



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工 學 碩 士 學 位 論 文

室內火災에서 開口部の 影響에 대한
數值的 研究



2007年 2月

釜 慶 大 學 校 產 業 大 學 院

安 全 工 學 科

鄭 二 圭

工 學 碩 士 學 位 論 文

室內火災에서 開口部の 影響에 대한 數值的 研究

指導教授 朴 外 哲

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2007年 2月

釜 慶 大 學 校 產 業 大 學 院

安 全 工 學 科

鄭 二 圭

鄭二圭의 工學碩士 學位論文을 認准함

2007年 2月 23日



主 審 工學博士 李 來 雨 (印)

委 員 工學博士 李 東 勳 (印)

委 員 工學博士 朴 外 哲 (印)

목 차

1. 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 동향 및 목적	3
2. 수치법	7
2.1 지배방정식	7
2.2 계산방법	8
3. 결과 및 분석	11
3.1 CASE I	11
3.2 CASE II	22
3.3 CASE III	33
3.4 CASE IV	44
3.5 개구부 개폐에 따른 온도의 비교	55
3.6 화재규모에 따른 온도의 비교	59
4. 결론	63
참고문헌	64
Abstract	66

기 호 설 명

D	: 확산계수(m^2/s)
f	: 힘 벡터(N)
g	: 중력가속도(9.81m/s^2)
h	: 엔탈피(J/kg)
k	: 열전도 계수($\text{W/m} \cdot \text{K}$)
$\dot{m}''$	: 단위체적당 생성률
p	: 압력(N/m^2)
T	: 온도(K)
t	: 시간(sec)
U	: 개구부 중심선의 x방향 평균유속(m/s)
u	: 속도벡터(m/s)
w	: 단위체적당 화학종 생성률(-)
Y	: 질량분율(-)
ρ	: 밀도(kg/m^3)
τ	: 전단응력텐서(N/m^2)

1. 서 론

1.1 연구 배경

인류가 다른 동물과 달리 이 세상에 존재하고 존립할 수 있었던 큰 이유는 불을 사용하고 제어할 수 있었기에 가능했고, 그것으로 인하여 고도화된 산업사회를 만들었다고 할 수 있다. 과학기술의 눈부신 발전과 역동적인 사회변화 속에서 구조물의 대형화, 고층화, 지하층화 등으로 다양해지면서 에너지 소비량이 증가하고 위험물 수요가 급증하였다. 동시에 화재규모 및 피해도 증가하였고, 건축 재료의 종류가 다양해지면서 화재의 발생 및 확산형태도 더욱 예측하기 어려워 졌다.

최근 10년간의 화재발생건수는 매년 평균2.3%씩 증가하였고, 2005년도에는 1996년도 대비 12.8%가 증가하였으며 전체화재 중 건축물화재가 평균 82%, 차량화재가 17.7%를 차지하고 있다. 건축물화재는 1996년 23,106건에서 2005년에는 26,370건이 발생하여 14.1%가 증가한 것으로 나타났다.¹⁾ 지하 공간이나 대형 건물은 화재에 취약하므로 내장재의 불연화 및 독성가스의 영향 연구가 이루어져야 하며, 화재가 발생할 경우에 열 및 연기 유동을 예측하여 안전성 평가를 수행할 필요가 있다. 이와 관련하여 실물크기의 화재실험은 시간적 , 공간적인 제약이 크므로 화재에 대한 실험적 연구는 축소공간에서 이루어지고 있으며, 전산유체역학을 이용한 수치적 연구가 증가하고 있다.

최근에는 미국표준기술연구소(National Institute of Standards and Technology, NIST)에서 개발된 화재 시뮬레이션 프로그램인 FDS(Fire Dynamics Simulator)²⁾를 이용하여 실제화재와 거의 유사한 상황을 모사함으로써 안전한 대피경로확보와 인명 및 재산의 피해를 줄일 수 있는 건축물의 설계에 응용되고 있다.



1.2 연구 동향 및 목적

건축물이 복합적인 유용공간으로 대형화되면서 대형화재의 발생위험이 증대되고 있다. 특히 건축물의 실내 공간에서 화재는 열과 연기의 발생으로 인하여 많은 인명 손실을 초래할 수 있다. 따라서 열 및 연기를 초기에 감지하여 소화함으로써 연기와 유독가스의 발생을 줄일 수 있고 화재의 확산을 방지할 수 있기 때문에 화재의 감지와 소화에 대한 연구는 관심의 대상이 되어 왔다.

실내화재는 화재의 발생위치에 따라 중심형 화재(화원이 벽에 접하지 않고 바닥의 중심부근에서 발생), 벽체형 화재(화원에 벽이 한 개 접함), 모서리형 화재(화원에 벽이 두 개 접함)로 나눌 수 있다. 화재규모가 같더라도 화재의 발생 위치에 따라 높이와 개구부에서 형성되는 연기층의 두께가 다르게 나타나는데, 이것은 화재가 벽과 인접하여 발생하였을 때 화염에 유입되는 공기의 양과 열 유속이 변하기 때문이다.³⁾

박외철⁴⁾은 대형 개구부가 있는 공간에서의 화재와 제연을 조사하기 위해 지하철역과 유사한 구조의 4m×1m×1.5m 크기의 축소 공간 내 50kw의 폴리우레탄 화재에 대한 수치모사를 수행하였다. 화재 발생 후 5초부터 세가지 기계 제연방식(급배기방식, 배기방식, 급기방식)을 비교하였다.

정진용 등⁵⁾은 1.8m×1.8m×1.38m크기의 실내 공간에서 메탄올 화재에 대한 실험을 수행하여 화염구조와 연기거동을 화염의 위치에 따라 조사하였다. 화재가 커질수록 중심형 화재는 평균온도가 증가하였고, 개구부의 중립면

높이와 정상상태 도달시간은 감소하는 것으로 나타났다. 또 중심형 화재보다 벽면형과 모서리형 화재의 경우, 화원의 위치가 수직벽에 인접하므로 중립면의 높이와 평균온도가 높고, 정상상태 도달시간도 빠르게 나타났다.

김서영과 강병하⁶⁾는 건물 화재시 화염의 성장과 독성 연소가스의 확산을 예측하기 위하여 화재에 의한 연소가스의 개구부유동에 관한 내용을 조사하였다. 건물화재는 초기발화 후 가스의 팽창에 의한 압력상승으로 유동이 발생하고 화염의 성장과 함께 고온의 연소가스가 여러 가지 형태의 개구부를 통해 건물 상부로 이동하는 부력 유동을 확인하였다.

정진용 등⁷⁾은 열 분포 및 연기거동을 조사하기 위하여 계단으로 연결되어 있는 밀폐 지하공간에 화재가 발생했을 때 상부층으로 확산되는 실험을 수행하였다. 그 결과, 스프링클러 시스템이나 화재 감지기를 계단 상부에 설치할 때 계단의 기울기를 고려해야 한다는 것을 확인했다.

박외철⁸⁾은 제연방식과 풍량에 따른 실내에 유입된 연기의 제연성능을 조사하기 위하여 급기구와 배기구, 개구부가 있는 크기 2m×2m×2.4m의 실내에 기계 제연방식을 가동하였을 때 실내에 분포한 입자의 감소율을 조사하여 대형 개구부가 많은 지하철 역 등에는 급기방식 대신 급배기방식 또는 배기방식의 제연설비를 사용해야한다는 것을 밝혔다.

O. Vauquelin과 O. Megret⁹⁾은 환기시스템에 따른 터널화재 축소실험을 통해 연기의 배출 효율을 측정한 결과, 덕트의 위치가 벽보다 천정에 설치할 때 효율이 더 높은 것으로 나타났다. 덕트의 배출효율과 위치와의 관계

는 큰 영향이 없는 것으로 밝혀졌다.

박외철과 이경아¹⁰⁾는 개구부유동이 대류에 미치는 영향에 관한 수치연구에서 개구부에서 유입되는 공기는 천장의 온도를 형성하는데 영향을 주었고 공기의 유입이 빠를수록 온도는 감소하고 최고온도의 형성 위치가 유출 개구부 쪽으로 이동하는 것을 밝혔다.

문종윤 등¹¹⁾은 실험과 수치시뮬레이션의 결과 비교연구에서 연소시간과 내부 온도 변화 양상은 유사하게 나타났으나 실제의 가연물과 FDS 데이터 베이스의 연소시간에 차이가 남을 확인하였다.

추병길과 조성곤¹²⁾은 시스템 내에 열원이 존재하고 부분 개방된 2차원 밀폐공간내의 화재에 대한 수치적 연구를 수행하였다. 자연대류와 복사를 고려한 복합열전달은 유동장 및 온도장에 모두 영향을 미치는 것을 확인하였다.

노재성 등¹³⁾은 한 변의 길이가 25.2m인 정육면체의 아트리움 공간을 중심으로 연기거동에 대한 수치연구에서 연기층의 높이에 따른 피난시간을 확인하였다.

정진용 등¹⁴⁾은 연기거동에 미치는 복사의 영향을 알아보기 위해서 3차원 실내공간내의 화재에 대한 수치해석을 수행하여 화재 해석에 있어서 복사가 반드시 고려되어야 함을 확인하였다.

박외철 등¹⁵⁾은 화재에 대한 화재시뮬레이션을 수행하여 제연설비와 스프링클러설비의 필요성과 연기의 확산가능성을 확인하였다. 또 제연설비로 연

기를 안전하게 배출할 수 있는 것으로 나타났고, 제연설비가 작동하면 연기가 청정실 내의 다른 구역으로 확산되지 않음을 알 수 있었으며 스프링클러는 연기의 발생을 억제하고 화재확산을 방지하는 역할을 함을 확인하였다.

또 고경찬과 박외철^{16, 17)}은 FDS를 이용한 실내화재 시뮬레이션의 문제점을 파악하기 위해 메탄올 화재를 모사하여 중심형 화재, 벽면형 및 모서리형 화재를 측정치와 비교하였다. 개구부 수직중심선과 모서리 부근에서의 정상상태의 온도와 고온공기층 두께, 개구부의 중립면 높이는 측정치와 비교적 잘 일치하였으나 실험에 비해 화재성장을 지나치게 빨리 예측하는 것으로 나타나 화재의 성장과정을 규명해야하는 실내화재 모사에 대한 수치법의 결점을 지적하였다.

이상과 같이 화재시뮬레이션을 이용한 연구가 활발하게 이어지고 있고, 많은 연구가 FDS를 사용하여 수행되고 있다.

본 연구의 목적은 FDS를 이용하여 미분무소화설비용 소규모 화재실험실에서 개구부의 개폐가 화재특성에 미치는 영향을 조사함으로써 개구부의 크기와 화재규모의 적합여부를 확인하는 것이다.

2. 수치법

2.1 지배방정식

3차원 공간 내 화재에 대한 유동 및 열전달, 연소 등의 지배 방정식은 다음과 같다.

질량 보존 방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \nabla \cdot \rho \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

화학종 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_l) + \nabla \cdot \rho Y_l \mathbf{v} = \nabla \cdot \rho D_l \nabla Y_l + \dot{m}_l'' \quad (2)$$

운동량 보존 방정식

$$\rho \left\{ \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right\} + \nabla p = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad (3)$$

에너지 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{v} = \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot \mathbf{q}_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_l \nabla \cdot h_l \rho D_l \nabla Y_l \quad (4)$$

이상기체의 상태방정식

$$P = \rho R T \quad (5)$$

여기서, $\frac{Dp}{Dt}$ 는 $\frac{\partial p}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla p$ 이고, 시간에 대한 압력의 물질도함수를 나타낸다.

2.2 계산방법

화재 시뮬레이션 프로그램인 FDS는 화재에 의한 유동을 해석하기 위한 소프트웨어로써 화재확산과 연기거동의 예측 등 다양한 화재 연구에 사용되고 있다. 앞의 편미분방정식 (1)~(4)의 해를 구하는데 FDS를 사용한다. FDS는 난류 모델로 Large Eddy Simulation을 사용하고 연소는 연료와 산소의 반응이 무한히 빠르다고 가정하는 혼합분율 모델을 사용한다. 또한 에너지 방정식의 복사열전달에는 유한체적법을 사용한다. FDS에 관한 자세한 내용은 McGrattan¹⁸⁾에 기술되어있다.

본 연구는 Fig. 1의 소규모 화재실험실을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 실험실의 크기는 2.5m×2.0m×2.5m이고, Table 1과 같이 세 개의 개구부가 있다. No.3 개구부의 중심을 지나는 수직 축을 따라 $P_1 \sim P_8$, 바닥의 중앙 수직축의 $P_9 \sim P_{14}$ 를 따라 각각 0.27m간격으로 열전대(thermocouple)를 배열하였다. 이 열전대는 화재발생 후 시간경과에 따라 온도와 일산화탄소의 농도를 기록하는 지점이다.

열방출률은 프로판 가스버너의 연소율 0.51kg/h로부터 환산한 59.5kW와 이의 두 배인 119kW의 두 경우를 600초(10분)동안 시뮬레이션을 수행한 결과를 비교 분석했다. 시간평균값은 실내온도가 정상상태로 되는 $t = 400s$ 이후부터 $t = 600s$ 까지의 값으로 계산했다. 또 $y = 1.0m$ 의 $x-z$ 평면과 $z = 1.5m$ 의 $x-y$ 평면에서의 온도 및 일산화탄소 농도의 분포를 비교했다.

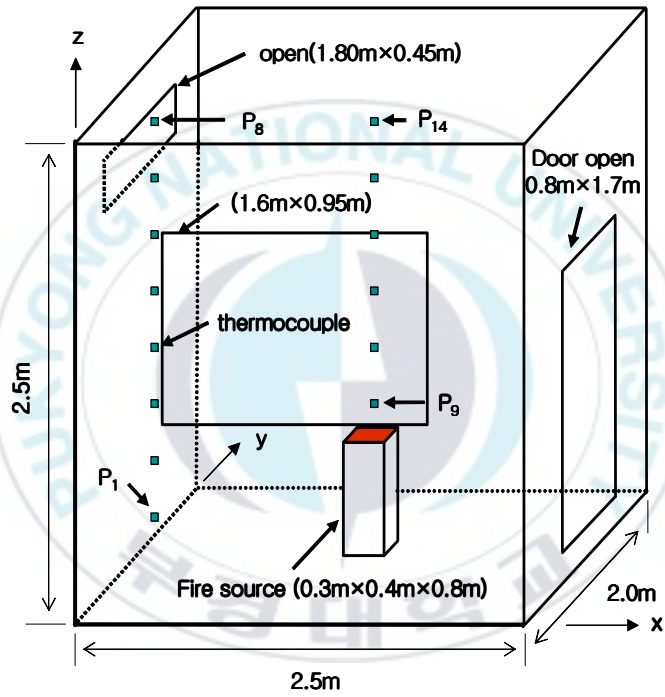


Fig.1 Computation domain and configuration

본 연구에서 개구부(Table 1의 No.1)의 개폐여부와 화재규모에 따라 Table 2와 같이 Case I, II, III, IV의 네 가지 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 1. Dimension and location of vents

<i>Vent No.</i>	<i>dimension</i>	<i>location of center</i>	<i>remark</i>
1	1.6m×0.95m	1.25m, 0.0m, 1.43m	open/closed
2	0.8m×1.7m	2.5m, 1.0m, 0.90m	open
3	1.8m×0.45m	0.0m, 1.0m, 2.08m	open

Table 2. Combination of parameters

	<i>fire size</i>	<i>vent No. 1</i>
<i>case I</i>	59.5kW	open
<i>case II</i>	59.5kW	closed
<i>case III</i>	119kW	open
<i>case IV</i>	119kW	closed

3. 결과 및 분석

3.1 CASE I

3.1.1 $P_1 \sim P_8$ 의 온도 변화

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $P_1 \sim P_8$ 위치에서의 온도 변화를 Fig. 2에 비교하였다. P_1 에서 P_6 까지는 온도가 상온과 거의 비슷하게 유지되지만, 이보다 상부에 위치한 P_7 에서는 상온보다 조금 높게 나타났고, 가장 높은 위치에 있는 P_8 의 온도는 35°C 내외를 유지함을 볼 수 있다. 이는 No.3 개구부를 통해 고온 공기가 배출되기 때문이다.

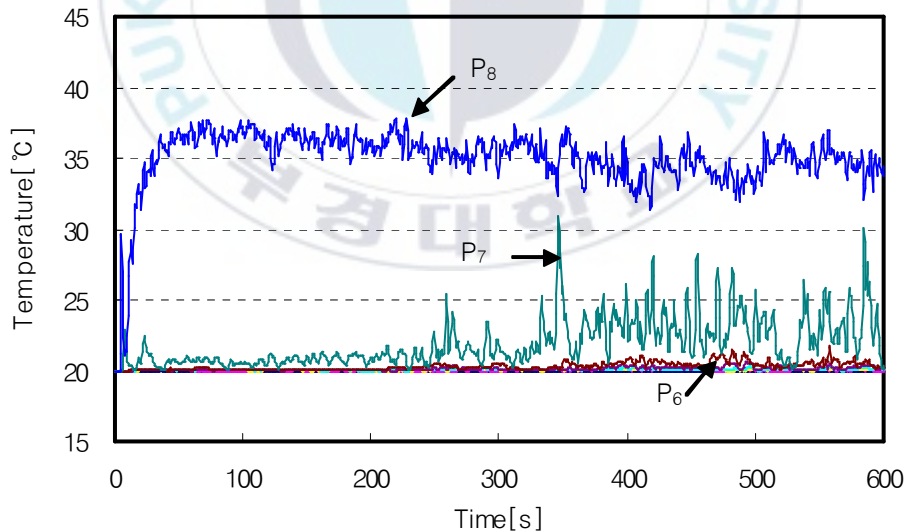


Fig. 2 Comparison of temperature variation
at $P_1 \sim P_8$ (59.5kW, vent open)

3.1.2 $P_9 \sim P_{14}$ 의 온도 변화

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, 공간의 중심을 지나는 수직선상의 $P_9 \sim P_{14}$ 위치에서의 온도 변화를 Fig.3에 비교하였다. $P_{10} \sim P_{14}$ 는 화염의 중심에서 벗어나 있기 때문에 100℃전후 이지만 P_9 의 온도는 300~400℃를 유지함을 알 수 있다. P_9 는 화염 근처에 위치하고 있기 때문에 다른 위치보다 온도가 월등히 높다.

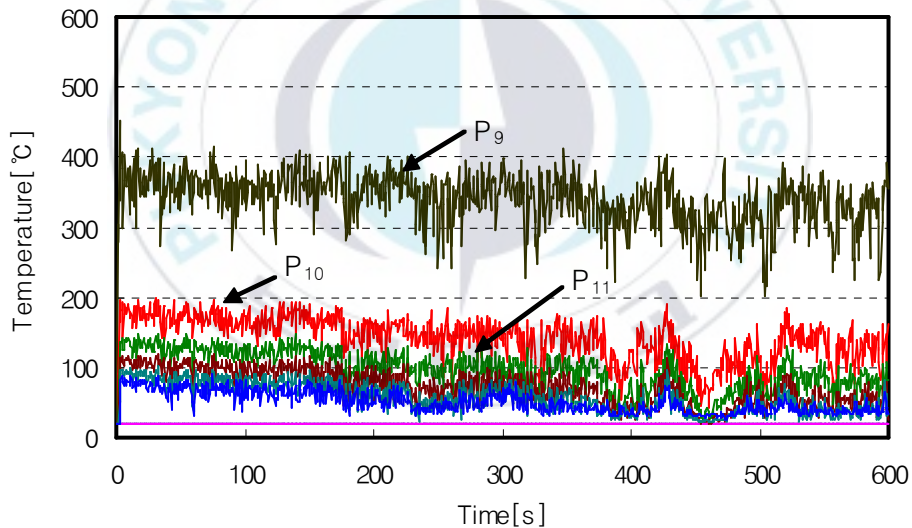


Fig.3 Comparison of temperature variation
at $P_9 \sim P_{14}$ (59.5kW, vent open)

3.1.3 $y = 1.0m$ 의 온도 분포

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $y = 1.0m$ 의 x - z 평면에서의 온도 분포는 Fig. 4의 (a)~(d)와 같다. 각 시간대별로 큰 차이점을 볼 수 없으나 중심부에서는 상승하는 열기의 흐름이 제트(jet)를 형성하여 천정에 부딪힌 후 확산되는 현상을 보여주고 있다.



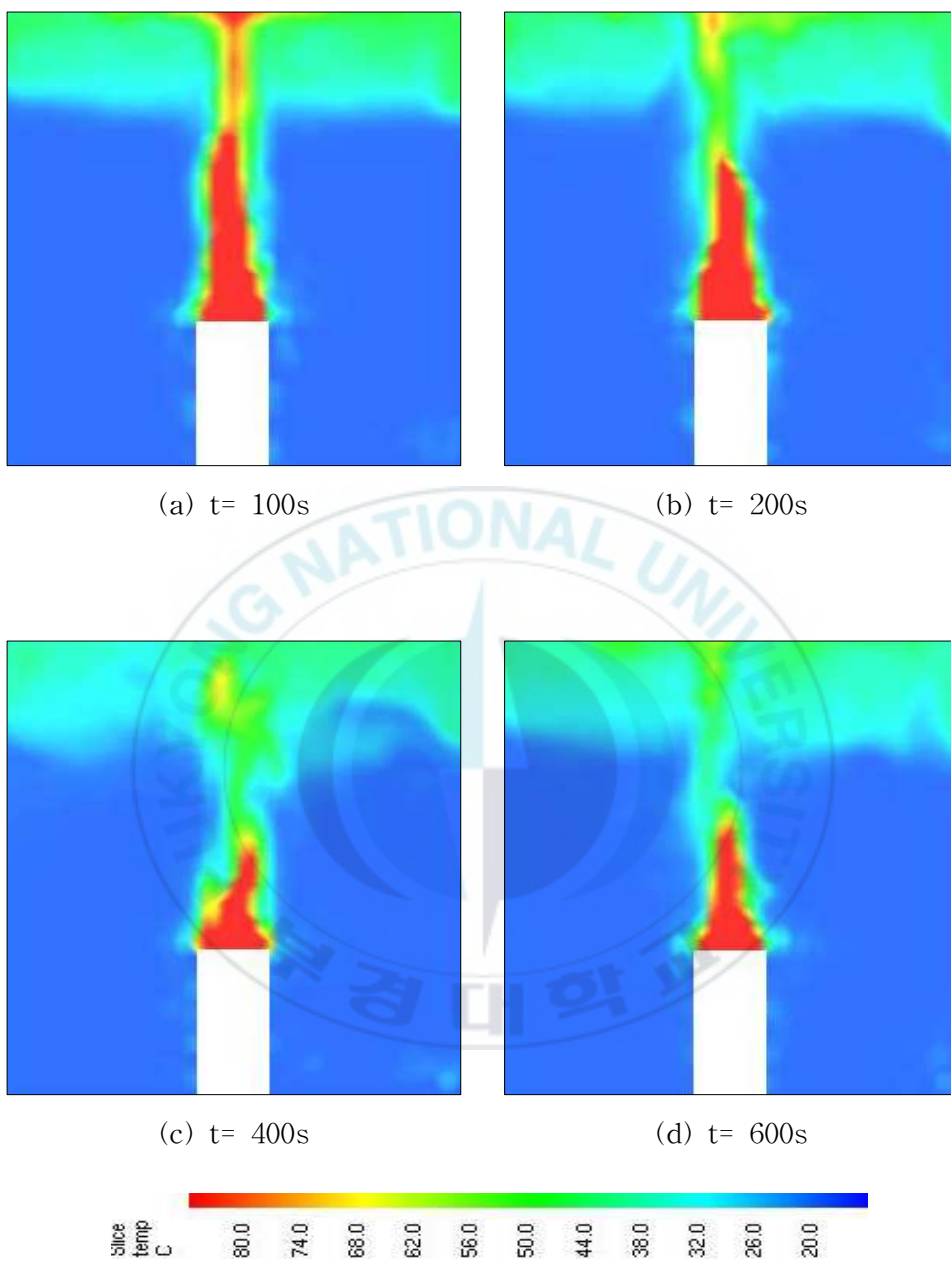


Fig.4 Temperature distribution at the vertical plane of $y = 1.0\text{m}$
(59.5kW, vent open)

3.1.4 $y = 1.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $y = 1.0m$ 의 x - z 평면에서 일산화탄소 분포는 Fig. 5의 (a)~(d)와 같이 나타났다. 시간의 지남에 따라 내부의 일산화탄소의 분포 양상은 큰 변화가 없으나 중심부에서는 상승하는 열기에 의해서 일산화탄소의 농도가 Fig. 4의 온도와 비슷한 형태로 확산되는 것을 알 수 있다.



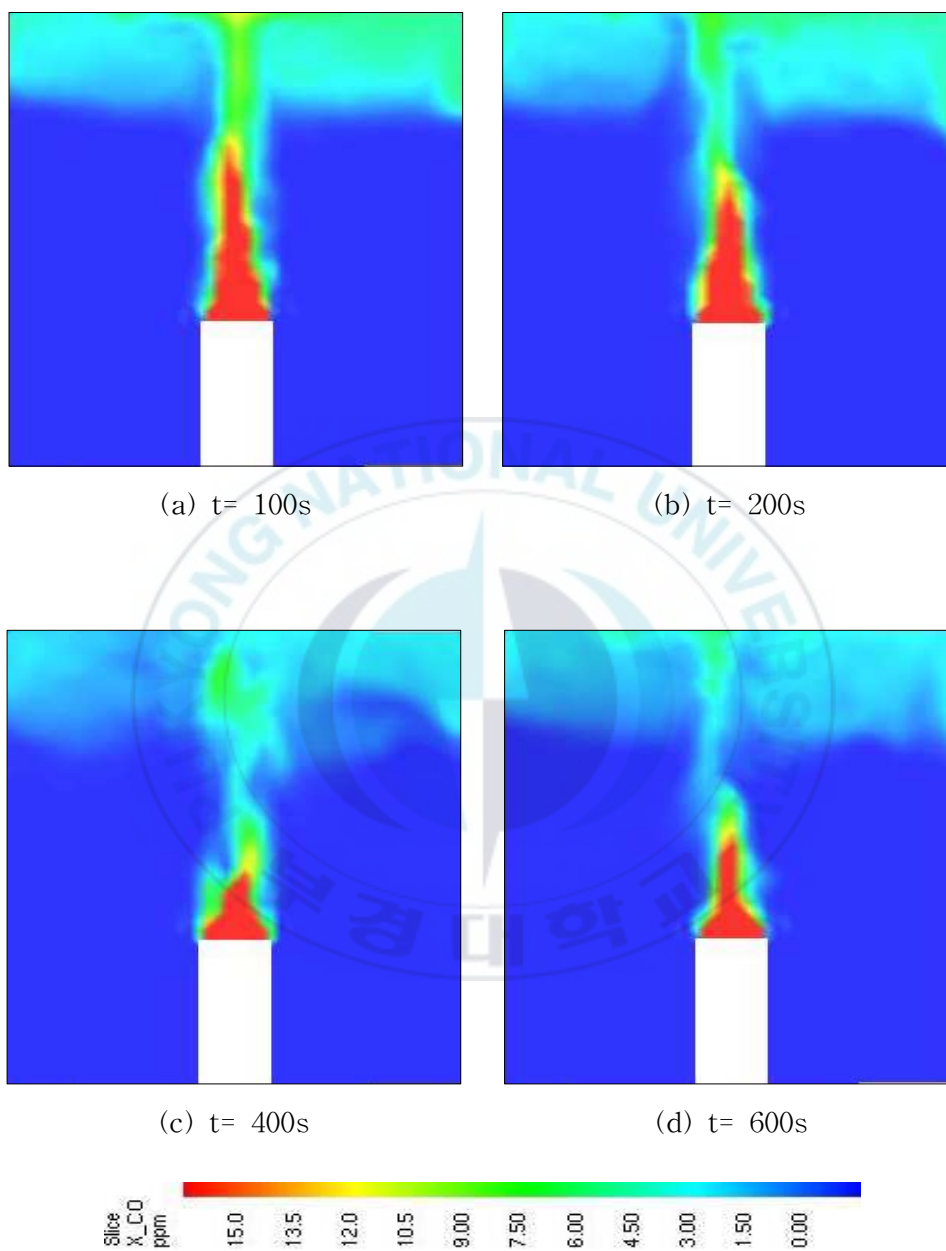


Fig.5 Carbon monoxide distribution at the vertical plane of $y = 1.0\text{m}$
(59.5kW, vent open)

3.1.5 $z=1.5m$ 의 온도 분포

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $z=1.5m$ 의 x-y평면에서 온도 분포는 Fig.6의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 각 시간대별로 큰 차가 없고, 화염의 상부를 제외하고는 온도가 높지 않은 상태로 유지되고 있다. 이것은 화재규모가 작고 개구부를 통해 20℃의 공기가 계속 유입되기 때문이다.



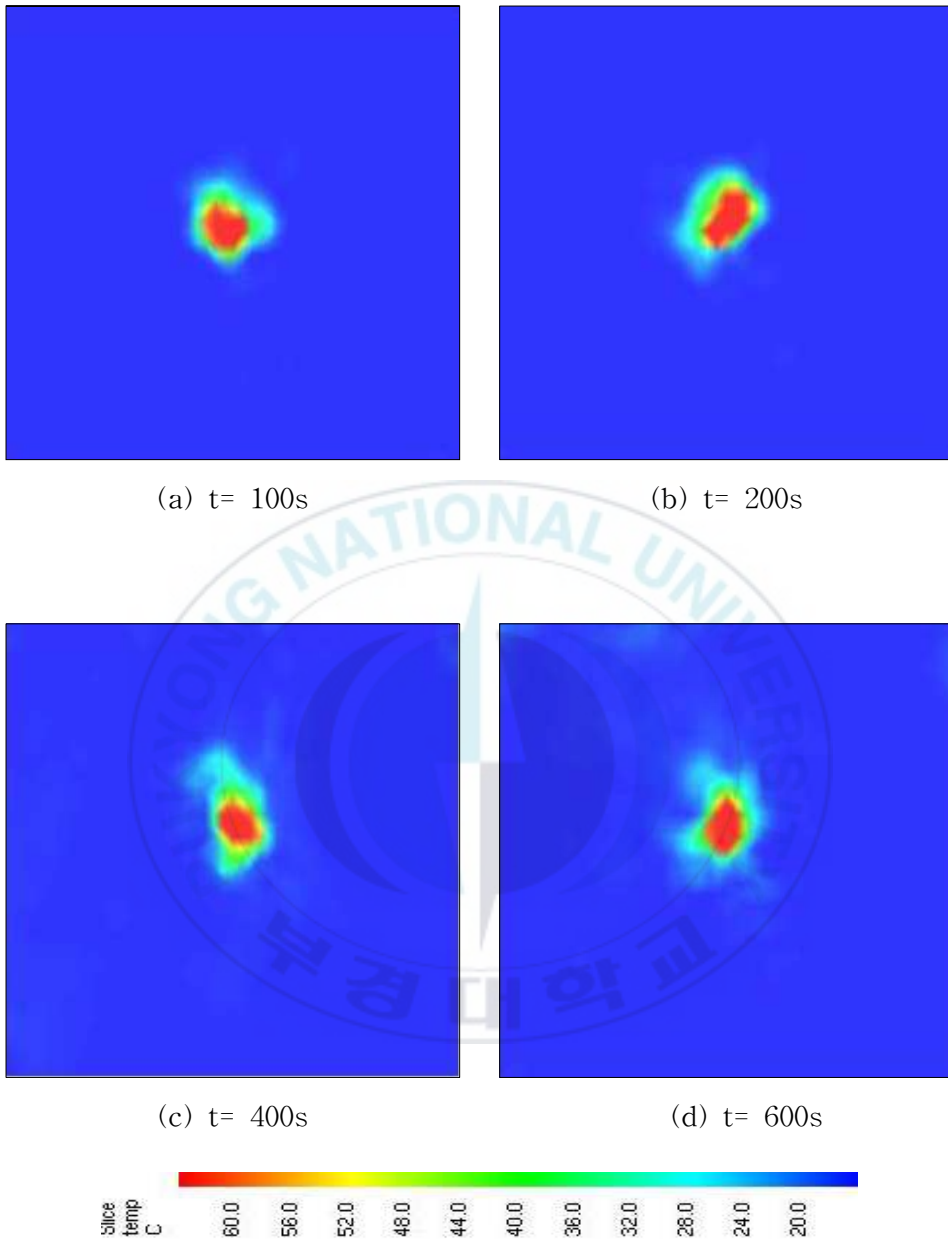


Fig.6 Temperature distribution at the horizontal plane of $z = 1.5\text{m}$
(59.5kW, vent open)

3.1.6 $z=1.5m$ 의 일산화탄소 분포

Fig. 7은 화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $z=1.5m$ 의 x-y평면에서 일산화탄소 분포이다. 시간이 경과해도 일산화탄소의 분포는 큰 변화가 없음을 볼 수 있다.



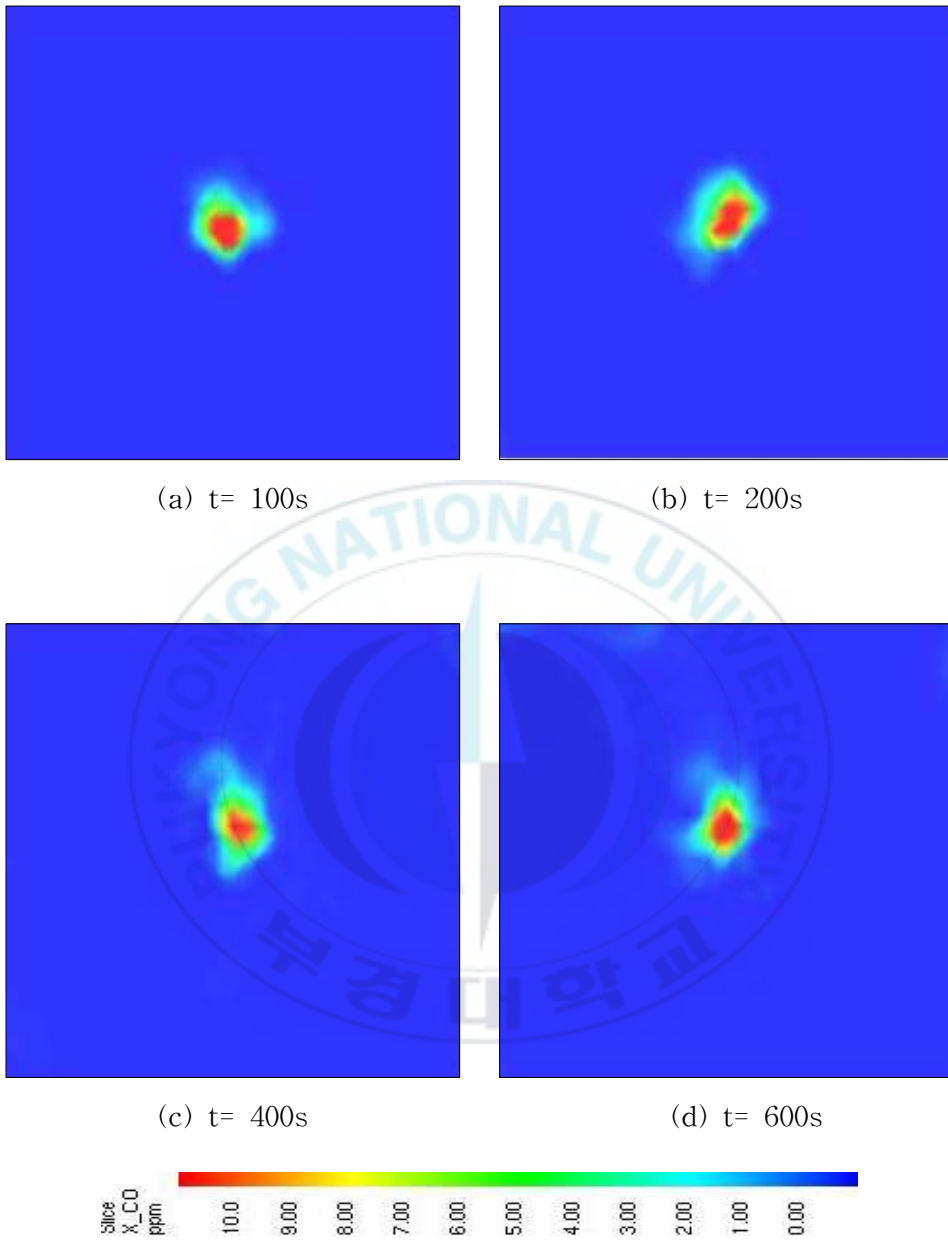


Fig.7 Carbon monoxide distribution at the horizontal plane of $z = 1.5\text{m}$
(59.5kW, vent open)

3.1.7 평균온도

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우(CASE I), $P_1 \sim P_{14}$ 의 위치에서 평균온도를 측정하기 위하여 온도가 거의 정상상태가 되는 400초 이후부터 600초까지의 평균값을 구했다. Fig. 8과 같이 P_9 지점인 0.8m 높이에서 321°C 이고, $P_9 \sim P_{14}$ 의 온도가 화재의 중심 및 상부에 위치하기 때문에 높게 나타났다. 그 외의 지점에서는 외기 온도인 20°C 에 가깝다.

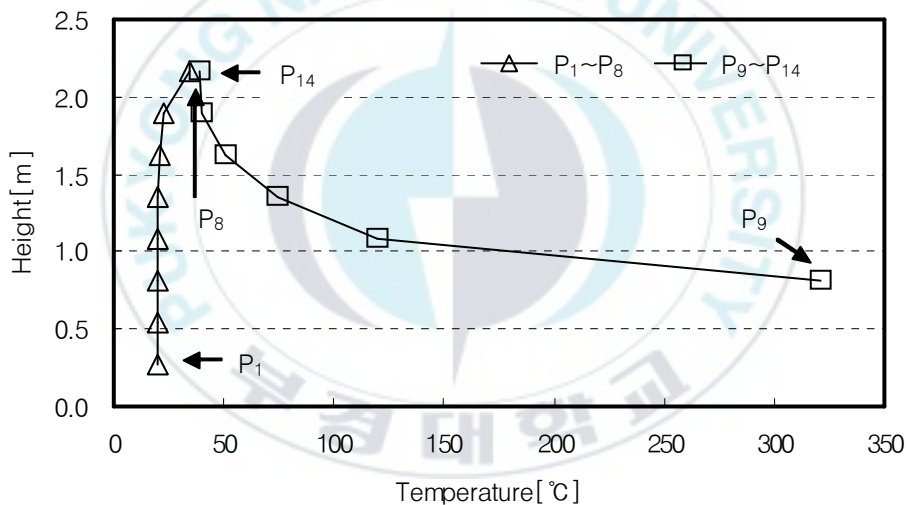


Fig. 8 Comparison of average temperature
at $P_1 \sim P_{14}$ (59.5kW, vent open)

3.2 CASE II

3.2.1 $P_1 \sim P_8$ 의 온도 변화

Fig. 9는 화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $P_1 \sim P_8$ 위치에서의 온도 변화를 비교한 그림이다. P_1 에서 P_6 까지는 온도가 상온과 거의 비슷하게 유지되지만, 최상부에 있는 P_8 의 온도는 33℃ 정도를 유지함을 볼 수 있다. 이는 No.3 개구부를 통해 고온 공기가 배출되기 때문이다. P_7 측의 위치에서는 150초부터 온도가 상승하기 시작하여 거의 정상상태로 된다. 또 열려 있는 경우 보다 온도가 조금 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 전체적으로 No.1 개구부가 열려 있는 경우보다 온도가 낮게 나타났다.

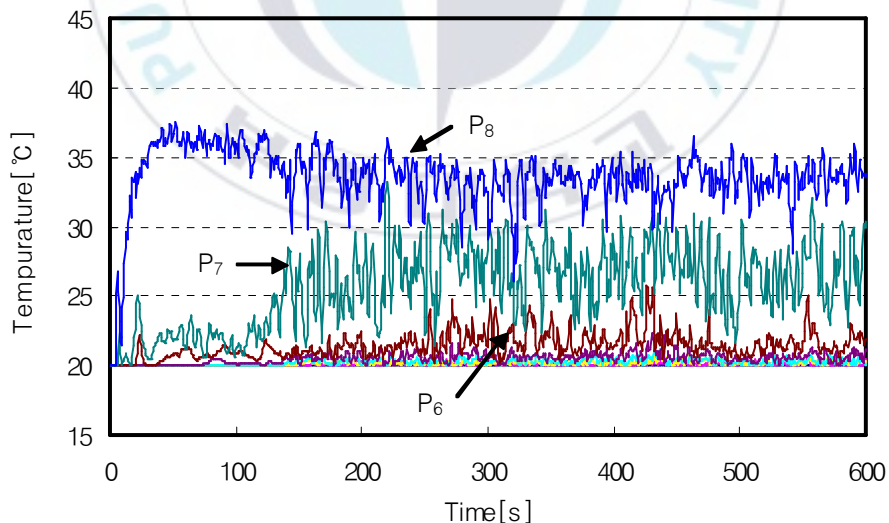


Fig. 9 Comparison of temperature variation
at $P_1 \sim P_8$ (59.5kW, vent closed)

3.2.2 $P_9 \sim P_{14}$ 의 온도 변화

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, 공간의 중심을 지나는 수직선상의 $P_9 \sim P_{14}$ 위치에서의 온도 변화를 Fig. 10에 비교하였다. $P_{10} \sim P_{14}$ 는 화염의 중심보다 높은 위치에 있기 때문에 40℃ 전후로 온도가 형성되지만, P_9 의 온도는 300℃ 정도를 유지함을 알 수 있다. P_9 는 화염의 근처에 위치하고 있기 때문에 다른 위치보다 온도가 월등히 높다. 또 No.1 개구부가 열려 있는 경우보다 온도가 더 낮은 변화를 보였다.

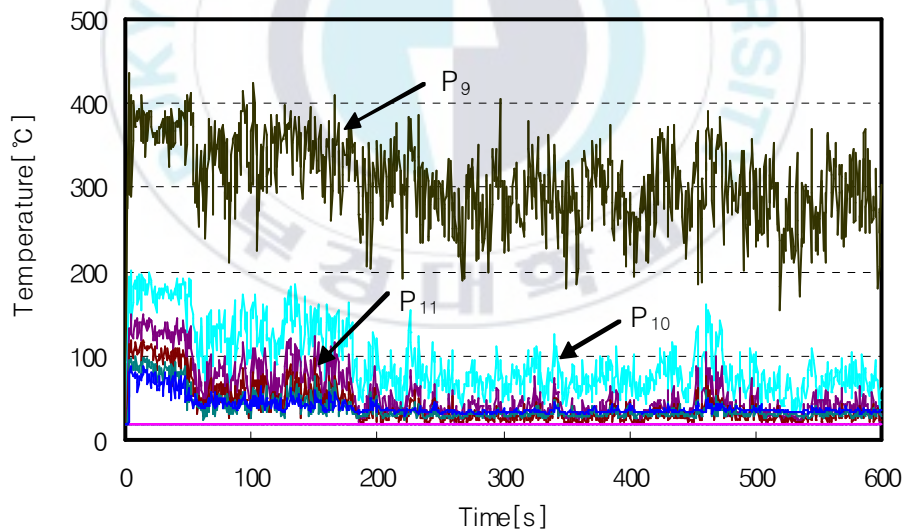


Fig. 10 Comparison of temperature variation
at $P_9 \sim P_{14}$ (59.5kW, vent closed)

3.2.3 $y = 1.0m$ 의 온도 분포

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $y = 1.0m$ 의 x - z 평면에서 온도 분포를 Fig. 11의 (a)~(d)와 같이 나타냈다. 심부에서는 상승하는 열기의 흐름이 제트(jet)를 형성하여 천정에 부딪힌 후 확산되는 현상을 보여주고 있다. 100초 일 때 온도 분포는 상부에서 $60^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 정도 이고, 시간이 지남에 따라 서서히 낮아지는 것을 알 수 있다.



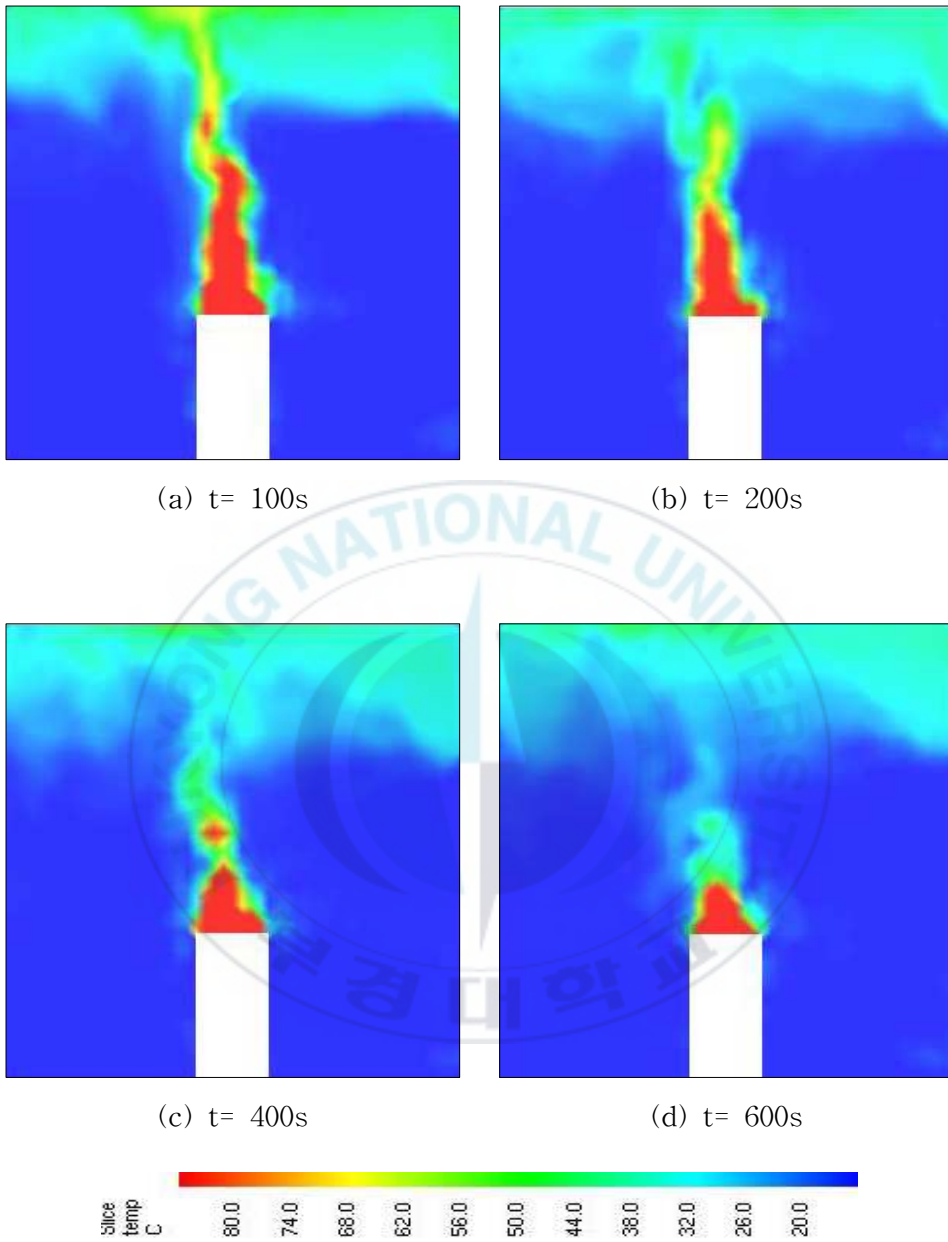


Fig. 11 Temperature distribution at the vertical plane of $y = 1.0\text{m}$
(59.5kW, vent closed)

3.2.4 $y = 1.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $y = 1.0m$ 의 x - z 평면에서 일산화탄소 분포는 Fig. 12의 (a)~(d)와 같이 나타났다. 100초 때의 일산화탄소 분포는 상부의 No.2 개구부 쪽으로 7~9ppm의 농도 형성되지만, 시간이 지남에 따라 서서히 농도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이것은 개구부를 통하여 외기가 계속적으로 유입되기 때문이다.



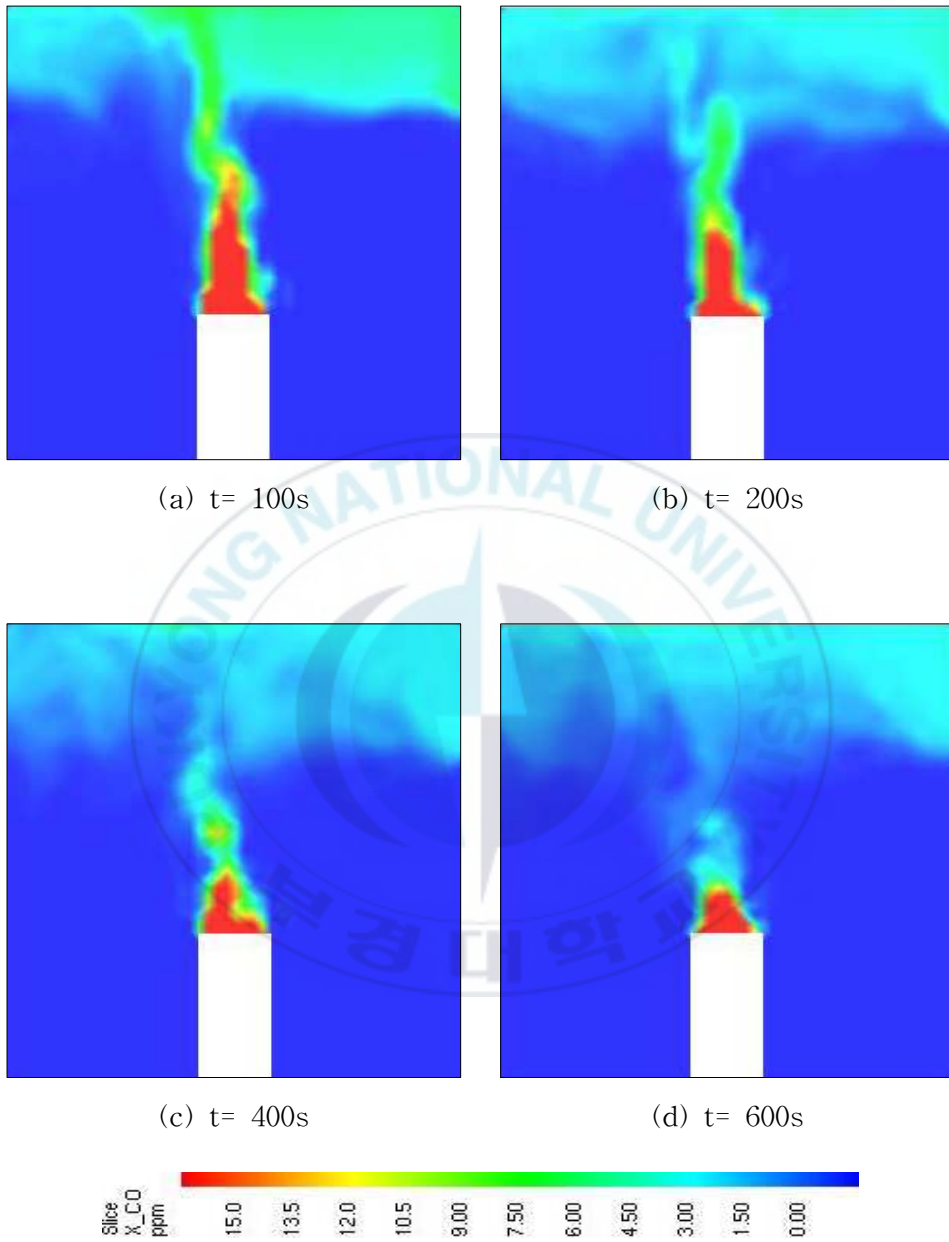


Fig. 12 Carbon monoxide distribution at the vertical plane of $y = 1.0\text{m}$
(59.5kW, vent closed)

3.2.5 $z=1.5m$ 의 온도 분포

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $z=1.5m$ 의 x-y평면에서 온도 분포는 Fig. 13의 (a)~(d)와 같이 나타났다. No.1 개구부가 닫혀 있을 때는 No.2 개구부의 영향으로 화염의 형성이 No.3 쪽으로 치우쳐 있는 것을 알 수 있다. 시간대 별로 큰 차이가 없고, 화염의 상부를 제외하고는 온도가 높지 않은 상태로 유지되고 있다. 이것은 화재규모가 작고 개구부를 통해 20℃의 공기가 계속 유입되기 때문이다.



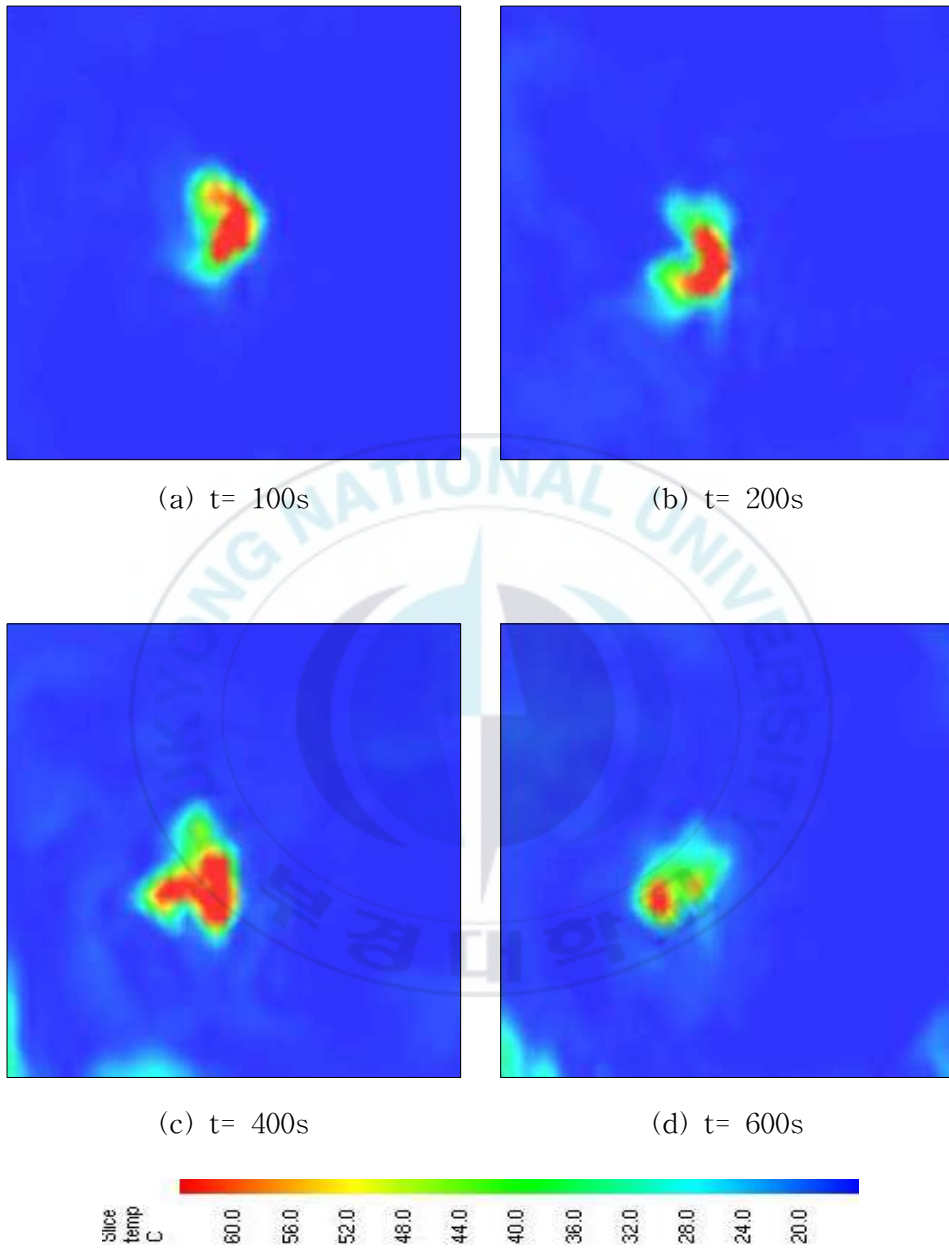


Fig. 13 Temperature distribution at the horizontal plane of $z = 1.5\text{m}$
(59.5kW, vent closed)

3.2.6 $z=1.5m$ 의 일산화탄소 분포

Fig. 14는 화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $z=1.5m$ 의 x-y평면에서 일산화탄소 분포이다. 시간의 지남에 따라 내부의 일산화탄소의 분포는 큰 변화가 없으나, No.1 개구부가 열려 있는 경우보다 농도가 짙게 표시된다. 또 모서리 부근에서 일산화탄소 분포가 나타났고, 중심부에서 No.3 개구부 쪽으로 치우쳐 확산되는 것을 알 수 있다.



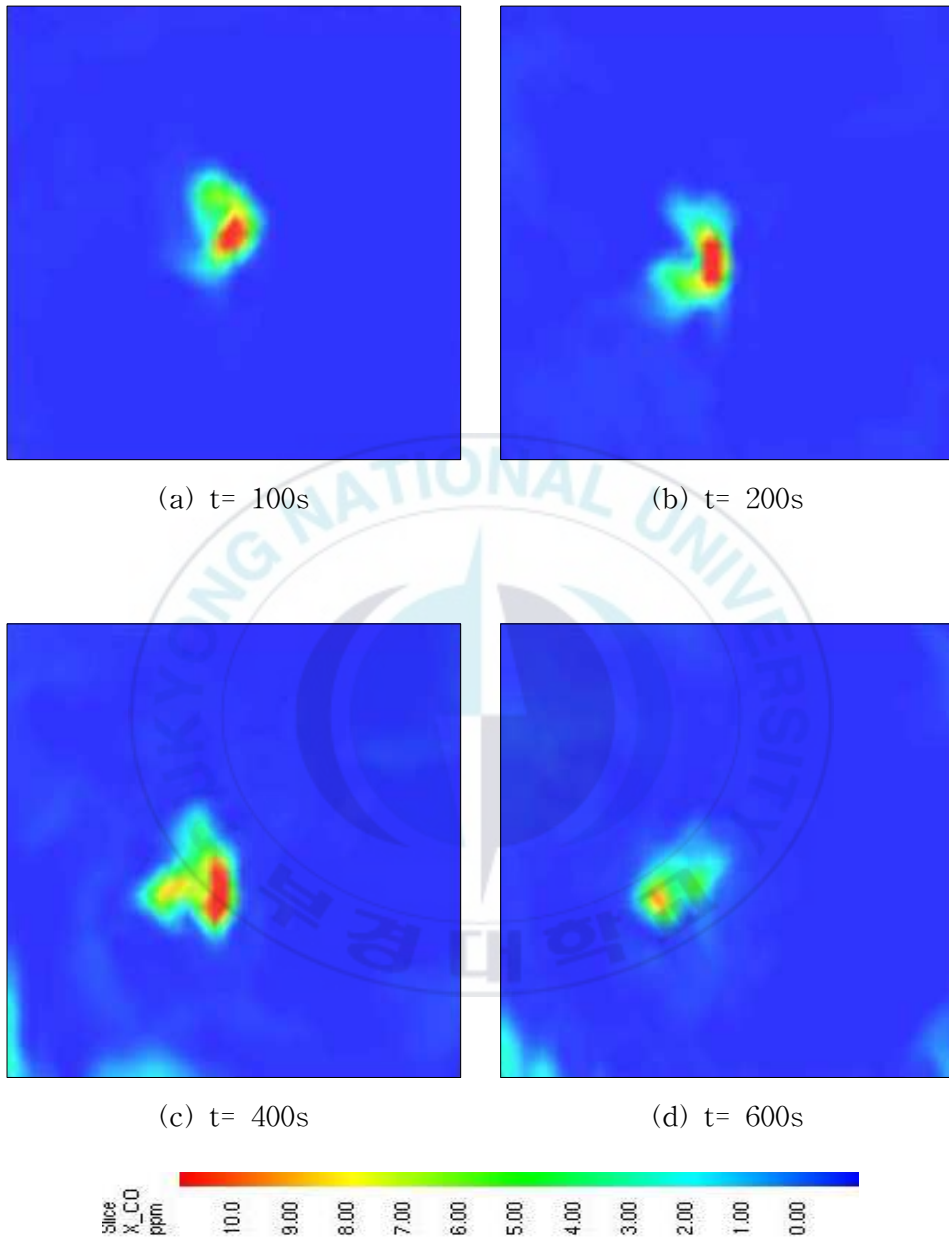


Fig. 14 Carbon monoxide distribution at the horizontal plane of $z = 1.5\text{m}$
(59.5kW, vent closed)

3.2.7 평균온도

화재규모가 59.5kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우(CASE II), $P_1 \sim P_{14}$ 의 위치에서 평균온도를 측정하기 위하여 온도가 거의 정상상태가 되는 400초 이후부터 600초까지의 평균값을 구했다. Fig. 15와 같이 P_9 지점인 0.8m높이에서 288°C 이고, 그 외의 지점에서는 시간이 지남에 따라 외기 온도인 20°C 에 가깝다.

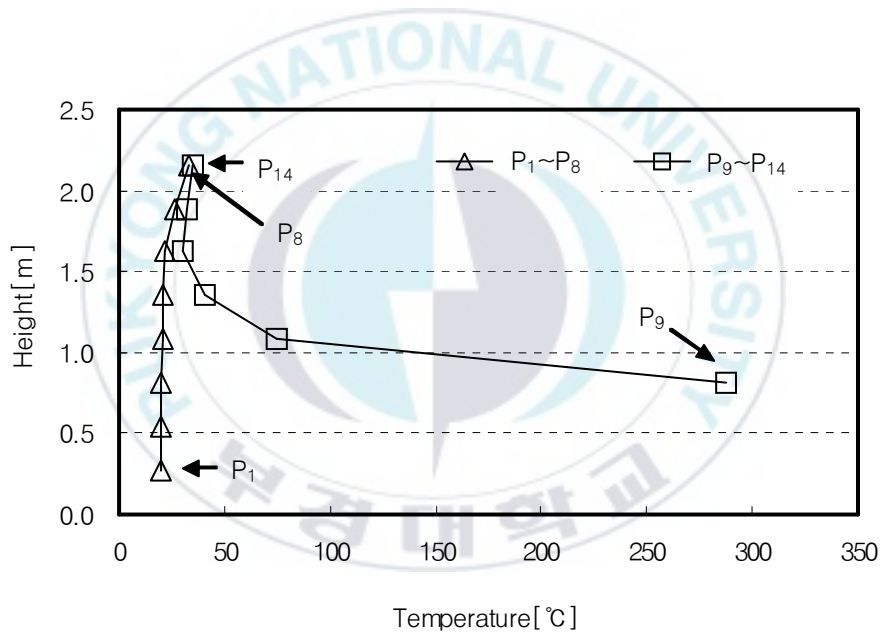


Fig. 15 Comparison of average temperature
at $P_1 \sim P_{14}$ (59.5kw, vent closed)

3.3 CASE III

3.3.1 $P_1 \sim P_8$ 의 온도 변화

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $P_1 \sim P_8$ 위치에서의 온도 변화를 Fig. 16에 비교하였다. P_1 에서 P_6 까지는 온도가 상온과 거의 비슷하게 유지되지만 이보다 상부에 위치한 P_7 에서는 상온보다 조금 높게 나타났고, 가장 높은 위치에 있는 P_8 의 온도는 44°C 내외를 유지함을 볼 수 있다. 이는 No.3 개구부를 통하여 고온의 공기가 배출되기 때문이다.

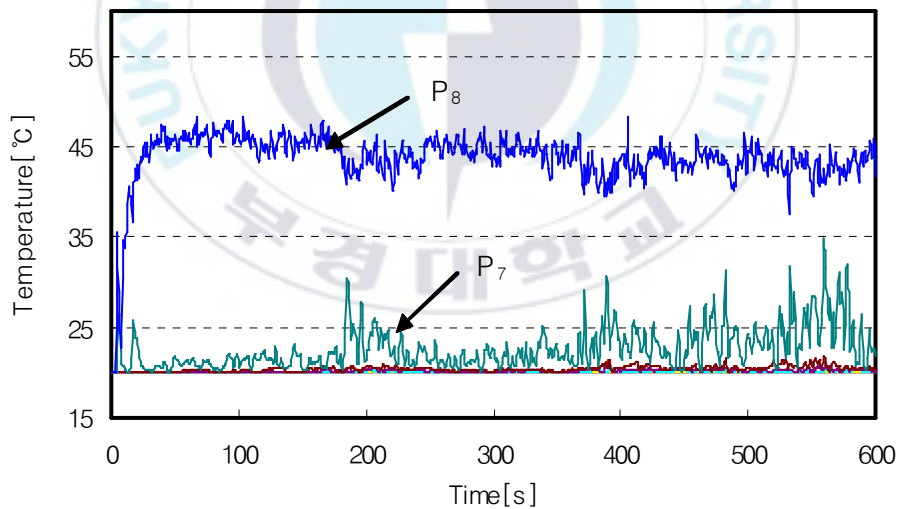


Fig. 16 Comparison of temperature variation
at $P_1 \sim P_8$ (119kW, vent open)

3.3.2 $P_9 \sim P_{14}$ 의 온도 변화

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, 공간의 중심을 지나는 수직선상의 $P_9 \sim P_{14}$ 위치에서의 온도 변화를 Fig. 17에 비교하였다.

$P_{10} \sim P_{14}$ 는 화염의 중심에서 벗어나 있기 때문에 온도가 $100^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ 전후이지만, P_9 는 온도가 $600^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ 를 유지함을 알 수 있다. P_9 는 화염의 근처에 위치하고 있기 때문에 다른 위치보다 온도가 월등히 높다.

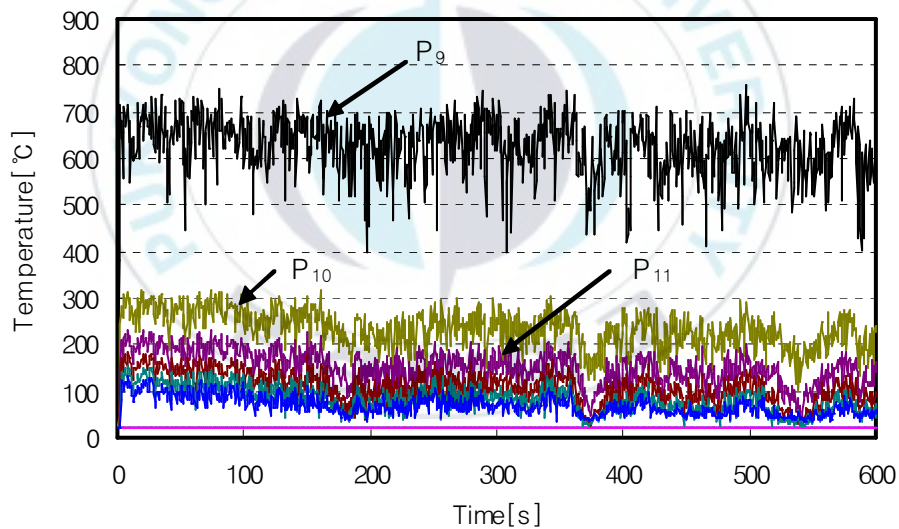


Fig. 17 Comparison of temperature variation
at $P_9 \sim P_{14}$ (119kW, vent open)

3.3.3 $y = 1.0m$ 의 온도 분포

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $y = 1.0m$ 의 x - z 평면에서의 온도 분포는 Fig. 18의 (a)~(d)와 같다. 각 시간대별로 큰 차이점을 볼 수 없으나 화재규모가 59.5kW와 119kW 일 때의 두 경우를 비교한 결과 온도 차가 대단히 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또 중심부에서는 상승하는 열기의 흐름이 제트(jet)를 형성하여 천정에 부딪힌 후 확산되는 현상을 보여주고 있다.



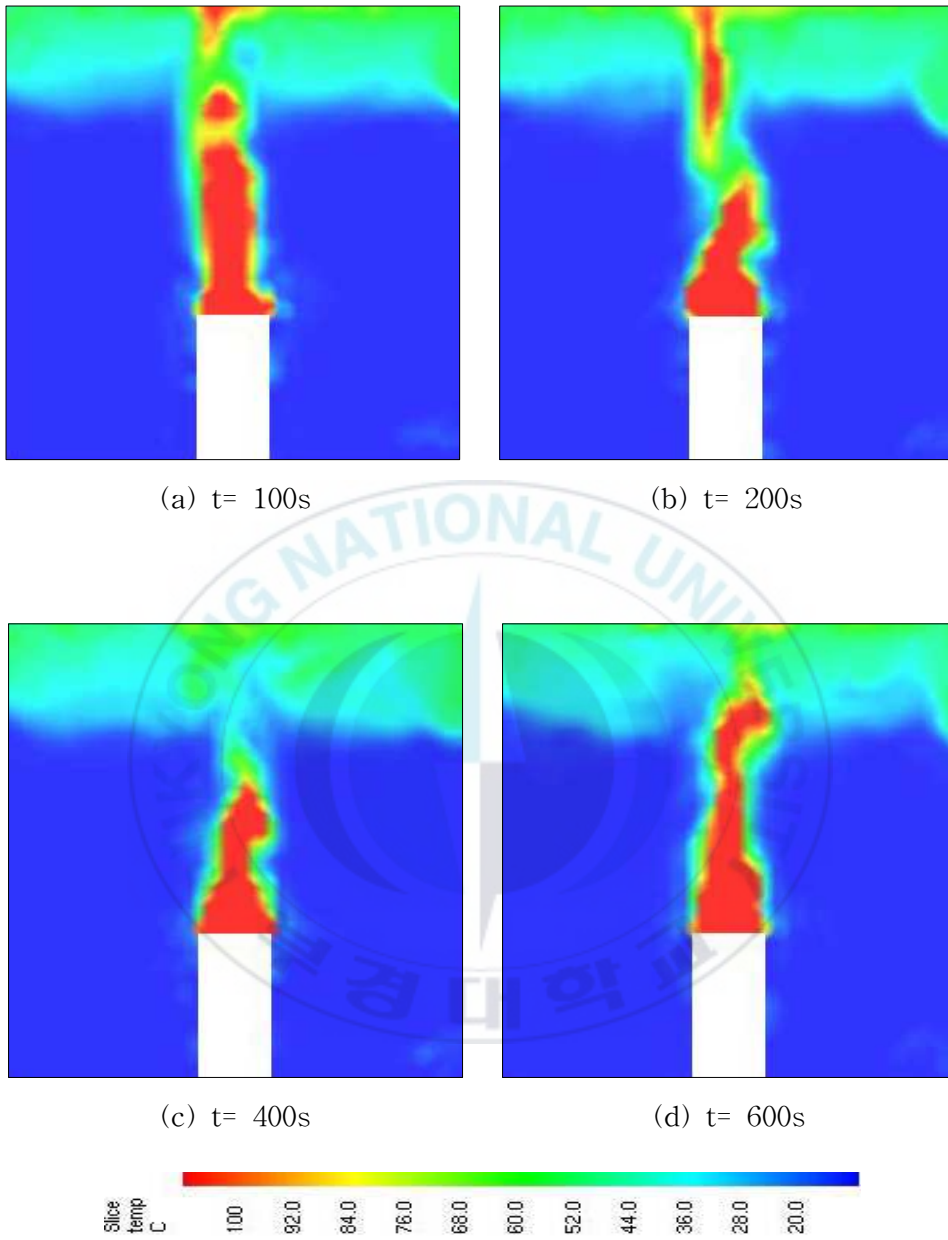


Fig. 18 Temperature distribution at the vertical plane of $y = 1.0m$
(119kW, vent open)

3.3.4 $y = 1.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $y = 1.0m$ 의 x - z 평면에서 일산화탄소 분포는 Fig. 19의 (a)~(d)와 같이 나타났다. 화재규모가 59.5kW일 때 보다 119kW에서의 일산화탄소 농도가 훨씬 짙게 나타난다. 200초에서 농도가 가장 높게 나타났고, 시간이 지남에 따라 개구부의 영향으로 농도가 낮아졌다. 중심부에서는 상승하는 열기에 의해 일산화탄소의 농도가 Fig. 18의 온도와 비슷한 형태로 확산되는 것을 알 수 있다.



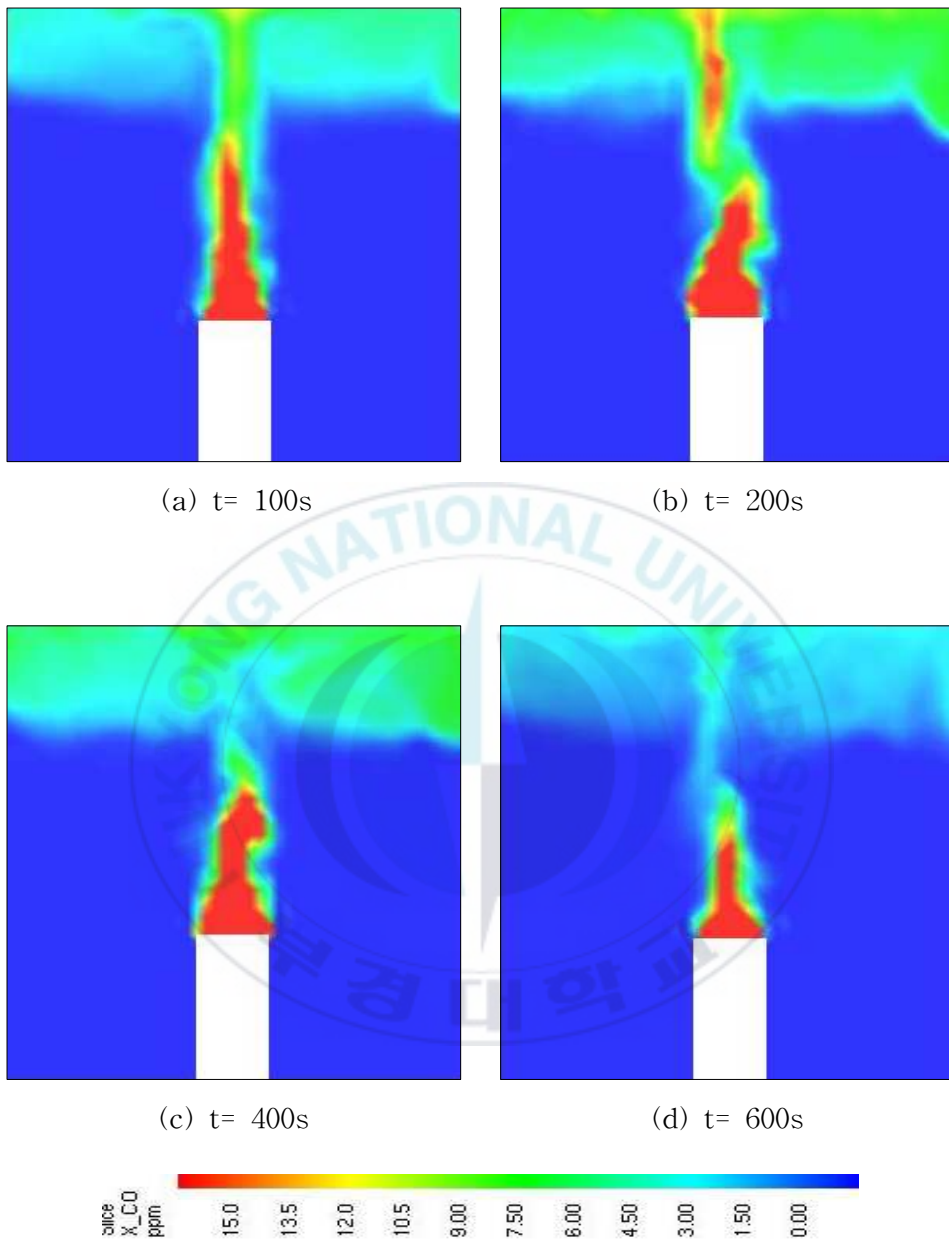


Fig. 19 Carbon monoxide distribution at the vertical plane of $y = 1.0\text{m}$
(119kW, vent open)

3.3.5 $z=1.5m$ 의 온도 분포

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $z=1.5m$ 의 x-y평면에서 온도 분포는 Fig. 20의 (a)~(d)와 같이 나타났다. 각 시간대별로 큰 차이가 없고, 59.5kW와 119kW 일 때의 두 경우를 비교해도 큰 차이가 없다. 화염의 상부를 제외하고는 온도가 높지 않은 상태로 유지되고 있다. 이것은 개구부를 통해 20℃의 공기가 계속 유입되기 때문이다.



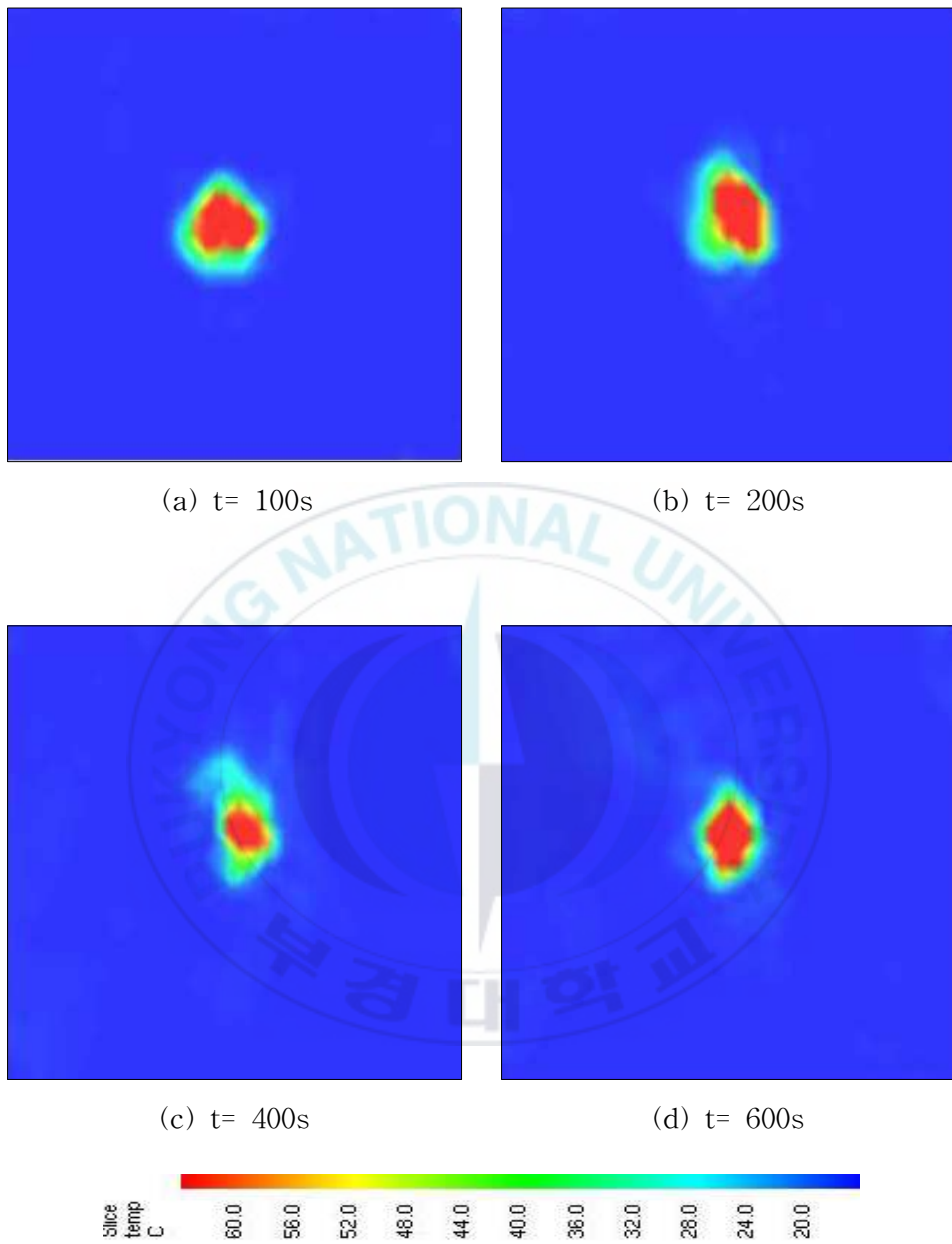


Fig. 20 Temperature distribution at the horizontal plane of $z = 1.5\text{m}$
(119kW, vent open)

3.3.6 $z=1.5m$ 의 일산화탄소 분포

Fig. 21은 화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $z=1.5m$ 의 x-y평면에서 일산화탄소 분포이다. 시간이 경과해도 일산화탄소의 분포는 큰 변화가 없고, 화재규모가 59.5kW보다 119kW 일 때의 농도가 높게 나타났다.



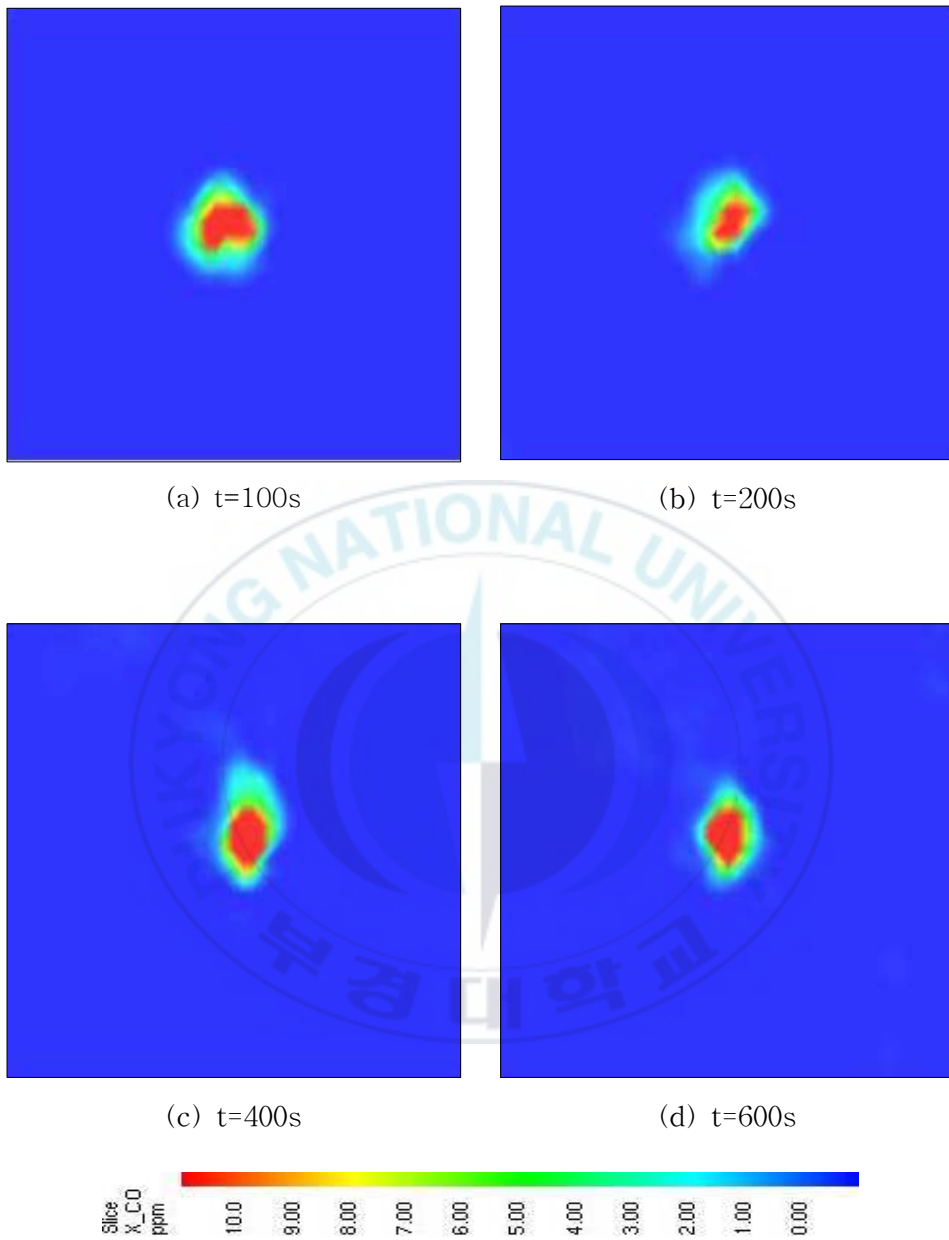


Fig. 21 Carbon monoxide distribution at the horizontal plane of $z= 1.5m$
(119kW, vent open)

3.3.7 평균온도

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우(CASE III), $P_1 \sim P_{14}$ 의 위치에서 평균온도를 측정하기 위하여 온도가 거의 정상상태가 되는 400초 이후부터 600초까지의 평균값을 구했다. Fig. 22와 같이 P_9 지점인 0.8m 높이에서 608°C 이고, $P_9 \sim P_{14}$ 의 온도가 화재의 중심 및 상부에 위치하고 있기 때문에 높게 나타났다. 그 외의 지점에서는 외기 온도인 20°C 에 가깝다.

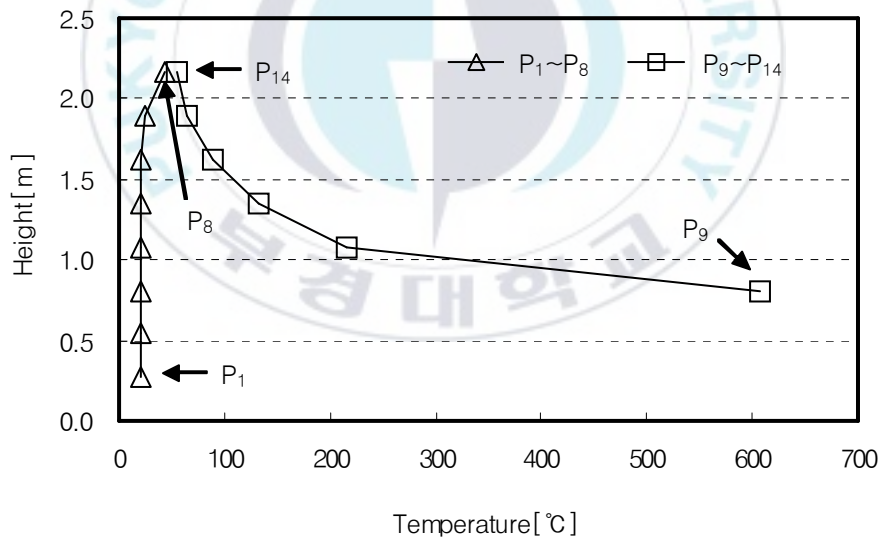


Fig. 22 Comparison of average temperature at $P_1 \sim P_{14}$ (119kW, vent open)

3.4 CASE IV

3.4.1 $P_1 \sim P_8$ 의 온도 변화

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $P_1 \sim P_8$ 위치에서의 온도 분포는 Fig. 23에 비교하였다. P_1 에서 P_6 까지는 온도가 상온과 거의 비슷하게 유지되지만, 이보다 상부에 위치한 P_7 은 상온보다 조금 높게 나타났고, 가장 높은 위치에 있는 P_8 의 온도는 41°C 내외를 유지함을 볼 수 있다. 이는 No.3 개구부를 통하여 고온의 공기가 배출되기 때문이다.

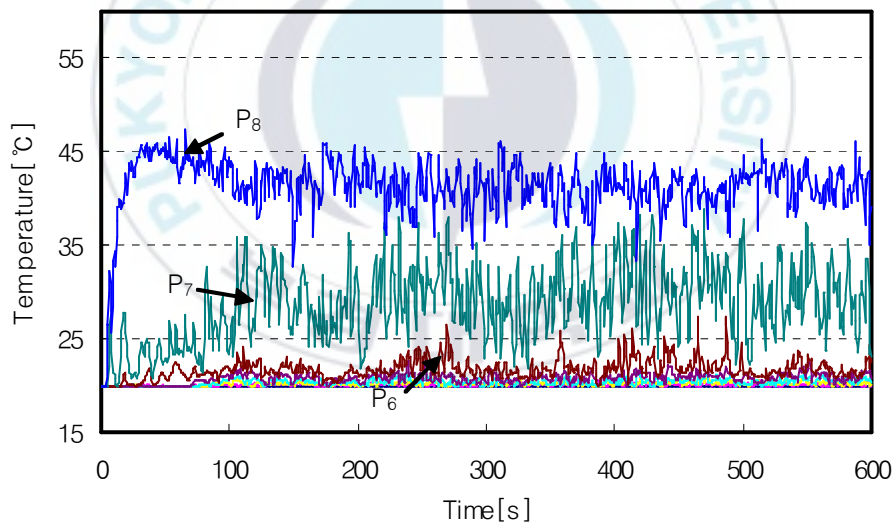


Fig. 23 Comparison of temperature variation
at $P_1 \sim P_8$ (119kW, vent closed)

3.4.2 $P_9 \sim P_{14}$ 의 온도변화

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, 공간의 중심을 지나는 수직선상의 $P_9 \sim P_{14}$ 위치에서의 온도 변화를 Fig. 24에 비교하였다.

$P_{10} \sim P_{14}$ 는 화염의 중심보다 높은 위치에 있기 때문에 $20^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ 내외로 나타난다. P_9 의 온도는 580°C 를 유지함을 알 수 있다. P_9 는 화염의 근처에 위치하고 있기 때문에 다른 위치보다 온도가 월등히 높다.

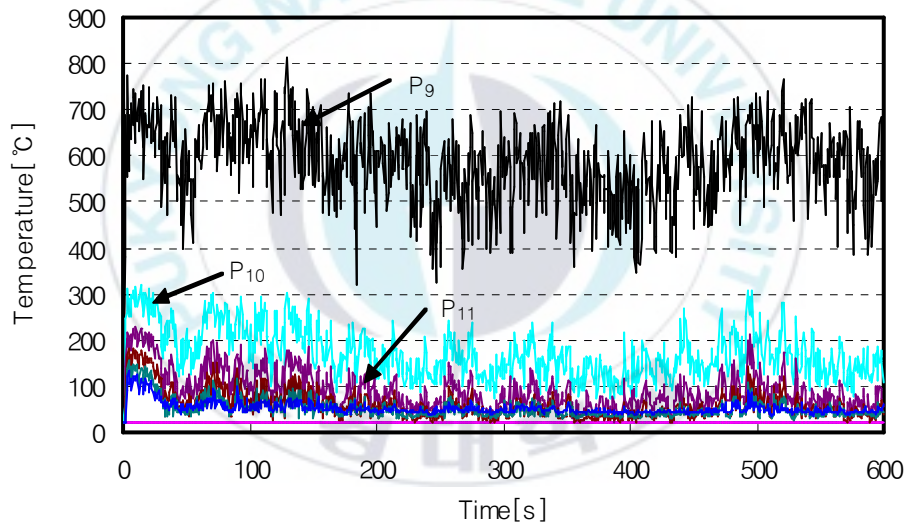


Fig. 24 Comparison of temperature variation
at $P_9 \sim P_{14}$ (119kW, vent closed)

3.4.3 $y = 1.0m$ 의 온도 분포

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $y = 1.0m$ 의 x - z 평면에서의 온도 분포는 Fig. 25의 (a)~(d)와 같다. 100초~200초에서 상부의 온도 분포는 $60^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 내외로 나타났고, 400초~600초에서 상부의 온도 분포는 $40^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 내외로 나타났다. 또 중심부에서는 상승하는 열기의 흐름이 제트(jet)를 형성하여 천정에 부딪힌 후 확산되는 현상을 보여주고 있다.



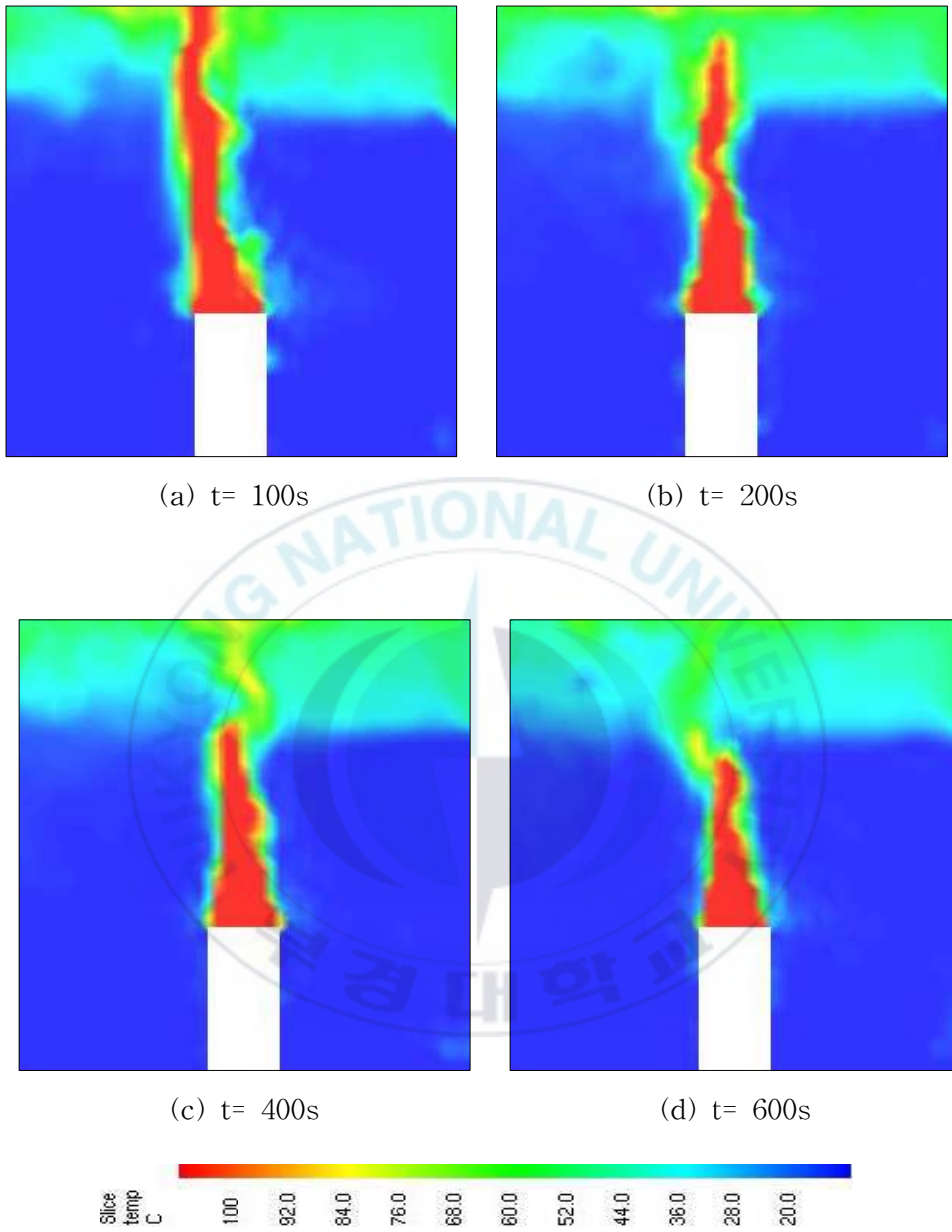
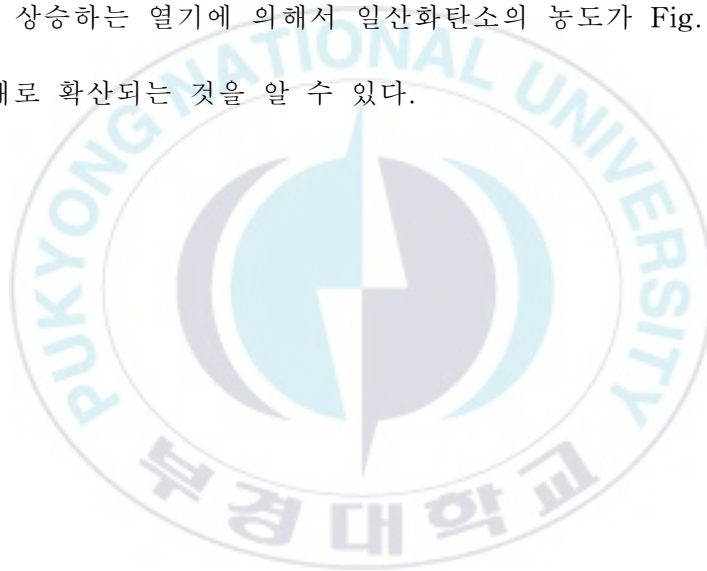


Fig. 25 Temperature distribution at the vertical plane of $y = 1.0\text{m}$
(119kW, vent closed)

3.4.4 $y = 1.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $y = 1.0m$ 의 x - z 평면에서 일산화탄소 분포는 Fig. 26의 (a)~(d)와 같이 나타났다. 화재규모가 59.5kW일 때 보다 119kW에서의 일산화탄소 농도가 훨씬 짙게 나타난다. 이것은 화재의 크기에 비례하여 일산화탄소의 발생량도 증가한 것이다. 시간이 지남에 따라 내부의 일산화탄소의 분포 양상은 큰 변화가 없으나 중심부에서는 상승하는 열기에 의해서 일산화탄소의 농도가 Fig. 25의 온도와 비슷한 형태로 확산되는 것을 알 수 있다.



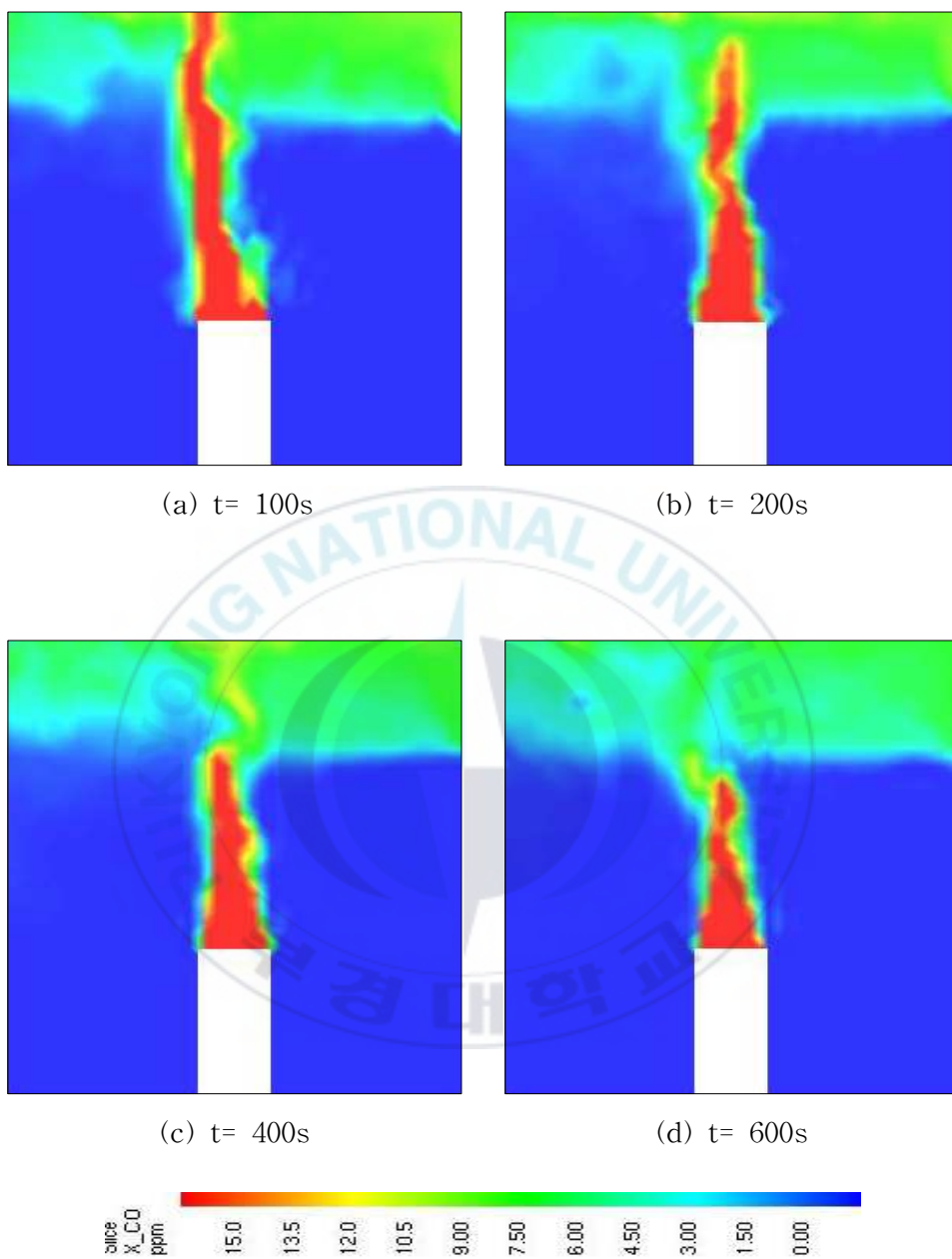


Fig. 26 Carbon monoxide distribution at the vertical plane of $y= 1.0\text{m}$
(119kW, vent closed)

3.4.5 $z=1.5m$ 의 온도 분포

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $z=1.5m$ 의 x-y평면에서 온도 분포는 Fig. 27의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 각 시간대 별로 큰 차이가 없고, 화염의 상부를 제외하고는 온도가 높지 않은 상태로 유지되고 있다. 또 같은 조건에서 화재규모가 다른 두 경우를 비교한 결과 $z=1.5m$ 위치에서는 119kW일 때 중심부의 고온범위가 59.5kW 보다 넓게 분포되어 나타났다.



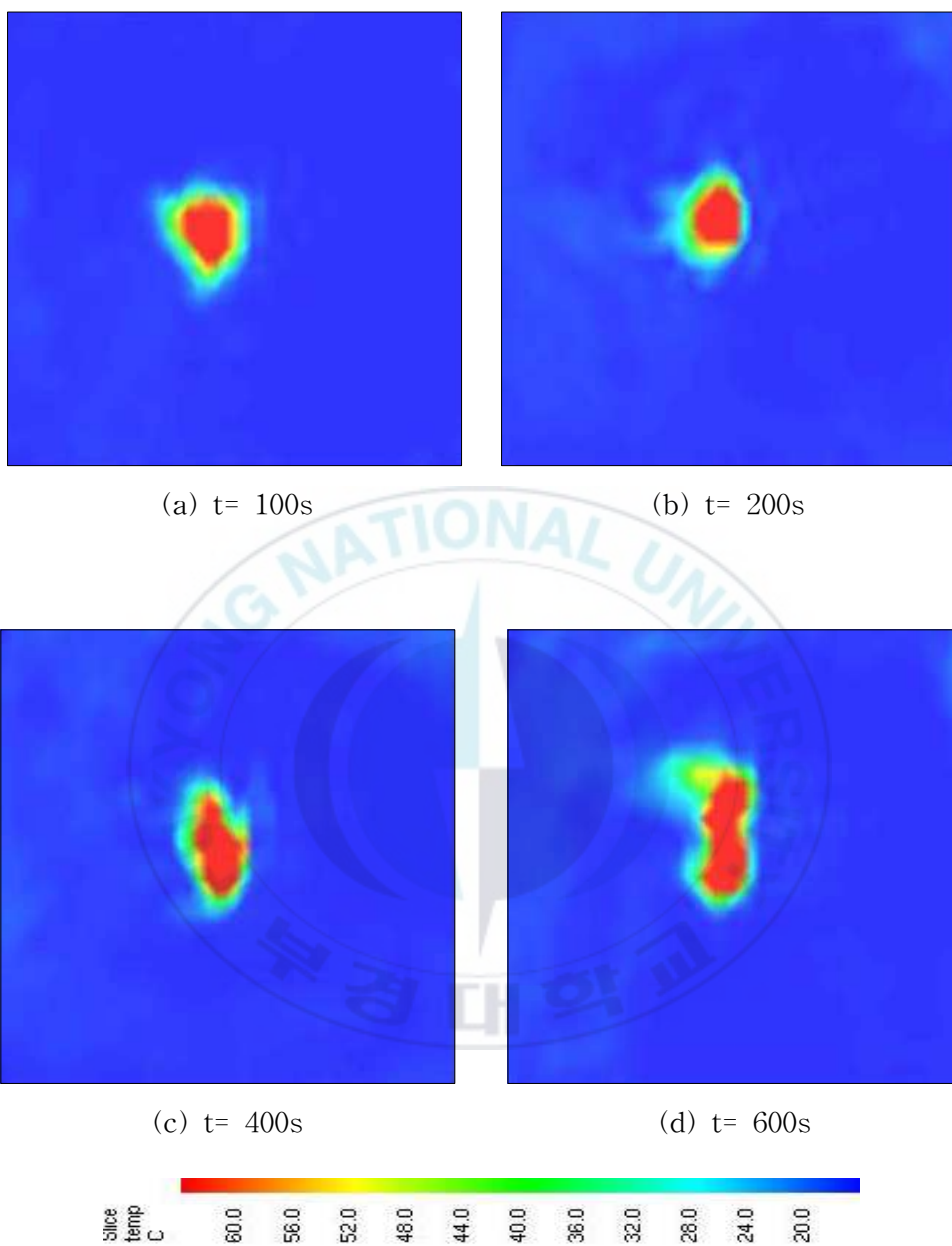


Fig. 27 Temperature distribution at the horizontal plane of $z = 1.5m$
(119kW, vent closed)

3.4.6 $z=1.5m$ 의 일산화탄소 분포

Fig. 28은 화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $z=1.5m$ 의 x-y평면에서 일산화탄소 분포이다. 시간이 경과해도 일산화탄소의 분포는 큰 변화가 없으나, No.1 개구부가 열려 있을 때보다 농도가 높게 나타난다. 또 No.2 개구부의 영향으로 중심부에서 No.3 개구부 쪽으로 치우쳐 확산되는 것을 볼 수 있다.



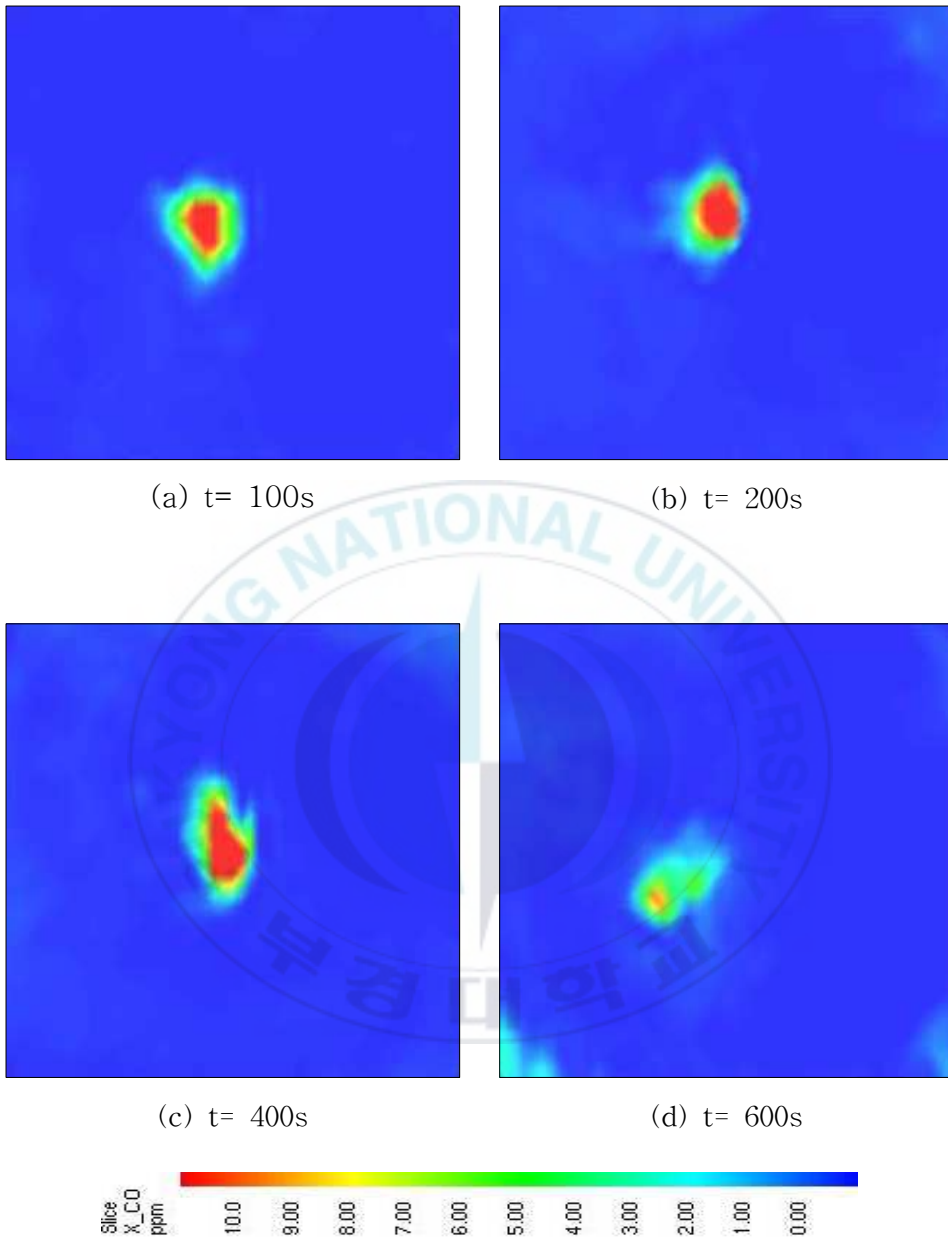


Fig. 28 Carbon monoxide distribution at the horizontal plane of $z = 1.5\text{m}$
(119kW, vent closed)

3.4.7 평균온도

화재규모가 119kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우(CASE IV), $P_1 \sim P_{14}$ 의 위치에서 평균온도를 측정하기 위하여 온도가 거의 정상상태가 되는 400초 이후부터 600초까지의 평균값을 구했다. P_9 지점인 0.8m 높이에서 582℃ 이고, $P_{10} \sim P_{14}$ 의 온도가 화염의 중심 및 상부에 위치하고 있기 때문에 높게 나타났다. 그 외의 지점에서는 외기 온도인 20℃에 가깝다.

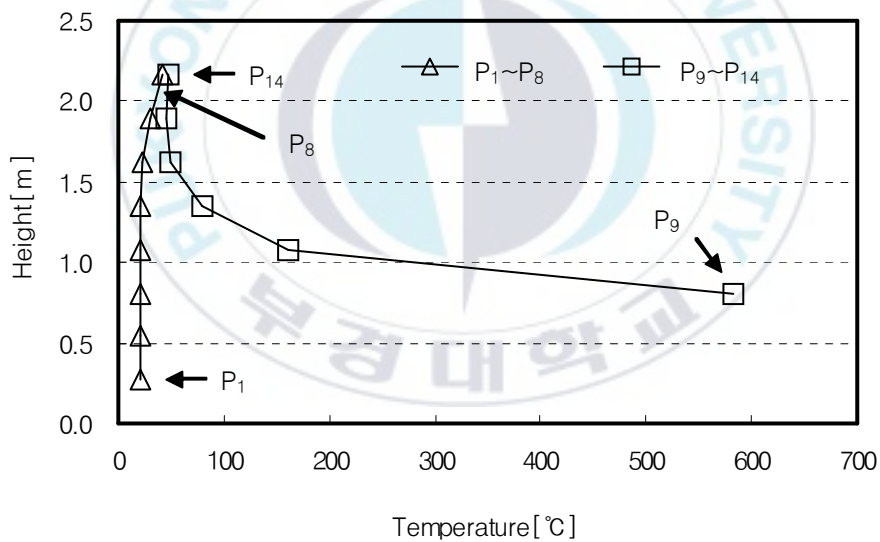


Fig. 29 Comparison of average temperature at $P_1 \sim P_{14}$ (119kW, vent closed)

3.5 개구부 개폐에 따른 온도의 비교

3.5.1 화재규모가 59.5kW 인 경우

화재규모가 59.5kW이고 P₁~P₈에서 No.1 개구부가 열려 있는 경우와 닫혀 있는 경우의 평균온도를 Fig. 30에 비교하였다. P₁~P₃까지는 개폐에 따른 온도 변화는 없고, P₄~P₇까지는 닫혀 있는 경우가 높고 최상부에 있는 P₈는 열려 있는 경우가 높다. 개구부의 개폐에 따른 P₈의 온도 차이는 1℃ 밖에 나지 않아 개구부의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

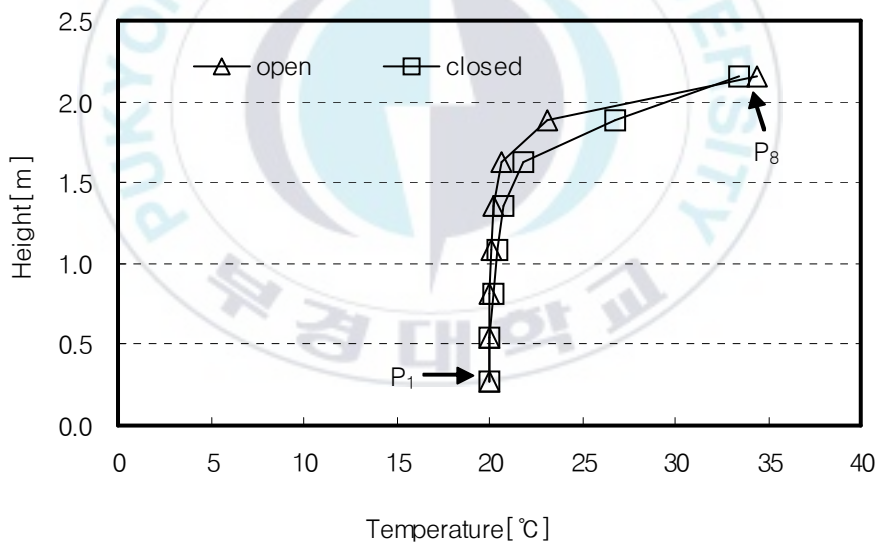


Fig. 30 Comparison of average temperature at P₁~P₈ (59.5kW)

화재규모가 59.5kW이고 $P_9 \sim P_{14}$ 에서 No.1 개구부가 열려 있는 경우와 닫혀 있는 경우의 평균온도를 Fig. 31에 비교하였다. $P_9 \sim P_{14}$ 까지는 개구부가 열려 있는 경우 온도가 조금 높게 나타난다. 이는 공기의 공급이 원활하기 때문이다. 개구부의 개폐에 따른 P_9 의 온도 차이는 33°C 이며 No.1 개구부가 열리면 산소공급이 원활하여 온도가 상승한 것으로 판단된다.

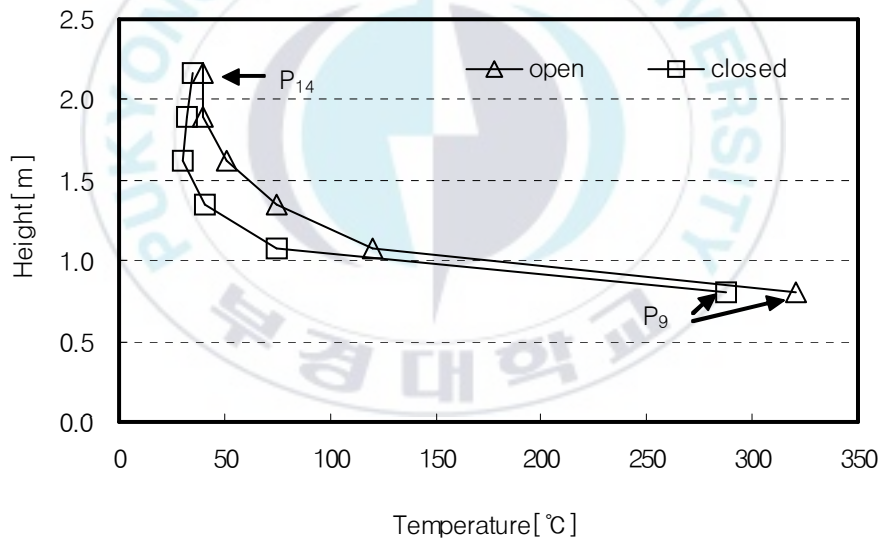


Fig. 31 Comparison of average temperature
at $P_9 \sim P_{14}$ (59.5kW)

3.5.2 화재규모가 119kW인 경우

화재규모가 119kW이고 P₁~P₈에서 No.1 개구부가 열려 있는 경우와 닫혀 있는 경우의 평균온도를 Fig. 32에 비교하였다. P₁~P₃까지는 개폐에 따른 온도 변화는 없고, P₄~P₇까지는 닫혀 있는 경우가 높고 최상부에 있는 P₈는 열려 있는 경우가 높다. 개구부의 개폐에 따른 P₈의 온도 차이는 2℃ 밖에 나지 않아 개구부의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

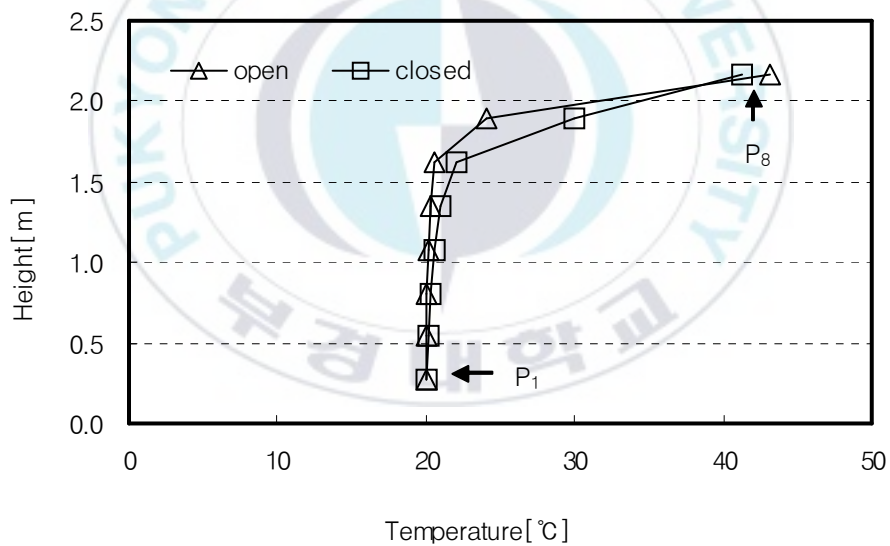


Fig. 32 Comparison of average temperature at P₁~P₈ (119kW)

화재규모가 119kW이고 $P_9 \sim P_{14}$ 에서 No.1 개구부가 열려 있는 경우와 닫혀 있는 경우의 평균온도를 Fig. 33에 비교하였다. $P_9 \sim P_{14}$ 까지는 개구부가 열려 있는 경우에 온도가 조금 높게 나타난다. 개구부의 개폐에 따른 P_9 의 온도 차이는 26°C 이며 No.1 개구부가 열리면 산소공급이 원활하여 온도가 상승한 것으로 판단된다.

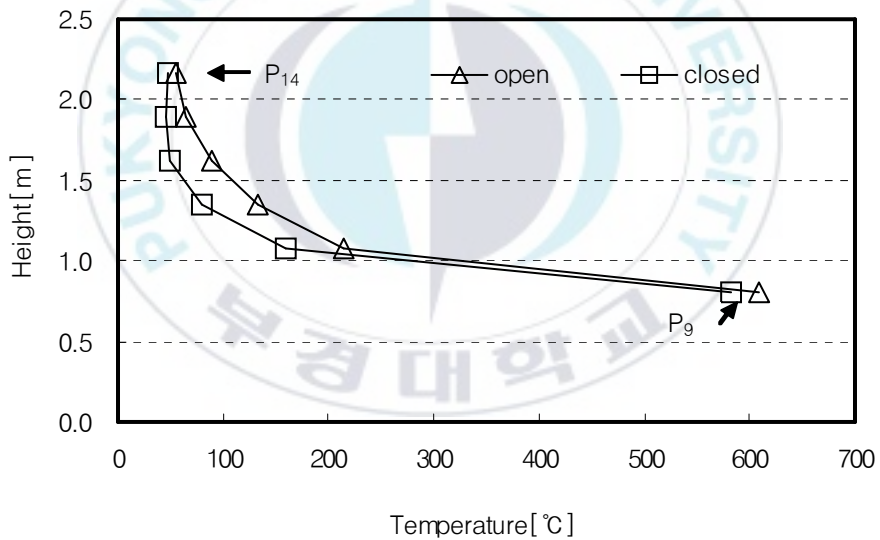


Fig. 33 Comparison of average temperature
at $P_9 \sim P_{14}$ (119kW)

3.6 화재규모에 따른 온도의 비교

3.6.1 개구부가 열려 있는 경우

화재규모가 59.5kW와 119kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $P_1 \sim P_8$ 위치의 온도 변화를 Fig. 34에 비교하였다. 화재규모가 두 배 정도 되지만 $P_1 \sim P_6$ 에서 온도의 변화는 거의 없다. 화재규모에 따른 P_8 의 위치에서 온도 차이는 9°C로 119kW일 때의 온도가 높게 나타난다.

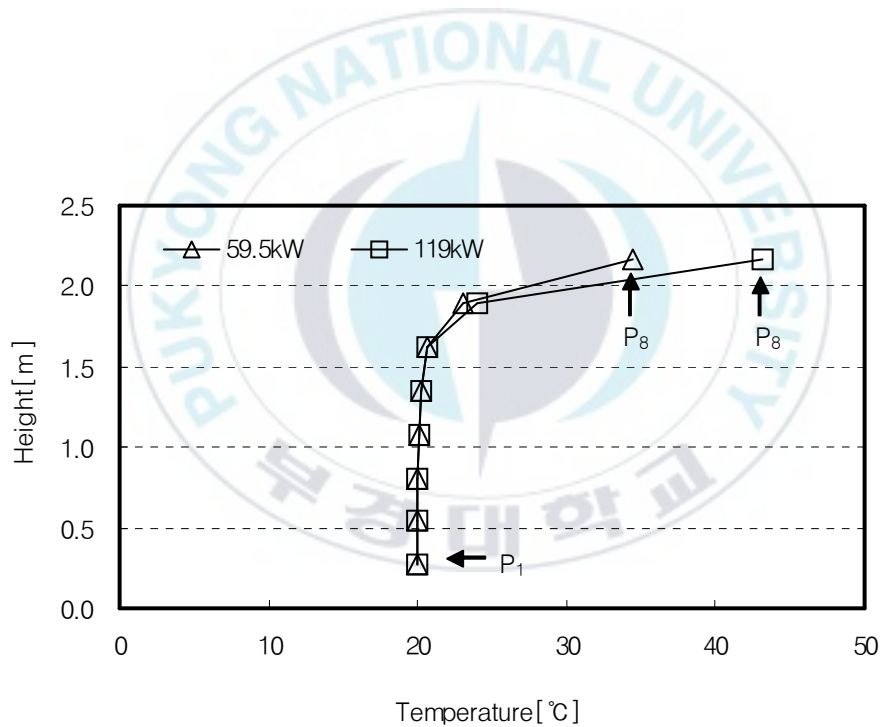


Fig. 34 Comparison of average temperature
at $P_1 \sim P_8$ (vent open)

화재규모가 59.5kW와 119kW이고 No.1 개구부가 열려 있는 경우, $P_9 \sim P_{14}$ 위치의 온도 변화를 Fig. 35에 비교하였다. $P_9 \sim P_{14}$ 의 위치에서 59.5kW보다 119kW일 때의 온도가 높게 나타난다. 화재규모에 따른 P_9 의 위치에서 온도 차이는 287°C 로 119kW일 때의 온도가 월등히 높게 나타난다.

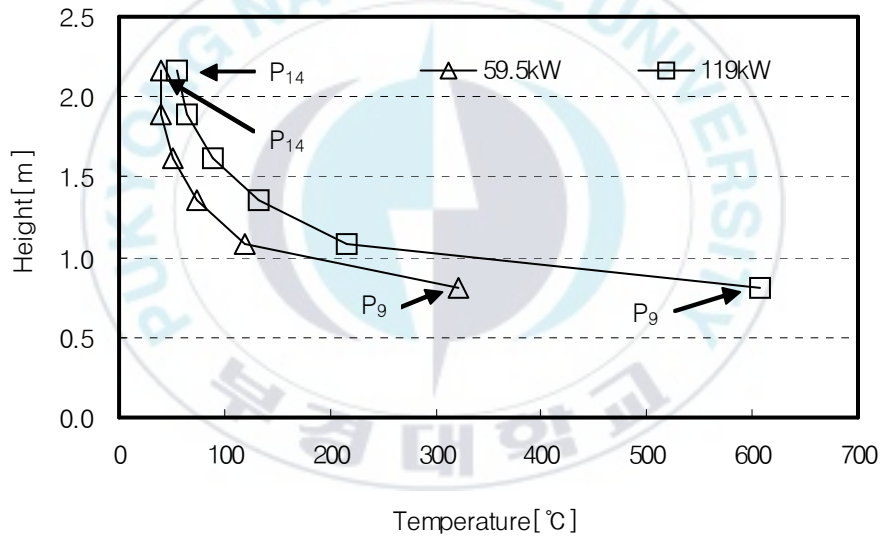


Fig. 35 Comparison of average temperature
at $P_9 \sim P_{14}$ (vent open)

3.6.2 개구부가 닫혀 있는 경우

화재규모가 59.5kW와 119kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $P_1 \sim P_8$ 위치의 온도 변화를 Fig. 36에 비교하였다. 화재규모가 두 배 정도 되지만 $P_1 \sim P_6$ 에서 온도의 변화는 거의 없다. 화재규모에 따른 P_8 의 위치에서 온도 차이는 8°C 로 119kW일 때의 온도가 높게 나타난다.

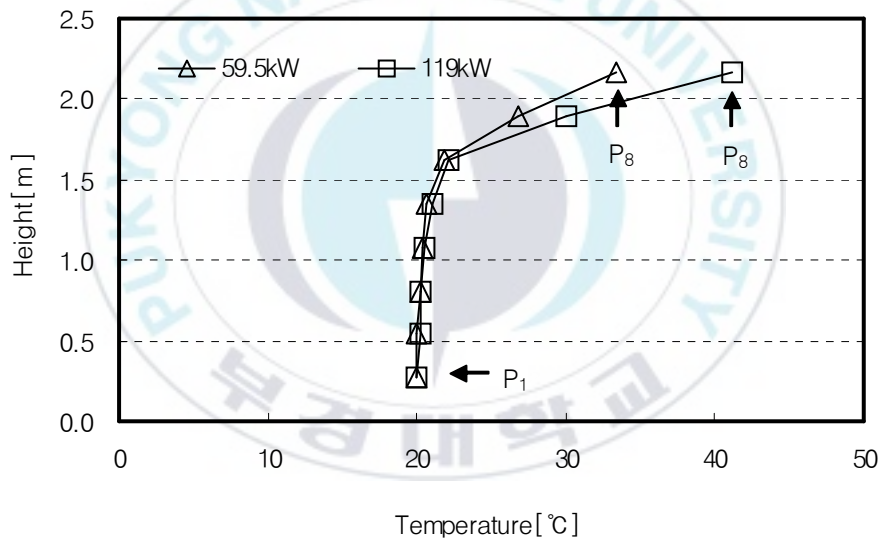


Fig. 36 Comparison of average temperature at $P_1 \sim P_8$ (vent closed)

화재규모가 59.5kW와 119kW이고 No.1 개구부가 닫혀 있는 경우, $P_9 \sim P_{14}$ 위치의 온도 변화를 Fig. 37에 비교하였다. $P_9 \sim P_{14}$ 의 위치에서 59.5kW보다 119kW일 때의 온도가 높게 나타난다. 화재규모에 따른 P_9 의 위치에서 온도 차이는 294°C 로 119kW일 때의 온도가 월등히 높게 나타난다.

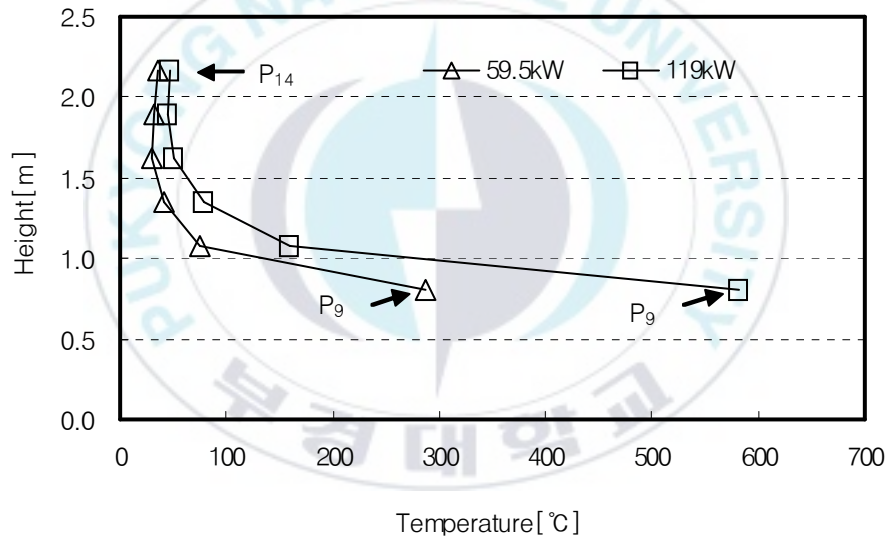


Fig. 37 Comparison of average temperature at $P_9 \sim P_{14}$ (vent closed)

4. 결 론

본 연구는 미분무소화설비 연구용 2.5m×2.0m×2.5m 크기의 화재실험실에 설치된 개구부의 크기와 화재규모의 적합여부를 확인하기 위하여 프로판 화재를 전산유체역학 프로그램으로 시뮬레이션 한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 두 가지 화재규모 59.5kW와 119kW의 경우 모두 개구부 개폐에 따라 실내온도의 변화는 매우 작음을 알 수 있었다.
- 2) 일산화탄소 농도 분포는 온도 분포와 유사하게 나타났다.
- 3) 화원의 바로 위쪽 온도는 개구부가 열린 경우에 산소공급이 많아 닫힌 경우보다 조금 높았다.
- 4) 두 화재규모에서 개구부 개폐의 영향이 작으므로 개구부의 크기와 화재 규모 59.5kW는 적합함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- 1) 소방방재청, “2005년도 전국화재통계자료 2”, pp. 48~56, 2006.
- 2) K. B. McGrattan, ed., Fire Dynamics Simulator(version 4.05) User's Guide, NIST, U.S.A., 2005.
- 3) 정진용, 유홍선, 이재하, 홍기배, “실내공간에서 화재 발생위치에 따른 연기거동에 대한 실험연구”, 대한기계학회논문집 B권, 제26권, 제5호, pp. 703~709, 2002.
- 4) 박외철, “큰 개구부가 있는 공간의 화재와 제연의 대와류모사”, 한국화재소방학회 논문지, 제17권 제3호, pp. 7~12, 2003.
- 5) 정진용, 유홍선, 이재하, 홍기배, “실내공간에서 화재 발생위치에 따른 연기거동에 대한 실험연구”, 대한기계학회논문집 B권, 제26권, 제5호, pp. 703~709, 2002.
- 6) 김서영, 강병하, “건물화재시 연소가스의 유동”, 공기조화냉동공학 제26권 제6호, pp 507~515, 1997.
- 7) 정진용, 홍기배, 이재하, 유홍선, “지하계단 화재에서 유동에 대한 실험 연구”, 설비공학논문집, 제15권, 제10호, pp. 821~823, 2003.
- 8) 박외철, “제연방식과 풍량에 따른 제연성능의 수치적 연구”, 한국화재소방학회 논문지, 제 17권 제2호, pp. 56~61, 2003.
- 9) O. Vauquelin, O. Megret, "Smoke extraction experiments in case of fire in a tunnel", Fire Safety Journal, Vol. 37, pp. 525~533, 2002.

- 10) 박외철, 이경아, “개구부 유동이 대류에 미치는 영향에 관한 수치연구”, 산업안전학회지, 제 15권 제3호, pp. 52~56, 2000.
- 11) 문종윤, 진봉경, 이정윤, 김정훈, 정기창, 김홍, “실제실험과 화재시물레이션 결과 비교연구, 한국안전학회 창립20주년 기념 학술발표회 논문집”, pp. 527~532, 2006.
- 12) 추병길, 조성곤, “밀폐공간내 화재에 의해 생성된 연소가스 분석 및 유동에 관한 연구”, 산업안전학회지, 제12권 제1호, pp. 77~93, 199
- 13) 노재성, 유홍선, 정연태, “화재 발생시 연기 거동에 대한 수치해석적 연구”, 산업안전학회지, 제13권, 제1호, pp. 70~76, 1998.
- 14) 정진용, 유홍선, 홍기배, “실내화재에서 연기거동에 미치는 복사영향에 대한 수치해석적 연구”, 한국화재소방학회지 논문지, 제14권, 제3호, pp, 2000.
- 15) 박외철, 고경찬, 정이규, “청정화재시물레이션”, 한국안전학회 창립20주년 기념 학술발표회 논문집, pp. 197~202, 2006
- 16) 고경찬, 박외철, “FDS를 이용한 실내화재 모사의 문제점 - I. 중심형 화재”, 산업안전학회지, 제19권, 제1호, pp. 18~22, 2004.
- 17) 고경찬, 박외철, “FDS를 이용한 실내화재 모사의 문제점 - II. 벽면형 및 모서리형 화재”, 산업안전학회지, 제19권, 제3호, pp. 9~13, 2004.
- 18) K. B. McGrattan, ed., Fire Dynamics Simulator(version 4.05) Technical Reference Guide, NIST, U.S.A., 2005.

A Numerical Study on Effects of Vent in a Room Fire

Lee-Gyu Jeong

Department of Safety Engineering,

Graduate School of Industry,

Pukyong National University

Abstract

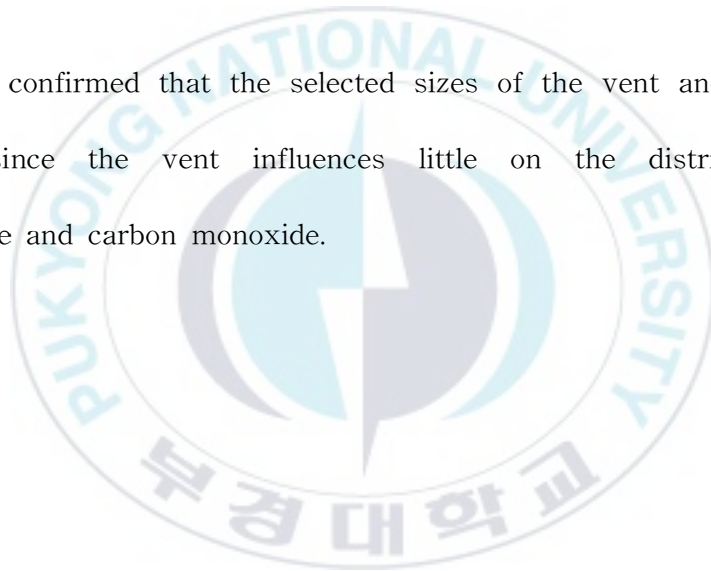
For a propane fire in a 2.5m×2.0m×2.5m room, the distributions of temperature and carbon monoxide were investigated with and without a vent to examine its effects for two fire sizes, 59.5kW and 119kW, using a CFD program. The following conclusions could be drawn from this study.

- 1) For the two fire sizes of 59.5kW and 119kW, the difference in temperature with and without the vent was very small.

2) The distributions of carbon monoxide concentration showed results similar to those of temperature.

3) The temperature in the fire source, when the vent was open, was slightly higher than that when the vent was closed, with increasing oxygen supply to the room.

4) It was confirmed that the selected sizes of the vent and fire were suitable since the vent influences little on the distributions of temperature and carbon monoxide.



감사의 글

배우고자 하는 열망으로 늦깎이 공부를 위하여 부경대학교 안전공학과
문을 두드린지 어느덧 2년의 세월이 흐른 것 같습니다.

일천한 지식으로 학업을 이어가는데 어려움이 많았지만 뒤에서 든든하게
지켜주시고, 지도해 주시고, 진정한 배움의 길로 이끌어 주신 박외철 교수
님께 머리 숙여 감사드립니다. 심사위원으로 논문의 품위와 격을 높여주신
이내우 교수님과 이동훈 교수님 그리고 학문의 깊이를 더해주신 장성록 교
수님, 최재욱 교수님, 권오현 교수님, 이의주 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

학업에만 전념할 수 있도록 격려와 용기를 북돋워주신 직장의 선후배 교
관님들과 업무와 학업을 병행하는 가운데 소홀했던 업무의 일부분을 맡았
이 채워주신 허기원 교관님께 진심으로 감사드립니다. 도움을 청하기만 하
면 자기 일처럼 도와주신 고경찬 선생님과 세심하게 지도하여 부족함을 채
워 주신 배동철 선생님 그리고 생소한 대학원 생활에 활력을 주신 강지웅
선생님, 정필훈 선생님과 설비안전연구실의 학부생들에게도 감사드립니다.

석사과정을 마치기까지 노심초사 마음으로 애써주신 어머니, 누님, 동생,
장인, 장모님께 감사드리고, 처형과 처제 그리고 동서들께도 감사드립니다.

항상 늦은 귀가로 마주앉아 저녁도 같이 못하고 공부를 핑계로 함께 놀아
주지도 못한 사랑하는 아들 수웅이에게 고마움을 전하며, 아무런 불평 없이
만학의 길을 열어준 사랑하는 아내 김영민씨에게도 고마운 마음을 전합니
다.

앞으로 더욱더 학문에 증진하여 모든 분들의 은혜에 보답하고자 노력하겠
습니다.

2006년 한해가 저물어가는 어느 날

정이규 올림

