

고분자유전체를 이용한 동적 점자출력기

Dynamic Braille Display Using Dielectric Elastomer

최혁렬*, 이상원, 정광목, 이성일, 최후곤, 전재욱, 남재도

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

Abstract : As one of the principal modalities of human sensation, tactile feel is prerequisite for building wide variety of applications such as telemanipulation, virtual reality and medical engineering. A dynamic Braille display device based on a polymer actuator is presented. The actuator, often called artificial muscle actuator has advantageous features over the existing methods in terms of intrinsic softness, ease of fabrication, cost-effectiveness and miniaturization. The principles of actuation with dielectric elastomer is introduced, and necessary considerations on the design of a tactile display device are discussed. The design of the device is described in detail including the fabrication process and driving electronics. Also, preliminary results of experiments are given to evaluate its performance.

Keywords : tactile display device, dielectric elastomer, braille display device

I. 서론

햅틱 디스플레이(haptic display)는 원격조작(tele-manipulation)이나 가상현실(virtual reality), 기능전수(skill transfer), 훈련(training), 의용공학(medical engineering) 등 다양한 분야에서 응용이 될 수 있는 기술이며 햅틱 디스플레이의 궁극적인 목표는 사용자로 하여금 실제환경과 접촉을 하고 있는 것과 가능하면 유사하게 느끼도록 사용자의 역각 및 촉각을 자극(stimulate)하는 것이다. 따라서, 햅틱 디스플레이는 크게 나누어 역각 디스플레이(kinesthetic display)와 촉각 디스플레이(tactile display) 두 가지로 나뉜다[1]. 지금까지는 많은 연구가 역각 디스플레이에 관하여 수행되어 왔으나[2,3] 최근에 들어서 촉각 디스플레이의 중요성에 관하여 많은 연구자들이 인식하기 시작하고 있으며 원격지의 국부적인 표면 탄성, 질감, 형상 등을 전달할 수 있는 기술로 원격촉지각(tele-taction)이라는 용어까지 등장하고 있다[4]. 한편 촉각 디스플레이 장치는 시각장애자용 동적 점자출력기로 응용될 수 있으며 단순한 텍스트기반의 정보전달뿐만 아니라 그림이나 동영상, 웹서핑까지 가능하도록 할 수 있는 정보전달 장치로 사용될 수 있다[5].

그림 1에 나타낸 것과 같이 전형적인 촉각 디스플레이 장치는 사용자의 피부와 접촉하는 부분의 변위 혹은 힘을 능동적으로 제어함으로써 촉각을 자극하며 이로부터 촉감을 전달한다.

촉각 디스플레이 장치의 핵심기술은 좁은 면적에 다수의 촉각 자극요소(tactile stimulating element)를 배치하는 데 있으며

인간의 피부감각을 모사할 수 있을 만큼 다수의 구동기(actuator)를 좁은 면적에 집적할 수 있는 기술이 중요하다. 이상적인 촉각 디스플레이를 위한 구동기의 밀도는 $1개/mm^2$ 이며 2mm정도의 돌출부, 각 촉각 자극요소당 1N이하, 구동속도 50Hz이상, $10W/cm^2$ 정도의 에너지밀도를 가져야 하는 것으로 알려져 있다[6,7]. 이는 인간 손의 접촉면에 대하여 실험적으로 구한 결과이나 인간의 손은 자극속도와 자극의 깊이, 힘의 세기등 관련된 요소들의 조합에 따라 반응에 관한 민감도의 차이가 존재하며 또한 손바닥의 부위에 따라서도 많은 차이가 있으므로 실제로 촉각 디스플레이의 설계를 할 때에는 다양한 형태의 장치를 고안할 수 있다. 촉각 디스플레이에 관한 사전연구로는 공압과 솔레노이드를 이용한 기구, 형상기억 합금을 이용한 것, 보이스코일(voice coil)구동기를 이용한 것, 정전기원리를 이용한 것, 고분자재료를 이용한 것 및 전기를 이용한 피부자극기 등이 발표된 바 있다[6-11].

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 4. 10., 채택확정 : 2003. 5. 21.
 최혁렬 : 성균관대학교 기계공학부(hrchoi@me.skku.ac.kr)
 이상원, 정광목 : 성균관대학교 기계설계학과
 (last879@me.skku.ac.kr / jungkmok@me.skku.ac.kr)
 이성일, 최후곤 : 성균관대학교 시스템 경영학부
 (silee@yurim.skku.ac.kr / hgchoi@yurim.skku.ac.kr)
 전재욱 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부(jwjeon@yurim.skku.ac.kr)
 남재도 : 성균관대학교 응용화학부(jdnam@skku.ac.kr)

※ 본 연구는 보건복지부 협동기초연구지원과제(과제번호 02-PJ3-PG10-30415-0001)의 지원으로 수행된 것으로 이에 과제의 수행에 도움을 주신 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

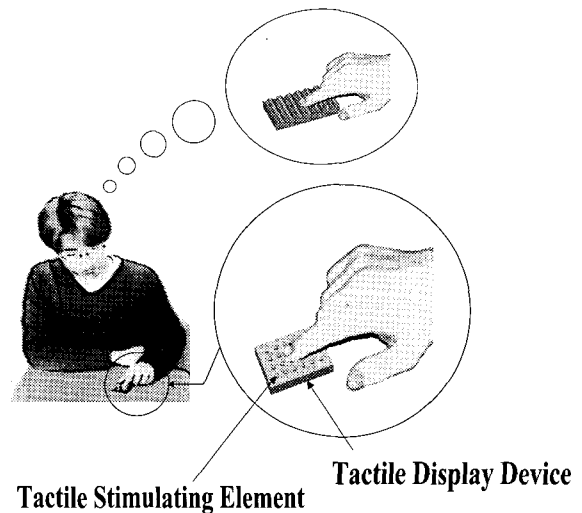


그림 1. 촉각 디스플레이의 개념도.
 Fig. 1. Schematic diagram of tactile display.

본 연구에서는 고분자 재료를 이용한 촉각 디스플레이 장치를 제안하고 이를 이용한 동적 점자출력기 관하여 기술한다. 이 장치는 고분자 유전체를 이용한 구동기가 배열형태로 배치된 것으로 구동기를 구동함으로써 생기는 피부표면과의 압력변화를 이용하여 실제의 접촉이나 힘의 상호작용을 통하여 느낄 수 있는 것과 같은 감각을 느낄 수 있도록 한다.

본 연구를 통하여 제안된 장치는 기존의 장치들과 구별되는 몇 가지 특징을 가지고 있다. 첫째로 장치의 촉각 디스플레이 요소들이 고분자 재료를 이용한 구동기로 구성되어 있기 때문에 기존의 장치들에 비하여 부드러우며(compliant) 부드러운 정도도 제어할 수 있다(compliance controllable). 둘째로 고분자 재료를 이용하고 있는 장치의 특성상 재료비가 저렴할 뿐더러 간단하게 가공할 수 있다(ease of fabrication, cost effectiveness). 셋째로 제안된 장치는 소형화하기 쉬우며 구동기의 밀도를 증가시키는 것이 용이하다(higher actuator density). 실제로 앞서 열거한 세가지 주요한 장점들은 기존의 촉각 디스플레이 장치들의 기술적인 한계로서 인식되어 왔던 사항들이며 본 연구에서 제안하는 기술을 통하여 향상된 촉각 디스플레이 장치 및 동적 점자출력기의 개발이 가능하다.

본 논문에서는 먼저 장치를 설계하기 위한 사전연구로서 인간 피부감각기의 구조 및 촉각 전달체계에 관하여 고찰하고 이를 바탕으로 적절한 촉각 전달장치를 설계하기 위한 사양을 도출한다. 다음으로 본 연구에서 사용하고 있는 고분자 유전체를 이용한 구동기에 관하여 간략하게 소개한 후 이를 이용한 촉각 디스플레이장치의 구동원리에 관하여 설명한다. 셋째로는 배열형태의 촉각 디스플레이장치의 설계 및 가공 방법에 관하여 기술하고 이를 구동하기 위한 구동회로를 제안한다. 촉각 디스플레이장치는 다수의 구동기를 조화롭게 구동해야 하므로 이를 효율적으로 구동하기 위한 회로의 개발도 매우 중요하다. 본 연구에서는 단일전원을 스위칭하여 다수의 구동기를 구동하는 방법을 소개한다. 끝으로 제안한 촉각 디스플레이장치를 이용한 시각장애자용 동적 점자출력기(Dynamic Braille Display for Visually Impairments)에 관하여 설명하고 성능평가를 위한 간단한 실험결과도 부연한다.

II. 인간의 촉각에 관한 고찰

실감나는 촉각 디스플레이를 하기 위해서는 필연적으로 감각에 영향을 미치는 촉각신경에 관한 생리학적 이해가 필수적이다. 인간촉각의 민감도에 관한 연구에 따르면 촉각 디스플레이 장치는 촉각 자극요소(tactile stimulator element)의 간격, 변위, 힘 등 다양한 물리적 요소가 관련이 있다고 보고되어 있다.

인간 손의 외피단면을 개략적으로 도시하면 그림 2 와 같이 Meissner, Merkel, Ruffini, Pacinian 소체와 같은 감각기들이 표피로부터 체내에 이르기까지 계층적으로 분포한다. 일반적으로 인간의 피부는 압력 및 진동뿐만이 아니라 온도, 미끄러짐까지 감지를 하며 본 연구에서는 피부에 압력과 진동감각을 전달할 수 있는 장치에 관해서 기술한다. 정신물리학적 연구에 따르면 촉각을 계량화할 수 있는 중요한 요소들을 정리하면 다음과 같다. 두 개의 자극점 사이의 구별을 위한 한계값(Two Point Discrimination Threshold: TPDT)은 동시에 두

점을 접촉했을 경우 구별될 수 있는 최소의 거리를 말하며 손끝에서 1~3mm 거리이며 손바닥에서 10mm 정도이다. 따라서 평균적인 손의 크기를 생각할 때 손가락과 손바닥을 포함한 전 면적에 촉각 디스플레이를 하기 위한 촉각 자극요소의 개수는 대략 1000 개 이상이 필요하다는 것을 알 수 있다.

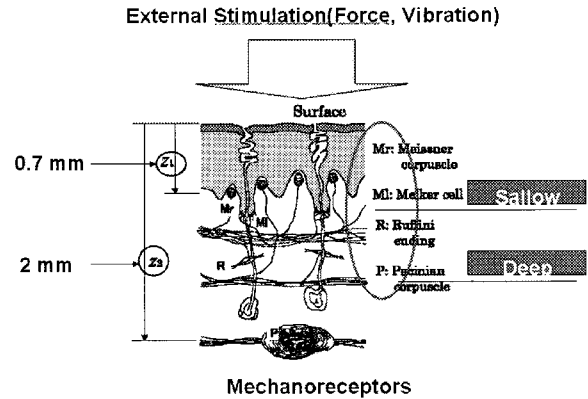


그림 2. 인간 손바닥의 외피 단면구조.
Fig. 2. Vertical crosssection through the glabrous skin of the human hand.

인간의 촉각으로 인지가능한 진동 주파수는 1000Hz 이며 250Hz 에서 최대 민감도를 갖는다. 또한, 손끝에서의 최대 변형은 3.5mm 이며 고통에 관한 한계값은 반경 1.75mm 의 원형 편으로 눌렀을 경우 3.2N 이므로 대략 1.3MPa 정도의 압력이 한계값이라고 계산할 수 있다. 최소 인지가능한 변형은 손가락이 횡방향으로 움직일 수 있다고 했을 경우 0.07 μm 이며 그렇지 않을 경우에는 2 μm 이다. 이와 같은 연구를 종합하여 Moy 등은 이상적인 촉각 디스플레이를 위한 조건을 다음과 같이 정리하였다[4]. 손바닥에 미치는 최대압력은 500m N/mm², 변위는 4mm 이며, 50Hz 의 대역폭과 1 개 N/mm² 정도의 촉각 자극요소의 밀도가 필요하다고 말하고 있다. 이와 같은 연구결과를 통하여 개략적인 촉각 디스플레이 장치의 사양은 추정할 수 있으며 1 개/mm²의 촉각 자극요소 밀도, 변위 1~2mm, 구동주파수 100~300Hz 이다. 그러나 구동변위 및 주파수와 같은 정확한 촉각 디스플레이장치의 사양은 장치를 제작한 후 사용을 대상으로 한 정신물리학적 실험을 통하여 결정될 수 있다.

III. 고분자 유전체 구동기

고분자 유전체를 이용한 구동기의 원리를 간략하게 설명하면 다음과 같다. 실리콘이나 우레탄과 같이 유전율이 높은 유연한 고분자재료의 양면에 부드러운 전극을 입히고 (고분자재료의 경우 면적스트레인이 수십%이상 되기도 하므로 부드러운 전극을 입히는 것이 매우 중요한 기술이다) 전압을 가하면 양쪽 표면에 쌓이는 양과 음의 전하에 의하여 상호간에 인력이 발생하고 이로 인하여 고분자유전체가 두께방향으로는 압축을 하고 면적방향으로는 팽창을 하는 원리이다 [12]. 그림 3에 나타낸 것과 같이 고분자 유전체는 정전기력 (electrostatic force)을 이용한 구동기와 유사하며 일종에 전기

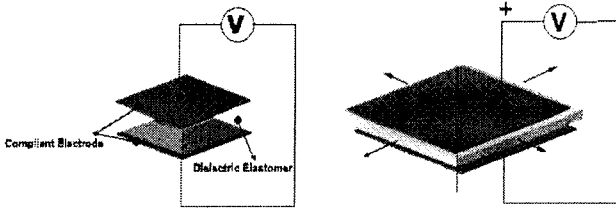


그림 3. 고분자 유전체의 구동원리.
Fig. 3. Actuation principle of dielectric elastomer.

장에 의해서 유도된 변형현상으로 볼 수 있다(Maxwell stress). 따라서, 간단한 정전기력에 의한 변형 모델을 바탕으로 유효 변형압력을 유도하게 되면 (1)을 얻을 수 있다.

$$\sigma = \epsilon_r \epsilon_0 E^2 = \left(\frac{V}{t}\right)^2 \quad (1)$$

여기에서 ϵ_r 과 ϵ_0 는 각각 상대유전율과 대기중에서 유전체의 절대유전율을 나타내며, σ 는 두께방향의 스트레스, V 와 t 는 각각 가해진 전압과 두께를 나타낸다. 따라서, (1)에 의하면 고분자 유전체의 스트레인은 가해진 전압의 제곱에 비례한다는 것을 알 수 있다.

IV. 촉각 자극요소의 구조 및 구동원리

촉각 디스플레이장치는 고분자 유전체로 만들어진 촉각 자극요소를 2차원 배열로 배치한 것으로 본 절에서는 먼저 촉각 자극요소의 구조 및 구동원리에 관하여 기술한다. ANTLA(ANTagonistically-driven Linear Actuator)로 불리우는 촉각 자극요소는 그림 4와 5에 나타난 것과 같이 두 장의 고분자 유전체 필름을 겹쳐놓은 구조의 구동기이며 각각의 필름은 양면에 유연한 전극이 도포되어 있어서 독립된 입력전압을 인가할 수 있다[13-15]. 그림 5의 조립도에서 볼 수 있는 것처럼 전극이 코팅된 두 장의 고분자 유전체가 마주치는 면은 공통전극(Common)이며 상하부의 양 표면은 각각 독립적으로 구동할 수 있는 분리된 전극 A와 B를 갖고 있다.

그림 6(a)에 예시한 경우에 대하여 촉각 자극요소의 기본적인 구동원리를 설명하여 보자. 그림 6(a)에 나타난 것과 같이 전극 A에 양(+)의 전압을 가하고 전극 B에 음(-)의 전압을

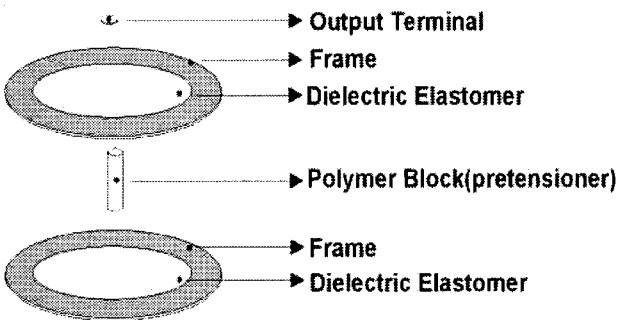


그림 4. 촉각 자극요소의 분해도.
Fig. 4. Disassembly drawing of tactile stimulator element.

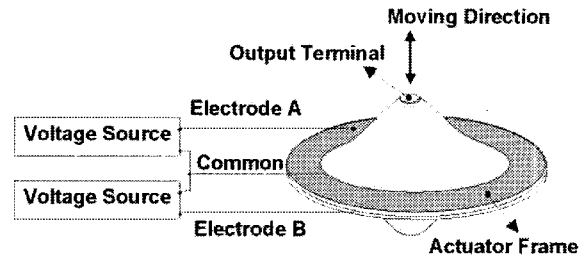


그림 5. 촉각 자극요소의 조립도.
Fig. 5. Assembly drawing of tactile stimulator element.

가하게 되면 전극 A가 있는 고분자 유전체는 팽창하게 되며 이에 따라서 두 고분자 유전체 필름간의 선장력(pretension)의 차이로 인하여 전극A가 입혀져 있는 쪽으로 출력단이 이동한다(이 경우를 대표적으로 state 1이라고 표시하자).

역으로 그림 6(b)에 나타난 것과 같이 전극 B만을 양(+)의 전압으로 구동하고 전극 A의 부분은 음(-)의 전압을 인가하게 되면 출력단은 반대방향으로 움직이게 된다 (state 2). 또한 그림 6(c)에서 양쪽의 전극에 양(+)의 전압을 동시에 가하게 될 경우 전극 A 및 B에 있는 두 고분자 유전체가 동시에 팽창하게 되므로 외관상 출력단의 움직임은 없으나 상대적으로 움직이는 데에 힘이 적게 드는 매우 부드러운 상태로 변

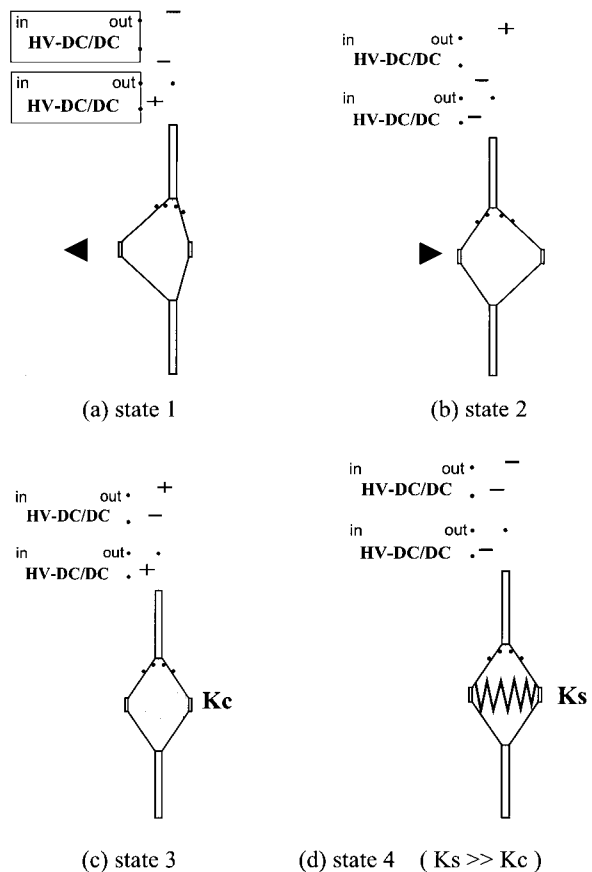


그림 6. 촉각 자극요소의 구동원리.
Fig. 6. Actuation principle of tactile stimulating element.

표 1. 입력전압에 따른 촉각 자극요소의 상태.

Table 1. State of element depending on input voltages.

state	상태	전압의 극성(ABC)
State 1	좌측으로 이동	(+) (-) (-) 혹은 (-) (+) (+)
State 2	우측으로 이동	(-) (+) (+) 혹은 (+) (-) (-)
State 3	낮은 강성	(+) (+) (-) 혹은 (-) (-) (+)
State 4	높은 강성	(-) (-) (-) 혹은 (+) (+) (+)

하게 된다(state3). 끝으로 그림 6(d)는 어느 쪽의 진극도 구동을 하지 않는 경우에 해당하며 고분자 유전체의 구조적인 강성을 그대로 가지게 되어 상대적으로 강성이 높은 상태를 유지하게 된다 (state 4).

따라서 표 1에 정리된 것처럼 진극에 가하는 전압의 극성에 따라서 좌우(상하)병진운동과, 매우 부드러운 상태(highly compliant state)와 강성이 매우 높은 상태(highly stiff state) 등, 네 가지 대표적인 상태를 얻을 수 있으며 이와 같은 이유로부터 인공근육 구동기(artificial muscle actuator)라고 불리우기도 한다.

V. 동적 점자출력 장치의 설계 및 제작

본 절에서는 앞서 기술한 촉각 자극요소를 이용하여 시각 장애인용 동적 점자출력기의 점자출력셀(Braille cell)의 설계 및 제작에 관하여 기술한다. 동적 점자출력기는 시각장애자의 손가락에 접촉하여 점자정보를 전달하는 장치이므로 점자출력셀에 포함된 촉각 자극요소의 높낮이의 변화를 통하여 정보를 전달하는 장치이다. 시각장애인을 위한 동적 점자출력기에서 한글이나 영어를 나타내기 위해서는 3x2개의 촉각 자극요소(6 pin)로 이루어진 점자출력셀이 필요하며 기타 중국어등과 같은 외국어를 표현할 경우에는 4x2개의 촉각 자극요소(8 pin)가 포함된 점자출력셀이 필요하다. 그림 7은 알파벳을 표시하기 위한 점자부호를 예시한 것으로 그림에서 검은 점으로 표현된 부분은 활성화(active)되어 있는 촉각 자극요소를 표시한다. 촉각 자극요소는 높이가 변하거나 혹은 진동을 함으로서 활성화되며 활성화된 요소의 위치에 따라서 점자로 표시된 알파벳문자를 나타낸다. 그림 7로부터 "D"를 표시하고자 할 경우 우측 모서리부분에 있는 세 개의 촉각 자극요소를 활성화 시키면 된다. 기존의 동적 점자출력기에 사용되어 온 점자출력셀은 압전소자나 공압을 이용한 것들이 대부분이며 따라서 비교적 고가이며 장치의 크기를 소형화하는 것이 용이하지 않은 문제점이 있었다.

본 연구에서 제안된 점자출력셀은 상기와 같은 기존의 점자출력기의 단점을 극복할 수 있는 방식이라고 생각되며 장치의 상세한 구조는 그림 8에 나타낸 것과 같다. 그림 8에 나타낸 것과 같이 점자출력셀은 6개의 촉각 자극요소가 3x2 형태로 배열되어 있다. 제작된 점자출력셀의 실제 모습은 그림 9에 나타낸 것과 같으며 실제로 상용화된 점자출력셀의 2배의 크기로 제작되었다.

그림 10은 본 연구를 통해서 최종적으로 개발될 시각장애자용 동적 점자출력기의 개념도를 예시한 것으로 점자출력셀

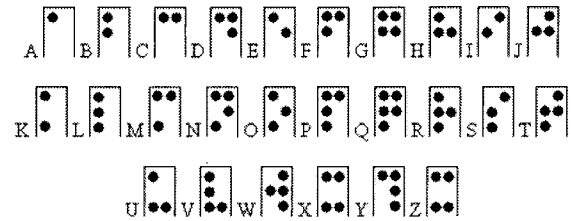


그림 7. 알파벳 점자부호.
Fig. 7. Braille code for Alphabet.

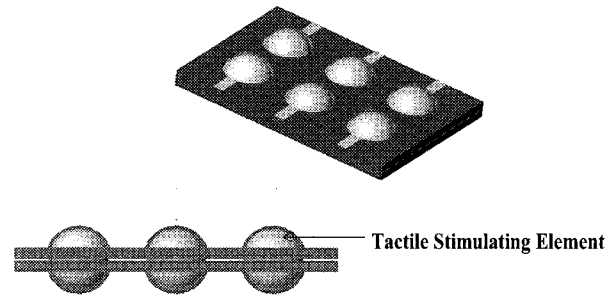


그림 8. 동적 점자출력기용 점자출력셀의 개념도.
Fig. 8. Schematic of Braille cell for dynamic Braille display

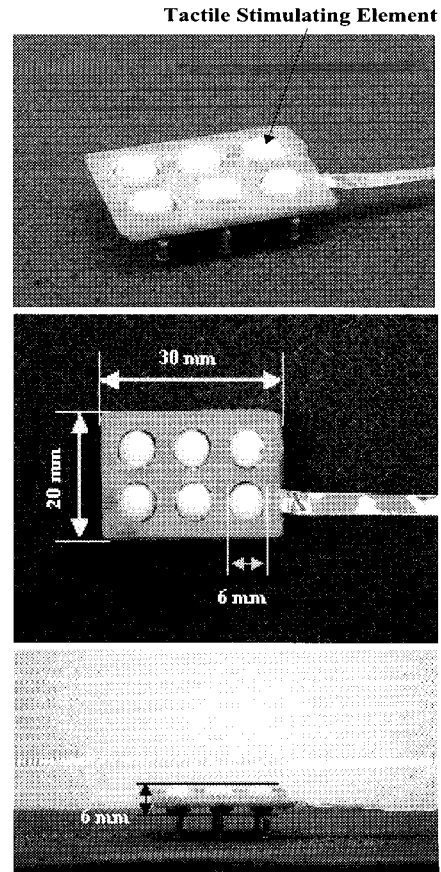


그림 9. 점자출력셀의 실물사진.
Fig. 9. Photograph of Braille cell.

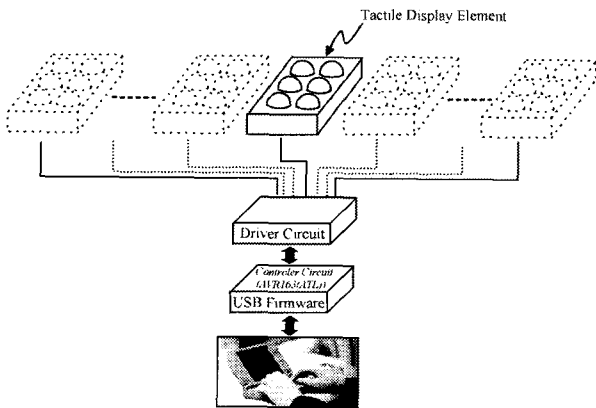


그림 10. 시각장애자용 동적 점자출력기 개요.
Fig. 10. Photograph of dynamic Braille display.

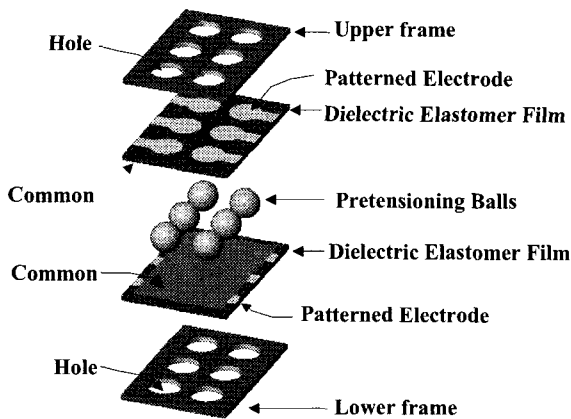


그림 11. 점자출력셀의 구조.
Fig. 11. Schematic of tactile display device.

을 횡방향으로 80개 배열하고(컴퓨터 화면이 횡방향으로 통상 80개의 문자를 포함할 수 있기 때문) 점자출력 패턴의 리프레쉬와 디스플레이(refresh/display)를 반복함으로써 정보를 전달한다.

그림 9에서 나타난 것과 같이 개발된 점자출력셀은 상부에는 3x2배열 형태의 전극을 입히고 하부에는 공통전극을 입힌 두 장의 고분자유전체를 구형의 선장력기(pretensioner)를 가운데에 두고 샌드위치형으로 접합한 것이다.

제안된 촉각제시장치는 구조가 간단하기 때문에 단순한 공정을 통해서 제작할 수 있다는 장점이 있다. 제작공정은 두 장의 고분자 유전체 필름의 표면에 전극의 형상을 코팅한 후 접합하는 것이 전부이며 선장력(pretensioner)기는 필름과 함께 몰딩(molding)을 하거나 이미 제작된 필름에 접합을 하는 방식으로 제작한다. 그림 8에는 선장력기가 구형으로 표시되어 있으나 실제로는 원통과 같은 형상도 가능하며 단지 필름에 장력을 줄 수 있는 구조이면 설계요건을 충족한다.

또한, 고분자 유전체는 변형이 매우 크므로 유전체의 변형을 방해하지 않도록 연신율이 높고 전기전도도(conductivity)

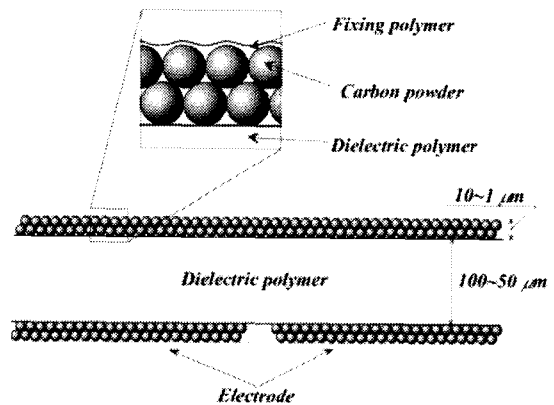


그림 12. 전극의 구조.
Fig. 12. Structure of electrode.

가 뛰어난 전극을 가공해야 하며 이 부분이 가공상 가장 어려운 공정이다. 본 연구에서는 그림 12에 개념적으로 나타난 것과 같이 탄소분말(carbon)을 고분자 유전체에 코팅한 후 실리콘(silicone)을 이용하여 고정시키는 방식을 적용하였으며 이 방법은 수십 %를 넘는 고분자 유전체의 변형에도 전극 자체가 파괴되지 않고 도전성 또한 변함없이 유지될 수 있는 장점이 있다.

VI. 구동 및 제어회로

점자출력셀을 위한 회로는 크게 나누어서 구동회로와 제어 및 통신회로로 구성된다. 한 개의 점자출력셀에는 12개의 독립된 구동회로가 필요하며 이를 위한 효율적인 구동방식을 고안할 필요가 있다. 본 연구에서는 이를 위하여 그림 13에 도시한 것과 같이 스위칭회로를 이용하여 매트릭스 형태로 구동하는 방식을 개발하였다. 그림에서 Drive circuit이라고 표시된 부분은 단일전원으로 연결되어 있으며 Sampling circuit을 이용하여 접지를 하도록 함으로서 순간적으로 한 개의 구동기만이 전원과 연결되도록 설계되어 있다.

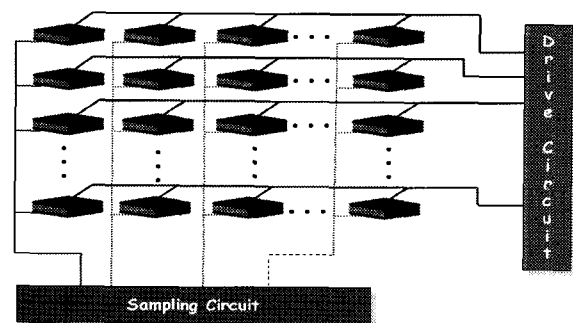


그림 13. 구동회로 개략도.
Fig. 13. Schematic of driving circuit.

한 편 고분자 유전체의 경우 대략 1~2 kV정도의 고압전원이 필요하므로 잡음의 영향을 고려하여 구동회로를 설계하였다. 그림 14는 본 연구를 통하여 제작된 구동회로의 실물 사진으로 6개의 릴레이(relay)소자를 이용하여 3개의 촉각 자극요소를 구동한다. 따라서 1개의 점자출력셀을 구동하

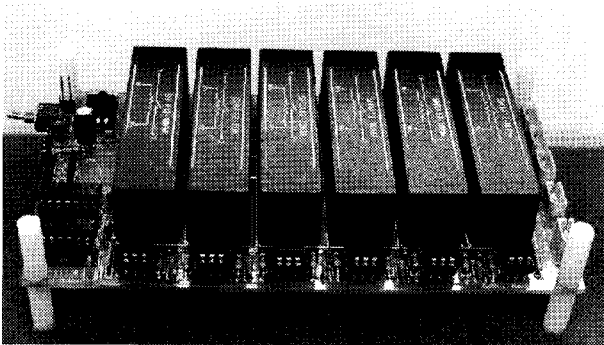


그림 14. 구동회로 실물사진.
Fig. 14. Photograph of driving circuit.

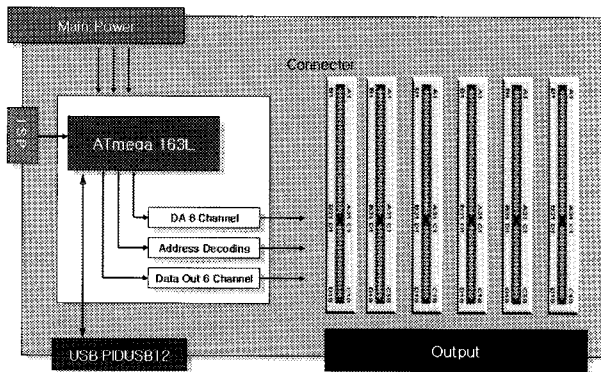


그림 15. 구동/제어/통신회로의 구조.
Fig. 15. Schematic of driving, control and communication circuit.

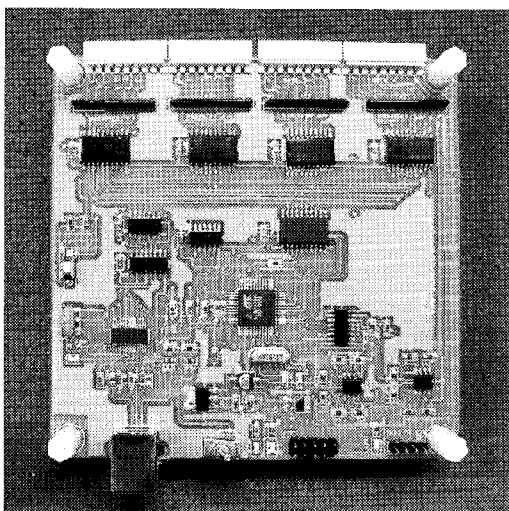


그림 16. 제어/통신회로의 실물사진.
Fig. 16. Photograph of control and communication circuit.

기 위해서는 그림 14의 구동회로가 2개 필요하다. 제어 및 통신회로는 그림 15에 나타난 것과 같이 하나의 기판에 설계되어 있으며 외부세계와 USB1.1 통신규격을 이용하여 정보를 교환한다. 촉각 디스플레이 장치의 전체적인 통신 및 제어

는 마이크로프로세서(AVR, Atmega 163L)을 이용하여 수행되며 제어를 위한 프로그램과 USB 통신을 위한 펌웨어(firmware) 모두 자체 개발하였다. 제어 및 통신회로는 6개의 구동회로가 접속이 될 수 있도록 커넥터를 가지고 있다.

제어 및 통신회로는 USB 통신을 할 수 있기 때문에, USB 허브(HUB)를 이용하여 다수의 촉각 디스플레이 장치를 연결해서 사용할 수 있다. 그림 16은 제작된 제어 및 통신회로의 실물사진이다.

VII. 실험 및 평가

먼저 촉각 자극요소의 성능을 평가하기 위하여 펄스응답과 주파수 응답성능에 관하여 실험을 수행하였다. 촉각 자극요소의 변위는 레이저변위계를 이용하여 측정하였고 전압 및 입력주파수에 따른 응답의 변화를 측정하였다. 그림 17은 입력전압에 따른 변위를 도시한 것이다. 이력현상(hysteresis)을 볼 수 있으나 (1)에서 예측할 수 있는 것처럼 대략 입력전압의 제곱에 비례하는 응답을 얻을 수 있었다. 그림 18과 19은 촉각 자극요소의 펄스응답성능 및 주파수응답 결과를 도시한 것이다. 펄스응답의 경우 정해진 입력전압에 대한 반응을 출력한 것이며 주파수응답은 입력전압을 바꾸어가며 응답을 측정하였다. 고분자 유전체로는 Nusil사의 실리콘을 사용하였으며 필름의 두께는 70 μm 로 가공하였다.

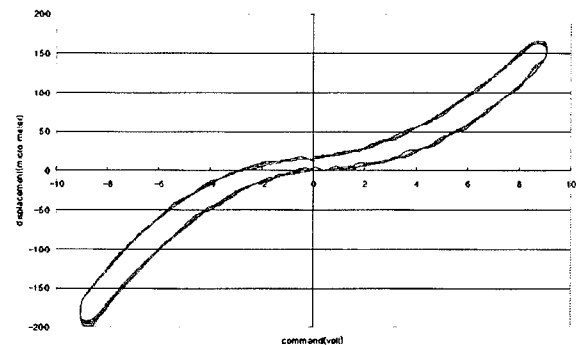


그림 17. 촉각 자극요소의 입력전압과 변위.
Fig. 17. Displacement vs. input voltage of tactile stimulating element.

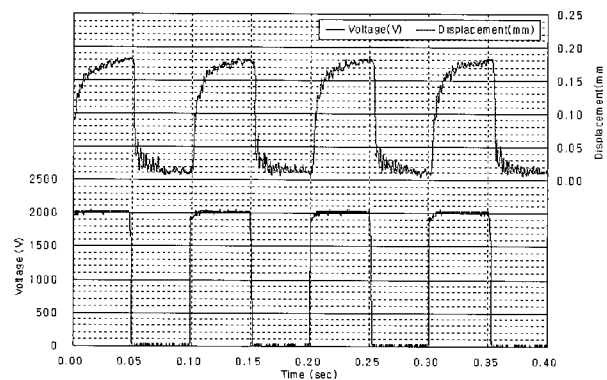


그림 18. 촉각 자극요소의 펄스응답.
Fig. 18. Pulse response of tactile stimulating element.

고분자재료가 내재하고 있는 댐핑효과로 과도응답에서 오버슈트(overshoot)는 볼 수 없었으나 주파수특성에 관한 실험 결과 100Hz 이상의 속도로 구동할 수 있음을 확인하였다.

아울러 개발된 촉각 디스플레이 장치를 가지고 정신물리학적 촉각반응실험을 수행하였다. 정신물리학적 평가실험에서는 한 개의 촉각 자극요소를 사용하였으며 형상인식평가 실험에서는 2개의 점자출력셀(12elements)을 사용하여 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 정상인을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험결과 한 개의 촉각 자극요소를 사용한 실험에서는 최적의 구동진동수는 200~250Hz임을 확인할 수 있었고 200msec 이상 진동시간이 지속되어야 인식률이 높아진다는 것을 알게 되었다. 점자출력인식을 위한 형상인식 및 판독실험은 정상인을 대상으로 실험한 결과 약 67% 정도의 판독율을 갖는 것으로 판명되었다. 판독율이 기대치 보다 낮게 나온 이유는 장치의 구동방식이 최적화 되지 않은 것이 가장 큰 이유라고 생각되며 또한 실험이 촉각 자극에 대하여 예민하지 않은 정상인을 대상으로 수행된 것도 하나의 이유라고 생각된다. 상기의 실험결과는 정상인을 대상으로 한 예비 실험결과이며 촉각 자극의 속도 및 변위와 관련된 추가적인 실험을 수행한 후 최적의 촉각 자극조건을 추출할 예정이다. 추후 장치의 개선이 완료된 후 시각장애인을 대상으로 한 실험을 수행할 예정이며 동적 점자출력셀의 크기를 축소하고 설계변경을 통하여 판독율을 높일 수 있는 방안을 고려하고 있다.

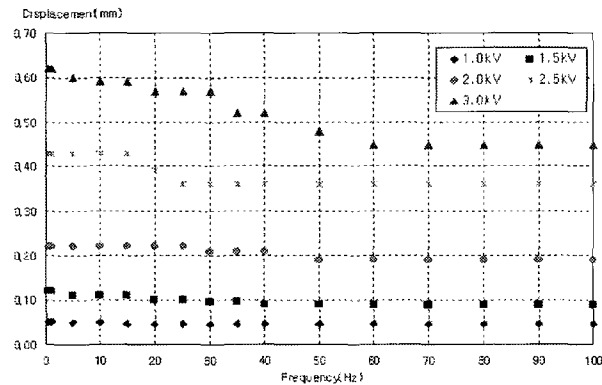


그림 19. 촉각 자극요소의 주파수 응답.
Fig. 19. Frequency response of tactile stimulating element.

VIII. 결론

고분자 유전체를 이용한 촉각 디스플레이 장치와 이의 응용 예로서 장애자용 점자출력셀을 개발하였다. 촉각 디스플레이 장치는 기본적으로 작은 면적에 다수의 구동기를 2차원적으로 배열하는 것이 필수적이며 본 연구에서 제안한 기술은 기존의 방법에 비하여 용이하게 이를 구현할 수 있다는 장점이 있다. 이는 고분자재료가 갖고 있는 가공의 용이함과 저렴한 가격 등의 장점에 기인한다. 실제로 이를 이용한 장애자용 동적 점자출력셀의 개발은 완료하였으며 장치의 설계개선 및 시각장애인을 대상으로한 정신물리학적(psychophysics) 실험을 수행할 예정이다. 본 연구에서 제안한 촉각 디스플레이 장치는 장애자용 점자출력셀의 용도 뿐만이 아니라 가상현실 및 원격조작

등에 사용될 수 있으며 추후 이에 관한 연구를 통하여 장치의 효용성을 입증하게 될 것이다.

참고 문헌

- [1] R. S. Johansson and A. B. Vallbo, "Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand," *Trends in Neurosciences(TINS)*, vol. 6, no.1, Elsevier Biomedical Press, New York, 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. Yokokohji, 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, C. 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] M. Jungmann, H. F. Schlaak, "Taktiles display mit elektrostatischen polymer aktoren", *Proc. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium(in German)*, 2002.
- [7] N. Asamura, T. Shinohara, Y. Tojo, N. Koshida, H. Shinoda, "Necessary spatial resolution for realistic tactile feeling display", *Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1851-1856, 2001.
- [8] D. G. Caldwell, N. Tsagarakis, and C. Giesler, "An integrated tactile/shear feedback array for stimulation of finger mechanoreceptor", *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 287-292, 1999.
- [9] T. Debus, T. J. Jang, P. Dupont, R. Howe, "Multi-channel vibrotactile display for teleoperated assembly", *Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 592-597, 2002.
- [10] H. Tang, D. J. Beebe, "A microfabricated electrostatic haptic display for persons with visual impairments", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 6, no. 5, pp. 241-248, 1998.
- [11] G. M. Spinks, G. G. Wallace, J. Ding, D. Zhou, B. Xi, J. Gillespie, "Ionic liquids and polypyrrole helix tubes: bringing the electronic braille screen closer to reality," *Proc. SPIE's 10th Annual Symp. on Smart Structures and Materials: Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD)*, (in press), 2003.
- [12] R. Pelrine, R. Kornbluh, J. Joseph, "Electrostriction of polymer dielectrics with compliant electrodes as a means of actuation", *Sensor and Actuators A: Physical*, vol. 64, pp. 77-85, 1998.
- [13] H. R. Choi, S. M. Ryew, K. M. Jung, H. M. Kim, J. W. Jeon, J. D. Nam, R. Maeda and K. Tanie, "Soft actuator for robot applications based on dielectric elastomer : quasi-static analysis", *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics*

and Automation, pp. 3212-3217, 2002.

[14] H. R. Choi, S. M. Ryew, K. M. Jung, H. M. Kim, J. W. Jeon, J. D. Nam, R. Maeda and K. Tanie, "Soft actuator for robot applications based on dielectric elastomer : dynamic analysis and applications", *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 3218-3223, 2002.

[15] H. R. Choi, S. M. Ryew, K. M. Jung, H. M. Kim, J. W. Jeon, J. d. Nam, Ryutaro Maeda and Kazuo Tanie, "Biomimetic actuator based on dielectric polymer", *Proc. SPIE's 9th Annual Symp. on Smart Structures and Materials: Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD)*, pp. 387-394, 2001.



최혁렬

1984년 서울대학교 기계공학과 (공학학사). 1986년 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사). 1994년 포항공과대학교 (공학박사). 1995년 ~ 현재 성균관 대학교 기계공학부 교수. Artificial muscle actuator/field-rescue robotics/dextrous mechanism, /milli/micro robot.



이상원

2002년 서울산업대학교 기계설계학과 졸업. 2002년~현재 성균관대학교 대학원 기계설계학과 석사과정 재학중. Robot/Tactile display.



정광목

1991년 성균관대학교 기계설계학과 (공학학사). 2002년 성균관대학교 대학원 기계설계학과 (공학석사). 2002년 ~ 현재 성균관 대학교 대학원 기계설계학과 박사과정 재학중. Artificial muscle actuator, milli/micro robots.



이성일

1985년 서울대학교 산업공학과 (공학학사). 1897년 서울대학교 산업공학과(공학석사). 1995년 University of Winconsin-Madison (공학박사). 1999년 ~ 현재 성균관 대학교 시스템 공학부 교수. Haptic/ User inter-face/Human Computer Interaction/ Ergonomics.



최후곤

1975년 서울대학교 산업공학과 (공학학사). 1979년 서울대학교 대학원산업공학과(공학석사). 1981년 Iowa State University (공학석사). 1985년 Iowa State University (공학박사) 1983년 ~ 현재 성균관대학교 시스템공학부 교수. CAD/CAPP/CAM/CIMS.



전재욱

1984년 서울대학교 전자공학과 (공학학사). 1986년 서울대학교 전자공학과(공학석사). 1990년 Purdue University (공학박사). 1994년 ~ 현재 성균관 대학교 전기전자및컴퓨터공학부 교수. Robot/내장형 시스템/공장 자동화.



남재도

1984년 서울대학교 화학공학과 (공학학사). 1986년 서울대학교 화학공학과 (공학석사). 1991년 Washington University (공학박사). 1994년 ~ 현재 성균관 대학교 고분자공학과 교수. Polymer Nano-composites/Direct methanol fuel cell/전기활성

고분자를 이용한 Actuator/Sensor.