

고속철도 운행 증가에 따른 전압강하 예측 및 대책

이장무, 이한민, 김주락, 김길동
한국철도기술연구원

Estimation and measures of voltage drop occurred by increasing train sets in high-speed railway

Changmu Lee, Hanmin Lee, Jurak Kim, Gildong Kim
Korea Railroad Research Institute

Abstract - The more feeding distance of substation is long and travel vehicle increases in feeding section, power supply reaches the limits. And if it exceeds the limit, it causes a serious trouble for train operation. Therefore, it is designed that the number of train increases constantly until 2030. So consistent power supply according to the increasement of vehicle in power system at present Seoul-Pusan high speed railway, regular operation in case of extended feeding occurring accidents in substation, and the least headway scheduled at relevant section and the effects installing compensation facility in case of impossible extended feeding is examined.

1. 서 론

2004년 4월 1일 역사적인 경부고속철도 개통이 이루어진 이후로 많은 승객들이 KTX 고속열차를 이용하고 있으며 이용 승객과 열차의 운행횟수가 지속적인 증가를 보이고 있다. 개통당시 주중52회, 주말61회(편도)의 운행으로 시작되어 2005년 11월 현재 80회(편도)의 운행을 하고 있으며 향후 2030년 이후 232회(편도) 운행되도록 계획되어 있다.

경부고속철도를 운행하는 KTX 고속열차는 차량 1편성당 정격부하 용량이 15MW에 이르는 대용량의 부하로 철도변전소에서는 154kV 3상의 전력을 한국전력으로부터 수전받아 스코트 결선 변압기를 통하여 2x25kV 2상의 전력으로 변환하여 급전선로를 통하여 전기차량에 전력을 공급하는 교류전기철도 2x25kV AT 급전방식을 채용하여 건설되었으며 상하선 병렬급전방식(Parallel Post 방식)을 사용하여 선로 임피던스 저감 및 전력전송의 효율화를 기하고 있다.

전철변전소 고장시 인근변전소에서 연장급전하는 경우 철변전소의 급전거리가 길어질수록 급전구간내의 운행 차량이 증가할수록 전력공급의 한계에 도달하게 되며, 한계를 넘어설 경우 열차운행에 심각한 지장을 일으킨다.

따라서 2030년까지 지속적으로 열차운행 편성수가 증가하도록 계획되어 있음으로 현재 설비되어있는 경부고속철도의 급전계통에서 차량증가에 따른 안정적인 전력공급 가능여부, 또는 전철변전소에서 사고가 발생하는 연장급전의 경우에 계획된 열차운행이 정상적으로 가능한지의 여부 및 연장급전이 불가능할 경우 해당구간에서 운행 가능한 최소 운행시격과 전압강하보상설비를 설치함으로써 단축가능한 최소 운행시격을 검토하고자 한다.

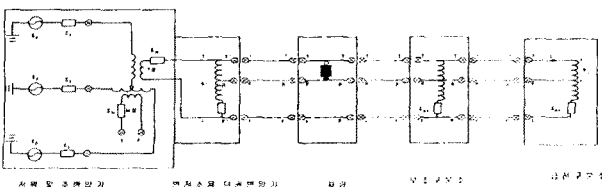
2. 본 론

2.1 급전계통 시뮬레이션 입력데이터

열차운행에 따른 정밀한 급전계통해석을 위해서는 전력계통데이터, 선로데이터, 열차운행데이터(TPS) 및 열차운행 다이어가 필요하며 특히 차량의 실효성을 반영한 열차운행데이터와 정확한 열차운행 다이어가 있어야 한다.

2.1.1 단단자 회로 모델

한국철도기술연구원에서는 급전선로의 자기임피던스, 상호임피던스와 어드미턴스를 고려하여 전철급전시스템의 정밀한 해석을 위해 6단자 정수를 정의하여 <그림 1>과 같이 AT급전회로의 모든 회로요소(전원임피던스, 변전소측 단권변압기, 급전소측 단권변압기, 선로중간 단권변압기, 급전선로 및 차량)를 6단자 전달행렬식으로 모



<그림 1> 교류 급전시스템의 구성

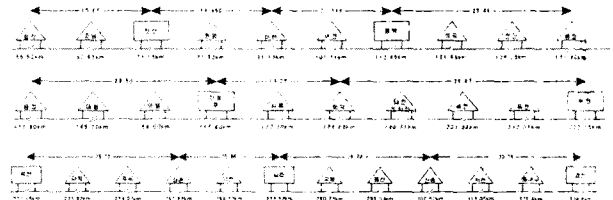
델링하여 이로부터 급전선로의 부하 특성을 해석하는 기법을 개발하였으며 이 모델을 이용하여 급전계통 해석프로그램을 작성하였다.

2.1.2 급전계통도

고속열차 운행증가에 따른 전압강하를 예측하기 위한 대상 구간으로 경부축을 대상으로 현재 KTX 고속열차가 운행되는 구간을 대상으로 하였다. 이 구간은 일직SP~부산역으로 이는 고속선로와 기존선 전철화 구간을 포함하고 있다. 일직SP~회덕SP 및 옥천S/S~신동SP 구간은 고속선 구간이며 대전조차장SSP~옥천SSP, 지천S/P~경산SS 구간은 경부선 전철화 구간이고, 회덕SP~대전조차장SSP 및 신동SP~지천SP구간은 연결선 구간이다. 고속철도 2단계 건설이 완료되면 기존 경부선 전철화 구간과 연결선 구간은 고속선 구간으로 변경될 것이다.

기존 고속선선에 대한 급전계통도와 기존 경부선의 급전계통도에서 km정 표시체계가 상이함으로 연장급전 시뮬레이션을 위하여 경산전철변전소의 km정을 기준으로 하여 고속선 구간의 위치를 나타내었다.

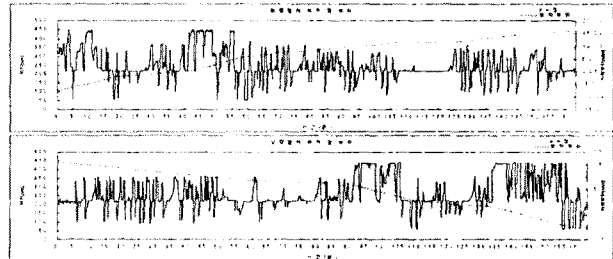
고속열차 운행증가에 따른 전압강하예측을 위한 급전계통도는 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 고속철도 운행선로 급전계통도

2.1.3 열차운행 데이터

전기철도 급전회로 해석을 하는데 있어서 열차의 가속 특성, 선로상대(곡선, 구배), 정차역 위치 등을 고려하여 열차의 속도, 위치 및 부하를 예측한 열차운행데이터는 아주 중요한 요소이다. 그러나 기존선 직결운행이 포함된 고속선구간에 대한 열차운행시뮬레이션 결과가 없는 관계로 서울역~부산역 구간을 시험운행하는 KTX36호 시운전 열차가 동일 구간을 운행할 때 열차의 위치 및 사용 부하량을 측정하여 시뮬레이션에 필요한 열차운행 데이터를 수집하였다.



<그림 3> 고속열차 열차운행 데이터(측정결과)

2.1.4 열차운행계획

KTX고속열차는 개통당시 주중52회, 주말61회(편도)의 운행으로 시작되어 2005년 11월 현재 80회(편도), 철도공사 고속열차시각표 기준)의 운행을 하고 있다. 고속열차는 연차별로 운행횟수가 지속적으로 증가하여 향후 2030년 이후 232회(편도) 운행되도록 계획되어 있다.

2.2 연장급전시 전압강하 예측

연장급전을 할 경우 전철변전소의 주변압기 2대가 병렬운전하는 조건으로 예측하였으며 각 변전소별 주변압기의 용량은 고속선 5개 변전소(안산, 평택, 신정주, 옥천, 김천)는 90/120MVA이며 기존선 변전

<표 1> 연도별 열차운행회수(2000년 계획안)

연도	운행회수	연도	운행회수	연도	운행회수
2004	85	2013	182	2022	218
2005	90	2014	188	2023	220
2006	96	2015	194	2024	222
2007	103	2016	200	2025	224
2008	110	2017	205	2026	227
2009	116	2018	210	2027	228
2010	116	2019	212	2028	231
2011	171	2020	214	2029	232
2012	177	2021	216	2030	232

소(경산)는 45/60MVA이다. 연장급전구간을 열차운행계획에 따라 해당구간을 고속열차가 24시간 운행될 때의 차량의 최저전압을 예측하였다.

2.2.1 현행 운전계획

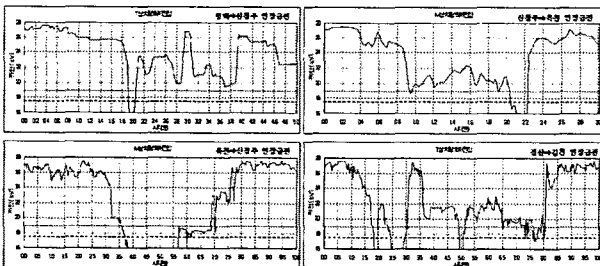
현재 열차운행계획(2005년 11월 기준)에 따라 고속열차가 경부 고속선 및 경부 기존선 전철화 구간을 운행할 때, 각 변전소별로 이웃하는 전철변전소의 고장으로 인하여 연장급전하는 경우에 대하여 예측계산을 수행하였다.

각 변전소별로 연장급전을 할 경우 차량에서 집전하는 차량의 최저전압에 대한 예측결과를 <표 2>에 나타내었으며 차량의 최저전압이 19kV 이하가 되는 구간의 시뮬레이션 결과를 <그림 4>에 나타내었다. <표 2>에서 보이는 바와 같이 연장급전시 4개 구간을 운행하는 고속열차의 최저집전전압이 열차운행이 가능한 최소 전압인 19kV 이하가 되어 열차운행에 지장을 줄 것으로 예측된다.

또한 경산SS=신동SP 구간은 정상급전상태임에도 불구하고 차량의 최저전압이 17.5kV로 예측되어 정상적인 열차운행에 지장을 줄 것으로 나타났다.

<표 2> 현행 열차운전상태 연장급전시 차량전압 (단위:kV)

변전소	상	급전구간	차량 최저전압	상	급전구간	차량 최저전압
안산	M상(연장급전)	안산-평택	22.918			
	T상	안산-회덕	25.638			
평택	M상(연장급전)	평택-안산	21.504	M상	평택-마하	23.650
	T상	평택-용정	23.749	T상(연장급전)	평택-신청주	14.926
신청주	M상	신청주-회덕	23.303	M상(연장급전)	신청주-옥천	15.277
	T상(연장급전)	신청주-평택	19.599	T상	신청주-용정	24.250
옥천	M상(연장급전)	옥천-신청주	15.319	M상	옥천-회덕	23.472
	T상	옥천-상촌	24.495	T상(연장급전)	옥천-김천	21.574
김천	M상	김천-신동	23.220	M상(연장급전)	김천-경산	20.645
	T상(연장급전)	김천-옥천	22.354	T상	김천-상촌	23.333
경산	M상	경산-청도	24.849	M상(연장급전)	경산-밀양	22.616
	T상(연장급전)	경산-김천	15.046	T상	경산-신동	17.554



<그림 4> 현행 열차운행계획에서 연장급전 최저전압 예측결과

2.2.2 최종년도(2030년)

위의 2.2.1절에서 현재 열차운행계획에 따라 열차가 운행될 때 연장급전시 정상적인 열차운행이 가능한지의 여부를 검토하였다. 검토결과 몇몇 구간에서 차량 집전전압이 열차가 운행하는데 필요한 최소전압(19kV) 이하가 되어 정상적인 열차운행이 불가능할 것으로 예측되었다. 향후 2030년 경부고속철도의 열차운행회수가 232회가 되도록 지속적인 열차운행의 증가가 계획되어 있으므로 이러한 열차운행이 증가함에 따라 전철변전소에서 안정적인 전력공급이 가능한지의 여부, 즉 운행되는 차량에서 필요한 부하와 전압유지가 가능한지에 대한 검토가 필요하다. 그러나 향후 증가되는 열차운행회수에 대한 세부적인 열차운행계획이 수립되어 있지 않음으로 운행되는 열차의 시격을 경부고속철도 최소운행시격인 4분부터 10분까지로 운행시격을 나누어 예측계산을 수행하였다.

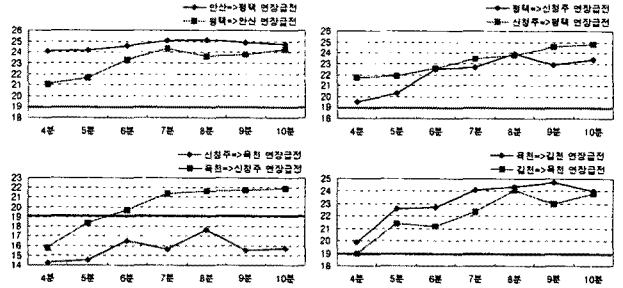
정상급전 예측결과, 4분시격 운행시 옥천변전소 M상 급전구간에 서만 차량의 최저전압이 19kV이하가 되는 것으로 예측되었다. 운행시격이 5분시격으로 증가하였을 경우 차량의 운행에 지장이 없을 것으로 예측되었다.

연장급전상태에서 차량의 최저전압을 예측한 결과 안산SS=평택S, 평택SS=신청주SS, 옥천SS=김천SS 구간은 4분시격운행이 가능한

<표 3> 정상급전시 차량의 최저전압 예측결과 (4분시격 운행)

변전소명	안산		평택		신청주		옥천		김천		
	M상	T상	M상	T상	M상	T상	M상	T상	M상	T상	
차량최저 전압 [kV]	4분시격	25.4	25.1	25.5	25.4	25.0	24.9	18.3	24.6	24.2	25.0
	5분시격	25.5	25.1	24.9	25.5	25.3	24.4	21.2	24.8	23.6	24.5

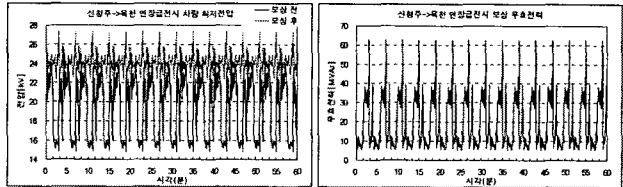
것으로 예측되었으며, 김천SS=옥천SS구간은 5분시격운행이, 옥천SS=신청주SS 구간은 6분시격 운행이 가능한 것으로 예측되었다. 그러나 신청주SS=옥천SS 구간의 경우 10분시격운행도 불가능한 것으로 예측되었다.



<그림 5> 연장급전시 열차 최저전압 예측

2.3 운행 불가구간에 대한 전압강하 보상효과 예측

2.2.2절의 최종년도 예측결과 신청주=옥천 연장급전구간이 전압강하가 가장 심각한 것으로 나타났다. 이 구간에 대해 회덕SP에 전압보상설비(SVC)를 설치하였을 경우 전압강하 보상효과를 검토하였다.



<그림 6> 보상설비 설치시 최저전압 및 보상량

연장급전하는 상황에서 고속열차가 4분시격으로 운행하는 경우를 고려할 때, 회덕SP에 무효전력보상용 SVC를 설치하여 무효전력을 보상할 경우 이 구간을 운행하는 차량의 최저전압은 설치전 14.79kV(열차운행불가)에서 설치 후 22.36kV로 차량의 최저전압이 상승하여 안전한 열차운행을 도모할 수 있을 것으로 예측되었다.

3. 결 론

2004년 경부고속철도 개통이후로 고속열차의 운행이 증가되고 있으며 향후 2030년 232편성이 운행될 예정이다. 현재 운행계획과 향후 증가되는 열차운행을 고려하여 변전소에서의 전력공급능력을 정상급전상태와 연장급전상태에서 검토하였다.

현행 운행계획에 따라 열차가 운행될 경우의 정상급전과 연장급전상태를 검토한 결과, 정상급전상태에서 경산SS=신동SP구간의 차량전압이 최소 17.55kV로 예측되어 집전전압저하로 인한 문제 가능성이 있는 것으로 예측되었으며, 연장급전상태의 경우 4개 구간에서 정상적인 열차운행이 어려울 것으로 예측되었다.

또한 열차운행이 증가되었을 때 정상급전시 4분 운행시격으로 열차운행이 가능할 것으로 예측되었으나, 연장급전 상황에서는 운행가능한 열차운행시격이 옥천SS=신청주SS 구간의 경우 6분 이상, 신청주SS=옥천SS 구간의 경우 12분 이상의 운행시격으로 열차운행이 가능할 것으로 나타났으나, 전압강하보상설비를 설치할 경우 연장급전상황에서도 정상적인 열차운행이 가능할 것으로 예측되었다.

위의 예측은 모든 차량을 동일한 운전형태를 갖는 조건으로 예측한 것으로 실제상황과는 다르며 좀더 정확한 예측을 위하여는 정차역 패턴을 고려한 열차운행데이터, 정확한 열차운행 계획이 필요하다.

[참고 문헌]

- [1] 한국철도기술연구원(2003), "경부고속철도 서울-대구구간 전력품질 안정화 대책연구"
- [2] 오광해, 이장무(2000), Harmonic analysis based on four-port representation for traction power supply", ICEE 2000 Proceeding
- [3] 이한민, 오광해, 이장무, 창상훈(2001), "5도체군 등가모델을 이용한 선로정수 예측에 관한 연구", 대한전기학회 춘계학술대회는논문집, pp.443~445
- [4] 이장무, 이한민, 한문섭, 김주락, 정호성(2004), "전기철도 급전계통의 집전전압 안정도 해석", 철도학회 추계학술대회
- [5] 이장무, 이한민, 김주락, 김길동(2006), "고속철도 운행증가에 따른 전압강하 예측", 철도학회 춘계학술대회