

유동화 공법을 적용하여 제조한 고유동 콘크리트의 시공

Execution of High Fluidity Concrete by Flowing Method

한 민 철*
Han, Min-Cheol

손 성 운**
Son, Seong-Un

한 천 구***
Han Cheon-Goo

Abstract

This paper presents the results of mock up test on the manufacturing of high fluidity concrete by applying flowing methods with segregation reducing type superplasticizer(SRS). Three kinds of mock up structure are made such as. conventional concrete(A), high fluidity concrete(B) and high fluidity concrete incorporating 20% of fly ash(C). Physical and mechanical properties, temperature history of structure and nondestructive test are performed. Segregation reducing type superplasticizer is put into base concrete at field, and base concrete is also flowed at field. C mock up structure which requires 0.85% of SRS to flow base concrete shows most desirable performance at fresh state. The highest rising temperature shows the lowest at C structure among the tested structures. Strength variations before and after flowing also show the lowest values at C structures.

1. 서 론

고유동 콘크리트는 굳지않은 상태에서의 높은 유동성 및 구석구석까지 스스로 잘 채워지는 우수한 충전성을 발휘하는 장점을 보유한 반면, 제조단가가 비싸고 복잡한 품질관리가 요구되기 때문에 많은 보급 및 실용화에는 문제점이 제기되었다.

이에 본 연구팀에서는 고유동 콘크리트를 저렴한 가격으로 제조하기 위하여 유동화공법을 적용하여 고유동 콘크리트를 제조하는 방법을 검토하였는데, 이 경우 유동화 과정중의 재료분리 및 공기량 감소 등 콘크리트의 품질이 저하하는 단점이 있어 실험실 실험을 통하여 일반유동화제에 증점제 및 AE제를 일정 비율로 첨가하는 적정 배합비를 결정하여 고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화제를 개발한 후 이를 이용하여 고유동 콘크리트를 제조하고 그 물성을 검토함으로써 새로운 고유동 콘크리트의 제조방법을 제안하였다.¹⁾ 또한, 보다 양호한 품질의 확보 및 원가절감을 기할 수 있는 고유동 콘크리트를 제조하기 위하여 플라이애시를 활용하는 방안에 대하여도 실험을 진행하여 적정 배합비를 도출한 바 있다.²⁾

이에 본 연구에서는 실험실 실험을 통하여 개발된 분리저감형 유동화제를 이용하여 실제 배척 플랜트의 공정에 적용하여 출하되는 베이스 콘크리트를 유동화공법으로 고유동 콘크리트를 제조

* 청주대 산업과학연구소 전임연구원, 공학박사, 정회원

** 청주대 대학원 박사과정, 정회원

*** 청주대 건축공학부 교수, 공학박사, 정회원

한 후, 이를 모의 구조체에 부어넣기 한 다음, 제반 물리·역학적 특성 및 구조체의 특성을 검토하고, 아울러 실제 구조체에 부어넣기를 실시하므로써 유동화공법을 이용한 고유동 콘크리트의 시공에 참고자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같은데, 1회 실험의 비빔량은 배채 플랜트에서 6m³를 혼합하는 것으로 한다.

실험계획으로 먼저, 모의구조체는 3개의 수준으로 계획하였는데, W/B 40%에 슬럼프 18cm의 컨벤셔널 콘크리트와 W/B 40%의 고유동 콘크리트 그리고 W/B 40%에 플라이애시 치환을 20%인 고유동 콘크리트로 제작하는데, 고유동 콘크리트의 목표 슬럼프 플로우값은 60±5cm로 실험계획하였다.

한편, 유동화과정중 첨가하는 분리저감형 유동화제는 실험실 연구결과를 토대로 멜라민계 유동화제 : PEO 증점제 : AE제의 혼합비율을 1 : 0.61 : 0.017로 결정하여 제조하였는데, 각 배합에서의 사용량은 플라이애시를 치환하지 않은 경우와 플라이애시 치환을 20%의 경우로 구분하여 예비실험을 통하여 결정하였고, 플라이애시를 사용하지 않은 경우는 0.9%로, 플라이애시 20%를 치환한 경우는 0.85%로 결정하였다.

한편, 실험장소는 경기도 의왕시 내손동에 위치한 (주)대원 아파트 신축공사 현장내에서 RC조의 매스콘크리트 기둥과 벽식구조의 아파트인 경우로 상정하여 모의부재를 제작한 후 실험을 진

표 1. 실험계획

구분		실험요인	실험변수	
배합사항	구조체 종류	3	· A: 컨벤셔널 콘크리트 (플라이애시:0%) · B: 고유동 콘크리트 (플라이애시:0%) · C: 플라이애시 치환 고유동 콘크리트 (플라이애시:20%)	
	W/B(%)	1	40	
	분리저감형 유동화제 첨가(%)	3	A : 0%, B : 0.9%, C : 0.85%	
	슬럼프 및 슬럼프 플로우	1	· 슬럼프 : 18±1cm (컨벤셔널 및 베이스콘크리트) · 슬럼프 플로우 : 60±5cm (고유동 콘크리트)	
모의 구조체 실험	균지않은콘크리트	베이스 콘크리트 및 유동화후	9	· 유동성: 슬럼프, 슬럼프 플로우, 재료분리저항성 : 굵은골재 씻기 블리딩시험 · 충전성 : U형 충전시험, V로트 유하시험 · 기타 : 공기량, 단위용적중량
		펌프 압송후	11	· 유동성, 재료분리저항성, 충전성, 공기량, 단위용적중량 (유동화후 실험과 동일) · 기타 : 침하량, 온도이력, 구조체 충전높이
	경화 콘크리트	베이스 콘크리트	1	· 압축강도 : 7, 28, 91일
		유동화후	1	· 압축강도 : -표준다짐(7, 28, 91일) -무다짐 (7, 28, 91일) -구조체 관리용 공시체 (1, 3, 7, 14, 28, 42, 56, 91일)
		펌프 압송후	1	· 압축강도 : 7, 28, 91일
	실구조체 부어넣기	배합사항	W/B 40%, 플라이애시 20%치환, 분리저감형 유동화제 0.85%	

주1) A시험체의 경우는 유동화 후 및 펌프압송후 실험만을 적용함

표 2. 컨벤셔널 및 베이스 콘크리트의 배합설계

구분	종류	W/B (%)	W (kg/m ³)	S/A (%)	S.P/C (%)	용적배합 (ℓ/m ³)			
						C	FA	S	G
모의 구조체	A	40	180	50	1.2	143	0	316	316
	B	40	180	50	1.2	143	0	316	316
	C	40	180	50	1.2	114	41	310	310
실구조체		40	180	50	1.2	114	41	310	310

행하는데, 그림 1 및 그림 2는 모의부재 도면과 측정용 장비의 매입위치 및 코아채취 위치 그리고 철근 배근도를 나타낸 것이고, 사진 1은 모의 구조체 실험광경을 나타낸 것이다.

실구조체 적용실험은 모의구조체 실험에서 가장 양호한 성능을 발휘한 것으로 평가된 W/B 40%, 플라이애시 20% 치환된 베이스콘크리트를 사용하는 것으로 하였으며, 분리저감형 유동화제는 0.55%를 첨가하였고, 실험대상 구조체는 경기도 의왕시 내손동 (주)대원 아파트내 신축상가 RC조 2층 건물이고 부어넣기량은 50m³로 실험계획하였다.

2.2 사용재료

모의구조체 실험에 사용하는 재료는 경기도 안양의 A레미콘사의 원재료로서, 먼저 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트(F₂₈ : 372 kgf/cm², 분말도 : 3,363cm²/g)를 사용하였고, 플라이애시(비중 : 2.23, 분말도 : 3,519 cm²/g)는 충남 보령 화력산을 사용하였다. 골재로서 굵은골재는 부순돌(비중 : 2.56, 조립율 : 6.9)을 사용하였으며, 잔골재는 강모래(비중 : 2.55, 조립율 : 2.78)를 사용하였다.

혼화제로써 유동화제는 멜라민계 유동화제에 PEO증점제와 AE제를 혼합하여 제조한 분리저감형 유동화제를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로써 베이스 및 컨벤셔널 콘크리트는 레미콘사의 배척플랜트에서 제조하는 것으로 하였고, 유동화 방법은 공장에서 베이스콘크리트를 제조한 후 현장에서 유동화하는 것으로 계획하였는데, 유동화 방법은 분리저감형 유동화제를 투입한 후 애지테이터 트럭을 증속으로 30회 회전한 다음 구조체에 부어넣었다.

굳지않은 콘크리트의 슬럼프시험은 KS F 2402 규정에 따라 실시하였고, 슬럼프 플로우 및 L플로우는 기존에 알려진 표준적인 방법으로 실시하였다. 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 규정에 의거 측정하였다.

굵은 골재 씻기시험, U형충전시험 및 V로트 유하시험은 기존에 알려진 표준적인 방법으로 실시하였고, 블리딩은 KS F 2414에 따라 실시하였다. 구조체의 온도이력은 구조체 각 부위에 T타입 열전대를 매입한 후 10분 간격으로 1주일간 데이터로거를 이용하여 측정하였다.

압축강도 시험은 KS F 2403에 따라 실시하였고, 구조체 관리용 공시체도 제작하여 구조체 옆에서 계획된 재령동안 현장수증양생을 실시한 후 강도시험을 행하였다. 코아강도는 28일 및 91일 재령에서 코아채취기를 이용하여 계획된 구조체의 각 부위를 채취한후 강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

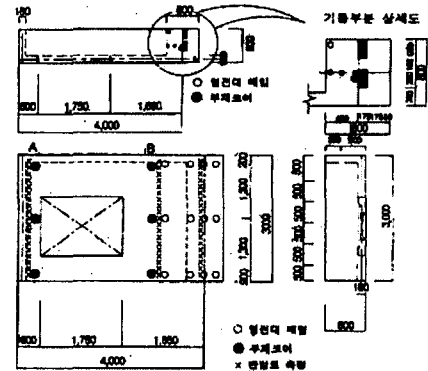


그림 1. 모의구조체 도면 및 측정장비

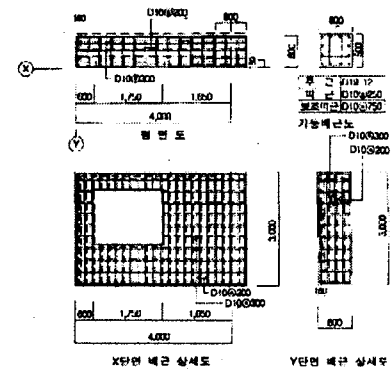


그림 2. 모의구조체 철근배근도



사진 1. 모의구조체 부어넣기

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 3은 모의부재 종류별 유동성, 공기량, 재료분리저항성 및 충전성을 유동화전후 및 펌프압송후로 구분하여 나타낸 것이다.

(1) 유동성

베이스 상태에서의 목표 유동성은 A, B, C 구조체 모두 계획된 품질을 만족하는 것으로 나타났다. 유동화후의 유동성으로 슬럼프 플로우의 경우 B구조체는 62cm, C구조체는 65cm로 나타나 계획된 품질을 만족하였고, 슬럼프는 유동화 후 크게 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 펌프압송후의 경우 유동화후와 비교하여 유동성이 전반적으로 약간 저하하거나 커다란 차이는 없는 것으로 나타났다. 단, 현장 유동화과정에서 교반시간이 충분하지 못한 관계로 분리저감형 유동화제가 골고루 혼합되지 않고 일부 콘크리트에 유동화제 성분이 집중되어 부분적으로 재료분리가 발생하는 문제점이 발생하여 유동화방법에 대한 재검토가 필요한 것으로 분석되었다.

(2) 공기량 및 단위용적중량

공기량은 베이스콘크리트의 경우 계획된 공기량을 만족시켰으나 B, C구조체의 경우 유동화후 및 압송후에는 공기량이 저하는 경향을 보이며, 특히 C구조체의 경우는 이러한 경향이 더욱 큰 것으로 나타났는데, 이는 플라이애시의 미연소탄분이 AE제의 흡착작용을 일으켜 저하된 것으로 분석되며 플라이애시를 사용할 경우 공기량 관리에 충분한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

한편, 단위용적 중량은 공기량과 반대의 경향으로 나타났다.

(3) 재료분리저항성

재료분리 저항율의 경우 A구조체는 측정이 불가능했으며 B, C 구조체의 경우 유동화 후 각각 94%, 93%로 양호한 결과를 보였으나, 압송후에는 B 구조체의 경우 어느 정도 재료분리 되는 경향을 보였고, C구조체는 그 경향이 비교적 적었다. 이는 플라이애시의 영향에 의해 점성이 증대된 결과로 사료된다.

한편, 블리딩량은 구조체의 종류에 관계없이 전반적으로 $0.03\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이하로 미소한 량만 발생하여 JASS-5의 고유동 콘크리트 블리딩 규정의 상한치인 $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이하를 만족하는 것으로 나타났다. 단, B구조체의 경우는 모의구조체에서 부어넣기후 급격히 블리딩량이 증가하는 경향을 보였다. 이는 유동화 과정 중 충분한 교반이 이루어지지 않음에 따라 부분적으로 재료분리가 발생한 결과로 사료된다.

(4) 충전성

충전높이는 전반적으로 유동화전에는 크지는 않았으나 유동화후 30cm이상으로 급속하게 증가하는 경향으로 나타났으며, C 구조체의 경우가 가장 양호한 충전성을 보였다. 단, 압송후에는 약간 저하하는

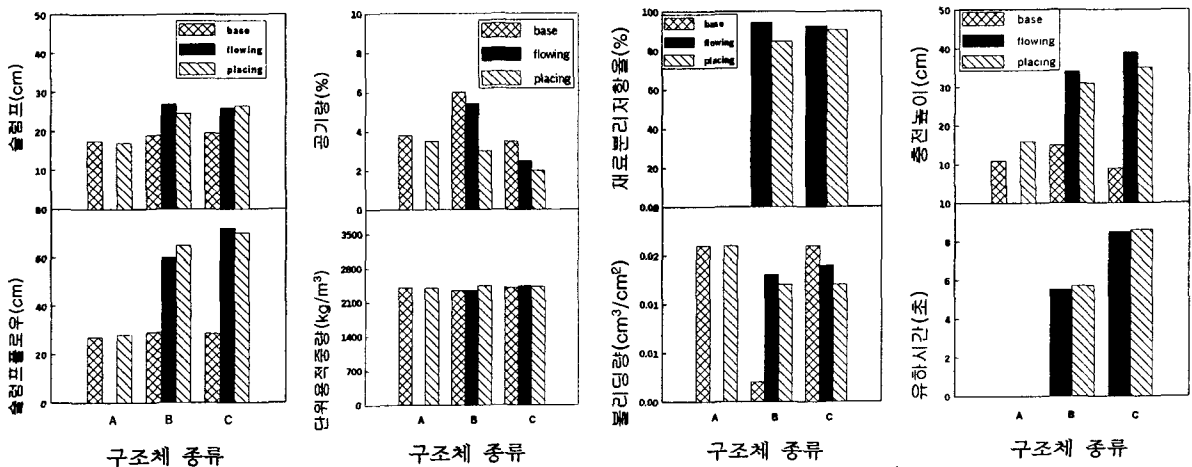


그림 3. 구조체별 굳지않은 콘크리트의 특성

경향으로 나타났다. 유하시간의 경우는 유동화전에는 측정이 불가능하였으나, 유동화후에는 B 구조체의 경우 5초, C구조체는 8.5초 정도 소요되었다. 이는 C구조체가 플라이애시의 영향으로 점성이 증대되어 나타난 결과로 사료된다. 또한, 압송후에는 유동화 후와 비교하여 유하시간에는 별차이가 없는 것을 확인할 수 있었다.

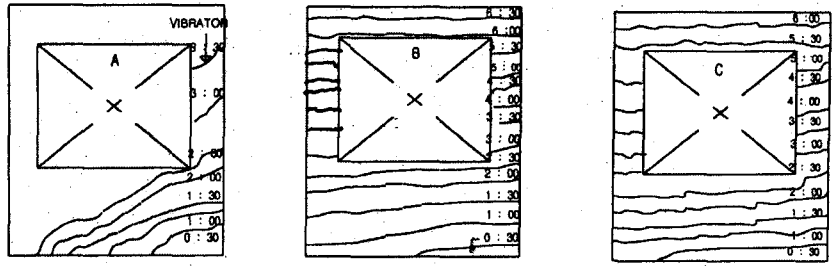


그림 4. 구조체 종류별 거푸집의 충전상황

한편 그림 4는 모의구조체에 콘크리트를 부어넣었을 때 투명 거푸집면으로 보이는 콘크리트의 충전상황을 나타낸 것이다. 먼저, A 구조체는 기둥에서 벽쪽으로 콘크리트가 흘러가기는 하였으나, 3분 30초후에는 더 이상 충전되지 못하고 멈춰짐에 따라 진동기로 다짐하여 모두 충전하였다.

그러나, B, C 구조체는 그림에서 보는 바와 같이 부어넣는 부위에서 멀리 떨어진 위치까지 바이브레이터 없이 밀실하게 채워지는 양호한 충전성을 볼 수 있었다.

3.2 구조체의 온도이력

표 3은 구조체 종류 및 각위치별 최고상승온도 및 도달시간을 나타낸 것이다. 전반적인 경향으로 타설후 19~35시간 사이에서 최고온도를 기록하고, 그 이후는 점차로 낮아지는 것으로 나타났다. 먼저 구조체 종류별로는 동일위치에서 A구조체가 가장 높은 온도를 나타냈고 B, C 구조체의 순으로 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

높이에 따른 온도 상승량은 전반적으로 상부가 가장 높게 나타났으며 중앙부 하부의 순이었다. 수평방향으로는 중심과 중간부분이 거의 유사하게 나타났고, 표면과 모서리순으로 높게 나타났다. 각 구조체별 최고온도 상승은 A구조체의 경우 기둥 상부 중심에서 74℃, B 구조체의 경우 66.1℃, C구조체의 경우 61.6℃로 나타났다. 따라서 각 구조체간에는 C구조체가 A구조체에 비하여 12.4℃정도 낮게 나타났고, B구조체에 비하여 4.5℃정도 낮게 나타났는데, 이는 플라이애시와 유동화공법에 의한 수화열 저감의 복합적인 효과로 분석된다.

또한 최고상승온도에서의 중심부와 모서리간의 온도차이는 A구조체의 경우 18.6℃, B 구조체의 경우 17.1℃, C 구조체의 경우 15.8℃로 나타났다.

3.3 경화콘크리트의 강도특성

그림 5는 구조체 종류별 재령경과에 따른 압축강도를 양생방법 및 다짐유무간으로 구별하여 나타낸 것이다.

먼저 베이스상태에서 A구조체의 28일 압축강도는 431 kgf/cm², B구조체는 426kgf/cm², C구조체는 424kgf/cm²로 나타났으며, 유동화후에는 B 구조체가 426kgf/cm², C구조체가 439kgf/cm²로 베이스 상태와 유사하거나 높은 강도를 발휘하는 것을 알 수 있었다. 한편, 펌프압송후에는 A구조체의 경우 유동화 전후 압축강도보다 저하하는 경향이었으나, B와 C의 경우는 유사하거나 약간

표 3. 구조체 종류 및 위치별 최고상승온도

측정위치		항목	A	B	C
수직	수평				
상부	모서리	최고온도(℃)	55.4	49.0	45.8
		도달시간(시)	24.0	27.0	29.0
	중심	최고온도(℃)	74.0	66.1	61.6
		도달시간(시)	23.0	22.0	24.0
중앙부	모서리	최고온도(℃)	57.7	44.0	50.2
		도달시간(시)	24.0	20.0	32.0
	중심	최고온도(℃)	69.5	61.9	57.7
		도달시간(시)	24.0	21.0	25.0
하부	모서리	최고온도(℃)	46.4	43.7	45.3
		도달시간(시)	20.0	19.0	30.0
	중심	최고온도(℃)	58.1	54.6	49.6
		도달시간(시)	22.0	19.0	31.0

높은 경향을 나타내고 있었다. 재령 91일의 경우 C구조체는 유동화전후 및 펌프압송에 관계없이 플라이애시의 포졸란 반응에 의하여 여타 구조체의 압축강도보다 높은 강도 발현율을 보여주고 있었다. 그리고 B, C구조체의 유동화후 다짐과 무다짐 압축강도 간의 차이는 거의 없는 것을 알 수 있었다.

4. 실구조체 적용실험

이상의 모의구조체 실험에서 굳지않은상태 및 경화상태 그리고 부어넣기 충전상황을 종합적으로 검토한 결과 플라이애시를 20% 치환한 C구조체가 가장 양호한 성능을 발휘하는 것으로 나타나, 실구조체 적용실험에서는 이배합을 적용하였다. 아울러 현장 첨가 현장유동화방식의 문제점으로 인하여 유동화방법을 공장첨가 운반중 유동화방법을 채택하였다. 사진 2는 신축 아파트단지 내 RC조 상가건물을 대상으로 실구조체 부어넣기 상황을 나타낸 것으로서, 베이스콘크리트를 유동화한 후 목표로한 슬럼프 플로우가 발휘되었고, 바이브레이터 없이 구조체 구석구석까지 콘크리트가 양호하게 충전됨을 확인할 수 있었다.

5. 결론

분리저감형 유동화제를 이용하여 유동화공법으로 고유동 콘크리트를 제조하기 위한 일련의 모의 구조체 및 실구조체 적용 실험연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 모의부재 적용성을 검토한 결과 C 구조체(플라이애시 20%치환 고유동콘크리트)의 유동성, 재료분리저항성 및 충전성이 유동화전후 및 압송후에도 여타의 구조체보다 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 단, 분리저감형 유동화제를 현장첨가방식으로 유동화하는 경우 교반시간이 충분치 않아 균질한 품질을 발휘하지 못하는 문제점도 있어 이에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

2) 압축강도 특성으로 C 구조체의 경우 유동화전후 및 압송후의 강도가 거의 유사하거나 유동화후에 크게 나타나고 있었으며 91일 재령에서 여타의 구조체보다 높은 강도를 나타내고 있었다. 한편, 코아 강도 특성으로 C구조체의 경우는 재료분리가 방지됨에 따라 상·하부간의 강도차이가 비교적 작게 나타남도 알 수 있었다.

3) C구조체의 배합조건을 이용하여 아파트 단지 상가건물의 실구조체에 부어넣기 실험을 진행한 결과 유동화후 목표 슬럼프 플로우를 만족하였고, 부어넣기 과정에서 바이브레이터의 다짐없이도 구석구석까지 양호하게 충전됨을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 한천구, 김성수, 손성운, 전충근, 윤길봉, 남궁기, "고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화제의 개발에 관한 기초적 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 제 20권, 제2호, 2000. 10
2. 한천구, 김성수, 손성운, 전충근, 윤길봉, "분리저감형 유동화제를 이용하는 고유동 콘크리트의 특성에 미치는 플라이애시의 영향", 한국 콘크리트학회논문집, 제13권 1호, 2001. 5

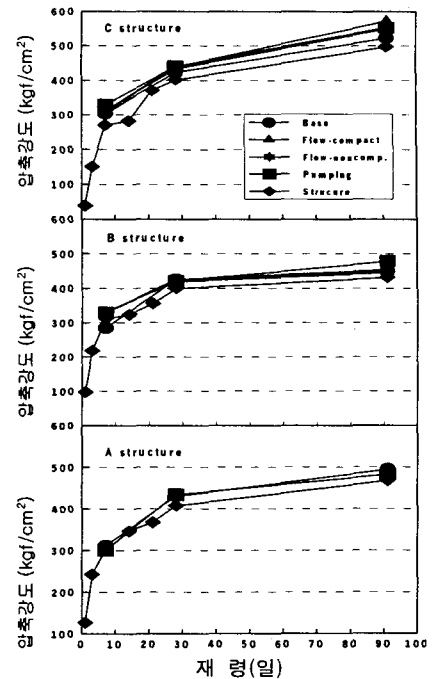


그림 5. 구조체 종류별 강도발현성상



사진 2. 유동화후 고유동 콘크리트 타설 장면