

# 한국 남해안에서 단일 및 복수 기준국에 의한 DGPS의 측위정도 비교

박노선 · 신형일 · 이대재 · 신현옥 · 김석재\* · 배문기\*

부경대학교 · \*한국해양수산연수원  
(2002년 2월 8일 접수)

## Comparison of the DGPS Positioning Accuracies for Single and Multiple Reference Stations in the South Coast of Korea

Noh-Seon Park, Hyeong-Il Shin, Dae-Jae Lee, Hyeon-Ok Shin,  
Seok-Jae Kim\*, Mun-Ki Bae\*

Pukyong National University, \*Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology  
(Received February 8, 2002)

### Abstract

This paper describes the positioning accuracies for single and multiple reference stations at fixed stations in Yosu harbor and Pukyong National University in the south coast of Korea from Jan. to Oct. 2001. Also we observed the change of positioning accuracy during a day and the available range of the DGPS reference station.

The results obtained are main summarized as follows:

1. With single DGPS reference station, 2drms and the average positioning error were 5.6m, 7.3m respectively. Measurement positions indicated an incline toward one-way away from the actual position.
2. With multiple DGPS reference stations, 2drms and the average position error were 5.5m, 3.2m for the arithmetic mean, respectively. They were 5.3m, 3.8m for the weighted average, respectively. As far as the separation between the user and the reference station, using multiple reference stations improved position accuracy more than using single reference station.
3. The average positioning error increased between 16:00 and 22:00. The average number of observed satellite and HDOP were 7.1m, 0.49 respectively.
4. Coverage of DGPS reference stations in the south coast of Korea was estimated to be 110 nm. Signal strength and signal to noise ratio was not available the DGPS signal below 19 dB, 8dB respectively.

### 서론

DGPS는 GPS개발 초기부터 그 실용화가 검토

되어 현재의 시스템이 개발되었으며, 1983년 11월 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Service)의 특별위원회에서 항공에의 이용을 포함

\* 이 논문은 2000년도 해양수산부 수산특정연구개발사업의 연구개발 결과임.

하여 DGPS 보정치의 방송 내용과 그 포맷의 작성, 통신 수단, 지상에 의사 위성을 설치한 경우 위성의 가동률 향상 등 제반 문제를 검토하여 1996년 3월에 DGPS 설치에 관한 초안을 만들게 되었다<sup>1), 2)</sup>.

현재 DGPS는 정확한 위치와 신뢰도로 전 세계에서 각광을 받고 있으며, 항해뿐만 아니라 정치성 어구 부설이나 기타 여러 분야에서 이용되고 있고 측위정도가 높아 그 이용범위 또한 확대되어 가는 실정이다.

그러나 DGPS 송신국과 수신국 사이의 기저선의 거리가 길어짐에 따라 공통 오차라고 가정한 것들이 서로 다른 값을 가지게 되며, 실시간 구현시 발생하는 전달 지연 시간에 의한 오차를 내포하고 있다<sup>3), 4)</sup>.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 여러 개의 기준국으로부터 보정항을 받아 처리할 수 있는 복수 기준국 DGPS 시스템의 연구가 진행되어 왔다<sup>5)~8)</sup>.

특히 우리 나라의 DGPS 기준국의 경우, 2001년 5월 울릉도 기준국의 완공을 마지막으로 모든 DGPS 기준국들이 완공된 상태이며, 감시국들은 아직 미완성 상태이기 때문에 그 측위정도에 대한 연구가 미흡한 현실이다<sup>9)</sup>.

본 논문에서는 우리 나라 DGPS 기준국의 측위정도를 파악하기 위해 남해안 일대에서 단일 기준국과 복수 기준국을 이용하였을 때의 측위정도를 측정·비교하였으며, 측위정도의 일주기 변화와 실제 해상에서의 그 유효범위<sup>10), 11)</sup>에 대하여 분석, 고찰하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 한국 DGPS 송신국의 설치 현황

한국의 DGPS 시스템은 1개소의 통제국을 겸하는 대전의 중앙관리사무소, 8개의 DGPS 송신국 및 8개소의 이용범위 감시국으로 구성되어 있다.

DGPS 송신국은 기준국, 경보 감시국 및 중파(283.5 kHz ~ 325 kHz)의 MSK 변조 송신국 등으로 구성되어 있으며, 현재 우리나라에 설치된 기준국의 위치와 제원은 Table 1과 같다. DGPS 기준국은 무인으로 운영되고 있으며 기준수신기는 L1, L2의 2파를 수신할 수 있고, C/A 코드의 의사거리 측정이 가능하며 L1 및 L2의 위상측정이 가능하다.

시스템 운영을 위한 통신망은 중앙 관리사무소와 DGPS 송신국, 중앙 관리사무소와 이용범위 감시국 사이에 양방향 데이터 통신망(4800 baud 급)의 전용선이 연결되어 있으며, 통신은 NMEA (National Maritime Electronic Association) 0183 표준에 의하고, 통신문은 RTCM SC-104 포맷의 3, 5, 7, 9, 16번 메시지를 송신하고 있다.

Table 1. DGPS Stations in Korea

Station	Lat(N)/Long(E)	Coverage (km)	Frequency (kHz)	Bit rate (bps)
Young Do	35°02.9'/129°34.3'	93	300	200
Palmi Do	37°21.3'/126°30.8'	185	313	200
Geomun Do	34°00.3'/127°19.5'	185	287	200
Jumunjin	37°53.7'/128°50.2'	185	295	200
Echong Do	36°07.2'/125°58.1'	185	295	200
Mara Do	33°06.8'/126°16.3'	185	290	200
Changgigap	36°04.5'/129°34.3'	185	310	200
Ulung Do	37°23.3'/130°55.2'	185	319	100

### 2. 측정 장치 및 정도 비교

단일 및 복수 기준국의 측위정도 측정에 사용한 DGPS 수신기 MGP-100D(Shin-A)와 GP-36(Furuno)의 성능 제원은 Table 2와 같으며, 실험은 Fig. 1과 같이 부경대학교 4호관 수준점에서 실시하였다. 2001년 1월 4일 연속 측정한 결과 MGP-100D와 GP-36 DGPS 수신기의 기준점으로부터의 편위거리는 각각 4.8m, 3.8m이었고, 평균위치로부터의 2 drms는 각각 1.0m, 0.7m로 복수 기준국 측정에는 비교적 높은 정도를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 2. Specification of the DGPS receivers used in this study

Item	Specification	
	MGP-100D	GP-36
Receiving channels	12	12
Rx code	C/A code	C/A code
Rx frequency	1575.42 MHz	1575.42 MHz
Position accuracy(SA : off)	15 m RMS	5 m RMS

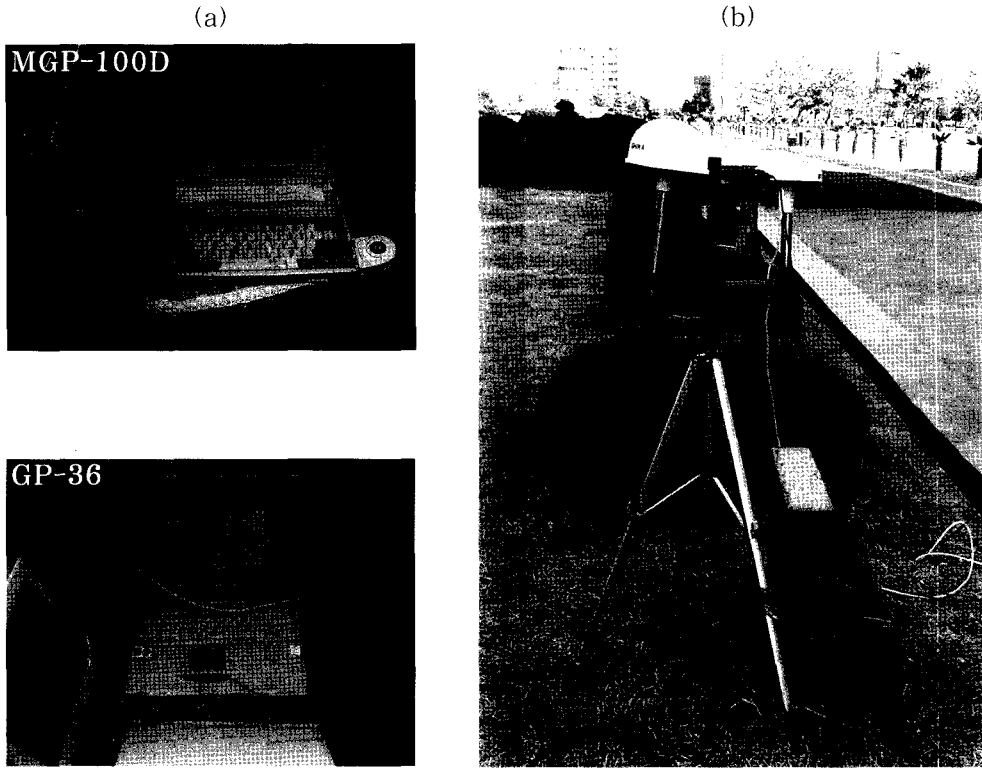


Fig. 1. Configuration for the DGPS system.  
 (a) Processing unit (b) Antenna unit

3. 측정 방법

단일 및 복수 기준국을 이용한 측위실험 위치와 DGPS 기준국들에 대한 유효범위 조사 항적은 Fig. 2와 같다.

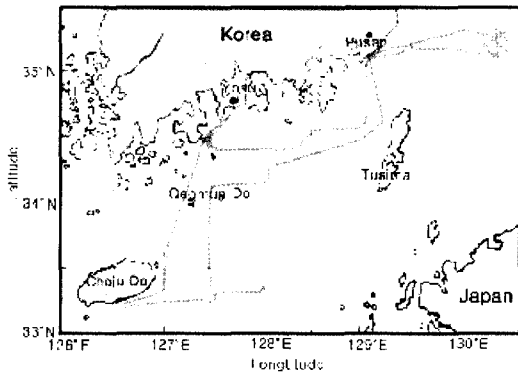


Fig. 2. Ship's track with the investigation of the DGPS coverage and observation locations.

여수항에서의 실험은 2001년 1월 12일 부경대학교 실습선 가야호(G/T 1,700)에 수신기를 장비하여 선박이 제 3부두(Lat. 34° 44' 24.61" N, Long. 127° 45' 30.74" E)안벽에 접안하여 있는 동안 측위를 행하였고, 부산에서는 2001년 10월 15일~22일사이에 부경대학교 내의 회류수조 옥상 기준점(Lat 35° 07' 48.31" N, Long 129° 06' 35.56" E)에서 실험을 행하였다.

또한 DGPS 기준국들의 유효범위에 대한 조사는 2001년 1월 9일~18일 사이에 부경대학교 실습선 가야호에 승선하여 실험을 행하였다.

복수 기준국의 경우 quick basic을 이용하여 두 개의 기준국으로부터 수신된 동일 시간대의 데이터를 추출하여 산술평균과 가중평균으로 구하였다. 산술평균의 위도와 경도는 식(1)과 식(2)를 이용하여 구하였다.

$$L_{ta} = \frac{L_{ti} + L_{tj}}{2} \dots\dots\dots(1)$$

$$L_{na} = \frac{L_{ni} + L_{nj}}{2} \dots\dots\dots(2)$$

단,  $L_{ti}$  : i 기준국에 대한 위도

$L_{ni}$  : i 기준국에 대한 경도

$L_{tj}$  : j 기준국에 대한 위도

$L_{nj}$  : j 기준국에 대한 경도

$L_{ta}$  : 산술평균 위도

$L_{na}$  : 산술평균 경도

또한 가중평균의 위도와 경도는 식(3)과 식(4)를 이용하여 구하였는데, 이 때 가중치  $W_i$ ,  $W_j$ 는 수신점으로부터 기준국까지의 거리를 이용하여 구하였다.

$$L_{tw} = \frac{(L_{ti} \times W_i) + (L_{tj} \times W_j)}{W_i + W_j} \dots\dots\dots(3)$$

$$L_{nw} = \frac{(L_{ni} \times W_i) + (L_{nj} \times W_j)}{W_i + W_j} \dots\dots\dots(4)$$

단,  $W_i$  : i 기준국의 가중치(수신점으로부터 j 기준국까지 거리)

$W_j$  : j 기준국의 가중치(수신점으로부터 i 기준국까지 거리)

$L_{tw}$  : 가중평균 위도

$L_{nw}$  : 가중평균 경도

## 결과 및 고찰

### 1. 단일 기준국의 측위정도

단일 기준국의 측위정도는 여수항 제 3부두 고정점(Lat. 34° 44' 24.61" N, Long. 129° 06' 31.06" E)에서 수신점으로부터 가장 가까운 영도 기준국을 이용하여 2시간 동안 측위 실험을 하였으며, 그 결과는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 평균 측정위치는 기준점으로부터 북서 방향으로 8.1m 편위되었으며, 그 때의 2drms는 5.4m였다.

실험에 이용된 영도 기준국으로부터 수신점까지의 거리는 91.1km 이었고, 측위에 이용된 위성 수는 평균 7.2개이었으며, 신호 강도와 S/N비는 각각 42.0dB, 22.2dB 이었다.

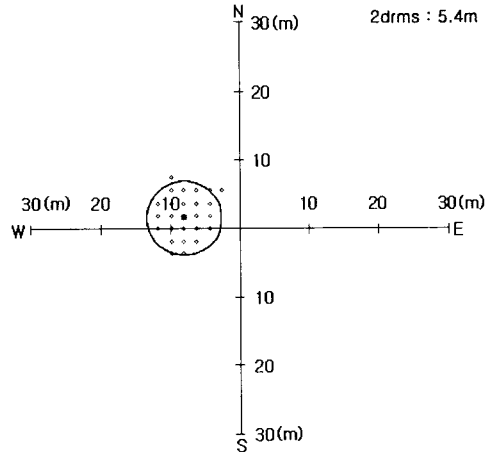


Fig. 3. The DGPS positioning accuracy for single reference station at Yosu harbor.

부경대 내의 회류 수조 옥상 고정점(Lat. 35° 07' 48.31" N, Long 129° 06' 35.56" E)에서 2001년 10월 18일~20일 사이에 단일 기준국을 이용한 25시 관측 결과는 Fig. 4와 같다.

DGPS 기준국은 수신점으로부터 가장 가까운 영도 기준국을 이용하였고, 수신점으로부터 기준국까지의 거리는 9.3km이었으며, 실험기간 동안 관측된 위성 수는 평균 7.1개이었고, 신호 강도와 S/N비는 각각 56.0 dB, 23.0 dB이었다.

Fig. 4에서 18, 19, 20일에 측정한 측위정도는 거의 동일하였고, 그 편위거리는 기준점으로부터 남서쪽으로 각각 7.4m, 17.3m, 7.2m였으며, 그때의 2drms는 각각 5.9m, 5.5m, 5.7m였다.

따라서 단일 기준국을 이용하였을 때의 평균 2drms와 기준점으로부터 평균 편위거리는 각각 5.6m, 7.4m임을 알 수 있었다.

### 2. 복수 기준국의 측위정도

복수 기준국을 이용하였을 때의 측위정도를 조사하기 위해 여수와 부산에서 두 개의 DGPS 수신기를 사용하여 서로 다른 기준국으로부터의 위치정보를 노트북에 기록하였으며, 후일 실험실에서 동일 시간대의 기록된 데이터를 이용하여 산

한국 남해안에서 단일 및 복수 기준국에 의한 DGPS의 측위정도 비교

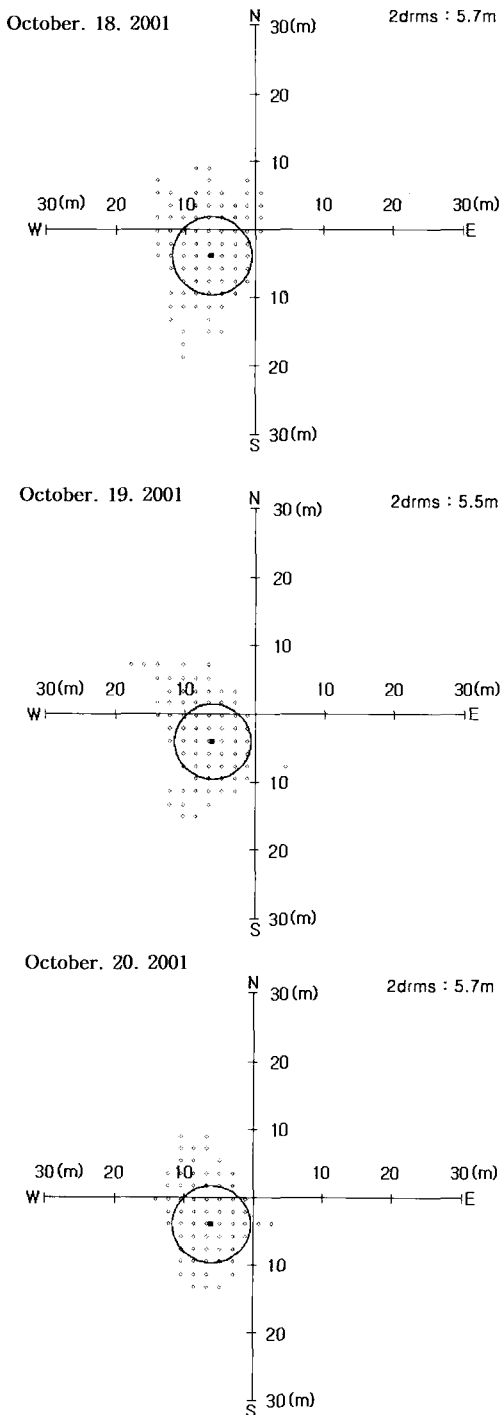


Fig. 4. The DGPS positioning accuracies for single reference station at Pukyong National University.

술평균과 가중평균을 구하였다.

여수에서의 실험에서는 영도기준국과 거문도기준국을 이용하였으며, 기준국으로부터 수신점까지의 거리는 각각 91.1 km, 127.4 km이었고, 측위정도는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 산술평균하였을 때와 가중평균하였을 때의 기준점(Lat. 34° 44' 24.61" N, Long. 129° 06' 31.06" E)으로부터 평균위치까지의 편위 거리는 각각 2.6 m, 1.9 m이었다.

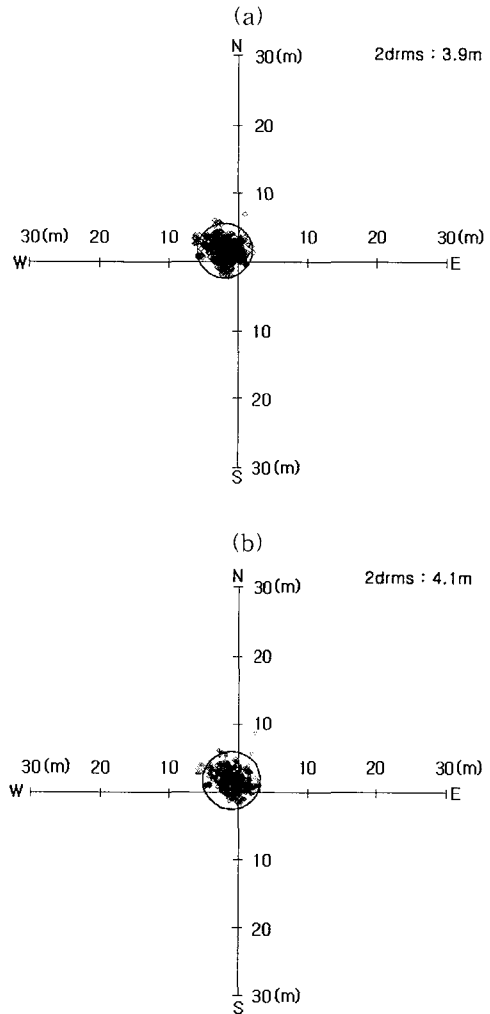


Fig. 5. The DGPS positioning accuracies for multiple reference station at Yosuharbor.  
(a) Arithmetic meaning  
(b) Weighted averaging

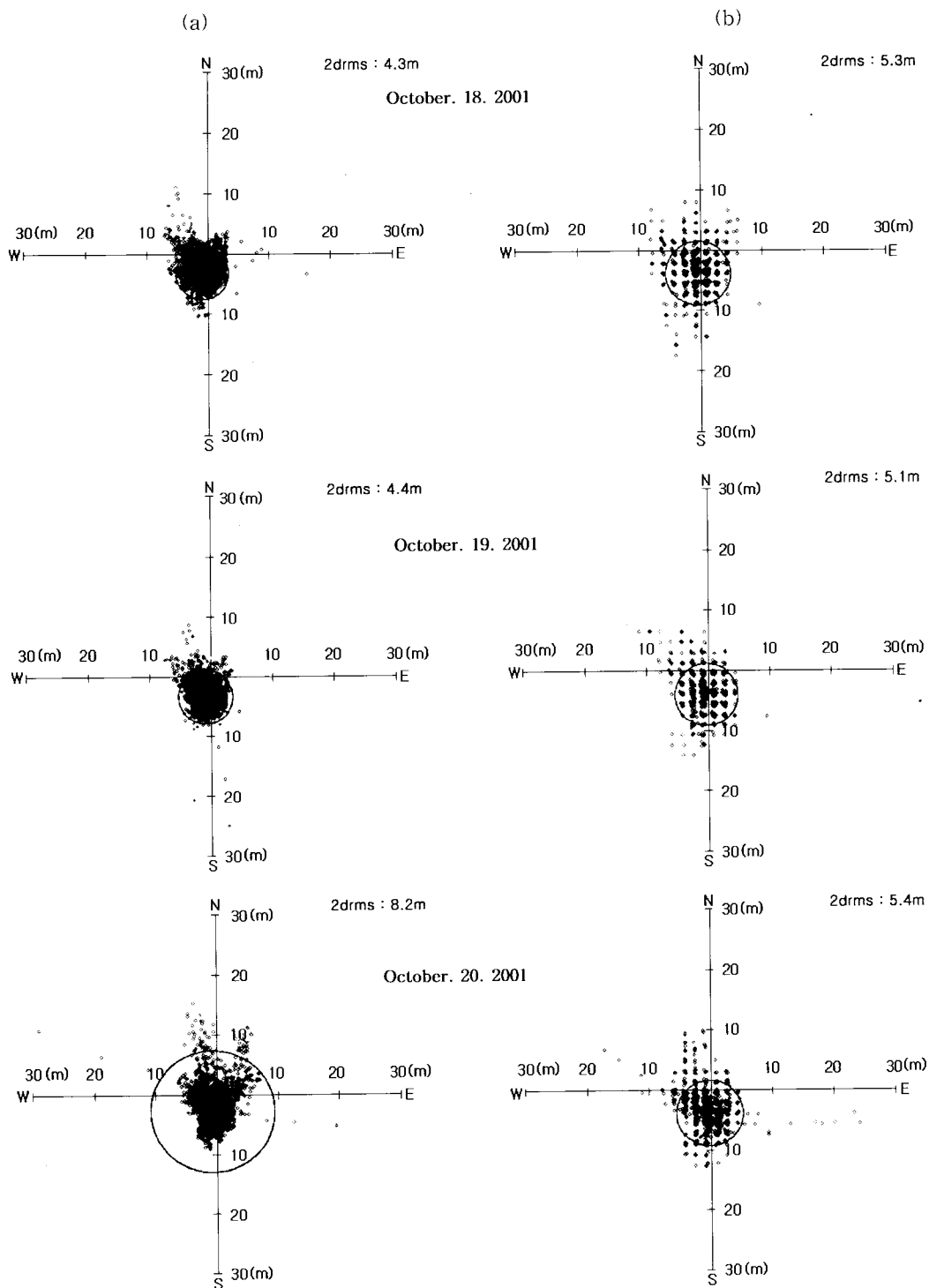


Fig. 6. The DGPS positioning accuracies for multiple reference station at Pukyong National University.  
(a) Arithmetic meaning (b) Weighted averaging

여수항에서의 실험결과, 복수 기준국을 이용하였을 때가 단일 기준국만을 이용하였을 때보다 2drms는 1.4m 향상되었고, 편위거리는 5.5m로 향상되었다.

또한 부경대학교내의 회류수조 옥상 기준점 (Lat. 35° 07' 48.31" N, Long. 129° 06' 35.55" E) 에서 2001년 10월 18일~20일 사이의 실험에서는 영도 기준국과 장기갑 기준국을 이용하였으며, 기준점으로부터 수신점까지의 거리는 각각 9.3 km, 113.3km이었고, 그 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서 산술평균하였을 때와 가중평균하였을 때의 기준점으로부터 평균위치까지의 편위거리는 각각 평균 3.2m, 3.9m이었고, 평균 2drms는 5.6m, 5.3m 이었다. 따라서 기준점으로부터 평균 위치까지의 거리는 약 0.7m 정도의 차이를 보였고 2drms는 거의 차이가 없었다.

부경대학교내의 회류수조 옥상에서의 실험결과, 복수 기준국을 이용하였을 때가 단일 기준국을 이용하였을 때보다 기준점으로부터 평균위치까지의 편위거리는 약 3m 정도 향상되었으나 2drms는 거의 차이가 없었다.

Table 3은 여수와 부산에서 단일 기준국과 복

수 기준국을 이용하였을 때의 2drms와 기준점으로부터 평균위치까지의 거리를 비교하여 나타낸 것이다.

결국 한국 남해안 고정점에서의 측위 실험 결과 복수 기준국을 이용하였을 때가 단일 기준국을 이용하였을 때보다 정도가 향상되는 것으로 나타났으며, 특히 기준국으로부터 수신점까지의 편위거리는 기선장이 짧았을 때보다 기선장이 길 때 정도가 더 향상되는 것으로 나타났다.

Table 3. 2drms and error for single and multiple reference station

Item	Single reference station	Multiple reference station	
		Arithmetic meaning	Weighted averaging
2drms(m)	5.6	5.5	5.3
Shifting distance(m)	7.3	3.2	3.8

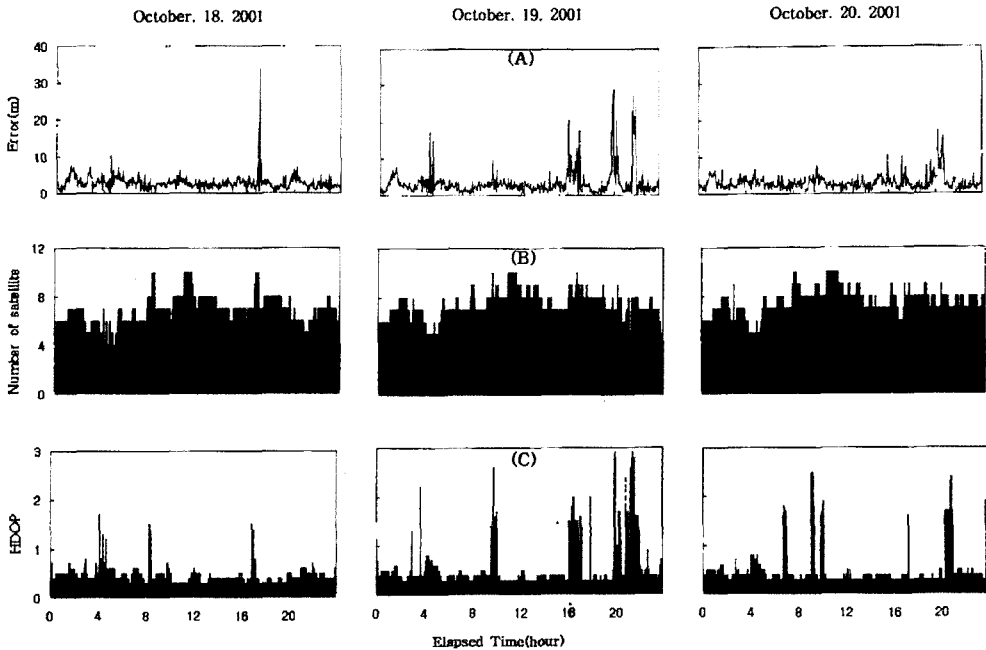


Fig. 7. Positioning error(A), number of satellite(B) and HDOP(C) as a function of the elapsed time at reference position of Pukyong National University.

### 3. 측위정도의 변화

DGPS의 측위정도를 조사하기 위해 부경대학교 내의 회류 수조 옥상에 있는 기준점에서 2001년 10월 15일~22일까지 일주일 동안 실험을 실시하였다.

25시 관측 중 비교적 측위가 잘 이루어진 18일~20일 사이에 시간 경과에 따른 위성 수와 HDOP, 측위오차의 변화는 Fig. 7과 같다.

측위오차는 16~20시경에 증가하는 경향을 보였으며, 위성 수는 4시에 가장 적게 관측되었고, 20시경에도 위성 수가 감소하는 경향을 보였다. HDOP의 경우에는 22시경에 가장 큰 값을 나타내었고 그밖에 4시와 9시경에 크게 증가하였다.

측위오차와 위성 수 및 HDOP의 관계를 살펴보면 위성 수가 감소하는 시간대에 측위오차와 HDOP가 증가한다는 사실을 알 수 있으며, 이러한 현상은 관측 위성수가 적을 경우, 위성의 양각 변화와 전리층의 변화에 대한 보정을 양호하게 처리할 수 없기 때문이라고 사료된다.

또한 측정 기간 동안의 평균 위성 수는 7.1개였으며, 평균 측위오차는 4.9m, HDOP는 0.5였다.

### 4. DGPS기준국의 유효범위

한국 남해안을 향해하면서 실제 DGPS 기준국의 유효 이용범위를 조사하기 위해 2001년 1월 9일~18일 사이에 부경대학교 실습선 가야호에 승선하여 실험을 행하였다. 실험은 GP-36 DGPS 수신기를 사용하여 기준국의 신호강도(signal strength)와 신호 대 잡음비(S/N)를 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 신호강도는 기선장이 길어질수록 일정하게 감쇠하는 경향을 나타낸 반면 신호 대 잡음비(S/N)는 불규칙적으로 나타났으며, 신호강도는 19 dB 이하, 신호 대 잡음비는 8 dB 이하에서는 DGPS 신호를 이용할 수 없었고, 기준국으로부터 약 110 nm 이상 멀어졌을 때 기준국의 신호를 이용할 수 없었다.

또한 Fig. 8에서 기선장을 d(m)라고 했을 때 기선장과 신호강도(dB) 사이에는

$$S_r = 80 - 24 \log d \dots\dots\dots(5)$$

의 관계가 성립하였다.

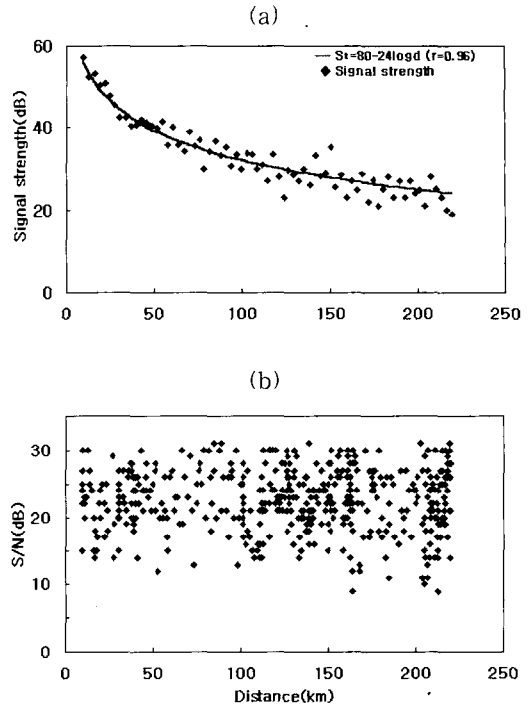


Fig. 8. Variations in signal strength(a) and signal to noise ratio(b) according to distance from Young Do reference station.

## 요 약

한국의 DGPS 측위정도와 복수 기준국을 이용하였을 때의 측위정도를 연구하기 위하여 2001년 1월부터 10월까지 해상용 DGPS수신기(MGP-100D, GP-36)를 이용하여 여수, 부산의 고정점에서 정점관측을 행하였으며, 측위정도의 변화를 조사하기 위해 부경대학교 내의 회류 수조에서 2001년 10월 15일~22일까지 일주일 동안 관측을 행하였다.

또한 DGPS 기준국의 유효 이용범위에 대해 조사하기 위해 2001년 1월 9일~18일 사이에 한국 남해안을 향해, 정박하면서 실험을 행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 단일 기준국을 이용하였을 때의 2drms와 기준국으로부터 평균위치까지의 편위거리는 각각 5.6m, 7.3m 이었고, 실제 위치로부터 한쪽 방향으로 편향되어 나타났다.
- (2) 복수 기준국을 이용하여 산술평균하였을 때의



2drms와 기준점으로부터 평균위치까지의 편위거리는 각각 5.5m, 3.2m 이었고, 가중평균하였을 때의 2drms와 기준점으로부터 평균위치까지의 편위거리는 각각 5.3m, 3.8m이었다. 또한 사용자가 기준국으로부터 멀어질수록 복수 기준국을 이용하는 쪽이 측위정도가 더 향상되는 것으로 나타났다.

- (3) 측위오차 일변화는 16~22시 사이에 증가하였고, 관측된 평균 위성 수와 HDOP는 각각 7.1m, 0.49이었다.
- (4) 한국 남해안을 항해하며 DGPS 기준국의 유효범위를 조사한 결과, 110nm인 것으로 나타났으며, 신호강도는 19dB 이하, 신호 대 잡음비 8dB 이하에서는 기준국 보정정보를 이용할 수 없었다.

이와 같이 한국 남해안 일대에서의 측위 실험 결과 복수 기준국을 이용하는 것이 단일 기준국을 이용하는 것보다 측위정도가 더 개선되는 것으로 나타났으며, 기선장이 길수록 복수 기준국을 이용하는 쪽이 더 양호한 정도를 나타내었다.

### 참고문헌

- 1) Loomis, P., Sheynblatt, L. and Muller, T. (1991) : Differential GPS Network Design, Proceeding of ION GPS-91, Forth International Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 465~475.
- 2) Joseph, W. S., Scott, L. K. and David, J. P.(1991) : Status of Prototype USCG DGPS Broadcasts, Proceeding of ION GPS-91,

Fourth International Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 511~520.

- 3) 柿原利治·武田誠 ··宮本佳則·野田明·峰雄 (1995) : 基準局・移動局間距離とDGPS測位精度について, 日本航海學會論文集 第93號, 1~6.
- 4) 宮本佳則·打田明雄·柿原利治·武田誠(1997) : 長基線によるDGPSの測位精度について, 日本航海學會論文集 第97號, 1~6.
- 5) Tang, W. *et al.* (1989) : Differential GPS Operation with Multiple Ground Reference Station, ION GPS-89, 319~323.
- 6) Tang, W. *et al.*(1990) : Estimation of Error Correlation Distance for Defferential GPS Operation, PLAN-90, 378~382.
- 7) Mueller, T.(1994) : Minimum Variance Network DGPS Algorithm, PLANS-94, 418~425.
- 8) 坂井丈泰·村惟和宜(1999) : 複數基準局の利用によるGPS測位精度の改善, 日本航海學會論文集 第101號, 15~20.
- 9) DGPS 중앙 사무소 홈페이지 : <http://www.ndgps.go.kr>.
- 10) Per, K. E., Michael, F. R. and Langlais, D. (1987) : Coverage of a Radiobeacon-Based Differential GPS Network, Proceeding of the Forty-Third Annual Meeting, The Institute of Navigation, 70~77.
- 11) 고광섭·심재관·최창목·정세모(2000) : 설계 유효범위 이상에서의 RBN/DGPS정밀도 및 신뢰성에 관한 연구, 2000년도 한국항해학회 춘계학술발표회 초록집, 51~59.