

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 19, No. 4, 1999

평판 및 모서리형 현장열저항 측정기기 개발을 위한 Computer Simulation

강병웅*, 박승익**, 유승선***, 박효순****

- * 우송대학교 대학원
- ** 우송대학교 건축공학과 교수
- *** 한국에너지기술연구소 연구원
- **** 한국에너지기술연구소 책임연구원

Computer Simulation for Developing the Plate and Corner Type In-Situ Thermal Resistance Measuring Device

Kang Byeong-Woong*, Park Seung-Ik**, Yu Seung-Sun***, Park Hyo-Soon****

- * Graduate School Woo Song University
- ** Woo Song University
- *** Korea Institute of Energy Research
- **** Korea Institute of Energy Research

요 약

본 연구는 예비실험¹⁾에서 나타난 평판 및 모서리형 현장 열저항 측정기의 내부공기 온도편차를 줄일 수 있는 방안을 모색하기 위한 것으로 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 측정기의 크기에 따라 기기내의 온도편차는 큰 변화가 없으므로 사용과 운반이 용이한 소형이 적정하며 둘째, 방열판의 위치는 측정기 Casing을 통한 부수적인 손실열량을 최소화하기 위해 측정기 내부 표면과 이격시켜 설치하고 셋째, 방열판의 온도는 측정기내부온도가 실내온도까지 접근하는 도달시간을 고려하여 가능한 한 낮게 설정하고 넷째, 측정기 내부에 설치되는 팬은 측정기의 상부에 설치하여 기류를

하향으로 토출하며 다섯째, 방열판 앞에는 Baffle Plate를 설치하는 것이 기기내의 온도편차를 줄일 수 있는 유효한 방법임을 알 수 있었다.

Abstract

For developing a new measuring device which enables the thermal resistance at corners of the building envelope in addition to the plate wall measuring device, computer simulations were performed to clarify the problems produced during previous tests¹⁾.

For the optimum design to reduce the temperature deviation in measuring device, the specifications of the measuring devices are to be as follows :

Dimension of the device is $500 \times 500 \times 100$ mm in size, heating plate is seperated to some degree from the inner surface of the measuring device, lower temperature of heating plate is as effective as possible, fans should be located at the upper part in the measuring device and face to downward.

1. 서 론

1.1. 연구 목적

건물외피의 열저항을 측정하는 방법은 정상상태에서 측정하는 방법과 비정상상태에서 측정하는 방법이 있다.

그러나 실제건물을 대상으로 비정상상태에서 구조체의 열저항을 측정하는 것은 시간과 비용이 많이 소요되기 때문에 일반적으로 건물외피의 열저항 측정은 정상상태에서 측정하는 방법이 널리 사용되고 있다. 이처럼 정상상태에서 건물외피의 열저항을 측정하려면 건물의 특정한 부분을 선택하여 가열상자가 설치된 실험실에 측정대상을 재시공한 후 열저항을 측정한다.

그러나 열저항 측정을 위해 실험실에 재시공된 부분과 현장에 시공된 부분은 시공시의 여러 요인으로 인하여 열저항 성능에 차이를 나타낼 수 있다.

따라서 보다 정확한 건물외피의 열저항 측정을 위해서는 현장에 시공된 건물외피의 열저항값을 직접 측정하는 현장용 열저항 측정기의 개발이

필요하다.

물론, 지금까지 현장에서 건물구조체의 열저항을 측정하는 기술은 많은 진전이 있었다.

하지만, 비접촉식 기기인 Spot Radiometer나 Thermal Video System은 온도와 열유동에 대하여 순간치에 의존하는 방법이기 때문에 큰 신뢰성을 갖지 못한다고 판단된다.

반면, Potable Calorimeter나 Heat Flow Transducer는 장시간의 평균치를 이용하는 방법으로 오차가 낮아져 비교적 신뢰성이 있지만 기기의 특성을 고려하여 실측하는 것이 중요하다.

그러므로 지금까지 여러 종류의 현장용 열저항 측정기가 개발되었지만 평판형은 물론 건물구조체의 접합부 즉, 모서리에서의 열류량을 측정하여 열교로 인한 손실열량을 정량적으로 분석할 수 있는 Potable Calorimeter 형식의 측정기를 개발하고자 한다.

이를 위하여 먼저 평판형 측정기를 제작하여 예비실험을 한 결과 측정기에 사용된 방열판의 표면온도는 35°C 정도로 측정되었으며, 방열판은 측정기 내측표면과 10mm의 거리를 두고 이격시

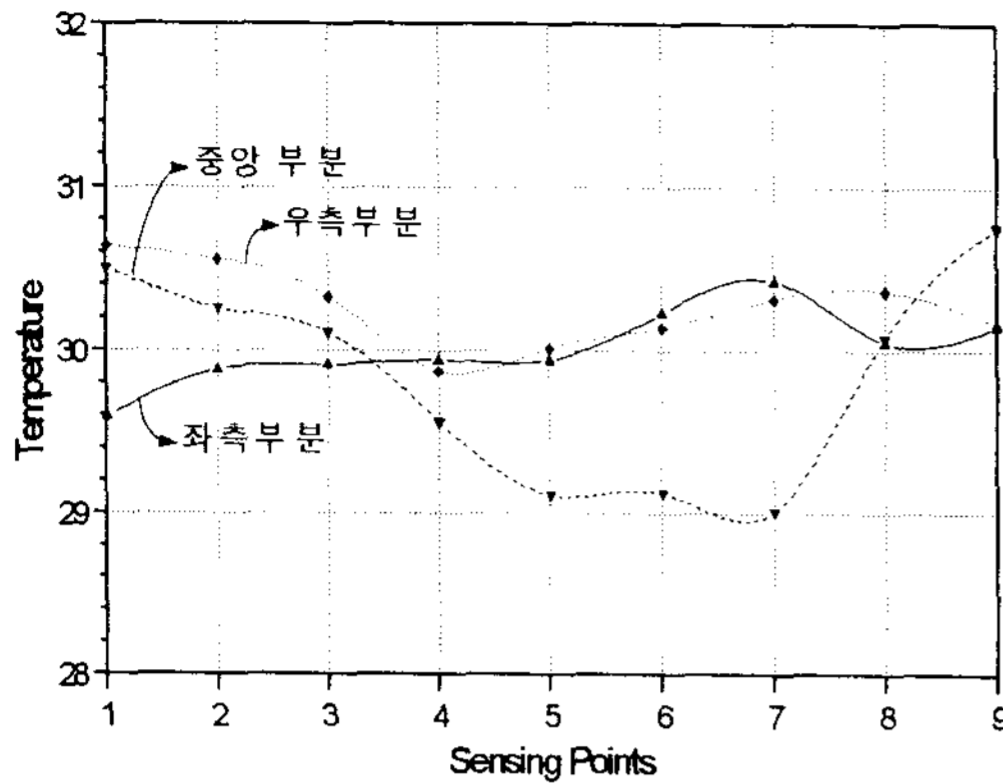


Fig. 1. Inner air temperature of 27 sensing points by experiments.

키고, 측정기 내부의 온도편차를 줄이기 위해서는 팬의 설치가 필요함을 알 수 있었다. 이를 위해 팬을 여러 형태로 설치해 본 결과, 측정기 내부 좌·우측의 중앙에 팬을 위치시키고 상·하향으로 기류를 토출하는 것이 측정기 내부공기의 온도편차를 줄일 수 있는 유효한 방법임을 알 수 있었다.

하지만 Fig.1과 같이 측정기내 27개의 지점에서 측정된 온도편차는 여전히 1.8 °C 정도로 크게 나타났기 때문에 이러한 온도편차를 줄이고자 컴퓨터 시뮬레이션을 하는 것이 본 연구의 목적이다.

1.2. 연구의 방법 및 절차

본 연구를 위해 유한체적법을 기본이론으로 하는 상용프로그램인 PHOENICS를 사용하였으며 다음과 같은 가정하에서 컴퓨터 시뮬레이션을 진행하였다.

- 1) 해석 영역에서의 열유동은 3차원, 정상상태, 비압축성 혼합대류유동
- 2) 부력항을 나타내는 밀도이외의 모든 물성치는 일정
- 3) 운동량방정식의 부력항 모델은 Density Difference의 조건을 이용

4) 복사모델은 Immersol의 조건을 이용
 먼저, 예비실험의 결과를 기초로 하여 평판형 측정기에 대해 다음과 같은 요소를 검토한 후 이를 토대로 하여 모서리형에서 특별히 검토할 요소를 판단한다.

- 1) 평판형 측정기의 크기
- 2) 평판형 측정기에 설치될 방열판의 위치
- 3) 방열판의 적정 방열온도
- 4) 팬의 설치위치와 기류 토출방향
- 5) Baffle Plate의 설치 필요성

2. 수치해석

2.1. 평판형 측정기

2.1.1. 경계조건 설정

- ① 실외경계조건: $h_o=20[W/m^2\text{ }^\circ\text{C}]$, $T_o=0[^\circ\text{C}]$
- ② 실내경계조건: $h_i=8[W/m^2\text{ }^\circ\text{C}]$, $T_i=20[^\circ\text{C}]$
- ③ 시편의 열전도율: $\lambda_{\text{sample}} = 1.37[W/m\text{ }^\circ\text{C}]$
- ④ 측정기에 사용되는 단열재의 열전도율:
 $\lambda_{\text{insul}} = 0.025[W/m\text{ }^\circ\text{C}]$
- ⑤ 중력: 9.81[N]
- ⑥ 방열판의 방사율(ϵ): 0.9
- ⑦ 측정시편의 흡수율(α): 0.9
- ⑧ 측정시편의 반사율(ρ): 0.1
- ⑨ 측정기 내부 공기의 유동상태
 측정기내부에 팬을 설치하지 않을 경우: 층류²⁾
 측정기내부에 팬을 설치할 경우: 난류
- ⑩ 평판형 측정기의 경우 해석모델의 격자분할 방법

해석모델의 격자분할은 Fig. 2, 3과 같이 비등간격으로 경계면으로 접근할수록 격자간격을 좁게 하였으며 측정기 내부의 안목치수가 변하더라도 격자수는 동일하게 $36 \times 36 \times 16$ 개로 설정하였다.

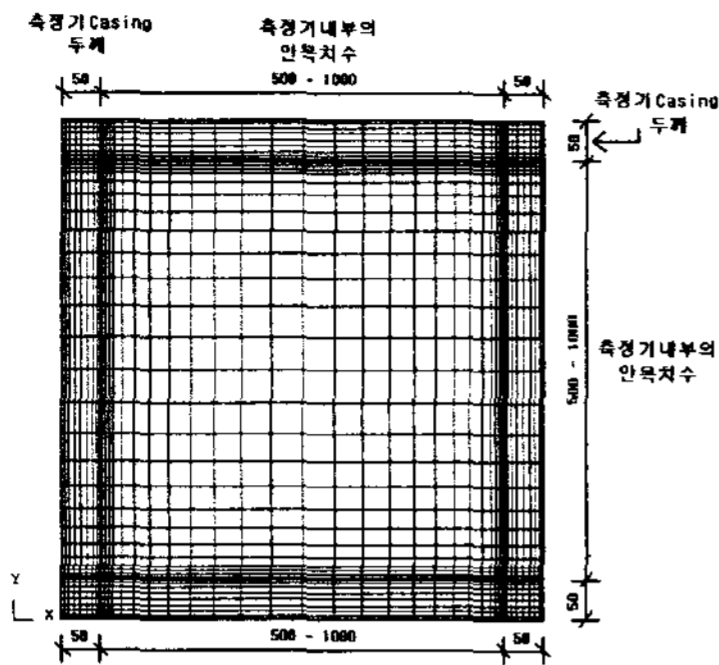


Fig. 2. Grid generation of Plate type measuring device (X-Y plan)

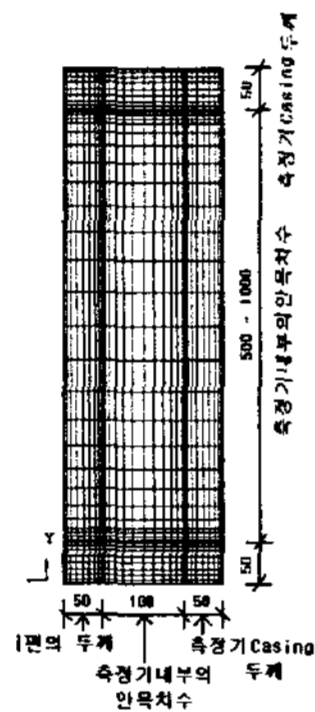


Fig. 3. Grid generation of Plate type measuring device (Y-Z plan)

2.1.2 측정기의 적절한 크기 검토

밀폐되어 있는 측정기 내부의 공기는 방열판에 의해 가열되며 가열되어진 공기는 상·하의 밀도 차에 의해 자연대류현상이 발생한다. 이러한 자연대류현상은 측정기의 내부 크기에 따라 다르기 때문에 내부의 온도편차 또한 다르게 나타난다. 그러므로 측정기 내부의 안목치수를 운반 및 설치가 용이한 크기인 $500^W \times 500^L \times 100^D$, $750^W \times 750^L \times 100^D$, $1000^W \times 1000^L \times 100^D$ 의 3가지로 한정하여 시뮬레이션을 한다.

또한, 측정기 내부 안목치수가 커짐에 따라 방열판의 면적도 증가시켜 방열면적 비율을 동일하게 하였으며 Table 1과 같다.

측정기 크기에 따른 측정기 내부공기의 온도편차는 Table 2와 같이 측정기내부의 안목치수가

Table 1. Area of heating plate according to the size of plate type measuring device

측정기 크기 [mm] (W×L×D)	방열판크기 [mm] (W×D)	방열면적 [m ²]	방열면적비율 [%]
500×500×100	480×480	0.2304	92
750×750×100	720×720	0.5184	92
1000×1000×100	960×960	0.9216	92

주) 방열면적비율 = 방열판 면적/측정기 내부면적

Table 2. Temperature deviation and standard deviation according to the size of plate type measuring device

측정기 크기 [mm] (W×L×D)	500×500×100	750×750×100	1000×1000×100
최고온도 [°C]	33.18	33.23	32.98
최저온도 [°C]	28.33	28.11	26.18
온도편차 [°C]	4.85	5.18	6.8
표준편차 [°C]	1.173	1.740	1.850

$500^W \times 500^L \times 100^D$ 인 경우 가장 적은 것으로 나타난다.

그러므로 적절한 측정기의 안목치수는 $500^W \times 500^L \times 100^D$ 임을 알 수 있으며 이를 기준으로 하여 이후의 연구를 진행한다.

2.1.3 측정기 내부의 방열판 위치 검토

예비실험에서 사용한 면상 방열판의 방열온도는 35°C였다.

그러므로 Fig. 4와 같이 방열판에서 발생한 열은 0°C의 저온쪽으로 흐르고(q1) 측정기 Casing을 통하여 20°C의 실내측으로도 흐를 수(q2) 있기 때문에 방열판을 측정기 내부표면에 밀착하는 경우와 이격시켜 설치하는 두 가지의 경우를 비교한다.

이를 통하여 측정기 내부공기의 온도편차가 적고 손실열량(q2)이 적은 경우를 방열판의 적정

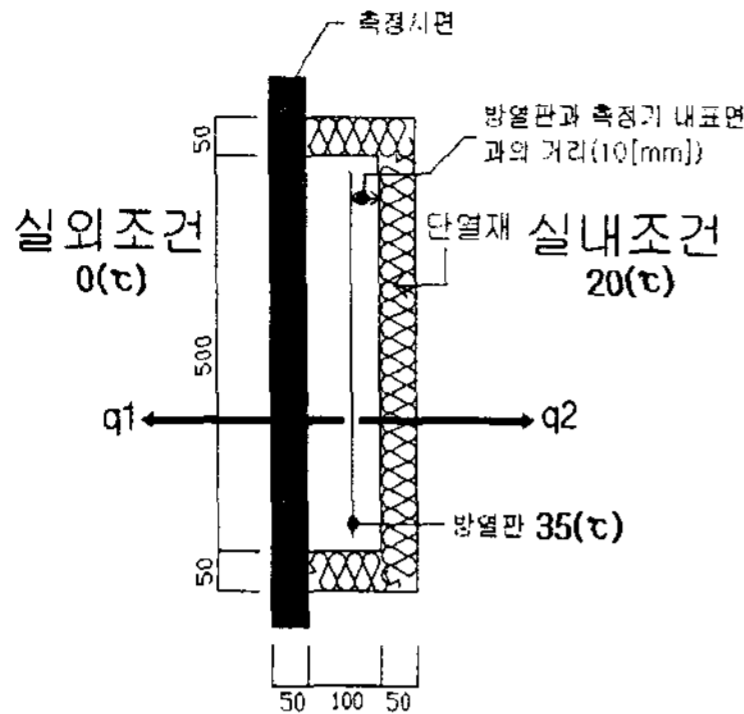


Fig. 4. Heat flow directions from heating plate

Table 3. Temperature deviation, Standard deviation and heat loss(q2) according to the location of heating plate for plate type measuring device.

방열판과 측정기 내측표면과의 거리, D1[mm]	0 (밀착)	10 (이격)
최고온도[°C]	31.64	33.18
최저온도[°C]	24.39	28.33
온도편차[°C]	7.25	4.85
표준편차	2.519	1.173
부수적인 손실열량(q2)	1.7028	0.1792

한 설치위치로 판단한다.

Table 3과 같이 방열판의 설치위치에 따른 온도편차와 손실열량은 방열판을 측정기 내측표면에 밀착하는 경우가 이격시켜 설치하는 경우보다 측정기 내부공기의 온도편차가 크며 측정기 케이싱을 통한 부수적인 손실열량(q2)도 증가하기 때문에 방열판은 측정기 내부표면과 이격시키는 것이 적절한 형태임을 알 수 있다. 그러므로 방열판을 측정기 내측표면과 이격하는 조건을 기준으로 하여 이후의 연구를 진행한다.

2.1.4 적정 방열온도 및 방열면적 검토

예비실험에서 사용한 방열판의 온도는 35°C였지만 방열온도에 따라 측정기 내부공기의 온도편

Table 4. Temperature deviation and Standard deviation according to the temperature of heating plate for plate type measuring device

방열판의 온도[°C]	35	50	100
방열 면적[m ²]	0.23	0.16	0.0144
최고온도[°C]	33.18	45.03	48.86
최저온도 [°C]	28.33	34.11	37.10
온도편차[°C]	4.85	10.92	11.76
표준편차	1.173	2.219	2.536

차가 다르게 나타날 수 있기 때문에 적절한 방열 온도를 알아보려고 한다.

이를 위하여 Table 4와 같이 방열판의 방열온도를 가정하되 방열온도가 증가함에 따라 상대적으로 방열면적을 감소시켜 방열밀도[W/m²]를 같도록 한 후 측정기내의 온도편차를 분석한다.

방열판의 온도에 따른 측정기내의 온도편차를 분석한 것이 Table 4로서 방열판의 온도가 증가함에 따라 내부공기의 온도편차가 증가하기 때문에 측정기 내부온도가 실내온도까지 접근하는 도달시간을 고려하여 가능한 한 방열온도를 낮추는 것이 적절하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 방열판의 온도는 35°C이고 방열면적이 0.23m²인 면상발열체를 기준으로 이후의 연구를 진행한다.

2.1.5 측정기내의 팬 설치방법 검토

지금까지 검토된 항목에 대한 적절한 방법으로 측정기 내부공기의 온도분포를 해석한 결과가 Fig. 5로서 수직온도 편차가 약 5°C로 크게 나타나고 있다.

그러므로 이러한 수직온도 편차를 줄이기 위해서는 측정기 내부에 팬을 설치할 필요성이 있다는 것을 알 수 있다.

하지만 부하가 발생하지 않는 조건에서도 팬의 작동으로 인한 팬 발열은 계속되기 때문에 이로

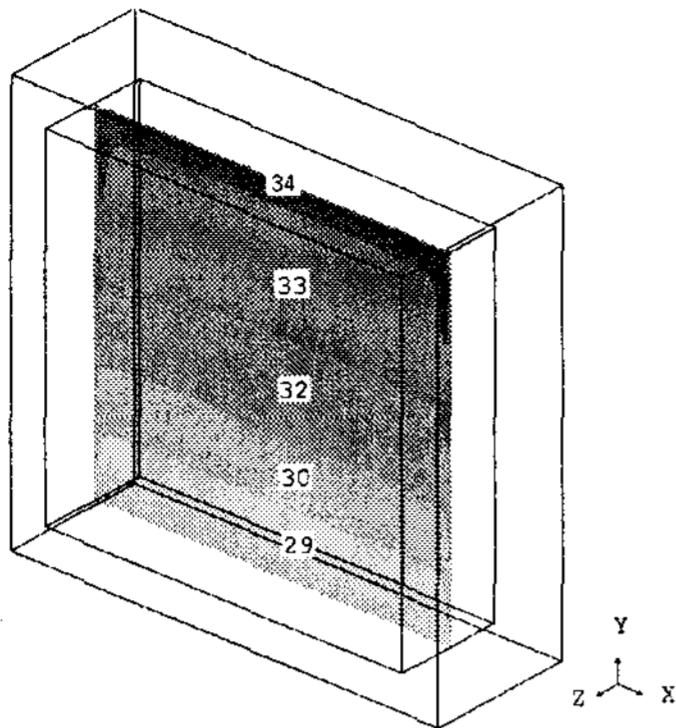


Fig. 5. Temperature distribution without fan for plate type measuring device(Z=50[mm])

인한 열량제어의 어려움을 최소화하기 위하여 팬의 설치대수는 2대로 한정한다. 측정기 내부에 설치되는 팬은 개인용 컴퓨터에 내장되는 소형팬(출구풍속 4m/s, 크기 40mm×40mm)으로 설치형태는 Fig. 6과 같은 11가지 형태에 대하여 측정기 내부의 온도분포를 분석한다.

일차적으로 Fig. 6의 설치형태-1에서 설치형태-5까지에 대한 수치해석 결과 Table 5와 같이 상부에 팬을 설치하고 기류를 하향으로 토출하는 설치형태-2가 측정기 내부공기의 온도편차가 가장 적은 것으로 나타났다.

그러나 KS-2276의 건물구조체의 열관류율 측정기와 KS-2278의 창호의 열관류율 측정기는 방

Table 5. Temperature deviation and Standard deviation according to the installation type for plate type measuring device

	최고 온도 [°C]	최저 온도 [°C]	온도 편차 [°C]	표준 편차 [°C]
설치형태-1	30.12	27.53	2.59	0.493
설치형태-2	29.95	28.06	1.89	0.328
설치형태-3	30.72	27.47	3.25	0.651
설치형태-4	26.04	22.71	3.33	0.699
설치형태-5	27.18	24.07	3.11	0.470

Table 6. Temperature deviation and Standard deviation according to the installation type for plate type measuring device using baffle plate

	최고 온도 [°C]	최저 온도 [°C]	온도 편차 [°C]	표준 편차 [°C]
설치형태-6	31.46	29.60	1.86	0.355
설치형태-7	30.31	29.00	1.31	0.219
설치형태-8	32.07	30.41	1.66	0.370
설치형태-9	29.83	27.91	1.92	0.349
설치형태-10	29.66	27.73	1.93	0.295
설치형태-11	25.53	23.03	2.50	0.564

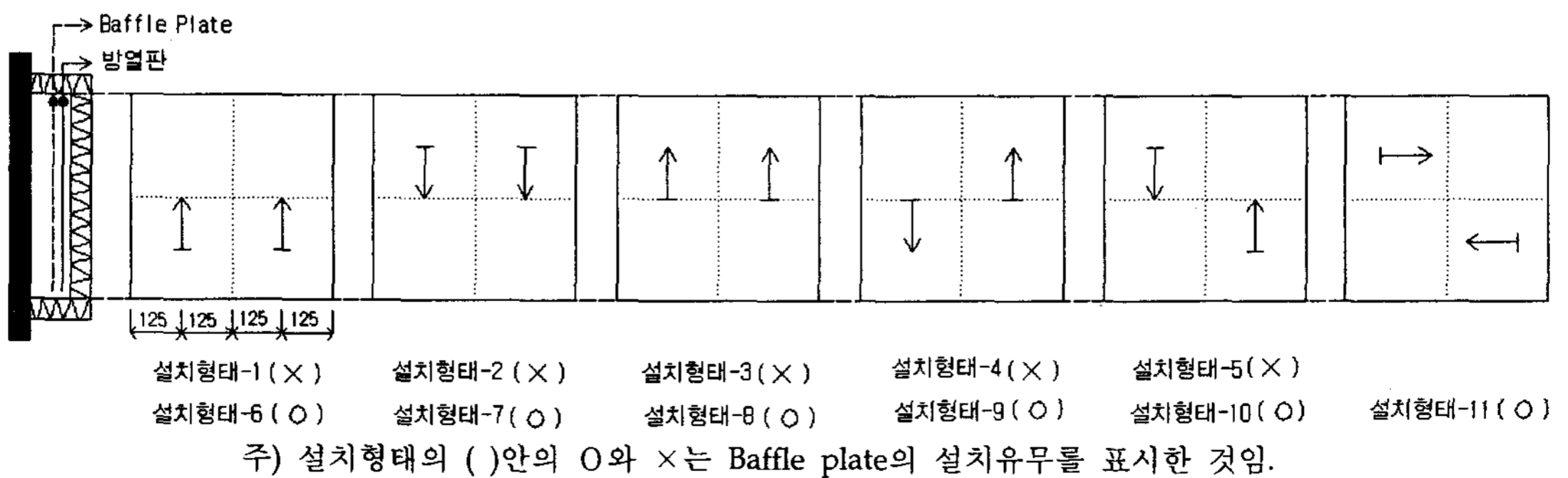


Fig. 6. Installation types according to the fan locations and directions of air flow for plate type measuring device

열원에서 발생하는 복사열의 영향을 줄이기 위하여 방열원 앞에 Baffle Plate를 설치하여 방열원과 시편을 분리하고 있다. 이에 착안하여 본 연구에서도 면상발열체 앞에 Baffle Plate를 설치한 Fig. 6의 설치형태-6부터 설치형태-11에 대하여 측정기 내부공기의 온도편차를 다시 한번 분석해 본다.

방열판 앞에 Baffle Plate를 설치한 경우의 분석결과는 Table 6과 같으며 Baffle Plate를 설치하지 않은 결과인 Table 5와 비교하여 전반적으로 측정기 내부의 온도분포가 좋아지는 것을 볼 수 있다.

또한, Table 6에서 가장 효과적인 설치형태는 설치형태-7로서 Table.5에서 가장 양호하게 나타났던 설치형태-2에 Baffle plate를 설치한 경우이다.

그리고 예비실험에서 설치형태-9로 측정기 내부온도편차를 실측한 결과가 Fig. 1인데 이를

보면 측정기 내부온도편차가 1.8°C로 나타나고 있다.

이것은 같은 조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 Table 6의 설치형태-9와 약 0.12°C의 차이를 보이는 것으로 보아 예비실험의 결과와 컴퓨터 시뮬레이션의 결과가 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

또한 Fig. 7은 Table.6의 팬의 설치형태에 따른 측정기 내부의 온도분포를 나타낸 것으로 설치형태-7이 다른 설치형태에 비하여 상부 모서리의 일부에 고온층이 형성되는 것 이외에 전반적으로 측정기 내부 전체의 온도분포가 균등하게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다.

이상의 결과를 종합하여 보면 방열판 앞에는 Baffle Plate를 설치하고, 팬은 측정기 상부의 좌·우측에 각각 한 대씩 설치하여 기류를 하향으로 토출하는 설치형태-7이 가장 적절한 형태라고 판단된다.

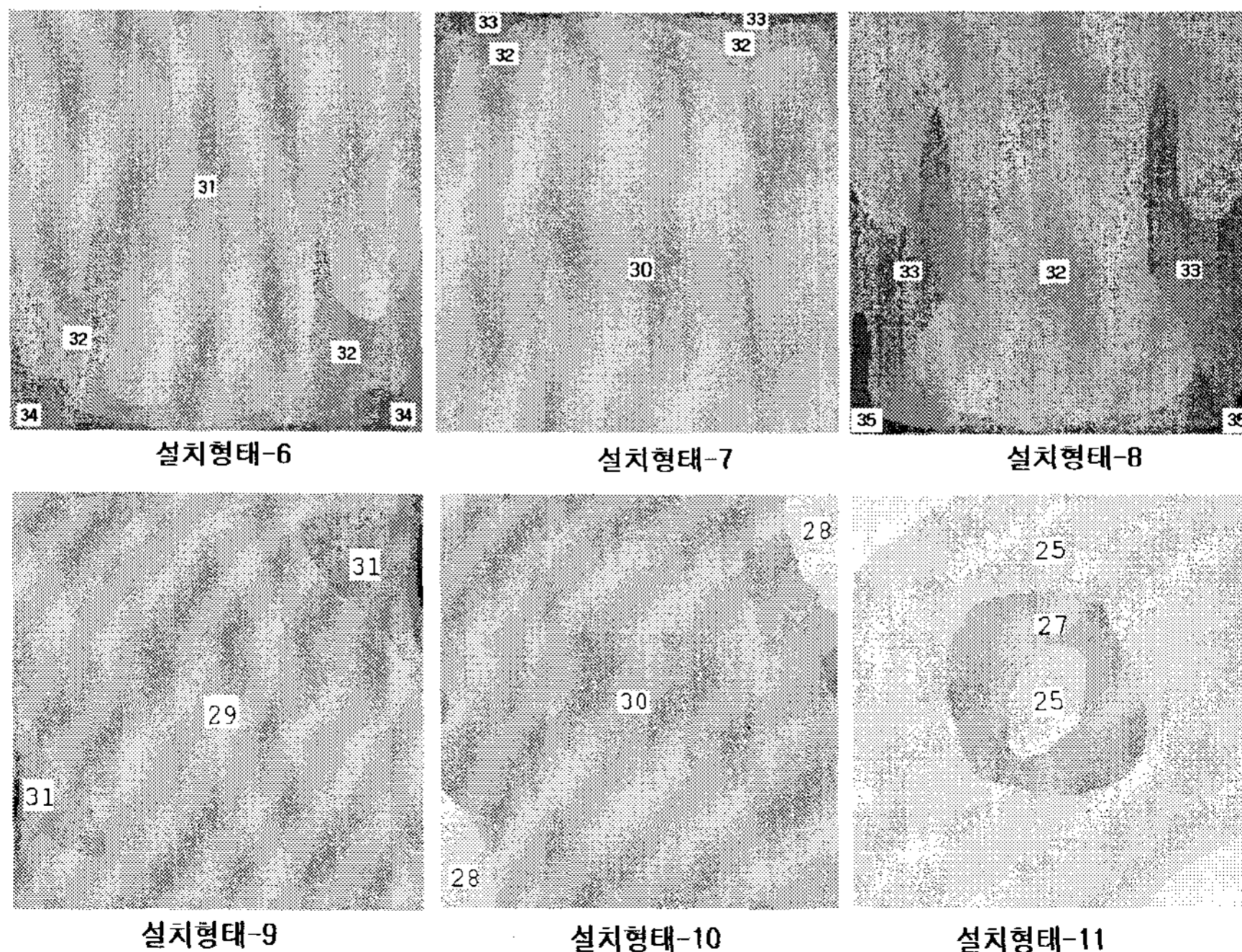


Fig. 7. Temperature distribution according to the installation type for plate type measuring device using baffle plate

2.2 모서리형 측정기

2.2.1 경계조건의 설정

모서리형태에서도 수치해석을 위한 경계조건은 평판형과 동일하게 하며 격자분할은 비등간격으로 Fig. 8과 같이 45×38×45개로 나누었다.

2.2.2 기본조건의 설정

측정기의 형태는 Fig. 9와 같으며 측정기의 크기는 평판형과 동일한 500^W×500^L×100^D의 크기를 T자 형태로 깎은 형태이다. 그러므로 방열판의 설치위치와 방열온도, Baffle Plate의 설치방법은 평판형에서 이미 적정한 방법이 판명되었기 때문에 모서리형에서는 Fig. 10과 같이 팬의 설치위치와 기류 토출방향에 대해서만 검토하기로 한다.

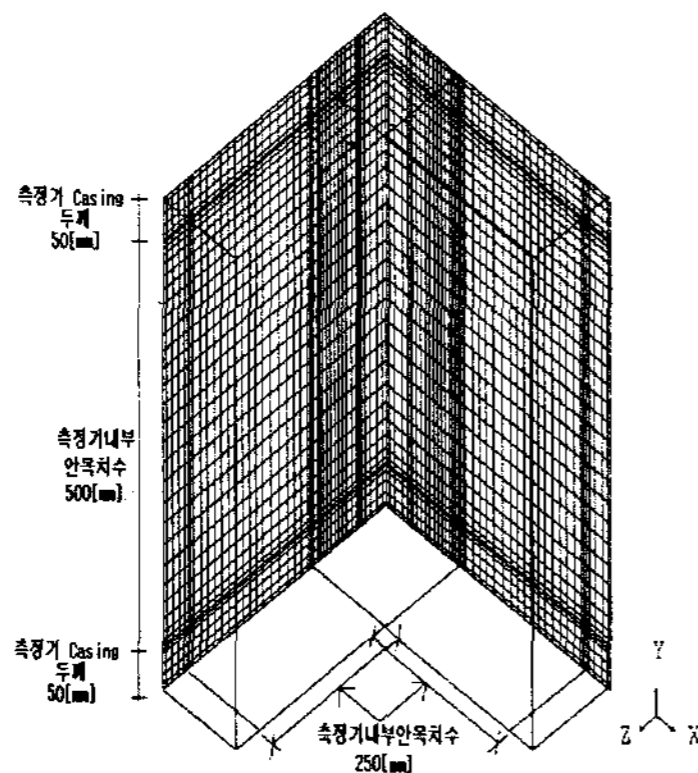


Fig. 8. Grid generation of corner type measuring device

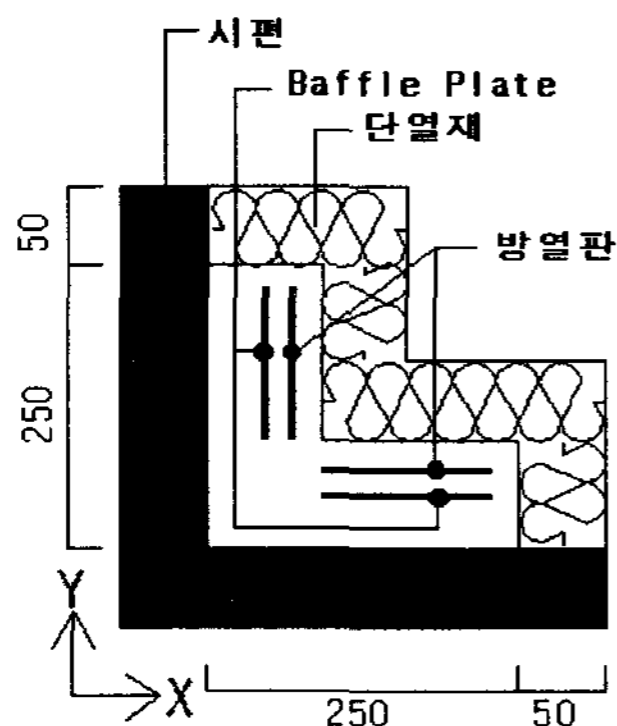


Fig. 9. Dimension of corner type measuring device

2.2.3 팬의 설치방법 검토

모서리형의 경우는 평판형과 달리 T자로 깎여지는 형태이기 때문에 각 면에 팬을 1대씩만 설치하여야 하는 한정된 조건으로 인하여 기류의 토출방향도 상향또는 하향으로만 검토할 수 밖에 없으며 Fig. 10, Table 7과 같이 기류 토출방향이 상향인 경우는 바닥으로부터 125, 165, 250mm지점에 팬을 설치하고, 기류 토출방향이 하향인 경우는 바닥으로부터 375mm지점에 팬을 설치한 형태에 대해 검토한다.

Table. 8의 팬의 설치위치와 기류 토출방향에 따른 모서리형 측정기 내부의 온도편차를 보면

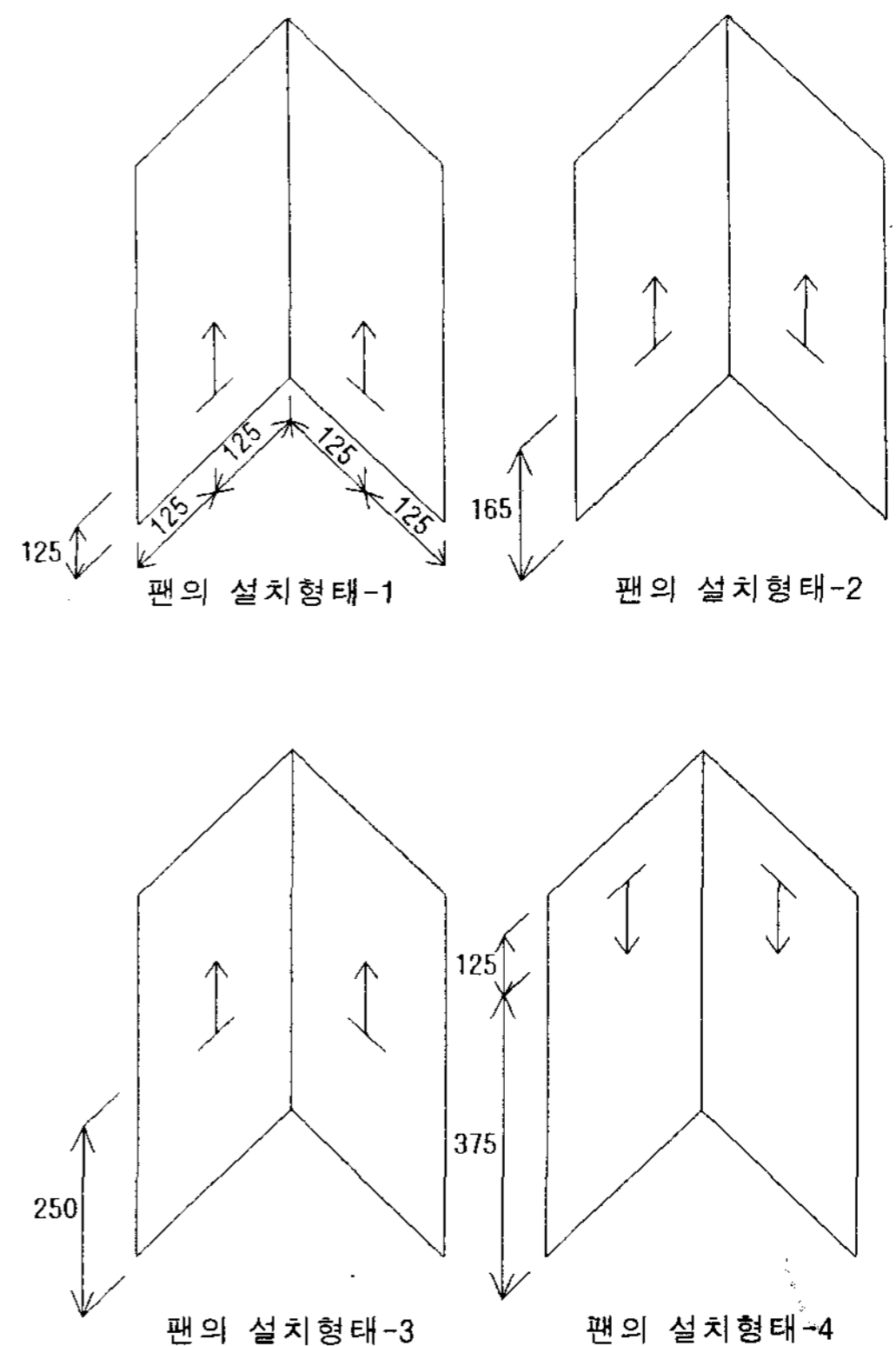


Fig. 10. Installation types according to the fan locations and directions of air flow for corner type measuring device.

Table 7. Installation type according to the direction of air flow for corner type measuring device

	바닥으로부터의 높이[mm]	기류 토출방향
설치형태-1	125	상향
설치형태-2	165	상향
설치형태-3	250	상향
설치형태-4	375	하향

팬을 상부에 설치하고 기류 토출방향이 하향인 설치형태-4가 가장 적절한 형태로 나타났으며 이는 평판형에서와 같은 결과를 보인다. 또한 Fig. 11은 각각의 설치형태에 따른 측정기 내부의 온도 분포로서 설치형태-4가 다른 설치형태에 비하여 온도분포가 양호하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

Table 8. Temperature deviation and Standard deviation according to the installation type for corner type measuring device

	최고 온도 [°C]	최저 온도 [°C]	온도 편차 [°C]	표준 편차 [°C]
설치형태-1	26.10	24.06	2.04	0.40
설치형태-2	27.70	22.81	4.89	1.12
설치형태-3	27.11	21.75	5.36	1.332
설치형태-4	26.70	25.39	1.31	0.241

3. 결 론

예비실험에서 나타난 측정기 내부공기의 온도

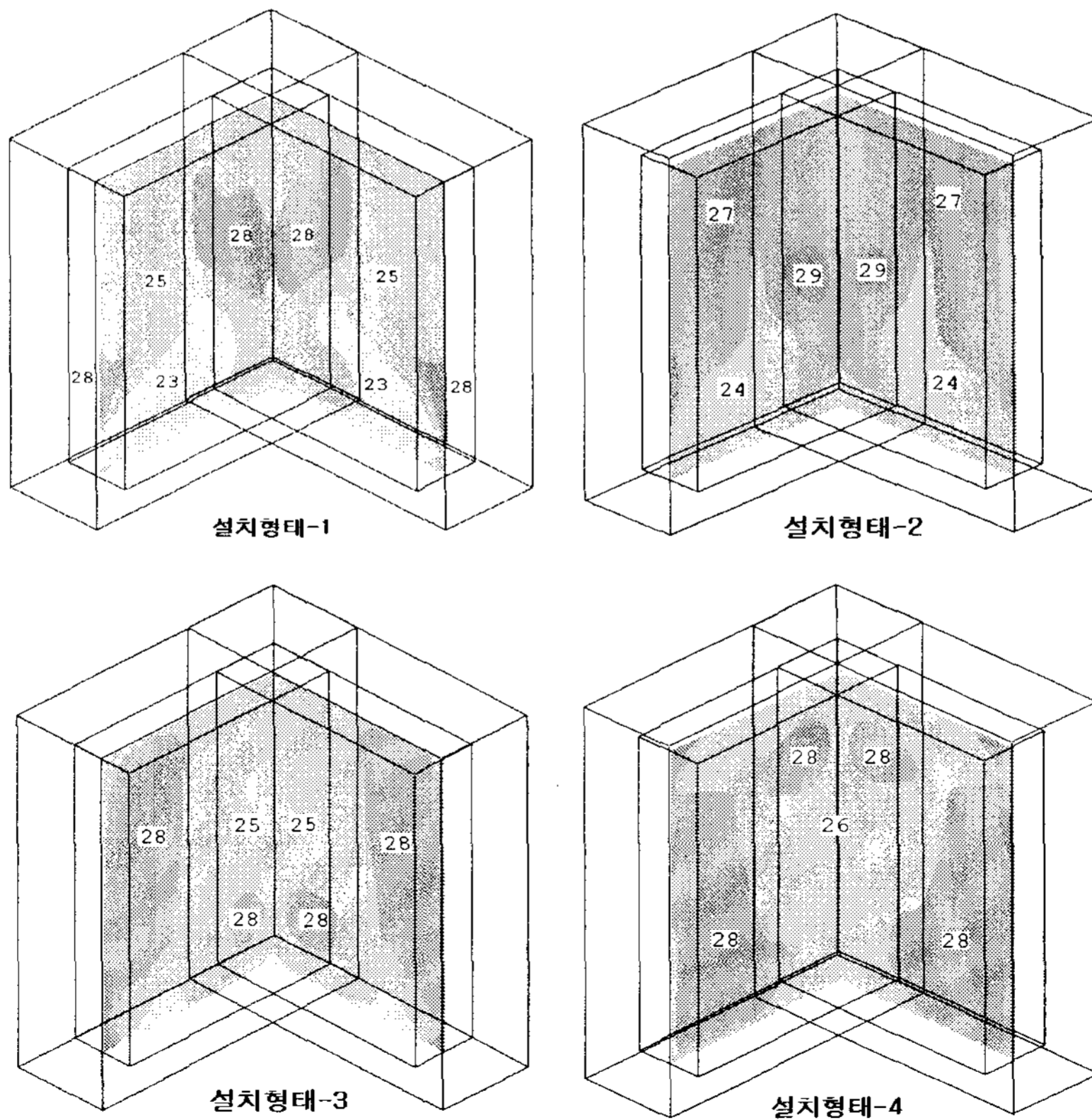


Fig. 11. Temperature distribution according to the installation type for corner type measuring device

편차를 줄이기 위한 방안을 찾고자 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과 가장 적절한 현장 열저항 측정기의 형태는 다음과 같다고 결론 지을 수 있다.

- ① 측정기 크기는 측정기내의 온도편차가 적으며 작은 크기로서 운반 및 설치도 용이한 안목치수 $500^W \times 500^L \times 100^D$ mm가 적절한 것을 알 수 있다.
- ② 측정기 내부에 설치된 방열판은 측정기내측 표면과 밀착시키는 것 보다 이격시켜 설치하는 것이 측정기 내부공기의 온도편차와 측정기 케이싱을 통한 부수적인 손실열량을 줄이기에 유리하다.
- ③ 측정기 내부온도가 실내온도까지 접근하는 도달시간을 고려하여 방열판의 방열온도는 가능한 한 낮은 것이 측정기 내부의 온도편차를 줄일 수 있는 효과적인 방법이다.
- ④ 방열판 앞에 Baffle Plate를 설치하면 측정기 내부공기의 온도편차를 줄일 수 있음을 알 수 있다.
- ⑤ 측정기내 팬의 위치와 기류방향은 평판형, 모서리형 모두 측정기 상부에 위치시켜 하향으로 기류를 토출하는 형태가 부력현상에 의해 발생하는 측정기 내부공기의 온도편차를 줄일 수 있는 효과적인 방법이다.

측정기 내부공기의 온도편차를 줄일 수 있는 방안으로 여러 요소들에 대하여 검토하였지만, 이외에도 부하변화에 따른 정밀한 발열제어 방법과 또한 측정하고자 하는 부위의 외부에서 열 입력이 발생하는 경우 이에 따른 계산보정 방법 등이 앞으로 연구되어야 할 과제이다.

참 고 문 헌

1. 유승선, 윤용진, 장문석, 박효순, 한국태양에너지학회 학술발표대회 논문집(1999.4.30), 건

물외피의 현장 열성능 측정기의 성능개선에 관한 연구

2. J.P.Holman, Heat Transfer(7th Edition) -P3 50(밀폐된 공간의 자연대류대류).
3. 고현진(1993), 복사열전달을 고려한 수직평판의 자연대류 경계층에 관한 연구 석사학위 논문, 과학기술원 기계공학과.
4. 이장희(1984), 수치적방법에 의한 두 평판사이의 난류열대류 해석 석사학위 논문, 과학기술원 기계공학과.
5. 김재수(1983), 비정상 층류경계층 유동의 수치적연구 석사학위 논문, 과학기술원 항공공학과.
6. 이원근(1991), 수치적방법에 의한 두 평판사이의 난류 열대류 해석 석사학위 논문, 과학기술원 기계공학과.
7. David Etheridge, Building Ventilation Theory and Measurement.
8. 통상산업부(1997.2) 건물외피의 열성능향상을 위한 평가시스템 개발 및 제도연구에 관한 최종보고서
9. 이재현, 이승갑, 윤정인, 컴퓨터로 풀이한 열유체 공학, 태훈출판사.
10. Suhas V.Pantankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow.
11. 박이동, 정운철, 이도영, 한국태양에너지학회 논문집(1997. NO2), 실내유입공기의 열유동특성과 고효율 축열에 관한 연구
12. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Steady-state Heat Flux Measurement and Thermal Transmission Properties by Means of Heat Flow Meter Apparure, C518-91
13. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Thermal Performance of Building Assemblies by Means of Calibrated Hot Box¹, C976-90