

강관충전용 콘크리트의 재료개발에 관한 연구

Development of the Concrete for Concrete Filled Steel Tubular Columns

김진철¹⁾

Kim, Jin-Cheol

최진만⁴⁾

Choi, Jin-Man

김훈²⁾

Kim, Hoon

이덕찬⁵⁾

Lee, Deok-Chan

박연동³⁾

Park, Yon-Dong

이도현⁶⁾

Lee, Do-Heon

ABSTRACT

In this study, filling performance of concrete is investigated experimentally for the development of the concrete to be used in concrete filled steel tubular columns with inner diaphragms. Water-cement ratios with 3 levels, unit water contents with 5 levels, unit coarse aggregate contents with 5 levels, and slump flow with 3 levels are selected for test variables. For the estimation of the filling properties of the concrete, slump flow, V-type funnel time, U-type box height are measured and compared. A device which simulates the steel tubular column is designed and three kinds of concrete are tested with it.

As the results, the filling performance is decreased with increasing coarse aggregate content. And, within the scope of this study, concretes with coarse aggregate content less than 880 kg/m^3 show good filling performance. To prevent excessive settlement of the concrete pumped into the steel tubular column, slump flow should be controlled within the limited range.

1. 서론

최근 선진국을 중심으로 하여 제4의 구조시스템으로 일컬어지고 있는 콘크리트 충전 강관부재 (concrete filled steel tubular member, 이하 CFST로 약칭)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 실제로 초고층 건물에 이러한

구조시스템이 성공적으로 사용되고 있다.^(1,2)

CFST조는 현재까지 고층건물에 주로 사용된 철골조 또는 SRC조에 비하여 총 공사비 면에서는 비슷하나 내진성능상 중요한 높은 압축응력 하에서의 변형능력이 우수하고 품질 확보가 용이하며 공기단축이 가능하다는 장점이 있다. 또한, 시공시 강관은 거푸집 역할을 함으로서 철근 거푸집 공사가 배제되어 인건비 절감 및 공기 단축이 가능하며 공장 생산화에 따른 품질향상 등 여러가지 관점에서 우수한 구조형식이라고 할 수 있다

국내 건설시장의 환경은 지가 상승 및 한정된 공간내에서의 효율적 공간이용을 위하여

1) 정회원, 동양중앙연구소 주임연구원

2) 정회원, 동양중앙연구소 연구원

3) 정회원, 동양중앙연구소 선임연구원, 공박

4) 정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원

5) 정회원, 대한주택공사 주택연구소 주임연구원

6) 정회원, 대한주택공사 주택연구소 선임연구원, 공박

건물이 초고층화되어 가는 경향이 있다. 이러한 상황에서 최근 크게 각광을 받는 구조형식이 콘크리트 충전 강관 구조 시스템이라 할 수 있다. 따라서, 이러한 콘크리트 충전 강관 구조 시스템을 실제로 사용하기 위해서는 부재의 역학적 거동 파악과 더불어 강관 내부를 밀실하게 채워 강관과 일체로 거동할 수 있는 콘크리트 재료 개발 및 물성 파악, 실시공시 물성변화 및 작업의 난이도, 충전성 등에 대한 심도있는 연구가 시급한 실정이다.

본 연구에서는 양호한 펌프 압송성을 가지며, 별도의 다짐작업을 할 수 없는 강관 내부를 밀실하게 충전시킬 수 있고, 타설 후에는 침하량이 적은 콘크리트 재료를 개발함과 동시에 각 강도수준, 배합비에 따른 콘크리트의 충전능력 평가 및 CFST 콘크리트용 충전성능 평가방법 개발을 목적으로 한다.

2. 실험

2.1 실험계획

1차 실내 실험에서는 콘크리트 배합요인에 따른 충전성능 및 작업성, 압축강도, 인장강도, 탄성계수를 평가하기 위하여 표 1과 같이 물-시멘트비, 단위수량, 단위굵은골재량, 슬럼프 플로우를 변수로 두고 배합을 선정하여 실험을 수행하였다.

2차 실내 실험에서는 1차 실내 실험을 통하여 결정된 예비배합을 중심으로 하여 배합요인을 변화시켜 가면서 역타설 모사장치에 의한 충전성능 평가 및 침하량 실험을 수행하였다.

표 1. 실험 변수

항 목	변 수
물-시멘트비	35, 38, 41%
단위수량	160, 165, 170, 175, 180 kg/m ³
굵은골재량	820, 880, 910, 940, 1000 kg/m ³
슬럼프 플로우	35±2.5, 45±2.5, 55±2.5 cm

2.2 사용재료

실험에 사용된 재료의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

종 류	물리적 성질
시멘트	보통 포틀랜드 시멘트, 비중 : 3.15 비표면적 : 3315 cm ² /g 28일 압축강도 : 408 kgf/cm ²
잔 골 재	비중 : 2.60, 조립율 : 2.90
굵은골재	최대크기 : 25mm, 비중 : 2.64 조립율 : 7.11
고 성 능 감 수 제	나프탈린계, ASTM C 494 type F 및 G

2.3 실험 방법

콘크리트의 충전성능을 평가하기 위하여 슬럼프 플로우, V형 깔대기를 사용한 시료 폐쇄 여부 및 유하시간, U형 충전성 실험 장치를 이용하여 좌우 높이차를 측정하였다. V형 깔때기 및 U형 충전성 실험 장치의 상세는 그림 1과 같다.

2차 실내 실험에서는 그림 2와 같이 강관 기동을 모사한 역타설 실험 장치를 제작하여 다이아프램이 설치되어 있는 부분에 콘크리트를 자중에 의하여 압입시키는 방법으로 충전성능을 평가하였다. 침하량은 직경 10cm 길이 100cm의 원주형 거푸집에 콘크리트를 3층으로 나누어 타설한 후 측정하였다. 이때, 각 층은 직경 2cm 봉으로 15회 다짐하였다.

압축강도, 인장강도, 탄성계수 실험용 공시체는 $\phi 10 \times 20$ cm 1회용 몰드를 사용하여 봉나짐 방법으로 제작하였다. 제작된 공시체는 항온항습실(20±3°C, 99±1% R.H.)에서 24시간 성형한 후 탈형하여 20±3°C의 온도로 소요의 재령까지 수중양생을 실시하였다.

압축강도 실험은 KS F 2405에 따랐으며, 슬럼프 플로우 실험은 KS F 2402 규정에 따라 실시하였다. 압축강도 실험에 사용된 기기

는 300톤 용량의 압축강도 시험기이다. 압축강도 실험용 공시체 윗면은 공시체 연마기를 사용하여 평활하게 연마하는 방법으로 처리하였다.

인장강도는 활렬인장강도로 평가하였으며, 탄성계수는 공시체에 스트레인게이지를 부착한 다음 KS에 규정된 방법에 따라 실험을 실시하였다. 스트레인게이지의 변형도값은 데이터 로그를 사용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 1차 실내실험

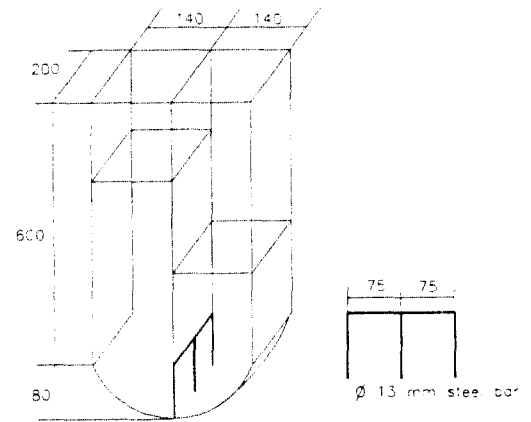
1) 콘크리트의 충전성능 평가

그림 3은 물시멘트비 35~41%, 단위수량 160~180 kg/m³, 슬럼프 플로우 45~60cm 범위의 콘크리트에 대하여 굽은골재량 변화에 따른 V형 깔때기 유하시간 및 U형 박스 단차를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 다른 배합 요인(물-시멘트비, 단위수량, 슬럼프 플로우)들에 의하여 실험치의 흠어짐은 다소 있으나 굽은골재량이 증가할수록 콘크리트의 충전성이 저하되고 있다.

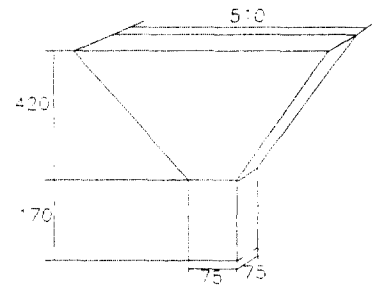
CFST 부재 타설시 다이어프램 하부에 콘크리트를 밀실하게 충전시키기 위해서는 콘크리트가 양호한 충전성을 발휘하여야 하며, 굽은골재량이 증가할수록 충전성이 떨어지기 때문에 CFST용 콘크리트에서는 굽은골재량을 일정량 이하로 하는 배합을 선정하여야 할 것으로 판단된다.

그림 4는 물-시멘트비 및 굽은골재량이 일정할 때 단위수량에 따른 V형 깔때기 유하시간 및 U형 박스 단차를 나타내고 있는데, 단위수량이 증가함에 따라 V형 깔때기 유하시간이 서서히 감소함을 알 수 있다. 국내의 초유동 콘크리트 연구에 의하면,⁽³⁾ V형 깔때기 유하시간은 굽은골재에 대한 페이스트의 용적비(V_p/V_g)와 큰 상관성을 가진다고 한다.

U형 박스 단차의 경우도 V형 깔때기 실험결과와 유사하게 단위수량이 증가하면 단차도 줄어드는 경향을 나타낸다. 즉, V_p/V_g 가 증가



U형 박스 실험 장치



V형 깔때기 실험 장치

그림 1. 콘크리트의 충전성능 평가 장치

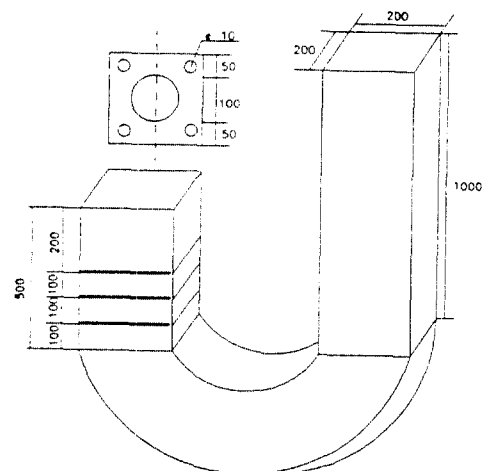


그림 2. 역타설 모사 장치

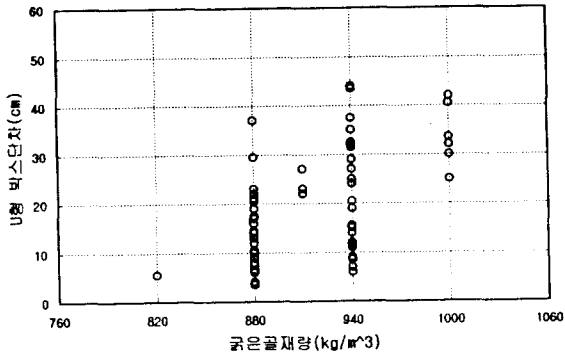
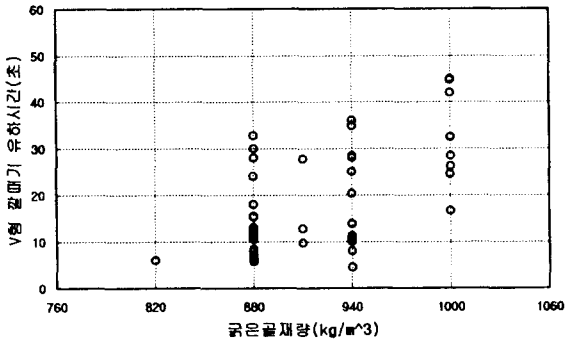


그림 3. 굵은골재량 변화에 따른 V형 깔때기 유하시간 및 U형 박스 충전상태

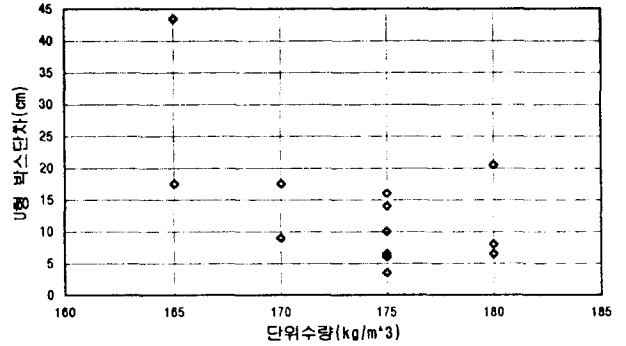
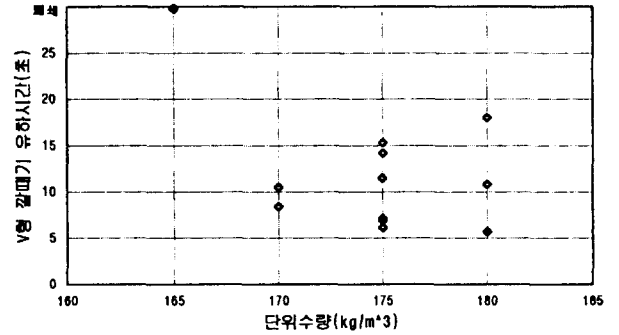


그림 4. 단위수량 변화에 따른 V형 깔때기 유하시간 및 U형 박스 충전상태

함에 따라 콘크리트의 충전성능이 향상되는 경향을 보이고 있다. 그러나, 실험결과의 흠여짐이 다소 심하고 단차 감소 경향이 완만하게 나타나고 있다.

그림 5는 물-시멘트비 38%, 단위수량 175 kg/m³, 굵은골재량 880 kg/m³ 배합에 대하여 슬럼프 플로우를 변화시켜 가면서 V형 깔때기 유하시간 및 U형 박스 단차를 실험한 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 V형 깔때기 유하시간의 경우 슬럼프 플로우 35~60cm 범위에서는 슬럼프 플로우의 영향이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 그러나, U형 박스 단차의 경우 슬럼프 플로우가 커짐에 따라 그 값이 감소함을 알 수 있다. 즉, U형 박스 시험은 V형 깔때기 시험과는 달리 콘크리트의 점성이 다소 떨어지더라도 유동성능이 양호하면 좋은 결과가 나타남을 알 수 있다.

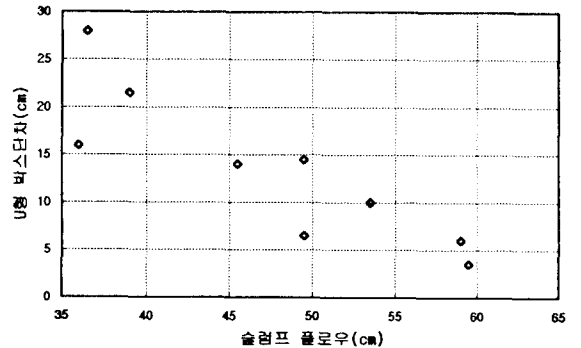
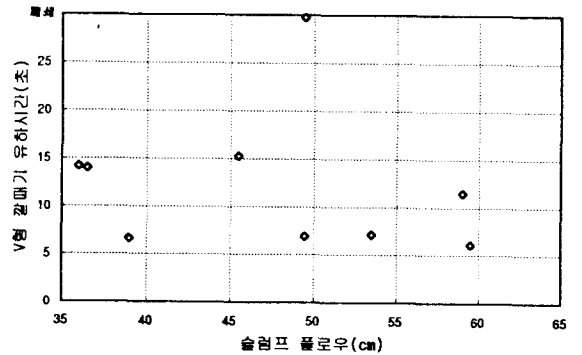


그림 5. 슬럼프 플로우 변화에 따른 V형 깔때기 유하시간 및 U형 박스 충전상태

2) 콘크리트의 역학적 성질

CFST용 콘크리트 배합은 일반 고강도 콘크리트 배합에 비하여 충전성을 높이기 위해서 유동성이 좋고 굵은골재량이 적은 특성이 있다.

표 3은 배합요인에 따른 경화후 물성을 나타내고 있는데 물-시멘트비가 증가함에 따라 압축강도, 인장강도, 탄성계수가 다소 감소함을 알 수 있다. 한편, 본 실험의 범위내에서는 단위수량, 굵은골재량, 슬럼프 플로우에 따른 압축강도, 인장강도, 탄성계수의 유의할 만한 차이는 나타나지 않았다.

표 3. 경화후 물성

배합 조건	압축강도				인장 강도	탄성계수 ($\times 10^5$)
	3일	7일	14일	28일		
35-165-940	347	513	-	676	45	3.58
35-175-940	360	522	-	651	38	3.58
38-165-880	311	474	542	603	34	3.43
38-165-940	347	490	-	649	30	3.54
38-165-1000	326	505	578	621	34	3.57
38-170-940	351	510	575	619	41	3.53
38-175-880	342	465	-	630	40	3.58
38-175-940	328	468	-	625	36	3.50
38-175-940*	329	506	600	624	37	3.57
38-175-1000	328	459	-	636	39	3.43
41-165-940	263	400	449	496	33	3.47
41-175-940	308	466	544	579	41	3.53

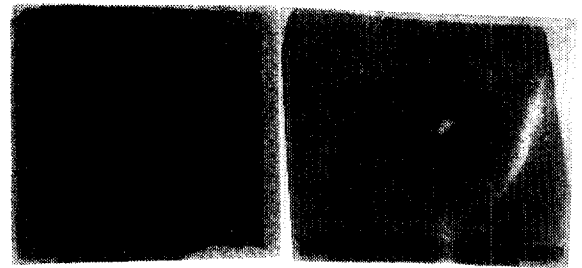
3.2 2차 실내실험

1) 콘크리트의 충전성능

사진 1은 역타설 모사장치에 일반 콘크리트, CFST용 콘크리트, 초유동 콘크리트를 타설하였을 때 다이아프램 하부의 충전 상태를 나타내고 있는데, 면의 형태가 초유동 콘크리트, CFST용 콘크리트, 일반 콘크리트 순으로 양호함을 알 수 있다. 역타설 모사장치에 타설된 각 콘크리트의 배합비 및 슬럼프 플로우는 표 4와 같다.

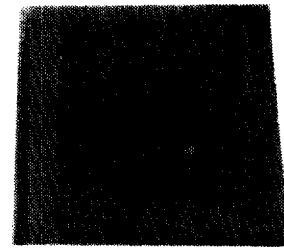
표 4. 역타설 콘크리트 배합비

배합 조건	단위량 (kg/m^3)					슬럼프 플로우 (cm)
	W	C	FA	S	G	
일반	175	461	0	783	970	47
CFST	170	448	0	896	880	44
초유동	185	370	159	808	804	58



일반 배합

CFST 배합



초유동 배합

사진 1. 콘크리트 종류에 따른 다이아프램 하부 콘크리트 충전 상태

2) 콘크리트의 침하량

표 5는 각 배합조건에 따른 침하량 측정 결과이며, 일반 배합 및 초유동 배합은 역타설 모사장치 실험시와 동일 배합비를 사용하였다.

슬럼프 플로우가 동일한 경우, 일반 배합과 CFST 배합은 침하량에 있어 유의할 만한 차이가 나타나지 않았다. 또한, 단위수량을 변화시킨 경우에도 침하량에 일정 경향이 나타나

지 않아 본 연구에서 선택한 단위수량 범위에서는 침하량에 큰 차이가 없을 것으로 판단된다. 그러나, 동일 배합비에서 슬럼프 플로우가 늘어나는 경우에는 침하량이 커져 CFST 기둥 타설시 과대 침하를 방지하기 위해서는 슬럼프 플로우를 엄격하게 관리하여야 할 것으로 사료된다. 초유동 콘크리트는 다짐을 한 경우가 다짐을 하지 않은 경우보다 오히려 침하량이 크게 나타났는데, 이는 초유동 콘크리트 자체 특성 때문에 다짐을 하게 되면 골재분리 현상이 발생하여 침하량 증가를 유발시키기 때문으로 생각된다.

표 5. 침하량 실험결과

종 류	슬럼프 플로우 (cm)	깔때기 유하시간 (초)	U형 박스단차 (cm)	침하량 (mm)
165-38-880	45.0	폐쇄	33	4.7
170-38-880	43.5	17	16	3.8
	51.5	8.0	7.5	5.3
175-38-880	43.3	5.8	13	4.8
일반배합	45.0	폐쇄	38	4.5
초 유 동 배 합	60.0	6.5	1.0	4.3(다짐무)
				6.1(다짐유)

4. 결 론

콘크리트 충전 강관 부재용 콘크리트에 대한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 단위굵은골재량이 증가함에 따라 V형 깔때기 유하시간이 길어지고 박스단차가 커져 충전성이 악화되는 현상을 보여주었으

며, 본 연구의 범위내에서는 굵은골재량 880 kg/m³ 이하에서 콘크리트가 비교적 양호한 충전성능을 나타내었다.

- 2) 동일 물-시멘트비 하에서 단위수량이 증가함에 따라 콘크리트의 충전성은 양호해지는 결과를 나타내었다.
- 3) 본 연구에서 선택한 실험변수 범위 내에서는 굵은골재량, 단위수량, 슬럼프 플로우의 변화가 압축강도, 인장강도, 탄성계수 등 역학적 성질에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.
- 5) 역타설 모사장치를 이용한 실험 결과 초유동 콘크리트, CFST용 콘크리트, 일반 콘크리트 순으로 충전성능이 양호한 것으로 나타났다.
- 6) 강관 부재에 콘크리트를 타설시 과대 침하를 방지하기 위해서는 슬럼프 플로우를 엄격하게 관리하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 寺西浩司 外 3人, “シリカフェーム混入コンクリートを用いた充填鋼管柱の壓入施工,” 콘크리트工學, 第32卷, 第4號, 1994年 4月, pp. 54-63.
- 2) 立山創一 外 3人, “充填型鋼管コンクリート柱への高流動ノンブリージングコンクリートの壓入,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, 1993年, pp. 215-220.
- 3) 노재호 외 4인, “초유동 콘크리트의 유동 성능에 미치는 배합요인의 영향,” 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제6권, 제 2호, 1994년 11월, pp. 115-120.