

KS 표준 시표를 이용한 손-동작 인식 기반의 자가 시력 측정 시스템

A Self Visual-Acuity Testing System based on the Hand-Gesture Recognition by the KS Standard Optotype

최창열*, 이우범**
Chang-Yur Choi*, Woo-Beom Lee**

요약

본 논문에서는 KS 표준 시표(Optotype)를 이용한 자가 시력 측정의 새로운 방법을 제안한다. 제안한 시스템은 시력 측정 응답에 있어서 피검자 편의성을 위한 피검사자의 손-동작 인식(Hand-Gesture Recognition) 방법을 제공한다. 또한 검사자가 필요 없는 컴퓨터에 의한 무작위 자동 시표 조정으로 검사자의 주관적인 판단이나 피검자의 암기에 의한 추측이 배제된 객관적 시력 측정이 가능하다. 특히, 2006년에 한국 표준 협회에서 정의한 표준 시표와 그 제시법(KS P ISO 8596)에 따라 시스템을 구현함으로써 시스템에 대한 신뢰성이 보장되고, 측정된 시력 정보의 데이터베이스 관리 기능은 피검자의 시력 정보가 필요한 전자의료기록(EMR) 시스템을 위한 전자 정보 전달이 용이하다. 구현된 시력 측정 시스템은 피검자를 대상으로 실제 시력표를 이용하여 측정된 방법과 비교 실험한 결과, 오차한계 ± 1 시력등급 내에서 98%의 정확성을 보였다.

Abstract

We propose a new approach for testing the self visual-acuity by using the KS standard optotype. The proposed system provides their hand-gesture recognition method for the convenient response of subjects in the visual acuity measurement. Also, this system can measure a visual-acuity that excludes the examiner's subjective judgement or the subject's memorized guess, because of presenting a random optotype automatically by computer without an examiner. Especially, Our system guarantees the reliability by using the KS standard optotype and its presentation(KS P ISO 8596), which is defined by the Korea Standards Association in 2006. And the database management function of our system can provide the visual-acuity data to the EMR client easily. As a result, Our system shows the 98% consistency in the limit of the ± 1 visual-acuity level error by comparing the visual-acuity chart test.

Keywords : Self Visual-Acuity Testing, KS Optotype and its Presentation, Hand-Gesture Recognition, Renard Series, Randolt's rings

I. 서론

시력은 물체의 존재 및 그 형태를 인식하는 능력을 의미하는 것으로 눈에 가장 본질적인 기능에 속한다. 따라서 인간의 시력을 보다 객관적이고 정확하게 측정하기 위한 연구가 계속되고 있으며, 현재 시력 측정을 위한 표준 시표, 시표 제시 방법 및 시력 측정 방법에 관한 산업 표준이 국내외적으로 존재한다[1-4].

일반적으로 안과나 안경점에서의 시력 측정은 표준 시표가 여러 단계의 크기순으로 배열된 시력표(Visual-acuity chart)를 이용하여 정해진 거리에서 검사자가 시표를 제시하고 피검자가

응답함으로써 시력 측정을 하고 있다. 그러나 이러한 시력표를 이용한 시력 측정 방법은 검사자에 의해 측정이 이루어지기 때문에 검사자의 주관적인 관점이 개입될 수 있으며, 특히 동일 시력표를 이용하여 한 번에 양쪽 눈을 전부 검사하므로 피검자의 암기에 의한 추측으로 맞출 수 있는 가능성 때문에 측정된 검사 결과에 신뢰성이 부족하다[1]. 국내에 국제 표준 시표를 따르는 시력표로는 전용한 시력표가 있다. 그러나 이 시력표는 폴리염화비닐과 같은 패널에 인쇄된 형태이며, 피검자의 암기에 의한 시력 측정이 가능하기 때문에 피검자당 한쪽 시력만 측정하도록 권장하고 있다[5]. 이러한 수동 시력 측정 시스템의 보완이 가능한 자동 시력 측정 시스템으로는 최근까지 안과학 임상 실험에 사용되고 있는 Bach의 FrACT(Freiburg Visual Acuity Test)가 대표적이다[6-8]. 이 시스템은 시표를 무작위로 제시해 전용한 시력표의 암기에 의한 시력 측정 문제를 방지할 수 있고, 피검자 자신의 반

* 상지대학교 ** 상지대학교(교신저자)

투고일 : 2010. 6. 29 수정완료일 : 2010. 10. 26

계재확정일 : 2010. 10. 29

응속도에 맞추어 측정할 수 있어 시간적 제약이 없다. 그러나 디스플레이 장치의 해상도나 화면 크기에 따라 시표의 크기를 동일하게 유지하기 위해 수동으로 픽셀당 mm의 비율을 입력해야 하고, 시표를 보여주는 횟수 또한 직접 설정해야 한다. 또한 (주)테크란에서 개발된 컴퓨터에 의한 시력 검사시스템은 위의 방법과는 다른 시자극에 의한 안구의 무의식적 반응을 검사하는 시운동안진반응을 이용해 측정을 한다. 자극에 반응하는 안구를 비디오로 관찰하여 처리하므로 스스로 검사를 수행하지 못하는 영/유아나 법적인 증거로서의 자료로 객관성과 신뢰성은 높으나, HMD와 영상 분석용 서버와 같은 값비싼 장비를 사용해야 한다[9]. 그리고 실제 시력 측정에 많이 쓰이고 있는 시력표에 의한 측정 방법을 대체하기에는 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 기존의 시력표 기반의 측정 방법이 지닌 문제점의 해결이 가능한 컴퓨터 기반의 자가 시력 측정 시스템을 제안한다. 제안하는 시력 측정 시스템은 검사자를 대신한 컴퓨터에 의해서 피검자의 자가 시력 측정이 가능하기 때문에 검사자의 주관적 판단이나 피검자의 암기에 의한 추측 가능성을 효율적으로 배제할 수 있다. 그리고 기존의 시력표를 이용한 시력 측정 방법과 유사한 피검자의 손-동작에 의한 시표 인식 방법은 시력 측정에 대한 흥미 유발과 함께 사용자 편의성을 효과적으로 향상시킨다.

또한, 제안된 시스템은 한국 산업 규격에서 제시하는 P ISO 8596의 표준 시표와 그 표시법을 따르는 등급과 표준 시표인 란돌트 고리(Landolt's ring)[10]를 사용하여 분리력(Minimum resolvable)을 측정하므로 물체 형태를 구별하는 능력이 상대적으로 약한 노약자나 유아 등에게 활용도가 크며, 측정 거리의 선택 기능은 측정 환경에 대한 제약을 최소화할 수 있다. 또한 측정된 시력은 데이터베이스에 의해서 저장 및 관리가 가능하기 때문에 전자의료기록(EMR: Electronic Medical Record) 시스템의 전자차트와 같은 전자기록을 위한 부가적인 입력을 요구하지 않는다.

II. 시력 측정을 위한 표준 시표와 제시법

본 논문에서 구현하는 자가 시력 측정 시스템의 시표 형태 및 크기, 측정 거리와 방법, 시력 등급의 판정 방법 등은 한국 표준 협회가 2006년 제안한 한국 산업 규격 P ISO 8596에 명시된 내용[2]을 기초로 하며, 이 표준은 국제 표준 ISO 8596:1994 안광학-시력측정 표준 시표와 그 표시법(INTERNATIONAL STANDARD ISO 8596:1994(E) Ophthalmic Optic-Visual Acuity Testing Standard Optotype and Its Presentation)[3]에 기술된 내용을 따르고 있다.

2.1 시력 등급의 결정 및 부여의 기준[2]

시력 등급은 표 1에 나타난 것과 같이 호의 분 단위(Minutes of arc)로 측정된 공백너비의 역수로 표시된다. 시표의 각 크기별 시력치는 로그 단위로 등급이 부여된다. 검사 시표의 크기와 그보다 한 단계 작은 시표의 크기 비율은 그림 1과 같이 표준수(Preferred Number) R 시리즈의 한국 산업 규격인 KS Q ISO 3의 표준수 R10 시리즈에 의해서 결정된다[4]. 이때, 시력 0.05, 0.06, 0.08, 2.0등급의 시표는 필요시에 생략될 수 있고, 그 이상의 시력 등급의 추가는 허용된다. 등급의 변화는 Log 단위를 사용하며, 0.1 Log 단위가 약 1.25배에 해당한다.

표 1. 시력 등급 표
Table 1. Visual Acuity Table

시력등급	시표크기			최소 표시 개수
	로그 공백 크기	공백과 고리 너비의 각도		
		호의 분단위(') (minutes of arc)	허용 오차(%)	
0.05	+1.3	20	±5	2
0.063(0.06)	+1.2	16		
0.08	+1.1	12.5		3
0.1	+1	10		
0.125	+0.9	8		
0.16	+0.8	6.3	5	
0.2	+0.7	5		
0.25	+0.6	4		
0.32(0.3)	+0.5	3.2		
0.4	+0.4	2.5		
0.5	+0.3	2	5	
0.63(0.6)	+0.2	1.6		
0.8	+0.1	1.25		
1.0	0	1		
1.25	-0.1	0.8		
1.6	-0.2	0.63	5	
2.0	-0.3	0.5		

괄호 안의 값은 같은 시력 등급임을 나타내기 위해서만 사용되어야 함

표준 시표는 표 1과 그림 2에 나타난 란돌트 고리가 된다. 란돌트 고리는 8개의 서로 다른 위치의 공백이 표시될 수 있다. 표준 시표들의 배경은 균일한 밝기에서 기호의 방향을 나타낼 수 있는 색이나 질감의 변화가 없어야 한다. 그리고 측정 거리는 피검자의 동공과 표준 시표 사이의 시거리가 최소 4m 지점에서 검사해야 한다.

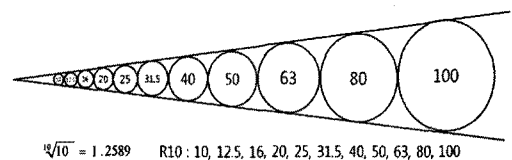


그림 95. Renard R10 시리즈[3]
Fig. 1. Renard R10 Series

시력 등급의 판정도 ISO 8596에 기준하며, 측정을 실시했을 때, 시표의 제시가 끝남에 이용된 시표의 수에 달려있다[2]. 합격 판정을 위해서는 시표의 전체 숫자가 5개라면 적어도 3개 이상을 맞춰야 하고 6~7개인 경우 4개 이상, 8~9개라면 5개 이상을 10개라면 6개 이상을 맞춰야 한다. 즉, 각 등급에서 정확히 식별된 최소 시표의 숫자가 대략 전체 제시된 시표 수의 60% 이상이 되어야 한다. 시력 등급의 최종 결정은 정확히 식별된 숫자가 전체 제시된 숫자의 60%에 못 미치는 첫 번째 등급으로 결정하게 되며, 이러한 결과는 표 1과 같이 검사가 끝나는 등급보다 한 단계 낮은 시력이 결정된다.

2.2 란돌트 고리 시표

시력(Visual acuity)은 측정하는 방법에 따라 가시력

(Minimum visible), 분리력(Minimum resolvable), 가독력(Minimum recognizable), 판별력(Minimum discriminable) 등으로 구분된다. 이 가운데에서 최소분리시각(MAR: Minimum Angle of Resolution) 또는 분리최소역(Minimum separability)이라고도 표현되는 분리력은 일반적으로 우리가 말하는 시력과 가장 유사한 능력으로서 떨어져 있는 두개의 점 또는 선을 두 개로 구별할 수 있는 최소 시각 능력을 의미한다. 이 때 시력은 인간의 망막에서 발생하는 공간적 분해능(Resolving power)의 한계를 의미한다[5,13,14].

우리가 흔히 사용하고 시력 측정치 표현 방법은 1909년 이탈리아의 나폴리에서 개최된 제11회 국제안과학회에서 결정된 것으로 그림 2에 나타난 것처럼 일정한 거리에서 직경의 길이가 5분의 시각을 가지고 고리의 폭과 공백 부분의 시각이 1분이 되는 란돌트 고리를 5m의 거리에서 보았을 때 공백인 홈을 식별할 수 있는 시각을 시력 등급 1.0으로 사용한다. 이 때 직경이 7.5mm이고 고리의 폭과 공백 홈의 크기가 1.5mm인 경우를 1분각(minutes of arc)으로 한다. 즉 식별할 수 있는 시각의 역수를 시력 측정값으로 사용한다. 따라서 시력 0.5와 2.0은 각각 최소 시각 2분각과 0.5분각에 해당한다[3].

본 논문에서는 KS규격에 의해 그림 2의 란돌트 고리를 표준 시표로 활용하여 시스템을 구현한다.

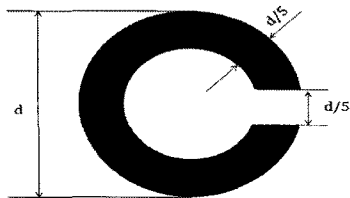


그림 2. 란돌트 고리 시표
Fig. 2. Ladolt's Rings
Optotype

III. 자가 시력 진단 시스템

본 논문에서 구현하는 자가 시력 측정 시스템은 그림 3과 같이 시표 가시화, 피검자 손-동작 인식, 최소 분리력 테스트, 시표 조정, 측정 시력 데이터 관리로 구성된다.

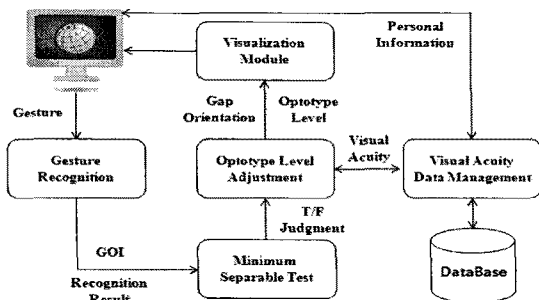


그림 3. 자가 시력 측정 시스템
Fig. 3. A Self Visual Acuity Testing System

3.1 시표 가시화

시표 가시화(Visualization)는 시표 방향 및 시표 공백 크기 등의 시표 조정 정보를 이용하여 실제 피검자에게 제시되는 화면에 표시되는 시표의 모양, 크기, 방향을 나타내는 기능을 수행한다. 실제 전달되는 정보는 KS규격에 따라서 컴퓨터에 의해서 계산된 논리적 시표의 크기와 공백의 방향이 전달되며, 전달된 값은 가시화 모듈에서 실제 피검자에게 제시되는 디스플레이 장치의 물리적 단위인 화소(Pixel) 단위의 크기로 변환 매핑되어서 화면 표시된다. 디스플레이 크기 변환 매핑은 논리 좌표와 물리 좌표 간의 관계를 연관시켜주는 것으로 컴퓨터 내부에 논리 좌표로 존재하는 이미지를 실제 우리가 보는 장치의 물리 좌표로 어떻게 연관을 지을지 결정하는 역할을 한다.

만약, 계산된 논리 좌표 이미지가 KS규격 등에 맞추어 구현이 되었다 하더라도, 출력 장치인 디스플레이의 해상도가 변경되거나 출력 장치 자체가 변경되면 출력 장치가 가진 물리 좌표 또한 변경되기 때문에, 정확한 크기의 시표 제시가 어렵게 된다.

따라서 본 논문에서는 Microsoft의 MFC 라이브러리[15]에서 제공하는 매핑 모드 가운데에서 HIMETRIC 모드를 사용하여 0.01mm 단위의 논리 좌표를 화면에 표시할 수 있는 화소 단위의 물리 좌표로 변환한다. 매핑모드는 프로그래머가 사용하는 논리단위와 운영체제 내부에서 사용하는 단위인 장치단위로 변환해주는 방법을 의미하며 운영체제가 지원하는 매핑모드 중 HIMETRIC은 출력장치의 종류에 관계없이 물리적 길이가 항상 0.01mm 단위로 일정하게 하는 모드이다

이 작업에 의해서 피검자에게 제시된 시표 이미지는 그림 4와 같은 다양한 해상도의 디스플레이 장치에서도 이 화소의 개수와 관계없이 시표의 크기를 일정하게 유지할 수 있기 때문에 디스플레이 장치의 해상도나 모델에 독립적으로 동일한 시력 등급에서 동일한 크기의 규격을 가진 시표를 제시할 수 있다.

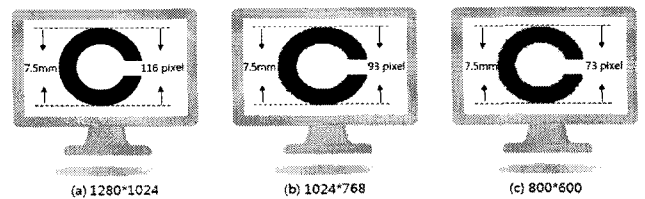


그림 98. 디스플레이 해상도에 의한 맵핑 변환의 예
Fig. 4. Example of Mapping Transformation by Display Resolution

3.2 피검자 손-동작 인식

그림 5는 피검자가 제시된 시표를 보고 피검자 스스로가 포인팅 장비인 펜 마우스를 이용하여 시표의 공백 방향에 상응하는 선분을 긋는 손-동작을 행한 후에 인식된 손-동작 인식 결과에 따라서 수행되는 시표 조정 과정 및 시력 진단 과정을 도식화한 그림을 나타낸다.

피검자가 손-동작을 취하면 동작 인식 모듈은 그림 6의 (a)처럼 손-동작의 시작점 $G_s(x_s, y_s)$ 과 종료점 $G_e(x_e, y_e)$ 의 좌표를 추출한다. 이때 손동작의 시작점과 끝점은 시표의 제시에 의해서 그 작업이 시작되어 펜 마우스의 드래그(Drag)&드롭(Drop) 이벤트에 의해서 추출 가능하다.

손-동작 시작점(G_s)과 종료점(G_e)이 검출되면 시작점(G_s)의 x축 방향으로의 수평선과 종료점(G_e)의 y축 방향으로의 수직선(그림 6(a)의 점선)이 만나는 지점을 $G_p(x_p, y_p)$ 로 설정한다. 세 점 G_s, G_e, G_p 이 획득되면 아래 식 (1)로부터 피검자 손-동작방향각 θ 를 계산한다[11].

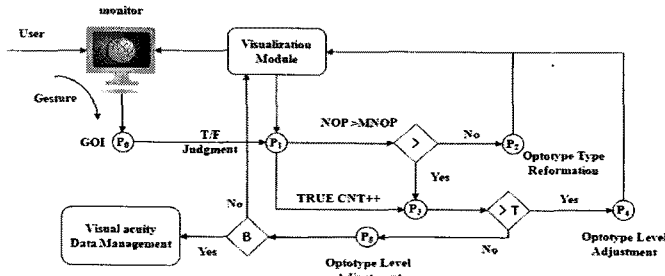


그림 99. 최소 분리력 테스트 및 시표 조정 과정
Fig. 5. Minimum Resolvable Testing & Optotype Adjustment Process

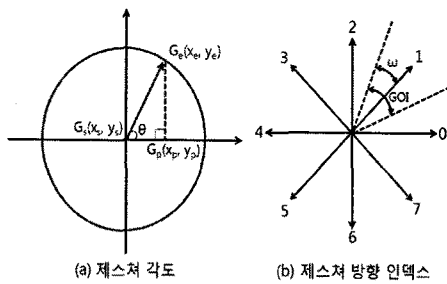


그림 100. 피검자 손-동작 인식
Fig. 6. Subject Hand-Gesture Recognition

$$\theta = \begin{cases} \cos^{-1}\left(\frac{\overline{G_s G_p}}{\|G_s G_e\|}\right) & \text{if } y_s < y_e \\ 2\pi - \cos^{-1}\left(\frac{\overline{G_s G_p}}{\|G_s G_e\|}\right) & \end{cases} \quad (1)$$

where, $\overline{G_s G_p} = x_p - x_e$ and $\|\cdot\|$: Euclidean distance

식 (1)에서 손-동작 각도 θ 는 손-동작 시작점 G_s 의 수평선(그림 6(a)의 x축)과 손-동작 끝점 G_e 와 손-동작 시작점 G_s 를 잇는 선분과의 방향각($0 \leq \theta \leq 2\pi$)에 상응한다.

손-동작 방향각 θ 가 구해지면 제시된 시표의 식별 유무를 판단하기 위해서 란돌트 고리의 공백 8-방향 가운데에서 사용자가 펜 마우스로 그은 시표 방향에 해당하는 손-동작 방향 인덱스 GOI (GOI : Gesture Orientation Index) 값을 아래 식 (2)를 이용하여 계산한다.

$$GOI = \lfloor \frac{\text{mod}(\theta + \omega, 2\pi)}{O_f} \rfloor, \quad \text{where } \omega = \frac{O_f}{2} \quad (2)$$

식 (2)에서 O_f 는 방향 구분 간격을 의미하며 본 논문에서

서는 8-방향으로 균등 분할한 한 방향의 구간에 해당하는 $\pi/4$ 를 의미한다. ω 는 그림 6의 (b)에 나타난 좌와 같이 손-동작 방향각으로 인식할 수 있는 유효 영역 인식을 위한 조정값에 해당한다. 그리고 $\lfloor \cdot \rfloor$ 함수는 함수의 인수값을 넘지 않는 최대 정수를 계산하는 floor() 함수를 의미한다.

손-동작 방향 인덱스 GOI 가 구해지면 실제 제시된 시표 공백의 방향각과의 일치 유무를 판단하기 위해서 GOI 를 분리력 테스트 모듈(Minimum Separable Test Module)로 전송한다.

3.3 최소 분리력 테스트

피검자가 화면에 나타난 란돌트 고리의 공백 방향을 보고 포인팅 장비를 이용하여 손-동작을 취하면 최소 분리력 테스트 모듈은 손-동작 인식 모듈의 인식 결과로 전송된 GOI 값과 제시된 시표 정보를 이용하여 그림 5의 $P_0 \sim P_2$ 과정의 분리력 테스트 과정을 수행한다.

그림 5의 P_0 과정에서 분리력 테스트 모듈은 손-동작 인식 모듈의 인식 결과로 전송된 GOI 값에 의해서 피검자가 행한 란돌트 고리의 공백 방향이 제시된 시표의 공백 방향과 일치 하는지를 판별한다. 시표의 공백 방향과 GOI 값이 일치하면 최소 분리력 테스트 모듈 내의 정답 누산기(TRUE CNT)의 값을 증가시키고 시력 판정을 위해서 동일 등급으로 제시된 시표의 수를 검사한다. 동일 등급에서 제시된 시표의 수(NOP : Number Of Presentation)가 정해진 제시 수(MNOP : Max Number Of Presentation)를 넘어서지 않는다면 시표 등급의 변화가 없고 단지 시력 판정을 위해서 시표의 공백 방향만을 무작위로 다시 생성하기 위해서 시표 조정 모듈에 요청한다. 반대로 NOP가 MNOP를 넘어서게 되면 정답률에 따라 등급을 상향 또는 하향 조정하기 위하여 시표의 공백 방향(Gap Orientation)과 크기 조절, 정답률을 시표 조정 모듈로 요청한다.

그림 5의 최소 분리력 테스트 과정과 다음 절의 시표 조정 과정은 KS P ISO 8596의 표준 시표와 그 제시법을 따르고 있으며, 본 논문에서는 이 표준을 따르기 위한 피검자 손-동작 인식 기반의 시표 응답 인식과 응답에 의한 시표 조정과정을 자동화하여 자가 시력 측정이 가능하도록 하는데 그 목적이 있다.

3.4 시표 조정

시표 등급의 조정은 피검자가 현재 등급에 대해 최소 분리력을 가졌거나 가지지 못했다고 판단이 될 때 조정된다. 그림 5에서 $P_3 \sim P_5$ 에 해당 하는 과정으로 최소 분리력 테스트 모듈에서 전송된 정답률과 기준 값 T를 비교한다. T는 분리 가시력을 가졌다고 판단되는 기준 값인 60%를 의미하고, 이를 넘지 못하면 분리 가시성을 가지지 못했다고 판단을 한다.

정답률이 기준 값 T 이상 일 경우, 시력 등급이 상향 조정되어 가시화 모듈에 상향된 등급으로 시표 크기 변경을 요청하고 현재 최소 분리력을 가진 시표 등급에 할당된 B 변수 값을 참(True)으로 설정한다. 여기서 B 변수는 부울(Boolean) 대수형으로 이전에 제시된 시표 등급이 분리 가시성을 가졌는지 확인 및 설정하는 용도로 참/거짓

(True/False)값을 가진다.

만약, 정답률이 기준 값 T미만이면, 시력 등급은 하향 조정되고 B 값이 참/거짓인지 확인하게 된다. 하향 조정된 시력 등급의 B 값이 참이라면, 하향된 시력 등급이 최종 시력 등급으로 판정되어 측정 시력 데이터 관리 모듈에 시력 등급 정보가 전송되고 화면 가시화 모듈을 통해 완료된 결과를 피검자에게 보여준다. 그러나 B 값이 거짓이라면 하향 조정된 등급에서 시력 측정한 이력이 없기 때문에 하향 조정된 시표의 제시를 위해서 가시화 모듈에 시표 조정을 요구한다. 이 때 시표 등급의 조정은 R10 시리즈와 KS 규격에 의한 비율에 따라서 조정된다.

현재 시표 직경(OD: Optotype Diameter)을 OD_c 라고 할 때, 1단계 시력 등급이 하향 조정되어서 커진 시표 직경을 OD_u , 그리고 1단계 시력 등급이 상향 조정되어서 작아진 시표 직경을 OD_d 라고 정의하고, R10 시리즈에 의한 비율 상수 $R(=약 1.25)$ 로 정의한다면, 조정된 시표의 직경은 아래 식 (3)과 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$OD_u = OD_c * R \tag{3}$$

$$OD_d = OD_c * \frac{1}{R} \tag{4}$$

위 식과 그림 7로부터 1단계 하강한 시력등급의 시표 직경인 OD_u 값은 현재 시표 직경 OD_c 에 비율상수 R 을 곱한 값과 같고, 이것은 OD_c 값의 125% 배율에 해당한다. 또한 비율상수의 역수인 $\frac{1}{R}$ 을 OD_c 에 곱하면 1단계 상승한 시력 등급의 시표 직경 OD_d 값은 OD_c 값의 80% 배율에 해당하는 크기가 된다.

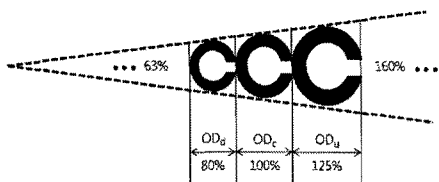


그림 101 시표 직경의 크기 배율

Fig. 7. Scale Ratio of Optotype Diameter

측정 거리의 변경 기능은 데이터 관리 모듈을 통해 피검자가 초기에 입력한 측정 거리에 따라서 제시되는 1.0 시력 등급의 시표 크기를 조정하는 기능으로, 조정되는 비율 또한 R10 시리즈의 배율상수인 R 에 의해서 아래 식 (5)와 (6)에 의해서 정의된다.

$$OG_{new} = OG_c \times \left(\frac{D_{new}}{D_c} \right), \text{ where } OS_c = 1.5mm, D_c = 5m \tag{5}$$

$$OD_{new} = 5 \times (OG_{new}) \tag{6}$$

위 식에서 D_c 는 표준 측정 거리 5m를 의미하고, OS_c 는

표준 측정 거리에서 시각이 1분이 되는 시표의 공백의 크기인 1.5mm를 의미한다. 그리고 D_{new} 는 피검자가 선택한 측정 거리이며, OG_{new} 와 OD_{new} 값은 각각 피검자가 측정 한 거리에 따라 조정된 1.0 시력 등급의 시표 공백 너비와 고리의 직경을 나타낸다.

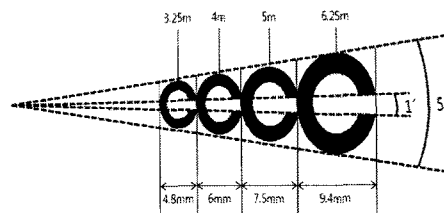


그림 102. 측정 거리에 의한 시력 등급 1.0 시표의 크기

Fig. 8. Visual Acuity 1.0 Level Size by selecting a measure distance

따라서 피검자가 측정 거리 D_{new} 를 선택하면 표준 측정 거리인 D_c 와 비율을 표준 시표 공백 크기인 OG_c 값에 곱해서 선택 거리에서 사용될 새로운 1.0 시력 등급의 시표 공백 크기인 OG_{new} 를 계산한다. 그리고 OG_{new} 값이 구해지면 새로운 1.0 시력 등급의 표준 시표 직경인 OD_{new} 를 계산하여 시표 가시화 모듈로 전송한다.

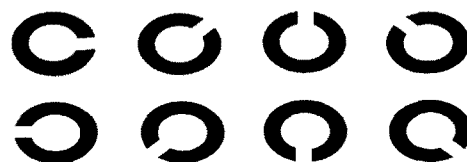


그림 9. 시표 공백의 8방향

Fig 9. The 8-orientation of Optotype Gap

그리고 또 하나의 시표 조정 작업은 그림 9에 나타난 좌와 같이 시표 공백 홈의 8-방향 가운데에서 하나의 방향을 컴퓨터에 의해서 무작위로 생성하여 조정된 시표 직경 값과 함께 새로운 시표 제시를 위해서 가시화 모듈로 전송하는 것이다.

3.5 측정 시력 데이터 관리

측정된 시력의 개별 관리를 위한 데이터베이스는 그림 10과 같이 구성된다. 데이터베이스에는 피검자의 이름, 생년월일, 주소지, 전화번호, 측정 날짜와 측정된 시력 등급 등이 기록된다.

피검자는 자신의 정보를 확인하고 피검자의 정보를 찾기 위해 이름에 의한 정보 검색이 가능하다. 입력된 이름에 해당하는 데이터들은 검색 리스트에 표시되며, 표시된 리스트에 피검자의 정보가 존재하면 검사 시작 버튼을 눌러 검사를 수행하고 존재하지 않는다면 새 정보를 입력하여 신규 등록한다. 또한 데이터 관리 모듈은 피검자가 측정환경에 맞추어 3.2m, 4m, 5m, 6.25m 등의 검사 거리를 선택할 수 있다. 기본적으로 설정된 거리는 5m 이고, 피검자가 선택을 하면 선택된 거리는 시표 조정 모듈에서 사용되는 D_{new} 변수에 저장되어 시표 조정 모듈로 전송된다. 전

송된 선택 거리는 시표 조정 모듈에서 측정 거리에 대한 시각이 1분에 해당하는 시력 등급 1.0의 시표를 생성한다. 그리고 측정 거리 선택 후에 검사 시작 버튼을 누르게 되면 좌안과 우안을 선택하여 측정할 수 있으며, 선택 된 눈의 시력은 데이터 관리 모듈에 의해서 나누어진 정보로 관리 가능하다[12].

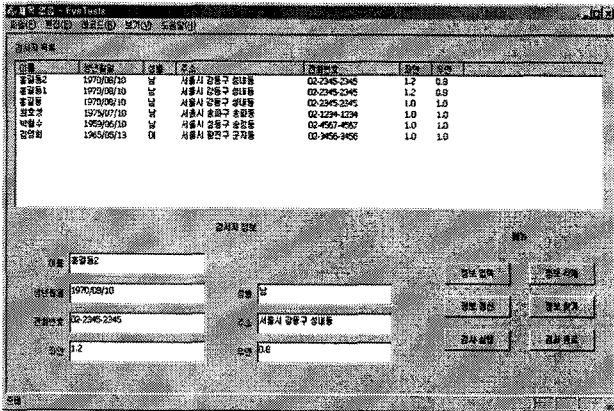


그림 10. 시력 측정 데이터베이스 예
Fig. 10. Example of Visual Acuity Database

IV. 실험

본 논문의 컴퓨터 기반 자가 시력 측정 시스템의 모든 처리 과정은 Microsoft Windows XP 환경의 Visual C++(GDI: Graphic Device Interface)에서 구현된다. 사용 디스플레이 장치는 1024×768화소 해상도를 지원하는 32인치 일반 LCD 모니터이다. 구현된 시스템의 성능 평가는 100명의 피검자를 대상으로 시력표를 이용하여 검사자에 의해서 측정된 시력 결과와 본 논문에서 제안한 시스템을 이용하여 동일한 피검자 스스로가 자가 측정한 시력 데이터를 비교하였다. 이때, 측정 거리 선택기능은 측정 거리별로 성능 평가가 이루어지지 않았고 표준 거리로 설정된 거리에서만 측정이 이루어 졌다.

본 논문의 실험과 같이 두 변량의 비교 분석에 있어서는 상관계수(r)나 결정계수(r^2)를 이용하여 통계적 신뢰성 분석을 수행하는 것이 일반적이나, 본 논문에서 개발한 자가 시력 측정 시스템의 목적은 실제 검사자를 요구하는 시력표 검사 방법을 대체할 수 있는 시스템의 개발이 목적이다. 따라서 실제 검사자에 의한 시력 검사의 결과와 검사자를 대신한 컴퓨터에 의한 자가 측정된 시력 결과의 상관관계 보다는 측정된 데이터의 완전 일치도 분석에 그 의미를 두고 있다. 결국 검사자에 의한 시력 검사치와는 다르게 측정된 제안한 시스템의 시력 측정 결과는 그 오류의 정도에 관계없이 무의미한 것으로 판단하여 비교 분석을 수행한다.

두 가지 방법을 비교한 결과 표 2와 같이 87%의 피검자가 시력 측정표에 의한 검사 결과와 일치했고, 나머지 불일치한 13명의 피검자들도 ±1 시력등급 오차한계 내에서 98%의 신뢰를 보였다.

표 2. 구현된 시스템의 시력 측정 결과
(: 오차한계 ±1 시력등급)

Table 2. Measurement Result of Implemented System(: Margin Of Error ±1 Visual Acuity Level)

실험자수	일치	불일치	
		오차한계 내	오차한계 외
100	87%	98%	2%

그리고 본 시스템의 측정 거리 선택 기능은 측정환경에 유연성을 제공하고, 손-동작 인식은 피검자의 편의성을 향상시키며 기존 측정 방법과 유사하여 거부감이 적다. 또한 컴퓨터에 의한 시표 제시는 피검자의 암기에 의한 추정을 방지할 수 있으며, 피검자 또는 검사자의 주관적인 측정이 상당 부분 배제되었다. 그리고 데이터베이스에 의한 측정 시력의 관리는 검사를 수행하는 안과나 안경점과 같은 장소에서 전자의료기록 시스템을 위한 측정 기록의 관리나 이동 등에서 매우 효율적이다.

그러나 디스플레이 장치에 의한 측정시 눈의 불편함이나 피로도의 증가로 제시된 시표를 착각하는 문제와 측정 시간에 대한 제약점이 생기는 문제가 발생 가능하다. 이러한 문제는 위 실험에서 오차범위를 벗어났던 피검자에게 관측되었다.

향후, 측정 거리의 변화, 시표 제시 위치의 변화, 시표 유형의 변화 등으로 피검자의 집중력을 높여주고 피검자가 출력 장치로 인해 받는 피로도는 전자잉크 등과 같은 다른 매체를 사용하는 출력 장치를 사용함으로써 보완이 가능하다.

V. 결론

본 논문에서는 자가 시력 측정을 위한 컴퓨터 기반의 시력 측정 시스템을 개발하였다. 개발한 시력 측정 시스템은 한국 산업규격에서 제시하는 표준 시표과 측정 방법에 근거하여 컴퓨터에 의해서 수행되기 때문에 측정 환경에 제약이 적고 보다 검사자와 피검자의 주관적 판단이 배제된 시력 측정이 가능하다.

또한 피검자 손-동작 인식을 통해 기존 시력 측정 방법과 유사한 측정 방법을 사용해 처음 사용하는 피검자도 검사에 쉽게 적용할 수 있다. 그리고 측정 시력의 데이터베이스 관리는 전산화된 전자차트(EMR) 시스템에 추가적인 작업이 없이도 적용이 가능하다.

향후 사용자 인터페이스 장치의 무제약성, 시표 제시 환경 및 방법, 시표 유형 등의 문제점이 해결된다면 본 논문의 자가 시력 측정 시스템의 유효성은 매우 클 것으로 예상된다.

참고 문헌

[1] <http://www.opthamology.org>, (대한안과학회), 2010.
 [2] 한국 산업규격 P ISO 8596:2006, 안광학-시력검사-표준 시표와 그 표시법, 한국표준협회, 2006.
 [3] INTERNATIONAL STANDARD ISO 8596:1994(E)

Ophthalmic Optic - Visual Acuity Testing - Standard Optotype and its Presentation, 1994.

[4] 한국 산업규격 Q ISO 3:2002, 표준수-표준수 수열, 한국표준협회, 2007.

[5] 진용한, "새로운 LogMAR 시력표 -진용한 시력표-", 대한안과학회지, 제38권, 제11호, pp.2036-2044, 1997.

[6] M. Bach, "The Freiburg Visual Acuity Test - Automatic measurement of visual acuity", Optom Vis Sci (73), pp.49-53, 1996.

[7] <http://www.michaelbach.de/fract/index.html>, 2010.

[8] M. Bach etc, "Resolving the clinical acuity categories "hand motion" and "counting finger" using the Freiburg Visual Acuity Test(FrACT), Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 247, pp.137-142, 2009.

[9] (주)테크란, 컴퓨터에 의한 시력검사 시스템, 한국발명진흥회, 2006.

[10] C. Kniestedt and R. L. Stamper, "Visual acuity and its measurement", Ophthalmol. Clin. N. Am (16), pp.155-177, 2003.

[11] 이우범, "개선된 터치점 검출과 제스처 인식에 의한 DI 멀티터치 디스플레이 구현", 한국신호처리시스템학회논문지, 제11권, 제1호, pp.13-18, 2010. 1.

[12] 최창열, 이우범 "사용자 제스처 인식 기반의 자가 시력 측정 및 관리 시스템", 한국정보처리학회 춘계학술 발표 제17권 제1호, pp.1082-1085, 2010. 4.

[13] Schwartz, and Steven H., *Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd ed.*, Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004.

[14] G. Westheimer, "Visual acuity: Information theory, retinal image structure and resolution thresholds", Progress in Retinal and Eye Research, Vol.28(3), pp.178-186, 2009.

[15] <http://msdn.microsoft.com>, (Microsoft), 2010.



최 창열(Yur-chang Choi)

2010년 2월 상지대 컴퓨터공학과(공학사)
 2010년 3월 상지대 컴퓨터공학과(석사과정)
 ※ 주관심분야 : 컴퓨터비전, 모션인식



이 우범(Woo-beom Lee)

1995년 2월 영남대 컴퓨터공학과(공학사)
 1997년 2월 영남대 컴퓨터공학과(공학석사)
 2000년 8월 영남대 컴퓨터공학과(공학박사)
 2000년 3월~2004년 2월 대구과학대 컴퓨터공학과
 전임강사

2004년 3월~2007년 2월 영남대 전자정보공학부 객원교수
 2007년 3월~현재 상지대 컴퓨터정보공학부 조교수
 ※ 주관심분야 : 뉴로비전컴퓨팅, 한방의료영상, 영상이해