

차량장착용 볼트의 안전성평가

Safety evaluation of bolt for railway vehicle equipment use

문형석* 유원희** 김남포***

Mun, Hyung-Suk Yu, Won-Hee Kim, Nam-Po

ABSTRACT

The stress of connection points between railway vehicle equipment and carbody is considered as one of the important railway safety factor under the vehicle service condition. If any material or equipment drop in to the rail during the service condition, the vehicle can be lose its control as well as run off the rail.

The bolt safety evaluation method by using hand calculation is broadly used by manufacturer is introduced in this paper. Two different kinds of the bolt, such as regular bolt and the bolt aluminum extruded carbody use, are tested based on U.I.C according to equipment fixed. The effect of holder and base to bolt under the loading condition is analyzed on this paper.

1. 서론

철도차량의 언더프레임 하부에는 많은 기기들이 장착되게 된다 이러한 기기들은 부라켓 또는 알루미늄 압출체인 T형 슬롯에 볼트로 체결되는데 하부기기의 강도는 철도차량 운행시 안전에 아주 중요한 요소로 고려되어진다. 만일 차량하부에 장착되는 기기가 운행중 선로위로 떨어진다면 차량이 운행은 물론 심한 경우 차량이 탈선 할 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 기존의 업체에서 사용하는 하부기기 취부용볼트의 용량선정 방법을 소개하고 이 결과를 U.I.C에서 제공되는 기기장착 기준을 적용하여 구조해석을 한 결과와 비교하고 또한 안전성도 평가하였다. 구조해석은 일반 스테인레스 취부용 볼트와 알루미늄압출체에 사용되는 볼트에 각각 시행하였고 알루미늄 압출제용 볼트를 구성하는 Holder와 Seat이 볼트 자체에 미치는 영향도 분석하였다.

* 한국철도기술연구원 주임연구원

** 한국철도기술연구원 책임연구원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원

1. 기존의 전장품에 대한 취부용 볼트 강도 계산 방법

기존 철도차량용 주요전장품 취부시 사용하는 볼트선정을 위한 강도 평가방법은 다음과 같다.

1.1 하중조건

1.1.1 각 지지점 하중산정방법

각 전장품에 장착되는 볼트의 하중조건은 기기의 전체중량에 지지점을 나누어 구하게 된다.

다음은 철도차량 하부에 장착되는 10개의 지지점은 가지는 무게가 1060kg의 전장품을 예를 들어 볼트의 안전성을 평가하여 보았다.

장치	중량 kgf	지지점	중량/지지점	지지볼트
	1060 kgf	10	106 kgf	φ 14

표 1 주요 전장품의 지지점의 하중조건

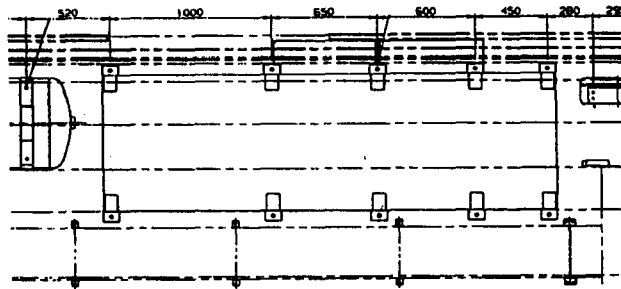


그림 1 주요 전장품의 지지점

1.1.2 주요전장품 취부시 적용되는 동하중 계수 : 0.2 g

1.2 판정기준

1.2.1 볼트재질의 강도기준

재질	항복점 kgf/mm ²	인장강도 kgf/mm ²
SM 45C	50	70
A6005A	21.9	26.5

표 2 볼트재질별 항복점 및 인장강도

1.2.2 볼트의 재질별 적용되는 안전율

재질	안전율			
	정하중	동하중		변화하중 충격하중
		반복하중	교번하중	
주철	4	6	10	15
연철	3	5	8	12

표 3 볼트의 재질별 적용되는 안전율

1.2.3 볼트의 강도산정

볼트의 강도 계산방법은 단위면적당 수직하중이 가장 큰 것을 예로하여 다음과 같이 표 3 에서 제공되는 안전율을 적용하여 산정하게 된다.

- 주요 전장품 지지점에 미치는 하중 : 106 kgf

- 볼트기준강도(σ_s) = $S \times \sigma_a$

$$= 12 \times 0.827$$

$$= 9.924 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (안전율(S)은 변화 및 충격하중을 고려한 "12" 적용)}$$

1.2.4 안전성 평가

기존의 방법을 이용한 주요전장품 취부에 대한 볼트의 강도평가의 결과는 볼트의 기준강도(σ_s)가 9.924 kgf/mm^2 으로 볼트가 가지는 항복강도 50 kgf/mm^2 에 비하여 작기 때문에 기존방법을 사용한 평가결과는 안전하다고 할 수 있다.

2. U.I.C 기준이 적용되고 상용프로그램을 이용한 전장품에 대한 취부용 볼트 강도 계산 방법

2.1 하중조건의 결정

하중조건의 산정은 전장품의 무게를 지지점으로 나누어 일괄적으로 구하는 기존의 방법과는 달리 상용 구조해석 프로그램을 이용하였다. 우선 그림 2 에서 제공하는 부라켓의 치수 및 간격이 적용된 Beam Element Property를 사용하여 각 지지점을 고정시킨 후 기기의 무게중심에 전체 하중을 주어 각 지지점당 최대하중조건을 산출하였다. 결과는 그림 3에서 알 수 있듯이 그림 2의 우측에서 두 번째의 지지점에 212 kgf의 반력이 나타나 이 위치에 장착되는 취부용 볼트에 최고 212 kgf의 하중이 작용함을 알 수 있다.

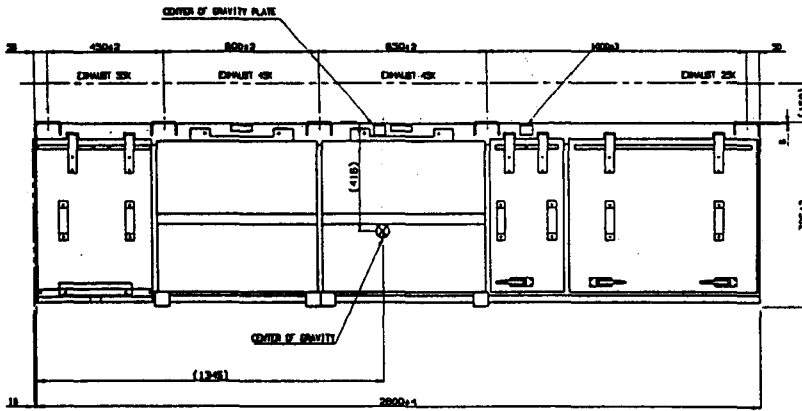


그림 2 기기의 무게중심과 부라켓의 치수 및 간격

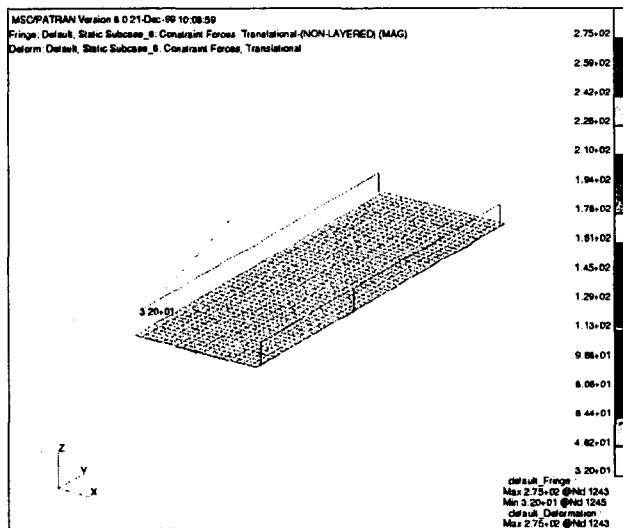


그림 3 취부 볼트에 작용하는 최대하중

2.2 철도차량 전장품 장착관련 U.I.C 기준

기존방법에서는 안전율을 허용응력에 곱하여 볼트의 안전성을 판단하게 되는데 U.I.C에서는 철도차량의 차량 편성시 차량과 차량이 출동하는 특수성을 고려하여 철도차량에 장착되는 기기는 다음과 같은 조건에서도 견딜 수 있도록 고정되어야 한다고 규정하고 있다.

2.2.1 차량과 차량연결 조건시

- 차량의 길이 방향 (Longitudinally Direction) : 5g
- 차량의 측면 방향 (Transversely Direction) : 1g
- 차량의 수직방향 (Vertically Direction) : Cg

※ 여기서 C는 차량의 끝 단면에 장착된 기기일 경우 3을 적용하고 차량의 중앙으로 갈수록 균일하게 1.5를 적용하도록 규정하고 있다. 본 논문에서는 차량수직 방향의 하중은 최대하중조건인 3을 적용하여 보다 해석하였다.

$$F_x = m_l \cdot 5g \text{ [N]}$$

$$F_y = m_l \cdot g \text{ [N]}$$

$$F_z = m_l \cdot Cg \text{ [N]}$$

$m = \text{kg}$, $g = \text{중력가속도}$, $C = 3$, 적용 안전율 = 1

2.2.1 운행 조건 적용시

차량의 길이 방향 (Longitudinally Direction) $a_x = 2.5 \text{ m/sec}$

차량의 측면 방향 (Transversely Direction) : $a_y = 1.5 \text{ m/sec}$

차량의 수직방향 (Vertically Direction) : $a_z = 2 \text{ m/sec}$

$$F_x = m_l \cdot (a_x) \text{ [N]}$$

$$F_y = m_l \cdot (a_y) \text{ [N]}$$

$$F_z = m_l \cdot (1g + a_z) \text{ [N]}$$

$m = \text{kg}$, $g = \text{중력가속도}$, $C = 3$, 적용 안전율 2.2

2.3 볼트별 구조해석

2.3.1 알루미늄 압출체용 볼트의 구조

일반적인 철도차량 하부에는 볼트와 브라켓을 사용하여 주요 전장품을 장착한다. 알루미늄 압출체를 사용한 차체인 경우 그림 4 에서 보여주는 T형 슬롯에 Holder와 Seat을 결합한 특수볼트를 끼워 고정하게 된다. 본 논문에서는 2종류 볼트를 U.I.C에서 제공되는 조건을 적용하여 해석하였다. 그리고 알루미늄 압출체에 사용되는 특수볼트의 Holder와 Seat의 볼트 몸체에 미치는 영향도 분석하였다.

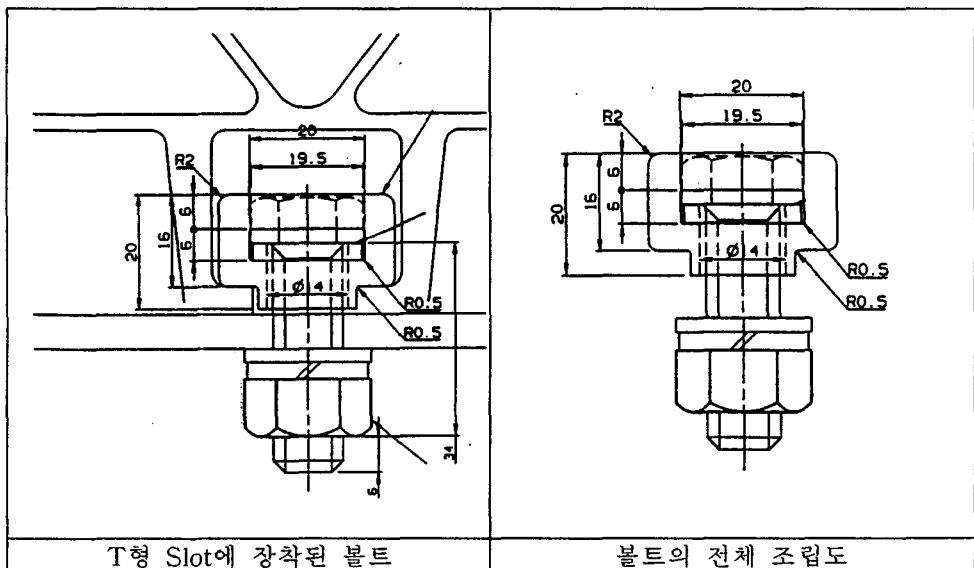


그림 4 알루미늄 압출체로 구성된 차체에 사용되는 볼트

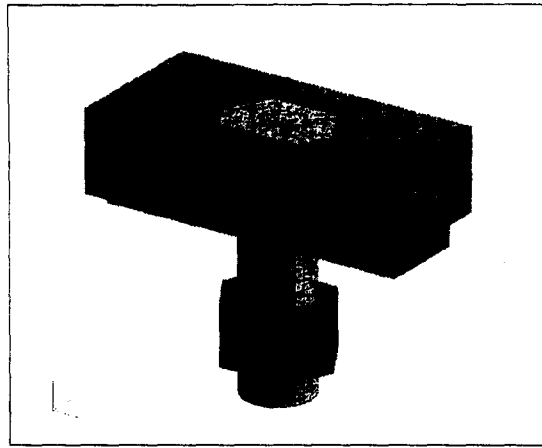


그림 5 구조해석을 위한 알루미늄 압출제용 볼트의 모델링

2.3.2 차량의 길이 방향 (Longitudinally Direction) 하중조건 적용시 해석

(1) 알루미늄 압출제용 볼트

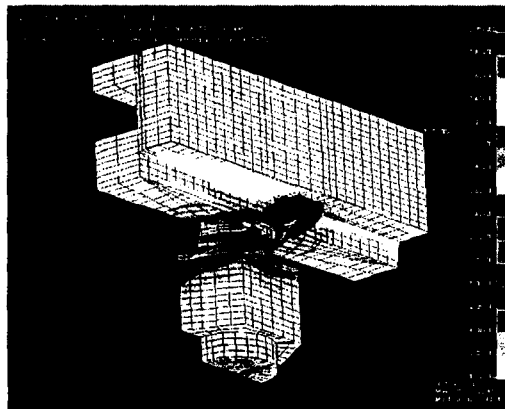
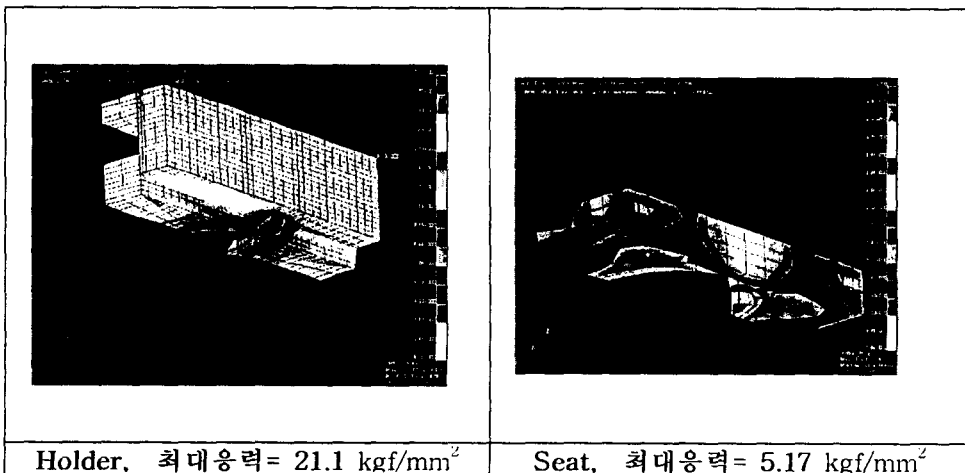


그림 6 전체응력분포상대 최대응력 = 30.2 kgf/mm^2



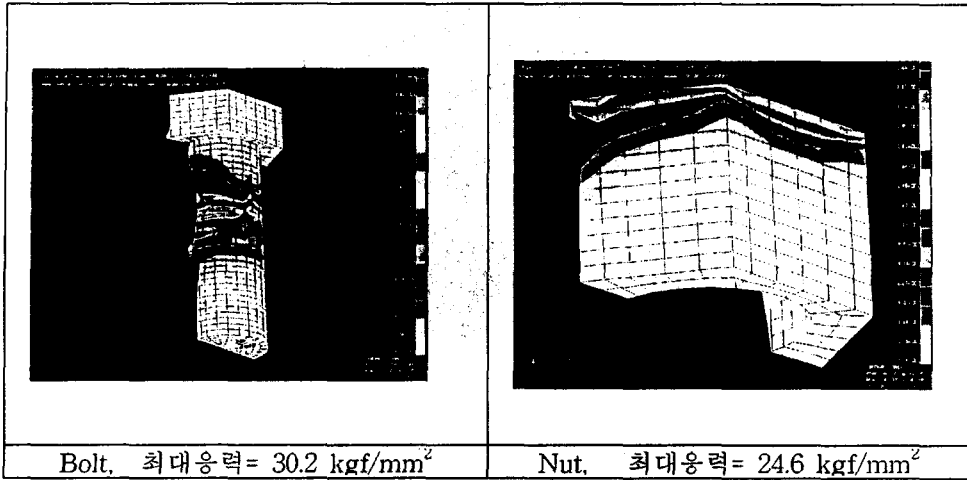


그림 7 부위별 응력분포상태

(2) 일반 볼트

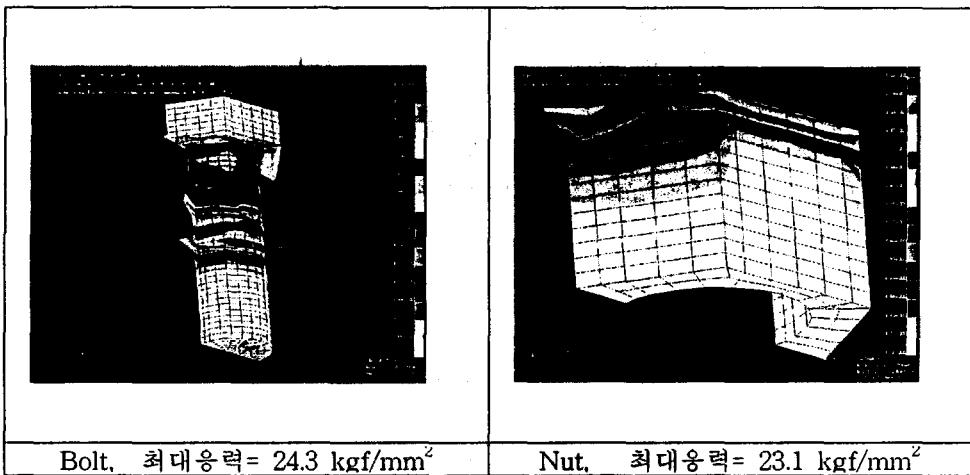


그림 8 부위별 응력분포

2.4 안전성 평가

2.3.2 에서는 차량의 길이 방향 (Longitudinally Direction) 하중적용시 두종류의 볼트의 구조해석이 이루어졌다. 같은 방법으로 차량의 측면 방향 (Transversely Direction)과 차량의 수직방향 (Vertically Direction)의 구조해석을 하였고 그 결과는 표 4 와 같다.

2.4.1 부위별 응력 분포상태

하중조건	볼트의 종류	볼트의 부위별 응력분포			
		Holder	Seat	Bolt	Nut
차량의 길이 방향 (Longitudinally Direction)	알루미늄 압출제용 볼트	21.1 kgf/mm ²	5.17 kgf/mm ²	30.2 kgf/mm ²	24.6 kgf/mm ²
	일반 볼트	X	X	24.3 kgf/mm ²	23.1 kgf/mm ²
차량의 측면 방향 (Transversely Direction)	알루미늄 압출제용 볼트	6.1 kgf/mm ²	1.37 kgf/mm ²	6.88 kgf/mm ²	5.87 kgf/mm ²
	일반 볼트	X	X	6.54 kgf/mm ²	7.9 kgf/mm ²
차량의 수직방향 (Vertically Direction)	알루미늄 압출제용 볼트	6.51 kgf/mm ²	1.95 kgf/mm ²	12.1 kgf/mm ²	9.95 kgf/mm ²
	일반 볼트	X	X	14.9 kgf/mm ²	9 kgf/mm ²

표 4 볼트의 부위별 응력 분포상태

2.4.2 안전성 평가

Holder와 Seat는 알루미늄이고 Bolt와 Seat는 SM45C의 재질로 구성되어있다. 위의 결과를 살펴보면 Holder에서 차량의 길이방향의 하중(5g)가 작용할 때 볼트의 기준강도는 최대응력21.1 kgf/mm²로 나타난다. 안전율 1을 적용하였을 때의 Holder가 가지는 항복강도 21.9 kgf/mm² 보다는 작게 나타난다. 볼트에 나타나는 최대응력도 30.2 kgf/mm²도 안전율 1을 적용하였을 때의 Bolt가 가지는 항복강도 50 kgf/mm² 보다는 작게 나타난다. 이와 같은 결과로 보아 길이방향 하중 적용시 알루미늄 재질인 Holder의 강도는 항복강도보다는 작게 나타나지만 거의 항복강도에 이른 것으로 관찰되고 볼트의 경우는 충분히 안전한 것으로 판단된다.

3. 결론

본 논문에서는 철도 차량 전장품의 취부용 볼트의 안전성 산출시 일반적으로 사용하는 강도 계산 방법과는 다른 상용 구도해석프로그램을 사용하여 해석하였다. 우선 일괄적으로 전체 기기의 무게에 지지점을 수를 나누어 각 볼트에 작용하는 하중을 산정하는 방법과는 달리 브라켓 형상을 Beam Element Property 사용하여 각 지지점에 걸리는 최대 하중을 산출하여 적용하였다. 이 결과 기존의 적용되는 하중보다는 기기의 무게중심, 지지점과의 거리등에 따라 최대 2배가 넘는 하중이 적용됨을 알 수 있었다. 그리고 철도차량의 특수성이 고려된 U.I.C에서 제공되는 기기취부의 하중조건과 안전율을 적용하여 상용 해석프로그램으로 분석하였다.

기존의 방법에서의 해석결과와 비교하였을 때 차량의 길이 방향 하중조건 Holder 부분에서 21.1 kgf/mm^2 로 나타나서 항복강도 21.9 kgf/mm^2 보다는 작게 나타나지만 결과가 거의 항복 강도에 육박함을 볼 수 있다. 알루미늄 압출제용 볼트와 일반 볼트의 응력상태를 비교하여보면 차량의 길이 방향 (Longitudinally Direction) 하중조건 적용시와, 차량의 측면 방향 (Transversely Direction) 하중 적용시에 알루미늄 압출제용 볼트의 Holder와 Seat이 볼트자체의 고정되는 지지점과 작용되는 축 방향 하중에 영향을 미치어 오히려 볼트자체의 응력이 증가됨이 관찰된다. 그러나 차량의 수직방향 (Vertically Direction) 하중 적용시에는 Holder와 Seat이 응력을 분산시키는 역할을 하여 볼트자체의 응력 감소가 관찰된다. 따라서 수직 방향의 하중적용시를 제외하고는 Holder와 Seat는 볼트 자체에 응력 증가의 원인을 제공할 수 있다.

본 논문은 새로운 방식으로 철도차량용 취부용 볼트의 강도를 계산하였고 안전성을 평가하였다 그리고 기존의 방법보다 보다 정확한 결과를 얻었다. 그러나 이러한 방법으로 볼트의 강도를 산출하는 것은 많은 시간이 소요되므로 실질적으로 업체에서 적용하기는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 논문의 결과를 토대로 철도차량의 특수성이 고려된 취부용 볼트의 안전성을 손으로 쉽게 구할 수 있는 공식이나 방법이 보다 심도있는 연구를 통하여 제시 될 것이다.

4. 참고문헌

1. 정역학, 박철희외 4인, 문운당
2. 재료역학, Gerr & Timoshenko, 청문각
3. Advanced Mathematics, Arthur F. Coxford. HBJ
4. Applied Finited Element Analysis for Engineers, Frank L. Stasa, CBS Publishing