

고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 기초적 성질

Properties of Concrete Using Slump Retentive Superplasticizer

최재진* 김은겸** 신치범***
Choi, Jae Jin Kim, Eun Kyum Shin, Chee Bum

ABSTRACT

Workability time of superplasticized concrete is maintained generally for 30-60 minutes only. Therefore it is of great advantage for the concrete producer to use a high range water reducer which provides an extended slump life. Recently slump retentive superplasticizer has been developed. Concrete mixing tests were done to know slump, setting, air content, bleeding and hardening characteristics of concrete using slump retentive superplasticizer. With slump retentive superplasticizer, high quality concrete was produced and slump loss of concrete was reduced in big way, making long transportation time possible as a practical alternative to on-site addition.

1. 서론

콘크리트용 화학혼화제는 1940년경 감수제와 AE제의 개발을 시작으로 하여 본격적인 개발이 이루어졌으며, 1971년에는 독일에서 고성능감수제의 개발이 이루어져 현재는 이 혼화제가 고강도 콘크리트의 제조 또는 시공성이 좋은 콘크리트의 제조에 널리 사용되고 있다. 고성능감수제는 콘크리트 반죽질의 증진효과가 매우 크며, 비교적 많은 양을 사용하여도 응결지연이나 공기포의 과잉연행 등의 악영향이 없다는 장점이 있다. 그러나 혼합 후 경과시간에 따른 급격한 슬럼프 손실이 초래되는 결점이 있어서 유동화 콘크리트에 사용할 때 믹싱 후 조속한 시간 내에 콘크리트 치기를 마쳐야 하는 사용상의 제약이 있어왔다.

최근에 이러한 문제점을 해결한 새로운 혼화제로서 고성능AE감수제가 개발되어 주목을 받고 있으며 한국산업규격 KS F 2560 (콘크리트용 화학혼화제)의 1997년 개정내용에는 고성능AE감수제에 대한 규격이 추가되었다. 고성능AE감수제는 높은 감수성능과 양호한 슬럼프 유지능력을 가지는 것으로 정의되며, 주성분별로 구분하면 나프탈렌계, 폴리카르본산계, 아미노 술폰산계 및 멜라민계로 대별할 수 있다.

* 정회원. 천안공업대학 토목과 부교수

** 정회원. 서울산업대학교 토목공학과 교수

*** 정회원. 아주대학교 화학공학과 부교수

국내에서는 아직 고성능AE감수제가 본격적으로 사용되고 있지 않으나 가까운 일본에서는 β -나프탈렌 술폰산 포르말린 축합물을 주성분으로 하는 것과 폴리카르본산 고분자를 주성분으로 하는 고성능AE감수제가 널리 사용되고 있다. 특히 이 가운데서도 폴리카르본산계의 사용이 크게 증가하고 있는데 그 이유는 슬럼프 유지능력이 우수하고 낮은 침가량에서 높은 분산성을 유지하며 분자구조상 자유도가 커서 혼화제 제조기술상으로도 제어할 수 있는 파라미터가 많다는 점 때문이다.⁽¹⁾

본 연구에서는 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 특성을 검토하기 위하여 기존의 나프탈렌계 고성능감수제와 새로운 폴리카르본산계의 고성능AE감수제를 사용한 비교실험을 실시하였다.

또한 현장실험으로 배치 플랜트의 믹서에서 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트를 혼합한 다음 트럭 애지테이터에 적재하여 경과시간에 따른 콘크리트의 물성변화를 실험하였다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

시멘트는 S社의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 혼화재료는 표 1에 나타난 바와 같이 기존의 나프탈렌계 고성능감수제와 새로 개발된 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용하였으며, 공기량 조절을 위해 보조AE제를 사용하였다. 굵은골재는 최대치수 25mm의 영종도産 부순돌을 사용하였으며, 잔골재로서는 세척한 바다모래(서산 부근産)와 함께 입도조정을 위하여 부순모래(영종도産)를 7 : 3의 비율로 사용하였다. 골재의 물성시험결과는 표 2와 같으며, 굵은골재 및 바다모래와 부순모래를 혼합한 잔골재는 표준입도 범위 내에 들었다.

표 1 사용혼화제

구 분	주성분	비 중	외 관	표준사용량(C×%)
고성능감수제	sulfonate naphthalene formaldehyde condensate	1.22	암갈색 액체	0.2~2.5
고성능AE감수제	polycarboxylic ether complex	1.05	암갈색 액체	0.5~3.0

표 2 골재의 물리적 성질

종류	비중	흡수율 (%)	단위중량 (kg/m ³)	실적률 (%)	입형판정실적률 (%)	조립률	염분량 (%)	마모율 (%)	No. 100 체통과율 (%)
바다모래	2.60	0.8	1,693	65.1	-	2.85	0.005	-	1.16
부순모래	2.61	0.8	1,775	67.2	55.7	2.78	-	-	13.37
혼합모래(7:3)	-	-	1,743	-	-	2.90	-	-	3.92
부순굵은골재	2.63	0.5	1,617	61.5	58.9	6.66	-	28	1.25

2.2 실내실험

콘크리트 배합은 시멘트-물비 2.2, 2.5, 2.8 및 3.1의 4수준, 슬럼프 17±1.5cm, 공기량 5±1%를 목표로 하여 예비실험을 통해 표 3의 배합을 정하였다. 콘크리트의 혼합은 가경식 믹서를 사용하여 4분

간 혼합하여 콘크리트 50 l를 비빈 다음 슬럼프, 공기량, 블리딩량 및 응결시간을 측정하고 압축강도 시험용 공시체(Ø10×20cm)를 9개씩 제작하였다. 압축강도는 공시체를 표준양생한 다음 재령 3일, 7일 및 28일에 각각 3개씩을 시험하여 구했다.

또한 같은 방법으로 콘크리트를 비빈 다음 슬럼프와 공기량을 측정하고 다시 믹서의 드럼에 콘크리트를 넣고 드럼의 입구를 비닐로 밀봉한 다음 드럼을 기울인 상태에서 3rpm으로 회전시키면서 30분과 60분이 경과되었을 때 슬럼프 시험과 공기량 시험을 실시하여 그 변화를 알아보았다. 이때 콘크리트의 온도는 27℃이고 실내온도는 25℃이었다.

표 3 콘크리트 배합 (실내실험)

혼화제 종류	C/W	단위수량 (kg/m ³)	S/a (%)	혼화제량 (C×%)	보조AE제량(A) (C×%)	보조AE제량(B) (C×%)
나프탈렌계 고성능감수제	2.2	165	44	0.75	0.008	-
	2.5	165	43	0.80	0.010	-
	2.8	165	42	0.85	0.010	-
	3.1	165	41	0.90	0.015	-
폴리카르본산계 고성능AE감수제	2.2	155	45	0.80	-	0.003
	2.5	155	44	0.80	-	0.003
	2.8	160	43	0.80	-	0.003
	3.1	165	42	0.80	-	0.003

2.3 현장실험

현장시험에 사용한 배합은 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용한 시멘트-물비 2.5의 배합으로 표 4와 같다. 콘크리트는 배치 플랜트의 믹서에서 1분간 혼합하여 6.0m³를 제조한 다음 애지테이터 트럭에 적재하였다. 그리고 저속으로 애지테이터를 90분 동안 회전시키면서 30분 간격으로 시료를 채취하여 슬럼프와 공기량을 측정하고 압축강도 시험용 공시체를 제작하여 재령 7일, 10일 및 28일에 강도 시험을 실시하였다. 시험시의 콘크리트의 온도는 27℃이고 실험실 온도는 23℃이었다.

표 4 콘크리트 배합 (현장실험)

슬럼프 (cm)	공기량 (%)	S/a (%)	단 위 량 (kg/m ³)						
			물	시멘트	바다모래	부순모래	부순굵은 골재	고성능AE 감수제	보조AE제 (g)
17	5.0	45	150	375	562	242	992	3.0	11.25

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실내실험 결과

(1) 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트 배합

표 3의 콘크리트 배합표에서 고성능감수제 또는 고성능AE감수제의 사용량은 콘크리트 재료분리를 일으키지 않는 범위 내에서 적정량을 예비실험을 거쳐 정하였다. 고성능AE감수제를 시멘트 중량에 대하여 0.8% 사용한 경우 슬럼프 17cm를 얻기 위한 단위수량은 단위시멘트량에 따라 $155\text{kg/m}^3 \sim 165\text{kg/m}^3$ 로서 고성능AE감수제의 감수성능이 매우 우수함을 알 수 있다.

고성능AE감수제에 의한 감수효과는 시멘트 입자를 분산시킴으로써 얻어지는 것으로 그 메카니즘은 종래의 고성능감수제나 유동화제와 본질적으로 다르지는 않다. 시멘트 입자의 분산은 고성능AE감수제 중의 분산을 맡는 성분이 시멘트 입자 표면에 흡착함으로써 생기는 정전기적 반발력, 立體障害作用 및 침투습윤작용에 의한 것으로 생각되고 있다.⁽²⁾

표 3의 배합으로 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 블리딩량, 응결시간 및 압축강도를 실험한 결과가 표 5이다. 이 결과를 보면 같은 시멘트-물비에서의 콘크리트의 압축강도는 고성능감수제와 고성능AE감수제의 사용에 따라 특별한 차이가 나타나지 않았다. 다만 시멘트-물비 3.1의 부배합의 콘크리트에서는 기존의 고성능감수제보다 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트가 높은 압축강도를 나타내어 고성능AE감수제가 고강도콘크리트의 제조에 적합한 혼화제임을 나타냈다.

표 5 콘크리트의 물성시험결과

혼화제 종류	C/W	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	블리딩량 (ml/cm ³)	응결시간(시:분)		압축강도 (kgf/cm ²)		
					초결	종결	7일	10일	28일
나프탈렌계 고성능감수제	2.2	16.6	4.6	0.33	7 : 30	9 : 07	314	336	358
	2.5	15.5	3.7	0.26	7 : 35	9 : 13	363	386	436
	2.8	17.9	4.0	0.14	7 : 50	9 : 15	409	426	481
	3.1	17.2	4.5	0.08	7 : 35	9 : 08	477	496	513
폴리카르본산계 고성능AE감수제	2.2	17.8	4.7	0.18	5 : 40	8 : 20	312	346	370
	2.5	16.8	4.4	0.11	6 : 00	7 : 50	340	375	411
	2.8	16.5	4.9	0.04	6 : 20	7 : 54	416	456	489
	3.1	18.1	5.1	0	6 : 15	7 : 47	493	526	532

(2) 슬럼프 손실과 공기량 손실

믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프의 변화를 나타낸 것이 그림 1이다. 기존의 고성능감수제와 새로운 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트 두가지 모두 경과한 시간에 따른 손실이 비교적 크게 나타났다. 그러나 이 결과는 실내의 소형 가경식 믹서를 사용한 결과이기 때문에 애지테이터 트럭을 사용하여 운반할 경우는 이 보다 작게 됨을 감안할 필요가 있다. 일반적으로 실험실에서 가경식 믹서를 저속 회전시키면서 슬럼프 변화를 실험하였을 때 60분 경과시에 슬럼프 저하가 6cm 이하라면 실제 애지테이터 트럭으로 60분 운반하였을 때는 슬럼프 저하가 2cm 이하인 것이 확인되고 있다.⁽³⁾

그림에서 혼화제의 종류에 따라 슬럼프 손실량은 상당한 차이가 있어서 나프탈렌계 고성능감수제보다는 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용하였을 때 슬럼프 손실이 매우 적음을 알 수 있다.

그림 2는 믹싱후 경과시간에 따른 공기량의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 두 혼화제는 다른 결과를 보이고 있는데 나프탈렌계 고성능감수제를 사용한 경우는 경과시간에 따른 공기량 손실이 매우 크게 나타난 반면 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용한 경우는 공기량 손실이 비교적 적은 것으로 나타났다.

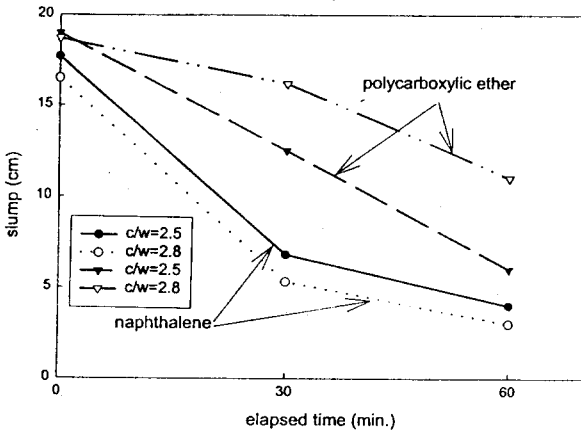


그림 1 경과시간에 따른 슬럼프 변화

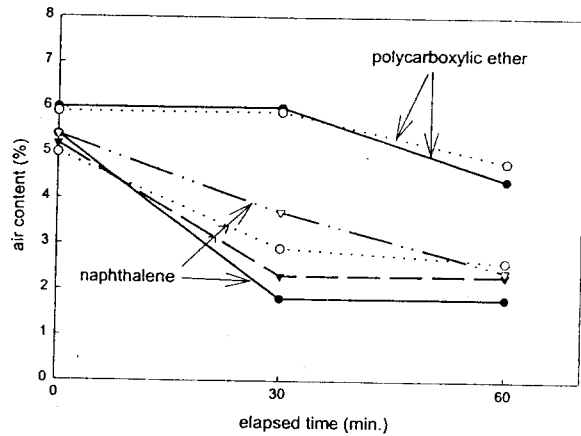


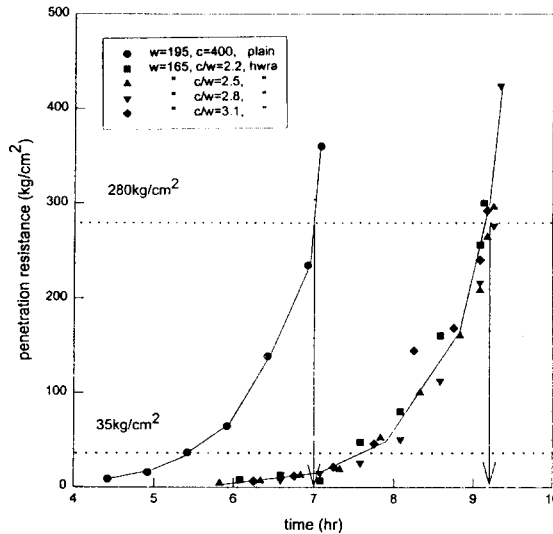
그림 2 경과시간에 따른 공기량 변화

일반적으로 고성능감수제는 그 자체가 공기연행작용을 가지고 있지 않으나 폴리카르본산계의 고성능AE감수제는 그 자체에 공기연행작용이 있어서 그만큼 공기량의 안정화에 기여한다고 볼 수 있다.

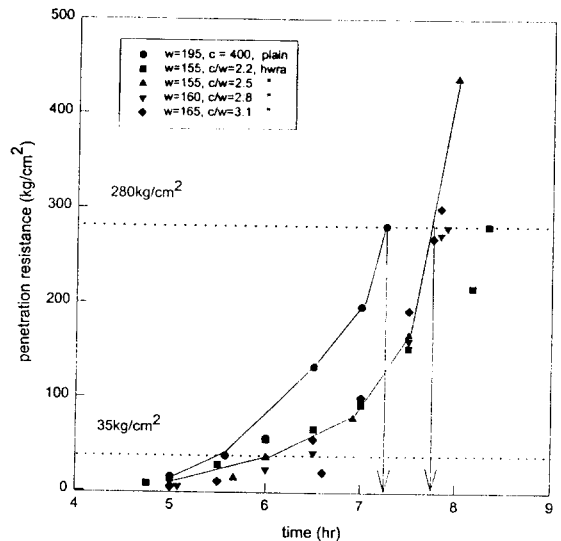
(3) 응결시간 및 블리딩량

콘크리트의 블리딩량 및 응결시간을 시험한 결과를 표 5 및 그림 3과 그림 4에 나타냈다.

콘크리트 응결시험에는 참고로 하기 위하여 혼화제를 사용하지 않은 배합으로서 슬럼프 17cm를 얻기 위한 단위수량을 사용하고 단위시멘트량 400 kg/m^3 으로 한 콘크리트에 대한 시험도 병행하였다. 이 콘크리트의 초결시간과 종결시간은 각각 5시 25분 및 7시 05분으로 나타났다.

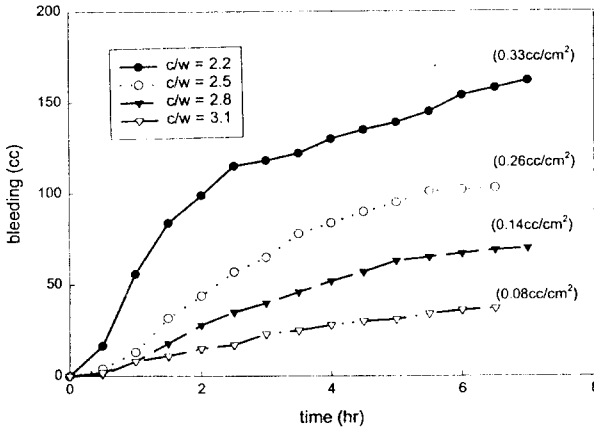


(a) 고성능감수제

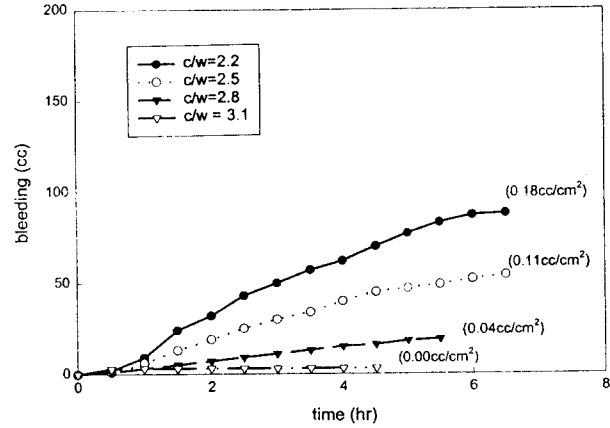


(b) 고성능AE 감수제

그림 3 콘크리트의 응결시간 시험결과



(a) 고성능감수제



(b) 고성능AE 감수제

그림 4 콘크리트의 블리딩 시험결과

콘크리트의 응결시간은 사용한 혼화제의 종류에 따라 차이가 있었으나 같은 혼화제를 사용한 경우 시멘트-물비에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

응결시간은 혼화제를 사용하지 않은 경우에 비하여 나프탈렌계 고성능감수제를 사용한 경우 초결과 종결이 약 2시간 정도 지연되는 것으로 나타났고, 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용한 경우는 초결과 종결이 약 30분~60분 지연되는 것으로 나타났다. 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 응결시간은 고성능AE감수제의 사용량이 비교적 많고 슬럼프 유지성능에 유래한 응결지연의 영향이 있어 보통의 AE감수제를 사용한 경우에 비해 다소 지연되는 것으로 보인다.

블리딩량은 같은 시멘트-물비에서 나프탈렌계 고성능감수제를 사용한 경우보다 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용한 경우 50% 정도 이하로 감소되는 것으로 나타났으며 시멘트-물비가 큰 부배합에서는 거의 블리딩이 발생하지 않았다.

3.2 현장시험 결과

표 6은 레미콘 공장에서 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트에 대하여 운반시간에 따른 슬럼프, 공기량 및 압축강도의 변화를 실험한 결과이다. 이 표에서 믹싱후 90분 동안 트럭 애지테이터로 교반한 콘크리트의 슬럼프 손실이 2.5cm에 머무는 매우 좋은 결과를 나타냈다.

표 6 애지테이터 트럭에 의한 현장시험결과

혼화제 종류	슬럼프 (cm)				공기량 (%)				압축강도 (kgf/cm ²)				
	믹싱 직후	30분 경과	60분 경과	90분 경과	믹싱 직후	30분 경과	60분 경과	90분 경과	7일	10일	28일		
폴리카르본산계	18.5	18.0	16.0	16.0	4.5	5.5	5.5	5.5	(0분) 324	364	409		
									(30분) 308			-	410
									(60분) 314			-	391
									(90분) 324			-	403

시간경과에 따른 콘크리트 슬럼프 저하의 주된 요인으로서 시멘트 수화반응의 진행에 따른 화학적 요인과 일단 분산된 시멘트 입자의 2차응집에 의한 물리적 요인을 생각할 수 있다. 폴리카르본산계 고성능AE감수제는 시멘트 표면에 부피가 크고 두꺼운 흡착층을 형성하며, 이 흡착층은 시멘트 입자간의 2차응집을 입체적으로 저해시킨다고 한다. 또한 시멘트 입자 표면으로부터 떨어진 위치에 분포한 흡착고분자 내의 전하를, 시멘트 수화반응의 진행에 따라 생성되는 수화물에 영향을 받지 않고 잔존시킴으로써 시멘트 표면 전하의 저하를 억제하여 분산성을 장시간 유지하는 작용을 나타내는 것으로 보고 있다.⁽³⁾

혼합후 경과시간에 따른 공기량의 변화는 실험실 실험결과와는 달리 경과시간에 따라 1% 정도 증가되는 결과를 나타냈다. 경과시간에 따라 공기량이 증가되는 현상은 이 혼화제의 특성상 일반 혼화제보다 많은 혼합시간이 요구됨을 나타낸다고 볼 수 있기 때문에 이러한 현상을 막기 위해서는 배치 플랜트에서의 믹싱시간을 어느 정도 연장시켜 충분히 혼합하는 것이 필요할 것으로 보인다. 한편 재령 7일, 10일 및 28일의 압축강도는 실내시험에서 얻은 결과와 유사하였으며, 운반시간 90분 이내의 강도 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

기존의 나프탈렌계 고성능감수제와 새로 개발된 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 비교시험에서 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트는 슬럼프 손실이 작기 때문에 보통의 AE감수제와 같이 이 혼화제를 다른 재료와 함께 동시에 혼합하여 사용하는 것이 가능하다.

(2) 고성능AE감수제를 사용한 경우 실험실 시험에서는 믹싱후 교반시간에 따라 콘크리트의 공기량이 다소 저하하는 경향을 나타냈다. 그러나 애지테이터 트럭을 사용한 현장시험에서는 운반과정에서 공기량이 오히려 1% 정도 증가하였는데 이는 고성능AE감수제를 사용할 때 믹싱시간을 일반 콘크리트의 경우보다 더 연장할 필요가 있음을 나타낸 결과로 생각된다.

(3) 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트는 혼화제를 사용하지 않은 콘크리트에 비하여 응결시간이 다소 지연되었으며, 본 실험에서의 응결시간의 지연은 초결, 종결 모두 1시간 범위 이내이었다.

(4) 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트는 블리딩이 감소되고 강도발현이 양호하였기 때문에 이 혼화제가 고품질의 콘크리트를 얻는데 도움이 되는 것으로 판단된다.

참고문헌

(1) 太田 晃, “超高强度コンクリート用高性能AE減水劑の現状”, 콘크리트工學, Vol.34, No.5, pp.23-32, 1996. 5

(2) 兒玉和己, “高强度化のための材料(混和劑)”, 콘크리트工學, Vol.32, No.7, pp.23-27, 1994. 7

(3) 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), 콘크리트 라이브러리-74,平成5年