

# 고성능AE감수제 사용 콘크리트의 유동성 유지성능 향상을 위한 연구

A Study for Improving the Fluidity Retention in Concrete Used High Range Water Reducing AE Agent



김기형\*

Kim Ki-Hyung

## ABSTRACT

Fluidity retention of concrete used high range water reducing AE agent(HWAE) is varied according to main component, dosage amount and dosing method of HWAE. The type and substitution ratio of mineral admixture also have influence on the fluidity retention of concrete used HWAE.

In this study, for the purpose of improving the fluidity retention in concrete used HWAE, 3 types of HWAE and ground granulated blast furnace slag(SG) are used in cement paste, mortar and concrete varying dosage amount and dosing time of HWAE and substitution ratio of SG respectively.

According to using the HWAE of naphthalene sulfonates and SG, the fluidity retention of mortar and concrete is improved remarkably. And after 30 min. dosing method of HWAE is very effective in improving the fluidity retention and strength of concrete regardless of type of HWAE.

Keywords : fluidity retention, high range water reducing AE agent, ground granulated blast furnace slag(SG), dosing time of HWAE, mineral admixture

\* 정회원, 여주대학 토목과 조교수

•본 논문에 대한 토의를 1999년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 1999년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

# 1. 서론

최근 콘크리트 구조물이 점차 고층화, 대형화 및 고기능화 되고 있는 추세에 따라서 콘크리트 재료의 특성을 고성능화 하는 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있으며 아울러 고성능화를 위해서는 사용재료, 배합 및 시공방법 등에 있어서 보다 경제적이고 효율적인 방안이 요구되고 있다. 콘크리트의 성능개선 방안으로서 고성능감수제를 사용하여 제조한 콘크리트는 고유동, 고강도의 특성을 비교적 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있는 반면에 레디믹스트 콘크리트, 펌프콘크리트 및 서중 콘크리트 등으로 타설할 경우 유동성이 급격하게 감소되는 현상 때문에 콘크리트 작업에 불편을 초래할 뿐만 아니라 물을 추가로 첨가하는 등의 부적절한 방법으로 유동성을 회복 하므로써 강도 저하 및 내구성 등의 품질저하가 우려되어 시공 시 특별한 주의 및 그 대책이 별도로 요망되고 있다.<sup>(1~3)</sup>

그래서 최근 높은 감수성능과 더불어 경과시간에 따른 유동성 유지성능이 우수한 특성을 갖는 고성능AE감수제(High range water reducing AE agent, HWAE로 약함)의 활용에 대한 연구가 일본의 友澤,<sup>(4)</sup>長瀧<sup>(5)</sup>과 水沼<sup>(6)</sup> 등을 중심으로 진행되어 일본토목학회에서는 “고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 시공지침(안)”<sup>(7)</sup>이 제정되어 실용화가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 국내에서는 고성능AE감수제를 사용한 실적 및 연구성과가 비교적 적으며 그 중에서도 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 유동성 유지성능과 관련한 실험적 연구가 미진하다.

고성능AE감수제는 주화학 성분에 따라서 시멘트 분산성능 및 유동성 유지기구가 각각 다르며 부적절하게 사용하면 시멘트의 응결을 지연시켜 초기재령에서 강도가 저하되는 사례가 다수 발생하여<sup>(8,9)</sup> 유동성 유지성능의 향상과 더불어 경화한 콘크리트의 강도 및 내구성 등의 품질의 안정성을 확보하는 것도 매우 중요한 과제이다. 그러므로 고성능AE감수제의 주성분 및 사용량, 사용방법과 광물질 혼화제의 종류 및 혼합량 등에 따른 고성능AE감수제 사용 콘크리트의 유동성 유지성능 변화에 대한 면밀한 실험적 검토가 필요하다.

본 연구에서는 고성능AE감수제를 사용하여 재령 28일 압축강도가 500kg/cm<sup>2</sup> 정도인 콘크리트의 유동성 유지성능을 향상시키기 위한 연구의 한 방안으로 주성분이 다른 3종류의 고성능AE감수제를 사용하여 사용량 및 사용방법을 몇 단계로 변화시켜 유동성 유지기구를 분석하고 시멘트, 모르타 및 콘크리트의 유동성 유지성능을 실험적으로 비교 분석하였다. 또한 분말도가 다른 3종류의 고로슬래그 미분말을 광물질 혼화제로 활용하여 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 효율적인 유동성 유지방안을 제시하였으며 아울러 유동성 유지방안을 적용한 경화한 콘크리트의 강도특성에 대해서도 비교 고찰하였다

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 고로슬래그 미분말 : 국내 S사의 보통포틀랜드시멘트와 광양제철소에서 발생하는 고로슬래그를 미분쇄하여 얻은 회백색의 고로슬래그 미분말(이하 슬래그 미분말 또는 SG로 약함)로서 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions and physical properties of cement and SG

Item	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> (%)	lg loss (%)	Speci- fic gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
OFC	21.9	6.59	2.81	60.1	3.3	2.1	2.58	3.15	3,112
SG A	32.3	14.8	0.4	44.1	5.5	1.0	1.1	2.91	4,500
SG B	32.2	14.6	0.4	44.0	5.6	1.1	1.2	2.92	6,000
SG C	32.3	14.6	0.4	44.2	5.5	1.0	1.1	2.90	8,000

(2) 고성능AE감수제 : 주성분이 다른 3 종류의 고성능AE감수제를 사용하였고 화학성분 및 물리적 성질은 Table 2와 같다.

(3) 골재 : 모르타 제조용 잔골재로서는 KS L 5100에서 정하고 있는 주문잔산 표준사를 사용하였으며 콘크리트 제조용으로는 한강산 강모래와

강자갈을 사용하였으며 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 2 Chemical component and physical properties of HWAE

Type	Chemical component	Color	Specific gravity	pH	Dosage (C×%)
a	Amino Sulfonates	Dark brown	1.10 ± 0.02	9 ± 1	1.0 ~ 2.5
b	Polycarboxylic ether	"	1.07 ± 0.02	8 ± 1	0.5 ~ 2.0
c	Naphthalene Sulfonates	"	1.20 ± 0.05	8 ± 1	0.3 ~ 1.2

Table 3 Physical properties of aggregate

Item	$G_{max}$ (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of solids(%)
Fine agg.	—	2.61	2.0	2.60	1.620	62.3
Coarse agg.	19	2.65	1.13	7.00	1.725	66.1

## 2.2 실험기기 및 방법

(1) 시멘트 현탁액의 침강시험 : 고성능AE감수제를 1% 첨가한 물-시멘트비 100%의 현탁액을 모르타 믹서로 3분간 믹싱하여 제조한 후 Fig. 1과 같이 500ml 메스실린더에 넣고 경과시간 120분까지 시멘트 입자가 응집하여 가라앉은 침강량과 평균침강속도를 측정하여 경과시간에 따른 시멘트 입자의 응집의 정도를 나타내는 지수로 나타내었다.

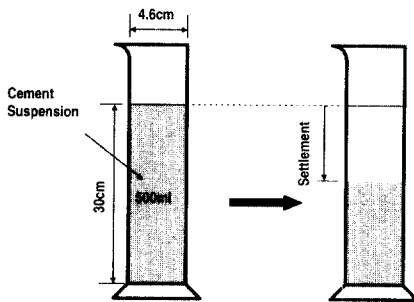


Fig. 1 Settlement of cement particles in cement suspension

(2) 시멘트풀의 유동성 시험 : 물-시멘트비

38%, 고성능AE감수제를 시멘트량의 1% 첨가하여 모르타 믹서로 1분간 믹싱하여 시멘트풀을 제조한 후 윗지름 195mm, 높이 135mm, 노즐지름 13mm 깔대기모양의 용기에 넣고 시멘트 풀의 유하시간을 측정하였다.

(3) 모르타의 플로우 및 플로우 손실 시험 : 시멘트(C)와 잔골재(S)의 총량비 1 : 2, 물-결합재비 38%, 45%로 하여 플로우 값이 200±10mm의 모르타를 제조한 후 KS L 5105에 의하여 플로우 값을 측정하였으며, 플로우 손실 시험은 경과시간 30분 간격으로 플로우 값의 변화를 측정하였다. 이 때 모르타 중의 수분이 증발하지 않도록 용기의 입구를 비닐로 막아 조치하였다.

(4) 콘크리트의 유동성 손실 시험 : 용량 50ℓ의 강제식 믹서를 사용하여 시멘트, 잔골재를 1분간 dry mixing한 후 고성능AE감수제 총사용량의 1/3을 혼합한 혼합수와 굵은골재를 투입하여 30초간 믹싱하고 나머지 2/3의 고성능AE감수제를 넣고 1분 30초간 믹싱하여 굳지 않은 콘크리트를 제조한 후 경과시간에 따라 KS F 2402 및 KS F 2421에 의하여 각각 슬럼프 값과 공기량을 측정하였다.

(5) 콘크리트 강도시험 : 고성능AE감수제를 사용하여 제조한 콘크리트를  $\phi 10 \times 20$ cm 원주형 공시체로 제작하여 표준양생한 후 재령에 따라 KS F 2403의 규정에 의해서 압축강도, KS F 2423에 의해서 할열인장강도를 각각 측정하였다.

## 2.3 콘크리트의 배합

고성능AE감수제를 사용하여 재령 28일 압축강도가 약 500kg/cm<sup>2</sup> 이상인 고강도용 콘크리트를 제조하기 위하여 단위결합재량을 600kg/m<sup>3</sup>, 물-결합재비를 38%, 32%로 정한 배합을 나타낸 것이 Table 4이다.

## 3. 실험결과

고성능AE감수제를 사용한 보통포틀랜드시멘트 및 슬래그 혼합 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 값 및 공기량의 변화를 정리한 것이 Table 5이다.

Table 4 Mix proportions of concrete

Items	G <sub>max</sub> (mm)	Slump (cm)	W/B (%)	S/a (%)	SG/(C+SG) (%)	Unit weight content (kg/m <sup>3</sup> )				
						W	C	SG	S	G
OPC	19	20 ± 1	38	45	0	228	600	0	630	782
	19	20 ± 1	32	45	0	192	600	0	672	834
SG50	19	20 ± 1	32	45	50	192	300	300	663	823

Table 5 Slump value and air content of concrete using HWAE

Type of binder	W/B (%)	HWAE			Slump value (cm)					Air content (%)		
		Type	Dosing time	Dosage (B × %)	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	0 min	60 min	120 min
OPC	38	a	Simultaneous	1.60	20.0 (0)	5.0 (75)	4.0 (80)	3.4 (83)	2.8 (86)	5.2	-	-
			After 30 min	1.75	19.1 (0)	7.6 (60)	5.7 (70)	4.4 (77)	3.8 (80)	4.5	-	-
		b	Simultaneous	0.89	21.0 (0)	11.6 (45)	9.4 (55)	6.3 (70)	5.7 (73)	4.8	-	-
			After 30 min	1.0	20.3 (0)	12.2 (40)	10.2 (50)	8.1 (60)	6.9 (66)	4.1	-	-
		c	Simultaneous	0.70	20.5 (0)	13.3 (35)	10.7 (48)	9.4 (54)	8.2 (60)	4.6	-	-
			After 30 min	0.84	20.1 (0)	15.1 (25)	14.1 (30)	11.0 (45)	10.5 (48)	4.0	-	-
	32	c	Simultaneous	0.82	19.5 (0)	7.8 (60)	6.8 (65)	5.3 (73)	4.9 (75)	4.9	4.3	3.9
SG50	32	c	Simultaneous	0.76	20.5 (0)	12.3 (40)	10.9 (47)	8.6 (58)	8.4 (59)	5.1	4.8	4.1
			After 30 min	0.81	20.9 (0)	19.7 (5.7)	19.0 (9.1)	17.5 (16.3)	17.0 (18.7)	4.8	4.5	4.0

\* ( ) : Slump loss ratio of concrete (%)

#### 4. 실험결과에 대한 고찰

##### 4.1 고성능AE감수제가 시멘트복합체의 유동성에 미치는 영향

고성능AE감수제가 시멘트풀 및 모르터의 유동성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 고성능AE감수제 3종류를 사용하여 시멘트풀 및 모르터를 제조하여 각각 깔대기 유하시간과 플로우값을 비교한 것이 Fig. 2이다. 이 때 고성능AE감수제의 사용량은 단위시멘트량의 1%로 동일하게 사용하였다. 이 그림에서 시멘트풀의 유하시간이 작을수록 모르터의 플로우값은 크게 나타나며 고성능AE감수제의 종류에 따라라도 시멘트풀 및 모르터의 유동성에 차이가 있었다.

고성능AE감수제의 시멘트 입자의 분산기구는

본질적으로 고성능감수제와 크게 다르지 않으며 나프탈린계는 정전기적 반발효과, 아미노술폰산계 및 폴리카르본산계는 입체적인 전하구조에 의한 입체장해효과에 의해서 시멘트 입자를 분산

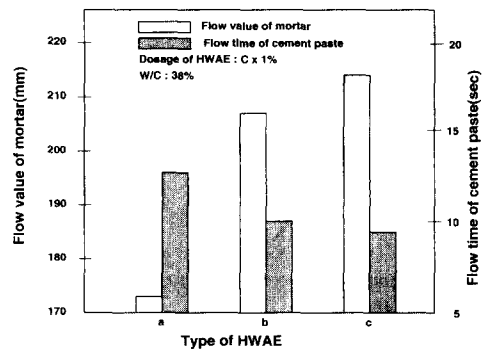


Fig. 2 Fluidity of cement paste and mortar using HWAE

시키는 기능을 한다.<sup>(8)</sup>

그러나 본 실험에서 동일한 분산메카니즘을 갖는 경우에도 유동성에 차이가 나타나는 이유는 고성능AE감수제의 주성분에 따른 시멘트입자 분산성능의 차이 외에도 사용량중의 고품분의 함량이 동일하지 않은 점 등이 영향을 미친 것으로 판단된다.

이번에는 고성능AE감수제의 사용방법이 시멘트풀 및 모르터의 유동성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 아미노술폰산계 고성능AE감수제의 첨가시기를 동시첨가(0), 3, 15, 30, 60분후 첨가의 5 단계로 변화시켜 제조한 시멘트풀의 유하시간과 모르터의 플로우값을 비교한 것이 Fig. 3이다.

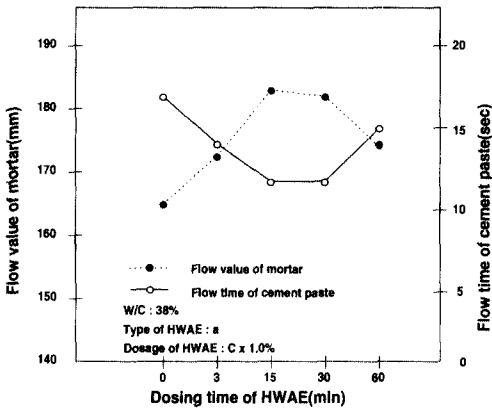


Fig. 3 Fluidity of cement paste and mortar

혼합수와 동시에 첨가하는 동시첨가의 경우 모르터의 플로우값이 가장 작았으며 15분후 또는 30분후 첨가가 유동성 향상에 가장 유리한 첨가 시기임을 알 수 있다. 한편 시멘트풀의 유하시간도 15분후 및 30분후 첨가한 경우 가장 짧게 나타나서 시멘트풀의 유하시간이 모르터의 플로우값과 매우 밀접한 상관성이 있음을 알 수 있다.

이 결과는 동일한 사용량이라도 첨가시기에 따라서 시멘트 입자의 분산성이 다르며 15~30분후 지연첨가 할 때 시멘트 입자의 분산성능이 현저히 커져서 유동성을 향상시킨다고 생각되며 종래의 고성능감수제에서도 동시첨가보다 후첨가의 경우가 유동성 향상에 유리하다는 연구결과<sup>(10,11)</sup>와 유사하다. 内川 浩에 의하면<sup>(12)</sup> 동시첨가시에는 혼화제가 시멘트 입자에 불균일하게 흡착이 형성

되어 시멘트 입자가 과상의 큰 응집체를 많이 형성하지만 후첨가시에는 치밀한 흡착층이 형성되므로써 시멘트 입자의 분산성이 개선되어 유동성 향상에 유효하다고 한다.

다음은 시멘트 입자의 응집성과 모르터의 유동성과의 관계를 알아보기 위하여 아미노술폰산계 고성능AE감수제의 사용량과 사용방법을 각각 3 단계로 변화시켜 경과시간 60분까지의 시멘트현탁액 중의 시멘트 입자의 평균 침강속도와 믹싱후 경과시간 60분에서의 모르터의 플로우값과의 관계를 나타낸 것이 Fig. 4이다.

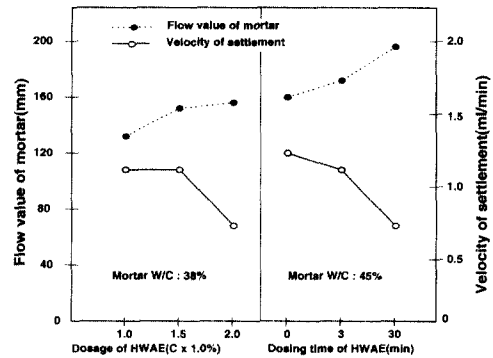


Fig. 4 Velocity of settlement in suspension and flow value of mortar

고성능AE감수제의 사용량이 많을수록 침강속도는 감소하며 반대로 플로우값은 크게 나타났다. 이 현상은 사용량이 많을수록 시멘트 입자가 고분산되므로써 응집량이 적어 침강속도가 감소하게 되며 모르터의 플로우값은 증가되어 유동성이 향상된 결과로 생각된다. 첨가시기에 따라서도 침강속도가 작을수록 모르터의 플로우값이 크게 나타났다.

이상의 결과는 고성능AE감수제를 사용한 시멘트복합체의 유동성이 시멘트현탁액 중의 시멘트 입자의 응집에 따른 침강속도와 밀접한 관계가 있음을 시사하고 있으며, 魚本에 의하면<sup>(13)</sup> 유기혼화제를 사용한 시멘트풀의 유동성은 시멘트풀 중의 시멘트 입자의 응집에 크게 영향을 받으며 시멘트 입자의 응집의 정도가 적을수록 블리딩 속도가 작고 시멘트풀의 유동성이 커진다는 연구결과와 유사하다.

## 4.2 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 유동성 유지성능

고성능AE감수제의 사용방법이 모르터의 유동성 유지성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 아미노술폰산계 고성능AE감수제를 사용하여 첨가시기를 5단계로 하여 모르터를 제조한 후 경과시간 120분까지 30분간격으로 플로우값을 측정하여 플로우 손실률로 정리한 것이 Fig. 5이다.

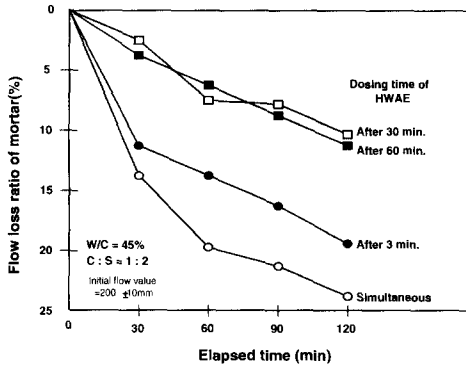


Fig. 5 Flow loss ratio of mortar according to dosing time of HWAE

첨가시기에 따라서 모르터의 플로우 손실률이 차이가 있으며 30분후 첨가한 경우가 동시첨가에 비해서 경과시간 120분에서 약 15%정도 플로우 손실률이 저감되어 유동성 유지 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

이 결과는 고성능감수제를 사용한 고강도용 콘크리트의 슬럼프 손실 저감에 30분후 첨가방법이 유효하다는 연구결과와 유사하며<sup>(14)</sup> 박싱후 약 30분은 시멘트 수화반응이 활발하지 않은 수화 2단계 잠복기(dorment period)에 해당하므로써 시멘트 수화반응 중에 흡착소모되는 고성능AE감수제의 양이 적어 시멘트 입자의 분산효과가 향상되어<sup>(2,15)</sup> 경과시간에 따른 유동성 유지성능의 향상

에 유효하게 작용한 것으로 생각된다.

한편 服部에 의하면<sup>(16)</sup> 시멘트풀의 유동성 손실은 주로 시멘트 입자들간의 물리적 응집체의 형성이 경과시간에 따라 증가하는 현상에 의해서 발생한다고 한다.

그래서 경과시간에 따른 시멘트 입자의 응집성과 모르터의 유동성 손실과의 상관성을 알아보기 위하여 고성능AE감수제의 첨가시기에 따른 시멘트현탁액 중의 시멘트 입자의 침강량 및 평균침강속도를 구하여 모르터의 플로우 손실률과 비교한 것이 Table 6이다.

시멘트 입자의 응집에 따른 침강량 및 침강속도가 가장 크게 나타난 동시첨가의 경우가 플로우 손실률도 가장 크게 나타났으며 침강량 및 침강속도가 가장 작은 30분후 첨가가 플로우 손실률이 가장 작아서 유동성 유지성능이 가장 양호함을 알 수 있다.

이번에는 고성능AE감수제의 종류 및 첨가시기에 따른 콘크리트의 유동성 유지성능을 알아보기 위하여 슬럼프 20 ± 1cm로 제조한 콘크리트의 경과시간 120분까지의 슬럼프 손실률을 정리한 것이 Fig. 6이다.

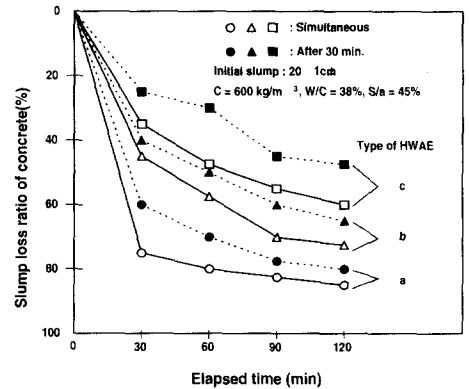


Fig. 6 Slump loss ratio of concrete

Table 6 Settlement in cement suspension and flow loss ratio of mortar

Items	Settlement ( ml )						Velocity of settlement ( ml/min )	*Flow loss ratio of mortar (%)
	0 min	15 min	30 min	60 min	90 min	120 min		
Dosing time of HWAE								
Simultaneous(0 min)	0	23	52	75	83	86	0.72	24.1
After 3 min	0	20	40	70	80	83	0.69	18.7
After 30 min	0	13	23	43	68	70	0.58	10.4
After 60 min	0	13	24	45	70	72	0.60	11.3

\* : 120 min. elapsed

Table 7 Strength of concrete according to type and dosing time of HWAE

HWAE		Compressive strength(kg/cm <sup>2</sup> )				Tensile strength(kg/cm <sup>2</sup> )	Reference
Type	Dosing time	3	7	28	91days	28 days	
a	Simultaneous	245	390	470	510	40.3	C=600kg/m <sup>3</sup> W/C=38% Slump =20±1cm
	After 30 min	286	460	495	560	42.5	
b	Simultaneous	230	361	410	470	36.5	
	After 30 min	265	380	425	495	39.0	
c	Simultaneous	310	414	525	565	41.0	
	After 30 min	329	465	557	614	45.0	

이 그림에서 콘크리트의 슬럼프 손실률은 고성능AE감수제의 종류에 따라서 크게 다르며 나프탈렌계 및 폴리카르본산계가 비교적 유동성 유지 성능이 양호함을 알 수 있다. 한편 경과시간 30분까지의 슬럼프 손실률이 나프탈렌계, 폴리카르본산계, 아미노술폰산계 각각 35%, 45%, 75% 정도로 매우 크게 나타났다. 이 결과는 고성능감수제를 사용하여 물-시멘트비를 대폭 작게 하여 제조한 고강도용 콘크리트의 경우와 유사하다.<sup>(14)</sup> 그러나 고성능AE감수제를 30분후 첨가하면 동시첨가한 경우보다 경과시간 120분에서 나프탈렌계, 폴리카르본산계, 아미노술폰산계 각각 12%, 7%, 6% 정도 슬럼프 손실률을 저감하는 효과를 얻었다. 이 결과는 고성능AE감수제의 종류에 따라서 약간의 차이는 있으나 30분후 첨가방법이 콘크리트의 유동성 유지성능을 향상시키는데 매우 유효한 방법임을 시사한다.

한편 고성능AE감수제의 종류 및 사용방법이 경화한 콘크리트의 강도특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각 재령별 압축강도와 재령 28일의 인장강도를 나타낸 것이 Table 7이다.

고성능AE감수제의 종류 및 첨가시기가 콘크리트의 강도에 얼마간 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며 고성능AE감수제의 종류에 관계없이 30분후 첨가하면 동시첨가의 경우보다 재령 28일 압축강도가 약 5% 정도 크게 나타났다.

고성능AE감수제의 사용방법에 따른 경과시간 120분에서의 슬럼프 손실률과 재령 28일 압축강도를 비교한 것이 Fig. 7이다.

30분후 첨가의 경우가 동시첨가의 경우보다 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 손실률이 작으며 Table 5에서 알 수 있듯이 공기량이 약 0.7% 정도 작은 점 등의 영향으로 경화한 콘크리트의 강도도 크게 나타나서 콘크리트의 성능향상에 유리

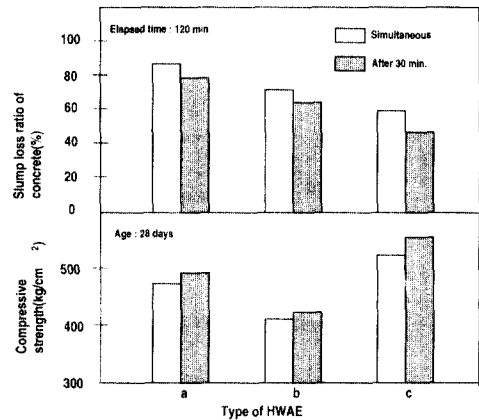


Fig. 7 Slump loss ratio and compressive strength of concrete

함을 알 수 있다.

#### 4.3 슬래그 미분말을 활용한 콘크리트의 유동성 유지성능 향상

굳지 않은 콘크리트의 유동성을 장시간 유지시키기 위해서는 시멘트풀중에 혼화제 분자가 얼마만큼 잔존하여 시멘트 입자의 분산기능을 오래 유지하는가에 의존한다.<sup>(17)</sup> 그러므로 시멘트풀의 초기수화 반응과정에서 비교적 화학적으로 불활성인 분체재료를 시멘트에 혼합사용하여 시멘트 수화반응 중에 소실되는 혼화제량의 감소를 억제시키고 아울러 입자들간의 불리적인 응집을 감소시킬 필요가 있다.

슬래그 미분말은 비중이 작고 유리질의 배끄러운 표면조직을 가지며<sup>(18)</sup> 혼화제의 흡착량이 작을 뿐만 아니라 시멘트 입자의 응집을 희석시켜 혼화제의 분산기능을 유효하게 작용시키는 역할을 한다고 한다.<sup>(19,20)</sup>

슬래그 미분말의 분말도가 고성능AE감수제를 사용한 모르터의 유동성 유지성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 분말도가 다른 3종류의 슬래그 미분말을 중량으로 50% 혼합하여 제조한 모르터의 플로우 손실률을 비교한 것이 Fig. 8이다.

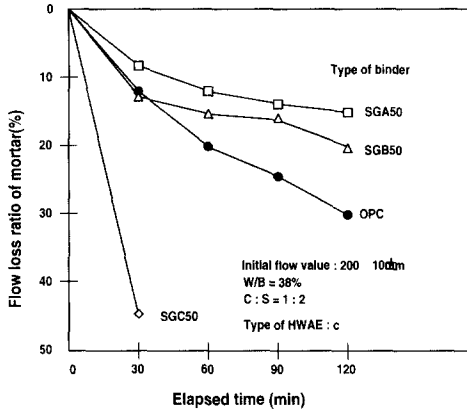


Fig. 8 Flow loss ratio of mortar used SG

분말도가  $4500\text{cm}^2/\text{g}$ (SG A)인 슬래그 미분말은 보통포틀랜드시멘트 모르터와 비교해서 플로우 손실률의 저감에 유효하였으나 분말도가 클수록 유동성 유지성능이 감소하였다. 슬래그 미분말의 분말도가 커지면 각어진 형태의 입형으로 미세하게 분쇄된 입자가 많아 비표면적이 증가되어 비교적 낮은 물 결합재비에서는 입자간의 윤활제 역할을 하는 수량이 부족하게 되어 유동성 유지성능에 불리하게 작용했다고 생각된다.

슬래그 미분말의 혼합률이 모르터의 유동성 유지성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 유동성 유지성능 향상효과가 있었던 분말도  $4500\text{cm}^2/\text{g}$ 인 슬래그 미분말을 사용하여 혼합률을 30, 50, 70%의 3단계로 하여 제조한 모르터의 플로우 손실률을 나타낸 것이 Fig. 9이다.

슬래그 미분말의 혼합률이 증가할수록 플로우 손실률이 감소하는데 이것은 혼합률이 증가하면 시멘트 조성광물중 수화반응성이 큰  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$ 의 감소량이 커져서 수화반응이 지연되는 효과<sup>(18)</sup>와 수화초기단계에서 화학적으로 불활성인 슬래그 분말이 시멘트풀중에 많이 존재함으로써 고성능 AE감수제의 분산효과가 오래 지속되기 때문으로 판단된다.

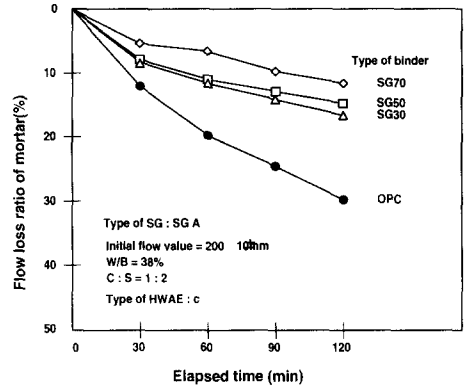


Fig. 9 Flow loss ratio of mortar used SG

한편 슬래그 미분말을 50% 혼합하고 고성능AE감수제의 첨가시기를 4단계로 하여 제조한 모르터의 플로우 손실률을 나타낸 것이 Fig. 10이다.

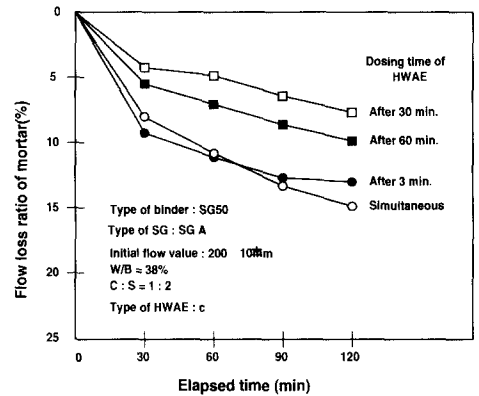


Fig. 10 Flow loss ratio of mortar used SG 50

Fig. 5의 보통포틀랜드시멘트만을 사용한 경우와 유사하게 동시첨가의 경우 플로우 손실률이 가장 크며 30분후 첨가는 경과시간 120분에서의 플로우 손실률이 약 8% 정도로서 매우 작게 나타나서 유동성 유지성능이 크게 향상되었음을 알 수 있다.

슬래그 미분말 50% 혼합시멘트를 사용한 현탁액 중의 입자의 침강량 및 평균침강속도를 구하여 모르터의 플로우 손실률과 비교한 것이 Table 8이다.

시멘트 입자의 침강량 및 침강속도가 작을수록 모르터의 플로우 손실률이 작게 나타났다. 슬래그 미분말을 50% 혼합 사용한 경우에도 30분후 첨가



Table 8 Settlement in cement suspension and flow loss ratio of mortar used SG50

Dosing time of HWAE	Items	Settlement ( ml )						Velocity of settlement ( ml/min )	*Flow loss ratio of mortar (%)
		0 min	15 min	30 min	60 min	90 min	120 min		
Simultaneous	( 0 min )	0	12	24	43	63	82	0.68	15.0
After 3 min		0	9.5	17	33	47	64	0.53	13.2
After 30 min		0	9	15	29	41	56	0.47	8.0
After 60 min		0	8	16	30	44	59	0.49	10.0

\* : 120 min. elapsed

의 경우가 시멘트 입자들간의 물리적 응집체의 형성을 현저히 저감하여 유동성 유지성능을 향상시키는 효과가 있음을 시사하고 있다.

그래서 슬래그 미분말을 활용한 콘크리트의 유동성 유지성능 향상방안을 알아보기 위하여 나프탈린계 고성능AE감수제를 사용하여 슬럼프 20±1cm로 제조한 콘크리트의 슬럼프 손실률을 정리한 것이 Fig. 11이며 보통포틀랜드시멘트에 고성

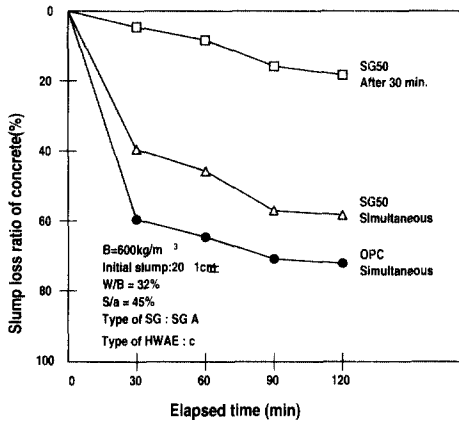


Fig. 11 Slump loss ratio of concrete used SG

능AE감수제를 동시첨가한 경우를 기준으로 하여 슬럼프 손실의 저감효과를 슬래그 미분말 50% 혼합효과와 30분후첨가 효과로 구분하여 경과시간

별로 정리한 것이 Table 9이다.

Fig. 11에서 슬래그 미분말 50% 혼합시멘트에 고성능AE감수제를 30분후 첨가한 경우 슬럼프 손실률이 현저히 저감하였으며 Table 9에서 알 수 있듯이 슬래그 미분말 50% 혼합과 고성능AE감수제 30분후 첨가시에 각각 17%, 39% 씩 분담하여 슬럼프 손실률이 총 56% 저감되는 효과가 나타났다. 한편 전체 슬럼프 손실률 저감량의 30%, 70%를 각각 분담하고 있음을 알 수 있어서 30분후 첨가효과가 슬래그 미분말 혼합효과보다 약 2.3배 정도 유동성 유지성능을 향상시키는 데 유효함을 알 수 있다.

한편 Fig. 11과 동일한 배합에 의해서 제조한 콘크리트의 강도시험결과를 정리한 것이 Table 10이다.

슬래그 미분말 50% 혼합콘크리트는 고성능AE감수제의 첨가시기에 관계없이 재령 7일 및 28일 압축강도가 보통포틀랜드시멘트 콘크리트보다 약간 작게 나타났으나 재령 91일에서는 약간 크게 나타났다. 이것은 고로슬래그 미분말의 혼합량 만큼 시멘트량이 감소하여 초기재령에서 수화가 지연되어 재령28일 까지는 강도발현이 작았으나 재령 91일강도가 크게 나타난 것은 슬래그 미분말의 잠재수경성 및 공기충전효과<sup>(18,21)</sup>에 의한 것으로 판단된다. 또한 고성능AE감수제의 30분후 첨가방법이 슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 강

Table 9 Reduction of slump loss in concrete

Items	Reduction of slump loss ratio (%)					Percentage on reduction of slump loss ratio (%)
	30	60	90	120min	mean	
Substitution of SG 50%	20	18	15	16	17	30
After 30 min dosage	34	38	42	40	39	70
Total	54	56	57	56	56	100

Table 10 Strength of concrete according to type of binder and dosing time of HWAE

Type of binder	Dosing time of HWAE	Compressive strength(kg/cm <sup>2</sup> )			Tensile strength(kg/cm <sup>2</sup> )	Reference
		7	28	91days	28 days	
OPC	Simultaneous	414	525	565	41.0	Slump -20 <sup>+</sup> 1cm
SG50	Simultaneous	340	460	570	35.1	
	After 30 min	380	478	590	38.2	

도향상에도 유리하게 나타났다.

## 5. 결론

(1) 고성능AE감수제의 주성분에 따라서 모르타의 유동성은 다르며 시멘트풀의 유하시간이 작은 고성능AE감수제가 모르타의 플로우값이 크게 나타나서 유동성 향상에 유리하였으며 고성능AE감수제의 사용량이 많을수록 또는 15분후 및 30분후 첨가가 시멘트 입자의 응집이 적고 분산효과가 커져서 시멘트풀 및 모르타의 유동성 향상에 유효하였다.

(2) 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 유동성 유지성능은 나프탈렌계, 폴리카르본산계, 아미노술폰산계의 순으로 크게 나타났으며 시멘트 현탁액중 시멘트 입자의 침강속도와 밀접한 상관성이 있으며 시멘트 입자의 침강속도가 작을수록 모르타 및 콘크리트의 유동성 유지성능이 향상되는 효과가 있었다.

(3) 슬래그 미분말의 혼합률이 증가할수록 모르타의 유동성 유지성능은 향상되었으며 슬래그 미분말을 50% 혼합사용하고 고성능AE감수제를 30분후 첨가한 경우 보통포틀랜드시멘트에 동시첨가로 제조한 콘크리트보다 약 56% 정도 유동성 유지성능이 향상되는 효과를 얻었다. 한편 30분후 첨가효과가 슬래그 미분말 혼합효과보다 유동성 유지성능을 향상시키는 데 유효하였다.

(4) 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 강도 발현성은 고성능AE감수제의 종류 및 첨가방법에 따라 차이가 있으며 30분후 첨가방법이 유동성 유지성능 및 강도향상에 있어서 일석이조의 좋은 성과가 있었다. 한편 슬래그 미분말 혼합콘크리트는 초기재령에서 강도가 작게 나타났으나 재령 91일 장기재령에서의 압축강도 및 인장강도의 향상에 효과가 있었다.

## 참고문헌

1. 長瀧重義 外, 高性能AE減水劑を添加したコンクリートのトランプロス,セメント・コンクリート, No.416, Oct., 1981.
2. V. Penttala, Possibilities of Increasing the Workability Time of High Strength Concrete, "Properties of Fresh Concrete" Edited by H. J. Wierig, Chapman and Hall, Oct., 1990.
3. F. Young, Factors Affecting Slump Loss in Superplasticizer in Concrete, Proceedings of International Symposium on Superplasticizer in Concrete, Canada, July, 1981.
4. 友澤史紀 外, 新型高性能AE減水劑の構造と特性, セメント・コンクリート論文集, No.44, 1990.
5. 長瀧重義, 高性能AE減水劑の現状と課題, 콘크리트工学, Vol.28, No.6, 1990.
6. 水沼達也 外, 新高性能AE減水劑を使用したコンクリートの諸物性, セメント技術年報 41, 昭和62.
7. 土木學會, 高性能AE減水劑を用いたコンクリートの施工指針(案), 平成 5年7月.
8. 兒玉和巳, 高強度化のための材料・混和劑-, 콘크리트工学, Vol.32, No.7, 1994.7.
9. 北川和重 外, 新規高性能AE減水劑を用いたコンクリート特性, 콘크리트工学 年次論文報告集, Vol.18, No.1, 1996.
10. 坂井悦郎 外, 高性能減水劑の遅延添加に関する考察, セメント技術年報 43, 1989.
11. 金基亨 外, 高性能減水劑을 사용한 콘크리트의流動性損失을 低減시키기 위한 研究, 大韓土木學會論文集, 제12권, 제3호, 1992.9
12. 内川 浩 外, フレッシュセメントベスタの流動性に及ぼす有機混和劑の種類と添加方法の影響, 超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集, 社団法人 日本コンクリート工学協會, 1993.5
13. 魚本健人 外, セメントベスタの凝集構造に関する基礎的研究, 콘크리트工学年次論文報告集 Vol.19, No.1, 1997.
14. 金基亨, 高強度콘크리트의 流動性 損失 最少化와 強度向上을 위한 研究, 漢陽大學校 大學院 工学博士學位 論文, 1993.12.

15. 岡田英三郎, 流動化劑の化學と流動化機構, セメントコンクリート, No.479, Jan., 1987.
16. 服部健一, スラックフロスのメカニズムおよびその對策, 材料, 第29卷, 第318號
17. 丸山久一外, 高流動コンクリートの流動性保持機構に関する考察, コンクリート工學 年次論文報告集, Vol.18, No.1, 1996.
18. 崔然正, 高爐슬래그 微分末을 활용한 高性能콘크리트의 實用化에 관한 研究, 漢陽大學校 大學院, 工學博士學位 論文, 1996.6.
19. 深谷泰文, 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, Mar., 1992.
20. 古川茂一外, 高爐슬래그微分末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文報告集, 1987.
21. 日本建築學會, 高爐슬래그微分末を用いたコンクリートの技術の現状, 1992.

## 요 약

고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 유동성 유지성능은 고성능AE감수제의 주성분 및 사용량, 사용방법과 광물질 혼화제의 종류 및 혼합률 등에 따라서 영향을 받는다.

본 연구에서는 주성분이 다른 3종류의 고성능AE감수제의 사용량과 사용방법을 변화시키고 분말도가 다른 3종류의 고로슬래그 미분말을 활용하여 시멘트풀, 모르타 및 콘크리트의 유동성 유지성능과 강도특성을 비교고찰하여 효율적인 유동성 유지방안을 제시하고자 하였다.

연구결과 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 유동성 유지성능은 경과시간에 따른 시멘트 입자의 응집성과 밀접한 상관성이 있으며 나프탈린계 고성능AE감수제의 사용과 고로슬래그 미분말의 분말도가 작고 혼합률이 클수록 모르타 및 콘크리트의 유동성 유지성능이 현저히 향상되었다. 한편 고성능AE감수제의 종류에 관계없이 30분후 첨가방법이 유동성 유지성능 및 강도향상에 있어서 일석이조의 좋은 성과가 있었다.

(접수일자 : 1998. 9. 1)