

한국 남해안에서의 DGPS 정밀도 분석

- 일본 DGPS 기준국을 중심으로 -

고광섭* · 심재관** · 정세모***

A Study on Accuracy Analysis of DGPS in the South Coast of Korea
- For 3 Japanese DGPS Stations near the South-East Coast of Korea -

Kwang-Soob Ko · Jae-Kwan Shim** · Se-Mo Chung****

Abstract	IV. 결 론
I. 서 론	III. DGPS Data 측정 및 분석
II. DGPS 체계 및 위치결정원리	참고문헌

Abstract

The Japanese DGPS Data can be received easily in the area of the Korean peninsula and some Korean users may use these data. However, its analysis has not been actually investigated.

This paper is a study on accuracy analysis of Japanese Marine Radiobeacon/ DGPS in the South Coast of Korea. The 3 Japanese DGPS stations, Wakamiya(295 KHz), Ose Saki(302 KHz) and Hamada(305 KHz), near the Korean peninsula were analyzed by several ways. It was concluded that the feasible result of the experimental study with an error range of no more 10 m in 2 DRMS

I. 서 론

GPS 위성의 운영자인 미국은 자국의 안전보장을 이유로 고의적으로 위성시계 또는 위성궤도 오차를 주어 위치 정확도를 떨어뜨리는 SA (Selective Availability) 정책을 펴고 있다. 이와 같

이 정밀도가 떨어진 민간전용 SPS의 위치 정밀도를 향상시키기 위해 차등수정법(Differential Compensation Method)을 적용한 DGPS (Differential Global Positioning System)가 개발되었다. 이 시스템은 미국 및 우방 허가국의 군전용 P(Y) 코드 GPS 수준의 위치정밀도를 얻을 수 있는 시

* 해군사관학교 항해학과 및 군사과학대학원 교수

** 군사과학대학원 석사과정

*** 한국 해양대학교 교수

시스템으로서 미 국방성 승인 없이도 자유롭게 사용할 수 있는 유일한 방법이다.

DGPS의 목적은 고정밀 위치정보 획득 외에도 고장난 위성(Unhealthy Satellite)을 감시국에서 미리 발견하여 사용자가 오정보를 사용함으로써 야기될 수 있는 재해를 사전에 예방하는 것이다. 현재까지도 미국의 전파항법 관리정책은 여전히 SA를 유지하고 있고, P(Y) 코드 접속에 의한 고정밀 위치 정보 사용은 미군 및 미 국방성에서 인가한 사용자 외에는 사용이 제한되고 있기 때문에 DGPS 활용은 3차원 실시간 고정밀 위치정보가 요구되는 항공기 이·착륙 유도 시스템, 해상과 육상의 정밀한 탐색과 구조, 선박의 항구 진입과 협수로 항해 및 군사분야와 같은 특수목적 분야에서 급속도로 확대되고 있다.

따라서, 1990년대 중반부터 미국을 비롯한 대부분의 나라에서는 DGPS망 확보를 국가적인 우선 사업으로 인식하여 망구축을 본격화함으로써 자국민은 물론 전파 가청권내의 어느 사용자도 자유롭게 고정밀 위치정보를 사용할 수 있도록 하고 있다.

우리 나라의 경우 1997년 DGPS 국가망 기본 설계를 마치고, DGPS국 구축을 시작하여 총 8개 DGPS국 중 현재 일부를 설치 완료한 상태이다 [1,2]. 일본의 경우 DGPS는 1997년 3월 투루기 사키 및 다이오 사키국에서 정상운동을 시작하여 1999년 연내에 27개국 DGPS국을 전면 설치할 계획으로 되어있다. 대부분 일본의 DGPS국은 전송 속도 200 bps로 전파를 발사하며, 유효거리 200 km 해상에서 전계강도 40 dB μ V/m 값으로 설계 되어있다[3].

현재 운용 중인 DGPS 기준국 중에서 한국 근해에 인접한 일본 DGPS 기준국은 와카미야(295 KHz), 오세 사키(302 KHz), 하마다(305 KHz) 3국으로서 한반도 남해안 주요해역에서도 DGPS 보정치 수신이 가능하여 부근에서 해양활동을 하는 불특정 다수의 사용자가 일본의 DGPS 정보를 사용할 것으로 보이지만 아직 일본 DGPS에 대한 구체적인 정밀도 분석보고가 없는 실정이다.

본 연구의 목적은 한국의 DGPS망 구축이 완성되지 않은 현시점에서 한반도 남해안과 동해안 일

부 및 남부 내륙지역까지 DGPS 전파수신이 가능한 일본의 DGPS 시스템의 정밀도 및 신뢰성을 연구 분석하여 정보를 선택적으로 사용하거나 공유할 수 있는지를 확인하기 위함이다.

II. DGPS 체계 및 위치결정원리

2.1 DGPS 기본 원리 및 구성

DGPS는 위치를 알고 있는 기준국(Reference station)에서 위성을 통하여 기준국 수신기로 구한 위치와 실제 위치의 차를 보정량으로 하는 위치보정 방식과 수신한 위성에서의 의사거리, 시간정보 및 궤도 데이터에서 거리 오차를 검출하여 이를 보정량으로 하는 의사거리보정 방식이 있으며, 보정 데이터의 유효성 때문에 대부분의 DGPS는 의사거리보정 방식을 채택하고 있다. 기준국에는 GPS 위성 데이터 수신장치와 DGPS 보정치 송신장치가 있고, 사용자 수신기에는 GPS 위성 수신장치 및 DGPS 보정치 수신장치가 있어 위성 데이터에 DGPS 보정치를 가감하여 정확한 위치를 얻도록 한다. 정확한 정보를 전송해 주는 기준국과 사용자 간의 거리(기선거리: Base line distance)는 동시에, 동일 위성에서, 동일한 데이터를 얻기 위해서 매우 중요한 요소가 된다. 거리가 멀어지면, 두 수신기가 서로 다른 위성정보를 받거나 두 지점간에 전리층과 대기권 영향 등의 차이로 보정치의 정확도가 감소하게 된다. 이에 따라 레인지 코드 디퍼렌셜(Ranging-Code Differential)의 경우 기선거리를 100해리 ~ 150해리 정도로 하는 것이 보통이다. (보다 상세한 내용은 참고문헌 [1,4,5] 참조)

일본의 경우 DGPS 서비스는 약 200 km를 유효 범위로 하고 있으나 실제로 이보다 훨씬 넓은 범위까지 DGPS 데이터가 서비스되고 있는 것으로 확인되고 있다.

2.2 보정 데이터 전송 포맷

DGPS 시스템 설계시 필연적으로 해결해야 할 일중 하나가 보정치의 방송내용, 포맷형태, 통신수

단 등을 포함한 표준화이다.

이는 DGPS 시스템의 운용자에 따라 다를 수 있으나, 해상의 경우 RTCM SC-104(Radio Technical Commission for Marine Service Special Commission-104)의 권고안이 적용되고 있다[6].

현재 RTK(Real Time Kinematic) 메시지를 포함한 표준버전이 완성되었으며, 해상뿐만 아니라 육상의 FM 다중 및 위성을 이용한 DGNSS 시스템에도 표준버전이 널리 사용되고 있는 추세이다. 일본 레디오비콘(Marine Radiobeacon)/ DGPS 체계 역시 RTCM 데이터 포맷을 사용하고 있다.

2.3 DGPS 위치 결정 원리

위치결정은 DGPS 기준국으로부터 송신된 보정치와 사용자 수신기에서 측정된 의사거리로부터 구한 보정 의사거리 ρ_{corr}^i 와 관측지점의 개략위치로부터의 의사거리 ρ_{app}^i 로부터 아래와 같이 측차근사법[4]에 의하여 구한다. 즉, DGPS 수신기의 진 위치를 (x_u, y_u, z_u) , 개략위치를 $(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u)$ 라하면 GPS 위성 i 에 대한 의사거리 방정식은 아래와 같은 함수로 표시된다.

$$\rho_{corr}^i = f(x_u, y_u, z_u) \dots\dots\dots (2-1)$$

$$\rho_{app}^i = f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u) \dots\dots\dots (2-2)$$

한편, 개략위치의 보정치를 δ_X , 시계지연 bias를 δ_t 라 하면, 식(2-3)과 같다.

$$\delta_X = (\delta_x \ \delta_y \ \delta_z)^T \dots\dots\dots (2-3)$$

보정 의사거리 방정식에 측정시간 t 를 고려하면 아래와 같은 함수로 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho_{corr}^i &= f(x_u, y_u, z_u, t) \\ &= f(\hat{x}_u + \delta_x, \hat{y}_u + \delta_y, \hat{z}_u + \delta_z, \hat{t} + \delta_t) \end{aligned} \dots\dots\dots (2-4)$$

상기 식을 Taylor 급수 전개하여 선형화한 의사거리 방정식의 결과는 아래와 같다.

$$\delta r_i = \left(\frac{\partial \rho_{app}^i}{\partial \hat{x}_u} \right) \delta_x + \left(\frac{\partial \rho_{app}^i}{\partial \hat{y}_u} \right) \delta_y + \left(\frac{\partial \rho_{app}^i}{\partial \hat{z}_u} \right) \delta_z + S \dots\dots\dots (2-5)$$

상기 식을 간단히 표시하면 아래와 같다.

$$\delta r_i = l_i \delta_x + m_i \delta_y + n_i \delta_z + S \dots\dots\dots (2-6)$$

여기서 l_i, m_i, n_i 는 관측지점으로부터 각 위성 i 로 향하는 X, Y, Z 방향성분에 해당한다. 이들 값은 X, Y, Z 축을 각각 관측 지점을 원점으로 한 위도, 경도, 고도, 방향으로 취함으로서 관측지점으로부터의 위성을 향하는 양각, 방위각으로부터 아래 식으로 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \cos(E_1) \sin(A_{z1}) & \cos(E_1) \cos(A_{z1}) & \sin(E_1) & 1 \\ \cos(E_2) \sin(A_{z2}) & \cos(E_2) \cos(A_{z2}) & \sin(E_2) & 1 \\ \cos(E_3) \sin(A_{z3}) & \cos(E_3) \cos(A_{z3}) & \sin(E_3) & 1 \\ \cos(E_4) \sin(A_{z4}) & \cos(E_4) \cos(A_{z4}) & \sin(E_4) & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2-7)$$

단, E_i 는 위성과의 양각, A_{z_i} 는 방위각을 나타낸다. 식 (2-6)을 행렬의 식과 벡터방정식으로 각각 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Delta r_1 \\ \Delta r_2 \\ \Delta r_3 \\ \Delta r_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & n_1 & 1 \\ l_2 & m_2 & n_2 & 1 \\ l_3 & m_3 & n_3 & 1 \\ l_4 & m_4 & n_4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \\ S \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2-8)$$

DGPS 수신기는 개략 위치 보정치가 최소가 되도록 의사거리의 값을 수정하여 측정점의 위치를 구한다.

2.4 한국의 DGPS 체계 및 운영

1996년 4월 22일부로 DGPS 데이터 신호를 장기꽃 기준국에서 시험 발사한 이래 한국의 DGPS망 구축을 위한 노력이 꾸준히 진행되어 한반도 전 해역을 사용 범위로 한 DGPS망(8개 기준국) 구축에 대한 실시 설계[5]가 끝나고 1999년 4월 현재 팔미도와 어청도 기준국이 구축 완료되었으며, 금년내에 모든 기준국이 구축 완료 될 것으로 예상되어 한국에서도 본격적인 DGPS 시대가 열려 민, 관,

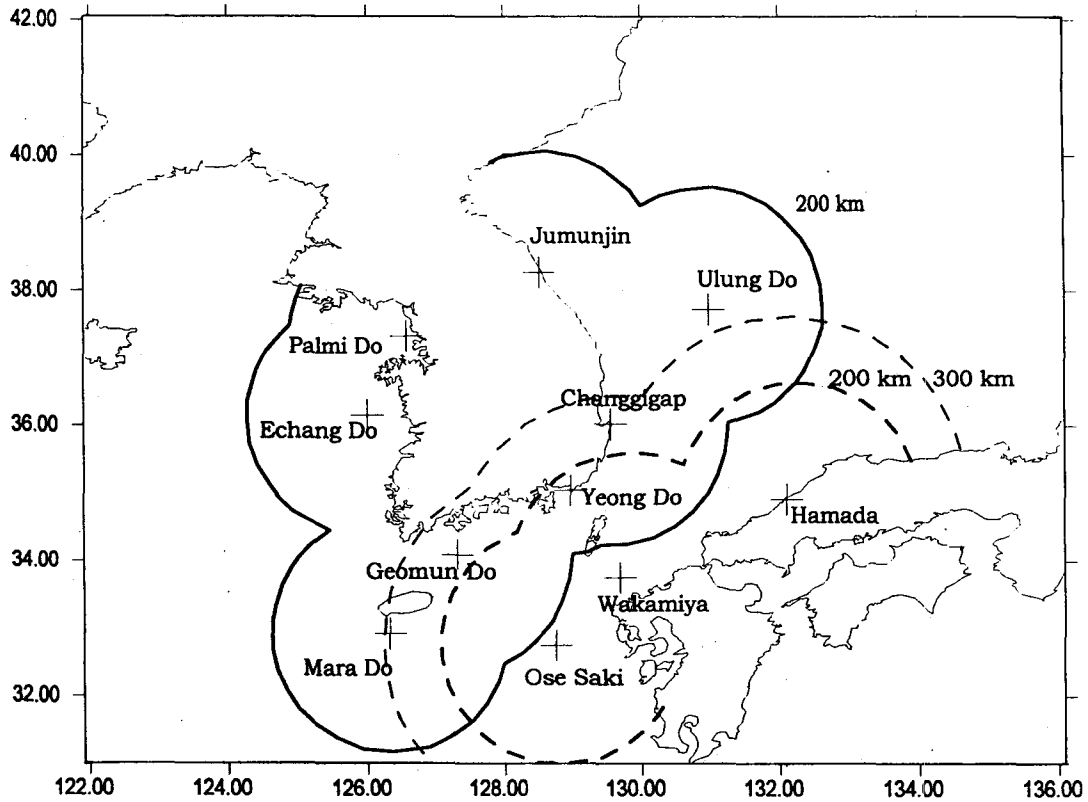


그림 1. 한국과 한반도 부근의 일본 DGPS 수신권

군 여러 분야에서 활용에 있어서 큰 변화가 올 것으로 보인다. [부록 1]에 IALA에 신청된 한국의 DGPS망에 대한 자료를 수록하였다.

2.5 일본의 DGPS 체계 및 운영

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 기준국으로 구성되어 있다. 주제어국은 실시간으로 DGPS 보정 데이터와 레디오 비콘(Marine Radiobeacon)에 의해 송출되는 메시지 내용을 감시하고, GPS 위성으로부터 수신된 각종 데이터를 저장, 분석한다.

일본의 DGPS 전송률은 200 bps이고, 메시지 형태 3, 5, 6, 7, 9, 16으로 각 기준국의 유효 거리는 200 km로 설계되었다.[3,7]

일본 해상보안청(JMSA)은 총 27개 중 13개소 이상에서 DGPS 데이터를 발사하고 있으며(1998년말 기준), 1999년 3월말까지 기존의 Marine Radiobeacon Station 8개소를 DGPS 기준국으로 전환시킬 예정이며, 또한 새로운 6개소의 DGPS 기준국, 탕고, 우라야수, 나고야, 토카라 나가노시마, 게사시, 미야코를 신설하여 완전한 DGPS 체제를 운용할 계획으로 되어 있다.[3]

전술한 바와 같이 일본의 DGPS 서비스 구역 200 km를 고려하여 한국 남해안 지역에서 수신이 예상되는 한반도 근접 일본 DGPS의 수신권을 [그림 1]에 도시하였으며, [부록 2]에서는 일본 DGPS 기준국 자료를 보였다.

III. DGPS 데이터 측정 및 분석

3.1 측정 방법 및 시스템 구성

본 연구에서 DGPS 데이터 수신을 다음과 같이 수신기와 수신방법을 달리하여 비교·분석하였다.

첫째로, DGPS 데이터를 수신함과 동시에 단독 GPS 데이터를 다른 GPS 수신기로 저장하여 DGPS 데이터와 단독 GPS 데이터 사이의 정확도를 비교하였다. 둘째로, 수신된 일본 DGPS 기준국의 데이터를 연구실 옥상 측량점과 비교하여 DGPS 정보의 정밀도를 분석하였다. 추가로 데이터 수신 시기를 주야(09:00, 20:00 전후)로 구분함으로써 수신률이나 데이터의 변화상태를 알아보고, 수신시 기상(습도, 운량)을 함께 참조하여 차이점을 확인하였다.

안테나는 연구실 옥상의 측량점에 설치되었으며, 이 측량점은 대전 국립천문대를 기준으로 측정된 진해 국방연구소에서 2.5 km 거리로 측지용 GPS인 Trimble Series 4400을 이용 측량하여 정밀도 0.01 m 미만을 가지고 있다. 이 측량점은 위도 35° 07'44.980716"N($\sigma = 0.0012$ m), 경도 128° 39'54.001101"E($\sigma = 0.0009$ m), 고도 33.786 m(MSL, $\sigma = 0.0021$)이다.

GPS 위성 DGPS 기준국

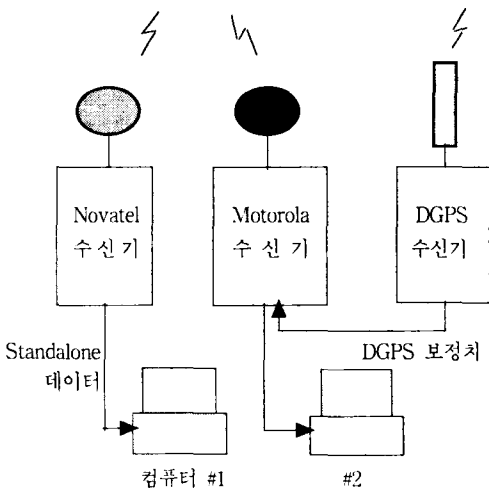


그림 2. 데이터 수신장비 구성도

그림 2는 데이터 수신을 위한 장비 구성도로 DGPS 데이터 수집을 위해 Shipmate사의 RS 5660 DGPS 수신기를 이용하였으며, 수신된 보정 데이터는 Motorola사 Oncore GPS(Model No VPEVAL0002, 8 chan')로 전송되어 데이터 처리를 통해 컴퓨터에 표시/ 저장되었다. 단독 GPS 수신기는 Novatel GPS (Model No PROPAK-Dredger, 12 chan')를 이용하였다.

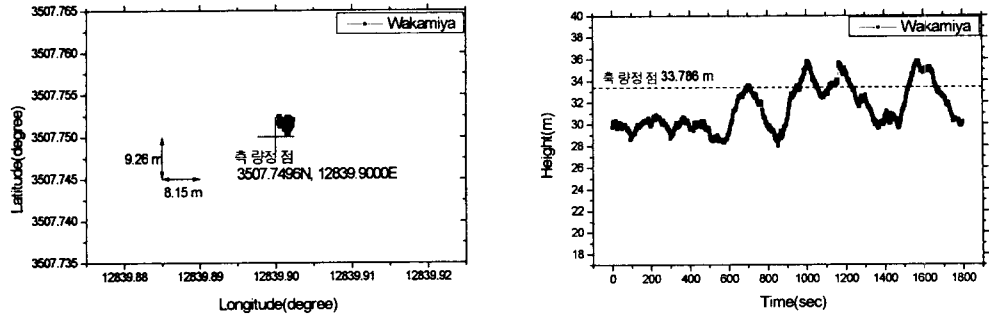
데이터는 GPGGA NMEA Format(Global Positioning System Fix 데이터 Format)으로 수신되었으며, 'winsat' 및 'procomm' 프로그램을 이용하였다. 수집된 GPS/DGPS 데이터를 이용하여 표준편차 및 DRMS 등을 구했다[8,9].

분석에 필요한 위도, 경도의 거리(m)환산은 연구실이 위치한 35° 07'30"N, 128° 39'30"E 구역에서 '위도:경도'비가 1:0.8838로 지도 실측되어 이를 바탕으로 위도 1'(1 nm)을 1852 m, 경도 1'을 1637 m로 하였으며, 고도 데이터는 Geoid Separation 23.1 m를 고려하여 MSL (Mean Sea Level)로 구했다.

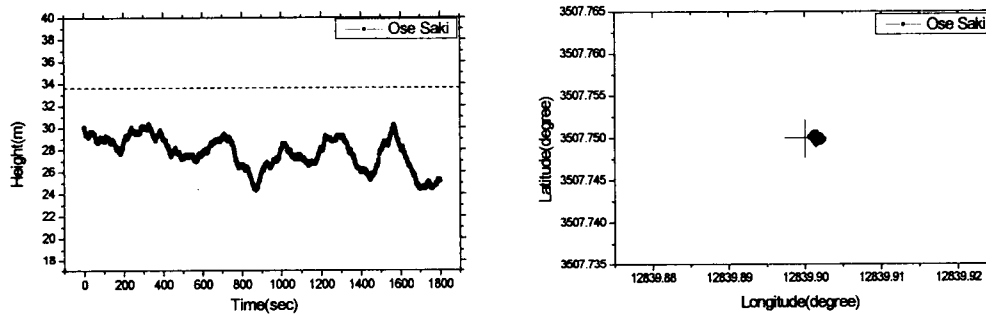
3.2 결과 및 분석

한반도에 인접한 일본 DGPS 기준국 데이터의 정확한 수신상태는 장기간의 데이터 수신을 통해 확인해야 하겠지만 연구기간 동안 연구실이 위치한 한반도 동남해안 지역에서는 양호한 수신상태를 지속적으로 보였다.

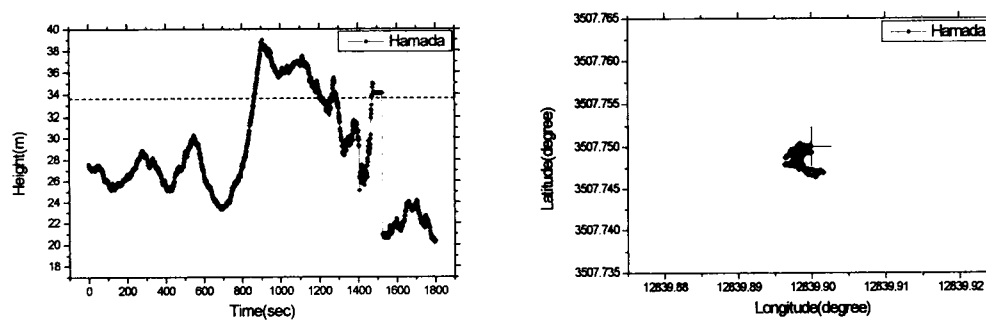
그림 3에서는 연구대상으로 선정된 일본 DGPS 3개국의 데이터를 30분간 1800개의 데이터를 수신하여 경위도, 고도/시간으로 나누어 데이터를 처리 후 연구실 측량점과 비교 도시하였다. 경위도 데이터의 정밀도 및 신뢰도는 2DRMS가 10 m 이내로 나타났으며, 고도 데이터의 최대 최저치 차이는 6~8 m, 최고 18 m의 큰 차이를 보이면서 불안정한 상태를 보였다. 경위도의 경우는 대부분 10 m이내의 안정된 데이터 수신에 이루어졌으나 이에 비해 고도 데이터의 경우는 큰 진폭을 보인 것이다. 이러한 결과는 추가 데이터를 수집하여 분석한 결과에서도 동일하게 나타났다.



(a) Wakamiya 기준국



(b) Ose Saki 기준국



(c) Hamada 기준국

그림 3. 일본 DGPS 기준국의 데이터 정밀도: 경-위도/ 고도-시간

〈표 1〉 각 기준국의 평균기준 DRMS 값

구 분	장기곳	Wakamiya	Ose Saki	Hamada
거 리 (해 리)	72	91	151	167
2차원 DRMS(m)	1.63459	1.1619	0.89847	2.83763
3차원 DRMS(m)	2.91696	2.29437	1.75895	5.7482

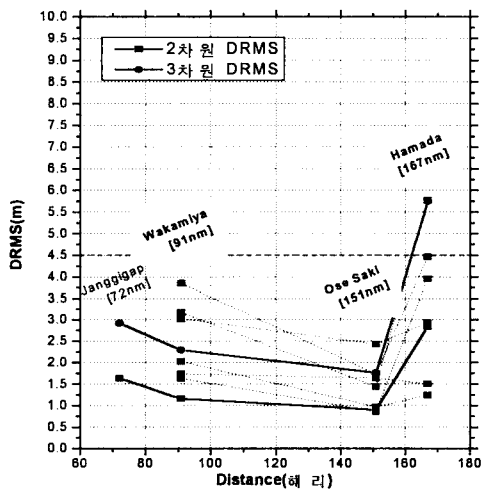


그림 4. 거리별 데이터 DRMS 비교

〈표 1〉은 기선길이가 서로 상이한 일본 DGPS 3개국과 장기곳 기준국의 데이터의 DRMS와 3차원 공간 DRMS를 비교하였고, 이를 [그림 4]에 추가 자료와 함께 보였다. 예상하기에는 거리가 멀어짐에 따라 수집 데이터의 오차가 커져 DRMS값이 증가하리라 예측하였으나 조사된 기선거리 내에서는 DRMS값이 특정한 경향이 없이 나타났다. 이는 기준국마다 수신기 자체오차, 기준국 측량 원점오차 및 기타 랜덤오차에 기인한 것으로 예상되지만, 3개국 모두 10 m미만의 양호한 정밀도가 확인되었다

그림 5에서는 단독 GPS 위치 데이터와 일본 와카미야 DGPS국을 이용한 위치 데이터를 비교도시하였다. [표 2]는 수신된 GPS와 DGPS 데이터를 이용 DRMS 값을 계산한 결과이다. DRMS 값 비교시 측정된 모든 데이터의 평균값을 이용 표준편

차를 구하는 경우와 측량 기준점(정점기준)을 평균값으로 하여 표준편차를 구한 경우를 비교함으로써 실질적인 오차 확률을 확인하였다.

DGPS에 대한 경위도의 표준편차는 데이터의 평균값 기준시와 정점 기준시 1.67 m, 4.87 m로 모두 5 m 미만의 양호한 결과가 나왔으며, 95% 이상의 확률반경 2DRMS는 각각 3.35 m, 9.74 m로 데이터 모두가 10 m미만의 양호한 결과로 조사되었다.

〈표 3〉에서는 측량정점과 와카미야 기준국 DGPS 수신자료의 평균 경위도, 고도를 비교 수록하였다.

〈표 2〉 GPS/ DGPS 표준편차 비교

구 분	GPS		DGPS	
	평균기준	정점기준	평균기준	정점기준
DRMS	28.5109	32.0519	1.1619	4.87148
2DRMS	57.0218	64.1039	2.3238	9.74297

〈표 3〉 측량정점과 DGPS 데이터 위치 비교

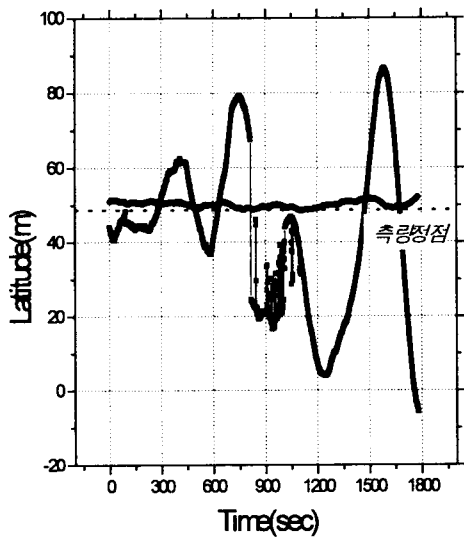
구분	측량정점위치	DGPS평균값	오 차 량
위 도	35° 07.74967'N	35° 07.75062'N	0.00095'(1.76 m)
경 도	128° 39.90002'E	128° 39.90257'E	0.00255'(4.22 m)
고 도	33.786 m	26.8333 m	6.9527 m

〈표 4〉 기상/습도에 따른 표준편차 비교

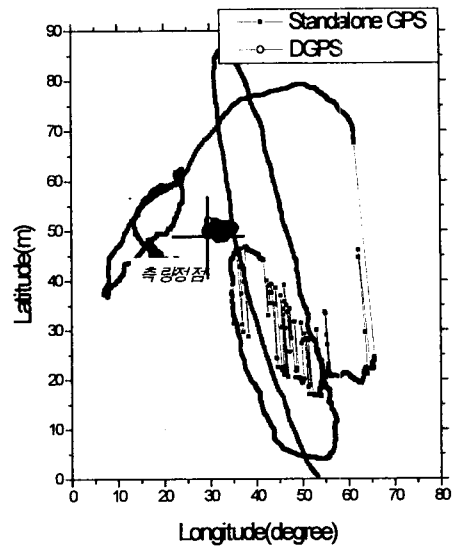
구 분	청천시		우천시	
	DGPS	GPS	DGPS	GPS
위 도	3.528	17.245	3.237	12.962
경 도	2.671	16.357	2.365	15.230
고 도	2.993	44.230	3.950	41.204

〈표 5〉 주야간 표준편차 비교

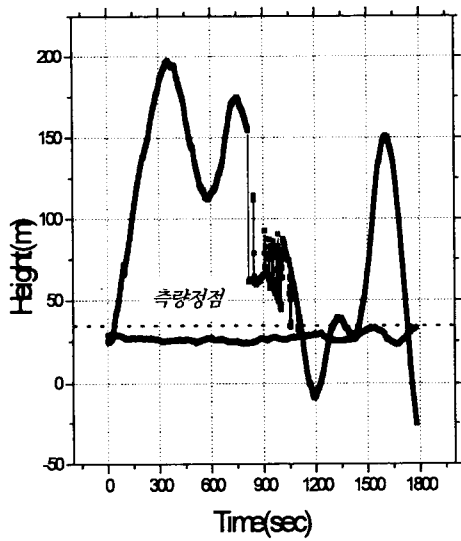
구분	주간		야간	
	DGPS	GPS	DGPS	GPS
위도	1.930	26.144	2.916	16.717
경도	4.472	18.542	2.249	22.868
고도	7.280	83.280	3.878	36.508



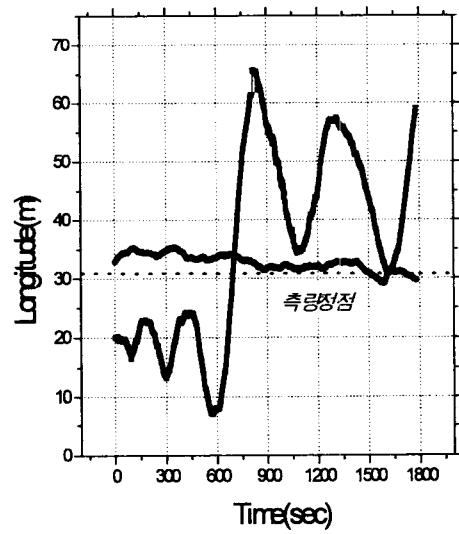
(a) 위도 - 시간



(b) 고도 - 시간



(c) 위도 - 시간



(d) 경도 - 시간

그림 5. Standalone GPS/ DGPS 데이터와 측량정점 비교

끝으로 본 조사과정에서는 기상과 습도, 주야를 구분하여 DGPS 데이터를 수신함으로써 이러한 요소들이 DGPS 수신률이나 데이터의 정밀도에 영향을 주는가를 확인해 보았다. 우천시 DGPS 및 GPS 데이터의 수신률은 양호했으나, SNR이 전 주파수대에서 '0'으로 수신이 되었다.

<표 4>는 DGPS 데이터 수신시 기상과 습도가 다른 경우에 데이터의 표준편차를 조사한 내용으로 조사결과 대체로 습도가 높은 날의 표준편차가 크게 나타났으나 그렇지 않은 경우도 있어 기상에 따른 DGPS 데이터의 수신률과 정밀도 차이에 명확한 특성이 조사되지 않았으며, <표 5>는 수신 시기를 달리한 결과를 보였다. 오전 9시에서 10시, 저녁 8시에서 9시 사이에 조사된 자료에 의하면, DGPS 데이터는 일정한 특징이 없는 자유특성 데이터임을 알 수 있었다. 따라서 DGPS용 주파수의 특성에 따라 주야간 도달거리의 차이는 있지만 도달된 데이터의 정밀도에는 영향이 없는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 한국과 일본 양국의 중간지역에서 DGPS 위치정보 사용에 따른 신뢰도 검증을 확인하기 위해 시도되었다.

연구 결과 한반도에 인접한 일본의 3개 DGPS 기준국(와카미야 기준국(72해리), 오세 사키 기준국(151해리), 하마다 기준국(167해리))의 정밀도 수준이 모두 10 m 미만임을 확인하였다. 특히 하마다의 기선길이가 167해리(300 km)이상인 점을 고려하면, 와카미야국 및 오세 사키국의 전파 유효거리가 한반도 남동부 일부지역(육상)까지 미치고 있음을 예상할 수 있었다. 또한 수신된 데이터를 기상과 습도, 주야간으로 구분하여 분석한 결과 DGPS 데이터 수신률이나 정밀도에 큰 영향이 없는 것을 알 수 있었다.

본 연구결과를 토대로 DGPS 전파 수신지역을 한반도 내륙으로 변경하여 지형에 따른 수신률과 데이터 정밀도, 그리고, 수신범위를 측정/ 분석하고자 하며, 아직까지 육.해.공 통합 위치정보망으로써의 DGPS망 구축검토가 미흡한 현실임을 감안하여 해양용 국가 DGPS망을 연계한 통합 위치정보 인프라 구축에 대한 연구를 하고자 한다.

참고문헌

- [1] 고광섭, 이형욱, 정세모, "한국 동해안에서의 DGPS/Marine Radiobeacon 정밀도 분석에 관한 연구", 한국 항해 학회지, 1998.
- [2] 정세모 외, 'DGPS 설치를 위한 조사연구 기본 및 실시설계', 해양수산부, 1997.
- [3] 모리히로 다카야마, "Normal Operation of Marine Differential GPS in Japan", 16th IALA Conferenc, 1998.
- [4] 고광섭외 2인, "Optimal 및 Suboptimal 기준점을 사용한 DGPS 설계 및 성능 평가", 한국 해양정보통신학회, 1998.
- [5] 고광섭외 2인, "Standalone GPS 기준점을 사용한 DGPS 성능평가", 한국해양정보통신학회 학술대회 논문집, 1998.
- [5] Radio Technical Commission for Marine Services, 1994, "RTCM Recommended Standards for Differential Navstar GPS Service", Version 2.1
- [7] 모리히로 다카야마, "DGPS Correction 데이터 broadcasting in Japan by MF Marine Radiobeacon and Evaluation of the Positioning Accuracy".
- [8] Motorola Manual for Oncore receiver software version 10.0, Motorola, 1996.
- [9] Novatel Manual for Oem-card software version 3.3, Novatel, 1995.

〈부록 1〉 한국의 DGPS 기준국 (IALA 신청)

Station	Lat'(N)/Long'(E)	Coverage(Km)	Frequency(KHz)	Bit rate(bps)
Yong Do	35° 02.9'N/129° 05.6'E	93	300	200
Palmi Do	37° 21.3'N/126° 30.8'E	185	313	200
Geomun Do	34° 00.3'N/127° 19.5'E	185	287	200
Jumunjin	37° 53.7'N/128° 50.2'E	185	295	200
Echong Do	36° 07.2'N/125° 58.1'E	185	295	200
Mara Do	33° 06.8'N/126° 16.3'E	185	290	200
Changgigap	36° 04.5'N/129° 34.3'E	185	310	200
Ulung Do	35° 02.9'N/130° 55.2'E	185	319	100

〈부록 2〉 일본의 DGPS 기준국

DGPS station	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	302	operation
Wakamiya	33-52/ 129-41	295	operation
Hamada	34-53/ 132-02	305	operation
E saki	34-36/ 135-00	320.5	operation
Ohama	34-05/ 132-59	321	operation
Seto	33-26/ 132-13	320	operation
Kushiro saki	43-04/ 145-09	288	전환, under preparation
Abashiri	44-00/ 144-18	309	전환, under preparation
Souya 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