

다기능 케이블을 위한 연성 회로 기판에 내장된 공통 모드 필터

Common Mode Filter Embedded in Flexible Printed Circuit Board for Multi-Function Cable

변진도 · 정상운 · 이근형 · 이해영

Jindo Byun · Sangwoon Jung · Keun-Hyung Lee · Hai-Young Lee

요 약

본 논문에서는 FPC(Flexible Printed Circuit) 케이블에 적층된 나선형 인덕터를 내장하여 다기능 케이블을 위한 공통 모드 필터를 제안하였다. 공통 모드 필터가 내장된 FPC 케이블은 별도의 SMD(Surface Mounted Device) 필터 없이 연성 케이블과 공통 모드 차단 특성을 가짐으로서, 다기능 케이블이라는 새로운 개념을 제시한다. 내장된 공통 모드 필터는 광대역의 공통 모드 차단 대역을 가지고 손실이 큰 페라이트와 같은 자성 물질을 사용하지 않아 차동 모드 삽입 손실 및 반사 손실이 향상되었다. 3-turn 인덕터를 가진 공통 모드 필터는 공통 모드 차단 대역이 0.4~3.12 GHz이며, 페라이트를 적용한 상용 LTCC(Low Temperature Co-fire Ceramic) 공통 모드 필터에 비해 3 GHz에서 1.95 dB, 8 GHz에서 6.97 dB의 향상된 차동 모드 삽입 손실을 갖는다.

Abstract

In this paper, a spiral shaped common mode filter(CMF) embedded in a flexible printed circuit board(FPCB) is proposed for a multi-function cable. The CMF embedded in a FPC cable presents a new concept as a multi-function cable by the common mode rejection characteristics without a surface mounted device(SMD) CMF. The embedded CMF has a wideband common mode rejection bandwidth and an enhanced differential mode characteristics compared to conventional CMFs that use a magnetic material such as a ferrite of high loss. The proposed CMF of 3 turn inductors has a common mode rejection bandwidth from 0.4 GHz to 3.12 GHz and has 1.95 dB at 3 GHz, 6.97 dB at 8 GHz improvements of a differential mode insertion loss compared to the commercial LTCC(Low Temperature Co-fire Ceramics) CMFs.

Key words : FPC, Common Mode Filter, Multi-Function Cable, Common Mode Emission Noise Suppression

I. 서 론

최근 정보량의 증가와 전자기기의 고성능화로 인해 데이터는 점차 대용량화되고 이를 빠르고 정확하게 전송하는 것이 중요한 고려사항이 되었다. 특히, I/O 단 간 대역폭이 전체적인 시스템 성능의 중요한 부분이 되고 있다. 이 중 내부 I/O 단에서의 전송보

다 외부 I/O 단 전송이 잡음에 많이 노출되기 때문에 잡음에 강한 저전력 고속 데이터 전송 기법이 필수적이며, 이를 충족시키기 위해 디스플레이, 통신용 허브, 디지털 휴대기기 등에 적용되는 LVDS(Low Voltage Differential Signaling)가 제안되었다^{[1][2]}. 하지만 실제 설계에 있어 전기적인 길이의 비대칭성, 임피던스 부정합, 주변 선로의 누화 및 구조의 불연속

아주대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20071211-144

· 수정완료일자 : 2008년 2월 26일

면에 의해 위상 및 전압차가 발생한다^{[3]~[5]}. 이는 데이터 전송률에 비례하여 공통 모드 전류 발생 및 반사 잡음 발생의 원인이 된다. 또한, 휴대용 정보 기기의 전송 방식이 저전력/저전압인 경우, 우수한 신호 무결성(signal integrity) 및 낮은 전송 에러율(BER)을 위해 EMI에 대한 전자파 내성을 갖추어야 한다.

앞서 언급된 문제들을 해결하기 위해 현재까지 여러 공통 모드 필터가 제안되었다. 기존에 제안된 공통 모드 필터는 공통 모드 전류 차단을 위해 높은 투자율의 페라이트를 사용하였다. 하지만 주파수가 올라갈수록 페라이트의 비투자율은 작아지고 물질 손실은 증가하여 차단 특성은 줄어들고, 차동 모드에 대한 삽입 손실이 증가하는 문제점이 나타난다^{[7]~[9]}. 이에 대한 해결 방안으로 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 공정을 이용, 기존의 나선형 인덕터를 내장한 다층 공통 모드 필터가 제시되었다^[10].

한편, FPC(Flexible Printed Circuit)는 3차원 입체 배선, 소형 및 경량화가 가능하고 굴곡성이 우수하여 휴대정보기와 평판 디스플레이에 고속 디지털 데이터 I/O단 연결부로서 활용되고 있어 앞서 언급한 공통 모드 잡음에 대한 문제에 동일하게 적용될 수 있다^[6].

본 논문에서는 다양한 휴대용 정보 기기 I/O단으로 사용되는 FPC Cable에 적층된 두 인덕터로 구성된 공통 모드 필터를 제안한다. 내장된 공통 모드 필터는 FPC cable의 길이 공간의 일부를 사용하여 추가적인 공간 점유가 없다. 또한, 별도의 SMD 타입 필터가 필요 없어 전자기기의 경량화, 소형화 할 수 있는 장점을 가질 뿐만 아니라 굴곡성과 같은 특성과 함께 공통 모드 잡음을 차단할 수 있어 다기능 케이블이란 새로운 개념을 제시한다. 그리고 제안된 필터는 페라이트와 같은 자성 물질을 사용하는 기존 필터와 달리, 높은 주파수에서 차동 모드 신호에 대해 우수한 삽입 손실을 가지는 동시에 공통 모드 신호에 대한 광대역 차단 특성을 가진다. 제안된 FPC 케이블에 내장된 공통 모드 필터(3-turn)는 3 GHz에서 -1.34 dB, 10 GHz에서 -4.45 dB의 차동 모드 삽입 손실을 가지고 상용 LTCC 공통 모드 필터^[11]에 비해서 3 GHz에서 1.95 dB, 8 GHz에서 6.97 dB가 향상되어 고속 디지털 신호에 대한 신호 무결성을 보장한다. 공통 모드 차단 대역(-10 dB 이하, 3 turn)은

0.4~3.12 GHz으로써 XGA(eXtended Graphics Array), WXGA(Wide eXtended Graphics Array) 및 그 이상의 해상도를 가지는 전송 매체 등에 적용할 수 있다.

제안된 FPC Cable에 내장된 나선형 공통 모드 필터는 차단 대역에서 공통 모드 잡음 차단을 통해 반사 잡음을 줄여줌으로서 EMI(Electromagnetic Interference) 효과를 개선할 수 있고, 케이블로의 외부 잡음 유입을 자체적으로 차단할 수 있어 우수한 전자파 내성(immunity)을 갖는 것을 기대할 수 있다. 또한, 작은 차동 모드 삽입 손실 및 반사 손실은 고속 디지털 전송의 신호 무결성 보장을 기대할 수 있다.

II. 본 론

2-1 공통 모드 필터의 원리 및 등가 회로 모델

일반적인 공통 모드 필터는 그림 1과 같은 기본적인 원리를 통해서 특성을 구현할 수 있다. 1:1 트랜스포머 형태를 가진 것으로서 두 인덕터에 공통 모드 전류가 흐르는 경우 각 인덕터의 자기 인덕턴스(self inductance)에 상호 인덕턴스(mutual inductance)가 합쳐짐으로써 공통 모드 임피던스가 높아진다. 반대로, 차동 모드인 경우에는 자기 인덕턴스에 상호 인덕턴스 값만큼이 상쇄된다. 이상적인 트랜스포머($K=1$)인 경우에는 인덕턴스가 영의 값을 가지게 되어 차동 모드 전송 선로로 유지되고, 반대로 공통 모드인 경우는 인덕턴스가 2배로 되어 공통 모드 임피던스가 증가하여 필터로서의 기능을 가진다. 이러한 공통 모드 필터를 구현하는데 가장 많이 적용되는 구조는 나선 형태가 위아래로 적층된 것이다^{[7]~[9],[11]}. 위 아래로 적층됨으로써 보다 큰 상호 인덕턴스를 얻을 수 있으며, 차동 선로를 구현하기 용이하여 본 논문이 제안하는 구조도 이러한 구조가 적용되었다. 그림 2(a)는 본 논문이 제안한 다기능 FPC 케이블을

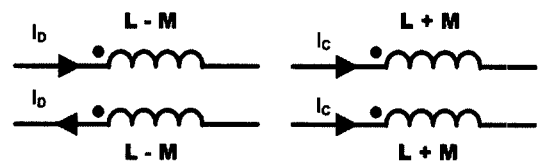


그림 1. Common mode filter 기본 원리 구조
Fig. 1. The principle of common mode filter.

위한 공통 모드 필터 구조로서 위 아래층에 나선형 인덕터가 적층되어 있다. 그림 2(b)는 등가회로 모델을 표현한 것이다. 등가회로 모델은 상호 결합된 인덕턴스를 적절히 표현하고, 차동 모드 전송 선로를 구현하기 위해 여러 단으로 표현되었다. 먼저 L_{Sn} 은 각 단의 자기 인덕턴스의 값이며, C_{Pn} 는 각 층의 인덕턴스 선로 간의 커패시턴스 값을 나타내고, K 는 결합 계수로서 상호 인덕턴스에 영향을 미친다. 그리고 C_s 는 각 층 인덕턴스에 대한 기생 커패시턴스 값을 나타낸다. 공통 모드 필터는 공통 모드 전류에 대해서 높은 임피던스를 유지함과 동시에 차동 모드 전류에 대해서는 전송 선로로 유지되어야 하기 때문에 차동 모드 임피던스에 대한 정합도 고려해야 한다. 각 단의 인덕턴스(L_{Sn}), 커패시턴스(C_{Pn}) 및 결합 계수(K)들은 선폭(W)과 층간 간격(D)에 의해 큰 영향을 받기 때문에 선폭과 층간 간격을 적절히 조절함

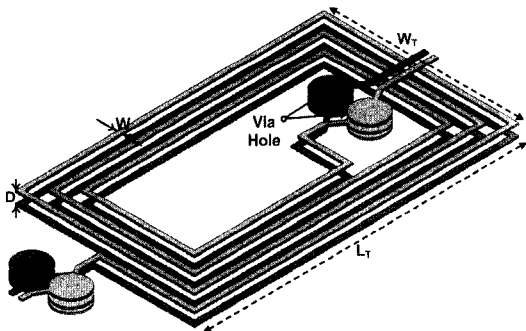
으로써 차동 모드 임피던스 정합을 얻을 수 있다.

2-2 FPC 케이블에서의 공통 모드 필터의 설계

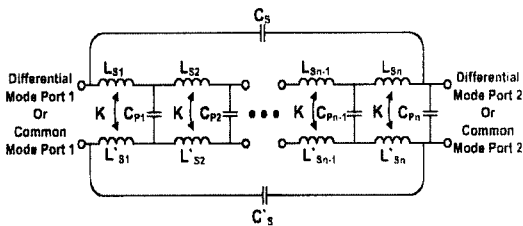
앞 절에서 언급한 바와 같이 차동 모드 임피던스 정합은 높은 결합 계수와 동시에 중요하게 고려해야 하는 요소이다. 차동 모드 임피던스는 식 (1)^[10]과 같이 각 인덕턴스 단의 자기 인덕턴스, 상호 결합 계수 및 커패시턴스 요소가 포함된다.

$$Z_{od} = 2 \times \sqrt{\frac{j\omega L_s(1-K)}{j\omega C_p}} \quad (1)$$

적용된 FPC 공정에서 제작 가능한 선폭은 50 μm 이상이며, 두 인덕터 층간 간격은 각 12.5, 20, 45 μm 이다. 자기 인덕턴스를 크게 하기 위해서 선폭이 최대인 작을수록 좋으며, 이를 기준으로 층간 간격을 변화시키면서 최적화 과정을 진행하였다. 그림 3(a)는 층간 간격, 선폭에 따라 차동 모드 임피던스(Z_{od})의 변화를 보여준 그래프이다. 먼저, 층간 간격이 좁아지고, 선폭이 넓어질수록 커패시턴스(C_{Pn})가 증가하여 차동 모드 임피던스는 작아진다. 우선적으로 임피던스 정합이 고려되어야 하므로, 차동 모드 임피던스가 80 ohm인 선폭 50 μm , 최대 층간 간격 45 μm 을 선택할 수 있다. 하지만 정확한 임피던스 정합을 위해서는 층간의 커패시턴스(C_{Pn})를 작게 해야 하고 이를 위해 선간의 간격을 더 멀리 할 필요가 있다^[10]. 최대 층간 간격이 45 μm 이므로 그림 3(c)와 같은 오프셋 구조를 적용할 수 있다. 그림 3(b)는 선폭 50 μm 에서 오프셋 거리를 바꾸면서 차동 모드 임피던스 값의 변화를 나타낸 것이다. 결과에서 보듯이 오프셋이 커질수록 임피던스 값은 점차 100 ohm에 가까워지고, 결론적으로 층간 간격 45 μm , 선폭 50 μm , 오프셋 100 μm 일 때 정확히 임피던스 값이 100 ohm을 가지므로 최적화된 구조로 볼 수 있다. 표 1은 최적화된 구조에서 그림 2(b)의 등가회로가 8단($n=8$)인 경우로부터 추출된 등가 모델 파라미터를 나타낸 것이다. 먼저 자기 인덕턴스(L_{Sn})는 5.98 nH이며, 두 인덕터 간의 결합 계수는 0.95, 층간 커패시턴스(C_{Pn})는 1.42 pF을 가진다. 또한, 나선형 인덕터의 총 기생 커패시턴스는 0.065 pF을 가진다. 그림 4(a)는 사용된 FPC 적층 구조를 나타낸 것이다. 층 1은 급전 차동 선로가 포함된 층이며, 각 선로는 비아를 통해 층



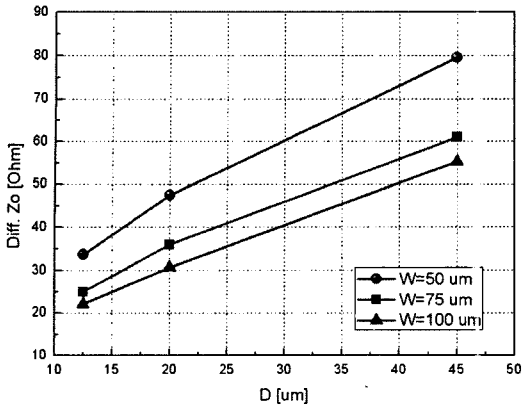
(a) 제안된 나선형 공통 모드 필터 구조
(a) Structure of the proposed common mode filter



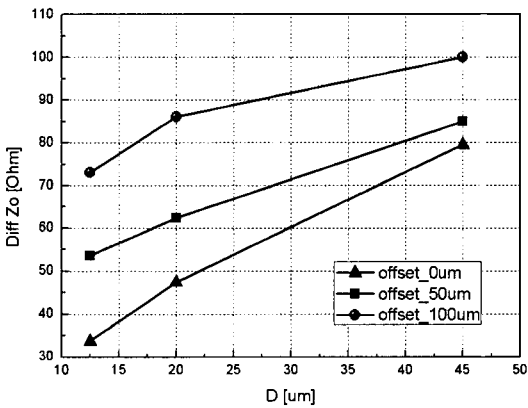
(b) 제안된 공통 모드 필터의 등가 모델(n단)
(b) The equivalent circuit model of the proposed structure (Nth-order)

그림 2. FPC 케이블에 내장된 공통 모드 필터의 구조 및 등가회로

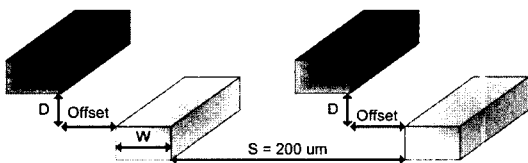
Fig. 2. The structure and equivalent mode of the proposed common mode filter embedded in FPC cable.



(a) 오프셋을 적용하지 않은 경우
(a) Without offset structure



(b) 오프셋을 적용한 경우[W=50 um]
(b) With offset structure[W=50 um]



(c) 오프셋 구조
(c) Offset structure

그림 3. 층간 간격 및 선폭에 따른 차동 모드 임피던스 결과 그래프 및 오프셋 구조

Fig. 3. Diff Z_o graph according to line width(W) & distance between layer.

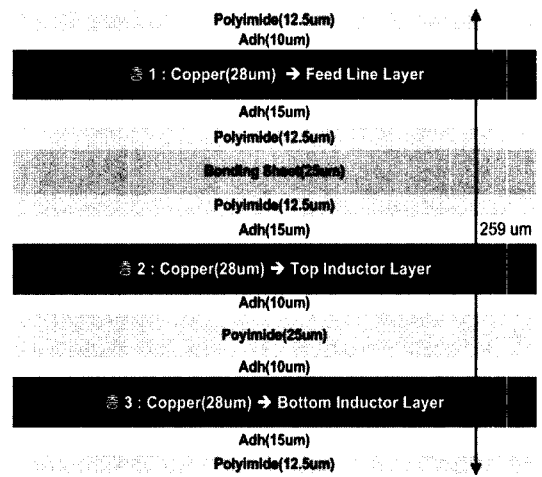
2와 3으로 연결되어 나선형 인덕터로 구성되고, 다시 비아를 통해 각 선로는 층 1로 연결된다. 또한, 사용된 FPC의 비유전율은 3이며, 손실 탄젠트는 0.035로 대부분 구리층과 polyimide층을 접합시키는 adhesion 층에서 나타나는 손실이다. 그림 4(b)는 공통 모드

표 1. 최적화된 구조에서 추출된 등가 파라미터

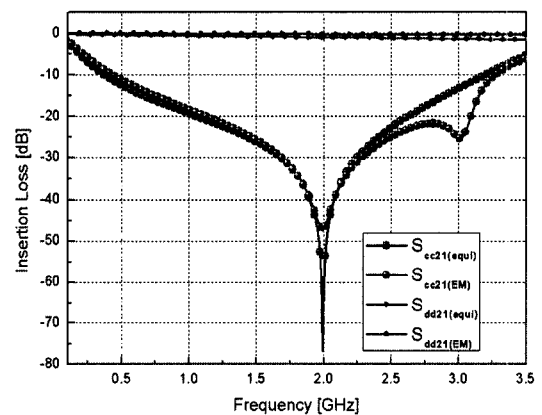
Table 1. Parameter extracted from optimized structure.

L_{Sn} [nH]	K	C_{Pn} [pH]	C_S [pH]	Z_{od} [ohm]
5.98	0.95	0.142	0.065	100

필터의 등가 모델 및 EM 시뮬레이션 결과를 도시한 것이다. 적용된 각 인덕터의 턴 수는 3번이며, -10 dB 이하 공통 모드 차단 특성(S_{cc21})은 0.43~3.29 GHz이다. 이는 등가회로 모델 및 EM 시뮬레이션 결과에 모두 유사하게 나타났다.



(a) 적용된 FPC 적층 구조
(a) Applied FPC layout



(b) 제안된 공통 모드 필터의 시뮬레이션 결과
(b) Simulation results of proposed common mode filter

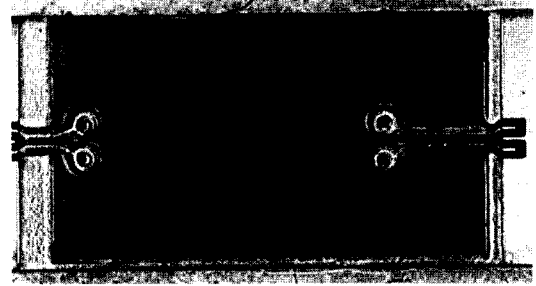
그림 4. 최적화된 공통 모드 필터에 적용된 FPC 적층 구조 및 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Applied FPC layout & simulated results of the optimized common mode filter.

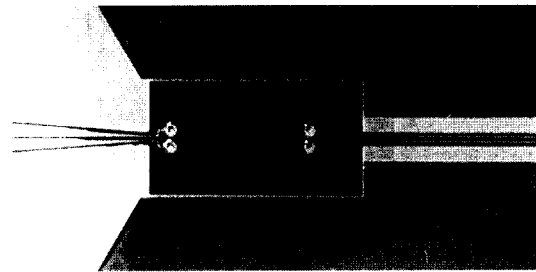
2-3 제작된 공통 모드 필터 측정 결과

2-3-1 S-parameter 측정 결과

제작된 FPC 케이블에 내장된 공통 모드 필터는 E5130A 4-port vector network analyzer 및 GSGSG(Ground-Signal-Ground-Signal-Ground) 150 μm pitch probe tip을 이용하여 측정하였고, 차동 모드 및 공통 모드 급전은 차동 모드 임피던스는 100 ohm, 공통 모드 임피던스는 25 ohm을 가지는 급전 선로를 통해 이루어졌다. 제작된 공통 모드 필터의 가로 길이(W_T)는 5 mm이며, 세로 길이(L_T)는 2.9 mm를 갖는다. 그림 5(a)는 제작된 4 turn 인덕터를 갖는 FPC에 내장된 단품 공통 모드 필터 사진이며, 그림 5(b)는 FPC 케이블에 공통 모드 필터를 내장한 구조의 촬영 사진이다. 그림 6은 3 turn 및 4 turn 인덕터를 갖는 공통 모드 필터의 측정 결과를 도시한 것이다. 먼저 그림 6(a)는 -10 dB 이하 공통 모드 차단 특성(S_{cc21})으로써 3 turn은 0.4~3.12 GHz이며, 4 turn은 0.31~2.8 GHz의 결과를 나타낸다. 그림 6(b)는 차동 모드 삽입 손실(S_{dd21}) 및 반사 손실(S_{dd11})을 도시한 것으로 3 GHz에서 3 turn은 -1.34 dB, 4 turn은 -1.6 dB를 가지며, 10 GHz에서는 3 turn은 -4.45 dB, 4 turn은 -4.77 dB의 값을 가진다. 반사 손실은 전체적으로 -20 dB 이하로 유지가 되므로 손실 탄젠트가 높은 adhesion 층이 제거된 FPC를 사용한다면 좀 더 개선된 차동 모드 삽입 손실을 기대할 수 있다. 공통 모드 필터에서 차동 모드와 공통 모드간의 상호 변환되는 모드 변환량 S_{cd21} 및 S_{dc21} 은 전기적인 대칭성이 잘 유지가 되어야 억제되는 것으로서 비대칭성이 커진다면, 필터가 잡음원의 역할을 하고 차동 모드 삽입 손실에도 영향을 미칠 수 있어 무시할 수 없는 요소이다. 그림 6(c)는 모드 변환량 측정 결과로서 측정 주파수 대역에서 -20 dB 이하로 유지되어 필터 자체의 전기적인 대칭성 및 노이즈 발생 억제가 잘 됨을 알 수 있다. 그림 7은 제안된 필터와 상용 LTCC 공통 모드 필터의 삽입 손실 및 반사 손실을 비교한 것이다. 상용 LTCC 공통 모드 필터는 인덕턴스를 높이기 위해 페라이트가 사용되어 3 GHz에서 -3.29 dB, 8 GHz에서 -10.26 dB로써 제안된 구조보다 큰 삽입 손실을 가진다.



(a) 제작된 4-turn FPC에 내장된 공통 모드 필터
(a) Fabricated 4-turn common mode filter embedded in FPC cable



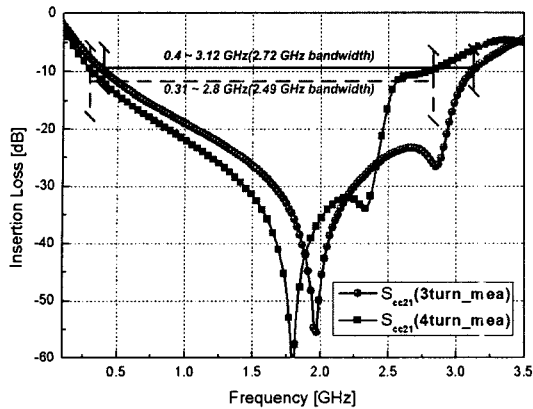
(b) 공통 모드 필터가 내장된 FPC 케이블
(b) FPC cable with common mode filter

그림 5. FPC에 내장된 공통 모드 필터 촬영 사진
Fig. 5. The photograph of common mode filter embedded in FPC cable.

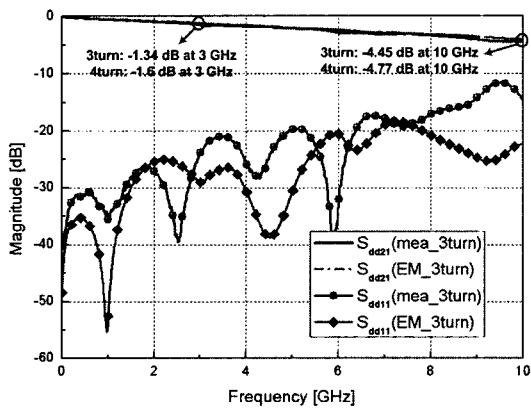
2-3-2 TDR 임피던스 및 Eye Diagram 측정 결과

제작된 FPC 케이블에 내장된 공통 모드 필터가 차동 모드 신호에 대해 미치는 영향을 확인하기 위해 차동 TDR 임피던스와 eye diagram을 Agilent의 86100C를 이용하여 확인하였다. 그림 8은 4 turn 공통 모드 필터에 대한 TDR 임피던스를 나타낸 것이다. 먼저 짧은 구간에서의 정확한 임피던스 변화량을 측정하기 위해 TDR 펄스의 상승 시간을 12 ps로 설정하였다.

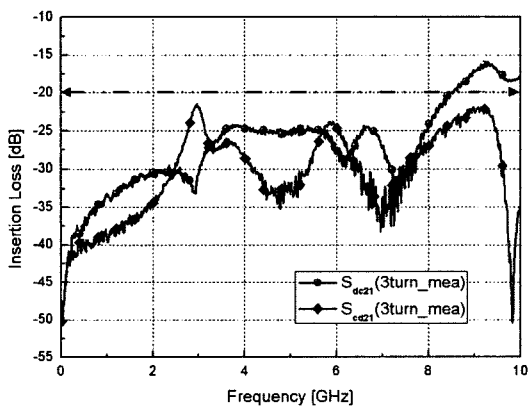
측정 결과에서 전체적으로 100~102.5 Ohm에서 유지되고 있으며, 최대 4.375 Ohm의 차이를 보여 차동 모드 임피던스 정합이 잘 되었음을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 9는 eye diagram을 나타낸 것으로서 1 Gbps 차동 PRBS 2³¹의 디지털 신호가 필터를 통과할 때 필터에 의한 신호 왜곡 여부를 확인하기 위해 수행하였다. 그림 9(a)는 공통 모드 필터 없이 일반 결합 CPW 선로에 대한 결과이고, 그림 9(b)는 공통



(a) 공통 모드 삽입 손실
(a) Insertion loss of common mode



(b) 차동 모드 삽입 손실
(b) Insertion loss of differential mode



(c) 모드 변환 삽입 손실
(c) Insertion loss of mode conversion

그림 6. FPC 케이블에 내장된 공통 모드 필터 S-parameter 측정 결과
Fig. 6. S-parameter measurement results of common mode filter embedded in FPC cable.

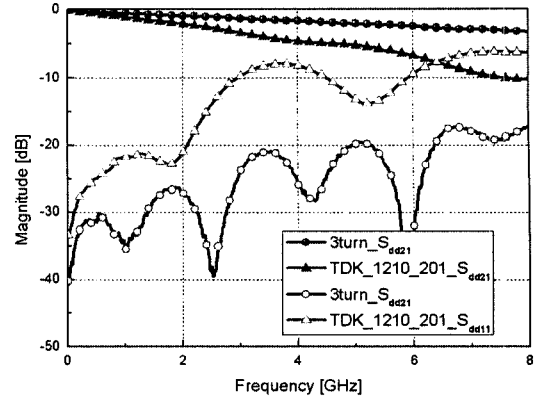


그림 7. 제안된 공통 모드 필터와 상용 LTCC 공통 모드 필터의 차동 모드 특성 비교
Fig. 7. Comparison of S_{dd21} & S_{dd11} between the proposed structure and commercial common mode filter.

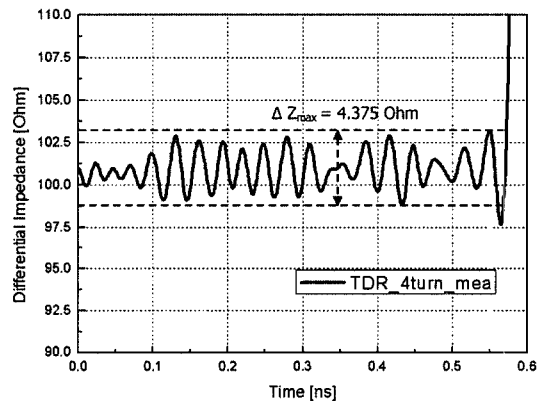
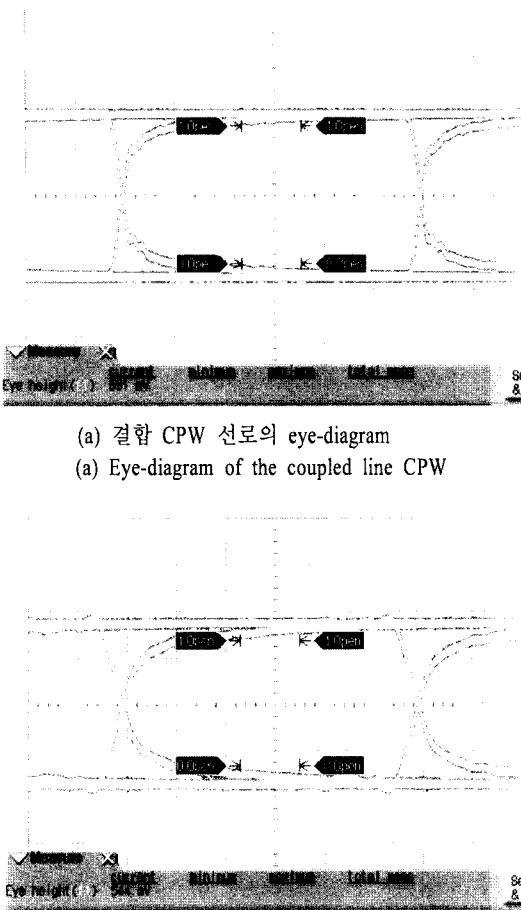


그림 8. FPC 케이블에 내장된 4 turn 공통 모드 필터 차동 TDR 임피던스 측정 결과
Fig. 8. Differential TDR impedance measurement results of the 4 turn common mode filter embedded in FPC cable.

모드 필터가 있을 때의 결과이다. 비교 결과, 디지털 신호의 eye-width/height는 필터가 없을 경우 990 ps 및 591 mV이며, 필터가 있을 경우 983 ps 및 544 mV의 값을 가진다. 즉, 제안된 공통 모드 필터의 차동 모드 삽입 손실에 의한 신호 전압이 감소되는 것 외에는 큰 왜곡 현상이 나타나지 않음을 알 수 있다.

2-3-3 공통 모드 방사 잡음 억제 여부 측정 결과

차동 모드 전송 선로에서 전기적인 비대칭성 및



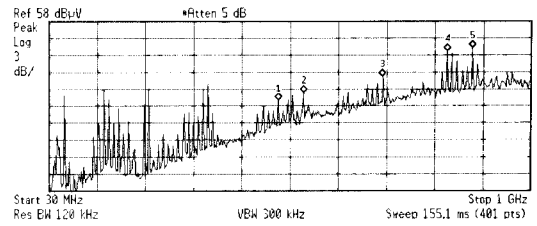
(a) 결합 CPW 선로의 eye-diagram
(a) Eye-diagram of the coupled line CPW

(b) 4-turn 공통 모드 필터의 eye-diagram
(b) Eye-diagram of the 4-turn common mode filter

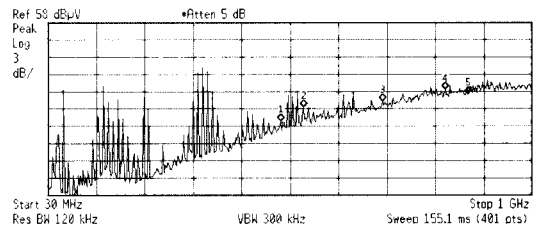
그림 9. FPC 케이블에 내장된 4 turn 공통 모드 필터와 결합 CPW의 차동 eye-diagram 측정 결과

Fig. 9. Differential eye-diagram measurement results of the 4 turn common mode filter embedded in FPC cable and conventional coupled line CPW.

임피던스 불연속점에 의해서 공통 모드 전류가 발생되고, 그에 따라서 공통 모드 방사 잡음이 나타난다. 이러한 방사 잡음은 주변 기기들에 악영향을 미칠 수 있고, EMC 규격에 미달될 수 있다. 그림 10, 11은 기존 차동 전송 선로에서의 방사 잡음을 확인하고 제안된 공통 모드 필터를 FPC 케이블에 내장한 다음 공통 모드 방사 잡음 억제 효과를 측정하는 것이다. 측정은 3 m 전자파 무반향실에서 차동 전송 선로 FPC 케이블 및 그림 5(b)와 같은 공통 모드 필터가



(a) 기존 차동 CPW 전송 선로
(a) Conventional coupled CPW FPC cable



(b) 공통 모드 필터가 내장된 차동 CPW 전송 선로
(b) Coupled CPW FPC cable with common mode filter

단위: $dB\mu V$

Type \ MHz	482	527	691	830	885
Reference structure	41.9	44.12	48.3	52.62	53.15
Proposed structure	38.96	42.52	45.12	47.95	47.51

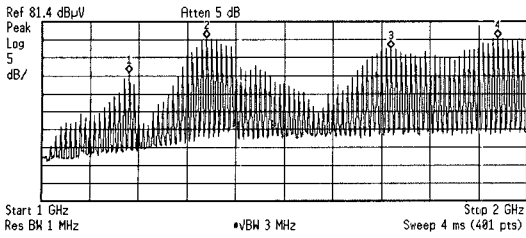
그림 10. 1 GHz 이내 영역, Y 방향에서의 공통 모드 방사 잡음 측정 결과

Fig. 10. Measured results of common mode radiation noise below 1 GHz at Y-direction.

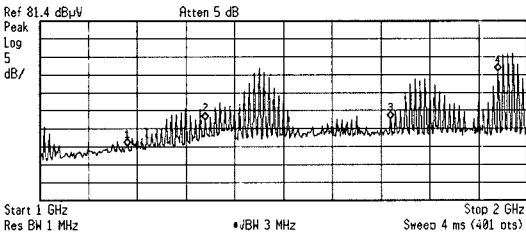
내장된 FPC 케이블에 신호 발생기로부터 공통 모드 전류(잡음)를 인가하여 그에 따른 방사 잡음을 확인하였다. 0.03~1 GHz 사이의 공통 모드 방사량은 482 MHz에서 2.94 dBμV, 691 MHz에서 3.18 dBμV, 885 MHz에서 5.64 dBμV가 줄어들었고, 1~2 GHz 내의 방사량은 1.18 GHz에서 19.89 dBμV, 1.345 GHz에서 23.54 dBμV, 1.728 GHz에서 20.23 dBμV, 1.943 GHz에서 9.61 dBμV로 크게 줄어들어 기존의 단순 FPC cable과 비교하여 높은 EMI 저감 특성을 확인할 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 FPC 케이블에 적용된 나선형 인덕



(a) 기존 차동 CPW 전송 선로
(a) Conventional coupled CPW FPC cable



(b) 공통 모드 필터가 내장된 차동 CPW 전송 선로
(b) Coupled CPW FPC cable with common mode filter

단위: $dB\mu V$

GHz Type	1.18	1.345	1.728	1.943
Reference structure	65.89	76.74	73.17	76.93
Proposed structure	46	53.2	52.94	67.32

그림 11. 1~2 GHz 영역, Y 방향에서의 공통 모드 방사 잡음 측정 결과
Fig. 11. Measured results of common mode radiation noise from 1 GHz to 2 GHz at Y-direction.

터를 내장하여 다기능 케이블을 위한 공통 모드 필터를 제안하였다. 내장된 공통 모드 필터는 연결을 위한 기존의 FPC Cable 공간의 일부를 사용하여 추가적인 공간이 필요 없다. 또한, 기존의 제안된 구조와 달리 페라이트와 같은 자성 물질을 적용하지 않음으로서 광대역의 공통 모드 차단 대역을 갖고 차동 모드의 삽입 손실 및 반사 손실이 줄어들었다. 공통 모드 차단 대역은 3 turn 구조인 경우 0.4~3.12 GHz, 4 turn은 0.31~2.8 GHz의 광대역 특성을 갖는다. 페라이트 물질을 사용한 상용 LTCC 공통 모드 필터에 비해 차동 모드 삽입 손실은 3 GHz에서 1.95 dB, 8 GHz에서 6.97 dB 향상되었다. 반사 손실은 6.5 GHz 이하에서 -20 dB 이하의 값을 가져 링잉 현상

을 최소화할 수 있어 고속 디지털 신호 전송에 적합하다. 그리고 차동 TDR 임피던스, eye-diagram 및 공통 모드 방사 잡음을 측정함으로써 다기능 케이블을 위한 FPC 케이블에 내장된 공통 모드 필터의 특성을 검증하였다. 본 논문이 제안한 공통 모드 필터를 내장한 FPC 케이블은 추가적인 SMD 타입 공통 모드 필터 없이 XGA & WXGA급 혹은 그 이상의 해상도를 가지는 휴대 통신 기기 및 노트북 내의 LCD와 메인 보드 연결부 및 평판 디스플레이 내의 보드와 패널간의 연결부에 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Electrical characteristics of low-voltage differential signaling(LVDS) interface circuits, TIA/EIA-644, National Semiconductor Corp., ANSI/TIA/EIA, 1996.
- [2] IEEE Standard for Low-Voltage Differential Signals(LVDS) for Scalable Coherent Interface(SCI), 1596.3 SCI-LVDS Standard, IEEE Std. 1596. 3-1996, Jul. 1996.
- [3] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, New York: Wiley, 1992.
- [4] C. R. Paul, "A comparison of the contributions of common mode and differential mode currents in radiated emissions", *IEEE Trans. Electromagn. Comp.*, vol. 31, pp. 189-193, May 1989.
- [5] F. J. Tiley, "Reducing radiated emissions on high speed signal lines using common mode choke coils", in proc. *IEEE Int. Symp. Electromagnetic Compatibility*, pp. 435-439, 1995.
- [6] 홍순관, *플렉시블 PCB*, 홍릉과학출판사, 2006.
- [7] Y. Kaizaki, F. Tsuda, and S. Shinohara, "Development of common mode filter with a multilayer structure", in *Proc. IEEE Int. Symp. Electromagnetic Compatibility*, pp. 794-794, 1999.
- [8] T. Sato, S. Ikeda, Y. Hara, K. Yamasawa, and T. Sakuma, "A new multi-layered common mode filter on Ni-Zn ferrite substrate", *IEEE Trans. Magnetics*, vol. 37, pp. 2900-2902, Jul. 2001.
- [9] Y. Sudo, K. Watanabe, T. Sato, K. Yamasawa, and Y. Uehara, "A coplanar coupled line common mode

filter using CoZrNb soft magnetic thin film for GHz frequency band", *Magnetics Conference, Intermag Asia 2005. Digests of the IEEE International*, pp. 1097-1098, Apr. 2005.

[10] Bin-Chyi Tseng, Lin-Kun Wu, "Design of minia-

turized common mode filter by multilayer low-temperature co-fired ceramic", in *IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility*, vol. 46, pp. 571-579, 2004.

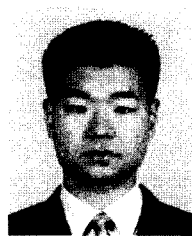
[11] <http://www.component.tdk.com>

변진도



2006년 8월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
2006년 9월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, SI/EMC

이근형



2003년 2월: 명지대학교 전기전자공학부 (공학사)
2007년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 1월~현재: 한국전자파연구원 전략개발연구팀 주임연구원
2007년 8월~현재: 아주대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] EMI/EMC, 전자파 차폐, 마이크로파 회로 및 부품

정상운



2006년 2월: 서경대학교 정보통신학과 (공학사)
2008년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
2008년 2월~현재: LG전자
[주 관심분야] 초고주파수동회로 설계, SI/EMC

이해영



1980년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
1982년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1982년~1986년: 국방부연구사무관
1989년 12월: The University of Texas at Austin (공학박사)

1990년~1992년: LG 기술원 기초1실장

1992년~현재: 아주대학교 전자공학부 정교수

[주 관심분야] 고속/고밀도 System in Package, RF 소자 및 광전소자의 설계/측정, 고속 반도체 테스트 기술