

## 열유동 해석을 이용한 컴퓨터 구조의 소형화 설계

박 성 관\*

### Optimal Miniaturization of Desk-Top Computer by Thermal Design

Sung Kwan Park\*

#### ABSTRACT

Recently, electronic systems including computers have been rapidly shrinking in size while at the same time the complexity and the capability of these systems continue to grow<sup>1)</sup>. Thus, system volumes have decreased as system power has increased, resulting in dramatic increases in system heat density. The high temperature of the computer system is considered as the major reason for low performance and shortening life of the product. It is necessary to solve this problem due to the heat density increased and to develop the design skill of the computer cabinet according to miniaturization. M4500 desk-top computer was selected for analyzing the thermal management inside cabinet. The cabinet volume, the configuration of the heating devices, the size and location of air ventilation, and the fan selection have been investigated as the important parameters to find out an optimal cabinet design. The objectives of this project were to analyze which design parameters would affect cooling performance by thermal strategy, to design an optimal model, and to measure the temperatures of the main parts to confirm the effect of the thermal design. The temperatures of each part of the optimal model were compared with those of the existing model. As a result, the volume of this miniaturized model was about 16% smaller than that of M4500 without any change in operating performance.

**Key words :** Miniaturization, Cabinet Design, Thermal Strategy, Forced Air Cooling, 3D-Design

#### 1. 서 론

최근 컴퓨터를 비롯한 전자장비들이 고성능화와 소형화가 가속화되는 경향을 보이고 있다. 이로 인해 컴퓨터 내부의 각 부품 및 장치들에서 발생되고 있는 열밀도가 점점 높아져 제품의 수명을 단축시킬 뿐 아니라 성능을 저하시키는 주요인으로 작용하고 있어, 소형화에 따른 효율적인 실장(Cabinet) 설계기술이 절실히 필요하다<sup>2,3)</sup>. Fig. 1은 최근 몇 년간 당사에서 개발한 Tower형 Desk-Top 컴퓨터의 실장체적과 CPU의 발열량의 변화추이를 그래프화 하였다. 그림과 같이 컴퓨터의 성능 발전 속도가 타제품에 비해 보다 빠르게 진행되고, 체적 대비 발열량은 급속히 증가되어, 이에 대한 근본적인 대책이 시급하지만 국내 대부분의 경우 이를 해결하기 위한 수단

으로 설계자의 경험에 의존하고 있다. 따라서 단기간에 제품을 소형화하면서도 열적 성능을 만족시키기 위해서는 설계초기에 실장 내부의 공기유동 및 열 해석을 통해 열적 성능을 검증하고, 이를 설계 매뉴얼화하여 차기 모델의 표준화 자료로서의 활용이 절실히 필요하다.

본 논문은 최근 개발한 Tower형 Desk-Top 컴퓨터(M4500)를 기본모델로 컴퓨터 내부의 냉각방식을 열유동 해석과 실험을 통해 분석하고, 이를 기초로 기존 제품보다 실장크기가 소형화 되면서도 컴퓨터 기본 성능에는 변화없이 냉각효율이 증대하는 설계공정의 시행을 목표로 한다. 실장내부의 유동 및 열을 분석하기 위해 해석은 Fluent사에서 제공하는 전자장비 실장해석용의 열유동 상용 Code인 Icepak를 활용하였고, 이를 통해 어떠한 설계요소가 냉각성능 향상에 영향을 미치는 지를 분석하였다. 소형화 설계공정시, 냉각성능에 가장 큰 영향을 미치는 파라미

\*정회원, 삼성경영기술대학 기계금형학과

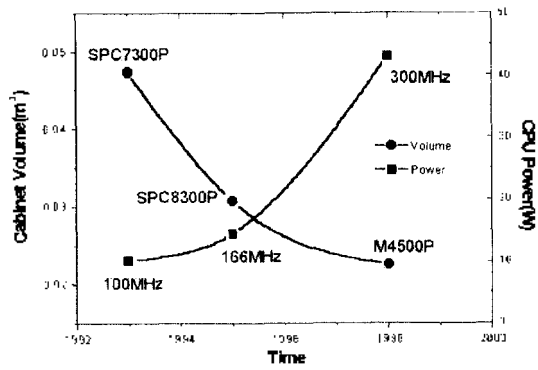


Fig. 1. The trend of increasing CPU power and decreasing cabinet volume at the computer.

터는 냉각 팬의 위치와 성능, 공기 순환 통로의 위치 및 크기, 그리고 시스템 내부 부품들의 열부하 등에 있었고, 이것들의 상호 연관성을 고려한 해석, 설계, 시제품 제작, 실장 내부의 온도측정 등의 과정을 거쳐, 소형화 최적모델을 개발하였다.

## 2. 컴퓨터의 소형화 공정

과제수행을 위한 소형화 설계공정은 Fig. 2와 같다. 그 과정은 먼저 시스템을 구성하고 있는 부품들의 외형치수, 허용온도 및 소비전력등과 시스템 냉각에 사용되는 팬의 성능을 분석하고, 발열 부품의

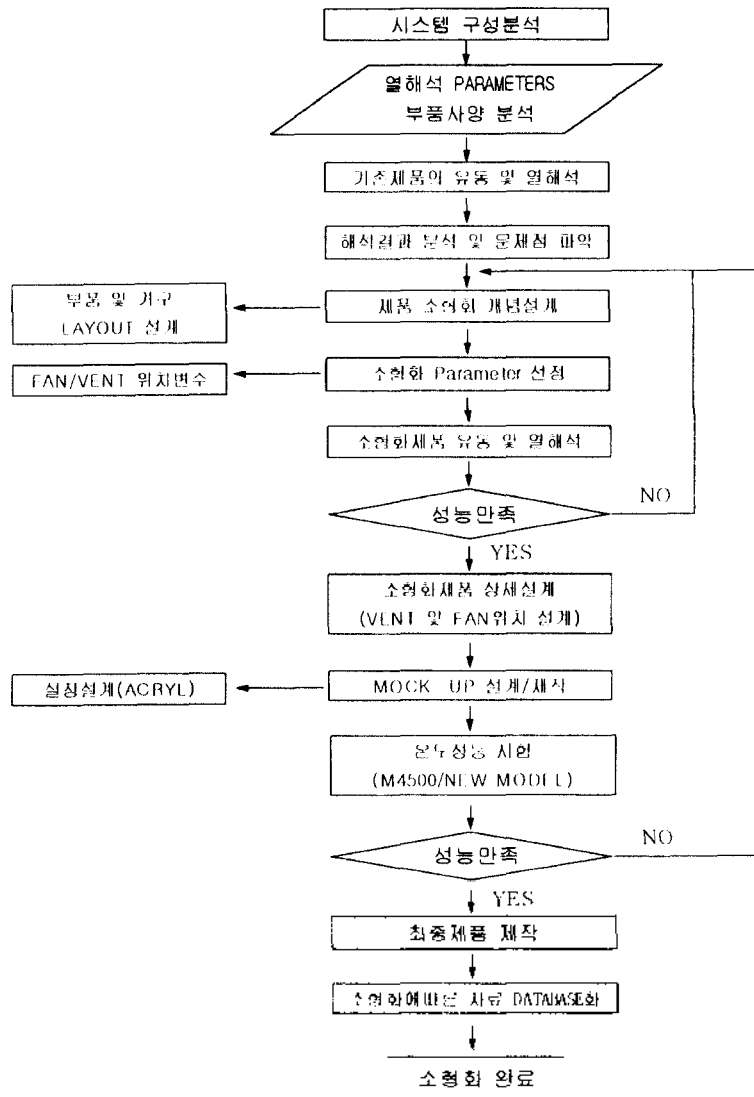


Fig. 2. Design procedure for the miniaturization of computer cabinet.

열 전달 특성들을 연구하여 해석시 적용 한다. 우선, 주어진 조건에 따라 기존모델(M4500)에 대한 열유동 해석을 수행하여 중요 관심부에서의 유동 현상과 온도성능을 관찰한다. 관찰결과를 통해 제품의 소형화를 위한 중요 파라미터를 설정한 후, 실장 냉각성능의 향상을 위해 열적 성능에 민감한 부품순으로 재배치해, 개념 설계를 한다. 특히, 주요 부품 냉각을 위한 적절한 공기순환 형태를 발견하기 위해, 부품위치 및 구조변경 가능요소를 우선순위에 따라 선정하여 유동 및 열 해석을 시도한다. 열유동 해석과정을 통해 온도성능을 만족하는 최적의 모델이 선정되면 제작조립을 위한 상세설계를 수행하고, 기존 및 소형화모델의 실험용 Mock-Up들을 제작해, 중요부위의 온도를 열전대를 이용해 측정하고 기존결과와 비교한다. 해석 및 실험값이 만족스럽지 못한 결과를 보일 경우, 정밀한 분석을 통해 다시 개념설계 단계를서부터 지금까지의 과정을 반복하여 최종 소형화 모델을 제작한다.

### 3. 컴퓨터 시스템 구성(M4500) 및 열적특성

Fig. 3은 M4500의 시스템 구성도를 간략하게 표현하였다. 즉, 컴퓨터 전면부위에 위치한 Drive Bay는 3.5" FDD 한개와 5.25" CD-ROM 또는 DVD-ROM을 최대 두개까지 설치 가능하며, 또한 HDD의 경우는 3.5"를 최대 두개까지 설치할 수 있다. SMPS(Switch Mode Power Supply)는 최대출력이 90W로 Tube형 축류팬이 탑재되어 있고, Main Board는 Intel사에서 개발한 Micro ATX Form Factor를 기본모델로 적용하였다. CPU성능은 Clock Speed가 266Mhz/300Mhz이며 Slot Type으로 Main Board 위에 탑재되도록 하였다. 또한, Main Board에 배치된 주요 Chip-Set들을 살펴보면, AGP(Accelerate Graphic Port), RAM, VIDEO, PCISSET, VIDEO

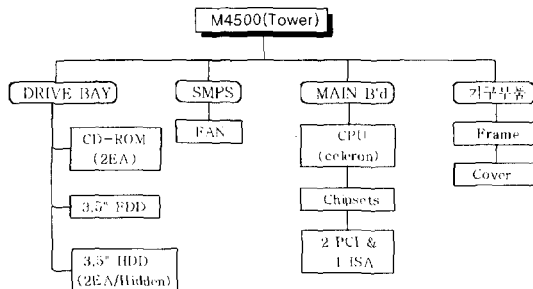


Fig. 3. Schematic diagram of computer system.

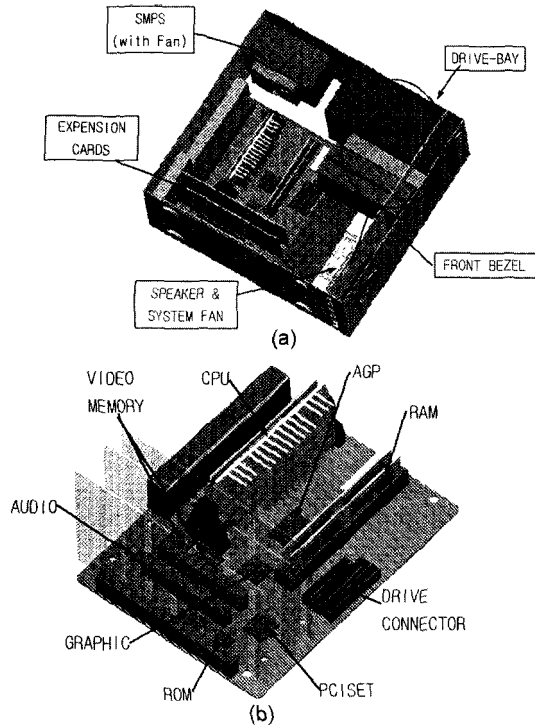


Fig. 4. 3D model of M4500. (a) entire system (b) main PCB.

MEMORY, AUDIO, I/O 등이 있는데 여기서 주목할 만한 점은, 기존 Graphic카드와 Sound카드를 별도로 확장하지 않고 하나의 칩으로 제작하므로써 확장 Slot수를 대폭 줄였다. 기타 부품으로는 Speaker Block, 시스템 보조팬, 그리고 Interface Cable 등이 있다.

또한, Fig. 4의 (a)와 (b)는 위에서 언급한 부품구성을 CATIA를 이용해 각각 전체 시스템과 Main Board 조립도로 나타내어 설명하고 있다. 이 3차원 모델은 열유동 해석을 수행하기 위해 형상 그대로 사용되었다. 아래 Table 1에서는 컴퓨터가 정상적으로 작동할 때 각 발열 부품들의 최대 소비전력과 이에 대응하는 허용온도를 나타내고 있다. Table 1에 의하면 Units중에서는 SMPS, HDD등이 다른 부품에 비하여 비교적 많은 전력을 소모하는 것으로 나타났다. 반도체 Chip-Set들 중에서는 CPU, AGP, VIDEO등의 순으로 나타났다. 전력소비가 많다는 것은 다시 말해서 동작시 열로 환원되는 에너지가 많아진다는 것을 의미하므로 이들 부품에 대해서는 특별한 열관리가 필요하다. 특히, 발열량이 큰 부품 중의 하나인 CPU의 경우, 보다 빠른 열 확산을 위해 Heat-Sink를 Chip에 부착해 사용했다.

**Table 1.** Consuming power and operating temperature of heating components in computer

구분	Description	Q'ty	Max	Operating 온도
Units	SMPS	1	90	10~50°C
	3.5" FDD	1	1.5(R/W)	5~50°C
	3.5" HDD	2	6.5(R/W)	0~55°C (air)
	CD-ROM	1	4.2(S/R)	5~50°C
Chips	CPU(Celeron)	1	24.5	0~75°C
	AGP	1	3	0~100°C
	Graphic	1	2	0~85°C
	Video Mem	2	1/chip	0~70°C(air)
	ROM	1	0.5	-25~70°C
	PCISSET	1	1	0~85°C
	KAM	4	1/chip	0~70°C(air)
	Audio	1	1	0~70°C

**3.1 M4500 모델의 냉각 특성 분석**

전자 장비에서 사용되는 주요 냉각 방식은 크게 자연대류, 강제대류, 강제액체냉각<sup>14)</sup> 등으로 구분할 수 있다. 최근 부품의 고성능화로 단위면적 당 발열량이 증가됨에 따라서, 공기의 온도변화로 인해 발생된 밀도차에 의한 자연대류 냉각방식은 작동 허용 온도를 만족시키기가 어렵다. 따라서, 대부분의 전자 장비의 냉각방식은 Heat Flux가 10W/in<sup>2</sup> 이하의 발열량이라면, 강제대류에 의한 냉각방식<sup>15)</sup>을 사용하고 있다. 이 강제대류 방식에서는 냉각성능의 향상을 위해 순환용 팬의 크기와 설치 위치가 매우 중요한 변수이므로, 이를 선정시 세심한 검토가 요구된다. 팬 성능특성에 영향을 미치는 요소로는 팬의 직경, 날개 Pitch, 그리고 RPM 등이 있는데, 이중 날개 Pitch와 RPM증가는 유량, 압력, 소음과 밀접한 관계가 있다<sup>16)</sup>. M4500 Desk-Top 컴퓨터에 적용하는 냉각용 팬은 Tube형 축류팬을 사용하고 있으며, 팬의 크기는 80 mm이고 최고 RPM은 2,100이다.

M4500 모델의 냉각방식을 살펴보면, 우선 SMPS가 팬이 부착되어 상단후면에 위치하고 있어 강제순환의 공기흐름을 만들고, 팬에 의해 유입 되는 공기의 입구부는 좌측 하단면과 전면하단에 위치하고 있다. 그리고 공기흐름의 영향을 주는 Drive-Bay의 배치 순서는 위에서부터 CD-ROM, 3.5" FDD, 두개의 3.5" HDD 순서로 구성되어 있다.

**4. 시스템해석 및 소형화 모델 설계**

시스템의 냉각성능을 관찰하기 위해 냉각팬의 위

치와 성능, 공기유입 및 유출구의 위치 및 크기, 그리고 부품들의 발열량 크기들을 중요 파라미터로 선정하여, 열유동 해석을 수행하고 이를 통해 실장은 도분포를 파악할 수 있었다. 냉각을 위한 공기순환 형태를 파악하기 위해서, 유동해석은 실제의 실장내에 팬과 공기유입구를 기본으로 설치한 후, 각부품을 단계적으로 추가하면서 그로인한 유속 및 유동형태들을 분석하였다. 모든 해석데이터를 나열할 수는 없지만 유동해석은 주로 주요 발열 부품들 주위에서 유동이 냉각성능에 미치는 영향을 관찰했고, 열 해석에서는 각 부품들의 열부하 및 열전달계수를 부여한 상태에서 해석된 결과를 해석온도와 작동시 허용 온도를 비교함으로써 최적화 모델 설계를 위한 기초 자료로 활용할 수 있었다.

**4.1 M4500시스템 유동해석 및 열해석**

우선 M4500의 냉각현상을 파악하기위해 실물크기의 Solid설계로 실장, 팬과 측면 및 정면하단 유입구, 시스템 부품들과 대기압의 경계조건을 주어 3차원 유동해석을 수행했다. 팬의 경우 실제 RPM의 성능곡선을 적용해 공기유동의 입출구에서 유량, 압력 변화를 분석하고, 특히 발열부품 주변에서의 유동현상을 관찰했다. Fig. 5는 실장내부에 모든 관련부품이 설치된 상태에서 속도별로 유동분포를 나타낸 것이다. 이를 통해 냉각에 효율적인 공기의 빠른 속도 분포가 어느부분에서 인지를 알 수 있다. Fig. 5(a)는 실장내부의 존재하는 여러 유속 중에서 비교적 저속인 0.1 m/s인 유동분포도를 나타낸 것으로서, 이 경우 시스템내부의 전구역에 고루 퍼져 있음을 알 수 있다. Fig. 5(b)의 경우에는 측면에서 유입되는 공기가 확장카드와 직접 마주치는 형태로 설계 되어 있어 비교적 빠른 0.3 m/s가 전면쪽에 붙어있는 비효율적 구조를 가지고 있다. Fig. 5(c)는 유속이 0.5 m/s일 때의 높은 속도분포를 보여 주는 그림으로서 0.3 m/s에서와 비슷한 현상을 보이고 있다. 이는 속도가 빠른 구역이 주로 고발열 부품이 붙어있는 시스템 중심 내부보다는 입구 주위와 팬 근처임을 알 수 있다. 해석 결과 큰 유속분포는 0.5~0.6 m/s인 것으로 나타났으며, 설계자가 시스템 설계시 바라는 최적현상은 속도가 빠른 구간에 발열량이 큰 부품을 배치하여 냉각 효율과 신뢰성을 높여야 하나, 그림에서는 유량이 많이 필요한 부분인 Main Board주위에 비교적 공기의 속도가 적게 나타나는 것을 알 수 있다.

지금까지 시스템 전체 내부에서 속도분포를 살펴

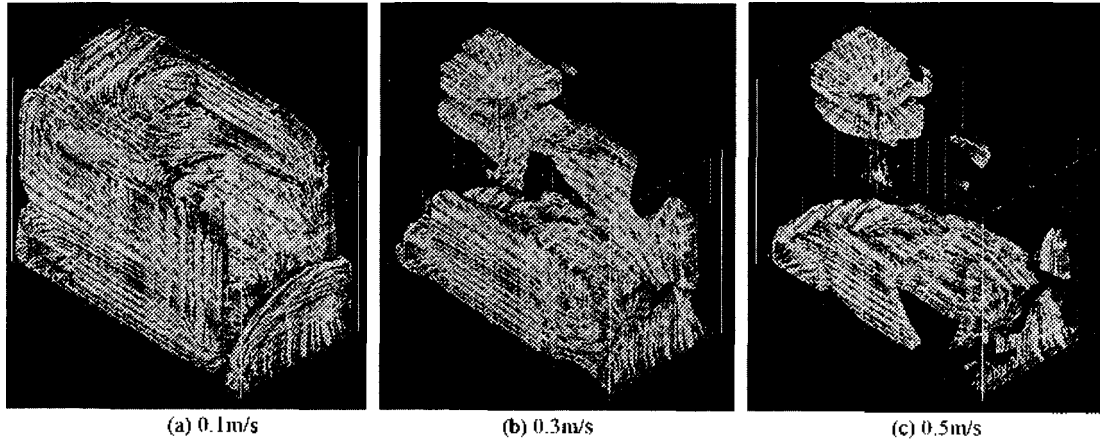


Fig. 5. Flow patterns due to each velocity inside computer.

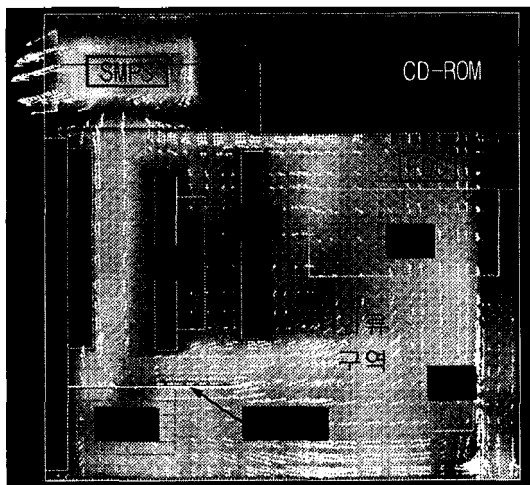


Fig. 6. Velocities at the cross-sectional plane apart from 5 mm above main PCB.

보았으며, 다음은 관심부분인 CPU와 Main Board 부근에서의 유동현상을 보다 세밀하게 살펴보고자 한다. Fig. 6은 Main Board 표면 바로 위로부터 5 mm 떨어진 단면의 유동현상을 보여 주고 있다.

이는 PCB상에 배치된 주요 발열 칩들의 주변 유동형태를 관찰하기 위해서 이며, 그림에서 보는 바와 같이 측면과 전면에서 유입 되는 공기가 CPU 후면과 Drive Bay쪽으로 많은 유량이 흘러 가고 있음을 볼 수 있다. 이로 인해 CPU, RAM, AGP 등 고발열 부품들 주변에서의 유량이 적은 분포를 보이고 있다. Fig. 7은 이 현상을 좀더 상세하게 보기 위해 CPU에 부착되어 있는 Heat-Sink 주변의 유동을 보여 주고 있다. 냉각 설계에서의 중요한 관심 사항 중의 하나는 Heat-Sink의 핀(Fin)사이를 흐르는 유체

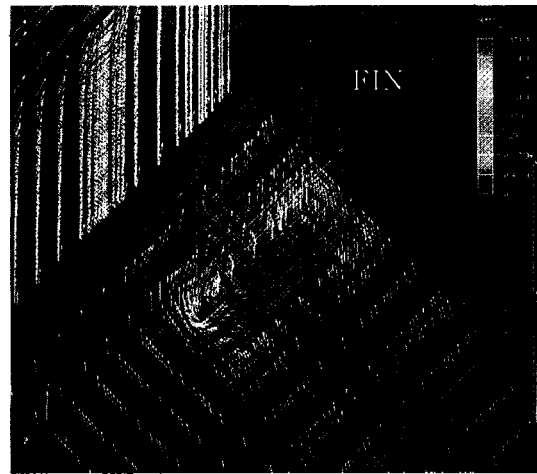


Fig. 7. Velocity distribution around heat sink.

유동으로, 핀 사이의 공기의 흐름방향과 핀의 압출 방향이 서로 직교하고 있음을 알 수 있다. 이로 인해 핀 사이로 흐르는 유량은 적어질 수 밖에 없어, 열을 효과적으로 방출해야하는 Heat-Sink의 역할을 충분히 하지 못함을 알 수 있다. 결과적으로, 실장을 소형화 하면서 동시에 시스템의 효과적인 냉각성능을 얻기 위해서는 아래와 같은 방안을 세울 수 있다. 요약 하면 첫째, 무엇보다도 CPU의 열전달을 증대하기 위해 Heat-Sink의 핀의 압출방향과 공기의 흐름 방향이 서로 같도록 Heat Sink를 재설계해 압출 적용하거나, 아니면 팬의 위치를 변경해, 바람의 방향을 핀 압출방향과 같도록 유도하는 것이 바람직하다. 둘째, 실장의 하단 좌측면에 있는 공기유입구의 위치 설정이 부적합하여, 발열 부품들의 냉각성능을 저하시킴으로 가능하면 크기에 변동없이 위치를 적절

히 변경해 주요부분의 냉각효과를 높혀 주어야 한다. 셋째, Fig. 6에서 관찰할 수 있는 바와 같이 RAM 주변에서 와류 현상이 발생해, 온도가 높아진 공기가 발열부 주위의 온도상승을 유발함으로 적절한 유동변환으로 공기가 순조롭게 유출되도록 와류현상을 제거해야 한다. 마지막으로, Connector Cable, Bracket등의 위치 및 형상이 유동 저항의 원인으로 작용할 수 있으므로 이들을 효과적으로 정리하여 가능하면 유동저항이 비교적 적은 유선형의 구조물로 설계해야 한다.

**4.2 소형화 가능성의 분석 및 공정**

해석을 통해 분석된 문제점과 대책을 이용하여 아래와 같이 소형화제품을 만드는데 필요한 방향으로 설정하였다. 즉, 실장의 부피를 줄이면서 냉각성능을 최적화 한다는 목표를 달성하기 위해 해석에 앞서 각 부품의 크기와 실장에 취부상태를 조사하여 부품의 변경 가능한 요소와 불가능한 요소를 검토하였다. 그결과 Main Board는 부품들의 배치변경을 위해 재설계하는 어려움이 있으므로 기존제품을 그대로 활용하도록 하였고 Drive-Bay의 부품들 중 FDD와 CD-ROM은 제품 특성상 실장전면에 위치해야만 했다. 단, HDD는 실장내부에 비교적 자유롭게 설치될 수 있으므로 시스템 내부에서 위치변경이 가능했다. 이러한 기본조건 하에 팬 위치 변경변수를 설정하고, 공기유입구의 가능한 위치와 크기들을 Fig. 8처럼 선정 적용해 보았다. 물론, 팬의 경우 기존부품 및 형상을 그대로 사용하고 그 부피가 있기 때문에 설치장소가 크게 그림과 같이 두곳으로 정할 수 있었다. 또한 측면 유입구의 경우도 EMC를 고려하여 크기 및 위치를 선정해야 함으로 여러 가능성중 그림과 같이 네가지 경우로 압축되었다. 이러한 설계변수들을 가

지고 온도성능이 가장 우수한 모델을 얻기 위해 상당량의 해석을 수행하였다. Fig. 8(a)는 유입구변경에 따른 냉각성능의 효과를 예측하기 위해 팬과 Bezel바닥면의 유입구는 기존과 동일하게 유지하고 측면유입구의 위치와 크기를 변경하여 해석하여 보았다. Fig. 8(b)는 구체적으로 실장이 좀더 소형화된 경우로 팬의 위치를 CPU 상단부로 변경하고 두개의 HDD를 분산 배치한 상태에서 Fig. 8(a)와 마찬가지로 네가지 경우의 모델을 구현해 해석을 수행하였다. 위 해석을 통해 실장부피를 줄이고 냉각성능이 효과적으로 나타나 CPU의 온도와 주요부품의 온도가 가장 낮은 최적 모델은 Fig. 8(b)의 Case 3의 경우로, 즉 앞에서 예측한 대로 팬의 위치를 CPU 상단부로 이동하여, Heat-Sink의 핀의 압출방향과 공기흐름 방향을 같게 설계하여 열전달 효과를 높일 수 있었다. 또한, 좌측에 있던 유입구가 우측으로 이동되어 확장카드에 의한 유동저항이 줄어 유량이 증가되었고 유로의 흐름이 순조로왔다. Drive Bay에서는 FDD와 CD-ROM의 위치를 바꾸었는데, 이는 FDD가 CD-ROM보다 발열량이 적고 사용빈도 또한 적어, 유량이 많은 구역에 CD-ROM을 설치하기 위해 교환하였다. 소형화하는데 가장 효과적인 부품인 HDD의 분산 배치로 실장의 높이를 줄이고 전면에서 유입되는 공기의 유로를 확보할 수 있었다.

Fig. 9는 위에서 언급한 최적모델의 실장내부와 부품구성을 CATIA를 이용해 전체 시스템을 나타내고 있다. 또한, 그림의 3차원 모델은 형상 그대로 열유동 해석을 수행하기위해 사용되었다.

**4.3 소형화 모델의 해석결과**

최적 냉각성능을 나타내는 소형화모델의 유동해석

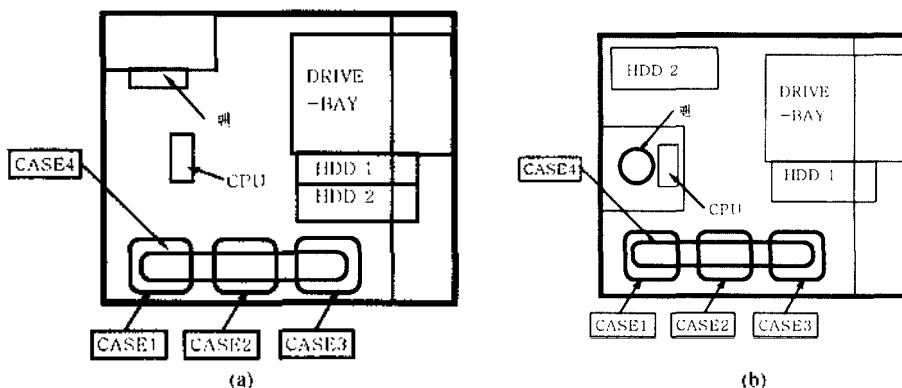


Fig. 8. Conceptual models for miniaturization. (a) fan located on the top-side and various figures of inlet (b) fan located on the wall and various figures of inlet.

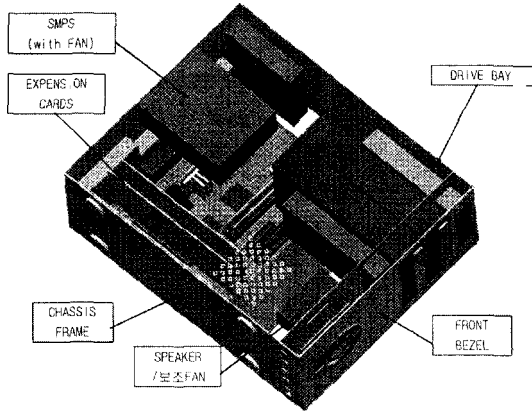


Fig. 9. Optimal miniaturized model through thermal analysis.

결과는 Fig. 10과 같았다. 여러 관심구역 중 CPU와 Main Board 부근에서의 유동현상을 살펴보기 위해 Fig. 10(a)는 CPU에 부착된 Heat Sink 중앙부를 잘라 그 단면의 속도분포를 나타내었으며, Fig. 10(b)는 Main Board 주변의 유동을 PCB면에서 5mm 떨어진 단면의 속도분포를 배열하였다. 상세히 설명하면 Fig. 10(a)는 시스템 전면방향에서 SMPS의 중앙부를 절단한 그림으로 특히 Heat Sink부근을 확대한 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 팬의 위치는 Heat Sink 상단부에 있어 공기가 Heat Sink의 핀들 사이를 지나 SMPS로 방출되고, 결국 팬의 위치변경으로 CPU의 냉각효과를 높일 수 있었다. Fig. 10(b)에서는 찬공기 유입구의 위치가 우측하단으로 이동된 후 와류유동이 현저히 줄어들고, 발열량이 많

은 부품들 주위에서 큰 유량이 이동하고 있음을 볼 수 있다. 또한 HDD, CD-ROM등의 주위에서도 양호한 유동현상을 보이고 있다. 이와 같이 제품의 소형화와 함께 발열량이 큰 부품들 주변에서 냉각공기를 적절히 순환시킴으로서 냉각 성능이 향상될 수 있었다.

결과적으로 심장 소형화를 위해 열유동 해석 수행을 통해서 다음과 같은 최적 모델을 설계할 수 있었다. 먼저 기존 모델인 M4500과 최적 소형화 모델을 비교하면, 시스템의 전체 Volume이 약 16%가 감소될 수 있었다. 그리고 Main Board를 동일사양으로 하여 팬이 부착된 SMPS는 CPU 위쪽으로 이동되었고 좌측면 좌측하단에 위치해 있던 공기유입구는 Fig. 9와 같이 좌측면 우측하단으로 이동되었다. 또 Drive Bay 부품 중 몇몇 부품은 시스템의 Volume 감소와 냉각성능 향상을 위하여 위치변동을 하였는데, 먼저 제일 상단에 위치해 있던 CD-ROM을 중간부분으로 내린 반면 상대적으로 발열량이 적은 FDD는 상단부로 자리바꿈 되었다. 2개의 HDD중 먼저 Master HDD는 기존과 동일위치에 배치 하였고 Slave HDD는 후면 상단부로 배치하였다.

5. 소형화제품의 상세설계, 제작, 및 실험

열유동 해석 과정을 거쳐 최적의 모델을 선정 한 후 이를 기존제품과 컴퓨터성능을 비교하기위해 실장내부를 상세설계하였다. 또한, 해석결과를 실험을

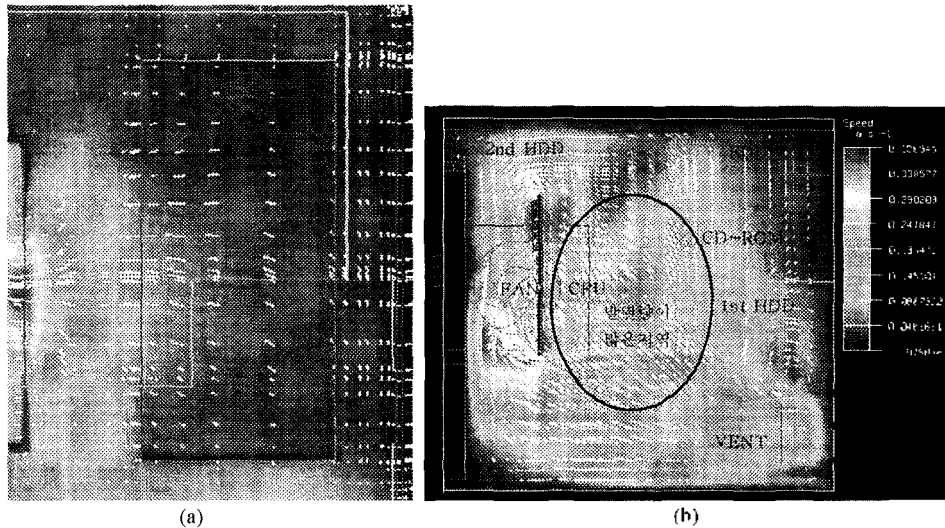


Fig. 10. Velocity distribution of miniaturized model. (a) around heat sink (b) above main PCB.





가되고 적절한 유량배분으로 냉각성능의 효율이 높아졌음을 의미한다.

## 6. 결 과

본 논문에서는 고성능 및 고밀도화 되어가는 컴퓨터의 실장설계를 위해 실장내부의 3차원 Solid모델, 열유동 해석, Working Mock-Up 제작, 온도 성능시험 등의 과정을 거치면서 냉각성능을 높일 수 있는 소형화 설계공정을 다루었다. 본 소형화 설계공정을 수행하면서 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 기존대비 체적을 약 16% 줄이면서, 온도성능을 10~20% 증대 시킨 Tower형 Desk-Top 컴퓨터의 설계구조를 개발하였다.

2. 단위체적당 열 밀도는 증가되었으나 최적의 냉각조건을 만족시킴으로써 냉각효율을 한층 높일 수 있었다.

3. 열유동 해석기법을 이용한 실장 냉각설계로 온도에 취약한 전자 시스템인 컴퓨터의 수명 및 성능을 높이는 데 기여했다.

4. 소형화 제품개발시 시행착오를 줄이고 적극적인 3차원 설계기법, 열유동 해석(CAE)를 적용해 개념설계의 기초데이터를 확보하고 동시에 Mock-Up 제작, 실험검증을 통해, 실장 소형화 공정의 기초를 구축했다.

## 참고문헌

1. Aung, W., *Cooling Techniques for Computers*, Hemisphere Publishing Corp., 1991.
2. Kraus, A.D. and Bar-Cohen, A., *Thermal Analysis and Control of Electronic Equipment*, Hemisphere Publishing Corp., 1983.
3. Kraus, A.D. and Bar-Cohen, A., *Advances in Thermal Modeling of Electronic Components and Systems*, ASME Press, 1990.
4. Steinberg, D.S., *Cooling Techniques for Electronic Equipment*, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
5. Scott, A.W., *Cooling of Electronic Equipment*, John Wiley & Sons, Inc., 1974.
6. 박성관, 최동규, "최적 축류팬 개발을 위한 통합공정", 한국 CAD/CAM학회논문집, 제3권, 제3호, pp. 201-209, 1998.
7. 최동규, 최원석, 박성관, "팬 설계 시스템에 의한 냉장고용 축류팬 개발", 한국 CAD/CAM 학회논문집, 제2권, 제 2호, pp. 85-92, 1997.



## 박 성 관

1985년 성균관대학교 기계공학과 학사  
 1988년 오레곤주립대 기계공학과 석사  
 1993년 오레곤주립대 기계공학과 박사  
 1993년~1995년 삼성전자 냉기사업부 선임 연구원  
 1996년~현재 삼성경영기술대학 기계금형학과 부교수  
 관심분야: CAD/CAE, 유체해석 및 가시화, 전자장비내의 열전달 및 실장설계