

강체 전차선로이행구간 고속화 방안 연구

A Study on Speed-up of a Transition Section Between Overhead Catenary and Rigid Conductor System

이 기 원* · 최 태 수** · 조 용 현* · 박 영* · 전 효 찬*** · 최 규 형†

(Kiwon Lee · Tae-Su Choi · Yong Hyeon Cho · Young Park · Hyo Chan Jun · Kyu-Hyoung Choi)

Abstract - R-Bar(Overhead Rigid Conductor system) is being developed for the high-speed in Europe because it has an advantage of cross section area reduction of tunnel compared with OCS (Overhead Catenary Line). Because there are lots of underground sections and mountains in Korea, it is necessary to develop the R-Bar for a high-speed line. In this study, a method on speed-up of transition section between OCS and R-Bar is proposed. The commercial program, DAFUL, is used to predict a dynamic characteristics between Overhead Line and pantograph. The program is evaluated according to EN 50318 which is the European Norm for evaluation of the program. Using the evaluated modeling and method, a method for the max. speed of 250 km/h of transition section is proposed.

Key Words : Rigid Conductor, Transition section, Overhead Lin

1. 서 론

가공 전차선로 시스템(Overhead Line)은 열차의 팬터그래프(집전판)와 기계적으로 접촉하면서 열차에 전기를 공급하는 설비로서, 그 형식에 따라 커티너리(Catenary) 방식과 강체(Rigid Conductor 혹은 R-Bar) 방식으로 나눌 수 있다. 국내의 커티너리 방식은 2004년 경부고속철도의 전차선로 시스템이 코아 시스템으로 분류되어 프랑스의 기술로 300 km/h급 전차선로 시스템이 건설된 이후에, 최근 우리 기술로 400 km/h급 전차선로 시스템까지 개발되었다[1]. 강체 방식은 조가선이 없는 방식으로 터널 단면적을 작게 설계할 수 있어서 터널 굴착비를 약 10 % 정도 줄일 수 있고 유지보수에 장점이 있다[2]. 해외의 경우 최고 속도 250 km/h급까지 개발하였지만[3], 국내에서는 120 km/h급 이하의 중저속용 강체 전차선로 시스템을 2015년에 개발하여 상용화하였다[4].

강체 방식에 대한 속도향상을 위하여 브래킷간 간격과 알루미늄 레일의 강성의 영향 등에 대하여 연구를 수행하였다[5, 6]. 동특성 예측 상용 프로그램인 "SIMPACK"을 이용하여 레일 형상의 수직방향 강성을 올려서 레일의 처짐을 작게할 수 있는 방안

과 브래킷간의 간격을 늘리는 제안을 하였다. 최근 국내에서는 고속 강체 방식의 전차선로 개발을 위하여 자체 개발한 유한요소 동특성 예측 프로그램을 이용하여 일반구간의 주요 설계 파라미터에 대하여 민감도 연구를 수행하였다[7]. 고속화를 위한 강체 전차선로시스템의 설계 파라미터에서 전차선 높이에 대한 설치오차와 지지점 강성이 가장 중요한 설계 파라미터로 연구되었다. 또한 각각의 파라미터 특성을 고려하여 250 km/h급 강체 방식 전차선로 시스템의 일반구간에 대한 주요 설계 파라미터를 제시하였다[8].

강체 방식의 전차선로는 주로 지하구간이나 터널에 설치되는 시스템이기 때문에 지상구간의 커티너리 방식 전차선로와 인터페이스가 필요하다. 그림 1과 같이 강체 방식과 커티너리 방식 전차선로 구간이 연결되는 구간을 이행구간(transition section)이라고 하며, R-Bar 레일의 마지막 부분에 강성을 완화시키는 레일을 이행장치(transition bar)라고 한다. 이행구간은 강체 방식 전차선로 구간에 비하여 상대적으로 수직강성이 작은 커티너리 구간과 연결되는 구간이기 때문에 속도향상에 보틀넥(bottleneck)로 취급되어 왔다. 일본에서는 일본의 강체방식인 T-Bar



그림 1 이행구간 구성

Fig. 1 Configuration of transition section

† Corresponding Author : Dept. of Railway Electrical and Signaling Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Korea

E-mail: khchoi@seoultech.ac.kr

* Korea Railroad Research Institute

** Korea Rail Network Authority

***VirtualMotion Inc.

Received : January 31, 2018; Accepted : February 17, 2018

방식의 강제 전차선로 이행구간의 속도향상을 위하여 강성완화 구간을 적용하는 연구를 수행한 바 있고[9], 국내에서는 최근 속도향상을 위한 250 km/h급 이행장치 모델에 대한 연구를 수행하였다[10].

따라서 본 논문에서는 강제 방식 전차선로 시스템의 고속화시 커티너리 방식과의 연결구간인 이행구간에 대하여 최고속도 250 km/h급까지의 고속화 방안을 제시하였다. 속도향상을 위한 이행구간 구성 등에 대한 집전성능 예측은 상용 다물체 동역학 프로그램인 “DAFUL”을 이용하였다. 프로그램의 모델링 등에 대한 신뢰성을 확인하기 위하여 전차선/팬터그래프 동특성 예측 프로그램 검증을 위한 유럽코드인 EN50318[11]에 따라 검증하였고, 검증된 모델링 기법 등을 이용하여 최고속도 250 km/h급 이행구간 구성방안을 제시하였다.

2. 집전성능 예측 S/W 검증

2.1 동특성 예측 시뮬레이션 검증 코드 분석

그림 2와 같은 EN50318의 검증절차는 커티너리 방식 전차선로(OCS, Overhead Catenary System)에서 팬터그래프간 집전성능 예측 시뮬레이션 프로그램의 검증 코드이다.

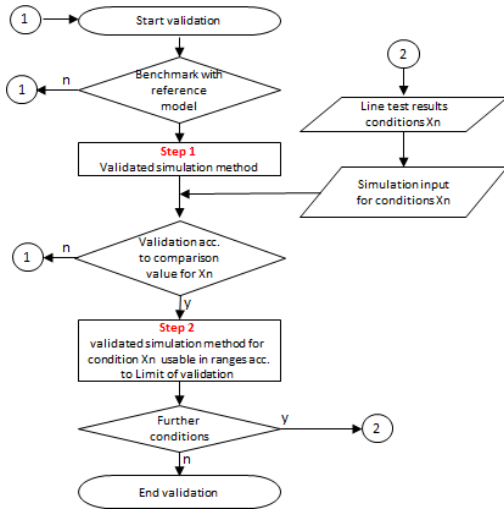


그림 2 EN50318에 따른 검증 절차
Fig. 2 Step of validation according to EN50318

검증절차는 두 단계로 구성되어 있는데, 1단계에서는 제시한 예제 모델(reference model)을 기초로 팬터그래프/전차선로간 동특성을 예측하고 계산한 결과가 제시한 결과범위 이내에 있어야 한다. 2단계 검증은 실제 측정결과와 비교하는 절차로 수행한다.

팬터그래프가 250 km/h 및 300 km/h로 주행 하였을 때 해석결과가 제시한 검증 범위를 만족하면 1차 검증을 완료 할 수 있다. 예제 모델로 계산한 결과에 대한 검증 범위를 표 1에서 제시

하고 있다. 2차 검증은 현장 시험결과와 비교하여 제시한 오차율을 만족하여야 한다.

2.2 커티너리 방식 전차선로 검증

“DAFUL”에서 전차선로 모델링은 빔(Beam) 모델을 적용하였으며, Beam모델의 해석방식은 티모센코 빔(Timoshenko beam) 수식을 적용하였다.

전차선로는 초기 장력이 작용하기 때문에 전차선과 조가선을 인장력을 작용하게 하고 정적인 평형상태를 만들어 해당 변형 데이터를 기준으로 처짐 상태와 장력이 작용하고 있는 상태를 기준으로 곡선당김금구를 연결시켜 모델을 완성하였다. 또한, 전차선로에 편위를 적용하여 모델링을 수행하였고, 곡선당김금구의 경우 전차선을 지지하는 한지점에 좌/우 수직 방향 회전이 가능하도록 모델링 하였으며, 총 10개의 경간(600 m)으로 나누어 배치하였다.

팬터그래프는 여러 개의 절점으로 구성되는 단순 rigid 모델로 구성하였고, 질량, 스프링의 강성특성 등은 규격에서 제시한 값을 사용하였다.

표 1은 상기와 같은 조건에서 “DAFUL”을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 끝 지지점 영향 등을 배제하기 위하여 5번째 및 6번째 경간 데이터를 사용하였다.

표 1 시뮬레이션 결과 및 기준 비교

Table 1 Comparison between simulation result and criteria

파라미터	주행속도 250 km/h		주행속도 300 km/h	
	해석결과	결과값의 범위	해석결과	결과값의 범위
표준편차 [N]	29.5	26~31	36.9	32~40
평균 접촉력 [N]	119.7	110~120	118.9	110~120
통계적 최소 접촉력 [N]	31.1	20~40	8.1	0~20
통계적 최대 접촉력 [N]	208.3	190~210	229.8	210~230
실제 최소접촉력 [N]	60.2	50~75	36.9	30~55
실제 최대접촉력 [N]	181.8	175~210	221.6	190~225
지지점 압상량 [mm]	48.0	48~55	57.0	55~65

250 km/h로 주행하였을 때 평균 접촉력이 조금 높게 계산되었지만, 접촉력 표준편차는 범위를 만족하였고 모든 파라미터가 제시한 범위를 만족하였다.

2단계로 검증에서는 호남고속철도 400 km/h급 테스트베드 구간에서 측정된 현장 측정결과와 비교/검증을 수행 사용하였다. KTX-호남 차량에 EN50317[12]에 의하여 접촉력 캘리브레이션 검증을 완료한 팬터그래프를 설치하고 접촉력 측정을 수행하였다. 호남고속철도 테스트 베드 구간의 전차선로 사양과 제작사에서 제시한 KTX-호남 팬터그래프의 2질량 모델을 이용하여 시험 조건과 동일한 운영속도인 300 km/h 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과와 측정결과를 비교하면 표 2와 같다.

표 2 시뮬레이션 결과 및 기준 비교

Table 2 Comparison between simulation result and criteria

파라미터	해석결과	측정결과	오차 [%]
접촉력 표준편차 [N]	25.77	22.9	12.34
평균 접촉력 [N]	161.9	163.0	-0.69

코드에 따르면 식 (1)과 같이 계산한 오차율이 ±20 % 이내여야 한다. 접촉력 표준편차가 측정결과와 비교하여 조금 높게 계산되었으나, 계산한 오차율은 12.34 %이기 때문에 규격에서 제시한 신뢰성을 확보할 수 있다고 판단된다. 표준편차가 크다는 것은 접촉력 변동이 크다는 것을 의미하기 때문에 해석결과가 실제 값보다 조금 더 보수적으로 볼 수 있다고 할 수 있다.

$$\text{오차율}(\%) = \frac{SD_m - SD_s}{SD_m} \times 100 \quad (1)$$

여기서, SD_m : 측정된 결과에 대한 접촉력 표준편차
 SD_s : 시뮬레이션 결과에 의한 접촉력 표준편차

상기와 같이 1차와 2차 검증을 완료하였기 때문에 시뮬레이션의 모델링 기법이나 구속조건의 파라미터 설정이 타당하다는 것을 확인하였고, 커티너리 방식의 전차선로의 동특성 예측에 대한 신뢰성을 확보하였다고 할 수 있다.

2.3 강제 방식 전차선로 검증

EN50318 규격은 커티너리 전차선로에 대한 규격으로서 강제 전차선로와 팬터그래프간의 동특성 예측 프로그램에 대한 검증코드가 현재 존재하고 있지 않다[7]. 강제 방식 전차선로/팬터그래프간 접촉력의 예측은 새로운 대안 모색이 필요하였다. 따라서 본 연구에서는 실제 본선에서 측정된 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 규격에서 제시하고 있는 집전성능에 가장 큰 영향을 미치는 접촉력 표준편차에 대한 검증 파라미터에 국한하여 결과를 비교하였다. 측정 결과는 대불선 터널에서 수행한 강제 전차선로/팬터그래프간 접촉력 시험결과[7, 13]를 활용하였다.

먼저 강제구간 모델링의 신뢰성을 확보하기 위하여 정적 처짐 측정 결과와 비교하였다. 지지점에 대한 강성은 탄성 시험을 통해 측정된 하중 대 변위 데이터를 근거로 중력이 고려된 상태에서 해석을 진행하여 역으로 추출하였다. 그림 3은 대불선 터널 내에서 3경간의 처짐을 측정된 결과와 시뮬레이션을 통한 결과를 비교한 그래프이다. 처짐 특성은 최대 오차율 7 % 이내로 해석되었다. 조금 차이가 나는 것은 측정 오차 등에 의한 것으로 판단된다.

접촉력 시험을 위하여 투입된 열차는 차세대 전동차용 팬터그래프(모델명 : YP165G)이고, 제작사에서 제시한 팬터그래프의 수학적 모델링[13]을 사용하였다. 또한 대불선 터널의 경우 열차 운행량이 많지 않고, 자갈궤도이기 때문에 전차선 높이 변화가 심하였다. 이러한 지지점의 높이 변화를 고려하여 모델링된 전차

선로는 총 7개의 R-Bar와, 지지점 9개로 구성되고, 각 구간별 초기 시공 오차를 고려하여 모델링 하였다. 제시한 선로조건과 팬터그래프 조건에서 차세대 전동차가 평균 속도 88 km/h로 주행하였을 때 다물체 동특성 상용 프로그램인 “DAFUL”을 이용하여 해석한 결과와 측정된 결과는 표 3과 같다.

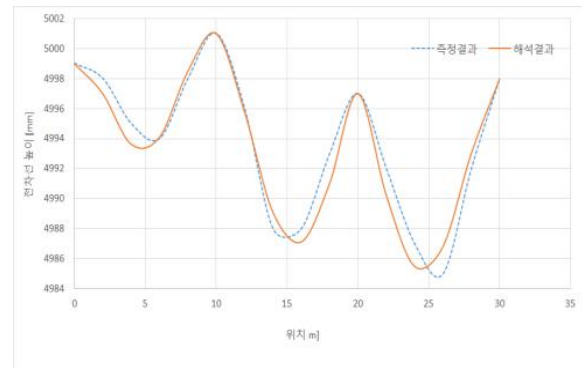


그림 3 측정 결과 및 처짐 해석 결과 비교

Fig. 3 Comparison between test and simulation result for deflection

표 3 시뮬레이션 결과 및 기준 비교

Table 3 Comparison between simulation result and criteria

항 목	해석결과	시험결과	오 차
평균 접촉력 [N]	78.4	77.9	-0.5
접촉력 표준편차 [N]	21.3	21.1	-0.2
통계적 최소접촉력 [N]	14.5	14.8	0.3
통계적 최대접촉력 [N]	142.4	141.1	-1.3

해석결과와 측정결과가 거의 오차가 없다는 것을 확인 할 수 있다. 일부 오차는 접촉력 측정용 팬터그래프의 정확성은 캘리브레이션 시험[12]을 수행할 때 외부 가진력 대비 측정값의 정확성을 90% 이상으로 규정하기 때문에 이와 관련한 오차 등으로 판단된다. 따라서 고려한 모델링 기법이나 시뮬레이션 절차 등에 대한 신뢰성을 확보할 수 있다고 할 수 있다.

이와 같이 상대적으로 저속 구간에서 집전성능 예측 프로그램을 검증한 후 더 높은 속도에 대하여 예측하는 절차는 커티너리 방식 전차선로와 팬터그래프간 동특성 예측 프로그램 개발[14] 과정 및 호남고속철도에서 검증 완료한 400 km/h급 전차선로 설계 등에 사용한 절차[1]로서 본 연구에서도 동일한 방법으로 예측하여 적용하였다.

3. 집전성능 예측을 통한 이행구간 고속화방안 제시

커티너리 전차선로와 터널구간의 강제 전차선로를 속도의 제약 없이 운행하기 위해서는 이행구간을 반드시 거쳐야 한다. 본

연구에서는 최고속도 250 km/h급 커티너리 전차선로인 Cako250 전차선로와 250 km/h급 강체 전차선로 일반구간의 설계 [8]를 기초로 상용 다물체 동역학 시뮬레이션 프로그램인 “DAFUL”을 이용하여 이행구간의 배치 등 설계파라미터에 대한 고속화 방안을 제시하고자 한다.

3.1 이행구간 및 팬더그래프 모델링

이행구간 전차선로 파라미터는 고속구간에 적합한 이행장치 [10] 및 R-Bar [8]를 고려하였고, 커티너리 전차선로는 Cako250 모델을 적용하였다. Cako250 모델의 조가선/전차선의 장력 및 선종, 경간(표준경간 50 m), 드로퍼 배치 간격, 조가선 구속조건, 전차선 연결조건, 편위 등을 모델링 하고 이행장치와 강체 전차선로 구간을 배치하여 장력이 가해질 때의 처짐 상태를 “DAFUL”을 이용하여 해석하였다. 그림 4 및 그림 5는 이행구간에 대한 구성이다.

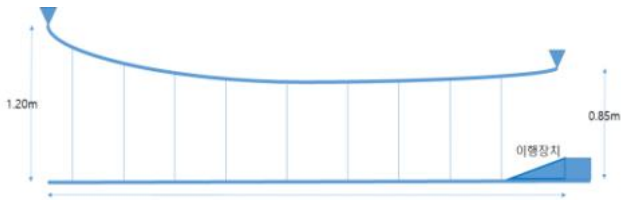


그림 4 이행구간 커티너리 전차선로 경간 구성
Fig. 4 OCS configuration in transition section



그림 5 이행구간 강체 전차선로구성
Fig. 5 R-Bar configuration in transition section

강체전차선로의 빔 모델은 Solid 형상을 근거로 설정하였다. 질량은 81 kg이고 이행 구간 모델의 해석속도 조건을 고려하여 Node 갯수는 121, Element 갯수는 120개로 설정하였다. 또한, 전차선로/팬더그래프간 동특성 예측 시뮬레이션에 사용한 팬더그래프는 KTX-산천 모델링 [8]을 사용하였다.

3.2 이행구간 동특성 예측

250 km/h급에 적합한 이행구간 구성을 제안하기 위하여 동특성 예측을 수행하였다. 일반구간의 설계인 표준경간 50m를 적용하고, 고속용 이행장치와 R-Bar의 상세설계 파라미터를 활용하여, KTX-산천 모델로 최고속도 250 km/h로 주행하였을 때 팬더그래프/전차선간 접촉력 해석 결과는 표 4와 같다. 이행구간의

특성을 세밀하게 보기 위하여 유효 데이터로 이행구간 통과 전후 40 m 구간을 고려하였다. 그림 6의 접촉력 파형을 보면 커티너리 방식인 Cako250 모델은 양호한 집전성능을 보이고 있지만, 이행장치를 통과하면서 접촉력이 급격하게 변동하는 특성을 보여 주고 있다. 또한, 사전이도(pre-sag)의 영향을 확인하기 위하여 커티너리 구간에서 사전이도(1/2,000)를 고려하여 전차선로를 모델링하여 동특성을 예측하였다. 그림 7은 이행장치가 있는 부분을 확대한 결과이다. 사전이도를 고려한 경우에 사전이도가 없는 전차선로 모델보다 접촉력의 변동이 조금 작아졌지만 여전히 집전성능에 문제가 있다.

표 4 접촉력 시뮬레이션 결과

Table 4 Simulation result for contact force

항 목	커티너리 구간	이행 구간	이행구간 (사전이도 적용)
평균 접촉력 [N]	141.21	153.9	158.8
접촉력 표준편차 [N]	34.34375	75.8	74.3
통계적 최소접촉력 [N]	38.19	-73.5	-64.2
통계적 최대접촉력 [N]	244.23	381.3	381.8

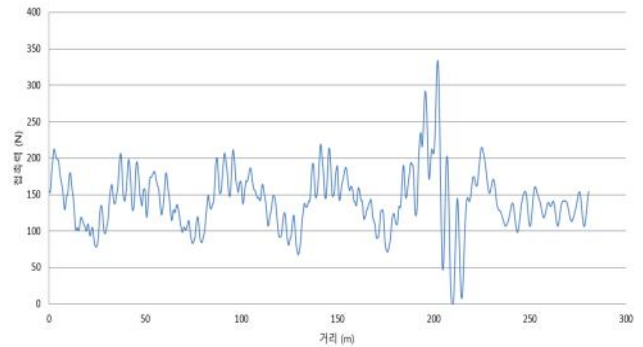


그림 6 접촉력 파형(사전이도 비적용)
Fig. 6 Contact force variation(pre-sag not applied)

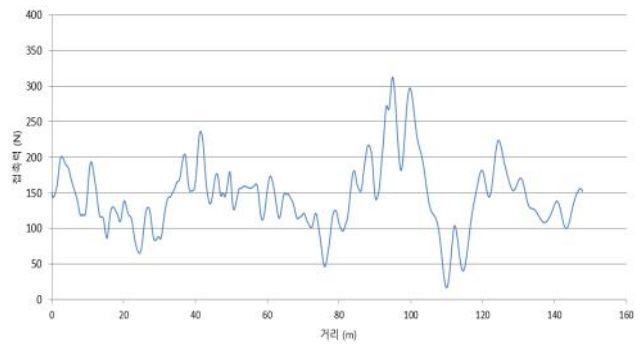


그림 7 접촉력 파형(사전이도 적용)
Fig. 7 Contact force variation(pre-sag applied)

커티너리 구간에서 경간들에 대한 강성완화에 대한 영향을 확인하기 위하여 경간길이를 줄여가며 전차선로를 모델링하였다. 인접 경간간 경간길이의 최대차이가 10 m임을 고려하여 경간길이를 30 m 및 20 m까지 점차적으로 줄여서 전차선로를 모델링하였다. 그림 8은 20 m까지 경간길이를 축소한 이행구간 전차선로 컨피그레이션이다.

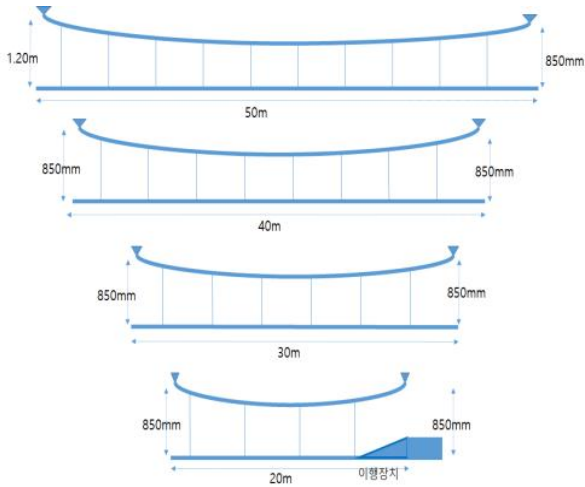


그림 8 이행구간 전차선로 구성
Fig. 8 Catenary configuration for transition section

표 5의 시뮬레이션 결과를 보면 경간길이가 20 m까지 줄일 때 접촉력 표준편차가 많이 작아져서 집전성능이 좋아진다는 것을 확인할 수 있다. 경간길이는 추가로 10 m로 설정할 수는 있으나, 최소 경간 및 시공상의 어려움이 있어 20 m 모델까지만 해석을 진행하였다. 그림 9의 접촉력 파형을 보면 이행장치가 설치된 위치에서 접촉력이 순간적으로 높게 계산되었고, 이러한 높은 접촉력은 이행장치에 의한 강성의 변화로 인하여 팬더그래프가 충격을 받는 특성을 보이는 것으로 판단된다.

표 5 접촉력 시뮬레이션 결과
Table 5 Simulation result for contact force

이행장치가 설치된 경간의 길이	50 m	30 m	20 m
평균 접촉력 [N]	158.8	140.9	140.6
접촉력 표준편차 [N]	74.3	54.4	45.8
통계적 최소접촉력 [N]	-64.2	-22.4	3.3
통계적 최대접촉력 [N]	381.8	304.2	277.9

또한, 설치 파라미터에 대한 영향 검토를 위하여 그림 10과 같이 이행장치와 연결되는 마지막 드로퍼의 간격변화와 그 위치에서 전차선의 높이 변화시 각각에 대한 동특성을 예측하였다.

이행장치와 연결되는 마지막 드로퍼의 간격을 기존 0.5 m에서

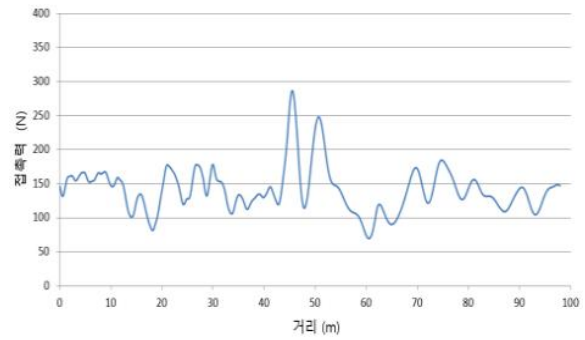


그림 9 경간길이 축소시(20 m) 접촉력 파형
Fig. 9 Contact force variation for span length reduction(up to 20 m)

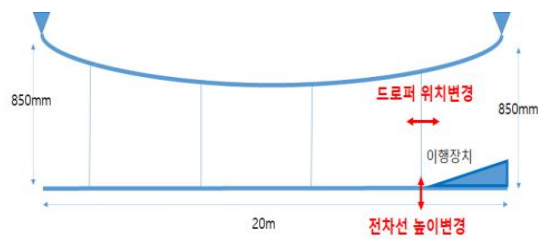


그림 10 전차선 높이 및 드로퍼 위치 변경
Fig. 10 Height change of contact wire and location change of dropper

표 6 마지막 드로퍼 위치에 따른 접촉력 해석 결과
Table 6 Simulation result for contact force according to last dropper location

이행장치와의 거리	0.5 m	1 m	0.25 m
평균 접촉력 [N]	140.6	140.9	140.8
접촉력 표준편차 [N]	45.8	46.9	47.8
통계적 최소접촉력 [N]	3.3	0.2	-2.6
통계적 최대접촉력 [N]	277.9	281.7	284.1

표 7 마지막 드로퍼에서 전차선 높이변화에 따른 접촉력 해석 결과

Table 7 Simulation result for contact force according to contact wire height at last dropper

마지막 드로퍼에서 전차선 높이	- 2 mm	+6.3 mm	- 6 mm
평균 접촉력 [N]	140.6	141.7	140.7
접촉력 표준편차 [N]	45.8	55.3	40.5
통계적 최소접촉력 [N]	3.3	-24.3	19.1
통계적 최대접촉력 [N]	277.9	307.7	262.3

1 m와 0.25 m로 변경하여 접촉력 해석을 진행하였고 해석결과는 표 6과 같다. 드로퍼와 이행장치간 거리 변화에 따른 접촉력의 영향은 앞서 분석한 0.5m가 가장 안정적인 설계라는 결론을 얻었지만, 집전성능에는 큰 영향을 미치지 않았다. 드로퍼 위치 변화에 따른 전차선의 강성변화가 크지 않기 때문이라고 판단된다.

다음은 마지막 드로퍼 위치에서의 전차선 높이를 기존의 -2 mm에서 각각 약 ±6 mm로 모델링하여 동특성을 예측하였고 결과는 표 7과 같다. 드로퍼의 높이를 6 mm 정도 낮추었을 때 조금 더 안정적이었다. 드로퍼와 이행장치의 처짐량이 클 때 집전판 통과시 이행장치를 들어 올리는 힘의 크기가 작아져서 동특성 측면에서 유리한 것으로 판단된다.

4. 결 론

강체 전차선로시스템은 터널 단면을 줄일 수 있기 때문에 국내뿐만 아니라 유럽에서도 고속화를 위한 연구를 진행하고 있다. 국내의 경우 산악지방이 많고 특히 계획 중인 수도권 광역철도 등의 경제성 향상을 위하여 고속용 강체 전차선로시스템 개발이 시급하다.

따라서 본 연구에서는 250 km/h급 강체 전차선로시스템과 커티너리 전차선로를 연결하는 이행구간에 대한 고속화 방안을 제시하였다. 고속화 방안을 제시하기 위하여 상용 다물체 동역학 프로그램인 “DAFUL”을 이용하였다. 먼저 프로그램에 대한 신뢰성을 확인하기 위하여 전차선/팬터그래프 동특성 예측 프로그램 검증을 위한 유럽코드인 EN50318에 따라 검증하였고, 검증된 모델링 기법 등을 활용하여 최고속도 250 km/h급 강체 전차선로 이행구간에 대한 구성방안을 제시하였다. 이행구간의 주요 설계 파라미터로 전차선 사전이도, 경간축소를 통한 강성완화, 강성이 급격하게 변화하는 이행장치 앞단의 드로퍼의 위치 및 높이 변화 등을 고려하였고, 각각의 설계 파라미터를 변화시키면서 동특성을 예측하였다. 예측결과를 기초로 250 km/h급 강체 전차선로 이행구간의 구성방안은 다음과 같다.

- 커티너리 구간과 강체 구간간의 강성 변화를 최대한 작게 하기 위하여 커티너리 구간의 경간을 표준경간인 50 m에서 20 m까지 단계적으로 변화시켜서 최대한 강체 구간의 강성에 가깝게 전차선로 경간을 구성하여야 함.
- 그리고 이행구간의 사전이도는 전차선 강성 변화에 영향을 미칠 수 있기 때문에 고려해야 함
- 팬터그래프 통과시 이행장치를 들어 올리는 힘의 크기가 작아져서 접촉력 변동을 작게 하므로 이행장치 전단의 전차선 높이를 이행장치보다 낮게 구성해야 함
- 이행장치와 첫 드로퍼 간 간격은 약 1 m 정도에 설치하는 것이 적절하고, 고려한 파라미터 중에서 상대적으로 집전성능에 가장 작은 영향을 미침.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 철도기술연구사업, 철도 핵심 부품/장치 기술개발 2단계 연구단 과제의 제2세부 과제인 250 km/h급 강체 전차선로개발의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

References

- [1] “Development of overhead contact line system for speed enhancement,” Korea Railroad Research Institute, 2015. 05.
- [2] “Development of core design technology for high-speed turnout and Overhead Rigid-Bar,” Korea Railroad Research Institute, 2012. 12.
- [3] Furrer + Frey: “Conductor Rail - Rigid Overhead Conductor Rail System (ROCS) for narrow tunnels, high reliability and for special applications,” http://www.furrerfrey.ch/en/systems/conductor_rail.html
- [4] “Rigid Catenary R-Bar System (KRSA-3072),” Standard for Korea Rail Network Authority, 2014. 06.
- [5] C. Vera et al., “Simulation model for the study of overhead rail current collector systems dynamics, focused on the design of a new conductor rail,” Vehicle System Dynamics, Vol. 44, No. 8, pp. 595 - 614, 2006. 8.
- [6] J. Paulin, J.D.Sanz, A.Garcia, C.Vera, “Development of New High-Performance Overhead Conductor Rail Using Simulation Models, and their Validation through Field Testing,” the proceeding of 7th WCRR, 2006
- [7] Kiwon Lee, Yong Hyeon Cho, Sam-Young Kwon, Young Park, “A Study on a Sensitivity Analysis of Design Parameters for the Speed-up of Overhead Rigid Conductor System,” The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol.66, No. 2, 2017
- [8] Kiwon Lee, Yong Hyeon Cho, “A Propose of design parameters for the max. speed of 250 km/h of Overhead Rigid Conductor System,” The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol.66, No. 4, 2017.
- [9] M. Shimizu and T. Kobayashi(2008), “Development of Transition Structures between Overhead Rigid Conductor Line and Catenary-Type Contact Line”, QR of RTRI, Vol. 49, No. 2
- [10] Yong-Hee Won et al, “Development of the Dynamic Behaviors of Transition Structure for High Speed Rigid Conductor Line over 250 km/h,” Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 19, No. 2, 2017
- [11] “Railway applications - Current collection systems -

Validation of simulation of dynamic interaction between pantograph and overhead contact line,” The European Standard EN50318, The European Standard EN50318, 2002.

- [12] “Railway applications. current collection systems. Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line,” The European Standard EN50317, 2012.
- [13] “*Current collection performance test for Overhead Rigid Bar in Deabul Tunnel,*” Korea Railroad Research Institute, 2013. 6.
- [14] Yong Hyeon Cho, “Numerical simulation of the dynamic responses of railway overhead contact lines to a moving pantograph, considering a nonlinear dropper,” Journal of Sound and Vibration, Vol. 315, Issue 3, 2008

저 자 소 개



박 영 (Young Park)

2000년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 (석사), 2004년 동대학원 동학과(박사), 현재 한국철도기술연구원 책임연구원



전 호 찬 (Hyo Chan Jun)

2008년 한양대학교 기계공학과(석사), 현재 버추얼모션(주) 책임연구원



최 규 형 (Kyu-Hyoung Choi)

1989년 무로란공대 전기공학과(석사), 1992년 홋카이도(北海道) 대학 전기공학과(박사), 현재 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 교수



이 기 원 (Kiwon Lee)

1997년 RIT(미) 기계공학과(석사), 2009년 성균관대 기계공학과(박사), 현재 한국철도기술연구원 책임연구원



최 태 수 (Tae-Su Choi)

2007년 한밭대학교 전기공학과(석사), 2018년 서울과학기술대학교 철도전문대학(박사), 현재 한국철도시설공단 전자통신처장



조 용 현 (Yong Hyeon Cho)

1992년 한국과학기술원 기계공학과(석사), 2008년 서울대 기계공학과(박사), 현재 한국철도기술연구원 수석연구원