

BOM Rivet을 적용한 Hole Lifting Bracket의 구조해석 및 시험을 통한 안전성 연구.

Studies on Safety of Hole Lifting Bracket with BOM Riveted Joints by Structural Analysis and Tests

신하건^{*†}, 박경환^{*}, 김승택^{*}, 이장욱^{*}

Hakun Shin^{*†}, Kyoung-Huan Park^{*}, Seung-Tech Kim^{*}, Jang-Wook Lee^{*}

초 록 철도차량 Lifting Bracket은 차량 탈선 시 복구, 차량 하부 점검 및 편성 단위 이동 등의 목적으로 Lifting 및 Jacking 시 직접적으로 하중을 받는 곳이다. 그러므로 Bracket의 형상과 사용된 Rivet의 강도에 따라 Bracket 주변부의 변형과 응력분포가 달라진다. 따라서 Lifting Bracket 설계 전 Rivet의 강도를 미리 검증하여 설계 및 제작에 반영해야 한다. 이에 본 논문에서 철도차량에 사용되는 Hole Lifting Bracket을 적용한 차량에 대하여 안전성을 검증하기 위해 EN12663-1 규격을 적용하여 구조해석을 실시하였다. 또한 BOM Rivet 인장시험을 실시한 후 결과를 Hole Lifting Bracket 구조해석 결과와 비교 검토하여 BOM Rivet을 적용한 철도차량 Hole Lifting Bracket의 안정성을 확보하고자 한다.

주요어 : 철도차량, 구조해석, 인장시험, Hole Lifting Bracket, Lifting, BOM Rivet, EN12663-1

1. 서 론

철도차량의 Lifting Bracket은 차체 언더프레임(Underframe)에 취부되는 구조물로 차량 Lifting/Jacking 시험, 차량 탈선 시 복구, 차량 하부 점검 및 편성 단위 이동 시 사용 된다.

Lifting Bracket은 크게 판상형 타입과 인양핀을 사용하는 Hole Lifting Bracket으로 분류 된다. 본 연구에서는 인양핀을 사용한 리프팅(Lifting) 조건이 더 가혹하기에 인양핀을 사용하는 Hole Lifting Bracket을 사용 하였다. 인양핀을 사용한 리프팅 조건은 EN12663-1 규격과 EN16404 규격을 참고하여 적용 하였다.

EN12663-1 규격에 따르면 리프팅(Lifting)

해석과 시험은 차량 전체 리프팅, 차량 단부 리프팅, 3점 지지 리프팅으로 나뉜다^[1].

본 연구에서는 인양핀을 사용한 리프팅 시 가장 가혹 조건인 차량 전체 리프팅 조건을 사용하였다. 일반적으로 3점 지지 리프팅이 가장 가혹한 조건이나 인양핀을 사용한 리프팅 시에는 로프를 사용하여 3점 지지 조건이 일어 날 수 없다.

2. 본 론

2.1 Lifting Bracket 구조해석 모델 및 형상

철도차량 Hole Lifting Bracket은 차체 언더프레임에 Riveting 되는 구조로 Hole에 인양핀을 삽입하여 크레인으로 Lifting 및 Jacking을 수행 할 수 있다.

구조해석 모델은 8mm 이하의 판재 및 알루미늄 압출재의 경우 Shell 요소를, 8mm 이상의 판재 및 주강의 경우 Solid 요소를 사용하였으며 Rivet의 경우 Beam 요소를 사용하여 모

† 교신저자: 현대로템주식회사 응용기술연구팀 (hakun.shin@hyundai-rottem.co.kr)

* 현대로템주식회사 응용기술연구팀

델팅하였다. Lifting Bracket이 포함된 차체는 사용된 Node는 2,672,989개, Shell 요소는 2,709,472개, Solid 요소는 1,237, 575개, Rigid 요소는 839개이며 Beam 요소는 274개를 사용하였다. 유한요소 모델에서 X 축은 길이 방향, Y 축은 폭 방향, Z 축은 수직 방향이다.

유한요소 해석 시 사용된 소프트웨어는 선형해석 시 Hyperworks 2017을 사용하였고 비선형해석 시 LS-DYNA를 사용하였다.

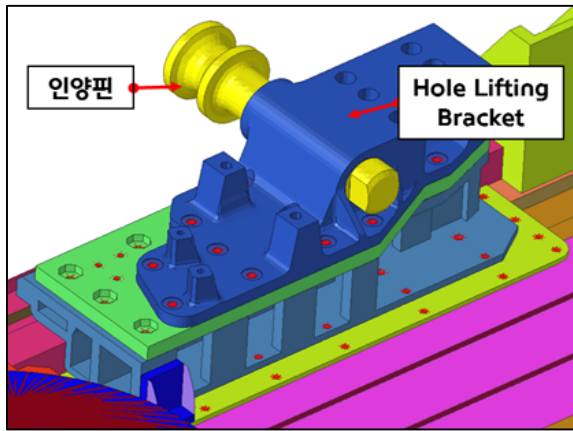


Fig. 1 FE Model of Lifting Bracket

2.2 하중조건

차량 전체 리프팅을 위해 적용된 강도 조건 및 판단 기준은 EN12663-1에 의거한다.

아래 Table 1에 구조해석 시 적용된 하중 조건 및 평가기준을 정리하였다.

또한 Table 2에 Hole Lifting Bracket을 적용한 차체의 구조해석을 위해 사용된 주요 재료의 기계적 성질을 정리 하였다.

Table 1 Whole Vehicle Lifting Load Conditions^[1]

Load Case	Vertical Load	Criteria
Whole Vehicle Lifting	1.1g×AW0 & 1.1g×W _{bogies}	$\sigma \leq \sigma_y/S_1$

AW0: Tare Weight, σ : Calculated Stress, σ_y : Yield Strength, S_1 : Safety Factor

Table 2 Mechanical Properties of Materials (MPa)^[3]

Materials	Yield Strength	Tensile Strength	Young's Modulus
EN AW-6005A T6	215	260	69,000

2.3 구조해석 결과

2.2절의 하중조건을 적용하여 구조해석을 실시하였다. 아래 그림에 하중 부가/제거 시 Hole Lifting Bracket의 변형량을 비교한 결과와 하중 부가 시 Hole Lifting Bracket 근처 고응력부의 응력 분포를 나타내었다.

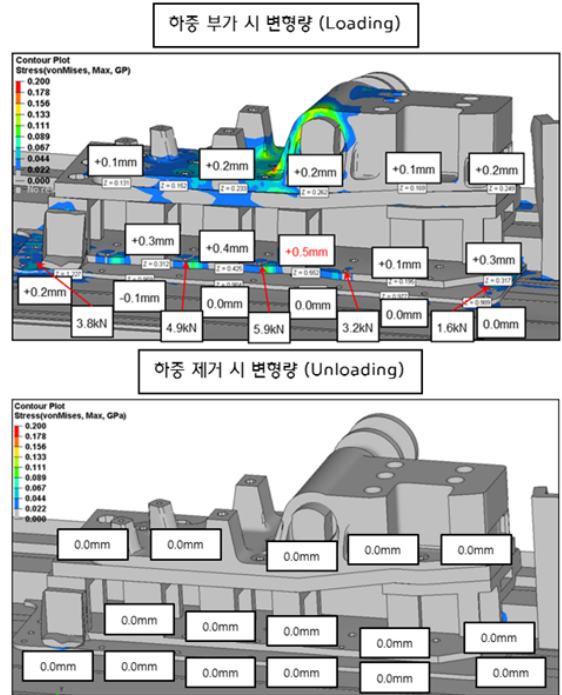


Fig. 2 Deflection Comparison between Loading and Unloading Conditions

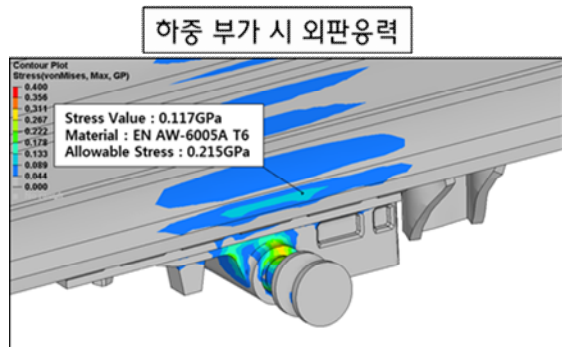


Fig. 3 Stress Distribution of Outside Panel near Hole Lifting Bracket

아래의 Table 3에 2.2절의 하중조건을 적용하여 구조해석 시 BOM Rivet에 발생한 최대 축력 결과를 나타내었다.

Table 3 Maximum BOM Rivet Force

Type	Diameter	Axial Force(kN)
BOM Rivet	9.5mm	8.82

위의 Fig.2의 변형량 비교 결과에서 보듯이 하중 부가 시 최대 변형량은 0.5mm 이고 하중 제거 시 모두 0mm로 복원 되었음을 확인 수 있다. 따라서 소성 변형이 발생 하지 않았다고 판단 된다.

위의 Fig.3의 결과를 보면, 하중 부가 시 Lifting Bracket 근처 외판에서 117MPa의 응력이 발생함을 확인 할 수 있다. 위의 결과는 재질의 허용응력인 215MPa 이내에 있으므로 구조적으로 안전한 것으로 판단 된다.

위의 Table 3의 결과에서 최대 BOM Rivet 축력은 8.82kN 임을 확인 할 수 있다.

2.4 인장시험

인장시험은 BOM rivet을 적용한 시편을 만들어 만능 재료시험기를 사용하여 실시 하였다. BOM Rivet에 하중을 단계적으로 증가시키면서 Gap을 측정하였고, 하중 제거 후 변형량을 측정하였다.

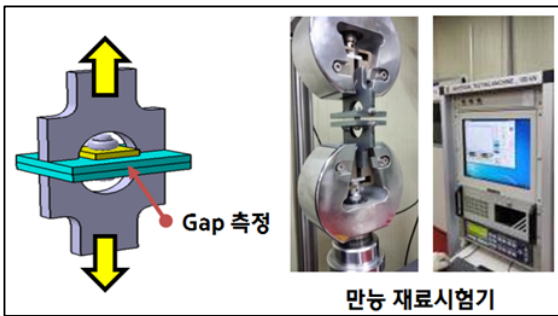


Fig. 4 Schematic Diagram of Tensile Test

2.5 인장시험 결과

인장시험 결과, 약 19.62kN 하중에서 소성 변형이 발생하였다. 따라서 전 단계 부가 하중인 17.17kN 이하의 하중과 0.75mm 변형량 이하에서는 소성 변형이 발생하지 않는다.

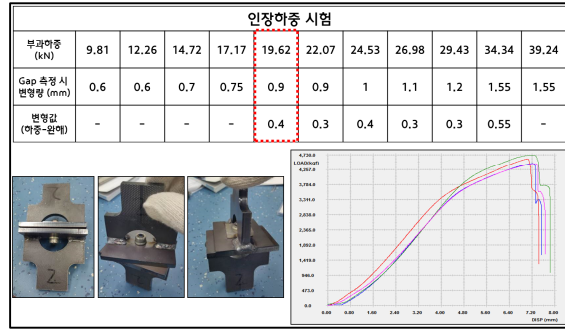


Fig. 5 Tensile Test of BOM Rivet

3. 결론

BOM Rivet 인장시험 결과, 17.7kN 초과 하중에서 BOM Rivet에 소성변형이 발생함을 알 수 있다. 이 시험결과를 토대로 해석 시 발생한 BOM Rivet의 최대 축력 값(8.82kN)을 비교해보면 하중 완해 시에 소성변형 없이 복원 될 것으로 판단 된다. 구조해석 결과를 보면 하중 완해 시 변형량이 0으로 복원됨을 확인할 수 있다.

EN12663-1의 차량 전체 리프팅 하중조건을 적용하여 구조해석을 수행한 결과, Hole Lifting Bracket 주위에서 발생한 응력이 사용재질의 허용응력 이내에 있으므로 구조적으로 안전한 것으로 판단된다.

따라서 본 논문에서 안정성을 검토한 BOM Rivet을 적용한 Hole Lifting Bracket은 구조적으로 안전하므로 해당 철도차량에 적용 가능한 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] British Standard (2014), *Railway applications– Structural requirements of railway vehicle bodies*, BS EN 12663-1:2010+A1:2014.
- [2] British Standard (2016), *Railway applications– Re-railing and recovery requirements for railway vehicles*, BS EN 16404:2016.
- [3] British Standard (2008), *Aluminium and aluminium alloys – Extruded rod/bar, tube and profiles Part 2. Mechanical properties*, BS EN 755-2:2008.