유동화공법에 의해 제조한 고유동 콘크리트의 시공 및 원가분석

The Execution and Estimation of Construction Cost of High Fluidity Concrete Applying Flowing Concrete Method

한 민 철*
Han, Min-Cheol

Abstract

High fluidity concrete(HFC) requires high dosage of superplasticizer to acquire sufficient fluidity, and high contents of fine powder and viscosity enhancing admixtures to resist segregation. The use of high amount of admixtures to make HFC at batcher plant in ready mixed concrete company is one of the reasons to raise the manufacturing cost of HFC. For this reason, new type of manufacturing method of HFC are described using both flowing concrete method and segregation reducing superplasticizer(SRS) in order to gain economical profit and offer the convenience for quality control.. As dosage of melamine based superplasticizer increases, it shows that fluidity and bleeding increase, while air contents and ratio of segregation resistance decrease. It also shows that addition of viscosity agent into superplasticizer reduce bleeding and improve segregation resistance of concrete. Dosage of AE agent into superplasticizer containing viscosity agent recovers loss of air contents during flowing procedure. Combination of proper contents of superplasticizer, viscosity agent and AE agent make possible to develope segregation reducing type superplasticizer. Compressive strength of high fluidity concrete applying flowing method with it is higher than that of base concrete. No differences of compressive strength between compacting methods are found. For the estimation of construction cost of high fluidity concreting using segregation reducing type superplasicizer, under same strength levels, although material cost of high fluidity concrete is somewhat higher than that of plain concrete due to segregation reducing type superplasticizer cost, labor cost and equipment cost of high fluidity concrete is cheaper than that of plain concrete. However, based on the strength differences, high fluidity concrete shows lower material cost, labor cost and equipment cost than that of plain concrete due to decreasing in size of member and re-bar caused by high strength development of concrete.

키 워 드 : 유동화공법, 분리저감형 유동화제, 고유동 콘크리트, 재료비
Keywords : Flowing concrete method, Segregation reducing type superplasticizer, High fluidity concrete, Material cost

1. 서 론

국내 건설업의 경우는 건설시장의 개방에 따른 기술경쟁력 강화라는 국내외적 환경 변화에 직면하고 있는 현실을 고려할 때 신기술·신공법의 개발 및 실용화는 서둘러 대처해야 할 사안으로 인식되고 있다.

현재, 건축물의 구조재료로써 가장 널리 쓰이는 콘크리트의 경우에도 역시 신기술·신공법에 의한 합리화가 요구되어져, 이미 일부 선진국뿐만 아니라 국내에서도 새로운 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 특히 굳지 않은 상태에서 유동성이 좋고, 재료분리에 대한 저항성이 우수하며, 충전성이 양호하여 다짐 없이 자력만으로 아무리 복잡한 구조부위라도 손쉽게 채워질 수 있는 고유동 콘크리트의 연구가 진행되고 있고, 실용화에도 커다란 발전이 있어 왔다.

고유동 콘크리트는 굳지않은 상태에서의 높은 유동성 및 구석구석까지 스스로 잘 채워지는 우수한 충전성을 발휘하는 장점을 보유한 반면, 대부분 레미콘 공장제조 형태로서 유동성 향상을 위한 다량의 고성능 감수제와 재료분리를 방지하기 위한 다량의 분체 혹은 증점제로 말미암아제조단가가 비싸고 복잡한 품질관리가 요구되기 때문에 많은 보급 및 실용화에는 많은 문제점이 제기되었다.

따라서 본 연구에서는 유동화 공법을 도입하여 유동화제의 성능을 극대화시켜 유동화제량을 최소화하므로서 경제성을 성취시키고 또한 유동화 과정에서 발생하는 재료분리 및 공기량 저하를 유동화제에 증점제 및 AE제를 일정비율로 첨가시켜 해결하는 고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화제의 최적배합비를 결정하고 이를 토대로 개발된 분리저감형 유동화제를 이용하여 실제 배처플랜트의 공정에 적용한 후 출하되는 베이스 콘크리트를 유동화공법으로 고유동 콘크리트를 제조하여, 모의구조체 및 실구조체를 대상으로 현장적용 실험을 실시하고자한다. 아울러 본 연구에 의하여 개발된 분리저감형 유동화제를 이용하여 유동화공법으로 고유동 콘크리트를 시공할 경우에 소요되는 공사비 절감효과를 검토하기 위하여 실제 아파트 건축공사현장을 대상으로 본 공법을 적용하였을 경우의 공사비를 유동성 변수와 강도수준 변수에 따라 비교·검토하고자 한다.

* 정회원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원, 공학박사

표 1. 실험계획

배합사항								실험사항	
구분	시리즈	W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	목표 슬럼프 플로우 (cm)	유동화제 첨가량 (C×%)	증점제 첨가량 (S×%)	AE제 첨가량 (S×%)	굳지 않은 콘크리트	경화 콘크리트
실험실실험 (최적 배합비 결정)	I	40	베이스 : 18±1 고유동 : 25±1	고유동 60±10	0 0.6 0.9 1.2	0	0	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용적중량 · 굵은골재 씻기시험 · 블리딩시험	· 압축강도 (7 및 28일) · 인장강도 (28일)
	II				0.9	0 0.40 0.50 0.55 0.60 0.70	0		
	III				0.9	0.55	0 0.010 0.015 0.020		
현장적용 실험		40	베이스 : 18±1 고유동 : 25±1	고유동 60±10	0.55 (분리저감형 유동화제)			· 슬럼프, 슬럼프 플로우 · 공기량,단위용적중량, · 충전성시험, V로드유하시험, · 블리딩	· 압축강도 (7일, 28일) · 반발도 (7일, 28일) · 코어압축강도 (28일)

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같은데, 분리저감형 유동화제의 최적배합비 결정을 위한 실험실 실험과 실험실 실험을 토대로 한 현장 실구조체 적용실험으로 구성하였다.

먼저 실험실 실험의 경우 베이스콘크리트의 물시멘트비(W/C)는 40% 하나의 수준에 대하여 목표슬럼프는 18±1cm, 목표공기량은 4.5±1.5%로 하였다. 분리저감형 유동화제의 최적배합비 결정을 위하여 시리즈 1에서는 분리저감형 유동화제의 첨가량을 변화하여 목표 슬럼프 플로우 60±10cm의 범위를 만족하는 적정의 유동화제량을 결정하는 것으로 하였다. 시리즈 2에서는 시리즈 1에서 결정된 적정의 유동화제에 증점제 첨가량을 변화시켜 재료분리가 발생되지 않을 적정한 증점제량을 결정하는 것으로 하였다. 또한 시리즈 3에서는 시리즈 1 및 2에서 결정된 적정 유동화제와 증점제량에 AE제 첨가량을 변화시켜 베이스콘크리트 수준을 만족하는 적정의 AE제 첨가량을 결정하는 것으로 하였다. 한편, 베이스 콘크리트의 배합은 표 2에 나타내었다.

그리고 현장 실구조체 적용실험의 경우 베이스 콘크리트는 물결합재비(W/B) 40%에 플라이애시를 20%치환하여 제조하였고, 목표 슬럼프는 18±1cm로 계획하였다. 유동화 과정중 첨가하는 분리저감형 유동화제는 실험실 연구결과를 토대로 최적의 성능을 발휘하는 배합비로서 멜라민계 유동화제 : PEO증점제 : AE제의 혼합비율을 1 : 0.61 : 0.017로 결정하여 제조하였는데, 첨가량은 예비실험을 통하여 0.55%로 결정하였다. 현장 실구조체 적용실험에서 베이스 콘크리트의 유동화 방법은 콘크리트 제조후 레미콘 공장에서 유동화제를 첨가하고 운반과정에서 유동화하는 것으로 계획하였다.

현장적용실험의 장소는 경기도 의왕시 내손동에 위치한 D 아파트 신축공사 현장내에 RC구조 상가 건물로서, 부어넣기 실험대상은 1층부이며, 부어 넣기량은 약 50m^{3}로 계획하였는데, 표 3에 현장개요를 나타냈고, 사진 1 및 2는 현장의 전경과 부어넣는 과정을 나타낸 것이다. 굳지않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 각종 실험은 표 1에 제시되어 있고 베이스콘크리트는 현장근처의 S레미콘사의 배쳐플랜트에서 제조하였는데, 배합사항은 표 4와 같다.

한편, 본 공법의 현장 적용시 소요되는 공사비절감에 대한 검토를 위하여 현장적용실험 후 대상 건물을 선정하였는데, 공사비 산정을 위한 개요 및 범위는 표 5와 같고, 대상건물은 서울시 마포구 신수동 D건설 재개발 아파트 신축공사현장으로 대상건물의 개요는 표 6과 같다.

먼저 콘크리트의 강도수준은 고유동 콘크리트의 경우 35N/mm^2, 플레인 콘크리트의 경우는 21N/mm^{2}로 결정하였다. 유동성은 고유동 콘크리트의 경우 베이스 상태에서18cm로 결정한 후 실험실시험 및 현장적용실험을 토대로

표 2. 실험실 실험의 베이스콘크리트 배합표

W/C (%)	W (kg/m^3)	S/a (%)	SP/C (%)	AE (%)	용적배합 (ℓ/m^3)			중량배합 (kg/m^3)		
					C	S	G	C	S	G
40	180	50	1.0	0.15	143	316	316	450	815	857

표 3. 현장실험 대상건물의 개요

현장위치	경기도 의왕시 내손동 D아파트 신축상가
타설량	50m^3
건축규모	지상 2층
구조	철근콘크리트 라멘조
실험층	1층
타설일	2001년 8월 7일

표 4. 현장적용실험의 베이스 콘크리트 배합표

W/B (%)	W (kg/m^3)	S/A (%)	FA/C (%)	S.P/C (%)	용적배합 (ℓ /m^3)			
					C	FA	S	G
40	180	50	20	1.2	114	41	310	310

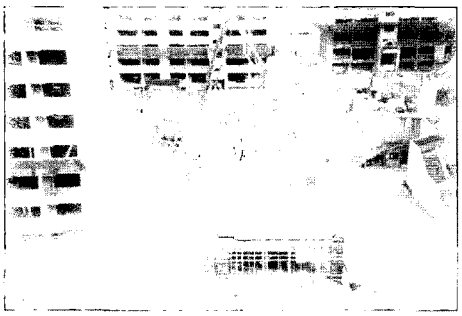


사진 1. 현장부어넣기 실험 광경

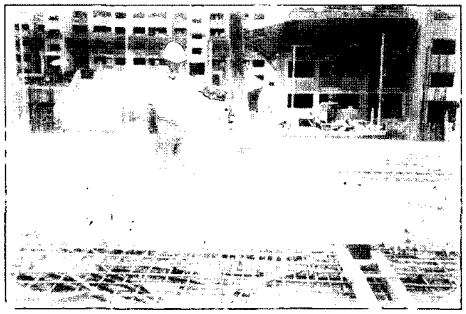


사진 2. 유동화후 고유동 콘크리트 타설 장면

표 5. 원가분석을 위한 콘크리트의 개요 및 범위

범 위		수 준
콘크리트	강도	· 35N/mm^2 (고유동 콘크리트) · 21N/mm^2 (플레인 콘크리트)
	유동성	· 슬럼프:18cm(베이스콘크리트, 플레인 콘크리트) · 슬럼프플로우:60±5cm (고유동 콘크리트)
공사비 검토	· 유동성변화에 따른 공사비 · 강도수준변화에 따른 공사비	· 슬럼프 18cm와 슬럼프 플로우 60cm인 경우의 공사비 비교 · 강도21N/mm^{2}와 35N/mm^{2}인 경우의 공사비 비교

표 6. 원가분석을 위한 현장개요

현장위치	서울시 마포구 신수동 D건설 신축아파트
건물면적	45,726m^2
건축규모	지상 15층
구조	철근콘크리트 벽식구조

개발된 분리저감형 유동화제를 첨가하여 슬럼프 플로우를 60±5cm로 한 배합을 결정하였다. 플레인 콘크리트의 경우는 슬럼프 18cm로 결정하였다.

한편, 공사비 검토와 연관하여 본 연구에서는 신축아파트 전체동에 대하여 철근콘크리트 공사중 직접공사비만을 검토하는 것으로 하였는데, 먼저, 동일강도 수준에서 본 연구에 의한 고유동 콘크리트와 플레인 콘크리트의 공사비를 비교하기 위하여 압축강도 35N/mm^{2}에 슬럼프 18cm인 플레인 콘크리트와 슬럼프 플로우 60±5cm인 고유동 콘크리트를 시공한 경우 공사비를 검토하였다. 또한, 강도수준변화에 따른 공사비를 비교하기 위하여 압축강도

21N/mm^{2}에 슬럼프 18cm인 플레인 콘크리트와 본 연구에 의한 고유동 콘크리트의 공사비를 비교·검토하였다.

본 연구의 공사비 산정은 건축공사 표준품셈, 적산정보 및 월간거래가격(2002년10월기준)을 참고하여 결정하였다.

표 7. 혼화제의 물리적 성질

혼화제 종 류	주 성 분	색상 및 형태	밀도 (g/cm^3)	표준 사용량 (%)
유동화제	Naphthalene	암갈색, 액상	1.08	1.0
증점제	Poly Ethylene Oxide	흰색분말	1.00	0.2
AE제	Sodium Lauryl Sulfate	연황색 액상	1.04	0.015

2.2 사용재료

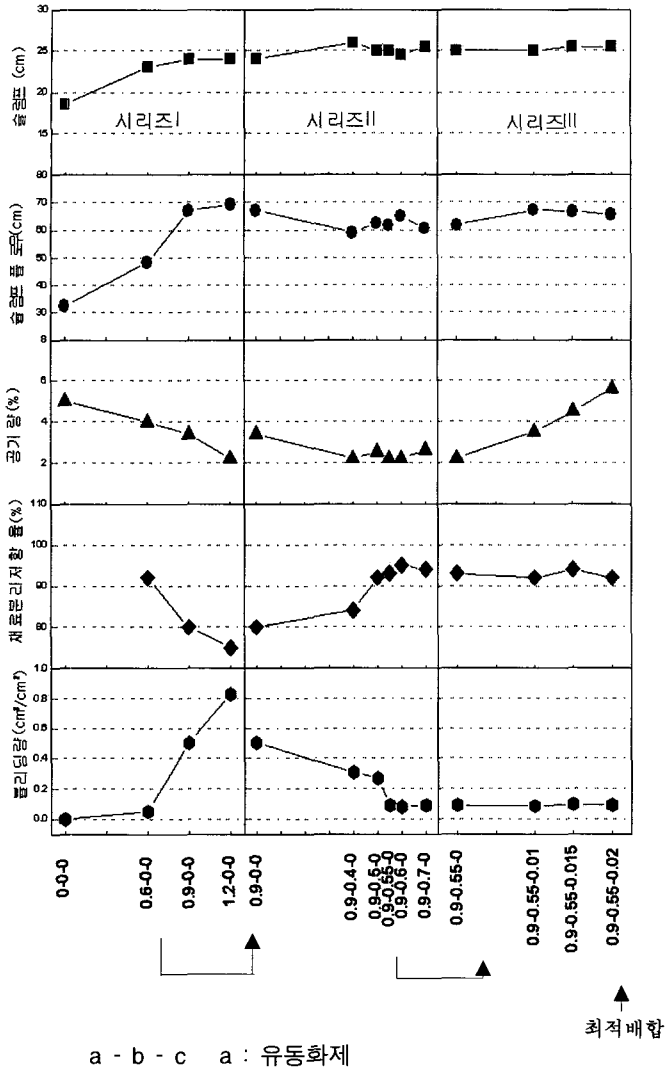
실험실 실험의 사용재료로서 먼저 시멘트는 국내산 보통포틀랜드 시멘트(밀도:3.15g/cm^3, 분말도:3303cm2/g, f28 : 41N/mm^2), 골재로서 잔굵은골재는 충북 옥산산 강모래(밀도:2.58g/cm^3, 조립율:2.8) 및 부순골재(밀도:2.71g/cm^3, 조립율:6.8)을 사용하였다. 혼화제로서 유동화제는 멜라민계, 증점제는 폴리에틸렌 옥사이드(PEO) 그리고 AE제는 나트륨로릴황산염계를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 7과 같다.

현장실구조체 적용실험의 사용재료로서 시멘트는 S레미콘사의 원재료로서 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트(f28: 37.2N/mm^2, 분말도:3,363 cm^2/g)를 사용하였고, 플라이애시(밀도:2.23g/cm^3, 분말도:3,519cm^2/g)는 충남 보령화력산을 사용하였다. 골재로서 굵은골재는 부순돌(밀도: 2.56g/cm^3, 조립율: 6.9)을 사용하였으며, 잔골재의 경우 강모래 (밀도:2.55 g/cm^3, 조립율:2.78)를 사용하였다.

혼화제로써 유동화제는 멜라민계 유동화제에 PEO 증점제와 AE제를 혼합하여 제조한 분리저감형 유동화제를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 7과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로써 실험실 실험의 경우 강제식 팬믹서를 사용하여 첨가한 혼화제가 충분히 혼합될 수 있도록 하였고, 굳지않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 실험은 KS 규격 및 기존의 알려진 방법에 의하여 실시하였다.



a - b - c a : 유동화제
b : 증점제
c : AE제

그림 1. 혼화제 첨가량에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성

한편, 현장 실구조체 적용실험의 경우 베이스 콘크리트는 레미콘사의 배쳐플랜트에서 제조하는 것으로 하였고, 유동화 방법은 공장에서 첨가후 운반과정에서 유동화하는 것으로 계획하였으며, 제반실험은 KS 및 기존의 알려진 방법에 의거하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 분리저감형 유동화제의 최적배합비 결정에 관한 실험실 실험

1) 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1은 실험계획 된 각종 혼화제 첨가량에 따른 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 재료분리저항율 및 블리딩량을 나타낸 것이다. 시리즈 I의 경우는 베이스 콘크리트에서의 유동화제 첨가량, 시리즈 II는 시리즈 I에서 결정된 적정 유동화제에서의 증점제 첨가량, 시리즈 III은 시리즈 I, II에서 결정된 적정 유동화제 및 증점제 첨가량에 AE제 첨가량을 변수로 한 것이다.

(1) 슬럼프, 슬럼프 플로우

먼저, 슬럼프는 유동화제를 첨가할수록 증가하는 것으로 나타났는데, 1.2%의 과량첨가한 경우는 점성부족에 의한 재료분리현상으로 중앙부에 굵은 골재가 쌓여 슬럼프는 고성능감수제 0.9%를 첨가한 경우와 거의 같은 경향으로 나타났다. 따라서, 시리즈 II에서 증점제 첨가에 의한 슬럼프 감소를 감안할 때 슬럼프가 24cm, 슬럼프 플로우가 68cm인 고성능감수제 0.9%를 첨가한 배합을 유동화 콘크리트를 제조하기 위한 것으로 결정하였다.

시리즈 II는 유동화제를 0.9% 첨가한 배합에서 증점제 첨가량을 증가시킬수록 점성증가에 의하여 슬럼프는 감소하는 경향으로 나타났는데, 재료분리가 없는 범위에서 유동성이 양호한 배합은 증점제 첨가량 0.55%로 나타났다. 또한, 시리즈 I, II에서 결정된 유동화제 0.9% 및 증점제 0.55% 첨가한 배합에서 AE제를 증가시킬수록 슬럼프는 약간 증가하는 경향이나, AE제 0.01%, 0.015% 및 0.02%를 첨가한 경우는 슬럼프가 25±1cm, 슬럼프 플로우가 60±5cm 범위에 포함하는 것으로 나타났다.

(2) 공기량

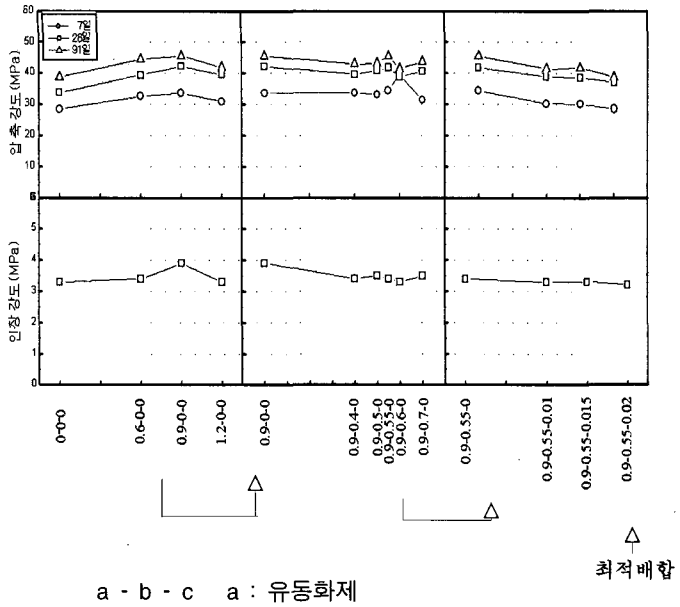
공기량은 유동화제가 증가할수록 또한 증점제의 첨가에 의해 약간 감소하였으나, AE제의 첨가에 따라 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 특히 AE제 0.015%를 첨가한 경우는 슬럼프 및 슬럼프 플로우가 목표에 만족하게 나타났고, 공기량도 4.5%로 베이스 콘크리트의 공기량과 유사해지는 것으로 나타났다.

(3) 재료분리저항성 및 블리딩

재료분리측면에서는 육안 및 굵은 골재씻기 실험을 통하여 재료분리를 판정한 결과 시리즈 I의 각 배합은 첨가율 0.6%이상에서 모두 재료분리가 발생하였으나 시리즈 II 에서는 재료분리가 발생하지 않았으며, 증점제의 첨가율이 증가할수록 양호한 저항성을 나타냈다. 또한, 시리즈 II 및 III에서 재료분리저항율은 85~105% 이내로 양호한 결과를 나타냈다. 재료분리의 판정에 또 하나의 기준이 되는 블리딩량은 비록 증점제 첨가율 0.55%이하에서는 크게 나타났으나 증점제 첨가율 0.55%이상 및 시리즈 III에서는 모두 0.1cm^3/cm^{2}이하로 시방서의 규정을 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

2) 경화 콘크리트의 특성

전반적으로 베이스콘크리트와 비교한 경우 콘크리트의 압축강도 및 인장강도는 그림 2에서 나타난 것과 같이 유동화제는 0.9% 일 때 제일 큰 것으로 나타났고, 증점제 및 AE제의 첨가에 따라서는 약간 저하하거나 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.



a - b - c a : 유동화제
b : 증점제
c : AE제

그림 2. 혼화제 첨가량에 따른 인장 및 압축강도

표 8. 베이스 및 최적유동화 콘크리트의 실험결과

종류	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	재료분리 저항율 (%)	블리딩량 (cm^3/cm^2)	28일 압축강도 (N/mm^2)	28일 인장강도 (N/mm^2)
베이스 콘크리트	18.5	32.5	5	-	0.02	33.8	3.3
유동화 콘크리트	25.5	66.8	4.9	94	0.02	38.6	3.4

한편, 유동화제 0.9%를 첨가한 경우의 압축강도는 베이스 콘크리트보다 약 25%정도 증가하여 가장 높은 강도를 나타냈고, AE제 0.02%를 첨가한 경우는 공기량의 증가에 의하여 강도가 약 10%정도 감소하는 것으로 나타났으며, 인장강도도 압축강도와 비슷한 경향을 나타내었다. 또한 시리즈 Ⅱ에서의 압축 및 인장강도는 모두 베이스 콘크리트보다 약간 높게 나타났는데, 이는 중점제의 첨가에 의하여 재료분리가 발생하지 않아 강도가 향상된 것으로 분석된다.

종합적으로 본 실험의 범위에서는 슬럼프 18.5cm, 슬럼프 플로우 32.5cm, 공기량 5%인 베이스 콘크리트에 유동화제 0.9%에, 증점제 0.55% 및 AE제 0.015%를 첨가한 유동화제를 개발하므로써 표 8과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 즉 슬럼프 및 슬럼프 플로우를 각각 25.5cm, 66.75cm로 유동화 시키고 공기량도 4.5%로 규정에 만족하였다. 또한 재료분리저항율도 94%로 표준적인 범위에 들어왔으며, 블리딩량도0.085cm^3/cm^2로 0.1cm^3/cm^2의 표준적인 규정을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 재료분리는 일어나지 않은 것으로 사료된다. 강도측면에서도 베이스보다 약 15% 정도 증가하는 것으로 나타나 전반적으로 워커빌리티를 향상시키고 재료분리저항성 및 내구성 등 품질을 확보할 수 있으며 경제성도 성취할 수 있는 고품질 현장 유동화 고유동 콘크리트의 제조가 가능한 것으로 사료된다.

3.2 현장적용실험

1) 굳지않은 콘크리트의 특성

(1) 유동성 및 공기량

그림 3은 현장에서 실험실연구를 통해 개발된 분리저감형 유동화제를 사용하여 유동화 전·후의 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것이다. 슬럼프 플로우는 유동화후 64cm로 측정되어 계획된 값을 발휘하였으나, 공기량은 유동화후 급격히 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 플라이애시의 영향으로 분석된다. 한편, 전반적으로 굳지않은 콘크리트의 물성은 레미콘차를 운반도중 유동화시키므로서 충분한 교반시간이 확보되어 양호한 품질을 발휘할 수 있었다.

(2) 충전성 및 재료분리저항성

그림 4는 유동화후의 유하시간과 충전높이를 나타낸 것이다. 유하시간은 1.5초, 충전높이는 38cm로 매우 양호한 충전성을 보였다.

한편 그림 5는 부어넣은 후 시간경과에 따른 블리딩량을 나타낸 것으로 경과시간 150분 후에도 최대 0.29cm^3/cm^2정도로 JASS-5의 고유동콘크리트 블리딩 제한치 규정인 0.3cm^3/cm^2이하를 만족하고 있었다.

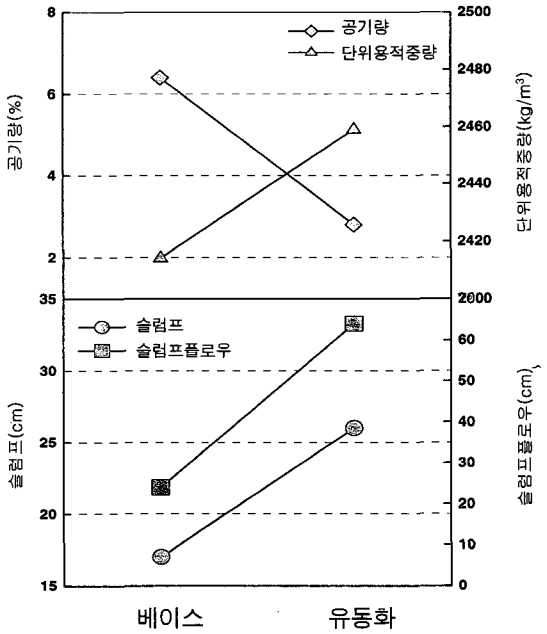


그림 3. 유동화전후의 유동성 및 공기량

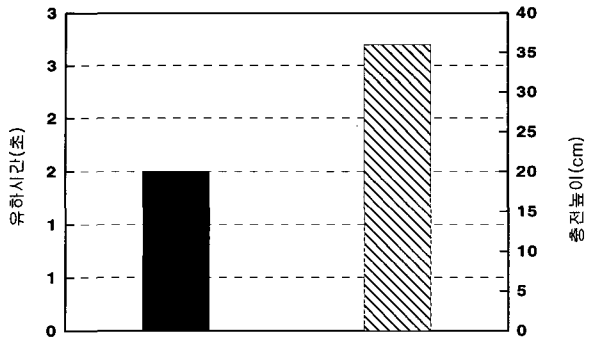


그림 4. 충전성 시험결과

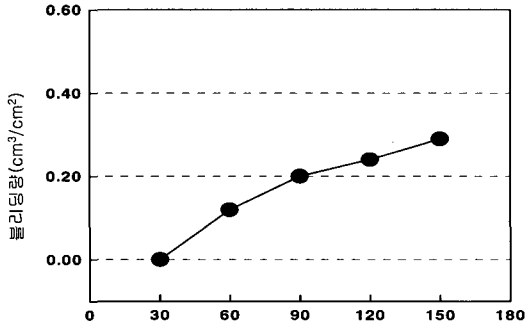


그림 5. 시간경과에 따른 블리딩량

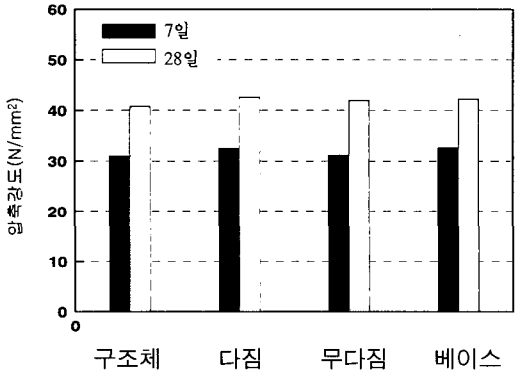


그림 6. 양생 및 다짐방법별 압축강도

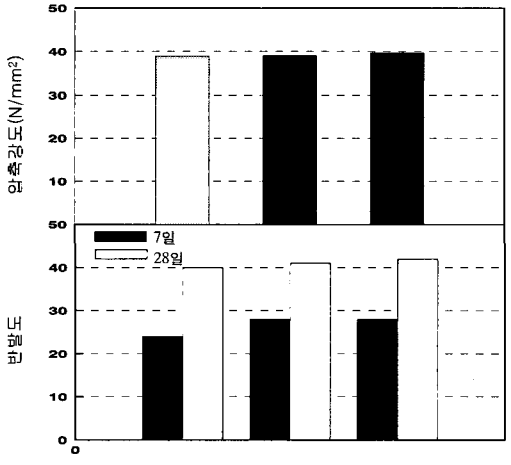


그림 7. 높이별 코아압축강도 및 반발도

2) 경화콘크리트의 특성

그림 6은 재령 7일과 28일에서의 유동화 전후 및 다짐과 무다짐간의 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저 유동화전후의 압축강도는 유동화후가 유동화전보다 약간 높거나 거의 비슷한 경향으로 나타나 유동화에 따른 강도저하는 없는 것으로 확인됐다. 또한 다짐방법간의 차이는 다짐과 무다짐간 거의 차이가 없는 것을 알 수 있었다.

그림 7은 구조체내 더미월에서 높이별로 측정한 코아압축강도와 반발도를 나타낸 것이다. 먼저 코아압축강도의 경우 상하부간의 차이가 거의 없는 것을 확인할 수 있었고, 반발도의 경우도 거의 유사하거나 하부가 약간 높은 경향을 띠는 것으로 조사됐다. 이는 결국 유동화후 고유동 콘크리트가 재료분리 없이 구조체내에 구석구석 양호하게 채워진 결과로 사료된다.

3.3 분리저감형 유동화제를 사용한 고유동 콘크리트의 시공에 따른 공사비 검토

1) 유동성 변화에 따른 공사비 비교

표 9 및 그림 8은 동일한 강도수준(35N/mm^2)에서 고유동 콘크리트와 슬럼프 18cm인 플레인 콘크리트의 공사비를 각 항목별로 구분하여 나타낸 것이다. 먼저, 재료비의 경우 고유동 콘크리트가 분리저감형 유동화제의 사용에 따른 유동화제 비용의 증대로 동일강도 수준의 플레인 콘크리트에 비하여 약 15,309,000원 (약 0.4%)정도 높게 나타난 반면, 노무비의 경우 고유동 콘크리트 시공시 다짐인부가 필요 없음에 따라 플레인 콘크리트에 비하여 약 2%정도 낮게 나타났다.

한편, 기계경비의 경우는 고유동 콘크리트에 있어서 유동성 증대에 따른 펌프의 효율성 증대에 기인하여 플레인 콘크리트에 비하여 약 12%정도 낮게 나타났다. 따라서 동일강도 수준에서 고유동 콘크리트로 시공할 경우 재료비는 약간 상승하나, 노무비 및 경비에서 비용이 감소하여 전체적으로는 동일한 강도수준의 슬럼프 18cm 플레인 콘크리트에 비하여 약 0.3%정도의 공사비 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

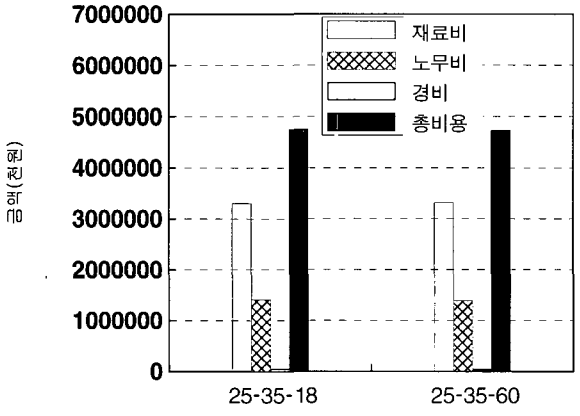


그림 8. 유동성 변화에 따른 공사비의 구성

표 9. 유동성 변화에 따른 철근콘크리트 공사비 (단위:천원)

구분	25-35-18						25-35-60 (슬럼프 플로우)					
	품명	규격	단위	수량	단가	금 액	품명	규격	단위	수량	단가	금 액
재료비	레미콘	25-35-18	m^3	15,309	68	1,041,012	레미콘	25-35-18	m^3	15,309	68	1,041,012
							유동화제	분리저감형	m^3	15,309	1	15,309
	철근	H10	ton	1,040	320	333,099	철근	H10	ton	1,040	320	333,099
		H13	ton	716	315	225,647		H13	ton	716	315	225,647
		H16	ton	240	310	74,541		H16	ton	240	310	74,541
		H19	ton	61	310	19,141		H19	ton	61	310	19,141
		H22	ton	35	310	11,095		H22	ton	35	310	11,095
		H25	ton	46	310	14,445		H25	ton	46	310	14,445
	철근가공조립	보통	ton	2,141	5	10,705	철근가공조립	보통	ton	2,141	5	10,705
	거푸집	유로폼	m^2	142,572	11	1,568,292	거푸집	유로폼	m^2	142,572	11	1,568,292
소계						3,297,977						3,313,286
노무비	레미콘 타설	철근,펌프카					레미콘 타설	철근,펌프카				
	-콘크리트인부		m^3	15,309	4.359	66,731	-콘크리트인부		m^3	15,309	4.359	66,731
	-다짐(보통)인부		m^3	15,309	1.718	26,300						
	철근가공조립	보통	ton	2,141	15.1	323,291	철근가공조립	보통	ton	2,141	15.1	323,291
	거푸집	유로폼	m^2	142,572	7	998,004	거푸집	유로폼	m^2	142,572	7	998,004
소계						1,414,326						1,388,026
경비	레미콘 타설	철근,펌프카	m^3	15,309	3.4	52,050	레미콘 타설	철근,펌프카	m^3	15,309	3	45,927
소계						52,050						45,927
합계						4,764,353						4,747,239

표 10. 강도수준변화에 따른 철근콘크리트 공사비 (단위:천원)

구분	25-21-18						25-35-60(슬럼프플로우)					
	품 명	규 격	단위	수량	단가	금 액	품 명	규 격	단위	수 량	단가	금 액
재료비	레미콘	25-21-18	m^3	21,053	52.7	1,109,493	레미콘	25-35-18	m^3	15,309	68	1,041,012
							유동화제	분리저감형	m^3	15,309	1	15,309
	철근	H10	ton	1,143	320	366,043	철근	H10	ton	1,040	320	333,099
		H13	ton	787	315	247,964		H13	ton	716	315	225,647
		H16	ton	264	310	81,914		H16	ton	240	310	74,541
		H19	ton	67	310	21,034		H19	ton	61	310	19,141
		H22	ton	39	310	12,193		H22	ton	35	310	11,095
		H25	ton	51	310	15,874		H25	ton	46	310	14,445
	철근가공조립	보통	ton	2,285	5	11,425	철근가공조립	보통	ton	2,141	5	10,705
	거푸집	유로폼	m2	196,066	11	2,156,726	거푸집	유로폼	m^2	142,572	11	1,568,292
소계						4,022,666						3,313,286
노무비	레미콘 타설	철근,펌프카					레미콘 타설	철근,펌프카				
	-콘크리트인부		m^3	21,053	4.359	91,770	-콘크리트인부		m^3	15,309	4.359	66,731
	-다짐(보통)인부		m^3	21,053	1.718	36,169						
	철근가공조립	보통	ton	2,285	15.1	32,329	철근가공조립	보통	ton	2,141	15.1	323,291
	거푸집	유로폼	m^2	196,066	7	1,372,462	거푸집	유로폼	m^2	142,572	7	998,004
소계						1,532,730						1,388,026
경비	레미콘 타설	철근,펌프카	m^3	21,053	3.4	71,580	레미콘 타설	철근,펌프카	m^3	15,309	3.0	45,927
소계						71,580						45,927
합계						5,626,976						4,747,239

2) 강도수준 변화에 따른 공사비 비교

표 10 및 그림 9는 고유동 콘크리트와 강도수준이 21 N/mm2인 플레인 콘크리트의 공사비를 각 항목별로 구분하여 나타낸 것이다.

먼저 재료비에서는 고유동 콘크리트의 경우 강도가 높고 유동화제의 사용으로 플레인 콘크리트보다 재료비가 클 것으로 생각되었지만, 고유동 콘크리트의 고강도화에 따른 부재의 단면적 및 철근량 감소에 기인하여 오히려 콘크리트의 물량이 28%정도 감소하고, 철근 및 거푸집 물량도 플레인 콘크리트보다 감소함을 알 수 있는데, 전체적으로 재료비에서 약 21%정도 낮게 산정되었다.

노무비의 경우도 고유동 콘크리트에서는 다짐인부가 필요없으며, 거푸집 및 철근조립물량이 감소함에 따라 플레인 콘크리트에 비하여 약 10%정도의 감소효과가 있는 것을 알 수 있었다. 한편, 기계경비의 경우는 고유동 콘크리트가 물량감소 및 유동성 증대에 기인하여 플레인 콘크리트에 비하여 약 35%정도 감소하는 것을 알 수 있었다.

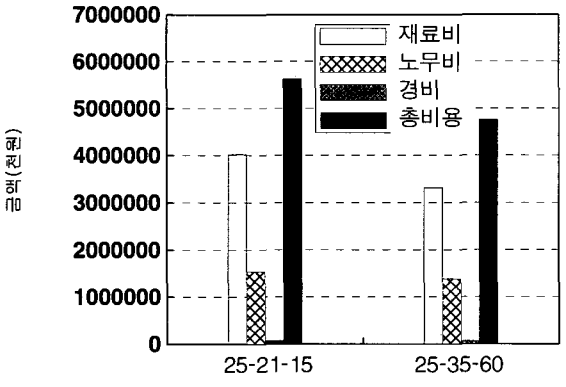


그림 9. 강도변화에 따른 공사비의 구성

전체적으로 본 연구범위에서는 25-21-15규격의 플레인콘크리트와 25-35-60(슬럼프 플로우)인 고유동 콘크리트 시공시 고유동 콘크리트의 고강도화에 따른 단면 및 철근량 감소에 기인하여 콘크리트, 철근 및 거푸집 물량감소로 플레인 콘크리트에 비해 약 13%정도 공사비가 저렴한 것으로 나타났다.

이외에도 고유동 콘크리트로 시공할 경우 양호한 충전성 및 재료분리저항성에 따른 콘크리트 노출면 보수비 절감, 고강도화에 따른 거푸집 제거시기 단축, 타설시 바이브레이터 사용감소로 인한 소음발생저감 및 건축물의 내구성향상 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 단, 거푸집 제작에 있어서 높은 수밀성 요구 및 단면감소에 따른 진동이나 충격의 전달 등의 문제에 고려가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 새로운 방법으로 고유동 콘크리트를 제조하기 위한 방법으로 유동화제에 증점제 및 AE제의 혼합비율을 변화시켜 고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화의 최적배합비를 결정하고 이를 토대로 현장적용실험을 진행하여 실무적용성을 평가한 다음 실제 신축건물을 대상으로 공사비를 산정하여 비교·분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 실험실 실험의 경우 유동화후 최적의 성능을 발휘하는 적정 유동화제 첨가량은 0.9%로 나타났고, 증점제 첨가량은 0.55%로 결정되었으며 AE제 첨가량은 0.015%로 결정되었는데, 이 경우 목표유동성의 확보와 높은 충전성 및 재료분리저항성을 나타내었고, 압축강도의 경우 베이스콘크리트보다 약간증가하는 경향을 보였다.
2) 실험실 실험결과 유동화공법에 의한 고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화제는 멜라민계 유동화제: PEO증점제:AE제를 1:0.61:0.017의 비율을 최적배합비로 결정하였다.
3) 현장 실구조체 적용실험결과에 따르면 굳지않은 콘크리트의 특성으로 유동성, 충전성 및 재료분리저항성은 소요의 품질을 만족시켰으나 공기량의 경우 플라이애시의 영향으로 유동화후 크게 저하하는 경향을 보였다. 또한, 유동화방법을 공장에서 첨가후 운반중에 유동화하므로 인하여 충분한 교반시간을 확보할 수 있어 전반적으로 유동화후 콘크리트가 균질한 품질을 확보할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 또한, 압축강도 특성으로 전반적으로 유동화전, 후의 압축강도는 큰 차이를 보이지 않았으며, 다짐방법간에도 다짐과 무다짐간에 별다른 강도의 차이가 없는 것을 알 수 있었다.
4) 본 공법을 이용하여 현장 실구조체 적용할 경우 동일한 강도수준에 있어서 유동성 변화에 따른 공사비는 고유동 콘크리트가 플레인 콘크리트에 비하여 재료비는 증가하나, 노무비 및 기계경비에서 절감효과가 있는 것으로 나타났으며 전체적으로는 약 0.3%정도 공사비가 절감하는 것을 알 수 있었고, 강도수준변화에 따른 공사비의 경우는 고유동 콘크리트로 시공할 경우 고강도화에 따른 단면 및 철근량 감소로 재료비, 노무비 및 기계경비 모두 플레인 콘크리트에 비하여 절감되는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 한천구, 김성수, 손성운, 고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화제의 최적배합비 결정, 한국콘크리트학회논문집, 제14권, 3호, 2002년 6월
2. 한민철, 손성운, 오선교, 김성수, 한천구, 유동화공법에 의해 제조한 고유동 콘크리트의 원가분석에 관한 기초적 연구, 한국건축시공학회 기술발표논문집, 제2권2호, 2002.11
3. 손성운, 분리저감형 유동화제를 이용한 고유동 콘크리트의 활용에 관한 연구, 청주대학교 박사학위논문, 2002. 12
4. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서, 1999. 1.
5. 日本建築學會, 建築工事標準示方書·同解說(JASS 5, 鐵筋コンクリート工事), 1997.
6. 金武漢, 高性能減水劑を使用した流動化コンクリートのスランプロス及び施工性向上に關する實驗的硏究(その1 實驗概要及びセメトペイスト、モルタルの場合), 日本建築學會大會學術講演梗概集(北海道), pp.53~54, 1986
7. 건축공사 표준품셈, 한국적산연구소, 2002.
8. 월간거래가격, 대한건설협회, 2002. 1
9. Kahmal Henri Khayat, Effects of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties, ACI materials journal, Vol.93, No.2, 1995.