

# 오토파일럿과 워터젯시스템의 피드백 제어계

## 인터페이스 모듈의 구현

오진성, 최조천

목포해양대학교 해양전자통신공학부

A embodiment of the interface module for feed back control  
between auto-pilot with water-jet system

Jin-Seong Oh, Jo-Cheon Choi

Mokpo Maritime University, Division of Maritime and Communication Engineering

### 요 약

디지털 오토파일럿은 전자해도상에서 선박의 운항예정 코스를 설정하여 입력시킨 후, 자동운항 모드로 세트하면 선박이 운항코스의 경로를 따라 자동으로 항행하는 시스템이다. 워터젯시스템은 엔진과 연결된 임펠러(회전익)를 구동하여 선저에 선수방향으로 설치된 흡입구를 통하여 해수를 흡입하여 압력을 높인 후, 노즐을 통하여 가속된 해수를 선저의 선미방향으로 분사시키므로써 선체를 조향하고 추진시키는 장치이다. 그러므로 워터젯시스템은 수심이 낮은 해역에서도 운항이 가능하며, 고효율의 고속추진, 상대적으로 낮은 진동과 유동소음 등의 환경에서 매우 효과적이므로 새로운 추진시스템으로 수요가 확대되고 있다. 그러나 워터젯시스템의 전기적인 제어신호는 표준화되어있지 않으므로 디지털 오토파일럿의 표준화된 인터페이스를 제공하지 않는다. 본 논문은 표준화된 오토파일럿과 워터젯시스템 사이에서 연동하므로써 고속선박을 신뢰성 있게 조향할 수 있는 피드백 제어 인터페이스 모듈을 설계하였다.

### ABSTRACT

Auto Pilot is the system which move automatically the vessel through locating operation mode to automatic after entering operating course using a electronic chart or plotter. And water jet is the a propulsion system that make a power to push the vessel through spouting the accelerated water which is absorbed by the hole in the bottom of vessel. The water jet receive the effect of the depth of water lowly, it's acceleration efficiency is higher under high speed and have an advantage on vibrating and floating sound, so it's demand is increasing as new propulsion system. However, the signal systems of auto pilot and water jet are different, we need the system to interface between each system. We designed the interface that efficiently digital feed back control embedded module between auto pilot and water jet system in this paper.

### key word

오토파일럿, 워터젯시스템, 조타각, 타각, 피드백

## I. 서 론

선박의 추진장치는 선박의 특성과 사용 목적에 적합하게 여러가지 형태가 있다. 그 중에 스크류 프로펠러(screw propeller)가 가장 보편적으로 많이 사용되고 있다. 이것은 다른 종류의 추진장치와 비교하여 상대적으로 구조가 간단하고 넓은 속도범위 내에서 비교적 높은 추진효율을 유지하며 제작비도 높지 않은 장점을 갖고 있다. 따라

서 소형 어선에서부터 화물선, 초대형 컨테이너선 및 유조선 등에 폭 넓게 사용되고 있다. 스크류 프로펠러는 이러한 장점을 갖고 있는 반면에 운항속도와 운항해역의 조건에 따라 물리적으로 제한되는 요소가 있다. 이 추진기는 선체외부에 돌출되어 설치되므로 수심이 낮은 강이나 해역에서 운항에 제한을 받으며 특히 어장에서는 설치된 그물을 파손시킬 수 있으며 어장 내에서 운항이 매우 제한적이며, 고속선의 경우에는 유체역학적

으로 프로펠러와 선박의 키(ludder)에 있어서 캐비테이션(cavitation) 현상이 발생하여 추진효율 감소, 날개표면 침식, 선체진동 유발, 수중소음 발생 등의 문제점을 준다. 반면에 워터젯(water jet)은 선체바닥에 있는 흡입구에서 물을 펌프로 흡입하여 선미부의 노즐로 분사하는 추진시스템이다. 고속 회전하는 임펠러(impeller)는 흡입구에서 노즐까지 연결된 유도관 속에 위치하여 선체외부로 돌출부가 없기 때문에 낮은 수심에서도 운항이 가능하므로 어장 등에서 운항이 자유롭다.

특히 고속영역일수록 추진효율이 높고 임펠러 날개의 캐비테이션 발생도 상당히 억제되어 진동과 유동소음이 매우 적다. 특히, 선체외부에 부가물이 적어서 선체 저항성능과 조종성능 면에서 탁월한 성능을 나타내므로 워터젯의 수요가 급증하고 있다. 그러나 전기적인 신호가 표준화된 기존의 오토파일럿과 비표준화된 워터젯시스템의 신호체계는 다르므로 상호간 효과적으로 신호를 전달할 수 있는 인터페이스 모듈이 필요하다. 본 연구는 일본 TOKIMEC사의 디지털 오토파일럿(PR-6000)과 독일 MTU사의 워터젯시스템(MCS) 간에 상호연동이 되도록 임베디드를 사용하여 피드백 제어 기능의 인터페이스 모듈을 구현하였다.

## II. 인터페이스의 성능과 설계

본 연구에서 목표로 하는 임베디드 모듈은 오토파일럿과 워터젯시스템 간의 인터페이스를 구현하는 것이며, 이것을 설계하기 위해서는 시스템 각각의 특성과 성능을 조사하고, 상호연동에 필요한 신호성분과 변환 및 전달과정은 물론 제어신호의 정밀성을 확보하기 위한 피드백 검출 등의 문제들이 검토되어야 한다.<sup>[1]</sup>

### 1. 오토파일럿과 워터젯시스템의 성능



그림1 오토파일럿과 워터젯시스템  
Fig.1 Auto-pilot and water-jet system

그림1은 오토파일럿(PR-6000)과 워터젯(MCS)시스템의 사진으로 제시된 오토파일럿은 안전 및 경제적인 운항을 위한 최신형 디지털 자동조타장치이다. 또한 인체공학적 설계와 자기 진단 기능을 갖추고, 수동 및 자동선택 기능으로 조작이 간편하면서 장비의 경제성과 안정성이 뛰어난 장비로 평가되고 있다.<sup>[2][3]</sup> 또한, 제시된 워터젯

시스템은 낮은 수심에서의 항해와 제자리에서 360도 선회가 가능한 우수한 조종 기능과 고속추진에 대한 효율이 매우 높으며, 일체식으로 설치가 간단하고 조타 성능 및 급제동에 탁월한 성능을 갖고 있다. 동작은 펌핑 유닛의 임펠러와 고정익을 통해 흡입된 물의 압력을 상승시켜 고압으로 형성된 물은 노즐을 통해 고속으로 분사되고, 그 반발력으로 선박을 추진한다. 그리고 선박의 조타는 제트 유닛으로부터 분사된 물이 노즐과 연결된 디플렉터의 각도에 따라 좌측, 중앙, 우측으로 물의 배출방향을 조향하게 되고, 선박의 전진, 후진동작은 분사된 물이 리버스 덕트의 위치에 따라 선박을 전후진 방향으로 추진하게 된다.<sup>[4][5]</sup> 따라서 인터페이스의 설계는 선박 조종 및 가속성능에 대응하여 제어신호를 적절한 속도로 처리하고 전달하여 구동하도록 하며, 항해의 안전을 확보하기 위하여 침로 및 타각의 피드백 신호를 검출하여 오차를 수정해 주어야 한다.

### 2. 인터페이스의 설계

오토파일럿과 워터젯시스템 간의 인터페이스 문제를 해결하기 위해서는 각각 시스템의 입출력 인터페이스의 전기적인 신호에 대한 특성을 세밀하게 검토하여야 한다. 연구에 관련된 오토파일럿과 워터젯시스템은 각각 DC전압 제어계와 DC전류 제어계로 구성되어 있다.

오토파일럿은 좌현(port), 우현(starboard)의 조향을 위한 각각의 출력단자가 있으며, 여기에서 조타기의 회전방향에 따라 각각 0~24V의 DC전압이 출력되어 좌우방향의 타각을 제어한다.

만약 조타기 핸들이 0°로 중심(mid ship)의 위치에 있게 되면 양측은 모두는 0V를 출력하게 된다. 이에 대하여 워터젯시스템의 좌우 방향각에 대한 타각설정 조건은 좌현 최대 30°(hard port)에서 우현 최대 30°(hard starboard) 사이에서 선형으로 변화되는 4~20mA 사이의 전류를 입력시켜야 한다. 타각이 0°로 중심에 위치하기 위해서는 12mA의 전류를 흐르게 하면 된다.

그러므로 인터페이스의 설계 방법으로는 오토파일럿의 조타각에 따른 DC전압과 좌/우 식별용 번호로 정리하면 0~24V A/D & 번호(1,2)의 형태로 데이터화하여 취득할 수 있다. 그리고 워터젯시스템에 필요한 제어용 입력신호는 4~20mA 사이의 전류이므로 취득한 데이터를 워터젯의 입력신호로 변환하여 대응시켜 입력해야 한다.

또한, 피드백 제어를 위하여 워터젯시스템의 타각 지시기에서 취득한 전압을 오토파일럿 피드백 입력에 대응하는 전압레벨로 변환하고, 이것을 입력시켜서 오토파일럿에서 타각이 조타각과 일치하는지 여부를 판단하도록 한다. 만약 오차가 있을 때에는 오토파일럿 출력전압이 변화하여 워터젯시스템의 입력신호 전류가 수정되므로써 타각이 조타각에 일치하도록 자동으로 교정된다.<sup>[7]</sup>

그림2는 임베디드를 사용한 피드백 제어 인터페이스 모듈의 구성도로서 오토파일럿의 출력전

압을 적합한 레벨로 정형화하고, A/D에서 데이터로 변환하여 임베디드에 입력한다.

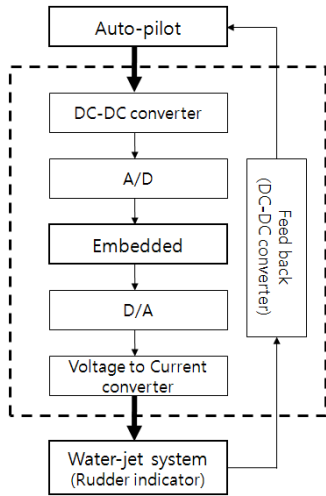


그림2 인터페이스 모듈의 구성도  
Fig.2 Block diagram of interface module

임베디드에서는 데이터를 분석하여 이에 대응하는 데이터를 출력하면 D/A에서 전압으로 변환하고, 전압/전류 변환기를 통하여 워터젯시스템의 입력신호로 인가되어 유압식 키를 구동하게 된다. 또한, 워터젯시스템의 타각 지시기에서 전압을 검출하여 오토파일럿의 입력전압으로 정형화한 후, 피드백하여 오토파일럿에서는 조타각과 타각의 오차를 분석하여 수정할 수 있다.

### III. 인터페이스 모듈의 구현

그림3은 오토파일럿 조타신호의 처리과정으로 오토파일럿의 조타각에 따라 양측 단자에서 GND를 기준으로 각각 좌우로 0~24VDC의 전압이 출력된다. 이것을 각각 0~5VDC로 DC-DC 변환하여 2개의 A/D 입력용 port에 입력하면 좌우방향의 조타각으로 취득할 수 있다. 임베디드에서는 워터젯시스템의 제어에 필요한 신호로 4~20mA 사이의 전류를 제공하기 위한 DC전압을 생성해야 한다. 여기에서는 0~10VDC의 전압을 생성하고 이것을 전압/전류로 변환하도록 설계하였으므로 D/A에서 조타각의 정보에 대응하여 0~10VDC 범위의 전압을 제공할 수 있도록 데이터를 작성하고 출력해야 한다. 출력된 데이터는 D/A에서 DC전압으로 변환되고 이것은 다시 전압/전류 변환기에서 워터젯시스템의 제어에 필요한 4~20mA 범위의 전류를 제공하는 전원으로서의 역할을 하게 된다. 이러한 동작에서 임베디드는 프로그램에 의하여 오토파일럿의 조타각에 따른 출력전압을 워터젯시스템의 입력전압에 대응하는 데이터로 처리하여 제공하는 기능을 갖는다. 그림4는 임베디드의 신호처리 순서도이다.<sup>[6]</sup>

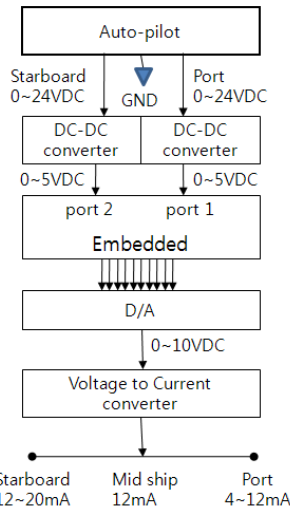


그림3 오토파일럿 조타신호의 처리과정  
Fig.3 Process of auto-pilot steering signal

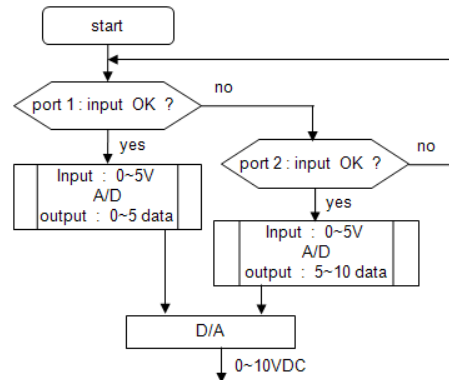


그림4 임베디드의 신호처리 순서도  
Fig.4 Flowchart on signal process of embedded

그림5는 생성전압대 변환전류의 특성과 전류에 따른 타의 편향형태를 나타낸 것으로 타각은 중앙을 기준으로 좌우로 최대 30°까지 유압장치에 의하여 연동으로 편향하게 된다.

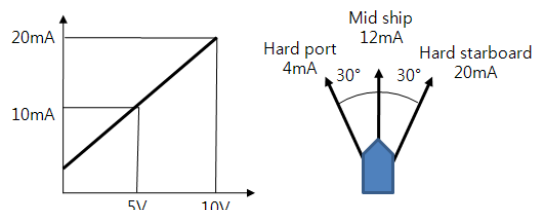


그림5 생성전압의 전류변환과 타각의 형태  
Fig.5 Voltage to Current & steering angle

### IV. 실험 및 검토

그림6은 완성된 임베디드 모듈의 시제품이다. 회로설계에서 오토파일럿 동작의 안전성을 최대

한 고려하여 인터페이스와 연결부에는 신호의 상호간 간섭을 차단하기 위하여 포토커플러를 추가하였고, 피드백 회로에는 DC-DC 컨버터의 출력전압을 체크할 수 있도록 디지털 전압계를 사용하여 변화되는 전압을 취득하고 모니터링함으로써 인터페이스의 정상적인 동작을 확인하였다.



그림6 인터페이스 모듈의 시제품  
Fig.6 Prototype of interface module

그림7은 인터페이스의 피드백 처리과정으로 워터젯시스템의 방향타의 각도 지시부에서 전압으로 정보를 검출한다. 이 정보는 전체타각 60°에 대한 전압이므로 비교회로를 사용하여 좌현, 우현 방향의 각도에 대한 DC전압으로 정형한 후, 각각의 DC-DC 컨버터를 사용하여 오토파일럿의 피드백 적용전압의 범위로 수정하여 입력하게 된다.

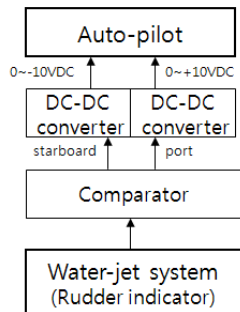


그림7 피드백 처리과정  
Fig.7 Process of feed back

오토파일럿의 피드백 신호 규격은 좌현 최대 조타각 일때 +10V이고, 우현 최대 조타각 일때 -10V의 전압을 제공해야 한다. 피드백 제어회로의 기능은 워터젯시스템의 타각 지시기에서 취득한 전압을 오토파일럿 피드백 입력에 대응하는 전압레벨로 변환하고, 이것을 입력시켜서 오토파일럿에서 타각이 조타각과 일치하는지 여부를 판단하도록 하였다. 오차 수정에 대한 실험으로 방향타의 각도지시 전압을 ±로 변화시키면 오토파일럿의 출력전압이 변화하며 워터젯시스템의 입

력신호 전류가 증감되면서 타각을 조타각에 일치시키려는 피드백 동작을 확인할 수 있었다.

시제품을 고속 선박에 장착하고 장시간 시운전한 결과, 오토파일럿과 워터젯시스템은 상호연동 기능을 충실히 발휘함으로써 선박의 자동조타 및 추종제어 성능을 완벽하게 수행하는 것으로 평가되었다.

## V. 결 론

중소형 고속선박의 경우에는 워터젯 엔진의 탑재가 일반화 되고 있는 현재의 추세에서 기존의 오토파일럿을 사용하려면 표준화되지 않은 여러 가지 워터젯시스템을 정확하게 연동시킬수 있는 방법을 구현해야 한다. 특히, 오토파일럿의 핵심 부품인 자이로스코프와 워터젯 엔진이 국산화되어 있지 않은 현실에서 외국제품들 간에 인터페이스의 해결은 필연적이다. 본 연구에서 제시한 인터페이스 모듈은 오토파일럿에서 출력되는 전압신호를 워터젯시스템의 정격에 맞도록 정비례하는 전류로 변환하여 입력하도록 구현하였으며, 피드백회로를 추가하여 조타 및 추종제어 기능의 완성도를 높였다. 그리고 만약에 인터페이스가 오동작하는 경우에 대비하여 인터페이스 모듈을 2중으로 설치하였으며, 유사시에는 즉시 전환하여 사용함으로써 사고를 예방하고자 하였다.

본 연구에서 구현한 인터페이스 모듈은 임베디드의 s/w를 수정함으로써 유사한 기종의 인터페이스로 적용함은 물론 조타기의 추종제어 성능을 향상시킬 수 있는 융통성을 발휘할 수 있다.

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2009-C1090-0902-0010)

## 참고문헌

- [1] 광문규, 서상현, "신경망을 이용한 선박용 자동조타장치의 제어시스템 설계", 大韓造船學會, 1997년
- [2] <http://www.tokyo-keiki.co.jp>
- [3] [http://www.dkmtech.com/menu2\\_1\\_main.html](http://www.dkmtech.com/menu2_1_main.html)
- [4] <http://www.mtu-online.com/mtu/applications/commercial-vessels/>
- [5] 슈미트 쿠겔란트리베 게엠베하, "선박 추진시스템", 2003년 08월
- [6] Thomas L. Floyd 저, "Electronic Devices Conventional Current Version". pp. 792 ~ 795, 2005.
- [7] Laurie Tetley, David Calcutt, "Electronic Navigation System", ELSEVIER, pp. 320~345, 2001.