

소형 축류 팬 소음 특성

김 창 준†

(LG전자 디지털어플라이언스 연구소)

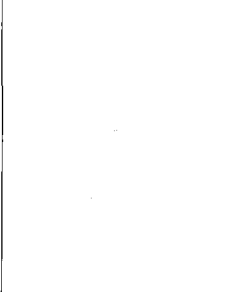
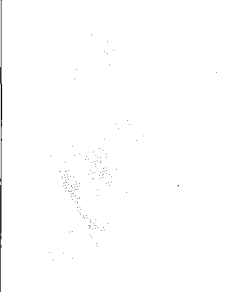
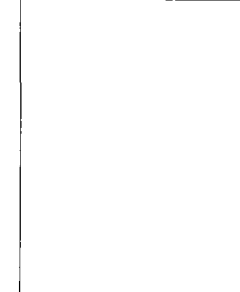
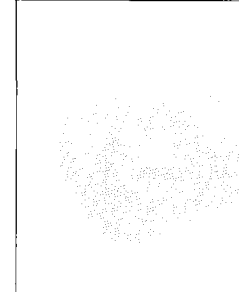
1. 머리말

팬(fan)은 모터로부터 회전력을 전달받아 공기동력인 풍량과 정압을 발생시켜 발열부품의 냉각 및 환기용으로 산업현장과 가전기기에서 널리 사용되고 있다. 과거 산업현장에서 주로 사용되어지던 송풍기가 가전기기에 적용되면서 팬에 대한 관심이 더욱 증폭되었는데 특히 국내에서 독자적인 소형팬 연구가 본격적으로 시작된 것이 이 때이다. 가전에서의 팬은 고효율 뿐 만 아니라 주로 저소음화에 대한 연구에 초점이 맞추어져 있는데 이는 기존의 산업현장의 송풍기가 주로 풍량과 정압에 목표를 두고 개발해 왔던 것도 한 이유지만 구조적인 안정성 때

문에 소음을 고려한 설계가 한계가 있었기 때문에 저소음팬에 대한 응용기술이 충분히 발달하지 못했기 때문에 송풍기 기술을 그대로 받아들인 초창기 가전용팬은 소음이 높았다. 또한 가전기기는 모든 연령층이 사용하기 때문에 소음이 큰 제품은 항상 소비자 클레임의 원인이 되기 때문이다.

가전기기에서 팬은 주요 소음원 중의 하나로서 주로 발열부품을 냉각하면서 동시에 유체소음을 발생시킨다. 표 1에 가전에서 사용되는 팬의 종류와 특징에 대해서 나타내었다. 축류팬이 원심팬에 비해서 보다 다양한 제품에 사용되고 있는 것을 알 수 있는데 이는 축류팬의 구조가 상대적으로 간단하고 제품구성에 유리하기 때문이다. 원심팬(시로코팬, 횡류팬, 터보팬)이 사용된 제품

표 1 가전용 팬의 종류와 특징

명칭	축류 팬 (Axial flow fan)	원심팬(Centrifugal fan)		
		시로코팬 (Sirocco fan)	횡류팬 (Cross flow fan))	터보팬 (Turbo fan)
형상				
특징	축방향 공기유입, 토출 저정압, 고풍량, 중소음	전면 공기유입, 측면토출 중정압, 중풍량, 저소음	측면 공기유입 및 유출 중정압, 중풍량, 저소음	전면 공기유입, 반경방향 고정압, 소풍량, 고소음
적용 제품	· 에어컨 실외기 · 냉장고 · IH-JAR, MWO · LCD Projector	· 에어컨 실내기 · 가습기 · MWO	· 에어컨 실내기	· 진공청소기

† E-mail : cikum@lge.com

은 특별한 경우라 할 수 있다. 축류팬은 축방향에서 공기가 유입하여 다시 축방향으로 공기가 빠져나가는 구조로 구성되어 있으며 저정압 고풍량의 시스템에 적합하여 에어컨 실외기 콘덴서냉각, 냉장고 고내 냉기순환과 콘덴서 냉각, 전자레인지 마그네트론과 고압트랜서 냉각용 등에 사용되고 있다. 대부분의 시스템은 축류팬의 풍량-정압특성의 최고 효율점 근방에서 운전이 되고 있으나 창문형 에어컨 실외측 팬과 냉장고 고내 냉기순환용 팬은 축류팬의 적절한 작동점에서 벗어나 약간 고정압인 환경에서 작동되고 있어 효율은 낮고 소음은 크므로 유로 개선과 원심팬과 축류팬의 중간의 공력특성을 내는 팬이 요구된다. 그러나 실제 환경에서는 유로 및 팬의 변경이 불가능한 경우가 대부분이다.

여기서는 가전용팬으로 널리 사용되는 축류팬에 대하여 양산성 있는 유로의 구조 개선과 축류팬의 재설계로 팬으로 인한 송풍소음을 저감할 수 있음을 보이고자 한다. 또한 다양한 시스템에 대해서 시스템 특성을 고려한 팬의 저소음화에 대하여 소개하고자 한다.

2. 에어컨용 팬의 소음 특성

가전기기중에서 열교환을 목적으로 축류팬을 사용하는 대표적인 제품은 그림 1에서 보는 바와 같이 RAC (room air conditioner) 분리형 실외기(outdoor unit)이다. 냉동사이클에서는 사이클 구성상의 원리로 인하여 반드시 저온 열원과 고온 열원이 존재하는데 통상 저온 열원인 증발기는 풍량이 작고 시스템 저항이 커서 주로 원심팬의 일종인 시로코팬이나 횡류팬을 사용하나 고온 열원인 콘덴서는 풍량이 크고 저항이 작아 실외에 설치하여 축류팬으로 하여금 열교환을 시킨다. 냉동 사이클이 운전되는 동안 축류팬은 콘덴서에서 발생되는 고온의 열을 저온의 외부 공기를 흡입하여 열교환을 시킨 후 다시 실외기 외부로 방출시키는 동작을

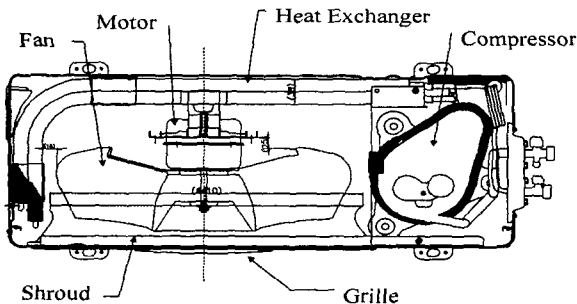


그림 1 분리형 에어컨의 실외기 유로구조

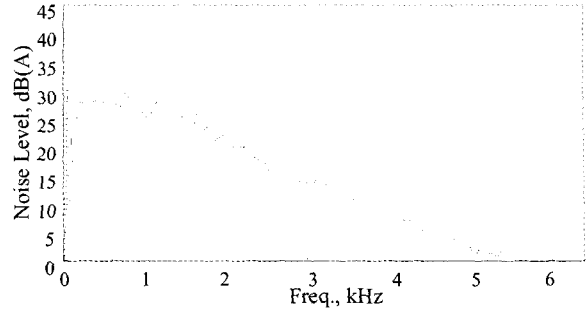


그림 2 축류 팬 소음 스펙트럼(분리형 에어컨)

반복하여 냉동 사이클이 이상 없이 동작하는데 한 역할을 담당한다.

실외기에서 소음원은 축류팬과 압축기로서 팬 소음을 저감하는 것이 제품의 소음 저감과 직결되므로 매우 중요하다. 그림 2는 팬 후방(공기 토출측) 1m 지점에서 마이크로폰으로 측정된 소음스펙트럼으로서 전형적인 송풍상태 소음특성을 나타내고 있다. 즉, 2 kHz 이상의 고주파 영역에서의 소음은 저주파수 소음신호에 비해 무시할 정도로 작다. 만일 압축기와 같이 작동된다면 고주파수 소음이 크게 나타날 것이다.

2 kHz 이하의 소음이 대부분인 축류팬의 저소음화는 BPF로 인한 피크소음과 광대역소음의 저감으로 접근할 수 있는데 피크소음의 저감은 팬 블레이드 형상개선과 슈라우드의 형상개선으로 다시 나눌 수 있다. 광대역 소음저감은 실험과 해석(CFD)을 통한 3차원 속도벡터 관찰로 유동손실을 최소화하는 팬유로 시스템을 최적화함으로써 가능한데 경우에 따라 다르지만 노력에 비하여 얻는 성과는 작은 실정이다. 피크소음저감을 위한 블레이드와 슈라우드 형상개선은 여러 가지 방법이 있지만 기간과 비용의 단축을 이유로 6-시그마, 다구찌 방법등을 많이 이용한다. 축류팬 인자에 대한 상세설명은 참고 문헌 (1)을 참조하면 된다. 그림 2의 팬은 블레이드와 슈라우드의 형상개선이 많이 되어 BPF로 인한 소음이 많이 개선되었는데 이런 경우의 소음저감은 더욱더 어려워 1dB(A)를 낮추기가 어려운 실정이다.

송풍소음 저감의 확실한 효과는 팬유로저항을 개선하여 유로저항을 줄이는 것으로 유로저항을 개선한 상태라면 이 또한 소음개선은 더욱 어렵다고 할 것이다.

에어컨에서 축류팬이 사용되는 또 다른 시스템은 창문형 실외측으로 그림 3에서 보는 바와 같다. 실내기와 실외기가 하나로 일체로 되어 있기 때문에 일체형이라고도 불리우는데 실내의 증발기 열교환용으로는 시로코팬을 사용하고 실외는 분리형 실외기와 마찬가지로 축류팬을

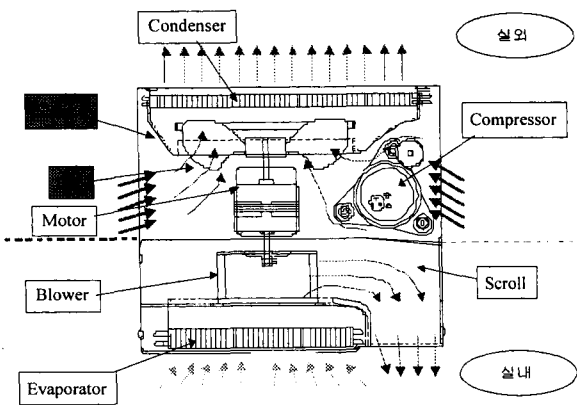


그림 3 축류 팬 소음 스펙트럼(창문형 에어컨)

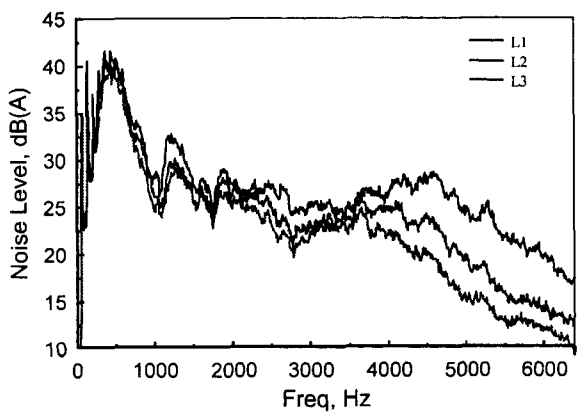


그림 4 축류팬 소음 스펙트럼(창문형 에어컨)

사용한다. 축류팬의 입장에서 분리형은 팬의 흡입측에 콘덴서가 있는 흡입유로를 구성하며 창문형은 팬의 토출 방향에 열교환기가 있는 토출유로를 구성한다. 이렇게 구성된 이유는 창문형은 실내기와 실외기가 일체로 연결 구성되기 때문에 실외측에 흡입유로를 구성할 구조구성이 곤란하다. 따라서 토출유로로 구성한 것이며 만일 흡입유로로 구성할 수 있다면 현재보다 동일풍량에서 2~3 dB(A) 정도의 소음저감이 예상된다.

그림 4는 창문형 에어컨의 콘덴서 후방 1m 지점에서 마이크로폰으로 측정된 소음스펙트럼으로서 분리형 에어컨과는 다른 송풍상태 소음특성을 나타내고 있다. 1kHz 이하에서 큰 소음이 발생하였는데 축류팬을 떠난 바람이 콘덴서에 직접 부딪히면서 발생된 간섭소음이 BPF와 상호작용하여 강한 저주파 소음을 발생하고 있다. 1kHz ~ 2kHz 사이의 소음은 상대적으로 작아 보이지만 분리형에 비해서는 여전히 크다. 또한 분리형과 마찬가지로 1kHz 이하에 BPF 소음이 주로 발생하는데 이 또한 창문형 실외측 팬이 소음레벨이 크고 많이 발생한다.

이러한 현상의 근본 원인은 강한 스윙성분을 가진 공기가 콘덴서에 직접 부딪히는데다가 분리형 실외기에 비하여 창문형 실외측 유로가 고정압이기 때문이다. 고정압인 유로에서 BPF가 더욱 크게 성장하는데 이는 참고 문헌 (2)에서 설명한 바와 같다. 창문형 실외측의 송풍 소음 저감은 유로저항의 개선이 불가능 할 때, 팬 블레이드의 형상 최적화 또는 원심팬의 공력 특성을 가지는 팬이 가장 큰 효과가 있을 것이다. 한편 그림 4의 소음 스펙트럼은 슈라우드내 팬을 이동하면서 측정된 것인데 소음이 가장 적게 발생하는 적절한 위치가 있음을 알 수 있어 팬을 개발과정에서 최적의 위치선정을 위한 이와 같은 확인은 반드시 있어야 한다. 이에 대한 내용은 참고 문헌 (3)에서 참조 가능하다.

3. 냉장고용 팬의 소음 특성

에어컨과 달리 냉장고의 팬유로는 그림 5에서 보는 바와 같이 고내는 폐회로 유로구조를 가져서 냉장실, 냉동실의 냉기가 냉장고 후면 벽 내의 좁은 유로를 통하여 증발기로 유입되어 모터, 축류팬, 슈라우드(shroud)를 지나 냉동실로 방출되고 동시에 냉장실로 유입되는 순환 구조를 가지고 있다. 냉장고 뒷면 하단부에는 콘덴서가 압축기와 같이 나란히 배치되어 있는데 축류팬에서 떠난 바람이 콘덴서, 압축기등을 거쳐서 열교환을 한 다음 외부로 빠져나가는 구조로 되어있다. 냉장고 고내의 좁은 통로로 냉기유로를 구성하기 때문에 시스템 저항은 매우 커서 축류팬 대신 원심팬을 사용하는 것을 추측할 수 있으나 냉장고 고내의 유로구조가 폐회로로 구성되어 개회로 유로구조에 비해 유동 손실이 적어 축류팬과 원심팬 사이의 비속도를 가진다. 이럴 경우는 슈라우드내 팬의 위치를 고정압 방향으로 변경하여 정압상승을 피할 수 있으므로 축류팬으로 운전이 가능하다. 그러나 냉장고

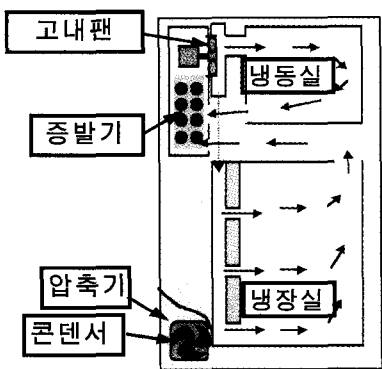


그림 5 일반적인 냉장고 고내 유로구조

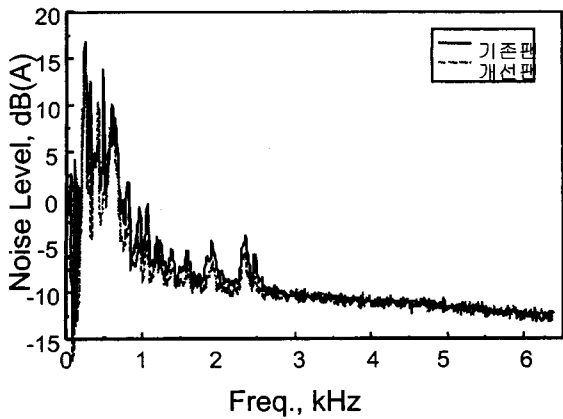


그림 6 축류 팬 소음 스펙트럼(냉장고 고내 팬)

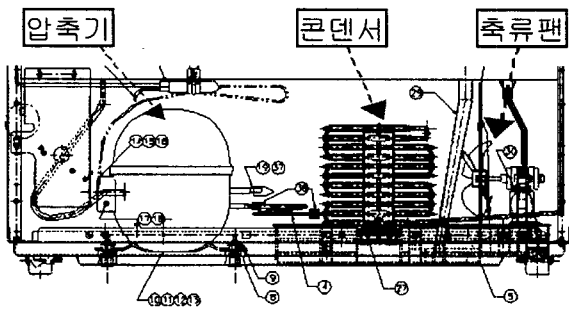


그림 7 일반적인 냉장고 기계실 유로구조

다기능화에 따른 저항증가와 냉장고 장시간 운전시 열교환기에 성애가 생기는 등의 저항이 증가하면 축류팬의 특성상 순간적으로 풍량이 떨어지는 현상이 발생하여 냉장고 품질 신뢰에 문제가 되므로 앞으로 고내에는 원심팬의 실용적 적용 연구가 더욱 요구된다.

그림 6은 냉장고 전면에서 1m 지점에서 마이크로폰으로 측정된 고내 팬의 소음스펙트럼으로서 앞서 언급된 에어컨용 팬과는 또 다른 송풍상태 소음특성을 나타내고 있다. 총합소음은 20~30 dB(A)로 매우 낮고 1kHz 이상의 소음은 더욱 낮아서 고내팬으로 인한 소음저감은 1kHz 이하에서 개선해야 효과가 있음을 알 수 있다.

1kHz 이상의 소음이 갑자기 작아진 것은 냉장고 문의 차음 효과 때문으로 1kHz 이상에서는 탁월한 차음 효과가 있으나 저주파 소음은 효과가 적다. 이러한 현상으로 인하여 냉장고 고내팬의 저소음화는 더 어려워져 저주파수 소음 저감에 더욱 연구가 필요한데 이 경우에도 팬 블레이드 형상연구로 인한 소음저감이 우선 고려된다. 한편 냉장고 문의 차음효과를 이용하여 소음을 저감한 예가 있는데 이것은 시스템의 고유한 특성을 이용하여 시스템에 적합한 팬을 설계하여 송풍소음을 저소음

화한 사례가 된다. 이에 대한 상세 자료는 참고문헌 (4)에서 참조할 수 있다.

한편 냉장고 고내팬으로 인한 소음은 매우 낮아서 암소음이 상대적으로 높은 무향실에서는 소음측정에도 곤란을 겪으며 모터 노이즈도 영향을 주어 60Hz가 인가된 상태에서는 60Hz의 하모닉 노이즈와 팬의 BPF 그리고 캐비티 공명소음의 공진에 특히 주의하여야 한다.

냉장고는 콘덴서 냉각용으로 축류팬을 사용하는데 그림 7에 콘덴서 냉각용 팬이 설치된 기계실의 구조를 나타내었다.

기계실의 유로구조는 창문형 에어컨 실외측과 마찬가지로 토출형 유로구조를 가지고 있는데 축류팬에서 나오는 바람이 콘덴서, 압축기를 차례로 냉각시키면서 정면과, 밑면의 그릴을 통하여 공기가 배출되는 구조로 되어 있다. 흡입은 배출구조와 마찬가지로 정면과 밑면에 형성된 그릴을 통하여 팬으로 공기가 들어간다. 이 경우에는 흡입형 유로구조로 개선한다고 하여도 반드시 소음에 유리하다고 할 수는 없다. 그 이유는 시스템 저항이 작아서(에어컨에 비해 콘덴서 저항이 작음) 축류팬의 최대 효율점 근방에서 작동이 되며, 흡입유로는 팬의 풍량에 비하여 작지 않고 토출유로는 커서 팬에서 떠난 바람이 처음에는 직진성의 흐름에서 콘덴서, 압축기를 거치면서 약화되어 분산된 작은 속도의 공기가 되어 그릴을 통하여 외부로 방출되므로 에어컨 창문형에서와 같이 팬의 토출측 바로 앞에 열교환기가 있는 경우와 같이 직접 열교환기로 유동이 부딪히면서 나는 소음은 상대적으로 작게 발생하기 때문이다. 그림 8의 소음 스펙트럼은 이러한 사실을 확인하는 것으로 냉장고 기계실의 콘덴서 냉각용 팬은 분리형 에어컨 실외기 팬의 소음저감과 같은 방법으로 접근하는 것이 효과적이다.

그림 8은 냉장고 전면에서 1m 지점에서 마이크로폰으로 측정된 기계실의 콘덴서팬의 소음스펙트럼으로서

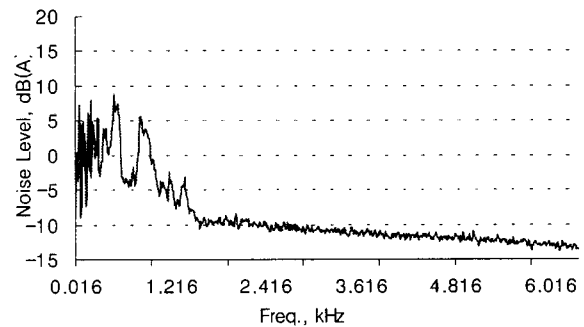


그림 8 축류 팬 소음 스펙트럼(냉장고 콘덴서팬)

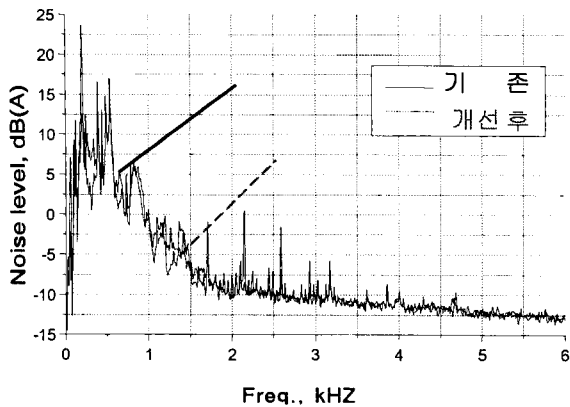


그림 9 축류 팬 소음 스펙트럼(냉장고 운전시)

앞서 언급된 분리형 에어컨용 팬과 비슷한 송풍상태 소음특성을 나타내고 있다. 시스템 저항이 낮고 주파수 2 kHz 이하에 대부분의 소음이 발생한다면 축류팬의 날개수와 캠버는 작게 하는 것이 좋다. 유동 손실이 적은 환경에서 날개수와 캠버의 증가는 비록 저회전수로 축류팬이 작동된다고 하더라도 소음을 유발하는 불필요한 유동을 발생하게 하여 총합소음은 크게 될 수 있다.

그림 9는 냉장고 전면에서 측정된 운전시 소음스펙트럼으로서 압축기, 고내팬 그리고 콘덴서팬이 모두 가동된 상태의 총합소음을 나타낸 것이다. 2 kHz 이상에서 큰 피크소음이 발생하여 압축기가 운전되고 있음을 알 수 있고 송풍소음에 비하여 압축기 소음이 전체적으로 작게 측정된 것은 압축기의 영향이 가장 적게 받는 냉장고 전면에서 측정된 결과이기 때문이며 후방에서 측정하면 압축기 소음 스펙트럼이 더 크게 나타날 것이다. 그림의 자료는 냉장고 고내팬 만의 개발을 통하여 총합소음을 저감한 것으로 앞서 언급한 바와 같이 냉장고 문의 차음 특성을 이용하여 축류팬 날개수를 증가하여 저주파 영역에서의 BPF를 발생하지 않게 하여 팬 단독의 소음을 저감하고 이것이 운전소음저감에도 기여하게 되었다.

4. 전자레인지 팬의 소음 특성

전자레인지의 유로구조는 그림 10에서 보는 바와 같이 축류팬에서 나오는 바람이 마그네트론(magnetron)과 HVT(high voltage transformer)를 각각 냉각시키고 마그네트론을 통과한 공기는 조리실로 유입되어 외부로 배출되고 HVT를 지나는 공기는 밀면의 그릴을 통하여 외부로 공기가 배출되는 구조로 되어있다. 흡입은 후면의 그릴을 통하여 팬으로 공기가 유입된다.

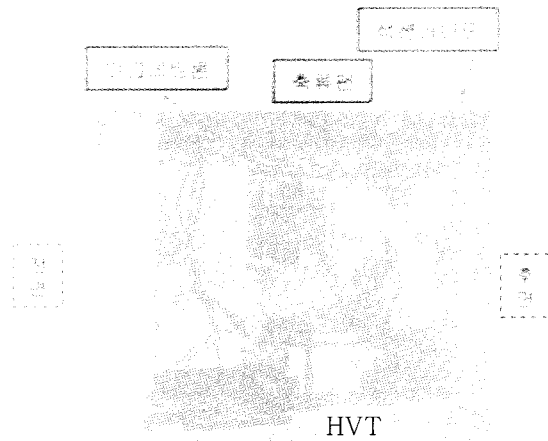


그림 10 전자레인지 유로구조(케이스 제거)

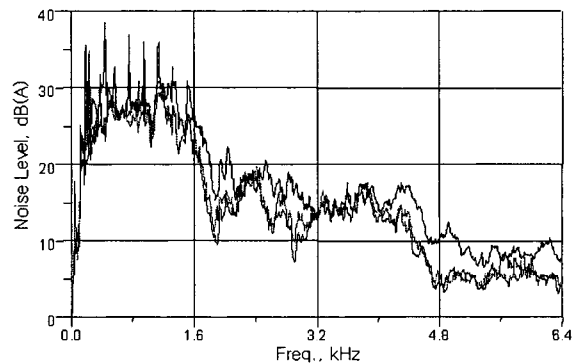


그림 11 축류 팬 소음 스펙트럼(전자레인지)

유로구조는 창문형 에어컨과 같은 토출형이고 시스템 저항도 높아서 창문형 팬의 소음특성을 가진다. 그림 11에 전자레인지 후면에서 1m 지점에서 마이크로폰으로 측정된 냉각팬의 소음스펙트럼으로서 BPF가 크고 광대역 소음도 커서 소비자에게 매우 불쾌감을 주고 있다. 저주파 대역에서 BPF가 유난히 큰데 이것은 팬의 바로 앞에 그릴이 형성되어 있는데 그 형상이 전자파 차단을 이유로 작은 구멍으로 구성되어 간섭소음이 크고 마그네트론과 HVT로의 국부적인 유동안대를 위하여 모터와 일체화 되어있는 석션가이드의 형상을 일반적인 슈라우드 형상과 다르게 설계하였기 때문이다. 또한 팬 블레이드의 형상도 저소음 형상이 아님이 확인되어 이의 영향도 클 것으로 짐작된다. 한편 고주파 음도 일부 발생하는데 그 원인은 외부공기가 흡입그릴의 좁은 원형 구멍을 통과하면서 구조물과 간섭하고, 팬을 떠난 바람이 마그네트론의 핀에 부딪히고 빠르게 통과하면서 발생하는 것으로 추측이 된다.

5. 맺 음 말

이상으로 여러 가전기기에 많이 사용되는 축류팬에 대하여 각 시스템별 송풍소음특성을 살펴본 결과 시스템 저항의 크기, 저소음 팬 블레이드 형상 여부, 구조물의 적절한 배치, 제품자체의 고유 기능으로 인한 구조구성 또는 그것의 변경이나 첨가에 따라서 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

대부분의 시스템에서 저소음화는 팬의 재설계를 제외하고는 실제 변경의 여지가 많지 않다. 자명한 사실이지만 개선하고자 하는 팬은 각 시스템의 유동과 소음특성을 잘 이해하고 응용하여 시스템에 적합한 설계로 보다 소음이 저감될 수 있다.

참 고 문 헌

(1) Walls, R. A., 1983, Axial Flow Fans and Ducts, John Willy and Sons, Inc., pp. 143~176, 184~196.

(2) 김창준, 이동익, 2000, 비소음 측정을 이용한 저소음 축류팬 설계, 한국소음진동공학회지, 제 10권 제 5호, pp. 873~879.

(3) 김창준, 윤홍열, 정용규, 박영민, 2000, 축류팬 및 슈라우드 개선을 통한 공조기 저소음화에 대한 연구, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 380~387.

(4) 윤홍열, 김창준, 송성배, 2000, 시스템 특성을 고려한 축류팬 저소음화에 대한 연구, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 1381~1385.