

시스템 전자 냉각 팬의 선정 및 소음 평가 기법

이 찬* · 윤재호** · 권오경**

Selection and Noise Evaluation Methods of the System Electronic Cooling Fan

Chan Lee*, Jae Ho Yun**, Oh Kyung Gwon**

Key Words : 전자냉각(Electronic Cooling), 유동회로망모델(Flow Network Model), 팬소음(Fan Noise)

ABSTRACT

Fan selection procedure and fan noise evaluation method are presented for the system electronic cooling by combining FNM(Flow Network Model) and fan noise correlation model. Internal flow paths and distribution in electronic system are analyzed by using the FNM with the flow resistances for flow elements of the system. Based on the fan operation point predicted from the FNM analysis results, the present fan noise model predicts overall sound power, pressure levels and spectrum. The predictions of the flow distribution, the fan operation and the noise level in electronic system by the present method are well agreed with 3-D CFD and actual test results.

1. 서 론

최근 들어 눈부시게 발전하고 있는 전자, 정보통신 및 반도체 산업은 전자부품들의 고집적화, 고성능화를 가속화시키고 있으며 이로 인한 전자부품의 발열문제가 매우 심각한 상황이다⁽¹⁾. 이러한 이유로, 최신의 고성능 전자부품들을 다수 채용하는 전자/정보통신 기기의 경우에도 전자부품들의 매우 높은 발열량 특성과 제품 형상의 슬림(slim)화 추세로 인해, 기기 내부 전자냉각 및 이로 인해 유발되는 냉각 팬 소음의 문제가 제품개발에 있어서 매우 중요한 문제이다.

전자 부품, 기기 및 시스템의 냉각을 위해서는, 발열체(heat source)로부터 대기(heat sink)로 열을 제거하는 데 필요한 가장 효과적인 경로를 찾아 이를 열 설계에 반영하는 것이 설계자들이 해야 할 일이다. 이를 위해서는, 열을 제거하는데 장애요인으로 작용하는 열저항(thermal resistance) 들을 전자 부품 및 전자 시스템 차원에서 최대한으로 줄이는 전자 냉각 설계 과정이 필요하며, 이를 통해 좀더 쉽게 열이 시스템 내부로 부터 빠져나가도록 해야 한다.

시스템 차원의 전자냉각 열 설계란 시스템 내부에 실장되는 다수의 전자 부품들로부터 발생하는 열을 무한 열 흡수원(heat sink)으로 효과적으로 방출하기 위해 시스템 차원의 열저항을 줄이는 작업을 의미하며, 이때 무한 열 흡수원은 대상으로 다루는 전체 컴퓨터 시스템

* 수원대학교 기계공학과

** 생산기술연구원

E-mail : clee@suwon.ac.kr

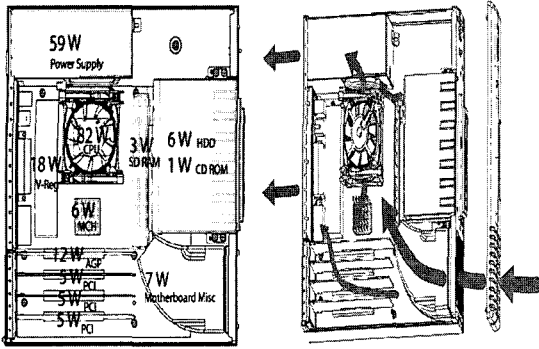


Fig. 1 System electronic cooling of Intel Micro-ATX

의 내부 환경을 의미한다. 그러므로, 시스템차원의 열저항을 줄이기 위해서는 시스템내의 온도와 같은 환경변수 뿐만이 아니라 및 기류 (air flow) 분포를 적절히 제어할 필요가 있다. 즉 시스템 내부 기류분포의 최적화를 통해 각 전자부품들에 필요한 공기의 양을 적절히 분배·공급하고, 공기의 유속 및 흐름형태를 조절하여 전자부품들의 냉각을 위한 최적의 환경조건들을 제공할 수 있다. 그리고 이러한 환경조건은 각 전자부품들에 대한 냉각설계를 효과적으로 수행하는데 있어 매우 효과적으로 작용하며, 더 나아가 이러한 적절한 공기흐름의 제어는 냉각 팬의 소음저감을 위해서도 매우 유용하다. Fig. 1 은 컴퓨터 내부의 기류 제어를 위해 덕트 (duct) 를 설치한 Intel 사의 시스템 전자냉각 열설계의 대표적 예를 보여주고 있다⁽²⁾.

그러나, 전자시스템 설계 시, 복잡한 유동경로와 기류 분포를 가지고 다양한 유동저항 요소를 수반하는 시스템의 전자냉각에 적합한 냉각 팬을 적절히 선정하고, 팬의 작동점을 예측하여 그때의 팬 소음을 예측하는 작업은 매우 어려운 일이다. 그러므로 본 연구는 전자 시스템 냉각 팬 선정을 위한 체계적인 시스템 내부 유동분석 방법과 팬 소음 평가기법을 제시하고자 한다. 그리고 본 방법을 실제 컴퓨터 시스템 냉각설계에 적용하여 봄으로써, 본 방법의 설계 단계에서의 신뢰성을 검증해 보고자 한다.

2. 시스템 전자냉각 팬 선정 및 소음평가 방법

2.1. 전자냉각 설계 및 팬 선정 과정

Figure 2에서 보여 지듯이, 시스템 내부에 여러 가지 전자부품 (열원)들이 설치, 배열되어 있는 경우는, 각 부

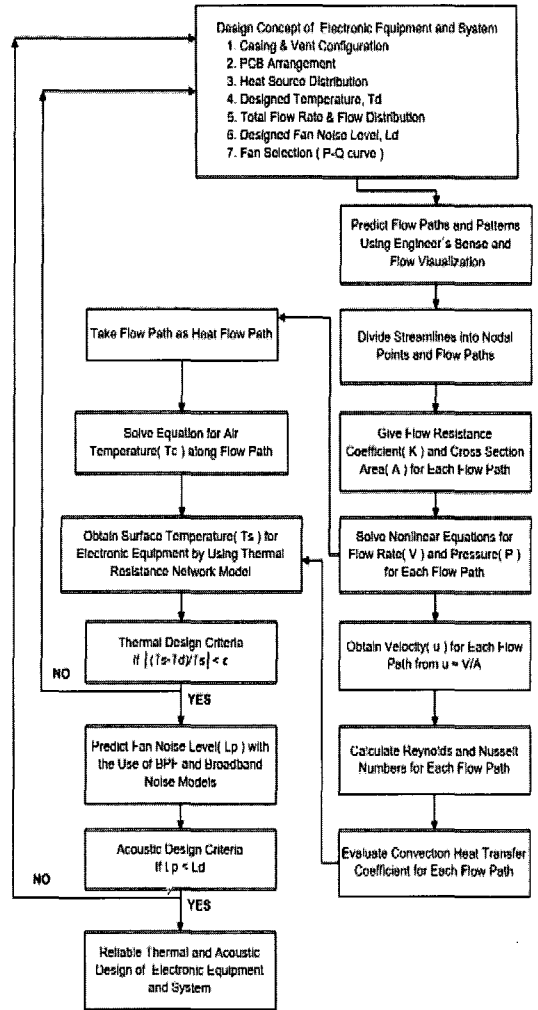


Fig. 2 System electronic cooling design procedure

품들의 발열량과 설계온도 (또는 허용가능온도)를 감안하여 부품의 냉각을 위한 공기의 양 및 속도를 결정하고, 이로부터 시스템 내부의 전체 부품들에 필요한 공기를 충분히 공급해 줄 수 있는 성능을 가지는 팬을 선정한다.

팬을 선정하고 나면, 시스템 내부 전자부품들의 형상, 설치 위치 및 배열을 고려하여, 팬으로부터 전자부품들까지 냉각 공기가 원활히 유동될 수 있도록 팬의 설치 위치 및 방향을 결정한다. 그리고 팬으로 유입되는 공기와 유출되는 공기의 유동경로 및 유동배분에 대한 해석을 통해 선정된 팬의 성능과 팬의 설치 위치, 방향이 적합한지 검토하여야 한다.

시스템 내부의 공기 유동경로 및 유동배분 해석은 유

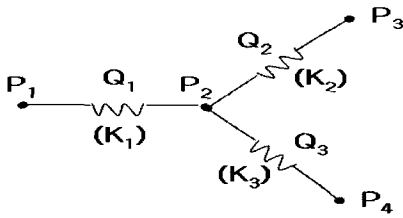


Fig. 3 Flow network model at node point

동가시화 기법⁽³⁾, 3차원 CFD 해석⁽⁴⁾ 등을 통해서도 가능하지만, 이러한 방법들은 기본설계 단계에 사용하기에는 많은 시간, 비용과 노력이 필요로 하므로, 본 연구는 좀더 사용하기에 간편하면서도 신뢰성 있는 유동회로망 모델(FNM: Flow Network Modeling)을 사용하였다.

유동회로망 모델에 있어서, 일반적으로 전자 시스템 내부 유동경로상의 모든 전자부품들은 유동요소들로 간주될 수 있으며, 유동요소를 통과하는 기류들의 질량보존 관계식과 압력/유동 저항관계식을 이용하여 시스템 내부의 복잡한 유동을 근사할 수 있다. 한 예로, Fig. 3에서 보여 지듯이, 각 유동요소들을 전후하여 유동 절점(flow node point)을 정의하고, 유동요소들을 통과하는 공기의 유량(Q₁, Q₂, Q₃)과 각 유동요소들의 유동저항을 표현하면 다음과 같다.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

$$P_1 - P_2 = K_1 Q_1^2 \quad (2)$$

$$P_2 - P_3 = K_2 Q_2^2 \quad (3)$$

$$P_2 - P_4 = K_3 Q_3^2 \quad (4)$$

이때 P는 공기압력을, K는 유동저항계수를 나타내며 다양한 유동요소들에 대한 유동저항계수는 기존의 경험적 상관관계식들⁽⁵⁾로부터 구할 수 있다.

2.2. 전자냉각 팬 소음 평가 방법

앞서의 과정을 통해 전자냉각을 위한 시스템 내부의 유동설계가 완료되고 각 유동경로에 따른 유동저항이 계산되면, 계산된 유동저항과 팬의 특성곡선(압력-유량곡선)간의 접합(matching)을 통해 팬의 작동점이 정해진다. 주어진 작동조건에서의 팬의 소음은 여러 가지 설계 및 성능 인자들에 의해 좌우되어 예측이 매우 어렵고 여러 가지 예측방법들이 제시되어 있으나, 본 연구에서는 팬 소음을 광대역소음(broadband noise)으로 간주하

는 다음과 같은 Mugridge의 상관관계식 모델(6)을 사용하였다.

$$PWL(f) = K_2 + 25 \log P_s - 2 + 10 \log Z + F_2(f) \quad (5)$$

$$Z = \frac{1 - \eta_s}{\eta_s} \left(\frac{\phi^2 + 1 - \psi + \psi^2/2}{\psi} \right)^{3/2} \quad (6)$$

이 때 P_s는 팬 작동점에서의 정압(inch water로 표현된 값)을 나타내며, η_s, φ, ψ는 효율, 유량계수, 압력계수를 의미한다. 또한 K₂, F₂는 팬 유량에 의한 효과와 주파수에 따른 보정항으로 Figs. 4와 5과 같다. Fig. 6은 본 방법의 의한 전자냉각 팬 소음 예측결과와 실제 측정결과⁽⁷⁾간의 비교를 보여주고 있으며, 본 예측방법이 최대 7% 오차범위 내에서 신뢰할 수 있음을 보여주고 있다.

3. 실제 전자 시스템에 대한 적용사례 연구

3.1. 시스템 개요 및 전자냉각 설계 개념

본 연구에서 제안된 전자냉각 팬 선정 및 소음평가 기법의 타당성 검증을 위해 다음과 같은 시스템 배열과

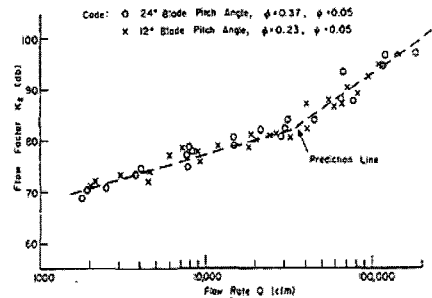


Fig. 4 Flow factor (K₂) vs fan flow rate

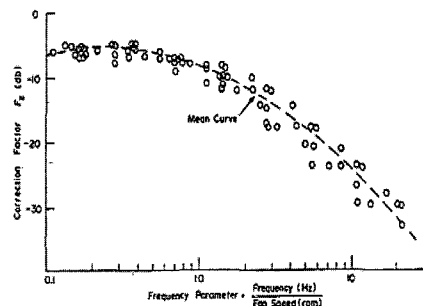


Fig. 5 Correction factor (F₂) vs frequency

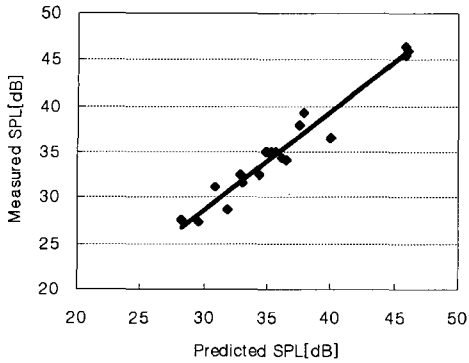


Fig. 6 Fan noise level comparisons

전자 부품들을 가지는 실제 컴퓨터 시스템⁽⁸⁾에 본 방법을 적용하여 보았다.

Figure 7 에서 보여 지듯이, 시스템 전자냉각을 위해 전면 환기구 (front vent)에 2개의 팬 (최대압력: 5.5 mmAq, 최대풍량: 1.92 m³/min)을 설치하였고, 시스템 뒤쪽 PSU (power supply unit)에 PSU 팬 (최대압력: 2.5 mmAq, 최대풍량: 0.74 m³/min) 1개를 설치하였다.

Table 1 은 컴퓨터 시스템에서 각 부품별 열소산 특성을 정리한 것이다.

Figure 8 은 본 컴퓨터 시스템의 전자냉각을 위한 유동 설계 개념을 보여주고 있다. 팬#1 에서 공급되는 공기는 CPU 를 냉각한 후 일부의 공기는 후면 환기구

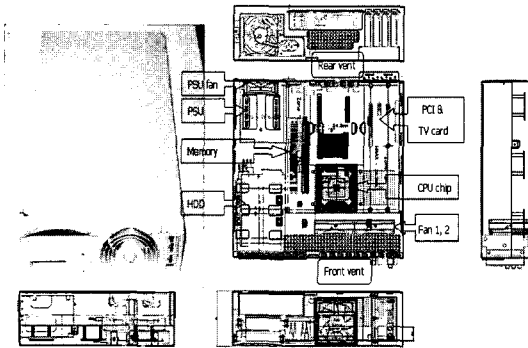


Fig. 7 Computer system layout

Table 1 Heat dissipation characteristics of components

Component	Heat dissipation[W]	Component	Heat dissipation[W]
PSU	350	HDD	10 × 2
CPU	100	ODD	4
PCI	75	TV card	10

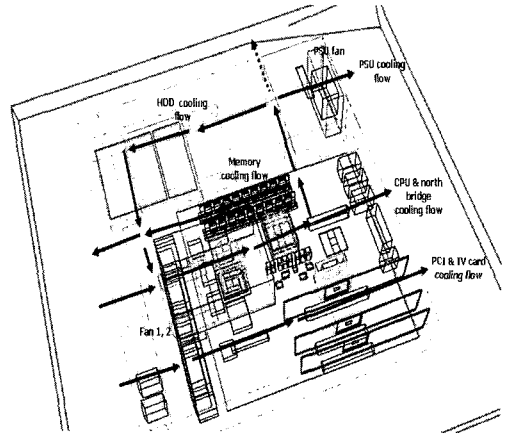


Fig. 8 System electronic cooling design concept

(rear vent)를 통해 배출되고, 나머지 공기는 메모리 기판의 냉각과 HDD 냉각을 위해 시스템 내부를 순환하고 전면 환기구를 통해 배출되며, 또한 HDD 부위로 순환되는 공기 중 일부는 PSU 팬의 흡입력에 의해 분기되어 PSU 냉각을 위해 사용되고 외부로 방출된다. 이때 점선으로 표시된 기류는 측면 환기구를 설치하는 경우를 의미한다. 또한 팬#2 는 PCI, TV 카드의 냉각만을 위해 공기를 공급하는 역할을 담당하며, 공기 흐름의 방향도 전면 환기구로부터 후면 환기구를 통과하도록 한다.

3.2. 유동회로망 모델을 이용한 기류분석 및 소음평가

앞서 언급한 시스템 전자냉각 설계 개념을 검증하고, 유동 경로 및 유동 배분의 기본 설계를 위해 Fig. 9와

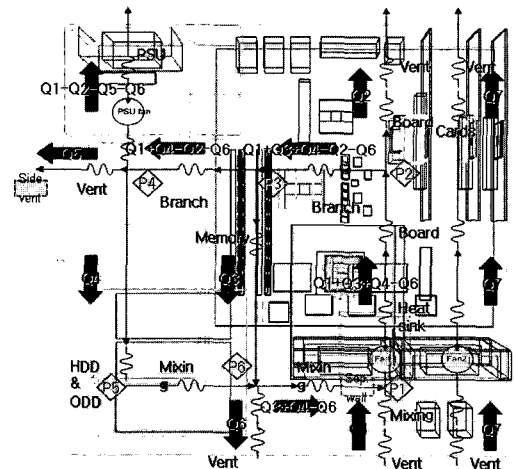


Fig. 9 FNM for the air flow in computer system

같은 유동회로망 모델을 구성하였다.

시스템 내부의 대표적인 6개의 유동 절점들에 대한 압력을 $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ 라 하고, 각 유동경로상의 공기 유량을 $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6, Q_7$ 라 하면 시스템 내부의 유동 배분은 다음의 식들에 의해 결정된다.

$$P_1 - P_a = -K_{a1} Q_1^2 \quad (7)$$

$$P_2 - P_1 = -K_{12} (Q_1 + Q_3 + Q_4 - Q_6)^2 + f_1 (Q_1 + Q_3 + Q_4 - Q_6) \quad (8)$$

$$P_a - P_2 = -K_{2a} Q_2^2 \quad (9)$$

$$P_3 - P_2 = -K_{23} (Q_1 + Q_3 + Q_4 - Q_2 - Q_6)^2 \quad (10)$$

$$P_6 - P_3 = -K_{36} Q_3^2 \quad (11)$$

$$P_4 - P_3 = -K_{34} (Q_1 + Q_4 - Q_2 - Q_6)^2 \quad (12)$$

$$P_a - P_4 = -K_{4ap} (Q_1 - Q_2 - Q_5 - Q_6)^2 + f_{PSU} (Q_1 - Q_2 - Q_5 - Q_6) \quad (13)$$

$$P_a - P_4 = -K_{4av} Q_5^2 \quad (14)$$

$$P_5 - P_4 = -K_{45} Q_4^2 \quad (15)$$

$$P_6 - P_5 = -K_{56} Q_4^2 \quad (16)$$

$$P_1 - P_6 = -K_{61} (Q_3 + Q_4 - Q_6)^2 \quad (17)$$

$$P_a - P_6 = -K_{6a} Q_6^2 \quad (18)$$

$$P_a - P_a = -K_7 Q_7^2 + f_2 (Q_7) \quad (19)$$

이때 P_a 는 대기압을 나타내며, f_1, f_2, f_{PSU} 는 현의 특성곡선에 따른 압력-유량에 대한 함수관계를 의미한다. 또한 유동저항계수들 (K)은 CPU 방열 현 (f_{in}), 평행한 카드 평판, 일정한 개구율 (free area ratio)를 가지는 환기구 단면 등과 같은 여러 가지 전자부품 및 유동요소들에 대한 기존의 압력손실 상관관계식들⁽⁵⁾로부터 얻어지며, 70% 개구율을 가지는 입구 및 출구의 환기구

(vent)에 대해서는 11.8, 13.2 Pa/CMM² 로 계산되었고 PSU의 경우는 20.0 Pa/CMM² 의 값을 사용하였다. 다른 전자부품들에 대한 유동저항계수들의 상세한 값들은 참고문헌⁽⁸⁾에 기술되어 있다.

본 유동회로망 모델에서 가정한 유동 경로의 타당성을 입증하기 위하여, 시스템 내부의 3차원 유동장을 Flotherm 코드⁽⁹⁾를 이용하여 유동 형태를 분석하였다. Fig. 10 은 본 연구에서 사용된 Flotherm 코드를 위한 컴퓨터 내부의 3차원 전자부품 배열을 보여주고 있으며, Flotherm 코드에서 제공되는 사각 블록 요소들을 이용하여 여러 가지 전자부품들을 단순화하여 모형화 하고 있다. 또한 본 연구에 사용된 현은 회전수를 4,800 rpm 으로 고정하였다. 이러한 컴퓨터의 내부 공간에 대해, 열 및 유동에 대한 3차원 전산유체역학 해석방법을 적용하였고, 계산을 위해 컴퓨터 내부에 703,463 개의 계산 셀 (cell)을 사용하였다. 또한 난류 유동장 계산을 위해서는 k-ε 모델을 사용하였으며, 해석과정 중 현은 유입되는 공기를 p-Q 곡선에 따라 압력을 상승시켜 토출시키는 요소로서 모형화 하였다. 본 해석모델의 계산을 위해서는 펜티엄 4 프로세서를 장착한 PC로 6시간 정도가 소요되었다.

Figure 11의 전체적인 유동계산 결과에서 보여지듯이, 유동회로망 모델에서 가정한 유동 경로가 전산유체역학 해석에 의한 유동 형태와 매우 잘 일치하고 있으며, 이를 통해 본 유동회로망 모델이 시스템의 유동경로 설계에 매우 적합함을 알 수 있다.

Figure 12는 유동회로망 모델에 의해 예측된 현을 통과하는 유량과 Flotherm 코드에 의해 계산된 유량 계산 결과를 비교하고 있다. 그림에서 보여지듯이, 유동회로망 모델에 의한 계산결과가 CFD 해석결과와 잘 일치함

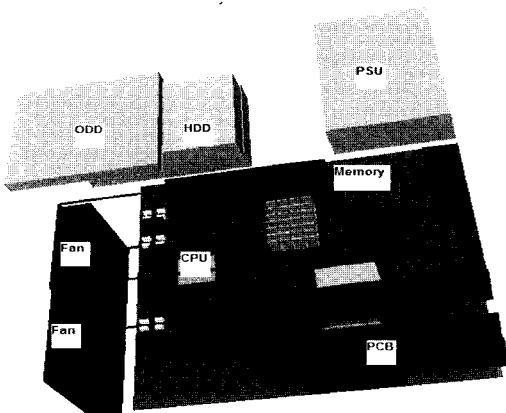


Fig. 10 Isometric view of computer system

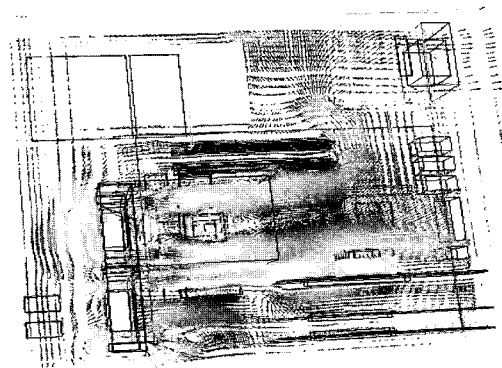


Fig. 11 Calculated flow pattern in computer system

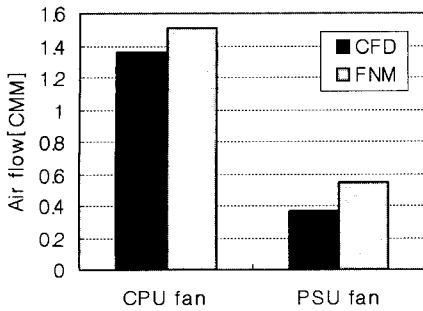


Fig. 12 Air flow comparison between FNM and CFD

을 볼 수 있으며, 본 유동회로망 모델이 유동배분 및 유량 예측에도 매우 적합함을 알 수 있다.

또한 Fig. 13은 유동회로망 모델로 구해진 팬 작동조건 (Fig. 12의 유량조건)으로부터 예측된 CPU 냉각 팬 (팬#1)의 소음 스펙트럼을 보여주고 있으며, 이때 팬의 전체 음압레벨 (overall sound pressure level)은 45.13 dB로 예측되었고 실제 측정값 46.50 dB와도 비교적 잘 일치하였다⁽⁸⁾.

4. 결 론

유동회로망 모델과 팬 소음예측 모델을 결합하여 시스템 전자냉각을 위한 유동경로 및 유동배분 설계를 할 수 있는 해석방법과 팬 소음 특성을 평가하는 기법을 제안하였다. 유동회로망 모델에 의한 유동 설계 결과는 3차원 CFD 계산결과와 잘 일치하였고, 팬소음평가 결과도 실제 측정결과와 잘 일치하였다. 그러므로 본 방법론은 팬을 이용하는 공랭식 시스템 전자냉각 설계과정에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

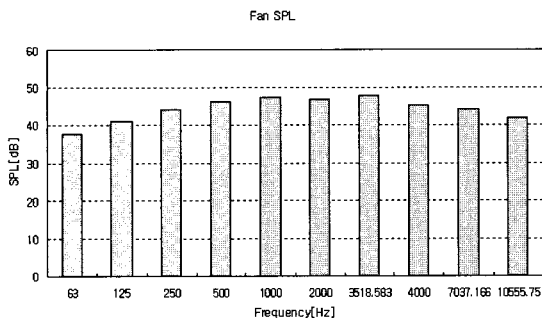


Fig. 13 Predicted CPU fan noise spectrum

참고문헌

- (1) Bar-Cohen, A., Watwe, A. A. and Prasher, R. S., 2003, "Heat Transfer in Electronic Equipment," Heat Transfer Handbook, John Wiley & Sons, pp. 947~1027.
- (2) 이찬, 2006, "팬소음을 고려한 전자 시스템의 냉각 설계 기법 및 응용," 대한기계학회 차세대 정보통신기기 열 신뢰성 연구회 학술발표대회 논문집
- (3) Ishizuka, M., 1994, "A Thermal Design Approach for Electronic Equipment by Use of a Personal Computer and Flow Visualization," Cooling of Electronic System, Kluwer Academic Publisher, pp. 293~312.
- (4) Lee, H., Lee, H., Baek, J., Chung, T. and Oh, S., 2006, "Thermal Management of High Power Memory Module," 22nd IEEE SEMI-THERM Symposium.
- (5) <http://www.pressure-drop.com/Online-Calculator>.
- (6) Mugridge, B.D., 1975, "Noise Characteristics of Axial and Centrifugal Fans as Used in Industry," Shock and Vibration Digest, No.7, pp. 93~107.
- (7) 이찬, 2004, "컴퓨터 전자냉각 성능 향상 과 팬 소음 저감을 위한 설계/해석 체계 확립 및 신기술 적용에 관한 연구," 삼보컴퓨터.
- (8) 이찬, 2006, "컴퓨터 시스템 차원 전자냉각 및 소음저감을 위한 설계·분석 체계에 관한 연구," 삼보컴퓨터.
- (9) Flomerics, FLOTHERM 5.1, Tutorial manual.