

## 고속선 전차선로 이상전압 발생의 영향과 분석

이기천, 전용주  
KORAIL

### High-speed power network for catenary abnormal voltage effect and analysis

Gi-Chun Lee, Yong-Joo Jeon  
Korea Railroad Corporation

**Abstract** - In year 2004 Korea runs high speed train KTX for the 5th time in the world. And now the traction power system is quite stabilized. But still a lot of work to develop and abnormal voltage problem is one of them. In this paper, by actual measuring we have collected the abnormal data on the high speed train sub-station for more than 15 days. The collected data has been evaluated. In the near future collected data will be used planing a countermeasure.

#### 1. 서 론

21세기 첨단 기술이 연구 개발되고 기술경쟁국으로 선진 기술국으로부터 심한 견제를 받는 이런 상황에서 세계 5번째로 고속열차를 개통 운영할 수 있다는 것은 매우 고무적이며 그 의미가 던지는 현안 과제 또한 만만치않다.

고도의 산업화에 따른 물류량의 증가와 인구 도시집중 현상은 교통난을 더욱 심화시키고 있으며 수송효율성 향상 대책으로서 고속전기철도가 개통되어 시간적인 측면과 물적, 인적 이동에 새로운 전기를 마련하게 되었다. 특히 고속전기철도는 수송력이 월등히 높고 안전성 및 신속성과 친환경적인 요소로서 세계 각국에서 미래 교통문제 해결의 최선의 대안으로 채택되고 있는 실정이다. 우리나라 역시 경부고속전차 사업으로 KTX가 운전되고 있으며 이러한 고속전차의 전력공급을 위하여 별도의 고속전차 변전소가 운용되고 있다.

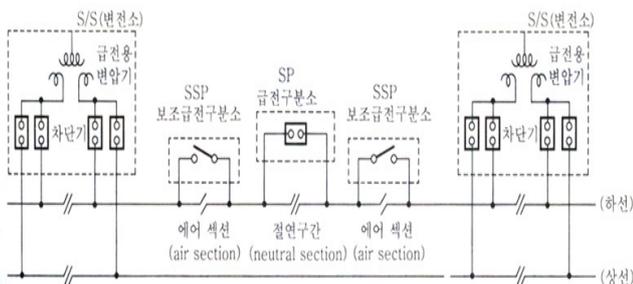
이러한 고속전차에서 가장 중요한 사항은 안전성과 신뢰성이다. 이러한 안전성과 신뢰성을 확보하기 위한 중요한 부분이 고속전차에 동력을 전달하는 변전소이다. 우리는 73년 산업선 전철화인 중앙선(청량리-계천) 개통을 시발로 전철화를 시작하여 2006년 말 기준 53.6% 전철화를 이루었으나 고속전차를 도입하면서 새로운 국면을 맞이하게 되었다. 이 새로운 이슈는 속도 개념이다. 우리는 그 동안 일반전차를 운영하면서 많은 부분에 기술축적이 되었으나, 고속전차를 도입하여 운영하면서 일반전차 운영과는 달리 큰 차이를 있음을 알게 되었다.

따라서 일반전차변전소와 고속전차변전소에서 발생하는 이상전압을 조사, 비교 분석을 통하여 고속열차 운행 시 발생하는 여러 가지 문제점을 살펴보고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 급전방식

교류전기차는 단상을 사용하므로 3상 전력계통으로부터 수전한 전력을 3상 2상변환 변압기로 90°의 위상차를 2조의 단상전력으로 변환한다. 그리고, 급전회로를 [그림 1]과 같이 구성하여 방면별 또는 상하선별로 급전하여 3상측의 전류가 거의 평형이 되도록 하고 있다.



〈그림 1〉 교류 급전회로의 구성

변전소 및 급전 구분소에서는 이상(異相)전원이 접속되므로 일반 전기철도에는 절연구간(neutral section)을 설치하고 있다.

급전용 변압기는 3상2상 변환 변압기로 수전전원이 154kV 이하의 경우에는 스코트 결선(scott connection) 변압기를 사용한다.

단권변압기(AT)는 약 10~15km간격으로 설치하고 권선의 한 측을 트롤리선, 다른 측을 급전선, 그리고 권선의 중앙점을 레일에 접속하는 방식이다. 이 방식에서는 AT를 각 회전마다 설치하지 않고 공용으로 사용하며 각 급전선에 차단기를 설치하여 고장구분을 하도록 하고 있다.

전차변전소에 설치된 변압기(154kV) 변압기와 55kV 스코트 변압기와 feeder를 대상으로 전압과 전류 data와 부하에 대한 정보의 취득하기 위하여 현장 전차변전소의 전압 및 전류의 데이터를 취득하고 이에 대한 분석을 실시하였다.

##### 2.2 전차변전소의 부하 특성비교

전차변전소의 부하특성을 비교하기 위하여 일반 및 고속선의 대표 변전소를 아래와 같이 선정하여 데이터를 계속하여 현상을 파악하였다.

가. 대상 전차변전소

- 일반전차: 구로전차변전소(60/80MVA)
- 고속전차: 신청주전차변전소(90/120MVA)

나. 측정요소

- 154kV측 전압, 전류
- 55kV(변압기 2차측) 및 Feeder측에 대한 전압, 전류

다. 측정기간

- 구로전차변전소: 14일간
- 신청주전차변전소: 17일간

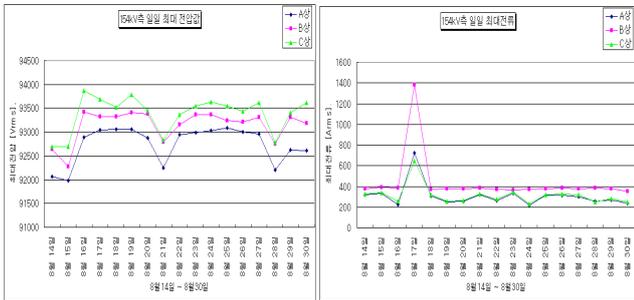
라. 측정장비: DAS장치

[표 1] 일반 및 고속 전차변전소 부하계측 결과

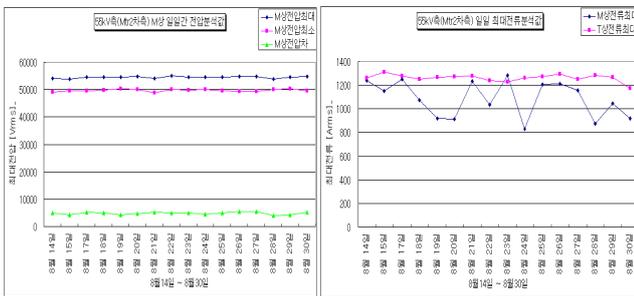
구분	구로전차변전소 (60/80MVA)	신청주전차변전소 (90/120MVA)
154 kV	전압측면 1일 최대전압은 C상이 정격전압의 A상과 B상에 비하여 102~103% 높은 전압으로 운전. 휴일 경우 최대 전압값이 평일보다 낮음.	전압측면 1일 최대전압은 C상이 정격전압의 105%로 B상 104.8%, A상 104.3%보다 약간 높게 운전. 평일의 정격전압 104% 비하여 공휴일 103%로 다소 낮음.
	전류측면 B상의 1일간 최대 사용전류는 평균 500[A] 전후로 다른 상의 400[A] 전후에 비하여 크게 운전.	전류측면 B상의 1일간 최대 사용전류는 평균 정격전류의 97%로 다른 상의 69%에 비하여 크게 운전. (FA기준)
55 kV	전압측면 55kV측의 M상 T상의 각 상별 전압차이는 크게 발생치 않음.	전압측면 평균 전압변동율은 9.7% 운전. 정격전압의 150% 이상의 과전압이 발생.
	전류측면 T상은 평균 최대전류가 634[A]로 M상 평균 최대전류 507[A]보다 크게 운전.	전류측면 T상은 평균 최대전류가 1,261[A]로 일정하게 운전되고 있으며, M상은 평균 최대전류가 1,083[A]로 운전되나 1일 최대부하 변화가 크게 운전.
파터측	전압측면 각 Feeder는 정격전압 92%~100%에서 일정한 최대 전압을 유지하며 안정되게 운전.	전압측면 각 Feeder는 정격전압 90%~100%에서 일정한 최대 전압을 유지하며 안정되게 운전을 하며, F3 Feeder의 최대 전압은 다른 Feeder에 비하여 평균 960V의 낮은 최대 전압으로 운전.
	전류측면 4 Feeder 전류는 400[A] 전후 대에서 안정되게 운전.	전류측면 4 Feeder 전류는 500[A] 전후 대에서 안정되게 운전.

마. 일일 부하의 특징

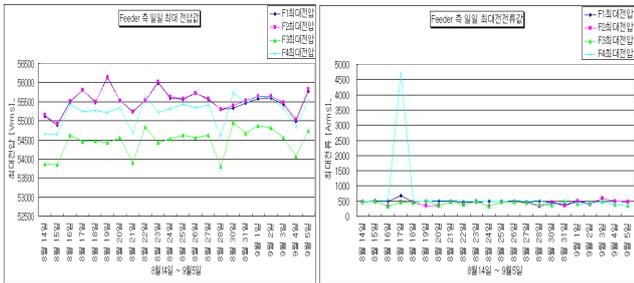
- 154kV의 전압의 경우 C상의 전압이 다른 상에 비해 전압이 높으며, 전류의 경우엔 B상의 부하가 다른 상에 비해 많이 걸린다.
- 55kV의 경우 T상이 M상에 비해 큰 부하를 분담한다.
- 고속전철 운행구간인 신정주전철변전소에서 150% 이상의 과전압이 자주 발생되었다.(※일반전철 운행구간에선 발견 안 됨)



<그림 2> 154kV측 일별 최대전압, 전류



<그림 3> 55kV측 일별 최대전압, 전류



<그림 4> Feeder측 일별 최대전압, 전류

2.3 전철변전소 순간 과전압 측정

정상적인 운전 상태에서 순간 과전압이 정격전압 최대치의 50%이상 유입되었을 때를 포착하고 침입횟수를 측정하였다.

- 154kV측 상전압 (88.9kV)의 50%이상의 과전압이 1주기 이내 유입되는 경우
- 55kV의 50%이상의 과전압이 1주기이내 유입되는 경우를 기준으로 하였다.

[표 2] 순시과전압 측정 결과

변전소	항목	Feeder 측 [Vpeak]	변압기2차측 [Vpeak]	154kV측 [Vpeak]
구로 변전소	최댓값	없음	없음	없음
	횟수	0	0	0
신정주 변전소	최댓값	154,689 (정격대비 198.8%)	196,156 (정격대비 252.2%)	260,569 (정격대비 207.2%)
	횟수 (일 평균)	30회	30회	0.4회

측정 기간 동안에 발생한 변전소별 최대치 값을 기록하였다. 일반선에 비해 고속선의 값이 크게 나타났으며 그 값은 [표 2]와 같다.

[표 2]에서 발생한 신정주 변전소 과전압 발생 시의 전압 및 전류 그래프를 계속하였으며 이는 다음과 같다.

154kV측 과전압 유입 개요[그림5]

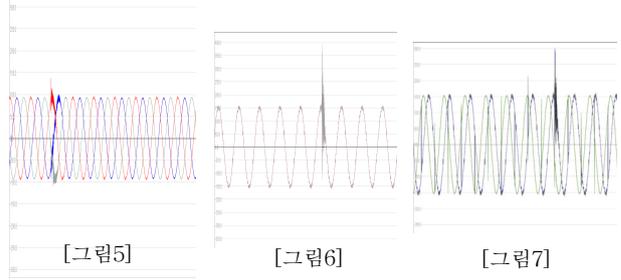
- 일시 : 8월 30일 18시 42분 11.3초
- 개소 및 크기 : C상 191,829[Vpeak](정격Peak152.6%)

55kV측 과전압 유입 개요[그림6]

- 8월 22일 14시 16분 01.0초
- M상 196,156[Vpeak](정격Peak252.2%)

Feeder측 과전압 유입 개요[그림7]

- 8월 22일 14시 16분 01.2초
- F4측 151,607[Vpeak](정격Peak194.9%)



2.4 전철변전소 순간 과전압 발생 특징

첫 번째는 열차의 운행 중 이선 현상과 절연구간을 통과하면서 팬터그래프로부터 아크가 발생하여 과전압이 발생하는 경우와 두 번째로 열차의 운행에 관계없이 변전소 내에서 차단기 투입 상황에서 발생하는 과전압으로 나눌 수 있다. 전자의 경우 저속구간인 일반전철에서 과전압 발생이 없으나, 고속구간인 고속전철구간에선 많이 발생되었다. 후자의 경우는 차단기 동작시 발생되었다. 이는 전철설비와 변전설비의 절연과 과와 직접적인 관계가 있으므로 이에 대한 특별한 대책이 강구되어야 한다.

2.5 전철변전소 순간 과전압 유입 경로

가공 전차선로 측에서 발생한 순간 과전압은 가공전차선로 측이 GIS측에 비하여 임피던스가 상당히 크기 때문에 GIS측으로 과전압 유입은 쉬우나 그 반대의 경우로 GIS측에 발생할 경우에는 가공 전차선로 측으로 유출되기가 어렵다. 따라서 선로 측에서 발생한 과전압은 GIS측으로 유입이 되며 유입된 과전압은 대부분이 내·외부에서 피뢰기를 통해 소멸이 되도록 되어 있다.

따라서 가공 전차선로로부터 유입되는 과전압을 방지하기 위해서는 반드시 가공 전차선로 인입·인출부에 피뢰기를 설치하여 변전기기 및 전철설비를 보호해야 한다.

2.6 향후과제

이 외에도 고속열차 운행 중 발생하는 이상 현상들을 반드시 분석되고 해결되어야 하는 과제로 지금도 지속적으로 전철전력설비에 전기적stress를 야기하고 있다. 본 연구를 통해 실제 계통에서 발생하는 현상을 실측함으로써 연구의 기초자료를 제공하였으며 이는 향후 구체적인 대책 마련에 사용이 가능할 것이다.

3. 결 론

- 이상에서와 같이 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.
- 열차운행 속도에 따라 150%이상의 과전압 발생이 고속전철구간에서만 발생된다.
- 고속열차가 절연구간을 통과하면서 전차선과 팬터그래프로부터 아크가 발생하여 과전압이 선로에 유입 되었다.
- 고속열차부하가 대용량일수록 큰 과전압이 발생된다.
- 고속열차의 운행 전 AT변압기를 투입하면 과전압이 발생된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 최용중 외, "고속열차 운행구간 변전설비 품질확보 대책수립", 철도공사 용역보고서, 2005
- [2] 한국철도공사 전기기술단 2006전기업무자료 (제13호),
- [3] 장인권, "전기철도시스템 공학", 성안당, 2007.