

# 전자펜 기반 편측시각무시(UVN) 환자 검사 및 재활치료 시스템

## Electronic Pen-based Unilateral Visual Neglect Assessment and Rehabilitation System

김준교, 지혜미, 박재현\*  
(Joonkyo Kim<sup>1</sup>, Haemi Jee<sup>2</sup>, and Jaehyun Park<sup>1,\*</sup>)

<sup>1</sup>Department of Information and Communication Engineering, Inha University

<sup>2</sup>Department of Health and Fitness Management, Namseoul University

**Abstract:** Assessment and rehabilitation of patients with unilateral visual neglect has been one of the fields that require assistive technology. Paper-and-pencil tests, including the LBT (Line Bisection Test), have been one of the most commonly used visual neglect assessment methods used in a clinical setting. The key motivation of this study was to establish a computer-based real-time assessment system for the hemi-neglect patients without altering the conventional paper-and-pencil based user tools. A digital pen-based assessment and rehabilitation system, the ePen System, could eliminate the manual assessment time while maintaining measurement accuracy. As a result, the proposed system may assist rehabilitation specialists to assess and diagnose patients with unilateral visual neglect. This system can be applied to a range assessment and rehabilitation modalities based on a pen and paper. It can also be applied to various patients such as those with Parkinson's disease, stroke sufferers, or those who have experienced different forms of brain lesions.

**Keywords:** unilateral visual neglect, electronic pen, position pattern, rehabilitation, line bi-section test

### I. 서론

편측시각무시(UVN: Unilateral Visual Neglect) 증상은 뇌손상 혹은 제한적 대뇌반구 사용으로 인해 시각적 자극을 무시하는 임상 분야에서 오랫동안 관찰되어온 매우 흔한 증상으로, 뇌졸중과 파킨슨병 등의 뇌신경적 장애를 동반한 환자들에게 종종 확인된다[1,2]. 이러한 편측시각무시 증상을 검사하고, 치유하기 위하여 다양한 진단 및 재활 방법이 사용되는데, 전통적으로 널리 사용되는 방법 중 하나는 환자가 직접 펜을 사용하여, 종이 위에 있는 특정 도형을 선택하거나, 좌우로 배열된 선분의 중앙을 찾는 시험 방법이 널리 사용되고 있다 [1,3]. 검사과정은 숙련된 검사자에 의하여 정해진 절차에 따라 엄격하게 수행되어야 하는데, 검사과정과 검사 결과물을 평가하는 과정에서 적지 않은 노력과 시간이 소요된다. 하지만 엄격하게 수행된 검사임에도 불구하고, 검사자에 따라 검사 결과에는 약간의 변이가 발생할 수 있음이 임상적으로 보고되고 있다[5].

반면, 최근의 컴퓨터 기반의 검사 방법이 비약적으로 발전함에 따라 기존의 UVN 검사방법에도 새로운 기법이 도입되고 있다[4]. 컴퓨터를 활용한 대표적인 UVN 검사방법은 컴퓨터 화면에 특정 패턴을 보여주고, 이들의 인지 능력을 마우스의 조작을 통하여 검사하는 방법이 있다. 이 방법은 실시간으로

검사가 이루어진다는 장점이 있으나, 기존의 검증된 평가 방법과 다른 환경에서 검사가 진행된다는 단점이 존재하며 종이와 펜을 사용하는 검사방법에 비하여 피험자의 동작범위가 제한됨에 따라 검사 결과에 차이를 보일 수 있다[6]. 다른 검사 방법으로는 기존과 같이 피험자로 하여금 종이에 펜을 사용하여 패턴을 그리게 하고, 이를 카메라로 촬영하여 컴퓨터가 분석 하는 방법이 있다[4]. 이 방법은 피험자에게 기존 방법과 유사한 환경을 제공하고 있으나, 카메라 촬영과 컴퓨터 분석이라는 부가적인 절차와 시간이 필요하기 때문에 실시간으로 검사가 불가능하다. 또한 주어진 선분을 순차적으로 선택했는지 여부를 알기 힘든 단점이 있다. 따라서, 기존의 펜과 종이를 활용한 평가 및 재활치료 형태를 그대로 유지하면서, 평가 시간을 단축함과 동시에 평가 결과의 정확성을 보장하기 위해서는 새로운 형태의 진단 및 재활 시스템이 필요성이 대두되고 있다.

본 논문에서는, 일반 종이에 위치정보가 인쇄된 평가지 양식과 전자펜을 사용하여, 기존의 펜/종이 기반의 시험 방식과 동일한 사용자 경험을 유지하면서, 컴퓨터와 전자펜을 사용하여 평가의 효율성을 높인 편측시각무시 검사 및 재활 시스템을 제시한다.

### II. 전자펜 기반 평가/재활 시스템

#### 1. 전자펜(digital pen)

제한된 전자펜 기반 평가 및 재활 시스템은 전자펜과, 위치 정보가 인쇄된 스마트종이, 그리고 PC 기반의 평가소프트웨어로 구성된다. 그림 1은 개발된 전자펜의 내부 구조를 보여주는 그림으로 사용자(환자)가 펜을 종이에 접촉하게 되면,

\* Corresponding Author

Manuscript received December 17, 2013 / revised February 10, 2014 / accepted April 2, 2014

김준교, 박재현: 인하대학교 정보통신공학과

(jkkim@emcl.org/jhyun@inha.ac.kr)

지혜미: 남서울대학교 운동건강학과(amyjeez@gmail.com)

※ 본 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

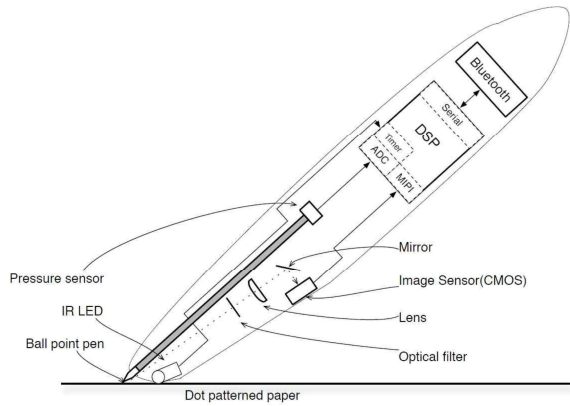


그림 1. 전자펜의 구성.  
Fig. 1. Digital pen structure.

압력센서가 이를 감지하고, 그 순간부터 펜을 종이에서 떨어뜨릴 때까지 반복적으로 종이에 인쇄된 마이크로 패턴을 획득하게 된다. 주위의 조명과 펜을 잡은 손의 각도 등 외부 환경적인 요인을 최소화하기 위하여 적외선 LED 조명을 사용하며, 조명 시간을 간헐적으로 조정하여 보다 선명한 영상을 얻을 수 있도록 한다.

광학적 필터와 렌즈를 통한 이미지는 CMOS 센서로 획득되며, 획득된 이미지는 고속의 DSP에 의하여 처리된다. 획득한 영상으로부터 위치정보를 계산하기 위해서는 조명과 같은 외부 환경적 요인 및 펜을 잡는 자세 등의 사용자 특성에 따른 요인을 제거하여 보다 선명하고 정형화된 영상을 형성하여야 하는데, 이를 위하여 다양한 실시간 영상처리 기법이 적용되었다. 펜의 위치 정보는 매 초에 85번 인식되며, 인식된 점과 점 사이의 위치는 다항식 알고리즘에 기반한 보간법으로 보정하게 된다. 이와 같은 고속의 위치인식과 보간 알고리즘에 기반하여 펜의 궤적을 생성하므로, 손으로 직접 쓴 형상과 거의 유사한 형태를 가진다. 인식된 위치 정보는 블루투스(Bluetooth) 통신을 통하여 PC에서 동작되는 평가/재활 프로그램에 실시간으로 전달된다. 또한 펜의 궤적을 전송하는 것과 더불어, 진동, 소리, 시각적 피드백을 줌으로써, 재활치료를 수행중인 환자에게 다양한 방법으로 피드백을 제공하여 환자 스스로가 재활치료의 효과를 높일 수 있다.

2. 위치 패턴

전자펜의 위치는 종이에 인쇄된 마이크로 패턴을 기반으로 계산된다. 마이크로 패턴이란 여러 개의 미세한 점의 조합으로 정보를 표현하는 것으로 하나의 점의 크기는 50-80µm 정도의 크기를 가지며, 16-25개 정도의 점으로 하나의 위치 정보를 표현한다. 각각의 점은 주변의 점들과의 상대적인 위치를 가지고 고유의 부호로 표현되며, 이들 부호의 조합으로 위치정보를 나타낸다. 이러한 원리를 기반으로 구현된 마이크로패턴 중, 본 연구에서 사용된 패턴은 그림 2와 같다. 그림 2의 패턴은 두 개의 점을 쌍(pair)으로 연결하여 도형을 만든다. 또한 각각의 도형에 고유한 부호를 부여하고, 16개의 부호를 이용하여 하나의 위치를 표현한다. 본 연구에서는 도형을 4개로 분류하여 부호를 부여함으로써, 총  $4^{16} = 2^{32}$  개의 위치 정보를 표현할 수 있다. 이를 위치코드로 활용하면, X, Y축으로 각각 약 20억 개의 좌표를 표현할 수 있다[8]. 또한

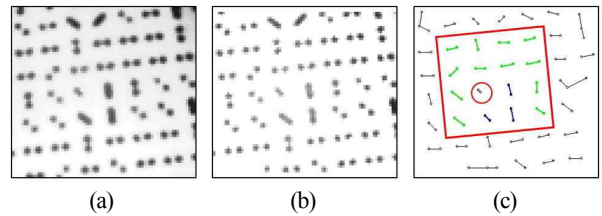


그림 2. 위치 패턴.  
Fig. 2. Position pattern.

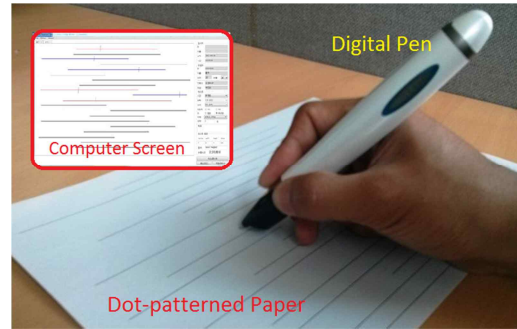


그림 3. 검사프로그램을 활용한 검사 장면.  
Fig. 3. Test program and its application.

각 점의 크기를 50µm로 인쇄하면 하나의 점과 여백이 차지하는 공간은 약 100µm가 되어, 4개의 점이 차지하는 공간은 400µm 즉, 0.4 mm가 된다. 즉, 종이에서 가로세로 0.4mm의 해상도로 펜의 위치를 인식할 수 있으며, 실제 펜의 위치는 위치패턴의 중심점으로 가정한다. 이는 각각의 위치 패턴이 구분되어있는 것을 가정한 최소한의 분해능이며, 위치패턴을 중첩시켜 위치를 인식하는 기법을 도입하면, 최대 분해능은 하나의 점의 위치, 즉 100µm(=0.1mm)로 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 펜의 분해능을 0.1mm로 구현하였다. 그림 2(a)는 CMOS 센서에 의하여 취득한 원 이미지, (b)는 이미지처리를 통한 이미지, 그리고 (c)는 위치를 인식한 이미지를 나타내고 있다.

3. Line Bi-section Test

본 논문에서 대상으로 하는 편측시각무시(UVN) 평가 방법은 선분 이등분시험법(LBT: Line Bisection Test)으로, 1980년에 제안된 이후, UVN 환자의 평가와 재활척도계량에 가장 널리 활용되는 시험법이다[2]. LBT는 길이가 서로 다른 6개의 선을 종이의 좌측, 중앙, 우측으로 배열하고, 종이의 위와 아래의 중앙에 기준 선을 추가하여 총 20개의 선분이 인쇄된 종이에 펜으로 각 라인의 중앙에 짧은 마크를 함으로써, UVN을 평가하는 방법이다. 평가 결과는 중앙 마크가 각 선분의 중앙으로부터 좌/우로 치우치는 정도에 대한 통계치와, 인지하지 못한 선분의 개수를 가지고 평가 척도를 생성한다.

$$deviation \quad (\%) = \frac{m \text{ e a s u r e d } h a l f - t r u e \text{ h a l f}}{t r u e \text{ h a l f}} \times 100 \quad (1)$$

이와같은 LBT는 비록 단순한 평가 방법임에도 불구하고, 파킨슨병과 같이 뇌손상이 진행 중인 환자에게 손쉽게 적용할 수 있으며, 결과에 대한 신뢰성도 높아 현재 병원에서 널리 활용되는 평가 방법이다.

표 1. 반복 측정간 상관도.

Table 1. Test-retest reliability results.

측정		측정 1(평균/표준편차)	측정 2(평균/표준편차)	평균차이(95% CI)	ICC (95% CI)
전자펜	검사시간(sec)	48.29 ± 18.81	64.15 ± 121.74		
	인식불능(ea)	.93 ± 1.26	.81 ± 1.05		
	편차 (%)	2.51 ± 1.86	3.31 ± 2.58	- .83	.66
평가자 1	계산시간(sec)	325.93 ± 161.70	315.74 ± 130.13		
	인식불능(ea)	0	0		
	편차 (%)	2.27 ± 1.95	3.35 ± 2.54	-1.12	.68
평가자 2	계산시간(sec)	360.30 ± 157.87	349.36 ± 135.47		
	인식불능(ea)	0	0		
	편차 (%)	2.36 ± 1.98	3.20 ± 2.64	- .88	.77

CI, confidence interval. ICC, intra-class correlation coefficient. \*\*ICC between the measurements is significant, p < 0.001.

표 2. 평가방법간 상관도.

Table 2. Validity test results.

Deviation (%)	측정 1(평균/편차)	측정 2(평균/편차)	평균차이(95% CI)	CCC (95% CI)
전자펜 vs. 평가자 1	3.31 ± 2.58	3.35 ± 2.54	-.04 (-.36 to .28)	.92 (.86 to .96)
전자펜 vs. 평가자 2	3.31 ± 2.58	3.20 ± 2.64	.11 (-.17 to .40)	.94 (.89 to .97)
평가자 1 vs. 평가자 2	3.35 ± 2.54	3.20 ± 2.64	.16 (-.15 to .46)	.93 (.87 to .96)

CI, confidence interval. CCC, Concordance correlation coefficient. \*\*CCC between the measurements is significant, p < 0.001.

4. 검사-재활치료 프로그램

전자펜으로부터 Bluetooth 통신을 통하여 PC로 전송된 펜의 제적은 LBT전용 검사-재활 프로그램에 의하여 자동으로 분석되고, 치료사에 의하여 모니터링 된다. 검사-재활 프로그램은 LBT를 수행하는 시간과, 18개 선분의 중앙 점으로부터의 편차 등, 임상 데이터를 실시간으로 판독하고, 평균 및 표준편차, 왜도(skewness) 등의 통계치를 계산한다. 또한 이미지 취득 방식과는 다르게 마크 순서를 인식함으로써 무시하고 건너뛴 선분의 개수를 오류 없이 적용할 수 있다.

그림 3은 개발된 전자펜을 사용하여, LBT를 수행하는 모습과 그 결과를 실시간으로 보여주는 검사-재활 프로그램이 실행되는 모습이다. 화면에는 평가양식과 동일한 라인이 그려져 있고, 환자의 테스트 결과가 실시간으로 표시된다. 화면에서 빨간색과 파란색 선은 각각 중앙 점으로부터 왼쪽 혹은 오른쪽에 환자가 표시를 한 것을 보여주며, 검은색은 환자가 표시하지 않은 선을 보여준다. 검사-재활 프로그램은 평가 중에 환자가 선의 중앙으로부터 일정 범위를 벗어나게 표시하거나, 선을 순서대로 표시하지 않고 무시하는 경우 진동 혹은 LED 빛으로 경고하여 환자 스스로 인지하게 함으로써 재활 효과를 높일 수 있도록 구현되었다. 또한 검사 결과는 환자의 임상자료(병력 및 치료, 진단 기록)와 더불어 데이터베이스에 저장되어 환자 증상의 추세적인 변화를 살펴보고, 재활치료의 효과를 평가하는 데 활용될 수 있다.

III. 평가 결과

본 논문에서 제안하는 전자펜 기반의 LBT 시스템의 유효성과 성능을 평가하기 위하여 정상인을 대상으로 시험을 진행하였다. 시험은 피험자들이 전자펜을 사용하여 LBT를 수행하면, 제안된 시스템이 즉시 평가 결과를 계산하도록 하였으며, 피험자들이 작성한 결과지는 2년 이상의 경험을

가진 재활치료사들이 기존 방법을 사용하여 수기로 결과를 판독하여 두 결과를 비교하는 방식으로 진행되었다. 결과의 정확성을 담보하기 위하여 모든 피험자들은 48시간의 간격을 두고 두 번의 LBT 검사를 수행하였다. 이는 피험자들의 학습효과를 최소화하기 위한 최소한의 시격으로 기존 테스트에서 널리 사용되는 시격이다[9,10].

평가에 참여한 피험자들은 편측시각무시(UVN) 현상을 보이지 않는 정상 성인 43명(남성 21명, 여성 22명)을 대상으로 하였으며, 피험자의 연령과 학령기간의 평균은 각각 24.6세(표준편차 2.8세) 및 16.3년(표준편차 1.9년)이다. LBT 평가전에 피험자들의 인지기능을 확인하기 위해 한국형 간이정신상태검사(K-MMSE: Korean Version Mini-Mental State Examination)를 실시하였으며, 피검사자들의 K-MMSE 점수는 확정적 정상범위 내인 평균 29.2점(표준편차 0.9)이며 평가 시간은 평균 213.0 초(표준편차 23.5)로 측정되었다.

평가는 평가지에 인쇄된 18개 선분에 대한 평균편차백분율(percent deviation)을 식 (1)에 따라 계산하고, 전체 시험을 수행하는 시간을 측정하는 방식으로 진행되었다. 이와는 별도로, 전자펜의 경우 전자펜의 사용각도, 조명상태 등 다양한 원인으로 인하여 인식 자체가 안되는 경우가 발생할 수 있으므로 인식불능선분의 개수를 측정하였다. 검사시간은 피험자가 LBT 검사를 진행하는데 걸린 시간을 의미하며, 계산시간은 평가자가 수작업으로 LBT결과를 산출하는데 걸리는 시간을 의미한다. 제안된 시스템은 LBT결과를 컴퓨터가 자동으로 계산하여 무의미할 정도로 짧은 계산시간이 소요되므로 표시하지 않았다.

측정결과에 대하여 Komogorov-Smirnov 공식으로 (p > .05) 평가한 결과 정규분포(normal distribution)를 따르고 있음을 확인할 수 있었다. 표 1은 본 논문에서 제안하는 전자펜 기반의 평가와 재활치료사들의 기존 방법(paper-and-pencil method)을

비교한 것으로, 반복평가(평가1과 평가2)시 평가간 상관계수(ICC: Intra-Class Correlation)가 0.66으로 재활치료사들의 상관계수 0.68 및 0.77과 비슷한 수준임을 할 수 있다. 상관계수가 0.6에서 0.8사이이면 상관도가 상당한 수준임을 의미하며 0.8이상이면 매우 높음을 의미한다[7]. 표2는 전자펜을 사용한 평가 결과의 신뢰성을 보여주는 것으로, 전자펜과 두 명의 평가자 간의 평가 결과를 비교한 일치상관계수(CCC: Concordance Correlation Coefficient)이다. CCC 값을 보면 전자펜과 두 명의 평가자간의 연관도가 0.92 및 0.94로서 두 평가자간의 연관도인 0.93과 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 본 논문에서 제안하는 전자펜을 활용한 평가 방법이 기존 수작업에 의한 평가 방법이 가지는 오차범위 내에 있음을 의미하는 것으로 제안된 시스템이 검사 장비로서의 측정 신뢰성이 확보됨을 말해준다.

모든 평가에서 통계학적인 유의성을 가질 수 있도록 신뢰구간(CI: Confidence Interval)은 95%를 기준으로 하였으며, p-value 는 0.05 미만이 되도록 하였다. 모든 통계분석은 SPSS와 MedCalcR (Mariakerke, Belgium) 프로그램을 활용하여 처리하였다.

#### IV. 결론

본 논문은 전자펜을 기반으로 하는 편측시각무시(UVN) 환자를 검사하고, 재활치료를 하는데 사용될 수 있는 시스템을 제안하고 있다. 제안된 시스템은 기존에 병원에서 널리 사용 중인 종이와 펜을 활용한 선분 이등분시험법(LBT)을 그대로 응용함으로써, 환자와 치료사가 거부감 없이 새로운 시스템을 적용할 수 있도록 하였다. 개발된 시스템의 정확성과 효과를 검증하기 위하여 성인 남녀 43명을 대상으로 시험한 결과, 전자펜을 활용한 측정치와 사람이 직접 측정한 측정치 간의 신뢰도가 0.93으로 평가되었으며 이는 전자펜을 활용한 검사 결과를 충분히 신뢰할 수 있음을 의미한다. 또한 검사 결과를 산출하는 시간에 있어서 사람이 직접 산출하는 경우 평균 337.8초가 소요되는 반면 전자펜을 기반으로 하는 방식의 경우 즉시 결과가 산출되기 때문에 시간 효율이 높음을 확인할 수 있다.

#### REFERENCES

- [1] S. Ferber and H.-O. and Karnath, "How to assess spatial neglect - line bisection or cancellation tasks?" *J Clin Exp Neuropsychol*, vol. 23, no. 5, pp. 599-607, 2001.
- [2] T. Schenkenberg, D. C. Bradford, and E. T. Ajax, "Line bisection and unilateral visual neglect in patients with neurologic impairment," *Neurology*, vol. 30, no. 5, pp. 509-517, 1980.
- [3] E. de Joode, C. van Heugten, F. Verhey, and M. van Bostel, "Efficacy and usability of assistive technology for patients with cognitive deficits: a systematic review," *Clinical Rehabilitation*, vol. 24, no. 8, pp. 701-714, 2010.
- [4] Y. Liang, M. C. Fairhurst, R. M. Guest, and J. M. Potter, "A learning model for the automated assessment of hand-drawn images for visuo-spatial neglect rehabilitation," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 18, no. 5, pp. 560-570, 2010.
- [5] S. Hannaford, G. Gower, J. Potter, R. Guest, and M. Fairhurst, "Assessing visual inattention: study of inter-rater reliability," *Br J. Therapy Rehabil*, vol. 10, no. 2, pp. 72-75, 2003.

- [6] M. H. Rolfe, J. P. Hamm, and K. E. Waldie, "Differences in paper-and-pencil versus computerized line bisection according to ADHD subtype and hand-use," *Brain Cogn.*, no. 66, pp. 188-195, 2008.
- [7] J. R. Landis and G. G. Koch, "The measurement of observer agreement for categorical data," *Biometrics*, vol. 33, no. 1, pp. 159-174, 1977.
- [8] S. Kim, S. Lee, Y. Kim, and J. Park, "Error correction algorithm of position-coded pattern for hybrid indoor localization," *J. of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 2, pp. 119-124, 2013.
- [9] L. Kent, B. O'Neill, G. Davison, A. Nevill, J. S. Elborn, and J. M. Bradley, "Validity and reliability of cardiorespiratory measurements recorded by the LifeShirt during exercise tests," *Respir Physiol Neurobiol*, vol. 167, no. 2, pp. 162-167, 2009.
- [10] H. Uyarel, C. Ozdol, A. M. Gencer, E. Okmen, and N. Cam, "Acute alcohol intake and QT dispersion in healthy subjects," *J Stud Alcohol*, vol. 66, no. 4, pp. 555-558, 2005.



김 준 교

2010년 인하대학교 정보통신공학부 학사. 2012년 동 대학원 석사. 2012년~현재 인하대학교 대학원 박사과정 재학 중. 관심분야는 무선센서 네트워크, 임베디드시스템, 실시간네트워크.



지 혜 미

1994년 University of California, Irvine 생물학과 학사. 2009년 서울대학교 체육교육과 석사. 2012년 울산대의대 의과학 박사. 2013년~현재 남서울대학교 운동건강학과 조교수. 관심분야는 운동의학, 재활의학.



박 재 현

1986년 서울대학교 제어계측공학과 학사. 1998년 동 대학원 석사. 1994년 동 대학원 박사. 1995년~현재 인하대학교 정보통신공학부 교수. 관심분야는 임베디드시스템, 실시간네트워크.