

## 기존선-고속선 연결선 구간에서 최대부하용량 평가

이장무\*, 이한민\*, 오세찬\*, 김길동\*, 장길수\*\*

\*한국철도기술연구원, \*\*고려대학교

### Estimation of Maximum Load Capacity at Interconnection Line of High-Speed and Conventional Line

Chang-Mu Lee\*, Han-Min Lee\*, Seo-Chan Oh\*, Gil-Dong Kim\*, Gil-Soo Jang\*

\*Korea Railroad Research Institute, \*\*Korea University

**Abstract** - At the coupling area linking high speed line and conventional line, according to distance between trains due to speed limit of conventional line, the power load of substation supplying to this conventional line increase. At the coupling area between Kimcheon SS and Kyoungsan SS, train operation have problems caused by instantaneous voltage drop. So, this paper propose evaluation method of maximum load capacity at current normal feeding condition.

## 1. 서 론

2004년 4월 1일 역사적인 경부고속철도 개통이 이루어진 이후로 많은 승객들이 KTX 고속열차를 운행하고 있으며 이용승객과 열차의 운행 횟수가 지속적인 증가를 보이고 있다. 개통당시 주중52회, 주말61회(편도)의 운행으로 시작되어 2008년 4월 현재 주중 69회, 주말 74회(편도)의 운행을 하고 있으며 향후 2030년 이후 232회(편도) 운행하도록 계획되어 있다.

경부고속철도를 운행하는 KTX고속열차는 차량1편성당 정격부하용량이 15MW에 이르는 대용량의 부하로 서울-부산구간을 평균속도 136~150km/h로 운행하며 고속선구간은 최대 300km/h, 기존선구간은 최대 150km/h의 속도로 운행한다. KTX 고속열차가 고속선 구간과 도심지를 통과하는 기존선 구간을 연결하여 운행함에 따라 기존선과 고속선이 연결되는 연결선 구간에서 기존선의 최고속도 제한으로 인하여 열차간의 거리간격이 짧아지게 되어 기존선 구간에 전력을 공급하는 변전소의 부하가 증가하게 된다.

특히 기존선-고속선 연결선구간인 김천변전소-경산변전소 급전구간에서 순간적인 전압강하로 인하여 열차 운행에 지장을 초래하고 있다. 이는 선로의 부하가 공급 가능한 최대부하를 일시적으로 초과하는 것으로 열차운행이 최대부하용량 이내에서 운행되도록 열차시각이 조정되어야 한다. 따라서 현재 정상급전상태에서 투입가능한 최대부하용량을 평가하여 투입가능한 최소 운전시각을 예측하며, 최소운전시각보다 짧은 운전시각으로 운전이 가능한 급전계통 구성방안에 활용할 수 있도록 하고자 한다.

## 2. 본 론

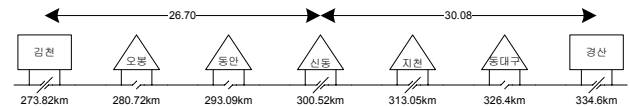
### 2.1 현 운행단계 측정 결과

서울-부산구간을 운행하는 경부고속철도 노선은 300km/h의 고속으로 주행하는 고속선 구간과 정차역이 위치해 있는 도심지를 통과하는 기존선 구간으로 되어있다. 이 중 고속선과 기존선이 만나는 연결선 구간은 서울지역의 구로변전소-안산변전소 급전구간, 대전지역의 신청주변전소-옥천변전소 급전구간, 대구지역 김천변전소-경산변전소 급전구간이 있다. 구로/안산/신청주/옥천/김천전철변전소는 수도권 전철망과 고속철도에 급전하는 변전소로 급전변압기의 용량이 90MVA이상으로 상당히 큰 편이나, 경산전철변전소는 기존 경부선에 급전하는 변전소로 급전변압기 용량이 45MVA로 상대적으로 작은 편이다. 따라서 3개소의 연결선 구간 중 대구지역 김천전철변전소-경산전철변전소 급전구간, 좀더 정확히 신동SP-경산전철변전소 급전구간에 대하여 현 운행단계에서의 측정, 공급가능 최대부하 등 세부적인 검토를 수행할 필요가 있다.

#### 2.1.1 현 운행단계에서 대구지역 연결선 구간 측정

현재 열차운행계획에 따라 고속열차가 운행 중인 상태에서 경산SS, 지천SSP 및 신동SP에서의 전압 등을 측정된 결과를 아

래 표1과 그림2에 나타내었다.



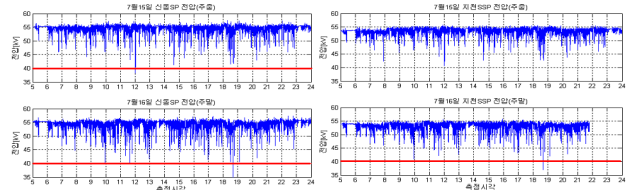
〈그림 1〉 현 운행단계에서 김천-경산 구간의 급전계통

경산SS에서 공급하는 전압의 최저값은 주중의 경우 46.8kV 주말의 경우 43.28kV로 측정되었으며, 지천SSP의 최저전압은 주중 40.41kV 주말 36.87kV로 측정되었고 신동SP의 최저전압은 주중 38.25kV 주말 34.93kV로 측정되었다.

이들 전압을 차량측의 전압으로 환산하면, 경산SS의 최저전압 43.28kV를 차량측으로 환산하면 21.64kV이며, 지천SSP의 최저전압 36.87kV를 차량측으로 환산하면 18.43kV, 신동SP의 최저전압 34.93kV를 차량측으로 환산하면 17.47kV로 지천SSP와 신동SP 구간이 차량의 운행가능 최저전압 19kV이하로 되어 열차 안전 운행에 지장을 주는 것으로 나타났다.

〈표 1〉 경산SS, 지천SSP 및 신동SP의 전압요약

	경산변전소					지천SSP	신동SP
	전압 [kV]	전류 [A]	P [MW]	Q [MVA]	S [MVA]		
주중	46.80	884	35.22	28.81	42.04	40.41	38.25
토요일	43.62	1,140	42.98	34.86	49.61	36.87	34.93
일요일	43.28	1,096	39.85	32.11	47.39		

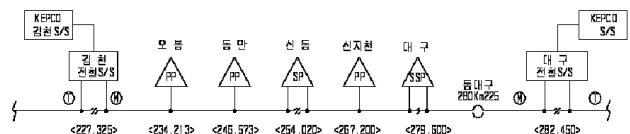


〈그림 2〉 전압 측정 결과(신동SP, 지천SSP)

따라서 경산SS-신동SP구간에 대하여 열차가 운전가능한 최소 전압(19kV) 이상을 유지하며 공급가능한 부하의 범위를 확인할 필요가 있다.

### 2.2 대구SS-신동SP 구간의 공급가능 부하 예측

2.1에서의 측정결과는 현재 운행 중인 급전계통에서 측정된 것으로 신동SP-지천SSP 구간은 고속선-기존선의 연결구간이며 지천SSP-경산SS 구간은 기존경부선 구간이다. 이 구간은 경부고속철도건설2단계 계획의 일부로 고속선 전용노선이 그림 3.과 같이 기존선 구간을 따라 새롭게 건설되도록 계획되어 있다.



〈그림 3〉 향후 김천-대구 구간의 급전계통

따라서 고속철도2단계 계획을 반영하여 공급가능 부하를 예측한다. 최대공급부하예측은 2가지 방안으로 수행한다.

- ① SP 말단에 집중부하로 예측하는 방안
- ② 선로길이 전체에 균일부하로 예측하는 방안

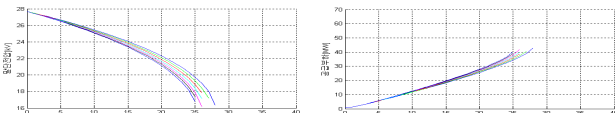
**<표 2> 경산SS 전원계통 데이터**

한전	범물SS	%Z1 = 0.147+j1.562
송전선로	지중	%Z1 = (0.0186+j0.0877) x 4.3km
	가공	%Z1 = (0.0331+j0.19868) x 3.2km

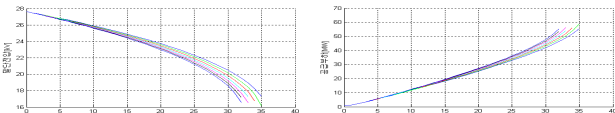
급전선로에 전력을 공급하는데 변전소의 급전용 변압기의 용량이 중요한 역할을 하지만 차량부하가 매우 큼으로 변압기의 내부임피던스 및 선로손실이 차량에 전력을 공급하는데 제한을 준다. 따라서 변압기의 용량 및 내부임피던스를 변화시켜 가며 역률변화에 따른 부하전달특성을 살펴보고자 한다.

**2.2.1 SP 말단에 집중부하로 예측**

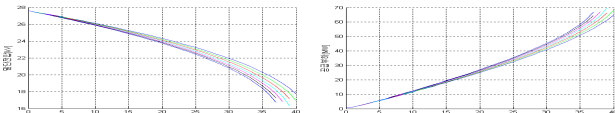
급전구간의 말단에 부하를 위치시키고 이때 투입가능한 최대 부하를 예측하여 선로상에서 차량의 위치에 관계없이 안전운행을 보장되는 최소집전전압[19kV]을 만족시키는 부하의 최대값을 구하고자 한다. 이를 위해 신동SP 위치에 부하를 위치시키고 부하의 크기를 0~40MW까지, 역률을 0.7~1.0까지 변화시키면서 변전소측의 급전부하, 부하점의 전압 등을 비교검토하였다.



**<그림 4> MTR=45MVA %Z=10인 경우(집중부하)**



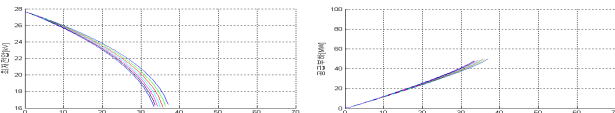
**<그림 5> MTR=90MVA %Z=10인 경우(집중부하)**



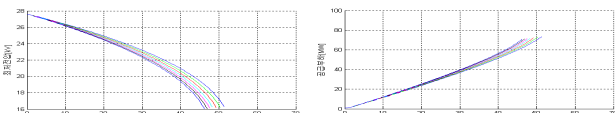
**<그림 6> MTR=90MVA %Z=5인 경우(집중부하)**

**2.2.2 선로전체에 균등부하로 예측**

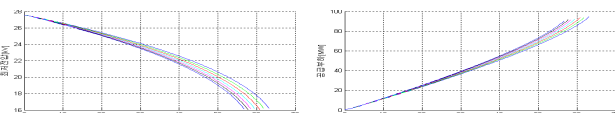
급전선로에서 부하인 차량은 시공간적으로 변화하는 부하와 위치를 갖고 이동하게 된다. 선로말단에서 최대부하를 산정하는 것은 매우 가혹한 조건으로 이를 토대로 전철변전소 설계를 할 경우 과다설계의 우려가 매우 크다. 따라서 급전선로 전체에 걸쳐 부하가 균일하게 분포되어 있는 경우에 대해 대구SS~신동SP 구간에 km당 부하를 변화시키며 변전소측의 공급부하, 선로상의 최저전압을 예측하였다.



**<그림 7> MTR=45MVA %Z=10인 경우(균등부하)**



**<그림 8> MTR=90MVA %Z=10인 경우(균등부하)**



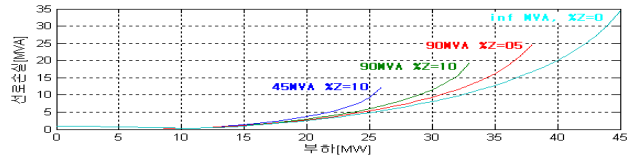
**<그림 9> MTR=90MVA %Z=5인 경우(균등부하)**

**2.2.3 예측결과 검토**

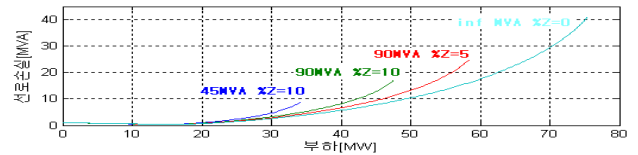
급전선로에 공급가능한 최대부하를 예측하기 위하여 2가지 방법, 즉 ① SP의 말단에 집중부하를 위치시켜 공급가능 최대부하를 예측하는 방안과 ② 선로에 균일한 부하를 분포시켜 공급가능한 최대부하를 예측하는 방안으로 검토하였다

2.1.1의 측정결과에서 차량의 운행최저전압 한계에 이른 경산 변전소의 공급최대부하가 49.61[MVA]인 것으로 측정되었다. 이는 선로에 부하가 균등하게 분포해 있으며 MTR용량이 45MVA %Z=10인 그림7에서의 예측결과에서 공급부하의 최대값과 유사함을 알 수 있다.

또한 급전선로의 차량에 전력을 공급하기 할 때 차량의 부하가 증가하면 할수록 전력전송에 따른 전차선로에서의 손실도 매우 커짐을 알 수 있으며 MTR의 용량을 키우더라도 전차선로의 용량한계로 인한 부하전달의 제한이 있음을 알 수 있다. 표3은 차량의 집전전압이 운전가능최소전압 19[kV]이상을 유지하면서 선로에 투입할 수 있는 최대의 부하를 나타낸 것이다.



**<그림 10> 선로손실 비교(부하역률=0.9인 경우, 집중부하)**



**<그림 11> 선로손실 비교(부하역률=0.9인 경우, 균등부하)**

**<표 3> MTR용량변화에 따른 공급가능 최대부하**

MTR 용량		45MVA %Z=10	90MVA %Z=10	90MVA %Z=05	∞ MVA %Z=0
공급가능 최대부하	집중부하	23MW	29MW	33MW	40MW
	균등부하	30MW	41MW	50MW	64MW

**3. 결 론**

KTX 고속열차가 고속선 구간과 도심지를 통과하는 기존선 구간을 연결하여 운행함에 따라 기존선과 고속선이 연결되는 연결선 구간에서 기존선의 최고속도 제한으로 인하여 열차간의 거리간격이 짧아지게 되어 기존선 구간에 전력을 공급하는 변전소의 부하가 증가하게 되어 열차 운행에 지장을 초래하고 있음을 경산변전소에서의 측정결과에서 나타났다.

경부고속철도 대구연결선구간인 경산SS-신동SP 구간에서 투입가능한 최대부하용량을 2가지 방안(집중부하, 균등부하)으로 평가하였다. 또한 급전선로의 부하를 균등부하로 예측한 결과가 측정결과와 유사하여 급전계통의 최대부하예측에 사용할 수 있음을 보였다.

향후 이러한 결과를 이용하여 공급가능 최대부하량을 증가시키기 위한 대책설비 설계, 투입가능한 최소 운전시각 예측 및 최소 운전시각보다 짧은 운전시각으로 운전이 가능한 급전계통 구성방안에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] 한국철도기술연구원, “경부고속철도 서울-대구구간 전력품질 안정화 대책연구”. 2003
- [2] 오광해, 이장무, Harmonic analysis based on four-port representation for traction power supply”, ICEE 2000 Proceeding, 2000
- [3] 이한민, 오광해, 이장무, 창상훈, “5도체군 등가모델을 이용한 선로정수 예측에 관한 연구”, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.443~445, 2001
- [4] 이장무, 이한민, 한문섭, 김주락, 정효성, “전기철도 급전계통의 집전전압 안정도 해석”, 철도학회 추계학술대회 논문집, 2004
- [5] 이장무, 이한민 외, “급전방식에 따른 급전선로의 전송용량 예측”, 대한전기학회 하계학술대회논문집, 2007