

망막의 3차원 실시간 영상화를 위한 고속 동기제어 시스템 개발

고종선, 김영일, 이용재
원광대학교 전기전자정보공학부

Development of high speed synchronous control system for real time 3D eye imaging equipment

Jong-Sun Ko, Young-Il Kim and Yong-Jae Lee
Dept. of Electric-Electronic & Information Engineering

ABSTRACT

To show a retina shape and thickness on the computer, a laser has been used in Scanning Laser Ophthalmoscope (SLO) equipment using the travelling difference. This method requires exact synchronize control of laser travelling in optic system to show this image. In this study, a synchronize control of the galvanometer to make 3-dimensional retina image. To obtain a clear 3-dimensional image, this exact synchronism is very important for making perfect plane scanning.

1. 서 론

안구의 질환에 대처하는 한가지 방법으로 망막의 조사가 매우 필수적이다. 이 망막을 3차원 영상으로 데이터 처리하여 보여주는 장치에 있어서 그 화상의 정밀성을 확보하는데 본 동기제어 장치는 매우 중요하다. 특히 망막의 상태, 형상 두께 등을 있는 그대로 영상화하기 위하여 레이저 신호를 완전히 동기화 하는 것이 필요하다. 망막의 두께나 형상을 컴퓨터에 표시하고자 레이저의 입사광선과 반사광의 차이를 이용하여 두께를 영상화하는 장비가 사용되고 있다. 현재 여러 안과 병원에서 사용하고 있는 안구 영상화 장비로는 Scanning Laser Ophthalmoscope (SLO)라는 장비가 주로 사용되고 있으나 망막의 영상을 2차원으로밖에 볼 수 없는 단점이 있다.^[1] 아직까지는 실시간으로 망막의 영상을 3차원으로 보여주는 장비는 개발되어 있지 않다. 본 논문에서는 안구 망막의 영상을 실시간으로 볼 수 있도록 하는데 필요한 이 레이저 경로를 정밀 동기제어 함으로써 안과 실명 질환의 가장 많은 부분을 차지하는 안구 망막을 실시간 3차원 영상으로

로 관찰할 수 있도록 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 SLO의 기본구조 및 동작원리^[7]

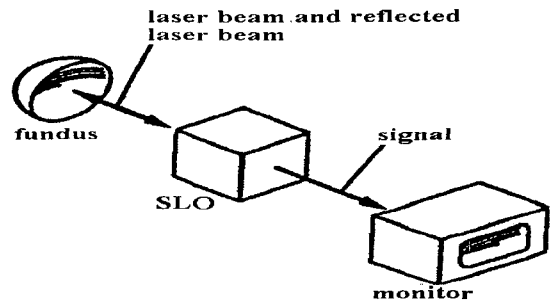


그림 1 SLO의 기본 개념도
Fig. 1 Basic configuration of the SLO

현재 안구를 영상화하기 위해서 사용되는 장비의 동작원리는 레이저 광선을 다면 거울 모터 (polygonmotor)와 진동 평면 거울(galvanometer)를 이용하여 연속되는 시간에 따른 2차원의 면으로 만들고, 안구의 동공을 통하여 거의 투명한 망막에 조사시킨다. 이때, 망막을 중심으로 각 순간에 레이저 발생기로부터 망막에 조사되는 레이저빔의 입사각과, 망막으로부터 반사되는 레이저 반사 가상선의 출사각을 일정하게 유지하게 하고 망막에서 레이저빔의 입사와 반사 가상선의 출사가 수직 및 수평 방향으로 일치되도록 광학계를 배열한다. 또한, 한 순간에 망막에 비추어진 레이저 전후단선을 센서 어레이에 일치시키고, 센서 어레이의 수와 동수의 2차원의 망막면을 실시간 3차원으로 영상화하는 기술이다. 현재 여러 안과 병원에서 사용하고 있는 SLO장비는 레이저빔을 텔레비전의 주사선처럼 수평방향과 수직방향으로 망막에 주사하고 그

반사광을 검출하여 비디오 신호와 합성한 후 모니터에 표현하여 2차원적 영상을 얻는다. 이에 착안하여 레이저 주사를 위해 수평 및 수직주사에는 각각 polygonmotor와 galvanometer를 사용하며, 주사연결 거울로는 오목거울을 사용한다. 이때 수평 주사선과 수직 주사선과의 정확한 동기를 맞추는 것이 필요하다.

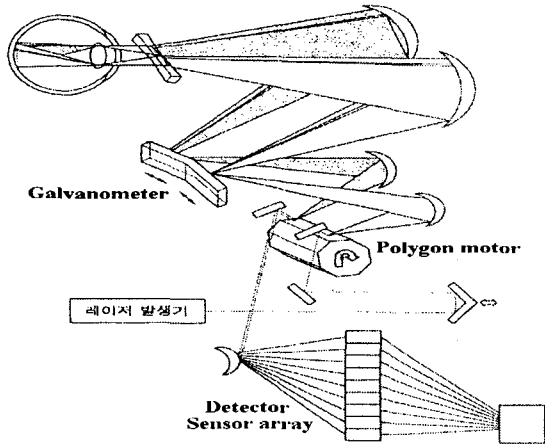


그림 2 SLO의 구조
Fig. 2 Structure of SLO

2.2 Galvanometer의 구조 및 동작원리

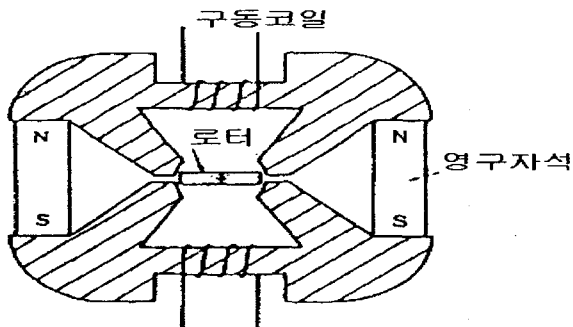


그림 3 Galvanometer의 구조
Fig. 3 Structure of galvanometer

레이저를 반사시켜 극히 작은 scanning 창을 만드는 galvanometer는 자장 안에 놓여 있는 코일에 전류가 흐를 때 발생하는 자력을 이용하는 원리와 같기 때문에, 코일의 상하에 부착된 긴 스트립 선의 탄력과 코일의 회전력이 평형을 이루는 상태로 각도가 결정되는 광 편향기이다. 이는 일정 각을 반복해서 움직이는 액추에이터로 회전자의 관성이 크면 빠른 속도의 움직임이 어려움으로 소형 평면 거울을 이용한다.

화상의 일그러짐이 없도록 하기 위해서는 polygonmotor의 수평 주사각과 3:2의 양상비

(aspect rate)를 유지 할 수 있도록 각도 제어를 해야 하며, 상하의 수직 편향 운동이 선형적이어야 한다. 하나의 화면을 형성하기 위해서 상하로 움직이며 화면을 만들고, 다시 처음 위치로 빠른 속도로 복귀해야 한다. 이러한 움직임을 반복함으로써 화면을 형성할 수 있다. 따라서 고 정밀 위치제어를 필요로 하며 빠른 복귀 시간이 필요하다. 그림 4의 (a)와 같은 위치 명령으로 Galvanometer는 (b)와 같은 속도 응답 특성을 갖으며 움직이게 된다. 이러한 속도 응답의 특성에 의해 실제 위치 응답은 (c)와 같이 나타난다. 이때 (b)의 정정 시간 (settling time)은 매우 짧아야 (c)의 위치 응답에서 선형 증가 영역이 증가한다.

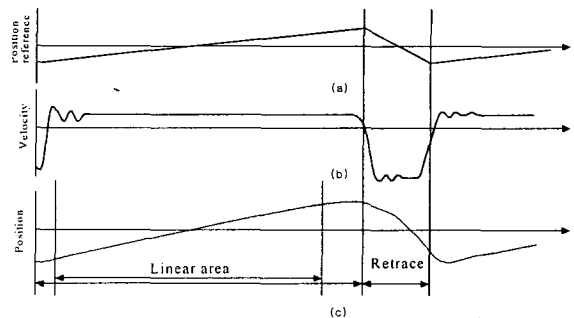


그림 4 Galvanometer의 응답 특성
Fig. 4 Response characteristics of the galvanometer

이렇게 정정 시간 이후부터 초기 위치로의 복귀 시간 사이의 선형 영역의 데이터가 유효함으로 속도 응답의 정정 시간이 짧을수록 선형 영역이 증가하고 유효 주사 면적을 넓힐 수 있으며, 가능한 빠른 복귀시간을 가져야 한다. 따라서 고속, 고 정밀 속도제어 루프를 갖는 위치제어기의 연구가 필요하다. 실험에 사용된 캠브리지사의 galvanometer 6800HP의 사양은 표 1과 같다.

표 1 Galvanometer 6800HP 사양
Table 1 Characteristics of 6800HP

Rated angular excursion	40 degree	Back EMF	0.04 mV/deg/sec
Rotor inertia	0.018 gm*cm ²	RMS current	1.6 A
Max load recommended	0.18 gm*cm ²	Torque constant	2.5x10 ⁴ Dyne-cm/Amp
Coil inductance	96 uH	Peak current	6 A
Coil resistance	4.2 Ohms	Step response time	0.3 ms
Linearity	98 % , Min 30 °	Output signal, Common mode	50 uA
Repeatability	20 μ radians	Output signal, Differential mode	3.2 μ A/degree

Galvanometer의 선형 위치 응답 영역에서 표준 모니터의 수평주사선의 개수인 525개의 수평주사를

하여야 하며, 그 외 비선형 영역과 복귀 영역을 지나 다시 선형 영역으로 각의 변화 시, 수평 주사선의 시작 위치여야 함으로 수평 주사선의 주사 속도의 정수 배에 해당하는 복귀 시간이 필요하다.^{[5][6][7]}

그림 5의 (a)는 정확한 동기를 맞춰 형성한 평면의 스캔 방법을 도시하였으며, 수평 주사선의 시작 위치와 수직 주사선의 시작 위치의 동기가 맞지 않았을 경우의 형성 평면을 나타낸다. 또한 그림 5의 (b), (c)는 정확한 polygonmotor의 속도제어 및 galvanometer의 선형 위치 제어가 되지 않았을 경우의 주사선의 움직임의 나타낸다.

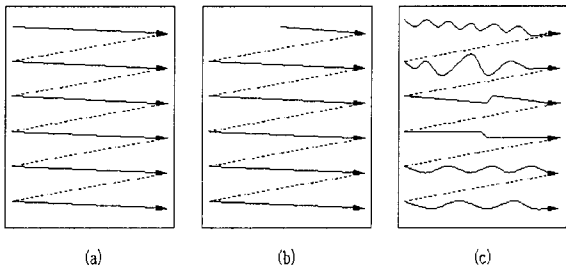


그림 5 수평주사의 예
Fig. 5 Examples of the horizontal scanning

2.3 Galvanometer의 수학적 근사 모델

Galvanometer의 동작원리는 반복적인 진동운동을 하기 위해 회전축의 동작범위가 한정되어 있는 부분을 제외하고는 기본적으로 DC전동기와 유사하므로 그림 6과 같이 등가회로를 구할 수 있다.^{[3][4]}

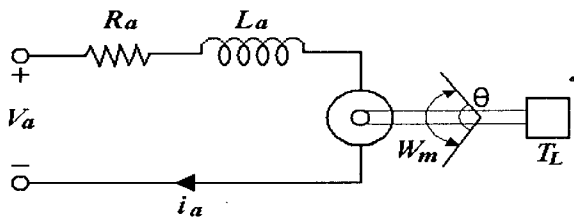


그림 6 Galvanometer 등가 회로
Fig. 6 Equivalent circuit of the galvanometer

이때, 입출력간의 방정식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{di_a(t)}{dt} = \frac{1}{L_a} e_a(t) - \frac{R_a}{L_a} i_a(t) - \frac{1}{L_a} e_b(t) \quad (1)$$

$$T_m(t) = K_i i_a(t) \quad (2)$$

$$e_b = K_b \frac{d\theta_m(t)}{dt} = K_b \omega_m(t) \quad (3)$$

$$\frac{d^2\theta_m(t)}{dt^2} = \frac{1}{J_m} T_m(t) - \frac{1}{J_m} T_L(t) - \frac{B_m}{J_m} \frac{d\theta_m(t)}{dt} \quad (4)$$

단, $-20^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$

3. 제어구조 및 시뮬레이션 결과

실제 실험을 위한 galvanometer 제어시스템은 그림 7과 같이 구성된다.

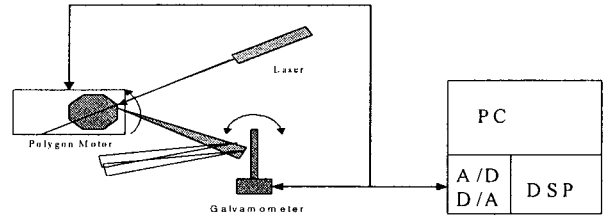


그림 7 전체 시스템의 개략도
Fig. 7 Diagram of the overall system

위 그림 중 galvanometer 제어시스템의 시뮬레이션을 위해 Matlab의 Simulink를 사용했다. 그 구성은 그림 8과 같고 응답 파형은 그림 9와 같다.

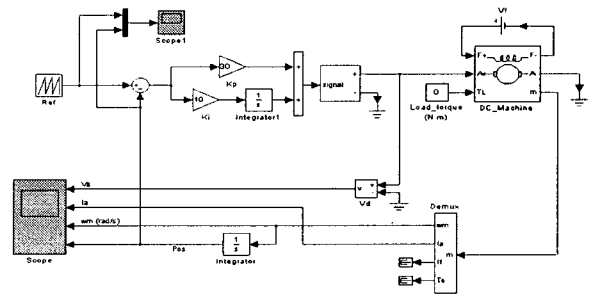


그림 8 Galvanometer의 시뮬링크 블록도
Fig. 8 Block diagram of galvanometer using Simulink

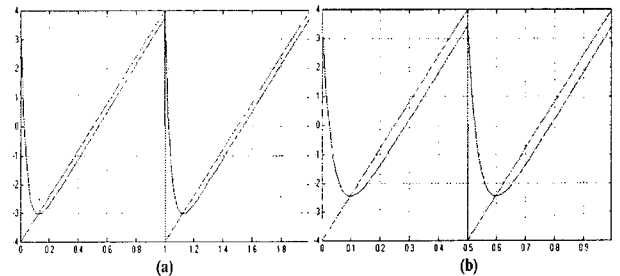


그림 9 Simulation 결과 (a) 저속응답 (b) 고속응답
fig. 9 Simulation result
(a) slow reponse (b) fast response

4. 실험결과 및 고찰

Galvanometer의 정밀한 제어를 위한 위치센서가 필요한데 여기서는 광학적 특성을 이용하여 광 신호의 edge 부분의 특성을 이용한 polygonmotor의 끝 모서리 부분을 감지하는 방법을 이용하여 신호의 시작점인 SOS (start of signal) 신호를 만들어

내었다. Self control되는 polygonmotor에 적외선 LED를 주사하여 수광부에서 두 개의 포토다이오드를 통해 신호의 시작점을 찾아낼 수 있다. SOS 신호 생성회로는 그림 10과 같다.

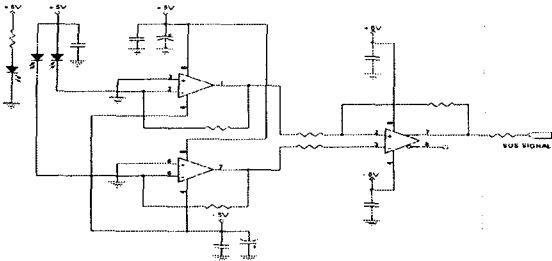


그림 10 SOS 신호 발생회로
Fig. 10 Circuit of the SOS generator

동기 제어장치의 전체 구성은 그림 11과 같고 그림 12의 (c)와 같이 MCK240 DSP를 이용하여 입력된 SOS신호에 동기되는 톱니파형의 12bit 제어 신호 (b)를 이용해 galvanometer를 구동하게 되고 이때 발생하는 위치에러신호 (a)를 궤환하여 제어하게 된다. 실제 실험에서 PI제어기를 사용한 galvanometer 제어기의 응답특성은 그림 13과 같다.

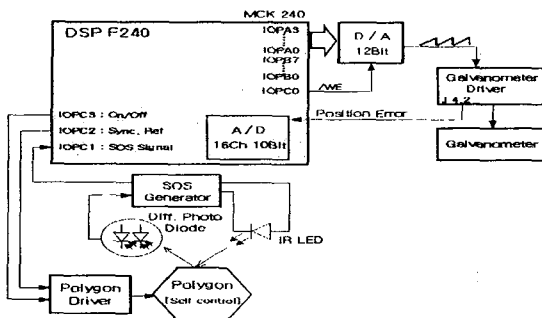


그림 11 전체 시스템의 구성
Fig. 11 Configuration of total system

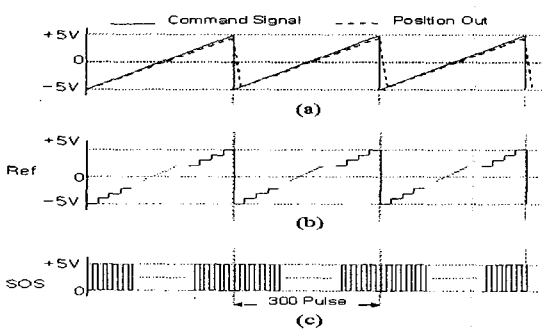


그림 12 SOS신호와 동기 위치제어시 이상 응답파형
Fig. 12 Ideal response of the SOS signal and synchronized Position

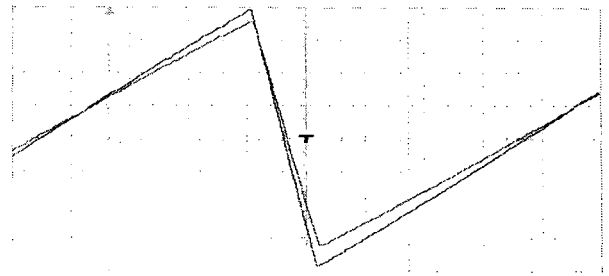


그림 13 Galvanometer 응답파형
Fig. 13 Response of the galvanometer

5. 결 론

본 연구에서는 3~4만 rpm의 polygonmotor와 동기 시키는 신호를 연구하고 이 신호에 맞춰 galvanometer의 동기제어를 구현하고 DSP F240을 이용하여 레이저 경로 제어용 galvanometer의 위치제어를 실현하였다. 이상의 연구로부터 PI제어기로는 저속 동기제어 시에는 제어명령을 잘 따라가지만 고속 동기제어 시에는 부하가 작더라도 신호의 왜곡이 일어남을 알 수 있었다. 따라서 앞으로 파라미터 보상기, deadbeat observer, 신경망 등의 알고리즘을 추가하여 고속 동기제어 시에도 저속에서와 같은 정밀한 제어를 하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] G.Rodenstock Instrument GmbH, SLO 101 Service Manual 5/94
- [2] Paul. C. Krause, "Analysis of electric machinery", McGraw-Hill, 1984.
- [3] K. OHISHI, M. NAKAO, K. OHNISHI and K. MIYACHI, "Microprocessor- Controlled DC Motor for Load-Insensitive Position Servo System", IEEE Trans. IE-34, NO. 1, pp. 44-49, 1987.
- [4] Jong Sun Ko, Jung Hoon Lee, Se Kyo Chung, and Myung Joong Youn, "A Robust Position Control of Brushless DC motor with Dead Beat Load Torque Observer," IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 40, no. 5, pp. 512-520, Oct.,1993.
- [5] 김창우, 김현숙, 홍석민, 김재기, "열상장비용 직병렬 주사광학계", 대한광학회지, Vol. 5, Num. 2, pp. 212-216, 1994
- [6] 송인섭, 유위경, 윤은숙, 이영철, 홍석민, "직병렬 주사방식 열상장비의 신호처리기 설계 연구", 전자공학 회지, 제31권, B편, 제1호, pp. 49-56, 1994
- [7] 이수열, "적외선 체열 촬영시스템을 위한 고속 광주사기의 구현", 의공학회지, 제 16권, 1호, pp. 43-48, 1995
- [8] Jong-Sun Ko, Sung-Koo Youn, "Experimental Results of Adaptive Load Torque Observer and Robust Precision Position Control of PMSM", KIEE, Vol. 49, No. 3, pp. 117-123, Mar. 2000.
- [9] Jong Sun Ko, Sung Koo Youn, and Bimal K. Bose, "A Study on Adaptive Load Torque Observer for Robust Precision Position Control of BLDC Motor" Proc. of the 25th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'99), pp. 1091-1096, Dec., 1999.
- [10] J.-W. John Cheng and Yu-Chia Hsu, "Motion Control of System With Nonlinear Transmission Couplings", Proc. of the 25th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'99), pp. 985-989, Dec., 1999.