

온도 제한조건을 고려한 이동통신 모듈의 히트싱크 최적설계

정승현* · 정현수** · 이용빈* · 최동훈***†

* 한양대학교 기계공학과, ** 한양대학교 기계 및 산업공학과, *** 한양대학교 최적설계신기술연구센터

Design Optimization of a Heat Sink for Mobile Telecommunication Module Satisfying Temperature Limits

Seung-Hyun Jeong*, Hyun-Su Jeong**, Yongbin Lee*, and Dong-Hoon Choi***†

* Graduate School of Mechanical Engineering, Hanyang Univ.,

** Dept. of Mechanical and Industrial Engineering, Hanyang Univ.,

*** The Center of Innovation Design Optimization Technology (iDOT), Hanyang Univ.

(Received July 20, 2010 ; Revised December 10, 2010 ; Accepted December 10, 2010)

Key Words: Design Optimization(최적설계) Heat Sink(히트싱크), Design of Experiments(실험계획법), Mobile Telecommunication(이동통신)

초록: 최근 이동통신 가입자의 증가로 인해 기지국의 수요도 증가하게 되었다. 하지만 기지국 설치 장소의 부족으로 인해 이동통신모듈의 크기가 소형화 되어야 할 필요성이 생겼다. 이동통신모듈의 소형화를 위해서는 모듈 겉면에 부착된 히트싱크의 크기가 소형화 되어야 한다. 또한 모듈의 열적 안정성을 보장하기 위해 설치된 전자부품의 온도가 허용온도보다 낮아야 한다. 이를 위해 상용 PIDO(Process Integration and Design Optimization) 툴인 PIA_{NO}와 전산유체역학 프로그램인 FLOTHERM을 사용하여 전자부품의 온도를 허용온도보다 낮게 유지시키면서 히트싱크의 부피를 최소화하였다. 그 결과, 이동통신 모듈에 설치된 전자부품의 허용온도를 만족하면서 모듈의 부피를 41.9% 감소시킬 수 있었다.

Abstract: As the number of mobile subscribers has increased recently, the demand for more number of base stations has increased. However, because of the shortage of sites for constructing base stations, a mobile communication module needs to be small in size. To minimize the size of the module, the size of the heat sink attached to the outside of the module should be minimized. Furthermore, the temperature of each electronic component of the module should be lower than the allowable temperature so that thermal stability can be maintained. A commercial PIDO (process integration and design optimization) tool PIA_{NO} and a commercial CFD (computational fluid dynamics) tool FLOTHERM are used to minimize the size of the module while the constraints on the temperatures of the twelve electronic components are satisfied. As a result of design optimization, the volume of the heat sink is reduced by 41.9% while all the constraints on the temperature of the twelve electronic components of the module are satisfied.

1. 서론

최근 이동통신 가입자의 증가에 따라 이동통신을 가능케 하는 기지국의 수요는 늘어나고 있는 반면, 기지국 설치 장소의 부족으로 인해 그 크기가 소형화 되어야 할 필요성이 생겼다. 기지국의 소형화를 위해서는 그곳에 설치되는 이동통신 모듈의 소형화가 요구되며, 그를 위해서 모듈에 설치되는 전자부품의 냉각이 중요한 문제가 되었

다. 따라서 최근에는 시스템의 소형화와 방열을 위해 팬 등의 구동요소를 포함하지 않는 히트싱크를 이용한 자연대류 냉각방식을 주로 사용하고 있다. 본 논문에서 다룰 이동통신 모듈은 그 겉면에 차양막과 히트싱크가 설치되며, 히트싱크의 사이즈가 모듈의 부피를 결정하게 된다. 따라서 본 논문에서는 이동통신 모듈에 설치된 각 전자부품의 제한온도 조건을 만족하면서 히트싱크의 부피를 최소화하는 문제를 다루었다.

기존에 진행된 히트싱크 설계에 관한 연구를 살펴보면, Culham and Muzychka⁽¹⁾는 히트싱크의 기하학적 구조와 열적 성능과의 관계식을 통해 최

† Corresponding Author, dhchoi@hanyang.ac.kr

적의 설계변수값을 찾는 연구를 수행하였다. Chiang, Chang and Tsai⁽²⁾는 몇 가지 설계변수를 변경시켜가며 직교배열표를 생성한 후, grey-fuzzy logic을 사용하여 최적의 설계변수 값을 찾는 연구를 진행하였다. Park and Choi⁽³⁾는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics; CFD)을 통해 해석을 수행하고 최적화 기법을 사용하여 히트싱크의 형상최적설계를 수행하였다. 하지만 이 방법은 전산유체역학을 사용할 때 발생하는 수치적 노이즈와 긴 해석시간으로 인해 최적화의 종료시점을 예측하기가 어렵다. 따라서 Park, Oh and Lim⁽⁴⁾은 크리깅모델과 최적라틴방격법(Optimal Latin Hypercube Design; OLHD)을 사용하여 근사모델을 생성하고 순차이차계획법(Sequential Quadratic Programming; SQP)을 사용하여 최적화를 수행하였다. 하지만 수치적 노이즈가 존재하는 경우 보간 모델인 크리깅모델을 사용하는 것은 적절하지 않으며,⁽⁵⁾ 국부 최적점이 존재할 수 있는 크리깅모델에 국부 최적화 방법인 순차이차계획법을 사용한 것도 적합하지 않다.

따라서 본 논문에서는 해석시간과 수치적 노이즈를 고려하여 히트싱크 최적설계의 설계절차를 정립하고자 한다. 또한 모듈 부피의 최소화를 위한 최적설계 문제를 정식화하며, 최적화 문제를 풀기 위해 설계문제에 적합한 근사모델을 이용하여 최적설계를 진행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구에서 다루는 이동통신 모듈의 구성에 대해 설명하고, 해석에 사용될 FLOTHERM에서의 모델링 및 해석방법과 초기점에서의 해석결과를 다룬다. 3장에서는 설계조건을 고려한 최적설계문제를 정식화하며, 4장에서는 최적설계 수행절차를 다룬다. 그리고 5장에서는 제안한 방법을 통해 얻은 최적설계 결과를 논의하며 6장에서 결론을 맺도록 한다.

2. 모델링 및 해석

2.1 이동통신 모듈의 방열구조

본 연구에 사용된 이동통신 모듈의 방열을 위한 구조는 Fig. 1과 같다. 먼저 모듈의 전면 하우징에는 차양막(Sun shield)과 히트싱크가 부착되어 있다. 후면 하우징의 안쪽은 히터 장치(Heat device), 히트 판(heat plate), 보드(PCB)로 구성되어 있고, 그 결면에 히트싱크가 부착되어 있음

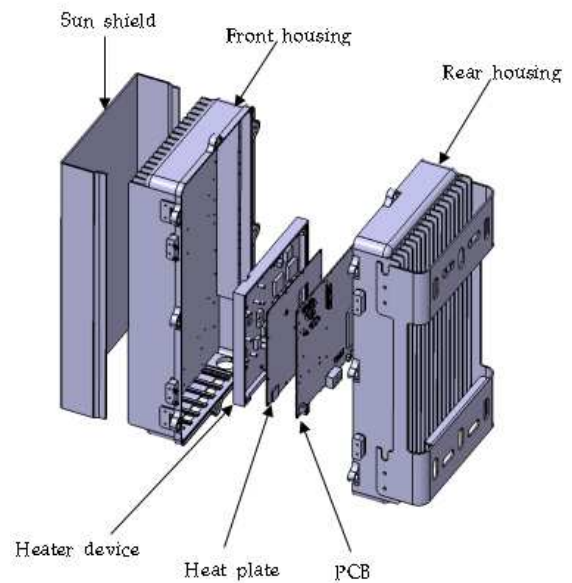


Fig. 1 Schematic diagram of a radio access station

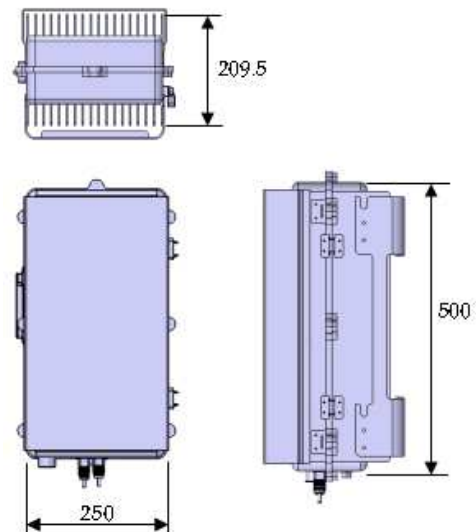


Fig. 2 Views of a radio access station

알 수 있다. 여기에서 히트싱크가 부착된 전, 후면 하우징은 알루미늄 합금 주조를 이용한 다이캐스팅에 의한 성형품으로 이루어져 있고, 히트판은 알루미늄 합금 판으로 제작되어 있다. 또한 모듈의 크기는 Fig. 2에 나타난 것과 같이 차양막과 거치 구조물을 제외하고 폭 250 mm, 높이 500 mm, 두께 209.5 mm 이다.

시스템의 냉각방식은 열원인 부품에서 전도에 의해 히트싱크 베이스, 히트싱크 핀으로 열이 전달되며 대류에 의해 외부로 열이 방출되는 방식이다. 부품에서 전도의 효과를 높이기 위해서는

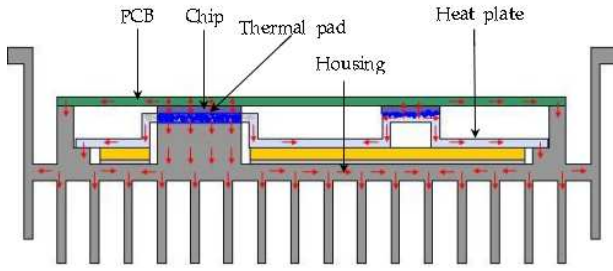


Fig. 3 Cooling mechanism of a radio access station

히트 판 및 히트싱크 베이스와의 접촉 저항을 줄여야 하므로 써멀 패드(thermal pad)와 써멀 그리스(thermal grease)를 부착하였다. 발열이 많은 부품의 열은 히트 판을 통과하지 않고 히트싱크 베이스로 바로 열이 전달되어 진다. Fig. 3에서 냉각패스를 도식화하여 나타내었다.

2.2 FLOTHERM을 이용한 이동통신모듈 모델링

본 연구에서 수행하는 수치해석의 모델링은 현장에서 사용되고 있는 상용 프로그램인 FLOTHERM⁽⁶⁾을 사용하여 이루어졌다. 실제 상황에 적합한 모델링을 하는 것이 필요하나, 모듈의 PCB에 존재하는 전자 부품은 열적인 특성이 개별적이고 개수 또한 많기 때문에 모든 부품을 모델링하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 Fig. 4에 나타난 것과 같이 중요부품 및 관심부품과 열원이 되는 부품 위주로 모델링 하였고, 이외의 장치들은 균일 발열체로 가정하였다. 본 연구에서는 구속 조건의 대상으로 선정하기 위해 온도의 설계 여유가 없는 순위로 12개의 부품을 선정하였다.

이들 각 전자부품의 발열량에 대한 선정도 필요한데, 제조사의 소모전력 자료로는 부족하여 중요 부품 같은 경우 제조사에서 제공하는 소모전력 산출기로 선정하였고, 제공되지 않은 부품들은 시스템 개발 당시 연구원들의 실험을 통해서 산출한 값을 참고하였다. 또, 제조사에서 접합부 온도를 제시하지 않은 경우는 부품의 표면온도로 가정하였다. 각 부품의 열적인 특성치를 Table 1에 나타내었다.

해석을 위해 설정된 격자의 수는 x방향 62개, y방향 82개, z방향 60개로 총 305040개의 격자수와 각 장치의 수를 합하여 총 799557개의 격자를 생성하였다. 생성된 격자를 Fig. 5에 나타내었다.

Table 1 Thermal characteristics of packaged chips

No.	Power Supply (W)	Thermal resistance (°C/W)			Tj (°C)
		Θ_{jx}	Θ_{jy}	Θ_{jz}	
1	10	12	3	0.8	105
2	0.25	40.3	23.5	3.9	95
3	0.11	44.9	36	11.4	100
4	2.04	19.5	10.6	6.9	125
5	0.59	37.3	27	6.2	100
6	1.41	15	0.35	6	125
7	0.51	24	2.66	6	125
8	0.28	20	0.71	1.5	125
9	1.75	12.5	5.2	3.3	100
10	0.52	40.3	23.5	3.9	90
11	25.65	-	-	0.7	225
12	2.1	-	-	1.2	150

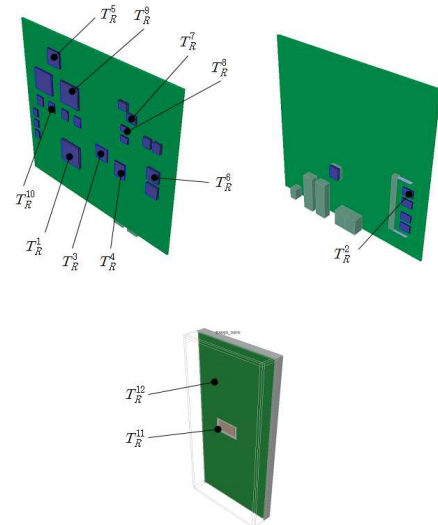


Fig. 4 Modeling of electrical chips for CFD analysis

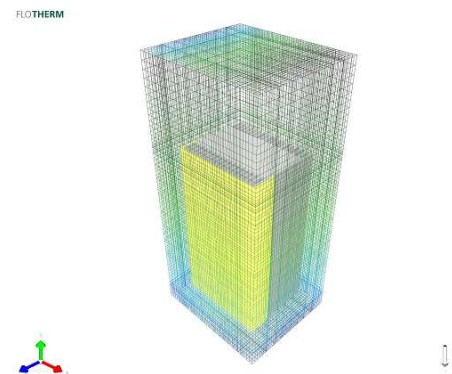


Fig. 5 Grid configuration of the analysis area

Table 2 Properties of the air

Fluid	Conductivity (k, W/m·K)	Viscosity (N·s/m ²)	Density (kg/m ³)
Air	2.839×10^{-3}	1.98×10^{-5}	9.0599×10^{-1}

Table 3 Thermal conductivity of the components in a radio access station

Component	Material	Conductivity (W/m·K)
Sun shield	Polycarbonate	0.2
Housing	ALDC12	98
Heater device	ALDC12	98
Heat plate	AL5052	137
PCB	FR4 (12 Layer)	$k_x=k_y=0.35$ $k_z=0.33$

2.3 이동통신모듈의 경계조건

해석의 경계조건은 해석영역을 정의하는 6면체 모두를 개방 조건으로 둔다. 즉 공기가 흐를 수 있도록 일정 압력을 갖는 자유 경계로 설정한다. 자연대류에 의한 냉각 및 복사에 의한 열전달을 고려하였고, 해석 영역의 온도 및 고도 조건은 옥외 환경을 감안해 이동 통신 장비의 참조 규격인 Telcordia GR-63-CORE, GR-487-CORE에 의거 고도 1800m, 주위 온도 50°로 가정하였다. 또한 태양 복사 에너지를 고려하여 외부 표면의 태양 복사 흡수율 0.25, 장파장 방사율 0.9로 가정하였으며 직접 조사되는 태양복사에너지 열 유속은 753W/m²이다. 이 열 유속은 간접적으로 받는 확산, 반사에 의한 복사를 포함하는 수치이다. 흡수되는 표면은 상부를 100%, 수직면은 50%로 가정하여 해석을 수행하였다. 위의 가정에 적합한 공기의 물성치는 Table 2에 나타내었고, 해석 대상의 물성치는 Table 3에 나타내었다.

2.4 FLOTHERM을 이용한 해석

모델링이 완료되고 경계조건이 부여된 후, 초기모델에서 해석을 수행하여 모듈의 온도분포를 구하였다. 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 좌측 그림이 전면 하우징을 나타내고 우측 그림이 후면 하우징을 나타낸다. Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 전자부품이 부착된 부위의 온도가 붉은

Table 4 Temperature of each electronic component

No.	Tj	Upper bound	No.	Tj	Upper bound
1	86.3	105	7	94.8	125
2	88.6	95	8	86.1	125
3	81.1	100	9	83.0	100
4	90.5	125	10	85.8	90
5	81.7	100	11	99.7	225
6	98.0	125	12	111.5	150

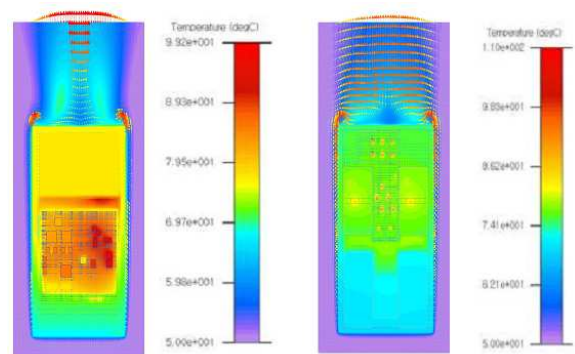


Fig. 6 Temperature distribution of a radio access station

색으로 표기되어 주변보다 높게 나타났으며, 또한 자연대류를 통해 열이 상부로 배출되고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 4에는 초기 모델의 12개의 부품온도를 나타내었다. 그 결과 구속조건을 위배하는 부품은 없었으며 이는 현재의 시스템이 구속조건을 만족하면서 더 작은 부피로 설계 될 수 있음을 의미한다.

3. 최적설계 문제

본 장에서는 PCB에 설치된 12개의 전자부품의 온도조건을 만족하며 시스템의 부피를 최소화하는 최적설계 문제의 정식화를 하고자 한다. 설계문제를 정식화할 때 열응력과 같이 더 다양한 조건을 고려해볼 수 있으나, 현업에서 사용하고 있는 모델의 경우 온도조건을 제외한 요구사항은 여유롭게 만족하고 있으므로 온도에 대한 제한조건만을 부여하여 설계문제를 정식화 하였다.

3.1 설계변수

시스템의 동작을 위한 각 부품의 온도 변화에

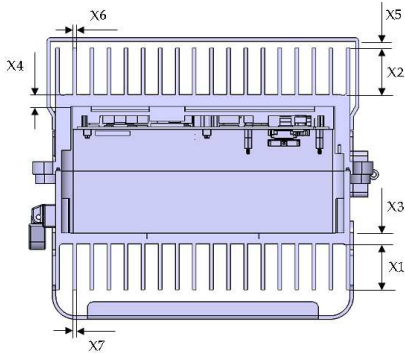


Fig. 7 Design variables

영향을 미치는 여러 가지 인자들이 있지만 그 중 가장 많은 영향을 미치는 아날로그 부분의 히트싱크 높이(x_1), 디지털 부분의 히트싱크 높이(x_2), 아날로그 부분의 베이스 두께(x_3), 디지털 부분의 베이스 두께(x_4), 차양막과 히트싱크 사이의 공간(x_5), 디지털 부분의 히트싱크 두께(x_6), 아날로그 부분의 히트싱크 두께(x_7)를 설계변수로 선정하였다. 설계변수의 범위는 초기 설계조건에서 허용 온도를 충분히 만족하고 있으므로 목적함수에 직접적인 영향을 미치는 x_1, x_2, x_3, x_4 는 초기값을 상한값으로 설정하였고, 하한값은 제조성, 강도 등의 현실적인 문제를 고려하여 설정하였다. x_6, x_7 은 제조공정상 초기값보다 작아질 수 없으므로 초기값을 하한값으로 설정하였다. 선정된 설계변수를 Fig. 7에 나타내었다.

3.2 최적설계 문제 정식화

시스템의 설계요구사항과 온도조건을 고려하여 최적설계 문제를 정식화하면 다음과 같다.

Find

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$$

to minimize

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4$$

subject to

$$\frac{T_i}{T_{allow}} - 1 \leq 0 \quad i=1,2,\dots,12 \quad (1)$$

4. 최적설계 진행절차

본 연구에서는 최적설계를 진행하기 위해 PIDO틀인 PIANo⁽⁷⁾를 이용하였다. PIANo는 다양한 해석코드, CAE(Computer Aided Engineering) 프로그램, 실험 데이터 등과의 연동을 가능하게

해준다. 본 연구는 해석 시 발생하는 수치적 노이즈와 해석시간을 고려하여 근사최적설계를 진행할 것이므로 PIANo에서 제공하는 DOE(Design of Experiments), 근사화, 그리고 설계최적화 기능을 사용하였다. 최적설계 수행절차는 다음과 같다. 먼저 적은 실험점으로 이차식 모델을 만들기에 적합한 직교배열표(Orthogonal Array)를 사용하여 실험 테이블을 만든다. 그리고 실험 테이블의 설계변수 값에 따라 실험을 수행하여 목적함수 값과 각 부품의 온도 값을 추출한다. 이 결과를 기반으로 이차식 모델을 생성하고 그 정확도를 평가한 후, 적합한 최적화 기법을 사용하여 근사 최적설계를 수행한다.

4.1 실험계획법

본 연구에서는 회귀모델인 이차식 모델을 생성할 것이므로 그에 알맞은 실험계획법을 선정하여야 한다. 일반적으로, 회귀모델을 생성하기 위해서는 랜덤 오차의 영향을 줄이기 위하여 실험점을 설계변수의 하한값과 상한값에 위치시키는 것이 좋다. 회귀모델 생성에 적합한 실험계획법은 완전요인배치법(full factorial design; FFD), 중심합성계획법(central composite design; CCD), 직교배열표(OA)⁽⁸⁾ 등이 있다. 하지만, 직교배열표를 제외한 실험계획법의 경우, 설계변수의 개수가 늘어날수록 필요한 실험점의 수가 급격하게 늘어나기 때문에, 해석시간을 감안하여 직교배열표를 사용하기로 하였다. 직교배열표를 사용할 경우, 직교성의 원리를 통해 실험의 횟수를 적게 하면서도 모든 인자의 영향을 고려한 실험을 수행할 수 있다. 설계변수가 7개인 점을 감안하면 이차식 모델을 생성하기 위한 최소의 실험점 수는 36개이다. 하지만 설계문제에 대한 정확한 이해를 위해 최소 실험점 수의 1.5배인 54개의 실험점에서 실험을 수행하기로 하고, 그에 적합한 직교배열표인 L₅₄(3⁷)을 사용하였다.

또한 54개의 실험점에서 해석을 수행한 후, 각 설계변수가 12개의 부품온도에 미치는 영향을 파악하기 위해 99% 신뢰구간의 분산분석(Analysis of Variance; ANOVA)을 수행하였다. Table 5에 12개의 부품온도(T₁-T₁₂)의 분산분석 결과 유의한 설계변수를 부품온도 별로 표기하였다. x_1, x_2, x_3, x_6 와 x_7 은 모든 부품온도에 유의하였으며, x_3 와 x_4 는 각각 2개와 3개의 부품온도에 유의하였다. 그

Table 5 Effective design variables for the temperatures of twelve components

	x_1, x_2	x_3	x_4	x_5, x_6, x_7
T ₁	O	-	O	O
T ₂	O	-	-	O
T ₃	O	-	-	O
T ₄	O	-	-	O
T ₅	O	-	O	O
T ₆	O	-	-	O
T ₇	O	-	-	O
T ₈	O	-	-	O
T ₉	O	-	O	O
T ₁₀	O	-	-	O
T ₁₁	O	O	-	O
T ₁₂	O	O	-	O

런데 우리는 모든 부품온도를 설계조건으로 고려하여야 하므로 결국 선정된 7개의 변수를 모두 사용하여 설계를 수행하였다. 각 부품온도에 대한 분산분석 결과 중 대표로 첫 번째 부품의 온도와 열두 번째 부품의 온도에 대한 자세한 분산분석 결과를 Table 6과 Table 7에 나타내었다. 각 변수의 F_0 값이 F 값보다 클 경우 유의한 설계변수로 볼 수 있는데, Table 6에서 볼 수 있는 바와 같이 첫 번째 부품의 온도에는 세 번째 설계변수를 제외한 모든 설계변수가 유의함을 알 수 있다. 또한, Table 7에 수록한 열두 번째 부품의 온도에 대한 분산분석 결과를 보면 네 번째 설계변수를 제외한 모든 설계변수가 유의함을 알 수 있다.

4.2 근사모델 생성

근사모델 기법은 관심 설계영역 또는 전체 설계영역 내에서 실제 해석모델의 반응값과 변수값의 관계를 근사화한 모델을 생성하여 해석비용이 큰 실제 해석모델을 대체하기 위한 방법으로 통계와 수학, 그리고 다양한 공학분야에서 사용되어 왔다.

본 연구에서는 직교배열표를 이용하여 얻은 해석 결과들을 바탕으로 이차식 모델을 생성하였다. 근사모델의 정확도를 측정하기 위해 R^2 와 R^2_{adj} 값을 사용하였다. R^2 와 R^2_{adj} 값은 회귀모델의 정확도를 평가하는 척도로 그 값이 1에 가까울수록 회귀모델이 정확함을 의미한다. 하지만 R^2 값은 회

Table 6 ANOVA result for the temperature of the first electronic component

	MS	F_0	F
x_1	2.42E+01	6.84E+02	5.19E+00
x_2	1.03E+02	2.91E+03	5.19E+00
x_3	2.57E-02	7.29E-01	5.19E+00
x_4	2.34E-01	6.61E+00	5.19E+00
x_5	5.24E+00	1.48E+02	5.19E+00
x_6	1.78E+00	5.04E+01	5.19E+00
x_7	3.80E-01	1.08E+01	5.19E+00
오차	3.53E-02		

MS: Mean Square

Table 7 ANOVA result for the temperature of the twelfth electronic component

	MS	F_0	F
x_1	8.78E+01	2.87E+03	5.19E+00
x_2	2.70E+01	8.84E+02	5.19E+00
x_3	3.22E+00	1.05E+02	5.19E+00
x_4	6.69E-02	2.19E+00	5.19E+00
x_5	1.82E+00	5.95E+01	5.19E+00
x_6	5.68E-01	1.86E+01	5.19E+00
x_7	5.17E-01	1.69E+01	5.19E+00
오차	3.05E-02		

Table 8 R^2 and R^2_{adj} values of each metamodel

No.	R^2	R^2_{adj}	No.	R^2	R^2_{adj}
1	0.99989	0.99968	7	0.99986	0.99930
2	0.99986	0.99960	8	0.99983	0.99919
3	0.99988	0.99965	9	0.99987	0.99938
4	0.99992	0.99976	10	0.99981	0.99911
5	0.99988	0.99965	11	0.99986	0.99933
6	0.99983	0.99949	12	0.99990	0.99953

귀모델을 생성하기 위해 사용된 실험점의 개수에 종속적이기 때문에 R^2 를 실험점의 개수로 정규화한 R^2_{adj} 값을 주로 사용한다.⁽⁹⁾ 본 연구에서 생성된 R^2 와 R^2_{adj} 의 값은 Table 8에 나타내었고 12개의 구속조건 함수에서 모두 0.95 이상으로 근사모델이 매우 정확함을 알 수 있었다.

4.3 최적화 기법

본 연구에서 사용한 최적화기법은 순차적이점대각 이차근사최적화기법(Sequential Two-point Diagonal Quadratic Approximate Optimization; STDQAO) 이다.⁽¹⁰⁾ STDQAO는 반복적인 최적화 과정에서 생성되는 민감도 정보를 근사화에 재활용하는 순차적 근사 최적설계 기법이다. 이 방법은 가장 발전된 민감도 기반 근사화기법인 이점대각근사최적화기법을 이용한 기법으로 뛰어난 효율성을 보인다. 또한, 전통적인 기울기 기반 최적화기법에 비해 적은 해석 횟수를 필요로 하며, 민감도를 정확하게 계산할 수 있는 경우에는 빠르면서 강력한 수렴성을 보인다.

Table 9 Optimization results

	Lower Bound	Initial Value	Optimum Value	Upper Bound
x_1	20	40	20	40
x_2	20	40	26.183	40
x_3	6	10	6	10
x_4	6	10	6	10
x_5	6	6	12	12
x_6	3	3	3	4
x_7	3	3	3	4
Obj.	52	100	58.183	100

Table 10 Temperature of each electronic component

No.	Approx. Value	Real Value	Difference (%)	Maximum Temp.
1	90.36	90.37	0.00	105.00
2	93.03	93.03	0.00	95.00
3	84.97	84.98	0.01	100.00
4	94.34	94.35	0.01	125.00
5	85.90	85.91	0.01	100.00
6	101.88	101.89	0.01	125.00
7	98.87	98.88	0.01	125.00
8	90.14	90.14	0.00	125.00
9	87.26	87.27	0.01	100.00
10	90.06	90.04	0.02	90.00
11	105.99	105.96	0.02	225.00
12	117.37	117.41	0.03	150.00

5. 최적설계 결과

근사최적설계를 수행한 결과 설계변수의 변화는 Table 9와 같았다. 최적설계 결과 x_2 와 x_5 를 제외한 설계변수의 값이 모두 하한으로 몰리는 결과를 얻을 수 있었다. 11번째와 12번째 부품을 제외한 부품의 경우 디지털 부분에 부착된 부품이며, 이들의 온도 제한조건을 맞추기 위해 디지털 부분의 히트싱크 높이는 설계변수의 하한보다 다소 높은 값을 가짐을 알 수 있다. 반면, 아날로그 부분에 설치된 11번째와 12번째 부품의 온도는 제한온도 대비 충분히 낮은 값을 가지므로 히트싱크의 높이는 하한으로 수렴하였음을 알 수 있다. 차양막과 히트싱크와의 거리는 대류를 원활히 하기 위해 하한보다 다소 높은 값을 가짐을 알 수 있다. 최적화 결과, 목적함수 값은 초기 값보다 약 41% 감소한 결과를 얻었다. 또한, 최적해에서의 구속조건 값을 Table 10에 나타내었고, 실제 해석을 수행하여 근사최적해의 유효성을 검증해 보았다. 그 결과, 근사최적해에서의 온도값과 실제 해석의 온도값이 차이는 최대 0.03%로 근사모델이 실제모델을 거의 정확하게 근사화하고 있음을 알 수 있었다. 이는 본 논문에서 사용한 설계절차가 유효함을 의미한다.

6. 결론

본 논문에서는 기지국의 소형화를 위해, 이동통신 모듈의 온도 제한조건들을 만족하면서 히트싱크의 부피를 최소화하는 문제를 다루었다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 이동통신 모듈의 온도 제한조건들을 만족하면서 히트싱크의 부피를 최소화하는 최적설계 문제를 정식화하였다.

(2) CFD를 이용한 해석 시 발생하는 수치적노이즈와 긴 해석시간을 고려하여 회귀모델인 이차식 모델을 사용하여 근사최적설계를 수행하였다. 또한 비교적 적은 실험으로 회귀모델을 생성하기에 적합한 직교배열표를 실험계획법으로 사용하였다.

(3) 근사최적설계를 통해 모든 구속조건 값을 만족하며 목적함수 값이 약 41% 감소하는 최적해를 얻었다. 또한 구한 최적해에서 실제 해석을 수행하여 근사최적해의 신뢰성을 확보하였으며,

본 설계절차의 유효성을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 'c-MES설계지원 플랫폼 기술 개발' 과제(10033162-2009-11)의 지원과 2010년 2단계 두뇌한국21(BK21)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다. 또한 본 연구에서 사용한 PIDO 툴인 'PIAnO' 를 제공한 ㈜프레이맥스에도 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Culham, J. R. and Muzychka, Y. S., 2001, "Optimization of Fin Heat Sinks Using Entropy Generation Minimization," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, Vol. 24, No. 2, pp.159~165.
- (2) Chiang, K. T., Chang, F. P. and Tsai, T. C., 2006, "Optimum Design Parameters of Pin-Fin Heat Sink Using the Grey-Fuzzy Logic Based on the Orthogonal Arrays," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 33, pp. 744~752.
- (3) Park, K. and Choi, D. H., 2004, "Shape Optimization of a Plate-Fin Type Heat Sink with Triangular-Shaped Vortex Generator," *KSME International Journal*, Vol. 18, No. 9, pp. 1590~1603.
- (4) Park, K., Oh, P. K. and Lim, H. J., 2006, "The Application of the CFD and Kriging Method to an Optimization of Heat Sink," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 48, pp. 3439~3447.
- (5) Wang, G. G. and Shan, S., 2007, "Review of Metamodeling Techniques in Support of Engineering Design Optimization," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 129, No. 4, pp. 370~380.
- (6) FLOTHERM Reference Manual, 2003, Flomerics Ltd.
- (7) PIAnO (Process Integration, Automation and Optimization) User's Manual. Version 2.4, 2008, FRAMAX Inc.
- (8) Simpson, T. W. and Lin, D. K. J., 2001, "Sampling Strategies for Computer Experiments: Design and Analysis," *International Journal of Reliability and Safety*, Vol. 2, No. 3, pp. 209~240.
- (9) Myers, R. H. and Montgomery, 2002, D. C., *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, WILEY, New York, pp. 30~31.
- (10) Kim, J. R. and Choi, D. H., 2008, "Enhanced Two-point Diagonal Quadratic Approximation Methods for Design Optimization," *Computer Methods in Applied Mechanics*, Vol. 197, pp. 846~856.