

서로 다른 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 배열 마이크로스트립 안테나 특성

준희원 한 봉 회*, 정희원 김 남 현**, 노 광 현***, 강 영 진**

Characteristics of Sequentially Rotated Array Microstrip Antennas Using Each Other Phase Delay

B. H. Han* Associate Members,
N. H Kim**, K. H. Noh***, Y. J. Kang** Regular Members

요 약

본 논문에서는 ISM(5GHz)대역에서 동작하는 개구 결합 원 편파 패치 안테나를 제안하고 단일 원 편파 패치 안테나에 광대역성과 원 편파의 특성을 향상시키기 위해 0°, 90°, 180°, 270°와 0°, 45°, 90°, 135°의 서로 다른 위상 지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 배열 방법을 사용하여 각각 2×2 안테나로 설계하여 비교 분석하였다. 그 결과 90°와 45°의 위상 지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 배열 2×2 안테나가 광대역 특성과 축비가 개선됨을 확인하였다. 또한 45°의 위상 지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 배열 2×2 안테나가 90°의 위상 지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 배열 2×2 안테나에 비해 임피던스 대역폭과 축비 특성이 개선되었음을 검증하였다.

key Words : microstrip antenna; aperture coupled; circular polarized patch antenna; sequentially rotated arrayed(SRA); phase delay.

ABSTRACT

This paper proposes an aperture coupled circular polarized patch antenna operating at ISM band(5GHz). For improving the characteristic and performance of broadband and circular polarization at single circular polarized patch antenna. We designed and analyzed the sequentially rotated arrayed(SRA) using phase delay of 0°, 90°, 180°, 270° and 0°, 45°, 90°, 135°. Experimental result, the SRA antenna using phase delay of 90° and 45° are improved at the wideband and axial ratio. Also, the SRA antenna using phase delay of 45° verified that it is better bandwidth and axial ratio than the SRA antenna using phase delay of 90°.

1. 서 론

최근 무선 통신 시스템은 고속, 대용량, 고밀도의 정보처리가 가능하면서도 소형화, 경량화, 경제화로 나아가는 추세이다. 이와 같은 상황에서는 언제, 어디서나 누구와도 통신이 가능한 통신 시스템이 필요하며 이를 위해서 무선 통신을 이용한 정보 통신망의 개발이 지속적으로 발전되고 있다. 이러한 무선

통신 시스템을 위해서는 안테나의 개발을 필요로 하며 그 중 마이크로 스트립 안테나는 반세기동안 지속적인 연구와 개발이 진행되어 왔으며 현재까지 이루어지고 있다.

한편 원형편파 안테나는 선형편파만을 구현하는 마이크로스트립 안테나에서 육각구조의 패치를 사용하여 원형 편파를 시도하였으며[1] 1980년대 원형 편파 특성을 개선하기 위한 시퀀셜 로테이션 배열

* EMW 안테나 ** 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 *** 션 웨이브텍
논문번호 : #020486-1111, 접수일자 : 2002년 11월 11일

※ 본 연구는 2003년도 원광대학교 교내연구비에 의해 연구가 수행되었습니다.

(Sequentially Rotated Array: SRA)이 처음으로 제안되었고[2] 최근 국내에서도 이에 관한 연구가 있었다[3-4]. 이러한 마이크로스트립 안테나의 발전은 소형화, 박막화, 경량화 및 부착력이 좋은 특성을 가져왔고, 제작이 쉽고 저가로 만들 수 있는 경제적 장점과 대량생산을 가능하게 하고있다.

본 논문에서는 기존의 IMT-2000용으로 제작한 L자형 개구 결합 원형편파 패치안테나를 가지고 보다 높은 5(GHz) 대역인 ISM(Industrial · Scientific · Medical) 대역에서 동작하도록 설계하였고 광대역 특성과 축비 특성의 개선을 위해 시퀀셜 로테이션 배열을 적용하였다. 이러한 시스템에는 전파를 송·수신할 때 독립성을 유지해야 하기 때문에 다중경로에 의해 반사된 신호를 수신하기 위한 선형편파보다 효율이 우수한 원형편파가 좋다[5].

원형편파를 발생시키는 마이크로스트립 안테나는 구형패치와 원형패치의 모서리를 잘라 내거나 패치 위에 대각선 방향으로 슬랏을 두어 모드의 한 성분에 대한 다른 성분의 주파수를 상쇄시키는 구조를 갖는 단일 급전방식과 각각의 급전에 의해 크기가 같고 90°의 위상차를 가지는 두 선형편파를 발생시켜 급전시키는 형태의 이중 급전방식이 있다. 단일 급전방식은 두 직교모드가 같은 크기를 가지도록 급전의 위치를 결정하는 것이 매우 중요하다. 또한 별도의 분리기(splitter)가 필요 없어 구조가 간단하고 정합이 쉬우며 배열 안테나로 확장 시 장점을 가지기 때문에 널리 이용되고 있다. 이중 급전방식의 90°의 위상차는 분리기를 이용하여 구현되고 분리기의 형태에 따라 광대역 특성을 갖는 3dB 하이브리드(hybrid) 급전방식과 오프셋(offset) 급전방식으로 나눈다. 그러나 제한된 대역폭을 가지며 구조가 복잡하여 배열 안테나의 단일 소자로는 적합하지 않는 단점이 있다[6]. 따라서 본 논문에서는 구조가 간단하고 배열 안테나로 확장시 장점이 있는 단일 급전 방식에 개구 결합 급전 구조를 사용하였다.

또한 광대역과 축비특성을 개선시키기 위해 원형편파를 발생시키는 L자형 개구 결합구조를 채택하였고, 이 구조에 아직 시도한 바가 없는 SRA를 접목시켜 이 구조가 기존의 단일 평면 마이크로스트립 패치 안테나와 같이 SRA에 적합한지 고찰하고자 한다. SRA는 90°의 위상차와 45°의 위상차를 갖도록 방사소자를 물리적으로 회전시켰다. 즉, 각 패치 마다 0°, 90°, 180°, 270°의 위상 지연과 0°, 45°, 90°, 135°의 위상 지연을 주었고 이에 따른 급전선로의 위상차도 동일하게 적용하였으며, 이를

2×2 배열 안테나로 확장하여 제작 측정하였고 그 결과를 분석하였다. 안테나 설계는 앙상블 6.1 시뮬레이터를 이용하였다.

II. L자형 개구 결합 구조의 단일 소자 설계

그림 1은 본 논문에서 사용한 L자형 개구결합 원형편파 마이크로스트립 안테나 구조이다. 이와 같은 구조로부터 원형편파의 발생은 급전선의 전력이 방사소자, 즉 패치의 장·단변에 수직을 이룬 각각의 슬랏을 통하여 결합되고, 슬랏과 직사각형 패치의 장·단변길이 방향으로 각각의 공진주파수로 결정되는데 슬랏의 크기를 같게 하면 결합계수는 같게 되며, 두 공진주파수에 해당되는 전류벡터는 크기가 같고 상호 직각을 이루게된다. 또한 전류 벡터 상호간에 상대적 위상차가 $\pi/2$ 가 되도록 패치의 길이 조정에 의해 위상차를 조정할 수 있다. 따라서 슬랏의 크기와 패치의 길이를 적절히 조절함으로써 원형편파를 발생시킬 수 있다.

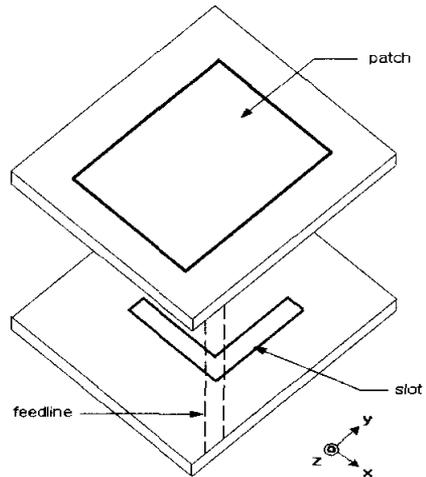


그림 1. L자형 개구 결합 원형편파 패치 안테나 구조

패치는 상층기판에 놓여 있고 급전선은 하층기판에 있으며 급전선과 패치간 결합은 슬랏을 통해 이루어진다. 이러한 구조는 복사손실을 줄일 수 있고 패치와 접지면 사이에 간격을 두어 효율과 대역폭을 증가시킬 수 있으며 급전선과 패치와의 이격 때문에 불필요한 결합을 줄일 수 있다. 또한 배열 안테나로 설계 시 매우 유용한 구조이다.

안테나의 공진주파수는 패치의 길이에 의해 결정되며 폭은 임피던스대역과 관련이 있다. 패치의 폭과 길

이를 결정한 후, 슬랏의 길이와 폭을 결정하게 되는데 슬랏의 길이와 폭에 따라 그 특성이 달라지므로 이에 대한 정확한 설계가 필요하다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 전자기적 결합을 이용한 개구결합 구조를 이용하였기 때문에 결합 크기와 임피던스 매칭을 위해서 슬랏의 길이와 폭을 최적화하였다. 본 연구에서 슬랏의 길이 결정에는 다음과 같은 근사식을 이용하고, $0.0015 \leq W_s/\lambda_0 \leq 0.075$ 이고 $2.22 \leq \epsilon_r \leq 3.8$ 인 경우 다음과 같다.

$$\frac{\lambda_s}{\lambda_0} = 1.045 - 0.365 \ln \epsilon_r + \frac{6.3\epsilon_r^{0.945}(W_s/h)}{238.64 + 100W_s/h} \quad (2-1)$$

$$- \left[0.148 - \frac{8.81(\epsilon_r + 0.95)}{100\epsilon_r} \right] \times \ln(h/\lambda_0)$$

$$Z_{OS} = 60 + 3.69 \sin \left[\frac{(\epsilon_r - 2.22)\pi}{2.36} \right] + 133.5 \ln(10\epsilon_r) \sqrt{W_s/\lambda_0} + 2.81[1 - 0.011\epsilon_r(4.48 + \ln \epsilon_r)] (W_s/h) \ln(100h/\lambda_0) + 131.1(1.028 - \ln \epsilon_r) \sqrt{h/\lambda_0} + 12.48(1 + 0.18 \ln \epsilon_r) \times \frac{W_s/h}{\sqrt{\epsilon_r - 2.06 + 0.85(W_s/h)^2}} \quad (2-2)$$

여기서, λ_0 =자유 공간에서 파장, W_s =슬랏 폭, λ_s =슬랏의 관내 파장, Z_{OS} =특성임피던스 h =기판두께 이다.

일반적으로 슬랏의 길이는 $0.1 \sim 0.2\lambda_g$ 이고 폭은 $0.01 \sim 0.02\lambda_g$ 여대[6]. 본 연구에서는 슬랏의 폭과 길이를 이 범위 내에서 결정하였다. 여기서 λ_g 는 유전체내의 파장이다.

그림 2는 안테나의 측면 구조를 나타내고 있다. 급전선과 접지면 사이에는 비유전율 (ϵ_r)이 2.5이고 두께가 0.7874mm인 Taconic사의 기판을 사용하였고 접지면과 패치사이에는 foam(ϵ_{r2})을 두었는데 이는 대역폭을 증가시키기 위함이다. 여기서 foam 위에 패치를 두게 되면 구조적으로 약하게 되며 안테나

주위 환경에 노출되기 쉽다. 따라서 본 연구에서는 안테나의 보호와 견고함을 위한 목적으로 패치 위에 기판을 두어 역패치 형태를 이루었다. 이로 인해 구조는 SSFIP(Strip-Slot-Foam-Inverted Patch)형태가 되어 패치 위 형성된 기판은 아주 얇고 안테나 의 복사 특성에 주는 영향은 적으며 이득을 높일 수 있다 [6]. 본 연구에서는 범용기판인 FR-4 epoxy를 사용하여 안테나의 보호와 견고함을 높였다. 사용한 기판의 사양은 표 1에 나타내었다.

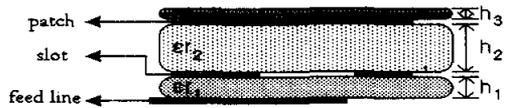


그림 2. 제안된 안테나 구조

그림 3은 단일 패치 안테나를 최적화하기 위해 가장 중요한 파라미터인 슬랏의 폭과 길이 변화를 시도한 시뮬레이션 결과로서 반사 손실과 축비를 나타내었다. 그림 3(a)는 슬랏폭을 1[mm]부터 2.2[mm]까지 0.3[mm] 간격을 두었고 그림 3(b)는 슬랏 길이를 12.5[mm]부터 14.5[mm]까지 0.5[mm] 간격을 두었다. 슬랏의 폭과 길이가 일정 길이보다 길거나 짧게 되면 공진점과 결합도가 나빠지는 것을 볼 수 있고, 일정 길이가 되면 넓은 주파수대역을 포함하며 반사손실 곡선이 뚜렷해지는 모습을 나타냄을 알 수 있다. 이에 반해 축비곡선은 두드러지는 모습을 보이지 않는데 이는 축비에 가장 영향을 미치는 설계 변수가 슬랏과 패치와의 offset 거리임을 알 수 있다. 본 논문에서는 패치의 중앙으로부터 5[mm] 떨어진 지점에 슬랏을 위치시킴으로써 최적화하였다.

패치의 길이와 폭, 슬랏의 크기, 패치와 슬랏의 offset, 그림 1의 안테나 설계 파라미터들 값과, 표1의 파라미터를 이용하여 그림 4에 슬랏을 통해 전자기적 결합을 이용하는 L자형 개구결합 마이크로스트립 패치 안테나의 시뮬레이션 결과를 나타냈다. 반사 손실 특성은 중심 주파수 5.775[GHz] 부근에서 -30dB 이하를 나타내며, -15dB 이하 대역폭은 5.556~6.05 [GHz]로 8.513%이다. 축비특성은 설계 주파수대역에서 1.75[dB]를 나타내며 3dB이하 대역은 5.696-5.857[GHz]로 2.787%를 나타내었다. 여기서 원형편파의 대역폭을 증가시키기 위한 방법으로 본 논문에서는 SRA 기법을 이용한다. 표 2는 단일 패치 안테나를 최적화한 설계치이다.

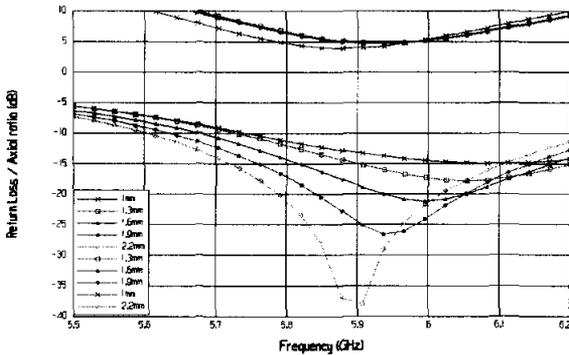
표 1. 사용된 유전체 기판 사양

	Substrates	Relative Permittivity	Height
ϵ_{r3}	FR-4 epoxy	4.4	0.2[mm]
ϵ_{r2}	Foam	1.07	3.0[mm]
ϵ_{r1}	Teflon	2.5	0.7874[mm]

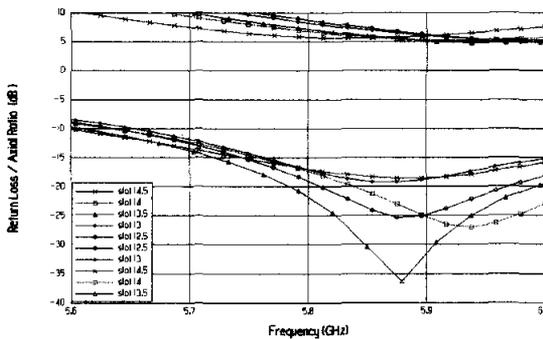
표 2. 단일 패치 안테나 설계치

	Patch	Slot	Feed line
Width	19.4[mm]	2.0[mm]	1.466[mm]
Length	21.0[mm]	13.5[mm]	9.11[mm]

III. 서로 다른 위상 지연을 갖는 SRA 안테나 설계



(a) 슬랏 폭의 변화



(b) 슬랏 길이의 변화

그림 3. 슬랏의 변화 특성(반사손실과 축비 특성)

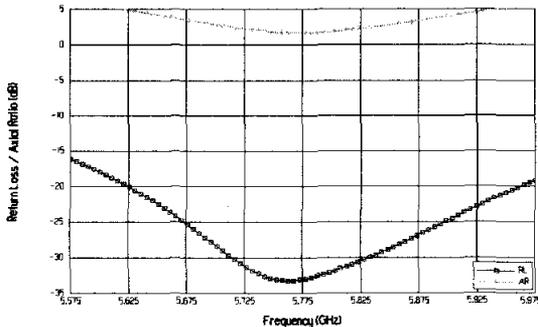


그림 4. 단일 패치 안테나 시뮬레이션 결과

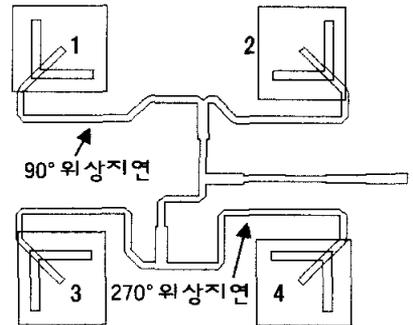


그림 5. 시퀀셜 로테이션 배열

그림 5는 본 논문에서 제안한 안테나에 시퀀셜 로테이션 배열을 적용한 기본 구조로써[7], 위 패치에 0°, 90°의 위상차를 갖도록 하고 아래 패치에 180°, 270°의 위상 차를 줌으로써 1, 3번 패치와 2, 4번 패치의 위상이 서로 역위상이 되도록 한다. 기본 패치의 위상을 기준으로 하여 다른 패치에 급전되는 전류의 위상을 순차적으로 0°, 90°, 180°, 270°로 하여 급전점에서 각 패치까지의 급전 길이를 달리하여 각 패치에서의 반사파가 급전점에서 상쇄되도록 한다.

이때 급전선로의 길이 조절에 의해 위상차가 발생하게 되어 패치의 위상차를 보상해야 하는데 이는 방사소자, 즉 패치를 순차적으로 회전시켜 보상하게 되는 것이다. 따라서 각 패치에서 방사되는 전계는 동일하게 되고 각각의 패치의 회전 방향이 같기 때문에 전계는 동일시간에 동일 방향이 된다. 이러한 원리에 의해 안테나의 반사손실과 축비 특성이 좋아지게 된다[8-9].

SRA에서 m번째 방사소자의 회전 각도와 급전 시 위상차는 다음과 같은 식에 의해서 결정된다.

$$\phi_m = \frac{p(m-1)\pi}{M} \quad (3-1)$$

여기서, p는 정수(integer), M은 시퀀셜 배열을 이루

는 방사소자의 수이다.

또한 패치와 급전선에 90°와 45°의 위상차를 줄 경우 45°가 90°보다 위상이 단축되고 이에 따른 급전선로의 길이가 단축되어 반사파의 상쇄성이 우수하여 좀더 개선된 반사손실과 축비 특성을 얻을 수 있다[3]. 따라서 본 논문에서는 이를 검증하기 위해 90°의 위상지연과 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2×2 배열 안테나를 각각 제작하고 측정하여 두 안테나 특성을 비교하고자 한다.

먼저 본 연구에서 제안한 90°의 위상 지연을 이용한 SRA는 그림 6과 같은 구조로써 배열 안테나로 확장 시 T-junction 전력 분배기를 사용해서 두 개의 출력포트로 동일한 크기의 전력을 분배하도록 설계하였으며 서로 다른 임피던스 정합을 위해 $\lambda_g/4$ 정합 회로를 사용하였다. 안테나 설계 시 급전선로를 패치가 가장자리로 두는 경우와 안쪽으로 급전하는 두 가지 경우가 있으며 패치를 시계방향으로 회전시켰다. 본 논문에서는 여러 방법을 이용하여 설계한 것 중 광대역과 축비특성이 우수한 3가지의 2×2 배열 안테나를 시뮬레이션 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

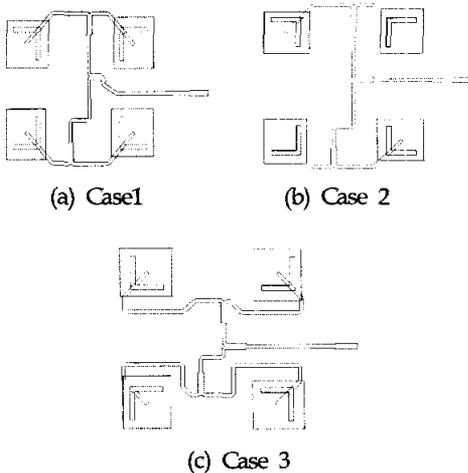
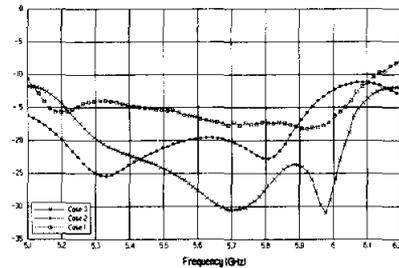


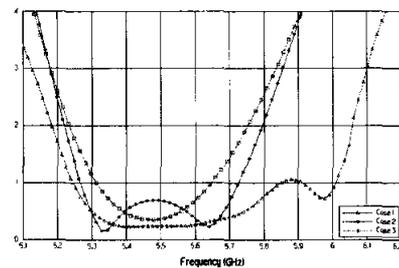
그림 6. 90°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2×2 배열 안테나

그림 7에서 그림 6에서 보인 3가지 안테나의 -15dB 이하 반사손실은 case 1이 5.45~6.03[GHz]로 580[MHz]이고 case 2는 5.06~5.935[GHz]로 875[MHz], case 3는 5.21~6.08[GHz]로 870[MHz]를 나타냈다. 3dB 이하 축비특성은 case 1이 5.175~5.835[GHz]로 660[MHz]이고 case 2는 5.175~5.855[GHz]로 680[MHz], case 3는 5.12~6.1[GHz]로 980[MHz]를 나타냈다. 반사손실과 축비특성을 고려할 때 case 3가 case 1, 2보다 더 낮고 넓은

광대역 특성을 보였으며 3dB 이하 축비 특성에서는 case 3가 case 1, 2에 비해 300[MHz] 이상 더 넓은 특성을 나타냈다.



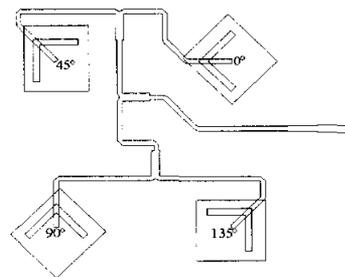
(a) 반사손실 특성



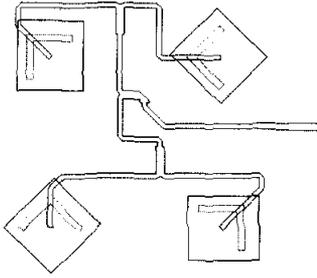
(b) 축비 특성

그림 7. 90°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2×2 배열 안테나 비교

본 논문에서 제안한 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2×2 배열 안테나의 경우[10], 패치를 회전시키면서 급전선로를 설계하는 급전구조는 한 가지 밖에 없다. 여기서는 급전선로를 정확하고 정교하게 설계하는 것이 관건이며 급전선로 사이의 간격이 좁거나 불필요한 급전선로의 꺾임에 의한 불연속적인 성분의 발생, 패치로의 급전 위치, 패치간 간격이 달라지면 안테나 특성에 영향을 주게 된다. 본 논문에서는 여러 개 중 두 개의 안테나를 선정하여 그림 8에 나타내었고 이를 시뮬레이션 한 결과는 그림 9와 같다.



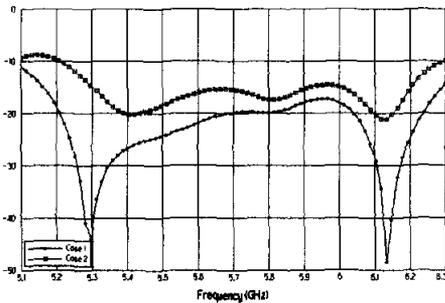
(a) Case 1



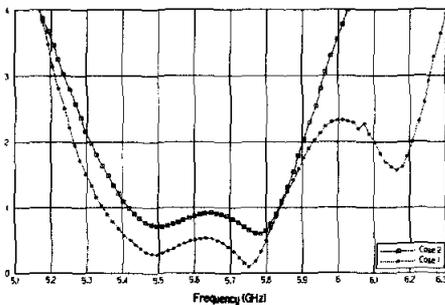
(b) Case 2

그림 8. 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나

그림 9에서 그림 8의 각각의 안테나의 -15dB 이하 반사 손실은 case 1이 5.16~6.3[GHz]로 1140[MHz]이고 case 2는 5.3~6.2[GHz]로 580[MHz]를 보였다. 3dB 이하 축비 특성은 case 1이 5.21~6.255[GHz]로 1045[MHz]이고 case 2는 5.24~5.955[GHz]로 715[MHz]를 나타냈다. 반사 손실과 축비 특성에서 case 1이 우수하였으며 3dB 이하 축비 특성에서는 case 1이 case 2에 비해 330 [MHz] 더 넓은 특성을 보였다.



(a) 반사손실 특성



(b) 축비 특성

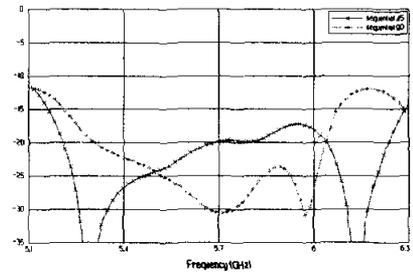
그림 9. 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나 비교

앞에서 설계된 안테나는 반사손실과 축비특성을 최대화하고 각각 설계된 안테나의 특성을 동일한 조건에서 비교하기 위하여 패치 사이의 간격을 약 $1\lambda_0$ 로 하였다.

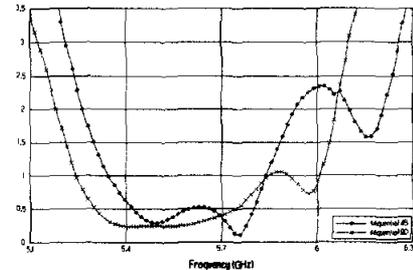
IV. 서로 다른 위상 지연을 갖는 SRA 안테나 제작 및 실험

앞장에서 제안한 90°의 위상지연과 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나 중 가장 특성이 우수한 안테나를 각각 선택하여 시뮬레이션 한 결과를 다음과 같이 비교하였다.

그림 10에서 -15dB 이하 반사손실은 각각 5.21~6.08[GHz]로 870[MHz], 5.16~6.3[GHz]로 1140[MHz]를 보여 45°의 위상지연을 갖는 안테나가 270[MHz] 더 넓은 광대역 특성을 보였다. 축비특성은 중심 주파수 5.775 [GHz]에서 90°의 위상지연을 갖는 안테나가 0.63[dB]이고 45°의 위상지연을 갖는 안테나는 0.2[dB]로 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나가 더 낮았다. 3dB이하 축비대역폭은 45°의 위상지연을 갖는 안테나가 5.21~6.255[GHz]로 1045[MHz]이고 90°의 위상지연을 갖는 안테나는 5.12~6.1[GHz]로 980[MHz]로써 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나가 65[MHz] 넓은 특성을 보였다.



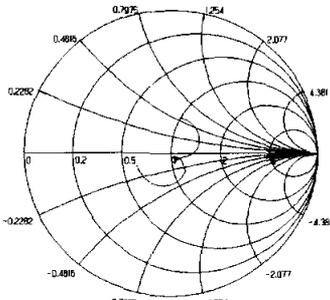
(a) 반사손실 특성



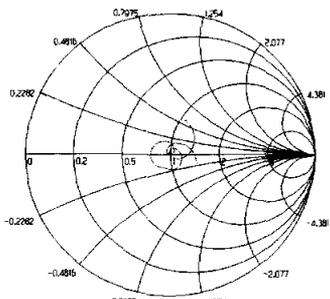
(b) 축비 특성

그림 10. 90°와 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나 비교

두 안테나의 리액턴스 성분이 공진 주파수에서 거의 제로임을 그림 11의 스미스 도표에서 확인 할 수 있으며 90°와 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나는 거의 완벽한 임피던스 정합에 접근하였음을 알 수 있다.



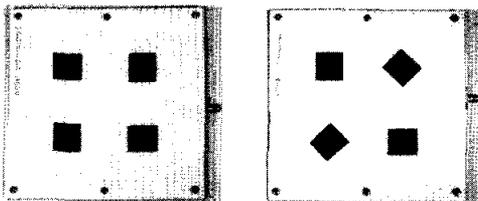
(a) 90° 위상 지연



(b) 45° 위상 지연

그림 11. 90°와 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나 비교

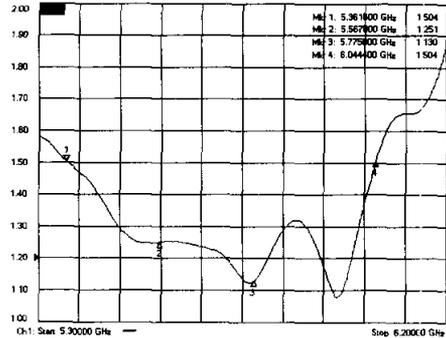
본 논문에서 제안한 두 개의 안테나를 시뮬레이션 결과를 바탕으로 그림 12와 같이 제작하였다. 그림 12는 90°와 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나로써 역 패치 밑에 슬랏, 급전선로가 놓이게 된다.



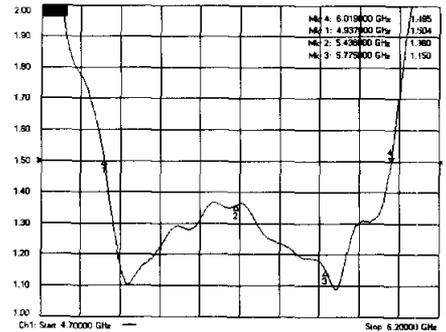
(a) 90°의 위상 지연 (b) 45°의 위상 지연

그림 12 서로 다른 위상 지연을 이용한 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나

제작된 안테나는 급전부에 SMA 커넥터를 부착하고 E8358A Network Analyzer(Agilent Tech.)를 이용하여 주파수 응답특성을 측정하였다. 방사패턴 및 측비측정은 외부의 전자파로부터 방해를 받지 않는 무반사실(anechoic chamber)에서 측정하였고 송신 안테나는 표준 혼 안테나(SGA-50)를 이용하였으며 결과는 그림 13과 같다.



(a) 90° 위상 지연

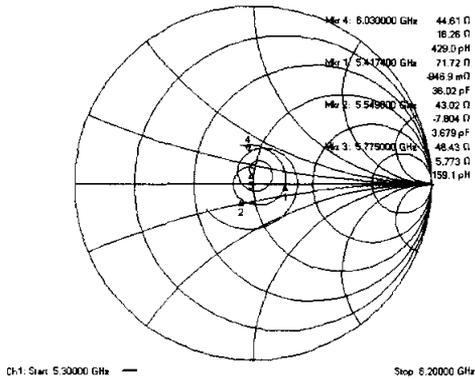


(b) 45° 위상 지연

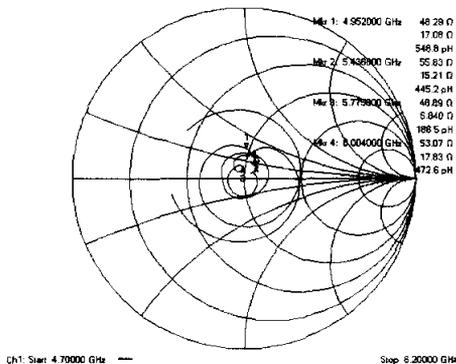
그림 13. 반사손실 특성

그림 13의 반사손실 측정 결과는 중심 주파수 5.775[GHz]에서 90°의 위상지연을 갖는 안테나가 -24.27[dB]를 나타냈고, 45°의 위상지연을 갖는 안테나는 -23.26[dB]로 측정되었다. -15dB 이하 반사손실 대역폭은 각각 5.417~6.03[GHz]로 10.7% 이고 4.952~6.004[GHz]로 19.2%로써 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나가 439.4[MHz]로써 8.5% 더 넓은 대역을 나타내고 있다. 이는 기존의 개구 결합 마이크로스트립 배열 안테나의 대역폭이 10% 안팎임을 감안할 때[11] 본 논문에서 제작한 두 안테나는 대역폭이 10%를 상회하는 우수한 광대역 특성을 가짐을 알 수 있다.

그림 14는 스미스 도표에서 궤적 형태를 보면 원점(50Ω) 근처에서 곡선이 한번 꼬이는 모습을 볼 수 있는데 이는 원형편파가 발생하고 있음을 확인 할 수 있으며, 중심 주파수 5.775[GHz]에서 두 안테나의 임피던스 궤적이 모두 도표 중심부근에 위치하고 있으므로 거의 완벽한 임피던스 정합에 근접하였음을 나타내고있다.



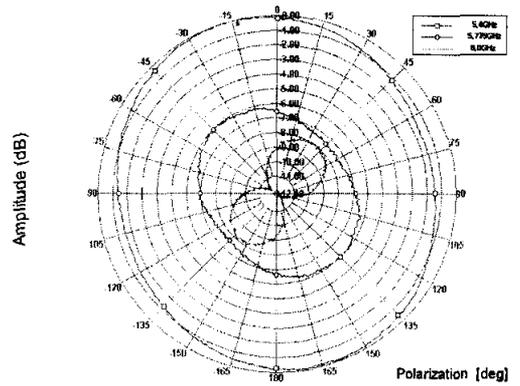
(a) 90° 위상지연



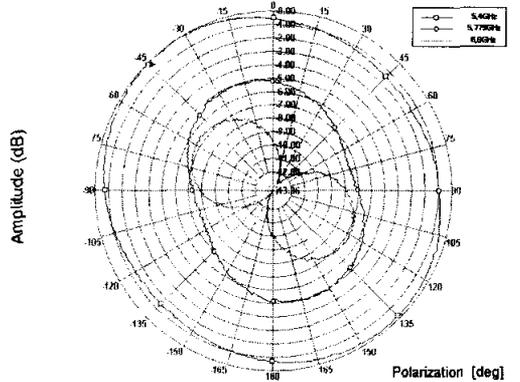
(b) 45° 위상지연

그림 14. 스미스 도표

그림 15의 측비특성 측정에서 전반적으로 주파수가 왼쪽으로 이동되었는데, 기판 조립시 정교하게 하더라도 측비에 가장 영향을 미치는 슬롯의 위치가 틀어짐으로 인한 오차로 여겨진다. 3dB이하 5.4[GHz]에서 90°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나가 2.1[dBi]이고 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나는 1.53[dBi]이다. 중심 주파수 5.775[GHz]에서 각각 1.75[dBi], 2.81[dBi]를 나타내어 양호한 측비 특성을 보이고 있다.



(a) 90° 위상지연



(b) 45° 위상지연

그림 15. 측비 특성

그림 16의 방사패턴 측정 결과에서 -3dB 빔폭은 90°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나가 29.5°이고 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나가 30°를 나타내었다. 부엽준위는 90°의 위상지연을 갖는 경우 피크 부엽준위는 -9.0[dBi]를 나타냈으며 45°의 위상지연을 갖는 경우 피크 부엽준위는 -7.5[dBi]로 측정되었다. 후방 방사준위는 두 안테나 모두 -20[dBi] 이하로 측정되었다. 이득은 각각 5.4[GHz]에서 12.76[dBi]와 12.04[dBi], 5.775[GHz]에서 10.05[dBi]와 10.78[dBi]로 측정되어 두 안테나 모두 10[dBi]를 넘는 양호한 이득을 얻었다.

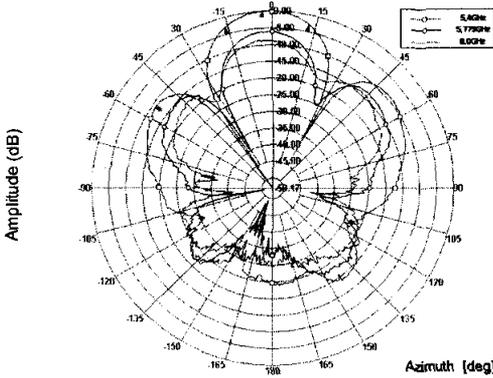
표 3에 90°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나와 45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2x2 배열 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정결과를 제시하였다.

V. 결 론

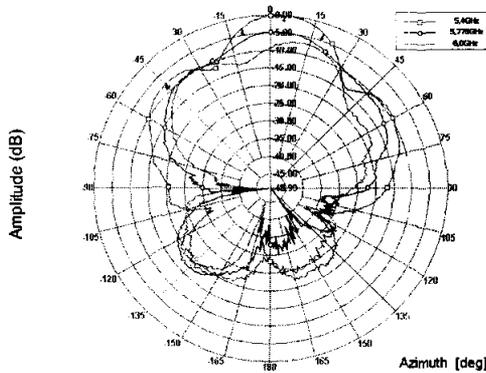
본 논문에서는 ISM 대역에서 사용가능하며 LHCP를 발생시키는 L자형 개구 결합 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였고 안테나 보호와 견고성을 위해 범용기판인 FR-4 epoxy를 두어 SSFIP 구조를 이루었다. 원형편파가 발생하는 L자형 개구 결합 구조에 대역폭과 축비특성을 개선하기 위해 90°와 45°의 위상차를 갖는 SRA를 사용하여 2×2 배열 안테나로 각각 설계 및 제작하여 측정하였다.

측정된 안테나의 특성에서 -15dB 이하 반사손실 대역폭은 각각 5.417~6.03[GHz]로 10.7% 이고 4.952~6.004[GHz]로 19.2%로써 45°의 위상지연을 갖는 SRA 2×2 안테나가 439.4[MHz]로써 8.5% 더 넓은 대역을 포함하고 있다. 축비 특성은 5.4[GHz]에서 90°의 위상지연을 갖는 안테나가 2.1[dB]이고 45°의 위상지연을 갖는 안테나는 1.53[dB]이고 5.775[GHz]에서는 각각 1.75[dB], 2.81[dB]를 나타내어 두 안테나 모두 양호하였다.

방사패턴에서 elevation의 -3dB 빔폭은 90°의 위상지연 안테나가 29.5°이고 45°의 위상지연을 갖는 안테나가 30°를 나타냈다. 이득은 각각 5.4[GHz]에서 12.76[dBi]와 12.04[dBi], 5.775[GHz]에서 10.05[dBi]와 10.78[dBi]를 얻었다. 이에 반해 부엽 준위는 다소 높게 측정되었다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 가지고 종합적으로 고찰해 보면 L자형 개구 결합 구조에 SRA를 적용하였을 경우 반사손실과 축비특성이 좋아짐을 확인하였고 90°와 45°의 위상지연을 갖는 SRA 2×2 안테나를 설계하여 광대역 특성과 축비가



(a) 90°위상지연



(b) 45°위상지연

그림 16. 방사패턴(elevation)

표 3. 안테나의 시뮬레이션 및 측정 결과 비교

안테나 종류		90°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2×2 배열 안테나		45°의 위상지연을 갖는 시퀀셜 로테이션 2×2 배열 안테나	
		simulated	measured	simulated	measured
Return loss (-15 below)		870[MHz] (15.42%)	613[MHz] (10.7%)	1140[MHz] (19.9%)	1052[MHz] (19.2%)
Axial Ratio	5.4[GHz]	0.245[dB]	2.1[dB]	0.6[dB]	1.53[dB]
	5.775[GHz]	0.63[dB]	1.75[dB]	0.2[dB]	2.81[dB]
-3dB 빔폭 (elvation)		29°	29.5°	29°	30°
Gain	5.4[GHz]	10.05[dBi]	12.76[dBi]	11.5[dBi]	12.04[dBi]
	5.775[GHz]	10.76[dBi]	10.05[dBi]	11.75[dBi]	10.78[dBi]

