

# EN50289 동축케이블 전달 임피던스 측정 방법을 이용한 통신 케이블의 차폐 효과 분석

## Shielding Effect Analysis of Communication Cables Using EN50289 for Transfer Impedance Measurement of Coaxial Cable

이근봉 · 장 난 · 전지운 · 송승제 · 나완수

Keunbong Lee · Nan Zhang · Jiwoon Jeon · Seungje Song · Wansoo Nah

### 요 약

본 논문에서는 EN50289 규격에 따른 동축케이블의 전달 임피던스 측정을 이용하여 여러 가지 통신 케이블의 차폐 특성을 분석하였다. EN50289 규격에서의 전달 임피던스 측정 방법은 CENELEC(European Committee For Electrotechnical Standardization)에서 규정한 Triaxial 방법이며, IEC Standard 96-1에서 규정한 Triaxial 방법과 달리 측정하고자 하는 동축케이블과 외부 도체의 직경에 관계없이 동축케이블의 전달 임피던스를 측정할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 EN50289 규격에 따른 동축케이블의 전달 임피던스 측정장치를 설계/제작하였으며, 이것을 이용한 실험 결과를 통해 측정 시스템의 신뢰할만한 주파수 대역을 결정하였고, 동축케이블의 쉴딩 기법의 차이에서 오는 영향에 대하여 분석하였다. 전달 임피던스 측정 결과, 케이블의 쉴딩 기법에 따라 전달 임피던스의 상당한 차이가 있음을 보였다. 또한, RG-58 통신용 케이블의 전달 임피던스 이론식에 의한 계산값과 측정값의 비교를 통하여 측정된 데이터가 유효함을 보였다.

### Abstract

In this work by measuring transfer impedance of communication cables using EN50289 its Shielding effect is analyzed. transfer impedance measurement triaxial method using EN50289 is defined in CENELEC, it is unlike triaxial method prescribed in IEC Standard 96-1, can be measured regardless of diameter of coaxial cable and outer conductor. in this paper, transfer impedance measurement device of coaxial cable is designed and made according to EN50289 standard, The analysis determines the reliable working frequency range of coaxial cable and examined the impact of different shielding methods on coaxial cable. The transfer impedance measurements show considerable variations in results with various shielding methods. also the measurement procedure is verified through comparison of calculated and measured transfer impedance of RG-58 cable.

Key words: Transfer Impedance, Coaxial Cable Shield, Triaxial Method, Shielding Effect

### I. 서 론

주지하고 있는 바와 같이, 전기전자 및 통신 산업이 급

격한 속도로 발전하면서 수많은 전기전자기기들이 사용되고 있으며, 이들 기기로부터 방사되는 전자기파는 그 용도에 필요한 전자기파뿐만 아니라, 원하지 않는 전자기

「이 연구는 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2013R1A1A2009489).」

성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과(Department of Electronical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

· Manuscript received July 9, 2014 ; Revised October 20, 2014 ; Accepted October 27, 2014. (ID No. 20140709-10S)

· Corresponding Author: Wansoo Nah (e-mail: wsnah@skku.edu)

파도 당연히 존재하게 되며, 서로의 기기에 영향을 미치게 된다. 시스템 네트워크 내에서 디바이스들 사이에서 신호 및 에너지를 전달해 주는 케이블은 이러한 시스템의 구성/동작에 반드시 필요한 기본적인 소자이며, 이러한 케이블의 방사 특성을 올바르게 측정하는 방법을 확립하는 것은 케이블이 주변 기기로의 영향을 주는 것을 분석하기 위해서 반드시 필요하며, 또한 역으로 주변의 전자파가 케이블이 연결된 시스템으로 주는 영향을 최소화하기 위해서도 반드시 필요하다. 본 논문에서는 통신용 동축케이블의 방사 특성을 전달 임피던스 측정을 통하여 정량화하는 방법을 기술하고자 하며, 특히 EN50289 규격에 따른 동축케이블의 전달 임피던스 측정을 이용하여 여러 가지 통신 케이블의 차폐 특성을 분석, 기술하고자 한다.

현재 국내에서는 동축 케이블의 EMC(Electromagnetic Compatibility) 규격, 즉 전달 임피던스에 관한 규격이 없지만, 유럽 표준화기관(CENELEC)이 제정한 EU내 통일 규격(Harmonized Standard)중 HD 21.13 S1에는 동축 케이블의 EMC 규격이 제정되어 있다. HD 21.13 S1 규격에 따르면 동축 케이블의 전달 임피던스는 유럽규격(European Standard)<sup>[1]</sup> EN 50289 part 1~6에 제정되어 있는 전달 임피던스의 측정 방법에 따라야 하고, 30 MHz에서 250 mΩ/m이하의 값을 가져야 된다고 제시되어 있다. 본 논문에서는 유럽 규격에서 제시하는 방법 중 하나인 EN50289 triaxial method를 통해 통신용 동축케이블의 쉘딩 기법에 따른 차폐 효과를 분석하고자 한다.

## II. 전달 임피던스 측정 방법

### 2-1 전달 임피던스 측정 방법

기존 IEC(International Electrotechnical Commission)에서의 triaxial 방법의 문제점 중의 하나는 외부 동축 구조의 특성 임피던스를 결정하는 요소가 외부 동축 구조의 직경과 측정하고자 하는 케이블의 직경이기 때문에 한 가지의 케이블 측정만 가능하며, 직경이 다른 케이블을 같은 측정 장치를 사용하여 측정하기가 어렵다는 것이다. 따라서 직경이 다른 여러 동축 케이블들의 특성을 상호 비교하기가 어렵고, 또한 외부 동축 구조의 크기 또한 제

한을 받는다는 것이다<sup>[2]</sup>. 그러나 본 논문에서 사용한 유럽 기준 측정인 EN50289 triaxial 방법은 이러한 문제에 제약을 받지 않는 장점이 있다. 기본적으로 triaxial 방법은 동축 케이블의 쉘드 층과 측정 장치의 외부 도체 사이에 페 루프를 형성시켜서 전달 임피던스를 측정하는 방법이며, IEC Standard 96-1 방법이나 EN50289 방법 모두 기본적으로 이러한 triaxial 방법을 이용하지만, 이 두 가지 방법에는 다음과 같은 차이점이 있다. 즉, IEC에서 제안한 방법에서는 케이블 쉘드를 기준으로 내부 도체로 유도되는 전압을 측정하여 전달 임피던스를 구하는 방식이기 때문에 외부 동축 구조의 특성 임피던스를 고려해야 하지만, EN50289 triaxial 방법에서는 동축케이블 내부를 통해 전류를 흘려주어 외부 도체로 유도되는 전압을 측정하는 방식이며, 따라서 케이블의 특성 임피던스를 측정하고, 회로망 분석기와 케이블 사이에 임피던스 매칭을 할 수 있다. 즉, IEC에서 제안하는 측정 방법과 유럽규격에서 제안하는 측정 방법에는 전류 소스를 입력하는 경로가 반대로 설정되어 있다고 볼 수 있다.

전달 임피던스 측정의 또 다른 방법인 Line Injection 방법의 경우는 동축케이블의 내부 도체가 여러 가닥일 경우 Injection Line과 내부 도체의 위치에 따라 전달 임피던스의 차이를 보이는 문제가 있다<sup>[3]</sup>.

또한 지금까지 국내에서 발표된 논문들은 대개 재질 및 케이블 직경에 따른 전달 임피던스의 비교를 다루고 있으며<sup>[2],[3]</sup>, 동일한 케이블에 대한 쉘딩 기법에 따른 차폐 효과 분석은 상대적으로 많지 않다. 본 논문의 II 장에서는 유럽 규격 EN50289 triaxial 방법을 사용하여 동축케이블의 직경과 외부 도체의 직경에 관계없이 동축케이블의 전달 임피던스를 측정하는 장치를 설계/제작한 과정을 기술하였고, 3장에서는 제작된 장치로 케이블의 전달 임피던스를 측정하였으며, 측정된 전달 임피던스가 유효하다는 것을 기존의 수식을 통하여 검증하였다. 마지막으로 IV 장에는 쉘딩 기법에 따른 차폐 효과의 결과를 보였고, 그 의미를 분석하였다.

### 2-2 EN50289 규격을 이용한 Triaxial 방법

동축케이블에서의 전달 임피던스 측정은 차폐 효과를 분석할 수 있는 좋은 방법 중 하나이다. EN 50289 triaxial

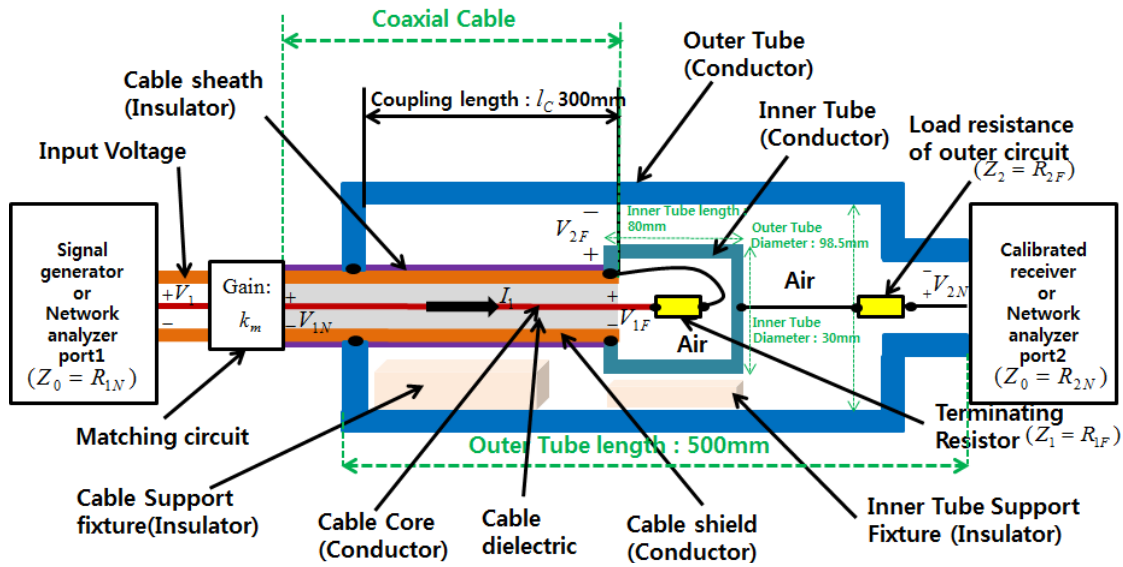


그림 1. EN50289 triaxial 방법의 측정 구성도(참고문헌 [1]의 표준을 재구성한 것임)  
 Fig. 1. Test setup of EN50289 triaxial method.

방법에서 동축케이블에서의 전달 임피던스는 케이블 쉴드 층에 전류를 인가하여 주었을 때 쉴드 층에서 외부 도체로 유도되는 전압 비로 나타내며, 결합 길이(Coupling Length)를 식에 포함시켜 계산할 수 있다. 그림 1은 EN50289 triaxial 방법을 이용한 측정 장치의 구성도이다. 전달 임피던스 식 (1)은 외부 도체로 유도되는 전압  $V_{2F}$ 와 내부 케이블 전류  $I_1$ 의 비로 나타낸다. 식 (1)에서 수식을 해석해 보면 전류  $I_1$ 의 경우는 케이블에 공급되는 전류이며, 이는 변하지 않는 파라미터이다. 즉, 전달 임피던스 값이 작다는 것은 케이블 차폐층에서 외부 도체로 유도되는 전압의 크기가 작다는 의미이므로, 차폐 효과가 우수하다고 판단할 수 있다.

$$Z_T = \frac{V_{2F}}{I_1 \cdot l_c} \quad (1)$$

$Z_T$  : 전달 임피던스,  $l_c$  : 커플링 길이

$V_{2F}$  : 케이블 쉴드를 기준으로 외부 도체로 유도되는 전압

$I_1$  : 케이블 전류

측정 장치의 구성은 그림 1과 같으며, 커플링 길이는 1미터로 할 경우는 30 MHz까지 측정 가능하며, 최소 결합

길이는 0.3미터이며, 0.3미터로 할 경우에는 100 MHz까지 측정이 가능하다. 본 논문에서는 결합길이를 0.3미터로 하여 100 MHz까지의 측정 결과를 보이고 있다. 측정 제한 주파수가 100 MHz인 이유는 주파수와 파장의 관계에 의해서 파장은 3 m이며, 일반적으로 집중소자를 사용할 수 있는 결합길이를 파장보다 충분히 작게 가져가야 한다고 하는 정도를 보통 1/10로 하며, EN50289 규격에서 최소 측정 결합길이를 0.3 m로 제한하였기 때문에 측정 제한 최대주파수는 100 MHz이다. 그림 1의 측정 구성도는 참고문헌 [1]을 참고하여 재구성한 것이며 측정 장치의 설계 값 및 전체적인 변수 값들과 길이를 나타내고 있다. 또, 전달 임피던스 측정 시 케이블과 내부 튜브를 지탱하기 위한 구조들의 효과는 무시하기로 한다. 구성도에 나타나 있는 변수 값의 설정은 다음의 계산에 의해 구하였고, EN50289 규격에서 임피던스 정합회로를 구성하기 위한 방법을 제시한다.

$$Z_1 (= R_1) = \sqrt{Z_{short} \cdot Z_{open}} \quad (2)$$

$$Z_2 (= R_2) \approx 1.4 \cdot 60 \ln \frac{d_o}{d_c} - 50 \quad (3)$$

$d_o$  : 외부 도체의 내부 직경

$d_c$  : 케이블의 직경

위의 식 (2)에서 구한  $R_1$  을 통해  $R_1$  과 50옴의 크기를 비교하여  $R_1 < 50$  경우에는 식 (4)를 이용하여 정합회로 저항 값을 구하고, 만약  $R_1 > 50$  경우에는 식 (5)를 이용하여 다음과 같이 저항 값을 계산한다.

$$R_S = 50 \sqrt{1 - \frac{R_1}{50}} \quad R_P = \frac{R_1}{\sqrt{1 - \frac{R_1}{50}}} \quad (4)$$

$$R_S = R_1 \sqrt{1 - \frac{50}{R_1}} \quad R_P = \frac{50}{\sqrt{1 - \frac{50}{R_1}}} \quad (5)$$

위의 식 (4), (5)를 통해 구한 저항 값으로 정합회로를 그림 2와 같이 구성할 수 있으며, 구한 정합회로를 통해  $R_1$  값을 1~100 Ω 까지 변화시켜주며, 정합회로의 전압 이득과 입력임피던스 값을 그림 3에 그래프와 같은 결과를 얻을 수 있다.

식 (4)와 식 (5)의 정합 회로는 넓은 주파수 대역에서 임피던스 정합을 하기 위하여 저항을 이용하여 정합을 해주었으며, 저항을 통한 정합에서의 삽입손실을 최소화 하기 위해서는 양쪽 포트에서 바라보고 구한 임피던스의 값이 서로 같아야 하며, 이와 같은 원리를 이용해 2개의 식을 구할 수 있으며, 구한 식의 전개를 통해서 식 (4)와

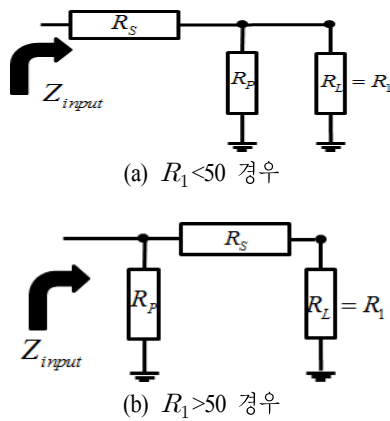


그림 2.  $R_1$  값의 크기에 따른 임피던스 정합회로  
Fig. 2. Impedance matching circuit according to magnitude of  $R_1$ .

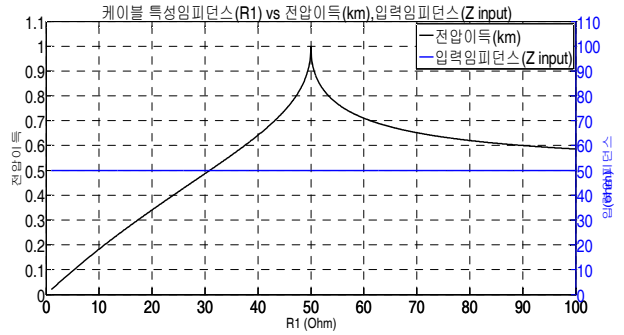


그림 3. 케이블 특성 임피던스에 따른 전압 이득과 입력 임피던스 값

Fig. 3. Voltage gain and input impedance according to character impedance of cables.

식 (5)를 구할 수 있다. 자세한 식의 전개는 본 논문에서 참고한 참고문헌 [4]에 기술되어 있다.

그림 2에서의 정합회로를 구성하고, 전압이득과 입력 임피던스는 아래와 같은 식을 통해 구할 수 있으며,  $R_1$  값의 변화에 따른 전압이득과 입력임피던스 값의 변화는 그림 3과 같이 구해진다. 그림 3에서  $R_1$  값의 크기에 따라 전압이득과 입력임피던스 계산식은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$R_1 < 50 \Omega$  의 경우

$$k_m = \frac{R_1 R_P}{R_1 R_P + R_P R_S + R_1 R_S}, \quad Z_{input} = R_S + \frac{R_P R_1}{R_P + R_1} \quad (6)$$

$R_1 > 50 \Omega$  의 경우

$$k_m = \frac{R_1}{R_S + R_1}, \quad Z_{input} = \frac{R_P (R_S + R_1)}{R_P + (R_S + R_1)} \quad (7)$$

케이블의 특성 임피던스가 50 Ω 일 때는 임피던스 정합회로가 필요 없지만, 케이블의 특성 임피던스가 50 Ω 이 아닐 때에는 50 Ω 을 기준으로 해서 EN50289에서 제시하는 서로 다른 식을 통해 임피던스 정합회로를 구성한다. 본 논문에서의 전달 임피던스 측정 시에는 케이블들의 특성 임피던스가 50 Ω 을 넘지 않아 그림 2(a)와 같은 정합회로를 구성하였다.

### 2-3 EN50289 Triaxial 측정방법의 등가 회로

표 1. 케이블과 정합회로의 임피던스  
Table 1. Impedance of cables and matching circuit.

	$d_o$	$d_c$	$R_2$	$Z_1 = R_1$	$R_S$	$R_P$
Cable 1	98.5 mm	6 mm	181 Ω	45 Ω	15.81 Ω	142.3 Ω
Cable 2	98.5 mm	6 mm	181 Ω	45 Ω	15.81 Ω	142.3 Ω
Cable 3	98.5 mm	7 mm	172 Ω	45 Ω	15.81 Ω	142.3 Ω
Cable 4	98.5 mm	7 mm	172 Ω	48 Ω	10 Ω	240.0 Ω

본 논문에서는 유럽 규격에 제정되어 있는 측정 장치를 구성하였으며, 그림 4와 같이 EN50289 triaxial 방법 측정 구성도의 등가 회로<sup>[5]</sup>로 표현할 수 있으며, 변수에 대한 설명은 아래와 같다.

- $R_{1N}, R_{2N}$  : 회로망 분석기 내부 저항 50 Ω
- $Z_1 (= R_{1F})$  : 동축 케이블 중단 저항
- $Z_2 (= R_{2F})$  : 외부 회로의 부하 저항
- $V_{1N}$  : 내부 회로의 입력 전압
- $V_{2F}$  : 케이블 쉴드를 기준으로 외부 도체로 유도되는 전압
- $k_m$  : 전압 이득

위의 변수 표기에서 N(near)과 F(far)는 측정 Point를 기준으로 산정하였다. 전달 임피던스 계산식은 내부 회로와 외부 회로에서 사용한 변수들의 간단한 회로 식을 통해 다음과 같이 얻어진다.

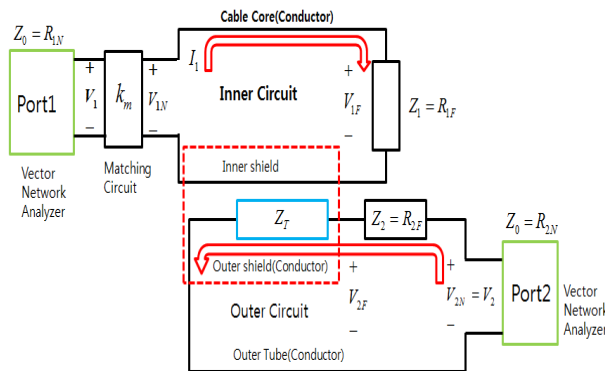


그림 4. EN50289 triaxial 측정 방법의 등가회로  
Fig. 4. Equivalent circuit of EN50289 triaxial measurement test.

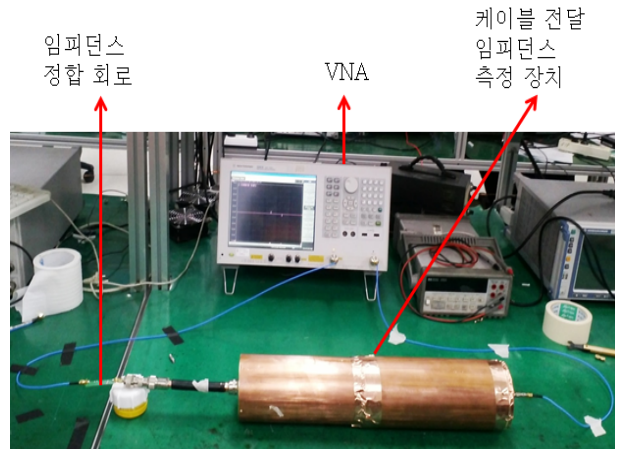


그림 5. 전달 임피던스 측정 장치의 구성  
Fig. 5. Test setup for transfer impedance measurement.

$$\begin{aligned}
 V_{2N} &= \frac{R_{2N}}{R_{2N} + R_{2F}} V_{2F} \rightarrow V_{2F} = \frac{R_{2N} + R_{2F}}{R_{2N}} V_2 \\
 I_1 &= \frac{V_{1N}}{R_{1F}} = \frac{k_m V_1}{R_{1F}} \\
 Z_T &= \frac{V_{2F}}{I_1 l_c} = \frac{R_{1F}(R_{2N} + R_{2F})}{R_{2N} k_m l_c} \cdot \frac{V_2}{V_1} \\
 \Rightarrow Z_T &= \frac{R_{1F}(R_{2N} + R_{2F})}{R_{2N} k_m l_c} 10^{\left[\frac{S_{21}(dB)}{20}\right]} \quad (8)
 \end{aligned}$$

S 파라메타를 포함하여 전달 임피던스 식 (8)을 구할 수 있으며, S 파라메타 측정 이후 전달 임피던스의 계산이 가능하다. S 파라메타 측정은 그림 5와 같이 EN50289 triaxial 방법의 시스템을 구성하고, S 파라메타 측정을 하여 전달 임피던스를 계산하였다.

측정 전압  $V_1 = V_1^+$ (입사) +  $V_1^-$ (반사)으로 정의되며, 포트 1에서 회로를 바라본 입력임피던스는 50 Ω로 정합되어 있기 때문에 포트 1에서의  $V_1^- = 0$ 이므로  $V_1 = V_1^+$ 으로 볼 수 있다. 따라서 위의 전달 임피던스 식 (8)과 같이 S 파라메타를 이용하여 전달 임피던스를 계산할 수 있다.

### III. Triaxial 방법 측정 장치 검증

측정 장치를 검증하기 위하여 일반적으로 사용되는 통신용 동축케이블인 RG-58 케이블(braid shield)의 전달 임



그림 6. RG-58 케이블의 외관  
Fig. 6. Photograph of RG-58 cable.

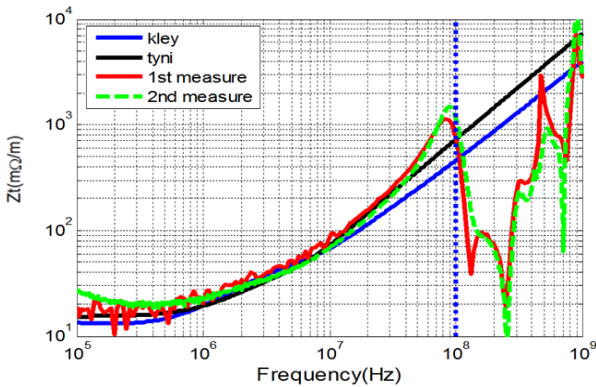


그림 7. RG-58 케이블의 전달 임피던스 계산 값과 측정값 비교  
Fig. 7. Comparison between calculated and measured transfer impedance of RG-58 cable.

피던스 계산식을 통해 전달 임피던스를 계산하고, 측정 시스템에서의 전달 임피던스 측정 이후에 계산 값과 측정값의 비교를 통해서 시스템과 측정 주파수의 신뢰할 수 있는 범위에 대하여 검증하였다. Braid 쉴딩 방식의 동축케이블의 전달 임피던스를 계산하는 Kley 모델<sup>[6]</sup>과 Tyni 모델<sup>[7]</sup>을 사용하였으며, 두 식으로 구한 전달 임피던스 값이 거의 비슷한 값을 가지는 것을 그림 7을 통해 확인할 수 있으며, 측정값과 일치하는 주파수 대역은 ~100 MHz까지이다. RG-58 케이블의 전달 임피던스 계산 값과 측정 값의 비교를 통해서 측정 장치 및 측정 가능 주파수 대역을 검증하였다.

#### IV. 측정 결과 및 분석

100 kHz 이하의 주파수 대역에서는 DC 저항의 영향을 받아 일정한 값을 가지며 변화 값이 크지 않기에 전달 임

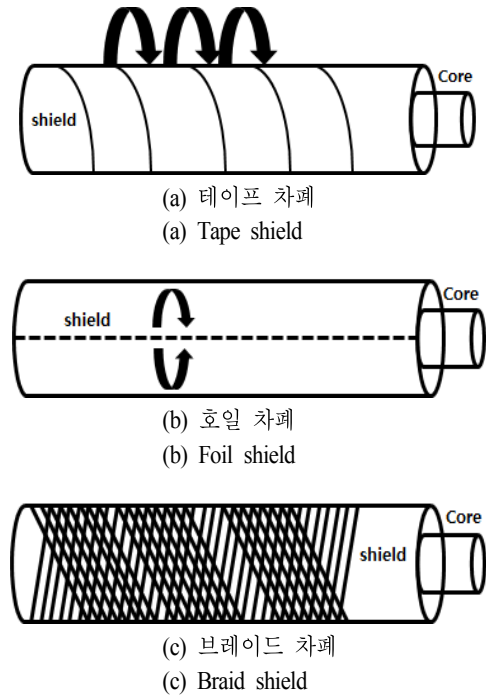


그림 8. 동축케이블의 차폐 방법  
Fig. 8. Shielding techniques of coaxial cables.

피던스 측정값은 100 kHz~100 MHz까지를 분석한다. 측정을 통해 얻은 그림 9의 결과를 분석해 보면 재질이 같은 두 케이블 1, 3(파랑색과 녹색)의 경우, 쉴딩 재질은 같지만 쉴딩 방식의 차이가 있으며, tape 쉴딩 방식보다는 foil 쉴딩 방식이 차폐 효과가 더 뛰어난 것을 확인할 수 있다. 또한, 케이블 1(파랑색)과 케이블 2(빨강색)를 비교해 보면 쉴딩 방식은 같지만, 재질에 따라서 차폐 효과가 달라지는 결과를 보이고 있으며, 1 MHz 이상의 주파수 범위에서는 재질마다 전도율의 차이에 따라서 케이블의 차폐 효과가 달라지는 것으로 예상할 수 있으며, 수백 kHz 주파수 대역에서는 알루미늄이 구리보다 약 1.28배 차폐 효과가 더 뛰어난 것으로 알려져 있다<sup>[8]</sup>. 케이블 4의 경우, 이중 쉴드에 대한 차폐 효과를 분석하고, 1겹의 쉴딩과의 차이를 확인하고자 하였다. 1겹의 쉴드보다는 2겹의 쉴드가 차폐 효과가 우수하다는 것을 확인할 수 있으며, 추후에 다중 쉴딩 방식과 재질에 대한 차폐 효과 분석을 하도록 해야할 것이다.

동축케이블의 전달 임피던스는 계산에 의해 구하는 것이 쉽지 않으며, Braid 쉴딩의 경우, 구조가 복잡하고, 도



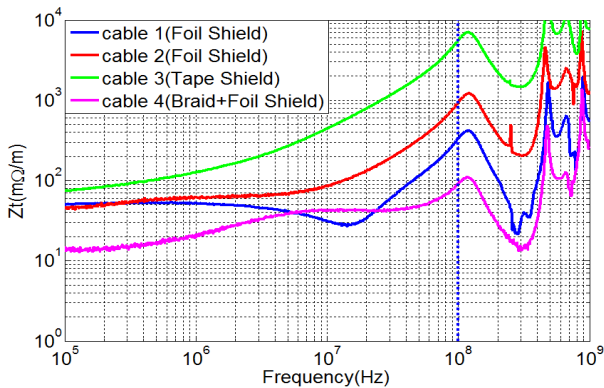


그림 9. 4개 케이블에서 측정된 전달 임피던스 값  
Fig. 9. Measured transfer impedances from four cables.

선 간격이 일정치 않아 시뮬레이션을 통해 구한 전달 임피던스 값으로 차폐 효과를 검증하는 것은 정확성이 떨어지며, 시뮬레이션을 통해 전달 임피던스를 구한다고 하더라도 실제 값과의 오차를 무시할 수 없을 것이다. 따라서 전달 임피던스는 측정을 통해 얻는 것이 가장 효율적이면서도 쉬운 방법이라고 할 수 있다. 물론 전달 임피던스 측정을 위해 그 방법에 있어서도 고려해야 할 사항은 적지 않다. 측정 주파수 범위, 시스템 구성의 편리성, 측정 시간과 측정자의 선호도, 시스템의 장비 구성비용 등을 고려하여 전달 임피던스를 측정하려는 동축케이블에 맞는 적절한 방법을 선택하여야 할 것이다. 유럽 규격에서는 여러 가지 방법들 중에서 triaxial 방법과 line injection 방법을 권고하고 있으며 그에 대한 측정 방법 등을 설명하고 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 유럽 규격에서 규정하고 있는 EN50289 triaxial 방법의 규격에 따라서 전달 임피던스를 측정하는 장치를 설계하고 제작하였다. 또, 설계/제작된 측정 장치를 등가회로로 변환하였고, 변환된 회로를 이용하여 측정된 S 파라메타 값으로 전달 임피던스 값을 계산할 수 있었다. S 파라메타를 이용하여 계산된 전달 임피던스는 기존에 잘 알려진 Kley 모델과 Tyni 모델을 이용한 전달 임피던스 값과 비교하여 ~100 MHz까지 잘 일치하였음을 보임으로서 본 논문에서 제시한 데이터가 타당함을 입증

하였다. 끝으로 4개의 통신용 동축케이블의 차폐 효과를 분석하였다. 기존에 발표된 논문들에서는 동축케이블의 쉴딩 재질이 수 MHz 이하의 저주파에서만 영향을 미칠 것이라고 판단하고 있으나, 실험 결과에서 보면 같은 쉴딩 방식이어도 재질에 따라서 수십 MHz에서도 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 향후에는 EN50289 triaxial 방법에서 측정 가능 주파수 대역을 보다 확장하여 동축케이블의 전달 임피던스를 측정하는 방법을 모색하고자 한다.

### 감사의 글

이 연구를 진행하는데 있어 측정 장치를 설계하고, 제작하는데 있어서 지속적인 도움을 주시고, 측정 결과 분석과 장치 개선에 있어서도 아낌없이 도와주신 (주)대한 M&C 임종성 부사장님과 임직원 분들께 깊은 감사를 드립니다.

### References

- [1] Communication cables-Specification for test methods part 1-6 of EN50289 test methods of Part 1-6 - Electromagnetic performance(English version).
- [2] 강진섭, 김정환, 강웅택, 박정일, "IEC Standard 96-1에 따른 RF 케이블의 표면전달 임피던스 측정", 한국전자과학기술논문지, 11(6), pp. 886-892, 2000년 8월.
- [3] 이현영, 오호석, 박동철, "IEC 96-1 line injection method를 이용한 다 도체 통신케이블 차폐층의 전달 임피던스 측정", 한국전자과학기술논문지, 14(4), pp. 377-383, 2003년 2월.
- [4] J. Bird, *Electrical Circuit Theory and Technology 4th Edition*, pp. 595-596.
- [5] A. M. Stephan Frei, K. S. Jorg Barenfanger, "Analysis of shielding effectiveness of HV cable and connector systems used for electric vehicles", *EMC Europe 2013*, pp. 241-246, Sep. 2013.
- [6] T. Kley, "Optimized single-braided cable shields", *IEEE Transactions on EMC*, vol. 35. no. 1, pp. 1-9, Feb. 1993.
- [7] M. Tyni, "The transfer impedance of coaxial cables with

braided outer conductor", *Inst. Telek. Politech*, 1976.

Talyor & Francis, pp. 5\_39-47, 2005.

[8] K. L. Kaiser, *Transmission Lines, Maching, and Crosstalk*,

이 근 봉



2014년 2월: 충북대학교 전기공학과 (공학사)  
2014년 3월~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정  
[주 관심분야] EMI/EMC, Filter Design

송 승 제



2014년 2월: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학사)  
2014년 3월~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정  
[주 관심분야] EMI/EMC

장 난



2010년 2월: 중국 하얼빈 공업대학교 전자공학과 (공학사)  
2010년 3월~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정  
[주 관심분야] EMI/EMC

나 완 수



1984년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
1986년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학 석사)  
1991년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학 박사)  
1991년 2월~1993년: SSCL Guest Collaborator

1993년~1995년: 한국전기연구원 선임연구원  
1995년~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 교수  
[주 관심분야] SI, PI, EMI/EMC

전 지 운



2013년 2월: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학사)  
2013년 3월~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정  
[주 관심분야] EMI/EMC