

인자 분석을 통한 플라즈마 디스플레이 패널(Plasma Display Panel) 텔레비전에서의 냉각 팬 시스템 소음 저감

Noise Reduction of PDP TV Cooling Fan System through Parameter Analysis

김 규 영* · 최 민 구* · 이 덕 주**

Kyu Young Kim, Min Goo Choi and Duck Joo Lee

(2005년 5월 27일 접수 ; 2006년 1월 20일 심사완료)

Key Words : PDP(피디피), Cooling Fan(냉각 팬), Noise Reduction(소음 저감)

ABSTRACT

The present experimental study deals with noise reduction and improvements in cooling performance in a plasma display panel (PDP) television (TV). The main ideas of the fan system noise reduction are maintenance of uniform inflow condition and reduction of the system loss, ΔP . The discrete noise is mainly related with the inflow condition therefore removing the structure which distorts inflow makes the discrete noise reduction. The broadband noise in PDP TV is related with the system losses which result from the presence of the fan downstream obstacle, PDP rear case. Through the modification of the distance and preventing the leakage flow between the fan and rear case, we can obtain the system loss and broadband noise reduction. Additionally we can reduce fan rotating speed because of increased flow rate which obtains from the reduction of system loss (resistance). Finally, 4.2dB(A) noise reduction and 10 % increase in flow rate are achieved. From these results, we show that the reduction of system loss is the most effective way of the fan system noise reduction.

1. 서 론

차세대 TV로서 새로이 등장한 플라즈마 방전을 이용한 PDP TV는 고온 고전압에서의 방전을 통하여 화상을 만들어 낸다. 이런 이유로 패널 자체에서의 발열이 클 뿐만 아니라 높은 전압을 만들어 주기 위한 변압회로 부분에서 많은 열이 발생하게 된다. 발생된 열로 인하여 주위의 온도가 100 °C 정도까지 상승하게 되며 이를 적절한 방법으로 냉각을 시켜주

지 않으면, 회로가 타거나, 회로의 기능저하를 유발할 수 있는 요인이 된다. 이런 이유로 PDP TV에서는 기존의 브라운관 TV와는 달리 냉각을 안정적으로 시켜 줄 수 있는 팬이 설치되어 있으며, 설치된 팬은 PDP TV의 소음을 증가 시키는 원인이 된다.

무향실과 같이 자유 음장에서 PDP TV 내부에 설치된 냉각 팬에 의한 전방(시청자 방향) 소음은 PDP 패널에 의한 차음 효과로 인하여 상대적으로 낮은 편이나, 냉각을 위한 팬이 설치되어 있는 후면 방향의 소음은 전방에 비하여 10dB(A) 이상 큰 값을 가진다. 이와 같은 후면 방향의 소음은 초기 TV 설계 시에는 고려되지 않았으나, TV가 벽에 가까이 설치되어, 팬 소음이 벽에 반사되어 전방으로 전파되면서 후방 소음이 중요한 문제로 대두 되었다. 이러한 반사 소음은 주로 야간에 낮은 볼륨으로 TV 시

† 책임저자 : 정희원, 한국과학기술원 항공우주공학과

E-mail : wave@kaist.ac.kr

Tel : (042) 869-5755, Fax : (042) 869-3710

* LG 전자 생산기술원

** 정희원, 한국과학기술원 항공우주공학과

청 시 매스킹 효과를 발생하여 TV 시청을 방해하는 것으로 나타났다. 따라서 이 논문에서는 냉각 성능은 유지 하면서 소음, 특히 후방 소음을 저감하는 것을 그 목적으로 하여 연구를 수행하였다.

2. PDP TV 소음 특성

PDP TV의 소음은 팬에 의한 소음과 PDP 모듈에서 발생하는 전자기 소음으로 나누어진다. 이중 모듈에 의한 전자기적 소음은 그 크기가 팬에 의한 소음에 비하여 비교적 작은 값을 가지기 때문에 이 연구에서는 제외 되었다. 또한 팬에 의한 소음 중 진동에 의한 소음은 구조물의 고유주파수 대에 대한 배수로 발생하고, 방진 기법을 통하여 쉽게 억제 할 수 있었기 때문에 이 연구에서는 유동에 관련된 소음에 초점을 맞추었다.⁽¹⁾

유동에 의한 소음은 복잡한 유로에서 난류에 의하여 발생 되는 광역소음과 팬과 주변 구조물의 주기적인 상호작용에 의한 분절음으로 나누어 볼 수 있다. W. Neise에 의한 팬 소음 분류는 Fig.1과 같으며,

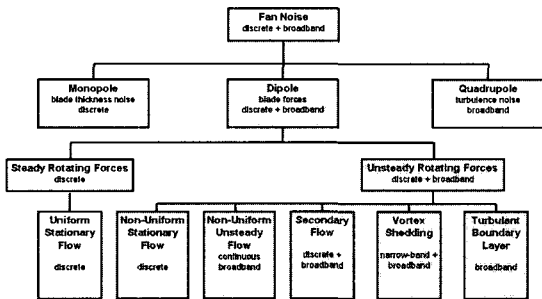


Fig.1 Various kind of fan noise [W. Neise, 1992]

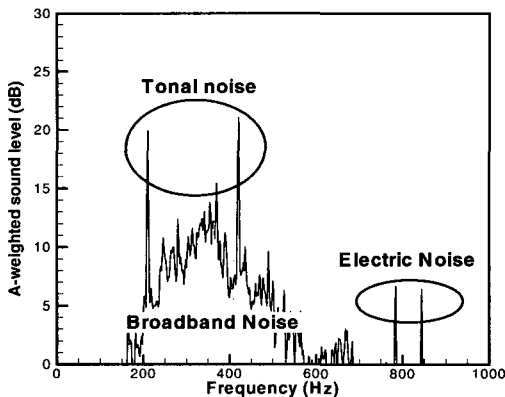


Fig.2 Typical PDP TV noise spectrum at the rear side

이 연구에 사용된 PDP TV의 대표적인 소음 스펙트럼은 Fig.2와 같다.⁽²⁾

Fig.2에서 알 수 있는 것처럼 PDP TV에서의 주된 소음원은 150~600 Hz 근방의 산 형태의 광역소음이며, 분절음의 크기가 주변에 비하여 10dB(A) 이상의 값을 가지기 때문에 비록 전체 소음 레벨에 대한 기여도는 작다 하더라도 최근 대두 되는 음질과 관련하여 심각한 문제를 발생할 수 있음을 파악 할 수 있다.

2.1 소음 측정

소음 특성을 파악하기 위하여 다양한 조건에 대하여 소음을 측정 하였으며, 측정은 LG에 설치된 무향실에서 수행하였다. LG무향실은 cut off 주파수는 100 Hz이고, 암소음은 12 dBA이며 4.5 m × 6.0 m × 3.5 m의 크기를 가지고 있다. 소음 측정을 위한 장비로 B&K의 Pulse 장비와 free field 4165 type microphone을 사용하였고, 측정 위치는 PDP TV 중심으로부터 전방 1m와 후방 1m에서 측정 하였다. 측정 주파수 간격은 2 Hz 간격으로 3.2 kHz까지 측정 하였다.

2.2 광역소음 특성

W. Neise에 의하여 분류된 팬 소음원(Fig.1)에서 보는 것과 같이 팬 시스템에서 광역소음의 주된 원인은 난류유입, 2차 유동, 블레이드에서 유동의 박리, 난류경계층과 vortex shedding 등 여러 가지 원인이 있다. 이중에서 PDP TV에 사용된 팬과 같이 큰 시스템 저항에서 사용되는 축류팬의 경우에는 주로 복잡한 시스템을 통과하면서 발생한 난류 유동이 팬으로 유입되어 발생하는 소음과 높은 시스템저항 때문에 블레이드 표면에서 발생하는 박리에 의한 소음이 지배적이라고 할 수 있다.

팬 성능과 소음과의 관계를 나타내는 아래 식 (1)을 통해서 시스템에 장착된 팬의 경우 팬 소음은 유량 보다는 시스템 저항에 더 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다.

$$\text{Sound Power(or pressure) Level} =$$

$$K_w + 10 \log Q + 20 \log \Delta P$$

$$K_w \text{ is the specific noise level}$$

$$Q \text{ is flowrate}$$

$$\Delta P \text{ is pressurerise}$$

(1)

따라서, PDP TV에 존재하는 다양한 시스템 저항 중에서 팬의 토출구에 위치하면서 팬과 가장 가까운 거리에 존재하는 PDP TV 뒷면을 덮는 덮개와 팬 소음과의 관계를 살펴보았다.

Fig. 3은 PDP TV 뒷면 덮개와 팬 후면과의 거리를 L, 팬의 직경을 D로 하여 무차원화 한 거리 L/D의 변화에 따른 OASPL 측정 결과를 보여 준다. 아주 가까운 거리를 제외하고 팬과 뒷면 사이의 거리가 증가 할수록 소음이 감소하는 경향을 보여 준다. 이러한 경향성은 팬과 시스템 저항과의 관계로서 이해할 수 있다. 시스템 저항이 커지면 팬의 특성곡선에서 작동점은 유량이 낮고 압력 상승량이 높은 방향으로 이동하게 된다. 즉 팬을 통과하는 축방향 속도가 감소하게 되고, 감소된 축방향 속도에 의해서 블레이드에서의 유효 받음각은 커지고, 받음각이 커짐에 따라서 팬에서 발생하는 추력이 증가하게 된다. 받음각이 증가함에 따라서 블레이드 표면에서 박리가 발생하게 되고 소음이 증가하게 된다. 따라서 시스템 저항의 증가는 팬 블레이드의 유효 받음각을 증가시키는 역할을 하고, 그 결과 팬 소음이 증가 하게 된다. 이와 같은 이유로 PDP 뒷면의 영향이 큰 가까운 거리에서는 소음이 증가하고 멀어 질수록 소음이 감소하는 현상을 설명할 수 있다.

따라서 팬과 케이스와의 거리를 크게 한다면, 소음을 저감할 수 있을 것으로 예상된다. 하지만, PDP TV의 두께가 고정 되어 있는 현재의 시스템에서 거리의 증가에는 제한이 있으며 거리의 변화에 의한 소음의 감소는 대략 현재 시스템에서 1.5 dB(A) 정도 예상된다.

앞에 제시했던 소음과 성능과의 관계식을 속도에

대한 관계를 이용하여 변경하면 식 (2)와 같이 회전수에 대한 관계로 나타낼 수 있다.

$$Q \sim V^1 \text{ and } \Delta P \sim V^2$$

$$SPL \sim 10 \log V^5 \text{ or } SPL =$$

$$SPL_{ref} + 50 \log \left(\frac{RPM}{RPM_{ref}} \right) \quad (2)$$

식 (2)로부터 팬소음은 회전속도에 5승에 비례하는 것을 알 수 있다. 즉 속도를 줄이면 전체 소음을 줄일 수 있는 것을 보여 준다. Fig. 4는 회전속도에 따른 OASPL 변화에 대한 실험과 식 (2)를 이용하여 예측한 결과를 보여준다. 주어진 식으로부터 얻어낸 소음과 회전수의 관계와 PDP 소음 측정 결과가 잘 일치 하는 것을 알 수 있다. 그러나 Fig. 5에서 도 시된 것과 같이 회전수의 감소는 냉각성능과 직접적인 관계를 가지는 유량을 감소시킨다. 따라서 회전속

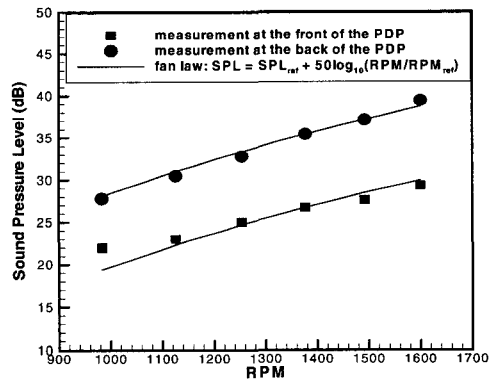


Fig. 4 Overall sound pressure level vs. rotating speed

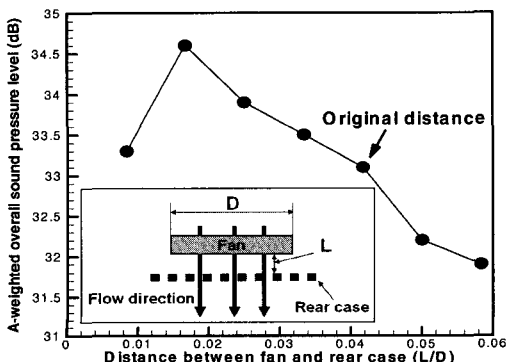


Fig. 3 Noise produced with distance variations between fan and rear case

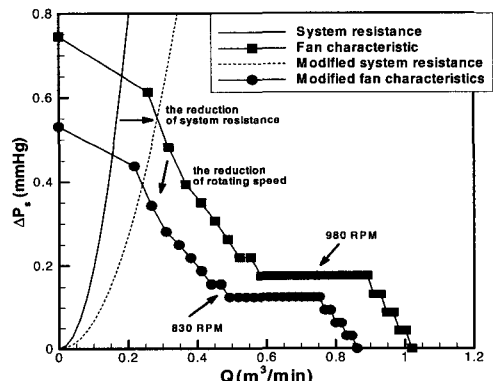


Fig. 5 fan and system characteristics with RPM variations

도를 낮추면서 유량을 유지 할 수 있는 방법이 필요하다. Fig. 5는 시스템 저항을 감소시킴으로써 낮은 회전수에서 보다 많은 유량을 얻을 수 있음을 보여준다. 따라서 시스템 저항 ΔP (또는 손실)의 감소가 시스템에 설치된 팬소음을 줄이는데 효과적인 방법임을 알 수 있다.

2.3 분절 소음 특성

분절음은 Fig. 6에서 보여지는 것과 같이 팬 전방에 위치한 지지대와 팬과의 상호작용에 의하여 발생하였다. 팬의 중앙을 가로지르는 지지대의해서 팬으로 유입되는 축방향 유동 속도가 주기적(1회전에 2번)으로 변화하게 되고 주기적인 축방향 속도의 변화는 블레이드에서의 유효받음각(effective angle of attack)을 주기적으로 변화시킨다. 이러한 받음각의 변화는 결국 블레이드 표면 압력의 주기적인 변화를 가져오고 그 결과 Fig. 2에서 보여지는 것처럼 209 Hz와 418 Hz의 주파수에서 discrete한 소음이 발생한다.

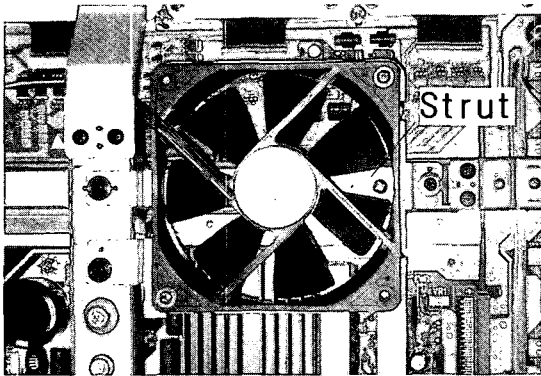


Fig. 6 50" PDP TV cooling fan and strut

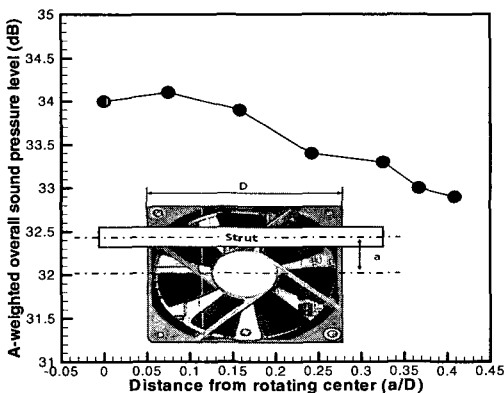
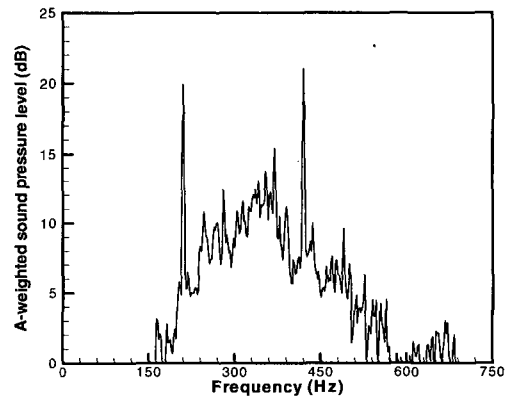


Fig. 7 Noise produced with position variations of the strut on the fan

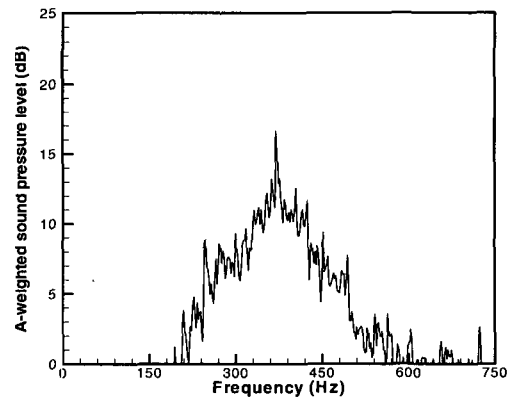
209 Hz는 팬의 BPF 105 Hz (900 RPM)의 두 배에 해당하는 주파수로서 지지대가 중앙에 가로 놓여져서 블레이드의 1 회전에 두 번의 영향을 미치는 것으로 해석 할 수 있다. 기본 주파수 209 Hz에 정수 배인 418 Hz는 2nd harmonic이 됨을 알 수 있다.

PDP TV에서 발생하는 분절음의 변화를 살펴보기 위하여 팬과 지지대의 위치에 따른 소음의 변화를 측정 하였다. 지지대의 위치에 따라 분절 소음의 변화를 뚜렷하게 확인 할 수 있었지만, 분절 소음이 제거 되어도 전체 소음 레벨의 변화는 약 1dB(A)로 크지는 않았다. Fig. 7은 지지대를 팬의 중심으로부터 모서리 부분으로 이동 시켜 가면서 소음의 변화를 측정한 결과이다. 여기서 거리 a는 팬의 회전축을 지나는 중심선으로부터 지지대의 중심선까지의 거리이며, 팬의 직경으로 무차원화 한 거리에 대한 OASPL을 도 시하였다.

Fig. 7에서 보여지는 것과 같이 지지대의 위치가



(a) With strut



(b) Without strut

Fig. 8 Noise spectrum variation (a) with and (b) without strut

중앙에서 벗어날수록 소음이 작아지는 경향을 보였다. 이는 지지대가 중앙으로 올수록 블레이드에 유입되는 축방향 속도의 변화가 주기성을 띠는 반면, 한쪽으로 치우치게 되면 블레이드의 회전에 따른 받음각의 주기성이 감소하게 되어 분절 소음이 감소하는 것으로 설명할 수 있다.

Fig. 8은 시스템 내부에서 지지대가 존재할 때와 제거하였을 때의 소음 신호를 보여 주는 것으로 분절 소음이 확실하게 감소한 것을 보여준다. 하지만, 전체적으로 시스템의 소음특성이 광역소음에 지배를 받기 때문에 2개의 피크가 사라졌지만 전체적인 소음 레벨의 변화는 1 dB(A) 정도로서 크지 않았다.

3. PDP TV의 유동 특성

유동 소음을 저감하기 위해서는 소음 특성뿐만 아니라 유동의 특성을 정확히 파악하여야 성능을 만족시키면서 소음을 저감할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 유동의 거시적인 특성을 파악하기 위하여 연기(smoke)를 이용한 가시화를 수행하였고, 정량적인 성능의 변화를 측정하기 위하여 pitot tube를 이용하여 유량을 측정하였다.

3.1 흐름 가시화

유동의 특성을 파악하기 위하여 파라핀을 이용한 연기 가시화 방법을 사용하여 가시화하였다. 가시화 결과는 Fig. 9와 같으며, 출구에서 팬의 반경 방향으로 흐름이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이러한 반경 방향으로의 흐름은 축류팬의 작동점이 설계점보다 높은 정압 상승을 필요로 하는 경우에 주로 발생한다. 이러한 유동 특성은 PDP TV의 내부의 뜨거운

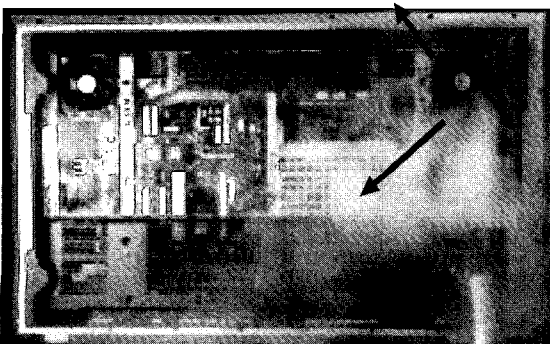
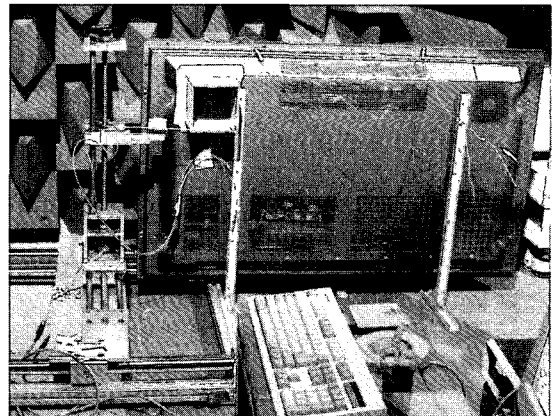


Fig. 9 Flow visualization results

공기를 밖으로 빼내기 보다는 뜨거운 공기가 내부에서 순환하도록 하여, 비효율적인 냉각과 불필요한 소음을 발생시키는 원인이 된다.

3.2 유량 측정

유량과 소음과의 상관관계 파악 및 소음 저감 방법을 적용하였을 때 유량의 변화를 확인하기 위하여 유량을 측정하였다. 유량의 감소는 냉각 성능의 손실을 의미하므로 냉각 성능을 유지하기 위해서는 유량의 감소 없이 소음을 저감하여야 한다.⁽⁵⁾ 유량 변화를 정확하고, 효율적으로 측정하기 위하여 자동이송 장치를 사용하여 Pitot tube의 위치를 이동시켰으며, 속도의 측정은 Pitot tube와 micro-manometer를 사용하여 데이터를 얻고, 측정된 데이터를 AD converter를 통하여 PC에 초당 100개의 sampling



(a) Flow velocity measurement system

1.11	2.11	3.11	4.11	5.11	6.11	7.11	8.11	9.11	10.11	11.11
1.10	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	7.10	8.10	9.10	10.10	11.10
1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9
1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8
1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7
1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.6	11.6
1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5
1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4
1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3
1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2
1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1

(b) Flow velocity measuring points at the duct exit

Fig. 10 Flow velocity measuring system

rates으로 저장, 처리 하였다. 측정 장치와 측정 지점은 Fig 10, Fig. 11과 같다.

유량 측정 결과 팬의 후방에서의 유속이 전압이 낮아질수록 불안정한 특성을 가지며, 팬의 경계 부근에서 긴 시간 주기를 가지고 진동 하는 특성을 보여 주었다(Fig. 12). 이와 같은 특성은 소음을 줄이기 위해 낮은 전압에서 장시간 작동 시 비정상 하중에 의하여 팬의 내구성에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 즉 전압의 변화는 유량의 변화뿐만 아니고, 팬의 수명 단축 등의 문제를 발생 시킨다.

측정 결과 속도의 변화가 주기적으로 발생하였기 때문에 121개의 속도 측정 지점 각각에 대하여 충분한 시간 간격(100초)을 가지고 측정한 후, 식 (3)을 사용하여 각각의 점에서 시간에 대한 평균을 구하고 전체에 대하여 적분 하여 유량을 계산 하였다. 측정된 포인트는 x, y를 1cm로 하는 가상의 cell을 구성하고, 그 중심에서 속도를 측정하여 그 cell의 대표값으로 사용하였다. PDP TV냉각용으로 12cm×12cm 크기의 팬을 2개 사용하였고, 각각에 대하여 11×11, 총 121개 측정 점을 잡고 측정 하였다. 측정된 두 팬의 속도 분포는 Fig. 12와 같다.

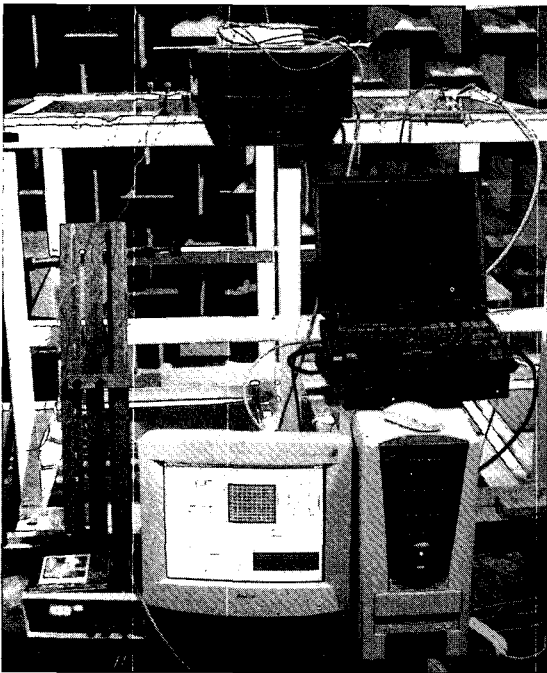


Fig. 11 Transverse unit control, data acquisition and processing computer

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (3)$$

Fig. 13에서 볼 수 있듯이 속도가 대부분 사각의

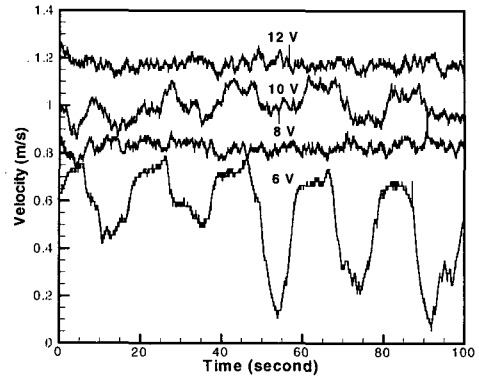
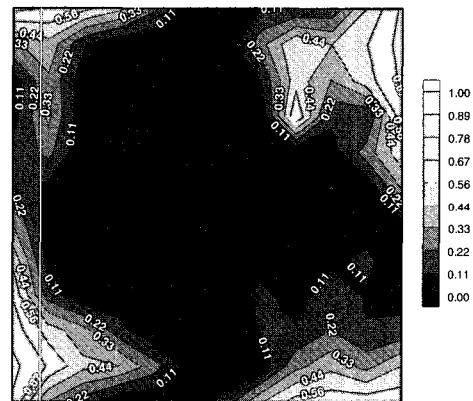
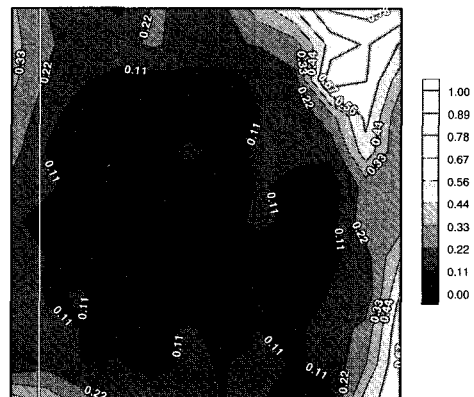


Fig. 12 Velocity fluctuations with applied voltage



(a) Left side cooling fan (flow rate: 0.17 m³/min)



(b) Right side cooling fan (flow rate: 0.17 m³/min)

Fig. 13 Velocity distribution contour at 6V

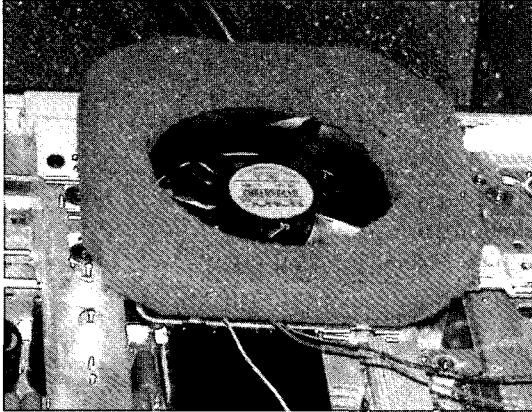


Fig. 14 Flow guide made by sponge

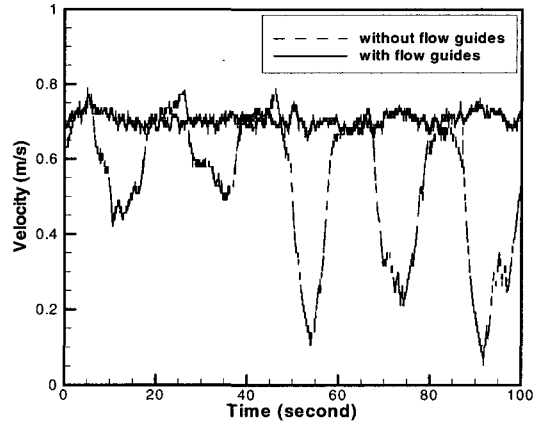
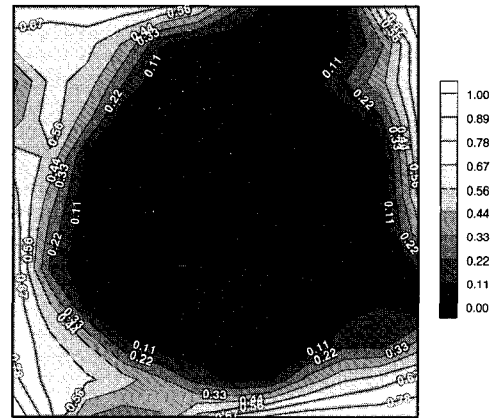
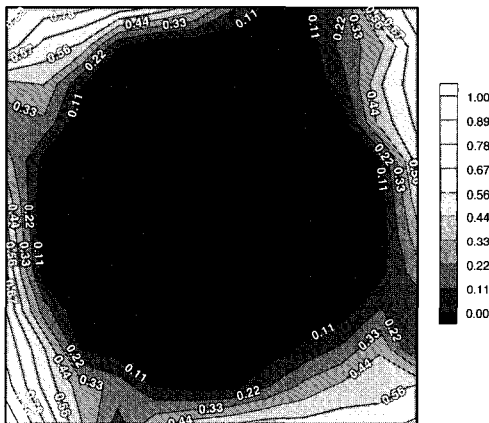


Fig. 16 Velocity fluctuations comparison (measured right fan at point 2,1)



(a) Left side cooling fan(flow rate: $0.21 \text{ m}^3/\text{min}$) (b) Right side cooling fan (flow rate : $0.24 \text{ m}^3/\text{min}$)

Fig. 15 Velocity distribution contourat 6V with flow guides

네 귀통이에서 발생하고 대부분의 영역에서는 속도가 거의 없는 것을 알 수 있다. 이는 냉각을 위하여 장착되어 있는 축류팬이 설계 점을 벗어나 박리영역에서 작동되어, 축류팬이지만 원심팬과 같이 반경 방향으로의 속도가 증가 되는 것으로 해석 할 수 있다.⁽⁴⁾

4. 소음 저감 방법

PDP TV소음 특성을 광역 소음과 분절 소음으로 나누고, 광역 소음 저감을 위한 인자로서 시스템 저항의 감소를 분절 소음 저감 인자로서 팬 전방에 위치한 지지대의 제거를 도출하였다.

유동 특성 실험 결과 팬 후류에서 대부분의 유동이 반경방향으로 분출 되었으며 이로 인하여 팬과 PDP TV의 뒷면 덮개 사이의 틈으로 상당량의 유량

이 누설되는 것을 확인하였다. 따라서 팬과 뒷면 덮개 사이의 틈을 Fig. 14와 같이 흡음성 재질의 덕트로 매움으로써 시스템 손실을 줄일 수 있었고 동일한 회전수에서 약 36%의 유량의 증가를 얻을 수 있었다. 증가된 유량을 고려하여 팬의 회전수를 980 RPM에서 830 RPM으로 줄일 수 있었으며, 낮은 회전수에서 발생하던 유동의 불안정성을 Fig. 16과 같이 제거하였다.

5. 결 론

시스템에 설치된 팬 소음에 영향을 주는 인자로서 시스템 저항(손실)에 주목하였으며, 시스템 저항을 줄이기 위한 방편으로써 스폰지를 사용한 팬 후류의 가이드를 만들어 줌으로써 같은 작동 조건에서 유량

을 36% 증가시킬 수 있었고, 증가된 유량의 여유분만큼 팬의 회전 수를 감소하여 최종적으로 유량 10% 증가와 후방 소음 4.2 dBA, 전방 소음 1.1 dBA를 저감 하였다.

현재 양산 중인 PDP TV의 소음을 저감하기 위하여 스폰지로 된 가이드만을 추가함으로써, 최소한의 설계변경으로 만족할 만한 소음 저감을 획득할 수 있었다.

낮은 볼륨으로 시청 시 벽에 반사되는 후방 소음에 가려져 TV의 소리를 들을 수 없었던 기존의 문제점을 후방 소음을 저감함으로써 해결하였다.

후 기

이 연구는 2002년도 LG 전자의 "LG PDP TV 저소음 설계를 위한 FAN 및 유로설계 GUIDELINE 개발" 과제의 수행 결과이며, 소음 측정과 관련 하여 수고하여 주신 LG 구미 TV 공장 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Sharland, I. J., 1964, "Sources of Noise in Axial Flow Fans," J. Sound and Vibration, Vol. 1, No. 3, pp. 302~322.
- (2) Neise, W., 1992, "Review of Fan Noise Generation Mechanisms and Control Methods," An International INCE Symposium.
- (3) Thomas F. Brooks, D. Stuart Pope and Michael A. Marcolini, 1989, Airfoil Self-noise and Prediction (NASA Reference Publication).
- (4) Frank P. Bleier, 1998, Handbook: Selection, Application, and Design (McGraw-Hill, New York).
- (5) Kim, B. J., Kang, S. K., Kim, K. Y., Lee, D. J., Lee, J. Y., Lee, D. H. and Shin, D. S., 2004 "Design of Automotive Engine Cooling Fan and Study on Noise Reduction through Modification of System", Vol. 14, No. 11, pp. 1107~1114.