

유닛 블록을 활용한 옥탑 모듈러 구조물 접합부의 구조성능평가

허유빈¹ · 임현욱² · 정인수³ · 김경태⁴ · 이강민^{5*}

¹석사과정, 충남대학교, 건축공학과, ²학사과정, 충남대학교, 건축공학과, ³부사장, 우광티앤씨(주),

⁴소장, (주)창민우구조건설턴트, ⁵교수, 충남대학교, 건축공학과

Structural Performance Evaluation of Rooftop Modular Structure Connected with Unit Blocks

Heo, Yubin¹, Lim, Hyunwook², Jeong, In-Soo³, Kim, Kyungtae⁴, Lee, Kangmin^{5*}

¹Graduate Student(Master Course), Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

²Undergraduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

³R&D Center Director, WooKwang T&C Co., Ltd., Incheon, 21072, Korea

⁴Division Manager, Chang Minwoo Structural Consultants, Seoul, 06125, Korea

⁵Professor, Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

Abstract - This study proposed the design of rooftop structures using modular and PC methods to improve constructability, safety, and economic efficiency of rooftop structures, and developed unit modules applied to connections to fasten members. In addition, structural stability evaluation of the connections of the proposed structure and performance evaluation were conducted through real-size experiments. As a result of the experiment, the unit blocks were not affected on the performance of proposed rooftop modular system, and the failure of the beam preceded the column by applying a reinforcing plate to the panel zone of the column. In addition, all specimens satisfied the generally required performance.

Keywords - Modular, Rooftop structure, Steel structure, Unit block, Connection, Structural performance evaluation

1. 서론

모듈러 건축은 공장에서 미리 제작된 부재를 현장에서 조립하여 유닛을 구성하고 적층하여 구조물을 완성하는 조립식 공법이다. 해외에서는 주거용, 상업용, 학교, 병원, 호텔 등 다양한 용도로 적용되고 있으며, 최근 국내에서도 건식공법을 적용한 거푸집 설치·해체 및 콘크리트의 양생 기간 단축을 통하여 공기 단축 및 공장 제작에 따른 품질 향상 등의 이점으로 수요가 확대되는 추세이다^[1]. 이에 따라 국내에서도 모듈러 구조물의 안정적인

구조성능 확보를 위해 모듈러 접합부에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Lee *et al.*^[2]은 각형강관 기둥과 ㄷ형강 보가 사용된 모듈이 일자형 접합철물과 십자형 접합철물로 연결된 접합부의 거동을 KBC2009 0722.2.4에 따라 모듈의 폭 방향과 길이 방향에 대해 층간변위각으로 반복 가력 제어 실험을 진행하였다. 실험 결과, 모든 실험체는 0.04 rad 변위각까지 비교적 안정적인 거동을 보이며, 길이 방향 실험체의 결과가 에너지 흡수능력이 높았으나, 십자형 연결 강판에 비해 변위각이 커질수록 강성이 저하하고, 기둥의 실제 변위각이 늘어나는 결과를 보였다.

Jang *et al.*^[3]은 기존 구조부재의 재료적 한계와 구조적 내력저하 등의 문제를 해결하고자 보-기둥에 H형강을 사용하여 H형 브래킷을 갖는 내·외부 접합부와 ㄱ형 브래킷을 갖는 내부 접합부 실험체를 모듈러 시스템 접합부로 구성하여 내진성능평가를 수행하였으며, 모든 실험체는 중간모멘트골조의 요구 성능을 만족하였고, ㄱ형

Note.-Discussion open until October 30, 2023. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on February 21, 2023; revised on March 24, 2023; approved on March 27, 2023.

Copyright © 2023 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-42-821-5625 Fax. +82-42-823-9467

E-mail. leekm@cnu.ac.kr

브래킷 실험체가 공구의 접근성과 시공성이 뛰어나 우수하다고 판단하였다.

Jung *et al.*^[4]은 기존 모듈러 접합부를 대체할 수 있는 특수 제작된 개발 블록을 활용하여 모듈러 접합부의 구조성능평가 및 유한요소해석을 진행하였다. 그 결과, 특수모멘트골조 기준의 구조성능을 만족하였다.

일반적으로 공동주택의 옥탑 구조물은 엘리베이터 양층을 위한 권상기 및 옥상층으로의 대피 통로 확보를 위해 코어 최상층에 설치되는 구조물이다. 이는 골조 최종 단계에 시공되어 타워크레인의 해체 및 엘리베이터 가동 시기 등 전체 공기와 직접적으로 관련되는 공정이다. 일반적으로 옥탑 구조물은 기준층 골조와 동일하게 철근콘크리트로 시공되나, 공기가 길어지고 고소작업의 위험성이 증대되는 문제점이 발생하여, 이에 대한 대안으로 프리캐스트 콘크리트(Precast concrete, PC) 공법을 활용하여 현장 타설 및 양생 공정을 생략하는 방법이 제시되고 있다. 그러나, 옥탑 구조물은 상대적으로 부재량이 작아 단가 상승과 중량의 문제로 인해 타워크레인 시공에 제약이 따른다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존 철근콘크리트 공법 대비 공기를 단축시키고, 경량화가 가능한 모듈러 공법을 활용하고자 하였다. 강재 보 및 PC 슬래브를 활용하여 현장 시공 최소화가 가능한 옥탑 구조물 시스템을 개발하고 구조성능평가를 수행하였다. 이를 위해 강재 기반의 모듈러 구조의 변경 및 조립이 수월하도록 접합부에 유닛 블록을 적용한 형태를 제시하였다. 접합부 유닛 블록은 구조물 하부 콘크리트 기초와 기둥의 접합 그리고 상·하 기둥의 이음부에 설치된다. 이 연구에서 유닛 블록을 활용한 옥탑 모듈러 구조 성능평가는 앵커볼트와 기초 콘크리트의 인발 및 전단 저항 성능평가, 보-기둥 접합부의 휨강도 성능평가, 강재 보-PC 슬래브의 휨강도 성능평가를 위한 실물대 실험을 진행하였다. 이 연구를 통하여 고소작업의 위험성을 줄일 수 있고 공기 단축 및 경제적인 설계가 가능한 옥탑 구조물의 효율적인 설계를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 유닛 블록 설계

이 연구에서는 옥탑 모듈러 구조물의 기초 접합부와 보-기둥 접합부의 성능평가를 진행하기 위하여 유닛 블

록과 앵커볼트에 대한 설계를 선행하였다. 제안한 유닛 블록이 적용된 구조물의 형상은 Fig. 1과 같으며, 유닛 블록은 콘크리트 기초와 기둥의 접합부(Fig. 1(a)) 그리고 상·하층 기둥의 접합부(Fig. 1(b))에 적용되며, 강재 보에 PC 슬래브가 설치된다(Fig. 1(c)).

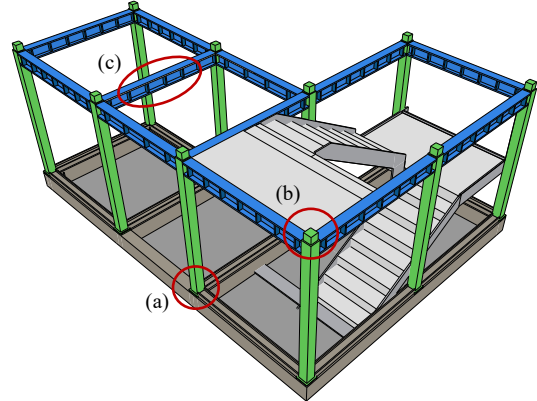


Fig. 1. Prototype of rooftop modular structure

2.1 유닛 블록 구조

옥탑 모듈러 구조물의 접합부는 Fig. 2와 같이 각형 강관기둥에 가이드 블록이 삽입되고 구조물 내부에서 볼트로 체결할 수 있도록 가이드 블록 내부에 너트가 설치되어 있으며, 고장력볼트(F10.9T, M20)를 일방향 볼트(One-way bolt) 방식으로 접합하는 구조이다. 이러한 접합 방식은 가이드 블록과 베이스 플레이트 및 볼트가 하나의 유닛으로 거동할 수 있도록 기둥과 기초 및 상·하층 기둥의 접합부에 적용된다.

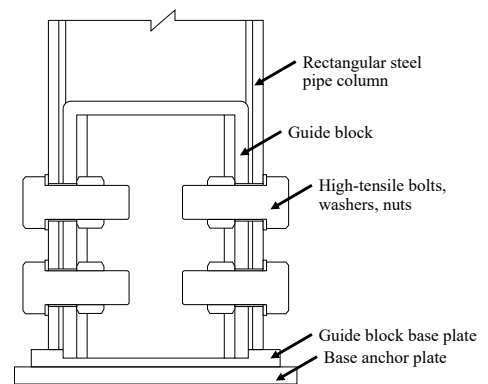


Fig. 2. Unit block

2.2 모듈러 접합부 설계

Fig. 3는 이 연구에서의 옥탑 모듈러 구조물 기둥과 기

초(Fig. 3(a)), 보와 기둥(Fig. 3(b)) 및 강재 보와 PC 슬래브(Fig. 3(c))의 접합 형태를 나타낸다.

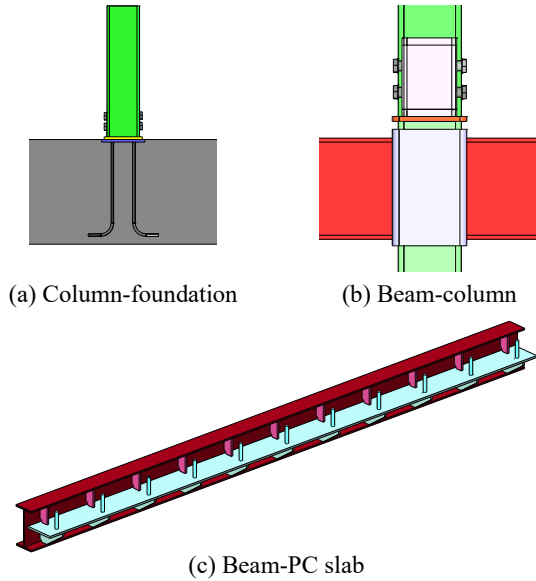


Fig. 3. Shapes of connections

강재 기둥과 기초의 접합부는 Fig. 3(a)와 같이 앵커 철근을 설치하고 가이드 블록의 베이스 플레이트에 전 둘레 용접하였으며, 앵커볼트는 KDS 14 20 54 콘크리트용 앵커 설계기준^[5]에 따라 식 (1) - 식 (4)의 인장력에 대한 설계 조건을 만족하도록 하였으며, 식 (5) - 식 (6)에 따라 전단력에 대한 설계 조건을 검토하였다. 인발 성능 검토 결과를 Table 1에 나타냈으며, 전단력에 대한 설계 검토를 Table 2에 정리하였다.

- 강재 강도: 인장을 받는 단일 앵커나 그룹의 공칭 강도 N_{sa} 는 식 (1)의 값 이하여야 한다.

$$N_{sa} = nA_{se,N}f_{uta} \quad (1)$$

여기서, n : 앵커의 수,

$A_{se,N}$: 인장력을 받는 앵커의 유효단면적(mm²),

f_{uta} : 앵커 강재의 설계기준 인장강도(MPa).

- 콘크리트 파괴강도: 단일 앵커의 경우, 공칭콘크리트 파괴강도 N_{cb} 는 식 (2)의 값 이하여야 한다.

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}}\psi_{ed,N}\psi_{c,N}\psi_{cp,N}N_b \quad (2)$$

여기서, A_{Nc} : 인장강도 산정을 위한 단일 앵커 또는 앵커 그룹의 콘크리트 파괴면 투영면적(mm²),

A_{Nco} : 인장강도 산정을 위한 단일 앵커의 콘크리트 파괴면 투영면적(mm²),

$\psi_{ed,N}$: 연단 거리 영향에 따른 인장강도에 대한 수정계수,

$\psi_{c,N}$: 균열 여부에 따른 인장강도에 대한 수정계수,

$\psi_{cp,N}$: 후술치 앵커를 보조 철근 없이 비균열 콘크리트에 사용하기 위한 인장강도에 대한 수정계수,

N_b : 균열 콘크리트에서 인장을 받는 단일 앵커의 기본 콘크리트 파괴강도(N).

- 뿔힘 강도: 인장력을 받는 단일 헤드 스티드 또는 헤드 볼트의 뿔힘 강도 N_p 는 식 (3)의 값 이하여야 한다.

$$N_{pn} = \psi_{c,p}N_p \quad (3)$$

여기서, $\psi_{c,p}$: 균열 여부에 따른 앵커 뿔힘 강도에 대한 수정계수,

N_p : 균열 콘크리트에서 인장을 받는 단일 앵커의 뿔힘 강도(N).

- 콘크리트 측면 파열강도: 뿔힘 깊이가 깊고 가장 자리에 인접해 $h_{ef} \geq 2.5c_{a1}$ 로 설치된 단일 헤드 앵커에 대한 공칭측면 파열강도 N_{sb} 는 식 (4)의 값 이하여야 한다.

$$N_{sb} = \left(13c_{a1}\sqrt{A_{brg}}\right)\lambda\sqrt{f_{ck}} \quad (4)$$

여기서, c_{a1} : 앵커 샤프트 중심부에서 콘크리트 단부까지의 거리(mm).

N_{sb} : 단일 앵커의 공칭측면파열 강도(N).

- 전단력에 대한 앵커 강재의 강도: 강재에 의해 지배될 때, 전단력을 받는 앵커의 공칭강도는 식 (5)에 의해 산정될 수 있다.

$$\phi V_{sa,ea} = \phi A_{se,N}f_{uta} \quad (5)$$

여기서, $A_{se,N}$: 전단에 대한 앵커의 유효단면적,

f_{uta} : 앵커 강재의 설계기준 인장강도(MPa).

- 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도: 앵커 그룹에서 가장자리에 직각방향으로 작용하는 전단력은 식 (6)에 의해 산정될 수 있다.

$$\phi V_{cbg} = \phi \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \psi_{ec,V} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} \psi_{h,V} V_b \quad (6)$$

여기서, V_{cbg} : 전단을 받는 앵커 그룹의 공칭콘크리트 파괴강도(N),

A_{Vc} : 전단강도 산정을 위한 단일 앵커 또는 앵커 그룹의 콘크리트 파괴면 투영면적(mm²),

A_{Vco} : 전단강도 산정을 위한 단일 앵커의 콘크리트 파괴면 투영면적(mm²),

$\psi_{ec,V}$: 앵커 그룹이 편심하중을 받는 경우의 전단강도에 대한 수정계수,

$\psi_{ed,V}$: 연단거리 영향에 따른 전단강도에 대한 수정계수,

$\psi_{c,V}$: 콘크리트 균열 및 보조 철근의 유무에 따른 전단강도에 대한 수정계수,

$\psi_{h,V}$: $h_a < 1.5c_{a1}$ 인 콘크리트 부재에 설치된 앵커의 전단강도에 대한 수정계수,

V_b : 균열 콘크리트에서 전단을 받는 단일 앵커의 기본 콘크리트 파괴강도(N).

Table 1. Review of anchor bolt pull-out performance

List	ϕR_n
Steel strength	$N_{sa} = n A_{se,N} f_{uta},$ $\phi = 0.75$ $\phi N_{sa} = 168.5 \text{ kN}$
Concrete breaking strength	$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b,$ $\phi = 0.7$ $\phi N_{cbg} = 259.3 \text{ kN}$
Pull-out strength	$N_{pn} = \psi_{c,P} N_p$ $= 380 \text{ kN}$
Concrete lateral fracture strength	$A_{brg} = 706 \text{ mm}^2 \text{ (D30)},$ $N_{sb} = (13c_{a1} \sqrt{A_{brg}}) \lambda \sqrt{f_{ck}} = 94.8 \text{ kN}$

Table 2. Review of anchor bolt shear performance

List	ϕR_n
Steel strength	$\phi V_{sa,ea} = \phi A_{se,N} f_{uta},$ $\phi = 0.65$ $\phi V_{sa} = 116.8 \text{ kN}$
Concrete breaking strength	$\phi V_{cbg} = \phi \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \psi_{ec,V} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} \psi_{h,V} V_b,$ $\phi = 0.7$ $\phi V_{cbg} = 5.82 \text{ kN}$

전단 저항성능은 소요강도 산정 시 중앙부 최대 전단력이 17 kN이었으나, 콘크리트의 전단파괴 저항성능을 검토한 결과, 5.82 kN으로 낮게 나타났다. ACI 318-14^[6] 기준에 따르면, 계수전단하중이 콘크리트의 브레이크아웃 강도를 초과할 경우 전단 보강근을 사용할 수 있으며, 보강근의 강도로 대체되었을 때 코너부의 경우 헤어핀(2-D10) 한 개당 약 42.8 kN의 전단력을 저항할 것으로 예상되었다. 따라서 전단강도 향상을 위해 헤어핀 앵커 1개를 보강하여 계수전단하중이 콘크리트 브레이크아웃 강도를 초과하지 않도록 설계하였다.

구조물의 보와 기둥은 각형강관 기둥과 H형강 보로 구성되어 있으며, Fig. 3(b)와 같이 하부 기둥에 가이드 블록 플레이트를 용접하여 상부 기둥과 하부 기둥을 접합하는 구조이다. 선행연구로 진행한 보-기둥 접합부의 주요요소해석 연구에서 각형강관 기둥의 항복 이후에도 가이드 블록의 변형은 매우 작게 나타나 가이드 블록이 접합부의 강도에 미치는 영향이 미미함을 확인할 수 있었으나, 각형강관 기둥과 보의 접합부에서부터 항복이 발생하여 보 플랜지 주변에 응력이 집중되었으며, 6 mm 두께 각형강관 기둥의 과도한 항복 및 변형으로 인해 접합부의 최종 파괴 형태가 나타났다. 따라서, 기둥의 휨강도를 보의 휨강도보다 높게 설계하여 기둥보다 보의 항복이 선행되도록 하기 위해 6 mm의 판재를 보강함으로써 단면을 추가적으로 확보하였다. 그 결과, Fig. 4에 나타난 바와 같이 강도가 약 50 % 증가하여 목표성능인 층간변위각 0.02 rad과 보의 전소성모멘트의 90 % 이상 성능(0.9M_p)을 만족하였다.

또한, PC 슬래브는 Fig. 3(c)와 같이 스티드 볼트가 설치된 10 mm 두께의 PC 슬래브 플랜지를 보 웹브에 용접하였으며, 상부에는 수직 스티프너(두께 10 mm)로, 하부에는 리브(두께 10 mm)를 설치하여 보강하였다.

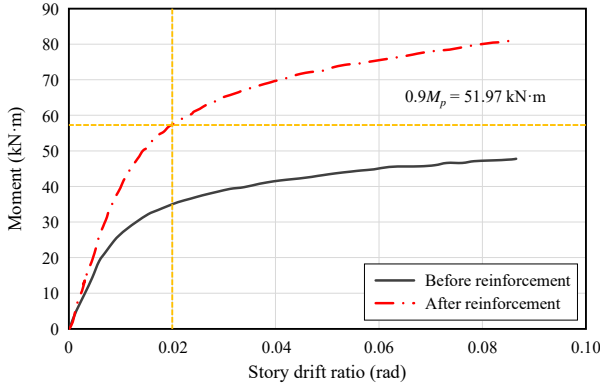


Fig. 4. Comparison of reinforced plate application

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험개요

이 연구에서는 사전 예비 유한요소해석결과를 반영한 실물대 실험체를 제작하여 실험연구를 진행하였다. 기초와 유닛 블록을 적용한 기둥의 인발과 전단저항 성능평가 실험을 진행하였으며, 보-기둥 접합부와 강재 보-PC 슬래브의 단부 휨 성능을 평가하기 위한 실험연구도 진행하였다. 각 실험별 목표 성능을 Table 3에 나타냈으며, 앵커볼트의 인발과 전단 실험체는 KDS 14 20 54 콘크리트용 앵커 설계기준^[5]과 ACI 318-11^[7]을 참고하였으며, 보-기둥 접합부 및 보-PC 슬래브는 KDS 41 31 00 건축물 강구조 설계기준^[8]을 참고하여 각 구조물의 일반적인 성능을 확보할 수 있도록 설정하였다.

Table 3. Performance objectives

Test	Objectives
Pull-out	80 kN
Shear resistance	17 kN
Beam-column	0.02 rad or $0.9M_p$
Beam-PC slab	25 kN/m

Table 4. Details of test specimens

Column	Beam	Anchor	Guide block	Bolt/washer/nut	Guide block base plate	Base anchor plate
□-125×125×6, SRT275	H-100×200×5.5×8, SS275	D10-SD400	108×108×153×8, SM355	F10T, M20	145×145×10r, SM355	165×165×10r, SM355

Table 4에는 이 연구에서 수행한 모듈러 실험체의 기초와 기둥 접합부 및 보-기둥 접합부 실험체에 사용된 부재 및 접합재의 규격을 나타냈다.

3.2 재료시험 및 결과

이 연구에 사용된 앵커, 강재, 고장력볼트, 각형강관, H형강, 콘크리트에 대한 재료시험을 진행하였다. 강재 시험편은 한국산업규격(KS) KS B 0801^[9] 기준에 따라 제작하였으며, 앵커 철근은 KS D 3504^[10] 기준에 따라 재료시험을 진행하여 충분한 성능을 확보함을 확인하였다(Table 5 참조). 콘크리트의 경우 KS F 2405^[11] 압축시험 기준에 따라 재료시험을 진행하였으며, 28일 강도 결과 24.12 MPa로 나타나 요구하는 성능을 만족하였다.

Table 5. Tension coupon test results

Coupon	Tensile strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Elongation rate (%)
SRT275(6T)	472	274	36
SS275(8T)	467	335	32
SS275(5.5T)	428	343	31
SD400(D10)	528	410	30
SM355(8T)	539	389	24
Bolt(M20)	1,220	1,120	14

3.3 기둥과 기초 접합부 성능평가

기둥과 기초의 접합을 위한 앵커볼트에 대한 성능평가의 경우, 세부적인 앵커 시험의 지침과 내용이 제시되어 있지 않아 시험 방법에 따라 시험 결과의 차이가 발생할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 실제 적용될 구조물의 상태를 고려하여 직접인발시험(pull-out test)을 수행하였으며, 옥탑 구조물의 환경 특성을 고려하여 횡하중에 대한 저항성을 평가하기 위해 전단저항 성능평가도 수행하였다. 직접인발 실험은 Fig. 5(a)와 같이 실험체를 ㄷ형

고정 프레임으로 고정하고, 각형강관 기둥과 일체화된 인발 플레이트에 지그를 설치하고 액추에이터(actuator)와 연결하여 가력하였다. 전단저항 성능평가는 Fig. 5(b)와 같이 각형강관의 상·하부에 플레이트를 설치하여 지그와 고정하였다. 기둥과 기초 접합부 성능평가는 모두 콘크리트의 최종 파괴 시까지 단조가력으로 실험을 진행하였다.

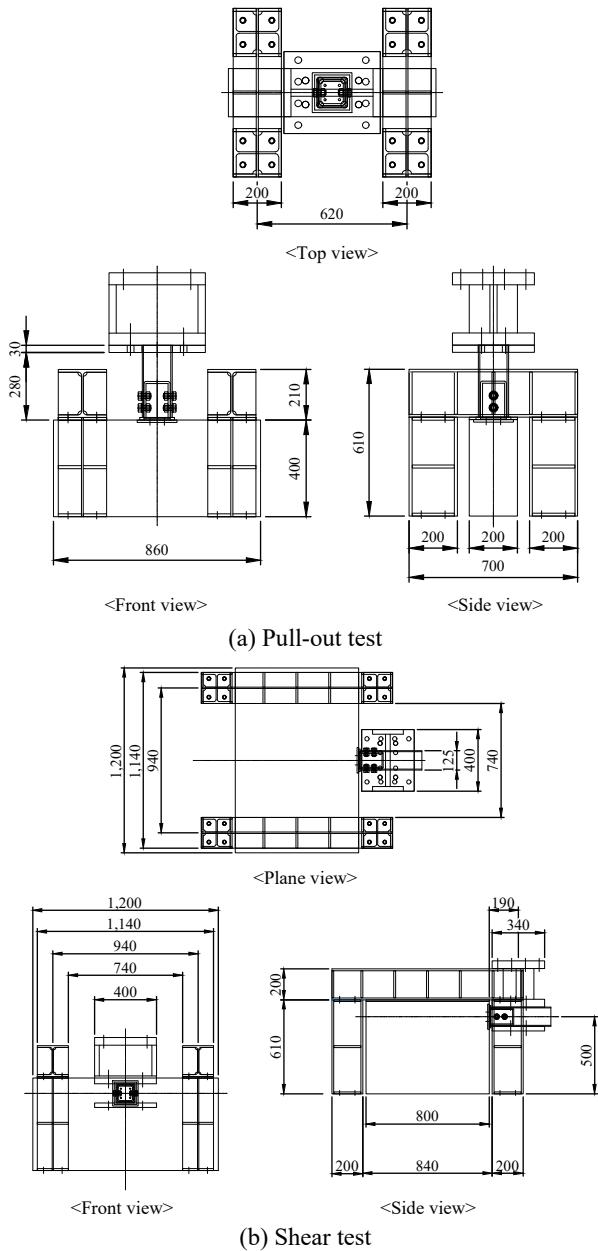


Fig. 5. Test set-up for foundation connection specimens

3.4 보-기둥 접합부 휨 성능평가

유닛 블록이 적용된 보-기둥 접합부 성능평가 실험체

에 사용된 기둥 부재는 □-125×125×6(SRT275)이고 보 부재는 H-200×100×5.5×8(SS275)이며, 패널 존은 6 mm 두께의 판재로 보강하였다.

실험체 설치는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 기둥 양 단부를 핀접합하고 보 상부에 액추에이터를 설치하는 방식으로 진행하였다. 재하 방법은 건축물 강구조 설계기준(KDS 41 31 00)^[8]의 재하이력에 준하여 Fig. 7과 같이 반복 가력하였으며, 실험실 상황과 액추에이터의 용량을 고려하여 층간변위각 4.0%까지 계획하였다.

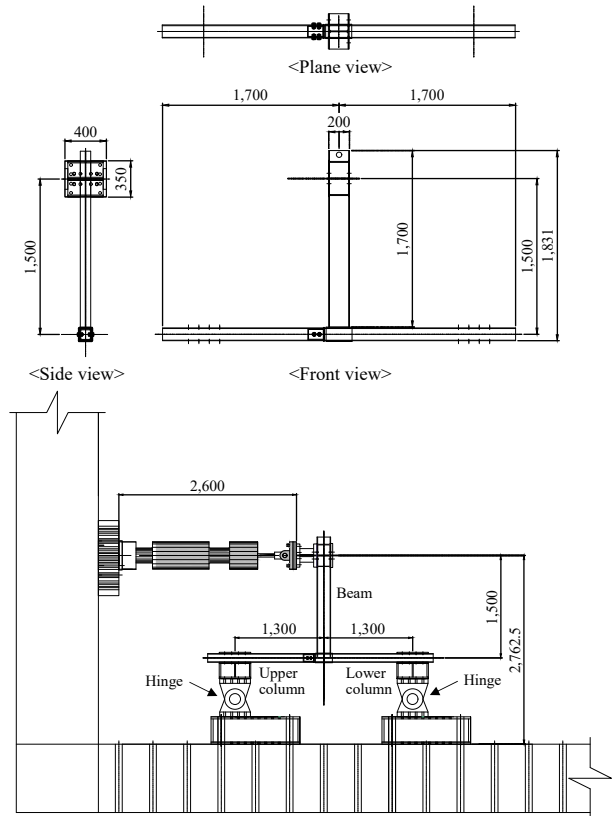


Fig. 6. Test set-up for beam-column connection

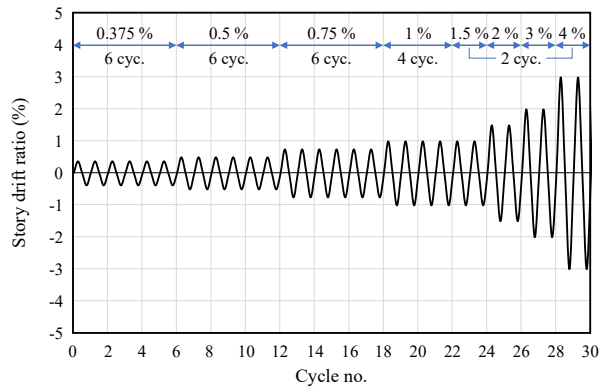


Fig. 7. Loading protocol

3.5 강재 보-PC 슬래브 휨 성능평가

강재 보-PC 슬래브 휨 성능평가 실험체에 사용된 보 부재는 H-200×100×5.5×8(SS275), PC 슬래브 플랜지에는 150×1000×10, 상부 스티프너와 하부 리브에는 10 mm 두께의 판재를 사용하였다. 실험체 설치를 위하여 Fig. 8 과 같이 PC 슬래브 플랜지에 가력 프레임을 설치하고 가력 프레임 상부에 액추에이터를 설치하여 1점 가력 방식으로 단조가력하였다.

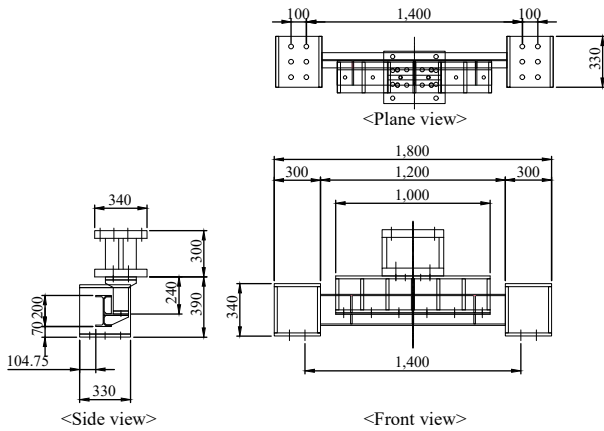


Fig. 8. Beam-PC slab set-up

4. 실험결과 및 분석

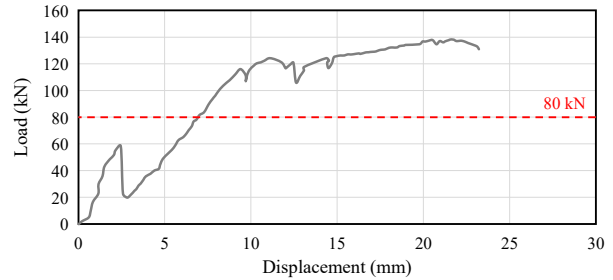
4.1 기둥-기초 접합부

4.1.1 인발 시험 성능평가

인발 성능평가 실험체는 변위 3 mm 지점에서 콘크리트 내부의 앵커볼트가 뽑히기 시작하면서 하중이 급격히 감소하는 모습을 보였으나, 이후 완전히 앵커볼트가 들리기 전까지 증가하였다. 약 5 mm 변위 발생 시 콘크리트의 균열이 발생하였고(Fig. 9(b)), 약 7.5 mm 변위 발생 시점에서 강재와 콘크리트가 분리되었다(Fig. 9(c)). 최종 파괴 시까지 실험을 진행하였으며, 최대하중은 변위 21.52 mm에서 138.42 kN으로 나타났다.

4.1.2 전단 시험 성능평가

전단저항 성능평가 실험체는 변위 약 5 mm 시점에서 콘크리트 균열이 발생하였으며(Fig. 10(b)), 변위 30 mm 시점에서 각형강관 기둥이 설치된 베이스 플레이트가 들리면서 하중이 감소하였다(Fig. 10(c)). 최대하중은 변위 21.15 mm에서 53.19 kN으로 나타났다.



(a) Load-displacement curve



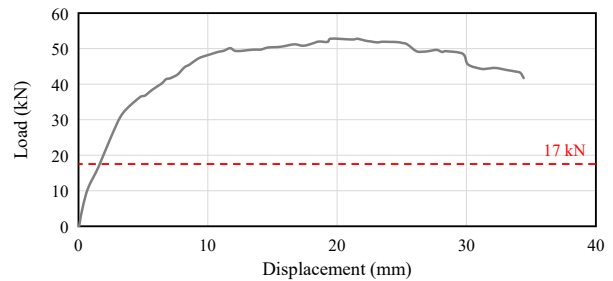
(b) Displacement at 5 mm

(c) Displacement at 7.5 mm



(d) Fracture mode

Fig. 9. Results of pull-out test specimen



(a) Load-displacement curve



(b) Displacement at 5 mm

(c) Displacement at 30 mm



(d) Fracture mode

Fig. 10. Results of shear resistance test specimen

4.2 보-기둥 접합부

보-기둥 접합부 휨 성능평가는 층간변위각 0.04 rad까지 반복가력 이후 실험 종료 시까지 정방향으로 가력하여 실시하였으며, 실험결과를 Table 6에 정리하였다. 실험체는 층간변위각 0.01 rad 이후 보의 플랜지에서 항복이 발생하였으며, 층간변위각 0.02 rad 이후 하부 기둥과 상부 기둥의 유닛 블록 연결부가 벌어지기 시작하였으며, Fig. 11과 같이 체결부 벌어짐이 심화되며 실험이 종료되었다.

Table 6. Results of beam-column connection test

Initial stiffness (kN/mm)*	Yield point		End point of experiment	
	Load (kN)	Dis. (mm)	Load (kN)	Dis. (mm)
1.08	21.94	29.17	50.16	124.40
	-23.08	-29.23	-40.81	-53.20

*The initial stiffness was obtained from through the first cycle of 0.375 % story drift ratio.

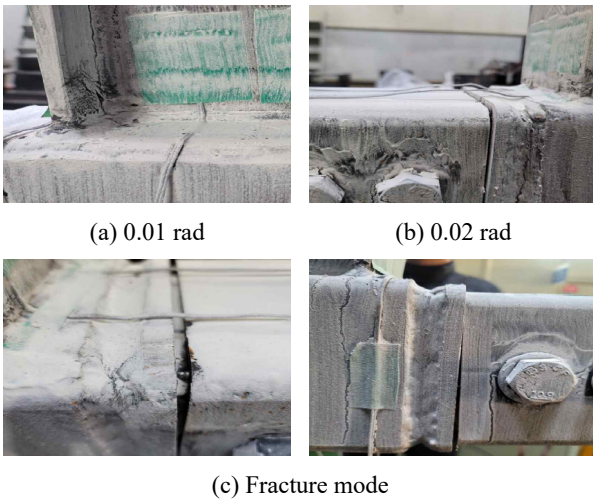


Fig. 11. Beam-column test specimen

Fig. 12는 보-기둥 접합부 실험체의 무차원화된 모멘트-층간변위각 곡선을 나타낸 것으로, 최대모멘트는 정가력에서 $1.13M_p$, 부가력에서 $0.92M_p$ 로 나타났다. Fig. 13에는 층간변위각 별 에너지 소산량을 정리하여 나타냈으며, 항복이 발생한 층간변위각 약 0.02 rad 이후 에너지 소산이 급격히 증가하고 층간변위각 0.03 rad 이후 플랜지 항복이 심화하면서 동시에 에너지 소산량이 상대적으

로 감소하였다.

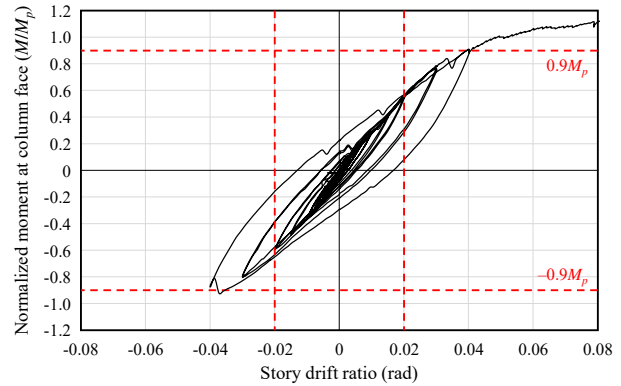


Fig. 12. Moment-rotation curve of specimen

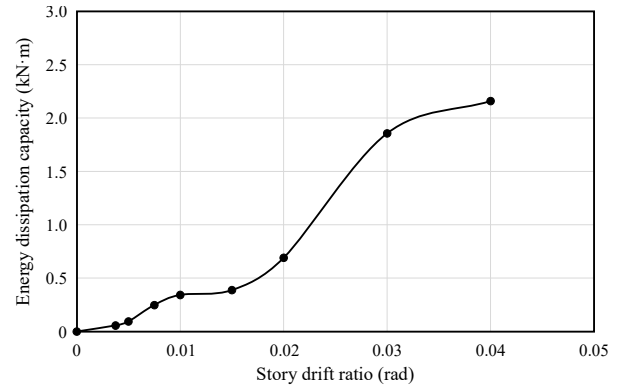


Fig. 13. Energy dissipation capacity of specimen

4.3 강재 보-PC 슬래브

강재 보-PC 슬래브의 휨 성능평가는 변위 30 mm까지 단조가력하여 실시하였으며, 실험결과를 Table 7에 정리하였다. 항복하중은 변위 6.96 mm 시점에서 238.70 kN으로 나타났으며, 최대하중의 경우 변위 8.72 mm 시점에서 247.28 kN으로 나타났다. 실험결과로부터 얻은 하중-변위 곡선을 Fig. 14에 나타냈으며, 최종 파괴 사진을 Fig. 15에 나타냈다.

Table 7. Results of beam-PC slab test

Initial stiffness (kN/mm)*	Yield point		End point of experiment	
	Load (kN)	Dis. (mm)	Load (kN)	Dis. (mm)
33.86	225.43	6.96	247.28	8.72

*The initial stiffness was obtained at the story drift angle of 0.375 %.

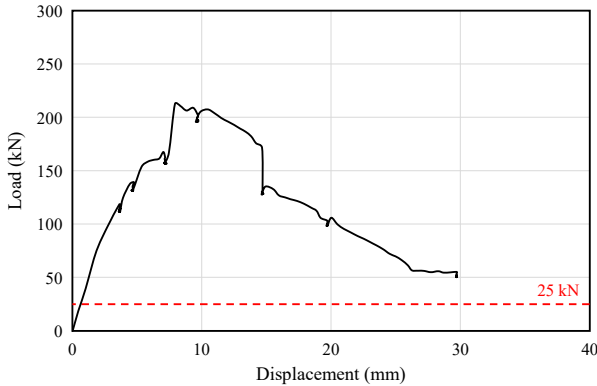


Fig. 14. Results of beam-PC slab test specimen



Fig. 15. Fracture mode of beam-PC slab

5. 결론

이 연구에서는 옥탑 구조물의 모듈화를 목적으로 모듈러 구조물의 접합부에 적용할 수 있는 유닛 모듈을 제안하고, 이 유닛 모듈이 적용된 접합부에 대한 구조 안전성을 평가하기 위한 성능평가 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (1) 유닛 블록과 앵커 볼트가 설치된 구조물의 기둥과 기초의 접합부에 대한 인발 성능은 목표 성능인 80 kN을 약 1.73배 상회하는 것으로 나타났다.
- (2) 전단 저항성능 설계를 검토한 결과, 콘크리트 전단파괴 저항성능이 낮게 나와 콘크리트 파괴강도를 확보하기 위해 전단 보강근(헤어핀) 1개를 적용하였으며, 실험 결과 목표 성능인 17 kN을 약 3.13배 상회하는 것으로 나타났다.
- (3) 보-기둥 접합부에 대한 휨 강도 실험 결과, 층간변위각 0.02 rad 이상과 $0.9M_p$ 값 이상을 확보하였으며, 층간변위각 4.0 % 수준에서 보 전소성모멘트(M_p)의 90 % 이상을 확보하여 목표 성능을 만족하였다.
- (4) 접합부의 체결 방식을 보완하여 충분한 휨 성능을 확보한다면 용도를 확장하여 적용할 수 있을 것으

로 판단된다.

- (5) 강재 보-PC 슬래브 단부의 휨 성능 평가 결과, 목표 성능인 25 kN을 약 9.89배 상회하는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2018R1D1A1B07048211153148 2092640105)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌(References)

- [1] Lim, S.-H. (2016) A Current State of Apartment Construction Technology Development with the Application of Modular Technology, *Review of Architecture and Building Science*, Architectural Institute of Korea, Vol.60, No.5, pp.16-21 (in Korean).
- [2] Lee, S.S., Bae, K.W., and Park, K.S. (2016) Comparison of Behavior of Connections Between Modular Units According to Shape of Connector Plates, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.6, pp.467-476 (in Korean).
- [3] Jang, D., Oh, K., Kang, C., and Lee, K. (2019) Seismic Performance Evaluation of H-Shape Beam-to-Column Connection in Modular Systems, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.5, pp.339-347 (in Korean).
- [4] Jung, S.-M., Lee, J.-S., Lee, S.-H., Kim, H.-J., Lee, K.-M., and Shin, K.-J. (2022) Structural Performance Evaluation of Modular System Connections Using Special Blocks, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.34, No.1, pp.45-53 (in Korean).
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2016) *Design Standard for Concrete Anchor* (KDS 14 20 54: 2016), Korea (in Korean).
- [6] American Concrete Institute (2014) *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary* (ACI 318-14), USA.
- [7] American Concrete Institute (2011) *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary* (ACI 318-11), USA.

- [8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2019) *Steel Structures Design Standard* (KDS 41 31 00: 2019), Korea (in Korean).
- [9] Korean Agency for Technology and Standards (2007) *Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0801: 2007), Korea (in Korean).
- [10] Korean Agency for Technology and Standards (2016) *Steel Bars for Concrete Reinforcement* (KS D 3504: 2021), Korea, (in Korean).
- [11] Korean Agency for Technology and Standards (2022) *Test Method for Compressive Strength of Concrete* (KS F 2405: 2022), Korea (in Korean).

요 약: 본 연구에서는 기존의 철근콘크리트 공법으로 시공되었던 옥탑 구조물의 시공성과 안전성, 경제성을 향상시키기 위하여 모듈러 공법과 PC 공법을 활용하여 옥탑 구조물 설계를 제안하였으며, 부재의 체결을 위해 접합부에 적용되는 유닛 모듈을 개발하였다. 제안된 구조물의 접합부에 대한 구조적 안정성 검토와 실물대 실험을 통한 성능평가를 진행하였으며, 성능평가 결과 유닛 블록은 인발, 전단, 휨 성능평가에서 영향을 받지 않았으며, 기둥의 패널 존에 보강 판재를 적용하여 보강함에 따라 보의 파괴가 기둥보다 선행되도록 하였다. 또한, 모든 실험체는 일반적으로 요구되는 성능을 만족하였다.

핵심용어: 모듈러, 옥탑 구조물, 철골 구조물, 유닛 블록, 접합부, 구조성능평가
