

고속전철에 의한 통신유도장애 예측을 위한 Amp·km 계산방법에 관한 연구

The Study on the Amp·km Calculation Method in the Estimation of Induced Voltage by Super-speed Express Railway on Telecommunication Line

이상무(S.M. Lee)
이영환(Y.H. Lee)

기술기준연구팀 선임연구원
기술기준연구팀 선임연구원

통신선에 대한 전력유도 장애에 대비하기 위하여는 전력선에 의하여 유도되는 전압을 예측 계산해 보아야 한다. 이 예측 계산 방법은 국가 기술기준으로서 정해져 있다. 통신선에 유도장애를 일으킬 수 있는 선로 시설로서는 일반 전력선을 위시하여 교류전철시설이 있다. 교류전철시설 부문에서 고속전철에 이용되는 단권변압기 급전방식의 경우 유도전압 산식 중 통합 선로정수로서 Amp·km라는 인수가 사용되는데 이 인수의 계산이 매우 복잡한 구조를 가지고 있다. 기술기준상에서는 그 계산식이 복잡하여 도입 기술할 수 없는 관계로 흡상변압기 방식의 산식 해석 개념만을 기술하고 있는데 본 논문에서는 그 구체적인 계산 방법에 대하여 체계적으로 분석 정리된 내용을 소개하도록 한다.

I. 서론

우리나라에도 고속전철 도입이 본격화되면서 이의 공급 전력에 의한 주변 통신선에 대한 유도장애 대책을 고려하게 되었다. 유도장애 대책을 위하여는 유도전압을 예측하여 계산해 보아야 하는데 그 계산 방법을 기술기준(정보통신부고시제2001-99호)으로 정하고 있다.

그런데 고속전철시설에 의한 유도전압 예측 계산식 중 Amp·km라는 것이 사용되는데 이의 계산 방법이 매우 복잡하고 어려운 관계로 기술기준 고시상에는 직접 그 계산식을 기술하고 있지는 못하다. 그 기술적인 계산 방법은 ITU-T 지침 “concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power

and electrified railway lines,” Vol.iii(Capacitive, Inductive and Conductive Coupling: Physical Theory and Calculation Methods) 중 5.3절 다도체계산법(multiconductor line solution)에 자세히 소개되어 있다.

아울러 고속철도공단에서 고속전철 시설에 따른 유도대책 문제의 기술적 연구를 위하여 1993년에 한국과학기술원과 관련 업계와의 협력을 통하여 여러 가지 유도기술 요소와 관련된 국내 현실 문제와 적용 방법 등이 조사 분석된 바 있다[1].

본 논문에서는 위의 기술 내용들을 근간으로 하여 Amp·km를 계산하는 구체적인 산출 방법에 대하여 그 기본개념과 산출방법 체계를 실사용에 유용하도록 연구 분석된 내용을 체계적으로 정리하여 소개한다.

II. Amp·km의 기본 개념

1. Amp·km 적용 산식

우선 기술기준 고시에 기술된 Amp·km가 사용된 산식은 (1)과 같다.

$$V = \sum \left\{ \left(j\omega \frac{\text{Amp} \cdot \text{km}}{D} \right) IM\ell K \right\} \times 10^{-6} \quad (1)$$

- V : 예측 유도전압
- ω : 각 주파수
- D : 유도전압 예측구간의 거리
- I : 기유도전류
- M : 전차선과 전기통신선의 상호인덕턴스
- ℓ : 전차선과 전기통신선의 병행거리
- K : 필요한 각종 차폐계수들의 곱

이것은 공통식으로서 통상은 전차선(또는 전력선)에 의한 유도전압은 지락고장시 유도위험전압, 상시유도중전압, 잡음유도전압의 세 가지 형태로 분류, 계산된다. 이 세 가지 계산 유형에 대하여 산식은 필요한 차폐계수의 유형과 기유도전류원의 구분을 첨자 기술만이 달라질 뿐 동일한 형태이다.

2. Amp·km의 의미

Amp·km의 의미는 흡상변압기 시설에 의한 기본 산식 (2)와 비교하여 봄으로써 개념을 나타낼 수 있다.

$$V = \Sigma \{ j\omega(1-n)M\ell KI \} \quad (2)$$

유도산식의 기본 구조는 동일한 것이며 흡상변압기 방식의 산식에서 주목하여야 할 인수는 퀘조효과를 나타내는 (1-n)과 필요한 차폐계수들의 곱(K)에 포함되어 있는 분류효과(K_5)라는 것이다. 퀘조효과는 전차선에 대한 선로(퀘조) 자체가 임피던스 정합관계로 인하여 기유도전류에 해당하는 대지누설전류(또는 귀로전류)를 감쇠시키는 차폐효과를 갖는 것을 말한다. n은 퀘조의 자기임피던스(Z_s)에 대한

전차선과의 상호임피던스(Z_m)의 비를 축약한 기호로 나타난 것이다. 분류효과는 한 흡상점과 전차선이 위치한 지점으로부터 멀어질수록 기유도전류가 지수함수적으로 역시 감쇠하게 되는 효과를 말한다.

기존 고시에서는 Amp·km를 흡상변압기 방식에 의한 산식 인수로서 「(1-n)IK₅D」로 명시하고 있는데 이는 일본 유도자료에 의하면 ‘Amp·km’가 이에 대한 대체 개념에 상당하다는 의미이며 위와 같은 산식 인수로서는 계산될 수 없고 또 온당한 정의가 될 수도 없다. 즉 상기의 산식 인수는 흡상변압기 급전방식(BT 방식)과 같이 전기적 회로가 비교적 간단한 경우에 적용 가능한 것이며 AT(단권변압기, Auto-Transformer) 방식과 같이 선로전류가 대단히 복잡한 형태로 흐르는 회로망에서는 고시된 식만으로 전류분포를 계산하는 것은 불가능하다[2].

AT 급전방식에서는 복잡한 급전회로 때문에 간단한 정량화가 불가능하며 집중정수가 아닌 분포정수에 의한 손실전송방정식(다도체계산법)을 사용하여 대지누설전류를 구하여야 한다. 그 구체적 기술식은 ITU-T 지침 Vol.III 5.3절의 ‘다도체계산법’에 설명되어 있으며 계산 예도 발표되어 있다. 그러한 계산 예에 의하면 분포정수에 의한 손실전송방정식에서는 분류효과 및 퀘조효과가 서로 분리할 수 없는 복합적인 현상으로 이해되어야 하기 때문에 AT 급전방식에서의 누설전류를 간단한 분류효과 및 퀘조효과로 특성을 설명하는 것은 불가능하다.

Amp·km의 개념을 기술적 성격이 맞도록 정의하면 ‘유도 예측이 필요하여 정해진 소구간에서 부하전류(또는 등가방해전류, 전차선 지락시 고장전류) I[A]에 대한 평균적 기유도전류와 당해 구간 길이와의 곱으로서 부하 위치, 급전회로 위치 등에 따라 변하는 값’이라 할 수 있다.

III. Amp·km의 수치적 계산 방법

1. 개요

단권변압기 급전방식에서 주목할만한 특성 중

가장 중요한 것은 인접된 통신선 등에 장애를 주는 전력유도 특성이며 전차선(T), 레일(R), 급전선(F)이 직렬로 연장된 3선조에 수 킬로미터 간격으로 단권변압기를 직렬로 연결한 복잡한 사다리형 회로망이기 때문에 그 회로 해석이 매우 복잡하다 할 수 있다.

AT 급전회로의 계산방법 및 등가회로 모델화는 ITU-T 지침에 여러 종류의 급전 변압기 및 결선 방식에 대해 자세히 수록되어 있는데 본 논문에서는 특히 기유도전류의 계산에 핵심이 되는 궤도 누설에 의한 분류효과 및 궤조효과를 중심으로 해석된 다도체계산법에 대한 내용을 분석하여 정리하였다.

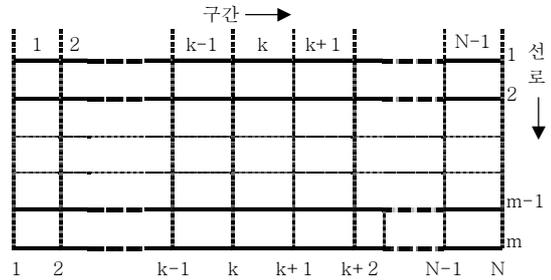
다도체계산법은 AT 급전회로의 전차선, 레일, 급전선을 각각 손실전송선으로 등가화시킨 다음, 등가전송선 전체를 다중도체로 전환하고 이 다중도체를 단편화하여 그 각 셀에 해당되는 전압 및 전류를 일정한 값으로 가정함으로써 각 셀마다 키르히호프의 전류 및 전압법칙을 적용하여 파생된 연립방정식을 수립하여 해를 구하도록 하는 방법이다. 이렇게 작성된 연립방정식의 구성 소자는 각 셀의 등가 임피던스와 어드미턴스로 표시되며 이것을 구하는 것은 이하의 절에서 설명할 것이다. 즉 도체 수를 최대 m 개로 하고 AT 급전계통을 $(N-1)$ 개의 셀로 분할하여 각 셀마다 전압/전류 관계를 회로의 임피던스와 어드미턴스로 표시해서 $(m \times N \times 2)$ 개의 다원연립방정식을 계산하여 풀이한다.

2. Amp·km와 기유도치 계산

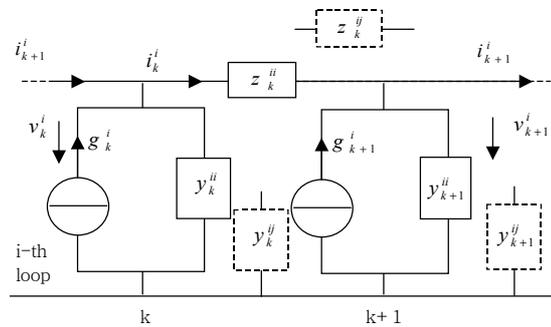
가. 등가 모델

다도체 계산방법은 (그림 1)과 같이 m 개의 평행한 도체를 $(N-1)$ 개의 셀(cell)로 나누어 각 셀을 (그림 2)와 같이 π 등가회로로 두어 다원 연립방정식을 계산하는 해석 방법이다.

(그림 1)에서 셀은 구간(section), 구간 끝을 포인트(point)라고 정의한다. 즉 그림 위의 숫자는 구간을, 아래 숫자는 포인트를 표시한다. 항상 포인트가 구간보다 하나 더 많게 된다.



(그림 1) 다도체선로 분할



(그림 2) 다도체선로에 대한 등가회로

나. 기본 계산식

기유도치(A)는 계산 편의상 부하전류(또는 등가 방해전류, 전차선 지락시 고장전류)에 의한 기유도전류(AKI)에 $j\omega \times 10^{-3}$ 을 곱한 것이며, AKI는 아래에 기술하는 바와 같이 다도체법에 의해 구해진 각 도체에 흐르는 전류의 합을 나타낸다. 여기서 주목해야 할 것은 다도체법에서는 Amp·km와 I(기유도전류)를 별도로 계산하여 곱하는 것이 아니라 이들을 동시에 해석한 「 i_k^i 」를 계산하여 이들의 합으로서 총 기유도전류를 구한다는 것이다. 고시의 Amp·km가 포함된 산식에서 기유도전류(I)와 유도전압 예측 구간의 거리(D)가 합쳐진 계수식을 하나의 통합된 의미로서 기호화하고 이에 대한 합성식은 각 분할 다도체들에 의한 셀형 기유도전류들의 서메이션으로서 (3)으로 전환하여 나타낼 수 있다[3].

$$\left(\frac{\text{Amp} \cdot \text{km}}{D} I \right) \Rightarrow AKI = \left\{ \sum_{i=1}^m i_k^i \cdot D \right\} / D = \sum_{i=1}^m i_k^i \quad [A] \quad (3)$$

i_k^i : A 구간번호(k)에서의 도체(i)의 전류 [A]
 D : A 구간의 길이 [km]
 m : 도체 수
 Amp·km : A구간의 길이와 이 구간의 부하전류 (또는 등가방해전류, 전차선 지락시 고장전류) 1[A]에 대한 평균적 대지귀로전류(평균기유도전류)의 곱[A·km]
 I : 부하전류(또는 등가방해전류, 전차선 지락시 고장전류) [A]

「 i_k^i 」는 행렬식 (4)로부터 구한다.

$$[I]_k = [Z]_k^{-1} \{ [V]_k - [V]_{k+1} \} \quad (4)$$

$[I]_k$: 소구간(이하 ‘A구간’) k에서의 길이 방향 전류벡터이며 전체 선로에 있는 전류는 (N-1)개의 벡터 $[I]_k$ 로 표시되고 각 벡터는 k에서의 각 도체 i의 전류 i_k^i 가 m개로 구성된다(5).

$$[I]_k = \begin{pmatrix} i_k^1 \\ i_k^2 \\ \vdots \\ i_k^m \end{pmatrix} \quad (5)$$

k = 1, 2, ..., N-1(A구간번호)
 m : 도체 수

$[V]_k$: 포인트(이하 ‘A포인트’) k에서의 전위벡터이며 모든 전위는 N개의 벡터 $[V]_k$ 로 구성되며 각 벡터는 A포인트 k에서의 각 도체 i의 전위 v_k^i 가 m개로 구성된다(6).

$$[V]_k = \begin{pmatrix} v_k^1 \\ v_k^2 \\ \vdots \\ v_k^m \end{pmatrix} \quad (6)$$

k = 1, 2, ..., N-1(A구간번호)
 m : 도체 수

$[V]_{k+1}$ 도 위와 마찬가지로 다만 A포인트가 ‘k+1’이다.

$[Z]_k$: A구간 k 내의 임피던스 행렬이며 전 임피던스는 $m \times m$ 항으로 구성된 행렬 $[z]_k$ 가 (N-1)개로 표시된다(7).

$$[Z]_k = \begin{pmatrix} z_k^{11} & z_k^{12} & \dots & z_k^{1i} & z_k^{1m} \\ z_k^{21} & z_k^{22} & \dots & z_k^{2i} & z_k^{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ z_k^{i1} & z_k^{i2} & \dots & z_k^{ii} & z_k^{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ z_k^{m1} & z_k^{m2} & \dots & z_k^{mi} & z_k^{mm} \end{pmatrix} \quad (7)$$

k = 1, 2, ..., N-1 (A 구간번호)
 m : 1, 2, ..., i(j), ..., m (도체 수)
 z_k^{ii} : A구간(k) 내의 도체(i)의 자기임피던스
 z_k^{ij} : A구간(k) 내의 도체(i)와 도체(j)간의 상호임피던스

다. 인수산출식

- 1) A구간(k) 내의 임피던스 행렬($[Z]_k$)
- (7) A구간(k) 내의 임피던스 행렬($[Z]_k$)의 실질적인 의미는 (8)과 같이 된다.

$$[Z]_K = \begin{bmatrix} z_{cc} & z_{cp} & z_{cr} & z_{cw} & z_{cb} & \dots \\ z_{pc} & z_{pp} & z_{pr} & z_{pw} & z_{pb} & \dots \\ z_{rc} & z_{rp} & z_{rr} & z_{rw} & z_{rb} & \dots \\ z_{wc} & z_{wp} & z_{wr} & z_{ww} & z_{wb} & \dots \\ z_{bc} & z_{bp} & z_{br} & z_{bw} & z_{bb} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (8)$$

z_{cc} : A구간(k) 내의 전차선(T)의 자기임피던스[Ω]
 z_{pp} : A구간(k) 내의 급전선(F)의 자기임피던스[Ω]
 z_{rr} : A구간(k) 내의 레일(R)의 자기임피던스[Ω]
 z_{ww} : A구간(k) 내의 전차차폐선1(pw1)의 자기임피던스[Ω]
 z_{bb} : A구간(k) 내의 지중지선(BW)의 자기임피던스[Ω]
 $z_{cp}(z_{pc})$: A구간(k) 내의 전차선과 급전선간의 상호

- 임피던스[Ω]
 $z_{cr}(z_{rc})$: A구간(k) 내의 전차선과 레일간의 상호임피던스[Ω]
 $z_{cw}(z_{wc})$: A구간(k) 내의 전차선과 전차차폐선1간의 상호임피던스[Ω]
 $z_{cb}(z_{bc})$: A구간(k) 내의 전차선과 지중지선간의 상호임피던스[Ω]
 $z_{pr}(z_{rp})$: A구간(k) 내의 급전선과 레일간의 상호임피던스[Ω]
 $z_{pw}(z_{wp})$: A구간(k) 내의 급전선과 전차차폐선1간의 상호임피던스[Ω]
 $z_{pb}(z_{bp})$: A구간(k) 내의 급전선과 지중지선간의 상호임피던스[Ω]
 $z_{rw}(z_{wr})$: A구간(k) 내의 레일과 전차차폐선1간의 상호임피던스[Ω]
 $z_{rb}(z_{br})$: A구간(k) 내의 레일과 지중지선간의 상호임피던스[Ω]
 $z_{wb}(z_{bw})$: A구간(k) 내의 전차차폐선1과 지중지선간의 상호임피던스[Ω]

선로의 단위길이 당 상호임피던스(Z_{ij})를 계산하기 위해서는 매개변수 χ 가 필요한데 이것은 (9)와 같이 계산된다.

$$\chi = \alpha \cdot d_{ij} \quad (9)$$

$$\alpha = \sqrt{\mu_0 \frac{\omega}{\rho}}$$

μ_0 : 자유공간의 투자율[H/m]

ω : 각 주파수

ρ : 대지고유저항[Ω·m]

d_{ij} : 도체 i와 도체 j 간의 이격거리[m]

파라미터(χ) 값의 산출 범위에 따라 :

① $\chi \leq 0.5$:

$$z_{ij} = \omega \left\{ (0.5\pi - \beta H) + j \left(l_n \frac{D_e}{d_{ij}} + \beta H \right) \right\} \times 10^{-4}$$

[Ω /m]

$$\beta: 4/3\sqrt{2} \cdot \alpha$$

D_e : 대지전류 가상귀로의 등가 깊이

$$H = h_i + h_j$$

h_i, h_j : 도체 i 및 j 각각의 지상고

② $0.5 < \chi \leq 10$:

$$z_{ij} = j\omega \{ (123.36 - 1.69x + 23.937x^2 - 4.9614x^3 + 0.44212x^4 - 0.01526x^5 + 0.001215e^x - 200l_n x) + j(-339 + 193.67x - 49.77x^2 + 6.979x^3 - 0.5243x^4 + 0.01672x^5 + 180.42e^{-x} - 0.00146e^x - 0.274l_n x) \} [\Omega /m]$$

③ $\chi > 10$:

$$z_{ij} = -j400/x^2 [\Omega /m]$$

이상의 산출식은 분할도체와 통신선이 평행한 구간에 대한 것이며 평행하지 않은 —경사 또는 교차— 구간의 경우에는 「 $z_{ij} = j\omega M_{ij}$ 」로서 도체 i와 j간의 직접 상호인덕턴스 값을 도입한 식에 의한다.

2) 도체(i)의 A포인트(k)에서의 전위 벡터([V]_k)

(4)의 전위벡터 [V]_k는 관계식 (10)으로부터 구할 수 있으며 다시 세부 산출은 이어지는 (11)에 의하여 정해진다.

$$[D]_k [V]_{k-1} + [M]_k [V]_k + [E]_k [V]_{k+1} = [G]_k \quad (10)$$

$$[D]_k : k=1 : [0]$$

$$k=2, 3, \dots, N : -[Z]_{k-1}^{-1}$$

$$[M]_k : k=1 : [Y]_1 + [Z]_1^{-1}$$

$$k=2, 3, \dots, N-1 : [Y]_k + [Z]_{k-1}^{-1} + [Z]_k^{-1}$$

$$k=N : [Y]_N + [Z]_{N-1}^{-1}$$

$$[E]_k : k=1, 2, \dots, N-1 : -[Z]_k^{-1}$$

$$k=N : [0]$$

[G]_k: A포인트(k)에 삽입된 공급 및 유기된 전류원의 벡터이며 모든 전류는 N개의 벡터 [G]_k로 표시되며 각 벡터는 A포인트(k)에 있는 도체(i)에 삽입된 공급 및 유기된 전류원 g_k^i 가 m개로 구성된다.

$$[G]_k = \begin{pmatrix} g_k^1 \\ g_k^2 \\ \vdots \\ g_k^m \end{pmatrix} \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (11)$$

$[Y]_k$: A포인트(k)에서의 어드미턴스 행렬이며 전 어드미턴스는 각각 $m \times m$ 항으로 구성된 행렬 $[y]_k$ 가 N개로 표시된다.

$$[Y]_k = \begin{pmatrix} y_k^{11} & y_k^{12} & \dots & y_k^{1i} & y_k^{1m} \\ y_k^{21} & y_k^{22} & \dots & y_k^{2i} & y_k^{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ y_k^{i1} & y_k^{i2} & \dots & y_k^{ii} & y_k^{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ y_k^{m1} & y_k^{m2} & \dots & y_k^{mi} & y_k^{mm} \end{pmatrix} \quad (k=1, \dots, N) \quad (12)$$

- y_k^{ii} : A구간(k)에서의 총 자기어드미턴스
- y_k^{ij} : A구간(k)에서의 총 상호어드미턴스
- $[V]_{k-1}$: A포인트(k-1)에서의 전위벡터
- $[V]_{k+1}$: A포인트(k+1)에서의 전위벡터
- $[Z]_k$: A구간(k) 내의 임피던스 행렬
- $[Z]_k^{-1}$: $[Z]_k$ 의 역행렬

이상의 기본 관계식을 바탕으로 하여 A포인트의 수가 N개인 경우 N개의 전압 매트릭스[V]를 미지수로 한 복소수 연립방정식은 (13)과 같이 된다.

3) A포인트(k)에서의 선로의 어드미턴스 행렬 $([y]_{kl})$

실제 선로에 있어서의 어드미턴스 행렬의 인수의 의미는 행렬식 (14)와 같이 주어진다.

$$[y]_{kl} = \begin{bmatrix} y_{cc} & y_{cp} & y_{cr} & y_{cw} & y_{cb} & \dots \\ y_{pc} & y_{pp} & y_{pr} & y_{pw} & y_{pb} & \dots \\ y_{rc} & y_{rp} & y_{rr} & y_{rw} & y_{rb} & \dots \\ y_{wc} & y_{wp} & y_{wr} & y_{ww} & y_{wb} & \dots \\ y_{bc} & y_{bp} & y_{br} & y_{bw} & y_{bb} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad (14)$$

- y_{cc} : A포인트(k)에서의 전차선(T)의 자기어드미턴스 $[\Omega]$
- y_{pp} : A포인트(k)에서의 급전선(F)의 자기어드미턴스 $[\Omega]$
- y_{rr} : A포인트(k)에서의 레일(R)의 자기어드미턴스 $[\Omega]$
- y_{ww} : A포인트(k)에서의 전차차폐선(pw1)의 자기어드미턴스 $[\Omega]$
- y_{bb} : A포인트(k)에서의 지중지선(BW)의 자기어드미턴스 $[\Omega]$
- $y_{cp}(y_{pc})$: A포인트(k)에서의 전차선과 급전선간의 상호어드미턴스 $[\Omega]$
- $y_{cr}(y_{rc})$: A포인트(k)에서의 전차선과 레일간의 상호어드미턴스 $[\Omega]$
- $y_{cw}(y_{wc})$: A포인트(k)에서의 전차선과 전차차폐선 1간의 상호어드미턴스 $[\Omega]$
- $y_{cb}(y_{bc})$: A포인트(k)에서의 전차선과 지중지선간의 상호어드미턴스 $[\Omega]$
- $y_{pr}(y_{rp})$: A포인트(k)에서의 급전선과 레일간의 상호어드미턴스 $[\Omega]$
- $y_{pw}(y_{wp})$: A포인트(k)에서의 급전선과 전차차폐선 1간의 상호어드미턴스 $[\Omega]$
- $y_{pb}(y_{bp})$: A포인트(k)에서의 급전선과 지중지선간의 상호어드미턴스 $[\Omega]$

$$\begin{pmatrix} [M_1] & [E_1] & [0] & [0] & [0] & [0] & \dots & [0] & [0] & [0] & [0] & [0] \\ [D_2] & [M_2] & [E_2] & [0] & [0] & [0] & \dots & [0] & [0] & [0] & [0] & [0] \\ [0] & [D_3] & [M_3] & [E_3] & [0] & [0] & \dots & [0] & [0] & [0] & [0] & [0] \\ [0] & [0] & [D_4] & [M_4] & [E_4] & [0] & \dots & [0] & [0] & [0] & [0] & [0] \\ \vdots & \vdots \\ [0] & [0] & [0] & [0] & [0] & [0] & \dots & [0] & [D_{N-1}] & [M_{N-1}] & [E_{N-1}] & [V_{N-1}] \\ [0] & [0] & [0] & [0] & [0] & [0] & \dots & [0] & [0] & [D_N] & [M_N] & [V_N] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} [V_1] \\ [V_2] \\ [V_3] \\ [V_4] \\ \vdots \\ [V_{N-1}] \\ [V_N] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} [g_1] \\ [g_2] \\ [g_3] \\ [g_4] \\ \vdots \\ [g_{N-1}] \\ [g_N] \end{pmatrix} \quad (13)$$

$y_{rw}(y_{wr})$: A포인트(k)에서의 레일과 전차차폐선1
간의 상호어드미턴스[Ω]

$y_{rb}(y_{br})$: A포인트(k)에서의 레일과 지중지선간의
상호어드미턴스[Ω]

$y_{wb}(y_{bw})$: A포인트(k)에서의 전차선1과 지중지선
간의 상호어드미턴스[Ω]

4) 선로의 단위길이 당 자기 어드미턴스(y_{ii}) 계산
의 공통적 산출식은 (15)와 같다.

$$\begin{aligned} y_{ii} &= j\omega \times \{P_{ii}\}^{-1} \\ &= j\omega \times \left\{ K_0 \times l_n \frac{2h_i}{r_i} \right\}^{-1} \quad (15) \\ &= j\omega \times 10^{-6} \times \left\{ 18 \times l_n \frac{2h_i}{r_i} \right\}^{-1} \quad [\text{Ω/km}] \end{aligned}$$

$$\omega = 2\pi f H$$

H : 고조파 차수

P_{ii} : 자기전위계수

$$K_0 = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} = 18 \times 10^6 [\text{km/F}]$$

h_i : 도체 i의 지상고

r_i : 도체 i의 반경

5) 선로의 단위길이 당 상호어드미턴스(y_{ij})

$$\begin{aligned} y_{ij} &= j\omega \times \{P_{ij}\}^{-1} \\ &= j\omega \times \left\{ K_0 \times l_n \frac{D_{ij}}{d_{ij}} \right\}^{-1} \quad (16) \\ &= j\omega \times 10^{-6} \times \left\{ 18 l_n \frac{D_{ij}}{d_{ij}} \right\}^{-1} \end{aligned}$$

P_{ij} : 상호전위계수

D_{ij} : 도체 i와 도체 j의 영상간의 거리

$$D_{ij} = \sqrt{a_{ij}^2 + (h_i + h_j)^2}$$

d_{ij} : 도체 i와 도체 j의 이격거리

$$d_{ij} = \sqrt{a_{ij}^2 + (h_i - h_j)^2}$$

a_{ij} : 도체 i와 도체 j간의 수평이격거리

h_i, h_j : 도체 i와 도체 j 각각의 지상고

IV. 결론

Amp·km에 대한 다도체계산법을 이용함으로써 이 기술 개념이 적용되는 기존 전력유도 기술기준 고시에서의 해당 부분 내용을 아래와 같이 변경하여 작성할 수 있다.

고시에서는 Amp·km 또는 고조파 성분인 경우 Amp·km_n 각각에 대하여 60Hz에 대한 (1-n)IK₅D 또는 800Hz에 대한 (1-n)_nIK₅D로 정의되어 있는 바, 이것을 ITU-T 지침의 다도체계산법에 따라 (17)로 함축시키고 유도전압 유형별 산식에 <표 1> 내의 (18)~(20)과 같이 변형 도입할 수 있다.

$$AKI = \sum_{i=1}^m i_k^i \quad (17)$$

AKI : 소구간(A구간)에 흐르는 부하전류(또는 등가 방해전류, 전차선 지락시 고장전류) 전체에 대한 평균적 기유도전류[A]

<표 1> 전압종별 변형산식

식	고시 내용	변형 내용
18	<유도위험전압> $V_a = \Sigma \left\{ j\omega \frac{\text{Amp} \cdot \text{km}}{D} \right\} I_a \times M \{ K_3 K_4 K_6 K_7 \} 10^{-6} [V]$	$V_a = \Sigma (A_a M \{ K_3 K_4 K_6 K_7 \}) 10^{-3} [V]$ $A_a = j\omega AKI_a \times 10^{-3} [mV / \mu H]$
19	<상시유도중전압> $V_a = \Sigma \left\{ j\omega \frac{\text{Amp} \cdot \text{km}}{D} \right\} I_L \times M \{ K_3 K_4 K_7 K_8 \} 10^{-6} [V]$	$V_a = \Sigma (A_L M \{ K_3 K_4 K_7 K_8 \}) 10^{-3} [V]$ $A_L = j\omega AKI_L \times 10^{-3} [mV / \mu H]$
20	<유도잡음전압> $V_n = \Sigma \left\{ j\omega \frac{\text{Amp} \cdot \text{km}}{D} \right\} J_p \times M_n \{ K \} 10^{-3} [mV]$	$V_n = \Sigma (A_n M_n \{ K \}) 10^{-3} [mV]$ $A_n = j\omega AKJ_p \times 10^{-3} [mV / \mu H]$

참 고 문 헌

- [1] 한국과학기술원, 통신 유도전압 예측계산표준 설계 최종 보고서, 1993. 10.
- [2] 일본 전기통신협회 동해지부, 유도, 1978.
- [3] ITU-T, DIRECTIVES concerning the protection of

telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, Vol.III: Capacitive, Inductive and Conductive Coupling: Physical Theory and Calculation Methods, Geneva 1989, pp. 206 - 243.