

高強度 高流動 콘크리트를 이용한 콘크리트充填鋼管(CFT)構造의 充填性에 관한 工法 研究

A study of the Method on the Packing ability of Concrete Filled in Steel Tube Structure by High Strength and High Flowable Concrete

강 용 학* 정 근 호** 임 남 기*** 이 영 도**** 정 재 영***** 정 상 진*****
Kang, Yong-Hak Jung, Keun-Ho Lim, Nam-Ki Lee, Young-Do Jung, Jae-Young Jung, Sang-Jin

Abstract

In this study, there are kind of property experiments like fluidity, compressive strength, bleeding measurement, concrete sink for CFT use high fluidity concrete. The property difference between before transmit and after transmit concrete in the mock up test with ready mixed concrete equipment is examined. The variable factors in mock up are diaphragm existence and nonexistence, diaphragm placing hole sizes.

To investigate the concrete property under diaphragm, concrete packing ability, hydration heat, core specimen strength tests are performed.

키 워 드 : 충전성, 충전강관, 고강도콘크리트

Keywords : Packing ability, steel Tube structure, High Strength, concrete

1. 서 론

콘크리트 충전강관구조(Concrete Filled steel Tube Structure, 이하 CFT구조라 함)은 강관의 구속효과에 의한 충전 콘크리트의 압축내력 상승과 충전 콘크리트에 의한 강관의 국부좌굴 보강효과에 의해 부재내력이 상승하고 뛰어난 변형성능을 발휘한다. 이에 따라 기둥간격을 크게 할 수 있으므로 유효공간을 넓게 할 수 있고, 기둥의 강성이 높아 태풍 및 지진시의 움직임에 대한 사용성 개선도 가능하다. 또한 시공 시 강관은 거푸집 역할을 함으로써 기둥부재의 철근 및 거푸집 공사가 배제되어 인건비 절감 및 공기 단축이 가능하며, 거푸집을 사용할 필요가 없으므로 폐기물 발생이 억제되어 지구환경보호에도 기여할 수 있다.

이러한 콘크리트 충전강관구조는 강관 내에 콘크리트를 밀실하게 채워주어야 하므로 다짐을 하지 않더라도 강관의 내부를 밀실하게 채워줄 수 있는 유동성과 재료분리 저항성을 갖고 있어야 하며, 강관의 형상 및 다이어프램의 종류에 따라 콘크리트가 밀실하게 충전되어 소요의 강도와 내구성이 확보되어야 한다. 또한 콘크리트가 강관 내부에 충전된 이후에는 블리딩 및 침하 등에 의한 변형이 최소가 되는 등의 물성을 가지고 있어야 한다.

본 연구는 CFT 시공에 있어서 강관 내부에 충전되는 콘크리트의 충전성, 유동성, 재료분리저항성, 압축강도 등을 만족하는 고강도 고유동 콘크리트에 대한 기본적 물성을 조사하여 모의부재실험을 행하고 기둥과 보가 교차하는 접합부 다이어프램의 유·무 및 개구율에 따른 다이어프램 하부의 콘크리트 충전성 등을 확인하고 수화열과 압축강도 발현정도를 확인함으로써 CFT 공법의 현장 시공에 적용 가능한 기초 자료가 될 수 있도록 하였다.

2. CFT용 콘크리트의 실험

2.1 실험개요 및 계획

CFT에 작용하는 축하중은 강재부분과 콘크리트부분이 동시에 부담하게 된다. 그러므로, CFT 구조의 성능을 충분히 발휘하기 위해서는 콘크리트가 강관 내부에 밀실하게 충전되어야 한다. 이를 위해 사용되는 고강도 고유동 콘크리트는 충전성, 유동성, 재료분리저항성이 요구되어진다. 이러한 CFT 구조에 적합한 콘크리트를 찾고 기초적 특성을 확인하기 위해 실험실 및 현장 실험을 통하여 기초물성 및 모의부재에 대한 실험을 행하였다.

모의부재 실험에서는 펌프압송에 트레미관을 사용하여 상부로부터 콘크리트를 타설하는 트레미관법으로 콘크리트 자중에 의한 충전성 및 강도분포 등을 검토하였다. 따라서, 고층구조물에 적용하는 압입법과는 약간의 차이가 있지만, 콘크리트의 충전성 확인과 다이어프램 하부 공극의 분포, 공극의 비율, 수화열 측정 및 강도 분포 등에 대

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정
** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정
*** 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 교수
**** 정회원, 경동대학교 건축학부 교수
***** 정회원, 한남대학교 건축·토목환경공학부 교수
***** 정회원, 단국대학교 건축학부 건축공학전공 교수

한 개략적인 판단은 가능할 것으로 사료된다.

2.2 콘크리트 배합

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 국내 A사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 미사리산으로 최대크기를 5mm이하, 굵은골재는 경기도 광주 석산의 채석으로 최대치수 20mm이하로 사용하였다. 혼화제는 유동성 확보를 위해 국내 D사의 나프탈렌 축합물을 주재료로 하는 고성능 AE 감수제를 사용하였으며, 플라이애쉬는 KS L 5405 규정에 적합한 보령산을 사용하였다.

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 콘크리트를 현장에 적용하기에 앞서, 필요한 강도와 유동성, 분리저항성 및 충전성 등에 요구되는 품질은 표 1과 같다

표 1. 배합목표치

	슬럼프 (단위 : cm)	슬럼프플로우 (단위 : cm)	블리딩량 (㎥/㎥)	침하량 (mm)	공기량 (%)
목표치	18~26	65±5	0.10~0.20	2이하	2.5±1

최종 배합비와 이를 기준으로 실험실 시험에서의 결과를 보완하여 문제점 및 생산성을 판단하고 모의부재실험을 실시하기 위해 최종적으로 선정한 현장 배합비는 표 2 와 같다.

표 2. 최종배합비

배합명	W/B (%)	S/a (%)	고성능 감수제 (B×%)	단위량(kg/m³)					
				W	C	F	S	G	SP
계획배합	32.9	45	1.836	168	383	127	731	911	9.18
현장배합	32.9	45	1.836	134	383	127	783	893	9.18

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

2.3 콘크리트 제조

모의부재 실험에 사용된 콘크리트는 S사 레미콘 풍납 공장 배치 플랜트를 이용하였다. 본 실험이 이루어지는 현장까지 레미콘의 운반 시간이 1시간 정도로 소요 될 것으로 판단되어 슬럼프 로스 저감을 위해 지연효과를 가지고 있는 나프탈린계 초유동 콘크리트 혼화제를 배치 플랜트에서 콘크리트 제조시 첨가하였다.

2.4 콘크리트 타설

콘크리트 타설은 모의부재 위에서 타설하는 트레미관법을 사용하였다. 콘크리트 타설에 사용된 Portable Concrete Pump는 국내 S사의 기종을 사용하였다.

콘크리트의 압송시 배관 내에서의 콘크리트 물성변화를 방지하기 위해 모르타르를 선압송 후 실시하였다.

2.5 실험방법

(1) 굳지 않은 콘크리트 실험

굳지않은 콘크리트의 유동성 평가를 위해 실험실 실험과 함께 레미콘 공장에서 콘크리트를 생산하여 현장 도착 직후 펌프 압송 낙입 타설 전·후의 콘크리트 시료를 채취하여 슬럼프, 슬럼프 플로우, L형 슬럼프, L형 슬럼프 플로우, 공기량에 대하여 측정하였다.

(2) 경화 콘크리트 실험

고강도 콘크리트에서는 높은 단위시멘트량으로 인한 수화열이 높기 때문에 보통 콘크리트와는 상이한 강도 발현을 나타낸다. 따라서 현장에서 보통콘크리트의 강도를 확인하기 위해 행해지고 있는 수중양생한 공시체로는 고강도 콘크리트의 강도를 정확히 추정할 수 없다.

따라서, 본 실험에서는 실험실 실험에서와 현장 모의부재의 콘크리트 타설시 펌프 압송 낙입 타설 전·후에 강도 관리용 공시체를 제작하고 각 양생별(표준수중양생, 현장수중양생, 현장대기양생, 현장밀봉양생, 단열양생)로 구분하여 양생하였으며 소정의 재령 경과 후 압축강도시험을 실시하였다.

(3) 블리딩 및 침하량 실험

블리딩 시험은 KS F 2414(콘크리트의 블리딩 시험 방법)에 따라 실시하였으며, 침하량 시험(Φ20×H100cm의 용기에 타설하고 상단의 침하량을 다이얼게이지로 측정)하였다.

(4) 모의부재 실험

① 모의부재 제작

다이아프램 하부의 충전성을 육안으로 확인하고 공극 분포 및 비율을 조사하기 위해 Φ300×H900(mm)의 아크릴로 제작한 모의부재에 실험하였고, Φ400×H1200(mm)의 강관 모의부재를 제작하여 수화열 및 부위별 코아 압축강도에 대하여 실험하였다. 모의부재 제작 계획은 표 3과 같다.

표 3. 모의부재 제작 계획

타설구 지름(mm)	개구부면적/전단면적(%)	수량	측정항목	
Φ300×H900mm 투명아크릴	100	11	1	충전성 육안확인, 다이아프램 하부의 공극분포 및 비율
	150	25	1	
	200	45	1	
	260	75	1	
Φ400×H1200mm 강관 SPS 400	150	14	1	수화열, 부위별 코아압축강도
	210	28	1	
	280	49	1	
	340	72	1	
	400	100	1	

② 모의부재 충전성 실험

CFT 콘크리트 타설시 충전성을 확인하기 위한 모의부재(Φ300×H900mm의 아크릴 제작 그림 1, 사진 1, 사진 2)는 각각 다이아프램 타설구 크기가 다른 4개를 제작하였다.

다이아프램은 콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침을 기준으로 하여 두께 10mm의 아크릴판에 개구율이 각각 11%, 25%, 45%, 75%인 직경 100mm, 150mm, 200mm, 260mm의 콘크리트 타설구를 그림 2와 같이하고, 다이아프램의 주변부에 균등하게 직경 30mm의 공기빠짐 구멍 4개소를 설치하였다. 모의부재 강관 측면에는 시험체의 하단으로부터 50mm 지점에 직경 20mm의 물빠짐 구멍 1개소를 설치하였다.

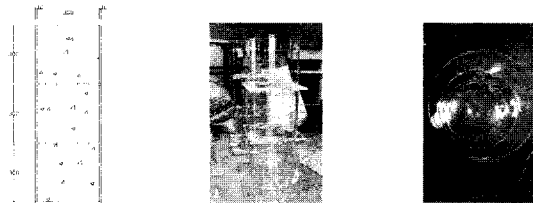
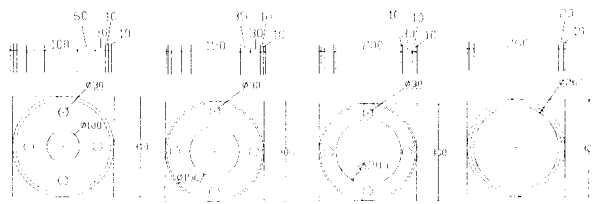


그림 1. 투명 아크릴사진 1. 투명 아크릴 사진 2. 투명 아크릴 모의부재 단면도 3. 투명 아크릴 모의부재 모의부재 내부



(a) 개구율 11% (b) 개구율 25% (c) 개구율 45% (d) 개구율 75%
그림 2. 투명 아크릴 모의부재 개구율

③ 수화열 특성 실험

수화열 특성 및 코아공시체 압축강도 실험을 위한 강관으로 제작한 모의부재(Φ400×H1200mm)는 각각 다이아프램 타설구 크기가 다른 5개를 제작하였다. 다이아프램은 콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침을 기준으로 하여 두께 12mm의 다이아프램에 개구율이 각각 14%, 28%, 49%, 72%, 100%인 직경 150mm, 210mm, 280mm, 340mm, 400mm의 콘크리트 개구부를 사진 4와 같이 두고, 다이아프램 주변부에 균등하게 직경 30mm의 공기빠짐 구멍 4개소를 설치하였다. 모의부재 강관 측면에는 시험체의 하단으로부터 50mm 지점에 직경 20mm의 물빠짐구멍 1개소를 설치하였다.

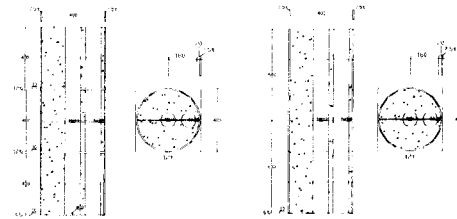
수화열 특성을 검토하기 위하여 그림 3과 같이 모의부재 바닥에서 600mm의 높이(다이아프램으로부터 100mm 하단)에 가장자리로부터 20mm, 200mm의 위치(기둥의 중심부, 단부)에 온도센서를 매립한 후 콘크리트 타설 직후부터 외기온과 비슷해지는 재령까지 자동온도기록장치를 사용하여 부재 내부 온도를 측정하였다.



(a) 개구율 14% (b) 개구율 28% (c) 개구율 49% (d) 개구율 72%
사진 3. 강관 모의부재 개구율

④ 코아 공시체 채취 및 압축강도 실험

모의부재 내부의 강도발현정상을 파악하기 위해 각 위치별로 직경 10cm의 코아 채취기를 사용하여 그림 3에 나타낸 것과 같이 10×20cm의 코아 공시체를 채취한 후 황캡핑을 하여 200ton-용량의 U.T.M을 사용하여 압축강도 실험을 실시하였다.



(a) 다이아프램 有 (b) 다이아프램 無

그림 3. 수화온도 게이지 매립위치 및 코아공시체 채취위치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험실 실험

(1) 굳지 않은 콘크리트 실험

콘크리트의 유동성을 파악하기 위하여 슬럼프, 슬럼프 플로우, L형 슬럼프, L형 플로우, 공기량 등을 측정하여 표 4와 같이 배합목표를 만족하는 결과를 얻어냈다.

표 4. 굳지 않은 콘크리트의 물성 실험결과

측정항목	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	L형 슬럼프 (cm)	L형 플로우 (cm)	공기량 (%)
배합					
$f_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$	26	67.5	34	79	2.4

이상의 결과로 본 실험에 사용되는 배합은 CFT구조의 기둥 타설시 사용되는 콘크리트의 목표치를 만족하는 유동성을 나타냈다.

(2) 블리딩 및 침하량 실험

블리딩량과 침하량 측정결과는 표 5에 나타내었다. 블리딩량 측정결과 목표치인 $0.2\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 이하보다 적은 $0.08\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 로 나타났고, 침하량 측정결과에서도 목표치인 2mm이하 보다 낮은 1.43mm의 침하가 나타났다. 실험결과 블리딩량과 침하량에서 CFT 구조의 기둥 타설에 맞는 콘크리트의 배합치를 만족한 결과치를 나타냈다.

표 5. 블리딩 및 침하량 측정결과

구 분	블리딩량(cm^3/cm^3)	침하량(mm)
$f_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$	0.08	1.43

(3) 경화 콘크리트 실험

계획배합으로 실험실에서 제작한 콘크리트 공시체의 압축강도 실험결과를 표 6에 나타내었다.

재령 28일 강도가 519kgf/cm^2 로 설계기준강도($f_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$)의 130%로 현장 모의부재에 사용 가능한 결과치를 나타냈다.

표 6. 압축강도 측정결과 (단위:kgf/cm²)

재령	3일	7일	14일	28일
시험체				
$f_{ck} = 400 \text{kgf/cm}^2$	352	426	494	519

3.2 현장 모의부재 실험

(1) 굳지 않은 콘크리트 실험

콘크리트의 압송에 따른 물성변화를 파악하기 위해 압송전·후(펌프 통과 후)의 콘크리트 시료를 채취하여 슬럼프, 슬럼프 플로우, L형 슬럼프, L형 플로우, 공기량 등을 측정하여 표 7과 같은 결과를 얻었다.

표 7. 플래쉬 콘크리트의 물성 실험결과

측정항목	슬럼프 (cm)		L형 슬럼프 플로우 (cm)		공기량 (%)
	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	L형 슬럼프 (cm)	L형 플로우 (cm)	
시료					
압송전	25	66 66	33.5	75	3
압송후	22	62 60	31	68	2.5

레미콘 공장으로부터 현장까지의 레미콘 운반시간은 약 40분정도 소요되었고 압송전과 후를 비교하였을 때 슬럼프 3cm, 슬럼프플로우 5cm, L형 슬럼프 2.5cm, L형 슬럼프플로우 7cm, 공기량 0.5%씩 각각 감소하였다.

이상과 같이 콘크리트가 펌프를 통하여 압송되면 펌프 내에서 콘크리트가 고압 하에 놓여 압밀되면서 공기량 손실이 발생하고 공기의 불베어링 작용 감소와 콘크리트 내부의 잉여수나 페이스트 등의 분리로 인하여 점성은 더 증가한 반면 유동성은 상대적으로 감소하게 되어 슬럼프나 슬럼프 플로우, L형 슬럼프, L형 플로우, 공기량 등에 변화가 생긴 것으로 판단된다. 특히 고유동 콘크리트의 경우 공기량 감소가 심하므로 이에 대한 주의가 필요하다.

(2) 블리딩 및 침하량 실험

블리딩량과 침하량 측정결과는 표 8과 그림 4, 그림 5에 나타내었고, 블리딩량 측정결과 압송전 0.12cm³/cm³, 압송후 0.09cm³/cm³, 침하량 측정결과 압송전 1.92mm, 압송후 1.64mm의 침하가 나타났다.

표 8. 블리딩 및 침하량 측정결과

구분	블리딩량(cm ³ /cm ³)	침하량(mm)
압송전	0.12	1.92
압송후	0.09	1.64

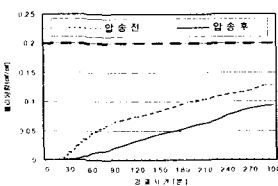


그림 4. 경과시간에 따른 블리딩량

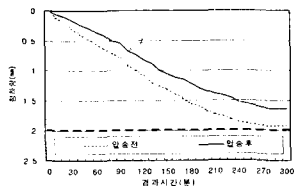


그림 5. 경과시간에 따른 콘크리트 상단의 침하량

블리딩 및 침하량에서 압송후가 압송전보다 작게 나온 이유는 배합수 손실로 인해 압송후가 압송전보다 블리딩량이 적게 나타났고 유동성이 양호한 압송전이 압송후보다 자중으로 인한 침하량이 큰 것으로 판단된다.

(3) 충전성 실험

모의부재(Φ300×H900mm의 아크릴 제작) 타설 28일 후 다이아프램을 경계로 상부와 하부로 해체하였다. 사진 4는 다이아프램 하부의 공극상태를 보여주고 있다.

공극면적 측정을 위해 방안지에 공극 모양을 그려 넣어 면적을 계산하였다.

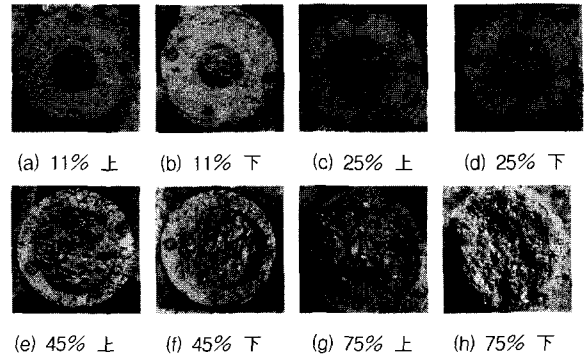


사진 4. 모의부재의 공극형상

모의부재 충전성을 검토를 위한 다이아프램 하부의 공극상태 결과분석결과는 표 9에 나타났다.

표 9. 배합별 공극분석

공극 개구율(%)	공극면적 (cm ²)	평균공극깊이 (cm)	공극면적/전단면적(%)
11-上	60.63	0.25	8.57
11-下	64.3	0.23	9.09
25-上	44.75	0.24	6.33
25-下	33.37	0.21	4.71
45-上	64.55	0.31	9.13
45-下	48.51	0.27	6.86
75-上	9.75	0.23	1.37
75-下	5.5	0.21	0.78

다이아프램 개구율 11%에서는 상부와 하부의 다이아프램 아랫부분에서 각각 공극면적에서 60.63, 64.3cm², 평균공극깊이는 0.25, 0.23cm, 공극면적이 전단면적의 8.57, 9.09%로 전체적으로 다른 모의부재에서 보다 많은 공극이 나타났다. 이것은 상대적으로 다른 모의부재보다 개구율이 작은 것으로부터 기인된 것으로 작은 개구로 콘크리트 내부의 공기들의 배출이 힘들다는 것으로 나타났다.

개구율 25%에서는 상부와 하부에서 각각 공극면적에서 44.75, 33.37cm², 평균공극깊이는 0.24, 0.21cm, 공극면적이 전단면적의 6.33, 4.71%로 나타났다.

개구율 45%에서는 상부와 하부에서 각각 공극면적에서 64.55, 48.51cm², 평균공극깊이는 0.31, 0.27cm, 공극면적

이 전단면적의 9.13, 6.86%로 나타났다.

개구율 45%에서 개구율 25%보다 더 많은 공극이 나타나고 있는데 이는 트레미관의 타설높이가 높음으로 인하여 재료분리로 인하여 밀실한 충전이 이루어지지 않은 것으로 판단되고 이를 해결하기 위해서는 콘크리트 타설 높이를 충분히 낮추거나, 콘크리트 중에 완전히 매입한 상태를 유지하면서 트레미관을 들어올려 콘크리트를 타설함이 타당한 것으로 사료된다.

개구율 75%에서는 상부와 하부에서 각각 공극면적에서 9.75, 5.5cm², 평균공극깊이는 0.23, 0.21cm, 공극면적이 전단면적의 1.37, 0.78%로 나타났다. 개구율 75%에서는 거의 공극이 발견되지 않은 상태로 나타났고 이는 강관 기둥 내부의 콘크리트 성능에 있어서 다이아프램이 없는 경우와 유사한 경향을 나타낼 것으로 사료된다.

전체 모의부재에서 상부와 하부 다이아프램 하부의 충전상태를 보면 상부가 하부보다 공극량이 많은 경향을 나타내고 있다. 이는 콘크리트 자중에 의한 압밀로 낮은 곳보다는 높은 곳일수록 다이아프램 하부에 공극이 많은 것으로 판단된다.

이상에서와 같이 다이아프램의 주변부에 균등하게 직경 30mm의 공기빠짐 구멍 4개소를 설치한 상태이더라도 평면형태의 다이아프램으로 인하여 공기포가 미배출 되는 현상이 나타나는 결과를 볼 수 있었고, 개구율과 공극량의 관계에서 개구율이 클수록 공극량이 작다는 것을 알 수 있었다.

(4) 수화열 측정 실험

모의부재 온도계지 매립위치에 따른 기둥부재의 온도분포는 표 10, 그림 6과 같이 단면 깊이에 따라 다른 온도를 보이고 있다.

표 10. 모의부재 단면 깊이에 따른 수화열 측정결과

구 분	다이아프램 有		다이아프램 無		외기 온도 NO5
	NO1	NO2	NO3	NO4	
단면의 깊이(mm)	200	20	200	20	-
최고온도(℃)	45.7	42.2	44.4	41.6	28.9

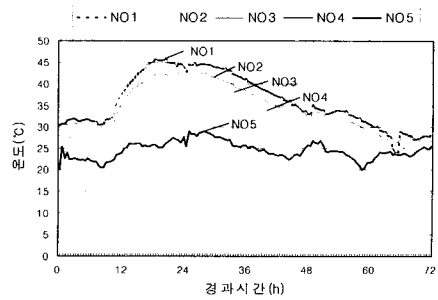


그림 6. 수화열 측정결과

수화온도이력은 측정 결과는 타설 후 약 10~12시간까지는 수화에 의한 온도 상승은 없었고 이후 온도 상승이 약 1.25℃/h의 속도로 상승, 타설 후 약 19시간이 지나면 최고온도에 달하게 된다. 최고 온도는 2~3시간정도 유지되다가 이후 약 0.4℃/h의 속도로 온도가 하강하여 외기 온도와 유사한 온도변화를 보이다가 타설 후 3일 후 외기온도와 같은 온도 경향을 나타냈다. 중심부위의 최고 온도는 다이아프램이 있는 경우와 없는 경우 45.7℃와 44.4℃를 나타내었고 외단부에서는 각각 42.2℃, 41.6℃로서 모의 시험체 별로 약 3.5℃와 2.8℃씩 온도차가 나타났다.

수화열을 측정한결과 다이아프램의 유·무에 관계없이 유사한 온도이력을 나타냈고 모의 시험체 내의 중앙부와 외단부에서는 타설 및 양생기간 동안의 외기온도가 높았던 관계로 외기의 영향을 적게 받아 온도의 차이가 심하게 나타나지 않았다.

(5) 모의부재 코아 공시체 압축강도

본 실험에서는 이러한 부재의 높이별 재료분리 현상을 파악하기 위하여 다이아프램의 개구율이 다른 모의부재에 대하여 높이와 단면에 따른 강도를 코아 공시체를 채취하여 실험하였다. 코아 공시체는 재령 28일이 지난 후 채취하여 압축강도 및 단위용적중량을 측정하였으며, 그 결과를 표 11에 나타내었다.

① 코아공시체 강도와 관리용 공시체의 강도와의 관계
 압축전 및 모의 시험체 타설시 동시에 제작한 관리용 공시체의 양생방법에 따른 공시체의 재령별 압축강도 시험결과는 표 12에 나타내었고 양생재령에 따른 강도변화는 그림 7에 나타내었다.

표 11. 모의부재 다이아프램 개구율에 따른 부위별 코어 압축강도 및 단위용적중량

코어 위치	압축강도(단위:kgf/cm ²)										단위용적중량(단위:t/m ³)									
	개구율 14%		개구율 28%		개구율 49%		개구율 72%		개구율 100%		개구율 14%		개구율 28%		개구율 49%		개구율 72%		개구율 100%	
	중심부	단부	중심부	단부	중심부	단부	중심부	단부	중심부	단부	중심부	단부	중심부	단부	중심부	단부	중심부	단부	중심부	단부
1000~1200	426	421	421	417	419	418	412	415	417	417	2.285	2.284	2.296	2.282	2.285	2.275	2.268	2.259	2.261	2.250
800~1000	431	433	433	435	438	433	438	439	438	434	2.387	2.335	2.381	2.351	2.364	2.325	2.299	2.278	2.270	2.294
600~800	433	429	434	426	436	425	437	438	440	446	2.385	2.338	2.353	2.343	2.384	2.306	2.342	2.351	2.293	2.325
400~600	439	439	438	438	439	437	442	440	454	446	2.378	2.366	2.399	2.379	2.376	2.371	2.321	2.353	2.364	2.33
200~400	447	445	449	442	445	442	450	454	453	458	2.412	2.378	2.389	2.383	2.396	2.388	2.355	2.313	2.372	2.353
0~200	442	444	445	444	437	431	443	457	446	452	2.408	2.382	2.384	2.388	2.390	2.385	2.413	2.345	2.388	2.383

표 12. 관리용 공시체 압축강도 측정결과 (단위:kgf/cm²)

시험	양생조건	압축강도 재령(단위:kgf/cm ²)			
		3일	7일	14일	28일
압송전	실내표준양생	336	398	448	493
압송후	실내표준양생	334	395	447	497
	현장대기양생	322	371	436	466
	현장수중양생	299	381	450	490
	현장밀봉양생	321	383	459	489
	단열양생	324	384	438	453

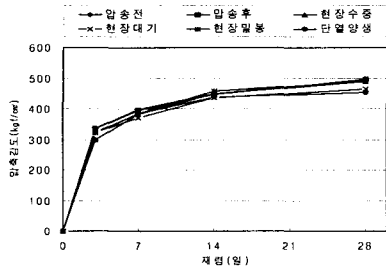


그림 7. 재령별 관리용 공시체 압축강도

압송 전·후에 따른 공시체의 재령28일 압축강도를 보면 압송전, 압송후에 따라 각각 493kgf/cm², 497kgf/cm²의 압축강도를 나타내었다. 압송후가 압송전보다 조금 높게 나타났는데 공기량 손실과 배합수 중의 잉여수나 페이스트 등의 분리로 콘크리트의 점성이 증가하여 강도가 증가된 것으로 판단된다.

양생조건별 공시체의 재령 28일 압축강도를 보면 실내표준양생, 현장대기방치양생, 현장수중양생, 현장밀봉양생, 단열양생에 따라 각각 497kgf/cm², 466kgf/cm², 490kgf/cm², 489kgf/cm², 453kgf/cm²의 압축강도를 나타내는데 모의부재 강도와 비교하여 볼 때 강도관리면에서는 단열양생한 공시체강도가 모의부재 강도와 근사한 값을 나타내고 있는데, 이와 같은 현상은 단열양생한 공시체의 온도와 부재 모델 위치의 온도가 거의 일치하였기 때문으로 해석할 수 있다. 그러므로 정확한 강도를 관리하기 위해서는 초기온도이력과 일치시킨 공시체로 강도를 관리해야 할 것으로 사료된다.

모의부재와 관리용 공시체의 관계에서 현장수중양생의 재령 28일 압축강도가 490kgf/cm²를 나타내고 있는 반면에 모의부재의 재령 28일 압축강도는 420~460kgf/cm²의 발현을 보이고 있어 이러한 현상은 일본건축학회 “고강도 콘크리트 기술현황”에서 기술한 바와 같이 고강도에서는 현장수중양생강도와 부재강도와는 상호 부합되지 않음을 볼 수 있다.

③ 모의부재 다이아프램 개구율에 따른 실험

그림 12, 그림 13, 그림 14, 그림 15는 각각의 모의부재에서 채취한 코아 공시체의 압축강도 및 단위용적중량을 높이별로 모의부재의 다이아프램 개구율에 따라 나타내었다.

각각의 모의부재 중앙부의 압축강도 및 단위용적중량

은 상부에서 하부로 내려갈수록 높게 나타났다.

다이아프램 개구율 72%와 100% 모의부재의 외단부에서는 중앙부와 유사한 경향을 나타냈고 개구율 14%, 28%, 49%에서는 다이아프램 상판 플랜지의 하부인 높이 600~800mm에서 낮게 나타났다.

개구율 14%, 28%, 49%에서는 다이아프램으로 인하여 강도 저하를 나타내고 있으며 개구율 72%에서는 개구율 100%와 유사한 경향을 나타내고 있어서 다이아프램의 영향을 거의 받지 않는다는 결과를 얻을 수 있었다.

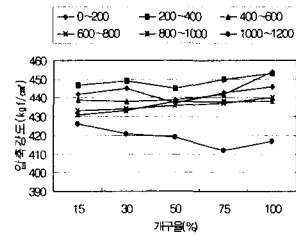


그림 8. 중앙부 압축강도

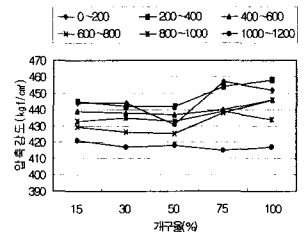


그림 9. 외단부 압축강도

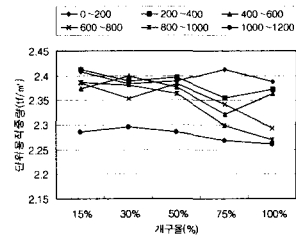


그림 10. 중앙부 단위용적중량

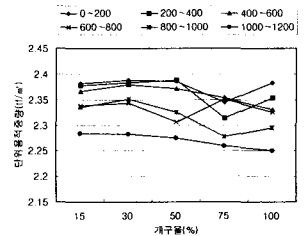


그림 11. 외단부 단위용적중량

② 모의부재 높이에 따른 실험

그림 8, 그림 9, 그림 10, 그림 11은 각각의 모의부재에서 채취한 코아 공시체의 압축강도 및 단위용적중량을 높이에 따라 나타내었다.

각각의 모의부재의 중앙부에서 채취한 코아 공시체의 압축강도와 단위용적중량을 보면 상부에서 하부로 내려갈수록 높게 나타났다. 또한 외단부에서 채취한 코아 공시체의 압축강도와 단위용적중량을 보면 개구율 72%와 100%에서는 상부에서 하부로 내려갈수록 높게 나타났고 개구율 14%, 28%, 49%에서는 높이 600~800mm에서 낮게 나타내고 그 외에는 비슷한 경향을 나타냈다.

이는 전체 모의부재에서 콘크리트 자중에 의한 압밀로 인하여 하부 다이아프램 보다 상부 다이아프램의 하부에서 강도저하가 나타난 것으로 사료된다.

이 결과 실제 CFT 기둥에서는 최상부 다이아프램을 제외하고는 충전성에 전혀 문제가 없다고 보여지며 다이아프램 하부에 발생된 공극이 기둥의 좌굴에 대한 저항 능력에 미치는 영향 등은 구조적으로 검토해 보아야 하겠지만 콘크리트 타설 후 최상부 다이아프램의 외부에서 진동을 주어 다지는 방법으로 공극을 제거하여 콘크리트 강도저하를 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

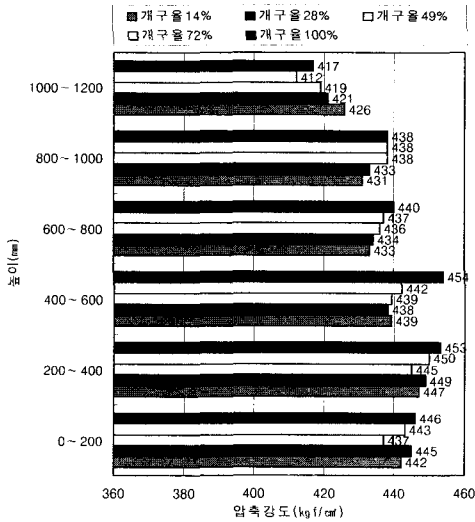


그림 12. 중앙부 압축강도

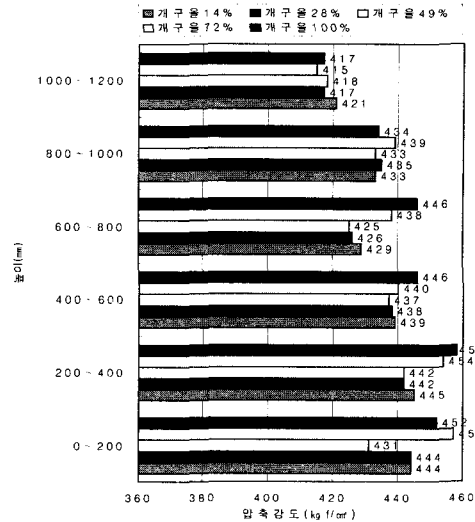


그림 13. 외단부 압축강도

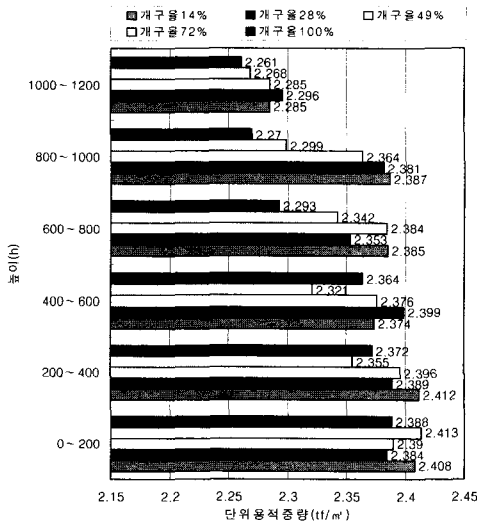


그림 14. 중앙부 단위용적중량

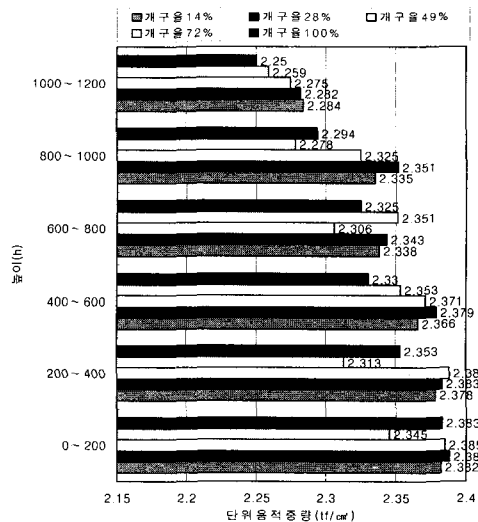


그림 15. 외단부 단위용적중량

5) 모의부재 타설시 제작한 관리용 공시체와 코아 공시체의 압축강도를 비교 해볼 때 단열양생한 공시체가 가장 근사한 압축강도를 나타내고 있다. 6) 코아 공시체의 압축강도와 단위용적중량을 분석한 결과 모의부재 개구율 14%, 28%, 49%의 외단부 다이아프램 상판 플랜지의 하부인 높이 600~800mm에서 낮게 나타났으며 개구율 72%에서는 개구율 100%와 유사한 경향을 나타내고 있어 다이아프램의 영향을 거의 받지 않는 결과를 나타냈다.

향후 CFT구조의 실용화를 위해서는 실물 크기의 시험체를 제작하여 콘크리트 충전법에 따른 콘크리트 품질관리 및 높이별 압축강도와 동절기·하절기 시공시의 수화온도이력 조사, 다이아프램 하부의 침하량과

공극상대 등에 대한 지속적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

4. 결론

- 1) 기초 실험을 통하여 CFT구조에 적합한 고강도 고유동 콘크리트 배합을 도출하고 블리딩량과 침하량을 실험한 결과 목표치를 만족하여 CFT용 콘크리트 배합기준에 적합한 것으로 나타났다.
- 2) 콘크리트 압송전·후의 물성변화는 콘크리트의 고압 압송에 따른 공기량 손실로 인한 공기의 불배어링 작용감소와 잉여수의 손실, 페이스트 분리로 인한 유동성 감소와 점성증가 때문으로 사료된다.
- 3) 충전성 실험 결과 다이아프램의 개구율이 작은 경우와 동일한 개구율에서는 하부 다이아프램보다 상부 다이아프램에서 공극량이 많이 나타났다.
- 4) 수화온도이력 측정결과 다이아프램 유·무와 중앙부·외단부에 대한 온도차이는 거의 나타나지 않았다.

참고문헌

- 1) 콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침, 한국강구조학회, 2001.1
- 2) 日本建築學會: 콘크리트 충전鋼管構造設計施工指針
- 3) 新都市ハウジング協會, CFT構造技術指針·同解説, 1996
- 4) 김주인의 2인, 콘크리트 충전 角形鋼管柱의 耐力에 관한 研究, 대한 건축학회논문집, 제 13권 6호, 1997. 6, pp.243-253
- 5) 석창목의 3인, 콘크리트 충전 角形鋼管 단주의 構造의 舉動에 관한 研究, 대한건축학회논문집, 제 14권 6호, 1998. 6, pp.67-75
- 6) 安藤武彦 外 1人. CFT現在の展開とこれから, 建築の技術- 施工, 1998. 9, pp.28-31
- 7) 依田 和久 外 3人, 鋼管コンクリートの實驗的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1996. 3. pp.175-176
- 8) 大倉眞人 外 11人, CFT柱に用いるコンクリートの沈降量測定方法に關する實驗的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2000. 9. pp.863-864