이중 커플드 라인을 이용한 이중 대역 적층형 미앤더 라인 안테나

Design of Dual-band Stacked Meander Line Antenna with Double Coupled Line

정진우 · 서인종 · 이현진* · 임영석

Jin-Woo Jung · In-Jong Seo · Hyeon-Jin Lee* · Yeong-Seog Lim

요 약

본 논문은 이동 통신 단말기에 사용되는 DCS, PCS / 위성 DMB 이중 대역에서 동작하는 이중 커플드 라인을 이용한 적층형 미앤더 칩 안테나의 설계 및 제작 측정에 관한 논문이다. 안테나의 면적을 줄이기 위한 적층형 미앤더 구조를 구현하기 위해 유전체의 윗면과 아랫면에 인쇄되어 있는 미앤더 부분을 직경 0.35 mm 그리고 높이 0.8 mm인 비아를 사용하였다. 그리고 이중 대역 동작을 위해 적층형 미앤더 구조에 이중 커플드 라인을 연결하였다. 이중 대역 동작 주파수 간 비는 커플드 라인의 구조 변수에 의해 변화된다. 제작된 안테나는 유전율이 4.2인 FR-4 기판을 사용하였고 면적은 15.2×7×0.8 mm^3이다. 측정된 대역폭(VSWR<2)은 DCS, PCS 대역에서 244 MHz이고 위성 DMB 대역에서 120 MHz이다.

Abstract

This paper presents the design simulation, implementation, and measurement of a miniaturized DCS, PCS / Satellite DMB dual-band stacked chip antenna with double coupled line for mobile communication terminals. A stacked meander is realized by using a via hole with height of 0.8 mm and a diameter of 0.35 mm to connect upper- and lower-layer meander sections for a reduction of the dimensions of the antenna. In addition the stacked meander chip antenna is extended by a double coupled-line to achieve two different radiation modes. A ratio of the first frequency and second frequency vary with the geometrical parameter of coupled lines. The fabricated antenna used FR-4 substrate with relative permittivity of 4.2. And its dimensions are 15.2×7×0.8 mm^3. The measured impedance bandwidth(VSRW<2) are 244 and 120 MHz at the operating frequency, respectively.

Key words : Meander, Stacked, Coupled Line, Dual-band, Antenna

Ⅰ. 서 론

무선 통신 기술의 발달로 인해서 이동 통신 단말기는 소형화와 다중 대역 동작화 되고 있다. 따라서 무선 통신 단말기의 중요한 부품 중에 하나인 안테나 또한 소형화와 다중 대역 동작이 요구된다. 일반적인 이동 통신 단말기에서는 구현하기 쉬운 형태인 휩(whip) 안테나와 같은 선형 안테나가 많이 사용되었다. 선형 안테나를 소형화하기 위한 방법으로는 선형 구조를 스파이럴(spiral), 헬릭스(helix) 혹은 미앤더(meander) 등의 형태로 변형하는 방법이 있다[1]~[3]. 그리고 서로 다른 층의 미앤더 혹은 헬리컬 구조

「이 연구는 2006학년도 전남대학교 2단계 BK21 사업의 연구비 지원으로 연구되었음.」

전남대학교 전자공학과(Deptment of Electronics Engineering, Chonnam National University)

*동강대학 전기전자공학과(Department of of Electronics and Information, DongKang College)

· 논 문 번 호 : 20060901-102

· 수정완료일자 : 2006년 9월 29일

의 방사체를 서로 다른 층으로 나누고 비아를 통하여 적층하는 구조를 이용하여 더욱 소형화할 수 있다[4],[5].

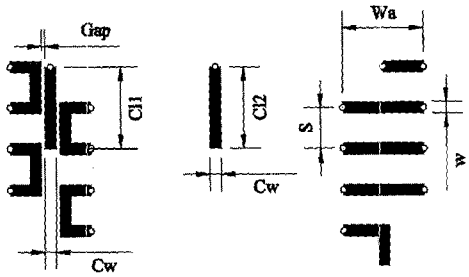
이중 대역에서 동작하는 안테나의 구조는 커플드 라인을 이용한 구조, 기생 소자를 삽입한 구조 그리고 일정하지 않는 권선 간격을 갖는 헬릭스 구조 등이 있다[4]~[7]. 본 논문에서는 면적을 줄이고 이중 대역에서 동작하는 안테나를 구현하기 위해 이중 커플드 라인을 이용한 적층형 미앤더 구조를 제안하였다.

적층형 미앤더 안테나는 미앤더 부분을 유전체의 서로 다른 면에 인쇄하고 비아를 통해서 연결한다. 미앤더 라인 안테나를 적층형으로 구성하게 되면 안테나의 면적을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 커플드 라인에 의한 이중 대역 동작을 유도하는 커플링 효과를 최대화 할 수 있기 때문에 효율적인 구조이다. 커플드 라인을 이용한 안테나는 미앤더 부분과 커플드 라인 사이의 커플링 효과에 의한 내부 인덕턴스 변화를 이용하여 이중 대역에서 동작하게 된다[4]. 그러나 기존의 단일 커플드 라인을 이용한 적층형 미앤더 안테나의 경우 임의의 동작 대역간 주파수 비를 설정하기 위해서는 커플드 라인의 세밀한 길이 조절이 필요하였다. 본 논문에서 제안한 이중 커플드 라인의 경우, 서로 다른 커플드 라인 사이의 커플링 효과가 존재하기 때문에 이를 통하여 세밀한 길이 조절 없이 임의의 주파수 간 비를 세밀하게 설정할 수 있다.

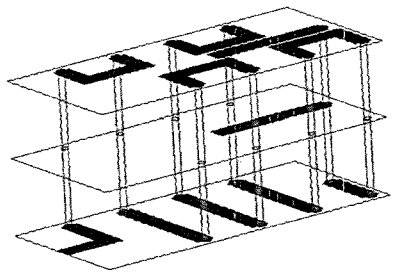
본 논문에서는 DCS(Digital Communication System, 1.71~1.88 GHz), PCS(Personal Communication Services, 1.85~1.99 GHz)/위성 DMB(Satellite Digital Multimedia Broadcasting, 2.605~2.655 GHz)에서 동작하고 각 대역에서 전방향성 특성을 갖는 이중 커플드 라인을 이용한 적층형 미앤더 칩 안테나를 설계 및 제작 측정하였다.

Ⅱ. 적층형 미앤더 라인 안테나의 구조

이중 대역에서 동작하는 이중 커플드 라인을 이용한 적층형 미앤더 라인 안테나는 유전율이 4.2이고, 두께가 0.4 mm인 FR-4 기판을 2층으로 적층하여 구현되었다. 그림 1은 안테나의 각 단면과 3차원 구조도를 보여준다. 상층면에는 미앤더형 방사체의 일



(a) 평면도
(a) Plane figure



(b) 3차원 구조도
(b) 3-D figure

그림 1. 제안한 안테나의 구조도
Fig. 1. Geometry of the proposed antenna.

부분과 미앤더 부분 사이에 있는 커플드 라인이 인쇄되어 있다. 중간층에는 또 다른 커플드 라인이 상층의 커플드 라인과 같은 위치에 인쇄되어 있다. 하층면에는 상층면에 인쇄되지 않은 나머지 방사체가 인쇄되어 있다. 방사체는 높이가 0.8 mm이고 직경이 0.35 mm인 비아를 통해 연결되어 있다. 제안한 안테나의 면적은 15×7×0.8 mm^3이다.

제안한 안테나의 급전부는 그림 2와 같이 CPW (Coplanar Waveguide)를 사용하였다. 급전부는 유전율이 4.2이고 높이가 0.8 mm인 FR-4 기판을 사용하였고, 면적은 바(bar) 형태의 안테나에 일반적으로 사용되는 40×80×0.8 mm^3이고, 접지면의 면적은 35×45 mm^2이다. 그리고 안테나와 접지면은 원활한 급전을 위해 2.2 mm의 간격을 두었다. 제안한 안테나는 DCS, PCS/위성 DMB에서 동작하기 위한 구조 변수를 선택하였다. 표 1은 구조 변수 값을 나타낸다.

Ⅲ. 적층형 미앤더 라인 안테나의 설계

커플드 라인을 이용한 미앤더 안테나는 미앤더

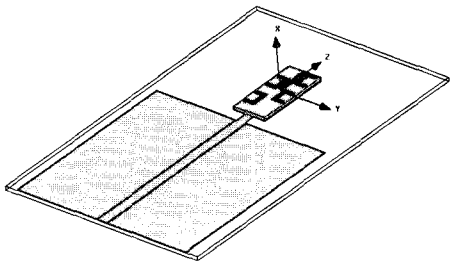


그림 2. 제안한 안테나의 급전 구조
Fig. 2. Feeding structure of the proposed antenna.

표 1. 구조 변수 값
Table 1. The value of the design parameter.

Wa	6.0 mm	안테나의 폭
w	0.85 mm	안테나 선로의 폭
S	3.0 mm	미앤더 간 간격
Cl1	6.0 mm	커플드 라인의 길이(상층면)
Cl2	6.0 mm	커플드 라인의 길이(중간면)
Cw	0.85 mm	커플드 라인의 폭
Gap	0.25 mm	미앤더와 커플드 라인의 간격

부분과 커플드 라인에 의한 커플링 효과에 의해서 이중 대역 동작이 유도된다. 낮은 동작 주파수에서의 커플드 라인의 전류 분포는 미앤더 라인이 지향하는 방향과 반대 방향을 향해 동작 주파수가 같은 길이를 갖는 선형 모노폴 안테나에 비해 상대적으로 높은 대역에서 동작하게 되고 높은 동작 주파수에서의 커플드 라인의 전류 분포는 미앤더 라인이 지향하는 방향과 같은 방향 성분을 증가시키기 때문에 상대적으로 낮은 대역에서 동작하게 된다. 따라서 커플드 라인과 미앤더 부분의 거리와 커플드 라인의 길이에 의해 주파수 비가 변화된다[4]. 미앤더 부분을 그림 3과 같이 적층형으로 구성할 경우, 안테나의 면적을 소형화 할 수 있을 뿐 아니라 커플드 라인이 미앤더 부분 사이에 위치하게 되어 커플링 효과를 최대화 할 수 있게 된다.

이 경우, 동작 주파수간 비는 커플드 라인의 길이 그리고 커플드 라인과 미앤더 부분의 간격에 의해 변화하게 된다. 이중 대역 동작 주파수 간 비는 커플드 라인의 길이에 의해서 가장 영향을 많이 받게 된다[4].

제안한 이중 커플드 라인을 이용한 적층형 미앤더 안테나는 그림 1과 같이 커플드 라인을 이중으로 구성하였다. 단일 커플드 라인은 커플드 라인의 길이가 길어짐에 따라 커플링 효과가 커지게 되고 이에 의해 동작 주파수 간 비가 달라지게 된다. 그러나 커플드 라인의 단위 길이 변화(1 mm)에 따른 동작 주파수 간 비가 많이 변하기 때문에 임의의 원하는 주파수 간 비를 설정하기 위해서는 세밀한 길이 변화가 필요하여 제작상 어려움이 따르게 된다.

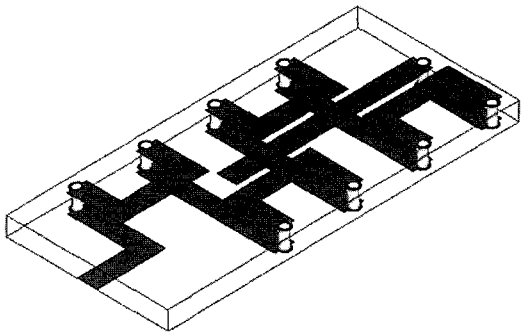


그림 3. 단일 커플드 라인을 이용한 적층형 미앤더 안테나
Fig. 3. Stacked meander line antenna with single coupled line.

그림 4는 단일 커플드 라인을 이용한 적층형 미앤더 안테나에서 커플드 라인의 단위 길이 변화(1 mm)에 따른 동작 주파수와 주파수 간 비를 보여준다.

이중 커플드 라인의 경우, 각각의 커플드 라인의 전류 분포는 그림 5와 같이 같은 방향이다. 따라서

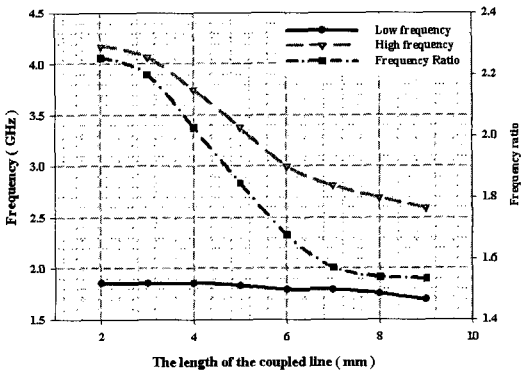


그림 4. 단일 커플드 라인 미앤더 안테나의 커플드 라인 길이에 따른 주파수 비
Fig. 4. Frequency ratio as a length of a coupled line in meander line antenna with single coupled line.

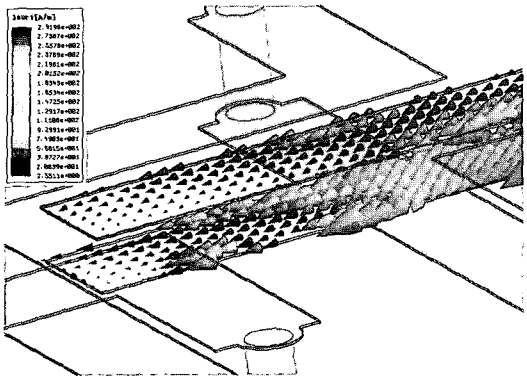


그림 5. 동작 주파수에서 이중 커플드 라인의 전류 분포

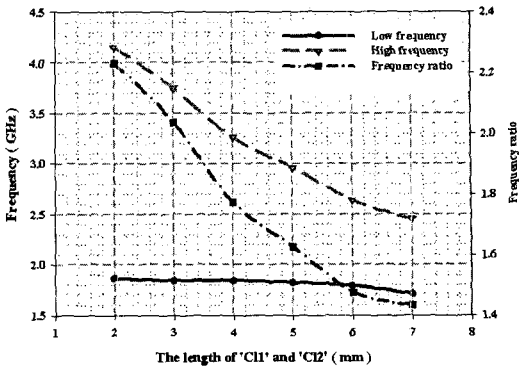
Fig. 5. Current vector distribution at operating frequency.

커플드 라인 사이에는 가동 상호 인덕턴스가 발생하게 되어 단일 커플드 라인보다 길이를 줄일 수 있다[8].

커플드 라인 사이의 가동 상호 인덕턴스는 각각의 커플드 라인의 길이에 의해서 변하게 된다. 따라서 커플드 라인과 미앤더 부분의 커플링 효과는 각각의 커플드 라인의 길이에 따라 변하게 된다. 그 결과 동작 주파수 간 비를 변화시킬 수 있는 요인도 늘어나게 되어 단위 길이 변화(1 mm)에 의해서도 세밀한 주파수 간 비를 설정할 수 있게 된다. 그림 6은 'Cl1'과 'Cl2'의 길이 변화에 따른 동작 주파수와 주파수 간 비를 보여준다.

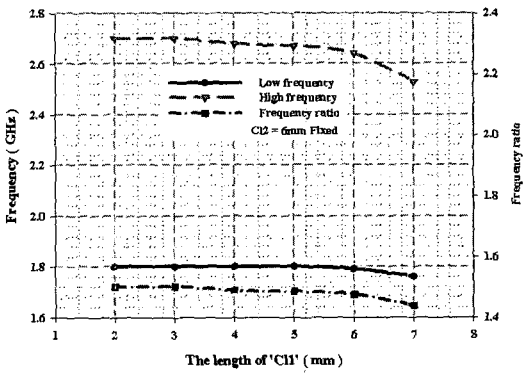
기존의 단일 커플드 라인의 경우, 커플드 라인의 단위 길이 변화(1 mm)에 따른 주파수 간 비가 1.557에서 2.553까지 변하였다. 따라서 임의의 주파수 간 비를 설정하기 위해서는 커플드 라인의 세밀한 길이 변화가 필요하다.

이중 커플드 라인의 경우, 'Cl1'과 'Cl2'가 같이 변할 경우 주파수 비는 1.437에서 2.231까지 변하였다. 그리고 'Cl2'가 6 mm로 고정인 상태에서 'Cl1'의 변화를 주었을 경우, 1.437에서 1.5까지 변하게 되고, 'Cl1'이 6 mm로 고정인 상태에서 'Cl2'의 변화를 주었을 경우, 1.427에서 1.646까지 변하였다. 따라서 이중 커플드 라인을 사용하였을 경우, 단위 길이 변화(1 mm)에 의해서도 주파수간 비를 세밀하게 설정할 수 있어 임의의 주파수 비를 갖는 안테나 설계를 쉽게 할 수 있다.



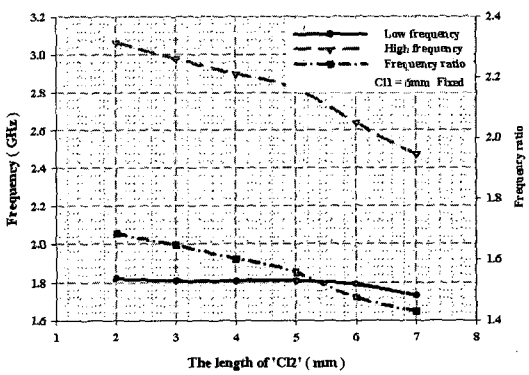
(a) 'Cl1'과 'Cl2'가 같이 변할 경우

(a) As a 'Cl1' and 'Cl2'



(b) 'Cl1'만 변할 경우

(b) As a 'Cl1'



(c) 'Cl2'만 변할 경우

(c) As a 'Cl2'

그림 6. 동작 주파수와 주파수 간 비

Fig. 6. Operating frequency and frequency ratio.

커플드 라인을 이용한 안테나의 경우, 커플드 라인의 전류 분포 방향이 미앤더 안테나의 전류가 지향하는 방향과 반대 방향이어서 커플드 라인이 길어지게 되면 안테나가 비효율적으로 동작하게 된다[8]

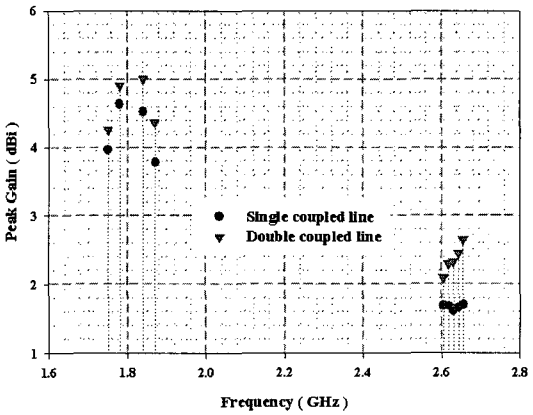


그림 7. 각 동작 주파수에서 최대 이득
Fig. 7. Peak gain at operating frequency.

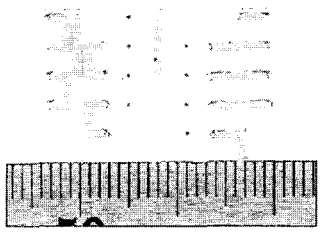
따라서 이중 커플드 라인을 사용하면 단일 커플드 라인을 사용할 경우보다 커플드 라인의 길이를 줄일 수 있어 효율 또한 높아지게 된다. 그림 7은 안테나의 전체 면적이 15×7×0.8 mm^3이고 적층형 미앤더의 구조 또한 같으면서 단일 커플드 라인을 사용한 경우와 이중 커플드 라인을 사용한 경우의 안테나를 DCS, PCS/위성 DMB 이중 대역에서 동작하도록 커플드 라인의 길이를 설정한 후 각 안테나의 동작 주파수에서의 최대 이득이다.

단일 커플드 라인의 DCS, PCS와 위성 DMB 대역에서 최대 이득이 각각 4.6과 1.7 dBi었으나 이중 커플드 라인의 경우, 5.0과 2.65 dBi로 단일 커플드 라인 안테나의 경우보다 높게 나왔다.

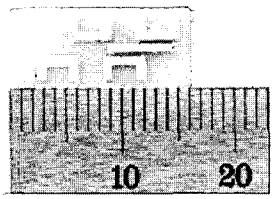
Ⅳ. 제작 및 측정

그림 8은 제작된 안테나를 보여준다. 모의실험에 의한 안테나의 전체 면적은 15×7×0.8 mm^3이었으나, 제작 공정의 공차로 인해 15.2×7×0.8 mm^3으로 제작되었다.

그림 9는 표 1의 구조 변수 값을 이용하여 제안한 안테나의 HFSS 9.2를 이용한 모의실험과 제작 측정한 반사 손실 그래프를 보여준다. 측정된 반사 손실 그래프는 의도한 대역에서 잘 동작함을 알 수 있다. 그러나 제작 과정의 오차에 의해서 모의 실험 결과와 약간의 차이가 남을 알 수 있다. 측정한 대역폭(VSWR<2)은 낮은 대역에서 244(1.694~1.938 GHz) MHz이고, 높은 대역에서는 120(2.598~2.717 GHz)



(a) 층별 내부 구조
(a) Inner structure



(b) 전체 구조
(b) Geometry of the antenna

그림 8. 제작된 안테나
Fig. 8. The fabricated antenna.

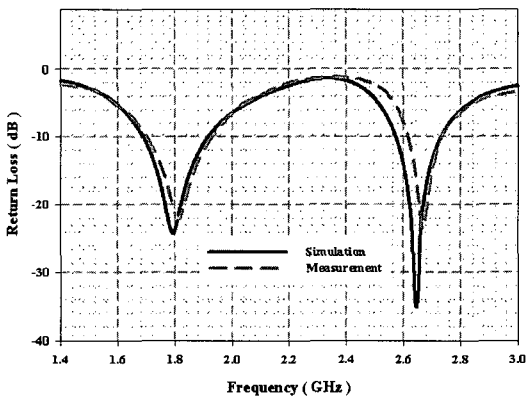


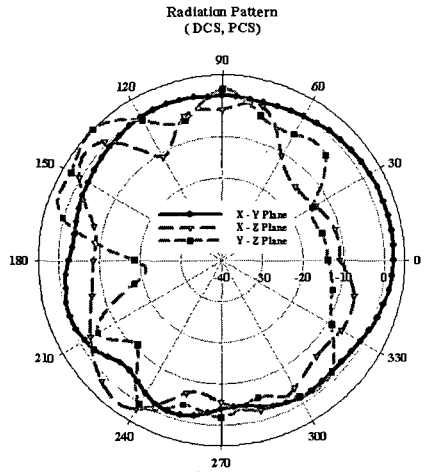
그림 9. 모의 실험과 제작 측정한 반사 손실 그래프
Fig. 9. Simulated and measured return loss.

MHz이다. 이는 DCS(1.71~1.88 GHz), PCS(1.75~1.87 GHz) 그리고 위성 DMB(2.605~2.655 GHz)에서 동작하기에 충분한 결과이다.

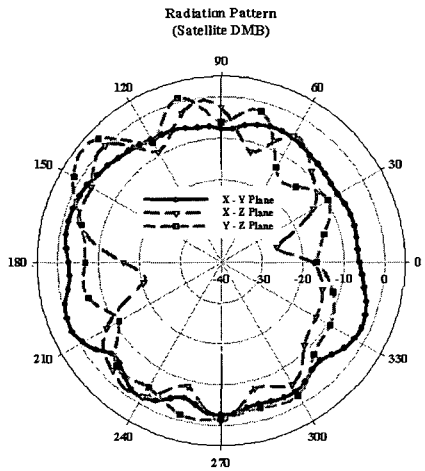
그림 10은 각 동작 대역에서 측정한 방사 패턴이다. 방사 패턴은 전방향성 특성을 보여준다. DCS, PCS와 위성 DMB 동작 주파수에서의 최대 이득은 5.0과 2.31 dBi를 갖는다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 안테나의 소형화와 이중 대역 동



(a) 1.80 GHz



(b) 2.63 GHz

그림 10. 측정된 방사 패턴
Fig. 10. Measured radiation pattern.

작을 효과적으로 유도하기 위한 방법으로 적층형 미앤더 안테나를 제안하였다. 또한 이중 커플드 라인을 사용하여 기존의 단일 커플드 라인 미앤더 안테나에 비하여 주파수간 비를 쉽게 설정할 수 있고, 커플드 라인의 길이를 줄여 이득 또한 높였다. 제작한 안테나는 DCS, PCS/위성 DMB 이중 대역에서 동작한다. 안테나의 전체 면적은 15.2×7×0.8 mm^3이다. 각 동작 대역에서의 VSWR<2 기준의 대역폭은 244와 120 MHz이고 최대 이득은 5.0과 2.31 dBi이다. 제안한 안테나는 FR-4 기판을 사용하여 낮은 제작 단가와 쉽게 제작할 수 있는 장점이 있다.

제안한 이중 커플드 라인을 이용한 적층형 미앤더 안테나 구조를 이용하면 이동 통신 단말기 안테나 설계에 유용할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] K. Fujimoto, "Small-sized antenna", *IEICEJ*, vol. 60, pp. 391-397, 1977.

[2] K. Fujimoto, "Trend of research for small-sized antenna", *IEICEJ*, vol. 70, pp. 830-838, 1987.

[3] Hisamatsu Nakano, *Helica and Spiral Antennas*, John Wiley & Sons, Inc.

[4] Jinwoo Jung, Hyeonjin Lee, Jaechun Lee, and Yeongseog Lim, "Dual band meander line antenna using coupled line", *ICEIC*, vol. 1, pp. 118-121, 2006.

[5] 정진우, 이현진, 임영석, "기생 패치를 이용한 적층형 듀얼밴드 헬릭스 칩 안테나", 마이크로파 및 전파전파학술대회 논문집, 29(1), pp. 133-136, 2006년 5월.

[6] G. Zhou, "A non-uniform pitch dual band helix antenna", *Antenna and Propagation Society International Symposium, IEEE*, vol. 1, pp. 274-277, 2000.

[7] Horng-Dean Chen, Wen-Shyang Chen, Yuan-Tung Cheng, and Yin-Chang Lin, "Dualband meander monopole antenna", *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE*, vol. 3, pp. 48-51, 2003.

[8] S. R. Best, "The effectiveness of space-filling fractal geometry in lowering resonant frequency", *Antenna and Wireless Propagation Letters*, vol. 1, pp. 122-115, 2002.

정 진 우

2005년: 전남대학교 정보통신공학부 전자공학전공 (공학사)
2005년~현재: 전남대학교 전자정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 초고주파 회로 설계

이 현 진

1982년: 조선대학교 전기공학과 (공학사)
1990년: 원광대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년: 전남대학교 전자공학과 (공학박사)
1997년~1998년: 펜실베니아 주립대학 방문교수
1991년~현재: 동강대학 전기전자공학과 교수
[주 관심분야] 소형안테나 설계 및 해석, E/M 해석

서 인 종

2001년: 호남대학교 전파공학과 (공학사)
2004년: 전남대학교 전자공학과 (공학석사)
2004년~현재: 전남대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 초고주파 회로 설계

임 영 석

1980년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1982년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1989년: 전북대학교 전자공학과 (공학박사)
1984년~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
[주 관심분야] 전자파 해석, RF 소자설계, 초고주파 회로 설계