

옥상형 버티포트의 ESS 설치를 위한 하중분산장치에 대한 고찰

A Study on the Load Distribution System for ESS Installation on Rooftop Vertiport

○이 상 섭*

Lee, Sang-Sup

백 정 훈*

Baek, Cheong-Hoon

김 은 영**

Kim, Eun-Young

부 윤 섭***

Boo, Yoon-Seob

염 태 준****

Yeom Tae-Jun

Abstract

This study evaluates the structural performance of a load distribution system for ESS installation on a rooftop vertiport. A structural model consisting of columns, girders, and beams was analyzed using MIDAS Gen, with node releases applied to prevent moment transfer. The ESS load was calculated as 14.4 kN (equivalent to a floor load of 4.4 kN/m²), and the maximum deflection was 7.52 mm, which is well below the standard limits, thereby ensuring flatness and equipment safety. In particular, to mitigate moment transfer to the existing rooftop columns, the friction coefficient of the friction pads in the rotary friction hinges was experimentally evaluated.

키워드 : 옥상형 버티포트, 하중분산장치, 에너지 저장 시스템, 회전형 마찰 힌지, 구조 해석

Keywords : Rooftop vertiport, Load distribution system, Energy Storage System, Rotational friction hinge, Structural analysis

1. 서론

도심 내 교통 혼잡과 지상 공간 부족 현상으로 인해 도심항공교통(Urban Air Mobility, 이하 UAM)의 필요성과 중요성이 증가하고 있다. 특히 UAM 운영을 위한 필수 인프라인 버티포트 및 버티스탑의 설치에 UAM 활성화에 있어 매우 중요한 요소로 인식되고 있으며, Kim and Hong (2024)은 도심지 내 신규 부지 확보의 어려움으로 인해 기존 건축물의 옥상 공간을 활용한 옥상형 버티포트의 구축 방안을 주요한 대안으로 제시되고 있다.

한편, FDOT(2022)에 따르면 UAM이 성공적으로 운행되기 위해서는 버티포트에 충전 인프라가 필요하며, 최소 820kWh 용량의 에너지저장장치(Energy Storage System, 이하 ESS) 설치를 권고하고 있다. 비록 국내 법률상 ESS를 옥상에 설치할 수 없지만, ESS에 대한 화재 문제를 해소하여 설치한다고 해도 구조안전성에 대한 검토가 요구된다. ESS의 과도한 하중으로 인해 옥상 슬래브에 심각한 구조적 문제가 발생할 수 있으므로 하중을 효과적으로 분산하여 안전하게 전달하는 방안이 반드시 필요하다.

이 연구에서는 이러한 구조적 제한사항을 극복하고, 옥상형 버티포트에 ESS 설치가 가능하게 하려고 하중분산장치를 제안하고자 한다. 이 하중분산장치는 ESS의 하중을 슬래브가 아닌 건물의 기둥에 직접 전달하도록 설계되어 옥상의 구조안전성에 대한 문제를 최소화할 수 있다. 이를

위해 이 연구에서는 하중분산장치의 개념을 소개하고, MIDAS 구조해석을 통해 구조 안전성을 평가하였다.

2. ESS 설치를 위한 하중분산장치

이 연구에서 계획된 ESS는 개별 저장 용량이 110kWh인 ESS 4개로 구성되어 총 440kWh의 저장 용량을 단위 구성으로 수요에 따라 늘려가도록 그림 1과 같이 제시하였다.

각 ESS 합체의 무게는 약 12.5kN으로, 4개가 동시에 설치될 경우 총 하중은 50kN에 이르게 된다. 그러나 기존 건물의 옥상 적재하중은 일반적으로 2~5 kN/m²로 설계되어 있어 ESS의 큰 무게를 직접적으로 지지하는 데 구조적 어려움이 따른다. 이를 해소하기 위해 ESS 하중을 기둥으로 전달하여 구조적 안정성을 확보하는 방식을 제안하였다. 이 하중분산장치는 기둥에 직접 연결된 보와 마찰힌지를 사용하여 기둥에 휨모멘트 전달을 억제하였다. 또한 ESS 외에 추가 중량물이 설치될 경우 마찰힌지가 회전하여 보 처짐이 발생하여, 과하중 상태에서 시각적 경고와 함께 구조적 위험을 사전에 인지할 수 있도록 하였다.

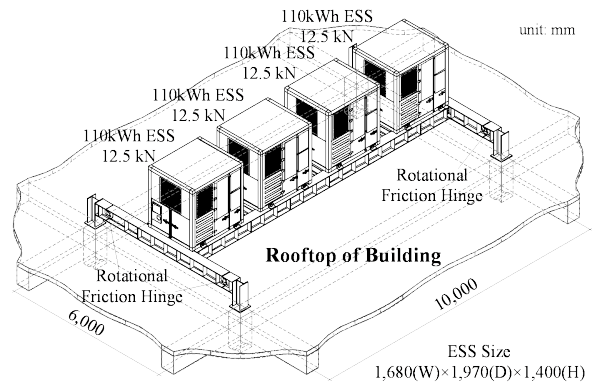


그림 1. 옥상형 버티포트의 ESS 설치용 하중분산장치 개념

* 한국건설기술연구원, 연구위원, 공학박사

** 한국건설기술연구원, 수석연구원, 공학박사

*** 한국건설기술연구원, 전임연구원, 공학박사수료

**** 한국건설기술연구원, 박사후연구원, 공학박사

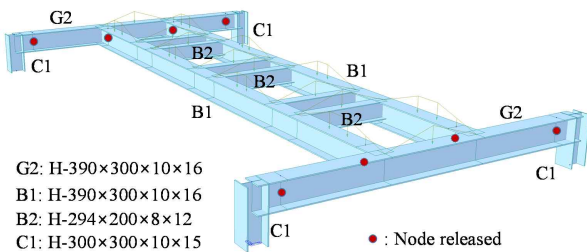
(Corresponding author : Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, lss0371@kict.re.kr)

이 연구는 2024년 중소벤처기업부 중소기업기술혁신개발사업에서 지원된 연구 결과의 일부임(과제번호 20250699-001)

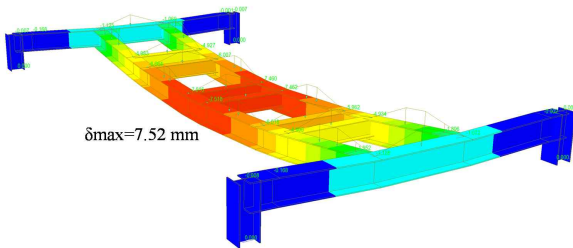
3. 하중분산장치의 구조 계산

그림 2는 MIDAS Gen을 이용해 검토한 하중분산장치의 해석 모델과 해석 후 변형 분포를 나타낸다. 해석 모델은 기둥(C1)과 ESS 설치를 위한 H형강 거더(G2) 그리고 보(B1, B2)로 구성되었으며, 회전형 마찰 힌지가 설치되는 위치와 거더와 보가 접합되는 노드는 힌모멘트를 전달할 수 없도록 릴리즈 처리(node released) 하였다. ESS의 하중은 연결 배관 등을 고려하여 14.4 kN로 증가시켜 계산한 4.4 kN/m²이 바닥하중으로 작용하도록 입력하였다. 강재는 모두 SS315의 일반구조용으로 G2와 B1의 규격은 H-390×300×10×16, B2는 H-294×200×8×12, C1은 H-300×300×10×15을 적용하였다.

해석한 결과 최대 처짐(δ_{max})은 7.52 mm로 나타났다. 이 처짐 수치는 강구조의 일반적인 처짐 제한인 L/360 (L: 스패)로 계산되는 27.8mm에 비해 매우 작고, 전동 크레인의 처짐제한인 L/800로 계산된 12.5 mm보다 작다. 이 처짐은 L/1,300에 해당하는 값으로 ESS가 설치되는 거더의 처짐을 최소화하는 것은 설치면의 평활도를 유지하여 배터리 및 내부 정밀 설비의 변형과 진동을 방지하고, 장기적으로 배터리 성능 저하나 안전성 문제가 발생하지 않도록 하기 위함이다.



(a) 해석 모델



(b) 해석 결과

그림 2. ESS 설치용 하중분산장치의 구조 계산

4. 회전형 마찰 힌지

회전형 마찰 힌지는 하중분산장치의 핵심 구성요소로, 기둥에 고정된 H형강과 다른 H형강을 연결하는 위치에 그림 3과 같은 구성으로 설치된다. 현재 개발 단계에 있으며, 마찰 힌지의 주요 구성요소인 마찰 패드(friction pad)를 힌지 사이에 삽입하고, 고장력 볼트를 이용하여 압착력을 가하도록 설계하였다. 압착력이 작용하는 상태에서 거더에 수직하중이 가해지면 마찰 저항 범위 내에서 매우

미세한 탄성 변형만 발생하고, 마찰 저항의 한계에 이르면 하중을 유지한 채 회전만 일어나 에너지를 효과적으로 소산하게 된다. 마찰 패드 재질에 따른 성능 차이를 분석하기 위해 황동(brass)과 스테인리스(stainless) 재질을 사용한 마찰 계수 평가 실험(그림 4)을 수행하였으며, 실험 결과를 바탕으로 재질별 마찰 성능을 비교 분석하여 하중분산장치의 계획된 성능을 달성할 수 있도록 마찰 힌지를 설계할 예정이다.

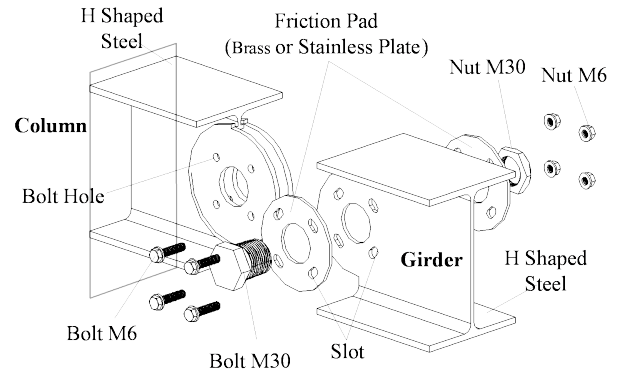


그림 3. 하중분산장치의 회전형 마찰힌지



그림 4. 마찰 패드의 재질에 따른 마찰 계수 평가 실험

4. 결론

이 연구에서는 옥상형 버티포트 ESS 설치를 위한 하중분산장치를 설계하고 구조적 성능을 검토하였다. 해석 결과 처짐 기준을 충분히 만족하여 ESS 설치면의 평활도와 내부 설비의 안정성을 확보하였고, 마찰 힌지를 적용하여 옥상 하부의 기둥에 전달되는 휨모멘트를 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Kim, H.L., and Hong, S.J.(2024), Planning Direction of Urban Air Mobility (UAM) Vertiport Using Parking Building Site, *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 25(2), pp127-144.
2. FDOT (2022), *Recommended Minimum Standards for Vertiports, Suggested Document Changes, and GAP Analysis for eVTOL Unique Aircraft Needs*, Florida Advanced Air Mobility, USA.