

특성임피던스 분석을 사용한 커넥터 성능향상

양정규*, 김문정*

*공주대학교 정보통신공학과

e-mail: yckman@kongju.ac.kr

Improvement of connector performance using analysis of characteristic impedance

Jeong-Kyu Yang*, Mun-Jung Kim*

*Dept of Information and Communication Engineering, Kongju National University

요 약

본 논문에서는 커넥터의 S-파라미터로 특성임피던스를 계산하고 커넥터의 성능개선을 위해 설계변경을 한다. FEM(Finite Elements Method) 시뮬레이터로 커넥터의 S-파라미터를 계산하고 회로 시뮬레이터에서 동일한 R, L, C 값을 가지는 등가 회로모델을 추출한다. 인덕턴스와 커패시턴스로 특성임피던스를 계산하고 임피던스 부정합 상태를 확인한다. 특성임피던스 공식으로부터 커패시턴스를 증가시켜 임피던스 정합을 유도하고 커패시턴스는 신호선의 평행한 면적을 확장하여 증가시킨다. 결과적으로 반사손실이 약 5 dB 개선되었고 신호선 유효면적의 증가로 임피던스가 감소하여 삽입손실도 개선되었다.

1. 서론

커넥터는 신호전달을 목적으로 사용되는 수동소자이며 높은 신호 전달특성이 요구된다.^[1] 최근 사용 주파수가 고주파로 올라가면서 커넥터의 신호 전달 성능을 높이기 위한 경계면에서의 임피던스 정합이 중요해졌다.^[2] 고주파 사용과 더불어 제조공정의 단순화, 원가절약 등을 위해 시리얼 인터커넥션 기술을 사용하는 추세이며 이에 따라서 더욱 커넥터의 신호전달 특성이 고주파에서도 개선되어야 한다. 이를 위해 신호 무결성 해석, 마이크로스트립 선로와 동축커넥터 사이의 전이 구조 해석 등의 연구가 활발히 진행되고 있다.^{[3][4]} 위의 사항들을 만족하는 커넥터의 설계에는 효율적인 특성임피던스 해석방법이 필요하고 일반적인 커넥터의 구조에서 공통으로 적용할 수 있어야 한다. 이에 본 논문에서는 다양한 종류의 커넥터에 적용 가능한 공통적인 커넥터 해석과 성능 개선방법에 관해 기술하였다.

2. 본론

2.1 커넥터의 해석 방법

반사계수는 커넥터 성능을 판단하는 지표 중의 하나이다. 전기신호를 전송할 때 전송선로의 임피던스 부정

합 점에서 발생하는 반사량을 입력전압 대 반사전압의 비로 계산한 지표가 반사계수이다. 반사계수는 (1)로부터 계산한다.

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (1)$$

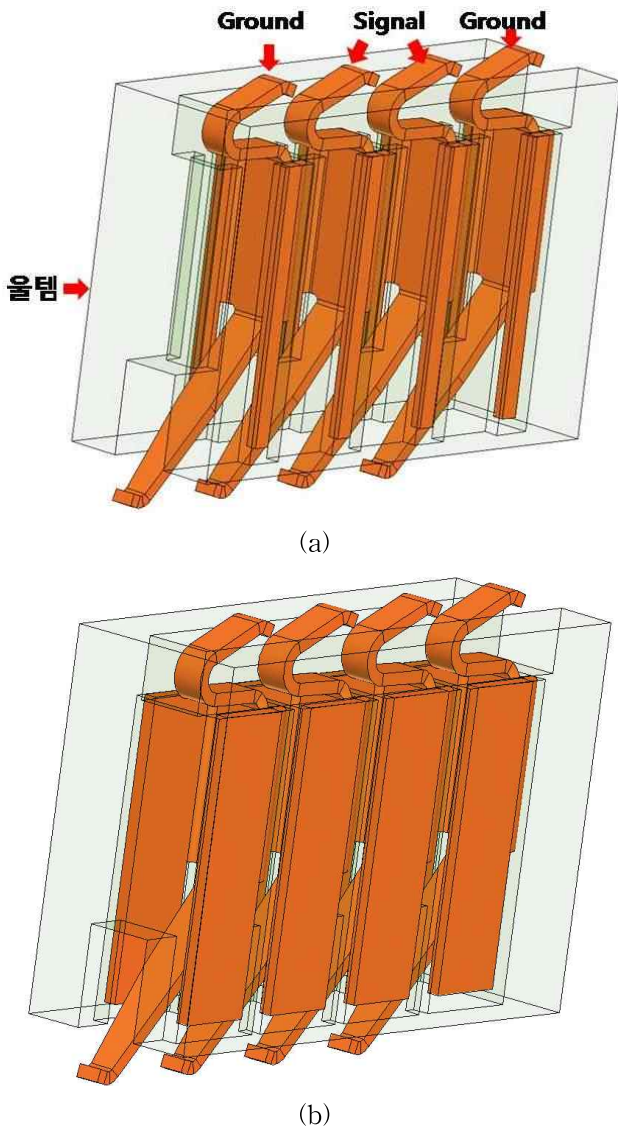
여기서 Z_L 은 부하 임피던스이고 Z_0 는 특성임피던스이다. 반사계수가 0 에 가까울수록 신호전달이 잘 이루어지는 것을 의미하고 부하임피던스와 특성임피던스의 정합이 잘 이루어진 것이다.

커넥터의 성능 해석과정은 크게 S-파라미터 계산과 특성임피던스 계산으로 나뉜다. S-파라미터 계산을 통해 커넥터가 사용되는 주파수 대역에서 커넥터의 반사손실과 삽입손실을 계산할 수 있다. 특성임피던스를 이용해 반사계수를 계산할 수 있고 반사계수가 최소가 되도록 커넥터의 설계변경을 고려한다. 커넥터 모델의 해석 흐름도는 그림 1과 같다. 해석순서는 첫째로 커넥터 3D 모델링으로 시작한다. 둘째로 커넥터 모델의 전자기적 해석을 위하여 FEM(Finite Elements Method) 시뮬레이터에서 포트(Port)와 경계조건(Boundary Condition) 설정을 한다. 셋째로 주파수 도메인에서의 해석을 통해 S-파라미터를 계산한다. 넷째로 회로 시뮬레이터를 이용해 커넥터의 등가회로를 추출한다. 다섯째로 등가회로를 이용하여 특성임피던스를 (2)로부터 계산한다.

$$Z_0 \cong \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$



[그림 1] 커넥터 모델의 해석 흐름도



[그림 2] 커넥터의 구조
(a)설계 변경 전, (b)신호선 구조 변경 후

여기서 L은 커넥터의 인덕턴스, C는 커넥터의 커패시턴스이다. 커넥터의 저항 성분은 무시할 수준이므로 손실이 없는 특성임피던스를 적용한다. (2)로부터 반사계수를 줄이기 위한 Z_0 변경은 인덕턴스 성분과 커패시턴스 성분의 조절로 가능하다. 마지막으로 특성임피던스 값이 50 Ω 과 근사하고 반사손실이 -20 dB 이하이면 분석이 종료되고 임피던스 차이가 20 Ω 이상이고 반사손실이 -20 dB 이상이면 설계 변경 과정을 거쳐 S-파라미터 계산부터 다시 수행된다.

2.2 커넥터 설계 변경 및 S-파라미터 분석

그림 2(a)는 커넥터 내부의 3차원 투시도를 보여주고 있다. 커넥터의 선로는 구리, 몸체(Housing)의 유전체는 울템(유전상수 3.15)으로 각각 구성된다. 중앙 두 개의 선로는 신호선 역할을 하고 외각 두 개의 선로는 접지선 역할을 한다.

S-파라미터의 반사손실은 낮을수록 삽입손실은 0에 가까울수록 좋다.^[3] 그림 3은 신호선 구조 변경 전후의 S-파라미터의 반사손실이고 해석 주파수 범위는 100 MHz ~ 2 GHz 이다. 설계 변경 전의 반사손실은 대부분의 주파수대역에서 -20 dB 이상이고 커넥터의 설계 변경이 필요한 상태이다. 그림 2(b)는 신호선 구조를 변경한 후의 커넥터 모델을 보여주고 있다. 설계 변경 전 모델을 보완하기 위해 (2)로부터 커패시턴스 성분을 높여 특성임피던스 성분을 줄였다. 신호선의 마주 보는 평행한 면을 넓게 확장시킨 형태이고 확장된 신호선과 접치는 유전체 부분과 신호선의 평행한 면 사이에 존재하게 되는 유전체는 제거했다. 그림 3에서 설계 변경 후의 반사손실은 변경 전의 반사손실보다 평균적으로 약 5 dB 개선되었고 거의 모든 주파수 대역에서 -20 dB 이하이다. 그림 4는 신호선 구조 변경 전후의 삽입손실이고 변경 전보다 변경 후의 삽입손실이 개선되었다. 그 이유는 반사손실의 감소로 전달되는 신호가 증가되었고 신호선의 변경에 따른 유효 단면적 증가로 인덕턴스 성분이 감소하여 고주파 신호 전송이 개선되었기 때문이다.

2.3 등가 π 모델 추출 및 특성임피던스 계산

일반적인 커넥터 등가회로는 그림 5와 같이 저항, 인덕턴스, 병렬 커패시턴스로 이루어진 π 모델로 대체된다. 계산된 S-파라미터를 이용하여 회로시뮬레이터에서 최적화된 등가 π 모델을 얻을 수 있다. π 모델의 인덕턴스와 커패시턴스를 (2)에 대입하고 계산하면 특성임피던스를 계산할 수 있다. 설계 변경 전 커넥터의(그림

3. 결론

2(a) 참조) 특성임피던스는 90.3 Ω 이고 이는 50 Ω 과 많은 차이가 난다. 결과적으로 S-파라미터의 반사손실이 만족스럽지 않은 이유는 임피던스 부정합을 이루고 있기 때문이고 특성임피던스를 낮추기 위해서는 (2)에서 보이듯이 커패시턴스 값을 높여줘야 한다. 커패시턴스 성분은 그림 2(b)와 같이 평행한 면을 증가시켜 높일 수 있다. 신호선 구조 변경을 한 커넥터의(그림 2(b) 참조) 특성임피던스는 (2)로부터 67.4 Ω 이다. 이 특성임피던스 값은 변경 전 모델보다 22.9 Ω 낮아졌으며 50 Ω 에 많이 근접했다.

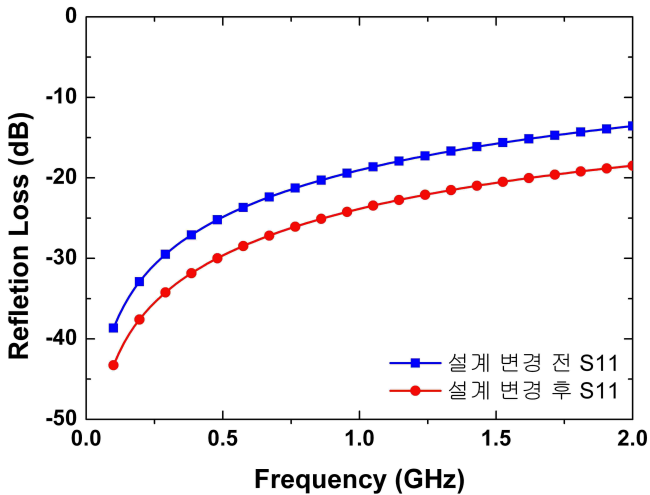
본 논문에서는 특성임피던스 분석과 조절을 통해 커넥터의 신호전달 성능을 향상시켰다. 커넥터의 S-파라미터 계산을 통해 등가회로를 추출하고 이를 이용해 특성임피던스를 계산했다. 임피던스 정합을 하기 위해 커넥터의 분석 방법을 제안했고 특성임피던스를 개선했다. 설계 변경 전 커넥터의 반사손실보다 신호선의 구조변경을 한 커넥터의 반사손실이 평균 약 5 dB 개선되었고 거의 모든 주파수 대역에서 -20 dB 이하의 값을 가진다. 특성임피던스도 67.4 Ω 으로 임피던스 정합에 근접하게 나왔다. 따라서 본 논문에서 적용한 커넥터 해석과 특성임피던스 개선방법들은 소형화, 집적화되고 있는 초고주파 대역에서의 다양한 커넥터 설계에 효과적으로 사용될 것으로 기대된다.

감사의 글

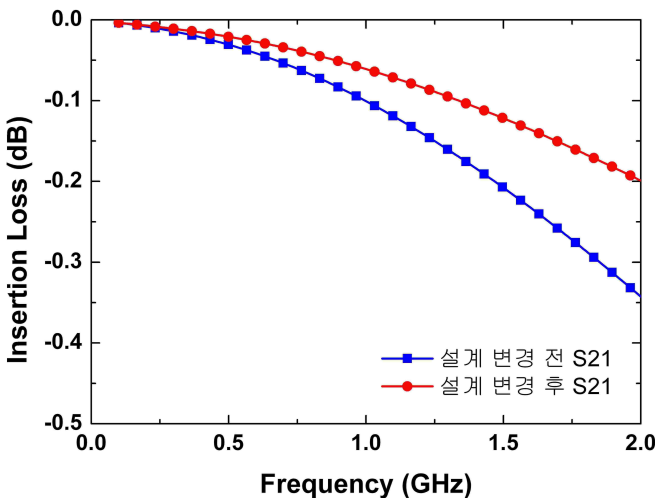
본 논문은 2009년도 중소기업청 산학 공동기술개발지원사업을 통해 개발된 결과물임.

참고문헌

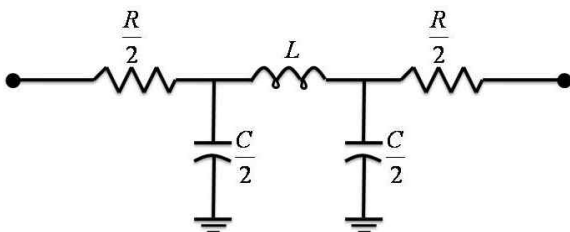
- [1] 심민규, 김종민, 나완수, “4포트 커넥터 시스템의 등가회로 변환에 관한 연구”, 전기학회 논문지, 제56권, 제6호, pp. 1105-1110, 6월, 2007.
- [2] Myung-Hee Sung, Woong-Hwan Ryu, Hyung-Soo Kim, Jong-Hoon Kim, Joung-Ho Kim, “An efficient crosstalk parameter extraction method for high-speed interconnection lines”, IEEE transaction on Advanced Packaging, vol. 23, no. 2, pp. 148-155, May, 2000.
- [3] 이용민, “모바일 디스플레이 회로 모듈의 시그널 인티그리티 해석 기법”, 전자공학회 논문지, 제46권, SC편 제4호, pp. 64-69, 7월, 2009.
- [4] 강 경 일, 김 진 양, 이 해 영, “동축커넥터와 마이크로스트립의 전이구조 최적화”, 전자공학회 논문지, 제40권, TC편 제2호, pp. 24-31, 2월, 2003.



[그림 3] 신호선 구조 변경 전후의 반사손실



[그림 4] 신호선 구조 변경 전후의 삽입손실



[그림 5] 커넥터의 등가 π 모델