http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2011.22.11.1133

다층 PCB 구조를 이용한 전방향성 코리니어 안테나

Omnidirectional Collinear Antenna Using for Multi-Layer PCB Structure

정 혁 · 서 경 환

Huyk Jung · Kyoung-Whoan Suh

요 약

본 논문에서는 ISM(산업/과학/의료) 대역(2.4～2.5 GHz)에서 IEEE 802.11b/g 적용을 위한 스트립라인 구조의 코리니어 안테나를 제안하였으며, 이는 동축 코리니어 안테나와 전 방향 평면 마이크로스트립 안테나(OMA)의 단점을 보완한 것이다. 4층 PCB 구조를 이용하여 기존 안테나에 비해 개선된 특성과 제작상의 이점을 가질 수 있었다. 안테나 배열을 위해 안테나 소자들의 외부 도체와 내부 도체를 $\lambda/2$ 길이로 서로 엇갈리게 연결하여 동위상을 갖는 구조를 가지며, 상대 유전율 4.4, 손실 탄젠트(loss tangent) 0.02인 FR4 epoxy 기판을 이용하여 제작하였다. 최대 이득은 약 4.93 dBi가 측정되었으며, 기존 OMA 구조에 비하여 이득은 약 0.33 dBi 개선된 결과를 얻었다.

Abstract

In this paper, we proposed a collinear antenna with a stripline structure for IEEE 802.11b/g applications in ISM (Industrial, Scientific, Medical) band of 2.4～2.5 GHz, which supplements disadvantages of COCO(Coaxial Collinear) antenna and OMA(Omnidirectional planar Microstrip Antenna). By using the proposed 4-layer substrate, we obtained improved performances and advantages in production compared with the existing antenna. In order to get antenna arrays, the same phase structure is designed by alternatively connecting outer conductor to inner conductor with $\lambda/2$ antenna element, and the substrate of FR4 epoxy ($\epsilon_r = 4.4$, $\tan\delta = 0.02$) was used for the actual implementation. The maximum gain of about 4.93 dBi was measured, which leaded to a little improved gain of 0.33 dBi in comparison to the existing OMA structure.

Key words : Antenna, Collinear, Array, Omnidirectional, Stripline, PCB

Ⅰ. 서 론

코리니어 안테나는 수직 편파용 반파장 안테나 소자를 여러 개 수직으로 배열한 안테나이다. 각 안테나 소자들에게 동일 위상의 전류를 공급하면, 배열의 직각인 평면은 안테나로부터 오는 신호들이 모두 합쳐져서 신호의 크기가 최대가 된다. 수직 방향은 같은 위상의 전류 위치들이 반파장만큼 차이가 나므로 서로 상쇄되어 전파 복사가 거의 일어나지 않게 되어, 앙각 평면의 방향성 이득은 증가하게 된다.

본 논문에서는 기존 코리니어 안테나인 COCO (Coaxial Collinear) 안테나와 OMA(Omnidirectional planar Microstrip Antenna)[1]～[4]의 구조상 단점을 보완하고 저비용 고효율을 실현할 수 있는 Stripline Collinear Antenna(이하 SCA)를 제안하고 설계 및 제작하였다. 제작은 스트립라인(stripline) 형태의 4층 PCB

「본 연구는 강남대학교 2011년도 교내 연구비 지원에 의한 것임.」

강남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kangnam University)

· 논 문 번 호 : 20110729-077

· 교 신 저 자 : 서경환(e-mail : kwsuh@kangnam.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 9월 8일

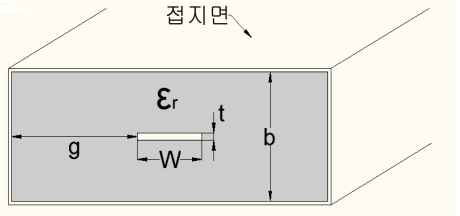


그림 1. 폐쇄 스트립라인 전송 선로 구조
Fig. 1. Transmission line structure of shielded stripline.

형태의 다층 기판을 이용하여 구현하였다. 기판은 FR4로 사용하였으며, 상대 유전율은 4.4, 손실 탄젠트(loss tangent)는 0.02이다.

Ⅱ. SCA 구조

2-1 폐쇄(Shielded) 스트립라인 해석

그림 1은 폐쇄 스트립라인의 전송선 구조를 나타낸 것이며, 이를 재현하기 위해서는 제안된 SCA를 접지 평판 사이에 비어홀(viahole)을 뚫어 단락시켜 가능하게 하였다. 비어홀의 간격을 $\lambda/4$보다 작게 하여 내부 도체가 외부 도체에 4면이 완전히 둘러싸여 있는 형태로 설계되어 있다. 이러한 구조를 폐쇄 스트립라인 구조라고 한다.

폐쇄 스트립라인 구조의 특성 임피던스는

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_r}\left[\frac{w/b}{1.0-t/b}+\frac{2.0C_f(t/b)}{\pi C_f(0)}\ln\left(1.0+\coth\frac{\pi g}{b}\right)\right]}(\Omega) \quad (1)$$

$$C_f(t/b) = \frac{\epsilon}{\pi}\left[\frac{b}{(b-t)}\ln\frac{(2.0b-t)}{t}+\ln\frac{t(2.0b-t)}{(b-t)^2}\right] \quad (2)$$

$$C_f(0) = \frac{2.0\epsilon\ln 2.0}{\pi} \quad (3)$$

로 주어진다[5]. 여기서, C_f는 가장자리 전계(fringing field) 용량이며, ϵ_r은 상대 유전율이다.

2-2 SCA PCB 패턴

본 논문에서는 다층 기판 PCB를 이용한 스트립라인 구조이다. 그림 2에서 SCA의 구조를 나타내었다.

그림 2는 4층 PCB 기판으로 실제 구현한 SCA의

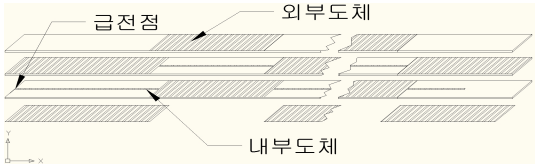


그림 2. SCA의 각 층별 PCB pattern
Fig. 2. PCB pattern of each layer for SCA.

PCB 각 층별 패턴 모양이다. 그림에서 PCB 패턴의 넓은 면은 스트립라인의 외부 도체에 해당하고, 좁은 면은 내부 도체에 해당한다. 최상 위층과 최하 위층은 외부 도체만 있고, 내부 도체는 없다.

2층과 3층 PCB 패턴은 내부 도체와 외부 도체가 반파장 길이로 교대로 구성되어 있는데, 2층의 경우 급전점에서 먼 쪽에 먼저 $\lambda/4$ 길이의 내부 도체가 있고, 다음에 반파장 길이로 교대로 외부 도체와 내부 도체가 구성되어 있다.

최하 위층과 3층의 외부 도체는 2층의 내부 도체 PCB 패턴을 양쪽에서 둘러싸고 있으며, 마주 보는 외부 도체들은 길이 방향이 아닌 넓이 방향의 가장자리에서 비어홀을 통해 서로 연결하였다. 같은 형태로 2층과 최상 위층의 외부 도체들은 3층의 내부 도체 PCB 패턴을 양쪽에서 둘러싸고 있으며, 역시 가장자리의 비어홀을 통해 서로 연결되어 있다.

그리고 급전점에서 가장 멀리 떨어진 부분에 있는 2층 PCB 패턴의 내부 도체 길이는 $\lambda/4$로 하였고, 그 끝부분은 자신이 둘러싸고 있는 최하 위층과 3층의 외부 도체 패턴과 비어홀을 통해 단락된다. 이것은 이 지점에서 전압이 0이 되게 하여 전체 반파장의 주기를 가지고 공진이 가능하도록 하기 위한 것이다.

그림 3은 SCA의 내부의 전계 및 전압과 전류 분포를 안테나 단면에 표시한 것이다. 그림에서 빗금친 면적 부분은 외부 도체 부분이고, 무늬가 없는 면적 부분은 내부 도체 부분이다. 최상 위층과 최하 위층은 내부 도체가 없기 때문에 표시하지 않았다.

급전선에서 가장 먼 곳의 단락 부분은 전압과 전계가 0이 되고, 이 값은 반파장을 주기로 급전점으로 위치를 옮기면서 반복됨을 볼 수 있다. 또한, 각 배열 소자인 외부 도체에 분포된 전압과 전류가 모두 동일 위상을 갖는 것을 볼 수 있다.

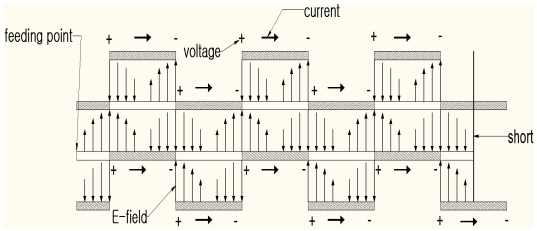


그림 3. PCB 단면에서 본 전계와 전압 및 전류
Fig. 3. Electric field, voltage and current from PCB cross section.

Ⅲ. SCA 설계

앞서 설명한 SCA를 설계하여 HFSS v.12로 시뮬레이션을 하였다. 설계 시 유전체는 FR4 epoxy(ϵ_r = 4.4, tanδ=0.02)를 사용하였으며, 안테나 전체의 입력임피던스는 50 Ω이 되도록 하였다. 또한, 계산은 FEM 방식으로 구현하였다. 그림 4는 5-어레이 SCA에 대한 시뮬레이션 결과로 안테나의 지향성 패턴이며, 방위각(H-면) 및 앙각(E-면)에 대해 나타내었다. 방위각에 대해서는 전 방향으로 일정한 형태를 보여주고 있다. 표 1은 시뮬레이션 결과를 정리해 놓은 것이다.

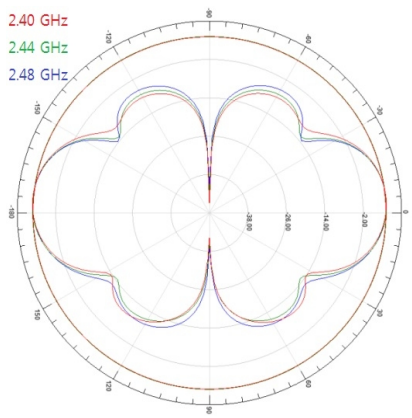


그림 4. 5-어레이 SCA 지향성 패턴
Fig. 4. Directivity patterns of 5-array SCA.

표 1. 시뮬레이션 결과
Table 1. Simulation results.

Frequency(GHz)	2.40	2.45	2.50
Directivity (dB)	5.39	5.61	5.73

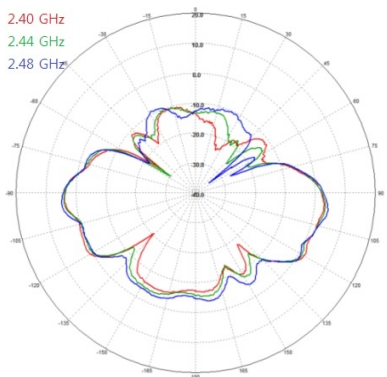
그림 5. 제작된 5-어레이 SCA
Fig. 5. Fabricated 5-array SCA.

Ⅳ. SCA 제작 및 측정

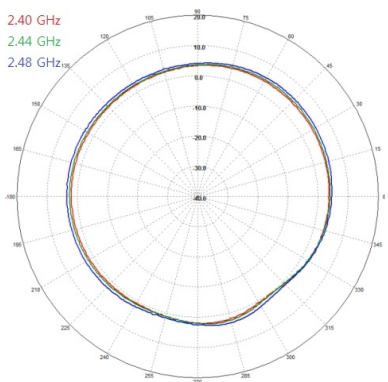
설계된 FR4 SCA를 제작하여 측정한 후, 그 결과를 분석하였다. 또한, 기존 구조의 코리니어 안테나를 비교 분석하여 그 특성의 개선 정도를 확인하였다.

제작에서 사용한 PCB는 FR4 재질의 유전체를 갖는 4층 기판을 사용하였고, 내부 도체의 폭은 스트립라인의 50 Ω 임피던스를 갖도록 하였으며, 외부 도체의 폭은 내부 도체 폭의 약 10.5배로 하였다.

그림 5는 제작된 5단 SCA 실물이며, 전체 크기는 6.6×175.5×1.2 (mm)^{3}이다. 그림 6은 제작된 SCA의 이



(a) E-면 pattern



(b) H-면 pattern

그림 6. 측정된 방사 패턴
Fig. 6. Measured radiation patterns.

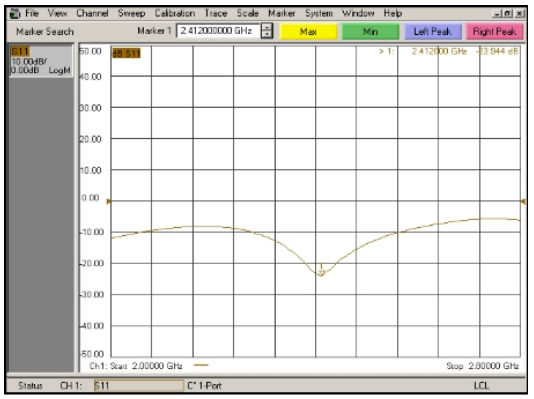


그림 7. 측정된 반사 계수
Fig. 7. Measured return loss.

표 2. 측정 데이터 비교
Table 2. Comparison of measured data.

Antenna type	5-array COCO[6]	5-array OMA with teflon[3]	Proposed 5-array SCA with FR4
Peak gain (dBi)	2.9	4.6	4.93
Size (mm)	244	16.25×256	6.6×175.5

득 패턴을 측정한 값이다. 측정 주파수 대역은 2.4 ~2.5 GHz이며, 2.4, 2.45, 2.5 GHz에서 측정된 이득은 각각 3.78, 4.16, 4.84 dBi이며, 최대 이득은 2.48 GHz에서 4.93 dBi가 측정되었다. 또한, 방위각 패턴은 전방향성을 나타내며, 앙각 패턴은 수평 방향에서 이득이 최대가 됨을 알 수 있었다. 그림 7은 ISM 주파수 대역에서 반사 계수를 측정한 값이며, 2.41 GHz에서 −23.94 dB가 측정되었다.

표 2는 기존의 COCO(Coaxial Collinear) 안테나와 OMA(Omnidirectional planar Microstrip Antenna)의 측정 결과를 비교한 것이다.

비교 결과에 의하면 제안된 안테나는 크기와 이득 면에서 기존 안테나보다 우수한 성능을 나타내었다. 손실이 높은 유전체를 사용하였음에도 불구하고 OMA와 비교하여 0.33 dBi 개선된 이득을 보여주고 있다. 또한, 높은 유전율의 유전체를 사용하여 크기에서도 좀 더 소형화시킬 수 있었다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 기존 코리니어 안테나의 구조상 단점을 보완하고 저비용 고효율을 실현할 수 있는 스트립라인 코리니어 안테나(Stripline Collinear Antenna: SCA)를 제안하고 설계 및 제작하였다.

제안된 SCA는 OMA와 비교하여 높은 유전율의 유전체를 사용하여 크기 면에서도 소형화시킬 수 있었고, 손실이 높은 저렴한 기판을 이용하여 제작하였음에도 불구하고 좀 더 개선된 이득을 얻을 수 있었다. 또한, COCO 안테나와 OMA처럼 수작업이 필요 없게 되어 양산성과 비용 절감의 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

끝으로 제안된 SCA는 설계시 관련 변수의 크기를 조절하여 타 주파수 대역에서도 적용이 가능하며, 이에 대한 연구가 진행 중에 있다.

참 고 문 헌

[1] T. J. Judasz, B. B. Balsley, "Improved theoretical and experimental models for coaxial collinear antenna", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 37, no. 4, pp. 289-296, Mar. 1989.

[2] B. Oblivion, C. Kaboom, "A 2.4 GHz vertical collinear antenna for 802. 11 applications".

[3] R. Bancroft, B. Bateman, "An omnidirectional planar microstrip antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 11, pp. 3151-3153, 2004.

[4] US Patent Application Publication Pub. No. US-2004/0201525A1.

[5] B. C. Wadell, *Transmission Line Design Handbook*, Artech House, Inc., 1991.

[6] D. Pozar, "Directivity of omnidirectional antenna", *IEEE Antennas and Propagation Magazine (Antenna Designer's Notebook)*, Hal Shrank Ed. vol. 35, no. 5, pp. 50-51, Oct. 1993.