Journal of the Korean Society of Safety
Vol. 36, No. 5, pp. 10-17, October 2021
https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2021.36.5.10

ISSN 1738-3803 (Print)
ISSN 2383-9953 (Online)
http://www.kosos.or.kr/jkosos

2선식 수동루프를 이용한 345[kV] 송전선 주변의 자계저감 설계기법 연구

김응식*†

A Study on Magnetic Field Reduction Design Technique around 345 kV Transmission Line with 2-wire Set Passive Loop

Eung Sik Kim*†

†Corresponding Author
Eung Sik Kim
Tel : +82-41-540-5722
E-mail : eskim@hoseo.edu

Received : August 31, 2021
Revised : October 7, 2021
Accepted : October 14, 2021

Copyright@2021 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Abstract : The controversy over the risk of the human body being affected by electromagnetic fields emitted from 60 Hz power lines continues without end. There are currently no new studies or research progress being made in this direction that is notable, and the number of civil complaints is gradually increasing. The problem is that each study produces different results, among which the effect of exposure to magnetic fields on childhood leukemia is a major one. In Korea, an electrician who was maintaining a 22.9 kV power line died of leukemia, which has recently been recognized as an occupational disease. Methods to reduce magnetic fields from power lines include shielding with wire loops, incorporating split phases and compaction techniques, installing underground power lines, converting to high-voltage direct current (HVDC), and increasing the ground clearance of transmission towers. Depending on whether a separate power supply is needed or not, there are two types of wire loops: passive loop and active loop. Magnetic field reduction is currently done through underground power lines; however, the disadvantage of this process is high construction costs. Installing passive loops, with relatively low construction costs, leads to lower magnetic field reduction rates than installing underground cables and a weakness to not solving the landscape problem. This methodological study aims at designing methods and reducing the effects of 2-wire set loops-the simplest and most practical. Since the method proposed in this study has been designed after analyzing the distribution of complex electromagnetic fields near the expected loop installation location, a practical design can be implemented without the need for any difficult optimization programming.

Key Words : magnetic field reduction, 2 wire-set loop, passive loop, loop design

1. 서 론

상용주파수(60 Hz) 전력선에 의한 자계노출로 인한 인접한 인체의 안전성 평가는 많은 논란을 유발시키고 있고, 국내에도 전자계로 인한 직업병 사례를 인정한 판정이 나왔다[1]. 오랜기간에 걸쳐 많은 연구 결과가 세포연구, 동물연구, 역학조사 등의 각 분야에에서 끊임없이 나오고 있음에도 불구하고 서로 상이한 결과들이 많이 존재한다. 국내에도 오랜 기간에 걸쳐 송전선 근접성과 암발병의 연관성 연구로 "154/345 kV 송전선로 주변지역의 암유병 양상 생태학적 역학조사 연구"와 "생활 및 전기환경 연관 패턴분석 기술" 등의 정교한 연구[2,3]가 수행되었다. 결론은 연관성이 없는 것으로 보고되어 있으며 현재는 학술적으로 새로운 이슈가 없이 소강상태를 맞이하고 있다.

그러나 민원은 점진적으로 증가하는 추세이며 이러

*호서대학교 안전소방공학부 교수 (Division of Safety and Fire Protection, Hoseo University)

한 상황에서는 자연히 자계를 저감시키는 저감기법들이 연구되기 시작했고 우리나라에서도 자계노출이 예상되는 곳에서는 설계단계에서부터 선로의 지중화공사등 대책마련이 시작되는 단계이다. 전력선에 의한 자계를 저감시키는 방법은 차폐를 위한 저감루프 사용, 상의 분리, 컴팩선(Compaction)기법, 선로지중화, 송전탑의 지상고 증가 등이 있다. 저감루프는 다시 수동루프와 능동루프의 두 종류로 나뉜다. 이 둘의 차이는 전원설비의 유무의 차이이며 수동루프는 전원설비를 필요로 하지 않는다.

송전선의 자계저감 문제는 일찍부터 논의되었고[4-7], 이중에는 이론 뿐만이 아니라 실제 루프를 축소 설계한 논문들[8,9]도 보고되었다. 자계저감 설계에 관련된 논문도 보고되어 각도나 위치 등을 변수로 삼아 최적화 프로그래밍을 수행하게 된다. 이 경우 여러가지 제약조건, 해의 발산등의 문제점이 수반되게 된다[10]. 현재 루프를 이용한 저감방법 외에 다양한 많은 방법이 서로 다른 적용대상에 적용되고 많은 보고들[11-13]이 이루어지고 있다. 특이한 것은 수동루프의 적용시 상불평형이 발생한다는 보고[14]도 있다.

현재 추세는 저감율이 높은 차폐재를 사용한 선로지중화와 수동루프를 같이 사용하는 선로 지중화이나 건설비용이 많이 들고, 상대적으로 건설비용이 적은 수동루프의 설치는 저감율이 지중화 보다 떨어지며 경관 문제를 해결하지 못하는 단점이 있다. 본 논문은 수동루프의 설계의 관한 방법론 연구로서 가장 간단하고 현실성이 있는 2선식 루프의 설계방법과 그 효과에 대하여 알아보고자 한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 루프설치 예정위치 부근의 복소자계의 분포를 기반으로 설계하기 때문에 복잡한 최적화 프로그래밍 없이도 실용적인 설계가 가능하다는 점이다.

2. 이론적 배경

2.1 교류 전류에 의한 공간상의 자계 벡터의 궤적

식 (1)은 3차원 교류 전류에 의한 임의점에서의 자속밀도 식이다. 일반적으로 가공송전선의 이도(Dip)를 고려하지 않을 경우 2차원을 기준으로 계산하게 된다. 여기서 B(t)의 실효치 B_{rms}와 최대/최소값의 관계를 구하면 식 (2)와 같은 결과를 얻는다. 평가를 위해 실효값을 택하여 저감의 효과를 평가하였다. 또한 2차원 모델을 사용하므로 평면에서 수직방향으로의 자계는 고려하지 않고 설계에 임하였다.

전력선의 각상에 의한 자계는 임의의 지점에서 각상에 의한 벡터합의 형태로 나타나며 통상 2차원인 경우

$$B(t) = \sqrt{2}\,B_x\sin(\omega t)\boldsymbol{i} + \sqrt{2}\,B_y\sin(\omega t+\alpha)\boldsymbol{j} + \sqrt{2}\,B_z\sin(\omega t+\beta)\boldsymbol{k} \quad (1)$$

Bx, By, Bz : x,y,z 방향의 자속밀도의 실효치
i, j, k : x,y,z 방향의 단위벡터
α, β : x방향을 기준으로 y방향 및 z방향 위상차
ω : $2\pi f$ (f=전력주파수).

$$\sqrt{\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{B}\,dt} \quad (2)$$

$$= \sqrt{\frac{1}{T}\int\left\{2B_x^2\sin^2\omega t + 2B_y^2\sin(\omega t+\alpha) + 2B_z^2\sin^2(\omega t+\beta)\right\}dt}$$

$$= \sqrt{B_x^2+B_y^2+B_z^2} = \sqrt{B_{max}^2+B_{min}^2}$$

$$= B_{rms}$$

타원의 궤적을 그리게 된다. Fig. 1은 여러가지 2차원 타원궤적을 각각 위상차와 수직/수평방향 자계 크기의 변화에 따라 보여주고 있다. a) ~ c)는 수직/수평 방향의 자계의 크기가 1:1일 경우 위상차에 의한 궤적의 변화이고 d)는 위상차가 $\pi/8$일 때 크기의 비가 1:2일 경우 발생하는 궤적을 보여주고 있다.

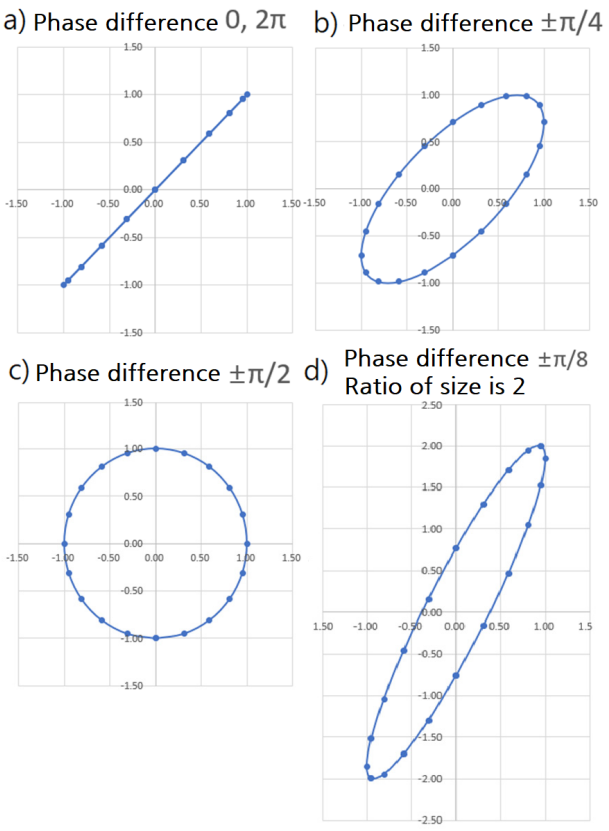

Fig. 1. Trajectories of time varying magnetic field in 2-dimensional space.

2.2 비오사바르 법칙 (Biot-Savart's law)

송전선 전류에 의한 자기장의 계산하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 비오사바르의 법칙을 사용하여 식 (3)과 같이 적분식을 해석식(Analytic Equation)으로 변환후 각 계산점에서 자계를 계산한다. 이 경우 I는 각 상에 흐르는 복소전류를 나타낸다. Fig. 2는 유한도선과 자계 계산점과의 관계를 나타낸 그림으로 α_1과 α_2는 시작점과 끝점의 계산점과의 각도이다. 60 Hz 교류의 표피효과는 도선의 굵기와 계산점과의 거리를 비교할 경우 무시할 수 있다.

$$\boldsymbol{B}=\frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_{L1}^{L2}\frac{d\boldsymbol{L}\times\boldsymbol{R}}{R^3} \quad (3)$$
$$=\frac{\mu_0 I}{4\pi R}\left[\frac{L_2}{(R^2+L_2^2)^{\frac{1}{2}}}+\frac{L_1}{(R^2+L_1^2)^{\frac{1}{2}}}\right]\hat{\phi}$$
$$=\frac{\mu_0 I}{4\pi\rho}(\sin\alpha_2+\sin\alpha_1)\hat{\phi}$$

dL : 유한도선의 미분전류가 흐르는 미분전류 벡터
R : 각각의 미분전류의 중심과 계산점 P와의 거리 벡터
I : 도선에 흐르는 전류의 크기

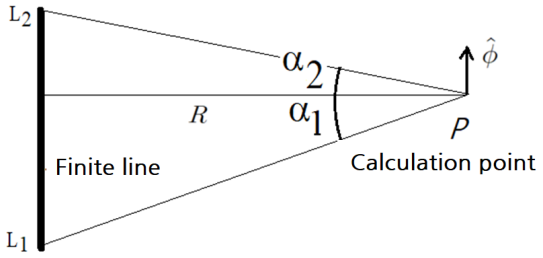

Fig. 2. Modelling of finite power line from L_1 to L_2 and Calculation point P.

2.3 자계 저감 원리

Fig. 3는 345 kV 송전탑과 수동루프의 모델로 각각의 좌표와 좌표축을 보여준다. 그림에서 수평 수동루프의 경우 식 (4)와 같은 파라데이 유도법칙(Faraday's Law)에 의하여 송전선이 만드는 루프와의 직교 자속쇄교로 루프에 전압이 유도되고 전류가 흐르는데 이 유도전류로 인해 평가영역의 자계가 저감된다. 따라서 직교 쇄교자속의 합을 가장 크게 하는 루프를 찾는 것이 저감루프 설계의 기본원리이고 이를 위한 알고리즘의 설계가 이 논문의 목적이다. 따라서 수평 수동루프의 경우 z방향자계가 수직 수동루프의 경우 y방향자계에 주안점을 두게 된다.

$$E=-\frac{\partial\Phi_t}{\partial t}=-\frac{\partial}{\partial t}\iint_A B\cdot dA \quad (4)$$

3. 수동루프의 설치 및 평가영역

현재 우리나라에는 154 kV, 765 kV 송전탑도 사용되나 중간계급인 345 kV를 계산모델로 삼았다. 송전선의 최하단 높이는 그 설치 위치에 따라 15~28 m의 범위를 가지고 있으며 본 논문에서는 최대/최소치의 평균값 근처에 실재하는 22 m를 택하여 계산하였다. 2선식 수직/수평 수동루프를 기본형태로 시작하여 위치를 바꿔가며 자계 저감효과를 구하였다. 수동루프의 길이는 200 m로 하였고 그 끝은 연결되어 있는 직사각형 형태를 취한다.

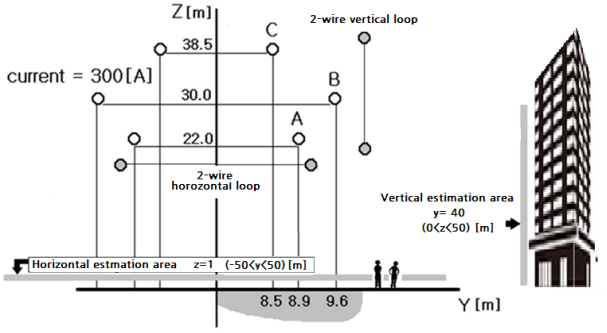

Fig. 3. 345[kV] Transnission line, vertical/horizontal passive loops and vertical/horizontal estimation areas.

자계의 저감을 평가하는 영역으로서는 근거리로 사람들의 활동 범위인 지상 1 m 높이에서 송전선 중심에서 좌우로 50 m에 이르는 부분과 원거리로 송전선 옆의 건물이나 시설물을 고려하여 송전선 중심에서 40 m 떨어진 지점의 지표에서 높이가 지상에서 50 m 지점까지의 두 평가영역으로 나누어 평가하였다. 이후에는 이를 각각 수평/수직 평가영역으로 부르기로 한다. 그리고 각각 저감효과를 평가하는 목적함수로서 식 5)과 식 6)을 정의하여 저감효과를 나타내는 함수로 사용하였다.

$$F(y)_{z=1,\text{수평평가}}=\sum_{y=-50}^{50}\left[B(y)_{(\text{설치전})}-B(y)_{(\text{설치후})}\right] \quad (5)$$

$$F(z)_{y=40,\text{수직평가}}=\sum_{z=1}^{50}\left[B(z)_{(\text{설치전})}-B(z)_{(\text{설치후})}\right] \quad (6)$$

B : 자속밀도의 실효값

설계 시 제한사항으로는 전력선과 루프선 사이의 안전거리를 유지시켜야 한다는 점이다. 전원선에 루프선이 접근하면 자연히 자속쇄교수가 증가하여 저감효과는 커지게 되나 코로나 등의 방전이 일어날 수 있다.

본 논문에서는 최소이격 거리를 1 m로 가정하여 계산하였다. 실제 설계에 있어서 이격거리의 결정은 간단한 문제가 아니므로 본 논문에서는 수동루프 설계 알고리즘에 우선을 두고 기술하기로 한다. 차후 이격거리가 변하더라도 이격거리는 변수로 처리되므로 알고리즘에는 변화가 없다.

4. 역상배열

4.1 저감루프의 일반적 설치 위치

Fig. 4는 상배열을 역상배열로 배치하고 각상에 실효전류 300 A가 흐를 경우, 수평/수직 평가영역에서의 자계분포로 저감루프의 설치 이전의 분포를 나타낸다. 수평축은 Fig. 3의 수평/수직 평가영역을 나타내며 수직축은 영역의 각점에서 자속밀도[uT]를 나타낸다. 여기에 수평평가 영역에 가장 큰 저감효과를 주는 수동루프의 위치를 찾아보자.

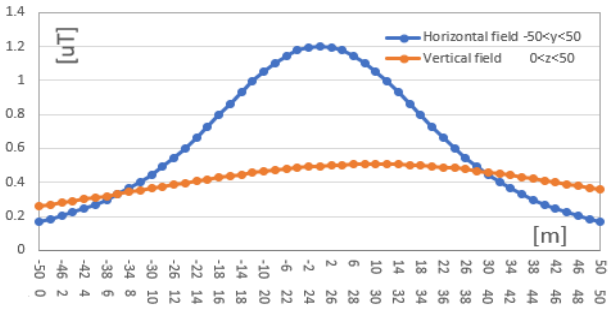

Fig. 4. Magnetic fields by reverse phase arrangement before reduction.

Fig. 3에서 높이가 하단에서 약 2/3되는 z=15.0에 -10.0< y<10.0을 지나는 길이 200 m, 폭 20 m가 되는 임의의 직사각형 형태의 수평루프를 설치한 후, 수평/수직평가 영역에서의 효과를 살펴보았다. 수평 수동루프는 수평평가 영역에서 자계 최대치를 약 33[%]를 저감하는 반면 수직평가 영역에서는 최대치를 약 5[%]밖에 저감하지 못함을 알 수 있었다. 당연한 결과로 저감효과를 위해서는 평가영역과 자계발생원 사이에 루프가 위치해야 한다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서 루프는 수평영역 저감을 위해서는 수평 수동루프가, 수직영역 저감을 위해서는 수직 수동루프가 Fig. 3과 같이 전원선과 평가영역 사이에 놓여야한다.

4.2 역상배열에서 수평 수동루프의 설계

다음으로 수평평가 영역에 가장 큰 저감효과를 주는 루프의 위치를 찾아보자. Fig. 5은 z=21.5, -20.0<y<20.0 (단위 m)에 루프를 설치하였다고 가정하고 수평 수동루프면과 쇄교하는 z방향 복소자계의 분포를 계산한 그림이다. 수평축은 −20<y<20 (단위 m)의 거리이며 수직축은 복소 자계세기의 실수와 허수를 나타낸다. -8.5<y<8.5의 구간에서 복소자계는 실수와 허수가 모두 양의 값을 갖지만 그 밖의 구간에서는 실수와 허수가 모두 음의 값을 갖기 때문에 총쇄교자속의 합은 -8.5<y<8.5의 구간에서 최대가 됨을 알 수 있다. 즉 전원선 하단에 8.5×2=17 m의 폭를 갖는 수동루프가 큰 저감효과 낸다는 것을 자계분포를 보고 미리 예상할 수 있다.

정확한 계산을 위해서 Fig. 3의 수평 수동루프의 좌표 (y,z)의 위치가 결정되면 z축을 대칭으로 좌표 (-y,z)의 위치에 루프가 자동 결정되게 하였다. 그 이유는 Fig. 5의 평가영역의 자계분포가 z축을 중심으로 대칭을 이루고 있기 때문이다. Fig. 6은 루프의 위치 (y,z)의 변화에 따른 평가함수 식 4)의 크기를 나타내며, 수평면은 (y,z)의 좌표와 수직축은 식 4)의 크기를 나타낸다. 결과적으로 루프가 (-8.5, 21.5)와 (8.5, 21.5)를 지날 때 가장 큰 저감효과를 낼 수 있었다.

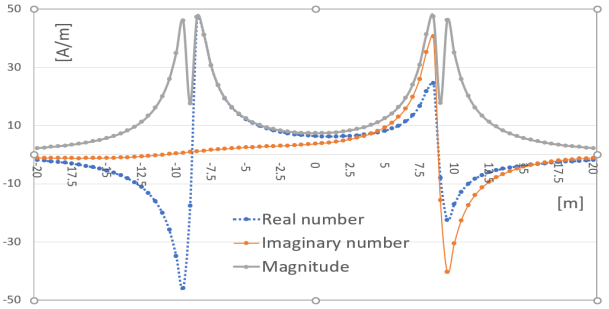

Fig. 5. Z-direction complex magnetic fields at a height of z=21.5 m.

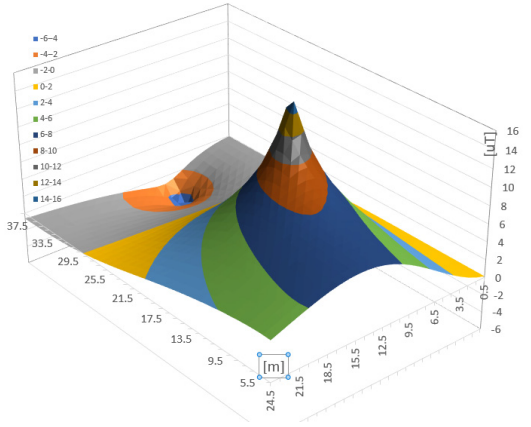

Fig. 6. Magnitudes of reduction according to the horizontal loop coordinates.

그러나 역상배열에 의한 자계가 완벽한 좌우대칭이란 보장이 없으며, 전원선과의 최소이격를 확보해야 한다는 제약이 있다. 이 문제의 해결을 위해 위하여 Fig. 7와 같이 최하단 전원선에서 최소 이격거리를 띄운 후 루프가 놓일 수 있는 모든 위치조합을 계산해서 가장 큰 저감효과를 주는 위치를 찾는다. 계산결과 루프의 위치는 좌우대칭으로 (y,z)가 (9.10, 21.00)로 계산되었고 이에 따른 저감효과는 Fig. 8과 같다. 수평축은 Fig. 3의 수평 평가영역을 나타내며 수직축은 영역의 각 점에서 저감 전후의 자속밀도[uT]를 나타낸다. 최대 자속밀도가 56%로 저감되었다. 각점의 저감율은 (자계$_{\text{루프설치전}}$ − 자계$_{\text{루프설치후}}$) / 자계$_{\text{루프설치전}}$×100으로 계산하였다. Fig. 9는 수평 수동루프에 의한 수직평가 영역에서의 저감효과를 나타낸 그래프로 저감 전후의 최대 자계치는 각각 0.51, 0.50 uT로 크게 감소하지 않았다.

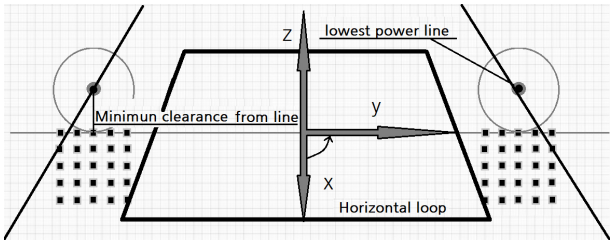

Fig. 7. Modeling of loop position for precise calculation.

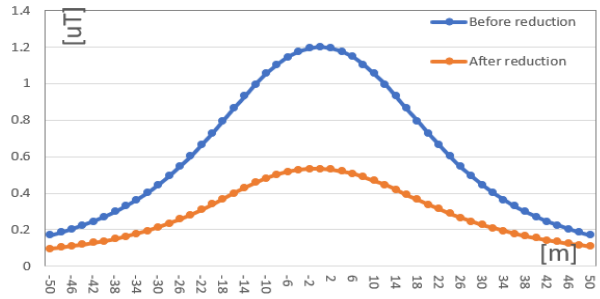

Fig. 8. Magnetic fields before/after loop installation at horizontal area.

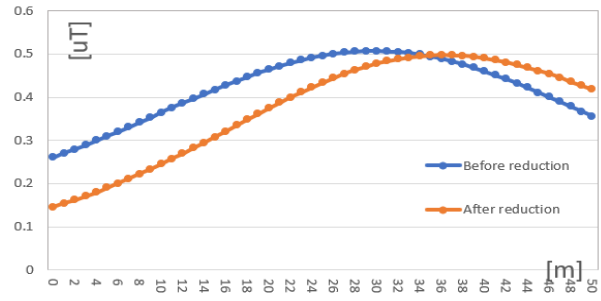

Fig. 9. Magnetic fields before/after loop installation at vertical area.

4.3 역상배열에서 수직 수동루프의 설계

수직 수동루프는 전원선과 수직평가 영역 사이에 설치된다. Fig. 10은 y=10.6, 10.0<z<50.0에 루프를 설치하였다고 가정하고 루프면과 쇄교하는 y방향 자계의분포를 계산한 그림이다. 구간에서 z=30을 중심으로 거의 대칭형상을 이루고 있고 20<z<40인 구간에서는 식 5)의 복소자계의 합이 가장 큰 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 따라서 앞서 수평루프에서와 유사한 방법으로 z=30을 대칭의 중심으로 루프를 (y, 30 + dz), (y, 30 − dz)의 위치에 만들어 수직 수동루프가 수직평가 영역에 가장 큰 저감 효과를 만드는 y, dz의 값을 찾아 보았다.

Fig. 11은 루프의 위치 변수 (y,dz)의 변화에 따른 평가함수 식 5)의 크기를 나타내며, 수평면은 (y,dz)의 각각의 좌표와 수직축은 식 5)의 크기를 나타낸다. 그림과 같이 y=9, dz=12인 점에서 최대값을 얻었으며 이는 수직 수동루프가 (9,42) (9,18)에 위치할 때 최대저감효과를 남을 알 수 있다. 이는 그림 Fig. 10을 통해서 예측할 수 있는 결과이다. 그러나 최대 저감효과를 주는 루프의 형상이 앞서 계산된 모델과 같이 대칭이란 보장이 없고 전원선과의 최소이격거리를 고려하여야 한다.

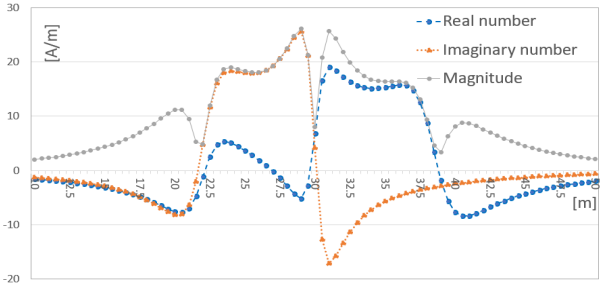

Fig. 10. Y-direction complex magnetic fields at a plane of y=10.6 m.

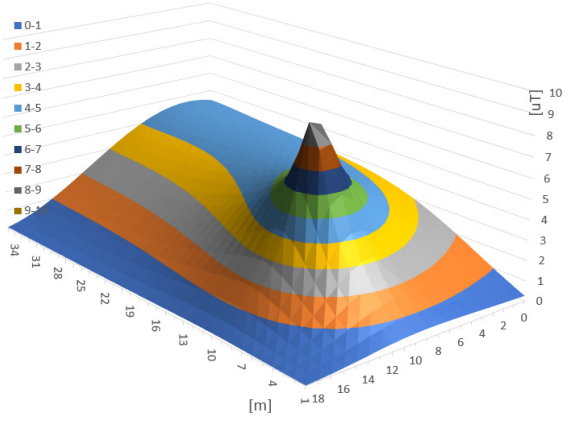

Fig. 11. Magnitudes of reduction according to vertical loop coordinates.

Fig. 12는 5개의 루프와 각각의 위와 아래의 위치가 될 수 있는 점들의 예시이다. 각각의 조합을 모두 계산하여 저감효과가 가장 큰 루프의 위치를 결정하였다. 계산결과 루프는 최상단 전원선에 가까이 존재하고 최하단 전원선과 떨어진 (10.37, 39.78)과 (10.80, 21.58)에 위치할 때 최대의 저감효과를 낼 수 있었으며 루프설치 전후의 자계치는 Fig. 13과 같이 최대 자계치가 40% 감소하였다. Fig. 14는 수직 수동루프에 의한 수평 평가영역에서의 저감효과를 나타낸 그래프로 최대 자계치는 14% 감소하였다. Fig. 13과 14의 수평축은 Fig. 3의 각각 수직, 수평 평가영역을 나타내며 수직축은 각 점에서 저감 전후의 자속밀도[uT]를 나타낸다.

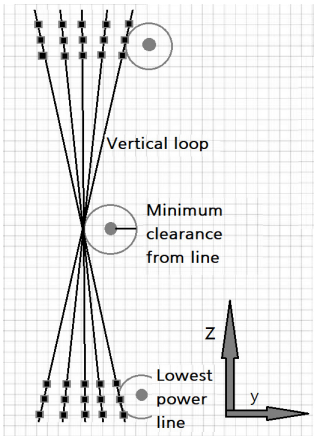

Fig. 12. Modeling of loop position for precise calculation.

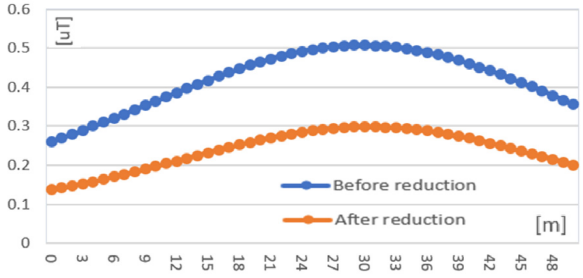

Fig. 13. Magnetic fields before/after loop installation at vertical area.

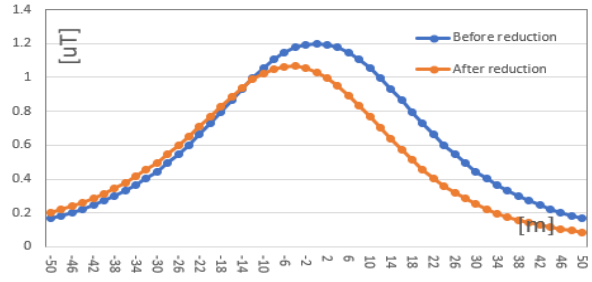

Fig. 14. Magnetic fields before/after loop installation at horizontal. area.

5. 정상배열

5.1 정상배열에서 수평 수동루프의 설계

Fig. 15는 앞서 계산된 역상배열을 정상배열로 바꾼 경우의 자계분포이다. 수평축과 수직축은 Fig. 4와 동일하며 서로 유사한 자속밀도 분포을 보이고 있으나 역상배열에 비하여 높은 자계분포을 갖게 된다. Fig. 16은 z=20, -30.0<y<30.0에 수평 수동루프를 설치하였다고 가정하고 루프면과 쇄교하는 z방향 복소자계 분포를 살펴본 그림으로 수평거리 y값에 따른 복소 자계의 세기 나타낸다. y=0을 중심으로 위상차 180°의 완벽한 대칭을 이루고 있다. 이로 인해 역상의 경우처럼 대칭인 루프를 설계하면 자속쇄교합이 0이 되어 저감효과는 발생하지 않는다. 따라서 좌우 한쪽 영역에 위치하는 비대칭 저감루프를 설계하였다.

Fig. 16에서 y=9부터 값이 증가함에 따라 실수부와 허수부가 모두 0이하로 내려가며 이들의 합이 최대의 총쇄교자속를 만들어낼 수 있음을 보여준다. 역상배열과 유사한 과정을 거쳐 최대의 저감효과를 내는 루프의 위치를 찾은 결과 (9.01, 21.00)과 (57.86, 16.31)에서 수동루프의 위치가 결정되었다. 루프의 폭이 매우 넓어져 설치가 비현실적이지만 단지 저감 효과의 측면만을 고려한 결과이다. Fig. 17은 수평 수동루프 설치 전

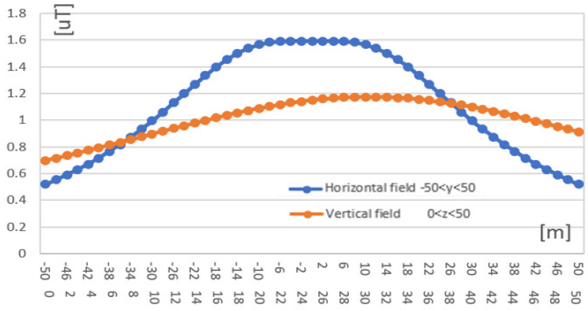

Fig 15. Magnetic fields by regular phase arrangement before reduction.

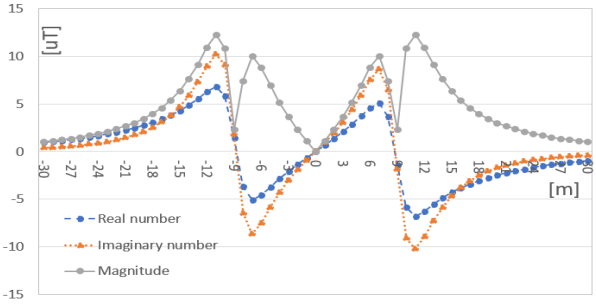

Fig. 16. Z-direction complex magnetic fields at a height of y=20.0 m.

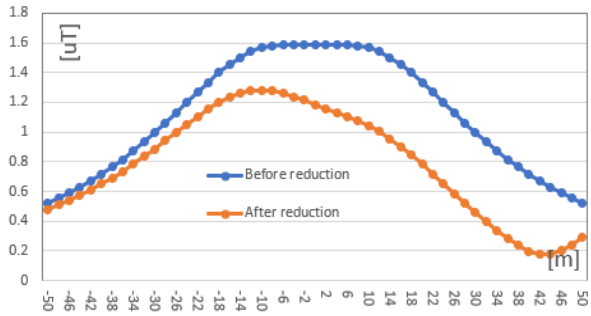

Fig. 17. Magnetic fields before/after loop installation at horizontal area.

후의 자계분포를 나타낸다. 수평축은 Fig. 3의 수평 평가영역을 나타내며 수직축은 저감 전후의 자속밀도[uT]를 나타낸다. 최대 자계치가 29% 저감하여 역상배열의 수평 수동루프에 비하여 상대적으로 작은 저감효과를 나타냈고 송전탑을 중심으로 좌우의 평균저감율은 각각 14%와 48%로 계산되어 저감효과는 반쪽 평면에서 크게 관찰되었다.

5.2 정상배열에서 수직 수동루프의 설계

정상배열일 경우 수직 수동루프에 의한 수직평가 영역의 저감효과를 살펴보자. 4.3절에서 설명된 것과 유사한 방법으로 루프의 위치를 찾아본 결과 루프는 역상일 경우와 같이 최상단 전원선에 가까이 존재하고 최하단 전원선과 조금 멀어진 (8.89, 43.21)과 (11.65, 21.89)에 위치할 때 최대의 저감효과를 낼 수 있었다. 설치전후의 자계값은 Fig. 18과 같으며 최대 자계값이 50%로 감소하였다. Fig. 19는 수직 수동루프에 의한 수평평가 영역에서의 저감효과를 나타낸 그래프로 최대 자계치가 29% 감소하였으나 저감효과는 반쪽 평면에서 크게 관찰되었다. Fig. 18과 19의 수평축은 Fig. 3의 수직, 수평평가 영역을 나타내며 수직축은 영역의 각 점에서 저감 전후의 자속밀도[uT]를 나타낸다.

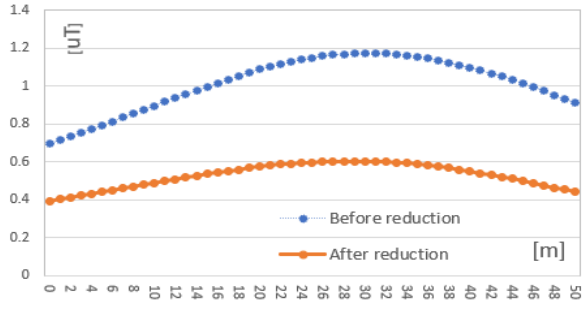

Fig. 18. Magnetic fields before/after loop installation at vertical area.

6. 상배열에 따른 수평/수직루프의 저감효과

Table 1은 상배열, 수평/수직 수동루프, 수평/수직 평가영역별 상대적 저감효과를 비교한 결과표이다. 현재 사용되는 역상배열 외에 정상배열의 경우에도 최대 자계저감 효과를 주는 수동루프를 설계해본 결과 수평평가 영역은 수평 수동루프가 수직평가 영역에서는 수직 수동루프의 효과가 가장 좋은 것으로 나타났다. 정상배열의 경우 수평평가 영역에서는 수평 수동루프를 사용하여 저감시킬 수 있는 영역이 제한되어 효과적인 저감이 이루어지지 않았다.

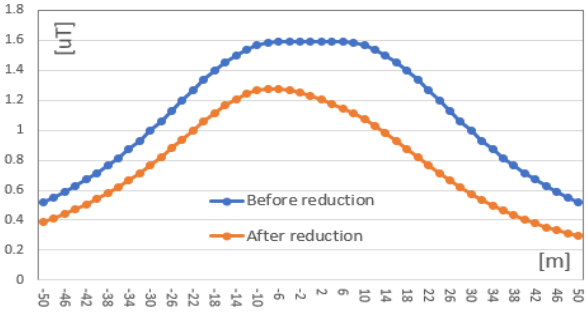

Fig. 19. Magnetic fields before/after loop installation at horizontal area.

Table 1. Reduction effect comparison table according to types of loop and phase arrangements

	Reduction effect in reverse arrangement	Reduction effect in regular arrangement
Horizontal estimation area	Horizontal loop > Vertical loop	-The reduction effect is relatively small -Installation is spatially constrained
Vertical estimation area	Horizontal loop < Vertical loop	Horizontal loop < Vertical loop

7. 결 론

2선식 수동루프의 경우 역상이나 정상배열에서 수직평가 영역의 자계 저감에는 수직 수동루프가 수평평가 영역 경우에는 수평 수동루프가 효과적이었다. 하지만 정상배열의 경우 수평 수동루프의 사용에는 저감영역이 제한된다.

역상/정상배열의 수평/수직 수동루프의 예상 설치면에서의 복소자계의 크기는 거의 대칭을 이루고 있으며 실수와 허수의 분포 또한 단순하므로 이를 총쇄교자속의 합의 관점에서 분석하면 미리 루프의 설치위치를 예측할 수 있었다.

자계분포가 완벽한 대칭을 이루는 정상배열의 수평

수동루프의 설계 경우를 제외하고는 모든 수동루프가 거의 대칭에 가까운 자계분포들을 가진다. 즉 역상배열의 수평 수동루프는 좌우대칭 형태이며, 역상/정상배열 수직 수동루프의 경우 송전선의 중간도체(z=30)를 중심으로 상하 대칭의 형태에 가까우므로 설계의 초기값으로 이런 대칭성을 이용하여 최대저감 위치를 쉽게 찾을 수 있었다.

본 논문은 자계 저감효과의 관점으로 설계에 임하였지만, 이외에도 루프를 고정하는 지지대나 금구류, 저감효과를 극대화하는 보상 캐퍼시터의 결정, 유지/보수의 편이성, 설치기간, 뇌차폐 문제, 전파장해 등 아직 실용화를 위해서 여러가지 고려해야할 변수들이 많이 있다.

Acknowledgement: This research was supported as part of the mid-to long-term technology development of the electric power industry R&D project implemented by the Ministry of Commerce, Industry and Energy.

References

1) Jeonki-news, http://electimes.com/article.asp?aid=1520395116154481002, 2018-03-07.
2) Y. O. Ahn, “Ecological Study on Cancer Incidence in Population Residing Near High_Voltage Line”, 2008-2012.
3) M. S. Lee, “Research of Pattern Analysis Related to Environmental EMF”, 2013-2016.
4) P. Petterson, “Principles in Transmission line Magnetic Field Reduction”, IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp. 1587-1593, 1996.
5) D. H. Kim et al., “A Study on Characteristics and Safety for Human Body in ELF using Statistical Method”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 11, No. 3, pp. 75-80, 1996.
6) S. C. Kim et al., “Safety Assessment of Human Body for the Electromagnetic Field of Unbalanced Power System”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 14, No. 3, pp. 54-62, 1999.
7) J. B. Jeong, G. Y. Shin and M. C. Shin, “Mitigation of Transmission Line Magnetic Field by Installation of Passive Shield-Loop”, Trans. KIEE. Vol. 55A. No. 2, pp. 59-61, 2006.
8) Y. G. Cho et al., “Analysis of ELF Magnetic Field Reduction Ratio on Passive Loop Using Scale Down Model of Transmission Line”, Journal of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 17, Issue 12, pp. 1231-1239, 2006.
9) K. Yamazaki, T. Kawamoto and H. Fujinami, “Requirements for Power Line Magnetic Field Mitigation using a Passive Loop Conductor”,IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, Issue 2, pp. 646-651, 2000.
10) P. Cruz, C. Izquierdo and M. Burgos, “Optimum Passive Shields for Mitigation of Power Lines Magnetic Field”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, Issue 4, pp. 1357-1362, 2003.
11) D. Bavastro, A. Canova, F. Freschi, L. Giaccone and M. Manca, “Magnetic Field Mitigation at Power Frequency: Design Principles and Case Studies”, 2014 IEEE Industry Application Society Annual Meeting, 2014.
12) J. C. del Pino Lopez and P. C. Romero, “The Effectiveness of Compensated Passive Loops for Mitigating Underground Power Cable Magnetic Fields”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 26, Issue 2, pp. 674-683, 2011.
13) B. Y. Lee, “Introduction of Magnetic Reduction Technique Near Power Lines”, The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 27, Issue 1, pp. 44-56, 2013.
14) J. H. Kim, “A Study on Three-phase Imbalance of a Power Transmission Line due to Installation of a Passive Loop Conductor”, Journal of Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 17, No. 6, pp. 31-38, 2003.