

# 플라즈마 유동 제어를 위한 DBD 액츄에이터 해석 및 성능평가

이창욱\* · 윤수환\*\* · 김태규\*

## Analysis and Performance Evaluation of DBD Actuator for Plasma Flow Control

Changwook Lee\* · Su Hwan Yun\*\* · Taegy Kim\*

### ABSTRACT

The analysis and performance evaluation of DBD actuator for plasma flow control was described. The experimental apparatus was designed to measure the flow velocity as the discharge conditions, and to find out the optimal discharge condition of the DBD actuator. The average-velocity increased with increasing the discharge voltage. The experimental results was compared with CFD analysis.

### 초 록

플라즈마 유동제어를 위한 DBD 액츄에이터 해석 및 성능 평가를 수행하였다. DBD 액츄에이터의 방전조건에 따른 유속 특성을 밝히고 최적의 방전조건을 찾기 위해 실험 장치를 제작하였다. 동일한 유전체에서 방전조건에 따른 플라즈마 액츄에이터 표면에서의 유속을 측정하였다. 방전전압에 비례하여 유속이 증가하였다. 유동의 특성을 좀 더 자세히 파악하기 위해 CFD해석을 통하여 실험결과와 해석결과를 비교하였다.

Key Words: Dielectric Barrier Discharge(유전체장벽방전), Flow Control(유동제어), Plasma(플라즈마)

### 1. 서 론

플라즈마는 윌리엄 크룩스에 의해 처음 발견되었으며 전기적인 극성을 갖는 이온화된 기체 상태를 말한다. 플라즈마는 표면 마찰 항력 감소로 인한 연비, 항속 속도 및 항속거리 증가 효과

를 기대할 수 있기 때문에 항공분야에서도 플라즈마를 이용한 다양한 연구가 진행 중에 있다. 많은 플라즈마 연구 중에서도 무게가 가볍고 장착성이 용이하며 높은 동적 특성을 가진 유전체장벽방전(Dielectric barrier discharge, DBD)액츄에이터에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 항공기나 고속철도 분야에서의 난류 유동 제어에 용이하다는 장점이 있다. DBD 액츄에이터를 통해 형성된 플라즈마 층 사이에 유체가 위치할 경우 두 전극사이를 이동하는 이온과 가

\* 조선대학교 항공우주공학과

\*\* 한국철도기술연구원, 차세대고속철도사업부

† 교신저자, E-mail: Taegy@chosun.ac.kr

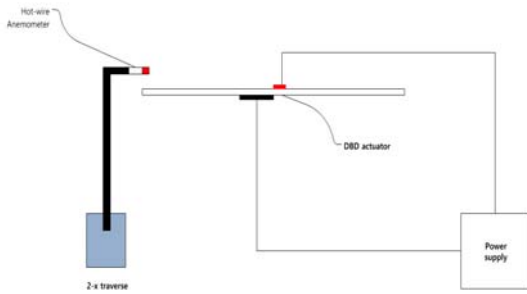


Fig. 1 Experimental apparatus for the performance evaluation of the DBD actuator

스분자의 충돌이 발생하게 된다. 이로 인해 물체력(body force)이 생성되어 유동에 변화를 주게 된다.[1]

따라서 이를 활용한 유동제어 실용화를 위한 기초과정으로 DBD 플라즈마 액츄에이터의 성능 평가를 위해 전압에 따른 유속의 변화를 측정하였다. 또한 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 통해 얻어진 값과 실험결과 값을 비교하였다.

## 2. 실험

### 2.1 전극 설치

DBD 플라즈마 액츄에이터를 위한 유전체로는 폭 5cm 길이 15cm 아크릴(유전율2.56)을 사용하였다. 전극은 80 $\mu$ m, 폭 1cm의 구리 전극을 유전체 상부와 하부에 전극 간 거리를 0~1mm의 비대칭 형태로 설치하였다.

### 2.2 실험장비구성

DBD 액츄에이터의 성능 측정을 위해 Fig. 1과 같이 실험 장비를 구성하였다. 실험장비는 우선 DBD 액츄에이터를 장착하기 위하여 거치대와 유속을 측정할 수 있는 열선 프로브(Hot-wire Probe)와 트래버스(Traverse)로 구성되어 있다. 열선 프로브는 플라즈마에 의한 방전이 되는 것을 방지하여 정확한 측정을 위하여 DBD 액츄에이터로부터 수평축 후방 20mm에 위치 시

켰다. 또한 여러 지점을 측정하기 위해서 수평, 수직 방향으로 2축 트래버스를 사용하였다. 추가적으로 액츄에이터의 유동만을 고려하기 위해 외부유동의 간섭 요소를 차단하도록 외부커버를 설치하여 실험 하였다.

### 2.3 CFD를 이용한 유동제어 해석

DBD 액츄에이터의 유동제어의 성능에 대한 세부적인 메커니즘 이해를 위해 상용 CFD툴인 Fluent를 사용하여 해석을 수행하였다. DBD액츄에이터에 작동 시 최종적으로 모멘텀의 형태로 전환되는 점을 착안해 보다 빠르고 간편한 해석을 위해 복잡한 이온의 이동에 따른 영향은 배제하고 해석을 수행하였다.

## 3. 결과 및 토론

### 3.1 액츄에이터 수직축에 따른 유속분포의 특성

Figure. 2은 전압 5,500V를 인가하여 DBD 액츄에이터를 작동시킬 경우, 유전체 상부 표면에서부터 수직 5mm까지의 유동을 측정된 결과이다. 플라즈마 방전이 발생하는 유전체 상부 표면에서는 유속이 거의 발생하지 않지만 0.8mm 상부 지점부터 1.4mm 지점까지 유속이 급격히 증가 하는 것이 관측되었다. 하지만, 1.4mm 지점을 벗어나 보다 상부로 올라갈수록 점점 유속이 감소됨을 확인할 수 있었다. 또한 CFD해석결과 실험을 통해 측정된 유속특성과 유사한 경향성을 보였다.

### 3.2 CFD 해석에서의 유속분포의 특성

Figure. 3에서는 가상의 액츄에이터 작동 시에 액츄에이터 입구에서 생성된 물체력에 따른 유속을 나타내었다. 물체력이 증가할수록 유속은 계속 증가하였다. 위의 결과로 전압이 상승할수록 유속도 증가한다는 것을 기대할 수 있다. 해석결과를 바탕으로 원하는 유속을 만들기 위해서 요구 되어지는 물체력을 구할 수 있게 된다.

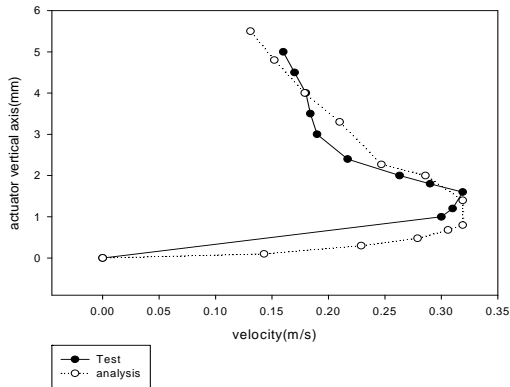


Fig. 2 Velocity profiles of the DBD actuator (●: experiments, ○: CFD analysis)

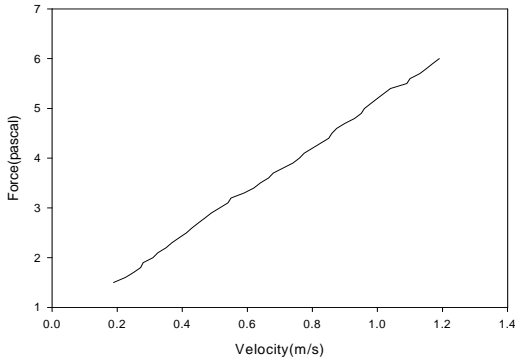


Fig. 3 Body force generated as a function of the velocity

### 3.3 방전 전압에 따른 유속 특성

Figure. 4는 DBD 액츄에이터 작동 시 전압 증가에 따른 유속변화를 알아보기 위해 주파수를 1kHz로 고정하고 전극 간격은 1mm로 설정하여 실험한 결과를 나타내었다. 실험결과 전압이 5,000V~10,000V 인가 시 유속의 상승률이 크지 않았다. 하지만 10,000V 이상 인가 시 유속이 급격히 증가되는 것을 확인하였다. 이는 현 유전체에서는 전기에너지가 10,000V 이상에서 잘 전달되며 낮은 전압 에서도 전기에너지가 잘 전달되기 위해서는 낮은 (비)유전율이 적합하다는 것으로 판단되어진다.

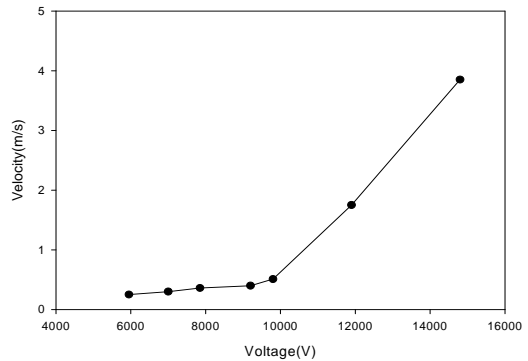


Fig. 4 Velocity of the DBD actuator as a function of the discharge voltage

### 3.4 전압에 따른 물체력 예측

액츄에이터가 높은 유속을 생성하기 위해서는 고전압이 필요하게 된다. 실제로 고전압을 인가하기는 어려움이 따르기 때문에 기존의 DBD 액츄에이터가 높은 성능을 보여주기 위해서는 얼마만큼의 전압이 요구되어지는지 예측해보기 위해서 해석을 진행하였다. 해석을 통해 얻은 물체력에 요구되는 전압을 알아보고자 동일한 유속을 생성하는 전압과 힘을 비교하여 Fig. 5 해석결과를 나타내었다. 유속은 전압을 6,000V를 인가할 경우 0.25m/s의 유속이 생성되고 이는 해석으로 얻은 가상의 액츄에이터 입구의 물체력은 1.7Pa에서 유도되어지는 유속과 같다. 기존에 인가했던 방전 6,000V에 1,000V 증가시켜 7,000V가 되면 가상의 액츄에이터에서는 2Pa의 물체력에서 유도되어지는 유속과 같아지게 된다. 위 사실을 바탕으로 1,000V는 0.3Pa이란 함수적인 관계가 형성된다. 10,000V까지는 이러한 해석이 경향성을 가진다. 하지만 10,000V 넘어갈 경우 유속이 급격한 증가로 인해 전압과 해석의 물체력의 함수적인 관계가 깨진다. 이는 DBD 액츄에이터의 유전체에 전기에너지가 특정 전압이상에서 잘 전달되는 특성을 가지는 이유 때문으로 판단된다. 위 현상을 CFD해석으로 풀기 위해서는 전기적인 메커니즘을 포함할 수 있는 해석 기법이 필요 할 것으로 판단된다.

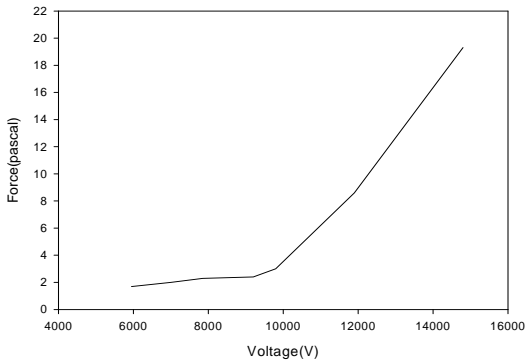


Fig. 5 Body force generated by the DBD actuator as a function of the discharge voltage

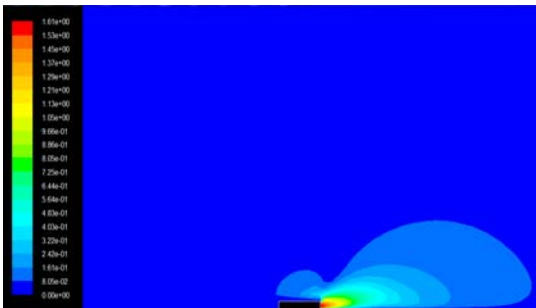


Fig. 6 Contour of the velocity magnitude at the DBD actuator

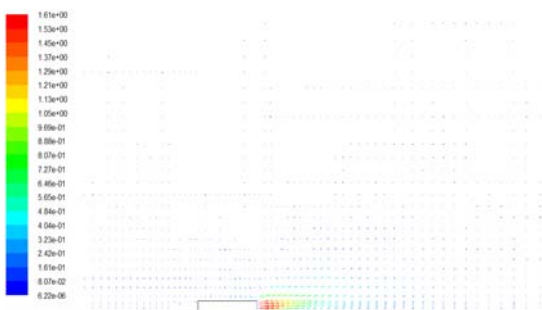


Fig. 7 Contour of the velocity vector at the DBD actuator.

### 3.5 CFD 해석으로 통해본 유동

Fig. 6 해석결과로 유동은 액츄에이터 입구 근처에서 최대 유속을 보여주며, X축 전방으로 갈수록 물체력이 분

산되어 유속이 느려지며 최종적으로 유속이 소실되는 것을 확인하였다. Fig. 7 에서는 난류가 형성되어 액츄에이터 후면에서도 유속이 생성되는 모습을 보여준다.

## 4. 결 론

액츄에이터의 성능평가와 전압조건에 따른 유속의 특성을 파악하고자 실험을 수행하였다. 높은 전압을 인가할수록 유속은 증가 하였으며 최대 성능을 보이는 곳은 액츄에이터의 유전체 표면 수직축 1~1.4mm 지점임을 확인 하였다. 이를 바탕으로 액츄에이터에 다른 성능의 변수를 두어 최적의 조건을 찾아보고, 전기적 특성을 고려하지 못했던 해석부분에서 전기적 특성을 고려할 수 있는 모델링 보완을 할 예정이다.

## 후 기

한국철도기술원의 '레일방식 초고속철도(500kph 급 이상)핵심기술 개발'의 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. Jerome Pons<sup>1</sup>, Eric Moreau and G´erard Touchard]. "Asymmetric surface dielectric barrier discharge in air at atmospheric pressure electrical properties and induced airflow characteristics" Journal of physics D:Appl. phy. 38 (2005)3635-3642