

광물질 혼화재 및 석고를 사용한 고강도  
콘크리트의 슬럼프 손실

Slump Loss of High Strength Concrete Containing  
Mineral Admixture and Gypsum

김기형\*·최재진\*\*

Ki-Hyung Kim · Jae-Jin Choi

(1996년 10월 17일 접수, 1997년 3월 28일 채택)

ABSTRACT

High strength concrete(HSC) using high range water reducing admixture (HRWR) has the defect which severe slump loss occurs according to elapsed time. For using HSC without any trouble, special caution and countermeasure against this problem are necessary.

In this study, for minimizing the slump loss of HSC, mineral admixture(flyash, ground granulated blast furnace slag) and gypsum were used experimentally.

Flyash and ground granulated blast furnace slag are effective in reducing the slump loss of HSC. Especially, the slump loss of HSC containing mineral admixture and gypsum is minimized by the aggregation inhibiting action of gypsum. Cement substituted with flyash 30% or ground granulated blast furnace slag 50% by weight are very effective in minimizing the slump loss.

1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 성능이 매우 다양하게 요구됨에 따라 콘크리트의 강도, 내구성 및 유동성을 크게 향상 또는 개선시키기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 고성능감수제 및 고성

능AE감수제를 사용하여 제조한 고강도 콘크리트의 품질향상에 대한 관심이 매우 높는데 고성능감수제(HRWR)를 사용하여 제조한 고강도 콘크리트는 믹싱직후의 우수한 유동성이 경과시간에 따라 현저히 감소되므로써 품질 및 시공상의 문제점이 되고 있다<sup>1~3)</sup>. 이러한 점은 운반에 시간이 소

\* 여주전문대학 토목과

\*\* 천안공업전문대학 토목과

요되는 레디믹스트 콘크리트의 경우 더욱 문제시 되며 콘크리트의 품질은 안전과도 직결되는 문제이기 때문에 반드시 해결해야 할 당면 과제이다.

본 연구에서는 고성능감수제를 사용하여 물-시멘트비를 감소시킨 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 손실을 최소화시키기 위한 연구의 일환으로 국내에서 발생되는 산업부산물인 플라이 애쉬(flyash)와 고로슬래그 미분말(ground granulated blast furnace slag)을 시멘트혼합용 혼화재로서 사용하고 또한 시멘트복합체의 유동성 유지에 유효한 것으로 알려져 있는 석고를 사용하여 이들이 고

강도 콘크리트의 슬럼프 손실 특성에 미치는 영향을 실험에 의해 비교분석하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

(1) 시멘트, 혼화재 및 석고 : 시멘트는 보통포틀랜드시멘트이며 혼화재는 국내화력발전소와 제철소에서 발생하는 플라이 애쉬(FA로 약함)와 고로슬래그 분말(슬래그 분말이라 함, SG로 약함)로서 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions and physical properties of cement and mineral admixtures

Items Type	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)
OPC	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
FA	68.00	25.00	2.85	2.00	0.90	—	3.47	2.15	4,546
SG	31.12	14.24	0.51	41.40	6.14	4.36	0.63	2.80	4,880

석고는 공업용으로 사용되는 것으로서 화학성분은 Table 2와 같다.

Table 2 Chemical compositions of industrial gypsum(%)

C	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	SO <sub>3</sub>
6.00	0.11	0.001	0.0001	0.0001	38.5	55.1

(2) 고성능감수제 : 나프탈렌계 고성능감수제를 사용하였으며 주성분 및 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 Main component and physical properties of HRWR

Main component	Appearance	Specific gravity	pH	Standard dosage (C×%)
Naphthalene sulfonate composites	Dark brown	1.19~1.21	9±1	0.25~2.4

(3) 골재 : 한강산 모래와 자갈을 사용하였으며 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4 Physical properties of aggregate

Aggregate	G <sub>max</sub> (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F. M.	Organic impurities	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of solids(%)
Fine agg.	—	2.60	2.00	2.67	O. K	1,620	62.3
Coarse agg.	19	2.67	1.13	7.00	—	1,725	66.1

### 2.2 실험방법

(1) 모르타의 플로우 손실 시험 : 시멘트와 잔골재의 중량비 1:1, 물-시멘트비 28%의 모르타를 플로우값이 210±5mm가 되도록 고성능감수제를 사용하여 제조한 후 경과시간 120분까지 30분 간격으로 KS L 5105에 의하여 플로우값을 측정하였다.

(2) 콘크리트의 유동성 손실 시험 : 용량 50ℓ의

강제식 믹서를 사용하여 시멘트, 잔골재를 먼저 투입하여 1분간 dry mixing한 다음 고성능감수제 사용량의 1/3을 혼합한 혼합수와 굵은 골재를 투입하여 1분30초간 믹싱하고 나머지 고성능감수제 2/3를 넣고 1분간 혼합하여 총 3분 30초 믹싱하여 콘크리트를 제조한 후 가경식 믹서로 옮겨 레디믹스트 콘크리트 운반용 트럭의 에지테이터와 같은 원리로 2rpm속도로 회전하면서 경과시간 120분까지 30분 간격으로 KS F 2402에 의하여 슬럼프값을

측정하였다.

(3) 시멘트계 입자의 응집 시험 : 고성능감수제를 결합재 중량에 1% 혼합한 물-결합재비 100%의 시멘트계 현탁액을 모르타 믹서로 4분간 믹싱하여 제조한 후 500ml 메스실린더에 넣고 30분 간격으로 180분까지 시멘트계 입자의 응집의 정도를 현탁액중 시멘트계 입자 고품분의 침강량으로 조사하였다.

(4) X선 회절 분석 : 굳지 않은 시멘트풀의 조성상을 알아보기 위하여 고성능감수제를 시멘트 중량의 1% 혼합한 물-결합재비 32%의 시멘트풀을 제조한 후 경과시간 1시간 30분에서 시료를 샘플링하여 아세톤으로 수분을 제거시킨 후 시료를 분말처리하여 X선 회절 분석을 하였다. 측정조건은 다음과 같다. (Target : Cu, 35kV, 20mA, Scan speed : 10°/min, 2θ : 5°~60°)

### 2.3 콘크리트의 배합

고강도 콘크리트를 제조하기 위하여 Table 5의 배합조건으로 콘크리트를 제조하였다.

Table 5 Mix proportions of concrete

Type of binder	C <sub>max</sub> (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	S/a (%)	Dosage of HRWR (C×%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				
						W	C	Ad.	S G	
OPC	19	18±1.5	32.0	42	0.60	192	600	0	653	918
FA 10			32.5	42	0.53	195	540	60	649	921
FA 20			32.5	42	0.55	195	480	120	649	921
FA 30			33.0	42	0.59	198	420	180	645	915
SG 10			32.5	42	0.54	195	540	60	649	921
SG 30			32.5	42	0.51	195	420	180	649	921
SG 50			33.0	42	0.52	198	300	300	645	915

(Note) FA : Cement mixed with flyash

SG : Cement mixed with ground granulated blast furnace slag

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 혼화재가 슬럼프 손실에 미치는 영향

고성능감수제를 사용한 모르타의 플로우 손실에 혼화재가 미치는 영향을 알아보기 위하여 포틀랜드시멘트에 플라이 애쉬, 슬래그 분말을 혼합한 시멘트를 사용하여 모르타의 플로우 값을 경과시간 120분까지 30분 간격으로 측정하여 혼합직후의 플로우에 대한 비율로 나타낸 것이 Fig. 1과 Fig. 2이다.

혼화재를 포틀랜드시멘트에 혼합 사용하면 모르타의 플로우 손실이 상당량 저감되는 효과를 얻을 수 있으며, 또한 혼화재 종류에 따라 다소 차이는 있으나 혼화재 사용량이 증가할수록 플로우 손실 저감효과가 크게 나타났다. 특히 플라이 애쉬 30% 또는 슬래그 분말 50%를 사용한 혼합시멘트의 경우 믹싱후 경과시간 120분에서 보통포틀랜드시멘트에 비하여 각각 10%, 20% 정도 플로우 손실이 저감됨을 알 수 있다.

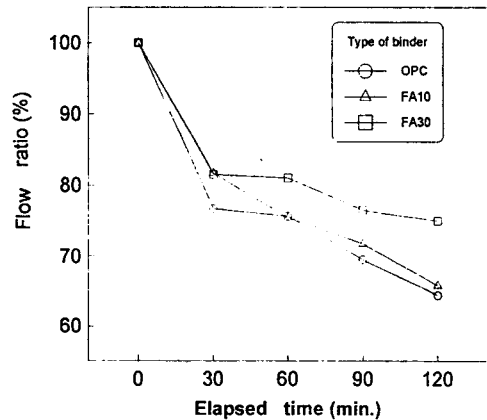


Fig. 1 Flow ratio of mortar mixed with flyash

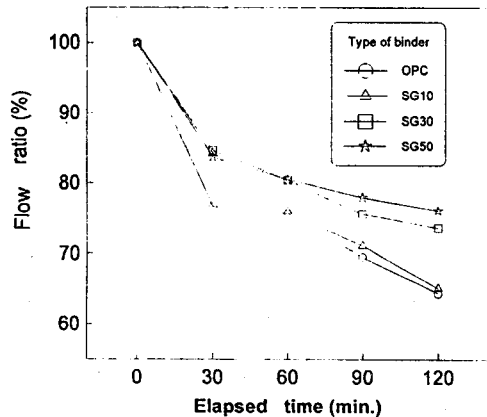


Fig. 2 Flow ratio of mortar mixed with ground granulated blast furnace slag

플라이 애쉬와 슬래그 분말을 각각 보통포틀랜드시멘트에 혼합하여 제조한 콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프값의 변화를 정리한 것이 Fig. 3, Fig. 4이다.

모르타의 플로우 손실 시험결과와 유사하게 혼

화재 종류에 관계없이 혼화재 혼합률이 증가할수록 슬럼프 손실이 저감됨을 알 수 있으며 각각 플라이 애쉬 30%의 혼합시멘트와 슬래그 분말 50%의 혼합시멘트에서 가장 작은 슬럼프 손실을 나타내었다. 이 결과는 플라이 애쉬 혼합 콘크리트의 경우 혼화재 혼합률이 증가할수록 콘크리트의 유동성 손실이 저감된다는 다른 연구보고<sup>4)</sup>와 유사한 결과이다.

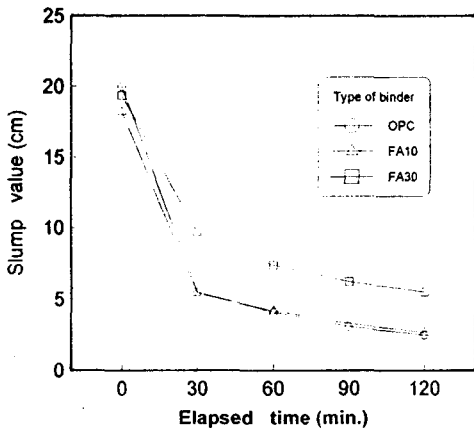


Fig. 3 Slump value in concrete mixed with flyash

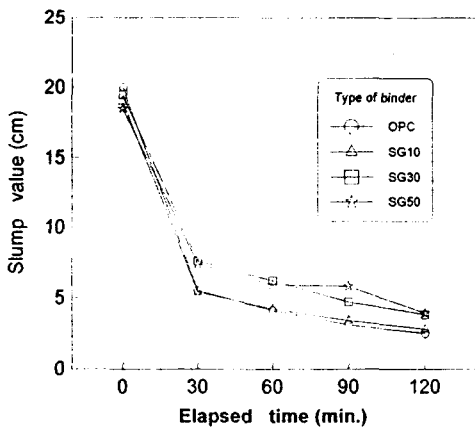


Fig. 4 Slump value in concrete mixed with ground granulated blast furnace slag

혼화재 혼합 콘크리트의 슬럼프 손실이 감소된 원인으로는 혼화재 혼합률만큼 시멘트량이 감소됨으로써 수화지연 현상이 발생하며<sup>5)</sup> 또한 플라이 애쉬는 입자모양이 구형이고 표면이 매끄러워 시멘트 입자간 물리적인 마찰 감소 작용 및 시멘트 입자의 응집을 분쇄하는 역할을 하며, 슬래그 분

말은 시멘트와 유사하게 입자가 각이 많이진 형태이나 고성능감수제를 사용한 경우 시멘트 입자의 응집을 희석시키는 역할을 하여 유동성이 유리하게 작용<sup>6)</sup>하기 때문이라고 생각된다.

플라이 애쉬와 슬래그 분말이 콘크리트의 슬럼프 손실에 미치는 영향을 비교해보기 위하여 동일한 배합과 동일한 혼합률 10%, 30%에서 믹싱후 30분 및 120분 경과한 다음의 콘크리트의 슬럼프 변화를 나타낸 것이 Fig. 5이다.

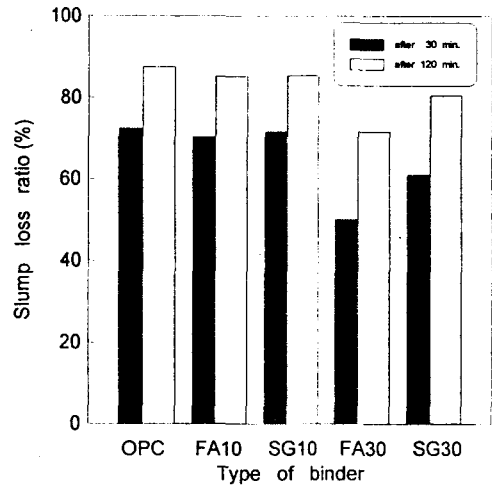


Fig. 5 Comparison of slump loss ratio in concrete mixed with mineral admixtures

이 그림에서 알 수 있듯이 혼화재 종류별로 현저한 차이는 없으나 본 실험의 범위내에서는 플라이 애쉬가 슬래그 분말보다 슬럼프 손실의 저감에 약간 유리함을 나타낸다.

### 3.2 석고가 콘크리트의 슬럼프 손실에 미치는 영향

고성능감수제를 사용한 콘크리트의 슬럼프 손실은 시멘트 중의 석고와 시멘트 조성광물중 알루미늄 네이트계 화합물과의 상호작용에 따라 크게 영향을 받으며, 석고를 첨가함으로써 슬럼프 손실을 감소시킬 수 있다<sup>7)</sup>. 또한 석고로 부터 용해된  $SO_4^{2-}$  이온은 시멘트풀 속에서 고성능감수제 분자와 경쟁적으로 시멘트 입자에 흡착됨으로써 결과적으로 고성능감수제가 시멘트 입자의 분산을 도와주는 작용을 하여 시멘트 응집을 막음으로써 시

멘트풀의 유동성 면에서 유리하게 작용한다고 한다.<sup>8,9)</sup>

석고가 고성능감수제를 사용한 시멘트풀의 유동성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 석고를 첨가한 현탁액 속에서 시멘트계 입자의 침강량을 시멘트계 입자간의 응집의 정도를 나타내는 한 지수로써 알아본 것이 Fig. 6이다.

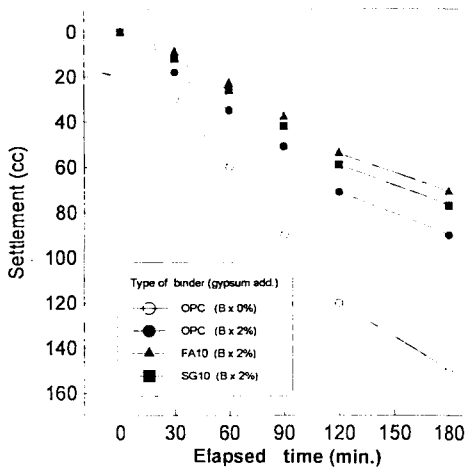


Fig. 6 Settlement of cement particles in suspension

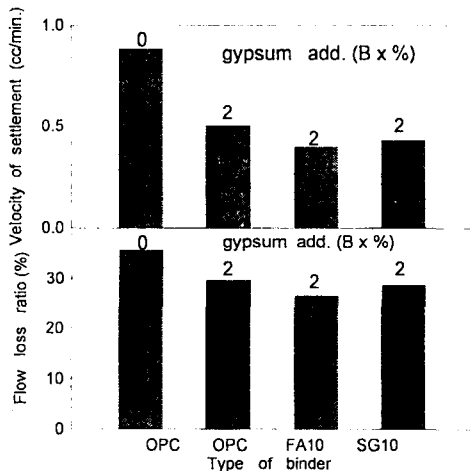


Fig. 7 Velocity of settlement of cement particles and flow loss ratio of mortar

보통포틀랜드시멘트에 석고를 2% 첨가한 경우 석고를 첨가하지 않은 것보다 침강량이 현저하게 감소되고 있음을 알 수 있으며 플라이 애쉬 10% 혼합시멘트에서 침강량이 가장 적게 나타났다. 한

편 시멘트계 입자의 침강속도와 동일한 재료를 사용한 모르터의 플로우 손실과의 관계를 비교한 것이 Fig. 7이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 침강속도가 큰 보통포틀랜드시멘트가 모르터의 플로우 손실도 가장 크게 나타났으나 석고를 2% 첨가한 경우 플로우 손실이 상당량 감소되었다. 그리고 석고를 2% 첨가한 플라이 애쉬 10%의 혼합시멘트가 침강속도와 플로우 손실이 가장 작게 나타났다. 이 결과는 시멘트 입자의 응집이 작은 시멘트가 모르터의 플로우 손실 저감에 유효하며, 석고가 시멘트 입자의 응집을 방해하는 효과가 있음을 나타내는 결과로 생각된다.

한편 동일한 시료의 조성상을 경과시간 90분에서 X선 회절 분석한 것이 Fig. 8이다.

석고를 첨가하지 않은 시멘트풀에서는 대부분 칼슘실리케이트계 미수화물이 나타나고 있으나 석고를 첨가한 경우 석고와 C<sub>3</sub>A와의 반응에 따른 에트링가이트가 10°부근에서 나타남을 알 수 있으며 또한 시멘트풀 속에서 아직 미반응된 석고가 존재함을 확인할 수 있다. 특히 플로우 손실이 적었던 플라이 애쉬 10%의 혼합시멘트에서 미반응 석고가 많이 존재함을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합해 보면 석고는 시멘트 조성 광물중 알루미늄이네이트계 화합물과 반응하여 에트링가이트를 생성하여 C<sub>3</sub>A수화를 억제시키고 아울러 액상중에 미반응된 석고로부터 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온이 계속하여 용출함으로써 고성능감수제의 시멘트 입자 분산 작용을 도와 시멘트 입자간의 응집을 저해하여 모르터의 플로우 손실을 줄이는데 유효하게 작용하였다고 생각되며 혼화제를 사용한 시멘트에서 보다 효과적이라고 생각된다.

플라이 애쉬와 슬래그 분말을 각각 혼합한 시멘트에 석고를 단위결합재량의 2% 만큼 첨가하여 제조한 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프값을 정리한 것이 Fig. 9, Fig. 10이다.

이들 그림에서 혼화제 종류에 관계없이 혼합물이 클수록 대체로 슬럼프 손실 저감이 크며 특히 석고 첨가에 따라 슬럼프 손실을 현저히 최소화할 수 있음을 알 수 있다.

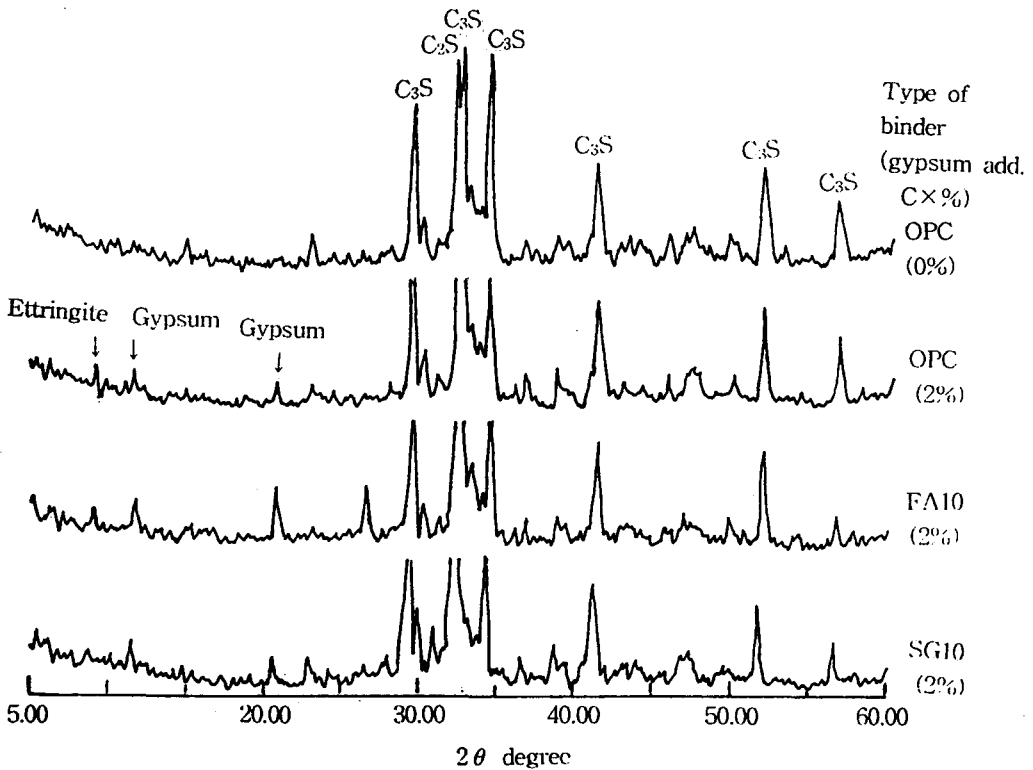


Fig. 8 X-ray diffraction diagram of cement pastes

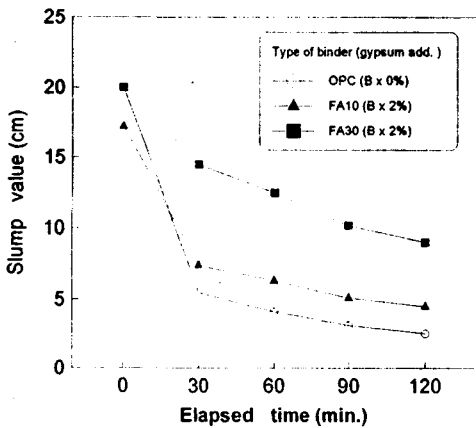


Fig. 9 Slump value of concrete mixed with flyash and gypsum

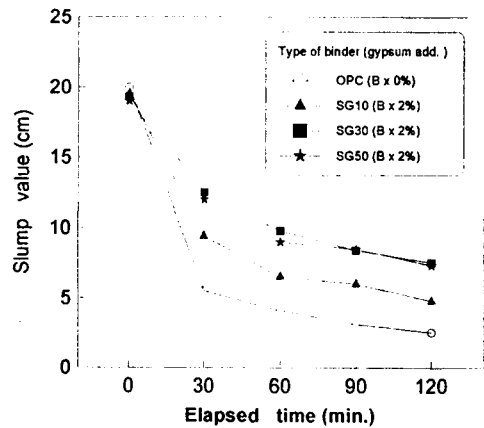


Fig. 10 Slump value of concrete mixed with ground granulated blast furnace slag and gypsum

#### 4. 결 론

- 1) 플라이 애쉬와 슬래그 분말을 혼화재로 사용하므로써 고강도 콘크리트의 슬럼프 손실이 얼마

간 저감되었으며 혼화재 종류에 관계없이 혼합률이 클수록 슬럼프 손실 저감에 유효하였다. 한편 플라이 애쉬가 슬래그 분말보다 동일한 혼합률에서 콘크리트의 슬럼프 손실저감에 약

간 유리하였다.

- 2) 고강도 콘크리트의 슬럼프 손실을 저감하기 위하여 석고를 첨가한 경우, 경과시간에 따른 시멘트계 입자의 응집발생이 억제되므로써 콘크리트의 슬럼프 손실 저감에 유효하였으며 플라이 애쉬와 슬래그 분말 혼합시멘트에 석고를 첨가한 경우에는 슬럼프 손실 저감에 보다 효과적이었다.
- 3) 고강도 콘크리트의 슬럼프 손실을 최소화하기 위하여 석고를 첨가하고 플라이 애쉬와 슬래그 분말을 각각 혼합한 결과 플라이 애쉬 30% 및 슬래그 분말 50%의 혼합시멘트에서 슬럼프 손실이 최소화되었다.

### 참 고 문 헌

- 1) 長瀧重義 外, “高性能減水劑を添加したコンクリートのスランブロス”, *セメント・コンクリート*, No. 416, pp. 28~33, October, 1981.
- 2) 文翰英, 金基亨, “高性能減水劑를 사용한 시멘트 복합體의 流動性 損失에 대한 研究”, *한국콘크리트學會論文集*, Vol. 4, No. 2, June, 1992.
- 3) N. P. Mailvaganam, “Slump Loss in Flowing Concrete”, *Superplasticizers in Concrete*, Vol. 2, Proceedings of an International Symposium, May, 1978.
- 4) 徐政祐, 플라이애쉬를 混和材로 사용한 콘크리트의 實用化를 위한 研究, 博士學位論文, 한양대학교 대학원, August, 1988.
- 5) 内川 浩, “混合セメントの水和および構造形成におよぼす混合材の効果”, *セメントコンクリート*, No. 484, pp. 81~93, June, 1987.
- 6) 探谷泰文, “セメント・コンクリートの流動特性”, *セメント・コンクリート*, No. 541, pp. 53~59, March, 1992.
- 7) L. M. Meyer and W. F. Perenchio, “Theory of Concrete Slump Loss as Related to the Use of Chemical Admixtures”, *Concrete International*, pp. 36~43, January, 1979.
- 8) 名和豊春, 江口仁, “セメント中の硫酸鹽がセメントペーストの流動性に及ぼす影響”, *セメント・コンクリート*, No. 517, March, 1990.
- 9) 名和豊春, 江口仁, “セメントの流動性に及ぼす硫酸アルカリの影響”, *セメント技術年報* 42, pp. 52~55, 1988.