'94 대한전기학회 추계학술대회 논문집(1994. 11. 18)

# 통신용 차폐케이블의 접지방안 개선

[0] 오 호 석, 이 현 영
한국통신 선로기술연구소

# Improvement of Grounding for the Armoured Communication Cables

[0] H. S. Oh, H. Y. Lee
Outside Plant Technology Laboratory, Korea Telecom

**ABSTRACT**

This paper presents the structures, characteristics and shield factor of armoured communication cables used against power induction problems. The decision methods of grounding resistance and calculation formulas of shield factor are considered and improvement methods of domestic installation practice are presented.

## 1. 머리말

낙뢰나 인접된 전력선으로부터 전자기적 영향에 의해 통신시스템에 잡음이 발생하기도 하고 오동작을 일으키며 심한 경우에는 통신기기의 파손 및 인명피해를 발생시키기도 한다.

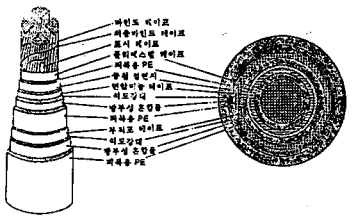
전력유도대책에는 여러가지가 있지만 일반적으로 통신차폐케이블(이하 차폐케이블)을 사용하는 대책이 가장 널리 사용되고 있다. 차폐라 함은 유도원으로 부터 발생하는 자장과 크기는 같고 방향이 반대인 자장을 발생시켜 통신선에 유기되는 유도전압을 상쇄시키는 것을 의미한다. 차폐케이블은 이러한 효과가 잘 발휘되도록 케이블 외피를 전도성이 좋은 금속과 투자율이 높은 자성체로 구성하고 이 금속층을 케이블 양단에서 낮은 접지저항으로 접지시켜 케이블 심선에 유도된 전압과 역방향의 전압이 발생되도록 제작된 케이블을 말한다.

본 고에서는 국내 차폐케이블의 구조 및 특성, 차폐계수의 결정 방법 그리고 접지저항의 결정 방법 등에 대해 고찰하고 국내의 차폐케이블 설치공법의 개선 방향을 제시하였다.

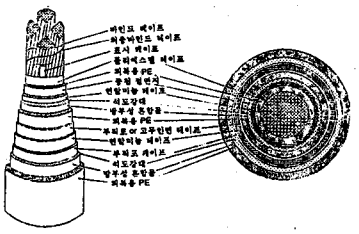
## 2. 국내 차폐케이블의 구조 및 특성

전자유도대책용 차폐케이블의 시스(sheath)의 구조를 살펴보면 내층은 도전율이 양호한 도체이고외층은 자성체로 투자율이 높은 강대외장으로 되어 있다. 국내에서 사용되고 있는 차폐케이블은 외장별 구조에 따라 50% 차폐케이블과 15% 차폐케이블 등 2종류로 구분된다.((그림1)과 (그림2) 참조)

차폐케이블은 자성체의 재료, 두께등에 의해 고유 차폐특성이 결정되며, 설치후의 실질적인 차폐계수는 접지저항과 도전층의 직류저항 및 자성체층에 의해 영향을 받는다. 자성체인 강대의 형태는 강대 2층을 균등하게 감아놓은 것, 즉 첫번째 강대는 강대넓이의 약 1/3 간격을 두고 나선형으로 감고 그 위에 내측강대의 간격을 완전히 덮히도록 두번째 강대를 역시 나선형으로 동일방향으로 감아놓은 구조와 강대를 중첩하여 원관상으로 형성하고 접합부를 용접한 후 나선형 파상 주름을 잡은 구조 2가지가 있다. 내층의 알루미늄은 케이블 심선수에 따라서 주름형으로 하기도 하고 평판형으로 하기도 한다. 국내 주요 차폐케이블의 종류는 <표 1>과 같다.



(그림 1) 50% 차폐용(F/S 절연 스탈페스 강대외장케이블 구조도)



(그림 2) 15% 차폐용 (F/S 절연 스탈페스 연알미늄 스트립 강대외장케이블)

<표 1> 국내 주요 차폐케이블의 종류

| 구 분 | 비 고 |
|---|---|
| 15% JF케이블 | 폼스킨 절연 젤리충전 스탈페스 연알루미늄 스트립 강대외장 케이블 |
| 50% JF케이블 | 폼스킨 절연 젤리충전 스탈페스 강대외장 케이블 |
| 15% FS케이블 | 폼스킨 절연 연알루미늄 및 강테잎덮힘강대외장케이블 |
| 50% FS케이블 | 폼스킨 절연 동대 및 강테잎덮힘 외피 케이블 |
| 15% 반송케이블 | PCM 선로에 사용되는 스크린 스탈페스 연알루미늄 스트립 강대외장 케이블 |
| 50% 반송케이블 | PCM 선로에 사용되는 스크린 스탈페스 강대외장케이블 |

## 3. 차폐 외피구조와 차폐계수의 기본 관계

통신선의 전자유도에 대한 차폐효과를 얻기위하여 금속외피층을 양단에서 접지하는 방법을 사용하고 있다. 차폐계수(K)는 차폐층이 있는 경우의 유도전압 $Vl$과, 없는 경우의 유도전압 $El$( $l$은 전력선과의 평행길이)의 비로써 다음 식으로 나타낸다[1].

$$K = \frac{V \cdot l}{E \cdot l} = \frac{(Z - Z_m) \cdot I \cdot l}{Z \cdot I \cdot l} = 1 - \frac{Z_m}{Z} \qquad (1)$$

$Z$ : 차폐층의 단위길이당 대지귀로 자기임피던스 [Ω/km]

$Z_m$ : 통신선과 차폐층의 단위길이당 대지귀로 상호임피던스 [Ω/km]

I : 차폐층에 흐르는 대지귀로 전류

여기서 $\frac{Z_m}{Z}$ 이 차폐효과를 나타내는 항이며, 식(1)에서 알 수 있듯이 이 값이 클수록 차폐계수는 작아진다.(즉 차폐효과는 커진다) $Z$, $Z_m$ 은 다음 식으로 나타내진다.

$$Z = R_s + Z_E + Z_A + \frac{R_{e1} + R_{e2}}{l}$$

$$Z_m = Z_E + Z_A$$

여기서

$R_s$ : 도전층의 직류저항 [Ω/km]

$Z_E$ : 차폐층의 대지귀로 외부임피던스 [Ω/km]

$R_{e1}$, $R_{e2}$ : 케이블 양단말 접지저항 [Ω]

$l$ : 케이블 길이 [km]

$Z_A$ : 강대의 부가임피던스(= $r_a + x_a$)

$r_a$ : 강대의 손실저항 [Ω/km]

$x_a$ : 강대내의 자속에 의한 리액턴스 [Ω/km]

이다. 따라서 차폐케이블의 차폐계수는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$K = \frac{R_s + \frac{R_{e1} + R_{e2}}{l}}{R_s + Z_E + Z_A + \frac{R_{e1} + R_{e2}}{l}} \qquad (2)$$

양호한 차폐계수를 얻기 위해서는 도전층의 직류저항을 작게하고, 강대의 부가 임피던스를 크게하는 것이 바람직하다. 강대의 부가임피던스를 구하기 위해 (그림3)을 이용한다. 이것은 강대의 부가임피던스가 차폐층 전류의 함수임을 의미하며 $r_A/P$ 와 $x_A/P$ 에 대한 $I_s/r_m$ 과의 관계를 나타내고 여기서, P는 식(3)과 같이 정의한다[2].

$$P = \frac{\frac{3}{2} \cdot t \cdot f}{r_m} \qquad (3)$$

여기서

t : 강대의 두께 (cm)

$r_m$ : 강대층의 평균반경 (cm)

f : 주파수 (Hz)

다음에 (그림3)에 나타난 $X_A/P$의 설명을 하자면, 시스에 전류 I가 흐를때 그 외측의 자계 H는

$$H = \frac{I}{2\pi r_m}$$

이고, 자속밀도 B는

$$B = \mu H = \frac{\mu I}{2\pi r_m}$$

이다(여기서 $\mu$는 강대의 투자율). 강대의 두께를 t로 하면, 강대내의 단위 길이당 자속 $\Phi$는

$$\Phi = Bt = \frac{t\mu I}{2\pi r_m}$$

이다. 강대의 자속에 의한 자기인덕턴스 $L_A$ 는

$$L_A = \frac{\Phi}{I} = \frac{t\mu}{2\pi r_m}$$

이다. 또한 자기임피던스 $X_A = \omega L_A$ 이기 때문에

$$X_A = \frac{t\mu f}{r_m}$$

이고, 강대가 2매인 경우

$$X_A = \frac{2t\mu f}{r_m}$$

이다. 그러나 실제의 케이블에서는 강대를 1/3 의 겹(gap)으로 감기때문에 점적율을 $k_s$ 로 하면 강대의 감는 피치는 강대의 4/3배로 되기 때문에 $k_s = 3/4$ 가 된다. 따라서

$$X_A = \frac{2t\mu f k_s}{r_m}$$

$$\mu = \frac{r_m X_A}{2tfk_s} = \frac{X_A}{\frac{2tfk_s}{r_m}} = \frac{X_A}{P}$$

그러므로

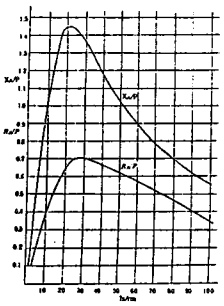
$$P = \frac{2tfk_s}{r_m} = \frac{\frac{3}{2}ft}{r_m}$$

이 된다. 단, 식(3)은 강대2층을 균등하게 감아놓은 구조에 한해 이용될 수 있다. 그리고 전류 I와 전계강도 E(V/km)와의 관계

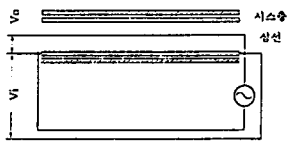
는 식(4)와 같이 계산할 수 있다.

$$E = I\sqrt{(R_s+\frac{R_{s1}+R_{s2}}{l}+r_a)^2 + (Z_E+x_a)^2} \qquad (4)$$

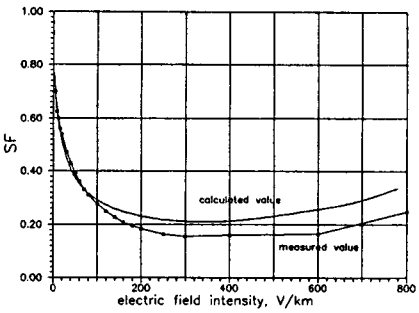
이상의 계산식의 타당성을 검토하기 위하여 국내에서 생산되는 F/S 절연 스탈페스 강대외장케이블(0.4×600p 50%차폐)과 F/S 절연 스탈페스 연알미늄 스트립 강대외장케이블(0.5×300p 15%차폐)을 대상으로 차폐계수를 계산하고 실측치와 비교 검토하였다. 실측은 5m 의 시료를 대상으로 (그림4)와 같이 전심선과 차폐층을 common시키고 다른 1단의 차폐층과 심선은 개방시킨 후 차폐층에 $V_0$의 전압을 인가했을때 심선에 유기되는 전압 $V_i$를 측정하여 차폐계수 $V_i/V_0$ 를 계산한다((그림5)와 (그림6) 참조). 50% 차폐케이블의 경우 계산식에서 석도강대의 효과가 배제되었다. 왜냐하면 석도강대는 스틸(steel)에 주석을 도금한 것으로 원통형이고 두께가 0.018cm이기 때문에 식(3)을 이용하여 0.08cm의 2중 강대의 효과를 계산하는데 있어 이를 고려하기가 곤란하였기 때문에 배제하였다. 만약 이를 고려한다면 이 석도강대의 효과도 나타날 수 있을 것이다. 그러나 이 결과를 통해서 300V/km의 전계강도에서 50%와 15%차폐케이블 각각 5%, 1%의 차이를 나타내기 때문에 상기 계산식이 타당함을 보여주고 있다.



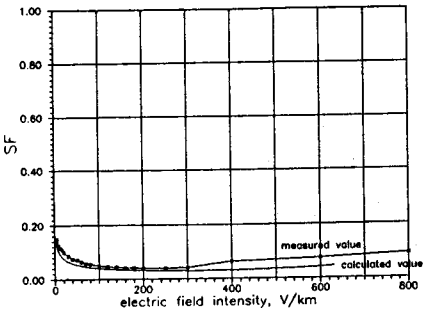
(그림 3) $r_a/P$ 와 $x_a/P$ 에 대한 $I_s/r_m$ 의 관계곡선




(그림 4) 차폐계수 측정회로도




(그림 5) F/S 절연 스탈페스 강대외장케이블(50%차폐)의 측정값과 이론값의 비교



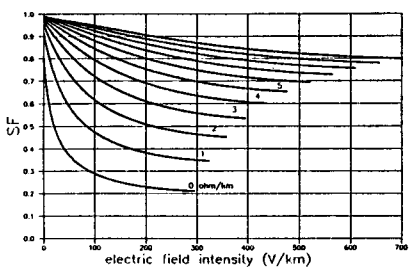

(그림 6) F/S 절연 스탈페스 연알미늄 스트립 강대외장케이블 (15%차폐)의 측정값과 이론값의 비교

## 4. 접지저항의 결정방법

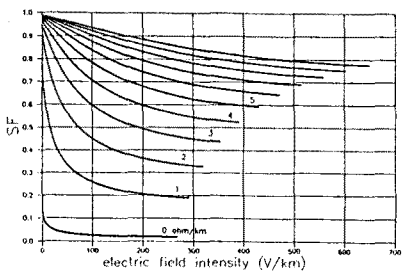
### 4.1 접지저항에 따른 차폐계수

앞절에서 설명한 바와 같이 케이블의 차폐계수는 차폐케이블의 구조 및 재질외에 접지저항과 시스에 흐르는 전류 또는 유도되는 전계강도에 따라 결정된다. 차폐케이블의 구조 및 재질은 거의 변동이 없으므로 차폐계수는 접지저항에 가장 큰 영향을 받는다. 즉 도전층의 직류저항을 작게 하더라도 접지저항이 크면 차폐계수는 작아지지 않으며, 접지저항이 작을수록 높은 차폐효과를 가질 수가 있다. 이와같이 차폐케이블은 양단말에서 낮은 접지저항이 요구되기 때문에 접지공사에 많은 비용이 소모된다. 특히 산간지역과 같이 대지비저항이 매우 높은 지역에서 접지저항을 낮게 유지하는 것은 매우 곤란하기 때문에 적당한 접지방법과 접지저항치을 결정하는 것은 매우 중요하다.

(그림7)와 (그림8)은 앞절의 계산식을 이용하여 양단말 합성저항을 0 Ω/km에서 10Ω/km 까지 변화하였을 때, 50%, 15% 차폐케이블의 차폐특성곡선이며 1km당 유도되는 전압과 케이블의 양단말 접지저항에 의해 차폐계수가 상이한 것을 가리키고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 차폐계수는 주로 접지저항에 의하여 영향을 받으므로 현재와 같이 유도여건에 따른 접지저항을 고려하지 않은 일률적인 접지법은 개선이 필요하다.




(그림 7) F/S 절연 스탈페스 강대외장케이블(50%차폐)의 접지저항에 따른 차폐계수




(그림 8) F/S 질연 스탈페스 연알미늄 스트립 강대외장케이블 (15%차폐)의 접지저항에 따른 차폐계수

4.2 접지저항의 산출

차폐케이블의 양단말접지저항 산출은 유도전압, 노출구간길이, 유도위험전압 제한치 등을 복합적으로 고려하여 다음의 절차에 따라 구하는 것이 바람직하다.

(1) 소요차폐계수의 계산 : 소요차폐계수는 유도위험전압 제한치(430V또는 650V)를 유도전압으로 나눈 값.

(2) 전계강도의 계산 : 유도전압을 차폐케이블의 길이로 나눈 값. 단위는 (V/km).

(3) 1 km 당 접지저항 ( $\frac{R_{e1}+R_{e2}}{l}$ ) : (그림7), (그림8)과 같은 차폐케이블의 차폐특성곡선을 이용하여 앞의 (1)과(2)로 부터 구한 소요차폐계수와 전계강도를 각각 세로축과 가로축으로 부터 취하여 그 교차점에서 1 km 당의 접지저항(Ω/km)을 구한다.

(4) 양단말의 합성저항 : (3)에서 구한 1 km당의 접지저항에서 차폐케이블의 길이를 곱한것이 접지저항( $R_{e1}+R_{e2}$) 이 된다.

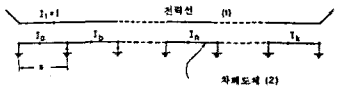
(5) 각 단말의 접지저항은 (4)에서 구한 합성저항의 1/2 이하로 한다. 1/2 씩의 접지저항을 취하는 것이 곤란한 경우에는 양단말의 접지저항의 합이 소요합성접지저항 이하가 되도록 배분해도 좋다.

## 5. 다점접지의 효과

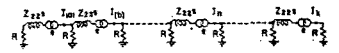
대개의 케이블은 양단말에서 케이블 차폐층을 저저항으로 접지를 시키고 있고 보안상의 목적으로 중간에 접지를 취하고 있다. 국내 차폐케이블의 경우 표준공법(통신접지)에서 양단말 합성저항을 2 Ω/Km, 그리고 300-500 m 마다 10 Ω 이하의 보안접지를 하도록 되어 있다. 이 중간접지는 차폐효과에 영향을 미치고 있고 이를 등간격 다점접지방식으로 고려할 수가 있다. 이와 유사하게 차폐층이 대지에 완전히 접지되어 있다면 이를 분포접지방식으로 분류할 수가 있다. 그러나 보통 케이블은 외피가 절연체인 폴리에틸렌으로 싸이있고, PVC 관로내에 있으며 접속점에서 접지를 하고 있기 때문에 분포접지 방식은 거의 존재하지 않는다. (그림9)(a)는 같은 저항으로 등간격 다점접지된 차폐방식을 보이주고 있다. (그림9)(b)는 이를 등가적으로 나타낸 것이며 (그림9)(c)는 접지가 매우 많이 되어 있을때 각 구간에 흐르는 전류분포를 보여주고 있다.

차폐케이블의 차폐계수는 차폐층에 흐르는 전류에 의해 변화한다는 것은 앞에서도 언급한 바 있으며, 다점접지하였을 경우 차폐층에 흐르는 전류는 (그림9)(c)와 같이 케이블 길이 방향으로 일정하지 않고, 접지저항이 일정하다면 중간지점에서 최대로 흐르는 분포를 갖는다. 따라서 각 구간에 흐르는 전류에 의해 차폐층 강대의 자기임피던스도 일정하지 않다. 즉 자성체층을 가지는 차폐층의 자기임피던스 및 심선과 차폐층간의 상호임피던스가 차폐층에 흐르는 전류에 의해서 변화하기 때문에 이에 대응하는 자기임피던스와 상호임피던스를 구해 각 구간에 대응하는 차폐계수를 구하여야 한다.

실제로 이러한 계산은 매우 복잡하기 때문에 차폐케이블의 특성을 결정하기 위해서는 각 구간의 전류의 변화가 작으며, 임피던스가 변화하지 않는다고 간주되는 경우를 생각하는 것이 편리하다[1]. 이러한 경우 차폐계수를 계산할 수 있는 식들이 참고문헌 [1][3][4][5][6]에 제시되어 있다. 여기에 제시된 식들은 다점접지된 케이블을 분포접지된 케이블로 고려한 것이고 접지저항이 일정한 경우를 택하여 정의된 식이다. 단 CCITT에 적용된 식은 중간접지저항은 일정하고 양단 접지저항이 다른 경우에 적용할 수 있는 식을 제시하였지만 그 차가 적어도 10배 이상이 되면 예상되는 결과와 매우 상이한 결과를 초래한다. 예를 들어 중간접지저항이 100 Ω 이고 단말 저항이 1 Ω 이면 양단접지만 있는 것으로 가정할 수 있는데 그 결과는 단말 접지저항이 매우 높은 결과를 보인다. 이와 같은 예를 제외한다면 식의 형태는 약간씩 다르지만 접지저항이 일정하다고 가정했을 때 여러 문헌에서 제시된 식들의 계산결과는 같거나 유사하다. 하지만 분포접지로 고려하였기 때문에 접지가 많을 수록 보다 정확한 결과를 얻어낼 수가 있을 것이다.

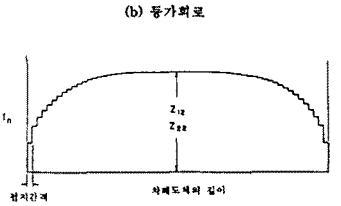



(a) 분포접지된 차폐도체



s = 접지간격(km)
K = 접지간 구간수
e = 차폐도체의 각 구간에 유도된 전압
Zs = 차폐도체의 대지귀로 자기임피던스
R = 접지저항
In = n번째 구간에서 차폐도체에 흐르는 전류

(b) 등가회로




(c) 접지구간의 수가 많을때 차폐도체에 흐르는 전류의 변화

(그림 9) 등간격 다점접지 방식

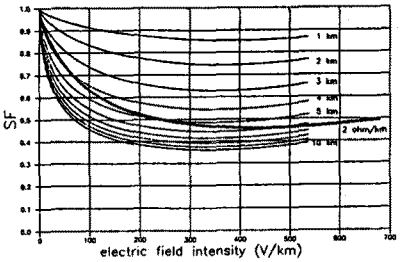
## 6. 국내 차폐케이블의 설치기준 개선점

국내 전력유도대책에서 차폐케이블의 시설은 유도예측계산을 통하여 상시유도전압, 잡음전압 혹은 사고시 위험전압이 초과되었을 때 15% 혹은 50%의 차폐케이블을 이용하여 그 대책을 강구하고 있다. 표준공법(통신접지)에서 차폐케이블은 현재 양단말 합성저항을 2Ω/km, 300 ~ 500 m 마다 10Ω 이하의 보안접지를 하도록 되어 있다. 그러나 (그림7), (그림8)에서 볼 수 있는 것처럼 양단말 합성저항이 2Ω/km 인 경우 원하는 차폐계수를 얻을 수 없음을 알 수 있다. 일본의 경우, 한 예로써 유도종전압 100V/km, 접지저항 2Ω/km 에서 차폐계수 0.3 이하로 정의하고 있는 것과는 달리 국내에서는 전계강도 50V/km 및 250V/km, 접지저항 0Ω/km, 60Hz 에서 15% 혹은 50% 이하의 차폐계수를 가져야 하는 것으로 규정되어 있다. 현재 폼스킨케이블은 위 조건을 충분히 만족하고 있는 구조를 갖고 있기 때문에 규격에서는 이를 명시하고 있지 않다. 그러나 접지저항이 2 Ω/km 인 경우에는 위의 조건을 만족하지 않을 수 있으며, 결국 접지저항 2 Ω/km는 원하는 차폐효과를 얻지 못할 수도 있다는 것이다. 실제로 현행 공법에 따라 보안접지가 500 m 마다 10 Ω 으로 접지되어 있고 양단말 합성저항이 2 Ω/km 인 경우, 50% 차폐케이블에 대하여 1km 에서 10 km 까지 5절에서 제시된 식을 이용하여 계산한 결과와, 양단말 합성저항을 2 Ω/km 로 양단만을 접지한 결과를 (그림10)에 나타내었다. 이 계산 결과로 부터 대략 5 km 까지는 양단만을 2 Ω/km 로 접지한 케이블의 차폐계수가 더 작았으며 그 이상의 길이에 대해서는 다점접지한 케이블이 더 작은 차폐계수를 갖는 것을 알 수가 있다. 즉 케이블의 길이가 길고 중간의 접지수가 많을 수록 효과가 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 중간접지가 케이블의 차폐효과를 저감시키는 것이라기 보다는 짧은 거리에서는 차폐효과에 큰 영향을 끼치지 못한다고 말할 수 있다[5]. 이상의 결과를 통해서 현행의 공법대로 시행한다면 약 5 km 이하의 케이블은 양단말에서만 접지하는 것이 유리한 것을 알 수 있다. 단 접속점에서의 본딩은 완벽하다고 가정을 한다.

결국 일괄적으로 양단말 합성저항을 2 Ω/km 로 한다는 것은 원하는 차폐계수를 얻기위해 부적절하며 적당한 차폐계수를 얻기위해서는 4절에서 언급한데로 유도예측계산을 통하여 얻어진 전계강도로 부터 케이블 특성에 알맞는 접지저항을 결정하는 것이 타당하다. 또한 차폐계수는 양단의 접지저항이 그 효과를 좌우하기 때문에 케이블시스간의 본딩이 완벽하다고 가정하였을 경우 중간에 많은 접지를 취하지 않는 한, 중간의 접지는 사실상 차폐효과에 큰 영향을 끼치지 않으며 보안상의 접지로 10Ω 과 같이 낮은 접지를 할 필요가 없을 것이고 양단말합성저항을 낮게 하므로서 높은 차폐효과를 얻을 수 있을 것이다.

## 7. 결 론

지금까지 전력유도 대책으로 널리 사용되고 있는 차폐케이블에 대한 구조, 접지저항의 결정방법, 다점접지 효과 등에 대해 서술하였고 국내 차폐케이블 시설공법에 대한 개선사항 을 제시하였다. 현행 국내 공법을 고려할때 케이블이 긴 경우에 중간




(그림 10) F/S 절연 스탈페스 강대외장케이블(50%차폐)의 다점접지 효과

접지가 많아지므로 그 효과는 양단만 접지한 경우보다 높게 얻을 수가 있지만 이것은 양단접지저항을 낮추는 것으로도 같은 효과를 얻을 수가 있다. 따라서 대지비저항이 높지 않은 지역에서는 양단말 접지저항을 낮추는 것이 보다 경제적이고, 대지비저항이 높은 지역에서는 보다 많은 중간접지를 시켜 차폐효과를 높일 수가 있기 때문에 이 두가지 경우의 선택은 설치환경에서의 경제성 검토를 통하여 이루어져야 할 것이다. 보다 정확한 차폐계수를 계산하기 위해서는 국내 차폐케이블에 사용되는 강대의 인가 전류에 대한 투자율이 정확히 정의되어 차폐계수 계산에 필요한 강대의 부가임피던스에 대한 그래프가 얻어져야 할 것이고, 다점접지를 하게 되는 경우 각 접지구간마다 차폐층에 흐르는 전류의 분포를 알고 이에 대응하는 차폐계수를 구하는 컴퓨터 프로그램이 활용되어야 할 것이다. 또한 현장 측정을 통해서 그 효과가 확인되어야 할 것이다.

## 참고문헌


[1] 電氣學會·電子情報通信學會, *電子誘導に關最新の動向と課題*, 昭和54年3月.

[2] 電氣通信協會, *誘導*, 昭和45年

[3] BELL SYSTEM PRACTICES AT&TCo Standard, SECTION 873-800-178, Issue 3, November 1974.

[4] CCITT DIRECTIVES VOLUME II, 1989.

[5] 宮下一雄 著, 鐵道通信協會, *誘導問題の考え方*, 昭和56年.

[6] 電氣學會·電子情報通信學會, *電子誘導對策の考え方とそ最新技術*, 昭和62年.