Journal of the Korean Institute of Navigation.
Pusan Korea Vol. 24. No. 5. pp. 405~415. 2000.

극동 아시아에 있어서 DGPS 기준국들의 Coverage 예측에 관한 연구

이회재* · 고광섭** · 정세모***

A study on Coverage-Prediction of the DGPS Stations in the Far East Asia

*Lee, Hoi Jae** · *Ko, Kwang Soob*** · *Chung, Se Mo****

〈목 차〉

Abstract
Ⅰ. 서 론
Ⅱ. DGPS 현황분석
Ⅲ. DGPS 송신국 전계강도 분석
Ⅳ. 프로그램 실행 및 결과 분석
Ⅴ. 결 론
참고문헌

Abstract

DGPS/Radio beacons are currently being planned or installed in many countries. They offer a cost-effective way of distributing differential data to large number of users. These networks are also being deployed in South Korea, Japan, and China. Several DGPS stations among them are operating on the same frequencies.

The DGPS signal based on a radio beacon in medium frequency band travels principally as a groundwave over the surface of the earth. The signal may also be received as skywaves at locations beyond about 100 km from the reference station. These skywaves interfere with groundwave signals due to fading. This factor has generally ignored in designing DGPS/Radio beacon systems. A further important factor is to reduce the coverage due to interference from other beacons on the same or adjacent frequencies. The desired signal may fade due to interaction between its skywave and groundwave components. It may degrade the accuracy of the positioning in a complex fashion.

This paper estimates the coverage of Far East Asia DGPS stations which are operating on the same frequencies, which is based on the signal protection ratio and interference of the signal strength of the groundwave and skywave.

* 정회원, 해군사관학교 항해학과 및 군사과학대학원 교수
** 정회원, 군사과학대학원 석사과정

Ⅰ. 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 운항관리 등 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 보정 된 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 해사기구)에서 요구하는 항만 접근시 요구되는 정확도 8 - 10 m에 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 비용 절감적인 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 간섭, 공간파 전파, 대기잡음레벨 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 - 325 kHz의 좁은 주파수대역에서 앞으로 동북아시아 지역 국가간 효율적인 주파수 할당 문제 및 송신기 출력 등의 재조정을 통해 DGPS국의 최대한의 이용을 고려하기 위한 방안으로 수행되었다.

II. DGPS 현황 분석

2.1 DGPS 개요

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 있고, 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 GPS 위성 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 DGPS 시스템 운영방식에 따라 수 m - 수 cm의 정밀도를 보인다. 수신기간의 공통오차에 의해 보정되는 거리오차는 위성시계 오차(약 20.0 m), 위성궤도 오차(약 2.1 m), 전리층과 대류권 지연오차(약 4.7 m)이다. 보정되지 않는 수신기간의 비 공통오차인 다중경로 오차는 약 1.4 m이다.

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.[9] 이들 중 중앙관리 사무소만이 유인으로 운영되고, 지역 DGPS국 및 이용범위 감시국은 무인으로 운영되고 중앙관리 사무소에 의하여 원격 감시 제어된다.

2.2.1 지역 DGPS국

지역 DGPS국은 기준국(Reference Station), 경보감시국(I.M. Integrity Monitor) 및 중파(283.5 kHz - 325 kHz)의 MSK 변조 송신국으로 구성되며 작동 시에 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)가 작동하면 L1/L2의 차주파수의 위상비교로 애매성을 해결할 수 있도록 되어 있다.

방송메시지는 RTCM 포맷 9를 기준으로 하고 전송속도는 MSK 200 bps를 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 낙뢰 방지 트랜스 등이 설치되어 있다.

지역 DGPS국은 팔미도, 어청도, 거문도, 마라도, 영도, 장기곶, 울릉도 도동 및 주문진 등대 부지 내에 설치되었거나 설치 예정이다.

기본 송신 안테나는 45 m 높이의 3지선식 철탑 안테나를 사용하되, 지선의 일부(지선 총 길이의 상부 40 %)를 톱로드로 하는 형태로 하며, 마라도 DGPS국의 안테나는 환경보전법의 제약으로 22 m

급 자립식 안테나로 하며, 송신기 출력은 300 W로 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 283.5 kHz~325 kHz 까지의 주파수를 100Hz의 대역폭으로 10 μv/m~150 μv/m의 범위 내에서 ±1.25dB 까지 측정할 수 있는 전계강도 측정기가 구비될 예정이다.

2.2.3 중앙 관리 사무소

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

중앙관리사무소는 현용 및 예비의 workstation 급 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, 위성의 이용불가 계획 등을 별도 편집하여 이용자의 요구에 따라 배포하는 등의 임무를 수행하고, 정기순회에 의한 무인국의 순회정비 관리를 맡게 된다.

2.2.4 통신망 계획

시스템 운영을 위한 통신망은 중앙관리사무소와 지역 DGPS국, 중앙관리사무소와 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.

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 센터가 13개의 지방 무인 DGPS 보정 데이타와 해상 레디오비콘에 의해 송출되는 메세지 내용을 감시하고, GPS 위성으로부터 수신된 각종 데이타를 저장, 분석한다. 일본의 DGPS는 Transmitting rate 200 bps이고, 메세지 type 3, 5, 6, 7, 9, 16으로 각 기준국의 유효거리는 200 km범위 안에서 40 dB(over μV/m)이라고 발표하였다.

2.4 중국의 DGPS

중국의 국제무역과 국가 경제의 급속한 성장과 더불어 높은 정밀도의 위치서비스가 해상을 비롯한 여러 분야에서 요구됨에 따라 교통부 해상 안전국(The Maritime Safety Administration)은 DGPS/Radio beacon 시스템을 설립 및 프로그램을 개발하였으며, 중국본토의 모든 연안에 DGPS방송을 계획하여 시행할 예정이다.

현존하는 22개의 라디오비콘 중 12개를 DGPS/Radiobeacon station으로 개조하고 8개의 국을 새로 구축하여 2000년까지 완료할 예정이며, 정보 전송속도는 200 bps이다.

1999. 9월 일본에서 열린 제 8차 FERNS(Far East Radio Navigation System)회의에서 중국은 송신기 출력은 200 W이며 복사효율은 5 - 8 %라고 발표한 바 있어 본 논문에서는 송신국 복사출력을 15 W로 설정하였으며 이는 40 dB(over μV/m) 범위에서 유효거리 140 km정도이다.

III. 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 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 그림 1의 ITU-R의 보고서에 도시된 지표파에 대한 그래프를 보고 최소 자승법을 이용하여 다음과 같은 실험식을 만들었다.

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

F_g는 1 μV/m에 대한 데시벨로 표현되며 P_r는 복사출력(W), d_{km}는 킬로미터 단위의 송신국

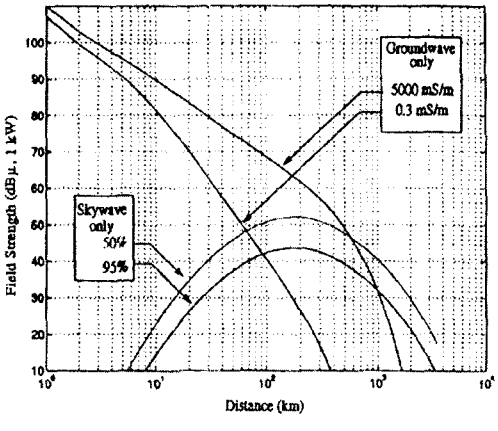
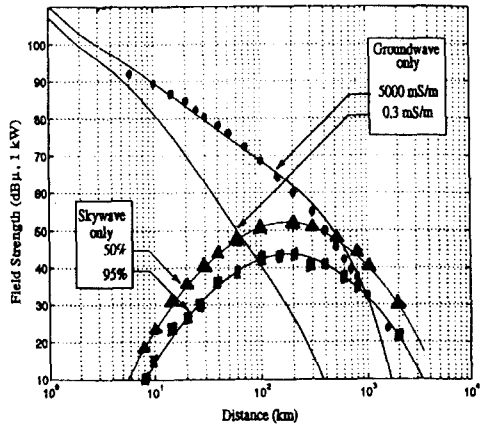


그림 1. 거리에 따른 지표파와 공간파 전계강도의 변화

까지의 거리이다. 복사출력(P_r)은 송신기출력과 안테나의 효율에 달려있다.

또한, 위 (1)식을 이용하여 계산한 값을 그림 2에 도시하였다.

그림 1의 S/m은 도전율의 단위를 나타낸다.



● : 지표파 추정식의 결과,
■ : 95% 공간파 추정식의 결과
▲ : 50% 공간파 추정식의 결과

그림 2. 실험식을 이용한 결과값 도시

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 300 kHz이고 1 kW 송신출력일 경우, 공간파는 기준국으로부터 통상 8 km 벗어난 지점에서부터 시작하여 약 200 km에서 가장 강도가 크며 3,000 km떨어진 곳에서도 수신되는 것으로 나타난다. 그림 1에 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 예측모델이 거의 전무하므로 ITU-R 435-6에 나타난 그림 1 공간파의 도표를 보고 최소 자승법을 이용하여 다음과 같은 실험식을 만들어서 사용하였다.

$$F_{50s} = -43.6336 + 37.0486 \times \log d - 3.6019 \times (\log d)^2 + 10 \log_{10}(\frac{P_r}{1000}) \quad \cdots\cdots (2)$$

$$F_{95s} = -53.0005 + 37.5392 \times \log d - 3.6616 \times (\log d)^2 + 10 \log_{10}(\frac{P_r}{1000}) \quad \cdots\cdots (3)$$

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

본 연구에서는 공간파 50 %의 식(2)를 사용하였다.

지표파와 공간파의 합성신호강도 계산은 페이딩 조건하에서의 전계강도는 지표파와 공간파의 벡터 합으로 표시 가능하므로 아래와 같이 표현하였다.[8]

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

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

이때, 합성파 계산시 단위는 μV/m 단위로 환산하여 계산하였다.

3.1.3 공전잡음

공전잡음(Atmospheric Noise Level)은 번개에 의해 만들어지거나, 20 MHz이하의, 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 30 MHz 이하의 전파는 지구전리층을 통해 원거리를 전파하기 때문이다. 또한, 공전잡음 출력은 일, 계절, 기후에 따라 영향을 받는다. 극동지방의 공전 잡음레벨은 300 kHz 잡음전계강도로 환산하여 8.4 dB(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 DGPS비콘이 방해파로 수신될 때 신호는 잡음보다 18 dB(전계강도로 64배) 높아야 하지만 방해하는 DGPS비콘이 수신하고자 하는 신호와 1 kHz만 틀려도 신호가 방해파보다 -36 dB이상 (전계강도로 환산하여 신호가 방해파의 1/4,096이상)이면 된다는 것을 의미한다[9].

3.1.5 유효 범위내의 DGPS 전계강도

DGPS/레디오비콘 신호는 지구의 한정된 도전율 때문에 전파거리에 따라 상대적으로 감쇄된다. 그림 3은 1 W의 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, 대지 경로에 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 지표파전계강도 측정은 어떤 대지의 도전율을 추정하는 데 이용될 수도 있다.

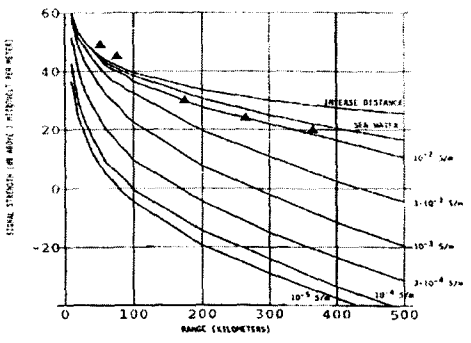


그림 3. 300kHz주파수대에서 각기 다른 매질 경로의 거리에 따른 지표파 전계강도

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 500 Hz의 범위에서 S/N 비 7dB 이상으로, 1000비트당 1비트 이내의 오차율로 신호재생이 가능하여야 하는 것으로 규정되어 있고, COMDINST M 16577.1에 의하면 유효 범위 내에서의 최소전계강도는 100 bps 신호송출의 경우 75 μv/m(37.5dB over μv/m) 이상, 200 bps 신호송출의 경우 100 μv/m(40.0 dB)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 74.6 dB이며 최대치는 여름철 00:00~00:40의 75 dB(Fam above kTb)이다. 이 75 dB를 주파수 300 kHz의 잡음 전계강도로 환산하면 8.4 dB(above μv/m)가 되며, 따라서, ITU-R 823이 요구하는 S/N 비 7 dB를 더하면 DGPS 전파의 세기가 16 dB 이상이어야 한다.

이 두 가지 요건을 모두 만족시키기 위한 DGPS 전파의 전계강도는 200 bps 기준으로 40.0 dB(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 1 kW출력이므로 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 300 W를 기준으로 100해리(185 km)내에 40.0 dB(over μv/m)을 만족하도록 설계되었으므로 유효 범위를 얻기 위해 우리나라 DGPS국 레디오비콘 안테나의 복사출력을 (1)식에 의거 10 W로 추정한다.

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

아지기 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.

IV. 프로그램 실행 및 결과분석

4.1 주변국 DGPS국의 설계상 유효 범위 및 출력

전계강도 계산시 우리 나라의 경우 복사출력을 10 W, 일본 12 W, 중국 15 W로 설정하였으며 지표파 전계강도 실험식을 사용하였다.

그림 4 ~ 6에 한국, 일본 및 중국의 DGPS국 설계 유효 범위 및 전계강도를 도시하였다.

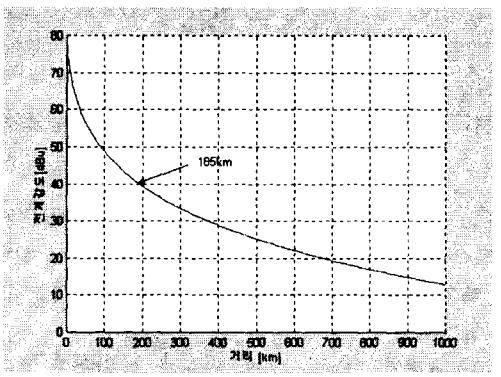


그림 4. 한국 DGPS국의 설계 유효 커버리지 및 전계강도 [185km, 10W]

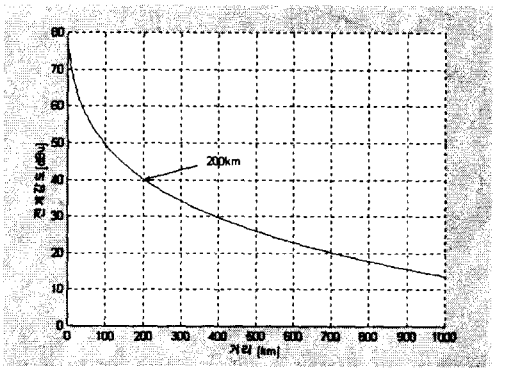


그림 5. 일본 DGPS국의 설계 유효 커버리지 및 전계강도[200km, 12W]

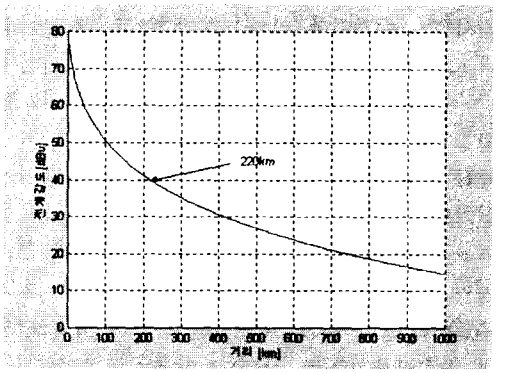


그림 6. 중국 DGPS국의 설계 유효 커버리지 및 전계강도 [220km, 15W]

4.2 주변국 상호 간섭 예측 분석

우리 나라 DGPS국과 인접 국가 DGPS국의 주파수를 비교하여 동일 주파수의 DGPS국을 가려내어 지표파 및 공간파를 고려한 분석을 하였다. 이때, DGPS국간 주파수 보호비 및 40 dB(over μ V/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 전술한 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, 공간파 간섭이 우려되는 DGPS국들을 부록 1에, 간섭파(지표파 및 공간파)를 고려한 유효거리 시뮬레이션 결과에 대한 분석을 부록 2에 나타내었다.

4.2.1 팔미도 DGPS국 - Wangjiamai RBN국

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

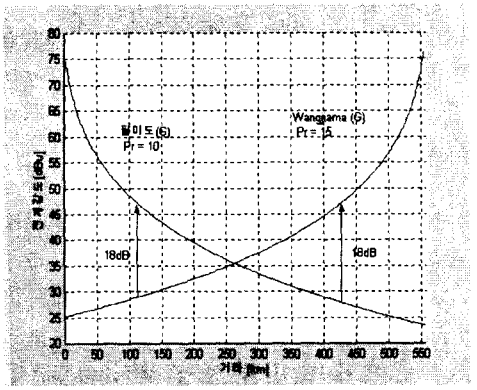


그림 7. 주간 팔미도와 Wangjiamai의 지표파 전계강도

그림 8, 그림 9에 팔미도 DGPS국 및 Wangjiamai RBN국의 지표파(팔미도(G))와 방해국의 지표파와 공간파의 합성파(Wangjiamai (G+S))를 나타낸 것이다.

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

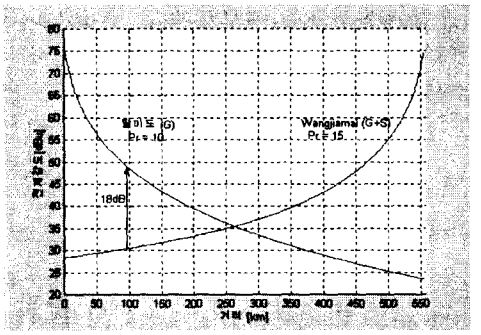


그림 8. 팔미도 지표파와 Wangjiamai의 합성파 전계강도 비교

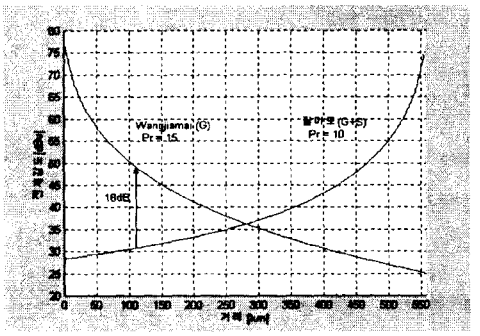


그림 9. Wangjiamai 지표파와 팔미도 합성파 전계강도 비교

V. 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 설치되

어 운용중이거나 운용 예정인 동일 주파수 DGPS 국 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 40 dB(over μ V/m)로 설계한 것으로 가정하여 해당국으로부터 40 dB(over μV/m)이상의 전계강도 영역 내에서 보호비인 18 dB 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 유효 범위는 지표파 고려시 55 km, 공간파 고려시 52 km 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(846.4 km) 및 어청도 - Hegura sima(991.5 km)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 서비스 영역에 대한 구체적 분석 보고가 없을 뿐만 아니라 각 나라간의 동일 주파수에 대한 유효 범위 설정에 대한 긴밀한 협조가 미흡한 점으로 보아 각국이 제시한 유효 범위는 USCG에서 규정한 보호비 고려시 상당한 차이가 있을 것으로 예상되는 바, 본 연구 결과가 추후 인접국간의 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 각국의 안테나 복사효율을 감안한 연구가 이루어져야 한다.

REFERENCE

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

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

[3] 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.

[4] 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.

[5] 정세모, "DGPS 설치를 위한 조사연구 기본 및 실시설계 보고서", 해양수산부 , 1997

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

[7] Frederick Emmons Terman, The Electronic and Radio Engineering, 1955.

부록 1. 공간파 간섭이 우려되는 DGPS국

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

부록 2. 간섭파(지표파 및 공간파)를 고려한 유효거리 시뮬레이션 결과

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