

Analysis and Comparison of Measured and Calculated Value on Magnetic Fields Strength under Transmission Lines

趙成培* · 李殷雄**

(Sung-Bae Cho · Eun-Woong Lee)

Abstract - Recently, there are growing concerns about power frequency electric and magnetic fields coming out from the high voltage transmission lines, because of the wide spread perception of their probable harmful effect on human body. In connection with this trend, this paper describes the electric and magnetic fields measurement results around 154 kV and 345 kV transmission lines, a comparison of measured EMF to calculated one and the correlations between transmission lines currents and measured magnetic fields. Daily maximum and minimum magnetic field quantities under the selected 154 kV and 345 kV transmission lines had been measured for 1 year of 1997 and the average value of magnetic field exposure under the lines were calculated and presented based on the measured data.

Key Words : EMF, Transmission line, Magnetic field exposure, Tower configuration, Correlation of a current-magnetic field

1. 서 론

최근 늘어나는 전력사용량을 공급하기 위한 초고압화된 송전 설비가 주거지에 근접하게 되면서 이 송전선로에서 발생하는 자계가 인체에 나쁜 영향을 미치거나 생활에 해를 끼치지 않는가 하는 의구심이 확산되고 있다. 따라서 송전선 주변지역의 주민들의 우려를 해소 할 수 있도록 발생 자계의 세기와 분포를 정확하게 규명하고 그에 대한 대책을 마련하여야만 지역주민들과의 마찰없이 원만하게 전력사업을 추진할 수 있을 것이다. 이와 같은 필요성 때문에 선진국에서는 1960년대 부터 전력설비에서 발생하는 전자계에 대한 많은 연구를 현장 실측과 더불어 수행하여 왔으며 그 결과에 따라 많은 국가에서 전자계에 대한 규제치 또는 권고안을 제정, 운용하고 있으나 아직도 자계에 대하여는 그 특성을 명확하게 규명되지 않아서 몇몇 나라에서만 자체적으로 기준치를 정하여 운용하고 있다[1-3].

또한 현장 실측 연구도 주로 배전선로를 주 대상으로 하고 있기 때문에 실제로 민원이 되는 초고압 송전선로의 자계 연구는 전력사업 측면에서 매우 시급한 실정이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 60 [Hz]의 상용주파수 전력을 수송하고 있는 송전선로 직하에서 발생하는 자계량을 선로 설치조건을 감안한 전류와 자계의 관계에 의해 이론적으로 계산한 값과 장기간 및 단기간으로 구분하여 현장에서 실측한 값을 비교, 검토함으로써 송전선로에서 발생하는 자계량을 정확

하게 구하고자 한다. 그러기 위해서 국내 대표되는 철탑형상인 수직배열 2회선의 154 kV 단도체,복도체, 4도체 선로와 345 kV 복도체, 4도체 선로 그리고 부하변동이 심한 수용가 선로인 수평 또는 수직 1회선인 154 kV 단도체 송전선로하에서 측정된 전류 및 자계와 측정선로에서 이론적으로 도출되는 전류-자계의 상관관계식으로 계산한 자계를 비교, 분석하였고 그 선로의 1997년 1년동안의 일일 최대,최소 자계량을 도시하여 송전선로하에서 노출되는 자계량의 평균치 크기를 구하였다[4].

2. 송전선로의 자계계산 이론

2.1 자계노출량

적산전력계로 전력량[kWh]을 측정하는 것처럼 자계의 강도와 그 강도에 노출된 시간의 적산치로 구할 수 있으며 일정시간 간격으로 계속된 자계강도를 반도체 메모리에 축적, 데이터 처리하여 구한다. 중요한 것은 시간간격인데 최적치는 1초가 되며 10초 또는 1분 단위도 무방하다[5].

2.2 자계발생 이론

그림 1은 지표면에서 높이가 Y 이고 전류 I 가 흐르는 무한히 긴 하나의 도체에서 거리 R 만큼 떨어진 지점 $p(x, y)$ 에 나타나는 자속밀도를 나타낸 것이다. 이때 자속밀도 B 의 크기는 식(1)로 구할 수 있다[6, 7]

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{1}{R} \quad (1)$$

* 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 院 責 任 研 究 員

** 正 會 員 : 忠 南 大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

接 受 日 子 : 1998년 10월 27일

最 終 完 了 : 1999년 6월 9일

여기서 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (H/m)$ 로써 자유공간의 투자율이
 며 도체로 부터 $p(x, y)$ 점까지의 거리 R 은
 $R = \sqrt{(x-X)^2 + (y-Y)^2}$ 로 구해진다. 식 (1)에서 알 수
 있듯이 자속밀도는 전류만의 함수이며 방향은 \vec{R} 의 수직방
 향이고, \vec{B} 의 x 성분의 크기 B_x 와 y 성분의 크기 B_y 는
 식 (2), (3) 과 같다.

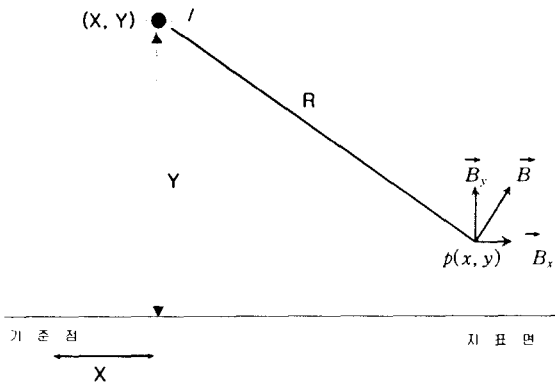


그림 1. 전류 I가 흐르는 무한도체로 부터 발생하는 자계
 Fig 1. Magnetic field of infinite conductor by power current I

$$B_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{1}{R} \frac{Y-y}{R} \quad (2)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{1}{R} \frac{x-X}{R} \quad (3)$$

실제의 송전선로와 같이 선로의 수가 여러 개일 경우에는
 각각의 선로로부터 발생되는 자계들의 x, y 성분들을 분리하
 여 각각 합한 후 합성치를 구하면 된다. 그림 2 와 같이
 $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ 등 n 개의 도체에 흐르는 전류를
 $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$, 도체 각각의 좌표를 (X_1, Y_1) ,
 $(X_2, Y_2), (X_3, Y_3), \dots, (X_n, Y_n)$, 계산 위치를
 $p(X_p, Y_p)$ 라고 하면 p 점에서의 자속밀도 성분 B_x, B_y
 는 식 (4)와 식 (5)로 구해진다.

$$B_x = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi} \frac{Y_1 - Y_p}{(X_p - X_1)^2 + (Y_p - Y_1)^2} + \dots + \frac{\mu_0 I_n}{2\pi} \frac{Y_n - Y_p}{(X_p - X_n)^2 + (Y_p - Y_n)^2}$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{\mu_0 I_i}{2\pi} \frac{Y_i - Y_p}{(X_p - X_i)^2 + (Y_p - Y_i)^2} \quad (4)$$

$$B_y = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_0 I_i}{2\pi} \frac{X_p - X_i}{(X_p - X_i)^2 + (Y_p - Y_i)^2} \quad (5)$$

그리고 합성자속밀도는 식 (6)으로 구해진다.

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (6)$$

따라서 다도체 송전선로에서의 자계계산을 처리할 수 있
 다. 전류가 흐르지 않는 가공지선은 계산을 할 필요가 없으
 며 실제로는 영상전류가 흐를 것이지만 그 크기는 매우 작기
 때문에 자계 계산시에는 무시하여도 된다.

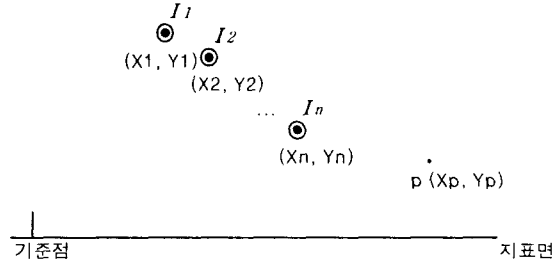


그림 2 다도체하의 점 p에서의 자계 계산
 Fig 2. Magnetic field calculations of bundle conductors at the p-point

그리고 변들의 수에 관계없이 변들의 중양으로 직선 전류
 가 흐른다고 가정하고 각상 a, b, c, a', b', c' 상의 전류
 는 평형전류 또는 불평형전류로 계산하기도 한다. 그림 3
 은 철탑을 중심으로 좌우 대칭으로 가설된 선로형태로써 각
 선로의 위치를 철탑을 중심으로 $\pm X$ [m] 와 지표면에서
 각 도체까지의 높이 Y [m] 로 나타내고 GW는 전류가 흐르
 지 않는 가공지선이다. 그리고 각 상 선로의 전류는 식(7)
 ~ (12)로 표현된다.

$$I_1 = I_a = I_0 \sin(\omega t) \quad (7)$$

$$I_2 = I_b = I_0 \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad (8)$$

$$I_3 = I_c = I_0 \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \quad (9)$$

$$I_4 = I_{a'} = I_0 \sin(\omega t) \quad (10)$$

$$I_5 = I_{b'} = I_0 \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad (11)$$

$$I_6 = I_{c'} = I_0 \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \quad (12)$$

여기서 전류 I_0 는 최대치이다. 이들 전류도 2π 를 주기로
 반복하기 때문에 $t = 0$ 에서 $t = \frac{1}{60}$ [sec] 시간 동안만 계
 산하면 실효값을 알 수 있으며 전류가 흐르지 않는 중성선의
 경우는 계산에서 제외한다. 따라서 그림 3의 각 좌표와 전
 류치를 나타내는 식 (7) ~ (12)를 식 (4)와 (5)에 대입하면
 점 (X_p, Y_p) 의 자속밀도를 구할 수 있으며 식(6)에 의해 전
 체 자속밀도가 구해진다. 이들 값 중 x 성분들의 합을 \sin 합
 수들의 합인 $B_x \sin(\omega t - \alpha)$ 으로 나타내며 y 성분의 합은
 $B_y \sin(\omega t - \beta)$ 로 표현된다. 여기서 B_x, B_y 는 상수이고,
 α, β 는 위상각이며 각 성분을 시간함수로 나타내면 그림 4
 와 같다.

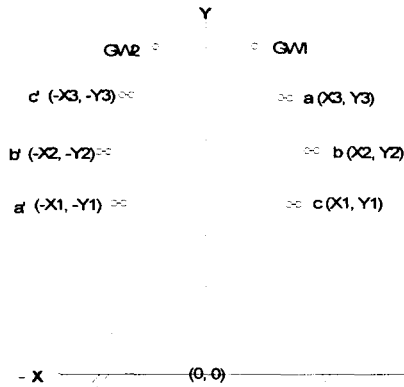


그림 3 수직 2회선 송전선로의 계산 입력좌표
Fig 3 Calculation coordinates in vertical 2-circuit T/L

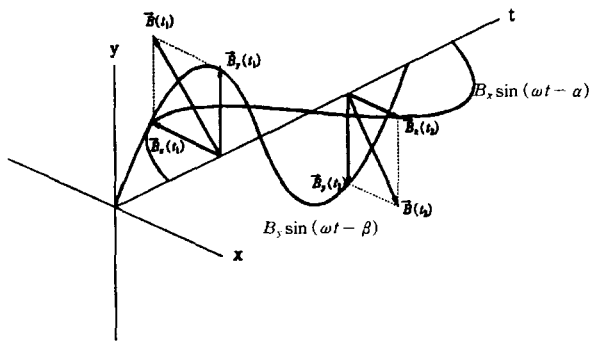


그림 4 시간에 따른 자계의 공간적 변화
Fig 4 Spatial variation of magnetic field by time-(t)

그림 4는 \vec{B} 를 시간 t_1, t_2 에서의 크기로 나타내었으며, 시간이 변화함에 따라 그 크기와 방향이 변화하고 있음을 잘 알 수 있다. 이를 xy 평면에 투영시킨 것이 그림 5인데, \vec{B} 의 크기는 θ 가 0에서 2π 까지 변화하는 주기함수로 그 크기는 타원을 궤도로 변화하며, 단축일 때 자계가 최소가 되고, 장축일 때 자계가 최대가 된다. 임의의 시간에 자계 벡터의 x 축 투영 크기가 x 성분이며, y 축 투영 크기가 y 성분이다.

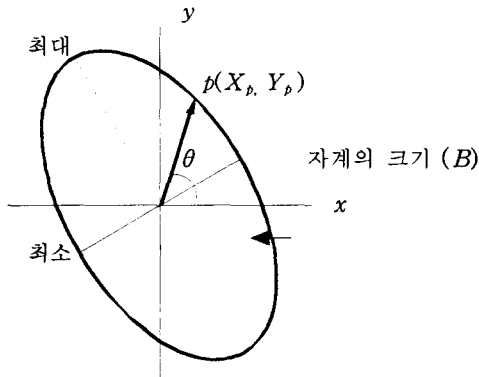


그림 5 x, y 평면에서 바라본 시간에 따른 자계 변화
Fig 5 Magnetic field variation figure by time-(t) at the x, y - flat

그림 4에서 $\alpha - \beta$ 가 0이거나 π 이면 그림 5는 타원 형태가 아니라 기울어진 직선 형태로 나타난다. 전계의 경우에는 x 성분이 0이므로 y 축과 일치하는 직선형태로 나타난다. 물론 y 성분이 0이면 x 축과 일치하는 직선이 된다. 그러나 자계의 경우에는 각 위치에 따른 벡터의 크기가 다르고 매우 다양한 요소에 의해 직선형태가 아닌 타원형을 이루고 있는 것을 알 수 있다.

2.3 국내 송전선로의 자계계산 좌표치

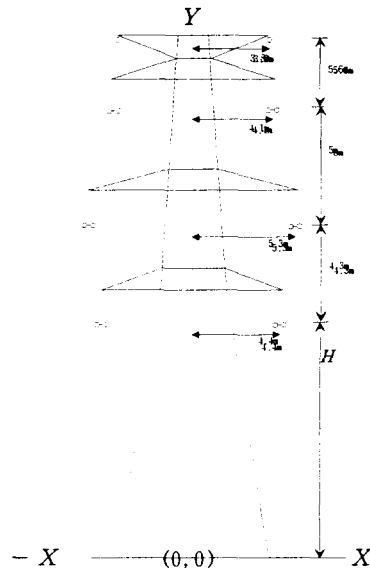


그림 6 송전선로 첩탑 형상도
Fig 6 Tower configuration of transmission line

여기서 X, Y 는 각상 및 가공지선의 좌표치이며 GW 는 가공지선, H 는 최하단 선로의 지상고 높이를 나타낸다. 그림 6은 국내 송전선로에 적용되는 수직배열2회선의 첩탑형상도이며 자계계산을 위한 첩탑의 x, y 좌표치는 표 1의 154kV 수직2회선-2B, GW1,2와 같다. 첩탑 좌표 (X, Y)의 기준점은 중앙직하인 $(0, 0)$ 이며 표 1은 국내 송전선로의 자계계산을 위한 좌표치로써 특수 첩탑을 제외하고 일반적으로 표준화되어 있는 첩탑형태를 수치화하여 좌표로 표시하였다.^[8]

3. 자계 측정 방법

3.1 사용 계측기

본 측정에 사용된 계측기는 미국 EPRI에서 개발된 모델명 EMDEX II를 사용하였으며 X, Y, Z 축 방향을 측정할 수 있는 구조로써 최소 1.5 [sec]의 sampling rate를 갖고 계측범위는 $0 \sim 327$ [μT]이다. 여기에서는 송전선로의 자계 측정 방향을 선로길이 방향이 Z , 이와 수직인 횡방향을 X , 지면과 수직방향을 Y 로 표기하였다.

표 1 국내 송전선로 자계계산용 좌표치
Table 1 Coordinates value for EMF calculation in domestic's T/L

좌 표 철탑형태	X [m]	Y [m]
154kV삼각1회선 -단도체,GW1	(-4.8, 3.6, 4.8, 0)	(H, H+4.3, H, H+10.7)
" 수평1회선 -단도체,GW1,2	(-2.4, 0, 2.4, -2.7, 2.7)	(H, H, H, H+3.1, H+3.1)
" 수직2회선 -단도체,GW1	(-3.8, -4.7, -3.5, 3.5, 4.7, 3.8, 0)	(H, H+3.8, H+8.3, H+8.3, H+3.8, H, H+14.4)
" 수직2회선 -단도체,GW1,2	(-4.2, -5.1, -3.9, 3.9, 5.1, 4.2, -3.65, 3.65)	(H, H+4.3, H+9.3, H+9.3, H+4.3, H, H+14.4, H+14.4)
" 수직2회선 -2B,GW1,2	(-4.4, -5.3, -4.1, 4.1, 5.3, 4.4, -3.8, 3.8)	(H, H+4.3, H+9.3, H+9.3, H+4.3, H, H+14.9, H+14.9)
345kV수직2회선 -2B,GW1,2	(-8.1, -9.0, -7.5, 7.5, 9.0, 8.1, -5.0, 5.0)	(H, H+7.6, H+16, H+16, H+7.6, H, H+22.6, H+22.6)
" 수직2회선 -4B,GW1,2	(-7.3, -8.3, -6.7, 6.7, 8.3, 7.3, -6.7, 6.7)	(H, H+7.7, H+16.3, H+16.3, H+7.7, H, H+24.6, H+24.6)

3.1 자계의 측정

전자계 측정위치는 ANSI/IEEE 에서도 기준 위치로 하고 있는 지표면으로부터 1 [m]되는 위치에서 측정하는데 이 지점이 전자계가 인체에 미치는 영향에 가장 밀접한 곳이기 때문이다.^{[6][9]} 측정지역은 양측 철탑사이의 가장 낮은 선로의 직하점을 택하였으며 비교적 평탄하고 인가가 가까운 지역을

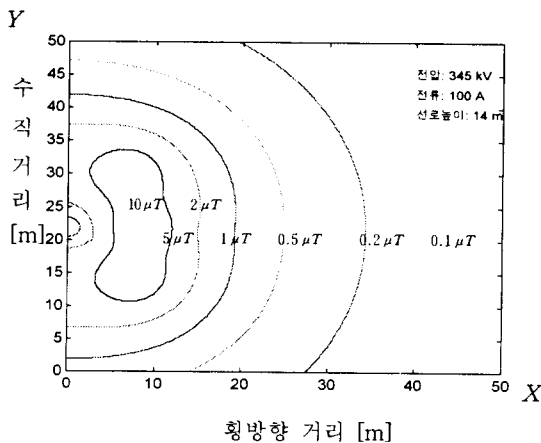


그림 7 송전선로 자계 등고선 분포도
Fig 7 Distribution chart of a contour line in T/L

선정하였다. 측정 위치는 선로 중심점에서 지상 1 [m]위치의 $p(0, 1)$ 지점에서 측정하였다. 송전선로하에서 최대자계가 발생하는 곳은 $I/H[A/m]$ 에 따라 차이가 있으나 국내 송전선로는 대부분 기준치 지상고를 훨씬 상회하는 높이로 설계, 건설되어 있고 수직2회선 배열에 따라 일반적으로 선로의 중앙지점에서 제일 크게 나타나는데 자체에서 개발한 EMFCALC 전자계 계산 프로그램^[10]을 이용하거나 일반적으로 범용화된 전자계 프로그램을 이용하여 계산하면 이러한 현상을 쉽게 알 수 있으며 지상고가 낮으면 최대 자계는 횡방향으로 이동하는 것을 알 수 있다.

그림 7은 전압 345 [kV], 전류 100[A/상], 선로 최하단 높이 14 [m]를 기준으로 한 수직 2회선 송전선로에서 발생하는 자계 분포도를 전자계 프로그램을 이용하여 해석하고 MATLAB 프로그램으로 도시한 것으로 측정치 높이인 지표면 1[m]에서는 선로 중심점 직하인 좌표 $p(0, 1)$ 에서 최대 자계가 발생한 것을 알 수 있다.

4. 자계 측정 결과 분석

4.1 분석 방법

송전선로하에서 자계크기를 변화시키는 변수는 선로의 파라미터, 즉 선로의 상배열, 도체수, 상간격 및 회선간거리 등이 있으며 또한 전류의 크기와 부하전류의 불평형 조건, 주위의 환경등 다양하다. 식 (2),(3)에서 알 수 있듯이 자계크기는 $B \propto (I/H)$ 의 관계가 성립되기 때문에 일정 선로하에서 측정 지점인 $p(0, 1)$ 에서 측정된 전류와 자계의 관계는 직선식으로 표기될 수 있다. 다만 측정지점 좌표에서 Y축을 변화시켰을 경우 직선식의 기울기는 다를 수 있기 때문에 그 선로 높이변화에 따른 기울기의 관계식은 많은 측정데이터가 요구되나 계산식에 의해 구하려면 참고문헌[10]의 프로그램 이외도 BPA EMF Program, CDEGS 등 전자계 프로그램을 이용하면 높이에 따른 자계최대치 곡선 또는 자계최대치 위치계산 곡선을 구할 수 있다.

본 연구에서는 전압별, 철탑형별, 도체수별로 구분하고 인가가 비교적 가까운 곳에서 지상고가 낮은 지점의 6개 송전선로를 모델로 선정하고 이에 대하여 일정기간 동안 측정지점인 $p(0, 1)$ 에서의 전류와 자계크기의 상관관계를 측정하고 이를 계산식과 비교, 분석하였다. 이러한 조건하에서는 Y좌표인 상간거리 변화에 따른 전류-자계 기울기 변화보다는 X좌표인 회선간 거리 변화시 기울기에 더 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

4.2 장기간 측정대상물의 결과 분석

일반적으로 계통을 연결하는 주간선 송전선로는 특정시간대를 제외하면 계통운용상 부하전류가 거의 일정하기 때문에 자계변화를 구하기 위해서는 장기간이 소요되며 또한 각 상 불평형전류는 평균 수% 이내의 편차를 가지고 운전되고 있는 것이 보통이다. 본 연구에서는 345kV 수직2회선 4도체 및

2도체와 154kV수직2회선 2도체를 대상선로로 정하여 측정하였고 계산조건시에서는 각 상 불평형전류는 고려치 않았다.

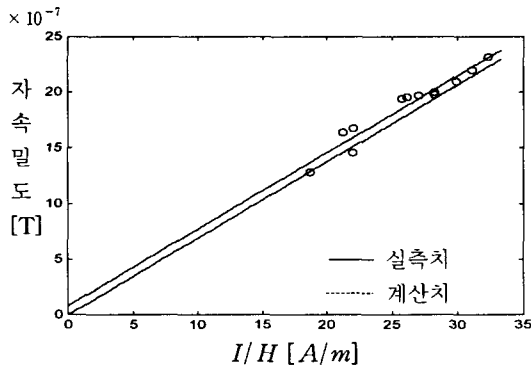


그림 8 345[kV]2회선 4도체 전류-자계 변화(청양 T/L)
Fig 8 Current-magnetic field variation of 345 kV 2 circuit 4-bundles

그림 8은 345kV 4도체인 청양T/L의 전류크기에 따른 자계변화를 도시한 것으로 측정전류 범위는 450~780[A/상], 자계범위는 $(12.8\sim 23.2)\times 10^{-7}$ [T], 최저지상고 높이(H)는 24.1 [m], 측정기간은 '98.1-3월, 실측치 12개를 프롯팅하여 실선으로 측정치, 점선으로 계산치를 나타냈다. 이때 실측 기울기식은 식(13), 계산식은 식(14)와 같다.

$$\text{실측치: } B_{mea} = 0.6890 \left(\frac{I}{H} \right) + 0.8359 \quad (13)$$

$$\text{계산치: } B_{cal} = 0.6893 \left(\frac{I}{H} \right) \quad (14)$$

여기에서 계산식은 표 1의 345kV수직2회선-4B,GW1,2의 파라메타를, 전류치 I 및 최저지상고 H는 측정 Data를 식 (4),(5) 및 (6)에 대입하여 구한 결과이며 이하 각 Case의 계산치인 식(16),(18),(20),(22),(24)는 동일한 방법으로 구하였다. 식(13),(14)의 결과를 보면 실측치와 계산치의 기울기는 거의 비슷하므로 철탑형상의 파라메타가 비슷하게 일치함을 알 수 있고 전류치 0 값에서 측정자계 1×10^{-7} [T]정도 발생된 것은 각상, 각 회선간 불평형전류에 의한 영상분의 영향과 주위의 자연자계, 도체형상의 차이에서 오는 자계의 증가분등 다양한 요소에 의해 나타날 수 있으나 정확히 그 크기 및 영향에 관해서는 많은 연구가 필요하다.^[11] 본 연구에서 측정된 6개 대상선로 모두 이러한 현상은 동일하게 나타났다.

345kV 수직2회선2도체인 청원#1,2 T/L의 측정결과에서 그림은 생략하였고 이때 철탑의 좌표는 표 1과 같다. 이에 대한 기울기는 실측치가 식(15), 계산치가 식(16)로 나타내었다.

$$\text{실측치: } B_{mea} = 0.6173 \left(\frac{I}{H} \right) + 0.9264 \quad (15)$$

$$\text{계산치: } B_{cal} = 0.7092 \left(\frac{I}{H} \right) \quad (16)$$

이 식에서 알수 있듯이 계산치의 기울기가 측정치보다 오히려 크게 나타난 것은 철탑파라메타의 회선간 거리가 실제로 좌표치보다 좁아졌음을 의미하며 산악지 경사면 및 수평

각이 존재하는 철탑의 설치위치에 따른 특징을 지닌 형태에서 흔히 볼 수 있음을 확인하였다.

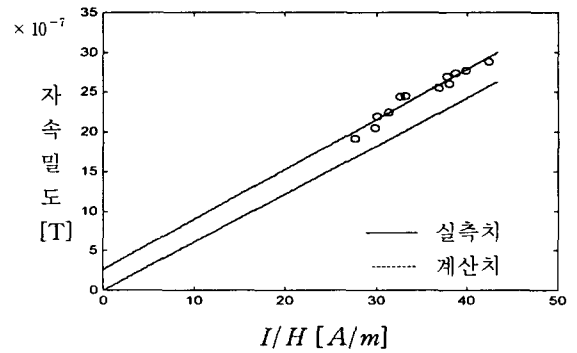


그림 9. 154[kV] 2회선 2도체 전류-자계 변화(청봉T/L)
Fig 9. Current-magnetic field variation of 154 kV 2 circuit 2-bundles

그림 9는 154kV 수직2회선2도체인 청봉 #1,2 T/L의 측정 결과로써 이때 측정조건은 전류범위가 450~690[A/상], 자계범위는 $(19.2\sim 28.8)\times 10^{-7}$ [T], 최저지상고 높이(H)는 16.3 [m]이다. 따라서 기울기는 식 (17), 식(18)과 같고 좌표는 표1과 같다.

$$\text{실측치: } B_{mea} = 0.6318 \left(\frac{I}{H} \right) + 2.6458 \quad (17)$$

$$\text{계산치: } B_{cal} = 0.608 \left(\frac{I}{H} \right) \quad (18)$$

여기에서 자계크기의 편차가 큰 것은 이 선로의 주변 50[m]지점에 345 [kV]선로가 위치하고 있어 이 영향에 의한 자계로 측정자계 크기가 상대적으로 크게 나타났음을 의미한다. 대체적으로 부하변화가 거의 없는 간선계통 선로에서는 철탑의 파라메타에 대한 오차는 작은 것으로 나타났으며 각상, 회선간 불평형전류가 그다지 크지 않기 때문에 특히 측정치와 계산치와의 기울기는 유사한 형태로 나타나고 있다.

4.3 단기간 측정대상물의 결과 분석

측정 대상선로가 변전소로부터 수용가로 인입되는 수용가 선로이며 주로 아크로등 대형부하를 사용하고 있어 부하변동이 주기적으로 큰 변동이 있어 자계의 변화를 쉽게 관찰할 수 있다. 그러나 짧은 시간에 부하변동이 심하여 측정오차의 범위가 다소 크게 나타남으로 많은 측정데이터가 요구되며 부하 특성상 각 상의 불평형전류가 불규칙적으로 비교적 큰 편차를 가지고 운전되고 있어 계통 송전선로와는 전류-자계의 특성 즉, 기울기가 약간 달라지게 된다. 본 측정에서는 100-200개 정도의 데이터를 프롯팅하여 그 기울기를 도출하였다. 이러한 수용가 선로의 철탑형태는 삼각1회선, 수직1회선, 수평1회선이 주를 이루고 있어 계통 송전선로와는 그 형태가 다르다. 또한 철탑의 파라메타도 기준화 되어 있지 않은 곳이 많아 실제로 계산에 의한 자계크기를 도출하는 데 적지 않은 오차가 있음을 알 수 있다.

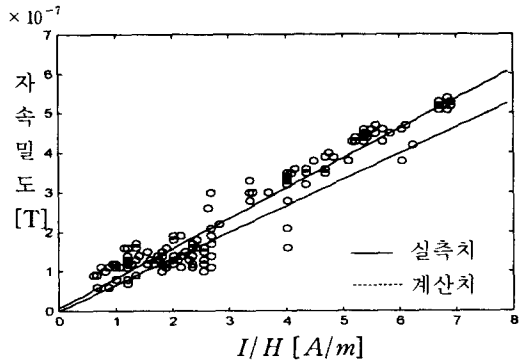


그림 10. 154kV 2회선 단도체 전류-자계변화(신송T/L)
 Fig 10. Current-magnetic field variation of 154 kV 2 circuit single conductor

그림 10은 154kV 단도체인 신송T/L의 전류크기에 따른 자계변화를 도시한 것으로 측정전류 범위는 9~103[A/상], 자계범위는 $(0.6\sim 5.4)\times 10^{-7}$ [T], 최저지상고 높이(H)는 14.9 [m]이며 실선으로 측정치, 점선으로 계산치를 나타냈다. 철탑의 좌표는 표1에 나타났으며 이때 측정기울기식은 식(19), 계산식은 식(20)와 같다.

$$\text{실측치: } B_{mea} = 0.7579 \left(\frac{I}{H} \right) + 0.0745 \quad (19)$$

$$\text{계산치: } B_{cal} = 0.6645 \left(\frac{I}{H} \right) \quad (20)$$

그림 11은 154kV 삼각1회선 단도체인 환영철강 T/L의 측정결과를 나타낸 것이다. 측정전류 범위는 60~320[A/상], 자계범위는 $(4.9\sim 31.8)\times 10^{-7}$ [T], 최저지상고 높이(H)는 11.7 [m]인 조건에서 비교적 큰 변동폭을 갖는 부하형태를 보이고 있다.

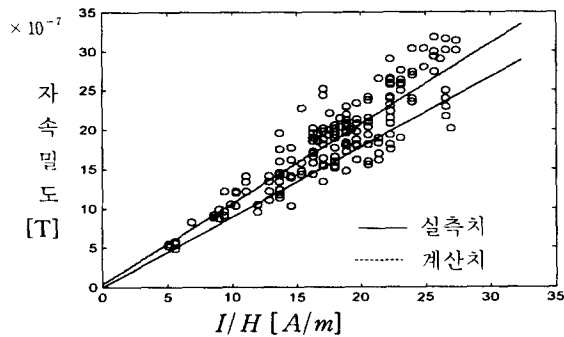


그림 11 154kV 환영철강 1회선 단도체 전류-자계변화
 Fig 11 Current-magnetic field variation of 154 kV single conductor

이때 측정식은 식(21)이며 계산식은 식(22)이다.

$$\text{실측치: } B_{mea} = 1.0238 \left(\frac{I}{H} \right) + 0.4024 \quad (21)$$

$$\text{계산치: } B_{cal} = 0.8927 \left(\frac{I}{H} \right) \quad (22)$$

154kV 수평1회선 단도체인 기아특수강T/L의 측정결과

식(23),식(24)이며 철탑의 좌표는 표 1과 같다.

$$\text{실측치: } B_{mea} = 0.7383 \left(\frac{I}{H} \right) + 10.0937 \quad (23)$$

$$\text{계산치: } B_{cal} = 0.6928 \left(\frac{I}{H} \right) \quad (24)$$

이 선로에서 기울기 형태는 상기 2개 선로와 비슷하나 자계크기의 편차가 매우 큰 것은 변전소와 가까운 위치에서 측정된 것으로 변압기에서 발생하는 비교적 큰 주변자계에 의한 것으로 기인된다. 따라서 수용가선로는 측정결과에서 보듯이 파라메타의 편차가 일반 선로보다는 다소 큰 것으로 예상되며 상전류 불평형이 매우 심한 관계로 계산치와의 기울기는 다소 큰 편차를 가지고 있는 특징을 지니고 있다.

4.4 측정결과를 이용한 자계 누적분포 실험

그림 12는 실제로 345kV 청양T/L의 1997.1~1997.12월의 1년간의 연간자계 노출량을 도시하였다. 그 선로의 전류치를 식 (13)에 대입하여 자계의 크기를 구하였고 이를 일일 최대 및 최소로 구분하여 나타낸 것으로 연간 최대평균치가 28.9×10^{-7} [T]를 유지하고 있음을 알수 있으며 초고압 선로하에서 노출되는 평균자계는 대략 이와 유사한 크기로 운전되고 있음을 예측할 수 있다.

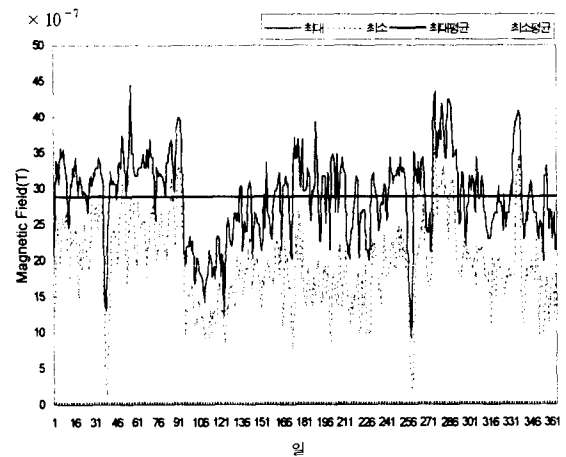


그림 12 연간자계변화 추이(345kV 청양T/L)
 Fig 12 Shift of magnetic field variation for a year

그림 13은 154 kV 2회선 2도체의 청봉T/L에 대한 1년간의 자계누적 추이곡선을 나타낸다. 이것도 그 선로의 전류치를 식 (17)에 대입함으로써 자계치를 구하였다. 년중 최대 평균자계치는 28.6×10^{-7} [T]이며 5월중의 자계치 약 50×10^{-7} [T]가 유지된 것은 같은 용량의 전력을 1회선만으로 송출하였을 경우로써 2회선의 역상배열 송출보다 약 2배 가까운 자계크기를 보여주고 있어 우리나라와 같이 수직 2회선 역상배열을 취하고 있는 선로 형태에서는 자계의 크기가 외국의 수평배열 1회선 또는 삼각배열보다는 상대적으로 작게 유지^[12]됨을 알 수 있다.

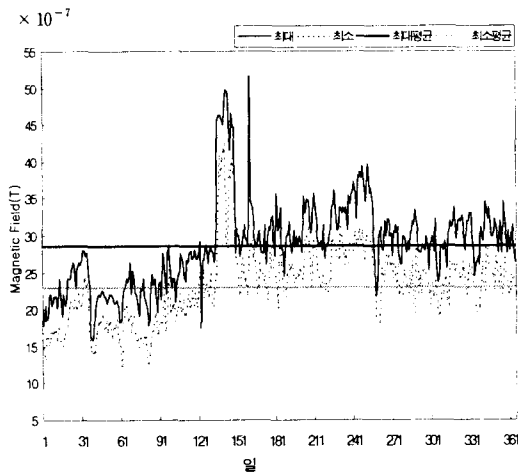


그림 13 연간자기변화 추이(154kV 청봉T/L)
Fig 13 Shift of magnetic field variation for a year

4. 결론

최근 민원의 대상이 되고 있는 초고압 송전선로의 자계노출량에 대해 발생이론을 정립하고 실측하여 비교, 분석 하였다. 실제로 국내 송전선로의 대표적인 154kV, 345kV 철탑을 형상별로 구분, 각 선로에서 발생하는 전류-자계의 상관관계를 측정하여 계산치 크기와 비교, 분석한 결과 계통 송전선로에서는 전류와 자계의 기울기 편차가 거의 없는 것으로 분석되었으나 그 크기는 대략 5% 내외의 편차를 보이고 있다. 주된 이유는 철탑 파라미터 차이 이외에도 약간의 상, 회선간 불평형에 의한 순환전류의 영향과 주변 자계의 영향일 것으로 생각된다. 그러나 수용가 선로에서 그 기울기의 편차가 비교적 크게 발생된 것은 철탑의 파라미터 변화 이외에도 상간 불평형전류가 크게 운용되고 있는 것이 가장 큰 원인인 것으로 판단된다.

본 연구에서 도출된 각 철탑별 기울기식은 선로 높이 즉, I/H 에 의한 약간의 차이는 있을 수 있으나 가장 가혹한 조건, 즉, 민가가 가까운 지역, 그 선로구간중 지상고가 가장 낮은 지역등을 선정하여 측정된 기울기식이기 때문에 국내 송전선로에 의한 자계 노출의 최대 크기로 볼 수 있다는 데 의의가 있다고 하겠다. 또한 측정 기울기식을 이용하여 실제 선로에서 발생된 연간 자계노출량에 대한 추이를 그 선로의 전류값을 대입함으로써 어느 선로하에서의 일정기간 동안 노출되고 있는 자계량의 추이를 알아볼 수 있었으며 이러한 2개 선로에 대한 연간 자계노출량은 실제로 국내 전국 송전선로를 대상으로 측정된 자계 평균치인 $30 \times 10^{-7} [T]$ 이내와 유사한 실적이 발생되었음을 확인하였다. 이러한 노출량은 IRPA의 24시간 노출량 권고치인 $1,000 \times 10^{-7} [T]$ 에는 훨씬 적은 노출량으로써 우리나라 송전선로의 자계규제치는 매우 엄격히 설계, 운용되고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] BPA, " What We know about EMF " June, 1995.

[2] EPRI, " EMF in American Homes " EPRI Journal pp 19-25 April/May, 1993
 [3] T.Dan Bracken 외 4명, " Magnetic Field Exposure Among Utility Workers " Bioelectromagnetics Journal No 16, pp 216-226, 1995
 [4] 조성배, 이은웅, 이민명, " 초고압 송전선로의 자계크기 실측과 해석", 대한전기학회 '98하계학술대회논문집E, pp 1583-1585, 1998
 [5] CRIEPI " 商用周波磁界に關する測定器校正法の提案とて磁界測定マニュアル " T94058, 1995. 5
 [6] IEEE, "Measurements of power frequency Magnetic Fields away from power lines ", A report of the IEEE Magnetic Fields Task Force, Vol 6, No 2. April 1991
 [7] EPRI, " Transmission Line 345 kV and Above " Second Edition, 1982
 [8] 한전 " 송전철탑 설계표준화 용역 최종보고서 " 1990
 [9] IEEE, " Measurement of Electric and Magnetic Fields from Alternating Current Power Lines " IEEE Transmission and Distribution Committee, Vol, PAS-97.No 4, pp 1104-1114, July/Aug, 1978
 [10] 김상범의 4명 " 송전선로 전자계 영향연구 (I) " 한전, 1998
 [11] IEEE, " Magnetic Fields from Electric Power Lines Theory and Comparison to Measurements " A report of the IEEE Magnetic Fields Task Force, Vol 3, No 4, pp 2127-2136, Oct 1988.
 [12] D. Tsanakas 외 3 명, " Optimum Arrangements of the Phase Conductors of Overhead Transmission Lines for the Magnetic Field Minimization " paper 36-101, 28 Aug-3 Sept. Paris, 1994. CIGRE

저 자 소 개



조 성 배 (趙 成 培)

1957년 2월 3일생. 1979년 충남대학교 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 졸업(碩士). 1979년 한전 입사. 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 책임연구원

Tel : 042-865-5880

E-mail : sbcho@kepri.re.kr

이 은 웅 (李 殷 雄)

전기학회논문지 제 48권 제3호 참조