
Optimal 및 Sub-optimal 기준점을 사용한 DGPS 설계 및 성능평가

고광섭*, 홍성래**, 정세모***

Design and Performance Evaluation of DGPS Based on Optimal and
Sub-optimal Reference Point

Kwang-Soob Ko*, Sung-Lae Hong**, Se-Mo Chung***

요약

DGPS 이용으로 Standalone GPS의 정확도와 동일한 위성을 사용하는 2개 또는 그 이상의 사용자 수신기에 서 생기는 공통오차제거가 가능하게 되었다. 정확한 기준점을 갖는 DGPS 시스템은 기준국과 사용자 수신기에서 발생하는 공통오차를 계산하여 사용자 수신기의 의사거리 보정을 한다. 정확한 기준점 측정은 특정한 측량 기구 시스템을 이용하여 각 위성의 parameter를 측정하고 후 처리하여 얻게되므로 상당한 시간과 비용이 불가피하다. 본 연구에서는 측량기준점을 바탕으로 한 DGPS시스템과 Sub-optimal 기준점을 이용한 DGPS 시스템을 자체 구현하였다. 각각의 RTCM 보정 데이터를 이용하여 얻은 오차범위를 분석 평가하였다. 연구결과 이 시스템이 민간 및 군의 특정한 해양활동 사용시에 활용될 수 있음을 보였다.

Abstract

The use of DGPS enhances standalone GPS accuracy and removes common errors from two or more receivers viewing the same satellites. The design of DGPS system contains a precise reference point which is able to compute the common errors to update the pseudo range of users receivers. It should take a great time and cost to provide precise and sufficient accuracy of the reference point. That is, it is natural to measure the parameters

* 해군사관학교 항해학과 교수

** 군사과학대학원 석사과정

*** 한국해양대학교 해사대학 교수

접수일자 : 1998년 8월 26일

from satellites with specific survey instrument system, and then obtain that by post processing. The purpose of the study is to examine the bounds of accuracy which resulted from RTCM correction data transmitted from a simply designed DGPS system. In the paper, We design and evaluate the DGPS system based on the surveyed reference point, and Sub-optimal one by a Standalone GPS as well. As a result of the study, it is shown that the designed system may be applied to the specific marine activity in civilian and military.

I. 서 론

DGPS(Differential GPS) 설계의 첫 번째 단계는 WGS-84 좌표계 와 혹은 사용자가 공통으로 사용하고 있는 좌표계에서 기준국 GPS 수신기 위치를 정밀 측량하는 일이다.

기준국 GPS 수신기는 기시권내에 있는 GPS 위성까지의 의사거리를 측정하고, GPS 신호에 중첩된 항법 데이터에서 제공되는 궤도 파라미터와 자신의 정밀위치를 이용하여 기하학적 거리를 계산하며, 측정된 의사거리와 계산된 기하학적 의사거리의 차인 ‘의사거리 오차’를 계산하여 데이터링크를 통해 사용자에게 보낸다.

일반적으로 의사거리오차는 기준국에서 전송되기 전에 RTCM 포맷으로 의사거리 보정치로 변환되며, 사용자측에서 별도의 수신 시스템으로 수신하여 사용자측정 의사거리에 더해진다. 이와 같이 보정된 의사거리는 사용자 수신기의 항법 알고리즘을 푸는 입력이 되어 사용자 수신기에서 발생되는 공통오차를 제거함으로써 GPS의 군용 코드인 P Code 수신기 정밀도에 준하는 정밀위치를 계산한다. 그럼에도 불구하고 기준국과 사용자가 사용하는 동일한 위성 및 전송경로에 의한 오차, 즉 GPS 항법 데이터 궤도오차와 전리층오차, SA 오차 등과 같은 공통오차를 제거하기 때문에 상호 독립적으로 발생되는 수신기 내부잡음, 다중경로 오차, 수신기시계 bias 오차 등에 기인한 비 공통적인 오차문제는 여전히 DGPS에서 빼놓을 수 없는 중요한 관건이다.[1,2]

결국 기준국 위치 오차는 사용자 수신기에서 피할 수 없는 오차로 나타나게 되어 기준국 설계시 기준국 주변의 환경, 수신기의 종류 및 기준국 위치 측정시스템등에 대한 세심한 주의가 필요하다.

따라서 DGPS 시스템 구축시 기준국 위치의 측량은 GPS측량 원점과 기준국 선택지점에서 실시간으로 수

신한 GPS궤도 정보를 후처리하여 구하게 된다.[3]

이러한 방법은 일반적인 DGPS망 구성이나 공개적인 DGPS 시스템 구축과 같은 영구적인 시스템 구축시는 필연적으로 행하는 방법이지만, 기준국을 임의의 지점에 수시로 이동하거나 기타 특수목적 상황을 위한 지역 사용용 DGPS 구축시에는 기준국 위치를 측량할 수 있는 보편적인 방법에는 GPS 측량원점과 임의의 기준국 위치까지의 거리, 후처리과정 및 소요시간에 기인한 문제와 혹은 고가의 단독 측량시스템을 유지해야 하는 등 몇 가지 문제점을 내포하고 있다.

본 연구에서는 측량정점(Optimal Reference Point)을 이용한 Differential 방법과 정확한 측량정점을 알지 못할 경우(Sub-optimal Reference Point) 각각에 대한 DGPS 시스템구현을 하였고, 실험결과를 분석해 봄으로써 DGPS 망 사용가능 구역이 아닌 지역이나, DGPS망 사용가능 구역이라도 기준국에서 보내주는 Pseudo range correction data의 서비스를 받지 못하는 지역에서 GPS 단독 측위위치의 평균치를 이용한 근거리 DGPS 시스템이 특수 목적 상황에 부응할 수 있음을 보였다.

II. 이론적 배경

1. 사용자 수신기에서의 보정 의사거리 계산

DGPS 시스템 구축을 위해 기준국 원점과 기준국에서 관측 가능한 위성 각각까지의 기하학적 거리인 ‘계산 의사거리’는 기준국 측량원점을 (X_0, Y_0, Z_0) , 관측 가능한 GPS 위성의 좌표를 (X_i, Y_i, Z_i) 라 할 때 아래 식으로 계산된다.

$$R_0^i = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2 + (Z_i - Z_0)^2} \quad (1)$$

기준국 수신기에서의 측정 의사거리식은 사용하

는 수신기가 C/A코드 전용 수신기로서 SA 오차를 포함한다고 가정할 때 아래와 같다.[5.7]

$$\rho_r^i = R_o^i + SA + E + C \cdot \Delta t_r + C \cdot \Delta t_s + C \cdot \Delta t_a + \delta_r \quad (2)$$

$C \cdot \Delta t_r$ 은 기준국 시계 바이어스, $C \cdot \Delta t_s$ 은 위성 시계를 바이어스를 나타내며, SA는 Selective Availability에 의한 오차, E는 위성궤도오차, $C \cdot \Delta t_a$ 는 전리충 지연오차를 나타낸다. δ_r 에는 기준국 수신기에서의 다중경로 오차, 수신기잡음오차 및 기준국 위치측량 오차가 포함되어 있다.

따라서, 기준국에서 계산된 의사거리와 측정의사 거리의 차는 이론상 다음과 같이 표시된다.

$$\Delta \rho_D^i = \rho_r^i - R_o^i = SA + E + C \cdot \Delta t_r + C \cdot \Delta t_s + C \cdot \Delta t_a + \nabla t_0 \quad (3)$$

의사거리의 차 $\Delta \rho_D^i$ 는 RTCM 포맷 방식으로 변환되어 사용자와 연결된 데이터 링크(Data Link)에 의해 보내어 진다. 한편, 사용자측 수신기에서 측정된 의사거리 $\Delta \rho_u^i$ 는 기준국 수신기에서 측정한 의사거리 식과 유사하다.

$$\Delta \rho_u^i = R_u^i + SA + E + C \cdot \Delta t_u + C \cdot \Delta t_s + C \cdot \Delta t_a + \delta_u \quad (4)$$

여기서 R_u^i 는 기준국 수신기에서 판측 가능한 위치의 좌표 (X_i, Y_i, Z_i)와 구하고자하는 사용자 수신기좌표 (X_u, Y_u, Z_u)로 표시 가능하며, $C \cdot \Delta t_u$ 와 δ_u 는 기준국 수신기에서와는 다른 값으로 DGPS 시스템에서 제거 가능한 공통의 오차로 볼 수 없다. 따라서, 사용자측 수신기에서는 기준국에서 보내어진 의사거리의 차와 측정된 의사거리로 부터 새로 운 개선된 의사거리를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta \rho_{corr}^i &= \rho_u^i - \Delta \rho_D^i = R_u^i + SA + E + C \cdot \Delta t_s + C \cdot \Delta t_a \\ &\quad + (C \cdot \Delta t_u + \delta_u) - (SA + E + C \cdot \Delta t_s + \\ &\quad C \cdot \Delta t_a) - (C \cdot \Delta t_r + \delta_r) = R_u^i + N_1 + N_2 \end{aligned} \quad (5)$$

상기 식에서 시간에 따라 느리게 변하는 공통오차는 상쇄되며, N_1 은 비공통 오차, 시계합성 오차는 양 수신기에서 제공되는 잡음의 합성 오차를 나타내

며, N_2 에는 기준국위치 바이어스오차가 포함된다. 단, 기준국과 사용자측 수신기에서 공통오차 $\Delta DGPS(t)$ 는 아래와 같다.

$$\Delta DGPS(t) = SA(t) + C \cdot \Delta t(t) + E(t) + C \cdot \Delta t_a(t) \quad (6)$$

한편, 실시간 DGPS 설계에 있어서의 어려움은 시간 t 를 N_2 기준으로 하는 보정치가 사용자 수신기에서 동일한 시간 t 에 기준한 보정이 정확하게 이루어지기 어렵다는 것이다.

RTCM-104에서 제안된 프로토콜은 1차 Polynomial Predictor를 통상적으로 사용한다.[10]

사용자 수신기에서의 보정치 값은 지연된 시간만큼 고려하여 계산하여야 하는데 측량과 같이 off-line 방식을 택하는 경우는 기준국과 사용자 수신기에서 동시에 수신한 데이터를 후처리하는 과정에서 양 데이터를 시간일치하기 때문에 사용자 수신기에서 latency에 의한 문제가 있으나, on-line 응용 환경에서는 시간지연과 샘플링 비에 대한 보정이 이루어져야 한다.

본 연구에서 사용한 RTCM 메시지 포맷형태 1, 2, 9에 대한 보정식은 다음과 같다.

시간 t_0 에 있어서의 의사거리 보정치를 $\Delta DGPS(t_0)$ 라 할 때 사용자 수신기에서 보정치 $\Delta DGPS(t)$ 는 아래 식으로 표시되고,

$$\Delta DGPS(t) = \Delta DGPS(t_0) + \frac{d}{dt}(\Delta DGPS(t_0))(t-t_0) \quad (7)$$

의사거리 측정값을 $PR_m(t)$ 라 하면 실질적으로 사용자수신기에서 보정된 의사거리는 아래와 같다.

$$PR_{corr}(t) = PR_m(t) + \Delta DGPS(t) \quad (8)$$

따라서 사용자 수신기에서 항법 해에 사용되어지는 보정된 GPS위성 i 의사거리 ρ_{corr}^i 은 실질적으로 $PR_{corr}(t)$ 이다.

$$\rho_{corr}^i \approx PR_{corr}(t) \quad (9)$$

2. DGPS시스템 사용자 수신기의 위치결정

DGPS시스템에 있어서의 위치결정은 기준국으로부터 송신된 보정치와 사용자 수신기에서 측정한

의사거리로부터 구한 보정의사거리 ρ_{corr}^i 와 관측지점의 개략위치에서의 의사거리 ρ_{app}^i 로부터 아래와 같이 축차 근사법에 의하여 구한다.

즉, DGPS수신기의 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 함수형태로 표시된다.

$$\rho_{corr}^i = f(x_u, y_u, z_u) \quad (10)$$

$$\rho_{app}^i = f(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u) \quad (11)$$

한편, 개략위치의 보정치를 δ_x , 시계지연 바이어스를 δ_t 라하면,

$$\delta_X = (\delta_x \ \delta_y \ \delta_z)^T \quad (12)$$

보정의사거리 방정식은 아래와 같은 함수형태로 다시 쓸 수 있고,

$$\begin{aligned} \rho_{corr}^i &= f(x_u, y_u, z_u, t) \\ &= f(\hat{x}_u + \delta_x, \hat{y}_u + \delta_y, \hat{z}_u + \delta_z, \hat{t} + \delta_t) \end{aligned} \quad (13)$$

상기 식을 근사위치에 대하여 Taylor 급수 전개하고, 선형화형태의 의사거리 방정식을 이용하여 개략위치 보정치에 의해 야기되는 i 번 째 위성의 의사거리 보정치로 배열하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta \rho_i &= \left(\frac{\partial \rho_{app}^i}{\partial \hat{x}_u} \right) \delta_x + \left(\frac{\partial \rho_{app}^i}{\partial \hat{y}_u} \right) \delta_y \\ &\quad + \left(\frac{\partial \rho_{app}^i}{\partial \hat{z}_u} \right) \delta_z + \delta_t \end{aligned} \quad (14)$$

상기식을 간단히 표시하면 아래와 같다.

$$\Delta \rho_i = l_i \delta_x + m_i \delta_y + n_i \delta_z + \delta_t \quad (15)$$

여기서 l_i, m_i, n_i 는 관측지점으로부터 각 위성 i 로 향하는 X, Y, Z방향성분(방향여현)에 해당한다. 이들 값은 X, Y, Z축을 각각 관측 지점을 원점으로 한 위도, 경도, 고도, 방향으로 취함으로서 관측지점으로부터의 위성을 향하는 앙각, 방위각으로부터 아래 식으로 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} (\cos(E_1) * \sin(A_{z_i})) & (\cos(E_1) * \cos(A_{z_i})) & \sin(E_1) & 1 \\ (\cos(E_2) * \sin(A_{z_i})) & (\cos(E_2) * \cos(A_{z_i})) & \sin(E_2) & 1 \\ (\cos(E_3) * \sin(A_{z_i})) & (\cos(E_3) * \sin(A_{z_i})) & \sin(E_3) & 1 \\ (\cos(E_4) * \sin(A_{z_i})) & (\cos(E_4) * \sin(A_{z_i})) & \sin(E_4) & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

단, 상기 식은 4개의 GPS위성에 적용한 예이며, E_i 는 위성과의 앙각, A_{z_i} 는 방위각을 나타낸다.

식 (15)을 행렬형태로 표시하면 아래식과 같고, 개략위치 보정치 δX 가 최소가 되도록 의사거리 보정치를 축차적으로 수정하여 미지수를 구하고, 최적의 DGPS 사용자 수신지점의 위치는 이 값을 개략위치에 보상하여 구한다

$$\begin{bmatrix} \Delta \rho_1 \\ \Delta \rho_2 \\ \Delta \rho_3 \\ \Delta \rho_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & n_1 & 1 \\ l_2 & m_2 & n_2 & 1 \\ l_3 & m_3 & n_3 & 1 \\ l_4 & m_4 & n_4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \\ \delta_t \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\rho r_i = H \cdot \delta X \quad (18)$$

III. DGPS 시스템 설계 및 구현

1. 실험장치구성

본 연구를 위한 실험장치구성은 DGPS 기준국 수신기로서 12 Channel Novatel GPS 수신기 1세트, 사용자국 수신기로 Motorola GPS 수신기 2대, 데이터 입출력 및 전시를 위한 S/W 제어용 PC 3대를 사용했다.

실험장치 구성은 그림 1에서와 같이 Novatel GPS 수신기 Com1에는 Control PC RS232C Port Com1, Com 2에는 #1 Motorola GPS 수신기 RS232C port receiver단에 접속, RTCM Correction Data가 입력되도록 하였다. #1,2 Motorola GPS수신기는 Control PC RS232C port에 각각 연결하였다.

2. 기준국 위치 측정

기준국 안테나 위치로 사용한 연구실 옥상의 기준점은 WGS-84 측지계에 근거하여 기 측량된 위치를 사용하였다.

측지장비는 GPS수신기인 Trimble 4400을 이용하여 측량하였다. 먼저 연구실 옥상을 대전 천문대를 기준으로 하여 측량된 진해 국방 과학 연구소의 한 지점(대전과 진해사이의 거리 기준점으로부터 오차는 약 $\pm 7\text{cm}$)과 연구실 옥상의 한 지점에 대해 측량하였다. 두 지점간의 기선거리는 약 2.5km 이었다.

두 점에 Trimble 4400 측량 시스템 수신기들을 각각 설치하여 동시에 Raw 데이터를 측정, GPS 측량 소프트웨어로 처리하여 기준점 측량을 하였다. 측량방식은 Fast Static으로 기선 끝단에서 수집한 데이터를 수신기 제작회사로부터 제공된 Trimble's GPSurvey Software에 의하여 베터 방식으로 구하였다.

연구실 육상의 측량된 위치는 위도 N35° 07' 44.980716" ($\sigma=0.0012m$), 경도 E128° 39' 54.001101" ($\sigma=0.0009m$), 고도 56.8860m($\sigma=0.0021$) 이었다.

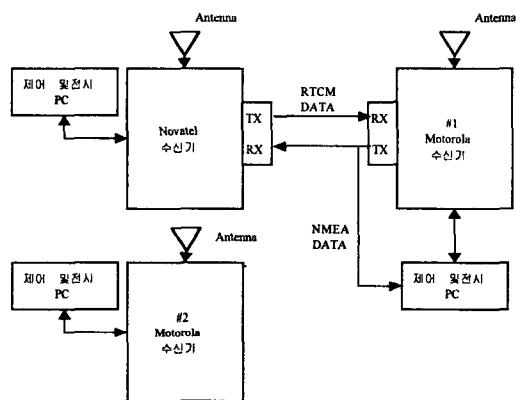


그림 1. 장비 구성도

3. DGPS 기준국 시스템의 Initialization & Operation
기준국으로 사용한 Novatel GPS 수신기는 Control PC의 Com1 Port 와 Novatel GPS 수신기의 Com1 Port 에 RS232C Port를 연결시킨 후 Control PC에 제작사에서 제공된 Control Software(Version 3.3)를 Install 한후 Novatel GPS 수신기 Com2 Port 의 RS232C Port 는 DGPS 구현할 #1 Motorola 의 RS232C Port로 접속하였으며, DGPS기준국 송수신 시스템의 Initialization & Operation 은 다음과 같은 순서로 실시하였다.

- Step 1: Novatel GPS 수신기 Control PC에서 제어 용 S/W Winsat을 실행후 Card Setup 메뉴에서 OEM Card Setting을 선택 Parity, Data Bits, Baud Rate를 선택하여 Setup 후 Good solution position 이 나오도록 한다.
- Step 2: 제어용 메뉴를 선택하여 정밀 측량된 기

준국 안테나의 정밀위치를 입력한다. 입력시 위도 와 경도 값은 모두 도(Degree) 단위로 고도는 미터 단위로 환산하여 입력한다.

Step 3: RTCM 데이터를 생성하고 전송하기 위해 Port, RTCM type 및 샘플링 시간을 지정 한다.

Step 4: 기준국에서 생성된 RTCM 데이터를 사용자 수신기의 Interface Protocol에 부합되도록 Port , Baud rate , Parity , Stop bit , Hand shaking 등을 지정한다.[8,9]

4. 사용자국 시스템의 Initialization & Operation
사용자국 #1 Motorola GPS 수신기는 Novatel GPS 수신기와 연결 RTCM 데이터를 수신하여 DGPS를 구현하고, #2 Motorola GPS 수신기는 DGPS데이터 개선이 없는 위치데이터를 수집하기 위하여 GPS위성으로부터 직접 데이터를 수신도록 하였다.

사용자국 장비 Initialization & Operation 은 아래와 같은 순서로 실시하였다.

Step 1: 본 연구에서 사용자 수신기로 채택한 #1,#2 Motorola GPS 수신기에 RS232C Port를 각 Control PC에 Com1 Port 에 연결 후 제작사에서 제공된 Motorola Controller Software (Version 10.0)를 Install 하여 작동시킨 후 초기화한다.

Step 2: Motorola GPS 수신장비 Protocol 상 Pseudo range correction 데이터를 입력시 키기 위해서는 먼저 Motorola GPS수신기 를 Turbo C Program으로 Baud rate를 9600으로 기동후 ASCⅡ데이터 사용을 위해 Baud rate를 4800으로 다시 실행 한다.

Step 3: 본 연구에서는 용이한 제어를 위해 Turbo C로 별도 Program 한 별도 제어프로그램 을 사용하였다.

Step 4: 개선된 DGPS 위치 데이터 전시 및 처리를 위해 메시지 형태는 표.1과 같은 NMEA-0183 GPGGA (Gps fix data)를 사용하였다.

표 1. GPGGA(Global Position System Fix Data) NMEA-0184 Format

Field	Structure	Field Description	Example
1	\$GPGGA	Log header	\$GPGGA
2	utc	UTCtime of position (hhmmss.ss)	220147.50
3	lat	Latitude(ddmm.mm)	5106.7194489
4	lat dir	Latitude direction(N=North, S=South)	N
5	lon	Longitude(dddmm.mm)	11402.3589020
6	lon dir	Longitude direction(E=East, W=West)	E
7	GPS qual	GPS Quality indicator 0=GPS not available 1=GPS available 2=GPS differential fix	2
8	#sat	Number of satellites in use	08
9	hdop	Horizontal dilution of precision	0.9
10	alt	Antenna altitude above/below mean sea level(geoid)	1080.406
11	unit	Units of antenna altitude(M=meter)	M
12	age	Age of differential data(in second)	"
13	stn ID	Differential reference station ID,0000-1023	"
14	*cc	Checksum	*48

IV. 실험 및 결과분석

Excel S/W로 정리한 후 MATLAB을 활용하였다.

본 연구에 사용된 DGPS구성 시스템으로 사용자 DGPS 수신기의 데이터를 실시간으로 처리하여 분석하였다. 전술한 바와 같이 연구의 분석은 자체 설계한 DGPS 시스템을 이용 정밀측량에 의한 기준국 원점과 특수상황목적을 위한 Standalone GPS 수신기에 의해 측정된 원점을 사용하여 각각에 대한 사용자 수신기의 정밀도를 분석하였고, 각각에 대하여 SA오차 등을 제거하지 않은 독립적인 Standalone GPS수신기에 의한 측정결과와 비교하였다.

연구실 옥상에 설치한 원점을 기준으로한 기준국 및 사용자의 수신안테나 설치도는 그림 2와 같다.

사용자 수신기를 기준국 안테나에 최대한 근접 시킨 이유는 기준원점과 사용자 DGPS 수신결과를 직접 비교하기 위한 차선의 방법을 택하기 위함이다.

한편, DGPS 수신기 데이터의 출력 분석은 Microsoft

1. 측량 기준점을 사용한 DGPS 구현결과 분석

그림 2에 1시간동안 측정된 DGPS 및 Stand alone GPS 위치(경, 위도)데이터를 비교 도시하였고, 그림 4.2에는 고도 측정실험 결과를 도시하였으며, 표 2 및 3에는 Standalone GPS 및 DGPS 수신 결과에 대한 3차원의 표준편차 및 DRMS값을 계산하여 수록하였다.

상기의 결과에서 보는 바와 같이 위도, 경도 및 고도 공히 본 연구에서 구현한 DGPS정밀도는 표준편차 2m 내외였으나 Stand alone GPS 정밀도는 표준편차 35m로 나타남을 확인하였다. 이는 DGPS 시스템에 의해 SA를 포함한 공통오차를 거의 완벽하게 제거됨을 알 수 있고 고도의 경우는 2차원 평면위치 보다는 정밀도가 떨어짐을 알 수 있다.

한편, DRMS값이 확률적인 산술값임을 감안할

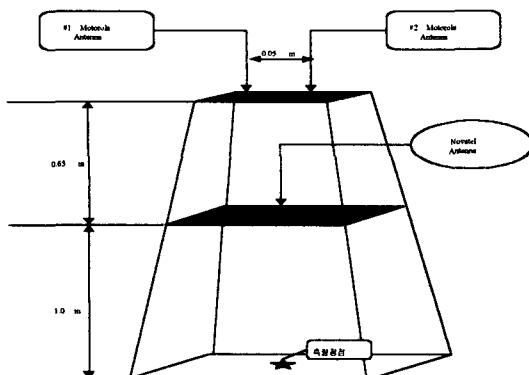


그림 2. 실험장치 안테나 배치도

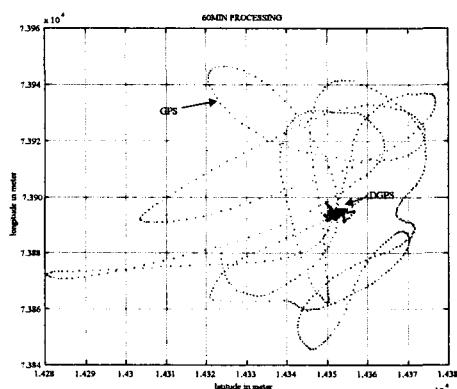


그림 3. 시간경과에 따른 위도 대 경도 변화

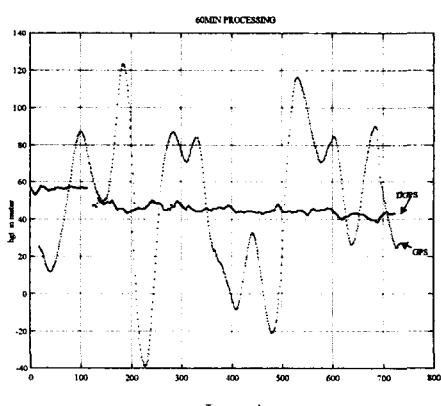


그림 4. 시간경과에 따른 고도변화

표 2. Stand alone GPS의 시간경과에 따른 표준편차와 DRMS(Distance Root Mean Square) 결과

구 분	10분	20분	30분	60분
위 도 표준편차	15.9734m	21.0795m	25.4205m	21.5230m
경 도 표준편차	27.2805m	22.8166m	23.8852m	26.2819m
위도, 경도 DRMS	31.5948m	31.0635m	34.8813m	33.9703m
고 도 표준편차	26.3913m	39.0235m	36.5973m	37.3025m

표 3. DGPS의 시간경과에 따른 표준편차와 DRMS(Distance Root Mean Square) 결과

구 분	10분	20분	30분	60분
위 도 표준편차	0.5722m	0.8046m	0.8790m	1.3018m
경 도 표준편차	0.9107m	1.0949m	1.0413m	1.0396m
위도, 경도 DRMS	1.0755m	1.3588m	1.3627m	1.6659m
고 도 표준편차	0.9013m	1.5673m	1.5887m	2.2866m

때 DGPS나 Stand alone GPS 공히 순간적으로 나타나는 최대의 오차는 더욱 크게 나타난다.

본 실험결과 DGPS는 경, 위도의 경우 최대 8m, Standalone GPS는 최대 98m, 고도의 경우는 각각 18m 및 150m의 피크 차가 나타났다.

상기 결과에 대한 정밀도의 상대평가는 통해 자체 구현한 DGPS 시스템의 신뢰도를 입증하기 위해 측정된 3차원 실측 결과치에 대한 표준편차 계산을 기준국 측량원점을 평균으로 하여 계산한 결과 (표 4) 약 0.7m의 변화가 있음을 확인하였다.

이는 수신기 자체에 잡음 및 멀티페스 등에 의한 오차를 고려할 때 실험결과치의 높은 신뢰도를 입증할 수 있음을 보여 주는 것이다.

표 4. DGPS 시간경과에 따른 평균값을 측량정점으로 한 표준편차와 DRMS 결과

구 분	10분	20분	30분	60분
위 도 표준편차	1.1743m	1.1908m	1.3402m	1.3308m
경 도 표준편차	1.9738m	1.6831m	2.0591m	1.8476m
위도, 경도 DRMS	2.2967m	2.0617m	2.4568m	2.2770m
고 도 표준편차	0.9262m	1.5951m	2.0796m	3.0928m

2. Standalone GPS 수신 원점을 이용한 DGPS 실험결과 분석

앞에서 언급한 바와 같이 DGPS 설계 및 운용에 있어서 중요한 것 중의 하나가 WGS-84 좌표계상의 기준국 GPS 안테나의 정밀 측량이다. 그러나 DGPS 망 구성이 용이하지 못하거나 기준국의 위치를 공개하기 힘든 여건, 임의의 지점으로 수시로 이동하는 등의 특수 목적용도로 DGPS 망을 구성할 시, 간편하고 빠른 시스템구성으로 사용자에게 위성의 의사 거리 보정치를 전파하는 것이 가장 큰 관전이라 볼 수 있다. 이를 위한 하나의 방법으로 단독 측위가 가능한 정밀측량 방법이 있겠으나 이 경우도 고가의 별도측정시스템 이 필요할 뿐만 아니라 필요한 곳마다 항상 가지고 다녀야한다. 이를 위해 우선 Standalone GPS 수신기에 의한 평균위치가 SA오차 결과에 시간적으로 변하는 정도를 실험적으로 분석하였다. 60분간의 측정 데이터를 분석한 결과 위도, 경도, 고도 공히 측량 기준점과 1~15m 정도의 오차를 나타내었다. 특히 샘플링 횟수를 줄이더라도 기준점과의 오차가 적게 나타나는 이유는 샘플링 기간 동안 느린 속도로 변하는 SA오차가 적게 나타나는 경우로 볼 수 있다. 표 5에 시간변화에 따른 Standalone GPS 평균위치와 측량정점과의 차이를 보였다. 이는 Standalone GPS 수신기 안테나를 측량점에 두고 측정한 결과와의 비교 값이다. 시간별 평균위치를 기준점으로 한 Mean DGPS(이하 MDGS라 함) 구현 결과를 측량점을 기준으로 한 DGPS 구현결과와 Standalone

표 5. 시간변화에 따른 Stand alone GPS평균위치와 측량정점과의 차이

구 분	위도차	경도차	고도차
10분	0.005618' (10.404536m)	0.00594' (11.00088)	9.4552m
20분	0.004538' (8.404376m)	0.00864' (16.00128m)	9.9364m
30분	0.007778' (14.404856m)	0.00432' (8.00064m)	0.4124m
60분	0.003458' (6.404216m)	0.00000' (0.00000m)	0.9863m

수신 결과를 그림 5~8에 비교 도시하였다.

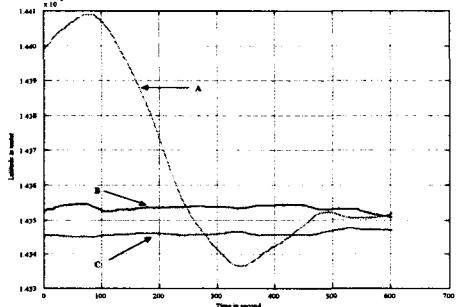


그림 5. 시간경과에 따른 위도변화. A: GPS, B:DGPS,
C: GPS 의평균값을 정점으로한 MDGPS

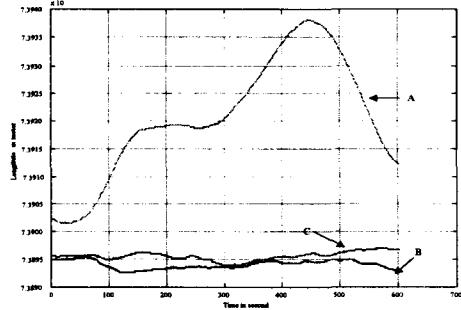


그림 6. 시간경과에 따른 경도변화 . A: GPS, B: DGPS,
C: GPS의 평균값을 정점으로 한 MDGPS

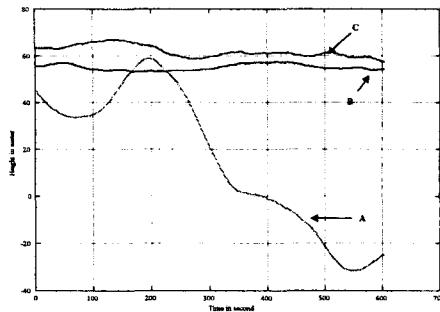


그림 7. 시간경과에 따른 고도변화. A: GPS, B: DGPS, C: GPS의 평균값을 정점으로 한 MDGPS

상기 결과에서 보듯이 DGPS와 MDGPS의 위치오차는 위도가 최대 10m, 경도가 최대 8m, 고도가 최대 14m로 나타났다. 이는 2장에서 언급한 바와 같이 MDGPS에서 RTCM 보정값을 계산할 때 기준국 바이어스 오차에 기인한 당연한 결과이다. 그러나 Standalone GPS 결과에 비하여 최대 90m 정도의 오차를 줄일 수 있고, DGPS의 결과치와는 10m 범위에서 일정하게 오차가 나타남으로써 오차한계를 현용 DGPS보다 약간 높게 잡을 때 특수목적에 부합하는 용도에 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다. 한가지 예로서 해상에서 위험지역 통과 한계를 30m로 할 때 Stand alone GPS 수신결과로는 신뢰성이 거의 없으나 MDGPS에 의한 항해 안전 및 해상 작업안전을 크게 향상 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

V. 결 론

미 국방성 주도로 개발된 전천후 위성항법 GPS 시스템이 공개된 이래 민간차원의 SPS (Standard Positioning Service) GPS 위치정밀도를 향상시키기 위해 Differential GPS에 대한 노력이 꾸준히 진행되어 대부분의 선진국에서는 Marine Radiobeacon 시스템에 근거한 국가 DGPS 망이 거의 완성 단계에 있거나 진행중이다. 다행히 우리나라에서도 확기적으로 해양위치정보 체계를 향상시키기 위해 국가 DGPS 망이 1~2년 내에 구축될 예정이다. 저자

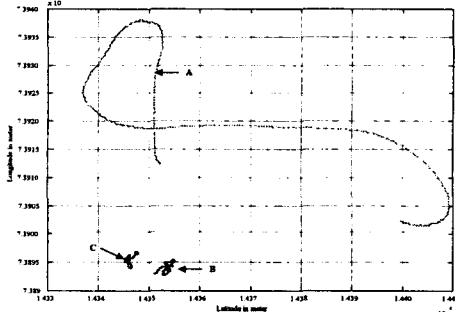


그림 8. 시간경과에 따른 위도 대 경도 변화. A: GPS, B: DGPS, C: GPS의 평균값을 정점으로 한 MDGPS

들에 의해 최근 발표된 바 있는 한국에서의 Marine Radiobeacon/DGPS 시스템 연구[4,5,6,7]에서도 밝힌 바 있으나 아직 서비스 영역에 대한 세밀한 분석은 국가 망이 아직 미완성인 관계로 나타나 있지 않다. 본 연구는 근거리 통신 방식에 의한 DGPS 체계 구현을 통한 DGPS 정밀도 분석 및 기존의 DGPS 서비스 범위에 있으나 전파 사각지역에 있거나 특수상황에 처하여 불가피하게 DGPS 보정정보를 사용하지 못할 경우 간단하게 구성할 수 있는 DGPS 구현을 통해 Sub-optimal 수준의 DGPS 위치정확도를 획득하고자 시도하였다. 연구결과 자체 구현한 DGPS 정밀도는 2drms 5m 이내 MDGPS의 경우 측량기준점을 기준으로 2drm를 12m 정도까지 줄일 수 있어서 근거리 사용범위 및 오차한계를 20m 정도로 하는 특수 해양 활동 등에 응용이 가능함을 확인하였다.

앞으로 특정해역에서 본 연구의 결과를 토대로 적용가능 최대오차 한계를 설정하여 시나리오별 신뢰도를 확인하기 위해 데이터 전송체계를 포함 보다 광범위한 연구가 진행중이다.

참고문헌

- [1] Bradford W, Parkinson, James J. Spilker Jr . "Global Positioning System: Theory and Applications", Volume I , pp. 3-43.

- [2] Elliot D. Kaplan, 1996, "Understand GPS Principles and Application", Artech House Boston · London, pp.321-333.
- [3] Tom Logsdon, "The Navistar Global Positioning SYSTEM", Van Nostrand Reinhold, pp.17-18.
- [4] 정세모, 1997, "DGPS 설치를 위한 조사연구 기본 및 실시설계 보고서", 해양수산부 [5] 고광섭, 정세모, 이형욱, 홍성래, 1997, "한국의 DGPS/Marine Radiobeacon망 구축 및 위치 정확도 분석", 97 GPS Workshop 논문집, pp.564-570.
- [6] Kwangsoob Ko, Semo Chung, 1997, "The Status of DGNSS& Experimental Test of DGPS in Korea", Proceedings of KIN-CIN Joint Symposium '97, pp.71-86.
- [7] 고광섭, 이형욱, 정세모, "한국 동해안에서의 Marine Radiobeacon/DGPS 정밀도 분석에 관한 연구", 98년 한국 항해학회 논문집, pp.2-6,9-10.
- [8] Motorola, 1996, "Oncore Receiver User's manual", Software Version 10.0.
- [9] Novatel, 1995, "Oem-card User's manual", Software Version 3.3.
- [10] 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.



고 광 섭(Kwang-Soob Ko)
1979년 4월 해군사관학교 졸업
(이학사)
1983년 2월 한국해양대학교
대학원 졸업 전파공학
전공(공학석사)

1990년 7월 미 Clarkson대학 대학원 전기, 전자공학
과 졸업(공학박사)

1990년 8월 ~ 현재 해군사관학교 항해학과 교수 및
군사과학대학원 교수

*주관심분야 : 위성항법공학, 제어계측, 해양정보통신



홍 성 래(Sung-Lae Hong)
1989년 4월 해군사관학교 졸업
(공학사)

1997년 1월 ~ 현재 군사과학대학원
해양공학과 석사과정

*주관심분야 : 위성항법공학,
해양공학

정 세 모(Se-Mo Chung)

1959년 5월 한국해양대학교 항해학과 졸업(공학사)

1967년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1971년 2월 연세대학교 전기
공학과 졸업(공학석사)

1976년 9월 일본동경공업대학 대학원 전자물리학과
졸업(공학박사)

1964년 10월 ~ 현재 한국해양대학교 해사수송과학부
교수

*주관심분야 : 전파항법