

전기철도에서의 유도장해 경감책에 관한 연구

이교성*, 김도훈, 이용재, 김양모
충남대학교 전기공학과

Inductive Disturbance Reduction Method for Electric Railway

Lee Kyo-Sung, Kim Do-Hun, Lee Yong-Jae, Kim Yang-Mo
Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University

Abstract - The railway power feeding system is divided into AC power feeding system and DC power feeding system. In downtown area, DC power feeding system is used and AC power feeding system is used in intercity railway system.

AC power feeding system raises a inductive disturbance that is divided into electrostatic induction and electromagnetic induction. Especially, it has a bad effect on communication lines. So inductive disturbance reduction method has been adopted in many system.

In this paper, we deals with the inductive disturbance reduction method of railway power feeding system and of sides affected by inductive disturbance.

유도작용은 전차선로전압이 정전적으로 통신선에 유도되는 정전유도와 전류가 전자적으로 유도되는 전자유도가 있다.

2.1.1 정전유도

기유도선 주위에 생기는 정전계에 의해 피유도선에 나타나는 전압을 정전유도전압이라 하고 이는 전차선 전압에 의해 결정된다.

$$V_s = \frac{P_{12}}{P_{11}} V_1 K_s \quad (1)$$

$$\left(P_{11} = 2 \ln \frac{2h_1}{r_1}, P_{12} = \ln \frac{b^2 + (h_1 + h_2)^2}{b^2 + (h_1 - h_2)^2} \right)$$

V_1 : 전차선전압, K_s : 정전차폐계수
 b : 전차선과 피유도선과의 평균 이격
 r : 전차선 반경, h_1 : 전차선 높이, h_2 : 피유도선 높이

1. 서 론

국가 경쟁력을 확보하기 위한 인적 물적 수송시스템의 구축은 국가적으로 중요한 사업이며 특히 전기철도 사업은 대중교통으로서 뿐만 아니라 국가 기반 교통축의 구축이라는 면에서 개발이 활발히 진행되고 있다. 서울을 비롯한 대도시에서는 지하철 건설 및 계획이 활기를 띄우고 있으며, 경부 고속전철화 사업은 프랑스 TGV 방식으로 선정되어 부분개통을 앞두고 있다.

전기철도에서의 급전시스템은 크게 교류급전과 직류급전으로 분류된다. 도심내에서 교류전원을 사용하면 각종 유해한 유도장해가 발생하므로 직류로 급전하게 되며 도시와 도시를 연결하는 근간전철에서는 가까운 송전선으로부터 급전하는 것이 효과적이므로 교류로 급전하고 있다.

교류급전은 전철 인접지역에 정전유도와 전자유도로 분류되는 유도장해를 일으키는데 특히 장해를 받기 쉬운 통신선로에서는 그 영향이 심각하므로 급전시스템에서 뿐 아니라 유도장해를 접하는 기기에서도 유도장해를 경감시킬 수 있는 방안이 채택되고 있다.

유도장해의 대부분은 직류방식의 경우 직류출력전압에 포함되는 고조파성분에 의한 잡음장해이고 교류방식의 경우 전기차 부하전류에 포함되는 고조파 성분에 의한 잡음장해 외에 지락사고시의 유도위험전압장해가 있다. 이에 대한 대책은 기유도 측과 피유도 측의 협조에 의해 이루어진다.

따라서 본 논문에서는 급전회로 측의 유도장해 경감책과 피유도 측의 경감책에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 유도작용

유도장해의 주원인은 전력선이지만 피해를 보는 쪽은 통신선 쪽이다. 이러한 관점에서 통신선에 발생하는

2.1.2 전자유도

기유도 선상의 전기량이 시간적으로 변화하면 피유도선에는 이에 비례한 전압이 나타난다.

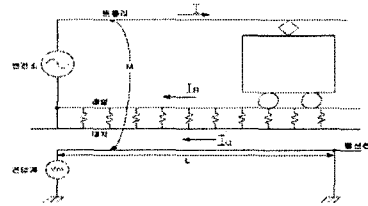


그림 1 전자유도

이 전압을 전자유도전압이라 하고 피유도선에 종방향으로 유도되고 전기철도에서 그 관계를 그림 1과 식 (2)에 나타내었다.

$$V_m = j\omega M(I - I_R)l \quad (2)$$

I, I_R 은 각각 전기차와 레일의 전류를 나타내며, M, l 은 전차선과 피유도선과의 상호유도계수와 양선의 평행 길이를 나타낸다. 상호유도계수는 대지도전율에 크게 영향을 받기 때문에 대지도전율이 크면 전자유도전압은 작아진다.

2.2 유도의 경감

정전유도는 통신선이 전차선에서 20~30m 이상 떨어져 있다면 거의 문제가 되지 않고 또한 케이בל화 함으로써 완전히 차폐가 가능하여 일반적으로 전자유도 대책에 의해 해결하고 있는 것이 많다. 따라서 전자유도에 의한 유도장해의 대부분은 직류방식의 경우, 직류출력전압에 포함되는 고조파 성분에 의한 잡음장해이고 교류방식의 경우 전기차 부하전류에 포함되는 고조파 성분에 의한

잡음장해 외에 1선접지의 단상회로이기 때문에 지락사고시의 유도위험전압장해가 있다. 이에 대한 대책은 기 유도측, 피유도측의 협조가 있어야 가능하며 주된 경감책은 다음과 같다.

2.2.1 급전회로 측 전자유도 경감책

1. 직류급전회로

직류급전 방식에서는 고조파의 발생원인 변전소의 정류기 직류측에 고조파를 경감하는 필터를 설치하고 있다. 필터는 직렬 리액터와 3~4개의 공진분로로 이루어져 있다.

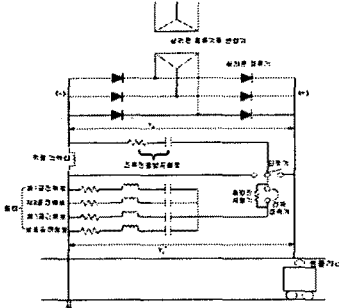


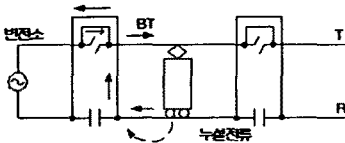
그림 2 직류발전소의 고조파 경감용 필터 회로도

그림 2에서 출력 고조파전압 V_n 이 V_s 로 저감된다면 종합 저감율은

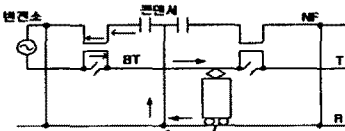
$$\lambda = \frac{\sqrt{\sum (S_f V_n)^2}}{\sqrt{\sum (S_f V_s)^2}} \quad (3)$$

2. 교류급전회로

교류방식에서는 부하인 전기차가 고조파의 발생원이고 1선접지의 단상교류회로이기 때문에 전자유도의 영향이 크다. 또한 레일을 권선으로 사용하기 때문에 레일로부터 대지로 흐르는 전기차의 귀전류에 의해 통신선 등으로 전자유도가 발생한다.



(a) NF를 사용하지 않는 방식



(b) NF를 사용하는 방식

그림 3 BT를 사용한 급전회로

그림 3은 권수비 1:1의 자기적 밀결합으로 설계된 흡상변압기(BT : Booster Transformer)를 이용한 급전회로를 나타낸다. 흡상변압기를 사용하여 적당한 간격을 두고 전차선과 레일을 결합한 r급전회로를 구성하여 전기차에 전력을 공급하는 방식으로 흡상변압기의 작용에 의해 대지로 새는 전기차 귀전류를 적극적으로 감소시켜 통신선 등으로의 전자유도를 경감시키고자 하는 것이다.

그림 3의 (a)는 NF(Negative Feeder)를 사용하지 않고 대지로 누설되는 귀전류를 레일로, (b)는 NF를 사용하여 귀전류를 가공선으로 빨아들여 변전소로 보냄으로써 전자유도를 경감시킬 수 있다. 이 방식의 커다란 결점은

흡상변압기를 설치한 곳의 트롤리선에 전차선의 팬더그래프에서 단락·개방이 되풀이되는 부분(Booster section)을 필요로 하여 부하전류가 크면 부분 간 아크의 경감대책이 필요하다.

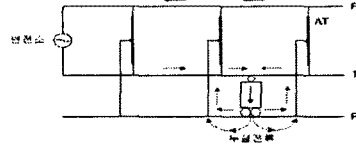


그림 4 AT를 사용한 급전회로

적절한 권수비의 단권변압기(AT : Auto-Transformer)를 사용하여 레일 대지보다 전위가 낮은 가공선을 설치한 급전회로를 구성하여 전기차에 전력을 공급하는 방식을 그림 4에 나타내었다. 단권변압기의 설치간격은 흡상변압기 급전회로에 비해 전자유도에 대하여는 귀전류의 상쇄효과가 있어 비교적 크게 할 수 있고 단락·개방되어 아크를 발생하는 부분이 필요치 않으며 권수비를 바꿈으로써 전차선전압에 관계없이 급전전압을 높게 선정할 수 있으므로 대전력 급전이 가능하여 대단위, 고속, 고밀도 수송에 적합하다.

3. 전기차측 대책

전기차 모터는 유도전동기를 사용한 인버터 전기차가 개발되어 운행되고 있지만 일반적으로 직류전동기가 사용되어 교류전철화 구간에서는 변압기 및 정류기를 통해 모터에 전원이 공급된다. 직류측에는 평활용 인덕턴스가 있기 때문에 교류측 전류파형이 찌그러져 고조파를 발생하여 유도장해를 증대시키기 때문에 이 대책으로 CR 필터를 삽입하여 이것을 경감시킨다.

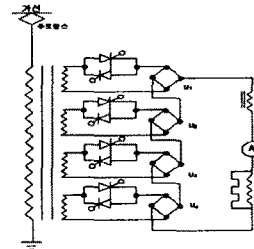


그림 5 4분할 사이리스터 제어차의 주회로 결선

또한 반도체의 발달에 따라 모터제어를 위해서 탭 절환이 없는 사이리스터 제어방식이 실용화되고 있으나 이는 유도잡음전압이 크므로 이에 대한 대책으로 주변압기의 2차권선을 분할하여 고조파 전류를 감소시켜 유도장해를 억제하는 방법을 사용하고 있다.

2.2.2 피유도 측 유도장해 경감책

1. 유도차폐

전력선이 만드는 전계를 약하게 즉, 유도작용을 작게 하는 것을 유도차폐라 한다. 정전유도는 수목, 건물, 접지선, 기타 접지물에서 1점 접지되어 있다면 차폐로써 충분하지만 전자유도에는 접지선, 케이블 금속피복, 레일, 기타 대지를 커로로 하는 폐회로가 차폐로서 유효하기 때문에 통신케이블을 전자차폐하는 경우에는 차폐층의 양단 또는 그 이외에 중간을 접지한다.

2. 유도장해 경감용 기기

2.1 배류코일

유도장해의 종류 및 통신회선 종류에 따라 사용하는 유도경감기기는 다르지만 위험전압 방지를 위해 통신선 양단에 높은 임피던스 코일을 넣어 중성점을 직접 또는 커패시터를 통해 접지하여 정전유도에 의해 생긴 선상의 전하를 방전하는 배류코일이 있다. 이 때 임피던스를 낮게 하면 전자유도의 저감에 도움이 된다. 통신선 양단부

에 배류코일을 설치하면 잠음전압의 경감에 도움이 되며 직류전송회선에서도 사용이 가능하다.

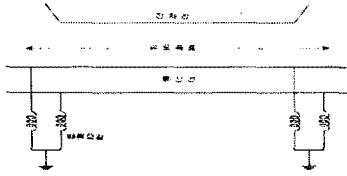


그림 6 배류코일

2.2 중화변압기

통신회선의 양선계에 각각 직렬로 1차, 2차 권선을 삽입하여 전자유도를 중화시키는 중화변압기가 있다.

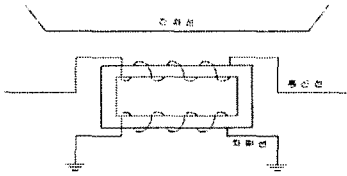


그림 7 중화변압기와 차폐코일

단 이 방법은 직류를 전송하는 회선에서는 사용할 수 없다.

2.3 중화코일

그림 8은 중화코일을 나타낸다. 권선비 1:1의 중화코일을 삽입함으로써 기기 L_1 , L_2 의 접지에 대한 임피던스를 증대시키고 L_1 , L_2 의 불평형을 경감시켜 전자유도에 의한 불평형 전류를 억제하는 것이 가능하다.

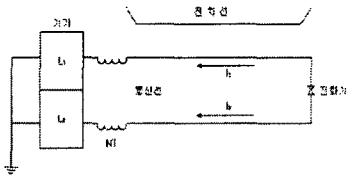


그림 8 중화코일

중화코일은 루프회로에서는 무유도 특성이며 어스 회로에 대해서는 유도권선이 된다.

2.4 저유도형 접지저항기

접지저항기는 본래 주회로 기기를 흐르는 전류가 귀선인 궤도에 흐를 때 궤도측으로부터 흡상되어 구동장치 축수나 접지 브러쉬의 이상 마모가 발생하는 것을 방지함과 함께 전차 편성중에서 접지전류가 편성 양단에 치우쳐 분포하는 것을 막기 위하여 부착하고 있다.

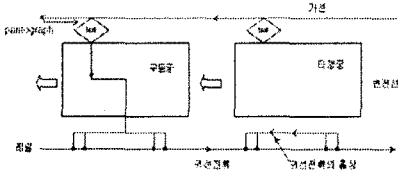


그림 9 가선, 레일, 차량간의 전류 흐름

그러나 최근의 차량에서는 전식방지를 위한 각종 대책에 의한 절연의 향상 및 주행시 소음저감을 위한 팬터그래프 수저감으로 인해 특고압 인통선 시설에 의해 팬터그래프 상승시 발생하는 서지가 차체에 잔류하는 등 EMI에 의해 절연상태가 낮은 기기에 영향을 끼치고 있다. 이에 대한 대책으로 고주파 영역에서도 임피던스를

일정하게 하고 고주파 영역에서 특성을 향상시키기 위해 접지저항기에 커패시터를 부가하고 재질이 서로 다른 저항체를 사용하여 저항자체의 임피던스를 저감시킨다.

2.9 유도전압 억압장치

통신회선에 규정치 이상의 유도전압이 발생하면 전화교환기 등의 오동작이 발생하고, 전기철도로부터 유도에 의한 회선잡음의 발생은 교환기의 평행도가 떨어지기 때문이다. 따라서 유도전압 억압장치를 설치하여 음성대역에 있어서 유도전압을 억압함으로써 기기 오동작의 방지 및 회선잡음의 경감을 피할 수 있다.

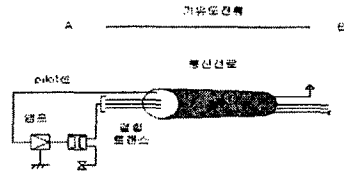


그림 10 유도전압 억압장치

통신선로의 임의 한쌍(pilot)을 피유도 구간의 먼쪽에서 접지하고 기유도전류에 의해 발생한 대지유도전압을 증폭후 결합트랜스 1차측에 인가하고 2차측에는 유도전압 억압을 필요로하는 통신회선을 접속하여 통신회선의 유도전압과 같은 진폭으로 역위상의 전압을 가하여 회선의 전압을 작게 하는 것이다.

3. 결 론

급전시스템에서의 유도장애에 관한 대표적인 대책으로는 단권변압기를 사용하는 급전방식과 흡상변압기를 사용하는 급전방식 등이 있는데 급전선으로부터 오는 전자유도를 상쇄되도록 하여 감소시키고 있다.

또한 유도를 받게 되는 기기에서의 대책으로는 차폐시키는 방법이 있는데 정전유도, 전자유도의 유형별로 다른 방법의 차폐법을 취하고 있다. 통신선 같은 경우 양단에 높은 임피던스의 코일을 넣어 중성점을 직접 또는 커패시터를 통해 접지하는 방식 등 여러 가지 방식이 사용되고 있다.

전기통신선로, 초고압 송배전 선로 및 교류 전기철도 선로 등은 고속철도를 건설하는 경우 양적으로 급증할 것은 자명한 사실이다. 그러나 이러한 양적인 급증에 걸맞는 대책이나 표준안 마련은 아직 미약한 현실이다. 향후 전철의 시설계획은 더욱 늘어날 전망이고 고속전철 도입과 함께 기술이전을 바탕으로 철도기술의 선진화가 이루어지면 철도산업을 통한 세계시장으로의 진출이 진행될 것으로 전망된다. 따라서 철도산업의 발달과 더불어 다양한 기술의 축적이 이루어 질 것이며 전력설비와 유도장애에 대한 것도 예외는 될 수 없을 것이다.

유도장애에 대책 및 해석기술, 규정화 작업은 국내 환경에 적절한 것으로 정해지는 것이 중요하며 철도관련 기술개발 및 대외 경쟁력 향상, 기술 전신국으로의 진일을 위해 필수적으로 필요한 것이다.

(참 고 문 헌)

[1] R.J.Hill, "Electric Railway traction part 7, Electromagnetic interference in traction system", IEEE Power engineering Journal, Vol 11, p259-266, 1997
 [2] Holmes.R, "Electromagnetic compatibility of electrified railways", Electric railways international conference, p131-135, 1995

본 연구는 전자통신연구원(ETRI)의 지원으로 수행되었음.