

**ADAMS/Rail과 ADAMS/Durability를 이용한
철도차량의 동응력 해석**
**Dynamic stress analysis of the railway vehicle using
ADAMS/Rail and ADAMS/Durability**

조연호* 이강운** 박길배*** 최중호****
Cho, Yon-Ho Lee, Kang-wun Park, Gil-bae Choi, Jung-Ho

ABSTRACT

Rotem has chosen ADAMS/Rail as the next generation analysis tool, to improve the capability and accuracy of the analysis ability. The dynamic performances of the railway vehicle, which is designed and manufactured by Rotem, have been analyzed and simulated using ADAMS/Rail. In this paper, Dynamic stress of bogie frame on running track is analyzed and compared with the data of real vehicle test. It is performed using ADAMS/AutoFlex and ADAMS/Durability.

1. 서 론

1.1 연구목적

일반적으로 알려진 철도차량의 동역학 해석은 복잡한 차량구조물 절량, 스프링 및 댐퍼의 수학적 요소로 모델링 한 후 휠/레일 접촉모델과 궤도 불규칙도 등의 조건을 적용하여 수행된다. 본 연구에서는 해석에 영향을 미치는 특정 절량요소를 유연체 모델로 치환하여 주행 중 발생하는 동응력을 해석적인 방법으로 고찰해보았다. 이러한 해석의 결과물은 결과의 검증 후 피로해석과 내구해석에 적용이 가능하다. 또한 본 연구의 결론부분에서는 해석대상의 실제 차량에 센서를 부착하여 주행 중 취득한 동응력 시험결과와의 비교를 통해 해석 모델의 취약점과 해석적 방법에 의한 동응력 해석의 방향을 제시해보고자 한다. 구조물의 정확한 해석은 시스템을 정확하게 묘사할 수 있는 모델의 수립이 우선되어야 하며, 유연체 모델을 사용한 해석의 경우 해석에 적용한 유한 요소모델의 정확도에 따라 결과의 차이를 크게 보인다. 따라서 유한요소 모델의 사용에 앞서 모델의 검증작업이 필요하다.

* (주)로템, 기초연구팀 연구원, 비회원
** (주)로템, 기초연구팀 책임연구원, 비회원
*** (주)로템, 기초연구팀 선임연구원, 비회원
**** (주)로템, 기초연구팀 주임연구원, 비회원

2. 본론

2.1 철도차량 모델의 구성

ADAMS/Rail은 ADAMS/Car⁵⁾과 더불어 델플리트컴 베이스로 하는 해석 소프트웨어이다. 전체 차량 모델은 크게 Car body, Front bogie, Rear bogie의 세 가지 서브시스템으로 나뉘어지며 각각의 서브시스템은 해당 모델의 특성을 결정짓는 델플리트로 구성되어 있다.

2.1.1 차량모델링

해석에 사용된 차량은 Air-Spring지지 방식의 Bolster less대차를 사용한 도시철도 차량으로 현재 운행 중인 차량 모델 중에서 선택하였다. 사용된 모델의 차량 계류은 도표 1,2와 같다.

도표 1. 대차 계류

Axle Load	16 Ton
Gauge	1435 mm
Wheel Base	2100 mm
1st Suspension	Roll rubber spring
2nd Suspension	Air spring
Traction System	Mono link
Brake System	Tread/ Disc
Gear Ratio	7.07 1
Wheel Radius	430 mm

도표 2. 차량 기본 계원

Mass	Car body	48.5 ton
	Bogie	3.42 ton
	Wheel set	1.64 ton
Dimension	Bogie pivot semi spacing	6.2 m
	Bogie semi wheelbase	1.05 m
	Height of Car body C.G from rail level	1.76 m
	Height of Bogie C.G from rail level	0.48 m
	Wheel Radius	0.43 m

대차에 포함된 여러 가지 요소들을 이루어진 델플리트컴 이용하여 Front Bogie, Rear Bogie를 구성하는 서브시스템을 모델링 하였다. 그림 1은 ADAMS/Rail을 사용하여 완성한 대차 모델이다.

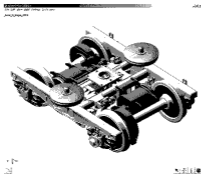


그림 1. ADAMS/Rail을 사용한 대차 모델링

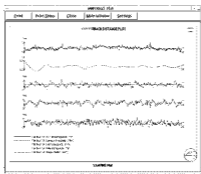


그림 2. Track160 궤도 불규칙도 데이터

2.1.2 선로 데이터 및 해석 조건

실제 선로 조건을 구현하기 위하여 그림 3에서와 같은 해석 구간으로 선정된 특정 구간의 선형용 1) VAMPIRE의 track design 파일로 모델링 하였으며, 궤도 불규칙 도는 VAMPIRE의 track 160 데이터를 사용하였다. 이러한 차량모델과 트랙, 불규칙도 데이터로 이루어진 해석모델은 몇 가지 간단한 해석을 통해 모델의 타당성을 검증한 후 시험데이터로부터 획득한 속도 프로파일을 이용한 주행 해석을 수행하였다.

그림 4는 시험데이터로부터 획득한 속도 데이터를 2kmPRESSion을 이용하여 그래프포로 표현한 후 계단식 데이터를 Smooth 필터를 이용하여 ADAMS/Rail에 사용할 수 있도록 수정한 그래프이다.

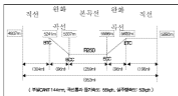


그림 3. 시험 구간의 Track Data

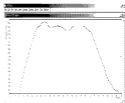


그림 4. 시험 데이터로부터 획득한 속도 데이터

2.1.3 유원체 모델링

장차로 해석을 수행할 모델이 해석상 문제가 없는 경우 특정 부분을 유원체 모델로 치환하는 작업을 진행한다. 유원체 모델을 사용한 해석을 수행하기 위해서는 MNF(Modal Neutral File)로 전달모형을 전환하는 과정이 필요하다. MNF는 ADAMS에서 유원체 모델을 이용한 해석을 수행하기 위해 필요한 입력 파일로서, 여러 가지 상용 해석 Software (ANSYS, ABAQUS, IDEAS, NASTRAN)를 사용하여 생성이 가능하며, MNF는 질량, 강성, 응력 등의 데이터를 매트릭스 형태로 구조화하여 포함하고 있다. 모드 중첩 법(CMS)을 응용한 유원체 해석 기법으로 Craig-Bampton, Guyan method, IRS 등 여러 가지 이론이 소개되어 사용되고 있으며, ADAMS는 Craig-Bampton 기법을 응용한 해석모형을 사용한다. 응력 데이터를 이용한 동응력 해석은 본 연구의 주요한 목적이므로 MNF생성 시 응력 데이터를 효과적으로 결합시키기 위해 완성된 CATIA 3D모형을 IDEAS로 입력하여 Mesh 작업을 수행한 후 ADAMS/AutoFlex를 사용하여 응력 데이터를 포함한 MNF를 생성하였다. 그림 5는 MNF생성 과정을 나타내 준다. 그림 6은 IDEAS를 이용하여 정적해석을 수행한 결과와 ADAMS상에서 MNF를 이용하여 정적해석을 수행한 결과를 비교한 그림이다. 동일한 경계조건과 하중을 주고 해석한 결과 최대 응력 값이 각각 188Mpa와 178Mpa로 유사한 결과를 보여준다. 또한 모드 해석을 수행한 결과에서 처음 30차까지의 주파수 값을 보면 CATIA와 IDEAS를 이용한 해석과 ADAMS로부터 생성된 MNF로부터 나온 모드 값이 유사함을 알 수 있다.



그림 5. MNF 생성 과정

IDEAS	ADAMS
Max = 188 Mpa	Max = 178 Mpa

그림 6. 정적해석 결과 비교

2.2 동충어 해석

유연체 모델을 포함한 동역학 해석의 경우 사용된 MNF파일이 응력정보를 포함하고 있다면 ADAMS Durability 모듈을 사용하여 동충어 해석과 피로 및 내구해석의 수행이 가능하다. 해석은 반경 250m 곡선구간을 포함한 길이 1000m의 구간을 선택하여 동충어 해석을 수행하였다. 구체적인 구간정보는 그림 3과 같다. 주행 중에 응력을 발생시키는 주요 원인으로서는 모터의 갑 가속과 브레이크의 작용력을 들 수 있다.

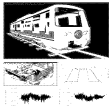


그림 7. 해석에 사용된 철도 차량 모델

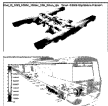


그림 8. ADAMS/Rail을 이용한 동충어 해석

모터의 갑 가속에 의한 충격 발생을 묘사하기 위해 시험에 의해 취득한 속도데이터를 입력 값으로 사용하여 해석을 수행 하였다.

2.3 동충어 시험

주행 중 대차 프레임에 발생하는 동충어를 측정하기 위하여 그림 9와 같은 부위에 스트레인 게이지를 부착 하였다. 그림 10은 설차에 스트레인 게이지를 부착한 모습과 시험에 사용된 장비이다. 사용된 스트레인 게이지는 KYOWA사의 1축 스트레인 게이지 이고 데이터 획득 장비는 HBM사의 MGC plus를 사용하였다.



그림 9. 스트레인 게이지 부착위치와 번호



그림 10. 설차에 부착된 스트레인게이지와 시험장비

3. 결론

3.1 해석 결과

반경 250m 곡선구간을 포함한 전체 길이 1000m 구간을 100초간 주행하도록 Cruise Control을 이용한 동역학 해석을 수행하였다. 해석결과에 ADAMS/Durability의 Nodal Plot기능을 사용하면 유연체 모델을 구성하고 있는 특정 노드에서의 응력 및 스트레인을 다양한 출력 형식으로 확인이 가능하다. 스트레인 게이지가 부착된 위치와 동일한 위치의 노드번호를 확인한 후 Nodal Plot기능을 사용하여 각점 노드의 응력을 출력한 결과와 시험결과를 비교하였다.

3.2 시험 결과

가속구간과 감속구간에서 응력이 크게 발생하며 본 곡선 구간에서는 응력이 작게 발생한다. 이러한 현상은 모터의 구동에 의한 가속과 감속 그리고 브레이크의 작용력이 프레임에 응력을 발생시키는 직접적인 주요 원인으로 작용하기 때문이다. 따라서 해석적인 방법으로 응력의 발생을 보다 정확히 묘사하기 위해서는 모터와 브레이크의 작용력과 그 힘의 전달경로의 파악이 우선되어야 한다.

3.3 비교 및 고찰

그림 11~그림 16은 해석결과와 시험결과를 비교한 것이다

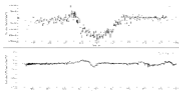


그림 11. 1번 게이지의 응력값

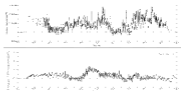


그림 12. 3번 게이지의 응력값

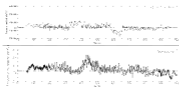


그림 13. 13번 게이지의 응력값

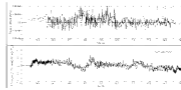


그림 14. 14번 게이지의 응력값

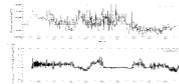


그림 15. 15번 게이지의 응력값

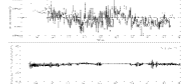


그림 16. 16번 게이지의 응력값

위쪽의 붉은 실선 그래프는 ADAMS를 사용하여 계산한 주행 중 발생된 동응력이고 아래쪽 파란 실선 그래프는 시험에 의해 획득한 동응력 결과이다. 프레임에 부착한 18개의 게이지 중에서 브레이크와 모터 그리고 기어박스과 연결되는 링크 결합부위 근처의 결과(그림 15, 16)는 많은 차이를 나타내지만 이러한 부위와 떨어져있는 프레임의 중간 부분(그림 12, 13, 14)이나 옆쪽에 위치한 곳의 게이지(그림 11)는 해석과 시험의 결과가 유사하게 나타나고 있다. 위와 같은 결과는 주행 중에 발생하는 응력은 브레이크 작용력과 모터의 가속 및 감속에 의한 토크의 전달에 의해 주로 발생하기 때문이다. 실제로 해석결과에 있어 모터의 토크와 브레이크의 작용력이 크게 기여하고 있으므로 속도를 입력 값으로 수행한 해석과 실제 시험에 의한 결과는 많은 차이를 나타냈다. 따라서 좀더 정확한 해석을 위해서 모터의 토크를 효과적으로 모델링하고 곡선 구간과 감속 구간에서 브레이크 작용력을 사실적으로 모델링 하여 해석을 수행할 수 있도록 다양한 해석 기법을 개발해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) MSC Software, "ADAMS User's Manual"
- (2) Roy R. Craig Jr. and Mervyn C.C. Bampton, July 1968, "Coupling of Substructures for Dynamic Analysis", AIAA Journal, Vol.9, No.7.
- (3) Christopher C. Flanigan, June 20-24 1994, "ACCURATE ENFORCED MOTION ANALYSIS USING MSC/NASTRAN SUPERELEMENTS", 1994 MSC/NASTRAN World Users Conference.
- (4) Ottarsson G, Mechanical Dynamics, 1997, "Modal Flexibility Implementation in ADAMS/FEA"
- (5) Clas Andersson, Johan Oscarsson and Jens Nielsen, "Dynamic Interaction between a Flexible Vehicle and a State-Dependent Railway Track"
- (6) J.Oscarsson, J.Nielsen and A.Igeland, November 16-19 1997, "Dynamic train/track interaction theory and fullscale experiments", WCCR'97, Vol.B, pp123-129.
- (7) Farhang Aslani, Manicka Yatheendar, "Simulation of Proving Ground Events For Heavy Truck Cabs Using ADAMS, MSC/NASTRAN, and P/FATIGUE".

1) VAMPIRE(Vehicle dynAmic Modeling Package In a Railway Environment)는 AEA Technology(故 British Rail Research)사에서 개발한 철도 차량 전용 해석 소프트웨어이다.

2) Nicolet이나 Gould 제품의 데이터의 전문 분석을 위한 소프트웨어로 32비트 코드를 사용하여 다채널 분석, 2-D, 3-D 다이어그램과 time-domain 및 frequency domain 분석, 결과에 대한 표 작성 등에 필요한 모든 기능을 손쉽게 가능하도록 한다.