SATA 커넥터의 신호 전달 특성 개선

양정규*, 김문정**
공주대학교 정보통신공학과
e-mail:yckman@kongju.ac.kr*, mjkim@kongju.ac.kr**

Signal Transmission Characteristics Improvement of Serial Advanced Technology Attachment Connector

Jeong-Kyu Yang*, Moonjung Kim**
*Dept of Information and Communication Engineering, Kongju National University

요 약

본 논문에서는 SATA(Serial Advanced Technology Attachment) 커넥터의 차동 임피던스를 정합하여 신호 전달 특성을 개선한다. 3차원 FEM(Finite Elements Method) 전자기장 시뮬레이터를 이용하여 SATA 커넥터의 차동 모드 S-파라미터를 추출하고, 신호 전달 특성을 분석한다. SATA 커넥터의 반사 손실(S_{dd11})은 5 GHz 까지 20 dB 이하의 값을 나타내고, 삽입 손실(S_{dd21})은 0.1 dB 이하의 값을 나타낸다. 또한 인덕턴스, 커패시턴스, 상호 인덕턴스, 상호 커패시턴스를 추출하여 차동 임피던스를 계산한다. SATA 커넥터의 차동 임피던스는 107.3 Ω으로 부정합이다. 차동 임피던스를 정합하기위해서 커넥터 신호 핀을 d_x 방향으로 설계 변경한다. d_x 방향으로 0.04 mm 증가 시켰을 때 차동 임피던스가 99.5 Ω으로 최적으로 정합되었다. 또한 반사 손실은 1.5 GHz 에서 11 dB 개선되고, 삽입 손실은 최대 약 0.05 dB 개선되었다.

1. 서론

최근 사용자의 요구를 만족하게 하기 위해서 개발되는 전자 제품들은 소형화되고, 높은 성능을 요구한다. 따라서 동작 속도가 증가하고, 전송 선로의 집적도가 증가하게 된다. 이러한 개발 환경에서 커넥터, PCB, 케이블 등과 같은 전송 선로에 신호 전달 특성을 개선하기 위해서는 누화, EMI(Electromagnetic interference), 귀환 전류 경로 불연속, 특성 임피던스 정합 등이 중요하다[1]. 또한, 고주파에서 신호 전달 특성을 높이기 위해서 차동 모드(Differential mode)로 신호를 전달하여 신호 무결성(Signal integrity)을 확보한다. 이에 본 논문에서는 SATA 커넥터의 신호 전달 특성을 분석하고, 차동 임피던스를 계산한다. 또한, 설계 변경을 통해서 차동 임피던스를 정합하고, 신호 전달 특성을 개선한다.

2. 본론

1.1. SATA 커넥터의 신호 전달 특성 분석 방법

SATA 커넥터는 차동 모드로 동작하여 고주파에서 높은 신호 전달 특성을 나타낸다. 차동 모드로 동작하는 SATA 커넥터의 신호 전달 특성을 분석하기 위해서는 S-파라미터를 차동 모드 S-파라미터로 변환해야 한다[2]. 또한, 차동 임피던스는 식 1과 같이 Odd 모드 임피던스를 두 배하여 계산된다.

$$Z_{differential} = \sqrt{\frac{L - L_m}{C + C_m}} \times 2 \qquad (1)$$

여기서 L은 인덕턴스, L_m은 상호 인덕턴스, C는 커패시턴스, C_m은 상호 커패시턴스를 의미한다.

2.1 SATA/SAS 커넥터의 구조

분석에 사용된 SATA/SAS 커넥터는 그림 1과 같다. 이 커넥터는 SATA(Serial Advanced Technology Attachment) 커넥터, SAS(Serial Attached SCSI) 커넥터, 전원단이 결합된 형태이다. 그림 2와 3은 SATA/SAS 커넥터 3차원 모델의 좌우 측면을 보여주고, 커넥터의 몸체(Housing)와 신호 핀의 배치를 나타낸다. 커넥터를 구성하는 재질은 커넥터 핀에

베릴륨구리(BeCu), 커넥터 몸체에 PA9T(유전상수: 3.7)가 사용되었다. SATA 커넥터 핀은 G, S, S, G, S, S, G로 구성되고, 여기서 S는 Signal 핀을 G는 Ground 핀을 의미한다. 또한, SATA 커넥터 신호 핀의 피치(Pitch)는 1.27 mm, 길이는 7.94 mm, 좌우 폭은 0.3 mm 이다.

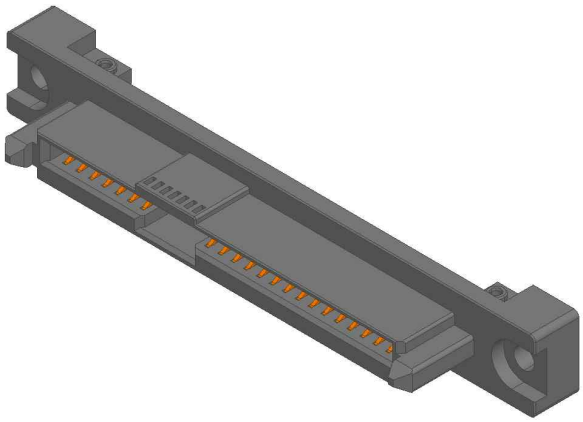
3.1 SATA 커넥터의 신호 전달 특성 분석

커넥터의 신호 전달 특성을 분석하기 위하여 3차원 FEM(Finite Element Method) 전자기장(Electromagnetic Field) 시뮬레이터(ANSYS사의 HFSS)를 이용하여 차동 모드 S-파라미터를 계산한다. 3차원 FEM 전자기장 시뮬레이션 흐름도는 그림 4와 같다. 첫 번째로 설계된 SATA/SAS 커넥터의 3차원 모델을 불러(import)오고 시뮬레이션에 적합하게 모델을 수정한다. 두 번째로 커넥터의 몸체와 커넥터 핀에 PA9T, 베릴륨구리를 각각 설정하고, 그림 5와 같이 SATA 커넥터 핀에 포트(port) 설정을 한다. 세 번째로 커넥터의 사용 조건과 같게 경계 조건과 시뮬레이션 조건을 설정한다. 계산을 실행하면 커넥터 3차원 모델의 최적의 메쉬(Mesh)를 시뮬레이터가 찾아내고, Delta S의 오차가 2 % 이하일 때 시뮬레이션을 종료한다.

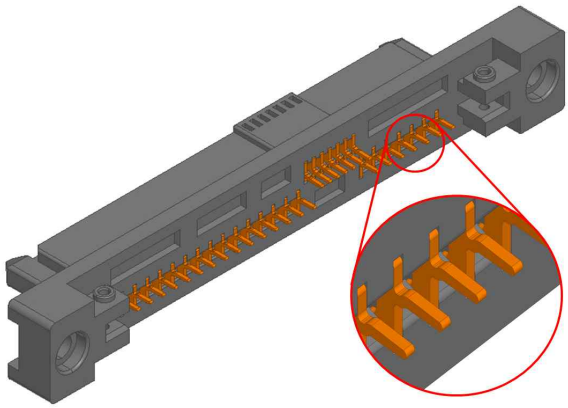
4.1 차동 모드 S-파라미터와 차동 임피던스 분석

SATA 커넥터의 반사 손실(S_{dd11})은 그림 6에 나타난다. 5 GHz 까지 20 dB 이하를 나타낸다. 삽입 손실(S_{dd21})은 그림 7에 나타나고, 전체적으로 약 0.1 dB 이하를 나타낸다. 신호 전달 특성과 차동 임피던스 정합을 연관 시기키 위해서 인덕턴스, 상호 인덕턴스, 커패시턴스, 상호 커패시턴스를 추출하여 차동 임피던스를 계산한다. SATA 커넥터의 차동 임피던스는 표 1의 기존 커넥터 부분에 나타난다. 계산된 차동임피던스는 107.3 Ω 으로 정합에 근접하긴 하지만 최적화되지 않았다. 따라서 SATA 커넥터의 차동 임피던스를 최적으로 정합하여 신호 전달 특성을 개선해야 한다. 차동 임피던스를 정합하기 위해서 커넥터 핀을 그림 8과 같이 d_x 방향으로 확장하여 설계 변경한다. 설계 변경은 0.02 mm, 0.04 mm, 0.06 mm 를 증가 시키는 3가지 경우로 분류한다. 이때 커패시턴스와 상호 커패시턴스 값이 증가하게 되고, 결과적으로 차동 임피던스가 감소하게 된다. 설계 변경된 커넥터를 이용하여 차동 모드 S-파라미터를 계산하고, 그림 6, 7에 나타난다. d_x가 0.04 mm 증가 했을 때 신호 전달 특성이 가장 우수하게 나타난다. 기존의 커넥터보다 반사 손실은 1.5 GHz 에서 11 dB 개선되었고, 삽입 손실은 최대 약 0.05 dB 개선되었다. d_x 방향으로의 설계 변경에 따른 차동 임피던스 변화를 확인하기 위해서 각 경우에 따른 차동 임피던스를 계산한다. 계산된 차동 임피던스는 표 1에 나타난다. d_x 방향으로 0.04 mm 증가가 시킨 경우의 차동 임피던스가 99.5 Ω 으로 정합에 최적화 되었다. 또한, d_x가 0.04 mm 일 경우의 반사 손실과 삽입 손실이 가장 우수하게 나타난 이유는 차동 임피던스가 최적화 되어 정합되었기 때문이다.

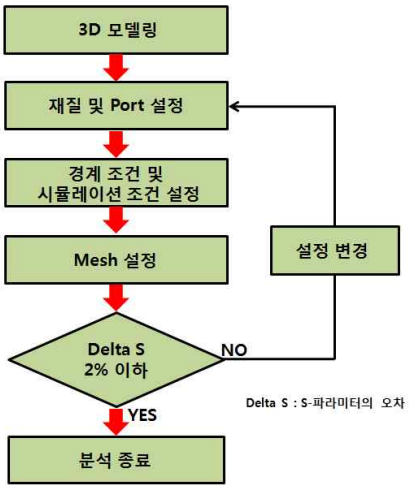
[그림 1] 커넥터 3차원 모델의 측면도



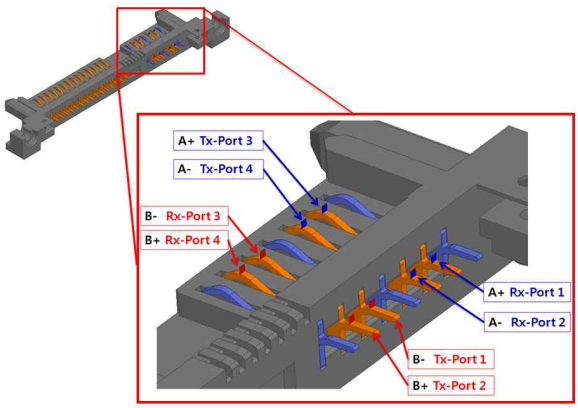
[그림 2] 커넥터 3차원 모델 (좌측면)



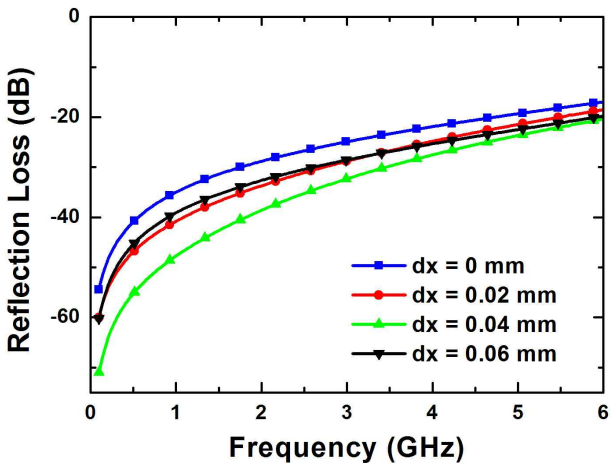
[그림 3] 커넥터 3차원 모델 (우측면)



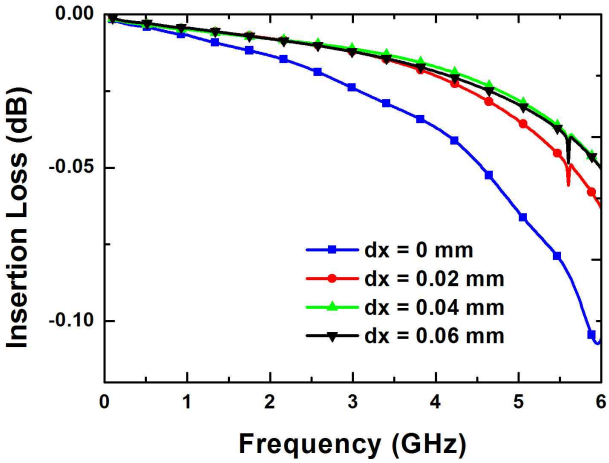
[그림 4] 3차원 모델의 전자기장 시뮬레이션 흐름도



[그림 5] 커넥터 3차원 모델의 단면도(우측면) 및 포트 설정



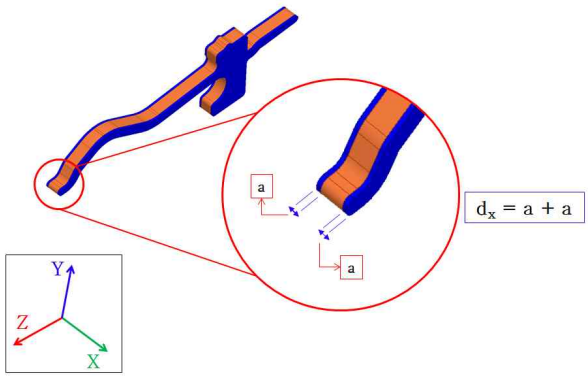
[그림 6] SATA 커넥터의 반사 손실(S_{dd11})



[그림 7] SATA 커넥터의 삽입 손실(S_{dd21})

3. 결론

본 논문에서는 SATA 커넥터의 차동 임피던스를 정합하여 신호 전달 특성을 개선했다. 3차원 FEM 전자기장 시뮬레이터를 이용하여 SATA 커넥터의 S-파라미터를 추출하고, 차동 모드 S-파라미터로 변환하여 신호 전달 특성을 분석하였다. SATA 커넥터의 반사 손실(S_{dd11})은 5 GHz 까



[그림 8] dx 방향의 설계 변경 방법

[표 1] SATA 커넥터의 차동 임피던스와 공통 임피던스

변수	기존 커넥터	dx 변경 설계		
		dx = 0.02 mm	dx = 0.04 mm	dx = 0.06 mm
C (fF)	471.31	495.45	519.53	568.67
C_m (fF)	175.99	187.67	199.27	222.04
L (nH)	3.07	2.90	2.90	2.85
L_m (nH)	1.20	1.10	1.12	1.12
Z_{cm} (Ω)	60.1	57.0	56.1	53.5
Z_{diff} (Ω)	107.3	102.7	99.5	93.6

지 20 dB 이하의 값을 나타내고, 삽입 손실(S_{dd21})은 0.1 dB 이하의 값을 가진다. 또한, 인덕턴스, 커패시턴스, 상호 인덕턴스, 상호 커패시턴스를 추출하여 차동 임피던스를 계산했고, 107.3 Ω으로 부정합이었다. 차동 임피던스를 최적으로 정합하기 위해서 커넥터 신호 핀을 d_x 방향으로 설계 변경하였다. d_x 방향의 설계 변경이 0.04 mm 증가 되었을 때 차동 임피던스가 99.5 Ω으로 최적으로 정합되었다. 또한, 반사 손실은 1.5 GHz 에서 11 dB 개선되었고, 삽입 손실은 최대 약 0.05 dB 개선되었다. 본 논문의 SATA 커넥터 신호 전달 특성 개선 방법은 차동 모드가 적용되는 다양한 종류의 커넥터 성능 개선에 사용될 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 이종병, 이재현, “EMC를 위한 전력 무결성 및 신호 무결성 분석”, 한국전자파학회 전자파기술, vol.16 no.2=no.54호, pp.87-92, 2005.4

[2] David E. Bockelman, William R. Eisenstadt, “Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation,” IEEE Transactions on microwave theory and techniques, vol.43 no.7, pp.1530-1539, 1995.7