고강도-초유동 콘크리트의 동절기 경화이력에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Hardening Process of High-Strength and High-Flowable Concrete in Cold Weather

윤 영수* ○ 이 승훈* 노 윤호* 안 창남* 성 상래** 백 승준**
Yoon, Y. S. Lee, S. H. Roh, Y. H. Ahn, C. N. Sung, S. R. Baek, S. J.

ABSTRACT

This paper presents the experimental study on hardening process of high-strength and high-flowable concrete. The experiments were 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. The tests were conducted using 600mm and 1000mm height of steel tube to simulate the practical concrete filled steel tube columns according to the following variables as: the categories of chemical admixtures, curing temperatures and curing schemes. The test results were analyzed in terms of hardening speed, internal heat of hydration and history of strength gain. This paper emphasizes the importance of curing schemes on durability and the use of hardening accelerators on strength gain.

1. 서론

합성강관 충전용 고강도-초유동 콘크리트의 현장적용에 있어서 그 적용시기가 동절기일 경우 양생에 대해서 각별히 신경을 써야한다. 이 경우 강관기둥은 콘크리트가 경화하는 과정에서 거푸집 역할을 하게 되는데 강관의 경우 목재 거푸집에 비해서 열전도율이 빠르고 커서 대기온도가 동절기 한중 콘크리트의 기준인 4 ℃ 이하가 아니더라도 콘크리트의 경화에 상당한 영향을 미치게 된다.

따라서, 본 연구는 합성강관 충전용 고강도-초유동 콘크리트의 경화지연에 대한 문제점 해결을 위한 것으로서 콘크리트의 응결시간, 내부수화온도이력 및 초기강도의 발현정도를 정확하게 파악하여 동절기 타설에서도 콘크리트의 품질에 문제가 발생하지 않도록 하고자 하는 것이다. 실험은 크게 혼화제의 종류, 양생온도, 보양의 유무 및 방법에 따라서 4가지로 구분하여 수행하였다.

* 삼성물산 건설부문 기술연구소
** 삼성물산 건설부문 중앙시험실

2. 실험개요

본 실험은 합성강관 충전용 고강도·초유동 콘크리트의 경화지연에 대한 문제점 해결을 위한 것으로서, 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 실물모형실험에서 사용했던 것과 같은 것으로 경화촉진제가 포함되지 않은 것이고, 두 번째 혼화제는 경화시간을 앞당기기 위하여 기존의 혼화제에 경화촉진제를 첨가시킨 것이다.

(2) 양생시의 대기온도

콘크리트를 강관에 타설한 후 대기온도의 차이에 의해서 콘크리트가 경화되는 속도가 달라지므로 그 정도를 알아보기 위해서 직경 60cm, 두께 3mm, 높이 1m의 강관을 2개 제작하여 하나는 실외 대기중에 두고서 타설하였으며, 또 하나의 강관은 실내에서 타설함으로써 그 온도차에 의한 경화속도와 강도발현정도를 알아보고자 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 차이를 알아보고자 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 발생하는 가를 알아보고자 하였다.

또한, 실내와 실외에서 각각 실험을 수행함으로써 기둥 타설시에 단지 기둥만을 보양했을 경우에 대해서 경화속도, 내부수화온도이력 및 강도발현정도를 알아보고자 하였다.

3. 실험결과

3.1 실험결과

표 1은 모형실험 결과를 나타낸 것으로 공기량은 2.8~4.0% 정도로서 상당히 양호한 결과를 나타내었으며, 타설시 콘크리트의 온도는 12~16℃로서 동절기 타설시의 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 모형실험에서의 각 실험체별 응결시간 (초결 및 종결), 경화정도에 따른 표면상태, 제작공시체 및 코아공시체의 압축강도 및 기둥실험체 내·외부의 수화온도이력의 결과를 나타낸 것이다.

표 1 모형실험 결과

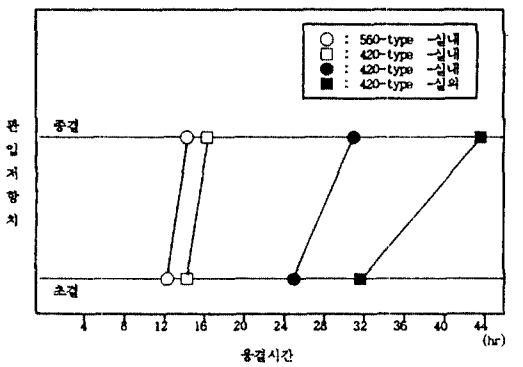
강도	경화촉진성분첨가유무	양생위치	응결시간		Flow (cm)	Air (%)	콘크리트온도 (℃)	수화온도		압축강도 (kg/cm²)		
			초결	종결				최대	최소	3일	7일	28일
420	무	실내	26:00	31:00	65x67	3.1	12	36.7	12.0	266	448	528
		실외	32:00	44:00				10.0	5.0	214	355	519
420	유	실내	15:30	17:30	62x62	3.0	16	46.0	16.0	402	494	-
		실외	-	-				20.5	3.0	294	358	557
560	유	실내	13:15	15:45	64x65	2.8	14	45.9	13.8	409	520	663
		실외	-	-				53.5	15.5	208	350	424
420	유	실외 (1)	12:15 (실내)	13:40 (실내)	64x65	4.0	15	55.5	15	413	532	602
		실외 (2)						62	15	256	479	550

3.2 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 경과되어도 콘크리트가 거의 굳지 않는다는 것을 알 수 있었다.

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 각각의 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 1은 각 시험체별 응결시간을 도식화한 것이다.



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

그림 1 각 시험체별 응결시간

3.3 실험기둥의 표면상태

사진 1~3는 여러 가지 양생조건에 대해서 양생이 끝난 후 강관을 제거한 뒤의 기둥시험체의 모습을 나타낸 것으로서, 사진 1는 경화촉진제가 첨가되지 않은 경우이고, 사진 2 및 사진 3은 경화촉진제가 첨가된 경우를 나타낸 것이다.

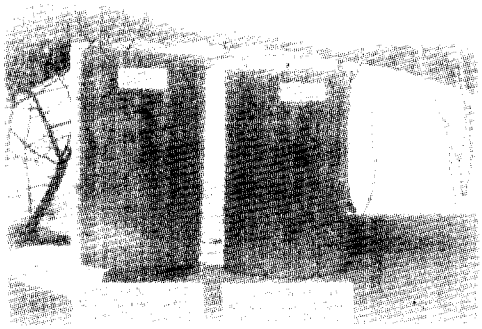


사진 1 경화촉진제가 첨가되지 않은 경우

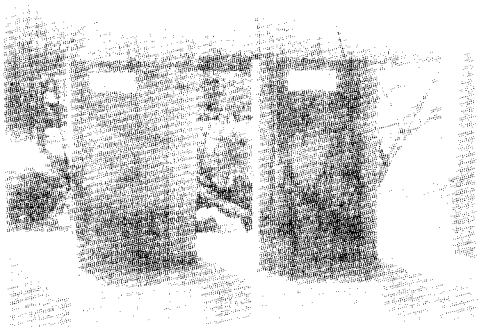


사진 2 경화촉진제가 첨가되고 보양을 하지 않은 경우

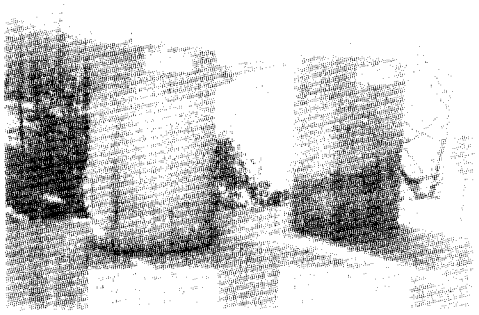


사진 3 경화촉진제가 첨가되고 보양을 한 경우

사진 1은 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 모

습을 볼 수 있었다.

사진 2는 경화촉진제가 첨가된 경우로서 실내에서 양생한 경우는 표면상태가 양호하지만, 실외에서 양생한 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.

사진 3은 경화촉진제도 첨가되었으며, 양생 또한 세라믹울과 비닐, 열선 등에 의해서 수행한 경우로서 표면상태는 실내·외가 모두 양호함을 알 수 있으며, 이때의 내부수화온도이력 또한 정상적인 양상을 나타내었다.

3.4 압축강도

4차례에 걸쳐 수행된 모형실험은 각각의 배합비와 양생조건이 서로 상이하기 때문에 기둥시험체 제작시에 같이 제작하여 실내 및 실외에서 양생한 공시체의 압축강도를 상호 비교하여도 그 차이점이나 문제점을 정확하게 판단하기가 어렵다.

따라서 기둥시험체의 상부면에 각각 수직으로 지름 10cm, 길이 60cm 정도의 코아를 2개 채취하여 이를 지름 10cm, 길이 20cm의 압축강도 측정용 공시체로 제작한 다음 압축강도를 측정함으로써 실구조물의 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 2는 압축강도발현의 변수와 특성을 요약한 것이다.

표 2 압축강도발현의 변수와 특성

관련내용 / 시험변수	강도발현특성
경화촉진제의 첨가유무	재령 28일에서 경화촉진제를 첨가한 혼화제를 사용한 경우의 코아공시체 강도는 경화촉진제를 첨가하지 않은 혼화제를 사용한 경우에 비해서 실내의 경우 12%, 실외의 경우 38% 정도의 강도 증가를 나타내었다.
양생시의 대기온도	420 kg/㎠ 강도의 경우 제작 공시체를 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 현장 제작 후 24시간이 지난 후에 상온에서 양생시킨 공시체의 강도는 초기 재령에서는 다소 강도가 떨어지지만 장기 재령에서는 큰 문제가 없는 것으로 판단되었다. 또한, 재령 28일에서의 코아 공시체의 강도는 실외에서 양생한 경우와 실내에서 양생한 경우를 비교하면 경화촉진제를 첨가한 혼화제를 사용한 경우는 1%, 경화촉진제를 첨가하지 않은 혼화제를 사용한 경우는 25%의 강도차를 나타내어 동절기 타설에서 경화촉진제를 첨가하지 않은 혼화제를 사용할 경우 층별 보양을 해주는 것이 강도발현에 유리할 것으로 생각된다.
보온양생의 유무	경화촉진제를 첨가한 혼화제를 사용했을 경우 재령 28일에서 실외에서 양생한 시험체의 코아 공시체의 강도는 실내에서 양생한 경우와 실외에서 양생하면서 강관의 외부를 세라믹울과 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 층별 보양을 한 경우 (실내에서 양생한 경우와 유사하다고 고려)의 코아공시체의 압축강도는 실외에서 기둥시험체만을 별도로 보양한 경우보다는 2% 큰값을 얻었고, 기둥 시험체만을 별도로 보양하면서 그 내부에 열선을 감아 25~30℃ 정도의 가열양생을 한 경우보다는 3% 정도 작은 값을 얻었다. 따라서, 층별보양이 어려울 경우에는 열선을 감는 등 기둥시험체만을 별도로 보양해도 강관기둥에서의 고강도·초유동 콘크리트의 강도발현에는 문제가 없을 것으로 판단되었다.

3.5 수화온도의 측정

3.5.1 1차 측정결과

본 실험에서는 부재 내·외부에 온도센서를 매립하여 콘크리트의 수화온도를 측정하였다. 측정부위는 기둥부재의 중심부, 강관 안·밖의 기둥부재의 외측부, 그리고 대기의 온도를 각각 측정하였다.

그림 2 와 3은 420 kg/㎠ 강도에 대해

서 경화촉진제가 첨가된 혼화제를 사용한 후, 보양없이 실내와 실외에 배치한 기둥 시험체의 수화온도를 측정한 것이다.

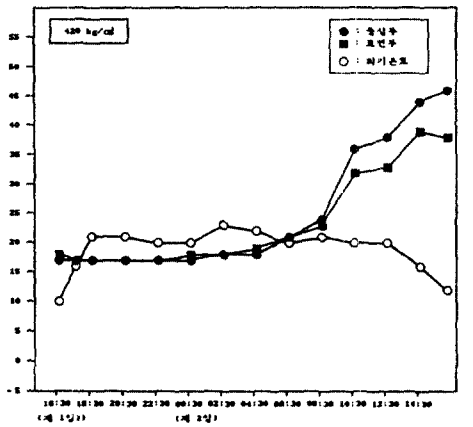


그림 2 온도측정결과 (420 kg/㎠, 실내)

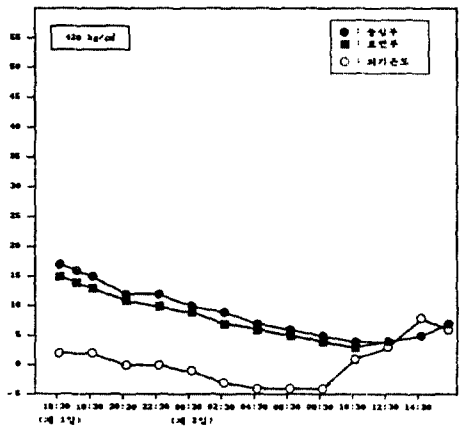


그림 3 온도측정결과 (420 kg/㎠, 실외)

실험결과, 420 kg/㎠ 강도에서 경화촉진제가 첨가된 혼화제를 사용하였으나 강관을 보양하지 않은채 실외에 둔 부재는 내부온도가 떨어지는 현상을 나타내었다.

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

3.5.2 2차 측정결과

1차의 경우와 동일하게 온도측정센서를 매립하였으며, 그림 4와 5는 560 kg/㎠ 강도에 대해서 경화촉진제가 첨가된 혼화제를 사용한 후, 실내의 경우는 보양을 하지 않았으며, 실외의 경우는 세라믹 울과 비닐로서 보양을 한 후 각각 수화온도를 측정한 것이다.

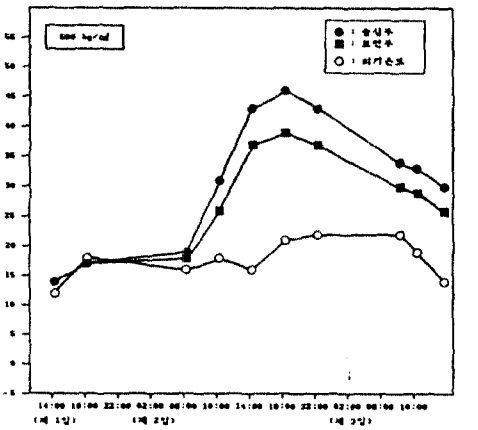


그림 4 온도측정결과 (560 kg/㎠, 실내)

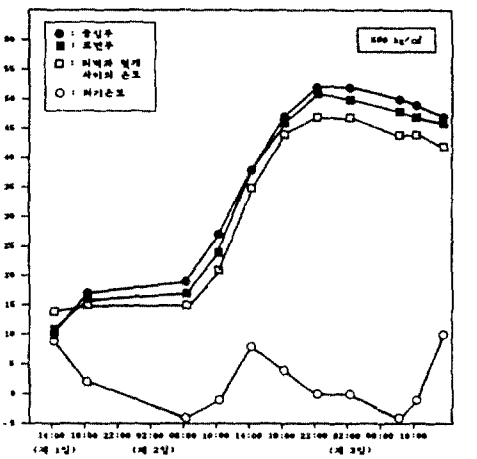


그림 5 온도측정결과 (560 kg/㎠, 실외, 보온양생)

보양을 한 경우는 외벽과 보양재 사이의 온도 또한 측정함으로써 보양정도와 실제적인 외기온도와의 차이를 측정할 수 있도록 하였다.

수화온도 측정결과로부터 560 kg/㎠ 강도에서 경화촉진제가 첨가된 혼화제를 사용한 경우, 세라믹울과 비닐로서 보양한 후 실외에 둔 기둥시험체와 보양을 하지 않은 채 실내에 둔 기둥시험체의 수화반응은 초기에는 비슷하게 진행되었다.

그러나, 최고온도 도달시간은 실내에 둔 기둥부재가 약 4시간 정도 빠르게 일어났으며, 최고온도는 실외에 두고서 보양을 한 기둥부재가 약 6℃정도 더 크게 나타났다. 실내에서 양생을 한 경우는 420 kg/㎠ 강도의 경우와 마찬가지로 수화반응에 의한 온도가 본격적으로 상승되기까지 약 16시간 정도가 소요되었으며, 최고온도 또한 46℃ 정도로서 비슷한 값을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 충전형 합성강관기둥을 현장에 적용하는 과정에서 콘크리트의 경화지연에 대한 검토의 필요성으로 인해 응결시간, 내부 수화온도이력 및 초기강도의 발현정도에 대한 추가 모형실험을 수행하고 그 결과를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 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 판단된다.

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

(3) 수화온도와 관련해서는 실내에서 양생을 한 경우 수화반응에 의한 온도가 본격적으로 상승되기까지 420 kg/㎠ 강도는 약 12시간, 560 kg/㎠ 강도는 약 16시간 정도가 소요되었다. 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. 岩淸水陸 외 5인, "シリカフュ-ム 超高强度コソクリートを用いた충전型鋼管柱の實大壓入施工實驗 : (その1) 調合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, "シリカフュ-ム 超高强度コソクリートを用いた충전型鋼管柱の實大壓入施工實驗 : (その2) 實驗概要どフレシツユコソクリートの性狀", 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, "シリカフュ-ム 超高强度コソクリートを用いた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ソクリートの性狀", 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, "シリカフュ-ムを用いた超高强度コソクリートの鋼管壓入施工", 日本コソクリート工學, 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.