

# GPS 위치정보를 이용한 선박의 제2 방위센서 개발

Development of the Ship's Secondary Bearing Sensor  
Using GPS position information

고 광 섭\*, 김 종 훈\*, 임 봉 택\*, 임 정 빈\*  
(Gwang-Seop Ko, Jong-Hoon Kim,  
Bong-Taeck Lim, Jeong-Bin Yim)

---

\* 정회원, 해군사관학교 항해학과

# 1. 서론

선박에서 선수방위의 정확한 결정은 가장 기본적이며 중요한 관건이 된다. 이러한 방위정보를 얻기위한 장치로는 고전적인 자기콤파스 (Magnetic Compass) 와 선박용 자이로콤파스(Marine Gyrocompass) 라고 하는 2종류의 방위정보 제공 시스템이 대표적으로 이용되고 있다.

현재, 선박에 탑재된 자기콤파스는 사용상 장애가 심하여 국제해사기구(IMO) 에서 규정한 비상용 장비로 장치되어 있을 뿐 유용한 방위정보 장치로는 사용되지 못하고 있는 실정이다.

또한, 선박용 자이로콤파스는 지구의 관성(inertial)특성을 기계적으로 유도하기 위한 관성센서를 사용하기 때문에 통상 4시간 이상의 예비 구동시간이 반드시 필요할 뿐만아니라 기계적 가동부의 마찰로 인하여 다른 항해장비에 비해 고장발생 빈도가 높은 결점이 있다. 이와 같은 결점은 긴급출동이 요구되는 군사작전 하에서의 무기체계운용에 있어서는 결정적인 결함으로 지적되고 있다.

따라서, 최근에는 선박용 자이로콤파스를 대체할 수 있는 대체 방위센서를 개발하거나, 기존 자기콤파스 정도의 방위정도를 유지하더라도 방위변동이 급격하지 않고 변화를 예측할 수 있는 제2의 방위센서 개발에 노력을 기울이고 있는 실정이다.

한편, LORAN-C, DECCA, OMEGA, GPS, GLONASS 등의 전파 및 위성항법 시스템은 위치정보제공 뿐만아니라 부수적으로 선박의 방위정보를 제공하고 있으나, 이는 선박의 현재 위치와 전자항법 수신기에 저장된 과거의 위치로부터 이동경로에 대한 방위를 계산하는 방식이다. 이 방식으로 부터 제공된 방위정보는 극히 제한적인 요건때문에 아직까지 정밀도에서 선박용 자이로콤파스에 크게 뒤질 뿐만아니라 방위정보제공 시스템으로서는 큰 의미가 없다. 이 방식의 가장 큰 제약은 다음과 같다.

첫째, 방위정보를 계산하기 위해서는충분히 떨어진 두 지점의 위치를 얻어야 하므로 선박이 항해중 침로를 변경할 시에는 방위정보의 획득이 불가능하다.

둘째, 선박이 정지 또는 저속으로 항해 중일 때는 현재의 방위획득이 느리거

나 불가능하게 된다.

셋째, 시스템 오차가 큰 전자항법장치를 사용하거나 짧은 거리에서 빠른 변침(회전) 및 빈번한 변침의 경우에도 방위정보획득은 불가능하다.

따라서, 현재까지 개발되어 사용중인 전파 및 위성항법 방식을 이용한 방위 측정방식은 오직 빈번한 변침없이 일직선상에서의 고속 항해중인 경우에만 그나마 큰 오차를 포함하는 방위정보를 제공하므로 실질적인 방위센서로서의 역할을 못하고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구는 자기콤파스 및 전파 및 위성항법 시스템에서 부수적으로 제공되는 방위정보의 제약점을 극복하고, 정밀도에서도 이들보다 월등히 우수할 것으로 판단될 뿐만아니라, 선박용 자이로콤파스의 가장 큰 결점인 장시간의 예비구동이 필요없는 GPS 시스템의 정확한 위치정보를 이용한 새로운 제2의 방위 센서 개발에 그 목적이 있다.

## 2. GPS-Compass 의 개념 및 원리

### 2.1 GPS 시스템의 운용실태 및 정밀위치 정보 제공

GPS 는 2개의 항해 서비스를 제공하는데, P 코드에 의한 약 10m 내외의 정밀한 위치제공(PPS : Precise Positioning Service)은 미군, NATO 군 및 DOD (Department of Defense) 가 허락한 일부 민간인에게만 사용이 허용되고 있고, C/A 코드에 의한 약 30-40m 오차정도의 SPS(Standard Positioning Service)는 일반인에게 완전 공개되고 있으나 이것도 DOD 가 미국의 안보전략을 들어 고의적으로 정밀도를 떨어뜨리는 SA 정책 때문에 실제적인 오차는 그 이상이다.

따라서 미군을 제외한 타국의 국방 분야에의 GPS 사용 및 민간인 차원에서 고정밀도가 필요한 분야의 GPS 사용은 SPS 정밀도를 향상시키지 않은 상태에서 각 분야에의 적용은 어렵거나 불가능한 상태이다. 이와 같은 GPS 의 문제

를 극복하기 위해 1980년 이후 미연안경비대(U.S. Coast Guard), 미운수성(Department of Transportation, DOT) 등이 주축이 되어 DGPS(Differential GPS) 개발 프로그램에 착수한 이래 현재는 C/A 코드에 의한 SPS 정밀도를 P 코드에 버금가는 혹은 그 이상의 정밀도까지 현저히 향상시켰을 뿐만 아니라, 미연안에서의 전폭적인 DGPS 사용 서비스는 물론 1983년에 구성된 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Service) SC-104 위원단에서는 DGPS 설계를 위한 기술적 표준 규격을 완성하여 공개하였다.

국제적인 DGPS 기준국은 기존의 Radio Beacon, LORAN-C 송신국 등을 기준국으로 채택할 예정이며, MSK 변조 방식을 사용할 것이나 아직은 유동적인 상태이다. 특히, 국제 해상을 항해하는 선박은 어느 특정국의 DGPS 서비스를 활용하기보다는 장래 기존의 LORAN-C 나 Radio Beacon 등을 이용한 체인(chain) 형태의 DGPS 서비스가 보편화 될 것으로 보이므로 해상에서 DGPS에 의한 정밀위치 정보 획득이 가능하리라 판단 된다. 따라서 GPS-Compass의 개발은 획기적인 제2의 방위센서가 되리라 예상된다.

## 2.2 평면직각항법의 기본개념

본 연구에서 개발하고자 하는 GPS-Compass는 선수, 선미의 정밀한 위치 제공하에 평면항법을 근간으로 하는 방위측정 방식이다. 그림 1.에서 지구상의 국소위치 A 점과 B 점을 알고 있다면, A 점으로부터 B 점까지의 수평면에서의 진북을 기준으로 하는 방위(Co.)와 거리(Dist.)는 식(1),(2),(3)으로 계산 된다.

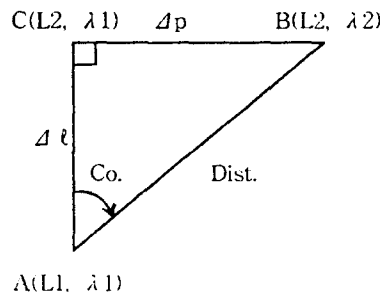


그림1. 평면직각 항법

$$\tan Co. = \frac{\Delta p}{\Delta l} \quad (1)$$

$$[ \text{변위 } \Delta l \text{의 부호} ] Co. [ \text{동서거 } \Delta p \text{의 부호} ] = \tan^{-1} \frac{\Delta p}{\Delta l} \quad (2)$$

$$Dist. = \Delta p \sec Co. \quad (3)$$

여기서, 변위(Difference of latitude)  $\Delta l$  은 A 점의 위도  $L_1$  과, B 점의 위도  $L_2$  사이의 위도변화에 따른 거리이고, 동서거(Departure)  $\Delta p$  는 A 점의 경도  $\lambda_1$  과, B 점의 경도  $\lambda_2$  사이의 거리이다.

위의 식(2)에서 변위  $\Delta l$  은 A 점과 B 점의 위도가 같은 부호면 차를 구하고 다른 부호면 합을 구한다. 또한 변위  $\Delta l$  의 부호는 B 점이 A 점의 북쪽에 있으면 N(North 의미), 남쪽에 있으면 S(South 의미)를 붙인다, 동서거  $\Delta p$  는 A 점과 B 점의 경도가 다른 부호면 합을 구하고 같은 부호면 차를 구한다. 또한,  $\Delta p$  의 부호는 B 점이 A 점의 동쪽에 있으면 E(East 의미), 서쪽에 있으면 W(West 의미)를 붙인다

또한, 위도  $L_1$  에서  $L_2$  까지의 변위  $\Delta l$  의 자오선호의 길이는 다음 식 (4),(5)로 구해진다.

$$\begin{aligned} \Delta K(\theta) &= \int_{L_1}^{L_2} \left[ \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 L)^{3/2}} \right] dL \\ &= a(1-e^2) \int_{L_1}^{L_2} \left( 1 + \frac{3}{2} e^2 \sin^2 L + \frac{15}{8} e^4 \sin^4 L + \right. \\ &\quad \left. \frac{35}{16} e^6 \sin^6 L + \dots \right) dL \end{aligned} \quad (4)$$

이 것을 풀면,

$$\Delta K(m) = a(1-e^2) [ A' \cdot \Delta L \cdot \rho' - B' \sin \Delta L \cos 2Lm +$$

$$\frac{1}{2} C \sin 2\Delta L \cos 4Lm - \frac{1}{3} D' \sin 3\Delta L \cos 6Lm] \quad (5)$$

여기서,  $a$  : 지구의 적도반지름

$e$  : 지구회전타원체의 이심률

$\rho'$  : 위도차  $\Delta L$  은 위도차  $1'$  에 대한 라디안 값

$$\rho' = \frac{\pi}{180^\circ \times 60'}$$

$\Delta L = L_1 \sim L_2$  ( $L_1, L_2$  는 각도의 분)

$$Lm = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

$$A' = 1 + \frac{3}{4} e^2 + \frac{45}{64} e^4 + \frac{175}{256} e^6 + \dots = 1.0050373060$$

$$B' = \frac{3}{4} e^2 + \frac{15}{16} e^4 + \frac{525}{512} e^6 + \dots = 0.0050478492$$

$$C' = \frac{15}{64} e^4 + \frac{105}{256} e^6 + \dots = 0.0000105638$$

$$D' = \frac{35}{256} e^6 + \dots = 1.0050373060$$

또한, 위도  $L$  에서  $\lambda_1, \lambda_2$  사이의 동서거  $\Delta p$  의 길이는 다음 식(6)으로 구한다.

$$\Delta p(m) = \frac{a \cos L}{(1 - e^2 \sin^2 L)^{1/2}} \cdot \Delta \lambda \cdot \rho' \quad (6)$$

여기서,  $\Delta \lambda = \lambda_1 \sim \lambda_2$  ( $\lambda_1, \lambda_2$  는 각도의 분)

식(5),(6) 에서 지구회전타원체의 이심률과  $e$  와 지구의 적도반지름  $a$  는 측지계(Geodetic system)의 종류에 따라 다른 값이 된다. 따라서 현재 WGS-84 의 GPS 와 Bessel 회전타원체에 의한 UTM 방식의 한국 해도 등 GPS 수신기와 서로 다른 측지계에 근거한 해도의 사용에 있어서는 주의를 요한다. 우리나라에서는 국립지리원이나 수로국에서 Bessel 이 1841 년에 산출한 값을 사용하고 있

으며, 수로업무법(교통부 수로국, 수로업무법 1980. 4.) 에는 장반경  $a=6377397.155\text{m}$ , 편평율  $f = \frac{1}{299.152813}$  로 되어 있다.

### 2.3 평면직각항법의 선박방위 계산에의 적용

그림 2. 는 그림 1. 의 평면직각항법을 선박에 적용했을 때의 경우로서, 길이  $\text{Dist. (m)}$ 인 선박의 정선수점 Q 와 정선미점 P 에 각각 GPS 를 두고 그 위치  $P(\text{Lat}1, \lambda 1)$ ,  $Q(\text{Lat}2, \lambda 2)$  를 지구상에서의 국소위치  $A(L1, \lambda 1)$  와  $B(L2, \lambda 2)$  로하면, 위의 식(2)로 부터 선박의 선수미방위( $\text{Co.}$ )를 구할 수 있다. 이 것이 GPS 를 이용한 선박의 방위측정센서의 기본원리가 되며, GPS 를 이용한 방위센서라는 의미에서 “GPS-Compass” 라 호칭하려고 한다.

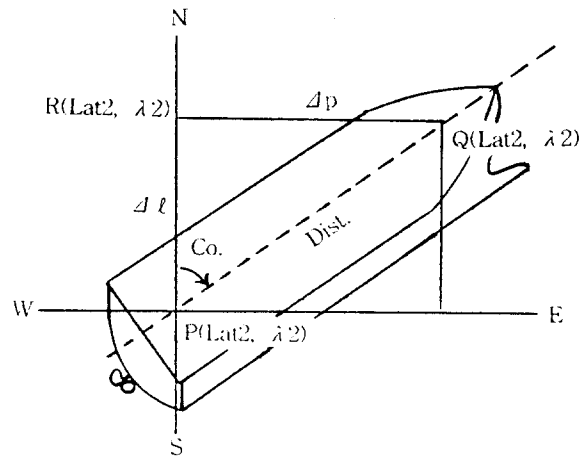


그림 2. GPS-Compass 의 원리

그림 2. 에서,  $P(\text{Lat}1, \lambda 1)$ ,  $Q(\text{Lat}2, \lambda 2)$ ,  $R(\text{Lat}2, \lambda 1)$  의 각 경,위도로 표시된 좌표값은, 그림 3 과 같이 점 P 를 원점으로 하고, 동서(east-west)축을 x 축으로, 남북(north-south) 방향을 y 축으로 하며,  $\Delta p$  를 x 축의 값으로,  $\Delta l$  을 y 축의 값으로 하는 x-y 직교좌표계로 변환된다.

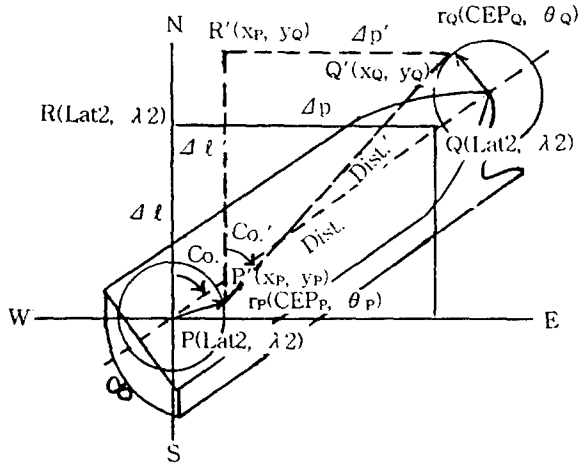


그림. 3 x-y 좌표계로의 변환

그림 3. 에서 GPS 의 위치결정의 오차확률반경 CEP(Circular Error Probable) 를 고려하면 점  $P(0,0)$ ,  $Q(\Delta p, \Delta l)$ ,  $R(0, \Delta l)$  은  $P'(x_p, y_p)$ ,  $Q'(x_q, y_q)$ ,  $R'(x_p, y_q)$  로 변환되고 선수방위  $Co.$  는  $Co'$  로, 두점 사이의 거리  $Dist.$  는  $Dist.'$  로 변환된다.

여기서, GPS 의 위치결정오차 CEP 로 인하여 변환된  $P'(x_p, y_p)$ ,  $Q'(x_q, y_q)$ ,  $R'(x_p, y_q)$  의 좌표값은 각 원점을  $P(0,0)$ ,  $Q(\Delta p, \Delta l)$  로 하고, P점의 GPS 오차는 반경  $CEP_p$  와 각  $\theta_p$ , Q 점의 GPS 오차는 반경  $CEP_q$  과 각  $\theta_q$  로 하는 극좌표  $r_p(CEP_p, \theta_p)$ ,  $r_q(CEP_q, \theta_q)$  를 식(7),(8) 과 같이 직교좌표로 변환한후 원점 P, Q 에 가감하여 구한다.

$$\left. \begin{aligned} x_p' &= CEP_p \cos \theta_p \\ y_p' &= CEP_p \sin \theta_p \end{aligned} \right\} \quad (7)$$



$$\left. \begin{aligned} x_{Q'} &= CEP_Q \cos \theta_Q \\ y_{Q'} &= CEP_Q \sin \theta_Q \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

따라서 GPS 오차때문에 변형된  $P'(x_P, y_P)$ ,  $Q'(x_Q, y_Q)$  의 좌표값은 다음 식으로 구해진다.

$$\left. \begin{aligned} x_P &= x_{P'} \\ y_P &= y_{P'} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} x_Q &= | \Delta p' - x_{Q'} | \\ y_Q &= | \Delta l' - y_{Q'} | \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

따라서,  $P'$ ,  $R'$  사이의 거리  $\Delta l'$  와,  $P'$ ,  $Q'$  사이의 거리  $\Delta p'$  는 다음식으로 구할 수 있다.

$$\Delta p' = | x_{P'} - x_{Q'} | \quad (11)$$

$$\Delta l' = | y_{P'} - y_{Q'} | \quad (12)$$

GPS 오차확률반경 CEP 를 고려한 개선된 침로는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$Co.' = \tan^{-1} \frac{\Delta p'}{\Delta l'} \quad (13)$$

식(13) 은 앞의 식(2) 와 같은 절차에 따라 Co. 앞의 부호와 뒤의 부호를 결정한다.

## 2.4 측지계 변동에 따른 오차 방위 계산

결프전 당시 군사지도의 좌표계가 국가마다 서로 다른것을 사용하므로 인해 장거리 유도무기체계에 문제점이 발생하여 미국은 전세계국가를 대상으로 좌표체

계 변환을 요구중이며, 특히 우리나라는 좌표체계변환 우선대상국이 되어 있다.

세계의 각지역에서는 국가별로 정한 기준원점에 있어서의 천문경위도 관측과 지역내의 삼각측량에 의해서 측지계를 설정하여 지도 및 해도를 작성하고 있다. 그러나 서로 다른 두 측지계의 인접지역에서는 양자의 측위경도가 일치하지 않게 되는데 그 이유는 다음과 같이 2가지로 살펴볼 수 있다.

1. 원점에 있어서의 연직선편차 :

원점에서 천문경위도 관측을 행할 때 수준기에 의해서 연직방향을 정하고, 그것을 기준으로 해서 측각한다. 그러나 이 연직선의 방향은 부근 지하의 질량 분포에 좌우되고 지구타원체와는 무관하게 된다.

2. 삼각망의 전개에 이용하는 준거타원체가 측지계에 따라서 다르다 :

준거타원체의 크기와 형상은 그 장반경  $a$  와 편평을 편평율  $f$  로 규정되고 이 값이 다르면 동일한 삼각측량 결과에도 다른 경위도 값이 된다.

항해분야에 여러종류의 전자항법방식이 도입됨과 동시에 측량에서도 광파 또는 전자파를 사용한 전자측량장치가 여러가지 개발되고, 종래의 삼각측량에 대신해서 고정도의 세번측량이 행해지고 있다. 더욱 인공위성의 출현에 수반하여 이 것을 공간에 띄운 일종의 삼각점으로 하여 입체 삼각측량을 행하므로써 넓은 지역에 걸쳐 각 지점의 기하학적인 상대위치관계를 구할 수 있게 되었다.

또한, 인공위성궤도 해석으로부터 지구중력분포가 구해지고, 이것과 지상의 천문경위도 측량과 중력관측을 병행해서 지구의 역학적 성질이 해명되고 있고 구체적으로는 지오이드(geoid)의 형태로 주어진다. 이러한 기하학적,역학적 성과를 병행하므로써 지구상의 각 관측점의 위치를 지구중심을 원점으로하는 좌표계로 나타낼 수 있다. 이것을 세계측지계(World Geodetic System, WGS) 이라 한다.

WGS는 1960년이래 많은 연구자와 연구기관에 의해서 다양한 종류의 것이 개발되었지만, 그러한 것들은 측지학,지구물리학 연구와 함께 NNSS 의 실용화라는 현실적 요구에서 행해진것으로 미국의 존스홉킨스대학의 응용물리연구소 (Applied Physics Laboratory, APL) 및 해군무기연구소 (Naval Weapon Laboratory, NWL) 이 중심적 역할을 하였다. 이 보다 전에 1960년대 부터 미국 방성(DOD)은 모든 전세계 측지계를 설정해서 그것에 기존의 세계각지의 측지계를 연결시키는 계획을 세웠고, 그 결과 WGS-60, WGS-66을 경유해서 WGS-72

및 현재에는 GPS 의 출현에 따라 더욱 정밀한 WGS-84 에 이르고 있다.

따라서 GPS 수신기의 기준 측지계, 국제적으로 항행하는 선박, 사용하는 해도 3 요소를 종합적으로 고려해보면, GPS 의 위치정보를 이용하여 평면항법으로 방위계산을 할 때 이에 대하여 고려해야함을 알 수 있다.

## 2.5 GPS 수신기 오차 모델에 대한 이론적 고찰

GPS-Compass 의 정확도는 다음 그림 4. 와 같이 GPS 사이의 거리 Dist.(m) 와 GPS 위치결정의 오차확률반경 CEP( $r, \theta$ ) 에 의해 결정되며, 4가지 경우를 고려해 볼 수 있다.

그림 4. 에서, 두 GPS 의 CEP 가 동일한 벡터일 경우(a 의 경우)에는 선수 미방위오차는 발생하지 않음을 알 수 있다. 통상 동일한 GPS 에 의해 동일한 시간에 동일한 인공위성에 의한 위치측정에서 오차확률반경은 동일한 벡터를 나타낼 것이다. 따라서 본 연구에서 제안한 GPS-Cmpass 의 경우 이론상 GPS 위치결정의 오차확률반경 CEP( $r, \theta$ ) 에 의해서는 오차가 발생하지 않게 된다. 그러나 실질적으로는 예측불가능한 오차가 발생할 것이므로 그림 4. 의 b), c), d) 와 같은 오차발생도 고려할 필요가 있다.

따라서 GPS 위치결정 오차확률반경 CEP 에 대한 모델 해석이 필요하다. 특히, 지구상의 근접한 두 지점에서, 동일한 GPS 수신기에 의해, 동일한 시간에, 동일한 위성신호에 의한 위치결정에서는 SA 오차가 있다고 하더라도 오차확률반경은 동일한 벡터로 나타날 것이므로 방위오차는 거의 없을 것으로 사료되나, 보다 과학적인 근거에 의해 모델 해석과 측정실험이 행해져야 한다. 그림 5. 에 선박방위계산 절차를 나타내었다.

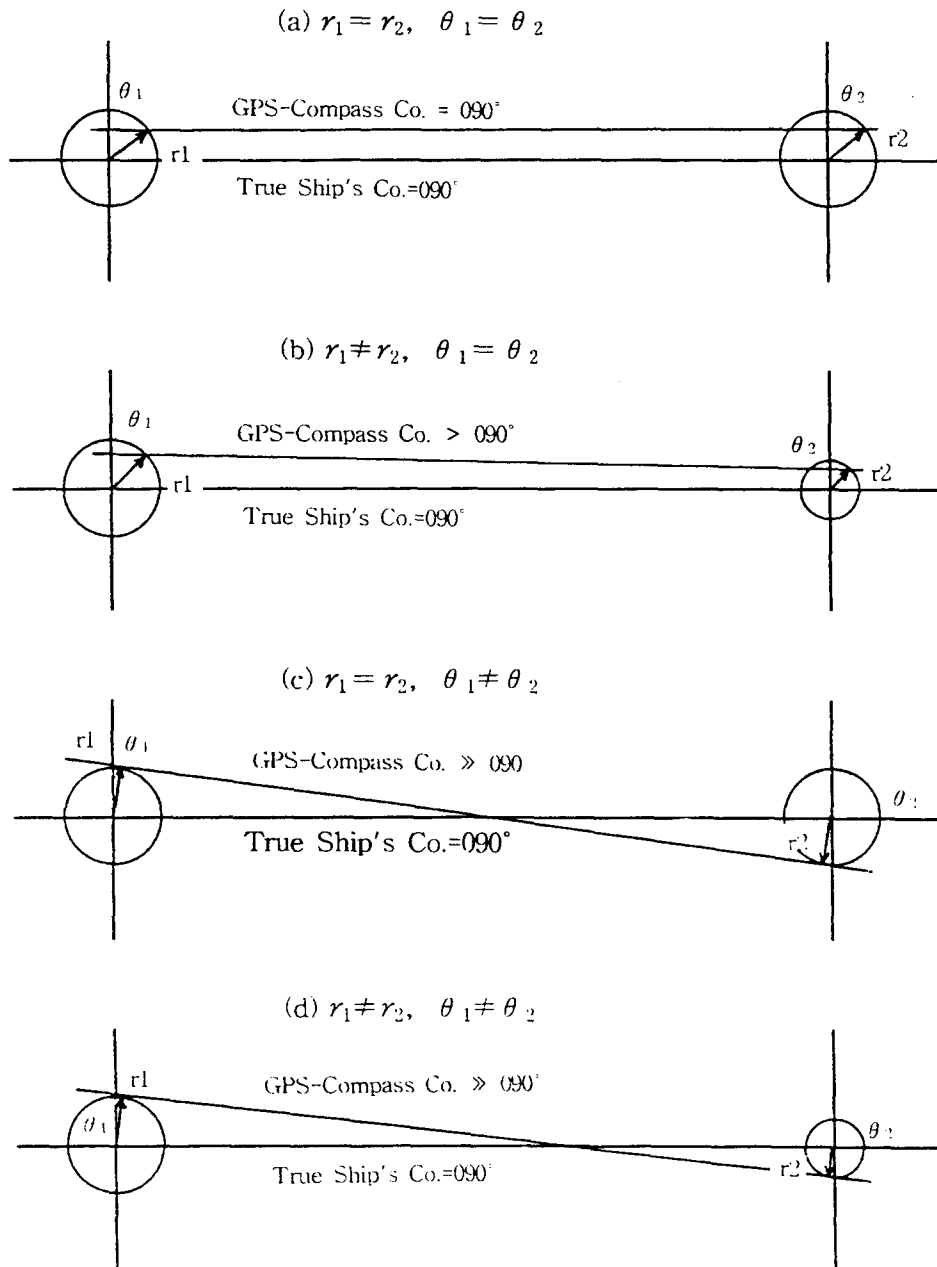


그림 4. GPS-Compass 의 오차분석

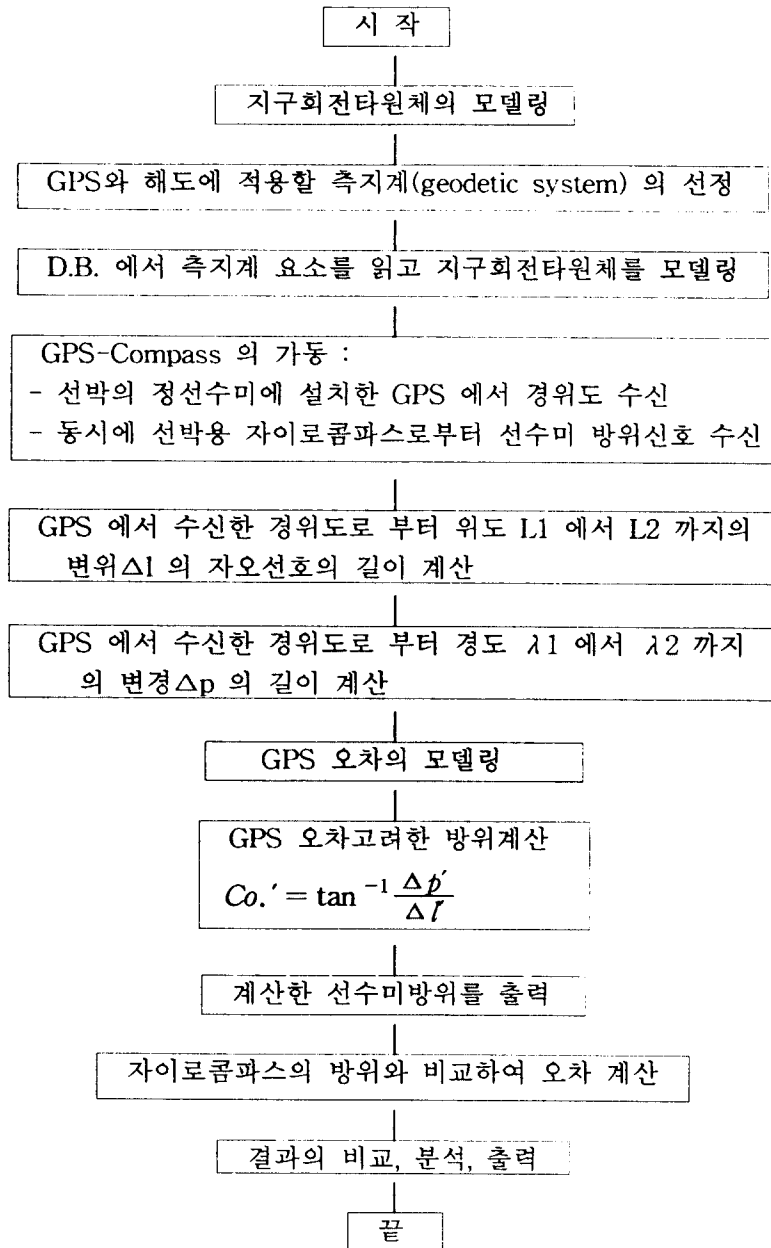


그림 5. GPS-Compass의 방위추정 알고리즘의 흐름도

### 3. 실험장치의 구성

그림 6. 은 선박에 장치한 실험장치의 블록도이다.

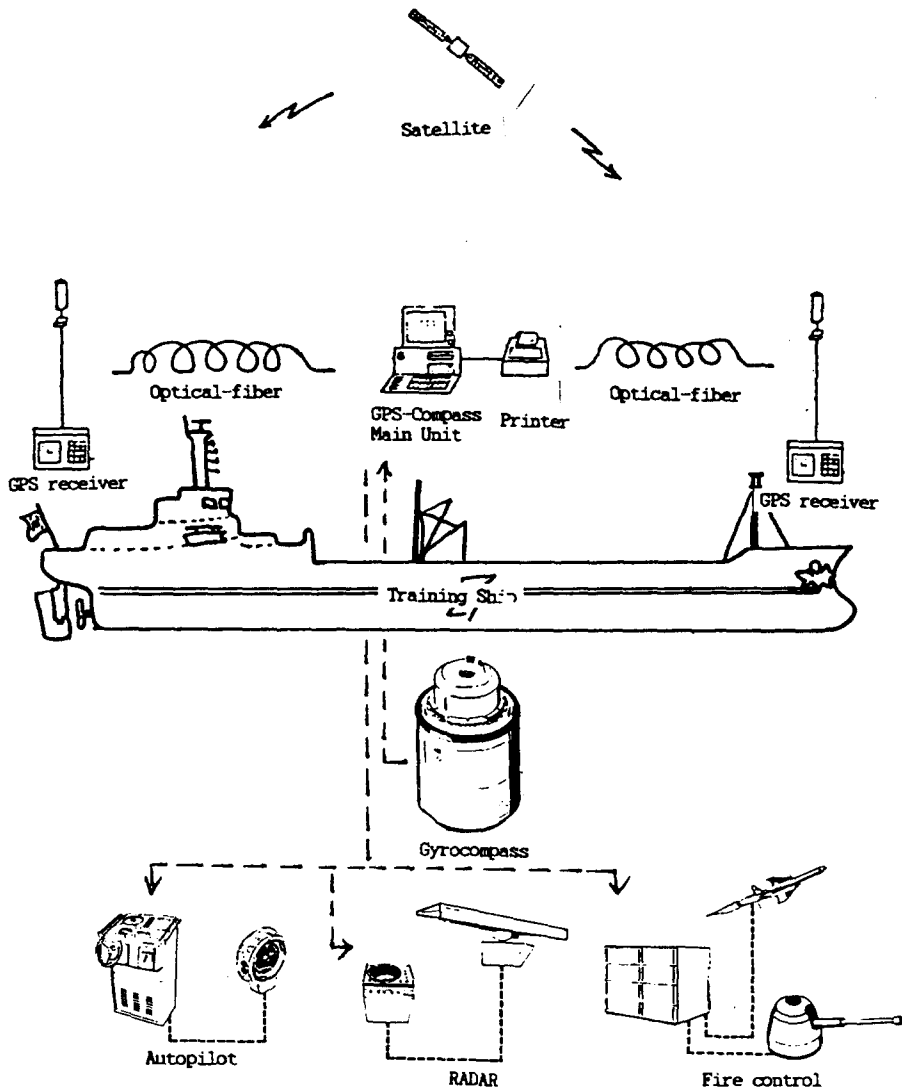


그림 6. 선박에 장치한 GPS-Compass 의 실험장치

중대형 선박의 정선수와 정선미에 GPS를 설치하여 동시에 실시간으로 데이터를 PC로 수신한 후 선박의 선수미방위를 계산한다. 또한 이와 동시에 선박에 설치된 선박용 자이로컴파스의 방위신호를 PC로 수신하여 GPS-Compass로부터 계산된 선수미방위신호와 서로 비교하여 오차를 측정한다. 이때, 선박용 자이로컴파스는 실험 4~6 시간전부터 작동시켜 오차발생을 예방하고, 육지물표나, 천체를 이용하여 오차를 정확하게 측정하여 계산시 보간한다.

GPS로부터 선교(bridge)에 있는 인터페이스까지는 정거리전송이 필요하므로 Optical-fiber를 이용하여 데이터 손실을 극소화한다. GPS의 각종 수신정보는 일반적으로 RS-232C, RS-422 또는 NMEA-0183 방식으로 출력되고, 선박용 자이로컴파스의 방위신호는 3상 60Hz 변조방식의 동기신호로 출력된다. 따라서 이에 맞는 인터페이스를 구성하여 각종 정보 데이터를 PC로 전송해야 한다.

## 4. 결 론

GPS의 위치정보를 이용한 선박용 제2의 방위센서로서의 가능성을 이론적으로 살펴보고 실선실험한 결과는 다음과 같다.

1. 길이 90.0m 군함의 선수와 선미에 GPS(GARMIN GPS-100)를 설치하여 GPS-Compass를 구성한 후, 자이로(LITTON)의 방위와 4시간동안 비교한 결과 오차는 약 수도 이내에 오차원이 형성되어 GPS-Compass의 실현가능성을 확인할 수 있었다.

2. GPS 방위를 이용하여 평면좌표계로 변환하는 경우 사용하는 해도에 적용되는 측지계(Godetic system)와 GPS에 사용되는 측지계를 정밀하게 고려해야 하며, 이에 대한 연구는 군사 무기체계에서 절실히 그 연구가 요청되는 사항임을 알 수 있었다.

3. GPS-Compass를 구현하기 위해서는 GPS 오차모델의 구성과 평가 알고

리즘의 제작이 선행되어야 하고, DGPS 에 대한 오차모델의 구성도 함께 선행되어야 함을 알 수 있었다.

4. 앞으로 장거리 전송에 필요한 하드웨어를 구축하여 운항 중인 선박에서의 실선실험과 무기체계 적용실험을 할 예정이다.

## 참고문헌

1. National Marine Electronics Association's, "Standard for Interfacing Marine Electronic Navigational Devices NMEA-0183 Ver.2.0," NMEA, 1992
2. ISO Committee's, "INTERNATIONAL STANDARDS(ISO) 2269-Magnetic compasses and accessories-Rules for testing and certification," Switzerland, 1973.
3. K.S.Ko, "On the Smoothing Estimation using the steady Kalman Gain," JTC-CSCC '91, 1991. 3.
4. R.G.Brown, "Introduction to Random Signal Analysis and Kalman Filtering," John Wiley and Sons, 1983
5. Earl G. Blackwell, "Overview of Differential GPS Methods," The Institute of Navigation, Vol.III, 1986
6. RTCM Special Committee's, "RTCM Recommend Stands for Differential NAVSTAR GPS Service Ver.2.1," NewYork, 1994
7. David Wells, "Guide to GPS Positioning," Canadian GPS Associates, 1987
8. 岩永道臣, 樽美幸雄, "精説 天文航法(上)," 成山堂書店, 東京, pp.50~84, 1988
9. 鈴木敬信, "天文學通論," 地人書館, 東京, pp.11~36, 1983
10. 杳名景義, 坂戸直輝, "海圖の知識," 成山堂書店, 東京, pp.302~322, 1967
11. 永井信夫, "地圖學の基礎 第4版," 地圖情報センタ, 東京, pp.49~75, 1984
12. 木村小一 外4人, "電子ナビゲ-ションシステム設計技術とその展開・例," 應用技術出版, 東京, pp.3~127, 1988
13. 進士 晃, "測地系變換圖(海圖6019)の刊行," 航海, 50號, pp.47~52, 1976



14. 木村紘治郎 外 4人, "GPSの測位精度-I," 航海, 96號, pp.39~46, 1988
15. 松野保久 外 4人, "GPSの測位結果について," 航海, 102號, pp.17~26, 1990
16. 合田政次 外2人, "GPSの定点における測位精度," 航海, 102號, pp.27~33, 1990
17. 김기성, "측지학 개요," 기공사, pp.16~118, 1992
18. 정노현, "위성항법 위치탐지체계," 합동참모본부 합참, pp.90~105, 1995. 1.
19. 임정빈, 이상집, "선박용 자이로컴파스의 정보전송 인터페이스 개발에 관한 연구," 한국항해학회지 제16권 제4호, pp.35~45, 1992
20. 이상집, 임정빈, "원격지시식 자기 컴파스에 관한 연구(I)," 한국항해학회지 제10권 제1호, pp.88~89, 1986
21. 홍창희 외 5인, "PC 를 이용한 선박의 위치정보전송 system 에 관한 연구," 한국항해학회지 제15권 제4호, pp.1~11, 1991
22. 고팡섭, "GPS 위성신호 수신항상을 위한 Smoothing Estimation 알고리즘 개발," 해양연구논업, pp.45~62, 1992. 7.
23. 정세모 외 1인, "GPS 수신기 개발을 위한 PN code 발생기에 관한 연구," 한국해양대학원 논문집, 1985