

# 시각장애우를 위한 소형 점자셀의 개발

## Development of a Small-sized Braille Cell for the Blind

조 현 철<sup>1</sup> · 허 석 행<sup>2</sup> · 송 재 복<sup>3</sup>

Cho Hyun-Cheol<sup>1</sup> · Huh Seok-Haeng<sup>2</sup> · Song Jae-Bok<sup>3</sup>

**Abstract** In an information-oriented society, visually impaired persons also should obtain the information with relative ease. They tend to receive the information of letters by tactile sensation through braille display systems. Several types of braille display systems have been suggested so far, but none of them have been widely used yet. The braille display system should provide multiple lines of braille units to improve the level of understanding. In this paper, we propose a cell type braille unit with 3x2 dots, each of which consists of a piezoelectric linear motor. A braille cell is small and lightweight enough to be portable, and it can be easily assembled in multiple lines. The preliminary tests using the proposed braille display system show that it can provide the information that can be well perceived by visually impaired persons.

**Keywords:** Braille, Braille cell, Braille display, Tactile sensation, Multiple lines

### 1. 서 론

정보화 사회에서 정보에 접근하고 활용하는 능력은 지식자원 확보와 경제적 기회를 가지는데 있어서 매우 중요한 요소로 자리매김 하였다. 그러나 일반인들의 편의성을 바탕으로 제작된 정보단말기는 장애우들의 정보 접근성을 떨어뜨려 이들의 정보접근에 대한 최소한의 기회마저 박탈하였다<sup>1)</sup>.

따라서 장애우들의 정보 접근성을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 다양한 방법이 제시되었다. 이 중에서 시각장애우들이 주변의 정보를 보다 쉽게 받아들일 수 있도록 도와주는 점자출력장치에 관한 많은 연구가 수행되어 왔는데, 이와 같은 장치들은 시각정보를 촉각 또는 청각 정보로 변환시켜 정보를 전달하는 역할을 수행한다.

현재까지 개발된 점자 출력장치들은 한번에 표시할 수 있는 점자 수에 비해 장치 크기가 큰 편이다. 따라서 소형화된 점자 셀을 개발한다면, 좀더 휴대하기 좋은 점자출력장치를 제작할 수 있게 된다. 이러한 점자출력장치 개발을 위해 다양한 형태의 점자셀이 개발되고 있

는데, 지금까지 연구된 점자출력장치를 점자셀 구동방식의 구분에 따라 살펴보면 다음과 같다.

첫째는 솔레노이드(solenoid)를 적용한 방식이다<sup>2)</sup>. 솔레노이드는 전기적인 에너지를 기계적인 직선운동 에너지로 변환하는 장치이다. 이것은 전자석의 원리를 응용한 것으로 전류가 전선에 흐르면 자기장이 형성되어 철심이나 플런저가 솔레노이드 내부로 이동하며, 이러한 원리를 이용해 촉감을 표현한다. 솔레노이드는 구동원리가 간단하고, 가격이 저렴하여 비교적 쉽게 사용할 수 있는 장점이 있다. 반면에, 현재 세라믹 보빈(Bobbin)에 코일을 1/1000 mm 간격으로 균일하게 감는 권선기술로도 솔레노이드를 직경 5mm 이하로 제작하기 힘들기 때문에 소형화된 점자셀을 개발하는 데 어려움이 있다.

둘째는 압전체(piezoelectric material)를 적용한 방식이다<sup>3)</sup>. 현재 액츄에이터로 압전바이모ρφ 바(piezoelectric bimorph bar)를 이용하는 방식은 상용화된 제품들 사이에서 가장 많이 활용되고 있다. 압전체에 전위차를 발생시키면 변위가 변하는 원리를 이용하여, 끝단에 핀을 고정시켜 점자출력장치로 활용하고 있다. 이와 같은 방식은 소모전력(power)에 비해 발생하는 변위가 작다. 따라서 충분한 변위를 얻기 위해서는 압전체의 양단에 상대적으로 큰 전위차를 인가해야 하고, 긴 압전체를 사용하여 점자를 표현하는데, 점자셀의 구조적인 특성상

<sup>1</sup> 고려대학교 기계공학과 석사과정(E-mail : ilovirus@korea.ac.kr)

<sup>2</sup> 고려대학교 기계공학과 석사과정(E-mail : gazago125@korea.ac.kr)

<sup>3</sup> 고려대학교 기계공학과 교수(E-mail : jbsong@korea.ac.kr)

복수줄로 구성된 점자출력장치를 구현함에 있어 한계가 있다.

셋째는 고분자유전체(dielectric elastomer)를 적용한 방식이다<sup>4)</sup>. 고분자유전체에 전극을 입히고 전압을 가함으로써 일어나는 변형을 통해 점을 표출하는 방식으로 실리콘이나 우레탄과 같은 유전율이 높은 재료를 사용한다. 전압을 가하면 양쪽 표면에 쌓이는 양전하와 음전하에 의하여 상호간에 인력이 발생하고, 이로 인하여 고분자 유전체가 두께 방향으로 압축하고 면적 방향으로 팽창하는 원리를 이용하여 점자출력장치를 구현하였다. 고분자유전체를 사용하여 소형화된 점자셀을 구현할 수 있으나, 원하는 점자의 돌출높이를 확보하기 위해 1~2kV의 고압전원을 공급해야 하므로 전원부를 포함한 제어부의 크기가 커지게 된다.

이외에도 Organic FET, 형상기억합금, 전자기, 공압, 스텝모터 등을 이용한 방식들이 있다<sup>5)9)</sup>. 이러한 방식들은 각기 장단점을 지니고 있으며, 좀더 소형화된 점자출력기로 제작되기 위한 연구가 계속 진행되고 있다.

현재까지 상용화된 점자출력장치들은 점자출력부가 한 줄로 구성되어 있어 글을 읽을 때 한 줄씩 변환해 가며 읽기 때문에 지나간 내용을 다시 읽거나 글을 속독할 때 불편함을 느끼게 된다. 본 연구에서는 복수줄의 형태로 구성하기 간편한 소형 및 경량화된 점자셀을 개발하여 점자의 복수줄 표현이 가능하며, 동시에 우수한 휴대성을 지닌 점자출력장치를 개발하고자 한다. 또한, 각 점자셀은 유지 및 보수하기 간편하도록 쉽게 탈착 및 부착을 할 수 있게 설계하였다.

본 논문에서 제안하는 점자셀은 시각장애우들이 점자책과 같이 출력하는 내용을 읽기 쉽고, 점자의 응답 속도는 빠르며, 휴대성을 지니도록 하였다. 본 논문에서는 이러한 점자셀에 관하여 살펴보고 시각장애우를 대상으로 한 평가를 통하여 제안된 점자셀의 장점을 입증하였다.

## 2. 시각장애우의 촉감에 관한 연구

본 연구에서 제안하는 점자셀은 기본적으로 사람의 촉감을 통해 정보를 전달하는 장치이다. 2.1 절에서는 이러한 정보인식 수단인 촉감에 대해 살펴보고, 2.2 절에서는 시각장애우의 정보 인식방법에 대해 설명한다.

### 2.1 촉감

촉감은 피부를 통해 미세한 힘을 전달받아 인식하는

피부감각(tactile sensation)과 근육이나 관절, 힘줄을 통해 비교적 큰 힘을 전달받아 인식하는 역감(force sensation)으로 구성된다. 피부감각을 통해서 ‘매끄럽다’, ‘울퉁불퉁하다’, ‘거칠거칠하다’와 같은 물체의 질감과 ‘원통형’, ‘계란형’과 같은 물체의 형상을 파악한다. 그리고 역감은 물체를 만지거나 이동시킬 때 느끼는 감각으로 질량을 가진 물체의 반발력을 감지한다.

우리가 어떤 물체에 대해 촉감을 느낀다고 말할 때는 실제로 피부감각과 역감이라는 두 촉감 요소가 복합적으로 작용한다. 예를 들어, 스폰지 표면이 거칠고 폭신 폭신하다고 가정하자. 이때 우리는 피부감각(표면이 거칠다는 질감)과 역감(스폰지의 저항력이 약해 폭신폭신타다)을 동시에 받아들여 인식한다. 또한, 벽을 인식할 때 ‘매끈하고’, ‘단단하다’라고 얘기한다. 이때도 마찬가지로 피부감각과 역감이 서로 작용하며 벽에 대한 촉감을 만들어내는 것이다.

### 2.2 시각장애우의 정보 인식방법

시각장애우는 시기능의 현저한 저하 또는 소실에 의해 일상생활 또는 사회생활에 제약이 있는 사람을 의미한다. 주변정보를 인식할 수 있는 능력의 70~80%정도를 차지하는 시각을 상실한 시각장애우들은 시각화된 매체를 통해 정보를 얻기 매우 힘든 상황이다. 따라서 시각 대신 청각과 촉각 기능을 통해 대상을 유추하고 인지하기 때문에, 정보를 습득하는 것이 일반인들에 비해 훨씬 불편하다.

즉, 사람이 갖는 오감 중에서 청각과 촉각 기능을 주로 이용하여 정보를 얻게 되는데 대상의 인지는 대체로 촉각을 통해, 정보의 습득은 일반적으로 청각을 통해 이루어진다. 청각을 통해 쉽게 정보를 인지할 수 있지만, 어려운 내용은 들어서 바로 이해하기 힘들다. 따라서 시각을 통해 문자정보를 습득하지 못하는 시각장애우들을 위한 문자체계가 필요하게 되었고, 시각 대신 촉각을 통해 문자를 인지할 수 있는 문자체계가 발명되었는데 이것이 바로 점자(Braille)이다.

## 3. 점자셀의 개발

### 3.1 압전선형모터

본 연구에서는 점자출력장치의 구동장치로서 압전선형모터(Piezoelectric linear motor)를 사용하였다. 이 모터는 크기는 작고, 적은 소모전력으로 큰 선형 변위를 발생시킬 수 있는 장점을 지니고 있어 기존 압전체의 단

점으로 지적되었던 변형 변위가 작다는 문제가 해결된 액츄에이터이다.

압전선형모터는 그림 1 과 같이 압전체, 탄성체(elastic material), 축(shaft) 및 예압체(pre-presser)로 구성되어 있다. 압전선형모터는 압전체와 탄성체의 변형이 발생함에 따라 선형 변위를 발생시킨다. 아래쪽 방향으로 이동할 때는 그림 1 과 같이 먼저 압전체에 전압이 걸리게 되면서 변형이 발생한다. 그러나 변형시키려는 힘이 예압체에 의해 발생하는 마찰력보다 작으므로 위치의 변화는 일어나지 않는다. 가해진 전압을 제거할 때, 탄성체는 다시 복원하려는 힘을 발생시키게 되는데 이 때 발생하는 힘이 마찰력보다 크므로 아래쪽 방향으로  $h$  만큼 이동하게 된다. 한번의 동작으로 발생하는 이동변위  $h$  는 수  $\mu\text{m}$  로 매우 작으나, 이러한 동작이 매우 빠르게 반복되어 이동변위가 축적되고 점자를 출력할 수 있는 정도의 큰 선형 이동이 발생하게 된다. 반대방향의 이동도 이와 같은 원리로 동작하게 된다<sup>[10]</sup>.

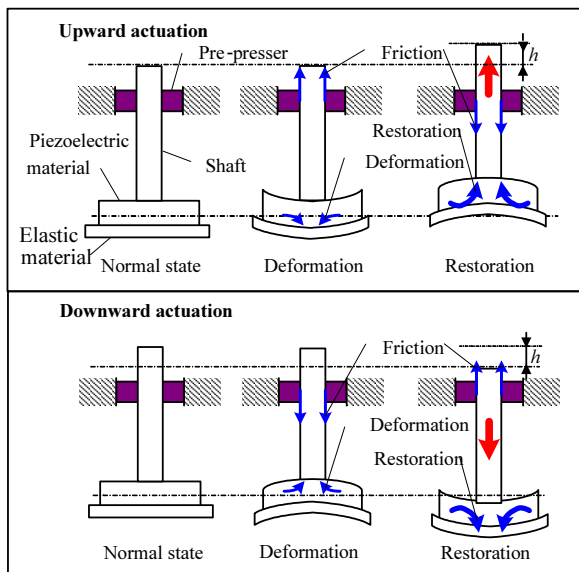


그림 1. 압전선형모터의 작동원리

### 3.2 점자셀의 설계 및 제작

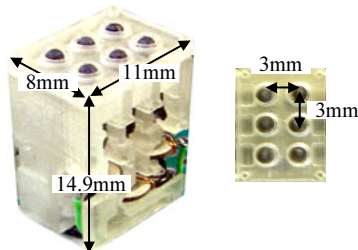
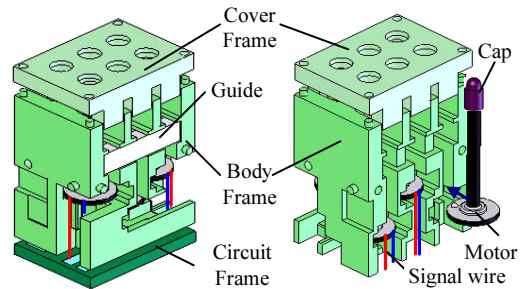


그림 2. 점자셀(Braille cell)

일반적으로 두 개의 자극점이 동시에 손가락을 자극했을 때 두 점을 식별할 수 있는 점간 최소거리는 약 2~3mm 이다<sup>[11]</sup>. 따라서 본 연구에서 제안한 점자셀은 그림 2 에서 보는 바와 같이 각 점 사이의 거리를 3mm 로 설정하였다. 점자셀은 크기는 가로 8mm, 세로 11mm, 높이 14.9mm 로 설계되었고, 또한 현재 가장 많이 활용되는 점자규격을 참고하여 각 점의 직경(dot diameter) 및 돌출 높이(dot height)를 각각 1.4mm, 0.65mm 로 맞추어 제작하였다. 점자셀의 내부는 액츄에이터(압전선형모터)를 삽입할 수 있는 형태로 되어 있고, 액츄에이터를 모두 장착하였을 때의 중량은 약 2g 이다. 또한 각 점의 표면이 거칠어 손끝이 빨리 피로해지는 것을 방지하기 위해 축의 끝부분에 촉감이 부드러운 캡을 장착하였다.

한 개의 점자셀은 그림 3 과 같이 6 개의 압전선형모터, 커버 프레임(cover frame), 바디 프레임(body frame) 그리고 회로 프레임(circuit frame)으로 구성된다. 바디 프레임은 그림 4 에서 보는 바와 같이 총 4 개의 층으로 구



Right side view Left side view

그림 3. 점자셀의 구성요소

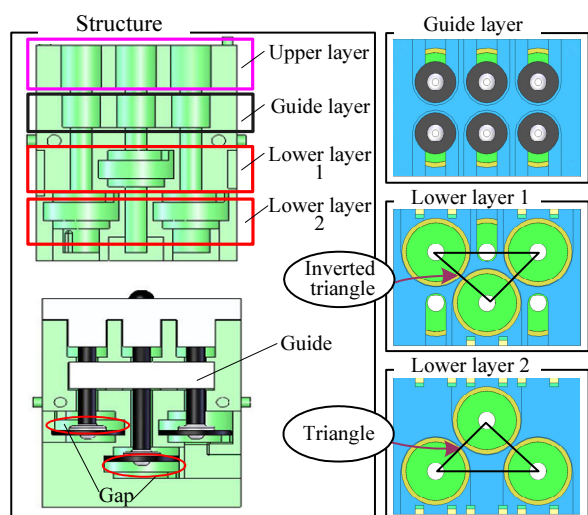


그림 4. 점자셀의 메커니즘

성되어 있는데, 그 중 상위층(upper layer)은 촉감이 감지되는 캡이 삽입되는 공간으로 커버 프레임과 연결된다. 가이드층(guide layer)은 예압체를 삽입하는 공간인 동시에 예압체를 고정하는 역할을 한다. 바디 프레임에 삽입한 예압체가 빠지지 않도록 고정하는 역할을 함으로써 모터가 원활히 작동하도록 한다. 하위층(lower layer)은 모터를 삽입하는 공간으로 하위층 1은 상대적으로 짧은 축을 갖는 3개의 압전선형모터가 역삼각형 형태로 삽입되어 점자를 출력하며, 하위층 2는 상대적으로 긴 축을 갖는 3개의 압전선형모터가 삼각형 형태로 삽입되어 점자를 출력하도록 구성되어 있다. 또한 하위층에 삽입된 각 모터들이 선형운동을 할 수 있는 공간이 확보되어 있어 이 공간만큼 점이 표출되므로, 이 공간의 높이가 표출되는 점의 높이를 결정하게 된다. 커버 프레임은 점자셀의 가장 위에 위치하여 점자를 실제 인지하게 되는 표면이 된다.

회로 프레임은 각 압전선형모터의 신호선을 쉽게 연결하기 위하여 제안되었다. 여러 개의 압전선형모터 신호선을 회로 프레임의 정해진 부분에 각각 부착시킴으로써 점자셀의 모듈화를 구현하였다. 압전선형모터를 구동시키기 위한 신호가 외부에서 커넥터를 통해 회로 프레임으로 신호가 전달되고 회로 프레임에 부착된 모터의 신호선을 통해 모터를 구동시키게 된다. 회로 프레임과 커넥터는 기구적으로 결합이 가능하도록 설계되었기 때문에 탈부착이 용이하여 점자셀의 유지 및 보수가 간편하다.

3.3 점자셀의 제어부

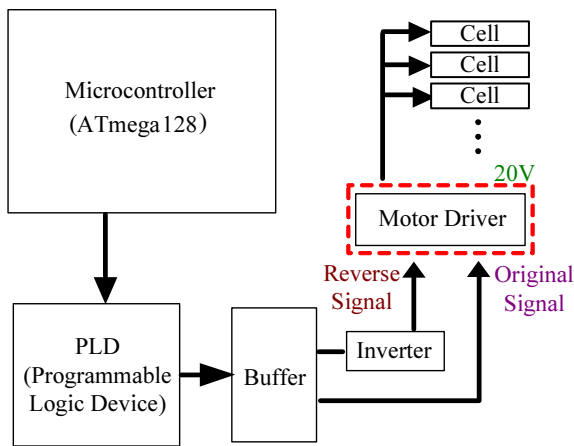


그림 5. 점자출력장치의 제어부

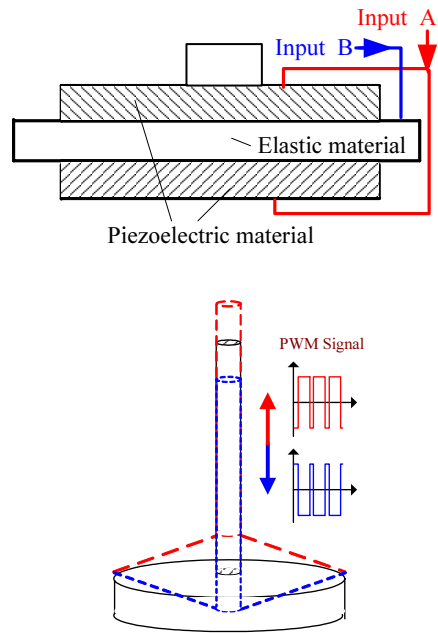


그림 6. PWM 신호에 따른 점자셀 각 점의 제어

제어부는 그림 5와 같이 마이크로컨트롤러(microcontroller), PLD(programmable logic device), 모터 구동회로, 버퍼(buffers) 등으로 구성되어 있다. 모터 구동회로는 H-Bridge 회로를 사용하여 구성하였다. 입력신호는 RS-232 시리얼 통신을 이용해 전달하고 마이크로 컨트롤러에서 발생시킨 PWM 신호를 모터의 압전체와 탄성체로 보내 그림 6과 같이 점자셀의 각 점들을 제어하게 된다.

4. 실험 및 평가

본 연구에서 개발한 점자셀의 성능을 평가하기 위해 그림 7과 같이 점자출력부, 제어부, 전원장치 및 입력장치로 구성된 점자출력장치를 제작하였다.

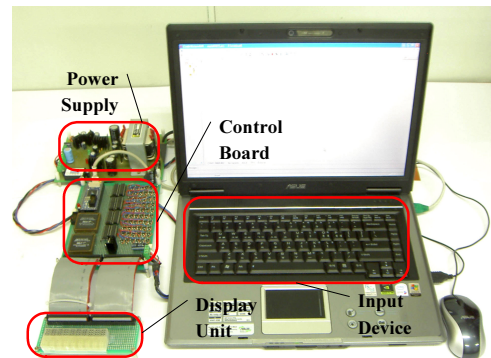


그림 7. 점자출력장치 시스템 구성

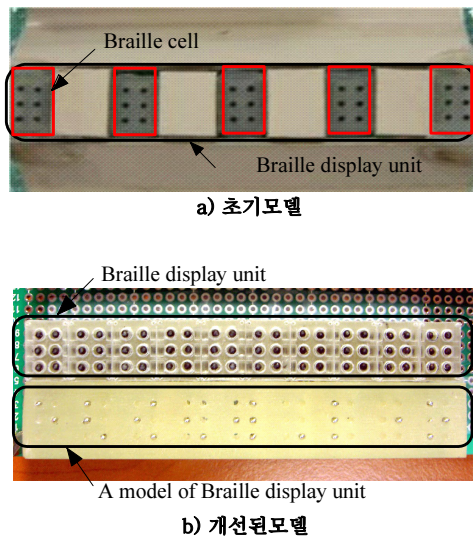


그림 8. 점자출력부

점자출력부는 그림 8 과 같이 점자셀로 구성되어 있다. 실험은 서울맹학교의 도움을 받아 점자출력장치를 10 년 이상 사용한 시각장애우 7 명을 대상으로 그림 9 와 같이 인식률 측정실험을 실시하였다. 얼마나 정확하게 점자를 인식하는지를 알아보기 위해 점자출력부에 표현되는 한 개의 점에 대한 인식률, 준비한 예제 단어 및 문장에 대한 인식률을 각각 측정하였다.

결과는 그림 10 에 나타난 것과 같이 각 점에 대한 평균 인식률은 94.4%, 단어에 대한 평균 인식률은 77.1%, 문자에 대한 평균 인식률은 68.1%를 나타내어 초기모델임에도 불구하고 상대적으로 높은 인식률을 보여주었다. 실험을 수행한 후 시각장애우들의 점자출력장치에 대한 평가는 다음과 같았다.

- 실험에 사용된 점자출력장치는 기존의 점자출력장치와 규격이 유사하고, 점이 정확하게 돌출되어 점자를 쉽게 인식할 수 있었다. 그러나 점자셀의 점간 거리가 넓은 편이다.



그림 9. 점자 인식률 측정실험

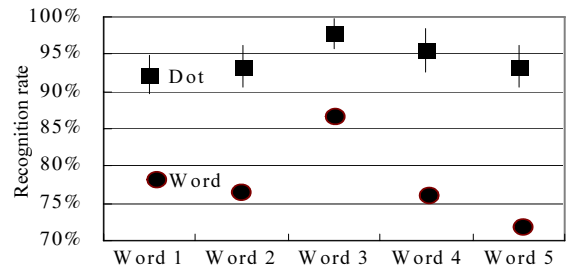


그림 10. 각 점 및 단어에 대한 인식률 측정결과

- 하나의 점자를 인지하는 데 약 0.1 초에서 0.2 초 정도의 시간이 소요되는 데 개발한 점자출력장치는 0.1 초 이내에 모든 점을 표출하기 때문에 원활하게 점자를 읽을 수 있었다.
- 각 점의 표면이 거칠어 손끝이 빨리 피로해졌다.

실험에 사용한 점자출력장치의 반응속도는 기존 제품의 평균 0.2 초에 비해 빠른 0.1 초를 나타내었다. 그러나 단어에 대한 평균 인식률은 77.1%로 상용화된 제품에 비해 다소 낮은 편이다. 점자출력장치가 보다 정확한 점자 정보를 전달하기 위해서는 인식률의 개선이 필요하다. 손 끝의 피로가 쌓이면 실험횟수가 반복될수록 점자 인식률은 저하된다. 따라서 초기모델에서 지적되었던 손 끝이 쉽게 피로해지는 문제점을 보완하고 점자셀의 내구성을 보강하여 그림 8 의 b)와 같은 개선된 점자출력부를 구성하였다.

개선된 점자출력장치를 통해 점자를 읽을 때의 피로도를 알아보기 위해 시각장애우를 대상으로 간단한 실험을 수행하였다. 제시된 점자를 읽을 때 느끼는 손 끝의 피로도에는 점자 표면의 촉감이 향상됨에 따라 피로도가 이전보다 개선되었음을 설문조사결과 확인할 수 있었다. 현재 제작된 점자셀의 점간 거리는 3mm 이다. 이 점간 거리를 2.5mm 로 줄임으로써 인식률에 큰 변화 없이 추가적인 소형화가 가능하다. 이 점간 거리를 줄여 점자셀을 추가적으로 소형화시키는 연구가 현재 진행중이며, 개선된 점자출력장치에 대한 구체적인 인식률 측정 실험은 추가적인 소형화가 이루어진 점자셀을 적용한 후 실시할 예정이다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 압전선형모터를 이용하여 소형화 및 경량화시킨 점자셀을 개발하였다. 이 점자셀은 휴대가 쉽고

복수줄로 표현 가능한 점자출력장치에 적용할 수 있도록 설계하였고, 앞서 수행한 일련의 연구과정 및 실험결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 점자셀의 점자출력 메커니즘으로 인해 각 점의 높이가 유사하게 돌출되어 시각장애우들이 점자를 좀더 정확하게 인지할 수 있다.
2. 점자셀이 소형 경량화되어 휴대하기 간편한 점자출력 장치를 구성하기 용이하다.
3. 점자셀의 모양은 육면체의 형태로 상하좌우 어느 방향이든 쉽게 다른 점자셀과 결합이 가능하므로 복수 줄로 구성된 점자출력장치 구현에 용이하다.
4. 인식률을 높이기 위해서 피로도 개선이 필요하다.

이러한 점자셀을 이용하여 점자를 복수줄로 표현함으로써 시각장애우들이 다양한 정보를 이전보다 쉽고 빠르게 습득할 수 있고, 수학, 악보와 같은 복잡한 문자 및 기호도 훨씬 쉽게 인식할 수 있다. 또한, 점자출력기만이 아니라 그림의 형상을 보여주는 촉각제시기로서 활용될 수도 있다.

참 고 문 헌

- [1] “정보소외계층의 사회참여 확보를 위한 복지정보 통신기술 발전동향”, 한국정보문화진흥원, 2003.
- [2] T. Fukuda, H. Morita, F. Arai, H. Ishihara, H. Matsuura, “Micro resonator using electromagnetic actuator for tactile display”, International Symposium on micromechatronics and human science, pp.143-148, 1997.
- [3] G.-H. Yang, K.-U. Kyung, M.A. Srinivasan, D.-S. Kwon, “Quantitative Tactile Display Device with Pin-Array Type Tactile Feedback and Thermal Feedback,” Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.3917-3922, May, 2006.
- [4] H. R. Choi, S. W. Lee, K. M. Jung, J. C. Koo, S. I. Lee, H. G. Choi, J. W. Jeon, J. D. Nam, “Tactile Display as a Braille Display for the Visually Disabled”, Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.1985-1990, 2004.
- [5] M. Shinohara, Y. Shimizu, A. Mochizuki, “Three-Dimensional Tactile Display for the Blind,” IEEE Transactions on Rehabilitation, vol. 6, no. 3, pp.249-256, Sep, 1998.
- [6] J. S. Lee, S. Lucyszyn, “A Micromachined Refreshable Braille Cell,” Journal of Microelectromechanical Systems, vol. 14, no. 4, Aug, 2005.
- [7] M. Shimojo, M. Shinohara, and Y. Fukui, “Human Shape Recognition Performance for 3D Tactile Display,” IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, vol. 29, pp.637-644, Sep. 1999.

- [8] R. Velazquez, E. E. Pissaloux, M. Wiertelwski, “A Compact Tactile Display for the Blind with Shape Memory Alloys”, proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Orlando, Florida, pp.3905-3910, May, 2006.
- [9] Takamiya, M. Sekitani, T. Kato, Y. Kawaguchi, H. Someya, T. Sakurai, “Low Power and Flexible Braille Sheet Display with Organic FET’s and Plastic Actuators,” IEEE Integrated Circuit Design and Technology, pp1-4, May, 2006
- [10] H.-C. Cho, B.-S. Kim, J.-J. Park, J.-B. Song, “Development of a Braille Display using Piezoelectric Linear Motors,” SICE-ICASE International Joint Conference, pp.1917-1921, Oct, 2006.
- [11] S. R. Geiger ed. “Handbook of Physiology section 1 : The Nervous System,” American Physiological Society, 1984.



조 현 철

2005 고려대학교 기계공학과 (공학사)  
2007 고려대학교 기계공학과 (공학석사)

관심분야 : haptics



허 석 행

2006 건국대학교 기계항공공학(공학사)  
2007~현재 고려대학교 기계공학(공학석사)

관심분야 : haptics, mobile robotics



송 재 복

1992 MIT 공과대학 기계공학과(공학박사)  
1993~현재 고려대학교 기계공학과 교수

관심분야 : mobile robotics, robotic design and control