

주강대차 컨테이너화차의 주행안전성 평가

Estimation of running safety of cast steel bogie used on container carrier car

함영삼* 홍재성** 정우진** 오일근***
Ham, Young-Sam Hong, Jai-Sung Chung, Woo-Jin Oh, Il-Geun

ABSTRACT

Domestic freight car holding amount is possessing much amount than other vehicle model about 14,000. Problem is happening in bogie device of cast steel structure because is structure that there are many wear departments. Therefore, the KNR is restricting running speed of empty car by 70km/h low. In this research, presented speed elevation way as dynamic characteristics analysis result that use ADAMS and confirm running safety by main line test.

1. 서론

국내의 화차 보유량은 14,000여대로 다른 차종에 비해 많은 량을 보유하고 있으며, 주강구조의 대차 주행상치는 마모부가 많은 구조이기 때문에 보수주기 단축, 주행성능 저하 등의 문제가 발생하고 있다. 이러한 원인으로 인하여 철도청에서는 화물을 적재하지 않은 화차의 운행최고속도를 70 km/h로 제한하기에 이르렀고, 이에 따라 운송효율이 떨어지고 물류비 증가의 요인으로 작용하고 있는 시점에서 주강대차 공차의 속도향상방안을 검토하게 되었다.

철도청은 1990년에 컨테이너화차의 운행속도를 70km/h에서 90km/h로 향상시킨 이후 National C-1 대차와 Barber 대차가 공차런성 후부차량에서 차륜 부상으로 인하여 탈선하는 사고가 발생하여, 1994년 이후 고속화차를 제외한 공차의 운행속도를 70km/h로 제한하고 있다. 화물을 적재하지 않은 차량의 속도가 70km/h로 제한됨에 따라 운송효율이 떨어지고 물류비 증가의 요인으로 작용하고 있는 현 시점에서 주강대차 공차의 속도향상방안 연구는 반드시 필요하다고 할 것이다.

철도차량의 주행안전성을 저해하는 중요한 요인은 탈선이다. 철도에 있어서 탈선은 대형사고로 적절되기 때문에 결코 쉽게 간과할 수 없는 부분이며, 철도가 다른 교통수단에 비해 상대적인 장점으로 내세울 수 있는 안전성을 확보하기 위하여 반드시 차유과 레일 사이에서 발생하는 상호작용력을 측정하여 탈선계수를 평가하고 주행안전성을 확인하여야 한다.

본 연구에서는 ADAMS를 이용한 동복성 해석결과와 실차시험으로 주행안전성을 확인한 결과로서 속도향상방안을 제시하였다.

*한국철도기술연구원 차량기계연구본부 책임연구원, 김희원
**한국철도기술연구원 차량기계연구본부 선임연구원, 정희원
***한국철도기술연구원 WCRR유치기회단 수석연구원, 김희원

2. 동특성 해석

2.1 프로그램 개요

ADAMS는 세계적으로 널리 사용되어지고 있는 기계 시스템 시뮬레이션 소프트웨어로서, 이 프로그램을 이용하여 virtual prototypes을 쉽고 빠르게 제작하고 테스트할 수 있으며 가시적, 그리고 수학적인 실제 시뮬레이션을 통해 복잡한 기계 시스템의 최적 설계를 수행할 수 있다.

이러한 작업을 위해 구체적으로 ADAMS 프로그램 내에 정형화되어진 기계 요소들을 결합하여 기계시스템을 제작하거나 이미 다른 CAD 프로그램에서 제작되어진 3D 형상을 읽어 들여 복잡한 기계 시스템을 제작할 수 있으며 이렇게 만들어진 시스템에 실제와 같은 구속조건을 부여하고 자유도를 결정하여 force 혹은 motion을 부여함으로써 물리적으로 실제와 같은 kinematic, dynamic, static, 혹은 quasi-static 3D 테스트를 수행하게 한다. 이렇게 얻어진 결과는 사용자가 정의한 설계 변수를 이용하거나 혹은 프로그램에서 시뮬레이션시 자동적으로 생성되어지는 설계변수를 이용하여 그래프나 animation을 통해 검증하고 또한 결과 데이터를 다른 응용 프로그램으로 interface시킬 수 있다.

2.2 모델링 및 해석

해석에 사용된 차량모델은 Table 1~3 및 Fig. 1과 같이 주장대차 구조의 컨테이너화차로서 76000호대를 기준으로 하였다.

Table 1 질량요소 경의 및 특성치

No.	구분	부계중심 좌표(m)			중량 (ton)
		X	Y	Z	
1	차체(연결장치 포함)	0.0	0.0	1.3	12.5
2	전위 대차 사이드프레임(우측)	5.375	0.978	0.550	0.305
3	전위 대차 사이드프레임(좌측)	5.375	-0.978	0.550	0.305
4	전위 볼스터	5.375	0.0	1.300	0.407
5	후위 대차 사이드프레임(우측)	-5.375	0.978	0.550	0.305
6	후위 대차 사이드프레임(좌측)	-5.375	-0.978	0.550	0.305
7	후위 볼스터	-5.375	0.0	1.300	0.407
8	차축/차륜세트 1위	6.213	0.0	0.430	1.61
9	차축/차륜세트 2위	4.537	0.0	0.430	1.61
10	차축/차륜세트 3위	-4.537	0.0	0.430	1.61
11	차축/차륜세트 4위	-6.213	0.0	0.430	1.61
11	계	-6.213	0.0	0.430	20.974

Table 2 스프링 강도 계산서

Type of Spring	Bolster Spring		Friction Spring
	Outer Spring	Inner Spring	
Mat. Dia.(mm)	24.2	15.9	13.5
Coil Diameter(mm)	115.5	69.8	67.5
전권수	7.4	10.5	12.8
유효권수	5.4	8.5	10.8

Table 3 대차 스프링 특성치

Type of Spring	Bolster Spring		Friction Spring
	Outer Spring	Inner Spring	
Spring Constant(kg/mm)	40.00	20.00	10.38
Free Height(mm)	260.40	261.90	285.80
Tear State	Load(kg)	399.20	367.24
	Deflection(mm)	9.98	11.48
	Height(mm)	250.42	250.42
	Stress(kg/mm ²)	11.00	13.83
Loaded State	Load(kg)	2098.29	808.16
	Deflection(mm)	52.46	77.86
	Height(mm)	207.94	207.94
	Stress(kg/mm ²)	57.84	74.03
Test Load	Load(kg)	3748.00	1236.26
	Deflection(mm)	93.70	119.10
	Height(mm)	166.70	166.70
	Stress(kg/mm ²)	103.32	113.24

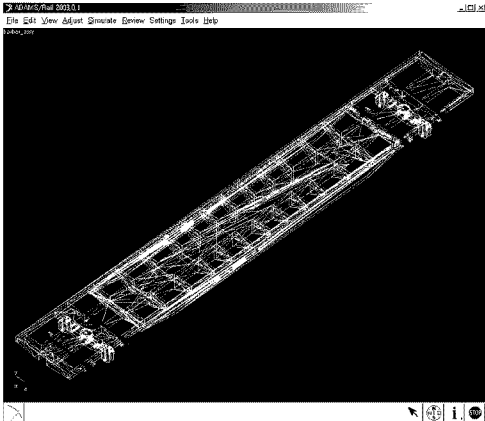


Fig. 1 주강대차 컨테이너화차 모델

Fig. 2는 곡선반경 400m 구간은 90km/h로 진입할 때 탈선계수 해석결과를 나타낸 것인데 최대 값은 0.75 미만으로서 속도향상 가능성을 발견할 수 있었다.

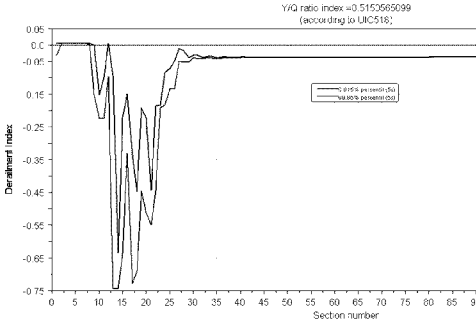


Fig. 2 400R 진입시 탈선계수 해석결과

3. 실차주행시험

3.1 계측시스템 구축

시험열차는 Fig. 3과 같이 편성하여 760815호 차량에 진행방향으로 전부대차의 1위축에 측정용 윤축을 투입하고, 좌우 측상 끝단에 Slip Ring을 설치하여 회전체의 신호를 고정체로 전송하도록 구성하였으며, 차량내부에 Dynamic Strain Amplifier, Data Recorder, Signal Processor, Notebook Computer, Speed Distance Meter 등을 설치하여 계측시스템을 구축하였다.

차축이 회전하면 차축 단부에 장착된 엔드캡이 회전하면서 슬립링의 회전부가 함께 움직이고 연결된 리드선을 통해 신호가 전달된다. 이 신호는 차량내부로 전달되어 Dynamic Strain Amplifier를 통해 증폭된 뒤 Data Recorder에 저장됨과 동시에 Signal Processor에서는 실시간 데이터 분석이 이루어진다. Notebook Computer를 통해 모든 신호를 감시하였으며, Speed Distance Meter에서는 속도와 거리를 계산하고 표시하도록 구성하였다.

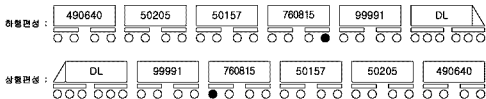


Fig. 3 시험열차 편성순서

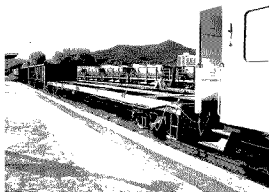


Fig. 4 시험열차 편성



Fig. 5 시험차 내부의 제어시스템

3.2 탈선계수 시험결과

탈선계수, 윤중감소율, 횡압 등을 분석할 때는 탈선계수 측정용 윤축이 Leading축이 되는 경우에만 분석을 하여 공차는 하행선, 열차는 상행선에서만 실시하였다. 이것은 측정용 윤축이 Trailing축보다 Leading축으로 주행할 때 궤도나 차량의 특성에 의한 영향이 보다 크게 발생하기 때문이다. 또한 주행안전성 면에서 볼 때 공차조건이 보다 열악하기 때문에 공차시험에 대하여만 언급하고자 한다. 차를 단위로 윤중을 측정하였는데, 영업선로에서 윤중을 측정하기 때문에 측정지점이 완전한 평탄선이 아니었고 좌우와 전후의 윤중이 다르게 나타났다. 따라서 정적인 윤중은 경하중 시험설에서의 측정값과 5km/h 미만 정속주행 시험결과로부터 공차는 2.3315톤, 열차는 7.3985톤으로 결정하였다.

공차 주행시험은 경부선 김천에서 왜관까지 하행선 구간에서 최초 70km/h부터 시작하여 실시간으로 주행안전성을 확인한 후 5km/h씩 속도를 향상시키면서 90km/h까지 실시하였다. 여기에서는 90km/h로 주행할 때의 데이터만 나열하였는데, Fig. 6은 이동거리에 따른 측정데이터를 종합한 것이며, Fig. 7은 궤간확대에 대한 횡압한도를 보여주고 있고, Fig. 8은 탈선계수를 민도누적확률로 나타낸 것이며, Fig. 9는 윤중감소율을 민도누적확률로 분석한 것이다.

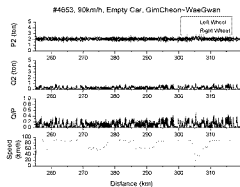


Fig. 6 공차 시험결과 종합(90km/h)

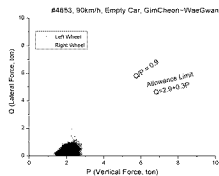


Fig. 5-7 공차 횡압허용한도(90km/h)

#4653, 90km/h, Empty Car, GimCheon-WaeGwan

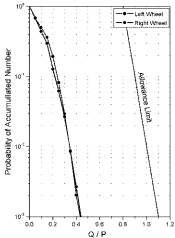


Fig. 5-8 공차 탈선계수(90km/h)

#4653, 90km/h, Empty Car, GimCheon-WaeGwan

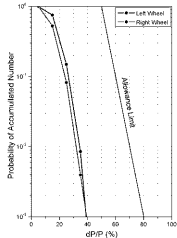


Fig. 5-9 공차 용종감소율(90km/h)

4. 결론

주강대차 컨테이너화차의 이론해석과 더불어 주행안전성시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

- (1) 전체적으로 볼 때 차량의 주행안전성은 양호하여 90km/h까지 속도를 향상하더라도 안전한 것으로 판단된다.
- (2) 주행속도 90km/h까지의 탈선계수를 빈도누적확률로 평가할 때 충분히 안전하였으며, 이러한 경우에도 탈선계수는 0.9를 초과하지 않았다.
- (3) 곡선전도를 주행할 때 차량의 흔들림이 레일에 접촉하면서 횡압과 탈선계수가 가장 크게 발생 하는 것으로 나타났다.
- (4) 용종감소율은 허용한도 이내로 나타났다.
- (5) 횡압은 Q/P의 한도와 궤간확대의 한도로 볼 때 안전하였다.

참고문헌

1. 함영삼, 오덕열, 화물수송용 소형전동차의 인계속도와 주행성능 평가, 2003년 12월호 한국철도학회 논문지 제6권 제4호, pp. 215~220, 2003. 12
2. Young-Sam Ham, Jai-Sung Hong, Taek-Yul Oh, Running safety estimation of korean style high speed railway vehicle, 11th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing(APCNDT 2003), The Korean Society for Nondestructive Testing, November 3~7, 2003
3. 함영삼, 오덕열, 광주도시전도 전동차의 곡선주행성 및 주행안전성 평가, 2004년도 대한기계학회 춘계학술대회논문, pp. 745~750, 2004. 4
4. 함영삼, 정우진, 서정원, 차륜/레일 접촉력 측정을 위한 레이저기술과 스트레인게이지 응용기술 비교, 한국철도학회 춘계학술대회논문집 CD, 2004. 6