

진동하는 두 평판 사이의 거리가 유동 발달에 미치는 영향

Effects of the distance between two vibrating plates on the flow

*최민석¹, 김용환²

*M. Choi(mchoi@mju.ac.kr)¹, Y.-H. Kim²

¹명지대학교 기계공학과, ²포스코엔지니어링

Key words : Vibrating plates, counter-rotating vortices

1. 서론

일반적으로 전자 기기 냉각에는 회전하는 팬을 사용한다. 그러나, 정밀 가공 기술의 발달로 인해서 전자 부품들의 크기는 줄어들고 있으며, 이러한 소형 부품들을 냉각시킬 수 있는 작고 효과적인 냉각 장치가 필요하다. 기존의 팬은 일정크기보다 작게 만드는 것이 어렵고, 크기가 줄어들수록 성능이 감소한다. 이런 이유 때문에, 기존의 냉각팬을 대신하여 압전소자를 이용한 평판이 소형 전자 부품 냉각에 적용되고 있다. 진동하는 평판에 대한 초기 연구목적은 평판이 실제로 냉각에 효과가 있는지를 파악하고, 발생하는 유동 현상을 관찰하는 것이었다.^{1,2} 그러나, 측정장비의 공간 및 시간 분해능 부족으로 유동의 메커니즘을 파악하는 데는 한계가 있었다. 이후 Kim 등³이 고해상도의 PIV 측정 장비를 이용해서 진동하는 평판에서 발생하는 유동을 정량적으로 관찰하였다. 최근에는 실제적으로 전자부품 냉각에 사용할 수 있는 압전소자를 이용한 진동형 팬이 제작되고 있다.⁴ 한편, Choi 등^{5,6}은 수치해석을 통해서 진동하는 평판에 의해서 발생하는 유동을 해석하고, 평판 끝에서의 압력차이가 유동 발달에 중요한 역할을 함을 밝혔다. 또, 두 진동 평판의 위상각 차이가 180° 일 때 가장 좋은 성능을 낼 수 있음을 밝혔다. 이를 바탕으로, 본 연구에서는 두 평판의 위상차는 180°로 고정하고 평판 사이의 거리를 변화시켜 진동형 팬의 성능변화를 관찰하였다.

2. 계산 방법 및 형상

진동하는 평판은 Fig. 1(a)에 나타난 바와

같이 한쪽은 장치에 고정되어 있고, 다른 한쪽은 자유롭게 움직이는 외팔보 형태이다. 전체 길이(l)는 31mm 이지만, 압전소자에 의해서 실제로 움직이는 길이(c)는 25.4mm 이다. 평판 끝의 최대 휘어짐(h_0)은 약 1.37mm 이고 최대 속도는 1.54m/s 이므로, 이를 바탕으로 한 레이놀즈 수는 146 이다.

두 진동하는 평판 주위의 유동을 계산하고 성능을 파악하기 위해서, 상용해석 프로그램 (Fluent)을 이용한 해석이 수행되었다. 연속 및 운동량 방정식을 포함하는 2 차원 나비에-스톡스 방정식을 SIMPLE 알고리즘을 통해 계산하였다. 평판 주위의 유동은 난류로 가정하고 난류 값들은 표준 $k-\epsilon$ 난류 모델을 이용하여 계산하였다. 평판의 움직임은 Kim 등³이 실험에서 측정한 시간에 따른 평판의 모양을 사용자 정의 함수를 사용하여 구현하였다. 구현된 모델은 Fig. 1(b)에 나타난 것과 같이 측정한 평판의 변형 모양과 잘 일치한다.

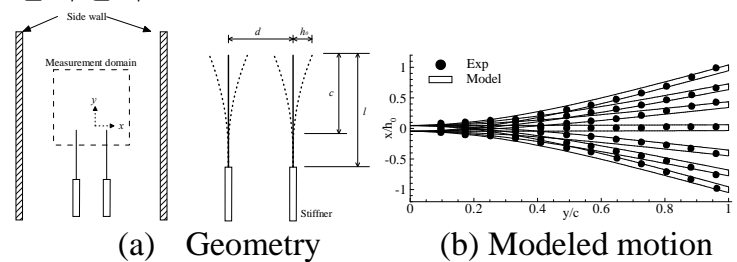


Fig. 1 Schematic diagram of two vibrating plates

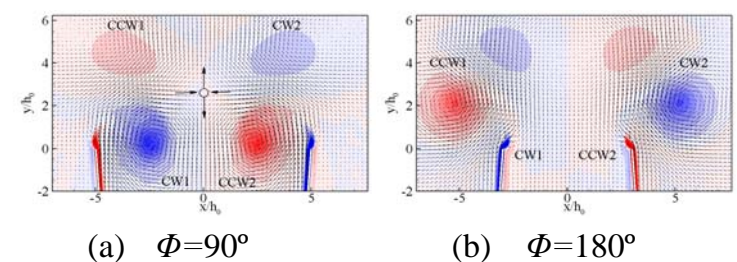


Fig. 2 Counter-rotating vortices at $d=8h_0$

Table 1 Averaged Axial velocity at $y/h_0=10$

| Distance (d) | single | $4h_0$ | $6h_0$ | $8h_0$ | $10h_0$ | $12h_0$ |
|------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Max $V_x(m/s)$ | 1.14 | 2.55 | 2.12 | 1.57 | 1.30 | 1.25 |
| m_d/m_s | 1.00 | 1.67 | 1.90 | 2.08 | 2.27 | 2.35 |

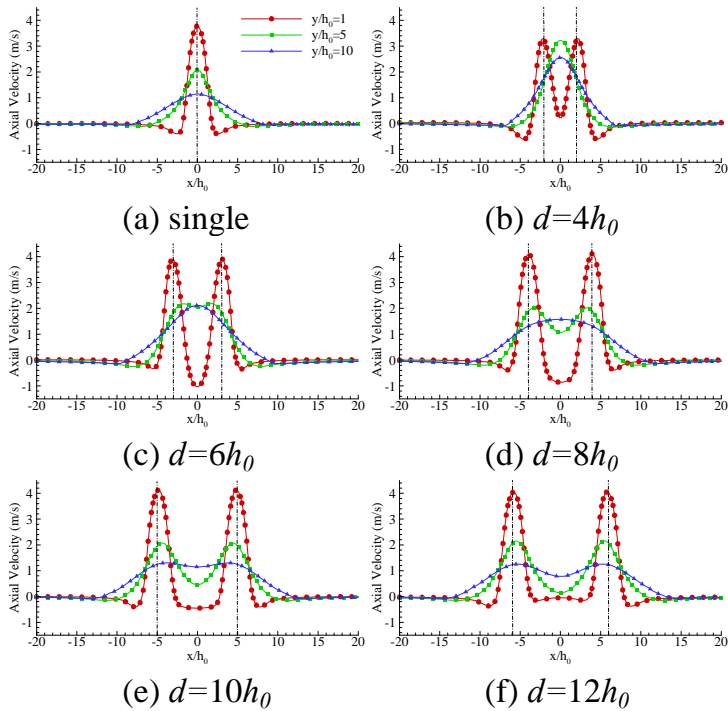


Fig. 3 Averaged axial velocity distribution

3. 계산 결과 및 토의

진동하는 각각의 평판은 반대로 회전하는 두 와류를 순차적으로 발생시킨다. Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이, 진동하는 두 평판 사이에서 발생하는 두 와류는 서로 상호작용을 하지만, Fig. 2(b)에서 관찰되는 두 평판 바깥에서 발생하는 두 와류는 각각에 미치는 영향이 거의 없다. 두 진동하는 평판에 의해 발생하는 유동장은 Choi 등⁶에 자세히 나타나 있다.

두 평판 사이의 거리는 안쪽에서 발생하는 두 와류의 크기와 상호작용을 변화시키고, 평판의 성능에도 영향을 미친다. Fig. 3은 평판 하류의 세 지점에서 한 주기 동안 시간에 대해서 평균한 하류방향 속도를 나타낸 것이다. 평판 사이의 거리가 $6h_0$ 보다 작은 경우에는, 와류의 상호작용이 손실을 발생시켜 평판 끝($y/h_0=1$)에서의 최대 속도가 단일 평판보다 작다. 반면에 거리가 $8h_0$ 이상에서는 평판 끝 속도가 단일 평판 값과 비슷하다. 하류에서는 평판 사이의 거리가 멀어질수록 최대 속도는 줄어들지만 더 넓은 영역에 영향을 미친다.

Table 1에는 하류에서 속도값을 나타내었다.

상대 유량은 계산에서 구해진 유량을 단일 평판이 발생하는 유량으로 나눈 값이다. 계산된 범위 내에서 거리가 멀어질수록 최대 속도는 감소하고, 유량은 증가한다. 두 평판을 이용해서 단일 평판의 유량보다 2 배의 유량을 얻기 위해서는 $8h_0$ 이상의 거리를 두어야 한다.

4. 결론

본 연구에서는 진동하는 두 평판 사이의 거리가 유동장에 미치는 영향을 수치적으로 연구하였다. 각각의 평판에서 발생하는 와류의 상호작용은, 두 평판이 발생시키는 최대 속도와 유량에 영향을 미쳤다. 거리가 너무 작은 경우에는 와류의 상호작용이 큰 손실을 발생시켜 평판의 성능이 감소하였다. 두 평판을 사용해서 보다 좋은 성능을 얻기 위해서는 $8h_0$ 이상의 거리를 유지해야 한다.

후기

이 논문은 2011 년도 명지대학교 교내연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Toda, M., "Voltage-induced large amplitude bending device-PVDF₂ bimorph-its properties and applications," *Ferroelectrics*, **32**, 127-133, 1981.
2. Ihara, A., and Watanabe, H., "On the flow around flexible plates, oscillating with large amplitude," *J. Fluids Struct.*, **8**, 601-619, 1994.
3. Kim, Y.-H., Wereley, S. T., and Chun, C.-H., "Phase-resolved flow field produced by a vibrating cantilever plate between two endplates," *Phys. Fluids*, **16**, 145-162, 2004.
4. Kimber, M., and Garimella, S. V., "Measurement and prediction of the cooling characteristics of a generalized vibrating piezoelectric fan," *Int. J. Heat Mass Transf.*, **52**, 4470-4478, 2009.
5. Choi, M., Cierpka, C., Kim, Y.-H., "Vortex formation by a vibrating cantilever," *J. Fluids Struct.* (accepted)
6. Choi, M., Lee, S.-Y., and Kim, Y.-H., "On the flow around a vibrating cantilever pair with different phase angle," *Eur. J. Mech. B-Fluids* (in press)