열운송방정식을 이용한 마이크로 흐름센서의 온도특성 해석

Temperature Property Analysis of Micro Flow Sensor using Thermal Transfer Equation

동서대학교 인터넷공학부

2005년 5월 27일

김태용·정완영

2005년도 한국해양정보통신학회
춘계학술대회

발표 순서

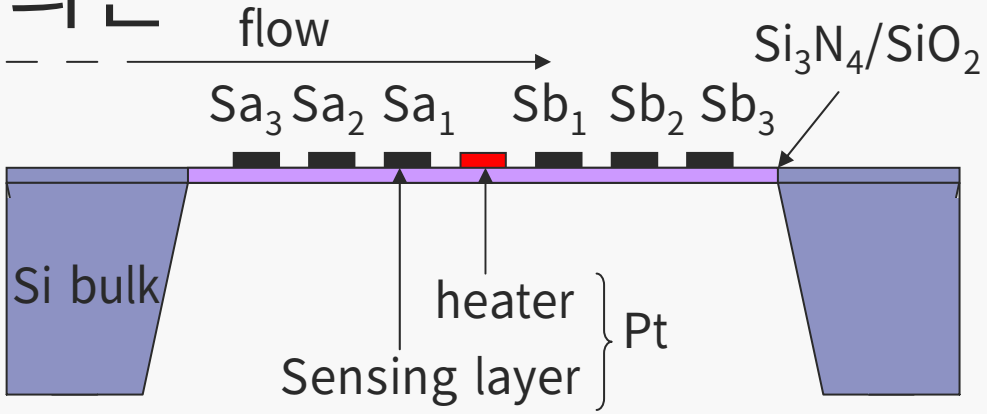
- 서론
- 마이크로 흐름 센서
- 열운송방정식
- 차분법을 이용한 정식화
- 수치 모델과 시뮬레이션 조건
- 수치해석 결과
- 결론 및 향후 방향

서론

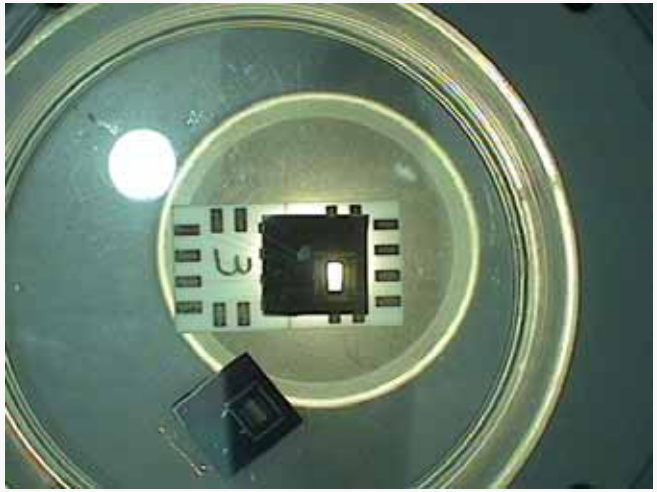
- 집적회로 공정기술과 마이크로머시닝 기술의 결합으로 초소형 센서 구성 가능
- 저전력, 다차원화, 지능화, 시스템화 가능
- 산화물 반도체 감지막이 동작온도에 따라 감응 특성이 달라지는 특성을 이용/응용
- 하나의 히터와 양측에 3쌍의 온도 감지막을 가지는 마이크로 흐름 센서 제작
- 온도 검지 특성 파악을 위해 시간영역에서의 차분법을 이용하여 정량적으로 평가

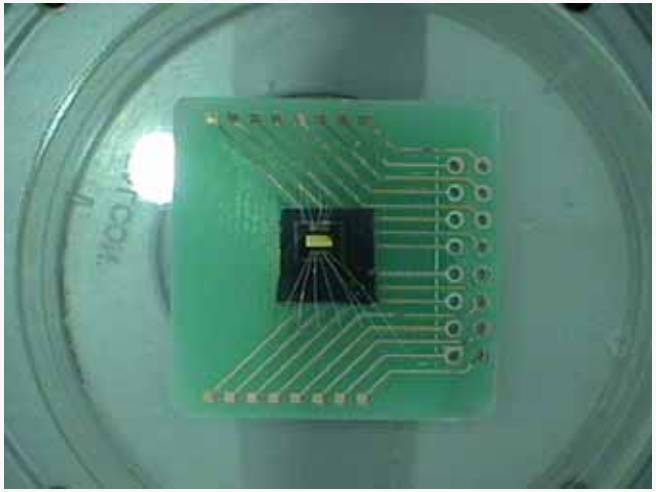
마이크로 흐름센서

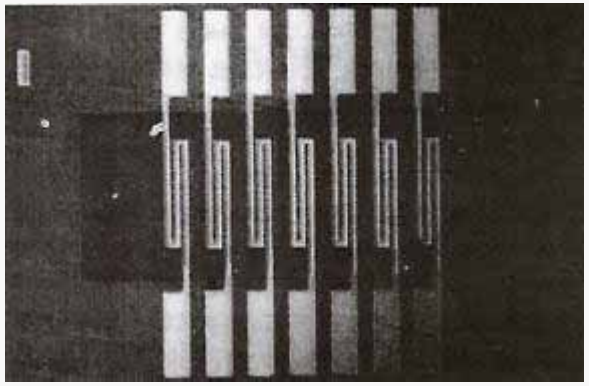
- 가스/액체 등의 흐름측정(속도, 시간 등)이 가능
- 기존 구조 – 하나의 히터와 한 쌍의 온도 감지막 이용(넓은 흐름대역에 대응 불가)
- 특성 - 센서의 기하학적 구조, 히터, 절연물 배치 방법에 의존



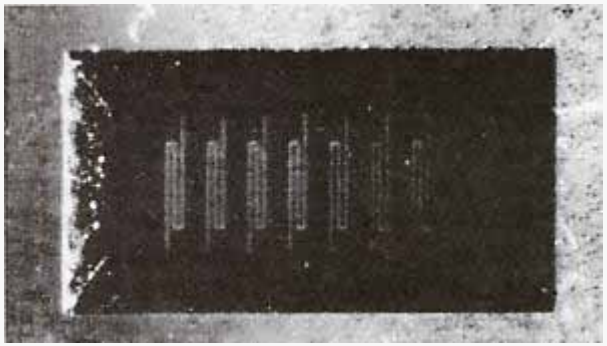
제작된 마이크로 흐름 센서







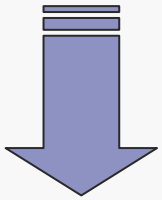
Top view



Bottom side

Thermal Transfer Equation

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial (uT)}{\partial x}+\frac{\partial (vT)}{\partial y}-\alpha_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}-\alpha_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}=0$$



선형화

$$\frac{\partial T}{\partial t}+u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}-\alpha_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}-\alpha_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}=0$$

Convection terms

Diffusion terms

Thermal Transfer Equation
- 차분알고리즘

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_{j,k}^{p+1} - T_{j,k}^{p}}{\Delta t}$$

$$u\frac{\partial T}{\partial x} = u\frac{T_{j+1,k}^{p} - T_{j-1,k}^{p}}{2\Delta x}$$

$$v\frac{\partial T}{\partial y} = v\frac{T_{j,k+1}^{p} - T_{j,k-1}^{p}}{2\Delta y}$$

$$\alpha_x\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \alpha_x\frac{T_{j-1,k}^{p} - 2T_{j,k}^{p} + T_{j+1,k}^{p}}{\Delta x^2}$$

$$\alpha_y\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \alpha_y\frac{T_{j,k-1}^{p} - 2T_{j,k}^{p} + T_{j,k+1}^{p}}{\Delta y^2}$$

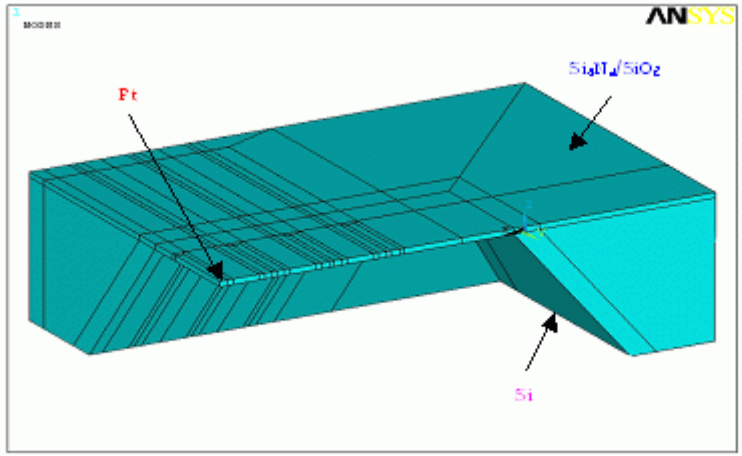
$$T_{j,k}^{p+1} = (S_x + 0.5C_x)T_{j-1,k}^{p} + (S_x - 0.5C_x)T_{j+1,k}^{p} + (1 - 2S_x - 2S_y)T_{j,k}^{p} + (S_y + 0.5C_x)T_{j,k-1}^{p} + (S_y - 0.5C_x)T_{j,k+1}^{p}$$

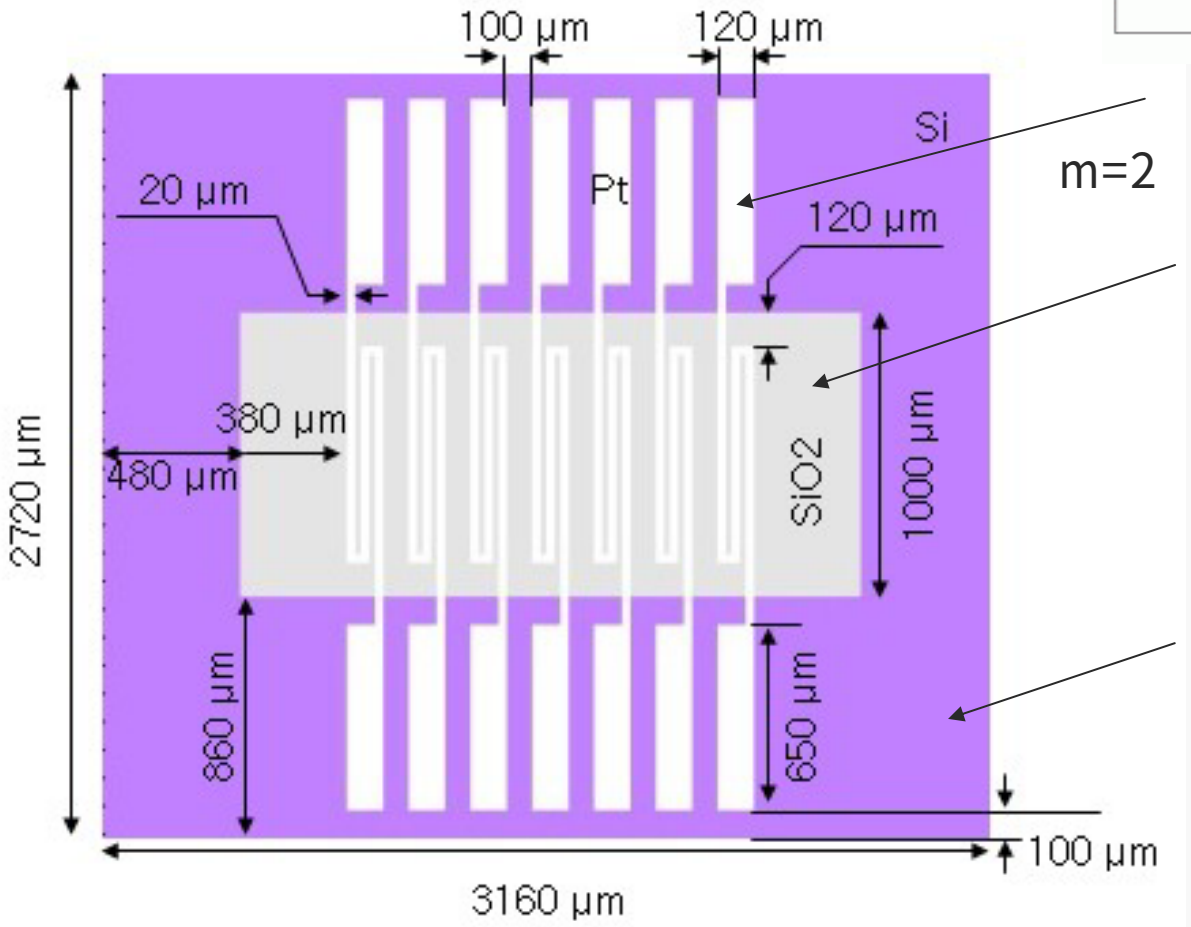
$$S_x = \frac{\alpha_x \Delta t}{\Delta x^2},\ S_y = \frac{\alpha_y \Delta t}{\Delta y^2}$$

$$C_x = \frac{u\Delta t}{\Delta x},\ C_y = \frac{v\Delta t}{\Delta y}$$

Von Neumann 안정조건: $(S_x + S_y) \le 0.5,\quad \frac{C_x^2}{S_x} + \frac{C_y^2}{S_y} \le 2$

Micro Flow Sensor





m=2

m=1
유전체 멤브레인

m=0

수치해석 조건

해석 영역	317×273 (uniform frid)
격자 크기	$\Delta x = \Delta y = \Delta l = 10\mu m$
B.C.	Direchlet 조건 (Si영역: 0°C 고정)
히터 온도	500 °C
흐름 속도	u, v = 0

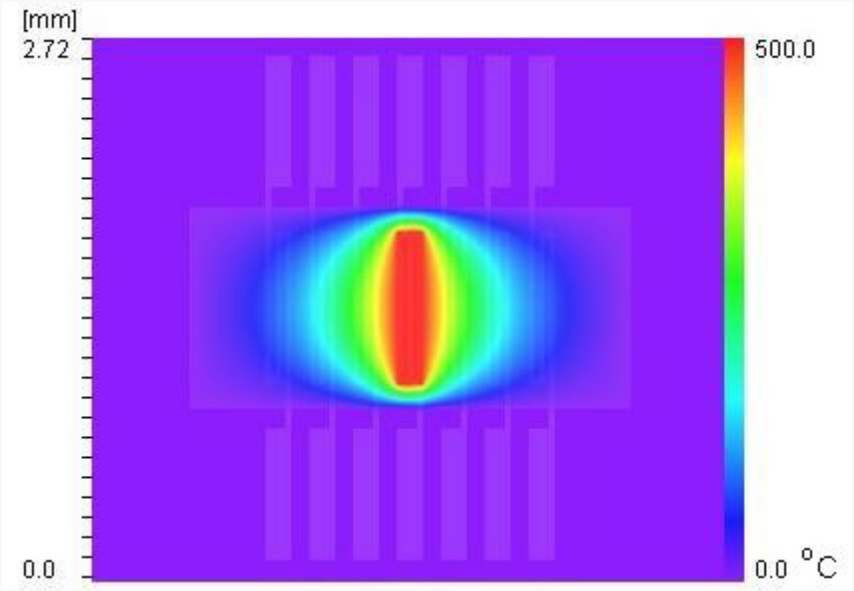
Simulation Conditions

	S_i (m=0)	S_iO_2 (m=1)	P_t (m=2)
열전도도 k	150	20	71
비중 ρ	2330	2650	21400
비열 c	702.9	753.1	130

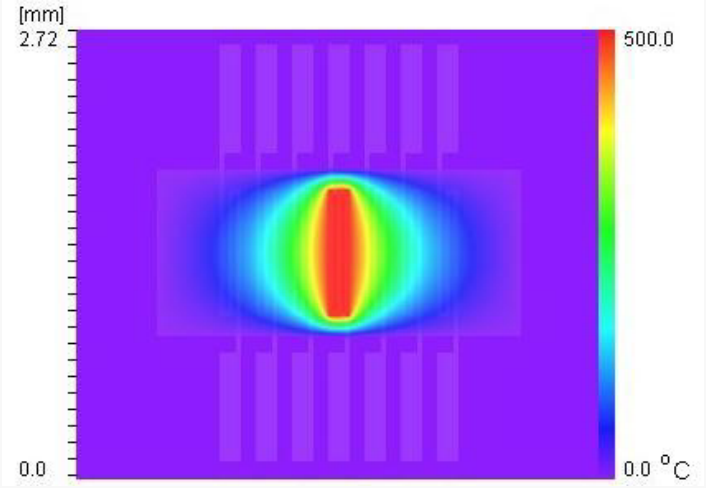
Material Constants

$$\alpha_x = \alpha_y = \alpha_m = \frac{k_m}{\rho_m c_m} \ [m^2/s]$$

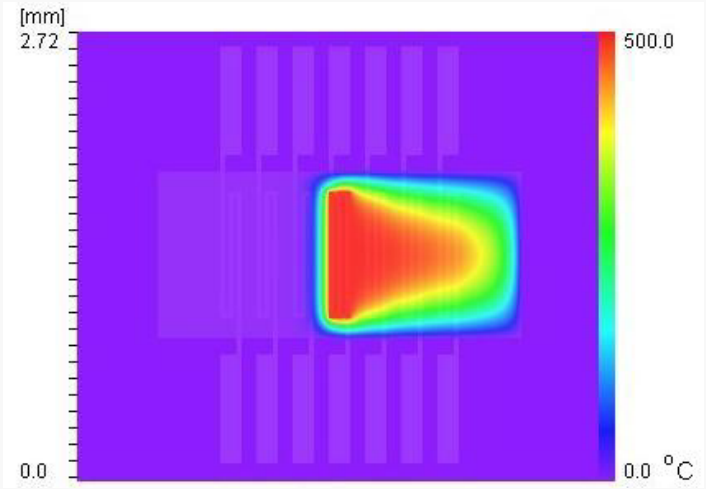
흐름이 주어진 경우 온도분포



(a) case of u=v=0.0 m/s

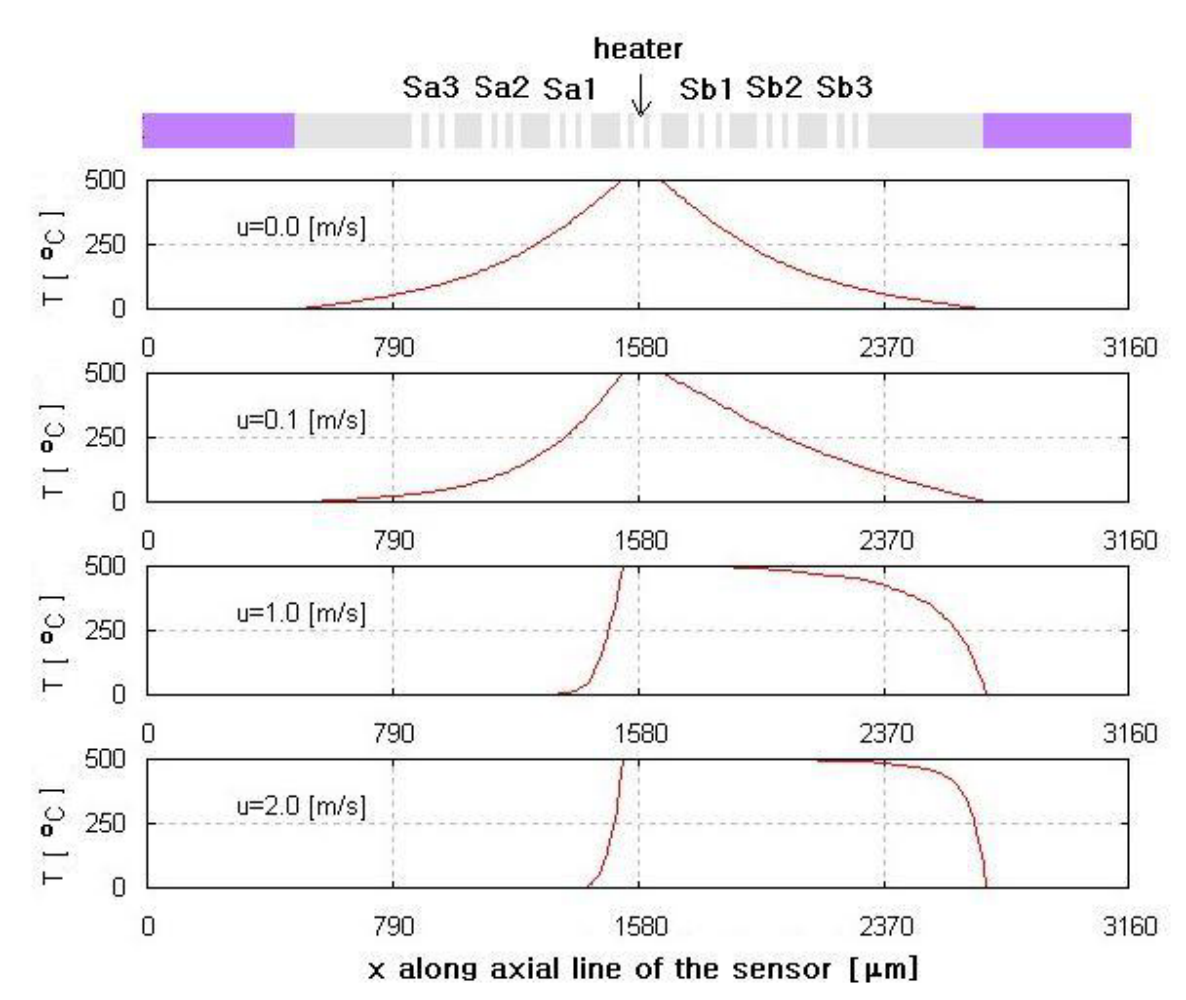


(b) u=0.01, v=0.0 m/s

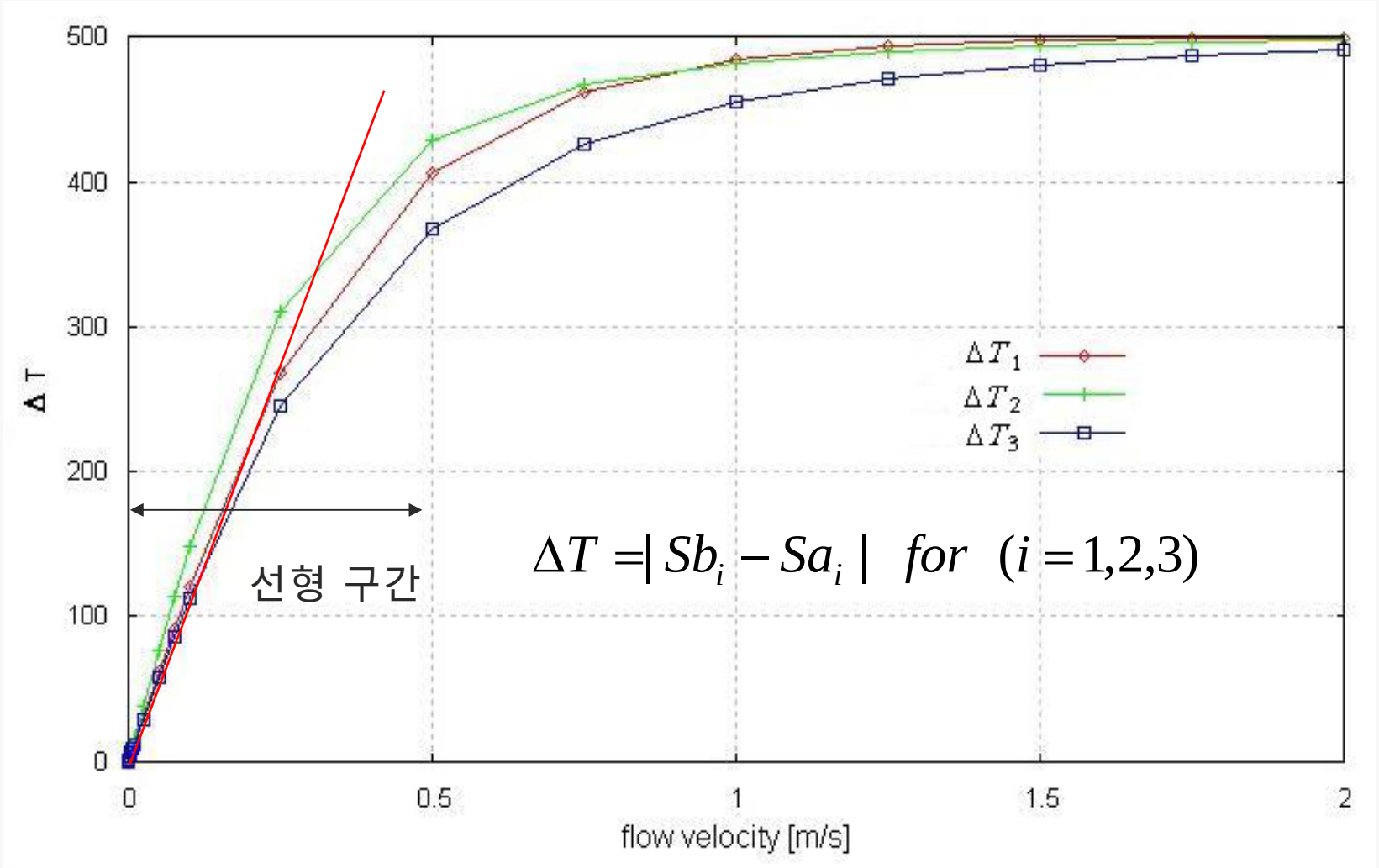


(c) u=1.0, v=0.0 m/s

센서 중심축에서의 온도 프로파일



각 감지막에서 검출된 온도차 특성



결론

- 넓은 흐름 대역에서 높은 감도를 가지는 마이크로 흐름 센서 제안
- 차분법을 이용하여 정량적 평가 시도
- 중앙에 하나의 히터와 양측에 한 쌍의 감지막을 가지는 구조보다는 넓은 흐름 대역에 대응
- 히터 공급 전력 변화에 따른 온도 감지 특성을 평가할 필요
- 3차원 해석을 통한 2차원 모델 검증
- 다양한 흐름에 대한 온도 감지특성 해석