

Ag가 함유된 전도성 도료의 제조 조건에 따른 고주파 특성

Microwave Properties of Ag Conducting Paste with Various Preparation Conditions

박상훈^{1,a}, 김정표¹, 성원모¹

(Sang-Hoon Park^{1,a}, Jeong-Pyo Kim¹, and Won-Mo Seong¹)

Abstract

Dual band internal antennas were fabricated with Ag conducting paste of various preparation conditions and different print thickness by silk screen print. We have investigated microwave properties were compared Ag conducting paste antenna with copperplate antenna at 800 MHz and 1,800 MHz. Gain of Ag conducting paste antenna was improved when preparation conditions were the single size Ag particle, using dry type resin and high Ag containing percent. However, it was lower than that of copperplate antenna within 0.1 ~ 2.0 dBi at 800 MHz. In addition, it was improved at 800 MHz when thickness of Ag conducting paste was printed more than skin depth but it was held after critical print thickness. On the other hand, it was reached level of copperplate antenna at 1,800 MHz.

Key Words : Ag conducting paste, Microwave property, Silk screen printing, Dual band antenna, Skin depth

1. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)는 현재 사용되고 있는 바코드를 대신하여 전자 태그를 각종 사물에 내재함으로써 전파를 이용한 정보 인식이 가능토록 하는 기술이다[1,2]. 그리고 언제 어디서나 컴퓨터에 접속하여 각종 정보를 이용할 수 있는 유비쿼터스(Ubiquitous) 시대의 중심이 되는 기술이다[3,4]. 이러한 전자 태그는 저렴하면서 어떠한 형태에도 회로 구현이 가능해야 한다. 따라서 현재 사용되고 있는 일반적인 금속을 이용한 회로 구현은 제약이 있어 전도체 금속을 미세 입자화하여 도료에 담지한 전도성 도료 제조 기술

이 각광받고 있다[5,6].

현재 전도성 도료의 전도체로는 전기적 특성이 우수한 Ag가 가장 널리 이용되고 있고 각종 전자 제품의 전자파 차폐용 도료와 TFT-LCD, PDP 등의 초박형, 대면적 디스플레이의 회로 구현 등에 사용되고 있다[7]. 최근에는 전자 종이(Electronic Paper) 등과 같은 휘 수 있는 디스플레이(Flexible Display)의 회로 구현용으로 많은 연구가 진행되고 있다[8].

그러나 Ag 전도성 도료의 응용 가치는 많은 분야에서 높게 평가 되고 있으나 현재 가장 널리 사용되고 있는 동을 대체하지는 못하고 있다. 그 이유로는 현재 Ag 전도성 도료의 제조 단가가 높은 것과 응용 분야에 대한 기초 연구 부족 등을 들 수 있다. 따라서 Ag 전도성 도료의 저렴한 생산 기술 개발과 함께 응용 분야에 대한 기초 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 다양한 조건으로 제조한 Ag 전도성 도료로 회로를 구현하여 안테나를 제작하고, 동판으로 구현한 안테나와 고주파 특성을 비교함으로써 그 대체 가능성을 확인하고자 한다.

1. (주)이엠따블유안테나

(서울시 금천구 가산동 459-24)

a. Corresponding Author : shpark@emwanna.com

본 논문은 특허 출원된 "전도성 도료로 형성한 안테나 및 그 제조 방법"(출원번호:10-2005-52931)에 의거하여 작성되었음

접수일자 : 2005. 7. 4

1차 심사 : 2005. 7. 23

심사완료 : 2005. 7. 27

2. 실험

2.1 Ag 전도성 도료의 제조

본 연구에서는 전도성 도료의 전도체인 Ag 입자의 모양과 함유율, 수지 등에 변화를 주어 4종의 전도성 도료를 제조하였다. 도료의 점도는 실크 인쇄가 가능하도록 $23,000 \pm 2,000$ cps로 조절하였고, 침전 방지를 위해 소량의 분산제를 첨가하였다. Ag 전도성 도료의 제조 조건은 표 1과 같다.

표 1. Ag 전도성 도료의 제조 조건.

Table 1. Preparation conditions of Ag conducting paste.

Type	Preparation condition		
	Ag particle constituent	Ag containing %	Resin Type
1	Mixing of 2 type flake	65 %	Hard
2		70 %	
3	1 type flake		Dry
4			

2.2 안테나 제작 및 고주파 특성 분석

제조된 Ag 전도성 도료 안테나의 고주파 특성을 확인하기 위해 실크 스크린 인쇄 방법을 이용하여 이동 단말기용 내장형 안테나(Internal antenna)를 제작하였다. 안테나 제작 순서는 그림 1과 같다. 비교 안테나는 동판을 이용하여 제작하였고,

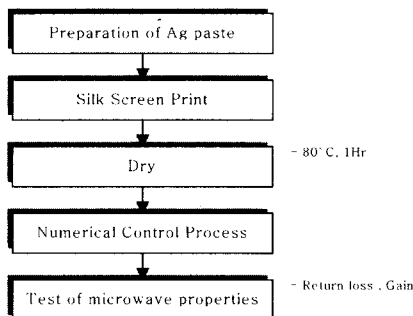


그림 1. Ag 전도성 도료 안테나의 제작 순서.

Fig. 1. Fabrication procedure of Ag conducting paste antenna.

회로는 휴대폰용 주파수 대역 중 824 ~ 894 MHz (GSM850)와 1,850 ~ 1,990 MHz(USPCS)의 다중 대역을 가지도록 설계하였다. 본 연구에서 제작한 안테나는 그림 2와 같다.

제작한 Ag 전도성 도료 안테나와 동판 안테나의 고주파 특성을 비교하기 위하여 반사 손실(Advantest, R3765CG Network Analyzer)과 이득(Hewlett-Packard, 8753D Network Analyzer)을 측정하였다.

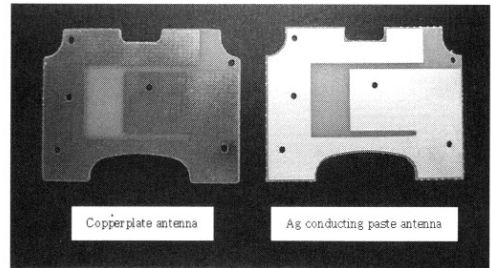


그림 2. Ag 전도성 도료와 동판으로 제작한 다중 대역 안테나.

Fig. 2. Fabricated multi band antenna with Ag conducting paste and copperplate.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 본 연구에서 제조한 Ag 입자의 주사 전자현미경 사진이다. 그림 3(a)는 $5 \sim 7 \mu\text{m}$, 그림 3(b)는 $1 \sim 2 \mu\text{m}$, 그림 3(c)는 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 크기의 판형 Ag 입자이다. 제조된 각각의 Ag 입자를 이용하여 표 1과 같이 4종의 Ag 전도성 도료를 제조하였다.

그림 4는 Ag 전도성 도료 안테나와 동판 안테나의 반사 손실을 나타낸 것이다. Ag 전도성 도료 안테나는 800 MHz에서 1,800 MHz로 주파수가 증가함에 따라 시료 간 반사 손실값의 편차가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 800 MHz 대역에서 1,800 MHz 대역보다 회로를 구현한 재료의 영향을 더 많이 받는 것을 의미한다.

그림 5는 Ag 입자의 함유량, 구성, 사용 수지의 종류 등에 따른 이득 측정 결과를 나타낸 것이다. Ag 전도성 도료 안테나는 800 MHz 대역에서 동판 안테나에 비해 0.1 ~ 2.0 dBi 낮은 이득을

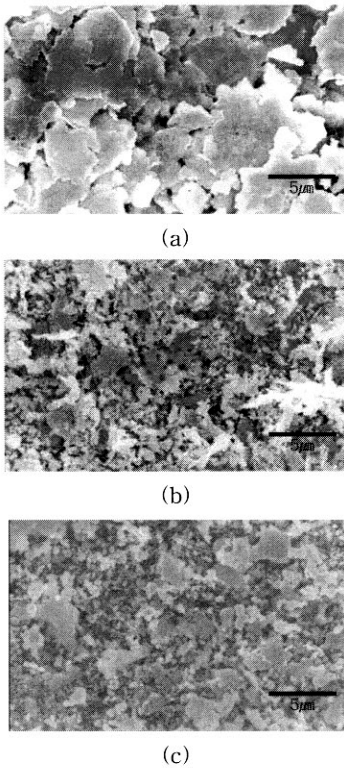


그림 3. Ag 입자의 주사전자현미경 사진($\times 5,000$).
 Fig. 3. SEM Images of Ag particle($\times 5,000$).

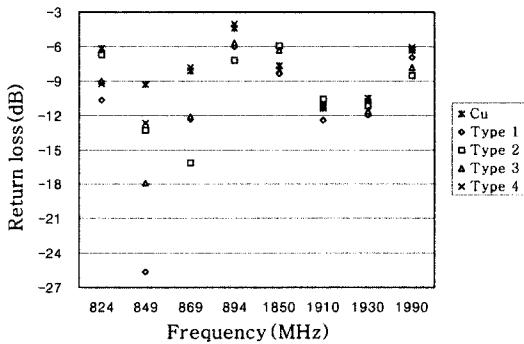
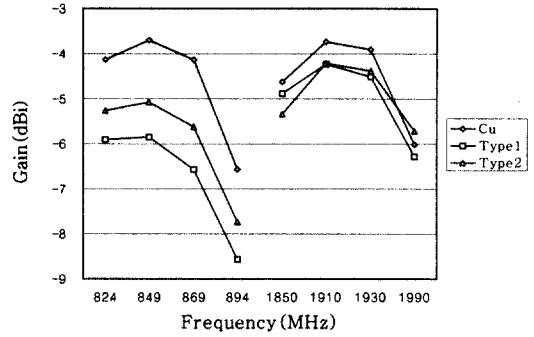
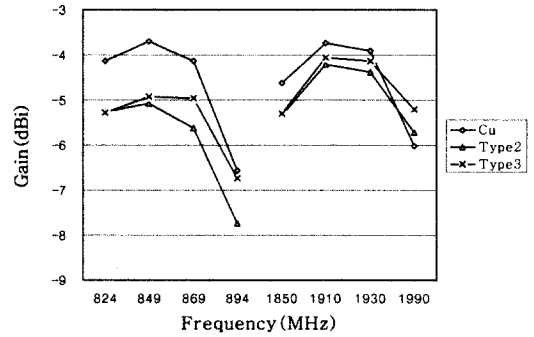


그림 4. Ag 전도성 도료의 제조 조건에 따른 안테나의 반사 손실.
 Fig. 4. Return loss of antenna with preparation conditions of Ag conducting paste.

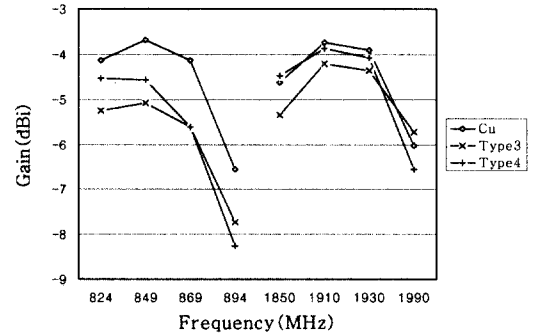
보였다. 그러나 1,800 MHz 대역에서는 동판 안테나와 대등한 이득을 보였다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. Ag 전도성 도료의 제조 조건에 따른 안테나의 이득.

Fig. 5. Gain of antenna with preparation conditions of Ag conducting paste.

그림 5(a)는 Ag 전도성 도료의 Ag 입자 함유량 차이에 따른 이득을 나타낸 것이다. Ag 입자의 함유량이 5% 더 많은 Type 2 안테나의 이득이 더 좋았고 800 MHz 대역에서 1,800 MHz 대역으로

표 2. Ag 전도성 도료의 저항과 주파수별 전파의 침투 깊이.

Table 2. Resistivity of Ag conducting paste and skin depth at various frequencies.

Type	Resistivity (Ωcm)	Frequency (MHz)			
		824	894	1,850	1,990
1	$< 2.00 \times 10^{-4}$	17.533 μm	16.833 μm	11.701 μm	11.282 μm
2	$< 1.28 \times 10^{-4}$	19.654 μm	18.869 μm	13.117 μm	12.647 μm
3	$< 0.43 \times 10^{-4}$	11.497 μm	11.038 μm	7.673 μm	7.398 μm
4	$< 1.12 \times 10^{-4}$	18.555 μm	17.814 μm	12.383 μm	11.940 μm

주파수가 증가할수록 동판 안테나와의 이득 차이는 줄어들었다. 그림 5(b)는 수지의 차이에 따른 이득을 나타낸 것이다. 800 MHz 대역에서 건조형 수지를 사용한 Type 3 안테나가 경화형 수지를 사용한 Type 2 안테나에 비해 약간 우수하게 나타났고, 1,800 MHz 대역에서는 주파수가 증가됨에 따라 동판 안테나와 이득의 차이가 줄어들었다. 그림 5(c)는 Ag 전도성 도료의 Ag 입자 구성에 따른 결과이다. 한 종류의 Ag 입자로 제조한 Type 4 안테나가 다른 크기의 입자가 혼합되어 있는 Type 3 안테나에 비해 더 좋은 이득을 보였다.

그림 5의 결과로부터 앞서 언급한 저 주파수 대역이 고주파수 대역에 비해 회로를 구현한 재료의 영향이 더 큰 것을 재확인 할 수 있었고, 한 종류 Ag 입자를 높은 함유율로 건조형 수지에 담지하는 것이 가장 우수한 안테나 회로를 구현할 수 있는 도료의 제조 조건임을 알 수 있었다.

표 2는 본 연구에서 제조한 Ag 전도성 도료 각각의 체적 저항 결과와 주파수별 전파의 침투 깊이를 나타낸 것이다.

전파는 고주파대역으로 갈수록 금속 매질의 내부가 아닌 표면에 집중되어 흐르게 된다. 이를 표피 효과(Skin Effect)라 하며 그 깊이를 침투 깊이 또는 표피 두께(Skin depth)라고 한다. 제조한 각 전도성 도료의 주파수별 전파의 침투 깊이를 식 (1)을 이용하여 계산하였다[9].

$$\delta_s = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (1)$$

식 1에서 f 는 주파수(frequency, Hz), μ 는 투자율(Permeability, $4\pi \times 10^{-7} \text{ } \Omega\text{s/m}$), σ 는 도전율(Conductivity, mho/m)이다. 도전율은 측정된 체적 저항의 역수로 계산하였다.

저항 측정 결과 Type 3이 가장 낮은 저항을 나타냈으며 식 1에 의해 전파의 침투 깊이도 가장

얇은 것으로 확인되었다. 전파의 침투 깊이는 Ag 전도성 도료의 주파수별 필요한 최소 인쇄 두께를 말하며 표 2에 나타낸 각 주파수별 침투 깊이가 이상으로 Ag 전도성 도료가 인쇄되어야 함을 의미한다. 따라서 전파의 침투 깊이 보다 얇게 인쇄된 회로는 전도체가 아닌 부분을 통해 전파가 흐르게 되므로 이득의 감소가 예상된다.

Ag 전도성 도료의 주파수별 인쇄 두께와 전파의 침투 깊이에 따른 이득의 변화를 확인하기 위해 Ag 전도성 도료 Type 3을 이용하여 10 ~ 25 μm 로 인쇄 두께가 다른 안테나를 제작하였다.

그림 6은 Ag 전도성 도료로 제작한 안테나의 인쇄 두께 증가에 따른 반사 손실을 나타낸 것이다. 인쇄 두께가 증가됨에 따라 주파수 변화에 따른 반사 손실의 변화 폭이 줄어드는 것이 확인되었다. 특히 800 MHz 대역에서 인쇄 두께가 10 μm 에서 15 μm 로 증가될 때 변화 폭이 가장 컸으며 이후의 변화는 적었다.

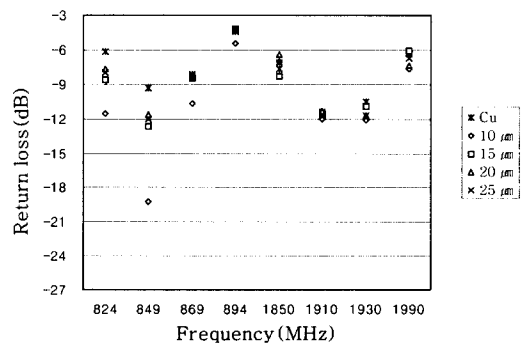


그림 6. Ag 전도성 도료의 인쇄 두께에 따른 안테나의 반사 손실.

Fig. 6. Return loss of antenna with print thickness of Ag conducting paste.

4. 결론

Ag 입자를 함유한 전도성 도료를 다양한 조건으로 제조하여 안테나를 제작하였고 동판 안테나와 고주파 특성을 비교하였다.

Ag 전도성 도료의 제조 조건 중 한 종류의 Ag 입자를 높은 함유율로 건조형 수지에 담지한 것이 가장 우수한 안테나 특성을 나타냈다. 그러나 800 MHz 대역에서 도료의 제조 조건과 인쇄 두께에 따라 안테나 특성의 차이를 보였다. Ag 전도성 도료 안테나의 이득은 제조 조건에 따라 동판 안테나에 비해 0.1 ~ 2.0 dBi 낮게 나타났다. 그리고 측정 주파수 별 전파의 침투 깊이가 이상으로 도료가 인쇄 되었을 때 가장 큰 폭의 이득 상승이 나타났다. 그러나 그 이상의 두께에서는 큰 폭의 이득 향상은 나타나지 않았다. 반면 1,800 MHz 대역에서는 제조 조건이나 인쇄 두께에 무관하게 동판 안테나와 대등한 이득 결과를 보였다.

본 연구에서 제조한 Ag 전도성 도료는 800 MHz 대역에서는 동판 안테나에 비해 특성이 떨어졌으나, 1,800 MHz 대역에서는 대등한 특성을 나타내 동판을 대체한 안테나 제작이 가능함을 확인할 수 있었다.

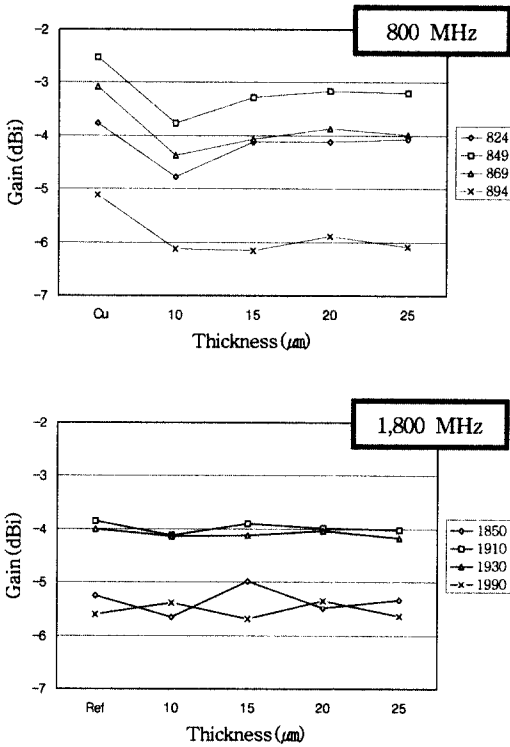


그림 7. Ag 전도성 도료의 인쇄 두께에 따른 안테나의 이득.

Fig. 7. Gain of antenna with print thickness of Ag conducting paste.

그림 7은 Ag 전도성 도료의 인쇄 두께에 따른 각 주파수별 이득 결과이다. 측정 결과 800 MHz 대역에서 동판 안테나에 비해 0.7 ~ 1.0 dBi 낮았으나, 1,800 MHz 대역에서는 동판 안테나와 거의 대등한 이득을 보였다. 전도성 도료의 인쇄 두께에 따른 이득 향상의 폭은 800 MHz 대역에서 15 μm 일 때 가장 크게 나타났고, 이후 두께의 증가에는 큰 폭의 향상은 나타나지 않았다. 10 μm의 인쇄 두께에서 이득이 낮은 이유는 표 2에 나타낸 Type 3 시료의 전파 침투 깊이인 11.5 μm 보다 얇아서이고, 전파의 침투 깊이가 되는 15 μm에서 큰 폭의 이득 상승이 나타난 것이다. 그러나 15 μm 이상의 인쇄 두께에서는 주파수별 필요한 두께를 만족한 이후이므로 이득 향상의 폭은 감소하였다. 1,800 MHz 대역에서는 전파의 침투 깊이가 10 μm 미만이어서 두께 증가에 무관하게 동판 안테나와 대등한 이득을 보였다.

참고 문헌

- [1] 변상기, "RFID Tag 기술", 한국전자과학회지, 15권, 2호, p. 32, 2004.
- [2] 김영길, 류기열, 신영균, 조위덕, "Multi-modal RFID platform 기술", 한국통신학회지, 21권, 6호, p. 755, 2004.
- [3] 이은곤, "RFID 확산 추진현황 및 전망", 정보통신정책, 16권, 6호, p. 1, 2004.
- [4] 김희철, 홍춘표, "RFID/USN 기술 분석 및 전망", 한국통신학회지, 21권, 6호, p. 665, 2004.
- [5] J. C. Lin and C. Y. Wang, "Effects of surfactant treatment of silver powder on the rheology of its thick-film paste", Materials Chemistry and Physics, Vol. 45, No. 2, p. 136, 1996.
- [6] H. Hiramatsu and F. E. Osterloh, "A simple large-scale synthesis of nearly monodisperse gold and silver nanoparticles with adjustable sizes and with exchangeable surfactants", Chemistry of materials, Vol. 16, No. 13, p. 2509, 2004.

- [7] Y. Li, Y. Wu, and B. S. Ong, "Facile synthesis of silver nanoparticles useful for fabrication of high-conductivity elements for printed electronics", Journal of American Chemical Society, Vol. 127, No. 10, p. 3266, 2005.
- [8] A. A. Terry, "Electronic ink technologies : showing the way to a brighter future", Library Hi Tech, Vol. 19, No. 4, p. 376, 2001.
- [9] 진년강, "마이크로파 공학", 청문각, p. 35, 1995.