

고분자 유전체를 이용한 시각 장애인용 점자 출력기 개발

Development of Braille Display Using Dielectric Elastomer

이 상 원, 구 익 모, 정 광 목, 이 성 일, 최 후 곤, 전 재 욱, 남 재 도, 최 혁 렬*

(Sangwon Lee, Igmo Koo, Kwangmok Jung, Seongil Lee, Hugon Choi, Jaewook Jeon, Jaedo Nam, and Hyoukryeol Choi)

Abstract : Tactile sensation is one of the most important sensory functions along with the auditory sensation for the visually impaired since it replaces the visual one of the persons with sight. In this paper, we present a tactile display device as a dynamic Braille display that is the unique tool for exchanging information among them. The tactile cell of the Braille display proposed is based on the dielectric elastomer, which is one of the electroactive polymers. It has advantageous features over the existing ones with respect to intrinsic softness, ease of fabrication, cost effectiveness and miniaturization. We introduce a new idea for actuation as well as additional considerations such as the driving circuit that makes it possible to drive multiple tactile cells in a high speed. Also, we describe the actuating mechanism of the Braille pin in details capable of realizing the enhanced spatial density of the tactile cells. Finally, results of psychophysical experiments are given to evaluate its effectiveness.

Keyword : tactile display, braille display, dielectric elastomer, EAP

I. 서론

햅틱 디스플레이의 궁극적인 목적은 사용자가 실제 환경과 접촉하고 있는 것과 유사하게 느껴지도록 사용자의 역각 및 촉각을 자극(stimulate)하는 것이다. 따라서 햅틱 디스플레이를 크게 역각 디스플레이(kinesthetic)와 촉각 디스플레이(tactile display)로 나눈다[1]. 지금까지는 많은 연구가 역각 디스플레이에 관하여 수행되어 왔으나[2,3], 최근 들어서는 많은 연구자들이 촉각디스플레이의 중요성에 관하여 인식하기 시작하였다.

촉각 디스플레이 장치는 시각 장애인 정보전달 기구로 활용 할 수 있으며, 이를 동적 점자 출력기(Dynamic Braille Display)라고 한다. 인간의 정보획득량의 약 70% 이상을 차지하는 시각 정보의 상실은 일상생활을 영위하는데 많은 어려움을 주고 있다. 특히 컴퓨터와 인터넷의 보급과 함께 정보통신에 관련된 기술이 나날이 발전하고 있지만, 이에 상응하는 장애인을 위한 정보통신 기술은 답보 상태에 머물고 있어 장애인과 정상인의 정보격차 현상이 심화되어 가고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 장애자 의사소통 기구로는 음성 합성 장치, 점자 프린터, 컴퓨터 점자 재판 시스템, 무지 점자기(Paperless Braille)등이 대표적이나, 언급한 대부

분의 시스템의 경우 핵심 부품들이 수입에 의존하고 있어서 제품의 가격이 고가이거나, 유지, 보수의 어려운 문제점을 지니고 있다.

촉각 디스플레이와 이를 응용한 점자출력기의 핵심 기술은 작은 면적에 독립적 구동이 가능한 다수의 구동기를 집적하는 것이다. 이를 위하여 다양한 구동 재료와 구동 방식들이 연구 되고 있으며 그 각각은 나름의 장·단점을 지니고 있다[4-12].

본 논문에서는 기능성 고분자의 일종인 고분자 유전체(Dielectric Elastomer)구동기를 이용한 촉각 제시용 초소형 구동기를 제안한다. 제안된 구동기는 인체 근육과 비교 될 수 있는 특징을 가지고 있으며, 소형, 경량의 구동기 제작이 가능하며, 중량대 출력비가 우수하고(High Power Density), 별도의 장치 없이 중저속의 높은 구동력을 낼 수 있으며(High Power, Low Speed), 재료비가 저렴하다는 장점을 지니고 있다. 기능성 고분자 구동기의 개발을 통하여 앞서 제시된 촉각 디스플레이와 점자출력기 구동기의 문제점을 보다 쉽게 해결 할 수 있다.

II. 인간의 촉각

촉각 디스플레이를 설계하기 위해서는 필연적으로 감각에 영향을 미치는 촉각신경에 관한 생리학적 이해가 필수적이다. 인간 촉각의 민감도에 관한 연구에 따르면 촉각 디스플레이 장치는 촉각 자극요소의 간격, 변위, 힘 등 다양한 물리적 요소가 관련이 있다고 보고 되어 있다. 사람의 손에는 대략 17,000개의 물리적 자극 수용기(Mechanoreceptors)가 분포되어 있으며 이들은 다섯 종류의 중요한 수용기로 구분 된다. 각 감각 수용기는 메르켈(Merkel), 루피니(Ruffini), 마이스너(Meissner), 파초니(Pacinian)로 구성되어 있으며, 각각의 감각기의 특징을 요약하면 다음과 같다[13].

- Meissner Corpuscles : 손의 감각 수용기중 43% 이상을

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 6. 30., 채택확정 : 2004. 8. 13.

최혁렬, 이상원, 정광목, 구익모 : 성균관대학교 기계공학부 (hrchoi@me.skku.ac.kr/last879@kitech.re.kr/jungkmok@me.skku.ac.kr/kooigmo@me.skku.ac.kr)

이성일, 최후곤 : 성균관대학교 시스템경영학부

(silee@yurim.skku.ac.kr/hgchoi@skku.ac.kr)

전재욱 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부(jwjeon@yurim.skku.ac.kr)

남재도 : 성균관대학교 응용화학부(jdnam@skku.edu)

※ 본 연구는 보건복지부 협동기초연구지원과제(과제번호02-PJ3-PG10-30415-0001)의 지원으로 수행된 것으로 이에 과제의 수행에 도움을 주신 관계자 여러분들께 감사드립니다.

차지하며 이는 손가락, 손바닥 피부의 움직임 감지하는 가장 뛰어난 감각 수용기이다.

- **Merkel's Disks** : 손의 피부 수용기 중 25%를 차지하며, 강한 힘과 진동에 대한 인식 기능을 일부 담당하는 압력 수용기이다.

- **Pacinian Corpuscles** : 손의 피부 감각 기관 중 13%를 차지하며 진피에 분포되어 가속도를 감지하는 진동 수용기이다.

- **Ruffini Corpuscles** : 피부 수용기의 약 19%를 차지하며 강한 압력과 피부의 전단력을 감지할 수 있다.

- **Free receptors** : 온도와 고통에 관한 감각을 수용하는 감각기관이다.

피부의 감각 수용기에 의하여 감각을 나타낼 수 있는 일반적인 감각은 촉각, 압각, 온각, 냉각, 통각 등 다섯 종류가 있다.

- **온도 감각** : 온도를 감지하는 수용기로는 루피니(Ruffini) 소체와 크라우제(Krause)소체가 있다. 냉각 자극은 25°C에서 가장 활발하며 온각 자극의 경우는 45°C에서 가장 활발하게 나타난다.

- **압각** : 손가락의 바닥면에 존재하는 압력 수용기는 1cm²에 대하여 대략 100개가 있으며, 손의 등면에는 대략 9개 밖에 없다. 압각은 촉각과 구별하기 힘들나 압력 수용기는 비교적 큰 기계적 압박에 대하여 반응한다.

- **통각** : 피부의 통각(pain)은 신체의 모든 부분에 가장 많이 분포 하고 있는 감각으로 기계적 자극이나 열과 냉기 또는 화학적 자극 등의 강한 자극에 반응한다.

- **촉각** : 촉각을 감지하는 수용기는 메르켈 소체로서 촉각 자극은 신체 부위에 따라 민감할 수 있다. 이러한 민감도의 차이는 두 점 역치(two-point threshold)로 검사할 수 있다. 그림 1(a)에서와 같이 두 점을 컴퍼스로 동시에 건드릴 때 만약 두 점이 아주 가깝다면 두 점으로 감각되지 않고 한 점으로 감각된다.

두 점사이의 거리를 점점 크게 할 때 최초로 두 점이 판별되는데 도달한 거리를 두 점 역치라 한다. 그림에서 나타난 결과와 같이 혀끝의 경우 0.5~1mm로 가장 예민한 곳이며, 손끝의 경우 한계 값은 1~3mm, 손바닥의 경우 10mm 정도의 간격을 갖는다. 따라서 일반적인 사람의 손의 크기를 생각할 때 촉각 자극 요소의 개수는 대략 1000개 이상이 필요하다는 것을 알 수 있다.

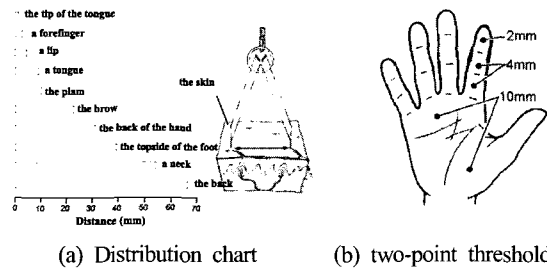


그림 1. 두 점 역치 판별.
Fig. 1. Two-point discrimination threshold.

III. 고분자 유전체 구동기

실리콘이나 우레탄과 같은 유전율이 높은 고분자 유전체를 이용하여 그림 2에서처럼 양면에 부드러운 전극을 입히고 전압을 가하면, 양쪽 표면에 쌓이는 양과 음의 전하에 의하여 맥스웰 스트레스(Maxwell stress)라 불리는 정전기력이 발생하고, 이 정전기력은 (1)과 같이 표현 할 수 있다 [14].

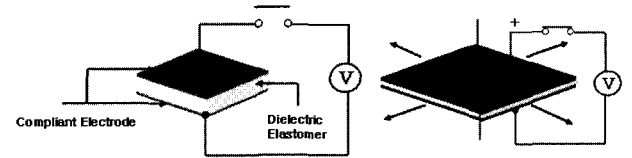


그림 2. 고분자 유전체의 구동 원리.
Fig. 2. Actuation principle of dielectric elastomer.

$$\sigma = \epsilon_r \epsilon_o E^2 = \epsilon_r \epsilon_o \left(\frac{V}{t} \right)^2 \quad (1)$$

ϵ_r 와 ϵ_o 는 각각 상대유전율과 대기중에서 유전체의 절대유전율을 나타내며, σ 는 두께방향 스트레스, E 는 전기장, V 와 t 는 각각 전압과 최종 두께를 나타낸다. 그림 4에 나타난 것과 같이 고분자 유전체는 비압축성이기 때문에 전압을 가했을 경우, 두께 방향으로 수축이 발생하면서 면적 방향으로 팽창이 된다. 압축력에 의한 최종 두께 t 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t = (1 + \delta_z) t_o \quad (2)$$

여기서 δ_z 는 수직방향 변형률이며 t_o 는 초기 두께이다.

(1)과 (2)를 이용하여 σ_z 에 의한 z방향(수직방향)의 변형률로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \delta_z &= \left(\frac{\sigma_z}{Y} \right) = -\frac{1}{Y} \epsilon_r \epsilon_o \left(\frac{V}{(1 + \delta_z) t_o} \right)^2 \\ &= -\frac{1}{Y} \epsilon_r \epsilon_o \left(\frac{V}{t_o} \right)^2 \frac{1}{(1 + \delta_z)^2} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 Y 는 재료의 인장강도이다. 다시 (3)을 δ_z 에 대한 3차 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\delta_z^3 + 2\delta_z^2 + \delta_z = -\frac{1}{Y} \epsilon_r \epsilon_o \left(\frac{V}{t_o} \right)^2 \quad (4)$$

또한 수평 방향 변형률 δ_r 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 x(1+\delta_x)y(1+\delta_y)z(1+\delta_z) &= xyz \\
 (1+\delta_x)(1+\delta_y)(1+\delta_z) &= (1+\delta_r)^2(1+\delta_z) = 1 \quad (5) \\
 \frac{1}{\sqrt{1+\delta_z}} - 1 &= \delta_r
 \end{aligned}$$

δ_r 는 (5)와 같이 구할 수 있으나 급수전개를 통하여 근사치를 구해보면 다음과 같다.

$$\delta_r \approx -\left(\frac{1}{2}\right)\delta_z \quad (6)$$

이와 같은 과정을 통하여 고분자 유전체의 수직, 수평 방향에 대한 변형량을 모두 구할 수 있다.

고분자 유전체 재료는 인가되는 전압이 높아질수록 압축률은 증가한다. 그러므로 전압을 더욱 증가시키면 더 높은 변형을 얻을 수 있다. 하지만 고분자 재료의 절연과피 강도를 초과하게 되면 구동기의 안전성에 심각한 문제를 야기할 수도 있다.

IV. 촉각 자극요소의 구조 및 구동 원리

본 절에서는 앞서 기술한 고분자 유전체의 구동원리를 이용하여 동적 점차출력기를 만들기 위한 촉각 자극요소에 대하여 기술한다. 앞서 설명한 고분자 유전체의 변형 특성을 이용하여 구동기를 제작하였다. 고분자 유전체의 성능 개선을 위하여 구동기는 그림 5(a)에서와 같이 20 μ m의 얇은 고분자 필름을 10장미만으로 쌓아 자체 변위와 힘을 향상시켰다.

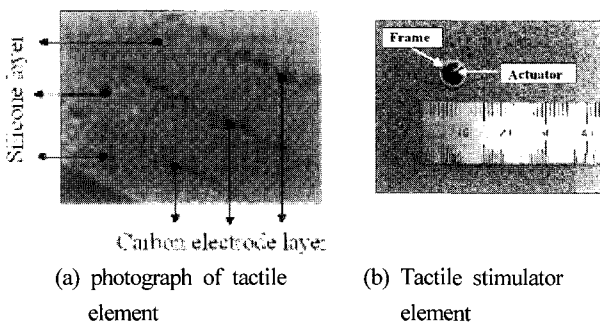


그림 3. 촉각 구동기 요소 및 고분자 유전체 적층 사진.
Fig. 3. Photograph of element and cross section stacked layer.

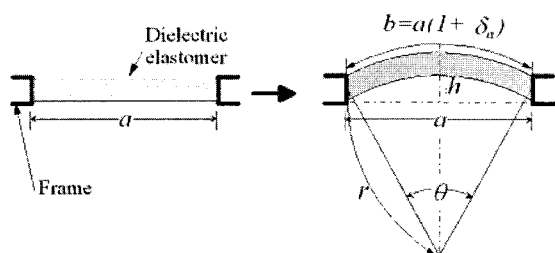


그림 4. 구동기 제작 개념.
Fig. 4. Concept of proposed actuator.

이렇게 제작된 필름은 그림 3(b)와 같이 고정하였다.

그림 4에서 나타낸 것과 같이 고분자 유전체 필름의 외각을 고정틀을 사용하여 고정할 경우 전기장의 인가에 의하여 필름이 확장하게 된다.

이때 고분자 유전체는 비압축성 재료이며 외각이 고정되어 있으므로 필름의 변형은 필름의 중심부의 원형 돌출로 나타나게 된다. 이에 관한 관계식은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 b &= a(1 + \delta_a) = r\theta \\
 r \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) &= \frac{a}{2} \quad (7) \\
 \frac{\theta}{\sin(\theta/2)} &= 2(1 + \delta_a)
 \end{aligned}$$

위의 식으로부터 변형을 δ_a 에 대한 곡률반경 r 과 θ 의 변화를 구할 수 있다. 이때 $\sin(\theta/2)$ 를 급수전개하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) &\approx \left(\frac{\theta}{2}\right) - \left(\frac{(\theta/2)^3}{3!}\right) \\
 &= \frac{\theta(24 - \theta^2)}{48} \quad (8)
 \end{aligned}$$

위에서 구한 \sin 값을 (7)에 대입하여 θ 값을 구하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\theta = \sqrt{24\left(1 - \frac{1}{(1 + \delta_a)}\right)} \quad (9)$$

또한 (7)에서의 곡률반경 r 은 다음과 같이 표현된다.

$$r = \left[\frac{(1 + \delta_a)a}{\theta} \right] \quad (10)$$

따라서 얻고자 하는 h 는 다음과 같은 식을 통하여 계산된다.

$$h = r\left(1 - \cos\frac{\theta}{2}\right) \quad (11)$$

실제 실험과 시뮬레이션에 사용된 구동기는 그림 5와 같이 설계되었다.

전체 두께는 500 μ m로 고분자 유전체는 평균 50 μ m 두께의 박막을 10회 적층하여 제작하였다. 이렇게 제작된 제원은 표 1과 같다. 유전체의 직경(d)이 고정틀의 내경(d_r)보다 조금 큰 것은 탄성체의 초기 변형된 방향으로 변위를 유도하기 위함이다.

구동기 전체 영역의 변형률을 계산하면 다음과 같다.

$$\delta_a = \delta_i \left[\frac{(d - d_r) + (1 + d_r) - 1}{d} \right] \quad (12)$$

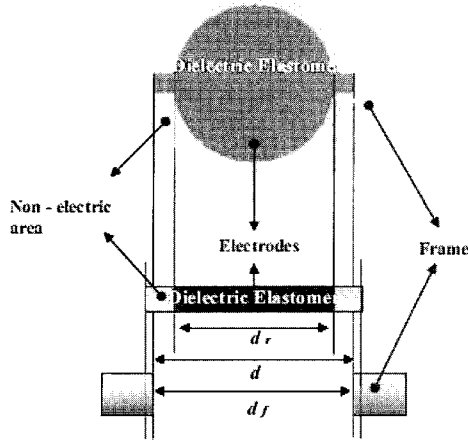


그림 5. 고분자 유전체 구동기의 구조.
Fig. 5. Construction of dielectric elastomer actuator.

표 1. 고분자 유전체의 구동기의 지름.
Table 1. Dimensions of dielectric elastomer actuator.

| | | | |
|------------|-----|------------|-----|
| d (mm) | 5.8 | d_f (mm) | 5.7 |
| d_a (mm) | 5.1 | t (mm) | 0.5 |

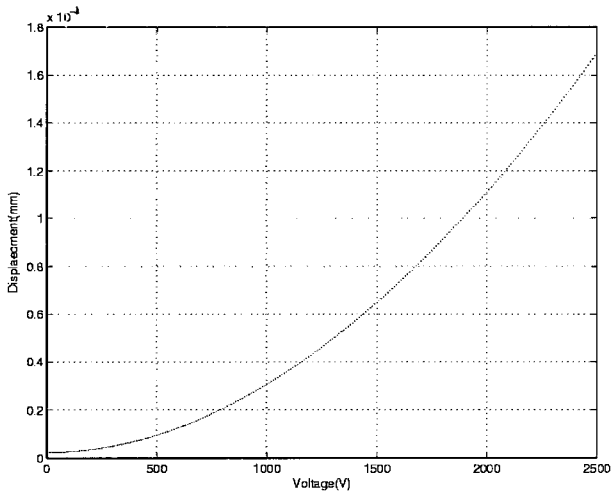


그림 6. 자극에 대한 변위.
Fig. 6. Displacement from stimulation.

d_a 는 구동기 변형률, d_i 는 초기 조건에 의한 초기 변형률로 다음과 같다.

$$\delta_i = \left(\frac{d}{d_f} - 1 \right) \quad (13)$$

d_i 은 전압이 가해진 부분의 수평 변형률로서 앞서 (4)와 (5)를 이용하여 얻어진다. 이렇게 구해진 해를 통하여 변위 h 를 구할 수 있다.

V. 점자 출력 장치 설계

기존의 동적점자출력기에 사용되어 온 점자출력 셀은 압전소자나 공압을 이용한 것들이 대부분이며, 따라서 비교적 고가이며 장치의 크기를 소형화하는 것이 용이하지 않은 문제점이 있었다. 본 연구에서는 고분자 유전체의 원리를 이용하여 기존의 이러한 단점을 극복하였다.

1. 점자출력기

동적 점자출력기는 시각장애자의 손가락에 접촉하여 점자정보를 전달하는 장치이므로 점자출력셀에 포함된 축삭 높낮이의 변화를 통하여 정보를 저달하는 장치이다. 동적 점자출력기는 그림 7에서 나타낸 것과 같이 하나의 셀(cell)은 여섯 개의 점(dot)으로 구성되어 있다. 하나의 셀이 그림 7과 같이 3x2의 기본배열로 제작되는 이유는 한글과 영어, 그 외의, 다양한 기호를 나타내기 위해서는 최소 여섯 개의 축삭자극요소가 필요하기 때문이다.

그림 9에서 나타난 것과 같이 한국 기준의 셀규격은 수

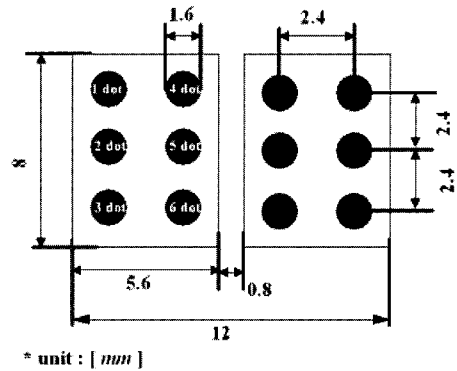


그림 7. 동적 점자 출력기 셀 규격.
Fig. 7. Electronic braille cell.

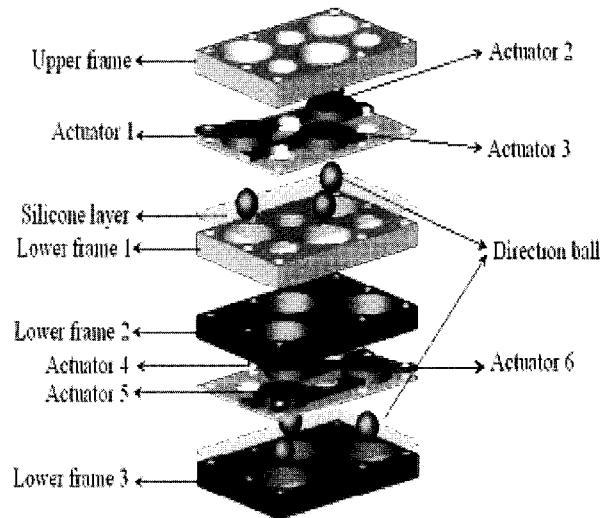


그림 8. 3x3 브레일 셀의 크로스 패턴 모델의 개략도.
Fig. 8. Schematic of cross pattern model the part of 3x2 braille cell.

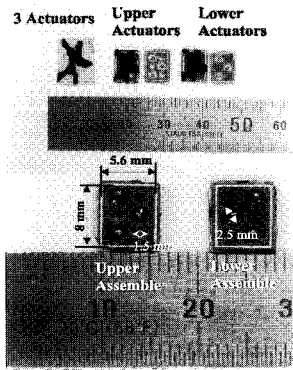


그림 9. 3x2 브레일 셀의 구성 사진.
Fig. 9. Photograph of constitution 3x2 braille cell.

평방향 수직방향으로 각각 2.17x2.3mm와 셀과 셀 사이 거리는 5.34mm로 정의 되어 있다. 이러한 규격을 종합하여 볼 때 하나의 셀의 전체 크기는 8x5.6mm로 정의된다. 하지만 국내에서 판매되고 있는 점자출력기의 대부분은 일본이나 미국에서 제작한다는 점에서 실제 국내 점자규격과는 다르게 정의되어 있다. 최근의 점자출력기의 표준 규격으로는 그림 7에서 정의된 일렉트로닉 브레일(Electronic Braille)을 표준 규격을 사용하고 있다. 일렉트로닉스 브레일의 규격은 수평, 수직 방향으로 각각 2.4x2.4mm와 셀과 셀사이의 거리는 6.4mm로 정의 되어있다.

2. 점자 출력 장치 설계

앞에서 언급한 점자출력 장치의 규격을 준수하기 위해서는 직경 2mm 미만의 구동기 제작이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 제작된 구동기의 성능을 보다 향상시키기 위해서 크로스 패턴(Cross Pattern) 방식을 적용하였다. 그림 8은 크

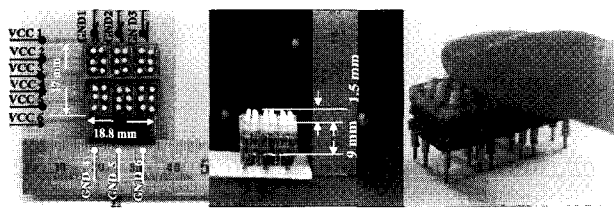


그림 10. 셀의 결합 사진.
Fig. 10. Photograph of assembled cell.

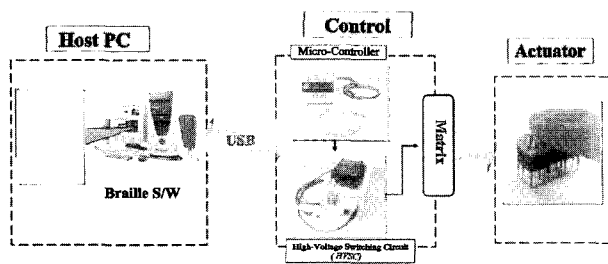


그림 11. 전체 시스템.
Fig. 11. Whole system.

로스 패턴 방식의 개요를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 전체 구동기는 여섯 개로 상부 세 개 하부 세 개로 서로 엇갈려 구성되어 있다. 이때 구동기의 직경은 2mm로 앞서 설명한 모델로 구성되어 있으며, 방향을 결정하는 방향볼(Direction ball)을 가운데 두고 샌드위치 형태로 집합한 것이다.

이 구동기의 구성은 그림 9에서 볼 수 있듯이 전체 세 개의 부분으로 이루어져 있다. 각 부분의 사이즈는 8x5.6mm (LxW)의 규격을 가지고 있으며 실제 구동기의 구동하는 부분은 직경 2.5mm의 홀(hole)로 되어있으며 촉각 자극 편을 고정하기 위한 부분은 직경 1.5mm의 구멍으로 제작되어 있다. 이 구동기의 구성은 그림 9에서 볼 수 있듯이 전체 세 개의 부분으로 이루어져 있다. 각 부분의 사이즈는 8x5.6mm (LxW)의 규격을 가지고 있으며 실제 구동기의 구동하는 부분은 직경 2.5mm의 구멍으로 되어있으며 촉각 자극 편을 고정하기 위한 부분은 직경 1.5mm의 구멍으로 제작되어 있다. 하나의 단어를 점자로 나타내는데 최소 네 개의 셀이 필요하다. 현재 상품화 되어 판매 되고 있는 점자출력기는 32셀, 256 개의 촉각 자극요소로 구성되어 있다. 본 연구에서는 이러한 다수의 촉각 요소를 고려하여 모듈 방식 (Modularity design)의 매트릭스(Matrix)배열로 제작하였다. 모듈 방식의 장점은 다수의 촉각 자극요소를 보다 효과적으로 제어할 수 있고, 반복 수행으로 인하여 발생하는 시스템의 고장이나 오류를 발견하기 쉬우며, 발견 후 교정을 수행하기 쉽다는 것이다. 또한 이러한 모듈 방식을 통하여 필요에 따라 셀의 수를 늘일 수도 줄일 수도 있는 구조로 제작되었다. 그림 10은 모듈방식을 적용하여 제작한 6x6 점자출력기 장치를 나타내고 있다.

VI. 시스템 개요

본 절에서는 다수의 구동기를 효율적으로 제어하기 위한 전체 시스템에 대하여 소개한다. 전체 시스템은 그림 11과 같이 유저 인터페이스(User Interface)를 위한 호스트 PC와 액추에이터를 제어하기 위한 내장형 제어기(Embedded controller)로 구성되며, 구동기에 전압을 인가하기 위한 고속 스위칭 회로(High-Voltage Circuit)로 구성되어 있다.

1. 통신 및 제어 회로

통신 및 제어회로는 그림 12에 나타낸 것과 같이 하나의 기판에 설계되어 있다.

전체적인 통신 및 제어는 마이크로프로세서(AVR, Atmega 163)을 이용하여 수행되며 통신 규격은 USB 1.1(Philips, PDIUSB12)을 이용하여 정보를 교환한다. 주제어기 이외에 고분자 구동기에 인가되는 고전압을 제어하기 위하여 DA converter(Texas Ins. TLV5614)와 OP-Amp(Texas Ins. TLV4112)를 사용하였다.

다수의 구동기를 제어하기 위해서는 마이크로 컨트롤러 (Microcontroller) 자체에 다수의 입출력 포트(Input/Output Port)가 요구되며, 그에 따른 하드웨어의 부담은 증가한다. 이러한 문제를 보완, 효과적인 제어를 하기 위한 방법으로 도트 매트릭스(Dot Matrix) 방법을 이용하였다. 현재 도트 매트릭스 방법은 야구장의 안내판이나 득점판은 물론이고,

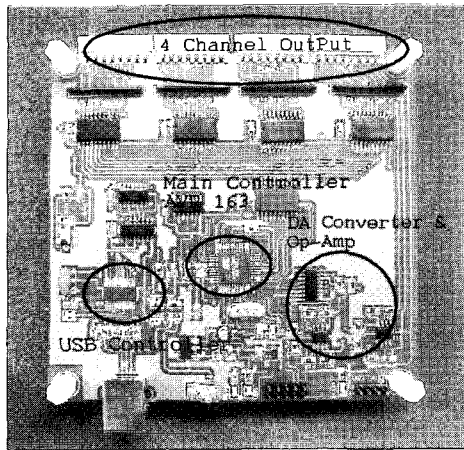


그림 12. 통신 및 제어 회로.
Fig. 12. Control and communication circuit.

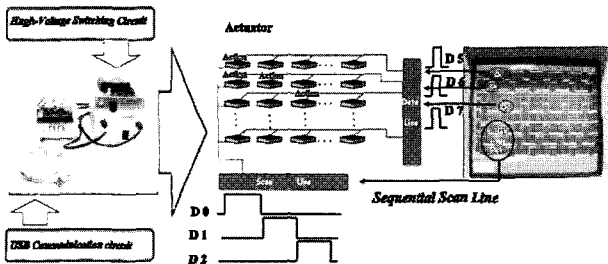


그림 13. 동적 스캔 구동 방식.
Fig. 13. Dynamic scanning driving method.

광고에도 널리 사용되고 있다. 도트 매트릭스 구동 방법은 일반적으로 동적스캔(Dynamic) 구동방법을 사용한다. 동적 스캔구동 방법은 근본적으로 눈의 잔상효과를 이용한 것으로 본 연구에서는 촉각 자극 요소의 구동 방식에 이를 적용하였다. 그림 13에서의 동적 구동방법은 x축과 y축이 만나는 점에 촉각 자극 요소가 서로 겹하고 있다.

여기서 한쪽은 데이터라인, 한쪽은 스캔(scan)라인으로 분류하여, 시분할 방법으로 스캔라인을 교체시키고, 데이터와 맞추어서 "High"/"Low"을 변화시킴에 따라, 점자 패턴을 표현한다. 그림 16에서 데이터 0,1,2,3은 순차적으로 "High"가 되는 데이터라인이며, 데이터 4,5,6,7은 실제 나타내려는 데이터, 즉 스캔라인이라고 할 수 있다. 데이터 0번이 "High"가 되는 순간 스캔라인 6,7이 "High"가 되어 실질적으로 6,7 라인에 연결된 구동기는 활성화 된다. 이와 같이 매트릭스 방식을 적용함으로써 최소의 입력 데이터를 이용하여 다수의 구동기를 보다 효율적으로 제어할 수 있었다.

2. 구동회로

고분자 유전체를 구동하기 위한 전원은 대략 1~2kV가 요구 된다. 본 절에서는 이러한 고전압을 이용한 고속 스위칭을 하기 위한 구동회로에 관하여 설명한다. 높은 주파수 대역이 필요한 촉각 디스플레이 장치에 있어 응답성능 개선은 반드시 필요한 사항이다. 응답성능 개선을 위하여 자체 개발한 HVSC(High-Voltage Switching Circuit)를 사용하였다.

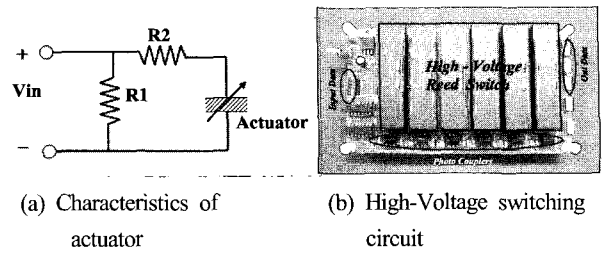
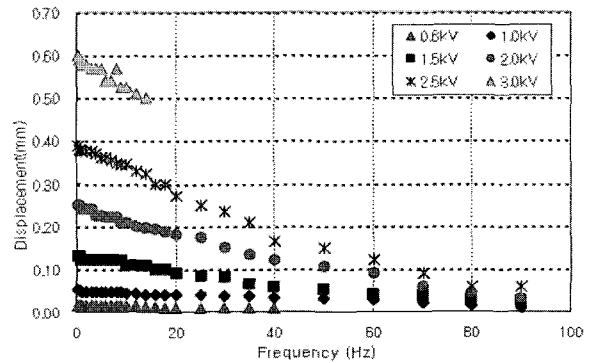
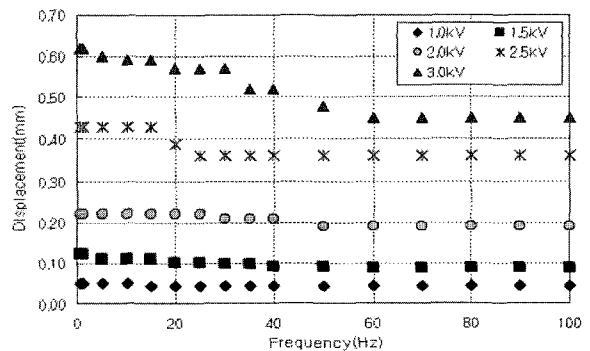


그림 14. 액츄에이터의 특성 및 고전압 스위칭 회로.
Fig. 14. Characteristics of actuator and High-Voltage switching circuit.



(a) Without HVSC



(b) With HVSC

그림 15. 스위칭 회로의 특징.
Fig. 15. Characteristic of switching circuit.

고분자 유전체는 그림 14(a)에서와 같이 회로상 커패시터(Capacitor)성분의 특징을 가지고 있다. 유전체 자체에 전원을 인가시 전원이 충전(charge)되어 단순히 전원을 제거한다 하여도 어느 시간동안은 그 잔류 전하가 남아있게 된다. 따라서 구동 주파수 증가시 축전된 전하가 미처 방전되지 못해 변위가 감소하는 현상을 볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 급속 방전 회로를 그림 14(b)와 같이 설계하였다.

HVSC는 여섯 개의 고전압 리드스위치(High-Voltage Reedswitch)와 전원의 노이즈 방지를 위하여 여섯 개의 포토커플러(Photo Couplers)로 구성되어 있다. 여섯 개의 고전압 스위치는 두개가 한 쌍을 이루며 즉, 그림 14(b)는 세 개의 구동기를 작동 시킬 수 있다. 그림 15는 HVSC의 사용여부

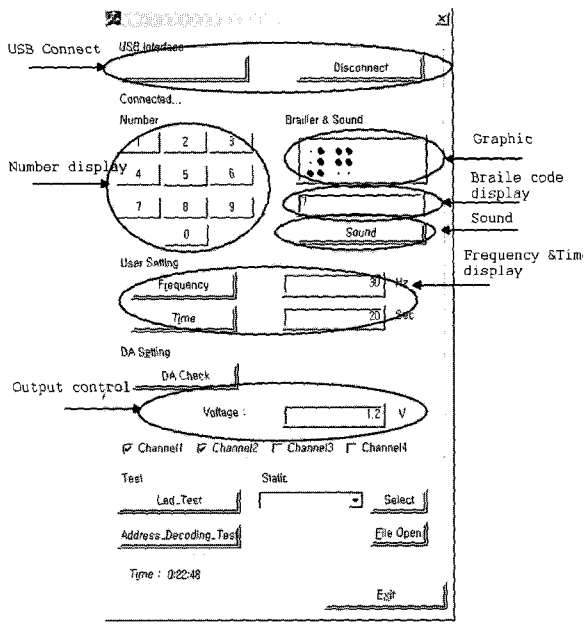


그림 16. 사용자 환경.
Fig. 16. User interface.

에 따른 주파수의 대역별 변위를 나타낸 것으로, 15(a)는 HVSC를 사용하지 않을 경우이며, 그래프에서 나타난 것처럼 높은 주파수 대역으로 갈수록 변위가 급격히 감소하는 현상을 관찰 할 수 있다. 그림 15(b)는 HVSC를 사용하여 측정된 데이터로서 높은 주파수 대역에서의 급격한 변위 감소 현상을 발견할 수 없다.

따라서 HVSC의 개발을 통하여 높은 주파수에서 일정한 변위에 근접한 데이터를 얻을 수 있었다. 이와 같이 자체 개발된 HVSC를 이용하면 약 200Hz까지의 높은 주파수로 초소형 구동기를 구동할 수 있었다.

3. 사용자 환경

그림 16은 개발된 동적 점자 출력기를 구동하기 위한 사용자 환경을 나타내며 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- USB Connect : USB 연결 여부를 확인할 수 있다.
- Number Display : 사용자가 원하는 숫자를 디스플레이 할 수 있다.
- Graphic Display : 숫자 또는 코드를 입력시 그에 맞는 점자로 전환하여 준다.
- Braille Code Display : 숫자, 문자를 디스플레이 할 수 있다.
- Sound Display : 표시된 코드를 사운드로 출력한다.
- Frequency & Time Display : 구동 주파수와 시간을 조절하여 감각의 차이를 측정할 수 있다.
- Output Control : 출력 전압을 조절하여 촉각 자극 요소의 변위를 조절할 수 있다.

VII. 실험 및 평가

본 장에서는 앞서 개발한 3×2 배열에 사용되는 직경 2mm 고분자 구동기의 성능을 평가하였으며 동적 점자출력기를 이용하여 시각 장애인에게 테스트 한 결과를 제시할 것이다.

1. 구동기의 특성 실험

구동기에 대한 특성을 측정하기 위하여 그림 17과 같이 레이저 변위 측정기(Laser displacement sensor)를 사용하여 실험을 수행하였다. 그림 18은 직경 2mm 구동기의 변위 실험 결과이다. 최대 변위는 0.3mm이며, 주파수 증가에 따라 변위의 감소를 확인할 수 있었다. 하지만 앞서 설명한 HVSC를 이용하여 높은 주파수에서의 변위의 감소를 줄일 수 있었다.

2. 시각 장애인 대상 실험 및 평가

개발된 점자 출력기를 시각장애인을 대상으로 정신물리학적 성능을 실험하기 위하여 한국 시각 장애인 연합회에

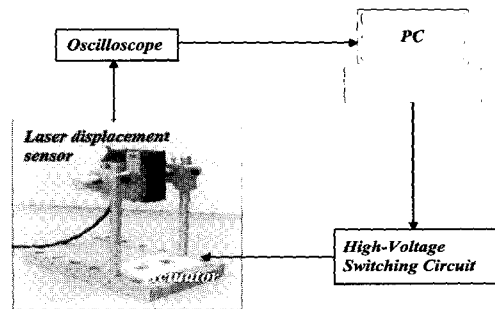
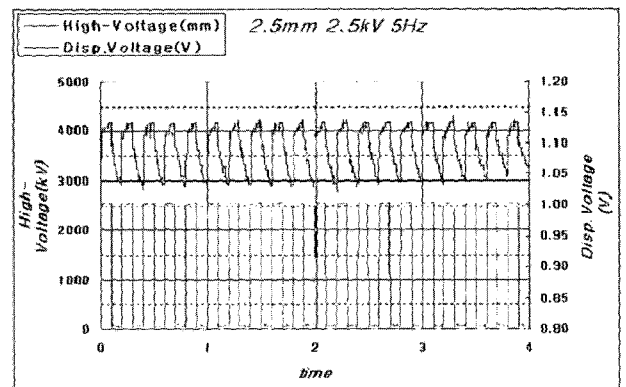
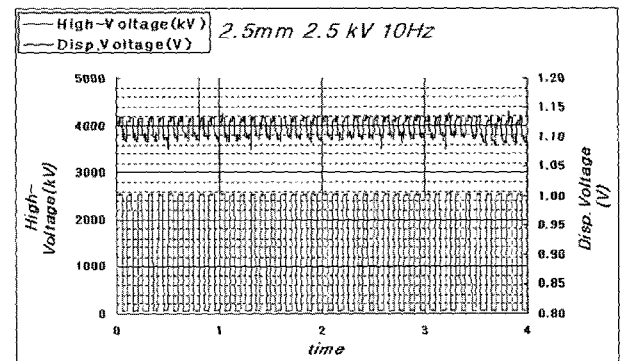


그림 17. 실험 장비.
Fig. 17. Experiment equipment.



(a) 5Hz of command frequency



(b) 10Hz of command frequency

그림 18. 실험 결과.
Fig. 18. Experimental result.

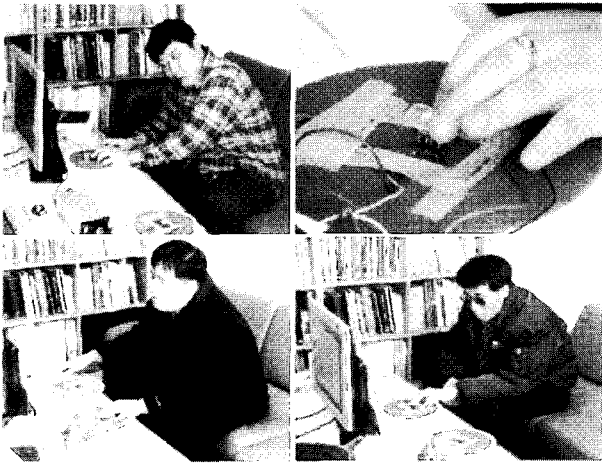


그림 19. 브레일 셀 테스트.
Fig. 19. Braille cell(4x3) test.

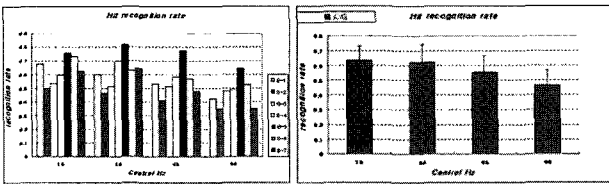


그림 20. 자극에 대한 인식률.
Fig. 20. Hit recognition rate.

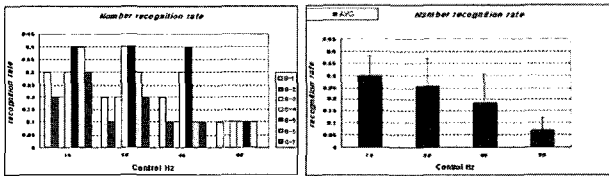


그림 21. 숫자에 대한 인식률.
Fig. 21. Number recognition rate.

서 근무하고 있는 8명을 대상으로 실험하였다. 실험에 참여한 장애인은 다음과 같다.

- 성 별 : 남자 7명, 여자 1명
- 평균 나이 : 32.6세
- 구 별 : 전맹 7명, 약시 1명

그림 19는 제작된 4x3점자 출력기를 시각 장애인에게 실험하는 모습을 보여주고 있다. 실험은 4가지 주파수 변화(15, 30, 45, 60 Hz)에 따라서 다음과 같이 인식률을 측정하는 방법으로 수행되었다.

• 점자를 나타내는 점을 정확히 인식하는 인식률 (Hit recognition rate)

• 정확히 인식한 점을 조합하여 숫자로 인식할 수 있는 인식률 (Number recognition rate)

그림 20은 점자를 나타내는 점을 정확히 인식하고 있는가에 대한 실험 결과를 나타낸 것이다. 그래프에서 볼 수 있듯

이 점에 대한 인식률은 60% 이상의 결과를 확인할 수 있다. 그림 21은 점으로 표시된 숫자를 정확히 인식하고 있는가에 대한 실험 결과를 나타낸다. 그래프에서 볼 수 있듯이 숫자에 대한 인식률은 40% 이상의 결과를 확인할 수 있다.

이와 같이 점자 출력기는 미리 연습을 통하여 새롭게 개발된 점자출력기에 대한 경험을 하지 못한 상태에서 테스트를 했을 때 점에 대한 인식률 60%와 숫자에 대한 인식률 40%라는 높은 수치를 얻을 수 있었으며, 개발된 점자출력기의 실용화 가능성을 충분히 보여주었다. 이와 아울러 실험을 바탕으로 다음과 같은 개선사항을 도출하였다.

• 현재 제작된 셀의 크기는 국제 규격을 정확히 준수하여 제작하였다. 이는 시각 장애인 8명에게 동일한 답변을 들을 수 있었다.

• 국내 시각장애인들이 사용하고 있는 점자 출력기는 대부분 미국 표준에 의해 제작된 것을 사용하고 있다. 이는 셀의 크기가 작은 것보다는 좀더 큰 것이 점자를 인식하고 손가락의 피로를 줄일 수 있는 방법으로 제안 되었다.

• 자체 개발된 점자출력기는 기존의 돌출 변위 방법과 다르게 진동에 의한 촉각전달 방식을 이용하고 있다. 최대 60Hz 까지 떨림을 이용하여 시각장애인에게 실험하였으며 실험 데이터를 분석한 결과 높은 주파수의 경우 인식률이 평균 이하의 값을 나타내었다. 이는 새로운 방식에 대한 적응 훈련시간이 부족하다고 할 수 있으나 8명의 실험자 중에 5명이 공통적으로 높은 주파수의 경우 손가락 전체에 영향을 미쳐 정확히 위치를 인식하는 것이 힘들다고 하였다.

• 일반인의 경우 책 한권을 읽다보면 눈의 피로를 호소한다. 시각장애인의 경우 손가락 끝이 정상인의 눈과 같은 역할을 한다. 일반적으로 판매되는 돌출형 점자 출력기의 경우 10분 정도 점자를 읽었을 경우 손가락 끝에 통증이 온다고 알려져 있다. 자체 제작된 점자셀의 경우 일반 돌출형 보다 피로가 빨리 찾아 올수 있다는 문제점을 제시하였다.

본 실험을 통하여 개선 사항이 몇 가지 지적되었으나 이러한 결과를 통하여 좀더 향상된 점자 출력기 제작이 가능할 것이라 믿는다.

VIII. 결론

본 연구에서는 유전 탄성체를 이용하여 초소형 구동기를 개발하고 이를 이용한 점자출력기를 제작하였다. 개발된 점자출력기의 시각장애인을 대상으로 한 인지능력 평가에서는 점자를 인식하는 인식률이 60% 이상의 결과를 보여주었으며, 이것은 출력기의 충분한 가능성과 개발된 구동기의 성능을 충분히 입증할 수 있었다.

현재의 점자출력기의 문제점을 정확히 파악하고 이를 개선한다면 90% 이상의 인식률을 나타낼 수 있을 것으로 예상된다. 또한 이를 응용하여 6x6 배열의 촉각 디스플레이를 제작하였다. 현재 제작된 구동기의 최대 수는 36개로 구성되어 있다. 하지만 이를 좀더 재선한다면 100개 이상의 구동기로 제작된 촉각 디스플레이의 적용이 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

[1] R. S. Johansson A. B. Vallbo, "Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand," *Trends in Neurosciences(TINS)*, Elsevier Biomedical Press, New York, vol. 6, no.1, pp. 27-32, 1983.

[2] B. Hannaford, L. Wood, D. McAfee, and H. Zak "Performance evaluation of a six axis generalized force reflecting teleoperator", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 21, pp. 620-633, 1991.

[3] T. Yoshikawa, Y. Yokokohiji, T. Matsumoto, and X. Zheng, "Display of feel for the manipulation of dynamic virtual objects", *ASME Journal of dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 117, no. 4, pp. 554-558, 1995.

[4] G. Moy. Wagner, R. S. Fearing, "A compliant tactile display for teletaction", *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3409-3415, 2000.

[5] M. Shinohara, Y. Shimizu, "Three-dimensional tactile display for the blind", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 249-256, 1998.

[6] P. M. Taylor, A. Moser, A. "The design and control of a tactile display based on shpae memory alloys", *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2 , pp. 1/1-1/4, 1997.

[7] D. A. Kontarinis, J. S. Son, W. Peine, R. D. Howe, "A tactile sensing and display system of teleoperated manipulation", *IEEE International Conference on Robotics Automation*, pp. 641-646, 1995.

[8] P. M. Taylor, A. J. Creed, A. H. Sianki, C. J. Varley, A. Moser, "Creating the illusion of shape for virtual environments", *IEEE Colloquium on Innovative Actuators for mechatronic Systems*, pp. 7/1-7/7, 1995.

[9] 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.

[10] D. G. Caldwell, N. Tsagarakis, C. Giesler, "Result from a tactile array on the fingertip", *Proceedings of Eurohaptics 2001, Birmingham, UK*, 2001, pp. 26-28.

[11] C. M. Chanter and I. R. Summers, "Human factors for the design of force-reflecting haptic interfaces", *Dynamic Systems and Control*, vol. 55-1, ASME, pp. 353-359, 1994.

[12] T. Maucher, K. Meier, J. Schemmel, "An interactive tactile graphics display", *International Symposium on Signal Proceeding and its Application (ISSPA), Kuala Lumpur, Malaysia*, pp. 190-193, 2001.

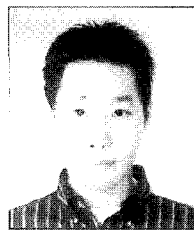
[13] G. C. Burdea "Force and touch feedback for virtual reality", *Prentice Hall, Inc*, 1990.

[14] R. Pelrine, R. Kornbluh, J. Joseph, "Electrostriction dielectrics with compliant electrodes as a means of actuation", *Sensor and Actuators A: Physical*, vol. 64, pp. 77-85, 1998.



이 상 원

2002년 서울산업대학교 기계설계학과 (공학학사). 2004년 성균관대학교 대학원 기계설계학과(공학석사). 현재 한국생산기술연구원 제직. Robot/Tactile Display.



구 익 모

2004년 명지대학교 기계공학부(공학학사). 2004년~현재 성균관대학교 대학원 기계공학부 석사 과정 재학. Robot/Artificial muscles.



정 광 목

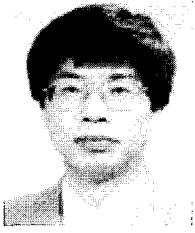
1991년 성균관대학교 기계설계학과 (공학학사). 2002년 성균관대학교 대학원 기계설계학과(공학석사). 2002년~현재 성균관대학교 대학원 기계설계학과 박사과정 재학. Artificial muscles actuator/milli/micro robots.



이 성 일

1985년 서울대학교 산업공학과(공학학사). 1987년 서울대학교 대학원 산업공학과(공학석사). 1995년 University of Wisconsin-Madison(공학박사). 1999년~현재 성균관대학교 시스템공학부 교수. Haptic/User interface/Human

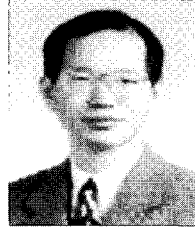
Computer Interaction.



최 후 곤

1975년 서울대학교 산업공학과(공학 학사). 1979년 서울대학교 대학원 전 자공학과(공학석사). 1981년 Iowa State University(공학석사). 1985년 Iowa State University(공학박사). 1989년~현재 성균관대학교 시스템공학부 교수.

CAD/CAPP/CAM/CIMS.



전 재 욱

1984년 서울대학교 전자공학과(공학 학사). 1986년 서울대학교 대학원 전 자공학과(공학석사). 1990년 Purdue University (공학박사. 1994년~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공 학과 교수. Robot/내장형시스템/공장

자동화.



남 재 도

1984년 서울대학교 화학공학과(공학 학사). 1996년 서울대학교 대학원 화 학공학과(공학석사). 1991년 Washington University(공학박사). 1994년~현재 성 균관대학교 고분자공학과 교수.

Polymer nanocompo sites/Direct meth-
anol fuel/전기활성 고분자를 이용한 Actuator/sensor.



최 혁 렬

1984년 서울대학교 기계공학과(공학 학사). 1986년 한국과학기술연구원 기계공학과(공학석사). 1994년 포항 공과대학교(공학박사). 1995년~현재 성균관대학교 기계공학부 교수.

Artificial muscles actuator/field-rescue
robotics/dextrous mechanism/milli/micro robot.