

# 우리나라 DGPS 보정국의 위치보정신호의 이용범위

안장영<sup>†</sup> · 최찬문

제주대학교

## Signal Coverages of DGPS Beacon Stations in Korea

Jang-Young AHN<sup>†</sup> and Chan-Moon CHOI  
Cheju National University

### Abstract

For the purpose of comparison between the designed coverage and actual coverage of Korean DGPS(Differential Global Position System) beacon stations, we have received the ship's positions with states and IDs of their stations on the navigation route of Jeju-Tianjin by automatic selection mode of DGPS receiver and on them of Jeju-Inchun and Jeju-Vladibostok by manual mode. Also in case that some obstructions were on propagation routes from DGPS beacon stations to receiving positions, a restriction on available ranges of DGPS beacon signals was investigated.

The results obtained are as follows :

1. The coverage of Korean DGPS beacon stations was designed 100NM (Nautical mails) at 40.0dB(over  $\mu V/m$ ). But the actual coverages of them according to their stations and propagation routes were 0.3-3.6 times as wide as designed coverage.
2. In case that the propagation route of beacon signals from DGPS beacon stations was on the sea, the propagation distance of north direction from the stations was longer than south direction.
3. The coverages of Echongdo and Ulungdo stations were 366NM on the yellow sea and 342.3NM on the east sea of Korea respectively, and were widest than any other stations.
4. The coverage of Marado station on the south and yellow seas of Korea was very unstable because of the Halla mountain on the propagation route. Maximum receiving range to be measured by automatic selection mode of DGPS receiver was 145NM on the route of Jeju-Tianjin on June 22-July 1, 2002. Minimum receiving range to be not measured by manual selection mode was 28.7NM on the route of Jeju-Inchun on June 26-28, 2003

Key word : DGPS beacon station(DGPS 위치보정국), Signal coverage(신호이용범위)

### 서론

GPS(Global Position System)는 원래 선박이나 항공기 등이 자신의 위치를 알기 위하여 인공위성

을 이용한 항법시스템으로 1970년대 초부터 개발되기 시작하였다. 그러나 여러 가지 이유로 시스템의 완성이 늦어졌을 뿐 아니라 그동안 시스템의 내용도 두세 번 바뀌어서 현재에 이르르게 되었다. 이

<sup>†</sup> Corresponding author : ahn@cheju.ac.kr

항법시스템은 1992년경에는 18개의 GPS위성이 궤도상에 배치되어 사용되었으며 하루 중 수 시간의 이용불능시간대가 발생하는 문제가 있었으나, 1994년 24개의 위성이 배치 완료되면서 이용불능시간이 없어지고 안정된 이용이 가능해졌다(土屋·今給, 1996). 이에 해상의 거의 모든 선박들은 위치의 정확성, 편리성, 경제성 등의 이유로 GPS만을 이용하는 경향마저 보였을 뿐만 아니라 육상의 자동차는 물론 이동물체의 위치추적에까지 적지 않게 사용이 확대되었다. 그러나 개발초기에 SA(Selective Availability)가 있을 때는 측위오차가 수평면내 100m, 수직방향 150m 정도로 예상되었으나(日本測地學會, 1991) 실제 정점에서 측정결과 오차가 크게는 500m에 달한 경우도 보고된 적(片山, 1992)이 있다. 따라서 SA는 물론이고 시스템의 자체오차를 줄이기 위한 많은 연구(Blackwell, 1986)가 진행되었고, DGPS가 출현하면서 위치오차는 급격하게 줄게 되었다. 더욱이 2002년 5월에는 SA가 없어지면서 GPS 수신기로 측정된 위치의 오차도 상당히 줄어들었다. 또한 국제해사기구(IMO)에서는 선박이 항만으로 접근할 시에는 위치의 정확도를 10m 이내로 요구하기도 하는 등(이, 2000), 보다 정확한 선박위치의 필요성이 증대됨에 따라 진보한 DGPS 수신기의 보급도 늘어나고 있다.

일반적으로 해상에서 사용되고 있는 DGPS 수신기는 연안국의 DGPS 위치보정국에서 발사되는 위치보정신호(RTCM, SC-104)를 수신하여 위치계산에 이용하여 정확한 위치를 구할 수가 있는데, 우리나라에서도 이미 8개의 DGPS 위치보정국을 가동하여 운용 중에 있고, 이용범위의 확장 및 안정된 수신을 위하여 현재 3개의 위치보정국을 더 설치하고 시험전파를 발사 중에 있다. 그런데 이들 위치보정국의 이용범위는 설계상 전파송신국으로부터 100해리로 알려져 있으나, 실측에 의하지 아니하고 단지 전계강도를 분석하여 계산하거나 주파수가 비슷한 국간의 상호간섭을 수치적으로 계산하여 이용범위를 예측하고 있는 실정이다(이, 2000).

이 연구는 우리나라에 설치되어 있는 DGPS 위치보정국의 위치보정신호에 대한 이용범위를 조사하기 위하여 우리나라 부근해역에서 각 DGPS 위치보정국의 전파를 수신하고 설계상의 이용범위와 실측결과를 비교·검토하였으며, 전파송신국과 수신지점사이의 전달경로 상에 장애물이 있을 경우의 이용범위의 제한에 대하여 고찰하였다.

## 자료 및 방법

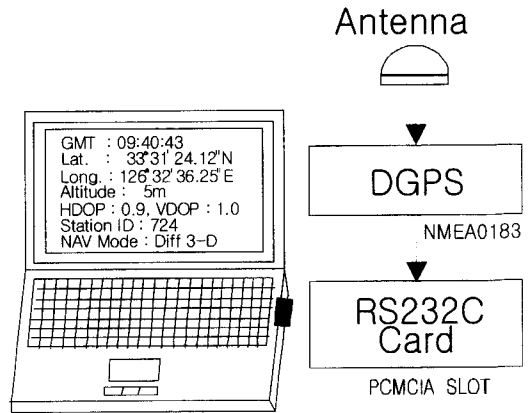


Fig. 1. Block diagram for receiving RTCM data signals of DGPS beacon stations.

본 실험에는 제주대학교 해양과학대학 실습선 아라호에 장착되어 있는 JRC제의 DGPS수신기(JLR-7700)를 이용하였으며, 수신기의 감도는  $-130dBm$ 으로 설계된 것이었으며, DGPS보정국신호의 수신주파수는  $283.5\sim 325.0kHz$  범위내에서  $500Hz$  간격으로 자동 변경되면서 수신신호를 찾아내는 자동 수신방법과 일정주파수만을 고정적으로 수신하는 수동수신이 병용되는 수신기이었다. 우리나라에 설치된 DGPS국은 그 유효범위가 100해리로, 전계강도는  $40.0dB(over \mu V/m)$ 을 만족하도록 설계되어 있다고 보았다.

수신방법은 Fig. 1과 같이 DGPS수신기에서 출력되는 NMEA0183(GGA)의 신호를 PC의 RS232C로 수신하면서 DGPS 보정국의 ID와 DGPS 수신상태를 관찰하였는데, 여기서 DGPS보정국의 선정은 자동과 수동을 병용하면서 우리나라에 설치되어 있는 보정국을 차례로 변경하면서 수신하여 위치정보가 DGPS상태가 되는가를 확인하였다.

측정 및 수신확인지점은 Fig. 2에서와 같이 2003년 6월26일부터 6월28일까지 제주에서 완도항을 경유하여 인천항까지의 항로인 A항로와 8월 8일부터 8월10일까지의 제주에서 러시아의 블라디보스톡항간의 항로인 B항로에서, 수동수신에 의한 방법은 평균 약 6.5해리 간격으로 자동수신에 의한 수신시간을 제외한 시간에 실시하였다. 그리고 2002년 6월22일부터 7월 1일까지의 제주

와 중국 텐진간의 C 및 동년 7월 22일부터 8월1일까지의 제주와 러시아의 블라디보스톡간의 항로인 B항로를 각각 왕복 항해하면서 자동선국에 의한 방법만으로 DGPS의 수신실태도 조사·확인하였다.

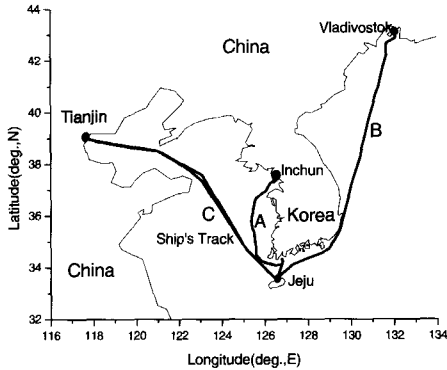


Fig. 2. Receiving states of beacon signal of DGPS stations around Korea were investigated in sea areas from Incheon to Vladibostok.

제주와 러시아 블라디보스톡간의 왕복항로중에서 블라디보스톡에서 제주까지의 항해중에 측정된 결과는 제주에서 블라디보스톡까지의 결과와 거의 같아서 생략했다. 수신지점까지의 전파경로는 각 DGPS보정국의 위치에서 수신점까지를 직선 거리와 방향을 구면삼각법으로 계산하여 확인하였다.

## 결 과

Table 1은 우리나라의 11개 DGPS 보정국의 위치보정 신호에 대하여 수동선국 및 자동선국에 의한 방법으로 실험해역 A 및 B항로에서 측정된 각각 최대수신지점과 최소 수신불가능 지점을 거리와 방향으로 나타낸 것이다. 송신국의 이용범위가 100해리로 설계되어 있으나 측정해역에서의 각 송신국의 최대 수신거리는 마라도국의 155.5해리에서 울릉도국의 342.3해리로 2배의 차이를 보였다. 그리고 각 송신국의 최소 수신불가능 거리는 마라도 송신국의 28.7해리에서 울릉도국의 265.9해리로 약 9배의 차이를 보였다.

Table 1. Maximum receivable ranges and minimum range of blind areas of DGPS beacon signal around Korea

Beacon station		Palmi-do	Socho-ngdo	Echon-gdo	Mara-do	Soheuk-sando	Geom-undo	Young-do	Chang-gigap	Ulung-do	Jumun-jin	Jeojin
B.S.P.	La.	37.355	37.762	36.120	33.113	34.095	34.005	35.048	36.075	37.388	37.895	38.552
	Lo.	126.513	124.728	125.968	126.272	125.098	127.325	129.093	129.572	130.920	128.837	128.398
Mx.R.R.	Dir.	186°	159°	169°	053°	020°	327°	262°	015°	008°	031°	033°
	Dist	191.9	264.2	157.8	155.5	215.4	166.9	175.5	318.0	342.3	216.1	257.4
Mi.R.B.	Dir.		162°	160°	028°	073°	051°	031°	225°	223°	140°	154°
	Dist.		225.9	115.0	28.7	213.3	134.3	45.0	170.9	265.9	80.2	149.4

\* B.S.P. : DGPS Beacon Station Position

Mx.R.R. : Maximum Receivable Range(NM) of DGPS Beacon Signal

Mi.R.B. : Minimum Range(NM) of Blind Area of DGPS Beacon Signal

La : Latitude in degree

Lo : Longitude in degree

Dir : Direction

Dist : Distance in nautical mile

A항로상인 서해안에서 남쪽방향으로 팔미도국은 191해리까지 안정적으로 수신된 반면에, 소청도국은 229해리까지는 팔미도국보다 원거리까지 안정적으로 수신되었다. 그런데 소청도국은 A항로상인 제주와 완도항사이의 항로에서도 약 70%에 달하는 지점에서 수신되어 최대 264.2해리까지 수신되었다. 어청도국은 A항로에서 완도항 주변을 제외하고는 전 항로에서 안정적으로 수신되어 제주항 주변인 157.8해리까지 수신되었다. 마라도국은 이용범위가 다른 송신국에 비하여 이용범위가 좁은 것으로 나타났는데, B항로상인 053° 방향의 155.5해리 지점이 최대수신거리로 설계상의 이용범위를 초과하였기 때문에 이용범위의 한계점으로 사료되나 서해안인 A항로상에서는 최대수신거리가 28.7해리 밖에 되지 않았으며 수신지점이 마라도국을 중심으로 028° 이서인 해역에서는 거리에 관계없이 전혀 수신되지 않았다. 소흑산도국은 A항로상 전체와 B항로상 영도까지 210해리 이상의 범위에서 안정적으로 수신되어 남해안과 서해안에서 광범위하게 이용되고 있었다. 거문도국은 거문도국으로부터 166.9해리되는 지점인 A항로상인 서해안 어청도 북서해역에서부터 남해안을 포함하여 동남해역인 울산앞 해역까지 안정적으로 이용할 수 있었다. 영도국은 안정적으로 이용될 수 있는 해역이 B항로상인 제주항에서부터 남해안을 포함한 동해안 후포항 앞 해역까지로 약 156해리정도 이었다. 그러나 불안정하기는 하지만 제주항 북부해역에서 수신되기도 하였으며, 보길도 남쪽해역은 비교적 안정적으로 수신되었다. 그런데, 보길도를 중심으로 보길도 서쪽해역부터 서해안은 대흑산도와 매물도사이의 한 지점(Lat. 34° 36.0'N, 125° 34.0'E)을 제외하고는 수신이 불가능하였다. 이 지점은 영도국에서부터 175.5해리되는 지점으로 전과경로상 육지의 높은 산과 섬이 존재하는 지점인데도 수신되어 특이하였다. 장기갑국은 B항로상에서 남해의 제주항 부근에서부터 동해의 함경북도 화성 동쪽지점(Lat. 41° 11.5'N, Long. 131° 20.0'E)까지의 318해리까지 수신되었다. 그리고 울릉도국은 남해안에서는 수신범위가 제주항 북서쪽 지점(Lat. 33° 40.1'N, Long. 126° 40.0 'E)인 304.7해리나 되었으며, 동해안은 우리나라 동해안은 물론 러시아의 블라디보스톡항(Lat. 43° 1.9'N, Long 132° 0.9'E)까지인 342.3해리나 떨어져서까지 수신되었다. 이것은 블라디보스톡항의 북쪽방향으로 항해를 할 수 없어서 최대 수신거리를 측정할 수 없었던 점을 감안하

면 이보다 훨씬 북방해역까지 이용가능할 것으로 본다. 이에 비하여 송신국이 울릉도국보다 훨씬 북쪽에 있는 주문진국과 저진국의 이용범위는 비교적 좁았다. 주문진국은 남쪽방향으로 최대 76.6해리, 북쪽방향으로 154해리까지는 안정적인 수신이 되었으며, 최대 216.1해리까지 수신이 되었다. 저진국은 남쪽방향으로 최대 144.0해리, 북쪽방향으로 257.4해리까지는 안정적인 수신이 되어, 주문진국보다 이용범위가 남북방향 모두 넓음을 알 수 있었다.

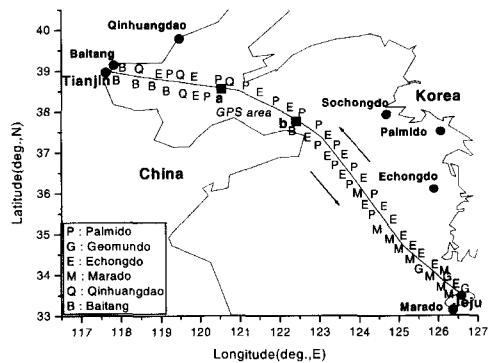


Fig. 3. DGPS beacon stations selected automatically by DGPS receiver on Tianjin-Jeju route from June 29-July 1, 2002.

이상에서 알 수 있었던 것과 같이 우리나라 DGPS보정국의 이용범위는 전과경로상의 문제가 있기는 하나 100해리의 설계상 이용범위보다는 대체로 넓었고 전과경로가 해상으로만 되어 있을 때는 남쪽보다는 북쪽으로 비교적 이용범위가 넓었다.

Fig. 3은 2002년 6월22일부터 7월 1일까지의 제주와 중국 텐진간의 C항로를 왕복 항해하면서 자동선국에 의하여 DGPS보정국을 수신한 결과이다. Fig. 3에서 왕복 항해시 각각 38° 44.5 'N, 119° 09.8 'E 지점 및 38° 39.6 'N, 119° 55.5 'E 지점에서 어청도국이 자동선택 수신됨으로써 각각 365해리와 325해리까지 이용되었음을 보여주고 있으며, 팔미도국은 38° 45.5 'N, 119° 09.8 'E 지점 및 38° 42.4 'N 지점 및 119° 37.6 'E 지점에서 자동선택 수신됨으로써 각각 355해리와 340해리까지 이용되었음을 보여주고 있다. 반면에 거문도국은 각각 수신점 33° 57.5 'N, 126° 01.0 'E와 수신점 34° 10.7 'N, 125° 45.5 'E까지만 선택 수신되어 각각 65해리와 90해리까지 밖에 자동 선택

되고 있지 않음을 나타내고 있으며, 마라도국은 각각 수신점 33° 58.9' N, 125° 59.3' E와 수신점 35° 10.5' N, 124° 45.7' E까지인 55해리와 145해리까지밖에 선택 수신되고 있지 않음을 나타내고 있다. 더욱이 중국의 텐진에서 제주로의 항로상에서 a지점과 b지점사이에서는 원인을 알 수 없었으나 DGPS 수신에 불가능하여 보정국의 ID를 확인 할 수 없었다.

Table 2. Maximum receiving range of Korean DGPS beacon stations selected automatically by DGPS receiver on Jeju-Tianjin and Tianjin-Jeju routes

Name of DGPS beacon station (ID)	Maximum ranges of automatic receiving (NM)	
	Jeju-Tianjin route	Tianjin-Jeju route
Echongdo(728)	365	325
Palmido(722)	355	340
Geomundo(724)	65	90
Marado(730)	55	145

이와 같은 결과를 DGPS 보정국별로 자동선택 수신거리를 나타낸 것이 Table 2이다. Table 2에서 관측항로상 해상경로로만 수신된 어청도국과 팔미도국의 경우에는 실제 설계상의 이용범위인 100해리보다 3배 이상이 되는 매우 원거리까지 선택 수신되었고, 육상경로를 경유하는 거문도국과 마라도국의 경우에는 아주 근거리에서까지 다른 송신국이 선택되고 있음을 알 수 있다. 마라도국은 왕복시의 최대 자동선택 거리가 확연히 달라 55해리와 145해리로 90해리나 차이가 있는 것은 특이하였다. 그리고 제주에서 텐진으로 항해시가 텐진에서 제주로 항해시보다 자동수신 거리가 마라도를 제외하면 상대적으로 멀리 나타났다.

Fig. 4는 2002년 7월 22일부터 7월 24일까지 제주에서 블라디보스톡간의 항로상에서 항해중에 자동 선택된 DGPS보정국의 수신상태를 나타내고 있다. Fig. 4에서 거문도국은 수신점a(34° 13.3' N, 128° 06.7' E)의 위치에서 마지막으로 선택수신되었으며 이 지점은 송신국으로부터 45해리 떨어진 지점이다. 영도국은 수신점b(35° 23.8' N, 129° 30.9' E)의 위치에서 최후 선택 수신되었는데 이 지점은 송신국으로부터 30해리밖에 떨어지지 않은

위치이다. 장기갑국은 송신국으로부터 40해리 떨어진 35° 23.8' N, 129° 30.9' E 지점에서 처음으로 선택수신되기 시작하였으나 35° 27.4' N, 129° 32.2' E 지점에서 수신이 중지되었다. 주문진국은 수신점c(39° 20.8' N, 130° 50.3' E)의 위치에서 마지막으로 선택수신되었는데 이 지점은 송신국으로부터 110해리 떨어진 위치이다. 울릉도국은 수신점d(42° 53.3' N, 132° 04.5' E)의 위치에서 마지막으로 선택 수신되었으며 송신국으로부터 330해리 떨어진 곳이다. 수신기에서 DGPS 보정국의 자동선택은 수신시 각 보정국에서 전파되어 온 보정신호의 세기가 가장 큰 신호로 선택되기 때문에 최소추정거리에는 의미가 없을 수 있으나, 보정신호의 상대적인 세기에는 의미가 있다. 즉 각 DGPS 보정국으로부터 수신점까지 거리가 차이가 없으면 거의 같은 강도의 신호가 수신되게 되고 그 중에서 가장 강한 신호가 선택된다. 그런데, DGPS 보정국의 주파수가 약간 차이가 있긴 하지만 출력이 거의 같다면 이용범위가 거의 같다고 생각되지만 전파경로에 따라 감쇄정도가 다르므로 신호의 강도가 달라질 수는 있다. 그러나 전파경로가 거의 같으면 수신점에서 가까운 거리의 보정국이 선택되는 것이 일반적이다.

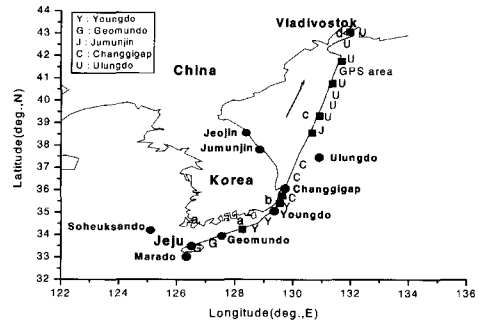


Fig. 4. DGPS beacon stations selected automatically by DGPS receiver on Jeju-Vladivostok route from July 22-24, 2002.

Fig. 4에서의 상당부 GPS area는 자동 선택수신이 불가능하여 DGPS위치가 수신되지 않고 GPS 위치가 수신된 구역으로 85해리에 걸쳐서 발생하고 있었는데 이는 울릉도국의 설계상의 이용범위인 100해리를 많이 벗어나는 구역이다. 그러나 자동

선택수신 불가능구간을 지나 위도 42° 이북에서 보면 블라디보스톡 근해에까지 울릉도국이 다시 안정적으로 자동선택된 수신상태를 나타내고 있다. 보정국의 자동 선택수신이 불가하여 DGPS위치가 수신되지 않고 GPS 위치가 수신된 구역은 블라디보스톡에서 제주까지의 항로에서도 나타났는데, 이때는 블라디보스톡항을 출발하여 위도 약 41° 30' N 이북지역에서 일어났다.

이상의 우리나라를 중심으로 한 DGPS보정국의 자동선택수신 및 수동선택수신의 결과를 종합하여 보면 Table 1에서 팔미도국과 어청도국의 최대수신거리가 각각 191.9해리와 157.8해리이었는데, 이것은 남쪽방향의 수신거리이고 북쪽방향의 수신거리는 인천항까지밖에 항해를 하지 못하였기 때문에 최대수신거리를 측정할 수 없었다. 그런데 Table 2에서 자동선택수신 거리가 팔미도국은 355해리, 어청도국은 365해리로 나타났기 때문에 수동으로 최대수신거리를 측정한다면 적어도 이것보다는 상당히 멀 것으로 판단된다.

## 고 찰

우리나라에 설치되어 있는 DGPS보정국의 위치와 이용범위는 각 DGPS보정국으로부터 100해리로 설계되어 있어서 Fig. 5에서 보는 바와 같이 우리나라 주변해역을 벗어나지 못하는 것으로 표현되어 있으나, 전파방향에 따라서는 이보다 훨씬 넓은 범위를 이용범위로 하고 있다고 생각된다. Table 1,2에서 보는 바와 같이 각 보정국의 자동선택 혹은 수동선택의 최대수신거리는 마라도국의 155.5해리에서부터 서해안에서는 어청도국은 365해리, 동해안 울릉도국은 342.3해리로 설계상의 거리를 2배 상회하고 있었다. 그러나 전파경로상의 장애물이나 전파경로의 방향에 따라서는 수신거리가 상당히 제한을 받고 있는 것으로 판명되었다. 전파경로가 남북방향 모두 해상인 울릉도국은 수신거리가 남쪽방향으로는 약 266해리 정도인 것에 비해 북쪽방향으로는 342.3해리에 달했으며, 어청도국은 남쪽방향은 115해리에 불과한데 북서방향은 365해리나 되었다. 마라도국은 최대수신거리가 155해리를 상회한 반면, 최소수신거리가 28.7해리밖에 되지 않을 때도 있었다. 이것은 마라도국과 측정해역에서의 수신점과 전파경로 상에 한라산이 있어서 전파전달의 장애가 일어난 것으로 판단되는데, 2003년 6월26일부터 6월28일까지 제주와 인천항간의 항로인 A

항로에서는 마라도국의 경우 측정해역에서의 수신지점이 028° 이서인 해역에서는 거리에 관계없이 전혀 수신되지 않았다. 그러나 Table 2에서와 같이 2002년 6월22일부터 7월 1일까지의 제주와 중국 텐진간의 C항로상에서 수신한 마라도국은 자동선택임에도 불구하고 145해리나 되었다. 이것은 수신지점의 방향에 따라 전파경로의 장애정도가 다르기 때문으로 판단되는데, 영도국의 이용범위가 비교적 좁게 나타나거나 제주항 및 제주항 북부해역에서 자동선택으로 수신시 소흑산도국 및 거문도국은 수신되는 반면 마라도국이 선택되지 않는 것은 이 때 문으로 사료된다.



Fig. 5. Locations and coverages of DGPS beacon stations of Korea.

## 요 약

우리나라에 설치되어 있는 DGPS 위치 보정국의 위치보정신호에 대한 이용범위를 조사하기 위하여 제주에서 중국의 텐진간의 항로, 제주에서 인천간의 항로 및 제주에서 러시아의 블라디보스톡간의 항로에서 우리나라 부근해역에서 각 DGPS 위치보정국의 전파를 자동선택과 수동선택 방식으로 수신하여 설계상의 이용범위와 실측결과를 비교·검토하였으며, 전파송신국과 수신지점사이의 전달경로상에 장애물이 있을 경우의 이용범위의 제한에 대하여 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 유효범위가 100해리, 전계강도는 40.0dB (over  $\mu V/m$ )을 만족하도록 설계되어 있는 우리나라의 DGPS보정국은 그 이용범위가 DGPS보정국 및 전파경로에 따라 최소 0.3배에서 최대 3.6배로 상당한 차이를 보였다.

2. 전파경로가 같은 해상일 경우에 DGPS보정국을 중심으로 남쪽해역보다는 북쪽해역의 이용범위가 넓었다.
3. 우리나라 서해안에서는 어청도국이 이용범위가 가장 넓어서 366해리나 되었고, 동해안에서는 울릉도국이 러시아의 블라디보스톡항에서도 자동선국으로 수신이 되어 342.3해리의 이용범위를 보였다.
4. 우리나라 서해안 및 남서해안에서의 제주도 마라도국의 이용범위는, 전파경로상 한라산이 존재하여 대단히 불규칙하고 불안정하며, 측정된 최대수신범위는 2002년 6월 22일부터 7월 1일까지의 제주와 중국 텐진간의 항로상에서 자동수신거리 145해리이였으며, 최소 수신 불가능한 거리는 2003년 6월 26일부터 6월 28일까지의 제주와 인천간의 항로상에서 수동수신거리 28.7해리이였다.

## 참 고 문 헌

- Blackwell, Earl G.(1986) : Overview of differential GPS methods, In global positioning system, Institute of Navigation Vol.Ⅲ, 89~100.
- 片山 晋(1992) : GPS의選擇利用性の觀測, 日本航海學會, 4~11.
- 이희재(2000), 극동 아시아 DGPS 기준국들의 커버리지 예측에 관한 고찰, 韓國海洋大學 校 大學院(碩士論文), pp 47.
- 日本測地學會(1991) : GPS(人工衛星による精密測位システム), 社團法人 日本測量協會, 23~56.
- 土屋 淳・今給 哲郎(1996) : GPS測量と基線解析の手引, 社團法人 日本測量協會, 13~15.

---

2003년 11월 3일 접수

2003년 12월 5일 수리