

# 콘크리트 충전 강관 기둥의 시공에 관한 연구

## Mock-up Tests of Concrete Filled Steel Tubular Columns

이 덕 찬<sup>1)</sup>  
Lee, Deok-Chan  
김 훈<sup>4)</sup>  
Kim, Hoon

최 진 만<sup>2)</sup>  
Choi, Jin-Man  
김 진 철<sup>5)</sup>  
Kim, Jin-Cheol

이 도 현<sup>3)</sup>  
Lee, Do-Heon  
박 연 동<sup>6)</sup>  
Park, Yon-Dong

### ABSTRACT

Three concrete filled steel tubular columns with six inner diaphragms are constructed and tested under field conditions. The size and shape of three columns are exactly same. The cross section is 40×40cm, and the height is 9m. Each column is constructed with normal concrete, CFST concrete, and high flowing concrete, respectively. Concrete is pumped into bottom parts of steel tubular columns from a concrete pump on the ground.

Test data indicate that the slump flow of the concrete place in the top of the column is lower than that of the concrete before pumping by about 10~20cm. Slump flow loss of high flowing concrete caused by pumping is high compared to the other concretes. Concrete pump pressure of high flowing concrete is somewhat higher than that of CFST concrete.

### 1. 서 론

콘크리트 충전 강관 기둥은 그 내력 및 변형능력의 우수함은 입증되었지만 콘크리트 충전성에 대한 불안과 내력평가방식의 미비로 인하여 일반적으로 구조형식으로 크게 발달하지 못하였다. 그러나, 최근에 콘크리트 성능개선, 고유동 콘크리트의 개발 등으로 인해 선진국의 경우 많은 실험 및 연구와 더불어 구조물에 실제로 사용되고 있다.<sup>(1-3)</sup> 그러나, 국내의 경우는 내하력 평가 등 구조 분야에서만 소수의 논문이 발표되고 있는 실정이다.<sup>(4,5)</sup>

콘크리트 충전 강관 기둥이 그 구조적 성능을 충분히 발휘하기 위해서는 콘크리트가 그 내부를 밀실하게 채워주어야 한다. 따라서, 강관 충전용 콘크리트는 다짐을 하지 않더라도 강관 내부 구석구석을 밀실하게 채워줄 수 있는 유동성과 재료분리저항성을 갖고 있어야 하며, 펌프 압송에 의한 역타설 작업시 원활한 압송과 충전이 이루어질 수 있도록 양호한 작업성을 확보하고 있어야 한다. 특히, 다이아프램 하부는 콘크리트 충전 상태가 불량할 가능성이 높으므로 주의하여야 한다. 또한, 콘크리트가 강관 내부에 충전된 이후에는 침하 등에 의한 변형량이 최소가 되어야 하는 등의 물성을 발현하여야 한다.

본 연구에서는 일반 콘크리트 배합, 강관 충전용 콘크리트 배합(이하, CFST 배합으로 약칭), 고유동 콘크리트 배합에 대하여 실제 레미콘 공장 제조 및 실대 구조물에 대한 시

- 1) 정회원, 대한주택공사 주택연구소 주임연구원
- 2) 정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원
- 3) 정회원, 대한주택공사 주택연구소 선임연구원, 공박
- 4) 정회원, 동양중앙연구소 연구원
- 5) 정회원, 동양중앙연구소 주임연구원
- 6) 정회원, 동양중앙연구소 선임연구원, 공박

험시공을 실시하여 강관 충전용 콘크리트의 제조 및 품질관리 방법, 작업성, 충전성능, 압송 전후의 품질변화, 펌프 부하 등을 분석하고 개선방안을 제시하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 콘크리트 충전 강관 기둥 시험체

시험체의 갯수는 3개이고, 각 시험체의 크기 및 형상은 동일하다. 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 단면의 형상은 정사각형이고, 크기는 40×40cm 이며, 높이는 9m이다. 기둥은 건물의 3층 기둥을 모사한 것으로 각 층별로 보를 지지할 내부 다이아프램 2개씩 총 6개의 다이아프램이 설치되어 있다. 다이아프램은 콘크리트 통과를 위하여 직경이 18cm인 원형의 개구부가 중심부에 설치되어 있으며, 다이아프램 하부에 갇힌 공기가 빠져나가는 통로를 확보하기 위하여 단면 모서리 부분에 직경 3cm의 공기 구멍을 두었다. 한편, 기둥의 상부 한 면에는 투명 아크릴 판을 대어 콘크리트 충전 상황을 육안으로 관찰하였다.

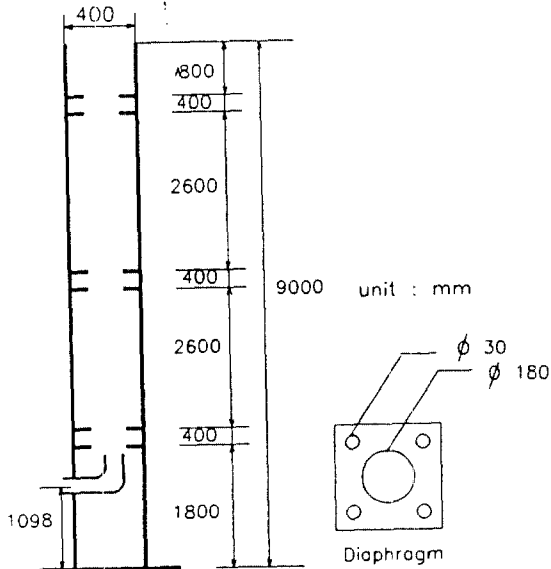


그림 1. 시험체 개략도

### 2.2 사용 콘크리트

레미콘 공장에서 강관충전용 콘크리트를 제조할 경우의 범용성을 높이기 위하여 고유동 콘크리트를 제외한 일반 배합 및 CFST 배합은 플라이애쉬나 실리카흄 등 혼합재의 사용을 배제하였다. 일반 배합은 건축 구조물에 일반적으로 사용되는 고강도 콘크리트 배합이고, CFST 배합은 실내 실험을 통하여 강관기둥에 양호한 충전성능을 나타내는 배합으로 결정하였으며, 고유동 배합은 기존의 연구 결과<sup>(6)</sup>를 토대로 하여 결정하였다. 3종류 콘크리트의 설계기준 압축강도는 350 kgf/cm<sup>2</sup>로 동일하며, 배합비는 표 1과 같다.

표 1. 사용 배합비

종 류	단위량 (kg/m <sup>3</sup> )					SP (%)
	W	C	FA	S	G	
일 반	175	461	0	783	970	1.2
CFST	170	448	0	896	880	1.4
고유동	185	370	159	808	804	1.7

### 2.3 콘크리트 타설 및 물성 평가 방법

콘크리트의 타설은 강관 기둥 하부에서 약 1m 되는 위치에 콘크리트 압입구를 두고 펌프카를 사용하여 콘크리트를 압입시켜 기둥 하부로부터 콘크리트를 채워나가는 역타설 방법을 사용하였다. 배관 상태 및 펌프카 타설 상황은 그림 2와 같고, 배관 길이는 곡관을 포함하여 약 58m 이다.

동일한 조건하에서 3종류 콘크리트의 성능을 평가하기 위하여 3개 시험체에 대하여 동일한 방법으로 타설을 수행하였다. 먼저, 배관 내부조건에 의한 실험오차를 방지하기 위하여 몰탈을 배관내에 충분히 선압송하여 내부를 코팅한 다음 콘크리트 압송을 시작하였다. 또한, 몰탈 압송이 끝난 직후 압송되는 콘크리트는 몰탈이 일부 혼입되어 콘크리트 물성이 변화될 가능성이 있으므로 물성변화 실험 및 강관기둥 충전에 사용하지 않고 폐기하였다.

펌프카 압송 및 강관 내부 충전에 의한 굳지 않은 콘크리트 물성 변화를 검토하기 위하여 펌프카 압송전, 펌프카 압송직후, 부재 충

Specimens (cross section : 40X40cm, height 9m)

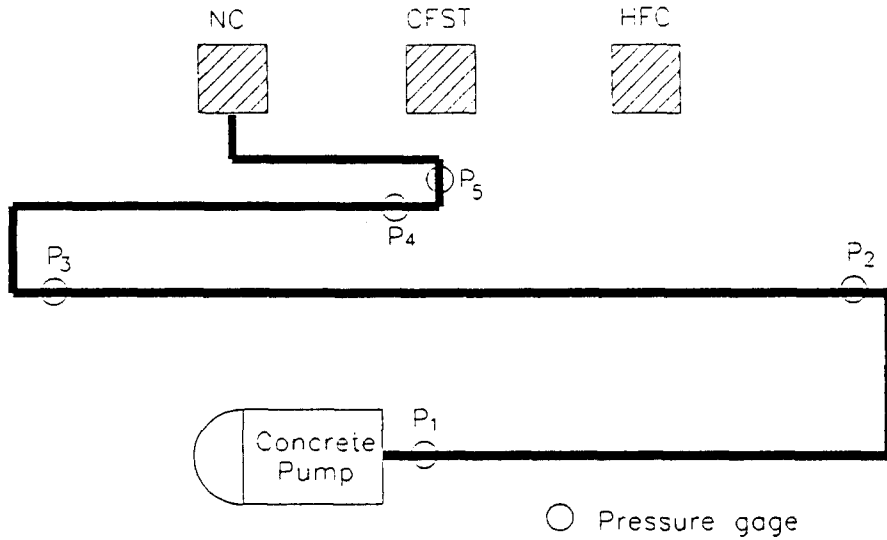


그림 2. 배관상태 및 펌프카 타설 상황, 압력 게이지 설치 위치

전후에 콘크리트 시료를 채취하여 슬럼프 플로우, V형 깔때기 유하시간, U형 박스 단차(좌우 높이차), 공기량을 측정하였고, 각각 12개씩의  $\Phi 10 \times 20\text{cm}$  공시체를 제작하여 3, 7, 14, 28일 재령의 압축강도를 측정하였다. V형 깔때기 실험장치 및 U형 충전성 실험장치는 상세는 그림 3과 같다.

일반적으로 한대의 레미콘 차량에 의해 운반된 동일 콘크리트일지라도 시료 채취 위치에 따라 그 물성에 약간의 차이를 보인다. 따라서, 본 연구에서는 배관 압송전후 콘크리트 물성 평가시 시료 채취 위치에 따른 실험오차를 줄이기 위하여 압송전 시료를 채취한 직후 펌프카 호퍼에 페놀프탈레인 용액을 살포하는 방법으로 색깔을 변화시켜 압송후 시료를 배관 끝부분에서 채취할 시에 압송전 시료와 동일 위치에서 시료를 채취할 수 있도록 조치를 취하였다.

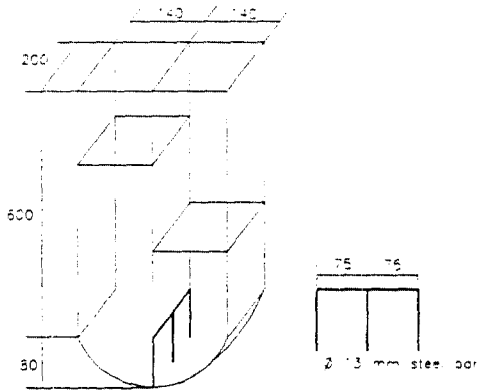
압송후 시료를 채취한 다음 배관을 부재에

결속하여 압송을 시작하였으며, 강관 내부에 콘크리트를 완전히 채운 다음 시료 채취용 거꾸집을 대고 콘크리트를 넘치게 하여 부재 최상층 부위의 시료를 채취하였다. 시료 채취가 끝난 다음 변위계를 설치하여 침하량 측정을 시작하였다.

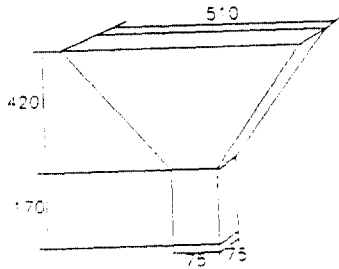
거꾸집에 걸리는 측압을 분석하기 위하여 부재 최하단 및 압입구 부근에 압력계를 설치하여 압입도중 및 타설 완료직후 부재에 걸리는 측압을 측정하였다.

콘크리트 충전 강관이 기둥 부재로 쓰이는 건축물은 대부분 고층 건물이다. 따라서, 펌프 배관이 길 뿐만 아니라 고소압송을 위하여 수직배관 부위도 길어지게 된다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 실제 구조물 타설시 콘크리트 펌프에 걸리는 압력을 평가하기 위하여 부재 압송 완료후 콘크리트 토출량을 변화시켜 가면서 펌프에 걸리는 압력을 측정하였다. 배관 조건을 부재압송시와 동일하게 하였

다. 또한, 배관 내부 압력 및 압력손실을 측정하기 위하여 배관의 5군데 위치에 압력계를 설치하여 실제 배관에 걸리는 압력을 측정하였다.



U형 박스 실험장치



V형 깔때기 실험장치

그림 3. 콘크리트 충전성능 평가장치

### 3. 실험 결과 및 고찰

콘크리트가 배관을 통하여 압송되면 그 성질이 변화한다. 즉, 배관 내에서는 콘크리트가 고압하에 놓이기 때문에 배합수 중의 잉여수나 페이스트 등이 분리될 가능성이 있고 공기량 손실이 발생하여 슬럼프나 슬럼프 플로우, 공기량 등에 변화가 생긴다. 한편, 펌프가 배관의 경우 몰탈을 선압송하여 배관내를 코팅 처리하나 콘크리트 충전 강관 기둥의 경우 강관 내부를 몰탈로 코팅하기가 현실적으로 어

려움이 많기 때문에 몰탈 선압송없이 콘크리트를 압송하게 된다. 따라서, 배관의 경우 높은 압력이 콘크리트 물성을 변화시킬 주된 요인으로 작용하며 강관 내부로 충전되는 상부 콘크리트의 경우 몰탈 부분의 손실이 주요인으로 작용할 것으로 판단된다.

표 2는 콘크리트 압송전후 및 강관 부재 충전 완료후 상부 콘크리트에 대한 물성 변화를 시험한 결과를 나타낸 것인데, 슬럼프 플로우를 그림 4에 도시되어 있는 바와 같이 콘크리트 종류에 관계없이 압송후 및 부재충전후는 이전 실험치에 비하여 줄어들며, 그 감소치는 초기 슬럼프(압송전 슬럼프)값이 큰 고유동 콘크리트가 가장 크게 나타났다.

표 2. 압송전후 및 부재 충전후 콘크리트 물성 변화

종 류	구 분	슬럼프 플로우 (cm)	깔때기 유하시간 (초)	박스 단차 (cm)	공기량 (%)
일 반	압송전	49.0	3.0	7	3.3
	압송후	46.0	4.4	20	3.3
	부재상단	39.5	-	37	3.6
CFST	압송전	43.0	2.7	13	5.0
	압송후	38.5	5.1	27.5	5.9
	부재상단	33.0	-	53	5.6
고유동	압송전	61.3	4.3	3	4.1
	압송후	53.5	4.2	5	3.6
	부재상단	41.0	15.3	17	2.5

한편, V형 깔때기 유하시간을 살펴 보면, 콘크리트 압송후 슬럼프 플로우가 감소하였는 데도 불구하고 압송전에 비하여 그 값에 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 부재상단에서 채취한 시료의 경우는 일반 배합과 CFST 배합은 막힘 현상이 발생하였고, 고유동 콘크리트의 경우도 압송후 실험치에 비하여 유하시간이 3배 이상 늘어난 것으로 나타났다. 슬럼프 플로우는 거의 일정하게 줄어들었는데도 불구하고 이와 같은 결과가 나타난 이유는 압송후 콘크리트의 물성 변화는 주로 배관 내부 압력에 의한 것이고, 강관 충전중의 물성 변화는 몰탈의 손실에 의하여 발생하였기 때문인

것으로 사료된다. 즉, V형 깔때기 유하시간의 경우 슬럼프 플로우 값에도 어느 정도 영향을 받으나 슬럼프 플로우가 일정 범위에 있으면, 콘크리트 단위체적당 페이스트량 또는 몰탈량에 영향을 많이 받기 때문이다.

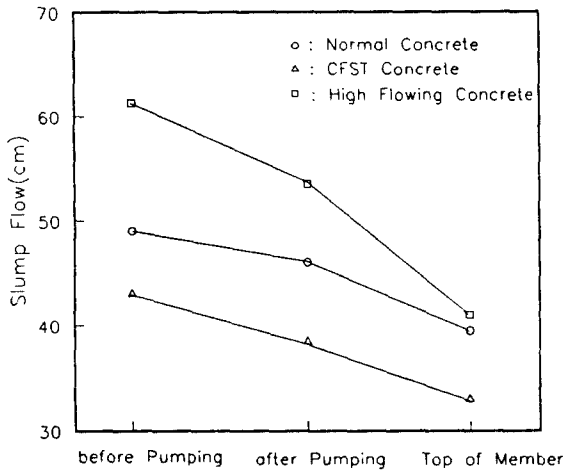


그림 4. 콘크리트 압송에 따른 슬럼프 플로우의 변화

U형 박스 단차는 펌프 압송이 진행됨에 따라 커지고 있는데, 고유동 콘크리트의 경우도 부재압송 완료후 부재 상단의 시료는 충전 성능이 많이 떨어짐을 알 수 있다. 한편, 일반 배합과 CFST 배합을 동일 슬럼프 플로우 조건에서 비교해 보면(일반 : 펌프 압송전, CFST : 펌프 압송직후), 일반 배합이 예상보다 좋은 결과를 보여주는 하였으나 CFST 배합에 비해서는 충전성능이 떨어짐을 알 수 있다.

일반적으로 공기량은 펌프 압송후에는 다소 떨어지는 경향이 있는데 본 연구의 결과에 의하면, 고유동 콘크리트의 경우만 일반적인 경향을 나타내고 일반 배합 및 CFST 배합의 경우 공기량이 그대로 유지되거나 또는 약간 늘어나는 경향을 보이고 있다. 이에 대해서는 향후 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V형 깔때기 유하시간과 U형 박스 단차는

콘크리트의 분리저항성 및 충전성능을 평가하는 시험치이다. 본 시험시공의 결과, 압송이 진행되면서 분리저항성 및 충전성능이 상당히 떨어지는 경향을 나타내므로 향후, 콘크리트 압송 배관이 길거나 고소압송을 통하여 콘크리트 충전 강관 기둥을 타설할 경우 또는 한번에 타설할 강관 기둥의 길이가 길 경우에는 이에 대해 충분히 고려하여 콘크리트 배합설계를 수행하여야 할 것으로 판단된다.

3종류의 콘크리트에 대하여 시험시공을 수행한 결과, 강관 기둥에 콘크리트를 역타설 방법으로 압입시 동일 길이의 수직배관에 비하여 펌프 압력이 많이 걸리는 등의 문제점은 발생하지 않았다. 따라서, 콘크리트 배합과 유동성을 적절하게 선택하면 실제 구조물에 있어서도 큰 어려움없이 부재 타설을 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 강관 내부 위치에 따른 콘크리트의 경화후 물성 변화, 재료 분리, 다이어프램 하부의 충전 상황 등은 향후 거푸집 해체 후 정밀하게 검사할 예정이다.

그림 5는 CFST 배합과 고유동 배합에 대하여 펌프카에 의한 콘크리트 토출량을 변화시켜 가면서 관내압력손실을 측정된 결과이다. 그림에 나타나 있는 바와 같이 고유동 콘크리트는 일반 콘크리트에 비하여 점성이 높아 유동성(슬럼프 플로우)이 크어도 불구하고 관내 압력손실이 크을 알 수 있다. 한편, 토출량 변화에 따른 관내압력손실의 변화는 CFST 배합이 고유동 배합보다 큰 것으로 나타났다. 그러나, 회귀분석 결과가 이러한 경향을 보이는 것은 CFST 배합의 최대 토출량일 때의 실험치가 다소 높게 나타났기 때문으로 판단되며, 최대 토출량일 때의 실험치를 제외하고 판단해 보면(그림에서 일점쇄선으로 표시), 토출량 증가에 따른 관내압력손실의 증가는 거의 유사한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

콘크리트 충전 강관 기둥에 대한 시험시공 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

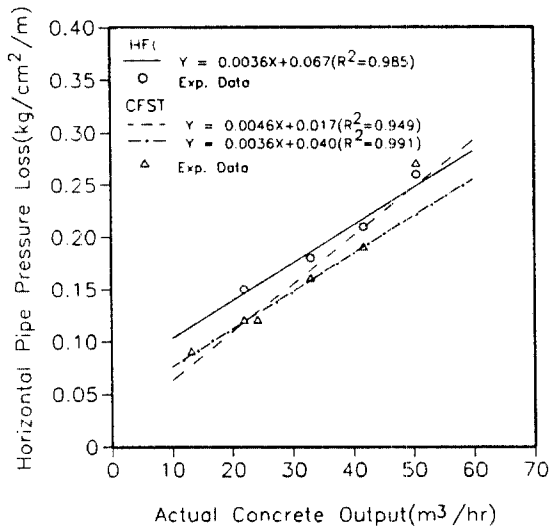


그림 5. 토출량 변화에 따른 관내압력손실 변화

- 1) 콘크리트 종류에 관계없이 압송 및 부재 내 압입에 따라 콘크리트의 충전성능이 저하되므로 강관 충전용 콘크리트 배합설계시에는 이에 대한 고려가 필요하다.
- 2) 강관내 압입에 따라 상부 콘크리트의 유동성은 저하되며, 이 유동성 저하는 주로 몰탈의 손실에 의한 것으로 판단된다.
- 3) 강관 기둥 내부에 콘크리트를 역다설시 콘크리트 배합과 유동성을 적절하게 선택하면, 내부 다이아프램 부분의 저항 등에 의해 콘크리트 펌프 압력이 과다하게 걸리는 등의 문제점은 발생하지 않을 것으로 사료된다.
- 4) 고유동 콘크리트 배합은 높은 유동성에도 불구하고 점성이 높아 배관내에서의 압력 손실이 CFST 배합보다 큰 것으로 나타났다. 그러나, 토출량 증가에 따른 펌프 압력 증가율은 CFST 배합과 유사한 것으로 판단된다.

- 5) 강관 내부 위치에 따른 콘크리트의 경화 후 물성 차이, 재료분리, 다이아프램 하부의 충전 상황 등은 향후 거꾸집 해체 후 보다 정밀하게 검사할 예정이다.

### 참고문헌

- 1) 笹原厚 外 3人, “充填形鋼管コンクリート模型柱の壓入施工實驗,” 日本コンクリート學會 콘크리트工學年次論文報告集, 第16卷, 第1號, 1994, pp. 1245-1250
- 2) 寺西浩司 外 3人, “シリカフェーム混入コンクリートをを用いた充填鋼管柱の壓入施工,” 콘크리트工學, 第32卷, 第4號, 1994년 4월, pp. 54-63.
- 3) 上田弘樹 外 6人, “CFT(콘크리트充填鋼管)柱施工實驗,” 日本建築學會大會學術講演概要集, 1992년 8월, pp. 1849-1850.
- 4) 심종석, 김규선, “콘크리트충전 각형강관 기둥·H형강보 접합부의 역학적 거동에 관한 연구 -단순 모델인 경우-,” 대한건축학회논문집, 제11권, 제3호, 1995년 3월, pp. 103-110.
- 5) 김현산 외 2인, “콘크리트 충전 강관기둥의 축압축거동에 관한 실험적 연구,” 대한건축학회논문집, 제11권, 제4호, 1995년 4월, pp. 241-251.
- 6) 노재호 외 4인, “초유동 콘크리트의 유동 성능에 미치는 배합요인의 영향,” 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제6권, 제2호, 1994년 11월, pp. 115-120.