

2018년도

학사학위논문

양성돌발성 두위현훈 진단을 위한  
저가형 비디오 안진 검사기기 개발

Development of a Low-cost  
Video-oculography Device for Benign  
Paroxysmal Positional Vertigo Diagnosis

2018년 12월 28일

순천향대학교 공과대학  
컴퓨터공학과  
박지환

양성돌발성 두위현훈 진단을 위한  
저가형 비디오 안진 검사기기 개발

Development of a Low-cost  
Video-oculography Device for Benign  
Paroxysmal Positional Vertigo Diagnosis

지도교수 남 윤 영

이 논문을 공학사 학위 논문으로 제출함

2018년 11월 28일

순천향대학교 공과대학  
컴퓨터공학과  
박지환

박 지 환의 공학사 학위 논문을 인준함

2018년 12월 28일

지 도 교 수 남 윤 영 인

심 사 위 원 천 인 국 인

순천향대학교 공과대학

컴퓨터공학과

## 초 록

흔히 이석증이라 불리는 양성돌발성 두위 현훈(Benign Paroxysmal Positional Vertigo, BPPV)은 난형낭에서 떨어진 이석이 반고리관에 생리적인 변화를 유발하여 자세의 변화에 따라 어지럼을 유발하는 질환을 말한다. 임상에서 양성돌발성 두위현훈 진단을 위해 특징적인 임상증상과 비디오 안진 검사 장비 (Video-Oculography)를 이용하여 딕스-홀파이크(Dix-hallpike)와 같은 두위변환 검사를 시행하여 특징적인 체위 안진을 통해 정확한 진단이 가능하다. 하지만 임상에서 사용하는 비디오 안진 검사 장비는 매우 고가의 장비로 이비인후과와 2차, 3차 병원 이외에 장비를 구비 할 수 없다는 한계점이 존재한다.

본 논문에서는 기존의 양성돌발성 두위 현훈 진단을 하는 비디오 안진 진단 장비의 고가의 한계를 극복하기 위해 라즈베리파이와 적외선카메라, 적외선 LED, 3축 자이로/가속도 센서를 이용한 기기를 개발한다. 또한 동공 검출은 OpenCV 영상처리 라이브러리를 이용하여 검출하고, 두위변환 판별은 3축 자이로/가속도 센서에서 각도 데이터 얻고 자세별 특정 각도를 통해 판별한다. 양성돌발성 두위 현훈과 정상인과의 신호를 비교 한 결과, 정상인은 불규칙한 특징이 없는 신호를 보였으며, 양성돌발성 두위 현훈 환자는 규칙적이고 특징적인 신호를 보였다. 병원기기와 개발한 기기의 신호를 비교 한 결과 동일하게 양성돌발성 두위 현훈 환자의 특징적인 신호가 검출 되었다.

주요어 : 양성돌발성 두위현훈, 안진, 영상처리, 라즈베리파이, 적외선카메라

## ABSTRACT

Benign Paroxysmal Positional Vertigo(BPPV), commonly referred to as otolithiasis is a disease that causes dizziness due to otolith from the utricle causes a physiological change in the semicircular canal according to posture changes. In clinical trials, BPPV are diagnosed through characteristic clinical symptoms and positional nystagmus using Video-Oculography Device. However, Video-Oculography that used in clinical use is very expensive equipment so there is limitation that equipment can not be equipped besides Otorhinolaryngology, 2nd and 3rd hospitals.

In this thesis developed equipment that use Raspberry Pi, Infrared Camera, Infrared Ray LED, 3-axis Gyro/Acceleration sensor for overcome the limitations of the existing Video-Oculography Device equipment that use diagnose BPPV being expensive. Also pupil detect use OpenCV image processing library, head position changes distinguish are determined by obtaining angle data from 3-axis Gyro/Acceleration sensor and using specific angles for each position. Comparing the signals between the BPPV patient and the normal person, normal person showed a signal with no irregular features and BPPV patient showed regular and characteristic signals. Result of comparing the signals between Video-Oculography that used in clinical use and equipment that developed this thesis, the same characteristic signal of the BPPV patient was detected in the same way.

keywords : BPPV, Nystagmus, Image Processing, Raspberry Pi, Infrared Ray Camera

# 차 례

제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 관련 연구 .....	3
2.1 양성 돌발성 두위현훈 정의 .....	3
2.2 안진 정의 .....	4
2.3 관련 연구 .....	5
2.3.1 딕스-홀파이크 검사 .....	5
2.3.2 적외선 LED 안전성 .....	7
2.3.3 임상 진단기기 .....	7
제 3 장 장치 설계 및 제작 .....	10
3.1 시스템 설계 .....	10
3.2 비디오 안진검사 기기 제작 .....	11
3.2.1 사용 제품 .....	11
3.2.2 비디오 안진검사 형태 .....	12
3.2.3 배선도 및 회로도 .....	13
3.2.4 착용 모습 .....	14
3.3 동공검출 .....	15
3.3.1 영상획득 .....	16
3.3.2 관심 영역(ROI) 지정 .....	16
3.3.3 Gray 컬러 모델 변환 및 이진화 .....	17
3.3.4 Morphology 연산 .....	17
3.3.5 외각선 검출 및 채우기 .....	19

3.3.6 원 검출 알고리즘 .....	19
3.3.7 이진화의 threshold값 수정하며 정확한 원 검출 .....	20
3.4 두위변환 판별 .....	22
3.5 신호분석 .....	26
<b>제 4 장 실험 및 분석 .....</b>	<b>34</b>
4.1 실험 환경 .....	34
4.2 실험 결과 .....	34
4.2.1 동공 검출을 .....	34
4.2.2 양성돌발성 두위현훈 환자 데이터 비교 .....	35
4.2.3 일반인 데이터 비교 .....	37
4.3 양성돌발성 두위현훈 알고리즘 적용 결과 .....	39
4.3.1 병원 기기로 측정한 환자 데이터 .....	39
4.3.2 병원 기기와 개발한 기기로 측정한 일반인 데이터 .....	41
<b>제 5 장 결론 및 향후 과제 .....</b>	<b>44</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>45</b>
<b>감사의 글 .....</b>	<b>47</b>

## 그 림 차 례

[그림 1] 양성 돌발성 두위현훈이 생기는 과정 .....	3
[그림 2] 반고리관 구조 .....	5
[그림 3] 디스-홀파이크 검사 .....	6
[그림 4] Micromedical사의 VisualEyes 505 .....	8
[그림 5] VisualEyes 505 쌍안 고글 실물 .....	8
[그림 6] VisualEyes 505 소프트웨어 .....	9
[그림 7] 시스템 설계도 .....	10
[그림 8] 사용 제품 .....	11
[그림 9] VOR 내형 .....	12
[그림 10] VOR 외형 .....	12
[그림 11] 기기 배선도 및 회로도 .....	13
[그림 12] VOG 착용 모습 .....	14
[그림 13] 영상처리 flow 차트 .....	15
[그림 14] 전안부 획득 .....	16
[그림 15] 관심영역 지정 .....	16
[그림 16] ROI 영역 이진화 영상 .....	17
[그림 17] 영상처리 .....	18
[그림 18] 외각선 검출 및 채우기 .....	19
[그림 19] 동공 원 검출 이미지 .....	19
[그림 20] 임계값에 따라 변화로 인한 결과 변동 .....	20
[그림 21] 동공 검출 프로그램 실행 결과 .....	21



[그림 22] MPU 6050 3축 자이로, 가속도 센서의 감도와 회전 극성 방향 .....	22
[그림 23] 상보필터 블록선도 .....	23
[그림 24] 상보필터 공식 .....	24
[그림 25] 상보필터 적용 전/후 비교 .....	24
[그림 26] 두위변환 결과 .....	25
[그림 27] 우향 안진 파형 .....	26
[그림 28] 하향 안진 파형 .....	27
[그림 29] 하향, 좌향 안진 파형 .....	28
[그림 30] 일반인 동공 파형 .....	29
[그림 31] 안진에 따른 파형 특징 .....	30
[그림 32] 양성돌발성 두위현훈 환자 Peak Detection .....	31
[그림 33] Low-peak와 High-peak의 직선 .....	32
[그림 34] 두 좌표의 길이 공식 .....	32
[그림 35] 두 좌표 기울기 공식 .....	33
[그림 36] 개발기기로 측정한 환자 그래프 .....	35
[그림 37] 병원 기기로 측정한 환자 그래프 .....	36
[그림 38] 개발기기로 측정한 일반인 그래프 .....	37
[그림 39] 병원기기로 측정한 일반인 그래프 .....	38
[그림 40] 병원 기기 환자 Peak Detection .....	39
[그림 41] 개발한 기기 환자 Peak Detection .....	41
[그림 42] 병원 기기 일반인 Peak Detection .....	42
[그림 43] 개발 기기 일반인 Peak Detection .....	43

## 표 차 례

[표 1] 딕스-홀파이크 검사에 따른 안진의 형태 .....	6
[표 2] 두위 변환에 따른 X, Y축 각도 변화 .....	25
[표 3] 동공 검출을 실험 결과 .....	34

## 제 1 장 서 론

국내에서 흔히 이석증이라고 불리는 양성돌발성두위현훈(benign paroxysmal positional vertigo, BPPV)은 난형낭에서 유리된 이석이 반고리관에 생리적인 변화를 유발하여 자세의 변화에 따라 어지럼을 유발하는 질환을 말한다[1].

양성돌발성두위현훈은 통상 연령이 증가 할수록 발생빈도가 높고, 여성에서 다소 많은 것으로 알려져 있다. 국내 다기관 연구 결과에 의하면, 1,692명의 양성돌발성두위현훈의 환자 중 역시 여성이 67.7%로 많았고, 평균연령은  $54.8 \pm 14$ 세였다. 양성돌발성두위현훈은 특별한 원인을 발견할 수 없는 경우가 대부분이나 두부외상 또한 여러 내이질환 등과 관련되어 발생할 수 있다. 최근에는 골다공증 환자에서 양성돌발성두위현훈의 발생빈도가 높은 것으로 보고된 바 있다[2].

양성돌발성 두위 현훈은 진단하기 위해서는 특징적인 임상증상과 비디오 안진 검사 장비(Video-oculography)를 이용하여 디스-홀파이크(Dix-hallpike)와 같은 두위변환 검사를 시행하여 특징적인 체위성 안진을 통해 정확한 진단이 가능하다[2]. 두위변환 검사는 환자의 머리를 좌우 변병측으로 회전시키는 검사로 이때 환자의 안진 유무를 확인한다. 안진의 방향에 따라 전,후,수평 반고리관 내 이석의 유무를 진단한다.

이석증이 의심되는 환자는 이석증 진단을 위해 비디오 안진 검사 장비를 가지고 있는 이비인후과를 방문하거나 2,3차 병원에 내원하여 검사를 실시해야한다. 일반 의원이나 보건소에서는 값 비싼 장비를 구비하기 어려운 실정이며, 의사의 육안으로의 객관적인 진단이 이뤄지는 시스템에서 비전문의의 정확한 진단이 이뤄질 수 없기 때문에 판단된다.

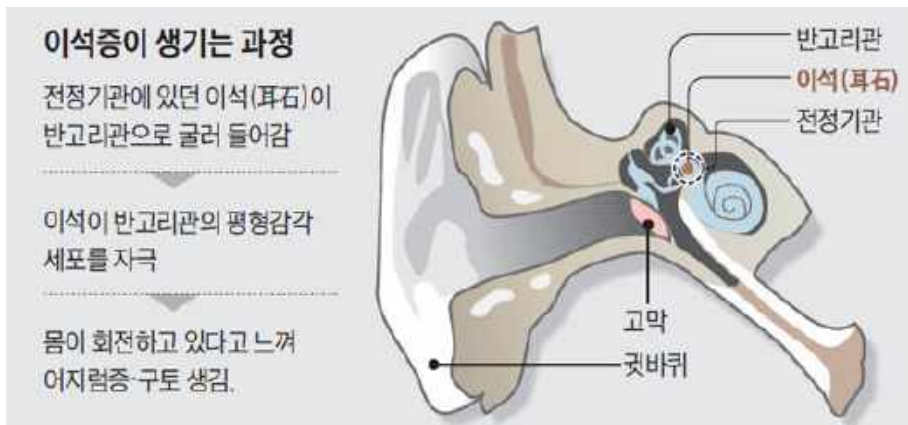
본 논문에서는 임상에서 사용되는 장비보다 저렴한 진단 장비와 애플리케이션

을 제시한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장 서론을 시작으로 제 2장에서는 관련 연구를 기술하고, 제 3장 장치 설계 및 제작, 제 4장 실험 및 분석 마지막 제 5장에서 결론 및 향후 과제를 제시한다.

## 제 2 장 관련 연구

### 2.1 양성 돌발성 두위현훈 정의

흔히 이석증이라 불리는 양성 돌발성 두위현훈(benign paroxysmal positional vertigo, BPPV)은 반고리관 내의 이석이 이탈하여 생기는 질환으로 머리의 움직임에 의해 유발되는 회전성 어지러움과 안진이 동반된다. 증상 자체는 심하지만 예후는 양성인 질환으로 모든 나이에서 발생할 수 있으며, 특히 40-50대 이후에서 더 자주 발생한다. [그림 1]은 양성 돌발성 두위현훈이 생기는 과정이다[3].



[그림 1] 양성 돌발성 두위현훈이 생기는 과정[14]

양성 돌발성 두위현훈의 증상으로는 어지러움의 정도가 경미한 수준에서 공포를 일으킬 정도로 심한 경우까지 사람에 따라 다르다. 증상이 심하더라도 머리를 가만히 있으면 수 분 이내로 짧게 지속된다. 또한 어지러운 동안 속이 메스꺼운

느낌이 동반되며 심한 경우에 구토를 유발할 수도 있고 가슴 두근거림, 식은땀 등이 동반되는 경우도 있다[3].

양성 돌발성 두위현훈의 치료법으로는 아무런 치료를 하지 않아도 수주 이내에 호전되고 후유증이 남는 경우도 많지만 증상이 지속되면 환자의 불편이 크기 때문에 빠른 치료가 권장된다. 치료 방법으로는 제 위치에서 벗어난 이석을 원위 치로 되돌리는 물리치료가 많이 사용된다[3].

## 2.2 안진 정의

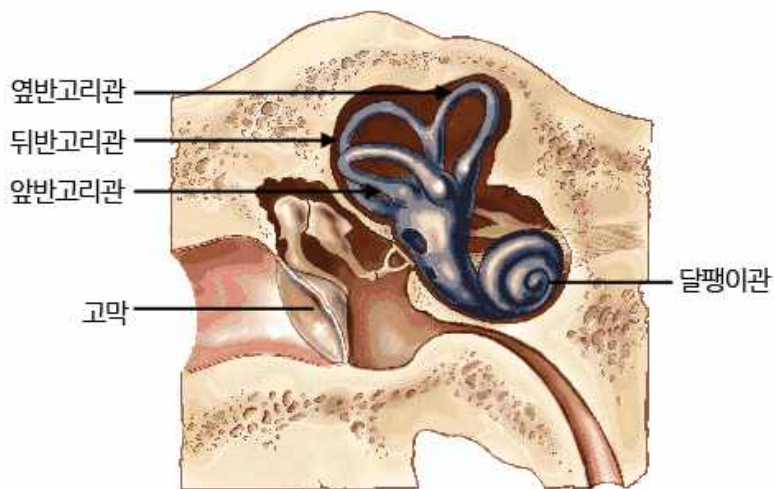
안진(Nystagmus)이란 안구운동계에 이상이 생기면 안구는 원하는 위치에 머물러 있지 못하고 물체의 상이중심 오목으로부터 벗어나게 되므로, 이를 교정하기 위한 안구운동이 발생한다. 이러한 안진은 매우 다양한 양상으로 나타날 수 있으나, 주시점으로부터 벗어나는 안구운동이 느린 안구운동(Slow Eye Movement)인지 아니면 단속운동(Saccade)인지에 따라 안진과 속진(Saccadic Oscillation)으로 분류한다. 생리적인 안진에는 몸이 회전하는 동안에 물체의 상을 일정하게 유지하기 위해 작동하는 회전안진(Per-Rotatory Nystagmus)과 시운동성 안진(Optokinetic Nystagmus)이 있다. 임상적으로 발생양상에 의해 크게 자발안진(Spontaneous Nystagmus)과 유발안진(Induced Nystagmus)으로 구별하며, 각각의 안진은 병변 부위에 따라 중추성과 말초성으로 분류한다[4].

안진 신호 검출법으로는 전기안진도(Electro-Nystagmography, ENG), 공막 탐색 코일 시스템(Scleral Search Coil System, SSCS), 비디오 안진 검사(Video-Oculography, VOG)가 있다[5].

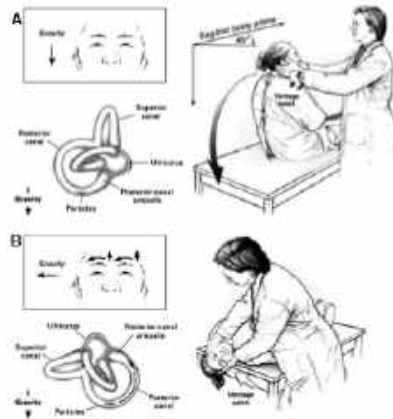
## 2.3 관련 연구

### 2.3.1 딕스-홀파이크 검사

[그림 2]와 같이 반고리관의 구조는 앞반고리관, 뒷반고리관, 옆반고리관이 있다. 딕스-홀파이크(Dix-Hallpike) 검사는 앞반고리관과 뒷반고리관의 이석 유무를 검사하는 방법으로 병적 증상이 발생한 쪽에서 홀파이크 자세(머리를 침대 아래로 떨어뜨린 자세)로 머리 위치를 유지하면 반고리관 내에 있는 석회 부유물(Calcific Material)이 중력 방향으로 떨어지면서 반고리관 내에 반 팽대부성(Ampulofugal) 내 림프 흐름이 발생하여 안진을 탐지하여 진단하는 검사법이다 [6]. [그림 3]은 딕스-홀파이크의 검사 자세 이해를 돕기 위한 그림이다.



[그림 2] 반고리관 구조



[그림 3] 딕스-홀파이크 검사[1]

딕스-홀파이크 검사는 앞서 설명 했듯이 앞반고리관과 뒷반고리관의 이석의 유무를 확인하는 검사법이다. 고개를 젖히는 방향에 따라 이석의 위치를 확인 할 수 있는데, [표 1]은 자세와 안진의 방향에 따른 이석의 위치를 탐지하는 방법이다.

[표 1] 딕스-홀파이크 검사에 따른 안진의 형태[1][7]

자세			
고개를 좌측으로 젖힘		고개를 우측으로 젖힘	
우측 앞반고리관	회전성 하향 안진	좌측 앞반고리관	회전성 하향 안진
좌측 뒷반고리관	회전성 상향 안진	우측 뒷반고리관	회전성 상향 안진

딕스-홀파이크 검사를 실시 할 때 안진이 나타날 때까지 약 5초에서 10초 정도의 지연이 있으며(잠복기), 이 지연은 30초까지 나타날 수 있다. 또한 시선을



고정 하는 것으로 안진을 단축하거나 없앨 수 있기 때문에 시선을 고정하지 않도록 한다[8].

### 2.3.2 적외선LED 안전성

적외선(Infrared Ray)은 태양이 방출하는 빛을 프리즘으로 분산시켜 보았을 때 적색선의 끝보다 더 바깥쪽에 있는 전자기파를 적외선이라 한다[9]. 파장의 길이에 따라 분류하면 파장 0.75-3 $\mu$ m의 적외선을 근적외선, 3-25 $\mu$ m의 것을 적외선, 25 $\mu$ m 이상의 것을 원적외선이라 한다[9]. 해당 연구에서 사용하는 적외선 LED의 파장은 850nm, 950nm(0.85 $\mu$ m , 0.95 $\mu$ m)로 근적외선에 해당된다.

근적외선은 파장이 0.75~3 $\mu$ m 영역의 적외선. 근적외선은 열작용 외에 사진 작용, 광전 작용, 형광 작용을 나타내므로 검출을 위해 사진 건판·광전지·광전관·열전대(熱電對) 등이 쓰인다. 소독이나 멸균, 관절과 근육 치료에도 활용된다. 전자광학 장비 분야에서는 이중의 일부인 1.4~3 $\mu$ m 영역을 SWIR(ShortWave InfraRed)로 분류하기도 한다[10]. 안과 분야에서는 치료용도[11][12]로 쓰이는 등 유익하게 이용되고 있다.

### 2.3.3 임상 진단기기

임상에서 사용하는 비디오 안진 검사 장비는 Micromedical Technologies시(미국)[13]의 VisualEyes 505가 있다. VisualEyes 505는 단안 모델과 쌍안 모델이 있으며, 눈에 직접적으로 적외선을 쏘지 않고 반사판을 이용하여 적외선을 쏘고 있다. 또한 소프트웨어를 실행하기 위한 Windows 10이 탑재된 노트북을 함께 제공하며, 고글은 USB 인터페이스로 연결되고 무게는 283g 이다. 해당 기기를 이용하여 검사를 진행 할 때 내장된 RF 리모컨을 이용하여 녹화 시작과 중지를 컨트롤 할 수 있으며, MP4로 영상을 녹화하여 추후 진단에 이용 할 수 있다.

[그림 4]와 [그림 5]는 VisualEyes 505를 제작한 Micromedical Technologies 홈페이지와 VisualEyes 505의 실물이다.



[그림 4] Micromedical사의 VisualEyes 505[13]



[그림 5] VisualEyes 505 쌍안 고글 실물



[그림 6] VisualEyes 505 소프트웨어[13]

## 제 3 장 진단기기 설계 및 제작

### 3.1 시스템 설계

시스템 설계는 [그림 7]과 같다. 먼저 제작한 기기를 머리에 착용한다. 제작한 기기 안에는 리눅스 기반 미니PC, 적외선 카메라, 적외선 LED, 3축 가속도/자이로 센서가 부착되어 있다. 기기로부터 촬영된 영상은 OpenCV 영상처리 API를 이용하여 RGB 채널로부터 Gray 채널로 변환을 통해 동공을 검출하고, 동공의 중앙 좌표 데이터를 수집한다. 또한 3축 자이로/가속도 센서를 이용하여 상보필터를 통해 각도로 변환하고 각도를 통해 두위 자세를 판별하여 데이터를 수집한다. 수집된 데이터를 이용하여 딥스-홀파이크 검사에 따른 안진 이론을 이용하여 양성돌발성 두위 현훈 진단 알고리즘 적용을 통해 이상 유무를 판단한다.

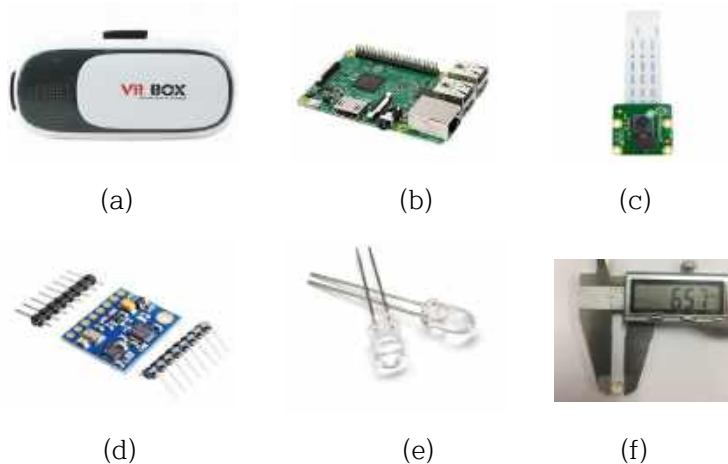


[그림 7] 시스템 설계도

### 3.2 비디오 안전검사 기기 제작

#### 3.2.1 사용 제품

본 기기의 안전 환경을 구성하기 위해 가상현실 VR 헤드셋 VR BOX (COMS, 대한민국)을 사용하고, 안구를 촬영하기 위해 850nm IR LED와 320의 접사 렌즈, 적외선 필터가 제거 된 IMX2198 메가 픽셀 센서(Sony, 일본)가 장착된 Pi Camera V2(Raspbrrery Pi Foundation, 영국)를 사용하였다. 사용자의 자세를 판별하기 위해 MPU-6050 모듈을 사용한 3축 자이로, 가속도 센서 GY-521(중국)을 사용하고, 자이로 및 가속도 데이터 처리와 촬영된 영상의 영상처리를 위해 리눅스 기반의 Raspberry Pi 3 B+모델(Raspbrrery Pi Foundation, 영국)를 사용하였다. 기기 내부에는 무선 전원 공급을 위해 5,000mAh 리튬이온 배터리를 내장하고 기기 외부에는 전원 스위치와 USB, HDMI, Micro 5PIN(IN) 포트를 달아 사용자의 편의성을 증대 시켰다.



[그림 8] 사용 제품 (a) VR BOX (b) Raspberry PI 3 B+ (3) Pi Camera V2 NonIR (d) GY-521 Sensor (e) IR LED (f) 6.5mm Micro LENS

### 3.2.2 비디오 안전검사 기기 형태

[그림 9]와 [그림 10]는 제작한 기기의 형태이다. 기기 내부에는 Raspbrrerry Pi, GY-521, 5,000mAh 리튬이온 배터리를 내장하였으며, 적외선 카메라와 6.5mm Micro LENS를 밀착했다. 기기 외부에는 ON/OFF 스위치와 영상출력, USB포트, Micro 5PIN 충전 포트를 장착하여 사용자의 편의성을 증대 시켰다.



(a) 전면부 개방 모습



(b) 렌즈

[그림 9] VOR 내형



(a) 전면



(b) 후면



(c) 상단



(d) 하단



(e) 좌측면

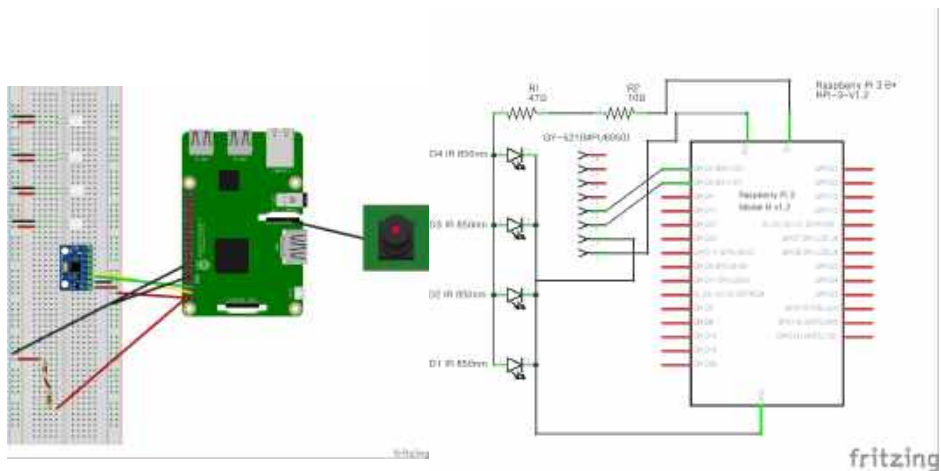


(f) 우측면

[그림 10] VOR 외형

### 3.2.3 배선도 및 회로도

개발한 기기의 배선도 및 회로도는 [그림 11]과 같다. 총 4개의 IR LED를 사용하였으며, 5V 입력으로 IR LED는 병렬로 연결하였고  $10\Omega + 47\Omega = 57\Omega$  저항을 사용했다. 3축 자이로/가속도 센서 GY-521은 3V의 입력을 받고 I2C 통신을 위한 Serial Data, Serial Clock에 핀을 연결했다. 적외선 카메라 Pi Camera V2는 5CM의 Flex Cable로 보드의 카메라 포트에 연결했다.



[그림 11] 기기 배선도 및 회로도

### 3.2.4 착용 모습

[그림 12]는 개발한 기기를 착용하고 있는 모습이다. (a)는 앉은 자세 (b)는 누워 있는 자세이다. 외부하고 연결된 케이블은 디스플레이(HDMI) 1개만 존재하며, 누워 있는 자세에서 환자의 머리 돌레에 따라 밴드를 조절하여 흘러내림을 방지 할 수 있다.



(a)



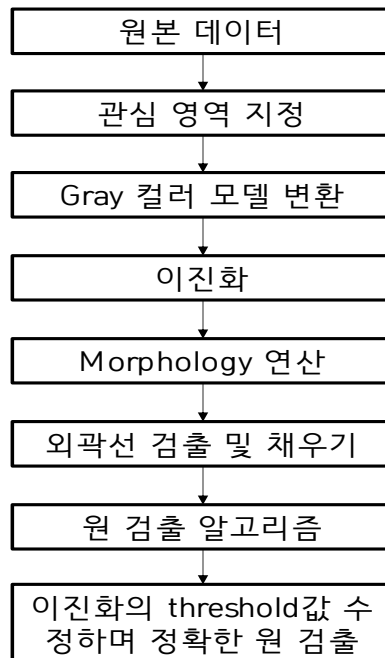
(b)

[그림 12] VOG 착용 모습  
(a) 앉은 자세 (b) 누워 있는 자세



### 3.3 동공검출

[그림 13]은 동공 추출 방법 flow차트이다. 먼저 적외선 이미지에서 관심 영역을 지정하고 지정된 관심 영역에서 Gray 채널을 추출한다. 그리고 Gray 채널에서 이진화 이미지를 추출한다. 이미지 이진화 후 Morphology 연산을 통하여 노이즈를 제거한다. 노이즈를 제거한 영상으로부터 외곽선을 검출하고 외곽선의 내부를 채운다. 이렇게 외곽선이 채워진 영상으로부터 원을 검출하고 마지막으로 이진화의 threshold값을 수정하며 정확한 원이 검출되도록 조정한다.



[그림 13] 영상처리 flow 차트

### 3.3.1 영상획득

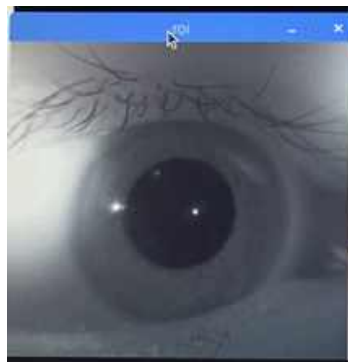
전안부 영상에서의 안구영역은 크게 동공과 홍채, 공막, 그리고 눈꺼풀로 구분된다. 동양인의 경우 홍채의 색상과 동공의 색상이 비슷하기 때문에 구분하기 힘들다. 이 문제를 해결하기 위해 적외선 카메라를 사용하여 영상을 획득한다.



[그림 14] 전안부 획득

### 3.3.2 관심 영역(ROI) 지정

동영상 전체를 영상처리 하는 것은 비효율적이고, 영상처리가 느려지는 현상을 보인다. 그렇기 때문에 영상에서 전안부 부위만을 관심영역으로 설정하여 영상처리 범위를 줄이고 보다 효율적으로 동공을 검출할 수 있도록 한다.



[그림 15] 관심영역 지정

### 3.3.3 Gray 컬러 모델 변환 및 이진화

획득한 RGB 영상에서 이진화를 하기 위해 Gray 채널로 변환한다. Gray채널로 변환된 영상은 이진화 한다. 다음은 이진화한 결과이다. 이진화만 실행 했을 경우 많은 노이즈들이 존재하는 것을 확인 할 수 있다.

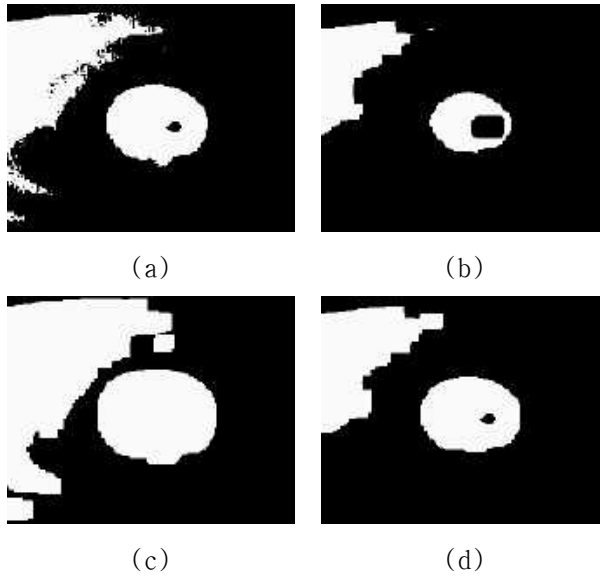


[그림 16] ROI 영역 이진화 영상

### 3.3.4 Morphology 연산

영상을 형태학적 관점에서 보고 접근하는 방법이다. 영상 내에 존재하는 특정 객체의 형태를 변형시키는 용도로 사용되는 영상처리 기법이다. 영상에서 노이즈를 제거할 때 사용된다. Morphology 연산으로 침식(erode)과 팽창(dilate)을 사용한다. 침식(erode)은 이웃한 화소들 중 최소 화소값을 현재 화소값으로 대체하는 것이며 작은 노이즈(작은 덩어리)의 객체를 사라지게 할 수 있다. 팽창(dilate)은 이웃한 화소들 중 최대 화소값을 현재 화소값으로 대체하는 것이며 객체 내부에 있는 작은 구멍들을 사라지게 할 수 있는 역할을 한다. 한마디로 침식연산을 통해 노이즈를 제거하고 팽창연산을 통해 객체 내의 빈 공간을 제거해주며 줄어든 객체의 크기를 복구하고자 사용한다.

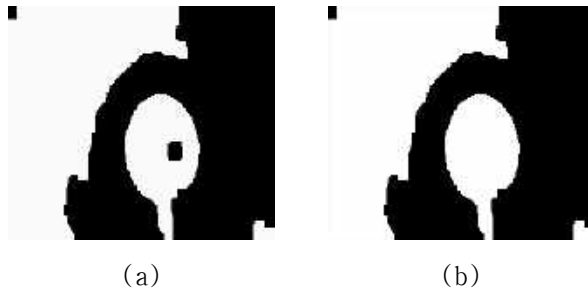
$$Extraction\ rate\ (\%) = \frac{N(extracted\ frames)}{N(all\ frames)}$$



[그림 17] 영상처리 (a) 원본영상 (b) 침식연산 후 영상  
(c) 팽창연산 후 영상 (d) 침식 & 팽창 연산 후 영상

### 3.3.5 외각선 검출 및 채우기

[그림 18] (a)와 같이 채워지지 않은 원은 원 검출 알고리즘에 잡히지 않기 때문에 이진화 영상에서 외각선을 검출하여 빈 공간을 1값(255, 255, 255)으로 채워준다. 그러면 [그림 18] (b)와 같이 영상의 빈공간이 채워지는 것을 확인 할 수 있다.



[그림 18] 외각선 검출 및 채우기  
(a) 외각선 채우기 전 영상 (b) 외곽선 채우기 후 영상

### 3.3.6 원 검출 알고리즘

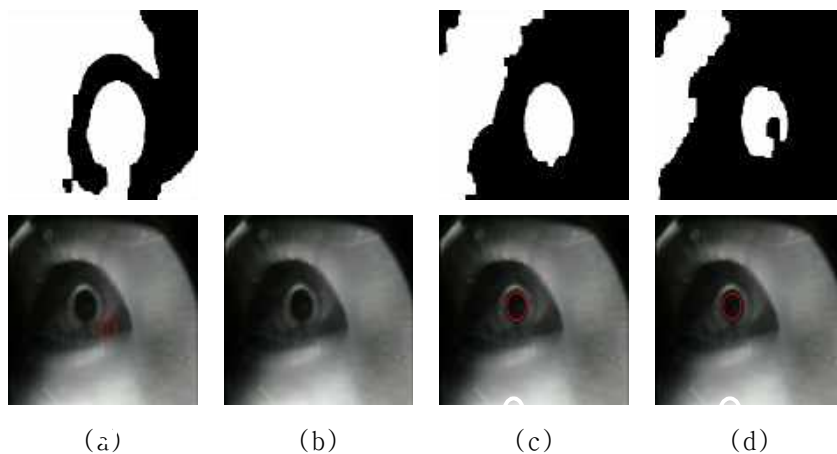
최종적으로 앞의 전처리가 모두 끝나면 동공의 중앙점을 찾기 위해 원 검출 알고리즘을 사용한다. 원 검출 알고리즘으로 Hough Transform를 사용한다. 허프 변환은 점들의 분포를 보아 영상에 원이 있는지 검출하는 기능을 한다.



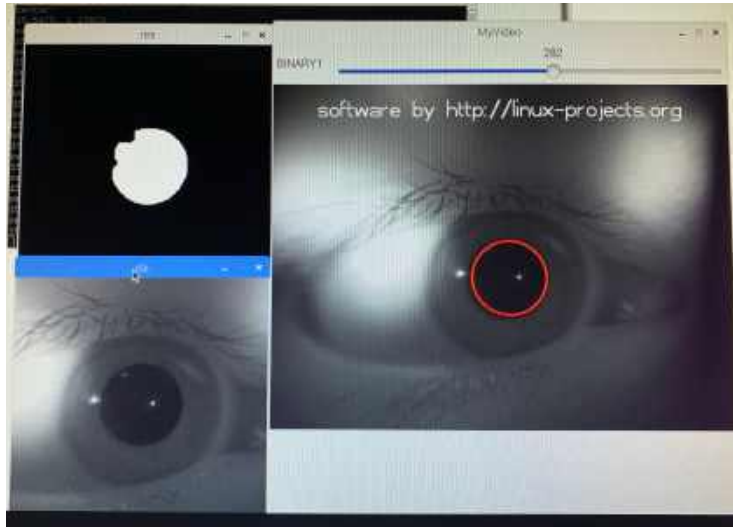
[그림 19] 동공 원 검출 이미지

### 3.3.7 이진화의 threshold값 수정하며 정확한 원 검출

영상처리는 주변의 빛(노이즈)과 영상의 위치, 사용자의 얼굴형에 따른 그림자 위치 등과 같이 변수가 많이 때문에 항상 일정한 영상처리 과정을 거친다고 하여도 사람마다 다른 결과가 나올 수 있다. 그렇기 때문에 이진화 처리에서의 임계값을 수정하여 정확한 원을 추출해 내는 방법을 생각해냈다. 이진화 임계값(Threshold)을 기준으로 초과 되는 값은 255로 이하는 0으로 변환하게 되는데 이 값을 Trackbar를 통하여 실시간으로 변경 가능하도록 개발하였다. [그림 20]으로 임계값의 변화로 동공의 검출 유무가 달라지는 것을 볼 수 있다.



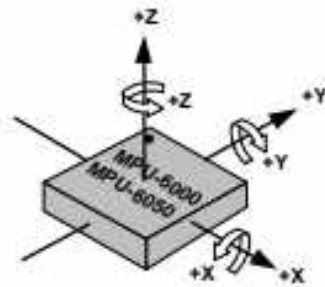
[그림 20] 임계값에 따라 변화로 인한 결과 변동  
임계값 : (a) 262 (b) 270 (c) 275 (d) 285



[그림 21] 동공 검출 프로그램 실행 결과

### 3.4 두위변환 판별

딕스-홀파이크 검사에서 두위 변환을 판별하기 위해 MPU-6050 모듈을 탑재한 GY-521 센서를 사용했다. GY-521를 이용하여 X, Y, Z 3축의 자이로, 가속도 데이터를 얻을 수 있으며,  $-180^\circ$  에서  $180^\circ$  의 각도를 측정 할 수 있다. GY-521 센서는 Raspbian OS에서 C++언어로 제어했으며, I2C통신을 이용하여 라즈베리파이와 통신한다.

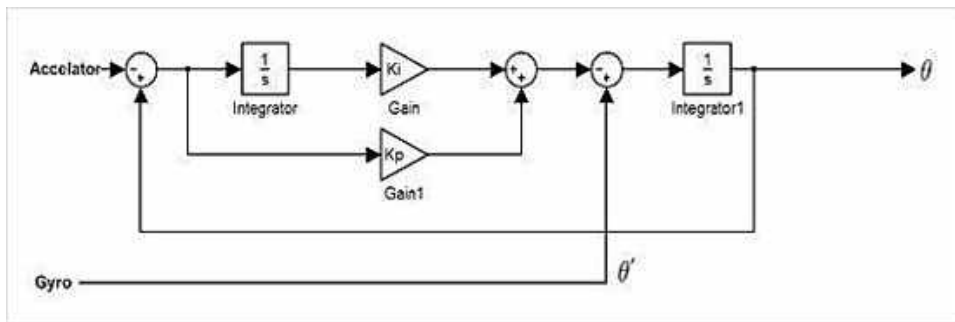


[그림 22] MPU 6050 3축 자이로, 가속도 센서의 감도와 회전 극성 방향 [15]

그러나 자이로센서는 저주파 영역에서 값이 변하는 Drift 현상이 발생하여 정확한 값이 아닌 데이터의 중간에 노이즈가 발생한다. Drift 현상을 줄이기 위해 상보필터(Complementary Filter), 칼만필터(Kalman Filter)를 사용하는데, 본 연구에서는 상보필터를 이용하여 노이즈를 제거한다.



상보필터의 상보는 상호보완, Complementary의 의미로 자이로와 가속도의 서로 모자란 부분을 보충하여 더 좋은 결과를 얻어내기 위한 필터이다. 상보필터를 사용하기 이전에 각도는 자이로 데이터를 적분하여 초기에 데이터와 움직인 정도를 가지고 얻을 수 있는데, 이는 소수점 아래의 데이터가 버려져 적분을 해서 값이 축적 될수록 실제 값과 틀어지는 Drift 현상이 발생한다. 상보필터는 매 순간 데이터는 확신 할 수 없지만 평균적인 값을 믿을 수 있는 자이로센서와 매 순간 값은 정확하지만 평균적인 값을 믿을 수 없는 가속도센서를 합쳐 이상적인 결과를 얻어내기 위한 필터이다[16]. [그림 23]은 상보필터의 블록선도이다[17].



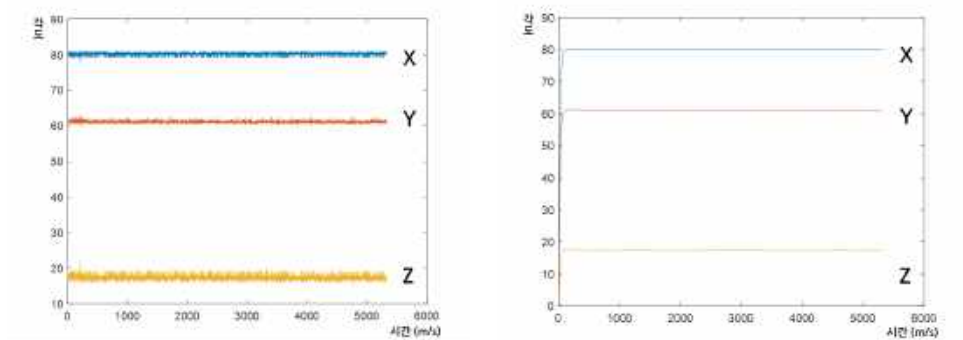
[그림 23] 상보필터 블록선도[17]

[그림 24]는 상보필터 공식이다. 좌변의 angle은 출력 할 각도, gyrData는 자이로 데이터, dt는 적분할 시간, accData는 가속도 데이터를 이용한 각도이다[16]. 해당 공식에서 좌변과 우변에 angle이 총 2개 있는데 우변에 있는 angle은 이전 각도 값을 의미한다. 각도 값은 매번 업데이트 된다[16].

$$\text{Angle} = 0.98 * (\text{angle} + \text{gyrData} * \text{dt}) + 0.02 * (\text{accData})$$

[그림 24] 상보필터 공식[16]

[그림 25]는 상보필터를 적용하기 전과 후이다. 실험은 센서를 고정시키고 약 30초간 실시하였으며, 총 5105개의 데이터가 나왔다. 상보필터를 적용 후 적용 전과 다르게 Drift 현상이 감소하였다.



(a) 적용 전

(b) 적용 후

[그림 25] 상보필터 적용 전/후 비교

데이터를 보정하고 두위변환 자세를 판별하기 위해 자세에 따른 X, Y 축의 각도 데이터를 측정한다. 측정한 데이터는 [표 2]와 같다.

[표 2] 두위 변환에 따른 X, Y축 각도 변화

좌측 두위변환		우측 두위 변환	
X	Y	X	Y
140 ~ 180 or -180 ~ -145	110 ~ 180 or -180 ~ -100	-60 ~ -3	110 ~ 180 or -180 ~ -100

[표 2]를 적용하여 Y축 각도를 이용하여 누워 있을 경우를 판별하고 X축을 이용하여 좌, 우 두위 변환을 판별한다. 판별 결과 누워 있을 경우 좌, 우측 두위 판별과 앉아 있을 경우와 누워서 좌, 우측 두위 변환을 하지 않을 경우 총 3가지 자세를 판별한다. 프로그램에 적용 한 판별 결과는 [그림 26]과 같다.

```

^C
pi@raspberrypi: ~/Desktop/codebaekup $ gcc -o code code.c
pi@raspberrypi: ~/Desktop/codebaekup $ ./code
Sit or Head Centor
Sit or Head Centor
Sit or Head Centor
Head Left
Sit or Head Centor
Head Right
Sit or Head Centor

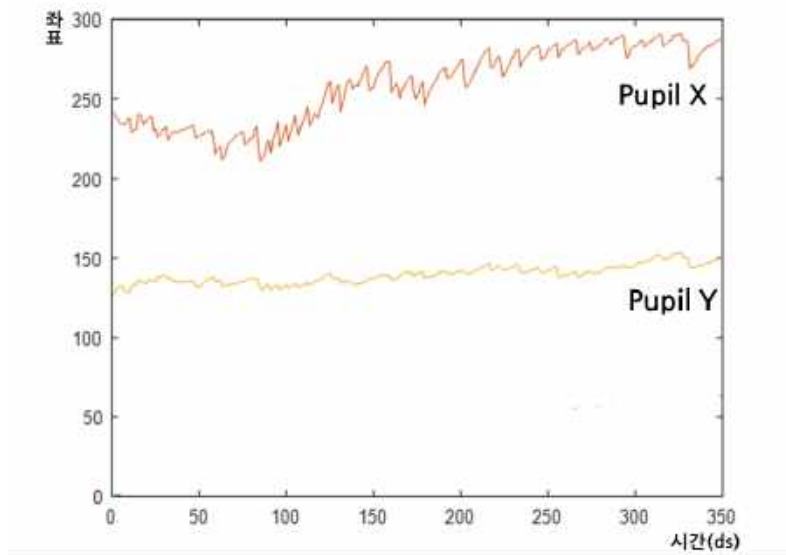
```

[그림 26] 두위변환 결과

### 3.5 신호분석

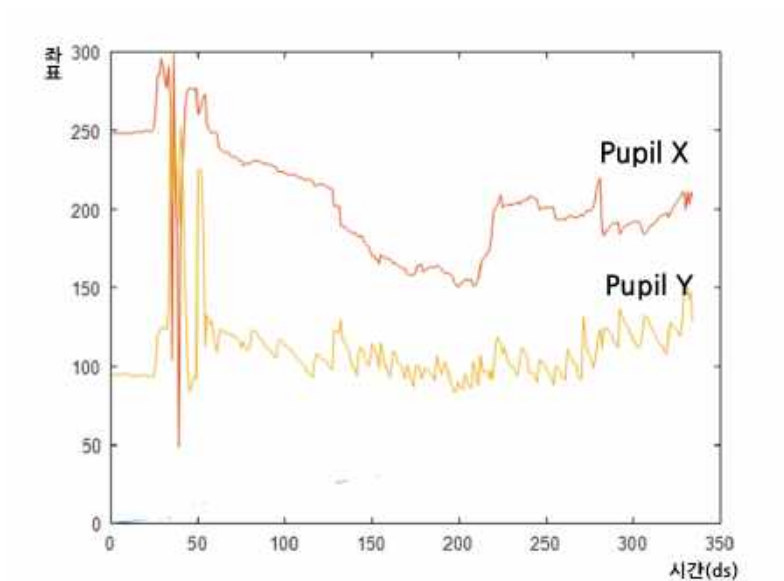
신호분석은 VisualEyes 505 기기로 획득한 안구 영상을 이용하여 본 논문에서 구현한 동공 검출 프로그램으로 데이터를 획득했다. 획득된 데이터를 이용하여 수치해석 소프트웨어 MATLAB(Mathworks, 미국)을 이용하여, 검출되지 않은 동공 노이즈 데이터를 제거하고 그래프를 그렸다. [그림 27], [그림 28], [그림 29], [그림 30] 모두 두위를 좌측으로 둔 상태이며, 그림에서 빨간색 그래프는 동공의 X 좌표를 의미하며, 노란색 그래프는 Y 좌표를 의미한다.

[그림 27]은 우향 안진이 있는 환자의 파형이다. Y축은 비교적 완만한 모습을 보인 반면에 X축은 느리게 상승하고 빠르게 하강하는 규칙적인 파형을 볼 수 있다.



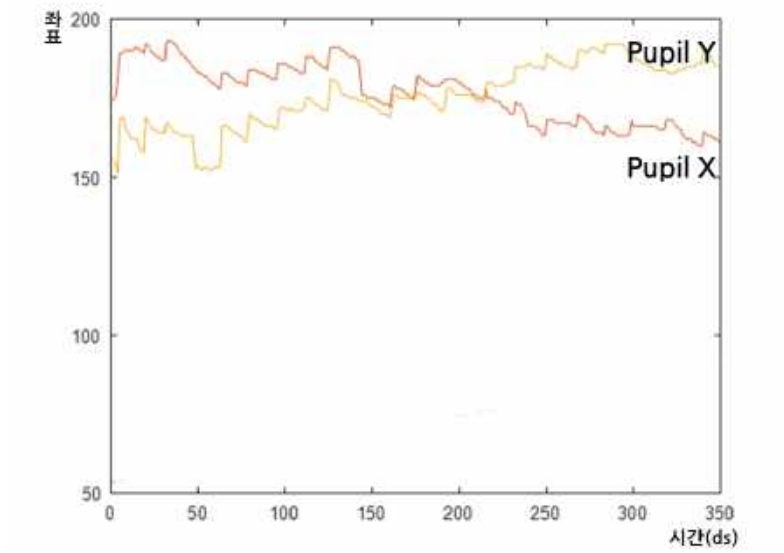
[그림 27] 우향 안진 파형

[그림 28]은 하향 안진이 있는 환자의 파형이다. X축은 불규칙한 파형을 그리  
는 반면에 Y축은 규칙적이고 빠르게 상승하고 느리게 하강하는 모습을 볼 수 있  
다. [표 1] 이론에 따라서 우측 앞반고리관의 이석 유무를 유추 할 수 있다.



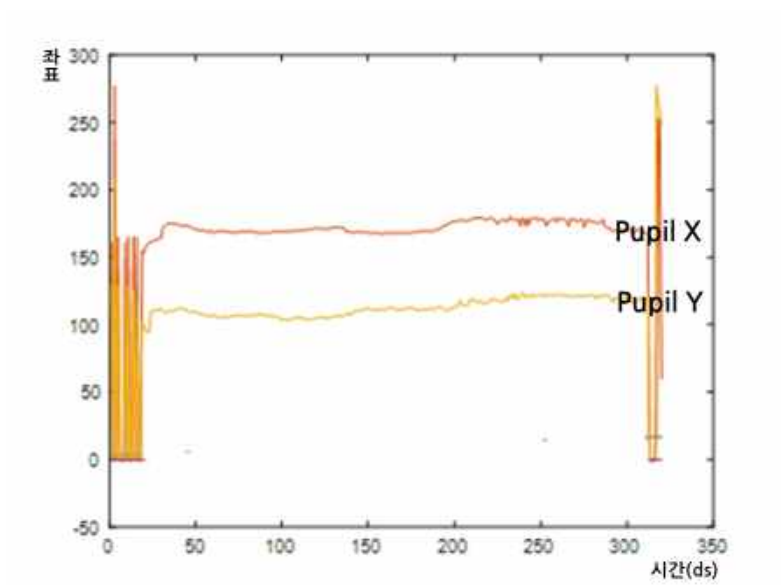
[그림 28] 하향 안진 파형

[그림 29]는 하향 안진과 좌향 안진이 동시에 있는 환자의 파형이다. 동공의 X축, Y축 모두 상승 벡터와 하향 벡터가 규칙적으로 빠르게 상승하고 느리게 하강하는 모습을 볼 수 있다.



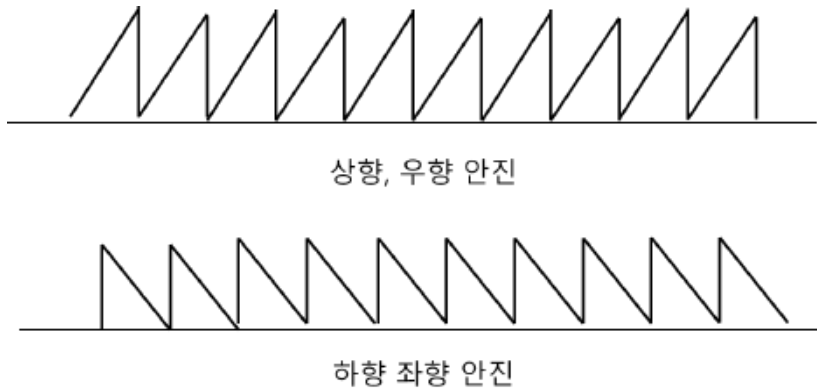
[그림 29] 하향, 좌향 안진 파형

[그림 30]은 일반인의 파형이다. 앞서 본 안진 환자의 파형과는 다르게 X좌표, Y좌표 모두 특징 없이 완만한 모습을 보였다.



[그림 30] 일반인 동공 파형

앞서 일반인과 양성돌발성 두위 현훈 환자의 파형을 분석한 결과, 동공의 좌우를 나타내는 X 좌표에서 [그림 31]과 같은 규칙적인 파형이 나타나면 좌, 우 안진이고, Y 좌표에서 규칙적인 파형이 나타나면 상, 하 안진이다. 또한, [그림 31]과 같이 상향 또는 우향 안진일 경우 상승 곡선의 기울기가 크고, 하향 좌향 안진일 경우 하강 곡선의 기울기가 더 큰 것을 알 수 있다.

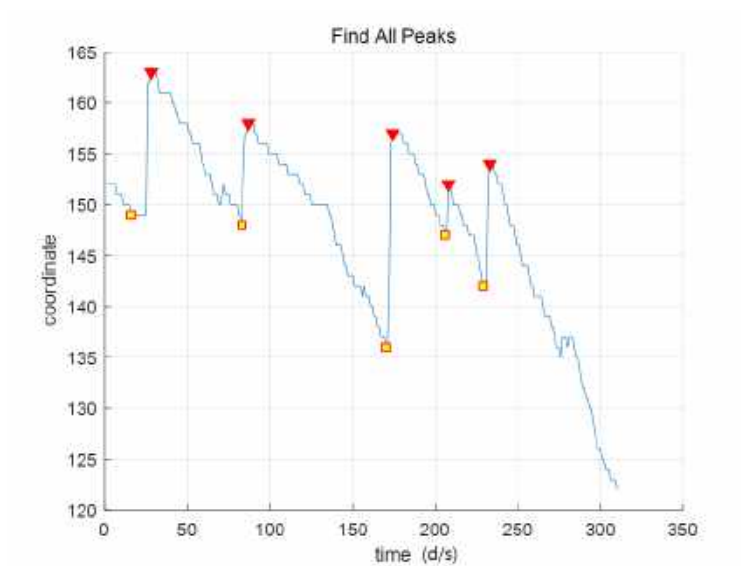


[그림 31] 안진에 따른 파형 특징



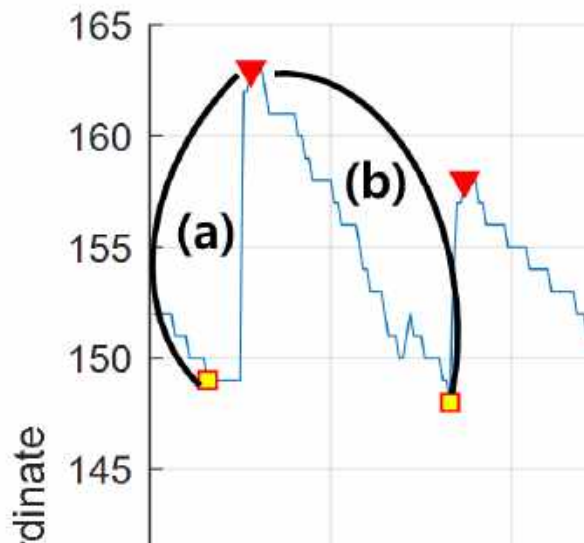
### 3.6 진단 알고리즘

양성돌발성 두위현훈의 안진 방향을 유추하기 위해 동공의 Y좌표 데이터를 이용한다. 동공의 Y좌표 데이터에서 규칙성 있는 파형을 분류하고, 분류된 파형의 Low-peak와 High-peak를 검출한다. [그림 32]는 양성돌발성 두위현훈 환자의 Peak를 검출한 그림이다.



[그림 32] 양성돌발성 두위현훈 환자 Peak Detection

검출된 분류된 파형에서 안진의 파형인지 유추하기 위해 [그림 33]에서 (a)와 (b)의 길이를 비교한다. (a)와 (b)의 길이를 [그림 34]의 공식을 이용하여 구하고, 두 길이를 비교한다. 안진의 동공 움직임은 느리게 이동하고 빠르게 돌아오는 특징이 있다. 두 길이의 차이가 적다면 안진의 파형으로 판별하기 어렵다.



[그림 33] Low-peak와 High-peak의 직선

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

[그림 34] 두 좌표의 길이 공식

안진으로 판별 된 파형에서 안진의 방향을 유추하기 위해 [그림 33]의 (a)와 (b)의 기울기를 구한다. (a)의 기울기가 (b)의 기울기보다 크다면 하향 안진, (b)의 기울기가 (a) 보다 크다면 상향 안진으로 유추 할 수 있다.

$$m = \tan\theta = \left| \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right|$$

[그림 35] 두 좌표 기울기 공식

[그림 32]에서 검출된 파형을 [그림 34]와 [그림 35]의 공식을 적용한 결과 상향 벡터 평균 길이는 13, 하향 벡터 길이의 평균은 58 으로 두 길이의 차이는 45로 안진의 파형임을 유추 할 수 있다. 또한 상향 벡터 기울기의 평균은 2.88, 하향 벡터 기울기의 평균은 0.22로 두 기울기의 차이는 2.66으로 상향 벡터의 기울기가 더 크다. 이로서 하향 안진임을 유추 할 수 있다.

## 제 4 장 실험 및 분석

### 4.1 실험 환경

실험 데이터는 양성돌발성 두위 현훈이 없는 20대 남성과 양성돌발성 증상이 있는 67세 남성을 대상으로 수집되었다. 실험환경은 실내에 조명을 소등하지 않은 상태에서 실시했으며, 딕스-홀파이크 검사에 앞서 약 10초간 앉은 상태에서의 동공 검출율을 측정했고, 사전에 딕스-홀파이크 자세 훈련을 1세트 실시했다.

딕스-홀파이크 검사는 피실험자의 두위 변환을 위해 어깨를 침대 끝 선에 정렬 하였으며, 앉은 자세 - 좌측 두위변환 - 앉은 자세- 우측 두위변환 사이클로 2회 실시했다.

### 4.2 실험 결과

#### 4.2.1 동공 검출율

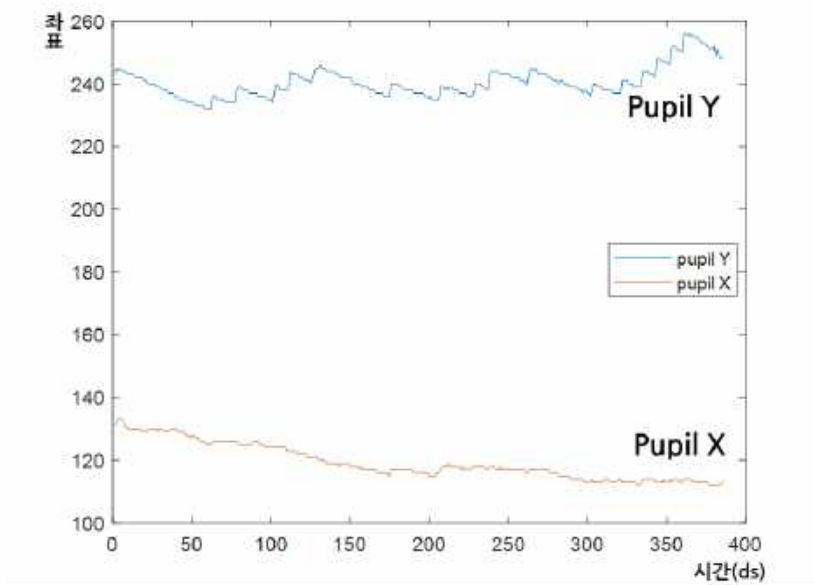
양성돌발성 두위 현훈 진단을 위한 딕스-홀파이크 검사를 실시하기 앞서 본 논문에서 개발한 기기를 이용하여 피실험자의 동공 검출율을 측정한다. 약 10초에서 20초간 의자에서 앉은 자세로 측정하였다. 실험 결과 79%에서 96%까지의 검출율을 보였다.

[표 3] 동공 검출율 실험 결과

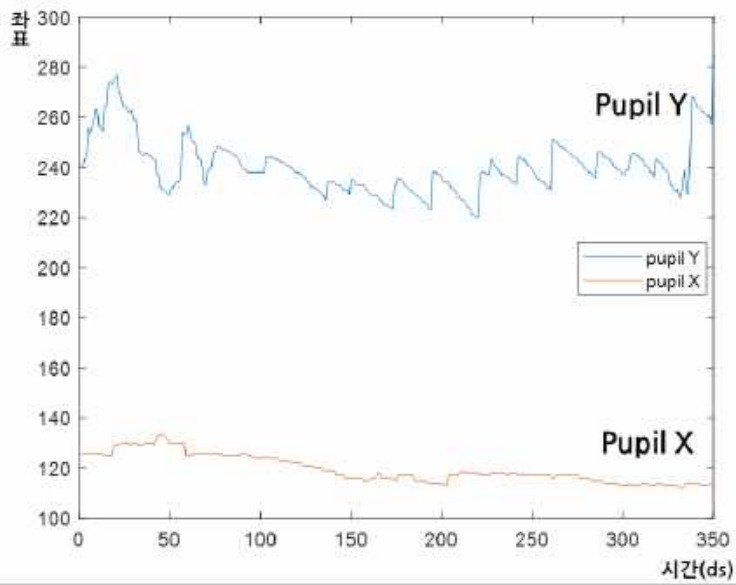
구분	측정 시간	총 프레임 데이터	검출 프레임 데이터	동공 검출율
A	18.49 초	280	222	79.28%
B	11.06 초	146	129	88.35%
C	17.14 초	206	189	91.74%
D	13.32 초	161	142	88.19%
E	12.90 초	160	154	96.25%

#### 4.2.2 양성돌발성 두위현훈 환자 데이터 비교

[그림 36]과 [그림 37]은 우측 귀의 좌측 앞반고리관에 이석이 있는 만 67세 남성의 데이터이다. [그림 36]은 제작한 기기에서 수집된 영상 데이터로 그린 그래프이며, [그림 37]은 병원기기로 영상 데이터를 수집하고 본 논문에서 개발한 소프트웨어로 수집된 데이터로 그린 그래프이다. [그림 36]은 [그림 37]과 비교하여 파장이 작지만, 제 3장 5절에서 분석한 양성돌발성 두위 현훈 환자의 특정 파형이 분석되었다. 아래의 그래프의 동공 Y축은 빠르게 상승하고 천천히 하강하는 모습을 볼 수 있다. [그림 30]을 참고하면 하향 안진임을 알 수 있는데, 이는 우측 귀의 좌측 앞반고리관에 이석이 있는 것으로 알 수 있다.



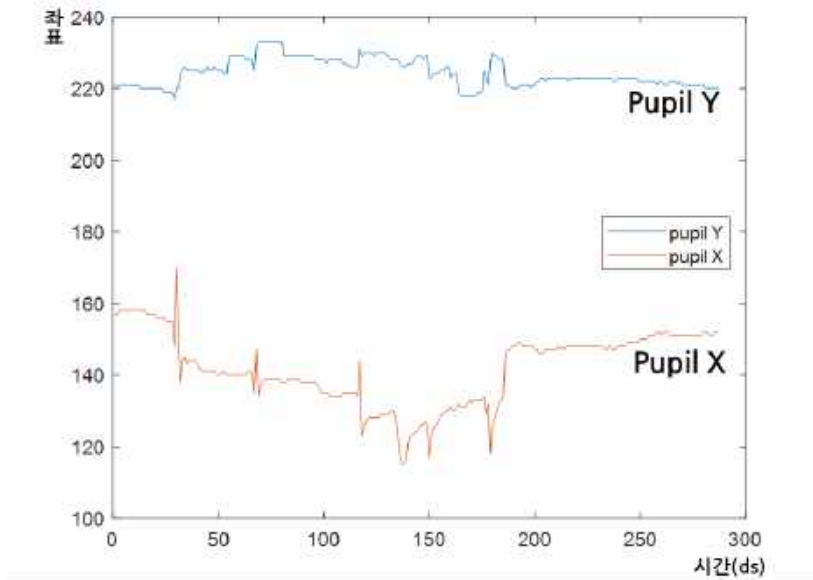
[그림 36] 개발기기로 측정한 환자 그래프



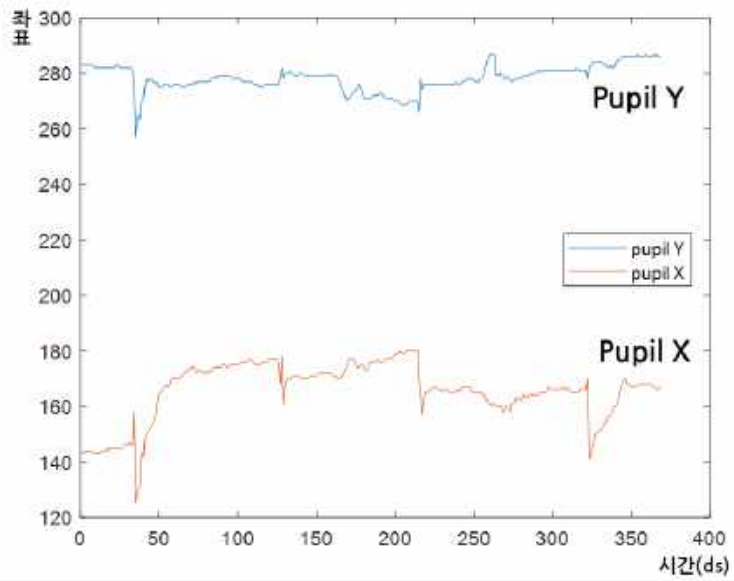
[그림 37] 병원 기기로 측정한 환자 그래프

#### 4.2.3 일반인 데이터 비교

[그림 38]과 [그림 39]는 23세 일반인 남성을 대상으로 개발한 기기와 병원기기로 측정한 그래프를 비교하는 표이다. [그림 38], [그림 39] 모두 눈 깜빡임에 의한 노이즈는 있었지만, 3장 5절에서 분석한 양성돌발성 두위현훈 환자의 특정 파형이 나오지 않았다.



[그림 38] 개발기기로 측정한 일반인 그래프



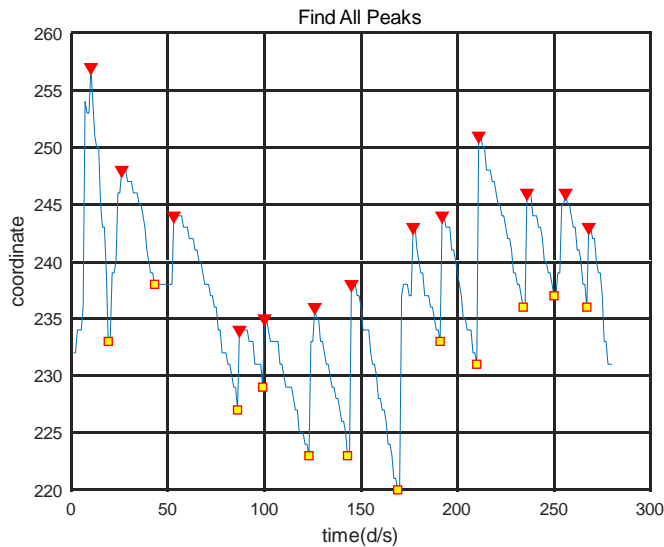
[그림 39] 병원기기로 측정한 일반인 그래프



#### 4.3 양성돌발성 두위현훈 알고리즘 적용 결과

본 논문에서 제시한 양성돌발성 두위현훈 알고리즘을 실험하기 위해 4장 2절에서 얻은 병원 데이터와 개발한 기기의 데이터에 적용하여 임상과의 진단과 비교한다.

##### 4.3.1 병원 기기로 측정한 환자 데이터

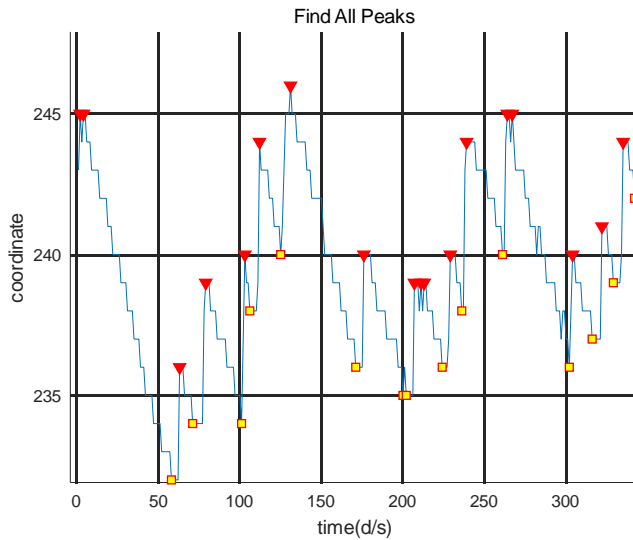


[그림 40] 병원 기기 환자 Peak Detection

[그림 40]과 같이 병원 기기에서 얻은 그래프의 Low-peak와 High-peak를 검출했다. High-peak는 13개가 검출되었고, Low-peak는 12개가 검출되었다. 본 데이터에서 얻은 결과를 4장 3절의 알고리즘을 적용한 결과 상승 벡터의 평균 길이는 13, 하강 벡터의 평균은 22가 나왔다. 또한, 상승 벡터의 평균 기울기는

0.79, 하강 벡터의 평균 기울기는 6.6이 나왔다. 본 결과를 이용하여 상승 벡터와 하강 벡터의 길이 평균의 차이를 보아 동공의 자연스러운 움직임이 아닌 안진으로 판단 할 수 있고, 하강벡터의 기울기 평균과 상승 벡터의 기울기의 평균을 비교 했을 때, 하강 벡터가 더 큰 점과 본 데이터는 동공의 Y 좌표임을 이용하여 하향 안진으로 진단을 내릴 수 있다. 본 알고리즘을 적용한 결과 임상치의 진단과 같음을 알 수 있다.

#### 4.3.2 개발한 기기로 측정한 환자 데이터

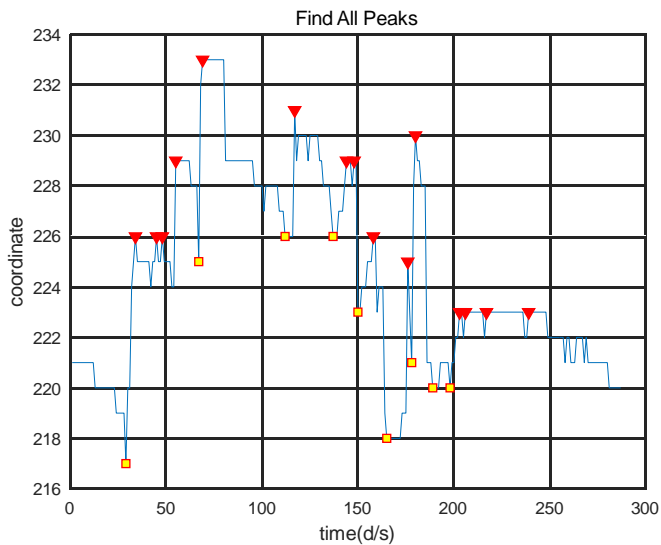


[그림 41] 개발한 기기 환자 Peak Detection

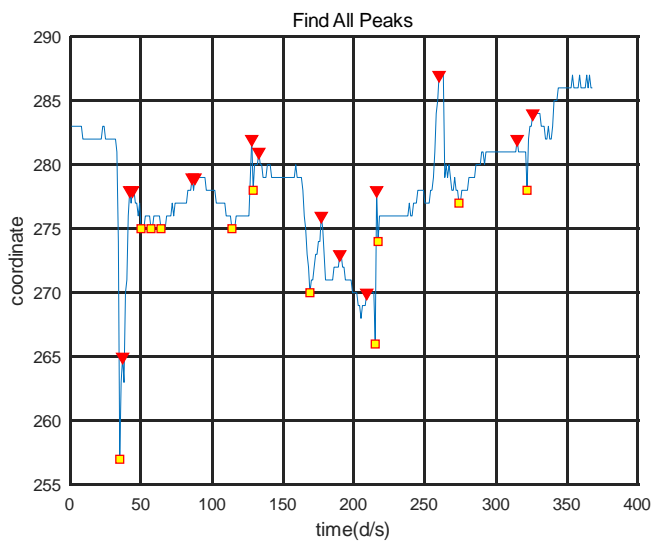
[그림 41]과 같이 개발한 기기에서 얻은 그래프의 Low-peak와 High-peak를 검출했다. High-peak는 14개가 검출되었고, Low-peak는 14개가 검출되었다. 본 데이터에서 얻은 결과를 4장 3절의 알고리즘을 적용한 결과 상승 벡터의 평균 길이는 8, 하강 벡터의 평균은 20이 나왔다. 또한, 상승 벡터의 평균 기울기는 0.27, 하강 벡터의 평균 기울기는 1.1이 나왔다. 본 결과를 이용하여 상승 벡터와 하강 벡터의 길이 평균의 차이를 보아 동공의 자연스러운 움직임이 아닌 안진으로 판단 할 수 있고, 하강벡터의 기울기 평균과 상승 벡터의 기울기의 평균을 비교 했을 때, 하강 벡터가 더 큰 점과 본 데이터는 동공의 Y 좌표임을 이용하여 하향 안진으로 진단을 내릴 수 있다. 본 알고리즘을 적용한 결과 임상과의 진단과 같음을 알 수 있다.

#### 4.3.2 병원 기기와 개발한 기기로 측정한 일반인 데이터

[그림 42]와 [그림 43]은 각각 병원 기기와 개발한 기기에서 얻은 그래프의 Low-peak와 High-peak를 검출했다. 두 그래프 모두 Low-peak와 High-peak가 일정하게 검출되지 않았거나, 규칙성 있는 파형이 검출되지 않았다.



[그림 42] 병원 기기 일반인 Peak Detection



[그림 43] 개발 기기 일반인 Peak Detection

## 제 6 장 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 제 1장 서론을 시작으로 제 2장 관련 연구, 제 3장 장치 설계 및 제작, 제 4장 애플리케이션 설계 및 제작, 제 5장 실험 및 결과 분석과 현재 제 6장 결론 및 향후 과제까지 총 6장에 걸쳐서 양성돌발성 두위현훈 진단을 위한 저가형 기기를 개발하였다.

비디오 안진기기는 VR케이스, 라즈베리파이3 b+, 적외선 카메라, 850nm IR LED, 3축 자이로/가속도 센서를 이용하여 12만원 내외의 가격으로 제작했다. 동공검출 영상처리는 동공의 관심영역을 지정하고 Gray 컬러 모델로 변환 후 이진화를 통해 원검출 알고리즘 Hough Transform을 이용하여 동공을 검출했다. 검출된 영상은 다수의 노이즈가 존재하여 모폴로지 연산을 통해 제거했다. 두위변환 판별은 3축 자이로/가속도 센서의 각도를 이용하여 앉아있거나 누워있는 상태, 누워서 고개를 좌측으로 돌린 상태, 누워서 고개를 우측으로 돌린 상태 총 3가지 자세로 구별하였고, 드리프트 현상을 제거하기 위해 상보필터를 이용했다. 신호분석을 위해 두위 자세별로 분류하였고 고개를 좌측 및 우측으로 돌렸을 경우 정상인은 불규칙한 그래프를 그렸으며, 양성돌발성 두위 현훈 환자는 규칙적인 특정 형태의 파형 그래프를 그렸다.

향후 연구과제로는 본 논문에서 개발한 기기는 동공 검출과정에서 사용되는 적외선 LED의 동공 빛 반사를 해결하기 위한 물리적인 필터를 보완해야 할 것이고 검사에 방해가 되는 케이블을 최소화해야 할 것이다. 소프트웨어는 이진화의 threshold 값을 수동으로 설정하는 것을 자동화해야 할 것이며, 눈을 깜빡일 때, 눈꺼풀 처짐이나 속눈썹이 동공 검출에 영향을 미치는 것을 개선해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 양성 돌발성 두위현훈 (2011.12, 연세대학교 의과대학 이비인후과학교실, 김성현)
- [2] 두위현훈에 관한 최신지견 (2010.04.12, MEDICAL Observer, 서울대학교대학 분당서울대신경과 김지수 교수)
- [3] 삼성서울병원 질환백과 이석증  
([http://www.samsunghospital.com/home/healthInfo/content/contentView.do?CONT\\_SRC=CMS&CONT\\_SRC\\_ID=09a4727a8000f306&CONT\\_CLS\\_CD=001020001002&CONT\\_ID=3106](http://www.samsunghospital.com/home/healthInfo/content/contentView.do?CONT_SRC=CMS&CONT_SRC_ID=09a4727a8000f306&CONT_CLS_CD=001020001002&CONT_ID=3106))
- [4] 안진 정의 - 신경학 강웅구외 50인 서울대학교출판문화원
- [5] 적외선 카메라를 이용한 비디오 안진 검사 (2016년 순천향대학교 학사학위논문, 김남익)
- [6] 양성자세현훈 (서울대학교병원 의학정보)
- [7] 양성돌발성 두위현훈의 안구운동 (순천향대학교 의과대학 신경과학교실, 성기범, 박정호, 임수빈)
- [8] 양성 발작 등위 현기증 MSD 매뉴얼 일반인용  
(<https://www.msdmanuals.com/ko/홈/이비인후과-장애/내이-장애/양성-발작-두위-현기증>)
- [9] 적외선 - 두산백과  
(<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1139197&cid=40942&categoryId=32377>)
- [10] 근적외선 [Near Infrared Ray, 近赤外線] (국방과학기술용어사전, 2011., 국방기술품질원)

[11] 중소기업 기술개발사업 최종보고서 근적외선을 이용한 안구 치료기기 개발  
(2013.07.23, 케이제이엘테크놀러지, 김종수)

(<http://www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?dbt=TRKO&cn=TRKO201400013216&rn=&url=&pageCode=PG18>)

[12] 녹내장 우습게 보다가 눈앞이 캄캄 (중앙일보, 2010.08.21.)

(<https://news.joins.com/article/4399675>)

[13] Micromedical Thechnologies VisualEyes 505

(<http://www.micromedical.com>)

[14] [그래픽 뉴스] 이석증 재발 막으려면, '전정 재활 운동'하세요 (2017.03.01, 조선일보 이현정 기자)

([http://health.chosun.com/site/data/html\\_dir/2017/02/28/2017022803607.html](http://health.chosun.com/site/data/html_dir/2017/02/28/2017022803607.html))

[15] MPU-6050\_DataSheet\_V3

[16] 상보필터(MPU 6050) - DIY메카솔루션 오픈랩

(<http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=roboholic84&logNo=220401407348&parentCategoryNo=112&categoryNo=&viewDate=&isShowPopularPosts=false&from=section>)

[17] mpu6050 가속도, 자이로 센서를 융합[상보필터] - 2

(<http://hs36.tistory.com/19>)



## 감 사 의 글

떨리는 입시 면접과 입학식날 학교 앞에서 부모님과의 식사가 엇그제 같은데 이제 학부 4년 과정을 마치고 순천향인으로서 사회로 나갑니다. 고교시절부터 꿈꿔왔던 컴퓨터공학도를 이루게 되어 매우 기쁩니다. 학부생, 사관후보생을 병행하며 힘든 시기도 있었지만 남윤영 교수님께서 말씀하셨던 “비온 뒤에 땅이 단단해진다.” 라는 말을 떠올리며 견뎌냈습니다.

먼저 항상 믿음과 응원 그리고 아낌없이 지원해주시는 사랑하는 부모님, 가족들에게 감사합니다. 훌륭한 컴퓨터공학도로 성장 할 수 있게 많은 가르침과 할 수 있다는 용기를 주신 남윤영 교수님 존경하고 감사합니다. 그리고 열정적인 강의를 해주신 하상호, 천인국, 이해각, 이상정, 홍인식 교수님 그리고 컴퓨터공학과 한혜인 조교님 감사드립니다. 함께 연구실에서 동거동락했던 UCLAB 석사과정 문찬기, 김현우 선생님과 학부과정 신지환, 임진규, 이민우, 정하은, 이창민, 박유민, 박준수, 이준용, 고강문 학생에게 감사합니다. 그 외 학부생활 함께 걷고 걸어갈 순천향대학교 컴퓨터공학과 15학번 동기와 선후배님들 감사드립니다. 마지막으로 많은 기회와 지원을 해준 순천향대학교에게 감사합니다.

순천향대학교 컴퓨터공학과에서의 가르침을 잊지 않고 앞으로 멋진 사회인으로 거듭나겠습니다. 감사합니다.