

PT공법을 적용한 80MPa급 콘크리트 아웃리거부재의 실험적 연구

Experimental study of structural behavior of 80MPa concrete outrigger member using post tension method

최종문* 김우재*

Choi, Jong-Moon Kim, Woo-Jae

Abstract

Large outrigger elements tie the concrete core to perimeter columns, significantly increasing the building's lateral stiffness as well as its resistance to overturning due to wind. The outriggers are deep elements, and large tie forces are resisted by top and bottom heavy longitudinal reinforcing and vertical ties. To reduce construction costs, all primary reinforcing bars in outrigger levels are SD500. Further, concrete strengths of 80MPa have been specified for outrigger elements. However, the reductions in the amount of concrete and reinforcement steel are more increased in tall building.

With these backgrounds, 80MPa high strength concrete outrigger system using post tension method is developed. Significant economic savings can be made by reducing the element sizes and material content. The developed outrigger system is designed using strut-and-tie models. In addition, four 1/4-scale test specimens were selected from the same prototype structure. The results from the tests are confirmed that the structural behaviors of the developed outrigger member have better capacities than those of a conventional method.

키 워 드 : 아웃리거부재, 포스트텐션, 고강도 콘크리트, 초고층 구조

Keywords : Outrigger structures, Post tension, High strength concrete, high-rise structure

1. 서 론

산업사회의 발달은 인구의 증가와 도시집중 현상을 발생시켰다. 한정된 도시규모 속에서 자가상승과 택지부족은 가속화되었으며, 이를 해결하기 위하여 건물은 고층화 되어가고 있다. 초고층 구조 시스템은 기본적인 골조구조와 벽식구조로 부터 발전하여 현재에는 다양한 시스템이 개발되었다. 그중에서 아웃리거 시스템은 경제성과 시공상 유리한 면이 많아 국내에서 다수 적용되고 있다.

회사가 준공한 초고층 공동주택의 아웃리거 시스템은 당초 설계는 건물의 횡강성 확보를 위해 철골조로 계획하였다. 그러나, 실제 설계단계에서 설비기자재와 배관파이프 등의 설비와 구조부재 사이의 간섭문제를 해결하기 위하여 철골조를 80MPa 고강도 콘크리트를 적용한 아웃리거시스템으로 변경하였다.

이로 인하여 시공이 용이하고 공사기간 및 공사비등에 유리한 RC 아웃리거 시스템을 적용하여 공사를 완료하였다.

초고층 공동주택에 설계된 고강도 RC조 아웃리거 시스템은 과대한 하중에 대응하기에 매스 구조물이면서 철근 배근이 복잡하고 과다한 철근직경의 증가와 철근량의 증가에 따라 철근 작업량 및 작업 난이도는 여전히 해결될 문제로 존재하였다.

이에따라 단면치수를 줄이고 시공성을 향상시키고자 80MPa급 초고강도 콘크리트 적용과 더불어 철근간격의 확보 및 콘크리트 타설의 용이성을 확보하기 위해서 일반철근에 비하여 강도가 4배 이상 높은 고장력 선재(Pre-Stressed 강연선)를 이용한 포스트텐션 공법(Post Tension 공법)을 적용한 80MPa급 초고강도 콘크리트 아웃리거 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 80MPa급 초고강도 콘크리트를 이용하면서 PT공법을 적용한 아웃리거 부재의 실험적 평가 결과를 보고하고자 한다.

2. PT공법을 적용한 아웃리거 시험체

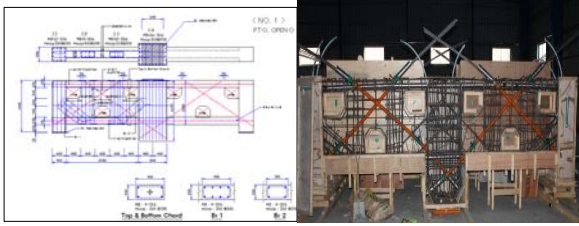
2.1 시험체

1) 시험체 설계

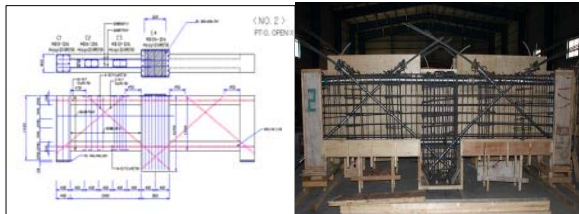
시험체 설계는 사전에 모형부재에 대한 선형탄성해석을 수행하였고, 그 결과 아웃리거 부재는 캔틸레버와 같은 응력분포를 보였다. 이를 바탕으로 하부층 아웃리거 부재의 구조성능평가를 위해서 단순보로 하였으며 실험장비 조건과 긴장도입 조건을 고려하여 시험체 크기는 실물크기의 1/4 축소 모델로 하였다.

2) 시험체의 종류

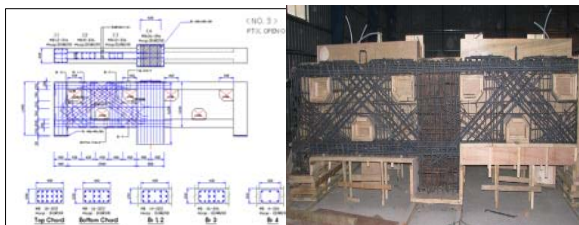
* 포스코건설 차장, 정회원



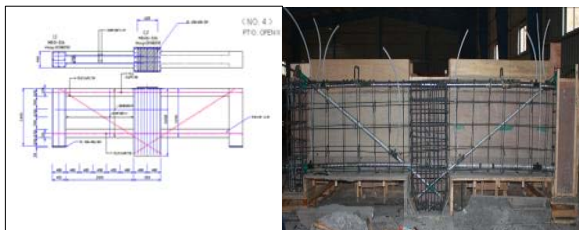
시험체 No.1



시험체 No.2



시험체 No.3



시험체 No.4

표 1. 시험체별 PT 및 개구부 상황

	No1	No2	No3	No4
PS강선	X방향	X방향	無	일방향
개구부	有	無	有	有

시험체는 총4가지 형태를 제작하였고 각, 시험체의 치수, 배근, 강연성에 대한 설계를 위한 하중조건 등을 사전 해석을 통하여 제작한 것으로 각각의 시험체를 표1에 정리하였다.

3) 재료물성 평가

고강도 콘크리트의 배합을 표2에 나타내었다. 콘크리트 결합재는 보통포틀랜드 시멘트에 슬래그 및 실리카흄을 혼합한 것으로 하였다. 고강도 콘크리트 타설시기가 동절기로 강도발현에 중요한 초기 3일간은 시험체의 양생온도가 4℃이상이 되도록 관리하였고

이후에는 부직포를 이용하여 실내양생을 행하였다. 콘크리트의 재료시험결과를 표3에 나타내었다. 28일 압축강도의 결과값은 70~90MPa였으며, 평균값은 78.3MPa로 목표설계값 보다 작은 값을 나타내었다.

표 2. 콘크리트 배합

W/B (%)	S/a (%)	AD (%)	Unit weight (kg/m³)							
			W	C	SF	F/A	BB	S	G	AD
23	45	1.70	160	348	70	-	278	622	789	11.83

표3. 콘크리트 재료시험결과

시료명	재령별 압축강도 (MPa)		
	7일	14일	28일
PO-80-1	65.4	65.8	69.7
	60.5	74.3	68.8
	69.0	-	80.0
PO-80-2	66.5	69.4	76.4
	64.8	67.7	72.6
	65.6	69.6	73.2
PO-80-3	70.6	80.8	88.3
	68.4	78.0	85.5
	61.4	79.0	90.1
평균값	65.9	72.8	78.3

4) 철근

철근은 이형철근으로 SD400을 사용하였으며, 인장시험결과를 표4.에 나타내었다. SD10인 철근은 항복 및 인장강도에서는 KS D 3504의 규격에 만족하나, 연신율에 대해서는 규격에 제시한 연신율 16%보다 작게 나타났다. 그 외는 KS기준을 만족하였다.

표 4. 직경별 인장시험결과

철근종별	기계적 성질		
	항복강도(MPa)	인장강도 (MPa)	연신율
D10	481	597	11.0
D16	509	612	24.9
D22	419	606	31.6

2.2 실험방법

시험체 셋업을 그림1에 나타내었다. 재하는 기계식 제어형 시험기로 10MN UTM을 이용하였고, 3점 휨 방식으로 지점에 롤러를 설치하고 반복 휨전단실험을 수행하였다.

하중은 로드셀로 계측하였고, 변형은 그림2와 같은 위치에 변위계를 설치하고 시험을 수행하였다. 변위계로는 시험체 중앙가력부의 수직변위와 회전, 지지부의 수직변위, 시험체 대각선 변위를 좌우양측에 대하여 각각 계측하였다.

재하이력은 그림 3과 같이, 일방향 점중변위 진폭재하로 하였다. 재하제어는 시험체 중앙가력부의 수직변위와 회전에서 산정한 좌우 각각 스펀의 부재각의 평균치를 이용하였다. 최대하중이후 각

사이클의 최대하중이 최대하중의 80%이하 일 경우, 시험종료 하였다.

하중단계별 콘크리트면의 균열패턴을 파악하고자 시험체는 백 페인트 처리하였다.



그림 1. 실험체 셋업

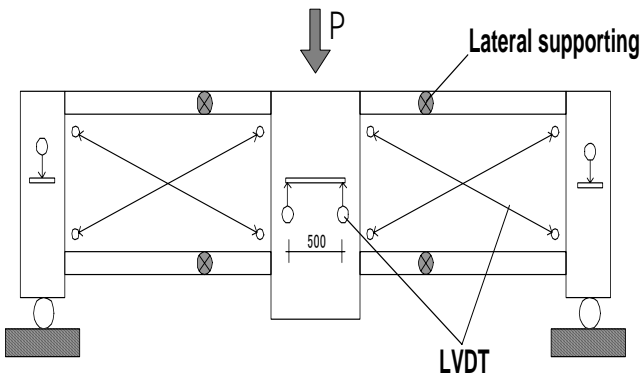


그림 2. 변위계 설치

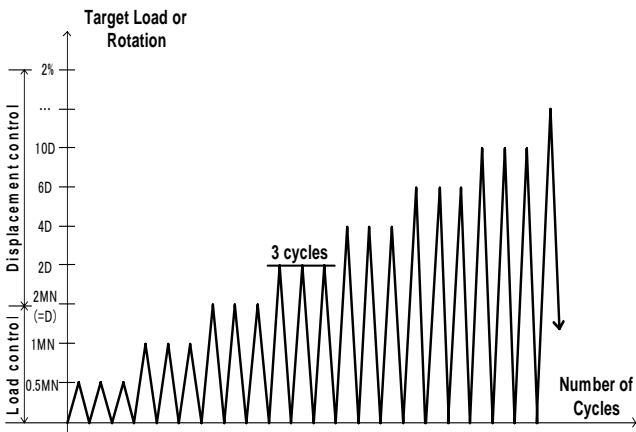


그림3. 재하하력 패턴

3. 실험결과

3.1 시험체별 하중-변형 결과

1) No1 시험체

해석에서 구한 탄성하중과 시험체의 탄성하중은 거의 일치하였다. 최대하중의 경우, 시험체 설계시의 하중 (=2744kN)에 비하여 약 7% 정도 낮게 나왔다. 최대하중시의 부재각은 약 0.55%로 나타났다. 전단변형각은 부재각에서 약 50%정도의 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다. 마지막으로, 최대 하중이후 가력부 근처의 오프닝 상부보에서 전단과 압축에 의한 파괴가 일어나서 급격히 하중이 저하하였다. 이는 고강도 콘크리트의 역학적 특성과 프리스트레스에 의한 영향으로 사료된다.

2) No2 시험체

해석에서 구한 탄성하중과 시험체의 탄성하중은 거의 일치함을 알 수 있다. 최대하중의 경우, 시험체 설계시의 하중 (=2744kN)에 비하여 20% 상회하였다. 최대하중 이후 부재각이 1.3%까지 내려져없이 연성적인 거동을 나타내었다. 최종적인 파괴에서는 가력부 근처의 상부보의 압괴파괴였다. 전단변형각은 부재각에서 약 30%정도의 비중을 차지하고 있었다. 긴장효과에 따라 제하영역에서 잔류 변형이 상당히 적게 나타났다.

3) No3 시험체

No3시험체에서도 해석에서 구한 탄성하중과 시험체의 탄성하중은 거의 일치함을 알 수 있다. 그러나, 균열 발생이 다른 시험체와 달리 50ton이상에서 발생하였다. 최대하중의 경우 시험체 설계시의 하중 (=2744kN)에 비하여 약 20% 정도 높게 나타났다. 또한, 최대하중이후 부재각이 1.5%까지 내려져없이 연성적인 거동을 나타내었다. 최종 파괴에서는 가력부 근처의 상부보의 압괴와 전단파괴였다. 전단변형각은 부재각에서 약 50%정도의 비중을 차지하고 있었다. No3시험체는 No1시험체보다 오프닝 부분에 전단보강근이 3배이상 배치한 결과로 오프닝상부 취성적 파괴가 발생하지 않았다. 긴장을 하지 않은 이유로 제하영역에서 잔류변형이 다른 시험체에 비하여 크게 나왔다.

4) No4 시험체

해석에서 구한 탄성하중과 시험체의 탄성하중은 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 최대하중의 경우, 시험체 설계시의 하중 (=2744kN)에 비하여 약간 높게 나타났다. 또한 최대하중 이후 부재각이 1.3%까지 내려져없이 연성적인 거동을 나타내었다. 최종 파괴에서는 가력부 근처의 상부보의 압괴와 전단파괴였다. 전단 변형각은 부재각에서 약 25%정도의 비중을 차지하고 있었다. 긴장 효과에 따라 제하영역에서 잔류변형이 상당히 적게 나타났다.

3.2 균열 상황 및 최종파괴 형태

1) No1 시험체

그림4에서 보는 바와 같이 초기에는 200ton 이후부터 하부 보

에 휩에 의한 균열이 발생하였다. 그 이상의 하중에서는 벽체면의 전단변형에 의한 균열도 발생하였다. 마지막에서는 상부보의 전단 및 압축에 의한 파괴로 시험이 종료하였다.

2) No2 시험체

No1과 동일하게 초기에는 200ton 이후부터 하부 보에 휩에 의한 균열이 발생하였다. 그 이상의 하중에서는 벽체면의 전단변형에 의한 균열도 발생하였다. 마지막에는 상부보의 전단 및 압축에 의한 파괴로 시험이 종료하였다.

3) No3 시험체

그림에서와 같이 초기에는 50ton이후부터 하부보의 휩에 의한 균열이 발생하였다. 그 이상의 하중에 대해서는 벽체면의 전단변형에 의한 균열도 발생하였다. 마지막에서는 상부보의 전단 및 압축에 의한 파괴로 시험이 종료하였다.

4) No4 시험체

그림에서와 같이 초기에는 200ton이후부터 하부보 후미에 의한 균열이 발생하였다. 그 이상의 하중에 대해서는 박체면의 전단변형에 의한 균열도 발생하였다. 마지막에서는 상부 보의 전단 및 압축에 의한 파괴로 시험이 종료하였다.

1. 기존 RC공법과 PT공법을 적용한 아웃리거 부재에 대해서 구조성능평가를 수행한 결과, 최대하중, 시험종료시의 부재 각, 파괴양상 등에서 기존공법과 같은 구조성능을 나타냈다. 한편, PT공법을 적용한 경우, 균열발생시점의 하중은 기존 공법에 비하여 2배 이상이며, 부재각이 클수록 원점회귀경향이 강하게 나타나 잔류변형은 기존공법에 비하여 상당히 작았다.

2. 초기 강성면에서 범용 유한요소해석 프로그램에 의해 구한 해석값과 실험값은 거의 같으며, 최대하중에서 실험값은 시험체 설계하중 20%이내로 해석 및 설계방법의 타당성을 검증하였다.

본 연구에서는, 초고층 주상복합 건축물에 대해서 PT아웃리거 적용에 따른 타당성을 검토하였다. 향후 본 공법의 실용화 시공에 따른 접합부부분이나 시공상의 조인트에 대한 디테일개발 및 성능평가가 추가적으로 필요하다.

참 고 문 헌

1. 대한건축학회, 건축구조설계기준 (Korea Building code - structural, KBCS), 대한건축학회, 2005.
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준해설, 한국 콘크리트학회, 2003
3. ACI committee 318, Building code requirements for structural concrete (ACI 318-05), American Concrete Institute, 2005
4. Shamsai M, Sezen H, Khaloo A, Behavior of reinforced concrete beams post-tensioned in the critical shear region, Eng struct 29: pp.1465~74, 2007
5. Uchida R, Hamahara M, Suetsugu H, Sato N, Osaki K, Restoring force characteristics model of prestressed concrete beams in beam-column assemblies, J Struct Constr Eng AIJ 575(1): pp.105~12, 2004
6. Wang GL, Meng SP, Modified strut-and-tie model for prestressed concrete deep beams. Eng struct 30: pp.3489~96, 2008
7. Yang KH, Eun HC, Chung HS, The influence of web openings on the structural behavior of reinforced high-strength concrete deep beams, Eng Struct 28: pp.1825~34, 2006

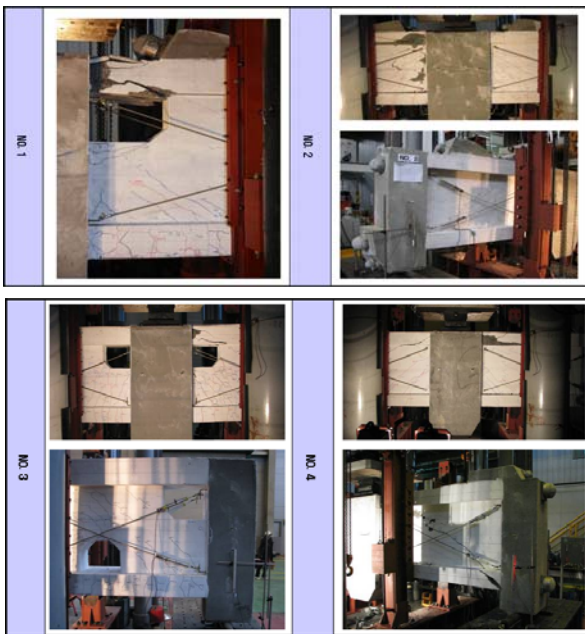


그림4 시험체의 균열 상황 및 최종파괴

4. 결 론

초고층 건축물에서 횡력저항시스템중의 하나인 철근콘크리트 아웃리거 시스템에 80MPa급 초고강도 콘크리트를 이용하여 포스트텐션공법을 적용한 아웃리거부재에 대해서 실험 축소 시험체를 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.