

## 건축물의 안전성 향상을 위한 Spacer의 제조

### Preparation of Spacer for Safety Improvement of Architecture

홍성수\* · 강기준\*\* · 한지원\*\*

S.S. Hong · K.J. Kang · J.W. Han

(1998년 6월 2일 접수, 1998년 9월 21일 채택)

#### ABSTRACT

The low grade domestic kaoline, such as pink-C and white-D, was converted to metakaoline, which has pozzolanic reactivity by heat treatment in the temperature range of 600°C to 1000°C for preparing the spacer. The spacer was used for supporting the reinforced steel rod during construction to improve the safety of architecture.

Pink-C and white-D were completely dehydroxylated when burnt at 800°C for 1 hour and converted to metakaoline. The compressive strengths of specimens added calcined pink-C were lower than those of press molding mortar products inspite of calcining conditions. When white-D with calcined 800°C and 1000°C for 1 hour was mixed 30% in the weight ratio of cement, the specimens cured 28 days had 338 kg/cm<sup>2</sup> and 347 kg/cm<sup>2</sup> of compressive strengths, respectively.

#### 1. 서론

최근 건축물이 고층화 및 기능화를 요구함에 따라 내구성 및 안전도에 대한 관심이 높아지고 있다. 건축 구조물의 안전과 관련된 내구성은 시공방법과 시공재료에 따라 크게 영향을 받는다. 특히, 대형 교량이나 고속철도와 같은 고강

도 제품을 요구하는 구조물에서는 강도발현에 직접적인 관련이 없는 부자재의 선택도 안전에 중요한 영향을 미칠 수 있다.

콘크리트 구조물은 진동과 하중에 대한 안전성을 높이기 위하여 철근을 배근하게 된다. 이러한 배근과정에서 철근을 바닥과 기둥의 외면에서 일정거리를 이격시키기 위하여 기존의 공

\* 호서대학교 공과대학 재료화학공학과

\*\* 호서대학교 공과대학 기계공학부

법에서는 플라스틱이나 모르터 제품의 성형체가 사용되고 있고, 이를 spacer라 부르고 있으며 관련 제품의 설치형태를 Fig. 1에 나타내었다.

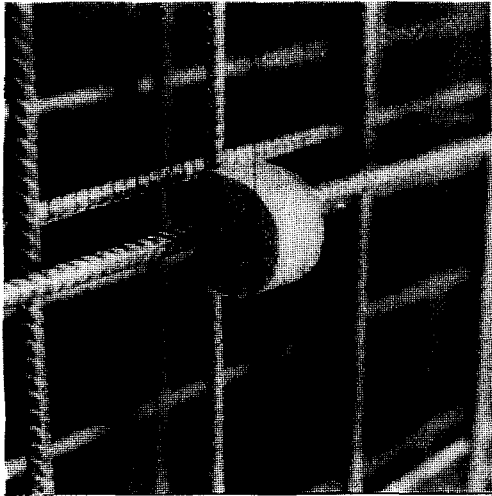


Fig. 1 Reinforcing steel rod and spacer

그러나 고속철도와 같이 주로 교량형태로 건축되는 구조물에서는 완벽한 안전성이 고려되어야 하기 때문에 바닥에 사용되었던 플라스틱 제품은 콘크리트와의 반응에 의한 부착력이 전혀 없어 사용이 불가능하다. 또한 모르터 제품의 spacer는 진동가압성형으로 생산되나 강도발현에 한계가 있으며 스팀양생으로 수화반응을 촉진시켜 강도를 발현시키므로 후에 타설된 콘크리트와의 반응성이 플라스틱보다는 우수하나 안전성을 기대하기는 어렵다.

외국에서는 기둥이나 보와 같이 표면이 외부로 노출되면서 강도가 요구되는 구조물의 배근에서는 고령토와 시멘트를 이용하여 압출된 고강도 제품이 사용되고 있다. 국내에서도 현재 고속철도를 시공하면서 바닥용으로 생산되고 있는 모르터 제품의 spacer 외부를 철사로 감아 고정시킴으로써 콘크리트 표면으로부터 철근을 일

정거리 이격시키고 있으나 완전한 시공방법이 못되고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내산 고령토를 열처리하여 반응성이 높은 metakaoline으로 전환시킨<sup>1,2)</sup> 다음 시멘트와 일정 비율로 혼합하여 압출 제품을 생산하는데 필요한 기초연구를 수행하였다. 이러한 압출제품은 기건양생을 통하여 고강도를 쉽게 얻을 수 있으며, 열처리에 의한 비정질의 SiO<sub>2</sub>가 시멘트에서 용출되는 Ca(OH)<sub>2</sub>와 일으키는 포졸란 반응(Pozzolanic reaction)이<sup>3,4)</sup> 장기간에 걸쳐 일어남으로 후에 타설되는 콘크리트와의 수화반응성도 확보할 수 있어 안전성이 요구되는 구조물에 적합하다. 또한, 압출시 top die에서 철근을 고정시키는데 필요한 구멍을 spacer에 자유롭게 형성시킬 수 있어 기존에 철사로 묶어 고정시키는 문제점도 해결할 수 있다. 현재 고속철도와 같이 높은 안전성을 요구하는 구조물에서는 진동가압성형에 의하여 생산되는 모르터 제품을 날개 단위로 일일이 구멍을 뚫어 사용하고 있는 실정이다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 실험재료

고령토는 경남 하동산의 white-D급과 pink-C급을 사용하였다. 이들은 white와 pink 계열에서 가장 저급이며 화학성분의 조성은 Table 1과 같다. Pink-C급은 SiO<sub>2</sub>가 37.6%로 white-D의 45.1%보다 낮았으며 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 2.3%로 white-D의 1.0%보다 높아 외관상으로 적색을 나타내었

Table 1 Chemical composition of kaoline (wt%)

Comp. Graded	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Ig. Loss	Total
White-D	45.1	35.4	1.0	4.1	13.9	99.5
Pink-C	37.6	44.4	2.3	0.8	14.0	99.1

Table 2 Chemical compositions and physical properties of OPC

Comp.	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig. Loss	Total	Sieve Residue(%)		Soundness Exp.(%)
									Blane (cm <sup>2</sup> /g)		
wt%	62.27	21.71	5.46	3.45	2.61	2.11	0.89	98.50	44 μm	88 μm	0.05
									3465	9.7	

다. 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트(OPC: Ordinary Portland Cement)를 사용하였으며, 화학조성 및 물성은 Table 2와 같다.

### 2.2 실험방법

시멘트와의 반응성을 높이기 위하여 고령토를 600, 800, 1,000°C에서 실험실용 전기로를 이용하여 1시간 동안 열처리하였으며, 볼밀(Ball mill)을 이용하여 44µm 통과분이 85%가 되도록 분쇄하였다. 이와 같이 분쇄된 고령토를 시멘트에 대하여 무게비로 30%, 50%씩 첨가하여 KS L 5109에 따라 모르타 혼합기로 건비빔을 1분간 실시하여 균일하게 혼합한 다음, 필요한 물량을 투입하고 3분간 혼합하여 5×5×5cm의 cubic mold에 투입하고 손다짐으로 성형하였다. 성형한 시험체는 기건양생을 실시하였으며 3, 7, 28일 강도를 측정하여 시멘트와 모래를 1:3으로 혼합하고 물/시멘트비를 22%로 제조한 기존의 모르타 제품과 비교하였다. 이 때 고령토의 열처리 온도와 혼합비율에 따라 적정 작업성을 유지하는데 필요한 혼합 수량이 일부 변하게 되므로 물/시멘트비(water/cement ratio)는 실험변수에서 제외시켰다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 고령토의 열처리

고령토는 부식질 유기물을 함유하고 있어 채광하여 미분말로 제조하여도 시멘트와 수화시 수화생성물을 발달시키지 못하므로 강도를 저하시킨다. 그러나, 열처리한 고령토는 고온에서 유기물이 분해되어 없어지고 결정이 일부 파괴되어 반응질의 실리카가 다량생 성되어 시멘트 수화시 용출되는 Ca(OH)<sub>2</sub> 와 포졸란 반응을 일으켜 강도증진에 기여하게 된다. 보통 600°C 이상의 온도가 유지되면 고령토는 결정표면의 hydroxyl기(-OH)가 탈리되면서 반응성이 있는 metakoline으로 전환되는 것으로 알려져 있으며, 700°C에서 5시간 정도 소성하면 충분한 것으로 나타나 있다<sup>1)</sup>. 그러나, 온도가 1,200°C 이상으로 지나치게 높으면 고상반응에 의하여 mullite질의

내열성 결정질이 생성되어 시멘트와 반응성은 아주 나쁘게 된다.

White-D를 열처리한 Fig. 2의 X-선 회절분석도에서 알 수 있듯이 원광은 kaolinite의 고령토 광물로 구성되어 있으며, illite와 quartz가 다량으로 함유되어 있는 저품위 고령토임을 쉽게 알 수 있다. 열처리 온도에 따른 변화는 600°C에서 전체적으로 피크의 세기는 작아졌으나 kaolinite의 광물이 그대로 남아 있어 시멘트와의 포졸란 반응성은 크지 않을 것으로 기대된다.

그러나, 열처리 온도가 800°C로 높아지면 2θ 값 12.130에서 나타났던 kaolinite의 피크가 사라졌으며, 21.916, 23.692 등에서 나타나는 동일 광물의 피크도 세기가 아주 작아져 시멘트와의 반응성이 기대된다. 1,000°C에서 열처리한 시료는 이러한 현상이 더욱 크게 나타나 kaolinite의 주 피크들이 대부분 소멸되었거나 세기가 아주 작아졌다.

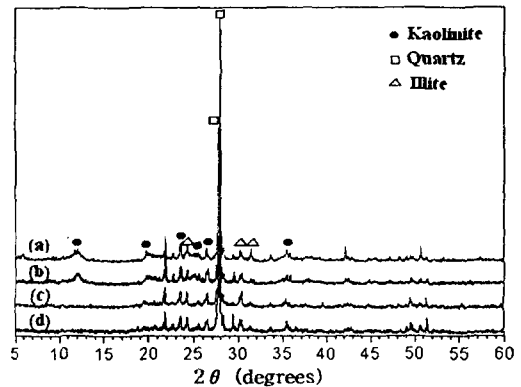


Fig. 2 X-ray diffraction patterns of kaoline ore(white-D) and heat treated kaoline  
(a) Kaoline ore (b) 600°C (c) 800°C (d) 1,000°C

Fig. 3의 pink-C급의 고령토도 동일한 현상을 나타내 600°C에서는 열처리 효과가 크게 나타나지 않으나, 800°C부터는 kaoline와 illite의 피크 크기가 현저히 줄어들기 시작하여 1,000°C에서는 원광과 전혀 다른 피크형태를 나타내고 있다. white-D와 pink-C 모두 X-선 회절분석 결과로부터 800°C 이상은 되어야 시멘트와의 반응성이 높아질 것으로 예측된다. 그러나, 열처리 온도별 시료에 대한 전자현미경 사진에서는 원광

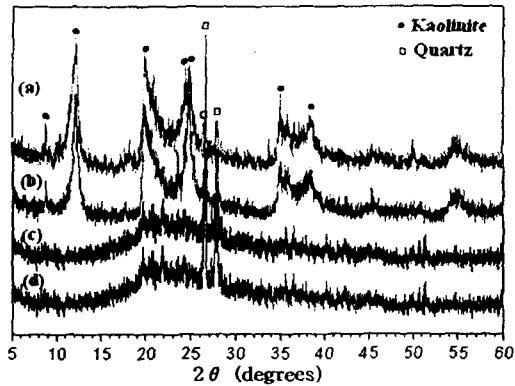


Fig. 3 X-ray diffraction patterns of kaoline ore(Pink-C) and heat treated kaoline  
 (a) Kaoline ore (b) 600°C (c) 800°C (d) 1,000°C



(a) Kaoline

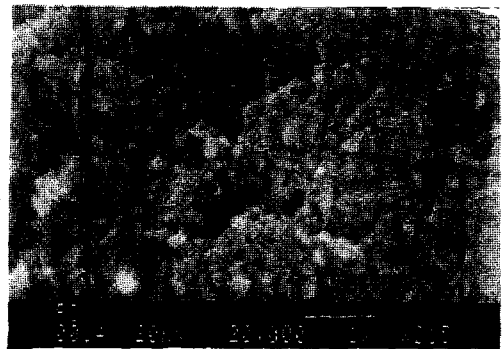


(b) 800°C

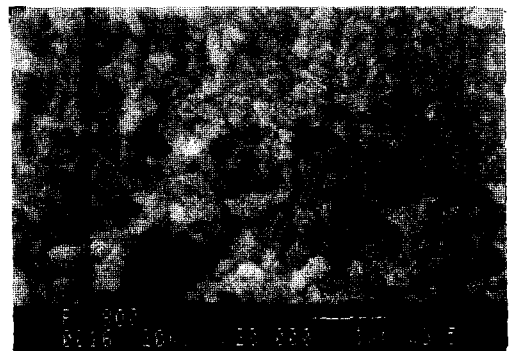
Fig. 4 SEM photographs of kaoline ore(white-D) and heat treated kaoline

과 열처리에 따른 결정 외관상 큰 차이가 없음을 Fig. 4와 5에서 알 수 있다. 즉, 원광과 pink-

C를 800°C에서, white-D를 1,000°C에서 열처리 한 시료와 비교하면 커다란 차이가 없다. 이는 열처리 온도 1,000°C까지 고령토를 구성하는 화합물의 고상반응이 일어나지 않기 때문이며, 단지 결정 구성 격자들이 고상반응 전단계로 일부가 무정형으로 전환된 metakaoline 상태가 되었기 때문이다. 열처리 온도가 1,200°C까지 도달하면 소성반응에 의하여 고령토 입자간의 고상반응이 진행되어 mullite 결정과 같은 새로운 광물이 생성된다. 그러나, 이러한 mullite와 같은 결정은 시멘트와 수화반응성이 없어 강도증진에 기여치 못한다.



(a) Kaoline



(b) 1,000°C

Fig. 5 SEM photographs of kaoline ore(Pink-C) and heat treated kaoline

### 3.2 압축강도

시멘트와 콘크리트 제품의 강도 증진 방법은 분산재를 사용한 물/시멘트비의 저하, 분말혼합

제의 첨가에 의한 포졸란(pozzolane) 반응성의 촉진, 보강섬유의 첨가, 배합비의 조정 등 다양한 방법에 의하여 가능하다. 그러나, spacer와 같은 제품에서는 압출에 의한 제품의 생산이므로 강도 증진을 위한 적절한 방법의 선택이 제약될 수 있다. 특히, spacer는 제품으로 생산되어 시멘트의 수화가 완료된 다음, 후에 타설되는 콘크리트와 접촉하기 때문에 일방적인 강도 증진은 부적절 할 수도 있다. 즉 높은 강도를 발현하면서도 spacer제품 내에 후에 타설되는 콘크리트 간에 수화반응에 의한 결합을 기대할 수 있어 안정성 향상을 도모할 수 있다.

Fig. 6은 각 온도에서 열처리한 pink-C 고령토를 시멘트 무게 대비 30wt% 첨가하여 손다짐으로 제조한 시험체의 양생시간에 따른 압축강도 결과이다. Control은 현재 진동가압성형으로 생산되고 있는 모르타르 제품의 강도로 나타내는 것으로 성형압이 약 50kg/cm<sup>2</sup> 정도이다. 이렇게 생산된 제품의 7일 및 28일 압축강도는 274kg/cm<sup>2</sup>, 320kg/cm<sup>2</sup>이며, pink-C급 고령토를 800℃에서 1시간 처리하여 제조한 시험체는 7일이 252kg/cm<sup>2</sup> 28일이 298kg/cm<sup>2</sup>로 기존 진동가압성형 제품보다 다소 적은 값을 나타냈다. 또한, 1,000℃에서 열처리한 pink-C급도 28일 강도가 310kg/cm<sup>2</sup>로 약간 낮았으나, 손다짐으로 제조한 시험체이기 때문에 실제 공정에서 압출 성형으로 생산된다면, 기존제품보다 높은 압축강도가 기대된다. 일반적으로 압출 성형하면 물/시멘트비가 낮아지고, 단위체적중량이 높아지므로 손다짐에 의하여 얻어진 시험체보다 압축강도가 30-40% 증가한다<sup>5)</sup>. 그러나, white-D급 고령토는 800℃에서 1시간 열처리하여 시멘트 무게 대비 30wt% 첨가하였을 때, 28일 압축강도가 338 kg/cm<sup>2</sup>로 control보다 18kg/cm<sup>2</sup> 높아졌으며, 1,000℃에서 열처리한 white-D급을 이용하면, Fig. 7에서와 같이 28일에 347kg/cm<sup>2</sup>로 아주 높은 압축강도 값을 나타내고 있다. 물론, 손다짐에 의하여 얻어진 압축강도를 압출에 의해서는 더욱 높은 강도증진이 예상되며, 열처리에 의한 에너지 소비를 고려할 때, spacer 제조에 적합한 고령토 제조는 white-D급을 이용하여 800℃에서 열처리하는 것이 경제적인 일이 것으로 판단

된다. 실제 이렇게 제조된 고령토를 이용하여 압출공정으로 제조한 spacer의 압축강도가 7일 300kg/cm<sup>2</sup> 이상이 됨을 확인할 수 있었다<sup>6)</sup>.

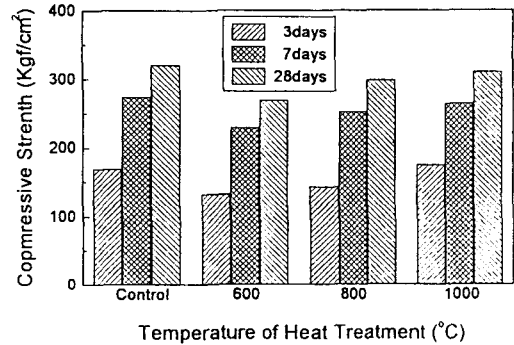


Fig. 6 Compressive strength of metakalione (pink-C) added cement specimens with hydration time (Mixing ratio of pink-C=30wt% by weight ratio of cement)

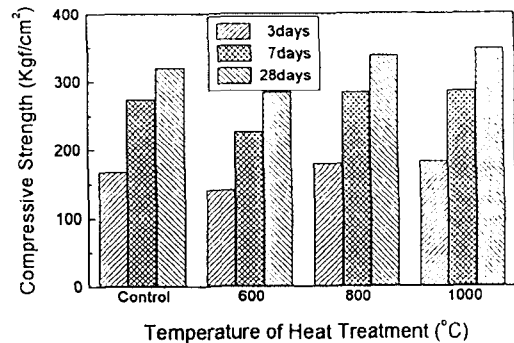


Fig. 7 Compressive strength of metakalione (white-D) added cement specimens with hydration time (Mixing ratio of pink-C=30wt% by weight ratio of cement)

#### 4. 결론

건축물의 안전시공을 위하여 사용하는 spacer를 열처리한 국내산 고령토와 시멘트를 30:70으로 혼합하여 제조한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Pink-C급 및 white-D급 고령토 모두 800℃에서 1시간 이상 열처리하면, 시멘트와의 포졸란(pozzolane) 반응성이 있는 metakaoline

으로 전환됨을 X-선 회절분석으로 확인하였다. 주사전자현미경(SEM) 사진에서는 1,000℃까지 열처리하여도 결정 외견상의 변화는 없었다.

- 2) Pink-C급 고령토는 손다짐 방법으로 제조한 시험체에서 600℃, 800℃, 1,000℃의 열처리 온도와 관계없이 기존의 진동가압성형 시험체보다 낮은 압축강도 값을 나타내었다.
- 3) 800℃에서 1시간 열처리한 white-D급 고령토는 7일 압축강도가 284kg/cm<sup>2</sup>, 28일 압축강도가 338kg/cm<sup>2</sup>로 기존 제품보다 우수한 강도 특성을 보였으며, 열처리를 포함한 경계성을 고려할 때 최적의 조건으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Jean Pera and Achene Amrouz, "Development of Highly Reactive Metakaoline from paper Sludge", J. of Advn. Cem. Bas. Mat., Vol. 7, pp. 49~56, 1998.
- 2) V.S. Ramachandran, Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publications(U.S.A.), 2nd Ed., p. 906, 1995.
- 3) K. Asaga, H. Kuga, S. Takahashi, and M. Diamon, "Effect of Pozzolanic Additives in the Portlad Cement on the Hydration Rate of Alite", Proceedings of 10th ICCI, 3ii107, 8pp, 1997.
- 4) M.L. Granizo, M.T. Blanco-varela, F. Puertas, and A. Palomo, "Alkaline Activation of Metakaoline Influence of Synthesis Parameters", Proceedings of 10th ICCI, 3ii113, 8pp, 1997.
- 5) T. Kitamura, H. Wada, S. Ooike, and K. Akiyama, "Characteristics of Hardened Gypsum by Pressure Molding", Gypsum & Lime, No. 231, pp. 75~80, 1991.
- 6) 한지원, 홍성수, 강기준, 조홍준, 고령토와 시멘트를 혼합하여 고강도 스페이서를 제조하는 방법, 대한민국 특허 출원번호 제98-16058, 1998.