

축류팬 성능향상 및 소음 저감 방법 고찰

류 호 선*

1. 서 론

축류팬은 공조기, 냉장고, 조리기기, 전자 혹은 전기 회로 냉각뿐만 아니라 산업분야에서도 다양하게 사용되고 있다. 축류팬의 응용분야는 광범위하기 때문에 학계 및 산업계에서 다양한 연구를 하여 왔다. 최근 축류팬 사용 분야에서는 팬의 효율 상승에 대한 issue도 중요하지만, 동일 효율을 갖고 있으면서도 소음 저감에 대한 중요성이 부각되어 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다^(1~4).

축류팬 소음은 기존 연구에 의하면 음압 스펙트럼을 살펴볼 때, 소음 수준은 특정 peak에서 나타나는 톤 소음(tonal noise)과 저주파에서 고주파에 걸쳐진 소음으로 나타나는 광역소음(broad band noise)으로 편의상 분리할 수 있다. 톤 소음은 날개 통과 주파수(blade passing frequency, BPF)와 BPF의 조화주파수로 나타나며, 광역 소음은 난류와 blade 후류에 의해서 발생하는 것으로 알려져 있다.

학계에서는 소음원의 원인 규명 및 소음 모형을 만들어 소음 예측에 초점을 맞추고 있지만, 산업계에서는 학계의 이론적인 뒷받침을 근거로 하거나 엔지니어의 직관에 의한 경험적인 방법에 의해서 팬 장착 시스템 소음 수준을 낮추어 왔다. 산업계는 개발하고자 하는 시스템의 특성에 맞게 소음 저감 방법을 제시하였고, 실제 제품에 적용하고 있다.

원심팬 분야에 대해서는 다양한 문헌 조사를 통해서 Neise⁽⁵⁾가 소음 저감 방법을 제시하였다. 그러나 축류팬 분야에서는 이러한 문헌 조사를 통해서 정리된 자료는 나타나 있지 않는 형편이다. 그래서 본 내용은 기존에 나와 있는 문헌 중에 소음저감 내용을 살펴보고, 소음 저감 아이디어와 물리적인 현상이 어떻게 연결이 되나 하는 것을 살펴보기로 한다. 모든 특허를

살펴보기 어렵기 때문에 나름대로 중요하다고 생각되는 특허 몇 개를 선정하여 개념과 효과를 살펴보기로 한다.

2. 축류팬 소음 발생원

이미 언급하였듯이 축류팬의 소음은 음압 spectrum을 보고 톤 소음과 광역소음으로 구분을 하였다. 그러나 소음 저감을 위해서는 소음이 발생하는 mechanism을 이해하여야만 소음 저감이 가능하다고 할 수 있다. 팬 입구에서의 유동의 불균일성과 난류 유동특성과 hub 부위에서 종종 발견되거나 받음각이 큰 경우에 나타나는 blade 음압면(suction surface)에서 나타나는 유동의 박리 현상을 제외하더라도, Fig. 1에 나타난 바와 같이 축류 팬은 겉보기와 달리 상당히 복잡한 형태를 나타낸다. 아직 이차 유동(tip leakage flow), blade에 나타나는 경계층 유동이 정량적으로 소음에 얼마정도 기여한다는 것은 이론적으로 정확하게 제시되고 있는 못한 편이다. 다만 소음 저감을 위해서 유동의 박리를 억압하거나 박리 영역을 작게 하는 방법, 이차 유동의 크기를 작게 하는 방법, 경계층의 두께를 작게

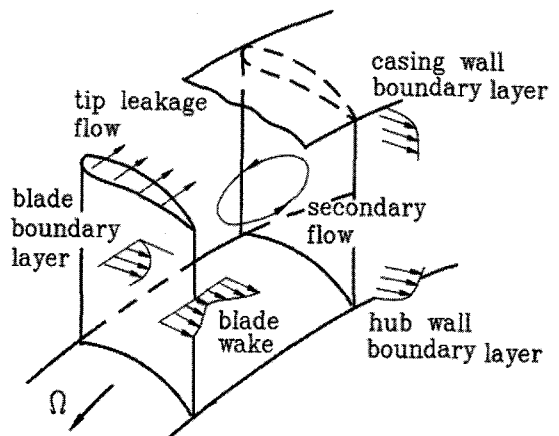


Fig. 1 축류팬 유동 특징(Lee et al.)

* LG전자 DA연구소
E-mail : rhs@lge.co.kr

하기 위해서 전연(leading edge)부에서 전이를 일찍 발생시켜 blade 전반부에서 난류유동이 발생하게 하는 것 등이 그 대안이라고 할 수 있다.

고전적으로 잘 알려진 축류팬의 소음 저감 방법은 Fukano 등⁽²⁾이 제시한 바와 같이 전향 sweep 각을 주변 소음신호의 위상 차이를 발생시켜서 소음 저감에 효과가 있다고 알려져 있다. 그래서 가전제품에 사용하는 팬은 sweep각을 가지고 있다. 일반적으로 소음 저감을 위해서 많이 사용되고 있는 다른 방법 중에 하나는 blade 수를 조절을 해서 BPF와 시스템과의 공진을 피하는 방법이 있다. BPF를 줄이기 위해서 잘 알려진 방법 중에 하나는 uneven spacing blade를 사용하는 방법이 있는데, 이는 팬의 unbalance 때문에 아주 특별한 경우 외에는 잘 사용되고 있지는 못하다.

한편, 박리기포의 크기를 작게 하거나 경계층 두께를 작게 하는 방법 등은 특허 내용을 살펴보면서 설명하기로 한다.

3. 경계층 두께 저감 혹은 박리 기포 억제

Fukano 등⁽²⁾과 Lee 등⁽⁶⁾에 의하면 경계층의 두께가 커지면, blade 표면에서의 유효 압력이 커져 소음이 증가하는 경향이 나타난다고 하였다. 이러한 원인을 고려하여 경계층 두께를 줄이는 아이디어^(7,8)를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2와 같이 전연부에 전이 현상을 유도하기 위하여 전연부에 큰 거칠기를 주어 층류에서 난류로의 유동 변화를 주는 법⁽⁷⁾, 전연부에 돌기를 주어 전이를 일으키면서 원심력에 의해서 원주 방향으로 쏘리는 유동을 허브 쪽으로 안내하는 방법⁽⁸⁾ 등이 제안되어 있다.

항공기 익형에서 받음각이 커지면 익형 부압면에 유동 박리가 발생하게 되는데, 이를 방지하는 방법 중에 하나가 slot을 설치하는 것이다. 이는 압력면의 유동의

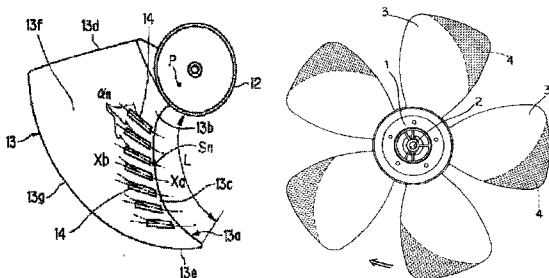


Fig. 2 전연부의 거칠기를 이용한 아이디어

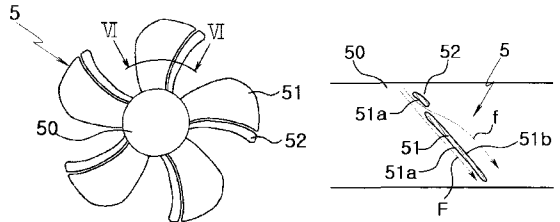


Fig. 3 팬 blade에 slot을 이용한 아이디어

일부가 부압면으로 이동하여 박리되는 경계층에 운동량을 더해주어 박리 현상을 억제하는 방법이다. Fig. 3에 구체적인 시도 방법을 예시하였다⁽⁹⁾. 이 방법은 기존에 나타난 Longhouse가 제안하였던 serration과 유사한 mechanism을 사용하고 있으며, 다만 구체적인 실현 방법이 다를 뿐이다. 이런 방법은 대체적으로 톤 소음을 줄이기보다는 광역 소음을 줄이는 데 유효하다.

4. 비규칙적인 형상을 이용한 톤 소음 저감

축류 팬의 톤 소음은 blade의 후류가 그 근처의 구조물에 충돌하면서 발생하거나, 팬의 blade 간격이 일정할 경우에 발생한다. 이를 저감하기 위해서 많이 사용되는 방법이 부등 간격의 blade를 설치하는 것이다. Fig. 4는 BPF와 이와 관련도 조화 주파수의 톤 소음을 저감하기 위한 예라고 할 수 있다. 단순히 blade의 간격만 변화키는 것이 아니라 유동각도를 같이 바꾼 예라고 할 수 있다. 이와 같이 부등 간격을 사용할 때에는 톤 소음을 줄일 수 있는 장점이 있지만 각 blade의 unbalance에 대한 진동 문제를 해결해야만 한다. 원심 팬의 경우에는 적절한 간격을 조정하여 unbalance를 쉽게 조절할 수 있지만 축류팬의 경우에는 blade와 blade 사이에 충분한 공간이 존재하지 않으면, 즉 solidity가 작은 경우에 사용할 수밖에 없는 단점이 있다.

팬이 차지하고 있는 공간에 비해서 고풍량이 요구될 때에는 팬의 유동 각도를 조절하여 사용하기도 한다. 이 때에도 unbalance가 발생하기 때문에 주의를 요한다. Fig. 4에는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 유동 각도 변경을 달리 가져간 방법 중에 하나라고 할 수 있다⁽¹⁰⁾.

앞에서 언급하였듯이 blade와 shroud 사이의 상호작용은 톤 소음을 야기시킨다. Fig. 5에는 이러한 소음을 저감하기 위해서 shroud 형상을 불규칙하게 함으로서 소음 저감을 시도한 아이디어⁽¹¹⁾를 소개한다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 팬 주위의 shroud 형상을 단순 원을

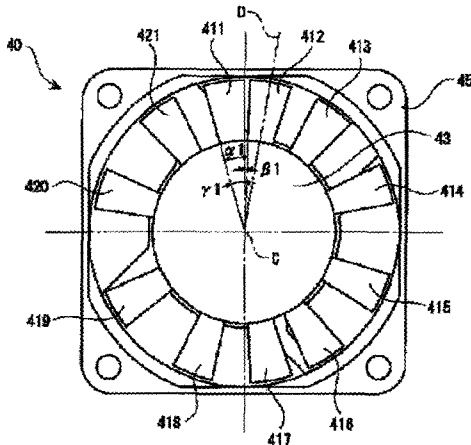


Fig. 4 uneven spacing 축류팬

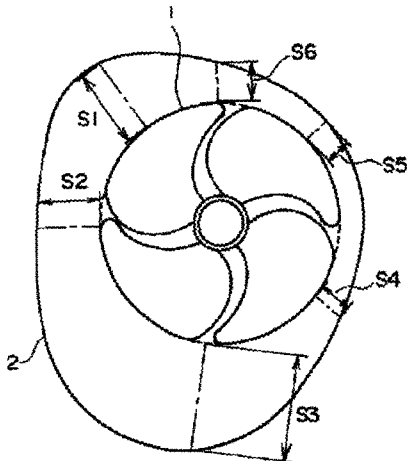


Fig. 5 불규칙 shroud를 이용한 톤 소음 저감 방법

사용하지 않고, 불규칙한 형상으로 톤 소음을 저감하려는 시도를 하였다. 물론 이런 경우에는 팬의 특성이 바뀌는데, 이 팬 특성은 고정압에서는 shroud와 팬의 틈새로 빠져나가는 유동이 커서 비교적 나쁜 특성을 나타내지만, 고폭량의 경우에는 비교적 좋은 특성을 나타낸다. 물론 고폭량 영역에서 톤 소음 저감으로 소음은 다소 낮다.

5. Tip Leakage Vortex 억제를 통한 소음 저감 방법

Tip leakage vortex는 성능에 많은 영향을 주기도 하지만, 소음에도 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있

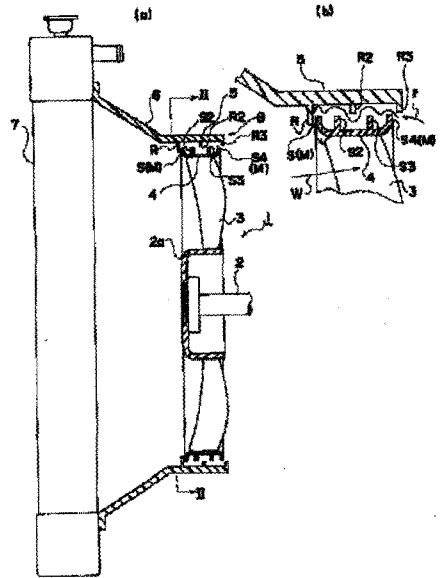


Fig. 6 자동차 엔진 냉각용 팬/shroud

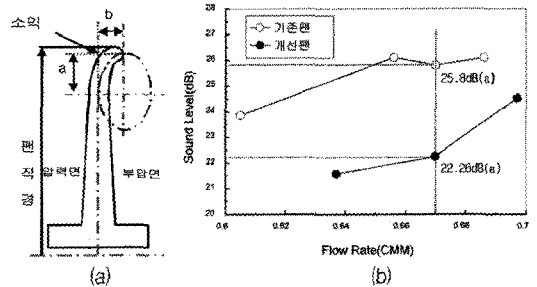


Fig. 7 Air fence 효과: a) air fence 장착 팬 단면, b) 기준 팬과의 소음 및 풍량 비교

다⁽¹²⁾. 이를 위해서 여러 가지 재미있는 방법이 도출이 되었다. 여기에서는 몇 가지 방법을 소개하기로 한다.

Fig. 6에는 자동차 엔진 냉각용 축류팬과 구조를 나타내었다⁽¹³⁾. 자동차의 경우 팬 후방에는 라지에이터가 매우 큰 저항으로 작용하여 팬 근처에는 강한 역압력 구배가 존재하므로 tip leakage vortex 발달을 통한 손실 및 소음 저감을 위하여 blade tip에 Labyrinth 실 형상을 가미하였다.

팬이 회전하게 되면 blade 양쪽에 압력차이가 발생하여 blade tip에는 vortex가 생기는 현상을 고려하여, 항공기의 air fence처럼 blade tip에 곡률을 주어 vortex 발달을 억제하는 방법이 채택되기도 한다. 이를 구체화한 아이디어와 air fence의 유무에 효과는 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7의 (a)에 나타내었듯이 팬 tip에

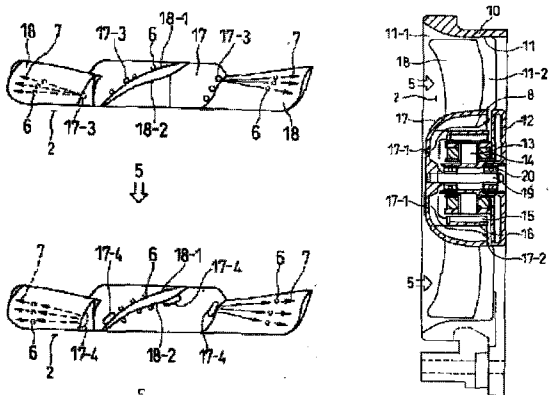


Fig. 8 허브 주위 관통유로를 이용한 유동제어 방법

air fence가 있는 경우에는 vortex의 거동이 약화되어 소음이 상당히 주는 것을 Fig. 7은 잘 나타내고 있다⁽¹⁴⁾.

6. 팬 주위 역류 억제 방법

통상적으로 팬 type은 압력과 유량을 고려하여 결정한다. 그러나 팬을 시스템에 장착하는 과정에서 팬의 특성이 무시된 채 축류팬을 사용하는 경우가 있다. 정압이 많이 걸리더라도 유동이 흡입구와 토출구가 일직선을 요구하고 장착공간이 매우 협소한 경우에는 축류팬을 많이 사용되는데, 대표적인 경우가 PC 냉각용 팬이라고 할 수 있다. 이런 경우 팬에서 역압력 구배가 매우 커서 효율이 떨어지거나 소음이 증가하는 경우가 발생하는 데, 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법을 소개한다.

역압력 구배에 의해서 발생하는 역류는 tip부에서도 발생할 수 있고, 허브 부분에서도 발생할 수 있다. 특히 압력 구배가 큰 경우에는 즉 유량계수가 작은 경우, 팬의 회전에 의해서 유동이 tip으로 치우치고, 허브 부분에 유동의 박리가 발생하는 경우에 효율 저감과 소음 발생이 심하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 아이디어를 소개한다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 팬의 허브 내부로 유동이 관통을 하다가, 허브 회전을 이용해서 허브 주위 blade 후연에 체트 형태로 분사를 해주면 유동의 박리를 어느 정도 억제할 수 있을 것이다⁽¹⁵⁾.

Fig. 9와 10은 기존과는 달리 shroud 뒤 쪽의 날개 tip을 반경 방향으로 크게 제작하여 유동이 blade tip과 shroud 사이를 통과하여 전연 쪽으로 역류되는 현상을 방지하여 성능을 향상시키기 위한 방법이다^(16,17). 이러한 팬은 좁은 공간에서 원심 방향으로 유동을 야기시

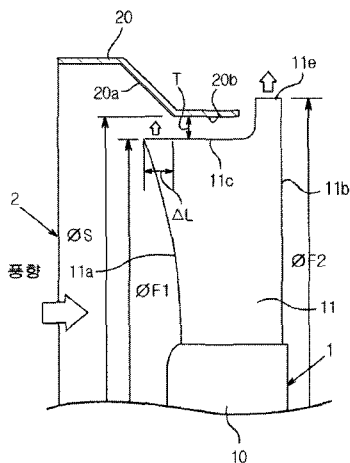


Fig. 9 후연부 blade 반경 방향 확장 방법

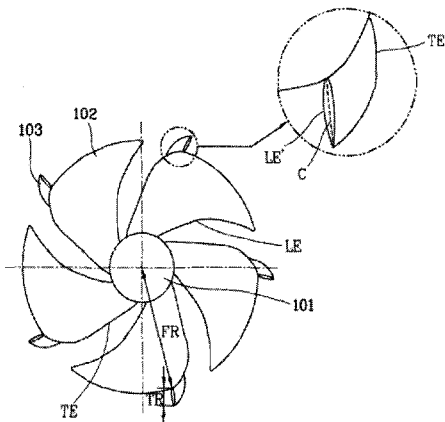


Fig. 10 후연부에 추가 원심 유동 날개 부착

킴으로 특수한 경우에 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

7. 결론

본 해설 내용은 기존에 나와 있는 논문이나 특허를 위주로 팬의 성능 향상이나 소음 저감 방법에 간략히 살펴보았다. 성능 향상과 소음 저감 방법은 팬 주위의 유동 현상을 비교적 정확하게 이해함으로써 많은 방법을 고안할 수가 있다. 본 해설 내용은 기존에 팬의 유동 현상에 근거한 방법을 나름대로 분류하고 문제점 해결 방식으로 표현을 하였다. 그러나 팬의 성능과 소음은 팬이 장착된 시스템 상황에 따라서 달라진다. 그래서 팬의 성능향상과 소음 저감 방법은 시스템과 팬의 유동 특성을 잘 살펴본 후에 적용하는 것이 바람직하다.

왜냐하면 유동 특성에 맞지 않는 성능 향상 및 소음 저감 방법을 사용하게 되면 그 효과가 나타나지 않을 수 있기 때문이다.

참고문헌

- (1) Neise, W., 1992, "Review of Fan Noise Generation Mechanisms and Control Methods," International INCE Symposium, pp. 45~56.
- (2) Fukano, T., Kodama, Y. and Senoo, Y., 1977, "Noise Generation by Low Pressure Axial Flow Fans," Journal of Sound and Vibration, Vol. 50, pp. 63~74.
- (3) Rew, H. S., Cha, J. E., Kim, C. J., Choi, M. Y., and Kim, T. J., 1995, "Parametric Study on the Noise in a Small Axial Fan," 2nd International Conference on Pumps and Fans, Tsinghua Univ., Beijing, China.
- (4) Kim, C. J., Jang, C. M., Choi, M. Y. and Rhee, D. I., 1996, "Effects of Pitch Angle and Maximum Camber on an Axial Flow Fan Performance," 공기조화냉동공학회 동계학술발표논문집.
- (5) Neise, W., 1976, "Noise Reduction in Centrifugal Fans : A Literature Survey," Journal of Sound and Vibration, Vol. 45, pp. 375~403.
- (6) Lee, C., chung, M. K. and Kim, Y. H., 1993, "A Prediction Method for the Vortex Shedding Noise from the Wake of an Airfoil or Axial Flow Fan Blades," Journal of Sound and Vibration, Vol. 164, pp. 327~336.
- (7) Ishijima, M. and Koshitani, T., 2000, "Axial Fan," JP 2000-110789.
- (8) Inazumi, H. and Yano, K., 2000, "Axial Flow Fan," JP 2000-130396.
- (9) 신영주, 조재형, "축류팬," 공개특허 특2001-0063069
- (10) Miyazawa, A., 2002, "Axial Fan, Centrifugal Fan and Electronic Equipment Using these Fans," JP 2001-214894.
- (11) Akaishi, H. and Nakazato, A., "Axial Blower," JP 2001-349300.
- (12) 명환주, 백제현, 류호선, 이인섭, 1999, "축류팬 누설 와류의 난류 특성," 유체기계공업학회 학술대회.
- (13) Shimada, K. and Kikuchi, K., 2001, "Sealing Structure for Fan," JP 2001-248590.
- (14) 정용규, 김창준, "축류팬," 공개특허 특2002-0026623.
- (15) Ikeda, J., Ito, N. and Mimura, M., "Axial Fan," JP 1999-230092.
- (16) 김종렬, 민옥렬, "축류 송풍기," 공개특허 특2001-0059280, 2001
- (17) 정용규, "냉장고의 축류팬," 공개특허 특2003-0057089.