



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0102736
(43) 공개일자 2008년11월26일

(51) Int. Cl.

B81B 1/00 (2006.01) *B81C 5/00* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0049564

(22) 출원일자 2007년05월22일

심사청구일자 2007년05월22일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자

김광용

인천 남구 용현3동 인하대학교 기계공학전공

(74) 대리인

이은철

전체 청구항 수 : 총 12 항

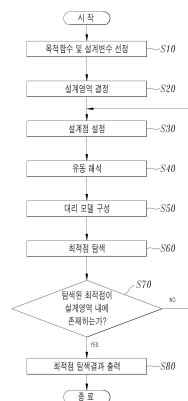
(54) 미세유로 열흡수 장치 설계 방법

(57) 요약

본 발명은, 미세유로 열흡수 장치 설계 방법 및 그에 의해 제조된 미세유로에 관한 것으로서, (a) 목적 함수 및 설계 변수를 선정하는 단계; (b) 설계 영역을 결정하는 단계; (c) 실험계획법(DOE : Design of Experiment)에 의해 설계점을 선정하는 단계; (d) 상기 (c) 단계에서 선정된 각 설계점에서의 상기 (a) 단계의 목적 함수값을 계산함으로써 유동 해석을 수행하는 단계; (e) 대리 모델(surrogate model)을 구성하는 단계; (f) 상기 (e) 단계에서 구성된 대리 모델 상에서 최적점을 탐색하는 단계; 및 (g) 상기 (f) 단계에서 탐색된 최적점이 상기 (b) 단계에서 결정된 설계 영역 내에 존재하는 경우, 최적점 탐색 결과를 출력하는 단계;를 포함한다.

본 발명에 따르면, 미세유로 열흡수 장치에 대한 체계적인 최적 설계가 가능하며 최적화된 미세유로를 제공하는 효과가 있다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

미세유로(Micro-Channel) 열흡수 장치(Heat Sink)의 설계 방법에 있어서,

- (a) 목적 함수 및 설계 변수를 선정하는 단계;
- (b) 설계 영역을 결정하는 단계;
- (c) 실험계획법(DOE : Design of Experiment)에 의해 설계점을 선정하는 단계;
- (d) 상기 (c) 단계에서 선정된 각 설계점에 대한 상기 (a) 단계의 목적 함수값을 계산함으로써 유동 해석을 수행하는 단계;
- (e) 대리 모델(surrogate model)을 구성하는 단계;
- (f) 상기 (e) 단계에서 구성된 대리 모델 상에서 최적점을 탐색하는 단계; 및
- (g) 상기 (f) 단계에서 탐색된 최적점이 상기 (b) 단계에서 결정된 설계 영역 내에 존재하는 경우, 최적점 탐색 결과를 출력하는 단계;를 포함하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 (a) 단계에서 선정되는 목적 함수는 다음의 수학식에 의한 미세유로 열흡수 장치의 열저항을 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

$$R_{th} = \frac{\Delta T_{max}}{qA_s}$$

$$\Delta T_{max} = T_{s,o} - T_{f,i}$$

상기 수학식에서 A_s 는 가열되는 열흡수 장치의 기관 면적을 나타내고, ΔT_{max} 는 열흡수 장치에서 온도의 최대 상승분을 나타내며, $T_{s,o}$ 는 열흡수 장치의 출구에서 기관의 온도를 나타내고, $T_{f,i}$ 는 열흡수 장치의 입구에서 냉각 유체의 온도를 나타낸다.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 (a) 단계에서 선정되는 설계 변수는 $\Theta(W_c/H_c)$ 가 0.10 내지 0.35이고, $\phi(W_w/H_c)$ 가 0.02 내지 0.14이며, $n(W_b/W_c)$ 가 0.5 내지 1.0인 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 (b) 단계의 설계 영역은 단일한 미세유로를 길이 방향으로 이등분한 절반의 미세유로로 결정하고, 결정된 절반의 미세유로에 있어서 경계 조건을 적용하는 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 경계 조건은,

상기 절반의 미세유로의 입구와 출구에 대한 단열 조건, 내부 벽면에 대한 점착 조건, 입구 및 출구에 대한 압력 경계 조건 및 상기 절반의 미세유로의 바닥면으로부터 윗면 방향으로의 열(heat) 경계 조건을 포함하는 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 미세유로의 바닥면으로부터 윗면 방향으로의 열(heat) 경계 조건은 다음의 수학식에 의한 경계 조건인 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

$$z = 0 \text{에서, } k_s \frac{\partial T_s}{\partial y} = q$$

$$z = L_s \text{에서, } k_s \frac{\partial T_s}{\partial y} = 0$$

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 (c) 단계의 실험계획법은 3 단계 일부실험법(fractional factorial design)인 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 (d) 단계의 유동 해석을 위한 미세유로에서의 복합 열전달 계산은 상용코드인 CFX 5.7을 사용하여 수행하는 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 (d) 단계의 유동 해석을 위한 열흡수 장치 냉각 유체의 평균 속도는 다음의 수학식에 의하는 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

$$u_{avg} = D_h \sqrt{\frac{1}{2nA_c f Re \mu_f} \frac{\bar{p}}{L_x}}$$

상기 수학식에서, $D_h=4A_c/P$ 는 수력직경을 나타내고, Re 는 레이놀즈(Reynolds) 수를 나타내며, $\bar{p}$ 는 가압 동력을 나타낸다.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 열흡수 장치 냉각 유체의 평균 속도를 나타내는 수학식에서, $\bar{p}=0.05W$ 로 설정하는 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 (e) 단계의 대리 모델(surrogate model)은 다음의 수학적식에 의한 크리깅 메타모델(KRG : Kriging metamodel)인 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

$$F(x) = f(x) + Z(x)$$

$$\text{cov}(Z(x_i), Z(x_j)) = \sigma^2 \exp \left[- \sum_{k=1}^N \Theta_k (x_i^k - x_j^k)^2 \right]$$

상기 수학적식에서, $f(x)$ 는 전역적인 설계 영역을 나타내고 $Z(x)$ 는 국부적인 분산을 나타내며, N 은 설계 변수 x 의 집합에서 차원의 수이고, σ 는 모집단의 표준편차이며, Θ_k 는 k 방향 데이터의 상관도를 나타낸다.

청구항 12

제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 하나의 항에 의한 설계 방법으로 제조된 미세유로 열흡수 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <11> 본 발명은 미세유로 열흡수 장치 설계 방법 및 그에 의해 제조된 미세유로에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 효과적인 냉각이 요구되는 고집적 전자 회로 및 초소형 전자 기기 등에 사용되는 미세유로 열흡수 장치에 있어서 냉각 유체 유로의 최적 설계 방법 및 그에 의해 제조된 미세 유로에 관한 것이다.
- <12> 미세유로 열흡수 장치는 미세한 유로 내를 흐르는 냉각 유체가 전자 회로 등에서 발생하는 열을 제거하는 장치로서, 유로의 형상이 열흡수 장치의 성능에 가장 중요한 영향을 미친다. 따라서 고성능 열흡수 장치를 설계하기 위해서는 미세유로의 형상을 최적화하여야 한다.
- <13> 종래 미세유로의 형상과 관련된 많은 실험 및 수치 해석이 수행되어 왔다. 이러한 실험 및 수치 해석으로는, 미세유로 열흡수 장치 내의 압력 강하와 열전달에 관해 실험 및 수치 해석을 동시에 수행한 Kawano 등의 연구, 사다리꼴 미세유로에서의 물 유동에 대한 Rahman과 Gui의 실험, 실리콘 미세유로 내의 물 유동에 대한 Qu 등의 복합 열전달 실험 및 수치 해석 등이 있었다.
- <14> 그러나, 종래의 실험 및 수치 해석들은 몇 가지 선택된 형상들에 대한 성능 해석을 수행한 후, 그 중 가장 좋은 성능을 가진 형상을 고르는 방식으로 수행되었기에 체계적인 최적 설계와는 거리가 멀다는 문제점이 있었다.
- <15> 그리고, 종래의 해석 기법으로 예측된 결과와 실험 결과 사이에는 상당한 차이가 있었으므로, 종래의 해석 기법은 미세유로 내의 냉각 유체 유동에 대하여 정확한 예측 결과를 제공하지 못한다는 문제점이 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <16> 본 발명의 목적은, 상기 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 미세유로 열흡수 장치에 대한 체계적인 최적 설계 방법 및 최적화된 미세유로의 형상을 제공하는 데 있다.
- <17> 본 발명의 다른 목적은, 상기 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 미세유로 내의 냉각 유체 유동에 대하여 정확한 예측이 가능한 해석 기법을 제공하는 데 있다.

발명의 구성 및 작용

- <18> 본 발명의 구성을 설명하기에 앞서, 본 발명의 기술적 요지와 직접적 관련이 없는 구성에 대하여는 본 발명의 기술적 요지를 흐트리지 않는 범위 내에서 생략하였음을 유의하여야 할 것이다.
- <19> 본 발명에서는 종래 미세유로의 설계에 사용되지 않았던 수치 최적화 기법을 삼차원 RANS(Reynolds-Averaged

Navier Stokes Equations) 해석 기법과 함께 사용하여 미세유로의 형상을 최적 설계하였다. 상기 삼차원 RANS 해석 기법은 미세유로 내의 유체 유동을 해석하여 속도장과 온도장에 관한 삼차원적인 정확한 정보를 얻어내는 해석 방법이고, 수치 최적화 기법은 유동 해석 결과를 바탕으로 설계 영역 내에서 최적점을 찾아내는 방법이다.

<20> 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 미세유로(Micro-Channel) 열흡수 장치(Heat Sink)의 설계 방법에 관한 것으로서, (a) 목적 함수 및 설계 변수를 선정하는 단계; (b) 설계 영역을 결정하는 단계; (c) 실험계획법(DOE : Design of Experiment)에 의해 설계점을 선정하는 단계; (d) 상기 (c) 단계에서 선정된 각 설계점에서의 상기 (a) 단계의 목적 함수값을 계산함으로써 유동 해석을 수행하는 단계; (e) 대리 모델(surrogate model)을 구성하는 단계; (f) 상기 (e) 단계에서 구성된 대리 모델 상에서 최적점을 탐색하는 단계; 및 (g) 상기 (f) 단계에서 탐색된 최적점이 상기 (b) 단계에서 결정된 설계 영역 내에 존재하는 경우, 최적점 탐색 결과를 출력하는 단계;를 포함한다.

<21> 바람직하게는, 상기 (a) 단계에서 선정되는 목적 함수는 다음의 수학식에 의한 미세유로 열흡수 장치의 열저항을 포함하는 것을 특징으로 한다.

$$R_{th} = \frac{\Delta T_{max}}{qA_s}$$

<22>

$$\Delta T_{max} = T_{s,0} - T_{f,i}$$

<23>

<24> 또한 바람직하게는, 상기 (a) 단계에서 선정되는 설계 변수는 첨부한 도 1 에 도시된 W_c/H_c , W_w/H_c 및 W_b/W_c 을 포함하는 것을 특징으로 한다.

<25> 또한 바람직하게는, 상기 (b) 단계의 설계 영역은 단일한 미세유로를 길이 방향으로 이등분한 절반의 미세유로로 결정하고, 결정된 절반의 미세유로에 있어서 경계 조건을 적용하는 것을 특징으로 한다.

<26> 또한 바람직하게는, 상기 경계 조건은 상기 절반의 미세유로의 입구와 출구에 대한 단열 조건, 내부 벽면에 대한 점착 조건, 입구 및 출구에 대한 압력 경계 조건 및 상기 절반의 미세유로의 바닥면으로부터 윗면 방향으로의 열(heat) 경계 조건을 포함하는 것을 특징으로 한다.

<27> 또한 바람직하게는, 상기 미세유로의 바닥면으로부터 윗면 방향으로의 열(heat) 경계 조건은 다음의 수학식에 의한 경계 조건인 것을 특징으로 한다.

$$z=0에서, k_s \frac{\partial T_s}{\partial y} = q$$

$$z=L_s에서, k_s \frac{\partial T_s}{\partial y} = 0$$

<28>

<29> 또한 바람직하게는, 상기 (c) 단계의 실험계획법은 3 단계 일부실험시법(fractional factorial design)인 것을 특징으로 한다.

<30> 또한 바람직하게는, 상기 (d) 단계의 유동 해석을 위한 미세유로에서의 복합 열전달 계산은 상용코드인 CFX 5.7 을 사용하여 수행하는 것을 특징으로 한다.

<31> 또한 바람직하게는, 상기 (d) 단계의 유동 해석을 위한 열흡수 장치 냉각 유체의 평균 속도는 다음의 수학식에 의하는 것을 특징으로 한다.

$$u_{avg} = D_s \sqrt{\frac{1}{2nA_c f Re \mu_f} \frac{\bar{p}}{L_x}}$$

<32>

<33> 또한 바람직하게는, 상기 열흡수 장치 냉각 유체의 평균 속도를 나타내는 수학적식에서, $\bar{p} = 0.05W$ 로 설정하는 것을 특징으로 한다.

<34> 그리고 바람직하게는, 상기 (e) 단계의 대리 모델(surrogate model)은 다음의 수학적식에 의한 크리깅 메타모델(KRG : Kriging metamodel)인 것을 특징으로 하는 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법.

<35>
$$F(x) = f(x) + Z(x)$$

<36>
$$\text{cov}(z(x_i), z(x_j)) = \sigma^2 \exp \left[- \sum_{k=1}^N \Theta_k (x_i^k - x_j^k)^2 \right]$$

<37> 한편, 본 발명은 상기 설계 방법 중 어느 하나의 방법에 의해 제조된 미세유로 열흡수 장치를 포함한다.

<38> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다.

<39> 본 실시예에서 최적화하고자 하는 미세유로의 형상에 관하여 도 1 을 참조하여 설명하면 다음과 같다.

<40> 도 1 은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 미세유로 열흡수 장치의 형상 및 설계 변수에 관한 예시도이다.

<41> 상기 도 1 에 도시된 바와 같이, 본 실시예에서는 10mm×10mm×0.42mm의 크기를 가지며 실리콘(silicon)으로 제조된 열흡수 장치를 채택하였다. 상기 미세유로는 수산화칼륨(KOH) 습식 에칭(wet etching)을 이용할 경우 6:1의 형상비($\alpha = H_c/W_c$)로 제조할 수 있으며, 더욱 정교하게는 20:1의 형상비($\alpha = H_c/W_c$)로도 제조할 수 있다. 열흡수 장치의 강도(strength) 유지를 위해서 미세유로 바닥 두께는 최소 요구두께인 50 μm 로 유지되도록 설정되었으므로, $H_c = 370 \mu\text{m}$ 이 최적화 과정에서 일정하게 유지된다.

<42> 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법에 관한 전체적인 흐름을 도 2 내지 도 3 을 참조하여 설명하면 다음과 같다.

<43> 도 2 는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법에 관한 전체적인 흐름도이고, 도 3 은 유동 해석을 위한 설계 영역의 모식도이다.

<44> 상기 도 2 에 도시된 바와 같이, 먼저 목적 함수 및 설계 변수를 선정한다(S10).

<45> 상기 목적 함수 및 설계 변수의 선정에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다. 미세유로 열흡수 장치의 설계자는 설계 목적 등에 따라서 본 실시예와는 다른 목적 함수 및 설계 변수를 선정할 수 있다.

<46> 본 실시예에서, 목적 함수로는 다음의 [수학적식 1]과 같은 미세유로 열흡수 장치의 열저항이 선정되었다.

수학적식 1

$$R_{th} = \frac{\Delta T_{max}}{qA_s}$$

<47>

<48> 상기 [수학적식 1]에서 A_s 는 가열되는 열흡수 장치의 기관 면적을 나타낸다. 그리고, ΔT_{max} 는 열흡수 장치에서 온도의 최대 상승분을 나타내며 다음의 [수학적식 2]와 같이 정의되었다.

수학적식 2

$$\Delta T_{max} = T_{s,0} - T_{f,i}$$

<49>

<50> 상기 [수학적식 2]에서 $T_{s,0}$ 는 열흡수 장치의 출구에서 기관의 온도를 나타내고, $T_{f,i}$ 는 열흡수 장치의 입구에서 냉각 유체의 온도를 나타낸다.

<51> 본 실시예에서, 설계 변수로는 θ , ϕ 및 n , 즉 상기 도 1 에 도시된 W_c/H_c , W_w/H_c 및 W_b/W_c 을 최적 설계를 위

해 선택하였다.

<52> 다음의 표 1 에 선택한 설계 변수의 하한값 및 상한값을 나타내었다.

표 1

설계 변수	하한값	상한값
Θ	0.10	0.35
ϕ	0.02	0.14
n	0.5	1.0

<54> 다음으로, 설계 영역을 결정한다(S20).

<55> 상기 설계 영역의 결정에 대하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

<56> 상기 도 3 에 도시된 바와 같이, 본 실시예에서는 미세유로의 대칭성을 이용해 단일 미세유로의 절반만을 설계 영역으로 결정하였다.

<57> 결정된 설계 영역 내에 유동 해석을 위하여 육면체 형상의 격자를 생성하였고, 격자의존성 시험을 통해 $121 \times 16 \times 54$ 를 최적 격자수로 선택하였다. 격자의존성 시험에서 $401 \times 21 \times 64$ 의 격자를 사용할 경우 기관의 최고 온도가 최적 격자에 비해 1% 변화만을 보였고, $100 \times 11 \times 34$ 개의 격자는 2% 의 변화를 보였다.

<58> 상기 결정된 설계 영역에 대하여 경계 조건을 적용하였다. 미세유로의 입구와 출구에서 열흡수 장치의 실리콘 부분은 단열 조건을 유지하도록 설정하였고 미세유로의 내부 벽면에는 점착 조건을 적용하였다. 또한 미세유로의 입구 및 출구에서의 냉각 유체 유동면에는 압력경계조건이 적용된다. 즉 상기 도 1 및 도 3 에서, $x=0$ 일 때는 $p_t=p_i$, $x=L_x$ 일 때는 $p_t=p_0$ 이도록 하였다.

<59> 그리고, 다음의 [수학식 3]과 같은 도 1 에서의 z 방향 열 경계 조건을 적용하였다.

수학식 3

$$z=0 \text{에서, } k \cdot \frac{\partial T_s}{\partial y} = q$$

$$z=L_z \text{에서, } k \cdot \frac{\partial T_s}{\partial y} = 0$$

<60>

<61> 다음으로, 실험계획법(DOE : Design of Experiment)에 의해 설계점을 선정한다(S30).

<62> 상기 실험계획법은 제품의 특성에 영향을 미치는 여러 가지 인자를 선정하고, 선정한 인자들의 관계를 알아보기 위한 실험을 실시하여 제품의 최적 제조 조건을 경제적으로 찾아내는 기법이다.

<63> 설계점들은 3 단계 일부실험시법(fractional factorial design)에 의해 선정되었다.

<64> 상기 일부실험시법은 모든 처리 조합(debarred combination)들을 실험의 크기가 같은 몇 개의 블록으로 나눈 후 그 중 한 블록을 선택하여 그 블록 내의 모든 처리 조합에서 실험함으로써, 실험의 횟수를 적게 하면서 원하는 인자의 효과에 대하여 추론할 수 있는 방법이다. 3 단계 일부실험시법은 종래의 2 단계 일부실험시법에서는 실험이 불가능했던 처리 조합들을 배제하면서 원하는 인자의 효과를 추론할 수 있는 일부실험시법이다.

<65> 다음으로, 유동 해석을 수행한다(S40). 즉 상기 S30 단계에서 선정된 각 설계점에서의 목적 함수값을 계산한다.

<66> 본 실시예에서는 미세유로 단면의 상단, 하단 및 휨(fin)의 폭을 바꾸면서 열유동 해석을 수행하였다. 일정 가압 동력(pumping power) 하에서 미세유로의 형상이 상기 목적 함수, 즉 열저항에 미치는 효과를 평가하기 위해 균일 열유속이 열흡수 장치의 바닥면에 적용되었다. 유동은 정상상태 층류 완전발달된 유동으로 가정하였고 열역학 및 유체역학적 물질의 특성은 기준 온도 27°C 에서 일정하게 유지된다고 가정하였다.

<67> 미세유로에 적용된 일정 가압 동력은 다음의 [수학식 4]와 같이 정의하였다.

수학식 4

$$\overline{P} = n \cdot u_{avg} \cdot A_c \cdot \Delta p = Q \cdot \Delta p$$

<68>

<69>

상기 [수학식 4]에서 Q는 열흡수 장치 전체의 체적 유량이며 Δp 는 압력 강하를 나타낸다. 그리고 n은 미세유로의 개수이고, u_{avg} 는 평균 속도이며, A_c 는 미세유로 단면의 면적을 나타낸다.

<70>

미세유로 내의 대류 열전달에 적용된 질량, 운동량 및 에너지에 대한 지배방정식은 다음의 [수학식 5]와 같다.

수학식 5

$$\frac{\partial \rho_f}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_f u_i)}{\partial x_i} = 0$$

<71>

$$\rho_f \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho_f u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho_f g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu_f \frac{\partial u_i}{\partial x_j}) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu_f \frac{\partial u_j}{\partial x_i}) - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x_i} (\mu_f \frac{\partial u_k}{\partial x_k})$$

<72>

$$\rho_f \frac{\partial h}{\partial t} + \rho_f u_j \frac{\partial h}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial t} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} (k_f \frac{\partial T_f}{\partial x_i}) + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

<73>

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (k_s \frac{\partial T_s}{\partial x_i}) = 0$$

<74>

<75>

상기 [수학식 5]에서 u_i 는 속도성분을 나타내고, T_f 는 유체의 온도를 나타내며, T_s 및 k_s 는 각각 열흡수 장치 기판의 온도 및 열전도도를 나타낸다.

<76>

미세유로의 냉각 유체, 즉 물의 특성은 일정하다고 가정되었다. 본 실시예에서 적용한 기준온도 27℃에서의 물의 특성은 다음과 같다. 즉, 밀도 $\rho_f=997 \text{ kg/m}^3$ 이고, 비열 $C_{p,f}=4.179 \text{ J/kgK}$ 이며, 절대점성계수 $\mu_f=8.55 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$ 이고, 열전도도 $k_f=0.613 \text{ W/mK}$ 이다.

<77>

미세유로에서의 삼차원 복합 열전달은 상용코드인 CFX 5.7을 사용하여 계산하였다. 상기 CFX 5.7 코드는 지배 미분 방정식을 유한요소법으로 이산화하고 SIMPLE 알고리즘을 바탕으로 해를 구한다.

<78>

이하, 본 실시예에 따른 유동 해석에서 적용된 냉각 유체의 평균 속도에 관한 수학식의 유도 과정을 설명하면 다음과 같다.

<79>

직사각형 미세유로에서 완전발달된 유동에 대하여 Shah 및 London이 제안한 마찰 계수의 실험식은 다음의 [수학식 6]과 같다.

수학식 6

$$f \text{Re} = 24(1 - 1.3553\alpha + 1.9467\alpha^2 - 1.7012\alpha^3 + 0.9564\alpha^4 - 0.2537\alpha^5)$$

<80>

<81>

본 실시예에 따른 사다리꼴 단면의 미세유로에 대해서는 상기 fRe 값을 Kakac 등이 제안한 결과로부터 내삽하여 구하였다.

<82>

Fanning의 마찰 계수는 다음의 [수학식 7]과 같이 정의된다.

수학식 7

$$f = \frac{D_h}{2\rho_f u_{avg}^2} \cdot \frac{\Delta p}{L_x}$$

<83>

<84>

상기 [수학식 7]에서, $D_h=4A_c/P$ 는 수력직경을 나타낸다.

<85>

레이놀즈(Reynolds) 수는 평균 속도를 사용하여 다음의 [수학식 8]과 같이 정의한다.

수학식 8

$$Re = \frac{u_{avg} D_h}{\nu_f}$$

<86>

<87>

열흡수 장치 냉각 유체의 평균 속도는 상기 [수학식 6] 내지 [수학식 8]로부터 다음의 [수학식 9]와 같이 얻어진다.

수학식 9

$$u_{avg} = \frac{D_h^2}{2f Re \mu_f} \cdot \frac{\Delta p}{L_x}$$

<88>

<89>

상기 [수학식 4]을 상기 [수학식 9]에 대입함으로써 열흡수 장치 냉각 유체의 평균 속도를 다음의 [수학식 10]과 같이 가압 동력의 함수로 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$u_{avg} = D_h \sqrt{\frac{1}{2nA_c f Re \mu_f} \cdot \frac{\bar{p}}{L_x}}$$

<90>

<91>

상기 [수학식 10]에서 가압 동력 $\bar{p}$ 는 0.01부터 0.8 사이의 값으로 선택될 수 있다. 본 실시예에 따른 최적 설계에서는 완전발달된 유동에 대해 가압 동력 $\bar{p}=0.05W$ 를 10mm×10mm 크기의 칩(Chip)에 대하여 선택하였다.

<92>

다음으로, 대리 모델(surrogate model)을 구성한다(S50).

<93>

본 실시예에서 최적 설계를 위한 상기 대리 모델로는 크리깅 메타모델(KRG : Kriging metamodel)을 채택하였다. 상기 크리깅 메타모델은 범용 수학연산용 소프트웨어인 MATLAB의 도구함(toolbox)를 이용하여 구성하였다. 가우스(Gauss) 상관함수를 사용한 선형 다항식 함수가 이 모델의 구축을 위해 사용되었다. 상관함수 변수들은 모델의 성능이 일관성 있게 유지될 수 있도록 조정되었고 허용 분산(acceptable variance)은 3.0×10^{-4} 으로 유지되었다.

<94>

크리깅의 가정은 다음의 [수학식 11]과 같이 전역 모델(global model) $f(x)$ 및 이탈(departures) $Z(x)$ 의 합으로 나타낸다.

수학식 11

$$F(x) = f(x) + Z(x)$$

<95>

<96>

상기 [수학식 11]에서 $F(x)$ 는 미지의 함수이고, $f(x)$ 는 알려진 함수이며, $Z(x)$ 는 평균은 영(zero)이지만 영이 아닌 공분산(covariance)을 가지는 확률적인 과정의 실현이다. $f(x)$ 는 전역적인 설계 영역을 나타내고 $Z(x)$ 는

국부적인 분산을 나타낸다. 공분산 행렬은 다음의 [수학식 12]와 같이 표현할 수 있다.

수학식 12

$$\text{cov}(z(x_i), z(x_j)) = \sigma^2 \exp \left[- \sum_{k=1}^N \Theta_k (x_i^k - x_j^k)^2 \right]$$

상기 [수학식 12]에서 N은 설계 변수 x의 집합에서 차원의 수이고, σ 는 모집단의 표준편차이며, Θ_k 는 k 방향 데이터의 상관도를 나타낸다.

다음으로, 구성된 대리 모델 상에서 최적점을 탐색한다(S60).

상술한 바와 같이, 본 실시예에 따른 목적 함수값은 나비에-스톡스(Navier-Stokes) 방정식 및 열전도 방정식을 사용하여 각 설계점에서 계산되고, 계산된 목적 함수값들을 이용하여 상기 크리깅 메타모델에 의해 최적점이 탐색된다.

다음으로, 탐색된 최적점이 결정된 설계 영역 내에 존재하는지를 판단한다(S70).

마지막으로, 상기 판단 결과 탐색된 최적점이 결정된 설계 영역 내에 존재하는 경우, 최적점 탐색 결과를 출력한다(S80)

상기 S70 단계의 판단 결과, 탐색된 최적점이 결정된 설계 영역 내에 존재하지 않는 경우, 상기 S30 단계로 절차를 이행한다..

이하, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 열흡수 장치 미세유로의 설계 결과에 관하여 도 4 내지 도 10을 참조하여 설명한다.

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 열저항에 관한 미세유로 입구에서의 해석 결과와 실험 결과와의 비교도이고, 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 열저항에 관한 미세유로 출구에서의 해석 결과와 실험 결과와의 비교도이다. 그리고 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 열저항의 각각의 설계 변수에 대한 민감도를 나타내는 참고도이다. 그 다음, 도 7은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 기준 형상에서의 중심부 x-z 평면 온도장의 비교도이고, 도 8은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 최적 형상에서의 중심부 x-z 평면 온도장의 비교도이다. 그 다음, 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 기준 형상에서의 중심부 y-z 평면 온도장의 비교도이고, 도 10은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 최적 형상에서의 중심부 y-z 평면 온도장의 비교도이다.

먼저 본 실시예에 따른 유동 해석 결과를 상술한 Kawano 등의 실험 결과와 비교하여 검증하였는 바, 이러한 검증은 폭 넓은 레이놀즈 수 범위에서 미세유로의 입구 및 출구에서의 열저항에 대하여 수행되었다.

상기 검증 결과를 도 4에 나타내었는 바, 대부분의 계산 결과가 실험의 오차 한계 내에 위치하는 만족할 만한 정확도를 보여주고 있음을 알 수 있다.

다음으로, 표 2에 상기 크리깅 메타모델에 의해 기준 형상 및 최적 형상에 대해 예측된 열저항 값을 나비에-스톡스 방정식으로 계산한 값과 비교한 결과를 나타내었다.

표 2

	$\Theta (W_c/H_c)$	$\Phi (W_w/H_c)$	$\eta (W_b/W_c)$	F(예측 결과)	F(계산 결과)
기준 형상	0.154	0.116	1.0	0.1988	0.1922
최적 형상	0.247	0.038	0.754	0.1701	0.1707

상기 표 2에서, 기준 형상에 비해 최적 형상의 열저항이 12.4% 감소한 것을 알 수 있으며, 상기 크리깅 메타모델이 목적 함수값을 계산 결과와 비교해 단지 0.4%의 상대 오차로 매우 정확하게 예측하고 있음을 알 수 있다.

다음으로, 도 5에 목적 함수가 각각의 설계 변수에 대하여 어떻게 민감도를 나타내는지를 나타내었다. 도 5에 도시된 바와 같이, 각각의 설계 변수는 다른 변수가 고정된 상태에서 최적점을 중심으로 $\pm 10\%$ 범위에서 변하고 있다. 여기서 목적 함수값은 상기 크리깅 메타모델에 의해 예측된 값이다.

- <112> 최적점 근처에서 목적함수는 n 의 변화에 따라 가장 민감하게 변화하고 있음을 알 수 있다. 그 다음으로 θ 에 대해 민감하고 ϕ 에 대해서는 가장 둔감한 것으로 나타났다. 그러므로 최적 유로의 개수를 도출하기 위해 ϕ 값은 다소 조정이 되어도 무방함을 알 수 있다.
- <113> 다음으로, 도 6 및 도 7은 각각 $x-z$ 및 $y-z$ 평면에서의 온도 분포를 기준 형상 및 최적 형상에 대해 비교하고 있다. 이러한 온도 분포들은 일정 가압 동력과 열유속에서 계산되었다. 열저항을 최소화함으로써 최적 형상은 기준 형상에 비하여 미세유로 기관 바닥의 온도가 상대적으로 낮은 값을 보이고 있음을 알 수 있다.
- <114> 마지막으로, 도 8은 $y-z$ 평면에서의 속도장을 보여주는데 최적 형상이 기준 형상에 비하여 큰 유체 속도를 나타내고 있다. 낮은 압력 손실로 인한 높은 속도는 열전달을 촉진함으로써 상기 도 6 및 도 7에 나타낸 바와 같이 고체 기관의 최대 온도를 크게 낮출 수 있음을 알 수 있다.
- <115> 이상으로 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 이와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용에만 국한되는 것이 아니며, 기술적 사상의 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대해 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

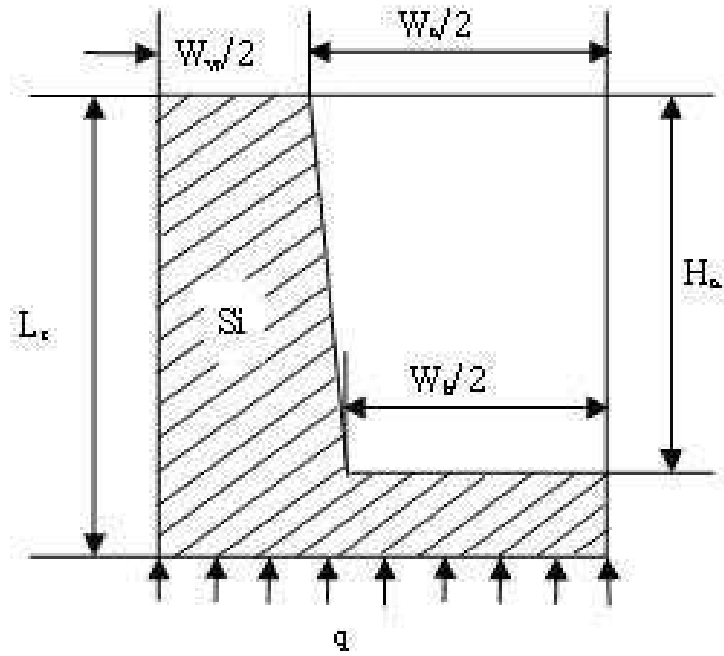
발명의 효과

- <116> 상술한 본 발명에 따르면, 미세유로 열흡수 장치에 대한 체계적인 최적 설계가 가능하며 최적화된 미세유로를 제공하는 효과가 있다.
- <117> 상술한 본 발명에 따르면, 미세유로 내의 냉각 유체 유동에 대하여 정확한 예측이 가능한 해석 기법을 제공하는 효과도 있다.

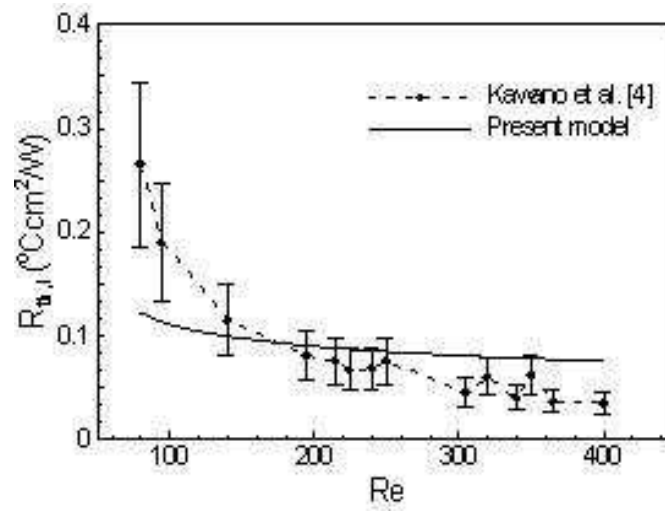
도면의 간단한 설명

- <1> 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 미세유로 열흡수 장치의 형상 및 설계 변수에 관한 예시도.
- <2> 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 미세유로 열흡수 장치의 설계 방법에 관한 전체적인 흐름도.
- <3> 도 3은 유동 해석을 위한 설계 영역의 모식도.
- <4> 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 열저항에 관한 미세유로 입구에서의 해석 결과와 실험 결과와의 비교도.
- <5> 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 열저항에 관한 미세유로 출구에서의 해석 결과와 실험 결과와의 비교도.
- <6> 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 열저항의 각각의 설계 변수에 대한 민감도를 나타내는 참고도.
- <7> 도 7은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 기준 형상에서의 중심부 $x-z$ 평면 온도장의 비교도.
- <8> 도 8은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 최적 형상에서의 중심부 $x-z$ 평면 온도장의 비교도.
- <9> 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 기준 형상에서의 중심부 $y-z$ 평면 온도장의 비교도.
- <10> 도 10은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 최적 형상에서의 중심부 $y-z$ 평면 온도장의 비교도.

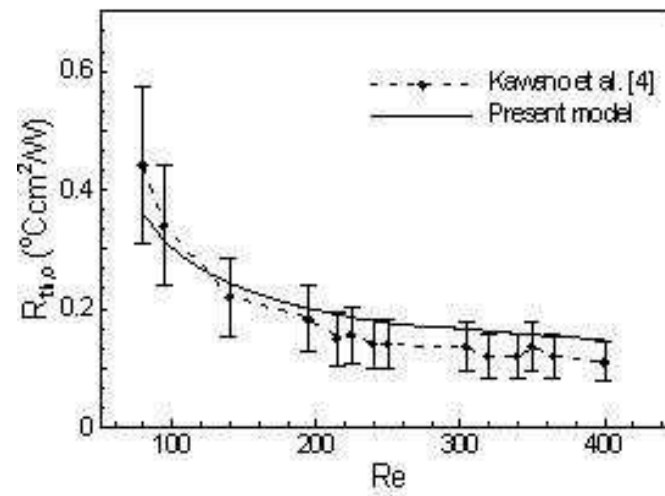
도면3



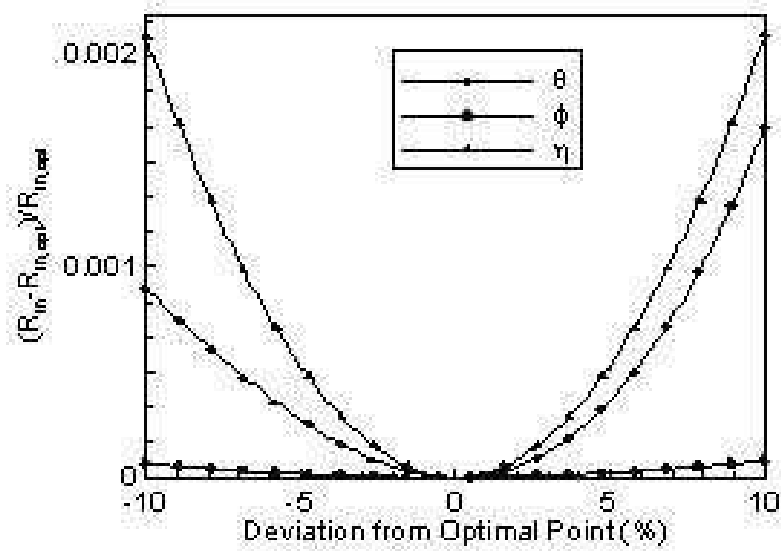
도면4



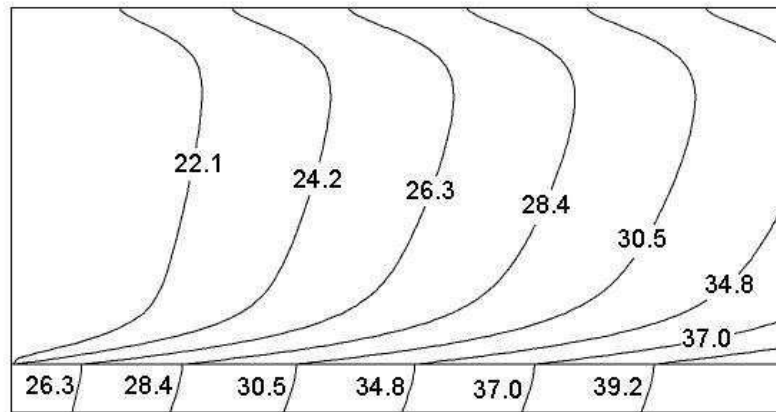
도면5



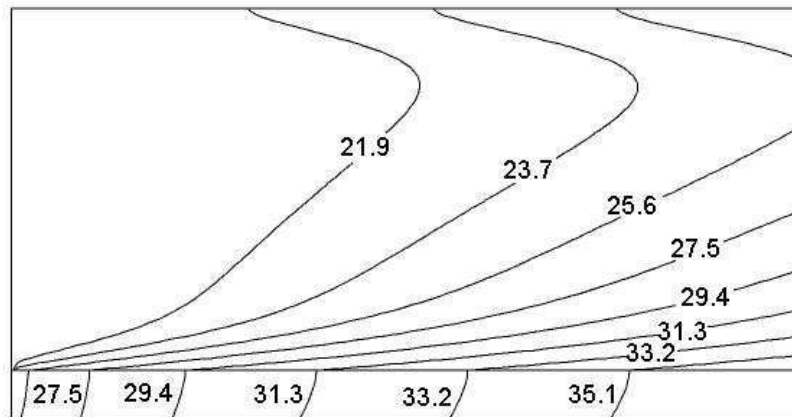
도면6



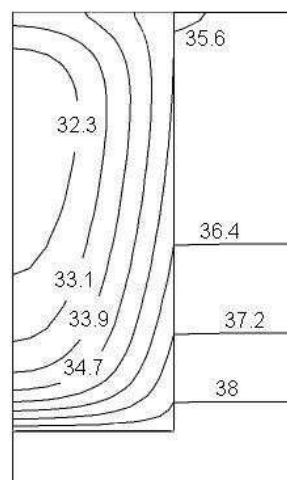
도면7



도면8



도면9



도면10

