

# 합성강관 충전용 고강도-초유동 콘크리트의 현장적용을 위한 실험적 연구

## Experimental Study on High Strength and High Flowable Concrete Filled Steel Tube for Practical Construction Application

윤영수\*      이승훈\*\*      성상래\*\*\*      백승준\*\*\*\*  
Yoon, Y. S.   Lee, S. H.   Sung, S. R.   Baek, S. J.

### 요 약

콘크리트 충전형 합성강관기둥의 현장실용화에 앞서 고강도측면과 초유동측면을 동시에 만족해야 하는 420 및 560 kg/cm<sup>2</sup> 강도의 고강도-초유동 콘크리트의 최적배합비 도출을 위한 실내시험을 수행하고, 그 결과를 바탕으로 레미콘공장에서의 콘크리트 생산에 따른 문제점 해결, 현장까지의 운반에 따른 경시변화 등을 검토하기 위하여 실물크기의 강관기둥을 제작하여 현장실물모형실험을 실시하였다.

또한, 현장적용시점이 동절기임을 고려하여 콘크리트의 경화지연에 대비한 연구의 필요성으로 인해 응결시간, 내부수화온도이력 및 초기강도의 발현정도에 관한 추가모형실험을 실시하여 현장적용에 적합한 고품질의 고강도-초유동 콘크리트를 얻고자 하였다.

### Abstract

This paper presents a series of tests to produce the high quality concrete to be filled inside the steel tube columns. This concrete filled steel tube system requires not only the high strength, but also the flowable concrete. Laboratory test has been performed to clarify the material characteristics and to produce the optimal mix design proportion. Full-scale site mock-up test has been then carried out to simulate the actual construction conditions including the production of concrete at the remicon batch plant, transportation to the construction site, proper workability and man-power required. Additional mock-up test has finally been performed to investigate any unfavorable construction situations since the actual concrete placement has been scheduled in cold weather period, so that the high quality concrete construction is convinced to be successfully carried out.

**Keywords** : steel tube columns, high strength, flowable concrete, mock-up test  
cold weather period

\* 정회원, 삼성물산 건설부문 기술연구소 선임연구원  
\*\* 정회원, 삼성물산 건설부문 기술연구소 전임연구원  
\*\*\* 삼성물산 건설부문 기술연구소 시험실 과장  
\*\*\*\* 삼성물산 건설부문 기술연구소 시험실 주임

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 1996년 3월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

콘크리트 충전형 합성강관기둥은 철골과 콘크리트의 특성을 살린 합리적인 구조형식으로 최근 주목을 받고 있는데, 강관의 구속효과(Confinement Effect)에 의해 충전콘크리트의 내력상승과 충전콘크리트에 의한 강관의 국부좌굴 보강효과에 의해 부재내력이 상승하고, 뛰어난 변형성능을 발휘한다. 그리고, 일반구조체에 비해서 기둥의 강성이 높으므로 태풍 및 지진시의 움직임에 대한 사용성의 개선도 가능하며, 시공시 강관은 거푸집 역할을 하므로 기둥부재의 철근 거푸집공사가 배제되어 인건비의 절감 및 시공공정 측면에서도 공기단축이 가능하리라 판단된다.

그러나, 충전되는 콘크리트의 압축강도는 유효공간의 넓은 확보 측면에서 기둥단면적을 가능하면 감소시키는 경향으로 인해 보다 고강도가 요구되고, 또한 시공성 측면에서는 강관내 주입 콘크리트의 다짐이 불가능하며 상당한 높이의 펌프압송이 불가피하므로 초유동 측면도 동시에 만족시켜야만 되는 어려움을 내포하고 있다<sup>(1,4)</sup>.

본 연구는 국내에서는 처음으로 적용되는 콘크리트 충전형 합성강관기둥의 시공에 앞서 압축강도가 420 및 560kg/cm<sup>2</sup>이고, 슬럼프 및 플로우가 각각 26±1cm, 60±7cm 인 고강도-초유동 콘크리트에 대해서 소요강도와 유동성을 모두 만족할 수 있는 최적배합비를 도출하고<sup>(5,6)</sup>, 이를 근거로 현장에서 실물크기의 강관기둥을 제작하여 생산에서부터 타설에 이르기까지 실물모형실험을 실시하여 현장적용시 일어날 수 있는 문제점을 해결하고자 하였다.

## 2. 실내 시험

### 2.1 사용재료의 물성

본 실내시험에서 시멘트는 A레미콘사에서 사용하고 있는 D사 제품인 보통 포틀랜드시멘트로서 지난 6개월간의 시험성적서를 검토한 후 결정하였으며, 플라이애쉬는 충남 보령산의 유연탄계를 사용하였다. 또한, 조골재는 경기 일원에 납품되고

있는 골재로서 고강도-초유동 콘크리트의 제조에 적절한 품질을 가지고 있었으며, 세골재는 인천해사(세척사)로서, 조립율 및 No. 50 및 No. 100을 통과하는 양이 적으므로 부배합에서 유리한 것으로 판단되었다.

고성능 AE 감수제는 본 시험에서 요구하는 고강도 및 초유동 성분을 함유하는 콘크리트를 제조하기 위해서 시중에서 구입 가능한 국내의 제품중에서 실내시험을 수행한 후 필요한 유동성, 강도, 퍼짐정도 및 응결시간 등을 가장 만족하는 제품을 선정하였다.

본 실내시험에서 사용된 재료들의 물성은 아래의 표 1과 같다.

표 1 사용재료의 물성

사 용 재 료	물성시험결과
시멘트	분말도(3220), 비중(3.16) 응결시간(초결 : 185분, 종결 : 5시간20분) 압축강도(7일 : 295kg/cm <sup>2</sup> , 28일 : 380kg/cm <sup>2</sup> )
플라이애쉬	비중(2.18), 분말도(3623), 강열감량(2.6%)
조골재(19mm)	비중(2.70), 흡수율(0.64) 조립율(6.8), 마모율(18.5%)
세골재	비중(2.61), 흡수율(0.81) 조립율(2.94), 염화물함유량(0.018%)
고성능 AE 감수제 (나프탈렌 설본산염계)	비중(1.13), PH(8.2), 고형분(38.2%)

### 2.2 실내시험의 기준 및 측정장치

본 실내시험에서는 고강도-초유동 콘크리트를 현장에 적용하기에 앞서 필요한 강도, 유동성, 분리저항성 및 충진성 등에 대해서 원하는 품질을 만족할 수 있는 최소의 규정을 정의하였으며, 슬럼프, 플로우, L형 플로우, U형 플로우 및 공기량에 대해서 시험을 수행하였다. 표 2는 5가지 시험항목에 대한 콘크리트의 품질기준을 나타낸 것이다.

표 2 콘크리트의 품질기준

구 분	콘크리트의 품질기준
Slump	26 ± 1cm
Slump Flow	60 ± 7cm
L형 Flow	35cm 이상
U형 Flow	높이차 1cm 이내
Air	2.5 ± 1.0%

### 2.3 시험배합

시험배합은 강제식 믹서를 사용하였으며, 각 변수에 대해서 상대비교시험을 실시하여 그 성능을 판정한 후, 결정된 배합에 대해서 최종적으로 확인시험을 통해서 최적배합비를 결정하였다.

#### 2.3.1 시험변수

표 3은 실내시험의 변수를 나타낸 것이며, 그림 1은 고강도-초유동 콘크리트의 최적배합비를 구하기 위한 흐름도를 나타낸 것이다.

표 3 시험변수

시험 요인	수 준
시멘트의 종류	보통포틀랜드시멘트
물결합재비(%)	28, 30, 32
단위수량(kg/m <sup>3</sup> )	170, 175, 180
잔골재율(%)	50, 53
플라이애쉬 치환율(%)	10

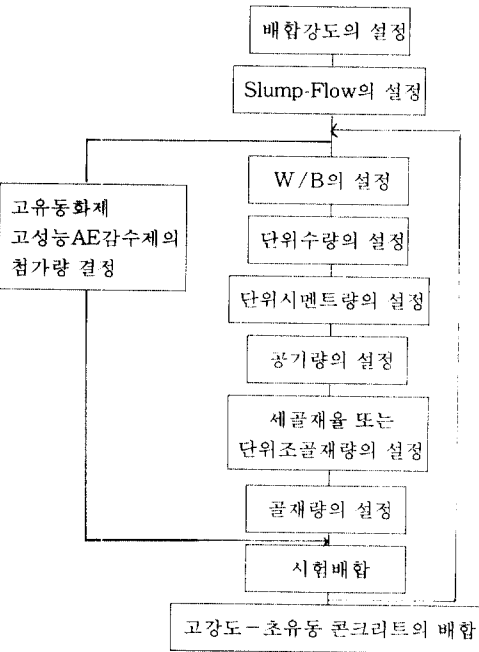


그림 1 고강도-초유동 콘크리트의 최적배합비 도출 흐름도

#### 2.3.2 재료의 투입순서 및 배합시간

강도 및 유동성에서 소요의 품질을 만족하는 고강도-초유동 콘크리트를 제조하기 위해서 재료의 투입순서 및 배합시간을 변수로 시험을 실시하였다. 그림 2는 재료의 투입순서 및 각 단계별 최적배합시간

배합시간을 나타낸 것이다.

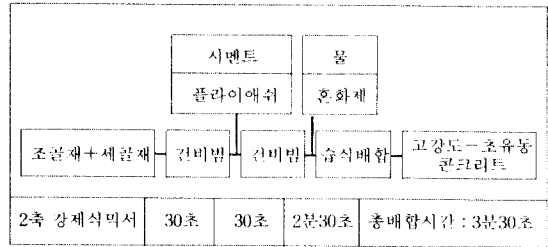


그림 2 재료의 투입순서 및 각 단계별 최적배합시간

표 4 실내시험 배합표

No.	W/B (%)	S/A (%)	F/A (%)	단위량(kg/cm <sup>3</sup> )					
				물	시멘트	플라이애쉬	골재	잔골재	혼화제(C×%)
1	28	50	10	170	546.3	60.7	790	780	3.30
2	28	50	10	175	562.5	62.5	776	766	2.56
3	28	50	10	180	577.8	64.2	761	752	2.41
4	28	53	10	170	546.3	60.7	743	827	2.60
5	28	53	10	175	562.5	62.5	729	812	2.42
6	28	53	10	180	577.8	64.2	716	797	1.82
7	30	50	10	170	510.3	56.7	808	798	2.05
8	30	50	10	175	524.7	58.3	794	784	1.49
9	30	50	10	180	540.0	60.0	780	770	1.39
10	30	53	10	170	510.3	56.7	759	846	1.54
11	30	53	10	175	524.7	58.3	745	831	1.49
12	30	53	10	180	540.0	60.0	733	817	1.39
13	32	53	10	170	477.9	53.1	768	855	1.75
14	32	53	10	175	492.3	54.7	755	841	1.58
15	32	53	10	180	506.7	56.3	742	827	1.43

표 5 콘크리트의 물성 및 압축강도 측정결과

No.	굳지않은 콘크리트				압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	
	슬럼프 (cm)	플로우 (cm)	공기량 (%)	콘크리트 온도(℃)	3일	7일
1	18.0	31.0	2.5	29	53	502
2	17.0	34.0	2.3	29	487	539
3	19.0	31.0	2.0	29	434	567
4	24.5	43.0	2.4	29	#	465
5	23.0	41.0	2.2	29	#	598
6	28.0	70.0	1.6	26	458	565
7	26.5	63.0	1.9	26	394	459
8	26.0	60.0	2.0	26	523	539
9	27.0	66.0	1.9	26	517	596
10	27.5	66.0	2.4	26	409	518
11	26.5	70.0	2.2	26	477	534
12	26.0	64.0	2.7	26	487	588
13	26.0	64.0	3.2	26	(2일) 269	394
14	26.0	62.0	3.4	26	(2일) 387	519
15	25.0	56.0	3.7	26	(2일) 373	481

# 측정하지 않음

### 2.3.3 각 등급별 배합표 및 시험결과

표 4는 시험배합표를 나타낸 것이고, 표 5는 각각의 배합에 대해서 굳지않은 콘크리트의 물성 및 초기재령에서의 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다.

### 2.3.4 확인배합

상기 과정을 통해서 결정된 배합으로부터 420 및 560kg/cm<sup>2</sup> 강도에 대해서 유동성, 경시변화 및 강도를 재확인하여 이 결과로부터 최종적으로 현장에 적용할 최적배합을 결정하였다. 표 6은 420 및 560kg/cm<sup>2</sup> 강도의 최종 확인배합을 위한 배합표를 나타낸 것이고, 표 7은 각각에 대한 실내 시험결과를 나타낸 것이다.

표 6 최종배합표

규격 (kg/cm <sup>2</sup> )	W/B (%)	S/A (%)	F/A (%)	단위재료량(kg/m <sup>2</sup> )					
				W	C	F/A	F. Agg	C. Agg	AD (%)
420	32	53	10	175	493	54	841	755	2.42
560	30	53	10	180	540	60	817	733	2.06

표 7 물성시험결과

시험종류 규격 (kg/cm <sup>2</sup> )	유동성 시험				경시변화시험			압축강도시험	
	Slump (cm)	Flow (cm×cm)	U형관 (cm)	L형관 (cm)	즉시	30분	60분	3일	7일
420	26.5	63×66	1.0	68.0	26.5	26.0	23.5	458	604
					64.5	60.0	45.0		
560	27.0	67×67	1.0	72.0	27.0	25.5	24.0	481	626
					67.0	53.0	46.0		

## 3. 현장 실물모형실험

현장에 적용될 420 및 560kg/cm<sup>2</sup> 강도의 고강도-초유동 콘크리트의 실물모형실험을 위해서 현장에 적용될 강관기둥과 똑같은 강관기둥을 사용하였다. 실제 공사에서는 강관에 채워진 콘크리트가 굳고난 후의 표면상태나 공극의 발생정도를 파악하는 것은 불가능하기 때문에 본 실험에서는 콘크리트의 경화상태를 파악하고, 또한 연속되는 3차례의 실험을 위해 다시 사용할 수 있도록 강관기둥 제작시에 수직으로 양분한 후 볼트로 연결함으로써 콘크리트 양생이 끝난 후에 강관을 떼어낼 수 있도록 하였다.

본 실험에 사용될 고강도-초유동 콘크리트는 사용재료나 운반거리 등을 종합적으로 고려하여 A 레미콘에서 제작하도록 하였다. 현장까지의 운반거리는 40~50분 정도가 소요되는데 슬럼프 및 플로우의 손실이 매우 작기때문에 타설에는 아무런 영향을 미치지 않았다. 또한, 현장에 도착한 레미콘은 장거리 압송에서의 위커빌리티의 손실정도를 알아보기 위해서 약 200m 정도의 파이프를 배관하여 콘크리트가 그 관을 통과한 다음 강관기둥에 타설되도록 하였다.

아래의 그림 3은 실물모형실험을 위해서 제작한 강관기둥과 콘크리트 주입부의 배관상태를 나타낸 것이다.

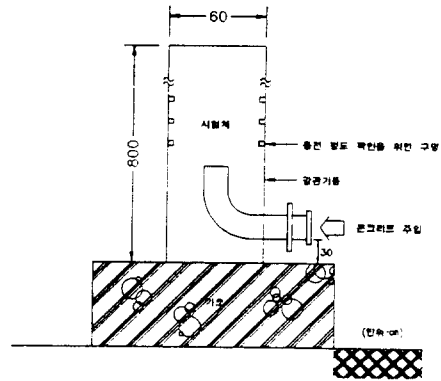


그림 3 강관기둥과 콘크리트 주입부의 배관상태

이와같이 압송된 고강도-초유동 콘크리트는 강관기둥의 아래쪽으로부터 압송하여 위쪽으로 충전시킨다. 이것은 강관기둥의 아래로부터 압송하는 것이 재료분리를 막을수 있으며, 콘크리트의 자중에 의한 영향 때문에 다짐정도가 매우 좋아지기 때문이다.

### 3.1 실험개요

본 실험에 사용된 기둥은 두께가 16mm이고 높이가 8m, 직경 600mm인 원형 강관기둥으로써, 강관은 위에서 설명한 바와 같이 수직으로 양분한 후 볼트로 연결되어있다.

콘크리트의 타설을 위한 콘크리트 펌프는 슈빙사의 BP 3000기종을 사용하였으며, 펌프와 강관기둥은 직경이 150mm인 파이프를 약 200m정도

배관하여 연결하였다. 아래의 그림 4는 배관된 파이프의 배치상황을 나타낸 것이다.

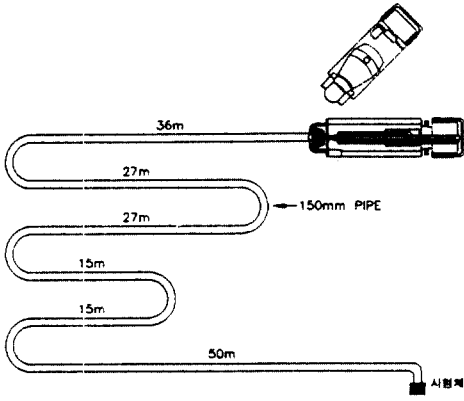


그림 4 배관 파이프의 배치

### 3.2 실험결과

1차 현장 실물모형실험에서는  $420\text{kg}/\text{cm}^2$ , 2차에서는  $560\text{kg}/\text{cm}^2$  강도의 고강도-초유동 콘크리트에 대해서 생산, 운반, 타설 및 제반물성에 관한 실험을 실시하였다. 그리고, 1차실험의 경우 약 200m의 파이프를 배관하였고, 2차실험의 경우는 약 170m의 파이프를 배관한 것외에는 똑같은 조건속에서 실험을 수행하였다.

1차실험의 경우 A 레미콘사에서 출발한 레미콘 트럭이 현장에 도착하기까지는 약 40분이 소요되었으며, 도착당시의 콘크리트의 온도는  $32^\circ\text{C}$ 였다.

또한, 출발전에 측정한 슬럼프 및 플로우는 각각 28cm, 68cm였으며, 도착 직후에 측정한 슬럼프 및 플로우는 각각 26cm, 56cm로서, 약 40분이 경과한 동안에 슬럼프는 2cm, 플로우는 12cm정

표 8 슬럼프, 플로우 및 콘크리트 온도의 변화

구분 시간	슬럼프 (cm)	플로우 (cm)	콘크리트 온도( $^\circ\text{C}$ )	비 고
11 : 12	28.0	68.0	32	레미콘공장에서 출발
11 : 52	26.0	56.0	32	현장도착
11 : 59	26.0	56.0	32	강관기동에 펌핑시작
12 : 01	-	-	-	강관기동에 펌핑완료
12 : 21	25.5	49	32	펌핑시험개시
12 : 31	24.5	41	35	-
12 : 46	21.0	36.5	40	펌핑시험완료

표 9 현장제작공시체의 압축강도 측정결과

강도구분	재령	3일	7일	28일
	19-420		347	443

도의 감소가 발생하였다.

표 8은 시간의 경과에 따른 슬럼프, 플로우 및 콘크리트의 온도변화를 측정한 값이며, 표 9는 현장도착시에 제작한 원주형 공시체의 재령에 따른 압축강도를 측정한 결과를 나타낸 것이다.

2차실험의 경우 현장에 도착하기까지는 약 50분이 소요되었으며, 도착당시의 콘크리트의 온도는  $28^\circ\text{C}$ 였다. 또한, 출발전에 측정한 슬럼프 및 플로우는 각각 27cm, 61cm였으며, 도착직후에 측정한 슬럼프 및 플로우는 각각 25.5cm, 47cm로서, 약 50분이 경과한 동안에 슬럼프는 1.5cm, 플로우는 14cm 정도의 감소가 발생하였다.

2차 실험의 경우 슬럼프와 플로우는 시간에 따른 손실량은 측정하지 않았다. 표 10은  $560\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 경우 각 재령에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다.

표 10 현장제작공시체의 압축강도 측정결과

강도구분	재령	7일	14일	28일
	19-560		570	622

현장에 타설될  $420$  및  $560\text{kg}/\text{cm}^2$  강도의 고강도-초유동 콘크리트의 생산, 운반, 타설 및 소요강도의 발현 등에 관한 제반 실험의 결과로부터 강도의 발현 측면이나 장거리 펌핑을 한 후의 시공성 측면에서도 매우 우수함을 알 수 있었다.

그러나 3차 현장 실물모형실험에서는 앞서의 1차, 2차실험의 결과와는 다소 다른 결과가 얻어짐으로써, 그 문제점을 해결하고 수정보완을 위한 실내 모형실험을 추가로 실시하였다. 그 이유는 3차실험 당시의 타설시까지 수행된 제반실험들의 결과는 앞서의 1차 및 2차실험의 결과와 유사했지만, 타설후 24시간이 경과한 후에도 콘크리트의 경화에 문제가 있음이 발견되었다.

타설당일의 평균 대기온도는 약  $15^\circ\text{C}$  정도였으나, 타설한 날 저녁부터는 온도가 많이 떨어져서

거의 3℃ 이하를 기록하여 콘크리트의 경화에 지장을 주었으며, 콘크리트가 타설된 기둥은 강관으로 제작되어 있으므로 주변의 대기온도보다 강관 표면의 온도가 더 낮아지게 되어 콘크리트의 경화를 상당히 지연시켰을 것으로 판단되었다. 그리고 실제 현장에서 고강도-초유동 콘크리트가 타설될 시기가 동절기이므로 3차실험 당시보다 대기 온도가 더 낮을 것이 예상되고 이로 인해 콘크리트의 경화는 더욱 더 지연될 것이다.

따라서 이와같이 대기온도가 매우 낮은 경우에 타설된 고강도-초유동 콘크리트가 정상적으로 경화될 수 있도록 현장조건과 유사한 상황속에서 직경 600mm 높이 1m의 강관기둥을 제작하여 추가로 모형실험을 실시하였다.

사진 1은 1, 2차 실험이 끝난 후 강관을 제거한 콘크리트 기둥과 3차 실험에서 콘크리트를 충전시킨 후의 강관의 모습이다.

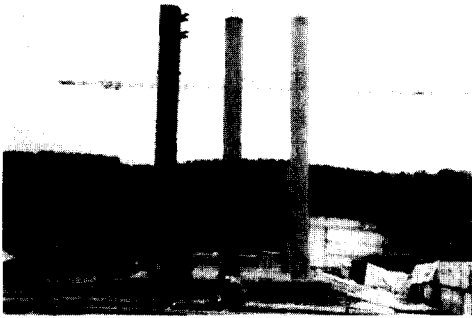


사진 1 실험기둥의 모습

## 4. 수정보완을 위한 추가 모형실험

### 4.1 실험 개요

본 실험은 현장 실물모형실험시에 발생한 콘크리트의 경화지연에 대한 문제점 해결을 위한 것으로, 현장의 타설시점이 동절기임을 고려할 때 타설시의 대기온도가 낮아서 3차실험에서와 같은 현상이 일어날 것이 예상되므로 사전에 보완실험을 실시하여 응결시간, 내부수화온도이력 및 초기 강도의 발현정도를 정확하게 파악하여 동절기 타

설에서도 콘크리트의 품질에 문제가 발생하지 않도록 하고자 하는 것이다.

본 실험은 혼화제의 종류, 양생온도, 보양의 유무 및 방법에 따라서 다음과 같이 4가지로 구분하였다.

#### (1) 혼화제의 종류

혼화제의 종류에 따라서 크게 2가지로 나누어서 실험을 하였다. 첫 번째 혼화제는 현장 실물모형 실험에서 사용했던 것과 같은 것으로 경화촉진제가 포함되지 않은 것이고, 두 번째 혼화제는 경화 시간을 촉진시키기 위하여 기존의 혼화제에 경화 촉진제를 첨가시킨 것이다.

#### (2) 양생시의 대기온도

콘크리트를 강관에 타설한 후 대기온도의 차이에 의해서 콘크리트가 경화되는 속도가 달라지므로 그 정도를 알아보기 위해서 직경 600mm, 두께 3mm, 높이 1m의 강관을 2개 제작하여 1개의 강관을 실외 대기중에 두고서 타설하였으며, 또 하나의 강관은 실내에서 타설함으로써 그 온도차에 의한 경화속도와 강도발현정도를 알아보려고 하였다.

#### (3) 양생시의 보양의 유무

양생시의 보양의 유무에 따른 경화속도, 내부수화온도이력 및 강도발현정도를 알아보기 위하여 실외 대기중에 둔 강관을 세라믹 울과 비닐로서 보양을 함으로써 동절기의 낮은 평균기온속에서 보양의 유무에 따른 정확한 차이를 알아보려고 하였다.

#### (4) 보양의 방법

실외에 설치한 강관의 외부에 열선을 감아서 25~30℃ 정도의 온도를 가하며 그 외부에 세라믹 울과 비닐로서 감싸줌으로써 단지 세라믹 울과 비닐로서 감싸준 경우와 어떠한 차이가 발생하는가를 알아보려고 하였다. 또한, 실내와 실외에서 각각 실험을 수행함으로써 기둥 타설시에 단지 기둥만을 보양했을 경우에 대해서 경화속도, 내부수화온도이력 및 강도발현정도를 알아보려고 하였다.

### 4.2 실험결과 및 고찰

표 11은 추가 모형실험 결과를 나타낸 것으로

표 11 실내 모형실험 결과

강도 구분	경화촉진 성분 첨가유무	양생 위치	응결시간		Flow (cm)	Air (%)	Con'c 온도 (°C)	수화온도		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )			
			초결	종결				최대	최소	1일	3일	7일	28일
420	무	실내	26 : 00	31 : 00	65×67	3.1	12	36.7	12.0	-	266	448	528
		실외	32 : 00	44 : 00				10.0	5.0	-	214	355	519
420	유	실내	15 : 30	17 : 30	62×62	3.0	16	46.0	16.0	-	402	494	-
		실외	-	-				20.5	3.0	-	294	358	557
560	유	실내	13 : 15	15 : 45	64×65	2.8	14	45.9	13.8	-	409	520	663
		실외	-	-				53.5	15.5	-	203	350	424
420	유	실외(1)	12 : 15 (실내)	13 : 40 (실내)	64×65	4.0	15	55.5	15	-	413	532	602
		실외(2)	-	-				62	15	-	256	479	550

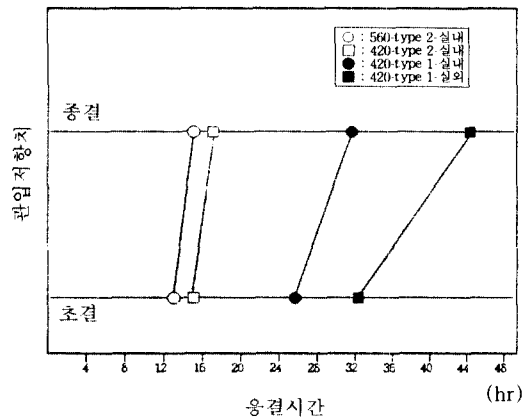
공기량은 2.8~4.0% 정도로서 상당히 양호한 결과를 나타내었으며, 타설시 콘크리트의 온도는 12~16°C로서 동절기 타설때의 레미콘의 온도와 유사하여 실내실험을 통하여 실제 타설시의 상황을 고려할 수 있었다. 또한, 고강도-초유동 콘크리트의 플로우값은 62×62cm~65×67cm 정도를 나타내어 초기 실내시험에서 규정한 기준을 만족하였으며, 유동성 측면에서도 상당히 양호한 결과를 나타내었다.

다음은 추가 모형실험에서의 각 실험체별 응결시간(초결 및 종결), 경화정도에 따른 표면상태, 제작공시체 및 코아공시체의 압축강도 및 기동실험체 내·외부의 수화온도이력의 결과를 나타낸 것이다.

#### 4.2.1 응결시간

콘크리트의 응결시간은 초결과 종결로 나누어 측정하였다. 경화촉진제가 첨가되지 않은 혼화제를 사용한 경우 초결이 일어난 시간은 실내의 경우 26시간, 실외의 경우 32시간이 소요되었으며, 종결은 초결이 일어난 시간으로부터 각각 5시간 및 12시간이 더 소요되었다. 따라서 경화촉진제가 첨가되지 않은 혼화제를 사용한 경우 하루가 경과 되어도 콘크리트가 거의 굳지 않는다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 콘크리트 내부의 수화온도 측정결과에서도 알 수 있으며 각각에 대한 재령별 압축강도 역시 목표강도에 미치지 못함을 알 수 있었다. 경화촉진제가 첨가된 혼화제를 사용한 경우는 보양을 한 경우나 보양을 하지 않은 각각

의 경우에 대해서 초결이 일어난 시간은 약 12~16시간이 소요되었으며, 경화촉진제가 사용되지 않은 경우에 비해서 반 정도의 시간밖에 소요되지 않음을 알 수 있었다. 그리고 종결이 일어난 시간도 초결이 일어난 시간으로부터 약 1시간 30분에서 2시간 30분정도만이 더 소요되었을 뿐이다. 그림 5는 각 시험체별 응결시간을 도식화한 것이다.



type 1 : 경화촉진제가 첨가되지 않은 혼화제  
type 2 : 경화촉진제가 첨가된 혼화제

그림 5 각 시험체별 응결시간

#### 4.2.2 실험기둥의 표면상태

사진 2~4는 여러 가지 양생조건에 대해서 양생이 끝난 후 강관을 제거한 뒤의 기동실험체의 모습을 나타낸 것으로서, 사진 2는 경화촉진제가 첨가되지 않은 경우이고, 사진 3 및 사진 4는 경화촉진제가 첨가된 경우를 나타낸 것이다.



사진 2 경화촉진제가 첨가되지 않은 경우

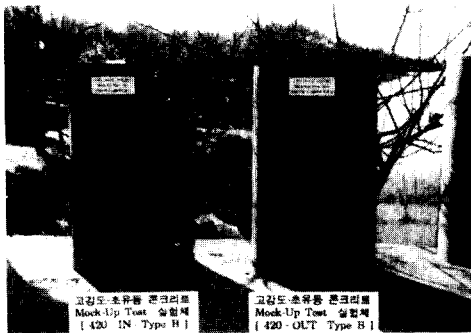


사진 3 경화촉진제가 첨가되고 보양을 하지 않은 경우

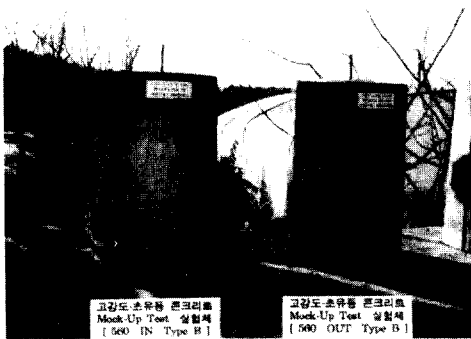


사진 4 경화촉진제가 첨가되고 보양을 한 경우

사진 2는 경화촉진제가 첨가되지 않았으며, 응결시간도 실내의 경우는 26시간이 걸렸고, 실외의 경우는 32시간이 소요되어 초기양생에 문제가 있음을 알 수 있었다. 또한, 표면상태도 수화반응이 제대로 일어나지 않아서 잉여수가 물줄기를 형성하여 표면을 타고 올라가고 있는 모습을 볼 수 있었다.

사진 3은 경화촉진제가 첨가된 경우로서 실내에서 양생한 부재의 경우 표면상태가 양호하지만, 실외에서 양생한 부재의 경우 사진 2의 경우와 거의 유사한 결과를 나타내고 있어서 경화촉진제를 첨가하더라도 기둥부재를 별도로 양생하지 않으면 초기경화에서 다소 문제가 발생할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

표 12 압축강도발현의 변수와 특성

관련내용 시험변수	강도발현특성
경화촉진제의 첨가유무	재령 28일에서 경화촉진제를 첨가한 혼화제를 사용한 경우의 코아공시체의 강도는 경화촉진제를 첨가하지 않은 혼화제를 사용한 경우의 코아공시체의 강도에 비해서 실내의 경우 12%, 실외의 경우 38% 정도의 강도 증가를 나타내었다.
양생시의 대기온도	420kg/cm <sup>2</sup> 강도의 경우 계사공시체를 실외에서 24시간 존치시킨 후 실내에서 양생한 경우와 처음부터 실내에서 양생한 경우의 압축강도는 재령 3일에서는 24~61% 정도로 큰 차이를 나타냈지만, 재령 28일에서는 2~9% 정도의 강도차만을 나타내어 최종 계사 후 24시간이 지난 후에 상온에서 양생시킨 공시체의 강도는 초기재령에서는 다소 강도가 떨어지지만 장기재령에서는 큰 문제가 없는 것으로 판단되었다.
	또한, 재령 28일에서의 코아공시체의 강도는 실외에서 양생한 경우와 실내에서 양생한 경우를 비교하면 경화촉진제를 첨가한 혼화제를 사용한 경우는 1%, 경화촉진제를 첨가하지 않은 혼화제를 사용한 경우는 25%의 강도차를 나타내어 동결기 타설에서 경화촉진제를 첨가하지 않은 혼화제를 사용한 경우 증발 보양을 해주는 것이 강도발현에 유리한 것으로 생각된다.
보온양생의 유무	경화촉진제를 첨가한 혼화제를 사용했을 경우 재령 28일에서 실외에서 양생한 시험체의 코아공시체의 강도는 실내에서 양생한 경우와 실외에서 양생하면서 강관의 외부를 세라미움과 비닐로서 보양을 한 경우에 비해서 약 2% 정도의 강도차만을 나타내어 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.
보온양생의 방법	강관기둥에 콘크리트를 타설한 후 타설층 전체를 보양하는 경우와 전체 보양이 힘들어 강관기둥 부위만을 보양하는 경우로 나누어서 생각하면 증발 보양을 한 경우(실내에서 양생한 경우와 유사하다고 고려)의 코아공시체의 압축강도는 실외에서 기둥 시험체만을 별도로 보양한 경우보다는 2% 큰 값을 얻었고, 기둥시험체만을 별도로 보양하면서 그 내부에 열선을 감아 25~30℃ 정도의 가열 양생을 한 경우 보다는 3% 정도 작은 값을 얻었다.
	따라서, 증발보양이 어려운 경우에는 열선을 감는 등 기둥시험체만을 별도로 보양해도 강관 기둥에서의 고강도 초유동 콘크리트의 강도발현에는 문제가 없을 것으로 판단되었다.



사진 4는 경화촉진제도 첨가되었으며, 양생 또한 세라믹물과 비닐, 열선 등에 의해서 수행한 경우로서 표면상태는 실내·외가 모두 양호함을 알 수 있으며, 이 때의 내부수화온도이력 또한 정상적인 양상을 나타내었다.

#### 4.2.3 압축강도

4차례에 걸쳐 수행된 추가 모형실험은 각각의 배합비와 양생조건이 서로 상이하기 때문에 기동시험체 제작시에 같이 제작하여 실내 및 실외에서 양생한 공시체의 압축강도를 상호 비교하여도 그 차이점이나 문제점을 정확하게 판단하기가 어렵다. 따라서 기동시험체의 상부면에 각각 수직으로 지름 10cm, 길이 60cm 정도의 코아를 2개 채취하여 이를 지름 10cm, 길이 20cm의 압축강도 측정용 공시체로 제작한 다음 압축강도를 측정함으로써 실 구조물의 강도를 좀 더 정확하게 판단할 수가 있었다.

실내에서 양생한 공시체는 실외에서 24시간을 정치시킨 다음 실내에서 양생한 공시체의 강도에 비해서 재령 3일에서는 50~80%, 7일에서는 67~90%, 재령 28일에서는 64~98%를 나타내었다.

표 12는 압축강도발현의 변수와 특성을 요약한 것이다.

#### 4.2.4 수화온도

##### (1) 1차 측정결과

본 실험에서는 콘크리트의 경화와 함께 부재 내·외부에 온도센서를 매립하여 콘크리트의 수화온도를 측정하였다. 측정된 온도는 자동으로 기록되며 측정부위는 기동부재의 중심부, 강관 안·밖의 기동부재의 외측부, 그리고 대기의 온도를 각각 측정하였다.

그림 6 및 그림 7은 420kg/cm<sup>2</sup> 강도에 대해서 경화촉진제가 첨가된 혼화제를 사용한 후, 보양없이 실내와 실외에 배치한 기동시험체의 수화온도를 측정 한 것이다.

실험결과로부터 420kg/cm<sup>2</sup> 강도에서 경화촉진제가 첨가된 혼화제를 사용한 경우에도 강관을 보양하지 않은채 실외에 둔 부재는 수화반응이 일어나지 않았으며 오히려 내부온도가 떨어지는 현상

을 나타내었다.

그러나 실내의 경우는 실내온도가 15~23℃를 유지하였기 때문에 콘크리트의 수화반응이 본격적으로 시작되기까지는 보통의 경우에 비해서 다소 시간이 걸렸으나 약 12시간이 지난 후부터는 수화반응이 활발하게 일어났다. 또한, 최고온도에 도달하기까지는 약 24시간이 걸렸으며, 최고온도는 46℃를 나타내었다.

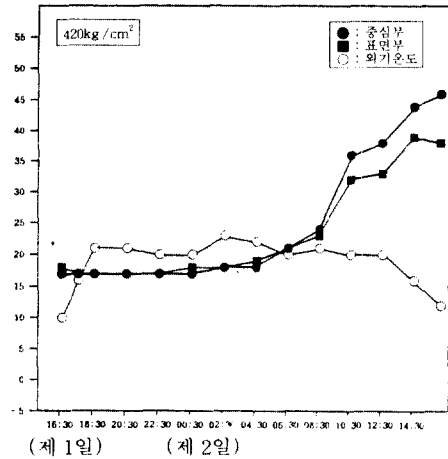


그림 6 420kg/cm<sup>2</sup> 기동시험체의 수화온도(실내)

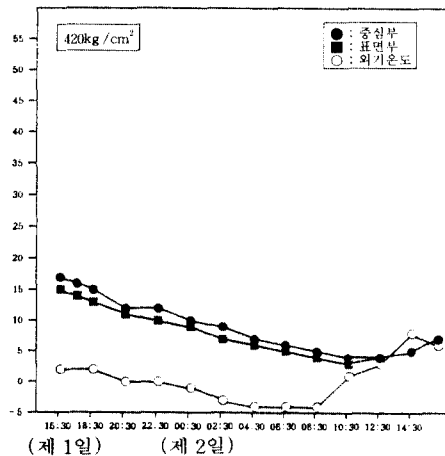


그림 7 420kg/cm<sup>2</sup> 기동시험체의 수화온도(실외)

##### (2) 2차 측정결과

1차 실험의 경우와 동일하게 온도측정센서를 매립하였으며, 그림 8 및 그림 9는 560kg/cm<sup>2</sup> 강도

에 대해서 경화촉진제가 첨가된 혼화제를 사용한 후, 실내의 경우는 보양을 하지 않았으며, 실외의 경우는 세라믹울과 비닐로서 보양을 한 후 각각 수화온도를 측정하는 것이다. 보양을 한 경우는 외벽과 보양재 사이의 온도 또한 측정함으로써 보양 정도와 실제적인 외기온도와와의 차이를 측정할 수 있도록 하였다.

수화온도 측정결과로부터 560kg/cm<sup>2</sup> 강도에서 경화촉진제가 첨가된 혼화제를 사용한 경우, 세라믹울과 비닐로서 보양한 후 실외에 둔 기둥실험체와 보양을 하지 않은 채 실내에 둔 기둥실험체의 수화반응은 초기에는 비슷하게 진행되었다.

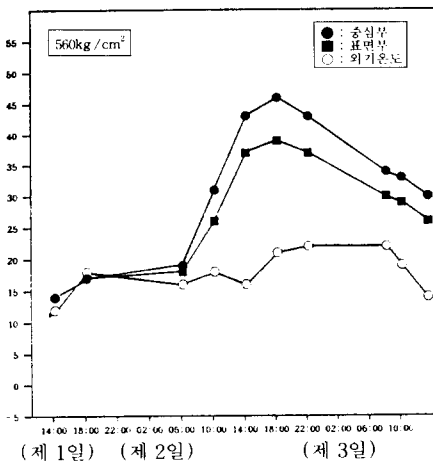


그림 8 560kg/cm<sup>2</sup> 기둥실험체의 수화온도(실내)

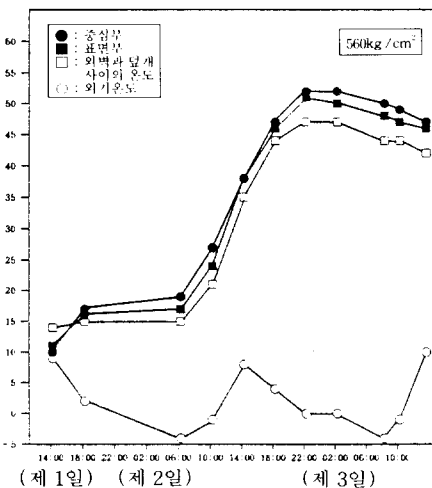


그림 9 560kg/cm<sup>2</sup> 기둥실험체의 수화온도(실외, 보온양생)

그러나, 최고온도 도달시간은 실내에 둔 기둥부재가 약 4시간 정도 빠르게 일어났으며, 최고온도는 실외에 두고서 보양을 한 기둥부재가 약 6°C 정도 더 크게 나타났다.

실내에서 양생을 한 경우는 420kg/cm<sup>2</sup> 강도의 경우와 마찬가지로 수화반응에 의한 온도가 본격적으로 상승되기까지 약 16시간 정도가 소요되었으며, 최고온도 또한 46°C 정도로서 비슷한 값을 나타내었다. 그러나 실외에서 보양을 한 후 양생을 한 경우는 보양에 의해서 내부수화온도에 의한 보온효과가 수화열의 발산을 용이하지 않게 함으로써 수화온도의 지속적인 상승을 유발시킨 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 충전형 합성강관기둥을 현장에 적용하기에 앞서 강도 및 유동성을 동시에 만족하는 고강도-초유동 콘크리트의 최적배합비 도출을 위한 실내시험과 현장 실험모형실험을 수행하였으며, 그 과정에서 콘크리트의 경화지연에 대한 검토의 필요성으로 인해 응결시간, 내부수화온도이력 및 초기강도의 발현정도에 대한 추가 실내 모형실험을 수행하고 그 결과를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 설계강도가 420 및 560kg/cm<sup>2</sup>인 합성강관 충전용 고강도-초유동 콘크리트의 최적배합을 얻기 위한 배합시간은 3분 30초가 적절한 것으로 나타났다. 유동성 측면에서 슬럼프는 각각 26.5cm, 27cm, 플로우는 63×66cm, 67×67cm였고, 강도측면에서는 현장제작공시체는 재령 28일에서 각각 512 및 661kg/cm<sup>2</sup>로서 활중율은 각각 1.22 및 1.29로 나타났다.

(2) 경화촉진제가 첨가된 혼화제를 사용하고 실내에서 양생한 부재의 경우는 표면상태가 양호하지만, 실외에서 양생한 부재의 경우는 경화촉진제를 첨가하지 않은 혼화제를 사용한 경우와 같이 표면상태가 불량한 결과를 나타내고 있어서 경화촉진제를 첨가하더라도 기둥부재를 별도로 양생하지 않으면 초기응결과정에 다소 문제가 발생할 수 있으며, 내구성 측면에서도 불리할 것으로 판

단된다.

(3) 재령 28일에서 경화촉진제를 첨가한 혼화제를 사용한 경우의 코아공시체의 강도는 경화촉진제를 첨가하지 않은 혼화제를 사용한 경우의 코아공시체의 강도에 비해서 실내의 경우 12%, 실외의 경우 38% 정도의 강도증가를 나타내어 동절기 타설의 경우 경화촉진제를 첨가한 혼화제를 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

(4) 수화온도와 관련해서는 실내에서 양생을 한 경우 수화반응에 의한 온도가 본격적으로 상승되기까지  $420\text{kg}/\text{cm}^2$  강도는 약 12시간,  $560\text{kg}/\text{cm}^2$  강도는 약 16시간 정도가 소요되었으며, 최고수화온도는 강도에 무관하게  $46^\circ\text{C}$  정도를 나타내었다.

그리고, 실외에서 보온양생을 하지않은 경우는 오히려 내부온도가 떨어지는 현상을 나타내었으나, 보온양생을 한 경우는 내부수화온도에 의한 보온효과가 수화열의 발산을 용이하지 않게 함으로써 수화온도의 지속적인 상승을 유발시킨 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. 岩清水陸 외 5인, “シリカフェーム 超高強度コンクリートを用いた 충전型鋼管柱の實大壓入施工實驗：(その1) 調査選定のための豫備實驗”, 日本建築學會大會學術講演集, 1994. 9, pp. 727-728.
2. 光枝 良 외 5인, “シリカフェーム 超高強度コンクリートを用いた 충전型鋼管柱の實大壓入施工實驗：(その2) 實驗概要とフレッシュコンクリートの性狀”, 日本建築學會大會學術講演集, 1994. 9, pp. 729-730.
3. 高畑顯信 외 5인, “シリカフェーム 超高強度コンクリートを用いた 충전型鋼管柱の實大壓入施工實驗：(その3) 鋼管柱が受ける影響と壓入後のコンクリートの性狀”, 日本建築學會大會學術講演集, 1994. 9, pp. 731-732.
4. 米澤敏男 외 5인, “シリカフェームを用いた超高強度コンクリートの鋼管壓入施工”, 日本コンクリート工學, Vol. 31, No. 12, 1993. 12, pp. 22-33.
5. 윤재환 외 5인, “고유동 콘크리트의 제조에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 제 7권 2호, 1995. 11, pp. 50-55.
6. 건설교통부, “국내 실정에 맞는 고강도 콘크리트의 개발 및 실용화 연구”, R&D/94-0015, 1995. 10, p. 286. (접수일자 : 1996. 2. 5)