

# 고로시멘트를 사용한 高流動 콘크리트의 製造에 關한 實驗的 研究

## An Experimental Study on the Manufacturing of High Workable Concrete using Blastfurnace Cement

○ 최진만\*    백광섭\*    차태환\*    조원기\*    윤재환\*\*  
Choi, Jin Man    Beack, Kwang Sub    Cha, Tae Hwan    Cho, Won Gi    Yoon, Jai Hwan

### ABSTRACT

The aim of this study is to develop the High Workable Concrete which has not so large slump loss with time using blast-furnace cement and High range water reducing agent. Normal portland cement and blast-furnace cement was used as binders and water-binder ratio were ranging from 34% to 50%. 5 kinds of Superplasticizer and High range water reducing agent were used.

Test results show that the blast-furnace cement was much higher flowability than normal portland cement and domestic High range water reducing and AE agent had very small slump loss than others. The compactability of High Workable Concrete was also confirmed using model wall-form.

#### 1. 서론

국외에서의 고유동콘크리트에 대한 연구보고 및 시공실적은 다양하게 이루어지고 있으나 국내에서는 아직 미진한 상태이고 특히 적합한 사용재료의 선정에 대한 뚜렷한 제시가 이루어지지 않고 있다.

고유동콘크리트는 그 사용재료의 특성에 따라 다양한 재료로서 구성되어지는 콘크리트로서 「프레쉬 시의 재료분리 저항성을 잃지 않고 유동성을 현저히 개선한 콘크리트」로 정의되며 높은 유동성과 적절한 재료분리저항성, 간극통과성 및 충전성을 갖춘 콘크리트이다. 이러한 콘크리트의 특성은 사용되는 결합재 뿐만 아니라 혼화제의 특성이 그 성능을 좌우한다 할 수 있다. 본 연구에서는 이미 앞서 보고한 논문<sup>1)</sup>에서 고유동콘크리트의 제조에 고로시멘트가 적합함을 보고하였으며 시간의 경과에 따른 유동성 저하가 해결해야 할 문제점을 지적하였다. 따라서 본 연구에서는 결합재로 고로시멘트

와 보통포틀랜드시멘트를 사용하고 국내시판의 고성능감수제 및 국내산의 고성능AE감수제 그리고 국외산 고성능AE감수제를 사용하여 고유동콘크리트의 배합을 결정하고 그 성능을 비교하기로 한다. 특히 현장시공성을 고려하여 경시별 슬럼프 변화가 적은 고유동콘크리트의 배합을 제시하며 충전성을 확인하는데 그 목적을 둔다.

#### 2. 실험개요

고유동 콘크리트를 제조하기 위하여 결합재의 종류를 고로시멘트와 보통포틀랜드시멘트로 하였다. 혼화제는 국내시판 고성능감수제 2종류 및 국내산 고성능AE감수제 1종류와 국외산 고성능AE감수제 3종류로 하여 그 성능을 비교분석하였다. 굵은골재는 최대치수 25mm, 표건비중 2.61, 흡수율 1.43%의 채석을 사용하였고, 잔골재는 조립율 2.66, 표건비중 2.57, 흡수율 2.18%인 표준인도의 강모래를 사용하였다.

\* 정희원, 수원대 대학원 석사과정

\*\* 정희원, 수원대 건축공학과 부교수, 工博

#### 2.1 사용재료의 성질

각 결합재에 대한 화학적 및 물리적 성질을 표1

에 나타내었으며 혼화제는 표2와 같은 특성의 국내 시판 고성능감수제 2종류(R1000 및 GS), 국내산 고성능AE감수제(P), 국외산 고성능AE감수제 3종류(RS, RN, RHS) 와 공기량 조절을 위한 공기연행제(AEA 202A)를 사용하였다. 이 외에 국내시판 증점제를 사용하였다.

표 1. 결합재의 특성

특성	화학성분 (unit : wt%)					물리적 성질						
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	lg. Loss	비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)			압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
							3일	7일	28일	3일	7일	28일
보통포틀랜드	21.50	3.07	2.75	2.24	0.63	3.15	3,240	206	303	397		
고로시멘트	27.15	1.85	2.75	3.18	1.36	2.99	3,820	145	225	370		

표 2. 혼화제의 특성

혼화제의 종류	주성분	비중 (20℃)	색상	PH	
고성능감수제	R1000 표준형	β-나프탈린	1.15	암갈색	-
	GS 표준형	나프탈린 폴리머	1.21		-
고성능AE감수제	P	나프탈린 포름알데히드	1.22 ± 0.02		9 ± 0.5
	RS	폴리칼본산 에테르계	1.04 ~ 1.06		-
	RN	폴리칼본산 에테르계와 고분자 복합체	1.04 ~ 1.06		-
	RHS	"	1.04 ~ 1.06	-	
AE제	벤존	1.03 ± 0.003		11.5 ~ 13.5	
증점제	카르복실메틸셀룰로스	-	수용성 백색분말	-	

표 3. 콘크리트의 배합조건

배합 조건	결합재		물 결합재비 (W/B (%))	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	혼화제 (B×%)			
	보통포틀랜드 시멘트	고로시멘트				고성능감수제	고성능AE감수제	AE제	증점제
*NC 36	472	-	36	48	170	1.40 <sup>①</sup>	-	0.016	-
*NC 42	405	-	42			1.48 <sup>①</sup>	-	0.012	-
*NC 50	340	-	50			2.21 <sup>①</sup>	-	-	0.074
BC 34	-	500	34			1.33 <sup>①</sup>	-	0.002	-
BC 36	-	472	36			1.40 <sup>①</sup>	-	0.016	-
BC 42	-	405	42			1.48 <sup>①</sup>	-	0.012	-
BC 44	-	386	44			1.46 <sup>①</sup>	-	0.010	-
BC 50	-	340	50			2.21 <sup>①</sup>	-	-	0.074
GS	-	405	42			1.36 <sup>②</sup>	-	0.025	-
P	-	405	42			-	1.42 <sup>③</sup>	0.012	-
RS	-	405	42			-	1.33 <sup>④</sup>	0.031	-
RN	-	405	42			-	1.17 <sup>⑤</sup>	0.043	-
RHS	-	405	42			-	1.61 <sup>⑥</sup>	0.019	-

\* 굵은선 안은 고성능감수제 R1000 1종류를 사용한 고유동콘크리트의 기본 배합임.

- 1성분계 NC : 보통포틀랜드 시멘트      • 2성분계 BC : 고로시멘트      \*NC : 비교실험 배합
- ①, ② : 국내산 고성능감수제      ③ : 국내산 고성능AE감수제
- ④, ⑤, ⑥ : 국외산 고성능AE감수제

## 2.2 콘크리트의 배합조건

콘크리트의 배합은 표3과 같으며 배합조건은 잔골재율 및 단위수량은 48%, 170kg/m<sup>3</sup>의 고정된 배합조건하에서 고로시멘트를 결합재로 사용하여 물결합재비를 34, 36, 42, 44, 50%의 5수준으로 변화시켰다.

또한 고로시멘트와 비교하기 위하여 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 고로시멘트와 동일배합으로 하여 물결합재가 36, 42, 50%인 경우에 대하여 시험하였다.

혼화제의 특성을 파악하기 위하여 물결합재비가 42%인 경우의 배합에 대하여 6가지의 고성능감수제 및 고성능AE감수제를 첨가하여 그 특성을 비교하였다. 콘크리트의 공기량은 AE제로 조절하였으며 물결합재비가 50%의 배합에는 점성증진을 위해 국내 시판 증점제를 사용하였다.

## 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 그림1과 같이 실시하였다.

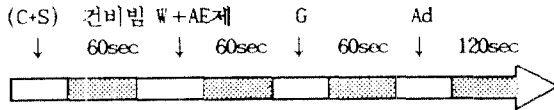


그림 1. 콘크리트의 혼합방법

## 3. 실험방법

실험은 유동성에 관한 실험으로서 혼합직후의 콘크리트 시료에 대하여 슬럼프플로우시험, L형플로우시험, V로트 유하시간 및 경시별 슬럼프플로우시험(비빔직후, 30분, 60분, 90분, 120분 경과)을 실시하였고 간극통과성의 시험으로서 L형 철근통과성 시험, V로트 시험, BOX형 철근통과성 시험(MESH)을 실시하였다. 또한 충전성 여부를 알아보기 위하여 그림6과 같이 한쪽면을 투명한 아크릴판을 부착한 EURO거푸집으로 모델벽체를 만들어 슬럼프 18, 21cm의 AE콘크리트 및 슬럼프21cm의 유동화콘크리트 그리고 고유동콘크리트를 타설하여 그 충전성능을 비교하였다. 그외 공기량을 측정하고 7일, 28일의 압축강도를 측정하기 하기 위한  $\phi 10 \times 20$ 의 압축강도용 공시체를 제작하였다. 실험항목 및 측정항목은 표4와 같고 각 시험방법의 시험기는 그림2에 나타냈다.

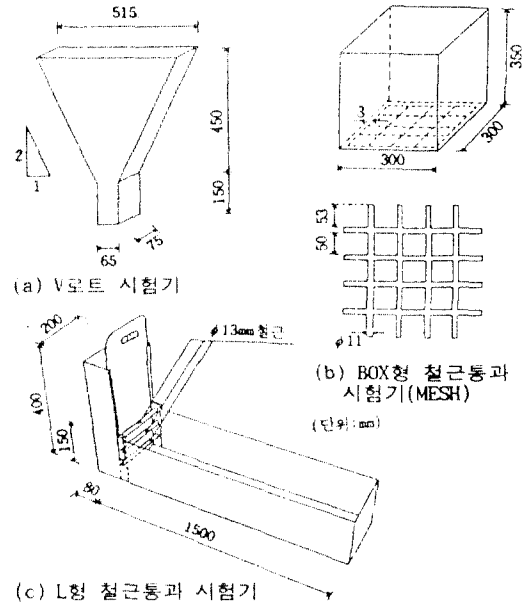


그림 2. 고유동콘크리트의 평가 시험기

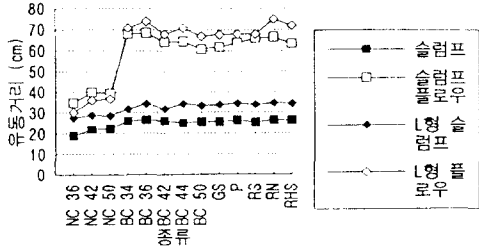
표 4. 시험종류 및 측정항목

시험종류	측정항목
슬럼프플로우	슬럼프플로우값 및 플로우속도
L형 플로우	L형슬럼프 및 L형플로우값
L형 플로우 철근통과시험 (횡근형)	"
V로트 유하시험	V로트 유하 시간
BOX형 철근통과 시험(MESH)	$\frac{\text{BOX 통과량}}{\text{전체 시료량}} \times 100 (\%)$
경시별 슬럼프 플로우변화	비빔직후, 30분, 60분, 90분, 120분 경과후의 슬럼프플로우값
공기량	KS F 2421의 공기실 압력방법에 의한 공기량 측정
압축강도	$\phi 10 \times 20$ 공시체의 3회 평균측정(7일, 28일 재령의 23℃ 표준수중양생)

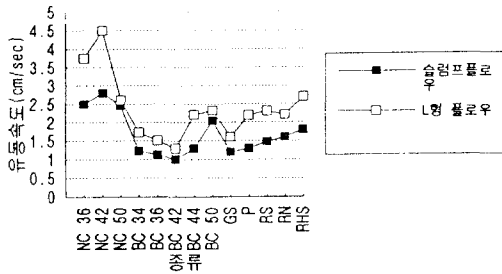
## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 유동성 실험

고로시멘트 결합재를 결합재로 사용한 경우 혼화제에 따른 각 물결합재비에서의 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프플로우값 및 L형슬럼프, L형플로우값을 나타낸 그림3의 (a)를 보면 슬럼프플로우값은 61~69cm의 값을 나타내고 있어 양호한 유동성을 보이고 있다. 예비실험에 의하면 슬럼프플로우값이 65cm를 넘어선 경우에는 재료분리의 경우를 보이는 경향이 있다.

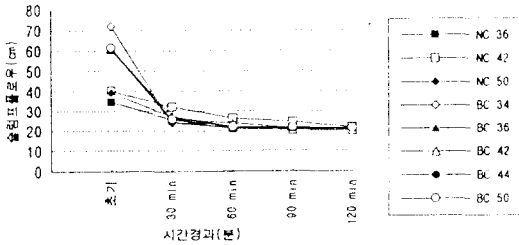


(a) 슬럼프플로우값 및 L형 플로우값

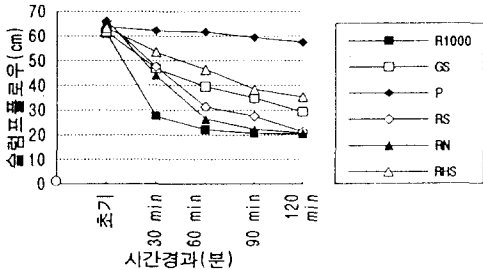


(b) 슬럼프플로우 및 L형 플로우의 유동속도

그림 3. 슬럼프플로우 및 L형 플로우 시험



(a) 고성능감수제 R1000 경우의 슬럼프플로우 경시별 변화



(b) 혼화제의 종류에 따른 슬럼프플로우 경시별 변화

그림 4. 경시별 슬럼프플로우 변화

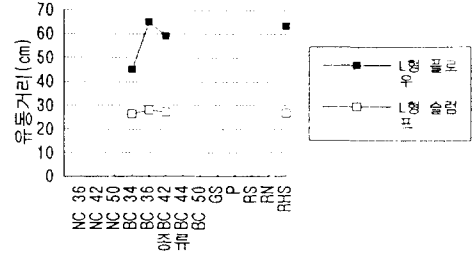


그림 5. L형 철근통과 시험

표3에서 알 수 있듯이 낮은 물결합재비의 배합에 사용된 혼화제량은 높은 물결합재비의 배합에 사용된 혼화제량보다 적다는 것을 알 수 있다. 이는 낮은 물결합재비의 배합이 결합재의 양이 많고 결합재의 분산 및 윤회작용이 높은 물시멘트비의 경우보다 더 활발하다는 것을 나타낸다. 물결합재비 42% 이상에서는 슬럼프플로우값 65cm를 넘어선 경우에는 재료분리 현상이 나타났다.

물결합재비 50%의 경우는 중점제와 고성능감수제와의 첨가량에 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 즉, 슬럼프플로우값이 65cm를 넘는 경우 재료분리가 일어나고 여기에 중점제량을 증가시키면 유동성이 현저히 저하되어 슬럼프플로우값이 60cm 이하로 떨어지며 고성능감수제량을 다시 증가시키면 슬럼프플로우가 증가되는 것이 아니라 콘크리트가 부서부서해지며 오히려 슬럼프플로우가 저하되고 공기량이 증가되는 면을 보였다. 이로 보아 중점제 사용량과 고성능감수제 사용량 사이에는 임의의 한계점이 있는 것으로 추측된다.

L형플로우값은 65cm~75cm를 나타내고 있고 L형플로우값 또한 슬럼프플로우값과 유사한 경향을 보이고 있어 두 관계에는 밀접한 상관관계가 있음도 알 수 있다. 단, L형플로우의 유동속도가 슬럼프플로우의 경우보다 빠른 것은 단방향으로 유동이 이루어지는 L형플로우가 원방향으로 유동되는 슬럼프플로우보다 자중에 의한 유동가속이 큰 것으로 판단된다. 그림3의 (b)에서 보듯이 유동속도는 30%대의 물결합재비의 경우에서 더 느린 결과를 나타내고 있으며 점성도 양호한 결과를 보였다.

그림3의 (b)유동속도는 고성능감수제의 경우보다 고성능AE감수제의 경우가 더욱 빠르고 국외산의 경우가 빠른 것을 알 수 있다. 그러나 V로트 유하 시간 및 유동속도로 보아 점성이 국내산 혼화제보다 떨어지고 고성능감수제에 비해 고성능AE감수제가 떨어지는 면을 보였다.

물결합재비 42%의 동일한 배합조건으로 비교실험한 경우의 NC의 경우가 BC의 경우보다 혼화제 사용량이 다량 요구되는 것을 알 수 있다. 이는 BC의

경우가 유동성이 우수하다는 것을 나타내는 것이고 유동속도가 NC의 경우가 크게 나타난 것은 유동성 및 점성이 떨어져 유동시간이 BC의 경우보다 크게 떨어진 결과에 의한 것이다.

#### 4.2 혼화제에 따른 슬럼프플로우 경시별 변화

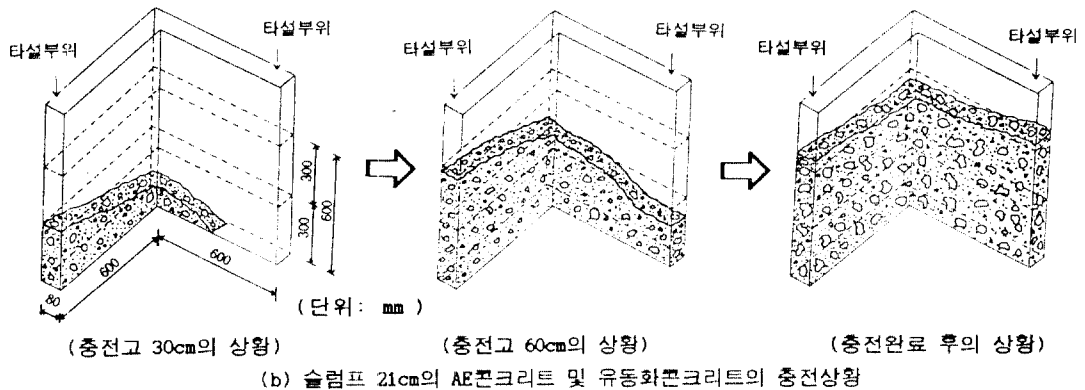
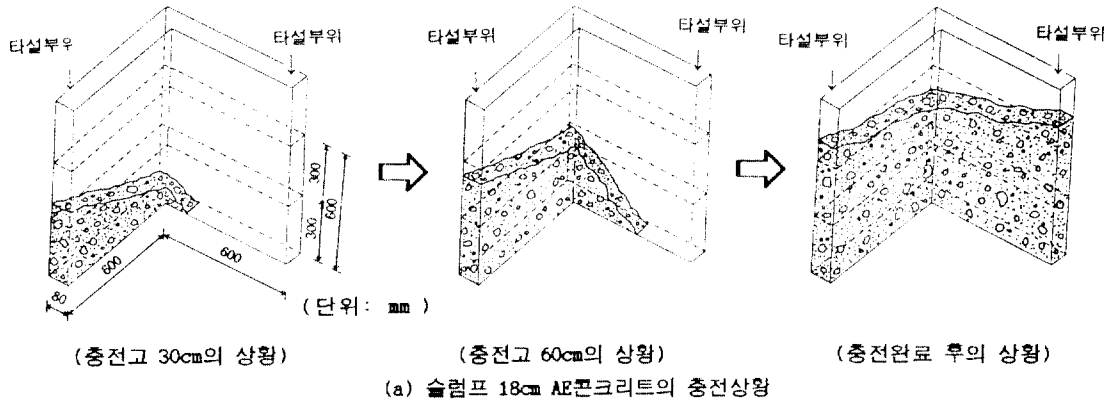
비빔직후, 30분, 60분, 90분, 120분 경과후의 슬럼프 경시별 변화를 나타낸 그림4의 (a), (b)에서 알 수 있듯이 고성능감수제 R1000의 경우는 슬럼프로스가 심하고 GS의 경우는 이보다는 작은 결과를 나타냈다. 국내산 고성능AE감수제 모두 슬럼프로스가 생겼고 이 중 RHS가 양호한 결과를 나타냈다. 이에 비해 국내산 고성능AE감수제인 P는 슬럼프로스가 거의 생기지 않는 우수한 결과를 보이고 있다.

#### 4.3 철근통과성

L형 철근통과 시험은 그림5와 같은 결과를 나타내었고 물결합재비 34, 36, 42%의 배합과 RHS의 경우를 제외하고 모두 폐쇄현상이 일어났다. MESH통

표 5. V로트 유하시간 및 BOX형 철근통과시험

콘크리트의 종류	시험결과	
	V로트 유하시간 (sec)	BOX형 철근통과 시험(MESH)(%)
BC 34	11	33.6
BC 36	11	56.9
BC 42	19	24.9
BC 44	7	23.5
BC 50	9	13.8
NC 36	10	11.2
NC 42	19	14.6
NC 50	9	11.2
GS	21 (정체현상)	12.5
P	9	16.7
RS	7	10.3
RN	18	14.9
RHS	23 (정체현상)	20.0



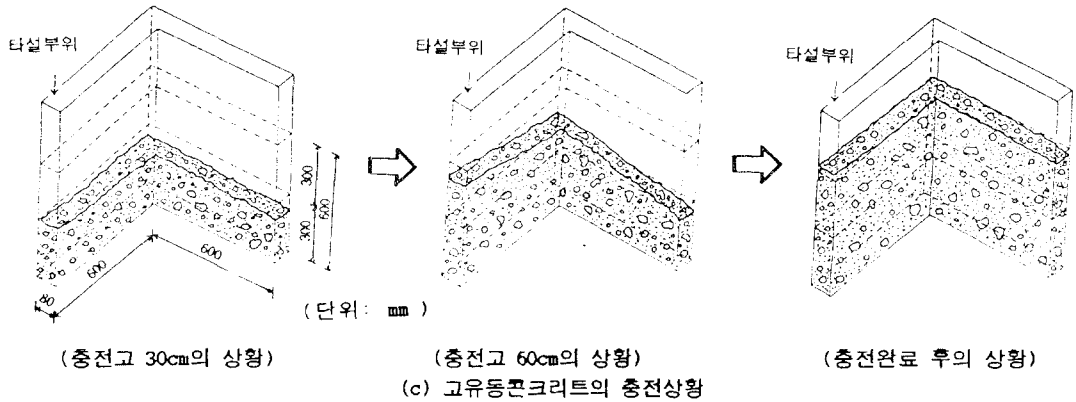


그림 6. EURO 거푸집 모델을 이용한 콘크리트 충전시험

과 시험은 모두 통과하는 통과성을 보였으나 56.9%의 양호한 통과성을 보인 물결합재비 36%의 배합을 제외하고는 대부분 10~30%의 통과성을 나타냈다. 이로 보아 본 실험에 사용한 굵은골재의 최대 치수의 크기를 고려할 필요가 있다고 생각된다.

#### 4.4 충전성 실험

고유동콘크리트의 충전성능을 간접적으로 알아보기 위하여 그림6과 같은 시험부재를 만들어 슬럼프 18cm, 21cm의 AE콘크리트와 슬럼프21cm의 유동화콘크리트를 타설하고 고유동콘크리트를 타설하여 그 충전성능을 그림6과 같이 비교하였다. 그 결과 슬럼프18cm, 슬럼프21cm의 AE콘크리트 및 유동화콘크리트는 양 끝단 부위에서 타설해야 충전이 가능하였고 슬럼프21cm의 AE콘크리트 및 유동화콘크리트는 다짐작업을 하지 않고 충전할 수 있었으며 슬럼프18cm AE콘크리트는 봉상형 진동다짐기로 60초간 양쪽 타설부위에서 다짐작업을 한 후에 충전되는 형상을 보였다. 반면에 고유동콘크리트는 한 쪽면에서 타설하여도 다짐작업이 필요없이 원활히 충전되는 것을 보였다. 이 때 특이한 사항은 고유동콘크리트의 경우 타설량이 많아짐에 따라 유동속도도 증진되고 타설 반대측의 충전속도가 빨라져 타설면이 수평으로 타설되는 경향을 보였다. 이는 액성에 가까운 고유동콘크리트의 자중에 의한 측압이 커져 콘크리트의 유동성이 증가된 결과로 판단된다.

#### 5. 결론

본 연구에서 고유동콘크리트를 제조하기 위해 물결합재비, 잔골재율, 단위수량의 고정된 조건에 결합재의 종류, 혼화제의 종류를 변화시켜 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 고로시멘트를 사용한 콘크리트의 유동성이 보통포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트보다 우수하

다는 것을 알았다.

2) 낮은 물결합재비(36%이하)의 콘크리트가 높은 물결합재비(42%이상)의 콘크리트보다 유동성의 지속 및 점성이 뛰어나고 철근통과성도 양호한 결과를 보였다.

3) 고성능AE감수제를 첨가한 경우가 고성능감수제를 첨가한 경우보다 유동성은 뛰어나나 점성이 떨어지는 것을 알 수 있다.

4) 본 실험에 사용한 혼화제중 국내산 고성능AE감수제(P)의 슬럼프 경시별 변화가 적은 것을 알 수 있어 그 활용이 기대된다.

5) 고유동콘크리트의 충전성능이 일반적인 콘크리트의 경우보다 우수한 것을 알 수 있다.

6) 국내산 재료로서 고유동콘크리트의 제조 활용이 가능하다는 것을 알 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 윤재환, 최진만 외 3인, "고유동콘크리트에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 1993년도 가을 학술발표회 논문집, 제5권2호, 1993, 11 pp39~44
- 2) 강석화, 박철림, "일본에서의 초유동콘크리트의 실용화 동향", 콘크리트 학회지, 제5권2호, 1993, 6, pp54~65
- 3) Paul Zia, "High Performance Concrete, A State-of-the-Art Report", Strategic Highway Research Program, National Research Council
- 4) 岡村 甫외, "超流動性 -하이パフォーマンス콘크리트(콘크리트構造物の信頼性向上を目指して)"
- 5) 岡村 甫, "信頼されるコンクリートへの途", 콘크리트工学, Vol.26, No.1, Jan. 1988, pp9~11
- 6) 小澤一雅외, "ハイパフォーマンス콘크리트の開発", 콘크리트工学年次論文報告集, 1989, pp699~704
- 7) 社團法人日本콘크리트工学協會, "超流動콘크리트研究委員會報告書(I)", 1993년 5월
- 8) 社團法人日本콘크리트工学協會, "超流動콘크리트研究委員會報告書(II)", 1994년 5월
- 9) 社團法人日本콘크리트工学協會, "第1回超流動콘크리트に関するシンポジウム論文報告集", 1993년 5월
- 10) 社團法人日本콘크리트工学協會, "第2回 超流動콘크리트に関するシンポジウム論文報告集", 1994년 5월
- 11) 콘크리트工学, "콘크리트의高性能·高機能化", Vol. 32, No. 7, 1994.7 pp56~90