

# 한국형 고속전철 관절장치의 구조해석

## Finite Element Analysis of the Gangway of a Korea High Speed Train

노규석\*      이상록\*\*      강재윤\*\*\*  
Roh, Kyu Seok    Lee, Sang Rok    Kang, Jae Youn

### ABSTRACT

This paper aims to verify the static strength of a KHST gangway structure including fixed ring and carrying ring according to the load cases in the defined specification. The structure has been analyzed by the finite element method. Calculation carried out in the fields of linearity and small deformation. The admissible limit is the yield strength for the available materials. The analysis results show that Von-Mises stress at some locations of the structure is a little beyond the admissible limit. These results are successfully reflected on the adjusted design.

### 1. 서론

G7과제의 일환으로 개발중인 한국형 고속전철(Korea High Speed Train: KHST)의 객차 연결부는 운반링(Carrying Ring)과 고정링(Fixed Ring)으로 구성되어 있고, 견인력과 제동력을 받는 부위로 차량간 및 차체와 대차간의 관절역할과 승객이동의 통로역할을 하는 장치이다.

최근 철도차량의 경량화를 위해서 알루미늄합금의 적용이 현저히 증가되고 있는데 이는 알루미늄합금이 기존의 Steel이나 Stainless Steel에 비하여 에너지 절감을 가져오기 때문이다[1].

일본의 경우 동경과 신 오사카 사이를 운행하고 있는 Nozomi의 경우 알루미늄 압출 형강재의 도입으로 기존의 Steel 차량에 비해 25%의 중량을 감소시킴으로써 운행속도의 증가와 주행시간을 크게 단축하였다고 보고하고 있다[2]. 유럽의 경우 1988년 이전까지는 지하철 및 통근열차에 알루미늄 합금이 널리 사용되어 오다가 1980년대 말부터 독일의 ICE를 중심으로 고속전철 등에도 널리 이용되고 있다[3]. 또한 프랑스에서도 차세대 고속전철인 TGV NG에 알루미늄 합금을 도입할 예정이다.

KHST의 연결부도 차체의 경량화를 위해서 경부고속전철 차량의 연결부에서 사용된 철강 구조부품들을 알루미늄합금 주물재료(AC4C) 및 알루미늄합금 압출재료(Al 6005-T6, Al 5083-O)로 재질을 변경하여 설계되었다[4].

---

\* 한국기계연구원 신교통기술연구부 연구원, 정회원  
\*\* 한국기계연구원 신교통기술연구부 책임연구원, 정회원  
\*\*\* 한국기계연구원 신교통기술연구부 위촉선임연구원, 정회원

본 연구에서는 알루미늄합금으로 설계된 KHST 연결장치를 유한요소방법을 이용하여, 5가지 해석규정(Alstom 자료기준)에 의해서 강도상의 안전성을 검토하였다[5].

## 2. KHST 관절장치의 해석규정

KHST 관절장치의 구조해석을 아래의 5가지 해석규정에 의해 수행하였다.

- i. Exceptional Vertical Load + 100 tons Compression on Carrying Ring
- ii. Normal Vertical Load + 50 tons Tension on Carrying Ring
- iii. Exceptional Vertical Load + 100 tons Compression on Fixed Ring
- iv. Exceptional Vertical Load + 100 tons Compression on Fixed Ring + 400 m radius of the track
- v. Normal Vertical Load + 50 tons Tension on Fixed Ring

허용응력 기준은 항복응력으로 하며, 용접연결부위의 경우에는 항복응력이 제일 작은 재료의 항복응력을 허용응력으로 한다. 표 1은 관절장치에 사용된 재료들의 정적강도 물성치를 나타낸 것이다.

표 1 관절장치의 재료물성치

	E	$\nu$	$\sigma_y$	$\sigma_t$
A6005A	7300 kgf/mm <sup>2</sup>	0.33	21.9 kgf/mm <sup>2</sup>	26.5 kgf/mm <sup>2</sup>
A5083	7300 kgf/mm <sup>2</sup>	0.33	24.0 kgf/mm <sup>2</sup>	32.1 kgf/mm <sup>2</sup>
AC4C	7300 kgf/mm <sup>2</sup>	0.33	21.4 kgf/mm <sup>2</sup>	25.5 kgf/mm <sup>2</sup>
AF50S	21406.7 kgf/mm <sup>2</sup>	0.3	36.2 kgf/mm <sup>2</sup>	50.0 kgf/mm <sup>2</sup>

### 2.1 Carrying Ring의 해석규정

Carrying Ring의 경우에는 2가지의 해석규정에 따라서 구조해석을 하였으며, 2가지의 해석규정에서 정의된 하중조건은 표 2에 요약하여 나타내었다. Carrying Ring에 작용하는 하중의 위치는 그림 1에 표시하였다.

표 2 Carrying Ring의 해석규정

항목			하중(톤)	판정기준	
1	Exceptional Vertical Load + 압축력	수직 하중	Fixed Ring으로부터 작용하는 하중	16.848/2 = 8.424	항복응력 이내
			Air bag support에 작용하는 하중	31.721/2 = 15.861	
		압축하중 I		200/2 = 100	
		압축하중 II		30/2 = 15	
2	Normal Vertical Load + 인장력	수직 하중	Fixed Ring으로부터 작용하는 하중	14.598/2 = 7.299	항복응력 이내
			Air bag support에 작용하는 하중	27.221/2 = 13.611	
		인장하중		100/2 = 50	

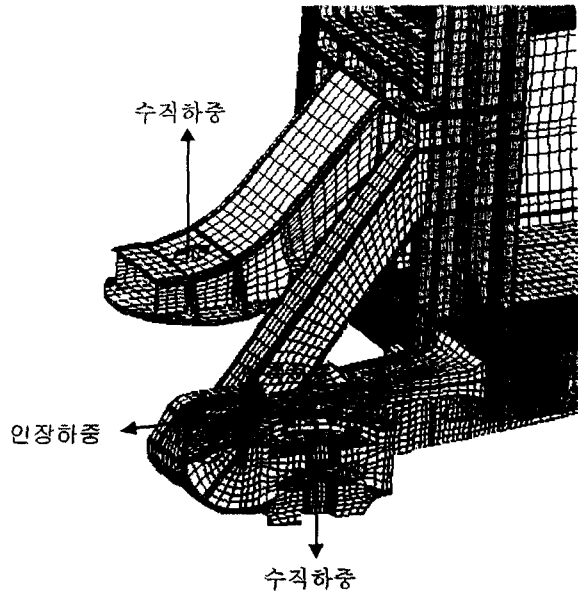


그림 1 Carrying Ring에 작용하는 하중위치

### 2.2 Fixed Ring의 해석규정

Fixed Ring의 경우에는 3가지의 해석규정에 따라서 구조해석을 하였으며, 3가지의 해석규정에서 정의된 하중조건은 표 3에 요약하여 나타내었다. Fixed Ring에 작용하는 하중의 위치는 그림 2에 표시하였다.

표 3 Fixed Ring의 해석규정

항목			하중(톤)	판정기준	
3	Exceptional Vertical Load + 압축력	수직 하중	Carrying Ring으로부터 작용하는 하중 16.848/2 = 8.424	항복 응력 이내	
		압축하중 I			200/2 = 100
		압축하중 II			30/2 = 15
4	3 <sup>rd</sup> Load Case + 400m radius of the track				
5	Normal Vertical Load + 인장력	수직 하중	Carrying Ring으로부터 작용하는 하중 14.598/2 = 7.299		
		인장하중		100/2 = 50	

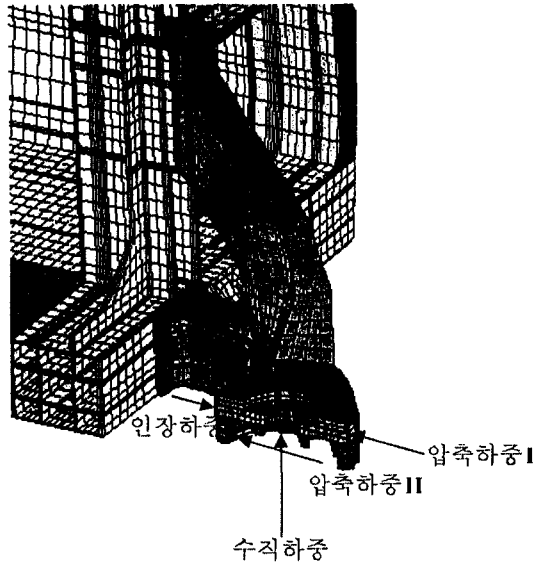


그림 2 Fixed Ring에 작용하는 하중위치

### 3. 유한요소해석

#### 3.1 Carry Ring 유한요소해석

그림 3에서 보는 바와 같이, Carrying Ring 부를 포함하여 차체의 전방구조까지 모델링하였다. 솔리드 요소 35,432개, 셸 요소 19,087개이고 절점수는 66,296개로 구성하였으며, 기하학적인 형상, 하중, 경계조건 등이 대칭임을 고려한 반쪽모델이다.

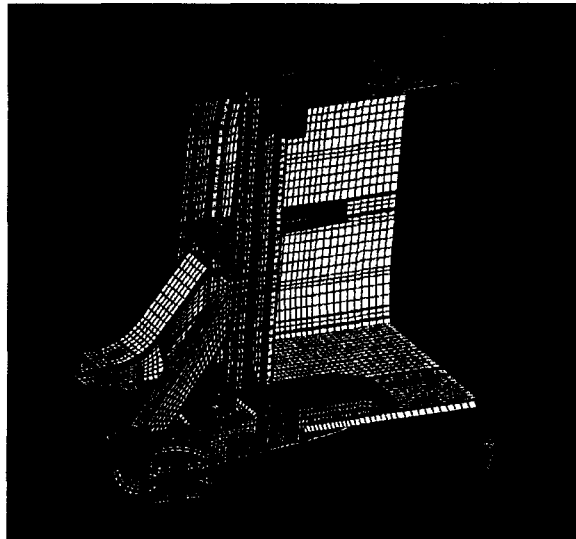


그림 3 Carrying Ring의 유한요소모델

그림 4는 해석규정 1(Exceptional Vertical Load + 100 tons Compression on Carrying Ring)에 대하여 구조해석을 수행한 후 구한 Von-Mises 응력분포를 나타낸 것이다. Under Frame의 재료는 Al 6005-T6로 허용 항복응력은 21.9 Kg/mm<sup>2</sup>인데, 최대응력이 23.9 Kg/mm<sup>2</sup>으로 일부 부위가 항복응력을 초과하였다.

그림 5는 해석규정 2(Normal Vertical Load + 50 tons Tension on Carrying Ring)에 대하여 구조해석을 수행한 결과를 보여주고 있다. Carrying Ring의 재료는 AC4C로 허용 항복응력은 21.4 Kg/mm<sup>2</sup>인데 반하여, 확대된 그림에서 일부 부위가 항복응력 이상이 발생됨을 확인하였다.

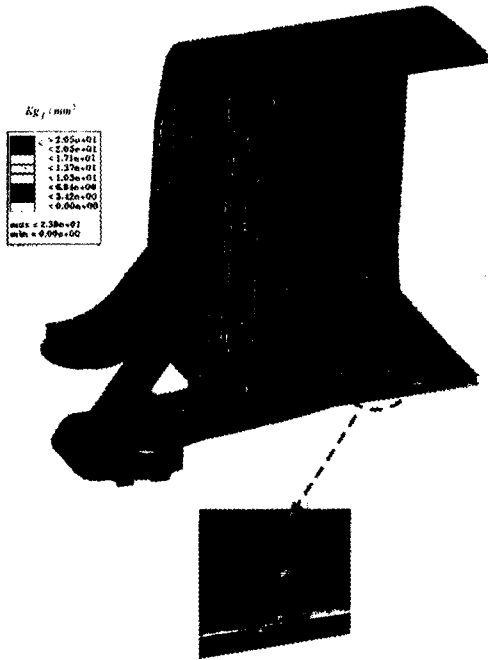


그림 4 해석규정 1에 의한 Von-Mises 응력분포

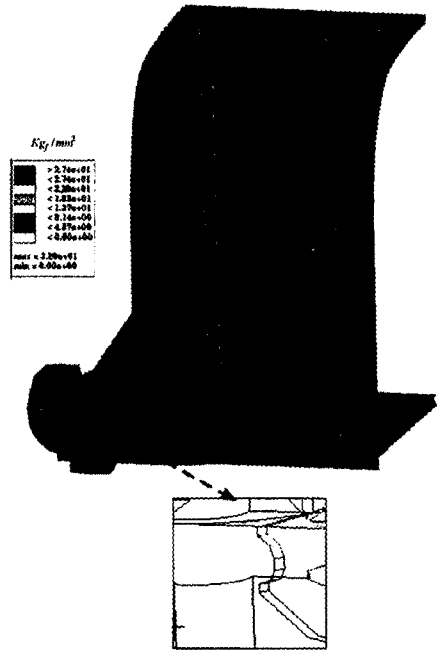


그림 5 해석규정 2에 의한 Von-Mises 응력분포

### 3.2 Fixed Ring 유한요소해석

Fixed Ring 부를 포함하여 차체의 후방구조까지 유한요소 모델로 만든 것이 그림 6이다. 대칭조건을 이용하여 1/2로 모델링하였으며, 솔리드 요소 25,138개, 쉘 요소 19,001개, 그리고 절점수 50,583개로 구성하였다.

그림 7은 해석규정 3(Exceptional Vertical Load + 100 tons Compression on Fixed Ring)에 대하여 해석 후 Von-Mises 응력분포를 나타낸 것인데, 그림과 같이 최대응력은 23.2 Kg/mm<sup>2</sup>으로 Under Frame의 일부 부위가 항복응력 21.9 Kg/mm<sup>2</sup>(Al 6005-T6의 항복응력)을 초과함을 알 수 있었다.

그림 8은 해석규정 4(Exceptional Vertical Load + 100 tons Compression on Fixed Ring + 400 m radius of the track)에 대해서 구조해석을 수행한 결과이다. 최대응력이 27.8 Kg/mm<sup>2</sup>이며, Fixed Ring의 허용 항복응력인 21.4 Kg/mm<sup>2</sup>(AC4C의 항복응력)을 일부 부분이 초과하였다.

그림 9은 해석규정 5(Normal Vertical Load + 50 tons Tension on Fixed Ring)에 대하여 구조해석하여 Von-Mises 응력분포를 나타냈다. 최대응력이 Fixed Ring 부위에 13.0 Kg/mm<sup>2</sup>으로 나타났으나,

항복점에 미달하므로 안전한 것으로 판단된다.

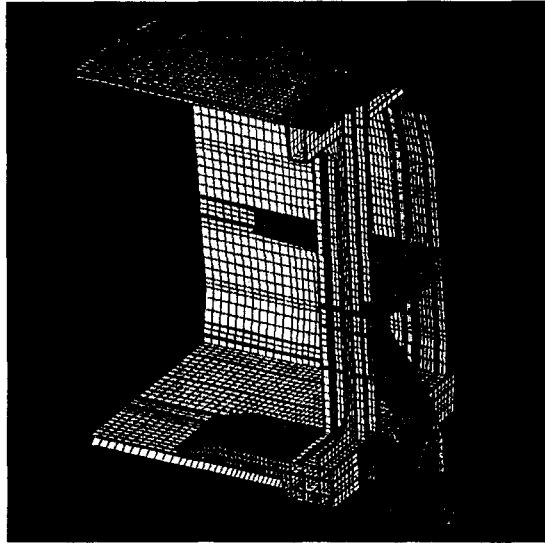


그림 6 Fixed Ring의 유한요소모델

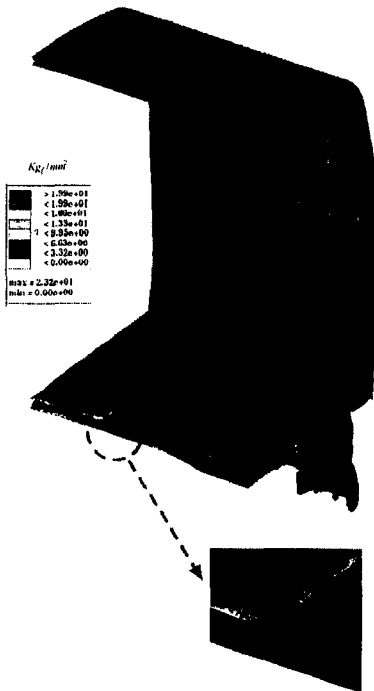


그림 7 해석규정 3에 의한 Von-Mises 응력분포

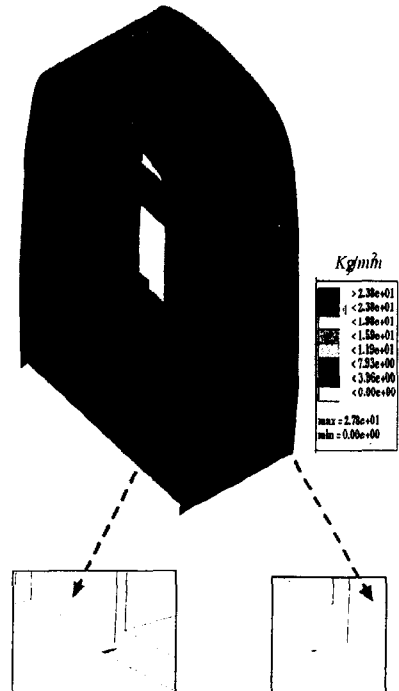


그림 8 해석규정 4에 의한 Von-Mises 응력분포

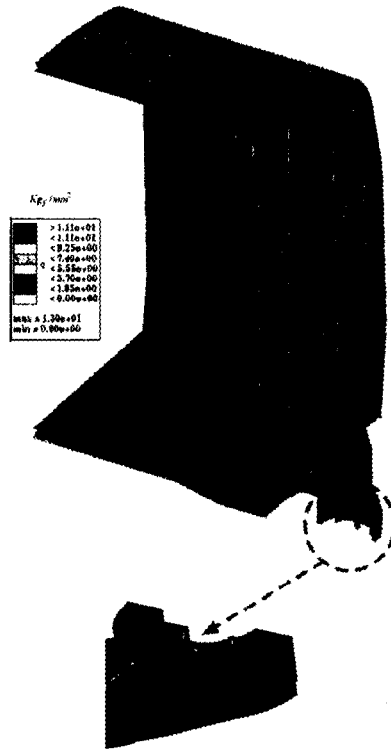


그림 9 해석규정 5에 의한 Von-Mises 응력분포

#### 4. 결론

규정된 해석조건에 따라서 운반링 및 고정링을 포함한 객차 연결장치를 구조해석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 해석규정 1(Exceptional Vertical Load + 100 tons Compression on Carrying Ring)의 경우 Under Frame의 허용 항복응력은 21.9 Kg/mm<sup>2</sup>인데, 최대응력이 23.9 Kg/mm<sup>2</sup>으로 일부 부위가 항복점을 초과하였다.
- 2) 해석규정 2(Normal Vertical Load + 50 tons Tension on Carrying Ring)의 경우 Carrying Ring의 허용 항복응력은 21.4 Kg/mm<sup>2</sup>으로 일부 부위에서 항복응력 이상의 응력이 발생함을 확인하였다.
- 3) 해석규정 3(Exceptional Vertical Load + 100 tons Compression on Fixed Ring)의 경우 최대응력은 23.2 Kg/mm<sup>2</sup>으로 Under Frame의 일부 부위가 항복점 21.9 Kg/mm<sup>2</sup>을 초과하였다.
- 4) 해석규정 4(Exceptional Vertical Load + 100 tons Compression on Fixed Ring + 400 m radius of the track)의 경우 최대응력이 27.8 Kg/mm<sup>2</sup>임을 확인하였다. Fixed Ring의 허용 항복응력인 21.4 Kg/mm<sup>2</sup>을 일부 부위에서 초과하였다.
- 5) 해석규정 5(Normal Vertical Load + 50 tons Tension on Fixed Ring)의 경우 최대응력이 Fixed Ring 부위에 13.0 Kg/mm<sup>2</sup>으로 나타났으나, 항복점에 미달하므로 안전한 것으로 판단된다.
- 6) 초기설계시 결론 1)-4)와 같이 허용응력 초과부분이 있었으나 보완설계에서 위의 결과가 충분히 반영되어서 강도상 문제는 없는 것으로 판단된다. 그러나 고응력과 응력집중이 발생하는 부위

는 상세 해석을 수행할 필요가 있다.

## 5. 참고문헌

1. H.J. Lee, S.W. Han, and S.R. Lee(2000), "Fatigue strength of butt welded aluminum alloy component for railway vehicles," SEM IX international congress on experimental mechanics, Orlando, Florida, Jun 5-8.
2. F.H. Froes(1994), "Aluminum : Key to advancing the performance of the bullet train", Light Metal Age, Apr.
3. Railway Gazette International(1991) "Aluminum invades Europe's main line coach market" June.
4. 박광복 외(2000), "객차개발" G7 고속전철기술개발사업 2단계 1차년도 연구성과 보고서, pp. 255-267.
5. 이상록 외(2000), "피로설계 및 내구성평가 기술 개발" 한국기계연구원 연구보고서.

후기 : 본 연구는 2000년도 건설교통부/통상산업부/과학기술부 선도기술사업인 "G7 고속전철기술개발사업"의 일환으로 수행된 연구결과의 일부이다.