

저온하에서의 CFT 시공을 위한 실험적 연구

A study of Experimental on Construction of Concrete Filled in Steel Tube Column under a Low Temperature

강용학^{*} 이민경^{*} 정근호^{**} 백민수^{**} 김진호^{***} 정상진^{****}
Yong-Hak Kang Min-Kyung Lee Keun-Ho Jung Min-Soo Paik Jin-Ho Kim Sang-Jin Jung

ABSTRACT

The basic Physical properties, Slump, Slump Flow, Air content, Bleeding, and Settlement of concrete was investigated to test Characteristic of Setting and to evaluate the relation between Model Specimen and Heat of Hydration for construction under Low Temperature (CFT).

The objective of this study is to take the partial core after the cementation of Model Specimen, test the compression intensity and analyze the relation to Test Piece.

1. 서론

콘크리트 충전강관(Concrete Filled Steel Tube, 이하 CFT라 함)구조는 강관의 구속효과에 의해 충전 콘크리트의 압축내력 상승과 충전 콘크리트에 의한 강관의 국부좌굴 보강효과에 의한 부재내력이 상승하고 뛰어난 변형성능을 발휘하는 구조이다.

이러한 CFT 구조는 콘크리트가 강관 내부를 밀실하게 채워주어야 한다. 그러나 CFT 구조는 강관에 다이아프램을 설치한 후 그 내부에 콘크리트를 타설하게 되므로 다짐작업이 곤란하게 된다. 따라서 강관 충전용 콘크리트는 다짐을 하지 않더라도 강관 내부를 밀실하게 채워줄 수 있는 유동성과 재료 분리 저항성 등을 갖고 있어야 하며, 또한 강관에 타설된 콘크리트는 밀실하게 충전되어 소요의 강도와 내구성이 확보되어야 한다. 특히 기둥과 보의 접합부는 콘크리트의 충전성 및 충분한 강도와 변형능력을 보장할 수 있어야 한다.

따라서 본 연구에서는 저온(일평균온도 $6\pm 4^{\circ}\text{C}$)하에서의 CFT 시공에 있어서 강관 내부에 충전되는 고강도 고유동 콘크리트에 대한 품질 특성 중 슬럼프 및 슬럼프 플로우, 블리딩, 침하량의 경시 변화 및 응결성상을 조사하고 모의 부재 실험을 통하여 수화특성과 높이별·부위별 강도성상 및 각각의 테스트 피스를 통한 강도성상을 분석함으로써 CFT 저온시공에 있어 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

* 정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정

*** 정회원, 한국강구조연구소 책임연구원

**** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

2. 실험

2.1 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 그 화학적 조성과 물리적 성질은 다음 표 1 및 표 2와 같다.

표 1 시멘트의 화학적 조성

성분	강열감량	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Al ₂ O ₃
구성비 (%)	1.0	21.1	2.9	62.5	3.3	2.2	6.5

표 2 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도(cm ³ /g)	안정성	응결시간		압축강도 (kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	2900	양호	4h	6h	198	272	389

본 실험에 사용된 플라이애쉬는 KS L 5405 규정에 적합한 보령산으로, 그 물리·화학적 성질은 표 3과 같다.

표 3 플라이애쉬의 물리·화학적 성질

강열감량(%)	단위수량비(%)	분말도 (cm ³ /g)	비중	압축강도비(%)	SiO ₂ (%)	습분(%)
3.9	100	3818	2.20	93	45.4	0.2

본 실험에 사용된 잔골재는 미사리산으로 최대크기를 5mm 이하로 입도조정 하였고, 굵은골재는 경기도 광주 석산의 채석으로 최대치수 20mm 이하로 입도 조정하여 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 4 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질

	생산지	최대치수(mm)	표건비중	흡수율(%)	단위용적중량 (kg/m ³)	실적율(%)	조립율
잔골재	북한강산	5.0	2.59	0.98	1,590	61.2	2.87
굵은골재	경기도광주석산	20.0	2.62	0.95	1,527	57.8	7.12

본 실험에 사용된 혼화제는 국내 D사의 나프탈렌 축합물을 주재료로 하는 고성능 AE 감수제를 사용하였고, 혼화제 특성은 표 5와 같다.

표 5 고성능 AE 감수제의 물리적 성질

고성능감수제	유형	색상	고형분(%)	주성분	pH	비중
CONFLUX-SP700H	액상	암갈색	40	Naphthalene Sulfonate	7.16	1.20

2.2 콘크리트 배합

본 실험에서는 일반 레미콘 조건하에서 베이스 콘크리트에 고성능 감수제를 첨가하여 출하하여 현장에서 사용이 가능한 CFT 콘크리트용 고강도 고유동 콘크리트를 제조하도록 배합계획을 하였다.

이러한 고강도 고유동 콘크리트에 필요한 강도와 유동성, 분리저항성 및 충전성 등 요구되는 품질은 표 6과 같다.

표 6 배합목표치

	슬럼프 (단위 : cm)	슬럼프플로우 (단위 : cm)	블리딩량 (cm ³ /cm ³)	침하량 (mm)	공기량 (%)
목표치	18~26	65±5	0.10~0.20	2이하	2.5±1

위에서 설정된 배합목표치를 기준으로 모의부재 실험 실시를 위한 계획배합은 표 7과 같다.

표 7 최종배합비

배합명	W/B (%)	S/a (%)	고성능 감수제 (B×%)	단위량(kg/m ³)					
				W	C	F	S	G	SP
계획배합	32.9	45	1.836	168	383	127	731	911	9.18

※ W/B:물결합재비 S/a:잔골재율 W:단위수량 C:단위시멘트량 F:플라이애쉬 S:잔골재 G:굵은골재 SP:고성능 감수제

2.3 콘크리트 제조 및 타설

모의부재 실험에 사용된 콘크리트는 현장까지 레미콘의 운반 시간이 1시간 정도로 소요될 것으로 판단되어 슬럼프 로스의 저감을 위해 지연효과를 가지고 있는 나프탈렌계 혼화제를 콘크리트 제조시 첨가하였으며 타설시 온도는 15℃를 유지하도록 하였고 콘크리트의 타설방법은 모의부재 위에서 타설하는 트레미관 법을 사용하였다.

2.4 실험방법

2.4.1 굳지않은 콘크리트 실험

굳지 않은 콘크리트의 유동성 평가를 위해 레미콘 공장에서 콘크리트를 생산하여 현장 도착 직후, 슬럼프 및 슬럼프 플로우, 공기량에 대한 경시변화를 측정하였다.

블리딩 및 침하량 실험

블리딩 시험은 KS F 2414(콘크리트의 블리딩 시험 방법)에 따라 실시하였으며, 침하량 시험(∅200×H1000(mm)의 용기에 타설하고 상단의 침하량을 다이얼게이지로 측정)하였다.

콘크리트 응결 실험

콘크리트 응결 시험은 KS F 2436(관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험)에 따라서 실험실 실험과 함께 저온상태에서 실시 비교하였다.

2.4.2 경화 콘크리트 실험

모의부재 타설시 제작한 테스트 피스를 통하여 강도관리 및 현장적용 여부를 분석·고찰하고자 각각의 양생방법으로 양생하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)의 시험방법에 따라 압축강도를 측정하였다.

2.4.3 모의 부재 실험

모의부재(∅600×H1500(mm))는 사진 1과 같이 양생에 따라 2분을 제작하고 다이아프램의 개구부 크기는 12mm 강판에 충전성이 가장 양호하게 나타나는 개구율 49%, 직경 420mm의 콘크리트 타설구를 사진 2와 같이하고, 다이아프램의 주변부에 균등하게 직경 30mm의 공기빠짐 구멍 4개소를 설치하였다.

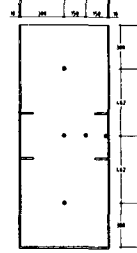
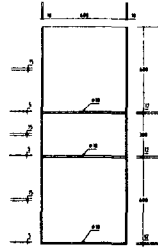


사진 1 강관 모의시험체 사진 2 강관 모의시험체 내부 그림 1 강관 모의시험체 단면도 그림 2 강관 모의시험체 온도센서 매립위치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트 실험

3.1.1 기초물성 실험

콘크리트의 유동성을 파악하기 위하여 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 등의 기초물성 경시변화를 측정하여 1시간 경과 후 확인한 결과 배합목표를 만족하는 결과를 얻어냈다.

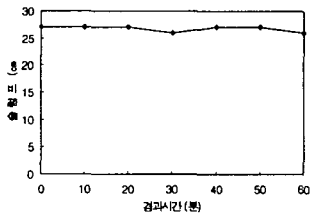


그림 3 슬럼프 경시변화

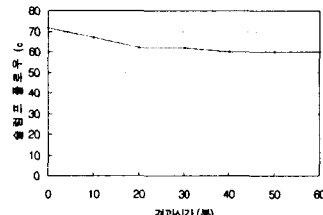


그림 4 슬럼프 플로우 경시변화

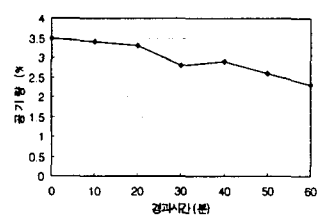


그림 5 공기량 경시변화

3.1.2 블리딩 및 침하량 실험

블리딩량 측정결과 저온도인 경우 목표치인 $0.2\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이하보다 적은 $0.06\text{cm}^3/\text{cm}^2$, 표준온도인 경우 $0.09\text{cm}^3/\text{cm}^2$, 침하량 측정결과에서도 저온도인 경우 목표치인 2mm 이하 보다 낮은 1.64mm , 표준온도인 경우 1.92mm 의 침하가 나타났다. 실험결과 블리딩량과 침하량에서 CFT 구조의 기둥타설에 맞는 콘크리트의 배합목표를 만족한 결과치를 나타냈다.

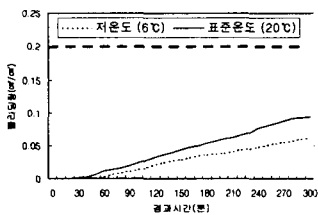


그림 6 경과시간에 따른 블리딩량

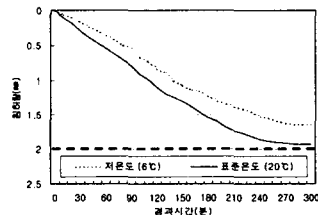


그림 7 경과시간에 따른 침하량

표 8 블리딩 및 침하량 측정결과

온도구분	블리딩량(cm^3/cm^2)	침하량(mm)
저온도 (6°C)	0.09	1.64
표준온도 (20°C)	0.06	1.92

3.1.3 콘크리트 응결 실험

콘크리트의 응결성상을 확인하기 위하여 응결시험을 행한 결과 그림 8과 같이 초결은 21시간이 지나서 시작되었고 종결은 26시간이 지난 후에 이루어졌다.

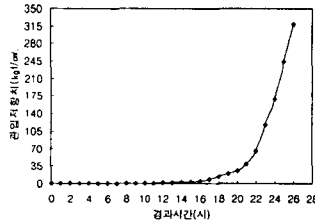


그림 8 콘크리트 응결시간

3.2 경화 콘크리트 실험

모의 시험체 타설과 동시에 제작한 관리용 테스트 피스의 압축강도 실험결과 재령에 따른 각 양생별 공시체의 압축강도는 그림 9와 같은 결과치를 나타내었다.

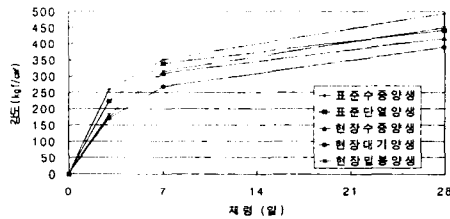


그림 9 관리용 테스트 피스의 압축강도

3.3 모의 부재 실험

3.3.1 수화 온도이력 실험

기중과 단열된 각각의 모의 부재에 콘크리트를 타설한 후 수화 온도이력을 측정하여 그림 10과 같은 결과를 얻었다.

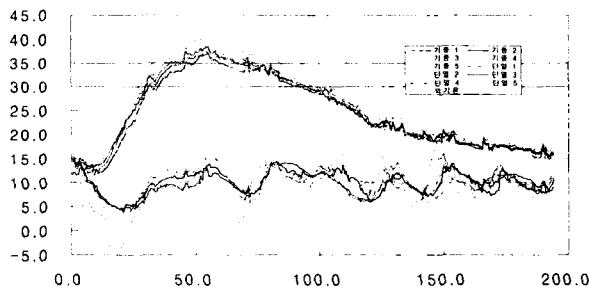


그림 10 모의 부재 수화온도이력

부재에 콘크리트를 타설할 당시의 콘크리트 온도는 15℃를 유지하였으나 콘크리트 타설 전 강관이 저온하에서 외기온에 노출되어 있어 단열양생 및 기중양생 모의시험체 모두 초기에 콘크리트의 온도가 저하하는 경향이 나타났다. 단열양생의 경우 약 5시간이 경과하면서 수화반응이 진행되었으나 기중양생의 경우 콘크리트 응결실험에서 응결이 종결되는 시간인 26시간 이후부터 수화반응이 진행되었다.

기중양생의 경우 외기에 노출되어 있고 강자체의 열전달률이 높기 때문에 초기수화반응의 지연으로 동해를 입을 수 있다고 사료된다.

3.3.2 부위별 코어채취 및 압축강도 실험

그림 11 과 같이 부위별 코어를 채취하여 압축강도 및 단위용적 중량을 실험한 결과를 그림 12 및 그림 13에 나타내었다.

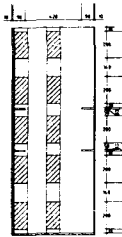


그림 11 코어채취 부위

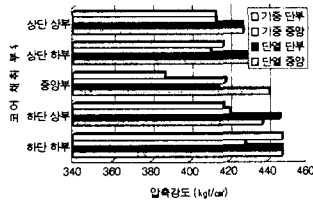


그림 12 부위별 압축강도

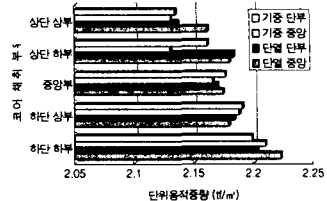


그림 13 부위별 단위용적중량

모의시험체의 부위별에 따른 압축강도 측정 결과 단열양생한 모의시험체의 압축강도가 기중양생한 모의시험체의 압축강도보다 다소 높게 나타났고, 또한 모의시험체의 하부에서 상부로 올라갈수록 강도 및 단위용적중량이 저하하는 것을 볼 수 있었다.

기중양생한 모의시험체의 압축강도가 단열양생한 모의시험체보다 압축강도 보다 낮은 것은 초기에 수화반응이 충분히 이루어지지 않았기 때문으로 사료되며, 각 모의시험체의 중앙부 단부의 경우 압축강도가 저하하는 것은 다이아프램과 다이아프램 사이에 골재가 밀실하게 채워지지 않았기 때문이라 사료된다.

4. 결론

이상과 같이 본 실험에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 모의시험체 실험을 진행하기 위한 굳지않은 콘크리트의 기초적 물성인 슬럼프, 슬럼프 폴로우, 블리딩, 침하량 등을 실험한 결과 목표치를 만족하는 것으로 나타나 CFT용 콘크리트 배합기준에 적합한 것으로 판단된다.
- (2) 콘크리트 응결성상을 실험한 결과 초결이 21시간, 종결이 26시간에 이루어졌고, 종결이 이루어진 시간은 기중양생한 모의시험체의 초기 수화반응이 시작되는 시간과 거의 동일하였다.
- (3) 모의시험체 타설과 동시에 진행된 테스트 피스의 압축강도 실험에서는 표준수중양생한 경우 압축강도가 가장 우수하게 나왔으나, 현장단열양생한 경우와 현장밀봉양생한 경우의 압축강도 값이 모의시험체의 코어강도 값과 가장 유사하게 나타나고 있다.
- (4) 모의시험체의 수화온도이력 실험결과 단열양생한 경우 초기수화반응이 빨리 이루어지고 있으나, 기중양생의 경우 강의 높은 열전달률로 인해 초기수화반응이 지연됨에 따라 초기 동해에 대한 우려가 발생하였다. 이에 따라 저온하에서 CFT를 시공하는 경우 특별한 보양이 필요하다고 판단된다.
- (5) 코어를 채취하여 압축강도 및 단위용적중량을 측정한 결과 단열양생한 모의시험체가 다소 높은 강도 값을 보였고, 하부에서 상부로 올라감에 따라 단위용적중량값이 저하하는 것을 알 수 있었으며 또한 다이아프램으로 둘러싸여 있는 각 시험체의 중앙부 단부의 경우 압축강도 값이 낮아짐을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 新都市ハウジング協會, CFT構造技術指針・同解説, 1996.
2. 콘크리트 충전강관구조 설계 및 시공지침, 한국강구조학회, 2000.1.
3. 日本建築學會, 콘크리트 충전鋼管構造設計施工指針, 1997.