

Abstract

When a telecommunications line is encountered with neighboring electric lines, induced currents are produced in the circuit formed by those lines and earth. The induced currents sometimes impose intolerable noise problems on the telecommunications lines. In this study, screening factor indicating the level of screening effect is defined and calculated several cases together with numerical results.

통신선의 차폐계수 산정 (Calculation of Screening Factors for Communications Line)

I. 서론

전력선이 지나가는 부근에 통신선이 존재할 때 상호유도작용에 의하여 통신선에 전류가 유기되고, 유도전압이 나타나게된다. 이런 유도전압은 통신선에서 원치않는 잡음으로 통신장해의 중요한 원인중의 하나가 된다. 또한, 전력선의 근처 대지에 접지된 도체(예, 레일, 땅속에 묻힌 파이프, 접지된 통신 케이블의 도체 외장 등)에도 전류가 유기되며, 접지된 도체에 유기되는 전류는 이러한 도체와 대지에 회로를 형성한다. 접지된 도체에 유기되는 전류를 차폐전류라고 정의하며 차폐전류는 전력선과 통신선에 유도효과를 첨가하여, 결과적으로 통신선에 유기되는 전류를 감소시킨다. 이러한 현상을 차폐효과(screening effects)라고 한다. 이때, 전력선을 기유도선(inducing line)이라 정의하며, 통신선은 유도의 효과가 나타나므로 피유도선(induced line)이라 한다. 그리고, 피유도선의 유도를 감소시키는 도체를 차폐도체(screening conductor)라고 한다.

이러한 차폐효과의 크기는 차폐전류에 의하여 기유도선의 전류가 불변일 때 유도선에 유도되는 전압의 감쇠정도로써 표현된다. 일반적으로 차폐효과는 아래와 같이 정의된다.

$$k = \frac{\text{차폐효과가 있을 때 유도되는 양}}{\text{차폐효과가 없을 때 유도되는 양}} \quad (1)$$

그리고 위 식에 나타낸 k를 차폐계수(screening

명 노 훈

한국과학기술원 전기 및 전자공학과

factor)라 하며, 일반적으로 차폐효과를 나타내는 SE(shielding effects)와의 관계는 서로 역수로 나타내며, 위 식에 보인 바와 같이 차폐계수의 값은 낮을수록 우수한 차폐현상을 나타낸다. 여기에서 차폐계수의 값은 0(완전 차폐)에서 1(차폐효과 없음) 사이의 값이다. 또한, 차폐계수의 값은 복소수 형태를 갖는 두 개의 전기적 양의 비이므로 복소수이나, 실제적인 문제에서는 차폐계수의 절대값만이 중요하기 때문에 실수로 표시한다.

한편, 접지된 도체에 의한 차폐효과는 다음과 같은 가정을 필요로 한다.

- 1) 기유도 전계는 각 선에 대하여 평행하다.
 - 변위전류(displacement current)에 의한 유도효과는 전도전류(conduction current)에 의한 차폐효과에 비하여 무시할 수 있다.
 - 모든 선은 같은 경로를 갖는다. 그러므로 준 평행선으로 볼 수 있다.
- 2) 피유도선이 개방회로(open circuit)면 전류는 흐르지 않는다.
- 3) 기유도선의 전력공급 시스템(feeding system)은 전류전원을 갖는 것으로 해석한다. 그러므로 기유도선의 전류는 차폐전류에 실제적으로 독립이다.
- 4) 문제의 도체들은 유도적인 결합(inductive coupling)만 한다. 여기서는 용량성 결합(capacitive coupling)은 제외한다.

그리고, 대부분의 경우의 차폐도체는 대지 표면위의 나선(예, 레일)이나 땅 속에 묻힌 도체(예, 도체파이프)로서 지속적으로(전구간) 접지된 경우이다. 그러나, 절연체로 덮힌 긴 도체의 경우도 접지용 단자를 충분히 많이 전구간을 통하여 접속하여 접지한다(예, 접지된 통신케이블의 도체외장). 이러한 경우들의 도체를 완전접지된 차폐도체라 하며 아래와 같은 가정을 한다.

- 도체의 길이는 차폐도체의 거리상수에 비하여 충분히 길다. 그러므로, 모서리 영향(end-effect)은 무시된다.
- 차폐선(통신선)의 감쇠상수(attenuation constant)가 충분히 커서 차폐전류는 전파효과(propagation effect)에 의한 기유도 전류변화와 기유도선과 피유도선 사이의 결합의 변화에 의하여 차폐도체에 생성된 유도전계를 따라 흐른다.

이러한 완전접지조건을 실제로 만족하여 유도전계가 차폐전류에 의한 전압강하와 균형을 이루면, 차폐도체의 전구간은 접지되어 있다고 볼 수 있으며, 여기에 추가된 접지는 차폐계수에 영향을 미치지 못한다.

II. 일반적인 경우의 차폐계수

1. 완전접지 경우의 차폐계수

[그림 1]에 보인 바와 같이 대지귀로를 갖는 기유도선과 피유도선 사이에 차폐용 도체가 존재한다. 여기에서 기유도선과 관련된 양은 첨자 e를 사용하고, 차폐선에 관련된 양은 첨자 s를 사용한다. 피유도선은 개방회로(open circuit)로 가정하며 첨자 t (telecom)를 사용한다. 대지귀로를 갖는 단위길이당 자기, 상호임피던스를 사용하여 피유도선과 기유도선에 유도되는 전계를 Kirchhoff voltage law (KVL)을 사용하여 구하면 아래와 같다.

$$E_t = Z_{et} I_e + Z_{st} I_s \quad (2)$$

$$0 = Z_{es} I_e + Z_{ss} I_s \quad (3)$$

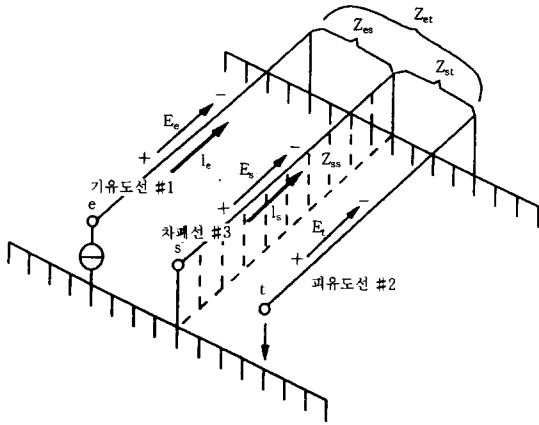
식 (3)에서 차폐선에 흐르는 전류 I_s 를 기유도전류 I_e 로 나타내면 다음과 같다.

$$I_s = - \frac{Z_{es}}{Z_{ss}} I_e \quad (4)$$

식 (4)을 식 (2)에 대입하여 차폐도체가 있는 경

우의 통신선에 유도되는 전계를 구한다.

$$E_t = Z_{et} I_e \left[1 - \frac{Z_{st} Z_{es}}{Z_{et} Z_{ss}} \right] \quad (5)$$



[그림 1] 차폐도체가 있는 구조

차폐도체가 없는 경우의 통신선에 유도되는 전계는 기유도선의 전류와 기유도선-폐유도선의 상호임피던스의 곱으로 나타난다.

$$E_t = Z_{et} I_e \quad (6)$$

그러므로 차폐계수의 정의에 의하여 차폐계수는 식 (5)와 식 (6)을 식 (1)에 대입하면 아래와 같다.

$$k = \frac{E_t}{E_t} = 1 - \frac{Z_{st} Z_{es}}{Z_{et} Z_{ss}} \quad (7)$$

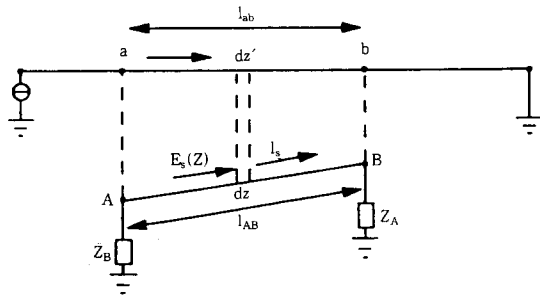
2. 끝 부분을 접지시킨 경우의 차폐계수

[그림 2]에 보인 바와 같은 차폐도체를 생각해 보자. 이 도체는 양 끝 A와 B에서만 각각 임피던스 Z_A , Z_B 를 통하여 접지되어 있고, 나머지는 절연되어 있다. 실제적인 경우에는 이 접지임피던스는 저항성분 R_A , R_B 가 되고 그 크기는 수 Ω 에서 수십 Ω 정도이다. 그리고 기본주파수와 고조파(harmonic frequency)에서 접지캐패시터를 통하여 접지로 빠져나가는 전류는 도체를 따라 수평방향으로 흐르는 전

류에 비해 무시할 정도로 작아서 차폐전류 I_s 는 그 크기와 위상이 차폐선의 길이 l_{AB} 를 통해 일정하다고 가정한다. 전류 I_s 의 크기는

$$I_s = \int_A^B \frac{E_s(z) dz}{Z_{ss} l_{AB} + Z_A + Z_B} \quad (8)$$

이다. 여기에서 분자는 도체와 접지 사이에 작용하는 기전력인데, 이는 차폐위의 전계를 길이 방향으로 적분하여 얻는다. Z_{ss} 는 차폐도체의 단위길이당 자기임피던스이다. 분모에 있는 임피던스의 합은 차폐도체-접지 루프의 전체임피던스가 된다. 도체의 전류가 일정하다고 하더라도 위의 식으로 언제나 유효한 차폐계수를 정의하기는 불가능하다. 그러나, 식 (8)을 실제적인 상황에 맞도록 다시 쓸 수 있다.



[그림 2] 양끝이 임피던스로 접지된 차폐도체

기유도선과 차폐선이 비스듬이 접근하는 경우(준평행선), 기전력은 다음과 같다.

$$\int_A^B E_s(z) dz = \int_a^b Z_{se} I_e dz' \quad (9)$$

대부분의 실제적인 경우, 기유도선에서의 전파효과는 무시되어 기유도선의 전류는 일정하다고 볼 수 있다. 이런 가정하에서의 기전력은

$$\int_a^b Z_{se} I_e dz' = I_e \int_a^b Z_{se} dz' = \overline{Z_{se}} l_{ab} I_e \quad (10)$$

이며, $\overline{Z_{se}}$ 는 차폐선과 기유도선 사이의 단위길이당

상호임피던스의 평균값이다. 결과적으로 차폐전류는 아래와 같다.

$$I_s = - \frac{\overline{Z_{se}} I_{ab}}{Z_{ss} I_{AB} + Z_A + Z_B} I_e \quad (11)$$

식 (11)에서 구한 차폐전류를 식 (2)에 대입하여 차폐계수를 구하면 다음과 같다.

$$k = 1 - \frac{Z_{st} \overline{Z_{se}} I_{ab}}{Z_{et} (Z_{ss} I_{AB} + Z_A + Z_B)} \quad (12)$$

여기에서 Z_{et} 는 각각 기유도선과 피유도선 사이의 상호임피던스이고 Z_{st} 는 차폐선과 피유도선의 상호임피던스이다. 차폐선과 기유도선이 준평행선이 아니면 차폐도체를 n 색선으로 나누어 근사시키며, 이 경우는 $\overline{Z_{se}} I_{ab}$ 대신에 $(\overline{Z_{se}} I_{ab})_k$ 형태의 합이 분자에 나타나게 되며 I_s 와의 관계는 다음과 같다.

$$I_s = - \frac{\sum_k (\overline{Z_{se}} I_{ab})_k}{Z_{ss} I_{AB} + Z_A + Z_B} I_e \quad (13)$$

차폐선이 기유선과 평행하여 $I_{ab} = I_{AB}$ 가 되는 경우의 차폐전류는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} I_s &= - \frac{\overline{Z_{se}}}{Z_{ss} + (Z_A + Z_B) / I_{AB}} I_e \\ &= - \frac{\overline{Z_{se}}}{Z_{ss}} I_e \end{aligned} \quad (14)$$

$$\overline{Z_{ss}} = Z_{ss} + (Z_A + Z_B) / I_{AB} \quad (15)$$

$\overline{Z_{ss}}$ 는 차폐도체의 단위길이당 등가자기임피던스이며, 차폐선이 기유도선과 평행하고 차폐도체가 기유도선이나 피유도선의 근처에 있을 경우에는 완전접지 경우의 차폐계수를 구하는 식 (7)에 자기임피던스 Z_{ss} 를 등가자기임피던스 $\overline{Z_{ss}}$ 로 대치하여 사용할 수 있다. 그러므로, 차폐계수는 아래와 같으며 차폐선의 길이와 접지임피던스에 의존한다.

$$k = 1 - \frac{\overline{Z_{st}} Z_{se}}{Z_{et} Z_{ss}} \quad (16)$$

III. 통신케이블의 차폐계수

1. 도체외장에 의한 차폐

동축케이블의 도체외장은 통신선의 동심(core : 피유도선)에 대하여 차폐도체의 역할을 한다. 이를 앞에서 설명한 차폐전류가정을 이용하여 해석한다. 차폐전류가정을 적용할 때 외장의 차폐효과는 일반적인 차폐도체와 실질적으로 같은 방법으로 진행한다. 그러나, 동축케이블의 동심과 외장은 기유도선에 대하여 같은 위치에 있으므로, 기유도선과 동심사이의 상호임피던스(Z_{et})와 기유도선과 외장의 상호임피던스(Z_{se})는 같다.

[그림 3]에 보인 바와 같이 통신케이블은 피유도선인 통신선(동심)과 대지귀로를 통하여 회로를 형성하고 차폐선의 외장 또한 대지귀로를 통하여 형성한다. 여기에서 접지임피던스 Z_A, Z_B (또는 접지저항 : R_A, R_B)은 0이라 하자. 외장-접지회로와 동심-접지회로 사이에 순수한 유도결합(inductive coupling)이 존재하며, 외장의 평균반경과 심선과 외장의 이격거리는 실질적으로 같으므로, 외장의 자기임피던스(Z_{ss})의 인덕턴스와 심선과 외장의 상호임피던스(Z_{st})의 인덕턴스는 저주파수에서 같다.

$$Z_{ss} - Z_{st} = R_{ss} - R_{st} \quad (17)$$

만약, 외장이 완전접지되어 있다면,

$$R_{ss} - R_{st} = R_s \quad (18)$$

이며, 여기에서 R_s 는 외장의 직류저항이다. 또한, 외장-접지회로(차폐회로)가 폐회로를 구성하면 차폐회로에 차폐전류가 흐르고 이 전류는 동심-접지회로(피유도회로)의 전압을 낮추려고 한다. 이러한 방법으로 동심에서 접지로 차폐(screening)가 이루어진다. 그러므로 차폐계수 k 는 다음과 같다.

$$k = 1 - \frac{Z_{st}}{Z_{ss}} \quad (19)$$

위에서 언급한 효과를 고려하면, 저주파에서 대지에 연결한 외장의 차폐계수는

$$k = \frac{R_{ss} - R_{st}}{Z_{ss}} \quad (20)$$

이며, 완전접지의 경우 차폐계수는 다음과 같다.

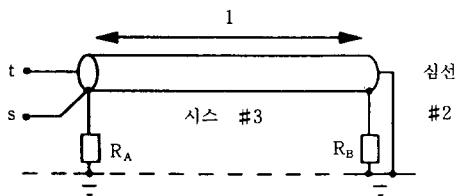
$$k = \frac{R_s}{Z_{ss}} \quad (21)$$

[그림 3]에 나타낸 Z_A, Z_B 가 0이 아닌 경우, 즉 케이블의 길이가 1이고 외장의 양 끝에서 임피던스 (일반적으로 저항)로 접지된 경우이다. 이때, 외장의 자기임피던스는 Z_{ss} 대신 등가자기임피던스 $Z_{ss} + (Z_A + Z_B)/l$ 를 사용한다. 그러므로 이런 경우의 차폐계수는 다음과 같이 나타낸다.

$$k = \frac{(Z_{ss} - Z_{st})l + Z_A + Z_B}{Z_{ss}l + Z_A + Z_B} \quad (22)$$

또한, 일반적으로 통신케이블은 외장에 테이프장갑(tape armour)를 씌워서 외장의 자기임피던스를 크게하여 차폐계수를 향상시키며, 이 경우의 케이블을 차폐케이블 또는 강대외장케이블(armour cable)이라고 한다.

기유도선 #1

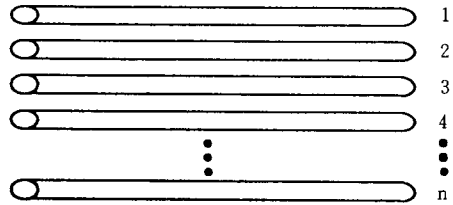


[그림 3] 동심과 외장이 각각 접지된 통신선

2. 여러개의 통신선이 같이 존재할 경우

[그림 4]에 보인 바와 같이 통신선이 여러개 존재하면 각각의 통신선에 대한 외장은 다른 통신선에 대하여 차폐도체의 역할을 한다. 그러므로 n개의 차폐도체에 대하여 KVL을 적용하면 다음과 같다.

기유도선 #1



[그림 4] 여러개의 통신선이 같이 존재하는 구조

$$\begin{aligned} 0 &= Z_{e1} I_e + Z_{ss1} I_{s1} + Z_{12} I_{s2} + \dots + Z_{1n} I_{sn} \\ 0 &= Z_{e2} I_e + Z_{21} I_{s1} + Z_{ss2} I_{s2} + \dots + Z_{2n} I_{sn} \\ &\vdots \\ 0 &= Z_{en} I_e + Z_{n1} I_{s1} + Z_{n2} I_{s2} + \dots + Z_{ssn} I_{sn} \end{aligned} \quad (23)$$

위의 식을 matrix 표현으로 나타내면 다음과 같다.

$$[I_s] [Z] = [Z_e I_e] \quad (24)$$

또한 기유도선에서의 KVL을 하면 다음과 같다.

$$E_t = Z_{et} I_e + Z_{st1} I_{s1} + Z_{st2} I_{s2} + \dots + Z_{stn} I_{sn} \quad (25)$$

차폐의 정의에 의하여 이 경우에 차폐계수 k는 다음과 같다.

$$k = 1 + \frac{\sum_i (Z_{st})_i (I_s)_i}{Z_{et} I_e} \quad (26)$$

차폐선에 흐르는 전류는 식 (24)에 의하여 기유도전류로 치환할 수 있으므로 식 (26)에 의하여 여러 차

폐도체에 의한 차폐도효과를 구할 수 있다.

식 (26)에 의한 차폐효과는 일반적으로 해석하기 쉽지 않으나 각 통신선이 같은 경우, 여러개의 통신선에 의한 차폐효과는 좀 더 쉽게 알 수 있으며, Carson-Pollaczek의 GMD(geometric mean distance)를 이용하여 차폐계수를 구한다. GMD에 의한 각각의 상호임피던스는 다음과 같다.

$$(Z_s)_{\text{mean}} = Z_{si}, i = 1, 2, \dots, n \quad (27)$$

식 (27)을 이용하고, 기유도선과 동심의 상호임피던스와 기유도선과 외장의 상호임피던스를 같게 하고, 저주파수대에서 외장이 완전접지일 경우의 차폐는 다음과 같이 된다.

$$k = \frac{R_s}{Z_{ss} + (n-1)(Z_s)_{\text{mean}}} \quad (28)$$

IV. 자기 및 상호임피던스 계산

차폐계수는 자기 및 상호임피던스의 함수로 나타나며, 자기 및 상호임피던스 계산은 Carson-Pollaczek 공식을 사용하여 구한다. Carson과 Pollaczek는 1926년에 제각기 Maxwell의 전자기 방정식을 이용하여 대지귀로에 의한 상호임피던스를 발표하였다. Carson-Pollaczek 공식은 도체간의 상호이격거리, 대지의 도전율, 요구되는 정확도에 따라 간단한 Carson-Pollaczek 공식, 다항식 공식, 급수 형태의 공식 등이 있다. 급수 형태의 공식은 가장 정확한 공식이나 매우 복잡하므로 여기는 생략하기로 한다.

1. 간단한 Carson-Pollaczek 공식

자기임피던스나 도체상호간의 이격거리가 짧은 경우의 상호임피던스는 아래 조건하에서 간단한 식으로 계산이 가능하다.

$$x \leq 0.5 \quad (29)$$

여기서,

$$x = \begin{cases} a \cdot r; & \text{자기임피던스 계산에서 사용} \\ a \cdot d; & \text{상호임피던스 계산에서 사용} \end{cases}$$

$$a = 2.8099 \times 10^{-3} \frac{\sqrt{f}}{\sqrt{\rho}}$$

r ; 도체의 반경

d ; 도체 상호간의 이격거리

f ; 주파수

ρ ; 대지 저항율

위의 조건아래에서 등가반경(GMR : geometric mean radius)을 사용하여 자기임피던스는 다음과 같다.

$$Z_{ii} = Z_{\epsilon} + Z_{Eii} = R_s + 0.99 \times 10^{-3} \cdot f + j2\pi f \cdot 2 \times 10^{-4} \ln \frac{D_e}{r} \quad (\Omega/km) \quad (30)$$

여기서,

$$D_e = 659 \frac{\sqrt{\rho}}{\sqrt{f}}; \text{대지귀로전류의 등가깊이}$$

$$r' = r \cdot e^{-m/4}; \text{기본 주파수에 대해서}$$

$$r' \sim r; \text{; 높은 통신주파수에 대해서(대부분의 전류가 표면으로 흐름)}$$

상호임피던스는 다음과 같다.

$$Z_{ij} = 0.99 \times 10^{-3} \cdot f + j2\pi f \cdot 2 \times 10^{-4} \ln \frac{D_e}{d} \quad (\Omega/km) \quad (31)$$

2. 다항식 공식

다항식 공식은 Carson의 공식에 curve fitting 방법을 적용하여 얻는다. 이 공식은 상호임피던스 계산에 사용하며, 변수 x 로 하는 다항식으로 표현되기 때문에 컴퓨터 계산에 적용하기 쉽고, 도체상호간의 거리에 관계없이 사용할 수 있다. 그러나, 이 공식은 지표상의 도체높이에 대한 고려가 없다. 다항식 공식을 사용한 상호임피던스는 아래와 같으며,

$$Z_{ij} = j\omega M \quad (32)$$

상호인덕턴스 $M(\mu H/km)$ 은 다음 공식으로 계산할 수 있다.

$x \leq 10$ 일때,

$$Re(M) = 123.36 - 1.69x + 23.937x^2 - 4.9614x^3 + 0.44212x^4 - 0.01526x^5 + 0.0012 \cdot e^x - 200 \cdot \ln x \quad (\mu H/km) \quad (33)$$

$$Im(M) = -339 - 193.67x - 49.77x^2 + 6.979x^3 - 0.5243x^4 + 0.01672x^5 + 180.42e^{-x} - 0.00146e^x - 0.2741\ln x \quad (\mu H/km) \quad (34)$$

$x > 10$ 일때,

$$Re(M) = 0 \quad (35)$$

$$Im(M) = \frac{400}{x^2} (\mu H/km) \quad (36)$$

V. 수치 결과

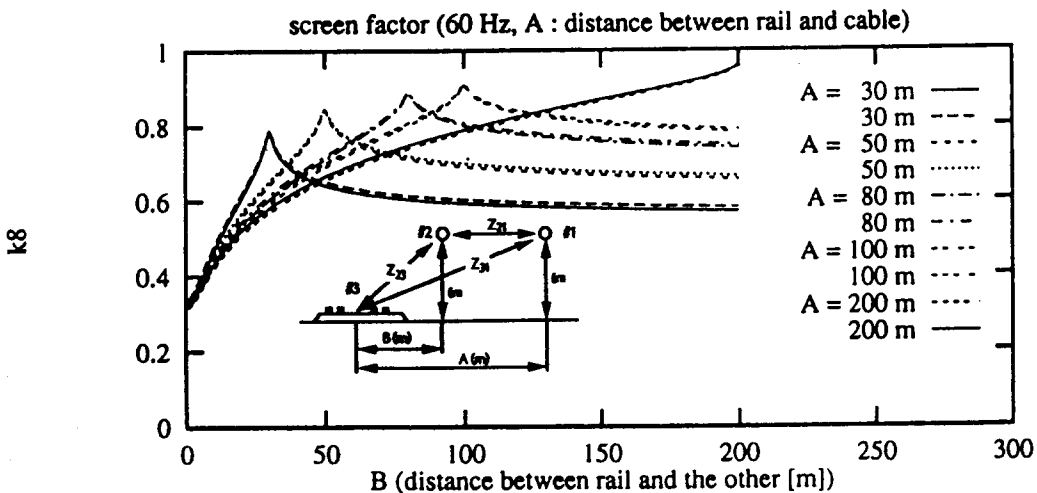
1. 일반적인 차폐 (타케조 효과 : k8)

수치결과를 검증하기 위하여 일반적인 차폐도체 중

의 하나인 레일에 대한 차폐효과를 일본의 결과와 [그림 5]에 비교하였다. 레일에 의한 차폐를 타케조 효과라고하며 k8로 표시한다. 그림에서 보인 바와 같이 $A = 30m$ 라고 표시한 곡선은 일본의 유도에 있는 수치결과이며, $30m$ 라고 표시한 곡선은 같은 조건하에 식 (7)에 적절한 입력을 대입하여 계산한 값이다. 이 두가지 방법에 의한 결과는 거의 일치한다. 각 경우 통신선이 전력선위에 위치할 경우에 가장 좋지 않은 차폐효과를 나타내며, 그림에서 보인 바와 같이 차폐는 거리 A가 감소할수록 좋은 효과를 나타내며, 통신선이 전력선으로부터 멀리 떨어질수록 좋은 결과를 나타냄을 알 수 있다.

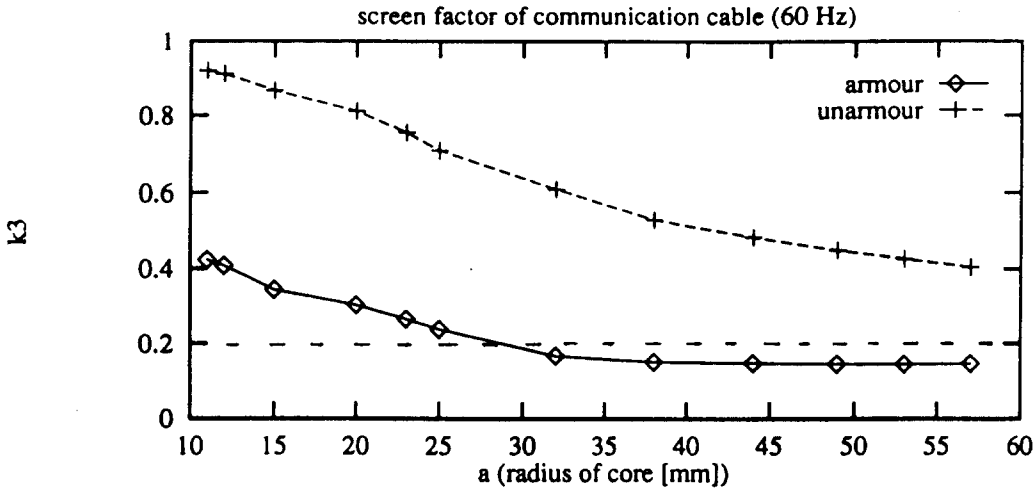
2. 통신선의 차폐계수 (k3, k3n)

통신선의 외장에 의한 차폐계수를 통신선의 차폐계수라고 하며, 기본주파수 (60 Hz)에서는 k3, 고조파 (800 Hz)에서는 k3n으로 표시한다. 또한, 통신선의 차폐는 일반적으로 통신선외장 자체에 의한 차폐와 통신선을 보호하기 위하여 강대외장 (armour)를 하는 경우가 있으며, 강대 외장의 효과는 강대의 자성체에 의하여 자기 및 상호임피던스가 증가하여 차폐를 좋게한다.



$$\sigma = 10^{-2} \text{ s/m}$$

[그림 5] 레일에 의한 60Hz의 차폐계수(k8, 60Hz)

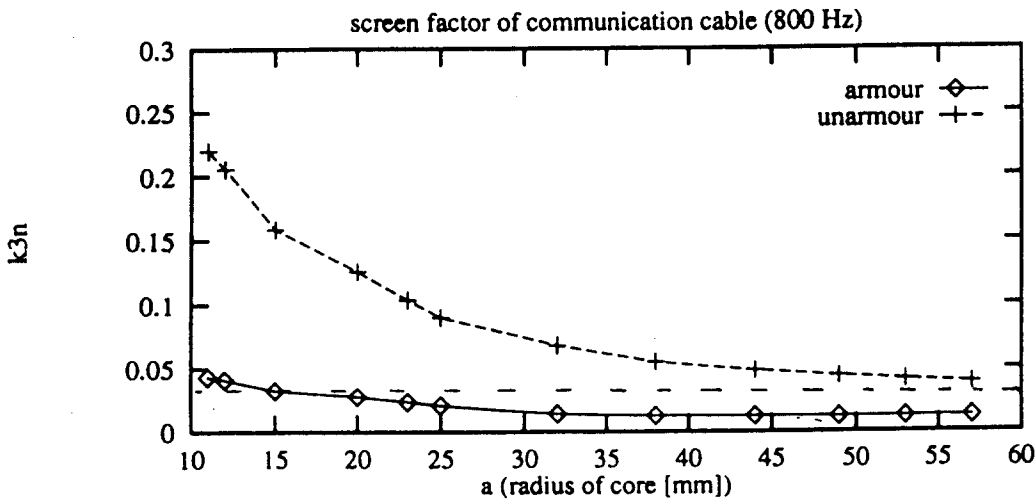


$$\sigma = 10^{-3} \text{ s/m} \quad R_A + R_B = 0 \ \Omega$$

[그림 6] F/S절연 연알미늄 웬만텔외피 강대외장케이블(15%차폐)의 60 Hz의 차폐계수

F/S절연 연알미늄 웬만텔외피 강대외장케이블(15%차폐)의 60 Hz의 차폐계수를 케이블의 심경에 따라 [그림 6]에 도시하였다. [그림 6]에 보인 바와 같이 심선의 반경이 커짐에 따라 차폐효과가 좋아짐을 알 수 있다. 이 케이블의 경우 심선의 반경이 약 30 mm이상

의 케이블은 체신부고시에서 정한 차폐계수 0.2보다 좋은 차폐를 가지며, 심선의 반경이 약 20 mm이하일 경우는 체신부고시보다 좋지 않은 값을 가진다. 이 결과는 차폐효과에서 식 (21)에서 보인 바와 같이 외장의 직류저항 R_s 의 영향을 나타내며, 심선의 반경이 작은

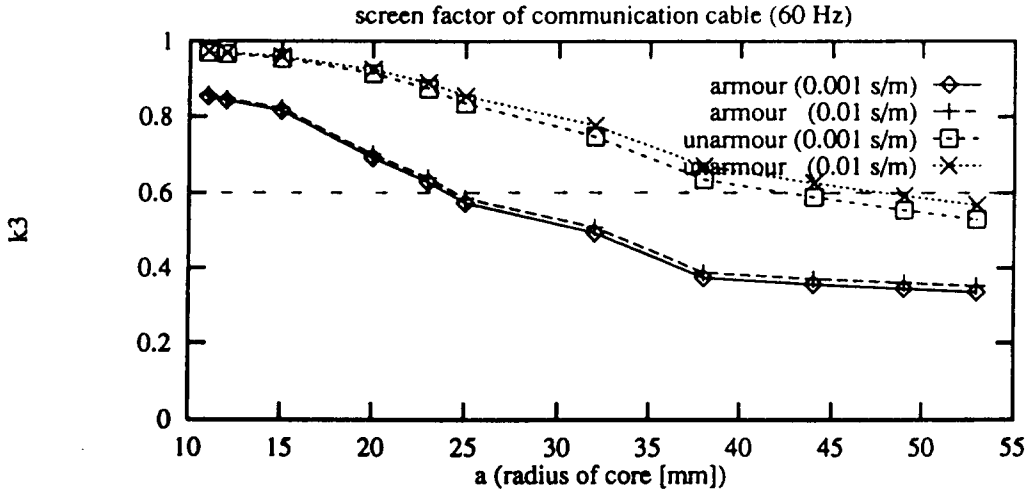


$$\sigma = 10^{-3} \text{ s/m} \quad R_A + R_B = 0 \ \Omega$$

[그림 7] F/S절연 연알미늄 웬만텔외피 강대외장케이블(15%차폐)의 800 Hz의 차폐계수

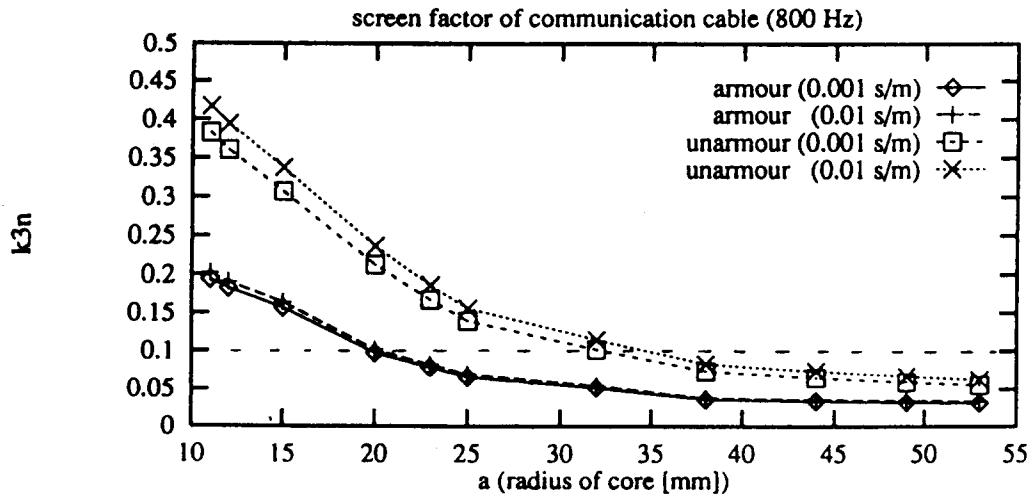
경우는 시스의 직류저항이 커플링되는 자기임피던스에 비하여 매우 크기 때문에 차폐효과가 작다. [그림 6]에서 보인 바와 같이 강대의장을 하면 강대의장을 하지 않은 경우에 비하여 차폐효과가 매우 좋아짐을 알 수

있다. 이는 강대가 또 다른 차폐도체로 작용하여 자기 및 상호임피던스를 증가시키기 때문이다. [그림 7]에 보인 바와 같이 800 Hz의 경우 차폐계수는 대부분의 케이블이 체신부고시에서 정한 값 0.03을 만족한다. 그러



$$R_A + R_B = 0 \Omega$$

[그림 8] 대지전도율이 변화할 때의 F/ S절연 연알미늄 웬만텔외피 강재외장케이블(50%차폐)의 60Hz의 차폐계수



$$R_A + R_B = 0 \Omega$$

[그림 9] 대지전도율이 변화할 때의 F/ S절연 연알미늄 웬만텔외피 강재외장케이블(50%차폐)의 800Hz의 차폐계수

나, 800 Hz의 경우에는 강대의 효과가 60 Hz에 비하여 작음을 알 수 있으며, 그 이유는 케이블 외장에 의한 차폐효과가 60 Hz에 비하여 매우 크기 때문에 강대의 효과가 60 Hz에 비하여 잘 나타나지 않기 때문이다.

통신선의 차폐계수는 주파수가 증가함에 따라 증가한다. 이는 케이블의 자기임피던스의 인덕턴스성분은 주파수가 증가함에 따라 단조 증가하지만 직류저항은 변하지 않기 때문에 케이블에 관련된 차폐효과는 주파수가 증가함에 따라 증가한다.

[그림 8]와 [그림 9]은 차폐계수 k_3 와 k_{3n} 이 대지전도율에 따라 변화하는 양을 도시하였다. 그림에서 보인 바와 같이 대지전도율 $\sigma = 0.001 \text{ s/m}$ 와 $\sigma = 0.01 \text{ s/m}$ 일 때의 통신선에 의한 차폐계수는 거의 변화하지 않는다. 그러므로 대지전도율이 지역에 따라 아주 크게 변화하지 않는 한 통신선의 차폐에 큰 영향을 주지 못한다.

3. 케이블조수에 의한 차폐계수 (k_7)

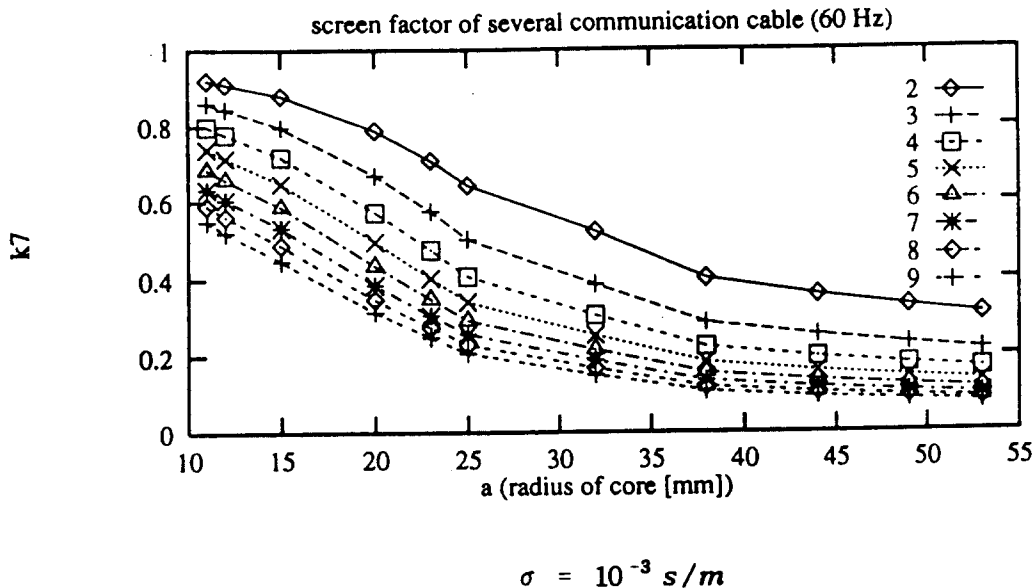
통신선이 여러 개 존재할 때 통신선 상호간의 차폐효과를 통신선의 케이블조수에 의한 차폐계수라고 하며,

k_7 이라 표시한다. F/S절연 연알미늄 웬말텔외피 케이블에 의한 케이블조수에 의한 차폐계수를 [그림 10]에 나타냈다. 위의 결과는 체신부고시에 나타낸 값 보다 월등히 좋은 차폐를 나타낸다. 체신부고시 값은 아래 표와 같다. 이 결과는 차폐효과가 자신의 케이블뿐만 아니라 인접한 케이블에 의하여도 강하게 나타난다는 것을 의미한다. 이것은 인덕턴스커플링의 경우에 당연한 결과이다.

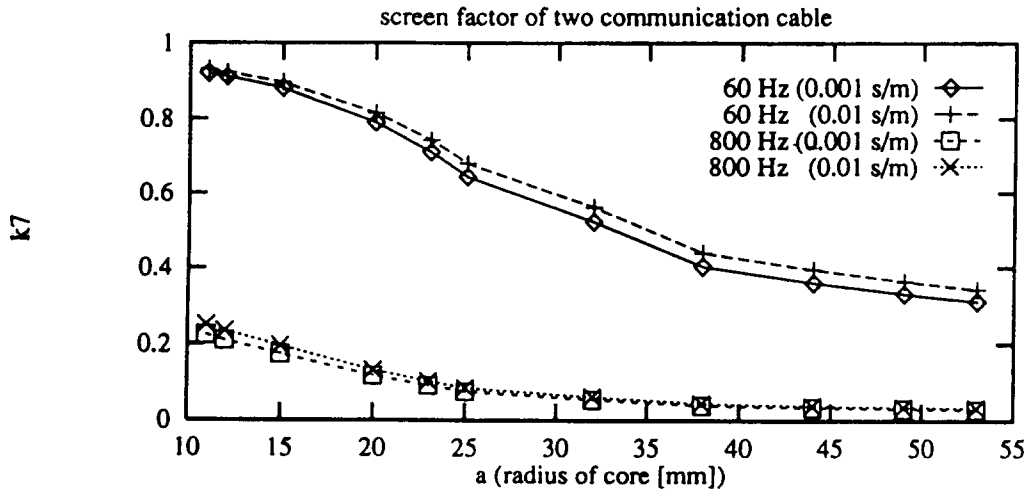
<표 1> 전기통신선의 케이블조수에 의한 유도결합계수(k_7)

구 분	케 이 블 조 수							
	2	3	4	5	6	7	8	9
지 하 관 로 내 케 이 블	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
강 대 외 장 케 이 블	0.85	0.75						

[그림 11]에 대지전도율이 변화할 때의 케이블조수에 의한 차폐계수 k_7 을 도시하였다. 이 경우 케이블조수가 2개일 때 60 Hz에 대한 그래프를 나타냈다. 그림에서 보인 바와 같이 대지전도율이 10배 변화할 때에



[그림 10] F/S절연 연알미늄 웬말텔외피 케이블의 케이블조수에 의한 차폐계수(k_7 , 60Hz)



$$\sigma = 10^{-3} \text{ s/m}$$

[그림 11] 대지전도율이 변화할 때의 F/S절연 연알마뚀 웬만텔외피 케이블의 케이블조수에 의한 차폐계수(k7, 60Hz)

도 차폐계수 k7은 거의 변화가 없다. 그러므로 케이블 조수에 의한 차폐는 k3와 같이 대지전도율에 대한 고려는 필요없다.

크게 변화하지 않는 한 통신선에 대한 차폐에 중요한 요소가 되지 않는다.

VI. 결 론

기유도선과 통신선 근처에 있는 접지된 도체에 의한 통신선의 차폐계수를 산출하였다. 차폐계수는 자기 및 상호임피던스의 함수로 나타나며, 자기 및 상호임피던스는 Carson-Pollaczek의 공식을 사용하여 구하였다.

통신선의 차폐는 통신선의 반경이 클수록 좋은 차폐 효과를 나타내며, 반경이 커지면 강대 외장케이블의 경우는 일정한 값으로 수렴하는 현상을 나타내며, 도체의 장만이 있는 통신케이블은 반경이 커짐에 따라 차폐효과는 단조 증가현상을 나타낸다. 또한, 기본주파수 (60 Hz)에서는 강대외장의 효과가 주로 나타나며, 고조파 (800 Hz)의 경우는 강대외장의 효과와 도체외장에 의한 효과가 같이 중요한 요소가 된다. 주파수가 증가하면 자기 및 상호임피던스의 리액티브성분이 증가하여 차폐효과는 개선되며, 대지전도율은 지역에 따라 아주

참 고 문 헌

- [1]. "A handbook series on electromagnetic interference and compatibility (12 Vols)," Interference control technologies, Inc., 1988.
- [2] "Directives (9 Vols)," The international telegraph and telephone consultative committee, 1989.
- [3] "誘導 (上, 下)," 電氣通信協會東海支部
- [4] "Electromagnetic Compatibility Handbook - EMC 設計對策," 日本工業 技術센터.
- [5] H.G. Root, "Earth-Currents on Communication-Cable Power Subsystems," IEEE Trans. EMC, May, 1979.
- [6] "電磁波 障害 技術," 명노훈, 韓國電磁波技術學會, 1992.