

# 구조 변형에 의한 마이크로스트립 안테나의 소형화

김완기 · 우종명

충남대학교 전파공학과

## 요 약

최근 무선통신 시스템의 소형화로 인해 안테나의 소형화가 요구되고 있다. 안테나의 소형화 방법에는 여러 가지가 있지만 이득과 효율을 고려할 때 고유전율의 유전체를 사용하기보다는 안테나 자체의 구조적 변형을 통해 안테나를 소형화하는 것이 더 효과적이다. 따라서, 본 논고에서는 마이크로스트립 안테나의 2차원 구조 변형과 3차원으로 확장된 구조 변형에 의한 안테나의 소형화 방법에 대한 연구 결과에 대해 기술하였다.

2차적 구조 변형 방법에는 패치를 구부리거나 slit을 넣는 방법을 사용하여 그 크기를 축소시켰으나 소형화에 한계가 있었다. 그래서, 마이크로스트립 안테나의 패치와 접지면 사이의 공간을 활용하는 perturbation 효과<sup>[1][2]</sup>를 바탕으로 3차원의 corrugation<sup>[3]~[7]</sup>, iris<sup>[8]~[12]</sup>, folded 구조<sup>[13]</sup>를 이용하여 더욱 소형화된 안테나를 설계하였다. 또한, 2차원 구조의 소형화 방법에 3차원으로 확장한 구조를 서로 결합하여 안테나를 더욱 소형화 할 수 있었다. 이에 마이크로스트립 안테나의 소형화 방법과 그에 따라 설계·제작한 안테나에 대해 소개하고자 한다.

## I. 서 론

최근 개인 휴대 단말기와 PDA(Personal Digital Assistants) 등 무선통신 시스템의 소형화로 인해 안테나의 소형화 요구가 커지고 있는데 반해 그 크기가 파장에 기인하는 특성으로 소형화에 대한 어려움을 가지고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 고유

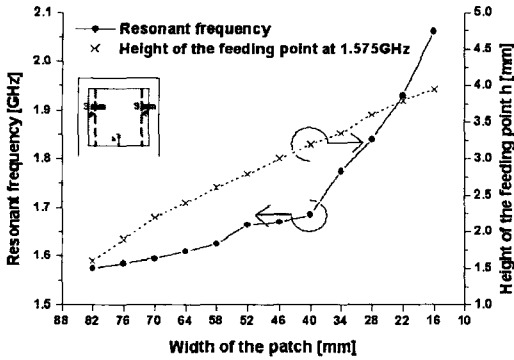
전율의 유전체를 사용하여 소형화하는 방법이 있지만 이러한 경우에는 방사 효율의 저하 및 유전 손실로 인한 이득의 저하가 발생하기 때문에 유전체를 사용하지 않고 안테나 자체의 구조적 변형을 통한 소형화 연구가 필요한 실정이다. 이에 본 논고에서는 1.575 GHz에 있어서 특히 패치면과 접지면, 그리고 패치를 고정하기 위한 유전체로 구성된 저층의 구조로 가볍고 제작이 용이하며 대량 생산이 가능한 마이크로스트립 안테나의 소형화에 대해 연구하였다.

연구에 있어서 먼저 패치 자체의 구조를 변형함으로써 안테나를 소형화하는 방법에 대해 연구를 진행하였으며, 이때 유전체는 유전율이 공기와 유사한 foam( $\epsilon_r=1.06$ )을 사용하여 유전체 손실을 최대한 줄임으로써 이득 및 효율을 최대한 그대로 유지하고자 하였다. 또한, 이 유전체 공간을 활용하여 마이크로스트립 안테나의 구조를 3차원으로 확장시켜 패치 안테나의 크기는 동일하게 유지하면서 공진 길이를 증가시킴으로써 안테나를 소형화하는 여러 가지 방법에 대해 연구하였다.

2-1절에는 패치면 자체의 구조를 변형하는 2차원 구조로 패치면을 구부리거나 패치면에 slit을 삽입함으로써 공진 주파수가 저하하는 현상을 이용하여 안테나를 소형화시킬 수 있는 방법에 대해 기술하였다.

또한, 2-2절에서는 마이크로스트립 안테나의 유전체 공간을 활용하여 그 구조를 3차원으로 확장함으로써 perturbation method(섭동법)을 이용한 corrugation 구조, iris 구조 및 folded 구조로 안테나의 구조만을 변형, 각 구조의 특징에 대한 연구에 대해 기술하였다.

마지막으로 2-3절에서는 각각의 소형화 방법 중



[그림 1] 패치 폭에 따른 주파수 및 급전점 이동 특성

에 어떠한 구조가 안테나를 가장 소형화할 수 있는 지에 대해 실제 제작한 선형 편파 및 원형 편파 안테나들의 특성 비교에 대해 기술하였다.

## II. 본 론

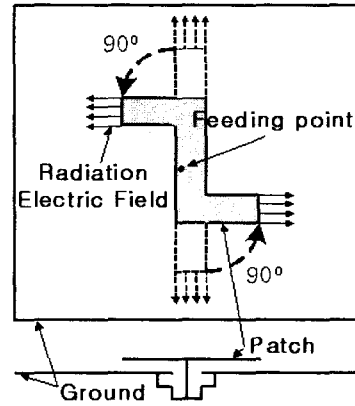
### 2-1 2차원 구조 안테나의 소형화 방법

#### 2-1-1 Bended 구조<sup>[14]</sup>를 이용한 방법

[그림 1]은 일반적인 마이크로스트립 안테나의 패치 폭에 따른 공진 주파수 및 급전점의 이동 변화를 나타낸 그래프이다. 그 특성을 살펴보면 패치 폭이 좁아질수록 공진 주파수는 상향하지만 임피던스 매칭이 되는 급전점은 패치의 중앙으로 이동함을 알 수 있다. 따라서, 패치의 폭을 좁게 하고 급전점을 패치 중앙으로 위치시켜 [그림 2]의 구조와 같이 패치의 공진 길이 방향을 90° 직각으로 구부림으로써 소형화 효과를 얻을 수 있다.

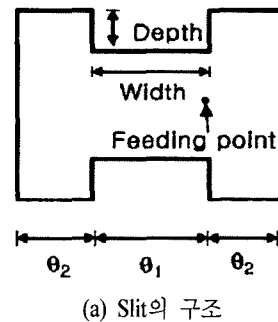
#### 2-1-2 Slit<sup>[15~17]</sup>을 이용한 방법

[그림 3(a)]와 같이 패치의 공진 길이 방향 측면으로 slit을 넣게 되면 슬릿의 깊이와 폭에 의해 공진 주파수가 하향되어 이와 같은 slit을 이용하는 방법도 소형화의 한 방법이라 하겠다. [그림 3(b)]는 slit

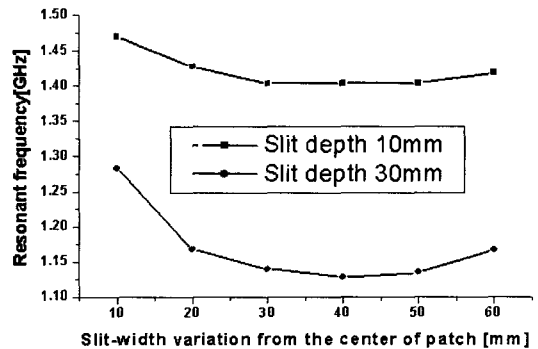


[그림 2] Bended 구조

의 깊이와 폭에 따른 공진 주파수의 변화를 나타낸 그래프로써 슬릿의 깊이는 깊을수록, 폭은  $\theta_1=2\theta_2$ 가 될 때 소형화 효과가 가장 우수하였다.

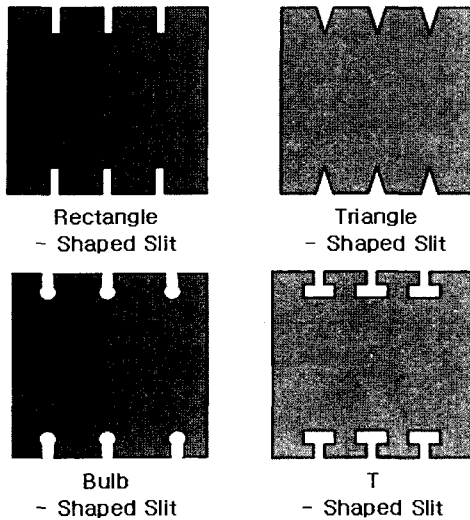


(a) Slit의 구조



(b) Slit의 폭과 깊이에 따른 주파수 특성

[그림 3] Slit 구조 및 특성



[그림 4] Slit의 형태

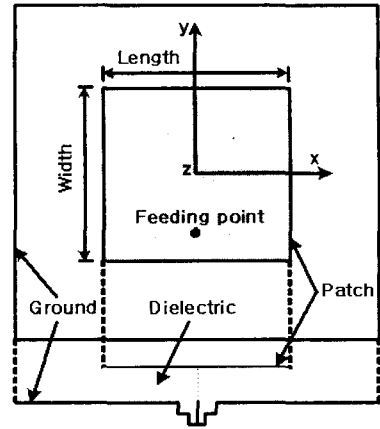
<표 1> Slit의 모양에 따른 주파수 및 대역폭 특성

슬릿구분	공진 주파수 (GHz)	-10 dB 대역폭(MHz)
직사각형	1.280	15
삼각형	1.345	21.4
전구형	1.260	15.6
T자형	1.205	12.6

또한, [그림 4]와 같이 여러 가지 형태의 slit을 이용하여 그 특성을 살펴볼 때 <표 1>에서 나타난 것과 같이 slit의 모양이 삼각형일 경우 대역폭을 넓히는데 유리하고, T자형일 경우 공진 주파수가 가장 많이 하향하므로 소형화에 가장 유리함이 확인되었다.

### 2-2 3차원 구조를 통한 안테나의 소형화

[그림 5]는 일반적인 평면형 마이크로스트립 패치 안테나의 구조를 나타내고 있다. 일반적으로 그림에서 보는 바와 같이 그라운드와 패치면 사이에는 패치면의 고정을 위해 유전체를 삽입하였다. 그러므로, 유전체 공간을 이용하여 안테나 구조를 3차원으



[그림 5] 일반적인 마이크로스트립 안테나의 구조

로 확장시켜 동일한 패치의 크기로 공진 길이를 증가시키면 안테나의 크기를 소형화 할 수 있다는 점을 예상할 수 있어, 3차원 구조의 여러 가지 소형화 방법에 대한 연구를 진행하였다.

#### 2-2-1 Perturbation Method(섭동법)

패치 안테나의 해석에 있어 잘 알려진 공진기 모델에서 전체의 세기가 상대적으로 큰 방사 개구 부분에 내향 변형을 주었을 때, 섭동법에 의해 공진기의 공진 주파수가 낮아진다. 섭동법은 공진기 해석에서 맥스웰 방정식에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \approx \frac{\int \int \int_{\Delta\tau} (\mu |\vec{H}_0|^2 - |\vec{E}_0|^2) d\tau}{\int \int \int_{\tau} (\mu |\vec{H}_0|^2 + |\vec{E}_0|^2) d\tau} \quad (1)$$

여기서,  $\omega$ 는 변형 공진기의 각주파수,  $\omega_0$ 는 원형 공진기의 각주파수,  $\Delta\tau$ 는 변형된 공진기의 체적,  $\tau$ 는 원형 공진기의 체적,  $\mu$ 는 투자율,  $\omega$ 은 유전율,  $E_0$ 와  $H_0$ 는 원형 공진기의 전계와 자계를 나타낸다. 위 식에서, 분모항은 원형(original) 도체 공진기의 체적을, 분자항은 변형된 도체 공진에서의 해당 변형 체적을 나타내며, 위 식 (1)로부터 고정된 체적인 원형 도체 공진기에 대해, 목적하는 공진 주파수 저하

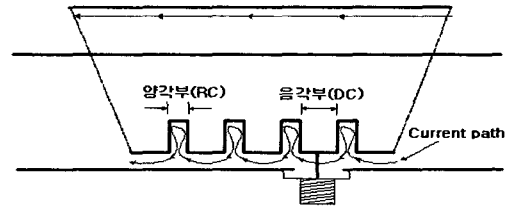
효과를 얻기 위해서는 상대적으로 전계의 세기가 강한 부분에 내향 변형(inward perturbation)을 가해 주거나, 또는 자계의 세기가 강한 부분에 외향 변형(outward perturbation)을 가해 주어야 한다는 결론을 도출할 수 있다. 다시 말해, 반파장 평면형 패치 안테나의 필드 분포로부터, 공진 길이를 따라 존재하는 방사 개구면에서는 균일하면서도 강한 전계가 존재하는데 비해, 상대적으로 패치의 폭을 따라 존재하는 비방사 개구면에서는 전계의 분포가 정현과 곡선을 가지므로, 결과적으로 해당 공진 길이 방향의 중앙부에서는 전계의 세기가 약해지고 자계의 세기가 강함을 알 수 있다. 따라서, 전계의 세기가 강한 공진 길이 방향의 외각에 내향 변형을 줌으로써 안테나가 소형화됨을 예상할 수 있다.

### 2-2-2 Corrugation 구조

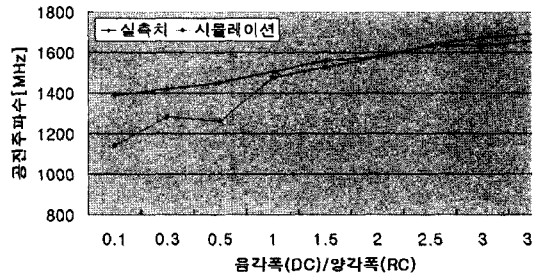
마이크로스트립 안테나의 소형화를 위해 [그림 6]에 나타난 것과 같이 패치의 모양을 주름지게 하여 공진 길이를 증가시켜 그 특성을 살펴보았다. 먼저 [그림 6(a)]를 보면 일반적인 패치 안테나의 패치면을 주름 구조로 변형함으로써 공진 길이가 패치와 동일하게 유지되어 안테나의 크기를 소형화할 수 있었다. [그림 6(b)]는 주름 구조의 양각부(RC: Raised-Carving)와 음각부(DC: Depressed-Carving)의 비율에 따른 공진 주파수의 변화를 나타낸 것으로 양각부(RC)의 크기가 클수록 공진 주파수가 낮아져 소형화에 더 유리함을 알 수 있다.

### 2-2-3 Iris 구조

앞 절에서 corrugation 구조를 이용한 소형화 방법을 알아보았다. Corrugation 구조를 이용할 경우 음각부(DC)/양각부(RC)의 비율이 작을수록 소형화 효과가 뛰어난 사실을 이용하여 음각부(DC)를 제거하고 iris를 삽입하면 소형화에 더 유리할 것으로 예상하여 [그림 7]과 같은 구조로 확장하였다.



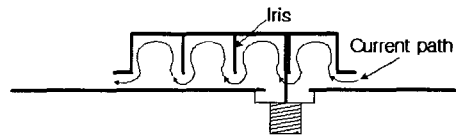
(a) Corrugation 구조



(b) DC/RC에 따른 공진 주파수 변화

[그림 6] Corrugation 구조 및 특성

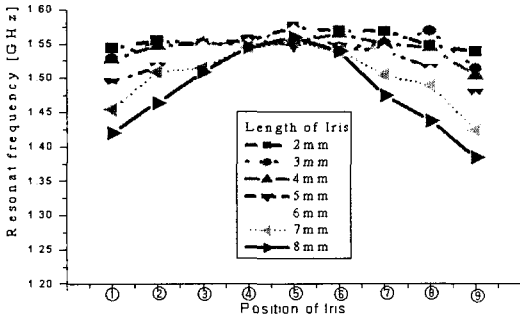
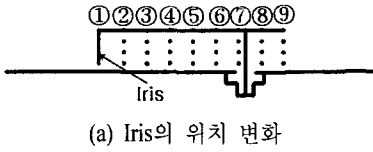
DC: Depressed-Carving, RC: Raised-Carving



[그림 7] Iris의 구조

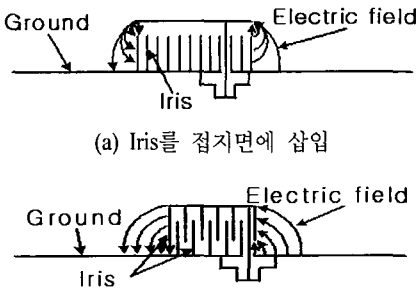
또한, iris의 길이 및 위치에 따른 특성을 더 알아보려 [그림 8(a)]와 같이 iris의 위치를 ①번 위치에서 ⑨번 위치까지 이동시키고 iris의 길이를 2 mm에서 8 mm까지 변화시켜 그에 따른 공진 주파수의 특성을 살펴보았다. [그림 8(b)]는 그 결과를 나타낸 그래프로써 iris의 위치가 ①번과 ⑨번 위치에 있을 경우, 즉 패치면의 양끝에 있을 경우와 iris의 길이가 8 mm로 길수록 공진 주파수가 가장 많이 하향되어 소형화 효과가 뛰어남을 확인하였다. 이로서 앞에서 설명한 섭동법이 적용된다는 사실도 확인되었다.

또한, iris를 [그림 9(a)]와 같이 그라운드면에 삽입하거나 (b)와 같이 그라운드와 패치면에 지그재로



(b) Iris 위치 및 길이에 따른 공진 주파수 변화

[그림 8] Iris의 위치 및 길이에 따른 특성



(b) Iris를 패치와 접지면에 지그재그로 삽입

[그림 9] Iris 삽입 방법에 따른 특성

형태로 삽입할 경우 그에 따른 축소 효과 특성이 있음을 확인하였다. 그 예들을 2-3절에 기술하였다.

### 2-2-4 Folded 구조를 이용한 방법

Iris를 삽입할 경우 패치의 중앙보다 양끝에서 소형화 효과가 뛰어나음을 확인하였다. 그 사실을 이용하여 [그림 10]과 같이 패치 양끝에만 iris의 길이를 최대한 길게 삽입하고 아이리스를 접어 그라운드에 수평하게 안테나 내부로 연장하여 공진 길이를 증가시킴으로써 패치 밑면의 전류 경로가 증가되어 소형



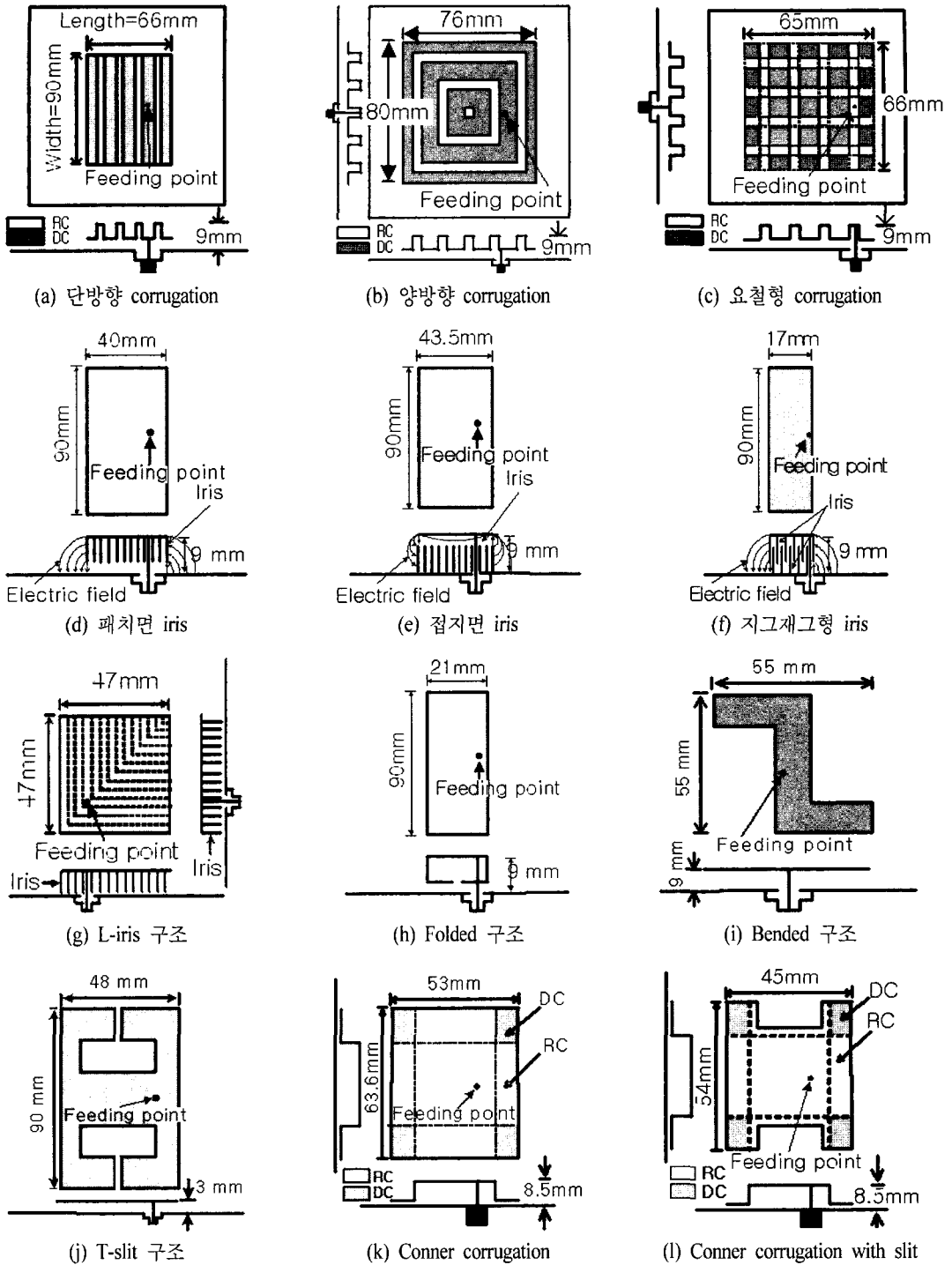
[그림 10] Folded 구조

화 효과를 얻을 수 있다는 사실도 확인하였다.

### 2-3 소형화 방법을 이용한 선형 편파 및 원형 편파 마이크로스트립 안테나

[그림 11]에는 여러 소형화 기법을 사용하여 1.575 GHz에서 실제 제작된 선형 편파 마이크로스트립 안테나의 구조를 나타내었다. 여기서 기준이 되는 기준 안테나는 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나 (길이 90 mm × 폭 80 mm × 높이 9 mm)를 채택하였다. [그림 11]의 (a)~(c)의 경우 corrugation 방법을 이용해 3차원 구조로 소형화 한 안테나로, (a)의 경우 한쪽 방향으로만 주름을 주어 21.4 %의 길이 방향 축소 효과를 얻었고 (b)의 안테나는 길이 및 폭 방향 양쪽에서 주름을 주었다. 이때는 23.0 %의 면적 축소로 소형화 효과는 더 컸으며, (c)와 같이 주름을 요철형으로 할 경우 45.7 %의 면적 축소로 안테나를 더욱 축소할 수 있었다.

(d)~(g)는 iris를 이용한 소형화 안테나이다. 먼저 (d)의 그림과 같이 iris를 패치 밑면에 부착하였을 때 52.4 %, (e)와 같이 접지면상에 iris를 부착할 경우에는 48.2 %, (f)와 같이 패치 밑면과 접지면상에 지그재그의 형태로 iris를 부착하였을 경우는 가장 소형화가 효과가 뛰어나 길이 방향 79.8 % 축소를의 소형화 특성을 보였다. 하지만, (d)~(f)와 같은 iris 구조의 경우 공진 길이 방향의 축소 효과는 얻었으나 여전히 폭 방향으로는 안테나 크기의 축소에 한계가 있었다. 따라서 (g)와 같이 아이리스를 L자형으로 삽입함으로써 길이 방향은 물론 폭 방향으로도 72.0 % 면적 축소를의 소형화된 안테나 특성을 얻을 수 있



[그림 11] 소형화된 선형 편파 마이크로스트립 안테나

게 되었다.

(h)는 folded 구조를 이용한 안테나이다. 먼저 perturbation 효과에서 iris의 위치가 패치의 양끝 방향에서 소형화 효과가 가장 크다는 사실에 착안하여 패치 끝에 iris를 내리고 안테나 내부로 다시 접어 넣음으로써 75.0%의 길이 방향 축소를 얻었으며 지그재그 형태의 iris를 부착한 안테나와 비교하였을 때 축소율이 거의 비슷하지만, 제작이 용이하여 생산적인 측면에서 iris 안테나보다 더 경제적이라고 할 수 있다.

(i)는 bending 구조를 이용한 안테나로써 패치 폭이 작아도 패치의 중심에 급전을 하면 설계 주파수에서 임피던스 매칭을 할 수 있는 특성을 이용한 것으로 63.1%의 면적 축소 효과를 얻었다. 현 구조에서는 비록 iris 및 folded 구조에 비해 축소율이 작지

만, 그림에서 보는 것과 같이 빈 공간을 활용하여 3차원으로 구조를 확장할 경우 더욱 소형화시킬 수 있다는 가능성이 있다.

(j)는 slit을 이용한 소형화 안테나로 소형화 특성이 가장 우수한 T자형 slit을 이용하여 설계하였고, 이때 42.9%의 면적 축소 효과를 얻었다. Slit을 이용한 경우도 2차원 패치면만을 이용하여 소형화 한 방법이기 때문에 bending 구조와 같이 3차원으로 구조를 확장하면 더욱 더 안테나를 축소시킬 수 있다.

(k)의 안테나는 corrugation 특성과 perturbation 효과를 이용한 안테나이다. (a)~(c)의 corrugation 구조의 경우, 섭동법에 의하면 패치 중심에서는 공진 주파수의 상향 특성을 보이므로 소형화를 위해서 패치의 중심은 변형하지 않고 각 모서리 부분만을 변형

<표 2> 소형화 된 선형 편파 마이크로스트립 안테나의 여러 특성 비교

\* : Size reduction, \*\* : Resonant length reduction

	General Microstrip	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Freq. [GHz]	1.575						
Size [mm×mm]	84×90	66×90	76×80	65×66	40×90	43.5×90	17×90
Return Loss [dB]	-20.3	-26.2	-24.1	-22.7	-28.5	-28.5	-27.8
-10 dB Bandwidth [MHz]	39	62.9	52	150	103	99	99
Gain [dBd]	6.7	5.8		3.8	5.9	5.9	-1.15
HPBW [°]	58	73.3		67.7	110	113.8	119.5
Reduction rate [%]	Ref.	**21.4 %	*23.0 %	*45.7 %	**52.4 %	**48.2 %	**79.8 %

	General Microstrip	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)
Freq. [GHz]	1.575						
Size [mm×mm]	84×90	47×47	21×90	54×54	48×90	53×63.6	45×54
Return Loss [dB]	-20.3	-34.4	-27	-21.2	-20.3	-28.0	-26.3
-10 dB Bandwidth [dB]	39	49	64	12	9	58	57
Gain [dBd]	6.7	1.19	5.12	3.5	5.3	4.3	3.5
HPBW [°]	58	127	151	67	77.2	120	116.6
Reduction rate [%]	Ref.	*72 %	**75 %	*63.1 %	**42.9 %	*57.3 %	*69.2 %

하였다. 이 때 면적 축소율은 57.3 %로 corrugation 구조에 비해 더 소형화 효과가 우수함을 확인할 수 있었다.

(l)은 (k)의 안테나에 slit 구조를 결합한 형태의 안테나이다. Slit의 경우, 길이가 1:2의 비율일 경우 소형화 효과가 가장 뛰어나기 때문에 (k)의 안테나에 slit 구조를 적용하여 그 결과 면적 축소율 69.2 %의 소형화 특성을 얻었다. 그리고, 위의 여러 특성 결과들을 <표 2>에 정리하였다.

[그림 12]에는 소형화된 원형 편파 마이크로스트립 안테나를 나타내었다. 원형 편파 안테나는 선형 편파 안테나를 모데로 하여, 급전으로 장축과 단축간 90° 위상차를 야기시킴으로써 편파를 분리하여 원형 편파를 구현하였다. 먼저 안테나 (a)는 요철형 corrugation 구조로 40.7 %의 면적 축소 효과를 얻었다. (b)는 L자형 iris 구조의 원형 편파 안테나로 선형 편파의 L자형 iris와 달리 iris를 코너 부분에서 개방

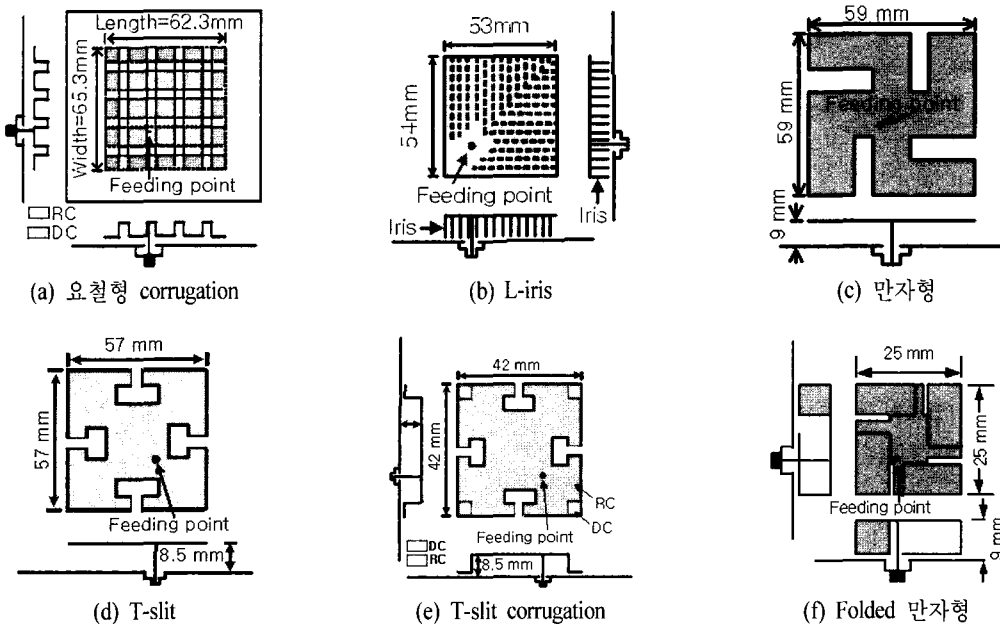
하였다. 그 이유는 코너를 개방하지 않았을 경우 편파 분리를 위한 임피던스 매칭이 어려울 뿐만 아니라 대역폭 감소 효과도 초래되기 때문이다.

(c)는 만자형 구조를 나타내고 있다. 만자형은 [그림 10(h)]와 같은 bended 구조를 이용한 선형 편파 안테나 두 개를 교차하여 결합한 구조로 44.8 %의 면적 축소 효과를 얻었다.

(d)는 T-slit을 이용한 구조이다. 앞에서 살펴본 바와 같이 slit의 형태가 T자일 경우, 소형화 효과가 우수하기 때문에 T자 slit의 폭만을 조절하여 원형 편파를 구현하였다. 이때 축소율은 52.6 %이다.

(e)는 그림에서 보는 것과 같이 T-slit의 구조와 corrugation 구조를 결합한 형태의 안테나로 72 %의 축소 효과를 나타내었다.

(f)는 3가지 소형화 방법을 결합한 구조의 안테나이다. (c)의 bended 구조를 이용한 만자형 구조에 perturbation method를 이용한 iris 효과, 특히 패치가



[그림 12] 소형화된 원형 편파 마이크로스트립 안테나



〈표 3〉 소형화 된 원형 편파 마이크로스트립 안테나의 여러 특성 비교

	General Microstrip	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Freq. [GHz]	1.575						
Size [mm×mm]	76×83	62.3×65.3	53×54	59×59	57×57	42×42	25×25
Return Loss [dB]	-10.1	-12.3	-15.9	-14.1	-10.5	-11.7	-15.8
-10 dB Bandwidth [dB]	85	119	95	59	56	53	36
Gain [dBd]	4.2	1.7	1.36	3.76	3.4	1.4	1.83
HPBW [°]	56.2	86.5	92	74	62	94	130
Axial Ratio [dB]	2.8	0.8	1.37	1.73	2.79	1.99	1.55
Size Reduction Rate [%]	Ref.	35.5 %	54.6 %	44.8 %	48.5 %	72.50 %	90.1 %

장자리에서 iris의 축소 효과가 가장 뛰어난 사실을 이용해 iris를 삽입하고 folded 구조를 이용하여 그라운드에 평행하게 안테나 내부로 접어 넣음으로써 90.1 %의 면적 축소 효과를 얻었다. 그리고 위의 여러 특성 결과들을 〈표 3〉에 정리하였다.

### III. 결 론

본 논고에서는 마이크로스트립 안테나의 구조적 변형을 통한 소형화에 대해 연구 결과에 대하여 기술하였다. 2차원 구조의 경우 slit 및 bended 구조로 이용하여 안테나의 소형화에 대해 기술하였고, 3차원 구조로 확장한 경우, perturbation method를 바탕으로 corrugation, iris, folded 구조를 이용하고 각각의 방법을 서로 결합하여 최대 90 % 면적 축소율을 얻었다. 따라서, 위의 결과들로부터 구조적 변형을 이용한 소형화 방법이 안테나 성능의 열화를 억제시키면서 소형화에 유리함을 확인할 수 있었으며, 만일 실용상, 대량 생산시에는 공기층 유전체 대신에 저유전율의 세라믹 등을 이용한 적층형 구조로 제작되면 경제적인 안테나로 제작 생산이 가능하다.

### 참 고 문 헌

- [1] 송무하, 우종명, "소형화를 위한 3차원 구조 마이크로스트립 패치 안테나", 한국전자과학기술논문지, 14(2), pp. 157-167, 2003년 2월.
- [2] Moo-Ha Song, Jong-Myung Woo, "Miniaturisation of microstrip patch antenna using perturbation of radiation slot", *IEE Electronics Letters*, vol. 39, no. 5, pp. 417-419, 2003.
- [3] Sungmin Lee, Jongmyung Woo, Mira Ryu, and Hunchul Shin, "Corrugated circular micro-strip patch antennas for miniaturization", *IEE Electronics Letters*, vol. 38, no. 6, pp. 262-263, 2003.
- [4] 우종명, 송무하, 문상만, "소형화를 위한 주름형 선형편파 패치 안테나", 2001년도 한국통신학회 하계종합 학술 발표회 논문집, 23(1), pp. 803-806, 2001년 7월.
- [5] 우종명, 송무하, "소형화를 위한 격자구조의 요철형 원편파 마이크로스트립 패치 안테나의 설계", 2001년도 추계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, 24(2), pp. 351-354, 2001년 9월.
- [6] 우종명, 송무하, "주름 구조를 이용한 마이크로스트립 패치 안테나의 소형화에 대한 연구", 한국전자과학기술논문지, 14(2), pp. 192-201, 2003년 2월.
- [7] Jong-Myung Woo, Moo-Ha Song, "Miniaturized

rectangular microstrip patch antenna using lattice like corrugation structure", *2002 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*, vol. 2, pp. 1249-1252, Nov. 2002.

- [8] Jeoung-Sik Seo, Jong-Myung Woo, "Miniaturisation of microstrip antenna using irises", *IEE Electronics Lett.*, vol. 40, pp. 718-719, 2004.
- [9] 우종명, 서정식, "Iris를 이용한 마이크로스트립 패치 안테나의 소형화에 관한 연구", 2003년도 춘계 마이크로파 및 전파통신학술대회 논문집, 26(1), pp. 523-526, 2003년 5월.
- [10] Jong-Myung Woo, Jeoung-Sik Seo, "A study on the micro-strip patch antenna miniaturization using the effects of perturbation and iris", *2003 Asia-Pacific Microwave Conference proceedings*, vol. 2, pp. 1233-1236, Nov. 2003.
- [11] 우종명, 장연정, 서정식, 조중환, "Iris 부착 3차원 선형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 소형화에 관한 연구", 2003년도 종합학술발표회 논문집, 한국전자과학회, 13(1), pp. 450-453, 2003년 11월.
- [12] 우종명, 장연정, 허희무, 지충호, "'L'자 Iris를 이용한 마이크로스트립 안테나의 소형화", 마이크

로파 및 전파 학술대회 논문집, 27(2), pp. 393-396, 2004년 9월.

- [13] 우종명, 허희무, 서정식, 허진영, "' $\pi$ '자형 폴딩드 마이크로스트립 패치 안테나 설계", 2003년도 종합학술발표회 논문집, 한국전자과학회, 13(1), pp. 464-467, 2003년 11월.
- [14] 우종명, 김완기, 임원석, 허희무, "소형화를 위한 'H'자형 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나", 2004년도 전파 및 광파기술 학술대회 논문집, 한국전자과학회, pp. 57-60, 2004년 10월.
- [15] 우종명, 이종민, 서정식, "슬릿 구조를 이용한 마이크로스트립 패치 안테나 소형화에 관한 연구", 2003년도 전파 및 광파기술 학술대회 논문집, 한국전자과학회, 4(1), pp. 75-78, 2003년 10월.
- [16] 우종명, 송무하, "소형화를 위한 코너 음각부 마이크로 스트립 패치 안테나", 2002년도 춘계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, 25(1), pp. 487-490, 2002년 5월.
- [17] 우종명, 이종민, "SIR 구조를 적용한 마이크로 스트립 패치 안테나의 소형화", 2003년도 하계 종합학술대회 발표논문초록집, 한국통신학회, pp. 396, 2003년 7월.

≡ 필자소개 ≡

김 완 기



2005년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
 2005년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 안테나

우 종 명



1985년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)  
 1990년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1993년 3월: 일본, 니혼대학 전자공학과 (공학석사)  
 1996년 3월: 일본, 니혼대학 전자공학과 (공학박사)

1996년 9월~ 현재: 충남대학교 전파공학과 부교수  
 [주 관심분야] 안테나