

경부선 전철화 구간에서의 귀선 전류 및 임피던스 예측

김 용 규, 양 도 철, *유 창 근
한국철도기술연구원, *남서울대학교 전자정보통신공학부
전화 : 042-481-8997

Estimation of Traction return current and Impedance on Kyoungbu electrification line

Yong-Kyu KIM, Doh-Chul YANG, Chang-Keun RYU
KRRI, Namseoul University, Dept. of Electronics and Information communication Eng.
E-mail : ygkim1@krri.re.kr,

Abstract

This study presents the simulation of the traction return current based on $2 \times 25\text{kV}$ power supply system in order to determine the impedance bond intensity of impulse type track circuit on the Kyoungbo electrification line. The results of simulation enables us to measure the precise intensity of catenary current, returning to the substation through KTX (Korean Train Express) operated by $2 \times 25\text{kV}$ power supply system with common earth network.

In the wake of establishing $2 \times 25\text{kV}$ and common earth network used in Korea for the first time, in particular, it is possible to determine the impedance bond intensity of impulse type track circuit, which is applicable to the Kyoungbo electrification line by specifying the relations among the traction return current, earth current, and catenary current.

I. 서론

한번에 다수의 승객을 수송하는 열차는 사고 발생시 대형 인명 사고가 따른다. 따라서 이러한 사고를 미연에 방지하기 위해 레일 철손 및 진행 열차의 위치 파악은 무엇보다도 중요하다. 선로에서 열차의 존재 유

무를 검지하는 방법은 불연속 열차 검지와 연속 열차 검지로 분류된다. 불연속 열차 검지는 특수 설비를 레일에 고정하거나 침묵에 설치된 센서를 이용하여 열차의 위치를 검지한다. 이러한 경우, 관련 정보는 어떠한 환경에 대해서도 Vital 정보로 취급되어야 하며, 더욱 정확한 신호 정보를 얻거나 센서 결합에 따른 오동작을 고려하여 적어도 하나 이상의 센서를 사용하여 여분 시스템으로 설계한다. 불연속 열차 검지를 위해 사용되는 센서로는 비콘(Beacon)과 전기기계 센서, 전자 센서 또는 페달(Pedal) 등이 있다[1].

연속 열차 검지는 주로 궤도 회로에 연결된 계진기를 이용한다. 열차 검지를 주요 목적으로 하는 궤도 회로는 크게 유절연과 무절연 궤도 회로로 분류하며, 열차가 운행되는 선로에 전기 회로를 구성하여 열차 점유와 레일 철손 유무를 검지하는 이중 역할을 실행한다. 궤도 회로는 일반적으로 송·수신기, 임피던스 본드, 궤도 계전기로 구성된다. 임피던스 본드는 유절연의 경우, 예상되는 귀선 전류의 크기 및 평형 조건에 따라 430A와 200A의 두 종류로 분류된다. 그러나 경부고속선에서는 무절연 가칭 주파수(AF) 궤도 회로에 의해 주어진 귀선 전류의 통로 역할과 인접 궤도 회로로의 신호 전류 유입 방지 및 송·수신 임펄스 전압의 조정 역할도 한다[2].

본 논문에서는 $2 \times 25\text{kV}$ 전력시스템[3]과 한국에서 처음으로 적용되는 공동 접지망의 구성에 의한 전차선

전류, 접지 전류 및 귀선 전류의 관계를 제시한 후, 경부선 전철화 구간에서 예상되는 귀선 전류를 예측함으로써 귀선 전류에 의한 영향 및 관련 궤도 회로의 임피던스 본드 적정 용량에 대해 중점적으로 논의한다.

II. 전차선 전류, 귀선 전류와 접지 전류의 관계

귀선 전류는 전철화 시스템에서 사용하는 임펄스 궤도 회로의 임피던스 용량 결정 및 Staff의 안전을 위한 가장 핵심적인 요소로, 주로 변전소, 급전 구분소 및 전력 관련 구분소와 관련 궤도의 임피던스 본드 위치에 의존한다. 만약 열차에 견인력을 공급하는 변전소와 궤도 회로가 설비된 역의 귀선 전류를 비교할 경우, 궤도 회로의 임피던스 본드를 통해 흐르는 귀선 전류의 크기는 해당 역보다는 인근 변전소에서 더욱 중요한 작용을 한다(그림 1).

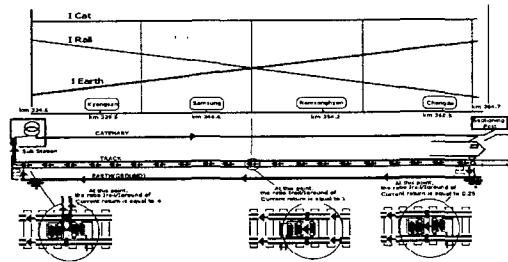


그림 1. 귀선 전류, 전차선 전류와 접지 전류의 관계

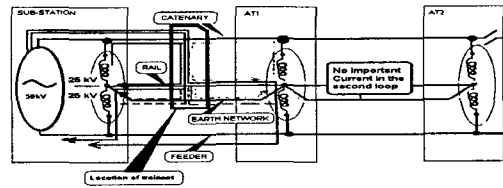
선로변 귀선 전류의 크기는 주어진 영역에 존재하는 병렬 궤도 회로의 수에 의존하며, 각각의 궤도 회로의 임피던스 본드 중성점은 상호 연결된다. 또한 선로 전반에 걸쳐 흐르는 전체적인 귀선 전류 값을 측정하기 위해서는 동일 장소에서 동시에 운행되는 열차의 수 및 이들 열차에 의해 소모되는 소비 전력을 충분히 고려해야만 한다. 그 결과, 접지 전류는 변전소에서 가장 작고 변전소로부터 멀어질수록 비례하여 증가하지만, 귀선 전류는 변전소에서 가장 크고 변전소로부터 멀어질수록 거리에 따라 감소하는 것으로 SNCF(프랑스 철도청)의 귀선 전류 관련 시험에 의해 측정되었다[1] :

III. 경부선 전철화 구간 귀선 전류 예측

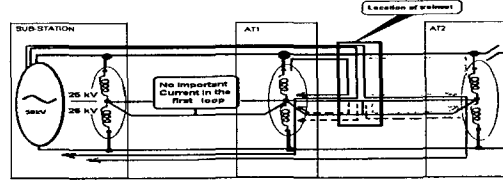
하나 또는 여러 대의 열차가 동일 선로 상에서 운행될 경우, 전차선 및 급전선에 의해 전송되는 열차 전

인 전류는 선로에 위치한 레일 수, 공중보호선(CPW), 접지선으로 구성된 그림 2와 같은 귀선 전류 귀환 통로에 의해 변전소로 귀환된다. 따라서 귀선 전류의 흐름을 예측하는 것은 매우 복잡하며, 주로 다음의 항목에 의존한다[4] :

- 선로변 자갈 도상의 임피던스.
- 공중보호선(CPW)의 길이.
- 전력 공급 장소에 대한 열차의 상대적인 위치.



(a) 열차가 변전소 부근에 위치할 경우



(b) 열차가 AT(단권 변압기) 사이에 위치할 경우

그림 2. 귀선 전류 귀환 회로도

임펄스형 궤도 회로의 임피던스 본드는 통상적으로 사용하는 선로상의 동일 급전 구간에서 운행하는 열차의 수에 따른 열차 운행시의 일반화한 귀선 전류 흐름에 의해 해석된다. 그러나 가속 구간, 후행 열차의 선행 열차 추월 등과 같은 예외적인 구간이 주어질 경우에는 궤도 회로의 임피던스 본드가 일 분 동안 이러한 예외적인 경우에 발생하는 전류를 유지할 수 있는지에 대해서만 고려한다. 표 1은 이러한 예외적인 경우에 주어지는 기준 값을 나타낸다.

표 1. 임피던스 본드의 일반적인 특성

형태	정상 전류	순간 전류	최대 온도
CIT 200A	200A	800A	130°C
CIT 430A	430A	800A	155°C

전차선 전류에 따른 최대 귀선 전류 예측시 필요로 하는 기본 자료는 예측을 실행하려는 구간에 적용할 견인 전력에 의존한다. 본 논문에서는 동대구-부산간 전력 설비 설계 보고서[5]에서 제시된 내용과 그림 3에서 주어진 TGV(프랑스 고속열차)의 속도별 귀선 전류에 기본을 두고 예측을 실행하려는 구간에서 예상되

경부선 전철화 구간에서의 귀선 전류 및 임피던스 예측

는 귀선 전류의 크기를 시뮬레이션함으로써 최대 귀선 전류를 예측하려 한다. 이들 자료에 대한 간략한 요약은 다음과 같다 :

- 장소 : 청주-옥천간 상행선
- 거리 : 56.4km
- 운행 시간 : 25.46 분
- 속도 : 133.5 km/h
- KTX 에너지 소비 : 1499 kw/h
- 시간당 소비 전력 = $1500 \times 60 / 25 = 3600 \text{kw/h}$
- KTX 역률 = $\text{Cos } \phi = 0.8 (*)$
- 전류 크기 = $3600 \text{ kw} / (25 \text{ kv} * 0.8) = 180 \text{A}$

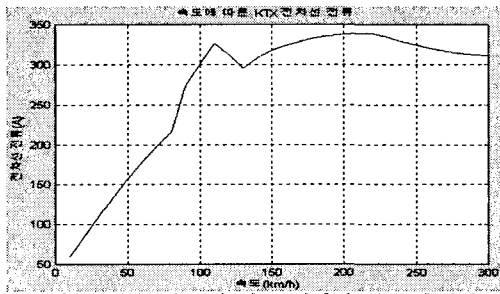


그림 3. TGV 속도에 따른 전차선 전류 측정값

SNCF의 귀선 전류 예측은 “VULCAIN”이라 불리는 측정 차량에 의해 실험을 시행한 후, 실측치를 기본으로 하여 프로그램을 개발하였다. “VULCAIN” 예측 프로그램은 신뢰성을 확인하기 위해 프랑스 북대서양선에서 운행중인 TGV-A 고속 열차에 이들 프로그램을 적용한 시뮬레이션 값과 실측치를 비교함으로써 예측 프로그램의 적정성을 확인하였다. 여기서 측정 차량에 의한 측정값은 전차선 전류가 항상 일정한 값 90A를 공급하도록 고안된 특수 고전력용 저항을 장착함에 따라 실제 사용 전력을 2250kW로 고정하였다(그림 4)

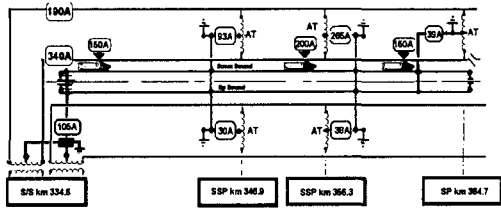
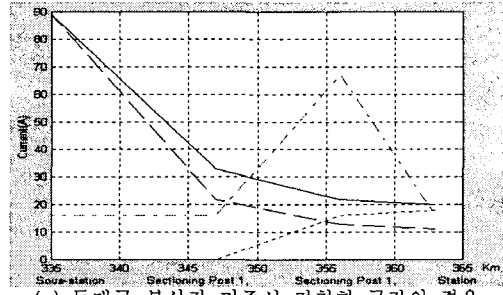


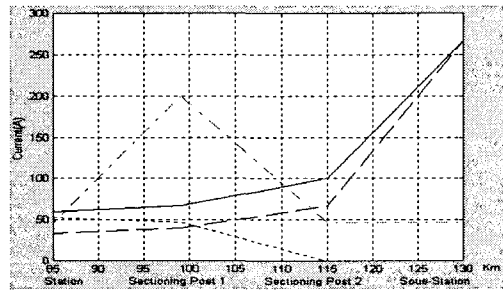
그림 4. SNCF 귀선 전류 예측

동대구-부산간 기존선 전철화 구간의 경우, 열차의 운행 속도, 사용 전력 및 역률을 150km/h, 4500kW, 및 0.9로 가정할 경우, 전차선 전류는 200A로 주어진다. 반면 서울-동대구 고속선 구간의 경우, 열차의 운행 속도, 사용 전력 및 역률을 300km/h, 14700kW, 및

0.98로 가정할 경우, 전차선 전류는 600A가 인가된다 따라서 SNCF의 귀선 전류 예측 방법에 의해 예상되는 귀선 전류 관련 값은 그림 5~그림 7로 구성된다.

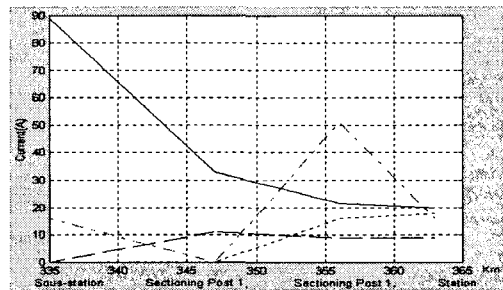


(a) 동대구-부산간 기존선 전철화 구간의 경우

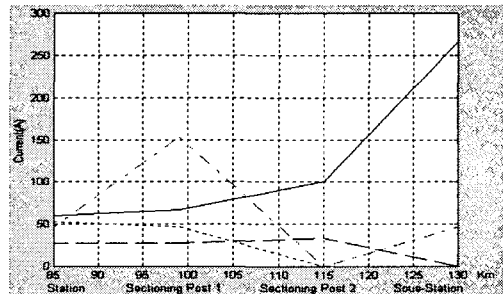


(b) 서울-동대구 고속선 구간의 경우

그림 5. 열차 점유 선로의 귀선 전류 예측 값



(a) 동대구-부산간 기존선 전철화 구간의 경우



(b) 서울-동대구 고속선 구간의 경우

그림 6. 열차 점유 근점 선로의 귀선 전류 예측 값

- : 열차가 변전소의 위치에 존재할 때, 각각의 부분에서 예측된 귀선 전류
- : 열차가 SP1의 위치에 존재할 때, 각각의 부분에서 예측된 귀선 전류
- ... : 열차가 역의 위치에 존재할 때, 각각의 부분에서 예측된 귀선 전류

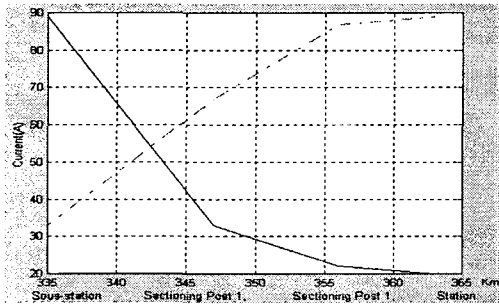
의 결과와 일치하며, 단지 사용 전력의 증가에 따른 귀선 전류 용량의 증가만이 다르게 주어진다. 그 결과 변전소에서의 귀선 전류 합은 최대 267A로 예측된다. 따라서 귀선 전류는 주로 변전소와 SP등 전력 관련 장소에서 중요한 역할을 한다는 것이 기존선과 고속선의 예측 시뮬레이션에 의해 입증되었다.

IV. 결론

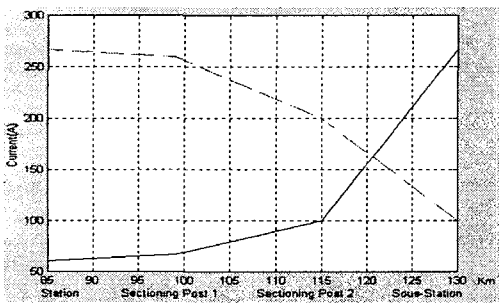
본 논문에서는 귀선 전류의 영향 및 공동 접지와 2×25kV 형태로 주어지는 KTX 시스템에 대한 귀선 전류를 시뮬레이션함으로써 선로를 통해 흐르는 최대 귀선 전류는 기존선 전철화 구간의 경우, 최대 89A, 고속선 구간의 경우, 최대 267A로 예측하였다.

그 결과 진차선 전력은 단독 접지와 1×25kV의 견인 전력을 사용하는 기존의 전철화 구간에서처럼 모두 선로를 통해 흐르는 것이 아니라, 대부분 접지 전류와 (-) 급전선을 통해 변전소로 귀환한다는 것을 예측하였다. 따라서 귀선 전류의 크기에 비례하는 Staff의 안전이 기존의 접지 및 전력 공급 시스템에 비해 매우 우수한 효과를 갖는다.

또한 그림 5~7에서 귀선 전류는 고속선 130km 지점, 기존선 365km 지점으로 주어지는 변전소에서 최대가 되며, 급전 구분소 역시 전력 관련 장소로 귀선 전류의 영향이 예상된다. 그러나 그 외의 구역(역간 및 역구내)에서는 귀선 전류가 매우 작은 값을 갖는다. 따라서 본 논문의 시뮬레이션에 따른 낮은 귀선 전류값 분포는 표 1의 200A 유형(CIT 220A) 임피던스 본드를 변전소 및 급전 구분소를 제외한 모든 장소에 적용할 수 있음을 쉽게 확인할 수 있다.



(a) 동대구-부산간 기존선 전철화 구간의 경우



(b) 서울-동대구 고속선 구간의 경우

그림 7. 진차선 전류를 200A로 고정시의 귀선 전류와 접지 전류 사이의 관계

- - : 예측된 귀선 전류
- - : 예측된 접지 전류

위의 그림 5~7에 의하면 기존선 전철화 구간의 경우, 열차 점유 선로의 귀선 전류는 변전소에서 가장 크고, 역에서는 큰 영향을 인가하지 않음을 알 수 있다. 또한 변전소로의 귀선 전류 합은 최대 89A로 예측된다. 이는 열차 점유 근접 선로의 경우에도 비슷한 영향을 보이며, 귀선 전류와 접지 전류의 관계는 2장에서 추정된 것과 일치함을 알 수 있다. 고속선의 경우, 열차 점유 선로의 귀선 전류는 기존선

참고문헌

- [1] 김용규 외, "SNCF 페달(열차 검지 및 접근 경보) 검토 보고서", Oct. 2000, 한국철도기술연구원.
- [2] "경부선 동대구~부산간 전철화에 따른 신호 설비 실시 설계 보고서", Dec. 1999, 철도청.
- [3] 윤재영 외, "급전회로망 해석 기법을 활용한 고속 전철 조류해석 기법", Trans. KIEE. Vol. 49A, No 12, Dec. 2000.
- [4] GALDI. V and al. "AC railways systems simulation", WCRR'97, Vol C, Nov.1997, Firenze, Italy
- [5] "경부선 동대구~부산간 전철화에 따른 전력 설비 실시 설계 보고서", Jun. 1999, 철도청.