

## 능동 파괴 방호 구동제어기의 열 유동 해석

유봉조\*, 오부진<sup>2</sup>, 김영식<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>한밭대학교 기계공학과, <sup>2</sup>한국방과학연구소

### Thermal and Flow Analysis of a Driving Controller for Active Destruction Protections

Bong-Jo Ryu<sup>\*</sup>, Bu-Jin Oh<sup>2</sup>, Youngshik Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University

<sup>2</sup>Agency for Defense Development

**요약** 능동 파괴 방호 구동제어기는 기계, 항공 및 군사 분야 등에서 사용될 수 있는 제어기로서, 상대의 비행물체를 능동제어를 통해 추적 타격하는데 사용된다. 구동제어기를 이용하여 목표지점까지의 정밀도를 갖고 동작이 유지되어야 하기 때문에, 이에 대한 신뢰성 확보가 대단히 중요하다. 이러한 구동제어기가 사용되는 주위 환경의 온도는 약  $-32^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$  ( $241^{\circ}\text{K} \sim 358^{\circ}\text{K}$ )이다. 신뢰성을 갖기 위해 구동제어기에서 중요시 간주되는 문제 중의 하나는 구동제어기 내의 열 발생이 어느 한계수준( $85^{\circ}\text{C}$  ( $358^{\circ}\text{K}$ ))이하로 유지되어야 정밀도와 신뢰성을 확보할 수 있다는 점이다. 따라서 구동제어기 내의 열 유동특성에 대한 연구와 분석이 필요하게 된다. 본 논문의 수치시뮬레이션을 위해 저 레이놀드 수  $k-\epsilon$  난류모델과 비압축성 점성 유동을 가정하였고, 상용 소프트웨어인 Solid-Works Flow Simulation을 사용하였다. 본 논문의 목적은 각종 칩이나 보드 등을 갖는 구동제어기 내부의 열 유동 특성을 해석하여 구동제어기의 안전한 설계를 하는데 있다. 해석으로부터, 보드들과 칩들의 온도분포가 어떤 한계 수준 이내에 있음을 보여준다.

**Abstract** A driving controller for active destruction protections can be applied to machinery, aerospace and military fields. In particular, this controller can be used to track and attack enemy flying objects through the active control. It is important to ensure reliability of the driving controller since its operation should be kept with precision to the target point. The temperature of the environment where the driving controller is used is about  $-32^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$  ( $241 \sim 323$ ). Heat generated in the driving controller should be maintained below a certain threshold ( $85^{\circ}\text{C}$  ( $358$ )) to ensure reliability; therefore, the study and analysis of the heat flow characteristics in the driving controller are required. In this research, commercial software Solid-Works Flow Simulation was used for the numerical simulation assuming a low Reynolds number turbulence model and an incompressible viscous flow. The goal of this paper is to design the driving controller safely by analyzing the characteristics of the heat flow inside of the controller composed of chips or boards. Our analysis shows temperature distributions for boards and chips below a certain threshold.

**Keywords** : Active destruction protections, Driving controller, Temperature distribution, Thermal and flow analysis, Transient analysis

본 논문은 2016년 한밭대학교 연구년 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Bong-Jo Ryu (Hanbat National University)

Tel: +82-42-821-1159 email: bjryu701@hanabat.ac.kr

Received October 25, 2016

Revised (1st December 5, 2016, 2nd December 14, 2016)

Accepted February 3, 2017

Published February 28, 2017

## 1. 서론

능동 파괴방호 구동제어기는 군사 분야 등에서 사용될 수 있는 제어기로써, 상대의 비행물체를 능동제어를 통해 추적 타격하는데 사용된다. 구동제어기를 이용하여 목표지점까지의 정밀도를 갖고 동작이 유지되어야하므로 이에 대한 신뢰성 확보가 대단히 중요하다. 이러한 구동제어기가 사용되는 주위환경의 온도는 약 ( $241^{\circ}K \sim 323^{\circ}K$ )이다. 신뢰성을 갖기 위해 구동제어기에서 중요시 간주되는 문제 중의 하나는 구동제어기 내의 열 발생이 어느 한계수준( $358^{\circ}K$ ) 이하로 유지되어야 정밀도와 신뢰성을 확보할 수 있다는 점이다. 따라서 구동제어기 내의 열 유동 특성에 대한 연구와 분석이 필요하게 된다. 난류 유동에 관한 연구로서 Jones와 Launder[1]는 여러 복잡한 형상의 유동에 저 레이놀즈수  $k-\epsilon$  난류 모델을 이용하여 계산한 수치해석 결과와 기존의 실험결과가 잘 일치했음을 보고하고 있다. 열 유동해석과 관련된 연구의 단순한 경우의 예로는 Fusegi 등[2]과 Pallares 등[3]은 온도가 다른 단순한 수직면이나 수평면을 갖는 3차원 공동(cavity)내에서의 유동형태와 특성을 수치 해석적 방법으로 연구하였다. 이러한 단순한 연구들과 함께, 구동제어기나 기계 및 전기장치의 열 유동 해석에 관한 연구들도 많이 이루어져 왔는데, 예를 들어, 전기기계 열 모델에 대한 대류 열전달과 유동특성에 대한 연구들로 이루어져 왔다[4-8]. Han 등은 50Watt 급 LED 조명기구에 대한 열 해석을 상용소프트웨어 COMSOL을 사용하여, LED 모듈설계에 이용하였다[8]. 그 후, Kim 등은 배전 몰드변압기의 온도특성 파악을 위한 열 유동 해석을 상용 소프트웨어인 Fluent를 이용하여 몰드변압기의 구조 영역별 온도분포 및 최고 온도를 예측하였다[9]. 한편, 구동제어기를 작동할 때 제어기 내에 장착된 각종 보드(board) 및 칩(chip) 등에서 지속적인 열이 발생되는데 특히 IGBT 구동보드 내에 장착된 SKHI 칩은 온도가  $358^{\circ}K$  이상이 되면 구동제어기를 작동시키는데 있어서 정확도 측면에서 문제가 발생할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 구동제어기 작동 시 외부 환경 기준 온도인 ( $241^{\circ}K \sim 323^{\circ}K$ ) 범위에 대하여, 최고 온도인  $323^{\circ}K$ 의 경우 온도에 가장 취약한 SKHI 칩과 주 보드(main board) 칩의 온도가 얼마만큼 상승되는가를 확인해 볼 필요가 있다. 또한 각종 보드나 칩의 온도분포를 조사하여 외부 알루미늄 케이스로부터 외부로의 열전

도가 잘 이루어질 수 있도록 구동제어기의 안전한 설계를 하는데 목적이 있다.

## 2. 본론

### 2.1 해석 모델

Fig. 1에서는 해석 대상인 구동제어기의 3D 모델을 나타내고 있고 Fig. 2는 구동제어기가 알루미늄 재질의 블록에 장착된 그림을 나타내고 있으며 구동제어기의 진동 발생에 대한 문제를 고려하여 블록과의 연결부는 고무패킹을 사용하여 장착 연결부를 모델링하였다. 또한 장착 블록은 열전도의 영향에 문제가 되지 않는 크기로 제어기보다 10배 이상의 블록에 장착된다고 가정하였다.

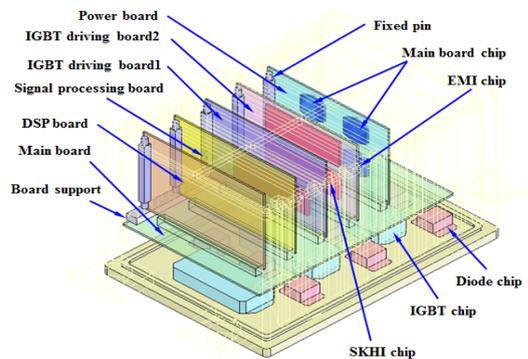


Fig. 1. 3D model of the driving controller

Fig. 1에서 보는 바와 같이 구동제어기는 외부 케이스 하부에 3개의 IGBT 칩과 다이오드 칩이 장착되어져 있고 메인보드에 연결되는 5개의 주 보드로 구성되어 있다. 케이스 하부에 장착되는 칩은 페놀류의 실리콘 재료로 이루어져 있으며 주 보드는 플라스틱류의 에폭시 수지로 이루어져 있고, 주 보드 중 전원보드와 IGBT 구동보드 1, 2에 장착되는 메인보드 칩과 EMI 칩 및 SKHI 칩은 페놀류의 실리콘 재료로 이루어져 있다. 실제로 구동제어기의 구성부품에서 열이 발생하는 경우 시간의 변화에 따른 과도 해석을 수행하는 것이 타당하므로 본 연구에서는 열전달 및 유동해석을 과도 해석을 통해 수행하였다.

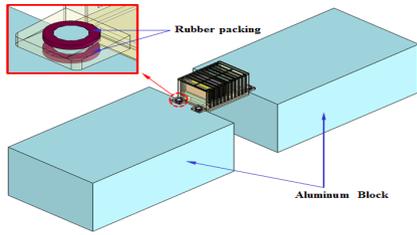


Fig. 2. Mounting block of the driving controller

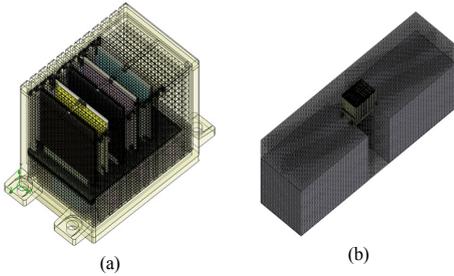


Fig. 3. Analysis cell.  
(a) Fluid cell (b) Solid cell

Fig. 2는 지지블럭(mountain block)위에 놓인 구동제어기를 보여준다. Fig. 3은 열 유동 해석에 사용된 계산 격자를 나타내며 Fig. 3(a)는 구동제어기 내부의 유체영역 부분의 격자이고 Fig. 3(b)는 고체영역 부분 격자를 등각으로 관찰된 그림이다.

전체적으로 유체 및 고체, 그리고 고체 중에서도 블록이 아닌 얇은 보드 부분은 partial로 처리하여, 더 많은 격자를 부여하였으며, 총 격자 수는 883,162개의 격자가 사용되었으며, 해석격자를 생성하기 전에 열유동장 결과에 영향이 적을 것이라 판단되는 미세 부품이나 형상에 대하여 단순화함으로써 과도한 수의 격자 생성을 회피하였다.

## 2.2 지배방정식 및 경계조건

본 해석에서 기체 유동은 정상상태의 난류유동으로서 지배방정식은 다음의 식 (1-3)으로 표시되는 연속방정식, 운동량 방정식, 난류 운동에너지 방정식과 식 (4-5)로 기술되는 난류 운동에너지 소산율 방정식 등으로 구성된다. 또한, 난류 모델로서 표준  $k-\epsilon$  모델을 사용하였다. 본 논문에서의 경계조건은 구동제어기가 사용되는 외부환경의 약 조건에 해당되는 외부 초기 온도를  $50^{\circ}C$  ( $323^{\circ}K$ )로 주고, 보드(board)나 각종 칩(chip)이 있는 구동제어기 케이스 내부는 자연대류가 일어나는 것으로

가정하였고, 칩이나 보드를 제외한 계산영역 내부는 유체(공기)로 간주하였다. 외벽과 외부의 공기의 열전달계수는  $h = 5 (W/m^2 \cdot K)$ 로 가정하였다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial p}{\partial x_i} \\ = \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad \text{where, } i = 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}(u_j(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) \\ + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\rho u_i}{\partial x_j} + \rho \epsilon + S_i u_i + Q_H \end{aligned} \quad (3)$$

$$H = h + \frac{u_i u_i}{2}$$

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + S_\epsilon \quad (5)$$

여기서,  $\rho$ 는 밀도,  $u_i$ 는 속도성분,  $\tau_{ij}$ 는 점성 전단 응력 텐서,  $\tau_{ij}^R$ 는 Reynolds 응력 텐서,  $k$ 는 난류운동에너지,  $\epsilon$ 는 소산율,  $H$ 는 엔탈피를 나타낸다. 또한,  $\frac{\partial}{\partial t}$ 는 시간 미분연산자,  $\frac{\partial}{\partial x_i}$ 는 위치 미분연산자를 나타내며,  $h$ 는 열전달계수를 나타낸다.

경계 조건으로는 제어기 내부 및 외부 공기의 초기 온도 및 고체 부분의 초기 온도는  $50^{\circ}C$  ( $323^{\circ}K$ )로서, 제어기 내 공기층의 내부유동으로 인하여 알루미늄 케이스에서 전도가 잘 이루어지는 해석을 수행하기 위하여 비점성 유동의 내부유동해석으로 해석을 수행하였으며, 고체 부분에서의 열전달을 고려하였다. 또한, 팬(fan) 등과 같이 외부와 내부 사이에 강제적인 유동을 유발하는 인자가 없으므로 가열과정에 의하여 생기는 유체의 밀도변화 때문에 일어나는 유동현상인 자연대류 열전달을 고려하기 위하여 자연대류를 일으키는 부력으로 중력을 선정하였다. 그리고 유동장을 정상 상태의 층류와 난류 유동으로 가정하였고 하우징 외벽과 외부 공기의 열전달 계수는  $h = 5 (W/m^2 \cdot K)$ 로 가정하였으며 전체 해석시간 3600초에 대하여 시간변화에 따른 온도분포를 계산하였다.

**Table 1.** Specification of components

Components	Materials	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Specific heat (J/kg °K)	Coefficient of thermal conductivity (W/m °K)
Boards	Epoxy resin	1120	1400	0.2
Chips	Silicon	2330	705	150
Rubber packing	Rubber	930	450	0.14
Case, Block, Fixed pins, Support	Aluminum	2689	902	237

Table 1은 구동제어기를 구성하는 각각의 부품에 대한 재질 및 물성치를 나타내고 Table 2는 각각의 부품에 대한 발열량을 보여주며, Table 3은 Table 2에 나타낸 각각의 부품에 대한 시간대별 발열조건을 나타내고 있다.

**Table 2.** Heat sources for the components

Components	Heating value (W)
Diode chip	12.6
IGBT chip	32
SKHI chip	6.75
Main board chip	5
EMI chip	3
Signal processing board	2.5
DSP board	2.5

**Table 3.** Heating condition for the components

Time range (sec)	Heating condition	
	Operation	Components
0 ~ 0.2	ON	All components
0.2 ~ 0.25	OFF	IGBT, Diode, SKHI chip
	ON	Power board 40%, Others
0.25 ~ 0.45	ON	All components
0.45 ~ 300.45	OFF	IGBT, Diode, SKHI chip
	ON	Power board 40%, others

### 2.3 수치해석 기법

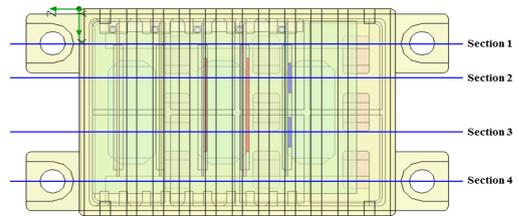
본 논문에서는 범용 3D 모델링 소프트웨어인 SolidWorks 2015를 사용하여 모델링을 수행하였으며 열 유동 해석을 수행하기 위하여 유체역학 및 열전달 등을 계산하는 상용 CFD 코드인 SolidWorks Flow Simulation 2015를 사용하였다. 또한 난류 모델로서 표준  $k-\epsilon$  모델을 방정식 내의 대류항의 계산을 위하여 상류차분도식을 사용하였으며 수렴조건으로 각 셀에 대한 운동량유수의 합 및 연속방정식의 유수의 합이 모두

$10^{-3}$  이하로 조건을 설정하였다.

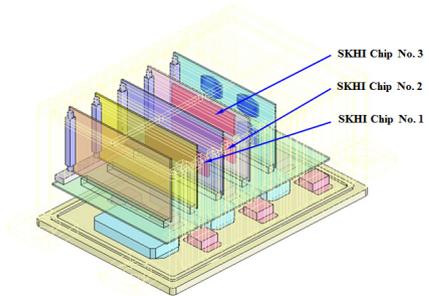
## 3. 해석결과 및 고찰

외부 기준온도인  $241^{\circ}K \sim 323^{\circ}K$ 에서 가장 높은 온도인  $323^{\circ}K$ 인 경우에 열전달계수를  $h = 5 W/m^2 \cdot K$ 로 가정하고 Table 2, 3의 열원 및 조건을 갖는 시간의존 해석을 수행하였다. Fig. 4는 구동제어기의 유체 및 고체의 온도분포를 쉽게 알아보기 위해서 구동제어기의 평면도에 대한 4가지 단면을 잘라 나타내기 위한 단면의 위치를 보여주고 있다.

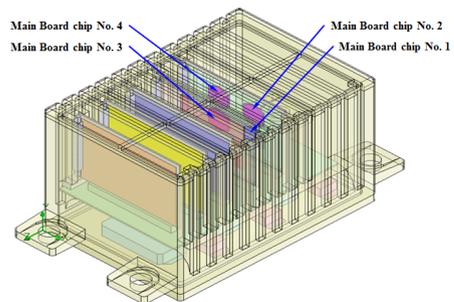
한편 Fig. 5와 6은 각각 SKHI 칩의 위치와 주보드(main board) 칩의 위치를 보여준다.



**Fig. 4.** Sections for a top view of the controller



**Fig. 5.** Positions of SKHI chips



**Fig. 6.** The Position of Main Board Chips

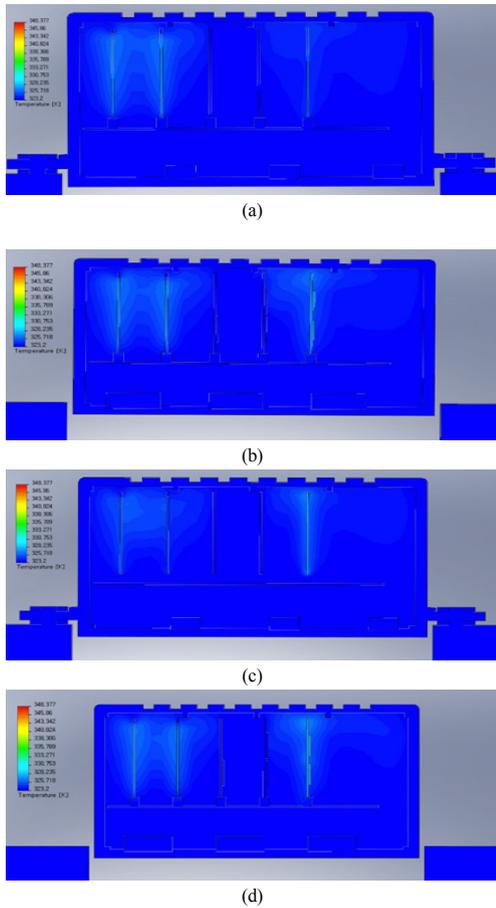
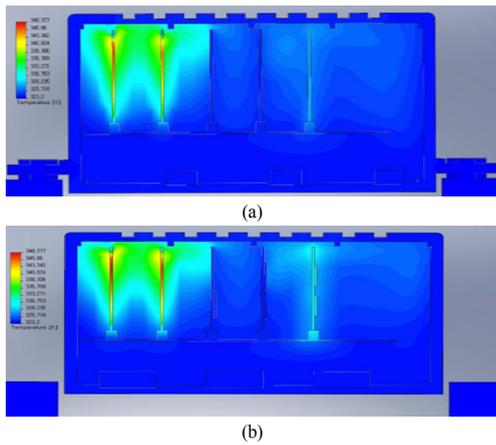


Fig. 7. Temperature distribution of solid and fluid at 60(sec).  
 (a) Section 1 (b) Section 2 (c) Section 3  
 (d) Section 4



(b)

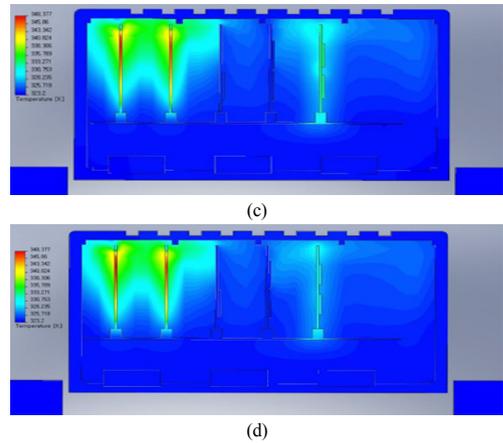


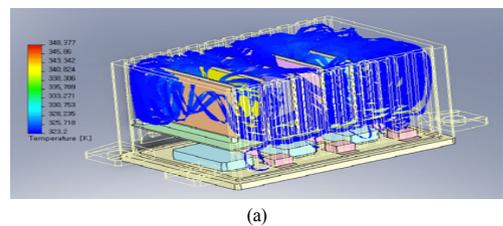
Fig. 8. Temperature distribution of solid and fluid at 874(sec).  
 (a) Section 1 (b) Section 2 (c) Section 3  
 (d) Section 4

Fig. 7과 8은 구동제어기 내의 고체와 유체의 온도 분포를 각각 60초와 수렴온도인 874초에서 나타낸 것이다. 이 그림들은 Fig. 4의 4개의 부분(section)으로 구동제어기를 나누어 각 부분에 대해 정면에서 살펴본 열 유동 해석 그림들이다. 4개의 각 부분들에서 60초일 때와 874초일 때의 온도분포는 확연히 구분이 되지만, 동일 시간에서의 각 부분들의 온도분포 차는 그림 상으로는 명확히 구별이 되고 있지 않다. 따라서, Table 4에 시간의 변화에 따른 구동제어기 내의 고체부분과 유체부분의 최소 및 최대온도를 나타내었다.

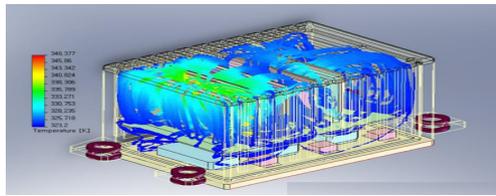
Table 4. Maximum temperature of fluid and solid

Parameter	Temperature $^{\circ}K$	
	Minimum	Maximum
Fluid	$323^{\circ}K$	347.1
Solid	$323^{\circ}K$	348.9

Fig. 9는 구동제어기 내의 내부 유체의 유동과 온도분포를 60초와 874초에 대해 각각 나타낸 그림이고, Fig. 10은 내부 고체 요소들의 온도분포를 나타낸 그림이다.



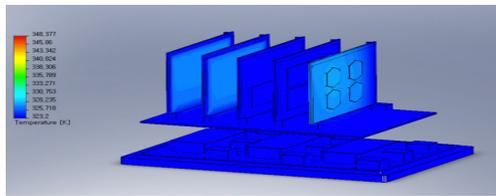
(a)



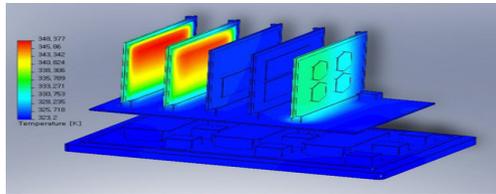
(b)

Fig. 9. Temperature and flow distribution of the internal fluid.

(a) 60 (sec) (b) 874 (sec).



(a)



(b)

Fig. 10. Temperature distribution of the internal components.

(a) 60 (sec) (b) 874 (sec).

Table 5. Temperatures of SKHI chips

Time step (sec)	Maximum Temperature SKHI Chip ( $^{\circ}K$ )		
	no. 1	no. 2	no. 3
60	323.17	323.20	323.21
120	323.26	323.31	323.33
180	323.38	323.43	323.45
240	323.51	323.54	323.57
300	323.67	323.65	323.68
360	323.84	323.78	323.81
420	323.97	323.87	323.89
480	324.07	323.93	323.96
540	324.14	323.97	324.00
600	324.21	324.02	324.05
660	324.32	324.13	324.15
720	324.38	324.17	324.19
780	324.45	324.22	324.24
840	324.51	324.27	324.29
874	324.55	324.30	324.32

Table 6. Temperatures of main board chips

Time step (sec)	Maximum temperature main board chips ( $^{\circ}K$ )			
	no. 1	no. 2	no. 3	no. 4
60	327.50	327.75	327.00	327.10
120	329.74	329.99	328.54	328.65
180	330.96	331.22	329.4	329.50
240	331.67	331.92	329.92	330.00
300	332.1	332.36	330.24	330.33
360	332.42	332.68	330.49	330.58
420	332.61	332.87	330.65	330.73
480	332.73	332.99	330.75	330.83
540	332.81	333.07	330.83	330.90
600	332.89	333.15	330.90	330.97
660	333.00	333.26	330.99	331.06
720	333.06	333.32	331.05	331.12
780	333.12	333.38	331.10	331.17
840	333.18	333.43	331.15	331.22
874	333.21	333.46	331.18	331.25

Table 5는 SKHI 칩에 대해 60초부터 874초까지의 60초의 시간 간격에 따른 온도를 나타내고 있다. SKHI 칩은 시간에 따른 온도 변화에 있어 약  $1^{\circ}K$ 의 변화만을 보여주고 있다.

Table 6은 주보드 칩의 온도를 시간간격 60초로 변화 시켜가며 살펴 본 것이다. 60초일 때와 874초일 때의 온도 차는 약  $4^{\circ}K$  정도를 나타내고 있다.

Fig. 11은 본 논문에서 수행한 시간 의존 열 유동 해석에 있어서, 유체와 고체의 반복수(iteration)에 따른 온도 수렴곡선을 나타낸다.

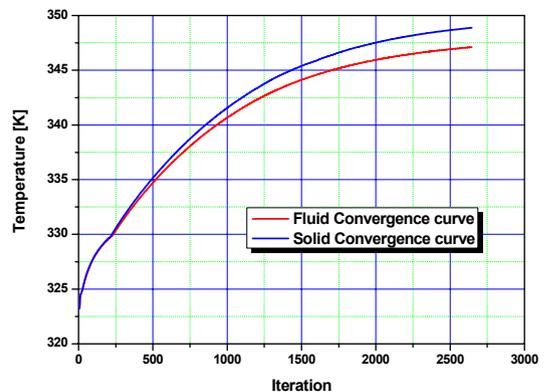


Fig. 11. Convergence curve

#### 4. 결론

본 논문은 구동 제어기 작동 시 내부 구성 요소인 각종 보드 또는 칩에서 발생하는 열에 의한 고체와 유체의 온도분포를 확인하고 검토하여 보다 성능이 뛰어난 구동 제어기를 설계하기 위하여 열 유동 해석을 통하여 시뮬레이션 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 환경 기준 온도가 가장 높은 323 °K에서 시간의 온 열 유동 해석을 수행한 결과, 유체 및 고체에서의 최대온도는 각각 347.1 °K와 348.9 °K로 안전한 온도범위를 나타내었다.
- (2) 구동제어기의 한계 온도는 358 °K이며 SKHI 칩의 온도는 325 °K 이하의 안전한 온도분포를 보이고 있고, 전원보드 칩의 온도분포도 333 °K 이하로서 안전한 온도분포를 확인하였다.
- (3) 열이 계속적으로 발생하는 DSP 보드와 신호처리 보드에서 온도가 다소 높게 나타나는 경향을 보이고 있으나 약 348 °K 이하의 온도분포를 보이고 있어 안전한 결과를 확인하였다.
- (4) 해석 결과로부터 얻은 온도분포는 모든 부품에서 비교적 안전한 온도분포를 나타내었으며, 더 많은 안전율을 고려한다면 외부 케이스 설계 시 외부 공기와 케이스 전열 면적을 증가시키거나 DSP 보드나 신호처리 보드에 부착되는 알루미늄 판을 더 크게 하여 열 방출 효과를 증대시키는 방안도 필요할 것으로 판단된다.

#### References

[1] W. P. Jones and B. E. Launder, "The calculation of low-Reynolds-number phenomena with a two-equation model of turbulence", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, vol. 16, pp. 1119-1130, 1973.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(73\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0017-9310(73)90125-7)

[2] T. Fusegi, J. M. Hyun, K. Kuwahara, and B. Farouk, "A Numerical Study of Three-Dimensional Natural Convection in a Differentially Heated Cubical Enclosure", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 34, no. 6, pp. 1543-1557, 1991.

[3] J. Pallares, I. Cuesta, F. X. Grau and G. Francese, "Natural Convection in a Cubical Cavity Heated from Below at Low Rayleigh Numbers", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 39, no. 15, pp. 3233-3247, 1996.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310\(95\)00390-8](http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310(95)00390-8)

[4] J. H. Lee, S. H. Lee, H. J. Lim and K. W. Park,

"Flow/Heat Transfer Analysis and Shape Optimization of a Heat Exchanger with Internally Finned Tube", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, vol. 29B, no. 4, pp. 460-468, 2005.  
<http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE00586751>

[5] J. J. Nelson, G. Venkataramanan, and A. M. El-Refaie, "Fast thermal profiling of power semiconductor devices using Fourier techniques", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 2, pp. 521-529, 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2006.870714>

[6] Z. Gao, T. G. Habetler, R. G. Harley, and R. S. Colby, "A sensorless rotor temperature estimator for induction machines based on a current harmonic spectral estimation scheme", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 1, pp. 407-416, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2007.896282>

[7] D. A. Staton and A. Cavagnino, "Convection Heat Transfer and Flow Calculations Suitable for Electric Machines Thermal Models", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 10, pp. 3509-3516, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.922604>

[8] C. Han, K. N. Ha and I. S. Eo, "Heat Analysis of 50W LED Lighting Fixtures", *Proceedings of the Summer Conference of The Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 1607-1608, 2010.  
<http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE01534522>

[9] J. H. Kim, J. G. Lee, K. S. Lee, W. Rhee and H. B. Lee, "Thermal Fluid Flow Analysis for Temperature Characterization of Mold Transformer in Distribution Power System", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 62P, no. 1, pp. 6-11, 2013.  
DOI: <http://doi.org/10.5370/KIEEP.2013.62.1.006>

[10] Dassault system, "Technical Reference SOLIDWORKS Flow Simulation 2015," Dassault System Corp., 2015.

유 봉 조(Bong-Jo Ryu)

[정회원]



- 1983년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 1989년 2월 : 연세대학교 산업기술연구소
- 1989년 7월 ~ 현재 : 한밭대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

구조물 진동/제어, 구조해석

**오 부 진(Bu-Jin Oh)**

[정회원]



- 2002년 2월 : 한밭대학교 기계설계 공학과 대학원 (석사)
- 2011년 8월 : 충남대학교 기계설계 공학과 대학원 (박사)
- 2007년 3월 ~ 2013년 8월 : 한밭대학교 시간강사
- 2015년 6월 ~ 2016년 9월 : 아이겐스코프(주)

• 2016년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임기술원

<관심분야>

구조 및 진동해석, 구조물 진동/제어

---

**김 영 식(Youngshik Kim)**

[정회원]



- 2003년 5월 : University of Utah, 대학원 기계공학과 (석사)
- 2008년 8월 : University of Utah, 대학원 기계공학과 (박사)
- 2009년 11월 ~ 2011년 1월 : DGIST 선임연구원
- 2011년 2월 ~ 현재 : 한밭대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

로보틱스, 제어