

〈논 문〉

유속 센서의 실리콘 브리지 주위의 유동 및 열전달 수치해석에 관한 연구

황호영* · 김호영** · 정진택***

(1995년 1월 20일 접수)

Theoretical Study of Flow and Heat Transfer around Silicon Bridge in a Flow Sensor

H. Y. Hwang, H. Y. Kim and J. T. Chung

Key Words : Thermal Flow Sensor(열 유량계), Hot Wire Anemometer(열선 유속계), Silicon Bridge(실리콘 브리지), Bridge Arm(브리지 아암), QUICK Scheme(QUICK 계산법)

Abstract

Measuring the velocity of fluid flow, semiconductor flow sensors are widely used in the various fields of engineering and science such as the semiconductor manufacturing processes and electronic control engines for automobiles. In the near future, this type of sensors will replace present hot wire type sensors or other type flow sensor due to its low price, easy handling and small size. To develop the advanced semiconductor flow sensor, it is necessary to obtain characteristics of the flow and the heat transfer around the sensor in advance. In the present study, the theoretical analysis including mathematical modeling and numerical calculation to predict the characteristics of heat transfer and flow field around the sensor was carried out. The main parameters for optimum design of the flow sensor are the free stream velocity, the heat generation rate of silicon arm and the distance between arms. Effects of these parameters on flow and heat transfer around the sensor and the temperature difference between arms are examined.

기 호 설 명	
a : 다이아프램과 브리지 아암 사이의 거리 (μm) A : 면적 (m^2) b : 브리지 아암의 폭 (μm) C_1, C_2 : King 법칙의 상수 C_p : 정압비열 ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$) dx : 브리지 아암 사이의 거리 (μm) k : 열전도 계수 ($\text{W/m} \cdot \text{K}$) L : 계산 영역의 총 길이 (μm)	\dot{m}_{in} : 입구에서의 질량 유량 (kg/sec) P : 센서에서 발생한 동력 p : 대기압 (Pa) \dot{q}_{gen} : 열 발생률 (W/m^2) S : 이산화 방정식의 생성항 S_T : 이산화된 에너지 방정식의 생성항 R : 공기의 기체상수 T : 온도 (K) T_∞ : 자유유동 온도 (K) ΔT : 온도차 (K) u : 자유유동 방향속도 (m/sec) u_i : 속도 벡터 (m/sec) u_{in} : 입구 유동장 속도 (m/sec)

*회원, 고려대학교 기계공학과 대학원

**회원, 고려대학교 기계공학과

***회원, 고려대학교 기계공학과

- v : 주유동 직각 방향 속도 (m/sec)
 x : 주축 방향 거리 (μm)
 x_j : 좌표 텐서
 y : 주유동에 수직 방향 거리 (μm)
 y_∞ : 계산 영역의 높이 (μm)

그리스 문자

- Γ : 이산화 방정식의 확산 계수 (m^2/sec)
 μ : 동점성 계수 ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{sec}$)
 ρ : 밀도 (kg/m^3)
 Φ : 일반 변수

1. 서 론

유체 유동의 속도 및 유량 측정은 과학기술 분야의 기초가 되며, 최근에는 반도체와 고체 상태의 여러 현상들을 이용한 유동 측정장비 개발에 대한 관심이 고조되고 있다.^(1~4,12,13) 대형이며 고가의 장비로부터 전기적인 신호를 직접 발생시키는 종래의 방식과는 달리 반도체나 다른 고체 상태의 물질들은 저렴한 가격의 측정 장비를 대량생산할 수 있게 했고, 피드백 제어를 위한 신호의 처리를 단순화시켰다. 반도체형 유속유량센서는 반도체 제조 프로세스분야, 자동차 전자제어식 엔진 제어 시스템 등 많은 분야에서 유동의 측정 후 제어를 위하여 이용된다.

현재 가장 많이 사용되는 유동 측정 장비는 열선 유속계(Hot Wire Anemometer, HWA)이다. 이 장치는 고온의 열선으로부터 유동하는 유체로의 열전달을 응용한 것으로서 동일한 원리를 이용한 열막 유속계(Hot Film Anemometer, HFA)도 많이 사용되고 있다. 열선유속계가 이론적으로는 많이 발전했지만 이 측정 장비를 사용하는 데는 여전히 많은 문제들이 있다. 열적으로 매우 민감한 초전기 물질도 초전도 유속계(Pyroelectric Anemometer, PA)를 만드는데 이용되며 이는 단순 탈수기술에 의하여 양산될 수 있으며, 여러 종류의 유체에 대하여 장비의 특성이 연구되어 왔다.⁽⁴⁾

1974년경부터 유량센서 제조에 실리콘이 사용되기 시작하였으며⁽²⁾ 이는 동일한 설비를 이용한 대량생산 및 단일 소자에 센서와 신호처리 회로를 결합할 수 있는 가능성으로 인하여 유량센서 제조에 많이 사용되고 있다. 센서로부터 유체로의 총열손

실에 기초한 많은 실리콘 센서가 이미 개발되었으나 응답 시간과 측정의 정확도 등에 관한 많은 문제들이 또한 해결되어야만 할 것이다. 특별한 장착 기술은 총열손실을 상당히 줄여 주었고, 그 결과 응답 시간도 상당히 줄었다.⁽⁶⁾ 또한 표준화된 재료와 공정의 사용으로 저가이며 신뢰도가 높은 센서를 대량생산할 수 있었고, 단일소자 회로에 신호처리 및 에러 보상 기능의 집적화가 가능하였다.

이러한 소형화된 유량센서는 화학물질 또는 반도체 제조, 건물의 공기조화, 내연기관 또는 노의 흡배기 가스 유체속도 측정 등 많은 분야에서 사용될 수 있으며 보다 정확하고 소형화된 유량센서의 개발은 산업의 발전을 위하여 꼭 필요한 것이다. 실리콘을 이용한 유량센서는 사용되는 열 공급방식이 부가의 비전기적인 부분이 필요하지 않고 완전한 집적화를 할 수 있는 방식으로 개발의 필요성이 대두되었으며, 유량센서 개발을 위한 유동 및 열전달에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 유량센서 개발을 위한 연구의 초기 단계로 유량센서 즉 실리콘 브리지를 형성된 장애물 주위를 유체가 유동할 때의 유동 및 열전달 특성을 규명하고, 두 브리지 아암 사이의 온도 차이가 출력 신호로 변환되는 실리콘 브리지를 사용한 유량센서의 최적설계의 기본 자료를 제공하는데 있다. 이를 위하여 입구 유동장의 속도, 아암에서의 발열량, 브리지 아암 사이의 거리 등을 주요 인자로 하여 브리지 아암 주위의 유동장과 온도장을 수치적으로 해석한다.

2. 이론 해석

2.1 모델 및 지배 방정식

고온의 센서 표면이 상대적으로 저온인 유동에 노출되면 센서에서 유체로의 열이 전달되어 센서의 온도가 변화하게 된다. 열유동센서 작동의 일반적인 방식은 일정한 온도로 유지되는 센서의 열손실을 측정하고, 이 열손실로부터 유동의 주요인자들인 속도, 유량, 또는 벽전단응력 등을 구하는 것이다. 속도가 u 인 자유 유동장에 가열된 물체가 놓여지면 층류경계층 이론으로부터 대류 열전달은 자유유동 속도 $u^{1/2}$ 에 비례한다.⁽⁸⁾ 실제로는 유동이 전혀 없어도 자연 대류와 전도에 의하여 주위로의 열전달은 존재한다. 따라서 유속과 열손실과의 관계는 King의 법칙으로 알려진 다음의 경험적인 식

으로 표현된다.

$$\frac{P}{\Delta T} = C_1 + C_2 u^{1/2} \quad (1)$$

여기서 P 는 센서에서 방출되는 동력이고, ΔT 는 센서와 유체의 온도차이다. C_1 과 C_2 는 센서의 형상과 비열, 밀도, 점성, 전도열전달계수 등의 유체의 특성에 의존하는 상수들이다. 센서의 전자부는 센서에 열을 공급하고 열손실로부터 열전달계수 $P/\Delta T$ 를 정확히 계산하는 일을 한다.

본 연구에서 선정된 모델은 Fig. 1에 도시한 바와 같이 실리콘 다이아프램에 제작된 브리지가 공기 유동장에 놓여 있는 것이다. 교류 전압은 브리지 아암이 일정한 열유속(heat flux)을 발생하게 하고, 이 열유속은 각각의 브리지 아암에서 교류 전류를 발생시킨다. 이 미소한 신호는 두 브리지 아암 사이의 온도 차이에 비례한다. 만일 유체가 흐르지 않을 때는 이 신호도 영이 되며, 유체가 흐르기 시작하면 이 신호는 잘 알려진 것처럼 자유유동 속도의 제곱근에 비례할 것이다.⁽⁶⁾ 이때 유동장의 온도는 상류 쪽의 브리지 아암과의 열교환으로 초기 입구 온도보다 약간 상승한다. 하류 쪽의 브리지 아암은 이미 온도가 약간 상승된 유동장과 열교환을 하기 때문에 하류 쪽의 브리지 아암은 열손실이 적어져서 상류 쪽의 아암보다 온도가 높게 된다. 이 온도차에 의하여 미소의 전위차가 발생되고, 전위차를 증폭 장치를 이용하여 증폭시켜서 유량 및 유속을 구하게 된다.

본 연구에서는 공기는 연속체로 취급하였고, 압축성이고 상태량은 온도의 변화가 상태량의 변화에 미치는 영향이 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 상수로 가정하였다.

상류 쪽과 하류 쪽에 위치한 브리지 사이의 온도

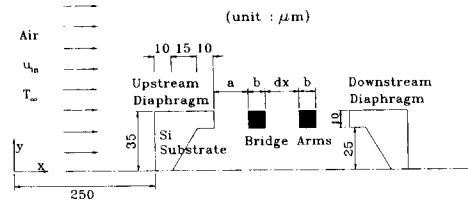


Fig. 1 Schematic diagram of a Silicon flow sensor

차가 본 연구에서는 특히 중요하므로 브리지 내부의 온도를 구해야 한다. 브리지 내부에는 일정한 발열량을 갖는 열원이 존재하고, 공기와 브리지 사이의 경계면에서 적절한 조화를 이루면서 브리지에서의 전도와 공기에서의 대류가 모두 고려되어야만 하는 혼합 열전달(conjugated heat transfer)문제이므로 이들 두 상(유체와 고체)의 에너지 보존방정식으로부터 각각의 온도를 동시에 구해야 한다. Fig. 1의 모델에 대하여 유도된 층류 정상상태 2차원 유동에 대한 지배방정식은 대류항과 확산항, 생성항을 갖는 다음과 같은 일반적인 전달방정식으로 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) + S \quad (i=1, 2) \quad (2)$$

각 전달방정식에 대한 변수들은 아래의 Table 1에 정리되어 있다.

2.2 경계조건

본 해석에서 채택한 경계조건들은 입구와 대칭축에서 멀리 떨어진 곳에서는 자유유동(Free stream) 조건을, 그리고 대칭축에서는 대칭축에 수직방향 속도 v 를 제외한 모든 변수에 대하여 대칭축에 수직인 방향으로의 변화를 영으로 하는

Table 1 The general form of terms in equation for Φ

Equation	Φ	Γ	S
Continuity	1	0	0
x-Momentum	u	μ	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \frac{\partial p}{\partial x}$
y-Momentum	v	μ	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\partial p}{\partial y}$
Energy (Fluid phase)	T	k/C_p	0
Energy (Solid phase)	T	k	\dot{q}_{gen}

Neumann 형의 경계조건을 주었고 수직방향 속도 성분은 영으로 주었다. 한편 출구에서는 입구에서 유입된 유량과 같아지도록 주축방향 속도 u 를 결정하였고, 출구가 센서 하류 쪽으로 충분히 멀리 위치해 있어서 온도는 축 방향으로 더 이상 변화가 없는 조건을 주었다. 센서 표면에서는 미끄러짐이 없는 조건을 주었다. 이상의 경계조건들을 수식으로 표시하면 아래와 같다.

- 입구 ($x=0, 0 < y < y_{\infty}$)

$$u = u_{in}, v = 0, T = T_{\infty} \quad (3)$$

- 대칭축 ($0 < x < L, y = 0$)

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y} = 0, v = 0 \quad (4)$$

- 자유유동부 ($0 < x < L, y = y_{\infty}$)

$$u = u_{in}, v = 0, T = T_{\infty} \quad (5)$$

- 출구 ($x=L, 0 < y < y_{\infty}$)

$$\int \rho \cdot u \cdot dA = \dot{m}_{in}, v = 0, \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

- 브리지 아암

$$u = 0, v = 0, S_T = \dot{q}_{gen} \quad (7)$$

- 다이아프램

$$u = 0, v = 0, S_T = 0 \quad (8)$$

2.3 수치해석

앞에서 유도한 지배방정식들은 타원형(Elliptic type)의 방정식이므로 적절한 수치해석 방법을 택해야 한다. 유동장 계산에는 잘 알려진 유한 체적법이 채택되었다. 격자망은 변수값의 변화가 심한 곳과 브리지 아암 주위의 해석을 자세히 하기 위하여 아암 주위는 조밀하게 하였다. 유한 차분격자망은 속도장이 정확히 계산되게 하기 위해 비틀린 격자계를 사용한 사각형 검사체적으로 구성되었다. 검사면에서의 평균 운동량 보존을 만족하는 유체의 속도로부터 검사면을 지나는 유량을 계산하였고, 압력은 검사체적의 가운데에 저장된 속도 값이 질량보존을 만족하도록 계산되었다. 이러한 방법은 압력장과 속도장이 진동하는 것을 방지해 주고,⁽⁹⁾ 검사면의 중심 사이의 압력과 운동량의 실제적인 변화를 잘 나타내 준다. 모든 전달방정식은 검사체에 대하여 적분한 후 QUICK Scheme을 이용하

여 이산화하였다. 이 계산법에서는 세 개의 검사면 중심값을 이용하여 2차 정확도로 내삽법에 의하여 검사면의 값을 계산한다.

유도된 이산화 방정식을 경계조건과 함께 풀기 위하여 SIMPLE 계산법을 적용하였다.⁽⁹⁾ 이 과정에서 변수의 급격한 변화는 발산의 원인이 되는 경우가 있으므로 계산시 적절한 이완인자를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 수치적인 해를 얻기 위하여 자유유동장은 300 K의 공기를 택하였고 브리지 아암과 다이아프램의 재료는 실리콘을 택하였으며, 1기압 300 K에서 공기의 밀도(ρ_{air})=1.1774 kg/m³이고, 점도(μ_{air})는 19.83×10⁻⁶ kg/m·sec이며 다른 물리적 상태량은 Table 2에 나타나 있다.

입구 속도와 발열량에 따른 브리지 아암의 온도차를 계산하기 위하여 중요 변수로는 입구에서의 공기의 속도, 브리지 아암의 발열량, 브리지 아암 사이의 거리 및 브리지 아암의 폭을 택하였으며 이들의 변화에 따른 유동 및 두 브리지 아암의 온도변화를 고찰하였다. 또한 단일 변수의 영향을 고려하기 위하여 입구에서의 공기 속도가 2.0 m/s이고 실리콘 브리지 아암의 발열량이 1.0×10⁹ W/m³, 브리지 아암 사이의 거리가 20 μm일 때를 기준상태로 하였다. 상류 쪽 다이아프램과 상류 쪽 브리지 아암 사이의 거리 a 는 20 μm, 브리지 아암의 폭 b 는 10 μm로 모든 경우에 대하여 고정시켰다.

Fig. 2는 기준 상태에서 유동장의 속도 벡터를 도시한 것이다. 입구에서 주어진 자유유동의 속도에서 상류 쪽의 다이아프램에 가까이 감에 따라 속도가 서서히 감소하기 시작하여 대칭축에서는 정체(Stagnation)를 보이고 다른 부분에서는 아암을 돌아서 흐르기 위하여 대칭축에 가까울수록, 또 장애물에 가까울수록 속도 성분이 작아짐도 알 수 있

Table 2 Properties of Air and Silicon^(10,11)

	Air	Silicon (Si)
Specific Heat (kJ/kg · K)	1.0057	0.7
Conductivity (W/m · K)	0.02624	150.0

$u_{in}=2.0\text{m/s}$, $Q_{gen}=1.0\times 10^9\text{W/m}^3$, $dx=20\mu\text{m}$, $b=10\mu\text{m}$

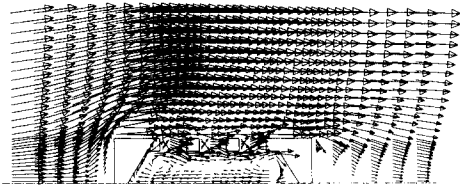


Fig. 2 Velocity vector fields around the sensor

다. 센서 형상의 급격한 변화로 인하여 다이아프램과 아암 사이, 두 아암 사이 그리고 브리지 아암의 아래, 하류 쪽 다이아프램을 지난 후 등의 여러 곳에서 내부순환 유동영역이 존재한다. 이러한 복잡한 유동 현상은 유체와 브리지 아암 또는 다이아프램 간의 열전달 특성에 영향을 미칠 것이다. 입구에서의 유체속도가 증가되면 내부순환 유동의 양상도 바뀌게 되어 브리지 아암으로부터의 열전달량도 달라지게 될 것이다. 또 센서 위의 유동은 센서롤 하나의 장애물처럼 인식하여 경계층내의 속도분포와 비슷한 양상을 보인다.

Fig. 3은 기준 상태일 때 주유동 방향의 여러 위치에서 y 방향 온도 분포를 도시한 것이다. (a)는 상류 쪽 다이아프램에서의 온도분포로서 입구에서 접근해 오는 저온의 유체로의 열손실에도 불구하고 다이아프램과 상류 쪽 브리지 아암 사이의 내부순환 유동과 브리지 아암 하부의 내부순환 유동에 의해 열이 전달되어 내부에서 발열되지 않아도 유체보다 온도가 높아진다. (b)는 상류 쪽에 위치한 아암의 온도분포를 나타낸 것으로 아암 내부에서는 열전도율(thermal conductivity)이 크고 계속 일정한 열 발생이 있으므로 상류 쪽에 위치한 다이아프램이나 유동장의 온도보다 높다. (c)는 하류 쪽 아암에서의 온도분포로서 상류 쪽 아암으로부터의 열전달에 의해 공기 유동장의 온도가 약간 상승하였으므로 하류 쪽 아암은 상류 쪽 아암보다 열손실이 적어져서 상류 쪽 아암보다 온도가 약간 높고, 대칭축에서 멀어질수록 점진적으로 자유유동 온도로 변화한다. 또한 브리지 아암과 다이아프램의 아래 쪽에는 Fig. 2에서 언급한 것처럼 내부순환에 의해 아암 또는 다이아프램의 위쪽보다 온도가 높게 나타난다. (d)는 하류 쪽 다이아프램에서의 온도분포를 나타낸 것으로 열원이 없음에도 불구하고 상류 쪽의 다이아프램보다 온도가 높게 나타난다. 이것은 이미 온도가 높아진 유체로부터의 열교환과

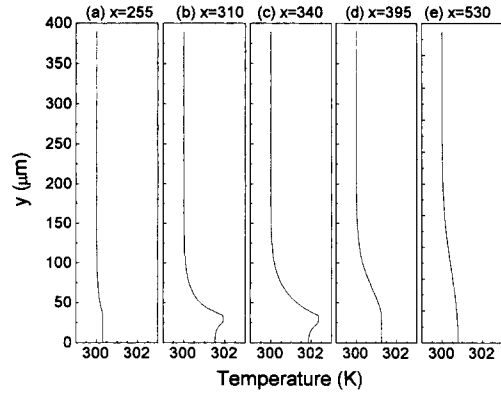


Fig. 3 Temperature distribution at various location in the main flow direction

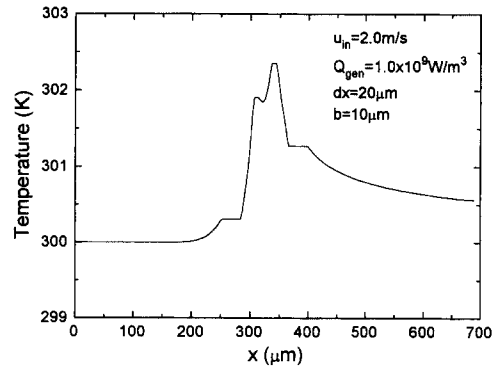


Fig. 4 Temperature distribution along the main flow direction

열원 아래 쪽에서 발생된 비교적 고온의 내부순환 영역의 영향 때문이다. 마지막 (e)는 계산 영역의 출구 부분에서의 온도분포로서 유동에 의한 대류 열전달과 확산에 의한 열전달로 대칭축에서 먼 곳까지 온도가 입구에서 주어진 온도보다 약간 상승하였다. 센서에 의하여 온도가 자유유동 온도에서 변한 영역들을 주유동 방향을 따라 연결하면 마치 평판 위에 생긴 열 경계층과 비슷한 모습을 보일 것이다.

Fig. 4는 기준 경우에 대한 것으로서 두 아암이 위치한 높이 ($y=30\mu\text{m}$)에서의 주유동 방향 온도분포를 도시한 것이다. 두 브리지 아암에서의 온도의 피크와 다이아프램에서의 평탄한 온도분포를 관찰할 수 있다. 하류 쪽 아암의 온도가 더 높은 것은 상류 쪽 아암보다 열손실이 더 작았기 때문이다. 실리콘 내부의 열저항이 유체의 열저항보다 상당히

작기 때문에 아암 내부의 온도는 일정하게 유지된다. 두 아암 사이에서는 열원이 없으므로 온도가 감소하다가 하류쪽 아암에서 발생한 열로 인해 다시 온도가 증가된다. 하류 쪽 실리콘 브리지 아암에서는 상류 쪽의 브리지 아암에서와 같은 이유로 일정한 온도가 유지된다. 그러나 상류 쪽 아암의 대류와 전도에 의한 열전달로 유동장의 온도가 이미 상승되어 하류 쪽의 아암으로부터 유동장으로 열전달에 의한 손실이 작아지므로 하류에 위치한 다이아프램의 온도가 상류에 위치한 다이아프램의 온도보다 약간 높게 나타났고, 더 하류로 진행하면서 주위로의 대류 및 확산에 의하여 서서히 온도가 감소한다.

Figs. 5, 6과 7은 아암의 발열량이 $1.0 \times 10^9 \text{ W/m}^3$, 아암 사이의 거리가 $20 \mu\text{m}$ 이고 아암의 폭이 $10 \mu\text{m}$ 일 때의 입구 유동속도를 변화시킨 경우로서 이들 중 Fig. 5는 브리지 아암이 위치한 높이 ($y=30$

μm)에서 입구 속도 변화에 따른 온도분포들을 비교 도시한 것이다. 입구 유입 속도가 증가함에 따라 두 브리지 아암을 포함한 전 영역의 온도가 동시에 감소함을 알 수 있다. 또한 상류에 위치한 브리지 아암의 온도변화율이 하류의 아암보다 크게 나타난다. 그러므로 두 아암의 온도차이는 자유유동 속도가 증가할수록 크다는 사실을 알 수 있다. 이 온도의 차이는 유량 센서의 민감도에 대한 척도이다. Figs. 6과 7은 각각 입구 공기 유입 속도 변화에 따른 두 아암의 온도와 온도차이를 도시한 것이다. 입구 유동 속도가 증가함에 따라 유체의 대류 열전달이 증가하여 아암에서의 온도는 낮아진다. 그러나 온도차이는 입구 유동장의 속도가 클수록 커지지만 어느 정도의 값이 되면 증가 폭이 둔화되는 것을 알 수 있다. 따라서 측정할 수 있는 유체의 속도에는 범위가 존재하게 된다.

Figs. 8, 9, 10은 입구 유동속도가 2.0 m/s , 아암

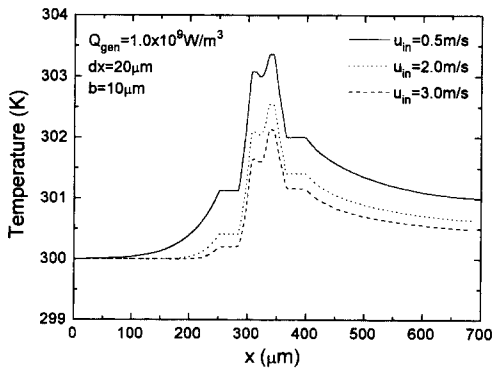


Fig. 5 Temperature distributions along the main flow direction for various inlet fluid velocity

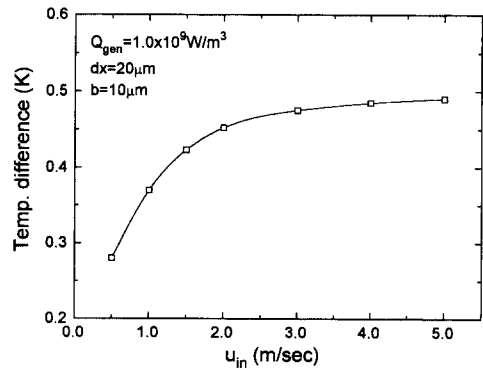


Fig. 7 Variation of temp. difference of bridge arms with inlet fluid velocity

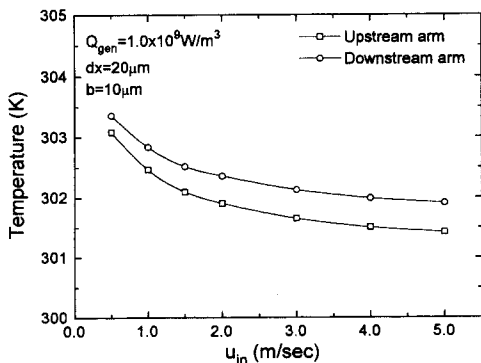


Fig. 6 Variations of temperature of bridge arms with inlet fluid velocity

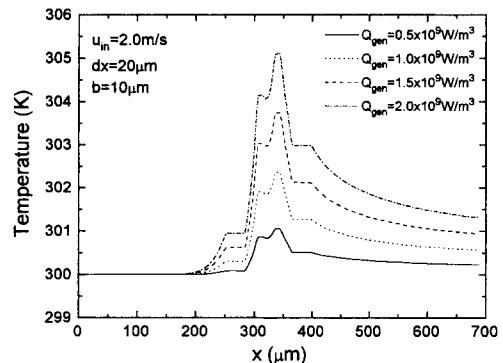


Fig. 8 Temperature distributions along the main flow direction for various heat generation rate

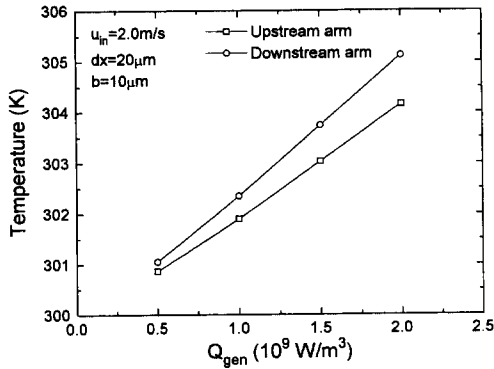


Fig. 9 Variations of temperature of bridge arms with heat generation rate of bridge arm

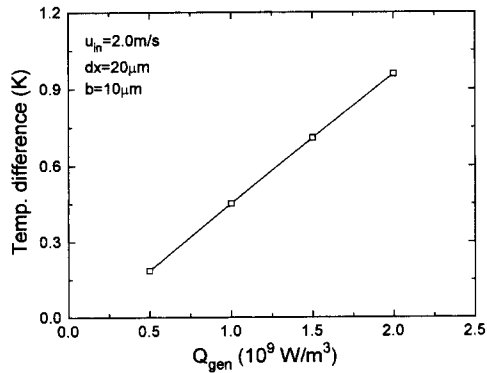


Fig. 10 Variation of temp. difference of bridge arms with heat generation rate of bridge arm

사이의 거리가 $20 \mu\text{m}$ 및 아암의 폭이 $10 \mu\text{m}$ 이고 단지 아암의 발열량이 변화할 때의 결과들이다. Fig. 8은 발열량의 변화에 대한 주유동방향의 온도 분포를 비교 도시한 것으로서 전체적인 경향은 기준 경우와 같으며, 발열량이 증가할수록 아암의 온도가 높아지며 온도차 또한 커짐을 보여준다. Fig. 9는 발열량의 변화에 따른 상류와 하류에 위치한 아암의 온도변화를 도시한 것으로 발열량이 증가하면 아암의 온도는 거의 선형적으로 증가하며 하류 쪽 아암의 온도 증가율이 상류 쪽에 위치한 아암의 온도 증가율보다 큼을 알 수 있다. Fig. 10은 발열량의 변화에 따른 두 아암간의 온도차를 도시한 것으로 발열량이 증가하면 온도차 또한 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 유체의 유량이 고정되었으므로 유체가 흡수할 수 있는 열용량은 거의 변화가 없지만 아암에서 발생하는 열량이 증가하므로

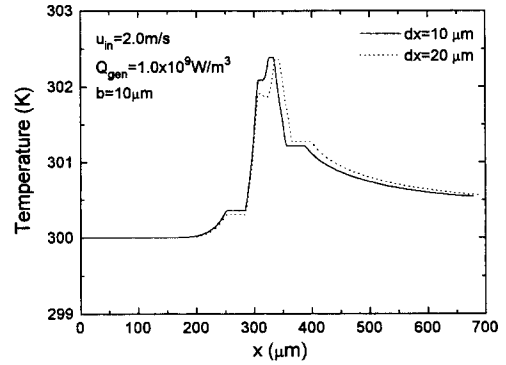


Fig. 11 Temperature distributions along the main flow direction for various distance between the bridge arms

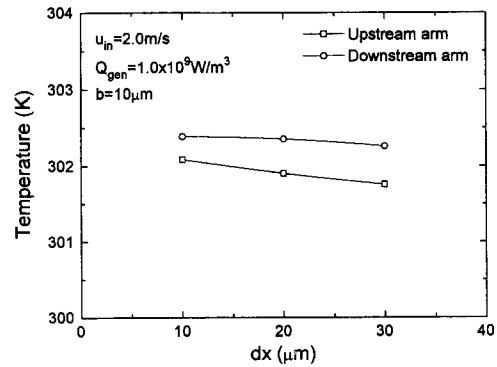


Fig. 12 Variations of temperature of bridge arms with the distance between bridge arms

온도가 증가하고 온도차 또한 증가하는 것으로 해석된다.

Figs. 11, 12와 13은 입구 유체속도가 2.0 m/s , 실리콘 아암의 발열량이 $1.0 \times 10^9 \text{ W/m}^3$, 브리지 아암의 폭이 $10 \mu\text{m}$ 일 때 브리지 아암 사이의 거리를 변화시켜 얻은 결과를 도시한 것들이다. Fig. 11은 두 브리지 아암 사이의 거리 변화에 따른 주유동 방향 온도 분포를 비교 도시한 것으로서 전체적인 온도분포의 경향은 기준의 경우와 같으나 아암 사이의 거리가 증가하면 상류에 위치한 아암의 온도가 하류의 아암보다 온도가 낮아진다. 따라서 아암 사이의 간격이 커짐에 따라 두 아암의 온도차이는 오히려 커진다. 이것은 상대적으로 고온에 있는 하류의 아암이 거리가 멀어짐에 따라 내부순환 유동 등에 의한 상류의 아암에 끼치는 영향이 작아지기 때문인 것으로 판단된다. Figs. 12와 13은 거

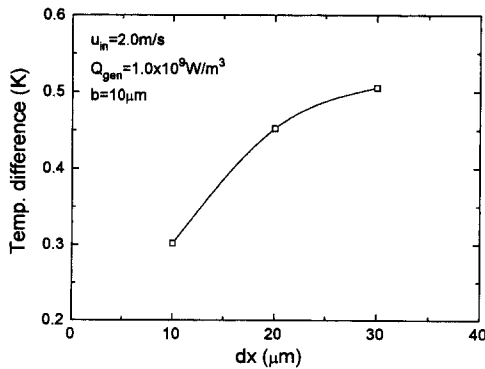


Fig. 13 Variation of temp. difference of bridge arms with distance between the bridge arms

리 변화에 따른 브리지 아암의 온도와 온도차이를 도시한 것이다. 두 아암 사이의 거리가 멀어짐에 따라 두 아암의 상호 영향이 약화되고, 내부순환 영역을 포함한 유동양상이 변하게 된다. 따라서 브리지 아암의 온도는 감소하고 온도차이는 두 아암 사이의 거리가 멀어질수록 증가하나 증가율은 감소한다. 이것으로부터 두 열원 사이의 거리를 증가시킴으로써 더 큰 온도차이를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

실리콘을 사용한 소형 유량 센서 개발에 필요한 열유동 자료를 제공하기 위하여 2차원 유량 센서 모델 주위의 유동장 및 온도장을 자유유동 속도, 브리지 아암에서의 발열량과 브리지 아암 사이의 거리 등을 주요인자로 한 수치해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 공기의 온도는 입구온도에서 상류 쪽의 실리콘 브리지 아암의 온도까지 급격히 증가되고, 대류 및 전도에 의한 열전달로 인해 상류 쪽의 유동장의 온도가 어느 정도 상승하였으므로 하류 쪽에 있는 아암은 상류 쪽보다 열손실이 적어져서 하류 쪽의 브리지 아암의 온도가 높게 나타났고, 더 하류로 갈수록 열원이 없으므로 에너지는 주유동 방향 및 주유동에 수직인 방향으로 확산되어 서서히 감소된다.

② 입구 유입공기의 속도가 커질수록 두 브리지 아암 사이의 온도차이는 증가하고, 공기 속도가 어느 정도 커지면 온도차이의 증가는 둔화된다.

③ 브리지 아암 내부에서의 발열량이 증가할수록 온도의 차이가 거의 선형적으로 증가된다.

④ 아암 사이의 거리가 증가함에 따라 온도차이는 증가하고 그 증가 폭은 둔화된다.

참고문헌

- (1) Martino, F. S. and McMall, P. E., 1971, "A Thermistor Anemometer for the Measurement for Very Low Air Velocities," *Rev. Scient. Instrum.* Vol. 42, No. 5, pp. 606~700.
- (2) Van Putten, J. F. P. and Middlehoek, S., 1974, "Integrated Silicon Anemometer," *Electronics Letts.*, Vol. 10, No. 21, pp. 425~430.
- (3) MacHattie, E., 1979, "The Transistor as an Anemometer," *J. Phys. E.*, pp. 12~15.
- (4) Rahnamai, H. and Zemel, J. N., 1981/82, "Pyroelectric Anemometers: Preparation and Flow Velocity Measurements," *Sensors and Actuators*, Vol. 2, pp. 3~16.
- (5) King, L. V., 1914, "On the Convection of Heat from Small Cylinder in a Stream of Fluid: Determination of the Convection Constants of Small Platinum Wires with Application to Hot-wire Anemometry," *Phil. Trans. Roy. Soc.*, A214.
- (6) Van Putten, A. F. P., 1983, "An Integrated Silicon Double Bridge Anemometer," *Sensors and Actuators*, Vol. 4, pp. 387~396.
- (7) Van Oudheusden, B. W. and Huijsing, J. H., 1989, "Integrated Silicon Flow-Direction Sensor," *Sensors and Actuators*, Vol. 16, pp. 109~119.
- (8) Schlichting, H., 1979, *Boundary Layer Theory*, 7th ed., McGraw-Hill, New York, pp. 286~288.
- (9) Suhas V. Patankar, 1980, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York.
- (10) Kuzman Raznjevic, 1976, *Handbook of Thermodynamic Tables and Charts*, Hemisphere Publishing Corporation, McGraw-Hill, New York.
- (11) Holman, J. P. 1992, *Heat Transfer*, 7th ed., McGraw-Hill, New York.
- (12) Wachutka, G., Lenggenhager, R., Moser, D. and Baltes, H., 1991, "Analytical 2D-Model of

- CMOS Micromachined Gas Flow Sensors,” *IEEE*, pp. 22~25.
- (13) Stephan, C. H. and Zanini, M., 1991, “A Micromachined, Silicon Mass-Air-Flow Sensor For Automotive Applications,” *IEEE*, pp. 30~33.