

해양 전파항법 시스템의 개발 분석

張大錫

蔚山水産専門大學 電子科

I. 서 론

해상의 안전을 위하여 국제적으로 SOLAS조약이 체결된 이래, 해양 전파항법에 관한 IMO(International Maritime Organization)의 활동이 활발히 전개되어 왔다. IMO에서는 전파항법 시스템의 성능 기준을 제정하며, ISO 및 IEC 등에서는 성능 기준을 기초로한 독자적 성능기준 및 시험기준을 제정하여 해상안전을 위하여 이용하고 있다.

미국은 1980년에 FRP(federal radionavigation plan)을 발표하여 전파항법에 관한 계획, 구비조건, 특성 및 연구 개발 등을 취급하고 있으며, 그후 장기적으로 추가사항을 제시하고 있다. FRP에 의하면 현재 해상에서 이용하고 있는 주요 전파항법 시스템으로 로란 C, 오메가 및 트랜시트 시스템을 들 수 있다.^{[1],[2]}

이들은 각각 고유의 특징이 있지만, 어느 것도 단독으로 보는 전 세계적으로 항상 높은 정확도를 갖는 위치측정을 할 수 없다. 따라서 해양을 항해하는 선박들은 해역에 따라 가장 정확한 위치측정을 위하여 여러개의 다른 종류의 전파항법 시스템들을 구비하지 않으면 안된다. 이를 극복하기 위한 연구에 따라 GPS(global positioning systems)의 개발 완성을 서두르고 있다.^{[3],[4]}

이 연구에서는 해양 전파 항법 시스템의 이용상황을 개발 측면에서 각종 시스템별로 검토하고, 새로운 해양 전파항법 시스템의 개발과정을 분석한다. 또한 위치 측정 정확도가 보다 우수한 새로운 해양 전파 항법 시스템의 개발 방향을 제시한다.

II. 해양 전파항법 시스템의 이용 상황

1. 로란 C 시스템

Loam(long range navigation)-C 시스템은 1975년에 미

국의 CCZ(coastal confluence zone)와 5개의 호수에서 활용되는 전파항법 시스템으로 지정되었다. 이 지정에 따라 0.25 해리의 위치 측정 정확도를 얻기 위하여 전파항법 시스템의 근대화 및 전파전파의 연구가 필요하게 되었다. 따라서 무선국 시설의 변경으로 시스템을 근대화시키고, 전파전파 속도의 계산에서 ASF(additional secondary factor)의 계산 방법이 채택되어 이용하고 있다.^[5]

이 시스템은 1개의 주국(M)과 3-4개의 종국(W, X, Y 및 Z)으로 체인을 형성하고 있는데, 그림 1은 로란 C 시스템의 국배치를 나타낸다. 주국 및 종국은 모두 100KHz의 같은 주파수로 송신되고 있다.

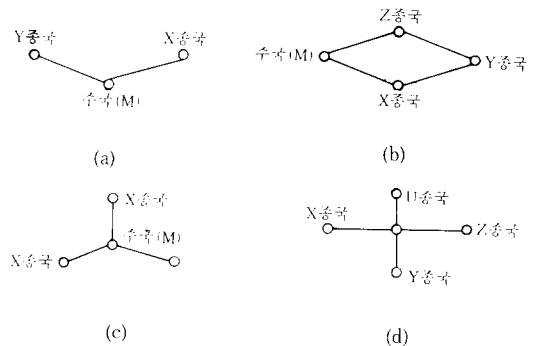


그림 1. 로란 C 송신국의 배치

각 송신국의 체인은 GRI(group repetition interval)로 임펄스를 송신하는데 GRI는 고유의 체인에 대한 특성을 의미한다. 그림 2에서는 보는 바와 같이, 주국(M)이 먼저 임펄스를 송신하고 조금 후에 제 2의 종국(X)이 송신하고, 그 다음에 Y국이 송신한다.

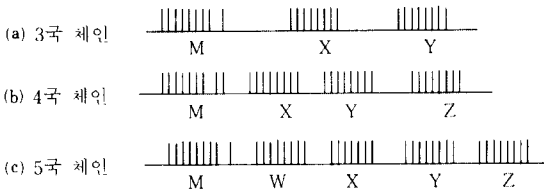


그림 2. 로란 C 송신국의 펄스 신호군

로란 C 수신기는 주국으로부터의 임펄스 및 종국으로부터의 임펄스 X(TDX) 및 Y(TDY)의 도달 시간의 차이를 측정한다. TDX는 M국과 X국 간의 같은 시간 차이를 갖는 위치의 쌍곡선 상에 있으므로 수신점의 위치는 쌍곡선의 교차점으로 결정된다.

로란 C의 위치측정 정확도를 높이기 위하여 스위스 운하의 해상 감시활동에서 선박위치 감시의 정확성을 조사하였으며, 미국의 연안 경비청은 전 항만에서 로란 C 전파의 연속 모니터 실험에 의하여 활발한 연구를 계속하여 왔다.

송신신호는 가까운 거리를 전파하는 지표파에 의하여 전파하거나, 전리층에 의한 반사로 자유공간에 전파하게 된다. 후자의 경우 송신신호는 지연되어 위치 결정에 있어서 오차를 가져오게 된다. 송신 주파수가 100KHz의 낮은 주파수이기 때문에 출력이 300KW인 로란 C 송신기의 지표파는 전리층의 간섭 및 잡음에 따라 약 2200Km의 범위내에서 수신될 수 있다. 1500Km 이내의 거리에서 지표파는 500m 이내의 정확도를 얻을 수 있는데, 유효 범위가 좋은 경우에는 상대적인 정확도는 15-60m 이내로 좋아 질 수 있다. 이 시스템의 유효범위는 미국의 전 해안 지역, 일본의 항로, 태평양 지역, 북부 대서양 지역, 북부 유럽 지역 및 지중해 지역 등을 포함하고 있다. 1988년 현재 로란 C 수신기를 해상에서 이용하고 있는 현황은 200,000여대이며, 로란 C 시스템은 넓은 유효 범위를 갖고 있으므로 21세기에 계속 이용될 것으로 보인다.

2. 오메가 시스템

오메가 시스템은 낮은 주파수를 사용하고 있으며, 로란 C 시스템과 같이 쌍곡선형 전파항법 시스템이다. 이 시스템은 8개의 기지 무선국으로 구성되어 있으며 그들의 위치는 표 1에서 보는 바와 같다.

송신기간의 거리는 6000 마일까지이며, 모든 송신기는, 10.2KHz, 11.05KHz, 11.33KHz 및 13.6KHz의 주파

표 1. 오메가 송신국의 위치

국 명	지 명	위 도	경 도
A NORWAY	Aldra	66°-25'-15''N	13°-09'-10''E
B LIBERIA	Monrovia	6° 18' 19''N	10° 39' 44''W
C HAWAII	Oahu	21° 24' 21''N	157° 49' 48''W
D NORTH DAKOTA	La Mour	46° 21' 57''N	98° 20' 09''W
E REUNION	Reunion Is	20° 58' 27''S	55° 17' 24''W
F ARGENTINE	Golfo Nuevo	43° 03' 12''N	65° 11' 29''E
G AUSTRALIA (Trinidad)	South Australia	38° 29' S* (10°42'06''N)	146° 56' E* (61°38'20''W)
H JAPAN	Tsushima	34°36' 53''N	129° 27' 13''E

수로 위상 동기 신호를 차례로 송신한다. 주간에는 반사 현상이 높기 약 70Km의 D층에서 일어나며, 야간에는 높이 약 90Km의 E층에서 일어난다. 따라서 송신 신호는 지구 주위의 1/2 지점까지 전송될 수 있다.

어떤 송신기에서 측정된 신호 위상이 송수신기 간의 신호 경로의 길이에 따라 다르기 때문에 신호의 분산 현상이 발생한다. 지구와 전리층간의 반사 현상에 의하여 신호 경로의 길이는 반사되는 전리층의 높이에 따라 결정된다. 또한 낮과 밤의 차이에 따른 신호의 지연은 약 100μs, 즉 30Km의 차이를 나타낸다. 그러나 오메가 수신기가 자동적으로 교정하여 정확한 위치 측정이 가능한데 그 정확도는 2σ 이하이다.

이 시스템은 1982년에 완성되어 해상 및 항공에서 이용되는 전 세계적인 전파항법 시스템이다. 이 시스템에 관한 주요 연구내용은 각 무선국에서의 coverage diagram의 작성 및 해역별 오메가 시스템의 성능 평가 등을 들 수 있다. Coverage diagram에 관한 것으로는 신호대 잡음비 -20db 및 -30db에 대한 coverage의 한계를 제정별, 각 무선국별로 작성한 것과 위도 및 경도 10°마다 각 무선국별로 신호대 잡음비, 모드 간섭 및 전파 간섭의 영향을 숫자 및 영문자로 표시한 것들이 있다.

성능 평가에 관한 것으로는 오메가 수신기를 이용하여 오메가 무선국의 모든 신호에 대하여 위치 측정을 하였다. 이 방법에 따라 위치 측정의 정확도를 향상시킬 수 있었다. 미국은 differential omega의 성능시험을 실시하였으며, GPS의 운용이 본격화 되더라도 계속 오메가 시스템의 활용을 기대하고 있다.

3. 트랜시트 시스템

트랜시트 시스템은 NNSS(naval navigation satellite system)으로 알려져 있는 것처럼, 원래 미국 해군용으로

개발되어 그후에 민간용으로 개방되었으며, 세계적인 유효범위를 갖는 전파 항법 시스템으로 발전되었다. 이 시스템은 높이 1075Km의 궤도상에 7개의 위성으로 구성되어 있다.

이용자의 높이에 따라 각 위성간을 이동하는데 평균 35-100분간의 시간이 소요되며, 이에 따라 위치가 결정된다. 송신 주파수는 150KHz 및 400KHz이며, 2개의 송신 주파수를 이용하여 이 시스템은 전리층 신호 지연에 대하여 교정할 수 있다.

그동안 이 시스템의 개선 연구가 계속되었는데, 그 하나는 software에 관한 것으로 많은 자료에 따라 위성궤도의 예측 정확도를 향상시킬 수 있었으며, 다른 하나는 새로운 위성 NOVA의 개발에 관한 것이다.

이 NOVA 위성은 위성의 궤도상에 있는 공기의 저항을 받아 위성의 속도가 감소되며 이것을 확인하여 원래의 속도로 환원시키는 기능을 가지고 있다. 이 시스템은 1 주파수용 송수신기로 계산에 의하여 전리층 오차의 보정이 가능하도록 개선되었다.

Ⅲ. 새로운 해양 전파항법 시스템의 개발

종래의 전파항법 시스템이 가지고 있는 결점을 해소하기 위하여 연구한 결과, 전세계적인 전파항법 시스템으로 NAVSTAR GPS(navigation system with time and ranging global positioning system)의 개발을 제안하였다.^{[4],[6]} 최근에 종합 전파항법 시스템인 자동항법 시스템을 실용화하고, 실제로 선박에 탑재하여 부분적으로 이용하고 있는 상황에서 전세계에서 항상 정확도가 높은 위치 측정을 할 수 있는 측위 센서를 보유해야 할 필요성이 대두되었다.

그러나 현재 사용하고 있는 전파항법 시스템으로는 단독으로 이를 만족시킬 수 없기 때문에 자동항법 시스템의 성능을 충분히 발휘할 수 없다. 앞으로 GPS의 출현에 따라 처음으로 완전한 전세계적인 전파항법 시스템을 기대할 수 있을 것이다.

1. NAVSTAR GPS

위성 항법 시스템 NAVSTAR GPS는 트랜시트 시스템의 결점을 개선한 위성 항법 시스템으로 현재 개발중에 있으며, 개발 완료되면 위치, 속도 및 시간 등의 정보를 전 세계적으로, 연속적으로, 높은 정확도로 제공할 수 있을 것이다.

이 시스템은 그림 3에서 보는 바와 같이, 위성 부분, 제어 부분 및 이용자 부분으로 구성되어 있다. 위성 부

분은 약 20,200Km의 상공에서 지구의 주위를 회전하는 21개(3개의 예비 위성 포함)의 위성(개발 완성시)으로 구성되어 있다.

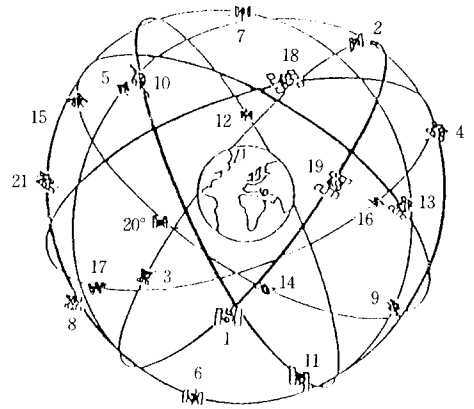


그림 3. GPS 위성 배치도

위성의 회전 시간은 약 12시간이며, 위성은 항법 자료 및 정확한 시각을 알리는 전파 신호를 연속적으로 송신하므로 GPS 이용자들은 그들의 위치를 측정할 수 있다. 제어부분은 위성국을 제어감시하며, 각 위성의 궤도에 관한 정보를 수집한다. 이용자 부분은 모든 이용자들을 대상으로 하며, 각 이용자는 3-4개의 위성으로부터의 신호를 수신하여 그들의 위치를 계산한다.

GPS 위성은 1978년 부터 1985년 까지 발사된 11개의 위성으로 이루어지는 Block I 위성과 1989년 부터 1995년 까지 발사 예정인 21개의 위성으로 이루어지는 Block II 위성으로 구분되는데, Block I 위성 중 6개의 위성만이 운용되었으며, Block II의 위성중 8개의 위성이 발사되어 현재 시험 운용중이다.

GPS 개발 완성되면 이것은 지구의 주위를 회전하고 있는 18개(예비용 3개 추가)의 인공위성을 이용하여 위치 측정을 할 수 있다. 즉, 전세계 어느 곳에서도 항상 수신 위치의 위도, 경도 및 높이 등을 높은 정확도로 계산할 수 있으며, 수신 위치의 이동 속도 및 이동 방향 등을 산출할 수 있는 우수한 위성 항법 시스템으로 부각될 것이다.

18개의 위성은 경사각 63°로 6개의 원궤도상에 놓여 있으며, 각각의 궤도는 서로 60°씩 떨어져 있어서 각 궤도상에는 3개의 위성이 같은 간격으로 배치되어 있다. 각 위성의 궤도와 위성 시각은 모니터국에서 관측되어 제어국에 전송된다. 제어국은 모니터국으로 부터의 전

송데이터를 기초로 하여 각 위성의 궤도 해석 및 위성 시각의 해석 등을 담당한다. 궤도 및 위성 시각의 보정 데이터를 매일 한번씩 위성에 전송하고, 위성의 메모리 내용을 갱신한다.

2. GPS 위성의 송신 신호

모든 위성은 같은 2개의 반송 주파수 L_1 (1575.42 MHz) 및 L_2 (1227.6KHz)로 송신하며, 이들 반송 주파수는 PRN(pseudo random noise) 코드로 변조 된다.

L_1 신호 및 L_2 신호에는 주로 각 위성의 궤도상의 위치를 알기 위한 전파항법 데이터가 포함되어 있다. 이 데이터들을 GPS 신호에 포함시키는 데는 스펙트럼 확산 변조 방식이 채택되고 있다.

GPS 수신기에서는 일종의 암호코드(C/A 코드 또는 P 코드)의 내용을 수신한 GPS 신호로부터 전파항법 데이터를 얻을 수 없다. 18개의 위성에는 각각 다른 패턴의 C/A코드가 할당되어 있으므로, GPS수신기의 내부에서는 수신하려는 위성의 코드와 같은 패턴의 C/A코드를 발생시켜 수신신호와 상관관계를 취하여 수신하려는 위성의 송신데이터만이 재생된다.

다른 위성도 같은 주파수의 L_1 신호를 송신하지만, GPS수신기 내부의 C/A코드와 상관관계를 이루지 못하기 때문에 혼신방해를 일으키지 않는다. 수신점의 위치는 이들 코드의 수신타이밍을 제측하여 얻어진 수신점에서 위성까지의 거리를 기초로 하여 계산할 수 있다.

3. 위치 측정 방법

GPS에서는 위성에서 전송한 정보를 이용하여 궤도상의 각 위성의 위치를 정확히 계산할 수 있다. 즉, GPS 위성의 시각과 이용자 수신기의 시각이 완전히 일치하는 것으로 가정하여, 시계내에 있는 3개의 위성으로부터의 신호를 이용자 수신기에서 수신한 것으로 하면, GPS 위성이 전송한 신호의 송신 시각과 이용자 수신기가 수신한 신호의 수신 시각과의 차이로부터, 3개 위성들과 이용자 수신기와의 거리를 정확히 계산 할 수 있다.

그림 4는 3개의 위성을 이용하여 위치를 측정하는 경우를 나타내는 그림이다.

3개의 위성의 위치를 원점으로 하여 이용자 수신기에서 측정한 이용자 수신기, 위성간의 거리를 반경으로 하는 3개의 구를 생각할 수 있는데, 이 3개의 구가 한점에 교차하는 위치가 바로 이용자 수신기의 위치(위도, 경도 및 높이)이다.

GPS의 개발 단계는 3단계로 되어 있다. 1차원(위도), 2차원(위도 및 경도) 및 3차원(위도, 경도 및 높이)의 개발 과정을 거쳐, 전 위성의 운용 기능을 발휘하

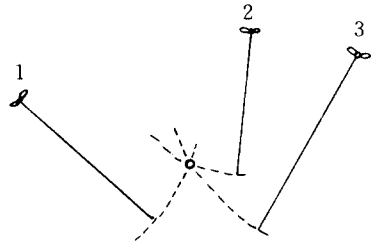


그림 4. GPS의 위치 측정도

여 전 세계적으로 항상 정확도 높은 위치 측정을 할 수 있을 것이다. GPS는 해상 뿐만 아니라 육상 및 항공용으로도 이용도가 클 것이다.

GPS 수신기는 스펙트럼 역확산 복조방식을 채택하고 있다. C/A코드의 위상을 제어하고 이 C/A코드와 수신한 GPS신호와의 상관관계가 최대로 되도록 하면, C/A코드의 위상은 수신한 GPS신호의 위상과 일치한다. 따라서 C/A코드의 위상으로 부터 수신점과 위성간의 거리를 정확히 계산 할 수 있다.

또한 위성의 궤도 데이터로부터 수신중인 위성에 대하여 각 궤도상의 위치를 정확히 계산하고, 이들의 계산치와 앞에서 계산한 수신점과 위성간의 거리로부터 4원 연립방정식을 세워서 이것을 축차 근사법으로 풀어 수신점의 위치를 계산 할 수 있다.

IV. 분석 및 고찰

현재 시험 운용중인 GPS 위성의 수는 8개에 불과하기 때문에 위치 측정 시간에 제약이 받고 있다. 위치 측정의 정확도를 고찰 할 필요가 있어 정점 관측을 한 예를 들어 고찰한다. 즉, GPS 전파 항법 시스템을 이용하여 정점 관측을 하고 위치 측정 정확도를 평가한 결과를 분석한다.

PDOP(position dilution of precision) 값이 증가함에 따라 위도 및 경도 방향의 RMS값이 증가한다. PDOP 값을 5로 정하여 정확한 데이터를 얻을 수 없으나 간단히 대체적인 경향을 알 수 있다. PDOP 값을 99 이하로 정하여 3차원 및 2차원 위치 측정의 정확도 평가를 위한 실험에서, 측정 가능한 1일 중 총 시간수는 H 레벨에서 측정한 PDOP값이 5일때 약 3.5시간, L 레벨에서 측정한 PDOP값이 99 이하 일때 약 11시간으로 나타났다.

평균 위치가 기준 위치보다 낮은 것이 RMS 및 표준편차 값이 작은 경향을 나타낸다. 평활화하지 않으면 PDOP값이 작을수록 위치 측정 정확도가 좋다. 그러나 시정수를 이용하여 평활화 하면 RMS 및 표준편차 값은

작아지고, PDOP 레벨 기능에 의한 레벨의 위치 측정 결과와 거의 일치한다.

선택한 위성의 배치 상태에 의하여 위치 측정에서 일정한 오차 경향을 나타낸다. 위치 측정 분포상태는 위성의 조합에 따라 다른 경향을 나타내며, 이 위성의 조합에 따른 분포 특성은 위성의 배치와 깊은 관계가 있을 것으로 추정 할 수 있다.

위성의 양각이 작으면 PDOP 값은 작아지고, 높은 정확도를 갖는 위치 측정이 가능하다. 또 안테나 부근에 높은 산과 같은 차폐물이 있는 경우에는 위성으로 부터의 전파의 수신이 불가능 하게 되므로 연안 항해 중에는 이와 같은 점에 주의 할 필요가 있다. 연안 항해 중에는 3차원 및 2차원 모두 PDOP 값을 20으로 하는 것이 좋다.

GPS의 SPS는 항만에서의 전파 항법용으로는 위치 측정 정확도가 만족스럽지 못하기 때문에, GPS를 상대적인 정확도로 사용하기 위한 GPS의 differential화의 연구가 바람직 하다. 전파 항법에 있어서의 정보처리 기술 및 고도의 전파 항법 시스템의 개발 문제도 깊이 있게 연구되어야 한다. 장래의 전 세계적 전파 항법 시스템으로 GPS 및 differential GPS를 포함하는 위성항법 시스템이 부각될 것으로 기대 할 수 있다.

V. 결 론

전파 항법 시스템은 제 2차 세계대전 이후에 새로운 방식이 제안되고 시스템화 과정을 거쳐 오늘에 이르고 있다. 현재의 대표적인 전파항법 시스템인 로란 C, 오메가, 트랜시트 시스템의 이용상황을 개발 측면에서 각종 시스템별로 검토하였다.

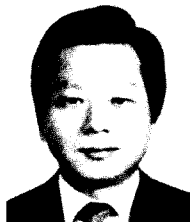
현재의 전파항법 시스템은 어느것도 단독으로는 전 세계적으로 항상 높은 정확도를 갖는 위치 측정을 할 수 없는 실정이다. 따라서 이를 극복하기 위한 연구의 노력으로 새로운 전파항법 시스템의 개발을 진행하고 있다. 이에 관한 개발 과정을 분석하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 전파 항법 시스템의 중요성을 인식하고, 우리의 전파 항법 기술을 연구, 보급 시키기 위한 노력이 필요하다.
- 전파 항법 시스템에 정보처리 기술의 도입을 강화하기 위한 연구가 필요하다.
- 가장 적합하고 성능이 우수한 해양 전파 항법 시스템으로, GPS 및 differential GPS를 포함한 위성 항법 시스템의 개발 완성을 추구하고 있다.

參 考 文 獻

- [1] D. C. Scull, "The U. S. Federal Radionavigation Plan", Proc. of IAIN, 1986.
- [2] R. L. Frank, "Current Development in Loran C", Proc. of IEEE, vol. 71, no. 10, p. 1127-1139, Oct. 1983.
- [3] J. R. Panchik, "Navy Navigation Satellite Positioning System Status", IEEE PLANS '88, Nov. 1988.
- [4] P. S. Jorgensen, "NAVSTAR / Global Positioning System 18 Satellite Constellation", Journal of Navigation, vol. 27, no. 2, pp. 89-95, Feb. 1980.
- [5] S. Mertikas, et al., "Treatment of Navigational Accuracies", IEEE PLANS '88, Nov. 1988.
- [6] R. M. Kalafus, et al., "Measurement of Accuracy in the NAVSTAR / GPS", Proc. of ION, 1987.

筆 者 紹 介



張 大 錫

- 한양대학교 전기공학과 (공학사)
- 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
- 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)

- 체신부 근무 및 공군통신장교
- 삼성전선(주) 기술연구소 책임연구원
- 독일 하노버 대학교 객원 교수
- 군산수산전문대학 조교수(현재)