

퍼지제어에 의한 동적방식 광파이버 자이로콤파스의 구동시스템 안정화

A Stabilization Scheme of a Dynamic FOG Compass using the Fuzzy Control

권 용 수 · 김 상 우
국방대학원 · 육군BCTP사업단

초 록

본 논문은 선박 장착을 위한 안정된 플랫폼형의 동적방식 광파이버 자이로콤파스의 구동시스템 안정화에 대한 연구이다. 구동모터로 선정된 스텝핑모터는 FOG 콤파스 특성에 따른 연구 목적상 정속 및 저진동의 안정한 운전을 필요로 한다. 이러한 측면에서 기발표된 주파수변조방식의 안정화 구동시스템의 설계상 나타났던 문제점을 보완할 수 있는 퍼지제어를 사용한 새로운 방식의 제어기를 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 방식의 우수성을 보였으며, 특히 시스템의 크기, 무게 그리고 운전환경의 다양성 측면에서 자이로콤파스로서의 적용 가능성이 크다.

Abstract

A driving system of a dynamic FOG compass with a stabilized platform is described. A stepping motor adopted as a driving motor is required to maintain a stable operation with constant speed and low oscillation for the proper operation of the FOG compass itself. The previous stabilization scheme operated on frequency-modulated supply is modified to include fuzzy control algorithm. The proposed scheme has advantages, particularly in the size, weight and flexibility of the driving system.

1. 서론

기존의 자이로는 고도의 기계식 정밀부품으로 가격이 비싸고, 기동시간이 길며, 주기적인 정비측면에서 큰 단점을 지니고 있는 반면 Sagnac 효과를 이용한 광파이버 자이로(FOG:Fiber Optic Gyro)는 소형으로서 저가격, 속응성, 저전력 소모 그리고 무보수의 측면에서 산업 뿐 만 아니라 군사적 목적으로서의 실용화 요구가 크게 높아지고 있다.

FOG를 회전각속도 센서로 사용하는 광파이버 자이로콤파스는 지구자전 각속도에 따라 검출되는 Sagnac 위상차가 아주 미소하기 때문에 고분해능의 센서를 필요로 한다. 이러한 고감도의 센서는 지구자전 각속도 이외에도 여러 가지 잡음이 포함되어 검출된다. 일반적으로 이러한 잡음은 지구자전 각속도 보다 더 크기 때문에 원하는 신호의 검출이 힘들며 신호를 왜곡시켜 지북정확도를 떨어뜨리는 결과를 가져온다. 또한, 자이로 콤파스를 선체에 장착하는 경우 선체의 요

동에 의한 외력이 그대로 FOG센서에 가해져 정상적인 작동이 불가능해진다. 그러므로 선박용 광파이버 자이로콤파스는 롤링과 피칭 등과 같은 외란을 차단시켜 광파이버센서가 항상 지구 표면과 수직을 유지하도록 해주는 안정기가 필요하다. 본 연구에서는 이러한 안정기를 지닌 광파이버 자이로콤파스⁽¹⁾를 연구 대상으로 했다. 본 연구는 지구자전율을 검출하여 지구의 방위를 알 수 있는 선박용 동적 광파이버 자이로콤파스 시스템의 개발 단계중 FOG센서의 구동모터로 선정된 스텝핑모터의 안정화에 대한 연구이다. 특히, 정적방식과 달리 동적방식 광파이버 자이로콤파스⁽²⁾는 센서를 회전시키면서 신호를 검출하기 때문에 회전 구동부의 균일한 정속운전을 필요로 한다.

스텝핑모터는 입력펄스에 따라 정해진 각도만큼 정확하게 회전하고 디지털제어가 쉽기 때문에 첨단 제어시스템의 위치제어용 모터로서 많이 사용되고 있다. 그러나, 스텝핑 모터를 저속에서부터 운전시킬 때 고유진동수 부근에서 1차적으로 심한 진동현상이 나타나며, 특히 중속 이상에서 발생하는 불안정 진동은 속도의 증가에 따라 크게 증가하여 마침내 동기상실을 야기하기 때문에 대부분의 개루프 제어시스템의 사용에 있어 심각한 문제점을 지니고 있다. 이러한 불안정은 정상상태 동기회전에 중첩되는 저주파 속도진동의 존재에 의해 특성지어지며, 모터자체와 구동회로의 시스템 파라미터에 따라 수백steps/sec 이상에서 1,000steps/sec 정도에 걸쳐 발생한다. 이러한 불안정에 대한 연구로 1979년 A. C. Leenhouts에 의해 구체적으로 제시된 미세스텝제어 방식⁽³⁾은 고분해능을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 저속에서의 진동을 크게 감소시킬 수 있다는 점에서 중요하다. 그러나 이 방법은 특성항상이 저속으로 한정되며, 중속영역 이상에서는 대부분의 토크맥동과 진동이 그대로 나타나는 단점을 보이고 있다. 또한 저자는 발표된 논문을 통하여 타코

미터나 엔코더와 같은 고가의 측정센서를 사용하지 않고 심각한 중속 불안정영역을 지나 고속까지 광범위한 속도 범위에서 스텝핑모터를 원활히 운전시킬 수 있는 안정회로⁽⁴⁾를 제시했으며, 연속된 연구를 통하여 미세스텝제어와 기 발표된 안정회로를 통합한 하이브리드형의 새로운 안정기⁽⁵⁾를 제시했다. 그러나 이러한 방식은 필터의 성능에 매우 민감한 반응을 나타내며, 회로의 특성상 다양한 운전 패턴하에서의 운전제에 제한을 갖는다.

이러한 관점에서 본 연구는 기발표된 스텝핑모터의 안정회로^(4,5) 대신 전문가의 지식에 의해 추론이 가능한 퍼지제어기법을 적용함으로써 안정화 필터설계의 문제점을 제거하고 다양한 운전패턴하에서의 만족스런 성능을 얻고자 한다. 시뮬레이션을 통하여 기존의 안정화와 같은 성능을 구현했으며, 안정회로의 퍼지제어화는 FOG 구동시스템의 요구조건을 만족시킨다.

2. FOG 구동모터의 불안정 특성

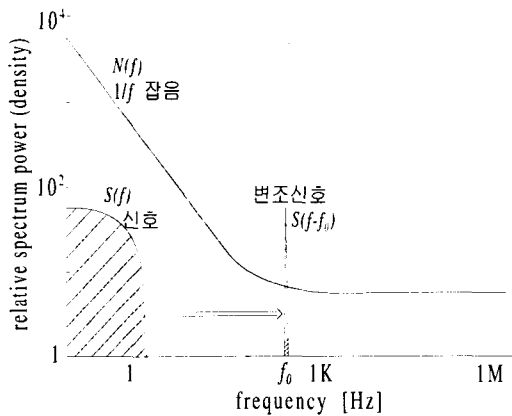
(1) FOG 시스템 특성

FOG센서는 매우 민감하기 때문에 고정도의 정속운전이 필수적이다. FOG센서의 출력은 모터 자체의 회전각속도의 불균일외에도 FOG 구동시스템의 구성에 따른 기계적인 요인을 많이 내포하고 있다. 회전원판은 높은 관성력으로 회전의 균일성을 얻을 수 있으나, 회전원판 재질의 밀도가 균일하지 못할 때에는 편심으로 인한 회전 불균형으로 인하여 오히려 속도 변동을 더 악화시킬 수 있다. 또한 회전판과 FOG센서 사이의 축의 기울어짐, 그리고 베어링의 마찰저항도 원인이 된다. 그러므로 회전각속도의 변동, 시스템구성 진동 및 random walk 잡음을 고려한 FOG의 출력신호

표현식 U_e 는 다음과 같이 쓸 수 있다.⁽⁶⁾

$$U_e = (1 - \sin \theta_1) r \cos \theta_e \Omega_e [J_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_e) + \sum_{m=1}^{\infty} J_m [\sin((\omega_0 + ma)t + \varphi_e) + (-1)^m \sin((\omega_0 - ma)t + \varphi_e)]] + R_w(t) + V_s(t) \quad (1)$$

여기서, random walk 잡음 $R_w(t)$ 와 시스템 자체 진동 $V_s(t)$ 의 상대적인 영향은 FOG 구동 시스템의 최적설계에 의해 크게 좌우되며, 만족스런 FOG 구동 시스템의 경우는 첫 번째 항이 자이로 출력에 있어 지배적이다. 그러나 $\omega_0 \pm ma$ 의 두 주파수 성분에 기인하는 두 번째항은 중요한 의미를 지닌다. 합주파수 ($\omega_0 + ma$)와 차주파수 ($\omega_0 - ma$)의 두 성분은 구동모터의 불안정시 나타나는 beat라고 불리는 일종의 진동으로 FOG 콤파스 출력잡음의 주 원인이 된다. 식 (1)에서 알 수 있듯이 FOG 출력에는 순수한 FOG 출력신호 이외도 다른 많은 성분의 잡음으로 구성된다. 미소각 운동 변화에 대한 검출시 움직임에 따른 순수 FOG 출력신호 자체가 잡음에 비해 상대적으로 매우 적으며, 특히 지구의 자전율(15.04°/h)을 감지 하여



(그림 1) 1/f 잡음과 신호의 변조에 따른 주파수 이동

north finder의 기능을 지닌 자이로콤파스 시스템에 적용시에는 지구움직임 자체의 출력이 매우 미약하기 때문에 잡음 자체가 지배적인 출력성분이 된다. 그러므로, 그림 1에서와 같이 FOG 출력신호의 보다 좋은 S/N비를 얻기 위해서는 변조에 의해 주파수 영역을 이동시킨 후 복조시켜야 한다. 그러나 FOG 출력에 중첩되어 나타나는 잡음성분의 상대적인 량을 근원적으로 최소화시키기 위해서는 FOG 출력의 잡음에 있어 지배적인 요인이 되는 구동모터의 안정화가 절대적이다.

(2) 스텝핑모터의 불안정 해석

일정한 크기의 진동을 갖는 진동성분이 정상 동기 회전에 중첩된다는 가정하에 회전자의 위치변동은 다음 식으로 나타낼 수 있다.⁽⁷⁾

$$\theta(t) = \omega_0 t - \delta + \theta_0 \sin at \quad (2)$$

여기서, ω_0 , θ_0 , a 및 δ 는 정상상태 회전각속도, 진동크기, 진동주파수 그리고 부하각을 각각 나타낸다.

식(2)를 만족하는 발생토크 T_e 는 다음식과 같이 정상상태토크 T_o , 각속도 a 에서의 댐핑 토크 T_d 와 동기토크 T_s 로 구성된다.

$$T_e(t) = T_o + T_d \cos at + T_s \sin at \quad (3)$$

또한, 회전자에 대한 운동방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$J_{rL} \frac{d^2 \theta}{dt^2} + K_v \frac{d\theta}{dt} + T_L = T_e(t) \quad (4)$$

여기서, J_{rL} , K_v 및 T_L 은 각각 부하를 포함한 회전자의 관성모멘트, 점성마찰계수 및 부하토크를 나타낸다.

식(3)을 (4)식에 동치시키고, 식(2)의 θ 를 대입하면 불안정 동작을 나타내는 다음과 같은 3개의 비선형 연립방정식이 얻어진다.

$$T_L + K_v \omega_0 - T_o(\theta_0, \alpha, \delta, \omega_1) = 0 \quad (5)$$

$$K_v \theta_0 \alpha - T_d(\theta_0, \alpha, \delta, \omega_1) = 0 \quad (6)$$

$$J_{rL} \theta_0 \alpha^2 + T_s(\theta_0, \alpha, \delta, \omega_1) = 0 \quad (7)$$

주어진 시스템 파라미터와 입력주파수 ω_1 에 대해 식(5)~(7)의 비선형 연립방정식을 수치적으로 계산함으로써 동적 불안정 특성을 알 수 있다. 또한 식(6)은 $K_d = -T_d/\theta_0 \alpha$ 에 의해 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$K_v + K_d(\theta_0, \alpha, \delta, \omega_1) = 0 \quad (8)$$

여기서, K_d 는 댐핑토크계수를 나타내며 양의 값은 양의 댐핑토크 값을 나타낸다. 이 식은 댐핑토크계수가 음이고 크기에 있어 점성마찰계수 K_v 에 의해 생기는 양의 댐핑과 같을 경우 일정한 크기의 진동이 존재함을 나타낸다. 즉, 모터의 동적 불안정은 유효 댐핑토크계수 $K_v + K_d$ 에 의해 정해진다. 그 값이 양이면 진동의 크기는 일정하게 유지되지 않고 $K_v + K_d$ 에 의해 정해지는 비율로 감소하여 시스템이 안정되며, 만약 음이면 진동이 증가하여 구동시스템이 불안정해진다. 이러한 물리적 해석은 중속영역에 대한 불안정 해석이 식(5)~(7)의 비선형 연립방정식의 수치적 계산 대신에 댐핑토크계수 해석을 통해 직접 가능함을 나타낸다. 그러므로, 댐핑계수의 값을 얻기 위해서는 진동크기 θ_0 가 정해지고, 주어진 임의의 입력주파수 ω_1 에 대해 식(5)와 (7)의 연립방정식을 만족하는 α 와 δ 를 구하고, 이로부터 K_d 가 쉽게 계산된다.

일반적으로 스텝핑모터의 댐핑토크계수 특성곡선

은 어떤 특정 경계치 각속도 Ω_{1b} 이상의 모든 입력주파수에 대해 항상 음의 값이 되며, 더욱 주파수를 증가시키면 특정주파수 $\hat{\Omega}_1$ 에서 음의 최대값을 갖는다. 즉, 모터는 Ω_{1b} 이하의 입력주파수에 대해 항상 안정된 운전이 가능하며, 그 이상의 주파수에서는 입력주파수의 증가에 따라 진동의 크기가 급격히 증가하여 동기상실과 같은 불안정 운전을 야기한다. 이러한 불안정 현상을 완전하게 제거하기 위해서는 외부에서 가해지는 점성댐핑이 음의 최대 댐핑토크계수와 크기에 있어 최소한 같아야 한다. 그러므로 진동이 시작되는 주파수(Ω_{1b})와 음의 최대댐핑값을 갖는 주파수($\hat{\Omega}_1$)에 대한 정확한 예측이 불안정 특성에 대한 연구의 주요 관점이 된다.

(3) 주파수변조시의 불안정 해석

주파수변조 전압원을 인가할 때 주파수변조 신호 위상각 γ 가 일정한 범위 내에 존재하지만 하면 스텝핑모터는 언제나 광범위한 영역에 걸쳐 안정되게 운전될 수 있다. 여기서, γ 는 회전자 속도진동과 주파수변조성분신호 사이의 위상차를 나타낸다. Bessel 함수 $J_0(N_r \theta_0) \approx 1$ 와 $J_2(N_r \theta_0) \approx 0$ 가 되도록 θ_0 가 매우 작고, $\omega_1 \gg \alpha$ 를 만족하는 ‘이상적인 관성부하’ 라는 가정 하에 주파수변조에 기인하는 부가적인 댐핑토크계수 K_{df}' 에 대한 관계식은 다음과 같이 쓸 수 있다.⁽⁸⁾

$$K_{df}' = - \frac{PL_1 N_r V_1^2 K_v}{4r^A K_L^2} \frac{\sin \gamma}{\alpha} \left[\frac{G_r \cos(N_r \delta - \zeta)}{(1 + \Omega_1^2)(1 + (2\Omega_1)^2)} \right] \quad (9)$$

여기서,

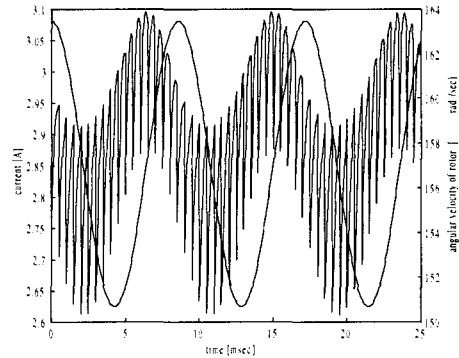
$$\zeta = \tan^{-1} \left[\frac{2K_L^2 \Omega_1 (1 + (2\Omega_1)^2) + 2\Omega_1^3}{2K_L^2 (1 + (2\Omega_1)^2) + \Omega_1^2} \right]$$

$N, \delta - \zeta < \pi/2$ 의 조건하에서 $\sin \gamma/a$ 가 음의 최
대일 때 K_{df}' 는 최대가 된다. 더욱이 탈출토크까지의
모든 부하에 대해 $\cos(N, \delta - \zeta) > 0$ 이므로 적절하게
 γ 값을 선정하면 언제나 양의 댐핑토크계수 값을 얻
을 수 있다. 식(9)에 의해 얻어진 일반적인 관계는
 $-180^\circ < \gamma < 0^\circ$ 일 때 K_{df}' 는 양이 되며, $0^\circ < \gamma < 180^\circ$
 0° 경우는 K_{df}' 는 항상 음이 된다. 특히 $\gamma = -\pi/2$
일 때 K_{df}' 는 양의 최대값이 되며 시스템의 가장 안
정한 운전이 보장됨에 주목해야 한다.

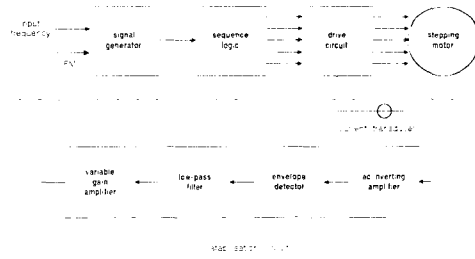
(4) 기존의 안정화제어기

그림 2는 스텝핑모터의 불안정시 전전류파형과 회
전자 속도진동의 위상차를 나타내는 것으로 불안정시
의 전류파형 해석식⁽⁹⁾으로 부터 쉽게 얻어진다. 모터
가 불안정영역에서 구동 되고 있을 때 회전자의 속도
진동은 전전류파형의 하측포락선의 변화와 동기되어
나타나며, 반전전전류파형(inverted total current waveform)의
상측포락선은 속도진동 파형보다 $\pi/2$ 만큼 위상이
뒤짐을 알 수 있다. 이러한 위상차 특성은 반전전류파
형의 상측포락선이 앞에서 언급된 주파수변조시의 불
안정해석을 기본으로 하는 안정화시스템의 강력한 신
호원으로 사용될 수 있음을 의미한다. 즉, 반전전전류
파형의 상측포락선신호를 모터의 입력주파수 변조신
호로 사용하여 스텝핑모터를 구동시킴으로써 안정된
구동을 실현할 수 있다. 그림3은 이러한 개념을 적용
하여 구성된 기발표 안정화회로의 블록선도⁽²⁾이며,
그림 4는 이러한 안정화 제어기를 사용했을 때 그림2
와 같은 불안정 현상이 사라지고 안정된 운전이 가능
함을 나타낸다. 그러나, 안정화회로의 개발에 있어서
중요한 문제는 저역통과필터의 파라미터에 대한 선정
이다. 저역필터의 설계시 나타나는 위상지연이 앞에

서 언급된 안정화 운전영역의 범위를 벗어나지 않도
록 유의해야 한다. 선정된 파라미터의 값은 사용되는
구동모터에 따라 다르며, 스텝핑주파수와 진동주파수
간의 최소차 및 최대 진동주파수의 변화와 밀접한 관
계가 있다.



(그림 2) 불안정시 전전류파형 및 회전자의 속도파형
(2 phases - on, 2,000pps, $\theta_0 = 0.5^\circ$,
 $J_{rL} = J_r$, $T_L = 0$)



(그림 3) 기존의 안정화제어기

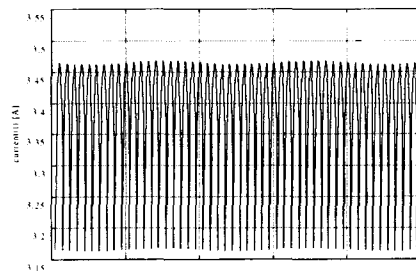


그림 4. 기존의 안정화제어기 사용시의 전전류파형
(2 phases - on, 2,000pps, $J_{rL} = J_r$, $T_L = 60\%$ of
pullout torque)

3. 퍼지제어기 설계

FOG 콤파스구동시스템의 퍼지제어에 사용된 전문가 지식은 앞에서 언급된 스텝핑모터의 불안정시 전전류파형에 대한 특성해석과 안정화에 대한 지식을 기본으로 얻어졌으며 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (i) 일반적으로 구동모터의 불안정에 대한 측정은 타코미터나 엔코더와 같은 고가의 부가적인 외부센서에 의해 얻어지나, 스텝핑모터의 불안정 특성은 이와 같은 외부센서를 사용하지 않고 내부의 전전류파형만으로도 가능하다. 불안정시 반전 전전류파형의 상측 포락선은 회전자의 속도 파형보다 90° 만큼 위상각이 뒤지며 강력한 안정화 신호원이 된다.
- (ii) 구동시스템이 안정되기 위한 입력주파수의 변화율은 전전류파형의 스위칭시 전류값에 의해 이루어지는 하측포락선 변화율의 1/2이다. 즉,

$$P_{\omega_1}(k) = \frac{1}{2} P_i(k) \quad (10)$$

여기서,

$$P_{\omega_1}(k) = [\omega_1(t_k^+) - \omega_1(t_0^+)] / \omega_1(t_0^+)$$

$$P_i(k) = [i_{sw}(t_k^+) - i_{sw}(t_0^+)] / i_{sw}(t_0^+)$$

단, $k=1, 2, 3, \dots, n$ 이다. 또한, $\omega_1(t_0^+)$ 와 $i_{sw}(t_0^+)$ 는 각각 입력 여자주파수와 전전류 하측 포락선 스위칭전류의 초기값을, $\omega_1(t_k^+)$ 와 $i_{sw}(t_k^+)$ 는 k 번째 스위칭시의 여자주파수와 그 순간의 하측포락선 전류값을 각각 나타내며, 그리고 $P_{\omega_1}(k)$ 와 $P_i(k)$ 는 $-0.25 < P_{\omega_1}(k) < 0.25$ 와 $-0.5 < P_i(k) < 0.5$ 의 범위를 갖는다.

(iii) 입력주파수가 증가함에 따라 전전류는 감소된다. 위와 같은 전문가 지식을 바탕으로 제어입력변수와 제어출력변수는 각각 $x = P_i(k)$ 과 $y = P_{\omega_1}(k)$ 로 선정한다. 각각의 변수는, 전체집합을 X, Y로 정의하며, 이를 각각 그림 5와 같이 NB(negative big), NM(negative medium), NS(negative small), ZE(zero), PS(positive small), PM(positive medium) 및 PB(positive big)로 영역을 분할하고 다음과 같은 형태의 소속함수값을 부여한다.

$$\mu_{FS}(v) = e^{-a(v+v_0)^2} \quad (11)$$

여기서, FS, v, a 와 v_0 는 각각 퍼지집합, 제어입·출력변수, 함수의 분산도 그리고 최대의 소속함수값을 갖는 변수를 나타낸다.

추론방식은 Mamdani의 min 연산(10)을 적용하여 다음과 같은 규칙을 정한다.

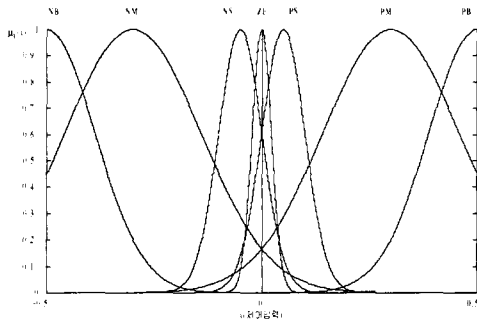
- $R_1 : \text{If } x = NB, \text{ then } y = NB$
- $R_2 : \text{If } x = NM, \text{ then } y = NM$
- $R_3 : \text{If } x = NS, \text{ then } y = NS$
- $R_4 : \text{If } x = ZE, \text{ then } y = ZE$
- $R_5 : \text{If } x = PS, \text{ then } y = PS$
- $R_6 : \text{If } x = PM, \text{ then } y = PM$
- $R_7 : \text{If } x = PB, \text{ then } y = PB$

또한, 매 스텝간의 지속적인 동작특성이 효과적으로 개선되도록 최대평균법을 적용하였다. 이 방법은 출력부 퍼지집합에서 소속함수가 최대값을 가질 때 값들의 평균을 계산하는 방식으로 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

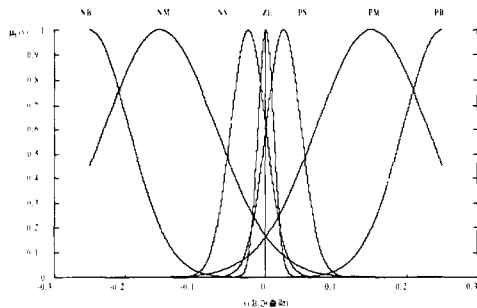
$$y_0 = \sum_{j=0}^k \frac{y_j}{k} \quad (12)$$

여기서, y_i 는 소속함수값이 최대가 되는 제어값이며, k 는 최대가 되는 제어값의 개수를 나타낸다.

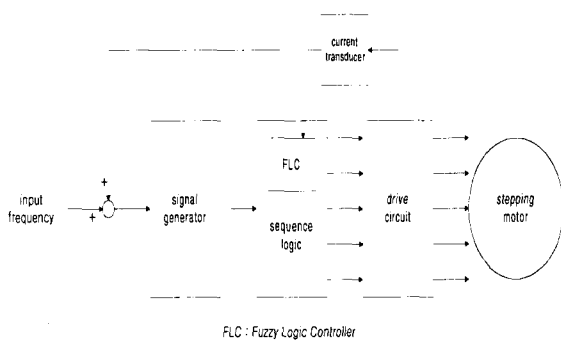
그림 6은 이와 같은 방식에 의해 제안된 퍼지제어 FOG콤포스 구동시스템의 구조를 나타낸다.



(a) 제어입력의 퍼지집합과 소속함수



(b) 제어출력의 퍼지집합과 소속함수
(그림 5) 제어입 · 출력 퍼지집합과 소속함수



(그림 6) 제안된 퍼지제어 안정화시스템

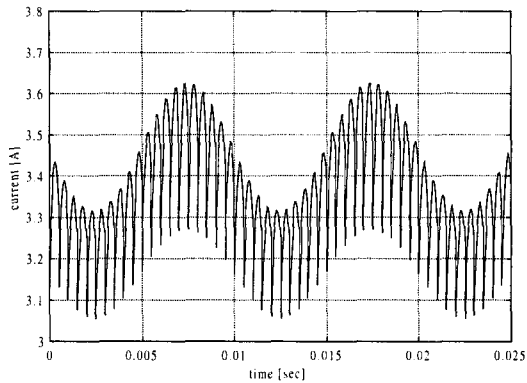
4. 시뮬레이션 결과 및 분석

제안된 퍼지제어 안정화시스템의 시뮬레이션에 사용된 구동모터는 5상 가변릴럭턴스 스텝핑모터로 주요 상수를 표 1에 나타냈다.

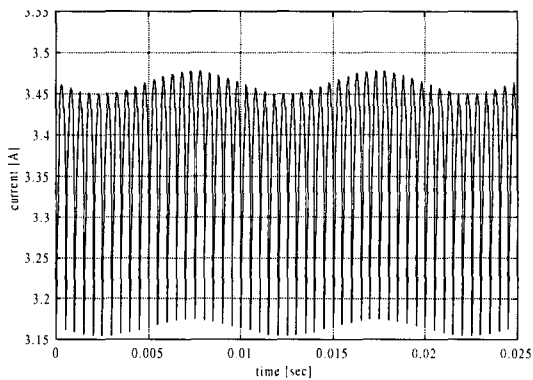
(표 1) 모터 상수

구 분	제 원
치 수	16
정 격 전 류 [A/상]	3.5
저 항 [Ω]	6.5
인 덕 턴 스 [mH]	6.17
스 텝 각 [deg]	4.5

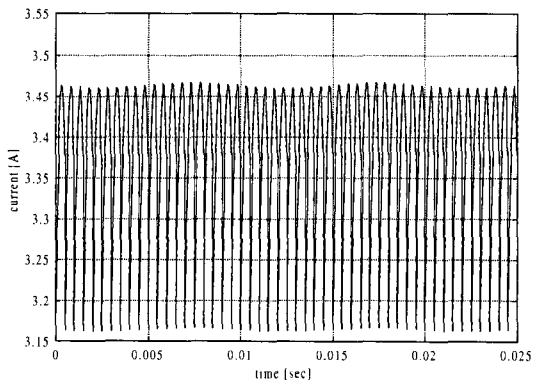
그림 7(a)는 탈출토크의 60% 부하상태에서 구동모터를 정격전류로 운전시킬 때 불안정 영역에서의 전류파형을 나타낸다. 그림 7(b)와 (c)는 본 논문에서 제안된 퍼지제어기에 의한 전류파형의 결과로 심각한 진동이 나타나는 불안정 영역에서도 안정한 정속운전이 가능함을 보여준다. 특히, 같은 부하 조건하에서 a 가 0.28일때 기존의 안정화 제어기의 시뮬레이션 결과와 일치됨을 알 수 있다. 그러나, 퍼지제어시 전류파형의 포락선에 나타나는 미세 진폭의 진동은 출력변수 퍼지집합 ZE와 NS(또는 PS) 간의 소속경계값에 기인하는 것으로 기존의 제어기와 달리 식(11)의 분산도 a 의 최적값을 선정함으로써 최소화시킬 수 있다. 소속함수의 a 값 선정방법은 시행착오나 신경회로망을 이용하는 방법이 있으나 여기서는 시행착오에 의한 방법을 택했다. 그러므로 전문가의 지식을 기반으로 하는 추론형식의 이러한 퍼지제어기는 불필요한 제어회로부를 프로그래밍함으로써 소형, 경량화 및 다양한 운전 조건에 대한 적응이 뛰어난 장점을 지닌다. 이러한 사실은 FOG 구동모터 제어기로서 요구 조건을 만족시킨다.



(a) 불안정 전류파형



(b) 퍼지제어 이후의 전류파형 ($a=2.8$)



(c) 퍼지제어 이후의 전류파형 ($a=0.28$)

[그림 7] 전전류파형

(2 phases - on, 2,000pps, $J_{rL}=J_r$, $T_L=60\%$ of pullout torque)

(2 phases - on, 2,000pps, $J_{rL}=J_r$, $T_L=60\%$ of pullout torque)

5. 결 론

안정된 플랫폼형의 동적방식 광파이버 자이로컴퍼스 시스템의 구동모터로 선정된 스텝핑모터는 FOG센서 및 부가적인 전자회로의 특성상 정속 및 저진동을 필요로 한다. 이러한 관점에서 본 연구는 광범위한 영역에서의 운전이 가능하며, 저진동 및 정확한 위치 제어가 가능한 퍼지기법의 새로운 FOG컴퍼스 구동시스템의 안정화 제어기를 제시했다.

FOG의 구동용 모터인 스텝핑모터의 불안정을 전문가의 지식을 기반으로 하는 퍼지제어에 의해 제거함으로써 광대역 운전이 가능함을 입증했다. 기존의 안정회로 부분을 퍼지회합으로써 소형·경량화가 가능하며, 다양한 운전조건에 따른 적응능력이 우수하므로 FOG 구동모터로서의 요구성능을 만족시킬 수 있다. 이러한 방식은 시스템에 대한 정확한 수학적 모델과 분석을 통하지 않고 기존 제어기에 대한 전문가의 지식만으로도 제어목적을 달성할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 임건, "광파이버 자이로스코프를 이용한 선박용자이로 컴퍼스 시스템 개발", 최종연구 보고서, 통상산업부, 1997.
2. Kim, S.J., Lee, S.S., Kwon, Y.S., Bac, J.C. and Lee, S.J., "Dynamic North-finding Scheme Based on a Fiber Optic Gyroscope", SPIE, Vol.3087, 1997. 4, pp.126~136.
3. Leenhouts, A.C., "Techniques for Microstepping

- Control of Step Motor", Control Engineering, 1979. 4, pp. 58~59.
4. Kwon, Y, "A Study of the Dynamic Instability Characteristics and Stabilisation of Variable-reluctance Stepping Motors", Manchester University, Ph.D. Thesis, 1993.
 5. 권용수, 정삼, "광파이버 자이로콤포스 시스템을 위한 스텝핑모터의 안정화", 대한전기 학회, 하계 학술 대회논문집A, 1997. 7, pp.152~154.
 6. 정삼, 권용수, 김성진, 이상식, 진상윤, "광파이버 자이로의 동특성에 관한 연구", 한국 군사과학기술학회, 추계학술대회논문집, 1997, 10, pp.181~188.
 7. Russell, A.P. and Pickup, I.E.D., "High-frequency Instability in Variable-reluctance Stepping Motors", IEE, Proc., Vol. 125, 1978, 9, pp.841~847.
 8. 권용수, "주파수변조 구동에 의한 가변릴럭턴스 스텝핑모터의 불안정 해석", 대한전기 학회, 하계 학술대회논문집A, 1994. 7, pp.114~118.
 9. 권용수, "가변릴럭턴스 스텝핑모터의 전류파형 해석", 대한전기학회, 하계학술대회논문집A, 1995. 7, pp.116~118.
 10. Mamdani, E. H., "Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plants", IEE, Proc., Control & Science, Vol. 121, No. 12, 1974. 12, pp.1585~1588.