포졸란계 미분말 및 화학혼화제에 의한 시멘트페이스트의 유동특성에 관한 연구

A Study on the Mobility Properties of Cement Paste by Fine Powers of Pozzolan and Chemical Admixtures

김 도 수* 노 재 성**

Kim, Do Su Rho, Jae Seong

ABSTRACT

To perform high-strength of concrete, fine powers of pozzolan such as fly ash, silica fume mixed with cement. But mobility of cement and concrete decreased due to using of these powers. To control decrease of this mobility, it is required that mobility is improved by using of chemical admixture such as superplasticizer.

We used admixtures -NSF, NM-2, NT-2 etc- in order to improve mobility of cement paste being substituted by 10, 20% of pozzolans respectively.

It proved that optimum dosage of NSF, NT-2 was 2.0% for being substituted 10%, 3.0% for 20% so as to increase mobility of cement paste mixed with fine powers of pozzolan at W/C=0.40.

1. 서 론

최근에 건설기술의 급속한 발전 및 다양한 시공기술의 보급에 따라 콘크리트 구조물의 요구특성 또한 다양화·고품질화되고 있으며 이에 따라 콘크리트이 성능 및 기능을 향상시킴으로써 기존의 콘크리트의 제물성을 모두 만족시키는 고성능콘크리트가 출현하게 되었다.

즉, 이러한 고성능콘크리트는 고강도화, 고유동성, 고내구성의 개선을 위하여 고로슬랙 분말, 플라이애쉬, 실리카흄등의 포졸란활성 미분말을 시멘트 및 콘크리트에 혼용사용함으로써 경화전 콘크리트의 유동성과 경화한 콘크리트의 강도 및 내구성을 크게 향상, 개선시킨 콘크리트이다. 특히, 실리카흄은 시멘트 비표면적의 50~80배에 이르는 초미립 분말이므로 콘크리트용 혼화재로 사용할 경우, 시멘트입자 사이의 공극 및 불연속 영역을 충전하여 고밀도화시키는 micro filler효과와 포졸란 반응으로 콘크리트의 장기강도를 향상시키는데 유효한 것으로 알려졌다. 그러나 실리카흄과 함께 단위수량에 대한 흡수력의 증가가 시멘트입자에 비해크며 시멘트수화과정중에 발생하는 수산화칼슘과 반응하여 겔상태의 물질을 생성하기 때문에 슬럼프(유동성)가 저하할 뿐만아니라 시간에 따른 슬럼프의 손실이 크게된다.

이를 해결하기 위해서 단위수량의 증가 또는 고유동화제와 같은 화학혼화제를 병용하여 소요의 슬럼프 및 이의 저하를 방지할 수 있으나 단위수량의 증가는 강도저하를 유발하므로 고성능감수제 혹은 고유동화제의 사용으로

* 충남대학교 공업화학과, 석사과정

** 충남대학교 정밀공업화학과, 교수

충분히 콘크리트의 작업성(유동성)을 향상, 개선시키는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 포졸란계 미분말로 플라이애쉬, 실리카 흄과 석고를 혼합한 시료인 FGS(Fly Ash + Gypsum + Active Silica) series를 이용하였다.

또한, 화학혼화제로서 현재 고유동화제로 많이 이용되는 나프탈렌계 축합물인 NSF(N-aphthalene Sulfonated Formaline)와 시멘트입자의 고분산성 및 이를 유지시켜주는 기능을 지닌 폴리카르본산계 혼화제로 NM-2, NT-2를 이용하여 FGS로 시멘트를 일정비율 대체함에 따라 발생하는 유동성의 저하를 억제시켜 주었다. 따라서 고성능콘크리트의 주요 특성인 고유동성 및 고강도화를 위한 기초적인 자료로써 주로 시멘트페이스트의 유동특성변화를 살펴보았다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

2.1.1 시멘트

국내 H사의 보통포틀란드 시멘트를 사용하였고 화학조성 및 물리적성질은 각각 표 1, 표 2에 나타내었다.

표 1 시멘트의 화학조성

화학조성	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	MgO	Ig.loss
함유율(%)	61.83	21.44	5.39	3.66	2.48	2.12	1.23

표 2 시멘트의 물리적 성질

특성	비표면적 (cm^2/g)	분말도(%)		응결시간		압축강도(kgf/cm^2)		
		44μ 잔사	88μ 잔사	초결(min)	종결(hr)	3일	7일	28일
수치	3218	7.5	0.8	232	5:40	210	264	355

2.1.2 포졸란계 미분말+석고의 혼합재(FGS)

국내 K사의 플라이애쉬와 日産의 active silica, II형 무수석고(울산화학)를 일정비율 혼합하여 제조한 혼합재(이하 FGS라 약함)의 화학조성 및 혼합재료 각각의 입도는 표. 3과 표. 4와 같다.

표 3 포졸란계 미분말+석고 혼합재의 화학조성

화학조성	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	Ig.loss
함유율(%)	39.73	9.40	3.05	17.14	0.47	0.14	0.26	23.55	6.24

표 4 플라이애쉬, 실리카흄, 석고의 입도

원료 명	Fly Ash	Fine Gypsum	Coarse Gypsum	Silica Fume
입도 (μm)	17.22	1.70	5.62	2.20

2.1.3 화학혼화제

고유동성 발현을 위한 고유동화제로 나프탈렌계 고축합물인 NSF를 사용하였고, 이를 무수말레인산계 공중합체(Maleic Anhydride and Acrylic Acid)및 폴리카르본산계 고분자와 80:20(wt%)로 각각 혼합하여 제조한 혼화제(NM-2, NT-2)를 시료로 사용하였다. NSF 및 MA, 폴리카르본산계 고분자의 기본물성은 표 5에 나타내었다.

표 5 화학혼화제의 물리적 성질

Properties / Sample name	Specific gravity	pH	Viscosity (cP)	Solid content(%)	Appearence
NSF	1.204	9.1	180	40.00	Dark brown liquid
MA	1.246	4.8	-	41.67	Transparent liquid
Polycarbolic acid	1.238	5.8	-	42.05	Mildly brown liquid

2.1.4 시료의 배합 및 혼화제 첨가량

시멘트와 포졸란계 혼합재의 배합은 FGS의 배합율에 따라 4종(A, B, C, D)으로 구분하여 이를 시멘트에 일정비율 혼합하여 사용하였다. 또한 FGS의 첨가비율에 따라 표 6과 같이 화학혼화제의 첨가량을 조정하였다.

표 6 시료의 배합비 및 화학혼화제의 첨가량

Sample name	Cement (wt%)	FGS series(wt%)				Dosage of chemical admixture(Cx%)		
		FGS-A	FGS-B	FGS-C	FGS-D	NSF	NM-2	NT-2
CF-A1	90	10				1.2	1.2	1.2
CF-B1			10					
CF-C1				10		2.0		2.0
CF-D1					10			
CF-A2	80	20				2.0	2.0	2.0
CF-B2			20					
CF-C2				20		3.0		3.0
CF-D2					20			

2.2 실험방법

W/C=0.40에서 혼화제별로 첨가량을 1.2, 2.0, 3.0%(Cx%)로 첨가하였으며, mixer의 교반 속도는 250rpm으로 유지하여 2-3-2혼합(2분간 혼합, 3분 정치, 2분 재혼합)방법으로 일정시간 경과 후, 측정한 시멘트페이스트(pat)의 면적(cm^2)을 mini-slump로 하여 각각의 FGS 혼용시멘트에 대한 화학혼화제의 첨가농도별 유동특성을 상호 비교하였다.

경시변화 특성은 화학혼화제를 일정량 첨가하고 접수 후, 120분까지 slump의 안정성을 확인하기 위하여 30분 간격으로 mini-slump 값을 측정하여 시간경과에 따른 유동성 유지성능을 정량적으로 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 CF-1(시멘트:FGS=90:10)의 유동특성

시멘트:FGS(A, B, C, D)=90:10의 혼합비로 배합한 후, 이를 W/C=0.40로 한 시멘트페이스트에 대하여 NSF, NM-2, NT-2의 세가지 혼화제를 1.2%첨가시 유동특성을 그림 1에 나타내었다.

NSF첨가시 CF-A1, B1, C1이 유사한 유동성능을 보인 반면 CF-D1은 이들보다 30% 정도 유동성이 떨어지는 결과를 보이고 있고

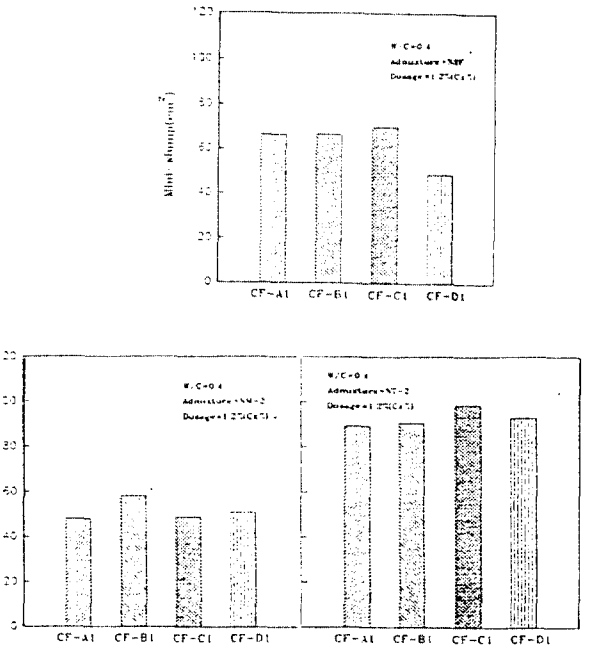


그림 1 혼화제별 CF-1의 유동성능(Cx1.2%)

NM-2의 경우 전체적으로 NSF첨가시 보다 다소 유동성이 떨어지는 현상을 보이며 CF-B1이 약간 높은 mini-slump값을 보였다.

그러나 NT-2의 경우 큰 폭의 유동성능의 향상을 나타내고 있으며 CF-C1이 가장 우수한 유동성을 보이고 있다. 이와같이 동일첨가량의 혼화제에 따라 서도 시료마다 다소 상이한 유동성능을 보이는 것은 혼화제의 화학종, 입자에 대한 이들의 흡착성상 및 FGS혼합원료의 배합비 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

또한 플라이애쉬혼입량의 증감에 따른 수분흡수능력의 차이 혹은 실리카흄의 강한 친수성으로 인한 물과의 반응으로 수화물이 시멘트입자사이에 형성하는 겔층의 진행정도에 따라서도 유동성이 상당히 영향을 받는 것으로 여겨진다.

그림 2에는 혼화제 1.2%로는 충분한 유동성능(목표 mini-slump=140~160cm^2)을 발휘하지 못하므로 유동성이 다소 떨어지는 NM-2를 제외한 NSF, NT-2의 첨가량을 2.0%로 상향조정하여 측정한 유동성능을 나타내었다.

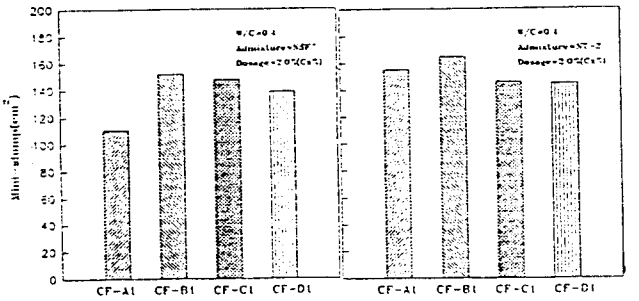


그림 2 혼화제별 CF-1의 유동성능(Cx2.0%)

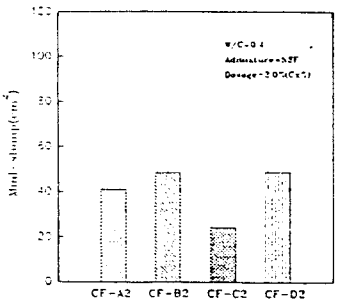
그 결과, CF-A1을 제외한 모든 시료가 NSF첨가시 우수한 유동성능을 나타냈으며 NT-2의 첨가에 의해 모든 시료가 140cm^{2}이상의 값으로 목표하는 유동성에 만족하는 값을 보였다.

3.2 CF-2(시멘트:FGS=80:20)의 유동특성

시멘트에 FGS를 20%혼용시는 10%에 비해 시료의 유동성 감소현상이 현저하게 나타나고 있다. 이는 시멘트에 혼용된 포졸란계미분말의 혼입량증가로 인한 비표면적의 증가로 유발된 흡습능의 상승, 혹은 시멘트입자사이의 겔층의 형성이 강화됨으로써 발생하는 간극간의 자유수이동의 억제현상등에 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다.

이와 같은 경향은 그림 3에서 보이는바와 같이 NT-2를 제외한 NSF, NM-2의 2.0%첨가에도 60cm^{2}이하의 극히 낮은 mini-slump값이 나타내고 있다. 그러나 이들 두 혼화제 투입시 과량(3.0%이상)첨가에 의하여 유동성을 향상시킬 수도 있으나 지나친 제의 투입은 오히려 응결시간의 지연, 연행공기량의 증가로 인한 강도저하등의 악영향을 일으킬 가능성도 배제할 수는 없다.

그림 4에는 NSF, NT-2의 3.0% 투입으로 큰 폭으로 유동성이 개선되고 있음을 보여주고 있으며, 특히 NT-2의 경우 FGS 20% 혼용에도 모든 시료에 대해 140~160cm^{2}의 우수한 유동성을 보여 고성능콘크리트 타설시 작업성개선을 위하여 혼화제 사용시 이와 같은 종류의 혼화제 사용이 바람직하리라 본다.



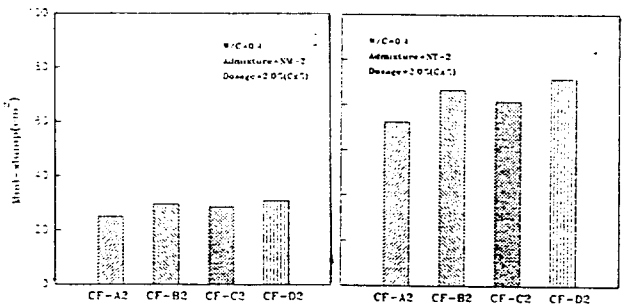


그림 3 혼화제별 CF-2의 유동성능(Cx2.0%)

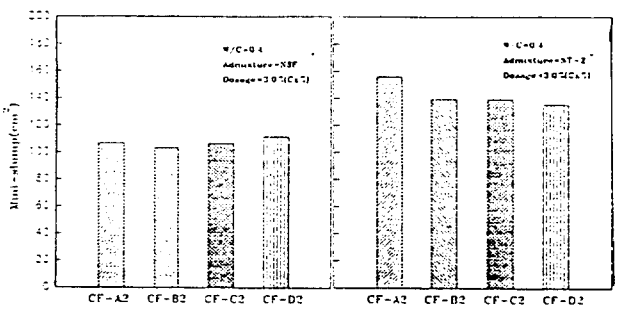


그림 4 혼화제별 CF-2의 유동성능(Cx3.0%)

3.3 혼화제의 첨가량에 따른 시료별 유동특성 변화

혼화제의 첨가량 증감이 FGS혼용 시멘트 페이스트의 유동특성에 미치는 영향을 살펴보

기 위하여 NSF, NT-2 두 혼화제에 대하여 첨가량 1.2, 2.0, 3.0%투입시 유동특성변화를 측정하였다. 그림 5에서 1.2%의 혼화제 투입시 저조한 유동성을 보이다가 2.0%투입시 급격하게 유동성이 상승되는 경향을 알 수 있으며, 3.0%로 첨가량을 늘린 경우에는 유동성의 상승이 다소 완만해지는 경향을 보이고 있다. 또한 NSF 3.0%투입시 CF-D1을 제외한 모든 시료가 만족하는 유동성을 발현하고 있으며 NT-2는 2.0%의 첨가량으로도 목표하는 유동성에 근접하고 있음을 확인 할 수 있다. 따라서 NT-2, 2.0%의 첨가에 의하여 시멘트에 FGS를 10%혼용한 시료의 유동성이 개선되고 있음을 알 수 있다.

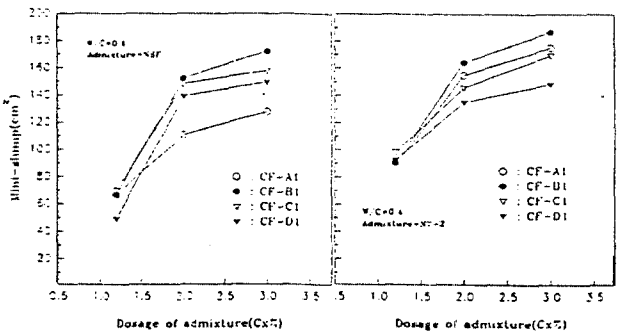


그림 5 혼화제농도에 따른 CF-1의 유동성 변화

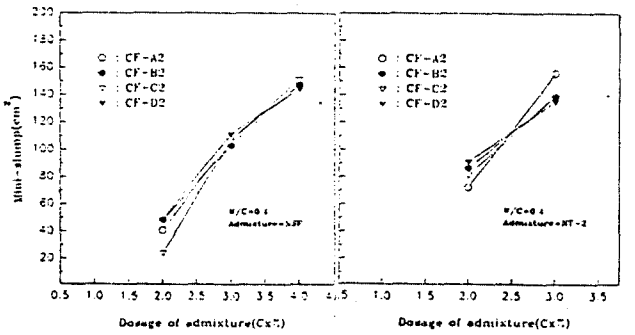


그림 5 혼화제농도에 따른 CF-2의 유동성 변화

한편, FGS를 시멘트에 20%혼용한 시료의 유동성의 변화는 그림 6에서와 같이 NSF, NT-2 두 혼화제의 경우 모두 첨가량의 증가에 따라 거의 직선적으로 모든 시료의 유동성이 상승하는 경향을 보이고 있다. 또한 그림을 통해 목표로 하는 유동성의 향상을 위해서는 NSF은 첨가량 3.0%, NT-2는 첨가량 2.0%투입이 적당하다고 판단된다..

4. 결 론

1. 시멘트에 FGS의 혼입량이 10%에서 20%로 증가함에 따라 동일 혼화제의 첨가량에도 유동성이 감소하게 된다.
2. FGS의 혼입에 따른 유동성의 감소를 억제하기 위하여 투입하는 혼화제로는 폴리카르본산계의 NT-2가 가장 바람직하다.
3. 시멘트에 FGS를 10% 대체한 시료의 유동성을 목표(Mini-slump: 140~160cm^2)값만큼 향상시키기 위한 NSF 및 NT-2의 첨가량은 W/C=0.40에서 2.0%가 적당하며, 20% 대체한 경우의 첨가량은 3.0%가 적당함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. 박승범, "섬유보강 콘크리트의 특성과 최근의 기술-섬유보강콘크리트의 관련이용 재료-", 레미콘지기술논문, 6, 1992
2. N.Kouloumbi, G.Batis, "The Anticorrosive Effects of Fly Ash, Slag and a Greek Pozzolan in Reinforced Concrete", Cement and Concrete Composite, Vol. 16, 1994
3. 河野 清, "シリカ未紛末と赤泥との混合使用による高强度コンクリートの研究", セメント技術年譜, Vol. 42, 1988
4. 노재성, "고성능콘크리트 제조를 위한 국내의 혼화제 제조현황, 특성 및 반응기구", Vol. 39, 1994