

동중국해에서의 자동선국에 따른 우리나라 DGPS 보정국의 이용범위

강 승 완 · 안 장 영
제주대학교 해양과학부

Coverages of beacon signals by automatic selection of Korea DGPS beacon stations in East China sea

Sung-Wan Kang and Jang-Young Ahn

School of Ocean Science, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea

In this experiment, the available range of Korean DGPS beacon stations were measured for the purpose of comparison with the designed ranges of their stations. And investigated relations between the position accuracy and the distances from DGPS beacon stations.

The results obtained are as follows.

1. Maximum receiving range of DGPS beacon station using the auto selection system was covered about 420miles. at position of 31°14' N, 122° 51' E on the Shanghai-Jeju route from Palmido station.
2. Stable receiving ranges of a common DGPS beacon station on the land and the sea were 150 miles and 200miles. respectively. but they were different where obstructions were on the transmitting route.
3. The positions accuracy obtained by GPS and DGPS receivers at the fixed station were about 50 m and 5 m respectively. Therefore, it is necessary for navigator to find accurate positions within dangerous areas, a narrow channel or fairway etc.
4. Mean Positions obtained by DGPS receiver for long time was almost same as actual position.

Key words : DGPS, beacon signal

서 론

GPS(Global Positioning System)는 1972년부터 미국 공군에 의해 군사적 목적으로 개발되기 시작한 이래 1995년에는 21개의 주위성과 3개의 보조위성이 완전가동에 들어가 위치, 속도, 시간정보를 제공하는 등 시스템에 있어서 완성단계에 이르렀으며, 최근에는 항공기, 선박, 차량의 자동항법이나 통신, 전력시스템의 시각동기, 교통관제, 정밀측량, 지도제작 등 다양한 분야에서 이용되고 있다(이 등, 1997).

그러나 GPS는 인위적인 오차인 SA(Selective Availability)가 2000년 5월 1일부터 없어져 오차가 상당히 줄어들고 위치에 관한 신뢰도가 향상된 것은 사실이나 아직도 오차가 50 m에 이르는 경우도 발생한다. 한편, 국제해사기구(IMO)에서는 항만접근시 위치의 정확도를 8~10 m로 요구하고 있는데(이, 2000), 이와 같이 항만접근이나 또는 연안항로, 협수로 항해, 저인망작업 등 비교적 정밀한 위치를 요구하는 상황에서 사용하기에는 그 정확도에 관한 신뢰성이 부족한 경우가 있다.

이러한 문제의 해결을 위해 DGPS의 이용이 확산

되고 있다. DGPS의 위치보정 방법은 정밀하게 측정되어 위치를 알고 있는 기준국에서 GPS신호를 수신하여 여기에서부터 GPS위성까지의 의사거리를 측정하고 GPS의 항법데이터에 포함된 궤도정보와 기준국의 정밀위치를 이용하여 기준국으로부터 위성까지의 기하학적 거리를 계산한다. 측정된 의사거리와 계산된 기하학적 거리의 차인 의사거리오차를 산출하여 의사거리 보정값을 송신국(이하 DGPS국이라고 함)에서 이동하는 사용자의 수신기로 송신하여 줌으로써 사용자는 이 보정값을 가지고 자신의 GPS위치를 수정하여 보다 정밀한 위치를 계산하게 된다(이등, 1995).

우리나라에서도 이미 8개의 송신국을 가동하여 우리나라 연근해를 이용범위로 하여 운용중에 있고, 현재 3개의 송신국을 더 설치하고 시험전파를 발사하는 단계에 있다. 그런데 이들 송신국의 이용범위는 실측에 의하지 아니하고 단지 송신국의 전계강도를 분석하여 계산하거나 주파수가 비슷한 국간의 상호간섭을 수치적으로 계산하여 이용범위를 예측하고 있는 실정이다.

이 연구에서는 동중국해에서 우리나라 DGPS국의 이용범위를 실측 조사하여 이를 설계상의 이용범위와 비교하여 보았으며, 또한 고정점 관측을 통하여 근거리에는 DGPS국과 원거리에는 DGPS국의 신호를 동일한 지점에서 관측하였을 경우 생기는 위치오차의 변화와 DGPS국간의 거리와의 상관관계에 관하여 조사하였다.

Table 1. DGPS beacon stations of Korea

Station's Name	Position of Beacon station	Frequency (MHz) (Bit rate(bps))	Station's ID	Remarks
Youngdo	35°02.9' N, 129°05.6' E	300(200)	720.721	
Palmido	37°21.3' N, 126°30.8' E	313(200)	722.723	
Geomundo	34°00.3' N, 127°19.5' E	287(200)	724.725	
Jumunjin	37°53.7' N, 128°50.2' E	295(200)	726.727	
Echongdo	36°07.2' N, 125°58.1' E	295(200)	728.729	
Marado	33°06.8' N, 126°16.3' E	290(200)	730.731	
Changgigap	36°04.5' N, 129°34.3' E	310(200)	732.733	
Ulungdo	37°23.3' N, 130°55.2' E	319(200)	734.735	
Sochongdo	37°45.7' N, 124°43.7' E	323(200)	736.737	on test
Soheuksando	34°05.7' N, 125°05.9' E	298(200)	738.739	on test
Jeojin	38°33.1' N, 128°23.9' E	292(200)	740.741	on test

장치 및 방법

본 실험에는 제주대학교 해양과학대학 소속의 실습선 아라호에 장착되어 있는 DGPS수신기(JRC, JLR-7700)와 GPS수신기(Samyung, SGP-3600N/A)를 이용하였다. 수신점에 대한 위치정보, 위치보정을 위한 비이컨 송신국 ID, 시각정보 등은 Fig. 1에서와 같이 GPS 혹은 DGPS수신기에서 나오는 NMEA0183 (National Marine Electronics Association 0183) 신호를 PC의 RS232C로 수신·저장한 후 실험실에서 출력하여 이용·분석하였다.

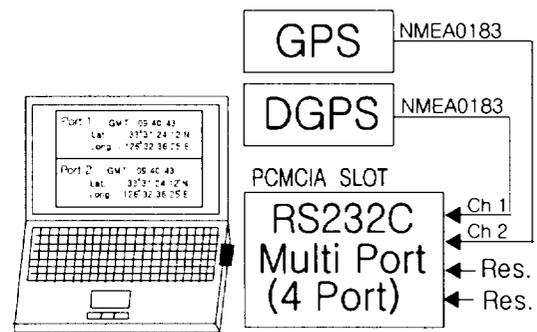


Fig. 1. Block diagram for position fix by GPS and DGPS system.

우리나라에서 운영되고 있는 DGPS국은 Table 1과 같이 현재 총 8개국이 가동중이고 3개의 DGPS국이 증설중에 있을 뿐 아니라 위성항법 중앙사무소를 포함한 6개의 감시국에서 송신상태를 감시하고 있다.

이들 송신국들 중에서 동중국해에서 수신 가능한 DGPS신호를, 2001년 9월11일부터 9월13일간은 제주와 대만의 기륭간, 동년 9월18일부터 9월21일간은 기륭과 제주간, 그리고 동년 10월7일부터 10월8일간은 제주와 중국의 상해간, 동년 10월13일부터 10월 14일간은 상해와 제주간을 향해하면서 관측하였다. 실험에 사용된 수신기는 수신감도가 -130 dBm이었으며, 송신국의 선택은 자동 또는 수동으로 설정할 수 있도록 되어 있으나 이 실험에서는 자동으로 선택되도록 설정하여 측정하였다. 따라서 측정해역에서 수신되는 여러 송신국의 신호중 가장 전계강도가 높은 송신국의 신호가 자동으로 선택·수신되어 위치보정에 이용되게 하였다. 그리고 수신가능 지역이 중복되어 있는 부분에서는 어느 송신국이 수신되고 있는지 알지 못한다. 따라서 어느 국의 전계강도가 더 높게 나타나고 있는지를 자동으로 선택·수신된 DGPS국의 ID를 조사·분석하여 자동선국에 의한 송신국별 이용범위의 한계를 실측하여 보았다. 그리고 GPS 및 DGPS 수신기의 위치오차를 조사하기 위하여 2001년 9월 22일 12시 40분부터 동년 9월 24일 10시 25분까지 제주시 소재의 사라봉 삼각점에 수신기를 설치하여 정점위치를 측정하여 보았다. 여기서 사라봉 삼각점의 위치는 TM좌표로 $X=52,477.97$ $Y=157,635.42$ 값인데 Bessel 타원체 경위도 값으로 변환하여 $33^{\circ}30'52.82470''$ N, $126^{\circ}32'38.24814''$ E의 값을 얻었다. 이렇게 얻은 경도 값에 10.405"를 더한 후 다시 WGS-84좌표계로 변환하면 위도 $33^{\circ}31'04.55692''$ N, 경도 $126^{\circ}32'41.32784''$ E, 고도 148.3 m이 된다. 이 값을 삼각점의 위치로 하고 수신 가능한 DGPS국을 선택하여 구한 위치의 정확도를 비교하였으며, DGPS국과의 거리가 멀어지면 여러 가지 요인에 의한 오차들이 잔류하게 되어 이것이 위치 계산시 오차로 나타나게 되므로 고정점에서 서로 다른 DGPS 비콘 송신국의 신호를 선택·수신하였을 때 각각의 DGPS국의 거리에 따른 위치오차의 변화를 관측하여 보았다. 이 실험은 여러 대의 DGPS를 가지고 동시에 관측하여야만 동일한 위성의 조합으로 계산된 위치의 상대오차를 얻을 수 있는데, 이 논문에서는 1대의 DGPS 수신기를 이용하여 서로 다른 DGPS국의 위치보정신호에 의한 위치를 격시관측하여 그 위치오차를 비교하였다.

결 과

제주와 기륭간의 DGPS국 수신

Fig. 2은 2001년 9월 11일부터 9월 13일까지 제주에서 기륭간 항해중에 자동선택된 DGPS국의 수신상태를 나타내고 있는데, 거문도국은 송신국으로부터 235해리 떨어진 수신점a($30^{\circ}47.4'N$, $124^{\circ}46.1'E$)의 위치에서 마지막으로 선택·수신되었고, 마라도국은 송신국으로부터 210해리 지점인 수신점b($29^{\circ}57.5'N$, $124^{\circ}20.4'E$)의 위치에서 마지막으로 선택·수신되었다. 또

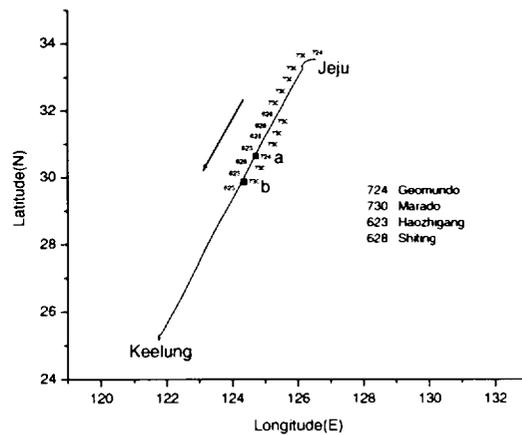


Fig. 2. ID's DGPS beacon stations obtained by DGPS receiver on Jeju · Keelung route from September 11 ~ 13, 2001.

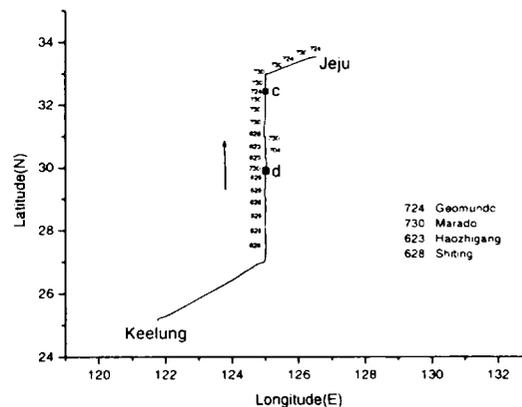


Fig. 3. ID's DGPS beacon stations obtained by DGPS receiver on Keelung · Jeju route from September 18 ~ 21, 2001.

Table 2. Maximum receiving range of Korean DGPS beacon stations selected by DGPS receiver on Jeju Keelung route

DGPS beacon Station	Maximum receiving range (NM)	
	from Jeju to Keelung	from Keelung to Jeju
Geomundo(724)	235	150
Marado(730)	210	200

Fig. 3은 2001년 9월 18일부터 9월 21일까지 기룡에서 제주간 항해중에 자동선택된 DGPS국의 수신상태를 나타내고 있는데, 거문도국은 수신점c(32°27.5' N, 125°00.0' E)에서 처음으로 선택·수신되었고, 마라도국은 수신점d(29°57.2' N, 125°01.1' E)에서 처음으로 선택·수신됨으로써 선택·수신된 최대거리가 각각 150해리와 200해리이었다. 위의 두 항로에서는 마라도국이 다른 국들의 영향을 받지 않고 제주에서 기룡으로 가는 항로에서 우리나라 송신국 중에서는 최후까지 선택수신되고, 기룡에서 제주로 가는 항로에서는 최초로 선택수신되고 있었는데 그 거리가 각각 210해리와 200해리이며, 두 경우 모두 매우 안정적인 수신상태를 보였다.

Fig. 2와 Fig. 3에서 선택·수신된 자료 중에서 우리나라 DGPS국의 최대 수신거리를 항로별로 정리하면 Table 2과 같다.

Table 2에서는 마라도국의 경우 200해리와 210해리까지 매우 안정적인 수신상태를 보이고 있는데 반해 거문도국의 경우에는 235해리와 150해리까지 선택수신되고 있기는 하나 연속적이지 않고 다른 송신국들의 신호 사이에서 가끔씩 선택수신되고 있다.

제주와 상해간의 DGPS국 수신

Fig. 4는 2001년 10월 7일부터 10월 8일까지 제주에서 상해간의 항해중에 자동선택된 DGPS국의 수신상태를 나타낸 것이고, Fig. 5는 2001년 10월13일부터 10월 14일까지 상해에서 제주간의 항해중에 자동선택된 DGPS국의 수신상태를 나타낸 것이다.

Fig. 4, 5에서 수신점a(31°28.0' N, 123°08.9' E)와 수신점d(31°14.0' N, 122°51.3' E)에서 팔미도 송신국이 선택·수신됨으로써 각각 400해리 및 420해리까지 안정되게 이용되고 있음을 보여주고 있으며, 수신점 b(31°50.0' N, 123°43.6' E)와 수신점e(31°37.3' N, 123°26.1' E)에서 마라도 송신국이 선택·수신되어 송신국의 이용거리가 각각 150해리 및 165해리에 이르고 있

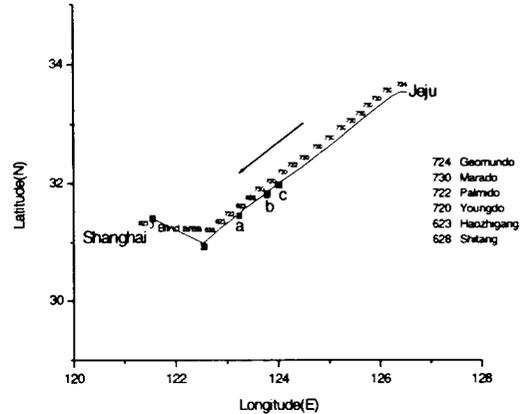


Fig. 4. ID's DGPS beacon stations obtained by DGPS receiver on Jeju · Shanghai route during October 7~8, 2001.

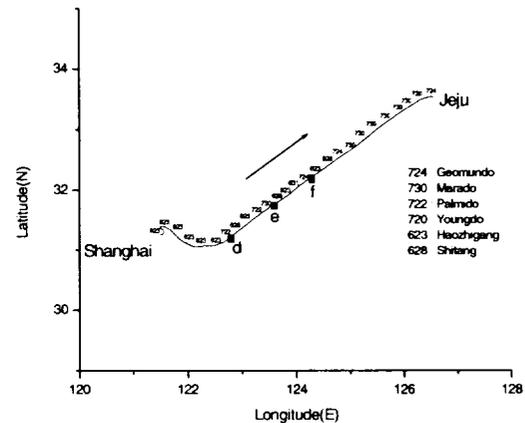


Fig. 5. ID's DGPS beacon stations obtained by DGPS receiver on Shanghai · Jeju route during October 13~14, 2001.

음을 보여주고 있다. 수신점f(32°14.7' N, 124° 21.0' E)는 거문도국이 185해리까지 선택·수신되고 있음을 보여주고 있으며, 수신점c(32°01.9' N, 124°03.3' E)에서는 영도국이 315해리까지 선택·수신되고 있음을 볼 수 있다. 그리고 Fig. 4의 제주에서 상해까지의 항로

Table 3. Maximum receiving range of Korean DGPS beacon stations selected by DGPS receiver on Jeju · Shanghai route

DGPS beacon Station	Maximum receiving range (NM)	
	from Jeju to Shanghai	from Shanghai to Jeju
Palmido(722)	400	420
Marado(730)	150	165
Geomundo(724)		185
Youngdo(720)	315	

에서는 거문도국이 이용범위 내에 있음에도 거의 선택 · 수신되지 않았고, Fig. 5의 상해에서 제주까지의 항로에서는 영도국이 선택 · 수신되지 않았다. 이와 같이 관측된 자료 중에서 우리나라 DGPS국의 최대 선택 · 수신거리를 항로별로 정리하면 Table 3과 같다. Table 3에서 팔미도국은 실제상의 이용범위인 100해리보다 4배 이상의 거리에서 선택 · 수신이 되었으며, 영도국도 315해리에서 선택 · 수신되어 이용범위가 예상보다 매우 넓었다. 그리고 상해에서 제주로 항해할 때가 제주에서 상해로 항해할 때보다 대체적으로 이용범위가 넓은 것으로 나타났다.

GPS와 DGPS수신기로 측정된 위치의 정확도 비교

제주항에서 DGPS수신기로 수신된 위치의 평균 위치를 수신점의 위치로 가정하여 GPS수신 위치의 정확도를 분석하기 위하여 정점인 제주항에서 DGPS수신기로 측정된 관측위치의 결과는 Fig. 6과 같으며, 동일한 지점에서 동시에 GPS수신기로 관측한 위치는 Fig. 7과 같다.

Fig. 6, 7에서 나타낸 수신위치의 자료수는 약 14,000 개로써, GPS수신기로 측정된 위치의 결과가 DGPS수신기로 측정된 결과에 비해서 매우 넓게 분포되어 있는 것을 볼 수 있으며, 상대적으로 DGPS수신기로 측정된 위치보다 오차가 큰 것을 알 수 있다. Fig. 6에서의 DGPS수신기로 측정된 위치에 대한 오차의 범위는 0.91~22.5 m이고, 표준편차는 4.63 m 정도이었다. 그리고 Fig. 7에서 DGPS수신기에 의한 평균 위치를 기준으로 하여 GPS수신기로 측정된 제주항의 위치에 대한 오차의 범위는 0.92~64.4 m이고, 표준편차는 8.42 m 정도이었으며, Fig. 6, 7에서의 고정점 위치에 대한 통계치는 Table 4에 나타내었다.

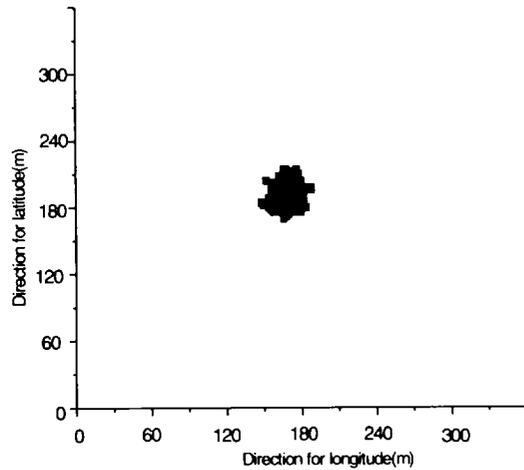


Fig. 6. The result of positioning obtained by DGPS receiver at the Jeju harbor.

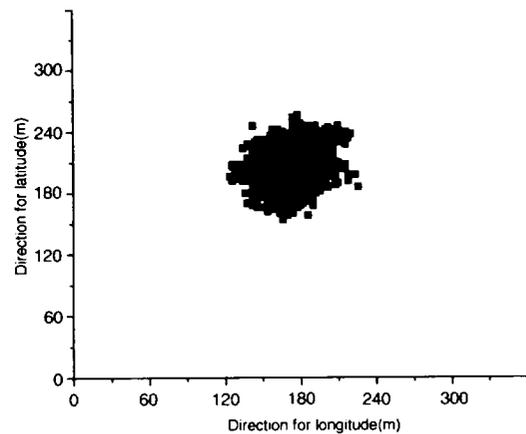


Fig. 7. The result of positioning obtained by GPS receiver at the Jeju harbor.

두 수신기사이의 위치오차에 대한 평균값의 차이는 7.79 m 이었다. 또한 동시에 측정된 두 기기간 위치오

Table 4. Accuracy of positions obtained by GPS and DGPS receivers

System	Position Error(m)		
	Range	Average	Standard deviation
GPS	0.92 ~ 64.4	14.56	8.42
DGPS	0.91 ~ 22.5	6.76	4.63

차의 거리는 평균 16.4 m이었고 이에 대한 표준편차는 10.58 m를 보였다. 제주항의 정점에서 GPS 및 DGPS 수신기로 측정된 위치에 관해서는 위치의 상호오차가 30 m 미만인 경우가 88%로써 대부분을 차지하고 있었고, 30 m 이상에 달하는 경우도 11%에 이를 정도로 오차가 크게 나타났다.

사라봉 삼각점에서의 GPS 및 각 보정국을 이용한 DGPS 위치오차

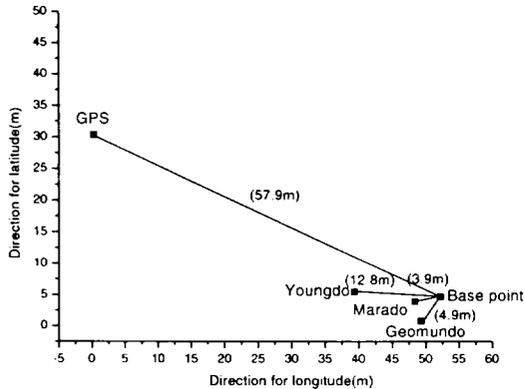


Fig. 8. Average of position error obtained by DGPS and GPS receivers with Geomundo, Youngdo and Marado beacon station at the base point of Sarabong(September. 22~24, 2001).

Fig. 8은 사라봉 정상에 설치된 삼각점에서 수신 가능한 DGPS국을 선택하여 구한 DGPS 관측위치와 GPS 관측위치를 평균하여 삼각점의 위치와 비교한 결과이다. DGPS수신기로 관측한 위치는 삼각점을 중심으로 5 m 전후의 오차가 발생하였으나, GPS수신기에 의해 관측된 위치는 50 m 이상의 오차가 발생함을 나타내고 있다.

Table 5는 사라봉에서의 관측결과를 각 송신국간의 거리와 오차와의 상관관계를 비교하고자 평균하여 나

타낸 값이다. 거리에 따라 관측위치의 오차 평균이 증가하는 현상을 보였다 그러나 여기서의 결과는 예상과 같은 결과가 나오진 하였으나, 격시관측인 관계로 반드시 이러한 경향이 지속되리라고 주장하는 데는 미흡한 면이 있다. 그리고 측정된 위치가 모두 삼각점에서 서쪽 또는 서남쪽 방향으로 생성되는 현상을 보이고 있는데 이는 삼각점의 정확한 위치와 관련하여 추후 정밀한 관측이 필요하다고 보이어진다.

Table 5. Distribution of each distance from base point measured at a fix position of Sarabong

System	Beacon station	D.B.B	Position error
DGPS	Marado	28	3.89
	Geomundo	48	4.87
	Youngdo	157	12.85
GPS			57.87

※ DBB : Distance between Base point and Beacon stations.

고 찰

장거리 선택·수신을 통하여 DGPS신호의 이용범위에 관한 특이현상을 관찰해 보면 육상경로를 거치지 않는 제주와 기룡간의 항로에서 마라도국의 수신 상태가 보여주듯이 해상경로만을 통하여 수신되는 지역의 경우, 약 200해리까지도 그 수신 상태가 매우 양호하게 나타나고 있으므로 -130 dBm의 일반적인 DGPS 수신기를 이용할 경우에도 이러한 지역에서는 200해리까지 DGPS국의 이용이 가능하다고 판단된다.

동중국해에서의 DGPS국의 수신결과, 팔미도국의 신호가 중국의 상해 근처의 420마일까지 수신이 되는가 하면, 마라도국은 북위 23°선까지 안정적으로 수신되었다. 이것은 DGPS송신국으로부터 수신점이 약 210해리에서 약 420해리에서 떨어진 위치라는 사실에서 설계상 이용범위의 2배~4배에 이르는 거리인데 만약 DGPS송신국이 자동선국의 형태가 아닌 수동으로 동일국만을 선택하여 이용범위를 관측하였다면 수신한계거리는 이보다 더 멀어질 수도 있다고 사료된다. 그리고 여기에서 언급되지 아니한 거문도국, 영도국, 장기갑국의 송신국들은 이용범위가 상호 중첩되

어 있어 관측항로상의 해역은 자동선국으로 인한 국 변경이 빈번히 일어날 수 있는 해역이다. 따라서 이러한 송신국들은 자동적으로 다른 국으로 수신기의 수신주파수가 변경되어지기 때문에 각각의 국에 대한 최대수신거리의 측정이 불가능하였으나 다른 송신국들과 그 수신실태가 그다지 다르지 않다는 것을 알 수 있었다.

이용범위는 수신기의 성능, 전파경로, 주파수 등에 따라 다소 차이가 있을 수 있는데, 이(2000)는 주파수가 같은 송신국들이 지표파나 공간파에 의한 상호 간섭을 일으킬 수 있어 실제 이용범위가 설계상의 이용범위보다 매우 줄어들 것으로 예측한 바 있다. 그러나 이 실험에서 관측한 바에 의하면 일본이나 중국의 DGPS국 일부가 우리나라의 송신국과 같은 주파수를 사용하고 있는데도 설계상의 이용범위 내에서 수신에 제한을 받는 경우는 거의 없었다. 그러나 자동선국에 의한 실험이어서 확인하기는 어려웠으나 전파경로 상에 큰 산이 있다거나 할 경우에는 장애를 받는 경향을 보였다.

고정점에서 GPS수신기와 DGPS수신기로 측정된 위치오차를 비교한 결과, GPS수신기의 위치오차가 30m미만인 경우가 88%로써 대부분을 차지하고 있는데 비하여, 30m이상에 달하는 경우도 11%에 이른다. 따라서 항만접근, 협수로 항해나 연안항해, 저인망 등의 어로작업, 해양관측 등 비교적 정밀한 위치를 요구하는 작업에서는 GPS만으로 관측된 결과를 완전히 신뢰하여 사용하기에는 무리가 있다고 생각되므로 비교적 정밀도가 요구되는 작업에서의 위치결정은 DGPS의 이용이 바람직하다고 하겠다.

요 약

이 연구에서는 동중국해에서 우리나라 DGPS국의 이용범위를 실측 조사하여 이를 설계상의 이용범위와 비교하고, 또한 고정점 관측을 통하여 근거리

에 있는 DGPS국과 원거리에 있는 DGPS국의 신호를 동일한 지점에서 관측하였을 경우 생기는 위치오차의 변화와 DGPS국간의 거리와의 상관관계를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 자동선국에 의한 DGPS 송신국의 최대 원거리 수신은 상해에서 제주로 향해서 $31^{\circ}14' N$, $122^{\circ}51' E$ 지점에서 팔미도국이 수신됨으로써 약 420해리이었다.
2. 상용 DGPS수신기로 안정적인 수신이 가능한 거리는 약 150해리 정도로 생각되며, 전파경로가 해상인 경우 200해리 이상의 거리에서도 안정적으로 수신이 가능하다고 판단된다.
3. 정점에서 관측한 GPS와 DGPS의 수신결과는 상당한 오차를 보이고 있어서 GPS수신기만으로 관측된 위치는 그 사용용도에 따라서 신중이 요구된다. 항만접근이나 협수로 항해 등 비교적 정밀한 위치가 요구되는 상황에서는 DGPS수신기의 이용이 바람직하다.
4. DGPS수신기로 관측한 위치는 삼각점을 중심으로 5m전후의 오차가 발생하였으나, GPS수신기에 의해 관측된 위치는 50m전후의 오차가 발생함을 나타내고 있다.

참고문헌

- 이영재 · 이은성 · 정지용, 1997. DGPS 오차 보정 갱신주기 및 시간지연에 따른 위치 오차 분석. 건국대학교 학술지, 41: 155-160.
- 이영재 · 지규인 · 박찬식 · 김일선 · 이장규 · 김춘식, 1995. DGPS와 그 응용. 한국항공우주학회지, 23(1): 148-159
- 이회재, 2000. 극동 아시아 DGPS 기준국들의 커버리지 예측에 관한 고찰. 한국해양대학교 대학원, 석사학위논문, 47 pp.