

論文98-35D-6-1

PCS 기지국용 표면실장형 후진파 3dB 커플러의 설계 및 제작

(Design and Fabrication of SMD Type Backward Wave 3dB Coupler for PCS Basestation)

朴寅植*, 金鍾圭*, 申東浩*

(In-Shig Park, Jong-Kyu Kim, and Dong-Ho Shin)

요약

본 논문에서는 PCS 기지국용 표면실장형 후진파 3dB 커플러의 회로설계, 제작 및 특성측정을 수행하였다. 제작된 커플러는 상용제품과 동일한 외형과 크기로 (0.56×0.35 Inches) 제작하여 1 : 1 로 대치가 가능하도록 하였으며, 동작주파수 1.75 ~ 1.98GHz 대역에서 우수한 특성을 얻었다. 제작된 커플러의 특성은 삽입손실 0.295dB 이하, 분리도 -30.31dB 이하, 진폭균일도 0.05dB 이하, 위상균일도 0.02° 이하, 입력 및 출력 임피던스 정합은 -30.08, -39.72 dB 이하의 특성을 나타냈다.

Abstract

In this paper, SMD type backward wave 3dB coupler for PCS basestation application was designed, fabricated and measured. We designed that it could be replaced for commercial basestation system and it was 0.56 × 0.35 inches size. The test results show that coupler is well operated within frequency range of 1.75 ~ 1.98GHz, which is defined on PCS system. The coupler reveals insertion loss 0.295dB, isolation -30.31dB, amplitude balance 0.05dB, phase balance 0.02°, input and output impedance matching -30.38dB, -39.72dB, respectively.

I. 서론

현재 국내의 이동통신은 아날로그용 셀룰라 서비스가 포화상태에 이르렀으며 디지털 방식을 채택한 CDMA용 셀룰러 서비스가 세계 최초로 상용화되어 시행되고 있다. 또한 기존의 이동통신보다 더 나은 서비스를 목적으로 한 개인휴대통신(Personal Communication Service; PCS) 서비스는 이미 상용화되어 전국적인 서비스를 시행중에 있다. 이러한 이동통신 서비스에는 다량의 이동국 및 기지국 장비들이 소

요되고 있으며, 특히 기지국용 RF/MW 분야에서의 핵심부품(커플러, 디바이더, 전력증폭기 등) 설계 및 제작기술이 취약한 국내 상황하에서는 전량수입에 의존하여 시스템에 적용하고 있는 실정이다. 따라서, PCS, IMT-2000 및 WLL (Wireless Local Loop) 기지국 및 이동국용 핵심부품의 국산화는 필연적인 문제이다.

개인휴대통신 기지국을 구성하는 핵심 RF 부품 중에서도 특히 표면실장(Surface Mounting)형 하이브리드 커플러는 일반적으로 뛰어난 정합과 분리도(Isolation), 두 출력 포트 사이에 90° 위상차를 갖는 4-포트 소자이다^[1,2]. 본 논문에서는 표면실장형 후진파 3dB 커플러의 기본구조와 일반적인 이론을 소개하고, 개인휴대통신 기지국에 사용하기 위한 커플러의 회로설계 및 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 설계된

* 正會員, 電子部品綜合技術研究所

(Korea Electronics Technology Institute, KETI)

※ 본 연구는 정보통신부에서 시행한 국책기술개발사업의 일환으로 이루어졌음

接受日字:1998年2月9日, 수정완료일:1998年3月23日

커플러를 제작·측정하였으며, 기존 상용제품과 특성을 비교하였다.

II. 커플러의 구조

본 논문에서 다루고 있는 커플러의 일반적인 단면구조를 그림 1에 나타냈다. 서로 다른 세장의 기판이 적층구조를 이루고 있으며, 이중 상·하 기판은 접지를 위한 것이고, 중심 기판은 양쪽면의 스트립라인 패턴에 의해 신호의 커플링이 발생하는 양면 기판이다^[3].

그림 2는 이 양면 기판에 대한 도식적 구조이고 실선은 기판의 윗면, 점선은 아랫면의 패턴을 의미한다. 그림에서의 포트번호는 임의로 정의한 것이고, 대칭적 구조를 갖는 이 커플러는 어떠한 포트도 입력 또는 출력 포트가 될 수 있다. 포트 1을 입력포트로 결정할 경우 포트 4는 통과(through) 포트가 정의되는데, 그 이유는 포트 1과 4사이에 저항계를 연결했을 때 제로(Zero) 저항을 나타내기 때문이다. 포트 3은 커플링 포트로서 입력(포트 1)과 포트 3 사이에는 어떠한 직접적인 연결도 없으므로 커플링 포트라 한다. 또한, 모든 입력과 출력라인의 임피던스(Z_0)는 일반적인 값인 50Ω 로 한다.

크기가 중요한 응용 분야의 경우 그림 2에서의 결합선로처럼 “굴곡 (meandering)”을 이용하여 커플러의 크기를 줄일 수 있다. 굴곡의 간격이 가까울수록 크기를 더욱 줄일 수 있지만, 만약 너무 가깝다면 커플러의 횡(transverse) 방향으로 원하지 않는 커플링을 발생할 것이다. 이 횡방향의 커플링은 정합과 분리도를 급격히 감소시킨다^[4,5].

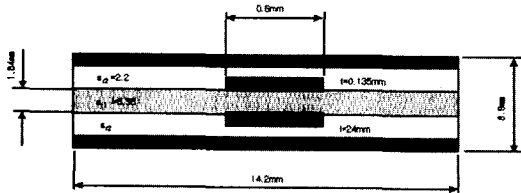


그림 1. PCS용 후진파 커플러의 단면 구조도
Fig. 1. Sectional view of backward wave coupler for PCS.

III. 커플러 이론

그림 2와 같은 대칭적 구조의 4-포트 소자는 다음

과 같이 4개의 계수를 갖는 산란행렬로 나타낼 수 있다.

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{21} & S_{31} & S_{41} \\ S_{21} & S_{11} & S_{41} & S_{31} \\ S_{31} & S_{41} & S_{11} & S_{21} \\ S_{41} & S_{31} & S_{21} & S_{11} \end{bmatrix} \quad (1)$$

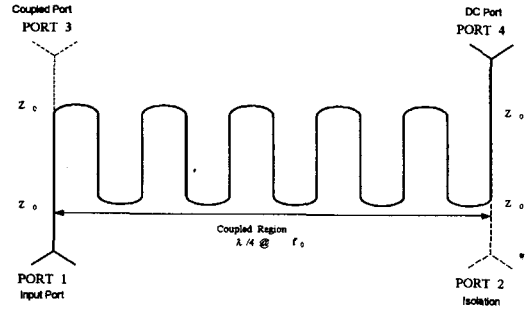


그림 2. 결합 선로의 구조도
Fig. 2. Configuration of coupling transmission line.

식 (1)의 4개의 계수를 결정하기 위해 우모드(Even mode)와 기모드(Odd mode) 해석을 이용한다. 일반적으로 커플러는 우모드와 기모드로 각각 해석할 수 있고, 최종 결과는 두 모드에 대한 대수적인 합을 통하여 얻을 수 있다. 이 두 모드는 우모드에서 Z_{0e} , 기모드에서 Z_{0o} 의 서로 다른 임피던스를 갖는다.

- 완전 정합과 큰 분리도(Isolation)를 갖는 커플러는 각각의 모드에 대한 다음 조건을 만족 해야만 한다^[6].
- (가) 우모드 임피던스와 기모드의 임피던스의 곱은 커플러의 입·출력 임피던스의 제곱과 같다.
- (나) 우모드와 기모드의 전파 상수는 동일하다.

산란행렬의 대칭성과 단일성 및 이상적인 커플러 특성을 고려하면 식 (2)와 같이 쓸수있다.

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & j\sin\theta & \cos\theta \\ 0 & 0 & \cos\theta & j\sin\theta \\ j\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ \cos\theta & j\sin\theta & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

그림 2에서 입력 포트가 1번 포트일 경우 출력 포트 전압은 각각 식 (3)과같다.

$$E_{31} = j\sin\theta e^{-j\beta l} \quad (3a)$$

$$E_{41} = \cos\theta e^{-j\beta l} \quad (3b)$$

여기서 θ 는 커플링 각(coupling angle)을 의미하고, 3번 포트는 커플링(coupled) 포트, 4번 포트는 통

과(through)포트이다.

그림 3은 커플링 포트의 전력과 정규화된 우모드 임피던스 Z_{0e}' 사이의 관계를 나타낸 것으로 Z_{0e}' 가 2.414일 경우 커플링이 3dB가 되는 것을 알 수 있다.

그림 4는 커플링 각과 커플링 길이의 관계를 나타낸 것이다. 3dB 커플러의 경우 커플링 길이가 $\lambda/4$ 일 때 결합각이 45° 가 되고, 식 (3)에 따라 커플링 각 45° 는 두 출력 포트에 동일한 크기의 전력이 전송됨을 의미한다. 식 (3)에서의 j 는 90° 의 위상변화를 의미한다.

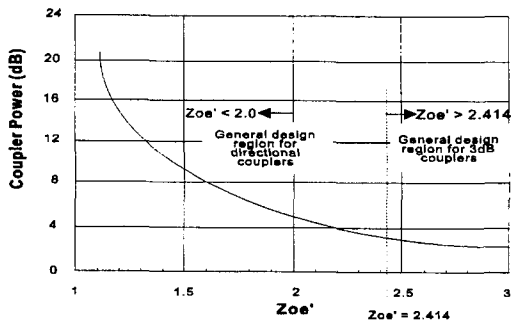


그림 3. 커플링 각 θ 와 커플링 길이의 관계
Fig. 3. Coupling angle θ vs. coupler electrical length.

지금까지의 이론적 고찰을 통해 3dB 커플러는 정규화된 우모드 임피던스가 2.414, 결합선로의 길이가 $\lambda/4$ 임을 알 수 있었다.

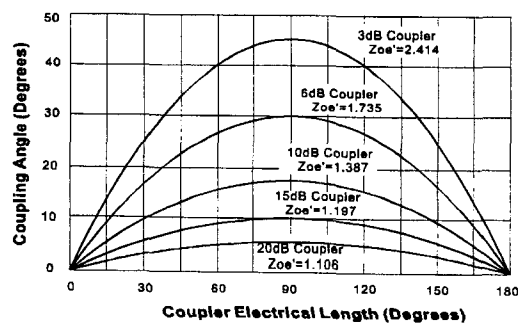


그림 4. 중심주파수에서 커플링 포트의 전력과 Z_{0e}' 의 관계
Fig. 4. Power to the coupled port vs. Z_{0e}' for coupler at the center frequency

IV. 회로설계 및 시뮬레이션

이 절에서는 커플러의 기본이론을 바탕으로 실제

3dB 커플러를 설계하였다. 설계 목표는 표1과 같고, 설계과정의 가장 첫 단계는 제작에 사용할 각 기판의 특성을 결정하는 것이다. 기판의 유전율과 구조적 특성에 따라 제작된 커플러의 크기와 성능이 많은 영향을 받기 때문에, 이 선택은 매우 중요하다. 제작에 사용할 기판이 결정되면 이것을 이용하여 커플링 선로의 길이와 폭을 결정할 수 있다.

표 1. 커플러의 설계 목표^[5]

Table 1. The design specifications of the coupler^[5].

Parameters	Specification	Units
Frequency Range	1.75 ~ 1.98	GHz
Isolation (Min.)	23	dB
Insertion Loss (Max.)	0.3	dB
VSWR (Max : 1)	1.2	
Amplitude Balance (Max.)	± 0.3	dB
Phase Balance (Max.)	3.0	Deg
Size	0.56×0.35	Inches

표면실장형 커플러의 회로설계 및 시뮬레이션은 HP사의 초고주파 회로설계 프로그램인 MDS를 이용하였다. 본 논문에서 다루고 있는 후진파 커플러의 경우 사용 기판의 특성상수와 원하는 커플링의 크기, 특성 임피던스를 결정해 주면, 커플링 영역의 물리적 길이, 폭, 상·하 패턴의 간격 등을 구할 수 있다. 포트 정합부분 역시 사용기판의 특성상수와 특성임피던스를 통해, 그 폭을 구할 수 있다. 최적화 설계된 커플러의 중심주파수 1.865GHz에서의 구조적 및 전기적 파라미터를 정리하여 표 2에 나타냈다.

표 2. 커플러의 전기적 및 구조적 파라미터 (f=1.865GHz)

Table 2. Electrical and geometry parameters of coupler.(f=1.865GHz)

커플링 영역의 파라미터				포트정합 파라미터	
구조적		전기적			
W (mm)	0.53	ZE (Ω)	127.0	W (mm)	2.16
		ZO (Ω)	21.13		
L (mm)	24.00	Z (Ω)	51.8	L (mm)	36.00
		Coupling (dB)	2.917		
		E_eff (Deg)	89.97		

표 2에서 Z_E 와 Z_O 는 커플링영역의 우(Even)모드 임피던스와 기(Odd)모드 임피던스를 나타내며 특성임피

던스는 Z로 표기하였다. 또한 W와 L은 각각 커플링 또는 포트영역의 패턴 폭과 길이를 나타낸다.

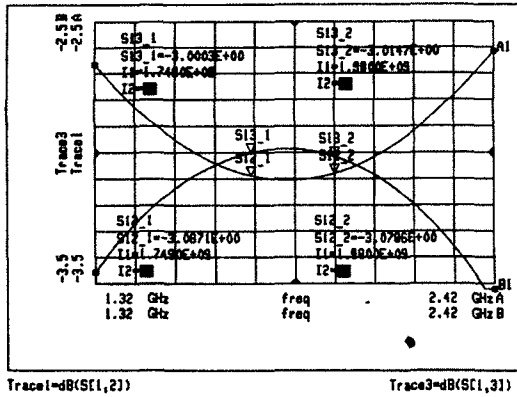


그림 5. 두 출력포트 사이의 커플링 특성 시뮬레이션
 Fig. 5. Coupling simulation between two output ports.

그림 5에서 그림 8까지는 최적화 설계된 커플러의 시뮬레이션 결과를 나타냈다. 그림 4는 커플러의 두 출력포트 사이의 커플링 크기를 나타낸 것으로 동작주파수 대역 (1.75GHz ~ 1.98GHz)에서 2.99 ~ 3.10dB 사이의 특성을 나타낸다. 이 결과는 다수의 시뮬레이션, 제작 및 특성측정을 통하여 시뮬레이션에서 약간의 과도(Over) 커플링이 될 경우 실제 제작된 커플러의 특성이 보다 우수하게 나타나는 실험적인 결과를 통하여 얻어진 것이다.

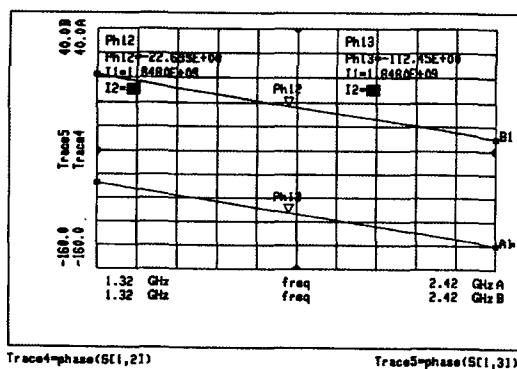


그림 6. 두 출력포트 사이의 위상 특성 시뮬레이션
 Fig. 6. Phase difference simulation between two output ports.

그림 6는 두 출력포트 사이의 위상차를 나타낸 것으로 정확히 90°의 위상차를 나타냈다.

그림 7은 설계된 커플러의 분리도 특성을 나타낸 것으로 동작주파수 대역에서 -23.8dB 이하의 우수한 특성을 나타냄을 확인할 수 있다.

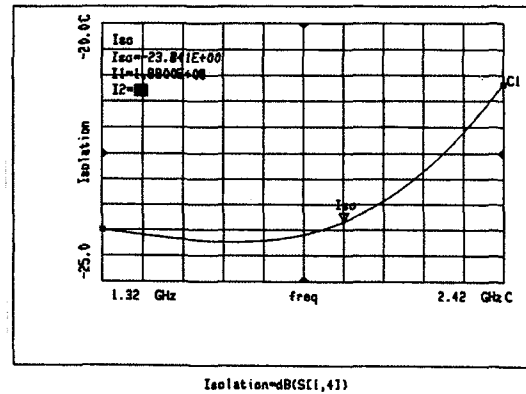


그림 7. 두 출력포트 사이의 분리도 특성 시뮬레이션
 Fig. 7. Isolation simulation between two output ports.

그림 8은 커플러 각각의 포트 임피던스정합 특성을 나타낸 것으로 동작주파수 대역에서 각각의 포트는 동일한 특성을 갖고 -23.7dB 이하의 우수한 특성을 보여주고 있다.

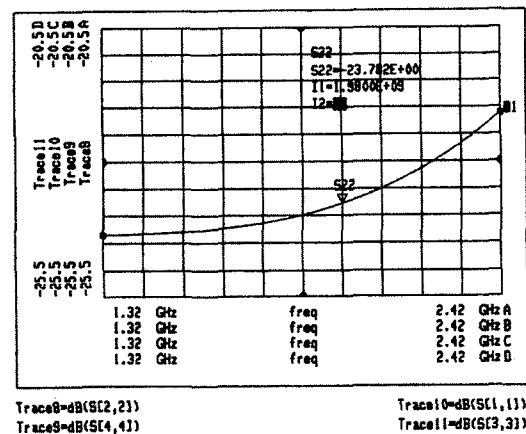


그림 8. 입력 및 출력포트의 임피던스정합 특성 시뮬레이션
 Fig. 8. Impedance simulation matching of input and output ports.

V. 커플러 제작

본 논문을 통해 설계된 커플러의 제작에 있어서 가장 큰 특징은 양면 PCB와 다층기판을 사용한다는 점

이다. 표면실장형 커플러의 제작공정을 그림 9에 나타냈다.

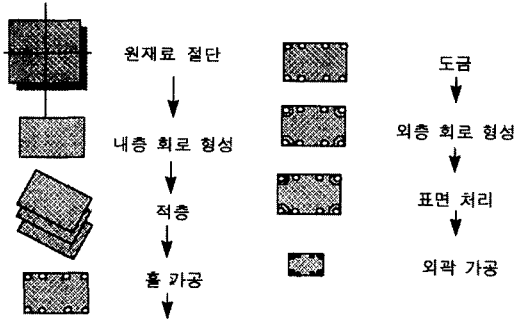


그림 9. 커플러의 제작공정
Fig. 9. Fabrication process of coupler.

다층기판 제작공정과 단일기판 공정의 가장 큰 차이는 다층기판의 경우 적층 과정이 필요하다는 것이다. 적층은 우선 내층용 원판상에 사진법 또는 인쇄법에 의해 내층 회로를 형성한 후, 설계된 층별 적층구조에 맞추어 순서대로 배열한다. 그리고, 각층 사이에 접착 및 절연의 기능을 수행하는 반경화 에폭시합침그래스를 삽입한후 고열과 압력을 가하여 각층을 접착하게 된다. 본 논문에서 다루고 있는 커플러는 기판의 두께 및 정렬(align)이 상당히 중요하고, 따라서 이 적층과정은 특성에 매우 민감한 영향을 주게 된다. 접합과정은 240°C의 온도를 40분간, 14 kg/cm²의 압력을 90분간 가하여 제작하였다. 그림 10에 제작된 커플러의 사진을 나타냈다.



그림 10. 제작된 커플러의 사진
Fig. 10. Photograph of coupler.

VI. 특성측정 및 평가

제작된 커플러의 원활한 특성측정을 위하여 유전체

두께가 1.2mm, 동박두께 0.035mm, 유전율 4.8인 FR-4 기판을 사용하여 측정 지그를 설계·제작하였다. 측정 지그는 입력 및 출력신호를 손실없이 전송하기 위하여 50Ω 전송선로로 구성되며, 측정이 가능한 한도내에서 최소한의 포트 간격과 길이를 갖도록 설계하였고, 앞·뒷면의 접지를 확실히 연결하기 위하여 다수의 스루 홀(Through Hole)을 사용하였다.

본 논문에서의 모든 커플러의 특성측정은 상기에서 설계된 동일한 측정 지그를 사용하여 측정함으로써 상용화된 커플러와 본 논문에서 제작된 커플러의 특성을 상대적으로 비교할 수 있도록 하였다.

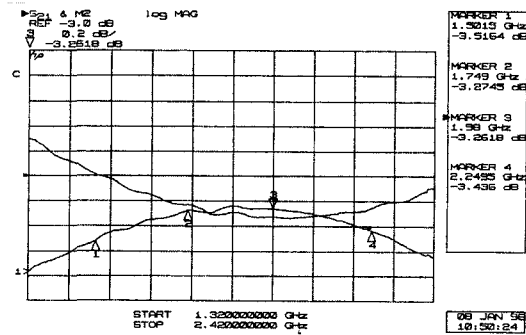


그림 11. 두 출력포트 사이의 커플링 특성
Fig. 11. Coupling between two output ports.

제작된 커플러의 특성측정 결과를 그림 11에서 그림 14까지 나타냈다. 그림 11은 커플러의 두 출력포트 사이의 커플링 크기를 나타낸 것으로, 동작주파수 대역에서 3.27±0.1dB의 특성을 나타낸다.

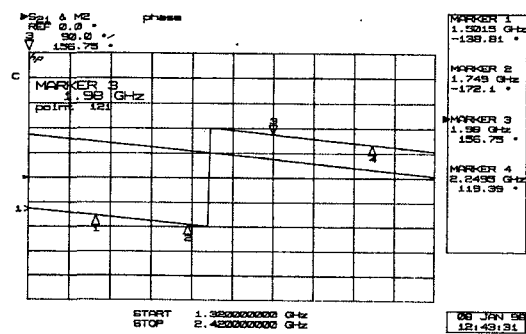


그림 12. 두 출력포트 사이의 위상 특성
Fig. 12. Phase difference between two output ports.

그림 12는 커플러의 두 출력포트 사이의 위상특성을 나타낸 것으로 동작주파수 대역에서 최대 0.02° 이

하의 위상 균일도 특성을 나타낸다.

그림 13은 커플러의 분리도 특성을 나타낸 것으로 동작주파수 대역에서 -30.31dB 이하의 특성을 나타낸다.

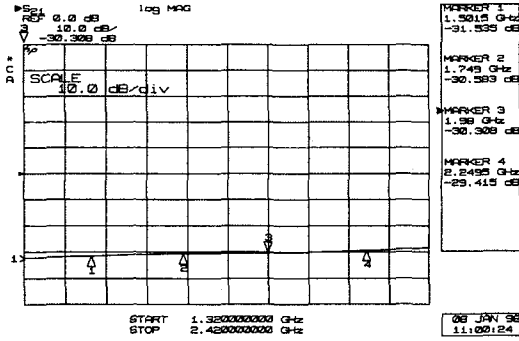


그림 13. 두 출력포트 사이의 분리도 특성
Fig. 13. Isolation between two output ports.

그림 14는 커플러의 입력과 출력 임피던스 포트정합 특성을 나타낸 것으로 동작주파수 대역에서 입력포트는 -30dB 이하의 특성을 갖고, 출력포트는 -31.24dB 이하의 특성을 갖는다.

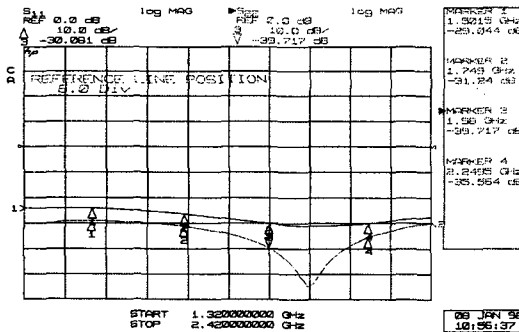


그림 14. 입력 및 출력 임피던스 정합 특성
Fig. 14. Impedance matching of input and output ports.

또한, 현재 상용화되어 사용되고 있는 A사와 R사의 PCS 기지국용 커플러와 본 논문에서 설계·제작된 커플러를 동일한 측정지그를 사용하여 특성측정한 결과를 비교하여 표 3에 나타냈다.

VII. 결 론

본 논문에서는 PCS 기지국용 후진파 커플러의 설계, 제작 및 특성측정 결과를 제시하였다. 제작된 커플러

는 동작주파수 (1.75GHz~1.98GHz) 대역에서 원할히 동작하였으며, 분리도 -30.3dB 이하, 삽입손실 0.295dB 이하, 포트 임피던스정합 (S11, S22) -30dB 이하, 위상 균일도 0.02° 이하, 진폭 균일도 0.05dB 이하의 특성으로 상용제품에 비하여 우수한 특성을 나타냈다.

표 3. 커플러의 특성측정 결과 비교 (f=1.98GHz)

Table 3. Comparison between commercial product and this paper. (f=1.98GHz)

Parameters	Sample A사	Sample R사	본 논문
Frequency Range	1.75 ~ 1.98 GHz		
Isolation (Min., dB)	21.09	17.7	30.31
Insertion Loss (Max.)	0.335	0.432	0.295
Port Impedance Matching (S11 : Min., dB)	20.84	18.57	30.08
(S22 : Min., dB)	21.64	19.56	39.72
Amplitude Balance (Max., dB)	0.05	0.06	0.05
Phase Balance (Max., Deg)	0.13	1.57	0.02
Size (Inches)	0.56 × 0.35		

연구 진행과정을 통해 제작공정의 정확도에 따라 커플러의 성능이 크게 좌우됨을 알 수 있었고, 공정을 안정화 시킨다면 상용화도 가능하리라 생각된다. 또한, 본 기술을 응용한다면 표면실장형(SMD) 방향성 결합기(directional coupler)와 전력분배기(power divider)의 구현도 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Rizzi, P. A., *Microwave Engineering Passive Circuits*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1988.
- [2] Collin, R. E., *Foundations For Microwave Engineering*, McGraw-Hill, New York, pp. 413-434, 1992.
- [3] Bhal, I.J., and Prakash Bhartia, "Characteristic of inhomogeneous Broadside-coupled Striplines," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-28, no. 6, June 1980, pp. 529-535.
- [4] S. Rehnmark, "Meander-Folded Coupled Lines," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-26, no.

- 4, pp. 225-231, 1978.
- [5] Anaren Co., *Microwave Components and Subsystems*, Catalog, 1995.
- [6] Wadell, B. C., *Transmission Line Design Handbook*, Artech House, Norwood, 1991.

저 자 소 개.

朴 寅 植(正會員)

1966년 11월 1일생. 1990년 2월 동국대학교 전자공학과(공학사). 1992년 2월 동국대학교 전자공학과(공학석사). 1992년 3월 ~ 현재 전자부품종합기술연구소 ATEL 단말기사업단 선임연구원. 주관심분야 고주파부품 설계, MMIC 및 RFIC 설계

金 鍾 圭(正會員)

1957년 9월 15일생. 1986년 2월 서울산업대학교 전자공학과(공학사). 1989년 2월 건국대학교 전자공학과(공학석사). 1992년 3월 ~ 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구3팀 선임연구원. 주관심분야 고주파부품 설계 및 안테나 개발 등

申 東 浩(正會員)

1961년 8월 25일생. 1988년 2월 충남대학교 물리학과(이학사). 1988년 4월 ~ 1989년 11월 한국광전자연구소 연구원. 1988년 12월 ~ 1992년 1월 금성기전 주안연구소 연구원. 1992년 2월 ~ 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구 1팀 선임연구원. 주관심분야 광반도체 재료 및 공정 개발, 광수동부품 개발, OEIC 등