

산악운송시스템 차량 차체 구조안전성 평가

The safety evaluation of the vehicle body structure of the mountain transportation system

한은광*, 천준호*, 이승영*

Eun Kwang Han*, Jun ho Chun*, Seung Young Lee*

초 록 본 논문은 친환경 산악운송시스템 차량에 관한 차체 구조안전성을 철도차량기술기준과 EN 12663-1 규격을 이용하여 평가하였다. 산악운송시스템 차량이지만 실제 운행되는 선로는 자동차가 다니는 도로에 설치되기에 기술기준 세부규정은 Part52 노면전차 기술기준을 사용하였다. 차체는 Mc, M car 2종의 차체를 해석하였으며, 차체에 사용된 재질은 SMA490BP를 사용하였다. 항복강도는 365MPa이고, 용접부에 대해선 안전계수 1.1을 적용하였다. Goodman diagram을 이용하여 차체의 피로한도를 예측할 수 있었고, 피로한도는 모재부 1.5, 용접부는 1.65의 안전계수를 적용하였다. 하중조건은 수직, 압축, 인장, 조합압축/인장, 리프팅, 3점지지, 측면전복, 지붕전복, 운행하중 조건으로 해석을 진행하였다. 해석결과 가장 응력이 큰 하중조건은 경사면 압축하중이고, 최대응력은 238.0MPa로 도출되었고, 허용응력 이내로 확인되었고, Goodman diagram 안전영역 내에 위치하는 것을 알 수 있었다. 이에 친환경 산악운송시스템 차량 차체의 구조안전성은 안전하다고 판단할 수 있다.

주요어 : 친환경 산악운송시스템, 산악열차, 구조안전성, EN12663-1

1. 서 론

최근 하동, 태백, 지리산 등 지역발전을 위해서 자동차 중심으로 구성된 산악관광지의 문제점을 극복하기 위해 산악철도유치가 활발하게 진행되고 있다. 산악도로의 자동차 매연은 관광지 대기오염을 증가시켜 환경을 훼손하고 있다. 또한 산악도로 지역의 교통사고가 증가하고 있으며, 개별 승용차의 운행에 의한 에너지 소비 문제등을 해결하기 위한 방안으로 산악철도 도입이 대두되고 있다. 산악철도는 급경사 지역을 운행할 수 있고 폭설, 결빙 및 바람 등 기후에 큰 영향을 받지 않고 운행이 가능하고, 대중교통수단으로 승용차의 운행 수요를 흡수할 수 있고, 전기에너지의 사용으로 환경보호에 기여할 수 있는 관광지의 랜드마크 기능의 친환경 교통수단이다.

해외에서 운행되고 있는 기존 산악철도는 철도전용선으로 도상형식의 경우 산악지형의 현장 시공성 및 유지보수성을 고려하여 대부분 침목 중앙부에 Rack을 설치한 자갈도상 궤도를 적용하고 있으며, 열차의 전력 공급을 위한 전차선 등의 전력설비 시스템을 갖추고 있다. 현재 추진중인 산악철도 시스템은 자연환경 훼손을 최소화하기 위하여 Rack&Pinion 추진시스템이 도입된 무가선 트램과 더불어 기존 자동차 도로 위에 궤도부설이 가능한 프리 캐스트 매립궤도를 개발하여 자동차와 열차가 공용으로 운행이 가능하도록 계획하고 있다. 이에 따른 자동차 도로의 한정된 공간에서의 산악열차와 자동차가 안전하게 주행이 가능하도록 계획하고 있다.

* 리엔테크(주)

2. 본 론

2.1 해석대상

구조해석의 대상인 산악열차 Mc-car 차체, M-car 차체는 아래 Fig.1과 같다.

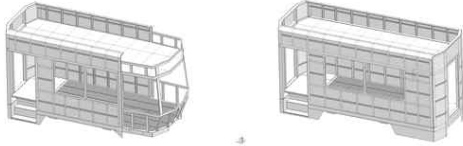


Fig. 1 Mc, M-car carbody

2.2 해석모델

산악열차 Mc-car, M-car 차체의 유한요소 해석모델을 Shell, Solid 요소를 이용하여 모델링하였으며, 경계조건 설정을 위해 Rigid 요소를 사용하였다. 아래 Table 1,2는 각각 Mc, M-car의 유한요소 수이다.

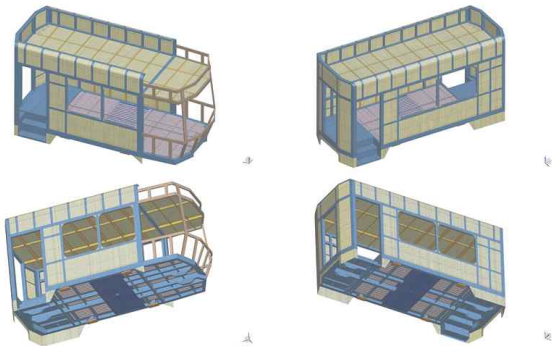


Fig. 2 Mc, M-car finite element analysis model

Table 1 Mc-car finite element analysis model.

No.	Properties	Number	Note
1	Node elem.	179,112	
2	Shell elem.	182,358	
3	Solid elem.	1,074	Lifting pad
4	Rigid elem.	5	Boundary Condition

Table 2 M-car finite element analysis model.

No.	Properties	Number	Note
1	Node elem.	207,943	
2	Shell elem.	212,600	
3	Solid elem.	1,032	Lifting pad
4	Rigid elem.	5	Boundary Condition

2.3 평가기준

산악열차 Mc, M-car 제작에 사용된 재질은 SMA490BP이고, 허용응력은 사용재질의 항복강도에 모재부는 안전계수 1.0, 용접부는 1.1의 안전계수를 적용하였다. 아래 Table 3은 재질의 허용응력을 나타내고 있다. 관련규격은 KS D 3529를 사용하였다.

Table 3 Properties of materials.

Materials	Properties	
SMA490BP	Yield strength (MPa)	365
	Tensile strength (MPa)	490
	Non-welding (MPa)	365
	Welding (MPa)	332

2.4 하중조건

하중조건은 EN 12663 규격의 Category P-V tramway vehicles의 하중조건을 사용하여 해석을 진행하였고, 도시철도차량(노면전차) 기술기준에서 정의한 측면전복과 지붕전복 하중조건을 적용하였다.

2.5 해석결과

해석결과는 아래 Table 4와 같다. 운행하중 조건에서는 0.85g 조건과 1.15g 조건에서 구한 응력을 이용하여 평균응력과 응력진폭을 이용하여 Goodman diagram을 작성하였다.

Table 4 Analysis results.

No.	Load conditions	Maximum strength (Mc-car) (MPa)	Maximum strength (M-car) (MPa)
1	Vertical	76.1	59.3
2	Compressive	238.0	215.6
3	Tensile	189.7	170.9
4	Lifting	47.1	67.5
5	3point	80.3	82.0
6	Combination Comp.	236.5	213.5
7	Combination Tens.	196.2	172.9
8	Side rollover	28.7	24.9
9	Roof rollover	109.5	21.3

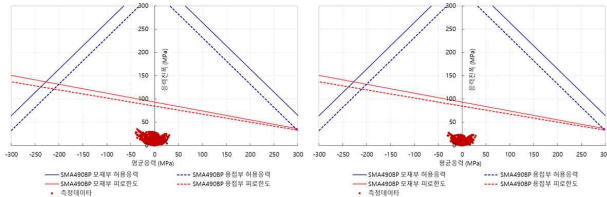


Fig. 3 Mc, M-car Goodman diagram

3. 결론

산악열차 Mc-car 차체, M-car 차체에 대한 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 모든 하중조건에서 산악열차 Mc-car 차체, M-car 차체에 발생하는 최대응력이 안전계수를 고려한 재료의 허용응력 이내에 있으므로 산악열차 Mc-car 차체, M-car 차체는 충분한 강도를 가진 것으로 판단된다.

(2) 운행하중 조건에서 산악열차 Mc-car 차체, M-car 차체에 발생하는 응력이 Goodman diagram의 안전영역 내에 위치하여 안전한 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 산악열차 Mc-car 차체, M-car 차체는 충분한 강도를 가지고 있다고 판단할 수 있다.

후 기

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(21SGRP-B 159279-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] Jeongpil Park (2015) A Safety Study on Structural Strength and Fatigue of the High Gradient Mountain Railway Carbody, *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 1196-1200