

유도결합 실험을 통한 동축구조를 갖는 전력케이블의 차폐효과 분석

송의현*, 이근봉, 나완수
성균관대학교

The Shielding Effectiveness Analysis of Power Cables Has Coaxial Structure Using Inductive Coupling Test

Euihyun Song*, Keonbong Lee, Wansoo Nah
Sungkyunkwan University

Abstract - 본 논문에서는 유도결합 실험을 통해 동축 구조를 갖는 전력케이블의 차폐효과에 대해 분석했다. 케이블의 차폐 도체의 재료에 따라 차폐 정도를 비교했고, 또한 주파수의 변화에 따른 차폐 정도를 비교했다. 측정 결과, 주파수가 증가할수록 차폐효과가 감소하는 것을 알 수 있었으며, 차폐 재질에 따라 차폐효과가 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 전달 임피던스를 통해 차폐효과를 분석한 실험의 결과와 비교를 통한 실험의 타당성도 보였다.

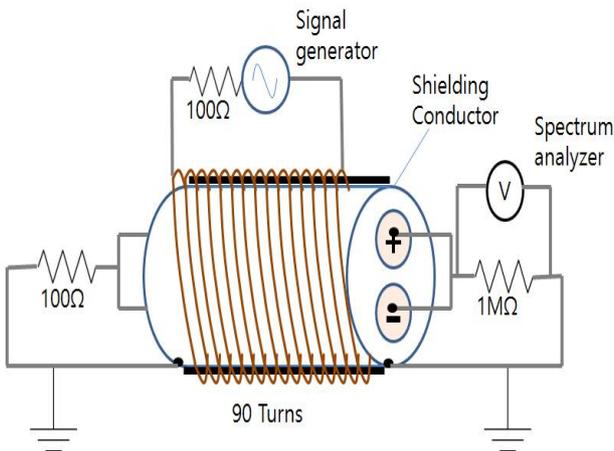
1. 서 론

산업의 발달에 따라 전력사용과 통신하는 데이터양이 많아져 케이블의 경우 인접한 고주파 케이블간의 커플링 혹은 주변의 고압선에 의한 유도장해로 오동작이 발생하며, 이러한 EMI(Electromagnetic Interference 전자기장해)문제를 방지하기 위해 케이블은 차폐층을 갖는 동축케이블 형태로 사용이 된다. 동축케이블의 차폐층은 여러가지 재질, 두께, 층, 차폐방법 등에 대한 변수들이 있으며, 이론이나 시뮬레이션으로 검증하는 방법에 제약이 있어 규격에서도 실험방법을 제시하고 그에 대한 기준치를 정하고 있다. 그래서 주파수에 따라 동축 구조를 갖는 전력케이블 차폐층의 재질에 따른 차폐효과를 자기장 결합 실험을 통해 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

전자기 유도법칙에 따른 유도기전력 및 유도전류를 측정하는 것은 차폐효과를 비교할 수 있는 방법들 중에 하나이다. <그림 1>은 전자기 유도법칙을 이용한 측정 장치의 구성도이다. 실험 과정은 우선 외부에 감은 선에 Signal generator를 이용하여 케이블에 유도전압을 인가하는 방법으로 진행하였다. 케이블의 차폐층을 지나 케이블 내부로 전달된 유도전력을 Spectrum analyzer를 통해 주파수 영역에서 유도된 전압을 측정하여 차폐층의 차폐효과를 검증하는 방법을 이용하였다. 이 때, 외부 선의 감은 수는 90바퀴로 통일 시키고, 케이블의 차폐층과 케이블 내부의 도체는 꼭 접지를 시킨다.



<그림 2> 유도결합 실험 방법의 구성도

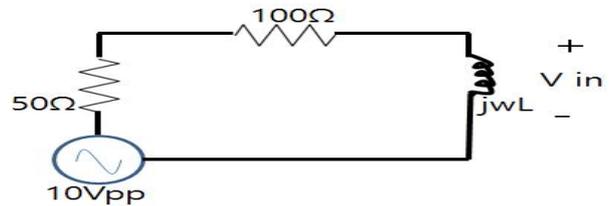
2.2 실험 과정

우선 실험에서 Signal generator에 큰 부담이 가지 않도록 100Ω의 저항을

Signal generator와 같이 연결하고, 유도된 전압이 더 잘 측정될 수 있도록 케이블 내부에 100Ω과 1MΩ의 저항을 연결한 뒤, 1MΩ에 걸리는 전압을 측정했다. Signal generator는 10V_{pp}로 설정한 뒤 신호를 전달했다.

케이블은 차폐층의 재료가 다른 4개의 전력케이블을 사용했다. 차폐 도체의 종류는 각각 구리, 철, 철+접지, 철+알루미늄+접지 이다. 각각의 케이블을 같은 조건으로 주파수를 변화해 가며 신호를 측정했다. 주파수를 변화시켜가면서 측정했다.

전압이 감쇄된 정도를 더 명확히 알아보기 위해 코일의 인덕턴스를 측정해 입력된 전압을 계산해 측정된 유도전압과 비교해서 감쇄된 정도를 dB로 나타내었다. 이 때 입력된 전압은 코일의 인덕턴스에 걸리는 전압으로 <그림 2>와 전압 분배 법칙을 이용해 계산할 수 있다.



<그림 3> 입력전압 계산

$$V_{in} = 5 \times \frac{j\omega L}{50 + 100 + j\omega L}$$

$$\text{전압감쇄} = 10 \times \log\left(\frac{V_{유도}}{V_{in}}\right) (dB)$$

2.3 측정 결과

Spectrum analyzer를 통해 1MΩ에 유도된 전압을 측정했다. 측정된 유도전압과 외부 코일의 인덕턴스는 <표 1>과 <표 2>에 나타나 있다. 계산한 입력된 전압의 크기와 감쇄된 전압의 dB값은 <표 3>과 <표 4>에 나타나 있다.

<표 1> 케이블의 유도전압(mV)

	100k	300k	500k	700k	1M	5M	30M
Iron	15.43	31.92	45.03	56.92	78.18	274.8	232.5
Iron+DW	5.856	16.22	25.39	34.44	51.25	285.4	143.1
Copper	4.223	12.3	19.73	27.03	40.51	210.3	119.6
Iron+DW+Al	0.642	1.143	1.441	2.559	5.404	93.54	77.86

<표 2> 외부 코일의 인덕턴스(μH)

	100k	300k	500k	700k	1M	5M	30M
인덕턴스	9.98	9.54	9.21	9.18	9.13	9.01	8.77

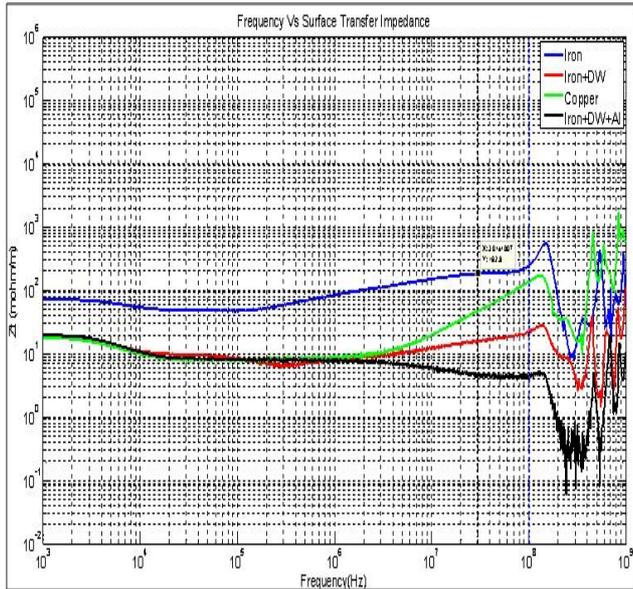
<표 3> 외부 코일에서 케이블로의 입력전압(mV)

	100k	300k	500k	700k	1M	5M	30M
입력전압	33.27	95.38	153.4	214	303.8	1438	434

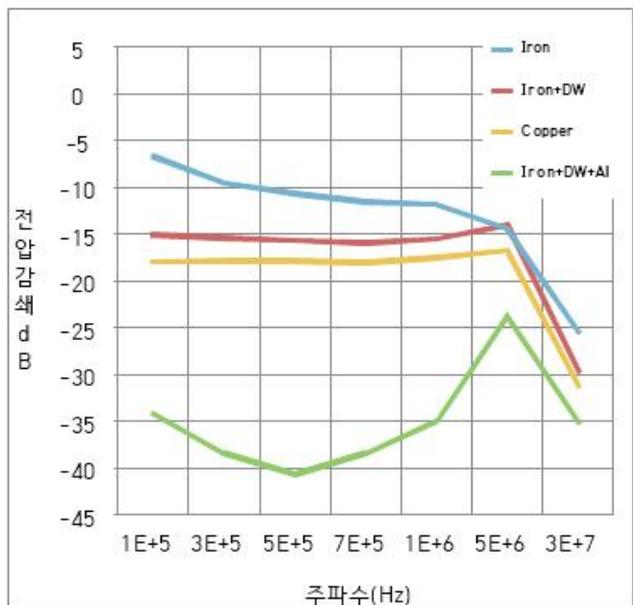
<표 4> 케이블의 전압감쇄(dB)

	100k	300k	500k	700k	1M	5M	30M
Iron	-6.68	-9.5	-10.6	-11.5	-11.8	-14.4	-25.4
Iron+DW	-15.1	-15.4	-15.6	-15.9	-15.5	-14	-29.6
Copper	-17.9	-17.8	-17.8	-18	-17.5	-16.7	-31.2
Iron+DW+Al	-34.2	-38.4	-40.6	-38.4	-35	-23.8	-35

실험의 타당성을 입증하기 위해 규격에 있는 전달 임피던스를 이용해 차폐효과를 분석한 결과와 비교해 보았다. 케이블의 전달임피던스를 측정된 결과는 <그림 3>에 나타났다. 그래프를 비교하기 위해 <표 4>의 값을 <그림 4>에 그래프로 나타냈다.



<그림 4> 케이블의 전달 임피던스(mΩ/m)



<그림 5> 케이블의 전압감쇄(dB)

2.4 결과 분석

우선 전달 임피던스의 그래프 <그림 3>에서는 전달 임피던스의 값이 낮을수록 차폐효과가 뛰어난 케이블이다. 그리고 입력전압과 유도전압의 dB를 나타낸 그래프 <그림 4>에서는 dB값이 낮을수록 차폐효과가 뛰어난 케이블이다. 30MHz의 주파수에서 유도결합 실험과 전달 임피던스를 이용해 구한 차폐효과 정도를 비교한 표를 <표 5>에 나타냈다.

<표 5> 케이블의 차폐효과 순위

	유도결합 실험 (30MHz)	순위	전달 임피던스 (30MHz)	순위
Iron	-127 dB	4	182.9 mΩ/m	4
Iron+DW	-148 dB	3	15.84 mΩ/m	2
Copper	-156 dB	2	46.94 mΩ/m	3
Iron+DW+Al	-175 dB	1	4.46 mΩ/m	1

(철+Al)이중차폐+접지선을 갖는 케이블이 가장 우수한 자기장 차폐효과를 보였으며, 주파수가 증가하여 철의 투자율이 감소하여 차폐 효과가 감소할 것으로 판단하였으나, 5MHz이후 30MHz에서는 모든 케이블의 차폐효과가 급격하게 증가하는 결과를 보이고 있다.

자성체의 차폐효율은 주파수에 따라 투자율이 줄어들기 때문에 주파수에 따라 감소하는 특성을 가지고 있으나, 철+접지선을 차폐층으로 갖는 케이블은 접지선의 영향으로 인해 철을 차폐층으로 갖는 케이블보다는 우수한 차폐 효과 특성을 보이며 구리와 비슷한 특성을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 철과 철+접지를 더 비교해보자면 아래의 식을 보면 흡수 손실의 경우 투자율과 전도율의 곱에 비례하는 성질을 가진다. 따라서 이식을 통해 알 수 있는 사실은 주파수가 올라갈수록 상대투자율이 감소하지만 접지선의 전도율이 합쳐져 흡수손실에서의 변수인 상대투자율 감소로 전도율이 보완하였기에 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다고 생각한다.

$$\text{흡수손실} = 3.34t \sqrt{f\mu_r\sigma_r} \text{ (dB)}$$

자기장 차폐를 위해 저주파에서 강철만을 차폐도체로 사용할 것이 아니라 접지선을 추가해 준다면 더 높은 주파수까지 우수한 차폐효과를 볼 수 있을 뿐만 아니라 저주파에서도 더 뛰어난 차폐효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

<그림 3>과 <그림 4>의 그래프 경향을 비교해 보았을 때, 두 그래프가 비슷한 경향을 보이고 있으므로 실험이 타당하다고 생각한다.

3. 결론

전달 임피던스 측정에서도 철은 가장 높은 전달 임피던스를 값을 가지며 차폐 특성이 좋지 못하고, 철+접지선과 구리는 비슷한 경향을 가지며, 철+Al+접지선의 경우 가장 우수한 특성을 보여 전달 임피던스 측정과 유도결합 실험의 경향성이 어느 정도 일치한다고 판단할 수 있다.

차폐층의 재질뿐만이 아닌 두께에 의한 영향도 고려해야 하며, 재질만 식에 따른 누설 전자기장에 대한 것 까지 고려하게 된다면 이를 재질만 가지고 쉽게 평가할 수 있는 사항이 아니라고 생각되긴 하지만 실험결과를 어느 정도는 신뢰할 수 있고, 자기장 결합을 통한 차폐효과를 측정하였다는데 의미가 있다고 생각한다.

또한 EN50289 규격시험의 경우 실험을 진행하기 위해 준비해야 할 사항이 많고 번거롭기 때문에 이를 대체 할 수 있는 실험방법을 연구하기 위한 목적으로 본 실험을 진행하였으며, 이에 대한 연구를 지속적으로 하여 전달임피던스 규격시험을 대체 할 수 있는 시험으로 발전시키고자 한다.

[참고 문헌]

[1] 이근봉, 장남, 전지운, 송승재, 나원수, "EN50289 동축케이블 전달 임피던스 측정 방법을 이용한 통신 케이블의 차폐 효과 분석", 한국전자과학기술학회논문지, 제 25권, 제 11호, pp. 1156-1163, 2014년 11월.
 [2] Henry W. Ott, "Electromagnetic compatibility engineering", WILEY, pp. 45-105, 2009.
 [3] Kenneth L. Kaiser, "Transmission lines, matching, and crosstalk", "Taylor & Francis", Chapter 5-15, 2006.