

다짐이 필요 없는 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Mechanical Properties of Super-Workable Concrete

이준구* 윤상대** 박광수*** 이성행**** 배수호*****
Lee, Joon Gu Youn, Sang Dai Park, Kwang Su Lee, Seong Haeng Bae, Su Ho

Abstract

The purpose of this study is to investigate the mechanical properties of super-workable concrete using O.P.C., blast-furnace slag, and fly ash respectively. For this purpose, after determining the optimum mix proportion of super-workable concrete according to unit weight of binder and percentage of fine aggregate respectively, mechanical properties of super-workable concrete such as compressive, tensile and flexural strength as well as elastic modules were tested and analyzed.

Also, the mechanical performances of super-workable concrete were compared with those of high-strength concrete with equal mix proportion of concrete.

As a result, super-workable concrete have an excellent mobility, placeability, and segregation-resistance, but the strength of super-workable concrete was shown to be somewhat lower than that of high-strength concrete with equal mix proportion of concrete.

1. 서 론

콘크리트는 사회기반시설을 구축하기 위하여 없어서는 안되는 매우 중요한 재료중의 하나이다. 따라서 콘크리트 구조물의 설계 및 시공목표는 안전하고 내구적인 구조물을 구축하여야 하는 것이다.

- * 정회원, 농어촌진흥공사 농공기술연구소 연구원
- ** 정회원, 농어촌진흥공사 농공기술연구소 수석연구원
- *** 정회원, 농어촌진흥공사 농공기술연구소 책임연구원
- **** 정회원, 안동대학교 토목공학과 전임강사

이를 위해서는 시공현장에서 사람의 손에 의하여 정성들여 시공하는 것이 필수불가결하나산업구조의 개편에 따른 인력의 이동, 3D 기피현상, 고인건비 시대 및 기계화 시공 등 사회적 여건이 크게 변화되었고, 또한 콘크리트 시공과 관련된 숙련기능공의 부족 및 기능력의 저하로 콘크리트 구조물의 품질결함의 주원인이 시공불량으로 되는 사례가 증가되고 있다.

따라서 콘크리트 구조물의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 콘크리트 타설시 시공의 양부에 영향을 받지 않는, 또한 최근 초대형구조물의 증가에 따른 시공이음이 없는 대용량타설 및 공기단축에 부응하는, 그리고 복잡한 철근배근에 따라 기존의 워커빌리티로는 타설이 곤란한 경우의 문제점을 해결해줄 수 있는 「다짐이 필요 없는 콘크리트」의 개발이 필요하다. 다짐이 필요 없는 콘크리트의 제조방법에는 증점제에 의한 방법, 분체에 의한 방법, 분체 및 증점제를 병용하는 방법이 있는데, 본 연구에서는 분체에 의한 방법을 채택하여 단위결합재량 450kg/m³, 500kg/m³, 550 kg/m³, 600kg/m³ 각각에 대하여 미분말결합재 종류별(OPC, 고로슬래그미분말, 플라이애쉬)로 잔골재율을 변화시키면서 이들의 시공성 및 강도특성을 고려한 다짐이 필요없는 콘크리트의 최적배합비를 도출시킨 후 이 배합에 의해 제작된 다짐이 필요없는 콘크리트의 역학적 특성을 분석하였다. 또한, 동일 물-결합재비의 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트의 역학적 특성도 비교분석하여 다짐이 필요없는 콘크리트로 시공됨에 따른 강도저하 유무 및 탄성적 성질을 파악하였다.

결국, 본 연구는 미분말결합재로서 고로슬래그미분말 및 플라이애쉬를 혼입한 다짐이 필요없는 콘크리트의 역학적 특성을 규명하여 이를 경제적이고 실용적인 다짐이 필요없는 콘크리트의 배합설계 및 시공자료로 제시코자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 시중에서 구입한 보통 포틀랜드 시멘트(A사 제품)를 사용하였으며, 그 물리적 성질을 표 1과 같다.

2.1.2 골재

본 연구에 사용된 골재시료로서 잔골재는 남한강(경기 여주)산 하천사, 굵은골재는 안성 (경기)산 부순돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 각각 표 2 및 표 3과 같다.

2.1.3 혼화재료

1) 혼화제

본 연구에 사용된 혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 AE감수제(표준형, K사)로서 그 품질특성은 표 4와 같다.

2) 혼화제(미분말결합재)

다짐이 필요없는 콘크리트의 제조를 위해서는 유동성 및 재료분리저항성을 높여야 하는데, 유동성을 향상시키기 위해서는 고성능(AE)감수제를 사용하고, 재료분리저항성을 높이기 위해서는 미분말결합재 등을 사용하여 시멘트풀 또는 모르타부분의 점성을 증가시켜야한다. 따라서 본 연구

에서는 다짐이 필요없는 콘크리트 제조용 미분말결합재로서 시공성이 우수한 플라이애쉬 및 고로슬래그분말을 사용하였으며, 이들의 품질특성은 표 5와 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종 류	비 중	응결시간		분말도 (cm ³ /g)	압축강도(kgf/cm ²)		
		초결(min)	종결(hr)		σ_1	σ_2	σ_3
보 통 포틀랜드	3.12	228	6.15	3,338	194	219	308

표 2 잔골재의 물리적 성질

시료	항목	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (tf/m ³)	200번체통과량 (%)	조립율
하천사 (여주)		2.55	1.08	1.558	1.8	2.69

표 3 굵은골재의 물리적 성질

시료	항목	굵은골재 최대치수(mm)	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (tf/m ³)	조립율	마모율 (%)
부순돌 (안성)		19	2.71	0.6	1.551	6.57	28.5

표 4 화학혼화제의 품질특성

비중	pH	고형분 (%)	표준사용량(%) (시멘트중량비)	주 성분	비 고
1.21	8	41	0.2 ~ 2.0	Sodium salt of a sulfurnate naphthalene	액 상

표 5 혼화제의 품질특성

혼화제 종류	비중	분말도 (cm ³ /g)	비 고
플라이애쉬	2.17	3,200	충남 보령 화력발전소산
고로슬래그분말	2.93	4,500	전남 광양 쌍용양회공장

2.2 실험방법

2.2.1 최적배합비 선정시험

다짐이 필요없는 콘크리트의 제조방법에는 증점제에 의한 방법, 분체에 의한 방법, 분체 및 증점제를 병용하는 방법이 있는데, 본 연구에서는 분체에 의한 고유동화방법을 채택하였으며, 또한 이 방법에 의하여 단위 결합재량 450kg/m³, 500kg/m³, 550 kg/m³, 600kg/m³ 각각에 대하여 미분말결합재 종류별로 잔골재율을 변화시키면서 이들의 시공성 및 강도특성을 분석한 후 다짐이 필요없는 콘크리트의 최적배합비를 도출시켰다. 한편, 각 단위결합재량에 대한 미분말결합재 종류별 최적혼입율은 예비실험에 의하여 미리 구한 후 이를 다짐이 필요없는 콘크리트의 최적배합비 선정시험에 이용하였다.

1) 공시체 제작

다짐이 필요없는 콘크리트를 제조하기 위한 시공성 및 강도특성을 고려한 최적 잔골재율은 단위결합재량별로, 결합재종류별로 각기 다르기 때문에 단위결합재량과 결합재종류를 변수로 하여 이들 각각에 대한 잔골재율을 변화시키면서 시공성 및 강도특성이 우수한 최적잔골재율을 구하였다. 다짐이 필요없는 콘크리트의 단위결합재량에 따른 최적잔골재율을 구하기 위한 콘크리트 공시체

($\phi 10 \times 20\text{cm}$)는 KS F 2403(콘크리트의 강도시험 공시체 제작 방법)에 따라 제작하였으며, 성형후 24시간 경과하여 몰드를 제거하고 강도 시험전까지 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 온도로 습윤양생하였다.

2) 시험방법

다짐이 필요없는 콘크리트의 단위결합재량에 따른 최적잔골재율을 도출시키기 위한 콘크리트의 강도시험은 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)에 따라 각 재령별($\sigma_3, \sigma_7, \sigma_{28}$)로 하였다.

2.2.2 역학시험

1) 공시체 제작

『2.2.1 최적배합비 선정시험』에서 시공성 및 강도특성을 고려한 최적배합비를 결정한 후 이것에 의해 제작된 콘크리트의 역학적 특성을 규명키 위하여 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법)에 따라 콘크리트 공시체(압축 및 인장강도 시험용 : $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 탄성계수 측정용 : $\phi 15 \times 30\text{cm}$, 휨강도 시험용 : $15 \times 15 \times 53\text{cm}$)를 제작하였으며, 성형후 24시간 경과하여 몰드를 제거하고 강도시험전까지 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 온도로 습윤양생하였다. 또한, 다짐이 필요없는 콘크리트와 동일 물-결합재비의 고강도 콘크리트를 제작하여 이것의 역학적 특성을 다짐이 필요없는 콘크리트의 그것과 비교분석하였다. 표 10 및 표 11은 각각 역학적 특성을 규명키 위한 동일 물-결합재비의 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트의 배합표를 나타낸 것이다.

표 10 다짐이 필요없는 콘크리트의 배합표

단위결합재량 (kg/m ³)	물-결합재비 (%)	혼화재종류 (혼입률) (%)	잔골재율 (%)	슬럼프 (slumpf low) (cm)	박스충전값 (cm)	갈때기유하시 간(sec)	과밀배 근충진 성	단위량(kg/m ³)					고성능AE 감수제 (B×%)
								물	시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재	
600	30.8	OPC	50	24.5 (58)	0	14	양호	191.5	550	0	813	851	2.2
		플라이애쉬 (B×20%)	45	24.8 (56)	3.5	15	양호	191.5	412.5	137.5	707	908	2.1
		고로슬래그분말 (B×20%)	50	25.5 (60)	0	16	양호	191.5	330	220	805	846	1.9

표 11 고강도 콘크리트의 배합표

단위결합재량 (kg/m ³)	물-결합재비 (%)	혼화재종류 (혼입률)(%)	잔골재율 (%)	슬럼프 (cm)	단위량(kg/m ³)					고성능 AE 감수제 (B×%)
					물	시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재	
500	34.8	OPC	40	19.7	174	500	0	645	1,019	1.5
		플라이애쉬 (B×25%)	40	22.4	174	375	125	627	989	1.5
		고로슬래그분말 (B×40%)	40	22.5	174	300	200	642	1,011	1.4

2) 시험방법

가) 압축강도 시험

콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 따라 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트에 대하여 각 재령별($\sigma_3, \sigma_7, \sigma_{28}$)로 진행중이다.

나) 인장 및 휨강도 시험

콘크리트의 인장 및 휨강도 시험은 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험 방법)과 KS F 2407(콘크리트의 휨강도 시험 방법 : 단순보의 중앙점 하중법)에 따라 압축강도 시험에서와 동일 배합의 콘크리트에 대하여 재령 28일 강도를 시험하였다.

다) 탄성계수 측정

다짐이 필요없는 콘크리트의 탄성적 성질을 규명키 위한 탄성계수 측정은 KS F 2438(콘크리트의 원주 공시체와 정탄계수 및 포아슨비 시험 방법)에 따라 탄성계수 측정용 공시체와 동일한 배합으로 공시체를 추가로 제작하여 탄성계수 시험에 앞서 압축강도 시험을 행하여 파괴 하중의 40%의 하중을 미리 계산한 다음, 파괴하중의 10~70%까지 하중을 10%씩 증가시키면서 각각의 변위를 측정하여 다짐이 필요없는 콘크리트의 응력-변형을 관계를 파악하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 다짐이 필요없는 콘크리트의 최적배합비 도출

3.1.1 단위결합재량에 따른 최적잔골재율

그림 1~그림 4는 각각 단위결합재량 450kg/m³, 500kg/m³, 550kg/m³, 600kg/m³에 대하여 잔골재율을 변수로 한 다짐이 필요없는 콘크리트의 배합 시험결과 중에서 충전성능으로 박스단차와 강도 특성으로 재령28일 압축강도를 나타낸 것이다. 단위결합재량이 450kg/m³인 경우의 재령 28일의 압축강도는 결합재 종류에 관계없이 잔골재율이 증가함에 따라 감소되는 경향이 나타났으며 반면에 박스 충전성 시험에 의한 충전성능은 잔골재율이 증가할수록 개선되어 박스충전성 시험시 막힘현상도 없어지고 박스단차도 작아지는 것으로 나타났다. 그러나 단위결합재량이 450kg/m³인 경우는 잔골재율을 아주 크게 하면(S/a : 55%) 요구되는 유동성(슬럼프 : 25±1cm, 슬럼프흐름값 : 60±5cm) 및 충전성(박스단차 : 5cm 이하)을 만족시키나 강도저하가 크기 때문에, 이 경우는 중점제를 사용하지 않는 한 목표로 하는 시공성 및 강도를 만족시키는 다짐이 필요없는 콘크리트의 제조가 어려운 것으로 판단된다.

단위결합재량이 500kg/m³인 경우, 재령 28일의 압축강도와 요구되는 유동성 및 충전성을 모두 고려한 최적잔골재율은 미분말결합재를 사용하지 않은 OPC콘크리트가 50%, 플라이애쉬 및 고로슬래그분말을 혼입한 콘크리트가 각각 48%, 50%로 나타났다.

한편, 단위결합재량이 500kg/m³인 경우도 그것이 450kg/m³일 때와 마찬가지로 잔골재율이 증가함에 따라 대체적으로 압축강도는 저하되나 충전성능은 향상되는 것으로 나타났다.

단위결합재량이 550kg/m³인 경우의 재령28일의 압축강도는 OPC콘크리트와 고로슬래그분말을 혼입한 콘크리트는 잔골재율 45%를 경계로 하여 증감하는 경향을 나타냈으나 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 그것은 잔골재율이 증가함에 따라 감소되는 경향을 나타냈다. 반면에 충전성능은 결합재 종류에 관계없이 잔골재율이 증가함에 따라 향상되는 것으로 나타났다. 따라서 강도특성, 유동성 및 충전성을 모두 고려한 최적잔골재율은 OPC콘크리트가 50%, 플라이애쉬 및 고로슬래그분말을 혼입한 콘크리트가 각각 45%, 50%로 나타났다.

단위결합재량이 600kg/m³인 경우는 재령 28일의 압축강도와 유동성 및 충전성을 모두 고려한 최적잔골재율은 OPC콘크리트가 48%, 플라이애쉬 및 고로슬래그분말을 혼입한 콘크리트가 각각 45%, 48%로 나타났다.

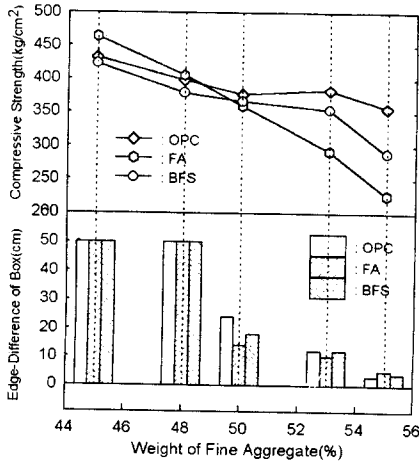


그림 1 잔골재율에 따른 압축강도 및 충전성 (W/B=38.0%, B=450kg/m³)

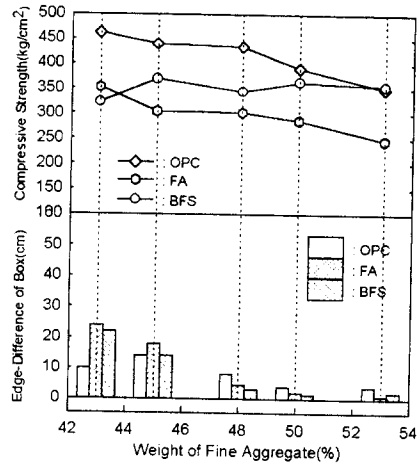


그림 2 잔골재율에 따른 압축강도 및 충전성 (W/B=36.5%, B=500kg/m³)

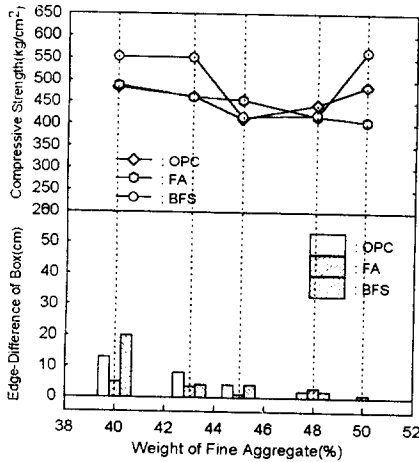


그림 3 잔골재율에 따른 압축강도 및 충전성 (W/B=34.8%, B=550kg/m³)

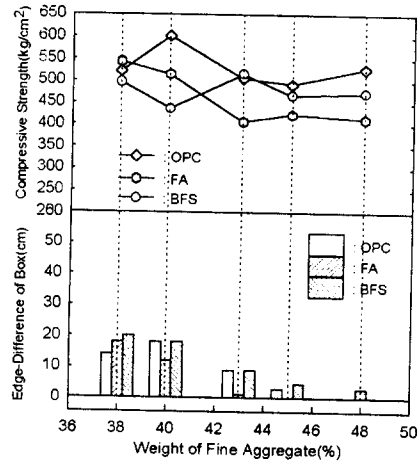


그림 4 잔골재율에 따른 압축강도 및 충전성 (W/B=30.0%, B=600kg/m³)

3. 1. 2 최적배합비 선정

다짐이 필요없는 콘크리트의 제조방법 중 분체에 의한 고유동화 방법을 채택하여 단위결합재량, 결합재 종류 및 잔골재율을 변수로 유동성, 충전성 및 강도특성을 종합적으로 평가한 결과(그림 1~그림 4), 이들을 모두 만족시키는 다짐이 필요없는 콘크리트의 최적배합비는 표 12와 같다.

3. 2 다짐이 필요없는 콘크리트의 역학적 특성

3.2.1 압축강도

다짐이 필요없는 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 발현 양상을 규명하기 위하여 현재 재령 28일까지 압축강도 시험을 완료하였으며, 재령 728일까지의 압축강도 시험을 행하여 다짐이 필요없는 콘크리트의 장기강도 특성도 규명할 계획이다. 또한, 동일 물-결합재비의 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트에 대한 압축강도 시험을 하여 이들의 강도특성을 비교분석하였다. 그림 5는 동일 물-결

표 12 다짐이 필요없는 콘크리트의 최적배합비

단위결 합재량 (kg/m ³)	물-결 합재비 (%)	혼화재종류 (혼입률) (%)	잔골 재율 (%)	슬럼프 (slumpfl ow)(cm)	박스충 진값 (cm)	갈때기 유하시 간(sec)	과밀배 근충진 성	단위량(kg/m ³)					고성능AE 감수제 (B×%)	σ ₂₈ (kgf/cm ²)
								물	시멘 트	혼화 재	잔골 재	굵은 골재		
550	34.8	OPC	50	25.6 (62)	0	14	양호	191.5	550	0	813	851	2.2	487
		플라이애쉬 (B×25)	45	25.4 (60)	1	15	양호	191.5	412.5	137.5	707	908	2.1	455
		고로슬래그 분말 (B×40)	50	25.4 (55)	0	16	양호	191.5	330	220	805	846	1.9	565

합재비의 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트의 재령 28일의 압축강도를 나타낸 것으로, 고강도 콘크리트에 대한 다짐이 필요없는 콘크리트의 재령 28일의 압축강도비는 약 67~75% 정도로 강도특성 측면에서는 다짐이 필요없는 콘크리트가 고강도 콘크리트보다 다소 불리한 것으로 판단된다.

3.2.2 인장 및 휨강도

그림 6 및 그림 7은 각각 동일 물-결합재비의 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트의 인장 및 휨강도를 나타낸 것인데, 고강도 콘크리트에 대한 다짐이 필요없는 콘크리트의 인장강도비는 약 94~98%로, 압축강도의 경우와는 달리 이들간의 차가 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 고강도 콘크리트에 대한 다짐이 필요없는 콘크리트의 휨강도비는 약 84~89%로 다소 작게 나타났다. 한편, 다짐이 필요없는 콘크리트의 인장 및 휨강도는 각각 압축강도의 약 1/11, 1/5로 나타났고, 고강도 콘크리트의 그것은 각각 압축강도의 약 1/15, 1/6.5로 나타났다.

3.2.3 탄성계수

그림 8은 동일 물-결합재비의 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트의 탄성계수를 나타낸 것으로, 고강도 콘크리트에 대한 다짐이 필요없는 콘크리트의 탄성계수비율은 약 90% 정도로 다짐이 필요없는 콘크리트의 탄성계수가 고강도 콘크리트의 그것보다 낮게 나타났는데, 이것은 다짐이 필요없는 콘크리트가 고강도 콘크리트와 동일 물-결합재비라 할지라도 유동성의 대폭적 증대로 압축강도가 저하되어 탄성계수도 작게 나타난 것으로 판단된다.

4. 결 론

미분말결합재로서 고로슬래그미분말 및 플라이애쉬를 사용한 다짐이 필요없는 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험 연구 결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 다짐이 필요없는 콘크리트의 제조방법 중 분체에 의한 고유동화방법을 채택하여 단위 결합재량, 결합재 종류 및 잔골재율을 변수로 유동성, 충전성 및 강도특성을 종합적으로 평가한 결과, 이들을 모두 고려한 다짐이 필요없는 콘크리트의 최적 단위결합재량은 550kg/m³으로 나타났으며, 이때의 잔골재율은 OPC 콘크리트가 50%, 플라이애쉬 및 고로슬래그분말을 혼입한 콘크리트가 각각 45%, 50%로 나타났다.

- 2) 다짐이 필요없는 콘크리트의 재령 28일의 압축강도는 약 400kgf/cm^2 내외로 보통강도에 대한 다짐이 필요없는 콘크리트의 제조는 무난한 것으로 판단되나 동일 물-결합재비의 고강도 콘크리트에 대한 다짐이 필요없는 콘크리트의 재령 28일의 압축강도비는 약 67~75% 정도로 강도측면에서는 다짐이 필요없는 콘크리트가 다소 불리한 것으로 판단된다.
- 3) 동일 물-결합재비의 고강도 콘크리트에 대한 다짐이 필요없는 콘크리트의 인장강도비는 약 94~98%로 이들간의 차가 거의 없는 것으로 나타났으나 고강도 콘크리트에 대한 다짐이 필요없는 콘크리트의 휨강도비는 약 84~89%로 다소 작게 나타났다. 또한, 다짐이 필요없는 콘크리트의 인장 및 휨강도는 각각 압축강도의 약 1/11, 1/5로 나타났고, 고강도 콘크리트의 그것은 각각 압축강도의 약 1/15, 1/6.5로 나타났다.
- 4) 동일 물-결합재비의 고강도 콘크리트에 대한 다짐이 필요없는 콘크리트의 탄성계수비율은 약 90% 정도로 다짐이 필요없는 콘크리트의 탄성계수가 고강도 콘크리트의 그것보다 낮게 나타났

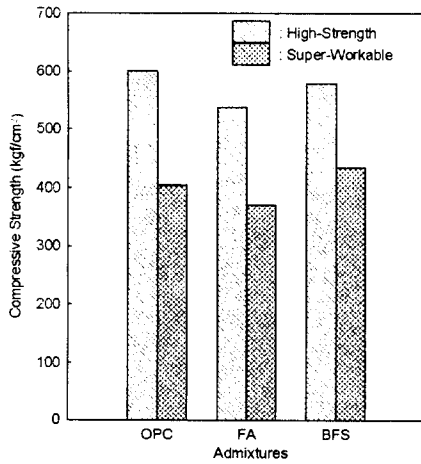


그림 5 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트의 압축강도(σ_c)

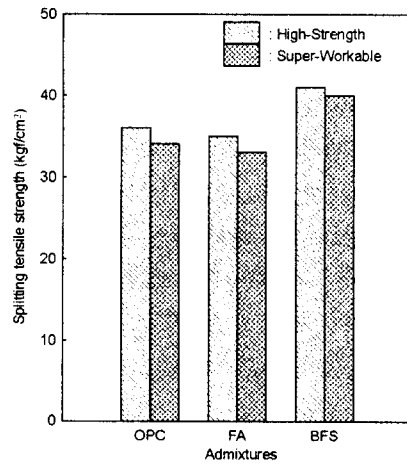


그림 6 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트의 인장강도

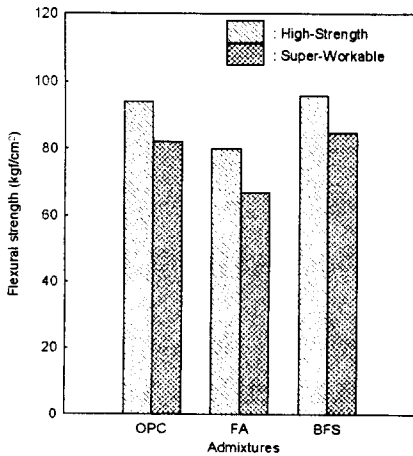


그림 7 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트의 휨강도

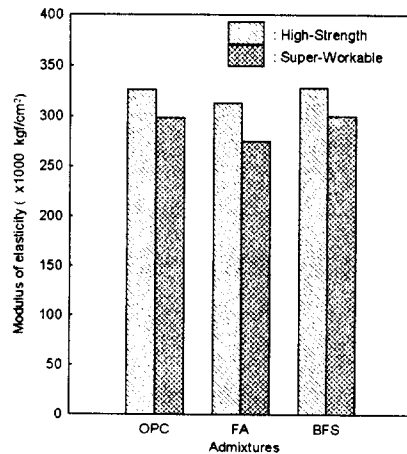


그림 8 다짐이 필요없는 콘크리트와 고강도 콘크리트의 탄성계수

는데, 이것은 다짐이 필요없는 콘크리트가 고강도 콘크리트와 동일 물-결합재비라 할지라도 유동성의 대폭적 증대로 압축강도가 저하되어 탄성계수가 작게 나타난 것으로 판단된다.

- 5) 다짐이 필요없는 콘크리트의 실용화를 위해서는 금후 시험시공을 통하여 거푸집에 작용하는 측압을 정량화시켜야 하며, 다짐이 필요없는 콘크리트의 내구성, 다짐이 필요없는 콘크리트에 의한 고강도 콘크리트의 제조 등에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 배수호외 3인, "다짐이 필요없는 콘크리트 개발에 관한 연구(Ⅱ)", 농어촌진흥공사 농공기술연구원, 96-05-07, 1996.12
2. 윤상대외 3인, "콘크리트용 혼화재의 특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, Vol.8, No.2, 1996.11. 9 pp140-147.
3. 배수호외 3인, "왕겨재를 혼입한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, Vol.8, 1996.11. 9 No.2, pp70-76.
4. 김진근외 3인, "초유동 콘크리트의 재료특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 논문집, Vol.8, No.3, 1996. 6 pp135-146.
5. 건설교통부, "초유동 콘크리트의 개발 및 실용화 연구", 1996.10