

# 일본 DGPS Data 측정 실험 및 분석

(한반도 남동해안 인접 3개 DGPS 기준국을 중심으로)

고광섭\*, 심재관\*\*, 정세모\*\*\*

## A Study on Experimental Test and Analysis of Japanese DGPS Data

(For 3 Japanese DGPS Stations near the South-East Coast of Korea)

Ko, Kwang Soob\*, Shim, Jae Kwan\*\*, Chung, Semo\*\*\*

### 요 약

미국의 전파항법정책(FRP : Federal Radionavigation Plan)은 여전히 SA정책(미국방성에서 GPS 위성 궤도에 오차를 실어 전파발사를 하는 정책)을 유지하고 있고, P(Y)코드 접속에 의한 고정밀 위치정보 사용 역시 미군 및 NATO군 등 미 국방성에서 인가한 사용자에게만 허용되고 있는 관계로 그 외의 사용자는 3차원 고정밀 위치정보가 요구되는 항공기 이착륙 유도시스템, 해·육상 정밀 구조/탐색 및 육·해·공 특수목적 등에 군사용 P(Y)코드대신 DGPS를 사용하고 있다.

본 연구는 한반도 남해안 및 동해안 일부까지를 유효거리로 하고 있는 일본 Marine Radiobeacon / DGPS 시스템에 대한 한반도 연근해에서의 위치정보 사용 가능성을 확인하기 위해 한반도 남해안에서 측정 가능한 일본 DGPS국을 선택 모델로 하여 DGPS Data 측정실험 및 위치정보 정밀도 분석을 하였다. 연구결과 군사용 P(Y) 코드수준의 정밀도를 유지하고 있어 곧 구축 예정인 한국형 DGPS 국가망과 함께 선택적으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

### I. 서 론

1990년대 중반부터 미국을 비롯 대부분의 나라에서 DGPS 시스템망 확보를 국가적인 우선 사업으로 인식하여 망구축을 본격화함으로써 자국민은 물론 전파 가청권내의 어느 사용자도 자유롭게 고정밀 위치정보를 사용할 수 있도록 하고 있다.

국내 DGPS 설치[1,7]가 아직 완전히 이루어 지지 않은 가운데 일본의 DGPS 운영은 1999

년 이내에 총 27개 기준국 운영을 목표로 하고 있다. 현재 운용 중인 DGPS 기준국 중에서 한국 근해에 인접한 일본 DGPS 기준국은 Wakamiya(295 KHz), Ose Saki(302 KHz), Hamada(305 KHz) 3국으로서 한반도 남해안 주요해역은 물론 내륙에서까지도 DGPS 보정 치 수신에 가능하여 유효거리 범위에서 해양활동에 하는 불특정 다수의 사용자가 일본의 DGPS 정보를 사용할 것으로 보인다. 그러나 최근 저자들의 발표[2] 이외에는 아직 일본 DGPS Data에 대한 정밀도 분석보고가 없는 실정이다.

우리나라의 경우 1997년 DGPS 국가망 기본 설계를 마치고 DGPS국 구축을 시작하여

\* 해군사관학교 항해학과 및 군사과학대학원 교수

\*\* 군사과학대학원 석사과정

\*\*\* 한국 해양대학교 교수

총 8개 DGPS국중 현재 일부를 설치 완료한 상태이며, 일본의 DGPS는 1997년 3월 Tsurugi Saki 및 Daio Saki국에서 정상운동을 시작하여 1999년 연내에 27개국 DGPS국을 전면 설치할 계획으로 되어있다. 대부분 일본의 DGPS국은 전송속도 200 bps로 전파를 발사하며, 유효거리 200 km 해상에서 전계강도 40 dB  $\mu$  V/m 값으로 설계 되어있다[6].

IALA(국제항로표지협회)에 보고된 일본의 DGPS국중 한국 연근해에서 전파수신이 가능한 국의 유효거리 200 km(설계유효거리)로 가정할 경우 상당한 해역이 중복되어있다. 뿐만 아니라 일본 학자들의 보고에 따르면 일본 DGPS 유효거리가 200 km보다 훨씬 길 것으로 예상[3]하는 바 한반도 남부 내륙지역까지 DGPS 전파수신이 가능할 것으로 보인다. 향후 한국 DGPS국이 구축된 이후 사용자는 DGPS 정보 선택의 폭이 넓어질 것으로 보인다.

본 논문은 한반도 남해안에서 수신 가능한 일본 DGPS/ Marine Radiobeacon 3개국에 대하여 유효거리, 데이터 수신율, 전계강도 등에 따라 달라지는 위치정보의 정밀도 및 신뢰도 분석을 중심으로 연구하였다.

## II. DGPS 보정치 전송 표준화 및 위치결정 원리

### 2.1 RTCM 전송 포맷

DGPS 시스템 설계시 필연적으로 해결해야 할 일중 하나가 보정치의 방송내용, 포맷형태, 통신수단 등을 포함한 표준화이다. 이는 DGPS 시스템을 운용자에 따라 다를 수 있으나 RTCM SC-104(Radio Technical Commission for Marine Service Special Commission-104)의 권고안이 범용으로 사용되고 있다[8].

현재 RTK(Real Time Kinematic) 메시지를 포함한 표준버전이 완성되었으며, 해상뿐만 아

니라 육상의 FM 다중 및 위성을 이용한 DGNSS 시스템에도 표준버전이 널리 사용되고 있는 추세이다. 일본 Marine Radiobeacon/DGPS 체계 역시 RTCM 데이터 포맷을 사용하고 있다. [표 1]에 RTCM SC-104 ver' 2.1 메시지 형식을 수록하였다.

형식 번호	메세지내용	비고
1	DGPS 보정치	보정의 기본형
2	델타 DGPS 보정치	궤도데이터가 다른 경우
3	기준국의 X, Y, Z 좌표	기준국의 파라메타
4	측량	형식 18~21에서 대체됨
5	궤도상의 위성의 건강	궤도상 위성 상태 예고
6	'0/1'의 언어	회선 유지용
7	무선국 알마낙	무선국의 경위도,거리,주파수, ID,비트속도 등
8	의사위성의 알마낙	의사위성의 정보
9	부분위성조합의 DGPS 보정치	형식1과 유사
10	P 코드 DGPS 보정치	
11	CA 코드 L1,L2의 보정치	
12	의사 위성국의 파라메타	
13	지상 송신기의 파라메타	
14	측량 보조 메세지	
15	전리층(대류권) 측정치	
16	ASCII 코드 임의메세지	특별 메세지
17	궤도 데이터 알마낙	
18	미보정 반송파 측정치	RTK 용
19	미보정 의사거리측정치	RTK 용
20	반송파 위상보정치	RTK 용
21	의사거리 보정치	RTK 용
22~58		
59	관리소유자용 메세지	특별 정보/메시지 이용
60~63	다목적사용을 위한 보류	

[표 1] RTCM SC-104 ver 2.1 메시지 형식

## 2.2 DGPS 위치 결정 원리

위치결정은 DGPS 기준국으로부터 송신된 보정치와 사용자 수신기에서 측정된 의사거리로부터 구한 보정 의사거리  $\rho_{corr}^i$  와 관측지점의 개략위치로부터의 의사거리  $\rho_{app}^i$  으로부터 아래와 같이 측차근사법[3]에 의하여 구한다. 즉, DGPS 수신기의 진 위치를  $(x_u, y_u, z_u)$ , 개략위치를  $(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u)$  라면 GPS 위성  $i$  에 대한 의사거리 방정식은 아래와 같은 함수로 표시된다.

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

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

한편, 개략위치의 보정치를  $\delta_X$ , 시계지연 bias를  $\delta_t$  라하면,

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

보정 의사거리 방정식은 아래와 같은 함수로 다시 쓸 수 있다.

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

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

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

상기 식을 간단히 표시하면 아래와 같다.

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

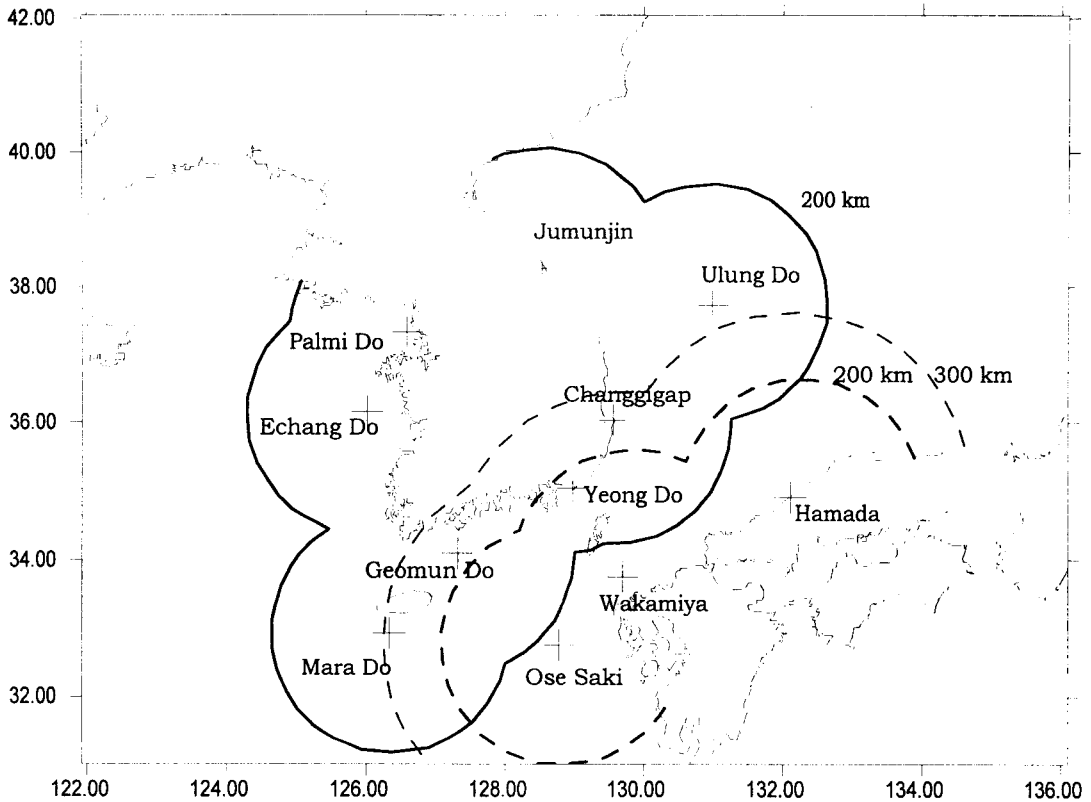
여기서  $l_i, m_i, n_i$  는 관측지점으로부터 각 위성  $i$  로 향하는 X, Y, Z 방향성분에 해당한다. 이들 값은 X, Y, Z 축을 각각 관측지점을 원점으로 한 위도, 경도, 고도, 방향으로 취함으로서 관측지점으로부터의 위성을 향하는 양각, 방위각으로부터 아래 식으로 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} (\cos(E_1) \cdot \sin(A_{z_1})) & (\cos(E_1) \cdot \cos(A_{z_1})) & \sin(E_1) & 1 \\ (\cos(E_2) \cdot \sin(A_{z_2})) & (\cos(E_2) \cdot \cos(A_{z_2})) & \sin(E_2) & 1 \\ (\cos(E_3) \cdot \sin(A_{z_3})) & (\cos(E_3) \cdot \cos(A_{z_3})) & \sin(E_3) & 1 \\ (\cos(E_4) \cdot \sin(A_{z_4})) & (\cos(E_4) \cdot \cos(A_{z_4})) & \sin(E_4) & 1 \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

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

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

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



[그림 1] 한반도 연근해 DGPS 전파 수신권

### III. 일본 DGPS 체계 및 운영

일본의 DGPS 운영은 일본 해상보안청(JMSA: Japanese Maritime Safety Agency)에 의해 24시간 운영체제를 갖추고 있으며, 동경의 주제어국 DGPS 센터와 13개의 지방 무인 DGPS 기준국으로 구성되어 있다. 주제어국은 실시간으로 DGPS Correction data와 Marine Radiobeacon에 의해 송출되는 Message 내용을 감시하고, GPS 위성으로부터 수신된 각종 Data를 저장, 분석한다.

1998년말 기준 총 27개 중 13개소이상에서 DGPS Data를 발사하고 있으며, 1999년 3월말 까지 기존의 Marine Radiobeacon국 8개소를

DGPS국으로 전환시킬 예정이며, 새로운 6개소의 DGPS국을 신설하여 완전한 DGPS 체계를 운용할 계획으로 되어 있다[5].

[그림1]에 한반도 인근 해역 및 내륙까지 유효범위로 미치는 일본 DGPS국에 대한 수신 가능권을 한국 DGPS 국가망 유효거리권과 함께 도시하였다.

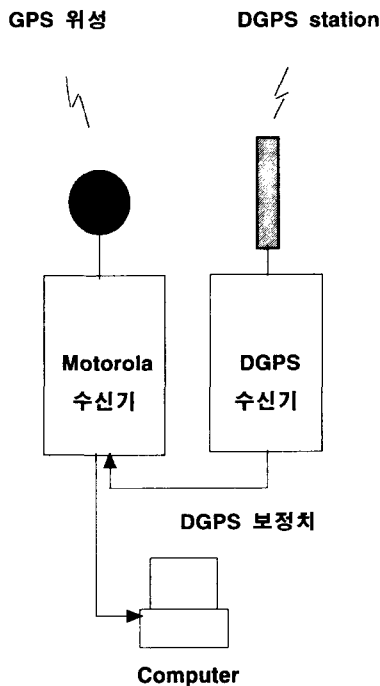
### IV. 일본 DGPS Data 측정 및 분석

#### 4.1 시스템 구성

이미 발표된 연구 논문[2]에서 Wakamiya 기

중국의 DGPS 정밀도 분석에 이어 본 논문은 한반도 연근해에 위치한 일본의 DGPS 기준국 2곳을 추가하여 정밀도를 측정, 분석하였다. 각각 수신된 3곳의 일본 DGPS 기준국의 Data를 모아 연구실 옥상 측량점과 비교하여 일본 DGPS 정보가 측량점에서 어느 정도 벗어났는가를 비교, 분석하였다.

측량점은 연구실 옥상에 위치하였으며, 대전 국립천문대를 기준으로 측정된 진해 국방연구소의 측량점을 기준으로하여 2.5 km 거리에 위치한 연구실 옥상의 측량점을 측량하였다. 측지용 GPS인 Trimble Series 4400을 이용하였으며, 정밀도는 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.



[그림 2] DGPS 장비 구성도

[그림 2]는 일본 DGPS Data를 수신하기 위한 장비 구성도이며, 일본 DGPS Data 수집을 위해 Shipmate사의 RS 5660 DGPS 수신기를 이용하였으며, 수신된 RTCM 보정 Data는 Motorola사 Oncore GPS(Model No VPEVAL 0002, 8 chan')로 전송되어 Data 처리 되었다.

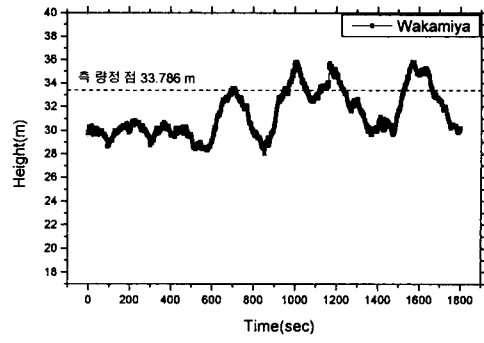
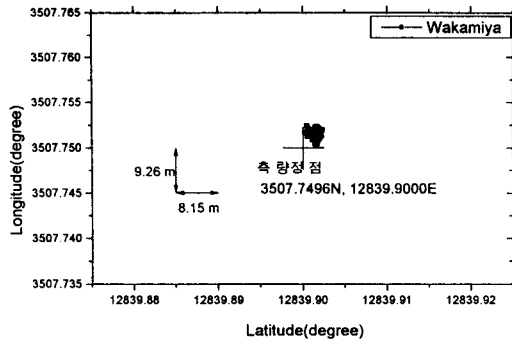
Data는 'procomm' 프로그램을 이용하여 GPGGA NMEA Format(Global Positioning System Fix Data Format)으로 수신되었으며, 수집된 DGPS Data의 Graph와 표준편차/DRMS 을 구하였다.

분석에 필요한 위도, 경도의 거리(m)환산은 위도 1'(1 nm)을 1852 m, 경도 1'을 1637 m로 하였고, 고도 Data는 Geoid Separation 23.1 m를 고려한 MSL(Mean Sea Level)로 구했다.

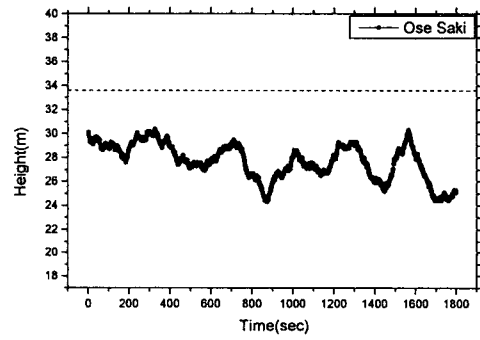
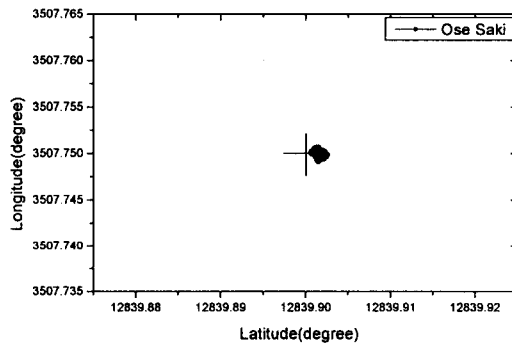
#### 4.2 결과 및 분석

한반도에 인접한 일본 DGPS 기준국 Data의 정확한 수신상태는 장기간의 Data 수신을 통해 확인해야 하겠지만 연구기간(10일) 동안 연구실이 위치한 동남해안 지역에서는 양호한 수신률을 지속적으로 보였다.

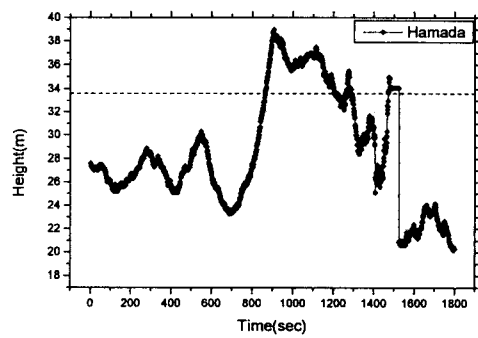
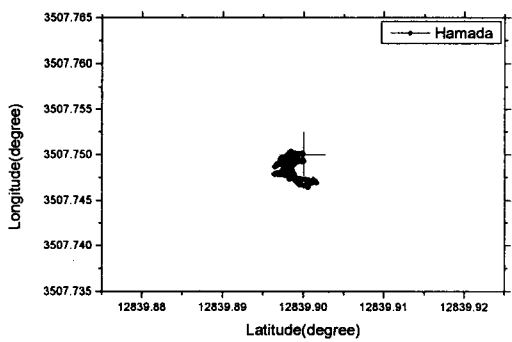
[그림 3]에서 연구대상으로 선정된 일본 DGPS 3개국의 Data를 30분간 1800개의 Data를 수신하여 경위도, 고도/시간으로 나누어 Data를 처리후 연구실 측량점과 비교 도시하였다. 경위도 Data의 정밀도 및 신뢰도는 2DRMS 10 m이내에 위치하였으며, 고도 Data의 최대 최저치 차이는 6~8 m, 최고 18 m의 큰 차이를 보이면서 불안정한 상태를 나타내었다. 경위도의 경우는 대부분 10 m이내의 안정된 Data 수신이 이루어졌으나 이에 비해 고도 Data의 경우는 큰 진폭을 보인 것이다. 이러한 결과는 추가 Data를 수집하여 분석한 결과에서도 동일하게 나타났었다.



(a) Wakamiya 기준국



(b) Ose Saki 기준국



(c) Hamada 기준국

[그림 3] 일본 DGPS 기준국의 Data 정밀도: 경-위도/ 고도-시간

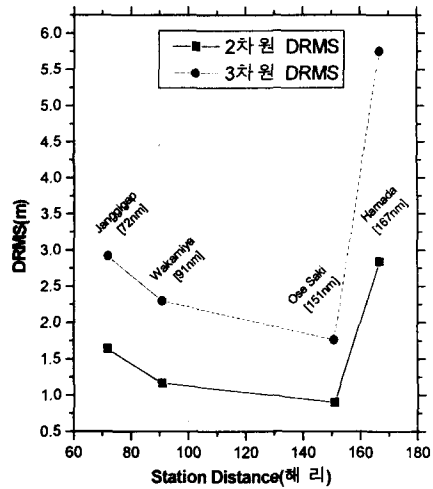
구분	장기잡	Wakamiya	Ose Saki	Hamada
거리 (해리)	72	91	151	167
2차원 DRMS (m)	1.63459	1.1619	0.89847	2.83763
3차원 DRMS (m)	2.91696	2.29437	1.75895	5.7482

[표 2] 각 기준국의 평균기준 DRMS 값

[표 2]은 기선길이가 서로 상이한 일본 DGPS 3개국과 장기곶 기준국의 Data에 대한 DRMS와 3차원 공간 DRMS를 수록하였고, 이를 [그림 4]에 보였다. 예상하기에는 거리가 멀어짐에 따라 수집 Data의 오차가 커져 DRMS값이 증가하리라 예측하였으나 DRMS값은 크게 변함이 없었다. 이는 기준국마다 수신기 자체오차, 기준국 측량 원점오차 및 기타 랜덤오차에 기인한 것으로 예상되지만 3개국 모두 10 m미만의 정밀도를 유지하고 있음을 확인하였다.

## V. 결 론

본 연구는 한반도 남해안까지 유효거리로 하고 있는 일본 Marine Radiobeacon/ DGPS 시스템에 대한 한반도 연근해에서의 위치정보 사용 가능성을 확인하기 위해 한반도 남해안에서 측정 가능한 일본 DGPS 3개국(Wakamiya: 295 KHz, Ose Saki: 302 KHz, Hamada: 305 KHz)을 선택하여 위치정보 정밀도 및 신뢰도를 상호 비교/ 분석하였다.



[그림 4] 거리별 Data DRMS 비교

연구 결과 한반도에서 가장 가까운 Wakamiya(72해리)국 보다도 훨씬 더 먼 Ose Saki(151해리) 및 Hamada(167해리)의 정밀도 수준이 10 m 미만임을 확인하였다.

특히 Hamada의 기선길이가 167해리(300 km) 이상인 점을 고려하면, Wakamiya국 및 Ose Saki국의 전파 유효거리가 한반도 남동일부 지역(육상)까지 미치고 있음을 예상할 수 있었다.

연구 대상 DGPS 기준국의 확대에 이어 차후 연구에서는 수신지역을 한반도 내륙으로 변경하여 지형에 따른 수신률과 Data 정밀도, 그리고, 수신범위를 측정/ 분석하고자 한다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 고팡섭, 이형욱, 정세모, "한국 동해안에서의 DGPS/Marine Radiobeacon 정밀도 분석에 관한 연구", 한국 항해 학회지, 1998.
- [2] 고팡섭, 심재관, 정세모, "한국 남해안에서의 일본 DGPS 정밀도 분석에 관한 연구", 한국 항해학회, 1999.

- [9] 고평섭외 2인, "Optimal 및 Suboptimal 기준점을 사용한 DGPS 설계 및 성능 평가", 한국 해양정보통신학회, 1998.
- [4] FERNS Council, Seventh Session, "Establishment of Differential GPS in Japan", 1998.
- [5] 모리히로 다카야마, "DGPS Correction Data broadcasting in Japan by MF Marine Radiobeacon and Evaluation of the Positioning Accuracy".
- [6] 모리히로 다카야마, "Normal Operation of Marine Differential GPS in Japan", 16th IALA Conferenc, 1998.
- [7] 정세모 외 , 'DGPS 설치를 위한 조사연구 기본 및 실시설계', 해양수산부, 1997.
- [8] Motorola Manual for Oncore receiver software version 10.0, Motorola, 1996.
- [9] Radio Technical Commission for Marine Services, 1994, "RTCM Recommended Standards for Differential Navstar GPS Service", Version 2.1