

전정기능 평가 및 질병 진단을 위한 정현파 회전자극기 개발

°정 호 준, 임 승 관, 김 규 점, 진 달 복
원광대학교 전자공학과

Functional Assessment of Vestibular System and Dizziness Diagnosis

°Ho-chun Jeong, Seung-kwan Lim, Kuy-kem Kim, Dal-bok Chin
Dept. of Electronics Engineering, Wonkwang University

Abstract

The purpose of this study was to develop systematic diagnostic system testing easily, rapidly vestibular function of patients suffered from vestibular syndrome such as nausea vomiting, dizziness, ataxia.

Diagnostic system composed of rotatory chair system which rotated sinusoidally patients against their vertical axis for purpose of invoking eye movement by vestibulo-ocular reflex and the softwares which stored eye movement into computer and analyzed eye movement. Rotatory chair system consisted of comfortable chair and DC servomotor with reducer(1:80) by controlled servo in field of nonlinear motor control, double feedback loops system containing velocity feedback loop and position feedback loop was applied to this servor controlled rotatory chair system. Maximum rotatory velocity of rotatory chair was upto 60 degree per second and frequency range was 0.01 to 0.64 Hz.

These above results suggest that clinical rotatory chair system may test easily, rapidly vestibular function and diagnose etiology of dizziness, thus giving effective assistance on the treatment of dizziness patients.

I. 서 론

최근 총인구의 20% 정도는 일생을 통하여 심한 현기증을 호소하는 데 이는 두부의상, 자가민역질환 및 류마치스성 질환 등에 의한 전정기능의 손상에 기인 한다고 보고되어(The Times, Aug. 13, 1992) 현기증의 많은 원인이 전정기관에서 유래된다고 인정되고 있다. 따라서 여러 질환들에 의한 전정기관의 기능저하 및 상실을 정확히 평가할 수 있는 진단 방법 및 기기의 개발이 요구되고 있다.

본 논문은 전정안구반사를 이용한 전정 기능 검사법들중의 하나인 자연상태와 유사한 회전자극을 가할 수 있는 정현파 회전자극기를 개발하고 임상에서 이 기기에 의한 전정기관의 기능평가 및 현기증 호소 환자들의 원인질환의 감별진단에 이용하고자 하는데 그 목적이 있다. 정현파 회전자극기는 전정기관의 효율적인 자극을 위하여 속도와 위치를 가지는 비선형 가 감속 회전 자극기로 뛰어난 속도 추종성과 속도 제어 범위가 넓은 DC 서보시스템을 이용한 것이

특징이며, 회전 자극기의 전체구성은 DC 서보시스템과 이를 제어하는 컴퓨터 및 인터페이스장치로 나누어진다.

II. 시스템 전체구성

정현파 회전자극기는 IBM PC를 중심으로 2 채널로 구성된 D/A(digital to analog) 변환기가 있으며, D/A 1을 통해서 정현파 회전자극기의 움직임을 제어하기 위한 속도지령신호로 사용되며 속도지령 신호를 입력받은 서보 콘트롤러는 DC 서보모터를 구동하게 된다. DC 서보모터의 움직이는 속도는 타코제너레이터를 통해서 서보 콘트롤러에 피드백되어 속도지령값과 타코제너레이터에서 피드백된 신호를 비교하여 회전속도의 오차량을 보정한다. 카운터는 정현파 회전자극기가 회전운전시 회전관성에 의한 백러쉬가 발생되는데 발생된 오차는 회전하는 위치를 검출할 수 있는 엔코더의 신호를 카운터에서 계산된 결과 값으로 오차를 보정하였다. I/O 장치는 시스템의 전원제어와 회전자극기가 움직이는 동안 어느 일정한 위치에 위치할 수 있도록 원점센서입력을 받고 있으며 타이머는 A/D(analog to digital) 변환기의 샘플링 주파수를 결정해주고 D/A 변환기의 속도지령 신호의 주파수를 제어한다. A/D 변환기는 안구신호를 증폭하는 ENG(electronystagmography) 시스템에서 출력된 안구신호를 컴퓨터가 입력을 받을 수 있도록 데이터를 변환해주고 컴퓨터에 입력된 안구신호 데이터는 신호 분석 과정을 거쳐 전정기관의 이상유무를 판별할 때 사용된다. 정현파 회전자극기의 전체 사양은 다음과 같다.

- DC Servo motor (3000 rpm)
- Tachogenerator (1000 rpm : 6V)
- Encoder (360 pulse)
- 근접 sensor(8mm) × 3 개
- Harmonic Reduce (80 : 1)
- Servo Controller
- Slip ring (8 channel)

1. 인터페이스 장치

인터페이스장치는 IBM PC와 외부장치를 연결해주는 장치로서 외부장치를 제어하는데 사용되며, 본 시스템에서는 12비트의 분해능의 바이폴라 입력을 가지는 8채널 A/D 변환기와 12비트 바이폴라 출력의 D/A 변환기, 안구신호의 입력 샘플링 주기 설정과 회전자극 주기를 결정하기 위해서 타이머/카운터 IC인 INTEL 82C54를 사용하였다. 또한 각종센서 입력

과 전원의 제어하기 위한 32 비트 입출력장치와 회전자극기의 회전위치와 방향을 결정하기 위해서는 microchip co.에서 개발된 PIC 16C54를 이용하여 엔코더에서 입력된 신호를 해석하고 카운터한 후 위치 및 방향을 PC에 전송하는 장치로 구성되어있다.

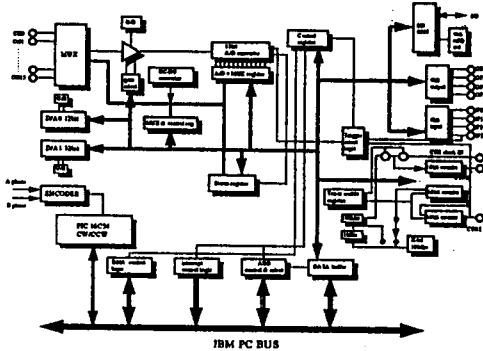


그림 1. 인터페이스 장치의 블록도

2. DC 서보 시스템

IBM PC에서 계산된 sine 속도 지령치를 DC 서보 시스템에 입력하여 회전자극기의 속도와 위치를 제어한다. 속도의 제어는 서보 콘트롤러에서 15KHz의 PWM(Pulse Width Modulation)파형을 변조하고, 파워 MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)로 구동전력을 스위칭하므로써 서보모터가 제어된다. 이때 자극속도가 목표치에 도달했는지를 검출하고, 검출된 오차를 보상하기 위해 속도검출 장치인 타코제너레이터를 이용하여 회전자극기의 속도도 제어한다.

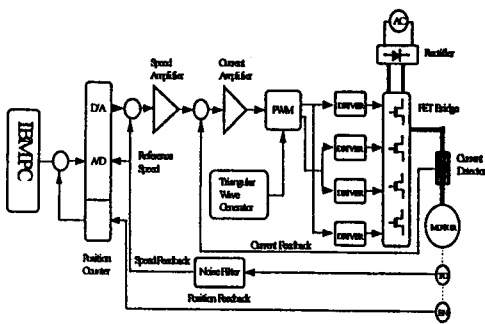


그림 2. 서보 콘트롤러의 내부 구성도

위치제어는 회전자극기가 회전할 때 회전위치를 검출할 수 있는 광학식 인크리멘탈 엔코더(360 펄스)의 펄스출력 microchip co.에서 생산된 PIC16C54의 I/O포트에 입력되어 회전위치 및 방향을 계산하고 위치 변화량 및 방향의 데이터 값을 IBM PC에 전송함으로써 회전자극기의 위치와 방향을 알 수 있다. 여기서 얻어진 자극속도와 엔코더에서 얻어진 회전각(회전위치)을 비교하여 목표 값을 정확히 추종하도록 오차를 수정하고, 오차보정 과정을 기치 배리쉬의 발생 없이 목표치에 도달하도록 하였다. 서보기구의 속도 및 위치의 제어제를 보면 다음과 같다.

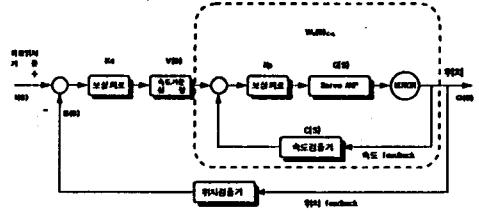


그림 3. 서보기구의 제어계

$$W_0(s)_{C.L} = \frac{K_p G(s)}{1 + K_p C(s) G(s)}$$

$$\alpha(s)_{C.L} = \frac{k_e V(s) W_0(s)_{C.L}}{1 + k_e E(s) V(s) W_0(s)_{C.L}} K(s)$$

k_p, k_e : 증폭기의 gain

위의 내용에 따라 구성된 회전자극기의 자극 주파수는 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.16, 0.32, 0.64 Hz와 0.1, 0.2, 0.4 Hz의 자극을 가할 수 있다. 이때 회전 자극기의 자극범위는 $\pm 0^\circ \sim 1,500^\circ$ 로 광범위한 자극이 가능하며, 최대 자극속도는 60 deg/sec이다. 최대 각속도와 가속도를 구하는 식은 다음과 같다.

Peak angular velocity = $-2\pi f A \sin \omega t$
 Peak acceleration velocity = $(2\pi f)^2 A \cos \omega t$

3. 구동 프로그램

회전자극 시스템의 구동 프로그램은 환자를 회전 의자에 앉힌 후 정현파 회전 자극을 실시하고 전정기관을 자극하여 안구 운동을 유발시키기 위한 정현파 회전자극기의 구동제어 프로그램이다. 정현파 회전자극을 위해 PC에서 3,600개의 정현파 데이터($360 / 0.1^\circ$)를 생성하고, 속도지령 주기를 결정하기 위해 타이머 0을 통해서 0.22(msec)의 주기를 가진 기준 펄스를 발생시켜 한 자극 주기마다 1개의 정현파 데이터를 출력하였다. 주기가 0.22(msec)의 속도지령 주기 신호를 INT 7의 인터럽트 단자에 연결하고 인터럽트가 걸릴 때마다 PC에서 정현파 데이터를 D/A 변환기로 1개씩 출력하여 속도 지령 출력을 만들고 $\pm 6V$ 범위의 정현파 제어 신호를 만들어 낸다. 이 제어 신호는 서보 시스템에서 PWM 제어를 통한 전력 변환 후 회전 자극기의 회전 구동을 제어한다. 구동 프로그램의 플로우 차트는 다음과 같다.

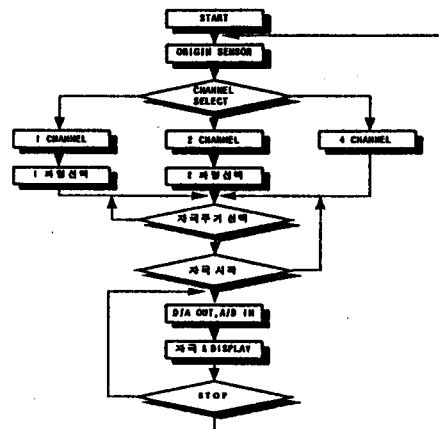


그림 4. 구동프로그램의 흐름도

이러한 시스템을 구현하는데 있어서 부하가 일정하지 않은 회전 구동장치에서 회전관성의 영향을 받지 않고 정현파 속도의 회전이 가능한 비선형 구동시스템을 구현하는 문제점이 있다. 선형 시스템에서는 속도의 계산이 가능하여 오차의 보정을 쉽게 이룰 수 있으나, 비선형 제어기에서는 계속적으로 변하는 속도량과 부하의 무게중심의 변동을 즉시 검출하고, 이에 따르는 회전 오차를 보정해야하는 어려움이 있다. 또한, 본 시스템은 회전과 역회전을 짧은 시간에 계속적으로 반복해야 하므로 회전 관성의 영향을 직접적으로 받게 되어 위치와 속도에 심한 왜곡을 가지게 된다. 이상의 문제점으로 인해서 본 시스템에서는 속도 검출과 위치 검출을 각각 따로 검출하고 일차적으로 고속의 오차보정을 위해 속도 피드백을 구동 드라이브에서 OP앰프로 목표값과 추종값을 비교하고, 비교된 오차분을 보정하여 1차 속도제어를 이룬다. 2차 위치량의 제어는 회전자극기로부터 위치 신호를 검출한 후 PC에서 읽어들이고 정확한 위치 계산 과정을 거쳐 실제 오차량을 산출하고 속도지령 신호에 반영함으로써 속도와 위치 제어가 동시에 가능한 2중 페루프 제어제를 구성하였다.

III 실험 및 고찰

본 논문에서 설계 제작한 전정기관의 검사장치인 회전자극 시스템은 회전자극기에 정현파 회전자극신호를 가하여 일어난 안구신호를 분석하므로써 질병의 원인과 정도를 진단할 수 있는 장치로 회전자극 시스템의 구성은 FRP를 이용하여 제작한 높이 2100m × 지름 1800m의 원통 부스와 환자를 회전자극할 수 있는 회전 의자가 있으며, 회전자극기를 제어하는 컴퓨터 시스템과 서보 구동 장치로 구성된다. 그림 5는 회전자극기 제어를 위한 컴퓨터 시스템 및 전정기능 검사를 위한 회전자극기의 사진이다.



그림 5. 전정기능 검사를 위한 회전자극기

다음과 같이 환자의 진단을 위해서 위에서 서술한 원통 부스 안에 설치된 회전자극기 의자에 환자를 앉힌 후 정현파 회전자극을 가한 후 진정안구반사 신호를 유발하였다. 회전자극기의 회전자극 속도는 최대 60 deg / sec의 속도로 자극하였으며, 회전 주파수 범위는 0.01 Hz ~ 0.64 Hz 까지 자극할 수 있는 시스템을 사용하였다. 이때 안구 신호를 읽는데 사용한 샘플링 주파수는 256 Hz이고, 전기안진기록계의 증폭률은 10,000 배로 증폭하였다. 위의 과정을 거쳐 유발된 안구신호는 Sensomedics co.에서 생산된 Phynograph Recorder R511a 모델의 피지오그라프 정상인의 안구신호를 측정 한 그림이다.

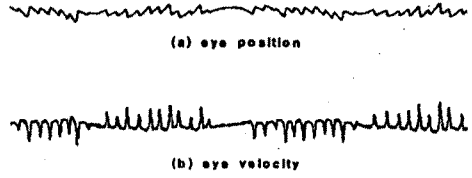


그림 6. 피지오그라프로 검사한 정상인의 안구신호

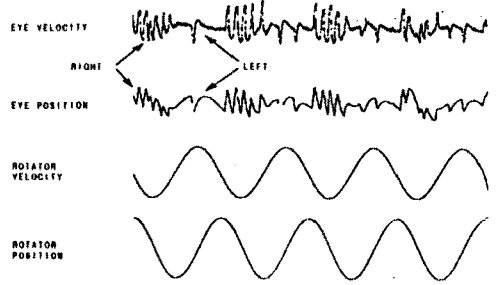


그림 7. 일측 전정기관이 손상된 환자의 안구신호

그림 7은 일측 전정기관의 기능 손상을 가진 환자를 검사한 결과로 오른쪽으로 회전자극하였을 때 오른쪽의 안구신호는 높은 이득을 보였고, 반면 좌측으로 회전자극 하였을 때는 왼쪽의 안구신호가 낮은 이득을 보여 양측 신호가 비대칭을 보이고 있음에 따라 좌측 전정기관에 기능 저하가 있음을 알 수 있다.

본 실험으로 전정기능 검사를 위해 제작한 임상용 회전자극기는 베리쉬의 영향을 받지않는 정현파 회전 자극기를 속도와 위치를 피드백하는 2차 제어제를 사용하여 안정적인 정현파 회전자극을 구현하였으며, ENG 시스템에 출력되는 안구운동을 기록하기 위한 장치인 피조그라프를 사용하지 않고 A/D 변환기를 통해 안구신호를 입력 받아 PC의 모니터 상에 출력하므로써 그래프 용지에 그려지는 펜 기록기의 단점을 극복할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문은 서보 구동 시스템을 이용하고 위치와 속도들 2중으로 피드백하는 제어제를 사용하여 정현파 회전자극기를 개발하고, 전정기능 장애로 인한 현기증 환자와 정상인을 대상으로 정현파 회전 자극하여 일어난 안구신호를 비교·분석하였다.

본 논문의 실험을 위한 시스템 구성은 정현파 회전자극을 위해 자극신호를 발생하고 구동을 제어하기 위하여 서보 시스템용 이용한 회전자극기와 컴퓨터 및 인터페이스 장치를 개발하였고, 비선형 제어기에서 문제 되었던 베리쉬 문제를 속도 피드백과 위치 피드백을 동시에 사용하는 2차 피드백 루프 제어제를 이용하여 베리쉬 문제를 해결하였다.

본 논문의 실험은 정상인과 일측 전정기능 장애를 가진 환자를 대상으로 주파수별 회전 자극하여 유발된 안구신호를 전기안진기록계를 통하여 검출하고 회전자극 속도에 따른 안구신호의 유발 강도와 신호의 패턴 분석을 통해 환자를 진단하였다. 또한, 외국의 시스템이 최대 0.641Hz에 60 deg/sec의 속도로 회전자극이 가능했던 점에 대하여 본 시스템은 최대 11Hz에 120 deg/sec의 자극속도를 가지고있어 외국의 장비보

다 좀더 다양한 조건의 회전자극이 가능한 시스템을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Takashi Kenjo, " Power Electronics for the Microprocessor Age ", Oxford
- [2] Yasuhiko Dote, " Servo Motor And Motion Control Using Digital Signal Processors ", Texas Instruments Co
- [3] C. Maioli, W. Precht, and S. Ried " Short- and Long-term Modifications of Vestibulo-ocular Response Dynamics Following Unilateral Vestibular Nerve Lesions in the Cat ", Experimental Brain Research, PP 259 - 274, 1983
- [4] Cohen B, Henn V, Raphan T, Dennett D " Velocity storage, nystagmus, and visual-vestibular interactions in humans ", Ann. N.Y. Acad.Sci, 374, PP 421 - 433, 1981
- [5] Dallos PJ, Jones RW, " Learning behavior of the eye fixation control system ", IEEE Trans. Auto. Control, PP 218 - 227, 1963
- [6] Fender DH, Nye PW, " An investigation of the mechanisms of eye movement control ", Kybernetik, PP 81 - 88, 1961
- [7] G.M. Gauthier and J.-L. Vercher, " Visual vestibular interaction: vestibulo-ocular reflex suppression with head-fixed target fixation ", Experimental Brain Research, PP 150 - 160, 1990
- [8] Herman A. Jenkins, Jefim Goldberg, " Test-Retest Reliability of the Rotatory Test in Normal Subjects ", Adv. Oto-Rhino-Laryng, Vol.41, PP 190 - 195, 1988
- [9] Mathog RH, " Testing of the vestibular system by sinusoidal angular acceleration ", Acta Otolarygol, PP 96 - 103, 1972
- [10] Suzuki JI, Cohen B, " Head, eye, body, and limb movements from semicircular canal nerves ", Exp Neurol, 10, PP 383 - 405, 1964