

의사 랜덤 신호에 의한 동안계의 동특성 추정

(Dynamic Characteristics Estimation of the Oculomotor Control System using Band - Limited Pseudo Random Signals)

金 成 煥 **, 朴 相 暻 *

(Kim, Sung Whan and Park, Sang Hui)

要 約

본 연구에서는 랜덤신호로서 Gaussian 랜덤신호와 PRBS (pseudo random binary sequence) 신호를 시험신호로 선정하였다. 실제로 인간을 실험대상으로 하여 E. O. G. (electro-oculography) 로서 안구운동을 측정하고 통계통신이론에 바탕을 둔 랜덤신호 해석법으로 신호처리를 하여 동안계의 동특성을 추정하였다.

본 연구에서 얻어진 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 주파수 응답의 결과 이득 특성은 0.7~0.9 Hz 및 1.8~2 Hz 에서 잠정적인 2번의 상승이 나타났으며, 이는 추적도중 발생한 saccade 에 원인이 있었다.
2. Gaussian 랜덤입력에 대한 파워스펙트럼 밀도와 상호스펙트럼 밀도의 데이터로부터 단위시간당 동안계의 정보전달비를 구한 결과 1.24 bits/sec를 나타냈다.

Abstract

In this paper, Band - limited Gaussian Random Noise and PRBS (pseudo random binary sequence) are used as a test signals to estimate the dynamic characteristics of the oculomotor system .

Eye movements of the human subject are measured by E. O. G (electro - oculography) and the control characteristics of the oculomotor system are studied by random signal analysis based on the statistical communication theory .

The conclusions are summerized as follows .

- (1) From the frequency response, the gain curve rises slightly at the regions of 0.7~0.9 Hz and 1.8~2 Hz due to the saccades which are occurred during visual tracking .
- (2) The average rate of information transfer by the oculomotor control system is 1.24 bits / sec, being calculated from the power spectral density and the cross spectral density for the Gaussian random input .

I. 서 론

랜덤信號處理에 의한 最適線型系統의 設計理論이 N. Wiener에 의해서 전개된 후 동정 (identification) 의 문제는 모델의 推定 評價를 위하여 사이버네틱스 (cybernetics) 및 현대 제어이론 분야의 중요한 축점이 되

* 正會員, 洪陵機械(株)

** 正會員, 延世大學校 工科大學 電氣工學科
(Dept. Electrical Eng. Yonsei Univ.)

接受日字: 1981年 3月 26日

고 있다.

본연구에서는 動眼系 (oculomotor control system) 를 동특성추정 대상으로 선정하였다.

시각계통은 모든 영장류에 있어서 가장 중요한 감각 입력채널이며, 정지 또는 운동하는 물체에 眼球를 고정 시키는 능력이 기본적인 특성이다.

동안계는 대별하여 衝動性 (saccadic), 活動性 (smooth pursuit), 前庭 (vestibular) 및 融合床 (vergence) 眼球運動으로 구성되어 있다. 이 4 가지 시스템의 임무는 서로 다르며, 분리된 神經制御系에 의해서 수행된다. 이러한 운동들은 독립적으로 측정할 수 있으므로 각 시스템들은 서로 분리되어 연구가 진행되어 왔다.

지금까지 연구되어온 동안계는 고전적인 제어이론을 바탕으로 하여 動眼系를 블랙박스로 보고 정현파, 제단파, 램프함수 등을 이용하여 동특성을 추정해 왔으나, [1][2][3] 랜덤신호에 의한 動眼系의 제어특성 해석은 아직 연구가 부족한 상태에 있다. 랜덤신호는 제한된 대역폭 내에서 일정한 스펙트럼을 갖는 여러 가지 周波數를 포함하고 있으므로 제어계의 동특성 추정시간을 단축시키는 장점이 있다. 또한 시각자극의 追跡系統인 동안계는 휴먼 오퍼레이터 (human operator) 의 서브 시스템 (subsystem)으로써 실제로는 휴먼오퍼레이터가 制御要素로 되어 있는 人間-機械系統은 確定的인 (deterministic) 視標의 추적이라기 보다는 불확정적인 시표의 추적계통이라 할 수 있다.

본연구에서는 밴드-리미트된 의사랜덤신호(band-limited pseudo random signal)로서 Gaussian 랜덤신호와 PRBS(pseudo random binary sequence) 신호를 시험신호로 사용하였다.

Gaussian 랜덤입력 신호에 대한 동안계의 응답 형태는 주로 活動性 運動이고 PRBS 入力信號에 대한 응답 형태는 衝動性 運動이다.

충동성운동은 매우 빠른 공동운동(conjugate movement)이며, 안구운동의 크기에 따라 0.15~0.25sec의 反應時間을 갖고, 10°의 도약에 대해서 약 45ms 동안 계속되며 最大速度는 400deg/sec에 도달한다.

이때 抗筋(agonist)은 거의 최대로 수축하여, 抗筋(antagonist)은 완전히 억제되어 가능한 빠른 운동을 유발시킨다. 이에 비하여 활동성운동은 시표와 황반부중심와 (fovea centralis) 간의 誤差에는 관련하지 않으며, 眼球運動의 速度와 視標의 速度를 일치시키려는 운동이다. 즉, 충동성 운동이 位置 서어보제(servo system)라면 활동성 운동은 速度 서어보제

라 할 수 있다.

활동성운동은 0.12~0.25sec의 반응시간을 갖고 최대속도는 25~30deg/sec로 제한된다. 본 논문은 이러한 메카니즘을 갖는 동안계의 동특성 추정을 통계설이 이론에 근거하여 실험결과를 분석, 보고하고자 한다.

II. 이론적 해석

동안계의 동특성은 추정하기 위한 이론적 근거는 다음과 같다.

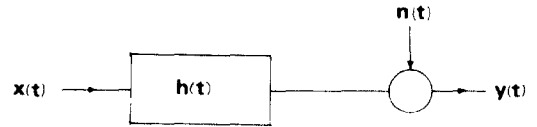


그림 1. 단일 입출력 계통

Fig. 1. Single input-output system.

系統의 荷重函數 (weighting function)가 $h(t)$ 이고, 入力 $x(t)$ 와 出力 $y(t)$ 를 갖는 單一入出力系統이 그림 1과 같다. 입력과 相關되지 않는 外亂要素를 $n(t)$ 라고 하면, 계통출력 $y(t)$ 는 다음 식과 같이 표시할 수 있다.

$$y(t) = \int_0^{\infty} x(t-\tau) h(\tau) d\tau + n(t)$$

$$E[x(t) \cdot n(t)] = 0 \quad (1)$$

계통이 正常(stationary) 랜덤프로세스라면 自己相關函數 (autocorrelation function) $R_{xx}(\tau)$ 와 相互相關函數 (cross-correlation function) $R_{xy}(\tau)$ 는 다음 식과 같다.

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t) x(t+\tau) dt$$

$$= \langle x(t) \cdot x(t+\tau) \rangle$$

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t) y(t+\tau) dt$$

$$= \langle x(t) \cdot y(t+\tau) \rangle \quad (2)$$

Wiener-khinchin의 관계식으로 부터 파워스펙트럼 밀도(power spectral density) $S_{xx}(w)$ 와 상호 스펙트럼 밀도(cross spectral density $S_{xy}(w)$ 는 다음 식과 같다.

$$S_{xx}(w) = F[R_{xx}(\tau)] = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-jw\tau} d\tau$$

$$S_{xy}(w) = F[R_{xy}(\tau)] = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) e^{-jw\tau} d\tau \quad (3)$$

계통의 완전한 周波數特性을 결정하기 위하여 $y(t+\tau)$ 에 대한 중첩적분(convolution integral)을 하면 wiener의 定理에 의하여

$$S_{xy}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega(\sigma+\lambda)} d\sigma \int_{-\infty}^{\infty} h(\lambda) R_{xx}(\sigma) d\lambda = H(\omega) \cdot S_{xx}(\omega) \quad (4)$$

이 된다.

식 (4)는 利得과 位相에 대한 情報를 모두 포함하고 있다.

일반적으로 제통의 線型度를 구하기 위하여 다음식과 같은 聯關函數 (coherence function) $\nu^2 xy(\omega)$ 의 測定을 필요로 한다.

$$\nu^2 xy(\omega) = \frac{|S_{xy}(\omega)|^2}{S_{xx}(\omega) \cdot S_{yy}(\omega)} \quad (5)$$

$$0 \leq \nu^2 xy(\omega) \leq 1$$

입력 $x(t)$ 와 출력 $y(t)$ 가 모두 Gaussian 랜덤프로세스이고 帶域幅이 제한 (band-limited)되어 있을 때 제통의 최대정보전달비율 (information transfer ratio)은 다음과 같이 구해진다.

X, Y 앙상블 (ensemble) 사이의 相互情報 (mutual information)는 식 (6)과 같이 엔트로피 (entropy)의 차^[4]가 된다.

$$I(X; Y) = H(Y) - H(Y|X) \quad (6)$$

여기서 $H(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} p(y) \log \frac{1}{p(y)} dy$ 이고

$$H(Y|X) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x, y) \log \frac{1}{p(y|x)} dx dy \text{이다.}$$

이로부터 바이어스 파라미터가 B인 입력앙상블의 파워스펙트럼밀도 $S_{xx}(f)$ 를 식 (7)이라 할때

$$S_{xx}(f) = B - \frac{N(f)}{|H(f)|^2}, \quad f \in F_B \quad (7)$$

채널용량 (channel capacity) C는 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = \int_{f \in F_B} 1/2 \log_2 \left[\frac{|H(f)|^2 B}{N(f)} \right] df \quad (8)$$

식 (2)로부터 積分區間을 동안제의 帶域幅이라하면 단위시간당 정보전달량은 식 (9)로 표시할 수 있다.

$$R = 1/2 \log_2 \int \frac{S_{xx}(f) S_{yy}(f)}{S_{xx}(f) S_{yy}(f) - |S_{xy}(f)|^2} df \quad (9)$$

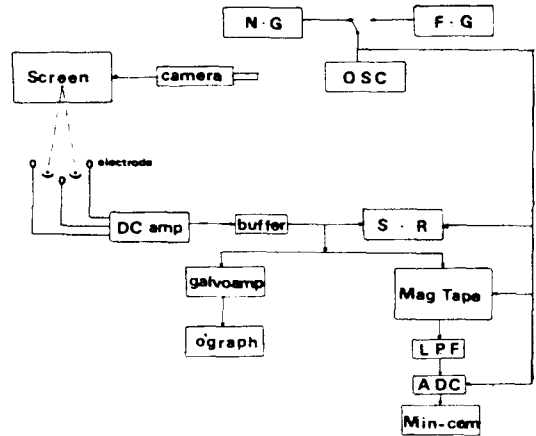
[bits/sec]

III. 실험 및 데이터 처리

III-1. 실험

Gaussian 랜덤신호와 PRBS 랜덤신호로써 動眼系의 制御特性을 해석하기 위하여 實驗裝置의 구성을 그

림 2와 같이 하였다.



- NG : Noise Generator
- FG : Function Generator
- SR : Stripchart Recorder
- Galvo Amp : Galvanometer Amplifier
- O'graph : Oscillography
- Mag Tape : Magnetic Tape Recorder / Reproducer
- L.P.F. : Low Pass Filter
- ADC : A/D Converter
- Min-com : Mini-computer

그림 2. 측정시스템의 구성도

Fig. 2. Block diagram of measurement system.

E.O.G는 眼球의 靜電雙極 (electro static dipole)에 기인하는 電位差를 測定하는 것이며, 전위차는 전극배치와 雙極방향의 함수이다. 眼球運動시 발생하는 電位는 回轉角의 正轉과값에 비례하지만,^[5]실용적으로 45 deg 까지는 발생전위가 회전각에 비례한다고 보아도 무방하다.

본 실험에서는 두개의 電極을 피검자 (K.Y.H.) 양눈의 눈초리 부분에 부착시키고 30 deg 까지 선형성을 확인한 다음 실험에 임하였다. 측정되는 전위는 실험상황에 따라 다소 바뀌나 1 deg 당 5~10 μV 정도이고, 分解能은 약 ±0.5 deg 정도였다. 또한 본 연구의 실험에서 광전행렬법 (박, 최, 김, 남)^[6]으로 실험장치를 구성하여 眼球運動을 측정해 본 결과, 하나의 의사랜덤 입력신호의 주기가 60 sec 이상 지속되므로 추적도중 피검자의 플릭스 (flicks)가 데이터에 필연적으로 혼입되었다. 이 경우 본 연구의 실험장치로써 電子測定法을 사용하면 데이터와 플릭스의 구분이 불가능하므로 전기생리학적 방법인 E.O.G를 채택하였다.

본 실험에 사용한 전극은 Ag - AgCl 전극 (Beckman, Model 217412, 11 mm) 이다.

E.O.G 에 의해서 眼球運動을 측정시, 眼球가 운동하지 않더라도 일정한 크기의 直流 오프셋 전위 (DC offset potential)가 발생하여 直流增幅器 (DC amplifier)를 사용하는 경우 실험에 심각한 영향을 미친다. 또한 전극을 사용하여 生體現象의 출력을 얻어내는 경우, 피부와 전극사이에 삼입되는 電解質 (electrolyte)에 의해서 分極現象이 발생하는데 이를 분극화 임피던스 (polarization impedance)라 하며 출력신호의 드리프트 (drift)를 가져온다.

본 실험에서는 이러한 문제들을 다음과 같은 방법으로 해결하였다.

- (1) 직류 오프셋 전위를 버퍼 (buffer) 용 前置增幅器 (preamplifier, Hewlett Packard, Model 8802 A) 로써 제거하였다.
- (2) 분극화 임피던스에 의한 영향을 최소한으로 감소시키기 위하여 고입력 임피던스 (최소 100 MΩ) 를 갖는 직류증폭기를 선정하였다.

시험신호로 사용된 밴드- 리미트된 Gaussian 랜덤 신호와 PRBS 신호의 파형은 그림 3과 같다.

그림 3 (a)의 PRBS 신호의 자기상관함수와 스펙트럼은 다음식과 같으며, Sinc 함수 형태의 스펙트럼을 갖는다.

$$R_{xx}(\tau) = \begin{cases} a^2 [1 - (|\tau|/\Delta T) \{ (N+1)/N \}] & 0 \leq |\tau| < \Delta T \\ -a^2 / N & \Delta T \leq |\tau| < T - \Delta T \end{cases} \quad (10)$$

$$S_{xx}(\omega) = \frac{a^2 (N+1) \Delta T}{N} \sum_{r=1}^N \left[\frac{\sin(r\pi/N)}{(r\pi/N)} \right]^2 \delta\left(\omega - \frac{2\pi r}{N\Delta T}\right)$$

여기서 ΔT 는 샘플링 주기이고, a 는 신호의 크기이며, N 은 시퀀스의 길이 (sequence length) 이다.

그림 3 (c)의 Gaussian 랜덤 신호는 차단주파수까지 거의 평평한 스펙트럼을 갖는다. 이와 같은 시험 신호의 발생은 랜덤잡음발생기 (Hewlett Packard, Model 3722 A) 로써 하였다. 랜덤잡음발생기의 출력을 오실로스코프 (Tektronix, Model 475) 에 입력시킨 다음 음극선관 (CRT) 에 나타나는 파형을 TV 카메라 (SONY, Model DXC-1000)로 촬영하여 대형 TV 스크린 (Conrac Dage inc, 40 in) 에 주사시켰다.

視標의 모양은 백색의 점 (직경: 6mm) 으로 하고 시표의 운동은 水平方向으로 국한하였으며 $\pm 20 \text{ deg}$ 로 하였다.

시험신호의 대역폭은 Gaussian 랜덤신호인 경우 1.5Hz 로, PRBS 신호인 경우 1.35Hz 로 하였다.

시퀀스의 길이 N 을 조정하여 주어진 대역폭 내에서의 사랜덤잡음패턴 (pseudo random noise pattern) 의 周期를 조정 하였다. 의사랜덤 주기와 일치하는 同期펄스를 FM 테이프 레코더 (Bell & Howell, Model VR-3700 B, 14 채널, BW:DC ~ 20 KHz) 및 각각의 기록장치에 전송하여 시험신호의 시종을 표시 하였다.

E.O.G 용 증폭기로는 交流增幅器와 直流增幅器가

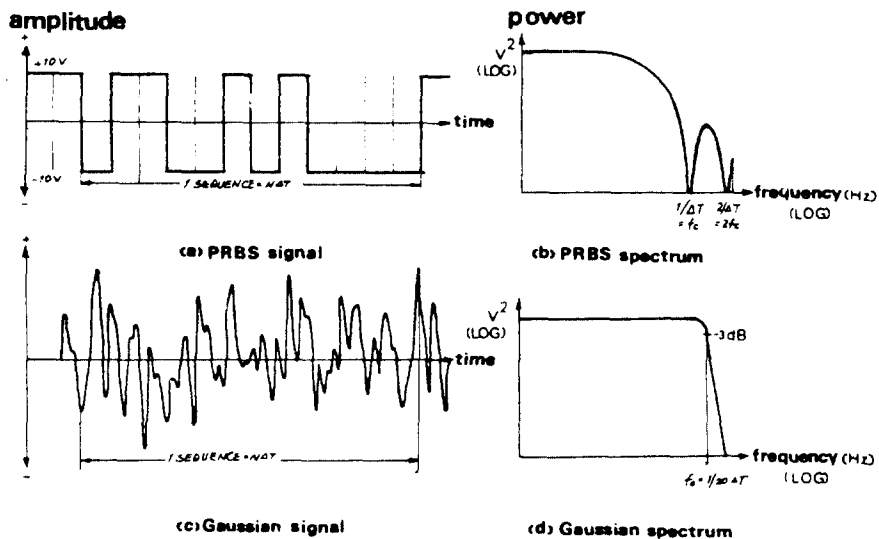


그림 3. 시험신호

Fig. 3. Test signals.

사용된다.

E.O.G 로써 眼振 (nystagmus) 을 기록할때는 안구의 回轉速度 특성을 측정하기 위하여 교류증폭기가 사용되나, 본 연구에서는 眼球의 回轉角에 比例하는 직류출력을 필요로 하므로 直流差動增幅器 (PRESTO - N, Model 8300 XWB - A) 를 선택하였다.

外眼의 活動電位 (action potential) 를 포함한 기타 여러 가지 雜音이 眼球出力과 함께 발생하는데 이를 제거하고 A/D 變換시 에일리어싱 (aliasing) 현상을 방지하기 위하여 저주파필터 (KROHN - HITE, Model 3700) 를 사용해서 10 Hz 로 저역통과 시켰다. 또한 높은 분해능의 데이터를 얻기 위하

여 출력을 다시 갈바노메타 증폭기 (Bell & Howell, Model 1-172, BW: DC ~ 10 KHz) 를 거쳐 오실로 그래프 (Bell & Howell, Model 5-133 B, BW: DC ~ 25KHz) 에 기록하였다.

그림 4는 본 실험에서 얻어진 眼球運動의 출력 샘플이다.

III - 2. 데이터 처리

데이터의 처리는 FM 테이프 레코우더에 기록된 각 시행의 入出力 信號를 A/D 變換器를 거쳐 미니컴퓨터 (Data General Corp, Model ECLIPSE S/200) 에 입력시켜 수행하였다.

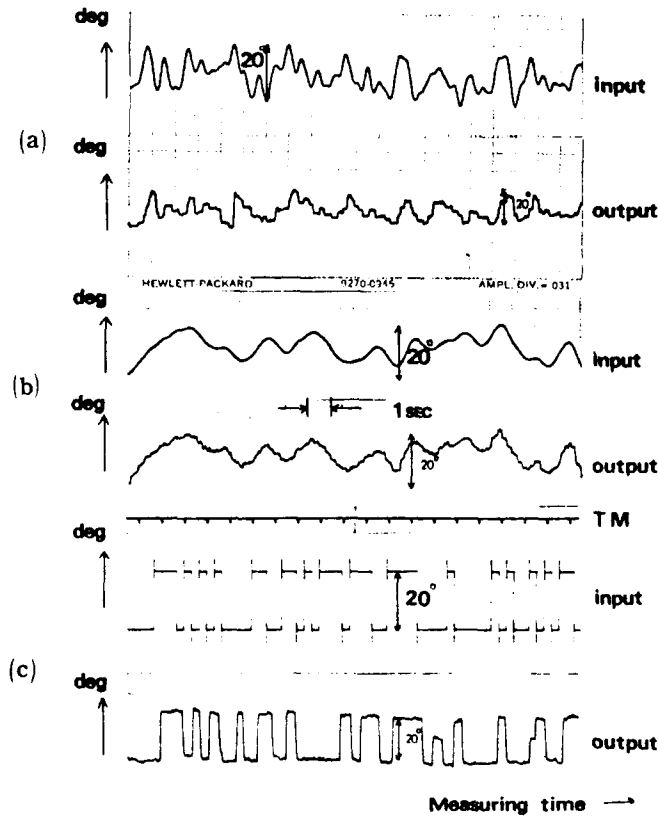


그림 4. 안구운동 출력 샘플

- (a) Gaussian 랜덤 신호 입출력 (BW: 1.5 Hz)
- (b) Gaussian 랜덤 신호 입출력 (BW: 0.5 Hz)
- (c) PRBS 신호 입출력 (BW: 1.35 Hz)

Fig. 4. Eye movement output samples.

- (a) Gaussian random signal I/O (BW: 1.5 Hz).
- (b) Gaussian random signal I/O (BW: 0.5 Hz).
- (c) PRBS signal I/O (BW: 1.35 Hz).

信號處理을 위한 分析프로그램은 fortran 프로그램 (PSD and CSD estimator) 하였다. 분석프로그램의 플로우 차아트는 그림 5 와 같다.

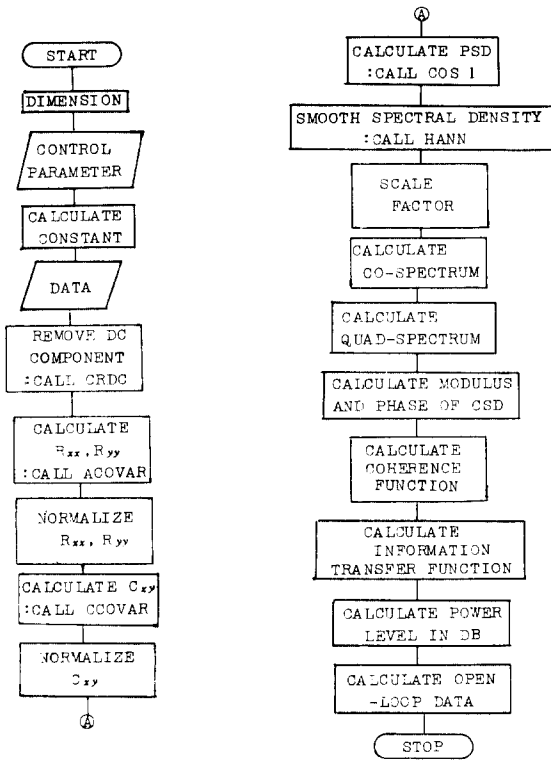


그림 5. 분석 프로그램의 플로우 차아트

Fig. 5. Flow chart of the analysis program.

데이터의 분할은 Shannon의 샘플링 理論에 의해서 수행되었으며, 샘플레이트 (sample rate)를 50 samples/sec 로 하고 최대지연시간 K값의 설정은 총 데이터 수의 10%로 하였다.

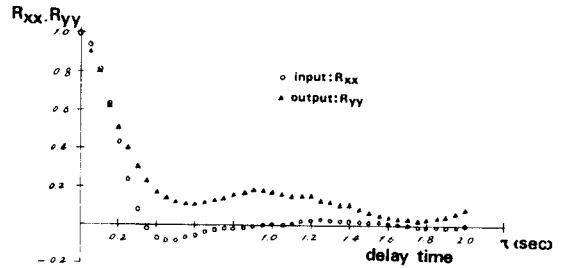
상관함수의 계산법은 直接演算法 (direct computation method) 와 FFT (fast fourier transform) 에 의한 방법중 본 연구에서는 연산속도가 중요시 되지 않으므로 보다 정확한 직접 연산법을 선정하였다.

파워스펙트럼 밀도 (PSD) 와 상호스펙트럼 밀도의 연산은 Blackman-Tukey 방법으로 하고 smoothing 은 Hanning window 로 하였다.

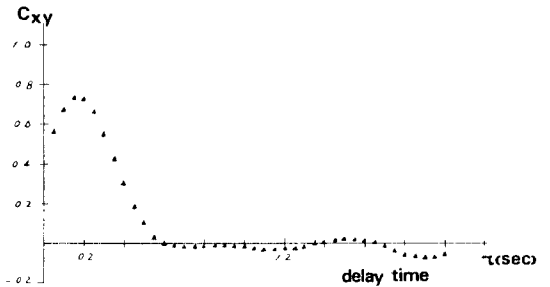
IV. 실험결과 및 고찰

N-1. Gaussian 랜덤入力信號에 대한 應答特性

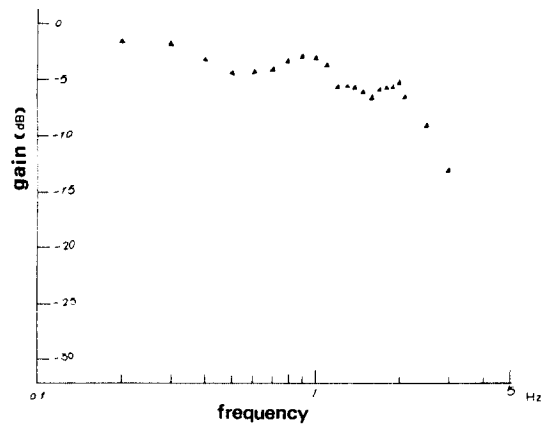
랜덤프로세서에 있어서 周波數 성분은 自己相關函數에 의해서 규정 지워지며, 信號變化 양상의 測定기준이 된다.



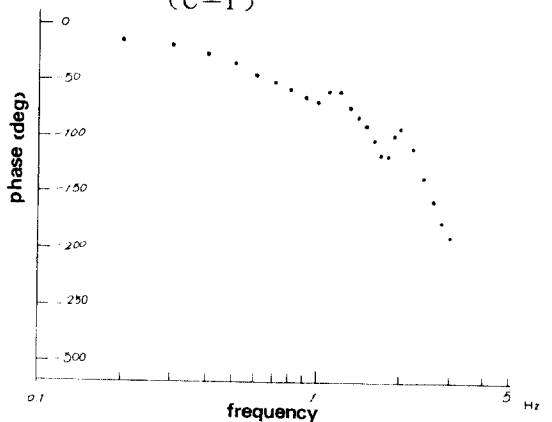
(a) Auto correlation function



(b) Crosscorrelation function



(C-1)



(C-2) Transfer function gain and phase curve

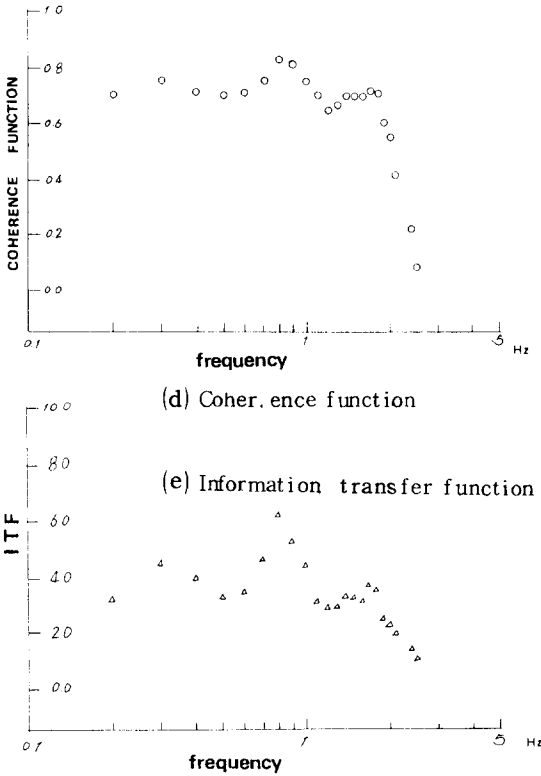


그림 6. Gaussian 랜덤 입력신호에 대한 동안계의 응답
Fig.6. The oculomotor system response for the Gaussian random input signal.

대역폭이 좁을 때의 상관관계는 遲延時間 τ 의 진행에 따라 커지나 대역폭이 넓을 때는 상관관계가 감소한다.

그림 6 (a)의 출력의 자기상관함수는 τ 가 아주 적을때 (50ms) 입력의 자기상관함수 보다 다소 급격하게 감소하는데 이는 眼球運動 出力에 대한 周波數 성분이 랜덤입력신호의 주파수 성분보다 약간 높게 위치함을 의미한다.

상호상관함수는 입출력간의 통계적인 상관관계로서 시스템의 선형적인 遲延時間 (delay time)을 결정해 주며 그림 6 (b)와 같이 최대치는 150ms에 위치하였다.

식(4)을 근거로 하여 얻은 周波數應答의 利得特性은 그림 6(c)에서 볼 수 있듯이 주파수가 증가함에 따라 감퇴하나, 0.7~0.9Hz 및 1.8~2Hz에서 잠정적으로 상승하는 현상이 나타났다.

Gaussian 랜덤입력에 대하여 1.8~2Hz 부근에서의 利得上昇 원인은 약 270ms 마다 발생한 saccade 성분에 기인하는 것으로 볼 수 있다.

이러한 현상을 生體制御系에서는 肉峰 (hump) 현상이라 하고, Bekey의 휴먼오퍼레이터 실험에서는 약 3Hz 근처에서 발생한다고 보고하였다.

이의 발생원인은 생체계의 離散作用 (discrete behavior)에 의한 것이며, 발생주파수는 계통에 따라 변화한다.

또한 0.7~0.9Hz에서의 재상승은 2.5배 주기로 발생된 saccade에 의한 것으로 볼 수 있다.

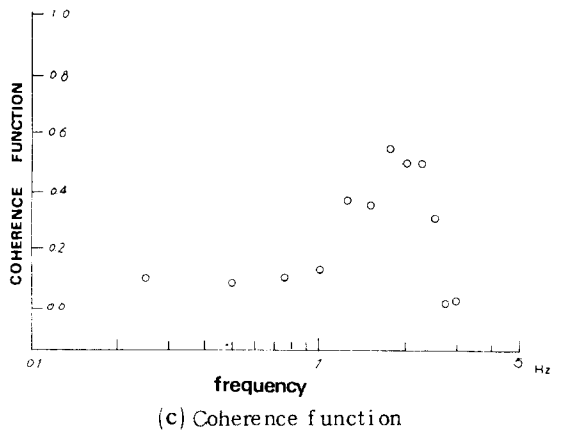
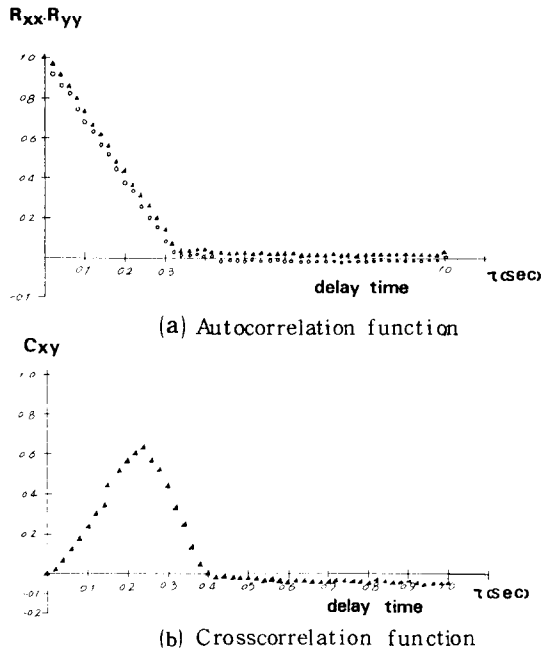


그림 7. PRBS 입력신호에 대한 동안계의 응답
Fig.7. The oculomotor system response for the PRBS input signal.

線型應答의 주파수 범위를 결정하기 위하여 측정된 그림 6 (d)의 聯關函數는 식(5)와 같이 상호스펙트럼 밀도와 입출력의 파워스펙트럼 밀도의 비로서 제통의 선형도 측정 수단이 된다.

Gaussian 랜덤입력에 대한 實驗結果 2 Hz의 범위 내에서 0.6~0.84의 선형도를 나타냈다. 단위 시간당 동안제의 정보처리비를 구하기 위하여 측정된 동안제의 情報傳達函數 (information-transfer function: ITF)는 그림 6(e)와 같다.

동안제의 대역폭을 적분구간으로 하여 IBM 370의 CSMP III 프로그램에 의해서 4차 Runge-Kutta 방법으로 정보전달 함수를 적분하였다.

적분된 값을 식(9)에 의하여 정보전달비를 구한 결과, 1.24 bits/sec로 나타났다.

IV-2. PRBS 입력신호에 대한 응답특성

본 연구에서는 PRBS 신호를 일반 제어계와 마찬가지로 동안제의 動特性을 推定하기 위하여 白色雜音 (white noise)과 유사한 디지털 잡음의 시험신호로 사용하였으며, Gaussian 랜덤입력에 대한 응답과는 현저한 차이를 보였다.

자기상관함수는 Gaussian 랜덤입력때와 같이 최대치는 $\tau = 0$ 에 위치하며, M계열신호 (M-sequence signal)의 자기상관함수와 유사한 형태를 갖는다.

그림 7(a)에서 볼 수 있듯이 입력과 유사한 기울기로서 零點으로 감쇠하였고 Gaussian 랜덤입력인 경우는 시간지연 τ 가 증가함에 따라 어느 정도 周期性을 보이며 진행하였으나, PRBS에 대한 應答은 약 340 ms 이후 시간축과 거의 일치하였다.

PRBS 입력과 출력에 대한 상호상관함수는 그림 7(b)와 같이 최대치가 240 ms에서 나타났으며 Gaussian 랜덤 입출력의 상호상관함수가 최대치로 되는 시간과는 많은 차이를 보였다.

표 1. 동안제의 반응시간 비교

Table 1. Comparison of the reaction time of oculomotor system.

	saccadic system (ms)	smooth pursuit system (ms)
Young	150 ~ 250	120 ~ 150
Wheless	284	-
Robinson	200 ~ 250	125
Nam	232	-
본 연구	240	150

표 1은 의사랜덤신호에 대한 상호상관함수의 측정결과로서 나타난 동안제의 反應時間과 Young, Wheelles^[7], Robinson^[8], Nam^[9]에 의해서 수행된 階段波 및 正弦波 입력에 대한 반응시간을 비교한 것이다.

표 1에 나타난 것과 같이 兪동성운동이 활동성운동보다 긴 반응시간을 가지며 본 연구의 결과는 선행된 연구의 결과와 유사한 범위의 반응시간을 나타내고 있다.

PRBS 입력에 대한 연관함수는 그림 7(c)와 같이 Gaussian 랜덤입력에 대한 연관함수와는 대조적으로 비교적 낮은 값을 가지고 있었다.

이와 같이 PRBS 입력에 대한 兪동성 제어계는 線型應答의 周波數 範圍를 규정지을 수 없다.

이는 兪동성제어계가 非線型系임을 현재까지 物理的이고 生理學的인 實驗에 의한 研究方法으로 제시한 것으로 다른 방법으로 확인한 셈이다.

V. 결론

본 연구는 인간의 가장 정교한 制御機構인 動眼系를 動特性推定에 대한 대상으로 하고, 밴드-리미트된 의사랜덤신호를 시험신호로 하여 동안제의 制御特性을 고찰하였다.

본 연구에서 얻어진 새로운 주요결과는 다음과 같다.

(1) 자기상관함수의 측정결과 안구운동 출력은 Gaussian 랜덤입력보다 높은 주파수 성분을 포함하고 있었다.

(2) 주파수의 응답의 결과 이들 특성은 0.7~0.9 Hz 및 1.8~2Hz에서 잠정적인 2번의 상승이 나타났다.

(3) Gaussian 랜덤입력에 대한 연관함수는 2Hz 범위내에서 0.6~0.84의 비교적 높은 선형도를 나타냈으나, PRBS 입력에 대하여서는 매우 낮은 값을 나타냈다.

(4) Gaussian 랜덤입력에 대한 파워스펙트럼 밀도와 상호스펙트럼 밀도의 데이터로부터 단위시간당 동안제의 정보전달비를 구한 결과 1.24 bits/sec를 나타냈다.

본 연구의 결과는 복잡하고 방대한 동안제 및 두뇌의 神經生理學 연구에 부분적인 데이터를 제공하고, 휴먼 오퍼레이터가 制御要素로 되어 있는 원격조정 무인 비행기 (remote piloted vehicle) 등 人間-機械시스템에 최적선형제어기 設計를 위한 데이터를 제공함과 동시에 시각제와 관련된 기기설계의 최적화에 응용될 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. Clark, M. K., & Stark, L., : Time optimal Behavior of Human Saccadic Eye movement ; IEEE trans. on Automatic Control vol. AC - 20, pp. 345-348 (1975).
2. Sugie, N, : A Model of Predictive Control in Visual Target Tracking, IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics, SMC-1, pp. 1-7 (1971).
3. Young, L. R. & Foster, J. D. & Van Houtte, N, : A Revised Stochastic Sampled Date Model for Eye Tracking Movements, Fourth Annual NASA- Univ. Conference on Manual Control (1968).
4. R. G. Gallager., : Information Theory and Reliable Communication, John Wiley & Sons,, pp. 335-441 (1968).
5. Geddes, L. A. & Baker, L. E., : Principles of Applied Biomedical Instrumentation, John Wiley & Sons, New York (1975).
6. 박상희, 최억, 김홍복, 남문현 : 2 차원 안구운동 측정시스템에 관한 연구, 전기학회지, 제 24권, 제 3 호, pp. 115-119 (1975).
7. Wheeless, L. L., : The Effects of Intensity on the Eye Movement Control System, Ph. D Thesis, Univ. of Rochester (1965).
8. Robinson, D. A., : Models of the Saccadic Eye Movement Control System, Kybernetik 14, pp. 71-83 (1973).
9. Nam, M. H., : Information Processing Characteristics of the Human Saccadic Visual Tracking System, Ph. D Dissertation, Yon Sei Univ. (1975).
10. Koblasz, A, & Yasui, S., : Real - Time Computer for First and Second Order Wiener Kernels, IEEE. trans on BME, Vol. 25. pp. 559-662 (1978).

