工學碩士 學位論文

극동 아시아 DGPS 기준국들의 커버리지 예측에 관한 고찰

A Study on Coverage-Prediction of Far East Asia DGPS Stations

指導敎授　　鄭 世 謨

2000年 1月

韓國海洋大學校 大學院

海事輸送科學科

李 會 宰

本　論文을 李會宰의 工學碩士 學位論文으로 認准함

主審　金 基 文　印

副審　鄭 世 謨　印

副審　高 光 燮　印

1999年　12月　23日

韓國海洋大學校 大學院

海事輸送科學科

李　會　宰

목 차

제 1 장 서 론

DGPS는 정확한 위치와 신뢰도로 전세계에서 각광을 받고 있으며 항해뿐만 아니라 여러 분야에서 이용되고 있다.
예를 들면, 토질·작황조사, 정밀·경계측량, 지형·이동측량, 차량항법장치, 현금수송차량의 위치발신용, 화차 및 컨테이너의 재고조사 및 운항관리등 그 이용분야는 무궁무진하다고 할 수 있다.

실제로 DGPS의 정확성과 신뢰도에 힘입어 지도작성 뿐만 아니라 전자해도 시스템 등에도 이용되고 있다.

DGPS의 위치보정 방법은, 정밀한 위치가 알려진 곳에 설치된 기준국의 GPS 수신기에서 GPS 위성까지의 의사거리를 측정하고 GPS의 항법 데이터에 포함된 궤도 파라미터와 기준국의 정밀위치를 이용하여 기준국으로부터 위성까지의 기하학적 거리를 계산한 다음, 측정된 의사거리와 계산된 기하학적 거리의 차(의사거리오차)를 계산하여 의사거리 보정값을 송신국에서 송신하여 수신기에서 이 보정값을 수정하여, 보다 정밀한 위치를 결정하게 된다.

일반적으로 의사거리오차는 기준국에서 RTCM(Radio Technical Commission for Marine Services : 미국 해사 무선 기술 위원회)포맷으로 변환, 전송되며, 사용자측에서 DGPS 수신기로 수신한 사용자 측정 의사거리에 더해진다. 이와 같이 보정된 의사거리는 사용자 수신기의 항법 알고리즘에 입력되어 사용자 수신기에서 발생되는 공통오차, 즉 기준국과 사용자가 사용하는 동일한 위성 및 전송경로에 의한 오차 및 SA(Selective Availability)오차 제거에 이용된다.
그러나, 이중에서도 미국방성에서 의도적으로 입력하는 SA가 가장 큰 오차로 알려져 있다.

미국이 SA를 없앤다 할지라도 DGPS는 IMO(International Maritime Organization : 국제 해사 기구)에서 요구하는 항만접근시 요구되는 정확도 8 - 10m에 맞추기 위해서라도 사용될 것이다.

또한, DGPS의 정확성과 더불어 필수적인 Integrity(고장난 위성에 대하여 이용자에게 조기에 경보하는 능력)의 확보가 필요한데, GPS의 경우 미국이 지구 5곳에 감시국을 두고 GPS위성의 고장이나 이상현상들을 감시하고 있으나

이상유무경보를 이용자에게 경보하는 데 최대 6시간까지 소요될 수 있다. 그러나 우리 나라에 DGPS국이 설치됨으로써 빠른 시간(수초의 단위)안에 상태를 파악할 수 있으므로 Integrity측면에서 아주 유용하다고 볼 수 있다.

북미를 비롯한 유럽각국에서는 DGPS에 해상 레디오 비콘을 이용하고 있으며 이는 가장 비용절감적인 방안으로 각광을 받고 있다. 그러나 유럽의 경우 특정지역에 해상 레디오 비콘이 밀집되어 공간파에 의한 상호간섭으로 인해 정확한 커버리지 예측이 어려웠다.

중국, 일본, 러시아 등의 극동지역에도 이와 유사한 문제가 대두될 소지가 있으므로 이 분야의 연구가 중요한 현안으로 떠오르고 있다. 또한, 공간파를 고려한 정확한 유효 범위 예측은 DGPS설계자와 이용자 모두에게 이익을 제공하며 설계자에게는 주어진 지리적인 지역에서의 최대한의 비용 효과적인 방법을 산출하고 현존하거나 제안된 시스템에 대한 커버리지 예측, 계획되어진 시스템의 잠재적인 문제지역인식, 상호간의 지표파 및 공간파 간섭, 대기잡음 레벨 변화의 효과, 비콘출력 또는 위치변화에 따른 예측들을 할 수가 있는 것이다.

또한 유효 범위 예측은 시스템이 안전하게 작동될 수 있는 지역과 어느 비콘이 특정 지역에서 이용 가능한 지 여부, 위치정보의 신뢰도와 정확성 등이 포함된다. 본 연구는 중국, 일본 등 주변국의 공간파 간섭문제 뿐만 아니라 DGNSS/레디오비콘이 사용하는 285 - 325kHz의 좁은 주파수대역에서 앞으로 동북아시아 지역 국가간 효율적인 주파수 할당 문제 및 송신기 출력 등의 재조정을 통해 DGPS국의 최대한의 이용을 고려하기 위한 방안으로 수행되었다.

본 논문은 1장에 DGPS의 현황을 다루었고 2장에서는 DGPS의 개요와 한국, 중국, 일본의 DGPS시스템에 대한 분석을 다루었으며 3장에는 DGPS 송신국 전계강도 비교 분석을 위한 고려사항 및 실험식 등에 대해 언급하였다. 4장에서는 한국, 중국, 일본 DGPS국들의 설계상 유효 범위 및 출력과 이에 따른 프로그램을 통한 분석으로 DGPS국들의 상호 간섭을 확인하였으며 5장은 결론으로 구성되어 있다.

제 2장 GPS 및 DGPS의 현황 분석

2.1 GPS 및 DGPS의 개요

2.1.1 GPS

항법은 지문항법, 천문항법, 전파항법 등으로 나누어지며 이 중에 GPS(Global Positioning System)는 전파항법의 하나로 분류되며 이는 다시 지상방식 전파항법(Ground-Based Radio Navigation)과 위성방식 전파항법(Space-Based Radio Navigation)으로 구분된다.

지상방식 전파항법에는 Radar, LORAN, VOR/ DME(VHF Omnidirectional Range/Distance-Measuring Equipment), TACAN(Tactical Air Navigation), OMEGA등이 포함되며, 위성방식 전파항법에는 미 해군이 1960년대에 개발한 NNSS(Navy Navigation Satellite System)항법을 시작으로 러시아의 Tsicada, GLONASS, 미국방성이 개발한 GPS, 유럽의 NAVSAT등이 포함된다.

GPS는 원래 군용 항법시스템이지만, 민간용으로는 제한된 범위에서 사용 가능하게 한 인공위성을 이용한 전파 항법 시스템으로 위성에서 수신기까지의 전파도달 시간을 측정하여 정확한 3차원 위치, 속도 및 시각 측정이 가능하며 무한의 이용자가 전세계에서 24시간 이용 가능하다.

GPS항법의 원리는 기하학적 삼각법에 의한 위치 결정으로 위치를 정확히 아는 위성에서 출발한 위성신호를 수신하여 전파의 도달 시간 측정으로 사용자의 위치를 계산하는 것으로 최소 4개의 위성으로부터 신호를 받을 때 위치 및 시간을 얻을 수 있다.

GPS는 위성 부분(Space Segment), 지상관제국 부분(Control Segment), 사용자 부분(User Segment)으로 나뉘어 진다. 현재 24개의 위성이 각 4개씩 6개의 궤도를 따라 적도면과 55도 각도로 11시간 58분 주기로 20,183 - 20,187km 높이에서 돌고 있다.

GPS위성신호는 코드분할 다중접속방식(Code Division Multiple Access : CDMA)으로 PRN부호에 변조된 L-band반송파를 이용하며 반송파는 L1(1.575GHz), L2(1.2276GHz)의 2가지이다. 항법메시지에는 위성시계 보정치, 전리층 모델, 위성궤도 정보, 위성상태 정보 등이 포함된다.

PRN코드에는 민간용의 C/A코드와 군용의 P(Y)코드가 있다.
GPS지상관제국은 미국 Colorado Springs에 주관제소 1개소와 Hawaii, Ascencion, Diego Garcia, Kwajalein에 감시국 5개소가 있다. <표 2-1>, <표 2-2>, <표2-3>에서는 코드비교, 분야별 요구정확도 및 오차종류별 크기를 나타내고 있다.

<표2-1> C/A코드와 P코드의 비교

<Tab.2-1> Comparison of C/A code and P code

	C/A코드	P코드
목 적	민간용	군용
주파수	L1반송파(전리층 지연 보상 불가)	L1, L2반송파 겸용(전리층 지연 보상 가능)
측정오차	100m 2drms	16m 2drms
주 기	1ms	267일 주기

<표2-2> GPS 분야별 요구 정확도

<Tab.2-2> Accuracies of GPS Services vs Requirements

오 차	응용 분야	적용
100m	항해 비행, 항로운항	C/A Code 수신기
30m	일반적인 항법(지상 방법)	P Code 수신기
10m	탐사, 항구 접근	DGPS
1m	항공기 착륙	의사 위성사용
	측량, 지구중력 측정, 지진연구, 댐 관측	반송파 위상

<표2-3> GPS 위치의 오차 범위 ***[9]**

<Tab.2-3> Error Range of GPS Positioning

부문	오차의 원인	UERE에의 영향	
		P code(m)	C/A code(m)
우주	항법신호 (a) 주파수 표준의 안정도 (b) 회로의 지연 위성의 가속도 기타	0.5 1.0 2.0 1.0	6.5 1.0 2.0 1.0
제어	궤도 데이터의 예측과 모델화 기타	8.2 1.0	8.2 1.0
이용자	전리층 지연의 보정잔차 대류권 지연의 보정잔차 수신기 잡음과 분해능 멀티패스 기타	4.5 3.9 2.9 2.4 1.0	9.8- 19.6 3.9 2.9 2.4 1.0
	95% UERE	13.0	15.7- 23.1

2.1.2 DGPS

미국 연방 전파 항법 계획(1992년 FRP)에 의하면 항법에 있어서 차분 시스템(Differential System)이란 '위치를 아는 지점을 이용하여 측위 오차를 결정하고 그 결정오차, 또는 보정치를 같은 지역의 이용자에게 송신하여 시스템의 정도를 개선하는 기술'로 정의되어 있다.

이러한 차분 기술은 이미 디퍼렌셜 오메가 항법 시스템으로서 프랑스의 주변에서 운용된 바 있으며, 더욱이 IMO 및 국제 전기 표준 회의(International Electrotechnical Commission : IEC)에서도 논의되고 있으며 권고 및 규격이 만들어지고 있다. 또한 디퍼렌셜 로란 C는 미국연안 경비대(USCG)에서 실험이 행하여지고 있었지만, 실용화되지는 않았다.

GPS를 대상으로 한 DGPS(Differential Global Positioning System)는 GPS

개발의 초기부터 그 실용이 검토되어 현재 시스템이 개발, 운용되고 있다.

1983년 11월 RTCM에서 제 104 특별 위원회(SC-104)가 만들어져 항공에의 이용을 포함하여 제반 문제를 검토하였다. 여기서 DGPS 보정치의 방송 내용과 그 포맷의 작성, 통신 수단, 지상에 의사 위성을 설치한 경우 위성의 가동률 향상 등이 주요 골자이며, 여러 차례개정을 통하여 1996년 3월에 버전 2.2의 초안을 만들게 되었다.

DGPS는 위치가 미리 측정된 기준국(고정국)과 사용자수신기(이동체)로 구성되며 기준국에서 GPS위성 신호를 수신하여 계산한 위성의 의사거리 보정치를 사용자에게 전송한다. 이 때, 기준국과 사용자의 의사거리 공통오차를 제거하는 효과를 발생한다. 기선의 거리(기준국과 사용자의 거리)에 제한을 받으며 사용환경 및 DGPS시스템 운영방식에 따라 수 m - 수 cm의 정밀도를 보인다. 수신기간의 공통오차에 의해 보정되는 거리오차는 위성시계 오차(약 20.0m), 위성궤도 오차(약 2.1m), 이온층과 대류층 지연오차(약 4.7m)이다. 보정되지 않는 수신기간의 비 공통오차인 다중경로 오차는 약 1.4m이다.

2.2 한국의 DGPS 시스템의 기본 구성 및 운영

한국의 DGPS시스템은 1개소의 통제국(Control Station)을 겸하는 중앙관리 사무소, 8개의 지역 DGPS국(Local DGPS Station) 및 8개소의 이용범위 감시국으로 구성되도록 되어있다. 이들 중 중앙관리 사무소만이 유인으로 운영되고, 지역 DGPS국 및 이용범위 감시국으로 무인으로 운영되고 중앙관리 사무소에 의하여 원격 감시 제어된다. <표2-4>는 한국의 DGPS기준국들에 관한 사항을 나타낸 것이다.

2.2.1 지역 DGPS국

지역 DGPS국은 기준국(Reference Station), 경보 감시국(I.M. Integrity Monitor) 및 중파(283.5kHz - 325kHz)의 MSK 변조송신국으로 구성되며 작동시에 외부와의 통신망이 단절되어도 독자적으로 운영되는 독자운영방식(Stand-Alone System)을 택하고 있다.

지역 DGPS국의 장비는 중파 송신안테나를 제외하고 전부 2중화하여 중복성(Redundancy)확보에 의한 가동률의 극대화를 도모하도록 되어 있다.
기준수신기는 L1, L2의 2파를 수신할 수 있고, C/A 코드의 의사거리 측정이 가능하며 L1 및 L2의 위상측정이 가능하고 AS(Anti-spoofing)이 작동하면 L1/L2의 차주파수의 위상비교로 애매성을 해결할 수 있도록 되어 있다.

방송메시지는 RTCM 포맷 9를 기준으로 하고 전송속도는 MSK 200bps를 기본으로 채택하고 있으며, 경보수신기는 SPS(Standard Positioning Service)용 12채널 2대로 구성되어 있으며 수신감도, 측정정밀도, 환경조건 등에서 RTCM SC-104 RSIM Version 1.0의 규정을 만족하게 되어 있다.

지역 DGPS국을 위한 전원은 2중화(제1차 전원 및 2차 전원)되어 있고 낙뢰방지 트랜스 등이 설치되어 있다.

지역 DGPS국은 팔미도, 어청도, 거문도, 마라도, 영도, 장기곶, 울릉도 도동 및 주문진 등대 부지 내에 설치되었거나 설치 예정이다. 표 4에 한국의 DGPS 기준국 관련 자료를 수록하였다.

기본 송신 안테나는 45m 높이의 3지선식 철탑 안테나를 사용하되, 지선의 일부(지선 총 길이의 상부 40%)를 톱로드로 하는 형태로 하며, 마라도 DGPS국의 안테나는 환경보전법의 제약으로 22m급 자립식 안테나로 하며, 송신기 출력은 300W로 한다.

2.2.2 이용범위 감시국

8개소의 이용범위 감시국(Coverage Monitoring Station)을 두고, 무인으로 운영할 계획이다. 이용범위 감시국은 소청도(팔미도국 감시), 옹도(어청도국 감시), 소흑산도(마라도국 감시), 추자도(거문도국 감시), 소매물도(영도국 감시), 죽변(장기곶 및 주문진국 감시), 대진(주문진국 감시), 독도(도동국 감시) 등대의 경내에 둔다.

이용범위 감시국에는 283.5kHz 325kHz 까지의 주파수를 100Hz의 대역폭으로 10 μv/m 150 μv/m의 범위 내에서 $\pm$1.25dB 까지 측정할 수 있는 전계강도 측정기가 구비될 예정이다.

2.2.3 중앙 관리사무소

무인으로 운영되는 전국 8개소의 지역 DGPS국 및 8개소의 이용범위 감시국을 원격 감시 통제하기 위하여 대전부근에 중앙관리사무소를 두고 있다.

중앙관리사무소는 현용 및 예비의 workstation급 컴퓨터가 중심이 되고 2중 전원장치, 공조설비, 근무자 사무실 등으로 구성되었다.

중앙관리 사무소의 임무는 지역 DGPS국(RS, IM, X-mitter) 및 이용범위 감시국에서 통제국으로 향하는 모든 통신문을 실시간으로 접수하고, 이에 상응하는 지시문을 작성, 송신하며, 운영자의 의지에 따라 지역 DGPS국 및 이용범위 감시국의 상태를 순차 원격감시하며, 기타 예정된 DGPS 이용불가 계획, 이용불가 위성의 계획 등을 별도 편집하여 이용자의 요구에 따라 배포하는 등의 임무를 수행하고, 정기순회에 의한 무인국의 순회정비관리를 맡게 된다.

2.2.4 통신망 계획

시스템 운영을 위한 통신망은 중앙 관리사무소와 지역 DGPS국, 중앙 관리사무소와 이용범위 감시국 사이에 양방향 데이터 통신망(4800 baud급)의 전용선이 연결된다.

통신은 NMEA(National Maritime Electronic Association) 0183(IEC 1162에 상당함) 표준에 의하고 통신문은 RSIM 포맷 #1 #50까지를 편집, 전송, 수신, 실행되도록 되어있다.

<표2-4> 한국의 DGPS 기준국 ***[9]**

<Tab.2-4> DGPS Stations of Korea

Station's Name	Lat'(N)/Long'(E)	Coverage(km)	Frequency(kHz)	Bit rate(bps)
Young Do	35。02.9/129。34.3	93	300	200
Palmi Do	37。21.3/126。30.8	185	313	200
Geomun Do	34。00.3/127。19.5	185	287	200
Jumunjin	37。53.7/128。50.2	185	295	200
Echong Do	36。07.2/125。58.1	185	295	200
Mara Do	33。06.8/126。16.3	185	290	200
Changgigap	36。04.5/129。34.3	185	310	200
Ulung Do	37。23.3/130。55.2	185	319	100

2.3 일본의 DGPS

일본의 DGPS는 1999년 4월까지 총 27개의 기준국에서 전 일본을 사용영역으로 하는 완성된 체계로 운용될 예정으로 되어 있다. 일본의 DGPS 운영은 일본 해상보안청(JMSA:Japanese Maritime Safety Agency)에 의해 24시간 운영체제를 갖추고 있으며, 동경에는 주제어국 DGPS 센터와 13개의 지방 무인 DGPS 보정 데이타와 해상 레디오비콘에 의해 송출되는 메세지 내용을 감시하고, GPS 위성으로부터 수신된 각종 데이타를 저장, 분석한다. 일본의 DGPS는 전송속도는 200 bps이고, 메세지 type 3, 5, 6, 7, 9, 16으로 각 기준국의 유효거리는 200km범위 안에서 40dB(over μV/m)이라고 발표하였다. <표2-5>에 일본의 DGPS 기준국 현황을 수록하였다.

<표2-5> 일본의 DGPS기준국

<Tab.2-5> DGPS Stations of Japan

Station's Name	Lat'(N)/Long'(E)	Frequency(kHz)	비고
Kinkasan	38-17/141-35	316	operation
Inubo saki	35-42/140-52	295	operation
Hatizyo sima	33-05/139-51	302	operation
Turugi saki	35-09/139-41	309	operation
Daio saki	34-17/136-54	288	operation
Muroto saki	33-15/134-11	295	operation
Toi misaki	31-22/131-20	309	operation
Ose saki	32-37/128-36	288	operation
Wakamiya	33-52/129-41	295	operation
Hamada	34-53/132-02	305	operation
Esaki	34-36/135-00	320.5	operation
Ohama	34-05/132-59	321	operation
Seto	33-26/132-13	320	operation
Kusiro saki	43-04/145-09	288	전환, under preparation
Abashiri	44-00/144-18	309	전환, under preparation
Soya misaki	45-31/141-56	295	전환, under preparation
Shakotan misaki	43-22/140-28	316	전환, under preparation
Matumae	41-25/140-05	309	전환, under preparation
Siriya saki	41-26/141-28	302	전환, under preparation
Sakata	38-57/139-50	288	전환, under preparation
Hegura sima	37-51/136-55	295	전환, under preparation
Tango	35-47/135-48	316	신설, under preparation
Urayasu	35-37/139-54	321	신설, under preparation
Nagoya	35-02/136-51	320	신설, under preparation
Tokara Nakanosima	29-49/129-55	320.5	신설, under preparation
Gesasi	26-36/128-09	288	신설, under preparation
Miyako sima	24-44/125-26	316	신설, under preparation

2.4 중국의 DGPS

중국의 국제무역과 국가 경제의 급속한 성장과 더불어 높은 정밀도의 위치 서비스가 해상을 비롯한 여러 분야에서 요구됨에 따라 교통부 해상 안전국(The Maritime Safety Administration)은 DGPS/Radiobeacon(이하 DGPS/RBN이라 칭함) 시스템을 설립 및 프로그램을 개발하였으며, 중국 본토의 모든 연안에 DGPS방송을 계획하여 시행할 예정이다.
현존하는 22개의 레디오비콘 중 12개를 DGPS/RBN국으로 개조하고 8개의 국을 새로 구축하여 2000년까지 완료할 예정이며, 정보 전송속도는 200bps이다.
1999. 9월 일본에서 열린 제 8차 FERNS(Far East Radio Navigation System)회의에서 중국은 송신기 출력은 200W이며 복사효율은 5 - 8%라고 발표한 바 있어 본 논문에서는 송신국 복사출력을 15W로 설정하였으며 이는 40dB(over μV/m)범위에서 유효거리 140km정도이다. <표2-6>에 중국의 DGPS 기준국 현황을 나타내고 있다.

<표2-6> 중국의 DGPS기준국

<Tab.2-6> DGPS Stations of China

Station's Name	Lat'(N)/Long'(E)	Frequency(kHz)	비 고
Dasanshan	38-52/121-50	301(R) 301.5(D)	operation
Laotieshan		295	
Qinhuangdao	39-55/119-37	287(R) 287.5(D)	operation
Beitang	39-06/117-43	310(R) 310.5(D)	operation
Chengshanjiao		291	
Wangjiamai	36-04/120-26	313(R) 313.5(D)	operation
Yanweigang	34-29/119-47	317	operation
Haozhigang		287	
Dajishan	30-49/122-10	307(R) 307.5(D)	operation
Dinghai		310	
Shitang	28-16/121-37	295	operation
Tiandashan		313	
Zhenhaijiao	24-16/118-08	320	operation
Luyu	23-20/116-45	317	operation
Sanzao	22-00/113-24	307	operation
Naozhoudao	20-54/110-36	301	operation
Fangcheng		287	
Baohujiao	20-00/110-56	310(R) 310.5(D)	operation
Sanya	18-17/109-22	295	operation
Yangpu		313	

3. DGPS 송신국 전계강도 분석

3.1 고려사항

3.1.1 지표파 전계강도

300kHz 주파수대에서 작동하는 레디오비콘에 의해 전송되어지는 신호는 주로 지구표면을 통해 전파되는 지표파이다. 이는 매질의 특성에 따라 감쇄가 결정된다. 감쇄는 뻘에서 최소이고 다음이 해수, 평야지대, 산악지대, 도시지대, 빙하지대의 순으로 감쇄가 증가한다.

균질 경로에 대한 지표파 전파에 있어서의 전계강도는 방사되는 신호 출력, 송신기와 수신기사이의 거리, 신호가 전파되는 지상의 도전율에 의하여 결정된다.

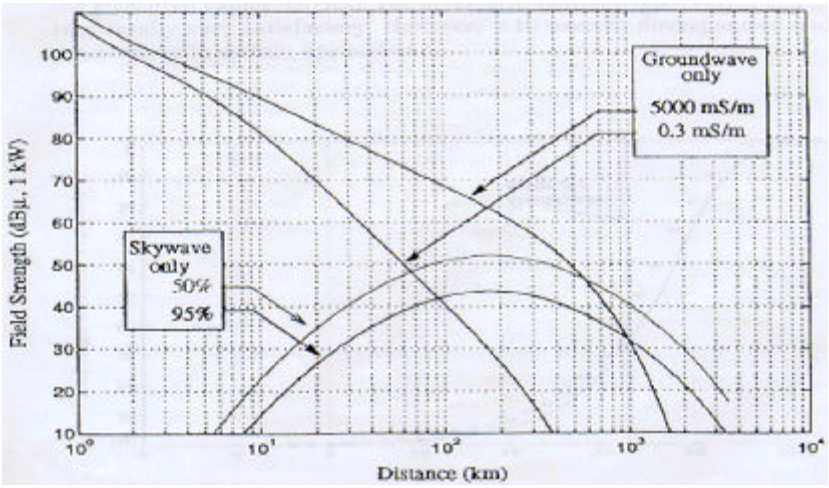
본 연구에서는 <그림3-1>의 ITU-R의 보고서에 도시된 지표파에 대한 그래프를 보고 최소 자승법을 이용하여 다음과 같은 실험식을 만들었다.

$$F_g = 94.5015 + 0.9682 \times x - 1.4314 \times x^2 + 10 \log_{10}\left(\frac{P_r}{1000}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

F_g는 1 μV/m에 대한 데시벨로 표현되며 P_r는 복사출력(W), d_{km}는 킬로미터 단위의 송신국까지의 거리이다. 복사출력(P_r)은 송신기출력과 안테나의 효율에 달려있다.

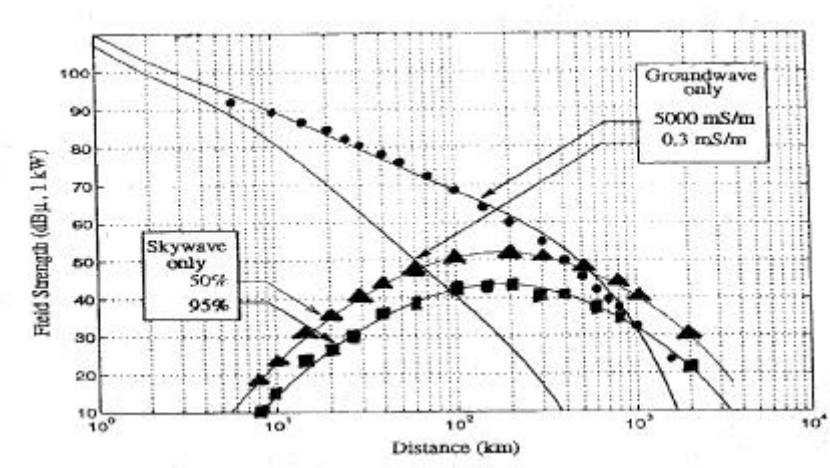
또한, 위 (1)식을 이용하여 계산한 값을 <그림3-2>에 도시하였다.

<그림3-1>의 s/m은 도전율의 단위로 ℧/m와 같은 도전율의 단위를 나타내며 ms/m은 s/m의 밀리 단위이다.



<그림3-1> 거리에 따른 지표파와 공간파 전계강도의 변화

<Fig.3-1> Groundwave and Skywave Field Strength Variations with Range



<그림3-2> 실험식을 이용한 결과값 도시

<Fig.3-2> The Representation of Results by using an Empirical Formula

● : 지표파 추정식의 결과, ■ : 95% 공간파 추정식의 결과

▲ : 50% 공간파 추정식의 결과

3.1.2 공간파 및 합성파 전계강도

공간파는 지표파에 간섭을 주며 페이딩도 일으킨다. 공간파 신호는 낮에는 무시할 수 있으나 밤에는 강하다. 이는 연중 계절에 따라 다른 것으로 알려져 있다.

ITU-R(International Telecommunication Union) 435-6에 도시된 도표에 따르면 주파수가 300kHz이고 1kW 송신출력일 경우, 공간파는 기준국으로부터 통상 8km 벗어난 지점에서부터 시작하여 약 200km에서 가장 강도가 크며 3,000km떨어진 곳에서도 수신되는 것으로 나타난다. <그림3-1>에 거리에 따른 지표파와 공간파 전계강도의 결과를 도시하였다.

일반적으로 DGPS시스템 설계에 무시되는 이 요소는 상대적으로 장거리에 위치하는 비콘들에게 중요하게 여겨진다.

본 연구에서는 아직까지 중파의 경우 공간파에 대해 명확히 정립되어진 예측 모델이 거의 전무하므로 ITU-R 435-6에 나타난 <그림3-1> 공간파의 도표를 보고 최소 자승법을 이용하여 다음과 같은 실험식을 만들어서 사용하였다.

$$F_{50s} = -43.6336 + 37.0486 \times x - 3.6019 \times x^2 + 10 \log_{10}\left(\frac{P_r}{1000}\right) \quad \text{.....(2)}$$

$$F_{95s} = -53.0005 + 37.5392x - 3.6616x^2 + 10 \log_{10}\left(\frac{P_r}{1000}\right) \quad \text{.....(3)}$$

또한, 위 (2),(3)식을 그림 [2]에 보여진 대로 결과 값들을 도시하였다.

본 연구에서는 공간파 50%의 식(2)을 사용하였다.

지표파와 공간파의 합성신호강도 계산은 페이딩 조건하에서의 전계강도는 지표파와 공간파의 벡터 합으로 표시 가능하므로 아래와 같이 표현하였다.

$$F_I = \sqrt{F_g^2 + F_s^2} \quad \text{.....(4)}$$

따라서, DGPS국간의 공간파 간섭현상을 검토하기 위해 본 연구에서는 F_g를 방해국의 지표파, F_s는 방해국의 공간파로 하였으며 F_I를 방해국의 합성파 전계강도로 나타내었다.

3.1.3 공전잡음

공전잡음(Atmospheric Noise Level)은 번개에 의해 만들어지거나, 20MHz이하의, 다른 레디오 잡음 출력원에 의한 것을 말한다. 공전잡음은 번개 활동이 가장 큰 중앙아프리카, 브라질, 남아시아 같은 저위도 지역이 가장 높다.
그러나, 고위도 지역에도 아직도 많은 잡음원들이 있는 데, 이는 30MHz 이하의 전파는 지구전리층을 통해 원거리를 전파하기 때문이다. 또한, 공전잡음 출력은 일, 계절, 기후에 따라 영향을 받는다. 극동지방의 공전 잡음레벨은 300kHz 잡음전계강도로 환산하여 8.4dB(over μV/m)로 추정하고 있다.

3.1.4 DGPS 신호 보호비

많은 해상 및 항공 레디오비콘들은 DGPS 서비스를 위해 사용하는 주파수대를 공유하게 되며 이것은 서로 간섭을 일으킬 수 있으며 이는 커버리지를 제한하기도 한다.
USCG에서 규정하기를 DGPS비콘의 잡음에 대한 신호보호비는 동일 주파수의 DGPS비컨이 방해파로 수신될 때 신호는 잡음보다 18dB(전계강도로 64배) 높아야 하지만 방해하는 DGPS비콘이 수신하고자 하는 신호와 1kHz만 틀려도 신호가 방해파보다 -36dB이상 (전계강도로 환산하여 신호가 방해파의 1/4,096이상)이면 된다는 것을 의미한다[9].

<표3-1> DGPS비컨에 대한 USCG의 보호비규정

<Tab.3-1> Protection Ratio Regulation of USCG concerning DGPS beacon

Frequency separation between wanted and interfering signal(kHz)	Wanted	DGPS	DGPS	DGPS
	Interfering	RBN(RDF)	RBN(id)	DGPS
0		18dB	18dB	18dB
0.5		- 34dB	- 34dB	- 28dB
1.0		- 36dB	- 36dB	- 36dB
1.5		- 45dB	- 45dB	- 45dB
2.0		- 66dB	- 66dB	- 66dB

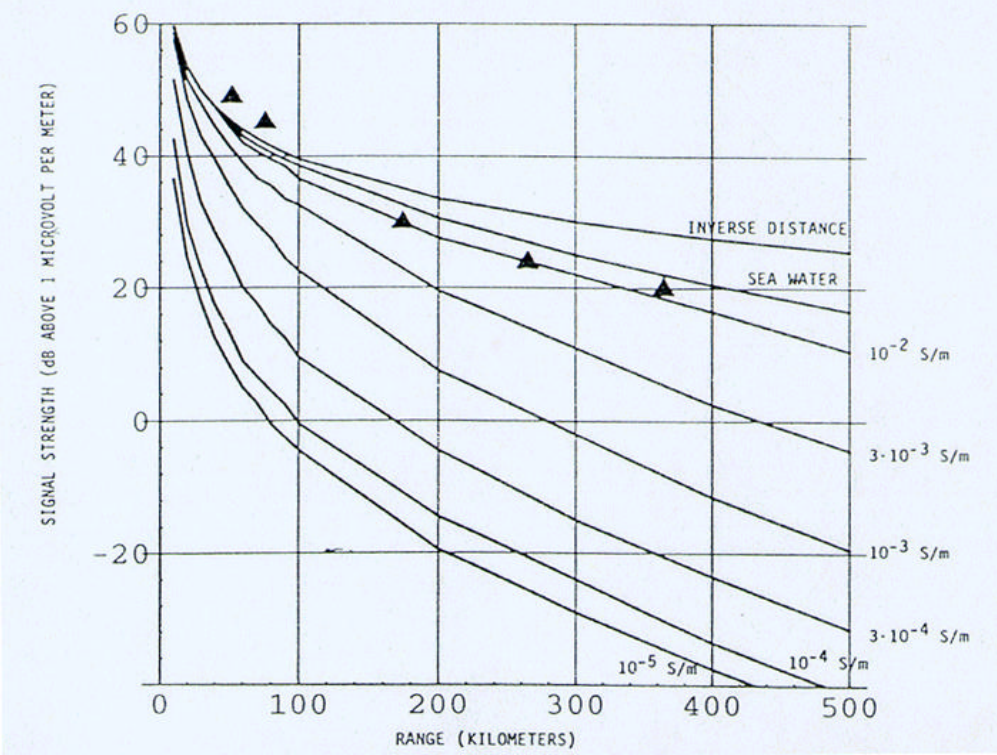
3.1.5 유효 범위내의 DGPS 전계강도

DGPS/RBN 신호는 지구의 한정된 도전율 때문에 전파거리에 따라 상대적으로 감쇄된다. <그림3-3>은 1W의 방사전력에 대한 거리 대 전계강도를 나타낸다.

제일 위쪽곡선은 완전 도전면에서의 전파의 전파이며, 두 번째 곡선은 해수에 대한 전계강도를 나타내며 아래쪽 곡선은 6종류의 대지 도전율에 대한 전계강도를 나타낸다.

해수 경로에 대한 전계강도는 신호 감쇄가 일어나는 해수 도전율에서 작은 변화에 민감하지 않으므로 비교적 정확히 예측될 수 있다. 그러나, 대지경로에 대한 전계강도는 다소 큰 도전율 변화 때문에 정확히 예측하기 어렵다.

일반적으로 기준국의 복사출력은 모든 해수경로 또는 송신기에 가까운 전계강도 측정으로부터 추정되어야 한다. 복사출력이 알려지면, 몇 개의 지표파 전계강도 측정은 어떤 대지의 도전율을 추정하는 데 이용될 수도 있다.



<그림3-3> 300kHz주파수대에서 각기 다른 매질경로의 거리에 따른 지표파 전계강도

<Fig.3-3> Groundwave Field Strength Versus Distance for Different Values of Path Conductivity at 300 kHz

특정지점에서 특정 송신국의 신호를 수신하기 위해서는 그 지점에 있어서의 S/N비(신호 대 잡음비, 그 지점에 있어서의 송신국 신호의 세기와 그 지점의 잡음신호의 비)가 신호수신기가 신호를 재생할 수 있는 S/N비 보다 높아야 한다.

ITU-R 823에 의하면 DGPS 수신기 설계요건은 수신기대역폭 500Hz의 범위에서 S/N 비 7dB 이상으로, 1000비트당 1비트 이내의 오차율로 신호 재생이 가능하여야 하는 것으로 규정되어 있고, COMDINST M 16577.1에 의하면 유효 범위 내에서의 최소전계강도는 100bps 신호송출의 경우 75 μv/m(37.5dB

over μv/m) 이상, 200bps 신호송출의 경우 100 μv/m(40.0dB)이상일 것을 요구하고 있다.

DGPS 유효 범위내의 잡음전계강도는 잡음전계강도 측정기로 광범위하게 측정하는 방법도 있으나, ITU가 조사 발표한 세계 각 지역의 잡음 강도표를 사용하는 것이 통상이다.

ITU-R 322-3에 의한 1MHz의 한국근해의 잡음강도는 평균 74.6dB이며 최대치는 여름철 00:00 00:40의 75dB(Fam above kTb)이다. 이 75dB를 주파수 300kHz의 잡음 전계강도로 환산하면 8.4dB(above μv/m)가 되며, 따라서, ITU-R 823이 요구하는 S/N 비 7dB를 더하면 DGPS 전파의 세기가 16dB 이상이어야 한다.

이 두 가지 요건을 모두 만족시키기 위한 DGPS 전파의 전계강도는 200bps 기준으로 40.0dB(over μv/m)이상이면 족하다.

3.2 전계강도 비교 분석

3.2.1 프로그램 구성 및 제작

이 프로그램은 주파수가 같은 중국, 일본, 한국의 DGPS기준국간의 전계강도를 비교하였으며 DGPS국간의 주파수 보호비를 고려하였다.

프로그램에 쓰인 실험식을 구하기 위해 ITU-R 보고서에 나타난 도표를 기초로 최소 자승법을 이용하여 구현하였으며 여기에다 복사출력을 조정하기 위한 식을 가미하였다. 또한, ITU-R 보고서의 도표는 1kW출력이므로 각 국 복사출력당 전력비로 계산한 결과 거의 일치한다는 것을 알 수 있었다.

주간에는 기준국과 주변국 모두 지표파만을 사용하였으며 야간에는 지표파와 공간파를 모두 고려하였다. 야간에 공간파도 고려한 이유는 공간파가 전리층을 통하여 원거리 전파되므로 송신국간 유효 범위에 영향을 미치기 때문이다.

또한, 우리나라 DGPS국은 송신기 출력 300W를 기준으로 100해리(185km)내에 40.0dB(over μv/m)을 만족하도록 설계되었으므로 유효 범위를 얻기 위해 우리나라 DGPS국 레디오비콘 안테나의 복사출력을 (1)식에 의거 10W로 추

정한다.

제 8차 FERNS회의에서 일본은 복사출력을 200km 범위에서 40.0dB(over μv/m)정도로 서비스된다고 하므로 실험식으로 역산하여 12W로 정하였으며, 중국은 송신기출력 300W의 5 - 6%라고 하였는 바 15W로 계산하였다.

DGPS국간의 거리계산은 대권항법을 사용하였다.

3.2.2 거리측정 프로그램

지구 표면 위의 두 지점 사이의 최단거리는 두 지점을 지나는 대권의 호이므로 거리 계산에 있어서 대권항법(Great Circle Sailing)을 사용하는 것이 일반적이다.

대권항법의 장점은 첫째, 위도가 높을수록 좋다. 위도가 같지 않은 두 지점을 지나는 항정선은 나선상의 곡선을 그리면서 점점 극에 접근한다. 극에 접근할수록 대권도상의 항정선의 곡률 반경이 작아지기 때문에 항정선을 따라 잰 거리는 그 두 지점을 지나는 대권을 따라 잰 거리에 비하여 현저히 커진다. 또 적도는 대권인 동시에 항정선이기 때문에 적도 또는 그 부근을 항해할 때에는 항정이 별로 단축되지 않는다.

둘째, 침로가 동 또는 서에 가까울수록 좋다.
자오선은 대권인 동시에 항정선이므로 동 또는 북으로 항해하거나 거의 그와 같은 방향으로 향해하는 경우에는 항정이 별로 단축되지 않는다.

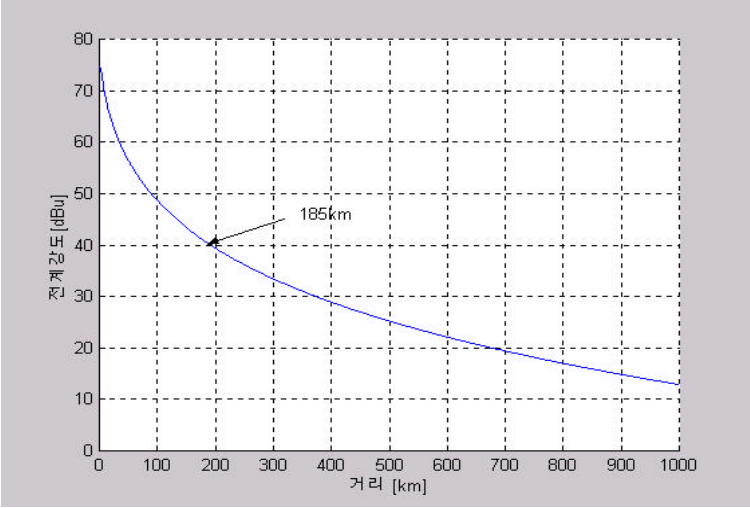
셋째, 거리가 멀수록 좋다.
같은 조건 아래서는 거리가 멀수록 대권거리와 항정선거리의 차가 커진다.

전파는 두 지점간의 최단경로인 대권을 따라 진행한다고 간주되므로 거리계산에는 대권거리를 채택한다.

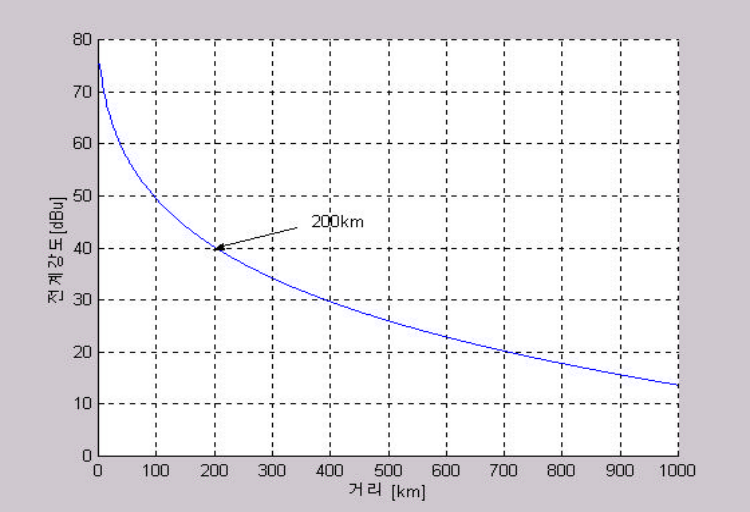
4. 프로그램 실행 및 결과분석

4.1 주변국 DGPS국의 설계상 유효 범위 및 출력

전계강도 계산시 우리 나라의 경우 복사출력을 10W, 일본 12W, 중국 15W로 설정하였으며 지표파 전계강도 실험식을 사용하였다.
<그림4-1> <그림4-3>에 한국, 일본 및 중국의 DGPS국 설계 유효 범위 및 전계강도를 도시하였다.

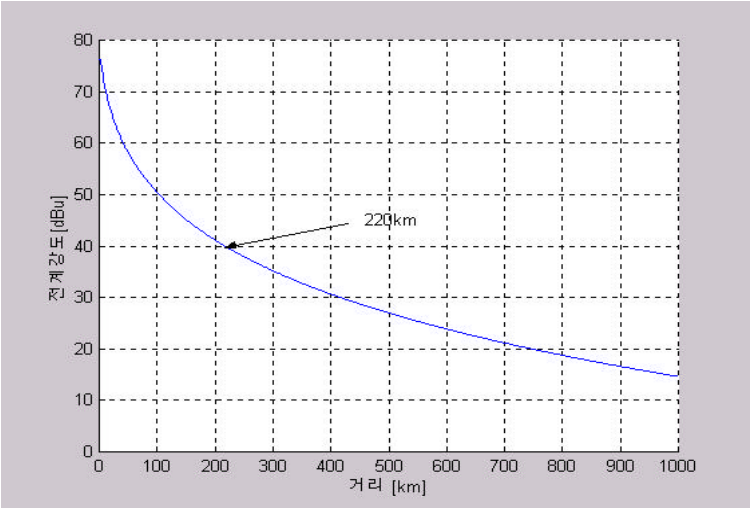


<그림4-1> 한국 DGPS국의 설계 유효 커버리지 및 전계강도 [185km, 10W]
<Fig.4-1> Designed Coverage and Field Strength of Korea DGPS Stations



<그림4-2> 일본 DGPS국의 설계 유효 커버리지 및 전계강도[200km, 12W]

<Fig.4-2> Designed Coverage and Field Strength of Japan DGPS Stations



<그림4-3> 중국 DGPS국의 설계 유효 커버리지 및 전계강도 [220km, 15W]

<Fig.4-3> Designed Coverage and Field Strength of China DGPS Stations

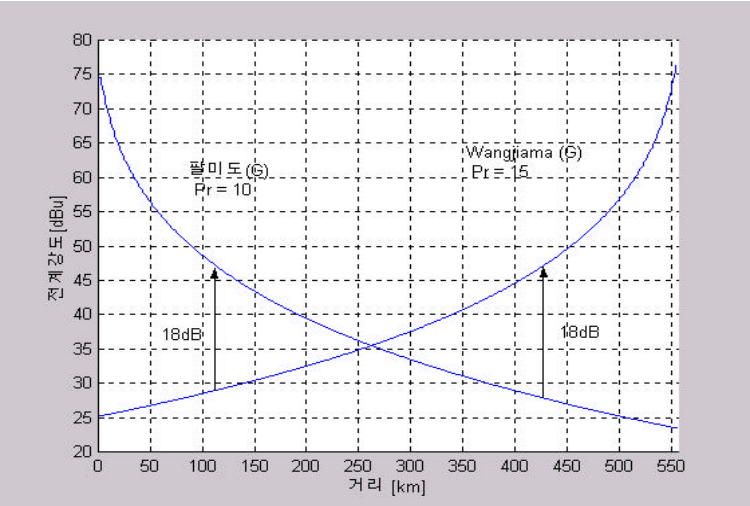
4.2 주변국 상호 간섭 예측 분석

우리 나라 DGPS국간과 인접 국가 DGPS국간의 주파수를 비교하여 동일 주파수의 DGPS국간을 가려내어 지표파 및 공간파를 고려한 분석을 하였다. 이때, DGPS국간 주파수간 보호비 및 40dB(over μV/m)이상의 유효전계강도, 공간파와 지표파를 고려하여 상호간섭 예측범위를 계산하였다. 한 가지 아쉬운 점은 한국, 일본, 중국 모두 복사출력에 관한 실측이 이루어지지 않아 정확한 수치를 입력하지 못 한다는 점이다.

본 연구는 전술된 바와 같이 ITU-R 435-6에 의거 지표파 및 공간파(50% 확률) 예측모델 실험식 (1),(2)과 지표파와 공간파 합성신호강도에 관한 식(4)를 사용하였으며 본 장의 마지막에 <표 4-1> 공간파 간섭이 우려되는 DGPS국들과 <표 4-2>에 간섭파(지표파 및 공간파)를 고려한 유효거리 시뮬레이션 결과에 대한 분석을 나타내었다.

4.2.1 팔미도 DGPS국 - Wangjiamai RBN국

팔미도 DGPS국은 Wangjiamai(RBN 313kHz)국과 556.4km(302.5NM) 떨어져 있으며 같은 주파수이다. 두 국간 주간 지표파의 경우에는 팔미도 DGPS국이 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 185km까지의 범위이지만 Wangjiamai RBN국과 동일한 주파수이므로 보호비 18dB을 고려할 때 110km까지가 유효 범위로 판단된다. 반대로 Wangjiamai RBN국의 경우, 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 220km까지의 범위이나 실제 보호비 18dB를 고려시 130km로 추정된다.

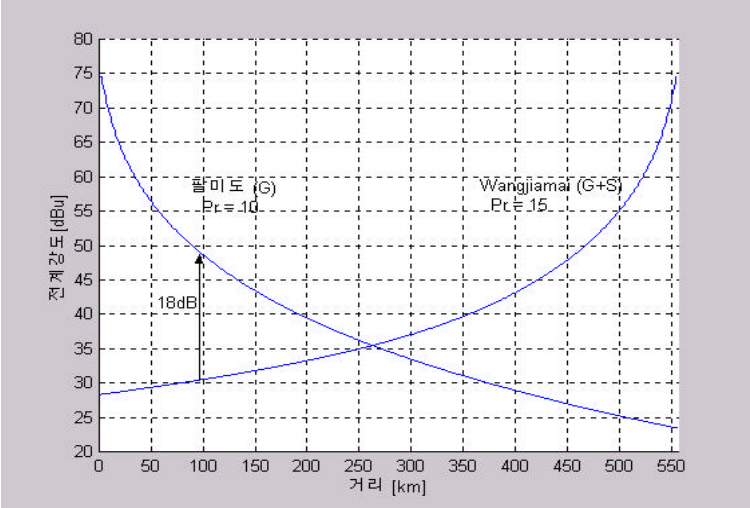


<그림4-4> 주간 팔미도와 Wangjiamai의 지표파 전계강도

<Fig.4-4> Groundwave Field Strength of Palmido and Wangjiamai in Daylight

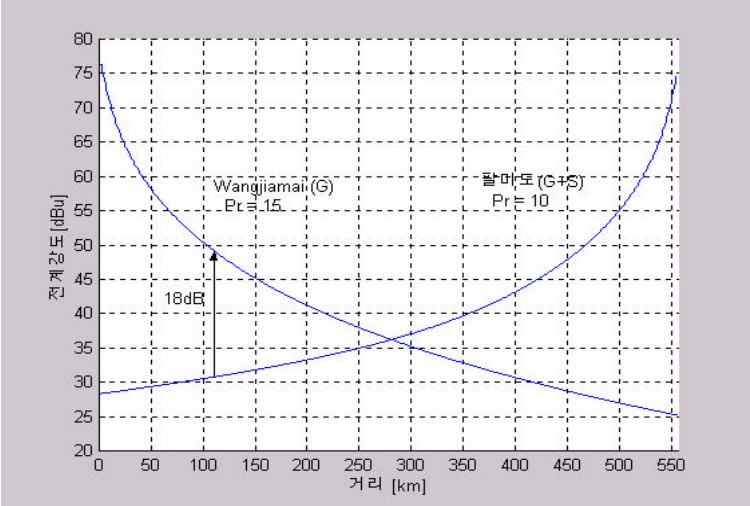
<그림 4-5>, <그림 4-6>에 팔미도 DGPS국 및 Wangjiamai RBN국의 지표파(팔미도(G))와 방해국의 지표파와 공간파의 합성파(Wangjiamai(G+S))를 나타낸 것이다.

결과에 나타나는 것처럼 팔미도는 95km의 유효 범위를 가졌으며, 반대의 경우 Wangjiamai RBN국은 110km의 유효 범위를 갖고 있음을 확인하였다.



<그림4-5> 팔미도 지표파와 Wangjiamai의 합성파 전계강도 비교

<Fig.4-5> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Palmido and The Total(Groundwave and Skywave)of Wangjiamai

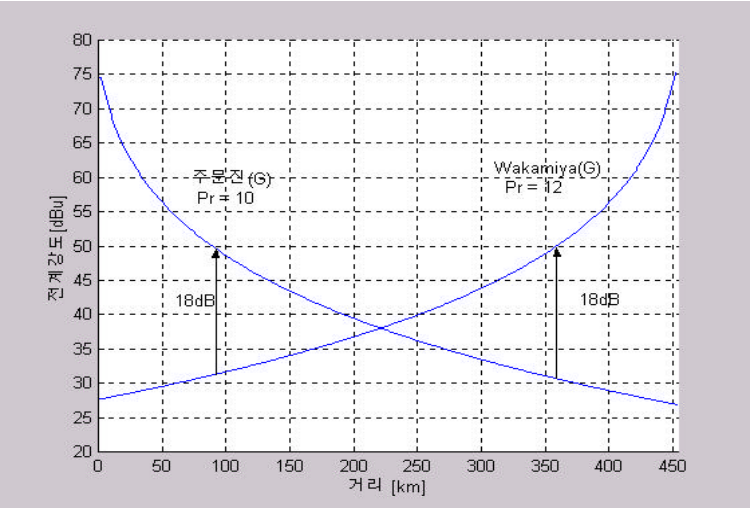


<그림4-6> Wangjiamai 지표파와 팔미도 합성파 전계강도 비교

<Fig.4-6> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Wangjiamai and The Total(Groundwave and Skywave)of Palmido

4.2.2 주문진 - Wakamiya DGPS국

주문진 DGPS국(295kHz)의 경우 Wakamiya국과 같은 주파수이며 거리는 453.8km 떨어져 있다. 두 국간 주간 지표파의 경우에는 주문진 DGPS국이 40dB(over μV/m)의 유효 범위로 해상 185km까지의 범위이지만 Wakamiya DGPS국과 동일한 주파수이므로 보호비 18dB을 고려할 때 90km까지가 유효 범위로 판단된다. 반대로 Wakamiya DGPS국의 경우, 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 200km까지의 범위이나 실제 보호비 18dB를 고려시 100km로 추정된다. 그러나, 육상의 경우는 양 국의 전계강도가 현저히 떨어지므로 지표파 상호간의 간섭 가능성이 훨씬 적어질 것으로 예상된다.

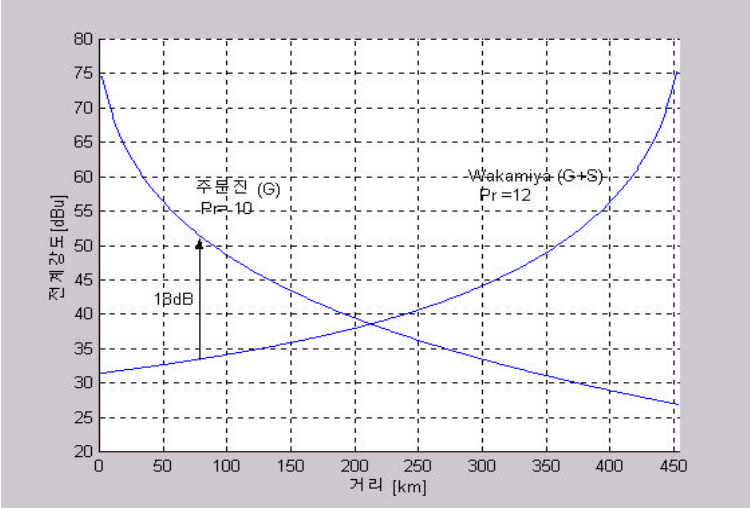


<그림4-7> 주간 주문진과 Wakamiya DGPS국의 지표파 전계강도

<Fig.4-7> Groundwave Field Strength of Jumunjin and Wakamiya in Daylight

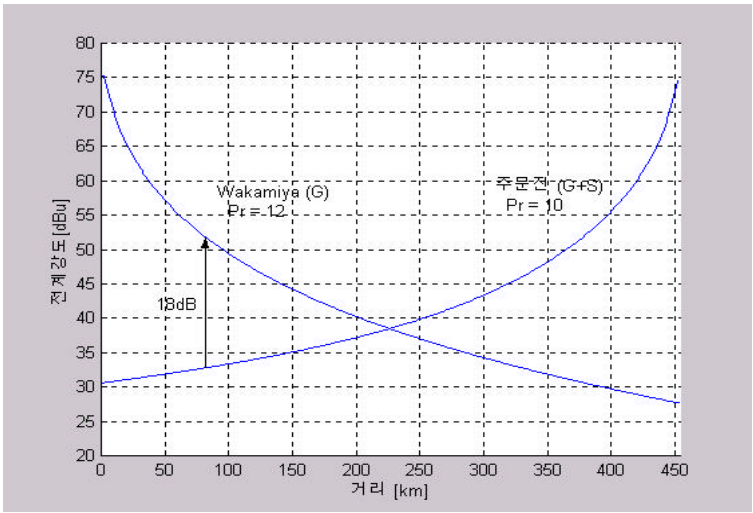
<그림4-8>, <그림4-9>는 주문진 DGPS국 및 Wakamiya DGPS국의 지표파와 방해국의 합성파를 나타낸 것이다.

주문진은 75km의 유효 범위를 가졌으며, 반대의 경우 Wakamiya DGPS국은 80km의 유효 범위를 가졌다.



<그림4-8> 주문진 지표파와 Wakamiya 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-8> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Jumujin and The Total(Groundwave and Skywave)of Wakamiya

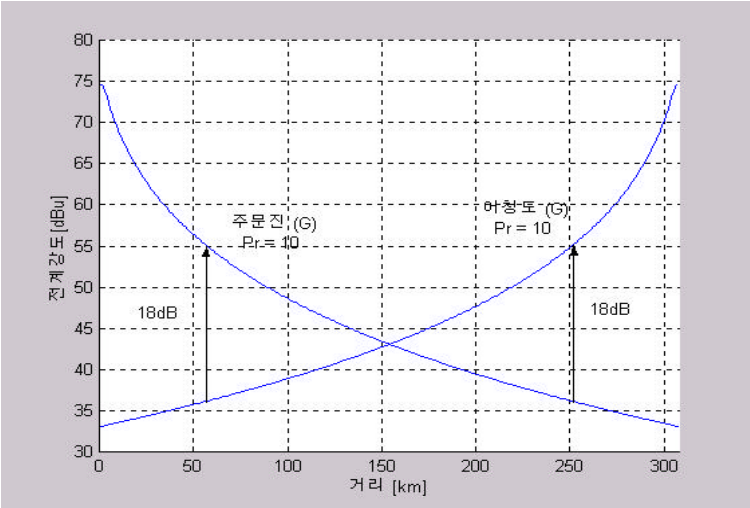


<그림4-9> Wakamiya 지표파와 주문진 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-9> The Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Wakamiya and The Total(Groundwave and Skywave)of Jumujin

4.2.3 주문진 - 어청도 DGPS국

주문진 DGPS국(295kHz)과 어청도국은 같은 주파수이며 거리는 453.8km 떨어져 있다. 두 국간 주간 지표파의 경우에는 주문진 DGPS국이 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 185km까지의 범위이지만 어청도 DGPS국과 동일한 주파수이므로 보호비 18dB을 고려할 때 55km까지가 유효 범위로 판단된다. 반대로 어청도 DGPS국 또한, 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 55km로 추정된다. 그러나 실제로 두 국의 전파는 모두 육상경로를 거쳐서 전파되므로 지표파간의 간섭 가능성이 적어질 수 있다. 거리 상으로는 간섭이 일어날 수도 있겠으나 육상경로이므로 거의 간섭이 없는 것으로 판단된다. 그러나, 육상의 도전율이 우리 나라에서는 실측을 통해 밝혀지지 않았으므로 확인하기 힘들다.

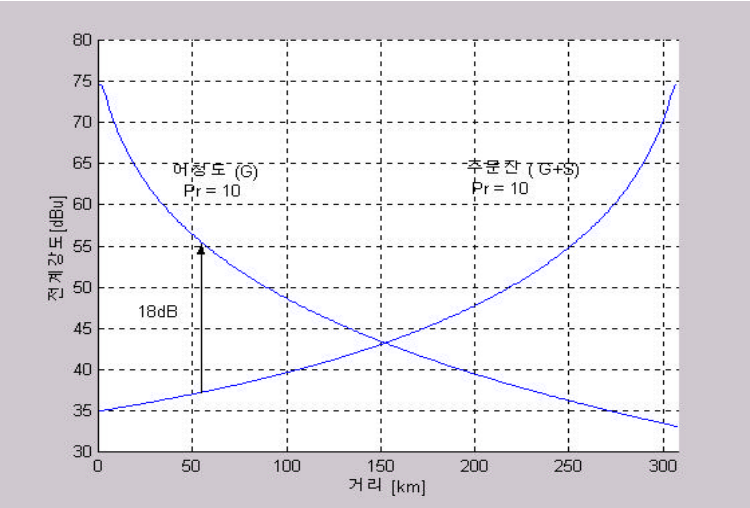


<그림4-10> 주간 주문진과 어청도 DGPS국의 지표파 전계강도

<Fig.4-10> Groundwave Field Strength of Jumunjin and Echongdo in Daylight

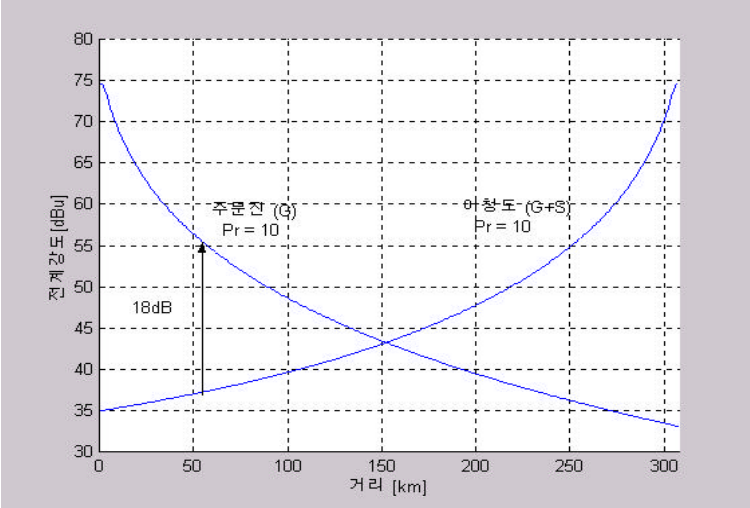
<그림4-11>, <그림4-12>는 주문진 DGPS국 및 어청도 DGPS국의 지표파와 방해국의 합성파를 나타낸 것이다.

어청도는 52km의 유효 범위를 가지며, 반대의 경우 주문진 DGPS국도 52km의 유효범위를 갖고 있음을 확인하였다.



<그림4-11> 어청도 지표파와 주문진 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-11> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Echongdo and The Total(Groundwave and Skywave)of Jumujin

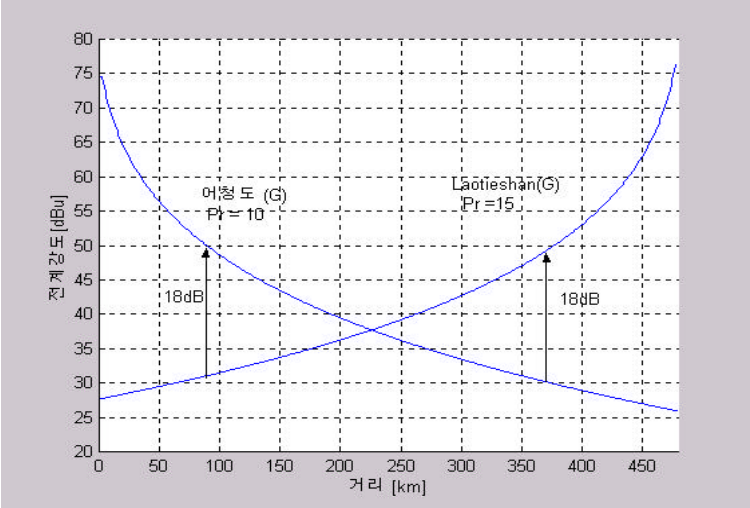


<그림4-12> 주문진 지표파와 어청도 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-12> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Jumunjin and The Total(Groundwave and Skywave)of Echongdo

4.2.4 어청도 - Laotieshan DGPS국

어청도 DGPS국(295kHz)은 Laotieshan국과 같은 주파수이며 거리는 480.1km떨어져 있다. 두 국간 주간에는 어청도 DGPS국이 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 185km까지의 범위이지만 Laotieshan DGPS국과 동일한 주파수이므로 보호비 18dB을 고려할 때 90km까지가 유효 범위로 판단된다. 반대로 Laotieshan DGPS국의 경우, 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 220km까지의 범위이나 실제 보호비 18dB를 고려시 110km로 추정된다.

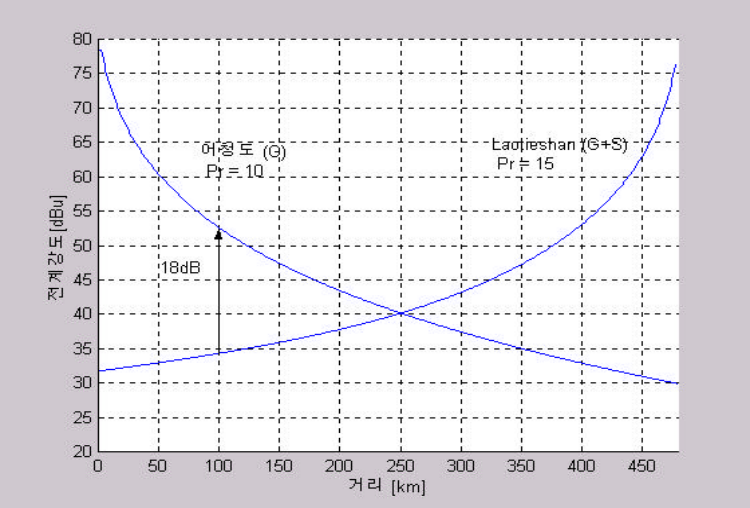


<그림4-13> 주간 Laotieshan과 어청도 DGPS국의 지표파 전계강도

<Fig.4-13> Groundwave Field Strength of Laotieshan and Echongdo in Daylight

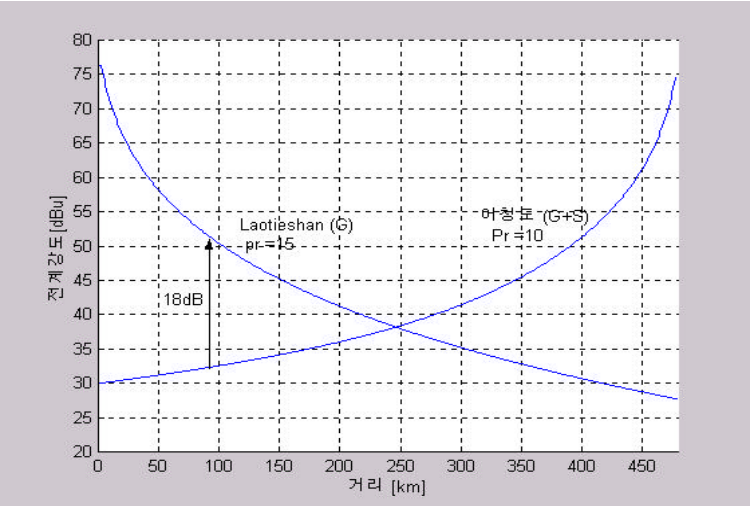
<그림4-14>, <그림4-15>는 어청도 DGPS국 및 Laotieshan DGPS국의 지표파와 방해국의 합성파를 나타낸 것이다.

어청도국은 70km의 유효 범위를 가지며 반대의 경우 Laotieshan국은 90km의 유효 범위를 가졌다.



<그림4-14> 어청도 지표파와 Laotieshan 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-14> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Echongdo and The Total(Groundwave and Skywave)of Laotieshan

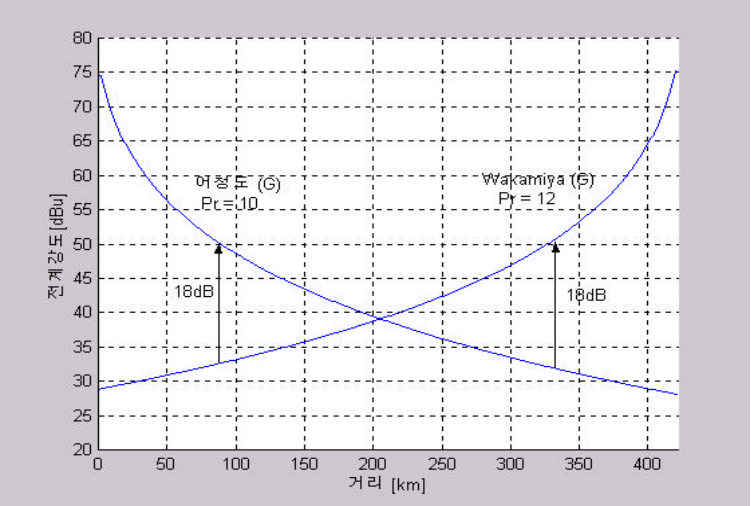


<그림4-15> Laotieshan 지표파와 어청도 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-15> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Laotieshan and The Total(Groundwave and Skywave)of Echongdo

4.2.5 어청도 - Wakamiya DGPS국

어청도 DGPS국(295kHz)은 Wakamiya DGPS국과 같은 주파수이며 거리는 421.9km떨어져 있다. 두 국간 주간에는 어청도 DGPS국이 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 185km까지의 범위이지만 Wakamiya DGPS국과 동일한 주파수이므로 보호비 18dB을 고려할 때 80km까지가 유효 범위로 판단된다. 반대로 Wakamiya DGPS국의 경우, 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 265km까지의 범위이나 실제 보호비 18dB를 고려시 90km로 추정된다.

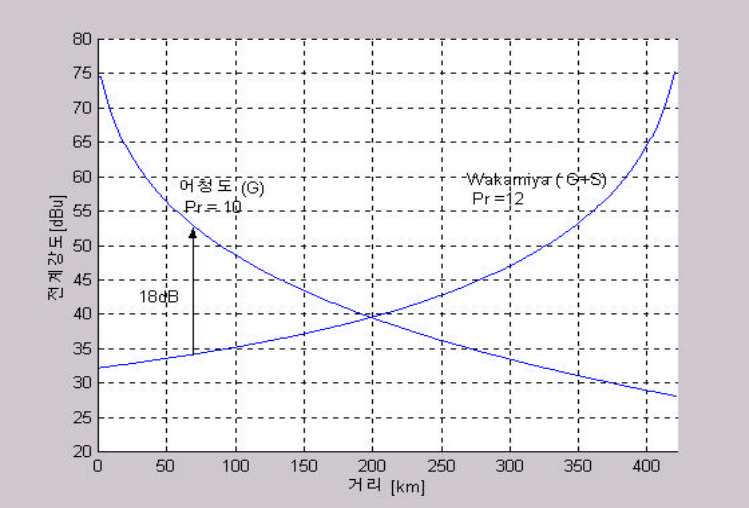


<그림4-16> 주간 어청도와 Wakamiya DGPS국의 지표파 전계강도

<Fig.4-16> Groundwave Field Strength of Echongdo and Wakamiya in Daylight

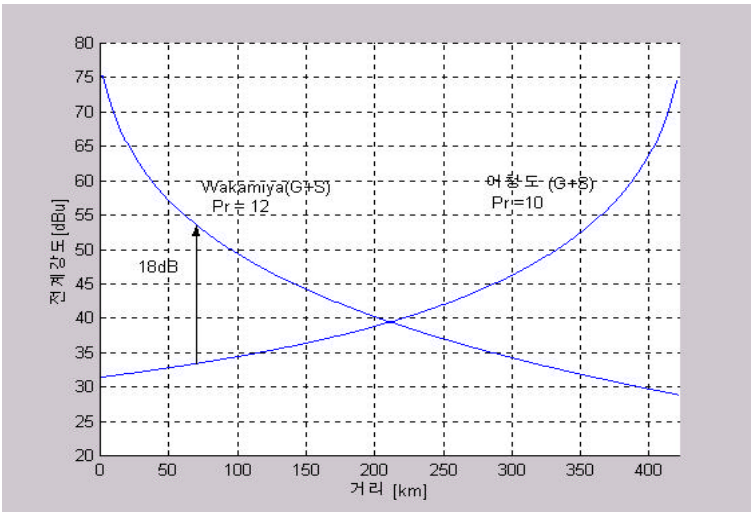
<그림4-17>, <그림4-18>는 어청도 DGPS국 및 Wakamiya DGPS국의 지표파와 방해국의 공간파를 나타낸 것이다.

어청도국은 70km의 유효 범위를 가지며, 반대의 경우 Wakamiya국은 80km의 유효 범위를 가지는 것으로 추정된다.



<그림4-17> 어청도 지표파와 Wakamiya 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-17> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Echongdo and The Total(Groundwave and Skywave)of Wakamiya



<그림4-18> Wakamiya 지표파와 어청도 합성파의 전계강도 비교

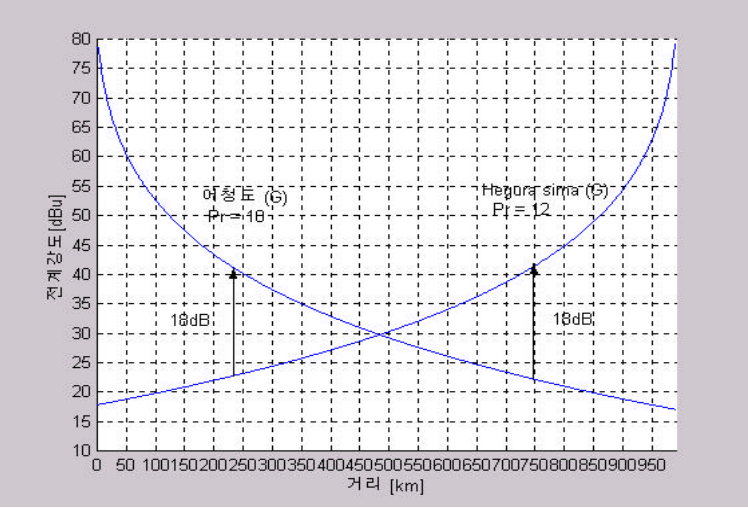
<Fig.4-18> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Wakamiya and The Total(Groundwave and Skywave)of Echongdo

4.2.6 어청도 - Hegura Sima DGPS국

1999. 10월에 일본 동경에서 열린 FERNS회의에서 일본대표가 어청도 DGPS국에서의 전파가 Hegura Sima와 Muroto Saki에 간섭을 일으킨다고 보고하였다. 어청도에서 Hegura Sima까지의 거리는 991.5km이고, 어청도로부터 Muroto Saki까지의 거리는 846.4km이다.
David Last 와 Dorothy Poppe의 ‘ A Coverage Prediction Model for Radio Beacon Differential Satellite Navigation System'에 의하면 공간파는 1kW 송신기의 경우 8km에서 나타나기 시작하여 200- 300km에서 최대값을 나타내며 3000km까지 전파되는 것으로 나타나 있으며 이는 전리층에 의한 현상이다.

일본의 주장대로라면 주문진국 또한 어청도와 같은 주파수로 Hegura Sima와는 708.8km, Muroto Saki와는 707.4km이므로 간섭의 가능성이 있으며 어청도에 의한 간섭에 대해 일본에서 구체적으로 언급하지 않았고 800 - 1000km에서 간섭이 일어난다는 주장도 더 많은 실측을 통해 확인되어야 할 문제이다.

어청도 DGPS국(295kHz)은 Hegura sima DGPS국과 같은 주파수이며 두 국간의 거리는 991.5km떨어져 있다. 두 국간 주간에는 어청도 DGPS국이 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 185km까지의 범위이지만 Hegura sima DGPS국과 동일한 주파수이므로 보호비 18dB을 고려할 때 240km까지가 유효 범위로 판단된다. 반대로 Hegura sima DGPS국의 경우, 40 μV/m의 유효 범위가 해상 200km까지의 범위이나 실제 보호비 18dB를 고려시 260km로 추정된다.

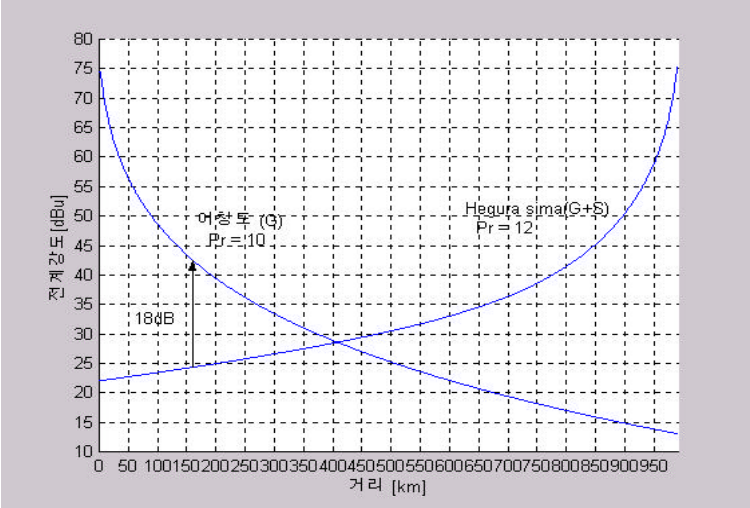


<그림4-19> 주간 어청도와 Hegura sima DGPS국의 지표파 전계강도

<Fig.4-19> Groundwave Field Strength of Echongdo and Hegura sima in Daylight

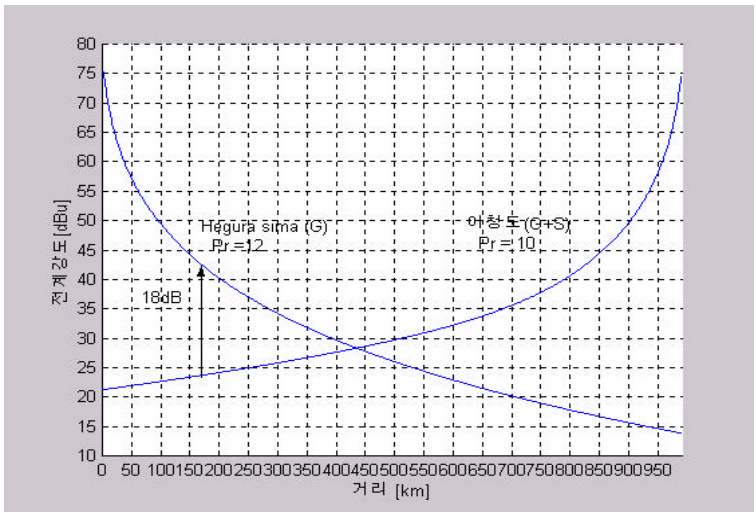
<그림4-20>, <그림4-21>는 어청도 DGPS국 및 Hegura sima DGPS국의 지표파와 방해국의 합성파를 나타낸 것이다.

어청도국은 160km의 유효 범위를 가지며, 반대의 경우 Hegura sima DGPS국은 170km의 유효 범위를 가지는 것으로 추정된다.



<그림4-20> 어청도 지표파와 Hegura sima 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-20> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Echongdo and The Total(Groundwave and Skywave)of Hegura sima

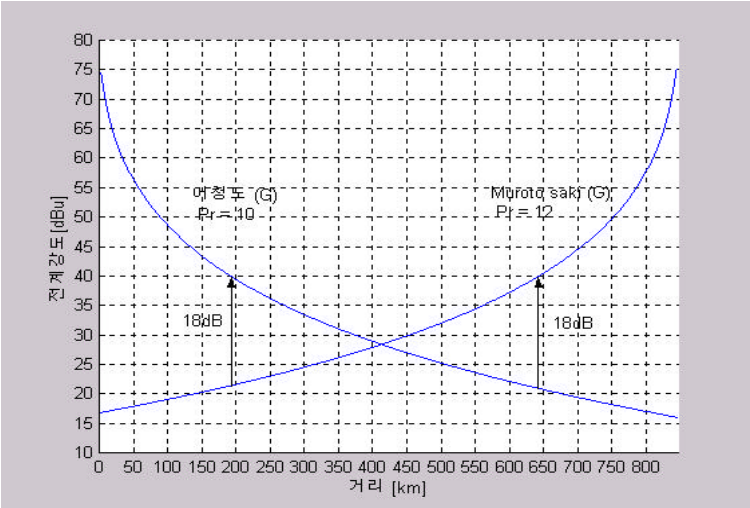


<그림4-21> Hegura sima 지표파와 어청도 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-21> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Hegura sima and The Total(Groundwave and Skywave)of Echongdo

4.2.7 어청도 - Muroto Saki DGPS국

어청도(295kHz) 와 Muroto Saki DGPS국은 같은 주파수이며 846.4km이다. 두 국간 주간에는 어청도 DGPS국이 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 185km까지의 범위이지만 Muroto Saki DGPS국과 동일한 주파수이므로 보호비 18dB을 고려할 때 190km까지가 유효 범위로 판단된다. 반대로 Muroto Saki DGPS국의 경우, 40 μV/m의 유효 범위가 해상 200km까지의 범위이며 실제 보호비 18dB를 고려시 거의 영향 없이 200km로 추정된다.

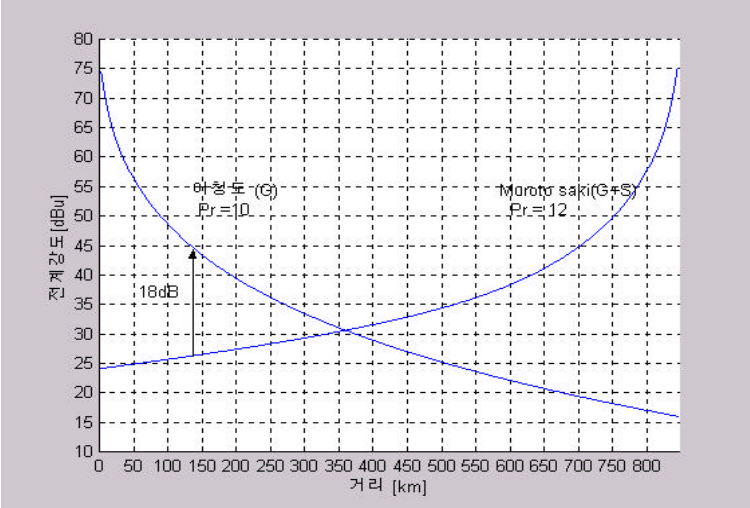


<그림4-22> 주간 어청도와 Muroto saki DGPS국의 지표파 전계강도

<Fig.4-22> Groundwave Field Strength of Echongdo and Muroto saki in Daylight

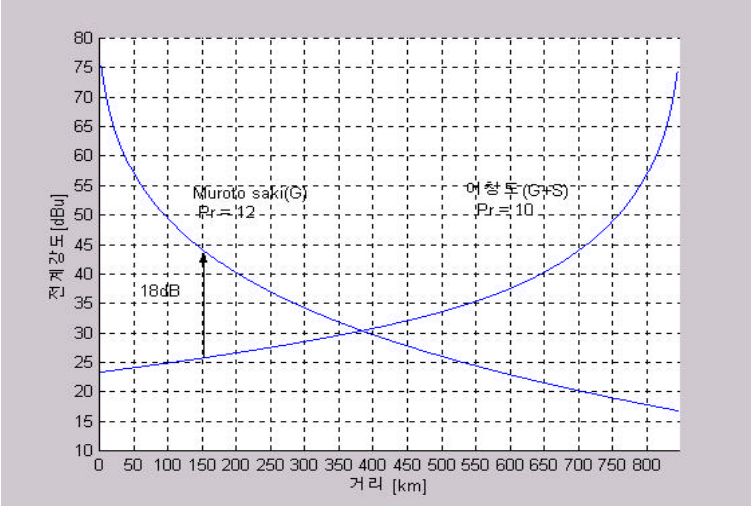
<그림4-23>, <그림4-24>는 어청도 DGPS국 및 Muroto Saki DGPS국의 지표파와 방해국의 합성파를 나타낸 것이다.

어청도국은 135km의 유효 범위를 가지며, 반대의 경우 Muroto Saki국은 150km의 유효 범위를 가졌다.



<그림4-23> 어청도 지표파와 Muroto saki 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-23> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Echongdo and The Total(Groundwave and Skywave)of Muroto saki

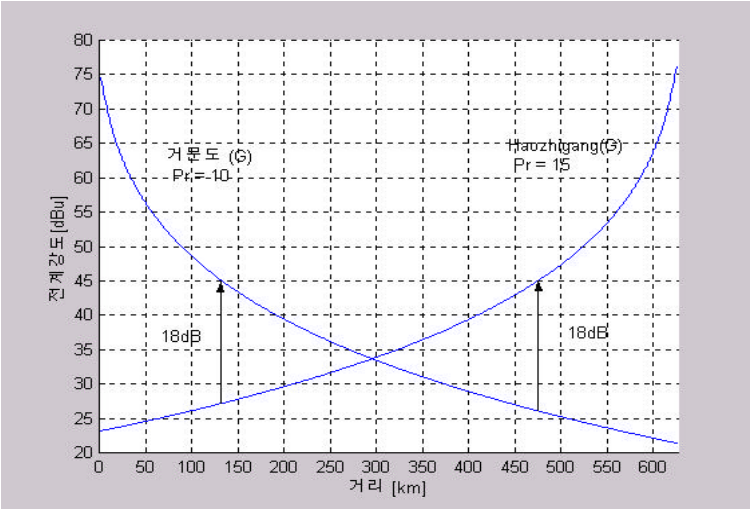


<그림4-24> Muroto saki 지표파와 어청도 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-24> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Muroto saki and The Total(Groundwave and Skywave)of Echongdo

4.2.8 거문도 - Haozhigang DGPS국

거문도(287kHz) 와 Haozhigang DGPS국은 같은 주파수이며 626.8km이다. 두 국간 주간에는 어청도 DGPS국이 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 185km까지의 범위이지만 Haozhigang DGPS국과 동일한 주파수이므로 보호비 18dB을 고려할 때 130km까지가 유효 범위로 판단된다. 반대로 Haozhigang DGPS국의 경우, 40dB(over μV/m)의 유효 범위가 해상 200km까지의 범위이나 실제 보호비 18dB를 고려시 150km로 추정된다.

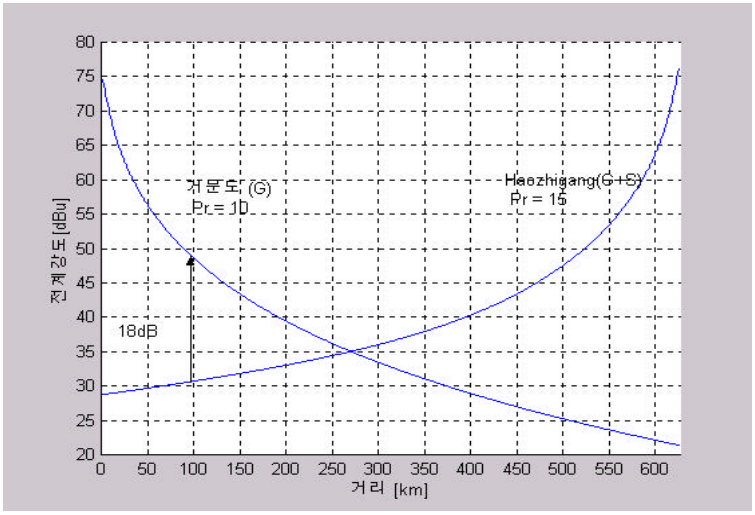


<그림4-25> 주간 거문도와 Haozhigang DGPS국의 지표파 전계강도

<Fig.4-25> Groundwave Field Strength of Geomundo and Haozhigang in Daylight

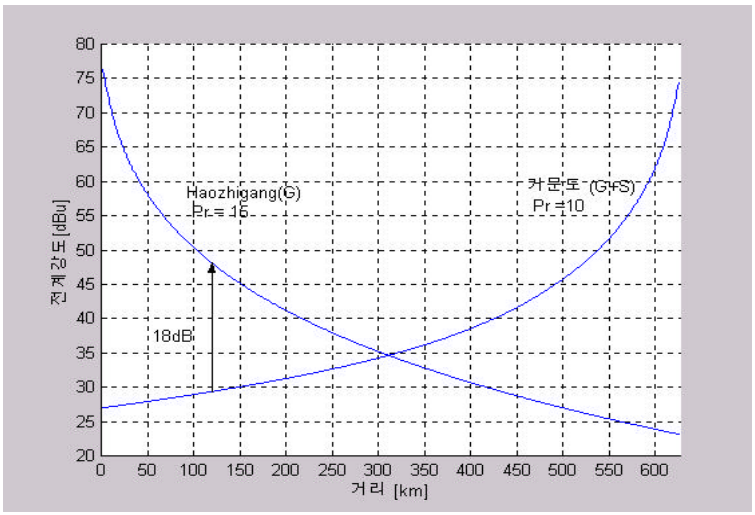
<그림4-26>, <그림4-27>는 거문도 DGPS국 및 Haozhigang DGPS국의 지표파와 방해국의 합성파를 나타낸 것이다.

거문도국은 95km의 유효 범위를 가지며 반대의 경우, Haozhigang국은 120km의 유효 범위를 가졌다.



<그림4-26> 거문도 지표파와 Haozhigang 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-26> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Geomundo and The Total(Groundwave and Skywave)of Haozhigang



<그림4-27> Haozhigang 지표파와 거문도 합성파의 전계강도 비교

<Fig.4-27> Comparision of Field Strength concerning The Groundwave of Haozhigang and The Total(Groundwave and Skywave)of Geomundo

<표 4-1> 공간파 간섭이 우려되는 DGPS국

<Tab.4-1> The Expected DGPS Stations with Interference by Skywave

Base Station	Name	Position	Frequency (kHz)	Distance(km)
Jumunjin 37.54/128.50 (295kHz)	Laotieshan	*38-50/121.10	295	658.3
	Hegura sima	37-51/136-55	295	711.4
	Wakamiya	33-52/129-42	295	453.8
	Muroto Saki	33-15/134-11	295	704.9
	Echong Do	36.07/125.58	295	307.4
Echong Do 36.07/125.58 (295kHz)	Laotieshan	*38-50/121.10	295	480.1
	Hegura sima	37-51/136-55	295	991.5
	Wakamiya	33-52/129-42	295	451.1
	Muroto Saki	33-15/134-11	295	846.4
Changgigap 36.05/129.34 (310kHz)	Toi Misaki	31-22/131-20	309	562.8
Geomun Do 34.00/127.20 (287kHz)	Haozhigang	*31.50/121.20	287	626.8
Palmi Do 37.21/126.31 (313kHz)	Wangjiamai	36-04/120-26	313.5(DGPS) 313(RBN)	556.4

<표 4-2> 간섭파(지표파 및 공간파)를 고려한 유효거리 시뮬레이션 결과

<Tab.4-2> The Coverage Simulation Result considering The Interference of Total(Groundwave and Skywave)

기준국	상대국	간섭파 고려시 유효거리(km)		거리(km)
		지표파	공간파	
팔미도 (Wangjiamai)	Wangjiamai (팔미도)	110 (130)	95 (110)	556.4
주문진 (Wakamiya)	Wakamiya (주문진)	90 (100)	75 (80)	453.8
주문진 (어청도)	어청도 (주문진)	55 (55)	52 (52)	307.4
어청도 (Laotieshan)	Laotieshan (어청도)	90 (110)	70 (90)	480.2
어청도 (Wakamiya)	Wakamiya (어청도)	80 (90)	70 (80)	451.1
어청도 (Hegura sima)	Hegura sima (어청도)	240 (260)	160 (170)	991.5
어청도 (Muroto saki)	Muroto saki (어청도)	190 (200)	135 (150)	846.4
거문도 (Haozhigang)	Haozhigang (거문도)	130 (150)	97 (120)	626.8

5. 결 론

전세계적으로 각광을 받고 있는 DGPS/RBN는 항법용뿐만 아니라 여러 분야에서 중추적인 역할을 맡을 것으로 기대된다. 대부분의 선진국들이 이미 DGPS/RBN에 근거한 국가 DGPS 망을 구축하였다.

우리 나라에서도 2000년까지 8개소의 DGPS/RBN 시스템이 완성될 예정이다.

그러나, 우리 나라뿐만 아니라 인접 국가인 중국, 일본에서도 아직 서비스 영역에 대한 분석이 구체적으로 이루어지지 않은 상태이다.

본 논문에서는 한국, 일본 및 중국연안에 설치되어 운용중이거나 운용 예정인 동일 주파수 DGPS국 상호간의 최적유효범위를 USCG에서 공포한 보호비를 고려한 시뮬레이션에 의하여 검토·분석하였다. 전파 거리에 따른 전계강도 계산은 ITU에서 공포한 도표를 활용하여 최소 자승법에 의하여 구한 실험식을 이용하였으며, USCG에서 권고한 유효 범위 내의 최소 전계강도 40dB(over μV/m)로 설계한 것으로 가정하여 해당국으로부터 40dB(over μV/m)이상의 전계강도 영역 내에서 보호비인 18dB 이상 차이가 나는 수신 거리를 지표파 혹은 공간파에 의한 상호 간섭이 없는 예측 유효 범위로 두고 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 한국의 DGPS/RBN국 중 동일 주파수를 사용하고 있는 주문진국과 어청도국의 경우 유효범위는 지표파 고려시 55km, 공간파 고려시 52km 정도로 나타났다. 단, 육상경로를 고려할 시 지표파의 상호 간섭 범위는 상당히 줄어들 것으로 예상된다.

둘째, 상호 간섭을 고려한 각 국의 DGPS국 상호간(한국-일본, 한국-중국)의 유효 거리는 DGPS국 기선 거리에 따라 각 국의 설계 유효거리 대비 대략 30 - 50% 줄어든 것으로 확인되었다.

셋째, 기선 거리가 가장 먼 어청도 - Muroto saki(846.4km) 및 어청도 - Hegura sima(991.5km)국 상호간도 설계 범위 내에서 공간파의 영향이 다소 있는 것으로 확인되었다.

전 세계적으로 DGPS국가망 구축이 급속도로 진행되는 가운데 한국을 비롯 인접국인 일본 및 중국이 해양용 DGPS망을 구축하여 운용 중이나 아직 서비

스 영역에 대한 구체적 분석 보고가 없을 뿐만 아니라 각 나라간의 동일 주파수에 대한 유효 범위 설정에 대한 긴밀한 협조가 미흡한 점으로 보아 각 국이 제시한 유효 범위는 USCG에서 규정한 보호비 고려시 상당한 차이가 있을 것으로 예상되는 바, 본 연구 결과가 추후 인접 나라간의 DGPS정책 조정시 충분히 고려되어야 할 것으로 사료된다.

전술한 바와 같이 본 연구는 USCG 제안, ITU보고서 및 각 나라가 제시한 자료들을 토대로 시뮬레이션 한 결과이므로 보다 더 정확한 결과를 도출하기 위해서는 향 후 실측을 통한 자료 분석과 내륙에서의 전계강도 감쇄 정도 및 보다 더 정확한 각 국의 안테나 복사효율을 감안한 연구가 이루어져야 한다.

REFERENCE

1. ITU-R, World Atlas of Ground Conductivities, Report 717-2, ITU, Geneva, 1988.

2. ITU-R, Technical Characteristics of Differential Transmissions for Global Navigation Satellite Systems(GNSS) from Maritime Radio Beacons in the Frequency Band 285-325kHz(283.5-315 kHz in Reason 1), Draft Revision of Recommendation M.823, Geneva, 1995.

3. ITU-R, Prediction of Sky-Wave Field Strength Between 150 and 1600 kHz, Recommendation 435-6, ITU, Geneva, 1990.

4. Poppe, D. C., Coverage and Performance Prediction of DGPS Systems Employing Radiobeacon Transmissions, Ph.D. Thesis, University of Wales, Bangor, October 1995.

5. ITU-R, Prediction of Sky-Wave Field Strength Between 150 and 1600 kHz, Recommendation 435-6, ITU, Geneva, 1990.

6. Per Enge, Peter Levin, and Andrew Hansen, Coverage of DGPS/Radiobeacons, Navigation, Journal of The Institute of Navigation Vol. 39, No. 4, Winter 1992-93 Printed in U.S.A.

7.정세모, 고광섭, 이형욱, 홍성래, 한국의 DGPS/Marine Radiobeacon망 구축 및 위치 정확도 분석, 97 GPS Workshop 논문집, 1997, pp.564-570.

8. David Last, and Dorothy Poppe, A Coverage Prediction Model for Radio Beacon Differential Satellite Navigation Systems, Navigation, Journal of

The Institute of Navigation Vol. 43. No. 4, Winter 1996-1997, Printed in U.S.A.

9. **정세모**, 1997, "DGPS **설치를 위한 조사연구 기본 및 실시설계 보고서**", **해양수산부**.

10. David Last, Gwyn Roerts, and Dorothy Poppe, Designing Radiobeacon Differential Satellite Navigation Systems Using The Bangor Coverage-Prediction Model.

11. David Last and Birol Erdem Turhan, DGNSS Radiobeacons - the European frequency problem, School of Electronic Engineering and Computer Systems University of Wales, Bangor, UK.

12. **고광섭**, **홍성래**, Differential GPS **구축과 성능특성에 관한 연구**, 1999.

13. Frederick Emmons Terman, The Electronic and Radio Engineering, 1955.