전력전자학술대회 논문집 2001. 7. 4 ~ 7. 7

전정기능 평가를 위한 탈수직축 회전자극 시스템 및 HMD 시스템의 개발

김규겸*, 고종선*, 박병림**
원광대학교 전기전자정보공학부*, 원광대학교 의과대학 생리학교실**

Development of the Off-vertical Rotary Chair and Visual Stimulation system for Evaluation of the Vestibular Function

Gyu-Gyeom Kim*, Jong-Sun Ko*, Byung-Rim Park**
Dept. of Electric-Electronic & Information Engineering*, Dept. of Physiology** Wonkwang Univ.

ABSTRACT

The vestibular system located in the inner ear controls reflex body posture and movement. It has the semicircular canals sensing an angular acceleration and the otolith organs sensing a linear acceleration. With this organic signal, medical doctor decide if a person has disease or not. To obtain this data, a precision stimular system is considered. Robust control is needed to obtain eye signals induced by off-vertical axis rotation because of an unbalanced load produced by tilting the axis of the system upto 30 degrees. In this study, off-vertical axis rotatory system with visual stimulation system are developed. This system is consisted of head mounted display for generating horizontal, vertical, and three dimensional stimulus patterns. Furthermore wireless recording system using RF modem is considered for noiseless data transmission.

1. 서 론

요즘 공학에서 사용되는 많은 이론과 기술이 의학적으로 필요한 기술로 접목되어지고 있으며, 이러한 분야를 의공학이라 한다. 특히 의학용 데이터를 만들어 내는 데에는 각 조건에 맞게 인체기관에 자극을 가하고 그 반응을 유발시켜 필요한 데이터를 수집하게 된다. 안구운동을 이용하여 자세조절기능을 평가하기 위하여 회전자극과 시각자극을 이용한 방법이 널리 이용되고 있는데[1], 회전자극을 위한 시스템은 회전의자와 HMD (head mounted display)로 구성되며, 효율적인 회전자극시스템을 개발하기 위해서는 전력전자의 모터제어 기술과 저전력 고이득 증폭기, 그리고 무선시스템을 이용하는 안진신호 측정기에 대한 연구가 요구된다. 회전의자는 PMSM (permanent magnet synchronous machine)의 고강성 제어의 전력전자 기술에 의해 구동되고[2][3], HMD는 컴퓨터의 direct-x 기술을 이용하여 다양한 패턴을 발생시키며, 이 두 제어는 일치되어야 한다. 본 연구에서는 자세조절기능에 대한 이석기관의 역할을 추구하기 위하여 탈수직축 회전자극기를 개발하였으며, 공간을 차지하고 다양한 시각패턴을 만들지 못하는 기존 시각자극 시스템의 단점을 해결하기 위하여 HMD를 이용한 시각자극 시스템을 개발하였고, 노이즈에 취약한 아날로그신호인 ENG 신호의 전송문제를 해결하기 위하여 근거리 RF 무선시스템으로 개발하였다. 본 무선 HMD 시스템은 향후 자동차와 같은 이동환경의 생리신호 측정시스템으로 적용될 수 있다.

2. 무선 HMD 시스템 설계

2.1 패턴 움직임 제어 및 패턴종류

공간을 차지하고 단일 패턴자극만 가능한 기존 시스템[4]의 단점을 해결하기 위하여 HMD를 이용한 시각자극 시스템을 개발하였다. 다양한 형태의 패턴을 생성시키고 HMD에 표시하기 위하여 컴퓨터를 이용하였으며, 윈도우 2000환경에서 direct-x를 이용한 패턴생성 프로그램에 따라 다양한 형태의 패턴을 생성하였다.

2.1.1 패턴 움직임 제어

시각자극 패턴은 시간간격(interval)을 갖는 움직임 외에 정현파(sine) 함수의 움직임을 갖는 자극이 있다. 이러한 자극은 최고 각속도와 주기가 정해지는 경우와 이동거리와 주기가 주어지는 경우 두가지의 정현파 함수의 자극이 있다. 이러한 자극을 정확히 주어지기 위해서는 회전의자의 위치별 속도가 정밀하게 제어되어져야 한다. 최고 속도와 이동거리가 정해질 경우 실제 HMD에서 패턴이 움직이는 속도를 구해야 한다. HMD는 가로 및 세로가 각각 640, 480 점(pixel)으로 구성되어 있으며, 착용

시 볼수있는 가시각은 각각 48도, 36도이다. 1도당 점의 수는 640/48로 약 13.333에 해당한다. 위의 함수는 다음 식으로 일반화시킬 수 있다.

$$f(t) = V_{Max} Sin(2\pi \frac{1}{T} t) \quad (1)$$

2.1.2 최대속도 및 움직임 주기를 알 경우

HMD로 자극 패턴의 움직임을 만들기 위해서, 점 단위로 표현하면 위 식은 다음과 같은 함수로 표현되어진다.

$$f(t) = \frac{640}{48} \frac{1}{R_f} V_{Max} \cdot Sin(2\pi f \frac{1}{R_f} t) \quad (2)$$

여기서 R_f는 화면 갱신율(reflash rate) 이며, f는 자극 패턴의 움직임 주파수를 나타낸다. 이 계산된 식의 소숫점 이하 자리를 버리고 사용하면, 자극패턴의 가속 혹은 감속이 눈으로 보이게 되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위하여 계산되어진 점 이동수를 적분하여 실재 움직여야할 위치를 다시 계산한 후 소숫점 이하 자리를 버리고 사용하도록 한다.

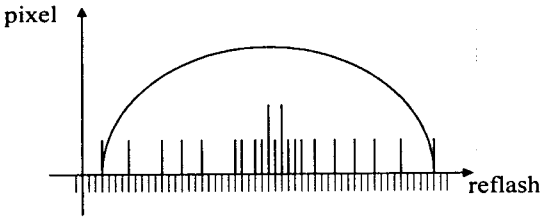

그림 1 부드러운 자극을 위한 착시 이용 개념도
Fig. 1 Generation of soft pattern using an optical illusion

2.1.3 이동거리 및 주기를 알 경우

일반항으로 표현된 식에서 이동거리를 이용하여 최대 속도를 구해야 하는데 이동거리는 일반항으로 표현된 식을 적분하면 얻을수 있으므로 적분하면 다음과 같다.

$$S = V_{Max} \int_0^{\frac{1}{2f}} Sin(2\pi ft) = \frac{1}{\pi f} V_{Max} \quad (3)$$

따라서 최대 속도는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$V_{Max} = S \cdot \pi f \, [rad/\sec] \quad (4)$$

이를 이용하여 화상 자극패턴을 만들게 되며, 점 단위로 표현하면 다음과 같은 함수로 표현되어진다.

$$f(t) = \frac{640}{48} \frac{1}{R_f} S\pi f \cdot Sin(2\pi f \frac{1}{R_f} t) \quad (5)$$

2.2 패턴 발생기에 의한 패턴종류

수평 및 수직자극 패턴은 흑백의 막대를 좌우 혹은 상하의 연속적인 이동이며(Fig. 3-1, 2) 수평 및 수직 추적 자극 패턴은 작은 점을 좌우 혹은 상하로 연속 이동시키는 것이고(Fig. 3-3, 4) 정현파 추적 자극패턴은 하나의 점을 정현파 속도로 상하 좌우 동시의 연속 움직임으로 나타난다.(Fig 3-5, 6)

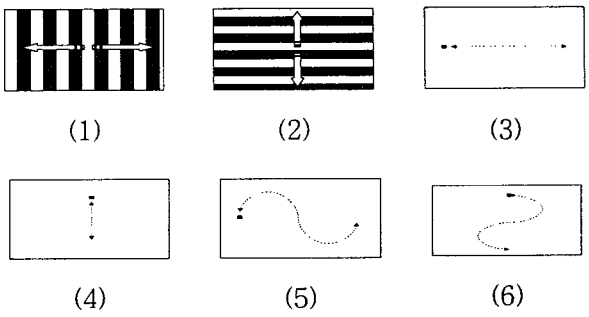

그림 2 패턴 발생기에 의한 시각자극 패턴 종류
Fig. 2 Several patterns generated by direct-x program

3. 전체 시스템 구성

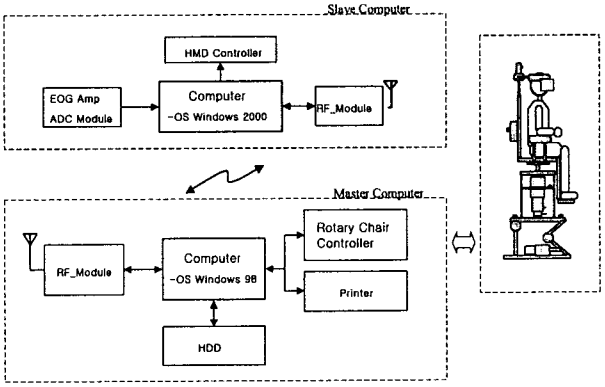

그림 3 탈수직축 회전자극 시스템의 전체구성도
Fig. 3 Configuration of the off-vertical rotatory chair system

3.1 탈수직축 회전시스템

회전자극 및 시각자극을 가하고 안구운동을 기록하기 위한 탈수직축 회전자극시스템은 무게중심의 변동으로 인한 회전체의 제어오차를 최소화하기 위하여 고 토크 정밀 저속제어가 필요하다. 이를 위하여 DC machine과 AC machine의 장점을 갖는 PMSM을 사용하였으며, 측정값의 노이즈에 대한 영향을 줄이기 위해 moving average filter 사용방법을 개발하였다. 제안된 속도 제어기의 구성도는 그림4와 같으며, 추정된 부하를 feed forward하여 보상을 한다. 이때 부하를 측정하는데 쓰는 속도 신호는 매우 노이즈가 심하다. 따라서 그 후단에 노이즈 필터가 적용되어야 한다. 제어기는 속도제어기와 외란 관측기의 두 부분으로 구성된다. 속도 제어기는 추가 상태 궤환 (augmented state feedback)으로 이루어진

다. 추가 상태 z(k+1)의 실현을 위해 이산치 형태는 평행사변형 방식을 이용하였다. 디지털 제어기는 부동소수점 연산이 가능한 DSP TMS320C31를 사용하고, 전동기 시스템은 선형 시스템을 만들기 위해서 벡터 제어기로 구동한다. 엔코더 기반의 속도 궤환의 잡음 및 양자화 오차를 줄이기 위해서 MT방법을 사용하여 속도를 측정하며, 외란 관측기에서 추정된 외란의 잡음 영향을 줄이기 위해 MA필터를 사용하고, 잡음영향을 줄인 추정된 외란은 속도 오차 보상에 사용된다.

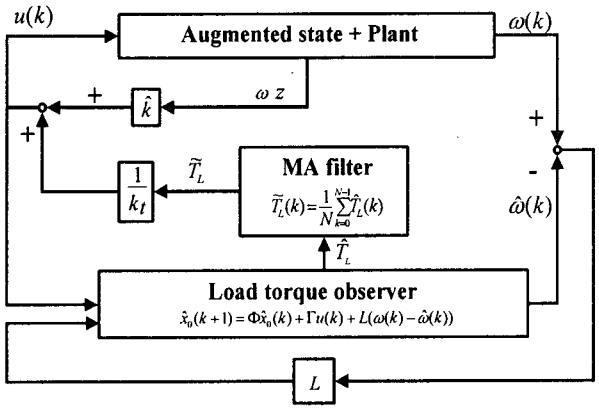

그림 4 제안된 속도 제어기의 구성도
Fig. 4 Configuration of the proposed speed controller

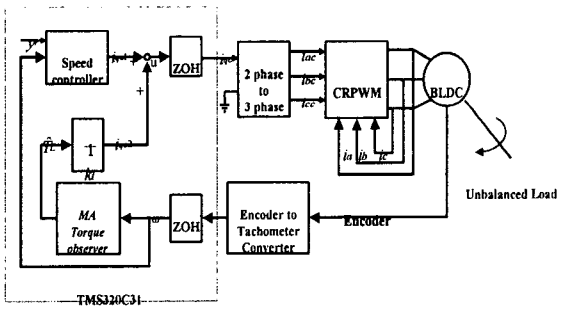

그림 5 제안된 정밀 속도 제어 시스템의 블록선도
Fig. 5 Block diagram of the proposed precision speed control system

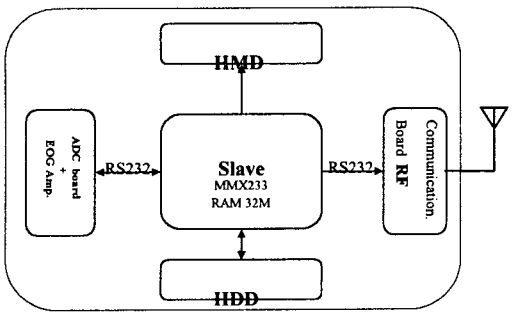

그림 6 보조 컴퓨터의 구성
Fig. 6 Configuration of the slave computer

3.2 보조 컴퓨터 및 HMD

보조 컴퓨터는 시각 자극패턴을 생성하며, 실시간으로 ENG신호의 처리 및 다양한 패턴의 움직임을 만들어야 하므로 그림 6과 같이 구성하였다. 다양한 시각 자극 패턴을 형성하고 자극할 수 있도록 HMD를 사용하였으며, 화상 표현각이 넓어야 함으로 가로, 세로 30도 이상을 확보할 수 있는 ProView 60 (Kaiser Electro-Optics, Inc.)을 사용하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험방법

24~30세의 건강한 대학생 남녀 50명을 대상으로 HMD 시스템을 사용하여 시운동자극, 시추적운동, 시단속운동을 실시하였으며 탈수직축 회전 자극기를 이용하여 회전자극에 대한 안구반응을 측정하였다, 안구운동을 기록하기 위하여 피검자에게 전극을 부착한 후 피검자의 머리를 앞쪽으로 30도 가량 숙여 수평반규관이 수평면과 수평상태를 유지하므로써 더욱 강한 자극을 얻을 수 있도록 하였으며, 약 10분 동안 암실상태에서 적응시킨 후 전정안구반사의 억제를 방지하기 위하여 검사시간 동안 간단한 숫자계산이나 질문에 대한 답변 등으로 맑은 의식상태를 유지하도록 하였다.

4.2 안구운동의 분석

안구운동은 톱니파 형태의 안진으로 서상과 속상으로 구성되며, 실제 안구의 움직임은 안진의 서상으로, 서상의 기울기를 안구속도(deg/sec)로 계산하게 된다. 이때 이득(gain)은 식 (6)과 같이 안구운동 최대속도와 자극 최대속도 비로 구하며, 위상(phase)은 식 (7)과 같이 둘 간의 차로써 구한다. 대칭성(symmetry)은 식 (8)처럼 좌/우 이득간의 차로 구하였다[5][6].

$$gain = \frac{peak\ eye\ velocity}{peak\ stimulation\ velocity} \tag{6}$$

$$\text{phase} = \text{peak stimulation velocity} - \text{peak eye velocity} \tag{7}$$

$$symmetry = \frac{(Rgain - Lgain)}{(Rgain + Lgain)} \times 100 \tag{8}$$

4.3 시운동성 안구운동 (OKN)

안구운동의 조절에 관여하는 시각의 역할을 추구하기 위하여 피검자가 고정된 상태에서 시운동성 자극을 가하였다. 시운동성 자극은 HMD를 사용하여 10도 간격으로 그려진 흑백의 수평 혹은 수직 막대바를 만든 후 부드러운 패턴 발생프로그램에 의하여 30 deg/sec의 속도로 0.04, 0.08 Hz 정현파 회전자극을 가하였으며, 이때 출현

한 안구운동을 측정하였다. 아래 그림에서 위의 파형이 안진신호이며, 이의 서상의 기울기를 속도로 계산하여 아래 파형으로 나타냈다. 이 그림은 정상인의 신호를 잘 나타내고 있다.

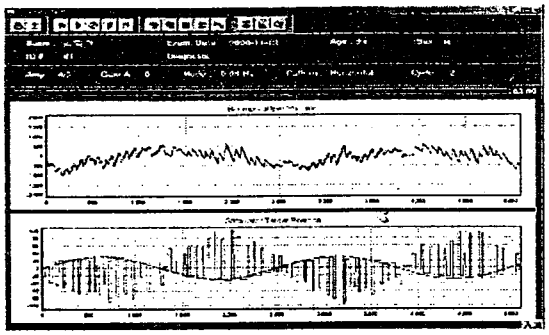

그림 7 정상 성인에서 30 d/s의 시운동성 자극에 의한 안구반응

Fig. 7 Eye movement induced by optokinetic stimulation with 30d/s in a healthy adult

4.4 탈수직축 운동 (off-vertical axis rotation)

이석기관의 기능을 평가할 목적으로 피검자의 수직축을 30도 기울여 탈수직축의 상태에서 일측 방향으로 50초 동안 등속회전하면 지속적인 안구운동이 출현하였다. 회전자극의 초기에는 회전자극과 반대방향의 서상을 갖는 빠른 안진이었으나 점차 감소하였고, 회전위치와 일치하여 정현파의 안구운동에서 지속적으로 안진이 동반되었다

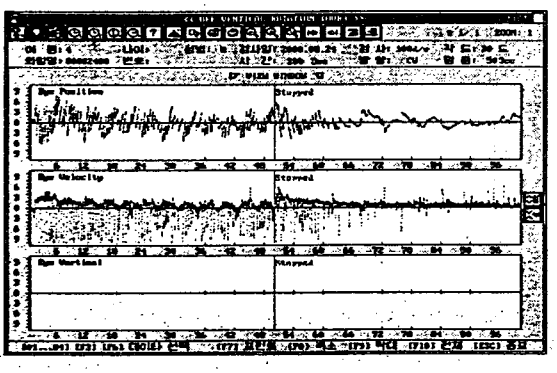

그림 8 탈수직축 회전자극에 따른 안구운동

Fig. 8 Eye movement induced by off-vertical axis rotation for 50 sec

이때 초기에 유발되는 안진의 속도를 크기(amplitude)로 구하며, 초기값이 37%로 감소된 시간을 시상수(time constant)로 구하였다. 회전자극 동안의 주기적인 성분을 변조(modulation)로 구하며, 더 이상 감소되지 않는 안구속도를 경향(bias)으로 구하였다[7].

5. 결 론

본 연구에서는 전정기관의 반규관과 이석기관을 선택적이고 정량적으로 자극할 수 있는 탈수직축 시스템을 개발하였으며, 다양한 시운동 자극 패턴으로 자극하기 위하여 HMD를 사용한 시각자극 시스템을 개발하였다. 이때 정확한 자극을 위해 회전의자의 불평형 부하를 감소시키는 robust 제어 시스템을 적용하였다. 이 robust 속도 제어를 위하여 부하 관측기를 사용하고 속도센서의 노이즈 영향을 줄이고자 MA filter를 응용하였다. 또한 데이터 전송시 손실 및 노이즈 경감을 위하여 RF 모뎀을 사용한 무선전송시스템을 개발하였다. HMD 시스템은 다양한 시각자극 시뮬레이터로 활용되어 질 수 있을 것을 생각되며, 무선 데이터 전송시스템은 자동차와 같은 이동환경에서 생리 신호를 측정할 수 있는데 적용되어 질 수 있을 것으로 사료된다. 또한 전력전자의 불평형 회전의자 제어용 모터구동 기술과 의학기술의 접목으로써, 그 의의가 크다고 생각된다.

참 고 문 헌

[1] A. Herman, Jenkins and Jefim Goldberg, "Test-Retest Reliability of the Rotatory Test in Normal Subjects", *Adv Oto-Rhino-Laryng*, Vol. 41, pp. 190~195, 1988.

[2] Jong Sun Ko, "Asymptotically Stable Adaptive Load Torque Observer for Precision Position Control of BLDC Motor", *IEE Proc. Electric Power Application*, vol. 145, No. 4, pp. 383~386, July, 1998

[3] 고종선, 이태호, 박병림, 전칠환, "전정기관 자극용 회전자극기를 위한 PMSM의 정밀 속도제어", *KIPE*, Vol. 5, No. 5, pp. 459~466, Oct., 2000.

[4] Lim SK, Jeon HC, Kim GK, Jin DB, Kim MS, Lee MY, Park BR, "Development of the sinusoidal rotatory chair system for evaluation of the vestibular function.", *Korean J Sci Emot Sensibil*, No. 1, pp. 181~197, 1998.

[5] 김규겸, 정호춘, 박병림, "평형감각 측정을 위한 안구운동 분석 프로그램의 구현", 한국감성과학회, 1998.

[6] Wall C, Black FO, "Algorithms for the clinical analysis of nystagmus eye movements", *IEEE Trans Biomed Eng.* No. 28, pp. 638~646, 1981.

[7] Conrad WALL, III, Joseph M.R, Furman, "Nystagmus responses in a group of normal humans during earth-horizontal axis rotation", *Acta Otolaryngol (Stockh)*, No. 108, pp. 327~335, 1989.