

테스트 프로브 접점 위치와 구조의 신호 전달 특성 영향

이병성¹, 김문정^{2*}

¹공주대학교 기전공학과, ²공주대학교 전기전자제어공학부

Effect of Contact Position and Structure of Test Probe on Its Signal Transmission Characteristics

Byung-sung Lee¹, Moonjung Kim^{2*}

¹Dept. of Mechatronics Engineering, Kongju National University

²Dept. of Electrical Electronic and Control Engineering, Kongju National University

요 약 본 논문은 테스트 프로브의 플런저 접점 위치와 구조에 따른 신호 전달 특성 변화를 분석하였다. 플런저 접점 위치는 실제 동작 상황을 고려하였으며, 플런저 내부 접점과 바렐 입구 접점으로 나누어 테스트 프로브의 고주파 성능 변화를 조사하였다. 또한 테스트 프로브는 더블, 싱글, 아웃스프링의 3 가지 구조로 나누고 구조 차이에 따른 신호 전달 특성 변화를 분석하였다. 고주파 전자기 해석 툴 HFSS를 사용하여 삽입손실과 반사손실을 계산하고, Q3D 시뮬레이션을 이용하여 테스트 프로브의 임피던스를 분석한다. 접점 위치에 따른 계산 결과, 바렐 입구 접점의 삽입손실이 플런저 내부 접점보다 감소하였다. 이를 통해 테스트 프로브의 접점 위치에 따라 테스트 프로브의 고주파 성능이 달라질 수 있음을 확인하였다. 구조에 따른 신호 전달 특성의 비교 분석에서는 아웃스프링 프로브가 보다 우수한 삽입손실과 반사손실 주파수 특성을 보여주었다. 테스트 프로브 구조별로 특성 임피던스를 계산하였으며 더블 프로브와 싱글 프로브는 30.8 Ω으로 동일한 결과를 보여주었다. 반면에 아웃스프링 프로브는 47.1 Ω의 결과가 나타났다. 아웃스프링 프로브의 특성 임피던스가 50 Ω에 보다 근접하여 높은 신호 전달 특성을 보인 것으로 분석된다. 아웃스프링 프로브가 높은 삽입손실과 반사손실 특성을 보여 고속 동작 제품의 성능 검사에 적합한 것으로 예상된다.

Abstract This study examined the effects of the contact position and structure of the test probe on its signal transmission characteristics. The contact position in the operating of the test probe was considered and then divided into the plunger inner contact and barrel inlet contact. The high frequency performance of the test probes was investigated for both contact positions. The signal transmission characteristics of the test probes with the structures of double, single, and out-spring was also analyzed. The insertion and return losses were calculated using the HFSS and the characteristic impedance of the test probes was analyzed using a Q3D simulation. The insertion loss of the barrel inlet contact was smaller than that of the plunger inner contact. The contact position of the test probe may result in a change in the high frequency performance. The out-spring probe has better frequency characteristics at -1 dB insertion loss and -10 dB return loss. The double probe and single probe have the same characteristic impedance with 30.8 Ω. On the other hand, the out-spring probe has an impedance of 47.1 Ω. The out-spring probe is closer to 50 Ω than the other probes and then shows higher signal transmission characteristics. The out-spring probe has superior high-frequency characteristics and is expected to be suitable for high-speed applications.

Keywords : Test Probe, Signal Transmission Characteristics, Contact Position, Structure, S-parameter

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(No. 2017R1D1A3B03033760).

*Corresponding Author : Moonjung Kim(Kongju National University)

Tel: +82-41-521-9186 email: mjkim@kongju.ac.kr

Received July 9, 2018

Revised August 7, 2018

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

1. 서론

반도체 산업은 최근 IT산업의 발전으로 인한 컴퓨터, 휴대폰, 생활가전, 자동차 등 다양한 산업에서 큰 수요를 얻고 있다. 그 중 반도체 장치 산업은 반도체 칩 제조 산업에 있어 중요한 부분을 차지하고 있는데, 반도체가 제품에 장착되기 전에 본래의 기능을 제대로 수행할 것인지에 대한 사전 평가를 하는 장비는 매우 중요한 부분이다[1].

테스트 소켓(Test Socket)은 반도체 성능 검사 공정에서 테스트 신호가 테스트 보드(Test Board)를 거쳐 반도체 패키지(Package)와 물리적으로 접촉되는 전기적 연결 부품이다. 테스트 소켓은 개별 반도체 패키지를 정확한 위치에 장착하고 테스트 보드와 접촉할 수 있도록 정밀한 기계적 접촉이 필요하며, 또한 테스트 과정에서 신호 왜곡과 손실 없이 테스트 신호를 전달할 수 있는 안정적인 전기적 접촉 특성이 요구된다[2-6].

본 논문에서는 테스트 소켓에 삽입되어 직접적인 접촉을 하는 테스트 프로브(Test Probe)의 신호 전달 특성을 분석한다. 테스트 프로브는 실제 동작 상태에서 플런저(Plunger), 바렐(Barrel), 스프링(Spring)이 상하로 이동하므로 물리적 접점 위치가 변동될 수 있다. 즉 접점 위치에 따라서 신호 전달 경로에 변화가 발생하고 이로 인해 프로브의 삽입손실과 반사손실의 변화를 야기할 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 테스트 프로브의 접점 위치에 따른 신호 전달 특성의 변화를 분석한다. 또한 프로브를 더블(Double), 싱글(Single), 아웃스프링(Out-spring)의 3 가지 구조로 나누고 각 구조의 신호 전달 특성을 비교 분석한다.

2. 본론

2.1 테스트 프로브의 접점 위치

테스트 프로브는 구조에 따라 3 가지 혹은 4 가지 부품으로 구성되어 있다. 프로브 내부에 스프링을 내장하고 있고 이를 통해 상하로 움직일 수 있다. 상단 플런저는 반도체 패키지와 물리적으로 접촉하고 하단 플런저는 테스트 보드와 연결되어 있다. 바렐은 스프링을 내부에 포함하고 프로브의 몸체 역할을 수행한다. 스프링은 테스트 프로브의 상하 운동을 가능케 한다. 바렐 내부에서

상단 플런저, 스프링, 하단 플런저가 삽입되어 더블 프로브를 구성하게 된다. Fig. 1은 더블 프로브의 구조를 보여준다.

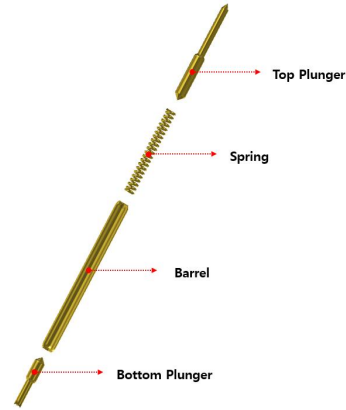


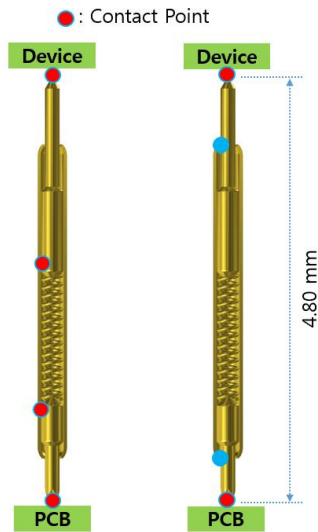
Fig. 1. Components of test probe

본 논문에서는 접점이 삽입손실과 반사손실에 미치는 영향에 대한 연구 목적으로 더블 프로브 구조를 대상으로 선정하여 접점 위치에 따른 고주파 성능 변화 여부를 분석한다. 고주파 전자기 해석 툴인 HFSS를 사용하여 테스트 프로브의 S-파라미터를 계산한다. 삽입손실과 반사손실을 비교하고 접점 위치에 따른 차이점을 분석한다.

테스트 프로브는 수직으로 동작하고 각 부품간의 접점을 통해 테스트 신호를 전달한다. 저주파 대역에서는 테스트 신호가 접점 위치에 대한 영향이 미비할 수 있으나, 고주파 대역에서는 접점 위치 차이로 인해 신호 전달 경로에 변경이 발생하고 이로 인한 신호 전달 특성이 변경될 수도 있다. 이에 테스트 프로브의 접점 위치를 설정하여 고주파에 대한 신호 손실을 분석한다.

HFSS 시뮬레이션에서 테스트 프로브의 접점 위치는 실제 동작을 고려하여 길이 4.80 mm의 더블 프로브로 모델링하였다. 또한 0.40 mm 피치에 적용하여 그라운드(Ground)를 상하좌우에 배열하였다. 이러한 과정을 통해 테스트 프로브의 실제 동작 환경을 고려하였다. 그럼에도 불구하고 고주파 영역에서는 미세한 접점 위치에 따라 S-파라미터 결과가 달라질 수 있다. 본 논문에서는 테스트 프로브의 접점 위치를 플런저 내부 접점과 바렐 입구 접점으로 나누었다. Fig. 2는 테스트 프로브의 접점 위치를 보여준다. 더블 프로브를 대상으로 접점 위치를 지정하였다. Fig. 2 (a)는 플런저 내부 접점을 보여

준다. 반도체 패키지에서부터 테스트 보드까지 총 4 곳에 접점이 발생한다. 테스트 신호는 반도체 패키지에서 시작하여 상단 플런저 끝점, 상단 플런저 내부 접점, 하단 플런저 내부 접점, 테스트 보드로 이동하게 된다. Fig. 2 (b)는 바렐 입구 접점을 보여주며 총 4 곳에 접점이 발생한다. 테스트 신호는 반도체 패키지에서부터 시작하여 상단 플런저 끝점, 상단의 바렐 내부 접점, 하단의 바렐 내부 접점, 테스트 보드로 전달된다. Fig. 2로 테스트 프로브의 접점 차이를 반영하고 HFSS 시뮬레이션을 진행하였다.



(a) Plunger inner contact (b) Barrel inlet contact

Fig. 2. Contact position of test probes

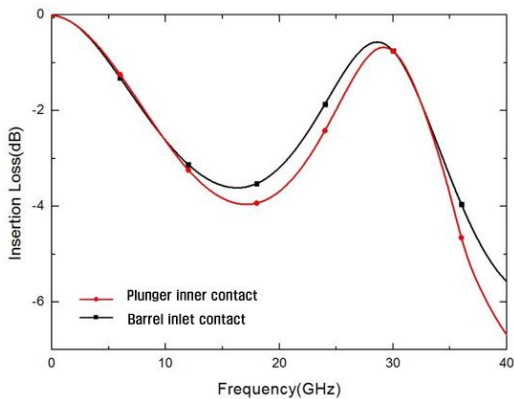


Fig. 3. Insertion loss of test probe with different contact positions

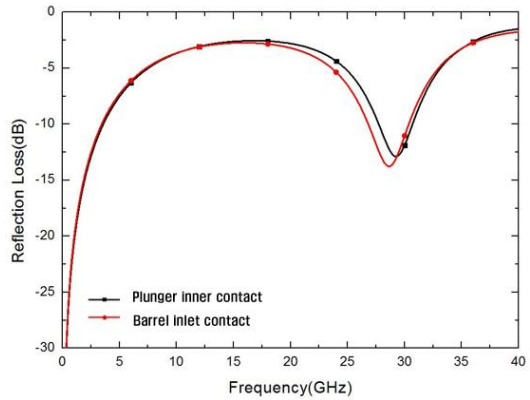


Fig. 4. Reflection loss of test probe with different contact positions

Fig. 3은 테스트 프로브의 접점 차이에 따른 삽입손실 결과를 보여준다. 두 가지 유형의 접점 방식에서 삽입손실의 차이가 발생된 것을 확인할 수 있다. 10 GHz까지는 접점 위치에 따른 삽입손실의 차이가 거의 발생하지 않았으나, 10 ~ 30 GHz 대역에서는 최대 0.56 dB 차이가 나타났다. 이를 통해 접점 위치에 따른 삽입손실 차이가 10 ~ 30 GHz 대역에서 발생하므로, 실제 반도체 성능 검사 시에 이를 고려하여야 한다. Fig. 4는 테스트 프로브의 접점 차이에 따른 반사손실 결과를 보여준다. 삽입손실과 동일하게 반사손실에서도 손실의 차이가 발생한다.

Table. 1은 삽입손실의 차이를 비교한 것이다. 20 GHz일 때 0.50 dB 손실의 차이를 보이고, 40 GHz일 때 1.02 dB 손실 차이를 보여주고 있다. Table. 2는 반사손실의 차이를 비교한 것이다. 27 GHz일 때 2.18 dB의 손실 차이가 발생한다. 이를 통해 테스트 프로브의 바렐 입구 접점이 보다 우수한 신호 전달 특성을 나타내는 것으로 확인할 수 있다.

Table 1. Comparison of insertion loss

Insertion Loss	Plunger inner contact	Barrel inlet contact
20 GHz	-3.69 dB	-3.19 dB
40 GHz	-6.32 dB	-5.30 dB

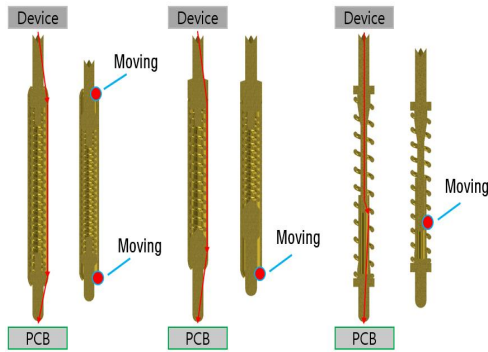
Table 2. Comparison of reflection loss

Reflection Loss	Plunger inner contact	Barrel inlet contact
27 GHz	-8.28 dB	-10.46 dB

2.2 테스트 프로브 구조 비교

본 논문에서는 테스트 프로브를 더블 프로브, 싱글 프로브, 아웃스프링 프로브의 3 가지 구조로 분류한다. 더블 프로브는 바렐을 포함하고 양단 플런저가 각각 동작하는 구조인 반면에 싱글 프로브는 하단 플런저만 상하로 이동할 수 있다. 아웃스프링 프로브는 바렐이 없어서 스프링이 외부에 노출되고 상단 및 하단 플런저가 작동하는 구조이다. 반도체 성능 검사 공정에서는 더블 프로브와 싱글 프로브 구조가 다양하게 사용되고 있으나, 아웃스프링 프로브는 일부 제품 검사에 적용된다.

Fig. 5는 더블 프로브와 싱글 프로브, 아웃스프링 프로브의 부품 구성을 보여주고 있다. 더블 프로브와 싱글 프로브는 4개 부품으로 구성되어있고, 아웃스프링 프로브는 3개 부품으로 구성되어있다. 아웃스프링 프로브는 바렐이 없고 스프링이 역할을 대신하는 특징이 있다.



(a) Double probe (b) Single probe (c) Out-spring probe
Fig. 5. Components of the double, single and out-spring probes

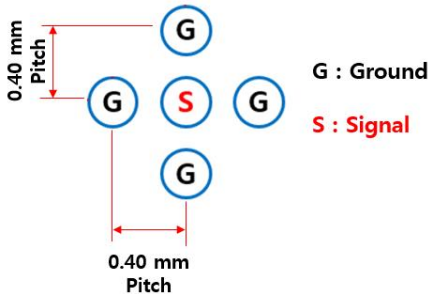


Fig. 6. Pin assignment of test probe

반도체 패키지는 피치(Pitch)를 기준으로 제작 되어진다. 피치는 신호를 전달하는 솔더볼 또는 패드 사이의

간격을 일컫는데 테스트 프로브의 크기를 결정하는 가장 중요한 사양이다. 최근 반도체 주력 양산 크기는 0.40 mm 피치이며 매년 줄어들고 있는 추세이다. 본 논문에서는 0.40 mm 피치를 기준으로 3 가지 구조의 테스트 프로브 신호 전달 특성을 분석한다. Fig. 6은 테스트 프로브의 핀 배치를 보여준다. Fig. 6과 같이 중심에 시그널(Signal)을 배치하고, 주변에 그라운드(Ground)를 4개 배열하여 신호 전달 특성을 분석한다. 반도체 패키지는 시그널과 그라운드 간 배치 구조가 다양하지만 본 연구에서는 그라운드 4개 배치로 삽입손실과 반사손실, 임피던스를 비교한다. 고주파 전자기 해석 툴인 HFSS와 Q3D를 이용하여 분석하였다.

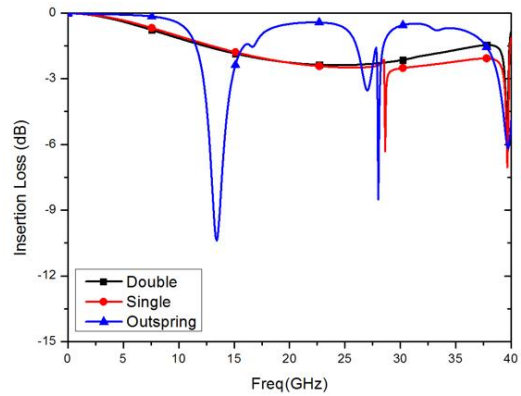


Fig. 7. Insertion loss of double, single and out-spring probes

Fig. 7은 테스트 프로브 구조별 삽입손실 결과를 보여준다. 3 가지 구조의 테스트 프로브를 40 GHz까지 비교한 결과, 더블 프로브는 0 GHz부터 38 GHz 구간에서 최대 -2.7 dB의 손실을 나타내며 이후 공진이 발생하는 것을 보여준다. 싱글 프로브는 0 GHz부터 28 GHz까지 더블 프로브와 유사한 특성을 보여주며 28 GHz에서 공진이 발생된 이후 최대 -3.0 dB의 손실을 나타낸다. 더블 프로브와 싱글 프로브는 고주파 대역으로 갈수록 0 dB 에서 멀어지는 것을 알 수 있다. 아웃스프링 프로브는 13 GHz부터 29 GHz 내에 두 번의 공진이 발생되어 공진을 제외한 최대 -4.0 dB의 손실을 나타낸다. 3 가지 구조에서 공통적으로 40 GHz에서 공진이 발생하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 8은 테스트 프로브 구조별 반사손실 결과를 보여준다. 더블 프로브는 0 GHz에서 38 GHz까지 최대 -5.0

dB의 반사손실을 보여준다. 싱글 프로브는 0 GHz부터 28 GHz까지 더블 프로브와 유사한 반사손실을 나타내며 28 GHz에서 공진이 발생되었다. 최대 -5.0 dB의 반사손실을 나타내고 있다. 아웃스프링 프로브는 0 GHz부터 35 GHz까지 세 번의 공진이 발생되어 최대 -4.0 dB의 반사손실을 나타낸다. 3 가지 구조 모두 40 GHz에서 공진이 발생된다. 삽입손실과 반사손실 결과에서 공진의 위치가 유사하게 나타나고 있다.

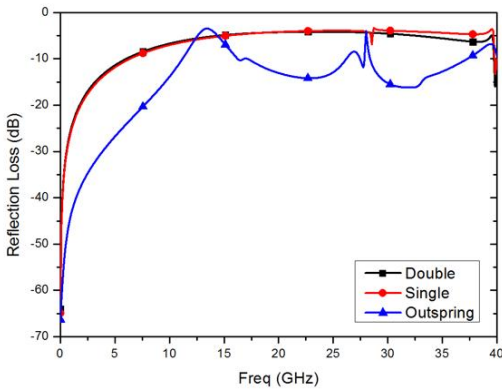


Fig. 8. Reflection loss of double, single and out-spring probes

테스트 프로브의 신호 전달 특성은 삽입손실 -1 dB와 반사손실 -10 dB를 기준으로 비교한다. Table 3은 삽입손실과 반사손실의 결과를 정리한 내용이다. 아웃스프링 프로브의 삽입손실은 11.1 GHz의 결과를 나타내고 있어 더블 프로브와 싱글 프로브의 결과보다 우수하게 나타난다. 이러한 결과는 -1 dB 기준일 때 공진의 발생이 신호 전달 특성에 영향을 적게 주는 것으로 판단된다. 반사손실도 아웃스프링 프로브가 11.2 GHz로 더블 프로브와 싱글 프로브보다 우수한 것으로 나타난다. 삽입손실과 반사손실을 비교하는 기준에서는 아웃스프링 프로브의 특성이 높게 나타나어 공진이 발생되어도 제한적으로 우수함을 보여주는 것으로 판단된다. 아웃스프링 프로브는 40 GHz 전체 대역에서 주기적인 공진의 영향으로 최대 -10 dB의 손실을 나타낸다. 더블 프로브와 싱글 프로브는 고주파 대역에서 공진이 발생되어 공진의 영향이 크지 않다. 특히 더블 프로브는 최대 -2.7 dB의 손실을 나타내며 38 GHz에서 공진이 한번 발생된다. 싱글 프로브는 28 GHz와 38 GHz에서 두 번의 공진이 발생되며 최대 -7 dB의 삽입손실을 나타낸다. 이러한 이유로 Table

3과 같은 결과를 나타내는 것을 알 수 있다.

Table 4는 더블 프로브와 싱글 프로브, 아웃스프링 프로브의 특성 임피던스와 인덕턴스(Inductance), 커패시턴스(Capacitance)를 분석한 결과이다. 더블 프로브와 싱글 프로브는 인덕턴스와 커패시턴스 값이 동일하게 분석되어 30.8 Ω의 특성 임피던스 값을 보여준다. 더블 프로브와 싱글 프로브는 인덕턴스 값을 결정하는 스프링의 크기가 유사하다. 권선수 23권, 외경 0.233 mm, 자유장은 1.96 mm 로 이루어져 있다. 커패시턴스 값을 결정하는 플런저의 크기와 바렐의 크기도 유사하다. 플런저는 외경 0.16 mm, 길이 0.845 mm 이며 바렐은 외경 0.30 mm, 길이 2.30 mm 로 유사하여 임피던스에서 동일한 값을 나타내는 것으로 판단된다. 아웃스프링 프로브는 인덕턴스는 높지만 커패시턴스가 낮아 47.1 Ω으로 50 Ω 매칭에 근접하여 삽입손실과 반사손실에서 높은 신호 전달 특성을 보여준다. 테스트 프로브는 특성 임피던스 50 Ω 매칭에 가까울수록 신호 전달 특성이 높을 것으로 확인된다.

Table 3. Comparison of insertion loss and reflection loss

Item	Double	Single	Out-spring
Insertion Loss f_{-1dB} (GHz)	9.1	9.7	11.1
Reflection Loss f_{-10dB} (GHz)	6.0	6.3	11.2

Table 4. Comparison of impedance, inductance and capacitance

Type	Impedance (Ω)	Inductance (nH)	Capacitance (pF)
Double Probe	30.8	0.70	0.74
Single Probe	30.8	0.70	0.74
Out-spring Probe	47.1	1.04	0.47

3. 결론

본 논문에서는 테스트 프로브의 접점 위치 변화에 따른 신호 전달 특성을 비교하였다. 플런저 내부 접점 유형과 바렐 입구 접점 유형으로 구분하여 삽입손실과 반사손실을 분석하였다. 바렐 입구 접점 유형에서 손실이 적

은 것으로 확인하였다. 테스트 프로브의 신호 전달 특성 분석 시에 프로브 구조에 따라 접점 위치 설정에 유의하여야 한다.

테스트 프로브의 3 가지 구조를 선정하여 삽입손실과 반사손실, 특성 임피던스를 분석하였다. 더블 프로브와 싱글 프로브는 유사한 특성을 나타내었고 30 GHz부근에서 공진 주파수가 발생되었다. 더블 프로브와 싱글 프로브가 유사한 신호 전달 특성을 나타내는 이유는 고주파 신호를 전달하는 경로가 거의 동일하기 때문이다. 아웃스프링 프로브는 13 GHz부터 29 GHz까지 2번의 공진 주파수를 나타냈다. 삽입손실 -1 dB 기준으로 더블 프로브와 싱글 프로브는 각각 9.1 GHz, 9.7 GHz로 유사한 특성을 보여주었고 아웃스프링 프로브는 11.2 GHz로 우수한 결과를 나타냈다.

특성 임피던스 분석 결과 더블 프로브와 싱글 프로브는 동일하게 30.8 Ω을 나타냈고 아웃스프링 프로브는 47.1 Ω을 나타냈다. 아웃스프링 프로브는 특성 임피던스 매칭에 근접하여 신호 전달 특성에서 우수한 결과를 나타낸 것으로 분석된다.

References

- [1] S. J. Ha, D. W. Kim, B. C. Shin, M. W. Cho, C. S. Han, "Assessment of Design and Mechanical Characteristics of MEMS Probe Tip with Fine Pitch", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.11, No.4, pp.1210-1215, 2010.
- [2] H. Seo, "The Study For Measurement of Test Socket Resistance and Inductance", The Institute of Semiconductor Test of Korea, pp.1-5, 2009.
- [3] B. Tunaboylu, "Electrical Characterization of Test Sockets With Novel Contactors", *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, Vol.14, No.1, pp.580-582, MARCH 2014.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/TDMR.2012.2209888>
- [4] C. H. Lin, H. Y. Ng, W. W. Wong, "Managing BGA test socket SI characterization", *Proceedings of 2013 IEEE 15th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC 2013)*, pp.589-591, Dec. 2013.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/EPTC.2013.6745788>
- [5] R. B. Sun, C. Y. Wen, R. B. Wu, "A New Isolation Structure of pogo Pins for Crosstalk Reduction in a Test Socket", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol.1, No.4, pp.586-594, April 2011.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/TCPMT.2010.2102491>
- [6] Byeong-Woo Kim, "A study on the characteristics of wide bandwidth connector for automotive communication", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.13, No.1, pp.33-38, 2012.

이 병 성(Byung-sung Lee)

[준회원]



- 2016년 2월 : 공주대학교 전기전자 응용공학과 (학사)
- 2018년 8월 : 공주대학교 기전공학과 (석사)
- 2015년 10월 ~ 현재 : (주)파인디앤씨 기술연구소 과장

<관심분야>

테스트 소켓 설계, 제조, 고주파 시뮬레이션 분석

김 문 정(Moonjung Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (학사)
- 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (석사)
- 2003년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (박사)
- 2003년 9월 ~ 2006년 5월 : 삼성 전자 책임연구원

- 2006년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 교수

<관심분야>

Signal Integrity, Power Integrity, Test Socket, High-Speed Connector