

論文2003-40TC-2-4

## 동축커넥터와 마이크로스트립의 전이구조 최적화 (Optimization of Coaxial to Microstrip Transition)

姜敬逸 \*\*, 金鎮良 \*\*, 李海英 \*

(Kyoung-il Kang, Jin-Yang Kim, and Hai-Young Lee)

### 요약

본 논문에서는 초고주파 대역의 패키징을 위한 동축커넥터와 마이크로스트립의 전이 구조를 해석하고 측정하였다. 현재까지 여러 가지 전이구조의 최적화에 대한 연구는 활발히 이루어졌다. 하지만 주로 특정 전송 선로에 대해서만 개선되어져 왔기 때문에 그 적용범위가 매우 좁다. 따라서 본 논문에서는 상용화되고 있는 비유전율이 2, 5, 10인 세 종류의 기판을 모델로 해석하였다. 또한 FEM 해석의 신뢰성을 확인 후 전이부분의 등가회로 모델을 추출하고, 추출된 물리적인 값들을 결정 하는 요인을 찾아내고 최적의 전이 특성을 위한 전자학적 변수들을 확인하였다. 더불어 기판 유전율과 마이크로스트립 구조를 기준으로 최적의 전이 특성을 내는 전이구조를 제시하였다. 본 논문의 결과는 마이크로파 패키징 개발에서 동축커넥터와 마이크로스트립 최적의 전이구조 설계에 효과적으로 활용 될 수 있으리라 기대된다.

### Abstract

In this paper, analysis and measurement on coaxial connector designed for packaging of microwave and micro strip transition structure are carried out. Even though researches on optimization of various kinds of transition structures have been conducted actively; however, the range of the application was very limited since they have been focused mainly on improvement of specific transmission line. Therefore, in this paper, we tried to analyze three kinds of substrates of which dielectric constants are 2,5,10 and are commercially used nowadays. Besides, we have confirmed reliability of FEM analysis, extracted equivalent circuit of transition area, found out factors determining extracted physical values, and made proof of electromagnetic variations for optimum characteristics. In addition, transition structure showing optimized characteristics on the basis of dielectric and microstrip structure was proposed. We reckon that the result of this research will apply with effect to transition design in microwave packaging development.

**Keywords** : Coaxial to Microstrip, Transition Structure, Coaxial Connector

\* 正會員, \*\*學生會員, 亞州大學校 電子工學部

(Department of Electronics Engineering, Ajou University)

※ 본 연구는 산업자원부 산업기초과제 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

接受日字:2002年11月29日, 수정완료일:2003年2月12日

### I. 서론

최근 이동 통신의 급격한 발전은 다기능의 경박 단소화된 통신장비 개발을 요구하고 있으며, 이러한 추세에 따라 한 패키지 내에 여러 개의 칩을 실장하여 모듈화하는 MCM(Multi-chip Module)과 같은 소형화 모듈개발이 활발히 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 MCM 패키지내

회로와 외부를 연결하기 위하여 모듈과 기구적으로 결합되어 공통 접지를 만들기 용이하며, 신호선 또한 soldering 방법으로 비교적 간단히 연결 할 수 있는 동축커넥터를 사용하고 있으며, 입출력 전송선로는 대부분 제작이 용이하고 구조가 간단한 마이크로스트립(microstrip)으로 이루어진다<sup>[2, 3]</sup>. 그러나 마이크로스트립과 커넥터를 연결할 경우 서로간의 구조적 차이로 인한 불연속효과 뿐만 아니라 전송모드의 부정합 특성을 일으키게 되며, 주파수가 높아짐에 따라 기생 성분의 영향으로 인하여 고주파 전송특성이 저하되기 때문에 초고주파 및 밀리미터파 시스템의 전체성능에 큰 제한을 가져오게 된다<sup>[4]</sup>. 따라서 최근에는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 마이크로스트립 전송선로의 Quasi-TEM 전송모드와 동축커넥터의 TEM 전송모드의 형태나 크기를 정합하는 모드 정합(mode matching)<sup>[5]</sup>의 방법과 전이부분의 구조적 차이로 인한 임피던스 부정합을 전이부분 구조를 변화시킴으로서 기생 L, C 값을 조절하는 임피던스 정합 방법<sup>[9-11]</sup>들이 보고 되어져 왔다. 그러나 지금까지 제안된 방법들은 특정한 유전율을 가지거나 전송선로 크기를 정한 후 하나의 전송선로에 대하여 개선되었기 때문에 그 적용범위가 매우 한정적인 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 지금까지 제시된 방법들의 단점을 보완하기 위하여 다양한 유전율을 가진 마이크로스트립 전송선로와 고주파용 동축커넥터의 전이 특성을 해석하고 최적화된 구조를 제안하였다. 일반적으로 RF, M/W 대역용 기판은 그 유전율이 2~10 사이이므로 해석은 2, 5, 10 세 종류에 대하여 해석하였다. 이러한 전이구조의 전자기적인 해석을 위하여 완전수치해석법(full-wave analysis)인 유한요소법을 이용하여 10~20 GHz 까지 해석 하였다. 전이구조의 해석결과 전송특성은 기판의 유전율보다는 전송선로의 신호선과 접지역활을 하는 기구면 사이의 기생 커패시턴스가 전이특성에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 전송선로의 선폭과 기판두께가 정해졌을 때 최적화된 전이특성을 나타내는 신호선과 기구사이의 간격을 유전율 2, 5, 10 모든 경우에 대하여 도출하였다. 해석 결과, 유전율이 각각 2, 5, 10 인 50Ω 전송선의 선폭과 기판 두께에 대하여 최적화된 간격(g)를 도출하였고, 최적화된 전이구조를 선정 할 수 있었다. 최적화된 전이구조는 해석한 주파수 대역에서 반사손실이 -20dB 이하의 특성을 보였으며, 이러한 결과는 마이크로파 및 밀리미터파 대역 모듈개발에 효과적으로 활용 될 수 있으리라 기대된다.

## II. 측정구조 및 해석 방법

### 1. 해석 및 측정구조

<그림 1(a)>는 해석과 측정에 사용되는 전이부의 측면도와 동축커넥터의 내/외경 크기를 도시하고 있다. 실제 제작에서는 임의의 간격(g)와 돌출된 동축커넥터의 중심도체의 길이(l)를 각각 0.05 mm, 0.2 mm로 제작하였다. 해석은 최적의 전이구조를 도출하기 위하여 상용화 되고 있는 세 가지 기판( $\epsilon_r=2, 5, 10$ )을 이용하였으며, 기판두께 0.094~1.14 mm 의 기판 두께에 대하여 50Ω 특성 임피던스를 갖는 20 mm 길이의 마이크로스트립 선로를 사용 하였다.

### 2. 해석 및 측정 방법

해석방법은 고주파 대역에서의 정확한 해석을 위하여 유한 요소법을 사용하는 상용 시뮬레이터인 HFSS를 사용하였다<sup>[15]</sup>. 본 논문에서는 전체 산란계수의 크기 변화율이 2% 이내에 수렴하도록 유한 요소 mesh 생성을 반복 수행하였으며, 입력단과 출력단을 제외한 경계면에서의 방사 효과를 고려하기 위해 기판두께의 약 5배 이상 떨어진 지점에 흡수경계조건(ABC: Absorbing Boundary Condition)을 적용하여 실제 상황과 근접한 경계조건이 되도록 설정하였다. 또한 동축커넥터와 마이크로스트립 전송선로의 전이특성 측정은 벡터회로망 측정기(VNA: Vector Network Analyzer)를 이용하여 10~20 GHz 측정하였다. 이때 사용된 기판은 Rogers 사의 TMM10 기판이며  $\tan\delta$  는 0.0023 이며, 도체의 conductivity 는  $5.8 \times 10^7$ 이다. <그림 2>를 살펴보면 <그림 1>의 동축커넥터와 마이크로스트립 접합구조의 측정 및 해석결과가 잘 일치함을 확인 할 수 있으며, 이러한 결과는 접합부 특성 해석에 대한 신뢰성을 제공한다.

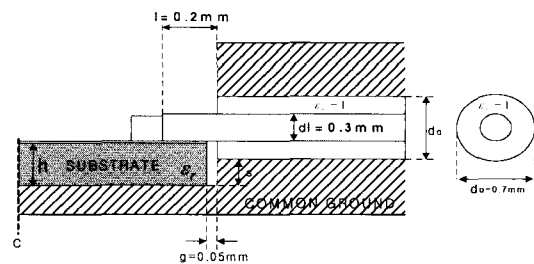
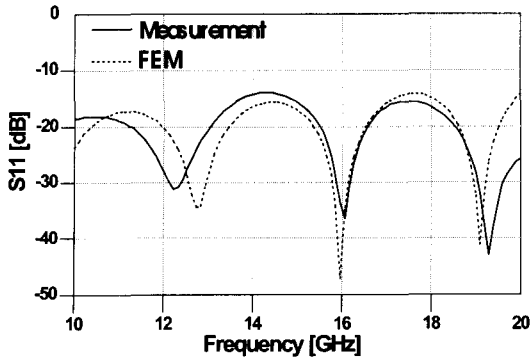
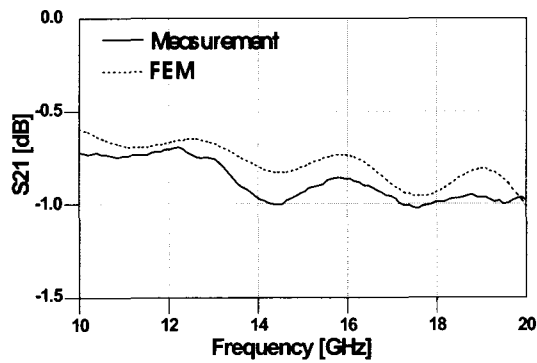


그림 1. 동축커넥터와 마이크로스트립 접합구조; (a) 측면도; (b) 동축선로  
 Fig 1. Coaxial to Microstrip Launch Structure; (a) side view (b) coaxial line.



(a)



(b)

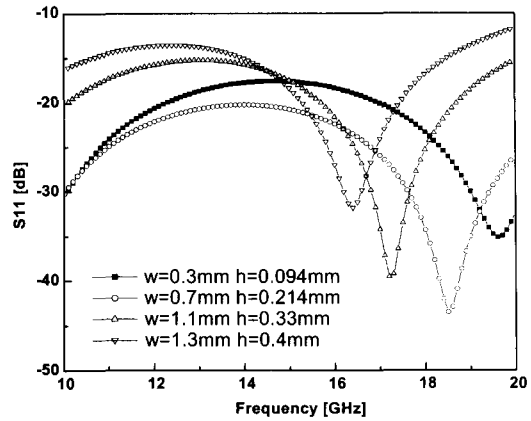
그림 2. 그림1의 동축커넥터와 마이크로스트립 접합구조의 측정 및 해석결과( $w=0.58$  mm,  $h=0.508$  mm,  $\epsilon_r=9.2$ ); (a)반사손실; (b)삽입손실

Fig 2. (a) Measurement and simulation result of coaxial to microstrip transition structure ( $w=0.58$  mm,  $h=0.508$  mm,  $\epsilon_r=9.2$ ); (a) Return loss; (b) Insertion loss

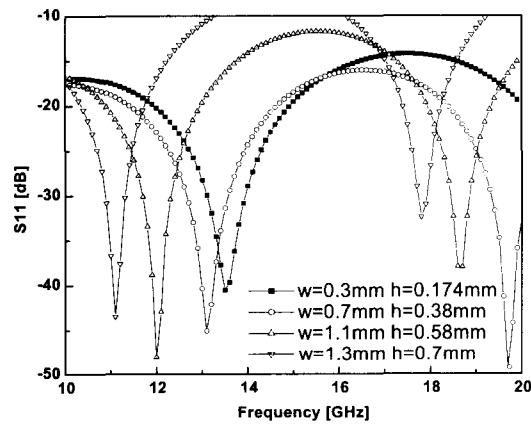
### III. 해석 결과 및 최적화

#### 1. 기판종류에 따른 전이특성 비교

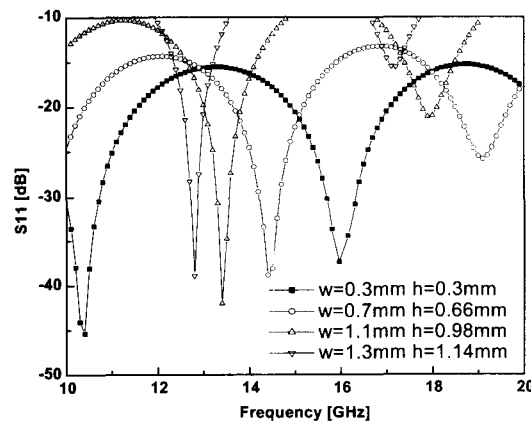
<그림 3>은 동축커넥터와 마이크로 스트립 전송선로의 접합 구조에서 동축커넥터의 크기는 일정하게 하고 세 종류 기판( $\epsilon_r=2, 5, 10$ )의 선폭( $w$ )과 높이( $h$ )를 각각 0.3~0.7 mm, 0.094~1.1 mm 로 변화시키면서 접합구조의 전이 특성을 해석한 결과이다. 이때 사용된 기판의  $\tan\delta$  는 0.002 이며, 도체의 conductivity 는  $5.8 \times 10^7$  이고 선폭과 높이는 각각의 비유전율에 대해  $50 \Omega$  임피던스를 갖도록 선택되었다. 해석에서는 물리적 변수를 줄이기 위해 전송선과 기구면 사이 간격( $g$ )을 0.03 mm로 고정하였다. <그림 3>을 살펴보면 전송선로의 선폭이



(a)  $\epsilon_r=2$



(b)  $\epsilon_r=5$



(c)  $\epsilon_r=10$

그림 3. 세 종류 기판의 선폭과 두께에 따른 반사손실; (a)  $\epsilon_r=2$ ; (b)  $\epsilon_r=5$ ; (c)  $\epsilon_r=10$

Fig 3. Return loss according to the variation of microstrip line widths at three different substrates; (a)  $\epsilon_r=2$ ; (b)  $\epsilon_r=5$ ; (c)  $\epsilon_r=10$

0.3 mm, 0.7 mm 일 때 전 대역에 걸쳐 반사손실이 -15dB 이하의 전이특성을 보였고 전송선로의 높이(h)가 높아질수록 전체적으로 반사손실특성이 저하됨을 확인할 수 있다. 이 이유는 전송선로의 선폭이 넓어지고 기판 높이가 높아짐에 따라 동축선로와 전이시 기생성분이 크게 나타나기 때문이다.

2. 등가회로 추출 결과 및 고찰

<그림 4>는 동축커넥터와 마이크로스트립 접합부의 등가 회로 모델을 도시하고 있다<sup>[7]</sup>. 그림에서 R<sub>r</sub>, L<sub>p</sub>, C<sub>p</sub>는 각각 방사손실(Radiation Loss), 기생 인덕턴스(Parasitic Inductance), 기생 커패시턴스(Parasitic Capacitance)를 나타낸다. 이런 기생성분들 중 기생인덕턴스(L<sub>p</sub>)는 <그림 1>에서 나타난 제작오차에 의해 생기는 공간(g)에 기인하며, 기생 커패시턴스(C<sub>p</sub>)는 마이크로스트립의 신호선 끝단의 가장자리(edge)와 동축커넥터의 접지면과의 프링징(fringing) 커패시턴스에 기인한다. 그리고 직렬저항(R<sub>r</sub>)은 마이크로스트립과 동축커넥터의 연결시 발생하는 구조적인 불연속에 의한 방사손실이다.

<표 1>은 전이부분에서 추출된 등가회로 계수 값을 나타내고 있다. 전이 부분의 전자기적 특성을 추출한 결과 비유전율이 2, 5, 10 으로 각각 다른 경우에 대해 기생 인덕턴스(L<sub>p</sub>)는 크게 변하지 않지만 마이크로 스트립의 선폭이 넓어질수록 신호선과 접지면 사이에서 발생하는 기생 커패시턴스(C<sub>p</sub>)는 증가함을 확인할 수 있

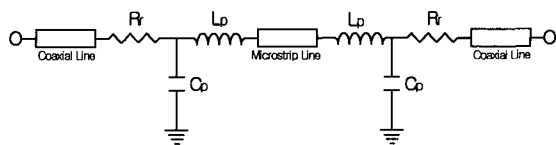


그림 4. 동축커넥터와 마이크로스트립 전이부의 등가 회로 모델

Fig 4. Equivalent circuit model of coaxial to microstrip transition.

표 1. 추출된 등가 회로 계수

Table 1. Extracted equivalent circuit coefficient

$\epsilon_r$	w/h [mm]	0.3/0.094	0.7/0.214	1.1/0.33	1.3/0.4
$\epsilon_r=2$	C <sub>p</sub> [pF]	0.045	0.05	0.08	0.1
	L <sub>p</sub> [nH]	0.08	0.08	0.08	0.08
$\epsilon_r=5$	w/h [mm]	0.3/0.174	0.7/0.38	1.1/0.58	1.3/0.7
	C <sub>p</sub> [pF]	0.047	0.06	0.11	0.16
	L <sub>p</sub> [nH]	0.08	0.08	0.08	0.08
$\epsilon_r=10$	w/h [mm]	0.3/0.3	0.7/0.66	1.1/0.98	1.3/1.14
	C <sub>p</sub> [pF]	0.043	0.07	0.12	0.18
	L <sub>p</sub> [nH]	0.08	0.08	0.08	0.08

다. 또한 <그림 5>에서 동축커넥터와 마이크로스트립 전이부의 FEM 해석한 결과와 SPICE해석한 결과가 잘 일치함을 알 수 있다. <그림 6>은 주파수가 20GHz 일 때 전이부분의 전계 분포를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 마이크로 스트립의 신호선과 패키지벽(package wall) 사이에 강한 전계가 형성되며, 이것은 전이부분의 기생 커패시턴스를 유발한다. <그림 6>의 전계분포를 살펴보면, 기생 커패시턴스는 다음과 같은 두 가지 원인에 의해 증가함을 알 수 있다. 첫째, 전송선로의 신호선이 넓어짐에 따라 기생 커패시턴스를 받

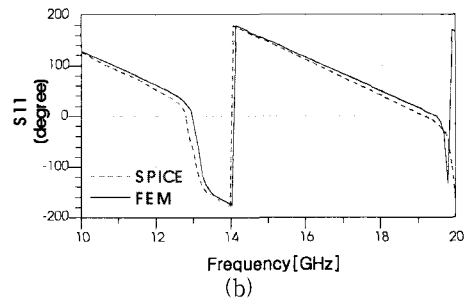
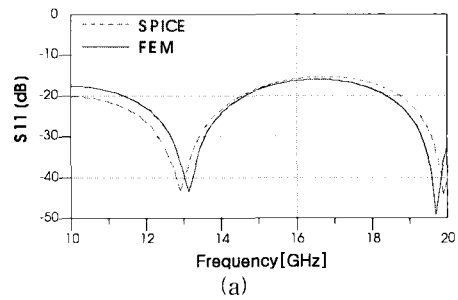


그림 5. 동축커넥터와 마이크로스트립 전이부의 FEM, SPICE 해석결과; (a) 반사손실; (b) 반사손실의 위상

Fig 5. FEM and SPICE result of coaxial to microstrip transition; (a) Return Loss; (b) Return Loss Phase

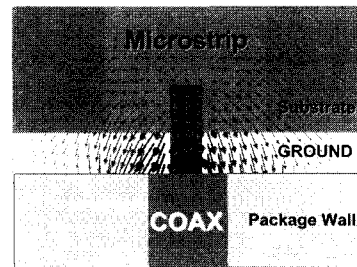


그림 6. 전이부분 전계 분포

Fig 6. Electric field distribution at transition region.

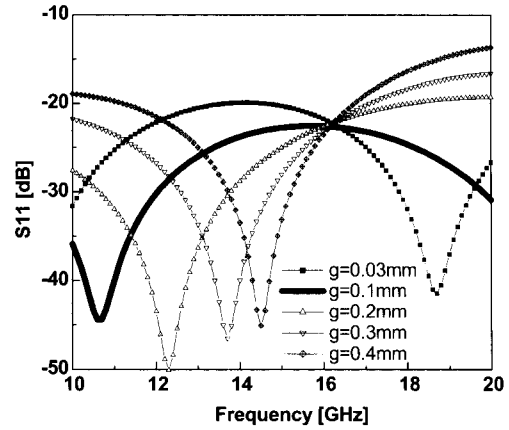
생성시키기 위한 유효면적의 증가에 기인하며, 둘째로는 전송선 기판의 두께가 두꺼워 질수록 기생성분을 유발하는 수직 그라운드면의 높이(s)의 증가로 기생전계를 형성시키는 유효면적이 증가하기 때문이다. 따라서 전송특성을 좌우하는 기생커패시턴스의 크기를 구조적인 변화를 통해 줄임으로써 최적의 전이구조를 제안 할 수 있다.

3. 전이 특성 최적화 및 전이구조 제안

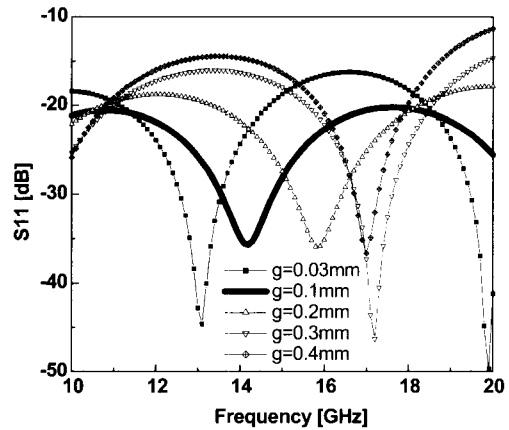
동축커넥터와 마이크로스트립 전송선로 전이특성을 좌우하는 가장 중요한 요인은 신호선과 패키지 접지면 사이의 프린징 전계에 기인함을 앞에서 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 신호선과 패키지 접지면 사이의 간격(g)을 변화시켜 기생 커패시턴스를 줄임으로써 최적의 전이 구조를 제안하였다. <그림 7>은 마이크로스트립 선폭이 0.7 mm 일때 유전율과 기판 높이가 각각 다른 50Ω 전송선로에 대하여 간격(g)에 따른 전이특성 변화를 해석한 결과이다. <그림 7>을 살펴보면, 기판의 높이가 각각 다른 세 종류의 기판에서 간격(g)가 증가함에 따라(g=0.03~0.1 mm) 기생 커패시턴스의 감소로 인하여 반사손실 특성이 -20dB 이하로 향상되었다. 반면 간격이 0.1~0.4 mm로 더욱 커지면 오히려 기생 인덕턴스가 증가하여 반사손실 특성이 저하됨을 확인할 수 있다. <그림 8>은 1.3 mm 의 넓은 마이크로스트립 선폭을 가지고, 유전율과 기판 높이가 각각 다른 50Ω 전송선로에 대하여 간격(g)에 따른 전이특성 변화를 해석한 결과이다. <그림 9>의 결과들을 살펴보면, 이전의 결과와 마찬가지로 기생 커패시턴스의 변화에 따라 전이특성을 개선할 수 있으며 넓은 선폭과 두꺼운 기판의 경우는 간격(g)가 0.2 mm 일때 -15dB 이하의 우수한 반사손실특성을 얻을 수 있음을 확인 하였다. <그림 7>과 <그림 8>의 결과를 살펴보면, w=0.7 mm 일때는 g=0.1 mm 일때 최적의 특성을 보이고 w=1.3 mm 일때는 g=0.2 mm 일때 최적의 특성을 보임을 알 수 있다. 이는 w의 증가로 더욱 커진 프린징 전계에 의한 기생커패시턴스 량을 g를 증가시킴으로써 보상했기 때문이다.

<그림 9>는 유전율 값을 기준으로 반사손실 -20dB 이내의 특성을 나타내는 전이 구조를 선정 한 결과이다. 그림에서 살펴보면 εr=2 인 전송선의 경우 유사한 전송 특성을 보였고, εr=5의 경우는 w=1.3 mm, g=0.2 mm 일때 가장 우수한 특성을 보였고, εr=10 일때는 w=0.7 mm, g=0.1mm 일때 전 대역에 걸쳐 반사손실 -20dB 이내로 매우 우수한 전이특성을 보임을 알 수 있다.

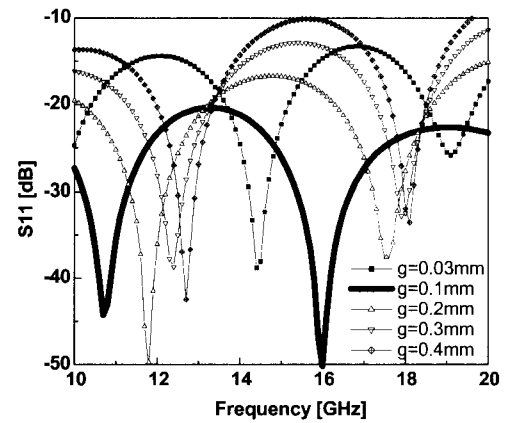
<그림 10>은 <그림 9>의 결과를 바탕으로 세 가지



(a) εr= 2, h= 0.214 mm



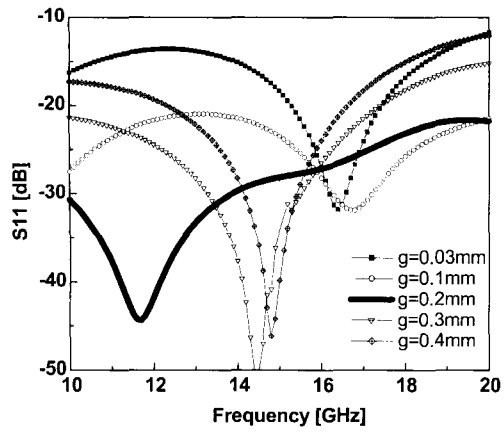
(b) εr= 5, h= 0.38 mm



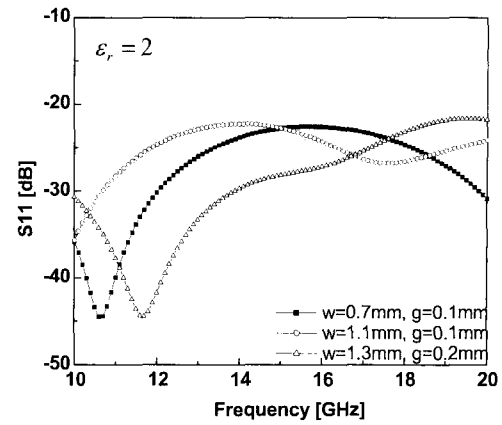
(c) εr= 10, h= 0.66 mm

그림 7. w=0.7 mm 일 때 g변화에 따른 반사 손실; (a) h= 0.214 mm; (b) h= 0.38 mm; (c) h= 0.66 mm

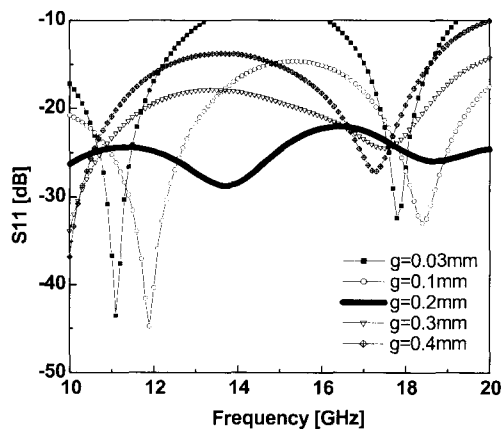
Fig 7. Return loss according to the variation of gap size at w=0.7 mm: (a) h= 0.214 mm; (b) h= 0.38 mm; (c) h= 0.66 mm



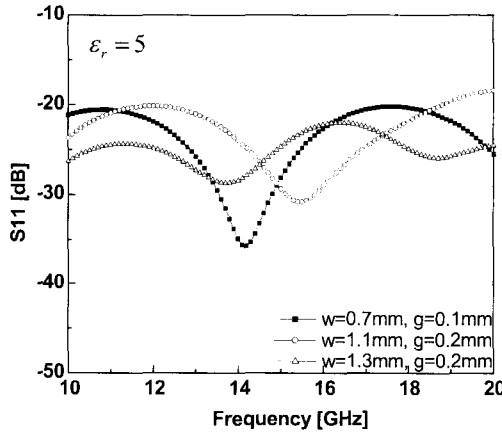
(a)  $\epsilon_r=2$ ,  $h=0.4$  mm



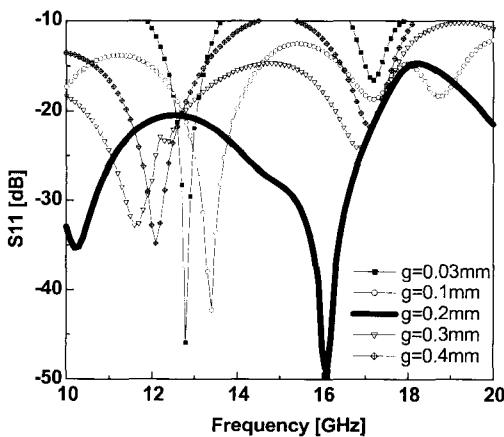
(a)  $\epsilon_r=2$



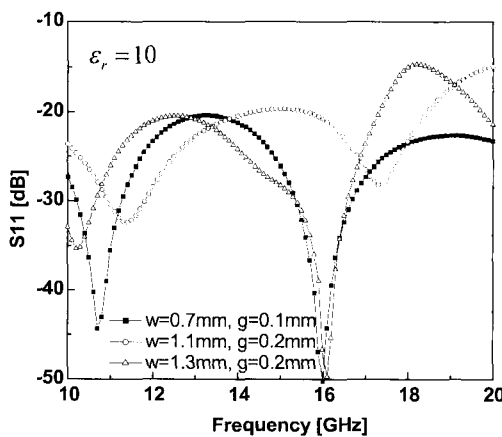
(b)  $\epsilon_r=5$ ,  $h=0.7$  mm



(b)  $\epsilon_r=5$



(c)  $\epsilon_r=10$ ,  $h=1.14$  mm



(c)  $\epsilon_r=10$

그림 8.  $w=1.3$  mm 일 때  $g$ 변화에 따른 반사 손실; (a)  $h=0.4$  mm; (b)  $h=0.7$  mm; (c)  $h=1.14$  mm  
 Fig 8. Return loss according to the variation of gap size at  $w=1.3$  mm; (a)  $h=0.4$  mm; (b)  $h=0.7$  mm; (c)  $h=1.14$  mm

그림 9. 유전율 값에 따른 최적화된 전이구조의 선정; (a)  $\epsilon_r=2$  일때 (b)  $\epsilon_r=5$  일때; (c)  $\epsilon_r=10$   
 Fig 9. Selection of the optimized transition structure according to a dielectric constant; (a)  $\epsilon_r=2$ ; (b)  $\epsilon_r=5$ ; (c)  $\epsilon_r=10$

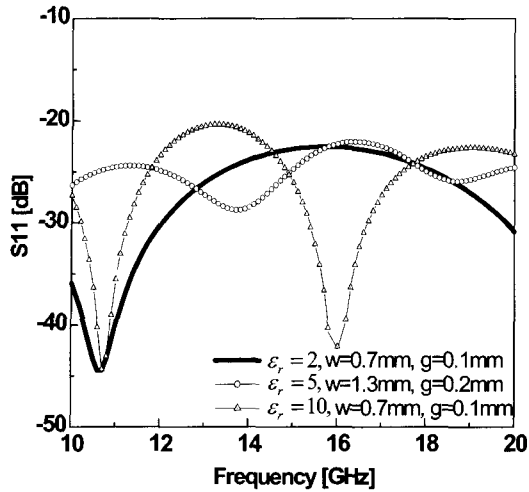


그림 10. 최적화 된 전이구조  
Fig 10. Optimized coaxial to microstrip structure.

표 2. 최적화된 전이구조  
Table 2. Optimized Transition Structure.

w[mm]	h[mm]	g[mm]	S11[dB]
0.7	0.21~0.66	0.1	<-15
1.1	0.33~0.98	0.1~0.2	<-15
1.3	0.4~1.14	0.2	<-15

표 3. 제안된 전이구조  
Table 3. Proposed Transition Structure.

εr	w[mm]	h[mm]	g[mm]	S11[dB]
2	0.7	0.214	0.1	<-20
5	1.3	0.7	0.2	<-20
10	0.7	0.66	0.1	<-20

유전율에 대하여 가장 우수한 전이특성을 나타내는 전이구조를 선정할 결과를 나타낸 것이다. <그림 10>에서 전송선로의 유전율 2, 5, 10에 대해 반사손실이 -20dB 내로 우수한 전송특성을 보이는 최적의 전이구조를 선택할 수 있다.

<표 2>는 유전율과 관계없이 마이크로스트립 선폭에 대해 반사손실 -15dB 이내로 나타나는 기판 두께(h)와 간격(g)를 정리하였다. <표 2>의 결과로부터 기판유전율과 관계없이 마이크로스트립의 50Ω 선폭이 정해졌을 때 최적의 기판 두께를 선정할 수 있다.

<표 3>은 세 가지 기판 유전율에 대해서 반사손실

-20dB 이내의 최적의 전이특성을 내는 전이구조를 정리한 결과이다.

### III. 결론

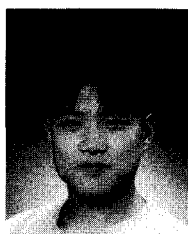
본 논문에서는 동축커넥터와 마이크로스트립의 전이구조를 해석하였고, 등가회로 모델을 통하여 10~20 GHz 전 대역에서 최적의 전이구조를 제안하였다. 전이구조에 대한 등가회로로부터 마이크로스트립 선로와 기구 접지면 사이에서 발생하는 기생 커패시턴스가 전송특성을 결정하는 중요한 요인임을 확인하였다. 또한 특정한 전송선로가 아닌 상용화 되고 있는 세 종류의 기판에 대해서 해석하고, 유전율과 관계없이 마이크로스트립 전송선로의 50Ω 선폭(w) 선폭과 기판 높이(h)에 따른 최적화 구조를 도출하여 <표 2>에 제시하였다. 또한 유전율 2, 5, 10을 기준으로 -20dB 이내 최적의 전이특성을 나타내는 전이구조를 <표 3>에 제시하였다. 현재 상용화 되어 널리 사용되어지고 있는 기판들은 그 유전율이 2~10이며, 제안된 전이구조는 전송선로의 길이를 조절하는 방법으로 별도의 추가 비용 없이 활용될 수 있다. 따라서 본 논문의 이러한 결과들은 초고주파 및 밀리미터파 최적 패키징에 효과적으로 사용될 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] Nishino, T.; Maeda, K.; Shimozawa, M.; Ikushima, T.; Sadahiro, K.; Katsura, T.; Suematsu, N.; Itoh, K.; Oohashi, H.; Takagi, T.; Ishida, O. "Suppression of Multi-path Couplings in MCM with a Flip-Chipped SiGe-MMIC," IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, pp. 1385~1388, 2002.
- [2] Christos N. Capsalis, Constantinos P. Chronopoulos, "A Rigorous Analysis of a Coaxial to Shielded Microstrip Line Transition," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 37, No. 7, pp. 1091~1099, JULY. 1989.
- [3] Fang Dagang, Zhou Dong and Sun Yuxuan, "Accurate Analysis of the Coax-to-Microstrip Transition by Using FDTD Method," ICCEA '99 International Conference, pp. 218~221, 1999.

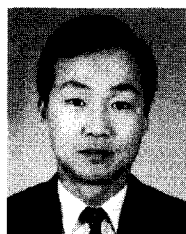
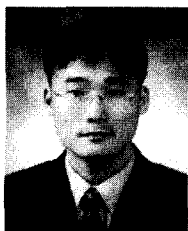
- [4] Cyrusian and G. Fotheringham, "Characterization of RF/MICROWAVE Packaging Structures," IEEE MTT-s IMOC'95 Proceedings, pp. 335~339, 1995.
- [5] R. L. Eisenhart, "A better Microstrip Connector," IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, pp. 318~320, January. 1978.
- [6] Joseph Chenkin, "dc to 40 GHz Coaxial-to-Microstrip Transition for 100-um-Thick GaAs Substrates," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 37, No. 7, pp. 1147~1150, JULY. 1989.
- [7] C. Deibele, "Design, Measurement, and Procedure for Assembling SMA-96 Mil 2.33 Dielectric Constant Stripline Topologies," RFI TECHNICAL NOTE 013, pp. 1~7, 2001.
- [8] Matthew Morgan, Sander Weinreb, "A Millimeter-wave Perpendicular Coax-to-Microstrip Transition," IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, pp. 817~820, June. 2002.
- [9] E. H. England, "A Coaxial to Microstrip Transition," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-24, no. 1, pp. 47~48, Jan. 1976.
- [10] Bernhard Rogenberger, "Surface Mount Coaxial Connectors for High Frequency Applications," IEEE MTT-S Technologies for Wireless Applications Digest, pp. 71~75, 1999.
- [11] Hongwei Liang, Joy Laskar, "Design and Optimization for Coaxial-to-Microstrip Transition on Multilayer Substrates," IEEE MTT-S International, Vol. 3, pp. 1915~1918, May. 2001.
- [12] Carmen Diez, Juan Daniel Gallego, Isaac Lopez, Rafael Garcia, "Electrical Characterization of SMA Connectors for Cryogenic Amplifiers," RTechnical Report C.A.Y., Nov. 2000.
- [13] J. S. Wight, O.P. Jain, W. J. Chudobiak, V. Makios, "Equivalent Circuits of Microstrip Impedance Discontinuities and Launchers," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, pp. 48~52, January. 1974.
- [14] Bill Oldfield, "Connector and Termination Construction above 50 GHz," Applied Microwave & Wireless, pp. 56~66, April. 2001.
- [15] HFSS (High Frequency Structure Simulator), ver 8.0, Ansoft.
- [16] JOHNSON Components®, "SMA-50 Ohm Connector" Application Note.

## 저 자 소 개



姜敬逸(學生會員)

현재 : 아주대학교 전자공학부 초고  
주파응용 연구실 석사과정 재학

李海英(正會員) 第36卷 D編 第9  
號 參照

金鎮良(學生會員)

현재 : 아주대학교 전자공학부 초고  
주파응용 연구실 박사과정 재학