

PS Wall System을 이용한 초고층 구조 시스템

Prestress Wall System for Tall Building Structural System



김 주 연*
Kim, Ju-Yeon

1. 초고층 아웃리거 시스템

아웃리거 시스템은 현재 국내·외 초고층 건물에 다수 적용되고 있는 횡력저항시스템의 하나로, 코어와 건물의 외주 기둥을 철골 아웃리거 트러스 또는 RC 아웃리거 벽체로 연결하여 코어의 순수 캔틸레버 거동을 제어하여 건물의 전체적인 횡강성을 증가시키는 구조시스템이다. 이런 아웃리거 시스템은 많은 장점에도 불구하고, 여러가지 현실적인 문제들로 인해 아웃리거의 적용성이 제한되는 경우가 있다. 특히, RC 코어와 철골 아웃리거 트러스 접합 시 코어 내부의 하중경로 유도를 위한 트러스 부재의 매립으로 인한 문제를 해결하기 위해서는 코어를 관통하는 부재의 정착 및 피복두께 확보, 벽체의 철근배근 등으로 인한 여러 관련 사항들까지 종합적으로 고려하여야 한다. 또한 초고층 건물을 코어선행공법으로 시공하고 RC 코어벽체의 두께가 상대적으로

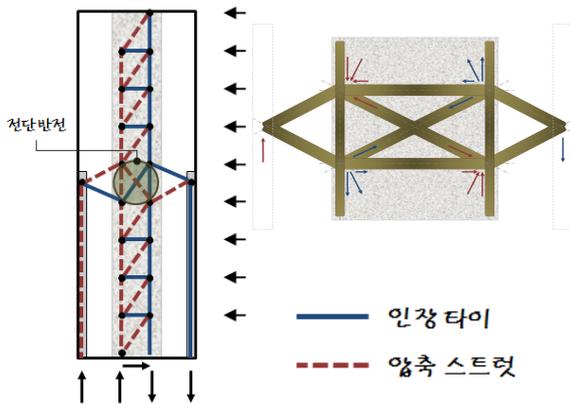
얇을 경우는 아웃리거층에서 ACS의 분리/재조립 또는 벽체의 분리타설로 인한 여러 가지 복잡한 시공 문제가 발생하고 공기가 증가될 수 있다. 이를 해결하기 위하여 (주)대우건설 기술연구원에서는 아웃리거 매립부에 prestressing 요소 (이하 PS요소)을 적용하여 아웃리거 철골트러스 부재를 PS요소로 대체하는 PS Wall system을 개발하였다.

2. 아웃리거 거동 메커니즘

아웃리거 시스템에서 기대되는 횡력에 대한 저항 능력은 '아웃리거-코어-아웃리거'의 하중전달 메커니즘을 전제로 한다. 이것은 하중경로법에 기반한 이상화된 스트럿-타이 모델에서 확인할 수 있다(그림 1). 따라서 일반적으로 아웃리거 시스템의 하중 경로를 유도하고 하중전달이 분명하도록 아웃리거와 코어벽체는 강하게 정착하고 코어 내부로 아웃리거 트러스 부재를 매립 관통하는 방법이 사용되고 있

* 정희원·대우건설기술연구원, 선임연구원

다. 그리고 아웃리저는 형태에 따라 내·외부 하중과 상호작용한다. <그림 1>에 보이는 바와 같이 코어벽체 속으로 연장된 포스트가 있는 경우가 인장하중을 전달하는데 더 효과적이고, 사재가 없는 경우는 코어 내에 대각 압축 스트럿이 형성될 수 있도록 배근 등 대책을 고려해야 한다.



<그림 1> 아웃리저 와 코어의 상호작용

3. PS Wall의 개발

아웃리저 시스템의 코어월 매립부에 Prestressing 요소를 적용하는 방안으로 <그림 2>와 같이 요소별 구성 및 개념을 고안하였다. 코어에 매립되는 아웃리저 철골트러스의 상·하현 부재와 대각부재를 PS 요소로 대체하여, 인장응력은 PS요소가, 압축응력은 RC 코어월이 부담하도록 한다. PS요소로는 강봉, 텐던 등이 있으며 콘크리트 수축에 의한 손실량(인장에 따른 콘크리트의 탄성수축 및 건조수축), 강연선과 쉬스관 사이의 마찰에 의한 손실량, 정착보 슬립에 의한 손실량 등 프리스트레스 손실량을 고려하여 도입 인장력을 산정하도록 하였다.

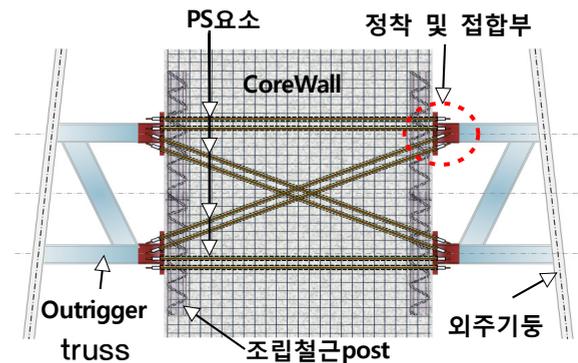
PS요소는 내·외부 하중과 아웃리저의 상호작용을 토대로 인장응력이 작용하는 위치에 배치하도록 하며 그 개수와 크기는 구조해석의 결과로 얻어진 인장력을 따라 정하게 된다.

PS Wall의 설계방법은 FE 해석을 통하여 벽체에 발생하는 주응력방향으로 압축스트럿과 인장타이를

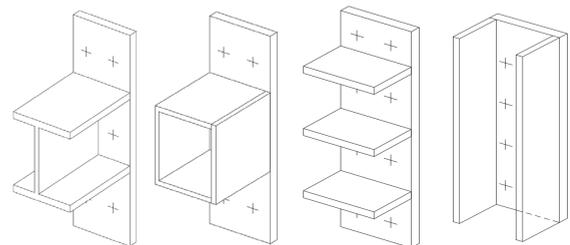
구성하는 단순화된 스트럿 타이 모델을 작성하여 부재력을 산정하였으며, 인장 타이에 걸리는 인장력을 기준으로 PS의 양과 긴장력을 결정하고, 외력에 의한 압축응력에 PS 긴장력에 의한 압축응력을 추가하여 압축 스트럿의 강도를 검토하여 설계한다.

또한 RC벽체 내·외부 철골부재의 연결 및 효율적 하중전달을 위한 요소인 철골포스트를 조립철근형식으로 대체하여 코어월 내부의 철골공정을 삭제하여 RC 단일공정화하였다.

또한, RC벽체 매립부의 PS요소와 외부 철골부재 연결부의 시공효율성을 높이고 보다 합리적인 구조적 거동을 확보하기 위하여, PS요소와 철골부재의 접합부를 통합하여 브라켓 형상으로 일체화하였다. 이것은 PS요소의 정착을 위한 베어링플레이트와 철골부재 접합을 위한 플레이트를 일체화함으로써, 철골부재와 PS요소 간 하중전달을 명확하게 할 뿐 아니라, 다수의 PS요소 배치에 따라 발생할 수 있는 편심의 영향을 최소화하는 효과를 얻을 수 있다. <그림 3>은 일체형 접합부 유닛을 구성하는 브라켓의 다양한 형상을 나타내고자 한 것으로, 이것은 기



<그림 2> PS아웃리저 개념도



<그림 3> 일체형 접합부 유닛의 브라켓 형상

본적으로 PS요소들과 철골부재의 간섭이 발생하지 않고 편심의 영향을 최소화하는 형태를 취한다.

4. 구조성능 실험

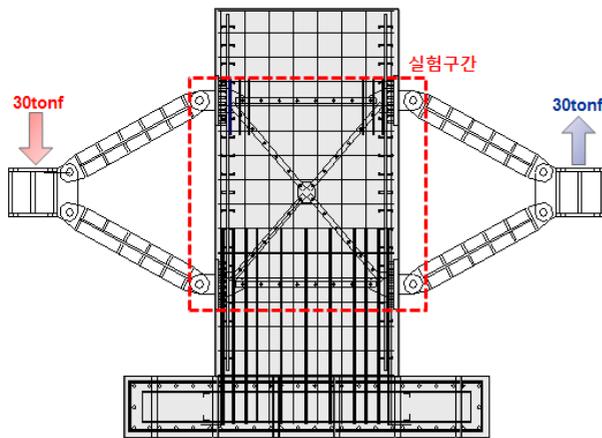
본 연구에서 개발한 PS 아웃리저 시스템의 실제 거동 및 그 효과를 알아보기 위해 PS아웃리저 개념도를 바탕으로 시스템 실험을 계획하여, 벽체에 철골이 매립된 기준실험체, PS가 매립된 비교실험체 총 2개의 시스템 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다. 실험체는 실제 크기의 약 1/6의 상사비를 가지도록 계획하였으며 기준 실험체로 아웃리저 시스템에서 코어벽체의 거동을 분석하고 매립된 철골트러스의 실제 역할을 규명하였다. PS가 매립된 실험체에서는 PS요소의 철골 대체 역할 수행여부와 그 효

과를 증명하도록 하였다.

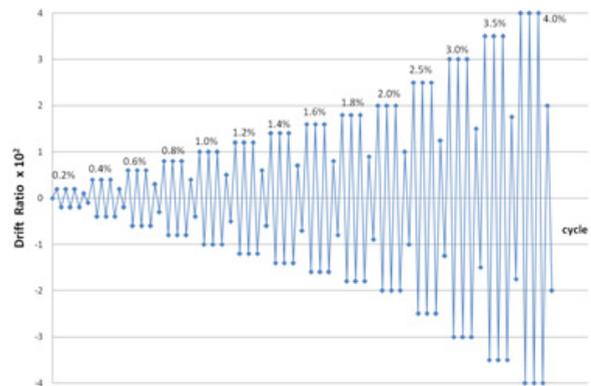
철골매립 실험체와 PS매립 실험체의 셋팅도는 각각 <그림 4, 5>와 같다.

콘크리트 강도는 24MPa를 사용하였으며, 기초콘크리트는 30MPa로 제작하였다. 배근된 철근은 SD40을 사용하였으며 매립철골은 SS400강도의 9*45의 플레이트에 전산볼트로 스티드를 박아 매립하였다. PS매립 실험체에 사용된 제원은 기본실험체와 동일하며 철골 대신 PS 강연선 ϕ 15.7mm single strand를 대각, 상현, 하현에 매립하였으며 각각 135kN의 prestress를 가하여 긴장하였다.

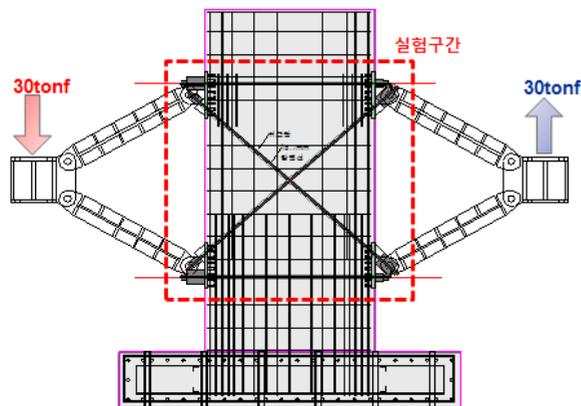
실험체에는 변위계, 콘크리트, 철골, PS 강연선에 변형률계를 부착하여 각각의 변위, 변형률 등을 측정하였으며 prestress 긴장력을 체크할 수 있는 로드셀과 유압너트를 제작하여 긴장력이 항상 일정하게 유지되도록 하였다. 실험체 가력은 양단 가력팔 끝에 액추에이터를 붙여 위아래 수직방향으로 번갈아 가력하였으며 가력계획은, 초기에는 하중제어로, 항복이후 변위제어로 가력하였다.



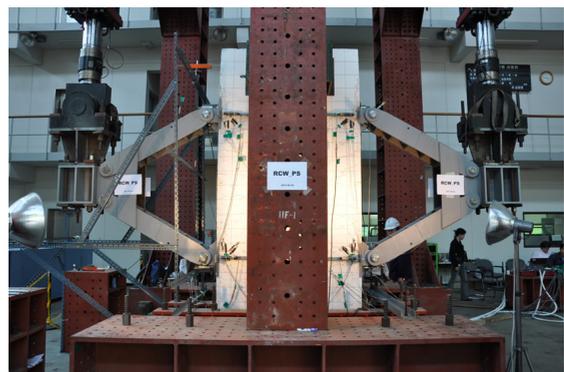
<그림 4> 철골매립 기본실험체 셋팅도



<그림 6> 가력계획



<그림 5> PS매립 실험체 셋팅도

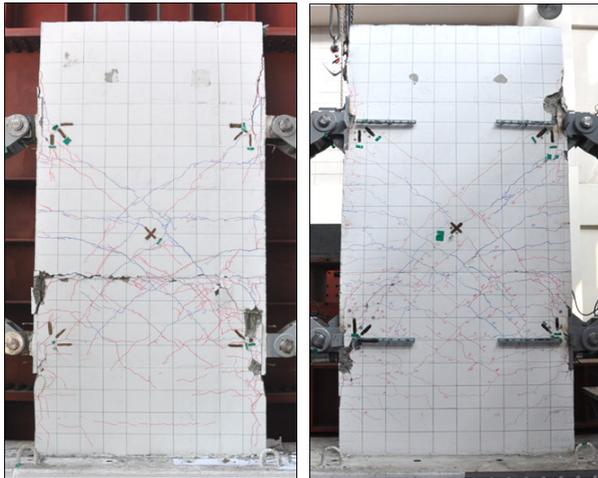


<그림 7> 실험전경

실험결과, 철골이 매립된 기준 실험체는 초기 하중 가력 시부터 대각방향의 균열이 발생하기 시작하였으며 하중이 증가함에 따라 대각균열이 커지다가 벽체 중간의 수평균열이 발생하고 접합부 박리가 일어나면서 내부에 매립된 철골이 항복하면서 실험체에 휨파괴가 일어났다.

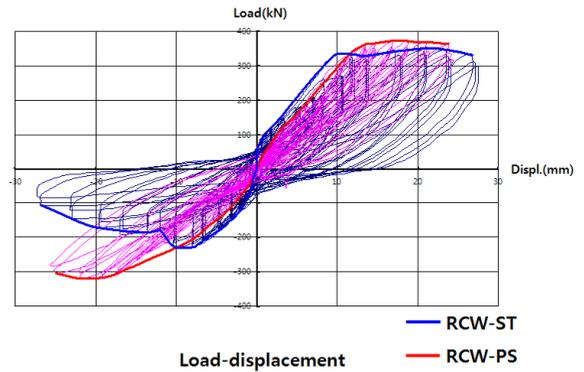
PS요소를 매립한 실험체의 경우, 초기하중 가력 시 균열이 발생하지 않았고 하중이 증가됨에 따라 점차 대각 균열이 발생하였지만 최대하중에서도 파괴가 일어나지 않아 강성이 훨씬 좋은 것을 알 수 있었다.

각 실험체의 실험 후 사진은 <그림 8> <그림9>와 같다.

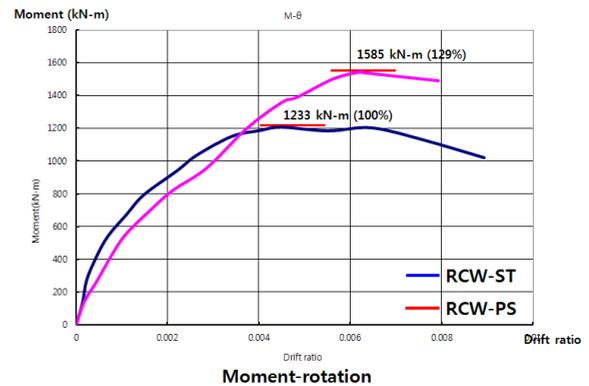


<그림 8> 철골실험체 <그림 9> PS 실험체

<그림 10>의 하중-변위 그래프를 살펴보면 그래프의 1사분면(우, 상)은 실험체가 압축을 받을 경우를 나타내고 3사분면(좌, 하)은 인장을 받을 때의 하중과 변위 관계이다. 두 실험체 모두 압축을 받을 경우에는 크게 차이가 없지만, 인장력을 받을 경우, 기준 철골 매립 실험체와 PS실험체는 최대 하중에 큰 차이를 보인다. 기준 실험체의 경우 항복이후 급격히 내력이 떨어지지만 PS실험체는 항복이후 비교적 완만한 경사를 그리는 연성을 발휘하는 것을 알 수 있다.



<그림 10> 하중-변위 그래프



<그림 11> 모멘트-회전각 그래프

<그림 11>의 모멘트-회전각 그래프를 살펴보면 PS의 모멘트 내력이 기준 철골매립실험체에 비하여 약 29% 정도 높은 것으로 나타났다. 결론적으로 같은 양의 철골과 PS를 매립하여 외력을 가하게 되면, 철골 매립 실험체에 비하여 PS매립 실험체는 긴장력에 의한 초기 균열을 억제하는 효과를 볼 수 있었고 파괴 시 약 30% 정도의 강성 증가 효과를 볼 수 있었다. 이를 정리하여보면, 항복강도가 철골의 약 7 배 정도인 PS요소는 훨씬 작은 단면으로 초기균열 억제와 함께 벽체의 내력을 더욱 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

5. 현장 적용

개발한 PS Wall System은 코어월 내부에 매립되는 철골 뿐 아니라 벨트월, 아웃리거월, 일반벽체 어

디나 두루 적용될 수 있다. 현재 D건설에서 인천 송도에 시공예정인 A건물의 아웃리저월과 벨트월에 개발한 공법을 적용하였다.

A건물은 지하5층, 지상60층의 주상복합건물로 2개동이 있다. 횡력저항시스템은 코어와 20층과 40층의 벨트월과 아웃리저월로 이루어져 있다. 건물의 입면과 20층, 40층의 평면은 <그림 12>와 같으며 평면에서 붉은 색으로 표기된 벽체에 본 공법을 적용하였다.

적용 벽체는 구조해석 결과 전단내력이 부족하여 벽체 두께를 500mm 이상 키우거나, 내부에 철골을 삽입하여 전단내력을 향상시켜야 하는데 PS Wall System을 적용하여 철골삽입이나 두께의 증가 없이 설계가 가능토록 하였다. 사용된 PS요소는 강연선이 적용되었으며 주인공응력 방향을 고려하여 대각부재가 배치되었으며, 상하부에 수평 PS요소를 배치하였다.

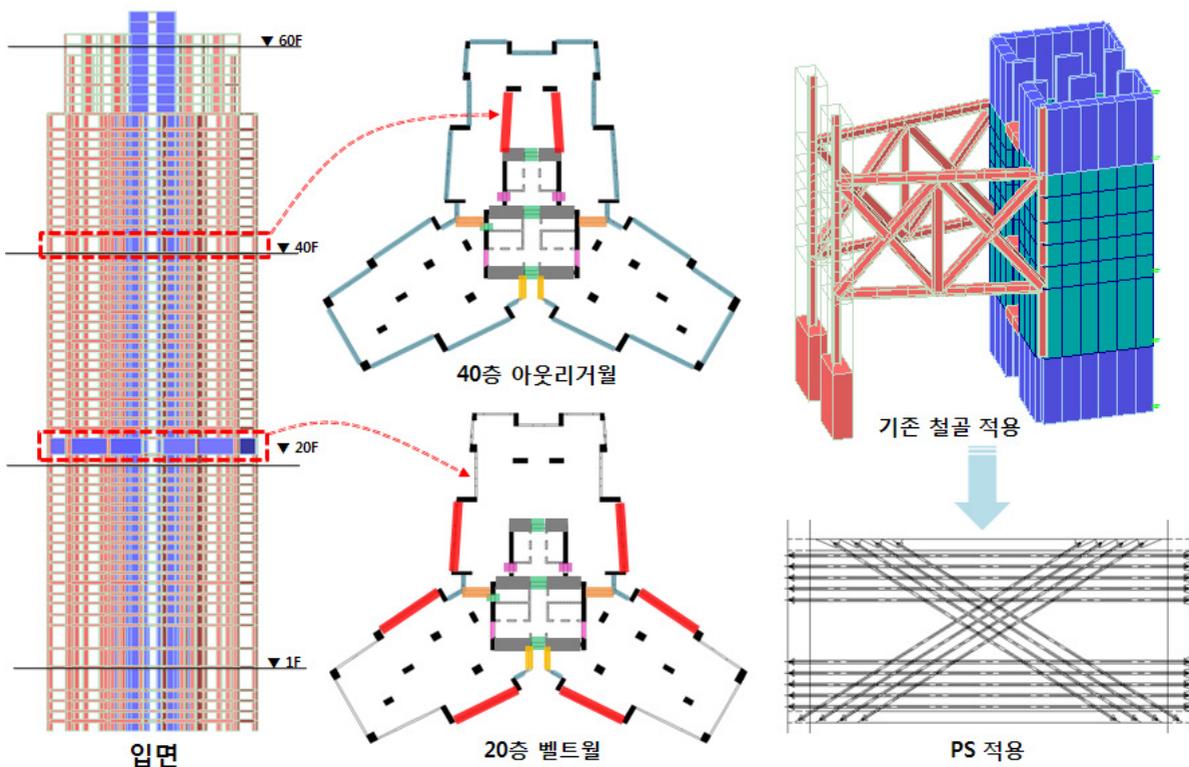
본 공법을 적용함으로써 얻을수 있는 가장 큰 장

점은 철골+RC의 이중공종을 RC공종으로 단일화하여 공기를 획기적으로 단축할 수 있다는 것이다. 또한 아웃리저층과 벨트월 층의 공사비를 약 10% 이상 절감할 수 있고, PS의 적용으로 인한 긴장력으로 초기균열 발생을 억제하여 품질향상도 도움이 된다.

6. 맺음말

아웃리저 시스템을 횡력 저항 요소로 사용하는 초고층 구조물에서 철골 아웃리저 트러스는 코어벽체 내부에 매립되는 철골트러스는 시공을 위한 가설부재가 필요하고 고공에서 접합부를 용접해야하며 또한 콘크리트와 일체화를 위해 철골부재 표면에 스티드를 설치하는 등 여러 가지 복잡한 문제를 발생시킨다. 이렇게 RC공정에 철골공정이 공존하여 있으면 난해한 시공성, 이로 인한 공기지연이 발생하고 또한 철골 공사에 따른 공사단가가 급격히 상승하게 된다.

따라서, 벽체 내부에 매립되어 시공되는 철골을



<그림 12> PS Wall의 적용

대신하기 위하여 PS요소 (텐던 또는 강봉 등등)을 적용하여 공정을 단일화 시켜 시공성을 향상, 공기 단축을 실현할 수 있도록 하였다. 항복강도가 철골의 약 7배 정도인 프리스트레싱 요소는 훨씬 작은 단면으로 초기균열 억제와 함께 벽체 성능도 더 향상시키고 품질도 확보할 수 있다.

개발한 PS Wall System은 아웃리거 코어매립부 뿐 아니라 전단내력에 부족한 벨트월, 아웃리거월, 일반벽체 모두 두루 적용할 수 있는 공법으로 시공성을 개선하고 더 나아가 벽체 균열 제어를 통한 시공 품질향상에도 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

1. R.K.L. Su, P.C.W. Wong, A.M. Chandler, Transactions of the hong kong institution of Engineers, 10(1), 31-37, 2003
2. R.K.L. Su, P.C.W. Wong, A.M. Chandler, "Application of strut and tie method on outrigger braced core wall buildings", Proceedings of the 6th International Conference on Tall buildings, Hong Kong, pp.80-85, 2005
3. 1. Bahram M. Sharooz, Jeremy T. Deason, Gokhan Tunc, "Outrigger Beam-Wall Connections I: Component Testing and Development of Design", Journal of Structural Engineering, ASCE, pp.253~261, 2004
4. 1. M. Stevenson, L. Panian, M. Korolyk, D. Mar, "Post-Tensioned Concrete Walls and Frames for Seismic-Resistance - A Case Study of the David Brower Center", SEAOC Convention Proceedings, 2008
5. Post-tensioning Institute (PTI), "Post-tensioning Manual", 6th Edition