

차세대 고속철도(HEMU-400X)의 주행 거동 분석

Running Behavior Analysis on the Next Generation High-Speed Railway Vehicle Model

*조재익¹, #박태원², 김지영¹, 정기범¹, 심경석¹, 김영국³

*J. I. Cho¹, #T. W. Park(park@ajou.ac.kr)², J. Y. Kim¹, Y. G. Kim³

¹ 아주대학교 기계공학과, ² 아주대학교 기계공학부, ³ 한국철도기술연구원

Key words : UIC518, Running behavior

1. 서론

철도 선진국들은 2000년 이후 차량개발 동향이 수송용량 증대와 고속화에 초점이 맞추어져 있다. 유럽연합에서는 최고속도 350km/h를 목표로 고속철도(프랑스 AGV, 독일 Velaro-E)를 개발하였으며, 일본 또한 최고속도 400km/h의 고속철도(FASTECH 360)를 개발하였다.[1] 이러한 선진 고속철도는 고속화를 위하여 동력 분산식 추진시스템을 선택하여 개발하고 있으며, 동력 분산형 열차는 시스템에 많은 동력원이 장착되어 있어 견인력이 높고 가속성이 좋은 장점이 있다.[2] 이에 맞춰 우리나라도 동력분산방식을 적용하여, 최고 시험속도 400km/h, 상용 속도 370km/h를 목표로 하는 차세대 고속철도를 개발하고 있다. 이러한 속도향상을 위해서는 많은 고려사항이 있지만 주행 중에 발생하는 동적거동은 속도가 높아지면서 더욱 중요한 고려사항이 되고 있으며, 초기 차량 개념설계 단계부터 분석되어 성능 입증 시험평가까지 관리되어야 하는 위험요소로 간주되고 있다.[3]

본 논문에서는 차세대 고속철도를 모델링하고 주행거동을 분석하였다. 주행거동분석은 차체의 횡 가속도 및 수직 가속도를 측정하여, UIC 518의 Simplified Method 분석방법에 의하여 계산되어진다.[4] 해석 구간은 KTX 경부선의 30km 구간을 선택하여 직선부, 완회부, 곡선부가 해석구간에 모두 포함된다. 이러한 연구결과는 차량의 기본설계 단계에서 차량의 주행성능을 확인하는 기초자료로 활용될 수 있다.

2. UIC 518 안전기준

2.1 시험영역

차세대 고속철도는 반경 7000m 이상의 구간에서 최고속도 400km/h로 주행한다. UIC 518에서 정의된 시험영역은 직선구간, 반경 600m 이상 및 이하의 곡선 구간에 대해서 각각 정의되어 있다. 본 연구에서 최고속도 시험 영역은 직선 구간 및 반경 600m 이상의 곡선 구간이 해당되며, 이에 대한 시험구간, 주행속도, 구간길이 등을 Table 1에 정리하였다.[4-5]

Table 1 Test Zone of the UIC 518

Test zone	Tangent track	Large radius curve (R>600m)
Test speed	$V=1.1V_{lim}$	$V_{lim} \leq V \leq 1.1V_{lim}$
Cant deficiency	$I \leq 40mm$	$0.75 I_{adm} \leq I \leq 1.10 I_{adm}$
Number of sections	$N \geq 25$	$N1 \geq 25$ with $0.75 I_{adm} \leq I \leq 1.10 I_{adm}$ including $N2 \geq 0.2 N1$ with $I=1.10 I_{adm}$ (Single section per ransition)
Length of each section	$l=500m$ if $V_{lim} > 220km/h$	$l=500m$ if $V_{lim} > 220km/h$
Minimum length of the zone	$L=Nl \geq 10km$	$L=Nl \geq 10km$

V_{lim} : vehicle operating speed limit

I_{adm} : permissible cant deficiency

2.2 평가값 계산

차세대 고속철도의 안전성 평가를 위하여, UIC 518을 기준으로 가속도계를 이용한 Simplified Method를 적용하여 주행성능을 평가하였다. Simplified Method를 이용한 계산 방법을 Fig. 1에 나타내었다.[6] 먼저 UIC 518에서 제시하는 지점에서 차체의 가속도 값을 측정한다. 가속도 값은 각 항목에 맞게 필터링을 하고 Table 1의 조건에 맞추어 시험영역(Test zone)을 구간(Section)으로 구분한다. 각각의 구간에서 F1 또는 F2의 값이나 R.M.S 값을 추출하고, 전체 구간에 대해서 추출된 값의 평균과 표준편차를 계산한다. 그리고 계산된 평균과 표준편차에 적절한 계수를 이용하여 평가값(Estimated Value)을 계산할 수 있다.[4]

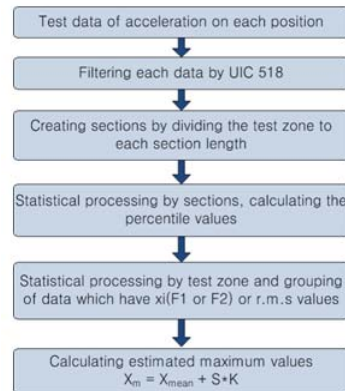


Fig. 1 Processing of estimated value calculation by UIC 518

3. 동역학 해석

3.1 차량 모델링

차세대 고속철도는 최고속도 400km/h를 목표로 하는 차량이다. 본 연구에서는 ADAMS/Rail을 이용하여 Fig. 2와 같이 1량 모델의 차세대 고속철도를 모델링 하였다.



Fig. 2 Vehicle Modeling using ADAMS/Rail

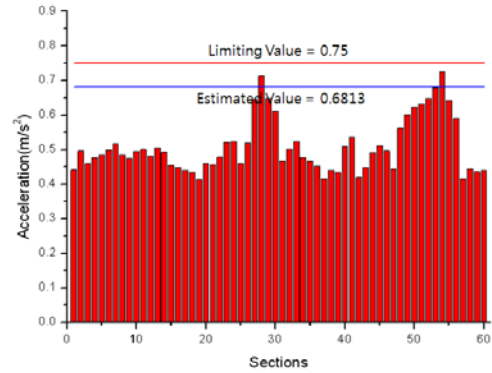
3.2 주행 성능 해석

차세대 고속철도의 주행거동을 실제 트랙(Track)에서 측정하기 위하여, KTX의 경부선 중 풍세교에서 비룡터널까지의 30km 선로를 트랙으로 생성하였다. 차량의 가속도 값을 측정하기 위하여 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 여러 지점의 측정지점(Request)을 생성하고 가속도 값을 비교하였다. 그리고 가장 심하게 흔들리는 지점에서 평가값(Estimated Value)을 도출하였다. 차체의 측정지점은 차체와 대차의 연결장치가 있는 4번 지점에서 수행하였다. 차량의 주행속도는 최고속도 400km/h의 주행을 위하여 10%를 더한 440km/h의 속도로 해석하였다.



Fig. 3 The check point of the acceleration on body

주행 거동(Running Behaviour) 분석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그래프에서 한계치(Limiting Value)는 UIC 518에서 규정된 값이며, 평가값은 Fig. 1에서 정의한 순서로 계산된 값이다. 총 30km의 해석 구간 중 완화부를 포함한 곡선구간은 12.5km ~ 14.85km 구간과 23.6km ~ 27.8km 구간이 해당된다. 이 구간은 26~30번째와 48~56번째에 해당한다. 막대그래프의 경향성을 보면 가속도가 높게 나온 부분이 곡선부이고, 낮게 나온 부분이 직선부임을 쉽게 알 수 있다. 직선부의 평가값은 전체적으로 매우 만족할 만한 수준으로 나온 것을 볼 수 있다. 하지만 곡선부에서는 UIC 518에서 정의한 한계치에 매우 근접해 있는 것을 볼 수 있다.



(d) Vertical R.M.S Acc. on Body

Fig. 4 The Analysis Result of the Running Behavior

4. 결론

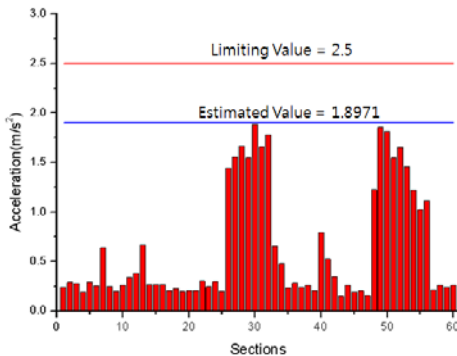
본 연구에서는 차세대 고속철도(HEMU-400X)를 모델링하고 최고속도 400km/h로 주행하기 위하여 주행거동분석을 하였다. 차량의 주행거동 분석은 UIC 518의 Simplified Method를 이용하여 평가값을 도출하고, 한계치와 비교함으로써 차량의 안전성을 확보할 수 있다. 특히 차량의 직선 및 곡선구간을 모두 포함하고 있는 30km의 구간 전체를 시뮬레이션 함으로써 차량의 실제 운행환경과 근접한 해석을 하였다. 시뮬레이션 속도는 최고속도에 10%의 속도를 더하여 해석하였다. 따라서 곡선구간은 최고속도로 주행이 가능한 반경 7000m이상의 구간만 해당된다. 주행거동 분석결과 직선구간에서는 매우 양호한 결과값이 나왔지만 곡선구간에서는 한계치에 근접하는 높은 수치가 나왔다. 따라서 직선이 아닌 구간에서는 최고속도보다 낮은 속도로 주행하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 향후에는 6량 모델을 구성하여, 차량의 거동을 분석하고, 반경 7000m 구간에서 속도별 평가값을 도출한다면 적정 속도를 제안할 수 있을 것이다.

후기

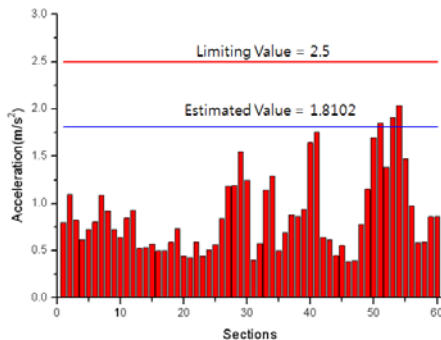
본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호07 차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

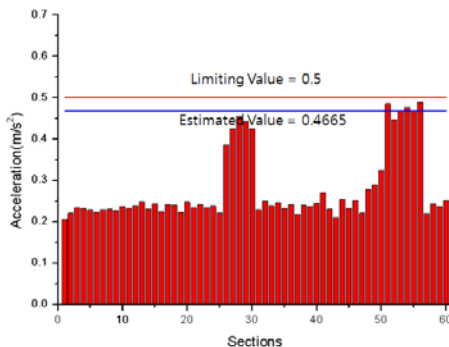
1. 김기환, 박찬경, 김석원, “차세대 고속철도기술개발사업 추진방향”, 한국철도학회, 춘계학술대회논문집, pp.7-12, 2006.
2. 송달호, 민경호, “동력분산형 고속철도 차량성능 및 운용 기반기술 연구”, 한국철도학회, 춘계학술대회논문집, pp.1214-1219, 2008.
3. 박찬경, 김영국, 김기환, 김영모, “개념단계에서 차세대고속철도 6량 편성차량의 현가요소 특성 분석”, 한국철도학회, 춘계학술대회논문집, pp.387-392, 2008.
4. UIC code 518 OR, "Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour-Safety-Track fatigue-Ride quality", 2003.
5. 이강운, 박길배, 양희주, “철도차량 동적 주행성능 시험 및 인증관련 국제규격(UIC 518) 고찰 및 적용”, 한국철도학회, 춘계학술대회논문집, pp.38-43, 2005.
6. 박찬경, 김기환, 김영국, 김석원, 목진용, “UIC 518의 진동 가속도 계측을 통한 한국형 고속전철의 350km/h 주행 동적 거동 평가”, 한국철도학회논문집, 제 9권, 제 5호, pp.544-549, 2006.



(a) Lateral Max Acc. on Body



(b) Vertical Max Acc. on Body



(c) Lateral R.M.S Acc. on Body