

# PCS 기지국용 표면실장형 윌킨슨 전력 분배기의 설계 및 제작

정회원 김 종 규\*, 오 환 술\*\*

## Design and Fabrication of SMD Type Wilkinson Power Divider for PCS Basestation

Jong-Kyu Kim\*, Hwan-Sool Oh\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 PCS 기지국용 표면실장형 윌킨슨 전력 분배기의 회로설계, 제작 및 특성측정을 수행하였다. 제작된 분배기는 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 분배기의 특성은 삽입손실 0.2dB 이하, 분리도 -19.8dB 이하, 진폭균일도 0.02dB 이하, 위상균일도 0.5o 이하, 입력 및 출력 임피던스 정합은 -20.6 dB 이하의 특성을 나타냈다.

### ABSTRACT

This paper describe the design and fabrication of a SMD type Wilkinson power divider for PCS basestation. It has been designed for commercial power amplifier system by HP-ADS and fabricated with the size 0.56 × 0.35 inches. As a result, the power divider was well-operated in the frequency ranges of 1.75 ~ 1.98GHz for the application of PCS system. The power divider reveals insertion loss 0.2dB, isolation -19.8dB, amplitude balance 0.02dB, phase balance 0.5o, input and ouput impedance matching -20.6dB respectively.

\* Key Word : PCS, SMD, Wilkinson, Basestation, Isolation, Insertion Loss

### I. 서 론

현재 국내의 이동통신은 CDMA 셀룰러 및 PCS 가 서비스되고 있으며, 2002년 상반기중 IMT-2000 상용화를 계획하고 있다. 디지털 방식을 채택한 CDMA용 셀룰러 서비스가 세계 최초로 상용화되었고, 또한 기존의 이동통신보다 더 나은 서비스를 목적으로 한 개인휴대통신(Personal Communication Service; PCS) 서비스는 오래 전 상용화되어 전국적인 서비스를 진행중에 있다. 이러한 이동통신 서비스에는 다량의 이동국 및 기지국 장비들이 소요 되고 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 윌킨슨 전력분배기는 일반적으로 두 출력포트 사이에 뛰어난 진폭 균일도 및 분리도(Isolation)를 갖고 두 출력포트가 동위상(0° 위상차)을 갖는 3-포트 소자이다<sup>[1,2,3]</sup>. 본 논문에서는 표면실장형 윌킨슨 전력 분배기의 기본구조와 일반적인 이론을 소개하고, 개

\* 전자부품연구원(e-mail : jkkim@nuri.KETI.re.kr)  
논문번호 : 010200-0725, 접수일자 : 2001년 7월 25일

\*\* 건국대학교

인휴대통신 기지국에 사용하기 위한 전력 분배기의 회로설계 및 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 설계된 분배기를 제작·측정하여 상용제품과 특성을 비교하였다.

## II. 전력 분배기의 구조

본 논문에서 다루고 있는 분배기의 일반적인 단면구조를 그림 1에 나타냈다. 서로 다른 세장의 테프론 기판이 적층된 구조를 이루고 있으며, 이중 상층기판은 접지를 위한 것이고, 하층기판은 분배기의 스트립라인 패턴형성 및 칩 저항의 실장을 위한 것이고, 중간층 기판은 상·하층의 분리를 위한 기판이다<sup>4)</sup>.

윌킨슨 전력분배기의 스트립 라인 회로패턴을 그림 2에 나타냈다. 그림에서 입력 및 출력포트의 임피던스라인은 50Ω( $Z_0$ )의 스트립 패턴이고, 2개로 분할된 트랜스포머 영역은 70.7Ω( $\sqrt{2}Z_0$ )의 임피던스와 90°( $\lambda/4$ )의 길이를 갖는 스트립 패턴이다. 또한, 트랜스포머 영역의 끝에는 100Ω( $2Z_0$ )의 분리저항(Isolation Resistor)이 연결되어 동위상 및 우수한 분리도 특성을 나타낸다. 그리고 스트립 패턴은 일

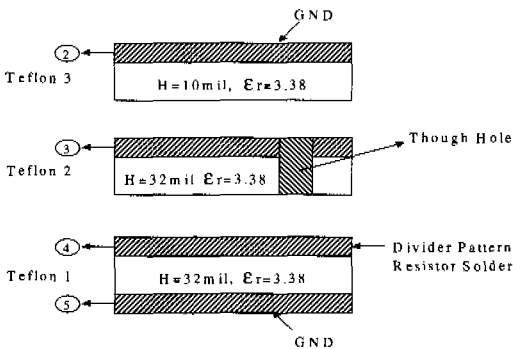


그림 1. PCS 기지국용 표면실장형 전력분배기의 단면 구조도

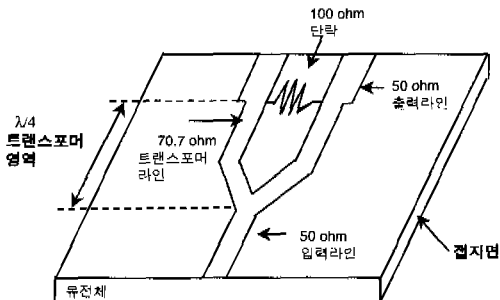


그림 2. 윌킨슨 전력분배기의 스트립 라인 패턴

반적으로 분배기의 크기를 줄이기 위하여 굴곡(Meandering)을 사용한다<sup>5,6)</sup>.

## III. 전력분배기 이론

그림 3은 전력분배기를 해석하기 위하여 우(Even) 모드와 기(Odd) 모드로 Wilkinson 분배기의 회로패턴을 분리하여 등가적으로 나타낸 것이다<sup>4)</sup>.

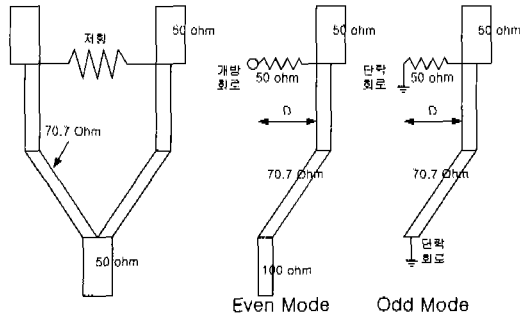


그림 3. Wilkinson 전력분배기의 등가회로

3개의 포트를 갖는 전력분배기는 우모드 임피던스( $Z_{oe}$ )와 기모드 임피던스( $Z_{oo}$ )를 갖는 2 포트 회로망으로 감소될 수 있다. 또한 2포트 회로망을 사용하면, 입력 VSWR과 출력 분리도(Output Isolation)는 반사계수항을 갖는 아래의 식으로 표현될 수 있다.

$$\Gamma_{Total} = \frac{1}{2} (\Gamma_e + \Gamma_o) \tag{1}$$

$$VSWR = \frac{1 + \Gamma_{Total}}{1 - \Gamma_{Total}} = \frac{1 + \frac{1}{2}(\Gamma_e + \Gamma_o)}{1 - \frac{1}{2}(\Gamma_e + \Gamma_o)} \tag{2}$$

$$Isolation = 20 \log \frac{1}{2} (\Gamma_e - \Gamma_o) \tag{3}$$

여기서  $\Gamma_{Total}$  은 전체 반사계수,  $\Gamma_e$  은 우모드 반사계수,  $\Gamma_o$  기모드 반사계수를 나타낸다.

크기를 소형화 시켜야하는 일반적인 상용제품의 설계에 있어서는 그림 3에서의 D를 줄여야 한다. 즉, 대칭면과 70.7Ω의 트랜스포머 영역과의 간격을 줄여서 설계하여야 한다.

우모드의 경우, 자계장벽(Magnetic Wall)으로의 전계의 커플링은 전혀 존재하지 않으며, 우모드는 정확히 정합되고 우모드 반사계수( $\Gamma_o$ )는 제로(Zero)이다. 이경우의 VSWR과 분리도는 아래와 같다.

$$VSWR = \frac{1 + \frac{1}{2} \Gamma_o}{1 - \frac{1}{2} \Gamma_o} \quad (4)$$

$$Isolation = 20 \log \frac{\Gamma_o}{2} \quad (5)$$

기모드의 경우, 그림 3에서의 간격 D를 감소시키면 70.7Ω 트랜스포머 라인과 기모드 임피던스 (Γ<sub>o</sub>)를 감소시키는 전계장벽 (Electric Wall) 사이에 커플링이 발생하며, 이것은 분배기의 이론적인 동작 대역폭을 감소시킨다.

또한, 일정한 무모드 임피던스에 대하여 간격 D가 감소하고 기모드 임피던스가 감소하면 주파수에 따른 VSWR과 분리도 특성은 나빠지게된다.

#### IV. 회로설계 및 시뮬레이션

이 절에서는 전력분배기의 기본이론을 바탕으로 실제 월킨슨 전력분배기를 설계하였다. 설계 목표는 표1과 같고, 설계과정의 가장 첫 단계는 제작에 사용할 각각의 테프론 기판의 특성을 결정하는 것이다. 기판의 유전율과 구조적 특성에 따라 제작된 전력분배기의 크기와 성능이 많은 영향을 받기 때문에, 기판의 선택은 매우 중요하다. 제작에 사용할 기판이 결정되면 이것을 이용하여 트랜스포머 선로(70.7Ω), 입력 및 출력포트 선로(50Ω)의 길이와 폭을 결정할 수 있다.

본 논문에서 다루고 있는 월킨슨 전력분배기의 경우 사용 기판의 구조적인 파라미터의 정의를 통하여 특성임피던스 및 길이 등의 파라미터를 결정할 수 있다.

표면실장형 전력분배기의 회로설계 및 시뮬레이션은 HP사의 초고주파 회로설계 프로그램인 ADS를 이용하였으며, 사용된 기판은 유전율 ε<sub>r</sub> = 3.38, 기판 두께 Tk = 32mil 인 Rogers사의 RO4003 고주파 회로 기판을 사용하였다. 전력분배기의 회로 시뮬레이션을 위하여 초기값 설정은 각각 다음과 같이 설정하였다.

- \* Substrate
  - ER = 3.38
  - B = 1.655 mm
  - T = 35um
- \* Control
  - Freq = 1.865 GHz

#### \*\* Port Impedance Parameters

- SLTL 사용
- 50 Ohm 90 Deg
- W = 0.886 mm
- L = 21.859 mm

#### \*\* Transformer Parameters

- SLTL 사용
- 70.7 Ohm 90 Deg
- W = 0.42 mm
- L = 21.859 mm

위와 같이 초기값을 정한 다음 다수의 시뮬레이션을 통하여 최적화하였다. 또한 최적화 이후 meanderline 으로 만들어 다시 한번 길이등을 조절하여 최종적으로 설계하였다. 설계에 사용된 디바이더의 단면구조도를 그림 4에서 나타냈다.

#### \* 상층 Teflon :

RO4003 ⇒ Er = 3.38 , H = 32 mil, loz

#### \* 하층 Teflon :

RO4003 ⇒ Er = 3.38 , H = 32 mil, loz

#### \* Cover Teflon :

RO4003 ⇒ Er = 3.38 , H = 8 mil, loz

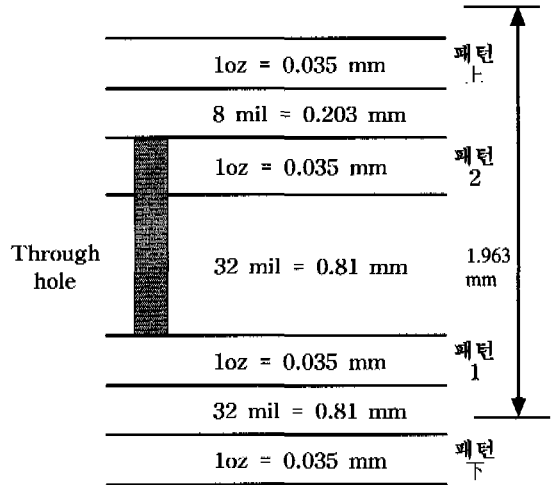


그림 4. 설계에 사용된 디바이더의 단면구조도

그림 5에 최적화 설계된 월킨슨 전력분배기의 회로도를 나타냈다.

그림 6에서 그림 8은 최적화 설계된 분배기의 시뮬레이션 결과를 나타냈다. 그림 6는 전력분배기의 두 출력포트의 전력분배 특성을 나타낸 것으로 동작주파수 대역 (1.75GHz~1.98GHz)에서 3.018dB

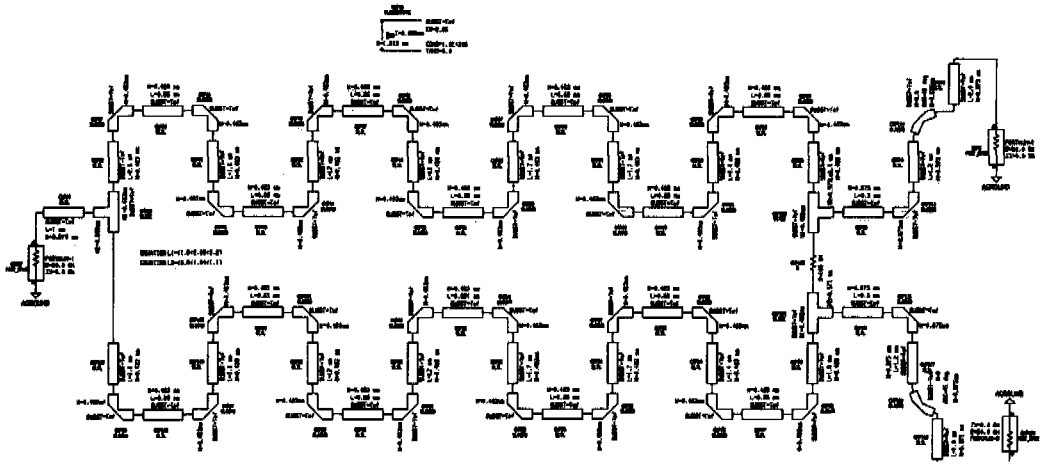


그림 5. 윌킨슨 전력분배기의 회로도

이하의 특성을 나타낸다. 그림 7은 두 출력포트 사이의 분리도 특성을 나타낸 것으로 동작주파수 대역에서 -28.5dB 이하의 특성을 나타낸다. 그림 8은 입력 및 출력 포트 임피던스정합 특성을 나타낸 것으로 동작주파수 대역에서 입력포트는 -30dB 이하, 출력포트는 -43dB 이하의 우수한 특성을 나타내고 있다.

표 1. 전력분배기의 설계 목표<sup>[4]</sup>

Parameters	Specification	Units
Frequency Range	1.75 ~ 1.98	GHz
Isolation (Min.)	16	dB
Insertion Loss (Max.)	0.35	dB
VSWR (Max : 1)	1.3	
Amplitude Balance (Max.)	± 0.2	dB
Phase Balance (Max.)	2.0	Deg
Size	0.56 × 0.35	Inches

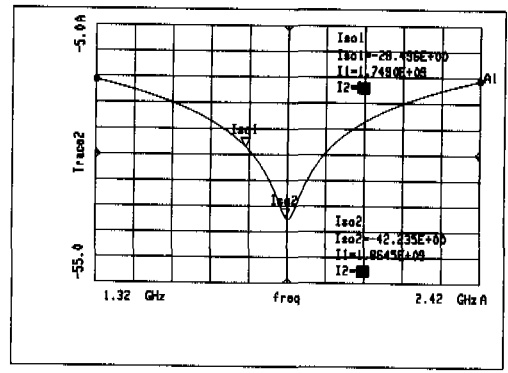


그림 7. 두 출력포트 사이의 분리도 특성

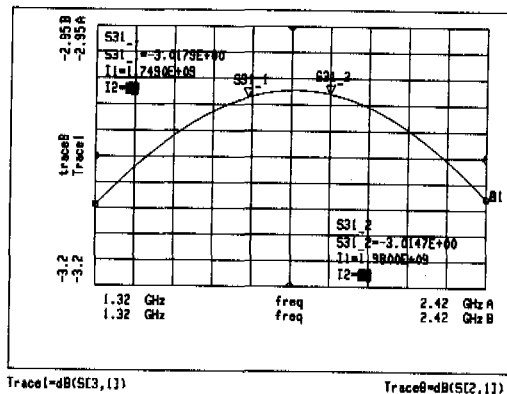


그림 6. 두 출력포트의 전력분배 특성

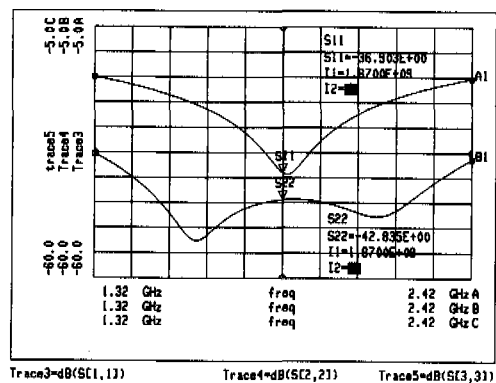


그림 8. 입력 및 출력포트의 임피던스정합 특성

## V. 전력분배기 제작

앞절을 통해 설계된 분배기의 제작에 있어서 가장 큰 특징은 양면 PCB와 다층기판을 사용하고 분

리저항을 실장하여야 한다는 점이다. 설계된 회로 도로 제작된 분배기의 내층의 실체도를 그림 9에 나타냈다.

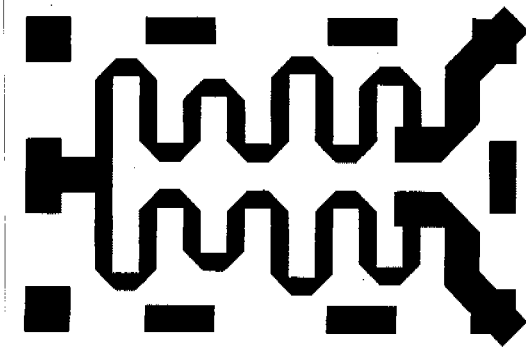


그림 9. 내층회로 실체도 (5X)

그리고 분배기의 제작공정을 그림 10에 나타냈다.

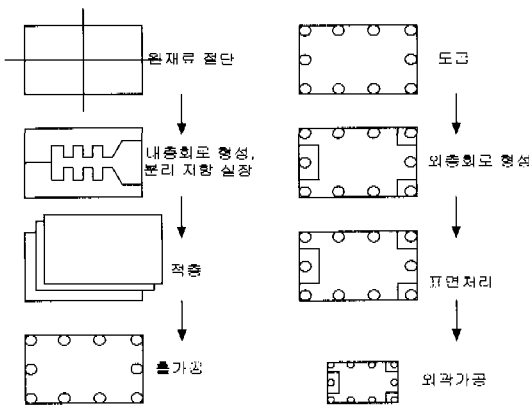


그림 10. 전력분배기의 제작공정

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 적층 구조에 맞추어 순서대로 배열한다. 그리고, 각층 사이에 접착 및 절연의 기능을 수행하는 반경화 에폭시합성수지를 삽입한후 고열과 압력을 가하여 각층을 접착하게 된다. 본 논문에서 다루고 있는 전력 분배기는 기판의 두께 및 분리저항의 실장이 상당히 중요하고, 따라서 이 적층과정은 특성에 매우 민감한 영향을 주게 된다. 접합과정은 240°C의 온도를 40분간, 14 kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 90분간 가하여 제작하였다. 그림 11에 제작된 전력분배기의 사진을 나타냈다.

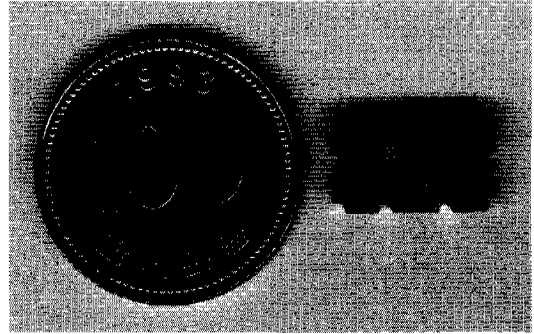


그림 11. 제작된 전력분배기의 사진

## VI. 특성측정 및 평가

제작된 분배기의 원활한 특성측정을 위하여 유전체 두께가 1.2mm, 동박두께 0.035mm, 유전율 4.8인 FR-4 기판을 사용하여 측정 지그를 설계 및 제작하였다. 측정 지그는 입력 및 출력신호를 손실없이 전송하기 위하여 50Ω 전송선로로 구성되며, 측정이 가능한 한도내에서 최소한의 포트 간격과 길이를 갖도록 설계하였으며, 앞·뒷면의 접지를 확실하게 연결하기 위하여 다수의 스루 홀(Through Hole)을 사용하였다. 본 논문에서의 모든 분배기의 특성측정은 상기에서 설계된 동일한 측정 지그를 사용하여 측정함으로써 상용화된 분배기와 본 논문에서 제작된 분배기의 특성을 상대적으로 비교할 수 있도록 하였다.

제작된 분배기의 특성측정 결과를 그림 12에서 그림 14에 나타냈다. 그림 12은 분배기의 두 출력 포트의 전력분배 크기를 나타낸 것으로 동작주파수 대역에서 3.23dB 이하의 특성을 나타낸다. 그림 13은 분배기의 분리도 특성을 나타낸 것으로 동작주파수 대역에서 -19.8dB 이하의 특성을 나타낸다. 그림 14는 분배기의 입력과 출력 임피던스 포트정합 특성을 나타낸 것으로 동작주파수 대역에서 입력 및 출력포트 특성은 거의 동일하며 -20.6 dB 이하의 특성을 나타냈다.

또한, 현재 상용화되어 사용되고 있는 R사의 PCS 기지국용 분배기와 본 논문에서 설계·제작된 분배기를 동일한 측정지그를 사용하여 특성측정한 결과를 비교하여 표 2에 나타냈다. R사의 상용제품과 비교할 때 진폭균일도 및 위상균일도는 우수한 특성을 나타냈으며, 분리도와 입출력 포트정합특성은 조금 안좋은 특성을 나타냈지만, 전반적인 특성이 설계규격보다 훨씬 우수한 특성을 나타냈다.

표 2. 분배기의 특성측정 결과 비교 (f=1.75GHz)

Parameters	설계규격		Sample R사		본 논문	
	입력단	출력단	입력단	출력단	입력단	출력단
Frequency Range (GHz)	1.75 ~ 1.98					
Isolation (Min., dB)	16		21.7		19.8	
Insertion Loss (Max.)	0.35		0.20		0.20	
VSWR	1.3	1.3	1.11	1.134	1.206	1.206
Port Impedance Matching (Min., dB)	17.72	17.72	25.59	24.0	20.6	20.6
Amplitude Balance (Max., dB)	±0.2		±0.05		±0.02	
Phase Balance (Max., Deg)	2		0.8		0.5	
Size (Inches)	0.56 × 0.35					

이는 Teflon 기판의 유전율 및 두께 등이 차이가 있으며, 내부 패턴폭 및 간격동도 상이하기 때문으로 사료되며, 특히 4개의 포트구조, 사용된 기판 특성 등이 디바이더의 성능에 크게 영향을 준 것으로 보인다. 그리고 진폭 및 균일도가 상용제품보다 우수한 이유는 저가격을 전제로한 상용제품의 가판과 전기적 특성을 중시한 본연구개발에 쓰인 기판의 차이라고 사료된다.

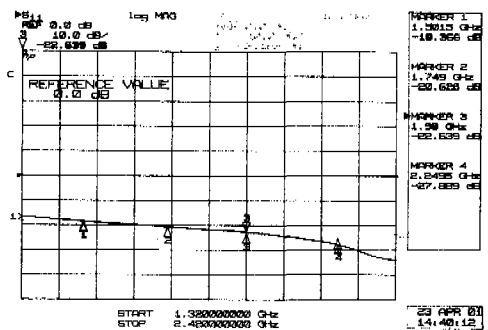


그림 14. 입력 및 출력포트의 임피던스정합 특성

### VII. 결론

본 논문에서는 PCS 기지국용 표면실장형 월킨슨 전력분배기의 설계, 제작 및 특성측정을 수행하였다. 제작된 분배기는 동작주파수 (1.75GHz~1.98GHz) 대역에서 원활히 동작하였으며, 분리도 -19.8dB 이하, 삽입손실 0.2dB 이하, 포트 임피던스정합 (S11, S22) -20.6dB 이하, 위상 균일도 0.5° 이하, 진폭 균일도 0.02dB 이하의 특성으로 상용제품에 비하여 우수한 특성을 나타냈다.

연구 진행과정을 통해 제작공정에 따라 분배기의 성능이 크게 좌우됨을 알 수 있었고, 공정을 안정화 시킨다면 상용화도 가능하리라 생각된다. 또한, 본 기술을 응용한다면 표면실장형(SMD) 방향성 커플러(directional coupler) 등의 초고주파 수동부품의 구현도 가능할 것이다.

### 참고 문헌

[1] E. Wilkinson, "An N-Way Hybrid Power

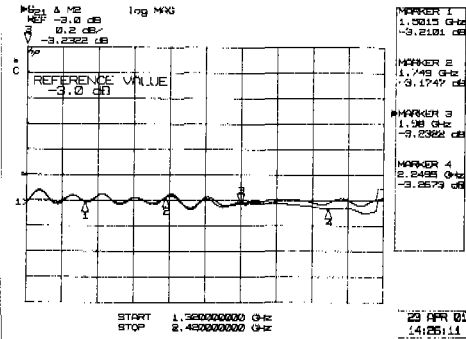


그림 12. 두 출력포트의 전력분배 특성

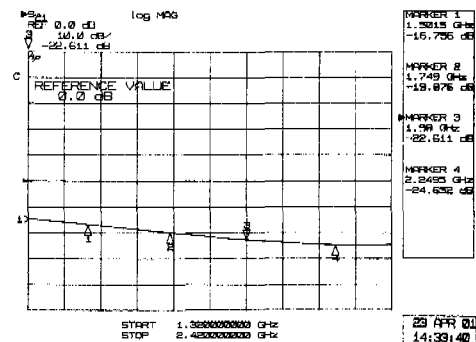


그림 13. 두 출력포트 사이의 분리도 특성

