

전동차 구조체의 구조해석 연구

윤성철*(한국철도기술연구원), 백광선(한국철도기술연구원),
권성태(한국철도기술연구원), 김명룡(한국철도기술연구원)

Structure Analysis of Body Structure for Electrical Multiple Unit

S. C. Yoon(KRRI) , K. S. Baik(KRRI), S. T. Kwon(KRRI), M. Y. Kim(KRRI)

ABSTRACT

This paper describes the result of structure analysis of body structure. The purpose of the analysis is to evaluate an safety which body structure shall be considered fully sufficient rigidity so as to satisfy proper system function under maximum load and operating condition. Material of body structure applied an aluminum alloy. Body structure consist of side frame, under frame, roof frame, end frame.

FEM analysis is based on "Performance Test Standard for Electrical Multiple Unit, noticed by Ministry of Construction & Transportation, in 2000 " and reference code is JIS E 7105. The analysis results have been very safety and stable for design load conditions.

Key Words : Body structure (구조체), Finite Element Method (유한요소법), Stress analysis (응력해석)

1. 서론

재료의 절약을 위하여 차량구조물의 경량화에 대한 연구는 계속 되고 있다. 도시철도차량의 구조체는 과거에 주로 연강으로 제작되었고, 현재에는 스테인리스, 알루미늄 합금으로 제작되고 있다. 이러한 변천과정은 차량의 대형화와 아울러 경량화 측면을 동시에 만족시킬수 있도록 설계가 요구되어진다. 따라서 이러한 경량차량구조물인 알루미늄 합금으로 제작된 도시철도차량 구조체를 구조해석을 하였으며, 해석에 적용된 하중조건은 도시철도차량의 안전기준에 관한 규칙 및 도시철도차량의 성능시험에 관한 기준을 우선 적용하여 구조해석을 수행하였다. 구조체의 구조해석 통해 강도를 확인하여 구조체의 안전성을 평가하고자 하며 설계차량의 특성을 분석하고자 한다.

을 이용한 구조체 강도평가에 대한 것이다. 구조체의 제원은 Table 1과 같으며, 해석은 쉘/솔리드 요소를 사용하였고 수직하중 및 압축하중 일 경우 경계조건이 구조체의 폭 및 길이방향으로 대칭이라 가정하여 1/4을 모델링 하였으며 해석모델은 Fig. 2와 같다. 3점지지 및 비틀림하중에 대해서는 경계조건이 길이 및 폭 방향으로 비대칭인 점을 고려하여 전체를 모델링 하였다.

Table 1 Dimension of body structure

항 목	제 원(mm)
차체의 길이	17,500
차체의 폭	2,650
지붕 높이	3,600
볼스타 중심간 거리	12,400
연결기 높이	880±10 (레일 상면에서)

2. 구조체의 구조해석

2.1 해석 모델

본 해석은 알루미늄 구조체에 대하여 유한요소법

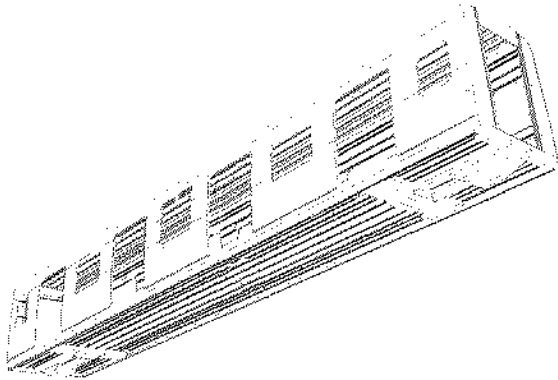


Fig. 1 Analysis model of body structure (full model)

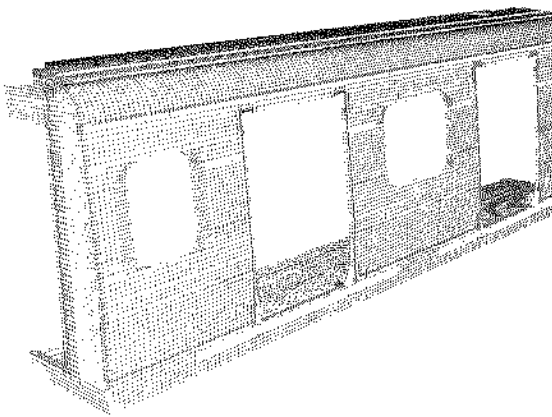


Fig. 2 Analysis model of body structure (quarter model)

2.2 하중조건

알루미늄 전동차(M-car)의 계산중량 및 해석을 위한 전장품의 중량은 Table 2, 3과 같다.

Table 2 Weight of body structure

항 목	중 량
공차 중량	32.3 ton
Bareframe 중량	6.3 ton(설계중량)
대차 중량	13 ton
최대승객하중	24 ton
동하중 계수	0.2g

Table 3 Weight of electric part for analysis

항 목	중 량
VVVF Box	500kg(1EA)
DBRe Box	305kg(1EA)

Air Conditioner	500kg(1EA)
Pantograph	180kg(1EA)

차체에 작용하는 하중은 성능시험의 구조체 하중 시험에 따라 다음과 같이 계산된다.

- 1) 수직하중 = (공차중량 + 최대승객하중 - 대차중량) × (1 + 동하중계수) - Bareframe 중량
- 2) 압축하중 = (공차중량 - 대차중량 - Bareframe 중량) + 압축하중
- 3) 3점 지지하중 = 공차중량 - 대차중량 - Bareframe 중량
- 4) 비틀림 하중 = 4 ton-m

알루미늄 구조체의 해석에 적용되는 하중조건과 크기는 수직하중은 45.7ton이며, 압축하중은 수직하중(13ton)과 압축하중 (50ton)이 작용하고, 3점 지지하중은 13ton이고, 비틀림 하중은 4 ton-m로 적용하여 해석을 수행하였다.

2.3 구조체 재질의 기계적 성질

Table 4 Mechanical property of body structure

재 질		허용응력
A6005A-T6	모재부	21.92 kgf/mm ²
	용접부	11.72 kgf/mm ²
A5083-0	모재부	16.21 kgf/mm ²
	용접부	15.09 kgf/mm ²

2.4 판정기준

구조체의 강도는 재질의 허용응력이하 이어야 한다.

3. 구조해석 결과

각 하중조건별 응력 분포는 Fig. 3~9에서 보여주고 있다. 수직하중시 최대응력은 창문코너 하부 모재부에서 8.55 kgf/mm²으로 이 부분의 재질인 A6005A-T6(21.92 kgf/mm²)의 허용응력 이내에 있으며, Fig. 3에 나타내었고, 두 번째 출입문 코너 상부 용접부의 응력은 6.88 kgf/mm²으로 A6005A-T6(11.72 kgf/mm²)의 허용응력 이내에 있으며 Fig. 4에 나타내었고, 첫 번째 출입문 코너 하부 용접부의 응력은 7.36 kgf/mm²으로 이부분의 재질인 A6005A-T6(11.72 kgf/mm²)의 허용응력 이내에 있으며 Fig. 5에 나타내었다.

Table 5 Maximum stress of load condition

(단위 : kgf/mm²)

구분	하중 조건	발생위치	상 태	최대 응력	허용 응력	재 질
1	수직 하중	창문코너	모재부	8.55	21.92	A6005 A-T6
		출입문 코너 상부(두번째)	용접부	6.88	11.72	A6005 A-T6
		출입문 코너 하부(첫번째)	용접부	7.36	11.72	A6005 A-T6
2	압축 하중	커플러 포켓	용접부	6.74	11.72	A6005 A-T6
3	3점 지지 하중	Sole bar (재킹패드)	모재부	6.83	21.92	A6005 A-T6
		출입문 코너 상부(두번째)	용접부	5.69	11.72	A6005 A-T6
4	비틀림 하중	출입문 코너 상부(두번째)	용접부	1.80	11.72	A6005 A-T6

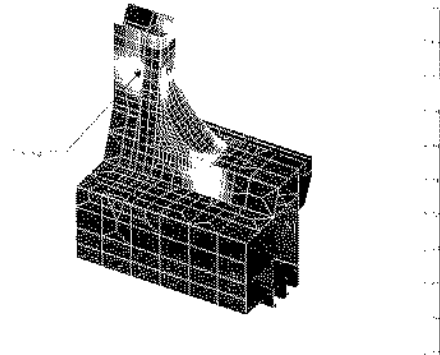


Fig. 5 Stress diagram of first door corner (bottom)

압축하중시 최대응력은 Fig. 6에서 보여주고 있으며, 커플러 포켓 용접부의 곡선부위에서 6.74 kgf/mm²으로 이 부분의 재질인 A6005A-T6(11.72 kgf/mm²)의 허용응력 이내에 있다. 3점 지지하중시 최대응력은 비지지점의 맞은편 재킹패드가 위치하는 sole bar의 모재부에서 6.83 kgf/mm²으로 이 부분 재질인 A6005A-T6(21.92 kgf/mm²)의 허용응력 이내이며 Fig. 7에 나타내었다. 두 번째 출입문 코너 상부 용접부의 응력은 5.69 kgf/mm²으로 이 부분의 재질인 A6005A-T6 (11.72 kgf/mm²)의 허용응력 이내에 있으며 Fig. 8과 같다. 비틀림 하중시 최대응력은 두 번째 출입문 코너 상부 용접부에서 1.80 kgf/mm²으로 이부분 재질인 A6005A-T6(11.72 kgf/mm²)의 허용응력 이내에 있으며 Fig. 9와 같다.

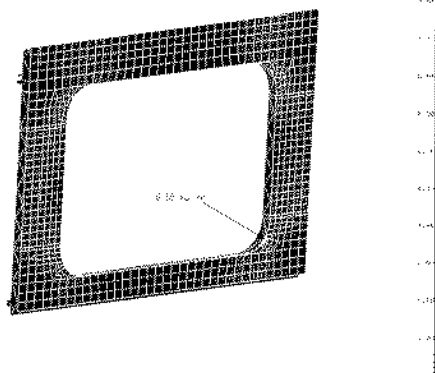


Fig. 3 Stress diagram of window corner

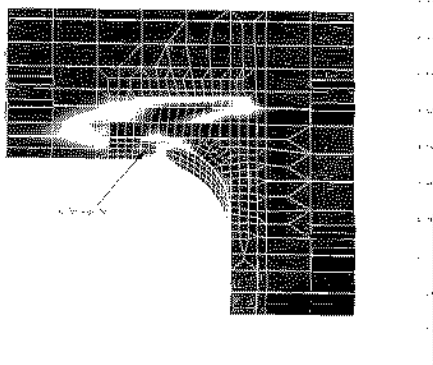


Fig. 4 Stress diagram of second door corner (top)

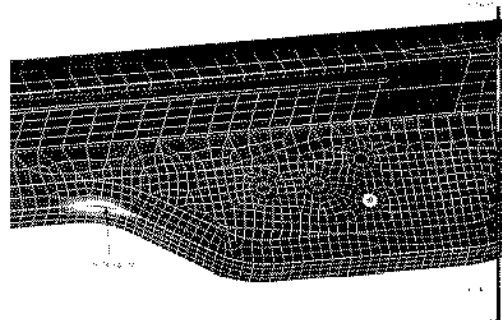


Fig. 6 Stress diagram of coupler pocket (compression load)

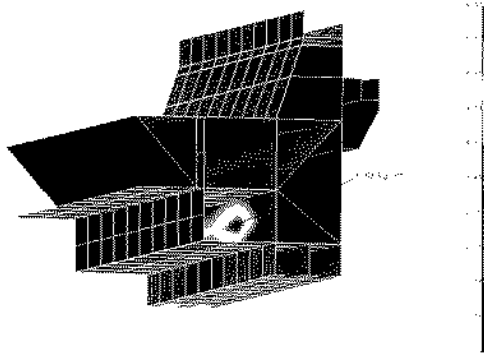


Fig. 7 Stress diagram of jacking pad (three point load)

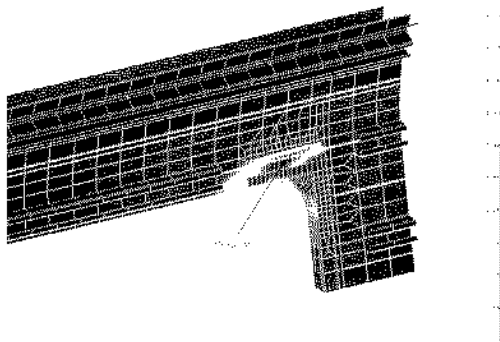


Fig. 8 Stress diagram of second door corner (top, three point load)

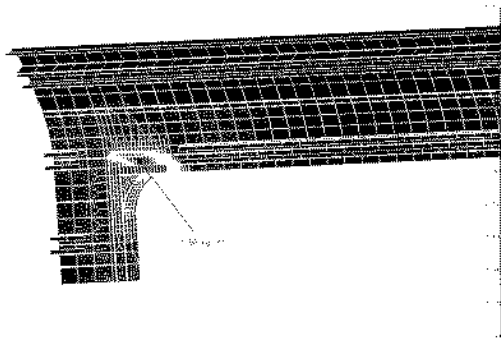


Fig. 9 Stress diagram of second door corner (top, twist load)

4. 결 론

알루미늄차량의 구조체에 대하여 구조해석을 수행한 결과는 다음과 같다.

1) 구조해석결과 최대응력은 수직하중시 창문코너 하부 모재부에서 8.55 kgf/mm², 압축하중시 커플러

포켓 용접부의 곡선부위에서 6.74 kgf/mm², 3점 지지하중시 비지지점의 맞은편 채킹패드가 위치하는 sole bar의 모재부에서 6.83 kgf/mm², 비틀림 하중시 두 번째 출입문 코너 상부 용접부에서 1.80 kgf/mm²로 나타났다.

2) 구조해석결과 알루미늄 차량의 최대응력은 수직하중 작용시 창문코너 하부에서 발생됨을 알 수 있었으나 모두 허용응력 범위이내에 있어 강도적으로 안전하다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 건설교통부, “도시철도차량의 성능시험에 관한 기준”, 구조체 하중시험, 2000
2. 건설교통부, “도시철도차량 표준사양”, 1998
3. Japanese Industrial Standards, “Test methods for static load of body structure of railway rolling stock”, E 7105, 1989