

Pareto 유전자 알고리즘을 이용한 초소형 유도결합 안테나 설계

Design of Small Antennas with Inductively Coupled Feed Using a Pareto Genetic Algorithm

조치현 · 추호성 · 박익모* · 김영길*

Chihyun Cho · Hosung Choo · Ikmo Park* · Youngkil Kim*

요 약

본 논문에서는 NEC 코드와 Pareto 유전자 알고리즘 최적화 기법을 이용하여 초소형 유도결합 안테나를 설계하였다. 최적화된 유도결합 안테나 중 몇 가지 표본을 제작하고 성능을 측정하였다. 일반적으로 안테나의 크기가 작아질수록 입력 저항, 대역폭 및 효율이 감소하는데 비하여 제안된 방법으로 설계된 유도결합 안테나는 다른 부가적인 정합회로 없이 우수한 성능을 보인다. 간단한 회로 모델을 도입하여 제안된 유도결합 안테나의 동작원리를 설명하였고, Duroid 기판 위에 평면 구조로 제작하여 RFID 태그 안테나로써 성능을 입증하였다.

Abstract

In this paper, we explore the inductively coupled concept and propose a class of electrically small planar antennas. The antennas are optimized using NEC in conjunction with a Pareto GA. These antennas show good efficiency and bandwidth performance without any additional matching network. Several optimized designs are fabricated and measured. We explain the operating principle of these antennas using a simple lumped element circuit model. The proposed antennas are translated as printed lines on Duroid for RFID tag antennas.

Key words: Pareto Genetic Algorithm, Small Antennas, Inductively Coupled Antennas

I. 서 론

최근 이동통신 시스템은 빠른 속도로 진화하고 있으며 집적화로 기술 발달로 인하여 이동통신 시스템 장비의 소형화를 가져왔다. 이와 더불어 고성능 개인 휴대용 단말기들이 연구되고 있으며 단말기의 소형화를 위해서는 소형 안테나의 개발이 필수적이다. 그러나 일반적으로 안테나의 물리적 크기는 공진주파수 파장 길이에 의해 제약되어 안테나의 크기가 작아질수록 대역폭과 효율이 급격히 줄어든다.

또한 입력 저항도 감소하여 다른 RF 시스템과의 정합을 어렵게 한다. 안테나의 소형화를 위해 많은 연구가 진행되었으며 다양한 형태의 안테나 개발이 시도되었다. 1982년 Goubau에 의해 제안된 안테나는 $kr=1.0(0.277\lambda \times 0.097\lambda)$ 의 크기를 가지며 -3 dB Half Power 대역폭(VSWR < 5.8)은 82 %를 이루었다^[1]. 또한 1999년 Foltz의 Disk-Loaded Monopole은 $kr=0.63(0.115\lambda \times 0.084\lambda)$ 이며 대역폭(VSWR < 5.8, -3 dB)은 22 %를 보였으며^[2], Dobbins의 Folded Conical Helix는 $kr=0.70(0.136\lambda \times 0.089\lambda)$ 이며 29 %의 대

*본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 '유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천 기반기술 개발사업'의 지원에 의한 것임.

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*아주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

논문번호 · 20040903-114

수정완료일자 · 2004년 12월 31일

역폭(VSWR < 5.8, -3 dB)을 가졌다^[3]. 현재까지 안테나들은 약 $kr > 0.6$ 까지 소형화되었으나 $kr < 0.6$ 이하의 초소형 안테나 개발은 미비한 상태이다.

최근 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms)을 이용한 방법이 소형 안테나 설계에 성공적으로 사용되었다^{[4],[5]}. 본 논문에서는 유도결합 형태의 새로운 초소형 안테나를 제안하였으며, 유전자 알고리즘을 이용하여 제안된 안테나의 형태를 최적화하였다. 유도결합 안테나는 루프 형태의 급전 부위와 실제 방사되는 본체로 구성되며, 두 부분의 유도결합에 의해 안테나 소형화 시 발생하는 입력 저항 감소를 해결할 수 있다. 최적화된 안테나들은 전기적 크기가 $kr = 0.21(0.048 \lambda \times 0.024 \lambda)$ 까지 소형화되었으며, 그 크기에 비해 추가적인 정합회로 없이 비교적 좋은 대역폭과 효율을 얻을 수 있었다. 최적화 결과를 검증하기 위하여 표본 안테나를 제작하고 측정 값과 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 간단한 RLC 등가회로를 이용하여 제안한 안테나의 동작원리를 설명하였고, 이 회로모델을 이용한 결과와 NEC를 이용한 결과^[6], 그리고 측정결과를 비교하였다. 마지막으로 본 논문에서 제안된 안테나를 RFID(Radio Frequency Identification)용 태그로 사용하기 위하여 평면 형태로 전환하였으며, 소형 태그 안테나로써 성능을 검증하였다.

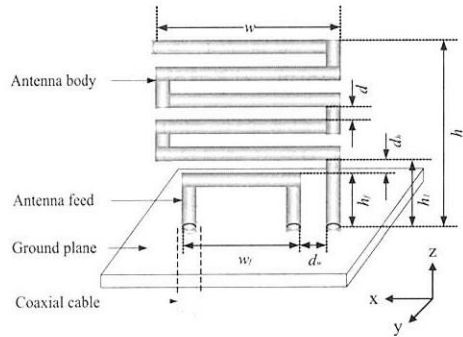
II. 설계 방법

2.1 유도결합 안테나의 기본 구조

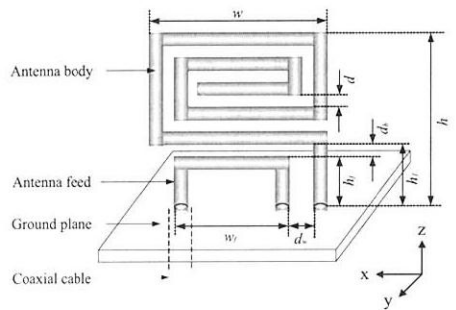
제안된 유도결합 안테나는 미앤더(Meander) 형태와 스파이럴(Spiral) 형태로 구현하여 안테나 특성을 연구하였다. 그림 1(a)와 (b)는 각각 미앤더와 스파이럴 형태를 가진 유도결합 안테나의 기본적인 모습을 보여준다. 유도결합 안테나는 급전 부위와 실제로 방사되는 본체로 나누어져 있으며 급전 부위와 본체는 전기적으로 상호유도결합(Mutual Coupling)에 의해 연결되어 있다. 미앤더 형태의 안테나는 일정한 높이(h_1)만큼 접지면에서 위로 안테나가 세워진 후 미앤더 형태로 구부러지며 구부러진 횟수에 의해 사이 간격 d 와 본체의 내부 형태가 결정된다. 스파이럴 형태의 안테나는 미앤더 안테나와 마찬가지로 임

의 높이(h_1)만큼 접지면에서 위로 세워진 후 안쪽으로 감아도는 형태를 하고 있으며, 감긴 횟수에 의해 간격 d 가 결정된다. 위 안테나들의 본체는 동작 주파수, 안테나의 Q 및 효율 등을 결정하는 변수로 작용한다. 급전부는 두 안테나 모두 사각형 모양의 루프 형태를 가지고 본체 안쪽에 자리하고 있으며, 한쪽은 접지면에 연결되고 다른 한쪽은 동축선 케이블에 연결되어 급전할 수 있는 구조로 이루어져 있다. 급전부는 안테나 본체로부터 가로 세로 각각 d_w , d_h 의 간격을 가지고 떨어져 있으며, 안테나 입력단의 인덕턴스와 상호 유도결합의 세기(M)를 결정하여 본체와의 임피던스 정합에 기여한다.

2.2 Pareto 유전자 알고리즘을 이용한 최적화 방법



(a)



(b)

그림 1. (a) 미앤더 형태 유도결합 안테나의 기본형태, (b) 스파이럴 형태 유도결합 안테나의 기본 형태

Fig. 1. (a) Configuration of the meander-winding antenna, (b) Configuration of the spiral-winding antenna.

유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)은 자연의 진화법칙을 모방한 방법으로, 다양한 분야의 최적화 문제에 성공적으로 적용되었다. 특히 최적화해야 할 변수가 많고 각 변수들이 복잡하게 연관되어 동작할 경우, 다른 알고리즘보다 더 효과적인 최적화 성능을 보인다. 유전자 알고리즘은 다음과 같은 순서에 의해 동작한다. 우선 평가될 안테나의 집단 혹은 개체군(Population)을 임의로 형성한다. 형성된 개체군은 시뮬레이션틀을 이용하여 그 성능이 예측된 후, 비용평가함수를 이용하여 설계 목표에 부합하는 정도를 평가한다. 평가된 개체군들은 안테나 형태의 정보를 가지고 있는 이진코드(Binary Code)로 바뀌며, 이 과정을 부호화(Encoding Process)라 부른다. 이진코드들은 평가된 성능에 따라 확률적으로 선택되어 서로의 코드를 섞는 염색체 교차 방식(Crossover Process)에 의해 새로운 이진코드를 생성한다. 재생산된 이진코드들은 안테나의 모양으로 다시 변환(Decoding Process)되며, 시뮬레이션 틀을 이용하여 성능 평가가 다시 진행된다. 위의 과정이 반복되면서 개체군은 점차 성능이 개선된 안테나들로 구성되며, 설계 목표에 근접하게 된다.

본 논문에서 다루는 소형 안테나는 설계 변수가 많을 뿐만 아니라, 대역폭과 효율 감소 문제를 동시에 고려해야 하기 때문에 일반적인 유전자 알고리즘에서 좀 더 발전된 Pareto 유전자 알고리즘을 최적화 방법으로 적용하였다^{[7][8]}. Pareto 유전자 알고리즘은 설계 목표가 하나가 아닌 다수일 때 매우 효과적이며, 한번의 시뮬레이션으로 여러 설계목표를 고려한 다수의 최적화 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 최적화 해야 될 다수의 설계 목표를 Pareto 유전자 알고리즘에 적용할 수 있도록 비용평가 함수를 식 (1)~(3)으로 정의하였다.

$$Cost1 = 1 - \frac{BW_{ANT}}{BW_{Theo}} \quad (1)$$

$$Cost2 = 1 - Eff_{ANT} \quad (2)$$

$$Cost3 = Size_{NORM} \quad (3)$$

식 (1)은 안테나의 대역폭을 증가시키기 위한 함수로서, 분모는 McLean이 유도한 대역폭 한계(Theoretical Bandwidth Limit)로 $2/(1/kr+1/(k^3))$ 를 사용하였다^[9]. 위 식의 kr 은 안테나의 크기를 말하며, k

는 안테나의 파수(Wave Number)이고 r 은 안테나가 물리적으로 포함될 수 있는 가장 작은 구의 반지름이다. 분자는 설계된 안테나의 대역폭을 의미하며, 일반적으로 안테나의 크기가 작을수록 대역폭과 효율이 급격히 감소되기 때문에 소형 안테나 평가에 많이 사용되는 -3 dB 대역폭(Half Power, VSWR < 5.8)을 사용하였다. 식 (2)는 안테나의 효율을 최적화하기 위하여 사용되었으며, 식 (3)은 안테나의 크기를 표준화한 비용 평가 함수로 대역폭과 효율을 극대화하면서도 안테나의 크기를 소형화하기 위하여 사용되었다. 개체군들은 위에 있는 세 개의 비용 평가 함수로 평가된 후, 우세 비교 방식(Non-dominated Sorting Method)에 의해 표본들의 성능 순위(Rank)가 결정된다^[10]. 우세 비교 방식은 평가 기준이 다수일 경우 단순히 하나의 평가 기준에 의해 순위를 결정하는 것이 아니라, 다수의 기준을 상대 평가하여 순위를 부여하는 방법이다. 위의 식을 이용하여 순위가 결정되면 결정된 순위에 따라 더 높은 확률로 자신의 이진코드를 다음 세대의 개체군에 유전시키며, 결과적으로 개체군은 점차 진화하게 된다. 최적화 결과가 하나로 수렴되는 것을 방지하고 적절히 분산된 결과를 얻기 위해 분산방식(Sharing Scheme)을 사용하였다^[11]. Pareto 유전자 알고리즘은 일반적으로 초소형 안테나($kr < 0.3$) 영역에서 최적화를 위한 재생산 횟수가 증가되는 문제점을 보인다. 이는 안테나의 크기가 작을수록 성능 최적화가 훨씬 어렵기 때문이며, 이런 문제점을 개선하기 위해 구간 분할 Pareto 유전자 알고리즘(Divided Range Pareto GA)을 적용하였다^[12]. 안테나의 크기를 몇 개의 분할된 구간으로 나누어 Pareto 최적화를 진행한 후, 분할된 구간들이 수렴되면 각 구간을 병합하여 최적화를 다시 수행한다. 이러한 방식을 적용함으로써 일반적인 Pareto 유전자 알고리즘보다 최적화에 필요한 시간을 단축할 수 있다.

III 결과 및 분석

3-1 최적화 결과 및 표본 안테나 제작

안테나는 400 MHz에서 동작하며 50 Ω 입력 저항을 가지도록 설계하였으며 안테나 본체와 급전부는 반경 0.5 mm의 구리동선을 이용하여 만들었다. 그림

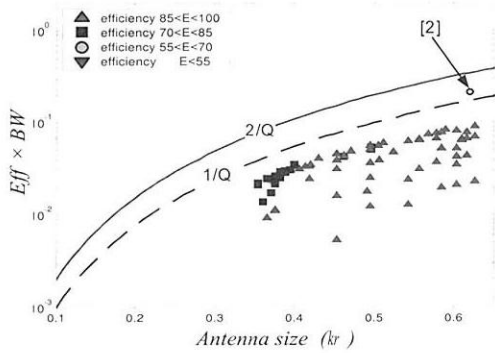


그림 2. 미앤더 형태 유도결합 안테나의 최적화 결과
Fig. 2. Resulting antenna performance with the meander-winding as a function of antenna size.

2는 안테나 본체의 선로를 미앤더 형태로 감은 구조의 최적화 결과를 보여준다. 효율과 대역폭의 곱(Efficiency × Bandwidth)을 안테나 크기에 따라 나타내었으며, 표시된 모양은 안테나 효율을 나타낸다. 최적화된 결과 값을 비교하기 위해 소형 안테나의 이론적 한계치인 1/Q(Unloaded)와 2/Q(Loaded)를 McLean의 논문을 참조하여 사용하였으며^[9], Foltz의 Disk-loaded Monopole의 특성을 함께 표시하여 성능 비교를 하였다^[2]. 대역폭 평가는 -3 dB(VSWR < 5.8) 대역폭을 이용하였으며, 안테나의 크기는 약 $kr = 0.38(6.73 \text{ cm} \times 3.06 \text{ cm}, 0.089 \lambda \times 0.040 \lambda)$ 까지 축소되었다. 그림 3은 안테나 본체의 모양을 스파이럴 형태로 최적화한 구조의 결과를 보여준다. 안테나의 크기는 $kr = 0.21(3.57 \text{ cm} \times 1.82 \text{ cm}, 0.048 \lambda \times 0.024 \lambda)$ 까지 소형화되어, 미앤더 형태의 약 55%이다. 이는 미앤더 형태의 경우 전류의 흐름이 서로 상쇄되어 안테나의 유효 길이(Effective length)가 감소되지만, 스파이럴 형태는 미앤더 형태보다 서로 상쇄되는 전류의 흐름이 적기 때문이다. 그러므로 초소형 안테나 설계시 본체의 형태는 미앤더 구조보다 스파이럴 구조가 더 유리함을 알 수 있다.

Pareto 유전자 알고리즘으로 최적화된 안테나들의 EB(Efficiency × Bandwidth)는 같은 크기($kr = 0.63$)에서 Disk-loaded Monopole 보다 다소 낮다. 하지만 제안된 안테나는 평면과 유사한 형태이며 Disk-loaded Monopole과는 대조적으로 복잡한 기판물질(Substrate Material)과 구조를 가지지 않고 구리선으로만 이루어져 있다. 또한 설계된 안테나들의 크기는 $0.2 < kr$

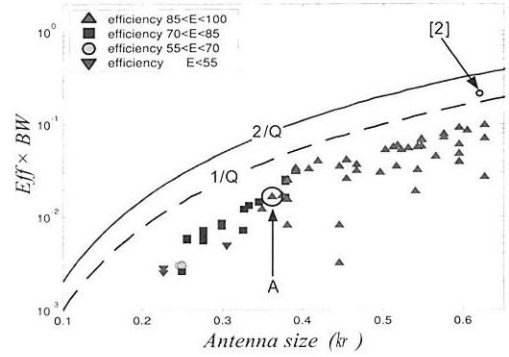


그림 3. 스파이럴 형태 유도결합 안테나의 최적화 결과
Fig. 3. Resulting antenna performance with the spiral-winding as a function of antenna size.

< 0.6 전 범위에 다양하게 분포하여, 사용목적에 따라 선택할 수 있는 장점이 있다. 설계된 안테나의 EB는 대략적으로 $kr > 0.4$ 인 안테나 크기에서는 1/Q 이론적 한계와 비슷하지만 안테나의 크기가 $kr = 0.4$ 보다 작아지면 1/Q보다 급격히 떨어진다.

Pareto 유전자 알고리즘으로 설계된 최적화 결과를 검증하기 위해 그림 3의 표본 A($kr = 0.36, 4.4 \text{ cm} \times 3.63 \text{ cm}, 0.058 \lambda \times 0.048 \lambda$)를 그림 4와 같이 제작하여 성능을 측정하였다. 표본은 전기적 크기가 작으면서도 충분한 효율을 가지고 있는 안테나를 선정하였다. 제작된 안테나의 측정시 접지면의 크기에 따른 반사손실의 영향을 최소화 할 수 있도록 $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ 의 알루미늄 평판을 접지면으로 사용하였다. 그림 5는 측정된 반사손실과 시뮬레이션 결과를 보여준다. 측정된 안테나의 공진주파수는 395 MHz 정도로 설계 값인 403 MHz보다 약 2.0% 낮아졌으며 대역폭은 1.95%로 수치적 계산 값 1.77%(VSWR <

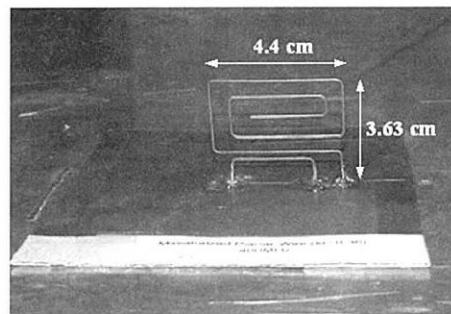


그림 4. 제작된 표본 A의 사진
Fig. 4. Photo of the fabricated sample A.

5.85, -3 dB)와 유사함을 보여준다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 약간 차이가 나는 것은 제작상의 오차로 사료된다. 안테나가 $kr=0.36$ 의 크기를 가질 때 이론적 대역폭의 한계치는 약 4 %로 제한된 안테나가 매우 단순한 구조와 평면 형태를 가지는 것을 고려할 때 양호한 대역폭 성능을 나타낼을 알 수 있다. 시뮬레이션에 의한 안테나의 방사패턴은 무한 접지면 사용시 x-z 평면에서 3.89 dBi의 최대 이득을 보이며, 미소 다이폴 안테나와 비슷한 패턴을 보인다. 그림 6은 유도체 도체로 안테나를 차폐시킨 후의 입력 임피던스와 자유공간에서와 입력 임피던스 간의 변화량을 이용해 효율을 측정하는 Wheeler Cap 방식을 이용한 결과이다^[13]. 측정된 효율 84 %는 수치적 계산 값인 85 %와 공진주파수 대역근처인 400 MHz 부분에서 일치함을 알 수 있다.

3-2 회로모델을 이용한 유도결합 안테나 분석

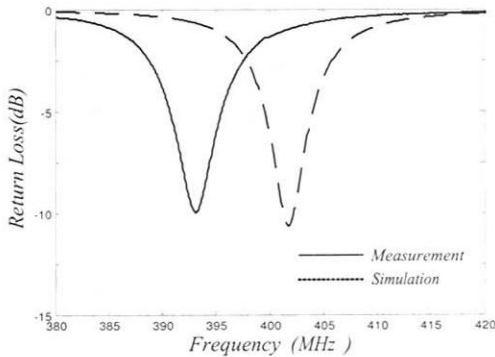


그림 5. 표본 A의 반사손실
Fig. 5. Return loss vs. frequency for sample A.

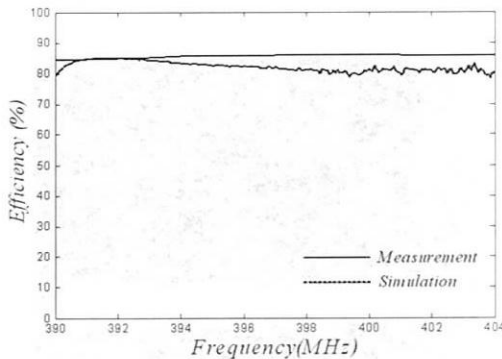


그림 6. 표본 A의 효율
Fig. 6. Efficiency vs. frequency for sample A.

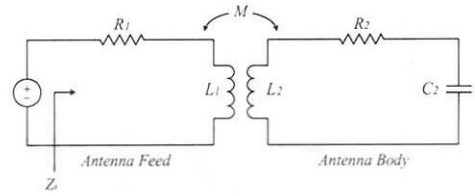


그림 7. 유도결합 안테나의 등가회로도
Fig. 7. Circuit model for the inductively coupled antenna.

유도결합 안테나의 동작원리를 정확히 이해하기 위해 RLC 등가회로를 도입하여 안테나를 분석하였다. 변압회로(Transformer Circuit)를 사용하여 안테나 급전부와 본체를 결합시킨 전체 등가회로를 구성하였다. 이 등가회로를 이용한 안테나의 입력 임피던스는 식 (4)^[15]와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{in} = Z_{feed} + \frac{w^2 M^2}{Z_{body}} \tag{4}$$

식 (4)를 이용하여 나타낸 등가회로도 그림 7에 표시하였다. 안테나 급전부는 등가 저항 R_1 과 인덕턴스 L_1 을 가진 회로로 표현할 수 있으며, 안테나 본체는 저항 R_2 , 커패시턴스 C_2 , 인덕턴스 L_2 의 직렬회로로 표현할 수 있다. 본체와 급전부는 상호인덕턴스(Mutual Coupling, M)로 결합되어 있으며, 임피던스는 각각 NEC를 이용해 계산하였다. 계산된 임피던스를 이용하여 급전부와 본체 회로모델의 R, L, C 값을 추출하였다. 안테나 본체와 급전부의 상호 인덕턴스는 무한히 긴 선로와 급전 루프 사이의 상호 인덕턴스로 간략화하여 계산하였다. 등가회로를 이용한 입력 임피던스, NEC 시뮬레이션 결과, 그리고 측정 결과를 그림 8에서 비교하였다. 식 (4)에서 보여주는 바와 같이 등가회로에서 사용된 변압회로는 안테나 본체의 임피던스를 역수화하고, M^2 의 곱으로 증가시켜 입력단의 작은 저항을 증폭시키는 역할을 한다. 이를 통하여 부가적 정합회로를 사용하지 않고도 안테나와 다른 RF 시스템간의 정합을 쉽게 이룰 수 있게 한다. 또한 안테나가 단순한 직/병렬 회로가 아니라 고차회로(High Order Circuit)로 동작하기 때문에 안테나의 동작주파수 근처에서 리액턴스가 0이 되는 곳이 두 부분에서 발생한다. 이는 안테나의 대역폭을 증가시키는 역할을 한다. 그림 9

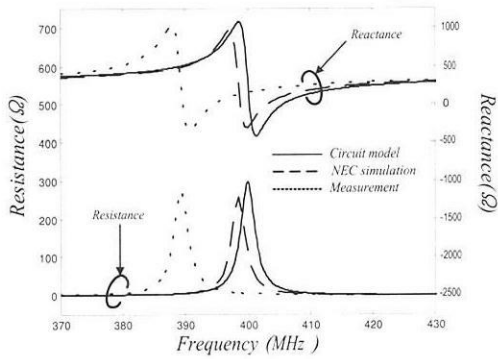


그림 8. 표본 A의 회로모델 시뮬레이션과 상용 수치 해석 및 측정 임피던스 비교

Fig. 8. Input impedance using the circuit model, NEC simulation and measurement.

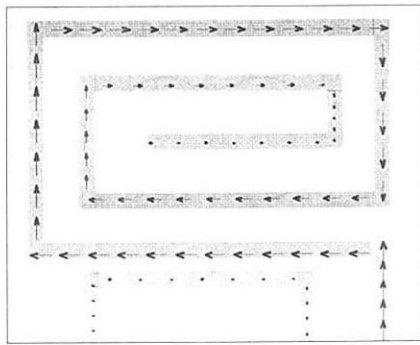


그림 9. NEC 시뮬레이션을 이용한 표본 A의 전류분포
Fig. 9. Current distribution on sample A using NEC simulation.

는 동작 주파수에서 NEC 시뮬레이션을 이용하여 계산한 전류 분포를 보여준다. 안테나 대부분의 전류는 안쪽에 위치한 급전부에 의해 유도되어 바깥쪽 본체에 흐르며, 그 형태는 $\lambda/4$ 모노폴 안테나와 유사하게 분포한다. 따라서 유도결합 안테나는 입력 저항 증대와 대역폭 증대를 동시에 가능하게 하여 초소형 안테나 제작 시 좋은 성능을 보여준다.

3-3 유도결합 안테나의 응용: RFID용 태그 안테나 설계

제안된 유도결합 안테나를 RFID 태그 안테나 설계에 적용하였다. 태그의 경우, 첫째, 대량생산과 생산비 절감을 위해 구조가 단순해야 하며, 둘째, 다양한 사물 위에 부착되기 위해서 크기가 작아야 하며,

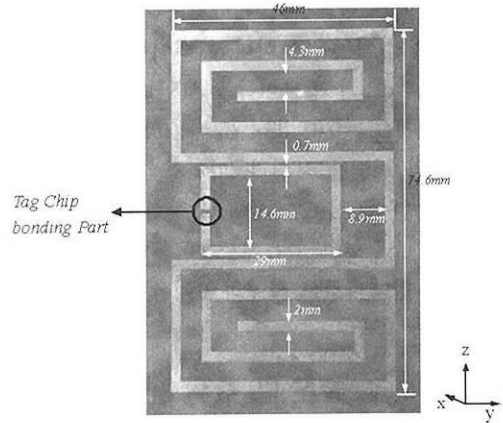


그림 10. 제작된 태그 안테나의 사진

Fig. 10. Photo of the fabricated tag antenna.

셋째, 원거리에서 감식되기 위해서는 충분한 효율을 필요로 한다. 마지막으로 태그 칩의 경우, 대부분 평형급전(Balanced Feed) 구조를 가지고 있으므로 제안된 유도결합 안테나는 평형급전 방식이 가능한 평면 구조로 전환하였다. 반경이 0.5 mm인 구리동선은 가장 유사한 성능을 나타내는 2 mm 선폭을 가지는 평면 형태로 변형하여 Duroid 기판($\epsilon_r=2.2$, $\tan \delta=0.0004$, 두께=5 mil) 위에 에칭하였다. 그림 10은 제작된 태그 안테나의 모습을 보여준다. 그림 11은 제작된 태그 안테나의 반사손실 측정결과와 시뮬레이션 결과로, 시뮬레이션은 MoM 방식의 IE3D를 사용하였고 측정은 영상법(Method of Image)을 이용하여 안테나를 대칭이 되도록 이등분한 후 모노폴 형태처럼 접지면 위에 세워 측정하였다. 제작된 안테나는 측정 결과 약 7.5 MHz의 대역폭($VSWR < 5.8$, -3 dB)을 가진다. 시뮬레이션 결과와 비교하였을 때 약 0.55 %의 주파수 이동현상을 보이며, 이는 제작상의 오차로 사료된다. 안테나의 효율 측정 값과 시뮬레이션 값은 그림 12에 나타났다. 효율 시뮬레이션 값은 측정치와 약 10 % 정도 미만의 차이를 보이며, 이는 안테나를 육면체 도체로 차폐시킬 때 발생하는 측정 오차와 동판 두께가 침투 깊이에 근접할 때 생기는 시뮬레이션 상의 오차의 차이로 사료된다. 하지만 주파수에 대한 효율의 전체적인 변화 형태는 유사함을 보여주며, 측정된 효율은 동작 주파수에서 60 % 정도이다. 그림 13은 안테나의 방사패턴 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션에 의한 안테나의 방사

패턴은 다이폴 안테나와 유사하며 정면(yz 평면)에서 0.03 dBi의 이득을 보이며, 최대이득은 측면(xz 평면)에서 0.4 dBi의 방사이득을 보인다. 또한 안테나의 정면에서 $E_{\theta}=0.03$ dBi, $E_{\phi}=-108$ dBi이며 거의 직선편파의 성능을 보인다. 따라서 그림 10의 안테나는 단순한 구조로 제작이 용이하며, 크기는 $kr=0.37$ 까지 소형화 되었음에도 60 %의 효율을 보여 소형 태그 안테나로도 성공적으로 적용될 수 있음을 보여 준다.

IV. 결론 및 추후 연구

최적화 방법으로 Pareto 유전자 알고리즘을 도입하였으며, 대역폭과 효율을 동시에 고려하며 안테나의 초소형화를 실현하였다. 안테나의 기본 형태로는 유도결합 방식이 사용되었으며, 안테나 등가회로를 이용하여 초소형 안테나에 매우 적합함을 증명하였다. 안테나의 크기는 kr 을 기준으로 0.2에서 0.6까지 한번의 최적화 알고리즘 시뮬레이션으로 최적화된 다수의 결과를 얻을 수 있었다. 설계된 안테나를 제작하여 안테나의 대역폭과 효율 등을 측정 한 후 시뮬레이션 값과 비교하였다. 제작된 안테나의 크기는 $kr=0.36$, 대역폭 1.95 %, 효율 84 %의 성능을 보였으며, Foltz의 안테나에 비해 약 1/2의 크기까지 축소되었다. 제안된 유도결합 안테나를 Duroid 기판 위에 인쇄된 형태로 전환하여 RFID 태그 안테나로서의 적용 가능성을 검증하였다. 설계된 안테나는 1.87 %의 대역폭과 60 %의 효율을 보이며, 구조가 매우 단순하여 회로 인쇄 기술을 이용해 쉽게 제작될 수 있

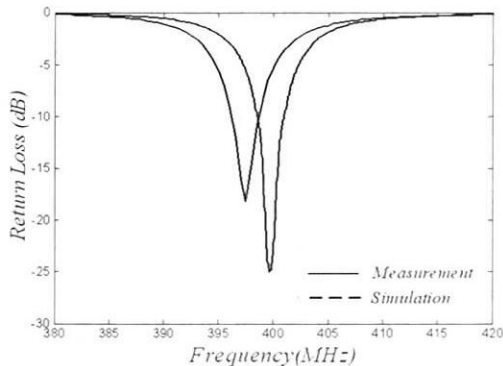


그림 11. 태그 안테나의 반사손실
Fig. 11. Return loss vs. frequency for the tag antenna.

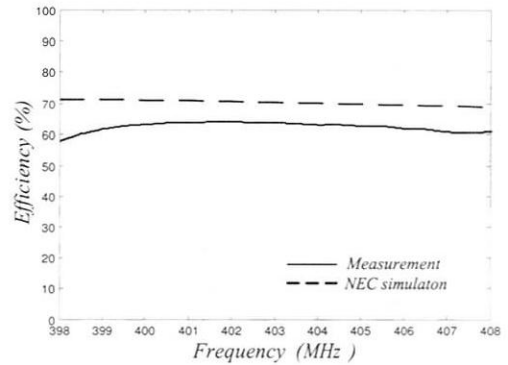


그림 12. 태그 안테나의 효율
Fig. 12. Efficiency vs. frequency for the tag antenna.

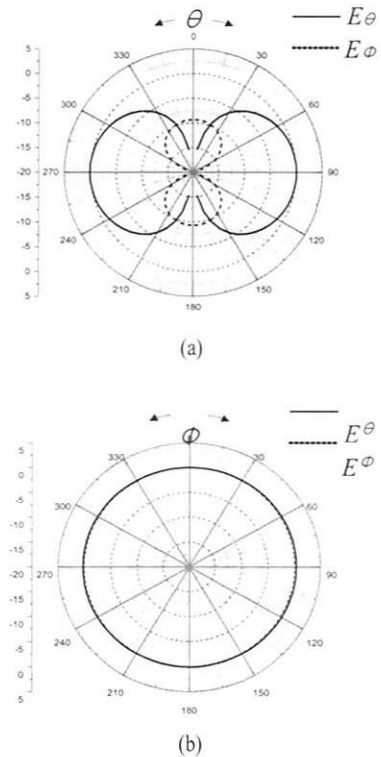


그림 13. 태그 안테나의 (a) xz 평면 방사패턴, (b) xy 평면 방사패턴
Fig. 13. Radiation pattern of the tag antenna for (a) xz plane, (b) xy plane.

다. 따라서 RFID 태그 안테나의 설계 시 중요하게 고려해야 될 소형화와 높은 효율 및 생산비 절감과 대량 생산의 가능성을 모두 충족시키며 실제 적용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] G. Goubau, N. Puri, and F. Schwing, "Diakoptic theory for multielement antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 30, pp. 15-26, Jan. 1982.

[2] H. D. Foltz, J. S. McLean, and G. Crook, "Disk-loaded monopoles with parallel strip elements", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, pp. 1894-1896, Dec. 1998.

[3] J. A. Dobbins, R. L. Rogers, "Folded conical helix antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 49, pp. 1777-1781, Dec. 2001.

[4] E. E. Altshuler, "Electrically small self-resonant wire antennas optimized using a genetic algorithm", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 50, pp. 297-300, Mar. 2002.

[5] H. Choo, H. Ling, "Design of electrically small planar antennas using an inductively coupled feed", *Electron. Lett.*, vol. 39, pp. 3080-3081, Oct. 2003.

[6] G. J. Burke, A. J. Poggio, *Numerical Electromagnetics Code (NEC)-Method of Moments*, Lawrence Livermore Laboratory, 1981.

[7] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, Reading, MA, 1989.

[8] Y. Rahmat-Samii, E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, New York:

John Wiley & Sons, 1999.

[9] J. S. McLean, "A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, pp. 672-676, May 1996.

[10] N. Srinivas, K. Deb, "Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithm", *J. Evolutionary Computation*, vol. 2, pp. 221-248, 1995.

[11] J. Horn, N. Nafpliotis, and D. E. Goldberg, "A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization", *Proc. First IEEE Conf. Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 82-87, 1994.

[12] T. Hiroyasu, M. Miki, and S. Watanabe, "The new model of parallel genetic algorithm in multi-objective optimization problems - divided range multi-objective genetic algorithm", *Proc. 2000 Congress on Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 333-340, 2000.

[13] H. A. Wheeler, "The radiansphere around a small antenna", *Proc. IRE*, vol. 47, pp. 1325-1331, Aug. 1959.

[14] <http://www.hitachi.co.jp/Prod/mu-chip/index.html>

[15] David E. Johnson, John L. Hilburn, Johnny R. Johnson, and Peter D. Scott, *Basic Electric Circuit Analysis*, Prentice Hall, 1995.

조 치 현



2004년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2004년 3월~현재: 홍익대학교 전자파통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] 초소형 안테나 설계 및 GA 유전자 알고리즘을 이용한 최적화

추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전과공학과 (공학사)
 2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
 2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)

2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)

2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 전임강사
 [주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자 공학과 (공학사)
1989년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
1994년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1994년~1996년: LG 전자기술원

1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수
[주 관심분야] 초고주파 수동소자(안테나 포함) 설계 및 해석

김 영 길



1974년~1978년: 고려대학교 공과 대학 전자공학과 (공학사)
1979년~1980년: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
1981년~1984년: (불란서) ENST 전자공학과 (공학박사)
1977년 12월: 제 12회 기술고시 통

신직 (통신기좌)
1978월~1979년: 체신부 정책국 전자통신 전담반 통신기좌
1984년 9월~현재: 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 정교수
[주 관심분야] RFID(ubiquitous ID) Reader Platform, 유, 무선 네트워크(Bluetooth, Zigbee etc)를 이용한 환자생체관리 시스템, Embedded Hardware System 설계 및 구현