

# 고강도 콘크리트를 이용한 CFT 기둥의 충전성 연구

## A study on the Packing ability of Concrete Filled in Steel Tube Column by High Strength Concrete

강 용 학\*    조 상 영\*\*    정 근 호\*\*    백 민 수\*\*    김 진 호\*\*\*    정 상 진\*\*\*\*

Kang, Yong Hak    Cho, Sang Young    Jung, Keun Ho    Paik, Min Soo    Kim, Jin Ho    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 tests is performed.

High fluidity and strength concrete which satisfied with mix criteria could apply to building construction field. If it is quality managed with use of packing ability analysis.

---

### 1. 서론

현대 건축물의 구조형식은 크게 철근 콘크리트조, 철골구조, 철골·철근 콘크리트조로 구분할 수 있다. 그러나 최근과 같이 새로운 구조형식을 요구하는 상황에서 가장 각광을 받고 있는 구조형식이 콘크리트 충전강관(Concrete Filled Steel Tube, 이하 CFT 구조라 함)구조이다.

CFT 구조에서 콘크리트의 타설·충전은 강관이 형상, 다이아프램의 형식 및 형상에 따라 콘크리트가 밀실하게 충전되어 소요의 강도와 내구성이 확보되어야 한다. 특히 기둥과 보의 접합부는 콘크리트의 충전성이 확보되어야 충분한 강도와 변형능력을 보장할 수 있다.

CFT 구조 중 내측 다이아프램 형식의 경우에는 콘크리트의 충전을 확실하게 하여야 하고, 또한 다이아프램 밀면에 공극이나 저밀도의 콘크리트가 생기지 않아야 한다. 이를 위해 콘크리트의 분리 저항성 외에 블리딩, 침하량 및 충전성에 대한 사항을 검토하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 CFT 시공에 있어서 강관 내부에 충전되는 콘크리트의 충전성, 유동성, 재료 분리저항성, 압축강도 등을 만족하는 고강도 고유동 콘크리트에 대한 기본적 물성을 조사하고 모의 부재를 통하여 접합부 다이아프램의 유·무 및 개구율에 따른 다이아프램 하부의 콘크리트 충전성 등을 분석함으로써 현장 적용의 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

#### 2.1.1 시멘트

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 <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
구성비 (%)	1.0	21.1	2.9	62.5	3.3	2.2	6.5

표 2 시멘트의 물리적 성질

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

#### 2.1.2 플라이애쉬

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 <sup>3</sup> /g)	비중	압축강도비(%)	SiO <sub>2</sub> (%)	습분(%)
3.9	100	3818	2.20	93	45.4	0.2

#### 2.1.3 골재

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

표 4 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질

	생산지	최대치수(mm)	표건비중	흡수율(%)	단위용적증량 (kg/m <sup>3</sup> )	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

#### 2.1.4 혼화제

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 콘크리트를 현장에 적용하기에 앞서, 필요한 강도와 유동성, 분리저항성 및

충전성 등에 요구되는 품질은 표 6과 같다.

표 6 배합목표치

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

위에서 설정된 배합목표치를 기준으로 실험실 실험을 진행하여 문제점 및 생산성을 판단하고 이를 보완하여 모의부재실험을 실시하기 위해 최종적으로 선정된 계획배합은 표 7과 같다.

표 7 최종배합비

배합명	W/B (%)	S/a (%)	고성능 감수제 (B×%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )					
				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:굵은골재 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 콘크리트 혼화제를 콘크리트 제조시 첨가하였으며 콘크리트의 타설방법은 모의부재 위에서 타설하는 트레미관 법을 사용하였다.

### 2.4 실험방법

#### 2.4.1 굳지않은 콘크리트 실험

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

#### 2.4.2 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.

#### 2.4.3 경화 콘크리트 실험

실험실에서 계획배합으로 제작한 콘크리트 공시체를 통하여 현장적용 여부를 분석·고찰하고자 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)의 시험방법에 따라 압축강도를 측정하였다.

#### 2.4.4 모의 부재 실험

모의부재(Φ300×H900(mm))는 다음과 같이 제작하고 다이아프램의 개구부 크기는 콘크리트 충전강 관구조 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.

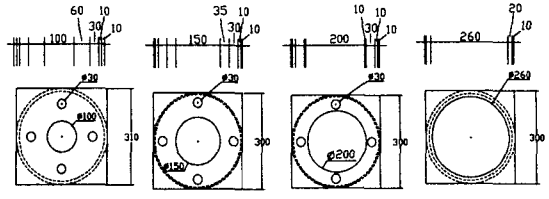
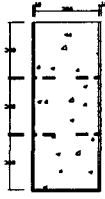
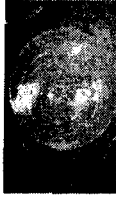


사진 1 투명 아크릴 사진 2 투명 아크릴 그림 1 투명 아크릴 (a) 개구율 11% (b) 개구율 25% (c) 개구율 45% (d) 개구율 75%  
 모의시험체 모의시험체 내부 모의시험체 단면도 그림 2 투명 아크릴 모의시험체 개구율

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실험실 실험

##### 3.1.1 굳지않은 콘크리트 실험

콘크리트의 유동성을 파악하기 위하여 슬럼프, 슬럼프 플로우, L형 슬럼프, L형 플로우, 공기량 등을 측정하여 표 8과 같이 배합목표를 만족하는 결과를 얻어냈다.

표 8 굳지 않은 콘크리트의 물성 실험결과

측정항목	슬럼프 (cm)	슬럼프플로우 (cm)	L형 슬럼프 (cm)	L형 플로우 (cm)	공기량 (%)	
배합 $f_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$	26	68	67	34	79	2.4

##### 3.1.2 블리딩 및 침하량 실험

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 기둥타설에 맞는 콘크리트의 배합목표를 만족한 결과치를 나타냈다.

표 9 블리딩 및 침하량 측정결과

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

##### 3.1.3 경화 콘크리트 실험

콘크리트 압축강도 실험결과 재령 28일 강도가  $519\text{kgf/cm}^2$ 으로 설계기준강도 ( $f_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$ )의 130%로 현장 모의부재에 사용가능한 결과치를 나타내었다.

표 10 압축강도 측정결과

(단위:  $\text{kgf/cm}^2$ )

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

#### 3.2 모의부재 실험

##### 3.2.1 굳지않은 콘크리트 실험

콘크리트의 압송에 따른 물성변화를 파악하기 위해 압송 전·후(펌프 통과 후)의 콘크리트 시료를 채취하여 슬럼프, 슬럼프 플로우, L형 슬럼프, L형 플로우, 공기량 등을 측정하여 표 11과 같은 결과를 얻었다.

표 11 콘크리트 물성 실험 결과

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

이와 같은 결과는 콘크리트가 펌프를 통하여 압송되면서 펌프 내에 콘크리트가 압밀되면서 공기량 손실이 발생하고 공기의 불배어링 작용 감소와 콘크리트 페이스트의 분리 등으로 인해 점성은 더 증가한 반면 유동성은 상대적으로 감소하게 되어 변화가 생긴 것으로 사료된다.

3.2.2 블리딩 및 침하량 실험

블리딩량과 침하량 측정결과는 그림 3과 그림 4 및 표 12에 나타내었고, 블리딩량 측정결과 압송 전 0.12cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, 압송 후 0.09cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, 침하량 측정결과 압송 전 1.92mm, 압송 후 1.64mm의 침하가 나타났다.

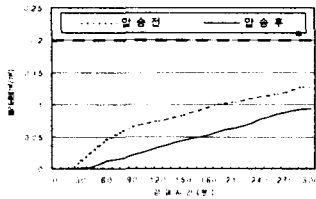


그림 3 경과시간에 따른 블리딩량

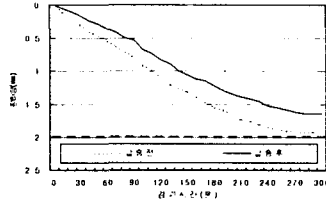


그림 4 경과시간에 따른 콘크리트 상단의 침하량

표 12 블리딩 및 침하량 측정결과

구 분	블리딩량(cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	침하량(mm)
압송전	0.12	1.92
압송후	0.09	1.64

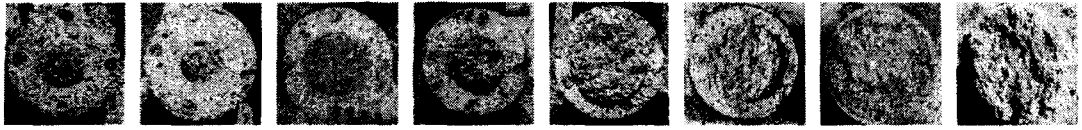
블리딩 및 침하량에서 압송 후가 압송 전 보다 작게 나온 이유는 펌프를 통과하면서 배합수 손실이 발생하면서 압송 후가 압송 전보다 블리딩량이 적게 나타났고 유동성이 양호한 압송 전이 압송 후보다 자중으로 인한 침하량이 크기 때문으로 사료된다.

3.2.3 충전성 실험

모의부재(Φ300×H900mm의 아크릴 제작) 타설 28일 후 다이아프램을 경계로 상부와 하부로 해체하였고, 공극면적의 측정을 위해 방안에 공극 모양을 그려 넣어 면적을 계산하였으며 그 공극상태의 결과를 표 13 및 사진 3에 나타내었다.

표 13 배합별 공극분석

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



(a) 11% 상 (b) 11% 하 (c) 25% 상 (d) 25% 하 (e) 45% 상 (f) 45% 하 (g) 75% 상 (h) 75% 하

사진 3. 모의시험체의 공극형상

다이아프램 개구율 11%에서는 상부와 하부의 다이아프램 아랫부분에서 각각 공극면적에서 60.63, 64.3cm<sup>2</sup>, 평균공극깊이는 0.25, 0.23cm, 공극면적이 전단면적의 8.57, 9.09%로 다른 모의시험체 보다 많은 공극이 나타났다. 이는 다른 모의시험체보다 개구율이 작은 것으로부터 기인된 것으로 작은 개구로는 콘크리트 타설 후 내부 공기의 배출이 힘들다는 것으로 사료된다.

개구율 25%에서는 상부와 하부에서 각각 공극면적에서 44.75, 33.37cm<sup>2</sup>, 평균공극깊이는 0.24, 0.21cm, 공극면적이 전단면적의 6.33, 4.71%로 나타났다.

개구율 45%에서는 상부와 하부에서 각각 공극면적에서 64.55, 48.51cm<sup>2</sup>, 평균공극깊이는 0.31, 0.27cm, 공극면적이 전단면적의 9.13, 6.86%로 개구율 25%보다 더 많은 공극이 나타나고 있는데 이는 트레미관의 타설높이가 높음으로 인하여 밀실한 충전이 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

개구율 75%에서는 상부와 하부에서 각각 공극면적에서 9.75, 5.5cm<sup>2</sup>, 평균공극깊이는 0.23, 0.21cm, 공극면적이 전단면적의 1.37, 0.78%로 거의 공극이 발견되지 않은 상태로 나타났다.

전체 모의시험체에서 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. 결론

이상과 같이 본 실험에 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 실험실 실험을 통하여 얻어진 배합은 압축강도 및 블리딩, 침하량 등을 실험한 결과 목표치를 만족하는 것으로 나타나 CFT용 콘크리트 배합기준에 적합한 것으로 판단된다.
- (2) 콘크리트의 펌프 압송 전·후의 물성변화는 고압압송에 의한 공기량 손실과 잉여수 손실, 페이스트 분리로 인한 유동성이 감소하고 점성이 증가하였기 때문이라 사료된다.
- (3) 충전성 실험 결과 동일한 개구율의 경우 하부 다이아프램 보다 상부 다이아프램이, 서로 다른 개구율의 경우 개구율이 작은 경우가 공극량이 많이 나타났다. 이는 트레미관 법에 있어 콘크리트의 타설 높이를 타설면까지의 거리를 충분히 낮추거나 콘크리트에 트레미관을 매입하여 타설할 경우 공극을 줄일 수 있다고 사료되며 차후 타설 높이 및 타설 방법에 따른 연구가 진행되어야 한다고 사료된다.

#### 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, コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 1997