

**고속전철 주변에서의 수동루프를 이용한 자계 감소**

\*한인수, \*박종근, \*\*명성호, \*\*이병운, \*\*\*민석원, \*\*\*\*김영식  
\*서울대학교, \*\*한국전기연구소, \*\*\*순천향대학교, \*\*\*\*호서대학교

**Magnetic Field Mitigation using Passive Loop around Railway**

\*In-su Han, \*Jong-Keun Park, \*\*Sung-ho Myung, \*\*Byoung-Yoon Lee, \*\*\*Seok-Won Min, \*\*\*\*Eur  
\*Seoul National University, \*\*KERI, \*\*\*Soonchunhyang University, \*\*\*\*Hoseo University

**Abstract** - 본 논문에서는 최근 선진국에서 활발히 연구되는 EMF 차폐 대책의 일환인 수동루프에 대한 이론적 분석 방법을 제시하고, 고속철도 급전선 주변에서의 자계 저감효과를 보이고자 한다. 그 결과 수동루프를 이용하여 자계 저감효과를 확실하게 나타낼 수 있었다.

**1. 서 론**

1984년 WHO의 50,000mG로부터 시작된 전자계 규제는 최근 WHO 산하 국제 방사선 보호 협회(IRPA/ICNIPP)에서 833mG까지 강화되었으며, 최근 미국 등 선진 각국에서는 'Prudent Avoidance'(현명한 회피) 정책 아래 전자계(EMF) 노출량 실태 파악 및 EMF 저감 대책을 중심으로 연간 200억 이상을 투입하여 집중적인 연구활동을 수행하고 있다.

이러한 전자계 문제는 피해자가 모든 국민이 될 수 있는 범 국가적인 공공기술이기 때문에 공공의 인적, 물적, 환경적 사회비용 손실을 최소화하기 위해서는 공공복지의 차원에서 우리나라에서도 전자계 안전성 평가 연구 및 효율적인 전자계 진화기술 개발이 시급한 실정이다.

본 논문에서는 이러한 배경으로 최근 선진국에서 활발히 연구중인 EMF 차폐 대책의 일환인 수동 루프에 대한 이론적 분석 방법을 기술하고, 고속철도의 급전시스템에서의 자계 차폐 효과를 보여 수동루프의 설치가 자계 감쇠의 큰 역할을 한다는 것을 나타내기로 한다.

**2. 수동 루프를 이용한 자계 저감 이론**

수동루프를 사용한 자계 저감 원리를 다음 그림 1의 송전선로 모델에서 설명하고자 한다. 그림 1은 6개의 상도체 아래에 상도체에 의한 자계 자속을 상쇄시키기 위한 2개의 보조도체를 페루프 형태로 적용한 구조의 단면도이다.

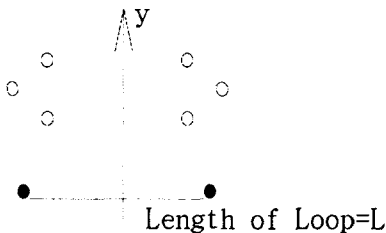


그림 1. 수동루프를 설치한 송전선로 단면도

기본 원리는 상도체의 자속에 의하여 페루프에 전압이 유기되면 유도전류가 흐르게 되는데 이 유도전류에 의한 자계가 원래 상도체의 자속을 상쇄시켜 지표면 근처의 자계를 감쇠하게 되는 것이다.

먼저, 송전선로 전류에 의해 형성되는 자속을 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi = \oint_S \vec{B} \cdot \vec{ds} \tag{1}$$

실제 송전선로는 다상 시스템이므로 각 상의 크기와 위상을 고려하면 전체 자속의 값은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_{total} = \sum_{i=1}^n \Phi_i e^{j\theta_i} \tag{2}$$

이 때, Faraday's Law로부터 루프 도체의 유도되는 식은 다음 식 (3)과 같이 주어진다.

$$V_{loop} = - \frac{d\Phi_{total}}{dt} \tag{3}$$

수동 루프의 유도전류  $I_{loop}$ 는 유도전압  $V_{loop}$ 와 루프의 임피던스  $Z_{loop}$ 에 의해 다음 식 (4)와 같이 결정된다.

$$I_{loop} = \frac{V_{loop}}{Z_{loop}} \tag{4}$$

루프 임피던스  $Z_{loop}$ 는 보통 저항  $R_{loop}$ 와 자기 인덕턴스  $L_{loop}$ 로 표현되어 있으나, 이 논문에서는  $R_{loop}$ 가  $L_{loop}$ 보다 값이 훨씬 크기 때문에  $R_{loop}$ 의 값을 이용하고자 한다. (본 논문에서는, 소도체 루프의 저항  $R_{loop}$ 의 값은 0.0624 [ $\Omega$ /km]을 사용하였다.)

원래 상도체에 의한 임의의 계산점 (x,y)에서 자계를  $H_o$ 이라하면, 완료된 자계를  $H_m$ 이라하고, 수동루프에 의한 자계를  $H_a$ 이라하면, 식(5)와 같이 쓸 수 있다.

$$H_m = H_o + H_a \tag{5}$$

### 3. 사례 연구

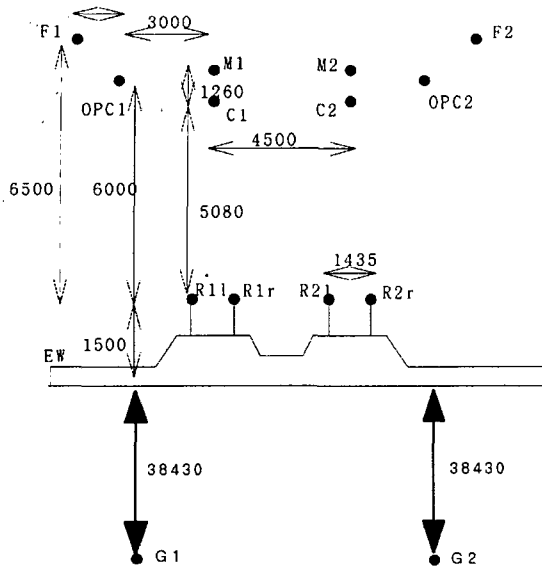


그림 2. 고속전철의 급전선 단면(단위 mm)

위의 그림 2와 표 1, 2는 고속전철의 전류 분포 상황을 잘 나타내고 있다. 그림 2에서는 C와 F는 고속전철을 구동시키는 전류를 흐르게 하며 M은 Messenger Wire 이어서 열차간의 통신선이고, R은 Rail, EW는 지상전류가 흐르도록 하는 earth wire이다. G는 지하에 전류가 흐르기 때문에, 사실은 전류가 지하의 여러군데에 흐르지만, 그 전류들을 등가적으로 G지점에서 흐른다고 가정하고 문제 해결을 하였다.

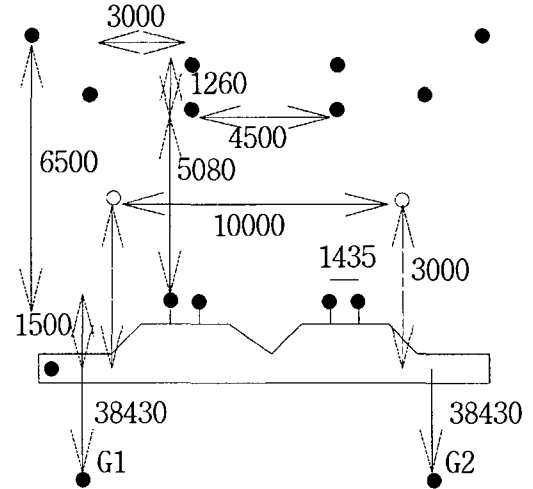


그림 3. 고속전철 급전시스템에 보조도체를 설치한 그림 (단위 mm)

		C1=C2	M1=M2	F1=F2	R1l=R2l R1r=R2r	OPC1=OPC2	EW1=EW2	G1=G2
CASE 1		297-62i	127-27i	-127+34i	-7+1i	-104+19i	-59+11i	-118+22i
CASE 2	2-1	213-52i	91-22i	-257+84i	-1-3i	-16-36i	-9-21i	-18-42i
	2-2	303-81i	130-35i	-128+42i	-8+2i	-106+26i	-61+15i	-122+30i
CASE 3	3-1	214-55i	92-24i	-259+89i	-1-0.2i	-16-3i	-9-2i	-18-4i
	3-2	512-123i	220-53i	-386+125i	-9+1i	-121+18i	-69+10i	-138+20i

표 1. 전류조건 (상,하행선 동일 조건)

		C1 (C2=0)	M1 (M2=0)	F1 (F2=0)	R1l=R1r (R2l=R2r=0)	OPC1 (OPC2=0)	EW1 (EW2=0)	G1 (G2=0)
CASE 1		297-62i	127-27i	-127+34i	-7+1i	-104+19i	-59+11i	-118+22i
CASE 2	2-	213-52i	91-22i	-257+84i	-1-3i	-16-36i	-9-21i	-18-42i
	2-	303-81i	130-35i	-128+42i	-8+2i	-106+26i	-61+15i	-122+30i
CASE 3	3-	214-55i	92-24i	-259+89i	-1-0.2i	-16-3i	-9-2i	-18-4i
	3-	512-123i	220-53i	-386+125i	-9+1i	-121+18i	-69+10i	-138+20i

표 2. 전류조건 (상행선만 운행하는 경우)

위 그림 3에서 검정색은 원래의 상도체를 의미하고, 하얀색은 보조도체를 의미하게 된다.

위 경우에는 높이가 3m이고 폭이 10m인 보조도체를 설치하였을 때의 그림이다.

여기서는 지상 0m지점에서의 단면을 잘라서 그 부분의 자체의 감쇠를 보이고자 한다.

그리고, 표 1과 2에 나오는 Case 1에 대해서만 자체 감쇠에 대해 알아 보았다.

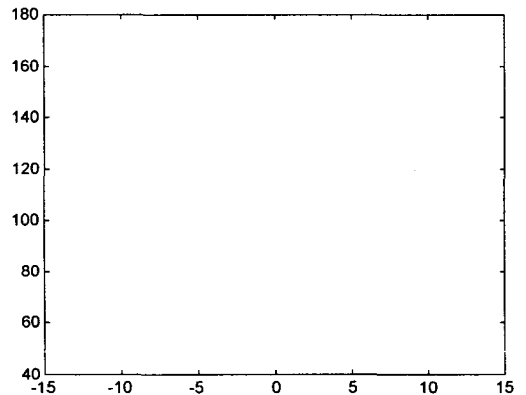


그림 4. 자체감쇠를 하지 않았을 경우 (Max: 166.65[mG], Min: 48.4912[mG])

그림 4와 5는 상하행선이 동시에 지나갈 경우의 Case 1에 대하여, 모의 계산을 해보았다.

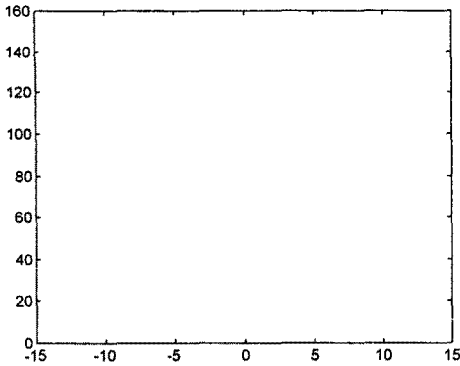


그림 5. 지상 3m에 루프를 깔았을 때의 경우  
(Max: 159.7913[mG], Min: 11.0449[mG])

그림 6과 7은 상행선만 지나갈 때의 Case1에 관한 결과이다.

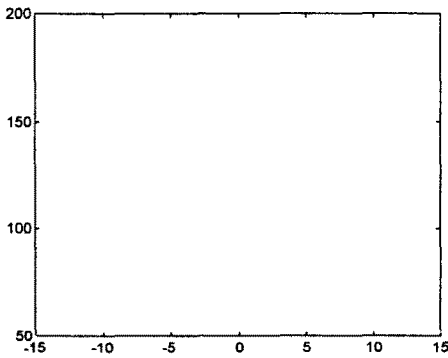


그림 6. 자계 감쇠를 하지 않았을 때의 경우  
( Max: 191.7638[mG], Min: 50.0317[mG])

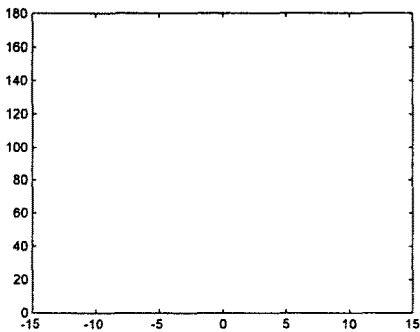


그림 7. 지상 3m에 루프를 깔았을 때의 경우  
(Max: 176.2180[mG], Min: 11.7629[mG])

상행선, 하행선 모두 지나갈 때와 상행선만 운행할 때의 관계를 나타내면 위의 그림을 통해 알 수 있었다. 상행선 동시에 열차가 지나갈 시에는 최대값이 약 5%정도, 최소값은 약 22%로 줄어드는 것을 알 수 있었고, 상행선만 지나갈 때는 최대값은 약 10%정도, 최소값은

약 23%로 감쇠하는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서는 여러 가지 많은 경우는 생략하고, Case 1에 대해서만 모의를 하였다.

### 3. 결 론

위의 결과와 같이, 높이가 3m이고 폭이 10m인 보조도체를 설치하였을 시, 지상에서 0m높이에서의 단면을 잘랐을 때의 그 위치의 자계값이 줄어드는 것을 알 수 있었다.

상하행선이 동시에 지나갈 때는 대칭의 형태를 나타내지만, 상행선만 지나갈 때는 한 쪽이 전류가 0으로 되기 때문에 한 쪽으로 치우친 결과가 나타난다는 것을 알 수 있다.

상하행선 동시에 열차가 지나갈 때는 그림 4와 그림 5에서와 같이 최대값은 5%, 최소값은 22%로 감쇠하는 것을 볼 수 있었고, 상행선만 지나갈 때에는 그림 6과 7에서와 같이 최대값은 10%, 최소값은 23%로 감쇠하는 것을 알 수 있었다. 특히 최소값이 더 많이 감쇠하는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서는 높이가 3m이고, 폭이 10m인 보조도체만 설치 했지만, 보조도체를 여러 개 설치하는 경우나, 기하학적인 특징이 다른 도체, 예를 들면, 보조도체 루프의 넓이를 크게 한다는 가 아니면, 도체의 두께를 늘여서, 저항을 줄여서 유도전류를 크게 한다는 가 하는 경우에 대해서는 향후 연구과제로 남겨 놓았다.

고속전철 급전시스템 주변에 수동루프를 설치했을 때, 그 값이 현저히 떨어지는 걸 알 수 있었고, 전자계 EMF의 기준이 엄격해 지는 현시점에서, 이런 수동루프를 이용하여 자계를 줄일 수 있고, 이런 수동루프 방식이 상당히 필요하며 앞으로 연구가 되어 할 분야라고 생각하는 바이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 명성호, 이재복, 양광호, 주문노, "Passive Loop에 의한 송전선로 자계 저감 효과 분석, 대한전기학회 하계학술대회, C권, 1142-1144, 1999
- [2] P. Petterson, "Principles in Transimission Line Magnetic Field Reduction", IEEE Trans. on Power Delivery, 11, 3, 1587-1593, 1996
- [3] U. Jonsson, A. Larsson, J-O. Sjodin, "Optimized reduction of the magnetic field near Swedish 400kV lines by advanced control of shield wire currents. Test results and economic evaluation", IEEE Trans. Power Delivery, 9, 2, 961-969, 1994
- [4] k.Yamazaki, T. Kawamoto, H. Fujinami, "Investigation of ELF magnetic Field Mitigation for Overhead Power Lines using Passive Loop Conductors", KERI/CRIEPI Joint Workshop on EMF Effect. 1998.