

논문 2013-50-9-24

# USB 케이블의 전원선에서의 방사성 EMI 개선

(The Reduction Method for Radiated EMI in USB Power Line of Cable)

박 경 진\*, 이 대 우\*, 고 영 목\*, 강 은 균\*\*, 박 종 현\*, 김 근 용\*, 나 극 환\*

(Kyoung-Jin Park, Dae-Woo Lee, Yong-Mok Ko, Jong-Hyun Park, Keun-Yong Kim, and Keuk-Whan Ra<sup>©</sup>)

## 요 약

본 논문에서는 USB(Universal Serial Bus) 케이블 전원선에서의 방사성 EMI(Electro-Magnetic Interference) 개선 방안을 제시한다. 케이블 전원선에서의 EMI 방사현상을 확인하기 위해 무선 비디오 액세스 시스템을 이용하여, 방사성 EMI 결과를 분석하고 초기 측정 결과 규제치 대비 약 3 [dBuV/m] ~ 15 [dBuV/m]를 초과함을 확인한다. 방사성 EMI 원인 분석을 위해, 먼저 USB 케이블 전원선에서의 S-파라미터 측정을 수행하여 케이블의 고주파수대역에서의 규칙적인 공진현상과 방사성 EMI 주파수의 연관성을 분석한다. 그리고, 전원 회로 임피던스 관리 기법을 응용하여 커패시터의 개수 선정, 비드를 이용한 저역 통과 대역 필터를 구성을 통해 케이블 전원선의 공진현상을 저감하는 개선방법을 적용한다. 결론적으로 개선된 회로를 시스템에 적용하여 케이블의 규칙적 공진의 저감방법을 제시하여, 방사성 EMI 테스트 결과 규제치 대비 약 3 [dBuV/m] ~ 20 [dBuV/m] 마진의 마진을 확보하여 제시한 방법의 적합성 확인한다.

## Abstract

In this paper, we studied on improvement for radiated EMI of USB power line of cable. it is made by using wireless video access point system for confirming the phenomenon of radiated EMI from cable. then, we make sure that the limit exceed through the initial measurement of radiated EMI limit criteria in comparison to about 3 [dBuV/m] ~ 15 [dBuV/m]. after that we confirmed the resonance in power line of cable through measurement of s-parameters. so, we confirmed the relation radiated EMI and power line of cable resonance and we reduced radiated EMI in power line of cable through a capacitor and low pass-band filter using the technique of power networks management. in conclusion, we suggested how to reduce power line of cable resonance applied for the improved method. and we confirmed that suggested reduction method is suitable through testing radiated EMI. the result of radiated EMI reduction limit criteria 40[dBuV/m] ~ 47[dBuV/m] in comparison to about 3 [dBuV/m] ~ 20 [dBuV/m].

**Keywords** : USB interface EMI reduction method, PI(Power Integrity), 케이블 전원선 임피던스 불균일

## I. 서 론

최근 들어 전기, 전자 산업과 정보통신 기술이 발달

함에 따라 일상생활에서의 편리함을 누리는 반면 전자 파에 의한 장애와 가정·산업용 전기·전자기기의 오동작, 동작 불능으로 인한 산업 및 인명의 피해와 인체 유해성 논란 등의 부작용도 심각하게 초래하고 있다.<sup>[1]</sup>

또한, 전자기기들은 케이블을 이용하여 데이터 전송과 전원 충전을 하게 된다. 여기서 크게 두 가지 문제점이 제기될 수 있는데, 하나는 케이블의 임피던스 불균일성<sup>[2]</sup>이고 또 다른 하나는 케이블이 EMI 안테나로서 동작하게 된다.<sup>[3~4]</sup> 지금까지 케이블들은 임피던스를 고려하지 않고 설계되었으며, 케이블 특성 또한 사용가능한 주파수 대역에 한계성을 가지고 있다.

\* 정회원, 광운대학교 전자공학과  
(Department of Electronic Engineering, Kangwoon University)

\*\* 정회원, 유한대학교 전자정보과  
(Department of Electronic Engineering yuhan collage)

© Corresponding Author(E-mail: khra@kw.ac.kr)

※ 본 연구는 2013년 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

접수일자: 2013년6월12일, 수정완료일: 2013년8월20일

또한, 케이블은 사용 주파수 대역과 길이에 따라서 임피던스가 변화하게 되며, 주파수가 증가하면서 규칙적인 공진현상이 발생하게 된다.<sup>[5]</sup> 이것은 EMI 방사뿐만 아니라 고속 데이터 전송에서의 에러율(Bit Error Rate) 증가에 영향을 주는 요소이다. 케이블의 주파수 변화에 따른 임피던스 변화 특성은 규칙적인 공진이 일어나는 형태로 볼 수 있으나,<sup>[2, 4]</sup> 반드시 주기적인 형태로 나타나는 것은 아니다. 대부분의 논문들은 케이블의 방사해석에 국한되어 있으며<sup>[2~3, 5]</sup>, 케이블의 사용에 따른 EMI 개선방안은 페라이트 코어(Ferrite Core)를 사용하는 것<sup>[6]</sup>이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 코어를 사용하는 방법은 저주파 대역에 효과는 크지만, 고주파 대역(약 100 MHz~1 GHz)에서는 EMI 제거 효과는 미미한 편이며, 가격도 비싸다.

본 논문에서는 방사성 EMI와 케이블의 전원선에서의 공진 현상과의 연관성을 확인한다. 그리고 케이블 전원선에서의 공진 현상 저감을 위해 전원 관리 기법을 응용하여 캐패시터와 저역통과대역 필터를 최적화한 설계를 하여 케이블에서의 방사성 EMI 개선방법을 제시하고자한다.

## II. USB 전원 신호선에서의 EMI

### 1. USB 전원 신호선에서의 EMI 측정

방사성 EMI의 측정은 3 m 테스트 챔버를 이용하여 측정을 하였고, A급기기는 산업용 기기이며, B급기기는 가정용 기기로 분류하여 각 측정기준을 제시하고 있다. 본 논문에서는 B급기기를 기준으로 하여 측정을 하였으며, 다음 표 1과 같은 기준으로 측정한다.

방사성 EMI 측정과 분석을 위해 사용된 무선 비디오 액세스 포인트 시스템을 이용하여, 시스템 내부의 USB 커넥터(Connector)와 USB 송수신 칩(chip) 사이의 연결 회로이다. 그림 1은 USB 인터페이스 회로로서 커넥터의 2번 핀과 3번 핀으로 데이터 전송을 하게 되고, 1번 핀은 5 V가 인가되는 Vcc 핀이다.

그림 2는 USB를 통한 데이터를 전송 하도록 하여

표 1. 전자파 방사 기준

Table 1. Limit criteria of radiated emission.

주파수 범위[MHz]	준 침투치 허용기준[dBuV/m]	
	A급기기(10 m)	B급기기(10 m)
30 ~ 230	40	30
230 ~ 1,000	47	37

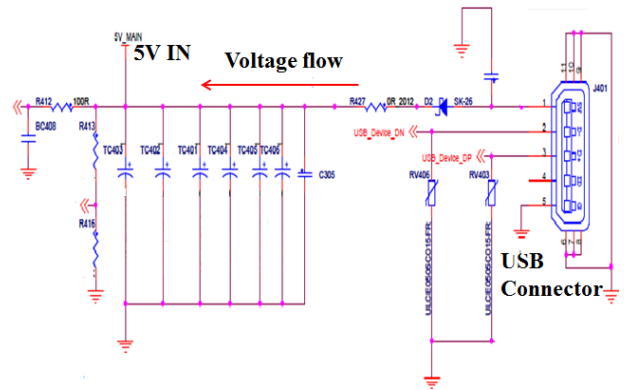


그림 1. USB 인터페이스 회로

Fig. 1. USB interface circuit.

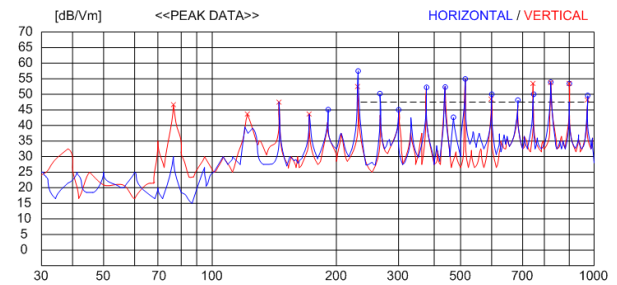


그림 2. USB 인터페이스 회로에서의 EMI 결과

Fig. 2. EMI result to USB interface circuit.

표 2. USB 인터페이스 EMI 규제치 초과 주파수

Table 2. The exceed frequency on USB interface circuit.

No	Frequency [MHz]	Result [dBuV/m]		Limit [dBuV/m]
		H	V	
1	226.425	57.1	51.9	40
2	374.35	52.4	52.2	47
3	449.524	52.6	44.3	47
4	522.274	55.1	50.7	47
5	597.449	50.7	45.4	47
6	672.623	47.3	46	47
7	745.373	49.1	53.7	47
8	820.547	53.1	54.1	47
9	893.297	47.2	54.4	47
10	968.472	48.9	46.6	47

방사성 EMI를 측정한다. USB 인터페이스에서는 다음과 같이 규제치 초과 주파수원으로 분석된다.

시스템의 USB 기능만을 동작시키고, 케이블에 데이터 전송을 한 후 테스트를 수행하고, 측정된 방사성 EMI 결과는 200 MHz~1 GHz사이에서 고르게 초과 주파수가 분포 되어 있고, 규제한도보다 약 3 [dBuV/m]~15 [dBuV/m] 이상 높게 나타나고 있다.

## 2. 케이블 EMI 원인 분석

시스템 EMI 주파수들의 분석을 위해 먼저 케이블 USB 전원선의 S-파라미터를 Agilent사의 8720D 네트워크 분석기를 이용하여, 10 MHz ~ 1 GHz까지 측정하고 다음 그림 3과 같이 셋업 한다.

네트워크 분석기에서 측정한 S-파라미터 특성(S11, S21, S12, S22)는 그림 4와 같은 결과를 나타내고 있다. 측정된 케이블 전원선의 삽입 손실(S21)은 그림 4와 같이 대략 10 MHz~1 GHz 까지 0.6 [dB]~6 [dB]로 측정되었고, 주파수가 증가할수록 삽입손실 특성은 저하되고 있다. 반사손실(S11)은 10 [dB]이하로 나타나게 되지만, 규칙적인 공진형태의 파형을 나타내는 것을 알 수 있다. 그 다음 임피던스 분석을 위해 측정된 S-파라미터를 임피던스 파라미터인 Z-파라미터로 변환하여 임피던스 특성을 확인하였고, 다음식 (1), (2)과 같은 파라미터 변환식에 의해 변환을 하였다.<sup>[6]</sup>

$$Z_{11} = Z_o \frac{((1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21})}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}} \quad (1)$$

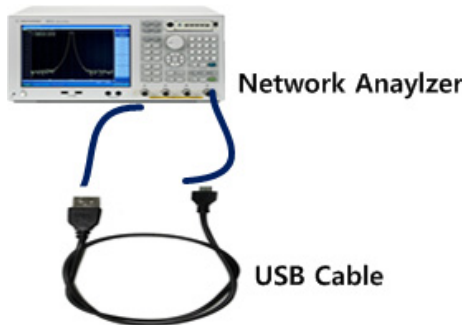


그림 3. 케이블 S-파라미터 측정  
Fig 3. Measurement set-up cable S-parameter.

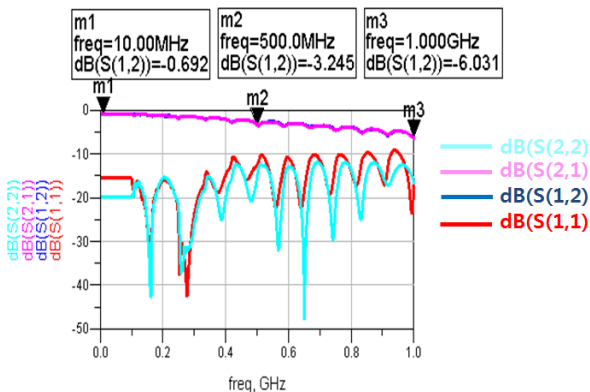


그림 4. USB 케이블의 전원선 S-파라미터 측정 결과  
Fig 4. The S-parameter result of USB cable power line.

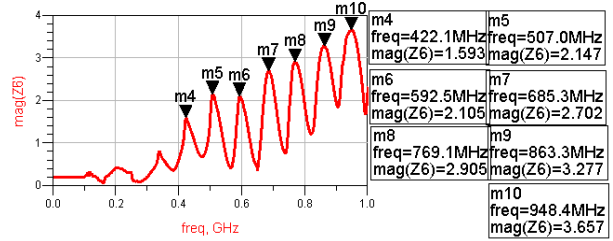


그림 5. USB 전원 케이블의 전달 임피던스 결과  
Fig 5. The transfer impedance result of USB cable power line.

$$Z_{21} = Z_o \frac{2S_{21}}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}} \quad (2)$$

여기서,

$Z_{11}$ : 케이블 자기 임피던스

$Z_{21}$ : 포트(Port)1 과 포트(Port)2간의 임피던스

$Z_o$ : 회로의 특성 임피던스(여기서는 50 [Ω])

$S_{11}, S_{22}, S_{21}, S_{12}$ : 포트(Port)1 과 포트(Port)2 간의 S-파라미터

Z-파라미터 변환식에 의해 다음 그림5와 같이 케이블의 입력과 출력 간 주파수 변화에 따른 임피던스 ( $Z_{11}$ )를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

그림 5에서 400 MHz~1 GHz까지 규칙적인 공진을 하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 공진점에서 과전압 현상을 유발하게 되고 케이블의 안테나 역할로 인해 방사 EMI 발생의 원인이 된다.

## 3. USB 전원인터페이스에서의 EMI 개선방안

케이블의 자기 임피던스와 전달 임피던스 특성의 불안정한 현상은 모든 케이블에서 나타나게 되며, 해결을 위해 먼저 USB 전원선의 관리되어야 할 임피던스 값을 설정하여야 한다. 이를 목표 임피던스라고 칭하고 다음 식 (3)에 의해서 구할 수 있다.<sup>[7]</sup>

$$Z_{target} = \frac{V_{cc} \times (\Delta V_{ripple} \%)}{I_{transient}} [\Omega] \quad (3)$$

여기서,  $Z_{target}$  : 전원선의 타겟 임피던스 [Ω]

$V_{cc}$  : 인가 전압 [V]

$I_{transient}$ : 천이 전류 (최대전류의 1/2) [A]

위 식에 의해서 USB 전원선에 관련된 임피던스를 구하게 되면, 5 [V]가 인가되고 리플(ripple)은 5 %, 전류의 최대 정격이 0.5 [A]이므로 천이 전류는 0.25[A]가

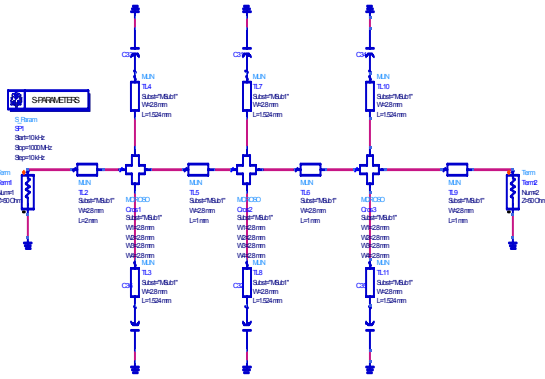


그림 6. 캐패시터의 S-파라미터 시뮬레이션  
Fig 6. S-parameter simulation of the capacitor.

된다. 따라서  $Z_{target}$ 은  $1[\Omega]$ 이 된다. 지금의 케이블에서 임피던스는 400 MHz~1 GHz까지 1~3.6  $[\Omega]$ 까지 지속적인 직·병렬 공진을 반복하고 있다. 따라서 불균일한 임피던스를 목표 임피던스 이하로 만족하기 위한 방안으로 첫째로 캐패시터의 개수를 선정하기 위해 그림 6와 같이 100uF을 병렬로 구성하고 S-파라미터 특성과 임피던스 변화를 살펴보았다.

시뮬레이션을 할 때 삽입손실(S21) 특성은 캐패시터 병렬 삽입 개수에 따라 S-파라미터와 임피던스가 낮게 저감되는 것을 볼 수 있어서, 캐패시터 개수를 한 개씩 증가 시키고 각 파라미터 값의 변화를 시뮬레이션 하였다. 다음 표 3과 표 4는 개수 증가에 따른 S-파라미터와 Z-파라미터의 값을 나타낸 표이다.

위 표에서 보는 바와 같이 4개 삽입시 부터는 5개와 의 그리고 5개와 6개 각 구간에서 S21와 Z21의 특성 변화가 거의 없기 시작하고 있다. 여기서 6개를 사용하는 이유는 임피던스 편차가 발생할 소지가 있기 때문에 안정적인 임피던스 관리를 위해서이다. 따라서 캐패시터를 6개를 사용하고, 그 다음 고주파수 제거용 소자인 칩 페라이트 비드(Chip Ferrite Bead)를 이용하여 저역 통과대역 필터를 구성하여 케이블의 주기적인 공진을 일정 임피던스 이하로 저감하였다. 이와 같은 방법을 사용하게 되면 케이블의 불연속적인 임피던스를 일정 임피던스 값 이하로 떨어뜨리는 효과가 발생하게 된다.

여기서 주의할 것은 인덕터를 사용하여 저역통과대역 필터를 사용하게 되면 통과대역은 저주파 대역이므로, 해당대역의 인덕턴스값은 수[uH]의 값을 가지게 된다. 이러한 값들의 Q인자(Quality Factor)는 100~300의 높은 값을 가지게 되어 통과 하려는 대역에서 신호가 피킹(Peaking) 현상이 발생하게 되며, 저역(100 kHz

표 3. 캐패시터 증가에 따른 S파라미터 삽입손실  
Table 3. The insertion loss of S-parameter according to add a capacitor.

		S-Parameter(S21) [dB]							
		freq [MHz]	442	507	592	685	769	863	948
Capacitor Quantity	1		-32.9	-31.7	-30.4	-29.1	-28.1	-27.1	-26.3
	2		-38.9	-37.7	-36.4	-35.1	-34.1	-33.1	-32.3
	3		-42.4	-41.3	-39.9	-38.6	-37.6	-36.6	-35.8
	4		-44.9	-43.8	-42.4	-41.1	-40.1	-39.1	-38.3
	5		-46.9	-45.7	-44.3	-43.1	-42.1	-41.1	-40.3
	6		-48.5	-47.3	-45.9	-44.7	-43	-42.7	-41.8

표 4. 캐패시터 증가에 따른 Z-파라미터 특성  
Table 4. The characteristic of Z-parameter according to add a capacitor

		Z-Parameter(Z21) $[\Omega]$							
		freq [MHz]	442	507	592	685	769	863	948
Capacitor Quantity	1		3	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.8
	2		2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3
	3		2.3	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7
	4		2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6
	5		2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4
	6		2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3

$z \sim 100$  MHz)에서는 인덕터를 이용하여 저역통과대역 필터를 설계 할 수 없다. 따라서, 비드를 이용한 저역 통과 필터는 0.1 dB 리플(ripple)을 갖고, 차단 주파수 20 MHz이고 3차  $\pi$ 형으로 구성하였으며, 100 MHz에서 감쇄주파수를 정하였고, 체비셰프(Chebyshev) 응답에서의 감쇄 손실은 다음 식 (4)과 같다<sup>[9]</sup>.

$$A_{dB} = 10 \log [1 + \epsilon^2 C_n^2 (\frac{\omega}{\omega_c})'] \tag{4}$$

여기서,  $C_n^2 (\frac{\omega}{\omega_c})'$  :  $(\frac{\omega}{\omega_c})'$ 에서 확인된 차수 n의

Chebyshev 방정식

$$\epsilon = \sqrt{10^{R/10} - 1} \quad (R \text{ dB} : \text{통과대역리플})$$

$$(\frac{\omega}{\omega_c})' = (\frac{\omega}{\omega_c}) \cosh (\frac{1}{n} \cosh^{-1} (\frac{1}{\epsilon}))$$

$(\frac{\omega}{\omega_c})$ : 감쇄 주파수 와 차단 주파수의 비

$$4(\frac{\omega}{\omega_c})^3 - 3(\frac{\omega}{\omega_c}) : \text{차수 } n=3 \text{일 때}$$

체비셰프(Chebyshev) 방정식

위 식을 이용하여 개략적인 감쇄 손실을 정하여 정확한 차수를 구할 수 있다. 그리고 차수에 따른 체비셰프 저역통과 프로토타입 성분 값(Chebyshev Low-Pass Prototype Element Value) 0.1-dB ripple 표<sup>[9]</sup>를 이용하여  $n=3$ ,  $R_s/R_L : 1$ , C1: 1.433, L2: 1.594, C3:1.433의 값을 찾았고, 다음의 변환식을 이용하여 캐패시턴스와 인덕턴스 값을 구하였다.

$$C = \frac{C_n}{2\pi f_c R}, L = \frac{RL_n}{2\pi f_c} \quad (5)$$

여기서,  $C_n, L_n$  : Low-Pass prototype element 값  
 $C, L$  : 캐패시터와 인덕터 값  
 $R$  : 부하 저항 ( 50 ohm)  
 $f_c$  : 차단 주파수

위에 제시된 수식을 이용하여 다음과 같은 결과값을 얻을 수 있다.

$$C=18.8 \text{ pF}, L=0.725 \text{ uH}, C=18.8 \text{ pF}$$

여기서, 캐패시터는 설계된 필터 소자 값을 약간 조정하였고, 인덕터는 인덕턴스 성분이 설계된 L값과 비슷하게 나오는 칩 페라이트 비드(Chip Ferrite Bead)는 Murata사의 BLM18EG221TN1을 이용하였고, 220  $[\Omega] \pm 25\%$  (@100 MHz)의 임피던스와 1 GHz에서는 300  $[\Omega]$ 의 값을 갖고, 정격 전류는 1 [A]이다. USB 전원선에 흐르는 정격 전류는 0.5 [A]이기 때문에 대략 2배의 허용전류를 갖는 소자를 선택하였다.

그림 8의 상단 저역통과 대역 필터에서 저지대역인 고주파 대역인 300 MHz~1 GHz에서 삽입손실(S21)특

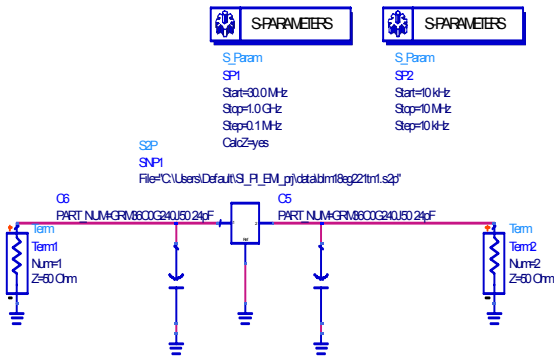


그림 7. Chip Ferrite Bead를 이용한 저역 통과 대역 필터  
Fig 7. The Designed Low pass band Filter using a Chip Ferrite Beads.

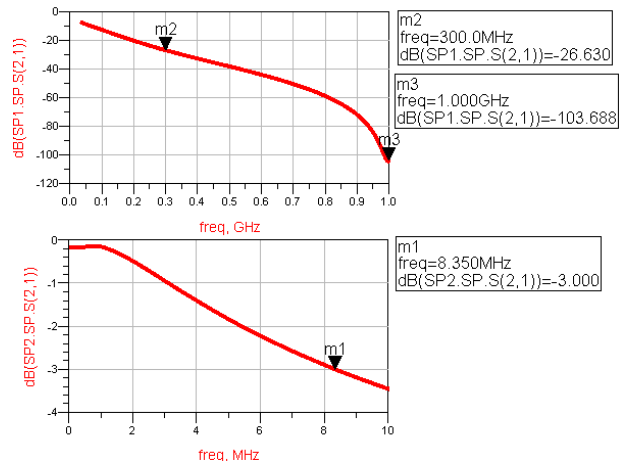


그림 8.  $\pi$ 형 저역 통과 대역 필터 S-파라미터 특성결과  
Fig 8. The S-parameter result of  $\pi$  type low pass filter

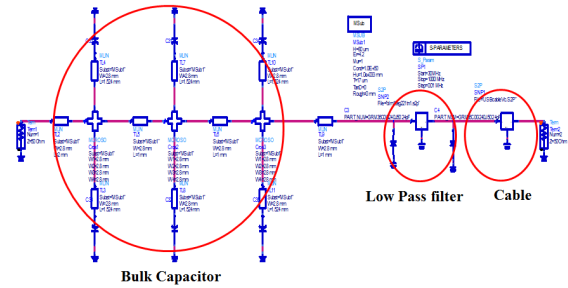


그림 9. USB 전원 회로와 케이블 임피던스 개선 회로 시뮬레이션  
Fig 9. The designed circuit simulation USB power line and cable for The impedance improvement.

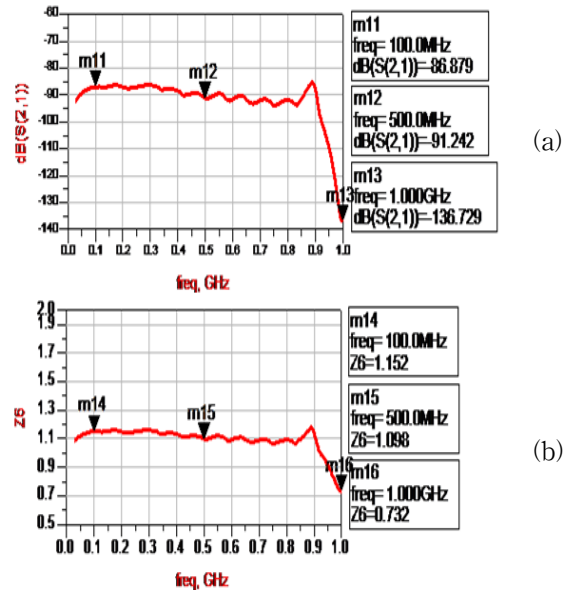


그림 10. (a) 삽입손실(S21) 와 (b) 임피던스(Z21)특성  
Fig 10. The S-parameter and impedance characteristics according to frequency.

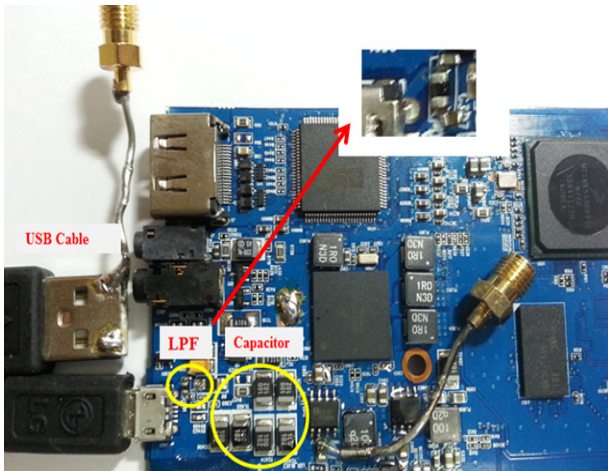


그림 11. USB 전원 회로와 케이블 임피던스 개선 회로  
Fig 11. The designed circuit USB power line and cable for The impedance improvement.

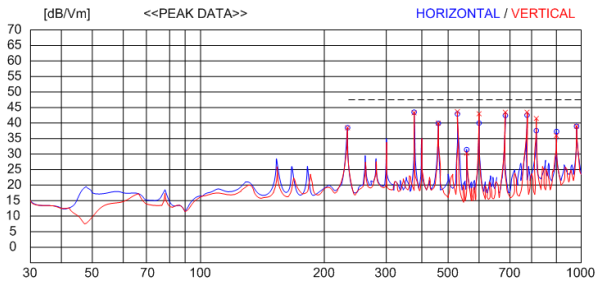


그림 12. USB 인터페이스에서의 방사성 EMI 개선 결과  
Fig 12. The EMI improvement result of the USB interface.

성은 26.6 [dB]~100 [dB] 까지 거의 선형적으로 감소하고 있음을 알 수 있다.

설계된 캐패시터들과 저역통과 대역 필터 그리고 케이블의 측정 데이터를 이용하여 전체 USB 전원선에 연결된 전체 블록을 시뮬레이션을 하기위하여 다음 그림9와 같이 회로를 구성하였다.

그림 9와 같이 구성된 전체 전원 회로에서 방사성 측정 영역인 30 MHz~1000 MHz의 S-파라미터와 임피던스를 분석하였다. 시뮬레이션 특성결과는 그림 10과 같이 100 MHz~ 1000 MHz 까지 1.2 [Ω]이하를 유지하며 목표 임피던스 값을 유지하는 것으로 나타났다.

이로써 목표 임피던스와 근사한 값을 유지함을 알 수 있다.

그림 11와 같이 개선된 회로를 적용한 후 USB 인터페이스에서의 EMI 개선 정도를 측정하여 개선여부를 확인 할 수 있다.

위의 그림 12의 개선 결과로 보아 약 3 [dBuV/m]~20 [dBuV/m]까지 개선된 결과를 표 5에 나타내어 규제치 아래로 개선됨을 확인 할 수 있으며, 규제치의 주파

표 5. USB 인터페이스에서의 EMI 개선 결과

Table 5. The EMI improvement result of the USB interface.

No	Frequency [MHz]	Result [dBuV/m]		Limit [dBuV/m]
		H	V	
1	226.425	37.2	37.9	40
2	374.35	43	43.7	47
3	403.45	36.4	34.2	47
4	449.524	39.8	37.2	47
5	522.274	42.7	41.9	47
6	597.449	40.7	43	47
7	670.198	42.3	42.7	47
8	745.373	43.1	43	47
9	893.297	35.5	37.1	47
10	968.472	37.7	38.7	47

표 6. USB 인터페이스에서 EMI 개선 전 과 개선 후 결과 비교 (H: Horizontal , V: Vertical)

Table 6. EMI result difference comparison before and after in USB interface.

No	Frequency [MHz]	개선 전		개선 후		Limit [dBuV/m]
		H	V	H	V	
1	226.425	17.1	11.9	-2.8	-2.1	40
2	374.35	5.4	5.2	-4	-3.3	47
3	403.45	X	X	-10.6	-12.8	47
4	449.524	5.6	-2.7	-7.2	-9.8	47
5	522.274	8.1	3.7	-4.3	-5.1	47
6	597.449	3.7	-1.6	-6.3	-4	47
7	672.623	0.3	-1	-4.7	-4.3	47
8	745.373	2.1	6.7	-3.9	-4	47
9	820.547	6.1	7.1	X	X	47
10	893.297	0.2	7.4	-11.5	-9.9	47
11	968.472	1.9	-0.4	-9.3	-8.3	47

수 대역분포를 보면 케이블의 공진 주파수와 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 개선 결과를 정리하면 표 5와 같이 나타낼 수 있다.

방사성 EMI 개선 전과 개선 후의 결과는 다음 결과와 같이 나타내었다. 이상과 같이 설계된 USB 전원 개선 회로를 적용하여 상당히 많은 저감 효과를 확인하였다. 여기서, H(Horizontal) 와 V(Vertical)은 안테나 측정 방향을 말한다. 안테나를 수평측 그리고 수직측으로 측정하고 두 값 다 규제치를 초과하지 않아야 한다.

## V. 결 론

본 논문에서는 USB케이블 전원선에서의 규칙적인 공진이 발생함을 측정을 통해 확인 하고 이러한 현상이 EMI 방사 원인이 됨을 분석하였다. 따라서 방사성 EMI의 개선방안으로 전원선의 목표임피던스를 설정하여 캐패시터와 저역통과대역 필터를 설계를 통해 USB 전원 라인의 임피던스를 약1.2 [ $\Omega$ ]대로 유지됨을 시뮬레이션으로 확인 하였다. 그리고, 캐패시터와 저역 통과 대역 필터를 적용하여 케이블의 규칙적인 공진의 저감 방법을 케이블의 원론적 변경을 하지 않고 PCB상에서 케이블의 방사 특성의 개선 방법을 제시하였다. 개선 회로를 적용하여 규제치 대비 약 3 [dBuV/m]~20 [dBuV/m]까지 개선된 결과를 확인하였다.

향후에는 케이블의 고속전송에 적합한 케이블의 개발, 케이블의 임피던스 불균등 해소방안, 차폐등의 다양한 개선 방안들도 함께 연구 하여야 할 것이다.

## REFERENCES

- [1] 육 종 관, 나 완 수, "PCB 및 IC회로에서의 EMC 기술 연구 동향", 전자과학회지, 제23권, 제4호, 2012년 7월.
- [2] Sergio A. Pignari, Antonio Orlandi, "Long-cable effects on conducted emissions levels," IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility, Vol. 45, no. 1, pp. 43 - 54, Feb. 2003.
- [3] A. Guéna, P. Manton, J-F. Gaeng, S. Lamesch, "Modeling of radiated emission from data transmission cables", Proc. of the 10th Int. Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2011), York, UK, pp. 26-30, September, 2011.
- [4] Henry W. Ott, "Noise Reduction Techinques in Electronic System" 2th edition, Wiley & Sons 1988.
- [5] David M. Hockanson, James L. Drewniak, Todd H. Hubing, Thomas P. Van Doren, "FDTD Modeling of Common-Mode Radiation from Cables", IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility, VOL.38, NO. 3, pp. 376-387, Aug. 1996.
- [6] Junichiro Urabe, Katsumi Fujii, Armad Mukifza Bin Harun Yasushi Matsumoto, and Akira Sugiura, "A Study of EMI Suppression Characteristics of Ferrite Cores", Electromagnetic Compatibility, Symposium, pp. 622-625, March 3, 2006.
- [7] 나극환, "알기쉬운 마이크로파 공학", 청문각, 2006년.
- [8] Larry D. Smith, Raymond E. Anderson, Douglas W. Forehand, Thomas J. Pelc, and Tanmoy Roy, "Power Distribution System Design Methodology and Capacitor Selection for Modern CMOS Technology", IEEE Transactions On Advanced Packaging, VOL. 22, NO. 3, pp. 284-291, Aug. 1999.
- [9] Chris Bowick, "RF Circuit Design", Howard W. Sams & Co. Inc, pp. 4~55, 1982.

저 자 소 개



**박 경 진**(정회원)  
 2001년 광운대학교 전자공학부  
 학사 졸업 (공학사)  
 2003년 광운대학교 전자공학과  
 석사 졸업 (공학석사)  
 2013년 광운대학교 전자공학과  
 박사 졸업.

2005년 5월~2008년 1월 블루버드소프트  
 전임 연구원  
 2008년 2월~2010년 9월 애니데이터 코리아  
 선임 연구원  
 <주관심분야 : 통신, 컴퓨터, EMI/EMC, 반도체,  
 수치해석>



**고 영 목**(정회원)  
 1991년 2월 광운대학교  
 전자공학부 (공학사)  
 1993년 2월 광운대학교  
 전자공학과 (공학석사)  
 2006년 9월~현재 (주)디에스티  
 2013년 광운대학교 전자공학과  
 박사 졸업.

<주관심분야 : Radar System, UWB시스템, 수치  
 해석>



**박 중 현**(정회원)  
 2006년 2월 상지대학교  
 국제통상학과 졸업(학사)  
 2010년 2월 광운대학교  
 유비쿼터스, 컴퓨팅 석사  
 졸업 (공학석사)  
 2012년 2월~현재 광운대학교  
 전자공학과 박사과정

2008년 7월~현재 (주)노하 대표  
 <주관심분야 : UWB Antenna, UWB Radar,  
 DSP, EMI/EMC>



**이 대 우**(정회원)  
 2011년 2월 경동대학교  
 멀티미디어 통신과 학사  
 졸업(공학사)  
 2011년 2월~현재 광운대학교  
 전자공학과 석·박통합  
 과정.

<주관심분야 : UWB Antenna, EMI/EMC, DSP,  
 수치해석>



**강 은 균**(정회원)  
 1998년 광운대학교 전자공학과  
 (공학석사).  
 2013년 광운대학교 전자공학과  
 (공학박사)  
 2011년 9월~현재 유한대학교  
 전자정보과 강의전담 교수

<주관심분야 : 반도체, 초고주파, 신호처리>



**김 근 용**(정회원)  
 2008년 2월 경동대학교 멀티미디  
 어통신과 졸업(공학사)  
 2010년 2월 광운대학교 전자공학  
 과 졸업 (공학석사)  
 2010년2월~현재 광운대학교 전자  
 공학과 박사수료

<주관심분야 : UWB Antenna, UWB Radar,  
 DSP EMI/EMC>



**나 극 환**(정회원)  
 1981년 7월 프랑스 ENSEEIHT  
 국립종합과학대학  
 (공학박사)  
 1981년 9월~1986년 12월  
 광운대학교 전자공학과  
 부교수

1987년 1월~1988년 1월 미국 COMSAT 연구소  
 객원연구원

1988년 2월~현재 광운대학교 전자공학과 교수  
 <주관심분야 : RF 및 마이크로파 통신시스템, 밀  
 리미터파 통신 시스템, 수치 해석>