

# 고유동콘크리트의 유동특성에 미치는 시멘트 및 고성능AE감수제의 효과에 관한 연구

## An Experimental Study on the Effect of Cement and High range water reducing AE agent in Fluidity of High Flowing Concrete

김 규 용*	반 성 수**	박 선 규**
Kim, Gyu Yong	Ban, Seong Soo	Park, Seon Gyu
박 유 신**	신 홍 철**	김 무 한***
Park, You Shin	Shin, Hong Cheol	Kim, Moo Han

### ABSTRACT

The fluidity of high flowing concrete can be affected by numerous parameters which characterize either the cement or the admixture. The reactivity of a cement as determined by its chemical compositions(especially its  $C_3A$  content), its fineness and its content in sulfates and alkalis obviously plays a key role in rheology of high flowing concrete in fresh state. Specific properties of high range water reducing AE agent used to enhance the workability of high flowing concrete also exert important influence.

The purpose of this experimental study is to investigate and analyze the effect of cement and high range water reducing AE agent in fluidity, setting, compressive strength of high flowing concrete. As a result, we found that fluidity of high flowing concrete is affected greatly by kind of cement and high range water reducing AE agent, also, there is harmonic character between high belite cement and polycarbonic acid high range water reducing AE agent.

키워드 : 고유동콘크리트, 유동특성, 고성능AE감수제, 상성

Keyword : High flowing concrete, Fluidity, High range water reducing AE agent, Harmonic character

### 1. 서론

고유동콘크리트는 최근의 각종 혼화재료의 고성능화와 더불어 콘크리트 연구자들의 끊임없는 연구에 의해 개발된 다짐이 필요없이 내부에 충전되는 콘크리트의 유동성을 현저히 향상시킨 것이다.

또한 고유동콘크리트의 성상을 개선하기 위하여 여러가지 새로운 형태의 시멘트 및 고성능AE감수제 등이 최근 개발되고 있으며, 이러한 각 재료의 사용에 있어서 이들의 조합에 따른 효과에 대한 고려가 필요하다고 사료된다.<sup>1)2)3)</sup>

본 연구는 고유동콘크리트의 각종 성능에 크게 영향을 주는 구성요인으로서 시멘트와 고성능AE감수제의 품질 및 조합에 따라 각종 유동특성, 응결성상 및 압축강도 특성 등을 중심으로 고유동콘크리트의 제특성을 비교·분석한 후 시멘트 및 고성능AE감수제의 효과를 검토한 것이다.

\* 정희운, 충남대학교 건축공학과 대학원, 박사과정

\*\* 정희원, 충남대학교 건축공학과 대학원, 석사과정

\*\*\* 정희원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공박

본 연구는 1996년도 한국학술진흥재단의 국제 협력 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구는 표 1과 같이 2개의 시리즈로 구성되어 있다. I 시리즈에서는 고성능AE감수제의 종류 및 첨가율에 따른 고유동콘크리트의 각종 성상을 고찰하고 고성능AE감수제의 성능과 첨가율의 적정범위에 대한 검토를 행하였으며, II시리즈에서는 시멘트 및 고성능AE감수제의 조합에 의한 고유동콘크리트의 유동 특성을 고찰하여, 시멘트 및 고성능AE감수제의 효과에 대하여 검토하였다.

고유동콘크리트의 슬럼프-플로우, V로트 유하시간, L플로우등을 평가하기 위하여 기존의 문헌<sup>4)</sup>을 참고하였고, 경화전 콘크리트의 응결성상은 플록터판입시험법 KS F 2436, 경화 콘크리트의 압축강도성상은 KS F 2405에 준하여 측정하였다.

### 2.2 사용재료 및 비빔방법

콘크리트의 사용재료로서는 표 2와 같이 보통포틀랜드시멘트(O.P.C)와 저열시멘트(H.B.C) 2종의 시멘트를 사용하였으며, 혼화제로서는 폴리카르본산계 1종류와 나프탈렌계 3종류를 선택하였다. 잔골재 및 굵은골재는 I, II 시리즈에 동일한 것을 사용하였고, 콘크리트의 조합은 표 3과 같다.

콘크리트의 비빔은 강제식 팬타입 믹서(용량 100ℓ)를 사용하였고, 투입순서는 건 모르타(시멘트+플라이애시+잔골재)→유동화 모르타(물+고성능AE감수제)→유동화 콘크리트(굵은골재)의 단계별로 구성재료를 분할 투입하였으며, 총 비빔시간은 210~270초가 소요되었다

## 3. 시험결과와 분석 및 검토

### 3.1 고성능AE감수제의 종류 및 첨가율에 따른 영향 검토(시리즈 I)

#### 3.1.1 아직 굳지않은 콘크리트의 유동특성

그림 1은 고성능AE감수제의 종류에 따른 첨가율과 슬럼프-플로우의 관계를 나타낸 것이다. 고성능AE감수제의 첨가율이 증가할수록 슬럼프-플로우치가 증가되지만 적정수준 이상 첨가하면 더이상 유동성증진에 기여하지 않는 범위가 있다는 기존의 보고<sup>5)</sup>와 일치하는 경향이 보인다.

또한, 고유동범위의 슬럼프-플로우 60±5cm를 확보하기 위한 고성능AE감수제의 첨가율은 폴리카르본산계 PK가 1.3~1.8%로 가장 적고, 나프탈렌계 EZ가 1.9~2.7%, PH가 2.0~3.1%, RH가 2.7~3.3%의 순으로 증가되어, 나프탈렌계의 첨가량이 폴리카르본산계의 경우보다 약 0.6~1.5%가 더 많이 소요되었다. 이와 같

표 1 시멘트와 SP제의 구성

시리즈	구 성		기 호
I	시멘트	보통포틀랜드시멘트	O.P.C
	SP제	폴리카르본산계	PK
		나프탈렌계	EZ, PH, RH
II	시멘트	보통포틀랜드시멘트 저열시멘트	O.P.C H.B.C
	SP제	폴리카르본산계	PK
		나프탈렌계	NF

표 2 재료의 물성

시멘트	O.P.C	비중:3.15, 분말도:3,250(cm <sup>2</sup> /g) C <sub>3</sub> A+C <sub>4</sub> AF:19% C <sub>2</sub> S:23%
	H.B.C	비중:3.20, 분말도:4,130(cm <sup>2</sup> /g) C <sub>3</sub> A+C <sub>4</sub> AF:12% C <sub>2</sub> S:46%
플라이애시		비중:2.21, 분말도:3,144(cm <sup>2</sup> /g)
SP제	PK	비중:1.04, 폴리카르본산계
	EZ	비중:1.20, 나프탈렌계
	PH	비중:1.20, 나프탈렌계
	RH	비중:1.20, 나프탈렌계
잔골재		최대치수:2.5mm, 조립율:2.60, 비중:2.54
굵은골재		최대치수:20mm, 조립율:6.61, 비중:2.56

표 3 콘크리트의 조합표

시리즈	물결합비	플라이애시 대체율 (%)	슬럼프플로우 (cm)	잔골율 (%)	단위용적중량(kg/m <sup>3</sup> )				
					물	시멘트	플라이애시	잔골재	굵은골재
I	0.35	30	-	50	175	350	150	766	775
II	0.35	30	60±5	50	175	350	150	766	775
								769	778

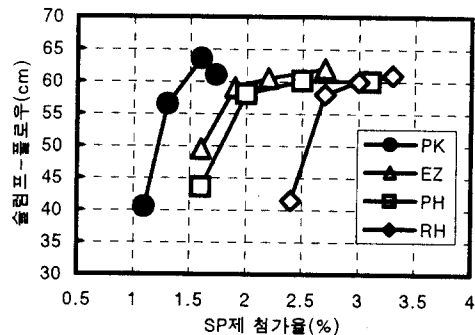


그림 1 고성능감수제의 종류에 따른 첨가율과 슬럼프-플로우의 관계

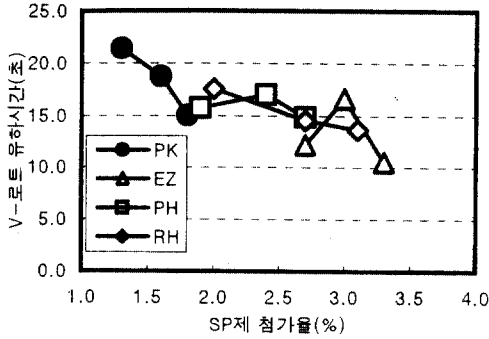


그림 2 SP제 종류에 따른 첨가율과 V-로트 유하시간과의 관계

이 고성능AE감수제의 종류에 따라 소요의 유동성을 얻기위한 첨가율 범위가 다소 다른 것은 시멘트의 입자에 흡착된 고성능AE감수제의 분산작용이 각각 다르기 때문인 것으로 사료된다.

그림 2는 고성능AE감수제의 종류에 따른 첨가율과 V로트 유하시간과의 관계를 나타낸 것이다. V로트 유하시간은 60±5cm의 슬럼프-플로우 영역에서 전체적으로 10~20초 내외에 분포되고 있으며, 고성능AE감수제의 첨가율이 많아질수록 V로트 유하시간이 다소 빨라지는 경향을 보이고 있다. 특히, 폴리카르본산계 PK의 경우 V로트 유하시간이 다소 길게 나타나 상대적으로 콘크리트의 점성이 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 고성능AE감수제의 종류 및 첨가율은 시멘트페이스트의 점성에 영향을 주어 고유동콘크리트의 간극통과성에 영향을 주는 것으로 사료된다.

그림 3은 고성능AE감수제의 종류 및 첨가율별 슬럼프-플로우의 경시변화를 나타낸 것이다. 고성능AE감수제의 첨가율이 가장 낮은 폴리카르본산계 PK의 첨가율 1.1, 1.3%의 경우가 나프탈렌계보다 상대적으로 급격한 유동성 손실현상을 보이고, 그 이상의 첨가율에서는 완만한 유동성저하경향을 보이고 있다.

한편, 첨가율이 2.0%이상인 나프탈렌계 EZ, PH, RH의 경우 전체적으로 60분간 유동성손실이 거의 없거나, 완만하게 저하하고 있다. 이는 고유동특성을 확보하기 위한 첨가율이 다소 높아 고성능AE감수제의 분산작용이 상대적으로 길게 유지되었기 때문으로 사료된다.

### 3.1.2 콘크리트의 응결특성

그림 4는 고성능AE감수제의 종류 및 첨가율에 따른 고유동콘크리트의 응결특성을 나타낸 것으로 고성능AE감수제의 첨가율 수준이 1.1~1.8%인 PK의 경우 8~12시간 이내에 응결이 이루어지고 있으며 첨가율범위에 따른 응결시간의 변화폭은 비교적 적고, 나프탈렌계의 EZ, PH, RH의 경우 첨가율에 따른 응결시간은

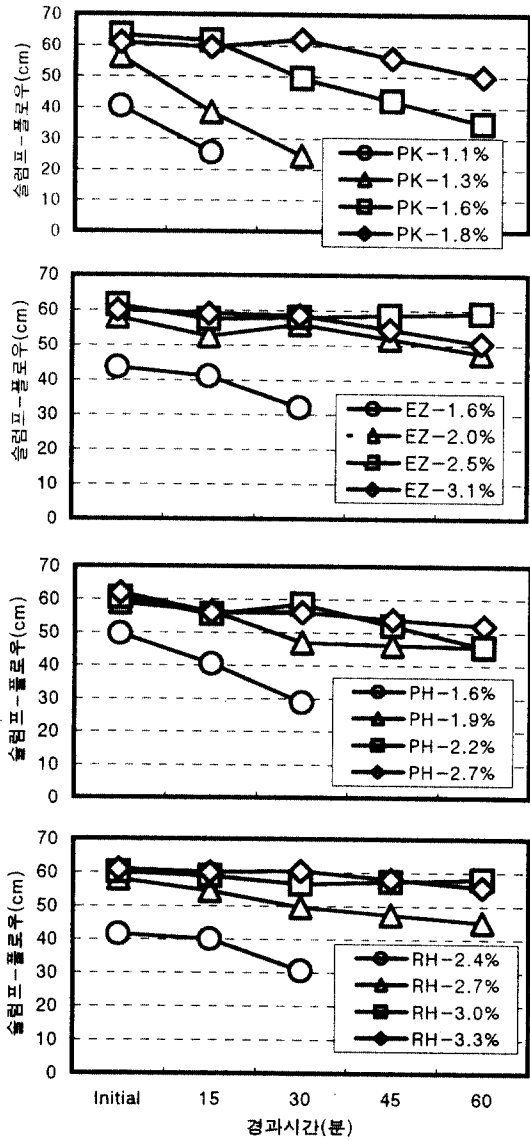


그림 3 고성능AE감수제의 종류 및 첨가율에 따른 슬럼프-플로우의 경시변화

14~29시간까지 그의 범위가 넓고, 일본건축학회 『建築工事標準仕様書・同解説(Jass 5 鐵筋コンクリート工事)』에서 제시한 초결 20시간을 초과하는 경우도 있다.

이는 고유동콘크리트의 경우 분체의 다량사용과 고성능AE감수제의 사용에 의하여 경시에 따른 유동성 손실이 거의 없으나, 나프탈렌계 고성능AE감수제의 경우 첨가율이 높아 시멘트의 수화에 영향을 주게 되어 응결 지연 현상이 나타났기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.1.3 경화콘크리트의 압축강도 특성

고성능AE감수제는 고유동콘크리트의 유동성에 영향을 줄뿐만 아니라 고성능AE감수제의 종류별 첨가율에 따른 콘크리트의 압축강도와와의 관계를 나타낸 그림 5에서 보는바와 같이 경화콘크리트의 압축강도성상에도 큰 영향을 주고 있다. 즉, 고성능AE감수제의 첨가율이 상대적으로 적게 사용된 PK의 압축강도가 가장 높고, 고성능AE감수제의 첨가율에 따른 편차도 거의 보이지 않는다. 그러나 EZ, PH, RH의 경우 PK보다 전체적으로 약 100~150kgf/cm<sup>2</sup> 정도 낮은 수준을 보이고 있다. 이는 폴리카르본산계보다 나프탈렌계가 다량으로 첨가되어 시멘트의 수화를 지연시켜 콘크리트의 초기응결 성상에 영향을 주었기 때문으로 사료된다. 특히 RH의 경우 첨가율이 증가될수록 압축강도가 저하하는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다.

## 3.2 시멘트와 고성능AE감수제의 효과검토(시리즈II)

### 3.2.1 아직 굳지않은 콘크리트의 유동특성

그림 6은 목표 슬럼프-플로우치를 만족하기 위한 고성능AE감수제의 첨가율을 나타낸 것으로 저열시멘트가 보통포틀랜드시멘트보다 목표슬럼프치를 확보하기 위한 고성능AE감수제의 첨가율이 적게 소요되는 것으로 나타났다.

이는 시멘트의 구성화합물중 C<sub>3</sub>A 및 C<sub>3</sub>AF의 양에 의해서 고성능AE감수제가 흡착되는 것이 불균일하게 되고, 시멘트 입자의 분산작용이 다르게 되어 감수효과에 영향을 준다는 기존의 보고와 같이 C<sub>3</sub>A 및 C<sub>3</sub>AF의 양이 많은 보통포틀랜드시멘트의 경우 고성능AE감수제가 상대적으로 많이 흡착되었기 때문으로 사료된다. 또한 저열시멘트와 폴리카르본산계 고성능AE감수제의 조합에서 상성에 의한 유동성능 향상효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

그림 7은 각 시멘트 및 고성능AE감수제의 종류에 따른 L-플로우의 각 구간(25, 50, 75, 100cm)에서의 유동시간을 나타낸 것이다. L-플로우에 의한 유동시간은 시멘트 종류의 영향보다 고성능AE감수제의 종류 및 첨가율에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다. 즉, 폴리카르본산계가 나프탈렌계보다 L-플로우 유동시간이 더 길어 콘크리트의 점성이 상대적으로 크게 나타났다.

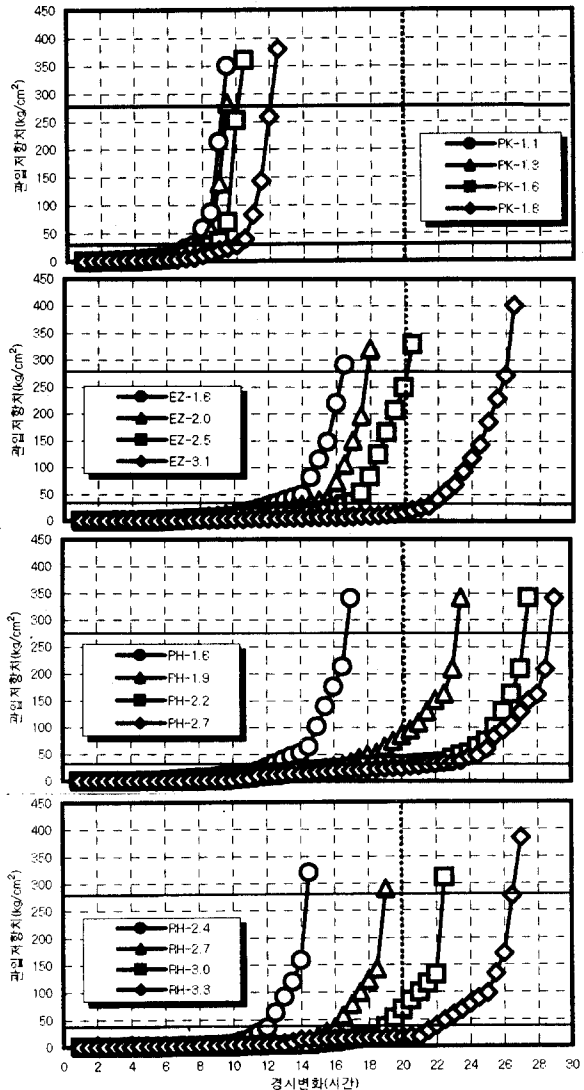


그림 4 고성능AE감수제의 종류 및 첨가율에 따른 콘크리트의 응결특성

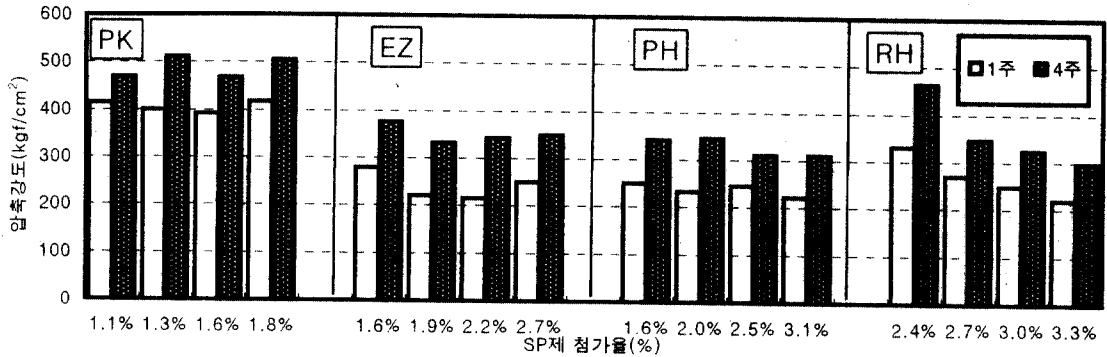


그림 5 고성능AE감수제의 종류와 첨가율에 따른 압축강도성상

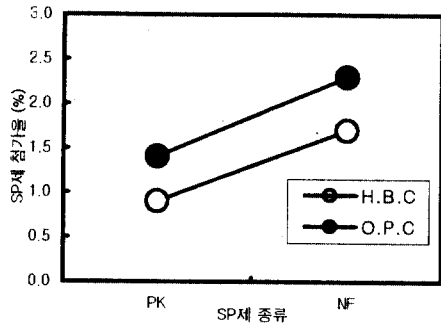


그림 6 목표슬럼프-플로우(60±5cm)를 위한 고성능 AE감수제의 첨가율

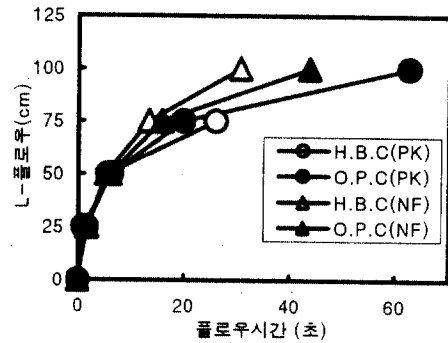


그림 7 L-플로우와 각 구간(25, 50, 75, 100cm)통과시간

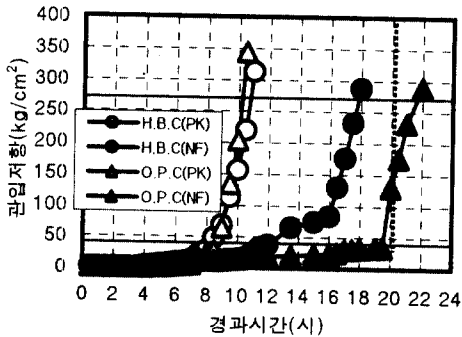


그림 8 시멘트와 SP제 종류에 따른 응결시간

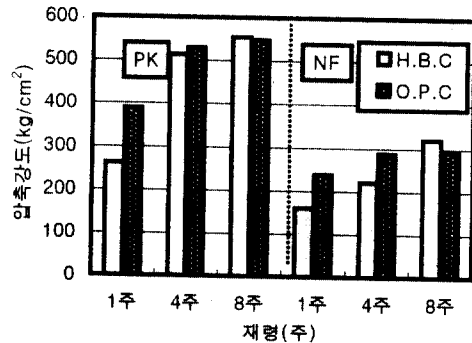


그림 9 시멘트와 SP제 종류에 따른 압축강도성상

### 3.2.2 콘크리트의 응결특성

그림 8은 시멘트 및 고성능AE감수제의 종류에 따른 콘크리트의 응결시간을 나타낸 것으로 고성능AE감수제의 첨가량이 1.5%내외인 저열시멘트 및 나프탈렌계 고성능AE감수제의 조합의 경우가 보통포틀랜드시멘트 및 폴리카르본산계 고성능AE감수제의 조합보다 초결시간이 약 5시간정도, 종결시간은 약 8시간이 지연되는 것으로 나타났다. 이와 같이 시멘트 및 고성능AE감수제의 조합에 따른 콘크리트의 응결성상이 큰 차이를 나타내고 있다.

### 3.2.3 경화콘크리트의 압축강도 특성

그림 9는 시멘트 및 고성능AE감수제의 종류에 따른 고유동콘크리트의 압축강도 특성을 나타낸 것으로 고성능AE감수제의 종류에 따른 압축강도의 차이가 크게 나타나 폴리카르본산계를 사용한 콘크리트의 4주 압축강도에 비하여 나프탈렌계를 사용한 경우의 4주 압축강도가 약 40%정도 낮은 수준을 보이고 있다. 이는 나프탈렌계의 고성능AE감수제가 다소 다량으로 첨가되어 초기응결성상에서의 응결지연작용이 경화콘크리트의 압축강도성상에 영향을 주었기 때문으로 사료된다. 또한, 시멘트의 종류에 대한 압축강도의 발현 경향은 저열시멘트가 보통포틀랜드시멘트보다 재령 1주에서 약 30%정도 낮게 발현되다가, 재령4주에서는 거의 같거나 약 15%정도 차를 보이고 있으며, 재령 8주에서는 거의 대등한 압축강도를 발현하고 있어 장기 강도 측면에서는 고비라이트 및 보통포틀랜드시멘트의 압축강도 발현성상은 거의 일치하는 경향을 보이고 있다.

## 4. 결론

고유동콘크리트의 유동특성에 미치는 시멘트와 고성능AE감수제의 효과에 대한 실험적연구를 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 고성능AE감수제의 첨가율이 증가할수록 슬럼프-플로우치가 증가되지만 적정첨가율 이상이 되면 재료 분리는 보이지 않으나, 콘크리트의 유동성 증진에 기여하지 못하는 범위가 확인되었다.
2. 고성능AE감수제에 의한 유동성 향상 및 유지효과는 그 종류 및 첨가율과 매우 밀접한 관계에 있으며, 적정수준 이상이 되었을 경우 콘크리트의 응결지연 및 압축강도 발현에 영향이 큰 것으로 나타났다.
3. 고유동콘크리트의 유동성을 얻기위한 나프탈렌계 고성능AE감수제의 첨가량은 폴리카르본산계 고성능AE감수제보다 많고, 유동성의 유지시간은 길지만 응결 및 압축강도의 발현성상은 상대적으로 낮은 수준을 보이고 있다.
4. 시멘트 및 고성능AE감수제에 따라 유동성에 영향을 미치는 것은 시멘트보다 고성능AE감수제에 따른 효과가 크고, 목표 슬럼프-플로우치를 확보하기 위한 고성능AE감수제의 첨가량은 나프탈렌계보다 폴리카르본산계가, 보통포틀랜드시멘트보다 저열시멘트가 적게 소요되었다.
5. 저열시멘트 및 폴리카르본산계 고성능AE감수제의 조합이 상성에 의한 유동성능, 응결성상 및 압축강도 발현효과가 가장 큰 것으로 나타나 콘크리트의 조합설계시 각 재료의 조합에 의한 상성(相性)을 고려할 필요가 있음이 확인되었다.

## 참고문헌

- 1) 金武漢 外 ; 高流動콘크리트의 製造시스템 및 開發에 관한 實驗的 研究, 大韓建築學會, Vol.13, No.5, 1997. 5. pp.279~288.
- 2) 橋爪 進 外 ; 混和材料が高流動콘크리트의フレッシュ性狀におよぼす影響、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.101~106, 1994.
- 3) 安田正雪 外 ; 高流動콘크리트의調査と諸性質に関する研究, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.57~62, 1995.
- 4) 日本콘크리트工学協會 ; 超流動콘크리트研究委員會報告書( I ), 1993.5, pp. 73~126.
- 5) 田中恭一 外 ; 混和材料が高流動콘크리트의フレッシュ性狀 におよぼす影響, 日本콘크리트工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.101~106, 1994.
- 6) 日本建築學會 ; 建築工事標準仕様書・同解説(JASS5 鉄筋콘크리트工事), 1997. 3, pp 404~405
- 7) 岡村 甫 外 ; ハイパフォーマンス콘크리트, 技術堂出版, 1993