

새로운 형식의 선박용 기계식 자이로컴파스의 개발에 관한 연구

\*최우진 · 배정철 · 이준탁  
 삼양무선공업(주) 부설 선박자동화연구소 · 동아대학교 전기공학과

Development of New-Type Mechanical Gyrocompass for Ship

\*Woo-Jin Choi Jung-Chul Bae · Joon-Tark Lee  
 SARI in SARACO · Dong-A University  
 E-mail: wjchoi@saraco.co.kr

**Abstract** - In this paper, we developed the new-type digital gyrocompass for ship. This is made of DTG(Dynamically Tuned Gyro) and two accelerometers. The simple structure of two-axis free gimbals and the digital precession by CPU unit are main differences from Sperry or Anschütz type gyrocompass. As experimental results, the developed gyrocompass seeks the true north within 1 hour and support maximum speed 100(knot), maximum latitude 75(°)NS. By the comparison with other company's products, we show the uniqueness and the excellence of the proposed gyrocompass.

자이로컴파스의 원리는 19세기 중엽의 프랑스의 물리학자 Leon Foucault에 의해 발견된 회전체의 운동에 관한 법칙으로부터 시작한다. 그는 1851년 Foucault Pendulum을 사용하여 지구 자전을 최초로 실증하였으며, 1852년 자이로스코프로 지구 자전의 관측을 행하였다. 1908년 독일에서 하나의 Rotor를 사용한 콤파스로 실용화되었고 이후, 안슈츠 자이로컴파스가 만들어졌다. 1909년에 미국에서는 스페리(Elmer A. Sperry)에 의해 스페리 자이로컴파스가 발명되었으며 그후 여러차례 개량되어 오늘에 이르고 있다. 영국에서는 1917년에 브라운(Brown)에 의해 브라운 자이로컴파스가 발명되었다. 현재에도, 독일, 미국, 러시아, 일본, 영국, 노르웨이 등 주요 선진국에서 제작 기술을 보유하고 있는 실정이다. 한편, 선박에서의 자이로컴파스의 역할은 궁극적으로 진북을 찾아 상대적인 선수각을 아날로그 및 디지털 수신 장치로 전달하는 것이다. 따라서, 본 논문에서 제작한 자이로컴파스도 중력의 영향과 지구의 회전을 이용하는 기본원리는 기존의 자이로컴파스와 같다. 자이로스코프의 특성에는 다음의 회전관성, 프리세션의 성질이 중요하다.<sup>(3)</sup>

1. 서 론

자이로컴파스(Gyrocompass)는 고속으로 회전하는 자이로스코프를 이용하여 진북을 찾는 항해계기이다. 회전을 이용하므로 자기 나침반과는 달리 지자기의 영향을 받지 않고, 뛰어난 지부력을 가져 자이로컴파스의 개발을 항해계의 제1차 혁명이라 부른다.<sup>(4)</sup> 최근에는 소형화에 힘입어 대형 상선뿐만 아니라, 소형선에까지 장착되고 있는 실정이다. 기계식은 10,000~20,000(rpm)의 고속회전을 이용하여 방향을 유지하는 것으로 기계적인 마모가 발생하여 정기적인 유지 보수를 필요로 하는 결점이 있다. 반면, 광학식은 기계식의 이러한 단점을 보완할 수 있는데, 이미 실용화된 링레이저(Ring Laser) 자이로컴파스와 최근에 개발된 광파이버(Fiber-Optic) 자이로컴파스가 있다.<sup>(2)</sup> 이들은 무회전부(No moving part), 스트랩다운(Strapdown) 방식이라는 장점이 있음에도 불구하고, 고가격의 문제로 군수, 항공산업, 특수선에만 제한적으로 적용될 뿐이다.

따라서, 본 논문에서는 현재까지도 세계시장의 주류인 기계식 자이로컴파스의 제작에 관해 다룬다. 디지털화, 소형 경량화를 목표로 기계부와 전자부를 일체화하였고 기구적으로도 기존의 3축 짐벌 방식이 아니라, 2축으로 구현하여 구조적으로 단순화시킨 새로운 형식의 자이로컴파스를 개발하였다. 안슈츠(Anschütz), 스페리(Sperry) 방식과 같이 기계적 메커니즘에 의해 프리세션을 하지 않고, 완전히 디지털화된 프리세션(Precision)의 양으로 북탐(North Seeking)이 가능하도록 하였다. 자이로스코프의 지지용 액체를 사용하지 않았고, 위도 및 속도 오차를 자동으로 보상하는 알고리즘을 적용함으로써, 최대 위도 75(°) 및 최대선속 100(knot)까지 정밀한 선수각의 자동 추종이 가능하도록 하였다. 시제품 제작 및 실험을 통하여 기존의 방식과 비교함으로써, 개발한 자이로컴파스의 독창성 및 우수성을 보이고자 한다.

2. 자이로컴파스의 원리와 구조

2.1 자이로컴파스의 원리

2.1.1 회전관성

자이로스코프가 고속으로 회전하면 회전축이 지구의 자전에 관계없이 우주 공간상에서 일정한 방향을 가리키게 된다. 이러한 성질을 회전관성 또는 방향보지성이라 한다. 회전관성의 크기는 자이로스코프의 회전수와 관성 모멘트에 비례하는데, 이 회전관성만으로는 방위를 찾는 콤파스를 만들 수 없다. 왜냐하면, 실제로 우주공간상에서는 자이로스코프의 축의 방향이 일정한 방향을 가리키고 있지만, 지구의 자전으로 인해 눈으로 관측할 때에는 자이로스코프의 축이 들리거나, 내려오는 등의 변화가 일어나는 것이다. 예를 들어, 만약 적도상에서 자이로스코프의 축을 수평으로 해서 동쪽으로 향하게 하고, 자이로스코프를 회전시키면 지반은 동쪽 방향에 대해 경사져 있기 때문에, 자이로스코프의 회전축은 상승하는 것처럼 된다. 그리고, 그 축은 지구의 회전에 의해 6시간 후에는 수직으로 서게 된다. 만일, 최초에 자이로스코프의 축을 자오선과 일치시켜 놓으면 지반이 회전해도, 자오선의 방향 즉, 진북을 가리키게 된다. 그러나, 이 경우에도 적도가 아닌 특정 위도의 경우에는 지반의 경사와 선회가 함께 일어나 진북을 가리킬 수 없다. 따라서, 지구 자전에 의한 지반의 경사와 선회, 그리고 자이로스코프의 축의 움직임에 관한 관계를 잘 알아야만 올바르게 자이로컴파스를 설계할 수 있다.

2.1.2 프리세션(Precision)

자이로스코프의 회전축에 힘(토크)을 가하면, 그 힘과 직각인 방향으로 축의 선회가 일어난다. 이 운동을 프리세션(세차운동)이라고 한다.

이상의 회전관성과 프리세션의 성질 및 지구의 중력을 이용하면 지구의 자전과 선회운동, 선박의 동요, 속도·변속도 오차, 선회 오차 등 보상하여 항상 진북을 가리

키도록 할 수 있다.

### 2.2 새로운 형식의 자이로컴파스의 구조

먼저 기존의 자이로컴파스의 구조를 살펴보자. 그림 1은 C.PLATH사의 NAVIGAT VII로 고무재질로 되어 있는 짐벌에 두 개의 자이로스코프가 60° 각도로 위치한 자이로스페이퍼가 부착되어 있다. 그림 2는 동경계기(TOKIMEC)의 TG-6000으로 이것은 스페리 방식을 채용하고 있으며, 내부적으로는 3축 짐벌 구조이며 자이로스코프의 지지를 위해 서스펜션 와이어를 이용한다. 그림 3은 본 연구에서 개발한 자이로컴파스의 외형이다.



그림 1 안슈츠식  
Fig. 1 Anschütz

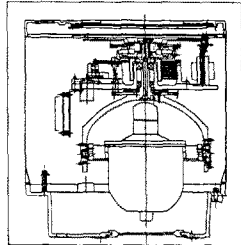


그림 2 스페리식  
Fig. 2 Sperry Type

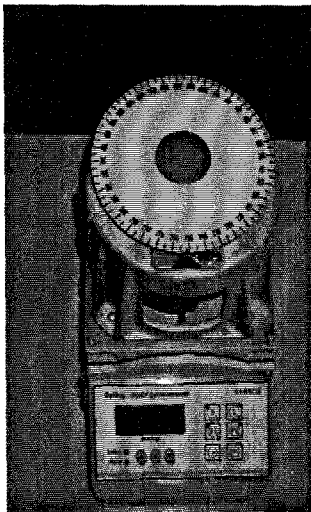


그림 3 자이로컴파스의 외형  
Fig. 3 New-Type Gyrocompass

본 연구소에서 개발한 자이로컴파스는 기계부와 전자부가 일체로 되어 있다. 제일 상부의 원판은 다이얼 카드로 360도를 1도 단위로 표시한 눈금이 새겨져 있다. 그리고, 기계부는 실제 이용시에는 커버로 덮여 보호, 방수시킨다. 전자부의 전면부에는 0.1[°] 단위로 방위를 나타내는 디지털 표시기가 있고 속도와 위도를 입력 또는 확인할 수 있는 키가 있다. 또한 두 개의 표시 램프가 있는데, 하나는 자이로컴파스의 정정("Settled")을 표시하고, 다른 하나는 자이로스코프가 놓인 플랫폼의 제어에 이상이 있을 때 켜지는 알람("Alarm") 표시 램프이다. 디지털 표시기는 밝기 조절이 가능하다.

#### 2.2.1 기계부의 구성

제작한 자이로컴파스의 내부 구조는 2축의 짐벌에 장착된 DTG(dynamically tuned gyro) 및 두 개의 가속도계(Accelerometer)가 이용된다. 그림 4는 내부구

성을 나타내었다.

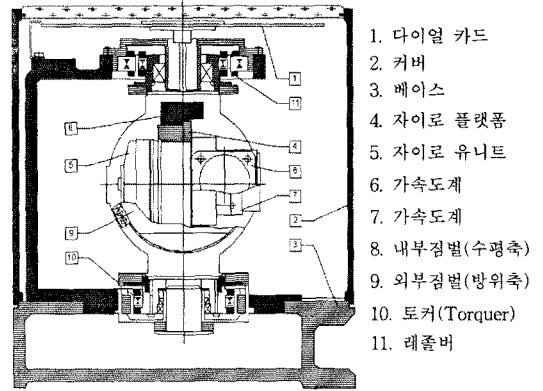


그림 4 기계부의 구성  
Fig. 4 Mechanical Part

1. 다이얼 카드
2. 커버
3. 베이스
4. 자이로 플랫폼
5. 자이로 유니트
6. 가속도계
7. 가속도계
8. 내부짐벌(수평축)
9. 외부짐벌(방위축)
10. 토크(Torquer)
11. 레졸버

#### 2.2.2 전자부의 구성

전자부는 표1과 같이 크게 5개의 유니트로 나누었다.

표 1 전자부 유니트의 구성

Table 1 Functions of Units in Electronic Part

No	유니트 명칭	주요기능
1	전원	- 전원부
2	인터페이스	- 6스텝 신호 출력 - NMEA입출력 - 디지털 리피터 출력 - 아날로그 리피터 출력
3	안정화	- 안정화 제어
4	자이로스코프 구동 및 각도변환	- 자이로스코프의 정속 구동 - 레졸버의 디지털 각도 변환부
5	CPU	- 프리세션의 양 결정 - 시스템 모니터링
6	디스플레이	- 디지털 숫자 표시 - 키입력

기계부

전자부

각 유니트에 대해 간단히 설명하면, 전원 유니트는 시스템 전체에 안정된 전원을 공급하는 것이 목적이며, 타 장비로부터 영향을 받거나, 타장비로 영향을 주지 않도록 EMI 전원필터링을 행하였다. 입력전원은 +18V~36VDC이며 DC-DC 컨버팅하여 ±24V, ±15V, +5V의 직류 전압을 출력하도록 하였다. 인터페이스 유니트는 CPU유니트로부터 6스텝신호, 4800bps의 NMEA신호,<sup>6)</sup> 9600bps의 Digital 리피터 구동 신호를 받아들여 타 장비에서 인식할 수 있는 신호 레벨로 변환한다. 따라서, 제작한 마스터 콤파스에 연결될 수 있는 장비의 예를 들어보면, 6스텝 신호출력에는 6스텝 모터가 부착된 리피터를 연결할 수 있고, NMEA 또는 디지털 리피터 출력은 오토파이럿으로, 아날로그 리피터 출력은 배어링 리피터로 연결하여 사용할 수 있다. 안정화 유니트는 자이로스코프의 픽업(pick up) 코일을 이용하여 방위축과 수평축에 부착되어 있는 토크 모터를 구동하여 짐벌의 안정화 제어를 행한다. 여기서는 초기에 시스템의 전원을 투입하면, 수평 짐벌에 장착된 가속도계를 이용하여 안정화 제어를 수행하고, 자이로스코프가 정격속도에 도달한 이후에는 자이로스코프 내부의 픽업을 이용한 고정도의 2축 안정화 제어를 수행하는 하이브리드 구조로 하드웨어를 구현하였다. 자이로스코프 구동 및 레졸버 유니트는 레졸버의 아날로그 정보를 디지털화하여 방위정보를 CPU로 전달하고,<sup>1)</sup> 동시에, 자이로 모터의 정속 구동을 수행하도록 하였다. CPU 유

니트는 2개의 가속도계, 서미스터, 위도, 속도, 알람 정보, 키입력을 받아들여 전체 시스템을 제어하고, 프리세션의 양을 결정하여, 진북을 추종토록 자이로스코프의 토크에 전압을 가해 진북 방향으로 자이로스코프의 축이 추종하도록 한다. 그리고, 선수각을 자이로스코프 구동 및 레졸버 유니트로부터 읽어 오고, 인터페이스 유니트로 전달한다. CPU 유니트는 이상의 역할뿐만 아니라, 자이로의 이상이나, 안정화 유니트의 상태를 모니터링하여 이상시에는 전원을 자동 오프한다. 마지막으로, 디스플레이 유니트는 CPU 유니트로부터 디지털 데이터를 받아 선수각이나 특정 숫자를 표시한다. 또, 수입력 버튼이 있어, 위도·속도의 오차를 수동으로 보정할 수 있다. 자동입력으로 설정한 경우에는 GPS정보를 NMEA-0183 형식으로 출력하는 타 장비로부터 위도, 속도를 입력받도록 하였다.

### 3. 자이로컴파스의 실험 및 비교

#### 3.1 제작한 자이로컴파스의 실험 결과

표 2는 제작한 자이로컴파스를 정적인 상태의 실험실에서 기동하여 진북을 찾도록 하는 실험의 결과이다. 매 10분 단위로 방위를 측정하였으며, 약 30분 후인 11시 50분경에 정정("Settled") 표시 램프에 불이 들어왔다. 자이로컴파스의 방위값은 215.9° 로 수렴하였다.

표 2 자이로컴파스의 실험결과값

Table 2 Experimental Results of Gyrocompass

측정시간	출력방위
11:26	168.7
11:30	174.0
11:40	206.2
11:50	215.4
12:00	215.6
12:10	215.6
12:20	215.8
12:30	215.8
12:40	215.9
12:50	216.0
13:00	215.9

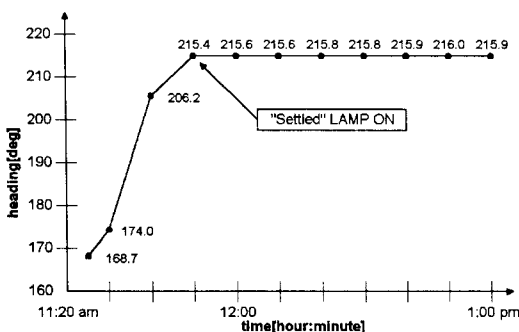


그림 5 자이로컴파스의 실험결과 그래프  
Fig. 5 Experimental Graph of Gyrocompass

#### 3.3 타 회사 제품과의 성능비교

현재 시판중인 일본 동경계기(TOKIMEC)의 자이로컴파스 TG-6000 및 독일 C.PLATH사의 자이로컴파스 NAVIGAT VII과 본 연구에서 제작한 자이로컴파스와의 최종 사양을 비교하여 표 3에 나타내었다. 본 연구의 자이로컴파스의 정정 시간은 1시간 이내로 기존 상용 제품과 비교하여 빠른 정정 시간을 가지며, 정적, 동적 오차의 비교에서도 우수한 정도를 가졌다.

표 3 타사 제품과의 비교

Table 3 Comparison with other products

제품 항목	일본	독일	본연구
정정 시간 [hour]	≤2	≤3	≤1
정정점오차 [°]	≤0.3	-	-
정적 오차 [° × seclat]	-	≤0.1(1σ)	≤0.25(3σ)
동적 오차 [° × seclat]	-	≤0.7(1σ)	≤0.6(3σ)
추종 속도 [° /s]	24	25	24
침벌 자유각 [°]	±45	±35	±45
허용 온도 [°C]	-10~50	-10~50	-10~50
전력소모	140VA(기동) 70VA(운전)	80W(기동) 45W(운전)	20W(기동) 10W(운전)
무게 [Kg]	31.5	17.2	16

최대 장점으로 최대 선속 100[knot]까지 사용이 가능하여 쾌속정에도 이용할 수 있다는 것이다. 반면, C.PLATH의 자이로컴파스에서는 속도 오차 50[knot]까지에 대해서만 오차수정표 및 예제의 형태로 제공하고 있는 실정이다.<sup>(5)</sup> 그리고 개발한 자이로컴파스는 전력소모가 아주 적다.

본 연구소에서 개발한 디지털 형식의 자이로컴파스는 ISO-8728 및 IMO 규정 A.424(XI)을 만족하도록 설계하였고,<sup>(7)(8)</sup> 현재, 항법시험기(Scorsby Motion Table) 테스트와 온도 테스트를 성공적으로 마쳤으며, 가속도 시험(Acceleration Test)을 거쳐 국외·국내 형식 승인 시험을 받을 것이다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 DTG(Dynamically Tuned Gyro)와 가속도계를 이용한 2축 침벌 형식의 선박용 기계식 자이로컴파스를 개발하였다. 이것은 기존의 스페리 방식 또는 안슈츠 방식을 이용한 자이로컴파스와는 달리 프리세션의 양을 CPU 유니트에서 결정하여 진북을 추종하도록 하였다. 개발된 사양은 정정 시간이 1시간 이내이며, 위도 75[°], 속도 100[knot]에서도 정확히 진북을 추종할 수 있고, 소형, 경량, 저전력 소모형의 특징을 가진다. 앞으로 본 자이로컴파스의 국외·국내 형식 승인 시험을 받을 계획이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 최우진, 배정철의 2명, "정밀 각도 검출을 위한 레졸버의 응용", 대한전자공학회 한국통신공학회 부산·경남지부 춘계 합동학술발표회 논문집, p.141, 1997
- [2] 최우진, 배정철의 9명, "광파이버 자이로스코프를 이용한 선박용 자이로컴파스 시스템 개발", 통상산업부, 1997
- [3] 西谷芳雄, "コンパスと自動操舵", 成山堂書店, 1988
- [4] 藤正安正, "ジャイロ・コンパス オート・パイロットの要点", 成山堂書店, 1978
- [5] C.PLATH, "NAVIGAT VII/Mod.10 Operator, Technical and Service Manual", 1996
- [6] NMEA, "NMEA 0183 Standard for Interfacing Marine Electronic Devices Version 2.00", 1992
- [7] International Standard ISO 8728
- [8] IMO resolution A.424(XI)