

# 눈움직임 측정방법에 대한 연구

## -Survey of Eye Movement Measuring Techniques-

김 유 창\*  
Kim, Yu-Chang

### Abstract

When using hazard machines such as automobiles, operators receive information through eye. The operator must process the information quickly and properly in order to perform the operation efficiently and safely. Therefore, several techniques to measure the eye movements have been developed. The choice of an optimum method for a situation depend on the type of data needed, the necessity of knowing the position of the observer's head, and the tradeoffs of precession versus comfort.

The goal of this study is to review the present status of the measure and the eye movement measuring techniques, to investigate the development trend, and to show that some measure and eye movement measuring techniques are adquate for some task.

### 1 서론

자동차등과 같은 위험기계는 복잡하고 계속적인 시각작업을 필요로 하며, 자동차 운전에서 사용되는 정보의 90 %이상이 시각정보를 사용한다고 추정하고 있다(Mourant and Rockwell, 1970). 만일 자동차와 같은 위험기계의 운전작업을 효율적이며 안전하게 하기 위해서는 시각작업은 빠르게, 적절한 순서로 처리되어야 한다. 따라서 눈의 움직임은 시각작업이 많이 필요한 자동차 운전작업(Mourant and Rockwell, 1970, 1972; Robinson et al., 1972, 1979; Ruffell Smith, 1973), 비행기 운전작업(Itoh et al., 1990; Stern and Bynum, 1970; Tole et al., 1983; Wierwille et al., 1985), 보트 운전작업(Gatchell, 1977), 지게차 운전작업(Hella et al., 1988, 1991), 프레스 운전작업(Park and Kim, 1996), 검사작업(Megaw, 1979; Schoonard et al. 1973; Kundel, 1972), VDT 작업(Yamamoto, 1992)등의 효율성과 안전성을 평가하는 데 많이 이용되고 있다.

Mower(1936)는 머리에서의 눈의 방향(주시점)을 기록하는 방법을 처음으로 개발하였다. 이 측정방법은 20세기 동안 점차적으로 발전하여 최근에는 피실험자가 불편하지 않아 실험실 밖에서도 유용한 측정방법들이 개발되었다. 특히 비디오 카메라(video camera)를 이용한 방법은 신체에 장치들을 부착하지 않고 눈의 움직임을 측정할 수 있는 방법으로 가까운 장래에 상용

---

\*충남전문대학 산업안전과

화 되어질 것으로 생각된다. 눈움직임을 측정할 수 있는 변수와 기법들은 많이 개발되었으나 장단점이 있어 각 연구분야에 알맞은 것을 선택하여야 한다. 이와 같은 선택은 데이터의 종류, 정확성, 범위, 처리속도, 안락성, 측정잡음, 측정비용등 여러요소가 복합적으로 작용하여 적절한 선택을 어렵게 한다.

따라서 본 논문에서는 눈움직임의 측정변수, 눈움직임 측정방법의 현재의 상태와 앞으로 발전방향에 대하여 알아보고 어떤 작업에 어떤 측정변수와 측정방법을 사용하는 것이 좋은지를 밝히고자 한다.

## 2 눈의 구조

인간의 시각적 정보를 받아들이는 눈의 구조는 Fig. 1에 나타나 있다. 눈은 직경이 약 25mm 정도의 구이다. 눈의 외부 표면은 공막(sclera)으로 둘러 쌓여 있는데 눈을 쳐다볼 때 나타나는 하얀 부분이 공막이다. 눈의 모양은 눈을 싸고 있는 공막과 그 내부에 있는 액체의 압력에 의해서 유지된다.

사람의 눈은 사진기와 유사하다. 광선이 가변수정체(lens)를 통하여 초점이 맞추어 지고 감광부위인 망막(retina)에 상이 맺히게 된다. 눈의 수정체는 보통 가변성이 있어서 초점이 망막에 맺히도록 자율적으로 조절할 수 있다.

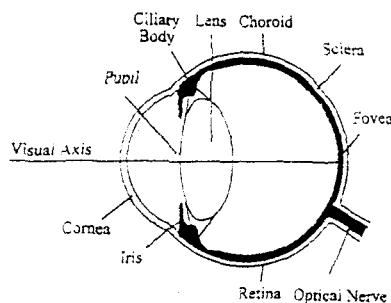


Fig. 1 Eye structure

## 3. 눈움직임 측정변수

눈은 6개의 외인성 근육이 있어서 눈을 수직, 수평, 횡단 및 사선의 축으로 회전시키는 데 이 근육들은 동안중추(oculomotor Center)에 의해 조절된다. 일반적으로 인간공학 분야에서 많이 쓰이고 있는 눈움직임 측정변수는 다음과 같다.

### (1) 눈 움직임(saccade movement)

독서, 검사작업을 할 때 많이 나타나는 운동으로 눈이 어느 한곳에 고정된 다음 다시 빠르게 옆으로 움직여서 고정되는 동작이 반복되는 운동을 말한다. 이 운동은 목표의 상을 자세히 분석하기 위해 중심와(fovea)에 가져오는 역할을 한다. 이 운동이 빠르게 일어나며 대개 5°에서 40°의 범위를 갖으며 최대 각속도 400°/s에 달한다. 이 운동이 일어나는 동안 상(image)은 희미해져서 분석되어 질 수 있는 양은 감소한다. 시야주변에 자극이 나타났을 때 눈이 운동을 시작해서 자극에 고정될 때 까지의 시간은 약 160 ms 정도 걸린다. 이 운동의 회수의 한계는 약 2-4 saccade 이다.

## (2) 눈 머문시간(fixation time)

한 saccade끝에서 다음 saccade 시작까지의 시간을 말하며 대부분 약 200 ms 이상 걸린다. 눈 머문시간은 작업난이도(task difficulty)와 관련이 있고, 숙련자는 초보자보다 눈 머문시간이 작다고 알려져 있다.

## (3) 눈 머문 회수(fixation number)

눈 머문회수는 search 시간을 결정하는 데 눈 머문 시간보다도 중요하다. 숙련된 방사선 검사자는 경험없는 검사자보다 X-ray의 비정상을 검출하는 데 있어서 눈 머문회수가 적었다(Kundel, 1972).

## (4) 눈 머문회수의 공간분포

눈 머문 회수의 공간분포는 표시장치의 각 부위에서 발생한 눈 머문 회수를 가지고 측정하며 이 변수는 표시장치의 각 부위의 정보와 관련되어 있다.

## (5) 눈움직임 패턴(eye movement pattern)

하나의 search에서 눈의 머문 위치를 연결하는 것을 말한다. 대부분 연구자들은 search전략의 modeling에 극단의 search전략에 관심을 갖는다. 이 극단의 전략을 무작위 전략(random strategy)과 체계적 전략(systematic strategy)이라 부른다. 한번의 search내의 연속적인 눈 머문 위치들은 무작위 전략에서 서로 독립적이며 체계적 전략에서는 종속적이다.

## (6) 눈 추적 움직임(smooth pursuit movement)

움직이는 표적을 추적할 때 나타나는 운동으로 이 운동의 속도는 표적의 속도에 의해 결정되는 데 눈은 약  $30^{\circ}/s$  까지 추적할 수 있다. 기차의 창문밖으로 지나가는 전주를 바라보게 될 때 눈은 전주를 천천히 추적하다가 재빠르게 원래 위치로 되돌아 오므로써 반사성 눈진탕증을 일으키게 된다.

## (7) 시야

한눈을 일정한 위치에 고정하고 볼 수 있는 외계의 범주를 시야라고 한다. 이론적으로 시야는 구형이어야 하지만 코와 광대뼈 때문에 가장자리가 불규칙한 타원형이 된다. 시야는 오목한 반구면으로 된 시야측정기를 가지고 측정한다. 측정방법은 피검자의 눈을 시야측정기의 중앙에 위치시키고 광원을 주변으로 부터 중심부로 이동시키면서 피검자가 광원을 인식할 때 그 지점을 표시하여 작성한다. 색깔이 있는 광원으로 시야를 측정하게 되면 흰색의 광원으로 측정할 경우보다 시야가 더 적게 나타난다.

## 4. 눈움직임 측정기법

지금까지 눈움직임은 시각피로, 시각압박(visual suppression), 시각추적, eye fixation stability, 안구 진탕증, 주의, 인지 등과 관련하여 연구되었다. 눈움직임을 측정할 수 있는 여러 기법이 개발되었다. 필요한 데이터의 형태, 피실험자의 머리위치를 아는 것의 필요여부, 피실험자의 특성(e.g., 성인 또는 아이), 정확도, 작동환경의 적절성(e.g., 자동차등과 같은 작동장소, 기록시간)과 비용의 trade off 등에 따라 최적의 기법을 선택한다.

## (1) 안전도 방법 (electro-oculography method)

Mower, Ruch, Miller(1936)는 눈주위에 전극을 부착하여 전위차를 측정하여 눈의 위치를 측정하였다. 전기에너지는 각막과 망막의 전위에 의해 또는 눈에 대해 회전하는 정전기장에 의해 생긴다. 눈의 수평 움직임은 눈의 바깥 양끝에 붙인 전극에서 기록된다. 수직 움직임은 두개의 위 전극과 두개의 아래 전극사이의 전위로써 측정한다. 위 전극은 단락회로이고 눈썹위에 부착한다. 아래 전극은 단락회로이고 눈아래 부착한다. 이 방법은 눈의 움직임을  $\pm 75^\circ$  까지 측정가능하다. 선형성은  $30^\circ$  를 벗어나면 점진적으로 나빠지는데 수직방향의 더욱 심하다. 표면전극의 정확도는 보통  $\pm 2^\circ$  이다. 에러의 주요 원인은 눈꺼풀의 방해, 빛에 적응·주행성 변화·놀란상태 등에 기인한 각막 전위의 변동이다.

## (2) 각막 반사 기법 (corneal reflection method)

부푼 각막의 모양때문에 화상에 밝게 빛나는 부분이 생긴다. 각막의 곡률반경이 눈의 곡률반경보다 작기 때문에, 각막반사점은 눈이 움직이는(머리에 대해) 방향으로 움직인다. 각막에서 반사된 빛은 화상화된다.

## (3) 림버스 추적 방법 (limbus tracking method)

Limbus는 하얀 공막(white sclera)과 검은 홍채(dark iris)의 가장자리이다. 공막은 하얀색이고 홍채는 검정색이기 때문에 이 경계는 광학적으로 쉽게 찾을 수 있고 추적할 수 있다. 이 방법은 머리에 대해 limbus의 위치와 모양에 의존하기 때문에 머리를 고정하거나 장치들 사용자의 머리에 고정하여야 한다. Limbus의 위와 아래가 때때로 눈썹에 의해 가리기 때문에 단지 정확한 수평추적(horizontal tracking)에 적합하다.

## (4) 동공 추적 방법 (pupil tracking method)

동공추적방법은 limbus 추적방법과 유사하다. 이 방법은 limbus 대신에 동공(pupil)과 홍채(iris)사이의 경계를 추적한다. limbus추적방법에 대해 이 방법은 여러 장점이 있다. 첫째, 동공은 limbus보다 눈썹에 의해 가리는 부분이 적기 때문에 수직추적(vertical horizontal)이 가능하다. 둘째, 동공의 가장자리는 limbus 보다 sharp하기 때문에 높은 정확성(resolution)을 가진다. 그러나 단점으로는 홍채와 공막보다도 동공과 홍채의 대비가 낮기 때문에 경계의 발견이 다소 어렵다. 이 어려움을 극복하기 위하여 시준조명(collimate illumination)을 사용하기도 한다. 이때 눈의 안쪽에서 반사시킨 빛을 사용자가 빛을 비추는 축으로 보면 동공은 밝게(하얗게)된다. 이런 현상을 "pink effect"라고 부른다. 동공의 다른 특성은 심리적, 생리적으로 변화한다. 이것은 동공의 중심을 측정하기 어렵게한다. 그러나 그 측정의 부산물로서 동공의 지름을 제공한다.

## (5) 콘택트렌즈 기법 (contact lens method)

이 방법은 눈움직임 측정방법중 가장 정확한 측정방법이다. 일반적인 콘택트렌즈는 이동성이 크기 때문에 눈과 함께 움직이는 렌즈이어야 한다. 두종류의 콘택트렌즈 방법이 존재한다. 첫째는 렌즈위에 하나 또는 여러개의 거울(mirror surface)을 렌즈에 부착하는 방법이고 둘째는 렌즈에 2개의 와이어 코일(wire coil)을 렌즈에 부착하는 방법이다.

평면거울에 반사시키는 방법이 정확성면에서 여러 이점이 있다. 첫째, 반사각의 변화가 눈회전의 2배이기 때문에 정확성에서 좋다. 둘째, 각막의 불완전성을 제거하여 준다. 셋째, incident beam이 거울에 비추는 반사각도는 눈회전에만 의존하고 pure linear displacement에 독립적이다. 이것은 이시스템이 피할수 없는 작은 머리 움직임에 의하여 영향을 받지 않도록 한다. 이 시스템은 매우 정확함에도 불구하고 측정장비에 대해 머리의 안정성이 요구된다.  $\pm 5^\circ$ 의 범위내에서 5arc정도의 작은 움직임을 측정할 수 있다. 그러나 이 측정방법은 준비과정(set up)이 어렵고, 사람이 불편하며, 전기-자기장에 유해하다.

코일을 이용한 비광학적인 콘택트렌즈법에 의해 개발되었다. 서로 직각으로 방향지워진 두개의 작은 코일을 콘택트렌즈에 부착하여 코일에서 나오는 전압(voltage)을 측정한다. 각 코일의 전압은 자기장에 대해 눈의 각도에 의해 자기장의 일정한 부분 내에서는 머리위치에 독립적이다. 비록 이 방법은 정확성에도 불구하고 일반적으로 측정범위는 적다. 따라서 이 측정방법은 대개 작은 눈움직임을 측정하는데 사용하며  $5^\circ$  이상의 큰 눈움직임 측정방법에는 부적당하다. 또한 콘택트렌즈의 가격이 비싸고 불편한 점이 이 방법의 사용을 어렵게 하고 있다.

#### (6) 이중 퍼킨지 화상 기법 (double purkinje image method)

이 방법은 첫번째와 네번째 purkinje image를 눈움직임 측정방법에 사용되며 이 반사점의 상대적 위치를 이용하여 눈움직임(주시점)을 측정할 수 있다. 대체로 이 방법은 다른 측정방법에 비해 정확하고 sampling rate도 4000Hz로 높은 편이다. 이 방법의 단점은 네번째 purkinje image가 다소 약하여 주위의 밝기를 잘 조절하여야 한다.

#### (7) 동공중심과 각막반사점 기법 (pupil center and corneal reflection center method)

이 사용자의 눈으로 들어오때 purkinje image라고 불리우는 수정체, 각막등 여러 경계에서 반사된다. 첫번째 purkinje image를 glint라고 부른다. 이것은 bright eye라고 불리우는 망막에서 나오는 빛과 함께 적외선 카메라로 기록되며 glint는 매우 밝은점으로 bright eye는 밝은 원형(disk)모양으로 나타내어진다. 눈이 수평과 수직으로 움직일 때 glint와 bright eye의 중심점의 상대적 위치가 변하며 주시점은 이 상대적위치로 부터 계산할 수 있다.

#### (8) 눈움직임 측정방법 비교

앞절에서 설명한 각 측정방법의 장점과 단점을 Table 1에 나타내었다. 적절한 정보가 없는 경우는 빈칸으로 남겨 놓았다. 이 정보중 어느부분은 제조업자로 부터 나온 정보를 인용한 것으로 이상치(ideal value)일 수도 있다. 더우기 여러 측정방법들은 다른 선택사양(e.g. headband - mounted, frame mounted)하에서 상업화되었기 때문에 표에 나와 있는 정보는 사용된 선택사양에 의해 결정될 수 있다.

Table 1 Comparison of eye movement measuring Techniques

Technique	electro-oculography	Corneal reflection	Limbus tracking	Pupil tracking	Contact lens	Pupil/Corneal relationship	Dual purkinje image
Accuracy	2°	0.5-1°	h = 0.5-7° v = 1 - 7°	0.003°	5 arc	0.5-2°	0.017°
Range	±30°	h= ±12-15° V= ±12-15°	h= ±15-30° V= ±15-20°	h= ±30-40° V= ±20-40°	±5°	h= ±12-40° V= ±12-50°	±20-60°
Sampling speed	10-200 Hz	10-200 Hz	200-4000 Hz	50-250 Hz	500 Hz	25-50 Hz	4000 Hz
Pupil diameter measurement	no	no	no	yes	no	yes	-
Binocularly extendable	-	-	yes	yes	-	-	-
Subject contact	electrodes	-	headmount/ chin rest	none	contact lens	none	none
Subject variety	-	-	low	reasonable	-	reasonable	-
pricing	\$10,000 - \$30,000		\$27,000 - \$48,000	\$10,000 - \$45,000		\$22,000 - \$120,000	\$37,000 - \$65,000

#### 4. 결론

눈 움직임 측정장치는 20년 전보다 훨씬 정확해졌지만 아직 완전한 시스템은 없다. 연구자들은 아직도 많은 연구자들은 아직도 머리 움직임, 영점조절등의 문제를 해결하기 위해 노력하고 있다. 현재 일반 사람들이 사용하기 쉽고 실제적인 눈 움직임 측정장치를 개발하기 위해서는 여러 기술적 문제를 가지고 있으나 근본적인 문제는 아니고 작은 시장으로 인한 노력의 부족이다. 장래에 해결하여야 할 문제들은 다음과 같다.

- (1) 측정 시스템은 사람들의 움직임에 덜 민감하여야 한다.
- (2) 측정 시스템은 계속적으로 re-calibration을 하지 않아야 한다.
- (3) 측정 시스템은 여러 사람의 눈을 동시에 추적할 수 있어야 한다.
- (4) 측정 시스템은 가령 홍채인식과 같은 방법을 이용하여 피실험자가 누구인지 알아야 한다.
- (5) 측정시스템은 각 개인의 눈움직임 자료와 각 개인의 특성, 선호도를 저장하고 이용할 수 있어야 한다.

여러 눈움직임 측정방법중 심리학, 생리학적 연구에 필요한 정확한 눈움직임을 측정하는 방법에는 콘택트렌즈 측정방법이 적절하고, 머리의 움직임이 필요없는 VDT작업과 검사작업의 특성을 알기 위해서는 안전도 측정방법, 림버스 측정방법 적절하고, 머리의 움직임을 고려해야 하는 자동차, 프레스 운반작업등은 동공중심과 각막반사점 이용방법이 적합하다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Cornsweet, N. and Crane, H.D., An accurate eye tracker using first and forth purkinje image, *Journal of the Optical Society of America*, Vol.63, 92-928. 1973.
2. Gatchell, S. M., *Pówer Boat operators' visual behavior patterns*, The university of michigan, 1977.
3. Hall, R.J. and Cusack, B.L., *The measurement of eye behavior: Critical and selected reviews of voluntary eye movement and blinking*", U.S. Army Human Engineering Laboratory. Technical Memorandum 18-72. 1967.
4. Hella, F., Tisserand, M., and Schoula, J.F., *Visibility requirements for the drivers stand of lift trucks*, *Applied Ergonomics*, Vol.19, 225-232, 1988.
5. Hella, F., Tisserand, M., and Schoula, J.F., *Analysis of eye movement in different tasks related to the use of lift trucks*, *Applied Ergonomics*, Vol.22, 101-110, 1991.
6. Itoh, Y., Hayashi, Y., Tsukui, I., and Saito, S., *The ergonomic evaluation of eye movement and mental worklod in aircraft pilots*, *Ergonomics*, Vol.33, No.6, 719-733, 1990.
7. Kundel, H.L., and La Follette, P.S., *Visual search patterns and experience with radiological image*, *Radiology*, Vol.103, 523-528, 1972.
8. Lee, K.T., *Eye-controlled human/computer interface using the line-of-sight and intentional blink*", KAIST, 1996
9. Megaw, E.D., and Richardson, J., *Eye movement and industrial inspection*, *Applied Ergomics*, Vol.10, No.3, 145-154, 1979.
10. Megaw, E.D., and Richardson, J., *Target uncertainty and visual scanning strategies*, *Human Factors*, Vol.21, 302-315, 1979.
11. Mourant, R.R., and Rockwell, T.H., *Mapping Eye-Movement Patterns to the Visual Scene in Driving : An Exploratory Study*, *Human Factors*, Vol.12, 81-87, 1970.
12. Mourant, R.R., and Rockwell, T.H., *Strategies of visual search by novice and experienced deriver*, *Human Factors*, Vol.14, No.4, 325-335, 1972.
13. Mowrer, O.H., Ruch, R.C., and Miller, N.E., *The corneoretinal potential difference as the basis of the galvanometric method of recording eye movements*, *American Journal of Physiology*, 114, 423-425, 1936.
14. Robinson, G.H., *Dynamics of the eye and head during movement between displays: A qualitative and quantitative guide for designers*, *Human Factors*, Vol.21, No.3, 343-352, 1979.
15. Robinson, G.H., Erickson, D.J., Thurston, G.L., and Clark, R.L., *Visual search by automobile deriver*, *Human Factors*, Vol.14, 315-323, 1972.
16. Ruffell Smith, H.P., *drivers eye position relative to the H point for trucks and buses*, *Applied Ergonomics*, Vol.4, No.3, 139-143, 1973.
17. Schoonard, J.W., Gould, J.D., and Miller, L.A., *Studies of visual inspection*, *Ergonomics*, Vol.16. 365-379. 1973.

18. Stern, J.A. and Bynum, J.A., Analysis of visual search activity in skilled and novice helicopter pilots, *Aerospace Medicine*, Vol.41, 300-305, 1970.
19. Tole, J.R., Stephens, A.T., Vivaudou, M., Ephrath, A. and Young, L.R., Visual scanning behavior and pilot workload, *NASA Contractor Report 3717*, 1983.
20. Wierwille, W.W., Rahimi, M., and Casali, J.G., Evaluation of 16 measures of mental workload using a simulated flight task emphasizing mediational activity, *Human Factors*, Vol.27, 489-502, 1985.
21. Yamamoto, S., and Kuto, Y., A method of evaluating VDT screen layout by eye movement analysis, *Ergonomics*, Vol.35, No.5, 591-606, 1992.