

선박탑재 Az mount의 위성추적 성능에 대한 분석

최조천 · 주양로

목포해양대학교 · 해양전자통신공학부

A analysis on the satellite tracking performance of Az mount on shipboard

Jo-Cheon Choi · Yang-Ro Ju

Mokpo Maritime University, Division of Maritime and Communication Engineering

요 약

연안을 항해하는 소형선박에 탑재하여 위성방송을 수신할 수 있는 Az(Azimuth:방위각) 1축 마운트의 추적시스템을 구현하여 추적성능을 분석하였다. 소형선박용 위성방송 수신시스템은 소형, 경량, 단순조작, 저가형으로 실현되어야 하기 때문에 1축 Az 마운트가 적합하다. 안테나는 패치어레이의 평판형을 사용하였고 마운트는 스텝모터로 구동되도록 설계하였다. 알고리즘은 위성의 포인트를 추적 위한 스텝트랙과 선박의 동요성분을 역으로 보상하는 동요보정이 병행되도록 작성하였다. 동요성분을 검출하기 위하여 자이로형 각속도센서를 활용하였고, 비교기, ADC 등의 인터페이스회로와 마이크로프로세서를 사용하여 시스템을 구현하였다. 연안여객선에 시제품을 탑재하여 선회 및 동요의 정도에 따른 수신입력 레벨의 변동을 그래프로 기록하여 추적 성능을 분석하였다.

ABSTRACT

This performance is motivated to develop a tracking antenna system for receive the satellite broadcasting signal in the coast sailing ship. Therefore, this system is made to small size, light weight and simple operation which is must to low cost system for popularization of small size ship and adaptive possibilities with useful on a ship in the coast using 1 axis Az-mount. The antenna mount structure is a compact size and easy operation to the Az-axis type which is operated by step motor. The antenna unit is a domestic made plate type of patch array and ship's moving detection is using the gyro sensor for ship's moving control. We are designed to algorithm, which walking is abreast for step track and ship's moving compensation. Ship's moving compensation is adapted to the closed loop control method by detection from gyro sensor. This system is consisted of micro processor, ADC, comparative amplifier, step motor driver, mount mechanism and algorithm. We have analysed the tracking performance of prototype on sailing ship board.

키워드

위성방송, Az 마운트, 포인팅, 스텝트랙, 동요보정

I. 서 론

연안을 항해하는 소형선박에 탑재할 소형, 경량, 저가형의 위성방송수신 추적장비를 구현하기 위해서는 1축의 Az 마운트를 사용하는 방법이 최적이며, 해상이동체의 이동과 선회 그리고 동요에 대하여 평면안테나를 전력반치각 4° 이내에서 위성의 포인트를 지속적으로 유지하는 추적알고리즘과 동요보정 알고리즘이 설계되어야 한다. 그러나 1축의 Az 마운트에서는 선박의 동요성분이 전력반치각 이상으로 되는 경우에는 위성의 포인트를 놓치게 된다. 본 논문에서는 Az 마운트의 추적성능을 최적의알고리즘으로 구성하고, 항해하는

선박에서 위성의 추적성능을 면밀하게 분석함으로써 실용 가능성의 확인과 성능에 대한 개선 방안을 연구하고자 한다.

II. 시스템의 구성

시스템은 완전히 자립적으로 수신레벨이 최대 되도록 위성을 추적하고, 동요성분을 보정하는 두 가지의 알고리즘이 병행되는 제어방식으로 구성하였다. 우선 선박에서 위성을 추적하기 위한 안테

나의 구동성분은 Az와 El(Elevation:앙각)이다. 구동의 범위는 안테나의 직경(이득)에 따라 위성신호를 수신할 수 있는 영역을 도시한 그림이 필요하며, 이것을 참고로 연안의 범위를 설정하였다.

무궁화위성은 동경 116°의 정지궤도에 위치하며, 선박의 경도와 위도를 알면 위성에 대한 Az와 El을 식(1)과 식(2)에 대입하여 계산할 수 있다²⁾.

$$Az = \arctan(\tan \Delta \varphi / \sin \theta) + 180^\circ$$

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

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

직경이 50[cm]인 안테나의 수신범위를 항행구역으로 정하면, 동·서해 및 남해의 최단지점에 대한 경도와 위도는 표 1과 같으며, 위의 계산식에 대입하여 Az와 El을 구한다.

표 1. 최단해역에서의 Az 및 El
 Table 1. Az & El in the edge sea

해역	최단지점	$\Delta \varphi$	Az° / El°
East	132° E / 36° N	16°	206° / 45.0°
West	123° E / 35° N	07°	192° / 48.7°
South	127° E / 32° N	11°	200° / 51.0°

즉, Az는 192~206°, El은 45~51°의 범위에 있음을 알 수 있다. 그러나 이동체인 선박의 경우 Az는 항해에 따라 선체의 작은 계속 변화하므로 안테나는 전방위로 구동되어야 하며, El은 45~51°의 범위에 선박의 동요각을 추가하여 구동되어야 한다. 선박용 위성수신장비의 예로써 Az/El 2축 마운트를 사용하고 있는 제품의 경우, 수평면상에서 모든 방향으로 ±15° / 8초까지의 동요를 보정하는 것으로 기술되어 있다. 그림 2는 구현한 장비의 구성도이다. 안테나는 무궁화위성의 DBS 규격에 일치하며, 구동력이 적게 소요되는 소형, 경량의 평판형 안테나가 유리하고, 수신영역의 확대와 고화질을 위해서는 보다 이득이 높은 안테나가 요구된다. 본 연구에서는 36*36(cm)의 평판안테나를 사용하였다. 이동체에서 안테나가 위성을 추적하려면 지향방향을 자유로이 구동할 수 있는 마운트가 필요하다. 마운트에는 1~4축 등의 여러 가지 형태가 있으나, Az의 1축 마운트가 가장 소형, 경량화에 적합하다³⁾. 한반도의 연안해역에서 무궁화위성의 앙각은 45~51°의 범위이므로 6°의 구동폭을 가져야 한다. 안테나의 전력반치각은 4°이며, 실험결과 상하좌우로 약 8°의 범위에서는 위성의 포인팅(pointing)이 유지되었다. 즉, Az의 좌우 방향만 추적하여도 ±4°내의 동요에서는 TV의 수신이 가능하다. 그러나 안테나의 포인팅을 측정할 결과 상하좌우로 10°의 범위에서는 수신이 가능하였다. 그러므로 이 범위의

선체운동에 대해서는 충분히 추적과 보정이 가능한 성능으로 구현되어야 한다. 추적용 신호를 얻기 위하여 sharp 사의 DBS용 튜너를 사용하여 AGC 단자에서 안테나의 수신전계에 대한 신호로 얻는다. 수신레벨은 무신호시 4.3[V], 최대신호시 4.5[V]의 전압이 검출되었고, 증폭·변환회로를 사용하여 무신호시 0[V], 최대신호시 5[V]가 되도록 정형하여 ADC에 입력하였다. 안테나에 입력된 12[GHz]대의 위성신호는 LNB에서 1[GHz]대로 변환되며, 여기에서 분배기를 사용하여 TV의 set-top-box와 장비의 튜너로 분리하였다.

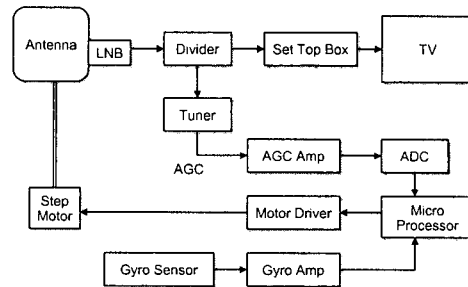


그림 2. 시스템의 구성도
 Fig. 2 Block diagram of system

튜너는 위성방송 주파수에 고정된 상태로 AGC 신호를 출력하고 이것을 추적용 신호로 사용한다. 미약한 AGC 신호는 증폭·변환된 후, ADC에서 free-run 방식으로 추적에 이용할 데이터로 변환된다. 자이로형 각속도 센서에서는 선박의 동요신호를 검출하고 이 신호를 증폭하여 출력이 동요기준치 이상으로 되면 동요보정 알고리즘의 동작으로 스텝모터를 동요의 역방향으로 구동하여 안테나의 지향방향을 보정하게 된다. 동요성분을 검출하는 자이로형 각속도 센서는 murata 사의 제품을 이용하였다. 표 2는 센서의 특성을 나타낸 것이다⁴⁾.

표 2. 자이로형 각속도 센서의 특성
 Table 2. The specification on Angular velocity sensor of gyro type

특성	성능
각속도범위	±80°/s
Scale-factor	22.2±1.8 mV/°/s
Response	0.1°/s
Linearity	±0.5% FS
Response	DC~7 Hz
Output	2.5±3 VDC
공급전압	5.0±0.5 VDC
규격	37 x 30 x 18 (mm)

III. 알고리즘의 구현

1. 동요보정 제어계

선박의 선회나 동요성분은 각속도 운동량으로 분석할 수 있으며, 이 성분은 각속도 센서를 사용하여 검출할 수 있다. 동요보정을 위한 제어계의 구성은 그림 3과 같다.

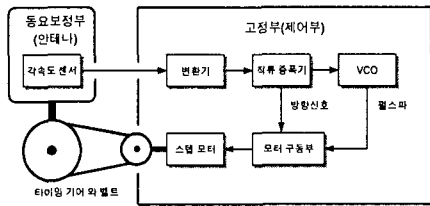


그림 3. 동요보정 제어계의 구성
Fig. 3. Block diagram of moving control

센서에서 검출되는 신호는 동요의 방향 및 각속도에 따라 $\pm DC$ 의 미소한 전압으로 나타내며, 이것을 이용하여 동요성분의 각속도에 비례하는 펄스열과 반대방향의 정역(正逆)신호를 발생한다.

즉, 스텝모터는 동요의 각속도에 비례하여 반대 방향으로 Az축을 회전시키게 된다. 본 연구에서는 동요보정 서브루틴에서 정역의 신호와 VCO에 의한 펄스열이 발생하도록 설계하였다.

2. 마운트의 구성

추적과 동요보정에 있어서 가장 중요한 것은 마운트가 기계적으로 정밀하고 안정하게 동작하는 것이다. 특히 스텝모터는 스텝당 회전각이 0.9° 이고 안테나의 포인팅 각은 8° 정도이므로 스텝모터의 약 9스텝에 해당되는 각이다. 그러므로 정밀한 추적을 위하여는 스텝모터의 스텝당 회전각이 미세하게 구동되도록 감속장치를 사용해야 한다. 그러나 감속비를 크게 하면 기계구조가 복잡해지고 추적의 속도가 떨어졌고, 감속비를 작게 하면 기계적인 진동으로 구동이 불안정하였고 추적의 정밀도도 떨어졌다. 본 실험에서는 2중 감속기를 사용하여 1/18의 감속비에서 스텝당 회전각이 0.05° 가 되도록 설계하였다. 감속기는 구동시 기계적인 진동과 유격을 없애기 위하여 타이밍 기어와 벨트를 사용하여 동력을 전달하였다. 스텝모터는 $5[\text{kg}\cdot\text{cm}]$ 의 구동력 및 지지력의 규격을 사용하여 충분한 힘을 유지하도록 하였다. 그림 4는 시제품으로 제작한 Az 마운트의 구조이며 안테나의 E각은 $45\sim 51^\circ$ 범위의 중심인 48° 에 고정하였다.



그림 4. Az 마운트의 구조
Fig. 4 Structure of Az mount

3. 알고리즘

알고리즘의 구성은 그림 5와 같다. 위성의 추적 프로그램은 Az축의 초기설정, 위성의 포착, 스텝트랙(step track), 동요보정, 제한각에서 역회전, 포인팅 에러에서 스캐닝(scanning) 등의 6개 루틴으로 구성되며, 모든 동작의 수행에서 위성의 포인트 추적과 유지는 스텝트랙를 통하여 이루어지게 된다.

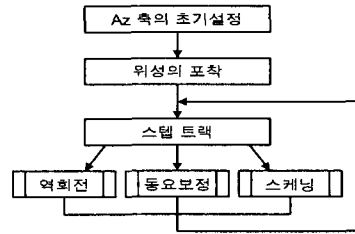


그림 5. 알고리즘의 구성
Fig. 5 Structure of algorithm

가) Az축의 초기설정

Az축에는 안테나가 설치되며 LNB에는 동축케이블이 연결되므로 Az축이 추적동작에 의하여 어느 방향으로만 계속해서 회전할 수는 없다. 그러므로 회전의 중심으로부터 양방향으로 360° 까지만 회전하도록 제한하여 케이블의 꼬임을 방지하였다.

Az축의 초기설정은 시스템의 ON과 동시에 Az축을 전체 회전각 720° 의 중심위치로 세트하는 동작을 말한다.

나) 위성의 포착

Az축의 초기세트가 끝난 후, 안테나가 위성을 포착하는 동작을 말한다. Az축이 중심위치로부터 CW(시계 방향)로 180° 회전하고, 여기에서 CCW(반시계 방향)로 360° 그리고 CW로 360° 의 회전 동작을 반복하면서 360° 의 전방위에 대하여 위성의 신호를 포착하게 된다. 동작이 진행되는 동안 안테나로 수신되는 입력레벨의 데이터는 계속 프로세서에 입력되며, 약 30dB 정도가 입력되면 즉시 동작을 멈추고, 여기에서 스텝트랙의 동작에 의하여 수신레벨이 증가되는 방향으로 위성의 포인팅을 추적하게 된다.

다) 스텝트랙

이동체에서 위성을 추적하는 방식에는 여러 가지가 있으나, 선박과 같이 이동의 경로가 일정하지

않고 간단하게 구현하려는 경우에는 스텝트랙 방식이 가장 적합하다. 스텝트랙의 성능은 마운트의 기계적인 구동특성과 적합한 트랙 알고리즘의 구현에 의하여 결정된다^[6]. 스텝트랙이란 ADC의 출력데이터에서 n 방향의 데이터와 좌우로 1스텝씩 이동한 n±1 방향의 데이터를 비교하여 데이터가 큰 방향으로 Az축을 지속적으로 추적하므로써 안테나를 최대 수신전계의 방향으로 지향시키는 알고리즘이다. 여기에서 스텝과 스텝사이에는 일정한 주기의 타이머를 삽입하여 스텝트랙의 속도를 정하며, 타이머가 짧을수록 추적의 성능은 빨라지나 추적동작에서 진동의 형태가 되므로 기계적으로 무리가 생기고, 반면 타이머가 길어지면 추적의 성능이 떨어진다. 그러므로 동작의 안정성과 최적의 추적성능을 얻기 위해서는 반복적인 실험과 분석으로 타이머를 설정하여야 한다^{[6][10]}. 스텝트랙 알고리즘의 구성은 그림 6과 같다.

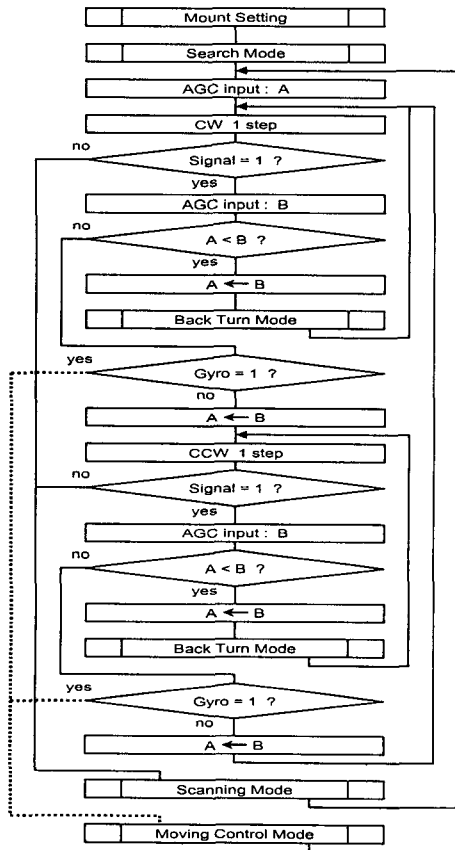


그림 6. 스텝트랙 알고리즘
Fig. 6 The algorithm on step track

라) 동요보정

선박의 항해, 선회 및 파도에 따른 선체의 급격한 운동에 따른 동요를 보정하는 부분으로 동요가

가 적은 상태에서는 스텝트랙으로 위성의 포인트를 유지할 수 있으나, 동요의 상태가 커서 스텝트랙의 추적성능 이상으로 되면 인터럽트에 의하여 동요보정 루틴으로 점프하여 동요를 보정하게 되고, 동요치가 적어지는 순간에는 인터럽트가 해제되면서 스텝트랙 동작으로 이어져 정확한 포인트로 수정하도록 하였다.

마) 제한각에서의 역회전

안테나 케이블의 꼬임을 방지하기 위한 것으로 Az축의 동작이 중심위치에서 CW, CCW로 각각 360°까지 회전되었을 경우에는 리미트 스위치가 세트되어 즉시 360° 역회전 동작을 수행한 후, 스텝트랙으로 포인팅 동작을 계속한다. 그러나 선박은 목적지까지 일정한 방향으로의 항로를 따라서 항해하므로 선회각이 크게 나타나지 않는다.

바) 포인팅 에러시의 스캐닝

선박의 급격한 동요로 인하여 위성의 포인팅을 놓치면 신호가 끊기게 되고, 스텝트랙의 동작도 불가능하게 되므로 위성의 추적기능을 상실하게 된다. 그러나 이때 위성의 포인트는 현재의 위치에서 근접한 각도에 있으며, 선박의 운동은 복원력에 의하여 다시 본래의 상태를 유지하게 되므로 신속하게 주위에 대한 스캐닝을 수행하면 위성의 포인트를 다시 포착할 수 있다. 안테나의 특성실험에서 포인트 유지각은 10°이었으며, 선박의 급격한 동요를 ±15° 정도로 예상하면 ±20° 정도의 범위내에서 스캐닝을 취하면 포인트를 포착할 수 있다.

4. 시제품

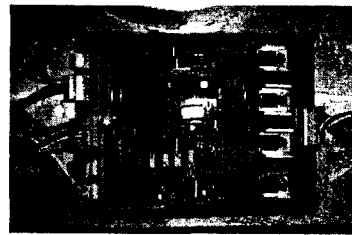


그림 7. 메인보드
Fig. 7 Main board

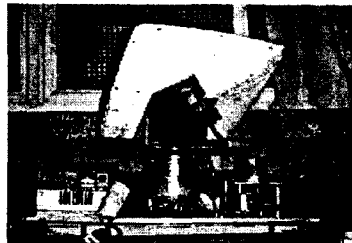


그림 8. 시제품
Fig. 8 Prototype

그림 7은 PCB로 제작한 메인보드이다. CPU는 MCS-51계열로 fresh 메모리를 내장한 AT89C51를 사용하였고, ADC, OP-amp, 스텝모터 구동부 등으로 구성되어 있다. 그림 8은 완성된 시제품의 사진이다. ADC는 약 150[μs] 출력주기의 free-run 방식으로 설계하였다. 수신레벨의 입력전압은 0~5[V]로 변환하여 사용하였고, 여기에서 1[V] 정도의 레벨에서 정상적인 TV방송을 수신할 수 있었다. 수신신호는 비교, 변환 및 증폭회로에 의하여 포인팅 영역의 수신레벨을 최대 부분에서 보다 예민한 특성의 형태로 정형하여 최대점을 향하는 스텝트랙의 성능을 높이도록 하였다.

IV. 실험 및 분석

그림 9는 기상이 양호한 상태에서 250톤급의 여객선에 시제품을 설치하고 연안을 항해하며, 선회 및 동요에 따른 마운트의 구동상태와 위성신호의 수신레벨을 그래프로 측정하며, TV의 수신화면을 확인하는 실험을 수행하는 사진이다.

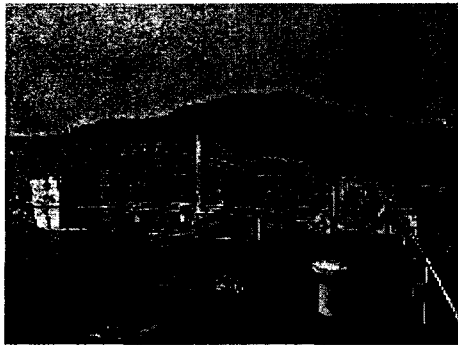


그림 9. 항해중인 선박에서 실험
Fig. 9 Experiment on sailing ship board

시제품은 스텝트랙의 속도를 약 12[ms]의 주기로 구동하였을 때 최상의 추적성능을 나타내었으며, 동요보정의 주기에서는 약 1[ms]의 펄스열로 구동시킬 때 가장 빠른 회전동작을 나타내었다.

이때 스텝트랙의 회전 각속도는 12[ms] 당 0.05°이므로 초당 약 4.1의 회전각을 가지므로 약 4°/s의 각속도로 추적을 수행할 수 있다. 즉, 선박의 선회각이나 동요가 4°/s의 각속도 이하일 때에는 스텝트랙으로 추적이 가능함을 의미한다.

동요보정은 선박의 선회각이나 동요가 4°/s 이상의 각속도인 조건에서 인터럽트를 인정하고, 동요성분의 크기에 비례하여 펄스열을 발생하는 시정수로 VCO를 조절하였다.

가) 위성의 초기포착

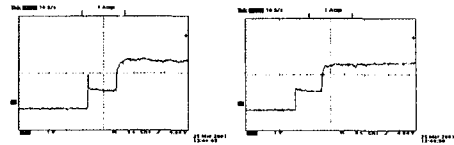


그림 10. 위성의 초기포착 형태
Fig. 10 Initial search for satellite

그림 10은 시스템이 초기에 위성을 포착하는 과정에서 수신레벨의 변화상태를 그래프로 취득한 것이다. 입력신호가 "0"에서 시작하여 중간단계에 보이는 위성의 약한 신호가 일단 포착되면 즉시 스텝트랙 동작으로 전환하여 최대 수신포인트로 위성을 추적할 수 있었다.

나) 스텝트랙

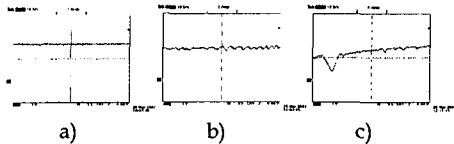


그림 11. 선박의 선회에 따른 스텝트랙
Fig. 11 Step track for ship's turning

그림 11은 스텝트랙으로 위성의 포인팅을 유지하는 상태에서 입력되는 수신레벨이 변화하는 형태이다. a)는 선박의 선회와 동요가 없는 상태에서 수신레벨이 최고치에서 일정하게 입력되고 있으며, b)는 선박이 느린 각속도로 선회하는 상태에서 수신레벨에 약간의 변동이 나타나고 있다. c)는 선박이 급격하게 선회하는 상태로써 수신레벨에 큰 폭의 변동이 나타나며, 위성의 포인팅은 어렵게 유지하는 정도가 되었다.

다) 동요보정

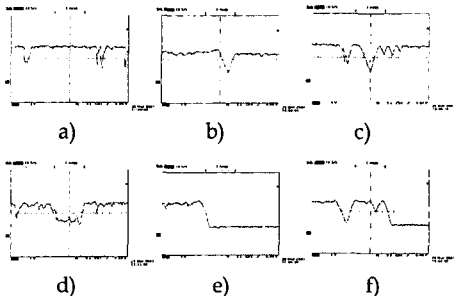


그림 12. 선박의 동요에 대한 보정
Fig. 12 Compensation for ship's moving

그림 12는 시제품이 선박의 동요를 보정하며 수신하는 상태를 취득한 것으로 동요의 크기에 따라 형태가 현저하게 나타났다. a)는 미소한 동요에 의

하여 수신레벨이 약간 감소되었으나, 이러한 동요는 스텝트랙에 의하여 정상치로 회복되며, b)는 작은 동요의 상태로 수신레벨이 감소되었으나 동요보정에 의하여 정상치로 회복되는 상태이다. c)는 큰 동요로 인하여 수신상태가 불규칙하게 되었다가 다시 정상치로 회복되는 형태이며, d)는 급격한 동요에서 2~3초 정도 포인팅 에러를 나타내는 형태이다. e)와 f)는 급격하고 큰 동요에 의하여 포인팅 에러 후, 위성의 신호가 끊긴 형태로 마운트는 즉시 스캐닝의 동작을 수행하고 있는 상태이다.

모든 그림의 파형들은 4~5 시간동안 연안을 항해하면서 취득한 파형중에서 불안정하고 비정상적인 파형들을 선택하여 제시한 것이다. 시제품의 실험분석 결과는 날씨가 양호한 상태의 항해시에는 시스템이 정상적으로 위성을 추적하면서 선명한 TV 화면을 제공함을 확인하였다^[11].

V. 결 론

이동체용 위성추적 안테나 시스템은 기계적인 구조의 정밀성과 견고성이 없이는 필요한 성능을 구현할 수 없다. 특히, 추적의 성능을 위하여 마운트의 구성을 복잡하게 하면 부피와 중량이 커지고 고장율도 많아진다. 본 연구는 소형, 경량, 단순 및 내구적인 구조를 갖는 Az 1축 마운트에 대한 실용성을 분석하기 위한 것이다. 그러나 실험에서의 마운트는 Az 방향의 동요에 대한 보정만 가능하므로 그 성능에 있어서는 한계가 있었다. 선박의 동요는 선체의 구조 및 파도의 형태에 따라 수많은 조건으로 나타나므로 시스템의 추적 및 동요보정 성능을 완벽하게 정량적으로 분석하는 것은 불가능하다. 연구의 결과로는 파도가 심하지 않은 연안에서 소형선박의 위성방송 수신장비로 실용성이 충분하다고 판단된다. 다만, 보정성능을 $\pm 4^\circ$ 이상으로 개선하려면 수평센서와 리니어 모터를 사용하여 안테나의 틸을 up/down 방식으로 간단하게 구동하면 효과는 클 것으로 기대된다. 해상의 선박들은 육지의 정보전달이 제한되는 상태이며, 위성방송은 해상기상, 어황, 어가, 해상안전, 일반뉴스 등의 정보를 일시에 가장 빠르고 쉽게 전달할 수 있는 최적의 방안이라고 생각한다.

참고문헌

- [1] 박인환, 김낙명, "DTV 위성방송 전송시스템과 핵심기술", 디지털 위성방송과 핵심부품 설계기술 워크숍, 한국통신학회, p42, Nov. 1995.
- [2] 金原 晃, 渡邊 浩 共著, "衛星放送受信の 手引", コロナ社, 東京, pp. 73-74. Feb. 1996
- [3] 川橋 猛 編著, "衛星通信", コロナ社, 東京, pp.174, 1982
- [4] "船舶用 BS アンテナ", BS-100 Manual,

TOKIMEC, 東京

- [5] K. Fujimoto and J. R. James, "Mobile Antenna Systems Handbook", Artech House, Boston, pp.392-400, 1994
- [6] 木村小一, 北條 武, 平島 猷, 大月正男, 東川 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
- [7] <http://www.murata.com/>
- [8] 伊藤, 山崎, 王丸, "衛星放送 移動受信 實驗", テレビ誌, 43. 12, Dec. 1989
- [9] 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
- [10] 최조천, "船舶 搭載形 DBS 受信 안테나의 衛星 追跡 시스템에 대한 研究", 박사학위논문, 한국해양대학교, pp.66-73, 1998, テレビ誌, 43. 12, Dec. 1989
- [11] 최조천, 주양로, "선박용 DBS 시스템에서 동요 성분 보정회로 제작과 시스템 최적화에 따른 pilot 알고리즘 개발", 기술혁신개발사업 보고서, pp.54-57, Mar. 2001