CFT 구조용 초고강도 콘크리트의 충전성 평가를 위한 실험적 연구

An Experimental Study on the Evaluation of the Compactness of Super-High Strength Concrete for CFT structure.

○ 이 장 환* 황 병 준* 김 제 섭* 정 근 호** 임 남 기*** 정 상 진***
Lee, Jang-Hwan Hwang, Byoung-jun Kim, Je-Sub Jung, Keun-Ho Lim, Nam-Ki Jung, Sang-Jin

ABSTRACT

Concrete Filled steel Tube pipe structure is a rational type of structure that maximizes performance by combining the strong points of steel frame and concrete. In the structure, the confining effect of steel pipes increases the bearing power of infilled concrete and the strengthening of local bucking of steel pipes by infilled concrete increases the bearing power of members, and these result in the reduction of cross-sectional area and high transformation capacity. Moreover, the structure is economically efficient and widely applicable that it is used from super-high buildings to residential, business and apartment buildings. It enables the construction of multi-story buildings with long spans using columns of small cross-sectional area. In case of diaphragm, however, it is difficult to confirm the compactness of the closed inside of steel pipes.

The present study examined the properties of super-high strength concrete over 80MPa by comparing it with 40MPa concrete through heat conductivity and length change tests based on a mixture ratio satisfying the mixture goal presented in the guideline for the design and construction of concrete-filled steel pipe structure, and evaluated the performance of super-high strength concrete according to the shape and size of the aperture ratio of diaphragm.

1. 서론

콘크리트 충전 강관(Concrete Filled steel Tube, 이하 'CFT' 라 함.)구조는 철골과 콘크리트의 장점을 조합하여 최대한의 성능을 발휘할 수 있는 합리적인 구조형식으로 강관의 구속효과에 의해 충전콘크리트의 내력상승과 충전콘크리트에 의한 강관의 국부좌굴 보강효과에 의해 부재내력이 상승하여 단면 크기를 감소시켜줄 뿐만 아니라 뛰어난 변형성능을 발휘하는 구조 시스템이다. 그러나, 내다이아프램의 경우 폐단면인 강관내부의 충전성 확인이 어렵는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 80MPa 이상의 초고강도 콘크리트를 사용한 CFT구조형식의 적용 가능성을 검토하고자 한다.

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정
** 정회원, 단국대학교 건축대학 강사, 공학박사
*** 정회원, 동명정보대학 건축공학과 교수, 공학박사
**** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학전공 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

충전용 콘크리트 배합은 한국강구조학회에서 발행한 콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침에서 제시하는 배합 목표값을 만족하도록 계획하였다. 40MPa의 콘크리트와 열전도율 실험과 길이변화 실험 등의 비교를 통해 80MPa이상의 초고강도 콘크리트의 성질을 살펴보고, 모의시험체 실험에서는 80MPa의 다이아프램의 개구율을 달리하여 침하량과 다이아프램 하부의 공극 상태 등의 물성을 파악하여 충전성을 검토하는데 그 목적을 두었다.

표 1. 배합 목표값

슬럼프(㎝)	슬럼프 플로우 (㎝)	공기량 (%)	단위수량 (kgf/㎥)	물결합재비 (%)	블리딩량 (㎤/㎠)	침하량 (㎜)
18이상	55~ 65	2이상 4.5이하	175이하	50이하	0.1이하	2이하

표 2. 배합

	W	C	S	G	FA	SF	SP
배합	168	503	527.3	925.5	108	85.1	13.9

(단위 : kg)

2.2 실험 방법

2.2.1 길이변화 실험과 열전도율 실험

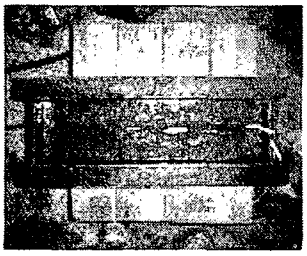


사진 1. 길이변화실험

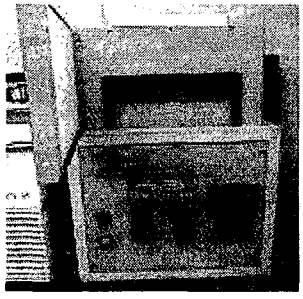


사진 2. 열전도율 실험

CFT구조용 고강도 콘크리트의 특성으로 내화성능과 관련하여 열전도율 실험을 30×30×H5(㎝)의 시험체로 제작하여 70±2℃의 기준에서 실험을 진행하였다. 또한 다이아프램의 하부에서의 수축에 따른 공극상태를 예상해 보기 위해 10×10×40㎝의 시험체를 3개씩 제작하여 평균치를 ASTM C 531에 의거 매립형 Strain Gauge를 사용해 길이변화를 살펴보았다. 실험 수준은 초고강도 콘크리트의 성능을 비교하기 위하여 40MPa과 80MPa의 두 가지로 하였다.

2.2.2 모의시험체 실험

표 3. 강재의 재질 및 규격

규격	명칭	종류	판두께 (㎜)	강도 Fy (tf/㎠)	강도 Fu (tf/㎠)	연신율 (%)
KS D 3503	일반구조용 압연강판	SS400	12	3.54	4.59	28.53

표 4. 모의시험체 제작 계획

모의시험체	양생 방법	타설구 형상 (㎜)	개구부면적 /전단면적 (%)	수량	측정항목
500×500 H1500(㎜) (SS400)	기중	원형 각형	25 49	3	수화온도이력, 침하량, 공극율

※ Fy : 강재의 항복강도, Fu : 강재의 인장강도

500×500×H1500(㎜)의 강관 모의시험체를 3본 제작하여 각각 다이아프램의 개구율을 달리하여 설치하였으며, 콘크리트의 타설은 지하층 또는 최상층에서 주로 사용되는 트레미관법으로 실시하였다. 강재의 재질 규격 및 재료강도는 <표 3>에 나타내었고, 모의시험체 제작 계획 및 측정항목은 <표 4>와 같다.

다이아프램은 콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침을 기준으로 하여 두께 12㎜의 강판에 각형 개구율 49%, 원형개구율 49%, 원형개구율 25%로 타설구멍을 두었으며, 다이아프램의 주변부에 균등하게 직경 30㎜의 공기빠짐 구멍 4개소를 설치하였다. 모의시험체 강관 측면에는 시험체의 하단으

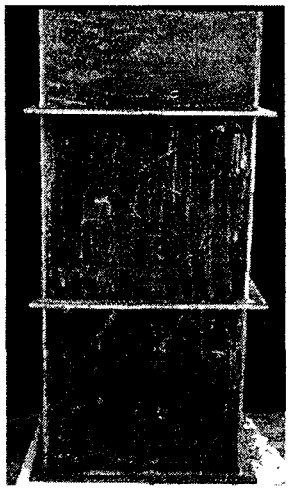


사진 2. 제작된 모의시험체

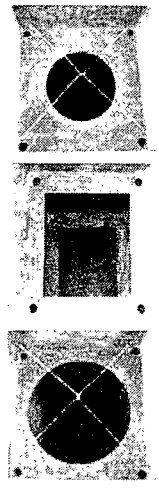


사진 3. 개구율에 따른 다이아프램

로부터 50㎜ 지점에 직경 20㎜의 물빠짐구멍을 설치하였다.

콘크리트 타설은 단열재로 하부를 막은 모의시험체에 무다짐으로 타설하였다. 침하량 실험은 [그림 2]와 같이 강관 상부에 다이얼게이지를 마그네틱베이스로 고정하여 설치하였다. CFT 기둥부재가 외기온에 영향을 받는가를 검토하기 위해 [그림 2]과 같이 바닥에서 각각 300㎜, 900㎜, 1,350㎜, 외부에서 20㎜와 250㎜ 위치에 온도센서를 매설한 후 콘크리트 타설 직후부터 외기온과 비슷해지는 재령까지 자동 온도 기록장치를 사용하여 부재 내부 온도를 측정하였다.

또한 재령 28일 강관을 해체하여 다이아프램 하부 공극의 깊이와 공극율을 측정하여 다이아프램 개구율에 따른 공극을 살펴보았다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 길이변화실험과 열전도율 실험

40MPa와 80MPa의 길이변화를 비교한 결과를 그림 3에 나타내었다. 최대 길이변화는 40MPa에서 4.1×10^{-4}, 80MPa에서 3.72×10^{-4}로 나타나 미세한 차이이지만 80MPa에서 더 작은 값은 나타내었다. 또한 일반콘크리트의 8.0×10^{-4} 보다 고강도에 따른 길이변화의 감소는 다이아프램 하부의 공극과 관련하여 보다 밀실한 부재로서 성능을 발위 할 수 있을 것이라 판단된다.

열전도율 실험에서는 70±2℃를 기준으로 하여 실험을 진행한 결과 80MPa에서 0.37Kcal/mh℃, 40MPa에서 0.48Kcal /mh℃로 나타나 일반 콘크리트에 비해 열전도율이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 콘크리트가 고강도화 됨에 따라 조직이 조밀해 짐에 의한 것이라 사료되며, 이에 따라 콘크리트 내화성능의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 다만 고강도 콘크리트에서 문제시 되고 있는 폭열 등의 문제가 고려된 CFT 구조의 내화성능에 관한 연구가 진행 되어야 할 것이다.

3.2 모의시험체 실험

3.2.1 침하량

모의시험체 상부에 설치한 다이얼게이지로 침하량을 측정한 결과 원형 25%에서는 1.25㎜, 각형 49%에서는 1.72㎜, 원형 49%에서는 1.67㎜의 침하를 나타내 다이아프램 개구율 25%에서 49%보다 약 0.4㎜정도의 침하가 작게 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 침하량은 콘크리트 타설 후 약 2시간이 지난 후 부터는 거의 일어나지 않는 것으로 나타났다. 따라서, CFT 기둥에 콘크리트를 타설하고 난 후 초기에 콘크리트에 대한 보양을 충분히 해야 할 것으로 사료된다.

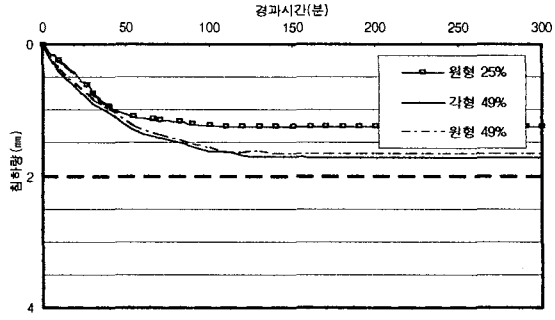


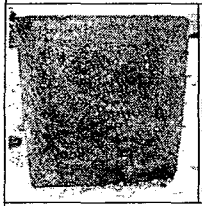
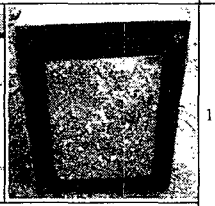
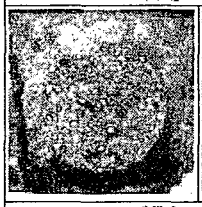
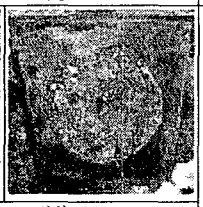
그림 4 침하량

3.2.2 다이아프램 하부 공극율

다이아프램의 하부 공극율의 측정결과를 <표 5>에 나타내었다. 측정결과 개구율 25%가 개구율

49%보다 공극율이 0.15%정도 증가한 것으로 나타났으며, 같은 개구율49%에서의 각형과 원형의 공극율은 각형이 원형보다 공극율이0.2%정도 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 시험체에서 상부와 하부 다이아프램 밑면의 충전상태를 보면 대체로 상부가 하부보다 공극율이 높은 경향을 나타내고 있다.

표 5. 다이아프램 하부 공극율

개구율 (%)	다이아프램 하부 공극	공극면적 (㎠)		평균 공극깊이 (㎝)		공극면적/전단면적 (%)	
상부	하부	상부	하부	상부	하부	상부	하부
		32.3	21.4	0.17	0.08	1.72	1.14
개구율 25% 원형							
		17.1	10.2	0.09	0.07	1.34	0.80
개구율 49% 각형							
		20.02	12.50	0.1	0.07	1.57	0.98
개구율 49% 원형							

4. 결 론

본 연구에서 초고강도 콘크리트를 이용하여 다이아프램 개구율에 따른 CFT 모의시험체 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 초고강도콘크리트의 길이변화실험과 열전도율실험 결과 80MPa이 40MPa보다 더 낮은 값을 나타내었다. 길이변화 실험의 경우 일반콘크리트와 비교해 고강도화 되어감에 따라 감소하였고, 이는 다이아프램 하부의 공극이 줄어드는 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 모의시험체의 침하량 실험결과 개구율 25%에서 1.25㎜ 가장 낮은 값을 나타냈으며, 개구율 49%의 각형과 원형 다이아프램은 0.05㎜의 차이를 보였으나 거의 동일한 침하를 나타내었다. 이는 CFT구조의 적용에 있어 다이아프램의 개구율에 따른 침하의 차이는 있으나 같은 개구율의 경우 형상에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

(3) 다이아프램의 하부 공극율을 측정한 결과 각형 개구율 49%에서 공극율 1.34%, 0.80%로 가장 작게 나타났으며, 이와 비교해 원형 49%가 0.2%, 원형 25%가 0.35% 정도 많은 공극이 나타났다. 또한 모의 시험체의 상부와 하부를 비교했을 때 하부에 비해 상부가 많은 공극을 나타낸 것은 다이아프램 밑면에서의 공극량은 콘크리트 속의 공기포가 상부로 올라오지 못해 생기는데 특히 상부 콘크리트는 하부 콘크리트보다 상승되는 공기포가 많고 하부에서의 압밀효과에 따른 충전성으로 상부에서 많은 공극량을 나타낸 것으로 판단된다.

향후 초고강도 콘크리트의 폭열에 관한 연구와 CFT 구조에 적용하였을 경우 내화 특성에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1) 김주인 외 2인, 콘크리트充塡 角形鋼管柱의 耐力에 관한 硏究, 대한건축학회 논문집, 제 13권 6호, 1998. 6, pp. 243~253
2) 김화중 외, 중심압축을 받는 고강도콘크리트 충전각형강관 기둥의 내력특성 , 대한건축학회 논문집, 18권 7호, 2002.7, pp. 11~18
3) 한국강구조학회지, CFT 과거·현재 그리고 미래, Vol.14 No2 June. 2002 pp. 16~21
4) 한국강구조학회, 콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침, 2003
5) 정상진 외, CFT구조용 초고강도 콘크리트의 현장 적용을 위한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 20권 3호, 2004.3, pp. 83~90
6) 정근호, 고강도 콘크리트를 사용한 콘크리트충전 강관구조(CFT)의 활용, 박사학위논문, 단국대학교 대학원, 서울, 2004
7) 日本建築學會, コンクリート充塡鋼管構造設計施工指針, 1997
8) 新都市ハウジング協會, CFT構造設計技術指針·同解說, 1997
9) 戶祭邦之, コンクリート實務事典, 井上書院, 1997, pp. 84~85