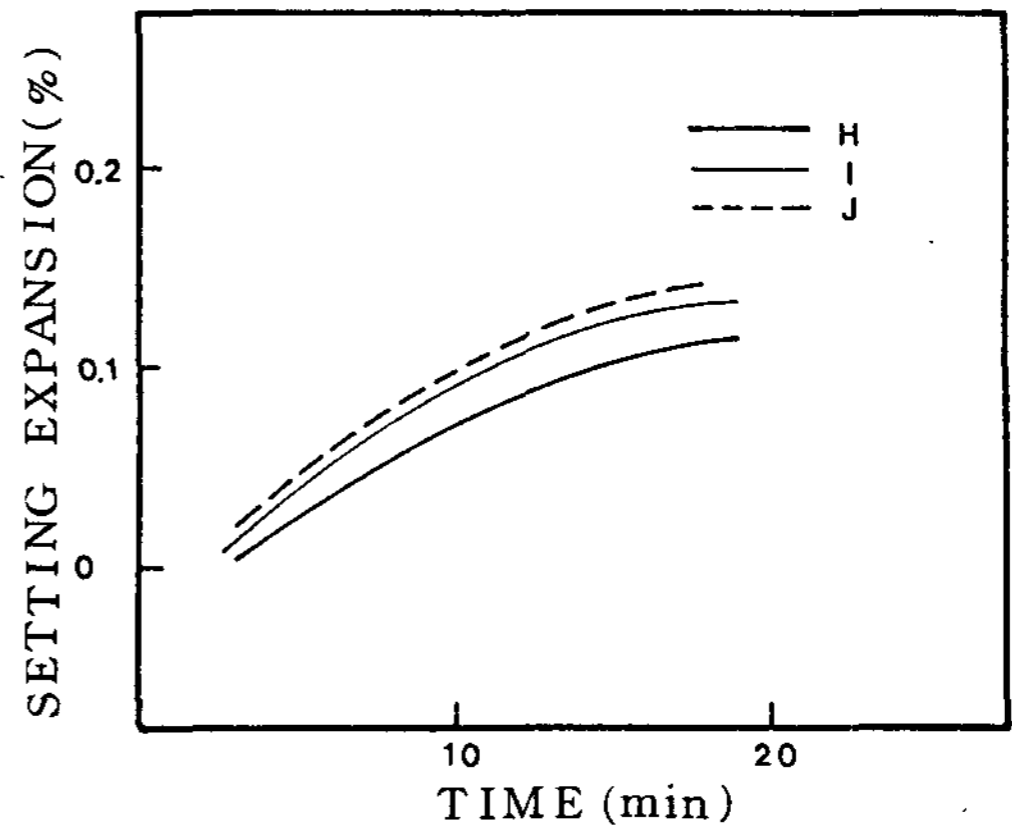


Fig. 9. The effect of particle size distribution on setting expansion of phosphate investment

으로 생각된다. 또한 복합입도가 단일입도보다 경화팽창이 더 큰 것은 상기한 이유와 더불어 혼수비의 영향을 받는 것으로 생각된다. 즉, 입도가 복합될수록 대체로 혼수비가 저하했는데 혼수비가 작으면 전술한 바와 같이 결합재의 반응속도가 커지고 경화중의 온도도 높아지는데 이에 따라 인산염의 용해도와 MgO의 활성이 증가되어 반응생성물이 많아지므로 경화팽창이 크게 된다고 생각된다.

#### 3 - 5 규사의 입도와 입도분포가 열팽창에 미치는 영향

기재의 입도조건이 상이한 각 매물재의 열팽창을 측정 한 결과를 Fig. 11, 12, 13에 나타내었다. 여기에서 보면 매물재는 입도조건에 상관없이 처음에 팽창을 하다가 300 ~ 400 °C구간에서 수축을 하고 그 후 다시 팽창하는 동일한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 단일입도나 복합입도나 마찬가지로 기재의 입도가 클수록 팽창이 컸으며, 큰 입도가 포함되지 않은 기재를 쓴 매물재의 열팽창은 작았다.

기재의 입도조건과 관계없이 열팽창이 동일한 경향을 나타내는 것은 매물재의 가열에 따른 기재와 결합재의 열적 특성을 살펴봄으로서 알 수 있다.

본 실험에 사용된 규사는 α - Quartz를 주체로 하고 있는데 이의 가열에 따른 열적 특성은 Fig. 14<sup>22)</sup>에 나타낸 바와 같다. 즉 α - Quartz는 온도의 상승에 따라 처음에는 계속 팽창하다가 573 °C로 이르면



$\beta$  - Quartz로 변태한다. 이 변태는 급속히 진행되어 급속한 팽창이 야기되며 그 후에는 온도상승에 따른 팽창의 변화가 매우 작다.

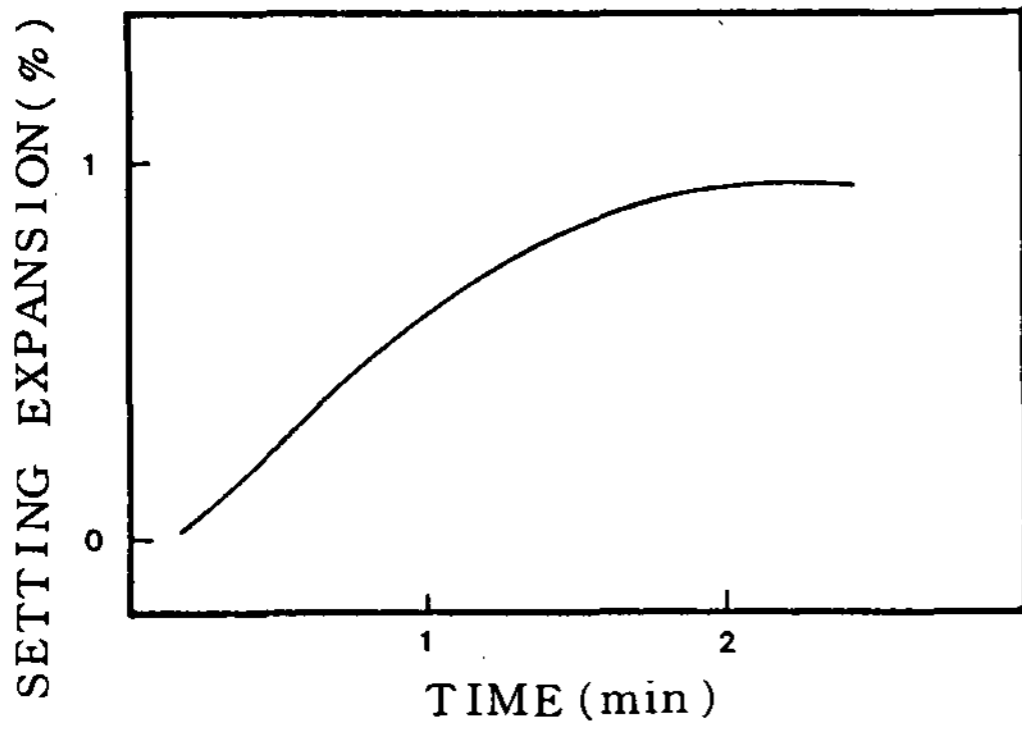


Fig. 10. Setting expansion curve of binder

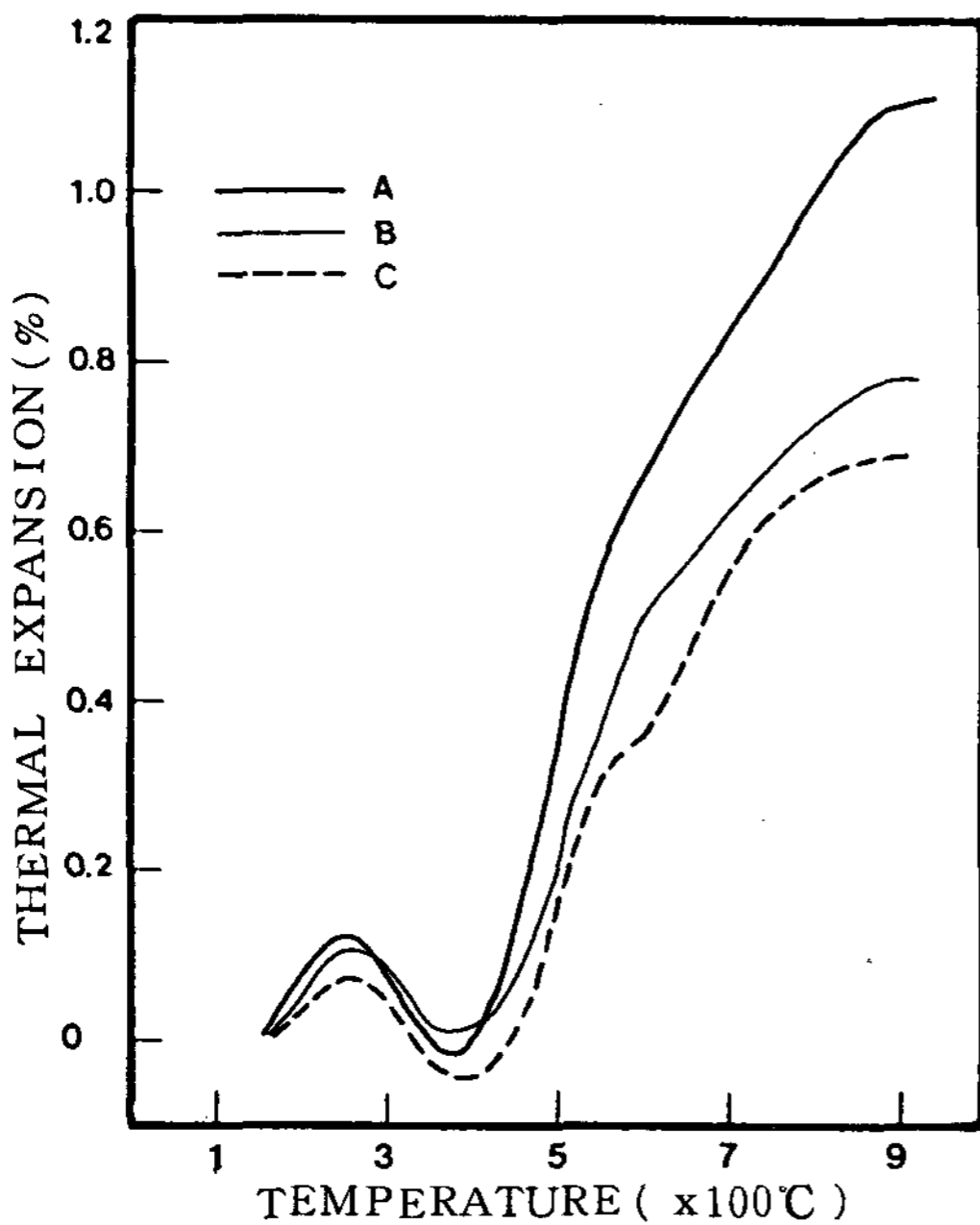


Fig. 11. The effect of particle size on thermal expansion of phosphate investment

한편 Fig. 15는 Binder의 열수축을 나타내었는데 여기에서 보면 Binder는 300°C까지는 완만한 수축을 하다가 300°C에서부터 급격한 수축을 하고 500°C 부근에서 수축이 완만해져 정체현상을 보이다가 600°C이후에 약간 팽창하는 것을 알 수 있다. 온도상승에 따라 결합재의 반응생성물인  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 는 결정수를 상실하여  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 로

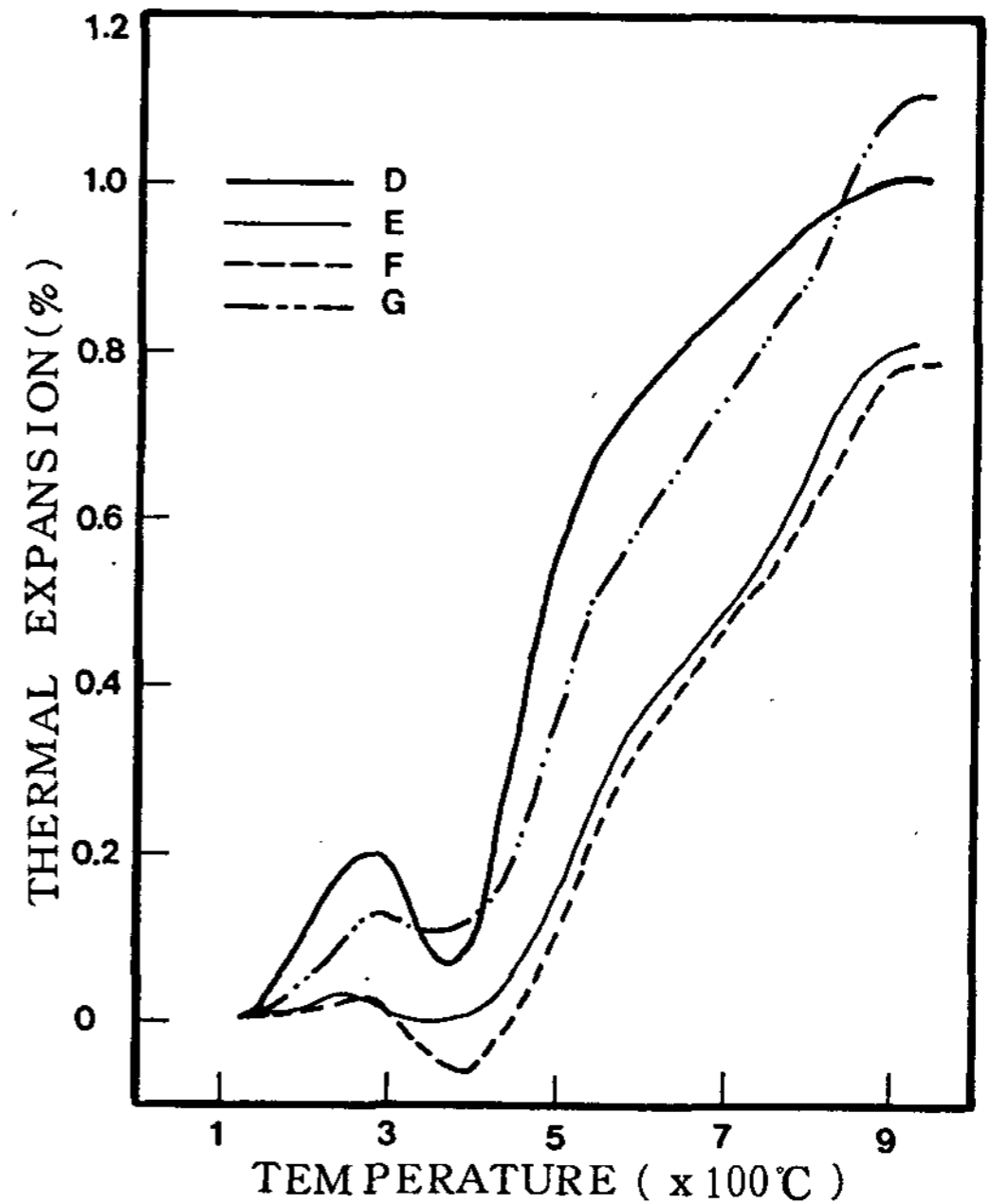


Fig. 12. The effect of particle size distribution on thermal expansion of phosphate investment

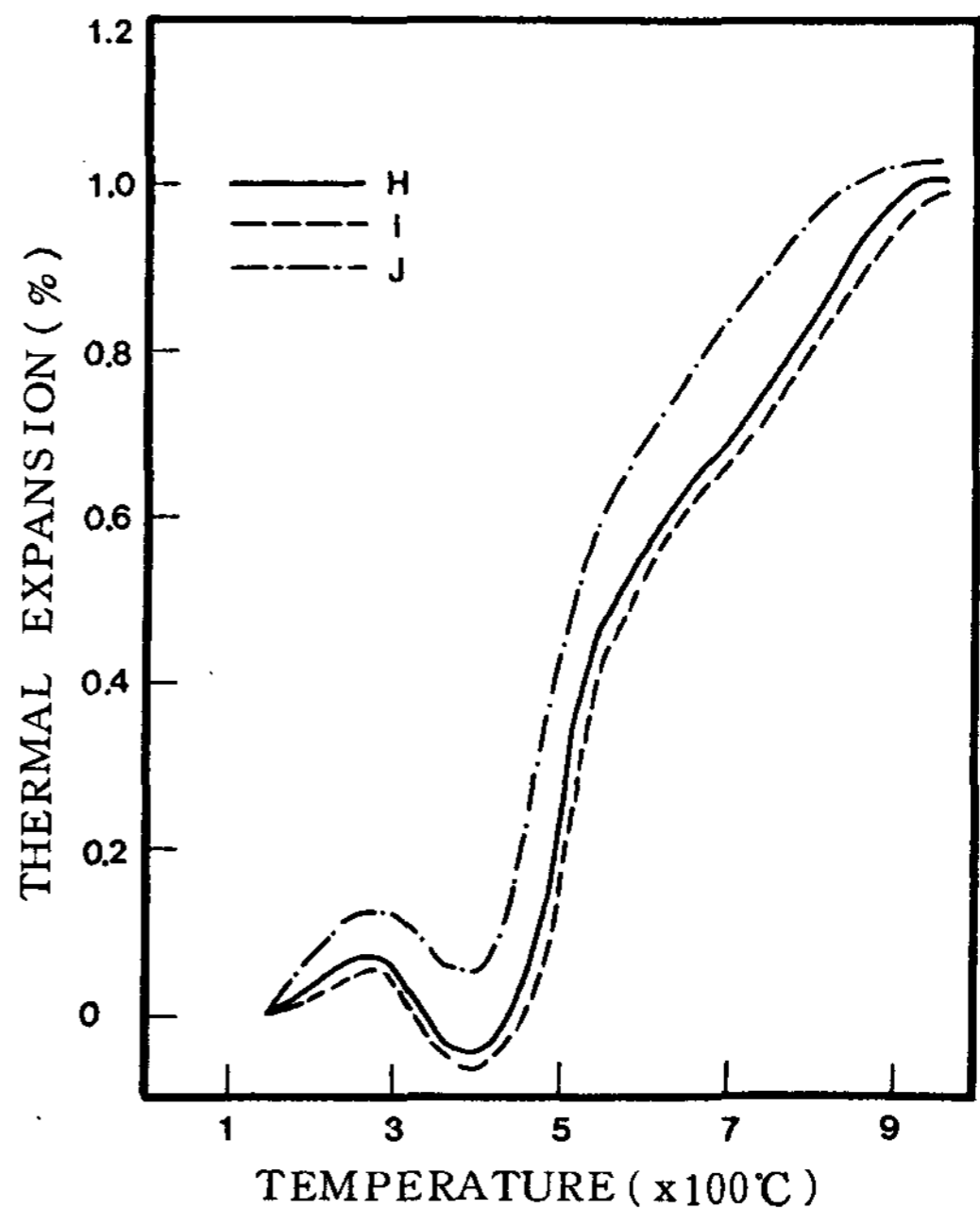


Fig. 13. The effect of particle size distribution on thermal expansion of phosphate investment

$\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 는 결정수를 상실하여  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 로



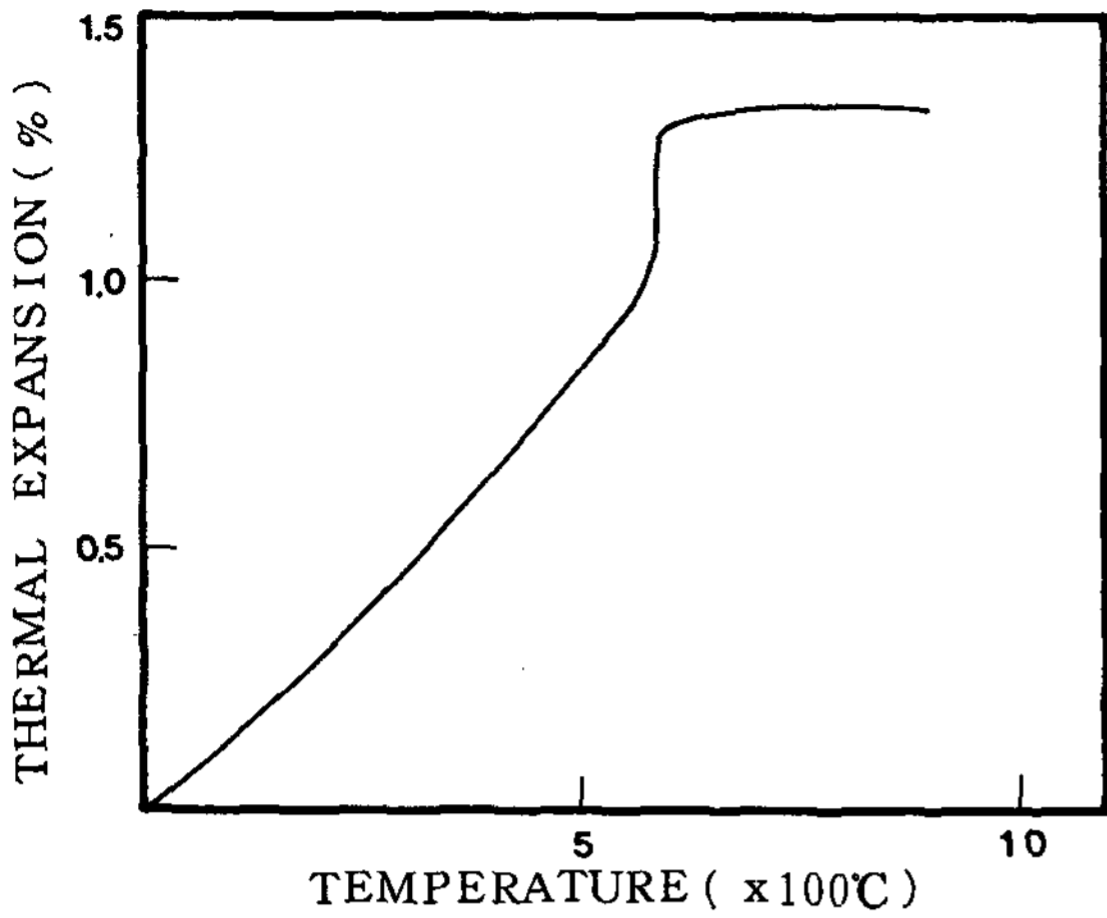


Fig. 14. Thermal expansion curve of quartz

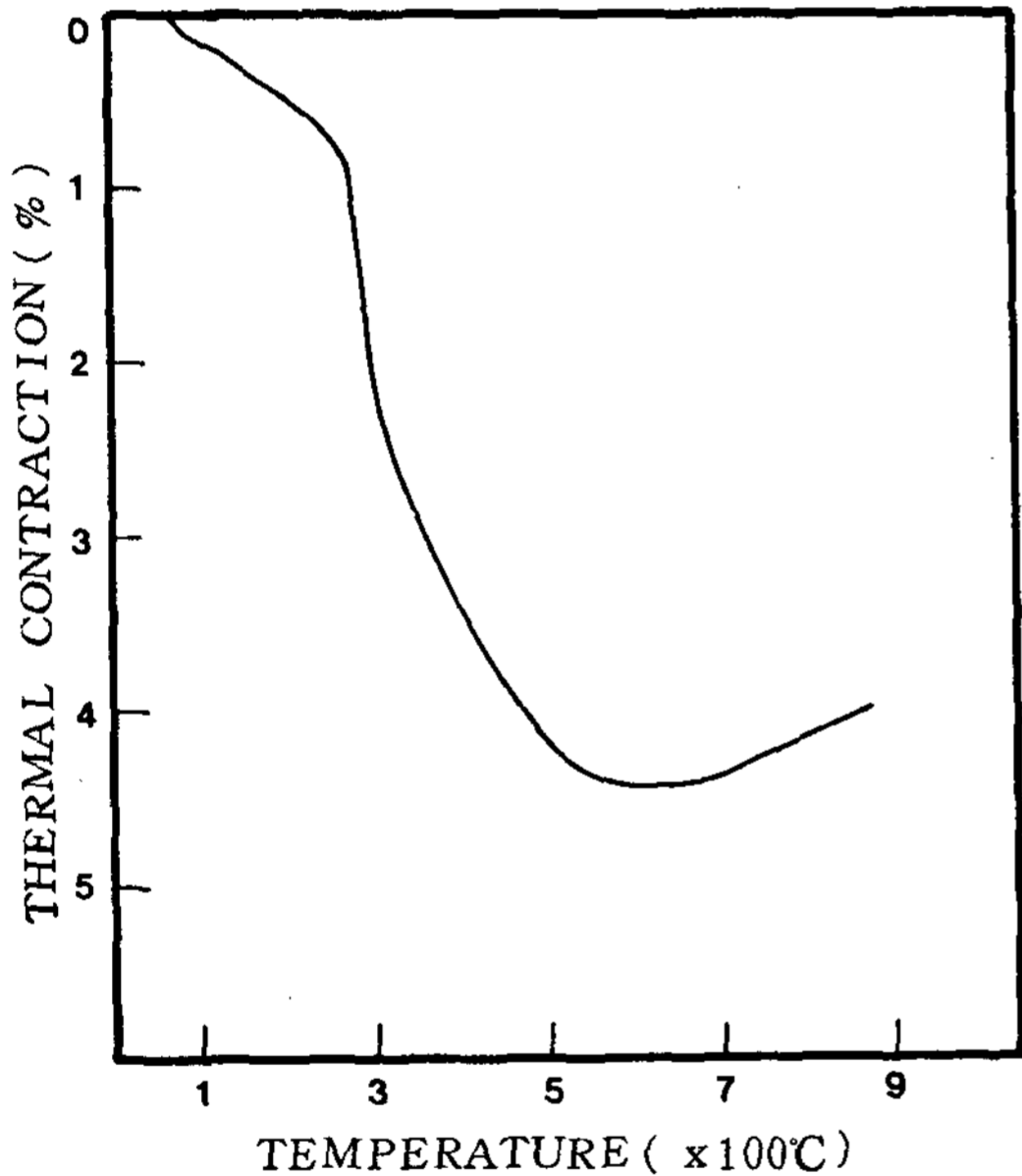


Fig. 15. Thermal contraction curve of binder  
(MgO : NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> = 4 : 3)

되면서 Binder는 수축하며, 300°C 이후의 급격한 수축은 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O로부터 Mg<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>의 생성시의 NH<sub>3</sub>와 H<sub>2</sub>O의 증발에 기인한다.<sup>23)</sup> Allan<sup>19)</sup>은 상온경화시에 생성된 Mg<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O가 300°C 이상에서 결정수를 상실한다고 하였는데 이것 또한 300°C 이후의 수축의 요인으로 생각된다. 500°C 부근에서 Binder의 수축은 완만해지며 700°C 이후에는 Binder는 거의 직선적인 팽창을 하는데 이것

은 잔류 MgO와 고온생성물의 단순한 열팽창에 기인한다.

매물재의 300 ~ 400°C의 수축은, Binder의 300 ~ 400°C의 급격한 수축이 Quartz의 팽창요인보다 크게 작용해 생긴 것이라고 생각된다. 이 이후에 매물재는 계속 팽창하는데 Quartz는 600°C 이후에 열팽창이 작으므로 이러한 열팽창은 다음과 같이 설명된다.<sup>24) 25)</sup> 渡邊에 의하면 규사는 가열시에 균열하여 겉보기팽창을 한다고 하였는데 이 균열은 규사입자 내의 결정의 방향들이 달라 서로 어긋나는 팽창을 하기 때문에 생기는 것이라고 보고하였다. 또한 870°C 부근에서 β-Quartz는 tridymite로 지극히 완만



(a)



(b)



(c)

Photo.2. Photographs of the Investments by Polarized Light Microscope (x300)

한 변태를 하며 이것도 870 °C 이후의 열팽창의 한 요인으로 생각된다. Binder 는 전술한 바와 같이 600 °C 이후 고온에서 다소 팽창하며 이것도 매몰재의 열팽창의 한 요인으로 생각된다.

단일입도나 복합입도나 마찬가지로 기재의 입도가 큰 매몰재가 열팽창이 컸는데 이것은 큰 입도의 경우에 입자가 크므로 입자의 수가 적고 따라서 가열시에 Binder 의 영향을 덜받으며 기재의 팽창이 전체팽창에 미치는 영향이 크기 때문인 것으로 생각된다.

Photo. 2의 a), b)는 A, B기재를 쓴 매몰재의 파단면을 보여주는데 위에 설명된 바와 같이 A기재를 쓴 매몰재가 입자가 크며 입자간 접촉점의 수가 적음을 알 수 있다. 또한 Photo. 2의 b), c)는 입도지수가 비슷한 B, I기재를 쓴 매몰재의 파단면을 보여주는데 I는 큰 입도가 어느 정도 포함되어 있어 B보다 열팽창이 큰 것으로 생각된다.

### 3 - 6 상온압축강도에 미치는 규사의 입자와 입도분포의 영향

기재의 입도와 입도분포에 따라 매몰재의 상온압축강도 시험을 한 결과를 Fig.16에 나타냈으며 Fig.17에는 각 매몰재의 상온압축강도를 입도지수별로 plot 하여 나타냈다. Fig. 17에서 실선은 단일입도를 기재로

한 매몰재의 상온압축강도를 이어놓은 것이며 점선은 D, E, F를, 일점쇄선은 H, I를 기재로 한 매몰재의 상온압축강도를 이어놓은 것이다. 여기에서 매몰재의 기재의 입도가 작을수록 상온압축강도가 낮아지며 기재의 입도가 복합될수록 매몰재의 상온압축강도는 증가하는 것을 알 수 있다.

26) H. H. Bache 가 Concrete 의 압축강도를 나타낸 다음의 식을 보면

$$P = \tau_0 \left( \frac{H}{D} \right) \kappa$$

여기서 P : 압축강도

$\tau_0$  : 기재의 yield Stress

$\kappa$  : 형상인자

H : Binder Film의 두께

D : 입자의 크기

기재의 입도가 작아지면 입자크기 D가 작아지므로 강도는 증가해야 할 것이나 또한 표면적이 커서 Binder film의 두께 H가 작아지게 되므로 압축강도는 이들 양자의 복합관계에 의해 변화하는 것으로 생각된다. 기재의 입도가 큰 경우와 작은 경우를 비교해 본다면, 입도가 작은 경우에 입도가 작음에 따른 강도증가의 요인과 표면적 증가에 따라 Binder의 두께가 작아져서 야기되는 강도 감소의 요인은 엇비슷할 것으로 생각된다. 그러나 작은 입도의 경우에는 공극률이 커서 실제로 입자간을 접합시키는 Binder의 양은 다소 적을 것으로 생각된다. 따라서 입도가 작을수록 압축강도가 작은것은 첫째 기재의 입도가 작아짐에 따른 압축강도 상승의 요인보다 Binder film의 두께의 감소에 기인되는 압축강도의 저하요인이 크기 때문이라고 생각되며, 둘째 본 실험에서와 같이 한정된 양의 결합재가 첨가된 경우에는 입도가 작은 기재는 표면적이 커서 Binder가 균일하게 피복되기가 힘든 것으로 생각되며 따라서 기재의 입도가 작으면 압축강도가 작다고 생각된다. 압축강도 시험의 파단면을 S.E.M으로 관찰한 Photo. 3에서 나타났듯이 조립인 A를 기재로 한 매몰재의 파단면 사진인 a)에서는 입자사이에 두꺼운 Binder층이 관찰되나 미립인 C의 경우의 사진인 c)에서는 부분적으로 Binder가 부족해 규사입자가 드러난것이 보인다.

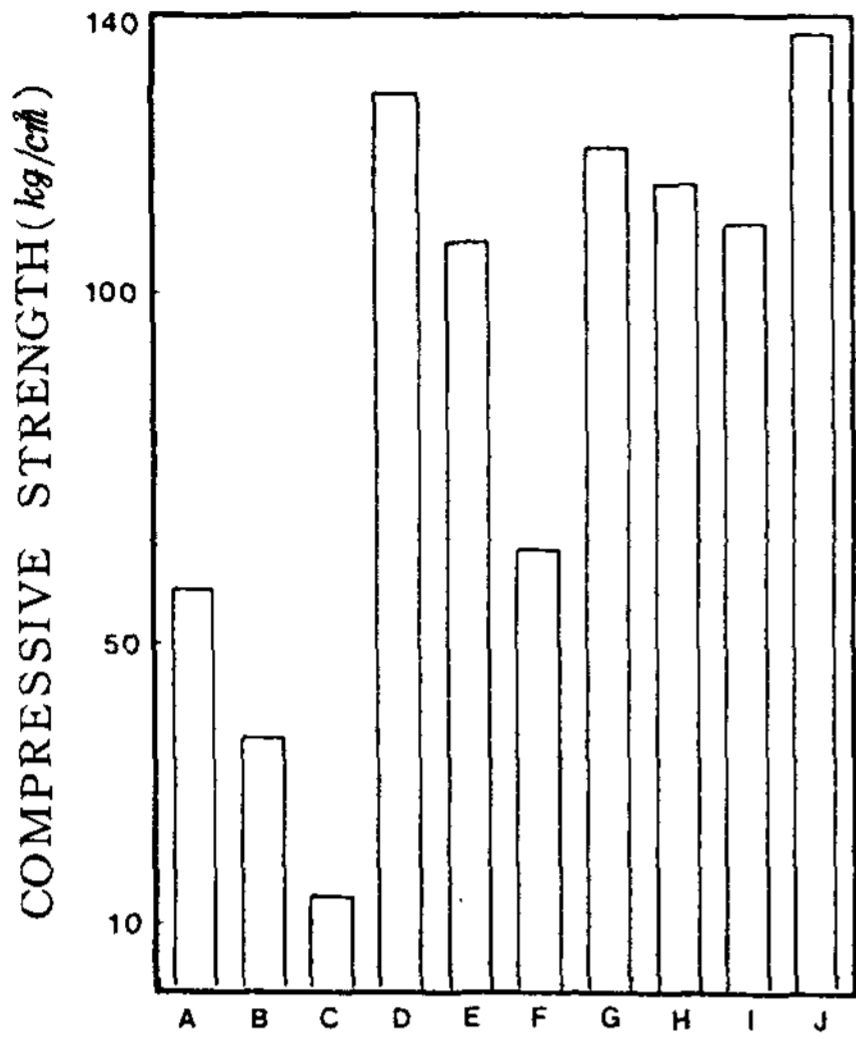


Fig. 16. The effect of particle size and distribution of silica sand on compressive strength of phosphate investment

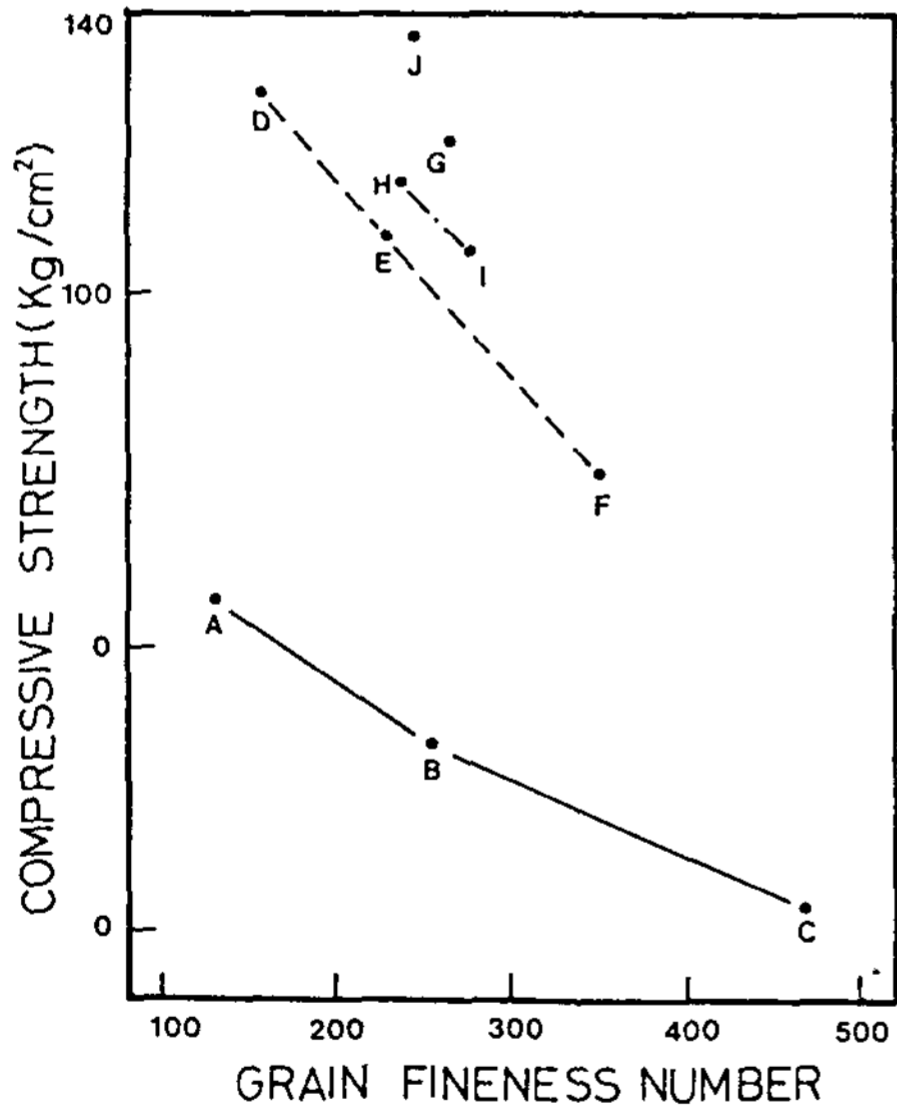
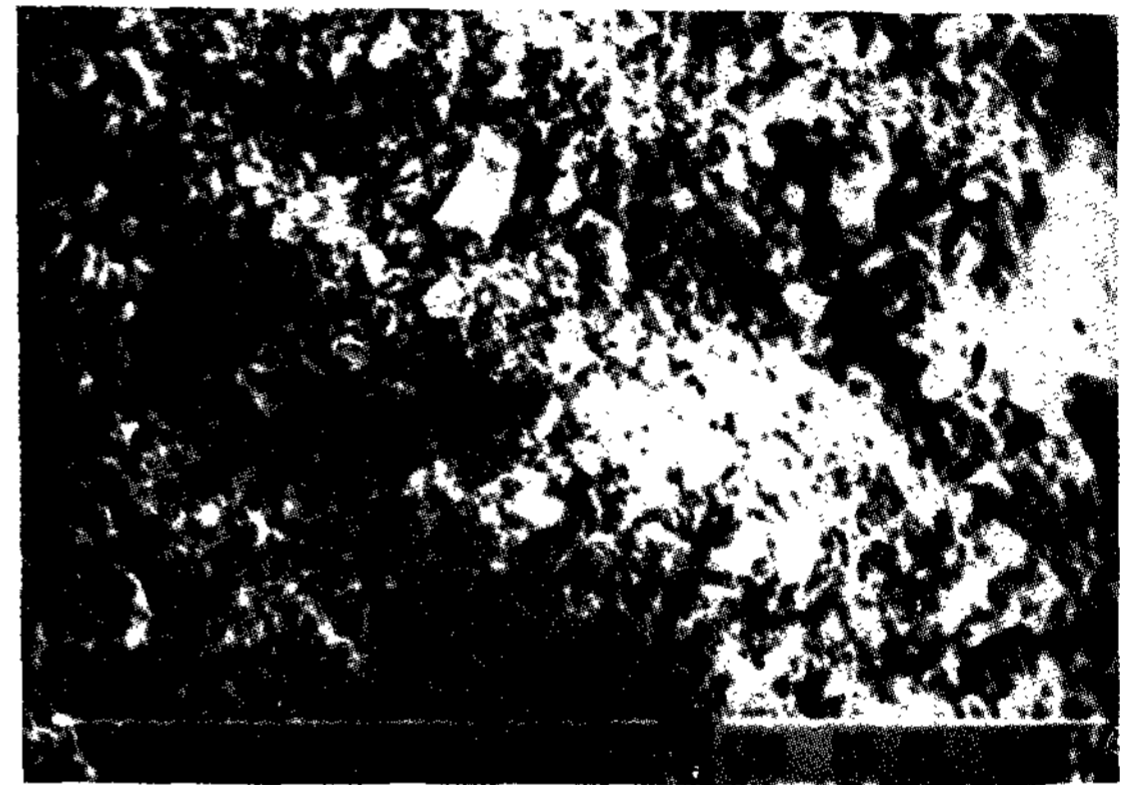


Fig. 17. Compressive strength versus grain fineness number of phosphate investment

그리고 입도가 복잡될수록 상온압축강도가 증가하는 것은 혼수비가 작은데에 기인된다고 생각되어 복합입도 J를 기재로 한 매물재를 혼수비를 변화시키면서 상온 압축강도의 변화를 조사하여 Fig. 18에서 나타내었다. 여기에서 보는 바와 같이 J매물재의 압축강도는 혼수비가 0.21에서 0.25로 증가함에 따라  $137 \text{ kg/cm}^2$ 로부터  $101 \text{ kg/cm}^2$ 로 감소됨을 알 수 있었다. 혼수비가



(a)



(b)

Photo. 3. Fractographs of the Investments by Scanning Electron Microscope  
(a) A (x100) (b) C (x125)

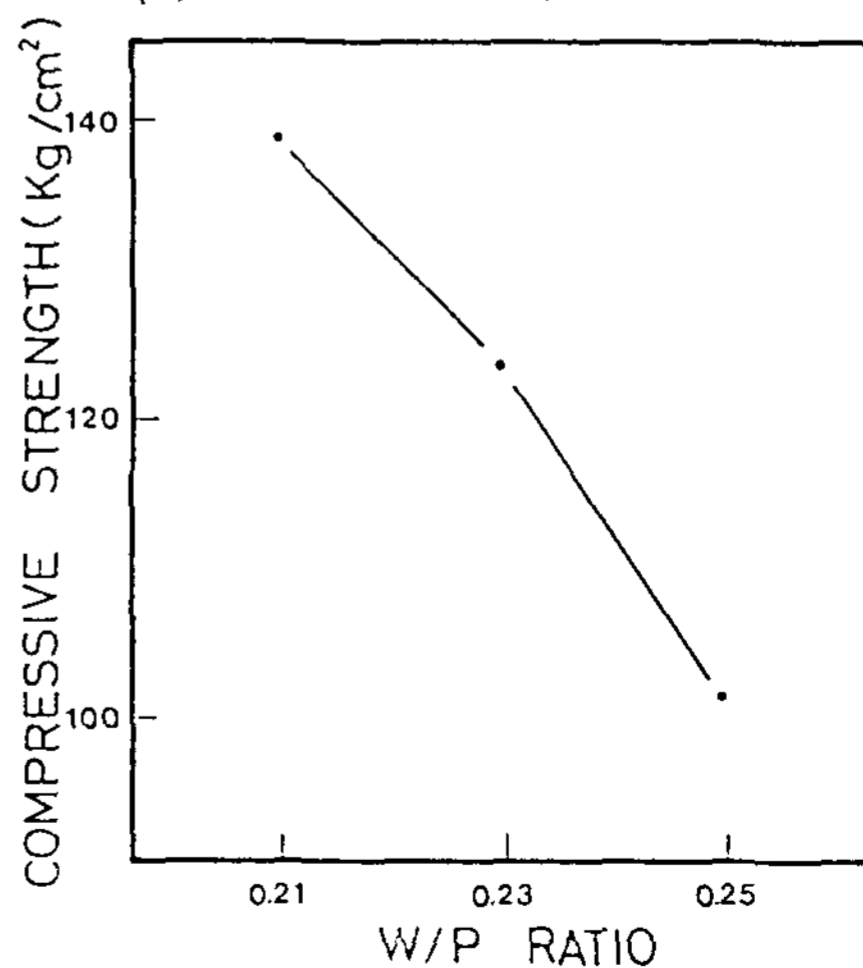


Fig. 18. The effect of W/P ratio on compressive strength of phosphate investment (J)

크면 화학반응후의 잔류수분이 매물재 중에 남아있다가

매몰재가 건조된 후에 그 자리가 일종의 공극으로 남아 압축강도가 작은것이라 생각된다. 또한 복합입도의 매몰재는 공극률이 작아 압축강도가 큰 것으로 생각되며, 충전이 조밀하여 응력을 받을때에 내부 입자간 마찰력이 커서 압축강도가 큰것이라고 생각된다.

#### 4. 결 론

고온정밀주조용 인산염계 매몰재의 특성에 미치는 규사의 입도와 입도분포의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1. 혼수비는 규사의 입도가 커질수록, 입도가 복합될수록 감소하였다.
- 2. 경화시간은 입도가 복합될수록 짧아졌으며 경화중의 온도는 입도가 복합될수록 높아졌다.
- 3. 경화팽창은 입도가 커질수록 작아졌으며 입도가 복합될수록 커졌다.
- 4. 열팽창은 입도가 커질수록 커졌다.
- 5. 상온압축강도는 입도가 커질수록, 입도가 복합될수록 커졌다.

본 실험에서와 같은 결합재의 조건하에서는 G.F.No이 250정도이며 그 중에 50~100 mesh가 30%정도 포함된 규사가 정밀주조용 기재로 바람직하다고 생각된다.

#### 5. 참 고 문 헌

- 1) Kenneth Geist, R.M. Kerr, Jr; Foundry Trans., Vol. 55, (1947), June. P. 17.
- 2) R. Neiman; Foundry Trans., Vol. 52, (1944), April, P. 349.
- 3) William J. O'Brien, J.P. Nielsen; J.D. Res., Vol. 38, (1959), No. 3, P. 541.
- 4) 福持貞孝; 日本齒科材料器械學會誌, (1966) No. 14, P. 85
- 5) 李鍾南; 특수주조공학, 보성문화사, (1981), P. 89.
- 6) W. F. Wales; AFS Trans., 73~90, P. 249.
- 7) 野本直; 日本齒科材料器械學會誌, (1959), No. 3, P. 78.
- 8) 擇田武仁; 日本齒科材料器械學會誌, Vol. 32, (1975), No. 1, P. 6.

- 9) R. J. Schnell; J. Pros. Den., Vol. 13, (1963), No. 2, P. 324.
- 10) C. P. Mabie, Jr.; J. Dent. Res., Vol. 52, (1973), No. 1.
- 11) 芳賀昊昭; 日本齒科材料器械學會誌, (1971), No. 25, P. 105.
- 12) 菰田豐; 齒科學報, Vol. 75, (1975), No. 9, P. 1185.
- 13) 酒井勲; 日本齒科材料器械學會誌, (1972), No. 26, P. 1.
- 14) 山本公輔; 日本齒科材料器械學會誌, Vol. 31, (1974), No. 4, P. 316.
- 15) 奥征男; 日本齒科材料器械學會誌, Vol. 31, (1973), No. 3, P. 179.
- 16) 安齊碯; 日本齒科材料器械學會誌, (1972), No. 27, P. 66.
- 17) AMERICAN NATIONAL STANDARD, P. 2240~75.
- 18) ADA; Guide to Dent, Materials, (1966), P. 63
- 19) F. C. Allan; J. Dent. Res., Vol. 45, (1966), No. 5, P. 1516.
- 20) 加藤一男; Reports of the Institute for Medical & Dental Engineering, (1976), 45~61.
- 21) R. Earnshaw; British Dental Journal, Vol. 108, (1960), No. 11.
- 22) 李喜洙; 요업원료학, 이공도서출판사, (1979), P. 19.
- 23) R. Neiman; J. Dent. Res., Vol. 59, (1980), No. 9, P. 1478.
- 24) 渡邊三雄; 日本齒科材料器械學會誌, (1968), No. 18, P. 12.
- 25) 渡邊三雄; 口病誌, Vol. 36, (1969), No. 3, P. 147.
- 26) H. H. Bache; Journal of the American Ceramic Society, Vol. 53., (1970), No. 12, P. 654.