

# 3성분계 중유동 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Engineering Properties of the Three Components Middle Fluidity Concrete

○ 김 갑 수\*      조 봉 석\*      윤 종 기\*      윤 문 기\*\*      장 종 호\*\*\*      김 무 한\*\*\*\*  
 Kim, Kab-Soo      Cho, Bong-Suk      Yun, Jong-Ki      Yun, Moon-Ki      Jang, Jong-Ho      Kim, Moo-Han

### Abstract

High flowing concrete has not spread whole in the normal concrete structure, because it requires special quality control technique. And recently owing to the lack of natural resources and reinforcement of environmental standard, the construction cost of cement is increased rapidly. Also remicon industry has gone through various economical difficulty as the manufacture cost of concrete is increased.

So, the purpose of this study is to evaluate the qualities of middle fluidity concrete using the fly-ash and portland blast-furnace slag cement in order to decrease the amount of cement and resolve the problem of the quality control of high flowing concrete and the manufacture cost.

The results of this study show that it reduce the amount of addition of superplasticizer and develope properties of concrete to the use the fly-ash and portland blast-furnace slag cement.

키워드 : 3성분계, 중유동콘크리트, 유동성, 공학적 특성

Keywords : Three Components, Middle Fluidity Concrete, Fluidity, Engineering Properties

## 1. 서 론

최근 콘크리트구조물의 대형화·초고층화·고기능화가 이루어짐에 따라 국내에서도 우수한 유동성 및 충전성을 가진 고 유동콘크리트가 연구·개발되었다.<sup>1),2),3)</sup>

그러나 고유동콘크리트는 보통콘크리트와 비교하여 단위결합재량이 증가하고 고성능감수제를 다량 사용하기 때문에 제조 및 품질관리에 높은 기술력 및 비용이 요구되며, 실제구조물에 적용할 경우 재료비의 상승 및 높은 측압에 대응한 거푸집의 철저한 관리가 요구되기 때문에 진동다짐 작업이 곤란한 구조물 등에 일부 한정되어 적용될 뿐 일반 콘크리트구조물에는 폭넓게 보급되지 않고 있는 상황이다. 따라서 일반적인 고유동콘크리트보다 품질관리가 쉽고 보통콘크리트보다 유동성이 우수한 중유동콘크리트에 대한 연구의 필요성이 제기되고 있다.<sup>4)</sup>

한편 최근 천연자원의 부족 및 환경규제의 강화에 의해 시멘트 제조원가 상승으로 콘크리트 제조원가가 증가되고 있는 추세이며 레미콘 생산원가를 낮추려는 국내 레미콘 업계와 콘크리트공사비용을 포함한 건설공사비를 저감시키려는 건설생산현장에서는 경제적 측면에서 어려움을 겪고 있는 실정이다.<sup>5)</sup>

따라서 본 연구에서는 플라이애시와 고로시멘트를 혼입한 3성분계 중유동콘크리트의 공학적 특성을 검토하기 위하여 플라이애시 및 고로시멘트 혼입율과 물결합재비에 따른 콘크리트의 굳지않은 성상과 경화성상 및 내구특성에 대하여 실험적으로 비교·검토함으로써 플라이애시 및 고로시멘트를 혼합 사용한 경제적인 3성분계 중유동콘크리트의 배합설계기술에 관한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합은 표 1에 나타난 바와 같이 플라이애시 혼입율을 0, 10, 20%, 고로슬래그미분말 혼입율을 0, 20, 35%로 설정하였으며 배합요인으로서 물결합재비를 45, 50, 55%의 3수준으로 변화시켜 중유동콘크리트의 공학적 특성에 대하여 비교·검토하고자 하였다.

### 2.2 사용재료

본 연구에서 사용된 재료의 물리적 성질은 표 2와 같으며 콘크리트의 비빔방법은 그림 1과 같이 고로시멘트, 시멘트, 플라이애시, 잔골재를 먼저 건비빔한 후, 물, 고성능감수제와 증점제 및 굵은골재를 투입하여 총 210초간 비빔을 실시하였다.

\* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정  
 \*\* 정회원, 신성건설 (주), 전무이사  
 \*\*\* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정  
 \*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공박

표 1. 실험계획 및 중유동콘크리트의 배합

시리즈	목표 슬럼프-플로우 (cm)	SP제 첨가율 (%)	중점제 첨가율 (%)	W/B (%)	FA 혼입율 (%)	BFS 혼입율 (%)	S/a (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단 위 중 량 (kg/m <sup>3</sup> )					측 정 항 목	
									BC	C	FA	S	G	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
I	50±5	※1)	1.4	45	0	0	50	170	-	378	-	851	955	· 공기량 (%) · 단위용적중량 (kg/l) (비빔직후, 60분) · 슬럼프 · 슬럼프-플로우 (cm) (비빔직후, 30, 60분) · 응결시험	· 압축강도 (MPa) · 인장강도 (MPa) · 동탄성계수 (GPa) · 초음파속도 (km/sec) (재령 3, 7, 28, 56일) · 중성화 깊이 · 염화물이온침투성상
					10	20			189	151	38	841	944		
					20	20			189	113	76	834	936		
					10	35			340	-	38	839	941		
II	50±5	※1)	1.4	45	10	20	50	170	189	151	38	841	944	· 공기량 (%) · 단위용적중량 (kg/l) (비빔직후, 60분) · 슬럼프 · 슬럼프-플로우 (cm) (비빔직후, 30, 60분) · 응결시험	· 압축강도 (MPa) · 인장강도 (MPa) · 동탄성계수 (GPa) · 초음파속도 (km/sec) (재령 3, 7, 28, 56일) · 중성화 깊이 · 염화물이온침투성상
				50	10	20	50	178	178	142	36	840	943		
				55	10	20	50	185	168	135	34	840	943		

주1) 목표 슬럼프-플로우를 만족시키기 위한 소정의 첨가량  
 주2) 고로시멘트 단위중량에 포함되어 있는 고로슬래그미분말량의 전체 결합재량에 대한 혼입율  
 BC : 고로시멘트, C : 시멘트, FA : 플라이애시, S : 잔골재, G : 굵은골재

표 2. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	· 1종 보통포틀랜드시멘트 · 밀도 : 3.15g/cm <sup>3</sup> · 분말도 : 3,630cm <sup>2</sup> /g
고로시멘트	· 밀도 : 3.04g/cm <sup>3</sup> · 분말도 : 5,962cm <sup>2</sup> /g
플라이애시	· 밀도 : 2.13g/cm <sup>3</sup> · 분말도 : 2,976cm <sup>2</sup> /g
고성능감수제	· 폴리카르본산계
잔골재	· 제염사 · 최대치수 : 5mm · 밀도 : 2.58g/cm <sup>3</sup> · 조립율 : 2.41
굵은골재	· 부순자갈 · 최대치수 : 25mm · 밀도 : 2.89g/cm <sup>3</sup> · 조립율 : 6.94

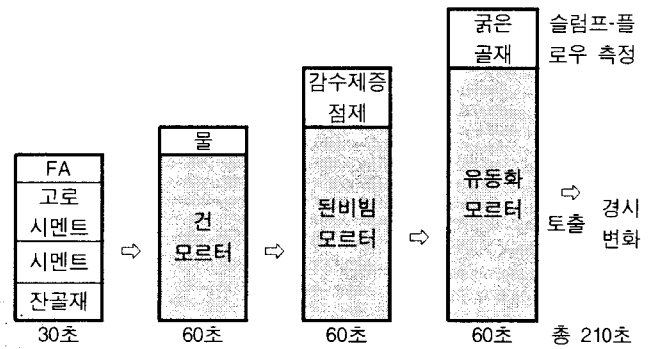


그림 1. 3성분계 중유동콘크리트 비빔방법

또한 그림 3에 나타난 바와 같이 목표 슬럼프-플로우 50±5cm를 만족시키기 위한 고성능감수제 첨가율의 변화는 시리즈 I의 경우 혼입율 0%는 고성능감수제 첨가율이 1.6%, 그 외는 0.38~0.5%로 나타나 플라이애시 및 고로시멘트를 혼합 사용하면 고성능감수제 첨가율이 낮아지는 것으로 나타났다. 한편 시리즈 II에서 물결합재비가 증가할수록 고성능감수제 첨가율이 다소 낮아지는 경향이 나타났다.

2) 경과시간에 따른 슬럼프-플로우의 변화

그림 4 및 그림 5는 시리즈별 경과시간에 따른 슬럼프와 슬럼프-플로우의 변화를 나타낸 것으로 비빔직후의 슬럼프-플로우는 55.0cm 정도, 경시 30분에서는 32.5~36.0cm, 경시 60

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 성상의 측정결과 분석 및 검토

1) 공기량, 단위용적중량 및 고성능감수제 첨가율의 변화

표 3은 중유동 콘크리트의 굳지않은 성상 측정결과를 나타낸 것이며 그림 2는 시리즈별 공기량과 단위용적중량을 나타낸 것으로 혼입율과 물결합재비의 변화에 관계없이 경과시간이 지남에 따라 공기량은 저하하고 있으나 단위용적중량의 경우 다소 증가하는 경향이 나타났다.

표 3. 중유동콘크리트의 굳지않은 성상 측정결과

시리즈	W/B(%)	FA 혼입율 (%)	BFS 혼입율 (%)	S/a(%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	SP제 첨가율 (%)	측 정 항 목									
							공기량 (%)		단위용적중량 (kg/ℓ)		슬럼프 (cm)			슬럼프-플로우 (cm)		
							직후	60분	직후	60분	직후	30분	60분	직후	30분	60분
I	45	0	0	50	170	1.6	6.2	6.3	2.14	2.16	26.0	26.0	26.0	55.0	49.0	48.0
		10	20			0.5	5.3	4.5	2.33	2.35	25.0	21.5	19.0	54.0	34.0	30.0
		20	20			0.45	4.5	4.2	2.28	2.43	25.0	22.0	20.0	59.0	36.0	31.5
		10	35			0.41	4.8	4.0	2.37	2.43	24.0	21.5	19.5	55.5	32.5	29.5
II	45	10	20	50	170	0.5	5.3	4.5	2.33	2.35	25.0	21.5	19.0	54.0	34.0	30.0
	178				0.45	5.5	4.7	2.30	2.40	24.0	21.0	18.0	52.5	35.0	30.0	
	185				0.38	5.8	5.0	2.33	2.43	26.0	22.0	20.0	56.0	32.5	30.5	

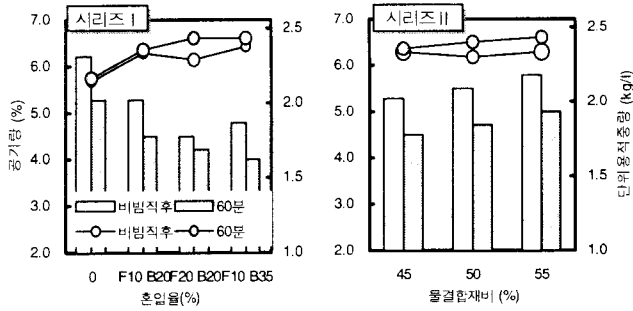


그림 2. 시리즈별 공기량과 단위용적중량

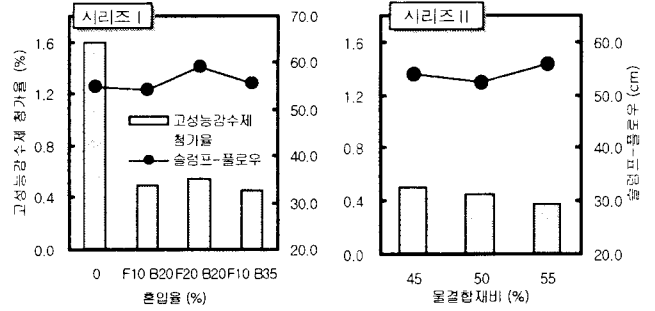


그림 3. 시리즈별 고성능감수제 첨가율과 슬럼프-플로우

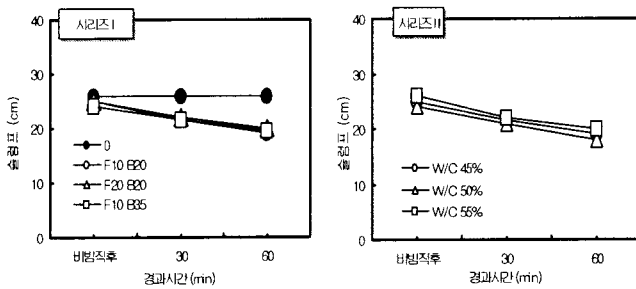


그림 4. 시리즈별 경과시간에 따른 슬럼프 변화

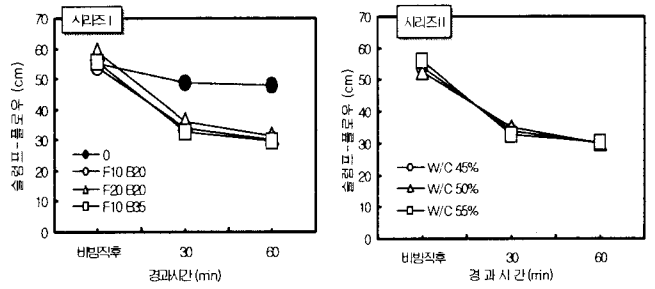


그림 5. 시리즈별 고성능감수제 첨가율과 슬럼프-플로우

분에서는 29.5~32.0cm로 유사하게 나타났다. 그러나 시리즈 I의 혼입율 0%에 있어서는 목표 슬럼프-플로우를 만족시키기 위한 고성능감수제 첨가율이 많아 유지성능이 지속된 것으로 판단된다.

### 3) 응결성상의 변화

그림 6 및 그림 7은 시리즈별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로 시리즈 I, II에서 초결도달시간이 10시간~10시간 38분, 종결도달시간은 13시간~13시간 16분으로 유의할 만한 차이는 나타내고 있지 않았으나, 혼입율 0%는 초결도달시간 17시간 50분, 종결도달시간 19시간 50분 정도로 고성능감수제 첨가량의 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한 시리즈별 종결 도달시간은 초결도달시간과 비교하여 약 3시간 정도 소요되는 것으로 나타났다

## 3.2 경화 성상의 측정결과 분석 및 검토

### 1) 시리즈별 재령에 따른 압축강도 및 인장강도의 변화

그림 8은 시리즈별 재령에 따른 압축강도 및 인장강도의 변화를 나타낸 것으로 시리즈 I의 경우 초기재령에 있어서 혼입율 0%가 높은 강도발현을 하고 있으나 재령 28일 이후에서는 모든 혼입율에서 0%와 유사하거나 높은 강도발현을 하는 것으로 나타났다. 이는 플라이애시와 고로시멘트에 포함되어 있는 고로슬래그미분말이 포졸란 반응의 결과로 판단된다. 또한 또한 플라이애시와 고로시멘트를 혼합 사용한 중유동콘크리트는 물결합재비가 작아질수록 압축강도 또한 작아져 물결합재비의 영향이 큰 것으로 나타났다.

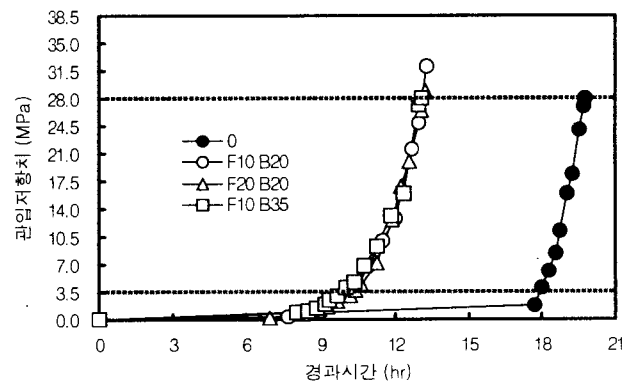


그림 6. 시리즈 I의 응결성상

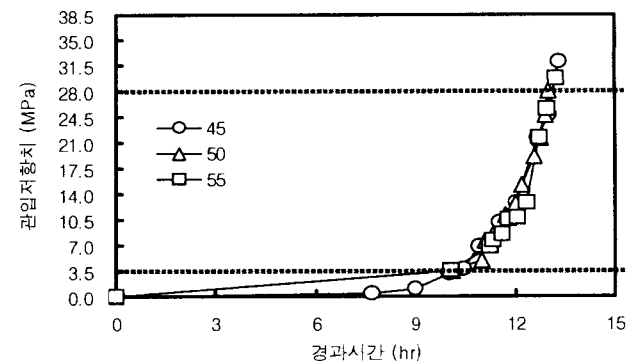


그림 7. 시리즈 II의 응결성상

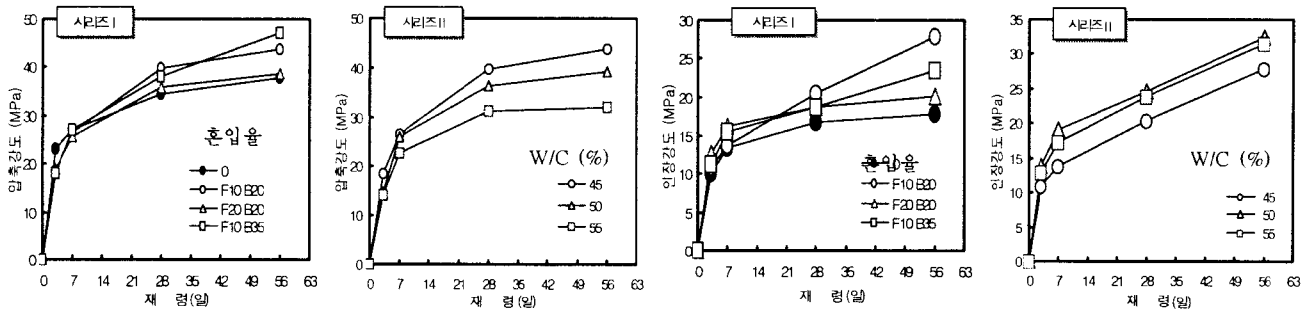


그림 8. 시리즈별 재령에 따른 압축강도 및 인장강도

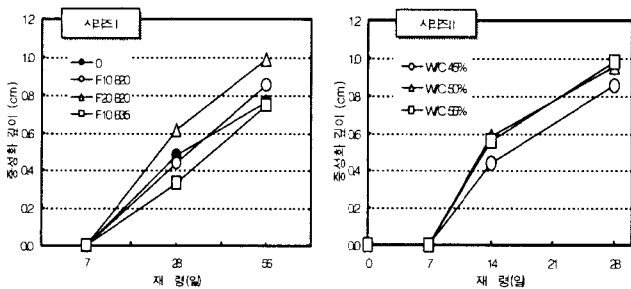


그림 9. 시리즈별 재령에 따른 중성화 깊이의 변화

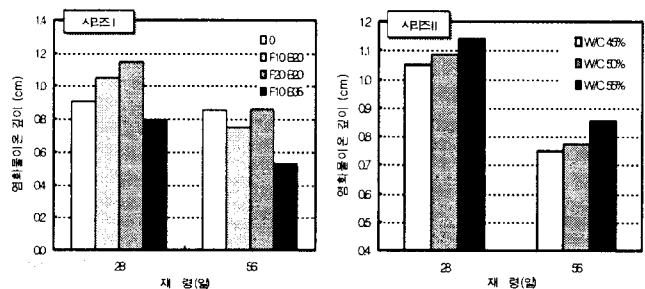


그림 10. 시리즈별 재령에 따른 염화물이온 침투성상

## 2) 시리즈별 내구특성

그림 9은 시리즈별 재령에 따른 중성화 깊이와 염화물이온의 침투성상을 나타낸 것으로 시리즈 I의 경우 혼입물 0%에 비하여 플라이애시와 고로슬래그미분말을 각각 20% 치환한 것이 중성화 깊이가 크게 나타났으며 나머지 혼입물에서는 작게 나타났다. 시리즈 II의 경우 물결합재비가 작을수록 중성화 깊이는 작게 나타났다.

그림 10은 시리즈별 재령에 따른 염화물이온 침투성상을 나타낸 것으로 시리즈 I의 경우 플라이애시 10%, 고로슬래그미분말 35%의 혼입물에서 염화물이온 침투깊이가 가장 작게 나타나 염화물이온 침투 억제능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 시리즈 II의 경우 물결합재비가 작을수록 염화물이온 억제능이 높은 것으로 나타났으며 두 시리즈에서 재령이 지날수록 염화물이온 침투깊이가 작아지는 경향을 나타내었다.

- 2) 경화 콘크리트 측정결과 플라이애시 및 고로시멘트를 혼합 사용한 경우의 압축강도 및 인장강도는 플라이애시 및 고로슬래그미분말의 혼입율과 물결합재비에 따라 영향이 크게 나타났다.
- 3) 플라이애시 및 고로시멘트를 혼합 사용할 경우 중성화 깊이는 혼입물 0%보다 대체로 작게 나타났으며 물결합재비가 작을수록 중성화 깊이는 작게 나타났다.
- 4) 플라이애시 및 고로시멘트를 혼합 사용할 경우 플라이애시 10%, 고로슬래그미분말 35% 혼입물에서 염화물이온 침투깊이가 가장 작게 나타났으며 재령이 지날수록 물결합재비가 작을수록 염화물이온 침투깊이가 작게 나타났다.
- 5) 플라이애시 및 고로시멘트를 혼합 사용할 경우 효율적이고 경제적인 중유동콘크리트가 제조 가능할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 松藤 泰典 外, 中流動コンクリートに関する基礎的研究 その1 中流動コンクリートの概念, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1998. 9, pp.971-972
2. 김무한 외, 고유동콘크리트의 향후 전망과 과제, 한국레미콘협회, 제 69호, 2001. 10, pp.41-48
3. 김무한 외, 3성분계 시멘트를 사용한 매스콘크리트의 시공사례, 한국콘크리트학회논문집, pp.1229-1234, 2001
4. 김무한 외, LBG 지하탱크의 바닥 슬래브 콘크리트의 시공사례, 한국콘크리트학회지, 제 13권 제 2호, pp.56-62, 2001. 3
5. 일본

## 4. 결 론

플라이애시 및 고로시멘트를 사용한 3성분계 중유동콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구를 비교분석한 결과 다음과 결론을 얻었다.

- 1) 굳지않은 콘크리트 측정결과 플라이애시 및 고로시멘트를 혼합 사용할 경우 목표 슬럼프-플로우를 만족시키는 고성능 감수제의 첨가량 감소 및 응결시간이 단축되는 것으로 나타났다.