

선박용 자이로콤파스의 과도응답 해석을 이용한 정지점 추정에 관한 연구

임 정 빈 * · 이 상 집 **

목 차

1. 서론
2. 자이로콤파스의 과도현상
 - 2.1 과도현상의 원인
 - 2.2 과도현상의 해석
 - 2.3 정지점 추정 알고리즘
3. 실험장치
4. 실험결과
5. 결론
6. 참고문헌

* 부산수산대학교 대학원 전자통신학과 박사과정

** 한국해양대학교 해사대학 해사수송과학과

1. 서론

선박용 자이로콤파스는 구조적 특성으로 인하여 작동후 즉시 정상의 방위신호를 출력하지 못하고 약 4 시간 정도의 과도현상 경과 후에야 비로소 정상적인 방위신호를 출력하게 된다. 이러한 자이로콤파스의 과도현상을 제거하기 위하여 구조를 수정하거나 수정장치를 부가하는 등의 많은 연구가 진행되어 왔으나, 아직까지 해결되지 못하고 있는 실정이다. 자이로콤파스의 이러한 과도현상은 선박운항의 경제적인 문제와 안정문제로 확대되며 특히, 선박자동화의 측면에서는 반드시 해결되어야 할 문제로 지적되고 있다.

본 연구에서는 자이로콤파스의 과도특성을 해석하여 자이로콤파스에 발생할 오차를 미리 추정하고, 현재의 방위에 가감하므로써 자이로콤파스가 과도상태일 때도 정확한 방위를 표시할 수 있는 방법을 제시하고, 이에 필요한 장치를 개발하고자 한다.

실험결과, 자이로콤파스를 작동한 직후부터 선수방위의 정지점을 추정할 수 있었으며, 시간 경과에 따라 정지점 추정오차는 첫번째 정지점에 도달할 때 약 4° 가 뒀을 알 수 있었다.

2. 자이로콤파스의 과도현상

2.1 과도현상의 원인

자이로콤파스는 15,000~20,000[rpm] 으로 회전하는 로터(rotor)의 상호작용으로 지구자전에 따른 계현상을 감지하고, 스스로 북쪽을 찾아 정지할 뿐만아니라 그 정지상태를 유지하는 기능을 갖고 있다. 회전운동을 하는 모든 회전체는 방향보존성(rigidity in space)과 세차운동(precession)을 하려는 특성이 있으며, 회전속도가 낮을 때는 그 축이 진동을 하면서 한 방향으로 수렴하게 되고, 축이 3 개인 자이로콤파스의 경우는 축 사이의 운동이 서로 영향을 미치게 된다. 따라서 자이로로터가 충분한 관성을 갖게된 후에도 자이로로터가 한방향으로 수렴하기까지 약 4 시간 이상 진

동이 발생하며, 자이로콤파스에는 이러한 진동을 감소하기 위한 토오크를 발생하기 위하여 여러 제진장치가 부가되어 있다.

일반적으로 선박용 자이로콤파스는 변속도오차(ballistic deflection) 를 피하기 위하여 비제진(undamped) 시 자이로로터축의 진동주기를 표준위도에서 약 84.5 분이 되도록 설계되어 있다. 84.5 분의 이론적 배경은 독일인 Schuler 가 정립한 다음 식 (1) 로 부터 유도된다.

$$2\pi\sqrt{R/g} = 2\pi\sqrt{H/(B\cdot w\cdot \cos\lambda)} \quad (1)$$

여기서, R : 지구반경

g : 중력가속도

H : 자이로로터의 각운동량

w·cosλ : 위도 λ 인 점에서의 지구자전 각속도

B: 제어정수

2.2 과도현상의 해석

2차진동계의 단위응답 C(t) 는 다음과 같은 식(2)로 표시되며, 감쇠율 ζ 에 따른 단위응답은 그림 1.과 같이 나타난다.

$$C(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot \text{Sin} \left[\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} \cdot t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta} \right] \quad (2)$$

단, t ≥ 0

여기서, ζ : 감쇠율(damping ratio)

ω_n : 고유진동수(undamped natural frequency)

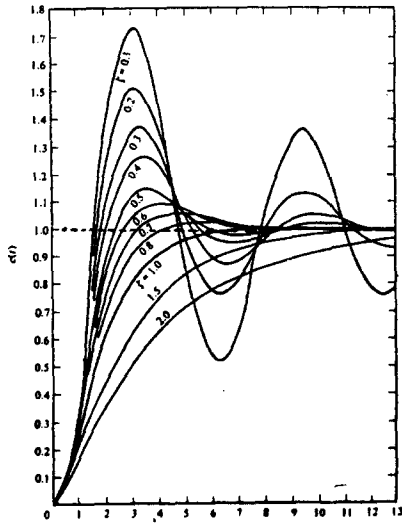


그림 1. 감쇠율 ζ 에 따른 단위응답 $C(t)$

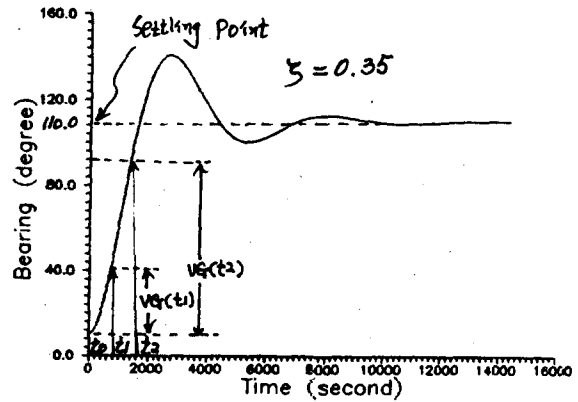


그림 2. 자이로콤파스의 선수방위변화

그림 2.는 자이로콤파스를 작동시킨 직후의 과도현상에 따른 선수방위변화로서, 자이로콤파스는 식(2)로 표시되는 2차진동계로 작동함을 알 수 있다. 그림 1.에서 단위응답 $C(t)$ 가 1.0 일 때 그림 2.에서는 선수방위의 정지점이 형성됨을 알 수 있다. 따라서, 식(2)를 이용하여 선수방위의 정지점을 추정할 수 있다.

식(2)에서, 단위응답 $C(t)$ 는 감쇠율 ζ 와, 고유진동수 ω_n 을 파라미터로 하고 있다. 일반적으로, 자이로콤파스의 경우 감쇠율 ζ 와 고유진동수 ω_n 의 곱으로 정해지는 감쇠상수(damping constant) 는 0.3~0.6 이 되며, 고유진동수 ω_n 은 위도에 따라 계산 되므로, 감쇠율 ζ 는 유동적으로 변하게 된다.

본연구에서는 위도에 따라 고유진동수 ω_n 을 미리 구한 후, 식(2) 에 대입하여 단위응답 $C(t)$ 을 구하고, 이때의 선수방위 변화를 추정하여 t 초 후의 정지점을 추정하는 측차근사법을 이용하였다.

정지점 추정방법은 그림 2.에 표시한 바와 같이, 시간 t_0 에서 t_1 까지의 선수방위 증가를 $VG(t_1)$, t_0 에서 t_2 까지의 증가를 $VG(t_2)$ 로 하면, $VG(t_2)/VG(t_1)$ 은 단위응답의 변화율 $C(t_2)/C(t_1)$ 에 대응하는 값이 될 것이다. 따라서 다음과 같은 식(3)

의 비례관계에 의해 정지점 $ST(tn)$ 을 추정할 수 있다.

$$ST(tn) = (1.0 / C(tn)) \times VG(tn) \quad (3)$$

2.3 정지점 추정 알고리즘

그림 3.은 선수방위의 정지점을 추정하기 위한 계산순서도로서, 고유진동수 ω_n 을 1/84.5분 으로 정하고, 감쇠율 ζ 을 추정하도록 하였다. 계산순서는 다음과 같다.

- (1). 감쇠율 ζ 와 고유진동수 ω_n 의 초기값을 설정한다.
- (2). 2차진동계의 단위응답 $C(n)$ 을 식(2)로 부터 계산한다.
- (3). 샘플링 번호 $n=0, n$ 일 때의 선수방위를 입력하여 선수방위변화 $VG(n)$ 을 구한다.
- (4). 선수방위변화 $VG(n+1)$ 을 추정한 단위응답 $C(n)$ 으로 부터 추정한다.
- (5). 샘플링 번호 $n=n+1$ 일 때의 선수방위를 입력하여 $VG(n+1)$ 을 구한다.
- (6). 추정한 선수방위변화 $VG(n+1)$ 와 실측한 선수방위변화 $VG(n+1)$ 의 차를 구한다.
- (7). 단위응답 $C(n+1)$ 을 수정한다.
- (8). 선수방위 정지점을 구한다.
- (9). 감쇠율 ζ 를 수정한다.
- (10). 단위응답 $C(n+2)$ 을 추정하여 다음계산에 이용한다.

3. 실험장치

그림 4.는 제작한 방위신호전송 인터페이스의 블록선도로서, 자이로콤파스의 방위 신호를 컴퓨터로 전송하기 위한 장치며, 미국의 해사전자협회 (National Maritime Electronics Association, NMEA) 에서 정한 표준규격 NMEA-0183 방식에 따라 신호를 전송한다.

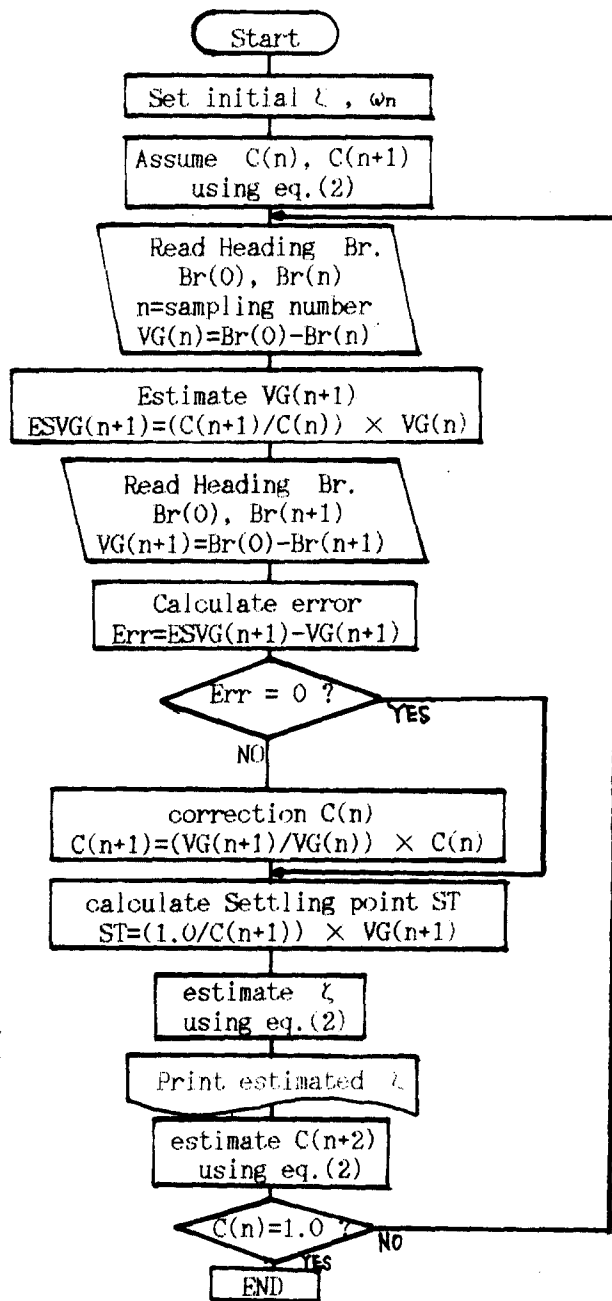


그림 3. 정지점추정을 위한 계산순서도

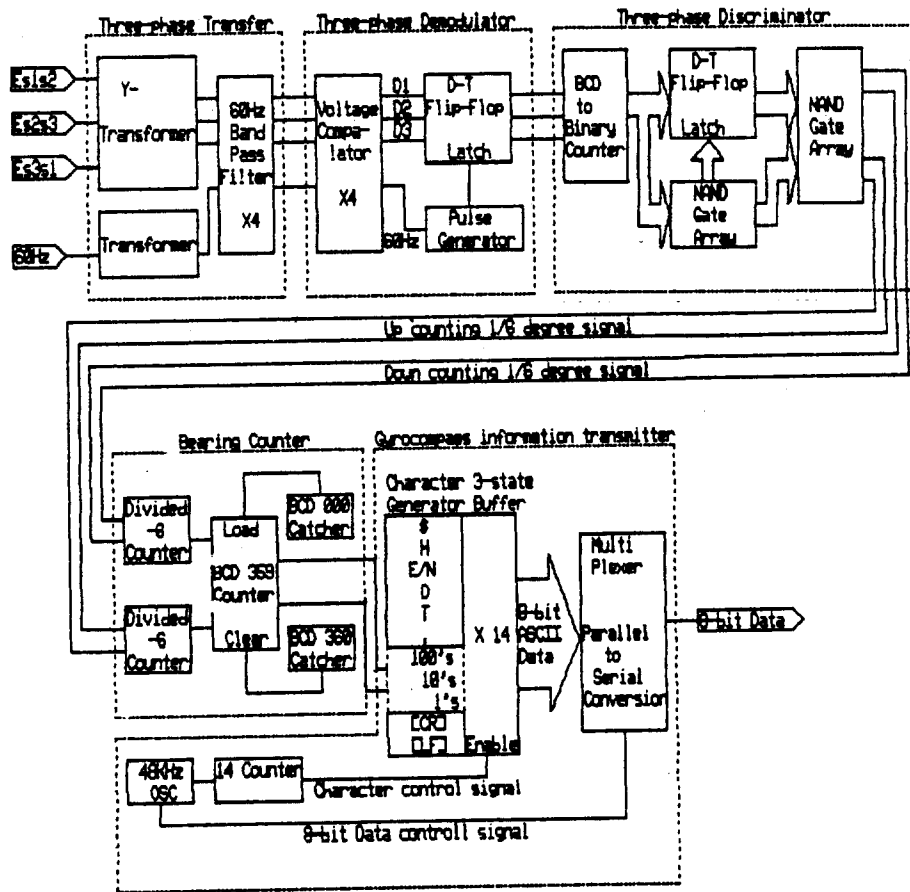


그림 4. 방위신호전송 인터페이스의 블록선도

자이로콤파스의 리피터에서 출력되는 60Hz 변조 3상 방위신호는 방위신호전달회로(Bearing signal transfer)에서 입/출력접지를 분리하고, 방위신호복조회로(Bearing signal demodulator)에서 복조한 후, 방위신호판별회로(Bearing signal discriminator)를 통하여 $1/6^\circ$ 의 분해능을 갖는 방위증/감 신호로 분리된다. 방위계수기(Bearing counter)는 방위증/감 신호를 입력으로 $000^\circ \sim 359^\circ$ 의 방위를 계수하고, 이값을 BCD 값으로 출력한다. 정보전송회로(Information transmitter)는 계수된 방위와 자이로콤파스의에 관한 정보를 NMEA-0183 규격에 따라 ASCII 코드의 신호로서 컴퓨터로 직렬전송하게 된다.

4. 실험결과

그림 5.는 감쇠율 $\zeta = 0.35$ 인 자이로콤파스의 선수방위신호와 감쇠율을 $\zeta=0.70$ 으로 설정하여 계산한 선수방위신호를 시간축상에 나타낸 것으로서, 감쇠율 $\zeta=0.35$ 인 경우 약 2000 초일 때 110° 가 정지점이 될 것임을 예측할 수 있다.

실험은 감쇠율 ζ 의 초기값을 0.7로 설정하고, 고유진동수 ω_n 는 $1/84.5$ 분으로 하였을 때의 감쇠율 ζ 의 추정정도, 선수방위변화의 추정오차, 추정 정지점의 정도를 측정하였다.

그림 6.은 감쇠율 ζ 의 추정정도를 시간축상에 표시한 것으로서, 초기값 0.7로부터 참값 0.35까지 약 1200 초(20분)가 소요됨을 알 수 있다.

그림 7.은 선수방위변화를 추정한 정도를 시간축상에 표시한 것으로서, 시간의 증가에 따라 오차가 증가함을 알 수 있고, 선수방위의 정지점을 통과하는 약 2000 초(33분)일 때 계로가 됨을 알 수 있다.

그림 8.은 각 샘플링 시간마다 추정한 선수방위의 정지점을 시간축상에 표시한 것으로서, 시간의 경과에 따라 증가하고 선수방위 정지점을 통과하는 약 2000 초 근방에서 오차가 가장 크게됨을 알 수 있다.

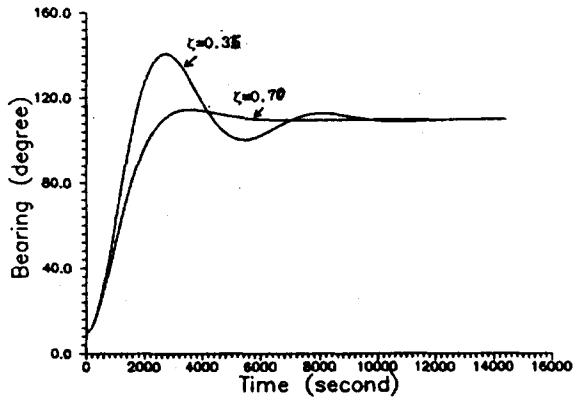


그림 5. $\zeta=0.35$ 인 자이로콤파스의 선수방위신호와 $\zeta=0.70$ 을 계산한 응답신호

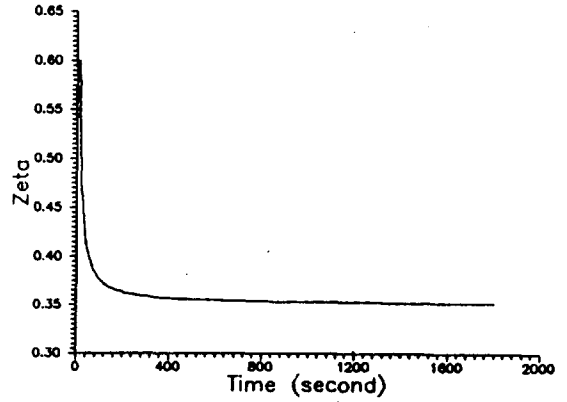


그림 6. 감쇠율 ζ 의 추정정도

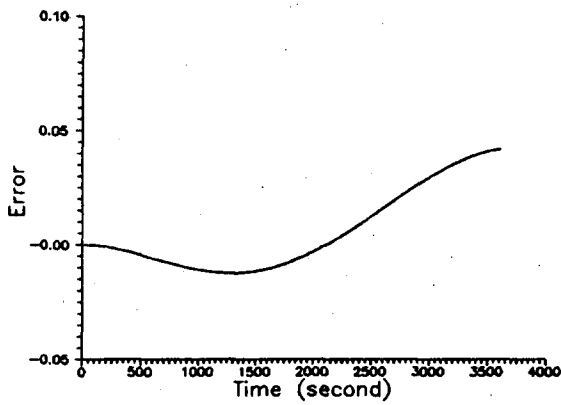


그림 7. 선수방위변화 $VG(n)$ 추정정도

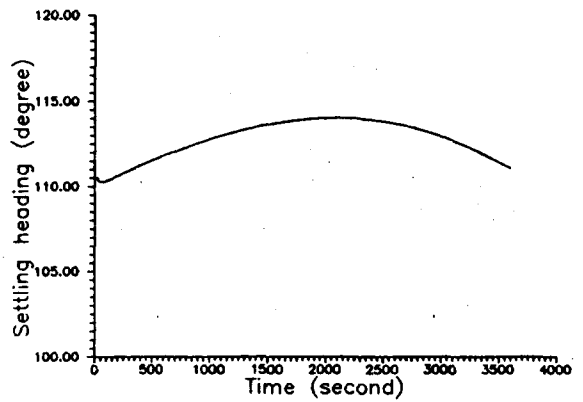


그림 8. 추정한 선수방위 정지점

5. 결론

자이로콤파스의 과도현상을 해석하여 선수방위의 정지점을 추정한 실험결과는 다음과 같다.

1). 선박용 자이로콤파스는 구조적 특징으로 인하여 작동된 후 약 4시간이 경과해야 정상의 방위신호가 출력될 수 있으나, 본 연구결과 자이로콤파스를 작동시킨 직후부터 자이로콤파스의 진선수방위를 추정할 수 있었다.

2). 자이로콤파스가 작동되는 시점부터 추정한 정지점은 시간경과에 따라 증가하여 정지점을 통과하는 약 2000 초 근방에서 최대 4° 정도의 오차가 발생함을 알 수 있었다.

3). 본 연구에서는 계수추정에 축차근사법을 이용하였으나 다른 계수추정방법을 도입하여 보완하면 정지점 추정오차를 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4). 본 연구는 자이로콤파스를 센서로 이용하는 군함에서의 포(Gun) 제어에 유용한 실험 자료가 될 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- 1) 이상집, "자이로기기해설," 아성출판사, 1988
- 2) 임정빈, "선박용 자이로콤파스의 자기진단시스템 개발에 관한 연구," 한국해양대학교 대학원 석사학위 논문, 1992
- 3) 임정빈, 이상집, "선박용 자이로콤파스의 정보전송 인터페이스 개발에 관한 연구," 한국항해학회지 제16권, 제4호, 1992
- 4) B.C.Kuo, "Automatic Control Systems," (5th edd.), Prentice-Hall, 1987
- 5) J.Klinkert, W.Burger, A.G.Corbett, "Marine Gyrocompass," Routledge and Kegan Paul Ltd., unknown pub. date
- 6) N.S.Sahjendra, Ashok Iyer, "Transient Performance of Gyro in Spinning Spacecraft," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems Vol.

AES-23, No.5 Sept. 1987

- 7) 池田進, 内川恵三郎, "時間間隔測定による天びんの振動パラメータの逐次近似推定," 計測自動制御学会論文集, Vol.27 No.10 1991
- 8) 青島伸治, "復素1次系による減衰振動系パラメータと入力波形の同時推定," 計測自動制御学会論文集, Vol.27 No.10 1991