

동력분산형 고속전철의 진동저감기술 연구

Vibration Reduction for the High-Speed EMU under Development

신범식* 천광욱** 최연선**
Shin, Bum-Sik Chun, Kwang-Wook Choi, Yeon-Son

ABSTRACT

Type of the high-speed train under development has been decided to be EMU(electric multiple Units) following the trend of the times, which is weak for vibration and noise due to the distributed traction unit of motors and gears than that of the articulated high-speed train. Also, passengers may feel uncomfortable at high-speed running due to the various vibration of vehicle itself and bogie, especially due to hunting, snake motion of the high-speed train. In this paper, explained was the program to develop the high-speed EMU at every step of basic and detail design and running test, predict and try to reduce the vibration.

1. 서 론

최고속도 400 km/h 분산형 고속전철개발은 탑승인원 증가가 가능하여 경제성은 커지나 동력원이 각 차량에 분산되어 있어 진동에 취약한 구조이다. 분산형 고속전철은 대차 및 차체 구조가 달라짐에 따라 기존의 한국형 고속전철 개발과는 다른 형태의 진동이 발생하여 승차감을 저감시킬 수 있다. 이에 본 연구에서는 기본설계과정부터 참여하여 이론해석, 전산해석을 통하여 설계사양을 확정하고, 이후 상세설계가 완성되면 상세설계 도면을 바탕으로 전산해석을 수행하여 완성차의 진동을 예측하여 제작 전에 개선 사항을 도출하고자 한다. 또한 시제차가 완성되면 시운전에 참여하는 이론해석, 전산해석을 통하여 예측된 진동을 측정, 평가하고 문제가 되는 진동에 대해서는 대책안을 마련하고자 한다.

1.1 연구개발목표

분산형 고속전철은 차량에 전동기 및 감속기 등 파워유니트가 부착되어 있어 관절형 고속전철에 비해 진동에 취약하다. 또한 고속주행에 따라 다편성에 따른 사행동, 레일과 차륜의 진동, 대차의 헌팅, 차체 진동 등이 커져 승객의 승차감을 저하시킬 수 있다. 따라서 최고속도 400 km/h 분산형 고속전철의 승차감을 기존의 경부고속전철과 한국형 고속전철 수준 이상으로 확보하기 위하여 차륜, 대차, 차체 다편성 차량의 진동모드와 진동 전달경로를 해석, 사행동 해석을 수행하여 기본설계, 상세설계에 대한 해석 결과를 반영하고자 한다. 또한 구성부품 및 단차의 대차진동 시험과 시제차량에 대한 시운전에 참여하여 진동을 측정하고 전산해석 결과와 비교 분석하여 문제점을 도출하고 개선안을 마련하고자 한다.

* 성균관대학교, 기계공학부
E-mail : tah198@skku.edu
TEL : (031)290-7501 FAX : (031)290-5889

** 성균관대학교, 기계공학부
E-mail : gutenmg@skku.edu
TEL : (031)290-7501 FAX : (031)290-5889

*** 성균관대학교, 기계공학부, 정희원
E-mail : yschoi@yurim.skku.ac.kr
TEL : (031)290-7440 FAX : (031)290-5849

1.2 연구개발의 중요성

분산형 고속전철은 기술적으로 몇 가지 난제를 극복해야 한다. 첫째, 경부고속전철 시운전 시 발생했던 사행동을 제거해야 하고, 둘째 분산형에 따른 개별대차가 고속한계인 400 km/h 에서는 헌팅(hunting)이 발생하지 않아야 한다. 셋째, 레일 및 대차에서 발생한 진동이 차체로 전달되는 것을 최소화 할 수 있는 기술이 개발되어야 한다. 그러나 경부고속전철 운행경험과 한국형 고속전철을 신규 개발한 경험이 있으므로, 그간의 기술자료를 검토하고, 이를 바탕으로 분산형 고속전철에 맞는 새로운 해석 모델을 개발하여, 전산해석, 나아가 비선형 동적해석을 한다면 분산형 고속전철 관련하여 국내에서도 독자적인 기술을 확보할 수 있을 것이다.

2. 진동 저감 기술 개발

2.1 연구개발 체계 및 설계 기준

분산형 고속전철의 진동저감 연구는 차세대 고속철도기술개발사업의 개발 기간 6년 중 5년의 기간으로 추진되며, 기반기술 연구를 통한 설계지원과 시제 차량제작 후 성능 평가 및 개선사항 도출을 목표로 추진되고 있다. 그림 2.1은 본 연구의 개발체계도표이다. 표 2.1은 연구개발 추진내용으로서 연도별 상세 계획을 나타내며, 표 2.2는 연구 주요 설계안을 나타낸다.

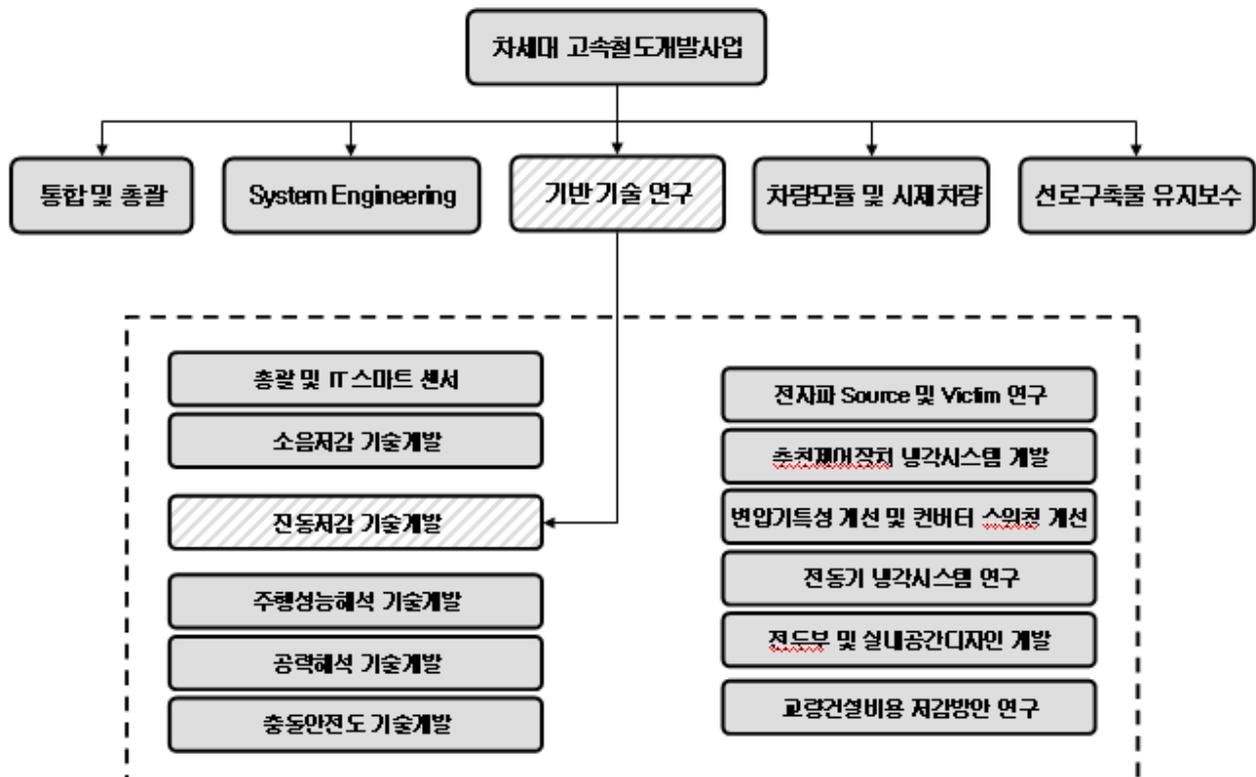


그림 2.1 연구개발 체계

표 2.1 연구추진 내용

| 차년도 | 추진 내용 |
|------|---|
| 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> - 분산형 열차의 진동특성 파악 - 단차 해석 모델 구성 및 효과 분석 - 고속전철 진동방지 기술자료 수집 - 분산형 고속전철 진동이론 정립 - 다편성 분산형 고속전철 사행동 전산해석 |
| 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> - 차륜/대차/차체에 대한 모드해석 - 차량 구조물 구성품 별 동특성 검토 - 차량 바닥구조의 구조진동 해석 - 차량 벽과 천정의 구조진동 해석 - 차량 구조 설계안 제시 |
| 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> - 차량 설계에 대한 구조진동 평가 - 차량 구성품 1차 시제품에 대한 동특성 해석 - 구성품 시험결과를 반영한 차량 구조진동 해석 - 차량 바닥구조물의 진동 절연 해석 - 진동저감 대책 및 기여도 분석 |
| 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> - 단차량 주행시험을 통한 차체 구조진동 평가 - 차량 실험 모드해석 - 차량 구조진동 전달 경로 평가 - 진동해석과 비교 분석 - 구조진동 개선안 도출 |
| 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> - 주행시험에 따른 설계성능 검증 - 속도별 차체 진동 측정 및 분석 - 단차 해석 및 전산해석 결과 비교 - 승차감을 고려한 진동 절연 개선안 도출 - 최고속도 주행 시 차체 구조 진동 평가 |

표 2.2 주요 차량 설계안

| 설계 인자 | 설계 요구사항 |
|-------|---|
| 차량구성 | TC[제어객차], MC[제어 동력차], M[동력객차], T[객차] |
| 편성단위 | 8량[6M2T], 시제차량[6량] |
| 최고속도 | 최고속도 400 Km/h, 운영속도 350 Km/h |
| 승차감평가 | UIC 513[Deluxe Rolling Stock]-최고운행속도 기준 |
| 주행안정성 | 차체 및 대차는 UIC 518 규격에 의거 평가 |

연구 추진내용 및 주요 차량 설계안을 바탕으로 1차년도 진동특성 분석 및 다편성 사행동 해석을 위하여 그림 2.2의 기존 한국형고속철도 차량모델과 이를 바탕으로 구성한 분산형 모델을 바탕으로 차량의 승차감에 기여하는 설계인자를 도출하고 분산형 차량의 동특성을 파악한다. 또한 차량의 현가장치의 특성을 반영하기 위하여 이론해석모델을 그림 2.3과 같이 구성하여 해석하고 전산해석모델을 검증하여 타당성을 검토하고자 한다. 이후 2차년도 이후의 연구는 1차년도 진동 특성을 바탕으로 차량의 진동 전달 부품의 단품 및 결합체에 대한 특성해석을 통하여 승객의 승차감에 미치는 영향도를 분석하고, 이를 시제차량 시험을 통하여 검증하는 연구를 진행할 것이다. 시제차량 시험은 기존 한국형 고속열차의 시제 차량 시험[1]을 참고하여 수행될 것이며, 이에 따라 개선안을 도출하고자 한다.

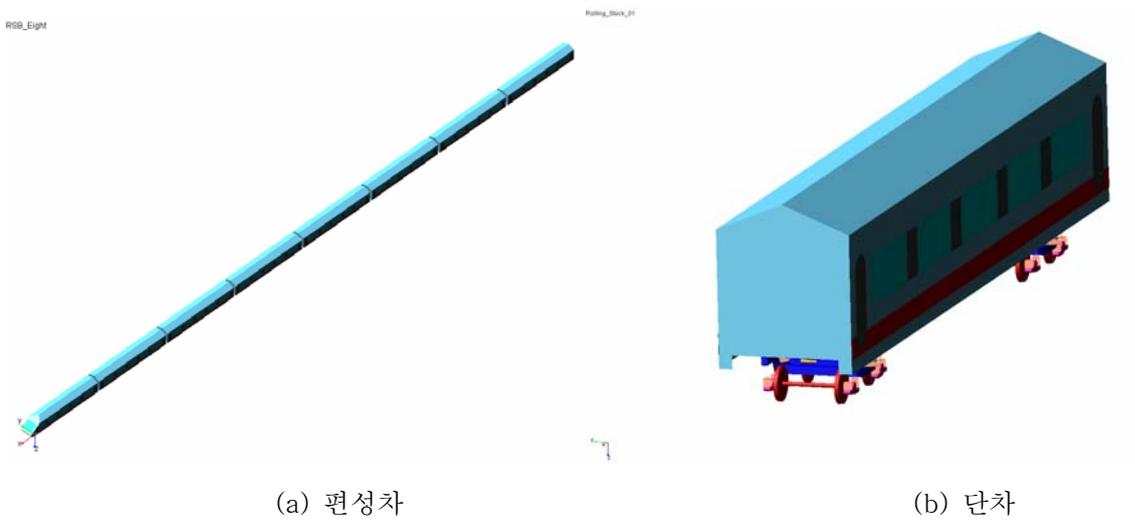


그림 2.2 차량 모델

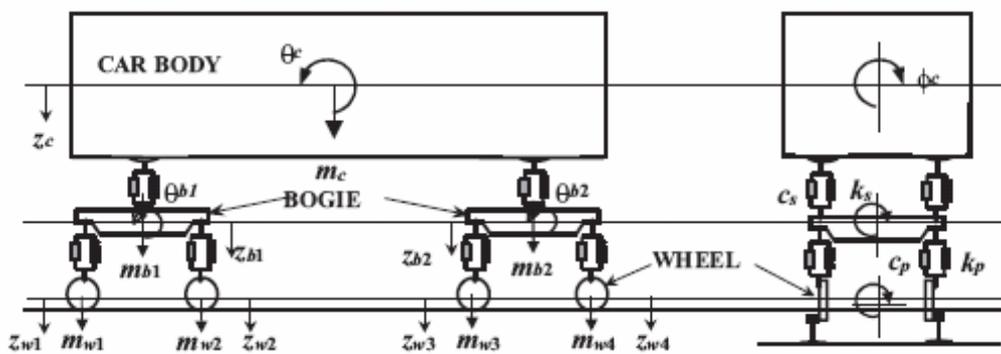


그림 2.3 차량 해석 모델

2.2 승차감 평가

차량의 진동저감의 최종 목표는 차량의 안정성 확보와 승객의 승차감 향상에 있다. 안정성은 UIC 518[3]에 의거하여 평가하고, 승차감은 주요 차량 설계안에서와 같이 UIC 513을 기준으로 평가한다. UIC 513은 철도의 승차감 평가 방법으로 기존 한국형 고속전철의 승차감 평가에도 사용되었다.[4] 본 승차감 평가 기준은 측정 데이터를 통계적인 후처리를 통하여 승차감을 평가하는 것으로, 승차감 평가 데이터 획득을 위한 측정장비, 측정 위치, 승차감 지수에 따라 승차감을 평가하도록 규정되어 있다. 식 2.1은 승차감 지수를 나타낸다. 여기서 A_{wx95} , A_{wy95} , A_{wz95} 는 x , y , z 방향의 5초 간격으로 5분 동안의 진동가속도 실효값을 이용하여 이 중 누적빈도가 95%인 실효값을 나타내는 것으로 이 때 각각의 실효값은 식 2.2와 같다. 이와 같이 계산된 승차감 지수는 표 2.3의 기준으로 평가된다. 이 외 규격에 명시된 상세 측정기준을 바탕으로 시험뿐만 아니라 전산해석의 해석결과에도 적용하여, 승차감 향상을 위한 주요 설계인자를 도출하는데 사용 가능하다. 또한 도출된 설계인자를 제안하고, 이를 추후 시제 차량의 시험에서 검증하여 고속철도차량의 승차감 평가에 대한 기반기술을 정립할 수 있다.

$$N_{mv} = 6 \sqrt{(A_{wx95})^2 + (A_{wy95})^2 + (A_{wz95})^2} \quad (2.1)$$

$$a_{r.m.s.i} = \sqrt{\int_{0.5}^{80} G_i(f) B_i^2(f) df} \quad (2.2)$$

표 2.3 UIC 승차감 지수 기준표

| 승차감 지수 | 승차감 |
|--------|--------|
| ~ 1 | 매우 편안함 |
| 1 ~ 2 | 편안함 |
| 2 ~ 4 | 보통 |
| 4 ~ 5 | 불편함 |
| 5 ~ | 매우 불편함 |

3. 결론

분산형 고속전철의 개발에 있어 차량의 진동성능 및 특성은 차량의 안정성 및 승차감에 영향을 미친다. 차량의 안정성이 확보되어 있는 상태의 차량의 경우 승차감은 승객의 편의를 위해서 고려되어야 하며, 이는 차량 운영의 경제성 확보에 큰 영향을 미친다.

본 연구를 통하여 UIC 513을 이용한 고속전철의 승차감 평가에 대한 기반기술 정립하고, 이를 설계 단계에서 반영함으로써 개발기간 및 개발비용의 단축에 효과를 갖을 수 있는 연구를 진행하여 나갈 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김영국, 김석원, 박찬경, 김기환, 목진용, “시운전을 통한 한국형 고속전철 차체진동 특성의 분석 및 평가,” 한국철도학회논문집, 제6권, 제4호, pp.286~293, 2003.
2. 이강운, 박길배, 양희주, “철도차량 동적 주행성능 시험 및 인증관련 국제규격(UIC 518) 고찰 및 적용,” 한국철도학회 추계학술대회논문집, 2005. 11, pp.38 ~ 43.
3. 김영국, 김석원, 목진용, 김기환, 박태원, “UIC 513R에 따른 통계적 방법을 이용한 고속철도 차량의 승차감 분석 및 평가,” 한국철도학회논문집, 제 7권, 제4호, pp.332-338, 2004.