

논문 2015-52-4-5

가공 배전선에 의한 전자유도 발생 전류 계산 방법

(Formulation of Calculation Method for Inducing Current by Aerial Power Distribution Line)

이 상 무^{*,**}(Sangmu Lee[©])

요 약

전력선 시설 중 가공 배전선에 의하여 인근 통신선에 전자유도를 발생시키는 전류를 계산하는 방식을 수립하였다. 가공 배전선의 중성선은 50 m 마다 접지되어 있어서 부하 전류의 귀로 성분이 대지로 누설되기 때문에 주변의 통신선에 전자유도 장애를 발생시키게 된다. 현재 국가 기술기준에서 정하고 있는 방법에 의하면 귀로 전류가 흐르는 중성선을 하나의 차폐 도체로 간주하여 기유도전류를 산정하므로 통신선의 병행 위치에 따른 대지 귀로 전류의 누적적 변화 특성이 반영되지 못하여 계산된 유도전압의 실측값에 대한 오차가 커지지만 실제로 유도를 발생시키는 원인이 되는 대지 귀로 전류를 계산하는 방식을 적용하면 1000 %가 넘는 기존 계산 편차를 100 % 이내로 현격히 줄여주는 효과를 나타내었다.

Abstract

The formulation of calculation method for electromagnetic inducing current by aerial power distribution line is established. Nearby telecommunication cables can be induced due to the leakage of neutral current because the neutral line of power distribution is grounded at every 50 m distance. By the existing calculation method, the neutral line is regarded as a shielding conductor and the neutral current roles as an inducing current. So the error range to real measurement value is largely extended because the changing effect of leakage current flowing in the ground is not reflected. The leakage current returns to the power substation through the ground and is cumulated as being closer to the substation. When this practical inducing mechanism is applied, the deviation rate of calculation can be drastically reduced within about 100 % range compared to 1000 % of the existing method.

Keywords : electromagnetic induction, aerial distribution line, inducing current, ground return current

I. 서 론

전력선은 주변의 통신선에 전자유도 장애를 발생시

킬 수 있기 때문에 이에 대한 대응책이 필요하다. 전력선에 의한 유도 전압은 법률 제한치가 정해져 있다^[1]. 그리고 유도전압을 계산하는 방법은 국가 고시에서 다루고 있다^[2]. 본 논문에서는 가공 배전선에 의한 유도전압을 발생시키는 전류(이를 기유도전류라고 한다)를 계산하는 방법을 수립하였다.

전력선은 상선과 이에 근접된 귀로 도체로 구성되어 있어서 전류의 방향이 유도 발생 자계에 의한 자속을 대부분 상쇄시키기 때문에 이 상태로서는 주변의 도체에 유도를 발생시키지 않는다. 그러나 실제의 선로 구성은 가공 배전선의 경우 중성선이 귀로 도체 역할을 하는데 시설 및 인명의 안전 보호 목적으로 50 m 마다

* 정회원, 한국전자통신연구원 표준연구센터
(Protocol Engineering Center, Electronics and Telecommunications Research Institute)

** 한국과학기술연합대학원대학교 이동통신및디지털 방송공학과
(Mobile Communication & Digital Broadcasting Engineering, University of Science and Technology)

© Corresponding Author(E-mail: sangmu@etri.re.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부의 지원을 받는 방송통신 표준기술력향상사업의 연구결과로 수행되었음.

Received ; December 22, 2014 Revised ; March 3, 2015

Accepted ; April 3, 2015

접지가 되어 있으므로 중성선으로 귀로되어야 할 전류가 변전소로 귀환되는 동안 계속해서 대지로 누설된다. 이와 같이 원래 상전류의 양만큼 흘러야 할 중성선 전류가 대지로 누설되므로 상전류에 의한 자계를 상쇄시키지 못하는 성분 전류의 양이 발생하게 되어 주변의 통신선에 전자유도를 발생하게 된다. 그러므로 대지로 누설되는 전류가 유도 발생의 근본 원인이 된다^[3]. 실제로 대지로 누설되는 전류의 양만큼 자속 상쇄 효과가 없는 것이기 때문에 이 대지로 누설되어 흐르는 전류(대지 귀로 전류라고도 한다)의 양이 증가적인 기유도 전류가 된다^[4].

전력 공급 회선의 각 상전압이 수용가 부하에서 사용되고 흐르는 부하 전류들이 벡터 합성되었을 때 소멸되지 못한 전류(이를 불평형 전류라고 한다)가 중성선을 통하여 변전소로 귀환되는데 현재 고시에 의한 계산 방법에서는 이 불평형 전류를 그대로 기유도전류로 하는 대신, 대지로 누설되는 전류 성분 모사 차원에서 다시 중성선을 차폐 도체로 간주하고 중성선 차폐계수를 도입하여 사용하는 방식으로 되어 있다. 이렇게 하는 것은 다소 복잡한 대지 누설 전류를 계산하는 것보다는 편의적인 방법이지만 자계를 발생시키는 원천 전류가 흐르는 도체 자신이 차폐 도체로 쓰인다는 원리적인 모순이 있고 사실상의 유도를 발생시키는 원인이 되는 대지귀로전류는 변전소의 진행 방향에 있어서 위치에 따른 변수가 있기 때문에 단순히 중성선 차폐 효율로 처리하여서는 일률적인 적용이 되어 실측값에 대한 편차가 커질 수 밖에 없는 문제를 가지고 있다.

우리나라는 ITU 국제 규격에서 다루는 배전 방식과는 시스템이 다르고 공급 주파수와 잡음 필터링에 있어서 IEEE에 의한 미국 방식을 따르고 있다[5-7]. IEEE에서는 유도전압에 대한 계산식을 다루지는 않기 때문에 우리나라의 현실에 맞는 자체적인 계산식 개발이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 근본 원리적 문제를 해소하기 위하여 기유도전류가 되는 대지귀로전류를 직접 계산할 수 있는 방식을 배전 선로에 대한 회로 해석을 통하여 수립하였다.

II. 배전 선로 회로 해석

1. 배전 선로 단위 모델

전력선 배전 선로의 단위 구성 모델은 그림 1과 같

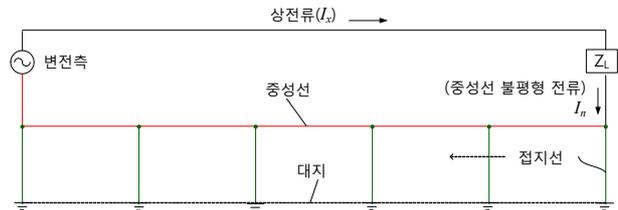


그림 1. 배전 선로의 단위 구성 모델
Fig. 1. Unit configuration of distribution power line.

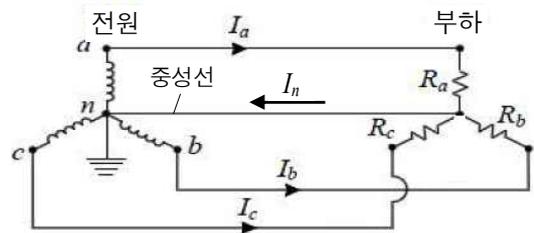


그림 2. 교류 3 상 부하 선로에서의 불평형 전류
Fig. 2. Unbalanced current from 3 phase loads.

이 나타낼 수 있다. 그림 1은 전류 관점에서 단순화하여 증가적으로 표현한 것이다. 실제의 부하단에 있어서 공급 전력선은 그림 2에 나타낸 바와 같이 3 상(I_a , I_b , I_c)으로 되어 있고 각각의 사용 부하를 거쳐 귀환되는 교류 전류들의 벡터 합성에 의하여 중성선에 흐르는 불평형 전류(I_n)가 전체 회로에 흐르는 것과 마찬가지로 된다.

2. 배전 선로 임피던스와 누설전류 적용 회로

전류 분배와 흐름을 알기 위하여 그림 1의 선로 구성에서 임피던스 배치를 적용하여 나타내면 그림 3과 같이 된다.

부하(Z_L)로부터 합성되어 나온 최초 I_n 은 첫 번째 전주 접속점 ①에서 중성선과 접지측으로 분기된다. 접지측으로 분기된 전류가 누설 전류이다. 접지측으로 분기된 전류 I_1 은 접지저항 R_1 을 통하여 대지로 유입되고 대지 귀로전류 I_{g1} 이 되어 변전측으로 흐른다. 두 번째

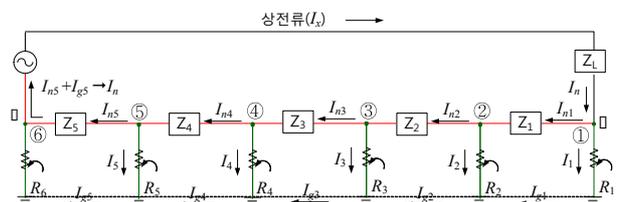


그림 3. 배전 선로의 임피던스 구성 모델
Fig. 3. Impedance and current components in the line.

접속점(②)에서는 누설전류 I_1 양이 빠진 중성선 전류 I_{n1} 이 유입되고, 두 번째 누설전류 I_2 가 R_2 측으로 빠져 나간 I_{n2} 가 중성선으로 분기되며 I_2 는 이전 누설되어 대지 귀로 전류로 흐르는 I_{g1} 과 합쳐져서 I_{g2} 로서 흐른다. 이와 같은 메커니즘으로 기유도전류가 되는 대지 귀로 전류가 누적적으로 합성되어 변전측으로 흐르게 된다. 이러한 전류 흐름의 반복적인 합성 관계로서 누설전류에 의한 불평형 전류의 변화량은 식 (1)과 같이 되고 대지 귀로 전류는 식 (2)와 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 I_{n1} &= I_n - I_1 \\
 I_{n2} &= I_{n1} - I_2 = I_n - I_1 - I_2 \\
 I_{n3} &= I_{n2} - I_3 = I_n - I_1 - I_2 - I_3 \\
 I_{n4} &= I_{n3} - I_4 = I_n - I_1 - I_2 - I_3 - I_4 \\
 I_{n5} &= I_{n4} - I_5 = I_n - I_1 - I_2 - I_3 - I_4 - I_5 \\
 &= I_n - (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5)
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 I_{g1} &= I_1 \\
 I_{g2} &= I_{g1} + I_2 = I_1 + I_2 \\
 I_{g3} &= I_{g2} + I_3 = I_1 + I_2 + I_3 \\
 I_{g4} &= I_{g3} + I_4 = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \\
 I_{g5} &= I_{g4} + I_5 = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5
 \end{aligned} \tag{2}$$

그림 3에서 $Z_1 \sim Z_5$ 은 단순 선로의 임피던스가 아닌 대지 귀로 전류의 성분 영향이 반영된 중성선의 대지 귀로 자기 임피던스이고 대지저항률이 포함된 다음 식 (3)에 의하여 계산된다^[7].

$$Z_s = R_s + 0.99 \cdot 10^{-3} f + j\omega \cdot 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_e}{r'} \tag{3}$$

Z_s : 중성선의 대지귀로 자기임피던스[Ω/km]

R_s : 쉬스 층 직렬 저항[Ω/km]

f : 상용 전력 주파수[60 Hz]

$$D_e = 659 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad [\text{m}]$$

ρ : 대지저항률[Ω · m]

$r' = r \cdot m$ [m]

$$m = \frac{0.4625}{3} x^2 + \frac{0.505}{6} x + 0.774$$

$$x = 1 - \frac{t}{r}$$

r : 쉬스 층 반경[m]

t : 쉬스 층 두께(주파수 skin depth 비교 적용)[m]

3. 등가 회로 해석

그림 3의 배전 선로상에서의 모델을 순수 회로 관점에서 단순화하여 다시 나타내면 그림 4와 같이 된다.

접지저항(R_1) 관점에서의 테브닌 등가 입력 임피던스 Z_{in} 은 그림 5로 분리되고 식 (4)로 계산된다.

$$Z_{in} = \left[\left[\left[\left[\left(Z_5 + R_6 \right) // R_5 + Z_4 \right] // R_4 + Z_3 \right] // R_3 + Z_2 \right] // R_2 + Z_1 \right] \tag{4}$$

$$\Rightarrow Z_{TH}^{(1)}$$

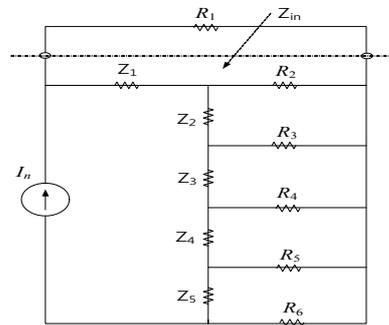


그림 4. 임피던스 등가 회로

Fig. 4. Impedance equalized circuit.

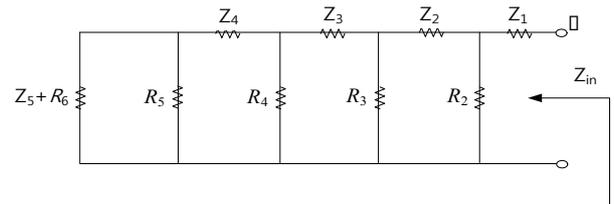


그림 5. 테브닌 등가 입력 임피던스

Fig. 5. Thevenin equalized input impedance.

III. 기유도 전류 계산 방식

1. 단위 선로 누설 전류의 합성 계산

그림 4의 회로를 그림 5의 등가 입력 임피던스의 관점에서 제 1 접속점에서의 누설 전류 I_1 을 알기 위한 분배 회로로서 나타내면 그림 6과 같이 되고 I_1 은 식 (5)로 계산된다.

$$I_1 = \frac{Z_{TH1}}{Z_{TH1} + R_1} I_n \tag{5}$$

이러한 방식으로 두 번째 접속점(②)에서의 누설 전

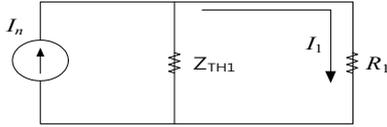


그림 6. 분배 누설 전류 회로
Fig. 6. Leakage division of neutral line current.

류는 식 (6)이 된다.

$$I_2 = \frac{Z_{TH2}}{Z_{TH2} + R_2} I_{n1} = \frac{Z_{TH2}}{Z_{TH2} + R_2} (I_n - I_1) \quad (6)$$

N 개의 접지점 구성 선로에서 i번째의 테브닌 등가 임피던스는 식 (7)과 같이 된다.

$$Z_{TH}^{(i)} = Z_i + R_{i+1} // Z_{TH}^{(i+1)} \quad (7)$$

$$(1 \leq i \leq N-1, i = N-1 : Z_{TH}^{(N)} = \infty)$$

Z_i : 중성선의 i 구간 대지귀로 자기임피던스[Ω]

R_{i+1} : i+1번째 전주의 접지저항[Ω]

N : 최종 전주 접속 수

i번째 전주에서의 누설전류는 식 (8)과 같이 된다.

$$I_i = \frac{Z_{TH}^{(i)}}{Z_{TH}^{(i)} + R_i} \left(I_n - \sum_{k=1}^{i-1} I_k \right) \quad \text{단, } i=1 : \sum_{k=1}^{i-1} I_k = 0 \quad (8)$$

i번째 전주에서의 대지귀로전류, 즉 기유도전류는 식 (9)와 같이 된다.

$$I_{gi} = I_{g(i-1)} + I_i = I_i + \sum_{k=1}^{i-1} I_k \quad (9)$$

실제 전력선과 병행하는 통신선 길이에 대하여 중성선 전류가 변전측으로 진행하는 방향의 관점에서 유도 구간이 시작되는 전주점을 p라고 하고 유도 구간이 끝나는 전주점을 q라고 하면 평균 기유도전류(I_{pq}^a)는 식 (10)으로 계산된다.

$$I_{pq}^a = \frac{\sum_{i=p}^{q-1} I_{gi}}{N_{pq}} \quad (N_{pq} = q - p) \quad (10)$$

p, q : p, q 지점까지의 전주 수($q > p$)

N_{pq} : p, q 지점 간 전주 구간 수

2. 분기 구간 접속 총 기유도전류

실제 배전 선로는 여러 지선들이 합류되는데 그 표본 모델은 그림 7과 같이 나타낼 수 있다.

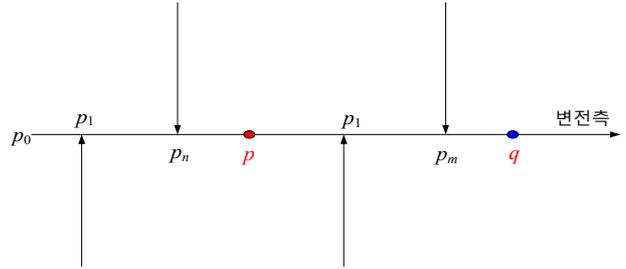


그림 7. 분배 누설 전류 회로
Fig. 7. Leakage division of neutral line current.

그림 7에서 중요한 것은 유도 구간, 즉 p와 q 사이에서 유입되는 지선에 대한 기유도전류를 산정할 때에 있어서는 각각 병행 거리가 달라지기 때문에 그 효율이 기유도전류 계산에서 도입되도록 하여야 한다는 것이다 (추후 유도전압은 병행 거리를 기유도전류에 다시 곱하여 계산하기 때문이다). 이러한 개념으로 하여 진행 구간 p_0 를 포함하고 p 이전의 전체 유입 지선들에 의한 기유도전류 총합과 p-q 구간 중 유입된 지선들의 경우 병행 거리 효율이 선 적용된 기유도전류 총합이 합성된 전체 기유도전류(I_{pq}^A)는 식 (11)과 같이 된다.

$$I_{pq}^A = \frac{1}{N_{pq}} \sum_{j=0}^n \left(\sum_{i=p}^{q-1} I_{gi} \right) + \frac{1}{\ell} \sum_{j=1}^m (I_{p_jq} \cdot \ell_j) \quad (11)$$

n : p 지점까지 배전선 지선 접속 수

m : p-q 구간 배전선 지선 접속 수

ℓ : p-q 구간 거리[km]

ℓ_j : p_j -q 구간 거리[km]

IV. 개선식 적용 효과

1. 샘플 개소 측정 비교 분석

수립된 계산식에 의한 유도전압 값이 실측값에 부합되는지 확인하기 위하여 3 개 배전선 병행 위치에서 측정을 수행하였고 그 결과 비교값은 표 1과 같다.

유도전압의 측정 방법은 방송통신설비의 기술기준에 관한 표준시험방법에 따른다^[9]. 본 논문의 계산식이 적용된 유도전압의 종류는 상시 유도중전압에 대한 것이

표 1. 실증 검토 비교값
Table 1. Varified value comparison.

No.	측정 일시	장소		선로 구분	측정 값 [V]	병행 거리 [km]		계산값[V]		예측율	
						현행 고시	개선 식	현행 고시	개선 식	현행 고시	개선 식
1	2014.10.22. 15:00	충남 청양 변전소	3 km 경과	포설 측정	3.0	1.0	3.8	3.1	128%	103%	
2	2014.10.22. 15:00		임구			17.0	1.2	13.5	15.2	79%	89%
3	2014.10.22. 15:00	경북 청도 전화교환국사	운용 회선	24.7	4.3	27.9	23.9	113%	97%		

다^[10-11]. 표 1에서 ‘포설 측정’은 1 회선 통신케이블을 배전선 전주 측근 지면에 직접 설치하여 측정된 것을 말하고, ‘운용 회선’은 (주)KT의 협조를 얻어 전화 국사의 예비 회선에 대하여 측정된 것을 말한다. 현행 고시에 의한 유도전압 계산식은 (12)와 같다.

$$V = j\omega M \ell I_n K_{21} K_3 K_7 [V] \tag{12}$$

- ω : 60Hz에 대한 각속도[rad/sec]
- M : 전력선과 통신선의 상호인덕턴스[H/km]
- ℓ : 전력선과 통신선의 병행거리[km]
- I_n : 배전선 중성선에 흐르는 불평형 전류[A]
- K_{21} : 배전선 중성선의 차폐계수
- K_3 : 통신선의 차폐계수
- K_7 : 통신케이블 조수에 의한 유도 저감계수

중성선 차폐계수(K_{21})는 고시의 표로 제시되어 있는데 통상 0.6이 사용된다. 배전선에 가공지선이 있는 경우에는 가공지선의 일반적인 차폐계수치 0.8을 곱하여 대략 0.48 정도의 값이 적용된다.

통신선의 차폐계수(K_3)는 통신케이블의 금속층 외장 쉬스에 의한 차폐 효과를 의미하는데 일반 케이블에 있어서 K_3 는 평균 0.98 정도의 값을 갖고, 포설 측정에 있어서는 외장이 없는 단순 회선 케이블이므로 $K_3=1$ 이다. 통신케이블 조수에 의한 유도 저감계수(K_7)는 다수 가입자 회선을 수용하는 케이블 내에 복합된 외장 케이블 수에 의하여 발생하는 차폐 효과로서 청도 운용회선에 있어서 0.85가 사용되었다^[8].

표 1에서 현행 고시에 의하여 계산된 유도전압 값의 예측율과 식 (12)에서 $I_n K_{21}$ 을 I_{pq}^A 방식으로 대체하여 계산한 유도전압 값의 예측율을 비교 분석하여 그래프로 나타내면 그림 8과 같고 정확한 예측율인 100%에

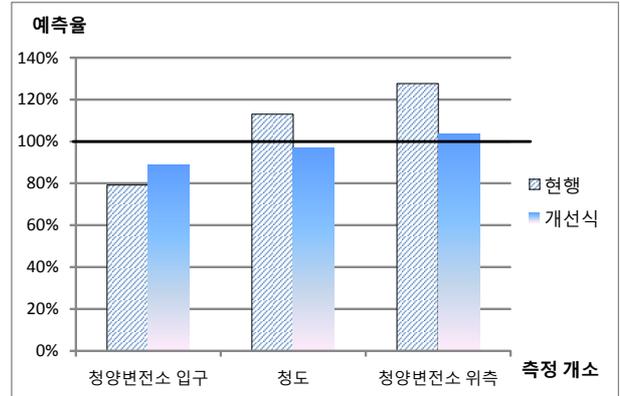


그림 8. 개선식의 예측율 비교
Fig. 8. Comparison of prediction rate.

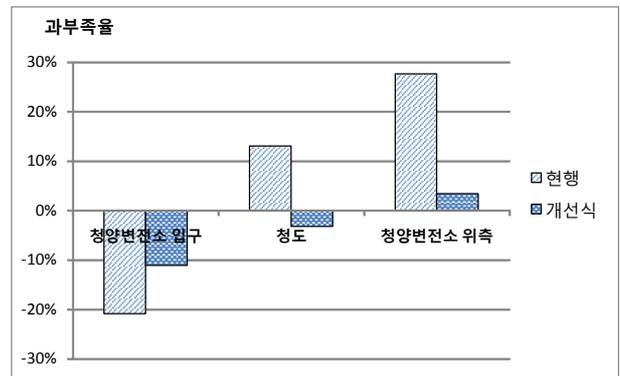


그림 9. 과부족율
Fig. 9. Rate of over-estimation and under-estimation.

대한 과부족율의 관점에서 나타내면 그림 9와 같다. 과부족율은 측정값에 대한 계산의 정확도 100%에 대한 편차(예측율-100%)를 의미한다. 실측값에 대하여 부족 한 예측(‘-’% 범위)을 했던 초과 예측(‘+’% 범위)을 했던 0%(계산값=측정값)에 근접할수록 정확한 계산을 한 것이 된다.

청양 변전소 입구의 측정에 있어서 현행 고시에 의한 예측율이 약 80%, 개선식에 의한 예측율은 약 90%로서 10% 우위를 나타내고 있고, 청양 변전소 상부 3 km 경과 지점과 청도 운용회선 측정에 있어서는 현행 고시에 의한 예측율이 각각 128%와 113%로서 약 30%와 13%를 과예측한 반면, 개선식에 의하면 각각 103%와 97%로서 3% 차이로 예측율 100%에 근접되어 더욱 정확한 결과를 나타내었다.

2. 기존 유효 데이터 적용 효과 통계 분석

개선 방식의 신뢰도 확보 측면에서 과년도에 배전선



그림 10. 추가 개소에서 예측값 비교 분포
Fig. 10. Comparison of estimation from existing data.

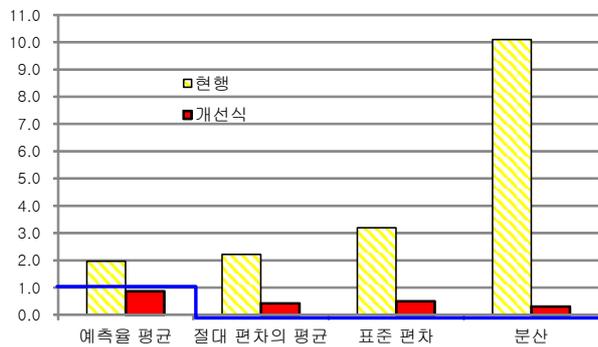


그림 11. 통계적 개선 효과
Fig. 11. Statistical improvement.

에 측정된 유도전압 21 개소 데이터에 대한 적용 평가를 수행하였다. 그림 10에 나타난 바와 같이 현행 계산식에 의한 예측값은 10 배 이상의 과도한 편차가 분포하는 반면 개선식에 의하면 비록 과부족은 존재하더라도 현행 계산 결과에 대하여 비교 우위로 100 %에 접근된 안정된 편차 분포를 보였다.

또한, 계산 편차에 관한 통계적 분포의 관점에서 그림 11에 나타난 바와 같이 기존 식에 대하여 편차를 현격히 줄여주는 효과가 있다. 그림 11에서 예측값 평균에 있어서는 1의 값이 100 % 정확도를 뜻하는 것이며, 나머지 통계 요소들은 모두 0에 근접될수록 정확한 계산이 됨을 의미한다.

V. 결 론

가공 배전선에 의한 유도 전압을 계산함에 있어서 단순히 중성선 불평형 전류에 대지귀로전류 성분 요소를 가림하기 위한 중성선 차폐계수를 적용하는 현재

계산 시스템으로써는 사실상의 대지 귀로전류의 누적 적 위치에 따른 변화가 반영되지 못하기 때문에 실측값에 대한 편차가 커지는 문제가 있지만 실제 전력선에 의한 전자유도가 발생하는 원리적 메카니즘에 따라 기유도전류가 되는 대지귀로전류를 직접 계산하는 방법을 적용하였을 때는 실측 샘플 개소에서 측정값과 계산값을 비교 분석한 결과, 100 % 예측도에 대하여 과부족을 편차 평균이 현재 고시에 의한 것은 약 20 % 인 반면, 개선식에 의한 것은 6 %로서 훨씬 우수한 예측 결과를 나타내게 되었다. 또한, 기존 21 개소 측정 데이터 계산 비교 통계 요소에 있어서도 현격한 편차 개선 효과를 나타내었다.

REFERENCES

- [1] Ministry of Science, ICT and Future Planning, The rules about the technical regulation of broadcasting and telecommunication facilities, Clause 9, Mar. 23, 2013.
- [2] Radio Research Agency, The technical regulation on detailed calculation methods of power induction voltages, RRA Notice No.2012-10, May. 11, 2012.
- [3] Sangmu Lee, Yoon-Myoung Gimm, Changsoo Eun, "Experimental Verification of Induction Phenomenon onto Telecommunication Line by Applying Its Occurrence Mechanisms using an Artificial ELF Source Generator", *JKIEES, Vol.10*, pp.276-281, No.4, 2010. 12.
- [4] SangmuLee, "Earth Reflection Effect Analysis in the Environment of Line Source Induction", *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vo.50, No.4, pp.786-792, Apr. 2013.
- [5] ITU, Inducing currents and voltages in power transmission and distribution systems, *ITU-T DIRECTIVES concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines: VOLUME V*, pp.7-14, 1999
- [6] IEEE, IEEE Recommended Practice for Inductive Coordination of Electric Supply and Communication Lines, pp.9-14, *IEEE Std 776-1992*
- [7] ITU, Operator responsibilities in the management of electromagnetic interference by power systems on telecommunication systems, pp.42-44,

ITU-T K.68

- [8] ITU, CALCULATING INDUCED VOLTAGES AND CURRENTS IN PRACTICAL CASES, *ITU-T DIRECTIVES concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines: VOLUME II*, pp.141-156/298-314, 1999.
- [9] Radio Research Agency, The standardized test method on the technical regulation of broadcasting and telecommunication facilities, RRA Notice No.2012-17, Sep. 28, 2012.
- [10] Sangmu Lee, Munhwan Choi, Pyung-Dong Cho, “The Protection of Telecommunication Service against Electromagnetic Interference by a Power Line”, Summer Conference on Information and Telecommunication Facilities, Korea Institute of Information & Telecommunication Facilities Engineering, pp.45-48, Aug. 2014.
- [11] Sangmu Lee, Changsoo Eun, “Electromagnetic Field Analysis for Basic Estimation of Power Induction Voltage”, Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vo.47, TC-No.5, pp.60-68, May. 2010.

— 저 자 소 개 —



이 상 무(정회원)
 1989년 단국대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2000년 KAIST 전산학과
 석사 졸업.
 2013년 충남대학교 정보통신
 공학과 박사 졸업.

1991년~현재 한국전자통신연구원 근무

2013년~현재 UST 겸임교수

<주관심분야 : ELF 전자유도, 전자파>