

건물 내선의 RF신호 통신 특성

김창중, 정진휘

수원대학교 전기·전자·정보통신공학부

서론

통신의 방법에는 여러 가지의 방법이 있다. 예를 들어 전화선을 이용한 PC 통신, 인터넷 통신, Voice 통신 그리고 공간을 이용한 무선통신 등의 여러 매개체를 이용한 많은 통신 방법이 있는데 그 중 이미 오래 전부터 전력회사를 중심으로 연구되어 온 Power Line을 이용한 통신이 있다. 이 기술을 PLC (Power Line Carrier)라고 한다[1]. PLC Technology는 통신선의 추가 설치비 절감과 기존 건물에서 간단히 이용할 수 있다는 장점 때문에 현재도 많은 연구가 이루어지고 있다. 근래에는 고압선을 이용한 인터넷 서비스 통신이 개발되어 시험단계에 있기도 하다. 본 논문에서 언급하는 PLC Technology는 가정집이나 일반 사무실에서 Power Line을 신호전달의 매개체로 하여 통신하는 것으로, Power Line의 전류 변화와 많은 부하, 그리고 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다[2,3]. 이에 대해 본 논문에서는 통신에 방해로 주는 요인들 중 부하에 의한 영향을 조사하기 위해 사무실이나 가정집에서 많이 사용되는 부하를 선택하여 각 부하에 대한 RF 신호 통신특성을 알아보았다. 그리고 건물과 가정집에서의 RF 신호 통신 테스트를 통하여 부하와 거리에 의한 특성도 알아보았다.

본론

1. Coupler

그림 1의 Coupler는 220V의 건물내선과 연결하는 연결장치로서 신호의 안전한 송신 및 수신을 가능

하게 한다. 또한 건물내선의 60Hz 전류를 Transmitter나 Receiver와 차단시키는 역할도 한다. Coupler는 그림 1과 같이 Isolation Transformer와 Capacitor의 조합으로 만들어지고 이 조합회로는 High Pass Filter(HPF) 기능도 한다. Coupler에서 Isolation Transformer의 Inductance는 0.5mH이며 Capacitor의 Capacitance를 1 μ F이다

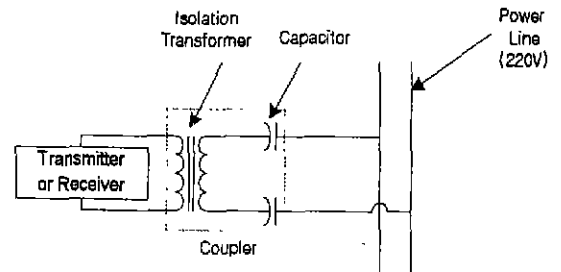


그림 1 Coupler 구성도

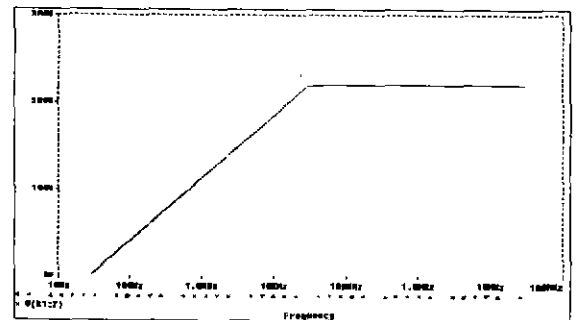


그림 2. Transmitter에서 Capacitance 변화에 따른 Cut Off Frequency

최적의 Capacitance를 알아보기 위하여 다음과 같이 Pspice의 시뮬레이션을 이용하여 Capacitance의 값을 정하였다[4]. 시뮬레이션에서는 주파수대역을 60

Hz~30MHz으로 하고, Capacitance는 10nF~4.7μF으로 하여 Parameter 해석을 하였다.

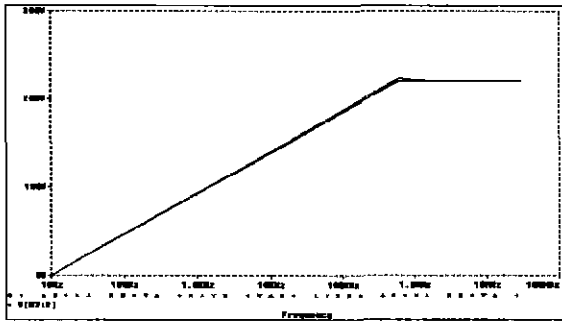


그림 3. Receiver에서 Capacitance 변화에 따른 Cut Off Frequency

Transmitter에서 Cut Off 된 주파수를 보면 그림 2에 나타나 있듯이 약 10kHz이다. 그리고 Receiver의 Cut Off 된 주파수를 보면 그림 3에서 약 100kHz이다. 그런데 그림 2와 그림 3의 그래프를 보면 그래프가 하나처럼 보이는데 사실은 하나의 그래프가 아니고, 여러 Capacitance의 그래프가 겹쳐 있어서 하나의 그래프로 보이는 것이다. 이러한 점으로 미루어 볼 때, 시뮬레이션에서는 Transmitter나 Receiver의 경우에 Capacitance의 변화는 신호의 송수신에 영향을 주지 않음을 확인할 수 있다. 가장 좋은 High Pass Filter를 만들기 위한 Capacitance를 결정하기 위해서 시뮬레이션을 해봤지만 Capacitance의 변화가 큰 영향을 주지 못했다. 그러나 10nF, 100nF, 1μF, 4.7μF Capacitor를 여러 주파수 대역에 대해서 실제로 실험한 결과 1μF의 Capacitor가 신호의 송수신과정에 있어서 가장 적은 영향을 준다는 것을 확인하였다.

2. 모의 세트에서의 부하 및 거리에 따른 특성

2.1 주파수별 부하 및 거리 특성

건물의 내선을 이용한 통신은 내선에 연결이 되어 있는 주위의 부하에 의해서 영향을 많이 받는데, 그 영향은 부하 및 통신 주파수에 따라 다른 특성을 보인다. 본 논문에서는 1MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz, 25MHz, 30MHz의 RF 주파수 대역을 사용하여 부하의 주파수 대역별 부하 및 거리 특성에 대하여 살펴보았다.

부하로는 가정집이나 일반 사무실에서 많이 사용하는 제품들을 고려하여 에어컨, 형광등, 선풍기, 냉장고, PC를 부하로 하여 분석하였다.

그림 4는 RF신호의 부하 및 거리에 대한 특성을 분석하기 위한 실험 구성도로, 건물과 일반 가정집에서 부하와 거리에 따른 RF신호의 감쇠를 분석하기 위한 것이다.

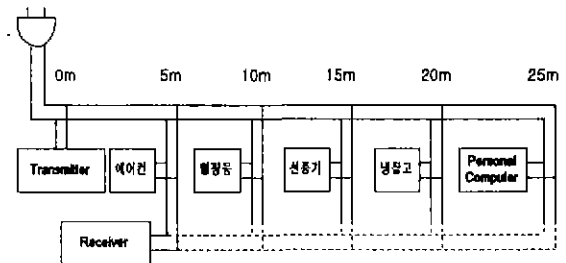


그림 4. RF신호의 부하 및 거리에 따른 특성 분석 테스트 구성도

테스트 환경

- 1) 이번 테스트에서는 주파수별 신호 측정 시 항상 220V 전원이 인가된 상태에서 하였다.
- 2) Coupler에 사용된 Capacitor는 여러 주파수중에서 가장 감쇠가 적게 일어난 1μF를 사용하였다.
- 3) Transmitter Coupler의 위치를 0m에 고정시켜 놓았으며 Receiver Coupler는 측정지점에서 5m 단위의 거리마다 바뀌어가며 0m ~ 25m 위치에서 신호를 측정하였다.
- 4) 부하로는 그림 4에서처럼 에어컨, 형광등, 선풍기, 냉장고, PC를 5m 간격으로 설치하고 부하의 위치를 고정시켰다.
- 5) 부하별 테스트에서는 위에서 선정한 부하의 모든 경우(부하가 1, 2, 3, 4, 5개 연결될 경우)를 조합하여 실험하였다.

부하에 특성을 알아보는 그림4의 테스트에서 나타난 부하에 대한 일반적인 특징 중에 하나는 Power Line에 부하가 많이 연결될수록 일반적으로 신호의 감쇠가 더 일어남을 발견할 수 있었다. 이러한 현상이 일어나는 것은 여러 부하들이 건물내선에 연결되어 Receiver로 유입되는 전류에 비해서 부하로 흐르는 전류가 많아지기 때문이다. 그리고 이로 인해

Receiver까지 전해지는 신호가 도중에 많은 전류가 흐르는 곳으로 나누어짐으로 인해 생기는 유실로 볼 수 있다.

부하들이 건물내선에 연결된 많은 경우에 대해서 테스트하여 각각의 결과 중에서 모든 부하가 연결된 경우의 부하 및 거리에 대한 특성은 그림5와 같다.

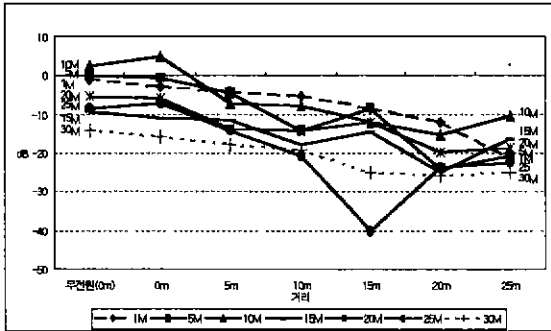


그림 5. 모든 부하를 연결한 경우의 주파수 특성

2. 2 모의 세트에서의 테스트 데이터 분석

1) 에어컨

에어컨은 대부분의 주파수 대역에서 감쇠가 적은 부하다. 에어컨의 경우에는 가장 적은 감쇠를 보인 신호는 1MHz대역과 5MHz대역의 신호이다.

2) 형광등

통신에 있어서 테스트에 사용한 5가지의 부하 중 가장 적은 영향을 주는 부하로서 형광등의 경우 1MHz 대역의 신호가 가장 영향을 덜 받는다.

3) 선풍기

선풍기의 경우에는 1MHz와 5MHz대역의 신호 감쇠가 가장 적게 나타난다.

4) 냉장고

냉장고의 경우에는 1MHz대역의 신호가 가장 영향을 덜 받는다.

5) PC

25m에서 PC의 경우에 가장 적은 감쇠를 보인 신호는 10MHz대역의 신호로 0m에서 25m까지 감쇠의 폭이 가장 적었다. 대부분의 주파수 대역의 신호들이 PC가 연결되어 있는 지점인 25m에서는 그래프가 증가를 보이고 있으나 1MHz대역의 신호는 그래프가 줄어들고 있다.

1MHz대역의 신호는 0m에서 25m로 거리가 증가할

수록 그래프가 꾸준히 감소하고 있다. 이러한 현상은 PC만이 건물내선에 연결된 경우나 PC가 다른 부하와 같이 건물내선에 연결된 모든 경우에 항상 나타났던 현상으로 1MHz대역의 신호가 컴퓨터에 대해서 많은 영향을 받음을 알 수 있다.

본 논문은 여러 부하에 대해서 감쇠를 많이 일으키는 부하를 알아보기 위한 것이었기도 하였지만, 무엇보다도 부하들에 대해서 영향을 적게 받는 주파수 대역을 알아보기 위한 것이었다. 그 결과 테스트에 사용된 주파수 대역 중, 10MHz대역의 신호가 0m에서 25m까지의 모든 거리에 대해서 감쇠변화의 폭이 가장 적은 결과를 보였다. 이는 더 먼 거리나, 더 많은 부하의 연결에 대해서 다른 주파수 대역에 비해 영향을 덜 받음을 알 수 있다.

3. 건물과 가정집에서 나타난 특성

3. 1 건물에서의 RF신호 통신특성

건물에서의 RF신호 통신특성을 알아보는 테스트는 그림 6에서와 같다.

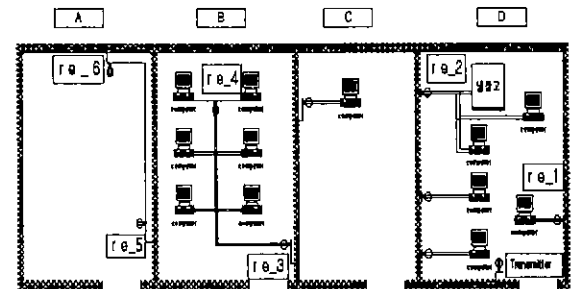


그림 6 건물내의 실험도

환경설정

1) D실험실에는 5대의 컴퓨터와 1대의 냉장고가 동작 중이었고, C실험실에는 1대의 컴퓨터가 동작 중이었으며, B실험실에는 6대의 컴퓨터가 동작 중이었다. A실험실에는 부하가 없다. re_1에서 re_6까지 총 6지점에서 Receiver를 옮겨가며 테스트를 하였고, A, B, C실험실에는 12개의 형광등이 켜져 있었고, D실험실에는 6개의 형광등이 켜져 있었다.

2) D실험실의 Transmitter가 연결되어 있는 콘센트에는 다른 부하가 연결되어 있지 않았고 신호는 220V의 건물내선에 연결시켰다.

건물내선에 대한 테스트 데이터 분석

re_1, re_2 등의 위치는 그림 6에서 보듯이 re_6으로 갈수록 위치적으로 거리가 더 멀다는 것을 볼 수 있다. 하지만 건물의 내선 도면이 없는 관계로 위치적으로 멀리 떨어져 있는 A실험실의 Receiver가 위치적으로 가까운 B실험실의 Receiver보다 내선의 길이가 더 멀다고 가정하고 테스트하였다.

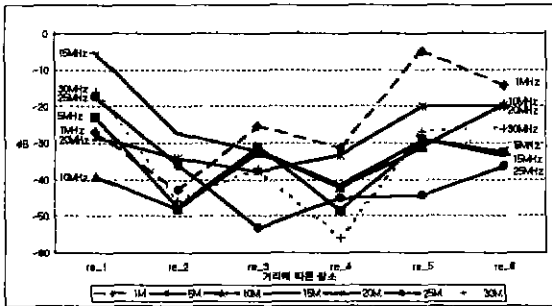


그림 7. 건물 내에서의 RF신호 측정

그림 6에서 알 수 있듯이 D실험실의 re_1, re_2 위치와 B실험실의 re_3, re_4의 위치는 컴퓨터가 많은 곳이다. 그래서 그림 7을 보면 대부분의 신호들이 re_1, re_2, re_3, re_4에서 전체적으로 감쇠가 크게 일어난다. 부하의 특성에 대해서 정리한 것을 보면, 1MHz대역의 신호가 컴퓨터에 의해 영향을 많이 받는 것을 알 수 있는데, 이를 바탕으로 1MHz대역의 결과를 분석해 보면 건물 내선의 통신특성에서도 마찬가지로 1MHz의 신호가 큰 감쇠를 보이고 있다. 다시 말해서 re_1, re_2, re_3, re_4 위치에서는 컴퓨터의 영향을 많이 받기 때문에 신호의 흔들림과 일그러짐이 더 심해짐이 일수 있고 반대로 거리가 먼 re_5와 re_6에서는 감쇠가 가장 적게 나타난 것으로 보아 1MHz의 신호는 부하에 의한 영향이 거리에 의한 영향보다 더 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다.

주파수별 부하 및 거리 특성에서 다른 신호들보다 적은 감쇠를 보였던 10MHz대역의 신호를 보면, 그림 7에서는 거리가 멀수록 감쇠가 작아진다. 하지만 그림 6의 실험을 보면 re_1과 re_2보다 먼 거리에 있는 re_5이나 re_6에서 신호의 감쇠가 작게 나타났다는 것은 거리보다는 부하들에 의해서 큰 영향을 받기 때문이다.

냉장고가 연결되어 있는 측정지점 re_2에서는 주파수별 부하 및 거리 특성에서의 결과와 마찬가지로 5MHz대역 신호의 큰 감쇠를 확인할 수 있다.

건물 테스트에서 부하와 거리에 가장 적은 영향을 받은 신호는 15MHz대역의 신호로 그림 7에서 보면, 다른 주파수 대역의 신호들에 비해서 가까운 거리인 re_1, re_2에서는 가장 적은 감쇠를, 먼 거리의 지점인 re_3, re_4, re_5, re_6에서는 다른 주파수 대역의 신호들과 비교해서 중간정도의 감쇠를 보이고 있다.

3.2 가정집에서의 RF신호 통신 특성

환경설정

- 1) Transmitter는 텔레비전과 오디오가 있는 거실에 설치하였다.
- 2) Receiver의 설치지점은 그림 8에서처럼 5지점을 선택하여 테스트하였고 테스트 방법은 측정 지점의 방에 있는 부하를 선택하여, 선택한 부하만 연결한 경우와 연결하지 않은 경우에 대해서 테스트하였다.
- 3) 각 지점의 방에 있는 부하의 종류는 표1과 같고, 테스트 위치와 부하의 위치는 그림 8과 같다.

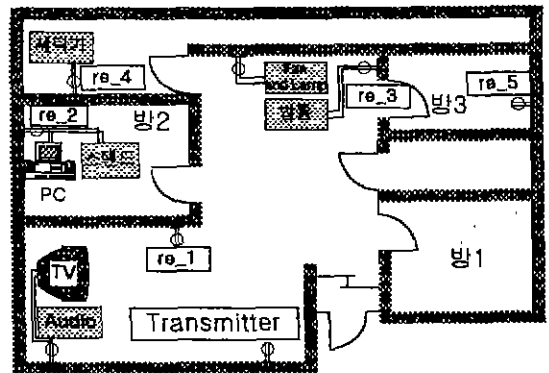


그림 8 가정집의 실험도

표 1. 위치별 부하종류

측정지점	부하종류
re_1	TV, Audio
re_2	Computer, lamp
re_3	fan, lamp
re_4	세탁기
re_5	집 전체의 전동

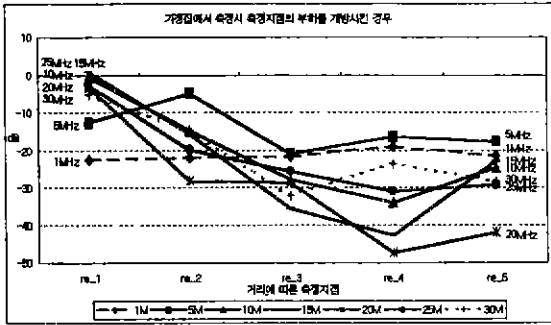


그림 9. 가정집에서 측정 시 측정지점의 부하를 개방시킨 경우

가정집에서의 측정 데이터 분석

그림 9의 그래프는 측정지점의 방에 있는 부하들을 건물내선에 연결하지 않은 경우의 결과이다. Transmitter로부터 측정지점이 re_5로 갈수록 위치적으로 멀게 나타나 있으나 건물 내선의 배선이 어떻게 이루어져있는지 확인할 수 없었으므로 re_1에서 re_5로 갈수록 거리가 멀다고 간주한다.

그림 9에서 가장 적은 감쇠를 보이는 신호는 5MHz 대역의 신호로 다른 주파수대역의 신호들에 비해 작은 감쇠를 보인다. 즉, 모든 측정 지점에서 비교적 감쇠의 변화가 거의 없게 나타난다. 그러나 다른 신호들은 거리가 멀수록 감쇠가 더 크게 나타난다.

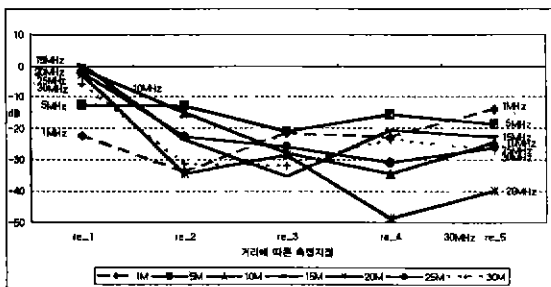


그림 10. 일반가정집에서 측정지점의 부하를 연결시킨 경우의 테스트

그림 10은 측정지점의 방에 있는 부하들을 연결하고 신호를 측정한 결과 그래프이다. 그림 9와 그림 10을 비교하면 TV와 Audio가 설치된 re_1 지점에서는 부하의 영향이 거의 없게 나타났다. 그러나

Computer와 Lamp가 연결되어 있는 re_2지점에서는 1MHz, 5MHz, 15MHz와 30MHz대역의 신호가 부하를 연결하지 않은 상태에서 보다 더 큰 감쇠를 보인다. re_3의 지점에는 환기팬과 요리대에서 사용되는 램프와 밥통이 연결되어 있으나 신호의 감쇠에는 거의 영향을 주지 못한다. re_4의 지점에는 세탁기가 있는 곳으로 세탁기를 전력선에 연결하자 15MHz대역의 신호는 오히려 감쇠가 크게 줄어들었다. 그 외 1MHz의 신호는 약간 감쇠가 줄어들었을 뿐 다른 주파수 대역은 별다른 변화가 없었다. re_5는 집 전체의 전동의 점동여부에 따른 신호의 변화를 보기 위한 것으로 1MHz대역의 부하를 연결시킨 경우에 감쇠가 줄어들었고, 다른 주파수 대역의 신호들은 별다른 변화가 없다.

그런데 여기서 다시 한번 주목해야 할 것은 10MHz 대역의 신호이다. 10MHz대역의 신호는 표 1의 모든 부하의 연결유무에 대해서 어떠한 변화를 보이지 않았다. 즉, 그림 9와 그림 10에서의 10MHz대역의 신호는 아무런 차이가 없다. 10MHz대역의 신호는 부하에 대해서 거의 영향을 받지 않는다. 그리고 가정집에서의 테스트에서 평균적으로 가장 적은 감쇠가 나타났던 대역은 5MHz대역의 신호이다. 5MHz대역의 신호는 re_1, re_5지점에서의 측정지점만 제외하고 모든 측정지점에서 다른 주파수대역의 신호들에 비해 가장 적은 영향을 받는다.

결론

본 논문에서는 건물내선을 이용한 RF신호 통신에서 신호 감쇠에 많은 영향을 주는 부하와 거리에 의한 신호 특성을 알아보려고 하였다. 우선 신호 측정에 사용될 Coupler를 만들기 위해서 시뮬레이션과 직접 테스트를 통하여 Capacitance를 구하였다. 그리고 각 부하의 특성을 알아보려고 기존의 건물내선에 연결되어 있는 부하에 가능한 한 영향을 받지 않기 위해서 신호 측정에 필요한 모의 세트를 준비하였고, Coupler를 이용하여 각 부하의 특성을 알아보았다. 그리고 건물과 가정집에서의 측정된 데이터와 비교하여 가장 적은 감쇠를 보이는 주파수 대역의 신호에 대해서 조사하였다. 그 결과 주파수별 부하 및 거리 특성에서는 10MHz대역의 신호가 0m에서 25m까지의 거리에서 부하에 영향을 가장 적게 받고 거리에 대해서도 거리가 멀수록 감쇠의 커지는 폭이 가장

적었다. 건물에서의 RF신호 통신특성은 평균적으로 15MHz대역의 신호가 가장 좋은 결과를 보였다. 다른 주파수 대역의 신호들이 거리가 멀수록 감쇠가 줄어들어 드는 반면에 15MHz대역의 신호는 감쇠가 가장 적었다. 가정집에서의 RF신호 통신특성에서는 앞의 두 경우-주파수별 부하 및 거리 특성과 건물에서의 RF신호 통신특성-와는 또 다른 결과를 보였다. 가정집에서는 5MHz대역의 신호가 가장 적은 감쇠를 일으키고 있음을 확인하였고, Transmitter와 Receiver와의 거리변화에 상관없이 감쇠가 거의 일정하게 나타났음도 확인하였다.

이러한 결론들을 볼 때 앞의 세 경우-주파수별 부하 및 거리 특성, 건물에서의 RF신호 통신특성, 가정집에서의 RF신호 통신특성-에서 신호 전달에 있어서 감쇠가 적게 일어나는 좋은 결과를 보이는 주파수 대역이 모두 다르게 나타났다. 즉, 가정집의 환경에서라면 가정집에서의 RF신호 통신특성에서 알 수 있듯이 5MHz대역의 신호를 PLC 통신에서 사용하겠고, 사무실이나 연구실 같이 컴퓨터가 많은 곳에서라면 15MHz대역의 신호를 사용하는 것이 더 좋은 결과를 가져올 것이다.

그러므로 다양한 환경에서 power line을 이용한 PLC통신을 하기 위해서는 Transmitter와 Receiver의 동조 채널을 만들어 주위환경에 맞게 주파수를 튜닝시켜야 한다. 그러면 안정된 통신을 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] (주) 기인시스템, "PLC 테이타 통신 조사 연구 보고서", 1997
- [2] JOHN A. MALACK & JOHN R. ENGSTROM, "RF Impedance of United States and European Power Lines", IEEE, pp. 36-38, February 1976.
- [3] H. R. NICHOLSON & J. A. MALACK, "RF impedance of Power Lines and Line Impedance Stabilization Networks in Conducted Interference", pp. 84-86, IEEE, May 1973
- [4] 최평 외, "PSICE 기초와 활용", 북두출판사, 1997.