

# 국내 DGPS 내륙 기준국 전파 측정 및 서비스 분석

전중성<sup>1</sup> · 김영완<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2014년 1월 20일, 원고수정일 : 2014년 4월 21일, 심사완료일 : 2014년 4월 18일)

## Service analysis and propagation measurement for DGPS land-based reference station in Korea

Joong seong Jeon<sup>1</sup> · Young wan Kim<sup>†</sup>

**요약:** 본 논문에서는 국내 DGPS 내륙 기준국의 전파 환경을 측정하고 기준국별 서비스 영역과 DGPS 수신 신호의 품질을 분석하였다. DGPS 기준국별로 동절기와 하절기에 전파되는 DGPS 신호의 수신 전계레벨과 신호대 잡음비를 측정하여 서비스 영역이 낮은 기준국의 영향과 영역을 향상하기 위한 방안을 모색하였다. 산악지형과 대지 도전율이 낮은 기준국을 제외한 기준국의 서비스 영역은 약 80 % 이상의 설계 기준 서비스 영역을 제공하고 있으며, 평탄한 지형과 대지 도전율이 양호한 대지의 기준국 설치 운영과 송신 안테나의 효율 향상을 통하여 서비스 영역의 향상을 기대할 수 있다.

**주제어:** 위성항법보정시스템, DGPS 기준국, 내륙 기준국, DGPS 서비스 영역

**Abstract:** Based on the radio wave propagation measurement of DGPS land-based reference stations, the DGPS service coverage and signal quality in the receiving points are analyzed in this paper. The DGPS signal strength and SNR in the receiving point are measured in the winter and summer season, respectively. In case of DGPS reference station that can not provide the designed service coverage, the solution to improve the service coverage is presented in this paper. Almost all DGPS reference station except reference station with low ground conductivity or mountainous terrain provide the DGPS service coverages of 80% or more of the designed service area. The service coverages of DGPS reference stations can be improved to pre-designed service area in case of installation management of DGPS site on the plain terrain and good ground conductivity. It is necessary to get the high efficiency of transmitting antenna to improve the service area.

**Keywords:** DGPS, DGPS reference station, Land-based reference station, DGPS service coverage

### 1. 서 론

우리나라의 위성항법보정시스템은 해양용 기준국 11개소와 내륙용 기준국 6개소가 구축 운영되고 있다[1]. 전파환경이 거의 균일한 해상과 달리 육상에서는 전파 경로상의 다양한 요소와 낮은 대지 도전율로 인하여 전파 수신 환경이 다양하여

일정한 수신 영역을 확보하기가 어려운 실정이다. 더욱이, 우리나라는 산악과 구릉이 많은 자연환경으로 내륙 기준국 사이의 배치 간격이 약 100~150여 km에 이르는 상황에서는 DGPS(Differential GPS) 전파 수신에 어려운 음영지역이 발생된다.

중파대역의 DGPS 전송 신호는 지표파로 전송되

<sup>†</sup>Corresponding Author: Radio communication Engineering, Kunsan National University, 558 Dahak-ro, Kunsan, 573-701, Korea, E-mail: ywkim@kunsan.ac.kr, Tel: 063-469-4852

<sup>1</sup> IT Lab, ANSE Technologies Co., Ltd. Suite 701, Ace High-End Tower, 235-2, Kuro-dong, Kuro-ku, Seoul, 152-050, Korea, E-mail: kmujseon@msn.com, Tel: 02-6220-6195

며, 대지의 도전율에 따라 전파 전파(propagation)특성이 다르게 나타난다[2]. 따라서 NDGPS(National DGPS) 내륙 기준국은 약 80 km의 서비스 영역으로 설계되어 운영 중이나, 서비스 커버리지 내에서 전파 세기는 대지도전율에 따라 등가 거리에서도 지역에 따라 수신감도 차가 발생되고 있다. 또한, 지역에 따라 다양하게 발생하는 잡음 발생 환경은 DGPS 전송 신호의 수신에 영향을 미치고 있다. DGPS 보정 신호를 양호하게 검파 수신하기 위해서는 일정한 크기의 수신 신호 레벨 이외에 수신 신호의 신호대 잡음비가 확보되어야 한다. 따라서 내륙 기준국에서 송신하는 전파의 수신 영역에서 DGPS 전송 신호의 수신 레벨을 측정하여 수신 가능 여부를 판단하고 아울러 신호대 잡음비를 측정하여 DGPS 신호의 품질 정도를 분석할 필요성이 있다.

본 논문에서는 국내 DGPS 내륙 기준국의 전파 환경을 측정하고, DGPS 서비스 영역에서 DGPS 신호의 품질 정도를 분석한다. 국내 DGPS 내륙 기준국별로 전송되는 DGPS 신호의 수신 레벨을 측정하고, 아울러 수신 신호의 신호대 잡음비를 측정 분석한다. 측정 분석된 내륙 기준국별 서비스 영역으로부터 서비스 가용도 향상을 위한 방안을 모색한다.

## 2. 국내 DGPS 기준국

국내 DGPS 시스템의 구성은 기준국 및 감시국의 시스템 상황을 원격 제어 감시하는 통제국 1개소, GPS 측위 오차를 보정하여 보정데이터를 송신하는 기준국 17개소 및 기준국에서 방송하는 보정데이터를 감시하는 감시국 13개소로 구성되어 있다. 국내 DGPS 기준국은 연안 및 내륙에 11개소의 해양 기준국과 6곳의 내륙 기준국을 설치하여 운용 중에 있으며, NDGPS 전파 커버리지는 Figure 1과 같다[1]. 내륙 기준국은 대지 도전율이 낮은 산악 및 구릉이 많은 지형으로 구성된 국내 내륙의 서비스 가용도 향상을 위하여 설치 운영되고 있으며, Figure 2와 Table 1과 같은 제원으로 내륙 기준국이 운영되고 있다[1].

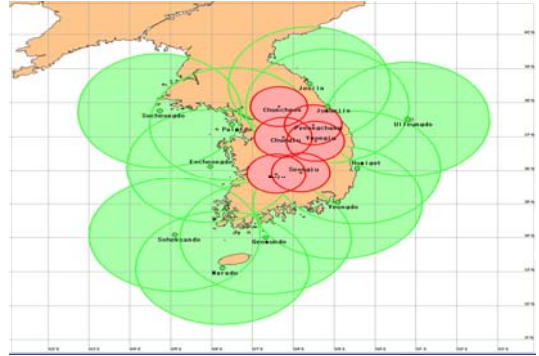


Figure 1: Service coverage of NDGPS in Korea.



Figure 2: Land-based DGPS reference station.

Table 1: Specification of land-based DGPS reference station

reference station	antenna	frequency (kHz)	output (W)	service range
Mu-ju	top-hat radial 90m	322	500	80km
Young-ju	top-hat radial 90m	289	500	80km
Pyeong-chang	top-hat radial 90m	303	500	80km
Seong-ju	top-hat radial 90m	296	500	80km
Chung-ju	top-hat radial 90m	318	500	80km
Chun-ch-eon	NTA 24.9m	286	500	80km

### 3. NDGPS 내륙 기준국 전파 측정

어느 한지점에서 특정 DGPS 기준국의 신호를 수신하여 재생하기 위해서는 그 지점의 신호대 잡음비(SNR:Signal to Noise Ratio)이 최소 검파 SNR보다 높아야 한다. ITU-R 823에 의하면 DGPS 수신기를 설계할 때의 요건은 수신기의 500Hz 대역폭 범위에서 SNR이 7dB 이상에서 1000비트 당 1비트 이내의 오차율로 신호의 재생이 가능하여야 하는 것으로 규정되어 있다[3][4]. 또한, 전파측정시 수신 전계강도 서비스 이용범위 기준은 Table 2와 같이 측정수신기의 수신한계레벨이 20 dB $\mu$ V/m이며, 장비 제작사마다 수신한계레벨이 약간씩 차이가 있다. 본 장에서는 USCG 규정인 40 dB $\mu$ V/m를 기준으로 이용범위를 분석하였으며, 수신기 한계레벨이 20 dB $\mu$ V/m이므로 실제 수신 범위는 약간 넓어질 수 있다.

**Table 2:** Standard specification for service coverage of land-based reference station

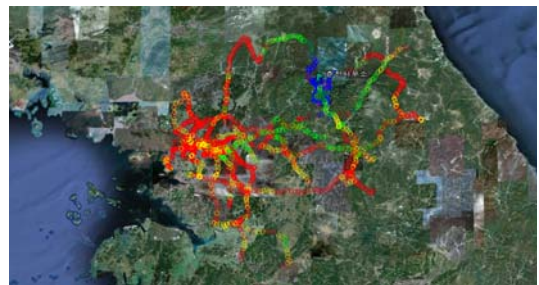
standard	specification	remark
max. coverage	~ 80Km in land	내륙 기준
criterion	receiving level	NMEA-0183 Messages
receiver threshold level	40 dB $\mu$ V/m	USCG *COMDTINST1 6577.1 규정
min. SNR	> 8 dB	7 dB 이상 (ITU-R 823)
receiver measurement threshold level	20 dB $\mu$ V/m	DSM232

내륙 DGPS 기준국의 유효범위인 기준국에서 80Km 이내지역에서 기준국에서 전송하는 전파의 유효 서비스 범위에 대한 수신 전계강도 및 SNR을 측정하였다. 측정 데이터의 신뢰성을 높이기 위하여 전국의 고속도로, 국도, 지방도 등의 도로상에서 전파를 측정하며, 계절적 변화 (동절기/하절기)에 의한 전파 특성을 고려하여 동절기와 하절기로 구분하여 동일한 기준국을 중심으로 전파측정을 수행하였다.

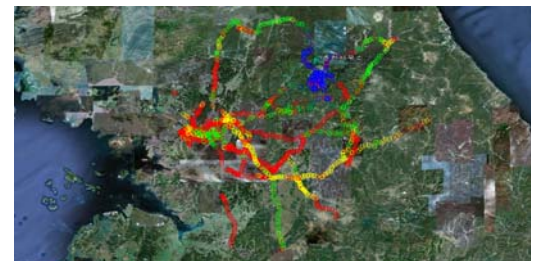
### 4. 내륙 기준국 서비스 분석

측정 결과를 바탕으로 내륙에서의 DGPS 서비스 이용범위를 분석하며, 음영구역으로 인해 서비스 개선이 필요한 지역을 도출하여, NDGPS 기준국의 이중 커버리지를 위한 신규 NDGPS 기준국 신설 및 기준국의 고도화에 활용할 수 있도록 기준국별 수신전계 및 SNR 값을 분석하였다. 아울러, 기준국에 의한 서비스 영역내 전파거리에서의 신호 수신 전계 및 신호대 잡음비를 고려하였다.

Figure 3과 Table 3은 춘천 기준국으로부터 전송되는 DGPS 신호를 동절기와 하절기에 측정한 전계강도이다. 또한, Figure 4와 Table4 는 동일 기준국에 대한 동절기와 하절기에 측정된 수신 신호의 신호대 잡음비이다.



(a) winter



(b) summer

**Figure 3:** Measured signal strength from Chuncheon DGPS reference station in, (a) winter and (b) summer.

Table 3과 Table 4로부터 춘천 기준국에 의한 DGPS 전파 거리는 동절기와 하절기에 유사한 분

**Table 3:** Measured signal strength from Chuncheon DGPS reference station

전계강도 (dB $\mu$ V/m)		동절기		하절기	
		Point	비율 (%)	Point	비율 (%)
0 ~	○	106,844	58.2	68,202	52.3
29.9					
30 ~	○	28,591	15.6	20,420	15.7
39.9					
40 ~	○	24,212	13.2	23,949	18.4
49.9					
50 ~	○	8,758	4.7	6,834	5.2
59.9					
60 ~	○	15,191	8.3	10,880	8.4
합계		183,596	100	130,285	100

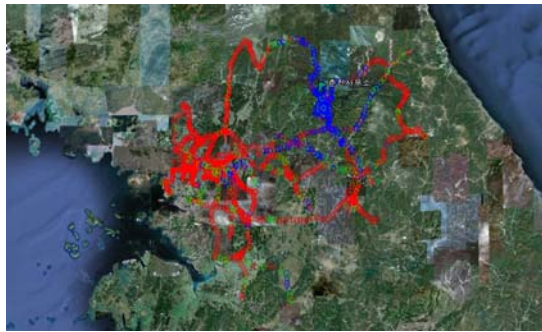
**Table 4:** Measured SNR from Chuncheon DGPS reference station

SNR (dB)		동절기		하절기	
		Point	비율 (%)	Point	비율 (%)
0 ~	○	125,246	68.6	82,413	63.7
7.99					
8 ~	○	19,502	10.7	17,349	13.4
11.99					
12 ~	○	37,851	20.7	29,632	22.9
합계		182,599	100	129,394	100

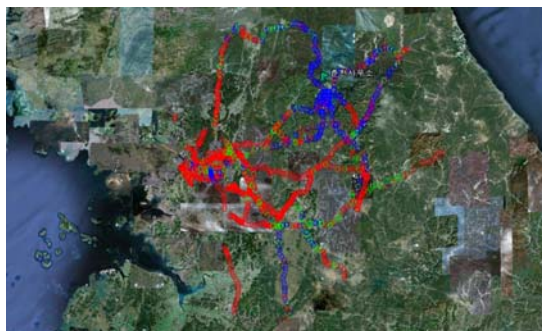
포도도를 보여 주고 있으나, 서비스 영역은 설계 기준인 80km 서비스 영역보다 매우 낮은 서비스 범위를 나타내고 있음을 알 수 있다. DGPS 수신 한계레벨을 고려할 경우 서비스 영역은 설계 기준값의 약 26.2% ~ 32%, 그리고 신호대 잡음비를 고려할 경우 약 31.4% ~ 36.3%의 서비스 영역을 제공하고 있음을 보여주고 있다. 춘천 기준국의 서비스 영역은 기준국의 동쪽에는 태백산맥이 위치하고 있고, 북쪽 방면으로는 광주산맥이 있어 중과대역인 DGPS 신호의 전파감쇄 현상으로 인해 감소되는 현상으로 나타나고 있다. 이와 더불어서 다른 내륙 기준국과 달리 춘천 기준국에서는 다른 기준국보다 낮은 안테나 이득 및 전기적 길이가 작은 안테나를 설치 운영하고 있으며 이에 대한 영향도 나타나고 있음을 알 수 있다.

Table 5와 Table 6은 춘천 기준국과 동일한 방법으로 국내 DGPS 내륙 기준국별로 측정된 수신 전계레벨과 수신 신호의 신호대 잡음비이다. 국내 내륙 기준국의 서비스 영역은 설계 기준값을 기준으로 수신 한계레벨을 기준으로 할 경우, 약 63.8% ~ 93.7%의 서비스 영역을 제공하고 있으며, 신호대 잡음비를 기준으로 할 경우에는 약 67.7% ~ 89.1%의 서비스 영역을 제공하고 있음을 알 수 있다.

평창 기준국은 다른 기준국에 비해 다소 낮은 서비스 영역을 제공하고 있으며, 이는 주위의 산악 지형의 영향이 반영되고 있음을 알 수 있다. 충주 기준국은 서비스 영역에서 수신 전계레벨이 가장 양호한 기준국으로 측정되고 있다. 이는 충주 기준국을 기준으로 반경 50km 이내에 산악 지형이 거



(a) winter



(b) summer

**Figure 4:** Measured SNR from Chuncheon DGPS reference station in, (a) winter and (b) summer

**Table 5:** Measured signal strength from land-based NDGPS reference station

기준국	범위 (dB $\mu$ V/m)	동절기		하절기	
		개수	비율 (%)	개수	비율 (%)
성주	0~29.9	7,181	7.4	4,088	6.6
	30~39.9	5,868	6.0	1,009	1.6
	40~49.9	28,074	28.9	10,442	16.8
	50~59.9	20,169	20.8	16,441	26.4
	60~100	35,759	36.8	30,253	48.6
영주	0~29.9	8,340	10.9	4,043	7.9
	30~39.9	7,936	10.4	4,347	8.5
	40~49.9	31,230	40.8	16,491	32.1
	50~59.9	13,025	17.0	16,579	32.2
	60~100	16,000	20.9	9,950	19.4
무주	0~29.9	12,339	9.7	5,523	7.7
	30~39.9	3,578	2.8	6,597	9.2
	40~49.9	36,566	28.7	27,662	38.4
	50~59.9	54,727	43.0	26,624	36.9
	60~100	19,996	15.7	5,665	7.9
충주	0~29.9	10,316	5.0	6,462	5.0
	30~39.9	3,271	1.6	2,979	2.3
	40~49.9	31,817	15.5	23,858	18.4
	50~59.9	87,122	42.5	59,252	45.8
	60~100	72,525	35.4	36,893	28.5
평창	0~29.9	14,419	16.5	9,177	12.9
	30~39.9	17,280	19.7	16,162	22.7
	40~49.9	32,600	37.2	27,618	38.7
	50~59.9	10,494	12.0	11,984	16.8
	60~100	12,751	14.6	6,365	8.9

의 없는 완만한 지형으로써 전파 도달상의 장애물이 거의 없고, 대지고유 저장 측정치가 다른 내륙 기준국에 비해 낮은 값으로 인해 보다 넓은 서비스 영역을 제공하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 주위에 높은 산악이 없는 비교적 평탄한 지형과 대지 도전율이 양호한 대지를 갖는 기준국의 위치 선정이 매우 중요함을 알 수 있다.

**Table 6:** Measured SNR from land-based NDGPS reference station

기준국	범위 (dB)	동절기		하절기	
		개수	비율 (%)	개수	비율 (%)
무주	0~7.9	30,434	24.1	13,131	18.3
	8~11.9	18,346	14.5	9,307	13.0
	12~20	77,497	61.4	49,124	68.6
성주	0~7.9	13,541	14.0	6,879	11.1
	8~11.9	6,053	6.3	3,362	5.4
	12~20	77,112	79.7	51,790	83.5
영주	0~7.9	18,019	23.7	8,911	17.5
	8~11.9	10,638	14.0	6,154	12.1
	12~20	47,322	62.3	35,982	70.5
충주	0~7.9	25,588	12.5	14,065	10.9
	8~11.9	16,495	8.1	7,933	6.1
	12~20	162,095	79.4	107,025	83.0
평창	0~7.9	28,096	32.4	19,153	27.1
	8~11.9	12,072	13.9	12,368	17.5
	12~20	46,682	53.8	39,151	55.4

### 5. 검토 및 서비스 향상 방안

대지 도전율이 낮거나 주변 지형이 전파전파 장애물로 작용하는 DGPS 기준국의 서비스 영역은 기준 설계값보다 좁게 나타나고 있으며, 서비스 영역을 향상하기 위해서는 안테나 효율을 높여 방사 전력을 개선하거나 또는 서비스 음영 지역에 DGPS 중계기 및 기준국 설치 운영이 필요하다.

중파대역 신호는 표면파로 전파되며, 수직편파를 사용한다. 중파 대역의 수직 편파의 전계 세기는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$|E_z| = \frac{300}{r} \sqrt{P} |A| \tag{1}$$

여기서 P(kW)는 방사된 전력이며, r(km)은 경로의 거리, 그리고 E<sub>z</sub> (mV/m)는 전계 강도이다. 도한 A는 감쇄요소이며, 상수 300은 단형 모노폴 안테나를 가정하였을 경우, 1kW 방사시 1 km 거리에서 수신되는 전계 강도의 세기에 의해 결정된 값이다.

감쇄요소 A는 주파수(f)와 송·수신단 거리(r),

그리고 대지 도전율( $\sigma$ )과 유전율( $\epsilon$ )에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \chi &= \frac{1.8 \times 10^{10} \cdot \sigma}{f} \\ \tan b &= \frac{\epsilon + 1}{\chi} \\ p &= \frac{\pi}{\chi} \cdot \frac{r}{\lambda} \cdot \cos b \end{aligned} \quad (2)$$

식 (4)에서  $p$ 는 수치적 거리(numerical distance)이며,  $b$ 와  $p$  파라미터를 구하여, Rong -long Li의 empirical approximations에 의해 다음과 같이 감쇄요소 A를 구할 수 있다[5].

$$\begin{aligned} A_{1(p,b)} &= \frac{1}{2p-3.7} && (b < 5^\circ, \quad p > 45) \\ A_{2(p,b)} &= e^{-0.43p+0.01p^2} && (b < 5^\circ, \quad p \leq 45) \\ A_{3(p,b)} &= e^{-0.43p+0.01p^2} - \frac{\sqrt{2}}{2} \sin b e^{-\frac{5p}{8}} && (b > 5^\circ, \quad p \leq 45) \\ A_{4(p,b)} &= \frac{1}{2p-3.7} - \frac{\sqrt{2}}{2} \sin b e^{-\frac{5p}{8}} && (b > 5^\circ, \quad p > 45) \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)의 감쇄요소는  $b$ 와  $p$ 의 함수이며,  $b$ 와  $p$ 는 대지의 도전율과 유전율 그리고 주파수 함수이므로, 대지의 도전율 값이 크게 영향을 미친다. 따라서, 전파경로상 대지 도전율이 열악한 춘천 기준국 및 평창 기준국의 서비스 영역을 확장하기 위해서는 전파경로상의 전파 감쇠를 보상할 수 있는 출력 증강이 필요하다. 식 (1)로부터 출력 증강에 의해 수신 전계 세기가 향상되어 수신 영역이 넓어질 수 있다. 출력을 증강하기 위해서는 최대 1000 W 출력을 갖는 기준국 송신 출력을 500 W에서 증강하여 운영할 필요가 있다. 또한, 송신 안테나의 방사 효율 증가에 따라 방사 전력을 향상할 수 있으므로, 안테나 효율 향상이 중요하다. 중파대역 안테나의 효율은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{P_r}{P_i + P_l} \quad (4)$$

여기서,  $P_r$ ,  $P_i$ ,  $P_l$ 은 각각 방사 전력과 안테나에 인가되는 전력, 그리고 전력 손실을 나타낸다.

전력 손실은 안테나 대지면의 대지 손실이 가장 크게 나타나므로 안테나 접지면의 대지 도전율 양호하게 유지하여 손실을 줄여 안테나 효율을 증가할 수 있다. 따라서, 안테나 접지면의 도전율 향상을 위한 방사 접지면(radial ground)의 보강 및 구축이 필요하다.

Figure 5는 출력 증강에 따른 평창 기준국의 서비스 영역을 보여주고 있다[6]. 출력이 500 W, 700W, 그리고 900W로 증가될 경우 서비스 영역이 확장되고 있음을 알 수 있다. 아울러, Figure 5와 같이 제한된 출력 범위내에서도 서비스 음영 지역이 발생하는 경우에는 DGPS 중계기 및 기준국 설치 운영이 필요할 수 있음을 알 수 있다.



Figure 5: Service coverage according to radiation power from Pyeongchang DGPS reference station (500W, 700W, 900W)

## 6. 결 론

본 논문에서는 국내 내륙 DGPS 기준국의 서비스 거리내에서 수신 전계레벨 및 수신 신호의 신호대 잡음비를 측정하여 DGPS 기준국의 서비스 설계 기준 영역을 분석하였다. DGPS 기준국별로 동절기와 하절기에 전파되는 DGPS 신호를 측정하여 계절별 전파 특성에 따른 서비스 영역을 분석

하고, 서비스 영역이 좁은 기준국의 영향과 영역을 향상하기 위한 방안을 모색하였다. 춘천 및 평창 기준국을 제외한 기준국의 서비스 영역은 약 80 % 이상의 설계 기준 서비스 영역을 제공하고 있으며, 산악지형과 대지 도전율이 낮은 경우 서비스 영역이 낮아지므로, 비교적 평탄한 지형과 대지 도전율이 양호한 대지의 기준국 설치 운영이 필요함을 알 수 있었다 아울러, 송신 안테나의 효율 향상을 통하여 서비스 영역의 향상을 기대할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] Ministry of Oceans and Fisheries, DGNSS Central Office: <http://www.ndgps.go.kr>, Accessed November 2013.
- [2] K. A. Norton, "The propagation of radiowaves over the surface of the earth and in the upper atmosphere", Proceedings of the Institute of Radio Engineers, vol. 25, no. 9, pp. 1203-1236, 1937.
- [3] U. S. Coast Guard, <http://www.navcen.uscg.gov>, Accessed October 2013.
- [4] IALA, On the Performance and Monitoring of DGNSS Services in the Frequency Band 283.5 - 325 kHz, IALA Recommendation R-121, International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, France, 2004.
- [5] R. Li, "The accuracy of norton's empirical approximations for groundwave attenuation", IEEE Trans. on Antenna and Propagation, vol. 31, no. 4, pp. 624-628. 1983.
- [6] Y. W. KIM and H. J. Baek, "Service coverage analysis on land-based DGPS station due to output power enhancement," Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 16, no. 7, pp. 1350-1357, 2012 (in Korean).