

# 인쇄 UHF RFID 태그 안테나의 인쇄 품질에 따른 공진 주파수의 영향

## Effect of Printing Qualities on the Resonant Frequencies of Printed UHF RFID Tag Antennas

✉ 김충환<sup>1</sup>, 이용식<sup>2</sup>, 김영국<sup>2</sup>, 김동수<sup>1</sup>  
✉ Chung Hwan Kim<sup>1</sup>, Yongshik Lee<sup>2</sup>, Young Guk Kim<sup>2</sup> and Dong Soo Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 나노기계연구본부 (Nanomachine Research Division, Korea Institute of Machinery and Materials)

<sup>2</sup> 연세대학교 전기전자공학부 (School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University)

✉ Corresponding author: chkim@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7498

Manuscript received: 2008.1.7 / Revised: 2008.9.2 / Accepted: 2008.9.2

Recently, a great deal of research is focused on the printed electronics. One of their mainly concerned products is printed RFID tag. RFID technology has attracted researchers and enterprises as a promising method for automatic identification, and they are expected to replace conventional bar codes in inventory tracking and management. The key to successful RFID technology lies in developing low-cost RFID tags and the first step in applying printing technology to RFID systems is to replace antennas that are conventionally produced by etching copper or aluminum. However, due to the printing quality variations, errors, and lower conductivity, the performance of the printed RFID antennas is lower than that of antennas manufactured by conventional etching methods. In this paper, the effect of variations in the printing conditions on the antenna performance is investigated. Three levels for each condition parameter is assumed and effect on the resonant frequency are examined experimentally based on orthogonal array. The most serious factor that affects the resonant frequency of the antenna is the non-uniformity of the edge and the resonant frequency is found to be lower as the non-uniformity increases.

Key Words: Resonant frequency (공진주파수), RFID Tag (무선인식태그), Antenna (안테나), Printing (인쇄), Orthogonal array (직교배열)

### 기호설명

$S_{11}$ : ratio of reflected power to input power in dB

$\epsilon_r$ : dielectric constant of substrate

### 1. 서론

최근 인쇄기법으로 전자소자를 생산하는 인쇄 전자(Printed Electronics) 분야에 대한 많은 연구가

이루어지고 있으며 가장 대표적인 생산품 중 하나가 RFID 태그용 안테나이다. 특히, 저가의 태그를 상품과 화물에 부착하여 물류 관리의 정확성과 신속성을 높이는 것은 각 국가에서 국책 사업으로 추진하고 있어 많은 연구기관과 대학, 기업이 관심을 갖고 있다. 이렇게 RFID 태그가 모든 상품과 화물에 적용되기 위해서는 저가, 대량 생산이 필수적이며 우선적으로 기존의 에칭으로 생산되는 안테나를 인쇄 방식으로 생산하는 방법에 많은 연

구가 이루어 지고 있다.<sup>1,5</sup>

이러한 인쇄로 안테나를 생산하는 것은 주로 사용되는 피인쇄체인 PET (Polyethylene terephthalate)의 변형 온도인 150 도 이하에서 경화가 가능한 전도성 잉크의 등장으로 가능해졌다.<sup>3</sup> 이러한 전도성 잉크를 스크린, 그라비아, 플렉소 등 다양한 인쇄 기법을 이용하여 안테나를 제조하는 것이 가능하지만 아직까지는 잉크의 전도성, 인쇄성 등의 문제로 기존의 박막 에칭 방식의 안테나의 성능에 크게 뒤쳐지고 있다. 그러나 이러한 인쇄 품질에 따른 안테나의 성능에 대해서는 연구된 바가 없으며 기존의 에칭 용으로 설계된 안테나를 프린팅 방식으로 바꾸었을 때 나타나는 문제점이나 설계의 보상 등에 대해서도 연구된 바가 없는 형편이다.

따라서 본 논문에서는 에칭 방식의 적용을 위해 설계된 안테나와 전도성 잉크로 인쇄된 안테나를 비교하되, 인쇄 공정 중에 발생 가능한 품질 불량을 영향 요소로 삼아 이러한 요소들에 대한 안테나 성능의 민감도를 파악하여 설계 시 고려할 수 있는 지침을 마련하고 인쇄 안테나 생산 시 중점 관리할 부분을 파악하여 생산성을 제고 하는데 목적이 있다. 또한, 이러한 안테나의 인쇄 품질과 성능과의 관계 규명을 통하여 안테나 생산 시 별도의 칩 동작 테스트를 거치지 않고 인쇄 품질만으로 안테나의 성능을 관리할 수 있는 지침을 마련할 수 있다. 이 논문에서는 RFID 태그용 안테나의 성능 지표 중에서 동작 주파수인 공진 주파수를 중심으로, 인쇄 안테나의 설계 변수 및 불량 요인의 영향을 기존의 구리 에칭 안테나와 비교하여 살펴보고자 한다.

**2. 안테나 인쇄 시 발생 가능한 변수 및 불량 요인**

안테나 인쇄는 인쇄 제판의 정밀도와 두께가 우선적인 영향을 줄 수 있다. 최근 안테나의 인쇄에 많이 사용되는 스크린 인쇄는 메시(Mesh) 형태의 스크린에 비화상부에는 유막 처리를 하여 화상부에만 잉크를 침투시켜 인쇄하는 방식으로 그 특성상 메시 형상이 그대로 나타나 인쇄 표면의 불균일을 초래한다 (Fig. 1).

일반적으로 단위 길이 당 메시 수를 증가시켜 세밀한 패턴을 제작할 경우, 인쇄 표면의 불균일은 줄어들지만 스크린을 구성하는 꼬임선(Thread)

의 두께는 달라지게 된다. 인쇄된 잉크의 두께는 이 꼬임선의 두께와 유막의 두께로 결정이 되며 꼬임선의 두께, 메시의 수 등에 따라 유막 두께의 범위도 정해진다.

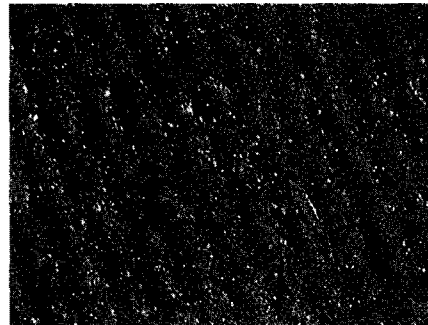


Fig. 1 Mesh patterns of printed antenna induced by screen mesh

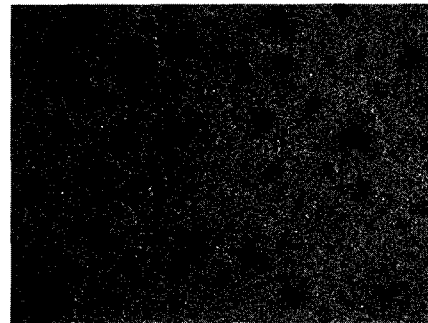


Fig. 2 Non-uniform edge of printed antenna

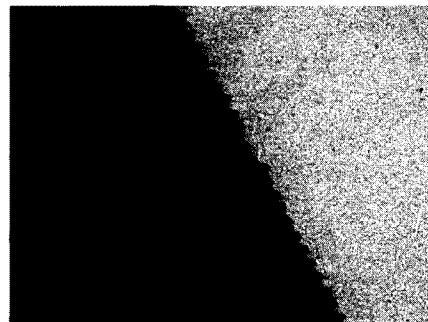


Fig. 3 Pin hole of printed antenna

인쇄 두께는 생산품의 종류와 전도성 등의 요구 조건에 따라 달라지며 인쇄 안테나 제작 시 인쇄 조건에 따른 변수로 작용한다. 메시 형상의 존

재와 두께의 변수는 그라비아, 플렉소 등의 다른 인쇄에서도 나타나는 현상이다. 또한 인쇄 시 발생할 수 있는 품질 불량으로는 Fig. 2 와 같은 잉크의 번짐이나 전이 불량으로 발생하는 인쇄된 안테나의 에지(Edge) 불량과 Fig. 3 과 같은 전이 불량으로 발생하는 핀홀(Pin hole)이 있다.

따라서 스크린 인쇄 시 사용자에게 의하여 안테나에 영향을 줄 수 있는 두 가지 요인으로 스크린의 메시 수와 두께를 고려할 수 있으며, 인쇄 품질의 두 가지 요인으로 에지와 핀홀을 생각할 수 있다.

### 3. 안테나의 설계 및 실험계획법의 적용

실험에 사용된 안테나는 가장 단순한 다이폴(Dipole) 형태로 50Ω 임피던스를 기준으로 UHF(Ultra High Frequency) 대역인 900 MHz 에서 공진하도록 설계하였으며 설계 결과와 시뮬레이션 결과는 각각 Fig. 4 와 Fig. 5 와 같다. 시뮬레이션은 상용 전자기파 해석 도구인 CST 를 이용해서 수행하였으며 Fig. 5 의 결과는 안테나의 임피던스 부정합에 따라 반사된 전력과 입사된 전력의 비를 dB 스케일로 나타낸  $S_{11}$  파라미터이다. 낮은 값일수록 더 높은 전력이 안테나에 전달되었음을 의미하며 최하점이 공진점에 해당한다. 접합이 없는 다이폴 안테나의 길이는 공진주파수에서 반파장에 해당하며 따라서 공진 주파수에 반비례한다. 한편, 에칭으로 제작된 안테나와 비교를 위해 설계된 안테나와 동일한 형태를 가지며 17 $\mu$ m 의 두께를 가지는 구리 안테나를 제작하였고 10 개의 샘플 측정 결과 공진주파수는 모두 889MHz 로 측정되었다. 900MHz 의 공진 주파수로 설계가 되었으나 시뮬레이션과 약 11MHz 의 오차가 발생하였으며 이는 안테나 재료의 비저항, 유전율 등의 실제 값과 시뮬레이션 값과의 차이에 기인하며, 실제 안테나 설계 시에는 보정이 이루어져야 하는 부분이다. 그러나 본 연구에서는 정확한 공진주파수의 튜닝이 목적이 아닌, 인쇄 안테나와 에칭 안테나와 비교가 목적이므로 기준 안테나를 889MHz 의 구리 에칭 안테나로 정하였다.

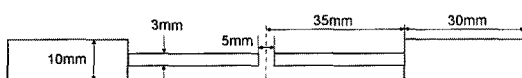


Fig. 4 Design of 900MHz antenna

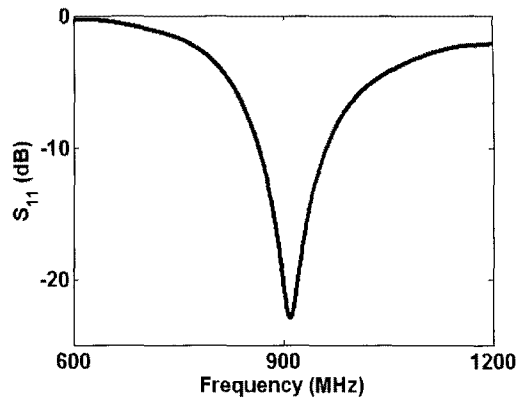


Fig. 5 CST simulation result of designed antenna

Table 1 Four factors and their levels

Factor	Level		
	1	2	3
Number of mesh	120	255	355
Thickness ( $\mu$ m)	75	85	95
Edge non-uniformity (mm)	0	0.3	0.6
Number of pin hole	0	26	58

설계된 안테나에 대하여 Table 1 과 같은 4 개의 인자를 각각 3 개의 수준으로 변화하여 안테나의 인쇄 시 발생할 수 있는 변수를 가정한 것이다.

여기서 제판의 두께는 75, 85, 95 $\mu$ m 이지만, 안테나 인쇄 후 건조 과정을 거치며 실제로 남게 되는 은은 인쇄 두께의 30% 수준이 되어 측정결과 20~30 $\mu$ m 정도의 두께를 가지는 안테나가 만들어진다.

에지의 불균일은 Fig. 6 과 같이 굴곡의 반경으로 정의하였고 Fig. 7 은 불균일 에지를 가지는 안테나의 예를 보여준다. 핀홀은 0.5mm 의 동일한 직경을 가지며 Fig. 8 과 같이 분포하도록 디자인하였다.

R=non-uniformity of edge

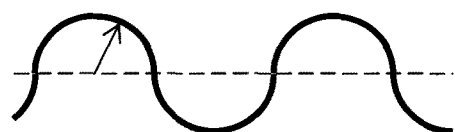


Fig. 6 Definition of the non-uniformity of edge

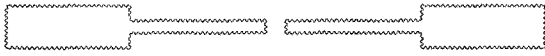


Fig. 7 Example of the antenna with non-uniform edge

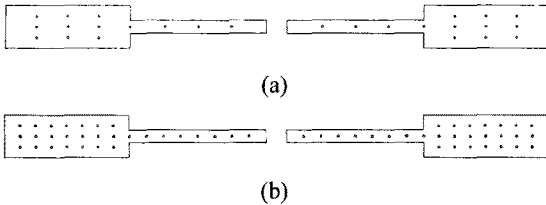


Fig. 8 Antennas with pin holes, (a) level 1 and (b) level 2

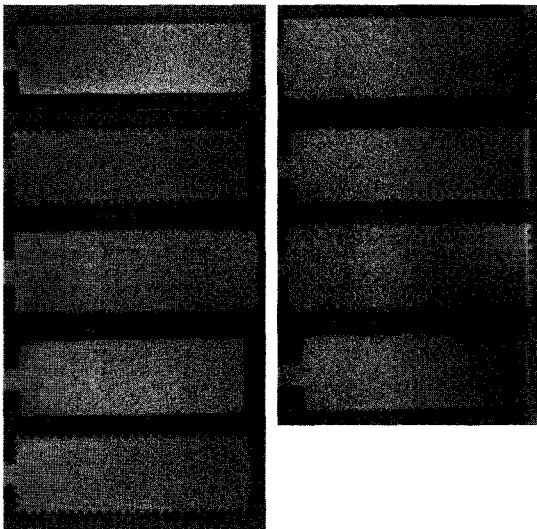


Fig. 9 Pictures of printed antennas used in experiment

4 개의 인자를 3 수준으로 샘플을 제작하여 인쇄와 측정에 사용할 경우 총 81 개의 서로 다른 샘플이 필요하며 유효한 데이터를 얻기 위해 동일한 형태의 샘플을 여러 개 제작해 실험할 경우 수백회의 측정이 필요하게 된다. 따라서 실험 회수를 줄이고 효율적인 데이터를 얻기 위하여 다구찌 실험계획법을 적용하여  $L_9(3^4)$ 의 직교배열표로부터 샘플 개수를 9 개로 줄여 안테나를 제작하였으며 안리쓰(Anritsu)사의 MS-4624D 네트워크 분석기를 이용하여 600 MHz~1.2 GHz 대역에서  $S_{11}$ 을 측정하였다. Fig. 9 는 인쇄 방식으로 제작된 안테나 샘플 사진이다.

4. 실험결과

안테나는 유전율( $\epsilon_r$ ) 3.1, 두께 50 $\mu$ m 인 PET 기판 위에 스크린 인쇄기로 전도성 잉크를 사용하여 인쇄하였고, 건조는 120 $^{\circ}$ C에서 5 분으로 충분한 건조 시간으로 완전 건조하여 전도성이 수렴하도록 하였다. 총 9 가지 종류의 디자인에 대하여 인쇄 상태가 양호한 샘플을 각각 3 개씩 측정하여  $S_{11}$  이 최소가 되는 주파수를 공진 주파수로 보고 평균값을 계산하였으며 측정 결과는 Table 2 와 같다.

Table 2 Experimental results (M: no. of mesh; T: thickness; E: non-uniformity of edge; P: no. of pin hole)

Measurement	M	T	E	P	Resonant freq., MHz
1	0	0	0	0	881.5
2	0	1	1	1	874.5
3	0	2	2	2	855.8
4	1	0	1	2	875.7
5	1	1	2	0	875.7
6	1	2	0	1	886.2
7	2	0	2	1	869.8
8	2	1	0	2	881.5
9	2	2	1	0	888.5

Fig. 10 은 측정된 결과로부터 얻어진 요인별 수준의 영향을 나타내는 그림으로 안테나의 두께를 제외한 3 개의 인자에서 수준별 영향이 나타났다.

메시 수가 120 에서 255 로 증가할 때 큰 변화를 보이며 255 에서 355 로 증가할 경우 약간의 증가를 보인다. 특히, 구리 안테나의 공진주파수가 889MHz 임을 감안할 때 메시 수가 증가할수록 목표 주파수에 근접함을 알 수 있다. 메시 수가 작을수록 스크린의 공극은 커지고 꼬임선의 두께를 굵어진다. 결국, 인쇄 후 표면은 더 거칠게 나타나 표면의 불균일이 커진다. 따라서 표면이 일정한 경우에 비해 전류가 흐르는 길이는 커지는 효과를 가져오고 결론적으로 주파수가 낮아지는 효과를 가져온다. 표면의 균일도 향상을 위해 355 를 초과하는 고 정밀 메시는 스틸 재질로 정밀하게 제작되어야 하므로 높은 가격이 요구된다. 따라서 255 메시 수준이 제판의 가격과 공진주파수 특성을 고려할 때 적절하다고 볼 수 있으며 공진 주파수의 차이는 설계에서 보완하는 것이 경제적이다.

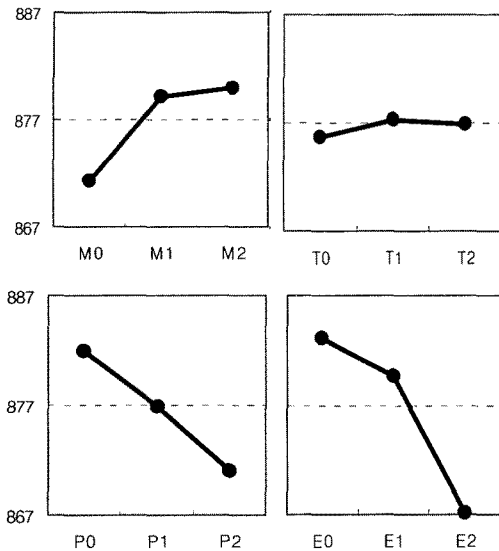


Fig. 10 Main effect plots for means

한편, 에지의 불균일에 의한 효과는 매우 크게 나타났으며 4 개의 요인 중 가장 큰 영향을 가짐을 알 수 있다. 에지 불균일 역시 표면의 거칠기와 마찬가지로 안테나의 길이를 길게 하는 효과를 가져와 공진주파수를 낮추게 된다. 에지 불균일의 경우 설계 변수가 아닌 인쇄에 의해 좌우되는 품질 불량으로 일정한 수준의 불량은 설계에서 보완이 가능하나 큰 편차를 가지는 불량인 경우 인쇄 품질 관리가 이루어져야 한다. 특히, 불량에 따른 공진주파수의 변화의 영향을 추가적으로 살펴 볼 필요가 있다.

핀 홀 역시 증가에 따라 공진주파수가 낮아지며 수준 내에서 10MHz 정도의 변동을 보인다. 핀 홀 역시 에지 불균일과 마찬가지로, 설계 변수가 아닌 인쇄에 의해 좌우되는 품질 불량으로 일정한 수준의 불량은 주파수 이동 등, 설계에서 보완이 가능하나 큰 편차를 가지는 불량인 경우 인쇄 품질 관리가 이루어져야 한다.

5. 결론

스크린 인쇄 방식으로 제작된 900MHz 급 RFID 태그용 안테나에 대하여 스크린 메시 수, 두께, 에지의 불균일, 핀 홀의 개수를 안테나의 공진주파수에 영향을 미치는 인자로 가정하였다. 직교

배열표를 이용하여 가정된 요인에 대하여 각각 3 개의 수준으로 영향을 조사한 결과, 안테나의 두께는 영향이 거의 없으나 에지 불균일과 핀홀이 큰 영향을 미치는 요인임을 알 수 있었다. 제판의 메시 수는 255 를 넘으면 그 영향이 크게 나타나지 않았다. 향후 안테나 설계 시 메시에 따라 메시의 영향에 의한 공진주파수 감소를 고려한 설계가 동반되어야 하며, 인쇄 시 에지의 불균일과 핀홀의 불량 관리가 필요함을 알 수 있었다. 향후 추가적인 연구로 에지 불균일과 핀 홀에 대한 영향의 상세한 고찰과 대책이 필요하며, 공진주파수 이외의 영향 요소에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Sidén, J., Fein, M. K., Koptuyg, A. and Nilsson, H. E., "Printed antennas with variable conductive ink layer thickness," IET Microwaves, Antennas and Propagation, Vol. 1, Issue 2, pp. 401-407, 2007.
2. Edward, C., Howarth, J. and James, A., "The ink jet printing of high conductivity circuits on various substrates using polymer capped nano-particle silver," IMID 05 Digest, pp. 814-815, 2005.
3. Kim, C. H., Lee, T. M., Kim, D. S. and Choi, B. O., "Distortion of Printed Patterns in Printed Electronics," Journal of the KSPE, Vol. 24, No. 8, pp. 74-80, 2007.
4. Pudas, M., Hagberg, J. and Leppavuori, S., "Gravure offset printing of polymer inks for conductors," Progress in Organic Coatings, Vol. 49, No. 4, pp. 324-335, 2004.
5. Park, S. H., Kim, J. P. and Seong, W. M., "Microwave Properties of Ag Conductive Paste with Various Preparation Conditions," Journal of KIEEME, Vol. 18, No. 9, pp. 827-832, 2005.