

인공근육을 이용한 얼굴로봇

A Face Robot Actuated with Artificial Muscle

곽 증 원, 지 호 준, 정 광 목, 남 재 도, 전 재 옥, 최 혁 렬*
(Jongwon Kwak, Hojun Chi, Kwangmok Jung, Jaedo Nam, Jaewook Jeon, and Hyoukryeol Choi)

Abstract : Face robots capable of expressing their emotional status, can be adopted as an efficient tool for friendly communication between the human and the machine. In this paper, we present a face robot actuated with artificial muscle based on dielectric elastomer. By exploiting the properties of polymers, it is possible to actuate the covering skin, eyes as well as provide human-like expressivity without employing complicated mechanisms. The robot is driven by seven types of actuator modules such as eye, eyebrow, eyelid, brow, cheek, jaw and neck module corresponding to movements of facial muscles. Although they are only part of the whole set of facial motions, our approach is sufficient to generate six fundamental facial expressions such as surprise, fear, anger, disgust, sadness, and happiness. Each module communicates with the others via CAN communication protocol for the desired emotional expressions, the facial motions are generated by combining the motions of each actuator module. A prototype of the robot has been developed and several experiments have been conducted to validate its feasibility.

Keywords : face robot, head robot, artificial muscle, dielectric elastomer

I. 서론

인간과의 공존을 목적으로 하는 로봇에 있어 감정을 표현하는 얼굴로봇의 개발은 매우 중요한 문제라 할 수 있다. 또한 로봇이 단순한 표정 구현만이 아닌 인간과 비슷한 느낌의 피부 질감을 갖게 만든다면 더욱 더 그 목적에 부합될 수 있을 것이다.

얼굴로봇에 대한 연구는 이미 일본, 미국 등에서 많이 이루어지고 있다. 얼굴로봇에 관한 연구에 있어서 일본은 주로 로봇의 하드웨어를 개발하기 위한 연구가 주를 이루고 있는 반면 미국에서는 기능적으로 로봇의 표정을 구현하는 방법에 관한 연구가 많이 수행되고 있다. 얼굴로봇에 관한 연구의 핵심은 얼굴로봇의 디자인, 구동을 위한 메커니즘, 인간과의 지능적 상호작용, 세 가지로 요약된다. 얼굴로봇의 디자인과 관련된 연구에서는 인간과 가능하면 유사한 로봇을 개발하려는 시도와 캐릭터에서나 상상할 수 있는 캐리커처 형태의 로봇과 같은 두 가지 극단적인 형태의 디자인을 볼 수 있으며 대부분의 로봇은 이들 둘 사이의 형태를 갖는다[1,2]. 한편 인간과 유사한 물체에 대한 인간의 느낌에 관한 심리학적 연구에 따르면 지나치게 인간의 얼굴과 유사한 물체에 대해서 인간은 오히려 거부감을 갖는다고 밝혀져 있으며 따라서, 인간의 얼굴을 완벽하게 복사하는 것만이 좋은 얼굴로봇을 만드는 것은 아니라는 점을 알 수 있다. 지능적 상호작용과 관련된 연구에 의하면 정해진 몇 가지 얼굴근육의 움직임을 통해서 감정적 표현을 전달할 수 있다고 알려져 있다[3].

얼굴로봇을 구동하기 위한 수단으로 현재까지 알려진 것은 공압실린더[4], 형상기억합금[5], McKibben 공압근육[6], 모터를 이용한 기계적인 방법[3,7,8], 전기활성고분자를 이용한 인공근육[9] 등이 있다. 그러나 구동기 기술은 아직까지 작은 공간에 많은 독립적 구동기를 설치해야 하는 얼굴로봇과 같은 응용에 있어서 가장 큰 제한조건 중 하나로 인식이 되고 있다.

한편, 최근에 전기적인 자극에 의하여 구동되는 고분자 재료를 구동수단으로 응용하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이와 같은 재료를 전기활성고분자(ElectroActive Polymer)라고 하며 기존의 모터와 같은 구동수단에 비하여 높은 비출력(power/weight ratio) 및 효율, 인간의 근육과 같은 부드러움, 그리고 가볍고 값싸게 만들 수 있다는 장점에 미래의 새로운 대체 구동수단으로 적극적으로 연구되고 있다. 전기활성고분자는 IPMC(Ionic Polymer Metal Composite), 전도성 고분자(Conductive Polymer), 폴리머 젤(Polymer Gel), 유전성 고분자(Dielectric Elastomer), 그리고 압전성 고분자(Piezoelectric Polymer) 등이 있으며 최근에 카본나노튜브등도 새로운 재료로 연구되고 있다. 이와 같은 재료를 이용한 구동방식이 새로운 구동기술로 자리를 잡기 위해서는 아직까지 많은 제약조건이 있으며 이를 해결하기 위한 연구가 필요하다. 이들 중에서 유전성 고분자는 높은 전압이 필요함에도 불구하고 비교적 큰 변위, 높은 출력, 대기중에서 부가적인 장치가 없이도 구동할 수 있다는 장점으로 로봇의 구동수단으로 가장 큰 가능성을 가지고 있다[10,11].

본 연구에서는 유전성 고분자를 이용한 인공근육으로 구동되는 얼굴로봇을 제안한다. 저자들이 제안한 얼굴로봇은 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 첫째로 많은 구동기를 작은 공간 내에 내장시킬 수 있게 되어 지금까지 개발된 다른 로봇들보다 간단하고 가벼운 시스템의 구축이 가능하다. 둘째, 인간 근육의 운동을 좀 더 유사하게 모사할 수 있다. 특히, 이마, 눈썹, 볼과 같은 부분의 움직임을 매우 간단한 구동메커니즘으로 실현할 수 있다. 셋째, 각 구동부위와 연관된

* 책임저자(Corresponding Author)

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

곽증원, 지호준, 정광목, 최혁렬 : 성균관대학교 기계공학과
(kjw798@me.skku.ac.kr/matthew21@me.skku.ac.kr/jungkmok@me.skku.ac.kr/hrchoi@me.skku.ac.kr)

남재도 : 성균관대학교 응용화학부(jdnam@skku.edu)

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

※ 본 연구는 한국과학재단 산학협력연구(과제번호 101-2002-000-00012-0)에 의하여 연구되었습니다.

구동장치들을 모듈형으로 설계하고 각 모듈간에는 CAN을 기반으로 한 통신을 수행할 수 있도록 하여 복잡한 표정을 만들어 내기 위하여 새로운 모듈을 추가하거나 제거하는 등의 시스템의 변경이 자유롭다. 이와 같은 주요한 장점 이외에도 가격, 가공성 등 부가적인 장점이 다수 존재하므로 향후 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

본 논문에서는 먼저, 인간의 얼굴표정을 만들어 내기 위한 근육의 운동에 관한 고찰을 바탕으로 얼굴내의 구동 위치의 결정과정에 관하여 기술한다. 다음으로 구동위치에 관한 연구결과를 바탕으로 각 구동위치의 움직임에 적합한 구동기를 설계하고 로봇에 내장될 수 있는 구동장치모듈의 개발에 관하여 설명한다. 끝으로, 각 모듈을 장착하여 로봇을 제작하고 이들의 조합을 통하여 감정을 나타내기 위한 표정 표현에 관한 실험에 관하여 기술하며 결론을 맺는다.

II. 감정표현과 얼굴근육의 움직임에 관한 고찰

Ekman은 인간 얼굴근육의 움직임에 관한 분석을 통하여 FACS(Facial Action Coding System)라는 표정분석 체계를 만들었으며 이를 이용하여 시각적으로 구별되는 얼굴의 움직임을 표 1과 같이 46개의 Action Units(AUs)라 불리는 기본적인 단위움직임으로 나누었다[12]. Ekamn은 AU들을 조합하여 다양한 얼굴표정의 분석을 수행하였으며 이러한 기법은 현재 얼굴표정 인식에 대한 연구에서 가장 기초가 되는 것으로 많은 연구자들에 의해 인용되고 있다. Hara와 Kobayashi 교수는

표 1. 46개의 AU중 일부.
Table 1. List of Aus.

AU	FACS Name	Muscular Basis
1	Inner Brow Raiser	Frontalis, Pars Medialis
2	Outer Brow Raiser	Frontalis, Pars Lateralis
4	Brow Lowerer	Depressor Glabellae, Depressor Supercilli, Corrugator
5	Upper Lid Raiser	Levator Palpebrae Superioris
6	Cheek Raiser	Orbicularis Oculi, Pars Orbitalis
7	Lid Tightener	Orbicularis Oculi, Pars Palebralis
9	Nose Wrinkler	Levator Labii Superioris, Alaeque Nasi
10	Upper Lip Raiser	Levator Labii Superioris, Caput Infraorbitalis
15	Lip Corner Depressor	Triangularis
17	Chin Raiser	Mentalis
20	Lip Stretcher	Risorius
24	Lip Pressor	Orbicularis Oris
25	Lips Part	Depressor Labii, or Relaxation of Mentalis or Orbicularis Oris
26	Jaw Drop	Masetter, Temporal and Internal Pterygoid Relaxed
41	Lid Droop	Relaxation of Levator Palpebrae Superioris

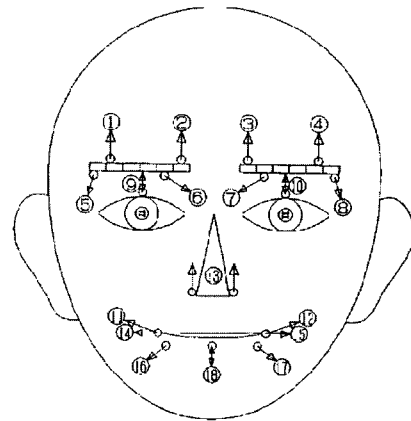


그림 1. 구동위치.
Fig. 1. Actuation points.

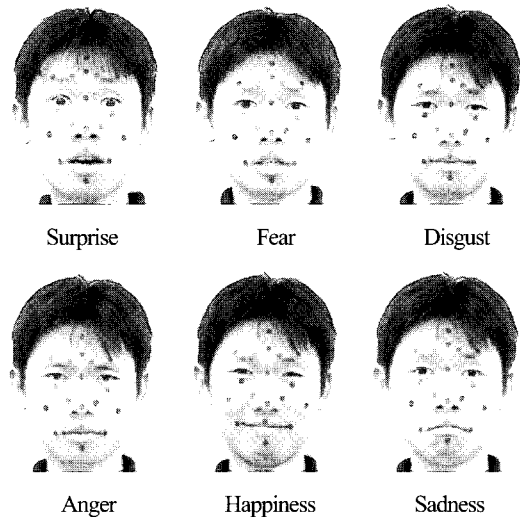


그림 2. 6가지 기본표정의 변화.
Fig. 2. Six. basic facial expressions.

자신의 얼굴로봇에 Ekman의 AUs를 적용하여 얼굴 움직임을 결정하였다[2]. 이들은 여섯가지의 얼굴표정을 구현하기 위해서 46개의 AU중 12개의 AU를 선택하였고, 그림 1에 나타난 것과 같이 얼굴피부에서 움직임의 작용점이 되는 18개의 구동위치(actuation point)라 불리는 지점을 실험을 통하여 결정하고 이들을 적절히 조합함으로써 6가지의 얼굴표정을 성공적으로 구현하였다.

한편 본 연구에서는 Ekman의 연구를 기반으로 하여 인간의 표정변화에 따른 얼굴 각 부분의 움직임에 관한 정보를 얻기 위해 피실험자의 얼굴에 마커(marker)를 부착하고 표정 변화에 따른 변화된 모습을 관찰하였다. 그림 2와 3은 여섯가지 기본표정인 놀람, 공포, 혐오, 분노, 행복, 슬픔에 따른 얼굴표정의 변화를 보여준다.

표정에 대한 특징적인 변화를 정리하면 표 2와 같으며 이를 이용하여 얼굴표정 변화에 주요한 영향을 미치는 표현 부위를 이마, 눈썹, 눈꺼풀, 볼, 입으로 선정하였다.

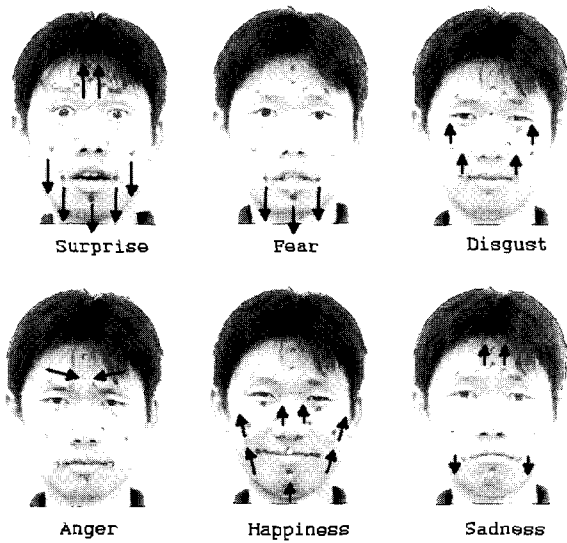


그림 3. 6가지 기본표정에 대한 마커의 움직임.
Fig. 3. Comparison of marker position for six basic facial expressions.

그러나 위와 같이 마커를 부착하여 얼굴의 움직임을 분석한 정보는 정적(static)인 얼굴표정 변화만을 보여준다. 실제 인간의 표정은 동적(dynamic)으로 변화하며 이를 통하여 정적으로 표현될 때보다 많은 정보를 전달한다. 예를들어 시선을 맞추지 않는 눈의 움직임이나 놀랐을 때 뒤로 넘어가는 목의 움직임 등은 좀더 사실적인 표정을 구현하는데 도움을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 표정을 나타내기 위한 얼굴의 근육뿐만 아니라 눈과 목의 움직임도 모사하여 좀더 사실적인 감정을 표현할 수 있도록 하였다.

III. 얼굴로봇시스템의 개요

그림 4, 5와 6에 나타낸 것과 같이 얼굴로봇은 크게 눈, 눈썹, 눈꺼풀, 볼, 이마, 턱과 목모듈로 구성되어 있으며 이들이

표 2. 6가지 표정에 대한 얼굴변화와 AU.
Table 2. Relation between six facial expressions and AUs.

Expression	Description	AUs
Surprise	눈썹이 위로 올라감, 턱이 벌어져 얼굴 아랫부분이 전체적으로 밑으로 내려감, 눈동자의 크기가 커짐	1,2,5,15,26
Fear	눈썹이 올라감, 입이 벌어짐, 입술 끝이 당겨짐	1,2,20,25
Disgust	눈을 작게 뜸, 볼과 입술 끝이 위로 올라감	4,6,10
Anger	눈썹이 미간사이로 조여짐	2,7
Happiness	코의 양쪽, 볼, 입술 끝, 턱이 위로 올라감	6,9,17
Sadness	안쪽 눈썹이 위로 올라감, 입술 양끝이 밑으로 내려감	1,15

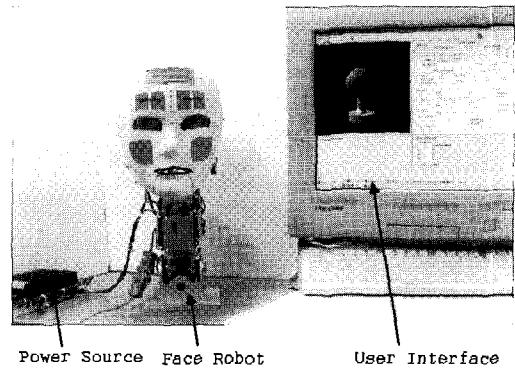


그림 4. 얼굴로봇
Fig. 4. Face robot.

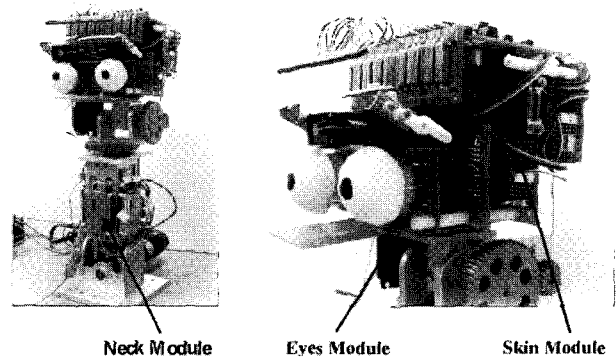


그림 5. 얼굴로봇의 내부.
Fig. 5. Inside of face robot.

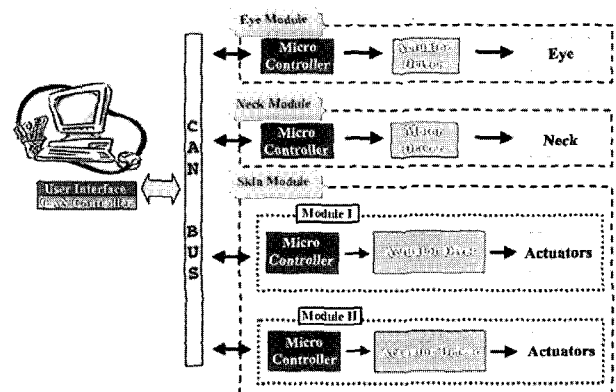


그림 6. 얼굴로봇의 전체시스템 구성도.
Fig. 6. Configuration of face robot.

알루미늄으로 제작된 구조물과 머리의 골조 역할을 하는 플라스틱 가면에 부착된다. 턱과 목을 제외한 다섯개의 모듈은 모두 유전성 고분자 구동기로 움직여 진다.

모터는 턱이나 목과 같이 비교적 큰 힘이 요구되는 부분에 만 사용되고 있으며 턱에는 한 개의RC 서보모터를 사용하였으며 목모듈에는 세 개의 DC 서보모터가 사용되었다. 각 모듈은 구동제어와 통신을 위하여 마이크로컨트롤러(PIC18F258/458)를 사용하고 있으며 CAN 통신규격을 지원한다. 제안된 얼굴로봇은 표3에 나타낸 것과 같이 전체 24개의

표 3. 얼굴로봇 모듈의 자유도

Table 3. DOF of modules in face robot.

module	dof	number of module	subtotal
neck	3	1	3
jaw	1	1	1
eye	5	2	10
eyebrow	2	2	4
Eyelid	1	2	2
Cheek	1	2	2
Forehead	2	1	2
Total			24

운동자유도를 가지고 있음에도 불구하고 구동회로 및 통신 회로를 모두 로봇의 내부에 내장할 수 있도록 초소형화 하였다.

IV. 얼굴로봇 구동기 모듈

1. 유전성 고분자의 구동원리

유전성 고분자(Dielectric elastomer)는 가격이 저렴하고 매우 가벼우며 제작이 용이하다는 장점을 가지고 있기 때문에 많은 기초적인 연구들이 진행되었으며, 또한 로봇을 비롯한 다양한 분야에 적용이 이루어지고 있다[9,10,11,13].

유전성 고분자를 이용한 구동기의 원리를 간단하게 설명하면 다음과 같다. 유전성 고분자의 양면에 부드러운 전극을 입히고 전압을 가하면 양쪽 표면에 쌓이는 양과 음의 전하에 의하여 상호간에 정전기적 인력이 발생하고 이로 인하여 고분자 유전체가 두께 방향으로 압축, 면적방향으로는 팽창을 하여 구동된다. 유전성 고분자는 정전기력(electrostatic force)을 이용한 구동기와 유사하며 일종에 전기장에 의해서 유도된 변형현상으로 볼 수 있다(Maxwell stress). 따라서 간단한 정전기력에 의한 변형 모델을 바탕으로 유효변형압력을 유도하게 되면 (1)을 얻을 수 있다.

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

여기서 E 는 전기장이고, t 는 고분자의 최종 두께이며, V 는 인가된 전압이다. 그리고 ϵ_0 , ϵ_r 는 각각 공기의 유전율과 고분자의 비유전율을 나타낸다. 이렇게 발생한 정전기력에 의해 생긴 두께 방향의 변형은 가해진 전기장의 세기를 공급한 양에 비례한다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 유전성 고분자는 실리콘으로 다른 유전성 고분자에 비해 응답속도도 빠르고 비교적 큰 변위를 가지고 있다. 본 연구에서는 유전성 고분자를 이용한 다양한 형태의 구동기를 개발하여 얼굴의 각 부분을 구동하기 위한 모듈에 적용하였다.

2. 눈 모듈

눈 모듈의 구동기는 그림7과 같은 구조를 가지고 있다. 선인장(prestrain)시킨 두 장의 유전성 고분자 필름이 지지대를 기준으로 겹쳐져 있으며, 각각의 유전성 고분자 필름은 그림 8과 같은 4개의 분리된 패턴의 전극으로 코팅 되어있다[10]. 각 전극 패턴에 적절한 전압을 인가함으로써 5자유도의 운

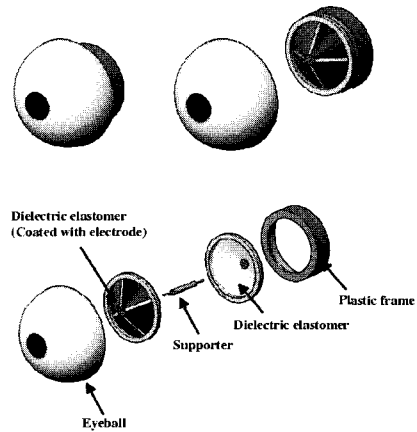


그림 7. 눈 구동기 구성도
Fig. 7. Configuration of eye module.

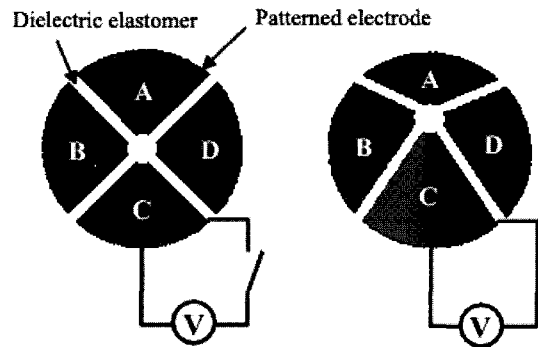


그림 8. 눈 구동기 전극패턴
Fig. 8. Patterned electrode of eye module.

동을 만들어 낼 수 있으며 이로부터 출력단에 붙어 있는 눈의 상/하, 좌/우 움직임을 표현할 수 있다. 예를 들어, 그림 8에서처럼 전극 C에 전압이 인가되면 전극 C로 표시되어있는 유전성 고분자가 팽창되어 지지대가 고정되어 있는 구동기의 중심점이 전극 A방향으로 이동하게 되며 반대로 A로 표시된 부분을 구동하게 되면 C쪽으로 움직이게 된다(자세한 구동기의 원리는 참고문헌 [10]을 참조할 것).

눈 구동기의 작동을 위한 시스템은 크게 마이크로 컨트롤러, DAC(Digital to Analog Converter), 연산증폭기 그리고 HVDC(DC to high voltage DC Converter)로 구성되어 있다. 또한 CAN 트랜시버(Transceiver)를 통해 외부와의 통신을 할 수 있다.

3. 피부 모듈

피부 모듈은 이마, 눈썹, 볼 구동기로 구성되어 있으며 이를 표현하기 위해 플라스틱 프레임 위에 적절한 전극 패턴 형태를 가진 구동기가 사용되었다[13]. 피부모듈에 사용된 구동기는ANTLA(ANTagonistically Driven Linear Actuator)라고 불리는 구동기이며 그림 9 ANTLA의 구동원리는 눈 구동기의 원리와 유사하다. 예를 들어서 A에 전압을 가하게 되면 B쪽으로 출력단이 이동하게 되며 B를 구동하게 되면 A쪽으로 출력단이 움직이게 되는 것으로 설명할 수 있다(자세한 구동원리는 참고문헌 [13]을 참조할 것).

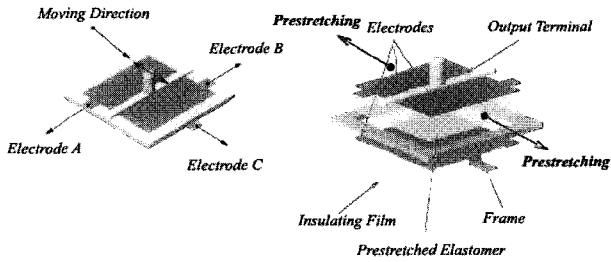


그림 9. ANTLA의 구조
Fig. 9. Configuration of ANTLA.

본 연구에서는 이마의 주름을 표현하기 위해 그림 10(a)와 같이 두개의 ANTLA를 직렬로 연결하여 구동모듈을 구성하였다. 그림과 같은 패턴에 구동신호를 인가하면 상/하의 움직임 얻을 수 있으며 이는 인간의 주름이 상/하로 움직이는 것을 표현해준다. 그림 10(b)는 눈썹의 움직임을 표현하기 위해 제작된 구동기 형태이다. 상/하, 좌/우의 비틀어짐을 표현하기 위해 4개의 전극 패턴을 갖는다. 또한, 그림 10(c)는 볼의 움직임을 표현하기 위해 제작된 구동기 형태이다. 볼이 밀리고 당겨지는 것을 표현해주기 위해 2개의 전극 패턴으로 구성되어 있다. 전극 C와 전극 D에 전압을 인가하면 눈썹은 위로 움직이고 전극 A와 전극 B에 전압을 인가하면 눈썹은 아래로 움직인다. 전극 A와 전극 D 또는 전극 B와 전극 C에 전압을 인가하게 되면 눈썹은 좌/우의 비틀림을 표현할 수 있다.

피부 모듈은 많은 구동기가 사용되기 때문에 릴레이를 이용한 ON/OFF방식을 이용한 구동방법을 적용하였다.

이 피부 모듈의 구동기의 작동을 위한 시스템은 마이크로 컨트롤러, DAC, 연산증폭기, 고전압발생기 그리고 포토커플러(Photocoupler)와 고전압릴레이로 구성되어 있다. 포토커플러는 고전압 릴레이와 마이크로 컨트롤러를 전기적으로 분리시켜 안정성을 높여주기 위해 사용되었으며, 고전압릴레이는 고전압발생기로부터 발생한 고전압 전원을 스위칭하여 실제 피부의 움직임을 발생시키는 기능을 한다.

4. 목 모듈

목은 큰 힘을 요구하는 부분으로 DC 서보모터를 이용하여 구현하였다. 목의 움직임을 위해 그림 11과 같은 메커니즘을 구성하였다. 총 3자유도로 목의 상/하에 Pitch축으로 2개의 자유도를 가지고 있으며 Yaw축으로 1개의 자유도를 가지고 있다. 실제 인간의 목은 7개의 뼈로 구성되어 있으며 이들 각 뼈의 조합으로 원하는 움직임을 얻는다. 그러나 로봇의 경우 인간의 목과 동일한 자유도로 모사하기는 불가능하므로 3자유도로 제한하였다. 3자유도는 두 개의 Pitch운동자유도와 한 개의 Yaw운동자유도로 구성되어 있으며 Pitch축은 눈의 응시 방향을 확보하고 Yaw축으로의 1자유도는 얼굴의 좌/우 움직임을 얻을 수 있다.

모터 구동 시스템을 최소로 줄이기 위해 그림 12와 같은 모터 컨트롤러를 개발하였다. 개발된 모터 컨트롤러는 외부와의 CAN 통신, 제적 생성, PID 제어를 담당하는 마이크로컨트롤러와 모터 구동용 H-Bridge를 내장하고 있는 LMD18200(24V, 3A)등으로 구성되어 있다. 최소의 크기를 갖

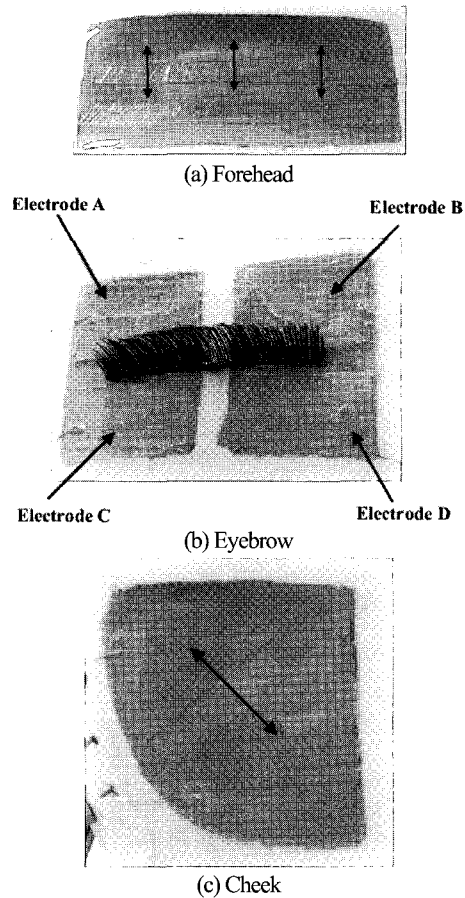


그림 10. 피부 모듈 구동기.
Fig. 10. Actuators of the skin module.

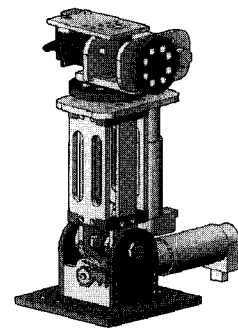


그림 11. 목 메커니즘.
Fig. 11. Neck mechanism.

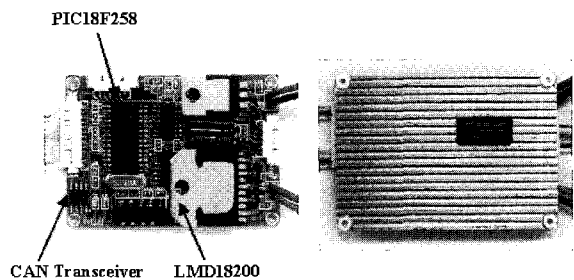


그림 12. 모터 컨트롤러.
Fig. 12. Motor Controller.

는 모터 컨트롤러를 제작함으로써 로봇내에 구동하기위한 모든 시스템을 집적할 수 있게 되었다.

5. 턱과 눈꺼풀

턱과 눈꺼풀의 표현은 RC 서보모터를 이용하여 구현하였다. RC 서보모터는 펄스의 폭으로 그 각도가 제어되며 이를 위해 피부 모듈에서 사용되는 마이크로컨트롤러의 타이머를 이용한 PWM(Pulse Width Modulation)으로 움직임을 제어할 수 있도록 하였다.

VI. 실험

본 연구에서는 그림 1과 같은 얼굴로봇시스템을 개발하였으며 각 모듈의 구동실험과 모듈이 모두 장착된 얼굴로봇을 이용한 표정구현실험을 수행하였다.

1. 유저 인터페이스

얼굴로봇의 구동을 위해 그림 13과 같은 사용자 컴퓨터에서 조종을 할 수 있는 유저 인터페이스 구축하였다. 유저 인터페이스는 그림 13에서 1로 표시된 시뮬레이션 창과 2~8에 해당하는 명령 창으로 구분된다. 시뮬레이션 창은 사용자가 로봇에 실제 명령을 내리기전에 그 동작을 미리 보여주어 부적절한 명령이 발생하는 것을 방지해준다.

명령 창은 각 모듈의 제어값을 직접 설정해주거나 미리 세팅 되어있는 각 모듈의 제어값을 전송하여 실제 명령을 발생시킨다. 명령 창의 세부 명령은 다음과 같다. 그림에서 2는 'Expression Selection View'로 미리 세팅된 로봇의 움직임인 행복, 놀람, 두려움, 슬픔, 화남, 혐오의 표정을 보여줄 수 있는 창이다. 3은 'Relay Control View'로 피부 모듈의 릴레이를 개별제어하기 위한 창이다. 4는 'Jaw and Eyelid Control View'로 턱과 눈꺼풀의 움직임을 RC서보모터를 이용하여 제어하기 위한 창이다. 5는 'HighVoltage Control View'로 피부 모듈에서 사용하는 고전압 소스원의 전압레벨을 결정해주는 창이다. 6은 'Eye Control View'로 눈의 상/하, 좌/우의 움직임을 결정해

주는 창이다. 7은 'Neck Control View'로 목의 움직임을 제어하기 위해 필요한 각도와 시간을 결정하는 창이다. 마지막으로 8은 'CAN Control View'로 얼굴로봇과 인터페이스간의 CAN 통신을 위한 초기화 및 종료를 지정하는 창이다.

위와 같은 인터페이스를 사용함으로써 사용자는 얼굴로봇의 표정을 간편하게 구현할 수 있을 뿐만 아니라 얼굴 각 부위의 개별적인 구동이 가능하다. 따라서 6가지의 기본표정 이외의 다른 표정의 구현에도 유용하게 사용할 수 있는 환경이다.

2. 모듈 구동 실험

얼굴로봇은 눈, 눈썹, 눈꺼풀, 이마, 볼, 턱, 목의 움직임을 구현할 수 있으며 각 모듈의 구동실험을 수행하였다. 그림 14는 길게 패턴 되어있는 전극이 상/하로 움직이는 이마의 움직임을 보여주며 그림 15는 2개의 전극으로 패턴으로 구성된 볼이 밀고 당겨지는 움직임을 보여준다. 그림 16과 17은 눈썹이 상/하 좌/우로 기울어지는 움직임과 눈이 상/하, 좌/우로 움직이는 모습을 보여준다. 그림 18은 눈꺼풀이 순차적으로 닫히는 움직임과 그림 19은 턱이 벌어지는 동작을 순차적으로 보여준다. 마지막으로 그림 20은 3개의 축을 가진 목이 움직이는 모습을 보여주는 사진이다.

3. 표정 구현 실험

개발된 얼굴로봇은 눈, 눈썹, 눈꺼풀, 이마, 볼, 턱, 목의 움

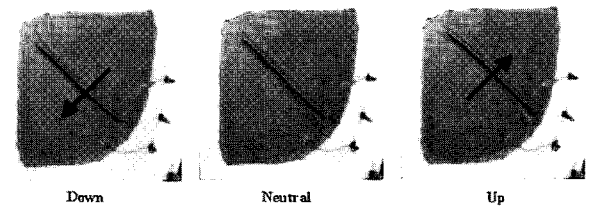


그림 15. 볼의 움직임.
Fig. 15. Movement of cheek.

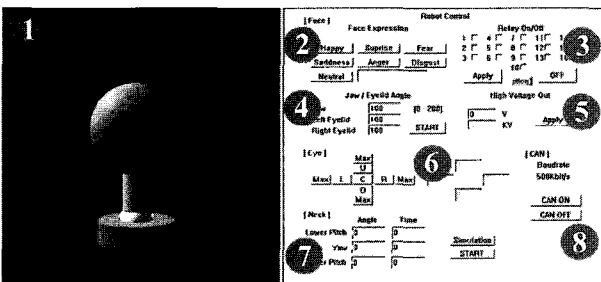


그림 13. 유저 인터페이스.
Fig. 13. User interface.

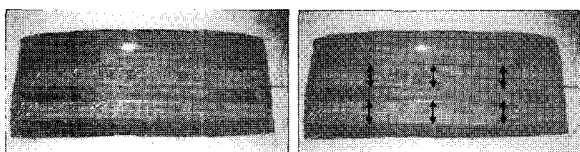


그림 14. 이마의 움직임.
Fig. 14. Movement of forehead.

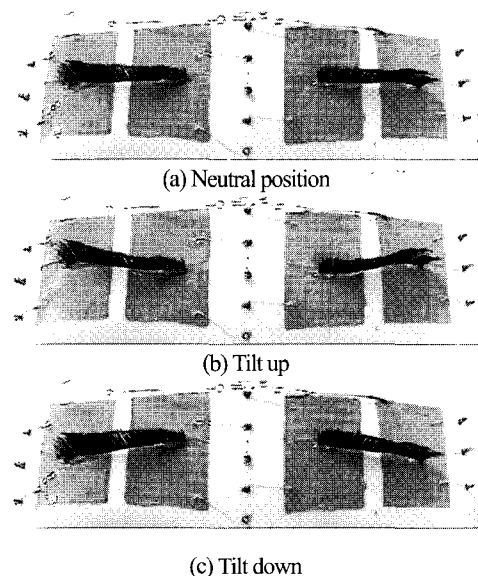


그림 16. 눈썹의 움직임.
Fig. 16. Movement of eyebrow.

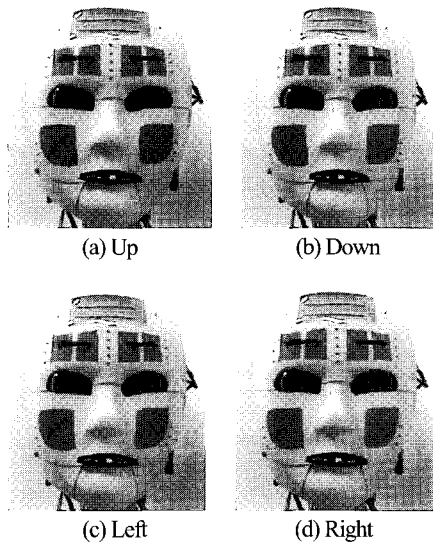


그림 17. 눈의 움직임.
Fig. 17. Movement of eye.

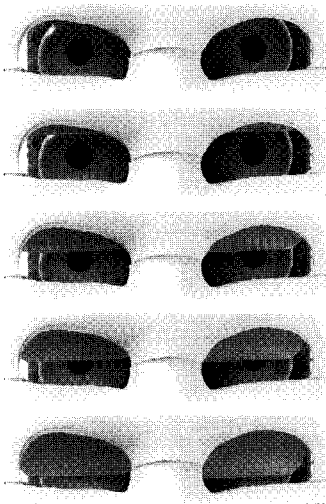


그림 18. 눈꺼풀의 움직임.
Fig. 18. Movement of eyelid.

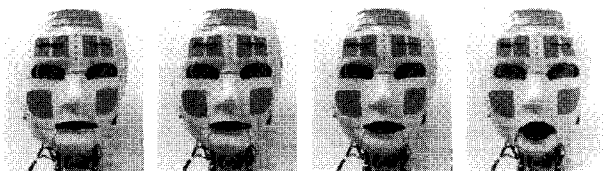


그림 19. 턱의 움직임.
Fig. 19. Movement of jaw.

직임의 조합으로 표정을 구현한다. 이들 얼굴로봇을 구성하는 각 부분은 표현 가능한 AU를 가지고 있으며, 이를 실제 얼굴로봇의 표정구현에 적용하기 위해 각 표정에 해당하는 AU를 결정하였다. 표 4는 개발된 얼굴로봇으로 표정을 구현하기 위해 필요한 AU를 정리한 내용이다. 또한 보다 사실적인 표정구현을 위해 AU와는 별도로 각 표정에 필요한 눈과

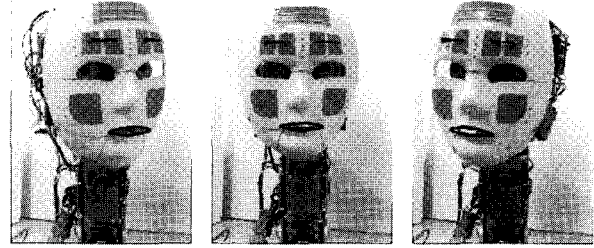


그림 20. 목의 움직임.
Fig. 20. Movement of neck.

표 4. 표정구현을 위한 AUs와 목/눈의 움직임.
Table 4. AUs for the expression and neck/eyes motion.

Expression	AUs	Eyes and neck motion
Surprise	1, 2, 5, 26	Eyes Up
Fear	1, 2, 5	-
Disgust	4, 6, 17, 41	-
Anger	2, 17	Neck Down
Happiness	6, 26	-
Sadness	1, 24, 41	Eyes Down

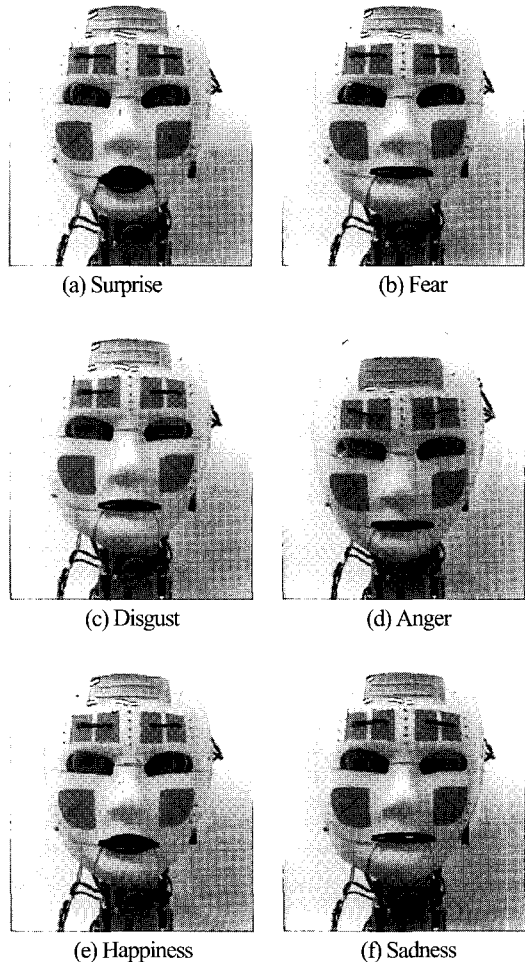


그림 21. 얼굴로봇의 6가지 표정구현.
Fig. 21. Six facial expressions of the face robot.

목의 움직임에 정의하였다. 이는 얼굴표정을 정확하게 구별하는 것에 도움을 줄 수 있다. 그림 21은 정의된 AU를 이용하여 얼굴로봇이 실제 구현한 표정을 보여준다. 이로부터 얼굴로봇은 놀람, 공포, 혐오, 분노, 행복, 슬픔의 표정이 구현 가능함을 알 수 있었다.

VI. 결론

유전성 고분자로 만들어진 구동기를 이용하여 다양한 얼굴표정을 구현할 수 있는 로봇을 개발하였다. 개발된 로봇은 얼굴근육이 필요로 하는 다수의 구동기와 전원, 통신라인을 제외한 모든 제어 시스템을 로봇내부에 집적하여 기존의 로봇 시스템이 가진 시스템이 커지는 단점을 극복하였다. 또한 각 모듈의 구동기를 적절히 제어함으로써 다양한 얼굴표정을 구현할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 개발된 얼굴로봇은 유전성 고분자를 활용하는 한가지 예가 될 수 있으며, 이후 인간 친화적인 로봇의 개발에 기여를 할 수 있을 것이라 생각한다.

참고문헌

- [1] H. Kobayashi, Y. Ichikawa, M. Senda, T. Shiiba, "Toward rich facial expression by face robot", *Micromechatronics and Human Science, 2002. MHS 2002. Proceedings of 2002 International Symposium on*, pp. 139-145, 2002.
- [2] C. Breazeal and B. Scassellati, "How to build robots that make friends and influence people", *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 858-863, 1999.
- [3] H. Miwa, A. Takanishi, H. Takanobu, "Experimental study on robot personality for humanoid head robot", *Intelligent Robots and Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 2, pp. 1183-1188, 2001.
- [4] H. Kobayashi, F. Hara, "Study on face robot for active human interface". *IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*, 1993.

- [5] H. Kobayashi, H. Akasawa, F. Hara, "Study on new face robot platform for robot-human communication", *Robot and Human Interaction, 1999. RO-MAN '99. 8th IEEE International Workshop on*, pp. 242-247, 1999.
- [6] H. Kobayashi, Y. Ichikawa, T. Tsuji, K. Kikuchi, "Development on face robot for real facial expression", *Intelligent Robots and Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 4, pp. 2215-2220, 2001.
- [7] A. Edsinger, U. O'Reilly and C. Breazeal, "Personality through faces for humanoid robots", *Proc. IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 340-345, 2000.
- [8] D. Hanson, G. Pioggia, Y. Bar-Cohen, D. de Rossi, "Androids: application of EAP as artificial muscles to entertainment industry", *SPIE's 8th Annual International Symposium on Smart Structures and Material. Proceedings of EAPAD*, pp. 4329-74, 2001.
- [9] Y. Bar-Cohen, "Transition of EAP material from novelty to practical applications - are we there yet?", *proceedings of EAPAD, SPIE's 8th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials*, pp. 4329-02, 2001.
- [10] H. R. Choi, K. M. Jung, J. W. Kwak, S. W. Lee, H. M. Kim, L. W. Jeon, J. D. Nam, 2003, "Multiple degree-of-freedom digital soft actuator for robotic application", *SPIE Smart Structures and Materials, Electroactive Polymer Actuators and Devices*, 2003. 3.
- [11] R. E. Pelrine, R. D. Kombluh and J. P. Joseph, "Electrostriction of polymer dielectrics with compliant electrodes as a means of actuation", *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 64, Issue 1, pp. 77-85, 1998.
- [12] P. Ekman, W. V. Friesen, "Facial action coding system", *Consulting Psychologist Press*, 1977.
- [13] H. R. Choi, K. M. Jung, J. W. Kwak, S. W. Lee, H. M. Kim, J. W. Jeon, J. D. Nam, "Digital polymer motor for robotic applications", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1857-1862, 2003.

곽종원



2002년 성균관대학교 기계공학부 졸업. 2004년 성균관대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). Artificial muscles actuator, 감정 구현 로봇.

지호준



2003년 성균관대학교 기계공학부 졸업. 2003년~현재 성균관대학교 대학원 메카트로닉스 석사과정 재학중. 관심분야는 로봇 핸드, 휴머노이드.

정광목



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

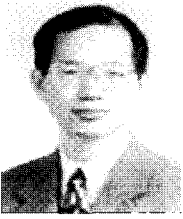
robots.

남재도



1984년 서울대학교 화학공학과(공학학사). 1996년 서울대학교 대학원 화학공학과(공학석사). 1991년 Washington University(공학박사). 1994년~현재 성균관대학교 고분자공학과 교수. Polymer nano-

compo sites/Direct methanol fuel/전기활성 고분자를 이용한 Actuator/sensor.



전재욱

1984년 서울대학교 전자공학과(공학학사). 1986년 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1990년 Purdue University(공학박사). 1994년~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 교수. Robot/내장

형시스템/공장 자동화.



최혁렬

1984년 서울대학교 기계공학과(공학학사). 1986년 한국과학기술연구원 기계공학과(공학석사). 1994년 포항공과대학교(공학박사). 1995년~현재 성균관대학교 기계공학부 교수. Artificial muscles actuator

/field-rescue robotics/dextrous mechanism/milli/micro robot.