

유동화제 변화에 따른 초미립자 시멘트의 유동특성

Flow Properties of Ultra Fine Cement with Superplasticizer

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

ABSTRACT

Almost all concrete structures have many inevitable cracks for various reasons such as drying shrinkage, heat liberation of cement, fatigues or repeating loads and movements. Conventionally, they are repaired with epoxy materials. The Epoxy resins used by repair materials are different from properties of the base concrete materials such as thermal and mechanical properties - thermal expansion coefficients, bending strength. And the epoxy resin cannot release the water inside the concrete structure and cause corrosion of the steel bars.

In this study, before the experiment got launched, we had analyzed cement and slag. Then We blended the two grades of ultra fine cement using high blaine cement and slag. And the cement slurry was produced by water and supprlasticizer to each blended ultra fine cement in various conditions. The slurry produced by each conditions was evaluated with flow properties such as viscosity, dropping time, segregation and observation of dry surface after injection.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

콘크리트 구조물은 타설 후 건조수축, 수화열, 반복하중, 지반 침하 혹은 응기 등 다양한 원인에 의하여 균열이 발생하고 있다. 이러한 균열을 보수하기 위하여 에폭시 주입재를 사용하는 것이 보편적이다. 그러나 에폭시와 콘크리트의 열팽창을 차이에 의한 균열이 발생하고, 수분 이동 차단에 의한 내부 철근 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.

본 연구에서는 구조물에 피할 수 없이 발생하는 균열 및 들뜸현상을 보수할 재료로 사용할 수 있는 보수재의 개발의 일환으로 초미립자 시멘트를 제조하였으며, 이 시멘트로 제조된 현탁액의 제조 조건별 유동 특성을 파악하고자 하였다.

* 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실

** 쌍용건설 기술연구소

1.2 초미립자 무기계 시멘트 선정 배경

포틀랜드 시멘트계를 모재로한 주입재는 무기질 재료로써 보통 시멘트와 고유성질이 유사하다. 또한 콘크리트 구조물과 동일한 재료적인 특성을 가지므로 보수 후 유기계 에폭시 보수재에서 발생 가능한 부작용이 거의 없다. 또한 초미립자 시멘트의 경우 분말도가 높아 수화물의 조직이 조기에 치밀해지고 강도 또한 보통 시멘트와 비교할 때 1.5배 이상 높은 것이 특징이다.

표 1 초미립 시멘트 물성 비교

종 류	비중 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	압축강도 (kgf/cm ²)
보통시멘트	3.15	3180	368
초미립 시멘트	2.95	9500	568

기존의 보통 포틀랜드 시멘트는 최대 입자경이 100 μ m(평균입경 약 20 μ m) 정도로 큰 편이기 때문에 보수 대상 균열에 한계가 좁다. 암반 및 콘크리트에 발생한 균열에 관해서 균열폭과 주입 가능한 주입재의 최대 입자경과의 관계를 J. K. Michel이 제안 한 주입비는 다음과 같다.

$$N = \frac{D_{fissure}}{G_{max}} > 3$$

여기서, N : 주입비(groutability)

D_{fissure} : 균열폭

G_{max} : 주입재입자의 최대 입경

보통 포틀랜드시멘트의 최대입경은 100 μ m 수준이므로 J. K. Michel의 관계식에 의해서 주입이 가능한 암반균열의 최적폭은 300 μ m 이상이다. 한편, 보수를 필요로 하는 균열은 내구성 측면에서는 400 μ m 이상, 방수를 위해서는 200 μ m 이상이므로 이러한 환경에 주입이 가능한 재료는 최대 입경이 70 μ m 이하의 재료를 선정해야 한다. 따라서 본 연구에서는 평균입경이 약4 μ m이고 최대 입경이 30 μ m 이하인 초미립 시멘트를 선정하였다.

2. 실험 개요

2.1 실험재료

본 실험에서는 초미립 시멘트를 제조하기 위하여 미분말의 1종 포틀랜드 시멘트와 고로 슬래그 미분말을 2개의 조합비로 배합하여 사용하였다. 사용한 시멘트와 고로 슬래그의 화학성분과 분말도는 표2와 같다. 또한 초미립 시멘트를 제조하기 위한 시료의 입도 분포는 그림1에 나타내었다. 본 실험에서 사용한 고유동화제의 특성은 표 3과 같다.

표 2 사용 분체의 화학성분 및 분말도

시료명	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	LOI	Blaine (cm ² /g)
시멘트	21.04	5.90	3.12	61.91	2.90	0.3	1.01	2.22	1.34	9500
슬래그	18.05	15.8	43.6	15.3	9.6	0.20	0.05	-	-3.68	9800

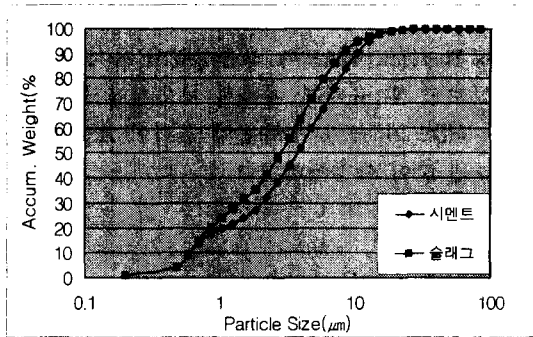


그림 1 사용한 시료의 입도 분포

표 3 고유동화제 특성

화 학 명	나프탈렌 설포네이트 나트륨염
외 관	연갈색분말
고형분농도	93 %
가 비 중	0.70 g/cm ³
Cl 농도	1000 ppm
이 온 성	음이온성
용 해 도	물에 잘 녹음

2.2 초미립 시멘트 제조

1종 고미분말 시멘트와 고로슬래그 미분말을 적정 비율로 혼합하여 2 조건(이하 A, B로 표기)의 초미립 시멘트를 제조하였다. 제조된 초미립 시멘트의 입도분포는 그림 2와 같다. 두 시멘트의 평균입경은 3.70, 3.54 μ m 이며, Blaine은 9650, 9720 cm²/g 이다

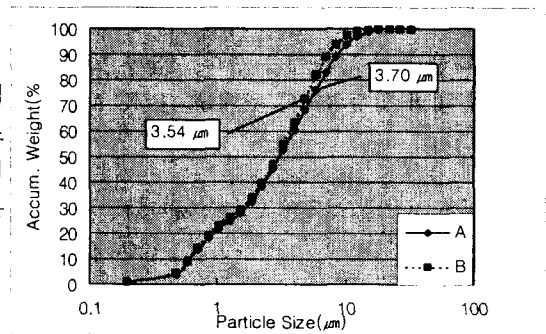
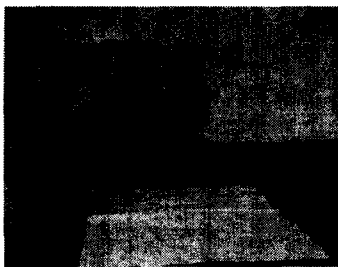


그림 2 제조된 초미립 시멘트의 입도 분포

2.3 선행실험

고유동화제의 투입량을 선정하기 위하여 초미립 시멘트와 물량을 고정하고 고유동화제의 양을 변화시키면서 현탁액의 유동성을 관찰하였다. 그림 3(A)는 고유동화제를 첨가하지 않았을 때의 현상으로 혼합도 잘되지 않고 크립과 같아 비이커를 뒤집어도 흘러내리지 않을 정도로 점성이 매우 높았다. 그림3(B)은 고유동화제를 1.5% 투입했을 때의 현상으로 물처럼 흘러내릴 정도로 묽어진 것을 알 수 있다.

선행실험결과를 기준으로 하여 본 실험에서 사용할 현탁액의 제조 조건을 선정하였다. 선정된 실험인자 및 수준은 표4와 같다.



(A)



(B)

그림 3 고유동화제 첨가전(A) 첨가후(B)

표 4 실험인자 및 수준

실험 인자	실험 수준
초미립 시멘트	A, B
물 시멘트 비	50, 60, 70 %
고유동화제량	1.5, 2.0 %

3. 실험 방법

현탁액은 준비한 초미립 시멘트에 고유동화제를 첨가하여 혼련한 후 KS L 5109의 Mixer를 사용하여 물을 먼저 투입하고 1속에서 2분간 혼합하여 제조하였다.

3.1 점도

Brookfield 사 digital viscometer Model DV-II를 사용하여 현탁액 제조한 후 즉시, 30분 경과 후, 60분 경과 후 점도를 측정하였다.

3.2 pH

Hanna digital pH meter를 사용하여 현탁액을 제조한 후 즉시, 30분 경과 후, 60분 경과 후 pH를 측정하였다.

3.3 유하속도

그림 5와 같은 Flow con을 사용하여 현탁액을 제조한 후 즉시, 30분 경과 후, 60분 경과 후 점도를 측정하였다.

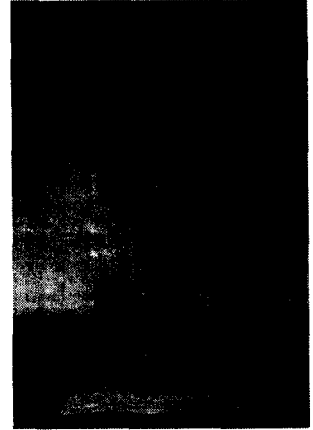


그림 4 유하속도 측정

3.4 재료분리

현탁액을 제조한 후 100 ml 메스실린더에 채워 놓은 후 1시간 경과 후 재료 분리량을 측정하였다.

4. 실험 결과

4.1 점도 변화

동일 시멘트 배합에서는 물량이 감소할수록 점도가 상승하며, 시멘트 함량이 B 배합 보다 높은 A 배합의 점도가 전반적으로 높는데 이것은 초기 수화과정 중에 에트링자이트의 생성에 기인한 것으로 생각된다. A 배합의 경우에 고유동화제의 양이 적은 현탁액의 경우 초기부터 점도가 상당히 높았다. 고유동화제가 2.0% 첨가된 배합에서는 물시멘트비 60, 70%에서는 거의 안정적인 현탁액을 제조할 수 있었다. B 배합의 경우는 유동화제 양이 증가하면 점도가 낮아지는 경향을 보이며, A 배합점도 대비 1/4(고유동화제 2%의 경우), 1/2(1.5%)수준이다. 물시멘트비가 낮고 시멘트 함량이 높으면 30분 이후에 점도가 급격히 상승하고

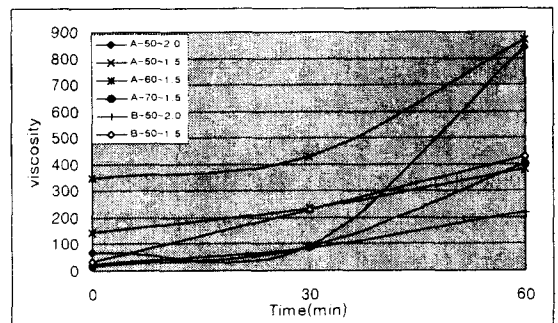


그림 5 배합비별 현탁액 점도 변화

있다.

4.2 pH 변화

모든 실험 조건에서 현탁액은 시간이 경과할수록 알칼리도가 높아지는 것을 알 수 있으며, 동일 시멘트 배합에서는 물량이 감소할수록 알칼리도가 증가한다. 이것은 시멘트의 시간이 지날수록 수화과정에서 생성되는 Ca(OH)_2 양의 증가에 따른 것으로 판단된다. A, B 배합 사이에는 A배합의 경우가 B 배합보다 알칼리도가 높은 것은 A배합의 시멘트 함량이 더 높기 때문이다.

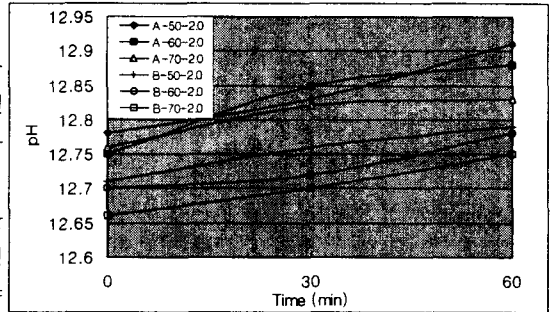


그림 6 배합비별 현탁액 pH 변화

4.3 유하속도 변화

주입재의 가사시간을 좌우하는 중요한 성질 중의 하나인 유하속도를 측정된 결과, A 배합의 경우 고 유동화제를 2.0% 사용하면 급격한 크립화 현상은 없었다. 이는 고유동화제가 재료의 유동성을 향상시켜 작업 용이성을 부여하는 고유동 성질이 있기 때문이다. 그림 8에서와 같이 시멘트가 물량이 적거나 유동화제의 양이 적은 배합에서는 유동성이 급격히 저하하는 현상을 보이고 있다. 또한 시멘트 함량이 높은 부배합이라도 유동화제의 투입양이 많으면 유동성이 크게 저하하지 않는 것을 알 수 있다.

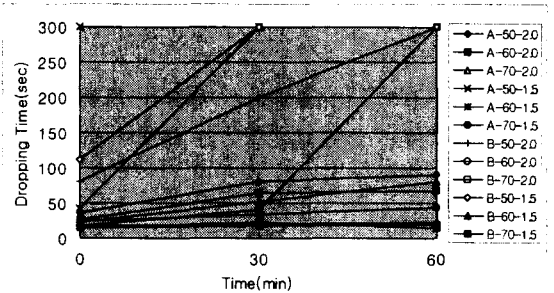


그림 7 배합비별 유하시간 변화

4.4 재료분리

100 ml 메스실린더에 현탁액을 넣고 1시간 경과 후에 관찰한 결과 점도가 낮은 현탁액에서는 재료의 분리층을 관찰할 수 있었다. 이 결과를 점도 데이터와 비교해보면 점도와 재료분리는 상반된다는 것을 알 수 있었으며, 시간의 경과에 따라 점도가 높아졌던 배합에서는 재료의 분리가 상대적으로 적었고, 반대로 시간이 경과하여도 점도의 변화가 적었던 배합에서는 재료분리가 심하였다.

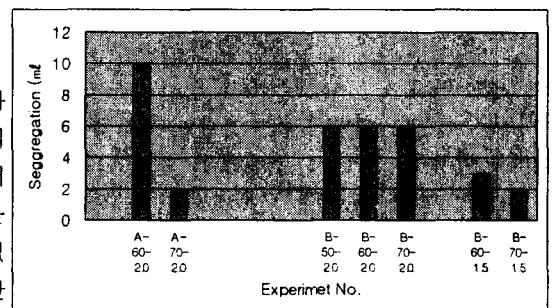


그림 8 배합비별 재료분리

5. 결론

본 연구는 균열 보수용 주입재를 개발하기 위한 연구의 일환으로 물시멘트비가 50 ~ 70 까지의

범위에서 현탁액이 갖는 유동특성을 파악하고자 하였고, 위의 실험을 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 시멘트량이 많은 A 배합에서 물량이 감소하면 현탁액 제조 30분 경과 후에 수화물 생성에 의한 점성의 급격한 상승을 확인 할 수 있었다. 또한 점성 증가로 인하여 재료분리는 억제되고 있음을 재료 분리량 측정을 통하여 확인할 수 있었다. 고유동화제를 2% 첨가한 현탁액은 1시간 후까지 비교적 안정한 유동 특성을 보이고 있었다.
- (2) 현탁액 제조 후 알카리 시멘트 수화물의 생성에 의해 pH는 서서히 증가하고 있으며, 이때 생성된 에트리징자이트에 의해 점도가 상승하는 것을 알 수 있다.
- (3) 제조된 현탁액의 유하속도를 측정한 결과 고유동화제를 2.0% 첨가하면 안정된 슬러리를 제조할 수 있었다. 다만 슬러리 유하속도를 유지하기 위해 다량의 고유동화제를 첨가할 경우 재료 분리 현상이 나타날 수 있으므로 향후 재료분리가 발생하지 않으면서 작업성을 유지할 수 있는 조건을 선정해야 하겠다.
- (4) 상기와 결과를 종합하면 고미분말 시멘트와 슬래그를 사용하여 콘크리트 균열 및 들뜸 보수재로 사용 가능한 현탁액의 유동 특성을 확인하였으며 이의 결과를 바탕으로 현장에서 시험 시공하여 주입 재료의 가능성도 확인할 수 있었다.

(참고문헌)

1. 荒 精 一, 高爐スラグ系微粒子の注入性能に関する研究, 土木學會第41回年次學術講演會, pp181-182
2. 松 田 隆, 超微粒子セメント系ひびわれ注入材の物性, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1993.9. pp 267-268
3. 井 上 潔, 超微粒子無機系注入材の性能評價, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1993.9. pp269-270
4. 加藤利美, 無機系ひびわれ注入材料による梁の補修效果, 콘크리트工學年次論文報告集, 1991.13-1 pp345-350
5. 仕入豊和, 콘크리트のひびわれと對策, セメント・コンクリート, No.425, July 1982 pp42-52