

**레졸버를 이용한 디지털
자이로컴파스의 개발에 관한 연구**
류 윤 기

**A Study on the Development of the
Digital Gyrocompass using Resolver**

Yoon-Ki Ryu

Abstract

In this paper, we have developed the advanced gyrocompass using resolver to control of precise angle.

This mechanical gyrocompass can control rotating angle precisely, provide continuous analogue output from the resolver which could lead to displaying 12 bits digital output through Resolver to Digital Converter.

As a result of the new method, the indication error of proposed gyrocompass is about 0.08 degrees. This value is much less than conventional gyrocompass which shows the error of over 0.3 degrees, that is 30 times of improvement.

And we confirmed the gyrocompass stabilization using of two pickup sensors. If a gyrocompass has moved, which can be detected by two Pick up Sensors, Torque Motor controlled by amplifier brings it back to stabilization.

Compared with gimbal stabilizing method, It eliminates unnecessary follow up move and gimbal error. furthermore, the proposed gyrocompass is smaller, cheaper, simpler, and more reliable as mentioned above.

1. 서론

자이로컴퍼스의 주요 기능은 방위정보의 제공이며, 방위각 검출방법으로 웨스턴 부릿지(wheaston bridge 회로형, 전자유도형, 회로접점형 그리고 공기분사형 등이 있다. 이런 방식에는 시간의 흐름에 따른 저항치의 증가로 인하여 정확치가 떨어진다.

본 논문에서는 정밀 각도 제어가 요구되는 경우 접촉부가 없고, 출력이 아날로그의 연속적인 값을 가지는 레졸버를 기계식 자이로컴퍼스에 이용하여 자이로컴퍼스의 기계적 회전각도를 RDC(Resolver to Digital Converter: 이하 RDC로 표기한다) 회로를 거쳐 12비트의 디지털 출력으로 디스플레이 하여 각도로 표시할 수 있는 자이로컴퍼스를 개발하였다. 그 결과 약 0.08° 의 분해능을 얻을 수 있음이 기술되어 있다. 이것은 기존 자이로컴퍼스가 0.3° 의 표시 오차를 갖는데 반하여 훨씬 정도가 높아 0.08° 의 오차를 가짐으로서 약30배 이상의 성능개선을 이룰 수 있음을 의미하고 있다.

또한, 두 개의 픽업(pick-up) 센서에서 감지된 자이로스코프의 기울기는 외부 신호 처리기를 거쳐 토크 모터에 가해져서 정확한 자이로스코프의 진북 방향을 회복할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 기존 짐발(gimbal)식의 보상장치에 비하여 짐발오차 및 불필요한 추종 동작이 일어나지 않도록 하였으며, 구조적으로 소형, 간단하여 경제적이며 신뢰성이 뛰어난 것을 확인 할 수 있었다.

2. 자이로컴퍼스 및 레졸버의 기본 원리

2.1 자이로컴퍼스의 원리

선박과 항공기에서는 지구표면에 대하여 일정한 시방향(視方向)을 지시하는 기능을 가진 방위지시기(方位指示機)가 요구된다. 자이로스코프의 수평축과 수직축에 대하여 각각 알맞은 토크를 가하여 지반의 선회속도와 경사속도에 상응하는 세차운동을 일으켜 회전축이 지반운동을 추종하도록 함으로써 일정한 시방향

을 적시하게 한 것이 방위자이로이다. 그러나 재래식 자이로스코프는 회전축의 마찰, 평형불량 등으로 불필요한 토크가 주어질 세차운동이 일어나며 이것으로 인한 세차운동 각속도가 $2^\circ/\text{hr}$ 이내로 되도록 정밀하게 제작하기는 힘들다. 만약 재래식 자이로스코프를 하루동안 계속 사용하면 48° 이상의 큰 오차가 생기며 소멸하지 않으므로 시간이 경과됨에 따라 누적된다. 이러한 결함을 보완하여 선박에서 쓸 수 있도록 고안된 것이 자이로컴퍼스이다.

이것은 특정한 방향을 스스로 찾아 정지하는 기능이 있다. 항해중 회전축이 불필요한 토크를 받아 남북방향으로부터 어긋나더라도 스스로 원상태로 복귀하는 지북기능이 있어 선박에서 장기간 계속적으로 사용하기에 적합하다. 이 지북기능은 북을 찾는 北探(north seeking) 동작과 北으로 收斂하는 制振(damping) 동작을 의미한다.

본 논문에서는 정밀 각도 제어가 요구되는 경우 삼축부가 없고, 출력이 아날로그의 연속적인 값을 가지는 레졸버를 기계식 자이로컴퍼스에 이용하여 자이로컴퍼스의 기계적 회전각도를 12비트의 디지털 출력으로 디스플레이 하여 각도로 표시할 수 있는 자이로컴퍼스를 개발하였다. 그 결과 약 0.08° 의 분해능을 얻을 수 있으며, 구조적으로 소형화 및 정확한 방위정보를 얻을 수 있다.

2.2 레졸버의 원리 및 특성 (21~15) (11)

레졸버는 120° 의 위상차를 이용하는 싱크로와는 달리 90° 의 위상차로 감지할 수 있는 원신을 이용한다. 따라서, 회전자의 회전 각도와 출력 전압간의 사인 함수 관계(sinusoidal relationship)를 이용하게 된다.

레졸버는 지난 40여년 동안 전기 기계계의 서보 장치 혹은 샤프트의 각도 제어에 이용되어 왔다. 최근에는 적절한 인터페이스 장치를 결합하여 사용함으로써 다른 어떤 방식보다도 경제적이고, 정밀한 디지털 각도 측정 시스템, 위치 측정 시스템으로 주목받고 있다. 레졸버는 러프(rough) 기준 원선 및 미세조정용 기준 원신을 이용하여 위치 또는 회전 각도를 검출할 수 있는데, 구체적인 용도는 다축 제어, 로봇턱스, 랜딩 머신, 공장 제어 시스템 등 주로 정밀한 제어가 필요한

곳에 다양하게 응용할 수 있다.

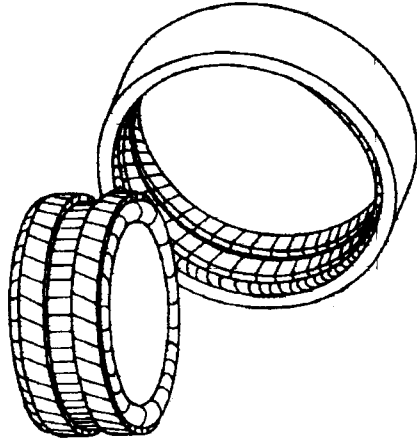


그림 2-1. 레졸버의 외형

3. 레졸버를 이용한 자이로컴파스 시스템의 제작

자이로컴파스가 진북을 추종하기 위한 시스템은 크게 자이로스코프와 이것이 선박의 어떠한 운동(pitch, roll, yaw)에 대해서도 영향을 받지 않도록 하기 위한 안정기, 그리고 이 모두를 제어할 수 있는 제어부와 레졸버를 이용한 추종 각도를 보여주는 디스플레이 부분으로 나눌 수 있다.

3.1 자이로컴파스 시스템 구성

주 자이로에는 두 개의 픽업 센서와 두 개의 토크가 있다. 먼저 픽업 센서는 19.2 [kHz]의 정현파 입력신호를 받아서 선박의 운동에 대한 자이로스코프의 경사각신호를 감지한다. 이 신호는 증폭 및 DC신호로 변환되어 토크 모터에 가해져서 자이로컴파스의 안정화를 하게 된다.

두 개의 토크는 X축과 Z축에서 자이로스코프가 항상 같은 방향을 가리키도록

세차운동을 일으킨다. 여기에 입력되는 제어 신호는 선박의 속도, 위도등 여러 정보를 입력받은 CPU의 계산 결과에 따라 처리되어 진다. 이때 사용한 CPU는 인텔사의 80C196KC 모델을 사용하였다. 이 소자는 가격이 저렴하며, 신뢰성이 높은 것이 특징이다.¹⁶⁾ 그림 3.1은 자이로컴파스 시스템의 구성도이다.

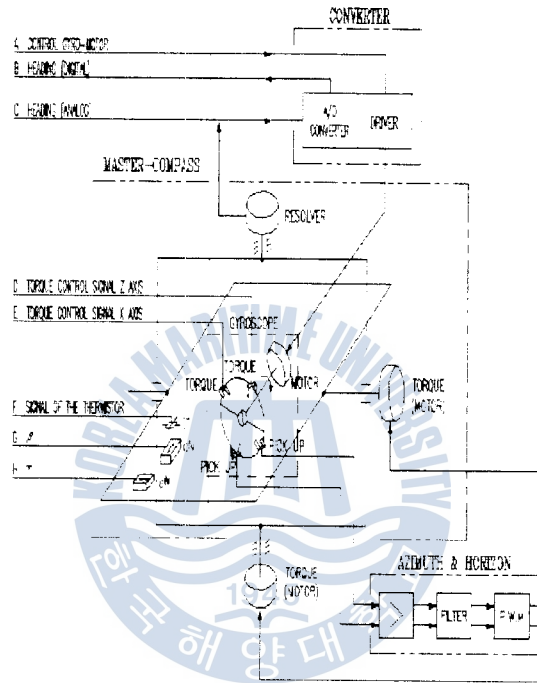


그림3.1 자이로컴파스 시스템 구성

3.2 레졸버를 이용한 디지털 방위 표시기 제작 ^{[2] [3] [5] [11]}

앞의, 제 2장에서 설명한 레졸버의 형태 중, 전압 변환 방식을 이용하여서 실험을 수행하였다. 그림 3.3은 레졸버의 기본 출력 파형이다. 그림에서 회전자에 2 kHz의 주파수를 가지는 기준 전압을 B5와 B6에 인가하였으며, 회전각도의 변화에 따라 C3, C4, K3, K4의 단자간의 전압의 진폭이 변화하는 것을 나타낸다. 여기서 C3, C4에서는 사인파를 K3, K4에서는 코사인파를 얻을 수 있다.

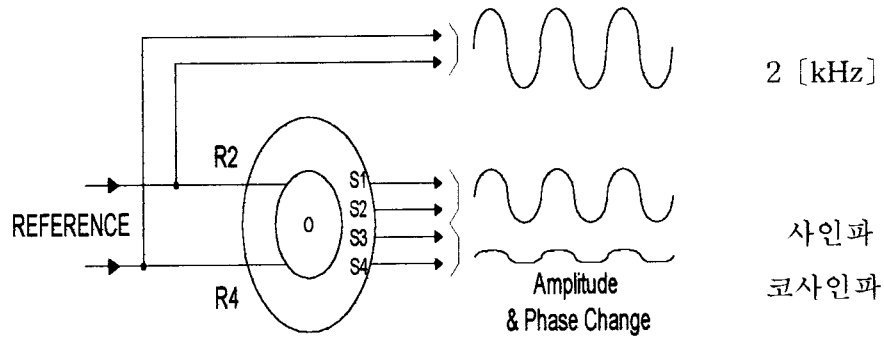


그림 3.2 레졸버의 기본 출력 파형

그림 3.4는 전압 변환 방식을 이용한 기본 회로에서 여자 권선으로서 B5, B6의 러프 기준 권선만을 이용하였으며, 2차 여자 권선은 단락하여 접지 시켰다. 기준 전압으로는 2[kHz]의 주파수를 가지는 전압을 인가하였으며, 회전각도의 변화에 따라 진폭이 변화된 출력을 C3, C4에서는 사인파로 K3, K4에서는 코사인파로 얻을 수 있다.

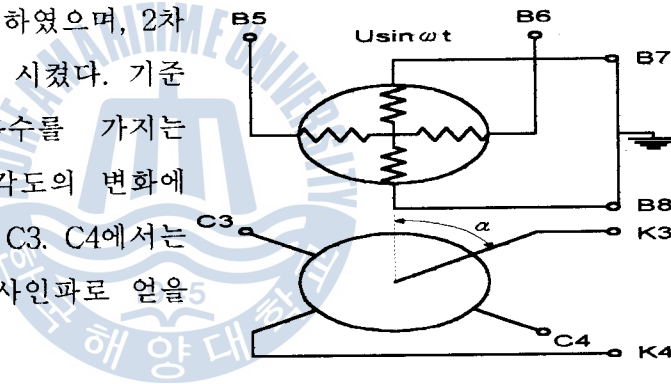


그림 3.3 실험에서의 레졸버의 결선

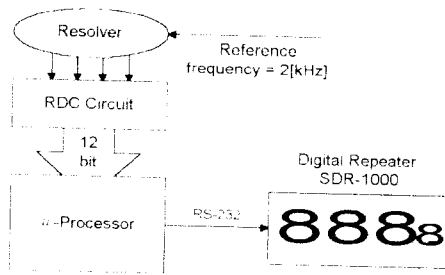
3.2.1 RDC 회로 및 정밀 각도 표시

앞에서 언급한 레졸버의 출력 특성을 이용하여 신호 처리를 하면, 전압 및 위상의 변화로부터 레졸버의 회전 각도를 디지털로 표현할 수 있다.

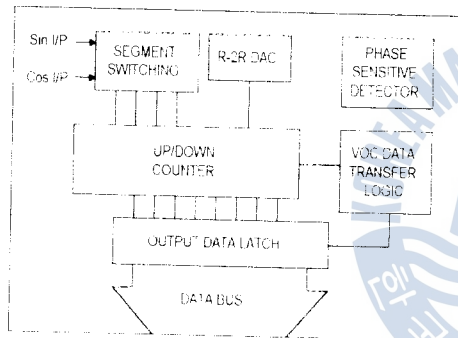
여기서는, 레졸버의 응용 예로서, 간단하게 레졸버의 회전 각도를 방위 표시기인 디지털 리피터(digital repeater)로 나타내는 실험을 행하였다. 실험의 개략적인 구성도는 그림 3.4와 같다.

레졸버에 기준 전압을 인가하면, 레졸버에서 사인 및 코사인삼각함수로 표시되

는 출력을 각각 얻을 수 있다. 이것을 RDC 회로를 거쳐 12비트의 디지털량으로 바꾸고, 마이크로프로세서가 이들 비트값 0~4095비트의 값을 범위각 $0 \sim 360^\circ$ ($4095/4096$) $^\circ$ 으로 변환하여 디지털 범위 표시기를 구동하도록 구성하였다.⁸⁾



레졸버에서의 각도 변환 방법은 레졸버의 사인, 코사인파는 아날로그값이므로 순시치가 매순간 변화하므로, 이 값을 직류와 등가한 값으로 변화하여야 한다. 그 방법은 사인, 코사인의 값을 3상으로 만들어 제공하여, 제공된 신호를 디한 후 제곱근을 취



하여 전압의 최대값을 직류 전압으로 얻는 방법이다. 이 두 직류값의 차이가 각도로 변환된다.¹²⁾

본 실험에서는 12비트 출력으로 구성하였으므로, 최소 0.0878906° 까지 표현할 수 있다. 이상으로, 0.1도의 분해능을 가지는 범위(각도) 표시기를 만들 수 있었다.

그림 3.1 RDC 회로도

4. 실험 및 결과 고찰

레졸버 회전자의 각도 변화에 따른 출력 파형을 관찰하기 위하여, RDC 회로를 통하여 파형을 측정하였다.

레졸버의 파형은 0° 에서부터 30° 씩 증가시키며 360° 회전하였을 경우의 사인 및 코사인 출력 파형이며, 오실로스코프의 출력에서 위상차는 90° 마다 90° 씩 일어나며 최대값도 90° 마다 사인, 코사인이 서로 바뀌는 것을 알 수 있다.

각 순간의 사인, 코사인의 값을 3상으로 만들어 제공하여, 제공된 신호를 디한 후 제곱근을 취하여 전압의 최대값을 직류 전압으로 변화며, 이 두 직류값의 차

이를 각도로 변환된다.^[12]

레졸버의 기계적 회전각도를 12비트의 디지털 출력으로 변환되며, 0~4095비트의 값은 0~360°의 방위값으로 변환하면, 1비트당 0.0878906°까지의 표시가 가능하다. RDC 회로의 분해능을 높이면 더 높은 정도로 각도 표시를 할 수 있다. 레졸버의 미세조정용 권선을 이용하거나, RDC 회로의 분해능을 더욱 높이기 위해 RDC 회로를 병렬로 하여 사용할 수도 있다.

5. 결론

본 연구에서 제시한 레졸버를 이용한 디지털 자이로컴파스를 제작하였으며, 그 구성은 자이로스코프의 기울기를 두 개의 픽업센서에서 감지하여 두 개의 토크 모터를 제어하여 자이로스코프의 안정화를 이룰 수 있는 안정기, 선박의 움직임은 마이크로프로세서로 계산하여, 항상 같은 방향을 가리키도록 세차운동을 일으키는 제어부 및 레졸버의 출력을 디지털 신호로 디스플레이 하는 지시부로 나눌 수 있다. 각 구성요소의 작동 실험 및 파형 측정하여, 그 결과를 정리하면, 다음과 같다.

- 1) 레졸버의 각도 계측의 원리 및 출력을 실험을 통하여 고찰하였으며, 수식적으로 정리하였다. 또, 레졸버의 아날로그 출력을 디지털화하여, 정밀 방위(각도) 표시 시스템을 구성하였으며, 특히, 러프(rough) 기준 권선만을 이용하여 회전 각도를 디지털 리피트로 디스플레이 되도록 하였다.
- 2) 12비트의 디지털 출력으로 구성하여, 약 0.08°의 분해능을 얻을 수 있었다.
- 3) 두 개의 픽업 센서를 이용하여 자이로스코프의 기울어짐을 측정하여 X, Z축의 위치제어를 통하여, 자이로스코프의 위치 안정화를 이룰 수 있음을 실험으로 확인하였다.
- 4) 기존의 짐발방식에 비하여 짐발오차 및 불필요한 세차운동이 일어나지 않도록 하였으며, 구조적으로 소형화 및 신뢰성이 뛰어나다.

앞으로의 연구과제는, 본 연구의 실험자료를 토대로 선박 탑재에 적합한 시스템

의 설계 및 실제 선박 탑재 실험을 실시하여, 문제점을 수정, 보완 후 간단한 구조 및 경제적으로 저렴한 선박용 자이로컴퍼스의 공급이 이루어 질 수 있도록 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 이상집외, "항해기기 정비(1)", pp7-59, 아성출판사, 1993.
- [2] "월간 전자 기술 제 7권 제 3호", (주) 첨단, pp114.
- [3] "월간 전자 기술 제 5권 제 3호", (주) 첨단, pp112.
- [4] Joseph J. Carr, "Sensor and Circuits", pp113, PTR Prentice Hall, Inc, 1993.
- [5] Geoffrey S. Boyes, "Synchro and Resolver Conversion", pp43-100, Memory Devices Ltd, 1980.
- [6] 차영배, "Micro Controller 80196", DADA MEDIA, 1996.
- [7] David A. Bell, "Operational Amplifiers", Prentice Hall International Inc", 1990.
- [8] Donald P. Leach, "Digital Principles and Applications", McGRAW Hill Book Company, 1986.
- [9] 이왕현, "모터 제어 기술", 성안당, 1992.
- [10] Willy Henry W. Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", 1995.
- [11] Application of the Resolver for the Accurate Angle Positioning System, SARACO SARI Marine Automation, Woo Jin Choi.
- [12] H. Y. Chu, "Transient response of peak voltage detector for sinusoidal signals", pp74-79, IEEE trans Ind. Electro., vol.39.
- [13] Communicated with Yuri Charhov of Delphin company in RUSSIA.

