

실물대 CFT기둥의 제작을 통한 유도관식 낙입타설공법의 충진성 실험

양일승1 · 최현수2* · 정경수3 · 박대곤4

¹부교수, 동신대학교, 건축공학과, ²연구소장, ㈜덕암테크, ³전문연구원, POSCO, ⁴대표이사, ㈜덕암테크

Experimental study of actual scale on concrete placing method for CFT column using guide pipe with side holes

Yang, Il Seung¹, Choi, Hyun Su^{2*}, Chung, Kyung Soo³, Park, Dae Gon⁴

¹Professor, Dept. of Engineering, Dongshin University, Jeollanam-do, 58245, Korea ²Research Director, DukamTech., Jeollanam-do, 57514, Korea ³Principal Researcher, POSCO, Songdo, 21985, Korea ⁴CEO, DukamTech., Jeollanam-do, 57514, Korea

Abstract - In this study, new casting method applying a guiding pipe with side holes for Concrete Filled Tubular column was conducted in order to build a fundamental database in the construction site and secure a reliability of new construction method by using high strength(45MPa) and high flow(600mm) concrete composed by blast furnace slag cement. The experiment conducted in this study is the first attempt by building a specimen in actual construction scale, 15m and 23m CFT columns, for evaluating a concrete mixture segregation, compressive strength of cast concrete and convex displacement of lower part of CFT column with high-position dropping concrete pouring. Through this study, it was possible to confirm the smooth construction without the use of the tremie tube and the structural safety of the CFT column through the application of the casting pipe with holes and the high strength-high flow concrete.

Keywords - CFT Column, Dropping Method, Actual Scale Specimen, High Flow Concrete, Guide Pipe with Holes

1. 서론

CFT 구조는 강관과 콘크리트의 특성을 극대화하여 기존의 S 구조, RC구조, SRC구조와 비교하여 내진성과 내화성 측면에서 도 우수한 성능을 발휘한다^[1]. 또한 CFT기둥은 강관의 구속효과 로 인해 충전 콘크리트의 압축내력 상승과 충전 콘크리트에 의한 강관의 국부좌굴 보강효과에 의하여 부재내력이 상승하고 뛰어 난 변형성능을 발휘한다^{[2],[3]}. 이로 인해 평면과 입면 계획측면에서 자유도가 높고, 기둥단면을 비교적 작게 하여, 큰 면적의 구조물 의 설계를 가능케 하는 구조형식이며, 바람이나 지진과 같은 수평 하중에 대한 허용범위 내에서 부재강도와 변형을 유지할 수 있는

*Corresponding author.

Tel. +82-61-330-3129 Fax. +82-61-330-3120 E-mail. yang1698@dsu.ac.kr 구조형식으로 고축력 및 고연성의 기둥 설계와 시공에서 그 수요 가높아지고 있다^{[4],[5]}. 또한 시공시 강관은 거푸집 역할을 함으로 기둥부재의 철근 및 거푸집공사가 배제되어 인건비의 절감 및 시 공공정 측면에서의 공기단축이 가능한 장점을 가지고 있다^{[6]-[8]}. 일반적으로 CFT 기둥에 작용하는 축하중의 대부분을 콘크리 트가 부담하게 되므로 CFT기둥의 장점을 극대화하기 위해서는 보 통강도 콘크리트보다 고탄성의 고강도 콘크리트를 사용하는 것이 유리하다^[9]. 또한, 강재량 절감을 통해 비용절감을 도모함에 있어 서도 고강도의 콘크리트의 적용이 보편화되고 있으며, 이를 통해 기둥의 단면치수를 감소시키는 적용사례가 증가하고 있다^[10]. 이와 더불어 콘크리트 강도 및 성질을 고려하여 시공성 측면에서는 기 둥의 콘크리트 다짐이 불가능하기 때문에 슬럼프플로우 600mm 급의 고유동 콘크리트의 적용이 요구되는 실정이다^[9].

최근에 들어 콘크리트 품질관리에 관한 연구가 활발하게 이루 어지고 있으며, 특히 2000년대 중반부터는 고강도 콘크리트의 부 어넣기 방법에 따른 강도특성 등에 대한 CFT 충전콘크리트와 관 련된 연구사례가 증가하고 있다^[11].

CFT기둥의 콘크리트의 충전공법으로는 기둥각부에 압입구 및

Note.-Discussion open until June 30, 2019. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on July 02, 2018; revised September 27, 2018; approved on October 24, 2018. Copyright © 2018 by Korean Society of Steel Construction

압출 펌프를 설치하여 기둥 하단부터 콘크리트를 압입하여 충전하 는 공법이 일반적이다. 압입공법에서는 시공성이 좋은 고유동 콘크 리트를 사용하지만, 분리저항성을 높이기 위하여 단위시멘트량 이 과다하게 되어 불가피하게 점성이 증가하고 이에 따라 펌프 압송 에부하가 작용하여 CFT내부의 충전성에 문제가 발생하기 쉬워진 다^[12]. 이에 따라 압입방식의 경우설계기준강도를 크게 상회하는 호칭강도로 시공하는 경우가 많다^[13]. 이와 관련된 실제현장 적용 사례 분석사례로 Kojima(2006)^[14]는 하부압입방식 CFT시공특성 을 고려하여 콘크리트 압입펌프의 압송성과 압입시공성의 확보 를 위해 설계압축강도 100MPa급의 초고강도 콘크리트를 사용하 여 지상 100m높이까지의 압입시공을 실시하여 성공한 바 있다. 또한, Iwashimizu(1997)^[15]는 Fc=800kgf/መ급의 초고강도 콘 크리트를 적용한 CFT강관시공현장을 대상으로 지상고 40~60m까 지의 압입시공현장을 대상으로 충전공법의 적용 가능성 및 콘크리 트 압축강도를 평가하였고, 이론상 Fc=600kgf/cm 급의 콘크리트 로 135m까지의 압입시공이 가능한 것으로 전망하고 있다.

그러나 이처럼 CFT구조 기둥에 적용되는 압입공법은 기둥 하 단에 압입구의 개설을 필요로 하는 등 특수가공이 요구되므로 제 작성 및 경제적 측면에서 부차적인 비용증가가 발생한다. 또한 시 공조건에 따라서는 수평을 동시에 타설하지 못하고 일반적으로 콘크리트버킷이 도입되므로 양중기를 구속하는 등의 공정과정과 코스트가 요구되므로 시공성 측면에서의 단점을 갖는다^{[16,[17]}.

이와 같은 배경에서 외국에서는 펌프압송을 통해 CFT 상부에서 직접 콘크리트를 타설하는 공법을 고안하여 양중기의 구속이 없는 자유낙하공법의 실용화연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 일본에 서는 실제규모의 CFT 내부에 반원형 유도관을 설치하여 유도관의 형상 및 개구부의 직경, 간격에 따라 콘크리트 타설의 유효성을 확 인하였고^[18], Umemoto et al.(2005)^[19]은 CFT 기둥의 시공성 및 고강도콘크리트의 충전성, 품질상태를 확인하기 위해 압입방식과 자유낙하방식에 따라 실대규모의 CFT실험체를 각각 제작하여 두 가지 시공법의 적용에 따른 콘크리트의 품질 및 성능을 비교하였 고, 낙입충전방식의 충전성과 품질의 안정성을 검증하였다.

또한, Umemoto et al. (2009)^[12]는 CFT 내부의 다이아프램의 개구부 형상과 개수, 위치에 따라 4 가지 종류의 실제기둥 실험체 를 제작하고 낙입충전방식의 안정적인 시공성을 검증한 바 있다. 이처럼 해외에서는 실험연구 등을 통해 낙입방식의 충전공법에 대한 실효성 및 경제성에 대한 검증이 다양하게 이루어지고 있고, 특히 일본에서는 이에 대한 실용화가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 아직까지 국내에서는 실대규모의 실험체를 제작하여 내 부삽입강관 및 다이아프램의 형상에 따라 CFT기둥의 콘크리트 타설 관련 유효성을 검증한 연구는 이루어진 바가 없다. 특히 20m 를 상회하는 실대 크기의 CFT기둥을 제작하여 시공성과 강관 내 부에 충전되는 고유동 콘크리트 성능평가, 그리고 콘크리트 자유 낙하에 따른 발생압력으로 발생하는 기둥부의 변위를 측정하여 CFT의 구조적 안전성 등을 평기한 실험연구는 이루어진 사례가 없 는 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 건축환경이 국내와 유사한 일본의 사 례를 토대로 신도시하우징협회에서 발간한 「CFT 구조기술지침· 동해설」^[20]에서 제시하는 지침을 적용하여 CFT 기둥의 시공성 개 선, 구조적 안전성 확보를 위해 현장에서 적용 가능한 변수를 설정 하여 Mock-up실험을 진행하였다.

또한 본 연구에서는 압입방식과는 시공방법을 달리하는 낙입 충전공법을 적용하되, 각형강관 내부에 일정간격으로 측면에 타 설 홀을 가진 파형강관을 설치한 실제 시공규모의 실험체를 구축 하고자 한다. 이와 더불어 고강도 고유동 콘크리트를 낙입방식으 로 타설하고 지금까지 시도된 바 없는 실대규모 CFT기둥의 콘크 리트 충전성능 및 타설압력으로 인한 기둥각부의 배불림 변위 등 을 평가하여 본 공법적용에 대한 실효성을 검증하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 15m, 23m 급의 실제 시공사이즈의 CFT각형 기둥을 제작하고, 내부에 파형형상의 내부강관을 설치하여 낙입 방식으로 고유동 콘크리트를 주입하였다. 또한 기둥 하단부에서 콘크리트 재료의 재료분리 발생여부와 콘크리트의 압축강도 등 의 제반 콘크리트 품질과 설계성능을 검토하였다.

2.1 실험체

각형강관은 □-550x550mm, t=16mm의 규격으로 설계하 였고, 22.8m (3절주방식) 기둥과 14.5m (2절주방식) 기둥의 두 가지 유형으로 제작하였다. 각 절주가 접합되는 부위에는 내부에 510×630mm, t=12mm 규격의 다이아프램을 세로로 설치하였 다. 이는 본 실험연구의 범위에는 고려되지 않았지만 실제 시공현 장에서 설치될 기둥-보의 접합부의 보강기법으로, 내다이아프램 의 설치가 본 연구에서 검증하고자 하는 콘크리트의 충전효과에 미치는 영향을 파악하기 위한 장치이다. 강관과 다이아프램에는 SM490A 강재를 사용하였다(Fig. 2.).

CFT기둥 내부에는 콘크리트 타설을 위한 트레미관 역할의 0.8t의 유도관을 설치하였다. 이는 관경 200mm의 원형단면을 갖는 것으로 좌우 교대방식으로 1,000mm간격의 측면개구부를 갖는다(개구부 직경= 150mm).

충전용 콘크리트는 45MPa급의 고유동 콘크리트를 사용하였

다. 실험체의 제원은 Table 1과 같다. Fig. 1.에는 실험체의 형상 및 치수를 나타내고 있다.



Table 1. Schedule of experiments

| | Outer Tube | | Guide Pipe with Hole | | | |
|----------|-------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------|----------------|
| Specimen | о. <i>с</i> | Height (mm) | Section (mm) | Opening Part | | |
| | (mm) | | | Dia. (mm) | Spacing (mm) | Number (ea) |
| CFT-15 | 550×550 | 14,475 | $\alpha 200 \sim 0.8$ | Ø150 | 1,000 | 14 |
| CFT-23 | ×16 | 22,875 | ©200x0.8 | | | 23 |



Fig. 2. Shape of inter diaphragm

2.2 내부에 흘을 가진 유도관을 설치한 CFT기둥의 제작

Fig. 3.은 내부 유도관을 갖는 CFT기둥의 제작과정을 나타내 고 있다. 강관내 다이아프램은 22.8m 3절주 기둥과 14.5m 2절 주기둥에 있어서 각각 8.5m, 16.9m 위치에 설치하였다(Fig. 2.). 이는 기둥-보의 패널부 내부에 설치한 다이아프램이 자유낙하방 식의 콘크리트의 충전에 미치는 영향을 파악하기 위한 것으로 구

조적 성능에 대한 검토는 본 연구에서는 다루지 않는다.



Fig. 3. Fabrication of CFT Column with Guide Pipe

한편, 기둥내부에 설치한 홀을 갖는 유도관으로 관경 200mm에 150mm 홀을 좌우 교대로 1,000mm 간격으로 강관면의 측면에 두도록 하였다.

또한, 강관 내부에 3m 간격으로 한 면에 두 본의 철근을 관통하 여 설치함으로써, 강성이 낮은 유도관을 내부에서 고정하였다. 이는 고압의 고유동성 콘크리트를 상부에서 주입할 경우, 유도관이 강 관내부에서 주입충격으로 고정위치에서 이탈하는 것을 방지하도 록 하였다.

2.3 CFT기둥의 설치

베이스플레이트는 PL-900×900mm, 두께 25mm를 이용하여 콘크리트바닥에 각 기둥별로 16개의 케미컬 앵커를 설치하여 콘크 리트 바닥과 강관기둥을 고정하였다. 콘크리트는 펌프카를 활용하 여기둥의 상부에서 내부 유도관으로 직접 주입하였다. Fig. 4.는 강 관기둥 설치 및 콘크리트 타설 과정을 순서에 따라 보여주고 있다.



Fig. 4. Column Installation and Concrete Pouring

2.4 강관내 콘크리트 타설 및 계측

고유동 콘크리트에서 품질기준으로 슬럼프 플로우를 600mm 로 설계 하였으며, 타설높이 14.5m와 22.8m의 □-550x550x 16mm의 단면크기의 강관내부에 1회 콘크리트 타설시 강관의 변 형/배불림과 타설후 강관내 콘크리트의 충전상황을 평가하였다. 콘크리트 타설방법으로 내부 유도관에 펌프카 호스를 근입하여 콘 크리트를 부어 유도관의 홀에서 빠져나와 각형강관내부 전체로 콘 크리트가 충전하는 것으로 하였다. 콘크리트 타설속도는 각형강관 내 충전이 1m/분으로 설정하였다. 콘크리트 충전에 따른 측압에 의한 각형강관의 변형을 측정하고자, 각형강관 베이스플레이트로 부터높이 60cm 및 240cm 위치 (각형강관폭의 1배와 4배)에총 8개의 스트레인게이지를 부착하여 각형강관의 면과 모서리부의 변형도를 측정하였다. 또한, 각형강관의 횡변위는 베이스플레이 트로 부터 50cm위치 단면에 LVDT를 각각 2개씩 설치하여 측정 하였으며, 콘크리트 타설 시점으로 부터 5시간 (스트레인게이지 및 변위계 값이 거의 변동이 없는 시점)에 걸쳐 변위를 계측하였다. 계측에 따른 스트레인게이지와 변위계 위치는 Fig. 5.와 같다.



[Strain Measurement] [Displacement Measurment]

Fig. 5. Installation of LVDT & strain gauge

2.5 재료 시험

2.5.1 콘크리트

본 연구에서는 콘크리트의 다짐작업을 하지 않아도 시공성을 확 보할 수 있도록 고유동 콘크리트로 슬럼프 플로우 600mm, 호칭

328 한국강구조학회 논문집 제30권 제6호(통권 제157호) 2018년 12월

강도 45MPa, 최대 굵은골재 25mm의 콘크리트를 사용하였다. 실 험에 사용된 콘크리트의 설계강도 및 배합설계의 내역은 Table 2 와같다. 고유동 콘크리트의 배합설계 후, 실내실험을 통하여 공기 량과 슬럼프 플로우 및 점성을 육안 판단하여 오류를 개선하고 최 종적으로 배처플랜트에서 생산하였다. 고유동 콘크리트의 공기량 과 슬럼프플로우로 굳지 않은 콘크리트의 성질을 평가하였다. 슬 럼프 플로우 시험은 KS F 2402 (포틀랜드시멘트 콘크리트의 슬럼 프 시험방법)의 슬럼프 시험 후 슬럼프 평판에 내려앉아 퍼진 콘크 리트의 최대 지름과 직교하는 두 지점의 지름을 측정하여 두 값의 평균으로 하였고, 콘크리트 경화 후 압축강도는 KS F 2405에 따 라서 Ø 100mm×200mm의 원통형 공시체를 제작해 표준양생후 28일 시점에서 측정하였다. 콘크리트의 시험결과는 슬럼프플로우, 공기량 및 압축강도는 Table 3, Fig. 6.(좌)과 같다. 현장 슬럼프 플 로우시험에서 슬럼프 플로우는 640mm로 나타났으나, 재료분리 저항성에서는 굵은 골재가 중앙에 조금 치우치는 경향이 나타났다.

 Table 2. Concrete components

| Fck | W/B | S/a | weight per unit volume(kg/m ³) | | | | |
|-------|------|------|--|-----|-----|-----|------|
| (MPa) | (%) | (%) | W | C | S | G | AD |
| 45 | 29.8 | 43.0 | 173 | 580 | 663 | 892 | 6.38 |

Note) Fck : design strength, W/B: water-binder ratio,

S/a: sand to aggregate ratio, W: water, C: cement, S: sand, G: gravel, AD: admixture

Table 3. Result of concrete test

| slump flow(mm) | air volume(%) | compressive strength(MPa) | |
|----------------|---------------|---------------------------|--|
| 640 | 3.9 | 52.8 | |





Slump Flow : 640mm Discharge hole : O-150@1000 Fig. 6. Result of slump flow test

2.5.2 강재

실험체에 사용된 강재의 기계적 특성을 파악하기 위하여 인장 시험을 실시하였다. CFT 기둥 본체는 16mm 두께의 강판 (SM490A)을 적용하고 있으며, 내부에는 콘크리트 타설을 유도 하기 위하여 0.8mm(SGHC)의 아연도금된 유도관을 설치하였 다. 강재의 기계적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4. Properties of steel

| thickness (mm) | elongation (%) | yield strength (MPa) | tensile strength (MPa) | steel grade |
|-------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------|
| 16 | 23 | 354 | 533 | SM490A |
| 0.8 | - | 206 | 275 | SGHC |

3. 실험결과 및 분석

3.1 콘크리트의 충전상황

Fig. 7.에 나타낸 것과 같이 강관 내 콘크리트 타설 후 강관내 콘크리트 충전상태를 파악하기 위하여 재령 28일이 되는 시점에 CFT 실험체를 3개 지점을 설정하여 하층부(B.P+ 550mm), 중 앙부(B.P+9,100mm), 상층부(B.P+17,650mm) 단면에 대해서 CFT기둥의 강판과 내부의 콘크리트를 건설자재 전용 절단장비 를 사용하여 절단하였다. 또한, 각 절단단면에 있어서 강관튜브 와 배출관 위치에서 코어 공시체를 채취하였다. Fig. 8.에서 나타 낸 바와 같이, 모든 절단단면에서 콘크리트 주입용 강관내부와 배 출홀에서 밀실하게 콘크리트가 충전되었음을 알 수 있었다. 보다 정량적인 파악을 위해 컴퓨터 그래픽 소프트웨어를 통해 굵은 골 재의 단면내의 분포를 평가하였고, 그 결과는 Table 5과 Fig. 9. 에서 나타낸 바와 같다. 여기서, 굵은골재 분포도는 전체단면적 에서 6mm이상의 굵은 골재가 차지하는 면적으로 정의하였다.





(b) CFT-23

Fig. 8. Concrete filling status in each sections

| Smaaimaan | Section | Aggregate distribution ratio(%) | | | |
|-----------|---------|---------------------------------|--------------|--|--|
| specifien | Section | Steel Tube | Guiding Pipe | | |
| CFT-15 | А | 35.5 | 37.5 | | |
| | В | 32.5 | 33.3 | | |
| CFT-23 | С | 48.0 | 44.4 | | |
| | D | 44.0 | 44.6 | | |
| | Е | 28.0 | 28.7 | | |

Table 5. Aggregate ratio in each section' core sampling

위치별로 굵은골재의 분포는 하층부와 중앙부에서 굵은골재 분포가 거의 유사하게 나타났지만, CFT기둥 상층부로 갈수록 굵 은 골재분포가 낮게 나타남을 알 수 있다. 이는, 슬럼프 플로우 시 험에서 육안으로 확인한 결과, 재료분리저항이 낮고 굵은 골재의 크기가 25mm로 컸기 때문이라 판단된다.

| Specimen | Section | Steel tube | Guiding Pipe |
|----------|---------|--|---|
| CFT-15 | A | Constant of the second se | |
| | В | AND B CONTRACT | |
| CFT-23 | С | 8666 | And |
| | D | | |
| | Е | | |

Fig. 9. Aggregate Distribution in Core Sampling

한편, 위치별 강관내부의 표면곰보/표면기포(콘크리트 내부 에 공기가 노출면에 남아 있어서 생기는 구멍현상)현상은 절단위 치에 따른 차이가 크게 나타나지 않았다.

3.2 측압에 따른 강관의 변형

CFT기둥에 타설되는 콘크리트가 균일하면서 충실히 충전되어 내화성능, 소요강도 및 내구성이 얻어지도록 타설하도록 되어 있 다. 또한, 일본 콘크리트충전 강관구조 설계시공지침^[1]에 따르면 콘크리트의 1회 타설가능 높이는 강관의 배불림과 변형률을 고려 하여 식(1), 식(2)로 산정한 값 중에 작은 값으로 하도록 되어 있다.

[강관변형 제한]

$$D_{s} \leq 600mm$$
의 경우
 $h \leq \frac{0.16E}{\gamma \cdot \left(\frac{D_{s}}{t}\right)^{3}} \times 10^{3} \times \alpha$ (1-1)

 $D_{\rm s} > 600 mm$ 의 경우

$$h \leq \frac{9.6E}{\gamma \cdot \left(\frac{D_s}{t}\right)^3 \times D_s} \times 10^3 \times \alpha \tag{1-2}$$

[변형률 제한]

$$h \le \frac{2F_y}{\gamma \cdot (D_s/t)^2} \times 10^3 \times \alpha(m)$$
⁽²⁾

여기서,

h : 타설높이(m) E : 강관의 탄성계수(N/mm²) Fy : 강관의 항복강도(N/mm²) Ds : 강관의 외경(cm) t : 강관의 판두께(cm) γ : 콘크리트의 단위중량(kN/m³=24kN/m³) α : 다이아프램 통과시 유동저항 저감계수(0.8~1.0)

Fig. 10.에서는 콘크리트 타설압력에 따른 강관의 하부변형을 나타내고 있다. 콘크리트 타설에 따른 압력으로 인하여 강관의 하 부에 변형이 발생하였으며, 콘크리트타설이 종료시점에서 최대 의 변형률과 강관배불림 변위가 발생함을 확인할 수 있다. 약 23m에 이르는 타설 높이에서 완전 액상상태로 가정한 콘크리트 로 인해 발생한 강관 내부의 측압과 양단고정으로 산정한 이론값 보다 변위는 21%, 변형률은 31~47%정도 낮은 값을 나타내었다 (Table. 6).

한편, 콘크리트 타설이 종료 후 시간이 지남에 따라 강관의 변 위와 변형률은 감소하여 타설후 5시간 후에는 안정화 되었으며, 안정화된 시점에서 변위와 변형률은 이론값 대비 약 56%, 52~89% 정도 낮게 나타났다. 즉, 타설 후 5시간 경과된 시점에서 강관의 배불림과 변형률이 50%정도 회복되어 영구변형 범위에 들었다 는 것을 나타내는 결과로 볼 수 있다. 이론값과 실측값의 이와 같 은 차이는 CFT내부에 설치한 유도관 파일을 통한 타설방식에서 그 원인을 찾을 수 있다. 일본 콘크리트충전강관구조 설계시공지 침에서 제시하는 변형률 식은 CFT 각관의 기계적/물리적 성질을 통해 변형률을 산정하고 있지만, 본 연구는 CFT내부에 콘크리트 유도관을 설치하여 충전콘크리트의 많은 부분이 유도관을 흘러 내려가는 구조를 가지고 있으므로, 이에 따른 유동저감효과와 콘 크리트의 위치에너지의 감소, CFT각부의 콘크리트 확산으로 인 한 압력상승을 유도관이 제어하는 등의 물리적 특징이 작용하여 CFT각부의 내부압력이 저감된 것으로 판단된다.



Fig. 10. Deformation of Steel Tube by Concrete Pouring

| | | Displacen | nent (mm) | | | |
|----------------|----------|-----------|------------------|--------|--------|--|
| Pouring Finish | | | At 300 mins | | | |
| Actual | Theory | Ratio | Actual Theory Ra | | | |
| 1.483 | 1.870 | -20.7% | 0.813 | 1.870 | -56.3% | |
| | | Strair | n (<i>µ</i> m) | | | |
| | | Pouring | g Finish | | | |
| | Corner | | | Center | | |
| Actual | Theory | Ratio | Actual Theory Ra | | | |
| -778.5 | -1,132.4 | -31.2% | 422.62 | 791.30 | -46.6% | |
| | | At 30 | 0 mins | | | |
| | Corner | | | Center | | |
| Actual | Theory | Ratio | Actual Theory Ra | | | |
| -534.8 | -1,132.3 | -52.8% | 84.05 | 791.30 | -89.4% | |

Table 6. Displacement and Strain

다만 이에 대한 원인분석을 위해 보다 정밀한 측정기기의 도입 이 필요할 것으로 판단되며, 내부 유도관의 기계적 성질의 차이에 따른 구조적거동 분석 또한 필요할 것이다.

3.3 강관 내부 콘크리트의 압축강도

유도관식 자유낙하공법에 의해 강관내 충전한 콘크리트 강도 의 분포상황을 확인하기 위하여 재령 28일에 실험체의 하층부 (B.P+550mm), 중앙부(B.P+9,100mm), 상층부(B.P+17,650mm) 에서 단면을 절단한 후 Fig. 7 .및 Fig. 11.에서와 같이 유도관 내 부에서 1개 공시체와 유도관 외부에서 코어 공시체 2개씩을 채취 하였다. 각 절단위치에서 채취한 샘플코어의 압축강도는 Table 7 에서 나타내고 있으며, Fig. 12.에서는 CFT기둥에서 각 절단면 별로 채취한 공시체의 압축강도와 재령 28일 동안의 표준양생에 따른 공시체의 압축강도를 비교하고 있다. Table 7 및 Fig. 12.를 살펴보면, 절단면에 따라 유도관 내에서 채취한 샘플코어의 압축 강도는 강관기둥 내부의 콘크리트 압축강도와 49.5~54.5MPa 의 범위에서비교적 유사하게 나타났고, 유의미한 차이는 보이지 않았다. 또한 각 접합부 내부에 설치한 내다이아프램에 의한 타설 간섭효과는 미미한 것으로 판단된다.



Fig. 11. Location of Core Sampling

| | | Compressive Strength(MPa) | | | | | |
|----------|---------|---------------------------|-----------|---------|------|--|--|
| Specimen | Section | Guiding Pipe | Steel Tub | Average | | | |
| CFT-15 | А | 54.5 | 53.8 | 55.3 | 54.5 | | |
| | В | 51.0 | 53.0 | 49.8 | 51.3 | | |
| CFT-23 | С | 55.0 | 54.6 | 53.7 | 54.4 | | |
| | D | 52.1 | 52.8 | 51.3 | 52.1 | | |
| | Е | 49.7 | 49.1 | 49.8 | 49.5 | | |

Table 7. Compressive strength of core sampling

다만, CFT기둥 하부에서 상부로 올라 갈수록(절단면 A→E) 압 축강도가 5MPa정도 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 콘크리 트 자중에 따른 다짐효과의 차이와 슬럼프 등의 발생으로 인하여 샘플코어의 채취 위치에 따라 콘크리트 골재밀도에 차이가 발생 한 것으로 원인을 찾을 수 있다. 그러나 절단 위치별로 채취한 코어

샘플의 모든 압축강도가 49.1~ 55.3MPa로 설계강도 45MPa를 초과하는 것을 알 수 있다. 이에 대한 원인파악을 위해서는 추가 적 연구가 필요하지만, 운반시간이 길고, CFT 충전속도가 1m/ 분으로 비교적 느리게 진행된 점 등 운반과 타설과정에서의 시간 적 요인을 원인으로 볼 수 있다.



Fig. 12. Compressive Strength of Core Sampling

4. 결 론

본 연구에서는 강관내 콘크리트 타설방법으로 하부압입이나

호퍼 및 트레미관을 사용한 상부타설방법과 다르게 시공성을 향 상시키기 위한 방법으로 펌프압송에 의한 콘크리트를 직접 타설 하는 유도관식 타설공법을 고안하였다. 그리고 실제 현장에서의 적용가능성과 충진성능을 검증하기 위하여 실물크기의 강관기둥 에 고유동 콘크리트를 직접 타설하여 강관하부의 배불림 효과 및 콘크리트의 충전성을 확인하는 시공시험을 수행하였으며, 그 결 과는 다음과 같다.

1) 유도관에 개구부 직경을 Ø150mm, 간격 1,000mm로 한 15.4m와 22.8m의 실물규모의 시공실험에서 시험체 절단면을 관찰한 결과, 유도관내외 콘크리트의 충전상황(골재분포 및 압축 강도)이 거의 일치하였다.

2) 콘크리트 타설에 따라 강관의 변형이 발생하였으며, 콘크리 트타설 종료시점에서 최대의 변형률과 강관배불림 변위가 발생 하였다. 타설높이에 따른 완전 액상상태인 콘크리트로 가정한 측 압에 대해서 산정한 계산 값보다 변위는 21%, 변형률은 31~47% 정도 낮은 값을 나타내었다.

3) 콘크리트 타설 후 강관의 변위와 변형률은 감소하여 타설후 5시간 후에는 안정화가 되었으며, 그 시점에서 변위와 변형률은 계산값보다 56%, 52~89%정도 낮게 나왔다. 즉, 타설 후 5시간 경과된 시점에서는 강관의 배불림과 변형률이 50%정도 회복됨 을 알 수 있다.

4) 위치별 강관내 콘크리트 코아채취하여 압축강도 실험결과, 현장 슬럼프플로우 시험에서 육안을 보이는 재료분리 현상이 있 는 콘크리트를 충전함에 따른 상층부 코어의 압축강도가 하층부 나 중간부의 압축강도보다 5~6%정도 낮은 값은 나타났지만, 설 계기준 강도(f_{ck}=45MPa)보다는 높게 나타났다.

본 연구에서는 CFT기둥 타설시 배합기준을 만족하는 결과를 갖는 고강도 고유동 콘크리트(f_{ck}=45MPa)를 CFT기둥 내부에 설 치한 홀을 갖는 파형강관 설치를 통해 CFT 압송방식이 아닌 직접 타설 방식으로 현장 적용가능성을 살펴 보았다. 그 결과, 이론상의 배합설계강도를 상회하는 콘크리트 압축강도의 발현, 안정된 골재 밀도의 재료분리정도, 그리고 타설압력에 따른 강관의 배불림변위 발생 등 안정된 범위에서 각 지표값을 확인하는 것이 가능하였다.

향후 다양한 시공현장 적용사례 구축을 통해 기둥 높이 및 적 용 콘크리트설계강도에 따른 시공안전성의 평가, 그리고 콘크리 트 충전공법에 따른 콘크리트 품질관리 및 높이별 압축강도와 동 절기-하절기 수화온도이력 조사, 다이아프램 하부의 침하량과 공 극상태 등 본 연구에서 다루지 못한 구조적 특성을 파악하는 비교 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌(References)

[1] 日本建築学会(1997) コンクリート充填鋼管構造設計施工指計, 日本建築学会,日本.

Architectural Institute of Japan (1997) *Recommendations* for Design and Construction of Concrete Filled Steel Tubular Structures, AIJ, Japan (in Japanese).

- [2] 김주인, 서정환, 양영성(1998) 콘크리트 충전 각형강관주의 내력에 관한 연구, 대한건축학회논문집 - 구조계, 대한건축학 회, 제14권, 제6호, pp.67-75. Kim, J.I., Seo, J.H., and Yang, Y.S. (1998) A Study on the Strength of Concrete Filled Steel Square Tubular Columns, *Journal of the Architectural Institute of Korea – Structure* & Construction, AIK, Vol.14, No.6, pp.67-75 (in Korean).
- [3] 석창목, 박정민, 김화중, 권영환(1998) 콘크리트 충전 각형 강 관 단주의 구조적 거동에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제 13권, 제6호, pp.243-252.
 Suk, C.-M., Park, J.-M., Kim, W.-J., and Kyun, Y.-H. (1998) A Study on Structural Behavior for Concrete Filled Square Steel Tube Columns, *Journal of the Architectural Institute* of Korea, AIK, Vol.13, No.6, pp.243-252 (in Korean).
- [4] 김창률(2012) CFT 충전용 초고강도 콘크리트의 Mock-up 실 험에 관한 연구, 석사학위논문, 단국대학교. Kim, C.-Y. (2012) An Experimental Study on the Properties Based on Mock-up Test of Ultra Hight-Strength Concrete for Concrete Filled Steel Tube (CFT), Master's Thesis, Dankook University, Korea (in Korean).
- [5] 조영남(2001) 콘크리트 충전 원형강관 부재 내력에 관한 실험 적 연구, 석사학위논문, 조선대학교.
 Cho, Y.-N. (2001) An Experimental Study on the Strength of Concrete-Filled Circular Pipe Members, Master's Thesis, Chosun University, Korea (in Korean).
- [6] 김규석(2000) 국내 CFT구조의 현황과 전망, 콘크리트 충전 강관 구조 초청 기술 세미나, 한국강구조학회, pp.2-14.
 Kim, K.-S. (2000) The Progress and Prospect of Domestic CFT Structure, *Proceedings of Invited Tech Seminar on CFT*, KSSC, pp.2-14 (in Korean).
- [7] 김선희, 염경수, 최성모(2013) 내부앵커형 콘크리트 충전 기 등의 내력 및 변형능력에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제4호, pp.347-357.
 Kim, S.H., Yom, K.S., and Choi, S.M. (2013) A Study on the Load Carrying Capacity and Deformation Capacity of the Internal Anchors Welded Cold Formed Concrete Filled Columns, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.4, pp.347-357 (in Korean).
- [8] 임성우, 최광, 장인화(2004) 건축구조용 냉간성형 강관의 가

공성능평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제16권, 제1호, pp.33-42.

Im, S.W., Choi, K., and Chang, I.H. (2004) Evaluation of Forming Performance of Cold Rolled Steel Pipes & Tubes for Building Structure, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.16, No.1, pp.33-42 (in Korean).

[9] 依田和久,今西信晶,鈴木宏一,淺岡茂(2010) コンクリート充填 鋼管造用高強度充填コンクリートの強度補正値の検討,日本建築 学会学術講演便概集 A-1 材料施工,日本建築学会学,日本,pp. 801-802.

Yoda, K., Imanishi, N., Suzuki, K., and Asaoka, S. (2010) An Examination of Calibrated Strength Value of High Strength Concrete for CFT, *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, A-1: Materials and Construction*, AIJ, Japan, pp.801-802 (in Japanese).

- [10] 김규동, 김한준, 손유신, 이승훈(2003) 무다짐 콘크리트를 이 용한 높이 40m CFT 기둥의 시공, 한국콘크리트학회 2003년 도 봄 학술대회 논문집, 한국콘크리트학회, pp.1023-1028.
 Kim, G.D., Kim, H.J., Sohn, Y.S., and Lee, S.H. (2003) Practical Use of Self Compacting Concrete to be Filled Inside the Steel Tube Columns, *Proceedings of Annual Spring Conference of Korea Concrete Institute*, KCI, pp. 1023-1028 (in Korean).
- [11] 홍석범, 김우재, 박희곤, 서일, 이재삼(2010) CFT 구조용 초고 강도 콘크리트의 수화열 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리 트학회 가을 학술대회 논문집, 한국콘크리트학회, pp.29-30. Hong, S.B., Kim, W.J., Park, H.G., Seo, I., and Lee, J.S. (2010) An Experimental Study on the Hydration Heat of the High Strength Concrete for CFT, *Proceedings of Annual Spring Conference of Korea Concrete Institute*, KCI, pp.29-30 (in Korean).
- [12] 梅本宗宏, 寺井靖人, 篠崎徹, 板谷俊郎, 佐治昭, 松永茂実, 八十島 治典, 倉林清(2013) 高強度コンクリートを用いた CFT 柱の実 大施工実験, 戸田建設株式会社技術研究報告, 戸田建設, 第26巻, pp.57-64.

Umemoto, M., Terai, Y., Shinozaki, T., Itatani, T., Saji, A., Matsunaga, S., Yasoshima, H., and Kurabayashi, K. (2000) Experimental Study on Construction with Full-Scale Model of Concrete Filled Steel Tubular Column Using High Strength Concrete, *Toda Technical Research Report*, Toda Corporation, Vol.26, pp.57-64 (in Japanese).

[13] 梅本宗宏, 端直人, 井戸康浩, 渡邉秀仁(2009) スランプ21cmの コンクリートを用いたCFT落し込み工法に関する実験的研究, 日本建築学会学術講演梗概集 A-1 材料施工, 日本建築学会学, 日本, pp.961-970.

Watanabe, H., Umemoto, M., Hashi, N., and Ido, Y. (2009) Experimental Research on Concrete Filled Steel Tubular Columns Using Concrete of Slump 21cm, *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, A-1: Materials and Construction*, AIJ, Japan, pp.961-970 (in Japanese).

[14] 小島正朗、三井健郎、森堅太郎、和地正浩(2006) Fc100
 N/mm² 超高強度コンクリートのポンプ圧送性とCFT柱への圧
 入施工に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、第28
 巻、第1号、pp.1343-1348.

Kojima, M., Mitsui, K, Mori, K., and Wachi, M. (2006) Experimental Study on Pumpability and Pumping-up Work into CFT Columns of High Strength Concrete, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, JCI, Vol.28, No.1, pp.1343-1348 (in Japanese).

[15] 岩清水隆,米澤敏男,三井健郎,栗田佳彦(1997) F_c = 800 kgf/cm²の超高強度コンクリートを用いた鋼管コンクリートの 施工: (仮称)阪神西梅田C街区ビル,コンクリート工学,日本コン クリート工学会,第35巻,第5号, pp.19-24.

Iwashimizu, T., Yonezawa, T., Mitsui, K., and Kurita, Y. (1997) Construction of Steel Tube Concrete Using $F_c = 800 \text{ kgf/cm}^2$ Ultra High Strength Concrete, *Concrete Journal*, Japan Concrete Institute, Vol.35, No.5, pp.19-24 (in Japanese).

[16] 新都市ハウジング協会(2002) コンクリート充填鋼管造技術基準・同解説の運用及び計算例等,新都市ハウジング協会,日本, pp.2-43-2-52.

Association of New Urban Housing Technology (2002) Operation/Calculation Examples of Technical Standards/ Commentary for CFT Structures, ANUHT, Japan, pp.2-432.52 (in Japanese).

- [17] 和田高清(2010) CFT落し込み工法の改良,西松建設技報,西松 建設,第33巻,第22号, pp.1-2.
 Wada, T. (2010) Enhancement of Dropped Concrete Casting Method for CFT, Nishimatsu Technical Research Report, Nishimatsu Construction, Vol.33, No.22, pp.1-2 (in Japanese).
- [18] 竹内博幸,落合亮太,横山直樹,服部覚志(2004) CFT構造柱
 における誘導管式落とし込み工法に関する実験、コンクリート工
 学年次論文集,日本コンクリート工学協会,第26巻,第1号, pp.
 1377-1382.
 Takeuchi, H., Ochiai, R., Yokoyama, N., and Hattori, S.

(2004) An Experiment on Dropped Casting Method Using a Guiding Pipe for the CFT Column, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, JCI, Vol.26, No.1, pp.1377-1382 (in Japanese).

- [19] 梅本宗宏, 渡邉秀仁, 大内一之, 寺井靖人(2005) 鉄筋を内蔵した CFT 柱の実大施工実験, コンクリート工学年次論文集, 日本コ ンクリート工学協会, 第27巻, 第1号, pp.1213-1218.
 Umemoto, M., Watanabe, H., Ohuchi, K., and Terai, Y.
 (2005) Experimental Study on Construction with Full-Scale Model of Reinforced CFT Column, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, JCI, Vol.27, No.1, pp.1213-1218 (in Japanese).
- [20] 新都市ハウジング協会(1997) CFT構造技術指針・同解説,新 都市ハウジング協会,日本.

Association of New Urban Housing Technology (1997) *Standard/Commentary for CFT Structures*, ANUHT, Japan (in Japanese).

요 약: 강관내 콘크리트 타설방법으로 하부압입이나 호퍼 및 트레미관을 사용한 상부타설방법과 다르게 시공성을 향상시키기 위한 방법으로 펌프압송에 의한 콘크리트를 직접 타설하는 유도관식 타설공법을 고안하여 실물크기의 강관기둥에 고유동 콘크리트를 직접 타설하여 강관의 배불림 및 콘크리트의 충전성을 확인하는 시공시험을 수행한 결과, 콘크리트 충전양상이 양호하였으며, 콘크리트 충전 후 5시간되는 시점에서 액상상태의 측압에 대한 변위와 변형률이 이론값 대비 각각 50% 정도 낮은 값을 나타냄을 확인하였다.
 핵심용어: CFT기둥, 자유낙하공법, 실물대실험체, 고유동콘크리트, 홀을 가진 유도관