

한국 동해안에서의 Marine Radiobeacon/DGPS 정밀도 분석에 관한 연구

고 광 섭* · 이 형 옥** · 정 세 모***

A Study on Accuracy Analysis of DGPS-Based Marine Radiobeacon
in the East Coast of Korea

Kwang-Soob Ko · Heaong-Woog Lee** · Se-mo Chung****

〈목 차〉	
Abstract	3.2 Marine Radiobeacon에 의한 한국의 DGPS 시스템
1. 서 론	4. 데이터 측정
2. DGPS 시스템 구성 및 위치 결정 원리	4.1 측정 시스템 및 방법
2.1 DGPS 시스템 구성	4.2 기준점 측량
2.2 DGPS에 의한 정밀도 개선 원리	5. 분 석
2.3 RTCM SC-104 표준 규격	5.1 장기잡 기준국
3. Marine Radiobeacon 방식에 의한 한국의 DGPS 시스템	5.2 정밀 측량에 의한 기준점
3.1 Marine Radiobeacon과 DGPS	6. 결 론

Abstract

Radiobeacons that carry corrections for global satellite navigation systems are currently being planned or installed in many countries. In early 1996, it was begun to send DGPS correction message from a marine radiobeacon station located in Changgi Got Lighthouse. It was the first test broadcast of DGPS correction data based on medium frequency of marine radiobeacon where transmission power and rate are 300W and 100bps respectively in Korea. However, there has not been any scientific study on the characteristic of the accuracy of a marine radiobeacon /DGPS. Accordingly, this paper investigates the accuracy of the system, which is currently operating in 310kHz. To do this, the real time differential

* 해군사관학교 항해학과 교수

** 군사과학 대학원

*** 한국해양대학교 해사대학 교수

correction in RTCM data was collected in an implemented system. And then the accuracy was analyzed related to the coverage of the radiobeacon/DGPS. As a result, it is verified that the differential positioning accuracy using the marine radiobeacon is sufficient to ensure the safety of marine activities around the coast of Korea.

1. 서 론

NAVSTAR/GPS(Navigation System with Time and Ranging / Global Positioning System)는 위성 체계에 기반을 둔 위치 결정 시스템이다^[1,2,3,5,6]. 이것은 미 국방성 주도로 1973년 군사적 목적으로 연구 개발에 착수되어, 1995년 이후 지구상 전역에서 3차원 위치정보 획득을 위한 위성의 궤도 정보와 시간 정보 등을 제공하고 있다^[7]. 그러나 항공기의 착륙, 선박의 항구 진입이나 좁은 항로 및 특수 목적 등과 같이 보다 높은 정밀성을 요구하는 항법에 이용되기에는 GPS 정밀도로는 불충분하다. 이는 GPS의 위치 정보에는 위성의 시계오차, 위성 궤도 오차, 전리층 지연, 대류권 지연, 다중경로, 수신기 잡음 등에 기인하는 오차를 내포하고 있을 뿐 아니라, 미국에서 자국의 안전보장을 이유로 고의로 위성 시계 및 위성 궤도 정보에 오차를 주어 위치의 정확도를 떨어뜨리는 SA (Selective Availability) 정책을 실시하고 있기 때문이다. 따라서 범용의 SPS (Standard Positioning Service) GPS의 위치 정밀도는 수평면(2차원)에서 100 m, 3차원에서 156 m (2 drms) 정도여서 정밀 위치가 요구되는 사용 분야에서는 사용할 수 없다^[7]. 이 한계를 넘어서기 위한 노력이 1980년대 초반부터 두 가지 방향으로 진행되었는데, 그중 하나는 반송파의 위상(Carrier Phase)을 이용한 방법이고, 다른 하나는 Differential GPS 이다. 반송파 위상측정방식은 정밀 측량용이며, DGPS (Differential GPS)는 실시간 항법용으로 주로 사용되고 있다^[7,13]. DGPS는 기준국에서 보내 주는 오차정보를 이용하여 자신의 위치를 정확히 측정할 수 있기 때문에 미국, 영국, 독일, 캐나다, 노르웨이, 네덜란드, 폴란드, 오스트레일리아, 일본 및 중국 등 많은 나라에서 활용화 계획을 하고 있거나, 기 설치된 DGPS 시스템을 본격 사용하고 있

다^[10,11,12]. 우리 나라는 해양수산부 주관으로 기 설치된 Marine Radiobeacon을 이용한 DGPS 전파를 1996년 초부터 장기곶 기준국으로부터 시험 발사를 하고 있는데, 이는 국가 기관에서 시도한 Radiobeacon에 의한 최초의 전파 발사이다. 현재의 계획으로는 대전에 주 통제국을 두고 주문진, 장기갑, 울릉도, 영도, 거문도, 마라도, 어청도, 팔미도 등대에 기준국을 설치 및 보강하여 우리 나라 전 해상을 광범위하게 커버하기 위한 실시설계를 완료한 상태이다^[1,2,3,4]. 본 논문은 장기갑 기준국에서 국내 최초로 시험 발사중인 DGPS의 실 데이터를 수집, 분석하여 한국에서의 Radiobeacon을 이용한 DGPS 시스템의 설계를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 시도되었다. 연구 초점은 DGPS 설계에서 가장 핵심 사항이라 할 수 있는 Radiobeacon 주파수에 실려서 전송되는 RTCM 포맷 데이터에 의한 정밀도 오차 한계를 분석하는데 치중하였다. 연구 결과 기준국에서 약 100여 NM 떨어진 곳에서의 위치오차가 10m 이내로써 항구 접근 및 특정 항로 향해 요구를 충족시키는 것을 확인 할 수 있었다.

2. DGPS 시스템 구성 및 위치 결정 원리

2.1 DGPS 시스템 구성

DGPS는 GPS 정확도를 증대시키고 많은 수신기들이 같은 위성을 관측하여 공통오차를 없애는 것이다. 즉, GPS 수신기 오차의 해결책으로 자신의 위치를 정확히 알고 있는 기준국 (Reference Station)에서 위성 신호의 오차를 계산하여, 각 GPS 수신기 시스템에 위치 교정에 필요한 정보를 일정한 간격으로 무선 방송하고, 각 수신기에서는 이를 받아서 자기의 정확한 위치를 계산하는 시스템으로서 10여m 내외의 정밀도를 갖고 있기 때문

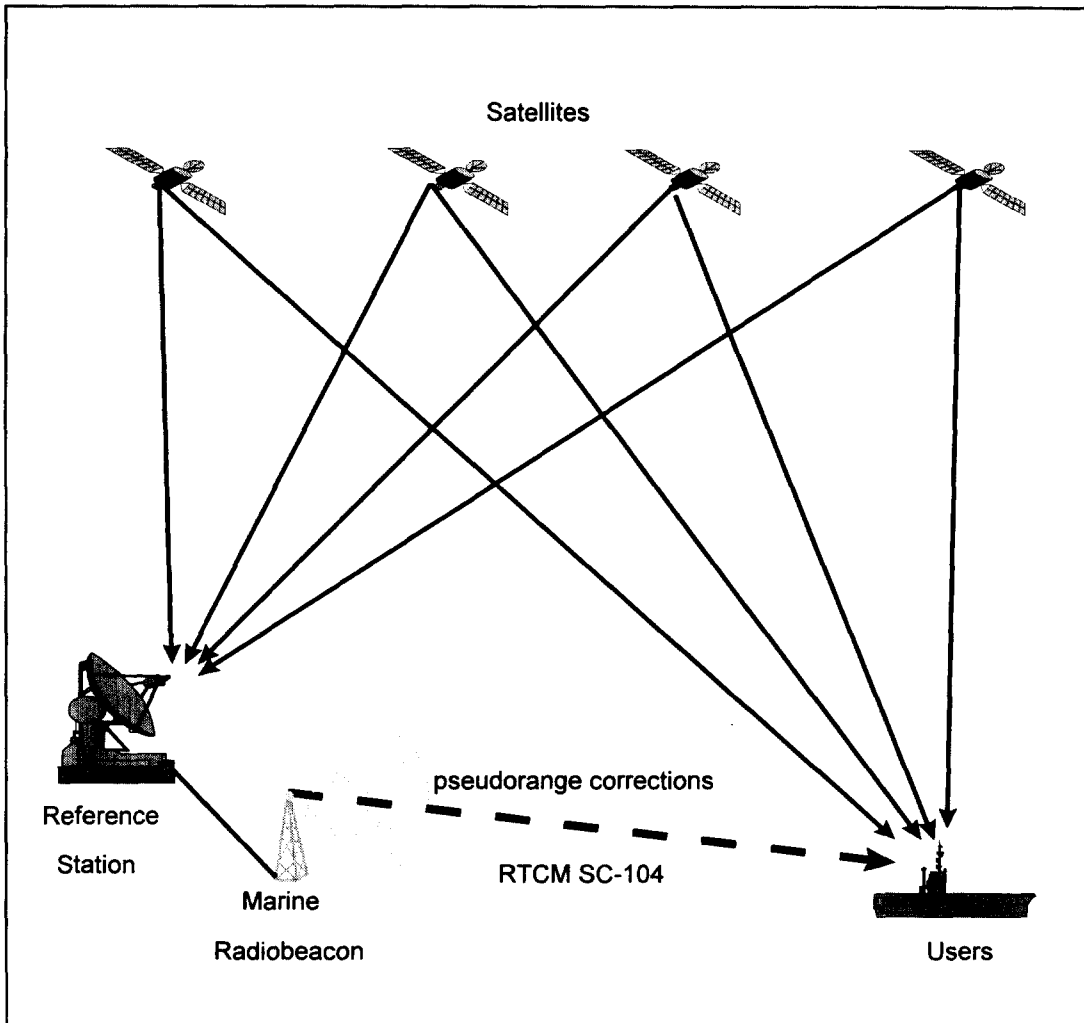


Fig. 1 DGPS Concept.

에 육·해·공의 고정밀 위치 정보가 필요한 분야에서 다용도로 사용되고 있다^[7,8,10]. Fig. 1은 DGPS의 개념도를 나타낸다.

DGPS 오차 보정 정보 표준화를 위해 1983년 11월 미국 교통성 산하기관에서 표준 규격을 정하여 RTCM SC - 104(Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee-104) 표준 포맷을 제공한 이후 Radiobeacon을 이용한 항법용 DGPS 시스템 운용이 전 세계적으로 증가 추세에

있다. 이 포맷은 1990년 버전 2.0, 1994년 1월 버전 2.1로 표준화되었고, 최근 러시아의 GLONASS와 함께 광범위하게 Differential 할 수 있는 버전 2.2로 표준화 되었다^[9].

2.2 DGPS에 의한 정밀도 개선 원리

DGPS에 의한 사용자의 정확한 위치를 결정하기 위해서는 ECEF(Earth Centered Earth Fixed) 좌표

에 의한 기준국의 정확한 위치(x_i, y_i, z_i)를 알고 있기 때문에 i 번째 위성의 위치와 기준국의 측량된 위치 (x_m, y_m, z_m) 사이의 기하학적 거리 R_m^i 은

$$R_m^i = \sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2 + (z_i - z_m)^2} \dots\dots (1)$$

이고, 기준국에서 i 번째 위성의 의사 거리 ρ_m^i 은

$$\rho_m^i = R_m^i + \epsilon_{m, space} + \epsilon_{m, control} + \epsilon_{m, user} + c\delta t_m \dots (2)$$

이다. 여기서 $\epsilon_{m, space}, \epsilon_{m, control}, \epsilon_{m, user}$ 는 우주국, 통제국, 사용자국에 기인하는 의사 거리 오차이고, δt_m 은 GNSS 시스템 시간과의 기준국 시계 오차이다. 기준국에서 기하학적 거리 R_m^i 의 의사 거리 차이를 차분 보정 형태로 나타내면,

$$\Delta \rho_m^i = \rho_m^i - R_m^i = \epsilon_{m, space} + \epsilon_{m, control} + \epsilon_{m, user} + c\delta t_m \dots\dots\dots (3)$$

이다. 각 위성에 대한 보정치는 무선으로 사용자 수신기에 보내지며, 사용자 수신기에서의 동일한 위성에 대한 의사 거리 측정치를 보정하게 된다. 따라서 새롭게 보정된 수신기 내에서의 의사 거리는 다음과 같이 표시 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho_u^i - \Delta \rho_m^i &= R_u^i + \epsilon_{u, space} + \epsilon_{u, control} \\ &+ \epsilon_{u, user} + c\delta t_u - (\epsilon_{m, space} + \epsilon_{m, control} \\ &+ \epsilon_{m, user} + c\delta t_m) \end{aligned} \dots\dots\dots (4)$$

단, R_u^i 는 위성 i 와 미지의 사용자 위치 (x_u, y_u, z_u) 사이의 기하학적 거리를 나타낸다. 사용자 수신기에서의 가장 중요한 역할은 다중 경로와 수신기 잡음을 제외한 SA (Selective Availability), 위성 시계 오차, 위성 궤도 오차, 전리층 지연 및 대류권 지연 오차 등을 보정하는 일이며, 보정된 의사 거리는 아래와 같이 다시 표시할 수 있다.

$$\rho_{u, cor}^i = R_u^i + \epsilon_u + c\delta t_{combined} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 ϵ_u 는 사용자국 오차의 bias이며, $\delta t_{combined}$

은 시계 오차의 조합이다. $\delta t_{combined}$ 를 복합적인 시계 오차의 조합 δt 로 표시하고, 위 식을 Cartesian 좌표 평면으로 나타내면,

$$\begin{aligned} \rho_{u, cor}^i &= \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} \\ &+ \epsilon_u + c\delta t \end{aligned} \dots\dots (6)$$

이다. 위치 측정을 위해서는 4개 혹은 그이상의 위성 조합이 이루어져야 하기 때문에 최소한 4개의 위성을 조합한 개선된 의사 거리 방정식으로부터 공통 오차를 제거한 보정된 정밀 위치를 구할 수 있다. 이때 $\rho_{u, cor}^i$ 은 임의의 수신점에서 측정한 위성 i 에 대한 의사 거리가 기준국에서 보내진 보정치에 의해 보정된 값이므로 구해진 항법해인 (x_u, y_u, z_u)는 DGNSS 보정치에 의해 개선된 위치 정보를 나타내며, ϵ_u 는 공통 오차를 제외한 오차로 간주할 수 있으며, DGNSS 시스템이 갖고 있는 고유의 오차로 고려대상에서 제외한다.

다음은 이 비 선형방정식을 선형방정식으로 변환하는 것으로서 만약 수신기 근처의 위치를 정확히 알고 있다면, 근사 위치 ($\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u$)로부터 실제 위치 (x_u, y_u, z_u)의 차를 나타낼 수 있다. 위 식을 근사 위치에 대한 Taylor 급수로 전개하면 알고있는 좌표와 의사 거리 측정 방정식에 의해 위치 차 ($\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u$)를 구할 수 있다.

식 (6)에 의한 1개의 의사 거리는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho_i &= \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + ct \\ &= f(x_u, y_u, z_u, t) \end{aligned} \dots\dots (7)$$

단, $t = \delta t$, $\rho_i = \rho_{u, cor}^i$, c 는 광속임. 근사 위치 ($\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u$)와 시간 오차의 측정치 \hat{t} 로 근사 의사 거리를 계산하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \hat{\rho}_i &= \sqrt{(x_i - \hat{x}_u)^2 + (y_i - \hat{y}_u)^2 + (z_i - \hat{z}_u)^2} + c\hat{t} \\ &= f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}) \end{aligned} \dots\dots (8)$$

미지의 사용자 위치와 수신기 시계 오차는 아래

식으로 표시 가능하다.

$$\begin{aligned} x_u &= \hat{x}_u + \Delta x \\ y_u &= \hat{y}_u + \Delta y \\ z_u &= \hat{z}_u + \Delta z \\ t &= \hat{t} + \Delta t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (9)$$

또한 상기 식은 아래와 같이 함수 형태의 식으로 표시 할 수 있다.

$$\begin{aligned} f(x_u, y_u, z_u, t) &= f(\hat{x}_u + \Delta x, \hat{y}_u \\ &+ \Delta y, \hat{z}_u + \Delta z, \hat{t} + \Delta t) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (10)$$

이 식을 근사 위치에 대한 Taylor 급수 전개를 하면

$$\begin{aligned} &f(\hat{x}_u + \Delta x, \hat{y}_u + \Delta y, \hat{z}_u + \Delta z, \hat{t} + \Delta t) \\ &= f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t}) + \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t})}{\partial \hat{x}_u} \Delta x \\ &+ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t})}{\partial \hat{y}_u} \Delta y + \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t})}{\partial \hat{z}_u} \Delta z \\ &+ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t})}{\partial \hat{t}} \Delta t + \dots \end{aligned} \quad (11)$$

전개된 급수에 대하여 first-order 이후를 잘라내고, 편미분으로 계산하면,

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t})}{\partial \hat{x}_u} &= -\frac{x_i - \hat{x}_u}{\hat{r}_i} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t})}{\partial \hat{y}_u} &= -\frac{y_i - \hat{y}_u}{\hat{r}_i} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t})}{\partial \hat{z}_u} &= -\frac{z_i - \hat{z}_u}{\hat{r}_i} \\ \frac{\partial f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u, \hat{t})}{\partial \hat{t}} &= c \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (12)$$

여기서

$$\hat{r}_i = \sqrt{(x_i - \hat{x}_u)^2 + (y_i - \hat{y}_u)^2 + (z_i - \hat{z}_u)^2}$$

이다. 따라서 식 (7)의 비 선형 의사 거리 방정식을 아래와 같은 선형화 된 의사 거리 방정식으로 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho_i &= \hat{\rho}_i - \frac{x_i - \hat{x}_u}{\hat{r}_i} \Delta x - \frac{y_i - \hat{y}_u}{\hat{r}_i} \Delta y \\ &- \frac{z_i - \hat{z}_u}{\hat{r}_i} \Delta z + c \Delta t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (13)$$

알고 있는 값의 식은 왼쪽에 알지 못하는 값의 식을 오른쪽에 배열하면 아래와 같이 표시 가능하고,

$$\begin{aligned} \hat{\rho}_i - \rho_i &= \frac{x_i - \hat{x}_u}{\hat{r}_i} \Delta x + \frac{y_i - \hat{y}_u}{\hat{r}_i} \Delta y \\ &+ \frac{z_i - \hat{z}_u}{\hat{r}_i} \Delta z - c \Delta t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (14)$$

식을 새로운 변수로 간략히 나타내면 아래와 같다.

$$\Delta \rho_i = a_{xi} \Delta x + a_{yi} \Delta y + a_{zi} \Delta z - c \Delta t \quad \dots\dots\dots (15)$$

단,

$$\begin{aligned} \Delta \rho_i &= \hat{\rho}_i - \rho_i, \\ a_{xi} &= \frac{x_i - \hat{x}_u}{\hat{r}_i}, \\ a_{yi} &= \frac{y_i - \hat{y}_u}{\hat{r}_i}, \\ a_{zi} &= \frac{z_i - \hat{z}_u}{\hat{r}_i} \end{aligned}$$

이고, a_{xi} , a_{yi} , a_{zi} 는 근사 위치로부터 i 위성에 대한 단위 방향 벡터이다. i 위성의 단위 벡터는

$$\vec{a}_i = (a_{xi}, a_{yi}, a_{zi})$$

로 정의한다. 식 (15)로부터 4개의 미지수 ($\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t$)를 풀기 위해서는 4개 위성에 대한 4개의 선형방정식을 세울 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta \rho_1 &= a_{x1} \Delta x + a_{y1} \Delta y + a_{z1} \Delta z - c \Delta t \\ \Delta \rho_2 &= a_{x2} \Delta x + a_{y2} \Delta y + a_{z2} \Delta z - c \Delta t \\ \Delta \rho_3 &= a_{x3} \Delta x + a_{y3} \Delta y + a_{z3} \Delta z - c \Delta t \\ \Delta \rho_4 &= a_{x4} \Delta x + a_{y4} \Delta y + a_{z4} \Delta z - c \Delta t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (16)$$

(16) 식을 행렬 형태로 나타내면

$$\vec{\Delta\rho} = \begin{bmatrix} \Delta\rho_1 \\ \Delta\rho_2 \\ \Delta\rho_3 \\ \Delta\rho_4 \end{bmatrix} \quad \vec{H} = \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & 1 \\ a_{x3} & a_{y3} & a_{z3} & 1 \\ a_{x4} & a_{y4} & a_{z4} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\vec{\Delta x} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ -c\Delta t \end{bmatrix}$$

가 되는데, 결과적으로

$$\vec{\Delta\rho} = \vec{H} \vec{\Delta x} \quad \dots\dots\dots (17)$$

이다. 그러므로

$$\vec{\Delta x} = \vec{H}^{-1} \vec{\Delta\rho} \quad \dots\dots\dots (18)$$

가 되어 미지수 ($\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t$) 를 구할 수 있다. 이 값을 식 (9)에 적용하면, DGNSS 보정치를 고려한 사용자 위치를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_u &= \hat{x}_u + \Delta x \\ y_u &= \hat{y}_u + \Delta y \\ z_u &= \hat{z}_u + \Delta z \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (19)$$

식 (28)에 표시된 위치 정보는 WGS-84에 의한 지구 좌표계 상의 3차원 위치이므로 실제 항해용으로는 부적합하다. 따라서 위도, 경도 및 고도로 표시할 수 있는 회전 타원체 좌표로 변환해야한다.

2.3 RTCM SC-104 표준 규격

RTCM 메시지는 기준국에서 관측되고 있는 각 위성의 의사거리와 의사거리 변화율, 위성의 상태, 측정된 정확도, 기준국에서 사용된 자료의 "age"를 포함하며, 보조 자료를 함께 유지한다. 모든 RTCM 메시지는 30비트 워드로 이루어져 있고, 만약 6개의 위성을 위해서는 보정 메시지는 16워드나 480개의 비트가 필요하다. 30비트 워드에는 24 데이터 비트와 6오류 검출 비트로 이루어져 있다. 모든 RTCM 메시지는 Figure 2.에서 보듯 2 word header가 있고, header는 8비트 전문 메시지 형태를 포함하며, 이것은 DGPS 기준국의 64 메시지의 식별과 수정에

참조시간 Z-count, 길이가 동일한 메시지 형태, 기준국의 상태가 메시지 words에 포함된다. <Table 1>에 RTCM 메시지 형태를 기술하였다^[7,10].

3. Marine Radiobeacon 방식에 의한 한국의 DGPS 시스템

3.1 Marine Radiobeacon과 DGPS

전술한 바와 같이 기준국의 DGPS 보정치를 사용자에게 보내기 위한 국제 통신 포맷은 RTCM 방식이며 이를 전송하기 위한 방법으로써 많은 국가에서 285-325kHz 대역에서 운용되고있는 Radiobeacon 시스템을 채택하고 있는 실정이다.

이는 Radiobeacon이 전통적으로 항해하는 선박에 상대 방위를 제공하기 위해 전세계 연안에 고루 분포되어 있을 뿐 아니라 데이터 전송시에 방위 정보와 DGPS 보정치를 동시에 전송 할 수 있는 장점이 있다. 또한 기 설치된 Radiobeacon에 의한 DGPS 자료의 방송 시스템은 단지 GPS 기준국, MSK 변조기 및 종합 감시국이 요구되며, 새로운 Radiobeacon 설치 경우에도 요구되는 변환기와 안테나가 비교적 저렴하다.

Radiobeacon/DGPS 신호는 지표파로 전달하고 거리 한계는 바다에서 실험 시 보통 300km 이상이다^[10]. 이러한 이유로 Radiobeacon/DGPS를 전세계적으로 설치하고 있는 실정이다. IALA (International Association of Lighthouse Authorities)는 Marine Radiobeacon에 대한 전세계적인 자료를 보유하고 있으며, 이에 대한 정보를 사용자에게 제공하고 있다.

1996년 미국 연안 경비대는 미국 연안 지역과 하와이, 푸에르토리코, 5대호, 알래스카의 대부분을 50개의 Radiobeacon/DGPS로 커버하고 있을 뿐만 아니라 미시시피, 오하이오, 미주리강과 같은 많은 내륙 수로들까지도 광범위하게 서비스를 제공하고 추진 중이다. 또한 오스트레일리아, 노르웨이, 독일, 네덜란드, 영국, 폴란드, 이집트, 일본, 한국 등 많은 나라가 Radiobeacon/DGPS 시스템을 운영하거나 운영 준비중에 있다.

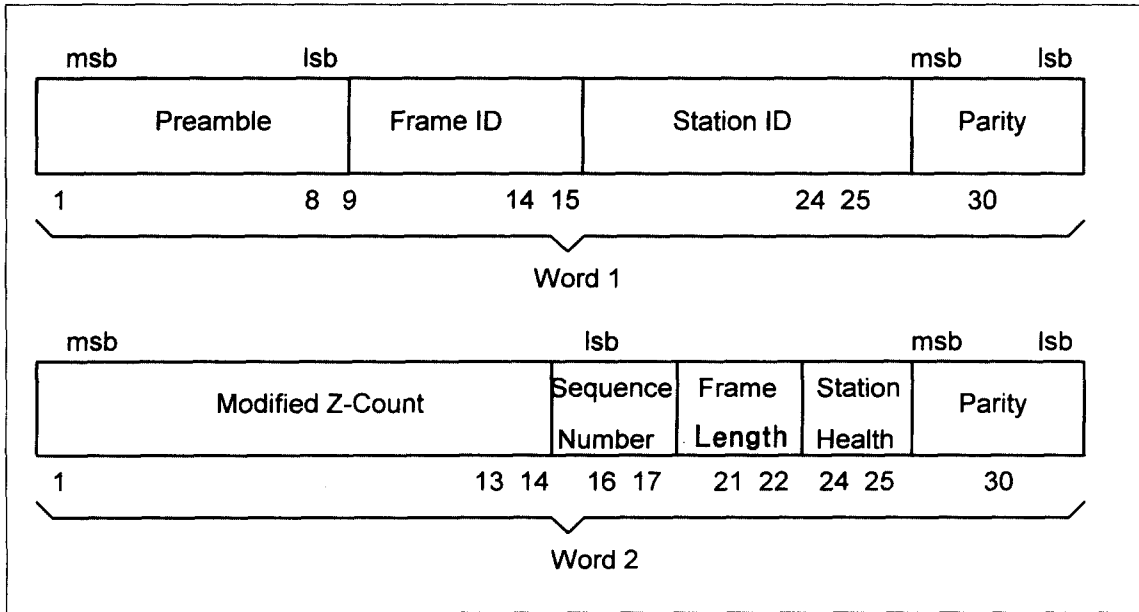


Fig. 2 RTCM SC-104 Header Format.

<Table 1> RTCM SC-104 Message Types(version 2.1).

Message type	Status	Use
1	Fixed	C/A-code pseudorange(PR) corrections
2	Fixed	PR correction difference data for use with old orbital and clock parameters
3	Fixed	Reference station coordinates
4	Retired	No longer used; superseded by Types 18 to 21
5	Fixed	Satellite constellation health information
6	Fixed	Filler message (Alternating 1's and 0's in body of message)
7	Fixed	Radio beacon network description
8	Tentative	Pseudolite almanac information
9	Fixed	C/A-code PR corrections for subsets of satellites(3 or less)
10	Reserved	P-code differential corrections
11	Reserved	C/A-code L2 corrections
12	Reserved	Pseudolite station parameters
13	Tentative	Ground transmitter parameters
14	Reserved	Auxiliary message for surveying
15	Reserved	Ionosphere and troposphere correction measurements
16	Fixed	ASCII-coded messages for display
17	Tentative	Ephemeris almanac
18	Tentative	Uncorrelated carrier phase measurements
19	Tentative	Uncorrected PR measurements (for surveying)
20	Tentative	Corrections to the carrier phase measurements
21	Tentative	Corrections to the PR measurements
22 to 58	-	Undefined
59	Tentative	Proprietary message
60 to 63	Reserved	Multipurpose message

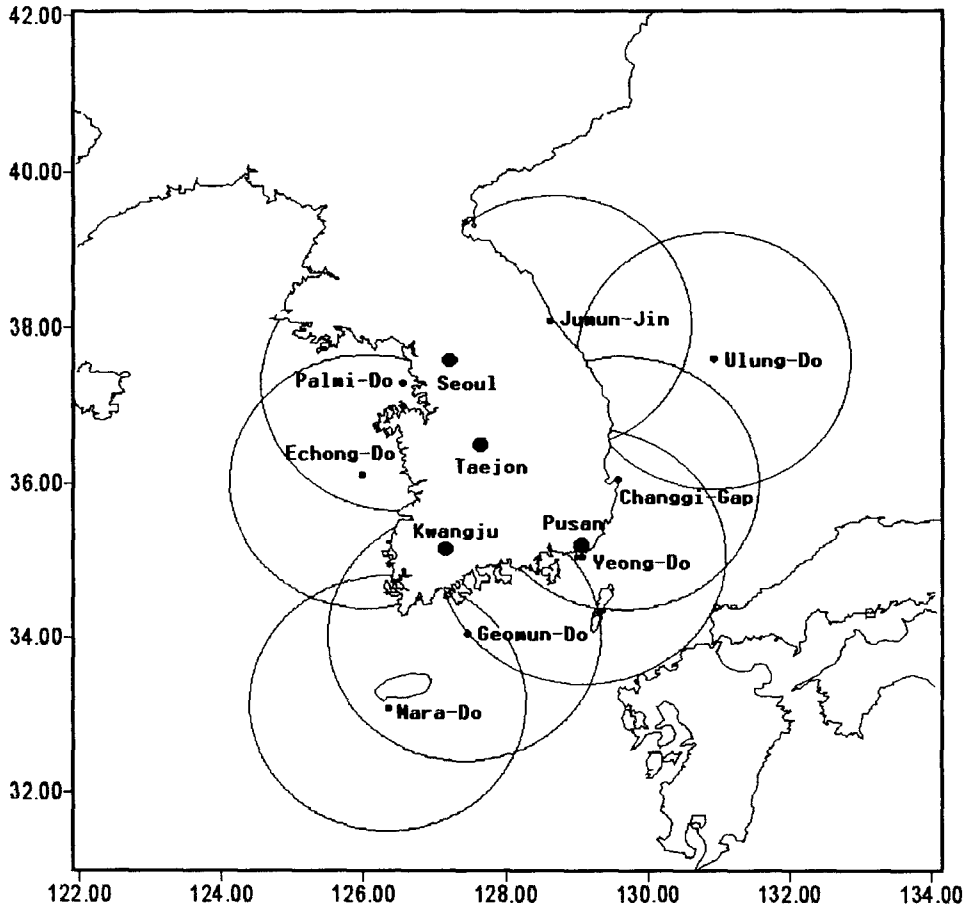


Fig. 3 The Predicted DGPS Station of Korea.

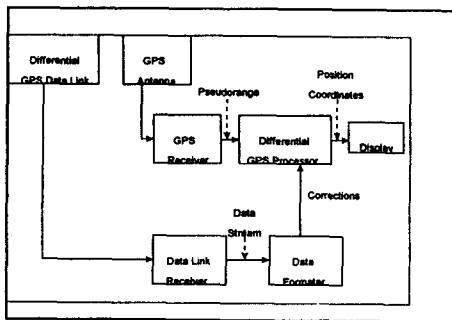


Fig. 4 Test Block Diagram.

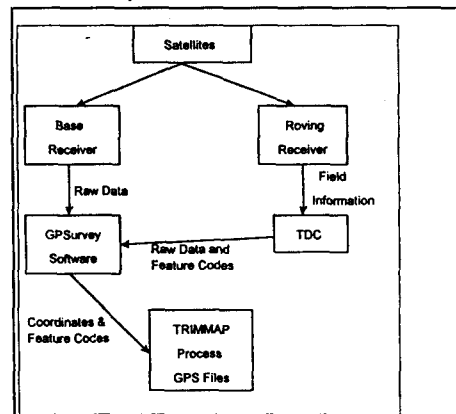


Fig. 5 Fast Static Surveying System Block Diagram.

3.2 Marine Radiobeacon에 의한 한국의 DGPS 시스템

해양수산부는 장기곶 등대에 독자 시스템 DGPS 기준국을 설치하여 1996년부터 시험 운영하고 있다. 장기곶의 DGPS 기준국에서는 기존의 Radiobeacon 주파수 310kHz를 사용하고 있으며, 출력 300W, 100bps의 신호속도로 DGPS 보정치를 전송하고 있다. 또한 유효 범위는 100NM 정도로 알려져 있다. 기준국의 의사거리 측정 수신기는 Trimble Series 4000을 이용하여 실측하고, 관측되는 위성의 의사거리를 수정하여 전송하고 있다. 한국의 DGPS Network 구성에 대한 연구 및 설계는 초기 단계로서 주 통제국은 대전 부근이며, 설치 장소는 기존의 Radiobeacon국 7개 장소와 추가 가능 기준국 1~2개 중에서 동해로 부터 주문진, 장기곶, 울릉도, 영도, 거문도, 마라도, 어청도, 팔미도 등대로 8곳이 선정 되었다^[1,2,3,4]. 한국의 실정에 맞는 DGPS Network 구성은 어느 특정 기업에서 주관해야 할 성질이 아니고 국가 기관에서 수행해야 할 공식 사업인 관계로 정부 지원아래 수행 될 것으로 보인다. 또한 세계 모든 국가가 자국의 이익을 위해 국가차원에서 DGPS Network 구성을 서두르고 있음을 감안 세계적 추세에 부응하고 한국 실정에 맞는 한국형 Marine Radiobeacon/DGPS 시스템이 수년 내 완성될 것으로 기대된다.

Fig. 3은 설치될 기준국을 기준으로 100NM의 범위를 나타낸 것이다^[1,2,3,4].

4. 데이터 측정

4.1 측정 시스템 및 방법

Fig. 4는 본 연구에 사용된 DGPS 보정 데이터 수신 장치의 구성도이다.

데이터 측정을 위하여 DGPS 수신기는 Shipmate RS 5900과 Garmin을 사용하였다.

DGPS 수신기 자료는 실시간으로 수신된 정보를 컴퓨터에 저장하여 후처리하였고, 정밀 측량에 의하여 구한 2개의 장소인 연구실 옥상 기준점과 장기곶 기준국 안테나 위치를 비교 분석하였다. 장기곶 기준국의 위치에 DGPS 안테나를 설치하

여 획득한 의사거리와 beacon 수신안테나로부터 수신된 보정 데이터에 의하여 처리된 DGPS 위치 정보를 컴퓨터에 저장하여 분석하였다. 기준국에서의 위치 오차는 2 drms의 경우 4.9838 m였다. 기준국에서 72 NM 떨어진 곳에 정밀 측량에 의하여 구한 정점(연구실 옥상)에서의 오차는 7.8093m (2 drms)였다.

4.2 기준점 측량

DGPS에 의해 수집된 자료의 정확도를 비교하기 위해서는 측정하고자 하는 기준점 측량이 무엇보다도 선행되어야 한다. 본 연구에서 사용된 측정 지점의 위치로 장기곶 기준국 위치는 DGPS 기준국 설치 회사에서 제공한 WGS-84 위치를 사용하였으나, 72 NM 떨어진 연구실 옥상 기준점은 별도로 정밀 측량을 한 원점을 사용하였다. 연구실 옥상은 측지용 GPS인 Trimble Series 4400을 이용하여 측량하였다. 대전 천문대를 기준으로 하여 측정된 진해 국방 과학 연구소의 한 지점을 측량하였는데, 대전과 진해 사이의 거리 기준점으로부터 오차는 약 ± 7 cm 였다. 다음은 진해 국방 과학 연구소를 기준으로 연구실 옥상에 한 지점을 같은 방법으로 측량하였다. 두 지점간의 기선 거리는 약 2.5 Km 였다.

본 연구에서 사용하기 위한 기준점 측량 방법 및 과정을 Fig. 5에 나타내었다. 전술한 바와 같이 기 측량된 국방과학 연구소 기준점과 새롭게 측량하고자 하는 연구실 옥상 특정지점에 Trimble 4400 측량 시스템 수신기들을 각각 설치하였고, 동시에 Raw 데이터를 측정하여 GPS 측량 소프트웨어로 처리 기준점 측량을 하였다. 측정시 기선 선상 두 지점의 각 위성에 대한 의사거리 변화율 및 의사거리 측정 시간 등의 모든 데이터는 C/A코드와 L1 반송파 관측에 의한 실시간으로 측정하였으며, 측량방식은 Fast Static으로 기선 끝단에서 수집한 데이터를 수신기 제작 회사로부터 제공된 내장 소프트웨어(Trimble's GPSurvey S/W)에 의하여 벡터방식으로 구한다. 측량소요는 17분 데이터 정도였고, 정밀도는 1cm

미만이었다.

연구실 옥상의 측량된 위치는 N35° 07' 44.980716" ($\sigma = 0.0012$ m), E128° 39' 54.001101" ($\sigma = 0.0009$ m) 이었다.

5. 분 석

5.1. 장기곶 기준국

1997년 5월 22일 장기곶 무선 표지국을 방문하여 자료를 수집하였다. 기준국의 통계국과 Radiobeacon 안테나의 거리는 약 50 m, 안테나의 높이는 38.1 m 로 기준국 GPS 안테나와의 차이는 약 20m 정도였다. 자료 수집 시 정확한 위치를 확인하기 위하여 기준국 GPS 안테나와 중복하여 Shipmate GPS 안테나를 설치하였다. 장기곶 기준국 설치 시 측량한 정확한 기준국의 위치는 N 36° 04' 38.14998", E 129° 34' 10.00332"이다.

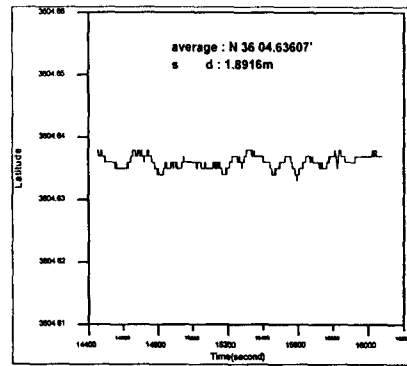
Fig. 6은 약 25분간 수신된 Shipmate의 경위도 자료를 나타낸 것이다. 경위도 자료는 소수점 셋째 자리를 분으로 나타내었다.

<Table 2>는 기준국의 측량된 경위도와 DGPS 수신 자료의 평균 경위도를 비교한 것이다. 두 경위도를 비교 시 위도는 북쪽으로 0.01422" (0.4395 m), 동쪽으로 0.02208" (0.5553 m)의 변화가 있었으며, DGPS의 표준 편차는 위도 0.0612" (1.8916 m), 경도 0.0648" (1.6298 m)였고, 2 drms는 4.9838 m 였다.

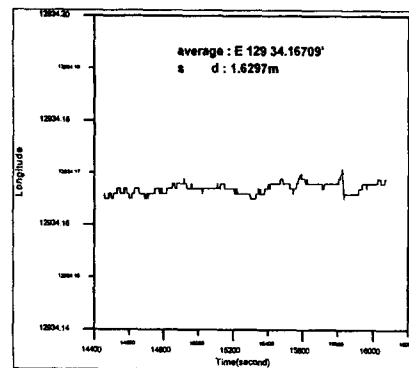
5.2. 정밀 측량에 의한 기준점

전술한 바와 같이 장기곶 DGPS 송신국으로부터 72 NM 떨어진 곳에 정밀 측량을 하여 측량위치의 기준점을 설정한 후 보정 데이터를 수신하였다.

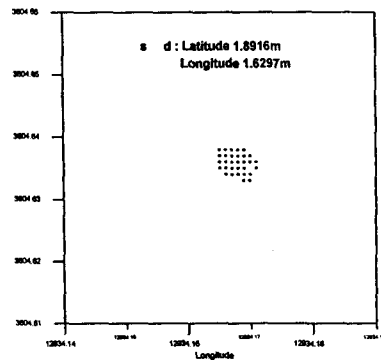
데이터 수신을 위하여 수일동안 지속적으로 Radiobeacon 수신기 전파포착을 시도하였으나, 신뢰할 수 있을 정도의 DGPS 보정치수를 획득하는 데는 많은 어려움이 있었다. 이는 장기곶 DGPS 송신국의 출력, 안테나 효율 및 전파도달 거리에 기인하여 수신점까지의 거리가 거의 임계거리 정도인



(a)

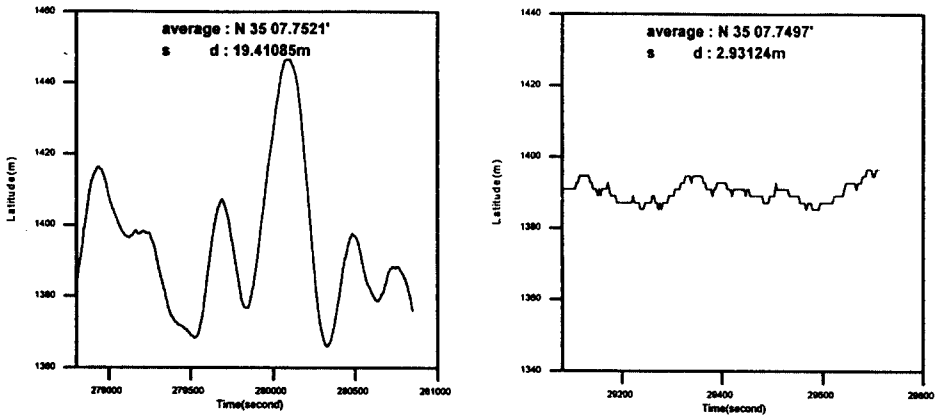


(b)

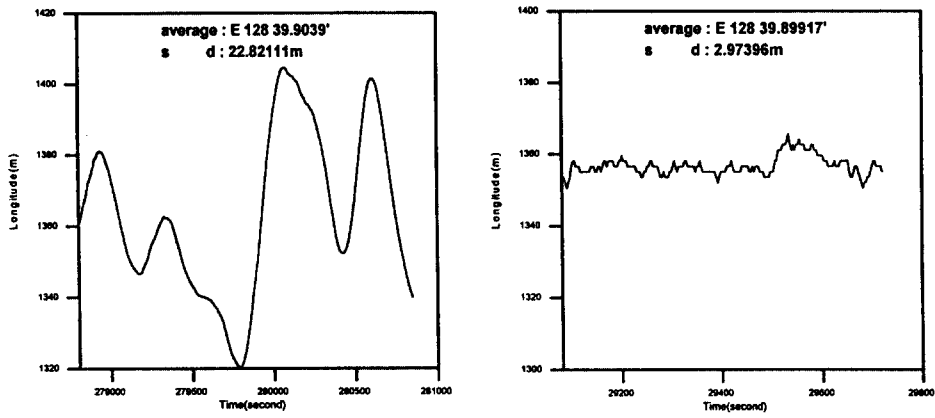


(c)

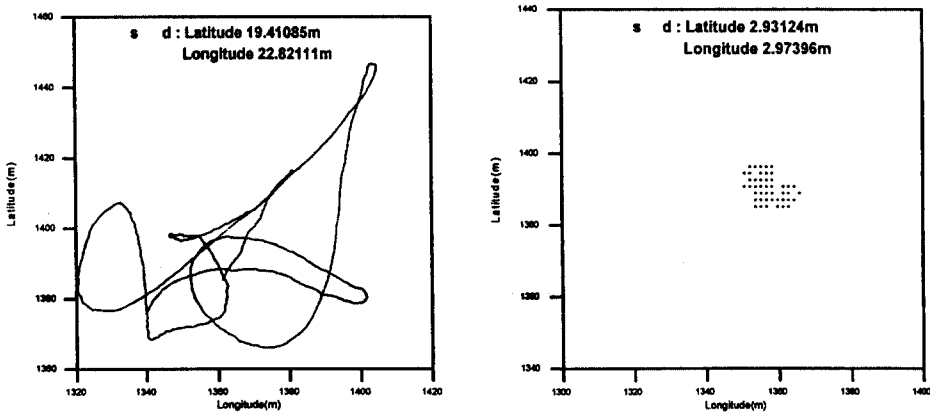
Fig. 6 The Reference Station Test (a:Latitude, b:Longitude, c:Latitude/Longitude).



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 The Result of Static Test(a:Latitude, b:Longitude, c:Latitude/Longitude).

<Table 2> 기준국과 DGPS 경위도 비교.

구 분	기 준 국	DGPS 평균	DGPS 표준편차
위 도	36° 04' 38.14998"	36° 04' 38.1642"	0.0612"
경 도	129° 34' 10.00332"	129° 34' 10.0254"	0.0648"

<Table 3> 정점 측량 경위도와 DGPS 경위도 비교.

구 분	측 량	DGPS 평균	DGPS 표준편차	측량치와의 표준편차
위 도	350° 7' 44.980716"	35° 07' 44.982"	2.93124m	2.901 m
경 도	128° 39' 54.001101"	128° 39' 53.95"	2.97398m	2.97179m

것으로 예측되었다. 48시간 동안 신뢰할 수 있을 정도의 데이터 수신시간은 약 10분 정도였다.

Fig. 7의 좌측은 NOVATEL 수신기로 측정된 GPS 위치 정밀도, 우측에는 Garmin DGPS 수신기에 의한 DGPS 데이터 보정치를 수신하여 측정된 정도, 위도 위치 및 정밀도를 나타내었다.

GPS 단일 수신기에 의한 위치 정밀도와 Radiobeacon을 이용한 DGPS 시스템의 위치 정밀도에 대한 실측을 통해 확인 결과 DGPS 시스템에 대한 정밀도가 공통오차를 제거하지 않은 단일 위치 정밀도 보다 약 10 배정도 우수함을 알 수 있다.

<Table 3>은 연구실 옥상에서 측량된 경위도와 DGPS 수신 자료의 평균 경위도를 비교한 것이다. DGPS 평균은 측량점을 기준으로 하여 북쪽으로 0.001284" (0.0397m), 서쪽으로 0.051101" (1.2852m)의 변화가 있었으며, 표준 편차는 남북 2.901m, 동서 2.97197m였고, 2 drms는 7.8093m 였다.

측량치를 기준으로 하여 DGPS 표준편차를 구할 시 3 m 미만으로 확인되었다. 이는 측량 기준점에 대한 DGPS 실측 밀도가 매우 신뢰할 수 있음을 말해준다. 기준국 장기곶과 연구실 옥상과의 거리는 약 72 NM 이었는데, 위의 자료를 비교하여 본다면 72 NM 에서도 DGPS에 의한 위치가 10 m내로써 미 연방국에서 요구하는 위치의 정확도를 충분히 만족한다할 수 있다. 즉, 연구실 옥상 측량점에서의 정밀도가 약 8 m (2drms)로써 기준국의 정밀도 약 5 m (2drms)와 비교할 시 3 m 내외임을 확인하였다.

6. 결 론

본 논문은 국내 최초로 시험 발사중인 Marine Radiobeacon 장기곶 DGPS 기준국으로부터 보정치의 실 데이터를 수집, 분석하여 한국에서의 Radiobeacon을 이용한 DGPS 시스템 설계에 앞서 선결해야할 정밀도 및 적용 범위 등의 핵심사항에 대하여 연구 하였다.

정밀하게 측량된 기준국 원점 및 기준국으로부터 충분히 떨어진 특정 지점에서의 위치 오차가 10m 이내로써 항구 접근 및 특정 항로 항해 요구를 충족시킬 수 있음을 확인하였다.

연구 결과 Marine Radiobeacon/DGPS 시스템에 대한 정밀도는 공통오차를 제거하지 않은 단일 수신기 위치 정밀도보다 약 10배정도 우수함을 알 수 있었고, 위의 결과로서 시험운영중인 Marine Radiobeacon/DGPS 기준국 보정 오차 서비스 범위는 해양의 경우 약 100 NM 정도를 커버할 수 있을 것으로 판단되어 현재 추진중인 한반도 연안 8개의 DGPS 기준국이 설치 완료될 경우 한반도 주변에서 해양활동을 하는 민·관·군의 위치 정보 체계에 획기적인 전환점이 되리라 예상된다.

본 연구에 이어 지속해야할 향후 연구과제는 전계강도에 따른 DGPS의 서비스영역, 위치 정보 정밀도 및 신뢰도 뿐 아니라, GNSS(Global Navigation Satellite System) 시스템 선택시의 DGNSS 데이터 전송 Message Type 등이다.

참 고 문 헌

- [1] Kwangsoob Ko, Semo Chung, "The Status of DGNSS & Experimental Test of DGPS in Korea", Proceedings of KIN-CIN Joint Symposium '97, pp.71-86, 1997
- [2] 이형욱, "한국의 DGNSS/Marine Radiobeacon 에 관한 연구", 1998
- [3] 고광섭, 정세모, 이형욱, 홍성래, 1997 "한국의 DGPS/Marine Radiobeacon망 구축 및 위치 정확도 분석", '97 GPS Workshop 논문집, pp.564-570, 1997
- [4] 정세모, 1997, "DGPS 설치를 위한 조사연구 기본 및 실시설계 보고서", 해양수산부, 1997
- [5] Tom Logsdon, "The Navistar Global Positioning System", Van Nostrand Reinhold, pp.17-18, 1992.
- [6] B. Hofman-Wellenhof, H. Lichtegger and J. Collins, "Global Positioning System Theory and Practice", Springe-Verlag Wien New York, pp.13-14, 1993
- [7] Elliott D. Kaplan, "Understanding GPS Principles and Application", Artech House Boston · London, pp.1-13 pp.43-47 pp.321-333, 1996
- [8] W. J. Ecker, "Broadcast Standard for The USCG DGPS Navigation Service", U.S. Department of Transportation United Status Coast Guard, pp.1-1~1-2, 1993
- [9] R. M. Karafus, "New RTCM SC-104 Standard for Differential GNSS", Journal of the Institute of Navigation, Vol.43, No.4, Winter 1996-1997, pp.363-373
- [10] B. W. Parkinson and P. K. Enge, "Differential GPS", pp.30-36
- [11] Akio Yosuda, Hiromune Nauie, Takahiro Yamada and Takuya Takahashi, "DGPS Correction Data Broadcasting in Japan by MF Marine Radiobeacon and Evaluation of the Positioning Accuracy", Proceedings of ION GPS-96, pp.385-392, 1996
- [12] Yang Bingxi, You Kunling, "Six RB-DGPS Broadcast Stations on Trial Operation in China", Admiralty List of Radio Signals Vol.2, 1997
- [13] Russel A. Paielli, B. David McNally, Ralph E. Bach, David N. Warner, "Carrier Phase Differential GPS for Approach and Landing: Algorithms and Preliminary Results.", Proceeding of the ION GPS-94 Volume II, pp.831-840, 1993.