

Passive Loop에 의한 송전선로 자계 저감 효과 분석

명성호, 양광호, 이재복, 주문노
한국전기연구소, 창원 641-120

Mitigation Effect on the Magnetic Field of Transmission Lines by Passive Loop

Sung Ho Myung, Kwang Ho Yang, Jae Bok Lee, Mun No Ju
Korea Electrotechnology Research Institute, Changwon 641-120, Korea

Abstract - 본 논문에서는 최근 선진국에서 활발히 연구중인 EMF 차폐 대책의 일환인 수동 루프에 대한 이론적 분석 방법을 기술하고, 송전선로 자계 저감 효과를 실제 우리나라 345kV, 765kV를 대상으로 정량적 효과를 분석하였다. 그 결과 수동 루프를 적용한 경우, 약 30% 정도의 자계 저감 효과를 나타내어 전력설비의 유효한 대책임을 확인하였다.

기본 원리는 상도체의 자속에 의하여 페루프에 전압이 유도되면 유도전류가 흐르게 되는데 이 유도전류에 의한 자속이 원래 상도체의 자속을 상쇄시켜 지표면 근처의 자계를 저감시키게 된다.

먼저, 송전선로 전류 I_s 에 의한 자속이 수동 루프에 쇄교하는 자속은 다음 식(1)과 같이 주어진다.

$$\Phi = \oint_s \vec{B}_s \cdot d\vec{s} \quad (1)$$

1. 서론

1984년 WHO의 50,000mG로부터 시작된 전자계 규제는 최근 WHO산하 국제방사선 보호협회(IRPA/ICNIRP)에서 833mG까지 강화되었으며 최근 미국 등 선진 각국에서는 'Prudent Avoidance'(현명한 회피) 정책아래 전자계(EMF) 노출량 실태파악 및 EMF 저감대책을 중심으로 연간 200억 이상을 투입하여 집중적인 연구활동을 수행하고 있다.

이러한 전자계 문제는 피해자가 모든 국민이 될 수 있는 범 국가적인 공공기술이므로 공공의 인적, 물적, 환경적 사회비용 손실을 최소화하기 위해서는 공공 복지의 차원에서 우리나라에서도 전자계 안전성 평가 연구 및 효율적인 전자계 친화기술 개발이 시급한 실정이다.

본 논문에서는 이러한 배경으로 최근 선진국에서 활발히 연구중인 EMF 차폐 대책의 일환인 수동 루프에 대한 이론적 분석 방법을 기술하고, 송전선로 자계 저감 효과를 실제 우리나라 345kV, 765kV를 대상으로 정량적 효과를 분석하여 수동 루프가 전력설비의 유효한 대책임을 확인하고자 한다.

실제 송전선로는 다상 시스템이므로 각 상의 크기와 위상을 고려하면 전체 자속 Φ_{total} 는 다음과 같이 표현된다.

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

이때 Faraday's law으로부터, 루프 도체의 유도전압은 다음 식(3)과 같이 주어진다.

$$V_{loop} = -\frac{d}{dt} \Phi_{total} \quad (3)$$

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

$$I_{loop} = \frac{V_{loop}}{Z_{loop}} \quad (4)$$

2. 수동 루프를 사용한 자계 저감 이론

수동 루프를 사용한 자계저감 원리를 다음 그림1의 송전선로 모델에서 설명 한다. 그림 1은 6개의 상도체 아래에 상도체에 의한 자계 자속을 상쇄시키기 위한 2개의 보조도체를 페루프 형태로 적용한 구조의 단면도이다.

루프 임피던스 Z_{loop} 는 저항 R_{loop} 와 자기인덕턴스 L_{loop} 로 표현되며 그 관계식은 다음과 같다.

$$Z_{loop} = \sqrt{R_{loop}^2 + \omega^2 L_{loop}^2}, \quad \theta_{Z_{loop}} = \tan^{-1}(\omega L_{loop} / R_{loop}) \quad (5)$$

여기서 $\theta_{Z_{loop}}$ 는 위상각을 나타낸다.

원래 상도체 의한 임의의 계산점 $P(x, y)$ 에서 자계를 $H_o(x, y)$ 라 하고, 보조 도체에 의한 자계를 $H_a(x, y)$ 라 하면, 완화된 자계 $H_m(x, y)$ 은 결국 다음 식(6)과 같이 주어진다.

$$\vec{H}_m = \vec{H}_o + \vec{H}_a \quad (6)$$

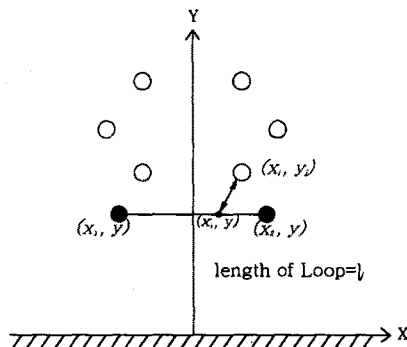


그림 1. 수동 루프를 채용한 송전선로 단면도

3. 사례 연구

3.1 345 kV 송전선로 적용 예

그림 2는 345 kV급 송전선로의 상배열과 부하전류 조건을 나타낸 것이다. 수동 루프 도체를 최하단 선로 아래에 절연간격을 고려하여 적절한 위치에 설치하면 전술한 바와 같이 자계저감 효과를 얻게 된다. 보조 도체는 345 kV 송전선로의 소도체로 사용되는 Rail 도체를 사용하였으며 이때 직경은 2.959[cm]이고 저항은 0.0624 [Ω/km]이다.

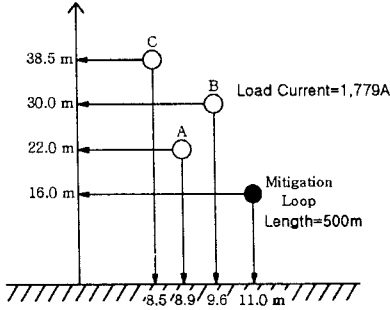


그림 2. 345 kV 송전선로의 기하학적 구조

표 1은 식 (3),(4),(5)를 이용하여 수동 루프에 유도되는 전압과 전류의 크기와 위상각을 각각 구한 결과를 나타내고 있다.

표 1. 수동 루프에 유도되는 전압과 전류

루프위치[m]	유도 전압		유도 전류		
높이	폭	크기[V]	각도	크기[V]	각도
16	18	105.690	-60	195.904	-143.117
	20	107.204	-60	195.836	-143.191
	22	105.789	-60	190.753	-143.254
	24	102.112	-60	181.977	-143.307

다음으로는 수동 루프를 설치하기전과 설치후의 자계저감 효과를 분석하였다. 철탁의 중심을 기준으로 -50m부터 50m까지의 수평 자계저감효과와 X=30m 지점에서의 수직 자계저감효과가 분석되었다. 그림 3은 루프의 높이를 16m로 하였을 때, 지표면 위 1m 지점에서 루프의 폭에 따른 자계저감 효과를 철탁의 중심을 기준으로 -50m부터 50m까지의 측면상에서 분석하여 나타낸 그림이다. 그림 4는 상기의 조건을 가진 루프의 자계저감 효과를 X=30m 지점에서의 높이에 따른 저감 효과를 나타낸 그림이다. 그 결과 자계저감 효과는 루프의 설치 조건에 따라 차이가 있었으며 자계저감 효과는 철탁의 중심부근에서 효과가 32% 정도로 가장 큼을 알 수 있었다. 그리고 수직 패턴상에서는 수평 패턴에 비해 효과가 작았으며 위의 모델에서는 50m 이상이 되면 오히려 불리하게 작용하였다. 그러나 생물체는 주로 지표면 부근에서 자계에 노출되므로 수평 패턴에 의한 효과가 주관점이 되므로 실용적인 면에서는 충분한 의미가 있다. 위 결과로부터 수동 루프는 22m 폭을 가진 루프를 16m 높이에 설치하는 것이 효과적임을 알 수 있었으며, 수동 루프를 설치하였을 때와 같은 자계저감 효과를 얻기 위해서 철탁의 지상고를 4m정도 올려야 하는 것으로 판명되었으며 그 결과를 그림 5에 나타내었다.

3.2 765 kV 송전선로 적용 예

그림 6은 765 kV급 송전선로의 상배열과 부하전류 조건을 나타낸 것이다.

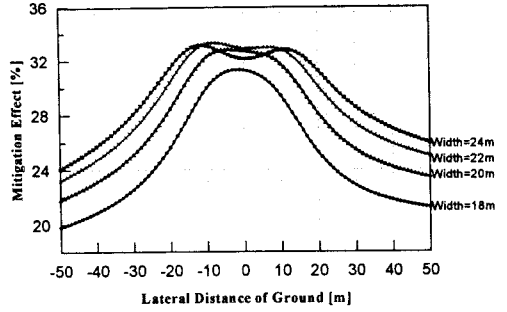


그림 3. 지표면 위 1[m]지점에서의 자계저감 효과 (루프의 높이 고정=16m)

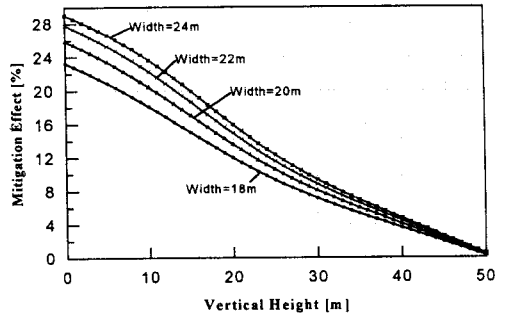


그림 4. 높이에 따른 자계저감 효과 (루프의 높이 고정=16m, X=30m)

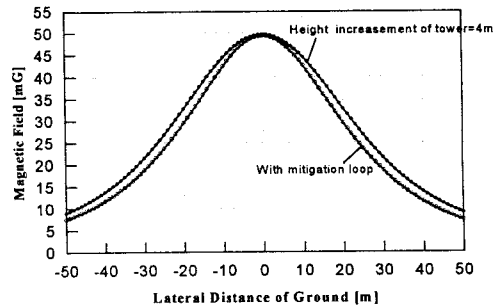


그림 5. 자계저감 대책 기술에 따른 효과 분석

보조 도체는 765 kV 송전선로의 소도체로 사용되는 Cardinal 도체를 사용하였으며 이때 직경은 3.037[cm]이고 저항은 0.062 [Ω/km]이다.

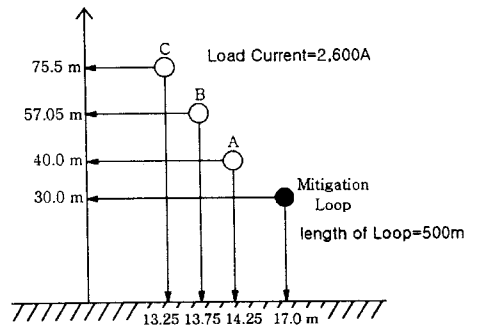


그림 6. 765 kV 송전선로의 기하학적 구조

표 2는 수동 루프에 유도되는 전압과 전류의 크기 및 위상각을 나타내고 있다.

표 2. 수동 루프에 유도되는 전압과 전류

루프위치(m)		유도 전압		유도 전류	
높이	폭	크기(V)	각도	크기(V)	각도
30	28	160.281	-60	280.843	-143.412
	30	163.570	-60	284.019	-143.447
	32	165.112	-60	284.297	-143.477
	34	165.034	-60	281.944	-143.504

다음으로는 345kV 송전선로의 경우와 같이 수동 루프를 설치하기 전후의 자계 저감 효과를 분석하였다. 그림 7은 루프의 높이를 30m로 고정시켰을 때 지표면 위 1m 지점에서 루프의 폭에 따른 자계 저감 효과를 철탑의 중심을 기준으로 -50m부터 50m 까지의 측면상에서 분석하여 나타낸 그림이다. 그림 8은 루프의 자계 저감 효과를 X=30m 지점에서의 높이에 따른 저감 효과를 나타낸 그림이다. 그 결과 자계 저감 효과는 철탑의 중심부근에서 효과가 30% 정도로 가장 큼을 알 수 있었다. 그리고 수직 패턴상에서는 수평 패턴에 비해 효과가 작았으며 위의 모델에서는 80m 이상이 되면 불리하게 작용하였다.

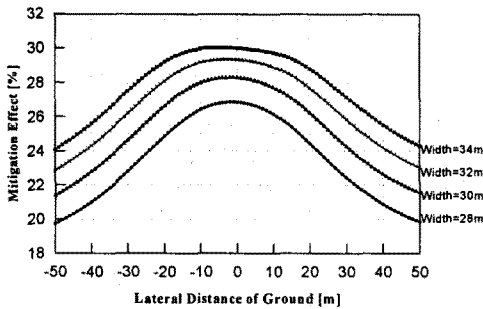


그림 7. 지표면 위 1[m]지점에서의 자계 저감 효과 (루프의 높이 고정=30m)

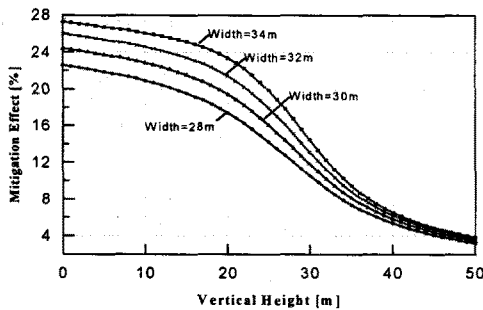


그림 8. 높이에 따른 자계 저감 효과 (루프의 높이 고정=30m, X=30m)

위 결과로부터 수동 루프는 34m 폭을 가진 루프를 30m 높이에 설치하는 것이 효과적임을 알 수 있었으며, 수동 루프를 설치하였을 때와 같은 자계 저감 효과를 얻기 위해서 철탑의 지상고를 7m정도 올려야 하는 것으로 판명되었으며 그 결과를 그림 9에 나타내었다.

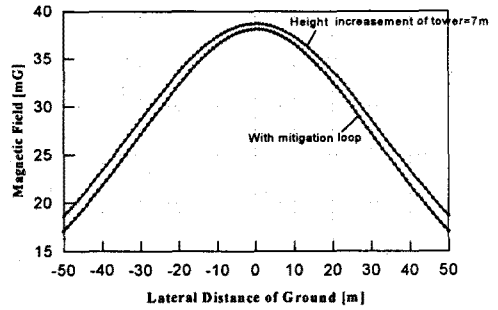


그림 9. 자계 저감 대책 기술에 따른 효과 분석

4. 결 론

본 논문에서는 최근 선진국에서 활발히 연구중인 EMF 차폐 대책의 일환인 수동 루프에 대한 이론적 분석 방법을 기술하고, 송전선로 자계 저감 효과를 실제 우리나라 345 kV, 765 kV를 대상으로 정량적 효과를 분석하였다.

그 결과 수동 루프를 채용한 경우 자계 저감 효과는 루프의 설치 조건에 따라 상당한 차이가 있었으며 자계 저감 효과는 철탑의 중심부근에서 345 kV 송전선로의 경우 효과가 32% 정도, 765 kV 송전선로의 경우 효과가 30% 정도로 가장 큼을 알 수 있었다.

그리고 수직 패턴상에서는 수평 패턴에 비해 효과가 작았으며 345 kV 송전선로의 경우 50m, 765 kV 송전선로의 경우 80m 이상이 되면 오히려 불리하게 작용하였다. 그러나 생물체는 주로 지표면 부근에서 자계에 노출되므로 수평 패턴에 의한 효과가 주관점이 되므로 실용적인 면에서는 수동 루프가 전력설비의 유효한 대책임을 확인하였다.

또한, 수동 루프를 설치하였을 때와 같은 자계 저감 효과를 얻기 위해서는 345 kV 송전선로의 경우 철탑의 지상고를 4m, 765 kV 송전선로의 경우 철탑의 지상고를 7m정도 올려야 하는 것으로 판명되었다.

(참 고 문 헌)

- [1] 山崎·河本·藤波, "低周波磁界シールドの基礎検討 (1) 電氣配置とシールド材による遮蔽效果の計測評價" 電中研究報告, T96034(1997)
- [2] P. Petterson, "Principles in Transmission Line Magnetic Field Reduction", IEEE Trans. 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, "Investigatio of ELF magnetic Field Mitigation for Overhead Power Lines using Passive Loop conductors", KERI/CRIEPI Joint Workshop on EMF Effect, 1998.