

착용형 시선 추적 장치의 스포츠 분야 적용을 위한 적외선 조명 변화 최소화에 관한 연구

A Study on an Infrared Illumination Stabilization Method in a Head Mounted Eye Tracking System for Sport Applications

이 상 철
(Sangcheol Lee)

Abstract : In this paper, a simple optical method that uses an infrared(IR) cut filter is proposed to minimize variation of eye image by external infrared(IR) sources in a video based head mounted eye tracking system that is used in the field of sports. For this, the IR cut filter is attached to a head mount of the eye tracking system, and the camera with an IR LED is located between the IR cut filter and eye. In this structure, external IR is blocked by the IR cut filter, and the IR intensity on the eye can be controlled by the IR LED. Therefore, the illumination condition of the camera to capture the eye can be stable without being affected by external IR illuminations. To verify the proposed idea, variation of the eye image and intensity of the IR with/without the IR cut filter is measured under various illumination conditions. The measured data show that the IR cut filter method can block external IR effectively, and complex pupil detection algorithms can be replaced by a simple binarized method.

Keywords : binarized method, external IR sources, IR cut filter, pupil detection

I. 서론

시선 추적 장치(eye tracking system)는 인간의 시선(line of sight)을 추적하여 기록하는 장치로, HCI (Human Computer Interface), 인간 공학, 뇌 공학, 마케팅 및 스포츠 분야에서 널리 사용되고 있다[1-3].

시선 추적 장치는 안구의 움직임을 추적하는 방식에 따라 다양한 종류가 있으며, 안구에 유도 코일이 장착된 콘택트 렌즈를 삽입하여 안구의 움직임에 의하여 발생하는 자기장의 변화를 감지하여 추적하는 방법[4], 안구의 움직임 시 눈 주변의 근육에서 발생하는 전기 신호를 이용하는 방법[5], 안구에 적외선 조명을 가하고 안구의 움직임에 따른 반사광의 변화를 포토 다이오드(photo diode)로 감지하여 추적하는 방법[6] 및 카메라를 이용하여 안구의 움직임을 추적하고 이를 바탕으로 시선을 추적하는 방법 등이 있다[7-10]. 이러한 방법 중 카메라를 이용하는 방법은 사용이 간편하고, 반도체 기술 및 컴퓨터의 성능 향상으로 인하여 간단하게 구현이 가능하여 최근 많이 연구되고 있으며, 여러 종류의 상용 장비가 판매되고 있다[8-10]. 안구를 추적하는 방식 이외에 추적된 시선을 이용하는 목적에 따라서, 추적된 시선 정보를 컴퓨터의 제어와 연동하여 사용하는 HCI 관련 연구에 사용되는 기구와 [1,2], 시선 정보의 처리 및 이와 관련된 연구를 수행하는데 사용되는 기구로 나누어 볼 수 있다[1-3].

HCI의 응용과 관련된 시선 추적 장치는 컴퓨터의 입력 장치로 사용하는 경우에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 이를 위하여 모니터상에서의 시선 좌표를 추출하여 사용하므로, 대부분이 사용자의 안구를 추적하는 기능을 수행하는 카메라 또는 센서만을 이용하고 있다[11,12].

HCI 분야 사용과는 달리, 인간 공학이나 뇌 과학 및 스포

츠 분야에서 사용되는 시선 추적 장치는, 시선 추적 장치를 착용한 사용자가 어디를 보는지에 대한 정보를 추출하는 것이 목적이기 때문에, 사용자의 안구의 움직임을 추적하는 장치에 더하여 실제 사용자가 바라보는 대상을 촬영하는 카메라가 추가된다[8,9,13,14]. 따라서 이러한 목적의 시선 추적 장치는 사용자의 안구를 추적하는 안구 카메라(eye camera)와 사용자가 보고 있는 대상을 촬영하는 시야 카메라(view camera)를 사용하고 있으며, 사용자의 시선 정보를 추출하여 시야 카메라의 영상에 더하여 표시하는 기법을 사용하고 있다. 착용자의 시야에 시선을 더하는 형태의 시선 추적 장치는, 2대의 카메라를 이용하여 착용자의 안구와 착용자가 바라보는 시야를 촬영한 후, 안구를 촬영한 영상에서 시선 정보를 추출 한다. 추출된 시선 정보를 착용자의 시야를 촬영한 영상에 표시하기 위하여, 보정(calibration)과정을 통하여 시선과 시야 영상 사이의 관계식을 정립한 뒤, 이를 이용하여 사용자의 시선을 시야 영상에 표시하게 된다. 따라서 위와 같은 형태의 시선 추적 장치는 대부분이 사용자의 머리에 착용하는 형태(head mounted)로 제작되고 있으며[8,9,13], 안구 카메라에서 촬영한 영상에서 시선 정보를 추출하기 위하여 안구의 특정 형상을 이용하여 안구의 중심점을 찾는 작업을 수행하게 된다. 이를 위하여 안구의 홍채, 동공 및 공막 등이 적외선(infrared, IR)에 따라 다르게 반응하는 특징을 이용하고자 소형 적외선 LED를 조명으로 사용하고 있다. 착용형으로 제작된 시선 추적 장치는 착용자의 움직임이 가능한 장점이 있어 응용 분야가 증가하고 있으며[1,2], 이에 따라 실내뿐 아니라 실외에서의 사용에 대한 요구도 늘어나고 있다.

특히 스포츠 분야에서는 선수들의 시선 처리에 대한 연구를 위하여 골프, 축구, 테니스 등의 종목 연구에 사용되고 있으며[15-17], 최근에는 국가대표 배드민턴 선수들의 경기력 향상을 위하여 사용하고 있다[18,19].

이 같은 경우 기존 대부분의 시선 추적 장치에서 조명으로

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 7. 16., 채택확정 : 2008. 11. 25.

이상철 : 체육과학연구원 스포츠 산업연구실(k200lsc@hanmail.net)

사용하는 적외선 LED 이외에, 각종 대형 조명 기구에서 발생하는 적외선과 태양으로부터 발생하는 적외선에 의하여 영향을 받으며, 이 경우 흑백 적외선 영상을 이용하는 안구 영상은 사용 환경에 의하여 많은 영향을 받게 된다. 이러한 제약으로 인하여 대부분의 시선 추적 장치에서는 그 사용 환경을 실내로 제한하거나, 제한된 조명 환경에서 사용하고 있으며, 외부 조명의 영향을 최소화 하기 위하여 다양한 기법이 동원되고 있다[1,14,20-22]. 따라서 본 논문에서는 착용형 시선 추적 장치를 스포츠 분야에 적용하기 위하여 외부 적외선 광원에 의한 간섭을 차단하는 방법으로 소프트웨어적인 기법을 사용하지 않고, 하드웨어적 기법을 이용하여 외부 광원의 효과를 원천적으로 제거 하는 방법에 대한 연구를 수행하였으며, 기존 장치들도 추가적인 소프트웨어의 수정 없이 외부 환경에 영향을 받지 않도록 할 수 있는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 착용형 시선 추적 장치에서 기본적인 착용 장치로 사용하고 있는 안경형 프레임을 이용하였으며, 기존의 안경 렌즈 장착 부분에 광학식 적외선 차단 필터(infrared cut filter)를 장착하여, 외부에서 들어오는 적외선을 차단한 뒤, 안경 내부에 적외선 LED를 장착하여 외부 환경에 상관없이 일정한 적외선 광량을 유지할 수 있도록 하였다. 제안된 방식의 유효성을 확인하기 위하여 실제 적외선 차단 필터를 이용한 안경 프레임을 제작하고, 적외선의 광량을 측정 할 수 있는 센서를 이용하여 다양한 조명 환경에서의 적외선 차단 필터 내부에서의 적외선 광량의 변화를 측정 하였으며, 각 측정 환경에서의 안구 영상의 변화를 분석 하였다. 측정 결과, 다양한 조명 환경 하에서 연구에서 제시한 적외선 차단 필터를 이용한 경우, 적외선 차단 필터를 이용하지 않은 경우보다 매우 낮은 광량의 변화를 확인 할 수 있었으며, 이러한 방법은 기존의 착용형 시선 추적 장치에도 별다른 추가 개조 없이 적용이 가능하고, 기존의 조명 환경 변화를 해결하기 위하여 적용하는 다양한 프로그램적 기법을 최소화 할 수 있을 것으로 생각된다.

연구를 통하여 제안된 방식을 설명하기 위하여, 현재 대부분의 카메라 기반의 시선 추적 장치에서 사용하는 안구 촬영 기법을 II 장에서 간략하게 정리하였으며, III 장에서는 실험을 위하여 구성한 전체 시스템을 설명하였다. 제작된 장치를 이용한 실험 결과와 결론을 각각 IV, V 장에서 정리 하였다.

II. 적외선을 이용한 안구 촬영 기법

카메라를 기반으로 하는 시선 추적 장치는 시선을 추출하기 위하여 안구의 동공 또는 홍채를 추적하는 알고리즘을 기본으로 사용하고 있어, 안구의 동공 또는 홍채를 카메라를 이용하여 촬영하는 작업으로부터 시선 추적 과정이 시작 된다. 이를 위하여 대부분의 카메라 기반의 시선 추적 장치에서는 가시광선으로는 잘 구별되지 않는 동공과 홍채가 적외선을 이용하면 손쉽게 구별되는 특징을 이용하기 위하여, 특정 파장의 적외선(약 700-1000nm)을 안구에 투사한 뒤 적외선 대역 촬영이 가능한 디지털 카메라를 이용하여 안구 영상을 촬영하고 있다[11-14,20]. 디지털 방식의 카메라에서 빛을 받아들여 전기 신호로 변환하는 CCD/CMOS는 대부분이 가시광선과 적외선 영역의 빛을 인식할 수 있으며, 흑백

CCD/CMOS 카메라의 경우에는 별다른 개조 없이 적외선 영상의 촬영이 가능하나, 컬러 CCD/CMOS 카메라를 이용하는 경우에는 약간의 개조가 필요하다. 이는 컬러 카메라의 경우에는 적외선에 의하여 붉은색이 강조되어 나오는 것을 방지 하기 위하여, 적외선 대역의 광선을 차단하는 광학 필터(적외선 차단 필터)가 기본적으로 장착되어 나오므로, 이 필터를 제거하지 않으면 적외선 대역의 촬영이 불가능 하다. 따라서 컬러 카메라를 사용하고자 하는 경우에는 적외선 차단 필터를 제거하고 사용하여야 한다. 일반적인 실험실 환경에서 적외선 대역 촬영이 가능한 카메라와 적외선 조명을 이용하면, 적외선과 가시광선이 동시에 카메라에서 감지되므로 적외선에 의한 안구의 효과를 감지 할 수 없게 된다. 따라서 가시광선이 존재하는 대부분의 환경에서 가시광선에 의한 효과를 차단하고 적외선에 의한 효과만을 관측하기 위하여 가시광선 대역만을 차단해 주는 광학식 필터(가시광선 차단 필터 또는 적외선 투과 필터)를 이용하여 적외선에 의해 생성되는 영상만을 이용하게 된다.

적외선과 가시광선 차단 필터를 이용하여 포착하는 영상은 흑백 영상으로 나타나게 되며, 그림 1에서는 이러한 과정과, 그림 2에서는 이를 통하여 포착된 영상을 보여주고 있다. 카메라를 통하여 획득된 영상의 처리는 컴퓨터에서 수행하므로 아날로그 영상을 디지털로 전환하여 처리하게 되며, 대부분의 시선 추적 장치에서는 특수한 사양을 제외하고는 약 30만화소의 카메라(640 * 480)를 이용하며, 적외선 안구 영상을 흑백 영상으로 변환하여 사용하고 있다. 이때 사용되는 흑백 영상은 대부분의 경우 영상의 밝기를 8bit로 디지털화하여 사용되고 있으며, 디지털 영상의 각 화소는 가장 밝은 부분이 255의 값을 가지고 가장 어두운 부분이 0의 값을 가지게 된다.

카메라를 이용하는 대부분의 시선 추적 장치는 이러한 영상에서 동공 부분의 영상을 추출하여 사용하고 있으며, 이를 위하여 다양한 영상 처리 기법을 사용하고 있다[20-23]. 이러한 영상 처리 기법 중 영상의 일정한 밝기(역치, threshold) 이상/이하 되는 부분만을 추출하여 사용하는 이진화 기법(binarianized method)은 사용이 간편하고 효과가 우수하여 대부분의 시선 추적 장치에서 기본적인 동공 형상 추출을 위하여 사용되고 있다. 이진화 기법은 추출하고자 하는 대상(동공

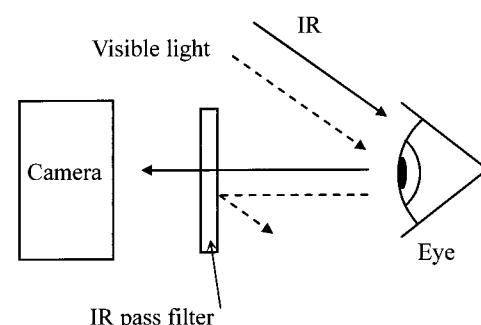
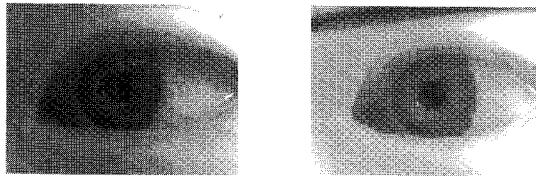


그림 1. 적외선과 적외선 투과 필터(가시광선 차단 필터)를 이용한 안구 영상 획득 방법.

Fig. 1. Image capture method of eye with IR and IR pass (Visible light cut) filter.



(a) Visible light image.

(b) IR image.

그림 2. 가시광선 영상과 적외선 및 적외선 투과 필터를 이용한 안구 영상.

Fig. 2. Visible light and IR images of eye.

또는 홍채)의 밝기가 공막과 구별 되는 경우 손쉽게 사용이 가능하므로, 이러한 조건을 만들어 주는 조명의 역할이 중요하며, 이를 위하여 카메라를 이용하는 거의 모든 시선 추적 장치에서 적외선 LED를 이용한 조명을 사용하고 있다.

따라서 안정적인 조명환경을 만들기 위하여 적외선의 복사 조도를 높여야 하나, 인체에 무해하게 하기 위해서는 일정 복사 조도 이상 조사가 불가능 하므로[12], 실제 사용에서는 각종 조명에서 발생되는 적외선과 실내로 조사되는 태양광에 포함되는 적외선 등 외부의 적외선 광원에 의하여 많은 영향을 받게 된다. 따라서 이진화 기법을 이용하여 안구의 특정 영상을 안정적으로 추출하기 위해서는, 조명 환경의 변화에 따라 영상 추출에 필요한 역치값을 선택하여야 하는 문제가 발생하고 있다[11,12,22-24].

그림 3은 조명 환경에 따른 영상의 변화를 보이기 위하여 동일한 복사 조도(중심파장 980nm의 적외선 LED를 안구로부터 10mm 떨어진 지점에 고정 후, 약 $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 복사 조도로 조사)의 적외선 조사 시, 외부 적외선 광원에 의한 영향을 보여주고 있다. 그림 3(a), (b)는 동일한 실내의 장소에서 태양광이 들어오는 창을 보면서 측정하는 경우와 태양광을 등지고 형광등을 보면서 측정하는 경우 외부 광원에 의한 영상 변화를 보여주고 있다((a) 촬영 환경 : 조도 약 955lux, 외부 적외선 복사 조도 약 $637\mu\text{W}/\text{cm}^2$, (b) 촬영 환경 : 조도 약 132lux, 외부 적외선 복사 조도 약 $125\mu\text{W}/\text{cm}^2$). 그림 3(c)는 실제 시선 추적 장치 사용에서 역치값을 고정하고 이진화 기법을 이용하여 동공을 추출하는 경우의 결과를 보여주기 위하여, 동일 역치값으로 (a), (b)의 영상을 처리한 결과를 보여주고 있다. 시선 추적 장치에서 사용되는 대부분의 소형 카메라는 카메라 내부에서 자동적으로 셔터 스피드와 노출 등을 조절하여 영상의 전반적인 밝기 정도를 조절하고 있다. 따라서 그림 3(a), (b)에서 (a)의 영상 촬영 시의 조도가 (b) 영상 촬영 시 보다 높았음에도 불구하고((a) 영상의 동공이 (b) 영상의 동공 보다 축소 되어 있음), (a) 영상에 어두운 부분이 더 많이 나타나고 있으며, 이로 인하여 동공 부분만을 추출하기 위한 이진화 작업을 수행한 (c) 영상을 보면, 동공과 비슷한 밝기 값을 가지는 부분이 나타나고 있어 동공만을 추출하기 어려운 문제가 발생하고 있다. 이와 반대로 (b)의 영상에서는 상대적으로 낮은 조명임에도 동공과 그 이외의 부분이 뚜렷하게 구분되어 동공을 손쉽게 추출할 수 있다. 이러한 결과는 영상 처리 과정에서 밝은 조명보다는 특정 이미지를 추출할 수 있는 일정한 조명 환경을 유지하는 것이 더 중요함을 나타내고 있다. 그러나 현재 사용되는 대부분의 착용

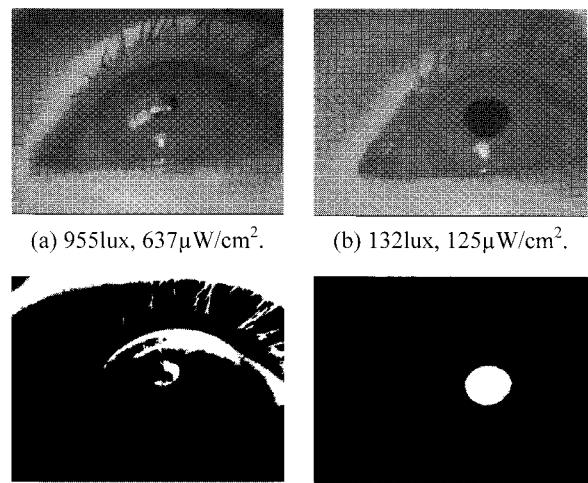
(a) 955lux, $637\mu\text{W}/\text{cm}^2$.
(b) 132lux, $125\mu\text{W}/\text{cm}^2$.
(c) Binary images with same threshold level 70.

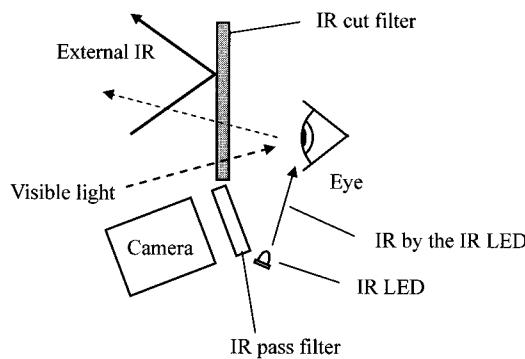
그림 3. 외부 환경에 의한 적외선 영상의 변화.

Fig. 3. Change of image by external IR sources.

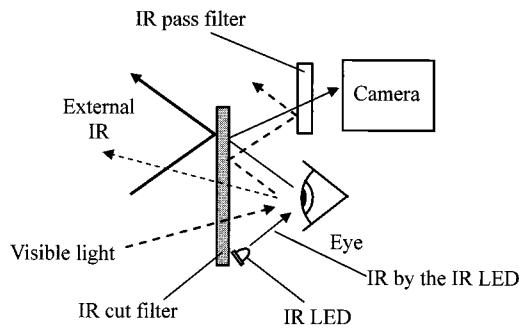
형 시선 추적 장치에서는 조명 변화를 조절하는 하드웨어적 기법 보다는 동공 추출을 위하여 동공을 제외한 배경 영상의 제거 및 반사광으로 인하여 손실된 동공 부분의 영상을 재구성하는 등의 다양한 소프트웨어적 기법을 이용하여 이러한 문제들을 해결하고 있다[1]. 이러한 소프트웨어적 기법은 전반적인 프로그램의 수행 속도에 영향을 주며[11], 외부 환경의 변화에 완벽하게 대응하지 못하여 실제 시선 추적 장치의 사용에 있어서 그 사용 범위의 제약으로 작용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 외부 적외선 광원에 의한 조명 환경의 변화를 사전에 차단하기 위하여 광학적 필터를 이용하는 방법을 제시하였으며, 이에 대한 방법을 다음 장에 정리하였다.

III. 적외선 차단 필터를 이용한 광량 안정화 방법

카메라로 포착된 영상을 이용하여 공장 자동화 등의 작업에서 필요한 검사 작업을 수행하는 머신 비전(machine vision) 분야에서는 조명에 의한 영상 변화를 최소화 하기 위하여 조명 제어기를 사용하여 일정한 밝기로 조명을 유지하며, 외부 조명에 의한 영향을 차단하기 위하여 광학적으로 밀폐된 공간에서 작업을 수행하는 경우가 대부분이다. 따라서 이러한 방법을 시선 추적 장치의 안구 영상 획득 환경에 적용하여, 외부에서 발생하는 적외선의 영향을 최소화 하고, 일정한 적외선 광량을 유지시킬 수 있도록 하기 위하여, 착용형 시선 추적 장치에서 일반적으로 사용되는 안경 프레임의 렌즈 장착 부분에 적외선 차단 필터를 장착하고, 필터 이외의 부분에서는 외부의 빛이 들어오지 못하도록 안경 프레임을 개조하였다. 그림 4는 연구에서 제안된 구조를 보여주고 있다. 제안된 구조는 안구 촬영을 위하여 카메라로 직접 안구를 촬영하는 직접 촬영 방식과 적외선 차단 필터를 반사경(Hot mirror)로 사용하는 간접 촬영 방식 모두에 적용이 가능하며, 그림 4(a)는 직접 촬영 방식에, 그림 4(b)는 간접 촬영 방식에 적용하는 경우를 보여주고 있다. 간접 촬영 방식은 카메라의 고정 위치에 따라서 안구의 움직임 궤적이 비대칭적으로 발생하는 직접 촬영 방식의 단점을 보완하기 위하여 사용되고



(a) Direct capture method with the IR cut filter.

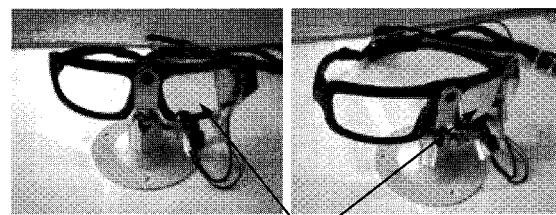


(b) Indirect capture method with the IR cut filter.

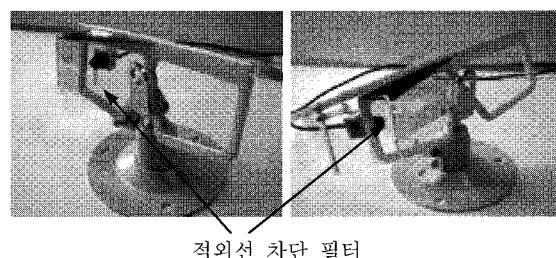
그림 4. 제안된 구조.

Fig. 4. Proposed structure.

있다[11]. 적외선을 차단하기 위하여 사용되는 적외선 차단 필터는, 외부의 가시광선만을 투과 시켜 사용자가 외부를 볼 수 있게 하면서, 내/외부의 적외선에 대해서는 거울과 같은 역할을하게 된다. 따라서 외부의 적외선이 안경 내부로 들어오는 것을 방지하는 동시에, 안경 내부의 적외선 LED에 의하여 발생하는 적외선에 대해서도 거울과 같은 역할을 하므로, 안구를 촬영하는 카메라를 시선 상에 놓지 않고도 촬영 할 수 있는 장점이 있다. 적외선 반사경을 이용하여 카메라의 위치를 조절하는 간접 촬영 방식은 타 시스템에서도 사용하고 있으나[8-12], 기존 방식에서 사용하는 적외선 차단 필터는 그 크기 및 위치가 안구의 형상을 반사하기 위한 용도로만 고려되어 있어, 본 연구에서 제안하고 있는 외부 적외선 차단의 기능을 가지고 있지는 않다. 연구에서 제안한 구조를 이용하면, 외부의 적외선을 차단한 상태에서, 내부의 적외선 광량은 적외선 LED의 전류를 조절하여 항상 일정한 수준으로 유지가 가능하다. 따라서 외부 적외선의 영향을 받지 않고 일정한 적외선 광량을 유지하는 환경의 조성이 가능하다. 그림 5는 제안된 구조를 이용하여 제작된 착용형 시선 추적 장치를 보여주고 있다. 기구부 제작 초기에는 파장 650nm 이상을 차단하는 적외선 차단 필터(두께 약 1mm, 가시광선 투과율 약 97%)[25]와 720nm 이상만을 투과 시키는 적외선 투과 필터를(HOYA R72) 이용하였으나[26], 아날로그 카메라에 사용되는 필름을 이용하면 적외선 투과 필터와 동일한 효과를 나타낼 수 있어[27], 시스템의 경량화와 가공의 편의를 위하여 인화된 카메라 필름(developed film)을 안구 카메라용 적외선 투과 필터로 사용하였다. HOYA R72를 기준



(a) Developed system for the direct capture method.



(b) Developed system for the indirect capture method.

그림 5. 적외선 차단 필터를 이용한 기구부 사진.

Fig. 5. Photograph of the developed system.

으로(100%)하여 측정한 결과 인화된 필름의 가시광선 영역에 대한 차단율은 99.85%, 적외선 영역의 투과율(중심 파장 980nm 적외선 LED 기준)은 85.76%로 측정 되었다. 연구에서 제안된 시스템을 이용한 실험 결과를 다음 장에 정리 하였다.

IV. 적외선 광량 변화 측정 실험

실험에서는 직접 촬영 방식을 대상으로 측정을 수행하였으며, 이를 위하여 안경 프레임에 소형 카메라와 적외선 LED를 장착하고 안경 프레임의 렌즈가 장착되는 부분에 적외선 차단 필터를 장착하였다. 또한 적외선의 복사 조도를 측정 할 수 있는 센서를 이용하여 환경 변화에 따라 안구에 투사되는 적외선 복사 조도의 변화를 측정 하였고, 각 측정 환경에서 안구 영상을 촬영하여 안구 영상의 변화를 비교하였다. 외부 적외선을 완벽하게 차단하기 위해서는 빛이 들어오는 모든 부분을 적외선 차단 필터로 차단하여야 하나, 예비 실험 결과 안경 프레임의 전면에서 들어오는 적외선이 외부 적외선의 대부분을 차지함을 확인 할 수 있어(전체 적외선 투사량의 약 86%), 착용자의 편의를 위하여 안경 프레임의 전면에만 적외선 차단 필터를 장착하여 실험을 실시 하였다.

적외선 차단 필터로 차단된 공간 내에서 기준 방법과 비교하여 낮은 복사 조도의 적외선 조명으로도 안정적인 조명 환경을 유지 할 수 있는지 관찰하기 위하여, 눈에 투사 되는 적외선의 안전 투사량과($10mW/cm^2$ 이하)[28], 기존 제품 및 논문에서 사용한 적외선 투사량($300-800\mu W/cm^2$)[12]을 고려하여, 중심 파장이 980nm인 적외선 LED를 눈과 10mm 거리에서 약 $100\mu W/cm^2$ (LED 전류 4.5mA)로 조사하였다. 안구 촬영을 위해서는 1/4inch CCD의 소형 카메라를 사용하였다. 그림 6과 표 1은 실험에 사용된 카메라와 카메라의 사양을 보여주고 있다. 안구에 투사되는 적외선 복사 조도를 측정하기 위하여 비교적 넓은 파장 범위에서 측정이 가능한 TAOS의 TSL230 RD 광학 센서를 사용하였으며[29], 카메라에서 발

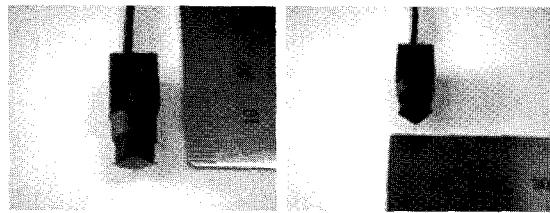


그림 6. 실험에 사용된 소형 카메라.

Fig. 6. Photographs of the camera.

표 1. 사용된 카메라 사양.

Table 1. Camera specification.

Image sensor	1/4" color CCD
Scanning	2:1 Interlace
Shutter	1/50 to 1/63000 sec
Video out	1V p-p composition video
Picture element	510(H) × 492(V)
S/N Ratio	>48 dB
Min illumination	1.5 Lux at F1.4
Resolution	380 TV line
Lens	3.5 mm /F 2.6
Synchronization	Internal
Weight	2.4 g
Operation Voltage	7-12 V DC

생된 NTSC 방식의 영상 신호를 디지털 파일로 변환하기 위하여 National Instrument의 NI PCI-1411 영상 그래버와 촬영된 안구 영상의 이진화 처리를 위하여 Labview 프로그램을 이용하였다.

안구에 투사되는 적외선 복사 조도를 측정하기 위하여 사용되는 광학 센서를 착용자의 안구 부분에 장착하는 것은 불가능 하므로, 사람의 머리 모양과 비슷한 더미(Dummy)를 이용하였다. 더미 위의 광학 센서의 위치는, 시선 추적 장치를 피험자가 착용하는 경우 카메라 및 LED 조명과 안구가 이루는 상대적인 거리를 측정하여 결정하였다. 그림 7은 실험에 사용된 더미와 피험자가 시선 추적 장치를 착용한 모습을 보여주고 있다. 위의 장비를 이용하여 다양한 조명 조건에서 안구에 투사되는 적외선 복사 조도의 변화 및 이에 따른 안구 영상의 변화를 측정하였다. 이 경우 센서를 통하여 측정되는 적외선은 단일 파장이 아니고, 필터에 의하여 일정 파장 이상의 모든 적외선이 측정되므로, 환산식을 이용하여 복사 조도로 표현하는 것은 불가능하다. 따라서 입사 광선의 강도에 비례하여 출력되는 센서의 출력을 그대로 이용하였으며, 센서의 출력 측정치를 표 2에, 각 경우의 안구 영상을 그림 8에서 보여주고 있다. 표 2의 측정 결과를 보면, 적외선 차단 필터를 사용하지 않는 A, B 경우에서는 적외선의 복사 조도가 가장 낮은 경우와 가장 높은 경우 약 14배 (A)와 약 105배 (B)의 차이를 보이고 있으나, 적외선 차단 필터를 사용한 C, D 경우를 보면 그 차이가 약 2.6배 (C)와 약 61.6배 (D)를 나타내고 있다. 실제 대부분의 시선 추적 장치는 적외선 LED를 조명으로 사용하고 있으므로, 적외선 LED를 조명을 사용한 A와 C의 경우를 비교해 보면 각각 약 14배와 2.6배



(a) Photograph of the dummy.



(b) Photograph of wearing of the eye tracking system.

그림 7. 실험용 더미 및 시선 추적 장치 착용 모습.

Fig. 7. Photographs of the dummy and the eye tracking system.

의 차이를 보이고 있어, 본 논문에서 제안한 적외선 차단 필터를 이용한 경우 외부 적외선에 의한 영향을 현저히 줄일 수 있음을 확인할 수 있다.

실험에서 적외선 차단 필터를 이용하여 외부 적외선을 차단하였음에도 실제 안구에 투사되는 적외선의 양이 증가한 이유는, 그림 7(b)의 그림에서와 같이 착용자의 편의를 위하여 안경 프레임의 전면에만 적외선 차단 필터를 장착하여, 안경 프레임과 얼굴 사이에 외부 적외선이 유입될 수 있는 공간에 기인 한다. 따라서 안경 프레임과 얼굴 사이의 외부

표 2. 측정된 적외선 복사 조도(센서 측정치).

Table 2. Measured data of the IR irradiance(Sensor output).

측정 조건	조도 (Lux)	적외선 복사 조도 센서 출력값(Hz)			
		A	B	C	D
1	132	788(1)	83(2)	728(3)	16(4)
2	233	861(5)	133(6)	767(7)	28(8)
3	362	961(9)	172(10)	789(11)	44(12)
4	713	1572(13)	828(14)	806(15)	61(16)
5	955	1733(17)	1000(18)	817(19)	67(20)
6	1295	1927(21)	1672(22)	867(23)	83(24)
7	2741	3050(25)	2416(26)	922(27)	144(28)
8	17170	9083(29)	7406(30)	1772(31)	911(32)
9	19200	11044(33)	8756(34)	1889(35)	1028(36)

- 조도는 가시광선의 밝기 참고를 위해 측정
- 적외선 복사 조도 우측의 0의 숫자는 그림 8의 해당 영상 번호
- 1-3번 : 실내 일반 형광등 조명에서 측정
- 4-7번 : 실내 적사광선이 들어오는 창가에서 측정
- 8번 : 실외 적사광선 하, 태양쪽 향한 시선
- A: 적외선 차단 필터 미사용, 적외선 LED on
- B: 적외선 차단 필터 미사용, 적외선 LED off
- C: 적외선 차단 필터 사용, 적외선 LED on
- D: 적외선 차단 필터 사용, 적외선 LED off

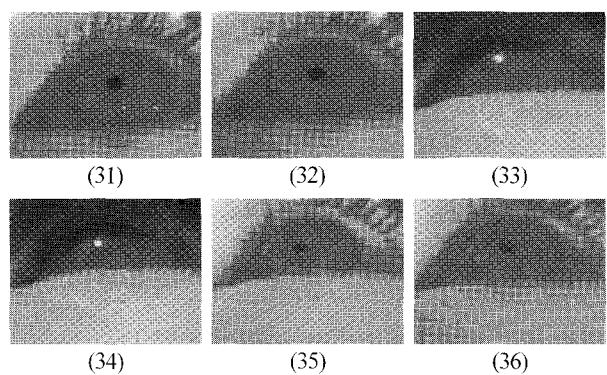
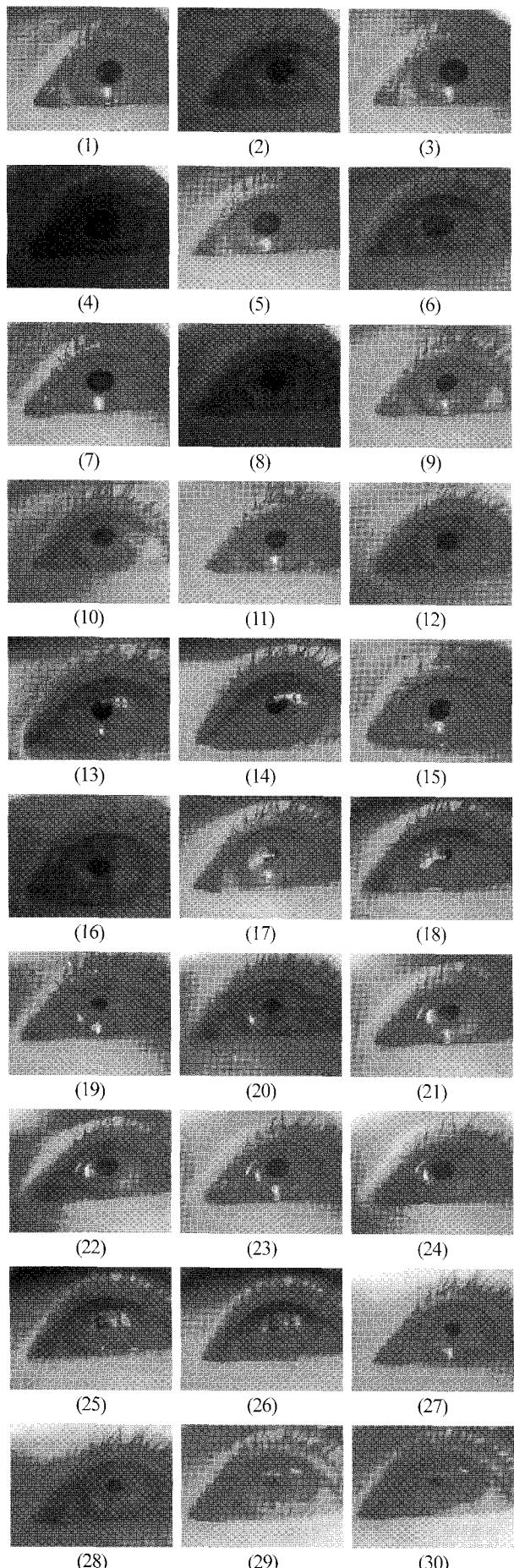


그림 8. 다양한 적외선 조명 조건에서의 안구 영상.

Fig. 8. Eye images under various IR conditions.

적외선이 들어 올 수 있는 공간을 좀 더 차단하게 되면, 외부 적외선에 의한 효과를 더욱 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 적외선 복사 조도의 변화 이외에, A의 13, 17, 25, 33번 안구 영상을 보면, 외부 적외선 광원에 의하여 안구에 나타나는 영상으로 인하여 동공의 정확한 형태가 나타나지 않고 있으나, 동일 조건에서 적외선 차단 필터를 이용한 C의 15, 19, 27, 35번 영상에서는 필터에 의하여 이러한 부분이 제거되어 있어 A의 경우보다 명확한 동공 추출이 가능한 장점을 보이고 있다. 특히 33번 영상과 같이 강한 외부 조명이 있는 방향의(태양) 물체를 바라보는 경우, 외부 조명으로 인하여 동공의 형태 파악이 불가능하게 되고, 강한 외부 조명으로 인하여 인공 조명으로 사용되는 적외선 LED의 반사광이 사라지게 된다. 그림 33과 34의 영상에서 나타나는 밝은 점은 태양상의 적외선 LED의 반사광이 아닌 태양으로 인하여 나타나는 반사광이다. 외부의 광원 방향으로 시선이 향하는 경우는 스포츠 분야에서는 흔한 일이며, 특히 배드민턴 및 배구와 같이 공의 궤적이 비교적 높은 경우를 대상으로 하는 실 험에서는, 착용자인 피험자의 시선이 공을 추적하는 과정에서 공의 궤적이 따라 자연스럽게 체육관 천정 조명을 부분을 응시하게 되고, 이러한 경우 안구가 외부 조명의 영향을 직접적으로 받게 된다. 특히 야구의 외야 수비 동작에서는 거의 대부분이 태양광의 영향을 직접적으로 받게 된다. 따라서 이러한 경우 현재 상용화 되어있는 대부분의 시선 추적 장치는 순간적으로 작동이 불가능하게 되고, 일부 장비에 따라서는 체육관에서 사용하기 위하여 체육관의 조명을 조절여야 하는 문제도 발생하고 있다. 이러한 조명 조건 및 안구 영상의 변화는 포착된 영상에서 동공 부분을 추출하는 이진화 작업을 수행하는 과정을 통하여 확인이 가능하며, 그림 9에서는 표 2의 A, C 경우에 대하여 동공 부분만을 추출하기 위하여 수행한 이진화를 통하여 검출된 안구 경계값 영상 및 각 경우에 사용된 역치값을 보여주고 있다. 각 그림의 번호는 그림 8의 영상에 해당하는 번호이며, 팔호 안의 숫자는 이진화를 위하여 사용된 역치값이다. 추출 경계부분을 나타내기 위하여, 그림 8의 영상에서 동공 부분만을 확대하여 나타내었다.

그림 9에서 선으로 표현된 동공 경계 부분은, 각 영상에서 동공 이외의 눈썹이나 기타 음영 부분이 검출되지 않는 최소한의 값을 기준으로 이진화 하여 검출한 부분이며, 원 영상

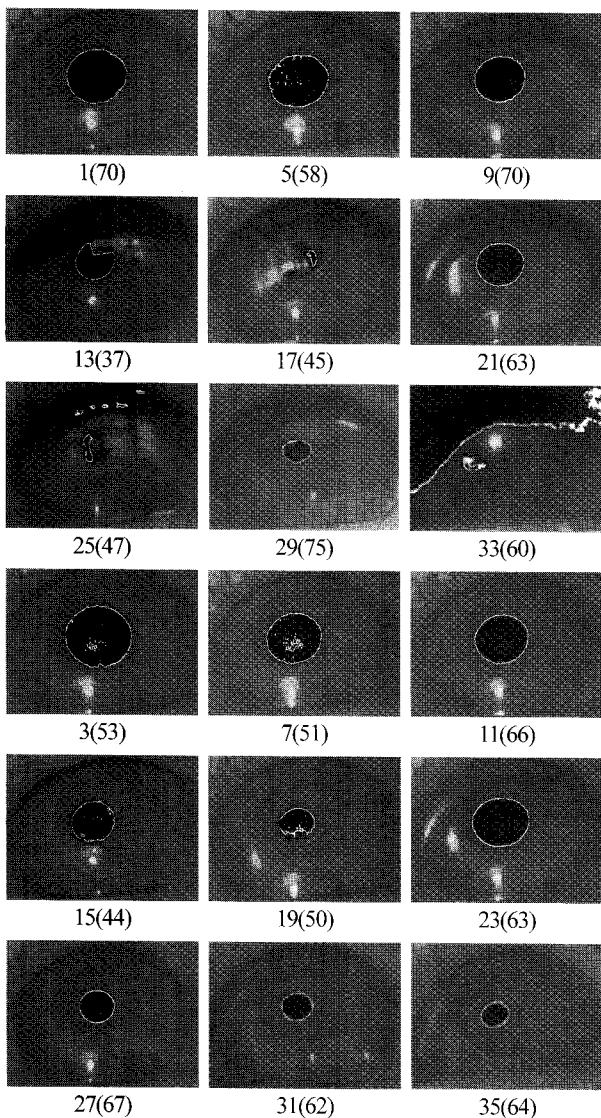


그림 9. 이진화 필터를 이용한 동공 경계값.

Fig. 9. Contour of the pupils by binary filtering.

에서 이진화 기법만을 이용하여 추출하였다. 각 영상에서 추출된 동공 영역을 보면, 적외선 차단 필터를 이용하지 않는 경우 외부 광원에 의하여 13번의 영상에서는 실제 동공의 약 80% 만을 인식하고 있으며, 17, 25, 33번 영상에서는 동공을 추출하지 못하고 있다. 이러한 현상은 LED에 의하여 발생되는 적외선 조명의 복사 조도를 높여도 제거 할 수 없으며, 외부 광원을 제거하거나 상당한 수준의 동공 추출 알고리즘을 적용하여야 한다.

이에 반하여 적외선 차단 필터를 이용한 경우 13, 17, 25, 33번과 각각 동일 조건에서 촬영한 15, 19, 27, 35번의 영상에서는 외부 광원의 영향을 받지 않고 거의 완벽한 동공 영상을 추출하고 있다. 또한 각 경우 사용된 역치값의 범위를 살펴보면, 적외선 필터를 사용하지 않은 1, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 29, 33번의 영상에서는 최소 37에서 75사이의 값을 가지고 있으며, 적외선 필터를 사용한 3, 7, 11, 15, 19, 23, 27, 31, 35 번 영상에서는 최소 50에서 최대 66의 값을 가지고 있어, 적외선 필터를 사용하는 경우 역치값의 변화가 상대적으로 적음을 알 수

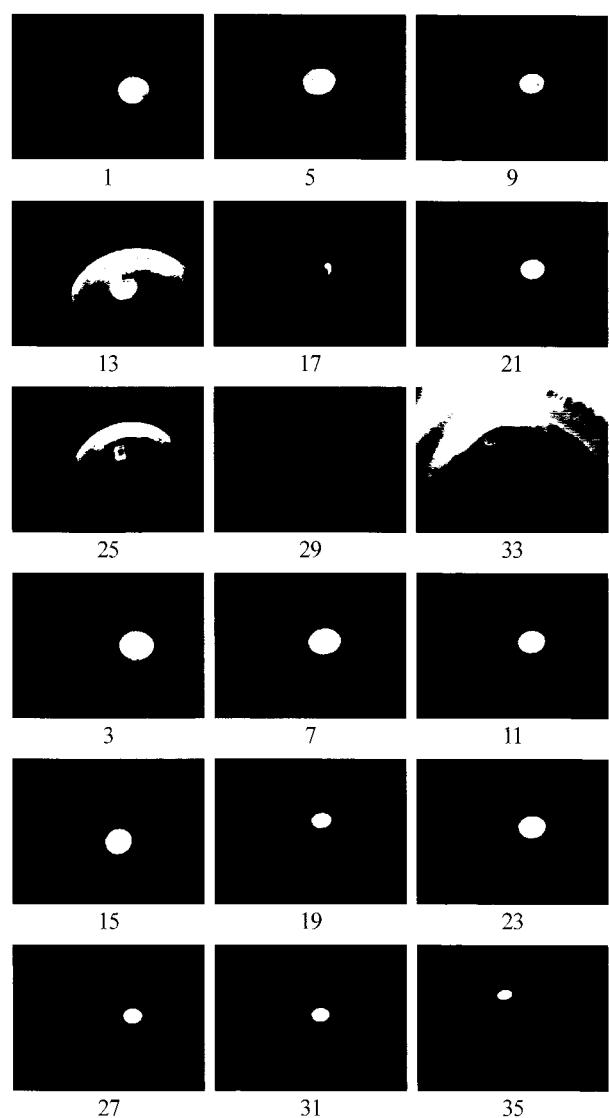


그림 10. 동일 영상 처리 과정을 이용한 그림 8의 동공 추출 영상.

Fig. 10. Pupil images of the Fig. 8 with same image processing algorithm.

있다.

그림 8의 영상을 동일한 영상 처리 과정을 통하여 동공 부분만을 추출한 영상을 그림 10에 정리 하였다. 동공 추출을 위하여 역치값을 60으로 고정하고, 일정 크기 이하의 점들을 제거하는 간단한 과정으로 그림 8의 영상(A, C)을 처리한 결과, 적외선 차단 필터를 사용하지 않은 1, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 29, 33 영상에서는 외부 광원에 의한 동공 영상의 변화 및 동공 추출을 위한 역치값의 변화 범위가 넓어 동공 추출에 실패하는 경우가 발생하고 있으나, 적외선 차단 필터를 사용한 3, 7, 11, 15, 19, 23, 27, 31, 35 영상에서는 외부 광원의 영향을 거의 받지 않은 완벽한 동공 영상을 추출하고 하고 있다. 이러한 결과는 적외선 차단 필터를 이용하면, 외부 적외선 광원에 의한 효과를 줄여 복잡한 동공 추출 알고리즘을 이용하지 않고 간단한 이진화 방법만으로도 동공 영상의 추출이 가능함을 의미한다.

V. 결론

본 논문에서는 스포츠 분야에서 사용하는 착용형 시선 추적 장치에서 외부 적외선 조명 변화에 의한 안구 영상의 변화를 최소화 하여 이진화 기법만으로도 안정적인 동공 추적이 가능하도록 하기 위하여, 적외선 차단 필터를 이용하는 간단한 방법을 제시하였다. 제안된 방법을 이용하여 안구에 투사되는 적외선의 변화와 이에 따른 안구 영상의 변화를 관찰한 결과, 적외선 차단 필터를 이용하면 비교적 낮은 적외선 조명만으로도 다양한 조명 환경 하에서 외부 조명 환경의 변화에 의하여 발생되는 동공 이미지의 변화를 억제 하여 간단한 이진화 기법만을 이용하여 동공의 추출이 가능함을 확인 할 수 있었다.

이러한 기법은 착용형 시선 추적 장치의 실제 사용에 있어서 항상 발생하고 있는 외부 광원의 영향을 효과적으로 차단 할 수 있어, 추가적인 소프트웨어의 수정 없이 기존 시스템에 손쉽게 적용이 가능하며, 복잡한 동공 추출 알고리즘을 사용하지 않고 비교적 간단하게 안정적인 동공 추출 기능을 수행 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] C. H. Morimoto and M. R. M. Mimica, "Eye gaze tracking techniques for interactive applications," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 98, pp. 4-24, 2005.
- [2] A. T. Duchowski, *Eye Tracking Methodology, Theory and Practice*, 2nd Ed., Springer, 2007.
- [3] J. B. Pelz, R. L. Canosa, D. Kucharczyk, J. Babcock, A. Silver, and D. Konno, "Portable Eyetracking: A Study of Natural Eye Movements," *Proceedings of the SPIE, Human Vision and Electronic Imaging*, vol. 3959, pp. 566-582.
- [4] D. A. Robinson, "A method of measuring eye movements using a scleral search coil in a magnetic field," *IEEE Trans. Biomed. Eng.* vol. 10, pp. 137-145, 1963.
- [5] A. Kaufman, A. Bandopadhyay, and B. Shaviv, "An eye tracking computer user interface," *Proc. Of the Research Frontier in Virtual Reality Workshop*, pp. 78-84, 1993.
- [6] J. Reunlen, J. T. Marcus, D. Koops, F. de Vries, G. Tiesinga, K. Boshuizen, and J. Bos, "Precise recording of eye movement: the iris technique, part I," *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol. 26, no. 1, pp. 20-26, 1988.
- [7] T. E. Hutchinson, K. P. White, Jr., W. N. Martin, K. C. Reichert, and L. A. Frey, "Human-Computer Interaction Using Eye-Gaze Input," *IEEE transactions on system, man, and cybernetics*. vol. 19, no. 6, pp. 1527-1534, 1989.
- [8] Home page of NAC, <http://www.eyemark.jp/>
- [9] Home page of ASL, <http://www.a-s-l.com/Site/>
- [10] Home page of SR, <http://www.sr-research.com/index>.
- [11] 이의철, 박강령, "HMD (Head Mounted Display)에서 시선 추적을 통한 3차원 게임 조작 방법 연구," 전자공학회지 논문지, 제45권, SP편, 제2호, pp. 131-146.
- [12] 이방래, "적외선과 시선센서를 이용한 실시간 시선 방향 추적 시스템," KAIST, 석사학위논문, 2001.
- [13] J. S. Babcock and Jeff B. Pelz, "Building a lightweight eye tracking headgear," *Proceedings of the 2004 symposium on Eye tracking research & applications*, pp. 109-113, 2004.
- [14] D. H. Li, D. Winfield and D. J. Parkhurst, "Starburst: A hybrid algorithm for video-based eye tracking combining feature-based and model-based approaches," *Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) Workshop*, vol. 3, p. 79.
- [15] 박승하, "골프퍼팅에서의 시선 행동과 동작 제어," 체육과학연구, 제17권 제2호, pp. 72-83, 2006.
- [16] 김선진, 이승민, "페널티 킥 방어 성공을 위한 엘리트 축구 골키퍼의 시선행동 분석," 체육과학연구, 제16권 제4호, pp. 117-126, 2005.
- [17] 박승하, "테니스 발리 스트로크에서 과제의 제한조건에 따른 시선 행동, 눈-머리 협응 및 스윙의 시간적 특성의 변화," 체육과학연구, 제15권 제3호, pp. 22-40, 2004.
- [18] 구해모, 이상철, 이순호, 김선진, 박근상, "베드민턴 단식 선수의 타구 예측능력 향상을 위한 지각기술 훈련 프로그램의 개발," 체육과학연구원 연구보고서, 2006.
- [19] 구해모, 신동성, 이순호, 이상철, 김선진, 박근상, 박승하, "베드민턴 단식선수의 상대 타구에 대한 예측능력 향상 전략," 체육과학연구원 연구보고서, 2005.
- [20] Y. Ebisawa, S. "Improved Video-Based Eye-Gaze Detection," *IEEE transactions on instrumentations and measurement*, vol. 47, no. 4, pp. 948-955, 1998.
- [21] D. W. Hansen and Arthur E.C. Pece, "Eye tracking in the wild," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 98, pp. 155-181, 2005.
- [22] Y. Ebisawa, "Unconstrained pupil detection technique using two light sources and the image difference method," *Visualization and Intelligent Design in Engineering*, pp. 79-89, 1989.
- [23] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. On System, Man and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.
- [24] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing (2nd Ed.,)" Prentice-Hall, 2002.
- [25] Home page of Sewonoptics, <http://www.sewonoptics.com/sewonoptics/skin/product/sub1/product.php>.
- [26] Home page of Hoya, <http://www.hoyaoptics.com/pdf/R72.pdf>.
- [27] Home page of How to make a webcam work in infrared, <http://www.hoagieshouse.com/IR/>.
- [28] D. Sliney and M. Wolbarsht, "Safety with lasers and Other Optical Sources," *Plenum Press*, New York, p. 147, 1980.
- [29] Home page of TAOS, <http://www.taosinc.com/images/product/document/TSL230RD-e33.PDF>.



이상철

1993년 동국대학교 전자공학과 졸업(학사). 1995년 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업(석사). 2000년 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 졸업(박사). 2000년~2001년 (주)현대정보기술 자동화 사업부 선임연구원. 2002년~현재 한국체육과학연구원 스포츠산업실 선임 연구원. 관심분야는 센서 계측, 자동화 및 HCI 응용.