

# 그레이-레벨 한계 기법을 이용한 자동 시각 굴절력 곡률계의 측정 알고리즘

성 원<sup>†</sup> · 박 종 원<sup>††</sup>

## 요 약

최근 시각 관련 측정기 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 본 연구는 자동 시각 굴절력 곡률계의 전자 부문 소프트웨어를 개발하였다. 만약 자동화된 시스템이 광학계로부터 나오는 영상을 이용하여 내부 처리를 거친 후 정확한 시각 측정치를 검사자에게 알려줄 수 있다면 잘못 측정되는 측정 횟수를 크게 줄일 수 있을 것이다. 본 연구는 형태학적 필터링(morphological filtering)과 그레이-레벨의 신호 강조(signal enhance) 기술들을 이용하여 자동 시각 굴절력 측정 시스템에 연동될 측정 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘에서는 광학계로부터 도출된 영상으로부터 첫째로 형태학적 필터링 처리를 행한다. 이 과정은 처리가 어려운 원 영상을 좀 더 다루기 쉬운 상태로 바꿔주는 역할을 하게 된다. 둘째는 일차 처리된 영상에 가해주는 그레이 수준 한계 기법을 통한 신호 강조 기법으로서 이는 영상의 그레이 값 분포가 다양함으로 인해서 발생하는 오차를 줄이기 위해서 사용된다. 그리하여 본 전자 부문 소프트웨어는 정확한 측정값 도출이 어려운 시각 영상에 적용되어 효과적으로 오차를 줄임으로써 보다 효율적인 시각 측정을 가능하게 하였다.

## A Measurement Algorithm using Gray-level Thresholding in Automatic Refracto-Keratometer

Won Seong<sup>†</sup> · Jong-Won Park<sup>††</sup>

### ABSTRACT

Currently, people become interested in the development of measuring instrument related to eyesight. In this study, we developed software of electronic part in automatic refracto-keratometer. If an automatic system, which uses images from an optical instrument, can inform the inspector of an accurate eyesight measured value after the internal process, the frequency of mistakenly observed value will be reduced considerably. This software is using morphological filtering and gray-level signal enhancing techniques. The morphological filtering is the first process, from images of the optical instrument, to transform an original image which is hard to process into manageable one. The second process is a signal enhancing technique to the first processed image using gray-level thresholding technique and is used to reduce an error caused by the variety in distribution of the gray value of image. Therefore, this software system in electronic part will make more effective eyesight measurement by reducing the error effectively when applied to the optical image which is difficult to get accurate measurement value.

키워드 : 굴절력 곡률계(refracto-keratometer), 굴절력(refractive power), 곡률(corneal curvature), 형태학적 필터링(morphological filtering)

### 1. 서 론

일반적으로 시각 측정시 정확한 굴절력 값과 각막 곡률 값의 도출에 대한 실패율은 실제적으로 30%를 웃돈다고 한다[1, 2]. 이러한 높은 실패율(miss rate)은 다양한 원인으로부터 기인될 것이다. 이는 측정자의 비숙련도에도 관련이 있을 수 있으나 원래 시각 측정 자체의 어려움에 더 크게 기인한다고 봐야 한다. 심지어 같은 피검자의 경우에도 깜박

거림과 집중력 차이, 검사자의 미세한 손떨림 등에도 큰 오차를 불러올 수 있는 것이다. 만약 자동 처리 시스템이 광학계로부터 나오는 영상으로부터 내부적 처리를 통해서 정확한 측정값을 알려줄 수 있다면 측정 오류를 크게 줄일 수 있을 것이다.

최근 국내의 안과 의원과 안경점에서 사용되고 있는 자동 시각 굴절력 측정기는 대부분 외국산이다. 이는 단순한 측정 시스템의 국내산 부재만을 얘기하는데 그치는 것이 아니라 앞으로 계속해서 개발되는 시각 관련 측정기 산업의 종속을 의미하는 것이다. 이에 최근에 국내에서도 이러한 시각 측정 기술의 개발을 행하고 있으나 아직까지 완성도에서 크게 못미치는 실정이다. 이에 본 연구는 영상처리 기

※ 본 연구는 BK21 충남대학교 정보통신인력양성 사업단의 연구 지원으로 수행되었습니다.

† 준 회 원 : 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과

†† 정 회 원 : 충남대학교 정보통신공학과 교수

논문접수 : 2002년 4월 26일, 심사완료 : 2002년 8월 26일

법을 이용하여 좀 더 나은 측정 값을 구하는 소프트웨어를 개발하였다.

본 소프트웨어는 정확한 시각 측정값 도출을 위해서 먼저 광학계로부터 도출되는 영상을 판독하기 용이한 상태로 미리 바꿔주기 위해서 형태학적 필터링(morphological filtering) 처리를 행한다. 이 처리는 열림(opening)처리로서 먼저 광학계로부터 나오는 원 영상에 수축(erosion) 작용을 적용시킨 후 연이어 확장(dilation)을 행하는 것이다. 이를 행함으로써 원 영상을 이루고 있는 각각의 모든 픽셀들이 원래의 영상에서보다는 훨씬 더 원형의 덩어리 형태들로 밀집되게 된다. 이렇게 원형의 덩어리들로 밀집된 영상은 잡음(noise)들을 많이 포함하고 있는 원래의 영상보다는 그레이-수준 한계(gray-level thresholding) 기법과 신호 강조(signal enhance) 기법 등의 적용이 용이한 상태가 된다. 형태학적 필터링 작용 다음 단계로 행하는 기법인 그레이-수준 한계 신호 강화 기법은 미리 실험으로 구한 그레이 값을 그레이 한계값으로 삼아 필터링된 영상에서 그 값을 넘어서는 모든 픽셀들을 모두 일정 값의 그레이 값으로 변환시켜주는 과정이다[3-5].

이러한 과정을 거친 영상을 이용하여 본 논문은 굴절력과 각막 곡률계의 측정 원리를 이용하여 효율적인 시각 측정을 할 수 있었다.

본 논문은 2장에서 굴절력 곡률계의 측정원리에 대해 설명하고 3장에서 전자부문의 소프트웨어 개발 방법에 대해 논하고 4장에서는 전자 부문의 하드웨어와의 연동 후 테스트 과정을 소개하며 5장에서 소프트웨어 개발의 결과를 비교하고 알아본다.

## 2. 기존 관련 연구

### 2.1 측정 원리

굴절력계와 곡률계의 측정 원리는 전자 부문이 아닌 광학 부문과 특별히 관계된 사항으로서 자동 시각 굴절력 곡률계에서는 광학 부문에서 이와 같은 측정 값들의 정보를 합축할 수 있는 영상을 만들고 전자 부문에서 이를 연산, 해석하여 실제 측정값을 도출해 내게 된다.

#### 2.1.1 굴절력계 측정 원리[6, 7]

광원에서 나온 광선속은 피검안의 망막에서 반사된다. 이때 피검안의 굴절 상태에 따라 정시(정상안)에서는 평행 광선속, 근시에서는 수렴 광선속, 원시에서는 발산 광선속으로써 사출된다. 이 피검안으로부터 사출된 광선속은 분할되어, 6개의 덩어리 점으로 되어 TV 카메라에 투영되어 결상된다. 이 6개의 덩어리 점의 좌표 위치를 타원(또는 원)으로 계산하여, 굴절력 측정 값인 구면도수(SPH), 난시도수(CYL), 축각도(AX)를 구한다.

#### 2.1.2 각막 곡률계 측정 원리[8]

각막 곡률계 측정 링(Ring) 광원을 피검안의 각막에 투영

하면 각막이 가진 각 방향의 곡률 반경 R에 대응한 타원 형태로 반사된다. 이 각막에서의 반사광을 사전에 XY좌표에 위치시켜 놓은 TV 카메라에서 수광하여 그 좌표를 데이터로서 읽는다. 이 데이터를 처리하는 것에 따라 타원의 장경, 단경, 회전각이 구해진다.

이때 각막의 곡률 반경 R, 링 광의 투영상의 높이 h, 링 광의 투영각도  $\theta$ 와의 관계는 식 (1)과 같은 함수 관계가 있고 타원의 장·단경에 따라 각막의 대·소 곡률 반경 R을 각각 구할 수 있다.

$$R = \frac{h}{\sin(\theta/2)} \quad (1)$$

또 각막의 곡률 반경 R, 각막의 굴절력 D, 각막의 굴절률 n 사이에는 다음과 같은 식 (2)의 함수 관계가 있고 각막의 대·소 곡률 반경 R에서 각막의 장·약 굴절력 D를 구할 수 있다.

(각막 등가 굴절률 n은 1.3375, 1.336, 1.332 중 선택할 수 있다)

$$D = \frac{1000(n-1)}{R} \quad (2)$$

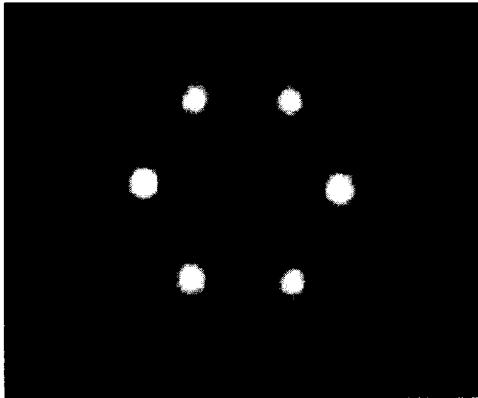
본 연구는 이러한 측정 원리들이 영상부문으로부터 도출되어져 나오는 (그림 1)과 같은 도형의 형태 정보에 함축되어져 있다는 걸 발견하였고 실제 측정에서는 원 또는 타원의 형태로 보여지는 도형의 몇 가지 정보로부터 실험을 통해 증명된 방법으로 측정값을 얻게 된다. 보통 도형을 타원으로 간주했을 때 장축과 단축의 길이를 구하게 되고 이 길이를 화소당 길이로 계산하여 굴절력 값 등을 계산해 측정값들을 도출해 낼 수 있게 된다.

### 2.2 자동 시각 굴절력 곡률계 개발 배경

최근 국내의 안과 의원과 안경점에서 사용되고 있는 자동 시각 굴절력 곡률계는 대부분 외국산이다. 자동 굴절력 곡률계는 시각 관련 기기 개발의 어려움으로 인하여 대부분 외국의 한 회사의 제품이 전세계의 90%이상을 독점하고 있는 실정이다. 여타 다른 몇몇 기업들에서 개발을 시작하였으나 결과가 미미한 실정이다. 이는 단순한 측정 시스템의 국내산 부재만을 얘기하는데 그치는 것이 아니라 앞으로 계속해서 개발되는 시각 관련 측정기 산업의 종속을 의미하는 것이다. 이에 최근에 국내에서도 이러한 시각 측정 기기의 개발을 행하고 있으나 아직까지 완성도 면에서 크게 뒤지는 형편이다. 이에 시각 관련 측정 기기의 개발이 요구되는 실정이다. 그러나, 한 기업의 독점과 기술의 비공개로 인하여 기존의 시스템들에 대한 알고리즘과 측정 원리 등은 거의 알려지지 않은 실정이다. 이에 기존 시스템들의 선수 연구 없이 영상처리 기법을 이용하여 독자적인 시각 굴절력 곡률계를 개발하게 되었다.

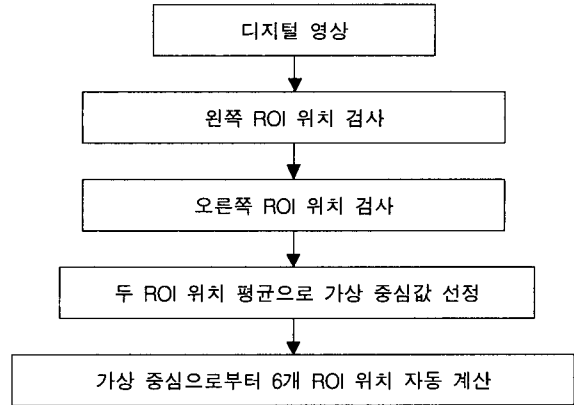
2.3 굴절력 측정 알고리즘

자동 굴절력 곡률계의 광학 부문에서 도출되는 영상은 720×480 픽셀로 이루어져 있다. (그림 1)에서 볼 수 있듯이 이 영상은 영상 안에 6개의 덩어리 점들을 가지고 있는 형태인데 6개 각각의 한 점은 가로 세로 30픽셀 정도의 크기로 되어 있고 점의 윤곽은 명확하게 형성되어 있지 않으며 많은 잡음(noise)들도 포함하고 있어서 점과 바탕의 경계가 모호하게 되어 있다. 이 6개의 점들은 원 또는 타원을 형성하는 각 부분들이 되고 이 6개가 이루는 도형의 크기와 위치에 따라서 측정 값이 달라지게 되는 것이다.



(그림 1) 굴절력 부분 영상 예

이때 광학 부문으로부터 나오는 6개의 덩어리 점들을 포함하고 있는 영상을 가지고 시스템이 처음으로 행하여야 할 일은 먼저 6개의 점들의 정확한 픽셀 좌표를 알아내기 위해서 6개의 덩어리 점들이 위치하고 있다고 추측되는 부분만을 접근하는 것이다. 이러한 ROI(Region of Interest) 선별은 시스템의 전체 수행 속도에 커다란 영향을 미치는 사항이다. 본 논문은 이를 다음과 같은 메커니즘으로 수행하였는데, 6개의 점들이 영상의 중심에 위치하므로 영상을 분할하여 영상의 중간 줄에 위치하는 수평상의 두 점을 먼저 파악하여 가상의 중점 위치를 파악한다. 전체 영상의 중심의 좌, 우에 위치하고 있는 수평상의 두 점을 먼저 파악하기 위해서는 영상의 중점 위치로부터 수평 위치 좌표만을 변화시키는 형태로 왼쪽으로 반복 루프를 수행시키면서 각 위치에서의 그레이값을 살핀다. 미리 덩어리점의 한계값으로 실험을 통해 정해 놓은 그레이값이 반복적으로 나타나게 되는 첫 번째 위치점에서 15픽셀을 더해 준 위치가 영상 중심 왼쪽에 위치하는 덩어리점을 대략적으로 포함하고 있는 ROI의 중점이 되는 것이다. 15픽셀을 더해 주는 이유는 대략적으로 덩어리점의 크기가 가로, 세로 30픽셀 정도의 크기를 가진다고 가정했으므로 그 중간만큼의 축소 크기를 더해 주는 것이다. 계속해서 오른쪽으로 반복 루프를 수행시키면서 위와 같은 일을 수행하여 영상 중심 오른쪽에 위치하는 ROI의 중점을 선정하게 된다. 이렇게 구한 두 ROI들의 중점 위치의 중간 위치가 즉, 두 ROI 중점 예상 위치인 x, y 좌표들의 평균값이 임시 중점의 좌표가 되는 것이다.



(그림 2) 영상 중심으로부터의 ROI 선정 과정

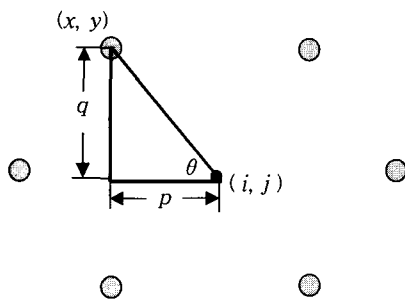
이때 6개 ROI들의 가상 중점을 영상의 중심으로 정하지 않고 영상 중심 좌우에 위치하는 두 ROI의 평균값으로 중점을 정하는 이유는 ROI들이 이루는 도형이 영상의 중심에 위치하지 않고 영상 중심으로부터 조금씩 떨어져서 존재할 수 있기 때문이다. 다음으로 가상 중점으로부터 아래와 같은 C 프로그램 코드를 이용하여 대략적으로 6점의 ROI들의 위치를 자동으로 계산해 내게 된다. 이때 계산해 낸 위치는 ROI 중심의 위치좌표가 되는 것이다. 이는 도형을 이루는 6개 덩어리점이 대체적으로 60도의 차이를 두고 구성되어 있다는 것에 기반하여 수행되게 된다. 그러나, ROI의 위치가 아닌 ROI 속에 위치하고 있는 실제 덩어리 점들의 정확한 중심 위치 좌표는 ROI에서의 여타 테스트 측정 후에 알 수 있게 된다.

```

/* struct Window {
    int x ;
    int y ;
    int nodule_x ;
    int nodule_y ;
    int nodule_size ;
    int nodule ; // nodule 존재 여부
}

*/
void set_window_position ( IMAGE im, struct Window * ptr, int
i, int j, int distance ) {
    ptr->x = ( i - ((distance/2)*1.732) ) ; ----- ←
    ptr->y = ( j - (distance/2) ) ; ----- ↑
    ptr++ ;
    ptr->x = ( i - ((distance/2)*1.732) ) ;
    ptr->y = ( j + (distance/2) ) ;
    ptr++ ;
    ptr->x = i ;
    ptr->y = j - distance ;
    ptr++ ;
    ptr->x = i ;
    ptr->y = j + distance ;
    ptr++ ;
    ptr->x = ( i + ((distance/2)*1.732) ) ;
    ptr->y = ( j - (distance/2) ) ;
    ptr++ ;
    ptr->x = ( i + ((distance/2)*1.732) ) ;
    ptr->y = ( j + (distance/2) ) ;
}
    
```

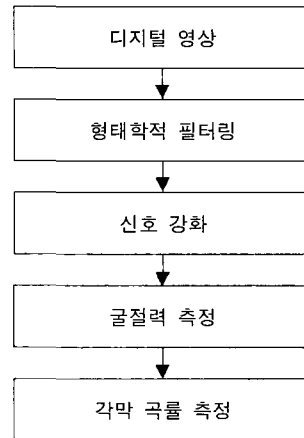
위 프로그램 코드의 함수는 6개의 ROI들을 자동으로 계산해 내는 일을 수행한다. 이는 임시로 구해진 중점으로부터 6점의 위치를 계산해 내기 위해서 미리 수행되어야만 한다. 함수의 입력 인자들 중  $i$ 와  $j$ 는 임시 중점의 좌표 값이고 이들 값들을 이용하여 각각 위치가 다른 6개의 ROI들을 계산해 내게 된다. 프로그램 코드 중 줄 ←과 ↑는 6개의 점들 중 왼쪽 위에 위치하는 첫 번째 덩어리 점을 측정하고자 하는 ROI의 위치 좌표를 계산하는 식이다. 프로그램 코드 중 1.732는  $\tan 60^\circ$ 의 값이며 distance는 임시 중점으로부터 각각의 ROI 중점까지의 임시 거리이다. (그림 3)는 첫 번째 ROI의 중점 좌표  $(x, y)$ 를 구하는 것을 설명해 준다. (그림 3)에서 세 번째 덩어리점의 대략적인 위치와 임시 중점까지의 거리가 임시 distance값이 되는데,  $p$ 는 distance를 반으로 나눈 distance/2가 된다.



(그림 3) 자동 ROI 위치 계산법

이때,  $\tan \theta$  즉,  $\tan 60^\circ$ 는  $q$ 를  $p$ 로 나눈  $q/p$ 이다. 여기서  $q$ 는  $p \times \tan 60^\circ$ 로 계산되고 이것은  $p \times 1.732$  즉 (distance/2)  $\times 1.732$ 가 된다. 나아가,  $(x, y)$  좌표의  $x$  좌표값은 임시 중점  $i$ 값에서  $q$ 를 뺀 값으로 계산할 수 있으므로  $x = i - q = i - ((\text{distance}/2) \times 1.732)$  식으로 표현할 수 있다.  $y$  좌표값은 임시 중점  $j$ 에서  $p$ 만큼의 값을 빼서 구할 수 있으므로  $y = j - (\text{distance}/2)$ 가 된다. 이와 같은 방법을 이용하여 나머지 5개 덩어리 점들의 ROI들의 위치 측정도 첫 번째 ROI의 중점을 구하는 식과 비슷한 요소들의 조합으로 구할 수 있게 된다. 프로그램 코드에서는 ptr의 값을 하나씩 증가시킴으로써 첫 번째부터 순서대로 다음 ROI의 좌표값을 구하는 식으로 진행되게 된다.

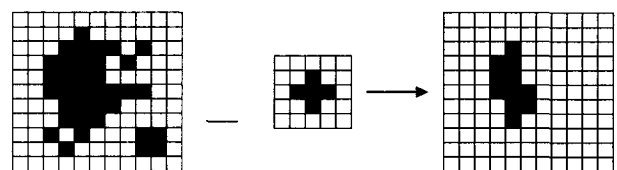
6개의 ROI가 정해진 후엔 덩어리 점을 이루는 여러 픽셀들 중 필요 없는 노이즈들을 제거하고 필요한 화소선택을 위하여 덩어리점들은 영상처리가 가능한 상태로 변환되어야 한다[8, 9]. 이를 위하여 형태학적 필터링 기법들이 적용될 수 있다. 형태학적 필터링 기법들은 수학적 형태학적 기법에 기반한다. 확장(dilation)과 수축(erosion)이라는 두 기본적인 형태학적 작용이 있는데, 확장은 처리하고자 하는 영상에 템플릿을 가지고 논리적 OR 연산을 행하는 것으로 결과적으로 영상의 형태가 크게 자라게 된다. 그래서, 영상 패턴상에 있는 구멍이나 틈 등은 채워지게 되고 전체 패턴은 커지게 된다. 수축(erosion)은 확장과 같은 동작원리를 가지나 처리하고자 하는 화상에 템플릿을 가지고 논리적



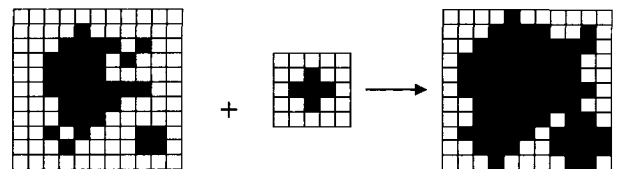
(그림 4) 소프트웨어의 전체 처리 순서

AND 연산을 행하는 것으로 결과적으로 영상 패턴의 형태는 작아지게 되고 가장자리의 세부 잡음들은 제거된다. (그림 5)에서 보여주는 것 같은 영상의 경우에 확장은 처리하고자 하는 영상에 템플릿을 덧씌웠을때, 일치하는 픽셀이 하나라도 존재한다면 (그림 5)(b)처럼 템플릿을 이루는 이전 값들을 영상에 덧붙여주는 방식이 되는 것이고 수축의 경우는 처리하고자 하는 영상에 템플릿의 모든 화소들이 모두 일치되었을 때에만 (그림 5)(a)처럼 미리 기준으로 잡은 픽셀 위치만을 취하게 되는 것이다.

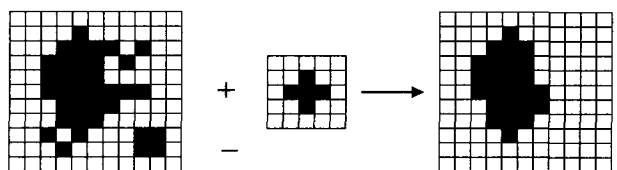
확장된 형태학적 작용은 두 가지 기본 형태학적 기능의 연속 수행을 행하는 것인데, 이에선 열림(open) 기능과 닫힘(closed) 기능이 있다. 이 중 열림 기능은 수축 작용을 행한 후 확장 작용을 행하는 것이다. 이 작용은 (그림 5)(c)처럼



(a) 수축 작용(erosion operation)



(b) 확장 작용(dilation operation)

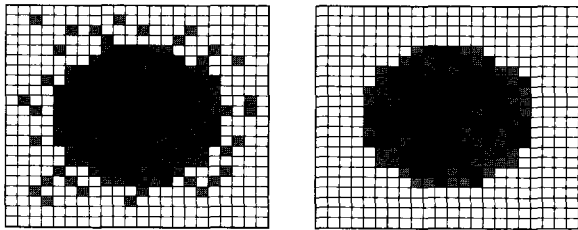


(c) 열림 기능(open operation)

(그림 5) 형태학적 필터링 작용들

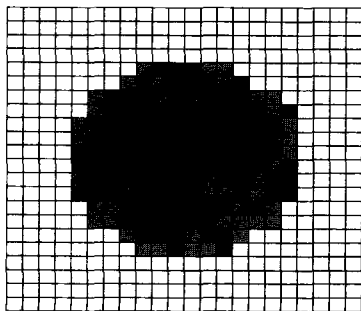
적용 화상의 가장자리 노이즈들과 작은 구조들을 제거하면서 큰 구조들의 전체 크기와 모양을 유지하게 된다[9, 10].

본 시스템은 보다 처리가 용이한 상태로 만들기 위해서 먼저 열림(opening) 형태학적 필터링 기법을 적용시킨다. 우리는 6개의 덩어리점에, 원 모양의 템플리트를 사용하여 위에서 설명한 열림 형태학적 작용을 행하였고 결국, 6개의 덩어리점 각각의 영상은 수축과 확장 작용을 연속적으로 적용 받게 됨으로써 수축 작용시 가장자리 세부 구조들과 떨어져 있는 잡음들이 제거되고 확장 작용시 본래의 크기만큼 복원, 확장되면서 구조를 유지하게 된다(그림 6).



(a) 열림 작용 적용 전 (b) 열림 작용 적용 후  
(그림 6) 열림 작용 적용 전과 후의 덩어리점 예

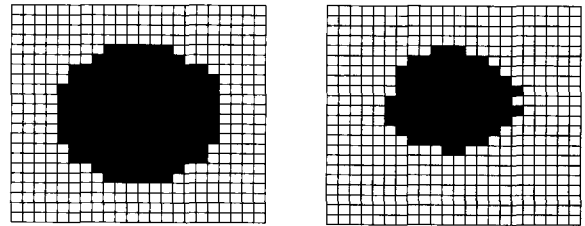
열림 형태학적 필터링을 행한 후에 얻은 덩어리점 영상은 이제 가장자리에 위치하고 있던 여러 잡음들을 제거한 상태이다. 그러나, 얻어진 덩어리점의 형태는 아직도 정확한 원의 중점을 알려줄 수 있는 상태는 아니다. 왜냐하면, 원래 덩어리점의 크기와 형태를 정확히 알 수는 없기 때문이다. 다시 말하면, 우리가 처음부터 처리하고자 하는 덩어리점 영상 자체가 실제로는 (그림 5)와 같이 상당히 번진(blurred) 현상을 가지고 있으며 다양한 그레이 값들을 포함하고 있다. 그러므로, 원래의 덩어리점 영상에서 잡음들을 제거한 형태라고 할지라도, 원래의 정확한 위치를 말해주는 것은 무리가 있게 된다. 예를 들면, (그림 7)과 같이 덩어리점의 영상을 얻었다고 할때 어느 그레이값까지를 덩어리점으로 할 것인가의 선택에 따라 덩어리점의 크기와 위치가 달라지고 이는 원하는 덩어리점의 중점값의 차이를 가져오게 된다. 이런 이유로 덩어리점의 크기와 영역을 정확히 구분 지을 수 있는 한계 값을 분명히 정해야 한다. (그림 8)은 같은 덩어리점이나 덩어리점의 기준 그레이값을 달리 했을때 덩어리점의 크기와 위치가 달라짐을 보여주는 예이다. (그림 8)(a)



(그림 7) 여러 그레이값들을 포함하고 있는 덩어리점

의 경우는 (그림 8)(b)의 경우보다 덩어리점으로서의 그레이 값을 더 폭넓게 책정한 것으로 덩어리점의 중점 위치가 달라짐을 직관적으로 알 수 있다. 그러므로, 앞선 많은 실험을 통해 덩어리점으로 간주할 수 있는 크기와 위치를 파악하여 그레이 한계 값을 정해야 한다.

덩어리점은 그레이값으로 150에서 255값까지 다양한 값을 포함하고 있게 된다. 그러므로, 원래의 덩어리점의 모양과 크기를 가장 근사하게 도출할 수 있는 그레이값의 선택을 하여야만 했고, 우리는 실험을 통해서 그레이값 150에서 240 사이 중 한 그레이값을 선택할 수 있었다. 이렇게 구한 덩어리 점을 가지고 한 그레이 값보다 더 큰 값을 가지고 있는 덩어리점 안의 픽셀들은 255같은 극단적인 한 값으로 통일시켜 신호를 강조하였다[10, 11]. 이는 덩어리점과 비 덩어리 점을 명확히 구별하고자 함이고 덩어리점으로 간주된 픽셀들을 한 값으로 통일시켜 신호를 강조함으로써 덩어리점에 대한 영상처리와 연산 적용을 용이하게 하고자 함이다.

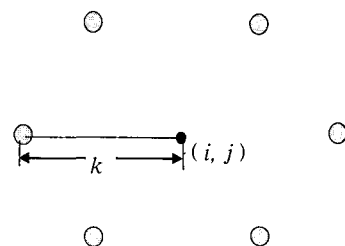


(a) (b)  
(그림 8) 서로 다른 그레이 한계 값을 적용한 예

다음으로 6개의 덩어리 점들로부터 각각의 중점을 구한 후 구해진 6개의 덩어리 중점 픽셀점들이 만들어 내는 도형(원 또는 타원)의 중점을 구한다. 이때, r 길이를 구했을 때, (그림 9)처럼 그 픽셀 길이를 k라고 가정하고, 사전에 실험으로 도출해 낸 정시안의 장경 픽셀 확산 길이를 m이라 한다면, 그 2k의 길이가 m보다 길면 원시, 짧으면 근시로서 판정하고(식 (3)), k에서 m을 뺀 절대값의 크기에 따라 원시와 근시의 굴절력 도수가 정해지게 되는 것이다(식 (4)).

$$\begin{aligned} & \text{if } (2k \text{가 } m \text{보다 길면}) \\ & \quad \text{원시로 판정} \\ & \text{else if} \\ & \quad \text{근시로 판정} \end{aligned} \tag{3}$$

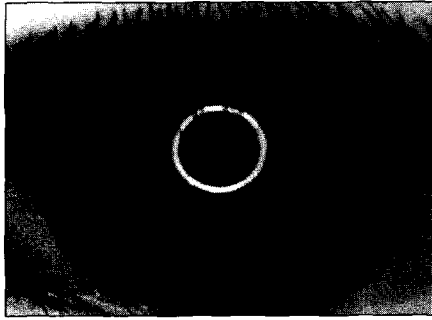
$$\begin{aligned} \text{dist} &= |m - 2k| \\ \text{굴절력 도수} &= \text{dist} \times 0.285 \end{aligned} \tag{4}$$



(그림 9) 거리 측정 과정

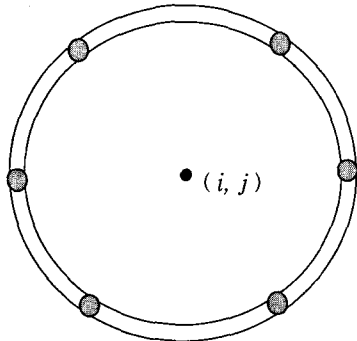
2.4 곡률 측정 알고리즘

(그림 10)에서 보듯이 눈동자 증상을 중심으로 링(ring)모양의 광원이 존재함을 볼수 있는데, 광학계에서 피검안의 곡률값의 차이에 따라 링의 크기와 모양을 결정하게 된다. 소프트웨어 시스템은 광학계로부터 도출되어 나온 이러한 영상으로부터 크기와 모양을 파악하여 각막의 대, 소곡률 반경, 각막의 강, 약 굴절력 등을 구할 수 있게 된다.



(그림 10) 광학계로부터의 곡률계 영상 예

광학계로부터 도출되는 곡률계의 영상은 링의 형상을 하고 있는데, 이를 가지고 실제로 측정하는 것은 링의 장축과 단축의 반의 값으로서 각막의 대·소 곡률 반경을 구할 수 있다. 나아가, 이를 통해 구한 대,소 곡률 반경 값을 가지고 식에 대입하여 각막의 강·약 굴절력 D를 구할 수 있다.



(그림 11) 링 광원의 변형

여기서 본 시스템은 링 광원을 다루는 새로운 소프트웨어 알고리즘을 특별히 고안하지 않았고 링 광원의 영상도 앞서 소개하였던 굴절력 0을 구하는 영상처럼 6개의 덩어리 점을 가지고 있다고 (그림 11)처럼 간주하여 같은 알고리즘을 적용할 수 있도록 변형시켰다. 이때, 링의 띠를 6개의 덩어리 점으로 되어있는 것처럼 ROI를 가지고 자동으로 접근하는 방식을 제외하면 굴절력을 구하는 영상의 처리와 같게 된다. 이는 알고리즘의 간결화와 재사용이라는 이득을 얻을 수 있다.

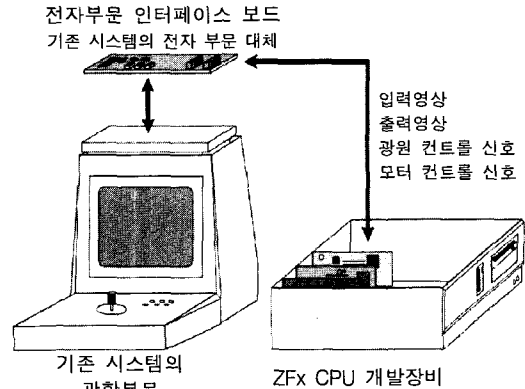
3. 연동 실험

본 연구에서 연동한 하드웨어는 기존 제품의 광학 부문에

연결되어 테스트 되었다. 테스트 환경은 다음 (그림 12)와 같이 검안기 광학부문, ZFx CPU 개발장비 부문 그리고 전자부문 인터페이스 보드로 구성하였으며, 굴절력 곡률계에서의 광학부문은 기존 제품 중에서 입력 영상을 처리하여 시력 측정 알고리즘을 수행하는 전자부문을 제거한 것으로 제거된 전자부문은 전자부문 인터페이스 보드 및 본 논문에서 제안한 시스템으로 대체 되게 된다.

전자부문 인터페이스 보드는 기존 제품의 광학 부문과 본 논문에서 제안한 전자부문의 인터페이스를 맞춰주기 위한 것으로 기존 제품과 제안된 시스템 간의 입·출력 영상의 전송과 각종 광원 및 스텝모터의 컨트롤 신호 전송, 그리고 사용자의 측정 명령 신호등을 전송하는 역할을 한다.

마지막으로 ZFx CPU 개발장비는 본 논문에서 제안한 시스템을 구현하기 위해 ZFx86 CPU 및 자체 제작된 CHIPS 69000 비디오 카드, Bt878a 비디오 캡처 카드를 PCI슬롯에 장착하고 있으며, SAA7111 A/D 변환 보드를 입력영상 포트 쪽에 장착하고 있다.본 테스트에서는 함께 개발한 전자부문 소프트웨어를 수행 시켰으며 입력 영상에 대한 처리 및 시력 측정 결과 영상 출력을 성공적으로 수행하였다.



(그림 12) 인터페이스를 통한 연동 테스트

4. 실험 결과

이 절에서는 본 시스템 상의 메커니즘에 따라 처리된 결과를 기술한다. 본 시스템은 난시 도수 측정 실험에서는 기존의 시스템과 별다른 차이를 보이지 못했으나 구면도수 측정 실험에서는 기존의 시스템보다 근소하나마 정확성 향상을 보였다.

먼저, 전자부문 소프트웨어의 결과는 구면 도수의 굴절력 측정 실험을 통해서 얻은 결과로써 알 수 있다.

<표 1>은 구면도수값 +5.00을 가진 모형안(Model eye)을 기준으로 위치시키고 다양한 값으로 변화시킬 수 있는 구면 렌즈들을 덧씌움으로써 얻어낸 결과로서 본 시스템과 기존의 시스템들에 대한 실험 결과이다 <표 1>에서 평균오차는 본 시스템, M사, C사의 측정 결과 얻은 구면도수 값과 원래 모형안이 가지고 있는 실제 구면 도수 값과의 평균오차이다. 정확한 측정이 어려운 광학 분야에서 크게 고

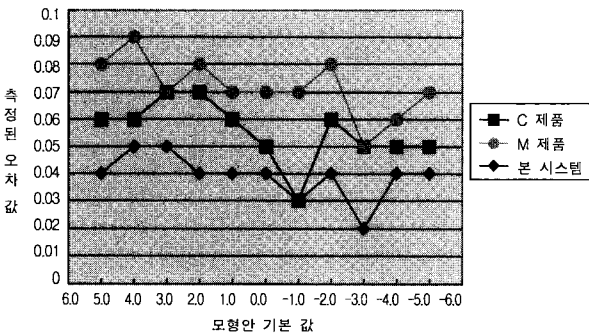
려하지 않아도 될만큼의 미미한 차이를 보이고 있다. 이와 같이 +5.00 구면렌즈 이외의 다른 구면 렌즈들을 이용한 실험에서도 정확성 향상을 보였다.

〈표 1〉 +5.00 모형안에서 구면도수의 굴절력 측정

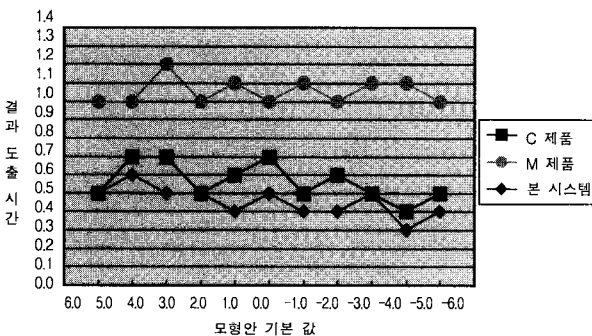
(단위 : 디옵터)

모형안	M사 제품	C사 제품	본 시스템
+5.00	+5.00	+5.00	+5.00
+4.50	+4.25	+4.50	+4.50
+4.00	+4.00	+4.00	+4.00
+3.50	+3.50	+3.25	+3.50
+3.00	+2.75	+3.00	+3.00
+2.50	+2.50	+2.50	+2.50
+2.00	+2.00	+2.50	+2.25
+1.50	+1.50	+1.75	+1.50
+1.00	+1.00	+1.00	+1.25
+0.50	+0.75	+0.50	+0.50
+0.25	+0.25	+0.25	+0.25
-0.50	-0.25	-0.50	-0.50
평균오차	0.08	0.06	0.04

(그림 13)는 <표 1>에서의 값을 얻는 실험을 확장한 결과를 나타낸 것이다. 이 실험은 구면도수값 +5.00의 모형안 대신에 다양한 구면도수값의 모형안들의 평균오차값들을 표시하였다. 여기서, 기존 제품들의 평균오차가 0.064디옵터인 반면 본 시스템의 평균오차는 0.039디옵터로서 평균 0.025 디옵터 만큼의 정확성 향상을 보임을 알 수 있다. (그림 14)



(그림 13) 구면도수의 굴절력 평균 오차



(그림 14) 측정 결과 도출 시간 (초)

는 측정자가 결과 값을 얻기 위하여 측정 버튼을 누른 후 화면에 결과 값이 도출되는 시간을 측정한 것이다. 기존 제품들의 반응 시간은 평균 0.8초인 반면 본 시스템의 반응 시간은 평균 0.45초로서 본 시스템이 기존의 두 제품들에 비해 43.8%의 속도 향상을 보임을 알 수 있었다.

그리하여, 결과적으로 본 시스템의 결과가 기존 제품의 결과값들보다 더 오차가 적고 수행시간도 향상됨을 볼 수 있다.

본 논문은 또한 구면도수의 곡률 측정 실험을 통해서 다음과 같은 결과를 얻었다.

<표 2>는 각막 곡률을 측정된 결과표이다. 기준으로 7.6의 각막 곡률값을 가지고 있는 모형안을 위치시키고 여기에 다양한 렌즈들을 덧씌움으로써 여러 측정값을 보이게 했는데, 각막 곡률값의 측정값들에 대한 평균 오차를 통해 정확성이 향상됨을 알 수 있다. <표 3>은 각막의 굴절력 측정 결과표이다. 기준으로 42.5의 각막 굴절률을 가지는 모형안을 위치시키고 다양한 렌즈들의 덧씌움으로 여러 측정값을 얻었다. 이 또한 근소하나마 정확성 향상을 보이고 있다.

〈표 2〉 각막 곡률 측정

(단위 : mm)

측정안	M사 제품	C사 제품	본 시스템
7.86	7.85	7.84	7.84
7.90	7.94	7.91	7.91
8.04	8.02	8.02	8.02
7.78	7.79	7.77	7.77
8.10	8.08	8.11	8.11
7.74	7.74	7.73	7.73
7.84	7.82	7.83	7.83
8.05	8.07	8.03	8.04
7.50	7.50	7.49	7.50
7.76	7.72	7.75	7.75
평균오차	0.018	0.014	0.011

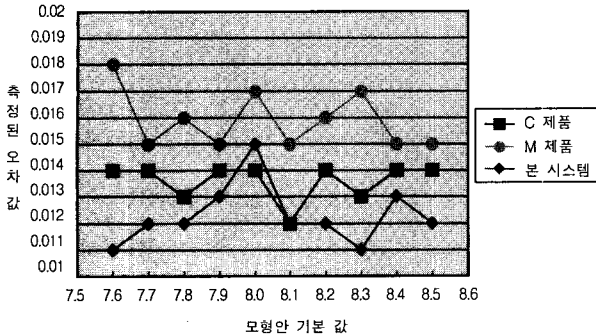
〈표 3〉 각막 굴절력 측정

(단위 : 디옵터)

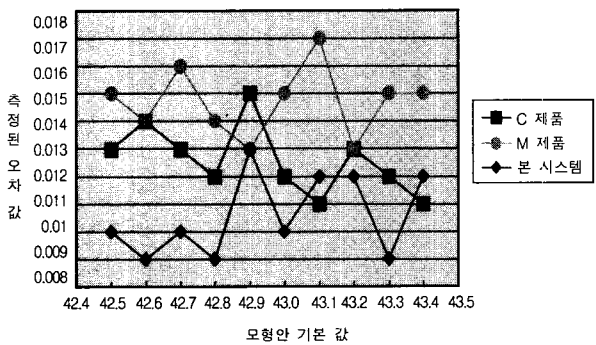
측정안	M사 제품	C사 제품	본 시스템
42.37	42.35	42.38	42.38
43.50	43.50	43.51	43.51
42.00	42.02	42.02	42.02
43.62	43.65	43.63	43.63
43.37	43.37	43.36	43.36
42.04	42.00	42.06	42.05
42.25	42.24	42.27	42.27
42.55	42.57	42.57	42.56
42.60	42.60	42.60	42.60
43.43	43.44	44.44	44.44
평균오차	0.015	0.012	0.010

(그림 15)와 (그림 16)은 <표 2>와 <표 3>에서 보여줬던 실험의 확장을 나타낸다. 여러 측정 실험값들에 대한 평

균 오차들의 나열이 보여주듯 각막 곡률의 대,소 반경 측정에서도 근소하나마 정확성의 향상을 볼 수 있었고 각막의 굴절력 측정치에서도 향상된 측정치를 얻을 수 있었다.



(그림 15) 각막 곡률의 평균 오차



(그림 16) 각막 굴절력의 평균 오차

5. 결 론

본 논문은 형태학적 필터링(morphological filtering)과 그레이-레벨의 신호 강조(signal enhance) 기술들을 이용하고 시각 측정 원리를 적용하여 자동 시각 굴절력 곡률계의 전자부문 소프트웨어를 개발하였다. 한 개의 픽셀 차이 등으로 인하여 커다란 측정 차이를 가져올 수 있는 광학 관련 시스템에서 소프트웨어에서의 영상 처리의 향상으로 <표 1>~<표 3>과 같은 실험의 경우에 정확성 향상을 보였다. 또한, 사용자에게 측정 결과값을 알려주는 도출 시간에서도 근소하나마 나은 결과를 얻었다. 그러므로, 본 연구에서 개발한 자동 시각 굴절력 곡률계의 전자부문 소프트웨어는 광학부문, 전자 부문 하드웨어 등과 연동되어 정확한 측정값 도출이 어려운 시각 영상에 적용되어 효과적으로 구면도수 오차를 줄임으로써 보다 효율적인 시각 측정을 가능하게 하였다.

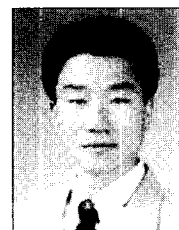
6. 향후 과제

본 소프트웨어는 모형안이 거치대에 정확히 놓이지 않거나 실험자의 안구가 정확히 시스템에 밀착되어 있지 않은 경우에는 측정 결과값이 제대로 도출되지 않는 단점을 보였다. 기존 시스템들도 그와 같은 현상을 보이기는 하나

이런 경우 본 시스템의 정확성 우위가 없는 것으로 측정되었다. 그러므로, 향후 정확성 향상에 대한 연구를 행함과 동시에 모형안이나 실험자의 안구의 부정확한 위치나 움직임에도 크게 영향을 받지 않도록 하는 알고리즘에 대한 연구가 행해져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] CANON Service Manual, Canon Publishing.
- [2] Mirae optics company, Auto Refractometer/Keratometer MRK 3100 User's Manual.
- [3] J. R. Parker, Algorithms for Image Processing and Computer Vision, John Wiley & sons, Inc., pp.68-115.
- [4] Howard E. Burdick, Digital Imaging Theory and Application, McGraw-Hill, pp.153-194
- [5] Scott. E. Umbaugh, Computer Vision and Image Processing : A Practical Approach Using CVPITools, Prentice Hall, pp. 197-235,
- [6] 성풍주. 옵토메트리 개론 & 안경재료학, 대학서림, 1990.
- [7] 성풍주. 안경 광학 I, 대학서림, 1990.
- [8] 김관철. 최신 광학 기기, 신평출판사, pp.192-211
- [9] M. L. Giger, et al., Computerized detection of pulmonary nodules in digital chest images : Use of morphological filters in reducing false-positive detections, Medical Physics, Vol. 17, No.5, pp.861-865, Sep/Oct., 1990.
- [10] H. Yoshimura, Computerized Scheme for the Detection of Pulmonary Nodules : A Nonlinear Filtering Technique, INVESTIGATIVE RADIOLOGY, Vol.27, pp.124 -129, Feb., 1992.



성 원

e-mail : wseong@ce.cnu.ac.kr  
 1997년 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학사)  
 1999년 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학 석사)  
 2002년 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정 수료

관심분야 : 의학영상처리, 패턴인식, 컴퓨터그래픽스



박 종 원

e-mail : jwpark@crow.cnu.ac.kr  
 1979년 충남대학교 전자공학과 졸업 (공학사)  
 1981년 한국과학기술원 전산학과(전산학 석사)  
 1991년 한국과학기술원 전산학과(전산학 박사)

1995년~현재, 충남대학교 공과대학 정보통신공학과 정교수  
 관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 병렬처리, 의공학