

# DBD 플라즈마를 이용한 후향계단 아음속 유동 제어

송지운\* · 박슬기\* · 김태환\* · 조형희\*

## Flow Control using DBD Plasma on Backward-facing Step

Jiwoon Song\* · Sulki Park\* · Tae Hwan Kim\* · Hyung Hee Cho\*

### ABSTRACT

The effect of plasma on flow characteristics in subsonic flow in backward-facing step is studied. The velocity of main flows are 0.5 m/s. DBD plasma is using for flow control. Stainless foil and polyimide films are used as an electrode and dielectric material. The change of flow characteristics are shown by different of plasma generation region in fluid flow.

### 초 록

본 연구에서는 후향계단 형상의 0.5 m/s의 속도를 갖는 유동을 DBD 플라즈마를 통해 제어하였다. electrode와 dielectric material로 각각 stainless foil과 polyimide film을 사용하였으며, 고압의 AC power source를 사용하였다. 후향계단 전단과 수직 부분의 두 부분으로 나누어 각각 플라즈마를 발생시켰으며, 플라즈마 발생 위치에 따라서 유동의 재부착 지점이 변경됨을 확인 할 수 있었다.

Key Words: Backward-facing step (후향계단), DBD plasma (유전체장벽 플라즈마), Reattachment region (재부착지점)

### 1. 서 론

후향계단 형상에서의 유동에 관한 연구는 터보기계, 연소실, 디퓨저, 항공기 날개 형상rhk 관련하여 많은 연구가 진행 된 바 있으며, 특히 유동의 실험 및 해석적 연구의 기초 자료로서의 의미 뿐만 아니라 실제 항공기 등에서 Drag에 직접적인 영향을 주는 요소로서 후향계단 형상에서 유동 재부착 지점 예측 및 제어는 매우 큰

의미가 있다.

앞서 후향계단에서의 유동 제어에 관한 연구는 형상의 변화 혹은 추가적인 유동을 붙여넣거나 유동을 흡입하는 방법을 통해 수행되어 왔으나, 플라즈마 발생에 의한 유동제어는 형상의 변화 혹은 공급 유량의 변화를 변화 없이 제어가 가능하므로 그 적용 가능성이 높다.

본 연구에서 수행하고자 하는 플라즈마에 의한 유동장 변화 연구는 앞서 Corke, Kuo, Reeth 그룹에 의해 많은 연구가 진행되어 왔다[1~14]. Corke 그룹은 터빈 블레이드 후방의 박리지점에 DBD 플라즈마를 발생시켜 유동의 박리를 제어

\* 연세대학교 기계공학과

† 교신저자, E-mail: hhcho@yonsei.ac.kr

하였으며, 또한 날개 형상에서 13°의 고반음각에서 유동의 박리에 의한 스톨을 제거하는 연구를 수행하였다[1-8]. Kuo 그룹은 초음속 유동장 내에서 DC Pulsed 플라즈마를 분사하여 충격파 구조 변화에 대한 연구를 수행하였으며[9-11], Reeth 그룹은 Glow Discharge Plasmamf 이용하여 평판에 흐르는 유동의 방향성을 제어 하고, 또한 특정 방향으로 가속할 수 있음을 실험적으로 확인하였다[12,13]. 본 연구에서는 플라즈마의 발생 위치에 따른 후향계단 후류 재부착 지점 및 유동 변화에 관한 기초적인 연구를 수행하고자 한다. 후향계단 형상의 아음속 유동장을 DBD 플라즈마를 이용하여 제어하고자 하며, 플라즈마 발생 위치변화에 따른 유동장 변화를 유동 가시화를 통해 정성적인 경향성을 파악 하는 것을 목표로 한다.

## 2. 실험장치

Figure 1은 본 연구에 사용한 후향계단의 형상이다. 후향 계단은 Fig. 1에 도시한 바와 같이 폭 300 mm의 깊이 25 mm의 크기를 갖는다. 아음속 유동은 상부의 블로워를 통해 공급되고, 유동의 평균 속도는 0.5 m/s이며, 다단의 스크린을 설치하여 고른 유동이 공급되도록 설비 하였다.

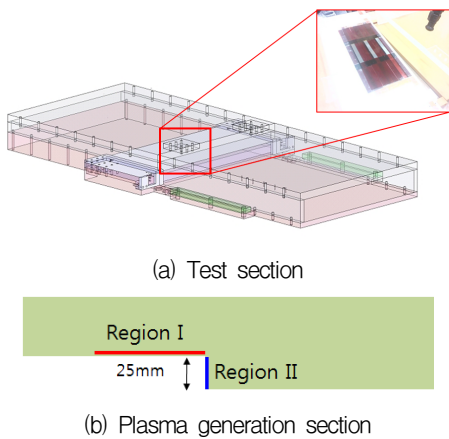
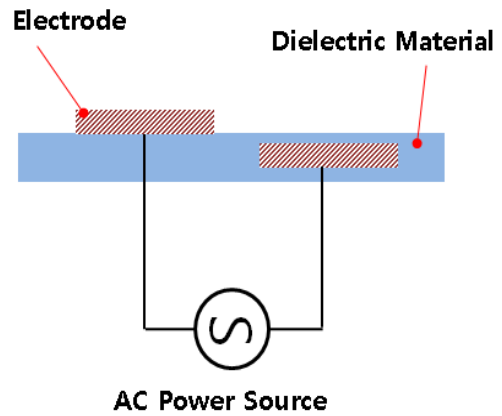


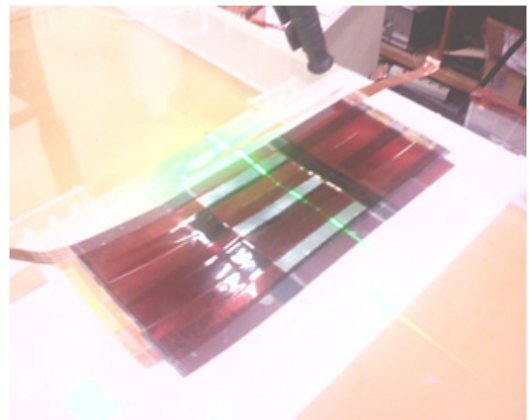
Fig. 1 Experimental setup

Figure 2는 DBD 플라즈마 패치의 모식도이다. 본 연구에 사용된 플라즈마 발생 패치는 Stainless Foil을 Electrode로 Polyimide Film을 Dielectric material로 사용하였다. 이 패치는 Copper Foil과 Aluminum Thin Plate를 각각 Electrode와 Dielectric material로 사용한 패치에 비해 더 큰 전압차를 유지할 수 있다는 점에서 플라즈마 발생에 있어 장점을 갖는다.

플라즈마 발생을 위하여 240 volts의 전압을 8000 volts로 승압시킬 수 있는 1:33의 변압률을 가진 전원 장치를 사용하였다.



(a) Side view of DBD Plasma patch



(b) Picture of DBD Plasma patch

Fig. 2 DBD Plasma Patch

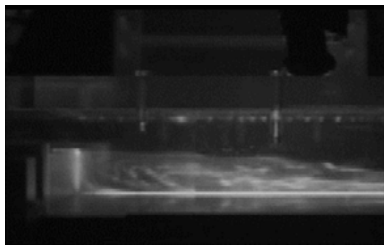
### 3. 결 과

Figure 3, 4는 각각 Fig. 1에 도시한 region 1, 2에서 플라즈마를 발생 시켰을 때의 유동장 변화를 보여준다.

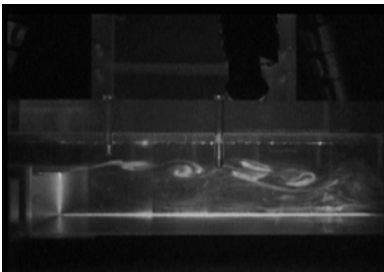
DBD 플라즈마는 AC 전원을 사용하므로 전자와 이온의 이동 방향이 주기적으로 변화하지만 유동장에 노출된 electrode의 방향에 따라 이온과 전자가 유동에 운동량을 전달하는 크기가 다르므로 그 설치 방향에 따라 유동의 방향 및 가속과 감속을 제어 할 수 있다[14].

Figure 3은 region 1에서 병렬로 설치된 플라즈마 패치 두 개를 가동 하였을 때의 유동장 변화이다. 플라즈마 패치가 유동을 가속 시키는 방향으로 설치되어 유동이 후단으로 더 멀리 밀려남을 확인 할 수 있다.

Figure 4는 region 2에 플라즈마 패치가 설치되었을 때의 유동장 변화를 보여준다. 플라즈마가 발생 될 경우 유동은 후향계단 하단에서 상단 방향으로 작용되므로 유동의 흡입효과가 발생 되어 후향계단 후방의 유동 재부착 영역은 벽 가까이로 끌어 당겨짐을 확인 할 수 있다.

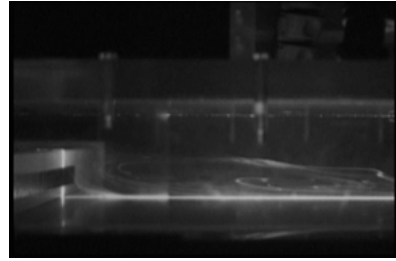


(a) Off Plasma

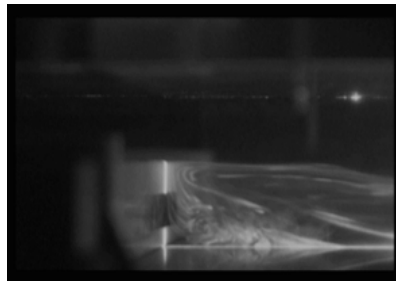


(b) On Plasma

Fig. 3 Plasma on region I



(a) Off Plasma



(b) On Plasma

Fig. 4 Plasma on region II

### 4. 결 론

후향계단 형상에서의 유동을 DBD 플라즈마를 이용하여 제어하는 연구를 수행하였다. 후향계단 상부와 벽에 각각 설치 되었을 때 유동의 재부착 지점을 제어할 수 있음을 확인하였다. 상부에서 유동의 가속 방향으로 플라즈마를 발생 시켰을 때 유동의 재부착 지점은 더 멀어졌고, 벽 근처에서 상부 방향으로 플라즈마를 발생 시켰을 때 유동은 흡입 효과에 의해 재부착 지점이 벽 근처로 가까워 졌다. 향후 상부와 벽 각각 혹은 두 지점에서 플라즈마의 발생 여부와 크기를 변화 시키면 유동의 재부착 지점을 능동제어할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

1. Corke, T., and Post, M., "Overview of Plasma Actuators: Concepts, Optimization,

- and Applications," AIAA Paper 2005-0563, Jan. 2004.
2. Corke, T., Jumper, E., Post, M., Orlov, D., and McLaughlin, T., "Application of Weakly Ionized Plasmas as Wing Flow-Control Devices," AIAA Paper 2002-0350, Jan. 2002.
  3. Huang, J., Corke, T., and Thomas, F., "Plasma Actuators for Separation Control of Low-Pressure Turbine Blades," AIAA Paper 2003-1027, Jan. 2003.
  4. Post, M. L., and Corke, T. C., "Separation Control on High Angle of Attack Airfoil Using Plasma Actuators," AIAA Paper 2003-1024, Jan. 2003.
  5. Enloe, L., McLaughlin, T., Van Dyken, R., Kachner, K. D., Jumper, E., Corke, T., Post, M., and Haddad, O., "Mechanisms and Response of a Single Dielectric Barrier Plasma Actuator: Geometric Effects," AIAA Journal, Vol. 42, No. 3, Mar. 2004, pp. 595 - 604.
  6. Enloe, L., McLaughlin, T., Van Dyken, R., Kachner, K. D., Jumper, E., and Corke, T., "Mechanisms and Response of a Single Dielectric Barrier Plasma Actuator: Plasma Morphology," AIAA Journal, Vol. 42, No. 3, Mar. 2004, pp. 589 - 594.
  7. Orlov, D. M., and Corke, T. C., "Numerical Simulation of Aerodynamic Plasma Actuator Effects," AIAA Paper 2005-1083, Jan. 2005.
  8. Orlov, D. M., Corke, T. C., and Patel, M. P., "Electric Circuit Model for the Aerodynamic Plasma Actuator," AIAA Paper 2006-1206, Jan. 2006.
  9. Kuo S. P. and Daniel B., "Plasma effect on shock waves in a supersonic flow", PHYSICS OF PLASMAS VOLUME 8, NUMBER 7 JULY 2001
  10. Kuo S. P., "Plasma mitigation of shock wave: experiments and theory", Shock wave, 2007
  11. Kuo S. P., Kuo S. S., "A Physical mechanism of nonthermal plasma effect on shock wave", Physics of plasmas, 2005
  12. Roth, J. R., "Aerodynamic Flow Acceleration Using Paraelectric and Peristaltic electrohydrodynamic Effects of a One Atmosphere Uniform Glow Discharge Plasma," Physics of Plasmas, Vol. 10, No. 5, 2003, pp. 2117 - 2126. doi:10.1063/1.1564823
  13. Roth, J. R., Sherman, D. M., and Wilkinson, S. R., "Electrohydrodynamic Flow Control with a Glow-Discharge Surface Plasma," AIAA Journal, Vol. 38, No. 7, July 2000.
  14. Orlov, D. M., "MODELLING AND SIMULATION OF SINGLE DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE PLASMA ACTUATORS," Ph. D Dissertation University of Norte Dame, 2006