

중·장파 대역 안테나의 대역폭 및 전송방식 해석

*

Analysis of Transmission Mode and Bandwidth for LF and MF Antenna

Young-Wan Kim*

요약 본 논문에서는 중·장대파 대역 주파수를 사용하는 단축 모노폴 안테나의 전송 대역폭을 해석하고 대역폭에 따른 전송 데이터 용량을 적용한 전송방식을 해석하였다. 아울러 요구 유효방사전력 특성 및 안테나 효율을 고려한 송신 출력 특성을 산출하였다. 전송방식과 송신기 출력 특성 분석을 위하여 중·장대파 대역 안테나 시스템으로 65kHz 대역의 시각정보 전송시스템과 283.5kHz 대역의 위성항법보정시스템을 고려하였으며, 제한된 물리적 안테나 사이트 환경에 설계된 기부 절연형 지선식 안테나를 적용하였다. 적용된 중·장대파 대역 안테나의 방사 특성을 모의 실험하고 안테나 임피던스 특성으로부터 등가회로를 산출하고 안테나 대역폭을 산출하여 모의 실험한 안테나 대역폭과 비교 분석하였다. 아울러, 송신 안테나의 요구 유효방사전력을 위한 중·장대파 대역 송신기 출력 특성을 유도하고, 전송 안테나 대역폭에 따른 중·장대파 대역 전송시스템의 전송방식을 설계하고 제안하였다.

Abstract The transmission bandwidth of shorted-monopole antenna in the frequency range of LF and MF was analyzed and the transmission mode considering the permissible data rate dependant on the transmission bandwidth was analyzed in this paper. Based on the required ERP, the output power of transmitter was deduced by considering the antenna efficiency. The analyses are for DGPS and time information transmission system in the frequency range of 283.5kHz and 65kHz respectively. The transmission antenna was modeled as TLM antenna that designed in the limited antenna site. The antenna equivalent circuit and antenna bandwidth were deduced based on the simulation analysis of antenna characteristics. The analyzed antenna bandwidth was compared with the simulated antenna bandwidth. Also the transmission mode for transmitter of LF and MF was proposed by considering the antenna bandwidth.

Key Words : DGPS, LF and MF antenna bandwidth, LF and MF Antenna Equivalent Circuit, LF and MF Transmission Mode, Transmission system for Time Information

1.

지상 및 해양 등 전구를 서비스 영역으로 항법정보 및 시각정보를 전송하는 위성항법보정시스템(DGPS:Differential Global Positioning System)과 시각정보 전송시스템은 중·장파 대역의 송신 주파수 영역을 사용한다[1]. DGPS 시스템은 283.5~325 kHz 대역을 사용하여 항법보정 신호를 전송하며, 시각정보 전송시스템은 65 kHz 대역을 사용하여 전국적인 시각정보 전송 서비스를 제공할 수 있다[2]. LF(Low Frequency) 및

MF (Medium Frequency) 주파수 대역을 사용하는 위성항법보정시스템 및 시각정보전송 시스템은 지표파 전파모드를 갖는다[3]. LF와 MF 대역의 중·장파대역 송신 안테나는 안테나의 물리적 한계로 인하여 주로 짧은 전기적 길이($L \ll \lambda/4$)를 갖는 단축형 모노폴 안테나를 사용한다. 아울러, 안테나 효율이 양호하고 안테나 철탑이 수평 지향성에 미치는 영향이 적은 기부 절연형 지선식 안테나를 사용하고 있다[4-6]. 단축형 모노폴 안테나인 기부 절연형 지선식 안테나는 짧은 전기적 길이 특성으로 인하여

* Department of IT Convergence Communication Engineering, Kunsan National University

Received August 08, 2018

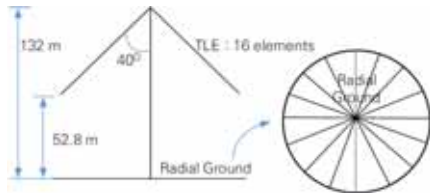
Revised August 09, 2018

Accepted August 20, 2018

낮은 방사저항 특성과 좁은 영역의 대역폭 특성을 갖는다. 따라서 낮은 방사저항 및 좁은 대역폭 특성으로 인하여 제한적인 유효 방사전력 (ERP:Effective Radiation Power) 및 전송 대역폭 특성을 나타내고 있다. 따라서 위성항법보정시스템 및 시각정보 전송시스템의 유효방사전력을 유지하기 위한 송신기 출력 및 전송데이터 용량에 대한 설계가 필요하다. 본 논문에서는 동일한 구조의 기부 절연형 지선식 안테나를 위성항법보정시스템 및 시각정보 전송시스템에 적용하여 송신안테나 특성에 따른 유효방사전력 및 대역폭에 따른 전송 데이터 용량을 해석한다. 기부 절연형 지선식 안테나의 주파수에 따른 안테나 임피던스 특성으로부터 안테나 등가회로를 유도하고 안테나 전송 대역폭을 산출한다. 분석 안테나 구조의 방사 특성과 안테나 대역폭 특성을 모의 실험하며, 안테나 등가회로부터 도출된 안테나 대역폭과 비교 분석한다. 아울러, 송신 안테나의 유효방사전력을 위한 송신기 출력 특성을 유도하고 대역폭 특성에 따른 전송방식을 설계한다. 즉, 안테나 설치 환경에 적합하게 설계된 기부 절연형 지선식 안테나를 적용하여 안테나에서 전송 가능한 MF 대역 위성항법보정 서비스와 LF 대역의 시각정보 전송 서비스에 대한 전송 특성을 해석한다.

2. .

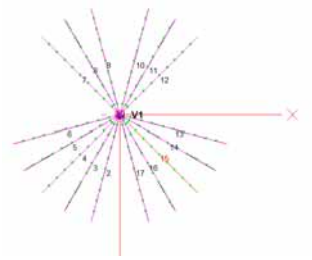
중·장파 대역 안테나의 대역폭과 전송방식 해석을 위한 기부 절연형 지선식 안테나로 방송 안테나 사이트에 설치되는 안테나 설치 환경적 요소를 고려하여 기존 설계된 TLM (Top-Loaded Monopole) 안테나를 적용하였으며, TLM 안테나의 주요 외형은 그림 1과 같다. 해석 모델인 TLM 안테나는 16개 TLE(Top-Loading Element)를 사용하며, 안테나 높이는 132 m이다. 또한, TLE 높이 및 각도는 각각 52.8 m 및 40°이다.



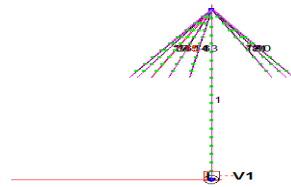
1. TLM
Fig. 1. Lay-out of analyzing TLM Antenna

2.1 가

안테나 대역폭 및 전송방식 해석 모델인 송신안테나의 특성을 분석하기 위하여 안테나 접지는 이상적인 상태로 가정하여 분석한다. 그림 2는 그림 1의 구조를 갖는 TLM 안테나 기본 특성을 모의실험(EZNEC v. 6)하기 위한 모의실험 모델을 나타내고 있다.



(a) Top-loading Element of TLM

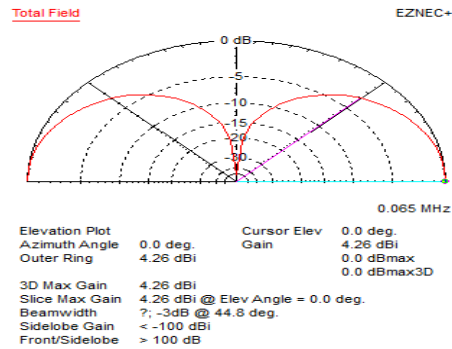


(b) TLM Antenna Model

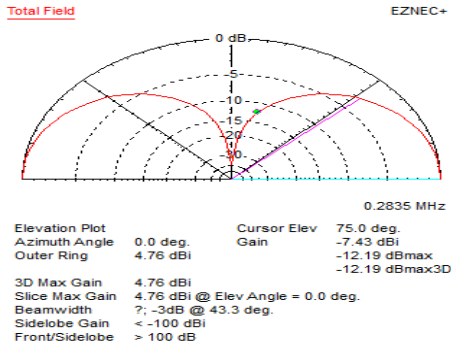
2.

Fig. 2. Antenna Modeling for Antenna Characteristics simulation.

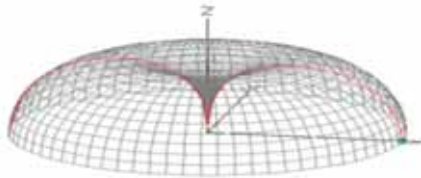
그림 3은 모의실험 모델을 사용한 안테나 방사특성을 나타내고 있으며, 표 1은 그림 3의 TLM 안테나 특성으로부터 해석 모델인 TLM 안테나의 특성을 표시하였다.



(a) Radiation Pattern for 65kHz



(b) Radiation Pattern for 283.5kHz



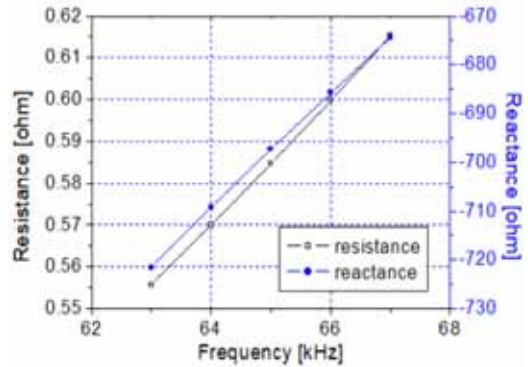
(c) Typical Radiation Pattern(3D)

3. TLM (@ 65kHz 283.5kHz)
 Fig. 3. Radiation Characteristics of TLM Antenna (@ 65kHz and 283.5kHz)

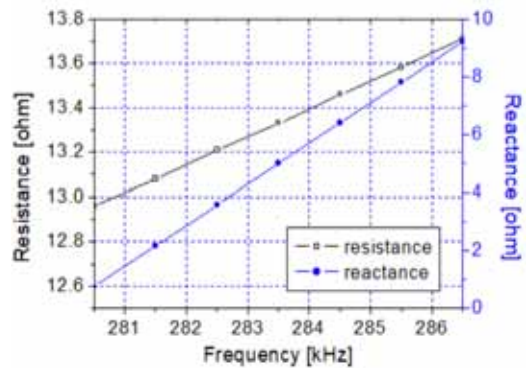
1. TLM (@ 65kHz 283.5kHz)
 Table. 1 Antenna Characteristics of analyzing TLM Antenna(@ 65kHz and 283.5kHz)

Frequency	65kHz	283.5kHz
Antenna Input Impedance	0.5847 - j697.3	13.33 + j4.985
Antenna Radiation Resistance	0.5847	13.33
Antenna Beam	44.8 deg.	43.4 deg.
Antenna Gain	4.26 dBi (max)	4.76

아울러, 그림 1의 TLM 안테나의 65 kHz 및 283.5 kHz 사용 주파수에 따른 안테나 입력 임피던스는 다음 그림 4와 같다.



(a) Input Impedance for 65kHz

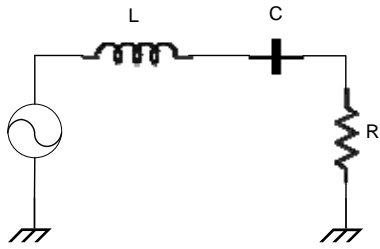


(b) Input Impedance for 283.5kHz

4. TLM (@ 65kHz 283.5kHz)
 Fig. 4. Input Impedance of analyzing TLM Antenna(@ 65kHz and 283.5kHz)

그림 4로부터 65 kHz 대역에서는 11.8 [Ω /kHz]의 reactance slope 특성이 나타나지만, 283.5kHz 대역에서는 1.41 [Ω /kHz]의 reactance slope 특성을 갖는다. 그리고 안테나의 물리적 길이가 안테나의 전기적 길이 특성으로 접근함에 따라 안테나 대역폭 특성이 향상될 수 있음을 알 수 있다.

안테나의 대역폭을 해석하기 위하여 표 1과 그림 4의 안테나 특성으로부터 그림 5와 같은 TLM 안테나의 등가 회로 모델을 구한다. 안테나 등가회로는 다음 식 (1)을 적용하여 등가회로 소자 값을 구할 수 있다[7].



5. 가
Fig. 5. Typical Equivalent Circuit of Antenna

$$Z = R + j\omega L - j \frac{1}{\omega C}, \quad \frac{dX}{d\omega} = L + \frac{1}{\omega^2 C}$$

$$L = 0.5 \left(\frac{dX}{d\omega} + \frac{X}{\omega} \right), \quad C = \frac{2}{\omega^2 \frac{dX}{d\omega} - \omega X} \quad (1)$$

여기서, L은 안테나의 등가 인덕턴스이며, C는 안테나의 등가 커패시턴스이다. 또한, R은 안테나의 방사저항이다.

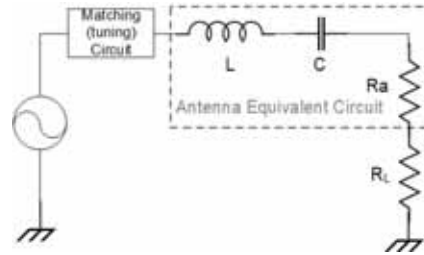
표 1과 그림 4의 TLM 안테나 특성과 식 (1)을 적용한 그림 1의 TLM 안테나 등가회로의 소자 값은 표 2와 같다.

2. TLM 가

Table. 2 Component Values of Equivalent Circuit for analyzing TLM Antenna

Component	65 kHz	283.5 kHz
Equivalent Inductance [L]	85.33 [uH]	113.6 [uH]
Equivalent Capacitance [C]	3.34 [nF]	2.84 [nF]
Radiation Resistance [R]	0.5847 []	13.33 []

표 2로부터 동작주파수 65 kHz와 283.5 kHz 공진 주파수를 갖기 위해서는 65 kHz 대역에서는 1709.7 [uH]의 직렬 동조 인덕턴스, 그리고 283.5 kHz 대역에서는 80.3 [nF] 직렬 동조 커패시턴스를 갖는 안테나 등가 회로가 필요하다. 아울러, 안테나 접지 및 안테나 도체, 그리고 유전체 손실 등에 의한 안테나 손실을 포함하는 안테나 등가회로는 그림 6과 같이 표현할 수 있다.



6. 가
Fig. 6. Equivalent Circuit of Antenna including Tuning Circuit and Antenna Loss.

그림 6에서 정합회로는 안테나 정합 및 동조 리액턴스를 포함하며, RL은 안테나 접지 손실 및 안테나 도체 손실, 그리고 기저절연 및 TLE 절연을 위한 유전체 손실을 포함하는 안테나 손실 저항이다[8].

2.2

안테나의 대역폭(BW)은 그림 6의 안테나 등가회로의 등가 인덕턴스 또는 등가 커패시턴스와 방사저항에 의해 구할 수 있다.

$$Q = \frac{\omega L}{R_a} = \frac{1}{\omega R C}, \quad BW = \frac{f_c}{Q} \quad (2)$$

여기서, Q는 안테나의 큐 인자(quality factor)이며, f_c 는 안테나 공진주파수이다. 또한, 등가 인덕턴스 및 등가 커패시터에는 안테나 동조를 위한 동조 리액턴스를 포함한다.

식 (2)로부터 표 2와 같은 TLM 안테나의 65 kHz와 283.5 kHz대역의 안테나 대역폭은 표 3과 같이 나타난다.

3. TLM

Table. 3 Antenna Bandwidth of analyzing TLM Antenna

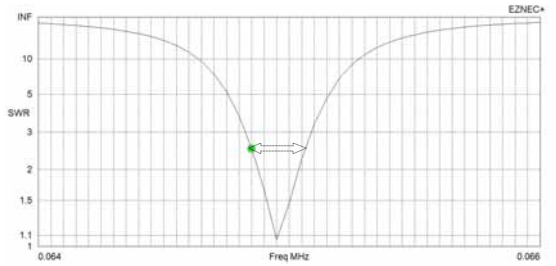
Frequency	65 kHz	283.5 kHz
Antenna Bandwidth	51.8 Hz	19.1 kHz

그러나, 기부 절연형 지선식 안테나는 안테나 높이 따른 접지 면적이 필요하며, 대지 저항에 따른 접지 손실이

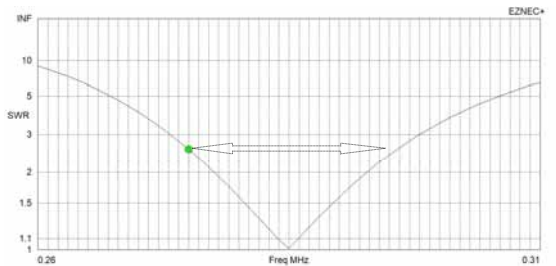
발생된다. 또한 안테나의 도체 손실 및 절연체의 유전체 손실이 발생된다. 따라서, 식 (2)의 안테나 방사저항에 그림 6에서 표현한 안테나 손실을 고려하여야 한다. 여기서, 안테나 손실은 2Ω 을 고려하여 대역폭을 산출한다[8]. 표 4는 안테나 손실을 고려한 TLM 안테나의 대역폭을 나타낸 것이며, 그림 7은 설계된 TLM 안테나를 모사 (EZNEC v. 6)한 안테나 대역폭을 보여주고 있다. 표 4의 안테나 대역폭과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

4. Table. 4 Antenna Bandwidth considering the antenna loss resistance

Frequency	65 kHz	283.5 kHz
Antenna Bandwidth	229.1 Hz	21.9 kHz



(a) Antenna bandwidth for 65 kHz(BW : 220 Hz)



(b) Antenna Bandwidth for 283.5 kHz(BW : 20.4 kHz)

7. TLM (@ 65 kHz 283.5 kHz)

Fig. 7. Simulated Antenna Bandwidth of analyzing TLM antenna(@ 65 kHz and 283.5 kHz)

표 4와 그림 7로부터 안테나 손실이 증가할수록 안테

나 대역폭은 증가하는 효과가 나타나지만, 유효방사전력은 감소하게 된다. 따라서, TLM 안테나의 대역폭 및 안테나 이득은 안테나 효율 특성에 의해 변하므로, 그림 6과 같이 안테나 손실 저항 R_L 을 고려한 식 (3)과 같은 안테나 효율(η)을 고려한다.

$$\eta = \frac{R_a}{R_a + R_L} \quad (3)$$

송신기 출력전력에 의한 안테나의 유효방사전력 (Effective Radiated Power:ERP)은 다음과 같다.

$$ERP = P_t \times G_t \quad (4)$$

여기서, P_t 는 송신기 출력이며, G_t 는 안테나 상대이득으로 안테나 효율(η) 특성을 포함한다.

안테나 이득과 효율 특성을 고려한 송신안테나와 송신기 출력 P_t [kW]를 갖는 중·장파대역 위성항법보정시스템 및 시각정보 전송시스템의 ERP는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$ERP[dBW] = 10\log(P_t) [dBW] + G_t [dBi] - 2.15 [dBd] + 10\log(\eta) \quad (5)$$

2.3

중·장파 대역 주파수를 사용하는 위성항법보정시스템 및 시각정보 전송시스템 송신 안테나의 손실저항이 2Ω 인 경우, 식 (3)으로부터 안테나의 효율을 구하면 다음과 같다.

5. TLM (@ 65 kHz 283.5 kHz)

Table. 5 Antenna Efficiency of TLM antenna(@ 65 kHz and 283.5 kHz)

Frequency	65 kHz	283.5 kHz
Antenna Efficiency	22.6 %	86.9 %

안테나의 물리적 길이가 $\lambda/4$ 의 전기적 안테나 길이에 접근함에 따라 효율이 증가하며, 대역폭이 향상되는 것을 알 수 있다. 또한, 안테나 효율이 증가할수록 일정한 ERP 특성을 갖기 위해서는 상대적으로 낮은 출력을 갖는 송신기로 구성할 수 있다.

위성항법보정시스템 및 시각정보 전송시스템(65 kHz

대역과 283.5 kHz 대역) 송신 안테나의 대역폭은 각각 약 229 Hz 및 21.9 kHz 이므로 대역폭에 적합한 전송 데이터 용량과 변조방식을 적용할 수 있다. 그림 1과 같은 안테나를 사용하여 위성항법보정신호를 전송할 경우, 보다 넓은 대역폭으로 최대 약 20 kbps 전송 데이터 용량을 갖는 디지털 위상편이 방식(PSK)신호 전송방식 적용이 가능하며, 시각정보 전송시스템은 최대 약 200 bps 전송 데이터 용량을 갖는 PSK 전송방식 적용이 가능하다. 일반적으로 중·장파대역 전송 시스템은 MSK 전송방식을 적용하고 있으며, 이 경우 400 bps 데이터 용량을 갖는 시각정보 전송시스템 구현이 가능할 수 있다. 전송데이터 용량은 안테나 대역폭에 비례하므로 안테나 효율이 낮을수록 대역폭이 넓어지는 효과를 가지므로 데이터 전송이 용이하나, 안테나 이득이 감소하므로 ERP 특성이 저하되는 특성을 갖는다.

그림1과 같은 안테나를 사용하여 10 kW의 ERP 특성을 갖는 시각정보 전송시스템에 대한 송신기 출력은 식 (5)로부터 구할 수 있다. 또한 500 W ERP 특성을 갖는 위성항법보정시스템의 송신기 출력 특성을 표 6에서 보여 주고 있다.

6. 1 (@65 kHz 283.5 kHz)

Table. 6 Transmitter Output Power of transmission system using Antenna shown Fig. 1(@65 kHz and 283.5 kHz)

Frequency / ERP	65 kHz / 10 kW	283.5 kHz / 500W
Transmitter Output Power	27.4 kW	316 W

안테나 효율이 향상되면 안테나 이득이 증가하여 요구되는 ERP 특성을 만족하기 위하여 보다 낮은 출력 특성을 갖는 송신기 구성이 가능하다. 그러나 대역폭이 제한되는 안테나 시스템에서 보다 높은 데이터 전송을 위해서는 안테나 효율을 낮게 하여 대역폭을 확장하는 것을 고려할 수 있다.

3.

본 논문에서는 중·장파 대역 안테나로 사용되는 단

축형 모노폴 안테나인 기부 절연형 지선식 안테나의 대역폭 특성을 해석하고 대역폭에 따른 전송방식 특성을 해석하였다. 중·장파대역 안테나 시스템으로 65 kHz 대역의 시각정보 전송시스템과 283.5 kHz 대역의 위성항법보정시스템을 고려하였으며, 제한된 물리적 환경에 설계된 기부 절연형 지선식 안테나를 적용하였다. 안테나의 물리적 길이의 한계로 낮은 안테나 대역폭 특성을 가지며, 대역폭에 따른 전송 데이터 용량 및 전송방식을 제안하였다. 아울러 안테나 효율에 따른 요구 ERP 특성을 갖는 송신기 출력 특성을 산출할 수 있도록 하였다. 본 논문은 위성항법보정시스템 및 시각정보 전송시스템의 안테나 특성에 따른 전송방식을 설계하고 시스템 구성에 적용할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Y. W. Kim, "Analysis and measurement of service area of ocean-based DGPS reference station in Korea", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 6, pp. 1255-1261, June, 2014.
- [2] S. Y. Lee, Y. S. Choi, S. W. Hwang and S. J. Lee, "Design of Field Strength Prediction Platform for Long-wave based Time Broadcasting", in *Proceeding of the ICS 2014 Information and Control Symposium*, pp. 5-6, 2014.
- [3] S. Rotheram, "Ground-wave propagation. Part 2: Theory for medium and long distances and reference propagation curves," *IEE Proceedings F - Communications, Radar and Signal Processing*, vol. 128, no. 5, pp. 285-295, Oct. 1981.
- [4] S. G. Na, S. W. Lee and Y. W. Kim, "Modeling and Design of Medium-wave DGPS Monopole Antenna", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 4, pp. 797-804, Apr. 2014.
- [5] K. N. Kim, H. K. Mok, H. Y. G and S. W. Nam, "Co-Location and Analysis of an eLoran Transmitting Antenna in an MF Transmitting Site", *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 27, no. 12, pp. 1053-1058, Dec. 2016.
- [6] Y. W. Kim, "Propagation Analysis of DGPS Antenna for Radial Ground and Obstacle", *Journal of information and communication convergence engineering*, vol. 9, no. 4, pp. 363-368, Oct. 2011.

- [7] H. J. Choi, K. J. Choi, J. Heo and Y. K. Kim
 "The Analysis of Sleeve Monopole Antenna by
 Lumped-Element Equivalent Circuit", The Jour-
 nal of Korean Institute of Electromagnetic En-
 gineering and Science, vol. 9, no. 1, pp. 34-
 42, Feb. 1998.
- [8] V. Trainotti and L. A. Dorado, "Short Low- and
 Medium-Frequency Antenna Performance", I
 EEE Antennas and Propagation Magazine, vol.
 47, no. 5, pp. 66-90, Oct. 2005.

(young-Wan Kim)

[]



- 1983
- 1985
- 2003
- 1992 2004

- 2004

IT

RF/Microwave

< >