

# 근거리 무선 통신을 위한 소형 선형 안테나의 실현 가능성 연구

한 대현(1), 심 재륜(2), 최 영식(1)

동의대학교 전자공학과(1), 부산외국어대학교 전자컴퓨터공학부(2)

dhan@hyomin.donggeui.ac.kr

## Feasibility study of a small linear antenna for near range wireless communications

Dae-Hyun Han(1), Jaeruen Shim(2), Young-Shig Choi(1)

### Abstract

The feasibility of small linear antenna for near range wireless communications was studied. The requirement of the system are frequency range 9~12 MHz and antenna size 15 cm. The communication range is about 15 m. The antenna input impedance is very small radiation resistance and very large capacitive reactance. The lossless impedance matching is nearly impossible, therefore lossy matching is considered. The antenna has very low radiation efficiency. The near field calculation has a large uncertainty, but the results can be used as the guideline of a small linear antenna system for a near range wireless communication.

### I. 서 론

무선 데이터 통신의 발달은 낮은 가격의 통신 시스템, 더 작은 안테나와 더 작은 소비 전력을 필요로 하고 있다. 본 논문에서 연구한 시스템의 요구사항은 주파수 대역이 9~12 MHz, 안테나의 길

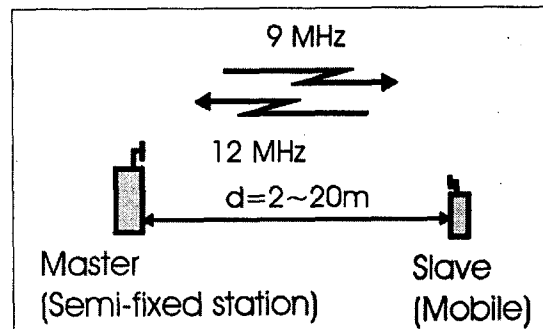


그림 1. 근거리 무선 데이터 통신 시스템의 구성도

이 15 cm 이내, 통신 영역은 15 m 내외이다. 근거리 무선 통신 시스템의 구성도를 그림 1에 보였다.

주파수를 높이면 시스템의 가격이 올라가기 때문에 주파수가 9~12 MHz로 정해졌으며 안테나의 길이는 시스템의 크기 때문에 15 cm 이하로 정해졌다.

누구나 '신고나 허가 없이' 사용할 수 있도록 하기 위해서는 전파법을 만족하면서 통신이 가능해야 한다. 전파법 시행령[1]에서 '신고나 허가 없이' 사용할 수 있는 무선기는 무선기로부터 3 m

거리에서 측정된 전계강도가 표 1에서와 같이 322 MHz 미만인 주파수 대역에서는 500  $\mu\text{V/m}$  이하이다.

표 1. 신고 허가나 없이 사용할 수 있는 무선기의 무선기기로부터 3 m 거리에서 전계강도

주파수대	전계강도
322 MHz 미만	500 $\mu\text{V/m}$ 이하
322 MHz 이상 10 GHz미만	35 $\mu\text{V/m}$ 이하
10 GHz 이상 150 GHz 미만	3.5f $\mu\text{V/m}$ 이하 (다만 500 $\mu\text{V/m}$ 를 초과하는 경우에는 500 $\mu\text{V/m}$ 로 한다) 이 경우 f는 GHz를 단위로 한 주파수로 한다.
150 GHz 이상	500 $\mu\text{V/m}$ 이하

9 ~ 12 MHz 대역에서 15 m 내외는 근접장(near field)이므로 수치 계산의 정확도는 낮지만 근거리 무선통신에서 소형 선형 안테나의 사용 가능성을 판별하는 기준으로 사용할 수 있을 것이다.

## II. 본 론

10 MHz에서 15 cm 선형 다이폴 안테나는 미소 다이폴 안테나(infinitesimal dipole antenna)로 동작한다. 안테나의 입력 임피던스는 저항 성분과 리액턴스 성분으로 구성되어 있으며 미소 다이폴의 방사 저항(radiation resistance)  $R_r$ 은[2]

$$R_r = 80 \pi^2 \left( \frac{l}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

이다. 여기서  $l$ 은 안테나의 길이,  $\lambda$ 는 파장이며 계산한 방사 저항은 0.02  $\Omega$  이다. 손실 저항  $R_{loss}$ 는[3]

$$R_{loss} = \frac{l}{2\pi a} R_s = \frac{l}{2\pi a} \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}} \quad (2)$$

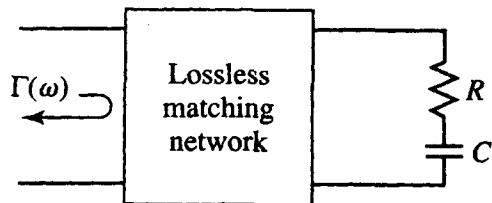
이다. 여기서  $R_s$ 는 표피 저항(surface resistance),

$\omega$ 는 각주파수,  $\mu$ 는 투자율,  $\sigma$ 는 전도도,  $a$ 는 안테나의 반지름이다. 안테나의 도선을 No. 1 AWG를 사용하면 반지름  $a = 4.06 \times 10^{-4}$  m, 구리의 전도도  $\sigma = 5.8 \times 10^7$  S/m 를 사용하여 계산하면  $R_{loss} = 0.05 \Omega$  이다. 리액턴스  $X_A$ 는[2]

$$X_A = -120 \frac{\ln(l/a) - 1}{\tan(kl)} \quad (3)$$

이다. 여기서  $k$ 는 파수(wave number) 이며 계산한 값은  $X_A = -18756 \Omega$  이다. 따라서 안테나의 입력 임피던스는  $Z_{in} = 0.07 - j18756 \Omega$  이다. 예상대로 용량성 임피던스이다.

저항 성분이 작고 리액턴스 성분이 큰 임피던스를 9 ~ 12 MHz 대역에서 임피던스를 정합(impedance matching)하는 것은 쉽지 않으며 무손실 임피던스 정합을 할 경우 실현 가능한 반사계수의 범위는 Bode-Fano 제한조건에 의해서 구할 수 있다. 저항과 커패시터가 직렬로 연결된 회로에서 Bode-Fano의 제한 조건을 그림 2에 보였다[4].



$$\int_0^{\infty} \ln \frac{1}{|\Gamma(\omega)|} d\omega < \pi \omega_0^2 RC$$

그림 2. 저항 R 과 커패시터 C 가 직렬로 연결된 회로에서 Bode-Fano의 무손실 정합 제한 조건 ( $\omega_0$ 는 임피던스 정합 대역의 중심 각주파수)

Bode-Fano의 제한 조건을 적용하면 실현 가능한 반사계수가 1에 가깝다. 따라서 무손실 임피던스 정합은 거의 불가능하며, 손실 임피던스 정합 기법을 사용해야 한다. 송신기의 출력단의 전력의 약 1/2이 정합회로로 전달되도록 하기 위해서 손실

임피던스 저항  $R_{mat}$ 은 약  $500 \Omega$  이 필요하다. 손실 정합 저항을 사용했을 때 송신 시스템의 방사 효율(radiation efficiency)은 약 0.004 % 로 매우 낮았다.

출력단의 전력이 1 mW 일 때 반사 전력과 여유도(safety factor)를 고려해서 0.2 mW가 정합 회로에 전달된다고 가정하면 안테나에서의 침투치 전류(peak current)  $I_0$ 는 0.9 mA 이며, 방사 전력은  $7.9 \times 10^{-6} \text{ W}$  이다.

안테나에서 거리  $r$  m 떨어진 점에서 안테나 축에서 이루는 각도  $\theta=90^\circ$  일 때 미소 다이폴 안테나에 여기된 침투치 전류  $I_0$ 에 의한 전계 강도의 크기  $|E_\theta|$ 는

$$|E_\theta| = \eta \frac{kI_0 l}{4\pi r} \sqrt{\left(1 - \frac{1}{(kr)^2}\right)^2 + \frac{1}{(kr)^2}} \quad (4)$$

이며  $\eta$ 는 고유임피던스(intrinsic impedance)이다. 안테나에서 2 m, 3 m, 4 m, 8 m, 16 m 떨어진 점의 계산한 전계강도를 표 2 에 보였다.

표 2. 다이폴 안테나 길이 15 cm, 주파수 10 MHz, 침투치 전류 0.9 mA 안테나에서 거리에 따른 전계 강도

거리(m)	2	3	4	8	16
전계강도( $\mu\text{V/m}$ )	2200	600	270	92	50

수신 안테나 시스템은 송신 안테나 시스템과 마찬가지로 손실 정합을 했을 때 등가회로는 그림 3 과 같다.

$V_T$ 는 송신 안테나에서 발생된 전계에 의한 수신 안테나에 유기된 개방 전압이며 식 5 와 같다.

$$V_T = E l \quad (5)$$

여기서  $E$ 는 수신 안테나가 있는 점의 전계 강도이다. 수신 안테나와 전계 사이의 편파 부정합(polarization mismatch)에 의한 전력 손실을 1/2로 가정하면 정합 회로에 유기 되는 전력  $P_{ind}$ 은

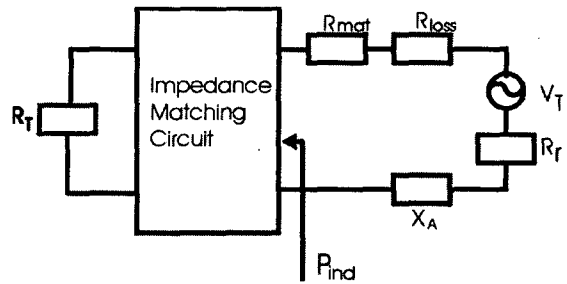


그림 3. 수신 안테나 시스템의 등가회로( $R_{mat}$ 은 손실 정합용 저항)

$$P_{ind} = \frac{1}{2} \frac{V_T^2}{R_r + R_{loss} + R_{mat}} \times PLF \quad (6)$$

이며 PLF는 편파 손실 인자(polarization loss factor)로 1/2로 가정하였다. 수신기  $R_T$ 에 수신되는 전력은 정합 회로에 유기 되는 전력  $P_{ind}$ 이 임피던스 부정합에 의해서 1/2로 줄어들고 주변환경에 대한 요인으로 1/2로 줄어든다고 가정했다. 송신 안테나의 출력단의 출력을 1 mW로 가정했을 때 수신기에 수신되는 전력을 표 3 에 나타내었다.

표 3. 다이폴 안테나 길이 15 cm, 주파수 10 MHz, 송신 안테나의 출력단의 출력이 1 mW일 때 동일한 안테나를 사용한 수신 전력

거리(m)	2	3	4	8	16
수신전력(dBm)	-79	-90	-97	-106	-111

### III. 결 론

전파법 시행령에 의하면 322 MHz 이하에서는 송신기로부터 3 m 떨어진 점에서  $500 \mu\text{V/m}$  이하이면 '신고 및 허가 없이' 사용할 수 있다. 본 논문에서 계산한 결과에 의하면 9 ~ 12 MHz 대역에서 소형 선형 안테나는 송신 출력을 낮추어 '신고 및 허가 없이' 사용 가능하리라 예측이 된다. 계산 결과 송신기에서 3 m 떨어진 지점의 전계 강도가

300  $\mu\text{V}/\text{m}$  일 때 15 m 내외에서 수신기의 수신 감도가 -117 dBm 보다 좋으면 통신이 가능할 것으로 예측된다.

참고문헌

[1] 전과법 시행령

[2] C. A. Balanis. Antenna theory analysis and

design, Harper & Row Publisher, New York, 1982

[3] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antenna theory and design, John & Wiley & Sons, Inc, 1998

[4] D. M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, Inc, 1998