

관절형 차량의 알루미늄 합금 차체 설계에 관한 연구

A Study on Design of Aluminium Carbody for Articulated Trailer

권영규* 장동화* 이광일** 박광복*** 장대성****
Y.G. Kwon D.H. Jang K.I. Lee K.B. PARK D.S. Jang

ABSTRACT

This study was carried about the basic design and FEM analysis of aluminium carbody for articulated trailer of Korean High Speed Train of maximum operating speed of 350km/h. The integral design by extra-long extruded sections made possible through the use of aluminium alloys and continuous window shape with skin were adopted in the basic design of aluminium carbody. Articulated structures in each trailer's end were welded laterally on both sides of gangway. FEM analysis showed that the design satisfied the specified load criteria. Futher study should be carried out for optimal design which enables the weight of carbody structure to reduce adequately.

1. 서 론

철도차량의 고속화와 관련하여 차량의 경량화는 강조되어 왔다. 경량화를 위해서는 구조의 경량 최적설계, 대차와 주전동기 등의 소형화와 같은 여러 가지 방법이 있는데 우선적으로 고려되는 것이 경량 재질을 이용하는 것이다. Steel의 비중은 7.8, 알루미늄은 2.7, 복합재료(FRP)는 1.8로서 Steel 중심의 차량을 경량화하기 위해서 알루미늄과 복합재료를 사용하는 추세이다.

세계적으로는 일찍이 차체에 알루미늄이 채용되었으나, 조립을 위해 용접을 하면 그 부분에는 알루미늄의 강도를 유지하기 어렵고 응력집중을 피하기 위해서는 정밀한 가공이 필요하는 등, 비용(Cost)이 높아지는 문제점이 있다. 따라서 용접을 최소화한 중공압출형재를 적극적으로 사용하는 방법이 채택되고 있으나 판의 두께를 얇게 하는 것이 난이하여 충분한 경량화에는 아직 부족한

* 대우중공업㈜ 철도차량연구소 주임연구원 비회원
** 대우중공업㈜ 철도차량연구소 연구원 비회원
*** 대우중공업㈜ 철도차량연구소 수석연구원 정회원
**** 현대정공㈜ 기술연구소 선임연구원 비회원

점이 있는 것으로 판단된다.

국내에서는 중점 공업기반 과제에서 차량 제작업체가 소재업체와 연계하여 용접성 및 압출성이 양호한 알루미늄 대형 압출형재를 개발하여 종래의 스테인레스 강재 차량 구체 대비 20% 이상의 중량 감량을 목표로 전동차 차체를 개발 중에 있으나 아직 연구 단계에 있는 실정이다.

G7 고속전철기술개발사업에서는 경부고속전철 기술을 근간으로 하여 독자적인 기술확보를 위하여 350km/h 주행속도의 한국형 고속전철 개발을 목표로 개발 중에 있다. G7의 한국형 고속전철에서 객차를 관절형을 하고 알루미늄 재질로 제작하기 위하여 설계를 진행하고 있다. 그러나 관절형 고속철도 알루미늄 객차로는 이층 객차인 프랑스 TGV-DUPLEX가 있으나 관절형 고속철도 알루미늄 1층 객차는 세계적으로 제작된 적이 없으므로 설계에 있어서 많은 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 한국형으로 개발되는 고속전철의 관절형 알루미늄 1층 객차의 압출재 단면 형상을 결정하고 3차원 설계를 수행하였다. 그리고 이를 바탕으로 구조해석을 수행하였으며 이 후 설계 상의 문제점을 도출, 연구 중에 있다.

2. 설계 원리

차량의 경량화는 에너지 절감 및 유지 보수 비용의 절감 등의 효과를 얻을 수 있으므로 차체 중량의 감소는 중요하며 본 알루미늄 차체 개념 설계에서 차체 중량 감소를 목표로 하였다. 그리고 객차의 양단이 중간대차(Median Bogie)로 지지되는 관절원리가 한국형 고속전철에 적용되므로 이 원리에 기초하여 차체의 단부에는 고정링 부와 운반링 부가 수용되도록 하였다.

2.1 설계 제한 조건

- 최대 축중 : 17ton

-차체는 UIC 566 OR의 규정에 근거하여, 정적 하중 조건에서 시행한 시험에서 견디어야 한다.

2.2 알루미늄 차체 기본 구조 형태

알루미늄 차체 구조 형태는 크게 SSD(Sheet Stringer Design)와 AED(All Extrusion Design)의 2가지로 나뉜다.

Sheet Stringer Design 구조 또는 분할 설계(Differential Design) 구조는 하중을 전담하는 골조 및 외부/실내의 구분 역할을 하는 외피로 구성되는 구조로서 반 강제차부터 현재의 철系 차체에 적용되는 일반적이며 고전적 개념의 구조이다. 반면에 All Extrusion Design 또는 결함 설계(Integral Design) 구조는 일반적으로 항공기 구조에 적용되는 구조로서 외피와 일부 종용 부재가 일체형으로 되어 외피도 하중을 부담하는 구조이다.

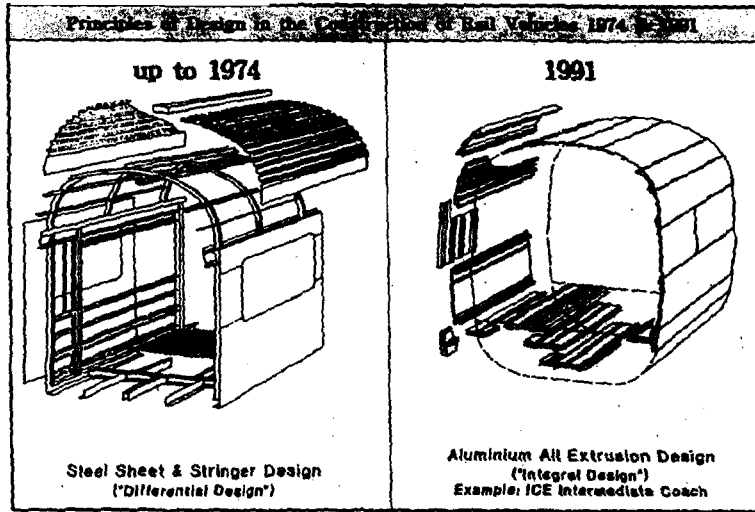


그림 1. 알루미늄 차체 분할설계와 결합설계

강도적인 관점에서 볼 때 차량운행상의 규격에 따라 차체 개념의 적용이 달라지는데, 예를 들어 G7 시제차 객차 사양에 명시된 것처럼 UIC 규격을 적용 시에는, 압축하중 200 TON 에 견딜 수 있는 설계가 필수적이다. 이는 알루미늄 압출형 중강부재를 적용하여야 달성이 용이하다. 본 연구에서는 강도적인 관점에서 UIC 에 의한 축하중과 수직하중을 만족할 수 있도록 알루미늄 차체 단면을 결합 설계(Integral Design) 구조를 적용하여 설계하였다.

2.3 차체 설계 목표 중량

표 1. 차량 중량 비교

	G7 객차	TGV-K 객차 (Steel)	공기반 전동차 (AL)
차체 폭	2,970mm	2,904mm	3,123mm
최대높이(레일-지붕)	3,730mm	3,484mm	3,715.5mm
차체길이	17,984mm	17,384mm	19,500mm
압축하중	200ton	200ton	50ton
차체중량	7.8ton	9ton	6ton

표 1을 살펴보면 공기반 과제의 전동차는 압축하중이 50ton 이므로 경량설계가 가능했던 것으로 판단되며 Steel 로 제작된 경부고속전철의 객차는 볼트로 체결되는 운반링을 포함하여 약 9ton 이다. G7 의 객차는 차체에 운반링이 용접되는데 차체 폭, 높이 및 길이가 모두 증가하였다. 그러나 경량화를 달성하기 위하여 G7 객차 차체는 경부고속전철 객차 대비 12% 이상의 중량 감량을 목표로 하였다.

3 차체 각 구성부

- 마루구조(Underframe)
- 측구조(Sideframe)
- 지붕구조(Roof)
- 관절구조가 포함된 단부구조(Endframe) 등으로 구성된다.(그림 2, 그림 3 참조)

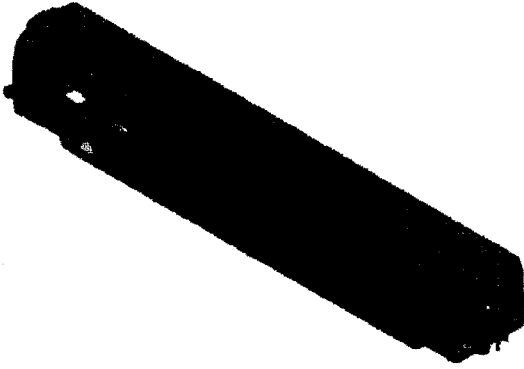


그림 2. 차체 Iso View 고정링측



그림 3. 차체 Iso View 운반링측

3.1 차체 단면

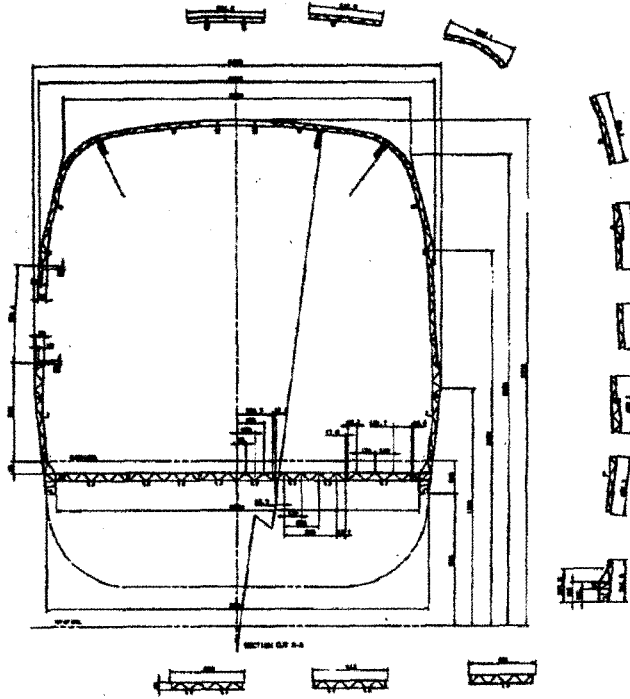


그림 4. 객차 차체 압출재 단면

객차 차량 단면은 KNR 차량한계 내에 운행이 가능하며 한국형 고속전철의 동력차/동력객차와 형상과 유사하게 하여 공기역학적 측면에서 유리하도록 설정하였다.

객실의 최대폭은 최대공간을 필요로 하는 의자 손 받침대 부근인 객실 바닥에서 526mm, 레일로부터 1738mm 높이에 있도록 하였으며 실내공간 확보를 위하여 실내높이는 2200mm 가 되도록 하였다.

3.2 마루구조(Underframe)

마루구조는 베이스 판넬(Base Panel)에 일반적으로 적용하는 구조로 설계되었으며, 상하기기 취부 및 SKITR 취부를 고려하여 Sole-bar 및 베이스 판넬(Base Panel)의 티 슬롯(T-Slot)의 위치를 선정하였다. 또한 출입문에 의해 Sole-bar 가 끊어지므로 압축 하중 시에 마루 구조 및 전체에 하중이 전달될 수 있도록 Carrying Ring 측의 End 구조와의 연결부에 베이스 판넬(Base Panel)과 연결되는 Connection Beam 을 설치하였다.

응점 변형 흡수를 위해 Sole-bar 와 베이스 판넬(Base Panel)의 연결부에 Slip-joint 를 설치하여 마루구조 조립시 변형치수를 흡수하도록 하였는데 마루구조의 높이는 60mm 이다.

3.2 측 구조(Sideframe)

측 구조는 4 개의 대형 중공형 압출재와 1 개의 중형 중공 압출재로 구성되어 있으며 차체 길이 방향으로 용접되어 조립된다. 창문구조가 연속창으로 구성되어 있기 때문에 측 구조의 창문 위치에는 창문 조립체(Assembly)가 취부될 수 있도록 창문 조립체 취부 두께만큼 내측으로 이동 되어 있다. 또한 측구조에서 받는 하중 및 마루구조에서 받는 하중을 측 구조 전체에서 분산되도록 설계되었으며 창문 하단의 공기조화(HVAC) 및 선반 등의 취부를 고려하여 티 슬롯(T-Slot) 및 Support 를 일체형으로 설계하였다. 또한 창문 Corner 등 응력 집중 부위에 용접선이 포함되지 않도록 고려하였다.

3.3 지붕구조(Roof)

3 종의 대형 중공압출재를 차체 길이 방향으로 용접 조립되도록 설계하였다. Roof Central Panel, Roof Middle Panel 은 중천정의 설계를 고려하여 T-Slot 을 설치하였다.

3.4 단부구조(End) 및 관절구조

한국형 고속전철은 객차와 연접객차의 양단이 중간대차(Median Bogie)로 지지되는 관절구조인데 본 연구에서는 이 관절원리에 적용되는 관절구조(고정링 및 운반링)를 별도 구성하지 않고 객차의 단부구조(End)에 고정링부와 운반링부가 수용되도록 하였다.

3.4.1 정 의

Ring 이란 차체와 차체의 연결부위를 통틀어 말하며 운반링, 고정링, 그리고 이들을 결합시켜주

는 핀, 관절 그리고 대차와의 연결부 및 air bag 지지부 등으로 구성된다. 그리고 승객의 차간 이동통로로 이용되며 본 연구의 3점지지 차량에서는 견인력 및 제동력을 전달하는 중요한 기계적 연결부위이다.

3.4.2 3점 지지 차량의 링

3점 지지의 한 곳은 고정링에서, 나머지 2곳은 이차현수장치에서 지지되며 다시 고정링은 차체 절반의 무게로 운반링에 전달되며 등가의 반력이 air bag support 에 작용하는 힘의 구조를 이루고 있으며 운반링 프레임의 하부 king pin 은 대차 pivot 과 연결되어 제동력 및 견인력을 전달한다.

3.4.3 설계 방향

3.4.3.1 설계모델

원추형 관절은 비교적 단순한 구조이면서 고속전철의 필수적인 기밀유지, 소음절감, 주행저항 및 동특성 개선에 유리한 구조이므로 원추형 관절구조의 model 을 바탕으로 하고 UIC515 ORE 기준으로 인장력 100 톤, 충격하중 200 톤 에 견딜 수 있게끔 설계한다.

3.4.3.2 상대운동

king pin 기준 차 길이방향의 변위는 6mm 로 구속하고 좌우 및 상하 방향의 변위는 엄격히 구속하며 회전은 자유롭게 이루어 져야 한다. 상용상태, 즉 최대 견인력 작용 시 까지는 상기변위 6mm 이내에서 충격에너지를 흡수해야 한다.

$$\begin{aligned} \text{최대견인력} &= \text{점착계수} \times \text{축수} \times \text{축중} \\ &= 0.3 \times 8 \times 17 \text{ 톤} \\ &= 40.8 \text{ 톤} \end{aligned}$$

상기 6mm 를 맞추기 위해 제작시 운반링 프레임과 관절지지부 사이에 1mm 두께의 shim 을 삽입하여 공차조절이 가능하게 설계한다.

3.4.3.3 하중조건

인장 및 충격조건은 UIC 515 ORE 를 따르고 수직하중 중, 고정링부는 차체 절반의 동하중을 지탱할 수 있어야 하며 운반링 프레임은 차체 한 량의 무게에서 발생하는 moment force 를 견딜 수 있어야 한다. 또 양쪽 이차 현수장치 지지부는 등가의 반력을 지탱할 수 있어야 한다.

대차와 연결된 pin 은 견인력 및 제동력을 감당할 수 있게끔 설계되어야 한다.

3.4.3.4 승객의 편의성

알루미늄합금 주물품인 프레임의 용접 단면 확보를 위해 통로부의 높이상승이 필연적이지만 이는 객실 내의 floor 상면에서부터 연결통로까지의 높이 차 350mm 를 2단 floor 로 설계하여 어느 정도 해결이 가능하다.

3.4.4 연결부의 구성 및 기능

3.4.4.1 운반링축

알루미늄 주물재의 운반링 프레임을 차체 단부의 CROSS BEAM 에 용접도록 하였으며 보다 넓은 용접면적 확보를 위하여 차체쪽으로 갈수록 면적을 넓게 하였다. 또한 floor 상면은 경부고속전철 대비 147mm 만큼 상승시키고 CROSS BEAM 또한 턱이 돌출한 구조로 설계하였다. 그리고 대차 pivot center 로부터 차량 단부까지의 거리 또한 300mm 이상 단축하였다. 이는 운반링에서 발생하는 Moment Force 를 최대한 줄이면서 반력을 확보하려는 이유이다. 이로 인해 차체의 길이가 경부고속전철 대비 편성상태의 길이는 동일하게 유지하면서 량 당 길이는 600mm 이상 증가되어 객실 내부 또는 부속실의 공간을 보다 넓게 확보 할 수 있게 되었다. 그리고 하부에는 대차와 연결되어 견인력 및 제동력을 전달하는 pin 이 체결되어 있다.

3.4.4.2 고정링 축

고정링 축은 운반링 축 보다 상대적으로 위쪽에 위치 하게 되어 차체 절반의 무게를 지탱 할 수 있는 용접단면 확보가 어려워 STEEL 주물 구조로 제작하여 TGV-Duplex 처럼 차체 단부에 BOLTING 구조로 설계하였다.

3.4.4.3 CONE

고정링 과 관절부위를 연결하는 기능이며 빈번한 상대운동과 고 하중 부위 이므로 STEEL 단조 재질로 설계 했다. 이 부위는 고정링의 CONE 접수부와 BOLTING 체결되게끔 설계 했다.

3.4.4.4 ARTICULATION

경부고속전철의 구조와 유사하게, 가운데는 rubber 재질, 양단부는 내마모성의 STEEL 재질이며, CONE 과 관절프레임을 연결한다.

3.4.4.5 ARTICULATION FRAME

ARTICULATION 을 감싸고 있는 동시에 운반링과 연결하며 HOOK 모양의 고리가 달려있다. 이 HOOK 와 고정링 간에는 6mm 의 틈을 유지하고 있으며 상용상태의 견인력 발생시는 ARTICULATION 에서 흡수가 가능하나 UIC 기준 인장력 100TON 이 작용 시에는 이 힘이 HOOK 에 작용하게 된다. 또 운반링축 단부의 BUFFER 형태의 구조물과 고정링 간에도 6mm 의 틈을 유지하고 있다. 이는 상기 이유와 유사하게 UIC 기준 압축력 200TON 시 작용하는데 이러한 틈을 확보하지 못하면 상용제동이나 견인 시 각 차량간 연쇄충돌 현상을 일으켜 승차감 저하 및 차체 손상을 야기할 수 있다. ARTICULATION FRAME 을 운반링에 설치시 상기 틈을 유지하기 위해 SHIM 을 사용하여 장착할 수 있게끔 설계하였다.

3.4.4.6 SPECIAL SCREW

소위 King pin 이 운반링과 고정링을 관통하여 NUT 로 체결, 차체간 견인력을 발생하게끔 한다. 이는 특수 STEEL 단조품으로 설계하였다.

3.4.5 연결부 구조해석

3.4.5.1 개요

한국형 고속전철의 운반링부 및 이를 수용하는 단부구조에 대한 구조해석을 별도로 수행하여 이의 강도상의 안전성을 검토하였다.

3.4.5.2 모델링

본 해석에서는 운반링부가 차량 단부에 용접된 구조를 취하고 있으므로 차체의 단부까지 모델링하였고 대칭조건을 이용하여 1/2 로 모델하였다.

본 해석에 사용된 요소의 종류 및 요소 개수, 절점 개수는 다음의 표와 같다.

표 2. 해석에 사용된 요소 및 절점 개수

항목		개수
Element	Thin shell	4348
	Solid	3363
절점		8482

3.4.5.3 재질 및 재료의 기계적 성질

Carrying Ring 부의 재질은 모두 Aluminum Alloy(A6005A)이고 압축하중이 작용하는 Collision Post 부위만 Steel(SMA50B)로 되어 있다. 이의 기계적 성질은 다음표와 같다.

표 3. 재질 및 재료의 기계적 성질

항목	탄성계수 (kgf/mm ²)	포아송비	항복응력 (kgf/mm ²)	인장강도 (kgf/mm ²)
A6005A	7300	0.33	21.9	26.5
SMA50B	21000	0.29	37	50

3.4.5.4 하중 조건

Carrying Ring 에 작용하는 하중은 다음의 3 가지가 있다.

- 수직하중 : Carrying Ring 위에 놓여진 Fixed Ring 으로부터 작용되는 하중과 Air bag seat 부위에 작용하는 하중
- 압축하중 : 충돌시 그림 5. 에서와 같이 Collision post 부위에 가해지는 하중.
- 인장하중 : 견인시 그림 5. 에서와 같이 관절지지 프레임부에 가해지는 하중.

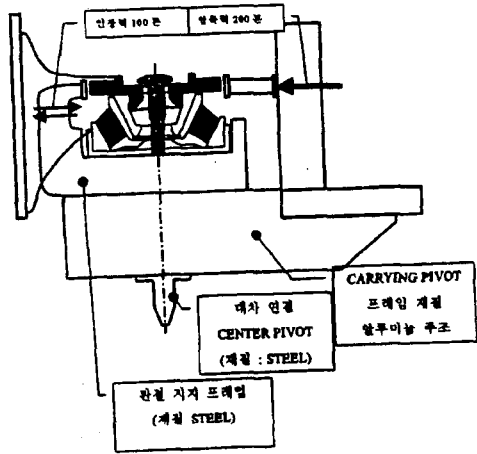


그림 5. 관절연결 구조

본 해석에서의 하중조건은 다음표와 같다.

표 4. 하중조건

항목			하중(톤)	판정기준	
Load Case1 (수직+압축)	Exceptional Vertical Load + 압축력	수직하중	Fixed Ring 으로부터 작 용하는 하중	16.848/2 =8.424	항복응력 이내
			Air bag seat 에 작용하는 하중	31.721/2 =15.861	
		압축하중		200/2 =100	
Load Case2 (수직+인장)	Normal Vertical Load + 인장력	수직하중	Fixed Ring 으로부터 작 용하는 하중	14.598/2 =7.299	항복응력 이내
			Air bag seat 에 작용하는 하중	27.221/2 =13.611	
		인장하중		100/2 =50	

3.4.5.5 해석결과

운반링 부에 대한 구조해석을 수행한 결과는 다음 표와 같다.

표 5. 해석결과

항목	최대응력 (kgf/mm ²)		발생부위	참조그림
Load Case1 (수직+압축)	Steel 부	23.3	Collision post 부위	그림 6
	Al 부	15.1	통로부위	그림 7
Load Case2 (수직+인장)	13.8		Carrying Pivot 프레임을 감싸는 프레임	

위의 표에서 알 수 있듯이 해석결과 모두 항복응력 이내에 있으므로 운반링 부는 강도상 안전한 것으로 판단된다 있다.

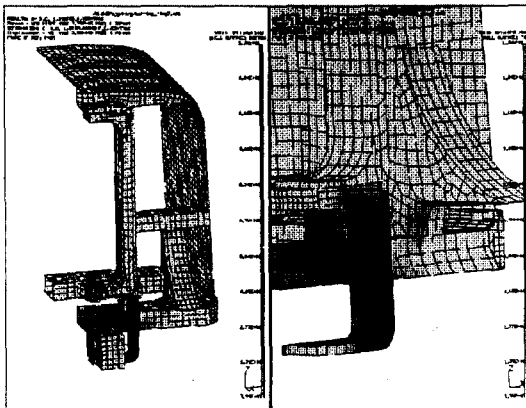


그림 6.운반링부의 등가응력 분포(Load Case1)

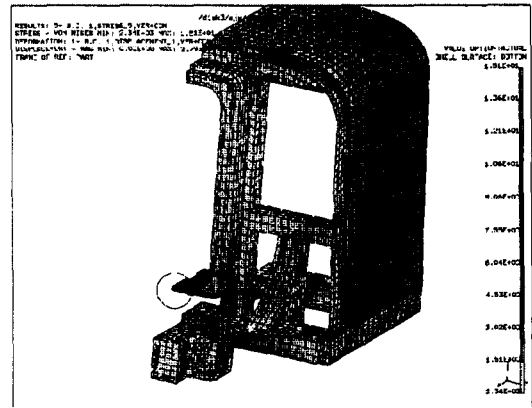


그림 7.운반링부의 등가응력 분포(Load Case1, Al 부)

4. 차체 구조 해석

4.1 개요

차체의 전체적인 응력분포 및 변형량에 대한 결과를 알아보기 위하여 강성에 기여하지 않는 부분은 모델링에서 제외시켰으며, 범용 구조해석 프로그램인 I-DEAS Master series 5 를 이용하여 해석을 수행하였다.

4.2 모델링

차체는 Shell element 와 Solid element 를 이용하여 대칭조건으로 전체의 1/2 을 모델링 하였다. 모델링에 사용된 node 의 수는 30,446 개이며, element 의 수는 42,220 개이다. FEM 모델을 그림 8. 에 나타내었다.

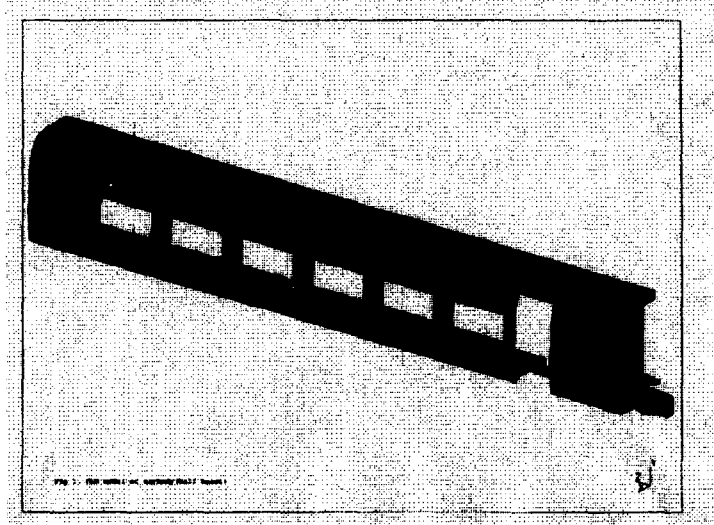


그림 8. FEM model of carbody(half model)

4.3 하중조건

4.3.1. 수직 하중(Vertical Load)

4.3.1.1 공차 상태 하중

- ▶ Running order 에서 대차의 중량을 제외한 차량 총중량
- ▶ 공차 상태 하중 = 19,703 kg

4.3.1.2 정상하중 + 부가하중 (NORMAL LOAD + ADDITIONAL LOAD)

- ▶ 정상하중 : 공차 상태 하중(19,703kg) + 정원 승객 하중(60명 X 75kg = 4,500 kg)
= 24,203 kg
- ▶ 부가하중(additional load) = 900 kg
- ▶ 정상하중 + 부가하중 = 25,103 kg

4.3.1.3 예외 수직 하중(EXCEPTIONAL VERTICAL LOAD)

- ▶ 예외 수직 하중 = (공차 상태 하중 + 2 배수 정원 승객 하중) X 1.3
= (19,703 kg + 9,000 kg) X 1.3 = 37,314 kg
- ▶ 1.3 : MULTIPLYING FACTOR

4.3.1.4 MR6 하중

- ▶ 공차 하중 상태에서 인접 차량에 의해 운반링에 작용하는 하중
- ▶ MR6 = (공차 상태 하중 + 대차하중) / 2 = (19,703 kg + 7,668 kg) / 2 = 13,686 kg

4.3.2 압축/인장 하중

4.3.2.1 200 TON 압축 하중(BUFFING 하중)

▶ 수직하중 : 공차상태 하중 + MR6 하중

4.3.2.2 100 TON 인장 하중

▶ 수직하중 : 공차상태 하중 + MR6 하중

4.3.2.3 30 TON 압축 하중 (CANTRAIL LEVEL)

▶ 수직하중 : 공차상태 하중 + MR6 하중

4.4 구속 조건

인접 객차와 만나는 고정링 FRAME 부분과 운반링 쪽의 이차 현수장치 취부좌(SECONDARY SUSPENSION BK'T) 2 곳을 지지하였다.

4.5. 재질 및 판단 조건

차체에 사용된 재질은 알루미늄 6005A 이며 물성치는 표 5 와 같다.

표 6. 물성치

재 질	6005A
Young's modulus	7300 kgf/mm ²
Poisson's ratio	0.33
Density	2,700 kg/m ³
인장 강도	26.5 kgf/mm ²
항복 강도	21.9 kgf/mm ²

해석결과에 대한 판단 조건은 표 6 과 같다.

표 7. 판단조건

	판단 조건	비 고
허용 응력	21.9 kgf/mm ² 이하	항복강도 이하
차체 처짐량	18.7 mm 이하	차체 길이 1/1000 이하

4.6. 고유진동수

일반적으로 원성차량의 고유진동수(Natural frequency)는 승차감에 관계가 있으므로 인체가 상하진동에 가장 민감한 4-8Hz 주파수 대역은 피해 설계해야 한다.

차체상당굽힘강성(EI_{eq})

$$EI_{eq} = \frac{wL^2 \cdot 5L^2}{384\delta} = \frac{5wL^4}{384\delta} = 4.88 \times 10^{14} \text{ kgf} \cdot \text{mm}^2$$

L = Distance between both of the supporting center (18700mm)

w = Uniform distributed load per unit length

구체: 0.417 kgf/mm

δ = Deflection of the carbody

구체: 1.36 Hz

따라서, 고유진동수는 다음식으로 계산할 수 있다.

$$f = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{98000EI}{w}} = 15.2 \text{ Hz}$$

4.7. 해석 결과

해석 결과를 표 7에 나타내었으며, 수직 하중에 대해서는 가장 가혹 조건인 예외 수직 하중에 대한 결과값만 나타내었다. 응력값은 Von Mises 값이며 단위는 kgf/mm^2 이고 처짐량의 단위는 mm 이다. 응력집중이 나타나는 부위와 측구조(Sideframe)의 처짐량을 그림 9.~ 그림 11에 나타내었다.

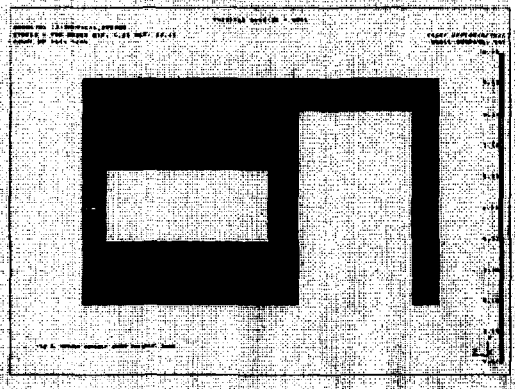


그림 9. Stress contour under vertical load

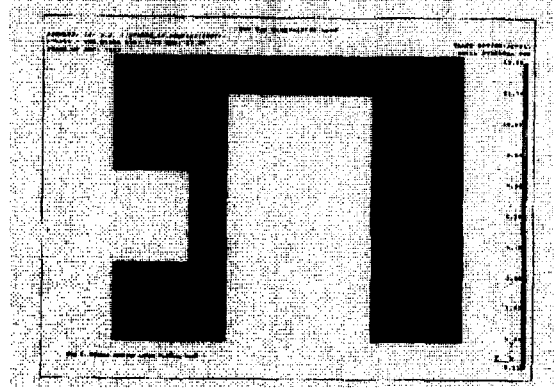


그림 10. Stress contour under buffing load

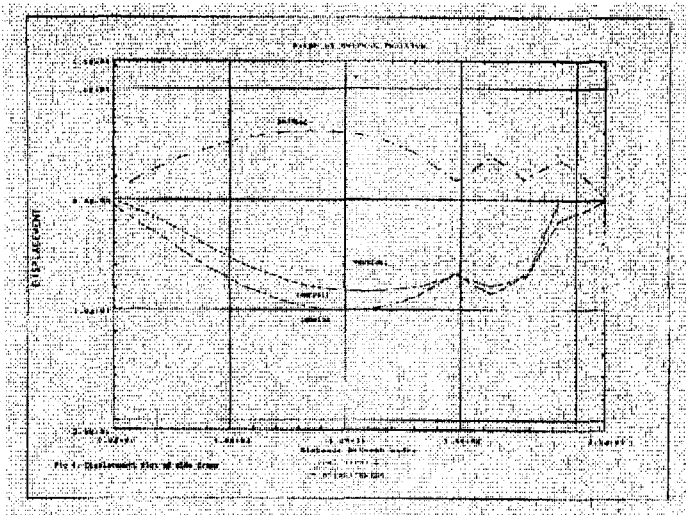


그림 11. Displacement plot of Sideframe

표 8. 해석결과

		응력집중 부위	최대응력값 (kgf/mm ²)	처짐량 (mm)
수직 하중 (예외 수직 하중 + MR6 하중)		창문 코너	7.33	-9.25
		출입문 코너	10.46	
압축/인장 하중	200 TON 압축 하중	창문 코너	6.65	6.21
		출입문 코너	12.58	
		Under square beam	10.11	
	100 TON 인장 하중	창문 코너	6.16	-10.34
		출입문 코너	7.64	
		Under square beam	4.76	
Cantrail 높이 압축 하중	창문 코너	4.99	-6.98	
	출입문 코너	7.98		

해석결과로 나타나는 최고응력은 출입문 코너에서 12.58 kgf/mm^2 으로 재료의 항복강도(21.9 kgf/mm^2) 를 고려하면 만족할 만한 범위 이내에 있으며, 차체의 처짐량도 차체길이($18,700\text{mm}$) 의 $1/1000$ 이내로 만족할 만한 범위 이내에 있다.

5. 결론

본 연구에서는 한국형으로 개발되는 고속전철의 관절형 알루미늄 1층 객차의 압출재 단면 형상을 결정하고 3차원 설계를 수행하고 이를 바탕으로 구조해석을 수행하였다.

본 연구에서의 수행된 관절형 1층 객차 설계의 특징은 국내에서는 처음으로 결합 설계(Integral Design) 구조를 적용하였으며 축창을 연속창으로 하여 미관이 수려하도록 하였다.

또한 1층 알루미늄 차체의 관절형 연결기술은 국내에 전무하여 본 연구에서 처음으로 설계를 수행하였다. 본 연구의 관절구조는 객차의 단부구조(End)에 고정링 부와 운반링 부가 수용되도록 하여 integration 시 작업공수를 절감할 수 있고 유지보수가 용이하도록 하였으며 차량 단부와 pivot 간 거리를 축소, 경부고속전철 대비 차량 길이가 600mm 이상 증대시켜 객실 내부 또는 부속실의 공간을 보다 넓게 확보할 수 있게 되었다.

그리고 수행된 관절구조 및 차체 해석을 통하여 강도기준에 적합함을 살펴보았다.

그러나, 알루미늄 차량 제작의 가장 큰 목표인 중량 감소 달성이 다소 미흡하여 앞으로 설계의 경량화에 대한 연구를 더 진행해야 할 것으로 판단된다. 또한 전반적인 구조해석은 수행해 보았으나, 상세설계 시에는 용접부 피로해석을, 제작 시에는 차체 하중 시험을 통하여 경량설계를 검증하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. M. CROS (1993), "Development of Aluminium Structures for the Double-Decker TGV High-Speed Train" *GEC ALSTHOM Technical Review No.12-1993*
2. Heinz R. Kurz (1991). "InterCityExpress 2 The second production series of a proven train concept", *ICE High-tech on rail, DB AG. P125~127*
3. Aubert Martin, Alois Weschta, Herbert Landwehr (1991). "ICE 2.2 The latest design for an European high-speed train", *ICE High-tech on rail, DB AG. P150~151*
4. 건교부,산자부,과기부 (1997), "G7 고속전철 객차 시스템 엔지니어링 기술개발 1차년도 보고서"
5. 건교부,산자부,과기부 (1998), "G7 고속전철 객차 시스템 엔지니어링 기술개발 2차년도 보고서"
6. 건교부,산자부,과기부 (1997), "G7 고속전철 객차 차량 개발 1차년도 보고서"
7. 건교부,산자부,과기부 (1998), "G7 고속전철 객차 차량 개발 2차년도 보고서"
8. GEC-ALSTHOM (1993), "TGV 한국 Seoul-Pusan High Speed Rail System Proposal"
9. 통상산업부 (1996) "철도차량구조용 알루미늄 압출형재 및 차체구조 개발에 관한 연구"
10. 권 태수, 이 관섭 (1998) "알루미늄합금을 사용한 차량구조체 제작 기술" 철도기술정보 1998년