

수평 saccadic 안구운동의 지속시간에 관한 연구

김광수* · 김용우* · 이용천* · 박상희*

=Abstract=

A Study on the Duration of the Horizontal Saccadic Eye Movement

Kwang-Soo Kim*, Yong-Woo Kim*, Yong-Chun Rhee*, Sang-Hui Park*

In this paper, the the duration of horizontal¹ saccadic eye movement is studied and measurement system is designed using microprocessor to obtain the quantitized data.

The duration is measured using the beginning and ending points of the saccadic velocity threshold.

The results obtained are as follows.

1. The average duration of the saccade for angle displacement of 0° to 20° lies between 25 and 60 msec, and represents the increasing curve except 9° and 12° .
2. The average duration [for angle displacement of $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$, and 20° is 40, 48, 57.5, and 62 msec, respectively.
3. Nasal movement has a little longer duration than temporeal movement.
4. The duration is not concerned with subject's will.

1. 서 론

안구는 시계(視界) 안에서 한 시표로부터 다른 시표까지 가능한 가장 짧은 시간내에 움직이기 위하여 saccade라 불리는 이동이 일어난다. Saccade는 동근의 강한 신경지배와 길항근의 억제와 생기는데서 신경지배가 펄스 스텝으로 변화될 때 일어나며, 동근의 수축은 안구운동 신경원에서 생기는 높은 주파수의 펄스열에 의해 생긴다고 알려졌다. Saccade의 크기는 흥분된 안구운동 신경원의 수와 각 신경원의 발화율과 흥분된 펄스의 크기에 관계되고 각변위 20° 이상의 saccade에서는 모든 안구운동 신경원이 거의 최대로 자극되

며, 이와 같은 안구운동의 특성은 주로 자극의 시간에 따라 결정된다고 한다.

이러한 빠른 운동인 saccade를 비교하는데는 보통 지속시간과 속도를 측정함으로써 알 수 있는데, 전자는 의식적인 안구운동일 때, 후자는 무의식적인 안구운동일 때 주로 연구되어진다.

안구운동은 1869년 Lamansky에 의해 처음으로 안구속도와 지속시간이 연구되어 이어져 내려왔는데, 최근에는 컴퓨터의 발달로 하드웨어와 소프트웨어를 이용하여 측정시스템을 갖추고 좀더 정량화된 데이터를 얻고자 하는 노력이 진행되어지고 있다.

따라서 본 논문에서는 의식적인 안구운동을 관찰할 수 있는 지속시간을 연구하기 위하여 마이크로컴퓨터를 이용한 안구운동 측정시스템을 갖추고 정량화된 데이터를 얻어 안구운동의 각변위에 대한 지속시간 관계를 조사하고 안구운동의 이측운동과 비측운동 사이의

<1985. 11. 15 접수>

* 연세대학교 공과대학 전기공학과

* Dept. of Electrical Eng. Yonsei University

차이를 고찰하며, 피검자의 의지에 따른 지속시간 관 계를 검토하고자 한다.

2. 실험

Saccade의 지속시간을 측정하기 위한 시스템의 블럭 선도는 그림 1과 같다.

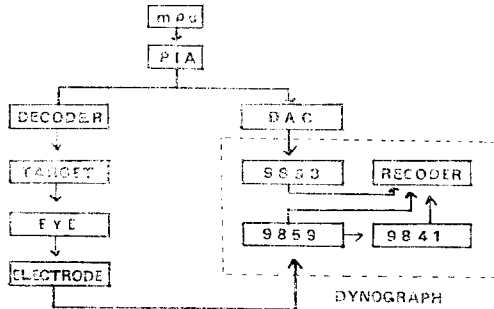


그림 1. 시스템의 블럭선도

Fig. 1. Block diagram of experimental system

(1) 실험 장치의 구성

① 시표 구동 장치

어셈블리 프로그램으로 만들어진 랜덤한 신호는 마이크로프로세서에서 PIA를 거쳐 DAC와 decoder로 각각 도달한다. decoder에 전달된 신호는 LED를 통해 시표에 도달하여 시표구동신호가 발생하게 된다. 여기서 PIA, DAC, decoder는 6532, 0808, 74154 chip을 각각 사용하여 회로를 구성한다.

② 시표

시표는 흑색 스크린판에 좌우 대칭으로 LED를 설치하고 시표구동신호의 매 시퀀스마다 안구와 스크린 사이의 거리를 조절하여 원하는 각변위를 얻는다. 즉 거리가 40cm일 때의 각변위는 중앙 0°를 기준으로 5°, 10°, 15°, 20°를 얻을 수 있고 50cm일 때는 4°, 8.1°, 12°, 16.1°를 얻는다. 이런 방법으로 거리를 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100cm까지 이동하여 세분화된 각 변위를 얻어 실험에 임한다.

③ 소프트웨어

제어 프로그램은 BASIC언어로, 시표구동 프로그램은 어셈블리 언어로 각각 작성하였다.

④ 전극

전극은 Beckman계 은-은염화 소형 표면전극을 사용한다.

⑤ 기록장치

기록장치는 Beckman계 R-511A Dynograph 기록기를 사용하였다. Dynograph 기록기에 사용된 커플러는 TYPE 9853A, TYPE 9859, TYPE 9841이다.

TYPE 9853A는 Voltage/Pulse/Pressure 커플러인데 DAC를 거친 아날로그 신호를 입력으로 받아 Dynograph에 시표의 변위를 기록하게 한다.

TYPE 9859는 Direct Nystagmus 커플러인데 안구가 시표변위를 추적하여 얻어진 생체신호를 입력으로 받아 Dynograph에 안구운동 변위를 기록하게 한다.

TYPE 9841은 Nystagmus Velocity 커플러인데, TYPE 9859부터 받은 안구운동 변위를 미분하여 Dynograph에 안구운동의 속도를 기록하게 한다.

(2) 시표변위 방식

시표변위는 그림 2와 같이 C, R₁~R₄, L₁~L₄의 9개 LED로부터 랜덤하게 구동되고 안구와 LED 사이의 각 변위의 크기는 표 1과 같다.

시표는 자동과 수동으로 구동시킬 수 있도록 설계하였는데 시표변위와 지속시간의 관계를 측정할 때는 자동으로 랜덤신호를 발생시키고, 이측운동과 비측운동을 비교할 때는 수동으로 원하는 신호를 발생시킨다.

(3) 실험 절차

① 피검자

피검자는 정상상태의 성인 남자로서 시표변위와 지

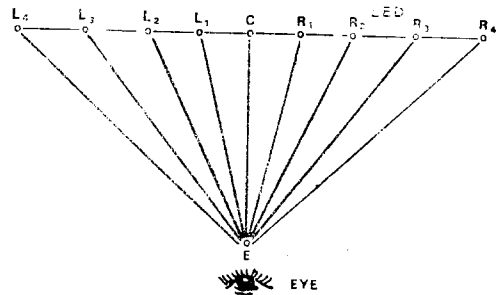


그림 2. 시표 배열

Fig. 2. Target array

표 1. 각변위의 크기

Table 1. Amplitude of angle displacement

deg \ cm	35	40	50	60	70	80	90	100
∠CER1	5.7	5	4	3.3	2.7	2.5	2.2	2
∠CER2	11.4	10	8	6.7	5.8	5	4.5	4
∠CER3	17	15	12.1	10.0	8.7	7.6	6.8	6.1
∠CER4	22.6	20	16.2	13.6	11.7	10.3	9.2	8.3

속시간의 관계를 측정할 때는 4명을 이속운동과 비속운동의 관계를 측정할 때는 2명을 선정하였다. 이들 피검자는 실험에 임하기 전에 방법과 예비훈련을 교육시켰으며 안구의 피로를 방지하기 위하여 실험 시간을 5분 이내로 하였다.

② 전극의 부착

전극은 실험 30분 전에 식염수에 담가 두었다가 사용한다. 전극에는 전도율이 좋은 gel 상태의 케이스트를 짜넣어 생체신호를 전극으로 전달시키게 하고 양면 접착테이프로 접착 부위와 전극을 고정시킨다. 접착 부위는 그림 3과 같다.

③ 지속시간 검출 방법 및 분석

Dynograph의 3개 커플러를 각각 교정하고 차트 스피드를 200mm/sec로 하여 기록지의 1mm당 5msec를 감지할 수 있도록 한다. 시표의 변위에 대한 안구의 위치와 속도가 기록되면 지속시간은 속도 파형의 문턱

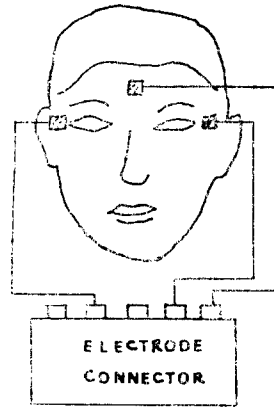


그림 3. 전극의 부착방법
Fig. 3. Method of electrode attachment

값을 이용하여 saccade의 시작점과 끝점을 얻어 측정

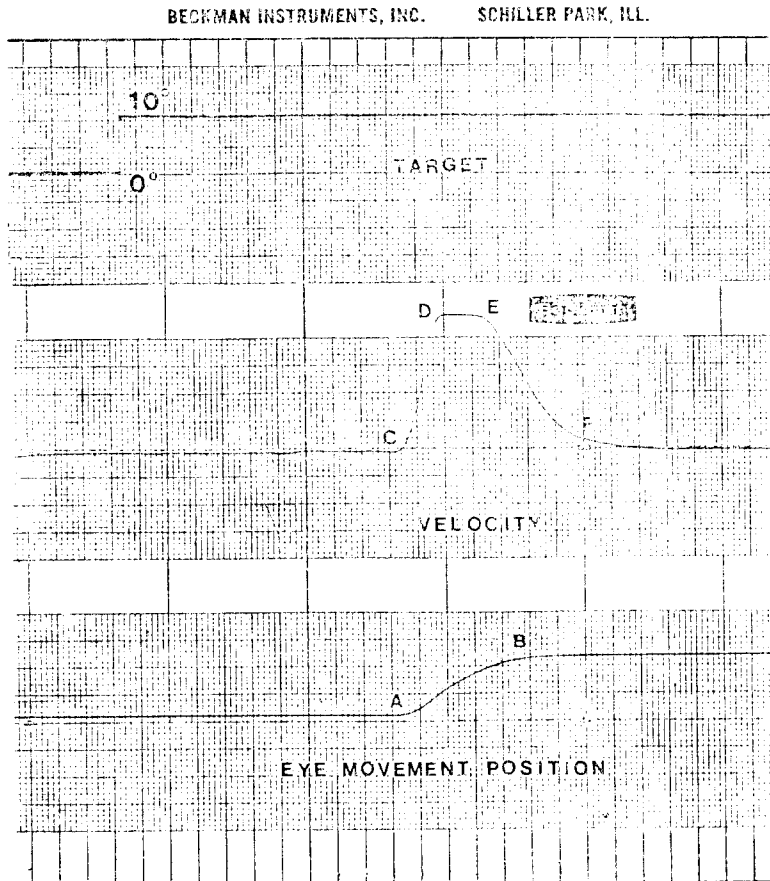


그림 4. 시표변위, 안구위치, 속도의 기록
Fig. 4. Records of target, eye position and velocity

한다.

그림 4는 시표의 변위와 변위를 추적한 안구 위치, 그리고 그 때의 속도를 나타낸 것이다. 시표가 0°에서 10°의 변위로 나타났을 때 안구는 A에서 B로 saccade의 점프가 일어나고 속도는 CD의 크기를 갖게 된다. 이 때 속도의 문턱값 DE에 의해 saccade의 시작점과 끝점을 검출할 수 있다. 따라서 DE는 8mm이므로 이 때의 지속시간은 40msec임을 알 수 있다.

표 2는 시퀀스 5일 때 피검자 K.M.W.에 의해 얻어진 지속시간이다.

표 2. 지속시간 측정 표본

Table 2. Sample of duration measurement

LED sequence	시표변위 (deg)	m(DE) [mm]	지속시간 [msec]
C	2	6	30
L ₁	10.3	9.5	47.5
R ₁	6.3	8	40
L ₄	10.3	10.5	52.5
C	8.3	9.7	48.5
R ₂	4	8	40
L ₄	12.3	11.5	57.5
C	8.3	9	45
L ₃	6.1	9	45
R ₃	12.2	10.5	52.5
L ₃	12.2	10.2	51
C	6.1	9	45
R ₁	2	5	25
R ₄	6.3	11	55
C	8.3	11	55

3. 결과 고찰

안구운동의 측정 시스템을 구성하여 얻어진 지속시간의 실험 결과는 다음과 같다.

(1) 시표변위와 지속시간과의 관계

그림 5는 시표변위와 지속시간과의 관계를 나타낸 분포이다. 0°에서 20°까지의 시표변위에 대한 지속시간은 25msec에서 62.5msec까지 분포되어 있다.

표 3은 각변위에 대한 평균 지속시간을 나타낸 것인데 9°와 12°를 제외한 변위에서 증가함을 알 수 있다.

표 3. 각 변위에 대한 saccade의 평균 지속시간

Table 3. Average saccadic duration for angle displacement

시표변위 deg	지속시간 [msec]	시표변위 deg	지속시간 [msec]
2	30	12	52.5
3	32.5	13	56
4	36	14	56
5	42	15	58
6	42.5	16	59
7	46	17	61
8	47	18	60
9	42.5	19	60
10	49	20	61.5
11	54		

그림 6은 각변위에 대한 평균 지속시간과 Yarbus (1967)가 주장한 실험식과의 비교이다. Yarbus는 각변위에 대한 지속시간 방정식을

$$T=0.021\alpha^{2/5}$$

라고 제시하였다. 여기서 T는 지속시간, α 는 각변위이다. 이 식은 실험데이터와 매우 잘 일치되는 것으로

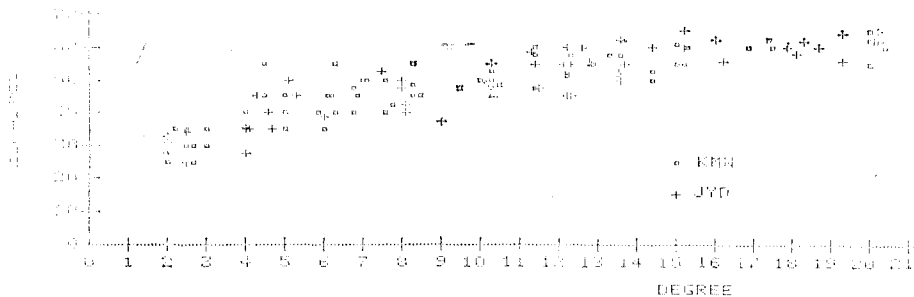


그림 5. 시표변위에 대한 saccade의 지속시간

Fig. 5. Saccadic duration versus of angle

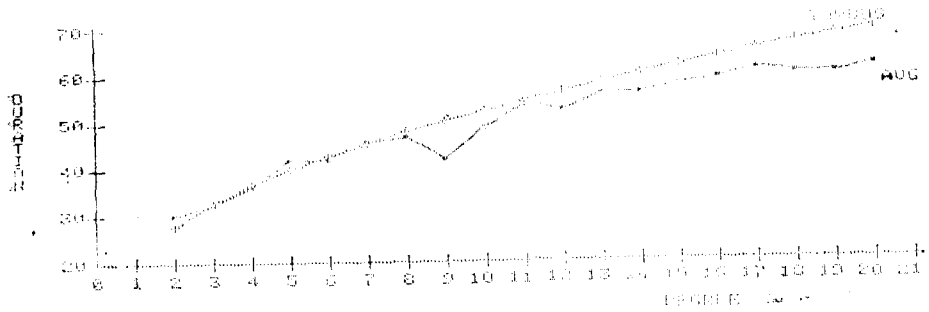


그림 6. 평균 지속시간과 실험식 $T=0.021\alpha^{2.5}$ 과의 비교
 Fig. 6. Comparison between the average duration and the empirical formula

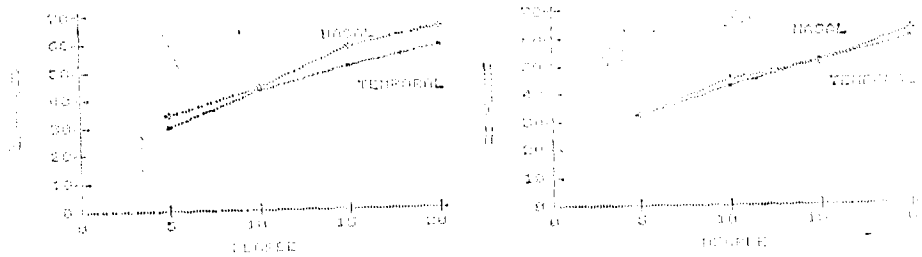


그림 7. 이측운동과 비측운동의 비교
 a) 피검자 N.S.G. b) 피검자 P.B.G.
 Fig. 7. Comparison between temporal and nasal movement
 a) Subject N.S.G. b) Subject P.B.G.

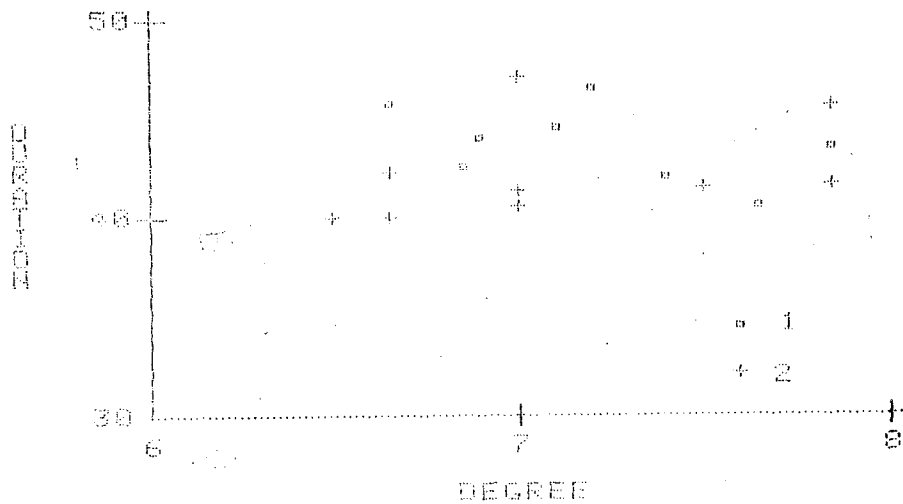


그림 8. 지속시간과 피검자의 의지와의 관계
 a) 빠름 b) 느림
 Fig. 8. Relation between the duration and subject's will
 a) fast b) slow

알려져 있는데, 약 $\pm 5 \sim 7$ msec의 산포범위를 가지면서 잘 일치되고 있음을 알 수 있다.

(2) 이측운동과 비측운동의 지속시간 비교

시표구동은 수동 제어프로그램을 사용한다. 시표변위는 $0^\circ - 5^\circ - 0^\circ - 10^\circ - 0^\circ - 15^\circ - 20^\circ - 0^\circ$ 와 $0^\circ - 5^\circ - 0^\circ - 10^\circ - 0^\circ - 15^\circ - 0^\circ - 20^\circ - 0^\circ$ 를 각각 한 시퀀스로 하여 5번 구동시켜 실험에 임한다. 그림 7은 피검자 2명에 대한 이측운동과 비측운동의 평균 지속시간을 나타낸다. 그림에서 보듯이 약 $5 \sim 7$ msec 범위에서 비측운동이 이측운동보다 다소 긴 지속시간을 가짐을 알 수 있다.

(3) 지속시간과 피검자의 의지와 관계

지속시간과 피검자의 의지와 관계를 알아보기 위하여 시표변위를 6° 와 8° 사이로 고정시키고 피검자로 하여금 의식적으로 빠른 속도와 느린 속도로 변위를 추적하게 하였다. 그림 8은 그 결과인데 피검자의 의지와는 무관함을 알 수 있다.

피검자가 빠른 속도로 추적하려 할 때는 목표점에 고정시키는데 시간이 증가하게 되고 반대로 피검자가 느린 속도로 추적하려 할 때는 목표점에 고정시키는데 시간이 감소되어 지속시간은 의지와 관계없이 독특한 특성을 나타냄을 알 수 있다. 실험중 느린 속도 때 보통 이상의 시간이 걸리는 것은 추적할 때 두세번의 saccade가 이루어진 상태로 판명된다.

4. 결 론

본 논문은 마이크로프로세서를 이용한 측정 시스템을 갖추고 안구운동의 속도파형으로부터 문턱값을 이용하여 지속시간을 측정 분석하였다.

지속시간은 20° 까지의 시표변위에 대해 25msec에서 62.5msec까지 분포하였으며 $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ 의 평균 지속시간은 각각 40msec, 48msec, 57.5msec, 62msec이었다. $5 \sim 7$ msec 범위에서 비측운동이 이측운동보다 다소 긴 지속시간을 가졌다.

피검자가 고정된 시표변위를 빠른 속도의 의지로 추적할 때와 느린 속도의 의지로 추적할 때의 지속시간과의 관계는 무관함을 보였다.

참 고 문 헌

- 1) 김윤수, "EOG를 이용한 *corrective saccadic* 안구운동 특성에 관한 연구", 연세대학교 대학원 1979.
- 2) 남문현, "인간의 *saccade* 안구운동계에 대한 정보처리 특성", 연세대학교 대학원, 1975.
- 3) 전경석, "랜덤 신호에 대한 *corrective saccadic* 안구운동 특성 연구", 연세대학교 대학원, 1984.
- 4) Albert F. Fuchs, "*The neurophysiology of Saccades*" *Eye Movements and Psychological Processes*. pp.39~53, 1976.
- 5) Allum, J., Tole, J and Weiss. "*A digital program for on-line analysis of nystagmus*" *IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BME-22* pp.196~202, 1975.
- 6) Baloh, R.W. "*On-line analysis of eye movements using a digital computer*" *Aviat, Space Environment, Med.* 51(6) pp.563~567, 1980.
- 7) Baloh, R.W., W.E. Kumley and V. Honrubia. "*Algorithm for analyses of saccadic eye movements using a digital computer*" *Aviat. Space Environ. Med.* 47(5) pp.523~527, 1976.
- 8) Baloh, R.W. and Sills, A.W., "*Quantitative measurement of saccade amplitude, duration and velocity*" *Neurology* 25 pp.1065~1070, 1975.
- 9) Beckman Instruments, Inc. "*Physiological measurements guide*" (Part No.550B), 1982.
- 10) Paolo Inchingolo and Massino Spanio. "*On the identification and analysis of saccadic eye movements-A quantitative study of the processing procedures*" *IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Vol. BME-32, No.9*, 1985.
- 11) Ron, S., Robinson, D.A. "*Saccades and the quick phase of nystagmus*" *Vision Research*. pp.2015~2022, 1972.
- 12) Yarbus, A.L. "*Eye movements and vision*" Chap. IV. pp.129~139, 1967.