개념단계에서 차세대고속철도 6량 편성차량의 현가요소 특성 분석

Analysis of the Suspension Characteristics for Next Generation High Speed Train Formed with 6 Cars in Concept Design Stage

박찬경* Park, Chankyoung　　김영국* Kim, Yongguk　　김기환* Kim, Kiwhan　　김영모* YoungMo Kim

ABSTRACT

Next Generation High Speed Train having a distributed electrical motor system has just been developing to aim the experimental maximum speed at 400km/h since August, 2007. This project is in stage of concept design and so, it needs to take some review and analysis the characteristics of suspensions on the view of concept design. A train dynamic modeling is modified with the one car model presented in the previous conference and it was extended to 6cars models having the same suspensions and added some connection's characteristics between the cars with Vampire program. It is used to analyze the effect on the dynamic performances according to the variation of primary and secondary suspension characteristics in the condition of 6 cars configuration. The results would be useful to manage the potential risks in the next stage of basic and critical design that will be done by the manufacturing company.

1. 서 론

차세대 고속철도 차량은 국토 해양부 정부주도 사업으로 한국 철도기술연구원과 관련 산・학・연이 연계되어 2007년 8월부터 개발에 착수하여, 현재 개발 모듈에 따라 개념설계 단계와 기본 설계 단계를 추진 중에 있다. 차세대 고속열차는 이전에 개발하였던 집중식의 한국형 고속열차와는 달리 분산형 동력시스템으로 구성되며, 객차대차 역시 일반형의 동력장치가 있는 대차와 동력장치가 없는 일반대차로 구성되어 이전의 KTX 및 한국형 고속열차의 관절형 객차대차와는 형식면에서 달리 개발되고 있다. 또한, 주행속도 역시 한국형 고속열차의 최고 시험속도가 350km/h 이었고 이를 모델로 상용화되는 KTX-II의 상용속도가 300km/h 이었던 것과는 달리 차세대 고속열차는 최고 시험속도 400km/h에 도전하며, 상용속도 350km/h로 주행 가능한 차량으로 개발되고 있다.

이러한 속도향상이 가능하기 위해서는 많은 고려사항이 있지만 주행 중에 발생되는 동적거동은 속도가 높아지면서 더욱 중요한 고려사항이 되고 있으며 초기 차량 개념설계 단계부터 분석되어 성능 입증 시험평가까지 관리되어야 하는 위험요소로 간주되고 있다.

일반적으로 철도차량에서 살펴볼 수 있는 동적거동 관련 성능은 국제규격인 UIC-513R을 기준으로 볼 때 크게 안정성, 안전성, 승차감으로 구분되어 지고 있다. 안정성은 초기 가진에 의한 동적거동 수렴정도로 판단되며, 일반적으로 임계속도로 대표될 수 있고, 안전성은 탈선계수, 윤중감소, 곡선 추종성 등으로 표현될 수 있다.

* 한국철도기술연구원, 차세대고속철도기술개발사업단, 회원
E-mail : ckpark@krri.re.kr
TEL : (31)460-5613 FAX : (031)460-5649

또한 승차감은 UIC 518등과 같은 국제 규격에서 승객이 점유되는 차체의 가속도 크기로 표현되고 있다. 이러한 동적성능 지수중에서 초기 차량 개념설계 단계에서 우선적으로 고려되어야 하는 사항으로는 주행안정성이며 속도향상에 따라 주행가능 한 대차의 현가장치 특성을 개략적 관점에서 제시 할 수 있다. 본 논문에서는 본 학회 춘계학술대회에서 발표된 1량 편성의 차세대 고속열차 모델을 그림 1 과 같이 향후 개발될 시제편성인 6량 모델로 확장하고 연결요소를 추가하여 새로운 모델로 개발하였다. 따라서, 본 모델은 개념설계 단계에서 고려될 수 있는 주행 안정성에 대한 개념적 고찰을 일반적인 대차 형식으로 모델링을 하고 이러한 단순 모델에 의한 현가장치의 특성을 변화시키면서 이에 대한 속도 증가 시 고려되어야 할 현가특성을 이전 논문에서와 같은 절차에 따라 도출하였다.

그림 1 6량 1편성 모델 개념도

이러한 연구결과는 전체 편성에 영향을 미치는 대차의 기본설계와 상세설계 시 요구되는 현가장치의 종류나 그 특성치를 결정 할 수 있는 기본적인 범위를 제공할 수 있을 것이며, 나아가 구체적인 모델 개발에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 개념적 모델링

그림 1.에 6량 편성에 대한 모델은 춘계학술대회에서 제시된 1량 모델의 기본요소를 확장하여 차체 간 연결요소를 추가하여 Vampire 프로그램을 이용하여 1, 2차 현가요소를 6자유도 특성을 갖도록 최대한 단순화 시켰으며, 그림2와 같이 전체 275 자유도를 갖는 모델로 구축하였다.

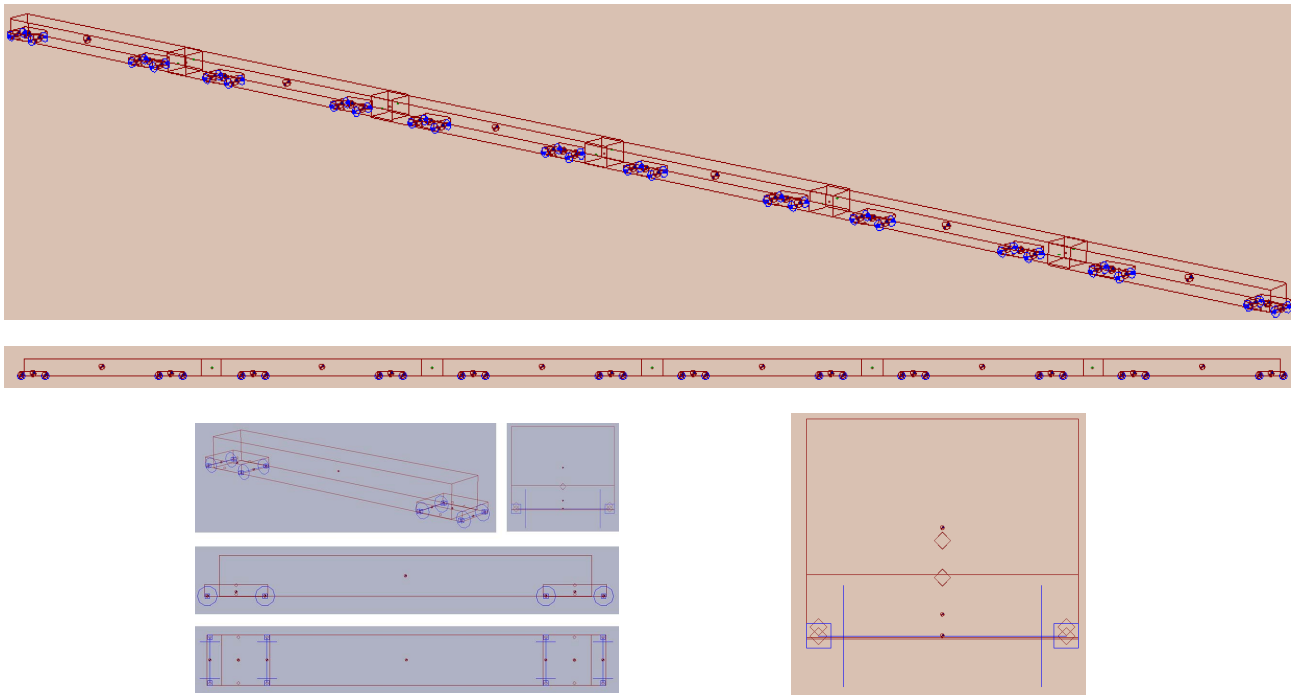

그림 2 6량 1편성 및 1량 상세 모델링

그림 2는 이전 논문의 모델특성을 갖고 있으며 추가된 특성은 6량으로 Mass가 증가되었으며 Body 간에 Hook Joint 와 Side Buffer 특성을 추가하였다.

차량 모델과 더불어 휠과 레일의 기하학적 접촉모델은 현재 특별한 휠 형상이 제시된 바 없어서 기존의 KTX 휠 형상을 이용하여 UIC 60 rail 형상과 같이 그림 3와 같이 사용하였다.

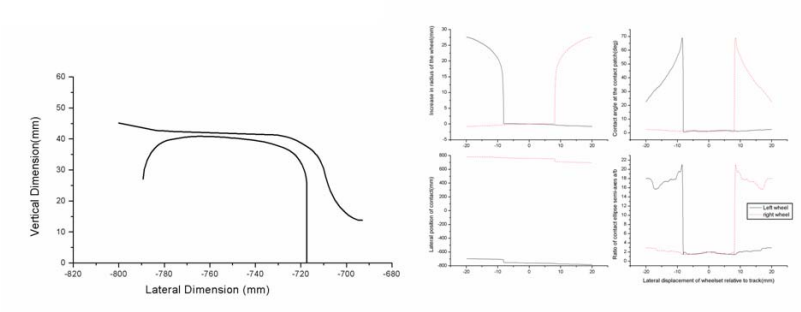

그림 3 휠과 레일 형상 및 그 접촉 특성치

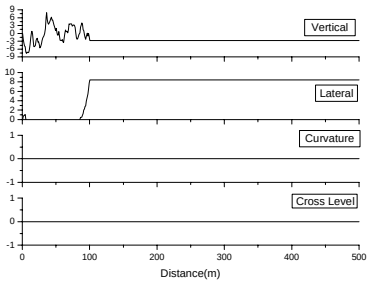

그림 4 궤도불규칙 특성치

또한 안정성 분석을 위한 궤도 특성은 직선 구간에서 횡 및 상하방향 궤도 불규칙만 초기에 존재하는 Vampire 프로그램에서 제공하는 모델을 그림 4과 같이 사용하였다.

3. 현가특성 변화에 따른 안정성 분석

2장에서 만들어진 모델을 이용하고, 이전에 발표된 논문에서 도출된 결과를 초기치로 해서 10개 휠의 좌우방향 변위를 계산한 결과는 그림 6과 같다. 여기서 주행속도는 120m/s(432km/h)와 130m/s(468km/h)로서 주행하였으며, 120m/s에서는 안정성을 확보하고 있으나 130m/s에서는 각 변위들이 수렴하고 있지 않음을 알 수 있다. 이는 임계속도가 130m/s 보다 작다는 것을 의미하며, 400km/h의 시험속도를 확보하기 위해서는 이론적으로 적어도 10%이상의 속도대역에서 안정성을 확보되어야 할 것으로 판단되며, 따라서 초기 현가요소 특성치는 440km/h로 주행하는 경우에는 적합지 않음을 나타내고 있다.

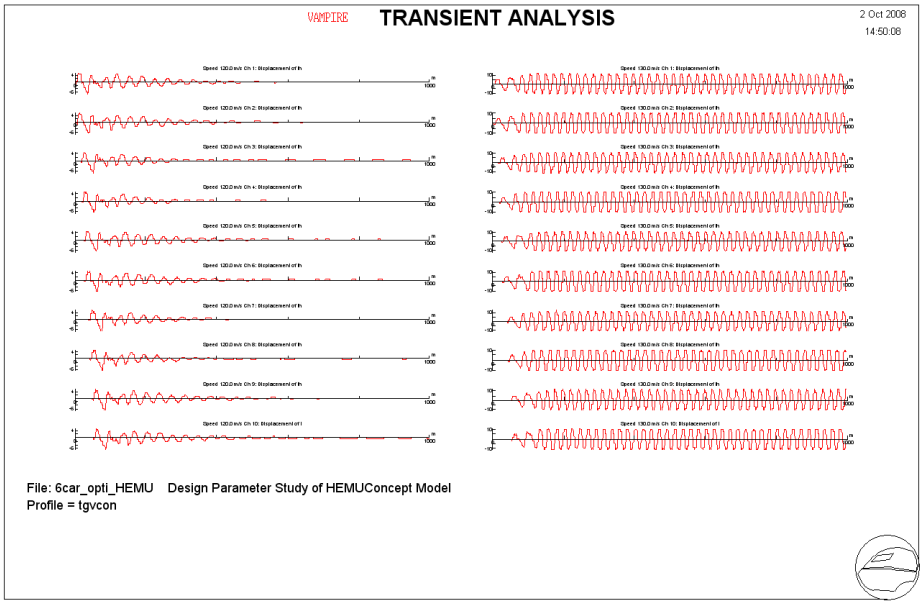

그림 5 초기 현가특성에 대한 안정성 해석결과

따라서 현가 요소의 조정이 필요하며 초기 제시된 특성치를 바탕으로 해서 총 11개의 현가요소에 대하여 Box-Behnken DOE Table을 이용하였으며, 총 231회의 시뮬레이션 결과를 분석하여 현가요소의 민감도를 살펴보면 그림6.과 같다.

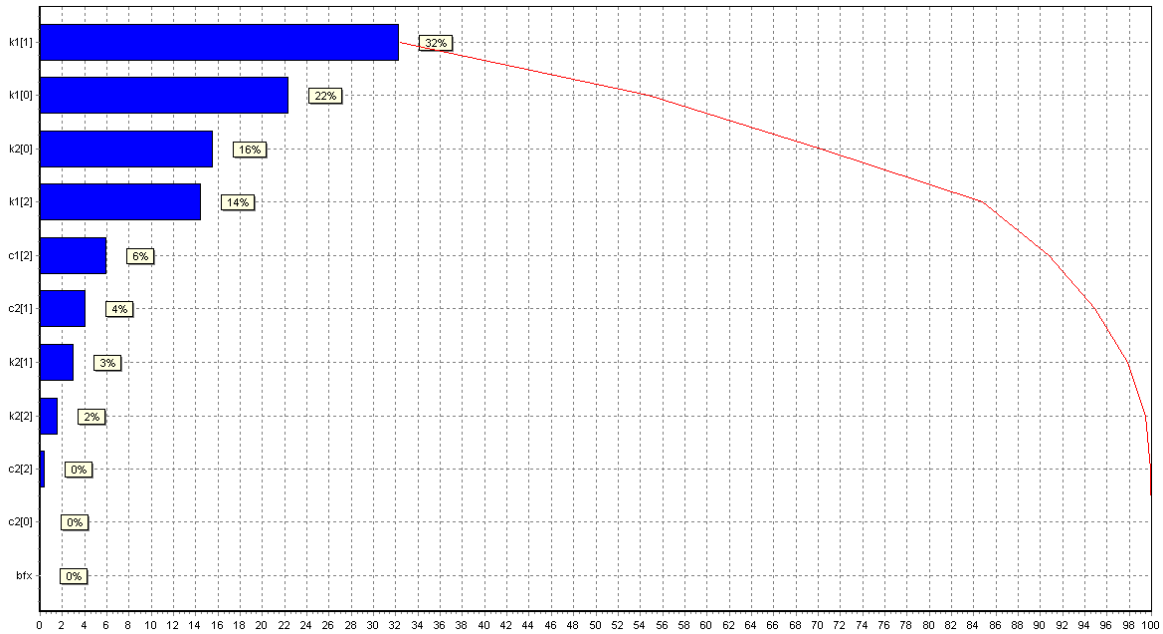

그림 6 11개 현가요소에 대한 130m/s 에서의 안정성 민감도

여기서 주요인자로 판단되는 설계변수는 1차, 2차 x,y 탄성계수 값으로 지배적인 영향을 미치는 것으로 판단되었으며, 차체간 연결 장치인 Side Buffer의 특성은 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 이는 안정성 측면에서 살펴본 결과이며 향후 안전성이나 견인 및 제동시의 승차감을 고려할 때는 영향이 미칠 수 있는 인자가 될 수도 있을 것이다.

선정된 4개 인자를 이용하여 최적화를 수행하는데 있어서 각 휠의 좌우방향 변위의 합을 목적함수로 설정하였으며, 그 결과 그림 7과 같이 목적함수를 최소로 하는 변화 결과를 얻을 수 있었다.

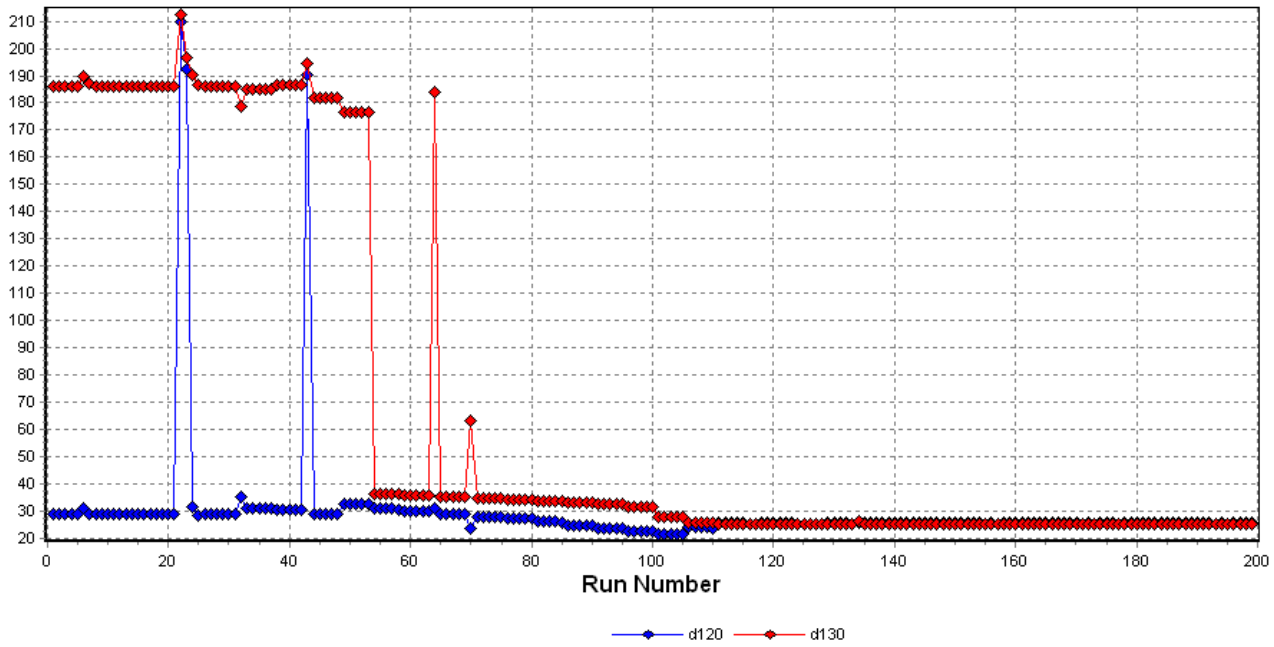

그림 7. 최적화 과정에서 나타난 목적함수 변화

그림 7에서 보듯이 54회부터 130m/s에서의 안정성이 급격하게 향상되는 경향을 갖게 되며 이후 서서히 감소해서 약 25정도의 수준으로 수렴하는 것을 알 수 있다.

이는 설계변수에 대해 살펴볼 필요가 있으며, 최적화 과정에서 설계변수의 변화경향을 살펴보면 그림 8과 같다.

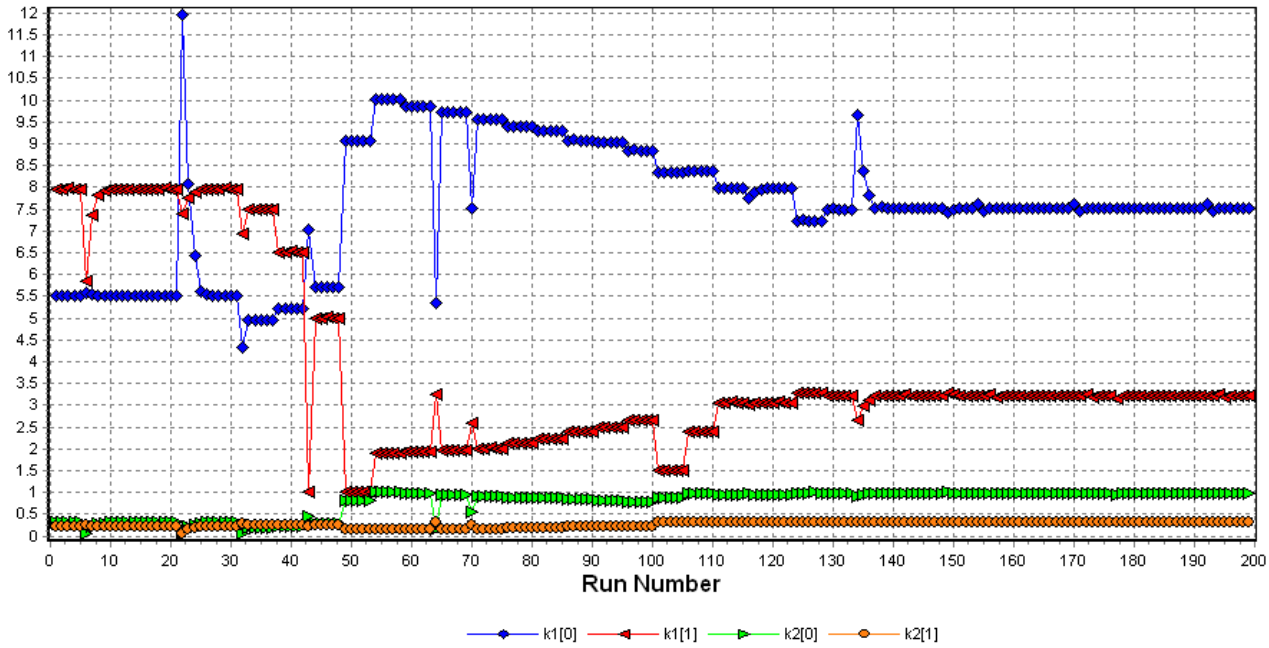

그림 8. 최적화 과정에서 나타난 설계변수 변화

그림 8.에서 보듯이 130m/s에서의 안정성이 향상되는 시점에서 1차 x방향 탄성계수는 초기 5.51에서 10.0으로 크게 상승하였으며, 동시에 1차 y방향 탄성계수도 초기 7.96에서 2.0수준으로 감소하였음을 알 수 있다. 또한 2차 x방향 탄성계수는 0.3에서 1.0수준으로 상승하였고 2차 y방향 탄성계수는 큰 변화가 없는 것으로 나타나고 있다.

4. 개념적 설계관점에서의 고찰

3장에서 살펴본 결과에서 설계변수의 순간 급격한 변화에 따라 130mk/s의 목적함수 값이 안정성 영역으로 들어가는 결과를 볼 때, 그 순간 값이 안정성 임계영역으로 판단될 수 있다. 또한, 이후 설계변수의 변화 폭에 비해 목적함수 변화 폭이 상대적으로 크게 흔들림 없이 수렴하고 있는 것으로 볼 때, 이는 안정성 영역의 크기를 표현하고 있다고 할 수 있다. 즉 1차 x방향 탄성계수의 안정성 영역 공차는 10에서 7.5 사이로 볼 수 있고, 1차 y방향 탄성계수는 2에서 3.2 수준의 안정성 확보 공차를 갖고 있는 것으로 판단될 수 있다.

그러나 상대적으로 2차 x, y방향 탄성계수는 안정화 이후 수렴 시까지 변화의 폭이 크지 않아 안정성 확보에 대한 여유 영역이 작다고 할 수 있다. 잘 알려져 있듯이 안정성은 임계속도로 표현될 수 있으며 임계속도의 향상은 초기 설계 시 매우 중요하며 본 연구에서의 결과는 향후 상세 설계에서 1차 x, y방향의 강성에 대한 민감도를 주요 인자로 살펴보고 이후 2차 현가장치의 강성을 추론하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

그림 8.의 설계변수 결과를 이용하여 안정성 결과를 도출하면 그림 9.와 같으며 그림 5.의 초기 결과와 비교 시 130m/s에서도 안정성 있게 초기 가진에 대해 수렴함을 알 수 있다.

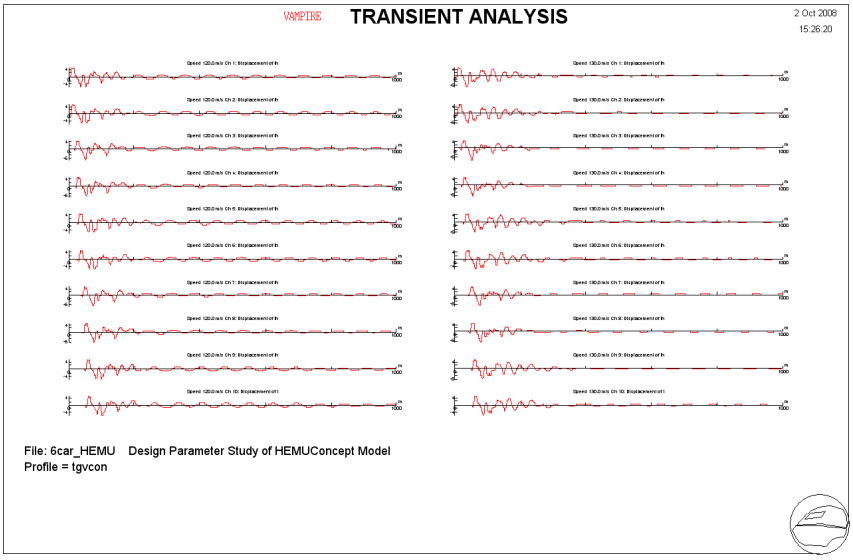

그림 9. 최적화된 설계변수에 의한 안정성 해석 결과

5. 결 론

본 연구에서는 400km/h로 시험 주행가능하기 위한 안정성 확보를 위하여 6량 편성의 차세대 고속열차 차량의 개념설계에 따른 130m/s 속도 대역에서의 동적거동 안정성을 분석하였다. 또한 현가장치 설계 특성 변화에 따라 영향인자를 고찰하였으며, 그 결과 1차 현가장치의 탄성계수 특성치가 전체적인 동적 안정성에 크게 영향을 미치며 그 수준을 제시하였다. 이는 이전의 1량 해석 논문에서 제시된 결과와 유사하며 6량 편성시의 고려사항이 되었던 연결 Hook Joint나 Side Buffer의 특성은 안정성에 크게 영향이 없음을 알 수 있었다.

향후 본 연구에서 도출된 모델은 상세설계에 따라 구체화 될 수 있으며, 상세설계 시의 현가요소 특성을 결정할 때 중요한 자료가 될 수 있을 것이다.

감사의 글

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

참고문헌

1. UIC code 518 OR, 2003, "Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour-Safety-Track fatigue-Ride quality."
2. 박찬경 외 3인, 2003, 한국형 고속전철의 주행시험과 이론해석 결과의 비교분석, 한국철도학회 추계학술대회 논문집.
3. AEAT Co., 2000, Vampire Manual.
4. 박찬경 외 2인, 2008, 개념적 관점에서 차세대고속철도차량의 현가요소 특성 분석, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집