

고강도 내화 원심성형기둥 개발

Development of High Strength and Fire Resistance Spun Concrete Column



김 태 호*
Kim, Tae-Ho



송 영 찬**
Song, Young-Chan

1. 원심성형기둥의 개발개요

최근 유럽지역에서는 공사비 중 인건비 비중이 높아짐에 따라 PC 부재의 사용이 늘고 있다. 특히 원심성형 기둥은 강도가 우수하고 마감상태가 좋아 건축물 기둥으로 많이 사용되고 있다. 우리나라의 경우에도 인건비가 지속적으로 상승하고 있는 현실상 고강도 PC 부재의 사용이 늘어날 것으로 예상되며 원심성형 기둥도 건축용 구조부재로 사용될 것으로 예상된다.

이에 따라 대림산업(주)에서는 골조공사의 원가절감 및 공기단축의 일환으로 대림 C&S(주), (주)한빛구조엔지니어링과 공동으로 2년여의 기술 개발을 진행하여 고강도 내화 원심성형 콘크리트 기둥(HiFi Column : High strength Fire resistance spun concrete Column)에 대한 국산화에 성공하였다.

* 대림산업 기술개발원 건축연구지원팀

** 대림산업 기술개발원 건축연구지원팀

기술개발시 주요 검토내용은 원심성형기둥 설계법 검토를 위한 기둥압축시험, 기둥이음성능시험, 및 내화시험 등이며 본 원고에서는 이에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

2. 원심성형기둥 적용 현황

2.1 해외 적용현황

원심성형기둥이 많이 사용되는 해외 국가들은 인건비가 비싼 건설 환경을 지닌 독일, 오스트리아 등 유럽지역의 선진국에서 많이 사용된다. 특히 유럽 등지에서 건축물 기둥으로 활발하게 사용되고 있으며 경우에 따라서는 보 등의 경우에도 활용된 사례가 있다. 이 지역에서 사용되는 원심성형 기둥은 80MPa~95MPa 수준의 고강도 콘크리트로 표면을 샌드 블래스팅(Sand blasting)하여 특별한 마감처리 없이 노출시켜 적용하는 경우가 많다. 주 제작 길이는 15m 정도로 최대 35m까지 제작이 가능한 것으로

알려져 있다. 이들 기둥들은 좌굴길이의 확보를 위하여 경우에 따라서는 포스트텐션 공법을 추가로 적용하기도 하며 내화성능 또한 제품별로 2~4시간 수준에 대하여 확보하고 있다.



(a) 원심성형기둥 단면



(b) 적용 예(오스트리아)

〈그림 1〉 유럽지역 원심성형 기둥 적용사례

형상의 측면에서도 국내와는 달리 원형, 변단면, 사각형 등 대칭의 다양한 형상 뿐만 아니라 타워형 등 축대칭 형상도 제작이 가능한 것으로 파악되고 있다. 〈그림 1〉은 유럽지역에서 사용되는 원심성형 기둥의 단면 및 오스트리아 소재의 오피스 건물에 사용된 원심성형 기둥의 예이다. 강도는 80MPa이 적용되었으며 통상적으로 사용되는 크기는 직경 300~600mm이다.

2.2 국내 적용현황

국내의 경우 건축용 원심성형기둥의 개발은 미진한 상태로 건축물에 적용하기 위한 다양한 상세 등

을 참조 또는 개발이 필요한 상황이다. 국내에서 원심성형기술이 주로 적용되는 분야는 파일, 전신주 등이며 최근에서야 건축물에 적용이 시작되고 있는 실정이다. 현재 엔지니어링사 주도로 5개 현장 내외가 적용된 것이 원심성형기둥이 적용된 국내 현황이며 이중 지상층에 사용된 일부 건물에는 PHC 파일용으로 사용되는 제품을 활용하여 시공된 경우도 있다. 탑다운 현장에 사용된 경우는 내부에 철근등을 배근하는 등 건축용으로 적용된 경우이다. 〈그림 2〉는 지상 및 지하부에 적용된 원심성형기둥의 사례이다.



(a) 지상부 적용 예



(b) 탑다운 적용 예

〈그림 2〉 국내 원심성형 기둥 적용사례

원심성형 기둥이 건축물에 원활히 사용되기 위해서는 고강도 콘크리트를 사용하는 특성상 내화성능을 확보하여야만 하고 생산원가를 절감하기 위하여 기존의 PHC 파일용 몰드를 활용해야 하는 문제가 있다.

3. 원심성형기둥 구조성능시험

3.1 실험체의 제작 및 실험준비

실험체의 제작을 위하여 원심성형 몰드, 기둥제작용 철근 및 철물의 제작 후 기둥내부에 들어갈 스트레인게이지 부착작업을 수행하였다. <그림 3>은 실험체 주요 제작 사진을 나타낸 것이다.



(a) 철근망 조립

(b) 원심성형 준비



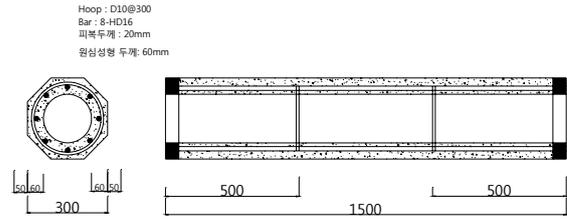
(c) 원심력 도입

(d) 제작완료

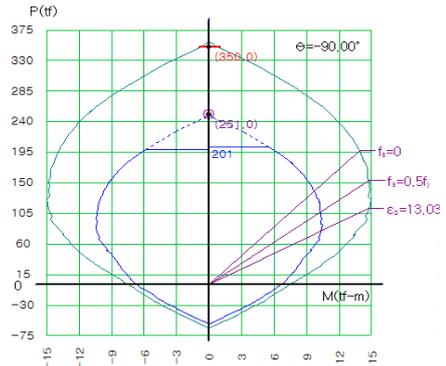
<그림 3> 원심성형 기둥 시험체 제작과정

3.2 압축성능 평가

원심성형 기둥의 압축성능을 평가하기 위하여 <그림 4>와 같은 폭 300mm의 팔각기둥을 대상으로 압축실험을 실시하였다. 압축실험체의 크기는 실험장비의 성능 등을 고려하여 결정하였다. 실험체는 모두 3개를 제작하였으며, 실험변수는 속채움 콘크리트의 유무 및 속채움 콘크리트의 강도이다. 내부 속채움 콘크리트의 강도는 공시체 시험결과 26MPa과 40MPa로 평가되었다. 이에 따라 내부 속채움에 따른 추가 저항 축력은 40tf 및 100tf 정도 증가될 것으로 예상된다. 속을 채우지 않은 원심성형 기둥의 P-M 상관도는 <그림 5>에 나타내었으며 최대 축하중을 350tf 내외로 예상하였다.



<그림 4> 압축성능평가 시험체의 상세



<그림 5> 압축성능평가 실험체의 P-M상관도



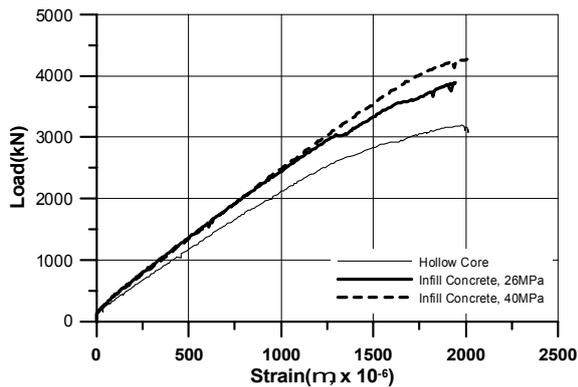
(a) 압축성능평가 실험 세팅상황



(b) 파괴형상

<그림 6> 압축성능평가 시험

검토대상인 압축강도 시험체의 설치장면 및 파괴형상의 예는 <그림 6>에 나타내었다. 실험결과를 살펴보면 중공 단면의 경우 320tf의 최대하중을 기록하였으며 이는 10%가량의 오차수준이다. 단면외측은 균일하고 밀실하게 구성되어 있으나 내부 중공층의 단면은 상대적으로 거칠게 형성되는 특성상 실단면을 약 10mm 작게 볼 경우 해당 축력에 근접한 결과를 나타내는 것으로 파악되었다. 이에 따라 단면 성능의 검토시 내부 단면결손을 고려해야 할 것으로 생각된다. 내부를 채운 경우에는 일반강도(26MPa)로 채운 경우 중공 단면 축력에 비하여 약 70tf 증가, 고강도(40MPa)로 채운 경우 약 105tf정도 증가된 것으로 파악되었으며 힘-변형도 곡선은 <그림 7>과 같다.

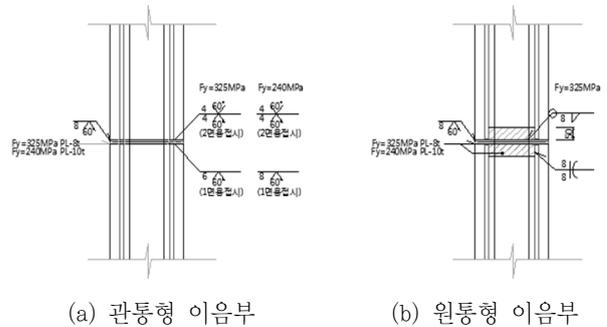


<그림 7> 압축성능평가 시험체의 힘-변형 곡선

모든 실험체들은 변형율이 0.02수준에서 파괴에 이르는 것으로 나타났다. 내공을 채운 경우 내부 콘크리트의 영향으로 힘-변형 곡선의 기울기가 상승하여 최대하중이 증가하는 효과를 보인다. 속채움 콘크리트의 강도가 큰 경우 항복점이 지연되는 효과를 가지는 것으로 파악되었다. 이러한 실험결과를 바탕으로 볼 때 충분히 내부 단면을 채우는 것이 압축력 증대에 효과가 있음을 확인할 수 있었으며 또한 기존의 누가강도 계산식을 적용하여도 무방함을 확인하였다.

3.3 기둥 이음부 성능 평가

원심성형 기둥은 공장에서 선제작된 제품으로 기둥으로 사용되기 위해서는 이음부 성능이 확보되어야 한다. 이음부 성능을 평가하기 위하여 <그림 8>과 같은 2가지 이음부 상세를 기준으로 검토하였다. 해당 기둥 시험체는 압축시험체와 동일하게 기둥 폭 300mm의 팔각기둥 형상을 가지고 있다. 배근은 8-HD16의 주근과 피치 150mm의 나선철근으로 구성되어 있으며 관통형 이음부는 이음부 철판에 주철근이 관통하여 맞댐용접되어 있다. 원통형 이음부는 이음부 철판에 원통형태의 철판을 용접하고 주철근을 원통부에 모살용접하여 구성된 이음부이다.



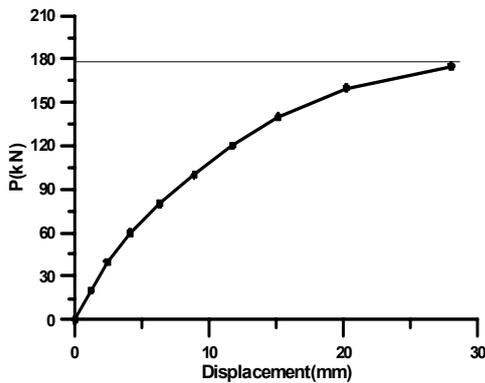
<그림 8> 기둥 이음부 상세



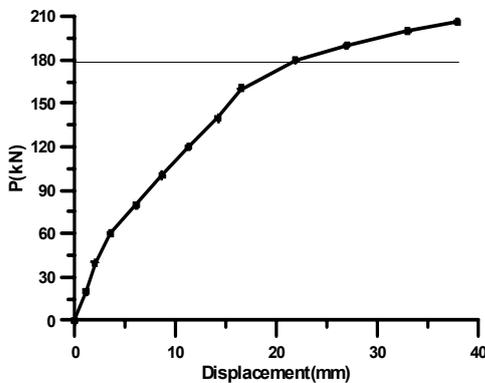
<그림 9> 기둥 힘 시험 예

이 이음부 시험체의 극한 모멘트는 <그림 5>에서 보는 바와 같이 80kNm 정도로 추정되며 이음부 철판두께 및 용접상세는 해당 모멘트에 저항하도록 설계되었다. 이음부의 힘저항 성능을 파악하기 위하여 2점 가력 시험을 <그림 9>와 같이 실시하였다. 이때 최대 모멘트에 이르는 하중은 180kN으로 추정되었

다. 시험결과는 <그림 10>에 나타내었으며 원통형 이음부의 경우 60kN 내외의 하중에서 균열하중에 이르는 것으로 보이며 160kN 내외에서 주철근의 항복이 발생하며 205kN 수준의 최대하중을 보이는 것으로 파악되어 추정 최대하중을 10%가량 초과하는 것으로 나타나 이음부 상세로 적절한 것으로 판단된다. 관통형 이음부의 경우 초기 콘크리트의 균열하중 등은 유사한 것으로 나타났으나 기둥 주철근의 일부만 항복한 상태에서 이음부 철판이 국부 좌굴하여 이음부에서 철판이 항복하여 파괴되는 결과를 보였다. 최대 추정하중에는 거의 근접하는 결과를 나타내었으나 기둥 내력을 충분히 발휘하지 못한 상태에서 파괴되어 이음부 철판의 두께를 키우거나 좌굴 방지를 위한 보강판 설계가 필요한 것으로 판단되며 해당 이음부를 그대로 사용하는 것은 적절하지 못한 것으로 나타났다.



(a) 관통형 이음부



(b) 원통형 이음부

<그림 10> 이음부 시험체 힘-변위곡선

4. 원심성형기둥 내화성능시험

원심성형기둥은 낮은 함수율과 공기량 등으로 내화성능이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 이는 성형방법 및 내부 중공부에 따른 압력저하요인 등으로 인하여 폭발현상이 발생하지 않을 것으로 보기 때문이다(2). 그러나 현재 50MPa를 넘는 고강도 콘크리트를 적용할 경우 내화구조의 성능기준을 만족시켜야 한다. 기준에서는 4층 또는 20m이하일 경우에는 1시간 내화, 12층 또는 50m 이하일 경우에는 2시간 내화 그리고 12층 또는 50m를 초과할 경우에는 3시간 내화성능을 만족시켜야 한다. 이때 검토기준은 주철근의 평균온도가 538℃, 최고 649℃를 넘지 않아야 한다. 시험조건상 원심성형기둥의 경우 기둥 내측이 비어있어 폭발현상이 발생할 가능성은 줄어들지만 내부의 열응력상승으로 속이 팽창 구조체에 비하여 철근온도는 더 빨리 올라갈 수도 있는 문제를 가진다. 이에 따라 HiFi 기둥에 대한 내화성능 확보에 관한 연구를 수행하였으며 본 고에서는 HiFi 기둥의 내화성능 확보내용에 대하여 간략히 기술하였다. <표 1>은 내화인증시험시 적용한 시험체의 간략한 정보이다.

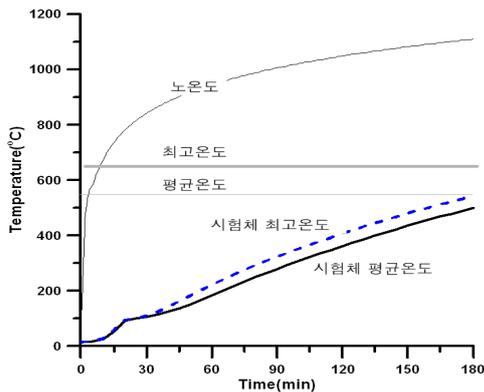
<표 1> 시험체 구성 및 재질

항 목		내 용
철 근	주철근 치수 및 재질	D25 - SD500
	늑근 치수 및 재질	D10 - SD400
콘크 리트	설계기준강도(MPa)	80
	시멘트 종류	보통포틀랜드시멘트
	슬럼프(cm)	-
	공기량	2.8%
	골재의 종류	화강암
	굵은골재 최대치수(mm)	20
시험체 제작	제작일	2012. 09. 25
	양생기간	33일 이상
	양생조건	고온고압양생
내화 대책	종류 및 배합비	섬유(1kg/m ³)

시험 후 시험체 현황은 <그림 11>과 같으며 시험 종료 직후의 내화로 등에 대한 육안관찰결과 폭발 등은 발생하지 않은 것으로 추정되나 시험 후 급격한 온도하강에 의한 기둥 내외부 열응력 차이로 인하여 균열 및 피복박리 현상이 일어났다. <그림 12>는 3시간 인증시험 결과를 나타낸 그래프이며 2개의 시험체에 대하여 각각 4개소에서 계측하였으며 두 시험체 모두 기준온도 이하를 나타내었고 건축물에 별도의 마감없이 내화성능을 확보할 수 있게 되었다.



(a) 전체 형상 (b) 균열 형상
 <그림 11> 내화시험 후 시험체 현황



<그림 12> 내화시험결과

6. 맺음말

금번 개발된 HiFi 기둥은 고강도 콘크리트를 사용함으로써 기둥 단면을 줄일 수 있어 공간 확보에 용이하며 경제성 측면에서도 기존 PC기둥 및 H형강

기둥에 비하여 약 30%가량 낮아 발주자와 시공사는 원가절감 효과를 기대할 수 있다. 추가적으로 별도의 마감공사를 생략할 수 있어 공기단축의 효과도 가진다.

대림산업에서는 금번 개발 제품에 대하여 PC기둥, 합성기둥 및 철골기둥 등이 적용되는 현장에 대하여 시험적용을 거쳐 확대 적용할 예정이다. HiFi 기둥은 대림 C&S(주)에서 제작을 세부 설계는 (주)한빛구조엔지니어링에서 담당한다.

참고문헌

1. 국토해양부 고시 제 2008-334호., 고강도 콘크리트 기둥보의 내화성능 관리기준, 국토해양부, 2008.
2. 허영선., 초고강도 콘크리트의 내화성에 미치는 영향요인 분석 및 폭열 메커니즘 규명. 석사학위논문, 청주대학교, 2007.
3. 대림 C&S, <http://www.dcp.co.kr>, 2011
4. 센구조연구소, <http://senkuzo.com>, 2011
5. 대한건축학회, 건축구조기준, 2009
6. PCI, PCI Connection Manual for precast and prestressed concrete construction, 2008
7. Rocla, Building Columns: Technical Manual, Rocla Pyt Limited, 2003
8. opucC, concrete Architecture & Design: Spun, not stirred, British Precast, 2010