매개변수 연구 기법을 이용한 DVR 내부 방열 유동제어 구조물의 형상 설계

정 병 윤¹ · 이 경 훈² · 박 순 옥³ · 유 정 훈^{4*}

¹연세대학교 대학원 기계공학과, ²솔루션랩(주), ³동서울대학교 기계자동차과, ⁴연세대학교 기계공학부

Shape Design of Heat Dissipating Flow Control Structure Within a DVR using Parametric Study

Byeongyoon Jung¹, Kyunghoon Lee², Soonok Park³ and Jeonghoon Yoo^{4*}

¹Graduate school of Mechanical Engineering, Yonsei Univ., Seoul, 03722, Korea

²Solution Lab, Daejeon, 35203, Korea

³Department of Engineering Automotive, Dong Seoul Univ., Seongnam, 13117, Korea

⁴Department of Mechanical Engineering, Yonsei Univ., Seoul, 03722, Korea

Abstract

In this study, the shape of the flow control structure within a DVR was designed for heat dissipation of the CPU. The proposed design consists of three thin metal plates, which directly controls the air flow inside the DVR box and forces the air to pass through the CPU, thereby efficiently dissipating heat from the CPU. The shape of the structure was determined using parametric studies. To verify the design result, we carried out a three-dimensional time dependent numerical analysis using a commercial fluid dynamics analysis package FlowVision. As a result of experiments with a real DVR equipment, it is confirmed that the temperature of the CPU is significantly reduced compared to the initial model.

Keywords : heat dissipation, flow control structure, shape design, parametric study

1. 서 론

최근 전자장비의 소형화, 고기능화 및 고집적화 추세에 따라 중앙처리장치(central processing unit, CPU)와 같은 전자장비의 중요 소자들의 발열량이 증가하고 있다. 이러한 발열은 기기의 성능저하 및 수명 단축을 야기하는 주된 원인이 된다(Yang *et al.*, 2001). 이를 극복하기 위하여 일반적으로 강제 냉각 팬과 방열판, 수냉 쿨러 등이 사용되나, 냉각 팬은 전력 소모량의 증가와 소음의 원인이 되고 방열판은 장치의 소형화 요구에 따라 크기에 제한이 있으며, 수냉 쿨러는 추가 비용과 누수의 위험이 따른다.

장비의 추가 부착없이 전자장비의 발열 문제를 해결하고자 팬 위치에 따른 컴퓨터 본체 내부 공기유동을 분석해 효율적인

열 배출을 위한 PC 케이스를 설계하는 방법이 제안된 바 있다(Cho *et al.*, 2011). 또 방열판의 형상에 따른 소자 온도 변화를 분석, 이를 기반으로 하는 방열판 형상의 최적화를 위한 연구 결과가 제안되었다(Mohan *et al.*, 2010).

본 연구에서는 CCD 카메라 등에 널리 사용되는 디지털 영상장치 및 전송장치(DVR) 내부의 공기유동을 직접 제어하여 방열을 수행하기 위한 유동제어 구조물의 설계를 수행하였다. 제시된 유동제어 구조물은 기존 결과와는 차별된 단순한 구조의 얇은 판으로 구성되어 있으며, 환풍구에서 유입된 공기유동이 강제적으로 CPU를 지나 방출팬을 통해 빠져나가도록 유도하여 효율적인 방열 효과를 얻을 수 있도록 한다. 해석에는 전산 유체역학(CFD) 분석 패키지인 FlowVision을 통한 3차원 유한체적방법(finite volume method)을 사용하였으며, 구조

* Corresponding author:

Tel: +82-2-2123-2859; E-mail: yoojh@yonsei.ac.kr

Received April 30 2018; Revised May 30 2018;

Accepted July 9 2018

©2018 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

물의 크기와 위치는 매개변수 연구기법(parametric study)을 통하여 결정하였다.

2. 모델링 및 해석

2.1 열-유체 유동해석

유체의 유동상태를 해석하기 위한 지배방정식으로는 다음과 같은 Navier-Stokes 방정식이 사용되었다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho V) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho V}{\partial t} + \nabla(\rho V \otimes V) = -\nabla P + \nabla \cdot \tau + \rho g \quad (2)$$

식 (1)은 연속방정식(continuity equation), 식 (2)는 운동량방정식(momentum equation)을 나타내고 있다. 여기서 ρ 는 유체의 밀도, V 는 속도, P 는 압력, τ 는 전단응력을 나타낸다. 압축성 유체의 열전달을 해석하기 위한 지배방정식으로는 총 엔탈피 에너지방정식(energy equation for total enthalpy)을 사용하였다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho H)}{\partial t} + \nabla(\rho V H) \\ = \frac{\partial P}{\partial t} + \rho V \cdot F + \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + Q \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, 총엔탈피 H 는 $H = h + V^2/2$ 로 계산되며, 정적 엔탈피 $h(T, P)$ 를 통해 표현할 수 있다. $\rho V \cdot F$ 는 외부 운동량에 의한 일로서 해당 예제에서는 무시할 수 있으며, Q 는 열원으로 부터의 열 유속(heat flux)을 나타낸다.

또한 DVR 기기 내부에서의 유체의 난류 해석을 위해 standard $k-\varepsilon$ (KES) 모델을 적용하였다. KES 모델은 레이놀즈 응력 모델의 특수형태인 와류 점성 난류 모델에 속한다. 정상 상태의 난류 유동을 모델링하는데 사용되는 Reynolds-averaged Navier-Stokes 방정식은 Navier-Stokes 방정식에 레이놀즈 평균을 취하여 얻는다.

$$\frac{\partial \rho V}{\partial t} + \nabla(\rho V \otimes V) = -\nabla P + \nabla \cdot (\tau - \rho \overline{u \otimes u}) + \rho g \quad (4)$$

여기서, $\rho \overline{u \otimes u}$ 은 레이놀즈 응력항이다. 난류가 연속적으로 형성되고 소산하는 작은 와류(eddy)로 구성되어 있다는 와류 점성 난류(eddy viscosity turbulence) 모델에 따르면 레이놀즈 응력항은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-\rho \overline{u \otimes u} = -\frac{2}{3} \rho k \delta + \mu_t (\nabla U + (\nabla U)^T) \quad (5)$$

여기서, k 는 난류운동에너지(turbulence kinetic energy)로 $k = \frac{1}{2} u^2$ 로 계산된다. δ 은 크로네커 델타(kronecker delta)이며, μ_t 는 와류 점성계수(eddy viscosity)로 KES모델에서는 μ_t 를 다음과 같이 결정한다(Launder *et al.*, 1972).

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

여기서, ε 은 난류운동에너지의 소산율(dissipation)을 나타내며 다음의 방정식을 풀어 최종 결과를 도출한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho V k) \\ = \nabla \cdot \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + \rho (P_k + G_k) - \rho \varepsilon \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla(\rho V \varepsilon) \\ = \nabla \cdot \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \rho (P_k + G_k) - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (8)$$

$$P_k = v_t \left(S - \frac{2}{3} (\nabla \cdot V)^2 \right) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot V) k \quad (9)$$

$$G_k = v_t \frac{\beta}{Pr_t} g \nabla T \quad (10)$$

μ 는 점성계수(viscosity), P_k 와 G_k 는 각각 난류 응력 및 부력에 의한 생성 에너지를 나타낸다. $\sigma_k, \sigma_\varepsilon, C_1, C_2, C_\mu$ 은 상수이며 KES 모델에 대한 실험값이 식 (11)과 같이 주어진다(Henk *et al.*, 2007).

$$\sigma_k = 1, \sigma_\varepsilon = 1.3, C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, C_\mu = 0.09 \quad (11)$$

2.2 DVR 모델링

본 연구에서는 전산 설계 패키지인 Creo를 이용해 DVR을 모델링하고, 상용 전산유체역학 분석 패키지인 FlowVision을 사용하여 DVR 내부 공기 유동의 수치해석을 수행하였다.

DVR 모델의 형상은 Fig. 1과 같다. 해석을 위해 설정된 격자의 수는 x 방향 40개, y 방향 50개, z 방향 10개이며 소자 주변이나 inlet과 같이 복잡한 형상에는 사용된 패키지인 FlowVision에서 제공하는 격자의 세밀화 기법을 적용하여 총 389,366개의 격자를 생성하였다.

Fig. 1 Modeling of the DVR for CFD analysis

Table 1 Material properties

Material	Density (kg/m ³)	Specific heat (J/kgK)	Conductivity (W/mK)
Air	1.225	1005.74	0.0261
CPU	2329	700	18
HDD	2700	910	237
Main Board	2150	1046	0.247

2.3 DVR의 경계조건

Fig. 1(a)에서 DVR기기의 경계조건 정의에 사용된 주요 요소들의 위치를 확인할 수 있다. 먼저 DVR 기기의 하단에는 팬(fan)을 통해 공기를 강제적으로 배출하는 outlet이 위치하며, 팬의 속력은 2200rpm기준 환산풍속 45.649cfm(cubic feet per minutes)으로 설정하였다. DVR기기의 양 옆면에는 각각 18개의 구멍이 뚫려있으며, 20℃의 실온 공기가 유입되는 free inlet이다. 자기저장장치(hard disk drive, HDD)의 발열은 10W, CPU의 발열은 70W로 설정하였다.

Table 1은 본 연구에서 설정한 공기, CPU, HDD, 메인보드의 물성값을 나타낸다. 공기는 이상기체(ideal gas)로 가정하여 압력과 온도에 따른 SD table의 값이 되도록 설정하였고, CPU는 실리콘, HDD는 알루미늄, 메인보드는 열가소성 플라스틱인 테프론(teflon)으로 정의하였다. 또한 접촉하고 있는 면 사이의 열전달을 모델링에서의 오차없이 정확하게 해석하기 위하여 기판과 CPU 소자 사이에 gap cell을 지정하였고, gap

사이의 열전달계수(heat transfer coefficient)는 1.5×10^9 W/m²K, 유효점도(effective viscosity)는 0.01kg/ms로 설정하였다.

2.4 초기조건 해석

모델링이 완료되고 경계조건이 부여된 후, 초기의 기본모델에서 CFD 해석을 수행하여 DVR내부의 공기 유동과 온도 분포를 구하였다. 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)는 유동해석결과로, 왼쪽의 free inlet에서 들어온 공기 유동은 HDD에 가로막혀 소산되며, 오른쪽의 free inlet에서 들어온 공기 유동은 CPU에 집중되지 못함을 확인할 수 있다. 또한 초기 모델에서 CPU의 온도는 상온 20℃보다 66.21℃가 높은 86.21℃로 측정되었다.

(a) Air flow of the initial model

(b) Temperature distribution of the initial model

Fig. 2 CFD analysis of the initial model

3. 최적설계 방법

3.1 Inlet의 설정

설계변수 설정에 앞서 DVR 왼쪽 free inlet은 CPU의 방열에 좋은 영향을 미치지 않은 것으로 판단되어 왼쪽의 free

inlet을 모두 막은 것으로 설계를 진행하였다. 해당 모델의 유동해석 결과는 Fig. 3에 나타난 바와 같으며, 이때의 CPU 온도는 75.01℃로 예측되었다.

Fig. 3 CFD analysis of the left inlet blocked model

3.2 설계변수 설정

Fig. 3에서의 유동해석 결과를 기반으로 Fig. 4에 표시된 유동제어 구조물을 제안하였다. 제시된 구조물은 5mm 두께를 가지고 DVR의 윗면까지 밀착되는 3개의 얇은 판으로 구성되며, free inlet을 통해 유입된 실온의 공기가 CPU를 지나서 outlet으로 향하도록 DVR 내부 공기 유동을 유도한다. 이 유동제어 구조물의 위치와 크기를 결정하기 위해 11개의 설계변수를 설정하였다. 각각의 설계변수는 Fig. 4에 표시된 바와 같이 유동제어 구조물 양 끝의 좌표를 나타내며, 설계변수의 최적화를 통해 CPU의 온도가 최저가 되도록 하는 유동제어 구조물의 치수를 결정할 수 있다.

Fig. 4 Design variables of structure

4. 최적화 설계 결과

4.1 실험계획법의 적용

실험계획법(design of experiments, DOE)의 적용을 위하여, 앞서 설정된 설계 변수들과 DVR 내부 구조에 따른

제한 조건들을 고려하여 Table 2와 같이 각 인자들의 수준을 결정하였다. 각 수치는 DVR 정 중앙을 (0,0)으로 정의하였을 때 구조물 양 끝의 위치 좌표를 나타낸다. 2수준 $L_{12}(2^{11})$ 직교 배열표(orthogonal array) (Simpson and Lin, 2001)를 사용하여 총 12번의 실험을 설정하여 진행하였다. 각 실험에서의 인자들의 수준과 그 결과는 Table 3을 통해 나타내었다.

Table 2 Level of the design variables for DOE
(unit: mm)

Design variables	Level	
	1	2
x_1	-113	-119
x_2	20	26
x_3	-100	-106
x_4	85	91
x_5	-30	-36
x_6	137	143
x_7	67	73
x_8	108	110
x_9	-86	-88
x_{10}	163	165
x_{11}	-106	-108

Table 3 Orthogonal array table for DOE
(unit: ℃)

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Temp
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	64.31
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	64.74
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	65.83
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	64.72
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	64.06
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	64.36
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	65.13
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	63.83
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	64.27
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	64.97
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	64.25
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	64.26
result	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	63.81

Fig. 5 Sensitivity plot of design variables

해당 결과를 바탕으로 도출해 낸 각 인자들의 경향성을 Fig. 5에 나타내었다. 경향성을 바탕으로 인자들의 최적의 수준

조합을 알 수 있으며, 최적 모델의 CPU온도는 Table 3에서 나타낸 바와 같이 63.81℃로 예측되었다.

4.2 반응표면법의 적용

반응표면법(response surface method, RSM) (Myers and Montgomery, 1995)의 적용에 앞서 실험계획법에서의 결과를 기반으로 목적 함수에 대한 민감도가 큰 x_4 , x_6 , x_9 를 RSM 적용을 위한 설계변수로 재설정하고 나머지 설계변수는 목적함수가 최소가 되는 수준으로 고정하였다.

RSM의 적용을 위해 중심합성계획법(central composite method, CCD)을 적용하여 필요 데이터를 추출하였다. 3개의 설정된 설계 변수들의 수준은 Table 4와 같이 정의하였다. 3개의 설계변수에 대해 3차원 CCD를 구성하고 실행하였으며,

Table 4 Level of the design variables for RSM
(unit: mm)

Design variables	Level				
	-1.73	-1	0	1	1.73
x_1	-	-	-119	-	-
x_2	-	-	26	-	-
x_3	-	-	-100	-	-
x_4	83.27	84	85	86	86.73
x_5	-	-	-36	-	-
x_6	141.27	142	143	144	144.73
x_7	-	-	73	-	-
x_8	-	-	108	-	-
x_9	-84.27	-85	-86	-87	-87.73
x_{10}	-	-	163	-	-
x_{11}	-	-	-106	-	-

Table 5 CCD array result of RSM
(unit: ℃)

No	Design variable			Temp
	$a(x_4)$	$b(x_6)$	$c(x_9)$	
1	-1.732	0	0	63.40
2	-1	-1	-1	64.01
3	-1	-1	1	63.27
4	-1	1	-1	64.00
5	-1	1	1	63.77
6	0	0	0	63.81
7	0	-1.732	0	63.65
8	0	1.732	0	63.36
9	0	0	-1.732	63.69
10	0	0	1.732	63.87
11	1	-1	-1	64.07
12	1	1	1	63.70
13	1	1	-1	63.57
14	1	1	1	63.10
15	1.732	0	0	64.07

각 실험의 결과는 Table 5에 정리되어 있다. CCD의 결과를 바탕으로 회귀분석을 진행하여 반응표면을 생성하였다. 설계 변수를 바탕으로 온도를 구하기 위한 3차 회귀식(regression function)은 다음과 같이 도출되었다.

$$f = 43.81 - 0.21127a + 0.150651b - 0.36592c \quad (12) \\ - 0.02323a^2 - 0.09806b^2 - 0.00856c^2 - 0.05087ab \\ + 0.200375bc + 0.017875ca + 0.134894a^3 \\ - 0.70803b^3 + 0.139293c^3 + 0.074375abc$$

회귀분석을 통해 도출된 식 (12)의 조정된 결정계수(adjusted R^2)는 99.38%로 중심합성계획에 의해 구성된 범위 안의 모든 점에서 높은 정확도를 보인다고 판단할 수 있다.

식 (12)는 설계 변수들이 $-1.732 \leq a, b, c \leq 1.732$ 구간 안에서 결정된 식이므로, 이 구간 내에서 설계변수가 최소화 되는 해를 찾으면 $a=0.8915$, $b=-1.7320$, $c=1.4146$ 가 되며, 이 때 회귀방정식에 따른 CPU 온도 f 는 62.86℃로 예측된다. RSM의 적용에 따른 해가 함수의 경계면이 아닌 내부에 위치하고 있기 때문에 국부 최소해에 도달하였다고 판단할 수 있다. 도출된 설계변수의 조합을 실제 CFD 시뮬레이션 모델에 입력하여 시뮬레이션을 진행한 결과 설 CPU의 온도는 62.90℃로 예측되었다. 이는 RSM을 통해 도출된 회귀식의 결과인 62.86℃와 비교하였을 때 큰 차이를 보이지 않으므로 회귀모델의 정확도를 확인할 수 있다.

Table 6에 기존의 모델, 왼쪽의 free inlet을 모두 막은 모델, 유동제어 구조물의 초기 모델, DOE에 의한 최적 모델, RSM에 의한 최적 모델에서의 CPU 온도를 정리하였다. 기존의 모델과 비교하였을 때 각각의 설계 과정의 적용에 따라 점차 설계의 목적함수인 CPU의 온도가 감소함을 확인할 수 있다.

Table 6 CPU temperature during the design process
(unit: ℃)

Design process	CPU temperature
Base model	86.21
Block left inlet	75.01
Initial structure	64.06
DOE result	63.81
RSM result	62.90

4.3 설계 결과의 적용에 따른 실험 결과

CFD 수치해석과 설계의 결과를 검증하기 위해 실제 DVR 기기를 이용한 실험을 Fig. 6과 같이 구성하였다. 실험을 위해 DVR 기기의 상부를 아크릴로 교체하고 적외선 온도기를 사용해

Fig. 6 DVR experiment setting

CPU의 온도를 측정하였다. 실험 방법은 실내온도를 20℃로 유지한 채 DVR을 충분히 냉각시킨 이후 DVR에 전력을 공급하였다. CPU의 온도가 초기상태에서 최대 온도에 도달하고 수렴하기 까지 약 2시간 정도가 걸렸으며 5~10분 동안 온도가 유지됨을 확인하고 온도를 기록하였다. 이와 같은 방법으로 Table 6의 설계 단계에서의 CPU의 온도를 측정하였다.

각 설계 단계의 진행에 따른 DVR 기기의 CPU 온도 변화는 Table 7과 같으며, CFD 수치해석과 실제 DVR기기에서의 CPU 온도의 감소를 Fig. 7에 그래프로 표현하였다. 실제 실험에서 CPU는 초기온도 85.3℃에서 최종온도 69.2℃로 약 16.1℃의 온도 감소를 보여주고 있으며, 각 설계단계에서 CPU 온도의 감소 양상이 수치해석에서의 CPU 온도 감소 양상과 비슷함을 확인할 수 있다. 수치해석과 실험값의 초기 CPU 온도는 비슷하였으나 최종 온도에서 6.3℃의 오차를 나타내고 있으며, 이는 이상적인 상황을 가정하였던 수치해석과 달리 실제 실험에서는 DVR 케이스의 완벽한 단열과 밀폐가 적용되지 않으며, 수치해석에서도 DVR 내부 모델링을 완벽하게 구현하기 어렵고, 경계조건인 외부 공기의 온도, fan의 속력, CPU와 HDD 및 각종 소자들의 발열량이 실험과 해석에서 완벽히 일치하지 않기 때문에 발생한 오차로 판단된다. CPU의 수렴 온도는 CPU의 발열량과 비례하고 CPU를 통과하는 공기의 유속에 반비례 한다고 가정할 수 있으며, CPU를 통과하는 공기의 유속은 난류와 소산 등의 영향을 받긴 하겠지만 fan의 속도와 비례관계에 있다고 볼 수 있다.

초기모델에선 실험과 해석에서 CPU의 온도가 비슷하게 나타났다. 이는 CPU의 발열량 대비 CPU를 통과하는 공기의 유속이 초기모델에선 해석과 실험에서 비슷한 값으로 설정되었음에 기인하나, 설계의 과정에 따른 모델의 변화에서 실험과 해석에서의 이러한 값에 오차가 발생한 것으로 판단된다.

설계가 진행됨에 따라 유동제어 구조물의 최적화에 의해 CPU를 통과하는 공기의 유속이 빨라지며, 이에 따라 CPU의

온도가 낮아지게 된다. 이때 완전히 통제된 상황을 가정하는 해석에서의 CPU를 통과하는 공기의 유속 상승은 완전히 밀폐되지 않고 많은 소산과 난류가 발생하는 실제 실험에서의 유속 상승보다 더 클 것으로 판단된다. 따라서 해석에서의 CPU 온도는 실험에서의 CPU 온도보다 빠르게 감소하게 된다.

Table 7 Comparison of the CPU temperature between the simulation and the experiments

(unit:℃)

Design process	CPU temperature	
	CFD Simulation	Experiment
Base model	86.21	85.3
Block left inlet	75.01	76.8
Initial structure	64.06	70.4
DOE result	63.81	69.9
RSM result	62.90	69.2

Fig. 7 Plot of the temperature reduction during the design process

5. 결 론

본 연구에서는 DVR 내부 공기유동을 직접 제어하여 CPU의 온도를 낮추기 위한 유동제어 구조물을 제안하고 DOE와 RSM을 이용한 매개변수 연구 기법을 통해 유동제어 구조물의 형상을 최적화 하였다. 또한 실제 DVR 기기에서의 실험을 통해 설계와 해석 결과를 검증하였다. 실험 결과 최종적으로 CPU의 온도를 16.1℃ 감소시키는 유동제어 구조물의 최적형태를 도출하였다.

후 기

이 논문은 2016년도 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016R1A2B4008501).

References

Cho, J.U., Han, M.S. (2011) Simulation Analysis on

the Air Flow Inside Computer Main Frame according to the Location of Fan, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.*, 21, pp.259~266.

Henk, K.V., Weeratunge, M. (2007) *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*, Pearson Education Limited, p.503.

Launder, B.E., Spalding, D.B. (1974) The Numerical Computation of Turbulent Flows, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 3, pp.269~289.

Mohan, R., Govindarajan, P. (2010) Thermal Analysis of CPU with Variable Heat Sink Base Plate Thickness using CFD, *Int. J. Comp. Internet*

Manage., 18, pp.27~36.

Myers, R.H., Montgomery, D.C. (1995) *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization using Design of Experiments*, John Wiley & Sons, p.700.

Simpson, T.W., Lin, D.K. (1995) Sampling Strategies for Computer Experiments: Design and Analysis, *Int. J. Reliab. Saf.*, 2, pp.209~240.

Yang, R.J., Fu, L.-M. (2001) Thermal and Flow Analysis of a Heated Electronic Component, *Int. J. Heat Mass. Transf.*, 44, pp.2261~2275.

요 지

본 연구에서는 DVR 내부 공기유동을 직접 제어하여 CPU의 온도를 낮추기 위한 유동제어 구조물을 제안하였다. 제안된 구조물은 세 개의 얇은 판의 형태로 구성되었으며, DVR 내부의 공기 유동을 포괄적으로 제어하여 CPU의 효율적인 방열을 유도하고자 하였다. DOE와 RSM을 이용한 매개변수 연구기법을 통해 유동제어 구조물의 형상을 최적화하였으며, 해석에는 유한체적방법을 이용한 유체역학 분석 패키지인 FlowVision을 사용하였다. 실제 DVR 기기에서의 실험을 통해 해석 결과를 검증한 결과 CPU의 온도가 16.1℃ 낮아짐을 확인하였다.

핵심용어 : 방열, 유동제어, 형상설계, 매개변수 연구기법