

중파 대역 기준국 안테나의 효율 측정 방법

Method to Obtain the Antenna Efficiency of a Base Station in the Middle Frequency Band

배수원 · 권세웅 · 이우성 · 문현욱 · 윤영중

Su Won Bae · Sewoong Kwon · Woosung Lee · Hyunwook Moon · Young Joong Yoon

요 약

중파 대역의 시스템의 커버리지를 예측하기 위해서는 기준국 안테나의 효율을 알아야 한다. 그러나 중파 대역 기준국 안테나는 설치되는 장소에 따라 효율의 변화가 심하기 때문에 이 값을 정확히 계산하는 것이 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 측정을 통해 실제 운용 중인 중파 대역 기준국 안테나의 효율을 구하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 측정된 전계 강도와 중파 대역 감쇠 모델을 이용하기 때문에, 먼저 일반적인 중파 대역 감쇠 모델에 대해 설명하였으며, 다음으로 안테나의 효율을 구하는 방법을 나타냈다. 마지막으로 제안된 방법을 현재 운용 중인 중파 대역 위성 항법 보정 시스템에 적용하여 해상 및 육상 기준국의 안테나 효율을 구하였으며, 이론적 효율과 비교를 통해 제안된 방법의 효용성을 확인하였다.

Abstract

To predict the system coverage in the middle frequency(MF) band, it is required to know the antenna efficiency at a base station. However, calculating the accurate efficiency is difficult since the efficiency may change according to the area where the antenna is installed. Thus, this paper proposes a method to obtain the antenna efficiency of a base station in the MF band from the measurement. This method uses the measured field strengths and the attenuation model in the MF band. Therefore, an attenuation model which is used in the proposed method is presented at first. Then, the process of the proposed method is followed using detailed explanations. Finally, antenna efficiencies of base stations which are currently operating are obtained by applying the proposed method and the usefulness of the obtained results are verified by comparing with ideal efficiencies.

Key words : Antenna Efficiency, Middle Frequency Band, Physically Large Antenna

I. 서 론

중파(middle frequency) 대역은 주파수가 300~3,000 kHz의 주파수 영역을 말하며, 파장이 100~1,000 m 정도로 매우 긴 성질을 가지고 있다. 이 대역에서는 지표면으로부터의 반사파와 직접파의 위상이 역위상이 되기 때문에 서로 상쇄된다. 그러므로 대부분의 전력은 지표면을 타고 흐르는 표면파

(surface wave)를 통해 전달된다^[1]. 표면파는 지표면의 도전율에 의해 감쇠가 발생하므로 중파 대역은 약 200~300 km 정도의 커버리지를 가지게 되며, 이러한 특성 때문에 항공기의 자동 유도 장치(initial localization system), AM 라디오 방송, 무선 표지 시스템(radio beacon system) 등과 같은 시스템에 다양하게 사용되고 있다.

이러한 시스템들의 안정적인 운용을 위해서는 기

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음(IITA-2007-C1090-0701-0038).」
연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University)

· 논문 번호 : 20080305-028

· 수정완료일자 : 2008년 5월 14일

기준국에서 전파하는 전계의 강도를 예측할 수 있어야 한다^[1]. 중파 대역 예측 모델에 의하면 전계 강도는 방사 전력(radiated power)으로부터 계산할 수 있으며, 방사 전력은 안테나에 입력되는 전력과 안테나 효율의 곱으로 표현된다. 이때 안테나로의 입력 전력은 쉽게 측정이 가능하기 때문에 안테나 효율에 대한 정보가 있으면 방사 전력을 구할 수 있다.

중파 대역 기준국 안테나는 높이가 수십 미터 정도에 이르지만 파장이 매우 길기 때문에 전기적으로 소형 안테나의 특성을 가진다. 따라서 기준국 안테나는 매우 작은 방사 저항 값을 가지며, 장치 및 주변 환경에 의한 약간의 손실에도 안테나 효율이 크게 영향을 받게 된다^[2]. 그러므로 기존의 중파 대역 안테나 효율 측정은 주변 환경에 대한 정보가 미리 알려져 있고, 교정(calibration)되어 있는 공간에서 정해진 수신기를 이용해 이루어진다. 그러나 안테나가 실제 기준국에 설치되면 주변 환경 및 장치의 설정 바뀌기 때문에 안테나의 효율이 변하게 되며, 이에 대해서는 추정치를 사용하고 있는 것이 현실이다.

따라서 이번 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해, 실제 운용 중인 중파 대역 기준국 안테나에서 효율을 구하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 거시적 페이딩이 존재하는 환경에서 충분한 샘플의 측정값으로부터 실제 운영되는 기준국의 효율을 구하는 것이다. 제안된 방법으로 얻어진 효율은 중파 대역 감쇠 모델의 초기 값으로 적용될 수 있으며, 이를 이용하여 전계 강도 및 시스템 커버리지를 예측할 수 있다.

II. 중파 대역 감쇠 모델

이번 절에서는 제안된 방법에서 사용되는 중파 대역 감쇠 모델에 대해 나타냈다. 일반적으로 중파 대역에서의 전파는 직접파와 반사파 그리고 표면파로 나눌 수 있다. 특히 송·수신점이 지면에 가까이 위치하면 직접파와 반사파가 서로 상쇄되기 때문에 표면파만이 파의 전파에 영향을 미치게 된다. 이때, 표면파에 대한 전파 수식은 다음과 같이 간략화 된다^[3].

$$|E_z| = \frac{300}{r} \sqrt{P} |F| \quad (1)$$

여기서 E_z 는 전계 강도(mV/m)이며, r 은 기준국으로부터의 거리(km), P 는 미소 다이폴 안테나에서 방사된 전력(kW), 그리고 F 는 표면의 종류와 경로 길이에 따른 감쇠 함수이다. 식 (1)의 감쇠 함수 F 는 에리 함수(erfc)를 포함하고 있기 때문에 실제 수식 상에서 적용하기에 매우 어렵다. 따라서 Norton은 실제 계산상에 적용할 수 있도록 근사식을 다음과 같이 나타냈다^[4].

$$F_1(p, b) = \frac{1}{2p-3.7} \quad (b < 5^\circ, p > 4.5) \quad (2-1)$$

$$F_2(p, b) = e^{-0.43p+0.01p^2} \quad (b < 5^\circ, p \leq 4.5) \quad (2-2)$$

$$F_3(p, b) = e^{-0.43p+0.01p^2} - \sqrt{\frac{p}{2}} \sin b e^{-5p/8} \quad (b > 5^\circ, p \leq 4.5) \quad (2-3)$$

$$F_4(p, b) = \frac{1}{2p-3.7} - \sqrt{\frac{p}{2}} \sin b e^{-5p/8} \quad (b > 5^\circ, p > 4.5) \quad (2-4)$$

여기서 p 는 수치적 거리, 그리고 b 는 위상 상수이며, 각각 다음과 같이 계산된다.

$$p = \frac{\pi}{x} \cdot \frac{r}{\lambda} \cdot \frac{\cos^2 b''}{\cos b'} \quad (3)$$

$$b = 2b'' - b' \quad (4)$$

$$x = \frac{1.8 \times 10^4 \times \sigma}{f \text{ MHz}} \quad (5)$$

$$\tan b' = (\epsilon_r - 1)/x \quad (6)$$

$$\tan b'' = \epsilon_r/x \quad (7)$$

이때 σ 는 지표면의 도전율(S/m)을 나타내며, r 은 수신단과 송신단 사이의 거리, 그리고 ϵ_r 은 지표면의 유전 상수를 나타낸다. 참고문헌 [4]에서는 Norton의 근사식의 정확도를 분석하였는데, $b < 35^\circ$ 일 경우, 식 (2)의 근사식이 거의 정확한 값을 가짐을 확인하였다. 중파 대역 주파수와 ITU-R의 도전율을 고려하여 b 를 계산하면 $b < 5^\circ$ 이 되고, 따라서 식 (2)를 이용해 구해진 F 의 오차는 미세할 것으로 판단된다. 이를 식 (1)에 대입하여 중파의 전계 강도를 예측할 수 있다.

III. 기준국 안테나의 효율 계산 방법

제안된 방법의 기본적인 원리는 예측된 전계 강도와 측정된 전계 강도를 비교한 뒤 두 값이 차이를 보정하여 안테나 효율을 구하는 것이다. 전계 강도는 앞 절에서 설명하였듯이 식 (1)에 각 파라미터들을 대입함으로써 구할 수 있다. 이때 도전율의 분포가 지상과 해양이 다르기 때문에 제안된 방법에서는 두 가지 경우에 따라 측정 방법이 나뉜다. 이것은 해상 도전율이 모든 지역에서 약 5 S/m로 일정한 반면, 육상 도전율은 토양의 성질에 따라 그 값이 변하기 때문이다.

3-1 해상 기준국에서의 안테나 효율 계산법

해상 기준국의 전계 강도 측정 방법은 그림 1에 나타나 있다. 먼저 교정(calibration)된 수신기를 장착한 배가 측정하려는 기준국을 출발하여 직선 방향으로 이동하면서 전계 강도를 측정한다. 다음으로 측정된 결과를 거리에 따라 나타내 경로 손실 곡선을 구한다. 이때 실제 환경에서는 다중 경로 성분에 의해 거시적인 페이딩(large scale fading)이 발생하기 때문에 전계 강도는 경로 손실 값을 중심으로 크기가 변하게 된다. 이 값은 보통 dB 단위로 평균이 0이고, 표준편차가 Σ 인 가우시안 정규 분포를 갖는다. 이를 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$E_{meas}(r) = E_0 + PL_{meas}(r, \sigma) + N[0, \Sigma^2] \quad [dB] \quad (8)$$

여기서 E_0 는 기준국에서의 전계 강도를, $PL_{meas}(r, \sigma)$ 은 경로 손실을 의미하며, N 은 정규 분포 함수, 그리

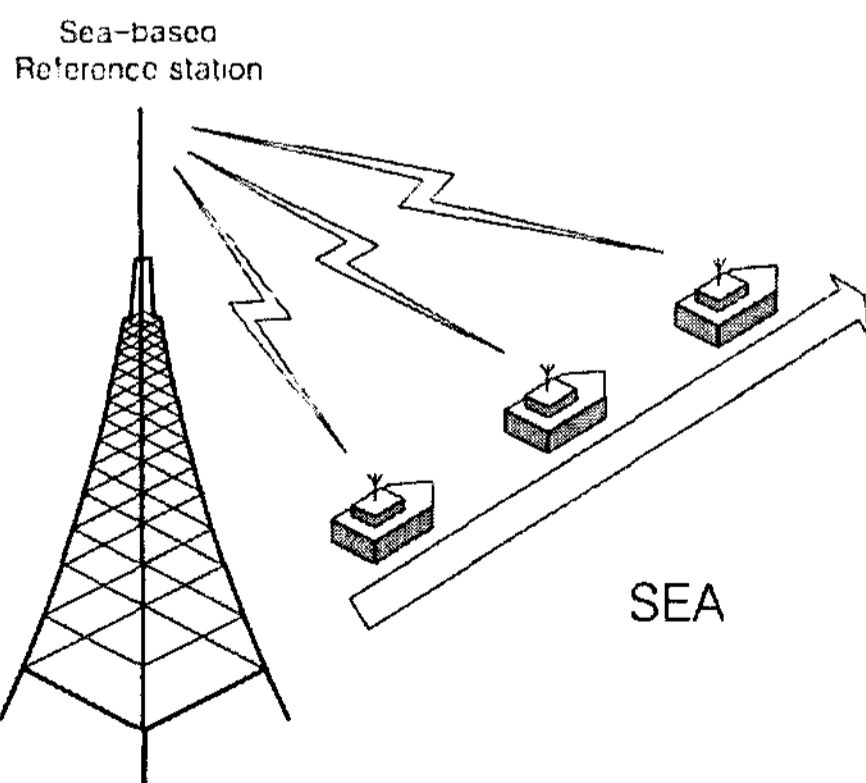


그림 1. 해상 기준국에서의 측정 방법
Fig. 1. Measurement path at sea-based reference stations.

고 Σ 는 이 함수의 표준 편차이다. 다음으로 예측된 전계 강도를 식 (1)을 이용하여 dB값으로 나타내면 다음과 같다.

$$E_{pred}(r) = 20 \log \left(\frac{300}{r} \sqrt{P|F|} \right) = E_0(\eta_i P_{in}) + PL_{pred}(r, \sigma) \quad [dB] \quad (9)$$

여기서 $E_0(\eta_i P_{in})$ 는 기준국 안테나로 입력되는 전력이 P_{in} 일 때의 기준국에서의 전계 강도이다. 이때 η_i 는 기준국 안테나의 효율이며, 초기값을 입력한 뒤 전계 강도를 예측한다. 앞에서 설명하였듯이 측정된 전계 강도는 거시적인 페이딩이 포함되기 때문에, 예측된 전계 강도와 비교하기 위하여 다음과 같이 에러 함수 M 을 도입한다.

$$M = E_{meas}(r) - E_{pred}(r) \quad [dB] \quad (10)$$

식 (8)과 (9)의 전계 강도에서 $PL_{meas}(r, \sigma)$ 와 $PL_{pred}(r, \sigma)$ 는 서로 같다고 생각하면 식 (10)은 다음과 같이 간략화 될 수 있다.

$$M = \{E_0 - E_0(\eta_i P_{in})\} + N[0, \Sigma^2] \quad [dB] \quad (11)$$

식 (11)에서 에러 함수의 평균은 $\{E_0 - E_0(\eta_i P_{in})\}$ 이며, 이것이 예측된 전계 강도와 실제 전계 강도의 오차이다. 따라서 이 오차 값을 다음과 같이 초기값(η_i)에 보정해 주면 실제 기준국 안테나의 효율(η_{final})을 구할 수 있다.

$$\eta_{final} = \eta_i \times 10^{\{E_0 - E_0(\eta_i P_{in})\}/10} \quad (12)$$

이때 에러 함수의 표준편차가 작을수록 실제 전계 강도를 잘 예측함을 의미한다.

3-2 육상 기준국에서의 안테나 효율 계산법

육상 기준국에서의 안테나 효율을 구하는 방법과 해상 기준국에서의 방법의 원리는 같다. 그러나 육상에서는 토양의 종류에 따라 대지 도전율이 변하기 때문에 전계 강도의 측정 방법이 달라져야 한다.

육상 기준국의 전계 강도 측정 방법은 그림 2에 나타나 있다. 육상 기준국의 측정은 해상 기준국의 경우와 달리 기준국을 중심으로 거리 r 이내에서만 측정을 한다. 이때 거리 r 은 기준국을 중심으로 대지 도전율이 일정할 수 있는 최대의 거리이다. 이는 기

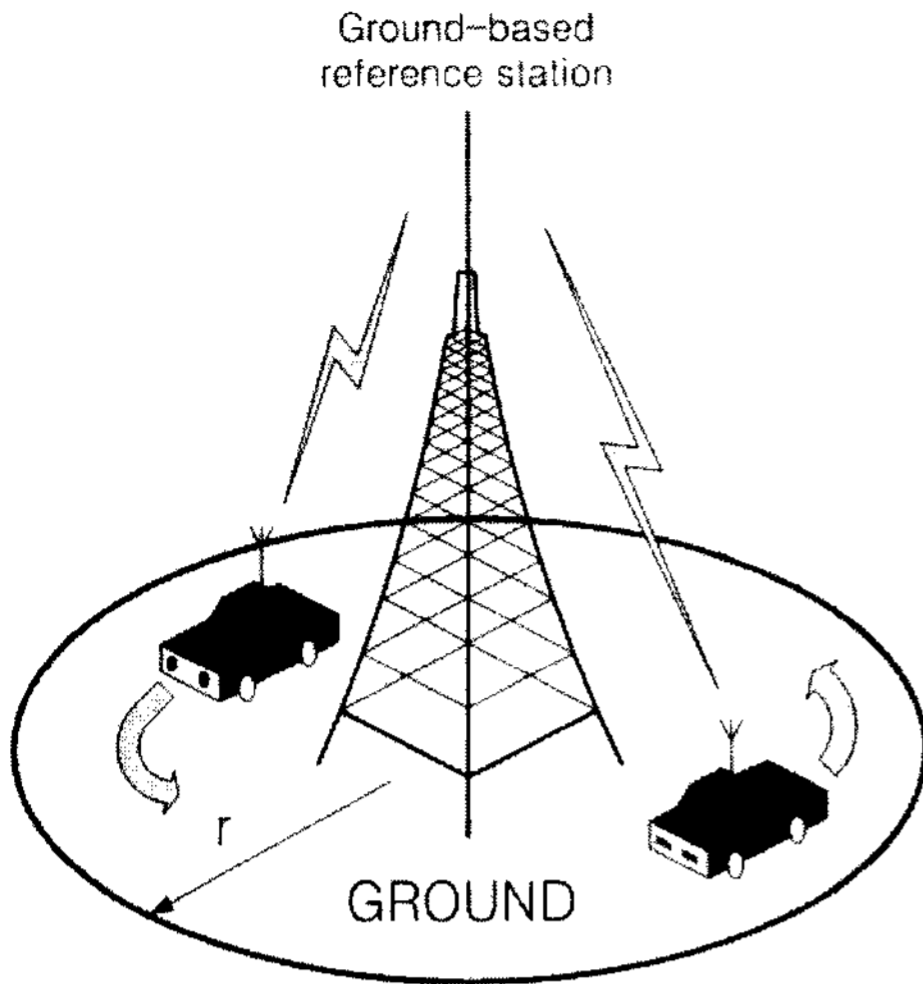


그림 2. 육상 기준국에서의 측정 방법
Fig. 2. Measurement path at ground-based reference stations.

기준국과 같은 토양에서 전계 강도를 측정하여 식 (1)의 중파 대역 감쇠 모델이 적용될 수 있게 하기 위해서이다. 이때 페이딩의 영향이 커질 수 있으므로 r 의 최댓값은 40λ 로 제한한다. 또한, 육상의 경우 산이나 건물들과 같은 주변 환경의 영향을 받아 거시적인 페이딩이 발생하기 때문에 그림 2에 나타나듯이 기준국을 중심으로 전 방향에서의 전계 강도를 측정한다. 이것은 전 방향에서의 전계 강도의 평균을 취함으로써 가우시안 정규 분포 형태를 갖는 거시적인 페이딩의 영향을 제거하기 위해서이다.

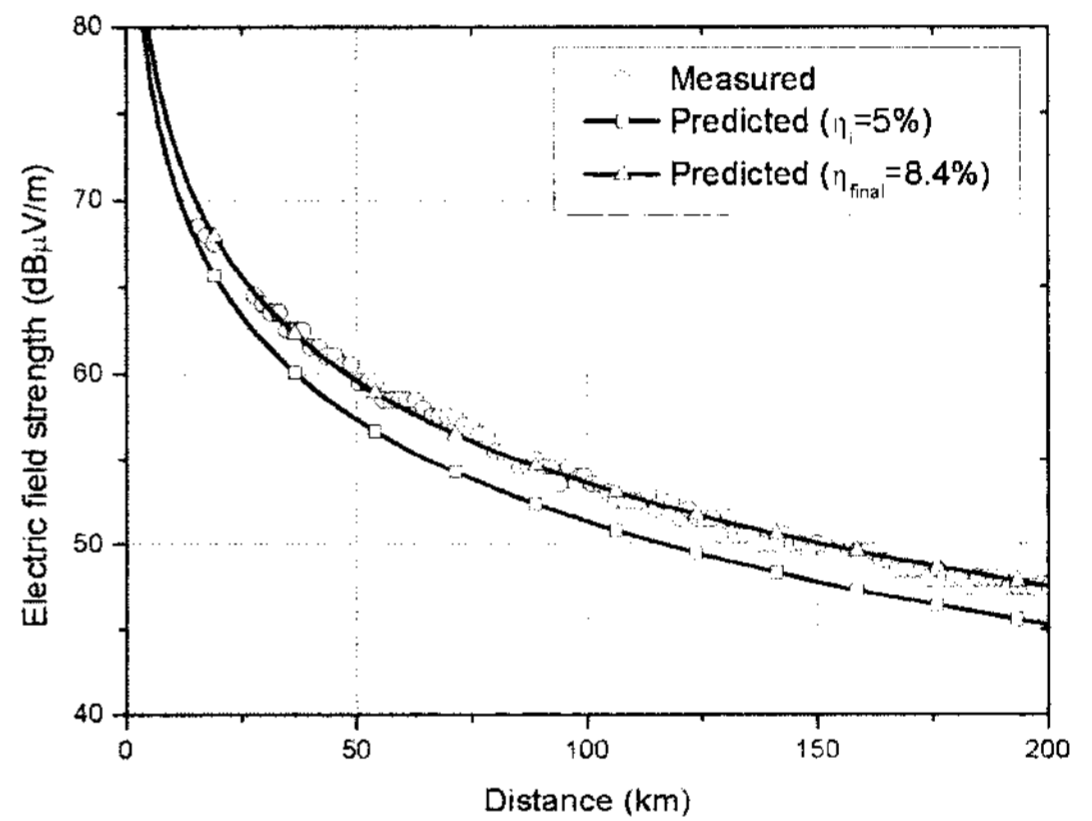
위와 같이 전계 강도를 측정한 뒤, 해상 기준국의 경우와 같은 방법으로 효율을 계산한다. 우선 식 (8)~(10)을 이용하여 에러 함수 M 을 구한 뒤 식 (11)~(12)를 이용하여 M 의 평균과 기준국 안테나의 효율(η_{final})을 계산한다.

IV. 측정 결과

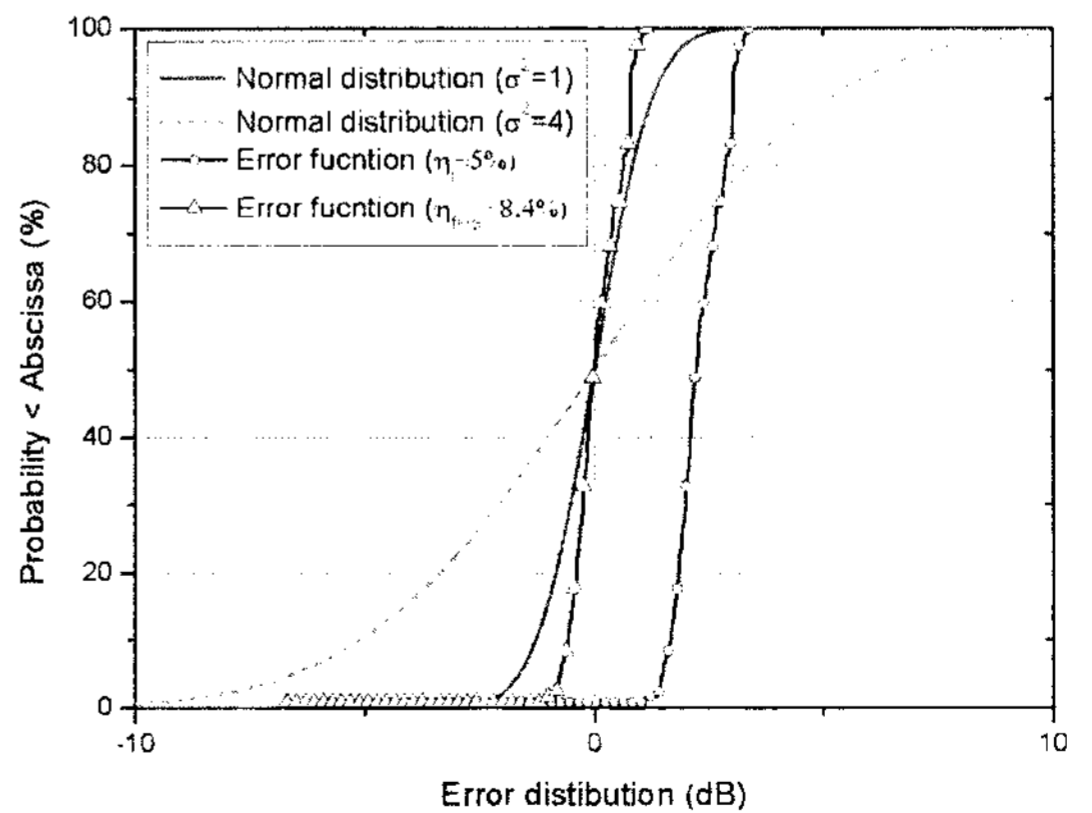
이번 절에서는 제안된 방법을 검증하기 위하여 실제 국내에서 운용 중인 중파 대역 기준국 안테나에 제안된 방법을 적용하여 효율을 구하였다. 이를 위해 위성 항법 보정 시스템(DGPS)의 기준국이 선택되었으며, 이는 DGPS의 동작 주파수(283.5~325 kHz)가 중파 대역을 만족하기 때문이다. 이때 기준국은 해상 기준국과 육상 기준국이 각각 하나씩 선

택되었다.

우선 해상 기준국의 안테나 효율을 구하기 위해 측정된 전계 강도를 그림 3(a)에 나타냈다. 측정된 전계 강도는 수신기를 탑재한 배를 직선 방향으로 이동시키며 측정되었다. 배의 속도는 일정하게 유지하였으며 1초 간격으로 데이터를 수집하였다. 그리고 GPS를 이용하여 측정 위치를 확인하였다. 이때 수신 전계 강도와 신호 대 잡음비가 한계 레벨 이상인지 여부를 모니터링 하여 기준 이상의 전계 강도만 저장하였다. 이러한 방법으로 약 11,400개의 데이터를 얻었으며, 이를 바탕으로 효율을 계산하였다. 다음으로 식 (9)를 이용하여 전계 강도가 예측되었



(a) 측정 및 예측 전계 강도
(a) Measured and predicted field strengths



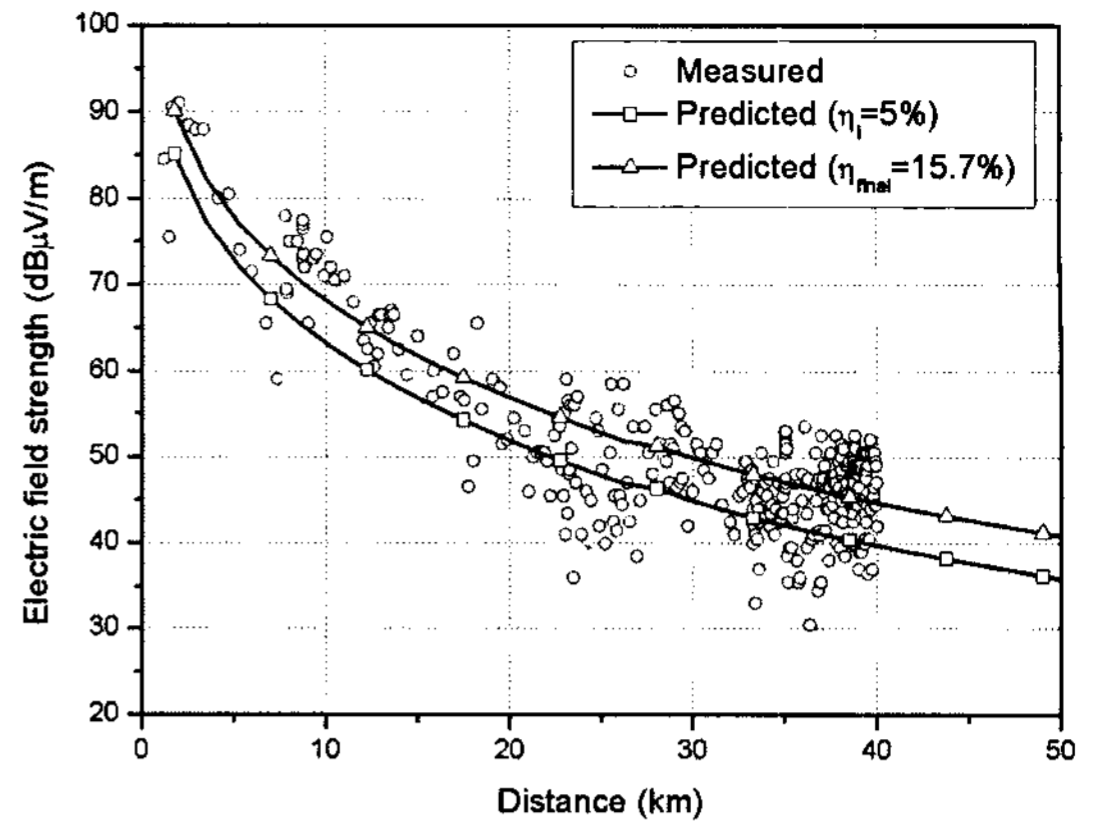
(b) 에러 함수의 CDF
(b) CDF of an error function

그림 3. 해상 기준국에서의 전계 강도 및 에러 함수
Fig. 3. Field strengths and error functions at the sea-based reference station.

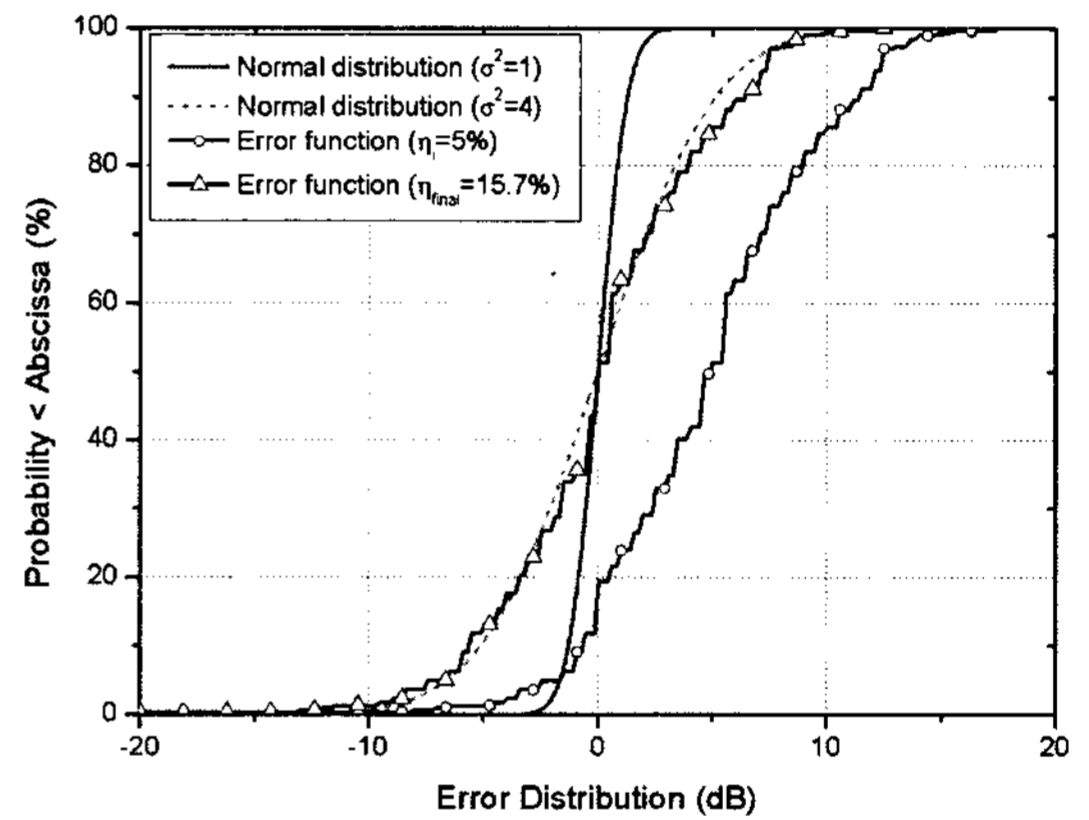
다. DGPS 기준국의 입력 전력이 300 W이므로 $P_{in}=300$ W로 설정하였으며, 일반적인 DGPS 기준국의 효율이 5 % 정도임을 고려하여 효율의 초기값(η_i)을 5 %로 설정하였다. 해상의 도전율은 5 S/m로 설정하였으며, 유전율은 70으로 설정하였다^[1]. 예측된 결과는 그림 3(a)에 나타냈다. 이 결과에 의하면 예측된 전계 강도($\eta_i=5$ %)는 측정된 결과와 감쇠 추세는 일치하나 오차가 있음을 알 수 있다. 다음으로 식 (10)을 이용하여 에러 함수를 구했으며, 그 결과를 그림 3(b)에 나타냈다. 계산 결과, 에러 함수의 평균은 2.25 dB를 가졌으며, 이는 측정된 전계 강도가 예측된 결과보다 2.25 dB 높은 값을 가짐을 의미한다. 따라서 이 오차를 식 (12)에 적용하여 최종적으로 기준국의 안테나 효율을 구하였으며, 그 결과 8.4%의 효율을 얻었다. 최종적으로 구해지 효율($\eta_{final}=8.4$ %)을 다시 식 (9)~(10)에 적용하여 전계 강도와 에러 함수를 구한 뒤 각각의 결과를 그림 3(a)와 (b)에 나타냈다. 그림 3(a)에서는 예측된 전계 강도($\eta_{final}=8.4$ %)가 측정된 전계 강도와 거의 일치함을 확인할 수 있으며, 그림 3(b)에서는 에러 함수의 평균은 거의 0 dB가 됨을 알 수 있다. 이것은 제안된 방법으로 구해진 안테나 효율이 측정된 전계 강도를 잘 예측함을 의미한다.

육상 기준국 전계 강도는 차량에 DGPS 수신기를 장착한 후 일정한 속도(60~80 km/s)를 유지하면서 1 초 간격으로 측정하였다. 차량의 위치 정보는 GPS 위성의 신호를 받아 사용하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 전계 강도는 육상 기준국을 중심으로 전 방향에서 측정되었으며, 단일 토양으로 고려하기 위해 $r=40 \lambda=40$ km 이내에서 측정된 결과만을 이용하였다. 이때 도로 사정상 한 지역에서 측정 데이터가 물리는 것을 방지하기 위해 기준국을 중심으로 각도당 같은 데이터 수를 가지도록 데이터 처리를 하였다. 이러한 과정을 통해 약 9,600개의 데이터를 얻었으며, 측정된 전계 강도는 그림 4(a)에 나타나 있다.

이 후 해양 기준국의 경우와 같은 방법을 이용해서 안테나의 효율을 구하였다. 우선 안테나 효율의 초기값을 $\eta_i=5$ %로 설정하고, 예측 전계 강도를 계산하였다. 이때 도전율은 ITU-R P.832에서 제시된 국내 도전율 지도를 참고하여 3 mS/m로 설정하였으며, 유전율은 참고문헌 [1]을 참고하여 10으로 설정



(a) 측정 및 예측 전계 강도
(a) Measured and predicted field strengths



(b) 에러 함수의 CDF
(b) CDF of an error function

그림 4. 육상 기준국에서의 전계 강도 및 에러 함수
Fig. 4. Field strengths and error functions at the ground-based reference station.

하였다^[1]. 예측된 전계 강도는 그림 4(a)에 나타냈다. 페이딩의 영향으로 측정 데이터가 분산되어 있기 때문에 식 (10)을 이용하여 에러 함수 M 을 계산하였다. 이때 에러 함수의 평균은 4.98 dB이며, 이것은 예측된 전계 강도가 측정된 전계 강도보다 4.98 dB 낮음을 의미한다. 이 값을 식 (12)에 대입하여 최종적으로 육상 기준국 안테나의 효율($\eta_{final}=15.7$ %)을 얻었다. 그림 4(a)와 (b)에는 $\eta_{final}=15.7$ %일 때의 전계 강도와 에러 함수 결과가 나타나 있다. 그림 4(a)에 의하면 $\eta_{final}=15.7$ %일 때 예측된 전계 강도가 측정된 전계 강도와 잘 일치하였으며, 그림 4(b)에서는 $\eta_{final}=15.7$ %일 때 에러 함수의 평균이 거의 0 dB가 되었음을 확인할 수 있다.

제안된 방법의 정확도를 검증하기 위해서는 안테나의 방사 저항과 손실을 계산할 수 있어야 한다. 중파 대역 안테나의 손실(R_{loss})은 크게 지표면에 의한 손실, 튜닝 인덕터에 의한 손실, 도체에 의한 손실, 그리고 부정합에 의한 손실 등으로 나눌 수 있는데, 특히 지표면에 의한 손실과 튜닝 인덕터에 의한 손실이 대부분을 차지한다. 이러한 손실들은 주변 환경 및 장치의 설치에 따라 그 값이 달라지며 계산하기가 어렵다^[2]. 따라서 본 논문에서는 안테나의 전체 손실을 일정한 값으로 설정하고 이론적인 안테나 효율을 계산한 뒤 두 기준국에서 구해진 안테나 효율 값과 비교를 통해 제안된 방법의 정확성을 확인하였다.

우선 해상 기준국과 육상 기준국에서의 결과를 표 1에 나타냈다. 이 결과에 따르면 육상 기준국의 안테나가 해상 기준국 안테나보다 높은 효율 값을 가지는데, 이것은 안테나의 높이가 낮아질수록 방사 저항이 작아져 효율이 떨어지기 때문이다. 이러한 경향을 분석하기 위해 그림 5에 안테나 높이에 따른 이론적인 안테나 효율과 제안된 방법으로 구해진 안테나 효율을 나타냈다. 이론적인 안테나 효율은 방사 저항과 손실의 비로 계산할 수 있으며, 안테나의 방사 저항은 소형 모노폴 안테나의 방사 저항 식으로 계산하였다^[6].

$$\eta_{ideal} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{loss}} \quad (13)$$

$$R_{rad} = 40 \pi^2 \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2 \quad (14)$$

이때 h 는 안테나의 높이, R_{rad} 는 방사 저항, R_{loss} 는 손실 저항, λ 는 파장을 나타낸다. 앞에서 설명한 바와 같이 중파 대역 안테나의 손실은 다양한 곳에서 발생하며 예측이 어려우므로 이번 논문에서는 손실(R_{loss})을 10 Ω, 15 Ω, 20 Ω라 가정하고 계산하였다. 그림 5의 결과에 따르면 안테나는 길이가 길어질수록 안테나의 방사 저항이 증가하여 효율이 증가함을 확인할 수 있다. 또한, 해상 기준국 안테나가 육상 기준국 안테나보다 더 작은 R_{loss} 를 가짐을 확인할 수 있다. 이는 해상 기준국 주변의 도전율(5 S/m)이 육상 기준국 주변의 도전율(3 mS/m)보다 높음을 고려할 때 합당한 결과라 사료된다. 이러한 결과로 볼 때

표 1. 기준국 안테나의 효율 값

Table 1. Antenna efficiencies of all reference stations.

기준국	효율 (%)	안테나 높이 (m)
해상 기준국	8.4	45
육상 기준국	15.7	90

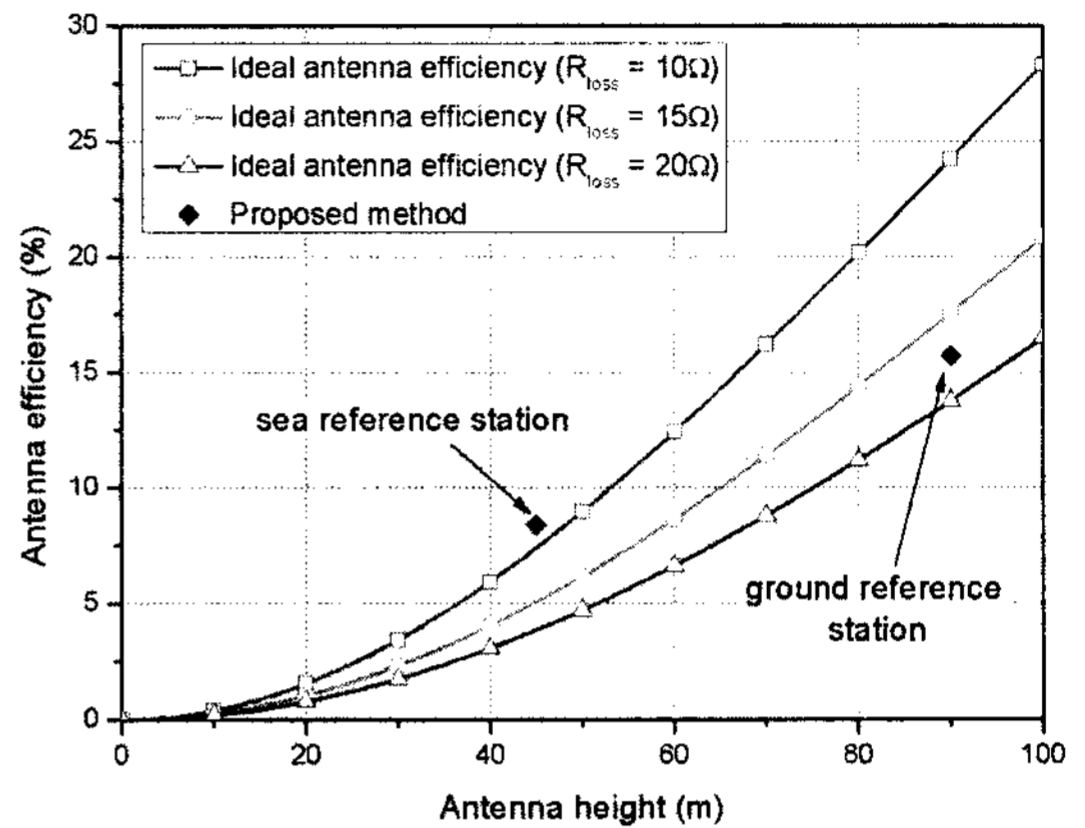


그림 5. 안테나 높이에 따른 안테나 효율

Fig. 5. Antenna efficiencies according to the antenna height.

제안된 방법으로 구해진 안테나 효율 값이 실제 측정 환경의 영향을 잘 나타내고 있으며 합리적인 방법이라 할 수 있다.

만약 본 논문에서 사용된 ITU-R 대지 도전율 값이 실제 대지 도전율 값과 일치하지 않는다면, 계산된 안테나 효율이 실제 안테나 효율과 다를 수 있다. 그러나 정확한 국내의 대지 도전율을 알기 어렵기 때문에 이번 논문에서는 ITU-R 대지 도전율을 기준으로 하였으며, 제안된 방법으로 얻어진 안테나 효율을 이용하여 전계 강도를 예측할 때 실제 전계 강도를 예측하는데 문제가 없기 때문에 본 논문에서 제안된 방법은 가치가 있다고 할 수 있다.

V. 결 론

이번 논문에서는 물리적으로 크기가 큰 중파 대역 기준국의 안테나 효율을 구하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 측정된 전계 강도와 예측된 전계 강도의 차이를 구한 뒤 이를 보정하여 안테나 효율 값을 구하는 방식이다. 전계 강도의 예측을 위하여 중파 대역의 기본적인 감쇠 모델을 적용하였으며,

에러 함수를 도입하여 실측 데이터와 예측 데이터의 오차를 최소화 하였다. 실측 데이터로는 해양 기준국의 경우, 기준국에서 직선으로 멀어지면서 측정된 전계 강도를 사용하였으며, 육상 기준국의 경우, 기준국을 중심으로 전 방향에서 측정된 전계 강도를 이용하였다. 그리고 제안된 방법을 검증하기 위하여 실제 운용 중인 DGPS의 해상 기준국과 육상 기준국에서의 안테나 효율을 구하였으며, 그 결과 각각 8.4%와 15.7%의 결과를 얻었다. 마지막으로 이론적인 안테나 효율을 이용하여 제안된 방법이 합리적인 값을 제공함을 보였으며, 제안된 방법이 실제 시스템에 잘 적용될 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] M. P. M. Hall, L. W. Barclay, and M. T. Hewitt,

Propagation of Radiowaves, IEE, 1996.

[2] R. C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook, 3rd Edition*, McGraw Hill, 1993.

[3] A. Sommerfeld, "The propagation of waves in wireless telegraphy", *Ann. Phys.*, vol. 28, p. 665, 1909.

[4] R. Li, "The accuracy of norton's empirical approximations for wave attenuation", *IEEE Trans. on Ant. and Propag.*, vol. 31, no. 4, pp. 624-628, Jul. 1983.

[5] ITU-R P. 832, *World Atlas of Ground Conductivities*, 1994.

[6] C. A. Balanis, *Antenna Theory, 3rd Edition*, Wiley & Sons, 2005.

배 수 원



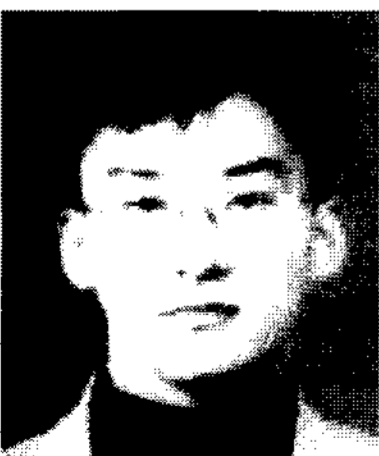
1983년 2월: 광운대학교 통신공학과 (공학사)
 1995년 6월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1999년 3월~현재: 연세대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나, 전파전파 등

이 우 성



2005년 2월: 연세대학교 기계전자공학부 (공학사)
 2005년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 석사박사통합과정
 [주 관심분야] Reconfigurable 안테나, RFID, 소형 안테나

권 세 응



1999년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 연세대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나, 전파전파 등

문 현 욱



2005년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 2007년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 3월~현재: 연세대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나, 전파전파 등

윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1991년 2월: Georgia Institute of Technology (공학박사)

1992년~1993년: 한국전자통신연구원 위성통신기술 연구단

1993년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수

[주 관심분야] 마이크로파 소자, 안테나, 전파전파, EMI/EMC