

알루미늄 객차의 구조강도 해석

Structural analysis of Aluminium coach body

이정수* 서승일** 이기열***
Lee Jeong-soo Seo S. I. Lee K. Y.

ABSTRACT

Large extrusions of aluminium alloy can be more general and useful as structural material of rolling stocks to reduce weight and labor cost than mild steel and stainless steel. Our company is studying aluminium coach body will be made of 6005A and A5083 alloy.

In this paper, at first, detailed finite element analysis is carried out to calculate the orthotropic material properties of aluminium extrusions. And then, global strength evaluation of coach body is carried out according to UIC 566 OR code.

1. 서론

대표적인 수송수단의 하나인 철도차량 차체개발의 세계적인 추세는 고속화와 에너지절감을 위한 경제성 및 안락한 승차감을 동시에 지향하고 있다. 이러한 추세에 따라 mild steel 이나 stainless steel에 비해 경량이면서 양호한 강도를 지니고 있는 알루미늄 합금은 차체 재질로서 더욱 각광받고 있고, 앞으로 더욱 일반화되고 실용화 될 수 있을 것이다. 선진 유럽과 일본 등지에서는 이미 고속열차, 전동차등의 철도차량에 알루미늄 압출재가 널리 활용되고 있다.

당사에서는 알루미늄 전동차 개발과제를 통해 익힌 설계, 제작기술을 바탕으로 고속전철 기술개발 사업의 일환으로 수행하고 있는 동력객차의 차체를 압출성, 가공성 및 조립성이 극히 양호한 6005A와 특히 용접성이 우수한 A5083등의 알루미늄 합금으로 자체 개발하고 있다. 본 논문에서는 개념설계 단계에서 수행하는 차체 강도평가 방법 및 수행과정을 기술하였다. 구조해석은 국제 철도연합 규격인 UIC 566 OR code에 따라 실시하였다.

2. 해석모델

2.1 판재형 압출재의 등가강성

일정한 단면형상을 가진 압출재인 경우, global한 전체 차량해석에서는 등가두께를 가진

* (주)한진중공업 주임연구원, 비회원

** (주)한진중공업 책임연구원, 정회원

*** (주)한진중공업 과장, 비회원

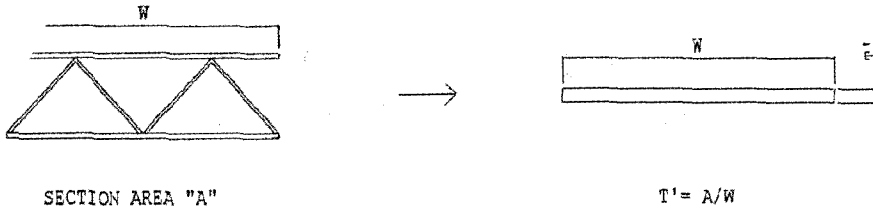


그림 1. 등가 치환

orthotropic shell요소로 치환이 가능하다. 또한, 실제 단면적(A_{act})과 탄성계수(E_{act})를 가진 형상이 등가치환 되더라도 하중과 변위에대한 강성은 변함이 없어야 함으로 길이가 L 인 판재의 강성치는 다음과 같이 일정해야 한다. 즉,

$$\frac{A_{act} \cdot E_{act}}{L} = \frac{A_{eq} \cdot E_{eq}}{L} = k \quad (\text{식) a}$$

(식) a 와 Betti's reciprocal theorem으로부터 등가화된 판재의 등가강성을 구할수 있게 된다. 각 section별 압출형상을 실제 형상대로 모델링하여 단위하중을 가한 후 변위 결과로부터 등가화된 탄성계수와 프와송비를 계산할 수 있다. 각 section별 판재의 등가 계산결과는 다음과 같다.

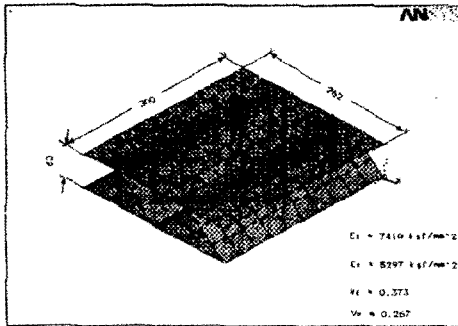


그림 2. 마루판재 등가치

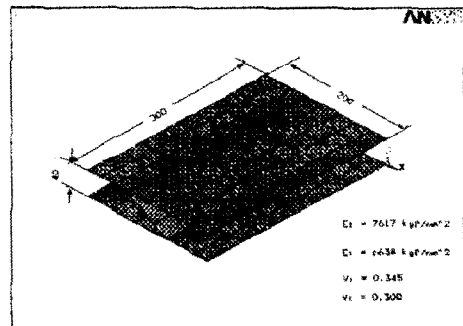


그림 3. 지붕판재 등가치

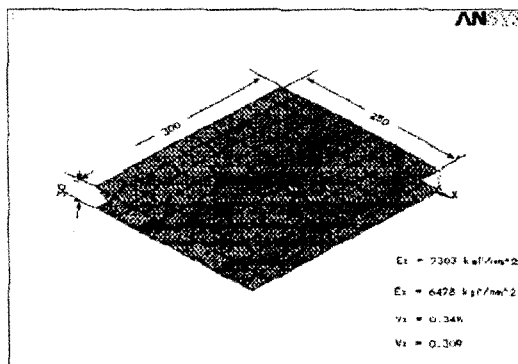


그림 4. 축판재 등가치

2.2 해석 모델링

본 해석 모델은 차체가 대부분 알루미늄 합금의 압출재로 이루어져 있으므로 전체를 쉘요소 모델링하였으나 극히 일부 지지골조는 빔요소로 지지토록 하였다. 전반적인 구조의 대칭성을 감안하여 길이방향으로 1/2만을 모델링하여 상대적인 약조건만을 전체 모델상에 반영시켰다. 본 해석의 모델은 그림 5와 같으며 전체 node수는 10,834개이며, element수는 12,174개이다.

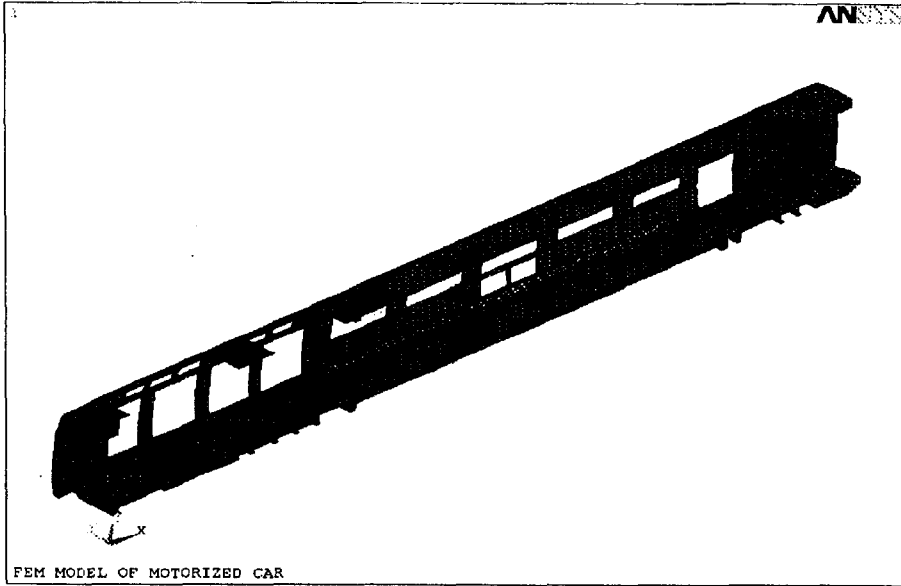


그림 5. 해석모델

2.3 하중조건

본 차량의 설계중량은 표 1과 같다.

표 1. 설계중량

항목	공차	구체	에어컨	모타블록	변압기	모터팬	트랙션모터
중량(kgf)	36,781	8,900	805	3,000	3,500	300	3,050

해석에 적용한 하중조건은 UIC 566 OR code에 따라 다음과 같이 계산 하였다.

(1)수평 압축하중

Under frame의 buffer level에 2,000 kN의 압축하중을 가하여 전체 거동을 살펴본다. 또한, Window sill rail상과 Cantrail level상에 각각 300 kN의 압축하중을 가하는 하중조건이다.

(2)수평하중

Under frame의 traction stop 위치에 1,500 kN의 인장하중을 가하는 하중조건이다.

(3)수직하중

UIC 566 OR code에 따르면 수직하중을 다음과 같이 매우 엄격하게 적용하고 있다.

$$f_1 = 1.3 \times (m1 + m2) \times 9.81 N$$

여기서, m1 : 공차중량

$$m2 : \text{승객좌석수} \times 80 + \text{corridor \& vestibules area(m}^2\text{)} \times 4 \times 80$$

(4)압축 + 수직의 조합하중

수직방향으로 f₁의 하중을 가한 상태에서 2,000 kN의 압축하중을 가하는 하중조건이다.

(5)인장 + 수직의 조합하중

수직방향으로 f₁의 하중을 가한 상태에서 1,500 kN의 인장하중을 가하는 하중조건이다.

(6)고유진동수

구체 자중상태에서 굽힘 고유모드와 고유진동수를 확인한다.

2.4 구속조건

대차 지지점이 되는 볼스타 지점과 링연결부위 센타 피봇지점의 수직변위 Uz를 구속하였고 대칭면상에 존재하는 모든 절점들에 대칭조건인 Uy, ROTx, ROTz를 구속하였다.

2.5 재질 및 판정기준

차체의 재질은 압출성, 가공성이 뛰어난 6005A와 용접성이 우수한 A5083의 알루미늄 합금을 사용하였으며 그 물성치들은 표 2와 같다.

표 2. 재료 물성치

재질	인장강도 (kgf/mm ²)	항복강도 (kgf/mm ²)	탄성계수 (kgf/mm ²)	밀도 (kg/mm ³)	프와송비
6005A	26.5	21.9	7300	2.857E-6	0.33
A5083	29.5	14.8	7000	2.660E-6	0.33

해석결과와 평가기준은 표 3과 같다.

표 3. 평가기준

항목	판정기준	비고
강도	상당응력이 항복강도이하	
변위	사이드의 처짐량이 18.7mm 이하	대차중심간 거리의 1/1000 이하
고유진동수	굽힘고유진동수가 10Hz 이상	

3. 해석결과

유한 요소법을 이용하여 해석을 수행한 결과는 표 4와 같다.

표 4. 해석결과

하중조건		최대 응력값 (kgf/mm ²)	발생부위	비고
수평압축하중	2000 kN	21.338	under frame구조 불연속 부분	buffer level
	300 kN	9.324	window sill rail 끝단 지지부	window sill rail
	300 kN	10.877	cantrail 끝단 지지부	cantrail level
수평인장하중		16.071	under frame구조 불연속 부분	
수직하중		9.127	동력실 사이드그릴 코너부	사이드 처짐량 $\delta = -14.866 \text{ mm}$
압축 + 수직하중		21.732	under frame구조 불연속 부분	
인장 + 수직하중		17.151	under frame구조 불연속 부분	
굽힘 고유진동수		11.255 Hz		

최고응력값을 나타내는 압축 + 수직의 조합하중상태의 deformed shape와 stress contour를 그림 6에 나타내었고 굽힘 고유진동 모드들 그림 7에 나타 내었다.

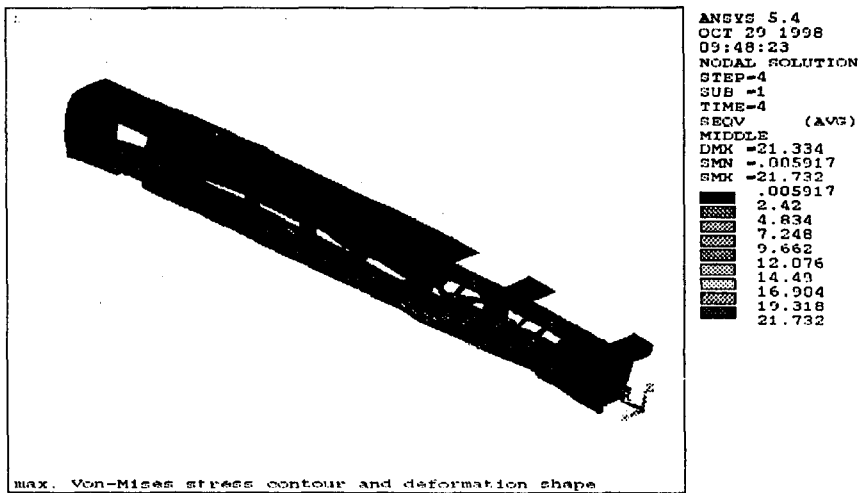
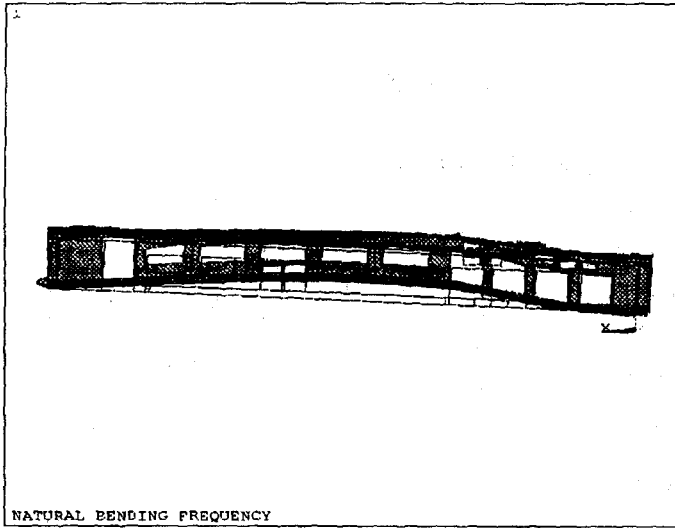


그림 6. 최고 응력값



```

ANSYS 5.4
SEP 25 1998
22:35:12
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =5
FREQ=11.255
PowerGraphics
EFACT=1
AVRES=Max
DMX =2.793

*DSCA=500
YV =1
DIST=11998
KF =10410
YF =983.368
ZF =2506
VUP =Z
A-ZS=-3
Z-BUFFER
EDGE

```

그림 7. 굽힘 고유진동 모드

4. 결론

알루미늄 합금 6005A와 A5083으로 설계된 본 차체의 강도 및 강성을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 최대응력은 압축 2000 kN과 54.596톤의 수직하중이 동시에 작용하는 조건에서 언더프레임 구조 불연속부에서 21.732 kgf/mm^2 로 나타났고, 이 값은 항복강도 21.9 kgf/mm^2 에 거의 근접하고 있음을 확인하였다.
- (2) 54.596톤의 수직하중이 작용할 때, 사이드 최대처짐량이 14.836 mm로 계산되었으며, 이 값은 대차 중심간 거리의 1/1000인 18.7 mm 보다 작은 값을 확인하였다.
- (3) 굽힘 고유진동수가 11.255 Hz로 계산되어 일반적으로 규정하고 있는 10 Hz이상의 기준을 만족하고 있음을 확인하였다.

이상의 결과에서 알수 있듯이 본 차량은 개념설계 단계에서 일부 부위가 항복강도에 근접하는 응력이 발생할 가능성이 있음을 확인하였다. 따라서 상세설계 단계에서는 각종 중량물의 배치를 고려하여 구조연속성을 적절히 적용함으로써 최대응력치를 충분히 낮출수 있으리라 판단된다.

5. 참고문헌

1. 丸山弘志, 景山充男 共著 “鐵道工學”, 1987.
2. 서승일, 손건호 “알루미늄 압출재의 구조적 거동특성에 관한 연구”, 技術 韓進重工業, 1996.
3. UIC code Leflet No. 566, “Loading of Coach Bodies and their Components”, 1990.
4. ANSYS User's Manual, Swanson Analysis System Inc. 1995.