

분리저감형 유동화제를 이용한 준고유동 콘크리트의 실용화에 관한 연구

한 천 구

〈청주대학교 건축공학부, 교수, 공학박사〉

오 선 교

〈(주)선엔지니어링 종합건축사사무소, 대표이사, 공학박사〉

김 기 철

〈(주)선엔지니어링 종합건축사사무소, 연구개발팀장, 공학박사〉

1. 서론

최근 건설공사현장에서의 콘크리트 시공은 잘 갖춰진 공장설비에서 철저한 품질관리로 생산된 양질의 레미콘을 이용하게 되었고, 또한 대량으로 부어넣기가 가능한 고능률적인 펌프공법의 발달로 말미암아 시공법에는 커다란 진보를 가져왔다.

그러나, 레미콘과 펌프공법의 보편화된 보급은 긍정적인 발전을 가져온 반면, 시공능률을 향상시키기 위하여는 단위시멘트량, 단위수량 및 잔골재율을 증가시키는 배합적인 접근 및 유동화제 등 혼화제 활용으로 제 성질을 증진시켜야 함에도 불구하고, 기존의 설계자 및 시공자의 인식 부족, 경제성 등의 이유로 단순히 레미콘에 가수하는 방법으로 해결하여왔다. 따라서, 이 경우 단순히 가수에 의한 단위

수량 및 물시멘트비의 증가는 굳지않은 콘크리트에서 재료분리 현상(공극발생, 블리딩)이 발생하여 강도, 수밀성이 저하됨은 물론이고, 레이턴스가 증가함과 동시에 경화한 콘크리트의 건조수축에 의한 균열증대, 콘크리트 다공질화에 따른 중성화와 철근 부식촉진 및 동결융해 저항성 감소 등 콘크리트 구조물의 내구성을 크게 저하시키는 원인이 되었다.

한편, 미국, 일본 등 선진국의 경우에는 이와 동일한 유형의 문제를 해결하기 위하여, 된비빔 콘크리트의 양호한 품질을 그대로 발휘하면서 유동성만을 높여서 시공능률을 향상시키는 유동화 콘크리트공법을 개발하여 이를 적극 활용함으로써 슬기롭게 대처하고 있는 실정이다. 우리나라의 경우도 일부 건설업체에서는 유동화 콘크리트공법을 시도한 예가 있는데 즉, 레미콘 공장에서 베이스 콘크리트

를 주문하여 시공자 책임하에 유동화제를 첨가하므로써 유동화시켜 이용하는 방법이 주로 채택하고 있었는데, 이 경우 레미콘 생산자는 베이스 콘크리트까지만이 책임범위로 한정되므로 유동화후의 콘크리트 품질을 고려하여 베이스 콘크리트의 제조는 잔골재율을 높혀주어 배합설계 하는 등 일반적인 레미콘 생산과 다른 점이 있음에도 불구하고 그러하지 못함에 따라 재료분리 피해 및 경제성 성취 미흡 등 어려운 문제로 제기되어왔다.

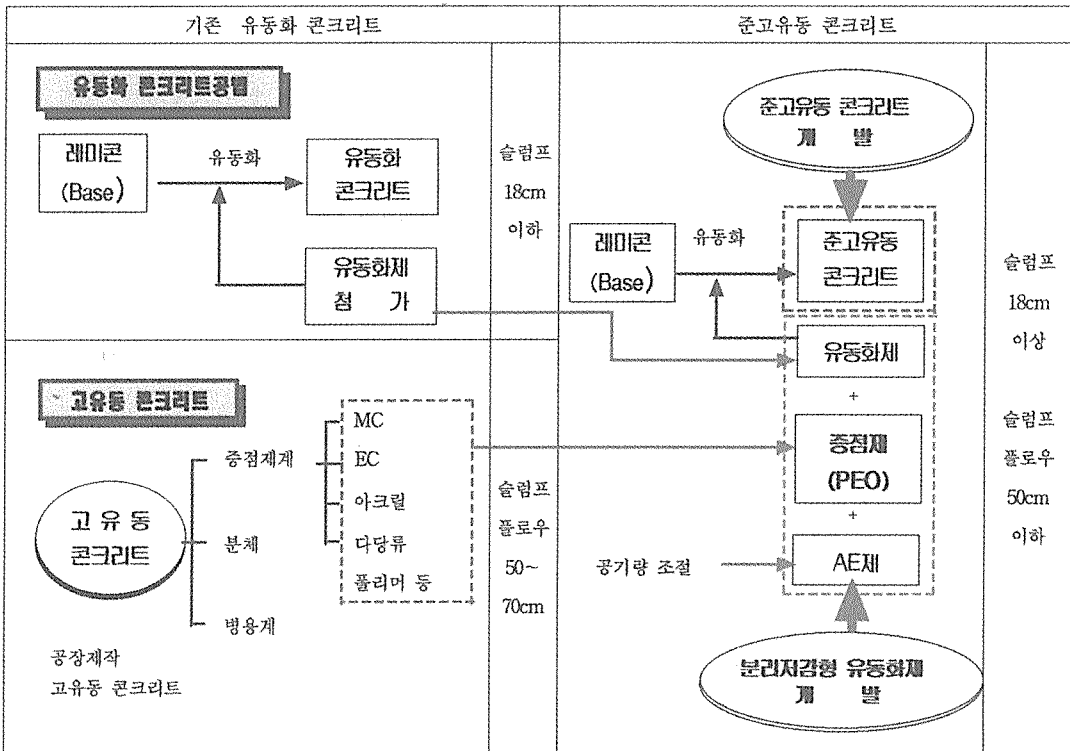
그러므로 본 연구에서는 기 보고¹⁾된 유동화과정에서 발생한 재료분리를 유동화제에 증점제 등의 첨가물을 첨가함으로써 방지할 수 있는 재료분리 저감형 유동화제(이하 분리저감형 유동화제라 칭함)의 개발에 관한 연구에 연속하여, 이의 실용성을 모의부재 실험으로 검

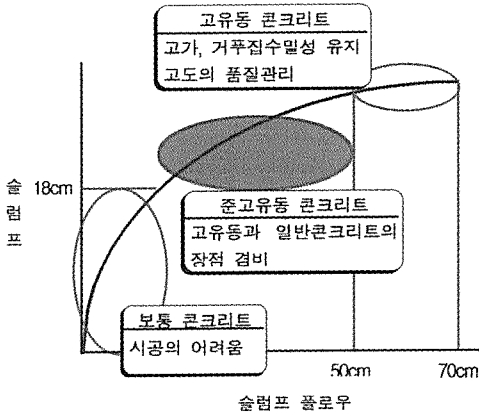
토함과 동시에 현장 적용실험을 통한 제반 특성 및 경제성을 분석함으로써 궁극적으로는 분리저감형 유동화 콘크리트를 개발하여 효율적인 현장적용에 따라 콘크리트 구조물의 품질향상 및 원가절감을 유도하도록 하는 것이 목적이다.

2. 준고유동 콘크리트 공법의 이론적 고찰

분리저감형 유동화제를 이용한 준고유동 콘크리트 공법은 기존의 유동화 콘크리트공법과 마찬가지로 현장에서 분리저감형 유동화제를 투입하여 준고유동 콘크리트를 제조·시공하는 것으로 공법 개요는 [표 1]과 같다. 즉, 기존의 일반 유동화 콘크리트는 유동화 후에 재료분리의 발생이 문제시되었으나, 분리저감형

[표 1] 공법 개요





(그림 1) 준고유동 콘크리트

[표 2] 모의부재 충전특성 검토를 위한 실험계획

기호	수 준			
	W/C (%)	목표슬럼프 (cm)		
배합사항	40 50	베이스	유동화	분리저감형 유동화제 첨가량(%) (일반 유동화제*) 2수준 (배합설계에 의하여 결정)
		15	21	
실험사항	굳지않은 콘크리트	- 슬럼프 - 공기량 - 육안으로 재료분리 관찰		- 슬럼프 플로우 - L형 모의부재시험
	경화 콘크리트	- 압축강도(7, 28, 91일) : 무다짐, 표준다짐 - 코어 압축강도(28일)		

* W/C 50%에 대해서만 적용

[표 3] 베이스 콘크리트 및 준고유동 콘크리트의 배합사항

기 호	W/C (%)	W (kg/m³)	S/A (%)	AE감수제 (C×%)	SP (C×%)	절대용적 (l/m³)		
						C	S	G
40-B-15	40	183	41	0.8	-	145	260	367
40-F-21					0.25	145	260	367
40-F-23					0.27	145	260	367
50-B-15	50	185	46	0.6	-	118	300	352
50-F-21					0.4	118	300	352
50-F-23					0.7	118	300	352
50-S-15	50	167	41	0.3	1	107	279	401
50-S-21		185	46	0.6	0.4	118	300	352
50-S-23		185	46	0.6	0.7	118	300	352

주 : 1) B: 베이스 콘크리트 2) F: 분리저감형 유동화제를 사용한 유동화 콘크리트
3) S: 일반 유동화제를 사용한 유동화 콘크리트

유동화제는 재료분리를 방지하기 위하여 기존의 유동화제에 고유동 콘크리트의 점성을 증진시키는 증점제 및 유동화후의 공기량 확보를 위한 AE제를 동시에 첨가하여 제조함으로써 기존 유동화제의 문제점인 재료분리를 방지하고, 아울러 품질을 향상시킬 수 있다.

또한, 준고유동 콘크리트는 [그림 1]과 같이 슬럼프 18cm 이상, 슬럼프 플로우 50cm 이하로 보통 콘크리트와 고유동 콘크리트의 중간 영역으로 두 가지 콘크리트의 장점을 겸비하여 경미한 다짐만으로도 형틀에 충전 가능한 콘크리트이고, 적은 혼화제량으로도 유동성이 크며 경제성 면에서도 유리한 콘크리트이다.

3.1 실험계획

개발한 분리저감형 유동화제를 이용한 굳지않은 콘크리트, 경화콘크리트의 특성과 모의부재 충전특성을 검토하기 위한 실험계획은 [표 2]와 같다. 먼저 베이스 콘크리트의 물시멘트비는 40, 50%의 2개 수준으로 하고, 목표 슬럼프는 15cm의 1개 수준, 목표 공기량은 모

두 4.5%로 한다. 유동화후의 목표 슬럼프는 21cm, 23cm 2개 수준으로 하고, 분리저감형 유동화제의 첨가량은 배합설계에 의하여 결정한다. 단, 물시멘트비 50%인 경우는 기존의 적절치 못한 방법으로 일반유동화제를 이용하여 배합수정 없이 유동화시키는 경우도 검토한다.

실험항목으로는 굳지않은 상태에서는 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 단위용적중량 및 L형 모의부재실험을 계획하고, 경화상태에서는 다짐방법별(무다짐, 표준다짐) 압축강도 및 코어 압축강도를 측정하는 것으로 한다.

물시멘트비별 베이스 콘크리트의 배합자료는 [표 3]과 같고, 단위수량 및 잔골재율은 레미콘 회사의 배합을 참고하여 될 수 있는 한 낮게 정하고, 나프탈렌계 AE감수제를 사용하는 것으로 한다.

3.2 사용재료

본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는데, 그 물리적

성질은 [표 4]와 같다. 골재로써 잔골재는 충북 청원군 미호천산 강모래를 사용하며, 굵은 골재는 충북 청원군 옥산산 20mm 부순돌을 사용하는데, 그 물리적 성질은 [표 5]과 같다. 혼화제로서 AE감수제는 나프탈렌계, 일반유동화제는 멜라민계, 분리저감형 유동화제는 멜라민계 유동화제에 증점제로 폴리에틸렌 옥사이드(PEO)와 기타 첨가물을 혼합하여 제작한 것, AE제는 음이온계를 사용하는데, 그 물리·화학적 성질은 [표 6]과 같다.

3.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합 및 제조방법은 [그림 2]와 같다. 실험방법으로는 먼저 굳지않은 콘크리트의 실험으로서 슬럼프 시험은 KS F 2402 규정에 의거 실시하고, 슬럼프 플로우 시험은 슬럼프 시험이 끝난 후 흘러내린 콘크리트 밑면의 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균값을 슬럼프 플로우로 한다. 공기량은 KS F 2421 규정의 공기실 압력법 시험방법에 의거 측정한다.

[표 4] 시멘트의 물리적 성질

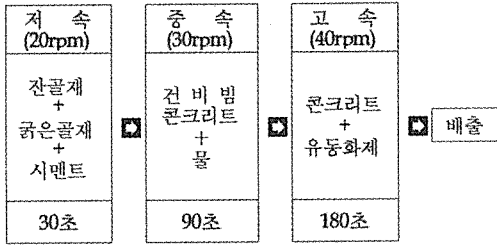
비 중	분말도(cm ² /g)	안정도(%)	응결시간(min)		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3.303	0.08	226	409	231	308	410

[표 5] 골재의 물리적 성질

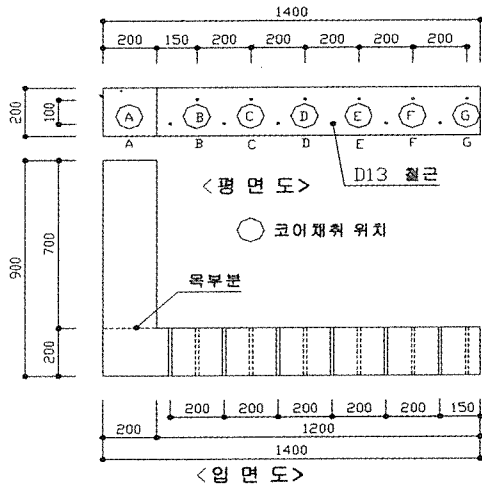
골재종류	비 중	조립률	흡수율(%)	단위용적중량(kg/m ³)	입형판정 실적율(%)
잔골재	2.52	2.54	1.46	1,598	61.0
굵은골재	2.61	6.53	0.69	1,505	56.1

[표 6] 혼화제의 물리·화학적 성질

혼화제 종류	주성분	색상 및 형태	비중(20°C)	pH
AE 감수제	나프탈렌	암갈색 액상	1.10	8.0
일반 유동화제	멜라민계	연황색 액상	1.08	7.0
분리저감형 유동화제	복합형	연황색 액상	1.20	7.0



(그림 2) 콘크리트의 혼합



(그림 3) L-type 모의부재 제작도

강도시험용 공시체는 KS F 2403의 방법에 따라 제작하며, 경화 콘크리트의 압축강도 시험은 KS 2405 표준적 따른 공기량인 방법에 의하여 실시하는 것으로 한다.

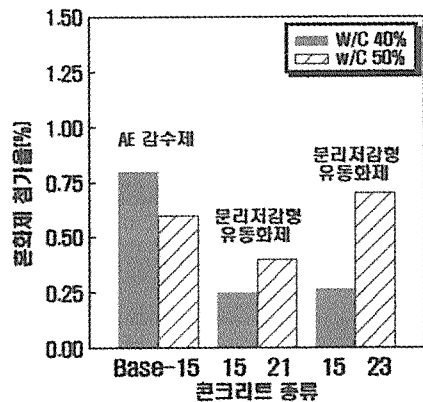
L형 모의부재 충전성실험은 벽식구조 아파트의 경우, 콘크리트 충전이 가장 불량한 창문 밑으로 상정하여 [그림 3]과 같이 제작된 시험체에 시료를 15l씩 4회로 나누어 부어 넣고, 부어넣을 때마다 콘크리트가 흘러내린 상태를 기록한다. 바이브레팅 방법은 1회 부어넣을 때마다 일정시간(15초) 동안 바이브레팅 하는 것을 기본으로 하는데, 바이브레팅이 끝난 후, L형 모의부재의 목부분(그림 3 참조) 이상으로 콘크리트가 남아 있는 경우는 부어넣기를 멈추는 것으로 한다. 단, 처음 부어넣을 시 목

부분 이하로 유동화된 경우는 바이브레팅을 생략한다. 경화 콘크리트에서는 [그림 3]에 표기된 바와 같이 철근과 철근사이 각 부분에서 코어를 채취하고 연마한 후 코어 압축강도를 측정한다.

3.4 결과 및 분석

(1) 배합특성

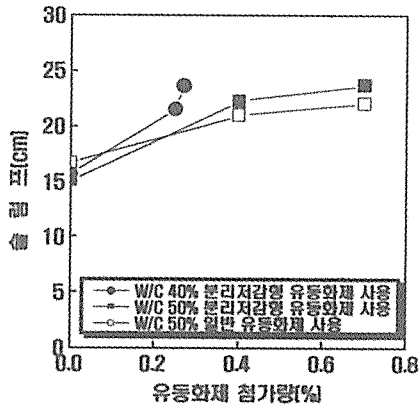
[그림 4]는 베이스 콘크리트에 사용한 AE 감수제 및 유동화 콘크리트에 사용한 분리저감형 유동화제의 첨가율을 W/C별로 나타낸 그래프이다. 먼저 베이스 콘크리트의 제조에 있어서 W/C 50%인 경우가 40%인 경우보다 적은 양의 AE감수제가 첨가된 것으로 나타났다. 단, 유동화 콘크리트의 경우는 베이스 콘크리트와 달리 단위시멘트량 차이에 따른 유동화제량 및 점성으로 인하여 W/C 40%인 경우가 W/C 50%인 경우보다 분리저감형 유동화제 첨가율이 적은 것으로 나타났다.



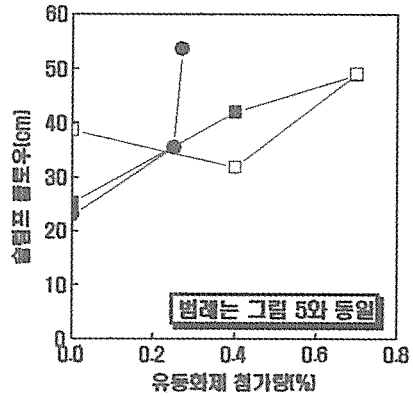
(그림 4) 콘크리트 종류별 혼화제 첨가율

(2) 유동성

[그림 5] 및 [그림 6]은 유동화제 첨가율에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우치를 W/C 및 유동화제 종류별로 나타낸 것이다. 전반적으로



(그림 5) 유동화제 첨가량에 따른 슬럼프

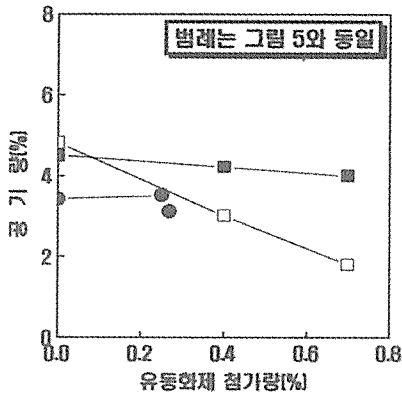


(그림 6) 유동화제 첨가량에 따른 슬럼프 플로우

슬럼프 및 슬럼프 플로우치는 유동화제 첨가율이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났는데, 단, W/C 50%에 있어서 슬럼프치는 분리저감형 유동화제를 첨가할 때 같은 양의 일반유동화제를 첨가하는 경우보다 크게 나타났다. 또한, 슬럼프 15cm인 베이스 콘크리트를 슬럼프치 21cm 및 23cm로 유동화하는 경우 슬럼프 플로우치는 35~55cm 정도로 유동성이 양호하게 나타났다.

(3) 공기량

(그림 7)은 공기량을 나타낸 것으로 공기량



(그림 7) 유동화제 첨가량에 따른 공기량

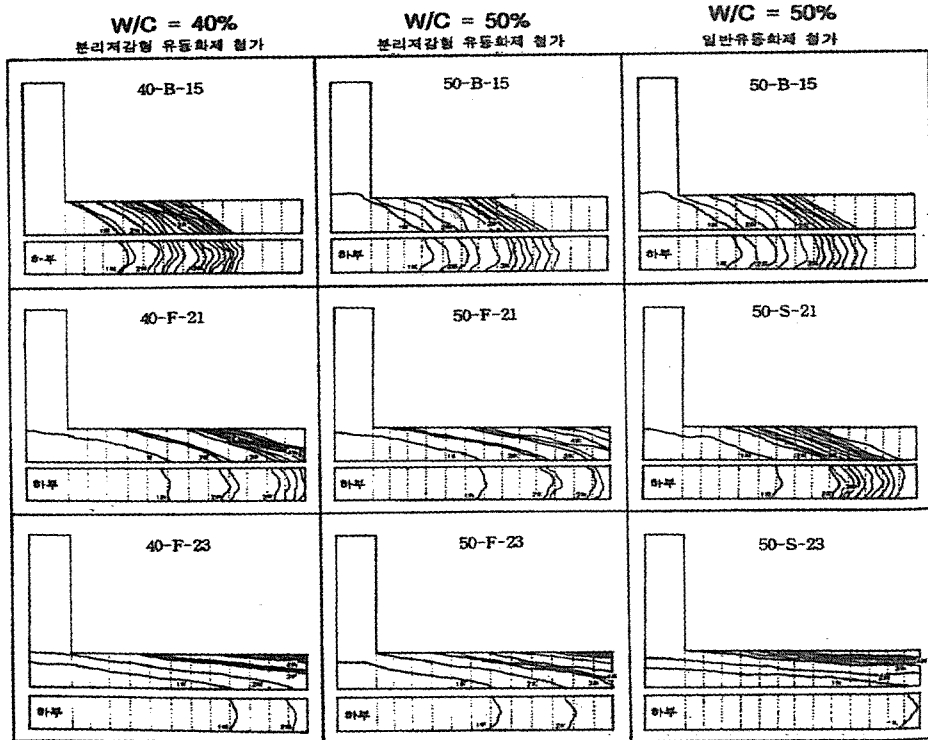
은 분리저감형 유동화제를 이용할 경우 점성 부여 및 첨가물의 공기량 확보 특성으로 W/C 및 첨가율에 따라 큰 변화가 없는 것으로 나타난 반면, 일반유동화제를 첨가할 때에는 점성 저하에 기인하여 첨가율이 증가함에 따라 공기량은 급격하게 감소하는 것으로 나타났다.

(4) L형 모의부재 충전 특성

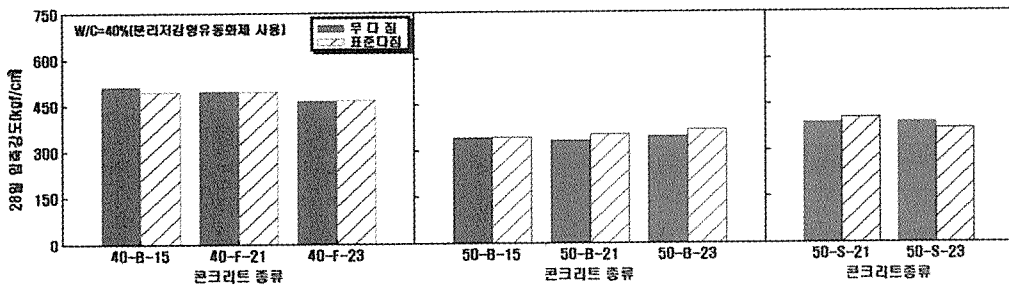
(그림 8)은 L형 모의부재에 굳지않은 콘크리트를 부어넣었을 때 유동된 콘크리트의 충전상황을 나타낸 것이다. 베이스 콘크리트는 유동성 부족으로 인하여 L형 모의부재의 끝부분까지 채워지지 않았으나, 준고유동 콘크리트의 경우는 전반적으로 L형 모의부재의 끝부분까지 콘크리트가 충전되었다. 한편 일반유동화제를 사용한 경우는 충전상황이 다소 불량한 것으로 나타났는데, 이는 일반유동화제 사용시 점성이 적고, 재료분리 현상이 나타나 모의부재의 끝부분까지 충전되지 못하는 것으로 분석된다.

(5) 압축강도 특성

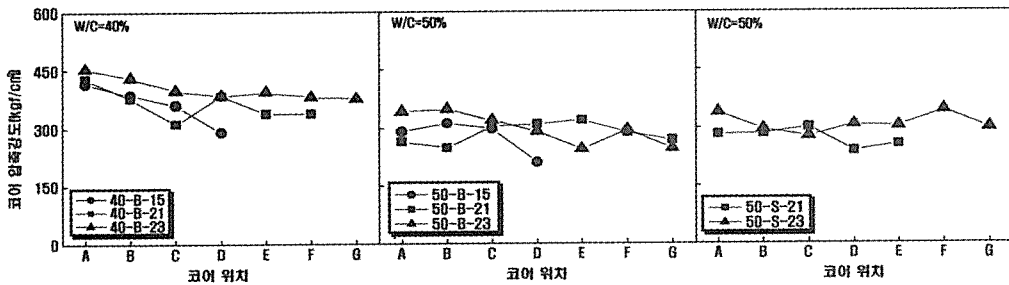
(그림 9)는 콘크리트 종류별 28일 압축강도를 공시체 다짐방법별로 나타낸 그래프이다.



(그림 8) L형 모의부재의 콘크리트 충전상황



(그림 9) 콘크리트 종류별 압축강도



(그림 10) 콘크리트 종류별 코어위치에 따른 압축강도

당연한 결과이겠지만 압축강도는 W/C 40%의 경우가 W/C 50%보다 높게 나타났고, 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트간의 강도차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 단, W/C 50%일때 일반유동화제를 사용한 경우는 분리저감형 유동화제를 사용한 경우보다 약간 큰 강도로 나타났는데, 이는 유동화 과정에서 공기량 감소에 기인한 것으로 분석된다. 다짐방법별 압축강도는 각 W/C별 무다짐과 표준다짐에 의한 강도차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

(6) 코어압축강도 특성

[그림 10]은 콘크리트 종류별 각 코어채취 위치에서의 28일 압축강도를 나타낸 것이다.

콘크리트 종류별 표준공시체 압축강도와 비교하면 거의 유사한 값으로 강도차이가 크지 않은 것으로 나타났다. W/C 40% 및 50% 각 위치별 코어압축강도는 콘크리트를 부어넣은 위치에서 멀어질수록 약간 감소하는 것으로 나타났고, W/C별 유동화제 첨가량에 따른 강도는 첨가량이 증가할수록 양호한 것으로 나타났는데, 이는 유동화제 첨가량 증대에 따른 시멘트의 분산 및 유동성 증대에 따른 결과로 분석된다. 유동화제 종류에 따른 코어 압축강도는 거의 유사한 값으로 강도 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

4. 준고유동 콘크리트의 현장 적용 실험

개발한 분리저감형 유동화제를 이용하여 실제 레미콘 회사에서 출하된 일반조건하의 레미콘을 대상으로 실제 구조체에 부어넣기를 실시하고, 유동화 전·후의 굳지않은 콘크리트의 특성, 경화 콘크리트의 특성 및 품질을 분석한다.

4.1 실험계획 및 방법

(1) 실험대상

본 실험에서 부어넣기할 대상건물의 공사 개요는 [표 7]과 같고, 현장모습은 [사진 1]과 같다.

(2) 실험계획

분리저감형 유동화제를 이용한 콘크리트의 현장적용 실험계획은 [표 8]과 같다. 먼저, 콘크리트의 제조는 25-210-15의 베이스 콘크리트를 유동화시켜 슬럼프치를 6cm 증가시켜 25-210-21인 유동화 콘크리트로 제조하여 구조체에 타설하는 것으로 하는데, 유동화 콘크리트의 배합사항은 [표 9]와 같다.

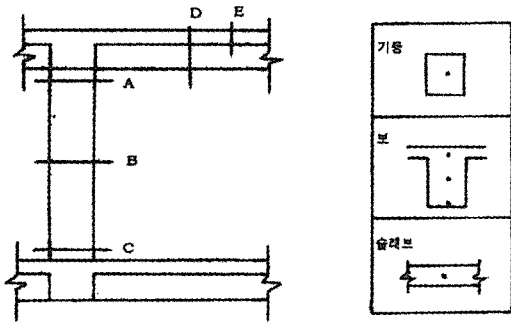
[표 7] 공사 개요

공사명	우암 선교관 증축공사
현장위치	충북 청주시 상당구 우암동 126-3번지
건축규모	지하 : 1층, 지상 : 5층, 옥탑 : 1층
구조	철근콘크리트 라멘조
실험대상층 (부어넣기량)	3층(256m ²), 4층(262m ²), 5층(264m ²)
실험대상층 및 부어넣기날짜	3층(1999. 3. 16), 4층(1999. 4. 1), 5층(1999. 4. 21)

* 실험대상층은 주로 3층이며, 3층 부어넣기량을 Lot 1, 2, 3으로 나누어 실시



[사진 1] 실험대상 건물



기둥(A, B, C) : 6개소, 보(D) : 3개소, 슬래브(E) : 1개소,
 온도추정용 공시체(수중) : 1개소, 대기 : 1개소
 (그림 11) 구조체 열전대 매입위치 상세도

실험사항의 측정은 현행 건축공사표준시방서(5.12 품질관리검사)의 규정에 따라 3 Lot로 구별하여 시험을 실시하는데, 굳지않은 콘크리트에서는 베이스 콘크리트, 유동화 콘크리트의 펌프 압송전·후의 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량을 측정하는 것으로 한다. 경화 콘크리트에서는 표준양생 및 구조체 관리용 압축강도 공시체의 제작, 구조체 내부온도 측정(시공시기가 초봄으로 구조체의 온도이력을 평가하기 위함)을 실시하는 것으로 하는데, 공시체의 제작은 [표 10]과 같이 제작하는 것으로 한다. [그림 11]은 구조체 내부온도 측정 위치를 나타낸 것이다.

[표 8] 실험계획

실험요인		실험수준	
콘크리트 제조		2	<ul style="list-style-type: none"> • 베이스 콘크리트 : 25-210-15 • 유동화 콘크리트 : 25-210-21
굳지않은 콘크리트	베이스 콘크리트	3	• 슬럼프
	유동화 콘크리트		• 슬럼프 플로우
	펌프 압송전		• 공기량
	펌프 압송후		
경화 콘크리트	베이스 콘크리트	1	• 표준양생 공시체 제작
	유동화 콘크리트	1	<ul style="list-style-type: none"> • 압축강도 공시체 제작 • 표준양생 공시체 • 구조체 강도관리용 공시체(현장수중양생)
		2	<ul style="list-style-type: none"> • 표준양생 공시체 제작 • 구조체 내부온도 측정
기 타 사 항		1	• 대기 온도 측정

[표 9] 유동화 콘크리트의 배합사항

배합 강도 (kgf/cm ²)	슬럼프(cm)		공기량 (%)	물시멘트비 (%)	굵은골재 최대치수 (mm)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m ³)		
	베이스	유동화							
210	15	21	4.5±1.5	52	25	47.5	183		
절대용적 (l/m ³)				중량(kg/m ³)					
시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제	AE 감수제 (kg/m ³)	유동화제의 첨가량 (kg/m ³)
111	323	338	-	352	831	921	-	2.11	1.35

(3) 사용재료

본 실험에 사용하는 콘크리트는 충북 청원군 문의면에 위치한 중앙레미콘(주)에서 사용하는 일반적인 재료로 한다. 즉, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는데, 그 물리적 성질은 [표 11]과 같다. 골재로서 잔골재는 충북 청원군 현도면 강모래를 사용하고, 굵은골재는 충북 청원군 현도면 부순 굵은골재를 사용하며, 그 물리적 성질은 [표 12]와 같다.

혼화제로서 AE감수제는 나프탈린계, 분리저감형 유동화제는 멜라민계 유동화제에 증점제로 폴리에틸렌 옥사이드(PEO)와 기타 첨가물을 혼합하여 특수 제작한 것을 사용하는데, 그 물리·화학적 성질은 [표 13]과 같다.

(4) 실험방법

유동화 방법은 현장첨가방식

(표 10) 공시체의 제작시기 및 제작개수

구 분	표준양생 공시체			구조체 관리용 공시체	온도 추정용 공시체	소 계
	유동화전(베이스)	유동화후(압송전)	유동화후(압송후)			
Lot 1	9	9	9	-	-	27
Lot 2	9	33	9	33	1	85
Lot 3	9	9	9	-	-	27
합계	27	51	27	33	1	129

주)1) 표준양생 공시체는 3, 7, 28일 재령에서 측정, 단 Lot 2의 압송전에 대해서는 구조체 강도관리용 공시체와 같은 재령에서 측정함.

2) 구조체 강도관리용 공시체(현장수중양생) : 1, 2, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 56, 91일 재령에서 총 33개 제작

(표 11) 시멘트의 물리적 성질

비 중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,286	0.09	250	420	221	298	390

(표 12) 골재의 물리적 성질

골재종류	비중	조립률	공극율 (%)	흡수율 (%)	단위용적 중량 (kg/m ³)	입형관정 실적율(%)
강모래	2.57	2.6	38.0	0.90	1,629	62.0
부순돌	2.72	7.0	40.9	0.84	1,629	59.1

(표 13) 혼화제의 물리·화학적 성질

구 분	주성분	성상	색상	비 중(20℃)	표준사용량(C×%)
AB감수제	Naphthalene	액상	암갈색	1.17	0.3
분리저감형 유동화제	Melamine	액상	연황색	1.20	0.3~0.5

을 택한다. 즉, 현장에 도착한 레미콘에서 베이스 콘크리트의 균지않은 콘크리트 실험과 공시체를 제작한 다음, 유동화제를 투입하여 에지타이더 트럭에서 10rpm으로 3분간 유동화한 후 펌프압송전 실험 및 공시체를 제작한 후 콘크리트 펌프카와 연결하여 부어넣기하는 것으로 한다. 부어넣기 지점에서도 부어넣기 전과 동일한 실험 및 공시체를 제작한다.

균지않은 콘크리트의 실험방법으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하고, 슬럼프 플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후, 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하며, 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 및 2409 규정

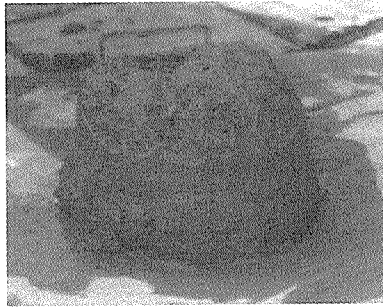
에 따라 실시한다.

구조체 및 외기온의 온도이력 측정은 열전대를 구조체 소정의 위치에 매입 및 설치한 후 데이터로거에 연결하여 소정의 재령까지 측정하는 것으로 한다. 공시체의 제작은 KS F 2403의 표준적인 방법으로 실시하고, 압축강도는 KS F 2405의 규정에 의거 측정한다.

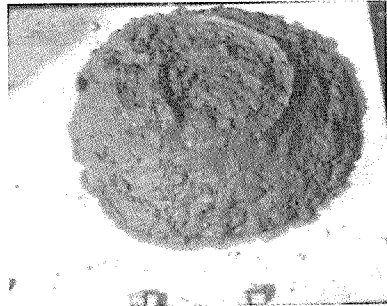
4.2 결과 및 분석

(1) 유동성

[그림 12] 및 [그림 13]은 베이스 콘크리트 및 펌프 압송전·후 준고유동 콘크리트의 슬

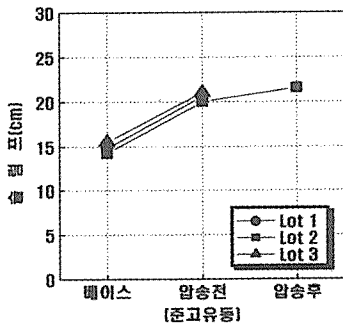


베이스 콘크리트의 슬럼프

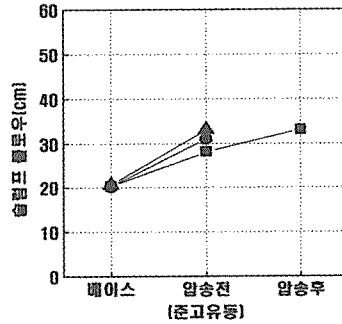


준고유동 콘크리트의 슬럼프

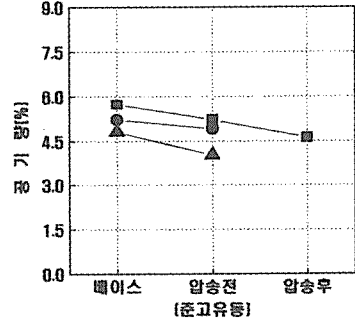
(사진 2) 베이스 콘크리트 및 준고유동 콘크리트의 슬럼프 모습



(그림 12) 베이스 및 준고유동 콘크리트의 슬럼프



(그림 13) 베이스 및 준고유동 콘크리트의 슬럼프 플로우



(그림 14) 베이스 및 준고유동 콘크리트의 공기량

럼프 및 슬럼프 플로우를 나타낸 그래프이다. 베이스 콘크리트의 슬럼프치는 Lot별로 약간 차이는 있지만 요구한 슬럼프 범위 15 ± 1 cm를 만족하는 것으로 나타났고, 분리저감형 유동화제를 0.4% 첨가하여 유동화시킨 후의 슬럼프는 유동화 목표치 21cm의 유동성을 발휘하는 것으로 나타났다.(사진 2 참조)

슬럼프 플로우 역시 Lot별로 베이스 콘크리트에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 유동화 후에는 슬럼프치와 같이 Lot 3, Lot 1 및 Lot 2의 순으로 슬럼프 플로우치가 큰 것으로 나타났다.

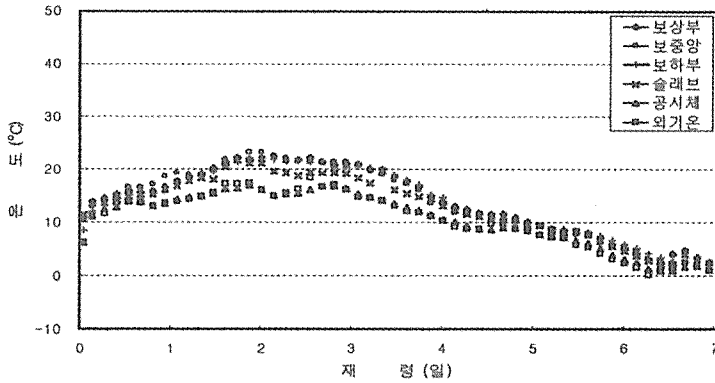
(2) 공기량

[그림 14]는 베이스 콘크리트 및 압송전

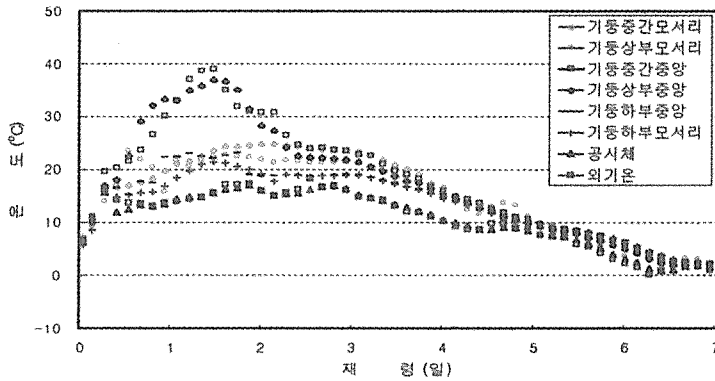
후 준고유동 콘크리트의 공기량을 나타낸 그래프이다. 공기량은 Lot별로 Lot 2, Lot 1 및 Lot 3 순으로 크게 나타났는데, 베이스 콘크리트 및 압송전 후 공히 KS 규정인 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하는 것으로 나타났다.

(3) 구조체 온도이력

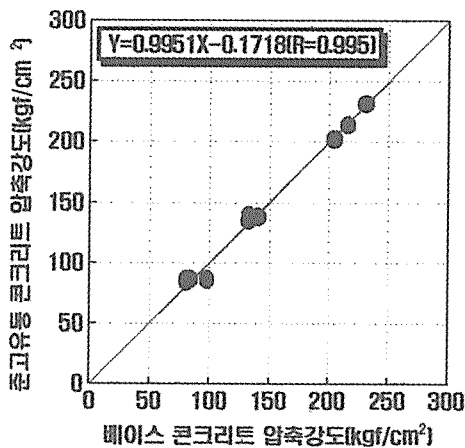
[그림 15] 및 [그림 16]은 기둥, 보, 슬래브와 구조체 관리용 공시체 및 외기온의 온도이력 측정결과를 타설후의 경과시간에 따라 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다. 전반적인 경향으로 구조체 콘크리트 내부의 온도는 수화열에 의해 타설후 급격히 상승하여 1~2일 사이에서 피크를 이루었다가 그 후에는 서서히 감소하여 5일 경과후에는 외기온도와 거의 비슷



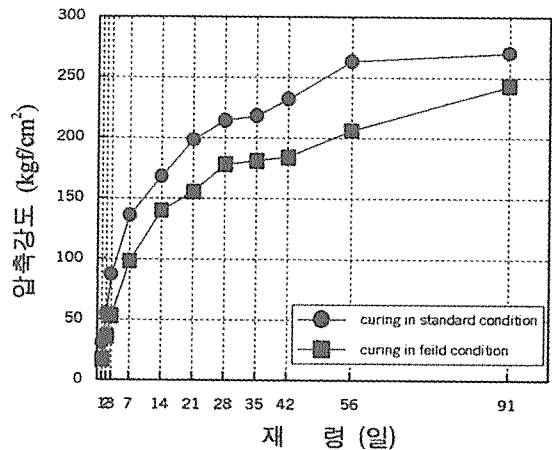
(그림 15) 구조체의 온도이력 측정결과(보, 슬래브, 공시체 및 외기온)



(그림 16) 구조체의 온도이력 측정결과(기동, 공시체 및 외기온)



(그림 17) 베이스와 준고유동 콘크리트 압축강도 비교



(그림 18) 재령경과에 따른 표준양생 및 구조체 강도관리용 공시체의 압축강도

한 것으로 나타났다. 또한, 각 부위별 최고온도, 최고온도 도달시간 및 온도상승량을 측정한 결과, 기동은 부어넣기 후 약 31시간의 기동중간 중앙부위에서 최고온도 39.9°C로 부어넣기할 때와 비교하여 약 33°C 정도의 온도가 상승하였지만 큰 문제점은 없는 것으로 나타났다.

(4) 압축강도

[그림 17]은 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트의 압축강도를 압송전·후와 관계없이 산점도로 나타낸 그래프이다. 압축강도를 베이스 콘크리트와 준고유동 콘크리트의 압송전·후와 관계없이 산점도로 나타낸 결과, 재령에 관계없이 거의 모두 45°선에 분포되고 있는 것으로 나타나, 베이스 콘크리트와 준고유동

콘크리트의 압축강도는 별 차이 없는 것으로 나타났다.

(5) 구조체 강도 관리용 공시체의 강도특성

[그림 18]은 Lot 2에서 제작한 표준양생 공시체 및 구조체 강도관리용 공시체의 압축강도를 각 재령에 따라 나타낸 그래프이다. 표준양생 공시체 및 구조체 강도관리용 공시체는 공히 초기 재령에서 빠른 강도발현을 나타내었고, 28일 이후에서는 비교적 완만한 강도증진 경향으로 나타났다. 또한 구조체 강도관리용 공시체의 압축강도가 표준양생 공시체보다 타설 및 양생기간의 기온 등에 기인하여 강도가 작게 나타났다.

(6) 경제성 분석

[표 14]는 본 연구의 유동화 콘크리트에 대한 경제성을 분석하여 비교한 것으로, 먼저 베이스 콘크리트 25-210-15를 주문하여 25-210-21의 유동화 콘크리트를 제조하면 2.34%의 비용이 추가되었고, 직접 25-210-21의 레미콘을 주문하면 4.68%의 비용이 증가되므로 유동화 콘크리트가 2.24%의 비용저감을 성취할 수 있었다. 단, 본 유동화 콘크리트공법 적용은 유동화제 투입에 1인의 인건비

[표 14] 경제성 비교

레미콘 규격	25-210-15 (A)	25-210-21 (B)	준고유동 콘크리트(C) (슬럼프15cm →21cm)
단가 (원/m ³)	57,640	60,340	58,990
차액 (원/m ³)	B-A	2,700	
	C-A	1,350	
	B-C	1,350	
비율 (%)	(B-A)/A×100	4.68%	
	(C-A)/A×100	2.34%	
	(B-C)/B×100	2.24%	

가 추가되지만 빠른 작업성과 양호한 품질 및 우수한 마감성을 확보함으로써 거푸집 제거 후 보수비용절감 등 제비용까지도 고려하면 시공의 경제적 측면에서도 어느 정도 유리한 것으로 나타났다.

5. 시공사례

다음 사진 3~13은 분리저감형 유동화제를 이용하여 현장에서 제조한 준고유동 콘크리트로 시공한 현장이다.

6. 결론

분리저감형 유동화제를 이용한 준고유동 콘크리트의 실용화를 위한 모의부재 충전성 및 현장적용성을 검토한 실험연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 모의 부재 충전성 실험의 배합특성으로 분리저감형 유동화제를 이용하여 후첨가 유동화공법으로 콘크리트를 제조하면 유동화 효과가 크며, 혼화제 첨가량이 적어 경제적인 측면에서도 유리한 것으로 나타났고, 굳지않은 콘크리트에서 분리저감형 유동화제를 사용하는 경우가 일반유동화제를 사용하는 경우보다 슬럼프 및 슬럼프 플로우치 증가에 따른 유동성, 재료분리 저항성, 공기량 확보 등에 효과적인 것으로 나타나 시공 및 품질관리면에서 유리한 것으로 분석된다. 경화상태에서 분리저감형 유동화제를 이용한 유동화 콘크리트의 압축강도는 베이스 콘크리트와 유사하며, 코어 압축강도 역시 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

(2) 모의부재의 충전특성은 큰 목표 슬럼프치의 유동화 콘크리트가 경미한 다짐에 의해 상당히 우수한 충전성이 나타났고, 분리저감형 유동화제를 사용한 경우는 점성증대 및 재

(1) 청주 우암교회 선교관 증축공사

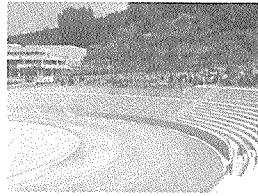


[사진 3] 콘크리트 부어넣기

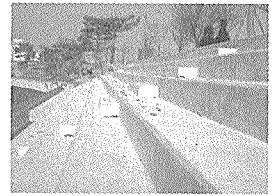


[사진 4] 준공건물

(2) 청주대학교 종합운동장 신축공사



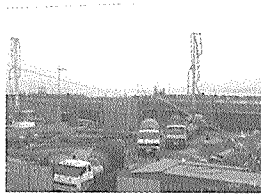
[사진 5] 준공후의 관람석



(3) 청주대학교 대천수련원 신축공사



[사진 6] 유동화제 투입



[사진 7] 콘크리트 부어넣기

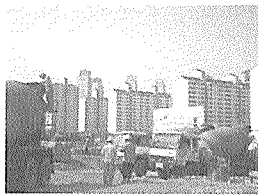


[사진 8] 수련원 전면

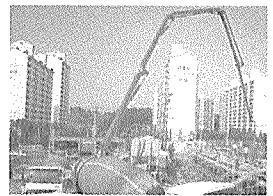


[사진 9] 수련원 후면

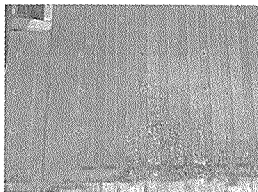
(4) 대원건설 의왕아파트 신축공사



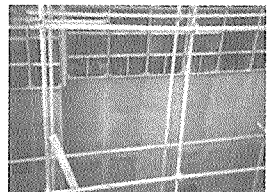
[사진 10] 유동화제 투입



[사진 11] 콘크리트 부어넣기



[사진 12] 보통 콘크리트 표면



[사진 13] 준고유동 콘크리트 표면

료분리방지 효과에 의하여 일반유동화제를 사용하는 경우보다 양호하게 나타났다.

(3) 현장 적용성 실험에서의 분리저감형 유동화제를 이용한 유동화 콘크리트는 유동성 향상에 따른 성형성, 재료분리 저항성, 공기량 확보 등에서 매우 효과적인 것으로 나타났고, 경화상태에서 압축강도는 베이스 콘크리트와 유사하게 나타나, 유동화공법 도입에 따른 강도상 문제점은 없는 것으로 나타났다.

(4) 분리저감형 유동화제를 이용한 유동화 콘크리트공법은 레미콘의 비용을 약 2.24% 정도 재료비에서 절감하는 효과를 성취할 수 있으며, 전체 시공의 신속성 및 마감성 등 품질 향상 측면에서도 유리한 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1) 한천구, 오선교, 김기철 ; 증점제를 이용한 분리저감형 유동화 콘크리트의 개발에 관한 연구, 한국레미콘공업협회 레미콘지, 통권 제67호, pp.6~16, 2001.
- 2) 오선교 ; 분리저감형 유동화제의 개발 및 실용화에 관한 연구, 청주대학교 대학원 공학박사 학위논문, 2000.
- 3) 한천구, 반호용, 오선교 ; 분리저감형 유동화 콘크리트 개발에 관한 실험연구, 대한건축학회논문집, 제 14권 12호, 1998
- 4) 한천구, 유호범, 오선교, 반호용 ; 분리저감형 유동화제를 이용한 준고유동 콘크리트의 제조

및 특성분석, 대한건축학회논문집, 제 16권 6호, 2000.

- 5) 한천구, 강의영, 오선교, 반호용; 증점제를 이용한 분리저감형 유동화 콘크리트의 개발: 한국콘크리트학회 논문집, 제 11권 4호, 1999.
- 6) 유호범, 강의영, 오선교, 한천구, 반호용; 분리저감형 유동화제를 이용한 준고유동 콘크리트의 모의부재 충전 특성, 대한건축학회 춘계 학술발표대회 논문집, 제 19권 1호, 1999.
- 7) 오선교, 유호범, 강의영, 반호용, 한천구; 분리저감형 유동화제를 이용한 유동화 콘크리트

의 현장적용 연구, 대한건축학회 추계 학술발표대회 논문집, 제 19권 2호, 1999.

- 8) 日本建築學會 材料施工委員會 第一分科會 流動化コンクリート研究小委會; 流動化コンクリートの技術の現況, 1979.
- 9) 小山 智辛, 小山田英弘; 中流動コンクリートに関する基礎的研究, 日本建築學會學術講演論文集, 1998. 9
- 10) 三好 征夫, 中村 成春; 準高流動コンクリートの基礎研究, 日本建築學會學術講演論文集, 1998. 9

