

# 플라즈마 디스플레이 패널(Plasma Display Panel) 텔레비전에서의 냉각 소음 저감

김규영\*·최민구\*\*·이덕주\*\*\*

Kyu Young Kim, Min Goo Choi and Duck Joo Lee

Key Words : PDP(피디피), Cooling fan(냉각팬), Noise(소음)

## ABSTRACT

The present experimental study deals with noise reduction and improvements in cooling performance in a plasma display panel (PDP) television (TV). To reduce the noise, the effects of installation parameters are studied. The experimental parameters under investigation are the distance between the fan and the rear case of a PDP TV, position of the strut on the fan, and the fan RPM. The variance of RPM is the most significant factor, and a 250 RPM decrease from 910 RPM causes about 4 dB(A) reduction in the system noise. To increase performance, flow characteristics are investigated by using a visualization technique and measuring the volume flow rate. The visualized results show that a radial direction flow due to large system resistance is significant, and an axial velocity oscillation is observed from the measurement of the volume flow rate. To prevent both a radial direction flow and an axial velocity oscillation, sponges are inserted in the space between fan and the rear case. Inserted sponges improve the volume flow rate of cooling fans up to 32% since they convert a radial direction flow to an axial direction flow. Also an axial velocity oscillation with large amplitude and low RPM disappears. Increasing volume flow rate causes the PDP TV to improve its cooling performance. Additionally, the same volume flow rate can be obtained with a decreased fan speed due to the inserted sponge. Noise reductions of 4.2 dB(A) at the rear and 1.1 dB(A) at the front of the TV are obtained by the decreased RPM. An increase of 10% of the volume flow rate is also achieved by inserting sponges.

## 1. 서론

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 시켜주지 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 설치 되어 있으며, 설치된 팬은 PDP TV의 소음을 증가 시키는 원인이 된다.

소음에 대한 관심과 기술의 발전으로 PDP TV 내부에 설치된 냉각팬에 의한 전방 소음은 상대적으로 낮은 편이나, TV의 특성상 벽과 가까이에 설치 되어, 팬 소음이 벽에 반사되어 전방으로 전파되는 문제가 발생하게 되었다. 반사 소음은 낮은 볼륨 시청 시 매스킹 효과가 발생하게 되어 TV

시청을 방해하는 요인으로 등장하였다. 본 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 진동과 유동에 의하여 발생한다. 진동에 의한 소음은 구조물의 고유 주파수 대에 대한 배수로 발생하고, 방진 기법을 통하여 쉽게 억제 할 수 있었기 때문에 본 연구에서는 유동에 관련된 소음에 초점을 맞추었다.

유동에 의한 소음은 복잡한 유로에서 발생되어지는 광역소음과 팬과 주변 구조물의 주기적인 상호작용에 의한 분절음으로 나누어 볼 수 있다. Noise [1992]에 의한 팬 소음 분류는 Fig. 1과 같으며, PDP TV의 소음 스펙트럼은 Fig. 2와 같다. Figure 2에서 알 수 있는 것처럼, PDP TV에서의 주된 소음원은 150~600Hz 근방의 산 형태의 광역소음이며, 분절음의 기여도는 그리 크지 않은 것을 알 수 있다.

\* KAIST 항공우주공학과  
E-mail : aerokim@kaist.ac.kr  
Tel : (042) 869-5755, Fax : (042) 869-3710

\*\* LG 전자 생산기술원

\*\*\* KAIST 항공우주공학과

### 2.1 소음 측정

소음 특성을 파악하기 위하여 다양한 조건에 대하여 소음을 측정 하였으며, 측정은 LG 구미 TV 공장에 설치된 무향실에서 수행 하였다. LG 무향

실은 cut off 주파수는 100 Hz 이고, 압소음은 12dBA 이며 4.5mx6.0mx3.5m 의 크기를 가지고 있다. 소음 측정을 위한 장비로 B&K 의 Pulse 장비와 free field 4165 type microphone 을 사용하였고, 측정 위치는 PDP TV 전방 1m 와 후방 1m 에서 측정 하였다. 측정 주파수 간격은 2Hz 간격으로 3.2 kHz 까지 측정 하였다.

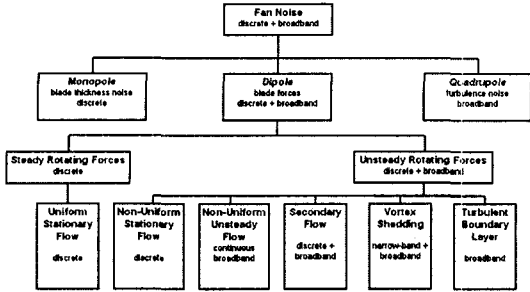


Fig. 1 Various Kind of Fan Noise

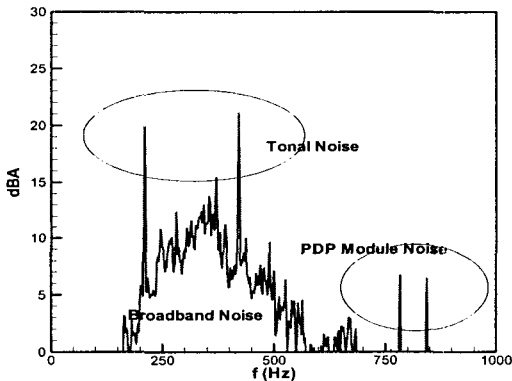


Fig. 2 PDP TV Noise Spectrum

## 2.2 팬과 뒷면과의 거리에 따른 소음 특성

앞서 언급된 비정상 회전력에 의한 소음 중에서 광역 소음을 발생 시키는 것으로 Turbulent boundary layer, Vortex shedding, Secondary flow, Non-uniform unsteady flow 를 들 수 있다. Figure 2 를 보이는 150Hz-600Hz 사이의 산 모양의 광역 소음 특성은 이러한 소음원들의 복합적인 상호 작용에 의하여 형성된다. 팬 블레이드에서 발생한 와류가 PDP TV 의 뒷면과 부딪히면서 일부는 깨지고, 일부는 팬과 뒷면의 틈으로 새어나가면서 secondary flow 를 만들고, 이렇게 발생된 유동이 다시 팬으로 흡입되어 Non-uniform

unsteady flow 를 만들어 소음을 증가 시킨다.

이런 PDP TV 의 광역 소음 특성을 분석하기 위해서 가장 중요한 인자로 파악되는 팬과 PDP TV 뒷면을 덮는 덮개와의 거리를 변화 하면서 소음을 측정 하였다. Figure 3 에서 보여지는 것처럼 팬과 뒷면과의 거리가 매우 가까울 때를 제외하고, 거리가 멀어짐에 따라서 소음이 감소함을 알 수 있었다. 하지만, PDP TV 의 두께가 고정 되어 있는 현재의 시스템에서 변화 시킬 수 있는 거리의 한계로 인하여 소음의 총 변화량은 약 3dBA 정도였으며, 양산되고 있는 모델에 대하여는 약 1.5dBA 의 소음을 저감 할 수 있었다.

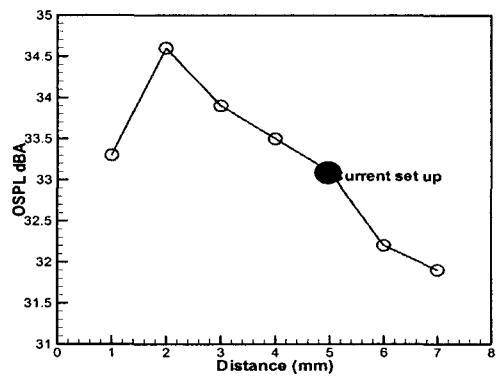


Fig. 3 Noise produced with distance variations between fan and rear case

## 2.3 팬과 지지대와의 거리에 따른 소음 특성

분절음은 Fig. 4 에서 보여지는 것과 같이 팬 전방에 위치한 지지대와 팬과의 상호작용에 의하여 발생하였다. 팬의 중앙을 가로지르는 지지대에서 주기적으로 발생하는 와류가 블레이드에 의해서 주기적으로 잘려 지면서 Fig. 2 에서 보여지는 것처럼 209Hz 와 418Hz 의 주파수에서 discrete 하게 발생 되었다. 209Hz 는 팬의 BPF 105Hz (900 RPM) 의 두 배에 해당하는 주파수로서 지지대가 중앙에 가로 놓여 저서 블레이드의 1 회전에 두 번의 영향을 미치는 것으로 해석 할 수 있다. 기본 주파수 209Hz 에 정수 배인 418Hz 는 2<sup>nd</sup> harmonic 이 됨을 알 수 있다.

PDP TV 에서 발생하는 분절음의 변화를 살펴 보기 위하여 팬과 지지대의 위치에 따른 소음의 변화를 측정 하였다. 지지대의 위치에 따라 분절 소음의 변화를 뚜렷하게 확인 할 수 있었지만, 분절 소음이 제거되어도 전체 소음 레벨의 변화는 약

1dBA 로 설계 변경에 필요한 노력 대비 소음 저감 효과는 크지 않았다. Figure 5 은 지지대를 팬의 모서리로부터 중앙으로 이동 시켜 가면서 소음의 변화를 측정 한 결과이다. 여기서의 거리는 팬의 모서리부터 지지대의 한쪽 모서리까지의 거리를 의미한다. Figure 5 에서 보여지는 것과 같이 지지대의 위치가 중앙에서 벗어날수록 소음이 작아지는 경향을 보였다. 이는 지지대에서 발생하는 와류가 블레이드에 의하여 부서지는 메커니즘이 비대칭으로 발생하는 것으로 생각된다. 지지대가 중앙으로 올수록 블레이드, 와류와의 상호작용이 주기성을 띠는 반면, 한쪽으로 치우치게 되면 블레이드가 1 회전을 하는 동안 일정 영역에서만 발생하게 되어 같은 주기에서의 진폭이 작아지는 것으로 설명 할 수 있다. Figure 6 은 시스템 내부에서 지지대가 존재 할 때와 제거 하였을 때의 소음 신호를 보여 주는 것으로 분절 소음이 확실하게 감소한 것을 보여준다. 하지만, 전체적으로 시스템의 소음특성이 광역소음에 지배를 받기 때문에 2 개의 피크가 사라졌지만 전체적인 소음 레벨의 변화는 1dBA 로서 크지 않았다.

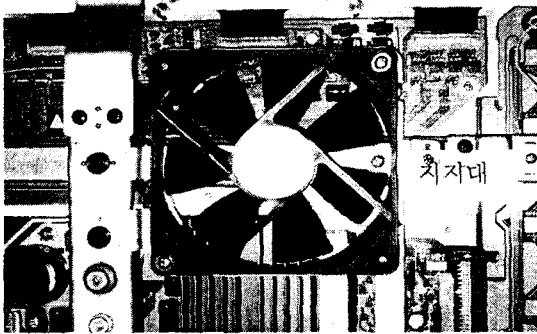


Fig. 4 50" PDP TV cooling fan and strut

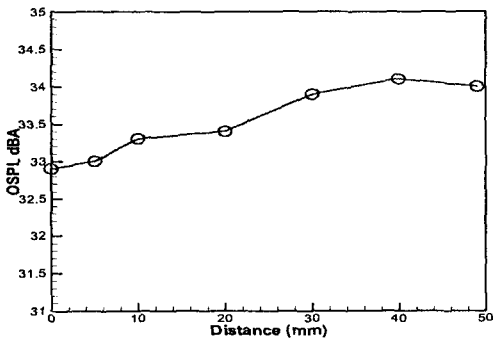


Fig. 5 Noise produced with position variations of the strut on the fan

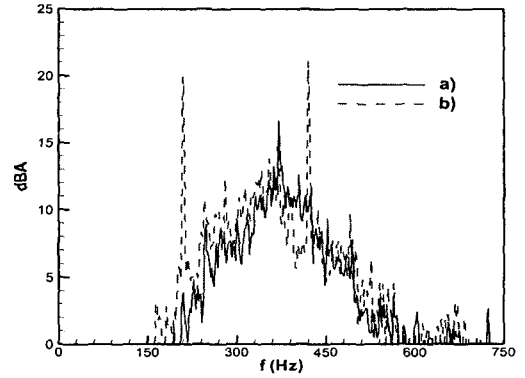


Fig. 6 Noise spectrum variation a) without and b) with strut

## 2.4 팬의 회전 수 다른 소음 변화

마지막으로 팬의 회전 수에 따른 소음을 측정하였다. 앞서 언급한 바와 같이 팬 소음은 보통 팬 블레이드의 팁 속도의 5-6 승에 비례하기 때문에 RPM 의 변화는 가장 큰 소음의 변화를 이끌어 내었다(Fig. 12). 하지만, 소음을 줄이기 위한 회전 수의 감소는 유량의 감소, 낮은 전압에서 발생하는 속도의 주기적인 변화에 의해 발생하는 팬의 수명 단축 등의 문제를 야기 시킨다. 그러므로 회전 수 감소를 통한 소음저감 방법을 적용 하기 위해서는 두 가지 문제를 동시에 해결하여야 하는 어려움이 따른다.

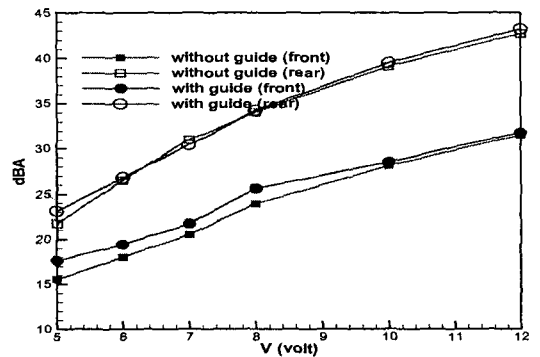


Fig. 7 Noise vs. applied voltage with and without guide

## 3. PDP TV 의 유동 특성

유동 소음을 저감하기 위해서는 소음 특성뿐만 아니라 유동의 특성을 정확히 파악 하여야 성능을

만족 시키면서 소음을 저감 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유동의 거시적인 특성을 파악하기 위하여 smoke 를 이용한 가시화를 수행하였고, 정량적인 성능의 변화를 측정하기 위하여 pitot tube 를 이용하여 유량을 측정 하였다.

### 3.1 흐름 가시화

유동의 특성을 파악하기 위하여 파라핀을 이용한 연기 가시화 방법을 사용하여 가시화 하였다. 가시화 결과는 Fig. 8 과 같으며, 팬의 반경 방향으로 흐름이 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 반경 방향으로의 흐름은 PDP TV 의 내부의 뜨거운 공기를 밖으로 빼내기 보다는 뜨거운 공기가 내부에서 순환하도록 하여, 비효율적인 냉각과 불 필요한 소음을 발생 시키는 원인이 된다.



Fig. 8 Flow visualization results

### 3.2 유량 측정

유량과 소음과의 상관관계 파악 및 소음 저감 방법을 적용 하였을 때 유량의 변화를 확인하기 위하여 유량을 측정하였다. 유량의 감소는 냉각 성능의 손실을 의미 하므로 냉각 성능을 유지 하기 위해서는 유량의 감소 없이 소음을 저감 하여야 한다. 유량 변화의 정확하고, 효율적인 측정을 위하여 자동이송 장치를 사용하여 Pitot tube 의 위치를 이동 시켰으며, 속도의 측정은 Pitot tube 와 micro-manometer 를 사용하여 데이터를 얻고, 측정된 데이터를 AD converter 를 통하여 PC 에 초당 100 개의 sampling rates 으로 저장, 처리 하였다. 측정 장치는 Fig 9., Fig. 10 과 같다.

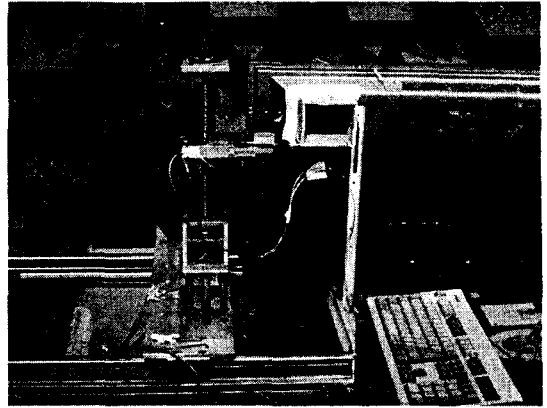


Fig. 9 Flow velocity measuring system

유량 측정 결과 팬의 후방에서의 유속이 전압이 낮아질수록 불안정한 특성을 가지며, 팬의 경계 부근에서 긴 시간 주기를 가지고 진동 하는 특성을 보여 주었다(Fig. 11). 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 변화 뿐만 아니고, 팬의 수명의 변화에도 영향을 주는 것을 알 수 있다.

속도의 변화가 주기적으로 발생하기 때문에 121 개의 속도 측정 지점에 각각에 대하여 충분한 시간 간격을 가지고 측정한 후, 식(1)을 사용하여 각각의 점에서 시간에 대한 평균을 구하고 전체에 대하여 적분 하여 유량을 계산 하였다. 측정된 포인트는  $\Delta x, \Delta y$  를 1 cm 로 하는 가상의 cell 을 구성하고, 그 중심에서 속도를 측정하여 그 cell 의 대표 값으로 사용하였다. PDP TV 냉각용으로 12cm x12cm 크기의 팬을 2 개 사용하였고, 각각에 대하여 11x11, 총 121 개 측정 점을 잡고 측정 하였다. 측정된 두 팬의 속도 분포는 Fig. 12 와 같다.

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int u(t)dt \quad (1)$$

Figure 12 에서 볼 수 있듯이 속도가 대부분 사각의 네 귀퉁이에서 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. [1]

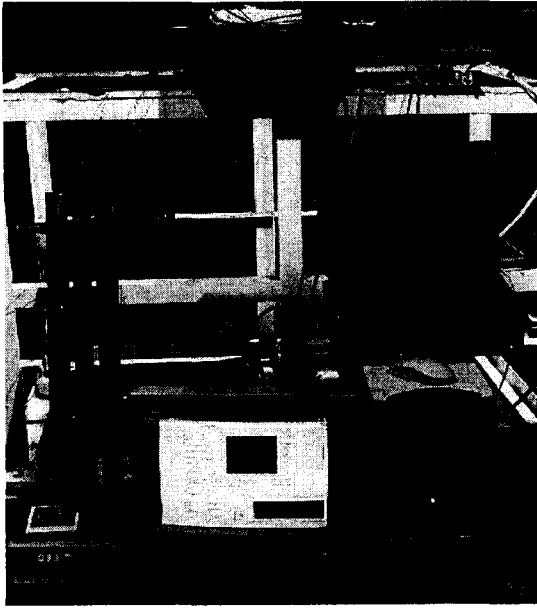


Fig. 10 Transverse unit control, data acquisition and processing computer

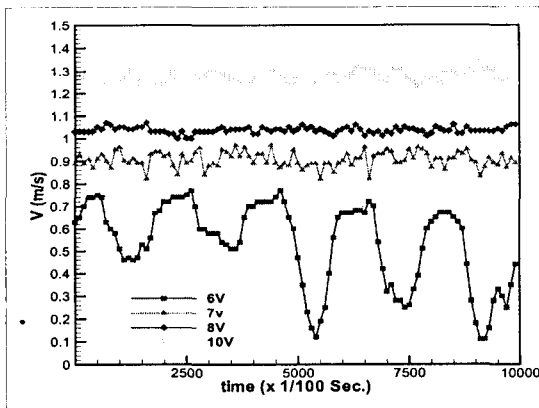


Fig. 11 Velocity fluctuations with applied voltage



(a) left side cooling fan (b) right side cooling fan

Fig. 12 Velocity distribution contour

#### 4. 소음 저감 방법

PDP TV 소음 특성을 분석하여 광역 소음과 분절 소음을 감소 시키기 위하여, 팬과 뒷면과의 거리, 팬과 지지대의 거리, 그리고 회전 수에 따른 소음의 특성을 파악하여 소음 저감 방안을 제안하였다. 이중 가장 효과적인 방법은 회전 수를 감소 하는 방법 이었으며, 이는 팬의 주된 소음원인 이극 소음이 속도에 5-6 승에 비례하기 때문에 작은 회전 수의 감소에서도 큰 소음 저감 효과를 가져올 수 있었다. 하지만, 앞서 언급 하였듯이 회전 수 감소를 통한 소음저감의 문제점으로 냉각 성능의 감소와 낮은 전압에서 발생하는 속도의 진동으로 인한 팬의 수명 단축 등이 제기 되었다.

냉각 성능 향상을 위하여 유동의 특성을 분석하면, 가시화와 유량 측정에서 보여지는 것처럼(Fig. 8, Fig. 12) 유동의 대부분이 우리가 원하지 않는 반경 방향으로 분출되면서 발생하는 손실로 파악 할 수 있다. 그러므로 반경 반향으로의 유동을 제한 하고 축 방향으로 유도하게 되면 유량을 증가 시킬 수 있게 된다. 이를 위하여 반경 방향으로의 유량을 막고 축 방향으로 유도하기 위한 가이드를 설치 하였으며, 가이드의 재질은 소음을 흡수하면서, 조립의 용이성을 고려한 스폰지를 이용하였다(Fig. 13). 스폰지를 이용한 가이드 설치로 유량은 같은 구동 전압에서 약 36%가 증가 되었으며, 소음은 큰 변화를 보이지 않았다.(Fig. 7) 즉 회전 속도를 감소 시킬 때 발생하는 유량의 손실이 스폰지 가이드를 통해서 보상 되어, 냉각 성능의 손실 없이 소음을 저감 할 수 있었다.



Fig. 13 Flow guide made by sponge

또한 유동의 특성도 개선되어 낮은 전압에서 발생하던 속도의 요동도 감소 되었으며, 축 방향으로의 상대적으로 고르게 속도가 분포되는 것을 유속 측정을 통하여 확인 하였다. (Fig. 14, Fig. 15)

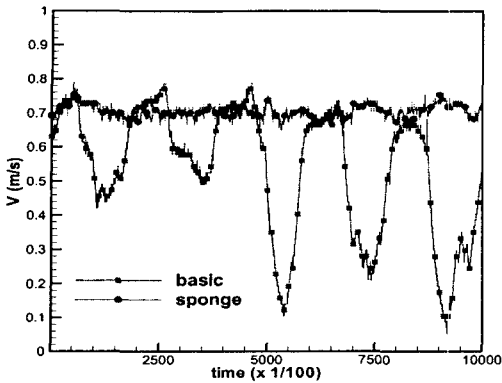


Fig. 14 Velocity fluctuations with and without guide

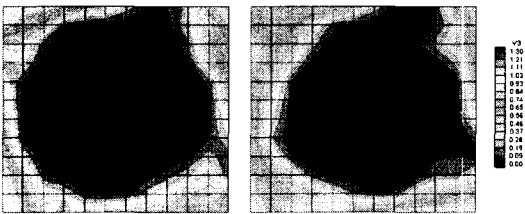


Fig. 15 Velocity distribution contour with guide

## 5. 결론

스폰지를 사용한 팬 후류의 가이드를 만들어 줌으로써 같은 작동 조건에서 유량을 36% 증가 시킬 수 있었고, 증가된 유량의 여유 분만큼 팬의 회전 수를 감소 하여 최종적으로 유량 10% 증가와 후방 소음 4.2dBA, 전방 소음 1.1dBA 를 저감 하였다.

현재 양산 중인 PDP TV 의 소음을 저감 하기 위하여 스폰지로 된 가이드만을 추가 함으로써, 최소한의 설계변경으로 만족할 만한 소음 저감을 획득할 수 있었다.

낮은 볼륨으로 시청 시 벽에 반사되는 후방 소음에 가려져 TV 의 소리를 들을 수 없었던 기존의 문제점을 후방 소음을 저감함으로써 해결 하였다.

## 후 기

본 연구는 2002 년도 LG 전자사의 “LG PDP TV 저소음 설계를 위한 FAN 및 유로설계 GUIDELINE 개발” 과제의 수행 결과이며, 소음 측정과 관련하여 수고하여 주신 LG 구미 TV 공장 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) Frank P. Bleier, 1998, Fan Handbook : Selection, Application, and Design, McGraw-Hill, New York.
- (2) Terry Wright, 1995, “The search for simple models to predict fan performance and noise,” Noise Control Eng. J. 43(4)
- (3) Terry Wright, 1999, Fluid Machinery, CRC Press
- (4) I. J. Sharland, 1964, “Sources of Noise in Axial Flow Fans,” J. Sound and Vib., 1(3), 302-322