

Stabilized 위성 안테나용 Pedestal 제어 장치의 설계 및 구현에 관한 연구

고 윤 용¹⁾, 황 승 욱²⁾

A Study on the Design and Implementation of a Pedestal Control Unit for Stabilized Satellite Antenna

Yong-Woon Koh, Seung-Wook Hwang

Abstract

This paper presents the design and implementation of a Pedestal Control Unit(PCU) that is designed for use with general marine satellite antenna system.

The Stabilized Satellite Antenna accepts control and monitoring commands from the communication system's transceiver to acquire and lock onto the desired satellite, then continually measures pitch, roll and yaw of the host platform and moves the antenna in apposition to the direction of the host platform's motion. The result is that the antenna remains accurately pointed at the satellite irrespective of ship's motion.

In order to stabilize each control axis, tilt sensor, fluxgate sensor and rate sensor and step motor as actuator are utilized. The control delay compensation algorithm is used to control each control axis.

To test the implemented Pedestal Control Unit, we used self-designed ship motion simulator is used.

1) 한국해양대학교 제어계측공학과 석사과정 제어계측 전공
2) 한국해양대학교 제어계측공학과 교수

1. 서 론

위성 통신은 망 구성의 광역성, 회선 구성의 신속성 및 효율성, 이동의 용이성 등의 장점이 있어 이에 대한 연구 및 기술 개발이 확대되고 있다. 특히, 선박에서 주로 이용하는 위성 통신 서비스는 국제 해사 위성 통신(International Maritime Satellite, INMARSAT)서비스^{[1]~[3]}와 직접 방송 위성(DBS: Direct Broadcast Satellite) 서비스^[4]이다.

이와 같은 서비스를 항해 중인 선박에서 이용하기 위해서 지향성 위성 안테나의 안정화(Stabilization)가 반드시 이루어져야 한다. 안정화는 선박의 운동특성 중에서 롤링(rolling), 피칭(pitching), 요잉(yawing)의 세 가지 회전운동 성분에 대하여 안테나가 지정된 위성의 지향각을 실시간으로 유지하도록 하는 기능을 말한다. 이러한 선박의 운동에 대하여 안테나의 지향각을 유지시키는 안정화 방식으로, 수동적 안정화 방식 및 능동적 안정화 방식이 있다. 초기에는 기계적으로 플라이 휠(Fly-Wheel)의 관성을 이용하여 수평을 유지시키는 수동적(Passive) 안정화 방식을 사용하였으나, 최근 들어 센서 및 제어 기술이 향상됨에 따라 센서와 모터로서 선박의 운동을 직접 보상하는 능동적(Active) 안정화 방식^[5]이 사용되고 있다.

본 논문은 능동적 안정화 방식을 갖는 안정화 위성 안테나용 Pedestal 제어 장치의 설계 및 구현에 관한 내용이다. 목표 시스템은 3축 구조의 Pedestal을 대상으로 하였으며, 각 축은 롤링 축, 피칭 축, 요잉 축으로 구성함으로써 Pedestal의 각 축은 선박의 운동을 축 단위로 분해하여 검출하고 보상할 수 있는 시스템이다.

검출된 선박의 운동 성분은 제어기를 통하여 Pedestal축의 구동부에 전달되며, 각 축의 구동부는 스텝 모터 및 관련 구동부로 구성된다.

2. PCU의 설계 및 구현

2.1 안테나 Pedestal의 구조

본 연구에서 제안한 안테나의 축 구조는 그림 2.1과 같이 X,Y,Z 3축 구조로서, 축 중앙에 액츄에이터를 장착시켜 축 단위로 제어가 가능하도록 하였으며, 또한 각 축에 운동 감지 센서를 부착하여 선박의 운동을 안테나에서 축 단위로 분해하여 감지할 수 있도록 설계하였다. 따라서, 이 구조는 좌표 변환 알고리즘이 불

필요하며, 이에 따라 시스템의 제어가 보다 간단해지며, 신뢰성이 높아지게 된다.

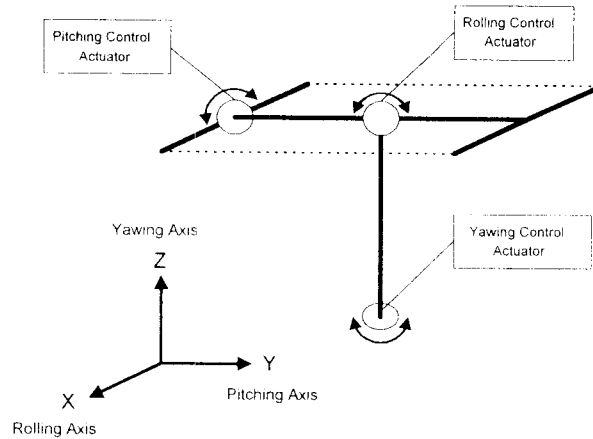


그림 2.1 안테나 Pedestal의 축 구조

2.2 제어 알고리즘

안테나 안정화를 위하여 본 연구에서 설계한 제어 방식은 각 속도 센서 및 경사 센서로부터의 롤링이나 피칭의 각 속도 및 각도를 측정하여 구동 모터를 선박 운동 방향의 역 방향으로 보상한다. 제어 알고리즘은 스텝 모터에 인가되는 펄스 수 및 주파수 계산이 중점이 되며, 제어 처리 시간으로 인한 제어기의 지연시간을 보상시키기 위한 비례 미분 제어를 설계하는 방법으로 구성된다.

제어 시정수를 t_m , 각 속도 센서의 A/D 변환값을 v_{ad} , 기어 비율을 G , 모터의 1스텝각을 D_m , 모터의 기준 입력 주파수를 F_c , A/D 변환 1LSB당 전압비를 V_{lsb} , 각 속도 센서의 변화율을 N 이라고 두었을 때, 선박의 운동으로 인한 제어 시정수 t_m 과 각 속도 센서의 A/D 변환값 v_{ad} 의 관계식은 다음과 같다.

$$t_m = f(v_{ad}) = \left(\frac{GD_m F_c N}{V_{lsb}} \right) \frac{1}{v_{ad}} \quad (1)$$

선박의 운동 각 속도를 제어 축의 제어 시정수로 계산하여 실제 환경에서 실험한 결과, 그림 3.3과 같이 처리 지연 시간만큼의 속도 지연으로 인해 오차를 일으

켰다. 이러한 오차 성분을 보상하기 위한 모델을 도출하고 시뮬레이션 하였다.

일단 전달함수를 1차 지연요소를 가지는 1차 함수로 선형 근사화 한다면, 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$G(s) = \frac{b}{s+a} \quad (2)$$

전달함수를 선형 근사화 시키는 방법으로 그림 3.3에서 실제 실험에 의해 나타난 오차 각 $\pm 5^\circ$ 를 이용한다. 시뮬레이션에서 이 오차 각을 발생시켜 전달함수의 계수를 구한다. 그림 2.2에 보는 바와 같이 MATLAB의 SIMULINK를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 계수를 계속 바꿔가며 위와 같이 시뮬레이션을 수행한 결과, 전달함수를 다음과 같이 선형 근사화 했다.

$$G(s) = \frac{1.6}{s+1.6} \quad (3)$$

이렇게 구한 전달함수를 가지는 시스템의 응답은 그림 2.3와 2.4에 나타내었다. 그림 2.3에서 실선이 입력, 점선이 출력이다. 시스템이 지연 요소를 가지고 있으므로, 항상 입력에 대해 응답이 늦게 나타난다. 그림 2.4는 실선과 점선의 차이 즉, 입력과 출력의 차이로 발생하는 오차 각 $\pm 5^\circ$ 의 그래프이다.

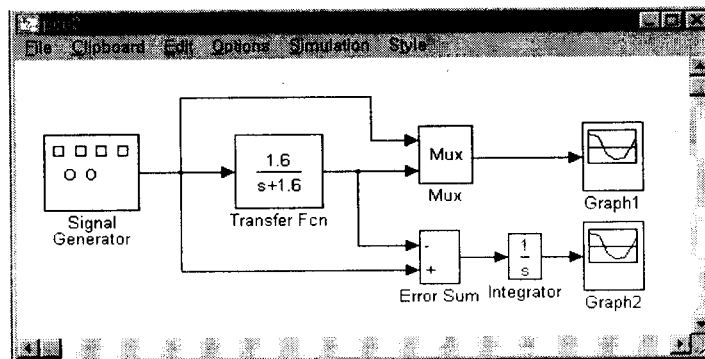


그림 2.2 전달함수 시뮬레이션

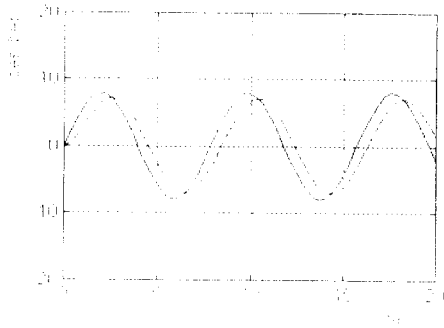


그림 2.3 센서 출력과 보상전 각 속도 출력

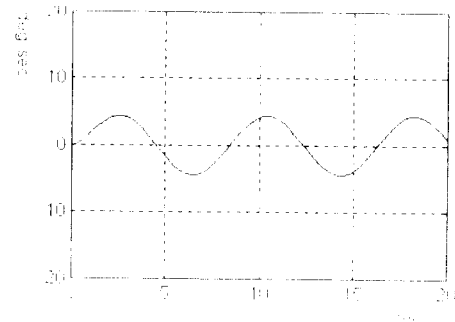


그림 2.4 보상전 각도 오차

시스템의 응답 속도를 개선하기 위해서 비례 미분 제어기를 설계하여 보상기를 구성한다. 그림 2.5와 같이 비례 미분 제어기를 구성하고, 계수를 계속 바꿔가며 시뮬레이션을 수행하여 식(4)와 같은 미분 제어기 전달함수를 구했다.

$$G_c(s) = 1 + 0.5S \tag{4}$$

위의 미분 제어기를 가지는 시스템의 응답을 그림 2.6과 2.7에 나타내었다. 그림 2.6이 결과인데 입력인 실선과 출력인 점선이 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 시스템의 응답 속도가 확실히 개선되었음을 알 수 있다. 그림 2.7은 설계된 미분 제어기로 보상된 오차 값이 0.1도 정도인 것을 보여주고 있다.

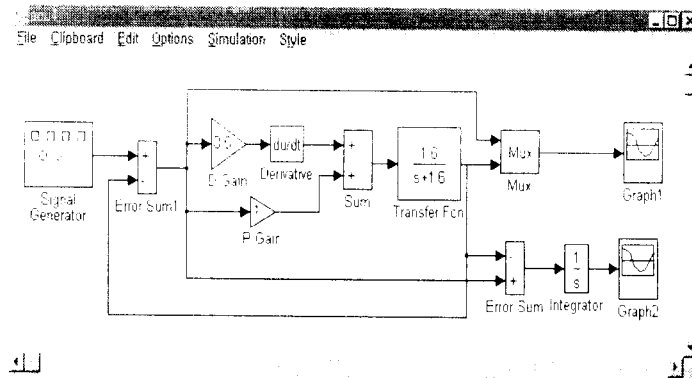


그림 2.5 보상기 시뮬레이션

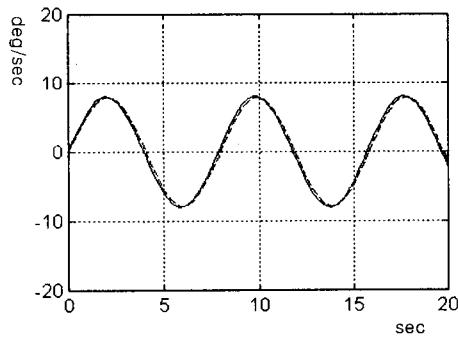


그림 2.6 센서 출력과 보상된 각 속도 출력

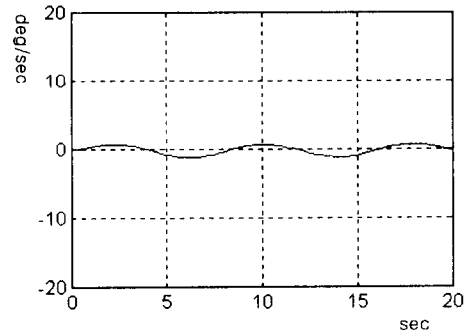


그림 2.7 보상된 각도 오차

2.3 PCU 하드웨어

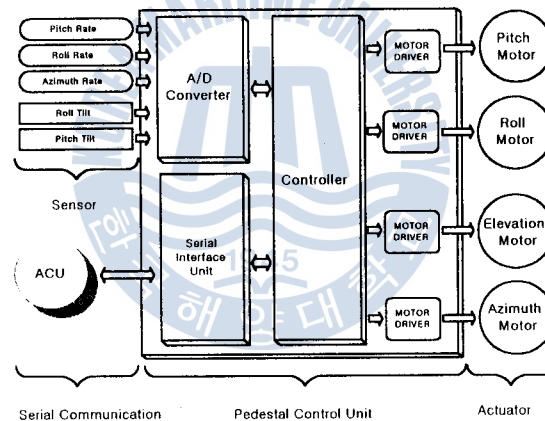


그림 2.8 PCU 블럭도

PCU의 하드웨어는 그림 2.8과 같이 센서의 처리를 담당하는 센서부, 안정화 제어를 담당하는 제어부, 액츄에이터를 구동하는 구동부, 통신을 담당하는 직렬 통신부로 구성된다. 센서부는 각도와 각 속도 센서의 출력을 아날로그 신호에서 디지털 신호로 변환하는 A/D 컨버터와 출력되는 신호 레벨 조정 부분들로 구성된다. 모터 구동부는 센서로부터의 측정치를 제어기로부터 신호를 받아서 해당 모터를 구동하는 기능을 갖는다. 직렬 통신부는 ACU로부터 안테나의 방위각과 양각, 트래킹 기능에 필요한 위성의 RF 신호 세기를 전송 받는다.

2.4 PCU의 소프트웨어

그림 2.10은 PCU의 소프트웨어 구조를 SDL(Specification and Description Language)을 이용하여 기술 레벨에서 기술한 것이다. PCU는 아이들(Idle)상태, 안정화(Stabilizing)상태, 서칭(Searching)상태, 트래킹(Tracking) 상태, 수신(Receiving)상태, 4개의 상태로 구성된다.

아이들 상태(State 0)에서 ACU로부터 스타트 명령을 수신하면 선박의 heading(Heading)각, 수평 기울기 각을 찾은 후, 안정화 상태로 전이된다. 안정화 상태(State 1)에서 안테나는 수평을 유지하게 된다.

안정화 상태에서 ACU로부터 선택된 위성의 방위각, 양각이 전달되면 PCU는 서칭 상태로 전이된다. 서칭 상태(State 2)에서는 위성의 위치를 찾는 스캐닝 과정을 수행하게 된다. 서칭 상태에서 ACU로부터 위성 신호의 수신 영역 확인 신호가 수신되면, 안테나가 수신 영역에 들어갔다고 판단하고, 스텝 트래킹 과정을 거쳐 트래킹 상태로 전이된다.

트래킹 상태(State 3)에서 PCU는 안테나의 방위각, 양각을 한 스텝씩 변화시키면서, ACU로부터 위성 신호의 세기를 넘겨받아 위성 신호의 세기가 최고가 되었다고 판단될 때, 수신 상태(State 4)를 유지하게 된다.

그림 2.9은 PCU의 상태 전이도이다.

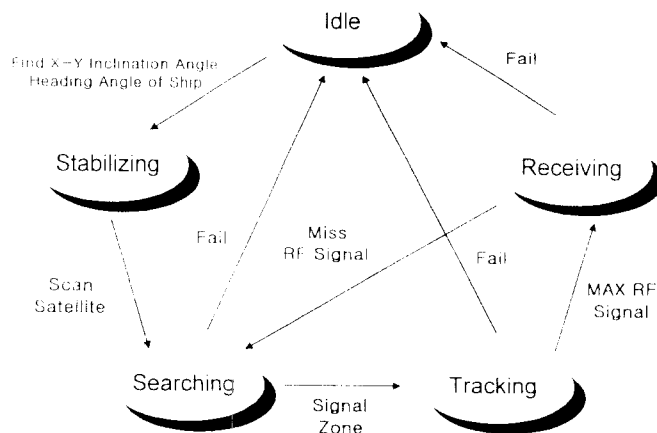


그림 2.9 PCU 상태 전이도

3. 시험결과

구현된 Stabilized 위성 안테나용 PCU(Pedestal Control Unit)의 기능을 시험하기 위하여 선박 운동 시뮬레이터를 이용하였다. 그림 3.1은 구현된 안테나의 기능을 시험하기 위한 전체적인 야외 시험 환경으로써 선박 운동 시뮬레이터 및 Pedestal의 실물 사진이다. 위성 안테나의 물링과 피칭에 대한 수평유지 제어기능을 시험하기 위하여 안테나에 부착된 경사 센서의 출력과 각 제어 축에 설치된 각 속도 센서의 출력을 그래프로 출력하여 비교하였다.

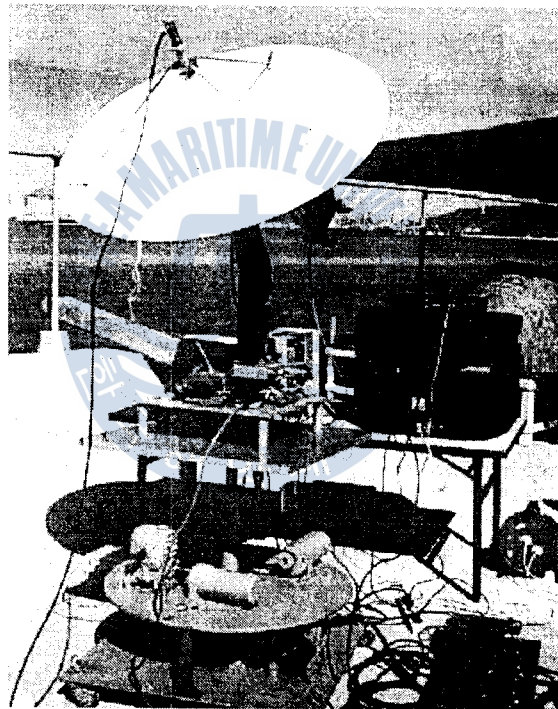


그림 3.1 SSAP의 시험환경

물링과 피칭의 복합적인 선박 모의운동에 대하여 시험한 결과가 그림 3.2, 그림 3.3, 그림 3.4과 같이 나타났다. 시험결과, $\frac{30}{8}$ deg/sec의 물링과 피칭을 갖는 선박의 모의운동에서 구현된 선박용 안정화 위성 안테나는 $\pm 1^\circ$ 의 최대 오차각이 발생하였음을 알 수 있었다.

따라서, 실용화가 충분히 가능하리라 판단된다.

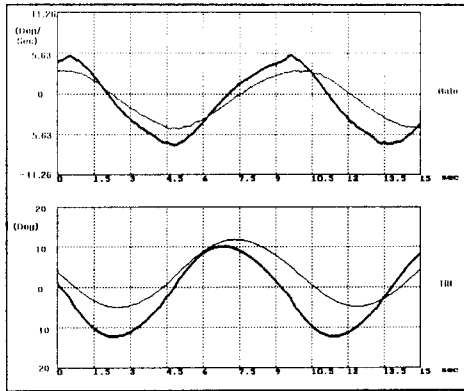


그림 3.2 제어전의 측정치

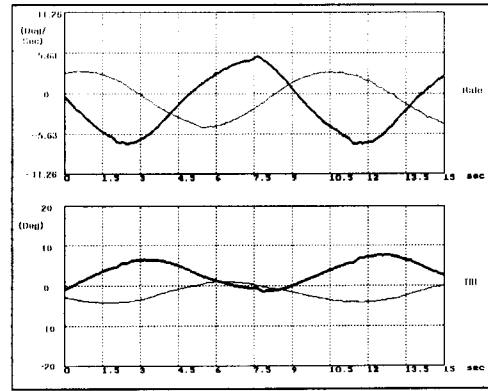


그림 3.3 시간 지연 보상 전의 측정치

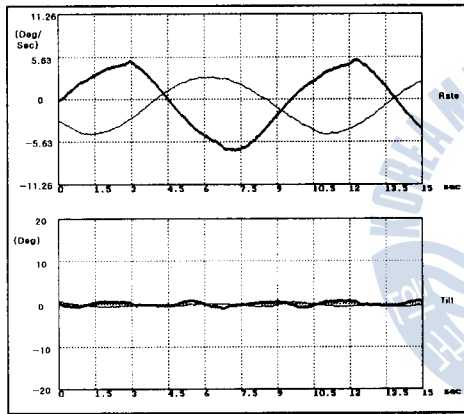


그림 3.4 시간 지연 보상 후의 측정치

4. 결 론

본 논문은 Stabilized 위성 안테나용 Pedestal 제어 장치의 설계 및 구현에 대한 내용으로서, 제어 및 운용 알고리즘과 관련 하드웨어를 설계, 구현하였으며, 실험 대상은 3축 구조의 Pedestal을 대상으로 사용하였다.

제어 알고리즘은 비례 미분 제어를 적용하여 시스템의 응답 및 안정화 (Stabilization) 기능을 개선하였다. 알고리즘의 성능시험은 롤링, 피칭 및 요잉 운동이 가능한 선박운동 시뮬레이터를 제작하여 이용하였다. 시험 결과, 개발된 시스템은 $\frac{30}{8}$ deg/sec의 롤링, 피칭 선박운동에 대하여 약 $\pm 1^\circ$ 정도의 추적오차를

가지고 있으며, 이 결과, 개발된 시스템의 상용화 가능성을 확인할 수 있었다.

구현된 PCU는 안테나의 안정화 제어 기능 외에 PCU의 운용에 필요한 피라미달 스캐닝, 스텝 트래킹 기능, Antenna 제어 장치와의 통신 기능을 포함한다. 제어 알고리즘을 포함한 이러한 알고리즘들을 멀티태스킹 커널을 이용하여 기능별로 구현하였다.

앞으로, 사용자 인터페이스, ACU의 기능설계 등에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 실선 테스트 과정도 거쳐야 할 것이다. 또한, 추적 성능의 향상을 위한 개선된 제어 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Sea Tel Inc, *SEATEL Inmarsat-B Stabilized Antenna Manual*, 1995
- [2] KVH Industries Inc, *KVH Active Stabilized Antenna Pedestal Technical Manual*, 1994
- [3] Gary D. Gordon and Walter L. Morgan, *Principles of Communications Satellites*, John Wiley and Sons, 1993
- [4] Frank Baylin, *1995/96 World Satellite Yearly*, 1996
- [5] 미국조선학회, *Principles of Naval Architecture*, 1967
- [6] Timothy Pratt Charles and W. Bostian, *Satellite Communications*, John Wiley & Sons
- [7] Bahram Shahian and Michael Hassul, *Control System Design using Matlab*, Prentice Hall, 1993
- [8] M. Ando, "New DBS Receiver antenna", 23rd European Microwave Conference Proceedings, Madrid Spain, pp.84-92, 1993
- [9] Mark Lone, *The World of Satellite TV Asian Edition*, Mark Lone Enterprise Inc, 1995
- [10] Åström, K. J. and T. Hägglund, "Automatic Tuning of Simple Regulators with Specifications on Phase and Amplitude Margins", *Automatica*, Vol 20, No 5, pp.645-651
- [11] Ziegler, J. G. and N. B. Nichols, "Optimum Settings for Automatic Controllers", *Trans.ASME*, Vol 64, No 11, pp.759-768

