

아웃리거 댐퍼 공법의 송도 NEATT 적용

- 아웃리거댐퍼를 이용한 초고층 아웃리거접합부 시공성 및 품질 향상 -

Application of Outrigger Dampers to Songdo NEATT

- Improving Construction Quality and Conveniency

by Applying Outrigger Dampers to Outrigger to Perimeter Column Joints -

김 대 영*

Kim Dae-Young

1. 서론

초고층빌딩은 도심지의 높은 지가와 초고층이 가지는 상징성 때문에 미국 등 선진국에 이어 중국, 아랍에미리트, 한국 등에서 전세계적으로 경쟁적으로 건립되고 있다. 한국초고층건축학회에 따르면 세계 초고층 건축시장의 규모는 2010년까지 발주될 초고층빌딩 프로젝트 사업비가 50조원 규모에 이를 것으로 추산된다. 한국 시장의 규모는 이 중 20%인 10조원 정도로 커질 것이란 전망이다. 여기에는 높이에 있어 세계에서 두 번째가 될 서울 상암 국제비즈니스센터를 비롯 송도신도시 인천타워, 잠실 제2롯데월드 등 초고층사업이 포함된다. 초고층빌딩 시공 관련 국내 건설업체들의 기술력 또한 이미 상당한 수준에 올라 있어 앞으로 세계 초고층 건축시장은 한국이 주도할 것이란 기대가 높다.

초고층의 설계 및 시공에서 가장 중요한 요소로 결정되는 것이 초고층의 구조 시스템이다. 초고층의 구조시스템은 매우 다양한 형상이 설계 시도되고 있으나 이중 아웃리거구조시스템은 상당히 효과적인 횡력저항 시스템으로 널리 활용되고 있다. 아웃리거구조시스템은 중앙부 코어와 외부 기둥을 아웃리거라는 매우 높은 강성의 구조체로 연결하는 것으로 태풍 및 지진 등의 횡력 작용 시 이를 외부 수직 부재에 인장과 압축력으로 전달하여 횡력에 복합적으로 저항하게 한다.

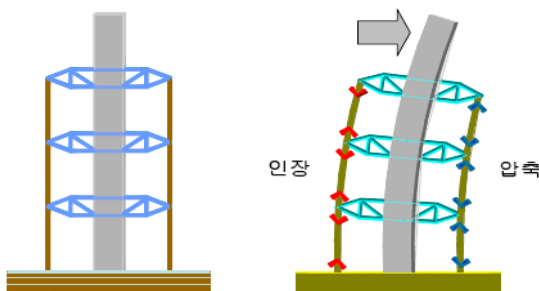


그림 1. 아웃리거 시스템 원리

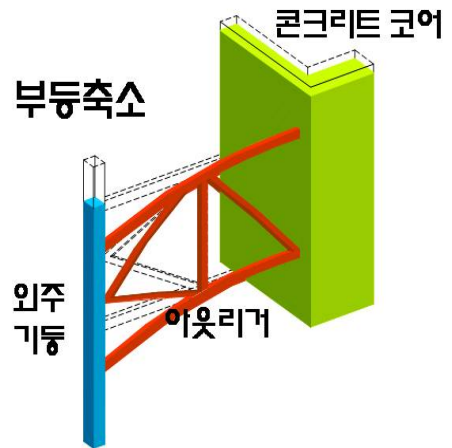


그림 2. 아웃리거에서 부등축소 문제

1.1. 부등축소량 자동보정 공법 (아웃리거댐퍼)

하지만 아웃리거 시스템은 코어와 외부기둥간의 부등축소 발생으로 부가적인 응력이 발생하는 등 구조 시스템의 설계 및 시공에 상당한 어려움이 있다. 이를 위해 지금까지 시공 중 작용 횡력 전체를 코어가 전담하는 자유절점법(Delayed Joint Method)이나, 시공 중 접합부의 간격을 일정수준으로 유지시키는 절점부 보정법(Adjustable Joint Method)과 같은 아웃리거와 외주기둥 간 접합부 시공법이 사용되어 왔다. 그러나 이러한 방법은 시공중에 아웃리거구조시스템의 효과를 온전하게 활용하지 못하는 단점이 있다.

여기서 최근에 아웃리거접합부 부등축소의 보정공법으로 사용된 심플레이트 공법은 아웃리거와 외주기둥/트러스 간 간격을 보정 철판을 이용하여 1mm~2mm 정도의 간격으로 유지하다가 시공 중 접합부 간격이 관리값 이하로 떨어지면 보정 썬기 철판을 빼서 이동시켜 시공 중 접합부 간격이 일정하게 유지하게 하는 원리이다.

(주)대우건설 수석 연구원(kimdy@dwconst.co.kr)

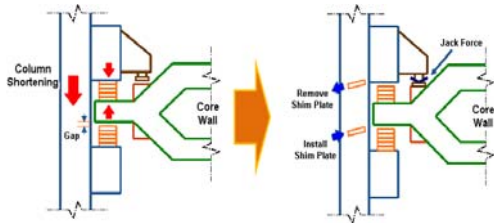


그림 3. 심플레이트를 이용한 접합부 보정 시공법

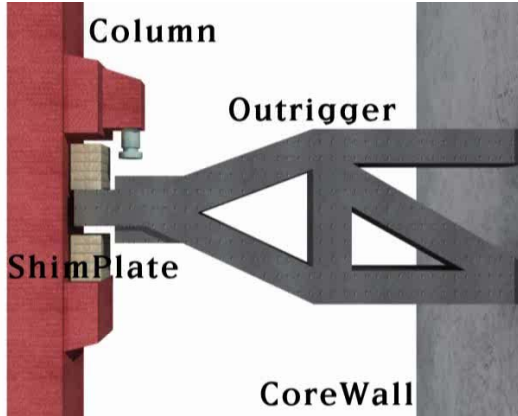


그림 4. 심플레이트 공법 개념도

심플레이트 공법은 시공 측면에서 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

- 시공, 유지관리의 난이성 및 비용 증가
 - Adjustable Joint 공법의 경우 보통 평상 시 2mm 간격 그리고 태풍 예상 시 1mm 간격을 유지하도록 요구하는데 이러한 수치는 육안으로 확인이 어려워 계측시스템 구축에 의한 부재력 및 변위 계측에 의존해야 함.
 - 매일 계측/점검 및 보정 등을 위한 작업 인력 2인 및 관리 인력 포함하여 3인의 전담 인원이 필요함.
 - 관리되고 있는 간격이 달할 경우 심플레이트 위치 이동을 통한 간격 보정을 위해 아웃리거트러스 인상이 필요한 데 아웃리거트러스를 인위적으로 움직이기 위해 대용량의 유압잭 설치가 필요함.
 - 유압잭 설치 공간확보를 위해 아웃리거 접합부 부재가 커짐.
 - 유압잭 설치 후 아웃리거트러스를 거동 시키기 위해 양 측면에 브라켓을 추가 설치/제거 하는 공정이 필요함.
 - 아웃리거접합부는 아웃리거시스템의 가장 큰 골조 부분에 해당하여 거대 아웃리거접합부 부재를 설치하기 위해 크레인 인양 용량을 키우거나 분절 계획을 세워야 함. 분절 계획 시 현장 용접량이 급격히 증가하며 공장 용접 대비 상당한 시간이 소요되는 현장 용접의 특성 상 아웃리거 설치 층에서 공기가 현저히 지연될 수 있음.
- 품질관리의 어려움.

- 요구 편평도에 해당하는 심플레이트의 밀링이 매우 어려움. 특히 10mm 두께 이하 스틸 플레이트의 전면적에서 일정한 편평도의 밀링은 불가능.
- 경우에 따라 심플레이트 간 누적된 갭만 10mm 이상 될 수 있음.
- 1mm 갭을 유지한다고 가정해도 심플레이트를 이용한 보정공법 적용 시 건물은 해당 접합부에서 불연속이 되어 아무리 미소 갭이라도 건물은 비연속적으로 거동함.
- 아웃리거가 정상적인 거동을 하지 않을 경우 설계하중 작용 시 코어 부 과다 균열 등의 구조적 문제 발생가능성이 매우 높음.
- 거대 구조물의 경우 시공 및 제작 오차 또는 용접 등에 따른 열변형 발생 시 접합부에서의 예기치 못한 부등 간격을 매우기 힘들.
- 시공 오차 등에 의해 경사 진 갭이 발생하므로 Tapered Shim Plate(경사 필러)를 채워야 하나 이 또한 시공 중 지속적인 반복 하중 작용 시 제자리에서 밀려나가므로 제역할 기대하기 힘들.

이에 반해 아웃리거댐퍼를 이용한 공법은 기둥 간 부등축소량을 자동 보정할 뿐 아니라 최적화 설계될 시 구조물의 진동제어 및 구조물량 감소를 가져 올 수 있다.

아웃리거댐퍼는 기둥의 부등축소와 같은 유사정적하중이 작용할 경우 내부 충전재(오일 또는 실리콘 퍼티)가 배관과 오리피스 를 통해 매우 천천히 이동하게 되어 다른 구조부재에 부가적인 하중을 전달하지 않고 부등축소량을 흡수한다. 하지만 태풍, 지진 등에 의한 동적하중이 작용할 경우 오리피스의 작은 내부 직경에 의해 충전재(오일 또는 실리콘 퍼티)의 이동이 제한되게 된다. 이러한 원리로 접합부의 잠김효과를 발생시키고 아웃리거시스템의 효과적인 거동을 실현시킨다.

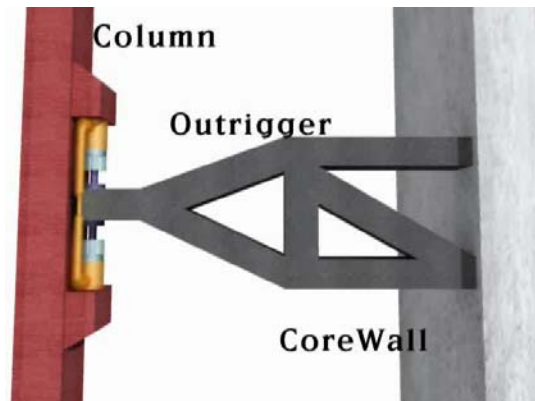


그림 5. 아웃리거댐퍼 개념도

1.2. 아웃리거댐퍼의 개발 및 적용

아웃리거댐퍼시스템은 3차원 컴퓨터모델링을 통한 해석, 장치의 예비성능시험, 풍하중 산정을 위한 풍동시험, 진동대 모형시험, 시제품 성능시험을 거쳐 인천시 연수구 송도동에 위치한 북동

아시아무역타워 (North-East Asia Trade Tower)에 시공 중 적용되었고 SHM(Structural Health Monitoring) 기술이 적용되어 그 성능을 검증하였다.

1.3 송도 NEATT 소개

아웃리거댐퍼시스템 기술이 적용된 송도 북동아시아무역타워 (North-East Asia Trade Tower)는 인천시 연수구 송도동에 위치해 있다. 완공이 되면 국내 최고층 건물이 될 송도 NEATT는 오피스와 최상급 호텔 공간으로 구성되며 높이 305m, 지상 68층의 건물이다. 구조시스템으로는 중앙부 철근콘크리트 코어와 6개 메가 칼럼, 27개 외주, 그리고 아웃리거와 벨트트러스로 구성된 두 개의 아웃리거층(34층과 65층)이 시스템적으로 복합 구성된다.

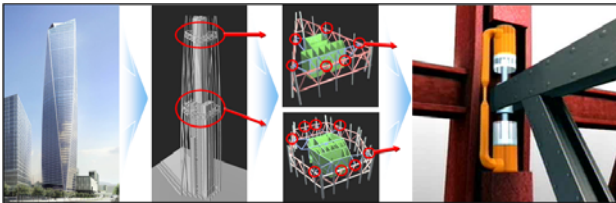


그림 6. 송도 NEATT의 아웃리거 댐퍼 적용

1.4 예비성능 실험

대우건설 기술연구원의 대형구조실험동에서 아웃리거댐퍼의 구조성능평가 시험이 수행되었다. 본 시험을 통해 아웃리거댐퍼가 제한된 변위를 발생시키며 동적하중에 저항하는지(동하중테스트), 시뮬레이션된 기둥 부등축소 발생시 타 구조부재에 어느 정도 반력을 발생시키는지(유사정적하중테스트), 설치 기간 동안의 내구성을 갖추었는지(내구성 테스트)에 대한 항목이 검증되었다.

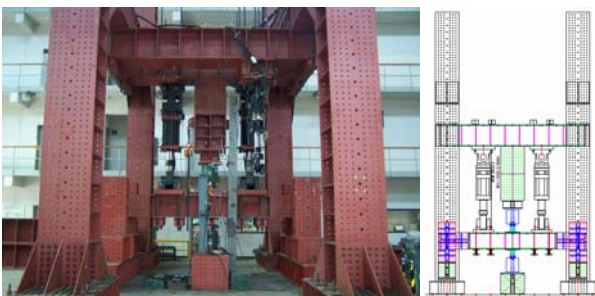


그림 7. 아웃리거댐퍼 예비 구조성능평가 - 대우건설기술연구원

1.5 풍동실험

송도 NEATT의 바람에 의한 비선형 동적거동 해석을 위해 전 점 동시 측정된 풍압 데이터가 필요하였다. 따라서 1:600 스케일의 풍압테스트 모형이 제작되어 대우건설 기술연구원의 풍동실험동에서 테스트 되었으며, 풍동실험을 위해 대상 건물과 KBC(Korean Building Code, 2005)에 지정된 반경 내 중요 구조물 모두가 모델링 되었고 지정 반경 바깥쪽에서의 공기역학적

효과는 풍동 내의 조도 블록과 스파이어로 시뮬레이션 되었다.



그림 8. 송도 NEATT 및 주변 구조물의 풍동실험 모델

1.6 제작품 성능 실험

아웃리거댐퍼시스템 제작품의 성능평가 시험은 (주)유니슨 천안공장에서 수행 되었다. 테스트에 사용된 시험기는 30,000kN 용량의 만능시험기(UTM)와 2,000kN 용량의 피로시험기이며, 성능평가 시험항목은 동적시험(Fast), 유사정적시험(Slow) 및 내구성시험(Endurance)이다. 본 시험들을 통해 아웃리거댐퍼가 설계 하중 작용 시 2mm미만의 변위를 발생시키면서 동적하중에 저항하며, 시뮬레이션 된 기둥의 부등축소 발생 시 타 구조부재에 발생하는 응력은 설계하중의 8% 이내 범위의 응력을 발생시킨다는 것이 검증되었다.



그림 9. 제작품 성능시험 (유니슨)

1.7 송도 NEATT 현장설치

송도NEATT에는 10,000kN(2기), 8,000kN(6기), 6,000kN(6기) 세가지 타입의 총 14개 아웃리거 댐퍼가 34층과 65층의 아웃리거 접합부에 설치될 예정이었다. 이 중 8개소의 아웃리거 댐퍼는 그림에서 보여지는 것처럼 송도NEATT의 34층에 설치가 완료되었다.

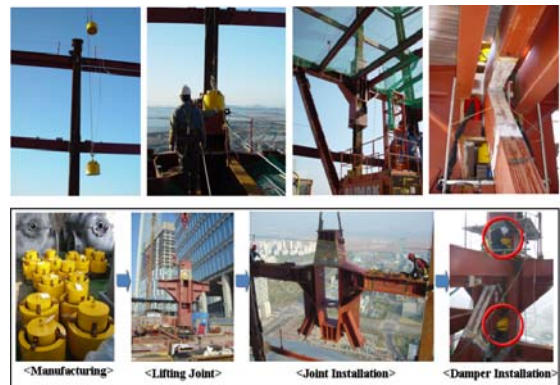


그림 10. 아웃리거댐퍼의 송도NEATT 현장 설치

1.8 성능 검증 모니터링

아웃리저댐퍼 성능 모니터링 시스템은 송도 NEATT의 전체 구조 건전성 모니터링 (SHM, Structural Health Monitoring) 시스템의 일부로서 시공 중 구축되어 운영하여 부등축소가 효과적으로 자동 보정되며 동적하중에 대해 잠김 효과를 일으켜 단부가 고정단처럼 거동하는지를 검증하였다. 구축된 압력센서와 변형률센서를 이용해 부등축소량이 부가적인 응력 발생 없이 보정되고 있음이 검증되었으며 가속도 센서를 이용한 SI (System Identification)을 통해 전체 구조물이 동적하중에는 접합부가 고정된 것 이상의 강성을 보이는 것으로 확인되었다.



그림 11. 현장적용 및 성능모니터링

34층의 8개소에 아웃리저댐퍼 시스템이 설치되었으며 아웃리저댐퍼 시스템의 설치 후 거동을 평가하기 위해 송도 NEATT의 전체 구조 건전성 모니터링 (SHM, Structural Health Monitoring) 시스템의 일부로서 계측시스템을 구축하여 운영하여 부등축소가 효과적으로 자동보정되며 동적하중에 대해 잠김 효과를 일으켜 단부가 고정단처럼 거동하는지를 검증하고 있다. 구축된 압력센서와 변형률센서를 이용해 부등축소량이 부가적인 응력 발생없이 보정되고 있음이 검증되었으며 가속도 센서를 이용한 SI (System Identification)을 통해 전체 구조물이 동적하중에는 접합부가 고정된 것 이상의 강성을 보이는 것으로 확인되었다.

1.9 공사비 절감

건국대학교 경제경영연구소에서 수행한 원가계산 비교에 의해 아웃리저댐퍼의 적용에 의해 접합부 철골 구조물은 개소 당 19.3ton에서 14.1ton으로 27% 물량이 감소하고 접합부의 현장 용접량은 개소 당 89.6m 에서 25.4m 로 75% 급감하였다. 또한 유지관리를 위한 별도의 인력 구성이 불필요해지고 심플레이트 보정을 위한 유압잭 설치 과정이 생략되어 개소 당 절감액을 분석한 결과 약 40%를 절감 (7,317만원 → 4,532만원)하는 효과가 있어 전체 절감액은 39,000만원에 이른다.

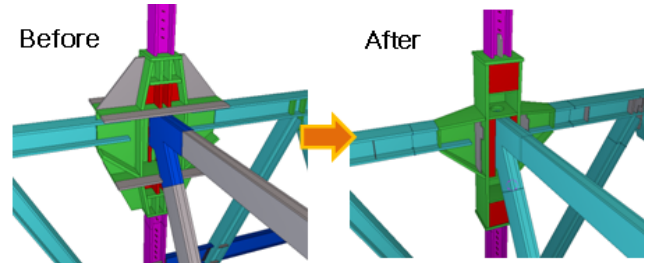


그림 12. 아웃리저댐퍼 적용에 따른 접합부 구조물 크기 변화

아웃리저댐퍼가 구조물량 감소용으로 설계 단계부터 적용이 고려 된다면, 최적 설계 시 최대 15%의 구조물량 감소효과가 있으며 송도 NEATT의 구조물 공사비가 650억원인 것을 감안한다면 약 100억원의 공사비 감소효과가 발생하는 것으로 산정되었다.

1.10 공사기간 단축

송도NEATT는 두개의 아웃리저층으로 구성되어 있는데 이 중 35층의 경우를 보면 아웃리저댐퍼를 적용함으로써 아웃리저접합부 개소별 Critical Path에 있는 접합부 철골 구조물의 공장제작 일 수에서 감소된 물량이 반영되어 철골 절단 과정과 도장 과정에서 33%의 절감효과를 보였고 특히 아웃리저 댐퍼 공법의 변경에 따른 형상 및 구조물량의 변화에 따라 용접 물량은 80% 이상 감소 효과를 보여 총 10일의 제작일 단축 효과를 보였다.

시공단계에서는 아웃리저 공법 적용으로 유압잭 설치 및 계측 장비 설치 공정이 생략되며 제작단계와 마찬가지로 용접 물량이 크게 감소하여 총 20일의 공기 단축 효과를 가져 온다. 따라서 전체 공정에서 약 30일의 공기단축 효과가 있다.

이 외에도 아웃리저접합부 거동에 대한 매일 점검/보고 및 보정 공정 불필요 및 현장용접된 부재의 철거 공정 불필요에 따른 이점이 매우 크나, 해당 공종은 Critical Path상에 있지 않아 공기단축 기간에 포함시키지는 않았다.

1.11 품질관리

아웃리저접합부는 아웃리저댐퍼에 의해 초기압이 도입되어 강하게 체결되고 있으므로 전체 구조물이 보다 유기적으로 거동할 수 있으며, 아웃리저댐퍼로 인해 태풍 또는 지진 시에도 구조체 뿐만 아니라 비 구조체에도 예상치 못한 균열 및 변형 등의 손상을 방지할 수 있다. 또한 부가적인 댐핑을 구조물에 부여함으로써 진동제어 등과 같은 보다 나은 구조물의 응답을 기대할 수 있다.

2. 결론

부등축소량을 겪는 아웃리저시스템이 적용된 초고층구조물의 시공성 개선 및 시공 품질 향상이라는 현장의 요구와 초고층 분야

선도 기술개발이라는 의지를 통해 세계 최초로 아웃리거접합부에 댐퍼장치를 적용하여 시공 중 부등축소를 자동보정하고 공사비 절감과 품질향상이 가능하도록 본 공법을 개발하여 실제 초고층 구조물에 적용하였다. 부재의 크기와 복잡성에 의해 시공 난이도가 매우 높아 공사기간이 오래 소요되고 많은 인원과 장비가 투입되는 대표적인 노무 집중 공종인 아웃리거접합부 시공에 본 공법이 적극적으로 적용되어 초고층 분야 기술 발전에 기여하고, 건설 기술자 및 작업자들의 시공 편이성에 기여하기를 바란다.

본 내용은 2010년 강구조학회 기술기사의 내용을 편집하여 작성하였음을 알려 드립니다.