

# ADAMS/Rail을 이용한 철도 차량 동특성 해석

## Dynamic analysis of the rail vehicle system with ADAMS/Rail

조연호\*, 이강운\*\*, 박길배\*\*\*, 양희주\*\*\*\*, 박현기\*\*\*\*\*

Cho, Yon-ho, Lee, Kang-wun, Park, Gil-bae, Yang, Hee-joo, Park, hyun-ki

### ABSTRACT

Rotem has been using VAMPIRE for simulation and verification of the railway vehicle design. To improve the capability and accuracy of the analysis ability, ADAMS/Rail has been chosen as the next generation analysis tool. The dynamic performance of the railway vehicle, which is designed and manufactured by Rotem, is analyzed and simulated using ADAMS/Rail. The critical speed for linear and non-linear stability on tangent track, curving performance on various curved track, ride quality, derailment coefficient and the eigen values are calculated. In this paper, the results from ADAMS/Rail are compared with VAMPIRE's results.

### 1. 서론

철도차량의 동특성은 직선구간에서의 안정성에 대한 선형, 비선형해석을 통한 임계속도, 곡선구간 통과성능을 대표하는 대차 회전저항, 차량의 안전성을 나타내는 탈선계수, 승객이 느끼는 승차감등으로 정의된다. 따라서, 철도차량의 동역학적 해석은 차량이 궤도를 따라 주행할 때 주행안정성, 승차감, 곡선 추종성능, 궤도에 가해지는 힘과 같은 동적 특성을 예측해 보는 것으로 차량의 설계평가와 검증 외에 현수장치의 최적설계에도 응용되는 것이다. ㈜로템에서는 철도차량의 동특성을 검토하기위해 영국의 AEAT/Rail사에서 개발한 VAMPIRE를 수년동안 성공적으로 사용하여 왔으며 이는 영국국철에서의 실험을 통해 그 신뢰성이 입증된 철도차량 전용의 동특성해석 Software이다. 향후 해석영역의 확대와 해석 기법의 다양화를 위하여 ADAMS/Rail을 최근에 도입하였으며 본 연구에서는 ADAMS/Rail의 성능을 검토하기 위하여 동일차량에 대해 ADAMS/Rail과 VAMPIRE로 해석을 수행하였으며 모델링방법과 해석결과 및 해석절차 전반에 대해 비교 검토 하였다.

\* 주식회사 로템, 중앙연구소 기초연구팀 연구원 joey@rotem.co.kr

\*\* 주식회사 로템, 중앙연구소 기초연구팀 책임연구원 kwlee@rotem.co.kr

\*\*\* 주식회사 로템, 중앙연구소 기초연구팀 선임연구원 gbpark@rotem.co.kr

\*\*\*\* 주식회사 로템, 중앙연구소 기초연구팀 선임연구원 yanghj@rotem.co.kr

\*\*\*\*\* 주식회사 로템, 중앙연구소 기초연구팀 연구원 hkpark@rotem.co.kr

## 2. 해석 모델

### 2.1 차량 모델

동역학해석을 수행하기 위해서는 차량을 질량, 스프링 및 댐퍼로 구성된 수학적모델로 전환하는 과정이 필요하다. VAMPIRE와 ADAMS/Rail 두 가지 모두 모델링방법에 있어 유사성을 가지고 있으며 각 프로그램의 고유한 방법으로 차량의 특성을 표현하는 과정을 거친다. Fig.1은 두 프로그램을 사용하여 구현한 차량의 모델이다.

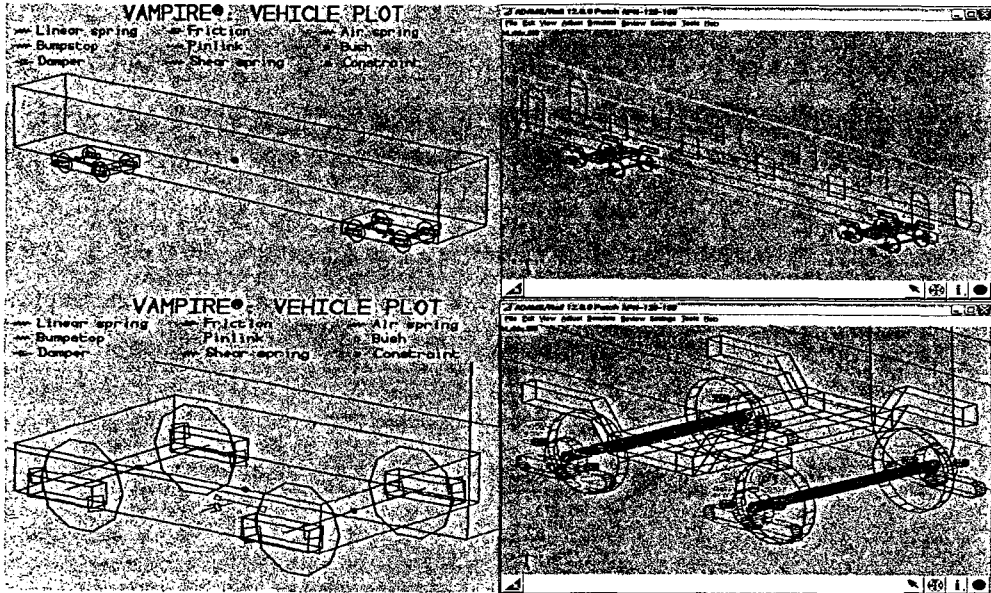


Fig.1. Modeling of Rail Vehicle

완성된 차량의 모델은 간단한 정적해석과 고유치해석을 통해 그 타당성을 검증하는 과정을 거치며 두 모델의 특성을 비교하는 방법으로도 사용된다. Table 1은 모델링에 사용된 차량의 기본 데이터이다.

Table 1. Vehicle basic data

Mass	Car body	52.48 ton
	Bogie (Sprung mass)	3.495 ton
	Wheelset (Unsprung mass)	1.753 ton
Dimension	Bogie pivot semi spacing	7.9 m
	Bogie semi wheelbase	1.1 m
	Height of carbody C.G above rail level	1.85 m
	Height of bogie C.G above rail level	0.414 m
	Wheel radius	0.425 m

## 2.2 입력 조건

차량의 동특성해석에서 그 결과에 크게 영향을 미치는 몇 가지 입력 조건이 있으며 그 중 가장 먼저 고려되는 것이 차량의 해석에 사용된 차륜과 레일의 형상과 특성, 그리고 궤도 불규칙도이다. ADAMS/Rail은 아직 풍부한 라이브러리가 제공되지 않으므로 VAMPIRE에서 제공해주는 기본 특성 정보들을 ADAMS/Rail의 입력 조건에 맞도록 변환하여 사용하였다. 차륜과 레일의 형상은 두 프로그램에서 사용되는 기본 좌표축이 틀리지만 좌표축을 이동하는 간단한 수치조작으로 서로 호환이 가능하다. 궤도불규칙도의 경우 ADAMS/Rail에서는 곡률틀림(Curvature irregularity)을 제외한 나머지 불규칙도를 간단한 수치조작을 통해 VAMPIRE에 사용된 입력 값을 동일하게 적용할 수 있다. 그 다음으로 고려될 사항은 앞서 언급한 차륜과 레일의 특성을 고려하여 해석 시 사용되는 접촉특성 값이다. VAMPIRE에서는 차륜과 레일의 형상과 특성값으로 Contact data를 생성하여 해석 시 참조한다. ADAMS/Rail에서는 몇 가지 접촉모델을 제시하고 있으며 해석의 종류와 경계조건에 따라 적절한 접촉모델의 선택이 중요하다. VAMPIRE와의 결과비교를 위해 ADAMS/Rail에서도 Contact data를 생성한 후 해석에 참조하는 방법을 사용하였다.

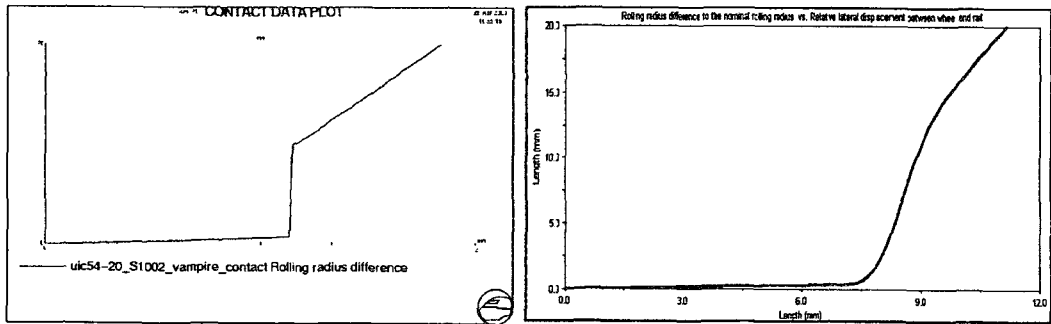


Fig.2. Rolling radius difference plot

Fig.2는 Contact data 생성시 나타나는 몇 가지 특성 중 Rolling radius difference 값을 비교한 그림이다. 기울기와 접촉이 일어나는 점의 위치가 거의 일치하며 유사한 경향을 보인다.

## 3 해석결과

### 3.1 정적해석과 고유치해석 (Static and Eigenvalue analysis)

정적해석과 고유치해석을 수행함으로써 대상차량에 대한 모델의 타당성을 검증하였다. 정적해석에서는 차량의 중량과 기하학적 특성만을 고려하여 각 운축에 걸리는 하중과 현가장치에 분산되어 나타나는 하중값을 계산함으로써 모델의 정적특성을 분석하였다. 고유치해석은 차량의 동적특성을 미리 판단해 볼 수 있는 방법으로서 현가요소와 스프링, 댐퍼, 부시 등의 선형 혹은 비선형 입력값이 포함된 수학적 차량모델의 적정성과 대칭성 여부를 알 수 있으며 각각의 모드를 분리하여 각 모드별 특성을 확인해 볼 수 있다. Fig.3은 각각의 프로그램에서 모드해석을 수행한 결과를 보여 주고 있다.

애니메이션기능을 이용하여 모드의 움직임과 함께 각 모드의 주파수와 댐핑계수를 직접 확인 해 볼 수 있다.

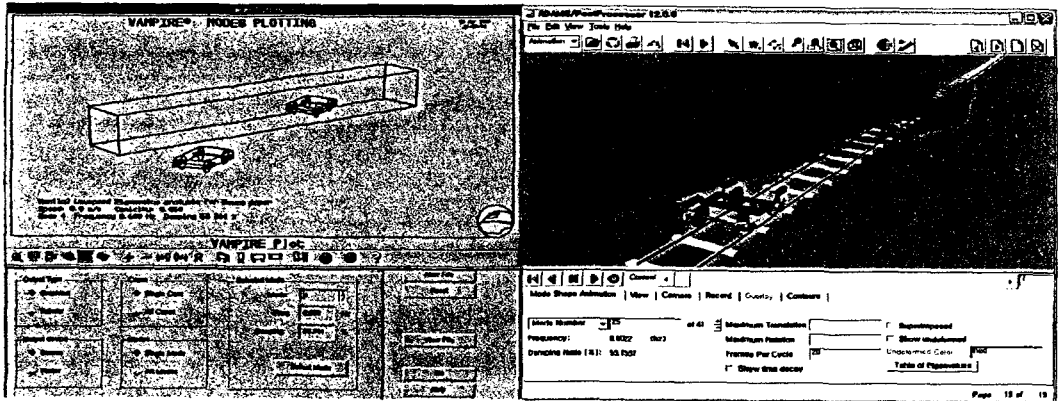


Fig.3. Mode animation of results

Table 2는 각각의 프로그램을 통해 구한 모드 값을 표로 정리한 결과이다. 각각의 모드의 주파수와 댐핑값을 비교해 보면 유사한 결과를 나타내고 있으며 모드의 발생순서가 정확히 일치함을 알 수 있다.

Table 2. Low speed eigen values

	Mode	Frequency (Hz)		Damping (%)	
		Vampire	Adams/Rail	Vampire	Adams/Rail
Car Body	Roll	0.302	0.36	18.354	13.071
	Yaw	0.6	0.602	53.344	53.154
	Sway	0.807	0.727	47.603	55.195
	Bounce	1.085	1.092	11.052	10.91
	Pitch	1.334	1.308	11.068	10.919
Bogie	Bounce	9.574	9.57	26.956	26.986
	Roll	10.873	10.865	35.764	35.456
	Pitch	12.917	13.305	42.15	42.615
	Yaw	29.5	29.445	44.474	44.725

### 3.2 안정성해석 (Stability analysis)

차량의 주행안정성에 큰 영향을 미치는 요소로 차륜담면구배(Conicity)를 들 수 있으며, 차륜담면구배에 따라 변화하는 차량의 임계속도를 산출하였다. Fig.4는 각 프로그램에서 차륜담면구배가 0.4인 마모차륜에서의 임계속도 그래프이다. 각 프로그램에서의 해석결과로부터 5% least damping을 기준으로 한 임계속도를 살펴보면 VAMPIRE에서는 41m/s, ADAMS/Rail에서는 42.8m/s의 결과가 나왔으며 마모차륜에서의 임계속도가 매우 유사함을 알 수 있다.

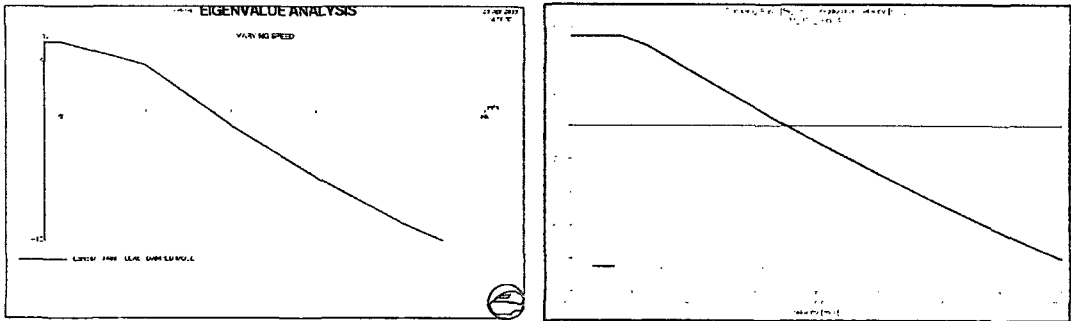


Fig.4. Critical speed calculation plot

차량의 임계속도는 차량주행 시 안정성확보에 있어 매우 중요한 요소이며 임계속도의 일반적인 기준은 5% least damping 값에서 차량최고운행속도의 1.1배 이상이어야 한다.

### 3.3. 안전성해석 (Safety analysis)

차량의 안전성은 횡압, 탈선계수, 운중감소율을 구하여 평가한다. 탈선계수는 차륜과 레일의 횡방향작용력과 수직방향하중의 비로서 나타내며 동적운중감소율은 감소된 운중과 정적운중의 비로서 나타낸다. 횡압은 차륜과 레일의 횡방향작용력을 말한다. 탈선계수는 일반적으로 차량주행방향의 선두차륜에서 가장 큰 값을 나타내며 운중감소는 궤도의 곡선을 따라 주행 시 외측으로의 원심력발생에 의해 내측차륜에서 작아지는 경향을 보인다. Fig.5~7은 곡선 반경이 300m인 구간을 45km/h의 속력으로 주행 시 선두차륜에 나타나는 동특성 값들을 비교한 결과이다. 결과에서도 알 수 있듯이 lateral force와 vertical force의 경향은 잘 일치하고 있으나 lateral force의 값이 약간 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 Wheel/Rail contact을 고려하여 해석을 수행할 때 접촉모델을 생성하고 적용하는 방법에 있어 약간의 차이가 있기 때문이며 보다 심도 있는 연구가 진행 되어야 할 것으로 판단된다. ADAMS/Rail의 초기상태에서 첫번째 차륜의 위치가 이미 21m만큼 이동된 상태에서 해석이 진행되므로 VAMPIRE와 21m만큼의 해석시간과 결과의 차이를 보이고 있다.

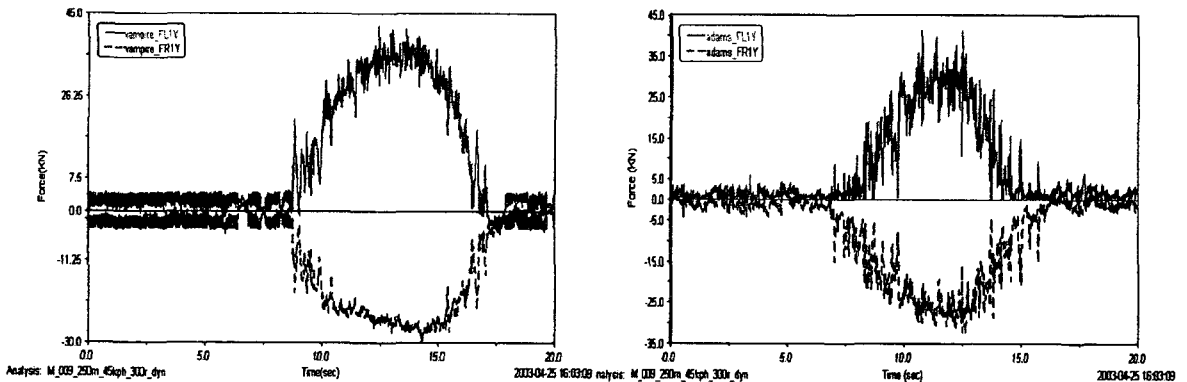


Fig.5. Lateral Force of 1st Wheelset (VAMPIRE, ADAMS/Rail)

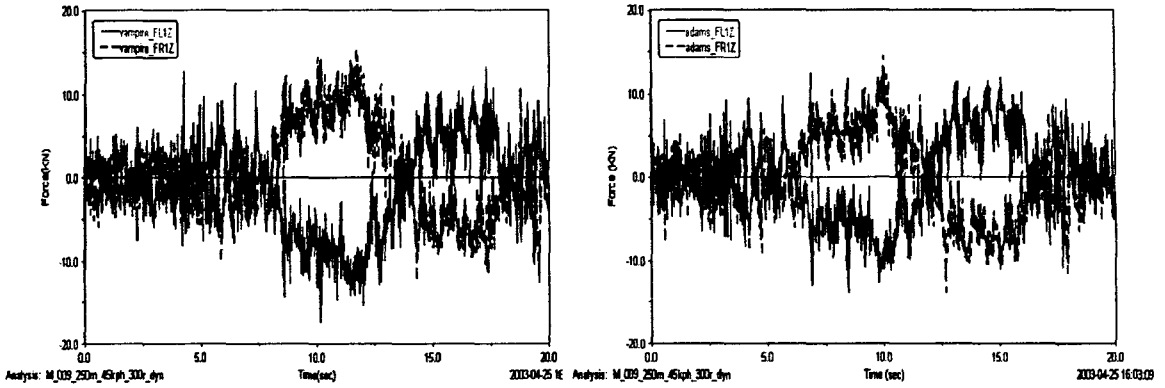


Fig.6. Vertical force of 1st Wheelset (VAMPIRE, ADAMS/Rail)

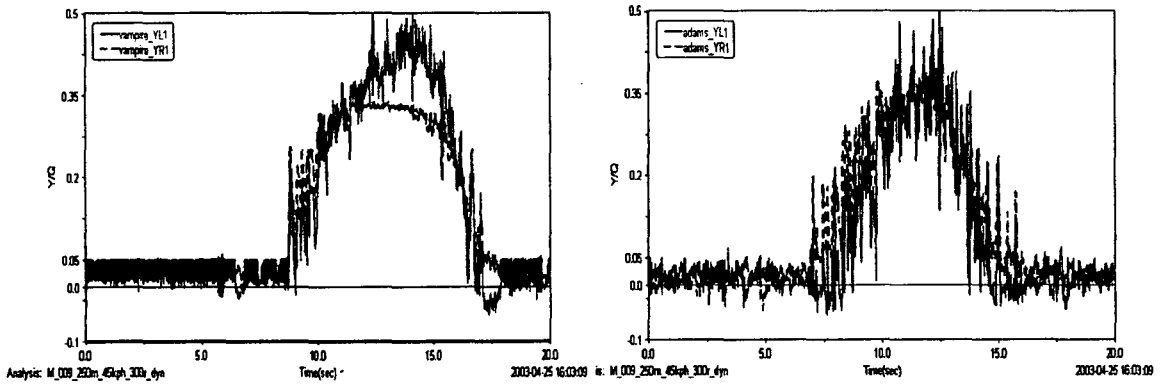


Fig.7. Y/Q of 1st Wheelset (VAMPIRE, ADAMS/Rail)

### 3.4 승차감해석 (Ride index)

차량의 승차감이란 차량에서 측정된 진동가속도를 사람이 느낄 수 있는 수준으로 보정하여 나타내는 지수로서 UIC(N), UIC(Wz), ISO(dB)등이 있으며, ADAMS/Rail과 VAMPIRE의 결과를 비교하기 위해 1000m직선구간을 80km/h의 속도로 주행 시 UIC(Wz)와 ISO(dB)값을 구하여 비교하였다.

Fig.8은 승차감지수를 구하기 위해 해석대상이 된 Leading bogie, Trailing bogie상부의 차상진동가속도 값을 나타낸다.

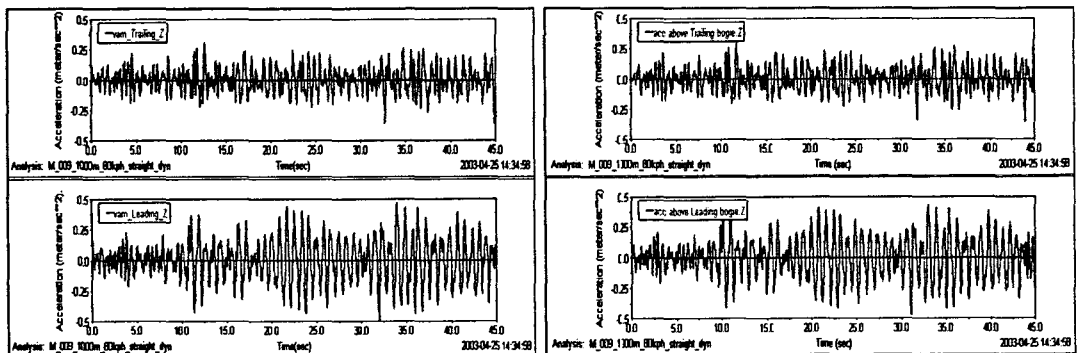


Fig.8. Vertical acceleration of carbody above Trailing bogie & Leading bogie center

Table 3은 승차감지수를 표로 정리한 결과이다.

Table 3. Ride index of vehicle

	Wz index		RMS(m/s <sup>2</sup> )		ISO index (dB)		Criteria	
	VAMPIRE	A/Rail	VAMPIRE	A/Rail	VAMPIRE	A/Rail	Wz	ISO
Lateral .Leading bogie	1.40	1.40	0.06	0.05	95.5	93.5	2.5	105
Vertical .Leading bogie	1.87	1.90	0.17	0.16	104.7	104.3	2.5	110
Lateral .Trailing bogie	1.48	1.42	0.06	0.05	96.2	94.2	2.5	105
Vertical .Trailing bogie	1.62	1.67	0.10	0.10	99.9	99.7	2.5	110
Longi .Car body	1.24	1.29	0.03	0.02	88.8	87.9		

#### 4 결론

본 고와 유사하게 여러 가지 동특성해석을 부분적으로 비교하는 벤치테스트는 여러 차례 수행되어져 왔으나 본 고에서는 실제차량의 동특성해석에 직접 적용하기 위해 이미 검증된 결과와의 비교를 시도해 보았다. 정적해석, 고유치해석, 안정성해석, 안전성해석, 승차감 해석결과 대부분의 값들이 만족할만한 수준의 유사성과 정확도를 나타내어 주었다. 그러나, Wheel/Rail 접촉해석방법을 포함하여 아직 두 프로그램간의 호환성이나 해석영역의 차이, 해석방법에 대한 상이성으로 인해 해결해야 할 문제점이 많이 남아있으며 이를 해결하기 위하여 많은 연구와 노력이 기울어 져야 할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

1. "ADAMS Manual"(ADAMS View User's Guide, ADAMS Rail). MSC Software.2002
2. "VAMPIRE User Manual", AEAT/Rail.
3. "The Manchester Benchmarks for Rail Vehicle Simulation". Swets & Zeitlinger.