

# 유동화제 변화에 따른 초미립자 시멘트의 경화특성

## Hardened Properties of Ultra Fine Cement with Superplasticizer

채 재 홍<sup>\*</sup> 이 종 열<sup>\*</sup> 이 웅 종<sup>\*</sup> 박 경 상<sup>\*</sup> 김 진 춘<sup>\*</sup> 이 세 웅<sup>\*\*</sup>  
Chae, Jae Hong Lee, Jong Ryul Lee, Woong Jong Park, Kyung Sang Kim, Jin Chun Lee, Se Woong

### ABSTRACT

In this study, we blended 2 grades of ultra fine cement using the results of previous study. And the cement slurry was produced by water each water/cement ratio. The slurries were observed hydration phenomena during 28 days with SEM, XRD and DSC. The specimen made by slurry were evaluated with the hardened properties such as compressive strength, flexural strength length change and water absorption. And we tested the adhesive strength of specimen made by injecting the slurry between mortar bars.

### 1. 서론

콘크리트 구조물은 타설 후 건조수축, 수화열, 반복하중, 지반 침하 혹은 용기 등 다양한 원인에 의하여 균열이 발생하고 있다. 이러한 균열을 보수하기 위하여 에폭시 주입재를 사용하는 것이 보편적이다. 그러나 에폭시와 콘크리트의 열팽창율 차이에 의한 균열이 발생하고, 수분 이동 차단에 의한 내부 절근 부식 등의 현상이 발생되며, 화재와 같은 고온 환경에 노출될 경우 에폭시 재료의 낮은 융점으로 인하여 재료가 녹는 등 내화성능의 문제를 가지고 있다. 따라서 콘크리트 구조물에 대한 침투성, 작업성, 내화성, 인체 무해성 등의 특성을 갖는 새로운 재료에 대한 요구가 점차 확대, 증가되고 있다.

상기와 같은 요구를 만족시키고자 필자 등은 콘크리트 구조물의 균열 및 들뜸 현상을 보수할 수 있는 초미립 시멘트를 개발하고자 하였으며, 본 연구에서는 선행연구에서 얻어진 결과로 2종류의 초미립 시멘트를 혼합 제조하여 시멘트 현탁액을 제조하였다. 제조된 현탁액은 수화물의 거동을 관찰하였으며, 각 재령별 압축강도, 휨강도, 길이변화, 흡수율 등의 물리 성능을 평가하고, 이 초미립 시멘트 현탁액을 사용하여 모르타르 부재 사이에 주입하여 일정 재령 후의 집착강도를 평가하고자 하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 실험재료

\* 상용중앙연구소 콘크리트연구소

\*\* 상용건설 기술연구소

본 실험에서는 1종 포틀랜드 시멘트와 고로 슬래그 미분말을 시멘트량이 상대적으로 많은 A, 시멘트량이 상대적으로 적은 B, 2개의 조합비로 배합하여 사용하였다. 조합된 시멘트의 각 화학성분은 표1과 같다. 유동화제는 선행실험 결과 유동성이 가장 좋았던 2%를 적용하였다.

표 1 조합된 시멘트의 화학성분

시료명	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
A	22.35	8.83	2.28	54.58	4.39	0.13	0.69	6.14	0.62	9650
B	25.43	10.76	1.81	50.51	5.44	0.15	0.61	4.28	1.00	9720

## 2.2 초미립 현탁액 제조

고유동화제와 균질하게 혼합된 초미분 시멘트를 물시멘트비 50, 60, 70%로 하여 혼합용기에 물을 투입한 후 초미립 시멘트 혼합물을 투입하여 2분간 믹서로 혼합하여 시멘트 현탁액을 제조하였다.

이 혼합된 시멘트 현탁액은 선행 실험결과에서 보여준 것과 같이 1시간 이상까지 사용할 수 있는 유동성이 확보된 양질의 현탁액이었다.

## 2.3 수화거동 관찰

준비된 시멘트 현탁액을 일정 용기에 넣고 23±3℃로 유지되는 실내에 보관한 후 재령 1, 3, 7, 28일 후에 경화된 시편의 일부를 취하여 알라세톤으로 수화를 정지시킨 후 분쇄하여 시편을 준비하였다.

## 2.4 물리성능 평가

### 2.4.1 압축강도, 휨강도 측정

초미립 시멘트 현탁액을 JIS R 5201(시멘트의 물리시험방법)에 따라서 성형하여 온도 20±3℃, 습기 80%이상의 습기함에 넣고 재령 3, 7, 28일까지 양생한 후 각각 압축강도, 휨강도를 측정하였다.

### 2.4.2 길이변화 측정

압축강도 측정시편과 동일한 방법으로 성형하여 동일한 습기함에서 2일간 양생하고 탈형 후 즉시 각선한 후 21±1℃ 수조에서 5일간 양생을 실시하고 수중 1주 길이변화를 측정하였으며, 이 시편을 21±1℃, 60±5℃로 관리되는 실내에 보관하며 기건 1, 2, 3, 4주 동안의 길이변화를 JIS A 1129(몰탈 및 콘크리트 길이변화 시험방법)에 준하여 측정하였다.

### 2.4.3 흡수율 측정

압축강도와 동일한 방법으로 성형하여 동일한 습기함에 넣어 2일간 양생하고 탈형하여 동일한 습기함에서 19일간 양생한 후, 80℃건조기에서 무게가 일정하게 될 때까지 건조한 후 이를 건조무게로 하고, 수중에 시편의 1/2이 잠기도록 하여 1, 3, 5, 24시간의 흡수량 및 흡수율을 측정하였다.(JIS 11404 건축용시멘트방수제의 시험방법)

### 2.4.4 집착강도 측정

4x4x16 크기의 몰탈시편을 1/2로 절단한 후  $\phi 1\text{mm}$ 간극봉을 넣고 시멘트 현탁액을 주입한 후 7, 28일 4점휨강도를 측정하였다. (JIS A 6024 건축보수용 에폭시수지)

## 3. 실험 결과

### 3.1 수화거동 관찰

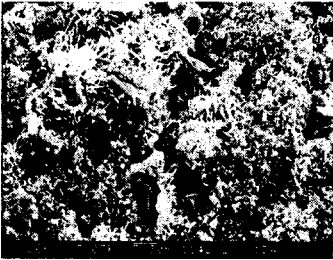


그림 1 A조성 미세구조(1d)

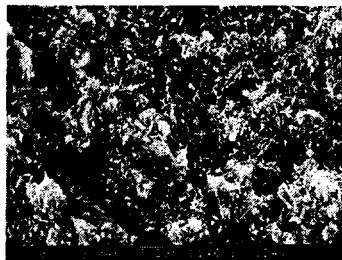


그림 2 B조성 미세구조(1d)

그림 1과 2는 수화 1일 후의 시편을 아세톤으로 수화정지 시킨 시편으로 A, B조성 모두 아트리링자이트의 선장을 확인할 수 있으며 시멘트 함량이 높은 A조성에서 성장이 잘 된 에트리링자이트를 관찰할 수 있었다.

이와 같은 침상의 에트리링자이트의 성장에 의하여 시멘트 함량이 높은 조성의 초미립자 시멘트 현탁액의 점도가 더 높았던 것으로 판단된다.

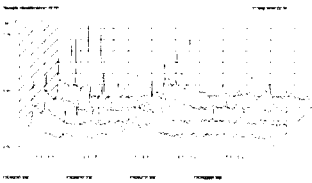


그림 3 A조성 재령별 XRD

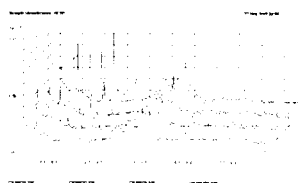


그림 4 B조성 재령별 XRD

그림 3과 4는 A, B 조성의 1, 3, 7, 28일 후 수화정지된 시료의 X선 회절분석 결과이다. 두 조성 모두 결정성장이 유사하며 각 조성에서 1일과 28일의 결정상이 거의 유사한 것으로 보아 초미분말의 시멘트의 수화는 초기에 급격히 일어나고 이후에는 결정의 안정화가 이루어지는 것으로 판단된다.

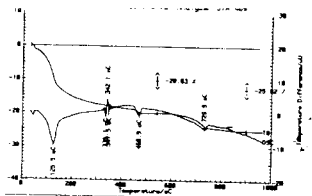


그림 5 A조성 시차열분석

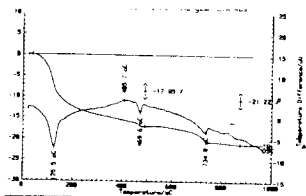


그림 6 B조성의 시차열분석

그림 5와 6은 시차열분석으로 수화 후 1일된 시료의 분석결과이다. 이 결과도 앞의 SEM과 XRD의 결과와 유사하게 초기에 수화물들이 모두 생성되어 있음을 보여주고 있다.

### 3.2 압축강도, 휨강도 변화

그림 7과 8은 압축강도와 휨강도를 측정한 결과이다. 이제까지 보고된 고로슬래그 미분말을 첨가한 시멘트의 강도의 발현현상과는 매우 다르게 3일에서 7일까지 강도 발현율은 매우 크지만, 7일에서 28일까지의 강도 발현율은 아주 작거나, 오히려 강도의 감소를 보이고 있다. 이것은 1종 시멘트와 슬래그의 분말도가  $10,000\text{ g/cm}^3$ 으로 매우 높아서 초기에 수화반응이 급격히 일어나기 때문으로 판단된다. 슬래그가 많은 B조성의 28일 강도가 대체적으로 A조성의 강도보다 높게 나타나는 것은 슬래그의 장

기강도 증진효과에 기인하는 것으로 판단된다.

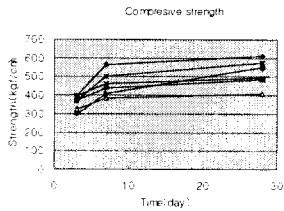


그림 7 압축강도

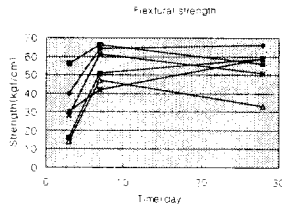


그림 8 휨강도

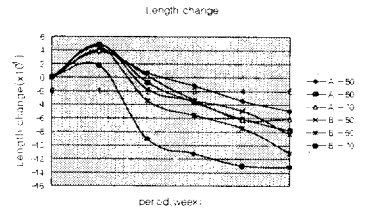


그림 9 길이변화

### 3.3 길이변화, 흡수율, 접착강도

그림 9를 보면 A조성 보다는 B조성이, 물량이 많은 시편의 수축이 더 커지는 것을 보이고 있다. 그림 10은 건조 후 흡수율을 나타낸 것인데 A조성이 B조성보다 수분의 흡수가 더 많음을 보이고 있다. 이것은 고미분말의 슬래그가 많은 B조성이 더 치밀한 구조로 수화하여 수축이 더 커지고 반면에 수분의 흡수는 적어지는 것으로 판단된다.

접착강도는 그림 11에서 보는 것과 같이 A조성의 접착강도가 더 높으며, 7일에서 28일 강도발현은 미미한 것으로 보인다.

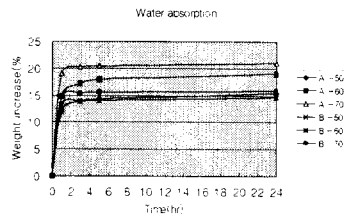


그림 10 흡수율

## 4. 결론

초미립자 시멘트를 사용한 본 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 초기 수화속도가 매우 빠르며 이로 인해 강도발현은 7일까지는 급격히 일어나지만 이후는 완만한 상승을 보이거나 감소하는 경향이 있다.
- (2) 슬래그가 많은 조성에서 후기강도의 증진이 더 큰 것은 슬래그의 장기강도 증진효과에 기인한 것으로 판단된다.
- (3) 또한 슬래그가 많은 조성은 흡수율이 상대적으로 적는데 이것은 초미분 슬래그의 증진효과 때문으로 판단된다. 이것은 향후 수화물의 기공율을 측정하는 등의 연구를 통하여 규명하고자 한다.

(참고문헌)

1. 채재홍, 유동화제 변화에 따른 초미립자 시멘트의 유동특성, '99봄학술발표회, 한국콘크리트학회, vol 11, No 1, p58-63
2. 西川直廣, 高爐水碎슬래그粉末を用いたコンクリート中の水和物の安定性, 第44回セメント技術人會講演集 p116-121
3. 小林一輔, 高爐水碎슬래그を混和材として 用いたコンクリートの緊縮強度と乾燥收縮, セメント技術年報, vol 30, p151-154
4. 依田彰彦, 高爐슬래그微粉末を20, 45, 65%内割添加したコンクリートの性質, セメント・コンクリート論文集, vol 43, p132-137

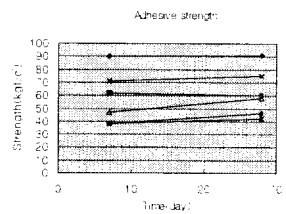


그림 11 접착강도