
안드로이드 스마트폰 기반의 원격 IPMC 제어시스템 구현

김관형*

The implementation of remote IPMC control system using android smartphone

Gwan-Hyung Kim*

이 논문은 2011년도 동명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음(2011A002)

요 약

최근 의료 및 생체공학 분야의 액추에이터(actuator)와 센서 및 연료전지로 활용할 수 있는 새로운 재료인 IPMC(Ionic Polymer Metal Composite)에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 IPMC의 특징은 센서(sensor)와 액추에이터(actuator)의 성질을 동시에 가지는 특이한 성질을 가진 복합재료로서 IPMC에 전압을 가하면 움직임이 생기며, IPMC에 움직임이 발생하면 IPMC 내부에 전압이 충전되는 성질이 있어 모션 센서나 힘 센서로도 활용할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 IPMC에 대한 몇 가지 특성을 파악하고 IT 기술인 스마트폰의 연계하여 원격지에서 IPMC의 동작을 제어할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 또한, 스마트폰을 기반으로 하여 영상정보를 전송하여 모니터링 하도록 하였다. IPMC의 동작제어는 스마트폰의 블루투스를 이용하여 동작명령을 전송하도록 시스템을 구현하였다. 본 논문의 실험 및 구현으로부터 IPMC 물성에 대한 정확한 분석은 부족하지만 향후 IPMC의 활용에 있어서 IT 기술과의 융합을 통하여 센서, 액추에이터, 연료전지 등과 같은 분야에 적극 활용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Recently, Ionic Polymer Metal Composite (IPMC) systems receive great attention in the fields of the medical and biomedical Engineering because of several merits in terms of new actuators and sensors and fuel cell materials. When the voltage is excited to IPMC system, it moves. Conversely, if there are any movement on the IPMC, the IPMC has charge voltage by the internal properties. Therefore the IPMC can be used as a motion sensor or force sensor. In this paper, we identify characteristics of the IPMC and control its movements from remote locations by the smart-phone system based on visual information for monitoring. Additionally, control of movements of the IPMC is realized by transmit motion commands using the smart-phone system with the blue-tooth communication. Unfortunately, there are some deficiencies to perfectly attain physical properties of the IPMC systems from our experiments in this paper. However, in its utilization point of view, we demonstrate that the IPMC has some potentials as new sensors, actuators, and fuel cells.

키워드

이온성고분자금속복합체, 스마트폰, 액추에이터, 센서, 블루투스

Key word

IPMC(Ionic Polymer Metal Composite), Smart-Phone, Actuator, Sensor, Bluetooth

* 종신회원 : 동명대학교 컴퓨터공학과(taichiboy1@gmail.com)

접수일자 : 2012. 11. 13

심사완료일자 : 2012. 12. 10

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.3.533>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 의료 및 생체공학 분야의 액추에이터(actuator)로 활용할 수 있는 새로운 재료에 대한 연구와 새로운 에너지 측면에서 신재생 에너지원에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 이러한 두 가지 연구 분야인 액추에이터로서의 구동기와 에너지원으로서 활용할 수 있는 두 가지 기능을 동시에 만족 시킬 수 있는 재료가 전기활성고분자의 일종인 IPMC(Ionic Polymer Metal Composite)를 들 수 있다.

IPMC의 기본적인 재료의 특징은 IPMC의 표면에 백금이나 금으로 코팅 되어있는 얇은 이온폴리머막(ion-conductive polymer membrane)으로 구성된다. 이러한 Nafion(이온교환폴리머)의 양쪽 표면에 전극을 접합하여 외부에서 인가되는 전기 에너지에 의해 IPMC 내부의 화학적 변화가 발생하여 인가된 양극(+), 음극(-)이 인가된 위치에 대하여 IPMC의 모형에 변형이 발생하는 특이한 복합재료이다. 이러한 IPMC는 고분자 막과 전기전도성이 뛰어난 백금, 금과 같은 금속으로 구성되어 있어 전기전도성이 매우 뛰어나고 유연성 또한 뛰어난 특징을 가지게 된다. 이러한 특징을 활용하여 저전력으로 구동되는 초소형 액추에이터나 미세한 움직임에 대한 센서로 활용할 수 있다.

IPMC 연구 분야의 초기에는 인공근육에 적용하여 액추에이터로 많이 연구되었다. 그러나 최근에는 IPMC의 특징상 물속에서 활용이 자유롭기 때문에 수중로봇의 개발에 활용도가 높으며, 곤충 로봇과 같이 저전력 기반으로 움직이는 액추에이터 개발에 많이 활용하고 있다. 뿐만 아니라 IPMC의 활용은 의용공학, 항공분야, 로봇틱스 분야의 액추에이터로 활용하고 있으며, 물고기 로봇, 인공 관절 등과 같이 다양한 분야에 응용하도록 연구 중에 있다. 또한 IPMC는 모션 센서나 힘 센서로 활용할 수 있기 때문에 센서로서의 활용도가 매우 높다고 할 수 있다. 그러나 IPMC의 단점은 히스테리시스(hysteresis)가 존재하는 단점을 가지고 있으며, IPMC 내부의 화학적 반응에 대한 비선형 특성을 반영하지 않아 액추에이터로 활용하고자 할 때 정밀 제어에 많은 어려움이 있다.[1][2][3][4]

본 논문에서는 이러한 IPMC의 동특성을 감안하여 액추에이터로서 활용할 수 있도록 시스템에 주안점을 두었다. IPMC의 휨 정도에 대한 계측은 스마트폰의 CCD

카메라를 활용하여 계측하였으며, IPMC의 휨 정도에 대한 영상을 Wi-Fi 통신을 이용하여 실시간으로 원격지 서버로 영상 데이터를 전송하도록 구현하여 원격지에서 모니터링 하도록 구현하였다.

원격지 제어자로부터 IPMC를 원격으로 제어하고자 할 때에는 원격지 제어자에 의한 제어 명령을 스마트폰의 블루투스(bluetooth)를 이용하여 IPMC를 제어하는 드라이브 제어기에 명령을 전달하도록 하였다. IPMC 구동을 위한 CPU는 마이크로칩(주)사의 16-bit 마이크로프로세서인 dsPIC30F3011을 사용하였으며, IPMC를 제어하기 위한 PWM(pulse width modulation)은 16비트 타이머/카운터(timer/counter)를 활용하였다. 또한, 전체적인 시스템을 모니터링을 위하여 LabView와 DAQ 보드는 PXI-6259를 이용하여 데이터를 모니터링 하였다.

본 논문에서는 이상과 같은 시스템을 구축하여 IPMC에 대한 휨 상태를 Wi-Fi를 이용하여 원격지 스마트폰에서 모니터링 할 수 있도록 구현하였으며, 또한 IPMC 상태 제어는 스마트폰에 탑재된 블루투스를 통하여 IPMC 구동 프로세서를 통하여 제어하도록 하여 스마트폰 기반의 원격 IPMC 제어시스템을 제시하고자 한다.

II. IPMC 특성과 스마트폰 기반의 원격 제어 시스템

2.1. IPMC의 구동 원리

IPMC는 외부에서 전압이나 혹은 물리적 힘이 가해졌을 때 내부에 존재하는 물과 이온의 편향적 쏠림현상에 의해 IPMC의 굽힘 현상이 발생한다.

이러한 IPMC의 인가된 전압에 의해 액추에이터로 동작하는 원리를 그림 1에 표현하였다.

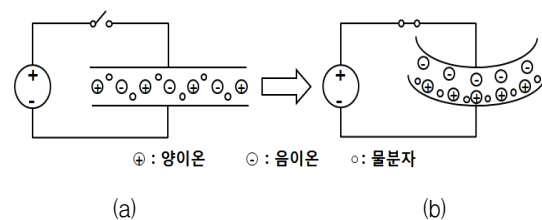


그림 1. (a) 전원 Off (b) 전원 On
Fig. 1 (a) Power Off (b) Power On

그림 2는 IPMC를 센서로 활용할 경우에 대한 계측 결과이다. 그림 2(a)는 초기상태인 15도 일 때를 기준 상태로 하였으며, 그림 2의 (b), (c), (d)의 경우 근사적으로 30도, 45도, 60도 움직였을 때를 가정하여 외부 자극에 의해 발생하는 전압을 차동증폭기를 이용하여 100배 증폭하여 증폭된 파형을 계측하여 제시하였다.

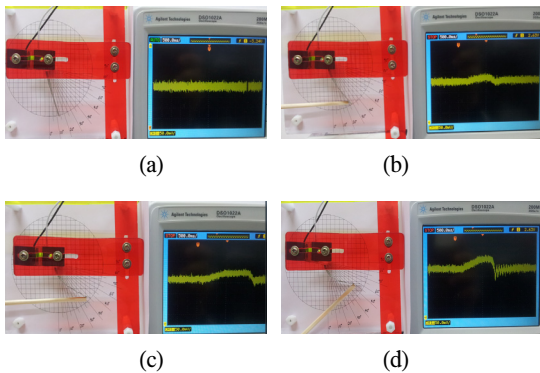


그림 2. (a) 기준위치(15도) (b) 30도 (c) 45도 (d) 60도
 Fig. 2 (a) Standard location(15deg.) (b) 30deg. (c) 45deg. (d) 60deg.

그림 2의 결과로부터 실제 외부 움직임에 의해 IPMC가 센서로 동작하여 전압이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

2.2. 스마트폰 기반의 원격 영상 전송

본 논문에서 IPMC 영상 데이터 정보를 원격지 스마트폰으로 전송하기 위한 방법은 Wi-Fi를 통하여 서버로 전송하도록 하였다. 서버로 전송된 IPMC 영상 데이터를 서버의 버퍼에 임시적으로 저장을 해 두었다가 다른 스마트기기의 서버 접속 요청에 의해 영상 데이터를 바로 전송해 주도록 구현하였다.

안드로이드(android) 기반에서 IPMC 영상 데이터를 다른 스마트폰으로 전송하기 위해서는 카메라의 데이터 포맷(format)을 알아야 한다. 일반적인 카메라 데이터 형식은 YUV420SP 포맷으로 되어 있으며, 이 데이터 한 프레임 크기는 X축크기*Y축크기*3/2 라는 식으로 결정된다.

안드로이드에서 카메라 영상을 전송하기 위한 첫 단계로 우선 Manifest에서 카메라 퍼미션을 등록한 후 SurfacerView를 통해 카메라 객체를 생성하여 카메라 설

정 정보를 등록한 후 SurfacerView에 그려지는 카메라 이미지 정보를 onPreviewFrame 메서드를 통해 한 프레임 단위로 데이터가 추출한 뒤 안드로이드에서 지원하는 compressToJpeg 메서드를 통해 이미지 정보를 Jpeg으로 변환 시켜 서버에 전송하도록 프로그램 하여야 한다.

다음 단계는 서버 측에 대한 프로그램으로 접속하는 IP를 확인하여 영상을 요청하는 수신 클라이언트와 영상을 보내는 송신 클라이언트를 구분하여 영상을 요청하는 영상 수신 클라이언트에 서버 영상 버퍼의 영상을 전송하도록 프로그램 하여야 한다. 뿐만 아니라 영상을 수신한 수신 클라이언트 스마트폰은 이미지 정보를 Bitmap으로 변환하여 SufacView에 한 프레임 씩 이미지를 그려주도록 구현해야 한다. 이러한 과정을 거쳐 IPMC 움직임을 계측한 스마트폰의 영상을 원격지 스마트폰으로 전송하여 모니터링 하게 된다.

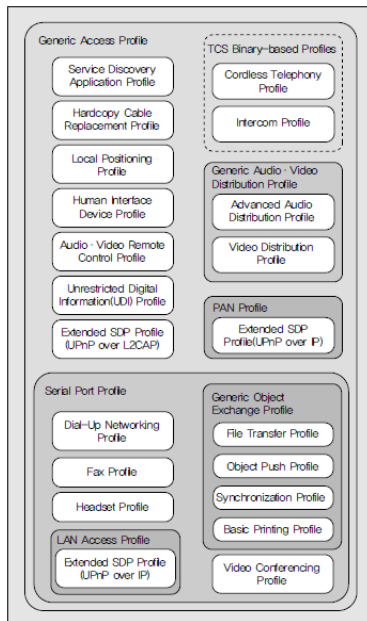
2.3. 블루투스 기반의 IPMC 원격 제어

안드로이드는 블루투스(bluetooth) 프로토콜 스택 내부에 포함하고 있기 때문에 어플리케이션 프레임워크를 통하여 간단하게 블루투스 API(Application Program Interface)를 사용할 수 있다. 블루투스 API의 핵심기능은 블루투스 디바이스 검색, 로컬 블루투스 어댑터(adapter) 쿼리(query), 채널설정, SDP(Service Discovery Protocol)를 통한 다른 디바이스 커넥션, 데이터 전송, 커넥션 관리 등 블루투스를 통하여 데이터를 전송하기 위한 다양한 기능을 제공한다.

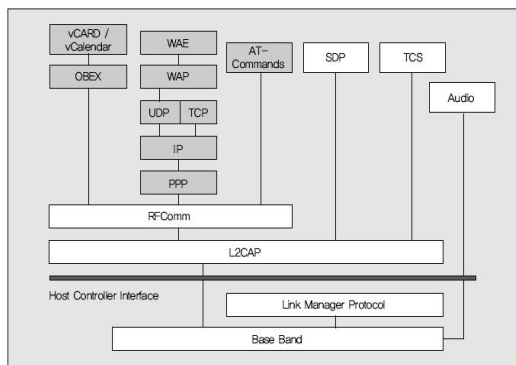
이러한 블루투스 기술은 이기종 간의 여러 서비스들을 단일화된 무선통신 기술로 적용하기 위한 표준안으로 지켜야 할 규칙들을 정리한 것을 프로파일(profile)이라 하며 프로토콜보다 좀 더 넓은 개념이라 할 수 있다. 현재 프로파일은 22가지의 종류가 있으며 특정 프로파일은 블루투스 스펙 버전에 종속적인 것도 있다.

이러한 블루투스 프로파일과 스택은 아래의 그림 3과 같다. 블루투스 스택에서 통신 할 때 사용하는 프로토콜은 L2CAP(Logical Link Control and Adaptation Protocol), RFCOMM(Radio Frequency Communication), SDP, OBEX(OBJECT Exchange)을 사용한다. L2CAP 프로토콜은 블루투스 스택의 기본 프로토콜이며 상위 프로토콜 패킷들을 잘게 나뉘 쪼여서 HCI(Host Controller Interface) 계층에 전달하는 역할을 한다. RFCOMM 프로토콜은 데이터를 주고받을 때 RS-232 시리얼 포트를 예

물레이트 해 주는 프로토콜로서 블루투스 프로파일 중 하나인 시리얼 포트 프로파일이 RFCOMM 위에서 동작한다. SDP 프로토콜은 블루투스 디바이스의 서비스 유형, 서비스 종류, 디바이스 이름 등 디바이스의 정보를 얻을 때 사용하는 프로토콜이다. OBEX는 블루투스 디바이스간의 바이너리 이미지를 전송하는데 사용되는 프로토콜이다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 블루투스 프로파일 (b) 블루투스 스택 구조
Fig. 3 (a) Bluetooth profile (b) bluetooth stack structure

본 논문에서 이러한 스마트폰의 블루투스와 MCU (ATmega128)에 장착된 FB155BC 블루투스는 RFCOMM 프로토콜을 이용하여 각각의 데이터를 송수신 한다. 본 논문에서 사용할 프로파일은 SPP(Serial Port Profile) 프로파일을 사용하였다. SPP 프로파일은 RFCOMM 위에 상주하고 있어 데이터를 전송할 때 시리얼 포트를 사용하는 방식과 같게 전달한다.

III. 스마트폰 기반의 IPMC 원격 위치 제어 시스템

본 논문의 전체적인 시스템의 구성은 그림 4와 같으며 크게 세 부분으로 나누어진다.

첫째는 MCU(dsPIC30F3011)를 이용하여 IPMC 드라이브를 포함한 제어모듈과 데이터 계측을 위한 차동 증폭기 모듈이며, 둘째는 스마트폰으로 획득된 영상을 Wi-Fi 기반으로 원격지 서버에 영상 데이터를 전송하는 부분과 다른 원격지에서 스마트폰을 통하여 서버의 영상정보를 모니터링 할 수 있는 영상 통신 및 처리부이며, 셋째는 원격지 IPMC 영상을 통하여 원격지에서 IPMC를 제어할 수 있는 블루투스 기반의 원격 제어 모듈로 구성된다.

이렇게 구성된 전체 시스템의 구조는 그림 4와 같다.

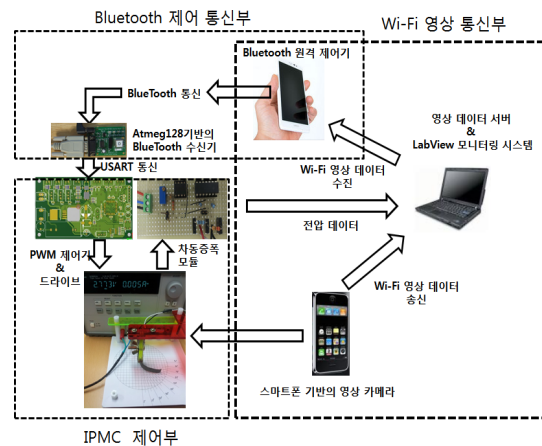


그림 4. 스마트폰 기반의 IPMC 제어 블록다이어그램
Fig. 4 Block diagram of IPMC control based smart phone

그림 5는 실험을 위한 IPMC 실험 환경을 제시하였다. 소전력으로 IPMC를 구동하고 테스트하기 위하여 전원 장치, 소신호 증폭용 차동증폭기 회로 및 계측장비, IPMC 구동 모듈을 제시하였다. 실험에 주의해야 할 점은 인가전압을 1~3[V]의 약한 전압을 인가하도록 하여 IPMC 내부의 수분 증발을 억제하면서 실험을 하여야 한다는 것에 주의하여야 한다.

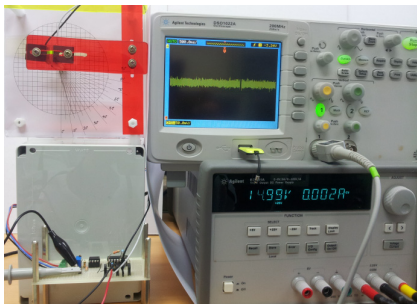
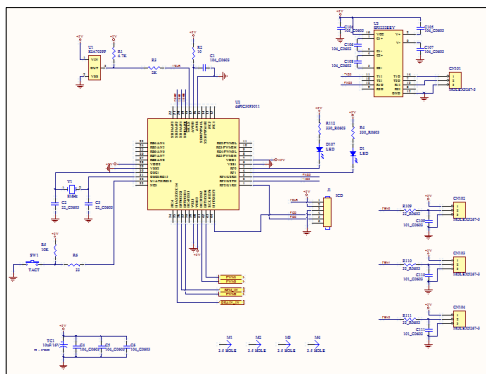


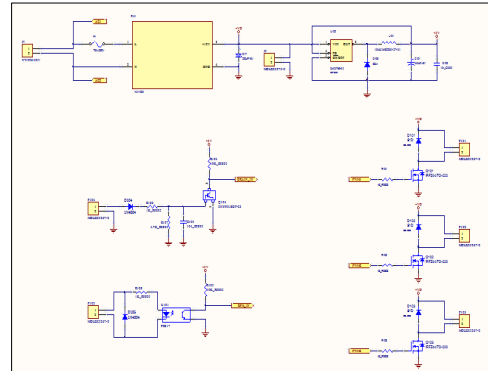
그림 5. 실험을 위한 전원장치, 소신호 증폭용 회로 및 계측장비, IPMC 플랜트

Fig. 5 Experiments for power devices, measurement equipment for small-signal amplification circuit, IPMC plant

본 논문의 실험에 사용한 IPMC의 크기는 50×8.5×0.4[mm]를 사용하였으며 출력되는 출력전압이 극히 미량이어서 소신호 증폭용 차동 증폭기를 설계하여 소신호를 100배 증폭하여 계측할 수 있도록 설계하였다. 또한, 전압 제어를 위해 마이크로프로세서 dsPIC30F3011를 이용한 IPMC 드라이브 회로는 그림 6과 같다.



(a)



(b)

그림 6. (a) IPMC 메인 CPU(dsPIC30F3011) 회로도 (b) IPMC 스위칭 회로

Fig. 6 (a) IPMC main CPU(dsPIC30F3011) Schematics (b) IPMC Switching circuit

그림 7은 그림 6의 회로를 바탕으로 제작한 전압 제어용으로 마이크로프로세서 dsPIC30F3011을 사용하여 제작한 제어용 PCB 보드를 제시하였다.

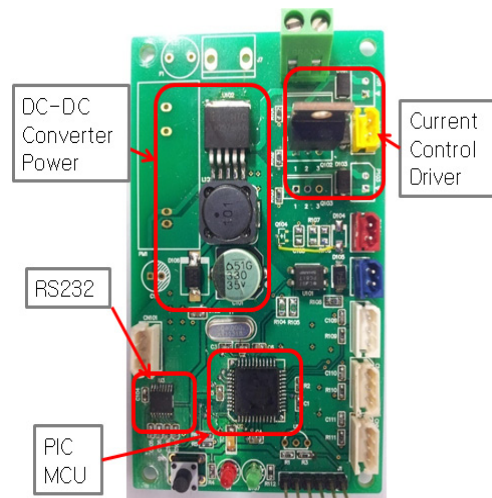


그림 7. PWM 제어기(dsPIC30F3011)
Fig. 7 PWM Controller(dsPIC30F3011)

IV. 실험 및 고찰

본 논문의 실험은 IPMC의 특성을 파악하기 위하여 IPMC에 전압을 공급하여 일정량의 전압을 축적하면서 액추에이터로 구동 시킨 다음 IPMC 내부에 축적된 전하를 저항 1Ω, 10Ω, 100Ω을 통하여 방전시켜 IPMC의 응답 특성을 계측하였다.

그림 8의 결과로부터 IPMC 응답 특성은 인가된 전압에 대하여 IPMC 내부의 이온화를 통하여 변형이 일어나고, 일어난 변형에 대하여 축전지 또는 캐패시터(C)와 같은 특성을 가진다는 것을 확인하였다. 실험 데이터 측정은 외부전원 1.29[V], IPMC 휨 각도를 30도가 되도록 한 다음 외부전원을 차단하고 각각의 저항을 통하여 방전되는 IPMC의 전압 곡선을 측정하였다.

실험 데이터의 저장은 LabView DAQ 보드 PXI-6259를 이용하였으며 샘플링은 1[ms]로 하여 샘플링 하였다.

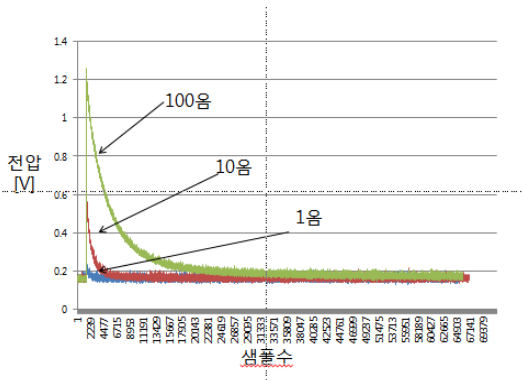


그림 8. 1Ω, 10Ω, 100Ω을 통한 IPMC 방전 곡선
Fig. 8 The IPMC discharge curve through 1Ω, 10Ω, 100Ω

본 논문의 실험은 원격지 IPMC 구동을 위하여 영상 정보 획득용으로 그림 9(a)와 같이 안드로이드 기반의 스마트폰용 앱을 개발하여 영상을 원격지로 전송하도록 하였으며, IPMC의 제어는 그림 9(b)와 같이 블루투스 제어기 스마트폰을 활용하여 IPMC를 제어하도록 시스템을 구현하였다.

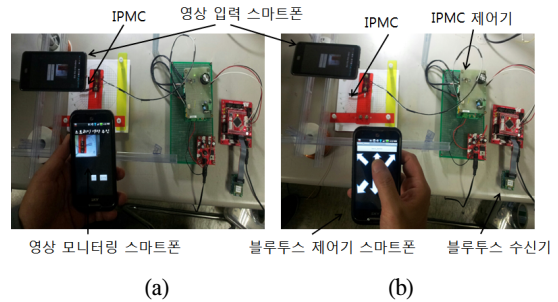


그림 9. (a) 스마트폰의 Wi-Fi를 이용한 IPMC 영상 데이터 전송 (b) 스마트폰 Bluetooth를 이용한 IPMC 제어

Fig. 9 (a) IPMC video data transmission using smartphone with Wi-Fi (b) The control of IPMC using smartphone with bluetooth

그림 9의 (a), (b)를 통하여 IPMC에 대한 영상을 계측하고 제어하도록 하였다. 그림 10의 (a)~(d)는 IPMC의 초기 위치가 15°에서부터 15°씩 증가하여 60°까지 끝 점이 굽어지도록 제어하였다.

IPMC의 구동 조건은 최대 5[V]를 인가하여 PWM 듀티비를 70% 이하로 제한하여 과전류에 의한 파괴를 막도록 하였다. 이러한 IPMC의 휨에 따라 인가되는 전류 [mA]와 전압[V]을 계측하여 아래의 표 1에 제시하였다.

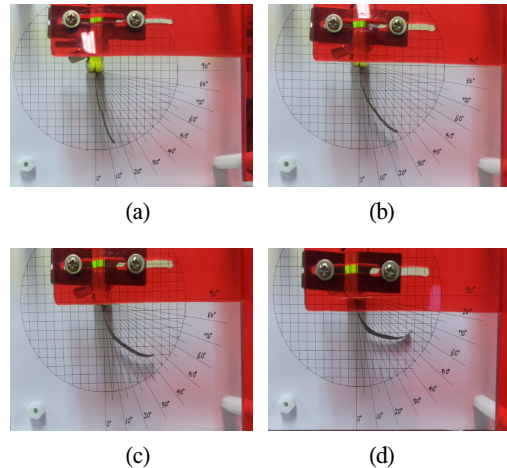


그림 10. 원격 스마트폰을 이용한 IPMC 위치제어 (a) 초기위치(15°) (b) 30° (c) 45° (d) 60°
Fig. 10 (a) IPMC position control using remote smartphone (a) initial position(15°) (b) 30° (c) 45° (d) 60°

표 1. IPMC 각도에 대한 전압, 전류
Table. 1 IPMC angle for voltage, current

각도	전압[V]	전류[mA]
30	1.84	2
45	2.6	4
60	2.9	10

V. 결 론

본 논문에서는 새로운 신소재인 IPMC의 활용에 있어서 액추에이터로서의 활용과 센서로서의 활용도를 IT 기술과 융합하여 몇 가지 특징을 고찰하였다.

액추에이터로서의 활용은 IT 기술과 융합하여 스마트폰의 영상정보를 활용하여 액추에이터로서의 IPMC를 모니터링 하였으며, 동시에 IPMC 구동을 위해 스마트폰의 블루투스를 활용하여 원격지에서 IPMC를 제어하도록 하였다. 특히 IPMC의 구동은 전기 분해에 의해 수분의 감소 현상이 발생하여 장시간 사용하면 IPMC의 구동 변위가 감소하는 등 아직 많은 문제가 발생하는 것도 확인하였다.

IPMC를 이용한 전기에너지 생산 측면은 조류의 움직임이 활발한 바다와 같은 지형에 적합한 것으로 판단되며, 자동차와 같이 진동이 많이 발생하는 곳에 적용할 수 있는 소형 발전기로서의 활용가능성과 잠재능력을 확인하였다. 특히, IPMC의 친수성을 응용하여 심장의 박동에 의해 소량의 전류를 발생시키는 신체 이식 발전기에 적용될 수도 있으리라 기대 된다.

본 논문을 통하여 새로운 소재인 IPMC는 낮은 구동 전압을 이용하여 큰 변형과 빠른 응답 특성을 가지는 액추에이터로서의 활용도와 센서로서의 활용도 및 연료 전지와 같은 다양한 응용분야에 활용할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Kim S. J., Lee I. T., Lee H. Y., Kim Y. H., 2006, "Performance improvement of an ionic Polymer-metal composite actuator by parylene thin film coating," *Smart Mater. Struct.*, 15, pp. 1540-1546.
- [2] Choi S., Tang W. and Lee S. Y., 1009, "Theoretical modeling and experimental verification for a multi-layered IPMC actuator," *The KSME Fall Ann. Meeting*, pp. 2763-2768.
- [3] P. Brunetto, L. Fortuna, S. Graziani, and S. Strazzeri, "A model of ionic polymer-metal composite actuators in underwater operations," *Smart Materials and Structures*, Vol. 17, 025029, 2008.
- [4] B. Fang, C. K. Lin, M. Ju, "Development of sensing/actuating ionic polymer-metal composite (IPMC) for active guide-wire system," *Sensors and Actuators A*, vol. 158, pp. 1-9, 2010.
- [5] Y. Zhang, M. Cong, and D. Guo, "Design optimization of a bidirectional microswimming robot using giant magneto strictive thin films," *IEEE Trans. Mechatronics*, vol. 14, pp. 493-503, 2009.
- [6] Z. Chen, S. Shataru, and X. Tan, "Modeling of biomimetic robotic fish propelled by an ionic polymer-metal composite caudal fin," *IEEE Trans. Mechatronics*, vol. 15, pp. 448-459, 2010.
- [7] M. Aureli, V. Kopman, and M. Porfiri, "Free-locomotion of underwater vehicles actuated by ionic polymer metal composite," *IEEE Trans. Mechatronics*, vol. 15, pp. 603-614, 2010.
- [8] 구본민, "IPMC 고유특성에 기반한 액추에이터 모델링 및 위치 제어 시스템 개발", 석사학위논문, 한양대학교 대학원, 2010.

저자소개

김관형(Gwan-Hyung Kim)



2001년 한국해양대학교
전자통신공학과 공학박사
2000년 ~ 2012년 동명대학교
컴퓨터공학과 전임강사

2012년~ 현재 동명대학교 컴퓨터공학과 조교수
※관심분야: 최적제어, 인공지능, 임베디드시스템 설계, 신호처리, 영상처리