

차세대 고속철도의 최고속도 시험 계획 수립을 위한 집전 성능 예측 시물레이션

A simulation study on predicting the current collection performance in 400km/h on establishing the maximum speed test plan of the next Korean high speed train development project

권삼영* 박춘수** 조용현** 이기원** 박영**
Kwon, Sam-Young Park, Chun-Soo Cho, Yong-Hyeon Lee, Ki-Won Park, Young

ABSTRACT

The next Korean high speed train development project is started. In testing stage of this project, the 400km/h maximum speed test will be conducted. In Korean railway infrastructure conditions the 400km/h seems to be a critical speed especially in the aspect of the overhead contact lines.

The current collection performance of the 400km/h which is predicted by dynamic interaction simulation are described in this paper. To discuss the permissible criteria of contact forces, displacements and percentage contact loss, the French 575km/h current collection conditions are simulated. Furthermore, review of the simulation results of the Korean 400km/h current collection conditions is conducted through comparison with that of the French 575km/h.

1. 서론

차세대 고속철도 개발 사업이 시작되었다. 차세대 고속철도 사업에서는 400km/h의 최고속도 시험을 실시하도록 계획되어있다. 국내 인프라 시스템의 여건에서 이 최고 속도 시험을 실시할 경우 나타나게 될 집전 특성을 예측해 보기 위하여 동역학 시물레이션을 실시해 보기로 한다. 동역학 시물레이션은 전차선로를 현(string)으로 모델링하고 전차선로와 팬터그래프 사이의 동역학적 상호작용을 FEM 수치 해석 이론에 근거하여 모의하는 것으로서, 접촉력과 변위 궤적 및 이선율을 결과 데이터로 얻는다.

2. 차세대 고속철도 사업에서 최고 속도 시험

차세대 고속철도 사업에서는 개발하는 차량을 400km/h의 최고 속도 시험을 실시하도록 명확히 규정하고 있다. 400km/h 시험은 2012년경에 실시할 예정이다. 이 속도에서의 시험은 차량의 개발만으로 가능한 것이 아니다. 인프라가 구비되어 있어야 한다. 즉, 시험할 노선이 있어야 하고 궤도 및 전차선로, 전력 공급 및 신호 시스템 등이 이 속도에서의 시험을 수용할 수 있어야 한다. 그중에서 전차선로는 더욱 크리티컬한(critical) 부분이다. 지금 상태에서 시험의 실현 가능성(feasibility) 및 기술적 타당성을 미리 예측하여야한 적절한 대안을 강구하고 필요한 설비의 건설 및 변경 작업을 수행할 수 있으므로 미리 예측하는 것은 매우 중요한 일이다.

* 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부, 정희원

E-mail : sykwon@krri.re.kr

TEL : (031)460-5425 FAX : (031)460-5459 HP : 019-668-0785

** 한국철도기술연구원

현재 논의되고 있는 방안은 경부고속철도 2단계 구간인 대구에서 부산까지의 신설 노선에서 실시하는 방안이 가장 유력하게 대두되고 있다. 경부 고속선 2단계 구간의 전차선로는 경부 1단계 구간과 동일한 사양으로 설치된다. 이 전차선로는 2011년경에 건설이 완료되므로 차세대 고속철도가 최고속도 시험을 실시할 시점에는 전차선은 아직 마모가 되지 않은 신품 전차선일 것이다. 경부고속철도 전차선의 설계 개념은 15% 마모를 기준으로 안전율 2.0을 견디도록 하고 있다. 따라서 신품 전차선의 경우는 15% 마모가 이루어지지 않았으므로 전차선 장력을 15% 더 인가하더라도 전차선의 안전율이 보장되면서 전혀 무리가 가지 않는다. 따라서 현재 가장 유력하게 대두되는 방안 400km/h 최고속도 시험을 위하여 전차선의 장력을 정상 운영 조건인 20,000N에서 23,000N으로 15% 올리는 방안이다. 나머지 설비의 조건은 변경을 주지 않는다.

경부 고속철도 2단계 구간에서 400km/h 시험의 실현 가능성을 검토해보기 위하여 전차선 장력을 15% 올린 상태에서 집전성능 시뮬레이션을 실시해 보기로 한다. 그러나 시뮬레이션 결과에 대한 평가가 어려운 문제가 된다. 과연 어느 정도 수준을 가능하다고 또는 불가능하다고 판단할 수 있는지가 중요한 문제이다. 그래서 판단 방법을 선택하기 위하여 프랑스에서 2007년도에 실시한 574.8km/h 속도 달성 시의 상황을 같이 시뮬레이션하여 결과를 비교 검토해 보기로 한다.

3. 프랑스 575km/h 시험 상황 시뮬레이션

프랑스에서 2007년에 실시한 575km/h 시험은 파리 동선에서 개통 직전의 건설 완료 시험에서 이루어졌다. 그때의 정보가 아직 공개되지 않아, 정확한 전차선로나 팬터그래프 및 집전 성능에 대한 사양을 알 수가 없다. 여기서는 일부 알고 있는 제한된 정보를 활용하고 나머지는 사항은 가정을 통하여 시뮬레이션하기로 한다. 전차선은 동합금 전선을 사용하여 정상 장력이 26kN이 인가되는 설계이지만 최고속도 시험을 위하여 40kN으로 올렸다는 것을 알고 있다. 따라서 이 조건에서 시뮬레이션 하기로 하고 나머지는 파리 동선의 정보와 경부고속철도 전차선로 정보를 활용하기로 한다. 팬터그래프는 1개 집전관을 갖는 새로운 싱글암(single arm) 타입이 사용되었지만 수학적 모델링 데이터가 없어 KTX 모델을 사용하기로 한다.

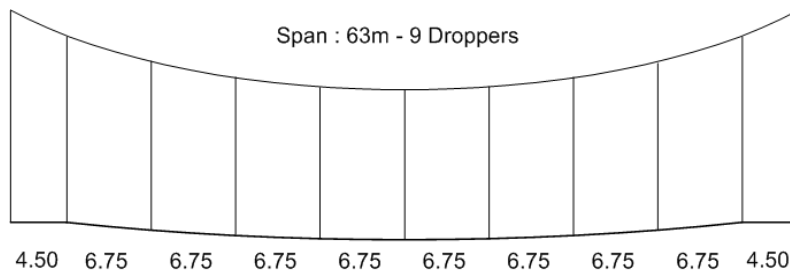


그림 1. 시뮬레이션 대상 경간 configuration

표 1. 시뮬레이션 커터너리 데이터

항목	데이터
전차선	40,000N, 1.334kg/m
조가선	20,000N, 1.07kg/m
드로퍼	0.12kg/m, 0.13kg/개
곡선당김금구	1.2 m, 1.6 kg/개
가고	1.4 m
편위	±0.2 m
Pre-sag	span/2000

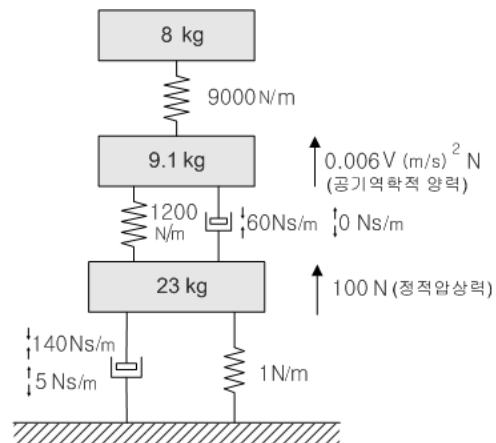


그림 2. 팬터그래프 모델링 데이터

팬터그래프는 KTX에 장착된 GPU 팬터그래프에 대한 해석 모델을 사용하되, 속도가 575km/h 정도 되면 공기역학적 양력이 매우 커지므로 아마도 양력을 줄이도록 변경하였을 것으로 판단하여 이 계수를 낮추도록 조정하였고 대신 정적 압상력은 높이도록 조정하여 시뮬레이션에 적용하였다.

속도 576km/h에서 시뮬레이션 결과는 표 2 및 그림 3과 같다.

표 2. 프랑스 575km/h 상황 시뮬레이션 결과 데이터

변수	기호	단위	결과 값	설명
평균 접촉력	Fm	N	260.9	20Hz 대역 필터링
최대 접촉력	Fmax	N	457.7	"
최소 접촉력	Fmin	N	152.4	"
접촉력 표준편차	σ	N	60.9	"
전주에서 압상량	Uplift	mm	199	최대값
전주 중앙에서 압상량		mm	205	최대값
이선율	NQ	%	2.4	$\geq 10ms$

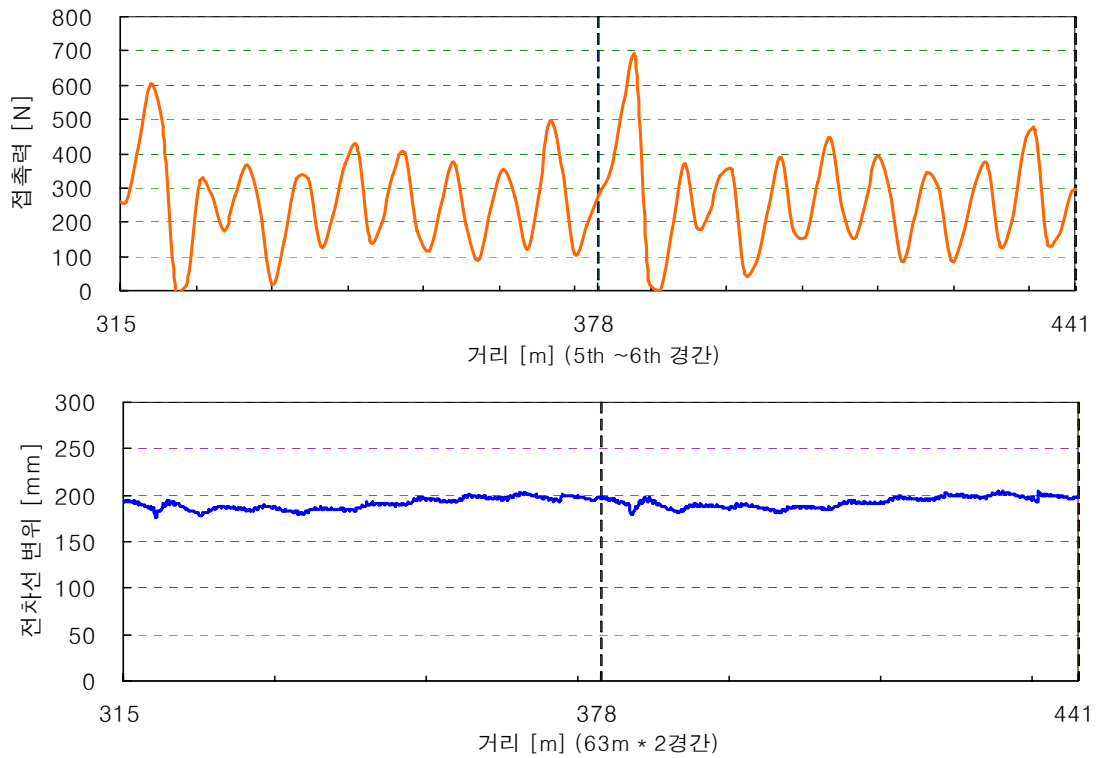


그림 3. 프랑스 575km/h 접촉력(100Hz 데이터) 및 변위 궤적(1000Hz 데이터) 그래프

4. 경부고속선 2단계 구간에서 400km/h 시험 예측 시뮬레이션

표 3과 그림 4의 시뮬레이션 데이터를 사용하였다. 팬터그래프는 400km/h 속도를 반영하여 공기역학적 양력을 조정하였으며, 나머지는 위에서 실시한 프랑스 575km/h 조건과 동일하게 하였다. 결과는 표 4와 그림 5에 나타내었다.

표 3. 시뮬레이션 커티너리 데이터

항목	데이터
전차선	23,000 N, 1.334 kg/m
조가선	14,000 N, 0.605 kg/m

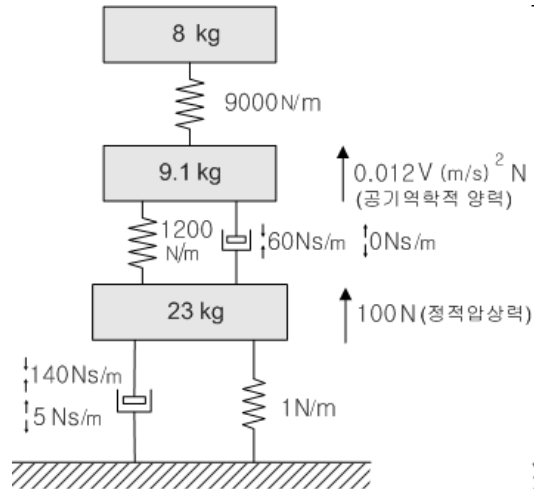


그림 4. 팬더그래프 모델링 데이터

표 4. 경부 2단계 구간 400km/h 상황 시뮬레이션 결과 데이터

변수	기호	단위	결과 값	설명
평균 접촉력	Fm	N	262.1	20Hz 대역 필터링
최대 접촉력	Fmax	N	440.5	"
최소 접촉력	Fmin	N	105.1	"
접촉력 표준편차	σ	N	74.9	"
전주에서 압상량	Uplift	mm	177	최대값
전주 중앙에서 압상량		mm	229	최대값
이선율	NQ	%	1.3	$\geq 10ms$

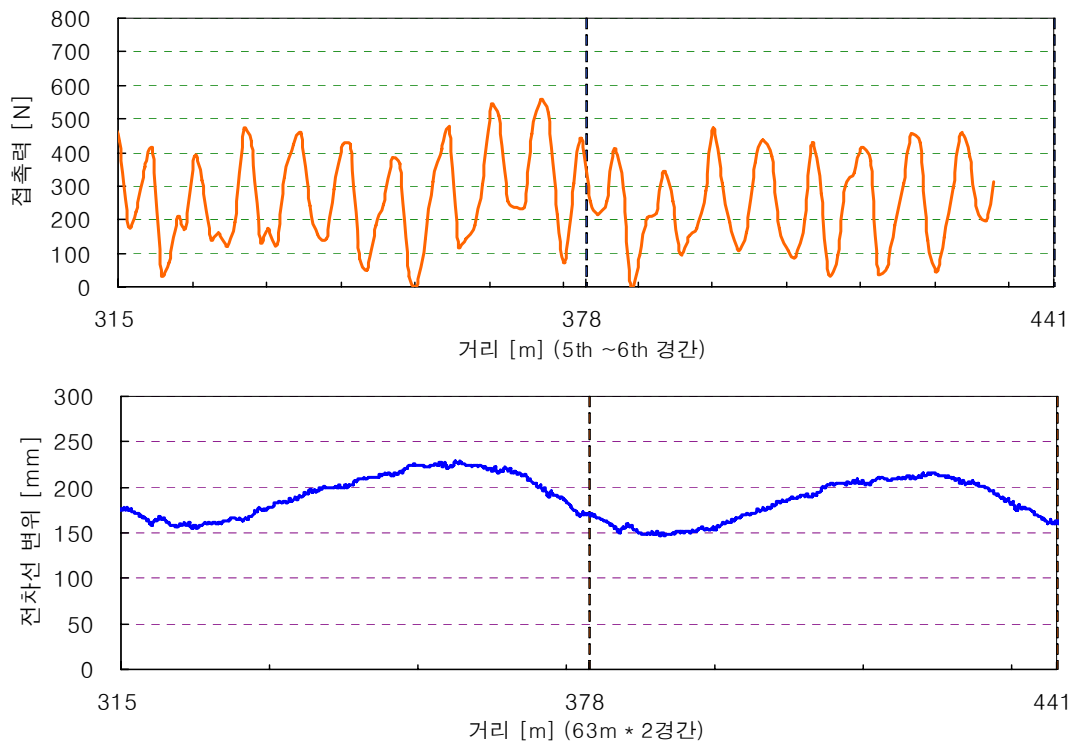


그림 5. 경부 2 구간 400km/h 접촉력(100Hz) 및 변위 궤적(1000Hz) 그래프

5. 결론

시뮬레이션의 결과 데이터를 비교 검토하여 보면, 경부고속철도 2단계 구간에서 실시하는 시험이 프랑스 575km/h 시험에 근접할 정도로 어렵고 설비의 미치는 영향 측면에서 크리티컬한 시험이 될 것임을 알 수 있으며, 그러나 실현 가능성은 있다고 사료된다. 이렇게 판단하는 근거는

(1) 경부고속철도 2단계 구간 시험에서 나타나는 접촉력이 프랑스 575km/h 시험 보다 조금 양호하게 나타나고 있고, 이선율도 더 낮게 나타나고 있으며,

(2) 프랑스에서 575km/h 시험이 끝나고 한 후 전차선을 교체한 것은 시험 시의 아크로 인한 손상의 영향보다는 26kN 짜리 전차선을 40kN으로 과장력을 인가함에 따른 피로 손상에 대한 우려 때문일 것으로 사료되므로, 경부 2단계 구간에서는 23kN만 인가함으로써 피로 측면에는 시험 시의 일회적인 접촉력 과다 이외에는 다른 영향 요소가 없으므로 전반적으로 영향이 미미할 것으로 사료되며,

(3) 시뮬레이션의 전제 조건에서 팬터그래프의 압상력을 변경하는 등 변수에 변화를 준 점을 고려할 때 400km/h 시험에서는 575km/h 보다 많은 다양하게 변화를 줄 수 있는 선택의 폭이 넓을 것으로 사료되며 이는 향후 집전 성능을 향상시키는 팬터그래프의 개발 등과도 연계하여 개선의 여지를 기대할 수 있다고 사료된다.

따라서 시뮬레이션 결과만을 놓고 볼 때 경부 2단계 구간에서 전차선을 23kN으로 올려놓고 400km/h 시험을 실시하는 것이 실현 가능할 수 있다고 판단된다. 그러나 보다 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. ERRI, "EN 50318-Validation of simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line", 2002.7
2. 한국건설교통기술평가원(한국철도기술연구원), "차세대 고속전철 기술개발사업 기획보고서" 2006.
3. 건설교통부, 산업자원부, 과학기술부, "고속전차선 시스템 개발(1단계 보고서)", 1999.10
4. SYSTRA, "Honam Line Electrification Catenary Dynamic Simulation Report", 2001