

고유동콘크리트의 제조에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Manufacturing of High-Workable Concrete

○차 태환* 백 광섭* 권 지훈** 각 노현** 홍 순조*** 윤 재환***
 Cha, Tae Hwan Baeck, Kwang Sub Kwon, Gi Hoon Kwak, no hyoun Hong, Soen Jo Yoon, Ja Hwan

ABSTRACT

Recently, High-workable concrete has been developed and began to be used to a great extent in foreign countries, but it isn't familiar with and fully introduced in Korea yet.

The aim of this paper is to suggest a reference data for the development of High-workable concrete according to the comparative analysis the effect of mix proportion(unit water, sand/aggregate ratio) on the flowing characteristics. And also this paper aims to examine the compactability of High-workable concrete in a model wall-form.

1. 서론

최근 세계적으로 고강도, 고유동, 고내구성의 특징을 갖는 고성능콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이중에서도 특히 콘크리트의 유동성 측면에서, 인력에 의한 진동다짐작업 없이 자기충전성을 갖는 고유동콘크리트의 개발은 시공이 난이한 장소의 타설을 가능하게 하고 또한 시공불량에 의한 구조물의 결함발생을 억제시켜 내구성 향상에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

고유동콘크리트는 높은 유동성과 재료분리저항성, 간극통과성 및 충전성을 갖춘 콘크리트로 정의되는데 이중에서 유동성과 재료분리저항성은 서로 상반되는 성질로서 기존의 기본적인 콘크리트 구성 재료만으로는 요구되는 다양한 기능들을 만족시킬 수가 없게 되었다. 따라서 각종 혼화제 및 혼화재료 등이 사용됨에 따라 콘크리트의 단가상승, 추가설비요구, 재료입수곤란 등의 문제점이 야기되어 고유동콘크리트의 많은 장점에도 불구하고 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 콘크리트의 유동성상에 영향을 미치는 여러 요인중 재료적인 측면에서 경제적이고 합리적인 고유동콘크리트를 제조하기 위해 콘크리트의 배합요인(잔골재율, 단위수량)이 유동성능에 미치는 영향을 분석하여 고유동콘크리트의 배합설계를 위한 기초자료를 제시하고 아울러 벽체축소모

델을 통한 충전성 및 간극통과성을 확인하는데 그 목적이 있다.

2. 실험개요

본 연구는 각 물-결합재비 별로 단위수량, 잔골재율을 조정하고 결합재와 혼화제의 종류를 변화시켜 콘크리트의 유동성능을 비교하기 위한 실험으로서 실험인자와 수준은 다음 표 1과 같다.

표 1. 실험인자와 수준

실험인자	실험수준
물결합재비	34, 36, 42, 44, 50%
단위수량	3~5 수준
잔골재율	3~5 수준
혼화제	고성능AE감수제(J, En, Er), 중점제
결합재종류	보통포틀랜드시멘트(OPC), 고로시멘트(BC)

2.1 사용재료

실험에 사용한 재료들의 물성을 표 2, 3에 나타내었다.

표 2. 사용재료의 물성

사용재료		기초물성
시멘트	고로시멘트	비중 3.01, 블레인 3820cm ² /g 28일 압축강도 245kgf/cm ²
	보통포틀랜드시멘트	비중 3.14, 블레인 3226cm ² /g 28일 압축강도 380kgf/cm ²
잔골재		강모래, 표건비중 2.56 조립율 2.44
굵은골재		쇄석, 표건비중 2.61 조립율 6.86, 최대치수 25mm,

* 수원대학교 대학원, 석사과정
 ** 선경건설 연구소, 연구원
 *** 선경건설 연구소장, 공학박사
 **** 수원대학교 부교수, 공학박사

표 3. 혼화제의 특징

혼화제의 종류	주성분	비중	색상	PH
고성능 AE 감수제	J 나프탈린 포름 알데히드	1.22±0.02	암갈색	9±0.5
	En 나프탈린계 복합 폴리머중합체	1.2±0.01		8~10
	Er 나프탈린계 복합 폴리머중합체	1.2±0.01		8~10
중점제	카복실 메틸 셀룰로스	-	100:1 연두색 수용액	-

2.2 콘크리트의 배합조건

콘크리트의 배합은 표 4, 5, 6, 7과 같이 배합조건이 고유동콘크리트의 유동성능에 미치는 영향을 비교하였다.

표 4. 각 물-결합재비별 단위시멘트량(단위수량) 변화

종류	W/C	s/a	C	W	sp
BC J 34	34	48	500	170	2.3
			506	172	
			515	175	
BC J 36	36	48	444	160	2.0
			458	165	1.9
			472	170	1.7
			486	175	1.7
			500	180	1.5
BC J 42	42	48	365	175	1.7
			429	180	
			441	185	
			452	190	
BC J 44	44	50	421	185	1.75
			427	188	
			432	190	
BC J 50	50	53	394	197	1.5+1.0
					1.7+1.0
					1.9+1.0

BC J 34 ← W/C 1.5+1.0 ← 중점제(시멘트증량비)
 혼화제종류 고성능AE감수제
 결합재종류

표 5. 각 물-결합재비별 잔골재율 변화

종류	W/C	s/a	C	W	sp
BC J 34	34	46	506	172	2.3
		47			
		48			
BC J 36	36	44	486	175	1.7
		46			
		48			
		50			
BC J 42	42	48	441	185	1.7
		50			
		52			
BC J 44	44	50	427	188	1.75
		51			
		52			

표 6. 혼화제의 종류 및 점가량 변화

종류	W/C	s/a	C	W	sp
BC J 36	36	48	486	175	1.6
					1.7
					1.8
BC En 36	36	48	486	175	0.9
					1.0
					1.1
BC Er 36	36	48	486	175	1.1
					1.2
					1.3

표 7. 결합재 종류의 변화

종류	W/C	s/a	C	W	sp
BC Er 34	34	47	506	172	2.3
BC Er 36	36	48	486	175	1.2
BC Er 42	42	50	441	185	1.6
BC Er 44	44	51	427	188	1.5
BC Er 50	50	53	394	197	1.8+1.0
OPC Er 34	34	47	506	172	2.8
OPC Er 36	36	48	486	175	1.8
OPC Er 42	42	50	441	185	2.1
OPC Er 44	44	51	427	188	1.8
OPC Er 50	50	53	394	197	2.1+1.0

2.3 혼합방법

고유동콘크리트에서는 결합재간의 상호작용이 유동성에 미치는 효과가 크므로 재료의 혼합순서와 혼합시간의 영향이 보다 중요하다. 본 실험에서는 강제식 믹서를 사용하였고, 재료투입 및 혼합시간은 아래 그림 1과 같이 실시하였다.

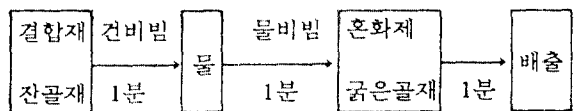
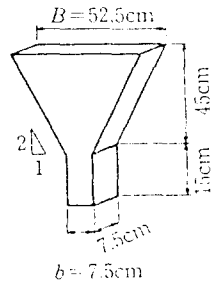


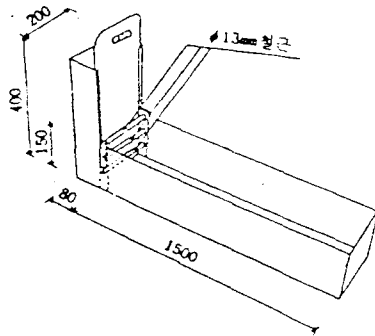
그림 1. 콘크리트의 혼합방법

3. 실험방법

콘크리트의 유동특성을 알아보기 위하여 혼합직후의 슬럼프플로우, L형 철근통과시험, V로트 시험을 실시하였고, 또한 그림 6과 같이 한쪽면을 투명 아크릴판으로 처리하고 철근을 배근한 거꾸집 모델에 콘크리트를 타설하여 고유동콘크리트의 충전성 및 간극통과성을 평가하였다. 그외 공기량을 측정하였으며 실험항목 및 측정항목은 표 8과 같고 각 시험방법의 시험기는 그림 2에 나타내었다.



(a) V로트 시험기



(b) L형 철근통과 시험기

그림 2. 유동성평가 시험기

표 8. 시험종류 및 측정항목

시험종류	측정항목	목표 측정값
슬럼프플로우	슬럼프플로우값	65 ± 5cm
L형플로우 철근통과시험 (횡근형)	L형 슬럼프 및 플로우값	슬럼프(20~36cm) 플로우(40~75cm)
V로트 유하시험	V로트 유하시간	10 ± 5sec
경시별 슬럼프 플로우 변화	비빔직후, 30 분, 60분, 90분 후의 슬럼프플로 우값	—
공기량	KS F 2421의 공 기실 압력방법에 의한 공기량 측 정	4.5 ± 1.5%

4. 실험결과 및 고찰

4.1 배합요인에 의한 유동특성 고찰

그림 3, 4에서 보듯이 각 물-결합재비 별로 최적 단위수량과 최적잔골재율이 존재한다는 것을 알 수 있었다(단, W/C 50%는 혼화제량의 변화만 측정).

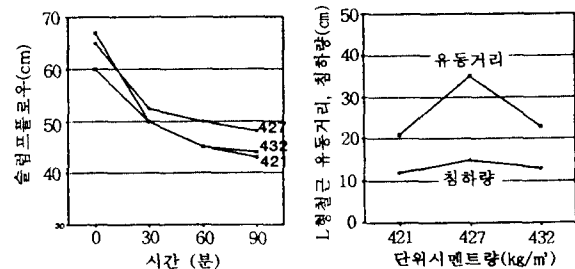
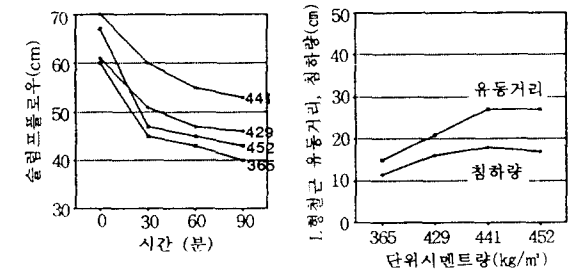
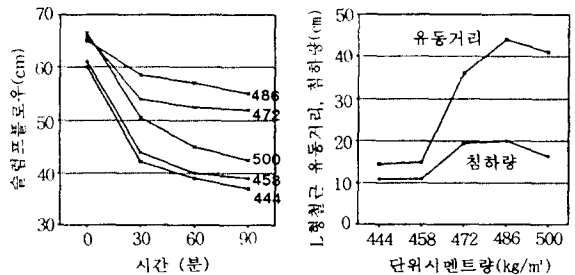
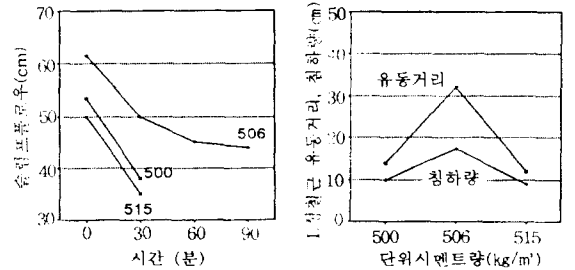
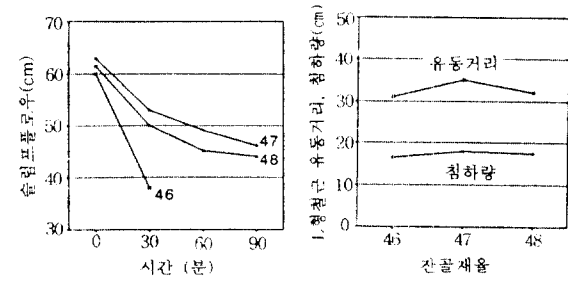
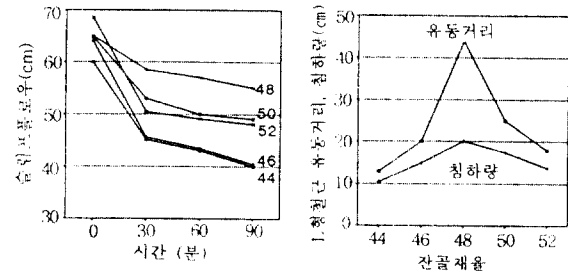


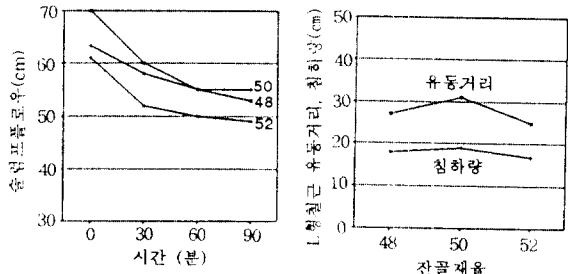
그림 3. 단위시멘트량(단위수량)에 따른 변화



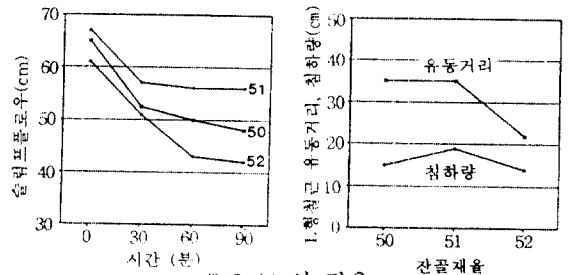
W/C 34%의 경우



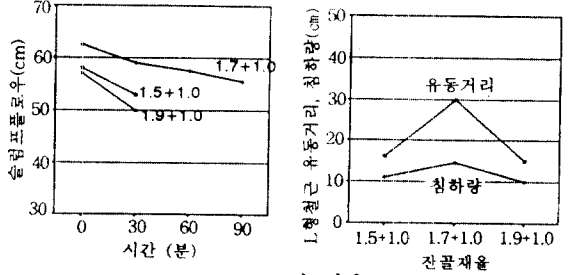
W/C 36%의 경우



W/C 42%의 경우



W/C 44%의 경우



W/C 50%의 경우

그림 4. 잔골재율에 따른 변화

위의 결과를 종합하여 볼때 물-결합재비가 증가함에 따라 비례적으로 단위수량과 잔골재율이 증가하는 경향을 볼 수 있다(그림 5). 이는 물-결합재비가 증가함에 따라 단위시멘트량이 감소하고 사용골재가 증가하여 콘크리트의 점성이 떨어져 재료분리 현상을 야기시킬 수 있기 때문에 단위수량을 증가시켜 단위시멘트량을 늘림으로서 점성을 증가시키고, 잔골재의 양을 늘려 모르터의 일정수준을 유지함으로써 콘크리트의 재료분리에 저항할 수 있는 것으로 생각된다.

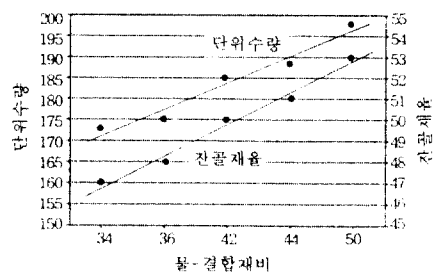


그림 5. 각 물-결합재비별 최적단위수량 및 최적잔골재율

이와같은 결과는 굵은골재 사이에 존재하는 모르터의 레올로지 차이에 의한 영향으로 판단되며, 모르터의 레올로지 성질(항복치, 소성점도)에 따라 양호한 유동특성을 나타내는 한계 굵은골재량(Vg)이나 굵은골재에 대한 페이스트 용적비(Vp/Vg)값은 물-결합재비 별로 서로 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다.

그림 6에서 보면 물-결합재비가 증가함에 따라 단위 굵은골재용적은 줄어들고 굵은골재에 대한 페이스트용적비값은 늘어나는 경향을 볼 수 있다. 그러나 페이스트, 모르터의 레올로지와 굵은골재 체적농도와의 관계를 정량적으로 파악하기 위해서는 보다 물리적인 의미를 가진 레올로지 정수를 도입하여 고찰 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

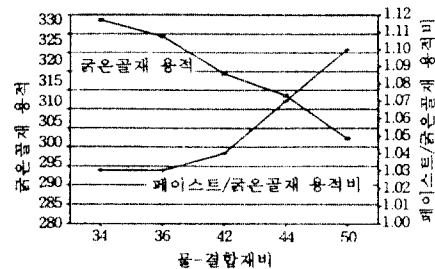
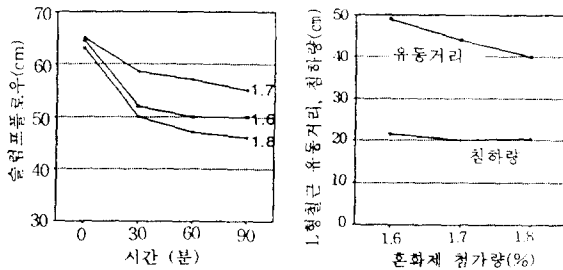


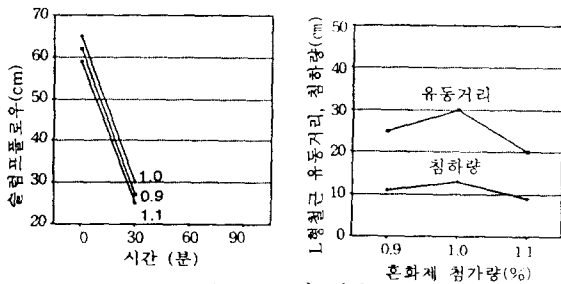
그림 6. 물-결합재비에 따른 굵은골재용적 및 페이스트/굵은골재 용적비

4.2 혼화제에 의한 유동특성 고찰

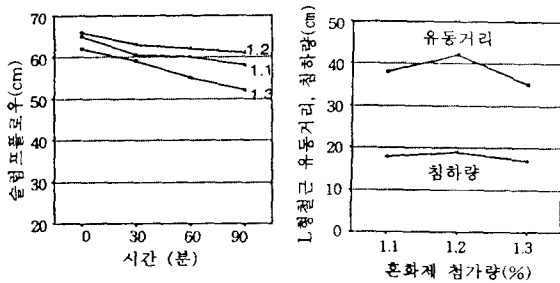
고로시멘트를 사용한 물-결합재비 36%에 대하여 혼화제(국내산 고성능 AE감수제)종류를 3가지로 변화시켜 그 특성을 비교한 결과를 그림 7에 나타내었다. 여기서 J는 철근통과성이 우수한 반면 슬럼프로스가 조금있었고, En은 철근통과성 및 슬럼프로스가 매우 불량한 결과를 나타내었으며, Er은 슬럼프로스가 거의 없는 우수한 결과를 보이고 있다.



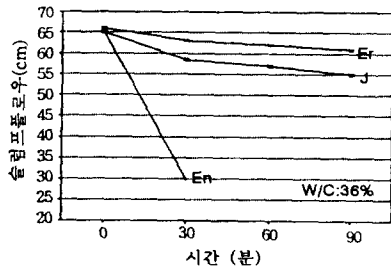
BC J 36의 경우



BC En 36의 경우



BC Er 36의 경우



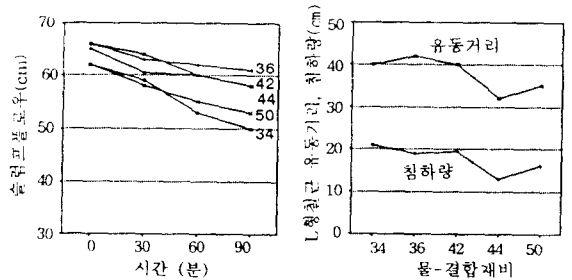
혼화제 종류에 따른 슬럼프 경시 변화

그림 7. 혼화제의 종류에 따른 변화

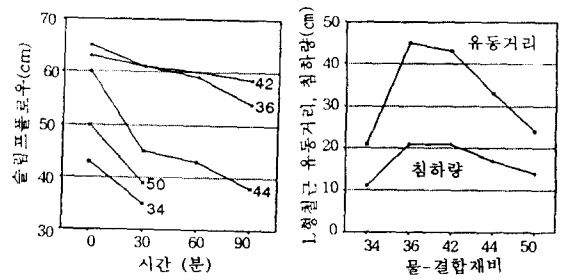
4.3 결합재에 의한 유동특성

그림 8에서 보듯이 결합재로서 보통포틀랜드시멘트를 사용하는 경우 고로시멘트를 사용할 때에 비해 혼화제 첨가량이 많아지는 경향을 볼 수 있으며, 물-결합재비 36%와 42%에서는 양호한 결과를 얻을 수 있었으나 나머지 배합에서는 유동성의 한계를 나타내었다. 이는 고로슬래그 입자의 분말도가 포틀랜드시멘트 입자의 분말도 보다 높고, 입도 분포가 고르며, 입자의 입형이 둥글어서 콘크리트의 유동성을 증진시키기 때문이라 생각된다.

표 9는 각 물-결합재비별 공기량과 V로트 유하시간을 나타낸 것으로서 본 실험에 사용한 굵은골재 최대치수가 25mm인것으로 인해 유하시간이 다소 느리게 나타난 것으로 생각된다.



고로시멘트 사용



보통포틀랜드시멘트 사용

그림 8. 결합재 종류에 따른 변화

표 9. 각 물-결합재비별 공기량 및 V로트 유하시간

종류	공기량	V로트 유하시간
BC Er 34	4.3	45
BC Er 36	3.2	24
BC Er 42	3.5	60
BC Er 44	3.4	48
BC Er 50	3.5	7
OPC Er 36	3.8	6
OPC Er 42	4.5	7

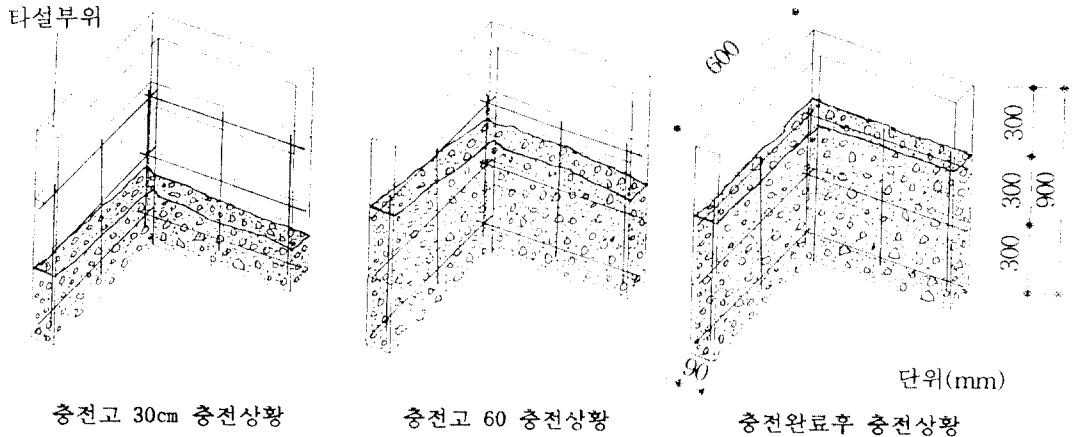


그림 9. 고유동콘크리트의 충전상황

4.4 충전성 실험

고유동콘크리트의 충전성을 간접적으로 알아보기 위하여 그림 9와 같은 시험부재를 만들어 OPC Er 36을 타설하여 그 충전성을 관찰하였다. 철근배근에 있어서 피복두께는 30mm로 하고, 철근은 18mm 이형철근을 사용하였다.

그림 6에서 보듯이 콘크리트는 한쪽면에서만 타설하였고 다짐작업 없이 자중에 의하여 타설 반대측으로 충전되는 것을 볼 수 있었으며, 충전도중 철근이 꺾인 부위에서 다소 충전속도가 감소하는 경향을 보였으나 시간이 지남에 따라 타설 반대측으로 원활히 충전되는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

연구에서는 고유동콘크리트를 제조하기 위한 배합설계의 기초자료를 얻기 위하여 각 물-결합재비별로 단위수량과 잔골재율을 변화시키고, 혼화제의 종류와 결합재의 종류를 변화시켜 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 결합재로서 고로시멘트를 사용하여 단위수량과 잔골재율을 변화시켜 실험한 결과 각 물-결합재비별로 최적 단위수량과 최적잔골재율이 존재함을 알 수 있었고, 물-결합재비가 증가 함에 따라 단위수량과 잔골재율도 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

2) 혼화제로서 국내산 AE감수제 지연형인 Er를 첨가한 경우 슬럼프로스가 거의 생기지 않고 프레스위상태의 유동성상도 양호하여 그 활용이 기대된다.

3) 결합재로서 보통포틀랜드시멘트를 사용한 경우 물-결합재비 36%와 42%에서 양호한 결과를 얻을 수 있었으나 나머지 물-결합재비에서는 유동성의 한계를 볼 수 있었다. 이는 결합재자체가 지닌 분말도와 입

자의 입형에 의한 모르타의 레올로지 성질(항복치, 소성점도)에 기인한 것으로 생각되며 차후 이점에 대한 심층적인 연구가 요구된다.

4) 물-결합재비 36%와 42%에서는 결합재로서 보통 포틀랜드시멘트만을 사용하여 고유동콘크리트를 제조할 수 있다는 것을 알 수 있었으며, 물-결합재비 36%에 대해서는 벽체 축소모델의 한쪽면에서 타설하여 반대측으로 충전되는 상태를 조사한 결과 다짐작업 없이 자중에 의해 반대측으로 원활히 충전되는 것을 볼 수 있었다.

5) 이상의 결과를 종합하여 볼때 각 물-결합재비별로 고유동콘크리트를 제조하는 것이 가능함을 알 수 있었고 특히 물-결합재비 36%에 대해서는 기존의 레미콘배합에서 크게 벗어나지 않는 상태에서 고유동콘크리트를 제조할 수 있어 그 활용이 기대된다.

참고문헌

- 윤재환 외 4인, "고유동콘크리트에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 1993년도 가을 학술발표회 논문집 제5권2호, 1993, 11 pp39~44
- 윤재환 외 4인, "고로시멘트를 사용한 고유동 콘크리트의 제조에 관한 실험적 연구" 한국콘크리트학회 1994년도 가을 학술발표회 논문집 제6권2호, 1994, 11 pp65~70
- 노재호 외 4인, "초유동 콘크리트의 유동 성능에 미치는 배합요인의 영향", 한국콘크리트학회 1994년도 가을 학술발표회 논문집 제6권2호, 1994, 11 pp115~120
- 岡村 浦 외 2인, "ハイパフォーマンスコンクリート", 1993
- 名和 豊春 외 3인, "高流動コンクリートの配合と流動性に關する-考察", 콘크리트工學年次論文報告集, 제14권제1호, 1992, pp369~374