

航海裝備의 技術動向(Ⅱ)

제주대학교 해양과학대학
어업학과 안영화

1. 방위측정 계측기기의 개발현황

4-4 플럭스게이트(Flux-gate) 자력계(磁力計)를 이용한 전자 컴퍼스

선수자기방위(船首磁氣方位)를 전기출력으로 원격지시할 수 있는 전자컴퍼스(Electronic compass)에 사용되고 있는 자기센서(Magnetic Sensor)는 지자기(地磁氣)를 기준해서 방위를 측정하는 것으로, 그 센서의 사용재로나 동작원리에 따라 자속의 밀도나 지자기의 측정범위가 다르기 때문에, 현재 자기센서의 재료로써 주로 사용되고 있는 것으로서는 다음과 같다.

(1) 반도체(半導體)를 이용한 홀소자(Hall element)

(2) 자성체(磁性體)를 이용한 플럭스게이트 자력계(Flux-gate Magnetometer)

(3) 초전도체(超傳導體)를 이용한 자력계(SQUID)

(4) 유전체(誘電體)를 이용한 광파이버 센서(Optical Fiber Magnetic Sensor) 등이 있는데, 여기서는 퍼멀로이(permalloy)와 같은 강자성체를 사용한 플럭스게이트방식 마그네토미터 컴퍼스(Magnetometer Compass)에 관하

여 소개하고자 한다.

(가) 개 요

지구자장의 자력선의 방향은 자북극(磁北極)에서 방출되어 자남극(磁南極)으로 유입되는데, 지구표면을 따라 움직이는 선박과 그 선박이 위치한 지점에서의 지구자장의 강도와 방향의 크기인 자력선 벡터(Vector)는 선박에서 다음과 같이 3개의 자기벡터로 나누어 진다.

① 선수미 방향에 대한 선내자기의 수평자장(HL)

② 정횡방향에 대한 선내자기의 수평자장(HA)

③ 연직하방의 수직자장(Z)

항해중인 선박과 지구자장의 자력선과의 관계는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$H_e = \sqrt{HL^2 + HA^2}, \text{ 단, } H_e \text{는 } HL \text{와 } HA$$

에 대한 선내자기의 수평분력의 벡터로써 자북(磁北) 방향을 나타낸 것이다.

그러나, 항해중인 선박은 파도나 바람에 의한 롤링(Rolling)과 피칭(Pitching)과 같은 선체경사 운동을 계속하기 때문에, 여기서

HL와 HA 및 Z 성분의 값은 계속 달라지기 때문에, 이러한 문제를 해결하기 위하여 3축 마그네토메터컴퍼스는 롤링과 피칭가속도계에 의해 마그네토메터를 안정시킬 수 있으며, 또한 아날로그 컴퓨터로써 다음과 같이 자북(He)을 구할 수 있다.

$$HA = (He \sin \theta \cos R) + (He \cos \theta \sin R \sin P) + (Z \sin R \cos P)$$

$$HL = (He \cos \theta \cos P) - (Z \sin P)$$

따라서

$$He = \sqrt{(He \sin \theta)^2 + (He \cos \theta)^2}$$

(나) 동작원리

그림 1에서 보는 바와 같이 항해중인 선박이 지구상의 "A" 지점에 있다고 하면, 그 선박의 침로는, 그림 2와 같이 지구자장의 자력선(H)과 교차하게 되는데, 이들 자력선 벡터는 그림 3과 같이 수직(Z), 수평(He)분력으로 나누어 진다.

또한, 선박의 침로를 그림 4와 같이 XY라 한다면, 수평적으로 마그네토메터스(Magnetometers)에 감지되는 지구 수평자장의 세기는 선수방향의 cosine과 sine의 분력에 의해 나누어 지고, 마그네토메터스로 산출되는 출력신호는 HA와 HL의 교각의 크기에 비례하며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$HL = He \cos \theta \dots \dots \dots (i)$$

$$HA = He \sin \theta \dots \dots \dots (ii)$$

여기서, θ 는 선수각과 자북(N)과의 교각이다. 그러나, 선체에 고정시킨 마그네토메터스는 선박이 침로를 따라 항해하는 동안 롤링과 피칭에 따른 경사운동을 하기 때문에, 실제적으로는 그림 4에 표시된 HA와 HL의 신호들은 선박이 그때 그때 주어지는 롤링과 피칭의 특성에 따라 복합적으로 일어

나기 때문에 이들 롤링과 피칭에 의한 분력은 다음과 같은 방식으로 유도되어 선박의 정황 및 선수미 측에 대한 지구자장의 수평분력을 계산할 수 있다.

$$HA = (He \sin \theta \cos R) + (He \cos \theta \sin R \sin P) + (Z \sin R \cos P) \dots \dots \dots (iii)$$

$$HL = (He \cos \theta \cos P) - (Z \sin P) \dots \dots \dots (iv)$$

- 단, He : 지구 전자장의 수평분력 벡터
- θ : 자침로 (磁針路)
- R : 선박의 선수미측의 수평면에 대한 롤링 각
- P : 선박의 정황측의 수평면에 대한 피칭 각
- Z : HA와 HL의 지점에서의 지구자장의 수직분력의 세기를 신호로 나타낸 것이다.

또한, 수직성분의 마그네토메터는 그림에 표시되지 않았으나, 선박의 수직축에 대한 지구자장의 수직분력은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$Z = (-He \sin \theta \sin R) + (He \cos \theta \sin P \cos R) + (Z \cos R \cos P) \dots \dots (v)$$

여기서, 신호 Z는 수직 마그네토메터로 측정되며, 롤링과 피칭에 대한 보정은 롤링, 피칭제너레이터(generators)로부터의 신호가 아날로그 컴퓨터에 입력 계산된다.

마그네토메터 컴퍼스의 구성 중 가장 중요한 부분은 아날로그 컴퓨터로써, 이것은 3축 마그네토메터로부터 얻어진 3축성분의 전기적인 값(Z, HA, HL)과 롤링과 피칭제너레이터로부터 얻어진 전기적인 값을 앞서 기술한 (iii), (iv), (v)식에 의해, 이들 신호들은 2개의 신호인 $He \cos \theta$ 와 $He \sin \theta$ 가 얻어지며 이 두 개의 전기적인 신호는 다시 방위 컴퓨터에 의해 지구자장의 수평분력의 벡터 He는 다음과 같이 계산된다.

$$He = \sqrt{(He \cos \theta)^2 + (He \sin \theta)^2} \dots (vi)$$

여기서, 전기적인 값 $H_e \cos \theta$ 는 H_e 값으로 나누어져 전기적인 값 $\cos \theta$ 가 되는데 이것은 그림 4에 나타낸 바와 같이 자북과 선수각과의 교각인 자침로(磁針路)로써 다음 식으로 계산된다.

$$\cos \theta = H_e \cos \theta / H_e \dots (vii)$$

(다) 구 성

마그네토미터 컴퍼스 시스템(Magnetometer Compass System)은 여러가지 모양이 있으나, 기본적으로 그 시스템의 정확성이나 가격면에서 가장 많이 이용되고 있는 것은 3축 마그네토미터(Three-axis Magnetometer)로 구성된 장치이며, 이것은 선박의 마스트에 고정

시킨 3축 마그네토미터로써 선수미 방향과 정횡방향 및 수직방향의 선내자장을 측정, 지구자장의 세기를 감지하도록 되어 있다.

또한, 이 시스템은 선박이 롤링과 피칭에 의한 경사운동에 따른 sine과 cosine과의 데이터를 제공하는 롤링, 피칭제너레이터가 있으며, 또한 마그네토미터와 제너레이터로부터의 전기적인 신호들을 수신하여 방위신호로 처리되는 아날로그 컴퓨터 장치로 구성되어 있다.

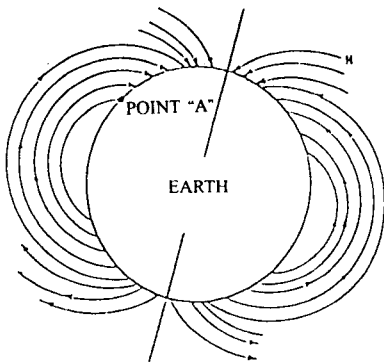


그림 1. 지구자장의 자력선 방향

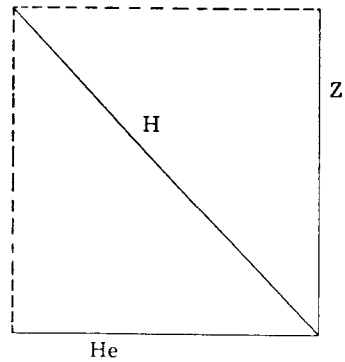


그림 3. 지구자장의 자력선 벡터

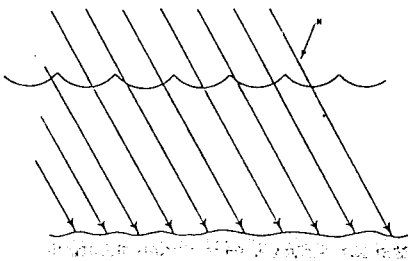


그림 2. 그림1의 "A"지점에서의 지구자력선의 방향

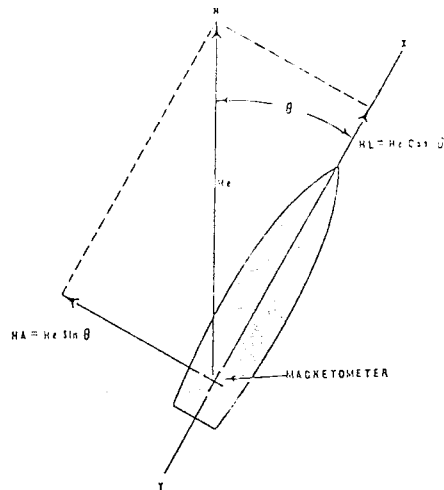


그림 4. 항해중인 선박에서의 선내자기 벡터

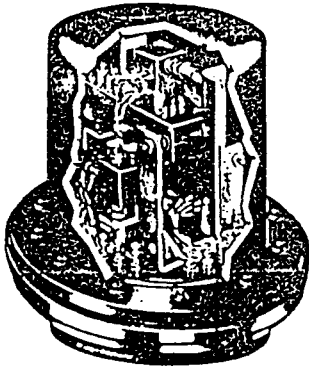


그림 5. 3축 마그네토메터 컴퍼스의 응용장치

그림 5는 마그네토메터 컴퍼스의 센서부로 선내 3축방향의 자계(磁界)를 측정하기 위해 3축 마그네토메터를 직교 고정시켜, 선내 3축방향의 수평자력(선수미방향의 수평자력, 정횡방향의 수평자력, 연직하방의 수평자력)을 측정하도록 되어 있으며, 또한 이 3축 마그네토메터를 선박의 항해 중 롤링과 피칭으로부터 안정시키기 위하여 롤링, 피칭 가속도계 (Rolling, Pitching Accelerometers) 로 지지되어 있으며, 선박의 경사운동으로부터 롤링각과 피칭각을 측정하는 제너레이터 (generators)로 이루어져 있다.

마그네토메터 컴퍼스 시스템은 선내 3축방향의 자계와 선박의 롤링과 피칭으로 인한 경사각을 측정하는 센서부와 이들 센서에서 측정된 신호들을 분석, 처리하는 아날로그 컴퓨터, 그리고 아날로그 컴퓨터로부터 계산된 선수자기방위 신호(磁針路)를 추적, 동기시켜 출력신호인 디지털, 또는 컴퍼스 카이드의 지시방위로 나타나게 되어 있다.

또한 선박이 경사운동으로부터 롤링각과 피칭각을 측정하고 선내 3축방향의 자계를 측정하는 센서인프트(sensor input)가 있고 센서부에서 측정된 선내 3축방향의 자계와 경사각을 전기출력으로 아날로그 컴퓨터에 입력, 선수자기방위 신호로 계산 처리되는 컴퓨터

보조시스템이 있다.

그림 6는 아날로그 컴퓨터로부터 얻어진 선수자기방위 신호를 중계, 추적, 동기 시켜 출력신호로 나타내는 계통이다.

그림 7은 마그네토메터 컴퍼스 시스템을 나타낸 것으로 다음과 같이 구성되어 있다.

- (1) 센서부인 마그네토메터.
- (2) 마그네토메터로부터의 전기신호를 증폭하는 증폭기
- (3) 아날로그 컴퓨터 및 추적, 동기장치 (Servo Mechanism)
- (4) 출력신호인 컴퍼스 레드아웃장치로 이루어져 있으며, 이 컴퍼스 시스템으로 측정된 선수자기방위(船首磁氣方位) 오차는 $0.25^\circ \sim 1.0^\circ$ 로 지금까지 사용되고있는 자기컴퍼스나 다른 기계적인 컴퍼스보다 정확하며 이 컴퍼스 시스템의 전체 무게는 약 6.5kg 정도로 소형이기 때문에 자이로 컴퍼스와 같은 기계적인 컴퍼스를 장치하기가 곤란한 소형어선이

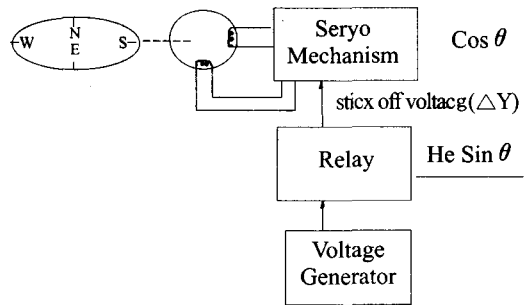


그림 6. 마그네토메터 컴퍼스의 출력신호 계통도

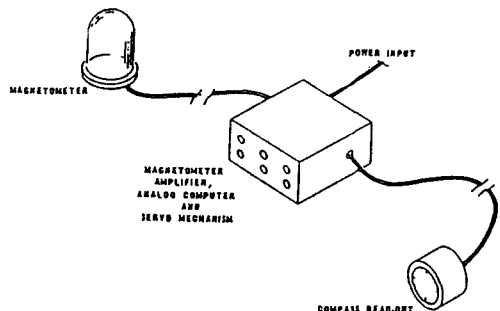


그림 7. 마그네토메터 컴퍼스 시스템

나 요트 등에 설치하도록 되어 있다.

參 考 文 獻

(라) 결 언

마그네토미터 컴퍼스는 지금까지 사용되고 있는 재래식 자기 컴퍼스나 자이로 컴퍼스와 같은 기계적인 컴퍼스를 장치하기가 곤란한 요트나 소형어선과 같이 선내공간이 협소한 선박의 마스트나 적당한 장소에 3축 자기방위 센서인 마그네토미터를 고정시켜 선내 3축방향의 자기신호를 전기출력으로, 선내 3축방위를 원격지시할 수 있기 때문에 앞으로 이러한 전자컴퍼스는 선박에서 뿐만 아니라 육상의 이동물체나 항공기에서의 방위측정용으로도 사용될 전망이다.

- 1) L. Tetley and D. Calcutt (1986) :
Electronic Aids to Navigation.
Edward Arnold Ltd. 290-297
- 2) Wayne E. Burt (1973) : American
Institute of Electrical and Electronics
Engineers, Inc. OTC 1727.
- 3) 宮本佳則・浜田稅え・白井晴辛(1988) :
ホール素子を用いた3轉固定形電子コンパスの試作. 日本航海學會論文集80, 55-61
- 4) 宮本 佳則・浜田稅え・白井晴辛(1990) :
3轉固定形電子コンパスの磁氣緯度に對する自差補正. 日本航海學會論文集 83, 1-5
- 5) 李相鍊 (1982) : 磁氣컴퍼스와 自差, 亞成出版社, 20-24



● 제36회 조선설계기술사시험 합격

한국어선협회
주임기술원 정덕수