

콘크리트 充填鋼管構造(CFT) 適用을 위한 一般強度 콘크리트 物性에 관한 實驗的 研究

A Study on Characteristics of Normal Strength Concrete adapted to Concrete Filled Steel Tube

강 동 현* 강 용 학* 정 근 호** 김 우 재** 정 상 진***
Kang, Dong Hyun Kang, Yong Hak Jung, Keun Ho Kim, Woo Jae Jung, Sang Jin

Abstract

As a rule, in case of CFT for high-rise building, high strength concrete is required since it should have high fluidity, segregation resistance and large proportion of cement per unit considering the filling beneath the diaphragm. However, regarding the low-rise building under 20 stories, it is somewhat difficult to use high strength concrete.

This is a fundamental study to develop a concrete with normal strength and high fluidity for CFT of low-rise building, whose purposes are in speculating several kinds of changes in concrete's characteristics through various experiments and offering basic documents for practicalization in site and production through mock-up test.

1. 서 론

현대의 건축물은 사용자의 요구에 따라 다양한 기능과 외관 및 실내공간을 필요로 하고 있으며 건물의 용도나 특성에 부합하는 구조형식을 채택하게 된다. 건물의 구조 형식의 선택은 안전성, 사용성, 공간의 효율성뿐만 아니라 건설공기, 공사비등 경제성에 이르기까지 그 영향이 매우 크다. 현대 건축물의 구조형식은 크게 철근콘크리트조, 철골구조, 철골·철근 콘크리트구조로 구분할 수 있다. 이외에 최근 강관기둥에 콘크리트를 충전한 구조형식, 즉 콘크리트 충전강관구조(Concrete Filled Steel Tube, 이하 CFT라 함)가 각광을 받고 있다.

일반적으로 초고층건물에 사용되고 있는 CFT용 콘크리트는 다이아프램 하부의 충전성과 압입시공시의 시공성을 고려하여 단위시멘트량이 많은 고강도·고유동화 콘크리트를 사용하는 경우가 많다. 그러나 중·저층건축물이나 고층건물의 상층부 기둥 등 축하중이 크지 않은 부위에서는 굳이 고강도콘크리트가 요구되지 않으므로 일반강도 콘크리트를 사용함으로써 비용절감효과와 시공품질을 확보할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 일반콘크리트에서 사용하는 단위 시멘트량을 조건으로하여 CFT공법에 가장 적합한 일반강도 콘크리트로서의 소요강도와 유동성을 모두 만족할 수 있는 최적배합비를 도출하고, 이를 근거로 실물모형실험을 실시하여 강관 충전용 콘크리트의 충전성과 강도 특성 등을 분석함으로써 현장적용의 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

* 단국대학교 대학원 석사과정

** 단국대학교 대학원 박사과정

*** 단국대학교 건축학부 건축공학전공 교수

2. 실 험

2.1 콘크리트 배합

본 실험에 사용된 재료는 KS L 5201의 규정에 적합한 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 북한강산으로 최대크기를 5mm이하로 입도조정하였으며, 굵은골재는 경기도 광주 석산의 쇄석으로 최대치수 20mm이하로 입도조정하여 사용하였고, 유동성 확보를 위해 국내 J사의 폴리카본산을 주재료로 한 고성능 감수제를 사용하였다.

본 실험에서는 일반 레미콘 조건하에서 베이스 콘크리트를 출하하고 고성능 감수제를 첨가하여 현장에서 사용이 가능한 고유동 콘크리트를 제조하도록 배합계획을 하였다.

이러한 고유동 콘크리트를 현장에 적용하기에 앞서, 필요한 강도와 유동성 등에서 요구되는 품질의 목표는 표 1과 같다. 목표치에 만족하는 배합을 도출하기 위하여 표 2와 같이 기초물성 실험을 시행하여 현장 모형 실험을 목적으로 얻어낸 최종배합비는 표 3과 같다.

표 1. 배합목표치
($f_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2$)

측정항목	목표치
슬럼프(단위 : cm)	20±2
슬럼프플로우(단위 : cm)	40~50
블리딩량(cm^3/cm^3)	0.10이하
침하량(mm)	2이하
공기량(%)	4.5±1.5

표 2. 실험 인자 및 수준

구분	W/C(%)	S/a(%)	측정항목	비고
유동특성	인자	52, 45, 43.8	44.2, 51.1	슬럼프, 슬럼프, 플로우 고성능 감수제 첨가량 (시멘트량의 0, 0.5, 1.0)
	수준	3	2	
	기호	A,B,C	1, 2	
강도특성	인자	52, 45, 43.8	44.2, 51.1	압축강도, 인장강도 1.5%)에 따른 물성변화 실험
	수준	3	2	
	기호	A,B,C	1, 2	

표 3. 콘크리트 배합비

배합명	W/C (%)	S/a (%)	고성능 감수제 (C×%)	AE제 첨가율 (C×%)	단위량(kg/m^3)					
					W	C	S	G	SP	AE
NA-1	52	44.2	1.5	0.02	165	318	790	1018	4.77	0.063
NB-1	45	44.2			175	388	757	967	5.834	0.077
NB-2	45	51.1			175	388	875	847	5.834	0.077
NC-2	43.8	51.1			175	400	875	843	6.0	0.08

NA-1

N:일반강도 A:W/C 52% 1: 잔골재율(S/a) 44.2%
B:W/C 45% 2: 잔골재율(S/a) 51.1%
C:W/C 43.8%

2.2 시험체 제작 및 계획

CFT 기둥-보 접합부가 내측 다이아프램 형식의 경우에는 블리딩의 발생과 함께 침하에 의해 다이아프램 하부에 공극이 생길 가능성이 있으므로 블리딩량 및 침하량을 확인할 필요가 있다. 이에 시간의 경과에 따른 각 배합별 블리딩량 및 침하량을 측정하였다.

또한, 모의시험체를 제작하여 수화열 측정 및 강도 분포 등을 측정하였다.

2.2.1 블리딩 및 침하량 실험

블리딩 시험은 KS F 2414(콘크리트의 블리딩 시험 방법)에 따라 사진 1과 같이 실시하였으며, 침하량 시험($\varnothing 20 \times H100\text{cm}$)의 용기에 타설하고 상단의 침하량을 다이얼게이지로 측정을 실시하였다.(사진 2)

2.2.2 수화열 특성 및 코아공시체 압축강도 실험

CFT용 콘크리트 타설시 수화열 및 강도 특성을 확인하기 위하여 강관으로 제작한 모의 시험체($\varnothing 400 \times H1200\text{mm}$, 사진 3, 사진 4)를 제작하였다.

수화열 특성을 검토하기 위하여 무다짐 부재에 그림 1과 같이 바닥에서 500mm의 높이(다이아프램으로부터 100mm 하단)에 가장자리로부터 20, 110, 200mm의 위치(기둥의 중심부, 단부, 중심부와 단부의 중간)에 온도센서를 매설한 후 콘크리트 타설 직후부터 외기온과 비슷해지는 재령까지, 자동온도기록장치를 사용하여 부재 내부 온도를 측정하고, 부위별 코어 강도를 조사하였다. 각각의 실험을 위한 시험체 제작 계획은 표 4와 같다.



사진 1. 블리딩량 시험용기 사진 2. 침하량 시험 사진 3. 모의시험체 그림 1. 모의시험체 온도센서 위치

표 4. 시험체 제작 계획

	W/C(%)	S/a(%)	고성능감수제 첨가율(%)	수량	측정항목
Ø200×H1000 (mm)	52	44.2	1.5	3	블리딩량, 침하량
	45	44.2	1.5	3	
	45	51.1	1.5	3	
	43.8	51.1	1.5	3	
Ø400×H1200 (mm)	43.8	51.1	1.5	1	수화열, 부위별코어압축강도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 물성시험

CFT에 사용되는 콘크리트의 목표치에 만족하는 최종배합비들에 관한 유동특성 및 강도특성의 기초 물성 실험 결과는 표 5와 그림 2~5에 나타내었다.

슬럼프 측정결과에서는 물시멘트비가 높고 잔골재율이 적은 NB-1이 우수하게 나타났다. 슬럼프 플로우 측정결과에서는 NA-1이 물시멘트비가 높고 단위시멘트량이 낮아서 슬럼프가 좋게 나타났으나, 재료분리 현상이 나타나 슬럼프 플로우가 크게 나타났다. 나머지 배합에서는 유동성이 CFT 기둥 타설에 있어서 모두 만족할 만한 결과치를 나타내었다.

압축강도 발현은 물시멘트비가 낮을수록, 단위 시멘트량이 높을수록 압축강도 발현이 높게 나타났다. 인장강도 발현은 압축강도와 유사한 경향을 나타내었다.

표 5. 기초물성 실험결과

배합명	슬럼프 (cm)	슬럼프플로우 (cm)	재령 28일 압축강도(kgf/cm ²)	재령 28일 인장강도(kgf/cm ²)
NA-1	22.0	51.5	243	23
NB-1	22.8	41.8	307	29
NB-2	22.0	41.5	301	32
NC-2	20.0	39	326	34

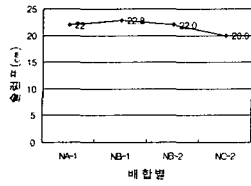


그림 2. 배합별 슬럼프

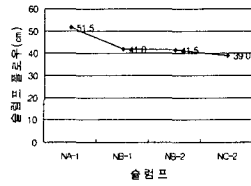


그림 3. 배합별 슬럼프 플로우

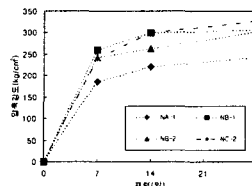


그림 4. 압축강도

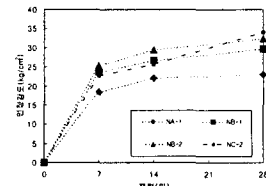


그림 5. 인장강도

3.2 블리딩 및 침하량 실험

각 배합의 블리딩량과 침하량 측정결과는 표 6과 그림 6, 그림 7에 나타내었다. 블리딩량 측정결과에서는 NA-1에서 $0.22\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 로 가장 많은 블리딩수가 나타났고, NB-1는 $0.15\text{cm}^3/\text{cm}^3$, NB-2는 $0.14\text{cm}^3/\text{cm}^3$, NC-2는 $0.12\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 로 유사하게 나타났다. 침하량 측정결과에서는 NA-1에서 3.12mm로 가장 깊은 침하가 나타났고, NB-1는 2.13mm, NB-2는 1.85mm 침하가 나타났으며, NC-2에서는 1.61mm로 가장 얇은 침하가 나타났다. 이상과 같은 결과치로 NB-2와 NC-2 배합이 CFT 콘크리트 배합목표치에 적합한 배합으로 사료된다.

표 6. 블리딩 및 침하량 측정결과

	NA-1	NB-1	NB-2	NC-2
블리딩량(cm^3/cm^3)	0.22	0.15	0.14	0.12
침하량(mm)	3.12	2.13	1.85	1.61

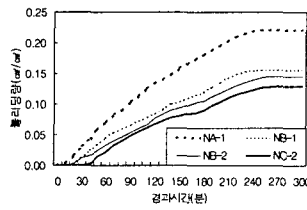


그림 6. 블리딩량

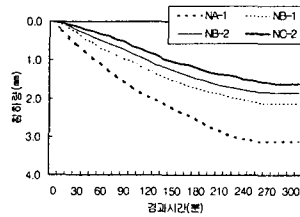


그림 7. 침하량

3.3 수화열 측정 실험

CFT 공법의 거푸집 역할을 하는 강관이 일반 공법에서 사용하는 목재 거푸집보다 열전도율이 크기 때문에 대기온도가 콘크리트 경화에 미치는 영향은 크다.

따라서, 양생시의 내부 수화온도이력 및 강도 발현정도를 실험을 통하여 관계 규명하고자 하였다.

모의시험체 기둥부재는 사진 5와 같이 대기 중에 강관을 방치하면서 수화온도 측정을 병행하여 수화온도의 이력에 의해 양생 정도를 판단할 수 있는 실질적인 데이터를 확보하고, 압축강도와와의 관계를 규명하고자 하였다.

모의시험체 기둥부재의 온도분포는 표 9, 그림 8과 같이 단면 깊이에 따라 다른 온도를 보이고 있다.

표 7. 모의시험체 단면 깊이에 따른 수화열 측정결과

	대기 방치		
	NO1	NO2	NO3
표면으로부터 단면의 깊이(cm)	20	11	2
최고온도(°C)	32.9	31.7	31.1

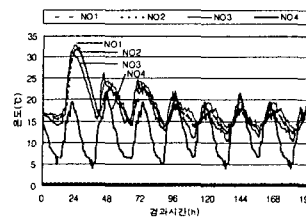


그림 8. 수화열 측정결과

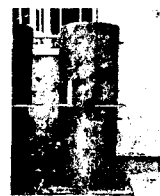


사진 5. 모의시험체

그림 8에 나타나는 바와 같이 모의시험체 기둥부재는 타설 후 약 14~16시간까지는 수화에 의한 온도 상승은 없었고 이후 온도 상승이 약 2°C/h의 속도로 상승, 타설 후 약 25시간이 지나면 최고온도에 달하게 된다. 최고 온도는 1~2시간정도 유지되다가 이후 약 0.8°C/h의 속도로 온도가 하강하여 외기 온도와 유사한 온도변화를 보이다가 타설 4일 후 외기온도와 같은 온도변화 경향을 나타냈다. 중심부 위의 최고 온도는 32.9°C이고 표면으로부터 9cm씩 떨어진 지점의 온도는 각각 31.7°C, 31.1°C로서 중심부와 약 1.2°C, 1.8°C씩 온도차가 나타났다.

이는 외기에 노출된 표면부로 인하여 수화열량이 외기온도에 영향을 받아 빨리 냉각된 것으로 판단된다.

3.4 모의시험체 코어 공시체 압축강도

모의시험체 내부의 강도발현성상을 파악하기 위해 각 위치별로 직경 10cm의 코어채취기를 사용하여 그림 9에 나타낸 것과 같은 위치에서 코어 공시체를 채취하였다. 부재에서 채취한 코어는 압축강도시험을 위해 절단기를 사용하여 콘크리트 타설 전 설치한 열전대 위치가 중심이 되는 10×20cm의 공시체로 절단한 후 유허캠핑을 하여 200ton용량의 U.T.M을 사용하여 압축강도 시험을 실시하였다.

시험체의 중간지점인 다이아프램의 상부와 하부의 강도 발현관계를 수화열 측정위치와 관련하여, 타설 후 재령 28일이 지난 모의시험체의 코어를 채취하여 압축강도를 조사해, 수화온도이력과 압축강도와와의 관계를 규명하고자 하였다.

코어는 시험체를 중심부와 단부로 나누어 채취하여, 모의시험체 높이에 따른 압축강도, 모의시험체 중심부와 단부의 압축강도를 조사하여 표 8에 나타내었다.

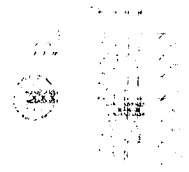


그림 9. 모의시험체 코어 공시체 채취 위치

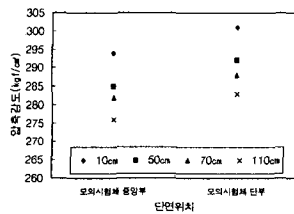


그림 10. 양생조건 및 단면위치에 따른 압축강도

	중심부				단부			
하단으로 부터높이 (cm)	10	50	70	110	10	50	70	110
압축강도 (kgf/cm ²)	294	285	282	276	301	292	288	283

표 8. 모의시험체 코어 압축강도

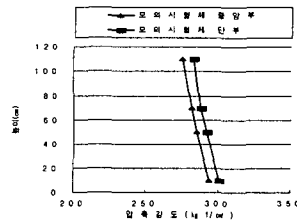


그림 11. 모의시험체 높이에 따른 압축강도

(1) 모의시험체 중심·단부에 따른 압축강도

모의시험체 내부의 단면위치에 따른 압축강도분포를 그림 10에 나타내었다. 그림에 의하면 모의 시험체 내부 중심에 가까울수록 강도가 6~7kgf/cm²의 차이를 보이면서 약간 감소하고 있다.

(2) 모의시험체 코어 공시체 압축강도

공시체의 압축강도를 보면 수중양생, 모의 시험체 대기방치에 따라 각각 326kgf/cm², 301kgf/cm²의 강도를 나타냈는데 수중양생한 시험체와 대기방치한 모의시험체에서 채취한 코어공시체의 압축강도 측

정 결과 수화열에 의한 영향을 거의 받지 않아 유사한 값을 나타내고 있다.

이는 일반강도 콘크리트 구조체의 강도를 추정할 시에 통상 현장수중양생 공시체의 강도로써 취급하는 법과 일치한다.

이것은 구조체의 온도이력을 외기온도의 이력으로 간주하여도 강도관리상 안전측에 있다는 것에 기인한 것이다.

이와 같은 결과로 인하여 일반강도 CFT 기둥의 강도 추정을 위해서는 초기온도이력과 일치시킨 공시체로 강도 관리가 가능할 것으로 판단된다.

(3) 모의시험체 높이에 따른 코아 공시체 압축강도

모의시험체의 높이에 따른 압축강도 결과는 그림 11에 나타내었다. 모의시험체 상부에서 하부로 내려갈수록 압축강도가 증가하는데, 이는 중력에 의하여 위에서 아래로 타설하는 낙입 타설법으로 인하여 콘크리트의 자중이 하부 측에 밀실한 콘크리트를 타설하여 주었기 때문이다.

반면, 낙입 타설법으로 인한 모의시험체 상단부의 콘크리트는 블리딩수와 재료의 침하 및 재료분리현상 등으로 인하여 강도가 현저하게 떨어지는 것을 볼 수 있었다.

4. 결 론

이상과 같이 본 실험의 범위에서 나온 결과를 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 블리딩량과 침하량 실험결과 밀접한 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며 물시멘트비가 낮고 잔골재율이 상대적으로 높은 배합에서 배합목표치를 만족하였다.

(2) 수화온도이력과 압축강도와의 관계에서 CFT에서도 수화온도로 인한 압축강도 추정이 가능하며, 동절기나 하절기에는 강관의 큰 열전도율로 인한 일정한 온도유지관리가 필요한 것으로 사료된다.

(3) 본 실험에서 콘크리트타설 방법은 시험체에 타설관을 이용하여 상부로부터 낙입하는 방법을 택하였다. 이 결과 시험체 상·하부의 콘크리트강도는 상부로부터 하부로 내려갈수록 증가하는데 이는 콘크리트의 낙하와 자중으로 인한 하부의 압밀현상에 기인한다. 또한 모의 시험체 상단부의 콘크리트 강도가 현저히 떨어지는 이유는 블리딩량과 재료의 침하 및 재료분리현상 등이 원인으로 분석하였다.

향후 이 결과를 바탕으로 실물크기의 시험체를 제작하여 높이별 압축강도와 동절기, 하절기 수화온도이력 조사, 다이아프램 하부의 침하량과 공극상태, 타설 방법 등에 대한 꾸준한 연구가 지속적으로 진행된다면 실용화에 진전이 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 新都市ハウジング協會, CFT構造技術指針・同解説, 1996
2. 日本建築學會, 콘크리트 충전鋼管構造設計施工指針, 1997
3. 한국강구조학회, 콘크리트 충전강관구조 설계 및 시공지침, p. 82, 2000. 12
4. 大成建設技術研究所報. 第31号. p.p. 61~64, 1998
5. 정상진 외 5인, 「CFT에 적용하기 위한 고유동화 콘크리트의 물성 및 충전성에 관한 실험적 연구」, 2001년도 대한건축학회춘계학술발표대회 논문집, 21권 1호, p.p. 321~324, 2001
6. 정상진 외 4인, 「고강도 콘크리트 실용화에 관한 연구」, 대한건축학회논문집, 11권 9호 통권 83호, p.p. 167~173, 1995