

가변 통기성 의복을 위한 스마트 개폐장치 개발: 양방향 작동 액추에이터 제작을 위한 일방향 형상기억합금 와이어의 최적 직경 및 전압인가 단위시간의 도출

Development of Smart Switchgear for Versatile Ventilation Garments:
Optimum Diameter and Voltage Application Unit Time of
One-way Shape Memory Alloy Wire for a Bi-directional Actuator

김상구* · 김민성* · 유신정**
Sanggu Kim* · Minsung Kim* · Shinjung Yoo**

*경희대학교 의상학과
*Department of Clothing & Textiles, Kyunghee University

Abstract

The study figured out the operational conditions of a two-way movement actuator made of one-way shape memory alloy (OWSMA) for versatile ventilation intelligent garments. To develop a low-power actuator that consumes energy only when a garment changes its form such as opening and closing, multiple channels of OWSMA were used, and optimum diameter of the wires was examined. For the switch device, optimum voltage application unit time was determined. Optimum diameter of OWSMA wire was determined by applying 3.7V to the pre-determined candidate diameters, which demonstrated two-way operation in previous studies. In order to evaluate the optimum voltage application time, the internal diameter of the actuator was measured while increasing and decreasing by 50 ms from the unit time of voltage application. Delay time under two-way operation of the actuator was measured to minimize interference caused by heat between channels. Power of 3.7V was applied to OWSMA for assessment of optimal time, and the whole process from heating to cooling was video-recorded with a thermal image camera to determine the point of time at which the temperature of OWSMA wire dropped below the phase transformation temperature. The results showed that 0.4Φ was the most suitable diameter, and the optimum unit time of voltage applied to open and close the actuator was 4100ms. It was also shown that the delay time should be more than 1.8 seconds between two-way operations of the actuator.

Key words: Shape Memory Alloy, Bi-directional Actuator, Low-power Consumption, Voltage Application Time, Versatile Ventilation Intelligent Garment

요약

본 연구에서는 가변 통기성 스마트 의류의 제작을 위해 필요한 형상기억합금 액추에이터의 작동 조건을 파악하였다. 의복의 개방, 폐쇄와 같은 양방향 작동 시 형태 변형 시에만 전력을 소모하는 저전력 소모 액추에이터 개발을 위해

※ 이 성과는 2015년도 정부(이공학개인지초)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2015R1D1A1A01060734).

† 교신저자 : 유신정 (경희대학교 의상학과)

E-mail : sjyoo@khu.ac.kr

TEL : 02-961-9297

FAX : 02-961-0261

복수 채널의 일방향 형상기억합금을 이용하여 스위치로 작동되는 액추에이터를 설계하였으며 가장 효율적으로 작동할 수 있는 와이어의 직경과 전압인가 단위시간을 도출하였다. 선행연구 결과 도출된 양방향 작동이 가능한 일방향 형상기억합금의 직경 범위 내에서 Arduino 스위치를 제작하여 3.7V 전압인가 시 변화량을 분석한 결과 0.4Φ의 액추에이터가 가장 적합한 것으로 나타났다. 0.4Φ 형상기억합금와이어를 사용한 양방향작동 액추에이터의 개방, 폐쇄에 필요한 최적전압인가 시간을 도출하기 위해 액추에이터의 최대개방, 최소폐쇄 도달 전압인가 시간으로부터 50ms씩 감소, 증가 시키며 냉각 후 액추에이터의 내경을 비교하는 방식으로 측정한 결과 개방 동작에 필요한 최적 전압인가 단위시간은 4,100ms로 나타났다. 각 채널간의 발열에 의한 간섭을 최소화하기 위한 양방향간 작동 시 필요 딜레이 분석을 위해 상온에서 형상기억합금에 최적 전압인가 시간인 4.1초 동안 전원을 공급하고 가열 후 냉각까지의 과정을 열화상카메라로 촬영하여 형상기억합금 와이어의 온도가 냉각시의 상변태온 이하로 하강하는 시점을 파악한 결과, 액추에이터의 양방향간 작동 딜레이는 1.8초 이상이 확보되어야 함을 파악할 수 있었다.

주제어: 형상기억합금, 양방향 작동 액추에이터, 저전력 소비, 전압인가시간, 가변통기성스마트의류

1. 서론

1.1. 연구목적

소비자의 요구가 진화함에 따라 의류의 성능은 기능성(functional)으로부터 고기능성(high-functional), 다기능성 (multi-functional)으로 함께 진화하고 있고 최근에는 섬유 센서, 섬유 회로보드, 스마트기기와의 네트워크 구축 등의 도입으로 지능형(smart, intelligent)으로 변화하고 있다(Kim et al., 2016). 지능형 의류는 감지·프로세싱·작동(sensign·processing·actuating)의 기능 중 한 가지 이상의 기능을 수행할 수 있는 의류이며 웨어러블 기술의 발전과 함께 건강관리와 같은 생체모니터링, 신체의 보호와 보안을 목적으로 하는 군사용 의복, 소방복 등에 적용될 수 있도록 개발되고 있다(Korea Institute for Knit Industry, 2014).

자전거용 의류는 달리기, 등산 등의 타 운동과 달리 손이 자유롭지 못한 자전거의 특성으로 인해 의복내의 과열을 방지하기 위해 쉽게 겉옷의 지퍼를 열거나 벗기 어렵다. Yoo et al.(2015)의 연구에 의하면 자전거를 타는 사람들은 환경에 따른 체온조절 기능을 탑재한 지능형 성능을 요구하고 있는 것으로 나타났다. 윈드브레이크 등과 같은 겉옷을 입고 라이딩을 할 경우 겉옷에 스위치로 통기성을 조절할 수 있는 가변 통기성을 부여할 수 있다면 운동으로 인해 의복 내 온도가 올라가기 시작하면 발한이 일어나기 전에 개폐구를 열어서 열기를 제거하고 열기가 제거 된 후 개폐구를 닫아 한기를 느끼지 않도록 하여 쾌적성과 열적 안정성을 유지할 수 있다. 양방향으로 작동하는 개폐장

치를 유연하고 얇은 의류에 부착하기 위해서는 구동장치로 모터를 사용하기에는 무리가 있으며 전기적인 힘으로 개폐할 때 많은 전력이 필요한 장치라면 인체 안정성이나 전원확보의 어려움이 동반된다. 따라서 모터를 사용하지 않는 저전력 사용의 양방향 구동장치를 개발할 필요성이 있었으며 조건을 만족시키기 위해 형상기억합금을 사용하였다.

현재 형상기억합금은 생활과 산업 전반에 다양한 형태로 사용되고 있다. 상변태를 이용하는 형상기억합금 바이메탈로 이루어진 온도감응형 센서는 냉장고 제상센서나 전기포트의 전원차단 타이머 등에서 흔히 접할 수 있고, 형상기억합금의 초탄성력을 이용하는 고탄성 금속은 산업용 스프링이나 변형이 일어나지 않는 티타늄 안경테 제작에 사용된다(Tobushi, 2009). 의복에 사용된 형상기억합금은 이방향성 형상기억합금 스프링을 이용한 가변 보온성능 지능형의복(Yoo et al., 2008)이나 가변 단열성 소방복(Lee, 2007), 날씨에 따라 소매가 자동으로 올라가는 셔츠(Pan & Sun, 2011)나 헤어드라이어 등의 열기에 의해 구김이 퍼지는 셔츠(Ritter, 2006) 등을 대표적인 예로 들 수 있으며, Xslabs의 The Skorpion이나 Kukkia 같은 shape-change garment작품이나 Hussein Chalayan의 2007년 컬렉션의 피날레로 등장한 전기장치에 의해 길이가 짧아지는 원피스나 개더가 생기는 드레스는 형상기억합금을 의복의 디자인적인 요소로 적용한 사례라 할 수 있다(Honkala, 2006).

이렇듯 이미 의복에 다양한 방식으로 형상기억합금은 적용이 되어 왔지만 몇 가지 제한적인 요소를 포함하고 있다. 먼저 가변 보온성능 지능형의복과 가변 단

열성 소방복, 형태가 변화하는 셔츠의 경우 모두 환경 온도의 영향을 받아 이방향형상기억합금이 상변태하게 되는 원리로(Park et al., 2012) 착용자의 의지에 따라 가변적인 성능을 발휘하는 것이 불가능하다. 또 Xslab 나 Hussein Chalayan의 작품은 전원을 이용하여 형태의 변화를 구현하였으나 대형 배터리를 의복 내부에 설치해야 하거나 구동 횟수가 제한적이며 이방향 형상기억합금의 특성상 양방향 작동 중 austenite상의 형태를 유지하는 데에는 지속적인 전원이 필요(Wang et al., 2003)하게 되므로 궁극적인 양방향 제어는 불가능하다고 할 수 있다.

이러한 제한점을 보완하기 위해 본 연구에서는 의복에서 개방, 폐쇄와 같은 양방향 작동 시 형태 변형 시에만 전력을 소모하는 액추에이터를 복수 채널의 일방향 형상기억합금을 이용하여 개발하는데 필요한 소재의 물성을 파악하고 스위치를 제작하여 액추에이터가 가장 효율적으로 작동할 수 있는 조건을 파악하고자 하였다.

1.2. 연구방법

먼저 선행연구(Kim et al., 2017)에서 파악된 양방향 작동이 가능한 일방향 형상기억합금의 직경인 0.3Φ, 0.35Φ, 0.4Φ의 형상기억합금으로 이루어진 액추에이터를 대상으로 Arduino UNO 보드와 복수의 push button, BJT소자, 3.7V 리튬폴리머 배터리로 이루어진 스위치를 제작하여 전압인가 시간에 따른 액추에이터의 개방, 폐쇄시의 내경의 변화량과 양방향 동작 뒤 냉각후의 액추에이터 내경의 변화량을 측정하여 최적 직경을 도출한다.

두 번째로, 지속적인 전압인가로 인한 형상기억합금의 70°C 이상 고온가열을 방지 하고 소모전류량을

최소화하기 위해 최적 전압인가시간의 도출이 필요하다. 양방향 작동성이 가장 우수한 직경의 액추에이터를 제작한 Arduino 스위치에 연결하고, delay값을 최대 개방에 필요한 전압인가 시간부터 50ms 간격으로 감소 시켜 개방 동작 후 냉각한 형상기억합금부의 내경을 측정하고, 폐쇄 동작은 액추에이터의 최소 폐쇄에 필요한 전압인가 시간부터 50ms 간격으로 감소시켜 폐쇄 동작 후 냉각한 형상기억합금부의 내경을 측정하여 각 동작별 최적 전압인가시간을 도출한다.

마지막으로 개방과 폐쇄의 형상기억합금 각 채널간의 전압인가에 의한 발열이 상호간 간섭을 발생시키므로 이를 최소화 하기위한 양방향 작동 간 최소 딜레이를 도출해야 한다. 이는 열화상카메라를 이용하여 액추에이터 작동시의 실시간 온도 변화를 관측하고 각 채널의 형상기억합금이 최적전압인가 시간으로부터 상변태온까지의 온도 하강시간을 관측하여 스위치에 딜레이 명령어를 입력한다.

2. 실험

2.1. 스위치 제작

2.1.1. Arduino 스케치

테스트용 전압인가 단위시간 조절 스위치 제작을 위한 Arduino 시스템 스케치는 Fig. 2와 같다. Arduino Uno 보드와 양방향 작동을 위해 독립적으로 작동하는 두 개의 pushbutton을 사용하였다.

2.1.2. 회로구성

일반적으로 출력이 LED나 소형 디스플레이와 같은 저부하의 경우는 Arduino의 Digital핀으로 시그널을 입출력하고 보드의 power에서 5V, 혹은 3.3V와 gnd로 전력을 공급받는다. 상단의 스케치중 SMAPin을 LED로 출력하면 아래와 같은 회로만으로 작동이 가능하다. 하지만 3차 제작된 형상기억합금 액추에이터를 적용할 경우, 발열이 일어나지 않는다. Aruino UNO 보드에서 제공하는 전류가 제한되어 있으므로, 보다 큰 부하를 필요로 하는 액추에이터는 외부전원과 BJT(바이폴라 트랜지스터)를 사용하여 Digital 시그널의 입출력이 필요함을 확인했다. 다음과 같은 방법으로 보드와 형상기억합금을 작동시킬 수 있다.

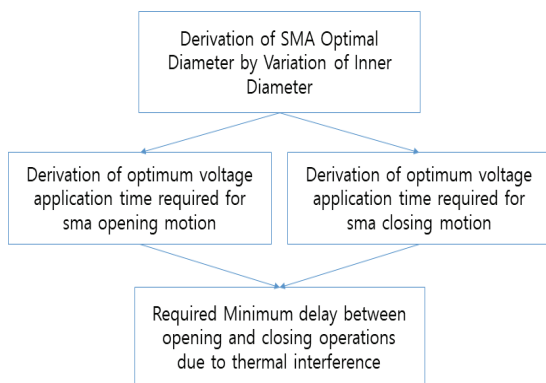


Fig. 1. Diagram of Reserch Method

```

_2_Buttons
const int buttonPin_1 = 2;
const int SMAPin_1 = 13;
const int buttonPin_2 = 4;
const int SMAPin_2 = 12;

int buttonState_1 = 0;
int buttonState_2 = 0;

void setup() {
  pinMode(SMAPin_1, OUTPUT);
  pinMode(SMAPin_2, OUTPUT);
  pinMode(buttonPin_1, INPUT);
  pinMode(buttonPin_2, INPUT);
}

void loop(){
  buttonState_1 = digitalRead(buttonPin_1);
  if (buttonState_1 == HIGH) {
    digitalWrite(SMAPin_1, HIGH);
    delay(2000);
  }
  else {
    digitalWrite(SMAPin_1, LOW);
  }
  buttonState_2 = digitalRead(buttonPin_2);
  if (buttonState_2 == HIGH) {
    digitalWrite(SMAPin_2, HIGH);
    delay(2000);
  }
  else {
    digitalWrite(SMAPin_2, LOW);
  }
}
    
```

Fig. 2. Design sketch of Arduino switch

① Arduino Uno 보드전원인 5V USB 또는 12V DC 전원의 전류가 충분할 경우, 전압강하 회로를 구성하여 3.7V를 형상기억합금에 공급한다.

② Arduino Uno는 USB혹은 12V DC로 전원을 공급받고, 형상기억합금은 3.7리튬폴리머 배터리로부터 전원을 받는다.

③ DC-DC 승압 전압 변환 모듈을 이용하여 3.7V 리튬폴리머 배터리를 5V로 승압하여 Arduino Uno에 전원을 공급한다.

본 연구의 액추에이터 실험단계에는 대용량의 3.7V 리튬폴리머 배터리와 방법②가 승압, 감압 회로를 생략할 수 있어 적합하며, 의복 적용단계에서는 방법③

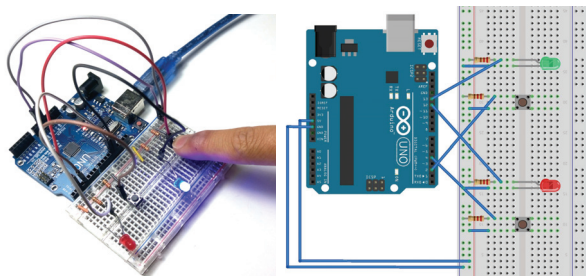


Fig. 3. Arduino switch circuit

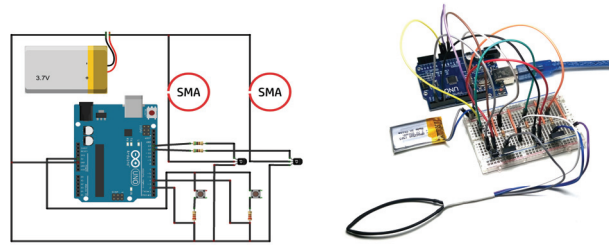


Fig. 4. Unit time control circuit of voltage supply

으로 단일 리튬폴리머 배터리와 Arduino mini, 소형 승압 모듈을 이용하거나 3.7V 전용 보드를 제작하여 휴대성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

2.2. 전압인가 시간별 액추에이터의 변화량 측정

액추에이터의 최대 개방과 최소 폐쇄 길이를 측정하여 전압인가시의 액추에이터 변형 양상과 양방향 변화량을 비교한다. 실험은 액추에이터에 개방, 폐쇄 회로에 각각 5초간 3.7V의 자극을 주며 0.2초 단위로 형상기억합금 부 내경의 가로 길이변화를 스캔하는 방식으로 진행했으며, 개방과 폐쇄는 형상기억합금의 냉각을 위해 10초의 딜레이를 두고 작동시켰다.

스위치 회로에 선행연구에서 변화량의 차이를 보인 0.3Φ, 0.35Φ 0.4Φ직경의 액추에이터를 연결하고 작성한 Arduino 스케치의 digitalWrite에 dealy를 (5000) 부여하였다. 구동되는 액추에이터의 형상기억합금부는 HD 60fps으로 근접 촬영하여 동영상 촬영한 뒤, 12프레임마다 이미지를 추출해 Hyscaler 프로그램을 통한 길이 측정을 진행했다.

2.2.1. 0.3Φ 액추에이터

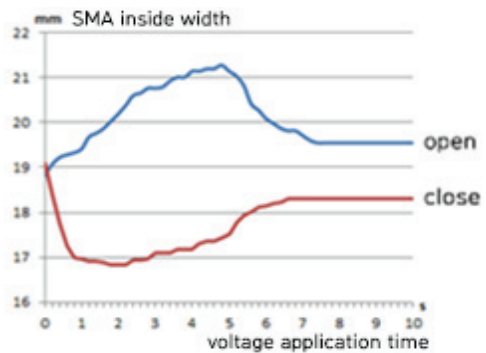


Fig. 5. Bidirectional variation graph of 0.3Φ actuator

0.3Φ 형상기억합금으로 제작된 양방향작동 액추에이터의 형상기억합금부 내경의 최대 개방 구경은 개

방 회로 전압인가 4.8초 후 21.275mm, 최소 폐쇄 구경은 폐쇄회로 전압인가 1.8초 후 16.839mm이며, 형상기억합금의 냉각 이후 양방향 작동 변화량은 1.244mm로 측정되었다.

2.2.2. 0.35Φ 액추에이터

0.35Φ 형상기억합금으로 제작된 양방향작동 액추에이터의 형상기억합금부 내경의 최대 개방 구경은 개방회로 전압인가 4.8초 후 25.391mm, 최소 폐쇄 구경은 폐쇄회로 전압인가 1.6초 후 21.705mm이며, 형상기억합금의 냉각 이후 양방향 작동 변화량은 1.543mm로 0.3Φ 액추에이터보다 조금 더 크게 측정되었다.

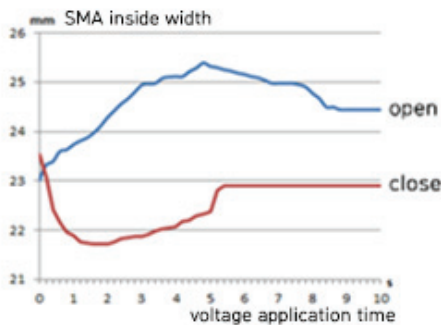


Fig. 6. Bidirectional variation graph of 0.35Φ actuator

2.2.3. 0.4Φ 액추에이터

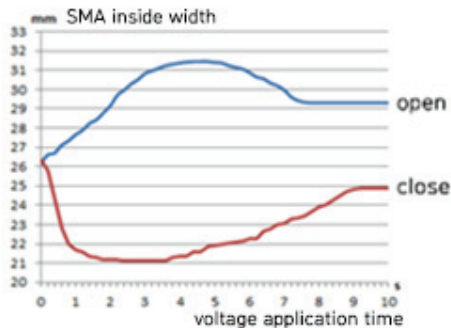


Fig. 7. Bidirectional variation graph of 0.4Φ actuator

0.4Φ 형상기억합금으로 제작된 양방향작동 액추에이터의 형상기억합금부 내경의 최대 개방 구경은 개방회로 전압인가 4.4초 후 31.442mm, 최소 폐쇄 구경은 폐쇄회로 전압인가 2.8초 후 21.098mm이며, 형상기억합금의 냉각 이후 양방향 작동 변화량은 4.434mm로 세 가지 실험물 중 가장 큰 결과값이 측정되어, 일방향 형상기억합금을 이용한 양방향 액추에이터에 적합한 것으로 확인되었다.

2.3. 최적 전압인가 시간 측정

단열 PVC 튜브의 적용으로 액추에이터의 형상기억합금 간 발열에 대한 간섭을 완화했지만, 3.7V의 전원공급시 제작한 형상기억합금의 상변태 온도인 54.47°C를 수 초내로 크게 상회하는 발열이 일어날 수 있으므로, 전압을 인가하는 최소한의 단위시간 측정이 필요하다.

양방향 작동성이 가장 우수한 0.4Φ액추에이터를 제작한 Arduino 스위치에 연결하고, delay(x)값을 최대 개방에 필요한 4400ms(4.4초)부터 50ms 간격으로 감소시켜 개방 동작 후 냉각한 형상기억합금부의 내경을 측정하였다. 폐쇄 동작의 측정은 액추에이터의 최소 폐쇄에 필요한 2800ms(2.8초)부터 50ms 간격으로 감소시켜 폐쇄 동작 후 냉각한 형상기억합금부의 내경을 측정하였다.

2.3.1. 개방

0.4Φ 액추에이터의 개방 동작에 필요한 3.7V 전원의 최적 전압인가 단위시간은 4100ms(4.1초)로, 이는 전원 차단 후에 PVC 튜브 내부에 잔존하는 열로 인해 주변부 온도가 형상기억합금의 상변태온(54.64°C)보다 높아 잠시 동안 형상기억합금을 austenite상으로 유지시켜주기 때문으로 해석된다.

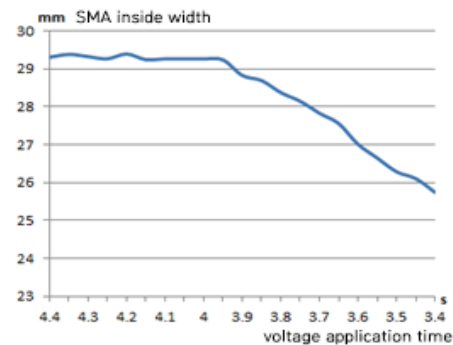


Fig. 8. Graph of optimal voltage time supplied when 0.4Φ actuator opens

2.3.2. 폐쇄

0.4Φ 액추에이터의 폐쇄 동작에 필요한 3.7V 전원의 최적 전압인가 단위시간은 2700ms(2.7초)로, 2.8초간 가열되어 형상기억합금부가 최소 폐쇄 구경에 도달한 뒤 냉각되는 경우보다 작은 값이 도출되었다. 이는 자극상태 형상기억합금의 발열이 27000ms 이후 개방부 형상기억합금에 상변태온도 이상의 영향을 미치는 것으로 해석된다.

2.4. 양방향 작동 간 개방 폐쇄 딜레이 측정

액추에이터 제작에 쓰이는 일방향 형상기억합금과 동일 Niti, 동일한 길이 17cm로, 3.7V의 전압이 인가된 형상기억합금의 온도변화를 측정한 결과 가장 변화량이 큰 4.0Φ를 사용한다. 실온에서 4.0Φ 액추에이터 최적 전압인가시간인 4.1초 동안 전원을 공급하며 열화상카메라를 이용한 형상기억합금의 실시간 온도변화를 관측한다.

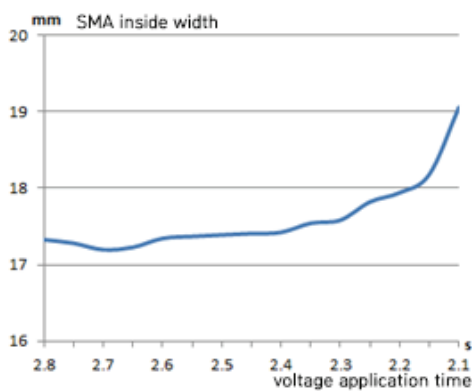


Fig. 9. Graph of optimal voltage time supplied when 0.4Φ actuator closes

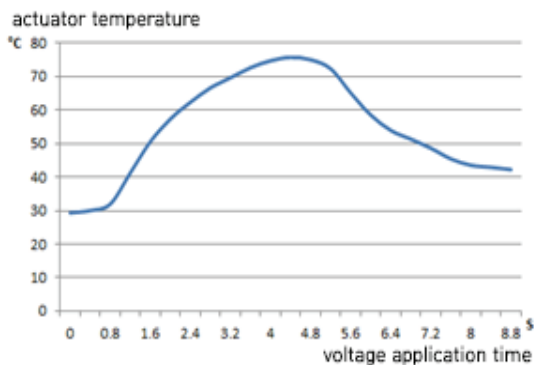


Fig. 10. Graph of temperature change by voltage time supplied of 0.4Φ actuator

14cm, 4.0Φ의 형상기억합금 와이어는 3.7V 전압인가 시 1.0초 이후 급속도로 가열되어 1.8초경 상변태온 54.64°C에 도달하여 변형되기 시작한다. 4.1초에 75.7°C까지 가열된 형상기억합금은 전압 차단 이후로 냉각되어 5.9초경 상변태온 59.05°C 이하부터 matensite 상으로 변화한다. 액추에이터의 양방향간 작동 딜레이는 1.8초 이상이 확보되어야 채널 간 회복력으로 인한 간섭을 최소화 할 수 있다.

3. 결론 및 제언

3.1. 결론

본 연구는 가변 통기성 스마트웨어를 개발하기 위한 기초 연구로, 복수의 일방향 형상기억합금을 전기전자장치로 구성하여 인장과 수축, 개방과 폐쇄와 같은 양방향 작동을 구현하는데 필요한 액추에이터의 필요조건을 도출하는데 목적을 두고 있다.

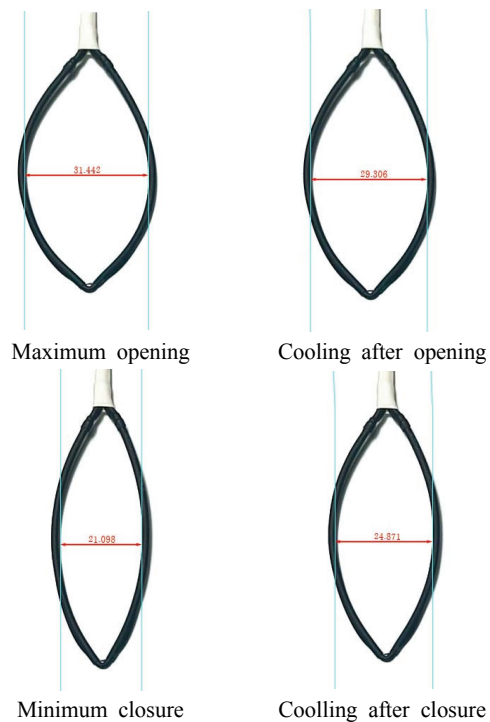


Fig. 11. Operational phase of 0.4Φ actuator

선행연구(Kim et al., 2017)에 근거하여 PVC 피복을 적용한 0.3Φ, 0.35Φ, 0.4Φ 직경의 형상기억합금와이어를 대상으로 반응력을 측정하는 적합성 실험을 진행했으며, 그 결과 0.4Φ 형상기억합금와이어로 제작된 액추에이터가 최대 개방 구경이 개방 회로 전압인가 4.4초 후 31.442mm, 최소 폐쇄 구경이 폐쇄회로 전압인가 2.8초 후 21.098mm이며, 형상기억합금의 냉각 이후 양방향 작동 변화량은 4.434mm(Fig. 11)로 세 가지 실험물 중 가장 큰 결과값이 측정되어, 가장 적합한 것으로 나타났다. 폐쇄 동작 이후 냉각된 상태의 내부 가로 거리가 24.871mm인 액추에이터를 완전히 닫힌 상태의 슬릿에 적용하여 개방 동작시 냉각 후 4.434mm의 벤트를 확보할 수 있다.

두 번째로 0.4Φ 형상기억합금와이어를 사용한 양방향작동 액추에이터의 개방, 폐쇄에 필요한 최적전압

인가시간을 액추에이터의 최대개방, 최소폐쇄 도달 전압인가 시간으로부터 50ms 씩 감소, 증가 시키며 냉각 후 액추에이터의 내경을 비교하는 방식으로 측정했다. 측정결과 개방 동작에 필요한 최적 전압인가 단위시간은 4100ms로, 이는 전원 차단 후에 PVC 튜브 내부에 잔존하는 열로 인해 주변부 온도가 형상기억합금의 상변태온보다 높아 잠시 동안 형상기억합금을 austenite상으로 유지시켜주기 때문으로 해석되며, 폐쇄 동작에 필요한 최적 전압인가 단위시간은 2700ms로, 2.8초간 가열되어 형상기억합금부가 최소폐쇄 구경에 도달한 뒤 냉각되는 경우보다 작은 값이 도출되었다. 이는 자극상태 형상기억합금의 발열이 27000ms 이후 개방부 형상기억합금에 상변태온도 이상의 영향을 미치는 것으로 해석된다.

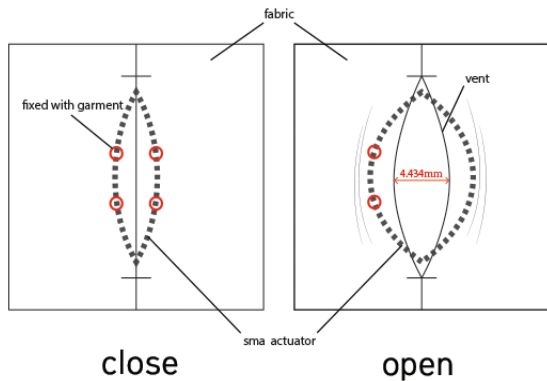


Fig. 12. Fixing method between of actuator and garment

세 번째로 각 채널간의 발열에 의한 간섭을 최소화하기 위한 양방향간 작동 시 필요 딜레이를 측정하였다. 상온에서 형상기억합금에 최적 전압인가 시간인 4.1초 동안 3.7V를 공급하고 가열 후 냉각까지의 과정을 열화상카메라로 촬영한 뒤, 전원공급 4.1초 이후 형상기억합금 와이의 온도가 냉각시의 상변태온 이하로 하강하는 시점을 파악한 결과, 액추에이터의 양방향간 작동 딜레이는 1.8초 이상이 확보되어야 함을 파악했다.

3.2. 제언

3.2.1. 액추에이터 소형화

Arduino Uno로 실험을 진행한 뒤 같은 기능의 소형 기관인 Arduino Mini를 사용하여 액추에이터를 제작하려 했으나, Mini의 입력전원이 USB의 5V로 고정되어있어, 3.7V에 최적화된 형상기억합금을 작동시키기 위한 3.7V 배터리로 스위치 구동이 불가하다. 소형

으로 의복 장착이 용이한 리튬폴리머배터리는 5V로 생산되지 않으며, 그로 인해 3.7V와 5V, 복수의 배터리 리셀을 이용하여 구동시키는 것 또한 불가하다. 3.7V를 5V로 승압시키는 승압회로의 적용으로 전압문제는 해결이 가능하지만 배터리 효율이 크게 저하될 가능성이 있다. 스위치의 전원 문제는 오픈소스보드가 아닌 필요전압인가시간과, 딜레이의 값을 입력하여 3.7V 전용 보드를 제작하여 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

3.2.2. PVC단열 소재의 단열성과 유연성

열가소성 PVC단열 튜브는 원형의 액추에이터 형태와 동일하게 가열하여 성형이 가능하지만 냉각 후 경화되어 액추에이터의 개방, 폐쇄 동작에 저항력을 가지게 된다. 2개 기공이 가공된 단열 실리콘 튜브를 적용할 경우, 동일 두께 대비 PVC보다 단열성과 유연성이 큰 폭으로 증가할 것으로 예상된다. 액추에이터 작동 시 실리콘 튜브의 표면 온도를 측정하여 SMA발열이 인체에 영향을 미치지 않을 수 있는 적정 두께를 도출하는 과정 또한 필요할 것으로 예상된다.

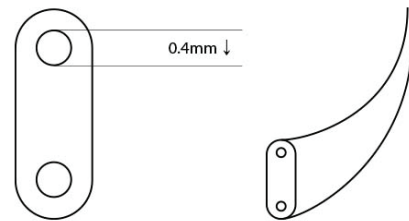


Fig. 13. Design of 2-air hole silicon hose

3.2.3. 환경온에 따른 작동 오차

형상기억합금은 전력공급에 의한 발열로 합금이 상변태온을 초과할 경우 변형되는 온도감응형이므로 작동 성능이 환경온에 영향을 받는다. 선행연구가 진행된 환경온 20~30°C 이상의 경우는 상변태온도를 넘지 않는 선에서 냉각 딜레이를 늘려주는 것 이외에 크게 변경될 점은 없으나, 영하의 온도과 같은 경우는 기존 가열시간이 부족하여 개방 폐쇄 동작이 불완전하게 일어날 수 있다. 이는 tmp36과 같이 환경온을 측정할 수 있는 저항온도센서를 형상기억합금 액추에이터 근처에 위치시킨 뒤 기온을 특정 범위로 카테고리화 하여 환경온에 따라 전압인가시간과 딜레이가 조절되도록 코딩하는 것으로 해결가능할 것으로 예상된다.

3.2.4. 냉각 후 변화량

선행연구의 실험으로 냉각 후 변화량이 가장 큰 액추

