

신개념 모듈형 스마트정거장의 구조적 안전성평가에 관한 연구 Study about the Evaluation of Structural Safety for New Conceptual Modular Smart Station)

이강원* 윤희택** 박영곤** 김영민*** 조창환***
Lee, Kang-Won Yoon, Hee-Taek Park, Young-Kon Kim, Young-Min Jo, Chang-Whan

ABSTRACT

Smart station is a modular one easily installed on the road and protecting from the environmental effects such as snow and rain etc. Smart station can provide some comfortable and easy ambience during waiting the Bimodal Tram. Conventional station can be invaded by overdriven vehicle to make some fatal accident . But smart station gives more protective and safe shelter to the passengers. This paper have investigated and analyzed the structural safety and usefulness about the new conceptual modular smart station.

1. 서 론

스마트 정거장은 도로에 용이하게 설치할 수 있으며, 바람이나 비, 눈 등의 외부 환경으로부터 승객을 보호하고, 쾌적하면서도 편한 환경에서 도로 차량을 기다릴 수 있도록 하는 모듈형 정거장이다. 기존 정거장은 도로와 차로 사이에 방지턱이 형성되어 있을지라도 운전자의 부주의에 의해 버스가 방지턱을 넘어서 승객을 다치게 하는 문제점이 발생할 우려가 있지만 신개념 모듈형 스마트 정거장은 승객을 차량으로 보호하여 보다 안락한 공간을 형성할 수 있다.

이에 본 연구에서는 신개념 모듈형 스마트 정거장의 구조적 안전성 및 사용성에 관한 해석을 수행하였다. 구조적 안전성은 적용된 구조부재를 중심으로 범용 프로그램(마이다스 Gen Version 7.4.1)을 이용하여 해석을 수행하였다. 해석 자료는 ‘건설교통부고시, 건축구조설계기준’(2005)에 의해 안전성을 평가하였으며, 적절한 이음 및 접합부 상세도 제안하였다. 또한 본 구조물은 도심에 설치되며, 많은 사람들이 사용하는 공간이므로 바람과 지진에 대한 안전성 및 사용성을 검토·평가하였다.

* 한국철도기술연구원, 정회원

E-mail : wklee@krri.re.kr

TEL : (031)460-5504, FAX : (031)460-5649

** 한국철도기술연구원, 정회원

*** 케이씨아이, 비회원

2. 본 문

2.1 설계하중 산정

2.1.1 수직하중

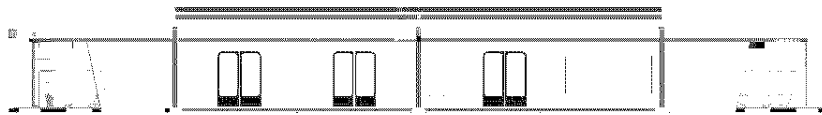
모듈형 스마트 정거장의 기본모듈은 그림 2.1의 타입 I 과 같이 좌우의 출입 및 공조공간과 중앙부의 대기공간으로 구분된다. 또한 필요에 따라 타입 II와 같이 좌우 출입 및 공조공간을 기본으로 여건에 따라 대기공간 모듈의 수를 변화시켜 확장·설치가 가능하이다. 따라서 본 연구에서 구조적 안전성에 대한 해석은 타입 I의 기본 모듈에 대해 수행하였다.

구조해석시 적용된 출입공간과 대기공간모듈의 고정하중은 표 2.1과 같다. 모듈형 스마트 정거장 실내의 적재하중은 400kg/m² 이고, 지붕층의 적재하중은 적설하중 등을 고려하여 100kg/m² 로 산정하였다.

표 2.1 각 모듈별 중량

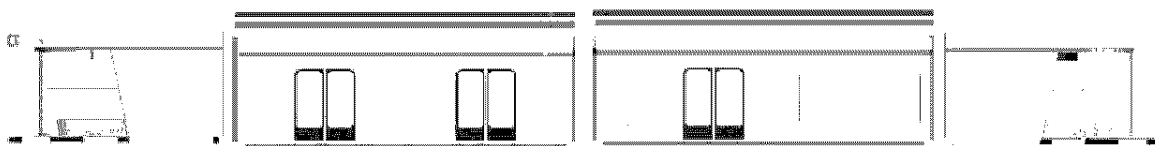
단위 : kg

	프레임	바닥	벽	지붕	유리창	계
출입공간	2,143	289	382	80	264	3,158
대기공간	4,372	725	958	379	759	7,193



<출입공간> <대기공간(1)> <대기공간(2)> <출입, 공조공간>

(a) Type I



<출입공간> <대기공간(1)> <대기공간(2)> <대기공간(3)> <출입, 공조공간>

(b) Type II

그림 2.1 모듈형 스마트 정거장

2.1.2 풍하중

설계풍속은 기본풍속, 풍속의 고도분포계수, 지형에 의한 풍속할증계수 및 중요도계수를 고려하여 다음의 식 1에 의해 산정한다.

$$V_z = V_0 \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w \quad \text{식 1}$$

여기서, V_z : 설계풍속(m/s)

V_0 : 설계기본풍속(=40m/s)

K_{zr} : 고도분포계수(노풍도, A=0.58) K_{zt} : 풍속할증계수(=1.0)

I_w : 중요도계수(=0.95)

스마트 정거장의 설치지역이 미정이므로 설계풍속의 기준이 되는 설계기본풍속은 '건축구조설계기준'에서 포항 등 일부 바닷가 지역을 제외하고 가장 불리한 40m/s를 적용하였다. 고도분포계수는 스마트 정거장이 지면에 설치되므로 대기경계층 시작높이보다 낮은 값을 선택하였다. 또한 노풍도는 설치 주변지역의 지표면 상태에 따라 규정되나, 모든 지역조건에 적합하도록 가장 불리한 노풍도A를 적용하였다.

지형에 따른 풍속할증계수는 스마트 정거장이 도심지에 설치되므로 산, 언덕 및 경사지의 영향을 받지 않는 기본 값인 1.0으로 하였다. 중요도계수는 본 구조물이 가설 건축물 로 볼 수 없어 중요도계수는 0.95로 적용하였다. 이러한 각 하중조건에 의한 풍하중을 산정하였고, 해석을 통해 사용성을 평가하였다.

2.2. 구조해석 모델

스마트 정거장의 대기공간과 출입공간의 상세는 그림 3.1과 같다. 대기공간 모듈의 크기는 9.5m×2.9m×3.3m(길이×폭×높이)이고, 출입공간 모듈은 6.5m×2.9m×3.3m 이다. 본 구조물은 H형강(H-150×150×7×10)이 골조의 기본프레임을 형성하여 횡하중과 수직하중에 저항하고, H형강 사이에 각 형강관이 지붕 및 바닥에 격자형으로 배치되어 수직하중에 저항한다. 구조해석은 Midas Gen(ver. 7.4.1)의 범용 프로그램을 사용하였고, 대기공간과 출입 공간의 해석모델은 그림 3.2와 같다.

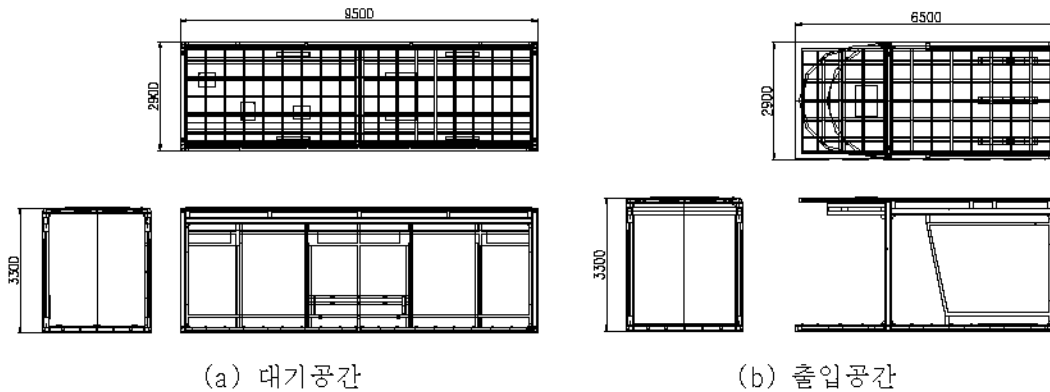


그림 2.2 스마트 정거장의 상세

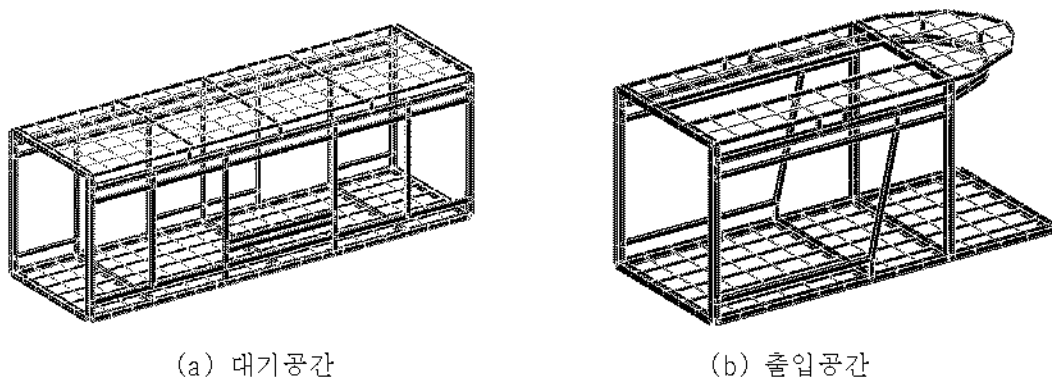


그림 2.3 Midas Gen을 이용한 구조해석 모델

2.3 구조해석 결과

2.3.1 골조 내력 검토

본 구조물은 H형강이 공간골조를 이루어 수직하중 및 수평하중에 저항하고, 각형강판은 바닥 및 지붕 하중에 주로 저항하며, 일부 수평하중에 대해서도 기여한다. 그림 4.1과 그림 4.2는 각각 대기공간과 출입공간의 휨모멘트도이다. 설계하중은 건축구조설계기준의 하중조합 중 가장 불리한 조건을 기준으로 하였다. 여기서, 대부분의 횡하중은 가장 외곽부의 H형강 골조가 지지함을 알 수 있다.

그림 4.3은 대기공간 골조와 출입공간 골조의 설계하중에 대한 부재검토 결과를 응력비로 정리하였다. 설계휨모멘트에 대한 부재휨강도의 응력비는 대부분 70%이하로 나타났으며, 설계전단력에 대한 부재전단강도의 응력비는 30% 이하이다. 그러므로 휨응력 및 전단응력 평가결과 본 구조물의 골조내력은 안전한 것으로 확인되었다.

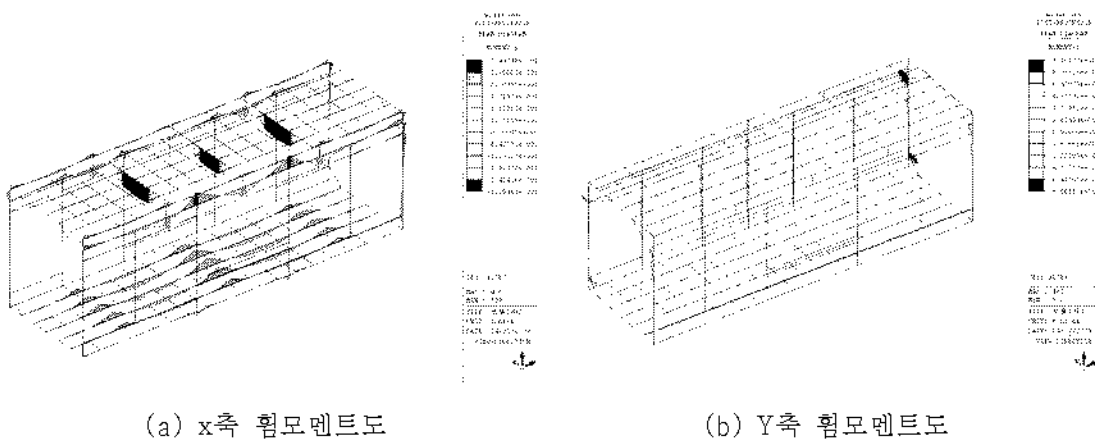


그림 2.4 대기공간의 휨모멘트도

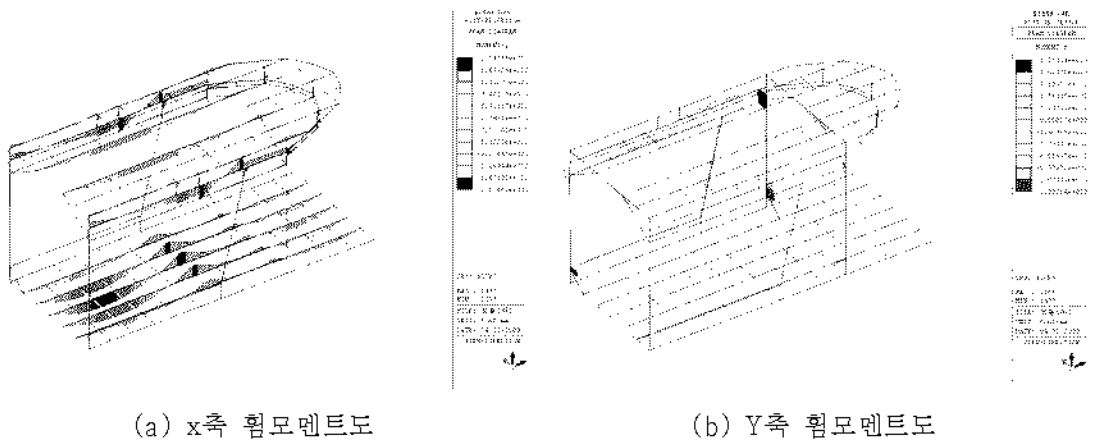
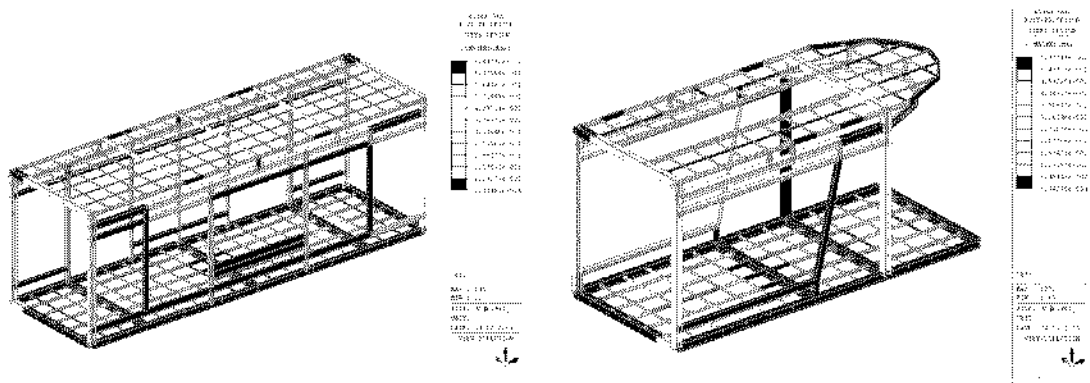


그림 2.5 출입공간의 휨모멘트도



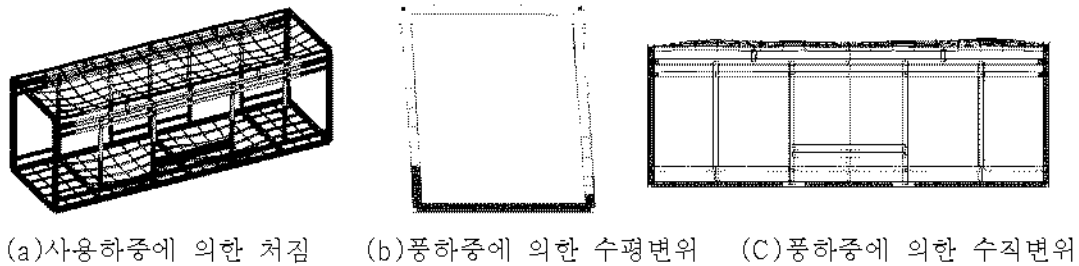
(a) 대기공간 모듈 (b) 출입공간 모듈

그림 2.6 부재설계결과 (응력비)

2.3.2 사용성 검토

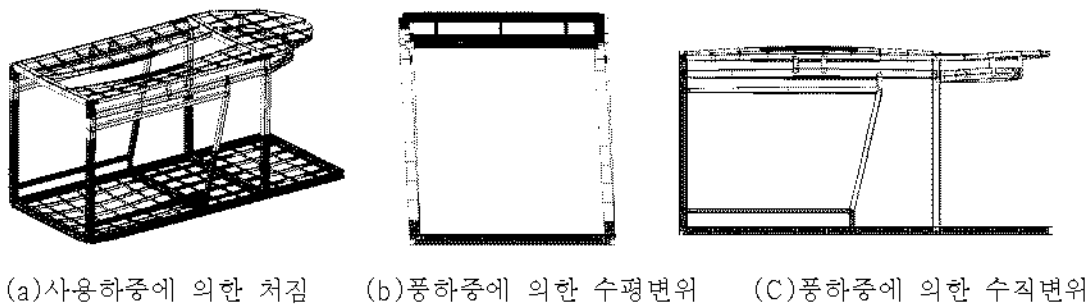
사용성은 정거장 이용자의 안락함과 내외장재 등의 이격 및 탈락방지를 위해 검토하였다. 사용성 검토는 사용하중과 풍하중에 대해 구조물의 수직 및 수평변위를 기준으로 평가하였다. 사용하중과 풍하중에 대해 대기공간 모듈과 출입공간 모듈의 변형형상은 그림 4.4와 그림 4.5와 같다. 또한 각 하중에 의해 발생하는 바닥골조와 지붕골조의 수직처짐과 풍하중에 의해 발생하는 수평변위는 표 4.1에 정리하였다. 여기서 사용하중은 하중계수가 적용되지 않는 고정하중과 적재하중의 합이다.

표 4.1에서 사용하중에 의한 지붕 및 바닥프레임의 수직처짐은 최대 $L/390$ 로서 단순지지 강재보의 처짐제한치 $L/300$ 이하이다. 또한 풍하중에 의한 골조의 수평변위 최대값은 출입공간의 경우 $H/250$ 이고 대기공간의 경우 $H/450$ 이다. 이러한 결과는 국내에서 일반적으로 사용하는 커튼월 프레임의 제한치 $H/175$ 보다 작으므로 충분히 만족한다고 할 수 있다.



(a)사용하중에 의한 처짐 (b)풍하중에 의한 수평변위 (c)풍하중에 의한 수직변위

그림 2.7 대기공간의 처짐 및 변형형상



(a)사용하중에 의한 처짐 (b)풍하중에 의한 수평변위 (c)풍하중에 의한 수직변위

그림 2.8 출입공간의 처짐 및 변형형상

표 2.2 사용하중에 의한 최대변위

구분		대기공간	출입공간
사용하중 (DL+LL)	지붕프레임 수직저침	0.73cm(L/390)	0.58cm(L/500)
	바닥프레임 수직저침	0.47cm(L/610)	0.74cm(L/390)
풍하중	프레임의 수평변위	0.71cm(H/450)	1.28cm(H/250)
	지붕프레임의 수직변위	0.63cm(L/460)	0.95cm(L/300)

2.3.3 접합부 검토

접합부 검토는 그림 4.6의 모듈 상호간 고력볼트접합과 그림 4.7의 기본모듈과 정거장 플랫폼의 앵커볼트접합으로 구분된다.

모듈 상호간에는 H형강 플랜지 사이에 고력볼트로 체결하는데 여기에는 풍하중에 의해 모듈과 모듈 접합부를 분리시키려는 인장력과 전단력이 발생한다. 또한 기본모듈과 플랫폼의 접합부는 풍하중에 의해 프레임에 전도모멘트가 발생하고, 그로 인해 앵커볼트에 인장력과 전단력이 발생하므로 이에 대한 접합부의 안전성도 검토하였다.

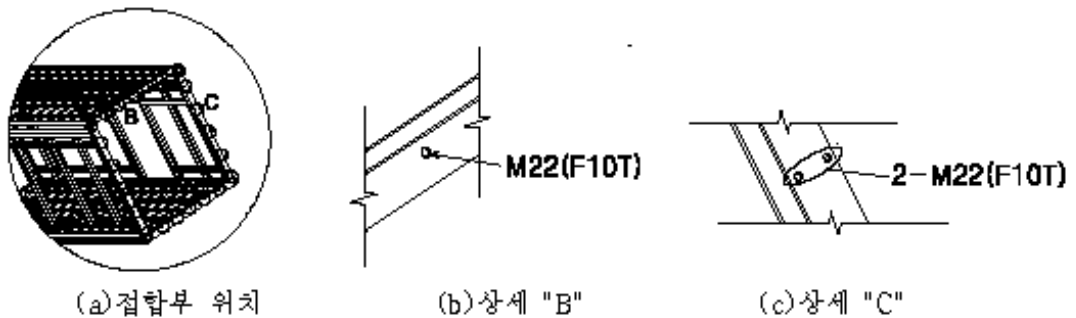


그림 2.9 모듈 상호간의 접합

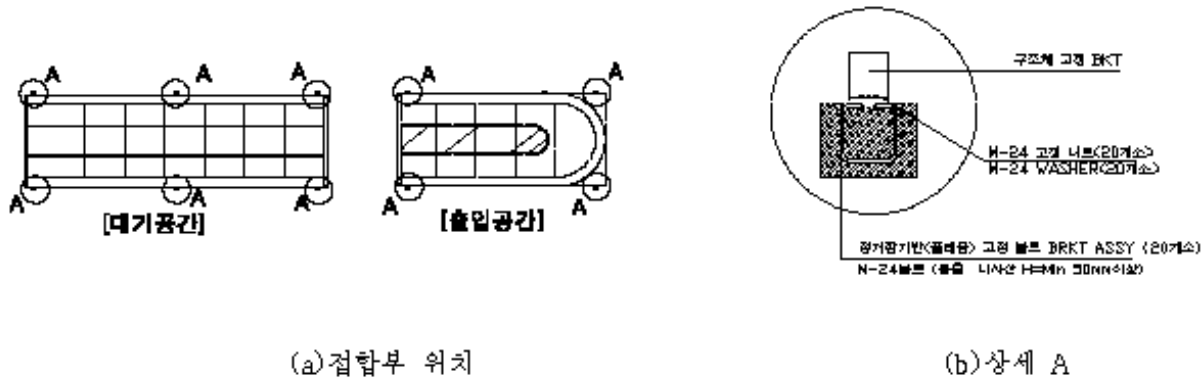


그림 2.10 기본모듈과 플랫폼 접합

표 2.3 접합부에 작용하는 최대하중

접합위치	설계인장하중	설계전단하중
모듈과 모듈	24.5 kN	14.3 kN
모듈과 플랫폼	24.8 kN	22.8 kN

표 4.2는 각의 접합부에 발생하는 최대하중이다. 각 접합부에는 인장력과 전단력을 동시에 작용한다. 인장력과 전단력을 동시에 받는 M22 고력볼트의 전단내력은 식 2와 같다. 식 2에 의해 내력을 평가하면, M22(F10T)볼트의 전단내력은 66.0kN으로 소요강도 14.3kN 크다. 또한 모듈과 플랫폼 사이의 접합은 앵커볼트로 이루어지는데 인장력과 전단력이 각각 24.8kN과 22.8kN 이므로 M24(SS400) 이상의 앵커볼트를 적용하면 안전성을 확보할 수 있다.

$$\phi S_{st} = \phi \left(1 - \frac{P_t}{T_o} \right) S_s \quad \text{식 2}$$

$$= 0.9 \times (1 - 24.5 \div 201) \times 220 \times (\pi \times 22^2 \div 4) \times 10^{-3} = 66.0 \text{ kN}$$

여기서, ϕ : 강도감소계수 (0.9)

T_o : 설계볼트장력(201kN)

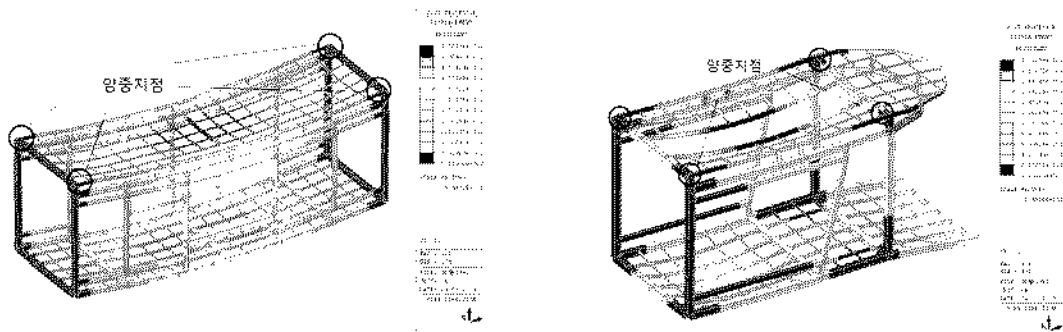
P_t : 볼트에 작용하는 인장력

S_s : 볼트전단내력

2.3.4 양중 검토

스마트 정거장은 각 모듈을 공장 제작하여 지정 장소로 운반이동하여 설치하는 과정을 거친다. 그러므로 원활한 양중작업을 수행하기 위해 양중 시 각 모듈의 고정하중에 의해 프레임에 발생하는 변형 및 비틀림 등에 대해 안전성을 평가 판단해야 한다. 양중은 아이볼트(4-M24)를 이용하여 기중기로 설치하므로 아이볼트에 작용하는 내력과 골조의 안전성을 평가하였다.

그림 4.8은 양중 시 프레임에 발생하는 변형형상이다. 양중지점이 H형강 기둥 골조에 위치하므로 비틀림은 거의 발생하지 않고, 각 부재의 변형도 최대 L/600 이하로 문제가 없는 것으로 나타났다.



(a) 대기공간모듈

(b) 출입공간모듈

그림 2.11 양중작업에 의한 프레임의 변형

양중 시 충격계수를 고려한 아이볼트(4-M24, SS400, 중볼트)의 보유내력은 식 3과 같고 작용하중은 식 4와 같다. 검토결과 아이볼트의 설계강도는 소요강도 보다 충분히 커서 안전성은 문제가 없는 것으로 판단된다.

$$\text{아이볼트의 설계강도 : } \phi R_n = \phi A_s F_y \quad \text{식 3}$$

$$= 0.9 \times 235 \times \pi \times 24^2 \div 4 \times 10^{-3} = 95.7 \text{ kN}$$

$$\text{소요강도 : } R_v = \text{충격계수} \times 1.4 \times \text{고정하중} \div 4BA \quad \text{식 4}$$

$$= 1.3 \times 1.4 \times 72 \div 4 = 32.76 \text{ kN}$$

2.3.5 시간이력 해석

스마트 정거장은 단순한 박스형태의 골조이므로 지진하중은 응답스펙트럼 해석을 수행하지 않고 시간이력 해석을 통한 변위를 기반으로 한 안전성을 검증하였다. 시간이력 해석 시 사용된 지진은 그림 4.9와

같이 국내의 내진규정에 맞게 최대가속도가 0.07g로 스케일링 된 El Centro(1940, 270Deg.)이다. 해석모델은 그림 4.10과 같이 좌우 출입공간과 대기공간 1, 2가 결합된 형태로 스마트 정거장을 모델링하여 수행하였다. 해석결과 1차 모드 진동수는 단변방향 2.42Hz로 나타났다.

그림 4.11은 El Centro 지진하중에 의한 단변과 장변방향에 대한 각각의 시간이력 그래프이다. 약축인 단변방향의 최대 변위는 20.1mm이고, 강축인 장변방향은 1.5mm 이다. 단변방향의 최대변위는 프레임 높이의 약 1/160에 해당하는 변위로서 건축구조설계기준(KBC2005)의 특급 층간변위 제한치 0.01H보다 작으므로 안전하다.

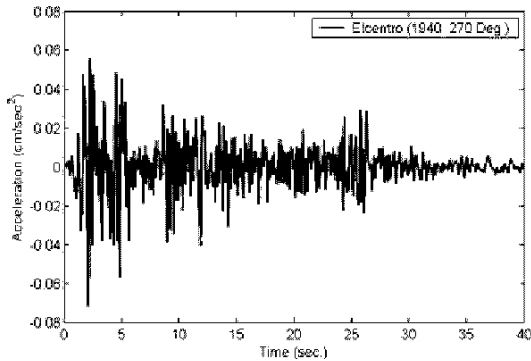


그림 2.12 El Centro 지진의 시간이력

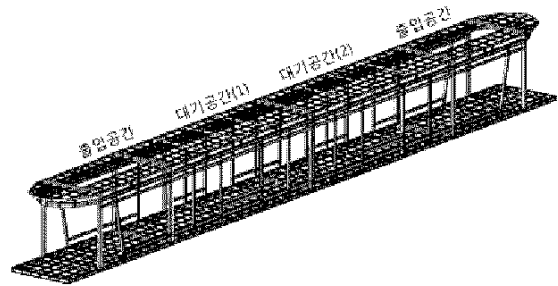
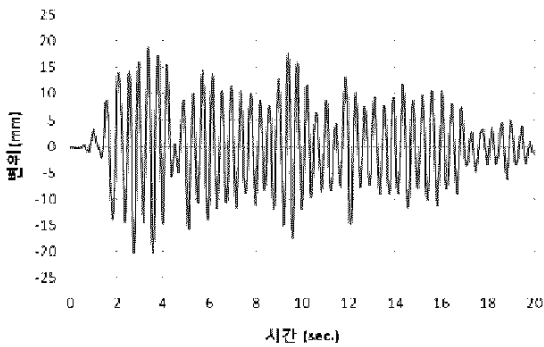
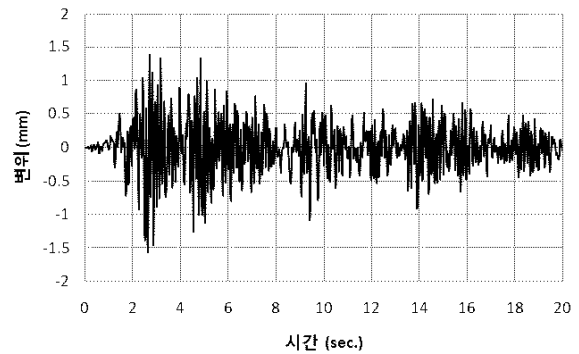


그림 2.13 해석모델 (f1=2.42Hz)



(a)단변방향



(b)장변방향

그림 4.14 지붕층 변위의 시간이력

3. 결론

본 연구에서는 신개념 모듈형 스마트 정거장의 구조적 안전성 및 사용성에 관한 해석을 수행하였다. 각 모듈에 대한 구조적 안전성 검토 결과 H형강과 각형강관 모두 응력비가 최대 70%이하로 검토되었다. 또한 사용성 평가결과 프레임의 횡방향 변위와 수직변위 모두 만족하는 것으로 나타났다.

스마트 정거장은 기본모듈의 결합으로 이루어지므로 모듈간 접합부 검토와 모듈과 플랫폼의 접합부 안전성 검토도 수행하여 접합부가 적절하게 설계되었음을 확인하였다. 양중 시 발생하는 비틀림과 변형도 충분히 안전하고, 양중 시 사용하는 아이볼트도 적절하게 설계된 것으로 나타났다. 또한 추가적으로 한 셋트로 결합된 스마트 정거장에 대해 지진하중을 이용한 시간이력해석 결과 최대변위는 설계기준치 이하로 확인되어 구조적 안전성을 검증하였다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2008년도 교통체계효율화사업의 지원으로 이루어 졌음에 감사드립니다.