

高流動 콘크리트의 製造에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study on the Preparation of High Performance Concrete

○ 최진만*
Choi, Jin Man

윤재환**
Yoon, Jai Hwan

황세몽***
Hwang, Sei Mong

용태형*
Yong, Tae Hyung

이영수*
Lee, Young Su

ABSTRACT

The aim of this study is to develop High Performance Concrete, which can fill in every corner of forms without using any vibrators. In order to place concrete into reinforced members, concrete should have segregation resistance and high flowability. In this study, the binder of concrete, such as Ordinary Portland Cement, fly ash, and blast furnace slag cement were mixed with the addition of superplasticizers and tested their flowability and segregation resistance using slump flow tester and L type flow tester. As a result, High Performance Concrete can be made using Portland blast furnace slag cement along with superplasticizers but the slump-loss of concrete is so large that measures should be made.

1. 서론

아직 굳지 않은 콘크리트상태일 때의 고유동성, 높은 충전성, 재료분리저항성 및 부착성을 지닌 고유동콘크리트를 만들고자 하는 연구가 내구성 및 유동성을 위주로 국외의 여러 연구기관에서 활발히 진행되고 있다.

철근콘크리트 및 건설시공에서의 콘크리트 공사의 합리화를 목적으로 제시된 고유동콘크리트(High Workable Concrete)는 시공이 난이한 장소에서의 콘크리트 타설, 과밀한 철근배근에서의 타설 충전성 및 복잡한 형상의 타설을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 타설작업에 소요되는 경비, 시간, 작업원수를 경감시켜 경제성의 증대를 가져오고 국내에서의 기능공의 고령화, 숙련공의 부족, 특수환경하에서의 건설공사의 증가, 부실공사 등의 건설업계가 직면한 어려운 환경조건을 해결할 수 있어 그 효능이 기대된다 하겠다. 미국 및 유럽에서 내구성, 일본에서 유동성을 위주로 개발되고 있고 특히 일본에서는 콘크리트 구조물의 신뢰성을 목적으로 고유동콘크리트 연구가 활발히 진행중이나 아직 그 제조방법, 정의, 요구조건, 성능이 미확립된 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 이와같은 상황을 직시하

여 국내에서 제조, 판매되고 있는 재료로써 슬럼프 플로우 60~70cm의 고유동성을 가지며 재료분리를 하지 않고 시간별 유동성 손실이 작은 고강도 및 고유동콘크리트를 제작하는 것을 목적으로 결합제 종류 및 혼화제의 종류가 아직 굳지 않은 콘크리트의 프레스 성상 및 경화된 콘크리트의 품질성능에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다.

2. 실험개요

고유동 콘크리트를 제조하기 위하여 결합제의 종류를 4가지(보통포틀랜드시멘트, 고로슬래그시멘트, 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말)로 하였다. 사용 굵은골재로는 최대치수 20mm, 표건비중 2.61, 흡수율 1.43%의 쇄석을 사용하였고, 잔골재로는 조립율 2.66, 표건비중 2.57, 흡수율 2.18%인 표준입도의 강모래를 사용하였다. 실험방법은 혼합직후의 콘크리트 시료에 대한 유동성 평가실험으로 슬럼프플로우, L형플로우 시험 및 경시별 슬럼프플로우 시험을 실시하였고, 그의 표7과 같은 시험 및 압축강도 측정을 행하였다.

2.1 사용재료의 성질

각 결합제에 대한 화학적 및 물리적 성질을 표 1,2,3,4에 나타내었으며 혼화제는 표5와 같은 특성의 고성능감수제(Rheobuild 1000 및 716), 고성능 AE감수제(Rheobuild SP-8S), 공기연행제(AEA 20 2A)를 사용하였다.

* 정희원, 수원대학교 대학원, 석사과정
** 정희원, 수원대학교 부교수, 工博
*** 코리아마스터빌더스(株), 부사장

표 1. 보통포틀랜드 시멘트의 특성

화학성분 (unit : wt%)									물리적 성질		
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. Loss	Blaine (cm ² /g)	비중	
21.19	3.13	5.46	63.25	2.74	2.13	0.054	0.94	1.23	3,171	3.15	

표 2. 고로 시멘트의 특성

화학성분 (unit : wt%)							물리적 성질		
SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Ig. Loss	Blaine (cm ² /g)	비중	
26.34	52.20	2.22	8.65	6.40	3.20	1.64	3,863	2.91	

표 3. 고로슬래그의 특성

화학성분 (unit : wt%)									물리적 성질		
SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. Loss	Blaine (cm ² /g)	비중	
36.13	41.14	0.94	14.11	6.91	0.09	0.29	0.49	-	6,200	2.92	

표 4. 플라이 애쉬의 특성

화학성분 (unit : wt%)							물리적 성질		
SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Ig. Loss	Blaine (cm ² /g)	비중	
57.40	3.82	4.27	28.43	1.75	0.65	4.94	2,400	2.17	

표 5. 혼화제의 특성

		주성분	비중 (20℃)	색상	PH
고성능 감수제	표준형	β-나프탈린계	1.15	암갈색	-
	지연형	"	1.17 ± 0.005		7~9.5
고성능AE감수제	폴리칼본산 에테르계	1.04~1.06	-		
AE제	벤졸	1.03 ± 0.003	11.5~13.5		

2.2 콘크리트의 배합조건

콘크리트의 배합은 잔골재율 48%, 물결합재비 35%, 단위수량 175kg/m³의 고정된 배합조건하에서

표 6. 콘크리트의 배합조건

※ ()안은 중량비를 나타냄

배합 조건 종류	결 합 재				W/C (%)	S/A (%)	단위수량 (kg/m ³)	혼화제 (C×%)		
	보통포틀랜드 시멘트	고로슬래그 시멘트	플라이 애쉬	고로 슬래그				고성능 감수제	고성능 AE제	AE제
NC	○	-	-	-	35	48	175	1.46	-	0.02
	○	-	-	-				-	1.99	0.04
NFC	○(0.8)*	-	○(0.2)*	-				1.40	-	0.02
	○(0.8)*	-	○(0.2)*	-				-	1.33	0.04
NBC	○(0.65)*	-	-	○(0.35)*				1.07	-	0.02
	○(0.65)*	-	-	○(0.35)*				-	1.82	0.04
NBF	○(0.4)*	-	○(0.3)*	○(0.3)*				1.85	-	0.02
	○(0.4)*	-	○(0.3)*	○(0.3)*				-	1.72	0.02
BC	-	○	-	-				1.42 (표준형)	-	0.02
	-	○	-	-				1.52 (지연형)	-	0.02
	-	○	-	-				-	1.33	0.04
BFC	-	○(0.7)*	○(0.3)*	-				1.83 (표준형)	-	0.02
	-	○(0.7)*	○(0.3)*	-	1.48 (지연형)	-	0.02			
	-	○(0.7)*	○(0.3)*	-	-	1.48	0.04			

- 1성분계 NC : 보통포틀랜드 시멘트
- 2성분계 BC : 고로시멘트
- NFC : 보통포틀랜드시멘트 + 플라이애쉬미분말
- NBC : 보통포틀랜드시멘트 + 고로슬래그미분말
- 3성분계 NBF : 보통포틀랜드시멘트 + 고로슬래그미분말 + 플라이애쉬미분말
- BFC : 고로시멘트 + 플라이애쉬미분말

결합재의 종류, 혼화제의 종류를 변화시켜 그 영향을 알아 보았으며 사용한 결합재 및 배합조건은 표6과 같다. 또한 각 배합조건에 고성능 감수제 및 고성능 AE감수제를 첨가하였고 AE제로 공기량을 조절하였다.

2.3 혼합방법

특히 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.

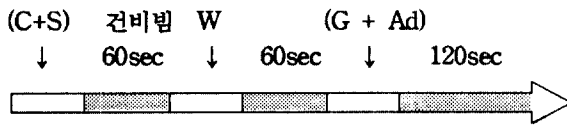
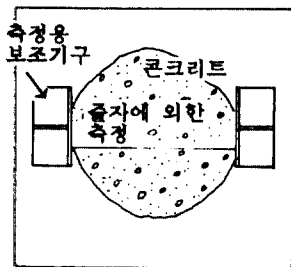
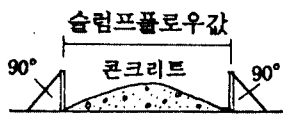


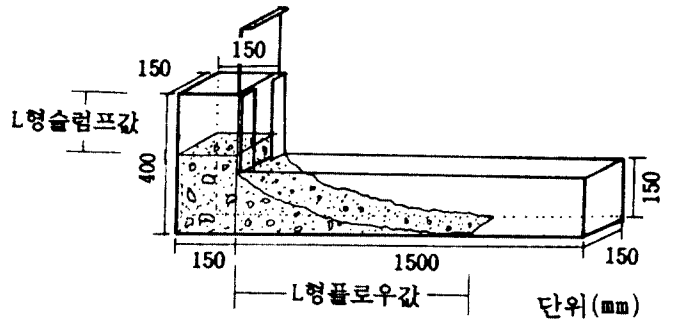
그림 1. 콘크리트의 혼합방법

3. 실험방법

실험은 유동성에 관한 실험으로서 혼합직후의 콘크리트 시료에 대하여 표7과 같은 항목들을 측정하고 $\phi 10 \times 20$ 의 압축강도용 공시체를 제작하였다. 슬럼프플로우 및 L형플로우 시험은 그림2와 같은 시험체를 제작하여 측정하였다.



(a) 슬럼프플로우 시험기



(b) L형플로우 시험기

그림 2. 슬럼프플로우 시험기 및 L형플로우 시험기

표 7. 시험종류 및 측정항목

시험종류	측정항목
슬럼프플로우	슬럼프플로우값 및 플로우속도
L형플로우	L형플로우값 및 L형슬럼프값
경시별 슬럼프 변화	비빔직후, 30분, 60분, 90분, 120분 경과후의 슬럼프플로우값
공기량	KS F 2421의 공기실 압력방법에 의한 공기량 측정
블리딩	KS F 2414의 콘크리트 블리딩 시험에 의한 블리딩양
온도	실내온도와 콘크리트 온도 측정
압축강도	$\phi 10 \times 20$ 공시체의 3회 평균측정(7일, 28일, 90일 재령의 23℃ 표준수중양생)
단위용적증량	KS F 2409의 굳지않은 콘크리트의 단위용적증량

4. 실험결과 및 고찰

4.1 유동성 실험

결합재의 종류와 혼화제에 따른 여러 종류의 콘크리트의 슬럼프플로우값 및 L형플로우값을 나타낸 그림3을 보면 슬럼프플로우값이 고성능감수제에서는 60~80cm, 고성능AE감수제에서는 60cm정도를 나타내어 고성능감수제쪽이 더 좋은 유동성을 보이고 있다. 또한 L형플로우값도 대략적으로 슬럼프플로우값과 유사한 경향을 보이고 있으며 고성능감수제를 사용한 경우가 큰 값을 보인다. 슬럼프플로우값과 L형플로우값에서 높은 값을 보인 콘크리트는 고로시멘트계의 것으로 보통포틀랜드시멘트와 플라이애쉬만을 혼합한 경우보다 크다. 또한 L형슬럼프값은 L형플로우값 및 슬럼프플로우값은 달리 일정한 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

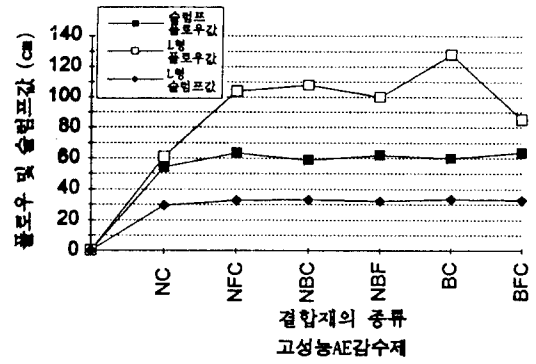
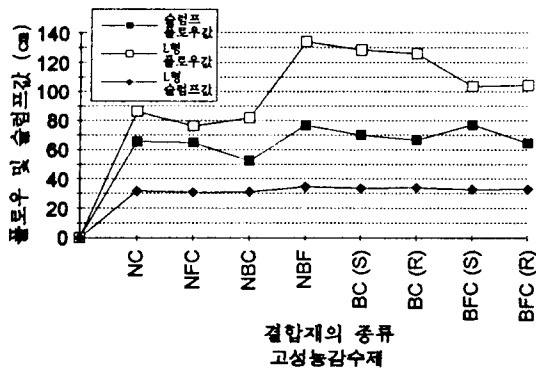
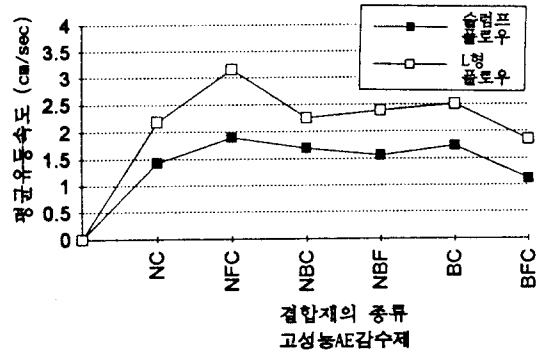
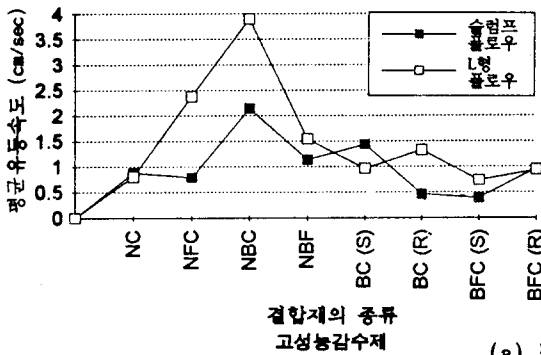
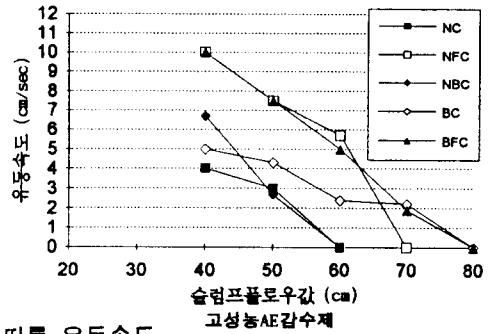
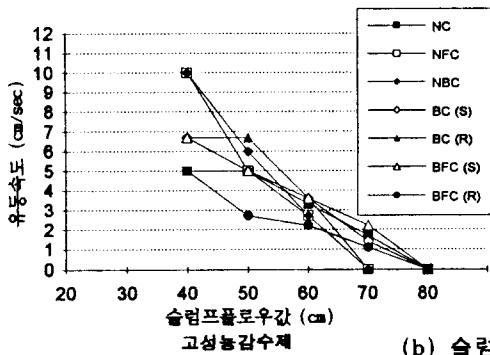


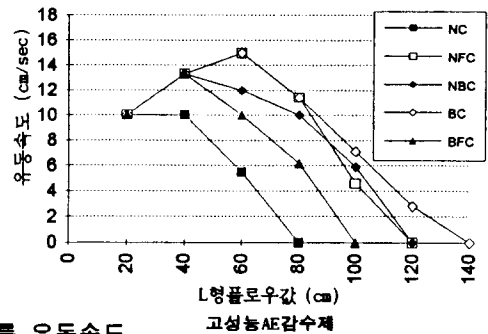
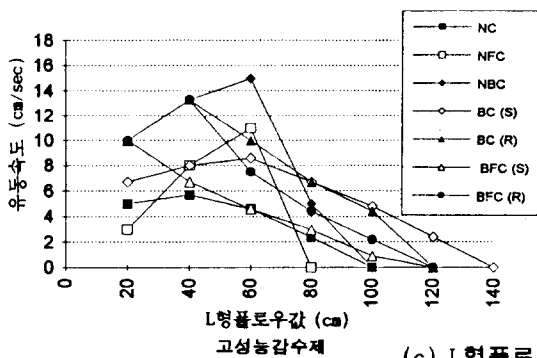
그림 3. 슬립프플로우값, L형플로우값 및 L형슬립프값



(a) 평균유동속도

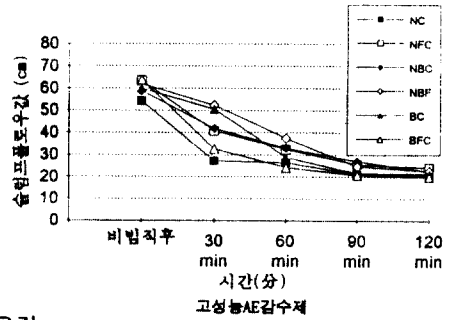
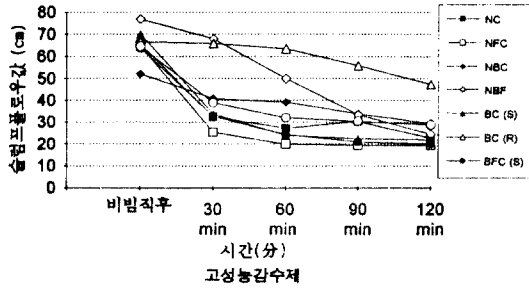


(b) 슬립프플로우값에 따른 유동속도

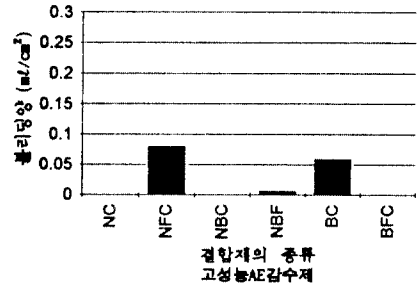
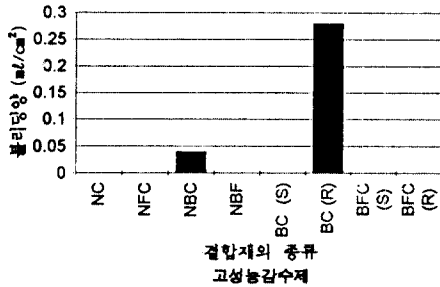


(c) L형플로우값에 따른 유동속도

그림 4. 평균 유동속도 및 슬립프플로우, L형플로우값에 따른 유동속도



(a) 경시별 슬럼프플로우값



(b) 블리딩양

그림 5. 경시별 슬럼프플로우값 및 블리딩양

각 콘크리트의 슬럼프플로우 및 L형플로우 시험시의 유동속도(콘크리트 이동거리/경과시간)를 나타낸 그림4의 (a)로부터 슬럼프플로우의 경우에 비해 L형플로우시의 유동속도가 약간 빠르다는 것을 알 수 있다. 그림4의 (c), L형플로우값에 따른 유동속도에서 고성능감수제는 60cm, 고성능AE감수제는 40~60cm의 L형플로우값까지 증가하다가 그 이상의 플로우값에서 감소하는 경향을 보였다. 그 이유는 L형플로우시험기의 L형굴곡부를 통과하면서 시료의自重에 의한 流下速度가 가속되어진 결과라고 추정된다. 슬럼프플로우 및 L형플로우시의 유동속도는 대개 同一한 傾向을 보이거나 혼화제의 종류에 따라 상이한 경향을 보이며 또한 슬럼프플로우값 및 L형플로우값과 상이한 경향을 보인다.

고성능AE감수제의 경우에는 플로우값 및 유동속도가 대개 비슷한 경향을 나타내는데 비하여 고성능감수제인 경우에는 플로우값이 큰 콘크리트의 유동속도가 오히려 저하하는 경향을 보인다. 이것은 콘크리트의 유동성상을 레올로지(rheology)적인 입장에서 빙감(Bingham)유체로 해석하여 플로우값은 항복치에, 유동속도는 소성점도에 관련된다고 생각되며 소성점도가 크면 유동속도는 저하한다. 따라서 슬럼프플로우값 및 L형플로우값이 크고 유동속도가 낮은 콘크리트는 항복치가 작고 소성점도가 큰 콘크리트로 볼 수 있어 고유동콘크리트에 적합하다고 판단된다.

위의 결과로써 고로시멘트계의 시멘트에 고성능

감수제를 첨가함으로써 고유동콘크리트를 제조할 수 있는 가능성이 있다.

4.2 경시별 유동성 변화 및 블리딩양

비빔직후, 30분, 60분, 90분, 120분 경과후의 슬럼프플로우값을 나타낸 그림5의 (a)로부터 고성능감수제, 고성능AE감수제 어느 경우에 있어서나 슬럼프 플로우값이 크게 저하되어 시간에 따른 유동성 손실이 큼을 알 수 있다. 유동성 손실이 작은 고로시멘트(고성능감수제 지연제 첨가)의 경우는 재료분리에 의해 물이 분리되었다가 다시 비빔함에 따라 어느정도 유동성이 유지된 경우로써 재료분리의 우려가 크다. 그 다음으로 유동성손실이 작은 콘크리트는 결합재로서 보통포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬를 혼합한 3성분계의 것이나 앞으로도 개선의 여지가 있다.

블리딩양이 비교적 많은 경우(그림5의 (b))는 골재와 페이스트의 재료분리를 보인다. 이는 적정량을 넘어선 혼화제 첨가에 의한 영향이 크다고 본다. 블리딩이 생긴 고로시멘트의 지연형 고성능감수제(BC(R)), 2성분계의 표준형 고성능감수제의 경우(NBC)에 경시별 슬럼프손실이 비교적 적게 나타나는 것도 알 수 있는데 이 또한 블리딩에 의해 생성된 물의 분리 영향으로 본다.(그림5의 (a), (b))

이상으로 볼때 슬럼프 손실 및 블리딩을 좌우하는 요인은 혼화제의 첨가량, 결합재의 성분에 의한 영향이 크다고 할 수 있다.

4.3 7일, 28일 재령에서의 압축강도

7일, 28일 재령의 압축강도는 아래 그림6과 같으며 고성능감수제를 사용한 경우가 고성능AE감수제를 사용한 경우보다 크다.

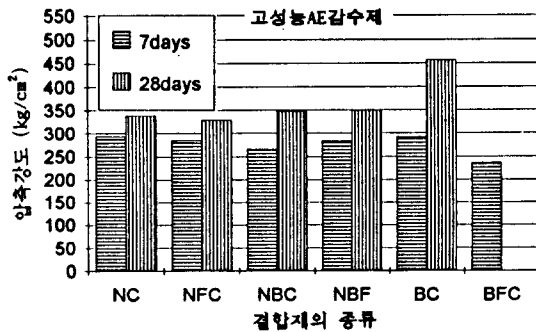
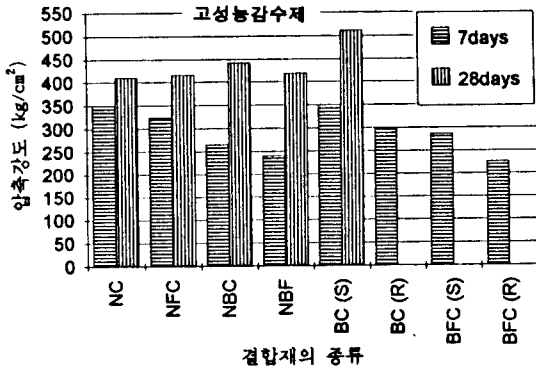


그림 6. 7일, 28일 재령에서의 압축강도

그림6에서 보듯이 고성능감수제보다 고성능AE감수제가 강도에 미치는 영향이 작고 고로시멘트(BC)의 강도는 7일 재령에서는 고성능감수제(표준형), 고성능AE감수제 모두 보통포틀랜드 시멘트의 경우와 비슷한 강도치를 보이거나 28일 재령에서는 고로시멘트가 큰 강도치를 보이고 있다. 또한 다른 혼합시멘트에 비해 강도가 커 고로시멘트가 유동성과 강도면에서 유리하다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서 고유동콘크리트를 제조하기 위해 물결합제비, 잔골제율, 단위수량의 고정된 조건에 결합제의 종류, 혼화제의 종류를 변화시켜 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

- 1) 고로슬래그 분말을 사용한 콘크리트 또는 고로시멘트계의 콘크리트가 유동성 및 재료분리 저항성에서 다른 배합조건의 콘크리트보다 우수하다는 것을 알았다.
- 2) 7일재령에서의 압축강도 또한 고로시멘트를 사용한 경우가 양호한 강도발현을 보여줌으로써 고로시멘트의 활용이 기대된다고 하겠다.
- 3) 고성능 감수제를 첨가한 경우가 고성능AE감수제를 첨가한 경우보다 유동성 및 재료분리저항성이 우수하고 강도가 높은 결과를 보이므로 고강도, 고품질(내구성)측면에서 유리하다고 판단된다.
- 4) 본 실험에서 제작한 고유동콘크리트의 시간의 경과에 따른 유동성손실이 크므로 이에 대한 적절한 대책이 강구되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 1) 장일영, 박희인, "하이퍼포먼스 콘크리트의 가능성콘크리트 학회지, 제4권 2호, 1992. 6. pp45~51
- 2) 강석화, 박철립, "일본에서의 초유동콘크리트의 실용화 동향", 콘크리트 학회지, 제5권2호, 1993.6.pp54~65
- 3) Paul Zia, "High Performance Concrete, A State-of-the-Art Report", Strategic High-way Research Program, National Research Council
- 4) 岡村 甫의, "超流動性 -하이ハ°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工學, Vol.26, No.1, Jan. 1988, pp9~11
- 6) 小澤一雅의, "하이ハ°フォーマンス콘크리트의開發", 콘크리트工學年次論文報告集, 1989, pp699~704
- 7) 社団法人日本콘크리트工學協會, "超流動콘크리트研究委員會報告書(I)", 1993, 5월
- 8) 社団法人日本콘크리트工學協會, "超流動콘크리트에關するシンポジウム論文報告集", 1993년 5월
- 9) 松岡庚訓, "超流動콘크리트", 콘크리트工學, Vol.31, No.3, 1993.3
- 10) 大橋의, "フライアッシュ를混入した超流動化콘크리트(HSC)의性質" 콘크리트工學論文集, 第2卷, 1991년7월