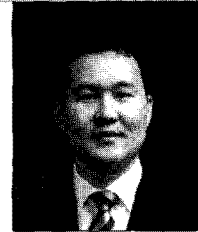


γLRC 강재기둥의 구조적 특성과 시공사례

The Structural Characteristics and Applications of γLRC Composite Column



강 지 연*



김 형 군**

* SH공사 도시연구소 책임연구원

** SH공사 도시연구소 건설기술연구팀장

1. 서 론

현재 국내의 건설산업은 현장기능 인력의 부족, 이로 인한 현장시공 품질관리의 어려움 및 후분양 제도의 도입 등으로 인한 공기단축의 필요성이 증대되고 있다. 또한 거주자들의 Life Style 변화를 융통성있게 수용할 수 있는 가변성이 뛰어난 장스팬 기둥식 구조형식이 요구되고 있다. 그러나 현재 적용되고 있는 철근콘크리트조와 철골조는 이러한 다양한 요구를 수용하기엔 경제성과 시공성 등에 다소 문제점이 있다.

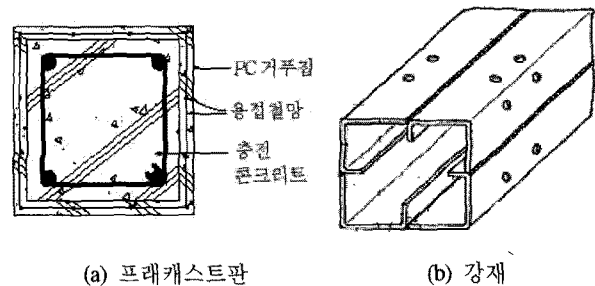
따라서 대안으로 두 시스템의 장점을 혼용한 합성구조에 대한 연구가 슬래브와 보 등의 일부에서 개발되었다. 기둥의 경우, 철골 철근콘크리트조(SRC)와 콘크리트충전강관(CFT) 기둥 등이 개발·적용되고 있다. 부재내력과 변형능이 큰 이 시스템들은 공간 활용성을 높일 수 있고, 시공시 강관은 거푸집 역할을 함으로써 공사비 절약과 공기단축이 가능할 수 있게 된다.

그러나 내부 콘크리트 충전상태의 육안 확인 및 보-기둥 접합부 시공의 어려움, 철골 또는 철근콘크리트 기둥에 비해 비싼 공사 등으로 국내에서는 아직까지 적용이 제한적이다. 또한 국내·외에서 프리캐스트판이나 탄소섬유튜브, 강재를 이용한 영구거푸집 기둥에 대한 연구가 활발히 이

루어지고 있으나, 이러한 공법들 역시 성능은 우수한 편이지만 상대적으로 고가이기 때문에 그 적용도는 크게 높지 않다.

따라서 현장 공사기간과 인력을 획기적으로 줄일 수 있으며 경제성이 우수한 무(無)거푸집 합성공법의 필요성이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 기존 합성기둥 개선하여 건축물 구조제 공사의 공기단축과 인력절감을 목표로, 구조 부재의 사전 제작을 통한 현장 작업량을 간소화하는데 연구 주안점을 두었다. 또한 개발공법의 내력실험을 통해 구조 성능을 검증하였고, 실제 건물 시공사례를 통해 현장적용성을 평가하였다.



(a) 프리캐스트판

(b) 강재

그림 1 무거푸집 기둥의 예시

2. yLRC 강재기둥의 개발

본 기술개발의 목적은 기본적으로 시공 현장에서 가장 인력과 시간이 많이 소요되는 공정인 거푸집 및 철근배근 작업을 단순화할 수 있는 기둥을 개발하는 것으로 현장적용성에 주안점을 두었다.

2.1 형상

개발한 yLRC 강재기둥(RC column with y-shape steel forms and L-angle)은 그림 2와 같이, 단면성능과 강도발현의 극대화를 위하여 ㄱ형강과 y형 강판을 조합한 박스형 조립기둥으로 거푸집이 필요하지 않다.

기둥의 주된 응력인 압축하중을 주로 내부에 채워진 콘크리트가 부담하고, y형 강판이 띠철근(hoop)의 역할을 하도록 하며, 인장 및 부가 압축력에 대한 주근의 역할은 ㄱ형강이 하도록 네 모서리에 배치하였다. 이러한 구성은 구조적으로 가장 힘을 크게 받는 모서리에 강재를 집중배치하고 나머지 부분에는 얇은 강판을 배치함으로써, 최소의 강재로 구조적인 내력을 극대화하는 효율적인 구조이다.

1mm내외의 얇은 y형 강판은 그림 3에서 보듯이 콘크리트 측압에 충분히 저항하고 콘크리트의 충전성도 개선할 수 있도록 강판을 구부려 접합하는 형태로 제작하였다.

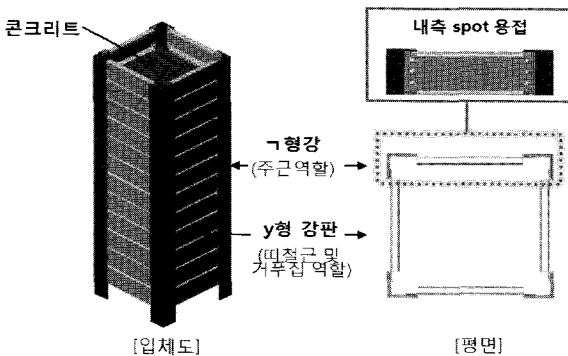


그림 2 yLRC 강재기둥의 형상

ㄱ형강과 y형 강판은 3점 점용접(spot welding)으로 부착하며, RC기둥의 띠철근이 가지는 강도이상 발휘하는 것을 시험을 통해 확인하였다.

2.2 특성

2.2.1 구성부재의 최적화 조합

기존의 특수제작이 필요한 강판을 소재로 하는 CFT기둥과 달리, 시중의 ㄱ형강과 강판을 조합하여 제작하였다. 그러므로 두께를 줄이는데 한계가 있는 CFT기둥을 개선하여, 구조적으로 가장 취약한 기둥의 네 모서리에 ㄱ형강을 배치하고 그 사이에 강판을 접합하여 최소의 강재량을 사용하므로 경제적이다.

2.2.2 하중증가에 따라 단면적 조정 용이

CFT에서처럼 동일한 강재단면을 고층건물의 전 층에 걸쳐 사용하는 경우, 하중이 상대적으로 작은 상층부에서는 매우 비경제적이다. 이를 개선시킨 yLRC 강재기둥은 형강의 규격 및 강종(재질)을 바꾸어 조합할 수 있고, 기둥 내부에 철근을 추가로 배근하여 강도를 높일 수 있다.

동일한 단면의 기둥을 사용할 경우, 하중이 높은 기둥의 단면크기를 증가시키는 대신, 철근배근을 추가하여 단면적 조절이 가능하다. 공장에서 기둥의 ㄱ형강 내부로 추가되는 철근을 점용접하여 제작함으로써 현장에서는 추가적인 작업이 필요없다.

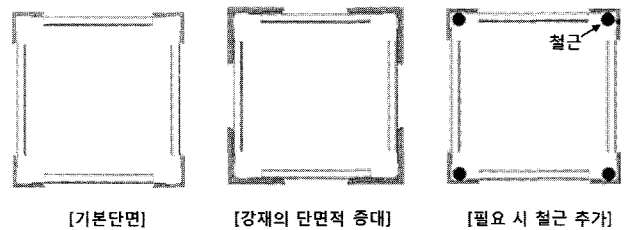
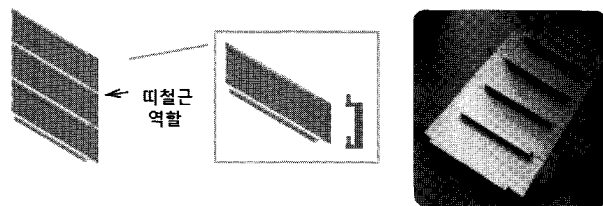
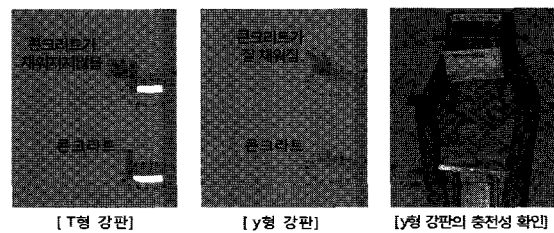


그림 4 yLRC 강재기둥의 단면강도 증가방법



(a) y형 강판의 형상



(b) y형 강판의 콘크리트 충전성

그림 3 y형 강판의 형상 및 콘크리트의 충전성 확인

2.2.3 접합부의 효율적인 구성

yLRC 강재기둥과 보 접합부는 모서리의 γ 형강을 제외한 4면이 전부 개방된 상태에서 현장에 반입하여 현장에서 패널존에 보를 접합하고 고력 인장볼트를 조립한 후 콘크리트를 부어넣는 작업공간으로 편리하게 이용된다. 이후 현장에서 강관을 부차함으로써 접합부가 단순화되며, 콘크리트 타설 및 타설 확인을 용이하게 할 수 있다.

이는 기존 CFT기둥의 단점인 각 층 보를 연결하는 패널존 직상부에 콘크리트를 부어넣기 위해 측면 작업구를 뚫었다가 원상복구하는 번거로움과, 기둥의 패널존에 고력 인장볼트를 설치하기가 거의 불가능하여 기둥을 층마다 잘랐다가 다시 접합하는 복잡한 어려움을 보완한 공법이다.

또한 기존 여러 합성보와 yLRC 강재기둥의 접합이 용이하도록 대표적인 합성보인 TSC보, MHS보, iTech보, Slim빔을 대상으로 그림 6과 같이 맞춤형 접합부를 개발하였다.

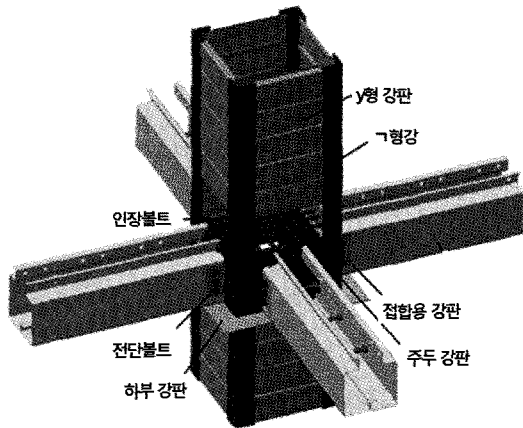


그림 5 yLRC 강재기둥의 패널존

3. yLRC 강재기둥의 구조성능평가

개발된 yLRC 강재기둥의 구조성능 규명 및 이를 통한 현장적용 가능성 검토의 기초자료를 마련하고자, yLRC 강재기둥의 축소(200×200×1,000(mm)) 및 실물크기(500×500×3,000(mm)) 기둥의 압축강도 실험을 수행하였다.

yLRC 강재기둥의 실제 적용을 위한 응력산정 및 내력검토는 철근콘크리트 구조이론 및 콘크리트 구조설계기준(1999)에 따라 산정한다. 이는 강구조 한계상태 설계법(KBC2009)으로 산정시, 합성기둥 압축재의 구조제한 중 강재 단면적(A_s)은 총단면적(A_g)의 3%이상이어야 하나, yLRC 강재기둥의 경우 이 제한을 만족하지 못한다. 만약 이 제한을 무시하고 합성기둥의 설계압축강도를 적용할 경우, 그림 7에서 보듯이 실험에 의한 최대하중값의 30%이하의 범위로 내력산정값과 실험값이 큰 차이를 보인다.

반면 실험값과 철근콘크리트 설계기준에 의한 내력산정값의 비는 약 110~130%의 범위를 나타내어 잘 일치하는 것으로

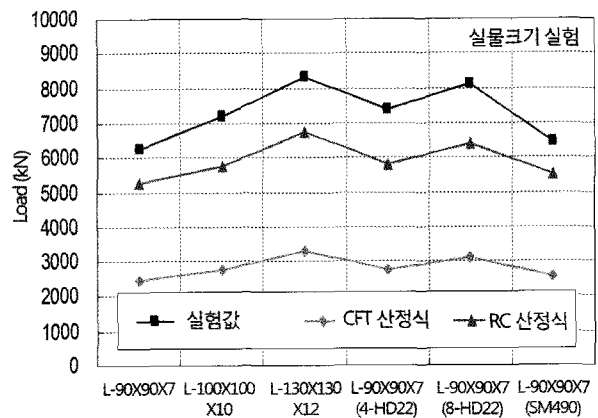


그림 7 yLRC 강재기둥의 실험값과 내력산정값과의 비교

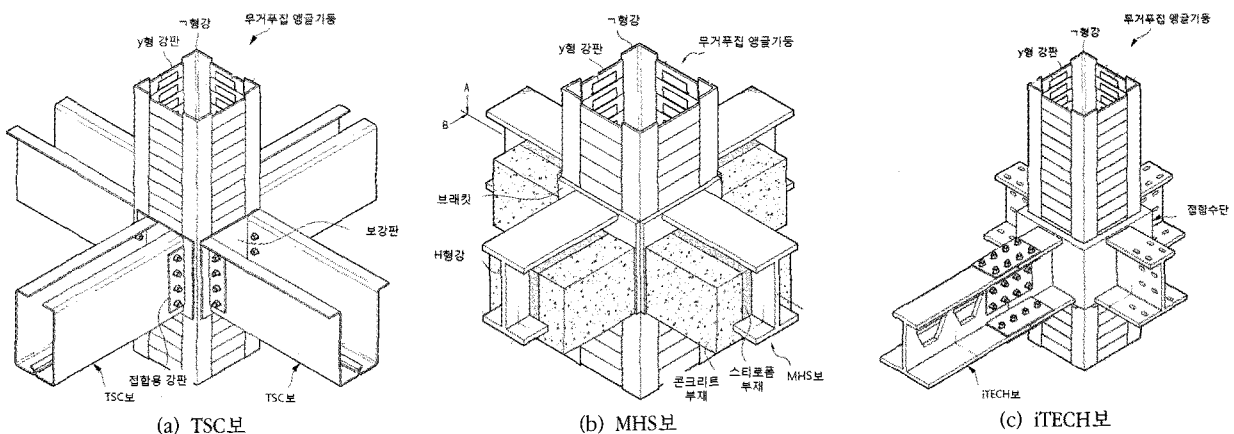


그림 6 yLRC 강재기둥과 기존 합성보의 패널존 형태

나타났다. 그러므로 yLRC 강재기둥의 실제 적용을 위한 내력 검토는 철근콘크리트 구조이론 및 콘크리트 구조설계기준 (1999)을 적용하는 것이 적절하다고 판단된다. 이 때 주근의 강도에 대해서는 ㄱ형강의 단면적에 따른 강도를 적용하고, 콘크리트의 강도는 압축단면에 $0.85f_{ck}$ 강도를 적용한다. 이 때 철근을 보강한 단면일 경우, 철근도 포함시켜 계산한다.

$$P_o = 0.85f_{ck}A_c + f_{yL}A_{sL}$$

여기서 f_{ck} : 콘크리트 압축강도 A_g : 기둥 전단면적
 f_{yL} : ㄱ형강의 인장강도 A_{sL} : ㄱ형강의 단면적

yLRC 강재기둥의 축소 및 실물모형 실험 결과, 주요변수인 ㄱ형강의 단면적에 비례하여 기둥의 최대하중이 증가하여 ㄱ형강이 구조재로 거동함을 확인할 수 있었다. ㄱ형강의 단면 크기와 강종, 보강철근의 개수가 증가할수록 최대하중은 증가하였으며, 특히 보강철근의 효과가 큰 것을 알 수 있었다.

또한 파괴양상은 콘크리트가 압축파괴가 진행되면서 ㄱ형강의 국부좌굴과 플레이트의 배부름이 동반되는 형태로 진행되었다. 최대하중에 도달하여 ㄱ형강의 국부좌굴로 인해 파괴되므로 강판과 ㄱ형강의 용접부 내력이 충분히 확보하면 연성이 보다 더 증대될 것으로 판단된다.

이상의 결과에 따라 외부를 ㄱ형강과 강판을 조합하여 만든 강관을 둘러싸고 내부에 콘크리트를 타설한 형태인 yLRC 강재기둥은 ㄱ형강이 주근으로, y형 강판은 띠철근으로 이용되어 기존의 RC기둥과 같이 구조재로 적용이 가능하다고 판단되었다.

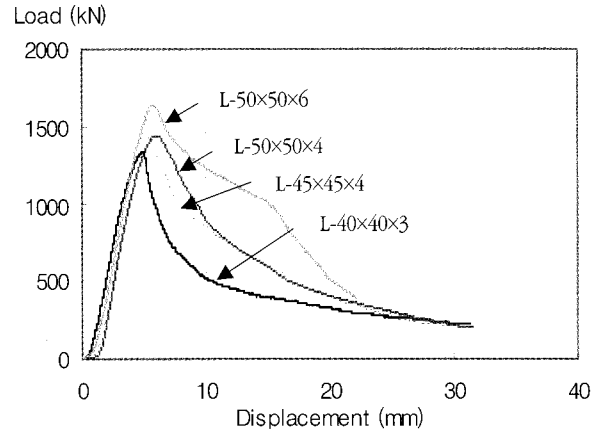


그림 8 ㄱ형강의 단면크기에 따른 축소 yLRC기둥의 하중변위 곡선

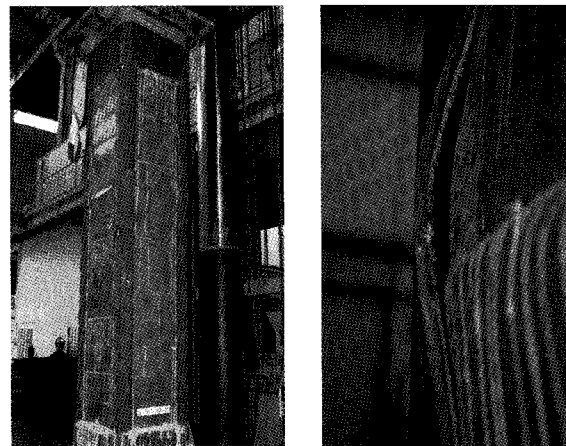


그림 9 yLRC 강재기둥의 파괴양상

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 실험체 크기 : 200×200×1,000 (mm) • 변수 : ㄱ형강의 크기(40×40×3, 45×45×4, 50×50×4, 50×50×6) • 콘크리트 강도 : 27 MPa • ㄱ형강 인장강도 : 440 MPa <p>(a) 축소모형실험</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 실험체 크기 : 500×500×3,000 (mm) • 변수 : ㄱ형강의 크기(90×90×7, 100×100×10, 130×130×12) ㄱ형강의 강종(SS400, SM490), 보강철근개수(0, 4, 8) • 콘크리트 강도 : 21 MPa • ㄱ형강 인장강도 : 440 MPa <p>(b) 실물모형실험</p> |
|---|--|

표 1 yLRC 강재기둥의 구조성능실험 개요

4. yLRC 강재기둥의 현장적용성

앞 장의 구조성능결과, yLRC 강재기둥의 구성요소인 ㄱ형강과 y형 강판이 구조재로서 역할을 하는 것으로 나타났으므로, 이에 대한 실용화를 위해 근린생활시설(6층), 사무동(2층), 공동주택 지하주차장(지상 15층, 지하 1층)의 시험 시공을 실시하여 현장적용성을 평가하였다.

4.1 시공성

yLRC 강재기둥은 철골조와 유사하게 제작된 기둥을 현장에 세우고 콘크리트를 타설하는 것으로 시공이 완료되므로 간편하게 시공할 수 있어 공정이 크게 단축되는 장점이 있다. 공장에서 제작된 일체형 기둥으로 강판자체가 거푸집과 구조재 역할을 겸함으로 현장에서 거푸집 설치와 철근조립이 불필요하여 RC기둥과 SRC기둥에 비해 시공성이 월등하게 향상된다.

보-기둥 접합부의 경우, CFT와 유사하나, 조립기둥이므로 기둥과 보의 접합부분의 y형 강판을 600mm정도 개방하면, 콘크리트를 타설하거나 다질 때 용이하고 육안으로 콘크리트 충전을 쉽게 확인할 수 있다. 그리고 기둥과 보의 접합부 시공시, 주근역할을 하는 ㄱ형강에 보의 접합을 위

한 접합부 ㄱ형강을 공장에서 사전부착하여 현장에서는 보를 볼트조립함으로써 현장에서 시공이 간편할 뿐 아니라 강성이 확보된다. 그리고 기둥과 보의 접합부분을 폐쇄형으로 제작함으로써 연결부 틈새의 별도시공도 불필요하다.

또한 환경문제가 중요한 이 시점에서 거푸집이 불필요한 공법이므로 건설폐자재가 발생하지 않아 환경친화성이 높다.

4.2 공사기간

yLRC 강재기둥은 1절(3개층)을 현장에 세우고 콘크리트



그림 11 보-기둥 접합부



그림 10 yLRC 강재기둥의 제작 및 시공과정 (2층 사무동)

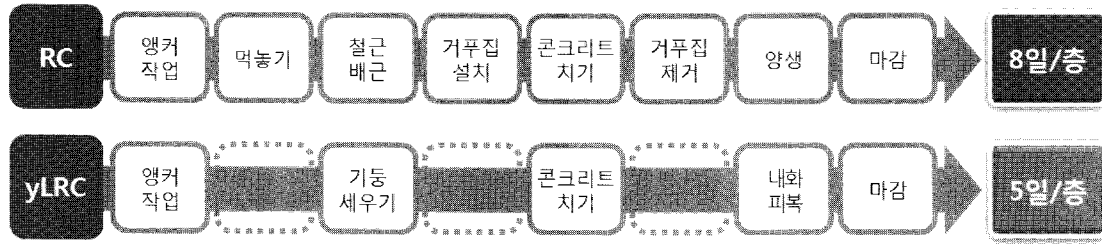


그림 12 RC기둥과 yLRC 강재기둥의 1개층 공정 비교

를 치면 시공이 완료되므로 공정 또한 크게 단축된다. 그림 12는 1층 기둥공사와 관련하여 RC기둥과 yLRC강재기둥의 주요 공정을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 12에서도 알 수 있듯이 기존의 RC공법의 경우 기둥공사를 위해서는 모두 8개의 복잡한 공정을 거쳐야 한다.

그러나 yLRC 강재기둥을 사용할 경우에는 5개의 공정으로 단순화된다. 특히 현장작업인력과 시간이 많이 소요되는 거푸집 조립 및 해체작업과 철근배근 작업이 필요없고, 공장제작된 기둥을 세우기만 하면 되므로, 실제 공정은 ① 기둥세우기, ② 콘크리트 치기, ③ 마감이라는 3개의 공정으로 단순화될 수 있어, RC공법에 비하여 시공이 용이함은 물론 현저한 공기단축이 가능하다.

전체 공정으로 볼 때, RC조의 골조공사 공기는 바닥면적과 난이도 등에 따라 상이하나, 기준층의 경우 대략 8일에 1개층 정도가 된다. yLRC 강재기둥은 3일에 1개층이 가능하므로 6개층당 한달정도의 공사기간이 단축된다고 보여지며, 이는 실제 근린생활시설 6층 시공을 통해 확인한 바 있다.

4.3 경제성

시험시공현장 중 지하주차장(지하 1층, 연면적 70,105㎡, 기본모듈 16.5×7.4m)에 시공된 사례를 바탕으로 yLRC 강재기둥을 적용한 공사의 경제성을 분석하였다.

먼저 RC기둥과 yLRC 강재기둥, CFT기둥의 개당 기둥공

사비를 비교하면, 표 2에서 보는 바와 같이 RC기둥 대비 yLRC 강재기둥은 30.0%, CFT기둥은 84.2%가 증가하였다. CFT기둥이 다소 고가로 나타난 것은 일반적으로 중고층 건물에 적합한 시스템으로, 폭/두께비를 고려한 강판사이즈를 고려했을 때 지하주차장에 적용하기엔 비경제적이기 때문인 것으로 보인다.

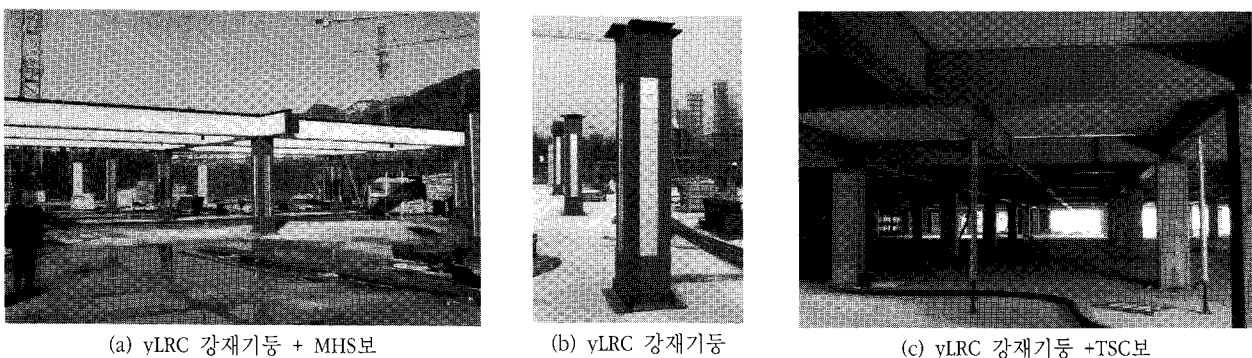
yLRC 강재기둥 적용시, 공기단축과 현장관리비 절감에 따른 금융비용 절감으로 간접비용이 감소하여 표 3에서 나타난 바와 같이, 기둥의 전체 공사비는 약 12.4%가 절감되었다.

즉, yLRC 강재기둥은 기존공법인 RC기둥에 비해 직접공사비는 증가하지만, 공기단축과 현장작업의 최소화로 간접비용이 감소하여, 간접비와 부대비용(현장관리비, 금융비용)까지 고려할 때 공사비 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

이는 가설작업이 복잡하고 공기가 긴 현장일수록 그 경제적 효용가치가 클 것으로 기대된다.

5. 결 론

본 연구에서는 현장작업의 단순화, 시공의 효율성 및 품질향상, 공기단축을 위하여 현장 거푸집작업과 철근작업을 생략할 수 있는 yLRC 강재기둥을 개발하였다. T형강을 기둥의 네 모서리에 배치하고 그 사이에 얇은 강판을 용접



(a) yLRC 강재기둥 + MHS보 (b) yLRC 강재기둥 (c) yLRC 강재기둥 + TSC보

그림 13 ○○지구 지하주차장 시범시공 현장

표 2 기둥 공사비 원가분석

2011년 물가정보 기준

| 구분 | | | RC기둥 (A) | | | yLRC 강재기둥 (B) | | | CFT기둥 (C) | | |
|------|-----------|-----|-----------|----------|---------|---------------|----------|-----------|-----------|---------|--------|
| | | | 단가(원) | 단위수량 | 금액(원) | 단가(원) | 단위수량 | 금액(원) | 단가(원) | 단위수량 | 금액(원) |
| 직접비 | 철근 | 자재비 | 772,065 | 0.162ton | 194,246 | - | - | - | - | - | - |
| | | 노무비 | 424,030 | | | - | | | - | | |
| | 철골 | 총단가 | - | - | - | - | - | 1,330,000 | 0.480ton | 638,356 | |
| | Angle | 총단가 | - | - | - | 1,757,000 | 0.201ton | 353,860 | - | - | - |
| | 거푸집 | 총단가 | 20,515 | 7.50㎡ | 153,863 | - | - | - | - | - | - |
| | 콘크리트 및 가설 | 자재비 | 67,868 | 1.00㎡ | 77,039 | 67,868 | 0.80㎡ | 61,631 | 67,868 | 0.48㎡ | 36,725 |
| | | 노무비 | 9,171 | | | 9,171 | | | 9,171 | | |
| 내화피복 | 총단가 | - | - | - | 20,000 | 6.80㎡ | 136,000 | 20,000 | 5.40㎡ | 108,000 | |
| 합계 | | | 425,147 원 | | | 551,491 원 | | | 783,081 원 | | |
| 비교 | | | - | | | A대비 | △ 30.0% | A대비 | △ 84.2% | | |
| | | | | | | B대비 | - | B대비 | △ 42.0% | | |

표 3 전체 기둥공사비 비교 단위 : 천원

| 구분 | | RC기둥 | yLRC 강재기둥 | 차액 |
|-----------------|-----------------|---------|-----------|-------------------|
| 직접공사비 | 골조공사 | 146,676 | 190,264 | 43,589 |
| 간접비용 (공기 5일 단축) | 현장원가 (공기비례성 비용) | - | -30,666 | -30,666 |
| | 금융비용 (5일) | - | -31,172 | -31,172 |
| 계 | | - | -61,838 | -61,838 |
| 합계 (직접비+간접비) | | 146,676 | 128,426 | -18,250 (▼ 12.4%) |

하여 구조체와 거푸집의 역할을 겸하게 하고, 내부에 콘크리트를 채움으로써, 강재와 콘크리트의 복합구조인 기둥의 구조성능 및 현장적용성을 검토한 결과는 다음과 같다.


- (1) yLRC 강재기둥의 구조성능을 기둥의 압축강도실험을 통해 고찰한 결과, 축소 및 실물모형 실험에서 실험체의 최대내력이 RC기둥의 설계강도보다 약 10% 이상 크게 나타났다. 따라서 yLRC 강재기둥의 강도는 안정적인 여유를 가지고 신뢰할 수 있는 우수한 결과를 보이며, 설계법도 RC기둥과 동일하게 강도를 산정하여 적용할 수 있는 것으로 평가되었다.
- (2) 현장적용성을 기존공법과 비교분석한 결과, 현장거푸집공사를 없애고 복잡한 공정을 단순화시켜 인력절감과 공기단축이 크다고 평가되었다. 특히 3일에 1개 층 시공이 가능하여 6층 건물시공시 RC구조에 비해 1개월 정도의 공기가 단축되므로 그 효과가 뛰어나다.
- (3) 경제적인 측면에서 기존 철근콘크리트구조에 비해 제작비 등의 직접공사비는 약 30%증가하였으나, yLRC 강재기둥을 적용하였을 경우 공기단축 및 이에 따른 금융비용 감소 등으로 총 공사비가 약 12%

정도 감소하는 결과가 나타났다. 또한 무거거푸집 공법으로 거푸집 폐기비용을 절감할 수 있으며, 현장인력의 절감, 품질향상으로 인한 보수비용절감 등 경제적 파급효과가 클 것으로 기대된다.

강재와 콘크리트의 합성구조인 yLRC강재기둥은 철근콘크리트공사에서 거푸집공사 및 현장 철근배근작업을 배제로, 현장작업의 간소화, 공기단축의 효과가 있다. 그러므로 현장인력의 감소, 후분양제도의 도입 등으로 건설현장에서 공기단축의 필요성이 그 어느 때보다 증가되고 있는 현실에서 그 효용성이 클 것이다.

특히 아파트 지하주차장과 같이 모듈화 대공간 지하구조물의 경우, 규격화된 합성보들과 조합하여 적용된다면 그 효과가 더욱 파급적일 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. 대한건축학회 (1999), 콘크리트 구조 설계기준, 기문당.
2. 김형근, 강지연, 공기단축형 신개념 지하모듈러공법 개발 연구, SH공사 도시연구소 2007 연구보고서, 2008
3. 김형근, 강지연 외 8인, 강재 영구거푸집을 사용한 시스템 기둥 개발, 주택도시연구원 연구보고서, 2006
4. Brian Uy (2000), "Strength of concrete filled steel box columns incorporating local buckling", Journal of structural engineering, pp.341~352.
5. Vincent. R (2000), "Design and application of partially encased non-compact composite columns for highrise buildings", proc. composite constructions IV, engineering foundation, Banff, Canada. 

[담당 : 김명환, 편집위원]