

IEC 96-1 Line Injection Method를 이용한 다 도체 통신케이블 차폐층의 전달임피던스 측정

Measurement of Transfer Impedance on Shielded Multiconductor Telecommunication Cables using IEC 96-1 Line Injection Method

이 현 영 · 오 호 석* · 박 동 철*

Hyun-Young Lee · Ho-Seok Oh* · Dong-Chul Park*

요 약

동(copper) 케이블을 이용한 xDSL 초고속서비스가 널리 보급됨에 따라 외부 전자파에 의한 통신케이블의 전자파 결합특성을 해석하기 위해 케이블 실드층의 전달임피던스가 중요하게 되었다. 본 논문에서는 xDSL 서비스를 제공하기 위해 사용되는 대표적인 형태의 통신케이블에 대해 IEC 96-1의 line injection method를 이용하여 전달임피던스를 측정하였다. 또한 injection line의 위치, 내부 도체의 위치가 전달임피던스에 어떻게 영향을 주는지를 분석하였으며, 이를 근거로 통신케이블의 전달임피던스 특성 모델을 제시하였다.

Abstract

As the high-speed data communications such as xDSL using the existing copper cable come into wide use, the electromagnetic coupling characteristics of telecommunication cables become more significant. In order to describe the screening performance of telecommunication cable, the transfer impedance of cable shield is required. This paper describes the transfer impedance for two types of telecommunication cables using the line injection method of IEC 96-1. Results are analyzed to show how the materials of cable shields, the positioning of the injection line and of the inner conductor of the CUT(Cable Under Test) affect the value of transfer impedance. We then propose the transfer impedance model of telecommunication cable based on the measurements.

Key words : Transfer Impedance, Telecommunication Cable, Multiconductor, xDSL, Electromagnetic Coupling

I. 서 론

최근 인터넷서비스가 급속하게 확산되며 가입자들은 점점 정보를 빠른 속도로 제공받기를 원하고 있다. 이러한 사용자의 요구를 충족시키기 위해 통신 사업자들은 망의 고도화를 추진하고 있으며, 광대역 전송의 병목구간인 가입자망의 광 케이블화를 추진 중이나 이는 막대한 투자비를 필요로 한다.

따라서 FTTH(Fiber To The Home)가 될 때까지

과도기적으로 기존의 전화선을 사용하여 경제적으로 광대역의 데이터를 전송할 수 있는 xDSL(Digital Subscriber Line) 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 ADSL(Asymmetric DSL) 기술은 기존의 동 선로를 이용하여 8 Mbps까지 전송이 가능하며, VDSL(Very high-rate DSL)은 최대 52 Mbps의 전송이 가능하다.

그러나 기존의 전화선을 이용한 고속의 데이터 전송 시에는 심선 간의 누화(cross-talk), 브리지 탭,

(주)KT 운용시스템연구소(Operations Support Laboratory, KT)

*충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20021204-169

· 수정완료일자 : 2003년 2월 17일

RFI(Radio Frequency Interference), 임펄스잡음 등에 의한 영향을 많이 받게 된다. 그 중에서 AM방송과 아마추어 무선(HAM) 주파수에 의해 간섭을 받는 RFI는 xDSL 시스템에서 데이터 속도와 전송거리를 제한하고 시스템의 복잡도를 증가시키게 된다. 그래서 xDSL 가입자에게 고품질의 서비스를 제공하기 위해서는 외부 전자파에 의한 RFI 영향을 줄일 수 있는 케이블 쉴드의 차폐효과가 중요하다.

외부전자파에 노출된 케이블의 외부와 내부회로 간의 전자기적 결합정도는 전달임피던스(transfer impedance)로 표현된다. 케이블의 차폐층이 solid하고 원통형인 경우의 전달임피던스는 Schelkunoff의 수식^[1]에 의해 계산할 수 있으며, 차폐층이 braided 형태인 경우는 일반적으로 측정을 통해 구하게 된다. 지금까지 주로 RF 대역에서 사용되는 케이블의 전달임피던스에 대한 모델링과 측정법에 관하여 많은 연구가 되어 왔고^{[2]~[7]}, 국내에서도 IEC 96-1 표준 측정방법 중 하나인 triaxial 측정법에 따라 동축 케이블의 전달임피던스를 측정하는 사례가 있지만^[8], 기존 전화용으로 사용되는 동 케이블의 고주파영역에서의 전달임피던스에 대한 측정과 분석은 없는 상태이다.

본 논문에서는 측정이 간편하고 측정장치의 재사용이 가능하여 유용한 측정방법으로 알려진 IEC 96-1 Line Injection Method^[9]를 이용하여 차폐층의 구조가 서로 다른 2가지 형태의 동 케이블을 대상으로 xDSL 대역에서의 전달임피던스 측정하였고 그 결과를 분석하였다.

II. 쉴드케이블의 다 도체 전송선 식

전자파에 노출되어 있는 케이블의 내부 도체에 유도된 전압 및 전류를 계산하기 위해서는 1차 선로 정수인 R, L, C, G 와 더불어 전달임피던스를 알아야 한다. 다 도체(multiconductor) 케이블의 전달임피던스를 해석적인 방법에 의해 구하는 것은 매우 어렵기 때문에 측정으로 구하게 된다. 금속체로 쉴드된 다 도체 케이블의 극소부분 등가회로는 그림 1과 같이 표현할 수 있다^[10].

Solid 쉴드에서는 전달어드미턴스의 경우 1 GHz 이하에서는 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에^[9],

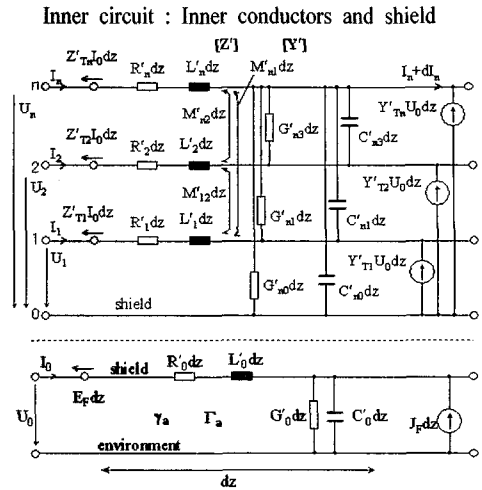


그림 1. 쉴드된 다 도체 케이블의 극소부분 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit of an infinitesimally short part of a shielded multiconductor cable.

다 도체 쉴드케이블의 내부회로의 전송선 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$-\frac{d}{dz} [U(z)] = [Z] [I(z)] - [Z_{Ti} I_0(z)] \quad (1)$$

$$-\frac{d}{dz} [I(z)] = [Y'] [U(z)] \quad (2)$$

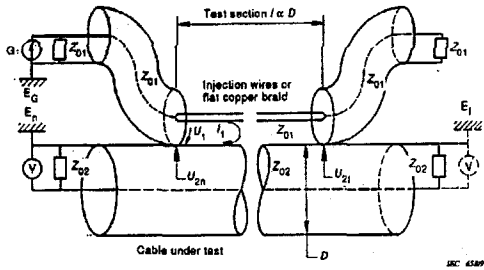
이 식에서 $[U(z)]$ 는 쉴드와 각 내부 도체간의 전압이고 $[I(z)]$ 는 각 내부 도체의 전류이며, $[Z]$ 와 $[Y']$ 는 각각 임피던스, 어드미턴스를 의미한다. 그리고 $[Z_{Ti}]$ 는 전달임피던스이고 $I_0(z)$ 는 외부 전자파에 의해 유기되어 쉴드 외층에 흐르는 전류이다.

III. 측정 방법

3-1 측정회로 구성

일반적으로 RF 동축케이블의 전달임피던스 측정에 많이 사용되는 IEC 96-1 triaxial 측정법은 특성 임피던스가 50 Ω이 되도록 외부 동축의 직경을 설계하여야 하며, 고가이고, 장치의 재활용성이 떨어지는 단점이 있다. 특히 통신케이블과 같이 굵기가 다양하고 쉴드층이 얇은 알루미늄 테이프인 경우에는 이 방법의 사용이 적합하지 않다.

Triaxial 측정의 변형된 형태인 line injection method는 그림 2와 같이 CUT 외부에 종(longitudinal)



n Near End Z_{01} Characteristic impedance of circuit 1
 f Far End Z_{02} Characteristic impedance of circuit 2
 1 Primary G Generator
 2 Secondary V Receiver
 CUT Cable under test E Earthing for coaxial instruments

그림 2. Line injection method 측정장치
 Fig. 2. Test set-up of line injection method.

방향으로 injection line을 접촉시켜 신호를 인가한다. 이때 injection line은 측정기의 동축케이블과 50 Ω 임피던스 정합이 되도록 wire의 가닥 수 또는 동판의 폭을 조절하여 구성한다. 전달임피던스 측정은 injection line과 쉴드 외부로 구성된 1차 회로의 송신신호에 의해 쉴드 내부와 내부 도체로 구성된 2차 회로에 전달된 신호, 즉 전달합수인 A_s 의 측정이라고 할 수 있는데 그림 2의 측정장치를 이용, 식 (3)의 각 항목을 측정하여 구할 수 있다^[9].

$$|Z_{T1}| = \frac{2}{l} \cdot \sqrt{Z_{01} \cdot Z_{02}} \cdot 10^{-A_T/20} \quad [\Omega/m] \quad (3)$$

l : coupling length

Z_{01} : 1차 회로인 injection line의 특성 임피던스

Z_{02} : 2차 회로인 쉴드와 내부도체 간의 특성 임피던스

A_T : $A_S - A_i/2 - A_c/2$

A_S : 1, 2차 회로 간 전달합수

A_i : 1차 회로의 삽입손실

A_c : 2차 회로의 삽입손실

3-2 CUT의 구조

본 논문에서 측정한 케이블은 국내 가입자 계에서 주로 사용되는 케이블로써 F/S(Foam Skin) 케이블과 지절연 케이블 2종류를 선정하였다(그림 3). F/S 케이블의 경우 내부도체 절연이 foam 형태의 폴리에틸렌이고 쉴드층은 0.2 mm 두께의 알루미늄에 폴리머로 코팅되어 있다. 지절연 케이블은 내부도체가 종이로 절연되어 있고 외부의 쉴드층은

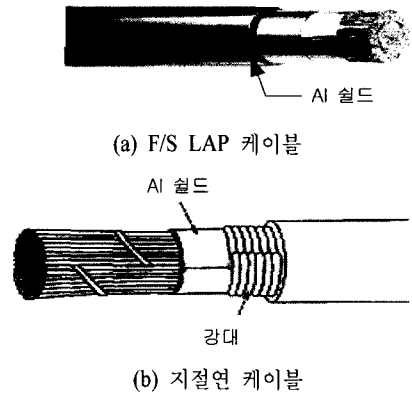


그림 3. CUT의 구조 및 종류
 Fig. 3. Cable Under Test.

0.2 mm의 알루미늄 층과 그 위에 0.18 mm의 주름이 있는 강대(주석 도금된 강철 피)로 다시 둘러싸인 2층 구조이다.

쉴드층의 종류에 따른 특성의 차이를 알아보기 위해 직경이 동일함(1.1 cm)인 지절연 케이블과 F/S 케이블을 측정하였고, 내부 도체의 위치 및 injection line의 위치에 따른 전달임피던스 경향을 측정하기 위해 직경이 2.5 cm인 300회선용 F/S케이블을 사용하였다. CUT의 길이는 측정주파수의 $\lambda/10$ (30 MHz의 경우 100 cm)이하로 하라는 권고에 따라 전체 길이는 100 cm, injection line과 결합되는 길이는 50 cm로 구성하였다.

IV. 전달임피던스의 측정 및 분석

Line injection method는 10 kHz~3 GHz 대역까지 측정할 수 있는 것으로 알려져 있지만 본 논문에서는 VDSL 서비스 대역인 30 kHz~30 MHz에 대해 측정하였다.

4-1 특성 임피던스

1차 회로의 임피던스는 동축 케이블의 특성임피던스인 50 Ω에 정합시키기 위해 injection wire의 폭을 조정하여 쉴드와의 임피던스가 50 Ω이 되도록 구성하였다. 2차 회로인 케이블 내부 도체와 쉴드 사이의 특성임피던스를 측정한 결과 그림 4와 같이 쉴드층의 종류에 관계없이 측정 대상 케이블의 굵기에 따라 약간의 차이가 있지만 관심 주파수 대

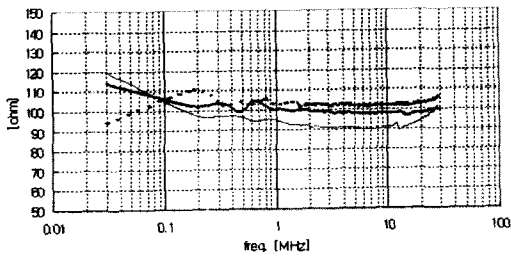


그림 4. 측정된 CUT의 특성임피던스
Fig. 4. Characteristic impedance of CUT.

역에서 $100 \pm 10 \Omega$ 으로 측정되었다. 2차 회로의 중단은 특성임피던스와 동일한 것이 바람직하나 대부분의 신호레벨 측정기의 경우 probe가 50Ω 동축케이블로 되어 있어 임피던스 정합을 위한 장치가 필요하지만 식 (3)에서 보듯이 최종 전달임피던스 계산에는 A_s 와 삽입손실 A_c 를 측정하여 반영하므로 2차회로의 양단을 50Ω 으로 중단하여도 최종 전달 임피던스 값에는 영향이 없다. 따라서 측정의 편의성을 위해 50Ω 으로 중단하여 측정하였다.

4-2 내부 도체 및 injection line의 위치에 따른 영향

통신케이블은 회선간의 누화(crosstalk)를 줄이기 위해 한 쌍의 도체가 서로 꼬여(twist) 있고, 25회선의 번들 별로 각 회선이 다시 꼬여져 있다. 또한 각 번들 들은 층별로 다시 꼬여져 케이블 내에서 내부 도체의 위치는 길이 방향에 따라 변화하게 된다. 따라서 수용된 회선 수가 적어 직경이 작은 케이블의 경우에는 쉴드층과 각 내부 도체간의 평균거리가 큰 차이가 없지만, 많은 회선이 수용된 굵은 케이블의 경우 그림 5와 같이 내부 도체의 위치가 다른 층, 즉 내, 외층 어디에 위치하는가에 따라 쉴드와의 거리가 달라지게 된다.

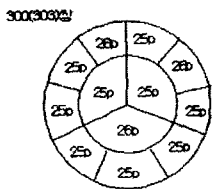


그림 5. 300p F/S 케이블의 번들 구성
Fig. 5. Configuration of inner conductor bundles for F/S-300p cable.

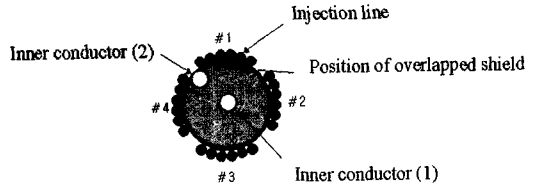


그림 6. F/S 케이블에서의 injection line과 내부 도체의 위치
Fig. 6. Positioning of injection lines and inner conductors for F/S cable.

그림 6은 injection line과 내부 도체의 위치에 따른 차이를 측정하기 위해 F/S 300p 케이블에서 injection line과 내부도체의 위치를 표기한 것이다. Injection line은 쉴드층 중첩된 부분을 중심으로 원주상에 90° 간격으로 4위치를 각각 선택하고, 내부도체는 중심층에 있는 도체와 쉴드층에 가까이 있는 가장 바깥층 도체를 선택하였다.

IEC 96-1에서 "cigarette wrap type", 즉 케이블의 종방향으로 쉴드가 중첩된(overlap) 케이블의 전달 임피던스는 injection line이 중첩부위 위에 있을 때 slot의 영향으로 가장 나쁘게 나타난다고 되어 있다. 이와 동일한 형태인 통신용 F/S 케이블에 대하여 injection line을 그림 6에서와 같이 원주상에서 90° 간격으로 위치를 바꾸어 가며 전달 임피던스를 측정하였다. 측정시 내부 도체는 중심층에 위치한 (1)로 선택하였고 injection line의 위치 #1은 중첩된 쉴드층 위를 나타낸다.

측정결과 그림 7에서 보는 바와 같이 IEC 96-1의 언급과는 반대로 injection line의 위치가 중첩된 #1에 위치할 때의 전달 임피던스가 가장 낮게 나타났다. 이러한 이유는 중첩된 쉴드층의 폭이 약 10 mm로 이 부분에서는 쉴드층의 두께가 다른 부분의 2배인 0.4 mm이며, 중첩된 부분이 열융착에 의해 slot을 무시할 수 있을 정도로 밀착되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 Injection line이 #1에 위치할 경우 그림 8에 나타난 것과 같이 injection line으로부터 인가되는 가장 큰 필드가 바로 아래의 중첩되어 두꺼워진 쉴드층에 의해 내부 회로로의 전달이 더 많이 차단되며 slot을 통한 침투는 무시할 수 있는 것으로 판단된다. 이를 고려할 때 통신용 F/S 케이블의 전달임피던스는 중첩된 부분에 injection line

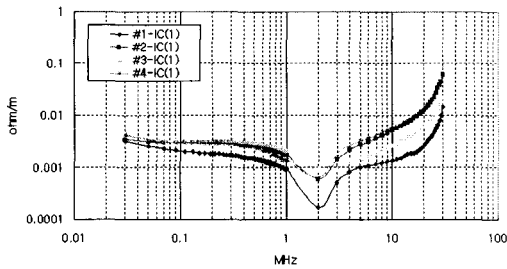


그림 7. 300p F/S 케이블에서의 injection line 위치에 따른 전달임피던스(내부 도체가 (1)일 경우)
 Fig. 7. Transfer impedance of F/S-300p cable for locating of injection lines(for inner conductor(1)).

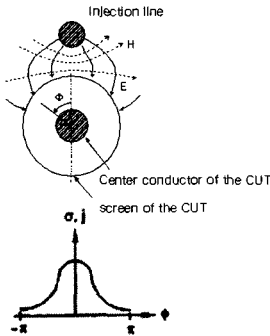


그림 8. 쉴드층의 전하 및 전류분포
 Fig. 8. Distribution of charge and current densities on shield screen.

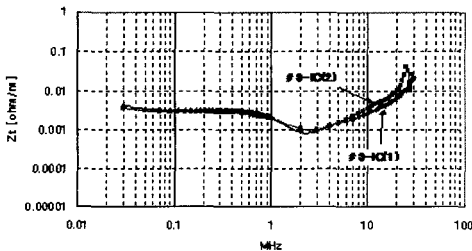


그림 9. 300p F/S 케이블에서의 내부 도체의 위치에 따른 전달임피던스
 Fig. 9. Transfer impedance of F/S-300p cable for positioning of inner conductor.

이 위치할 때의 측정된 값을 제외한 나머지 측정값을 기준으로 판단하는 것이 적합하다.

위에서 설명한대로 직경이 큰 통신케이블의 경우 내부도체의 위치에 따라 쉴드와 도체간의 평균거리가 달라지게 된다. 따라서 쉴드와 도체간의 거리에 따른 전달 임피던스 차이를 알아보기 위해 중심층

의 도체 (1)과 외층의 도체 (2)에 대한 전달임피던스를 측정된 결과 그림 9와 같이 나타났다. 그림에서 보듯이 내부 도체의 위치에 따른 전달임피던스의 변화는 구분할 수 없을 정도로 작음을 알 수 있다. 따라서 전주 위에 가공으로 설치되는 통신케이블은 600p 이하임을 고려할 때 내부 도체의 위치에 따른 전달 임피던스의 차이는 무시하여도 무방할 것이다.

4.3 전달임피던스 측정 및 결과분석

4.2절의 결과를 적용하여 F/S 케이블 3가지와 지절연 케이블에 대한 전달임피던스를 측정결과는 그림 10, 그림 11과 같다. 그림 10에서 굵기에 따른 쉴드층의 DC저항 차이로 2 MHz 이하에서 차이를 보이고 있으며 약 2 MHz 이상에서부터 공통적으로 점차 증가하는 경향을 보이고 있다.

케이블의 차폐층이 solid하고 완전한 원통형인 경우의 전달 임피던스 계산에 사용하는 식 (4)는^[1], 쉴드층이 얇은 F/S 케이블의 경우 그림에서 보듯이 2 MHz 이하에서는 잘 일치하나 그 이상에서는 적

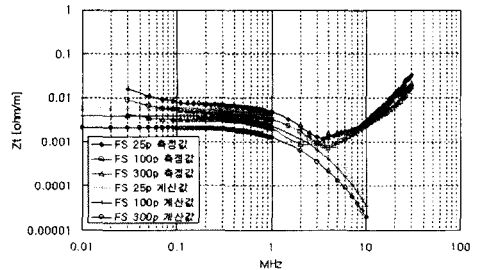


그림 10. F/S 케이블 직경에 따른 전달임피던스
 Fig. 10. Transfer impedance of F/S cable.

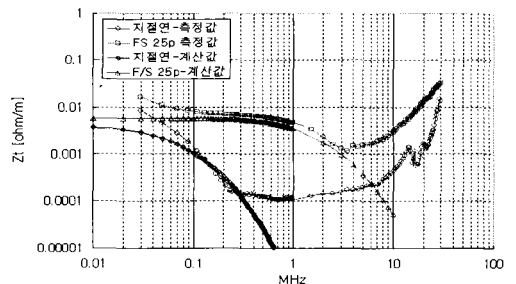


그림 11. F/S 25p 케이블과 지절연 케이블의 전달임피던스
 Fig. 11. Transfer impedance of F/S 25p cable and paper insulated cable.

용할 수가 없음을 알 수 있다.

$$Z_T = R_0 \frac{(1+j)T/\delta}{\sinh(1+j)T/\delta} \quad [\Omega/m] \quad (4)$$

여기에서 R_0 는 차폐층의 dc저항, T 는 차폐층의 두께, δ 는 표피 깊이(skin depth)이다.

그림 11에서는 케이블의 직경은 같지만 쉴드층의 구조 및 재질이 상이한 지절연 케이블의 전달임피던스를 F/S 케이블과 비교한 것이다. 지절연 케이블의 경우 300 kHz 이하에서는 주파수가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소하는데 이는 강대층의 높은 투자율을 고려한 식 (4)의 계산 결과와 일치하고 있다. 지절연 케이블의 쉴드층은 중첩되는 부분이 서로 용접되어 있어 사실상 solid 형태의 차폐층을 이루고 있어 지속적으로 주파수에 따라 감소하는 현상을 보여야 하지만 1 MHz 이상에서 점차 상승하는 현상을 보이는데 이는 차폐층이 용접되어 있기 때문에 완전한 solid 형태의 쉴드층과는 다르게 유도성 특성에 의해 나타날 수 있는 것으로 알려져 있으며^{[2],[11]} 20 MHz 이상에서 급격히 상승하는 현상은 측정 치구와 케이블간의 불완전한 접촉에 의한 leakage 현상에 기인한 것으로 판단된다.

이상의 시험결과를 볼 때 전달임피던스에 영향을 미치는 파라미터는 주로 쉴드층의 재질 및 케이블의 굵기임을 알 수 있다. 한편 일반적으로 solid한 쉴드에 적용하는 계산식은 통신용 케이블의 전달임피던스에 그대로 적용할 수 없으며 단지 지절연 케이블의 경우 300 kHz 이하, F/S 케이블의 경우 2~3 MHz 이내에서만 적용이 가능함을 알 수 있었다. 따라서 그 이상의 주파수에 대해 상승하는 경향을 분석해 보면 F/S케이블의 경우 37 dB/dec 증가하고, 지절연케이블의 경우 1 MHz~10 MHz에서는 10.9 dB/dec 증가하며 10 MHz 이상에서는 F/S케이블과 유사하다.

V. 결 론

본 논문에서는 전기통신케이블을 대상으로 차폐층의 전달임피던스 특성을 VDSL 대역인 30 kHz~30 MHz에 대해 IEC 96-1 line injection method를 이용하여 측정하였다. 측정결과 1 MHz 이하의 저 주파수 대역에서는 쉴드층의 재질, 두께, DC저항에

의해 영향을 받지만 2 MHz 이상에서는 구조적인 특성 및 기타 유도결합으로 인해 점차 상승하는 경향을 보였다. 또한 기존의 중첩케이블의 경우와는 달리 통신케이블의 경우 injection line이 중첩된 부분에 위치할 때 다른 부분에 위치할 때보다 1/2정도 작은 전달임피던스 값을 나타냈다. 이는 중첩된 쉴드층의 영향으로 결합량(coupling) 계산 시 최악의 상황을 고려하므로 이를 제외한 측정값을 적용함이 타당할 것이다. 그리고 내부도체의 위치에 따른 전달임피던스는 케이블 내부도체 꼬임의 영향으로 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있었다. 따라서 편의성을 감안, 중심의 한 도체를 선택하여 측정 후 모든 도체에 동일한 값을 적용하여도 무방한 것으로 판단된다. 케이블의 전자과 결합을 계산할 때 일반적으로 적용하는 Schelkunoff의 식은 통신케이블의 경우 2 MHz 이하에서는 적용 가능하며 그 이상의 주파수에서는 주파수에 따른 상승정도를 linear curve fitting을 이용하여 분석해 보았다.

이러한 측정결과는 기존의 전기통신용 케이블을 이용하여 초고속데이터 서비스를 제공하는데 있어 EMI 영향 평가에 사용될 수 있을 것이다. 한편 본 측정은 케이블 쉴드가 연속된 케이블에 대하여 수행하였으나 실제 현장에 설치된 통신케이블의 경우 접속부분에서는 일부 쉴드층이 존재하는 않는 단절 구간이 존재하므로 이에 따른 영향 등을 고려한 연구가 추가로 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. A. Schelkunoff, "Theory of lines and shields", *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 13, pp. 522-279, 1934.
- [2] Lothar O. Hoefl, "Measured electromagnetic shielding performance of commonly used cables and connectors", *IEEE Transactions on EMC*, vol. 30, no. 3, Aug. 1988.
- [3] Bernhard Eicher, Laurent Boilot, "Very low frequency to 40GHz screening measurements on cables and connectors; line injection method and mode stirred chamber", *IEEE International Symposium on EMC*, 1992.
- [4] Balint T. Szentkuti, "Shielding quality of cables

and connectors: some basics for better understanding of test method", *IEEE International Symposium on EMC*, 1992.

- [5] Lothar O. Hoefft, Joseph S. Hofstra, "Measurement of surface transfer impedance of multi-wire cables, connectors and cables assemblies", *IEEE International Symposium on EMC*, 1992.
- [6] Lothar O. Hoefft, Thomas M. Salas and William D. Prather, "Experimental and theoretical comparison of the line injection and cylindrical test fixture methods for measuring surface transfer impedance of cables", *IEEE International Symposium on EMC*, 1998.
- [7] M. Bluhm, E. Peroglio, G. Pierucci, V. Squizzato and R. E. Zich, "Measurements of transfer impedance with the line injection method on

cables and connectors", *IEEE International Symposium on EMC*, 2000.

- [8] 강진섭 외 3인, "IEC Standard 96-1에 따른 RF케이블의 표면전달 임피던스 측정", 2000년도 춘계 마이크로파 및 전파학술대회, 23(1), 2000년.
- [9] IEC96-1, Amend.2, Radio-frequency cables, part 1 : *General requirement and measuring method*, 1986.
- [10] Lorenze Jung, Jan Luikenter Haseborg, "Evaluation of measured complex transfer impedances and transfer admittances for the characterization of shield inhomogeneties of multiconductor cables", *IEEE Transactions on EMC*, vol. 41, no. 4, Nov. 1999.
- [11] Anatoly Tsaliovich, *Cable Shielding for Electromagnetic Compatibility*, VNR, 1995.

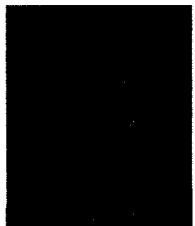
이 현 영



1977년 2월: 한국항공대학교 통신공학과 (공학사)
 1988년 2월: 연세대학교 대학원 전자계산학과 (공학석사)
 1980년~1983년: 한국전자통신연구원 (ETRI)
 1984년~현재: KT 운용시스템연구소

1997년 3월~현재: 충남대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 통신시스템의 EMI/EMC, 낙뢰 결합 해석

오 호 석



1991년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 1993년~현재: KT 기술연구소
 2000년 3월~현재: 충남대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 통신시스템의 EMI/EMC

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
 1976년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1984년 12월: University of California, Santa Barbara (공학박사)
 1976년~현재: 충남대학교 공과대학 전파공학과 교수

1977년~1978년: Ruhr University, Bochum, Germany, 방문교수

1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson
 1994년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairperson
 2000년~2001년: 한국전자파학회 회장

[주 관심분야] Microwave and millimeter-wave passive devices, EMC/EMI topics, and Antennas