
Az/EI 마운트에 의한 선박용 DBS 수신추적안테나 장치에 관한 연구

최 조 천*, 양 규 식**

A Study on the DBS Receive Tracking Antenna Apparatus on a Ship by the Az/EI Mount

Jo-Cheun Choi*, Gyu-Sik Yang**

요 약

직접위성방송(DBS)은 해상에까지 광범위한 방송서비스를 제공할 수 있는 매우 유용한 매체이다. 그러나 해상에서의 DBS 수신장치는 선박의 운항이나 동요의 상태에 관계없이 안테나가 위성을 계속 추적해야 하는 복잡한 제어장치를 필요로 한다.

본 연구는 한반도 연·근해를 항해하는 선박에서 Koreasat의 DBS를 수신할 수 있는 장치의 개발이 목표였으며, 특히 소형선박에 쉽게 탑재하고 사용할 수 있도록 다른 항법장비와 연계됨이 없이 장치의 독립적인 운용형태로 설계하였고 소형, 경량, 저가격화에 중점을 두었다.

그러므로 한반도 연·근해에서 koreasat의 탐색과 추적조건을 분석하고 이에 적합한 Az/EI 2축 마운트를 설계하여 제작하였으며, 스텝트랙(step track) 방식에 의한 추적과 각속도 센서를 이용한 마운트의 동요보정 기능을 연구하였다. 실험을 위하여 장치를 탑재할 수 있는 선박운동 시뮬레이터를 제작하여 목표치의 동요를 구현하고, 추적과 동요보정에 따른 수신상태를 측정, 분석하면서 실험적으로 최적의 알고리즘을 구현하였다.

Abstract

DBS offers actual services to mass-media and communication system of very broad region in information society. Especially, the DBS is the only system to access TV broadcasting service on a sailing ship. But the ship's DBS receiver is required a complex antenna tracking system because ships are under complex moving such as pitch, roll, and yaw etc. This study is motivated to develop a tracking antenna system to receive the

* 목포해양대학교 해양전자통신공학부 조교수

** 한국해양대학교 전자통신공학과 부교수

접수일자 : 1997년 9월 9일

koreasat on small size ship. Therefore, this system is researched to small size, light weight, simple operation, and low cost of the product.

The mount structure have been a compact size and easy operation to the Az/EI 2-axis type which is operated by step motor. And it is very useful on a ship in the around sea of korean peninsula. The antenna has a plate type of micro-strip array, and is a domestic production. The vibration sensor is selected to gyro sensor of ultra-sonic rate type for ship's moving control. Tracking method is used the step-tracking algorithm, and the ship's moving compensation is adapted to the closed loop control method by ship's moving detection of gyro sensor.

Tracking test is operated by the ship's moving simulator, we examined the actual receiving state on sailing shipboard in the near sea of korean peninsular.

1. 序 論

직접위성방송(DBS) 서비스는 정보화사회를 향한 실질적인 방식으로 각광을 받고 있으며 특히 해상에 까지 광범위하게 서비스를 제공할 수 있는 매우 유용한 매체이다.

그러나 선박에서 DBS를 수신하려면 선박의 이동과 변침(變針) 그리고 피칭(pitch), 로링(roll), 요잉(yaw) 등의 변동에 대하여 위성의 추적 및 동요보정을 수행하는 복잡한 안테나 제어장치를 요구한다.

본 연구는 항해중인 선박에서 Koreasat의 TV방송을 수신할 수 있는 장치를 개발하는데 목적이 있으며, 기존의 위성방송 수신장비를 그대로 활용하여 한반도의 연·근해를 항해구역으로 하는 소형 선박에 간단히 설치하고 사용할 수 있도록 소형, 경량, 低價에 주된 목표를 두었다.

우선 소형화가 쉽고 한반도 근해의 조건에 따라 중·저양각의 추적에 적합한 Az/EI 2축 마운트를 설계하여 제작하였으며, 스텝트랙(step track)방식에 의한 위성의 추적알고리즘과 각속도 센서를 이용한 선박의 동요보정 기능을 완전히 시스템의 자력(自力)으로 수행되도록 설계하였다.

실험을 위하여 장치를 탑재할 수 있는 선박운동 시뮬레이터를 제작하였고, 동요의 상태를 변화시키며 추적과 동요보정에 따른 수신상태를 측정함으로써 동작특성을 분석하고 구동에 적합한 알고리즘으로 최적의 성능이 되도록 연구하였다.

그리고 실질적으로 한반도의 연·근해를 항해하는 선박에 직접 탑재하여 수신상태를 체크하며 장

치의 안정성과 실용성을 확인하였다.

II. 선박용 DBS 수신장치

Koreasat 는 일본, 파푸아뉴기니, 러시아, 북한과 같이 동경110°의 적도상공에 배치되었으나, 방송과 통신의 겸용으로 되어있기 때문에 동경 116°에 위치하였고, 방송용으로 좌선원편파(LHCP)의 6개 채널이 지정되었다. 또한 디지털방식이기 때문에 3개의 중계기로 12개 채널을 방송할 수 있으며 예비 위성까지 포함하면 총 24개의 방송채널이 확보되어 있다. 이러한 Koreasat의 전파방사 패턴은 1.2°×1.0°의 타원형으로서 빔(beam)의 중심은 동경 127.5°, 북위 36°로 전북 무주에 위치하고, 수신기의 이득이 30[dBi] 정도이면 선명한 화질과 음질을 수신할 수 있다.

그러나 선박에 탑재하는 경우 수신안테나는 선박의 이동과 변침 그리고 피칭, 로링, 요잉 등의 동요에 의하여 위성의 방위각(Azimuth:Az)과 양각(Elevation:EI)이 계속적으로 변동하므로, 빔폭이 4°정도로 예민한 안테나가 위성을 항상 정확하게 지향하도록 제어하는 시스템을 갖추어야 한다.

즉 이동체 탑재형 DBS 수신장치는 구동에 적합한 소형, 경량, 고이득의 안테나와 추적에 필요한 동작을 자유자재로 행할 수 있는 마운트, 그리고 안테나의 위성추적과 동요보정에 따른 제어기술이 복합적으로 필요한 시스템이다. INMARSAT에서는 이러한 선박의 운동환경에 대하여 INMARSAT 장비의 위성추적과 동요보정 성능을 표 1과 같이 권

고하고 있다.[3]

표 1. INMARSAT-A/B의 추적성능 권고치
Table 1. The tracking function recommended value of the INMARSAT.

항 목	성 능
Pitch	30° / 8sec
Roll	10° / 6sec
Yaw	8° / 50sec
Surge	± 0.2g
Sway	± 0.2g
Heave	± 0.5g
Turn	6° / sec
Speed	30knots

이것은 기상의 악화 등으로 선박이 위험한 상태에 있을 때에도 통신을 원활히 수행할 수 있는 성능을 갖도록 하기 위한 것으로 이러한 성능을 만족하기 위하여는 플라이휠(fly wheel)을 장착한 Az/EI/EI', X/Az/EI, X/Y/X' 등의 3축 마운트 또는 X/Y/Az/EI 의 4축 마운트를 사용하여 정확하고 빠른 추적과 동요보정을 수행하여야 한다.

그러나 항해중인 선박에서 단지 TV를 시청하기 위한 성능은 이러한 정도까지 필요치 않으며, 우리나라 근해의 위도상에서는 Az/EI, X/Y 등의 2축 마운트를 사용하여도 충분히 해결할 수 있으므로 소형, 경량, 단순화도 가능하다.

표 2. 추적성능 목표치
Table 2. Objective value of the tracking specifications

항 목	성 능
Pitch	± 7° 이내
Roll	± 15° 이내
Turn	± 6° / sec이하
Speed	30 knots 이하

표 2는 외국의 J社, T社, N社 등에서 제작한 선박용 위성방송 수신장치의 추적성능을 종합, 비교하여 본 연구에서 성능의 목표로 정한 것이다.[1][5]

Ⅲ. 구동의 범위와 등요에 대한 분석

1. 구동의 범위

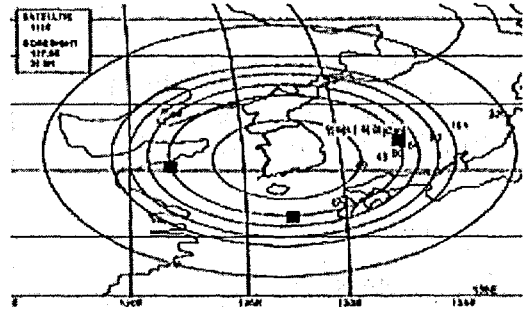


그림 1. 안테나의 직경에 따른 무궁화위성의 수신영역
Fig. 1. The koreasat receiving area for antenna size

그림 1은 우리나라 연·근해의 해역에서 안테나의 직경에 따른 무궁화위성의 수신 영역을 도시한 것이다. 무궁화위성은 동경 116°에 위치하며 선박이 위치한 경도와 위도를 알면 위성의 방위각(Az)과 양각(EI)을 식(1)과 식(2)에 대입하여 구할 수 있다.[9]

$$Az = \arctan\left(\frac{\tan \Delta \varphi}{\sin \theta}\right) + 180^\circ \quad \dots (1)$$

$$EI = \arctan\left(\frac{\cos \theta \cos \Delta \varphi - \frac{R}{R+h}}{\sqrt{1 - \cos^2 \theta \cos^2 \Delta \varphi}}\right) \quad \dots (2)$$

$$= \arctan\left(\frac{\cos \theta \cos \Delta \varphi - \frac{R}{R+h}}{\sin \delta}\right)$$

단, $\cos \delta = \cos \theta \cdot \cos \Delta \varphi$ 이며

- θ : 선박의 위도
- $\Delta \varphi$: 위성과 선박과의 경도차
- R : 지구의 반경 (6,378 km)
- h : 위성의 고도

이 그림에서 안테나의 직경이 50 [cm] 인 경우의 수신영역을 항해구역으로 설정하고, 동,서,남쪽의 최단지점을 찾아서 경도와 위도를 읽고 위의 수식에 대입하여 Az 와 EI 을 계산하였다.

- ① 최남단 ; 127°E, 32°N 의 경우,
 $\Delta \varphi = 11^\circ$ 이므로

- [Az = 200°
Ei = 51°
- ② 최서단 ; 123° E, 35° N 의 경우,
Δφ = 7° 이므로
[Az = 192°
Ei = 48.7°
- ③ 최동단 ; 132° E, 36° N 의 경우,
Δφ = 16° 이므로
[Az = 206°
Ei = 45°

방위각은 192~206° 범위이며, 양각은 45~51°의 사이에 있음을 알 수 있다.

그러나 이동체인 선박의 경우 Az는 360°의 전체 방위에 대하여 구동하여야 하며, Ei은 안테나의 성능에 따라 수신이 가능한 해역까지를 계산하여 최대와 최소각을 구하고 선박의 동요각 ±15°를 계산하여 상한각과 하한각의 구동범위를 정해야 한다.

즉 직경이 50 [cm] 인 안테나가 45~51°이므로 ±15°를 계산하면 구동범위는 30~66°로 된다. 그러므로 최초의 위성탐색 동작에서 Ei의 구동범위를 30~66°로 제한하여 해당 영역만을 탐색하면 된다.

2. 동요에 대한 분석

항해중인 선박의 동요에는 여러가지 요인이 있으나 대개의 경우는 반복되는 피칭과 로링의 합성에 의하여 나타나는 형태로 운동을 계속하게 된다.

그림 2는 선박의 마스트(mast) 방향을 Z로 하여 위성의 방향을 극좌표로 나타낸 것으로 극좌표의 변동시 X-Y 좌표계의 변동궤적으로 나타내기 위하여 도시한 것이다.

안테나가 설치된 위치를 원점으로 하고 선수방향(ship's heading)을 +Y축으로, 좌현방향(star board)을 +X축으로 하여 화살표시의 위성 방향으로 일정한 길이 S에서 선상에 연직선으로 S'를 투시하였다. 이렇게 되면 로링은 Y축의 회전이 되고 피칭은 X축의 회전이 되며 이것의 성분을 각각 ±r, ±p로 표기하였다.[4]

만약 위성이 원점에 수직방향으로 있으면 이때

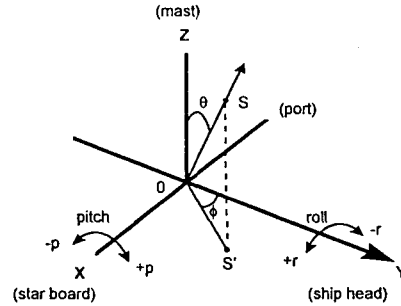


그림 2. 좌표계
Fig. 2. Coordinates

의 양각은 90°가 되어 S'는 원점(O)에 위치하게 되고 선박의 동요가 전혀 없다면 S'는 어느 한점에 정지되며 선박의 동요가 있으면 S'는 선박의 동요에 따른 궤적을 그리게 된다. 그림 3은 S'가 위치할 수 있는 전체영역의 범위를 그린 것이다.

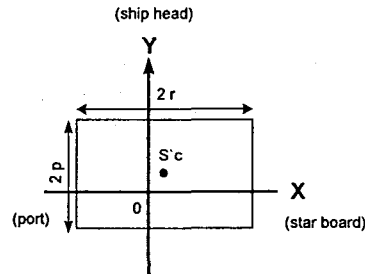


그림 3. 고양각 상태에서 동요에 의한 위성방향의 변동영역
Fig. 3. Motion area of satellite direction by ship's motion in high-EI state

선박에서 동요의 대부분은 피칭과 로링이므로 수평면에서 한쪽 방향으로 기울어지는 각도의 최대치를 각각 p와 r이라 하면 각각 양방향으로의 운동은 2p와 2r로 나타낼 수 있다. 즉 S'는 2p와 2r의 사각형 범위내에 존재하게 되며 만약 동요가 전혀 없다면 S'는 한점에 정지되고 이점이 바로 S'c로 사각형의 중심에 위치한다.

또 이 그림은 위성이 고양각으로 위치하면서 동요하는 경우로 위성의 방위와 양각 그리고 동요의 정도에 따라 사각형의 모양과 크기 그리고 위치는

다양한 형태로 나타나게 된다.

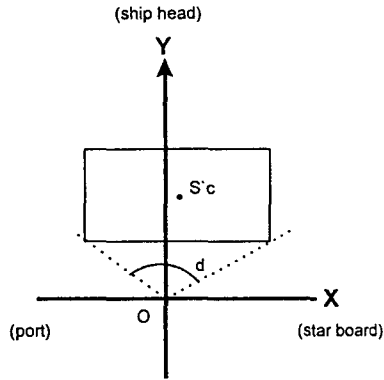


그림 4. 저양각 상태에서 동요에 의한 위성방향의 변동영역

Fig. 4. Motion area of satellite direction by ship's motion in low-EI state

만약 위성이 선수측에 저양각으로 있다면 X-Y 좌표계에서 사각형은 그림 4와 같은 형태로 나타나게 된다. 즉 Az축은 원점에서 점선으로 나타낸 각도(d)의 범위에서 그리고 EI축은 2p에 해당하는 각도의 범위에서 구동하게 된다.

앞절에서 한반도의 연,근해를 항해하는 선박에서 50 [cm] 의 안테나를 사용하여 무궁화 위성을 추적할 경우 EI의 구동범위는 30~66°로 계산 되었으므로 항상 이러한 형태로 되며 좌표의 원점(O)은 사각형의 외부에 위치하게 된다.

IV. 2축 마운트의 종류와 구동 특성

1. 2축 마운트의 종류

① Az/EI(Azimuth-Elevation) 마운트

일반 지구국에서 많이 사용하는 방식으로 안테나가 수직으로 고정되어 회전하는 Az축과 여기에 수평으로 지지되어 회전하는 EI축으로 구성되어 있다. 이 방식은 고양각의 위성을 추적하는 경우에는 Az축의 회전속도와 구동각이 크게 되는 단점이 있으나 중·저양각의 경우에는 원활하게 동작할 수 있다.

또 구조가 간단하고 구동특성이 원활하므로 INTELSAT 등 정지위성을 대상으로 하는 지구국

은 물론 random 위성계에서도 사용되고 있다.

② X-Y 마운트

지상에 수평으로 고정되어 회전하는 X축과 여기에 직교로 지지되어 회전하는 Y축으로 구성되어 있으며, 고양각으로 이동하는 위성의 추적에는 적합하나 중·저양각의 경우에는 구동력이 크게 소요되는 X축이 빈번하게 구동되므로 무리한 형태로 동작되는 단점이 있다. 그러므로 INMARSAT 표준 A/B형 선박지구국의 4축 마운트중에서 이것의 2축은 안테나 장치의 수평을 유지시키는 동요보정의 용도로 많이 이용된다.

③ Polar 마운트 (HADEC mount)

지구축(극축)에 평행한 고정축(hour축)과 이에 직교하는 가동축(declination축)이 각각 회전되도록 지지한 것으로 천체 관측용 전파망원경 등에서 고정축만의 회전으로 항성을 추적하는데 적합하다.

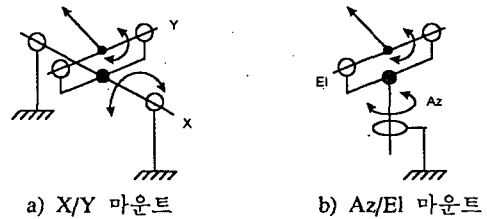


그림 5. 2축 마운트의 형태

Fig. 5. The fomular of 2-axis mount

그림 5는 위 3종류의 마운트 형식중에서 본 연구에 적용할 수 있는것 2가지를 골라 그 형태를 그린 것으로 직선의 화살표시는 위성의 방향, 곡선의 화살표시는 축의 회전형태를 나타낸다.

2. 구동 특성

다음은 Az/EI 마운트와 X/Y 마운트의 특성을 비교한 것이다.[2]

- ① X/Y 마운트는 중·저양각 추적의 경우 고속의 큰 회전력과 회전각이 소요되므로 기계적으로 불안정하며 소형, 경량화에도 불리하다.

- ② Az/EI 마운트는 중·저양각의 동작시 360° 전방 향에 대하여 무리없이 고르게 추적할 수 있으며, 시스템의 시동(始動)으로 인한 초기의 위성탐색(search)에서 자이로콤파스, GPS, 컴퓨터 등 타장비의 지원없이 마운트 자체의 동작만으로 포착이 가능하다.
- ③ X/Y 마운트에서는 케이블의 꼬임이 없다. 그러나 Az/EI 마운트는 Az축이 고양각에서 회전동작의 형태로 추적이 이어질 경우 꼬임이 생기며, 중·저양각의 추적시에는 선박이 한방향으로만 선회할 경우에 꼬임이 생긴다.
- ④ 케이블의 꼬임은 케이블을 손상시키며 이에 대한 대책으로 Az축의 좌우 회전각을 일정한 정도에서 제한하고 제한치에 도달하면 순간적으로 360°의 역회전(back turn)을 시켜 꼬임을 해소해 주어야 한다.
- ⑤ Az/EI 마운트는 제작과 실험이 용이하며 소형, 경량화에 유리하다.

이상의 조건들을 비교해 볼 때 Az/EI 마운트의 사용이 적합하나 문제가 되는 것은 케이블의 꼬임이며 이 문제를 완벽하게 해결하기 위하여는 부득이 수평유지용 마운트를 추가하여야 한다.

Az/EI 마운트에서 케이블의 꼬임은 Az축의 회전으로 생기므로 이러한 현상에 대하여 생각해 보았다.

- ① 고정체와 회전체 사이에는 RF용 동축케이블, 가속도센서,스텝모터,리미트스위치 등에 연결되는 여러개의 케이블이 있기 때문에 Az축이 한 방향으로만 계속 회전하면 이러한 케이블들이 꼬이게 된다.
 - ② Az축 회전의 제한치를 적게하면 역회전 동작이 자주 발생하므로 추적의 성능이 떨어진다.
 - ③ 케이블을 길게하여 Az축이 충분히 회전할 수 있도록 하면 역회전 동작이 발생하지 않을 수도 있으나 오히려 케이블 길이의 저항에 의한 검출신호의 감소 및 잡음의 영향을 무시할 수 없다.
 - ④ 선박의 변침(變針)상태는 느리고 작은 각도가 대부분이며 좌,우의 어느 한쪽 방향으로만 계속되지는 않는다.
- 따라서 장치의 전원을 ON 시키면 Az축은 중심

위치로 세트 되도록 하고 중심위치로 부터 제한각을 $\pm 360^\circ$ 로 설정하면 기계적인 구성도 단순하면서 충분히 여유가 있다.

그림 6은 고양각에서 선박의 피칭과 로링이 합성되어 안테나가 시계방향으로 회전하면서 추적하던 중 제한각에 도달하여 여기에서 반시계 방향으로 Az축을 중심으로 역회전하는 동작의 형태를 그린 것이다. 이러한 역회전의 동작중에는 추적이 완전히 중단되며 360°의 회전이 완료된 후에는 즉시 위성을 재추적하여야 한다.

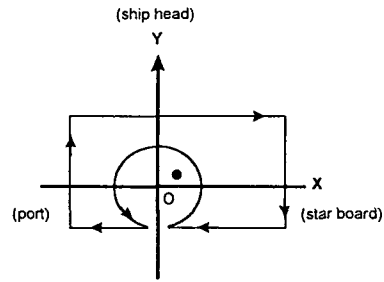


그림 6. 역회전 동작의 형태
Fig. 6. The formula of back turn drive

그러나 그림 4와 같은 조건에서는 Az축이 원점을 중심으로 어느 한쪽 부분에서만 계속 구동되므로 케이블의 꼬임이 생기지 않고, 따라서 역회전의 동작도 없으므로 2축 마운트에 의한 추적과 동요보정을 구현하여도 충분한 성능을 얻을 수 있다.

외국의 제품에서도 Az/EI 마운트를 사용한 것이 많으며 여기에서도 역회전 동작을 구현하는 것이 대부분이다. 그러나 제품마다 마운트의 기계적인 구조, 안테나의 형태, 초기의 탐색방법, 활용센서, 추적과 동요보정 방식 그리고 성능과 가격등 모든 면에서 아주 다양하게 나타나고 있다.

V. 시스템의 설계와 제어알고리즘

1. 시스템의 설계

이동체에서 위성을 추적하는 방식에는 다음의 2가지가 있다.[6][7][8]

- ① 계속 미소한 각으로 회전하면서 위성의 전파를 수신하고 비교하여 수신레벨이 최대치가

되도록하여 위성을 추적해 가는 스텝트랙(step-track) 동작의 closed loop 방식.

- ② 이동체의 위치, 이동방향, 이동속도 등의 정보를 제공하여 이에 따른 시스템의 이동변위를 예측하여 안테나를 역방향으로 구동하는 open loop 방식.

일반적으로 선박의 INMARSAT장비 및 육상 이동체용 장비에서는 추적의 안정성과 고속화를 위하여 위의 두가지 방식을 병용한 조합형의 형태로 제어하고 있다.

그러나 여기에서는 이동체의 이동에 관한 정보를 얻을 수 있는 GPS와 방향정보를 얻을수 있는 자이로콤파스와 같은 항법장비를 탑재하지 않은 소형 선박에서 사용이 가능하도록 구현하기 위하여 ②의 방식은 고려하지 않았다.

위의 ①에서 스텝트랙이란 안테나를 일정한 방향으로 1-스텝 회전하여 수신레벨을 체크하고 증가했다면 다시 같은 동작을 반복하여 진행하고, 감소한 경우에는 역방향으로 회전을 진행하여 수신레벨이 최대인 점을 추적해 가는 방식을 말한다.

그러므로 위성을 추적하려면 위성 주위의 공간에 대하여 상,하,좌,우 또는 상,좌,하,우 등의 방법으로 방향의 순서를 정하여 전방향을 고르게 추적하여야 한다.

즉 먼저 입력된 수신레벨을 일시 기억하고 미소각의 회전후에 입력된 수신레벨과 비교하여 증가되는 방향으로 다음의 회전방향을 판단하는 알고리즘을 설계하여야 하며, 알고리즘의 구현에 따라 시스템의 추적성능이 결정되므로 최적의 알고리즘을 구하기 위한 노력이 필요하다.

만약 이동체의 변위가 전혀 없는 상태에서도 안테나는 미소한 회전동작을 계속하며 이동체의 변위에 대비하게 된다.

동요보정이란 그림 3에서 p와 r의 동요성분을 검출하고 즉시 이에 대응하는 역방향의 회전력을 주어 안테나를 S'c 점에 계속 고정시키는 방법을 말한다.

안테나의 지향방향인 S'c 점을 중심으로 X,Y의 성분에 대한 동요의 방향과 각속도(°/sec)를 검출하고, 이에 대응하는 X,Y의 성분으로 역회전을 시키면 안테나는 방향의 변동없이 S'c 점을 계속

추적하는 상태로 유지시킬 수 있다.

선박의 동요성분은 동요의 방향과 각속도로 구분할 수 있으며 이것을 검출하는 센서로는 각속도 센서가 있다. 이것의 형태에도 여러가지가 종류가 있으나 여기에서는 진동형 자이로센서를 사용하였다. 이것은 "진동하고 있는 물체에 각속도가 가해지면 진동방향과 수직으로 코리올리의 힘이 생긴다"는 코리올리의 효과(Corioli's effect)를 이용한 것이다.[10]

코리올리의 힘이란 상공의 운동체를 지상에서 볼 때 지면에 대하여 상대적인 편향력이 생기는 현상으로 이 편향력은 지구의 회전에 의한 것이므로 북반구에서는 오른쪽으로 남반구에서는 왼쪽으로 생긴다. 이러한 진동형 자이로센서에 대한 연구는 1950년대 미국의 스페리사에서 개발한 "자이로트론"이라고 하는 음차형 진동자이로가 효시이다. 그후 와이어(wire),각주(角柱), 원주(圓柱) 등의 진동체를 이용한 여러가지 형식의 제품이 개발되었으며 최근 동경계기, 와트슨社에서는 새로운 형태의 음차형 제품을 내놓고 있다. 여기에서는 동경계기의 음차형을 사용하였다.

각속도 센서를 이용한 동요보정 제어계의 개요는 그림 7과 같으며, 안테나가 선박의 운동에 따라 동요를 하면 안테나에 부착된 각속도 센서에 의하여 동요성분이 검출된다.

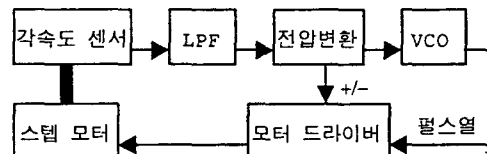


그림 7. 동요보정 제어계의 구성도
Fig. 7. The block diagram of control unit by the gyro sensor

센서에서 검출된 신호는 동요의 방향과 각속도에 따라 ±의 미소전압으로 나타나며 이것을 정형하여 동요방향에 대응하는 정역(正逆)의 신호와 동요의 각속도에 비례하는 펄스열을 만든다. 이 신호를 모터의 구동부에 입력시키면 안테나 마운트는 동요의 성분과 반대되는 방향으로 회전을 하게 된다.

이때 각속도 센서는 X,Y의 2축에 대하여 2개

를 직각으로 설치하며 제어제도 각기 따로 구성하여 2개의 독립된 제어계가 동시에 동작하여야 한다. 그러므로 X축은 Az축으로 Y축은 EI축으로 대응하여 제어하는 형식으로 구성하였다. 시스템의 전체적인 구성은 그림 8과 같다.

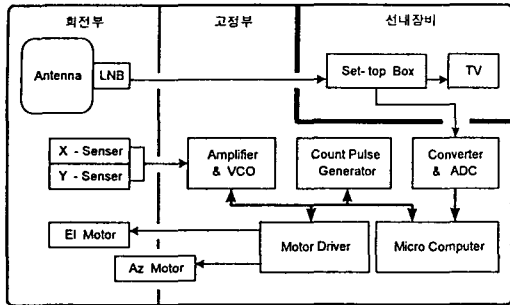


그림 8. 시스템의 계통도
Fig. 8. The block diagram of system

즉 시스템의 전체적인 동작은 외부장치의 도움 없이 안테나의 수신레벨을 최대치로 추적하는 스텝트랙과 동요를 검출하여 보정하는 동요보정의 2 가지 기능을 병행하여 제어하도록 하였다.

카운트펄스 발생기는 펄스발생기와 카운터회로로 구성되어 있으며, 시스템이 초기에 위성을 찾는 탐색동작에서 Az축은 360°의 왕복운동을 EI축은 30~66°의 상하운동을 수행하여 스캐닝(scanning) 동작을 하는데 필요한 정확한 갯수의 펄스와 정역(正逆)의 신호를 발생하는 회로이다. 이 부분도 Az와 EI에 각기 별도의 회로를 구성하여야 하며, 스텝모터의 펄스당 회전각(0.9°), 톱니바퀴의 감속비, 마운트의 회전각을 곱하면 회전각에 필요한 펄스의 수를 계산할 수 있다.

안테나는 koreasat의 DBS 규격에 맞으면서 소형, 경량이어야 구동력이 적게 요하므로 평판형의 안테나를 사용하는 것이 시스템의 구성상 유리하다.

그러나 수신영역을 넓히면서 보다 선명한 화질을 얻기 위해서는 안테나의 직경을 크게 하거나 고이득의 안테나를 설계할 필요가 있다. 현재 고이득의 평판형 안테나는 국내에서도 활발히 연구중이며, 그중 국내 L社 제품의 평판형 안테나가 적합하여 이것을 그대로 이용하였다. 이 안테나의 사

양은 표 3과 같다.

표 3. 수신 안테나의 사양
Table 3. Specification of the antenna

사	양	특	성
크	기	평면	36 × 36 (cm)
형	태	LNB	일체형
주	파	수	범
위	역	11.71~12.02	(GHz)
편	파	LHCP	
이	득	32	(dBi)
전	력	반	치
각		4°	
입	력	정	재
비		파	비
		1.5	

안테나에 수신된 위성의 전파는 12 [GHz]대로 LNB에서 1 [GHz]대로 변환되고 동축 케이블을 통해서 튜너(Set-top Box)에 연결되며 스텝트랙에 사용할 수신레벨은 튜너의 AGC 전압에서 분기하여 얻는다.

2. 제어 알고리즘

시스템의 추적과 제어 알고리즘은 다음의 루틴(routine)으로 나누어서 생각할 수 있다.

- ① 마운트의 초기설정
- ② 탐색(search) 모드
- ③ 스텝트랙과 동요보정
- ④ 제한각에서의 역회전(back turn)
- ⑤ 피라미달 스캐닝 (piramidal scanning)
- ⑥ 수신불능 조건에서 작동 중지

마운트의 초기설정은 시스템을 ON으로 하면 Az축은 720°의 중심에서 CW(시계방향)로 180°회전한 위치로 하고, EI축은 30~66°의 하단인 30°의 위치에 세트하여 다음에 이어질 탐색동작을 준비하는 단계이다.

탐색모드는 마운트의 초기설정이 끝난 후 안테나가 위성을 포착하는 동작을 말한다. 이미 III장에서 언급한 바와 같이 위성의 탐지영역은 한정되므로 Az축은 360°, EI축은 30~66°의 구동범위가 되도록 설계하였다.

Az축은 초기설정에서 회전의 중심으로 부터 CW로 180°의 위치에 세트된 상태이며, 이곳에서 CCW(반시계방향)로 360°를 회전한 후 다시 CW로

360°를 회전하는 동작을 반복하며, E이축은 30~66°의 범위를 상하로 구동하므로써 위성을 포착할 수 있는 범위를 계속 스케닝을 하는 형태로 동작한다. 다만 E이축은 탐색모드가 끝나면 구동범위의 제한을 무시하여도 된다.

스케닝이 진행되는 동안 안테나로 입력되는 수신레벨은 연속적으로 프로세서에 입력되어 체크되며 일정한 레벨(약 30dB 정도) 이상이 되는 점에서는 즉시 동작을 멈추고, 스텝트랙에 의하여 수신레벨이 증가되는 방향으로 추적하면서 동요보정에 의하여 안테나의 자세를 유지하도록 제어한다.

스텝트랙 알고리즘의 구조는 그림 9와 같다. 여기에서 스텝과 스텝사이에는 일정한 주기의 지연 타이머를 삽입하여 스텝트랙의 속도를 정하며, 주기가 짧을수록 추적의 동작은 빨라지나 마운트가 진동형태로 동작되므로 무리가 생기고 주기가 길어지면 추적의 성능이 떨어진다. 그러므로 기계적으로 안정된 동작과 추적의 성능을 반복 실험으로 분석하여 최적의 상태가 되도록 주기를 정해야 한다.

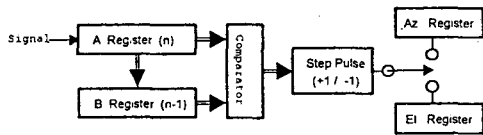
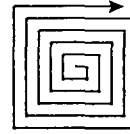


그림 9. 스텝트랙 알고리즘의 구조
Fig. 9. Structure of the step track algorithm

피라미달(Pyramidal) 스케닝이란 선박이 급격한 동요로 인하여 추적에 심한 애러가 생기면 수신이 끊기고 이렇게 되면 스텝트랙의 동작도 불가능하여 시스템은 추적기능을 잃게된다. 그러나 이때에 위성의 위치는 그 주위에 가까이 있으므로 재빨리 부분적인 스케닝을 실시하면 위성을 포착할 가능성이 크다.

스케닝하는 방법에는 여러가지가 있으나 여기에서는 코니칼(conical)동작과 비슷하며 쉽게 구성할 수 있는 피라미달의 형태로 알고리즘을 작성하였다. 형태는 그림 10과 같으며, 안테나의 반치각이 4° 정도이고 급격한 선박의 동요를 10° 정도로 예상하여 스케닝 제척의 간격은 4°의 폭으로 하고 시작점으로 부터 20°까지의 범위로 설정하였다.

마지막으로 이동체인 선박이 수신한계 영역을 벗



어났거나 또는 선박의 주위에 위성의 전파빔(beam)을 차단하는 구조물이나 지형이 존재할 때에는 수신에 불가능하므로 시스템은 비

그림 10. 피라미달 스케닝
Fig. 10. Pyramidal Scanning

정상적인 동작을 계속 하게 된다. 이러한 상태에서에서는 시스템의 안

전을 위하여 동작을 중지시켜야 한다. 그러므로 수신레벨이 추적동작을 할수 없는 상태로 3분 정도 지속되면 시스템이 동작을 중지하도록 하였다. 이것은 카운트 타이머를 사용하여 인터럽트를 걸어주면 된다.

그림 11은 주 프로그램의 순서도이다.[12]

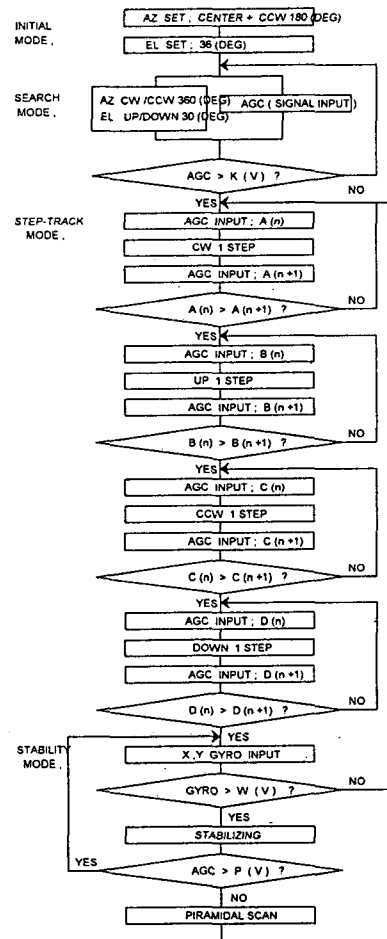


그림 11. 주 프로그램의 순서도
Fig. 11. Flow chart of the main program

VI. 제작과 실험

정확한 추적과 제어의 동작에 있어서 우선 중요한 것이 마운트의 기계적인 정밀도와 안정된 동작에 있었다. 특히 스텝모터는 스텝당 회전각이 0.9°이고 안테나의 반치각은 4° 정도로 반치각의 범위는 겨우 4-스텝에 해당되므로 정밀한 추적을 수행하려면 스텝당 안테나를 미세하게 구동할 수 있는 감속기어를 사용해야 한다.

그러나 감속비를 크게하면 기계구조가 복잡해지고 스텝모터가 과도한 회전을 하게 되며 감속비를 작게하면 추적의 정밀도가 떨어진다. 여기에서는 Az축과 E이축에 각각 2단계의 감속장치를 구성하여 감속비는 Az축이 1/18 로 스텝당 0.05°, E이축은 1/24 로 스텝당 0.0375°의 정밀성을 갖도록 하였다.



사진 1. 안테나 마운트 및 실험세트
Photo 1. Antenna mount & Experimental set

사진 1은 안테나 마운트를 선박운동 시뮬레이터 위에 탑재한 실험세트를 보인 것이다. 안테나 마운트는 받침대 위에 Az축을 설치하고 Az축 상에 안테나를 상하로 구동할 수 있는 E이축을 설치하였다. 그리고 구동시 기계적인 진동을 최소화 하기 위하여 맞물리는 기어를 사용하지 않고 타이밍(timing) 기어와 벨트를 사용하여 동력을 전달하였다.

스텝모터는 5 [kg·cm]의 구동력과 유지 토크를 갖는 제품을 사용하여 마운트를 충분히 구동하고 홀드(hold)하도록 하였고 벨트를 탄력적으로 밀어주는 장치를 부착하여 벨트와 기어를 밀착 시키므로써 동력이 정확하게 전달되도록 하였다. 마운

트의 기계적인 동작은 변환회로나 프로세서 등의 속도에 훨씬 못미치는 저속이므로 각각의 제어에 따른 최적의 지연(遲延) 타이머가 필요하다.

전기적인 신호의 검출, 비교, 변환, 증폭 그리고 발진에 의한 제어동작에서 직선성과 정밀성을 조절할 수 있도록 가변저항기를 부분적으로 설치하였다.

DBS 튜너에서 취득한 AGC 전압은 수신레벨이 무신호시 4.3 [V] 였고 최대신호시(튜너에서의 안테나 설치 안내신호가 95% 일 때) 에는 약 4.5 [V] 정도로 그 폭이 매우 적었다. 따라서 전압 변환회로를 이용하여 무신호를 0 [V]로 최대신호를 4.5 [V]가 되도록 변환하여 ADC의 입력으로 사용하였다. 여기에서 수신레벨의 변환전압이 1 [V] 정도 이상이면 정상적인 화질과 음성이 수신되었으며, 수신레벨이 최대인 부분의 특성을 보다 민감한 변화의 형태가 되도록 변형하므로써 최대수신점을 향한 스텝트랙의 분해능을 높였다. ADC는 약 150 [μs]의 free-run 주기로 샘플링을 하였다.

카운트펄스 발생기의 펄스주기는 짧게 할수록 스케닝이 고속으로 되어 위성을 빠르게 포착할 수 있으나 마운트의 안정된 동작이 문제였으며, 지연 타이머를 약 1 [ms] 정도로 설정했을 때 안정된 동작을 수행하였다. 역시 스텝트랙의 속도도 빠를수록 추적성능이 향상되겠으나 어느 이상에서는 기계적으로 진동의 형태가 되어 한계가 있었고, 기계적으로 안정된 동작을 이루는 주기가 결국 성능을 결정하였다. 여기에서는 소프트웨어의 타이머를 약 20 [ms]의 주기로 구동하였을 때 최상의 추적 성능을 나타내었으며, 동요보정의 주기는 목표치의 최대 동요상태에서 약 1 [ms]의 펄스열로 구동시킬 때 보상동작이 가장 원활하게 이루어졌다. 역회전과 피라미달 스케닝은 약 1.5 [ms]의 주기에서 신속하고 안정된 동작이 이루어졌다.

동요보정의 각도와 각속도는 각각 로링은 ±7°/6 초, 피칭은 ±15°/8 초의 목표치에서 실험하였고, 저속의 각속도로 나타나는 동요는 제한회로에서 검출하여 스텝트랙의 추적기능에서 해결하도록 하였다.

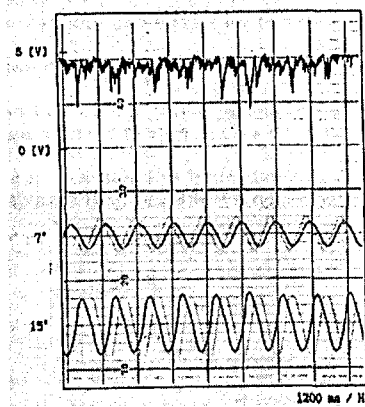


그림 12. 시뮬레이터의 선박운동과 수신레벨
Fig. 12. Records of receiving level by the ship's motion simulator

그림 12는 선박운동 시뮬레이터에 의하여 로링과 피칭을 구현하고 시스템을 동작시켜 추적과 동요보정을 실험한 것으로 수신레벨은 튜너의 AGC 전압을 0~5 [V]로 변환한 것을 펜 레코더에 직접 입력하여 기록하였다.

맨 위의 파형은 수신레벨이며 아래쪽의 파형은 각각 roll축과 pitch축의 동요를 표시한 것으로 약 5분간에 걸쳐 수신한 것이다. 동요보정시 각속도 센서의 검출전압은 스텝모터의 동시 구동에 의하여 계속 미세한 진동 성분을 포함하고 있었으므로 저역필터를 사용하여 검출하였다. 그러므로 기계적으로 부드러운 스타트와 동작을 할 수 있는 마운트의 제작이 필요하였다. 특히 중량이 큰 Az축의 구동시에는 민첩한 동작이 제대로 이루어지지 못하고 오동작의 경우가 많이 생겨 성능저하의 주된 원인이 되었다. 그림에서 수신레벨이 갑자기 떨어지는 현상은 바로 이때에 발생하는 포인팅 에러 (pointing error)이다.[11] 그림에서와 같이 로링 $\pm 7^\circ$ / 6초, 피칭 $\pm 15^\circ$ / 8초의 동요조건에서 변환 수신전압이 3[V] 이상을 유지하며 선명한 화질과 음질을 수신할 수 있었다.

실제의 항해조건에서 성능을 확인하기 위하여 연안을 항해하는 3,500[톤] 급의 실습선에 장비를 탑재하고 수신상태를 실험하였다. 장비의 설치조건이 부적합하여 동요와 수신상태를 측정할 자료로

나타낼 수는 없었으나, 당시 선박의 항해조건은 파고(波高) 4~5[m] 정도에 선속은 평균 15[knot] 로 성능을 테스트하기에 적합한 조건이었다. 결과는 선박의 선회와 동요에 관계없이 선명한 화면을 계속 유지하며 안정하게 동작하였다. 마운트의 구동은 주로 스텝트랙으로 나타났으며 동요보정이 간헐적으로 이루어지는 것을 확인하였다. 이때의 화면 상태를 비디오표로 기록하였고 당시 승무원들의 객관적인 평가는 매우 긍정적으로 그 실용성을 충분히 입증하였다.

VII. 結 論

기계적인 구조를 제어하는 추적안테나 시스템은 우선 기계적인 구성의 정밀성과 견고성이 없는 필요한 성능을 구현할 수 없다. 그러므로 기계적인 구성은 정확한 설계와 정밀한 제작을 통하여 만들어져야 한다. 특히 소형선박의 운항 환경은 진동과 동요가 많기 때문에 복잡하게 구성되면 고장의 요소를 배가 시키는 원인으로 될 것이다.

마운트의 구조를 간단하고 견고하게 하기 위하여는 Az/EI 2축 마운트방식이 가장 유리하며 직접적인 실험을 통하여 실용성도 충분히 입증하였다. 여기에서는 마운트의 재질로 우선 가공하기 쉬운 연철을 사용하였으나 알루미늄과 같은 재질을 금형으로 제작하여 사용하면 정밀하고 가벼우므로 구동특성이 개선되어 추적의 성능도 향상될 것이다.

시청권을 넓히기 위하여는 직경이 큰 안테나 보다 이득이 큰 평판 안테나를 개발하여 사용하는 것이 시스템의 구성상 유리하다. 한편, 한국 근해에서 Koreasat의 방위각은 $192 \sim 206^\circ$ 부근에 위치하였으므로 자이로컴파스를 탑재한 선박에서는 탐색모드에서 Az축의 구동범위를 $192 \sim 206^\circ$ 의 $\pm 20^\circ$ 정도로 제한하여 스캐닝의 폭을 좁히면 초기의 탐색시간을 크게 단축시킬수 있다.

비용면에서 가장 문제가 되는 각속도 센서는 지난 96년 우리의 기술로 개발에 성공하였고, 98년에 보다 저렴한 가격으로 상품화할 예정에 있으므로 이문제는 쉽게 해결될 것이다.

본 연구를 토대로 더욱 기술을 향상시키고 저가격화를 확보하여 연·근해를 항해구역으로 하는 소

형선박이나 함정 등을 상대로 방송서비스는 물론 항해, 기상, 어황(魚況), 기타의 생활정보 등 다양한 정보를 마련하여 제공하면, 열악한 정보환경에 있는 선원들에게 필요한 정보를 얼마든지 손쉽게 전달할 수 있으므로 선상근무의 환경개선에도 매우 효과적일 것으로 기대한다.

한편, 이기술의 응용분야로 SNG(Satellite News Gather)나 헬리콥터에 의한 중계방송중 이동중계차의 추적방식이 아직은 수동으로 행하고 있으며, 이 기술을 적용하여 연구하면 자동추적 방식으로 전환도 가능하다고 본다.

參考文獻

[1] "Installation & Operation Manual Sea-Tel Model 8885 Multi-Band Shipboard Satellite TV and Audio Receiver only System", Sea-Tel, Inc., California, May 1992.

[2] K. Fujimoto and J. R. James, "Mobile Antenna Systems Handbook," Artech House, Boston, pp.392-400, 1994.

[3] 庄司和民, 飯島幸人 共著, "GMDSS의 解説", 成山堂書店, 東京, pp.60-67, 1990

[4] 鹽川孝泰, 唐澤好男, 結城浩徳, "海事衛星通信 船舶局用EL/AZマウントの指向誤差軽減法", 電子通信學會論文誌, 東京, Vol.J77-B, No.8, pp.833-841, Aug 1986

[5] 奥山全信, 江口光一, 井家繼也, 岸野和夫, 山田登, 野中慶一, 内野一明, "船舶用衛星放送テレビ受信装置", 日本無線技報, 東京, No.24, pp.9-15, 1986

[6] 山本伸一, 田中健二, 苜菜弘充, 大森慎吾, "陸上移動衛星通信用アンテナ追尾方式", 電子情報通信學會論文誌 B-II, 東京, Vol. J77-B-II, No.6, pp.307-316, June 1994

[7] 高野好一, 村田孝雄, 藤田 雅, 加藤大一郎, 外山昇, "衛星放送移動受信装置", テレビジョン學會誌, 東京, Vol.48, No.9, pp. 1133-1140, 1994

[8] 山本伸一, 田中健二, 苜菜弘充, 大森慎吾, "陸上移動衛星通信に適した アンテナ追尾システム", SANE90-51, 東京, Vol.90, No. 358, pp.7-13, 1990

[9] 川橋 猛 編著, "衛星通信", コロナ社, 東京, pp.174, 1982

[10] 木村小一, 北條 武, 平島猷三, 大月正男, 東口實 編著, "電子ナビゲーションシステムの設計技術とその展開・例", 應用技術出版, 東京, pp.169-172, May 1988

[11] 通信總合研究所 季報, "移動體衛星通信實驗", 東京, Vol.36, No.10, March 1990.

[12] 崔炳夏외 3人, "이동체 탑재형 위성방송수신용 추적안테나 시스템 개발 (신박용)", 정보통신부 최종연구보고서, Dec.1996



최 조 천(Jo-Cheun Choi)
 1986년 2월: 서울산업대학교
 전자공학과 졸업(공학사)
 1990년 2월: 조선대학교대학원
 컴퓨터공학과(공학석사)
 1994년~현재: 한국해양대학교
 대학원 전자통신공학과 (박사과정)
 1989년~현재: 목포해양대학교 해양전자·통신공학부 조교수
 * 주관심분야 : 해양전자통신, 계측제어



양 규 식 (Gyu-Sik Yang)
 1974년 2월: 한국항공대학교
 항공통신공학과 졸업 (공학사)
 1984년 2월: 건국대학교 대학원
 전자공학과 (공학석사)
 1991년 8월: 건국대학교 대학원
 전자공학과 (공학박사)
 1992년~1993년: Univ. of Michigan Post Doc. 연수
 1983년~1986년: 한국해기연수원 조교수
 1986년~현재: 한국해양대학교 전자통신공학과 부교수
 * 주관심분야 : 초고주파회로 및 안테나