

# 참조점을 이용한 응시점 추출에 관한 연구

김성일<sup>1,2</sup>, 임재홍<sup>1,2</sup>, 조종만<sup>1,2</sup>, 김수홍<sup>1,2</sup>, 남태우<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>인제대학교 의생명공학대학 의용공학과

<sup>2</sup>인제대학교 BK21 바이오장기 조직재생 고급인력양성 사업팀

(Received August 18, 2006. October 16, 2006)

## A Study for Detecting a Gazing Point Based on Reference Points

S. I. Kim, J. H. Lim, J. M. Cho, S. H. Kim, T. W. Nam

<sup>1</sup>Department of Biomedical Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

<sup>2</sup>BK21 Bio-Organ Tissue Regeneration Project Team, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

### Abstract

The information of eye movement is used in various fields such as psychology, ophthalmology, physiology, rehabilitation medicine, web design, HMI(human-machine interface), and so on. Various devices to detect the eye movement have been developed but they are too expensive. The general methods of eye movement tracking are EOG(electro-oculograph), Purkinje image tracker, scleral search coil technique, and video-oculograph(VOG). The purpose of this study is to embody the algorithm which tracks the location of the gazing point at a pupil. Two kinds of location data were compared to track the gazing point. One is the reference points(infrared LEDs) which is reflected from the globe. Another is the center point of the pupil which is gained with a CCD camera. The reference point was captured with the CCD camera and infrared lights which were not recognized by human eyes. Both of images which were thrown and were not thrown an infrared light on the globe were captured and saved. The reflected reference points were detected with the brightness difference between the two saved images. In conclusion, the circumcenter theory of a triangle was used to look for the center of the pupil. The location of the gazing point was relatively indicated with the each center of the pupil and the reference point.

**Key words** : extraction of point of gaze, eye movement tracking, digital image processing, human-machine interface, pattern recognition

### 1. 서 론

안구 운동에 대한 정보는 심리학, 안과학, 생리학, 재활 의학, 웹 디자인, human-machine 인터페이스 등 여러 다양한 분야에서 사용된다. 안구 운동 측정의 응용으로서는 공학적 응용, 교육적 응용, 임상적 응용으로 나누어 볼 수 있으며 독서 과정의 연구, 독서력, 독서 장애, 학습에 수반하는 적응적 변화 및 난독증(難讀症)의 진단, 안구 관련 신경의 손상 및 진행 중인 질병의 유무 진단이 가능하다. 전신이 마비된 환자의 경우 안구 운동이 유일한 의사 표시 수단이 될 수 있으므로 이를 통하여 시선의 위치를 파악하여 의사를 표현할 수 있으며 이를 위한 eye mouse, 로봇 개발, 정신 질환, 뇌 손상 환자의 진단, 주의 및 각성과 관련한 평가도구 및 웹 디자인까지 실로 광범위하게 이용되는 것이 안구 운동에 대한

정보이다. 동공의 움직임, 즉 안구 운동에는 물체의 추적, 머리 운동에 의해 야기되는 짧은 기간 동안 망막 영상의 이동을 보상하기 위한 안구 운동(vestibular reflex), 주변 시야의 물체 영상을 안구 중심와(fovea)에 빠른 속도로 위치시키는 운동(saccade) 등이 있다. 이러한 안구 움직임을 측정하기 위해 현재까지 많은 방법들이 개발되어 왔으며, 개발되고 있다. 이들 방법 중 가장 일반적으로 이용되는 안구 운동 측정법으로는 적외선 또는 초음파 등을 조사한 뒤 반사되는 파의 각도를 근거로 안구 회전 방향과 정도를 측정하는 각막 반사법, 안구를 움직이는 근육들로부터 방출되는 생체 신호의 강도를 센서를 통해 감지하여 안구의 움직임을 추정하는 안구전도(EOG, electro-oculograph), 자기장 내에서 코일이 장착된 콘택트렌즈를 착용하고 안구를 움직이도록 하여 코일에 유도된 전류의 양을 측정하여 추적하는 자기 유도법, Purkinje 이미지 추적(image tracker), 공막 탐지 코일 기법(scleral search coil technique), CCD 카메라 등으로 획득한 안구의 영상을 화상 처리 과정을 거쳐 응시점을 찾아내는 VOG (Video-oculograph) 기법 등이 있다.

본 연구에서는 VOG 기법을 사용하였으며, 이 기법은 CCD 카메라 등을 이용하여 광학적으로 획득한 안구의 영상을 화상처리과

이 연구는 학술진흥재단 우수과학자지원사업 (과제 번호 : R05-2004-000-10687-0) 지원에 의해 수행되었다.

Corresponding Author : 조종만  
(621-749) 경남 김해시 어방동 607번지 인제대학교 의용공학과  
Tel : (055) 320-3293 / Fax : (055) 327-3292  
E-mail : minerva@ieee.org

정을 거쳐 응시점을 찾아내는 방법으로 측정자의 눈이나 안면, 신체에 센서를 접촉시키지 않는 비접촉식 방법이면서 높은 해상도를 확보할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서 사용된 컴퓨터는 Intel Pentium4 3.2 GHz, 1 GByte DDR Memory로 구성되어 있으며, 본 논문의 알고리즘은 Visual C++(Microsoft Corporation)로 구현하였다. 획득한 안구 영상은 640 화소 X 480 화소 크기의 흑백 영상으로 화소 당 8-비트의 깊이 정보를 가지고 있다.

## II. 연구 방법

본 연구에서 동공의 응시점을 추출하는 알고리즘은 그림 1과 같이 진행하였다. 참조점(적외선 LED)을 끈 상태에서 한 프레임의 안구영상 획득하여 저장한 후 획득한 안구 영상의 기본적인 데이터 분석 및 처리를 한다. 이어서, 참조점을 켜 상태에서 또 다른 한 프레임의 안구영상을 획득한 후, 참조점을 끈 상태에서 획득한 영상과의 차를 이용하여 참조점을 추출한다. 참조점을 켜 상태의 영상에서 동공의 중심을 추출하고 참조점과 동공의 중심을 이용하여 응시점의 위치를 파악하였다.

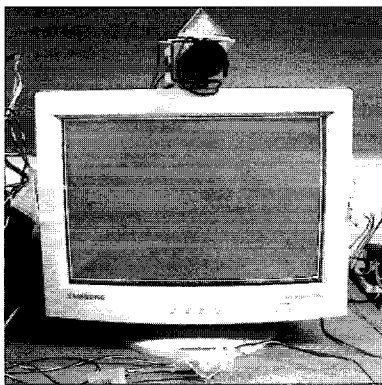


그림 1. 실험을 위한 적외선 LED와 CCD 카메라.  
Fig. 1. Experimental device established with a CCD camera and infrared LEDs.

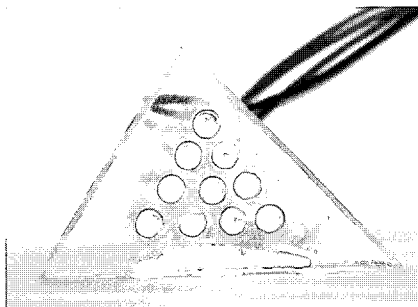


그림 2. 10개의 적외선 LED로 구성된 각각의 참조점.  
Fig. 2. Each reference point consists of 10 infrared LEDs.

### A. 영상획득 장치 및 주변 장치의 구성

본 연구에서는 참조점을 표현하기 위해 적외선을 사용하였다.

적외선을 발광하는 소자로 적외선 LED 사용하였으며, 개인용 컴퓨터에 장착된 병렬 포트(parallel port)를 사용하여 실시간으로 제어하였다. 그림 1은 CCD 카메라와 참조점을 나타내기 위한 적외선 LED를 설치한 모습으로 시각 자극용 모니터의 상단부에 CCD 카메라를 설치하였고, 시각 자극 모니터 주위의 네 변의 중앙에 적외선 LED를 설치하였다. 모니터 가운데 보이는 흰색 점은 실험에 사용된 응시점의 한 예이다. 본 논문에는 그림 2와 같이 10개의 적외선 LED를 피라미드 형식으로 연결하여 참조점으로 사용하였다. 회로에는 24V의 전압을 공급하였으며 컴퓨터의 병렬 포트에서 나온 신호를 darlington arrays (ULN2803A)를 이용하여 적외선 LED를 점등 및 소등시켰다.

### B. 영상획득

안구의 영상은 소형 모듈 CCD 카메라(Samsung Techwin Co., Ltd, SHC-721)와 이미지 그래버(Meteor 2/4, Matrox Electronic Systems Ltd.)를 이용하여 획득하였다. 피험자는 모니터의 좌상단(좌표점 20, 20)에서 우하단(좌표점 1260, 1004)까지 설정된 9개의 점을 순차적으로 응시(그림 10)하도록 하였으며, 각 점을 응시할 때마다 정지 영상을 획득하였다. 획득된 영상은 가로 640 화소 X 세로 480 화소 크기의 흑백 영상으로 화소 당 8-비트의 밝기 정보를 가진다. 동공에 반사된 적외선의 위치를 찾아내기 위해 안구 영상을 획득할 때 두 가지의 조건으로 영상을 획득하였다. 참조점(적외선 LED)을 켜 상태에서 획득한 영상과 참조점을 끈 상태에서 획득한 영상을 서로 비교하여 안구에 반사된 참조점을 추출하였다. CCD 모듈 카메라에서 이미지 그래버로 영상을 전송하기 위한 수단은 흑백 영상의 형식인 RS-170 형식으로 초당 30 frame의 속도를 가진다. 그림 3 및 그림 4는 소형 모듈 CCD 카메라와 이미지 그래버를 통해 획득한 안구 영상이다. 그림 3은 참조점을 켜 상태에서 획득한 안구 영상이며, 그림 4는 참조점을 끈 상태에서 획득한 안구 영상이다.



그림 3. 참조점을 켜 상태에서 획득한 안구 영상.  
Fig. 3. An acquired eye image with the reference points (infrared LEDs) turned off.

### C. 영상의 축소 및 안구의 주변부 검출

영상의 특정 위치를 추출하기 위해 안구영상의 전 영역을 검색하여 위치나 정보를 파악하게 된다. 그러나 영상의 크기가 클 경우

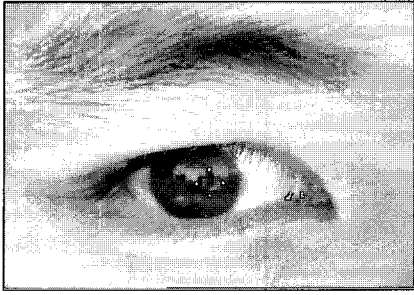


그림 4. 참조점을 켜진 상태에서 획득한 안구영상.  
 Fig. 4. An acquired eye image with the reference points (infrared LEDs) turned on.

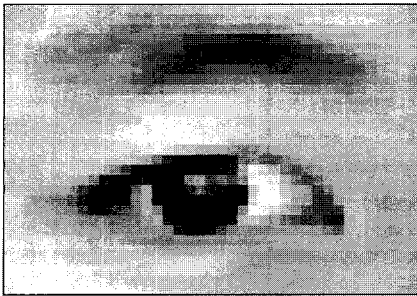


그림 5. 축소된 안구영상.  
 Fig. 5. Reduced eye image obtained from Fig. 5.

전 영역을 검사하기 위하여 많은 소요 시간을 소비하게 된다. 이를 실시간으로 구현하기에는 시간 제약이 따르기 때문에 처리 시간을 최소한으로 줄이고, 영상을 효율적으로 검사하기 위해 획득된 영상을 축소하여 영상을 검색하였다. 이를 위해 가로 640 화소 × 세로 480 화소의 안구 영상을 1/16로 축소하여 40 × 30의 영상으로 전환하였다. 참조점을 켜진 상태에서 획득한 영상으로 히스토그램을 분석하여 이진화한 다음 이 영상을 축소하여 눈동자와 눈꺼풀 및 그 주변의 영역을 검색하여 눈동자의 위치를 대략적으로 알 수 있도록 하였다. 획득한 영상의 분석을 빠르고 간편하게 하기 위해 16개의 픽셀 밝기를 모두 합하여 하나의 픽셀 밝기로 만들었다. 이는 영상의 크기를 줄여서 눈동자의 대략적인 위치를 찾는 데 빠르게 이용하기 위해서 사용하였으며, 그림 5는 CCD 카메라로부터 영상을 획득하여 1/16로 축소한 영상을 나타낸 그림이다.

본 논문에서는 1/3“ CCD가 장착된 카메라와 50mm의 수동 초점 렌즈로 영상을 획득하도록 구성하였고, 렌즈와 안구의 거리는 약 65cm로 초점을 눈동자에 정확하게 맞추어 영상을 획득하였다. 획득한 영상에 안구와 눈썹이 같이 표시될 경우 눈동자 주변과 눈썹의 밝기 값이 서로 비슷하다. 이와 같은 방법을 사용하여 찾게 되면 의도하지 않은 결과가 나올 수 있으므로 영상의 상부에 원하는 값보다 낮은 밝기가 있다면 그 이후의 영역을 계속 검색하여 안구 주변이 있는지 검색하여 안구 주변을 찾을 수 있도록 하였다.

**D. 눈동자의 대략적인 위치 측정**

눈동자의 중심 추출과 안구에서 반사되는 적외선을 검출하기 위한 기반을 마련하기 위해 안구의 대략적인 위치를 파악하였다. 안구와 그 주변부를 조사하여 가장 낮은 밝기의 위치를 파악하여 눈동자의 위치가 어느 부근에 있는지 알 수 있도록 하였다. 획득한 안구 영상의 눈동자 부분은 밝기가 가장 낮은 부분으로 구성되어 있기 때문에 이를 눈동자로 선택하였다. 본 연구에서 사용된 실험 장치로 영상을 획득한 경우, 안구 영상에서 눈동자의 크기는 140 ~ 150 픽셀 정도의 크기가 된다. 그러므로 획득한 안구 영상의 가로 150 픽셀 × 세로 150 픽셀이 가지고 있는 밝기를 합산하여 밝기가 가장 낮은 부분을 찾아 눈동자가 있는 위치 근방을 찾을 수 있게 하였다. 가장 밝기가 낮은 부분의 중심을 찾아 대략적인 중심을 알아 낼 수 있도록 하였다.

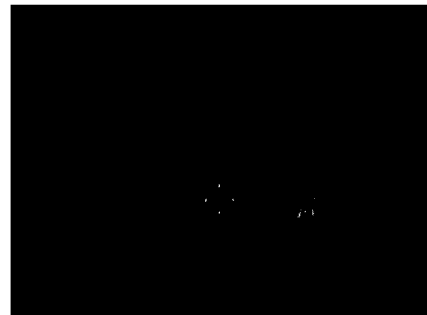


그림 6. 참조점을 켜진 상태에서 획득한 영상과 참조점을 끈 상태에서 획득한 영상의 차.  
 Fig. 6. Result of image subtraction .

**E. 안구에 반사된 참조점 검출**

피검자가 인식할 수 없는 적외선을 안구에 조사하여 실험에 대한 신체의 반응을 최소화하여 실험하였다. 안구에 반사된 적외선을 검출하기 위해 참조점을 발광하지 않은 영상과 참조점을 발광한 후 안구의 영상을 획득 및 저장하였다. 눈은 볼록렌즈의 형태를 하고 있으므로 CCD 카메라에서 안구를 바라볼 때에는 안구에 반사된 빛이 모여져 보이게 된다. 동공에 반사된 적외선을 검출하기 위하여 적외선 없이 획득한 영상과 적외선이 비추고 있는 영상의 차를 구해 순수하게 안구에 반사된 적외선을 만들 추출하였다. 그림 6은 참조점을 켜진 상태에서 획득한 영상과 참조점을 끈 상태에서 획득한 영상의 차를 표현한 사진이다. 안구에서 적외선이 반사되는 위치는 4개의 점 형태로 되어 있기 때문에 각 점의 좌표를 구하고 난 후, 각 점의 X축 좌표 값의 합을 4로 나눈 값을 참조점 중심의 X축 좌표로 하였으며, 같은 방법으로 참조점 중심의 Y축 좌표를 구하였다. 안구에 반사된 빛 이외에도 눈의 가장자리에 반사된 적외선이 있지만 눈동자의 반경 안에 있는 참조점만을 검출하고 주변에 나타난 적외선은 무시하도록 프로그램을 작성하였다. 안구에서 적외선이 반사되는 위치는 4개의 점 형태로 되어 있기 때문에 각 점의 좌표를 구하고 난 후, 각 점의 X축 좌표값의 합을 4로 나눈

값을 참조점 중심의 X축 좌표로 하였으며, 같은 방법으로 참조점 중심의 Y축 좌표를 구하였다. 안구에 반사된 빛 이외에도 눈의 가장자리에 반사된 적외선이 있지만 눈동자의 반경 안에 있는 참조점만을 검출하고 주변에 나타난 적외선은 무시하도록 프로그램을 작성하였다.

**F. 눈동자의 중심찾기**

원의 중심은 삼각형의 외심 정리를 이용하면 구할 수 있으므로 눈동자의 외각선과 접하는 각기 다른 세 점을 이용하면 눈동자의 중심을 구할 수 있다.

*가) 눈동자와 흰자질의 경계선 추출*

눈동자의 대략적인 위치의 중심에서 눈동자의 경계선 방향으로 가상의 선을 따라 밝기를 조사하여 밝기의 변화가 큰 부분을 찾아 내어 눈의 흰자질 부분과 경계를 이루는 곳을 검출하였다. 검출부분은 실험 당시의 조도에 따라 밝기의 값이 변하게 되므로 오차를 줄이기 위하여 동일한 시간에 측정하였다. 본 연구에서 사용한 카메라로 눈의 흰자질 부분을 측정하였을 경우 각 픽셀의 밝기 값은 약 90~110 정도로 나타났고, 동공의 경우 각 픽셀의 밝기 값은 약 40~60 정도로 나타났기 때문에 경계선을 추출하기 위한 문턱치 (threshold)를 70으로 고정하고 경계선을 추출하였다.

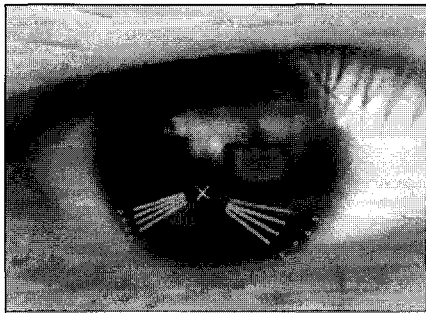


그림 7. 각막과 흰자질사이의 경계선 추출.  
Fig. 7. Boundary detection between sclera and pupil areas.

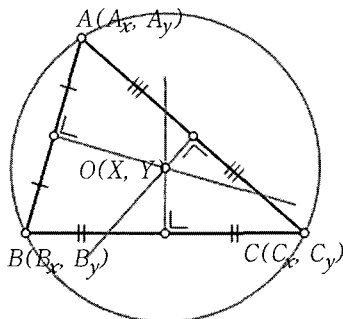


그림 8. 삼각형의 외심정리.  
Fig. 8. The circumcenter and the circumcircle of a triangle.

그림 7에서 보는 바와 같이 눈동자의 대략적인 중심을 이용하여 8방향(185°, 195°, 205°, 215°, 355°, 345°, 335°, 325°)의 각도로 연장선을 그은 다음 눈동자와 흰자위의 경계선에 만나는 점을 표시하였다. 눈이 카메라를 응시하고 있을 때 눈동자의 위쪽 부분과 아래쪽 부분은 눈꺼풀에 의해서 보이지 않기 때문에 눈꺼풀이 가리지 않는 부분을 추출하여 적용하였다.

*나) 눈동자의 중심 구하기*

눈동자의 중심은 그림 8에서 보는 바와 같이 삼각형을 이용하여 원의 외심을 구할 수 있다. 즉, 눈동자의 경계 부분에 놓인 서로 다른 세 점을 추출하여 눈동자의 중심을 구할 수 있다. 눈동자의 중심을 O(X, Y)라 하고, 눈동자와 흰자의 경계에 있는 세 점을 추출하여 각각을 A(Ax, Ay), B(Bx, By), C(Cx, Cy)라 하였을 때 다음과 같은 등식이 된다.

$$\overline{OA} = \overline{OB} = \overline{OC} \tag{1}$$

$$2A_x - 2B_x = a, \quad 2A_y - 2B_y = b,$$

$$A_x^2 + A_y^2 - B_x^2 - B_y^2 = c,$$

$$2B_x - 2C_x = d, \quad 2B_y - 2C_y = e,$$

$$B_x^2 + B_y^2 - C_x^2 - C_y^2 = f$$

라 두면

$$aX + bY + c = 0 \tag{2}$$

$$dX + eY + f = 0 \tag{3}$$

이 된다.

(2), (3)의 연립방정식으로 풀게 되면

$$X = \frac{bf - ce}{(ae - bd)} \tag{4}$$

$$Y = \frac{(af - cd)}{(bd - ae)} \tag{5}$$

가 되며 앞서 측정된 값들을 이용하여 눈동자의 중심 O(X, Y)를 구할 수 있다.

**G. 안구에 반사된 적외선과 눈동자 중심의 상호관계에 따른 응시점 추출**

눈동자의 중심과 안구에 반사된 적외선의 중심과의 위치로 응시점의 변화분을 상대적인 값으로 인식하여 표현하였다. 피험자가 서로 다른 점을 응시할 경우 동공에서 반사되는 참조점의 위치는 변하지 않고 그대로 있지만, 동공의 중심은 응시점에 따라 이동하기 때문에 상대적인 위치의 변화가 생기게 된다. 따라서 안구에 반사된 참조점 중심과 눈동자 중심이 가지는 상대적인 위치와 값을 통하여 어느 곳을 응시하고 있는지 파악할 수 있다.

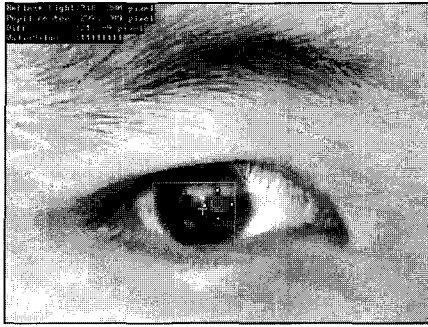


그림 9. 반사된 참조점의 중심과 눈동자 중심이 있는 위치.  
Fig. 9. Eye image showing the center of pupil and the center of reference points.

그림 9에서 안구에 반사된 참조점의 중심과 눈동자 중심이 있는 위치를 나타내었다. 눈동자의 중심은 눈동자의 한가운데에 위치하고 있으며 그림9에서는 십자표시로 나타내었고, 참조점의 중심은 조금 큰 원으로 표시하였다. 그림 9의 왼쪽 상단에는 각각의 위치를 수치적으로 나타내어 눈동자가 어디를 주시하는지 파악할 수 있도록 하였다.

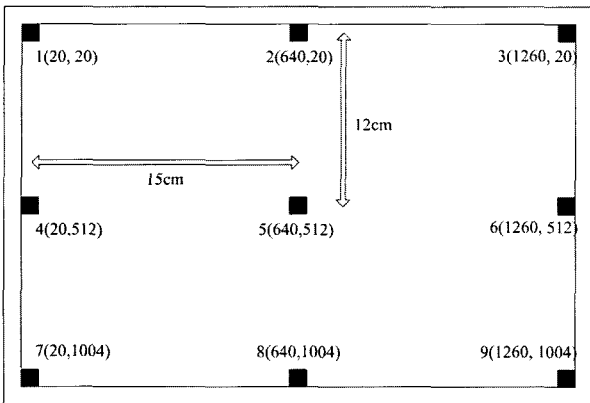


그림 10. 자극화면 상의 참조점의 위치.  
Fig. 10. Positions of test points on the monitor screen.

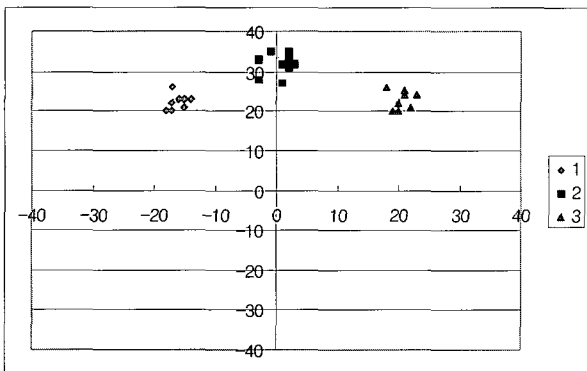


그림 11. 표 1, 2, 3에서 구한참조점의 중심좌표와 안구의 중심좌표의 차이.  
Fig. 11. Difference values between the center of reference points and center of pupil at gazing points No.1, 2, 3.

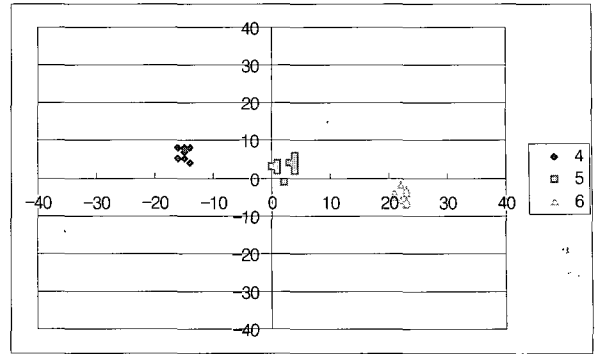


그림 12. 표 4, 5, 6에서 구한 참조점의 중심좌표와 안구의 중심좌표의 차이.  
Fig. 12. Difference values between the center of reference points and center of pupil at gazing points No.4, 5, 6.

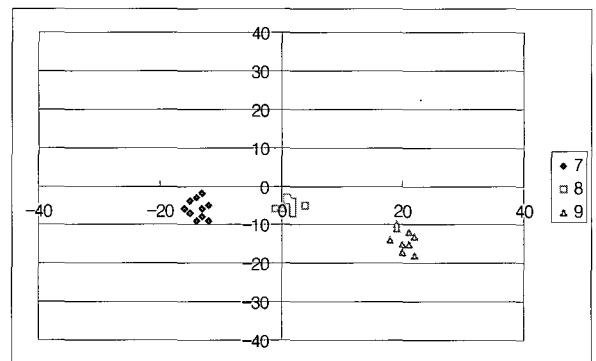


그림 13. 표 7, 8, 9에서 구한 참조점의 중심좌표와 안구의 중심좌표의 차이.  
Fig. 13. Difference values between the center of reference points and center of pupil at gazing points No.7, 8, 9.

### H. 실험방법

본 실험은 24세의 성인 남자1명을 대상으로 하였으며, 자연광의 영향을 최소화하기 위하여 연속적으로 10회의 실험을 통하여 안구 영상을 획득하여 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용하였다. 그림 10은 실험에서 사용한 모니터의 자극점을 표현한 그림이다. 1번(자극 모니터 좌표 20, 20)에서 9번(자극 모니터 좌표 1260, 1004)까지 표시한 작은 사각형(자극점)을 17인치 CRT 모니터 (Samsung syncmaster 703s)에 표현하였다. 눈동자가 바라보는 위치에 따라서 참조점과 눈동자의 중심이 어떻게 변하는지에 대해서 실험하였다. 피험자가 각 점들을 순차적으로 응시하였을 때 눈동자의 움직임을 측정하기 위해 각 응시점을 10초 간격으로 차례로 점등하였다. 영상을 획득하기 위한 방법은 실험대상자가 시선을 모니터의 자극화면에 고정하고 응시점을 바라보고 있을 때 키를 입력 받아 영상을 획득하였다. 응시점의 크기는 가로 8 픽셀 × 세로 8 픽셀의 크기로 고정하였으며, 획득한 영상은 640 픽셀 × 480 픽셀의 크기로 이후의 획득한 좌표는 획득한 영상의 좌표이다. 응시점을 나타내는 모니터 화면과 눈과의 거리는 65cm이며 17인치 CRT 모니터에서 자극간의 거리는 5번(자극 모니터 좌표

표 1. 응시점 1번에서 얻은 안구영상의 좌표

Table 1. Acquired eye image coordinates at the gazing point No.1

(unit: pixel)

No.	Center of reference points ①		Center of pupil ②		① - ②	
	X axis	Y axis	X axis	Y axis	X axis	Y axis
1	375	255	389	232	-14	23
2	385	252	400	231	-15	21
3	384	254	400	231	-16	23
4	375	255	393	235	-18	20
5	377	253	394	231	-17	22
6	377	253	392	230	-15	23
7	386	254	401	231	-15	23
8	404	250	419	227	-15	23
9	403	251	420	225	-17	26
10	400	253	417	233	-17	20
Mean					-15.9	22.4
Max - Min					4	6
Standard Deviation					1.28	1.77
Error(%)					2.67%	4.00%

표 2. 응시점 2번에서 얻은 안구영상의 좌표

Table 2. Acquired eye image coordinates at the gazing point No.2

(unit: pixel)

No.	Center of reference points ①		Center of pupil ②		① - ②	
	X axis	Y axis	X axis	Y axis	X axis	Y axis
1	328	178	329	143	-1	35
2	336	190	334	159	2	31
3	315	197	318	169	-3	28
4	303	204	301	171	2	33
5	308	204	306	171	2	33
6	317	204	315	169	2	35
7	313	207	310	175	3	32
8	317	216	320	183	-3	33
9	305	216	304	184	1	32
10	311	222	310	195	1	27
Mean					0.6	31.9
Max - Min					6	8
Standard Deviation					2.17	2.64
Error(%)					4.00%	5.33%

표 3. 응시점 3번에서 얻은 안구영상의 좌표

Table 3. Acquired eye image coordinates at the gazing point No.3

(unit: pixel)

No.	Center of reference points ①		Center of pupil ②		① - ②	
	X axis	Y axis	X axis	Y axis	X axis	Y axis
1	331	242	311	220	20	22
2	335	241	313	220	22	21
3	333	240	314	220	19	20
4	322	244	302	224	20	20
5	323	235	302	211	21	24
6	334	239	313	214	21	25
7	331	236	313	210	18	26
8	332	241	312	219	20	22
9	331	238	310	214	21	24
10	335	240	312	216	23	24
Mean					20.5	22.8
Max - Min					5	6
Standard Deviation					1.43	2.09
Error(%)					3.33%	4.00%

표 4. 응시점 4번에서 얻은 안구영상의 좌표

Table 4. Acquired eye image coordinates at the gazing point No.4 (unit: pixel)

No.	Center of reference points ①		Center of pupil ②		① - ②	
	X axis	Y axis	X axis	Y axis	X axis	Y axis
1	340	201	355	194	-15	7
2	355	218	369	214	-14	4
3	352	220	368	212	-16	8
4	354	223	370	218	-16	5
5	352	223	367	218	-15	5
6	354	228	369	220	-15	8
7	363	225	377	217	-14	8
8	359	233	375	225	-16	8
9	361	230	375	226	-14	4
10	367	233	381	229	-14	4
Mean					-14.9	6.1
Max - Min					2	4
Standard Deviation					0.87	1.85
Error(%)					1.33%	2.67%

표 5. 응시점 5번에서 얻은 안구영상의 좌표

Table 5. Acquired eye image coordinates at the gazing point No.5 (unit: pixel)

No.	Center of reference points ①		Center of pupil ②		① - ②	
	X axis	Y axis	X axis	Y axis	X axis	Y axis
1	309	269	308	265	1	4
2	301	277	297	274	4	3
3	296	276	292	273	4	3
4	291	284	287	278	4	6
5	304	285	303	283	1	2
6	309	288	307	289	2	-1
7	308	282	305	278	3	4
8	314	282	310	280	4	2
9	313	278	313	275	0	3
10	313	271	309	267	4	4
Mean					2.7	3
Max - Min					4	7
Standard Deviation					1.56	1.82
Error(%)					2.67%	4.67%

표 6. 응시점 6번에서 얻은 안구영상의 좌표

Table 6. Acquired eye image coordinates at the gazing point No.6 (unit: pixel)

No.	Center of reference points ①		Center of pupil ②		① - ②	
	X axis	Y axis	X axis	Y axis	X axis	Y axis
1	357	249	336	253	21	-4
2	355	252	332	258	23	-6
3	356	252	335	256	21	-4
4	352	256	330	258	22	-2
5	353	258	332	262	21	-4
6	353	262	330	269	23	-7
7	356	260	335	265	21	-5
8	356	261	333	264	23	-3
9	354	264	332	270	22	-6
10	356	263	333	267	23	-4
Mean					22	-4.5
Max - Min					2	5
Standard Deviation					0.94	1.50
Error(%)					1.33%	3.33%

표 7. 응시점 7번에서 얻은 안구영상의 좌표

Table 7. Acquired eye image coordinates at the gazing point No.7

(unit: pixel)

No.	Center of reference points ①		Center of pupil ②		① - ②	
	X axis	Y axis	X axis	Y axis	X axis	Y axis
1	404	268	420	274	-16	-6
2	404	277	417	285	-13	-8
3	408	279	421	281	-13	-2
4	411	282	426	286	-15	-4
5	415	285	428	291	-13	-6
6	366	233	380	236	-14	-3
7	363	238	378	245	-15	-7
8	366	245	378	250	-12	-5
9	365	243	377	252	-12	-9
10	361	244	375	253	-14	-9
Mean					-13.7	-5.9
Max - Min					4	7
Standard Deviation					1.33	2.42
Error(%)					2.67%	4.67%

표 8. 응시점 8번에서 얻은 안구영상의 좌표

Table 8. Acquired eye image coordinates at the gazing point No.8

(unit: pixel)

No.	Center of reference points ①		Center of pupil ②		① - ②	
	X axis	Y axis	X axis	Y axis	X axis	Y axis
1	372	230	373	236	-1	-6
2	381	232	379	239	2	-7
3	382	235	380	240	2	-5
4	388	246	386	252	2	-6
5	392	253	392	259	0	-6
6	393	255	391	259	2	-4
7	396	250	394	255	2	-5
8	406	258	402	263	4	-5
9	387	266	386	270	1	-4
10	396	272	395	275	1	-3
Mean					1.5	-5.1
Max - Min					5	4
Standard Deviation					1.35	1.19
Error(%)					3.33%	2.67%

표 9. 응시점 9번에서 얻은 안구영상의 좌표

Table 9. Acquired eye image coordinates at the gazing point No.9

(unit: pixel)

No.	Center of reference points ①		Center of pupil ②		① - ②	
	X axis	Y axis	X axis	Y axis	X axis	Y axis
1	315	266	296	277	19	-11
2	295	298	277	312	18	-14
3	296	301	277	311	19	-10
4	289	309	267	327	22	-18
5	306	210	285	225	21	-15
6	308	233	286	246	22	-13
7	307	230	287	247	20	-17
8	304	235	284	250	20	-15
9	305	236	284	251	21	-15
10	304	238	283	250	21	-12
Mean					18.2	-12.8
Max - Min					4	8
Standard Deviation					1.33	2.53
Error(%)					2.67%	5.33%



640, 512)을 중심으로 상하로는 12cm, 좌우로는 15cm 떨어진 거리에 표시하였다. 그림 10에 표시한 위치(1~9)에 순서대로 바라보며 각 10회 반복하여 정지영상을 획득하였다.

### III. 실험 결과

표 1 - 표9는 그림 10의 9개의 각 점을 보고 있을 때 얻은 참조점의 중심좌표와 눈동자의 중심좌표 및 이 두 점간의 차를 나타내고 있으며, 참조점의 중심좌표에서 눈동자의 중심좌표를 뺀 값으로 표시하였다.

### IV. 고 찰

본 연구를 통해 응시점에 따라 눈동자에 반사된 참조점과 눈동자의 중심과의 관계를 알아보았으며 모니터에 표시된 각각의 응시점에 대해서 카메라로 획득한 영상의 X, Y 축 모두 약 12~20 픽셀 정도의 변화를 보였다.

각각의 좌표 변화에 대한 결과를 보면 눈동자가 바라보는 위치가 변하게 되면 반사된 참조점은 일정한 위치에 고정되어 있지만 눈동자의 중심이 이동하는 것을 알 수 있었으며 또한 눈동자가 바라보는 위치를 구별할 수 있을 정도의 해상도를 가지고 있는 것이 확인되었다. 본 연구에서 오차는 전체 눈동자의 크기에서 각 픽셀의 오차가 얼마나 있는가를 나누어 구하였으며, 오차는 1~6% 정도 나타났고 전체적으로 비슷한 오차를 가지고 있음을 알 수 있다.

이 연구에서 제안된 알고리즘을 적용했을 때 눈동자의 중심을 구하는데 약간의 오차가 발생했으며, 이는 획득한 영상에서 눈동자의 경계선 부분이 흐려져 있기 때문에 발생한 것으로 판단된다. 즉, 눈동자의 경계선 부분을 정확하게 측정하지 못하여 눈동자의 실제 중심에서 벗어난 지점을 눈동자의 중심으로 인식하게 된다. 두 번째 실험 데이터의 경우 6번 자극점과 9번 자극점을 보고 있을 때의 차이가 거의 나타나지 않았는데, 이는 눈동자의 형태는 완전한 구가 아님에도 불구하고 이를 완전한 구로 가정했기 때문에 참조점의 중심을 찾는데 오차가 발생한 것으로 판단된다. 또한, 피험자의 안구와 CCD 카메라가 근접해 있으므로 획득한 영상이 카메라 렌즈의 구면수차로 인해 외곽으로 갈수록 흐트러지게 되어 오차가 커지게 된다.

### V. 결 론

본 연구에서는 VOG 기반에서 이용될 수 있는 동공의 중심과 안구에 반사된 적외선의 중심을 비교하여 동공이 바라보는 위치를 추적하는 알고리즘을 제안하였다.

안구의 영상은 소형 모듈 CCD 카메라와 이미지 그래버를 이용하여 획득하였으며 이들 화소 농도 정보인 히스토그램 데이터를 구한 뒤, 디폴트 문턱치를 얻어 이 값을 기준으로 각 화소의 농도 값을 0 혹은 255로 바꾸어 이진화하였다.

안구와 주변부를 빠르게 검출하기 위하여 영상을 16:1의 비율로 축소하여 안구의 주변부 위치를 찾았으며, 이를 바탕으로 눈동자의 중심 추출과 안구에 반사되는 적외선을 검출하기 위한 기반이 되는 안구의 대략적인 위치를 알아내었다. 피검자가 인지할 수 없는 적외선을 안구에 조사하여 안구에 반사된 적외선을 CCD 카메라로 검출하여 이를 참조점으로 사용하였다. 안구에 반사된 적외선을 확실히 구별하기 위해 적외선을 조사하지 않은 영상과 적외선을 조사한 영상을 각각 획득하였고, 이들 영상 간의 차를 이용하여 동공에 반사된 참조점만을 추출할 수 있다.

안구의 중심을 구하기 위해 삼각형의 외심 정리를 이용하였으며 눈동자의 중심과 안구에 반사된 적외선의 중심과의 상대적 위치로 응시점의 차이를 계산함으로써, 이 값을 통하여 피검자가 어디를 응시하고 있는지 파악할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 안구의 움직임에 따라 안구의 중심이 참조점의 중심과 연계하여 움직이는 것을 알 수가 있었다. 참조점을 기준으로 안구의 중심이 나타내는 좌표의 차를 구하면 어느 방향으로 이동하는지 확인할 수 있다. 그리고 머리가 어느 방향으로 위치하더라도 바라보는 위치를 구하는데 큰 차이가 없음을 확인하였다.

본 연구에 사용된 카메라에 들어오는 광원이 충분히 확보하지 않으면 셔터스피드의 대기시간으로 인하여 이전 영상이 그대로 다음 프레임처럼 보이거나 움직이는 현상이 나타남을 볼 수 있었기 때문에 충분한 광원을 확보한 상태에서 실험을 하여야만 했다.

카메라의 초점이 정확히 맞지 않을 경우 동공에 반사된 적외선과 눈동자가 흐트러져 정확한 측정을 하기 어려웠으며, 눈동자에 강한 빛이나 눈동자에 반사된 물체가 비칠 경우 눈동자의 경계선 부분을 정확하게 추출하기 어려웠고 동공에 반사된 적외선의 측정에 혼선을 가져오게 되므로 주변상태를 정리 및 광원을 주변에 배치하여 측정하여야 했다.

본 실험에 사용된 영상의 형식은 RS-170이었지만, 영상 처리 시간간격으로 현재 영상과 다음 영상의 간격이 63msec이며 두 장의 연속된 영상을 확보해야하므로 한 점의 응시점을 계산하는데 약 125msec 정도 소요되어 1초당 눈동자를 추적할 수 있는 프레임 수는 약 7~8정도가 된다. 눈동자의 모양을 포착하더라도 눈동자가 다른 곳으로 이동할 경우나 신체의 진동으로 인해 세밀한 측정은 하기 힘들기 때문에 향후의 연구에서는 이 문제를 개선해야만 한다.

본 실험에서 오차가 발생하는 범위를 줄이기 위하여 새로운 알고리즘을 고안하여 눈동자의 경계선 부분을 정확하게 추출하는데 필요한 보정 값을 만드는 것도 고려해 보아야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] Marco Porta, "Vision-based user interface: methods and applications," *Int. J. Human-Computer Studies*, vol. 57, pp.27 ~ 73, 2002.
- [2] Rudolf Groner, Christine Menz, Dennis F. Fisher, et al., *Eye Movements and Psychological Functions: International Views*,

- 1983, 1st Ed. London, IEA
- [3] Haustein, W., "Considerations on Listing's Law and the primary position by means of a matrix description of eye position control," *Biol Cybern*, vol. 60, pp. 411 ~ 420.
  - [4] Robinson, D. A., "A method of measuring eye movement using a scleral search coil in a magnetic field," *IEEE Trans. Biomed. Electron.*, BME-10, pp. 137 ~ 145.
  - [5] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing. Addison Wesley, 1993 menshlichen Auges*. Holland. Beitr. Annal. Physiol. Wiss.
  - [6] Gregory A and Baxes, *Digital Image Processing*. Wiley, 1994
  - [7] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company.
  - [8] Rober M. Haralick and Linda C. Shapiro, "SURVEY : Image Segmentation Techniques," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol 29, 1985.
  - [9] David A. Forsyth, Jean Ponce., *Computer Vision A Modern Approach*. New Jersey: Prentice Hall, 2003, pp.301 ~ 353.
  - [10] Scott E Umbaugh, Ph.D., *Computer Vision and Image Processing: A Practical Approach Using CVIPtools*, New Jersey: Prentice Hall, 1998, pp. 91 ~ 97.
  - [11] Kwon O. S., Cho J. M., *Algorithm for wide angle eye tracking and pupillometer system using cross-division technique*, Inje Non Chong, Dec. 1990, , pp. 697 ~ 704.
  - [12] Kwon O. S., Cho J. M., Hong S. H., "A study for precise eye tracking and pupillometer system," in *Proc. HICEC*, 1992, pp. 269 ~ 272.
  - [13] Just M. A. & Carpenter P. A., *The Psychology of Reading and Language Comprehension*, Boston: Allyn and Bacon Inc., 1987.
  - [14] Yong, L. R., Sheenma, D. Eye-movement techniques. In J.G. Webster(Ed.), *Encyclopedia of medical device and instrumentation 2*, 1988.
  - [15] Hallet, P. E. Eye movement. In K. R. Boff, L. Kaufman, and J. P. Thomas(Eds.). *Handbook of perception and human performance*, 1986
  - [16] Gerhardt, Eye tracking apparatus and method employing gray-scale threshold value, US Patent, 1994.
  - [17] Lin Chern-Sheng, "An eye behavior measuring device for VR system," *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 38, pp. 339-359, 2002.