

급구배 산악열차의 차체 구조 및 피로 안전성에 대한 연구

A Safety Study on Structural Strength and Fatigue of the High Gradient Mountain Railway Carbody

박정필*, 구정서*[†], 김준우*, 정의철*

Jeongpil Park*, Jeongseo Koo*[†], Junwoo Kim*, Euicheol Jeong*

Abstract Seventy-five percent of internal territory consists of mountainous area and it is difficult to construct transportation infrastructure for the gradient mountain railway because of there are no experiences of manufacturing and operating mountain railway. The study performed and evaluated numerical analysis about the frame of mountain railway carbody by applying the international standard EN12663 on structural strength and fatigue of rolling stock. The first design of the carbody is considered to be oversized because safety factor is high in the evaluation of structural strength and fatigue based on the numerical analysis results. Thus, the size optimization design was carried out. As the results, the weight of the carbody was reduced to about 14% through the optimization, and the results met structural strength and fatigue evaluation criterions. Accordingly, the structural strength and fatigue integrity of carbody were verified.

Keywords : Mountain railway, Structural analysis, Fatigue assessment, Safety, High gradient

초 록 국내 국토의 75%정도가 산악지형으로 구성되어 있고, 국내에 산악열차의 제작 및 운영에 대한 사례가 전무하여 산악열차와 같은 교통 인프라 구축 하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 산악열차의 차체를 국외 철도차량의 규정인 EN12663의 구조 및 피로 평가 기준으로 구조 및 피로 수치해석을 수행 하였다. 수치해석 결과를 토대로 구조 및 피로 안전성 평가결과 안전율이 높아서 차체가 과설계 된 것으로 판단하여 치수 최적화 설계를 수행하였다. 그 결과, 치수 최적화 설계로 약 14%정도의 차체경량화 되었고, EN12663에서 제시한 구조 및 피로 강도 평가 기준도 만족하여서 차체의 구조 및 피로의 안전성을 검증 하였다.

주요어 : 산악열차, 구조평가, 피로평가, 안전성, 급구배

1. 서 론

산악열차란 급구배가 있는 산악지역에서 운송 및 관광 목적으로 운행되고 있고, 이송장 치방식에 따라 치궤조식, 강삭철도, 선형 동기전동기로 나누어진다. 국내의 지형의 75%정도가 산악지형으로 구성되어 있어 이러한 산악지역의 대량수송이 가능한 교통인프라가 부족하여 산악열차의 개발이 필요하다. 국내에서는 경량전철인 K-AGT[1]와 저상 트램[2]의 연구가 활발히 이루지고 있는 반면에 급구배 주행이 가능한 산악열차의 연구 및 제작 사례가 없다. 본 연구에서는 산악열차 차체를 유한요소 모델로 구성하고, EN12663(Structural .

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도차량시스템공학과(koojs@seoulteh.ac.kr)

* 서울과학기술대학교 철도차량시스템공학과

requirements of railway vehicle bodies)[3]을 적용하여 컴퓨터시뮬레이션을 통해서 차체의 구조 및 피로 안전성에 대해 연구하였다

2. 산악열차 차체의 유한요소모델

산악열차 차체의 구조 및 피로 강도 평가를 위해서 Fig. 1과 같이 유한요소 모델을 구현하였다. 유한요소모델의 제원은 Table 1과 같고, 재료의 기계적 물성치는 Table 2과 같다.

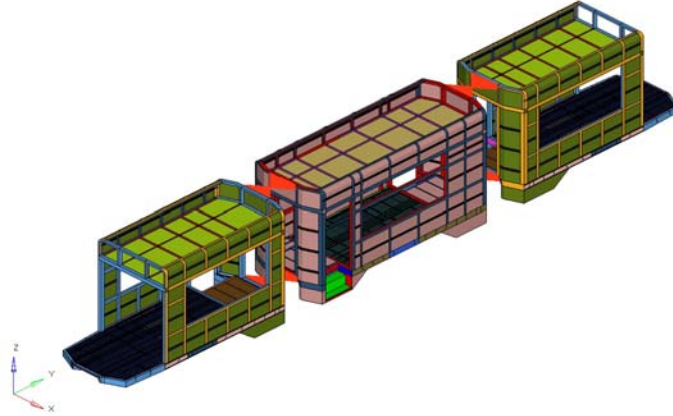


Fig. 1 FE model of the mountain railway frame

Table 1 FE model data of mountain railway

구 분	MC-CAR	M-CAR
차체하중 [kg]	2,603	3,297
대차하중 [kg]	5,412	5,412
승객/ 화물하중 [kg]	840	7,840
승객 수 [명]	12	12
폭 [mm]	2,300	2,300
길이 [mm]	5,840	5,996
높이 [mm]	3,120	3,120

Table 2 Mechanical properties of Materials(MPa)

재질		SM490YB	SS400
항복강도		≥355.0	≥245.0
피로강도		≥160.0	≥135.0
허용응력	모재부	355.0	245.0
	용접부	322.7	222.7
피로응력	모재부	106.7	97.0
	용접부	90.0	81.8

3. 산악열차 차체의 구조 및 피로강도 평가

3.1 산악열차 차체의 구조 및 피로강도 평가 기준

산악열차 차체의 구조강도 평가 기준은 EN 12663을 분석에 근거하여 Table 3과 같이 5가지의 구조강도평가 하중조건과 Table 4과 같이 3가지의 피로강도평가 하중조건을 산출 하였다.[4]

Table 3 Structural analysis load condition of EN 12663

구 분			MC-CAR	M-CAR	MC-CAR
수직 조건			(Carbody Weight + Max. Passenger Load) x 1.3g		
			43,908.58 N	142,030.16 N	43,908.58 N
(압축/인장) 조건	압축하중	200 kN	Carbody Weight x 1g		
	인장하중	150 kN	25,535.43 N	101,013.57 N	25,535.43 N
복합(압축/인장)조건	압축하중	200 kN	(Carbody Weight + Max. Passenger Load) x 1g		
	인장하중	150 kN	33,775.83 N	109,253.97 N	33,775.83 N

Table 4 Fatigue analysis load condition of EN 12663

구 분			MC-CAR	M-CAR	MC-CAR	
수직 조건			(Carbody Weight + Max. Passenger Load) x 0.82g			
			27,695.59 N	89,587.86 N	27,695.59 N	
최대하중			(Carbody Weight + Max. Passenger Load) x 1.18g			
			39,855.09 N	128,919.10 N	39,855.09 N	
(길이/횡)방향조건			(Carbody Weight + Max. Passenger Load) x 1.00g			
			수직하중	33,775.83 N	109,253.97 N	33,775.83 N
			길이방향하중	6,748.30 N	21,828.50 N	6,748.30 N
			횡방향하중	5,061.20 N	16,371.40 N	5,061.20 N

3.2 산악열차 차체의 구조강도 시뮬레이션 결과

산악열차 차체의 구조강도 해석 결과 Table 5와 같이 5가지 조건에서 모두 재료를 항복응력 이하의 발생하여 평가기준을 만족하였다. 구조강도 해석결과에서 가장 높은 응력이 발생한 조건은 복합압축하중이고 결과는 Fig. 2와 같다

Table 5 Structural analysis results

하중 조건	Result of FE Analysis		Limits
	위치	Von Mises Stress [MPa]	Yield Stress [MPa]
수직하중	M-Car Under Frame 하부 대차취부	52.930	355(SMA490YB)
압축하중	MC-Car Under Frame 하부 센터실	262.537	
인장하중	MC-Car Under Frame 하부 센터실	235.882	
복합 압축하중	MC-Car Under Frame 하부 센터실	265.315	
복합 인장하중	MC-Car Under Frame 하부 센터실	234.159	

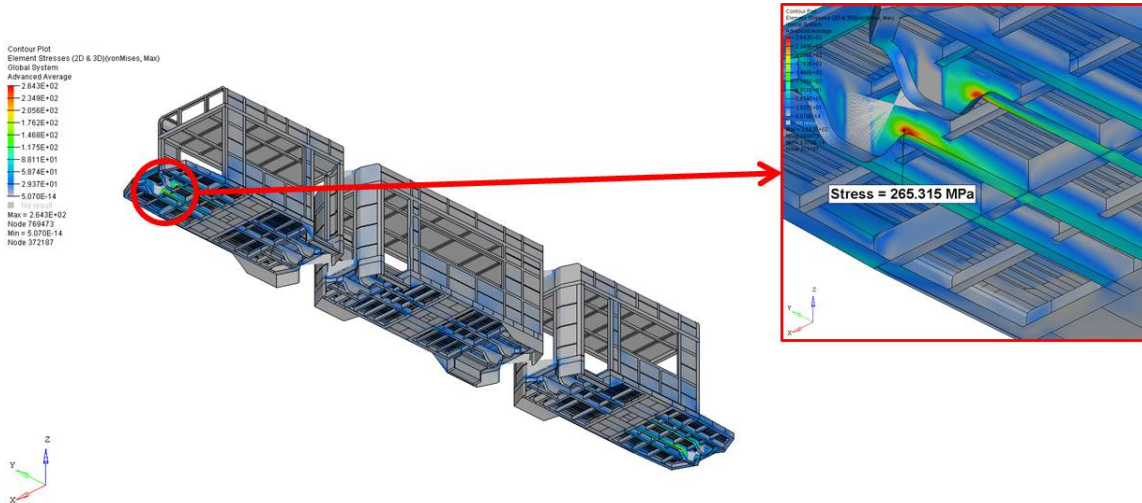


Fig. 2 Combination compression load case result

3.3 산악열차 차체의 피로강도 시뮬레이션 결과

산악열차 차체의 피로해석결과는 EN12663에서 규정하는 수치는 만족하였지만 3가지 피로하중조건 모두 높은 안전율을 보여 산악열차의 차체가 과설계된 것으로 판단하여 산악열차 차체의 과설계를 개선하기 위해서 치수최적설계와 수행 하였다. 치수최적설계의 결과는 차체의 중량이 14%(약1.08ton)정도 경량화 되었고 치수최적설계 결과를 반영한 구조 및 피로 해석결과 모두 규정의 기준치를 만족하였고, Fig. 3는 치수최적설계를 적용한 피로해설결과 Goodman diagram이다.

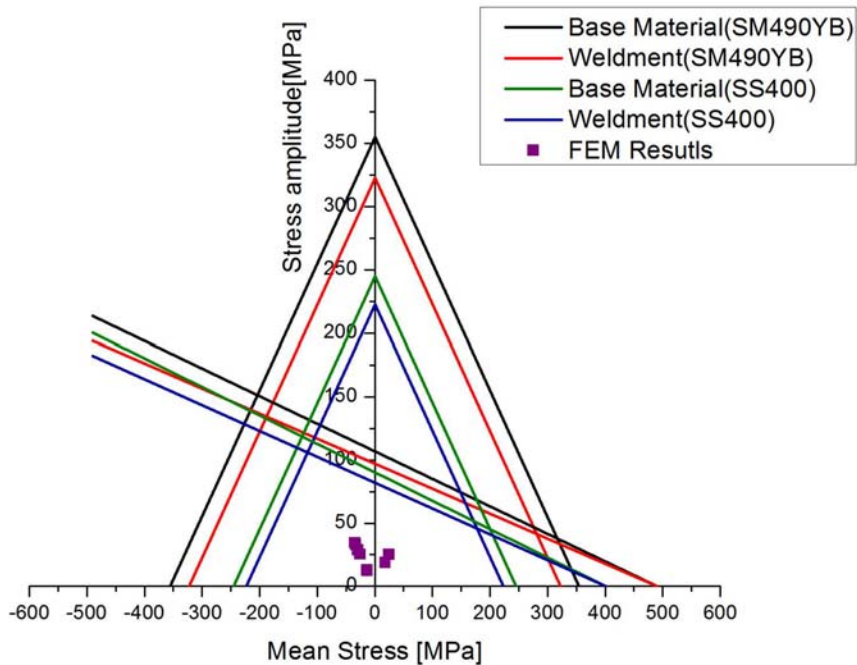


Fig. 3 The Goodman diagram of fatigue analysis

4. 결 론

본 논문에서는 산악열차 차체를 유한요소 모델로 구현하였고, EN 12663을 근거로 구조 및 피로해석 수행하여 차체의 구조적 안전성에 대해서 논의 하였다.[5]

- 1) 산악열차의 제작 및 연구사례가 없어 EN 12663의 규정을 분석하여 산악열차에 적합한 구조 및 피로강도평가 하중조건 조건을 제시하였다.
- 2) 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 구조강도 평가를 수행하였고, 그 결과 모든 조건에서 소재의 항복강도 이내로 만족하였다.
- 3) 피로강도평가 결과에서 차체가 과설계된 것으로 판단하여 치수최적설계 및 해석을 통하여 차체의 경량화 연구를 수행 하였고, 그 결과 모든 하중조건 결과치가 Goodman diagram의 피로선도 이내로 만족하였다.

후 기

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(15CTAP-C077444-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] H.Y. Lee, J.S. Hong, J.D. Jung, K.S. Lee (2000) Carbody basic design for rubber tired AGT, *Journal of the Korean Society for Railway*, 3(3), pp. 136-144.
- [2] J.Y. Lee(2013)Hybrid Low-floor Tram development final report, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, Hybrid Low-floor Tram system development.
- [3] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION(CEN). (2010) EN12663 Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies.
- [4] S.W. Kang, J.G. Cho, R.G. Jeong, J.W. Kim, J.S. Koo (2013) Carbody basic design for rubber tired AGT, *The Korean Society of Automotive Engineers Conference*, pp. 2119-2123.
- [5] J.G. Cho, J.S. Koo, H.S. Jung (2013) Study on weight reduction of urban transit carbody based on material changes and structural optimization, *The Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers* ,37(9), pp. 1099-1107.