

2006

추계



# 학술발표회 논문집

Proceeding of the 2006 KSAS Fall Conference

일시 : 2006년 11월 16일(목)-17일(금)  
장소 : 파라다이스호텔 부산

주최 : 한국항공우주학회  
후원 : 한국학술진흥재단  
한국항공우주산업(주)  
삼성탈레스(주)  
EADS Korea

- 진동하는 에어포일의 경계층 및 근접후류 측정 ..... 153  
김동하\*, 장조원(한국항공대)
- 진동하는 에어포일에서 경계층 가시화 및 표면 유동 측정 ..... 157  
김동하\*, 장조원(한국항공대)
- 지면효과를 받는 원형실린더의 공력특성에 대한 전산연구 ..... 161  
정재윤\*, 장조원(한국항공대)
- NACA 0012 에어포일의 경계층 거동에 관한 연구 ..... 166  
양재훈\*, 장조원(한국항공대)
- 저궤도 우주왕복선 형상설계 및 공력 해석 ..... 170  
김철완\*, 이윤교, 장병희, 이장연, 이대성(KARI)

## 구조역학 및 응용 (1)

- 소형항공기용 블랙박스의 극한충격해석 및 실험 ..... 176  
이석규\*, 유구현, 양성철, 김진천(넥스원퓨처연구소), 이상욱(KARI)
- 항공기 전문착륙장치의 지상충격하중 및 동특성해석 ..... 181  
김선구\*, 김 철(경북대), 김영만(KAI)
- 조종면 유격 비선형성을 고려한 아음속 및 천음속 공탄성 해석 ..... 185  
김경석\*(KAIST), 유재한(현대기아자동차), 배재성(한국항공대), 이 인(KAIST)
- 항공기의 착륙하중 및 지상운동하중에 관한 연구 ..... 189  
임중순\*, 이승재, 배효길, 박재성, 김영익(KAI)
- 전자기 감쇠력을 이용한 보의 진동제어 ..... 198  
배재성\*, 황재혁(한국항공대)
- **플래핑 운동을 위한 IPMC 작동기 모듈 개발에 관한 연구** ..... 202  
김홍일\*, 김대관, 한재홍(KAIST)
- 광섬유 센서를 이용한 액체의 굴절률 측정 ..... 206  
최성희\*, 박상오, 박상욱, 김천곤(KAIST)
- SMA 박막을 이용한 구조물의 진동 감쇠 ..... 210  
노진호\*, 이 인(KAIST)

## 구조역학 및 응용 (2)

- Alienor Method와 Lipschitzian Optimization를 이용한 전역적 최적화에 대한 연구 ..... 214  
김형래\*(한국폴리텍 항공대학), 이나리, 천영성, 박찬우(경상대)
- 구조 최적설계 기법을 이용한 위성체 어댑터 구조 설계/해석 동시 수행 ..... 219  
정상영\*, 김중우, 윤길원, 함명래(대한항공), 이주훈, 김진희, 김경원, 김선원(KARI)

# 플래핑 운동을 위한 IPMC 작동기 모듈 개발에 관한 연구

## Study on Development of IPMC Actuator Modules for Flapping Motion

김홍일\*, 김대관, 한재홍(한국과학기술원)

### 1. 서론

현대의 일반적인 작동기들은 기계적 메커니즘을 이용하여 에너지를 전달한다. 이러한 기존의 작동기들은 기계적 메커니즘으로 인한 에너지 손실, 무게 증가, 복잡한 구조 등의 단점을 지니고 있다. 또한 소형화하기에 힘들며 복잡한 움직임을 표현하기에 부적합하다. 하지만 최근 들어 단순한 회전 및 병진 운동이 아닌 생체 모방형 운동에 대한 요구가 증가하고 있기 때문에 비효율적인 기존 작동기의 한계를 극복하기 위한 새로운 형태의 작동기에 대한 연구가 진행되고 있다. 새로운 형태의 작동기들은 기존 작동기와 다르게 외부에서 받은 에너지를 길이 변화 등과 같은 자체의 변형을 통해서 에너지를 전달한다. 이런 작동 원리는 근육의 동작 원리와 유사하며, 이러한 작동기들을 생체 모방형 작동기(Bio-mimetic Actuator)라고 부른다. 생체 모방형 작동기에는 여러 가지 종류가 있으며, 대표적으로 EAP(Electric Active Polymer), EAC(Electric Active Composite), SMA(Shape Memory Alloy) 등이 있다. 특히 EAP의 한 종류인 IPMC(Ionic Polymer Metal Composites)는 네피온(Nafion®)과 같은 이온 교환 폴리머와 표면 전도층으로 이뤄져 있으며, 양 표면전도층 사이에 작용하는 전기장에 의해 발생하는 굽힘 변형을 통해 작동한다. 또한 IPMC는 작동변위가 매우 크며, 가볍고, 물에 대한 친화력이 좋다. 특히 소형화에 유리하며, 수 십 Hz 정도의 작동 주파수에서 성능이 좋고, 소모 전력이 작은 특징을 갖는다. 따라서 이러한 IPMC의 특성과 장점을 고려해 볼 때, 작은 크기와 무게 그리고 낮은 플래핑 주파수를 요구하는 곤충형 플

래핑 작동기로서 IPMC의 활용이 효과적일 것으로 판단된다.

본 연구에서는 IPMC를 이용하여 곤충형 플래핑 작동기를 개발하기 위한 선행연구 과정으로써 IPMC의 제작과 성능 평가를 수행하였다. 자체 제작된 IPMC에 대한 변위 및 변형실험, 구동력 실험 그리고 주파수 응답실험을 수행하였으며, 플래핑 작동기로 활용하기 위한 구조적 특성을 고찰하였다.

### 2. IPMC의 기본 원리

IPMC는 내부에서 이온과 물이 자유롭게 움직일 수 있는 네피온(Nafion®)등의 이온교환 폴리머와 표면 전극층으로 이뤄져 있다.

IPMC의 작동 원리를 그림 1에 나타내었다. IPMC 내부에 존재하는 수화된 양이온은 이온 교환폴리머 내부에서 자유롭게 움직일 수 있으며, IPMC의 표면 전극층에 전압을 가하면 내부에 전기장이 발생하고, 이 전기장에 의해서 수화된 양이온이 움직이게 된다.

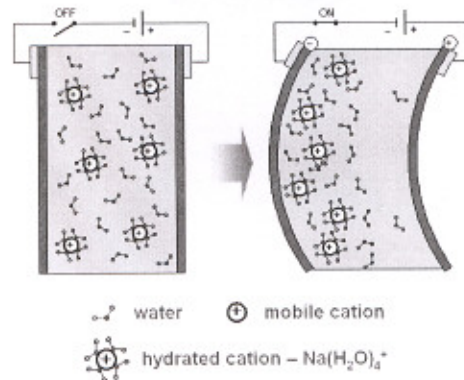


그림 1 IPMC의 작동 원리

이러한 양이온의 이동에 의해 IPMC 내부에 밀도 변화가 생기게 되고, 이것을 상쇄하기 위해 IPMC의 음극 쪽이 팽창하게 된다. 결과적으로 IPMC는 양극 쪽으로 휘는 굽힘 변형을 하게 된다. 이 굽힘 변형을 이용하여 IPMC를 작동기로 사용하게 되며, 이때 굽힘의 크기, 형상, 변형력, 주파수 응답이 작동기로서 중요한 성능이다.

### 3. IPMC 제작

IPMC의 제작은 화학적 산화-환원 반응을 기초로 하여 수행되었다. 제작과정을 크게 세 가지로 1)네피온을 준비하는 과정, 2)네피온 표면에 전극을 입히는 과정, 3)IPMC 내부 양이온을 교환하는 과정으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 캐스팅 네피온을 제작하여, IPMC를 제작하였다. IPMC 시편은 총 3번에 걸쳐 제작되었으며, 각각 변위, 구동력, 주파수 응답 등의 실험에 사용되었다. 그림 2에는 제작과정이 간략히 설명되었다.

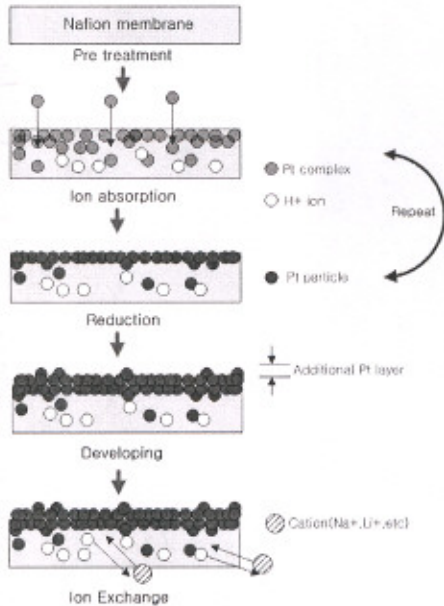


그림 2 IPMC 제작 과정

### 4. IPMC 성능 실험

IPMC와 같은 굽힘형 작동기의 성능요소는 변위, 변형, 구동력, 그리고 주파수 응답이 있다.

따라서 이들 성능요소에 대한 실험을 수행하였다. 실험은 IPMC의 성능과 관련된 변수인 IPMC 시편의 규격, 치환된 양이온의 종류, 인가전압 등을 변화에 따라 수행되었다. 실험에 사용된 IPMC 시편의 형상이 단순보(simple beam)와 같기 때문에, 실험 결과를 식(1),(2)을 바탕으로 해석하였다.

$$F_{\text{blocking}} \propto \frac{\text{width} \cdot \text{thickness}^3}{\text{Length}} \quad \text{-----(1)}$$

$$\omega_1 \propto \frac{\text{thickness}}{\text{Length}^2} \quad \text{-----(2)}$$

#### 4.1 변위 및 변형 실험

변위실험은 인가전압과 양이온 종류에 따른 IPMC의 변위 특성을 비교하기 위하여 수행되었다. 이와 다르게 변형 실험은 인가전압에 따라 실제 IPMC가 어떻게 변하는지 알아보기 위하여 수행되었다. 그림 3은 IPMC의 변위, 변형 실험의 결과이다. IPMC의 변위는 그림3-a)에서 보는 것과 같이 인가전압에 비례하여 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 Li<sup>+</sup> 이온으로 치환된 IPMC의 변위가 가장 큰 것을 확인할 수 있

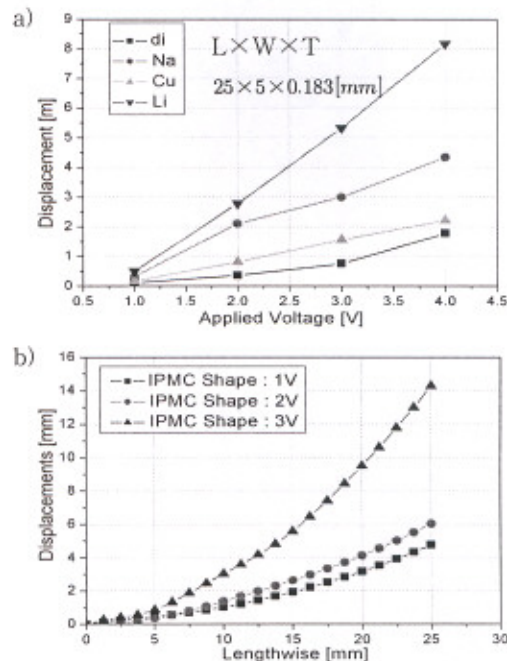


그림 3 IPMC 변위, 변형 실험 결과

었다. 그리고 그림3-b)에서 보는 것과 같이  $Li^+$  이온으로 치환된 IPMC의 변형 실험을 통해 IPMC 각 지점의 변위를 데이터화 하였다.

#### 4.2 구동력 실험

시편 끝단을 고정시켰으며, 로드셀을 이용하여 인가전압, IPMC 규격에 따라 저지력을 측정하였다. IPMC의 구동력 실험은 변형 실험과 마찬가지로  $Li^+$  이온으로 치환된 IPMC를 대상으로 수행되었다. 그림 4는 규격(두께, 길이, 폭)이 다르게 제작된 IPMC를 이용하여 구동력을 측정한 결과이다.

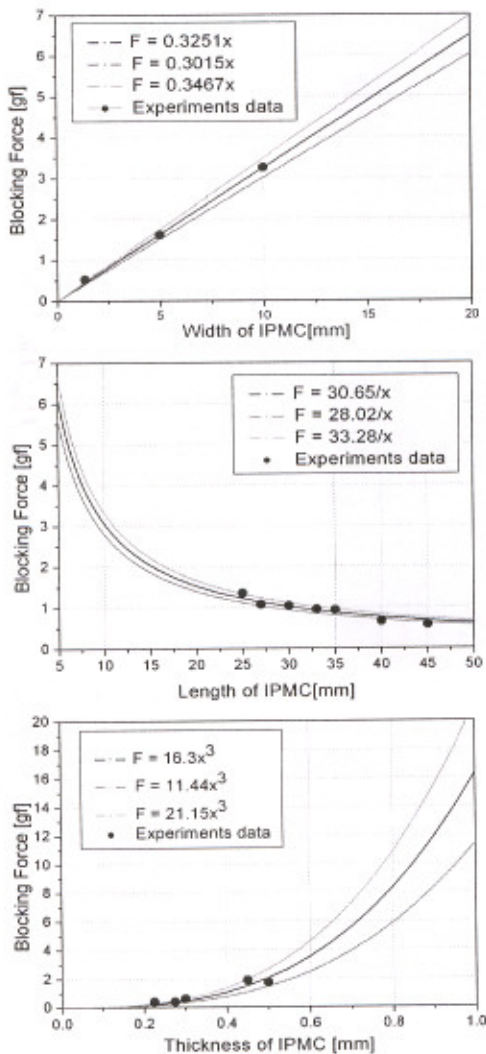


그림 4 IPMC 구동력 특성

실험결과는 단순보와 구동력의 관계를 이용하여 다항식 맞춤을 수행한 것과 비교하였다. 비교결과 구동력의 경향이 충분히 일치하는 것을 확인할 수 있었고, 따라서 구동력은 두께의 세제곱, 폭에 비례하고, 길이의 제곱에 반비례하는 것을 알 수 있었다.

#### 4.3 주파수 응답 실험

주파수 응답 실험은 IPMC의 시스템 특성을 파악하고, 고유 진동수를 이용한 구조 모델을 수립하기 위하여 수행되었다. 실험은 IPMC의 길이와 두께의 변화에 따라 수행되었으며, 가진기를 이용하여 기저(base)를 랜덤 가진한 구조 응답 실험과 랜덤 전압을 직접 IPMC에 인가한 작동기 응답 실험으로 나누어 수행하였다.

그림 5는 작동기 응답 실험을 통해 측정된 길이와 두께의 변화에 따른 1차 고유 진동수 결과를 보이고 있다. 실험결과로 부터 1차 고유 진동수가 IPMC 길이의 제곱에 반비례하고, 두께에 비례하는 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해 단순보의 1차 고유 진동수 관계와 일치하는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 IPMC는 작동과정 중에 시간이 지남에 따라 내부의 물이 손실되는데, IPMC를 구성하고 있는 네피온의 경우 물의 함유량에 따라 강성이 큰 쪽으로 변화한다. 따라서 시간에 따른 IPMC 1차 고유 진동수 변화를 알아보기 위하여 실험을 수행하였다. 그림 6은 구조 응답 실험으로부터 측정된 시간에 따른 주파수 응답 변화를 보이고 있다. 결과를 살펴보면 50분의 시간이 흐르는 동안 1차 고유 진동수가 16Hz에서 24Hz로 증가하였고, 이것은 내부의 물이 손실되면서 IPMC의 강성이 증가하였기 때문이다. 또한 시간이 지나면서 1차 고유 진동수가 수렴하는데, IPMC의 물의 함유량이 떨어져 수렴하기 때문이라고 생각할 수 있다. 그림 7은 가진기를 이용하여 측정된 결과와 랜덤 전기 신호에 대한 IPMC의 변위를 측정된 FRF 결과를 비교한 것이다. 비록 FRF의 형태는 다르지만, 각각의 고유 진동수가 유사한 것을 확인할 수 있었다. 이 실험을 통해서 작동기로서의 IPMC의 고유진동수 특성이 IPMC의 구조 고유 진동수 특성과 유사한 것을 확인할 수 있었다.

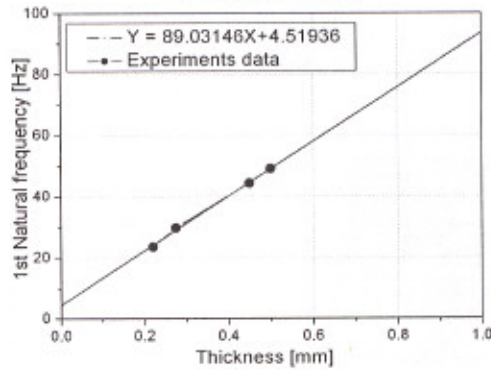
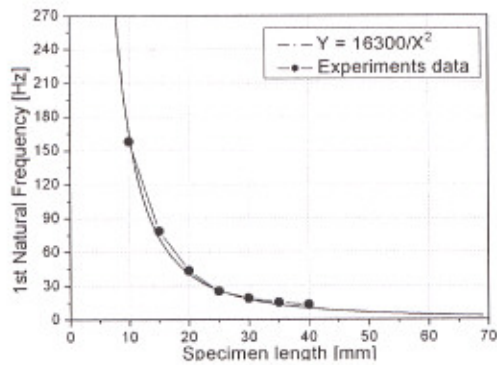


그림 5 IPMC 1차 고유 진동수 결과

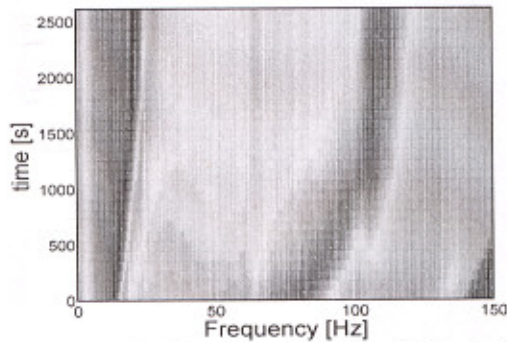


그림 6 시간에 따른 1차 고유 진동수 변화

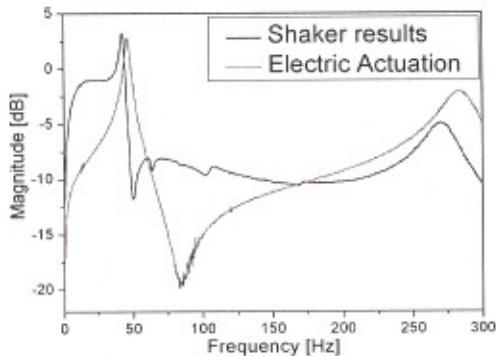


그림 7 FRF 비교: Shaker vs 랜덤전기신호

## 5. 결론

본 연구를 통해서 캐스팅 네피온을 이용한 IPMC의 제작 및 실험을 수행하였다. IPMC의 기본적인 특성을 파악하기 위하여 IPMC의 규격과 양이온의 종류, 인가전압 등을 변화시켜가면서 변위, 변형, 구동력, 주파수 응답 실험을 수행하였다. 실험결과를 통해 IPMC가 단순보의 특성과 일치하는 것을 확인할 수 있었으며, 이러한 결과는 추후 연구에서 IPMC를 모델링하고, 플래핑 작동기 모듈을 설계, 제작하는데 사용될 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단의 기초연구과제(R01-2005-000-10848-0)의 연구비 지원에 의한 연구 결과입니다.

## 참고문헌

- [1] Oguro K., Asaka K. and Takenaka H., "1993 Actuator element US Patent Specification 5,268,082.
- [2] M. Shahinpoor, Kim, K.J., "Ionic polymer-metal composites: I. Fundamentals," Smart Structures and Materials 2001, vol.10. pp. 819-833.
- [3] M.Shahinpoor,Kim,K.J., "Ionic polymer-metal composites: II. Manufacturing techniques," Smart Structures and Materials 2003, vol.12. pp. 65-79.
- [4] Park, H. C., Kim, K. J., Lee, S. K., Chah, Y. J., "Electro-mechanical flapping produced by Ionic Polymer-Metal Composites," Proceeding of SPIE, Smart Structures and Materials 2004, vol.5385. pp. 242-248.
- [5] 차국찬, 김규석, 이석민, 송점식, 정성희, 최서윤, 문무성, "액상 네피온을 이용한 3차원 정렬 필름 캐스팅 방법에 의한 이온교환 고분자-금속 복합체의 제조방법," 대한민국 공개특허 10-2005-0119511