Flexible Antenna의 Bending 특성

Bending Characteristic of a Flexible Antenna

김호진 · 이선현 · 이영훈 · 이상석*

Ho-Jin Kim · Seon-Hyeon Lee · Young-Hun Lee · Sang-Seok Lee*

요 약

본 논문에서는 Flexible-PCB에 제작된 안테나를 구부렸을 때의 특성 변화를 살펴보았다. Polyimide로 이루어진 Flexible-PCB는 유전율 3.5, 두께 0.125 mm를 가진다. 제안된 안테나는 Bluetooth 대역을 만족하는 기본적인 장방향 루프 안테나와 입력부에 Inverted-L 형태의 스티브를 추가한 안테나이다. 제안된 두 가지 안테나 모델에 대하여 8가지 조건의 bending 변화를 통해 bending 정도에 따른 입력 정합 특성과 방사 형태를 비교하였다.

Abstract

In this paper, we studied characteristics of the bent antenna fabricated on Flexible-PCB. Flexible-PCB consisting of a polyimide has dielectric constant 3.5, thickness 0.125 mm. Proposed antennas which operates at Bluetooth band are a rectangular loop antenna and a loop antenna with inverted-L type stub. We compared the input matching and radiation characteristics of the proposed antennas under eight kinds of bending conditions.

Key words : Rectangular Loop Antenna, Bending, Flexible-PCB, Bluetooth

I. 서 론

최근 Wearable 시스템, Flexible 모바일폰, Flexible E-book과 같은 기술을 위한 Flexible 부품과 소재에 대한 연구가 활발히 진행 중이며^{[1]~[3]}, 특히 Flexible - PCB의 특성을 파악하는 척도 중 하나가 Flexible 기판 위에 제작된 마이크로스트립 전송 선로 혹은 안테나이다. Flexible 기판 위에 제작된 안테나는 내구성이 뛰어나며, 안테나의 특성을 그대로 나타낼 수 있어 기기의 거치 공간 활용을 위해 필름형 안테나로 이용되기도 한다^{[4],[5]}.

Flexible Device 혹은 Flexible 안테나의 중요한 특성 중 하나는 바로 structure의 bending 특성이다. 특

히 안테나의 bending 구조는 방사 소자 간 상호 전자기 결합으로 주파수 응답의 변화를 유도하며, 이러한 변화는 무선 통신 서비스에 큰 혼선을 가져올 수 있다^{[6]~[8]}.

본 논문에서는 balanced 구조의 안테나의 bending 구조를 제안하고, 대칭 구조의 방사 소자가 가까이 결합하였을 때 안테나의 성능 변화에 대해 실험하였다. Flexible한 기판 위에 장방향 루프 안테나를 제작하고, 평면 구조와 bending 구조를 가질 때의 특성을 비교하였다. 또한, 장방향 루프 안테나에 수직 스티브를 추가하여 동작 주파수는 유지하며 주방사 구조가 장방향 루프와 수직을 이루도록 전류 분포의 변화를 유도하였으며, 달라진 전류 분포가 bending 특

「This work was supported by the IT R&D program of MKE(2008-F024-02, Development of Mobile Flexible Input/Output Platform).」

금오공과대학교 전자공학부(Department of Electronic Engineering, K.I.T)

*한국전자통신연구원 융합부품·소재연구부문 신소재·소자연구부 전자중기기술연구팀(Convergence Components & Materials Research Laboratory New Devices & Materials Research Department Electronic Paper Technology Research Team, ETRI)

· 논문 번호 : 20110721-02S

· 교신저자 : 이영훈(e-mail : radiollee@kumoh.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 9월 7일

성에 어떤 영향을 미치는지 확인하기 위해 장방형 루프 안테나와 장방형 루프 안테나에 스테브가 추가된 안테나의 bending 특성에 대해 고찰하였다.

II. 장방형 루프 안테나

그림 1은 $70 \times 30 \times 0.125 \text{ mm}^3$ 의 면적에 polyimide ($\epsilon_r = 3.5$) 재질을 가지는 기판 위에 제안된 장방형 루프 안테나이다. 장방형 안테나 전체의 둘레 길이는 P , 장방형에서 긴 변과 짧은 변의 길이 비를 γ 로 표시하며, $P=2(H+W)$, $\gamma=H/W$ 가 된다. 루프의 입력 임피던스는 도체의 반경과 P 의 함수로 나타낼 수 있으며, γ 의 크기에 따라 정합 특성이 매우 민감하게 변하고, P 가 약 1λ 의 길이를 가질 때 리액턴스 값이 0이 된다^[9]. 제작된 장방형 루프는 2.4 GHz에서 동작하며, FEM 해석 툴을 이용하여 최적화를 진행하고 안테나 특성에 대해 모의 실험하였다. 안테나의 전류 분포는 그림 1과 같으며, H 소자를 중심으로 대칭을 이루는 형태를 보인다. 또한, 급전점 기준으로 루프 중심에서 수직 방향으로 최대 전류 분포를 가진다.

그림 2는 장방형 안테나의 bending 조건을 나타냈다. Bending 형태는 안테나 구조의 중심을 기준으로 수직(VB), 수평(HB) 방향으로 bending 되며, 기판의 한쪽 변을 원호(arc)로 정하고, 이 원호를 형성하는 부채꼴의 각도를 degree로 설정하였다. 소자 간 결합 거리에 따른 안테나 특성의 변화를 알아보기 위해 $90^\circ \sim 360^\circ$ 로 각도의 변화를 설정하였다.

그림 3은 제작된 장방형 루프 안테나가 그림 2의 bending 구조를 가질 때 입력 정합 특성을 나타낸 것

그림 1. 장방형 루프 안테나
Fig. 1. Rectangular loop antenna.

그림 2. 안테나의 bending 조건
Fig. 2. The bending conditions of antenna.

으로, 대부분 모의실험 결과와 측정치가 일치한다.

그림 1의 평면형 루프와 달리 bending 구조를 가질 때 안테나의 입력 정합 특성은 많은 변화를 보인다. 특히 VB 구조일 때 각도가 180° 이상이면 안테나의 입력 임피던스는 동작 영역을 벗어나게 된다. 대칭적인 전류 분포를 가지는 장방형 루프의 경우 그림 3과 같은 VB 구조일 때 안테나의 마주 보는 소자가 서로 반대 방향의 전류를 가지며, 소자의 결합 거리가 가까우므로 이러한 영향을 크게 가지는 것으로 예상된다. 이와 같은 VB 구조의 변화는 그림 4와 같이 γ 의 변화와 유사함을 입력 정합 특성의 변화로 알 수 있다. 이 때 안테나의 전체 둘레 길이($P=2(H+W)$)는 거의 일정하다. γ 와 VB의 각도의 크기가 비례할 때 유사한 특성을 보이며, 소자 간의 결합 거리가 가까울수록 더욱 해석 결과가 유사함을 알 수 있다. 그림 9의 장방형 루프의 방사 형태를 통해서 bending 각도의 크기에 따라 지향성이 커지는 것으로 bending 각도의 증가함에 따라 증가적으로 γ 의 크기도 증가함을 알 수 있다.

그림 3. 그림 2의 bending 구조에 따른 장방형 루프 안테나 입력 정합 특성
Fig. 3. Rectangular loop antenna's input matching under bending conditions in Fig. 2.

위와 같이 장방형 안테나의 bending 구조에 의한 방사 소자 간 결합이 안테나의 정합 특성에 미치는 영향을 실험하였으며, 안테나의 전류 분포와 소자 간의 결합거리가 입력 정합 특성에 많은 영향을 끼치는 것을 확인하였다.

Ⅲ장에서 안테나가 같은 구조를 가질 때 전류 분포의 변화에 따라 안테나 성능에 어떤 변화를 가져

그림 4. 안테나의 bending 특성과 γ 의 변화에 대한 성능 비교
Fig. 4. Performance comparison between bending characteristics and variations of γ of antenna.

오는지 알아보기 위해, 장방형 루프의 안테나에 스티브를 추가한 안테나와 장방형 루프의 planar와

bending 구조일 때 안테나 특성을 실험하고 비교하였다.

III. 스테르브가 추가된 장방형 루프 안테나

3-1 Planar 특성

장방형 루프의 입력부에 그림 5와 같이 스테르브를 추가하여 안테나의 입력 임피던스 변화를 확인하였다. 그림 5에 나타난 안테나의 전체 둘레 $P(P=2 \times (H+W)=2 \times (26.1 \text{ mm} + 48.8 \text{ mm}))$ 를 고정된 상태에서 직선 스테르브 L 의 길이 변화는 2.4 GHz 공진점은 유지한 채 L 의 길이 변화에 따라 주변의 새로운 공진점을 유도하게 된다. 또한, 직선 스테르브를 역-L형 스테르브 형태로 folded 구조를 만들었을 때 F 의 길이 변화에 따라 리액턴스의 변화가 크게 나타났으며, 매칭 성능을 높이게 되었다. 제안된 스테르브의 길이 변화는 2.4 GHz의 공진점은 그대로 유지하면서 루프의 물리적인 길이의 증가로 전류 분포를 변화하게 된다.

그림 5. 장방형 루프에 추가된 스테르브와 스테르브 길이에 따른 입력 정합 특성

Fig. 5. Rectangular loop with stub L and F , and effect of the stub length on input matching.

그림 6. 스테르브의 길이에 따른 방사 패턴 변화

Fig. 6. Radiation pattern variations to the different stub length.

그림 6(a)에서 볼 수 있듯이 장방형 루프의 경우 급전점에서 수평 방향으로 최대 전류점을 가지며, 루프의 짧은 변 방향으로 수평 다이폴의 방사 형태를 보인다. 스테르브의 길이 변화에 따라 안테나의 전류 분포 또한 변하며, 전류 분포의 변화는 그림 6의 스테르브 길이 변화에 따른 방사 형태의 변화로 확인할 수 있다. 역-L 형태의 스테르브를 가지는 제안된 안테나의 경우 수직 스테르브에서 주 방사를 이루며 장방형 안테나의 주 방사 구조와 수직을 이루는 것을 그림 6(d)에서 확인할 수 있다.

(a) 제안된 안테나의 이득 패턴
(a) Gain pattern of proposed antenna

(b) 제안된 안테나의 반사 손실
(b) Return loss of proposed antenna

그림 7. 제안된 안테나 성능 비교
Fig. 7. A comparison of antenna's performance.

그림 7은 장방향 루프와 루프에 역-L형 스티브가 추가된 안테나의 성능을 실험하고 비교한 것이다. 예상할 수 있듯이 장방향 루프는 수평 다이폴의 편파를 보이며, 역-L형 스티브가 추가된 루프는 장방향 루프와 수직 방향의 편파를 가진다. 그림 7(a)에

서 확인할 수 있듯이 장방향 루프는 최대 4 dBi의 이득을 가지며 스티브가 추가된 루프의 경우 교차 편파가 크며 최대 2 dBi를 가진다. 그러나 수직 수평 편파 모두 균일한 크기를 가져 이동 통신 기기 환경에 더욱 적합할 것으로 예상된다^[9]. 그림 7(b)는 제안된 두 안테나의 반사손실을 비교한 것으로 역-L형

그림 8. 그림 2의 bending 구조에 따른 역-L형 루프가 추가된 안테나 입력 정합 특성

Fig. 8. Rectangular loop with inverted-L stub antenna's input matching under bending conditions in Fig. 2.

스터브가 추가된 안테나가 장방향에 비해 약 15 % 넓은 대역폭을 갖는 것을 확인할 수 있다.

3-2 Bending 특성

3-1절에서 장방향 루프와 역-L형 스텐브가 추가된

루프의 평면형 안테나 특성에 대해 비교하였다. 3-2 절에서는 방사 소자의 위치가 서로 수직을 이루는 두 안테나의 bending 특성에 대해 비교해 보았다. 먼저, 그림 2에서 제안된 bending 조건을 역-L형 스텐브가 추가된 안테나에 적용하여 입력 정합 특성을

그림 9. 제안된 안테나의 모의실험 방사 패턴 비교

Fig. 9. Comparison proposed antenna's simulated radiation pattern.

실험한 결과를 그림 8에 나타냈다. 측정 결과와 모의 실험 결과가 대부분 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 측정 결과 VB 구조일 때에도 장방향 루프와 달리 동작 주파수 응답 특성을 유지하는 것을 알 수 있다.

그림 9는 제안된 두 안테나의 모의실험을 통한 방

그림 10. 장방향 루프와 스텐브가 추가된 루프의 입력 정합 특성 비교

Fig. 10. Comparison between characteristics of input matching of rectangular loop and loop with inverted-L antenna.

그림 11. 제작된 루프 안테나

Fig. 11. The fabricated loop antenna.

사 패턴을 비교한 결과이다. 스텐브가 추가된 루프의 경우 대부분 균일한 방사 형태를 보이며, 장방향 안테나의 VB의 경우 그림 4에서 예상할 수 있었듯이 bending 각도에 따라 γ 값이 커지고, 그에 따라 지향성도 증가하는 형태를 보인다. 장방형의 HB의 경우 역시 bending 각도에 따라 지향성의 변화가 크다.

그림 10은 두 제안된 안테나의 입력 반사손실 측정 결과를 비교한 것으로 2.4 GHz에서의 동작 특성은 물론 대역폭 또한 역-L형 스텐브가 추가된 루프가 잘 유지되고 있음을 알 수 있다. 특히 VB 구조 같은 경우 동작 주파수에서 장방향 루프와 역-L형 스텐브가 추가된 안테나의 정합 특성이 많은 차이를 보인다. 그림 11은 제안된 flexible loop 안테나의 제작된 모습을 나타낸 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 flexible 안테나의 특정 bending 구조에 대해 안테나의 전류 분포가 안테나의 성능에 끼치는 영향을 예상하고 실험하였다. bending의 형태와 안테나 형태의 변화에 따라 입력 정합 특성이나 방사 패턴에 많은 변화가 있었으며, 이를 근사적으로 예측하는 것 또한 가능하였다. 단일 루프의 형태 변화에 대한 결합계수 변화와 루프의 둘레 길이 변화에 대한 관계를 정량화 하는 것이 앞으로의 과제이다.

향후 flexible device에 적용되는 안테나의 경우, 무수히 많은 경우의 수를 가지는 bending 구조에서도 안테나 성능이 일정하게 유지되거나 모양의 변화에도 성능에 변화가 없는 구조가 제안되어야 하며, 혹은 flexible 안테나가 가지는 다양한 bending 특성을 활용하여 무선 통신 기기의 공간 활용에 이용하거나

단순히 구조의 변형을 통해 동작 주파수를 바꾸거나
빔 형상을 조절하는 등의 다양한 연구가 이루어져야
할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D. E. Anagnostou, A. A. Gheethan, A. K. Amert, and K. W. Whites, "A direct-write printed antenna on paper-based organic substrate for flexible displays and WLAN applications", *J. Display Technol.*, vol. 6, no. 11, pp. 558-564, Nov. 2010.
- [2] S. H. Choi, T. J. Jung, and S. Lim, "Flexible antenna based on composite right/left-handed transmission line", *Electronics Lett.*, vol. 46, no. 17, Aug. 2010.
- [3] C. Cibin, P. Leuchtmann, M. Gimersky, R. Vahldieck, and S. Moscirobroda, "A flexible wearable antenna", *IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, Monterey, CA, USA, vol. 4, pp. 3589-3592, 2004.
- [4] George E. Ponchak, Alan N. Downey, "Characterization of thin film microstrip lines on polyimide", *IEEE Trans. Components, Packaging, and Manufacturing Technol.*, vol. 21, no. 2, May 1998.
- [5] F. -R. Hsiao, T. -W. Chiou, and K. -L. Wong, "Dual-frequency planar inverted-F antenna with a rolled radiating arm for GSM/DCS operation", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 38, pp. 25-27, 2003.
- [6] H. Furuya, N. Guan, K. Himeno, and K. Ito, "Folding characteristics of film antenna for wireless LAN made of flexible printed circuit", *Society Conf. IEICE*, 2006.
- [7] P. Salonen, Y. Rahmat-Samii, "Textile antennas: effects of antenna bending on input matching and impedance bandwidth", *The European Conference on Antennas and Propagation: EuCAP 2006*, Nice, France, Nov. 2006.
- [8] Shuvashis Dey, Nandita Saha, and Subrata Biswas, "Design and performance analysis of UWB circular disc monopole textile antenna and bending consequences", *The European Conference on Antennas and Propagation: EuCAP*, Rome, Italy, pp. 1129-1133, 2011.
- [9] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design 3e*, Wiley-Interscience, 2005.

김 호 진

2010년 2월: 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
2010년 3월~현재: 금오공과대학교 전파통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 마이크로파 및 안테나 공학, RFIC, EMI/ EMC

이 선 현

2010년 2월: 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
2010년 3월~현재: 금오공과대학교 전파통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 마이크로파 및 안테나 공학, EMI/EMC

이 영 훈

1986년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1995년~2002년: 호남대학교 전과

공학과 교수

2002년~현재: 금오공과대학교 전자공학부 교수

2002년~현재: 한국전자파학회 이사/평의원

2006년 1월~2007년 1월: University of Florida 방문 교수

2010년~현재: 한국전자파학회 영남지부장

[주 관심분야] 마이크로파 및 안테나 공학, RFIC, MMIC, EMI/EMC, 이동 통신 부품 및 시스템

이 상 석

1982년 2월: 충북대학교 전기공학과 (공학사)
1984년 2월: 충북대학교 전기공학과 (공학석사)
1989년 2월: 광운대학교 전기공학과 (공학박사)
1989년 8월~현재: 한국전자통신연

구원 책임연구원

[주 관심분야] RF 수동부품, 평면형 안테나 등