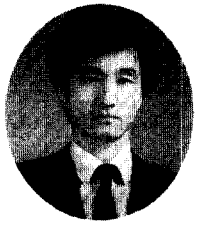
특집

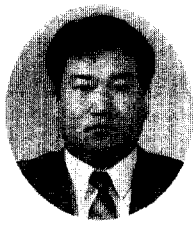
콘크리트용 혼화제

고성능감수제

Superplasticizer



이 도 헌*



김 태 성**

1. 서 언

콘크리트용 혼화제는 1938년 미국에서 AE제가 발견된 이래 감수제, AE감수제, 고성능감수제 등으로 개발되어 아직 굳지않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 성질개선에 크게 기여하고 있으며, 이제는 시멘트, 물, 골재와 더불어 콘크리트에 필수불가결한 제4의 구성재료로 일컬어지고 있다.

고성능감수제(Superplasticizer, High-range water reducing agent)는 고도의 감수효과를 얻을 수 있으므로 콘크리트의 품질 및 시공성 개선을 위하여 매우 효과적인 콘크리트용 혼화제이다.

고성능감수제는 고성능감수제, 유동화제, 고유동화제, 고강도화제, 고성능AE감수제 등 여러가지로 불려지고 있으며, 각각 특징적인 성질을 가지는 경우가 많지만 일반적으로 고성능감수제, 유동화제, 슬럼프로스 저감형의 고성능(AE)감수제로 발전되어 오고 있다. 국내에서도 최근에 유동화제의 사용이 빈번해지고 고성능AE감수제도 개발되는 등 발전을 거듭하고 있으나, 국내의 기술력 향상을 위하여 제품의 성능개선 및 적용방법에 대한 기술개발과 관련기술자의 기술력 향상이 더욱 요구되고 있는 실정이다. 따라서 여기에서는 유동화제와 슬럼프로스 저감형의 고성능(AE)감수제를 중심으로 제품의 개발현황 및 특성과 고성능감수제를 사용한 콘크리트의 성질 및 현장적용성 등에 대하여 기술하고자 한다.

* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 선임연구원
** 정회원, 경기화학공업(주) 고성능콘크리트연구실 책임연구원

2. 고성능감수제의 개발현황

2.1 외국의 고성능감수제의 개발현황

일반적으로 품질이 좋은 콘크리트를 제조하기 위해서는 단위수량을 낮게 설정하여 내부조직을 치밀하게 하는 것이 좋지만 이러한 콘크리트는 시공성이 나쁜 된배합의 콘크리트가 되므로 품질을 좋게 하는 것과 시공성을 좋게 하는 것은 이율배반적이라 할 수 있다. 기존의 AE제, 감수제 및 AE감수제는 콘크리트의 워커빌리티를 개선하고, 동결융해저항성을 향상시키며 감수효과에 의한

시멘트량의 저감 및 초기강도를 확보하기 위한 목적으로 현재까지도 콘크리트공사에 많이 적용되고 있다.

일반적으로 AE감수제는 10~15%의 감수효과가 있으므로 동일한 시공성을 확보하면서도 단위수량을 낮출 수 있지만, 1960년대에 접어들어 AE감수제보다도 더욱 뛰어난 20~30%의 감수효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 사용량이 증대해도 응결지연 및 공기량 과잉현상이 적은 고성능감수제가 개발되었다. 유동화제는 1970년대에 서독에서 개발되어 1974년에는 「유동화콘크리트의 제조와 시공에 관한 지침」이 발간되었고 1976년 영국, 1981년 캐나다, 1983년 일본에서 유동화콘크리트에 관한 지침이 작성되었다. 미국에서는 1980년에 ASTM C 494에 Type F (표준형)과 Type G(지연형)로 고성능감수제의 규격을 제정하였으며, 1985년에는 ASTM C 1017에 유동화제의 품질기준을 규정하였다. 이러한 고성능감수제의 출현은 골재의 품질악화로 인한 단위수량 증가를 방지함은 물론 콘크리트의 품질을 확보하면서도 배근이 밀집된 부위의 충전성을 향상시키고 펌프압송공법을 가능케 하였다.

1980년대 후반에는 화학혼화제에 대한 연구개발이 계속되어 유동화제의 결점인 슬럼프로스 현상을 방지할 수 있는 고성능(AE)감수제가 개발되므로써 콘크리트 구조물의 대형화, 고층화, 고성능화, 고기능화에 기여하게 되었고, 최근의 고강도콘크리트 및 고유동콘크리트의 제조에 결정적인 역할을 하고 있다. 이미 일본의 건축학회 및 토목학회에서는 1992년 6월과 1993년 7월에 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 시공지침(안)을 발간하였으며, 1995년 3월에는 JIS A 6204「콘크리트용 화학혼화제」에 AE제, 감수제, AE감수제 이외에 고성능AE감수제의 품질규격을 추가로 규정하기에 이르렀다.

2.2 국내의 고성능감수제의 개발현황

국내에서는 1980년대에 유동화제가 도입된 이후 계속되어 온 건설경기의 활황에 힘입어 많은 업체에서 콘크리트용 혼화제가 개발되어 현장에 적용되고 있다. 현재 KS F 2560 「콘크리트용 화학혼화제」에는 AE제, 감수제, AE감수제를 대상으로 하고 있으며, 1996년 1월 현재 KS 표시 허가업체는 24개에 달하고 있다. 그러나 고성능감수제는 KS F 2560의 적용대상에 포함되지 않을 뿐더러 별도의 KS규격도 마련되어 있지 않지만 이미 KS 표시 허가업체 및 미허가 업체의 일부에서는 유동화제 및 고성능AE감수제를 생산·공급하고 있다. 필자의 조사결과에 따르면 1994년말 현재 유동화제 생산업체는 20개 이상인 것으로 추정되며 최근에는 표 1과 같이 기존의 유동화제를 개선한 슬럼프로스 억제효과가 큰 고성능(AE)감수제를 개발하여 생산·공급하는 업체도 생겨나고 있다.

표 1 국내 시판의 고성능(AE)감수제

상 품 명		주 성 분	사용량 (C×%)	제조회사
국내 업체	Lignal-SG	리그닌+유기산	0.5~1.0	대주상사
	Selflow R-150	나프탈렌+고감수분산제	0.5~2.0	〃
	Ligace-GR	나프탈렌계	0.8~2.0	세일콘
	EZCON	복합폴리머중합체	0.5~3.0	이지콘
	Phornix-H.P.C	나프탈렌+폴리칼본산	0.3~1.5	진흥화학
외국계 업체	Might-150RX	나프탈렌+리그닌	0.15~2.4	동양MK
	Sikament 92	유기산계	0.3~2.0	시카코리아
	Sikament 1000X	멜라민계	0.5~1.5	〃
	Daracem-100	나프탈렌계	0.3~3.0	한국그레이스

유동화제를 포함한 고성능감수제의 KS 규격은 아직 규정되어 있지 않지만 대한토목학회에서는 1991년에 「유동화콘크리트의 사용지침(안)·동해설」을 발간하고, 1994년에는 건설부 제정 건축공사표준시방서에 유동화콘크리트에 대한 시방이 삽입되었으며 그 부속서에 콘크리트용 유동화제 품질기준이 규정되었다. 또한 최근에는 슬럼프로스 저감형의 고성능AE감수제의 도입 및 국내개발이 이루어져 현장적용단계에 진입하는 등 국내의 혼화제 개발이 급속도로 추진되고 있으므로 이것을 사용한 콘크리트의 시공지침(안)의 수립 및 고성능AE감수제의 품질기준 설정이 요망된다.

3. 고성능감수제의 특성

3.1 고성능감수제의 종류 및 특성

고감수 효과를 가진 콘크리트용 혼화제의 통칭

으로 사용되는 고성능감수제는 사용목적 및 성능에 따라서 여러가지로 구분될 수 있지만, 일반적으로 슬럼프로스가 큰 현장첨가형의 유동화제와 슬럼프로스가 적은 공장첨가형의 새로운 고성능(AE)감수제로 대별할 수 있다.

AE감수제는 사용량이 시멘트 중량의 1.0%이하로 제한되는데 비하여 고성능감수제는 2.0% 이상까지도 사용가능하므로 AE감수제의 감수율 10~15%보다 우수한 20~30%의 감수효과를 발휘할 수 있다. 공장제품을 제조할 경우, 특별히 고강도를 필요로 하며 동결융해저항성의 확보가 필요없을 때에는 AE성분이 함유되어 있지 않은 고강도용의 고성능감수제를 사용하지만, 유동화제는 레미콘공장 또는 현장에서는 AE콘크리트인 베이스 콘크리트에 첨가하여 사용되고 있다. 국내의 현상

유동화제는 AE제나 감수제 및 AE감수제와 동일한 계면활성제로서 시멘트 입자의 분산작용에 의해 감수효과를 나타낸다. 그러나 유동화제는 AE감수제보다도 높은 감수효과를 나타내고 일반적으로 공기연행작용이 없으므로 첨가량 등가에 따른 공기량의 증가도 없으며, 응결지연현상도 거의 없지만 시간의 경과에 따른 콘크리트의 슬럼프로스가 크다는 단점이 있다. 유동화제를 주성분별로 구분하면 나프탈렌계, 멜라민계, 리그닌계 등이 대표적인 것이다.

고성능AE감수제는 유동화제와 동일한 고감수효과를 얻을 수 있으면서도 유동화제의 단점인 슬럼프로스 현상을 대폭적으로 개선한 최신의 콘크리트용 화학혼화제로서 AE제나 AE감수제 등은 제1세대, 유동화제는 제2세대, 고성능AE감수제는 제3세대의 혼화제라고 일컬어지기도 한다.

슬럼프로스 저감형 고성능감수제는 AE성분이 함유된 것(고성능 AE감수제)과 AE성분이 함유되어 있지 않은 고성능감수제가 있으나, 여기에서는 편의상 슬럼프로스 저감형의 제3세대 고성능감수제를 통칭하여 "고성능감수제"로 표기하기로 한다.

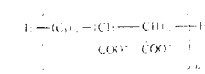
국내의 현장에서는 '80년대 이후 유동화제를 많이 사용되어왔으며 국내에서도 최근에 개발된 고성능AE감수제는 현장적용성은 물론 콘크리트의 고강도화 및 고성능화에 부응하여 향후 사용량이 대폭적으로 증가할 것으로 예상된다.

고성능AE감수제를 주성분별과 슬럼프유지기구별로 분류하면 표 2와 같다. 여기에는 나프탈렌계나 멜라민계와 같이 공장제품에 사용되는 고성능감수제나 유동화제와 동일한 계통의 것이 있지만 슬럼프로스 현상을 방지할 수 있도록 유동화제의 성분에 슬럼프유지성능을 부여할 수 있는 특별한 성분이 첨가되어 있거나 전혀 다른 주성분을 가지고 있다. 그림 1은 고성능AE감수제의 주성분의 화학구조이다.

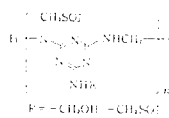
표 2 고성능 AE감수제의 성분에 의한 분류[1~4]

분	류	성	분
주성분	나프탈렌계	나프탈렌설폰산 포르말린축합물과 특수계면활성체 (변형리그닌설폰산 등)	
		나프탈렌설폰산 포르말린축합물과 반응성(徐放性) 고분자	
	폴리칼본산계	폴리칼본산 고분자	
		폴리칼본산 고분자화합물과 架橋고분자	
		末端설폰산基를 가진 폴리칼본산基를 함유한 多元고분자	
	멜라민계	멜라민설폰산과 변성리그닌	
		변성메티롤 멜라민축합물과 수용성 특수고분자	
	아미노설폰산계	芳香族 아미노설폰산계 고분자	
슬럼프유지기구	1성분계	분산유지성을 가지는 분산성(감수성) 성분	
	2성분계	분산성(감수성) 성분+분산유지성분	
	2성분계	분산유지성을 가지는 분산성(감수성) 성분+분산유지성분	

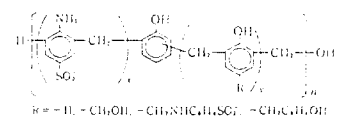
나프탈렌계



폴리칼본산계



멜라민계



아미노설폰산계

그림 1 고성능AE감수제 주성분의 화학구조의 대표적인 예

3.2 고성능감수제의 품질

고성능감수제는 콘크리트의 품질확보나 시공성 향상에 매우 좋은 효과가 있다. 이러한 점에 대하여 현장의 관련기술자들도 잘 알고 있으나 현재 국내에서 시판되고 있는 고성능감수제의 품질에 대한 확신을 가지지 못하여 사용을 기피하는 경우가 많은 것이 현실이다. 만일 생산측면에서의 철저한 품질관리는 물론 사용자가 손쉽게 품질을 확

인할 수 있는 시험방법이 정립되어 있다면 이러한 현상은 해소가 될 것이다.

현재 국내에서 시판되고 있는 고성능감수제의 카탈로그에는 일반적으로 제품의 비중, 색상, 성상(액상 또는 분말) 등이 표시되어 있으며, 좀더 친절한 카탈로그에는 pH 및 고형분량 정도가 표기되어 있지만 그 이외에도 성분, 염화물량, 알칼리량 등은 콘크리트의 물성에 영향을 미칠 수 있는 항목이다. 따라서 이러한 항목을 체크하여 품질관리를 하는 것은 매우 바람직한 것이지만 유감스럽게도 KS, 시방서, 사용지침(안) 등에도 고성능감수제 자체의 물성기준은 규정되어 있지 않다. 단, ACI 212. 3R. 89의 유동화콘크리트에 대한 규정에는 유동화제 자체의 물성시험항목으로서 비중, pH, 고형분량, 원적외선 분광분석(I.R. test), 염화물량 등에 대하여 확인토록 되어 있으며, 그 판단방법은 ASTM C 1017에 나타나 있다(표 3). 그러나 비중이나 pH를 제외하고는 현장에서 수행하기도 곤란한 뿐만 아니라 동일한 계통의 고성능감수제라도 각각의 성분의 화학식이나 소정의 성능을 얻기 위한 첨가량은 서로 다르므로 고성능감수제 자체의 성분이나 물성에 의해 품질을 규정하기는 곤란한 것으로 여겨지고 있다.

따라서 보통의 화학혼화제와 마찬가지로 고성능감수제도 이것을 사용한 콘크리트의 성능에 따라서 고성능감수제의 품질을 판정하도록 품질규격이 정해져 있다. 표 4는 KS F 2560, KASS 5T 401, JASS 5T-403에 규정되어 있는 AE감수제, 유동화제, 고성능AE감수제의 품질규격을 비교한 것으로서 우선 고성능감수제(여기에서는 유동화제 및 고성능AE감수제)에 대해서는 뛰어난 감수효과와 함께 AE감수제를 시험항목 이외에 슬럼프와 공기량의 경시변화가 추가되어 있는 것이 가장 큰 특징이다. 유동화제의 경우에는 경시변화를 15분후에 측정하는 것으로 규정하였지만 고성능AE감수제는 슬럼프로스 방지효과를 확보하기 위하여 60분후의 측정치로 규정하였다. 또한 고성능AE감수제의 경우에는 슬럼프 유지성능을 높이기 위하여 응결시간을 30분 늘려서 설정하였으며 길이변화율은 단위수량의 저감효과로 인하여 건조수축량이 감소된다는 것을 전제로 하지만 시험오차를 고려하여 110% 이하로 규정하였다.

3.3 고성능감수제의 작용기구

고성능감수제의 메카니즘은 크게 분산작용과 슬럼프 유지작용으로 구분되어진다. 일반적인 고성능감수제나 유동화제는 분산작용으로 높은 감수효과를 나타내지만 고성능AE감수제는 슬럼프 유지작용이 부가되어 있다. 여기에서는 이 두가지 작용에 대하여 설명하기로 한다.

3.3.1 분산작용

일반적으로 콘크리트에 사용되는 시멘트, 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말, 실리카흄 등의 미립자는 입자표면의 자유에너지를 감소시키려고 하므로 응집하려는 경향이 크다. 시멘트페이스트는 시멘트 입자가 서로 응집된 2차 응집입자로 되어 있으며, 입자간의 응집력에 의해 유동성이 작은 상태로 된다. 유동화제나 고성능AE감수제와 같은 계면활성제는 시멘트 입자에 흡착하여 입자의 표면에 그림 2와 같은 負(－)전하(전기이중층)를 발생시키므로 인접하는 시멘트 입자간에 정전기적 반발력(제타전위)이 작용하여 시멘트 입자가 분산되고 재응집이 방지된다. 이러한 경우의 시멘트 입자간에 작용하는 힘의 구성(포텐셜에너지)을 나타내면 그림 3과 같으며 서로 밀어내려는 정전반발력보다 서로 끌어당기려는 반데르발스력이 클 경우에 시멘트의 재응집이 일어나게 된다.

표 3 유동화제의 품질에 관한 규격[5)]

규 격	시험항목	판 단 기 준
ASTM C 1017	비중 (Specific Gravity)	lot가 다른 시료는 최초시료의 흡수스펙트럼과 본질적으로 같은 모양이어야 한다.
	고형분량 (Residue by Oven Drying)	lot가 다른 시료는 최초시료와의 고형분량 차이가 액상은 ≥5% 이내, 액상 이외는 ≥4% 이내여야 한다.
	원적외선 분석 (Infrared Analysis)	lot가 다른 시료는 최초시료와의 비중차이가 최초시료와 시약에 대한 비중의 차이의 10% 이내여야 한다.
	저장기간	제조후 6개월 이상 경과한 유동화제는 재시험을 하여 사용가능여부를 평가해야 한다.
JASS 5T 402	염화물량 (kg/m³)	1종 : 0.02 이하, 2종 : 0.02~0.2, 3종 : 0.20~0.60
	총알칼리량	0.30kg/m³ 이하

(주) - ASTM C 1017 : "Standard Specification for Chemical Admixture for Use in Producing Flowing Concrete"
- JASS 5T 402 : "コンクリート用 流動化劑 品質規準"

표 4 콘크리트용 화학혼화제의 품질기준 비교

항목		형태	AE 감수제 (KS F 2560)			유동화제 (KASS 5T-401)		고성능AE 감수제 (JIS A 6205)	
			표준형	지연형	촉진형	표준형	지연형	표준형	지연형
시험조건	슬럼프 (cm)	기준콘크리트	Plain 콘크리트 8 ≥ 1			AE콘크리트 8 ≥ 1		Plain 콘크리트 8≥1	
		시험콘크리트	AE감수제 콘크리트 8 ≥ 1			유동화콘크리트 18 ≥ 1		고성능AE감수제 콘크리트 18≥1	
	공기량 (%)	기준콘크리트	Plain 콘크리트 2.0 이하			AE콘크리트 4.5 ≥ 0.5		Plain 콘크리트 2.0 이하	
		시험콘크리트	Plain 콘크리트의 공기량 ㉀ 3.0 ≥ 0.5			유동화콘크리트 4.5 ≥ 0.5		Plain 콘크리트의 공기량 ㉀ 3.0 ≥ 0.5	
감수율 (%)			10 이상	10 이상	8 이상	슬럼프 8→18cm	슬럼프 8→18cm	18 이상	18 이상
블리딩량의 차이			70% 이하	70% 이하	70% 이하	0.1㎤/㎠이하	0.2㎤/㎠이하	60% 이하	70% 이하
응결시간 차이 (분)	초결		-60~+90	+60~+210	+30 이하	-30~+90	+60~+210	-30~+120	+90~+240
	종결		-60~+90	+210 이하	0 이하	-30~+90	+210 이하	-30~+120	+240 이하
60분간의 경시변화량	슬럼프 (cm)		-			4.0 이하[1]		6.0 이하[2]	
	공기량 (%)		-			1.0 이하[1]		≥1.5[2]	
압축강도비 (%)	재령 3일		115 이상	105 이상	125 이상	90 이상		135 이상	
	재령 7일		110 이상	110 이상	115 이상	90 이상		125 이상	
	재령 28일		110 이상	110 이상	110 이상	90 이상		115 이상	
길이변화비 (%)			120 이하			120 이하		110 이하	
동결융해에 대한 저항성 (상대동탄성계수비 %)			80 이상[3]			90 이상[4]		80 이상[2]	

(주) 1) 유동화후 15분 경과후의 경시변화량
2) 고성능AE감수제콘크리트에 적용
3) 슬럼프 8cm의 시험콘크리트에 적용
4) 기준콘크리트(AE콘크리트)의 상대동탄성계수에 대한 비

이것이 DLVO(Derjaguin-Landau-Verway-Overbeek) 이론이라고 일컬어지는 유동화의 기본적인 메카니즘으로서 나프탈렌계와 멜라민계의 고성능 감수제는 이러한 작용에 의하여 시멘트 입자간의 마찰력을 저하시켜 시멘트페이스트의 유동성을 증대시킨다.

그러나 폴리칼본산이나 아미노설폰산의 경우에는 분산효과를 DLVO이론 만으로 설명할 수 없고, 정전기적 반발력 이외에 고분자 흡착층의 상호작용에 의한 입체반발력(입체장해작용)이 동시에 한다는 것으로 설명된다. 즉, 그림 4와 같이 시멘트 입자의 표면에 흡착한 분산성고분자층이 Train층과는 반대방향의 액상을 향하여 3차원적으로 퍼져있으므로 흡착층의 물리적인 입체반발력(엔트로피효과)이 발생하여 시멘트 입자의 응집을 방해하게 된다. 이러한 현상에서의 힘의 곡선을 나타낸 것이 그림 5이며, 그림 3의 DLVO곡선과 유사하다는 것으로서 입체반발력에 의한 분산작용을 설명할 수 있다.

또한 화학구조중에 물분자와 친화성이 큰 수산기(-OH)나 에텔결합(-O-), 아미노기($-NH_2$) 등을 많이 가지고 있는 분산제의 경우에는 시멘트 입자의 사이에 물분자를 끌어들여 응집을 방해하므로써 분산력을 발휘하는 물분자의 습윤침투작용에 의한 효과가 있다고 설명되기도 한다.

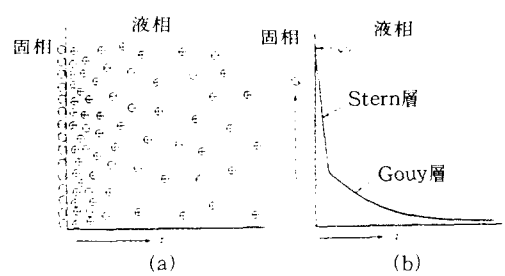


그림 2 固-液 계면의 전기이중층[2,4]

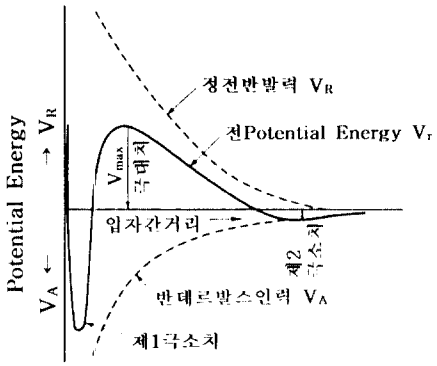


그림 3 DLVO이론의 포텐셜에너지곡선[2,4]

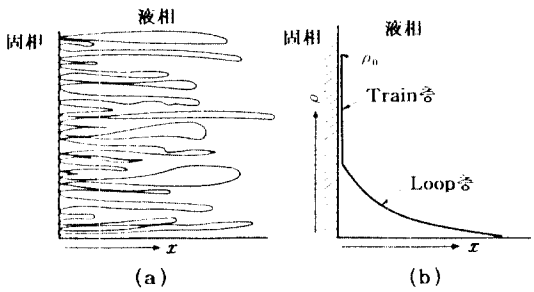


그림 4 固-液 계면에서의 고분자 흡착층[2,4]

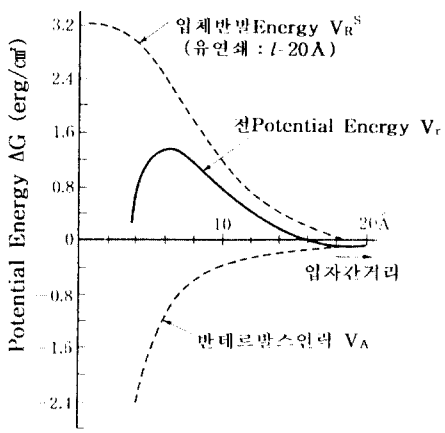


그림 5 입체장애작용의 포텐셜에너지곡선[2,4]

3.3.2 슬럼프로스의 억제작용

시멘트는 시간의 경과에 따라서 수화반응이 진행되며, 수화물인 에트링가이트를 생성하게 된다. 이 때 시멘트 입자의 표면에 흡착되어 있던 분산성고분자의 흡착층이 수화물에 의해 덮혀져 소실되는 화학적 작용과 전기적으로 중화되어 일단 분산되어 있던 시멘트 입자가 2차 응집되는 물리적 작용에 의하여 정전기적 반발력이나 입체적 반발력이 점차 저하되어 결국 반데르발스인력보다 작아짐으로써 응집이 시작된다. 이것을 슬럼프로스라고 하며 일반적으로 제타전위가 시간이 경과할수록 저하된다는 것으로 설명된다.

유동화콘크리트는 슬럼프로스가 크다는 것이 가장 큰 단점으로 유동화제에 슬럼프로스를 억제하는 성분이 가미된 것이 고성능AE감수제라고 할 수 있다. 고성능감수제의 슬럼프유지방법은 ①혼화제의 후첨가 ②지연제의 병용 ③유동화제의 재첨가 ④분산능력이 낮은 분산제의 과잉첨가 ⑤과립분말형의 유동화제 사용 ⑥C3A 함유량이 적은 시멘트 사용 ⑦반응성고분자의 徐放 ⑧폴리칼본산 및 아미노설폰산, 특수리그닌설폰산에 의한 입체장해 등을 들 수 있으나 시판되고 있는 고성능AE감수제에는 주로 ⑦, ⑧의 방법이 적용되고 있다.

폴리칼본산계나 아미노설폰산계 고성능AE감수제의 경우에는 수용성고분자인 분산제 성분이 시멘트 입자에 흡착되어 그림 4와 같은 입체적인 흡착층을 형성하고 있으므로 나프탈렌계나 멜라민계와 같이 전기이중층 만으로 분산성을 발휘하는 것과는 달리 제타전위가 장시간 유지되므로 시멘트 입자간의 2차응집이 일정시간 동안 일어나지 않게 된다. 나프탈렌계나 멜라민계의 경우에는 徐放劑, 반응성고분자, 활성지속폴리머, 架橋폴리머 등을 첨가하여, 이들 성분이 콘크리트중의 알칼리성분에 의하여 서서히 분해되어 폴리칼본산계의 분산성 성분을 방출함으로써 2차응집을 시작한 시멘트 입자를 재분산시켜 콘크리트의 슬럼프유지성능을 확보하게 된다.

4. 아직 굳지않은 콘크리트의 성질

4.1 유동특성

고성능감수제를 사용한 콘크리트는 슬럼프가 같은 보통콘크리트에 비하여 단위수량이 적고, 시멘트페이스트량에 대한 골재량이 많으며 시멘트페이스트 자체의 유동성이 매우 크므로 콘크리트

의 운반이나 타설작업이 용이하다. 콘크리트의 유동성은 온도가 높을수록 유동화효과가 증대하므로 첨가량이 감소하지만 20℃이상에서는 큰 차이가 없다. 또한 점성이 높아져서 베이스콘크리트보다 재료분리저항성이 증대하지만, 고성능감수제를 과잉첨가하거나 베이스콘크리트의 슬럼프가 너무 커서 유동성이 과다한 경우에는 오히려 재료분리가 발생하기 쉬우므로 주의가 필요하다.

4.2 슬럼프 경시변화

유동화콘크리트는 보통의 묽은반죽 콘크리트보다 슬럼프로스가 약간 크다. 그 이유는 콘크리트의 단위수량이 적고, 유동화제의 시멘트 입자 분산효과가 경시적으로 저하하기 때문으로 여겨진다. 유동화콘크리트의 슬럼프로스는 슬럼프증대량이 클수록, 빈배합의 콘크리트일수록, 유동화제 첨가시기가 늦을수록, 콘크리트의 온도가 높을수록 크다. 고성능AE감수제콘크리트는 슬럼프유지성능을 부여하는 성분의 영향에 의하여 일반적으로 15~30분간은 유동성이 약간 증대하는 경향이 있으며, 그후에는 서서히 감소하게 되는데 혼합후 1~1.5시간 동안에는 슬럼프로스가 크지 않다. 이러한 슬럼프 유지효과는 고성능AE감수제의 종류나 배합 등에 의해서 달라지며 혼합직후의 슬럼프가 작거나 콘크리트의 온도가 30℃ 이상일 경우에는 슬럼프로스가 커진다. 슬럼프로스는 온도가 높을수록, 첨가시기가 늦을수록 크며, 서중콘크리트와 같이 온도가 높을 경우에는 지연형의 유동화제 및 고성능AE감수제를 사용하여 슬럼프로스를 억제할 수 있다. 혼화제의 종류에 따른 콘크리트의 슬럼프 경시변화를 비교하면 그림 6과 같다.

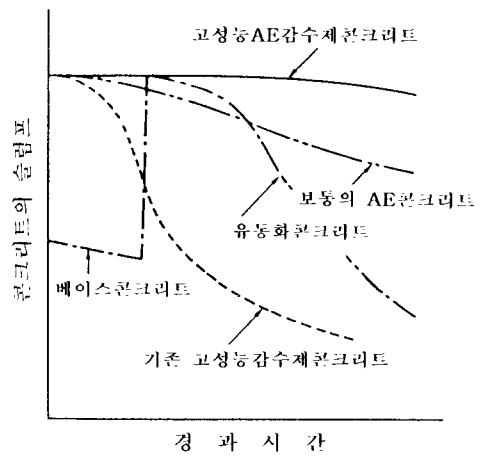


그림 6 각종 혼화제를 사용한 콘크리트의 슬럼프 경시변화[6~8]

4.3 공기량

시판되고 있는 유동화제는 공기연행성인 것도 있지만 원칙적으로 비공기연행성이며 고성능AE감수제는 공기연행성이다. 따라서 유동화콘크리트의 베이스콘크리트는 AE콘크리트이며, 고성능AE감수제콘크리트는 Plain 콘크리트이다. 유동화제의 첨가에 의한 공기량 변화는 일반적으로 베이스콘크리트보다 약간 저하하는 경향이지만 과잉첨가하면 크게 감소하고 시간이 경과 및 유동화제의 재첨가에 의해서도 감소하며 공기량 조절을 위하여 AE제를 병용하기도 한다. 그러나, 고성능AE감수제는 AE성분이 함유되어 있으므로 첨가량이 증가할수록 공기량도 커지지만 표준사용량의 범위에서는 그다지 문제가 되지 않으며 유동화제와 마찬가지로 공기량이 부족할 경우에는 AE제를 병용하여 조절한다.

4.4 응결시간

표준형의 유동화제는 일반적으로 응결지연작용이 적지만 지연형의 경우에는 최대 3.5시간까지 응결이 지연된다. 고성능AE감수제콘크리트는 슬럼프로스를 억제하기 위하여 徐放성분이 함유되어 있으므로 응결시간이 AE감수제를 사용한 콘크리트보다 30~60분정도 지연된다. 특히, 응결시간은 온도의 영향을 받으며, 동절기와 같이 콘크리트의 온도가 낮을 경우에는 대폭적으로 응결이 지연되고(그림 7) 블리딩도 장시간 지속되므로 침하균열이 발생되는 경우도 있다. 또한 첨가량은 일반적으로 0.5~2.0%의 범위에서 사용되지만 첨가량이 증가할수록 응결이 지연되며 표준사용량을 초과하여 과잉첨가할 경우에는 응결지연 및 경화불량을 초래할 수 있으므로 주의해야 한다.

4.5 블리딩량 및 재료분리

유동화콘크리트의 블리딩량은 베이스콘크리트와 비슷하며, 일반적으로 동일한 슬럼프의 Plain 콘크리트보다 30%정도 작지만, 지연형의 경우에는 약간 증대하는 경향이다. 유동화제를 과잉첨가하거나 잔골재중에 0.3mm 이하의 미립분이 적으면 블리딩량의 증가와 재료분리가 발생할 우려가 있다. 고성능AE감수제도 마찬가지로 과잉첨가하면 재료분리, 응결지연, 공기량 과다의 위험성이 있으므로 표준사용량의 범위 이내에서 사용하는 것이 좋다. 고성능AE감수제를 사용하여 고강도콘크리트의 경우에는 물시멘트비가 낮고 자유수가 적으며 점성이 크므로 블리딩량이 감소하고 재료분리가 없는 균일한 콘크리트를 제조할 수 있다. 그러나 블리딩이 적으면 콘크리트의 타설후 표면이 빨리 건조되어 소성수축균열이 발생되기 쉽고 표면마감이 어렵다는 문제가 있는 반면에 블리딩율의 감소에 따라서 침하율도 감소하므로 침강균열의 방지에 유리하다. 한편 고유동콘크리트의 경우에는 유동성이 매우 크므로 재료분리가 잘생할 우려가 있으므로 고성능AE감수제를 사용하는 것 이외에 분리저감제를 병용하기도 한다. 분리저감제는 ①셀룰로즈계 ②아크릴계 ③천연다당류폴리머 등의 종류가 있다.

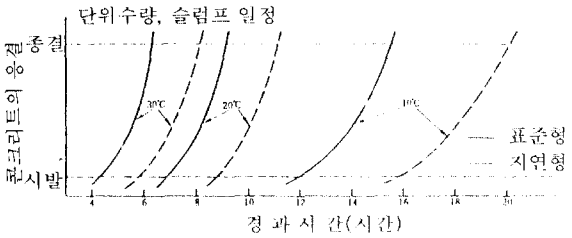


그림 7 콘크리트의 온도와 응결시간의 관계[8]

4.6 펌프압송성 및 마감성

콘크리트의 압송성은 슬럼프가 클수록 펌프의 토출압력 및 관내압력손실이 감소하므로 유동화콘크리트는 베이스콘크리트보다 압송성이 좋으며, 마감성이 좋고 마감작업시간도 단축된다. 그러나 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 경우에는 물시멘트비 40%를 경계로 그보다 낮으면 점성이 높아져 관내압력손실이 크게 증가하므로 사전에 압송실험을 행하는 것이 바람직하다. 한편 슬럼프 및 공기량은 압송에 의해 약간 감소한다.

또한 고성능감수제를 사용한 물시멘트비가 낮은 콘크리트는 미립분이 많은 경우와 같이 점성이 증대하여 마감작업이 힘들다.

이상의 고성능감수제를 사용한 아직 굳지않은 콘크리트의 성질을 비교하면 표 5와 같다.

표 5 각종 혼화제를 사용한 아직 굳지않은 콘크리트의 성질[1]

성질	AE감수제콘크리트	유동화콘크리트	고성능AE감수제콘크리트
유동특성	첨가량으로 슬럼프조정 곤란	첨가량으로 슬럼프조정 곤란	첨가량으로 슬럼프조정 가능
슬럼프 경시변화	슬럼프로스 보통 온도의존성 있음	슬럼프로스 큼 온도의존성 있음	슬럼프로스 적음 온도의존성 적음
공기연행성	양호 : 혼합하면 약간 감소	種의 첨가에 의해 불안정	種의 종류에 따라 변화
블리딩	Plain 콘크리트보다 적음	AE콘크리트와 같거나 약간 적음	AE감수제콘크리트보다 큼
재료분리 저항성	Plain 콘크리트보다 큼	슬럼프증대량이 클수록 분리되기 쉽음	AE감수제콘크리트보다 큼
응결시간	Plain 콘크리트보다 약간 늦음	기준콘크리트보다 약간 늦음	AE감수제콘크리트보다 약간 늦음 : 첨가량이 증대할수록 늦어짐
펌프압송성	압력손실이 적음	AE감수제콘크리트와 동일	압력손실이 큼

5. 경화콘크리트의 성질

5.1 강도특성 및 탄성계수

유동화콘크리트는 유동화제의 첨가량에 관계없이 그림 8과 같이 베이스콘크리트와 거의 동일하지만 약간 증대하는 경우가 있는 것은 공기량의 저하에 의한 것이다. 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 탄성계수도 베이스콘크리트와 거의 동일하고, 그림 9와 같이 압축강도와 비례관계에 있으므로 압축강도로부터 탄성계수를 추정할 수 있다.

그러나 고성능감수제를 사용하여 물시멘트비를 저하시킨 경우에는 28일 압축강도가 크게 증가하며, 특히 초기강도가 크고 안정된 장기압축강도를 얻을 수 있다. 물론 첨가량이 많을수록 감수율이 크고 물시멘트비를 낮출 수 있으므로 압축강도는 상승한다. 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의

인장강도와 휨강도 및 부착강도도 물시멘트비의 감소에 따라서 증가하지만 압축강도의 증가율보다는 완만하게 증가한다.

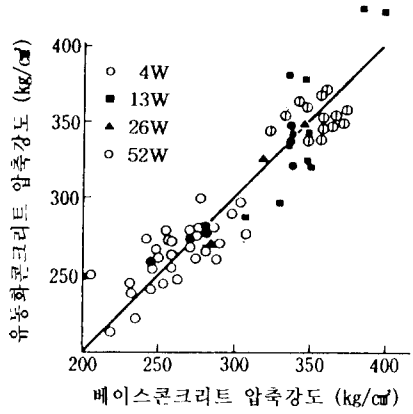


그림 8 유동화 전후의 압축강도 비교[9,10]

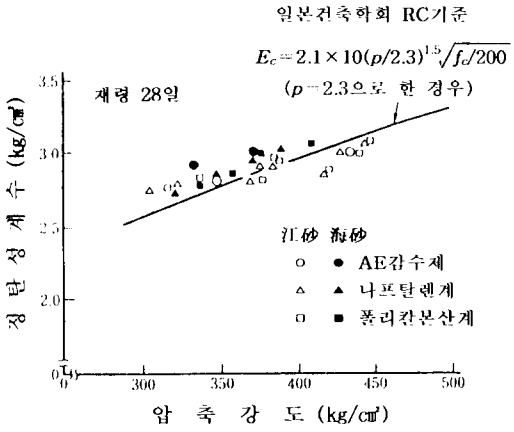


그림 9 압축강도와 탄성계수의 관계[8]

5.2 건조수축

유동화콘크리트와 베이스콘크리트의 건조수축은 거의 동일하며 슬럼프가 동일한 보통콘크리트보다는 단위수량이 적기 때문에 10~15% 정도 감소시킬수 있고 이것은 특히 건조수축균열의 저감에 큰 효과가 있다. 고성능AE감수제를 사용한 경우에 AE감수제를 사용한 경우보다 건조수축율이 약간 감소하는 경향을 나타낸다. 그러나 고유동콘크리트의 경우에는 고성능AE감수제의 사용량이 많으므로 응결지연이나 강도발현성이 늦어지므로 건조수축이 약간 증대한다는 보고도 있다.

그 밖에 압축크리프도 베이스콘크리트와 동일하다고 여겨지고 있다.

5.3 내구성

동결융해저항성은 유동화제의 품질규격에 규정되어 있으며, 유동화콘크리트는 베이스콘크리트와 거의 동일한 저항성이 있다. 또한 흡수성, 투수성, 투기성, 내열성, 내약품성 등에 대해서도 유동화콘크리트의 블리딩량이 적다는 점을 고려하여 보면 동일 슬럼프의 베이스콘크리트보다 같은 정도 이상이라고 여겨진다. 유동화콘크리트의 수화열은 베이스콘크리트와 동일하거나 약간 크지만, 동일 슬럼프의 보통콘크리트에 비하면 단위수량이 적기 때문에 당연히 수화열도 작게 된다.

6. 유동화콘크리트와 고성능(AE)감수제콘크리트의 현장적용성

6.1 고성능콘크리트의 사용목적 및 특징

유동화제는 20~30%의 고감수효과를 나타내는 고성능감수제로서 콘크리트의 물시멘트비가 일정하다면 대폭적인 유동성 증대효과를 가져올 수 있으며, 유동성을 증대시키지 않고 물시멘트비를 줄여서 고강도를 얻기 위하여 사용할 경우에는 고강도화제라고 불려지기도 한다.

서독에서 개발된 유동화제는 본래 단위수량이 적은 된배합의 고품질콘크리트를 시공해야 할 경우에 단위수량을 증가시키지 않고 유동성(슬럼프)을 증가시켜 시공성을 개선함으로써 콘크리트의 운반, 타설, 다짐작업의 능률을 향상시키고 공기를 단축시켜 공사비를 절감하기 위한 목적으로 사용되어 왔다. 그러나 일본에서는 콘크리트의 유동성을 크게 증대시키지 않고 단위수량을 줄이므로써 품질을 개선하기 위한 목적으로 사용되어 왔다. 유동화콘크리트는 다음과 같은 효과를 획득하기 위하여 사용된다.

① 시공성 개선 (콘크리트의 운반 · 타설 · 다짐

작업 능률향상, 공기단축, 거푸집 조기탈형)

② 품질 개선 (단위수량·시멘트량 또는 물시멘트비 감소로 건조수축·블리딩·수화열 저감에 의한 균열방지 및 수밀성·내구성 향상)

③ 펌프시공이 곤란한 콘크리트의 압송성 향상

④ 콘크리트의 고성능화 (고내구, 고강도, 고유동의 콘크리트 제조)

⑤ 유동성 회복 (특히, 서중콘크리트의 슬럼프 회복)

콘크리트 구조물은 사용조건이 매우 다양하므로 시방서에는 각종 콘크리트의 품질을 확보하기 위하여 물시멘트비·단위수량·단위시멘트량·슬럼프·공기량 등에 대한 범위가 규정되어 있다.

그러나 이러한 규정을 만족시키면서 콘크리트를 시공하는 것이 매우 어려운 경우가 많지만, 유동화콘크리트를 시공함으로써 상당부분을 해결할 수가 있다. 이상과 같이 유동화콘크리트는 우수한 특성을 지니고 있지만 현장적용성에는 다음과 같은 문제점을 내재하고 있다.

① 레미콘 트럭에 유동화제를 첨가하기 위한 인원이 추가로 필요하며, 별도의 유동화제 투입장치를 이용하지 않으면 안전상의 위험도 증가된다.

② 유동화제를 현장에 도착한 베이스콘크리트에 첨가하여 교반하므로 일반적으로 레미콘 업자는 베이스콘크리트의 품질에 대한 책임을 지고, 콘크리트의 유동화는 시공자가 하게 되지만 유동화콘크리트 타설후에 품질이 불량할 경우에는 그 원인 및 책임소재가 불명확할 수도 있다.

③ 현장에 도착한 레미콘 트럭에 유동화제를 투입한 후 고속교반해야 하므로 이로 인한 소음과 배기가스 공해가 발생하고 민원의 소지도 있다.

④ 베이스콘크리트와 유동화콘크리트의 각각에 대하여 품질시험을 해야 하므로 슬럼프 및 공기량 시험수와 제작 공시체수, 강도시험수 등이 2배로 증가하고, 따라서 인원, 시간, 경비 등이 증가하며 품질관리가 복잡하다.

이러한 문제는 유동화콘크리트의 슬럼프로스가 크다는 점이 가장 큰 원인으로서 레미콘 운반시간 및 현장대기시간 등이 장시간 소요되는 현실에서는 유동화제를 현장에서 첨가해야 하기 때문이다.

고성능(AE)감수제는 유동화콘크리트의 슬럼프로스를 억제함으로써 레미콘 공장에서 골재나 시멘트 등의 다른 사용재료와 동시에 첨가하여 콘크리트를 제조할 수 있도록 개발된 제품이다. 따라서 고성능(AE)감수제를 사용함으로써 1~1.5시간 까지 슬럼프를 유지시켜 유동화콘크리트와 동등의 품질·성능의 콘크리트를 제조할 수 있게 되었다. 고성능(AE)감수제는 상기의 유동화콘크리트의 사용목적 이외에도 유동화제를 대체할 목적으로도 사용되며, 최근의 고유동콘크리트나 고강도콘크리트 및 고내구콘크리트의 제조에 필수적이다. 따라서 일본에서는 이미 유동화제가 거의 사용되지 않고 고성능AE감수제로 대체되어 있으며, 국내에서도 최근에 몇몇 업체에 의해 개발되어 있으므로 향후 사용량의 급격한 신장이 예상된다.

6.2 고성능콘크리트의 현장적용시의 주의사항

고성능감수제는 높은 감수효과로 인하여 단위수량을 증가시키지 않고도 슬럼프가 증대되므로 일반적으로 유동성이 좋고, 펌핑성이 좋으며, 마감면도 깨끗하며, 각종 품질도 향상된다는 등의 장점이 있지만 이러한 장점을 효과적으로 이용하기 위해서는 여러가지 주의해야 할 사항이 있다.

1) 고성능감수제(특히 지연형)를 AE제 등과 병용할 경우에는 서로 반응하거나 유동화 효과가 감소하는 등 품질에 악영향을 미칠 수 있으므로 고성능감수제 업체에 병용할 혼화제와 같이 사용해도 좋은지 확인하는 것이 좋으며, 일반적으로는 동일한 업체의 혼화제라면 문제가 없다. 또한, 설계기준강도가 400kg/cm^2 이상인 콘크리트는 시공에 적합한 슬럼프, 응결시간, 공기량 등 콘크리트의 성질이 크게 달라지므로 특별하게 만들어진 고강도용의 고성능(AE)감수제를 사용하는 것이 바람직하다.

2) 시멘트의 C_3A 함량·알칼리량·분말도가 클

수록 유동화 효과는 저하되고, SO_3 함량이 많으면 유동화 효과도 크다. 유동화 효과는 이러한 사용재료의 영향 이외에도 첨가량, 콘크리트의 온도 등 각종 요인에 따라 다르므로 사용전에 이러한 점을 숙지하여 대처해야 한다.

3) 고성능감수제를 사용한 콘크리트의 배합은 재료분리의 방지를 위하여 플라이애쉬나 석회석 미분말 등을 첨가하여 분체량을 증가시키는 방법과 잔골재율 증가 및 잔골재중의 3mm 이하의 양을 증가(고성능(AE)감수제 콘크리트의 경우 15%이상)시키는 방법 등을 고려할 필요도 있다. 따라서, 유동화콘크리트의 경우에는 유동화후의 슬럼프를 고려하여 잔골재율을 결정하고, 단위수량도 잔골재율의 증가분을 고려하여 결정해야 한다. 단, 플라이애쉬를 사용할 경우에는 미연탄소에 공기연행성분이 흡착되어 공기량이 낮아지므로 AE제를 첨가토록 해야 한다.

4) 지연형의 유동화제는 콘크리트의 응결지연이나 슬럼프로스 억제를 목적으로 서중콘크리트등에 사용하지만 첨가량 변화에 따라 유동화 정도 및 응결지연성이 동시에 변화하므로 주의해야 한다. 또한 고성능(AE)감수제의 지연형은 응결지연, 수화열 저감 등의 목적으로 사용되지만 응결지연 및 블리딩이 증대하므로 주의해야 한다.

5) 고성능감수제를 과다첨가하면 재료분리, 응결지연, 경화불량, 시공성 및 마감성 저하 등의 악영향을 초래할 수 있다. 따라서 유동화콘크리트의 슬럼프를 베이스콘크리트의 슬럼프보다 10cm 이상 증가시키는 것은 바람직하지 않다.

6) 유동화콘크리트는 유동화제 첨가후 20~30분 정도 경과하면 슬럼프로스가 갑자기 증대하기 때문에 원칙적으로는 유동화제 첨가후 15분 이내, 늦어도 30분 이내에 타설하는 것이 좋으며 이어치기 시간간격도 보통콘크리트의 2/3 정도로 짧게 하는 것이 좋다. 또한 점성증가, 블리딩감소, 슬럼프로스 등에 의하여 표면마감작업이 힘들고 시간이 걸리므로 시공속도, 마감면적, 마감인원 등 마감작업계획에 신중을 기해야 한다.

7) 현장에서 유동화제를 첨가한 후에는 레미콘트럭을 반드시 최소 1분 이상 고속회전시켜야 하며, 유동화제 투입장치를 이용하면 품질의 균질성 확보에 효과적이다. 또한 유동화제는 재첨가하지 않는 것이 좋으며, 예비시험을 통하여 확인된 경우에만 1회에 한하여 재검가하는 것이 좋다.

8) 유동화콘크리트의 워커빌리티는 동일 슬럼프의 보통콘크리트보다는 약간 좋지 않고 경시변화가 크므로 재료분리 방지를 위하여 과도한 다짐은 피해야 하지만 다짐을 생략해서는 안된다.

9) 현장에서 고성능감수제 자체의 품질을 검사하는 방법으로서 고형분량과 관계가 있는 비중을 체크하는 방법이 좋지만 정확한 품질평가는 콘크리트의 시험배합에 의하여 결정해야 한다.

10) 고성능감수제의 제품에 따라서는 장기저장시에 침전물 발생 및 고체와 액체의 분리현상이 발생될 수 있으므로 장기간 저장한 제품은 그 성능을 확인한 후에 사용해야 한다.

11) 고성능(AE)감수제콘크리트는 단위수량이 적을수록 골재의 입도나 표면수 변동의 영향이 크므로 배합설계 및 사용재료의 품질관리가 잘되는 레미콘공장을 선정하는 것이 중요하다.

7. 결 언

고성능감수제는 이미 콘크리트용 재료로써 필수불가결한 재료이지만 아무리 우수한 제품이라도 그 효과는 어떻게 잘 사용하느냐에 달려 있다.

고성능감수제는 앞으로도 여러가지 면에서 개선되어야 할 여지가 많지만 콘크리트의 고유동화, 고강도화, 고내구화를 실현하여 첨단기술을 이끌어나갈 열쇠를 쥐고 있는 재료임에 틀림없다. 국내의 콘크리트 기술이 선진 외국에 비하여 많이 뒤떨어져 있는 현실에서 고성능감수제를 사용한 콘크리트에 대한 연구와 현장적용에 의한 기술축

적이 요구되고 있다.

본고에서는 이러한 현실을 감안하여 고성능감수제의 개발현황, 고성능감수제의 특징, 고성능감수제를 사용한 콘크리트의 성질 및 현장적용성 등에 대하여 기술하였다. 비록 필자의 짧은 식견을 가지고 기술하였으나 많은 관련기술자들에게 조금이나마 도움이 되길 바란다.

참 고 문 헌

1. 日本土木學會, 高性能AE減水劑を用いたコンクリ-トの施工指針(案), 1993.7
2. 兒玉和巳, 高流動化のための材料 -混和劑-, コンクリ-ト工學, Vol.32, No.7, 1994.7
3. 杉本貢, 高流動化のための材料 -化學混和劑-, コンクリ-ト工學, Vol.32, No.7, 1994.7
4. 兒玉和巳・岡澤智, 高強度化のための高性能AE減水劑の開發, セメント・コンクリ-ト, No.546, 1992.8
5. 대한주택공사, 유동화콘크리트의 실용화 방안 연구, 1995.5
6. 山本泰彦・本橋賢一, 土木學會『高性能AE減水劑を用いたコンクリ-トの施工指針(案)』の概要, コンクリ-ト工學, Vol.31, No.12, 1993.12
7. 能町宏, コンクリ-ト最新技術 -(8)最近の混和劑-, コンクリ-ト工學, Vol.33, No.6, 1995.6
8. 日本建築學會, 高性能AE減水劑コンクリ-トの調合・製造および施工指針(案)・同解說, 1992.6
9. 日本建築學會, 流動化コンクリ-ト施工指針・同解說, 1989.9
10. 日本建築學會, 流動化コンクリ-トの技術の現狀, 1979.11