

## 위성통신용 diplexer 기술

박 동 철\*, 하 재 권\*\*, 남 윤 권\*  
 \*충남대학교 전파공학과  
 \*\*한국전자통신연구원

### I. 서 론

위성통신은 국제통신 뿐만 아니라 국내통신 및 방송, 이동통신 등에서 그 적용 범위가 점차 확대되고 있고 다양한 위성통신 서비스가 국내에서도 본격적으로 시행되고 있다. 이와 같이 위성통신이 각 분야에서 적극적으로 이용될 수 있는 가장 중요한 이유중의 하나는 위성통신 기술의 발달을 꼽을 수 있다. 초고주파수 이용 기술의 발전과 위성 중계기의 고출력 증폭기 탑재에 의해 초기의 대형 안테나를 가진 지구국 설비는 점차 소형화되어 최근에는 직경 30 cm 내외의 안테나로도 위성방송을 수신할 수 있게 되었으며, 이동 및 휴대가 가능한 소형 위성 단말장치 개발도 가능하게 되었다.

그러나, 반도체 및 회로 기술의 발전에 따른 위성 중계기와 송수신 단말장치의 소형화 추진속에서도 안테나를 비롯한 급전부 기술은 아직도 기존의 접시형 안테나와 도파관 급전 방식을 사용하고 있어, 소형, 경량화를 추구하는 최근의 기술적인 추세에서 안테나 및 급전부는 가장 많은 연구와 기술 개발 여지를 안고 있는 분야로 남아 있다. 따라서 본고에서는 안테나 급전부의 한 분야인 diplexer 기술을 살펴보고 향후 기술 연구 방향과 시장 전망 등을 통해 국내 기술에 의한 새로운 diplexer 설계 제작 기술 연구를 유도하고 고부가 제품 개발을 위한 산학연의 유기적인 노력을 촉구하고자 한다.

Diplexer는 송신단과 수신단 사이에 높은 격리도 특성을 가지면서 안테나 단자와 연결되어 있어 송신 전력이 수신기에 미치지 못하면서 한 개의 안테나로 송 수신을 겸용하기 위한 소자이다. 송신용 고전력 도파관 필터와 수신용 저손실 도파관 필터가 결합되어 한 개의 안테나에 직접 연결된다. 위성체를 비롯한 안테나 시스템에서 송신과 수신용으로 1개의 안테나만을 사용하는 경우에 송신 신호와 수신 신호간의 상호 간섭을 최소로 하기 위하여 송신 신호와 수신 신호의 주파수 대역을 서로 다르게 하거나 주파수를 편파시켜 사용하게 되는데, diplexer는 안테나로부터 들어온 신호만을

수신 시스템으로 받아들이고, 송신 시스템의 출력 신호를 안테나로 보내어 수신 신호의 증폭시 송신 신호에 의한 간섭을 억제하는 역할을 한다. 따라서, diplexer는 3 포트 수동 소자로서 하나의 공통 (common) 포트와 두 개의 입력(또는 출력) 포트를 가지며 그 구성은 두 개의 필터와 이를 연결시켜주는 결합 구조로 되어 있다. 두 개의 필터는 각각 저역통과 필터, 고역통과 필터, 대역통과 필터와 대역저지 필터의 적절한 조합으로 이루어지며, 결합구조는 두 개의 필터가 서로 각 필터의 특성에 영향을 미치지 않도록 만들어진다. 결과적으로 diplexer는 공통 포트와 입력(또는 출력) 포트 사이에 각기 다른 주파수 대역을 갖는 두 개의 채널을 갖는다.

Diplexer는 두 채널의 주파수 배치에 의해서 contiguous와 noncontiguous diplexer로 구분된다. Contiguous diplexer에서는 두 채널의 3 dB 차단 주파수가 겹치며, 이런 형태의 diplexer는 각각의 필터를 singly terminated 필터를 이용해서 설계해야 한다. Noncontiguous diplexer는 두 채널 사이에 보호 대역(guard band : 채널과 채널사이의 저지 대역)이 있어서 두 채널이 겹치지 않고 떨어져 있으며, 이런 형태의 diplexer에 사용되는 필터는 일반적으로 doubly terminated 필터를 이용하여 설계한다<sup>[1]</sup>.

〈표 1〉 위성 서비스용 diplexer 성능 요구 사항

성능 종류	상세 성능 요구 사항
전반적인 사항	가용도 및 신뢰도 유지보수력 설계 수명 다른 서브 시스템과의 결합
전기적 성능	통과대역폭 저지대역 주파수 입 출력 임피던스 전력 취급 능력 공통 포트에서의 반사 손실(return loss) 포트 분리도(isolation) 통과대역내의 삽입손실(insertion loss)
기계적인 성능	온도특성 입·출력 형태 온도 특성 최대 치수 전체 무게

Diplexer 설계시 고려해야 할 사항들을 표 1에 나타내었다. Diplexer는 신뢰도와 유지보수력 및 설계 수명을 위해서 tuning screw를 사용하지 않으며, 전(全)대역에 대해 또는 두 채널의 통과대역에 대해 공통 포트에서 좋은 반사손실을 가져야 하며, 공통 포트에서 입력(또는 출력) 포트로의 작은 삽입손실을 가져야 하고, 두 입력(또는 출력) 포트사이에 큰 분리도를 갖도록 설계되어야 한다<sup>[2]</sup>.

〈표 2〉 Ku-band 실험 모델 위성 중계기의 diplexer 성능 규격

파라미터		규격			단위	비고
		Min.	Nom/Typ	Max.		
주파수	송신	12.25		12.75	GHz	Passband
	수신	14.0		14.5		Passband
삽입손실	송신			0.3	dB	@중심 주파수
	수신			0.2		
	Variation			0.1		
분리도	송신	80			dB	
	수신	80				
반사손실	송신			23	dB	
	수신			23		
필터	송신		7		Pole	Chebyshev
	수신		7			
입력전력	송신	9.96		10.163	dBm	
	수신	-105.73		-85.72		
커넥터		WR-75 W/G Flange				
중량		300			g	
재료		Aluminum				

〈표 3〉 Ka-band 실험 모델 위성 중계기의 diplexer 성능 규격

파라미터		규격			단위	비고
		Min.	Nom/Typ	Max.		
주파수	송신	12.25		12.75	GHz	Passband
	수신	14.0		14.5		Passband
삽입손실	송신			0.3	dB	@중심주파수
	수신			0.2		
	Variation			0.1		
분리도	송신	80			dB	
	수신	80				
반사손실	송신			23	dB	
	수신			23		
필터	송신		7		Pole	Chebyshev
	수신		7			
입력전력	송신	9.96		10.163	dBm	
	수신	-105.73		-85.72		
케넥터	WR-34, WR-42 W/G Flange					
중량	300				g	
재료	Aluminum, 구리(WR-34, WR-42)					

표 2는 실험 모델로 사용 가능한 Ku-band 위성 중계기용 diplexer 성능 규격의 예이고 표 3은 실험 모델 Ka-band 위성 중계기용 diplexer 성능 규격의 예를 나타내고 있다.

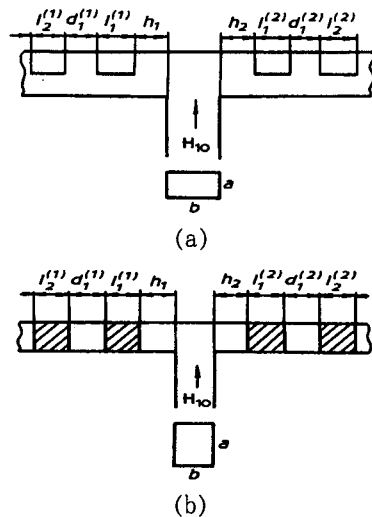
## II. Diplexer의 구조와 설계 예

Diplexer에 사용되는 singly terminated 또는 doubly terminated 저역통과 필터, 고역통과 필터, 대역통과 필터, 와 대역저지 필터는 이미 잘알려진 설계 방법에 의해서 설계될 수 있다<sup>[3]</sup>.

위와 같은 방법에 의해서 구현된 필터는 여러 형태의 결합 구조에 의해서 결합되어지며 결합 구조의 형태에 의해서 diplexer의 전체 구조가 결정된다. Waveguide로 구현되는 diplexer에 사용되는 결합 구조에는 E-평면 또는 H-평면 T-junction, three-port junction (septate E-평면 또는 E-평면 bifurcation이라고도 함)과 manifold가 있다.

E-평면 T-junction과 H-평면 T-junction으로 구현된 diplexer의 구조에 대해 살펴보면 다음과 같다. 그림 1(a)에 보여지는 구조는 E-평면 불연

속 구조를 이용해서 구현된 두 개의 대역통과 필터를 H-평면 T-junction으로 결합한 diplexer이며 (b)에 보여지는 구조는 E-평면 T-junction으로 결합한 diplexer이다. 그림 1(a)와 (b)에서  $h_1$ 과  $h_2$ 는 각각 대역통과 필터의 첫 번째 E-평면 불연속 구조와 H-평면 T-junction 결합점 사이의 거리이며,  $l_1^{(1)}$ 와  $l_2^{(2)}$ 는 각 필터의 첫 번째 E-평면 불연



〈그림 1〉 H-평면(a)과 E-평면 (b) T-junction에 의해서 구현된 diplexer의 구조

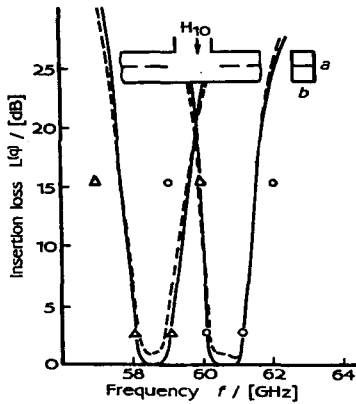
속 구조의 길이이고,  $d_1^{(1)}$ 와  $d_1^{(2)}$ 는 각 필터의 첫 번째 공진기의 길이이다. 그림 1(a)와 (b)에서 화살표가 표시되어 있는 부분이 공통 포트이며 나머지 부분들에 두 개의 대역통과 필터가 연결되어 있다.

위의 같은 구조를 갖는 diplexer의 설계방법은 다음과 같다. 먼저 두 개의 대역통과 필터와 H-평면 T-junction을 각각 설계한다. 각각 설계된 필터와 T-junction을 모두 결합한 후 T-junction의 정합특성이 가장 좋아지는  $h_1$ 과  $h_2$ 를 구하고난 다음, 이 조건하에서  $I_1^{(1)}$ 와  $I_1^{(2)}$ 를 변화시켜 diplexer의 특

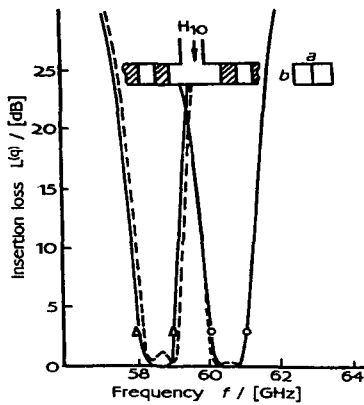
성이 가장 좋아지는  $I_1^{(1)}$ 와  $I_1^{(2)}$ 의 값을 구하고, 이로부터  $d_1^{(1)}$ 와  $d_1^{(2)}$ 를 구한다. 이러한 과정을 반복하면서 diplexer의 특성이 가장 좋아지는 값들을 찾아낸다. 위와 같은 방법에 의해서 설계된 diplexer의 특성을 그림 2의 (a)와 (b)에 보였다<sup>[4]</sup>.

그림 3은 H-평면 slit-coupled manifold diplexer의 구조와 설계 결과를 보여주고 있다. 이 구조에 대한 설계 예는 참고문헌[5]에 잘 기술되어 있으며, 대략적인 내용은 다음과 같다. H-평면 slit-coupled manifold 구조와 E-평면 불연속 구조를 이용한 대역통과 필터를 각각 설계한 다음, H-평면 slit-coupled manifold 구조와 E-평면 불연속 구조를 이용한 필터가 결합되는 부분에 나타나는 불연속 구조들 개개의 특성과 필터의 특성을 표현한 각각의 modal S parameter를 결합해서 diplexer 전체의 modal S parameter를 만들어내고 이렇게 구해진 modal S parameter를 이용한 evolution strategy 최적화 방법을 통해서 최종적으로 그림 3의 diplexer 구조에 나타나있는 부분의 값들을 구해낸다.

대칭형 three-port junction diplexer의 구조와 설계 결과가 그림 4에 있다. 그림 4에 보여지는 구

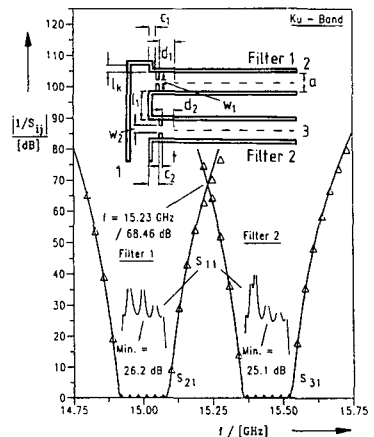


(a)

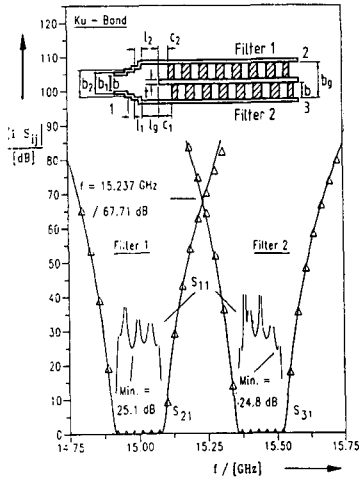


(b)

〈그림 2〉 H-평면(a)과 E-평면(b) T-junction으로 구현된 diplexer의 특성  
(점선과 실선은 각각 1번과 5번의 반복과정을 거쳐 설계된 diplexer의 특성을 의미함)



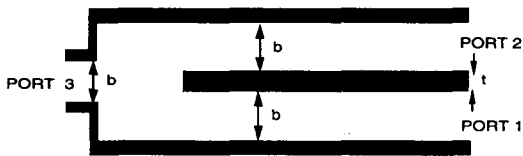
〈그림 3〉 H-평면 slit-coupled manifold diplexer의 구조와 설계 결과  
(그림에서 △는 단일 필터의 특성, 실선은 diplexer의 특성임)



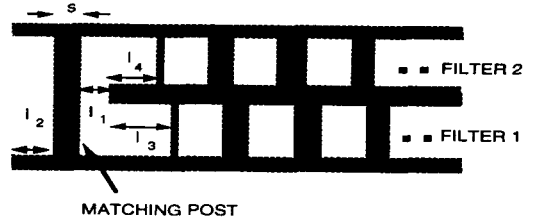
(그림 4) Septate E-평면 diplexer의 구조와 설계 결과

조는 임피던스 정합을 위해 공통 포트쪽 waveguide의 높이를 변화 시킨 구조이며, 대역통과 필터는 E-평면 불연속 구조를 이용하여 설계했다. 그림 4의 구조에 대한 설계 예는 그림 3에 보여지는 diplexer의 설계방법과 일치한다<sup>[5]</sup>.

Three-port junction diplexer의 또 다른 예가 그림 5에 있다<sup>[6]</sup>. 그림 5에 보여지는 구조는 임피던스 정합을 위해 three-port junction과 필터가 연결되는 부분에 matching post (inductive post)를 이용한 구조이다. 그림 5(b)에 보여지는 것처럼 matching post는 대역통과 필터의 E-평면 불연속 구조와 함께 한 mask위에 구현된다. 그림 5에 보여지는 구조의 설계 예는 참고문헌<sup>[6]</sup>에 있으며, 그림 6은 그림 5에 보여지는 diplexer 구조의 설계 결과이다.

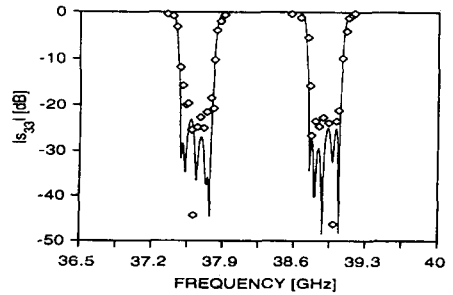


(a) Three-port junction의 E-평면에 대한 면



(b) 필터의 E-평면 불연속 구조와 matching post를 구현하기 위한 mask

(그림 5) Matching post를 이용한 three-port junction diplexer의 구조

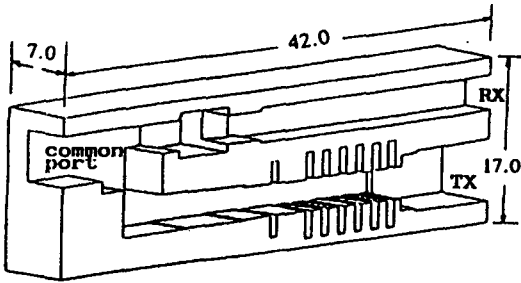


(그림 6) 그림 5의 구조에 의해서 구현된 diplexer의 설계 결과

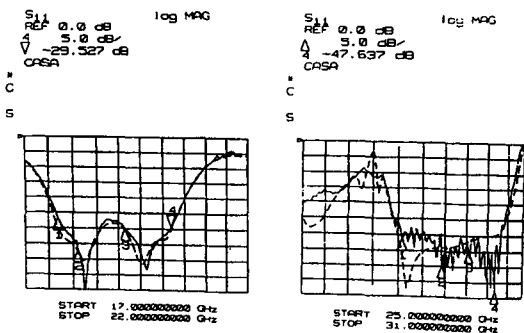
(실선은 이론치이며, ◇는 실험치임)

비대칭형 three-port junction을 이용한 diplexer의 구조가 그림 7에 있다. 그림 7에 보여지는 diplexer는 TX 포트쪽은 corrugated waveguide를 이용한 저역통과 필터를 이용하였으며, RX 포트쪽은 inhomogeneous transformer를 이용하였다. 이 구조를 fullwave 모드 정합 방법과 generalized scattering matrix 개념을 이용하여 해석하고 이를 바탕으로 diplexer의 각 부분들과 전체 구조에 대해 gradient 방법을 이용한 최적화를 통해 설계한다<sup>[7]</sup>. 그림 8은 그림 7에 보여지는 diplexer의 설계 결과와 측정치이다.

### III. 기술 개발 동향



(그림 7) 비대칭형 E-평면 bifurcation을 이용한 Ka 대역 diplexer의 구조와 치수(단위 : mm)



(그림 8) 비대칭형 E-평면 bifurcation을 이용한 Ka 대역 diplexer의 설계 결과 및 측정치 (점선은 설계 결과, 실선은 측정치임)

#### 1. 기술 발전 형태 및 동향

위성체를 제작하는데 있어서는 크기와 무게를 가능한 줄여야 발사 비용을 상당히 절감할 수 있다. 최근 반도체 및 소자 기술의 발전으로 증계기의 크기와 무게가 감소하고 있으며 고효율의 RF 소자 기술도 개발되고 있다. 또한 이미 포화 상태에 이른 C- 및 Ku-band를 대신하고 2 GHz 이상의 광대역 전송이 가능한 Ka- 및 mm-band 사용 기술이 개발되고 있다. 표 4는 이와 같은 위성 통신 서비스의 발전 추세에 따른 향후 diplexer 기술 발전 형태를 요약한 것이다. 위성 서비스용의 diplexer는 국내에서도 도파관 구조로 설계 및 제작이 가능하나 위성통신용으로는 대부분 외국에서 구입 사용하고 있다. 대표적인 외국 업체는 표 5와 같으며 위성용의 고주파수 및 고효율용 제품은 주문 제작을 하기 때문에 제품 가격도 상당히 고가일 뿐만 아니라 제품의 규격을 얻는 것도 용이하지 않다. 반면에 위성방송용의 IF 대역 상용 제품은 수십 달러에서 200달러 미만의 저렴한 가격으로 구입이 가능하다.

(표 4) Diplexer 기술 발전 형태 및 동향

발전 형태	동 향	비 고
고출력화	10 dBm에서 80 dBm 이상 고효율 소자 개발	지상 단말용 diplexer는 위성체 탑재용 diplexer에 비해 규격 제한을 덜 받음.
고주파수화	위성 주파수 포화에 따라 C-, Ku-band 에서 Ka-, mm-band RF 회로 및 소자 개발	2 GHz이상의 광대역화와 그에 따른 대역내 높은 평탄도 요구
소형화	32 m급 대형 안테나에서 1.2 m 이하 안테나	VSAT 및 USAT 급 지구국 및 휴대 단말 활용
복합화	triplexer/quadruplexer	소형 경량, low profile에 의한 통신 및 방송 복합 서비스
높은 가용도	위성 수명 연장(12-15년)에 따른 높은 신뢰성 구조 및 재료 사용 기술 채택	안테나 장치와 RF 부의 일체화 구조와 열적 안정화 성능 요구
새로운 응용 기술	HTS(High Temperature Supercon-ductor) 응용 기술[9][10], planar type 기술[11]	평판 안테나 기술 응용

〈표 5〉 위성 서비스용 diplexer 제작 외국업체

기관명	국명	제품 및 개발 내용	비고
Gamma-f Corporation	미국	안테나 및 급전 악세서리	웹 사이트 : www.vertexcomm.com
Com Dev Ltd.	캐나다	diplexer/multiplexer	TEL : 519-622-2300
CSIRO Div. of Radiophysics	오스트레일리아	안테나 및 급전 악세서리	TEL : 2-372-4222
Microwave Filter Co.,	미국	Model 9169, 각종 필터	웹 사이트 : www.broadbandmag.com
Loral Microwave Narda west	미국	마이크로파 소자 및 안테나	TEL : 916-638-5500
Farran Technology Ltd.	아일랜드	마이크로파 소자 및 안테나	TEL : 21-872-814
Tratec Telecom BV	네덜란드	마이크로파 소자 및 안테나	TEL : 83-852-1984
Victory Industrial Corp.	대만	마이크로파 소자	웹 사이트 : www.transend.com.tw
Lavel	이탈리아	HF/2-3N, -3L, -3F	웹 사이트 : www.efekt.com
Delta Microwave	미국	각종 diplexer 및 multiplexer	웹 사이트 : www.deltamicrowave.com

2. 활용 및 시장 전망

Diplexer 기술은 위성 중계기 뿐만 아니라 미사일, 항공전자통신장비, 선박통신, 레이더, 그리고 위성통신 및 방송용 지상 단말 시스템에서도 응용될 수 있는 고정밀 고부가 부품 산업으로서 응용범위와 활용 시장은 더욱 증가될 것으로 예측된다. Via Satellite지는 1997년부터 2000년까지 발사될 정지위성수만 하여도 250여기가, 그리고 저궤도 이동 위성은 2001에서 2006년까지 791기가 발사될 것으로 예측하고 있으므로 이에 따른 위성 관련 시장도 큰 폭의 신장세를 보일 것으로 예측하고 있다. Frost & Sullivan에 의하면, GPS 수신기를 제외한 위성 관련 수신기(지구국 포함) 시장은 1993년의 70억 달러 규모에서 1997년 120억 달러로 확대되고 2003년까지 이러한 고성장이 지속될 것으로 내다보고 있다. 특히 LEO 시스템에 의한 이동 위성통신 서비스의 가입자수는 2002년에는 800만까지 증대되어 위성 중계기 및 단말기 시장은 더욱 확대될 것으로 보인다<sup>[8]</sup>. 그러나 이러한 위성 중계기 및 단말장치에서의 핵심적인 요소 기술들은 미국, 독일, 이탈리아, 그리고 일본 등의 선진 몇 개국에서 독점하고 있으므로 국내 연구기관들에 의한 핵심 소자의 실용화 기술 개발이 필요하다. 특히 diplexer 기술은 위성체와 위성통신 지

상 단말의 송수신기에는 필수적인 수동소자로서 waveguide filter 설계 제작 기술이 그 핵심적인 요소 기술이므로 국산화 기술 개발로 쉽게 접근할 수 있는 분야 기술이기도 하다. 참고로, 현재 무궁화 1호, 2호에 사용중인 multiplexer 제작에 4백만 달러가 소요되었으며, 캐나다의 Comdev사는 각종 위성체의 diplexer와 multiplexer 제작으로 1년 매출액이 8천만 달러를 넘고 있으며, waveguide filter 시장은 미국에서만 1억 달러가 넘고 있다.

IV. 결 론

위성 탑재용 diplexer 기술은 출력 송수신 신호에서 높은 분리도를 유지해야하고 안테나 급전 구조에서는 가능한 소형, 경량이어야 하는 등, 지구국의 diplexer 규격보다 더 엄격한 규격을 만족시켜야 하므로 고난도 기술이 요구되는 고가의 수동 소자이다. mm파 활용의 증대와 고출력화에 따라 새로운 재질과 필터 구조에 대한 기술이 요구되고 있으며 이미 HTS 및 OEIC 기술에 의한 안테나 및 급전 회로 기술 연구가 선진 외국에서는 활발히 추진되고 있다<sup>[8-11]</sup>. 특히 하나의 안테나로 다중의 서비스를 제공하려는 다중 대역 안테나 개발이 국

내외적으로 많은 관심을 불러 일으키고 있는 시점에서 이러한 안테나에 적용될 수 있는 새로운 개념의 diplexer, triplexer, quadruplexer, 그리고 multiplexer 설계 및 제작 기술을 확보하기 위한 산학연의 유기적인 공동 연구개발 노력도 필요할 것으로 보인다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 박주래, 임정수, 한석태, 박동철, "CONTINUOUS 대역을 갖는 도파관 MANIFOLD 다이플렉서에 관한 연구," 대한전자공학회 논문지, 제30권, A편, 제5호, pp. 36-44, May 1993.
- [2] Leo Young, ADVANCES IN MICROWAVES, vol. 2, pp 237 - 326, Academic Press inc., 1967.
- [3] George L. Matthaei, Leo Young, and E. M. T. Johns, MICROWAVE FILTERS, IMPEDANCE-MATCHING NETWORKS, AND COUPLING STRUCTURES, Artech House, 1980.
- [4] A. A. Kirilenko, S. L. Senkevich, V. I. Tkachenko, and B. G. Tysik, "Waveguide Diplexer and Multiplexer Design," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 42, no. 7, pp. 1393 - 1396, July 1994.
- [5] Joachim Dittloff and Fritz Arndt, "Rigorous Field Theory Design of Millimeter-Wave E-Plane Integrated Circuit Multiplexers," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 37, no. 2, pp. 340 - 350, Feb. 1989.
- [6] Antonio Morini, and Tullio Rozzi, "Analysis of Compact E-Plane Diplexers in Rectangular Waveguide," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 43, no. 8, pp. 1834 - 1839, Aug. 1995.
- [7] J. Esteban and J. M. Rebollar, "DESIGN AND OPTIMIZATION OF A COMPACT Ka-BAND ANTENNA DIPLEXER," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1995 Digest, pp. 148 - 151, Newport Beach, CA, USA, 18-23 June 1995.
- [8] 문병주 외 2인, "21세기를 지향한 위성 시스템 개발 동향", 한국전자통신연구원 주간기술동향 97-35, pp. 3-29, 1997.
- [9] Raafat R. Mansour, "Design of Superconductive Multiplexers Using Single-Mode and Dual-Mode Filters," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 42, no. 7, pp. 1411-1420, July 1994.
- [10] G. Muller et al., "On Axis DC Sputtered YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> Film up to 2" in Diameter for Microwave Antenna Array," IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol 5, no.2, pp. 1729-1732, June 1995.
- [11] A. F. Sheta et al., "Miniature Microstrip Stepped Impedance Resonator Bandpass Filters and Diplexers for Mobile Communications," IEEE MTT-S Digest, pp. 607-610, 1996.



저 자 소 개



朴 東 徹

1952年 2月 5日生  
 1974年 2月 서울대학교 전자공학과 학사  
 1976年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 1984年 12月 University of California, Santa Barbara 공학박사

1976年 3月~1993年 2月 충남대학교 전자공학과 교수  
 1993年 3月~현재 충남대학교 전파공학과 교수  
 1996年 1月~현재 한국전자과학회 부회장  
 1994年 1月~현재 IEEE MTT Korea Chapter Chairman

주관심 분야: 마이크로파 수동소자 설계, 안테나 설계, EMI/EMC 분야



河 在 權

1958年 3月 6日生  
 1980年 2月 경북대학교 전자공학과 학사  
 1982年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 석사  
 1997年 2月 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료

1982年 4月~1983年 11月 OPC 중앙연구소(연구원)  
 1984年 1月~현재 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단, 지상 H/W 연구실 선임연구원

주관심 분야: 위성통신 시스템, 마이크로파 평판 안테나 설계, 위성 원격 의료 시스템



南 潤 權

1970年 2月 7日生  
 1992年 2月 충남대학교 전자공학과 학사  
 1994年 2月 충남대학교 대학원 전자공학과 석사  
 1994年 3月~현재 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학

주관심 분야: 마이크로파 필터 설계, 안테나 설계