



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 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

地下鐵 昇降場 制煙境界壁의
煙氣擴散 遲延에 대한 研究



2007年 8月

釜慶大學校 産業大學院

安全工學科

劉三烈

工學碩師 學位論文

地下鐵 昇降場 制煙境界壁의 煙氣擴散 遲延에 대한 研究

指導教授 朴 外 哲

이 論文을 工學碩師 學位論文으로 提出함

2007年 8月

釜慶大學校 産業大學院

安全工學科

劉 三 烈

劉三烈의 工學碩師 學位論文을 認准함

2007年 8月

主 審 工學博士 李 義 周



委 員 工學博士 李 來 雨



委 員 工學博士 朴 外 哲



목 차

1. 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 동향 및 목적	3
2. 수치모사 방법	7
2.1 지배방정식	7
2.2 계산방법	8
3. 분석 및 고찰	12
3.1 CASE I	12
3.2 CASE II	21
3.3 CASE I CASEII 유속 비교	30
3.4 CASE III	32
3.5 CASE IV	41
3.6 CASEIII CASEIV 유속 비교	50
3.7 풍속에 따른 온도의 비교	52
3.8 제연경계벽에 따른 온도의 비교	58
4. 결론	64
참고문헌	65
Abstract	66

기 호 설 명

D	: 확산계수 (m^2/s)
g	: 중력가속도 (9.81m/s^2)
h	: 엔탈피 (J/kg)
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)
f	: 힘 벡터 (N)
k	: 열전도 계수 ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)
$\dot{m}'''$	: 단위체적당 생성률
τ	: 전단응력텐서 (N/m^2)

1. 서론

1.1 연구 배경

부산 지하철 1호선은 전국에서 다섯 번째, 한강 이남에서는 첫 번째로 개통된 지하철 노선으로 부산의 중심 시가지를 잇는 노선으로 총 연장 32.5km이고 정거장 34개소가 운영되며, 하루 이용객이 40만명으로 지방지하철에서 최고의 이용객수를 달리고 있다. 또한 2호선, 3호선이 계속적으로 연장되어 가고 있으며, 현재 3호선의 경우 승강장내에 PSD(Platform Screen Door)가 설치되어 승객의 안전, 환기, 방재 설비로서 운영되며, 승강장내의 효과적인 화재를 진압하기 위한 스프링클러가 설치되었고 불연재가 사용 되고 있다.

그러나 1호선의 경우 대구지하철 화재 이후로 설비의 정비 및 관리는 하고 있으나, 실제적인 개선과 대책은 미비한 실정이다. 승강장에는 아직 20년전의 연결 살수설비가 설치되어 있으며, 승강장이나 대합실에 설치되어 있는 광고판은 PVC, FRP, 폴리우레탄, 아크릴등 으로 인해 화재시에 강력한 유독가스를 방출하게 된다. 이런 유독가스로 인해 일반승객들은 질식 하거나, 당황하여 옥내 소화전 및 소화기를 사용하지 못 할 수도 있다. 대구지하철 화재에서 알 수 있듯이 지하공간은 무창층의 공간이므로 화재 발생시 열·연기가 공간내에 축만하게 되는데, 대부분의 사망자들은 유독가스와 연기에 질식해 미쳐 대피를 하지 못하고, 소화기 및 옥내 소화전은 사용 자체가 어려운 상황 이었다.¹⁾

지하철의 경우 그 구조적 공간 특성 때문에 화재발생시 피난동선과 연기의 이동 경로가 동일하며 피난시에 지상으로 이동하는 오르막 방향 보행

이므로 체력소모도 많아 호흡 빈도수가 높아져 비교적 크지 않은 연기 및 유독가스에 많은 인명피해를 초래 할 수도 있다. 그러므로 지하철은 화재 발생 시 신속한 대피가 되어야 하며, 대합실로 이동하는 계단의 연기제어는 인명피해를 최소화하는 중요한 방안으로 필수적이라 할 수 있다. 화재에 취약한 부분을 화재 시뮬레이션을 통하여 피난을 위한 안전성 평가를 실시하여 보완해 나가야 할 것이다.



1.2 연구 동향 및 목적

도시기능의 집중화에 따라서 대도시에 있는 토지와 도로의 수요는 계속 증대 되고 있다. 따라서 지상공간의 한계로 인한 지하공간의 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 특히 지하공간의 이동수단인 지하철은 주변건물과 지하상가를 수평으로 연결시켜 다른 지하공간 및 부속건물과 연결통로 등으로 이용되어 지하는 거대한 미로형 공간을 형성하는 경향을 나타내고 있다.

2003년 2월 18일 대구 지하철 화재로 인한 피해상황은 사망자 192명, 부상자 148명을 합한 총 사상자수 340명이며, 시설물은 총 지하3층 연면적 10,437㎡ 중에서 승강장 2,004㎡이 소손 되고, 지하1층에서 지하2층까지의 8,433㎡ 면적이 열손 및 오손 되었다. 그 외에 객차 12량 소손, 발매기·발권기 등 대합실 기기, 역무설비, 통신설비, 승강장설비의 일체 소손 및 오손되어 합계 재산피해가 47억원이며, 복구비는 516억으로 엄청난 경제적 손실을 입었다.²⁾

이와 같이 대중교통수단인 지하철은 그 이용자가 불특정 다수인으로 화재가 발생하게 되면 막대한 인명 및 재산의 피해를 입게 된다.

이러한 대구지하철화재를 거울삼아 지하철 화재발생 혹은 유사한 재난으로 인한 인명 및 재산 피해를 최소화하기 위한 연구가 필요하다.

박외철³⁾은 FDS(Fire Dynamics Simulator)을 이용하여 크기 4m×1m×1.5m의 공간에 50kW의 폴리우레탄 화재가 발생했을 때 급기방식의 제연설비는 제연효과가 거의 없음을 밝혔으나, 공간의 크기와 구조가 실제 지하철역과 가까운 조건에서 이를 확인할 필요가 있었다. 그리하여 지하철역의 구조와 유사한 10m×3m×5.4m 크기의 부분을 대상으로 하여

승강장에 화재가 발생하였을 때, 계단 주위와 2층 출입통로에서의 온도와 연기입자의 분포를 비교함으로써 기존 제연방식인 급기방식의 문제점을 조사하였다. 그 결과 급기방식 제연설비는 제연효과가 거의 없어 연기를 신속히 제거할 수 없음을 확인 하였다.

박외철⁴⁾은 지하철역의 승강장 계단주위의 공간($10\text{m} \times 3\text{m} \times 2.6\text{m}$)에서 200kW와 2MW 폴리우레탄 화재에 대하여 배기방식 제연설비의 풍량에 따른 온도와 연기입자의 분포를 FDS로 조사하였다. 그 결과 배기풍량이 제연성능에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났고, 풍량이 증가할수록 제연능이 개선되는 것은 두 화재크기에서 비슷하게 나타났다. 연기를 신속하게 배출하기 위해서는 배기풍량을 충분히 크게 해야 함을 알 수 있었다.

박원희 등⁵⁾은 지하역사의 화재 발생 시 공기 및 연기의 거동 현상을 파악하기 위해 연기발생장치(Vicount 500, Concept engineering) 및 가열기를 이용하였을 때, 가열된 연기를 이용, 여러 가지 제연모드에 따른 연기 흐름 현상을 분석 하였다.

승강장의 모든 제연 구역에서 전체 강제 배기로 배연을 한경우가 화재가 발생한 구역에서만 자동 배기로 배연하는 것 보다 연기하강 시간을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다. 이는 전구역 배연을 할 경우 배연량이 제연구역별 배기를 할 경우보다 제연구역이 최대 4배까지 크고 환기실이 연결되어 있는 터널과 외부와 통하는 대합실과 연결된 피난계단에서 충분히 신선한 공기의 유입이 가능하기 때문이다. 그러나 전구역에서 배연장치를 작동하면 피난계단을 통한 대합실에서의 공기 유입으로 인한 연기층 교란과 계단실 부근의 연기 적체 현상도 나타났다.

노삼규 등⁶⁾은 화재시뮬레이션을 이용하여 지하철 역사 공간의 화재 시

의 수직개구부상에 제연경계벽의 효용성을 비교 분석하였다.

이 결과에서, 수직 개구부상의 제연경계벽을 설치하는 것이 매우 효과적이며 화재초기의 피난여유시간을 확보함으로써 다량의 인명피해를 예방할 수 있을 것으로 분석되었다.

장희철⁷⁾은 수유역사의 대략적인 크기(20.4m×205m×6m) 선로와 승강장에 설치된 기둥의 크기와 개수, 피난계단, 급기구 및 배기구의 위치와 개수를 동일하게 FDS에 적용하여 환기팬 풍량에 의한 열 및 연기분포 특성을 수치해석적으로 분석 하였다. 그 결과, 배기구의 유속 크기는 화재에 의한 열 및 연기유동에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 배연 풍량이 클수록 높은 제연효과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

박외철⁸⁾은 FDS를 이용하여 좌우에 각각 한 개의 급기구와 배기구가 있는 공간 (2m×2m×2.4m)에 급기구와 배기구의 크기를 각각 0.5m×0.5m로 하여 제연방식과 풍량에 따른 제연성능을 조사하였다. 그 결과, 급배기구의 위치와 주어진 조건에서 개구부가 없는 경우에는 세 가지 제연방식 모두 비슷한 제연성능을 나타내었으나, 개구부가 있는 경우의 급기방식은 제연효과가 떨어졌다. 이 결과로 여러 개의 개구부가 존재하는 지하철역에는 급기방식 대신에 배기방식이나 급배기방식을 사용해야 함을 확인할 수 있었다.

이동호⁹⁾은 지하철 화재시의 안전을 확보하기 위한 국내지하철 화재사고와 외국의 화재 사고사례에 대해 분석 검토한 결과에서 화재사고의 대부분이 가시거리 확보곤란으로 인해 대피가 신속하게 이루어지지 못하여 유독가스에 의한 질식사 사망사고의 주요 원인이며, 터널유형별로 안전성은 일방향 단선터널이 복선터널보다 위험도가 낮은 것으로 나타나고 있

다. 또한 배연팬 운전에 따른 본선부 및 승강장의 화재안전성 평가에서 인접구간과 연계한 배연팬 운전으로 임계풍속을 만족하는 push pull 환기가 가능하며, 승강장의 화재시에는 승강장 양단에 있는 환기소를 이용한 배기 및 push pull방식에 의해 효과적인 제연이 가능함에 따라 보다 안전한 대피의 확보가 가능함을 밝혔다.

최창진¹⁰⁾은 실제역사를 1/25 scale 로 축소한 모델을 설치하여 지하철 본선 및 승강장에서의 화재 발생시의 연기거동을 확인하고, PSD(Platform Screen Door)와 제연송풍이 연기 거동에 미치는 영향을 실험 분석하였다. 이 결과에서 제연 송풍이 기본으로 역사에 운영되고 있을 때 PSD의 설치가 중요성을 알 수 있었고, PSD가 설치 되어있지 않을 경우 제연 송풍이 오히려 역사 내 연기를 확산시키는 역효과를 불러 올 수 있음을 실험을 통해 알 수 있었다.

이와 같이 화재 관련 연구에서의 FDS는 가상 모델을 사용한다. FDS는 산업체의 화재를 분석하기 위해 설계되었으므로 화재의 크기가 지정되고 물질의 특성 값과 연소화학에 관한 입력 데이터를 정확히 한다면 수치적 오차가 줄어들고 실제로 실험된 결과와 유사한 화재 결과를 도출 할 수 있다.

본 연구는 FDS¹¹⁾를 이용해 지하철역사의 층간 방화구획이 없음으로 인해 피난동선과 연기의 이동경로가 동일하여 발생하는 피해를 최소화하기 위함이다. 수직개구부상의 제연경계벽을 설치함에 있어 화재시물레이션을 통한 분석으로 제연경계벽의 연기확산 지연에 따른 실효성을 평가하는데 연구 목적이 있다.

2. 수치모사 방법

2.1 지배방정식

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

질량 보존 방정식

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

화학종 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i \mathbf{v} = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{m}_i'' \quad \dots\dots\dots (2)$$

운동량 보존 방정식

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

에너지 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{v} = \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot \mathbf{q}_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_i \nabla \cdot h_i \rho D_i \nabla Y_i \quad \dots\dots (4)$$

이상기체의 상태방정식

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

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 FDS(Fire Dynamics Simulator)¹¹⁾는 미국 표준 기술연구소(National Institute of Standards and Technology, NIST)에서 개발되었으며, FDS는 화재로 발생하는 유체흐름을 계산하는 CFD(computational fluid dynamics) 모델이다. 화재로부터 발생하는 열과 연기의 유동을 수치적으로 해석하며, 수치적 해석을 시각적으로 표현하여 다양한 화재 연구에 많이 이용되고 있다. 편미분방정식 (1)~(5)의 해를 구하는데 FDS를 사용한다.

FDS는 난류 모델로 Large Eddy Simulation를 사용하며 연소는 연료 및 산소의 반응이 무한히 빠르다고 가정하는 혼합분율 모델을 사용한다. 또한 에너지 방정식의 복사열전달에는 유한체적법을 사용한다.

본 연구는 Fig 1의 부산 시청지하철 역사의 승강장 일부분을 실제측정해서 1:1 scale로 모델을 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

실험실 화재가 아닌 실제의 실내화재를 정확하게 모사하는 것은 대단히 어려운데 화재 모델을 어떻게 설정하느냐에 따라 그 결과가 달라지기 때문이다. 본 연구는 배연풍속 및 제연경계벽의 설치에 따른 성능 비교이므로, 실제 화재의 진행과정이나 화재크기에 관계없이 모델을 설정할 수 있다. 그러므로 예비계산을 통해 연기이동의 비교에 적합하도록 화재크기를 2MW의 폴리우레탄 화재로 설정 하였고, 화재발생순간($t=0s$)부터 계산종료($t=360s$)까지 일정한 열발생률 2MW로 연소가 진행되는 것으로 가정 하였다.

실험모형의 크기는 17.4m × 5.0m × 7.0m 이고 Table 1과 같이 3개의 개구부와 3개의 배연구가 있다. 제연경계벽을 시작으로 피난계단 입구(A

지점 6.3m, 3.8m)와 피난계단참(B지점 11.2m, 3.8m)과 대합실입구(C지점 16.4m, 3.8m)에 각각 바닥을 기준으로 0.5m의 간격으로 열전대(thermocouple)를 배열하였다. 이 열전대는 화재발생 후 시간경과에 따라 온도와 일산화탄소의 체적농도를 기록하는 지점이다.

본 연구에서 풍속에 따른 제연경계벽 설치를 4가지로 시뮬레이션하여 수행하였으며, 그 경우를 Table 2와 같이 Case I, II, III, IV,로 표시 하였다.



Table 1. Dimension and location of vents

<i>No.</i>	<i>dimensions</i>	<i>locations of centers</i>	<i>remark</i>
1	17.4m×2.7m	8.7m, 0.0m, 1.35m	open
2	2.8m×2.7m	0.0m, 1.4m, 1.35m	open
3	2.0m×3.1m	17.4m, 4.0m, 5.45m	open
4	0.65m×0.45	2.55m, 2.876m, 2.7m	outlets
5	0.65m×0.45	6.675m, 1.925m, 2.7m	outlets
6	0.65m×0.45	11.625m, 1.925m, 2.7m	outlets

Table 2. Combination of parameters

	<i>wind velocity</i>	<i>Smoke Reservoir Screen</i>
<i>case I</i>	1.2 m/s	with
<i>case II</i>	1.2 m/s	without
<i>case III</i>	2.27 m/s	with
<i>case IV</i>	2.27 m/s	without

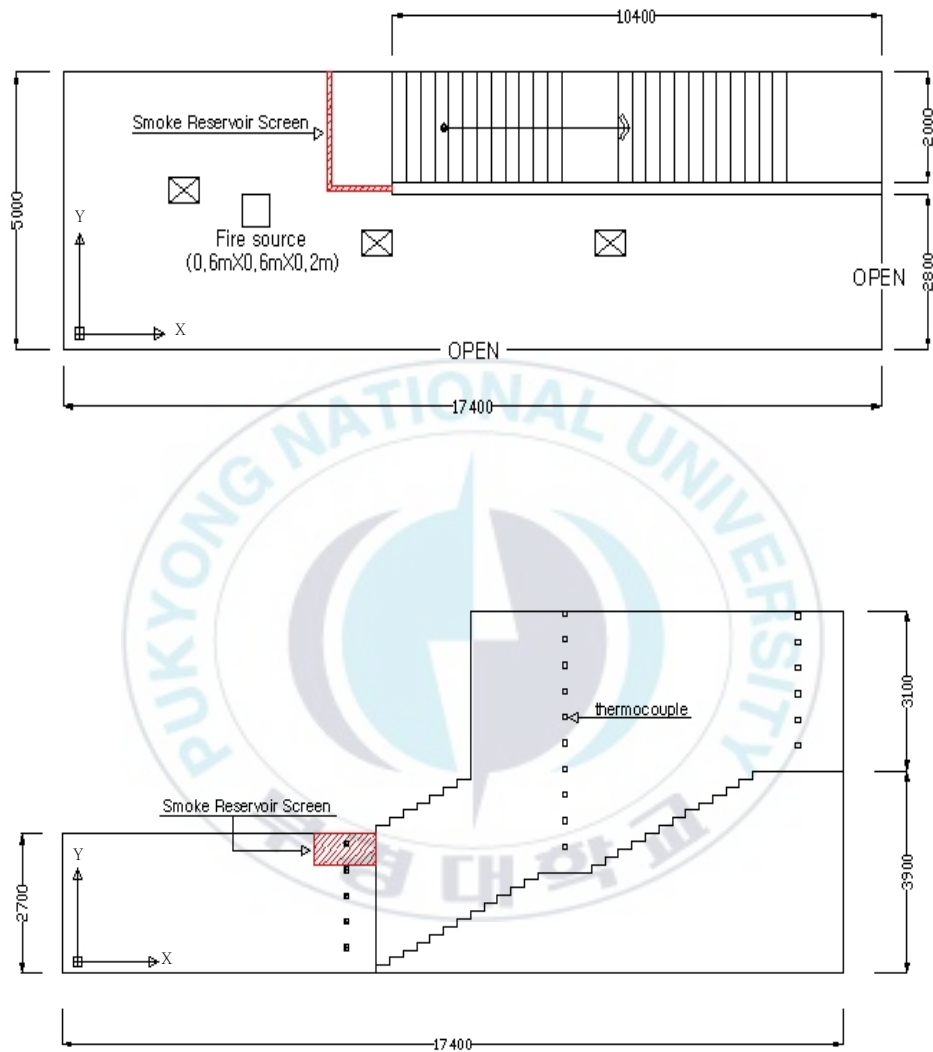


Fig. 1 Computational domain and configuration

3. 분석 및 고찰

3.1 CASE I

3.1.1 A₁~A₅의 온도 변화

화재의 크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며, 제연경계벽의 설치 시에 바닥에서 0.5m 간격으로 A₁~A₅까지 온도 변화를 분석하여 Fig 2에서 시간대 별로 비교 하였다. 실험결과 화재 발생 30초 이후 A₁지점의 평균온도는 225.2℃이고 A₂지점 95.9℃로써 평균 온도 값이 높음을 알 수 있으며, A₃, A₄, A₅에서 각각 평균온도 23.7℃, 20.3℃, 22.2℃로 분석되었다.

화원의 근처의 A지점의 온도변화는 플룸(plume) 현상으로 상층부위 온도가 확연히 높음을 알 수 있고, 고온의 공기가 수직적 상승으로 인해 연기가 피난계단과 배기구로 배기됨으로 인해 높이 1.5m이하의 A₃~A₅에서는 평균 온도 22.1℃로 안정되게 유지됨을 알 수가 있다.

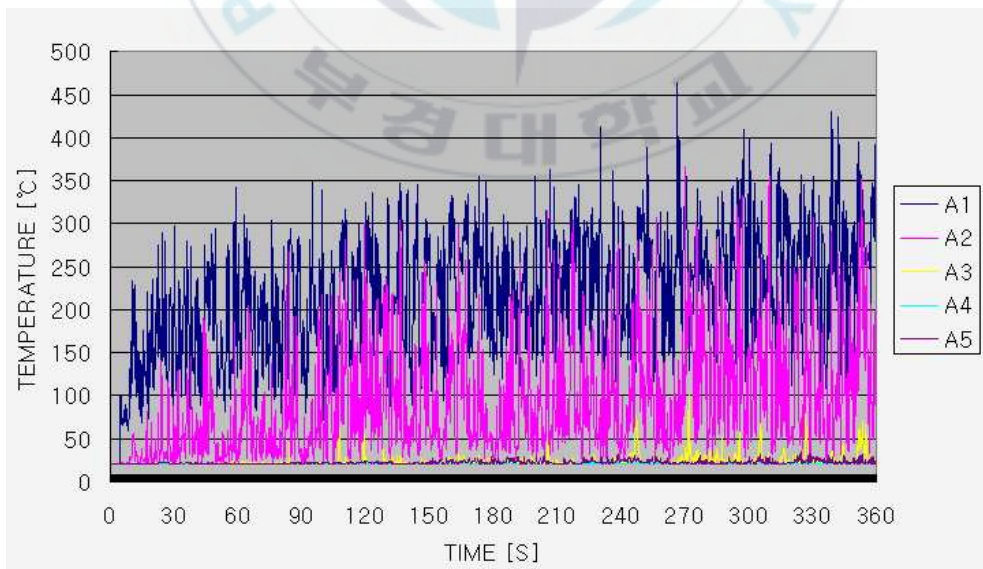


Fig. 2 Comparison of temperature variation at A₁~A₅

3.1.2 $B_1 \sim B_{10}$ 의 온도 변화

화재의 크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연 경계벽의 설치시에 피난계단의 계단참 바닥에서 부터 0.5m 간격으로 $B_1 \sim B_{10}$ 까지 온도 변화를 Fig 3에 비교하였다. 실험결과에서 화재 발생 10초 이후 B_1 지점의 평균온도는 74.1°C 이고 B_{10} 는 57.3°C 로써 조금 높음을 알 수 있으며, $B_3 \sim B_{10}$ 에서 평균온도 23.5°C 로 안정된 온도를 볼 수 있었다. B_1 , B_2 에서 대류 현상으로 고온공기와 연기는 피난계단의 천정을 타고 이동함을 알 수 있고, 피난계단의 높은 천정으로 인해 전체적인 온도가 낮으며 안정됨을 알 수 있다. 자연대류에 의해 고온의 공기 및 연기가 피난계단과 배기구로 배기되므로 인해 1.5m이하의 높이($A_3 \sim A_5$)에서는 평균 온도 22.1°C 로 안정되게 유지됨을 알 수 있었다.

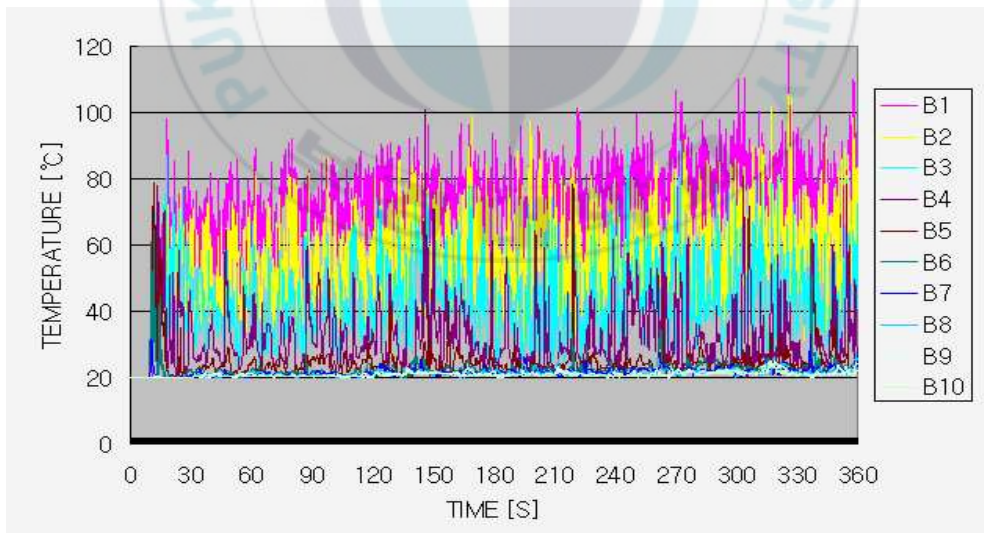


Fig. 3 Comparison of temperature variation at $B_1 \sim B_{10}$

3.1.3 C₁~ C₆의 온도 변화

화재 크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 피난계단 끝 부분인 대합실 입구 바닥에서부터 0.5m 간격으로 C₁~C₆까지 온도 변화를 Fig 4에서 비교하였다.

실험결과에서 15초 이후의 온도의 평균을 보면 43.3℃로 높음을 알 수 있으며, 고온의 공기가 수직으로 상승하여 천장을 따라 승강장에서 대합실로 이동함으로 인해 C지점의 온도가 전체적으로 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

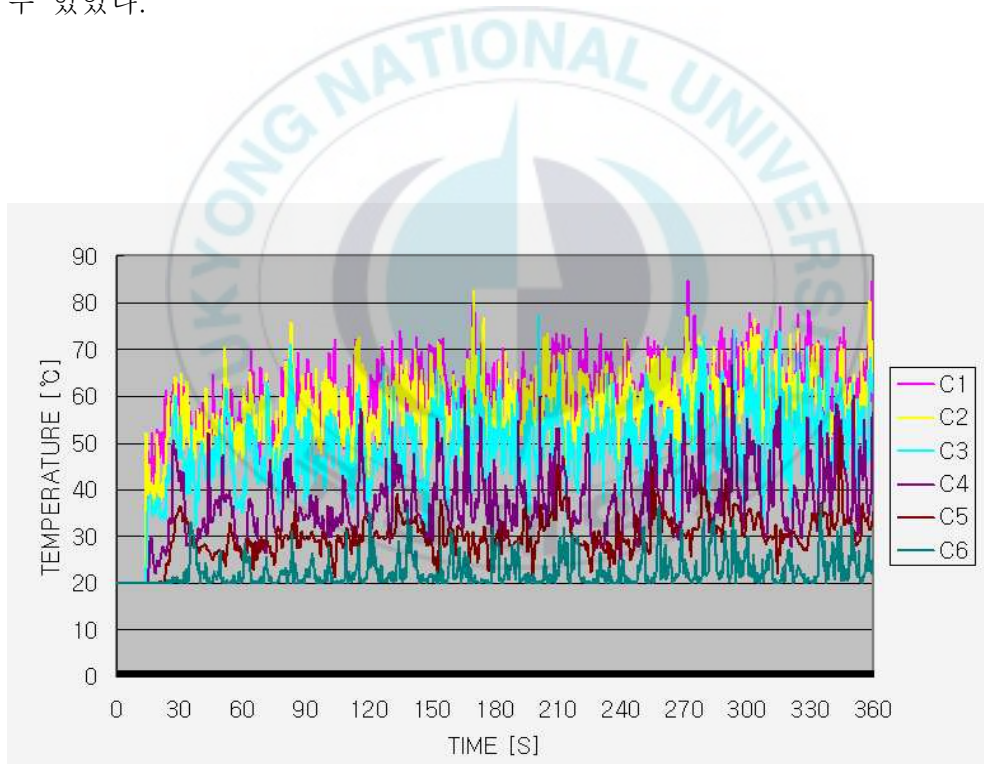


Fig. 4 Comparison of temperature variation at C₁~C₆

3.1.4 A, B, C, 각각 1.5m의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 각각 A, B, C, 지점의 1.5m 높이에서 온도 변화를 Fig 5에서 비교하였다. 실험결과에서 30초 이후의 평균값이 A지점(승강장)은 23.7℃로 화원의 직접적인 영향때문에 시간 경과에 따라 불규칙한 그래프를 나타내고 있다, B지점(피난 계단참)은 21.3℃로 대합실로 이동하는 통과점이므로 안정된 그래프를 나타내고, C지점(대합실 입구)은 38.1℃로서 대류현상으로 인한 고온공기가 대합실 쪽으로 이동함을 알 수 있다.

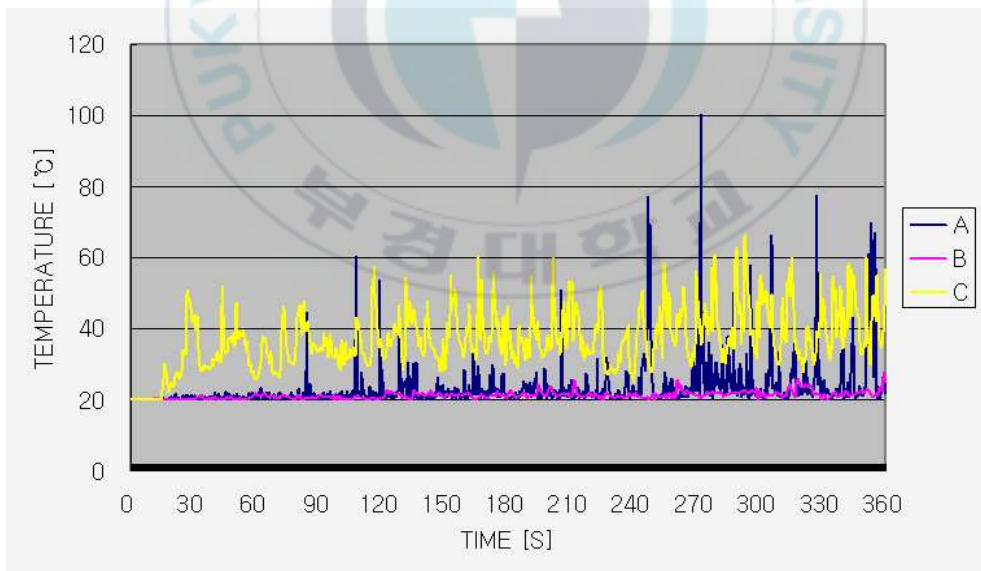


Fig. 5 Comparison of temperature variation at A₃ B₈ C₄

3.1.5 A, B, C, 각각 1.5m의 일산화탄소 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 각각 A, B, C, 지점의 1.5m높이에서 일산화탄소 변화량을 Fig 6에서 비교하였다. 실험결과에서 30초 이후의 평균값이 A지점(승강장)은 6.67ppm으로 낮으나 직접적인 화원에 가깝기 때문에 시간이 경과함에 따라 전반적으로 불규칙한 그래프 형태를 보이며, B지점(피난 계단참)은 3.01ppm으로 낮은 평균값을 보였다. 그 원인은 B지점은 대합실로 이동하는 수직개구부의 형태로 일산화탄소가 빠르게 대합실쪽으로 이동하기 때문이다. C지점(대합실 입구)은 최고 130.0ppm에서 최저 39.7ppm으로 매우 불규칙하며 수직 개구부에서 이동한 일산화탄소로 인해 높은 값을 나타냈다. C지점은 전체 평균 78.7ppm으로 높음을 확인 할 수 있었다.

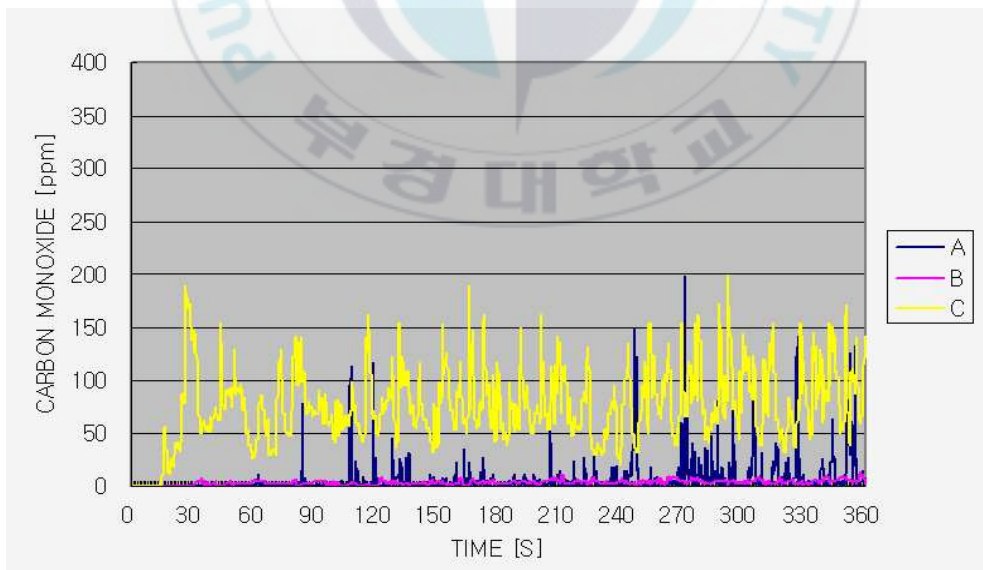


Fig. 6 Comparison of Carbon monoxide variation at A₃ B₈ C₄

3.1.6 $y=1.0m$ 의 온도 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽의 설치 시에 $y=1.0m$ x-z평면에서의 온도 분포는 Fig. 7의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 각 시간대 별로 큰 차이점을 볼 수는 없으나 화원에서는 상승하는 열기의 흐름이 승강장 천정에 부딪힌 후 확산되는 현상을 볼 수 있다.

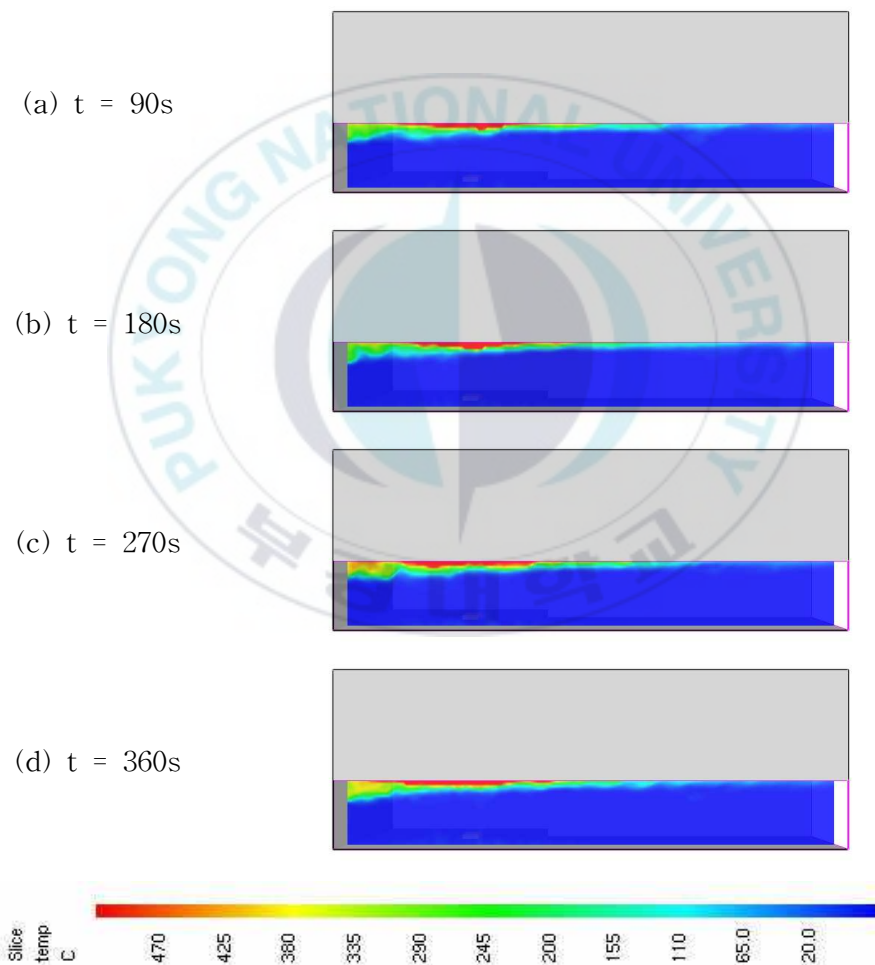


Fig. 7 Temperature distribution at $y=1.0m$

3.1.7 $y=4.0m$ 의 온도 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽의 설치 시에 $y=1.0m$ x-z평면에서의 온도 분포는 Fig. 8의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 그 결과 제연경계벽 설치시에 피난계단으로 바로 올라가지 못하고 고온의 공기와 연기가 부분 차단 및 지연되는 것을 각 시간대 별 (a)~(d)로 확인 할 수 있다.

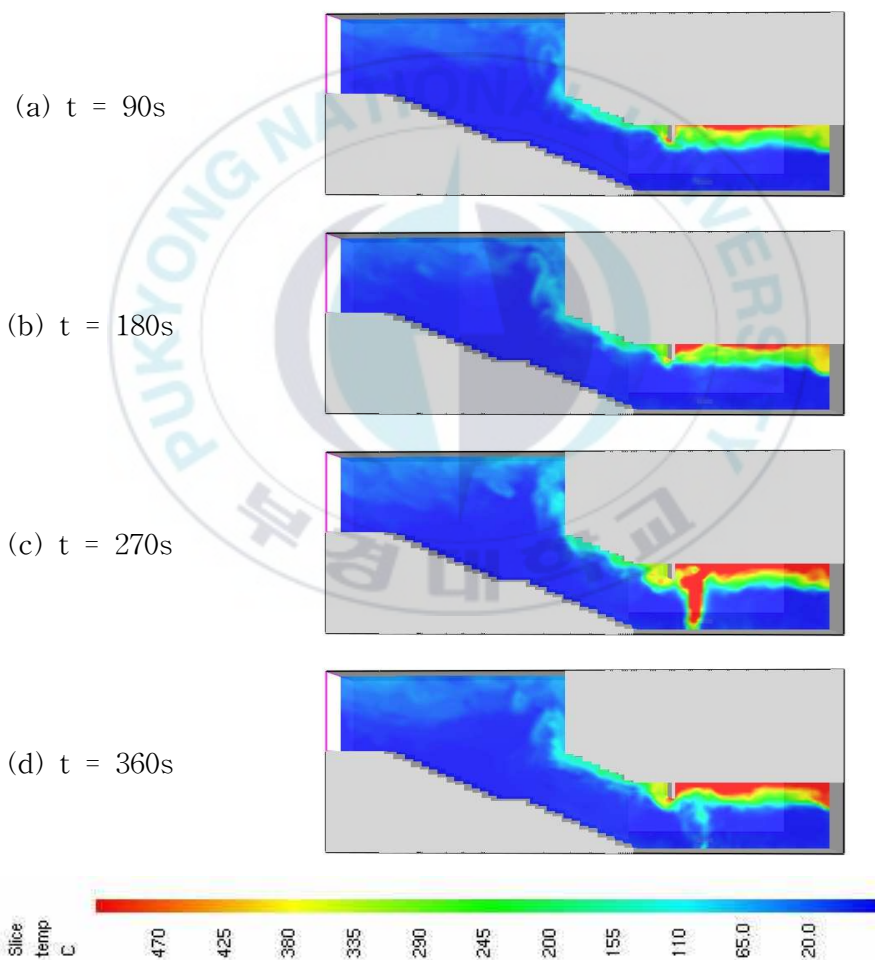


Fig. 8 Temperature distribution at $y=4.0m$

3.1.8 $y=1.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계 벽을 설치 할 경우에 $y=1.0m$, x - z 평면에서의 온도 분포는 Fig. 9의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 각 시간대별로 큰 차이점을 볼 수는 없었으며, 화원에 가까운 곳과 막힌쪽이 일산화탄소가 정체됨을 알 수 있고, 개방된 공간으로는 일산화탄소가 분산되어 농도가 낮아지는 현상을 확인 할 수 있었다.

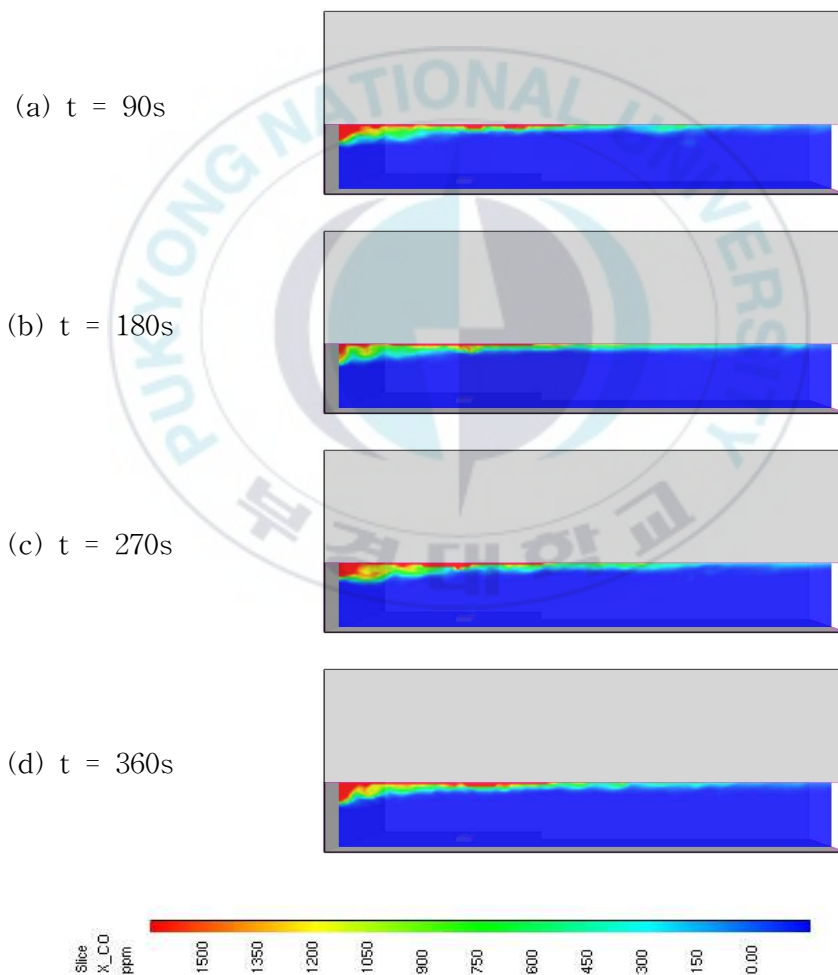


Fig. 9 Carbon monoxide distribution at $y=1.0m$

3.1.9 $y=4.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며, 제연경계벽을 설치 할 경우로서 $y=1.0m$ x-z평면에서의 온도분포는 Fig. 10의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다.

일산화탄소는 제연경계벽으로 인해 바로 피난계단으로 올라가지 못했으며, 정체되어 제연경계벽과 막힌공간 사이에도 농도가 높음을 확인 할 수 있었다. 그리고 시간이 지남에 따라 적은양의 일산화탄소도 피난계단을 타고 대합실 방향으로 이동함을 확인 할 수 있었다.

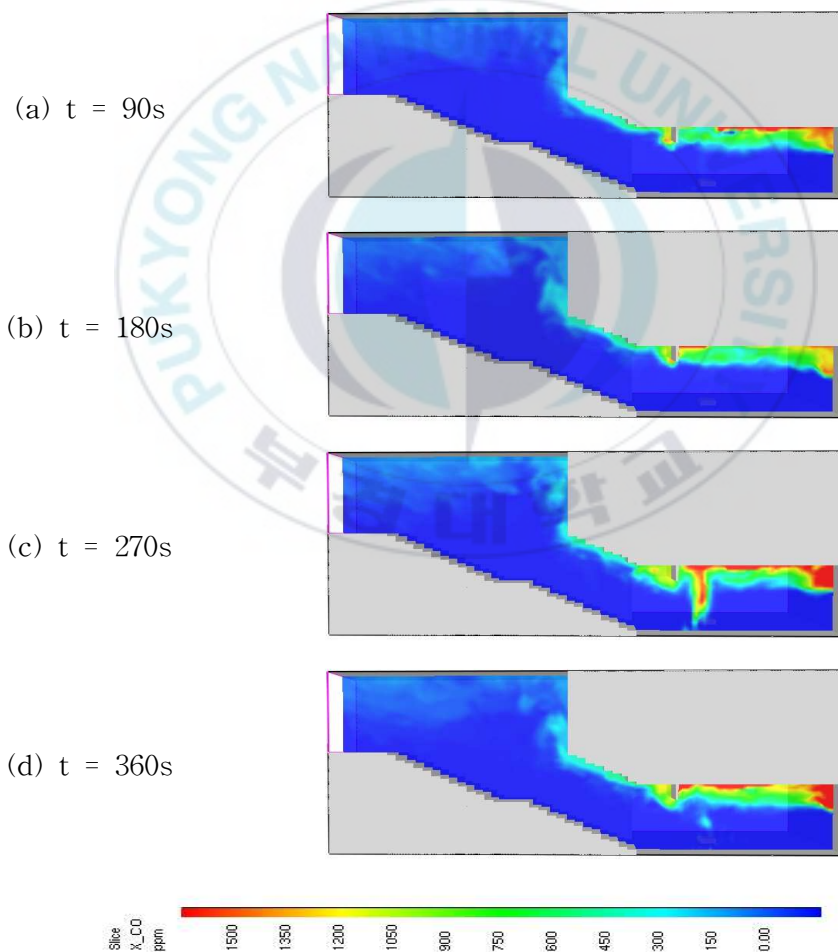


Fig. 10 Carbon monoxide distribution at $y=4.0m$

3.2 CASE II

3.2.1 A₁~A₅의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 미설치 시에 바닥에서 0.5m 간격으로 A₁~A₅까지 온도 변화 측정값을 Fig 11에서 비교하였다. 실험결과 화재 발생 30초 이후에 A₁지점이 플룸(plume) 현상으로 온도가 가장 높은 292.6℃이고 A₂지점은 49.9℃로써 확인할 수 있었다. 반면 A₃ A₄ A₅에서는 각각 평균온도가 21.2℃, 20.2℃, 21.9℃로 분석되며, A₁ A₂위치의 온도가 확연히 높음을 알 수 있고, 대류 현상으로 인해 높은 곳과 낮은 곳의 온도 차이가 많이 나타났으며, 높이 1.5m이하의 A₃~A₅에서는 평균 온도 21.1℃로 안정되게 유지됨을 확인할 수 있었다.

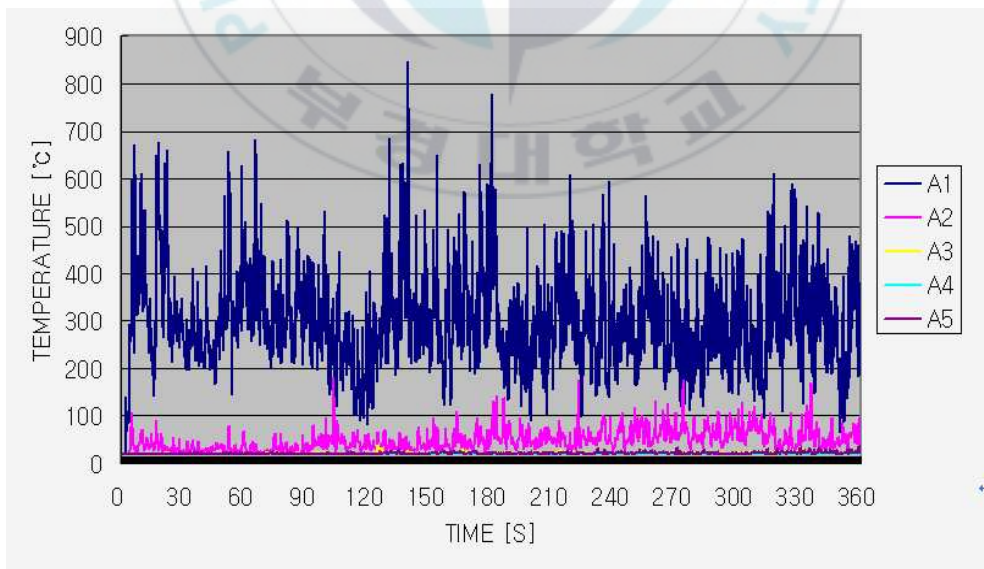


Fig. 11 Comparison of temperature variation at A₁~A₅

3.2.2 $B_1 \sim B_{10}$ 의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계 벽을 미설치 시에 피난계단 계단참 바닥에서 0.5m 간격으로 $B_1 \sim B_{10}$ 까지 온도 변화를 Fig 12에서 비교하였다. 실험결과에서 화재 발생 10초 이후의 B_1 지점 온도는 123.6°C 이고 B_2 지점의 온도는 89.7°C 로써 B_1 B_2 모두 높음을 알 수 있었다. $B_3 \sim B_{10}$ 까지의 평균온도 값은 31.4°C 로 B_1 B_2 보다 낮은 온도를 확인 할 수 있었다.

B_1 B_2 에서는 대류 현상으로 고온공기와 연기는 피난계단의 천정을 타고 이동함을 볼 수 있고, 피난계단의 높은 천정으로 인해서 전체적인 온도가 낮고 안정됨을 알 수 있다. 자연 대류에 의해 고온의 공기와 연기가 피난계단과 배기구로 배기됨에 따라 1.5m이하의 높이($B_8 \sim B_{10}$)에서는 평균 온도 21.7°C 로 나타났다.

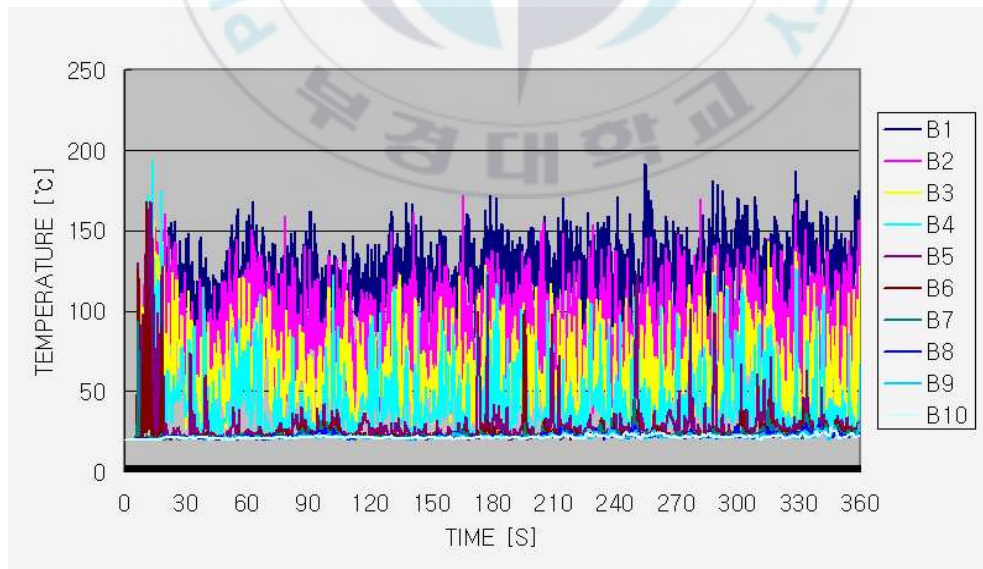


Fig. 12 Comparison of temperature variation at $B_1 \sim B_{10}$

3.2.3 C₁~C₆의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계 벽 미설치 시에 피난계단 끝 부분인 대합실 입구 바닥에서 부터 0.5m 간격으로 C₁~C₆까지 온도 변화를 Fig 13에서 비교하였다.

실험결과에서 15초 이후의 C₁ C₂ 온도가 96.7℃와 89.1℃로 높음을 알 수 있었으며, C₄ C₅ C₆지점인 1.5m 높이 이하의 온도 값은 35.12℃로 고온의 공기가 천장을 따라 승강장에서 대합실로 이동함을 알 수 있었다.

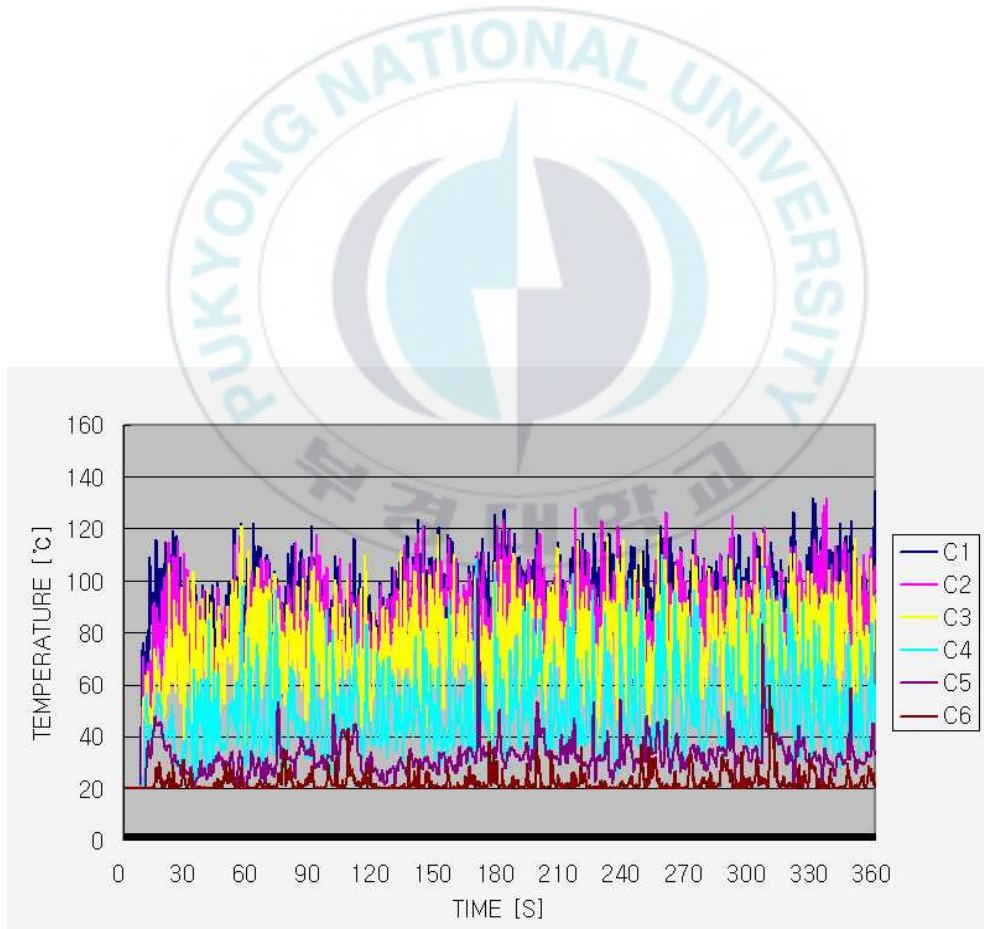


Fig. 13 Comparison of temperature variation at C₁~C₆

3.2.4 A, B, C, 각각 1.5m의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계 벽 미설치 시에 A, B, C, 지점의 1.5m높이에서 각 지점의 변화를 Fig 14에서 비교하였다. 실험결과에서 30초 이후의 평균값이 A지점(승강장)은 21.27℃, B지점(피난 계단참)은 22.23℃로 확인 되었다. 반면 C지점(대합실 입구)은 50.43℃로 높게 나타났는데, A지점과 B지점의 고온 공기가 대류현상으로 인해 대합실 쪽으로 이동되기 때문이다. 그 결과 C지점에서 높은 온도와 불규칙한 변화를 나타내고 있다.

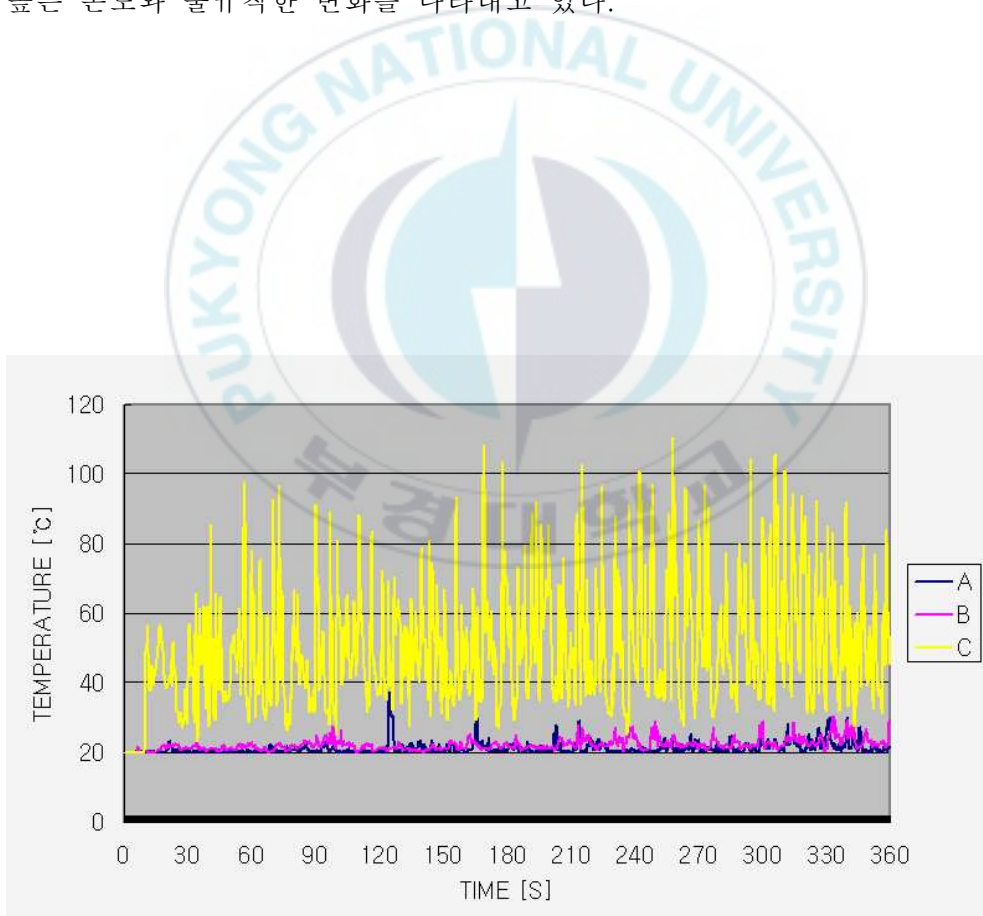


Fig. 14 Comparison of temperature variation at A₃ B₈ C₄

3.2.5 A, B, C, 각각 1.5m의 일산화탄소 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계 벽 미설치 시에 A, B, C, 지점의 1.5m높이에서 각각 일산화탄소 변화량을 Fig 15에서 비교하였다. 실험결과에서 30초 이후의 A지점(승강장)은 1.49ppm으로 평균값은 낮으며 전반적으로 안정된 그래프 형태를 보인다. B지점(피난 계단참)도 3.66ppm으로 대합실로 이동하는 수직개구부의 형태로 안정적인 그래프를 보이며, 반면 C지점(대합실 입구)은 최고 225.4ppm에서 최저 44.3ppm으로 승강장에서 대합실 쪽으로 대류현상 효과로 인한 C지점의 전체 평균이 119.8ppm으로 높게 나타나며 불규칙한 그래프형태를 나타냄을 볼 수 있었다.

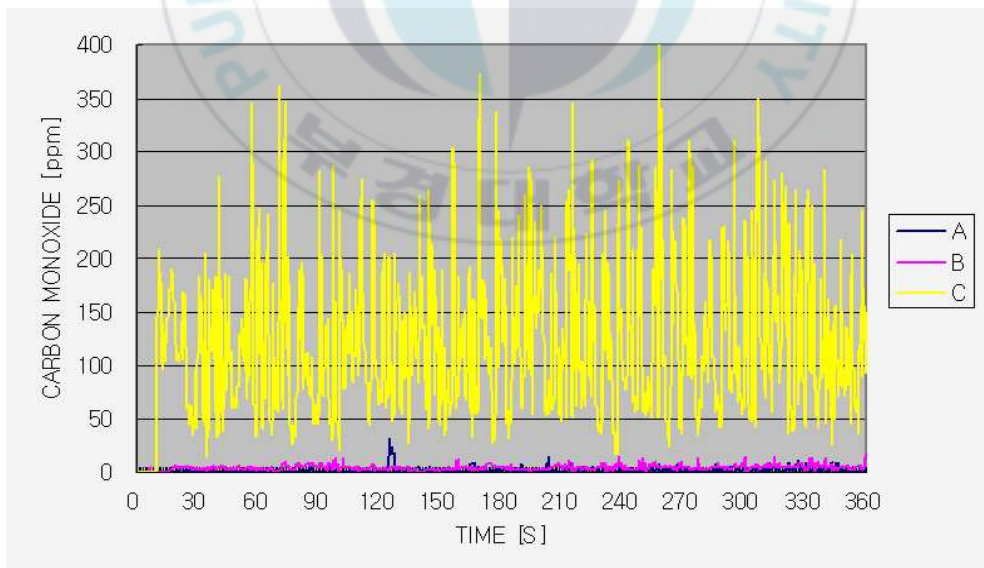


Fig. 15 Comparison of Carbon monoxide variation at A₃ B₈ C₄

3.2.6 $y=1.0m$ 의 온도 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 미설치 시에 $y=1.0m$ 의 $x-z$ 평면에서의 온도 분포는 Fig. 16의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과에서 각 시간대별로 조금 차이점을 볼 수 있었다. 이것은 제연경계벽의 미설치에 화원에서 상승하는 열기의 흐름이 승강장 천정에 부딪힌 후 피난계단으로 빠르게 확산되기 때문이다.

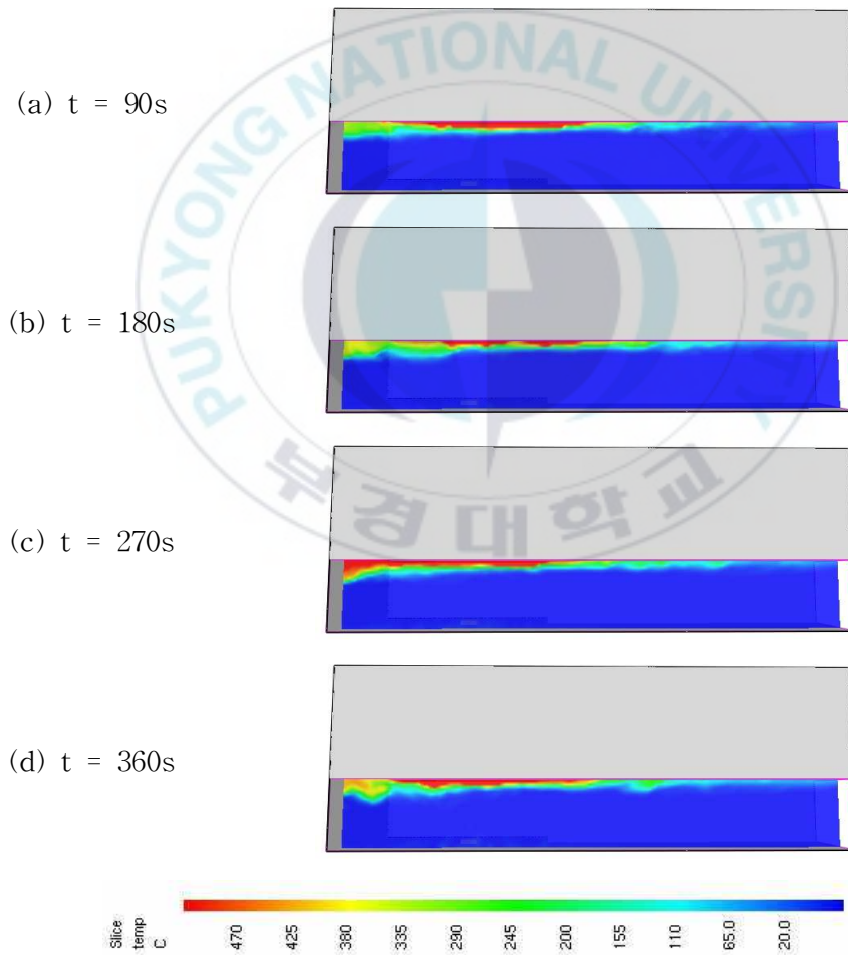


Fig. 16 Temperature distribution at $y=1.0m$

3.2.7 $y=4.0m$ 의 온도 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계 벽 미설치 시에 $y=1.0m$ 의 x - z 평면에서의 온도 분포는 Fig. 17의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 천정을 타고 각 시간대별로 A지점에서 C지점으로 온도가 이동하는 것을 알 수 있다. 승강장은 막힌 부분과 화원 주위온도가 다소 높게 나타났다.

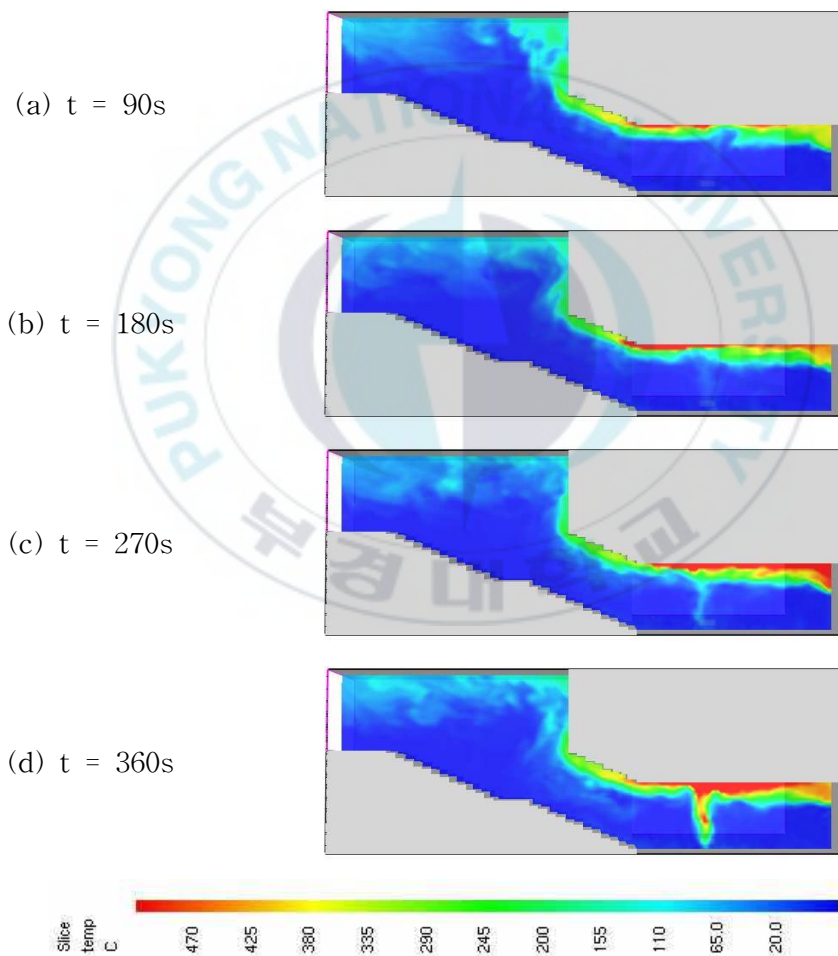


Fig. 17 Temperature distribution at $y=4.0m$

3.2.8 $y=1.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계 벽을 미설치 시에 $y=1.0m$ 의 x - z 평면에서의 온도 분포는 Fig. 18의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 큰 차이점 없이 화원에서 가까운 곳에 일산화탄소가 약간의 정체됨을 알 수 있고, 개방구 부분으로 일산화탄소가 분산되는 현상을 보여주고 있다.

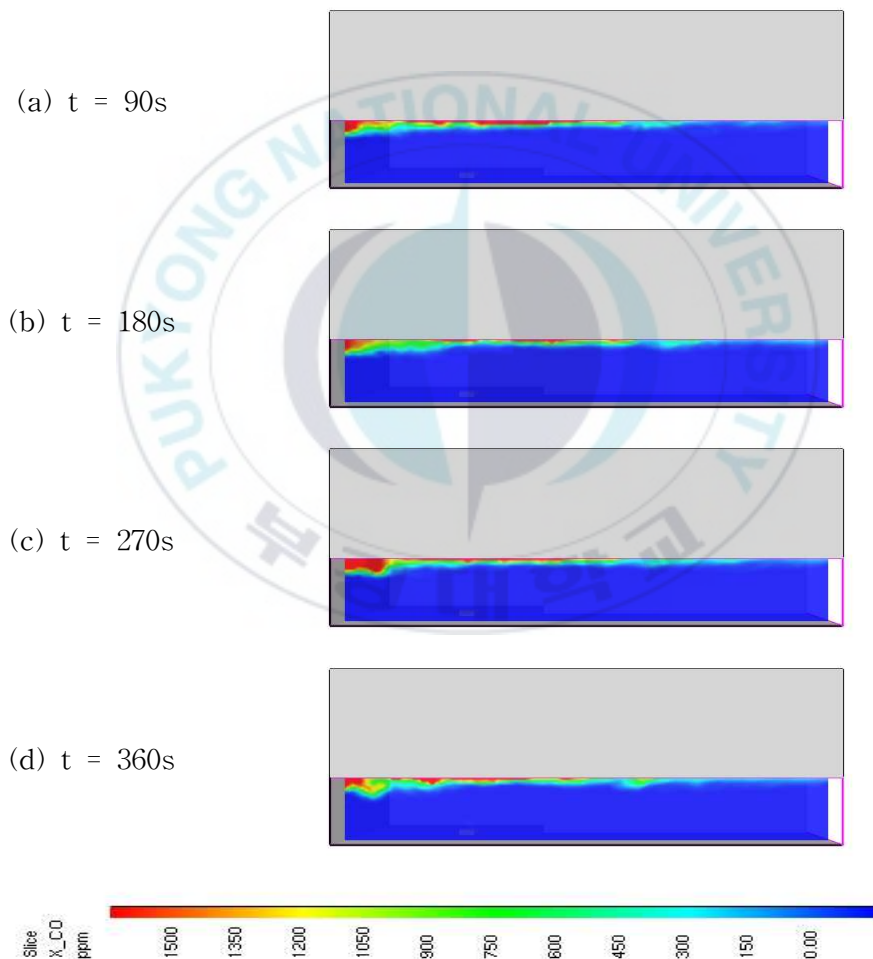


Fig. 18 Carbon monoxide distribution at $y=1.0m$

3.2.9 $y=4.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계 벽 미설치 시에 $y=4.0m$ 의 x - z 평면에서의 온도 분포는 Fig. 19의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 화원에서 발생한 일산화탄소가 바로 피난계단으로 이동하여 C지점의 개구부에서 유입되는 신선공기와 희석됨 보이며, 시간이 지남에 따라 일산화탄소가 농도가 높아지는 것을 볼 수 있다.

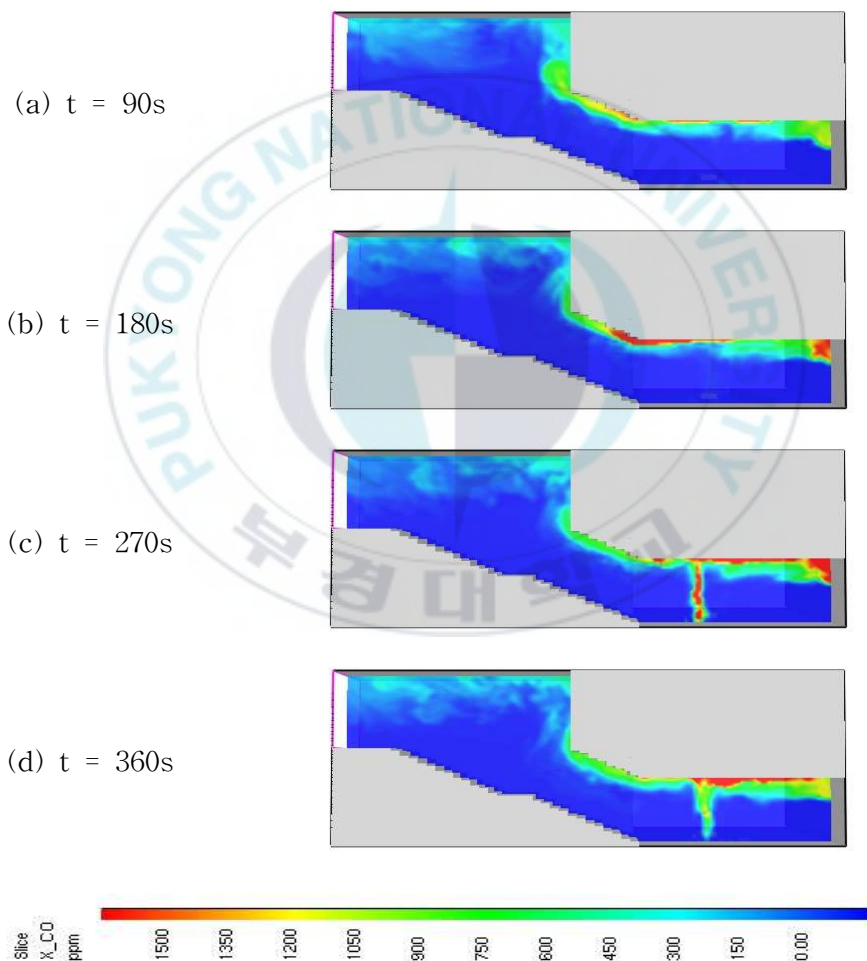


Fig. 19 Carbon monoxide distribution at $y=4.0m$

3.3 CASE I CASE II 유속 비교

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 1.2m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽의 설치 및 미설치에 따른, $y=4.0\text{m}$ 의 x - z 평면에서의 속도 분포는 Fig. 20의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 비교 하여 나타냈다. 제연경계벽을 설치 한곳은 특정 위치만 빠른 속도 변화를 나타낸다. 반면 제연경계벽을 설치 하지 않은 곳은 전체적으로 모든 공간이 빠른 속도 변화를 보이며 승강장 계단 입구에서 천정을 타고 대합실 입구 쪽으로 빠른 유속 변화를 나타낸다.



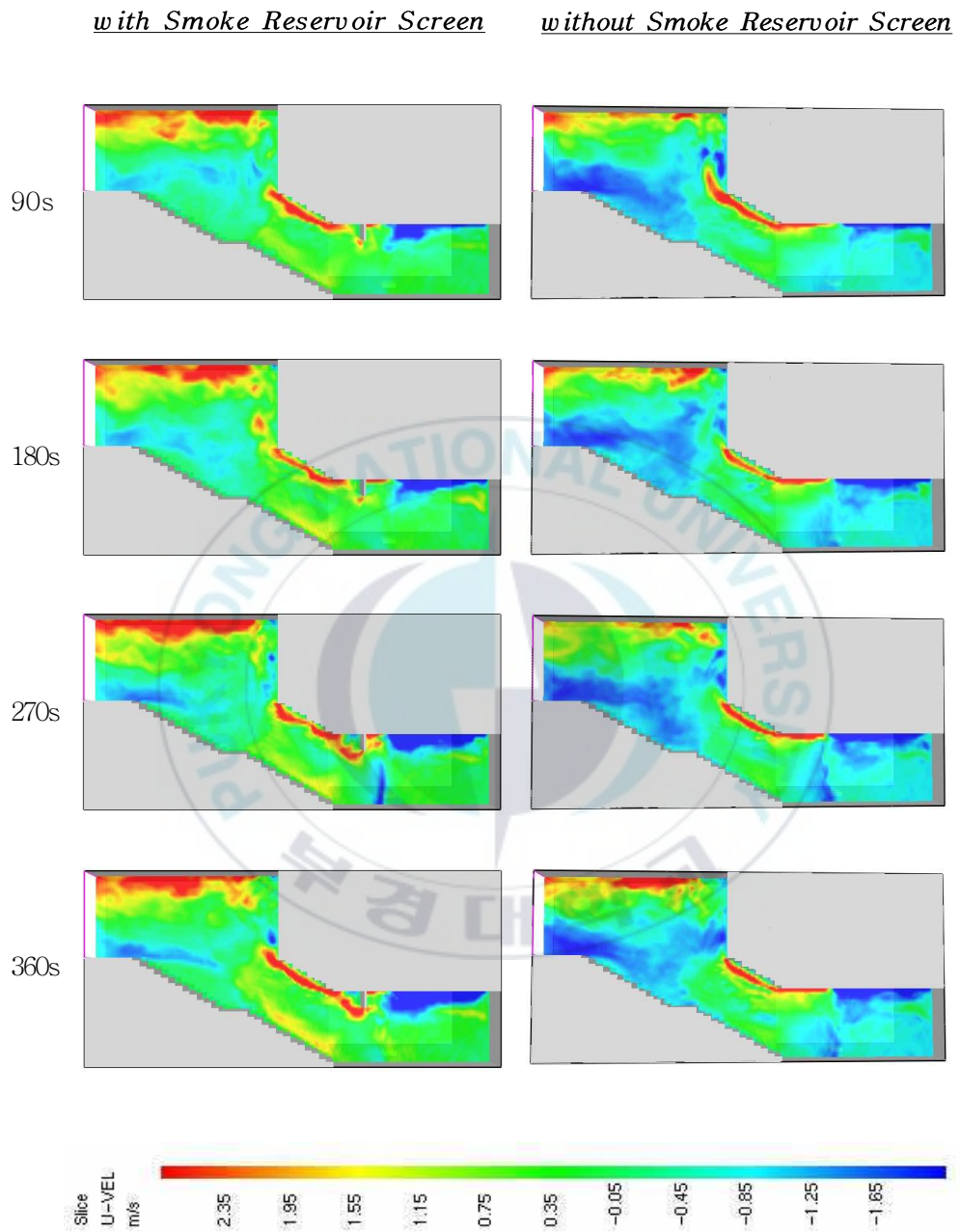


Fig. 20 U-Velocity distribution near stairway
with and without Smoke Reservoir Screen

3.4 CASE III

3.4.1 A₁~A₅의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 설치 시에 바닥에서 0.5m 간격으로 A₁~A₅까지 온도 변화를 Fig 21에서 비교하였다. 화재 발생 30초 이 후 A₁지점의 평균온도는 239.74℃, A₂지점의 평균온도는 97.7℃로 높음을 알 수 있으며, A₃,A₄,A₅에서 각각 평균온도 25.04℃, 20.7℃, 22.06℃로 분석되었다.

A₁,A₂위치의 온도는 플룸(plume) 현상으로 인해 높음을 알 수 있고, A₃~A₅에서는 평균온도 22.61℃로 대류현상으로 인한 고온의 공기와 연기가 피난계단과 배기구로 배기되어 안정되게 유지됨을 알 수가 있었다.

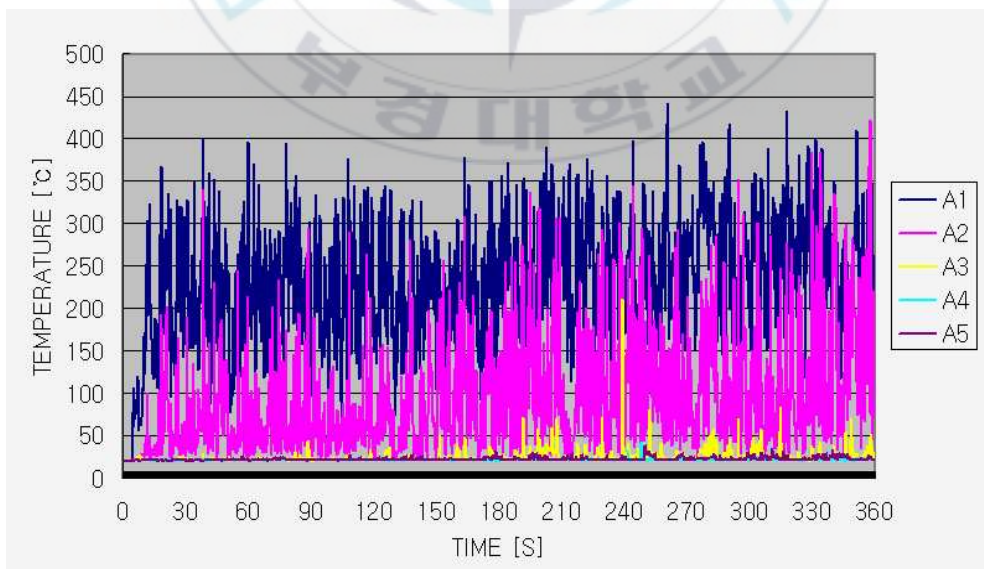


Fig. 21 Comparison of temperature variation at A₁~A₅

3.4.2 $B_1 \sim B_{10}$ 의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 피난계단 계단참 바닥에서 0.5m 간격으로 $B_1 \sim B_{10}$ 까지 온도 변화를 Fig 22에서 비교하였다. 실험결과 화재 발생 10초 이 후 B_1 지점의 평균온도는 74.1°C , B_2 지점은 57.3°C 로 높음을 알 수 있으며, $B_8 \sim B_{10}$ 에서 평균온도 23.5°C 로 안정된 온도를 볼 수 있었다. B_1 , B_2 에서 대류현상으로 고온공기와 연기는 피난계단의 천정을 타고 이동함을 알 수 있고, 피난계단의 높은 천정으로 인한 전체적인 온도가 낮으며 안정됨을 알 수 있다. 자연대류로에 의해 고온의 공기와 연기가 피난계단과 배기구에 배기됨에 따라 1.5m이하의 높이($B_8 \sim B_{10}$)에서 평균 온도 20.9°C 로 안정되게 유지됨을 알 수 있다.

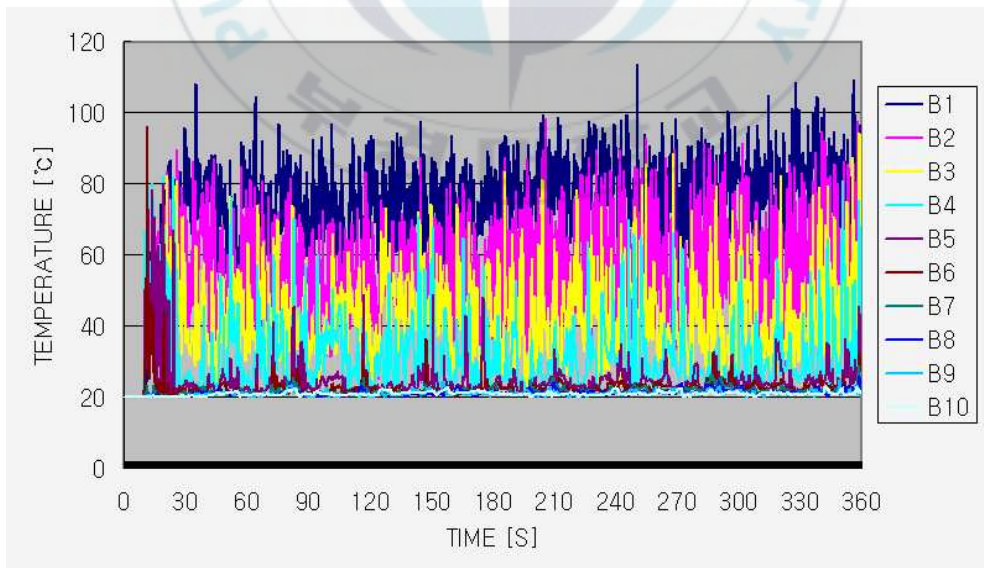


Fig. 22 Comparison of temperature variation at $B_1 \sim B_{10}$

3.4.3 C₁~C₆의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 피난계단 끝 부분 대합실 입구 바닥에서부터 0.5m 간격으로 C₁~C₆까지 온도 변화를 Fig 23에서 비교하였다.

실험결과 15초 이후의 C₁, C₂ 평균온도를 보면 62.3℃와 58.7℃로 높음을 알수 있으며, 고온의 공기가 천장을 따라 승강장에서 대합실로 이동 함으로 인해 C₄~C₆ 지점의 평균온도 값이 30℃로 나타났다.

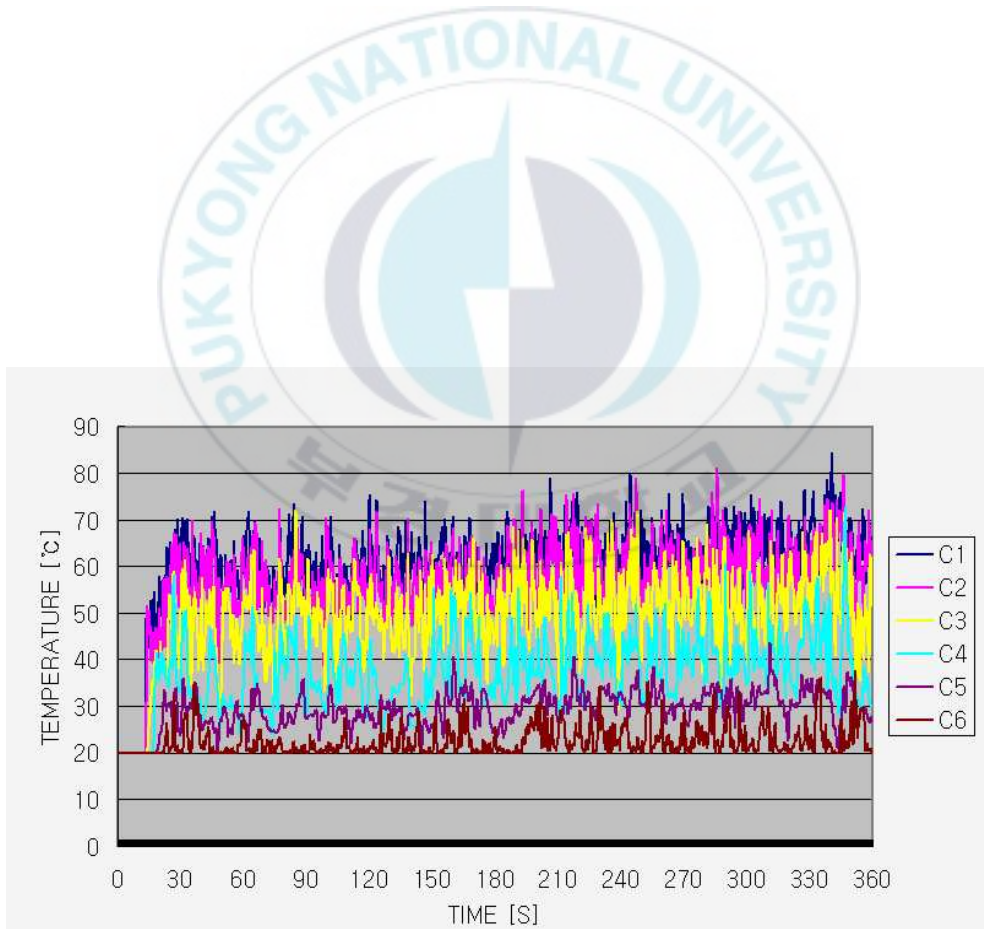


Fig. 23 Comparison of temperature variation at C₁~C₆

3.4.4 A, B, C, 각각 1.5m의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 각 각 A, B, C, 지점의 1.5m높이에서 온도를 Fig 24에서 비교하였다. 실험결과 30초 이후의 평균값이 A지점(승강장)은 25℃, B지점(계단참)은 21.1℃, C지점(대합실 입구)은 37.8℃로 대류현상으로 인한 고온의 공기 및 온도가 위로 이동함을 알 수 있다.

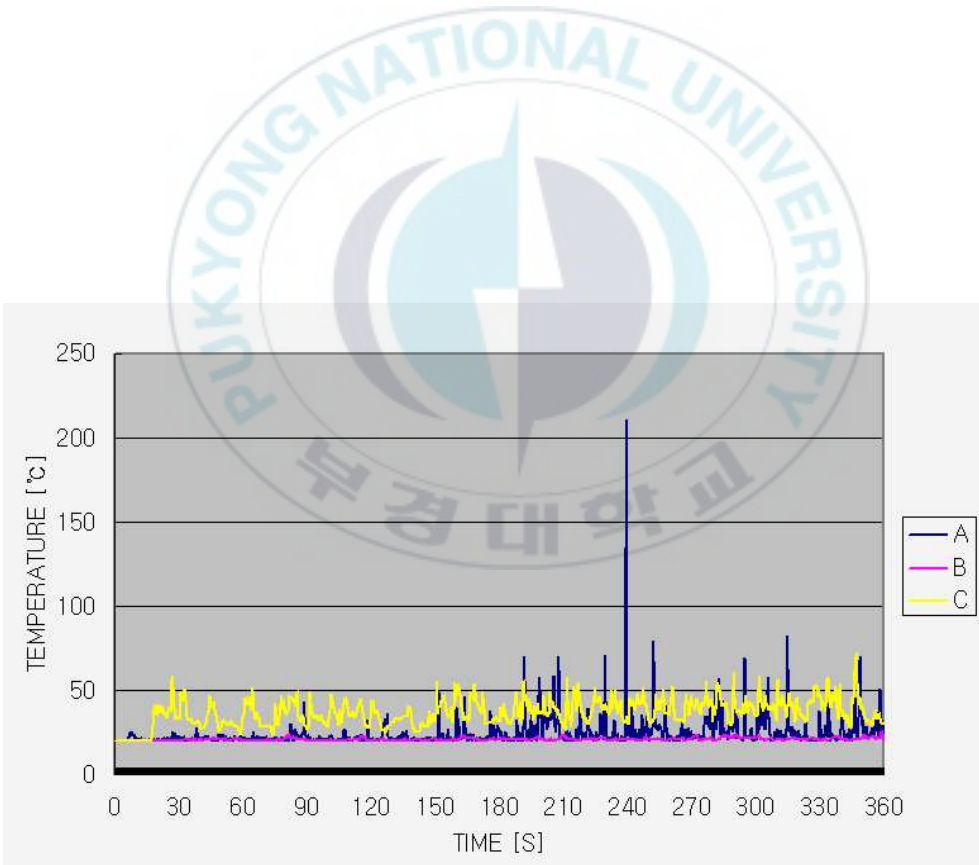


Fig. 24 Comparison of temperature variation at A₃ B₈ C₄

3.4.5 A, B, C, 각각 1.5m의 일산화탄소 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 각 각 A, B, C, 지점의 1.5m높이에서 일산화탄소 변화량을 Fig 25에서 비교하였다. 실험결과 30초 이후의 평균값이 A지점(승강장)은 9.16ppm으로 평균값은 낮으나 직접적인 화원의 영향으로 전반적으로 불규칙한 그래프 형태를 보이며, B지점(피난 계단참)은 2.46ppm 대합실로 이동하는 수직개구부의 형태로 안정적인 값을 보인다. C지점(대합실 입구)은 최고 137.23ppm에서 최저 38.543ppm으로 대합실의 대류현상 및 온도상승 효과로 인한 전체 평균 79.67ppm으로 높음을 확인 된다.

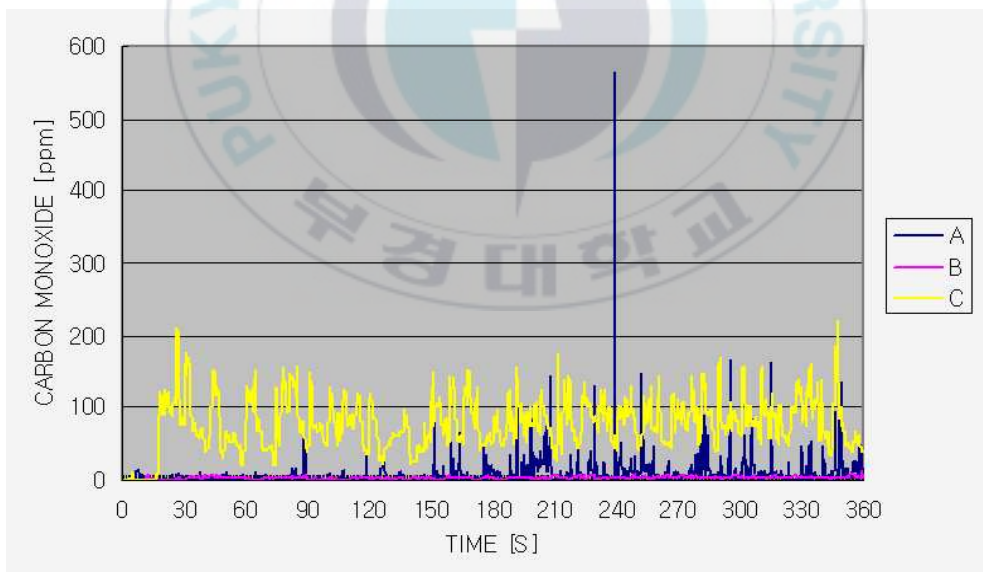


Fig. 25 Comparison of Carbon monoxide variation at A₃ B₈ C₄

3.4.6 $y=1.0m$ 의 온도 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 $y=1.0m$ 의 x - z 평면에서의 온도 분포를 Fig. 26의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 비교 하여 나타냈다. 각 시간대별로 큰 차이점을 볼 수는 없으나 화원에서는 상승하는 열기의 흐름이 승강장 천정에 부딪힌 후 확산되는 현상이 확인 되었다.

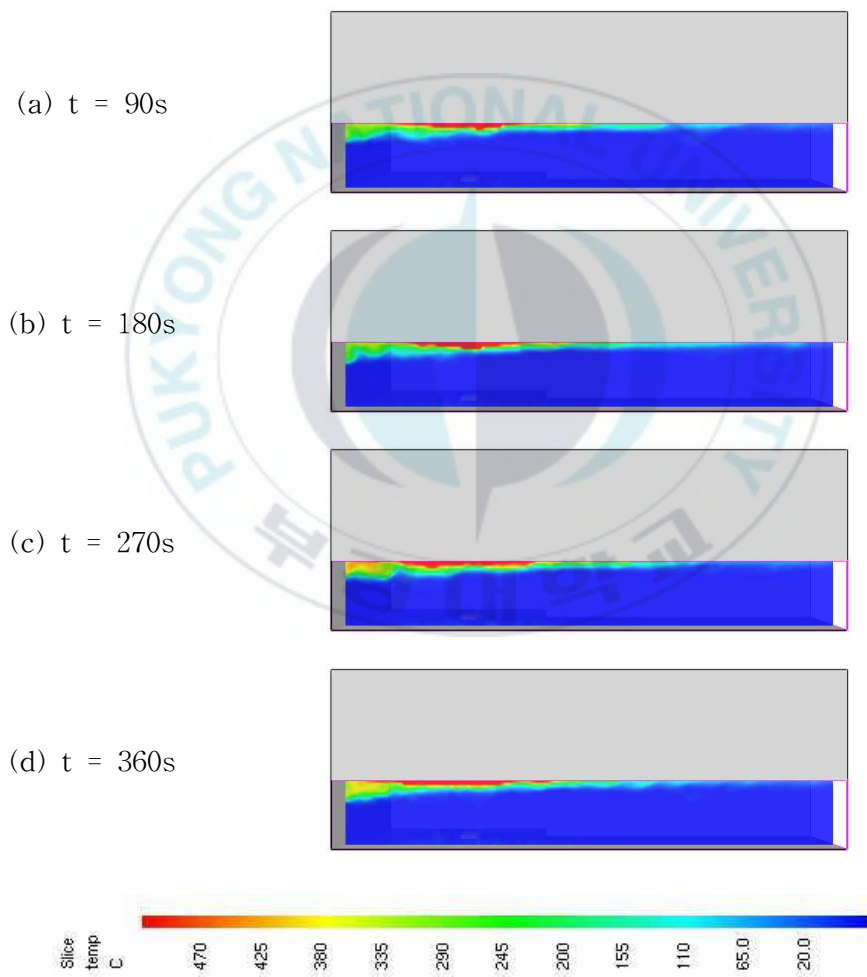


Fig. 26 Temperature distribution at $y=1.0m$

3.4.7 $y=4.0m$ 의 온도 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 $y=4.0m$ 의 $x-z$ 평면에서의 온도 분포를 Fig. 27의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 제연경계벽으로 인해 바로 피난계단으로 올라 가지 못하고 고온의 공기와 연기가 부분 차단되는 것을 볼 수 있다.

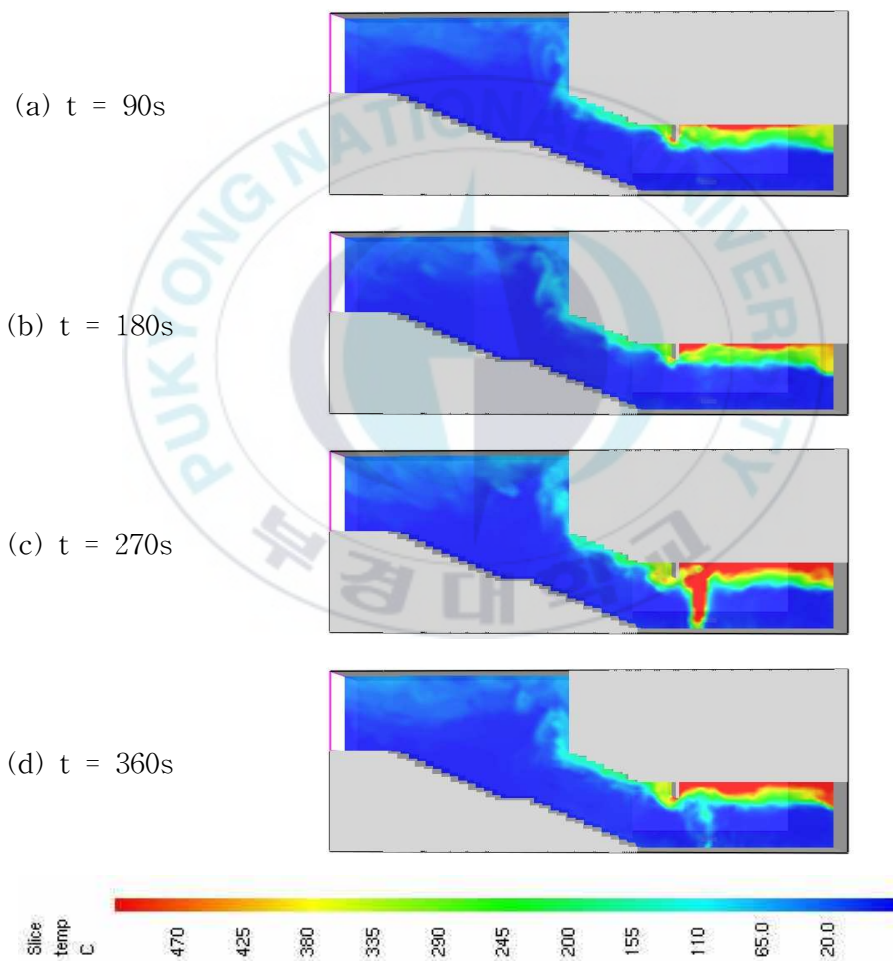


Fig. 27 Temperature distribution at $y=4.0m$

3.4.8 $y=1.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 $y=1.0m$ 의 $x-z$ 평면에서의 일산화탄소 분포는 Fig. 28의 (a)~(d)와 같이 나타내었다. 승강장 쪽은 개방된 공간으로 갈수록 일산화탄소가 희석되어 낮게 나타나고 승강장 막힌 부분은 적체 되어 높게 나타나는 현상을 보인다.

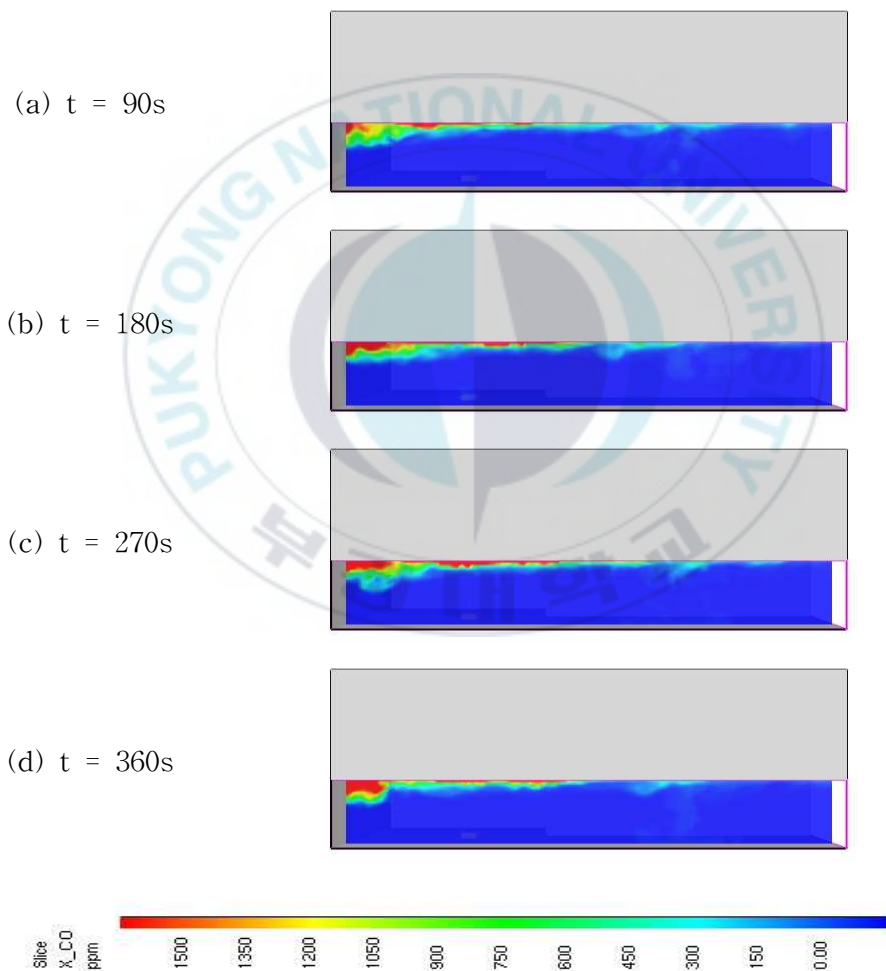


Fig. 28 Carbon monoxide distribution at $y=4.0m$

3.4.9 $y=4.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽을 설치 시에 $y=4.0m$ 의 x - z 평면에서의 일산화탄소 분포는 Fig. 29의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타내었다. 제연경계벽으로 인해 바로 피난계단으로 올라 가지 못하고 화원에서 발생하는 일산화탄소가 제연경계벽과 승강장의 막힌 부분에서 정체 되는 것을 볼 수 있다.

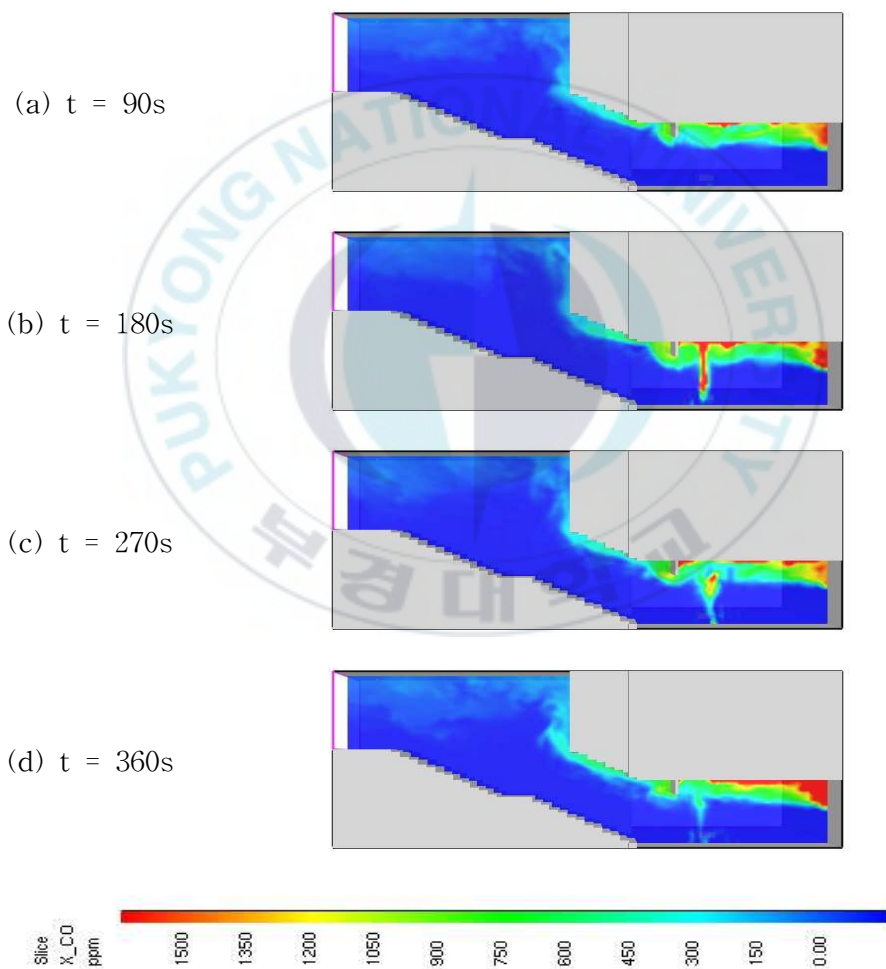


Fig. 29 Carbon monoxide distribution at $y=4.0m$

3.5 CASE IV

3.5.1 A₁~A₅의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 미설치 시에 바닥에서 0.5m 간격으로 A₁~A₅까지 온도 변화를 Fig 30에서 비교하였다. 실험결과 화재 발생 30초 이 후 A₁지점의 평균온도는 296.81℃, A₂지점은 49.52℃로써 높음을 알수 있으며, A₃, A₄, A₅에서 각각 평균온도 22.79℃, 20.48℃, 21.61℃로 분석되었다.

A지점의 온도변화는 화원의 근처 A₁, A₂ 위치의 온도는 플룸(plume)현상으로 확연히 온도가 높음을 알수 있고, 자연대류에 의해 고온의공기와 연기가 피난계단과 배기구로 배기되어, 높이 1.5m이하의 A₃~A₅에서는 평균 온도 21.63℃로 안정되게 유지됨을 알 수가 있다.

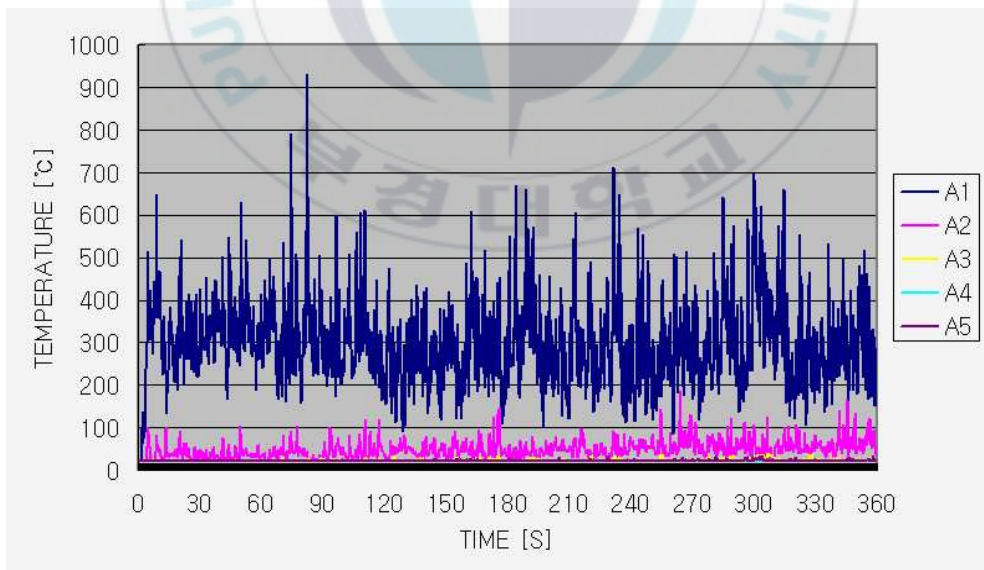


Fig. 30 Comparison of temperature variation at A₁~A₅

3.5.2 $B_1 \sim B_{10}$ 의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 설치 시에 피난계단 계단참 바닥에서 0.5m 간격으로 $B_1 \sim B_{10}$ 까지 온도 변화를 Fig 31에서 비교하였다. 실험결과 화재 발생 10초 이 후 B_1 지점의 평균온도는 123.84℃ 이고 B_2 90.52℃로써 높음을 볼 수 있었다.

B_1 , B_2 에서 대류 현상으로 고온공기와 연기가 피난계단의 천정을 타고 이동 함을 알 수 있었으며, 피난계단의 높은 천정으로 인해 전체적인 온도가 낮고 안정됨을 알 수 있다. 자연대류에 의해 고온의 공기와 연기가 피난계단과 배기구의 배기됨에 따라 1.5m이하의 높이($B_8 \sim B_{10}$)에서는 평균 온도 21.97℃로 안정되게 유지됨을 알 수가 있다.

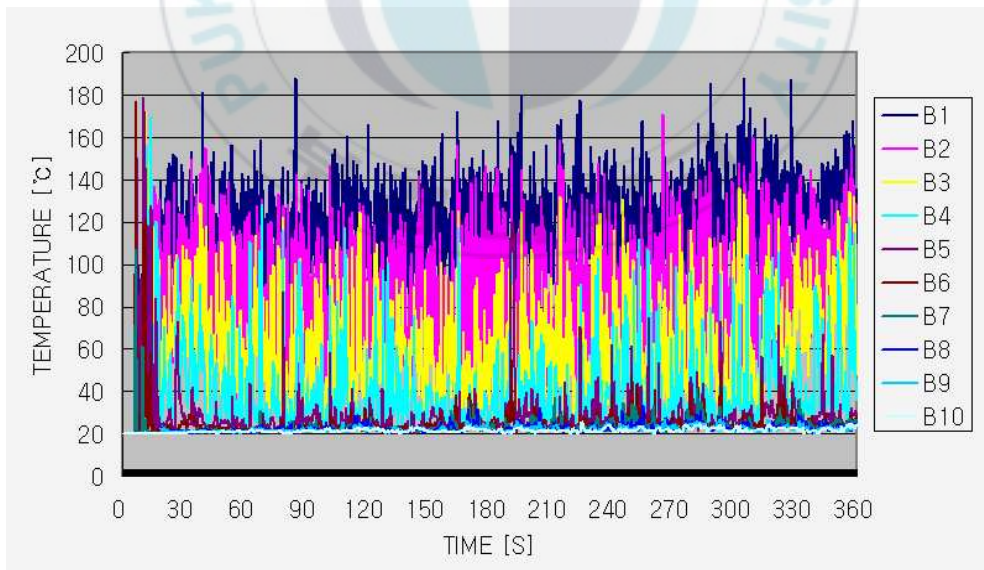


Fig. 31 Comparison of temperature variation at $B_1 \sim B_{10}$

3.5.3 $C_1 \sim C_6$ 의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 미설치 시에 피난계단 끝 부분인 대합실 입구 사이에서 바닥에서부터 0.5m 간격으로 $C_1 \sim C_6$ 까지 온도 변화를 Fig 34에서 비교하였다.

실험결과 15초 이후의 C_1 , C_2 온도의 평균을 보면 96.85℃로 높음을 알수 있으며, 고온의 공기가 천장을 따라 승강장에서 대합실로 이동 함으로 인해 온도가 높게 나타났다.

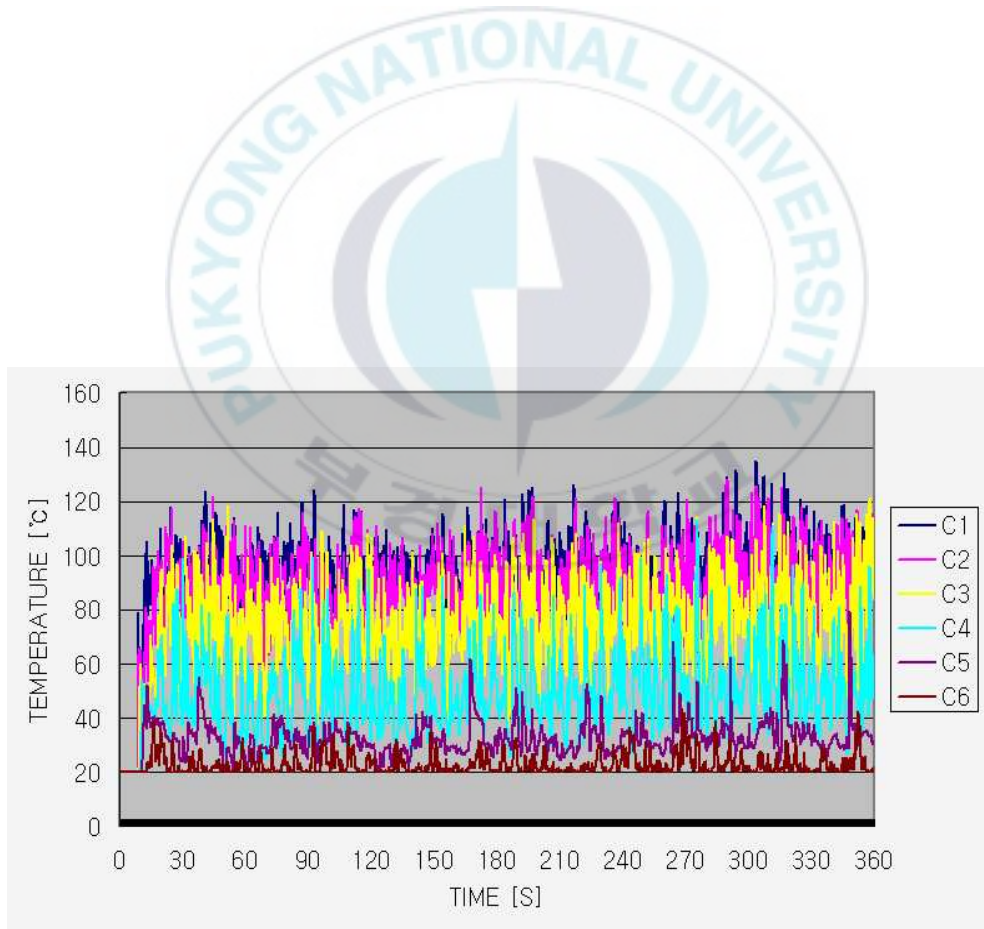


Fig. 32 Comparison of temperature variation at $C_1 \sim C_6$

3.5.4 A, B, C, 각각 1.5m의 온도 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 미설치 시에 각각 A, B, C, 지점의 1.5m높이에서 온도 변화를 Fig 33에서 비교하였다. 실험결과 30초 이후의 평균값이 A지점(승강장)은 22.79℃, B지점(피난 계단참)은 22.59℃, C지점(대합실 입구)은 50.02℃로 대류현상으로 인해 고온의 공기 와 연기가 위로 이동 함을 알수 있다.

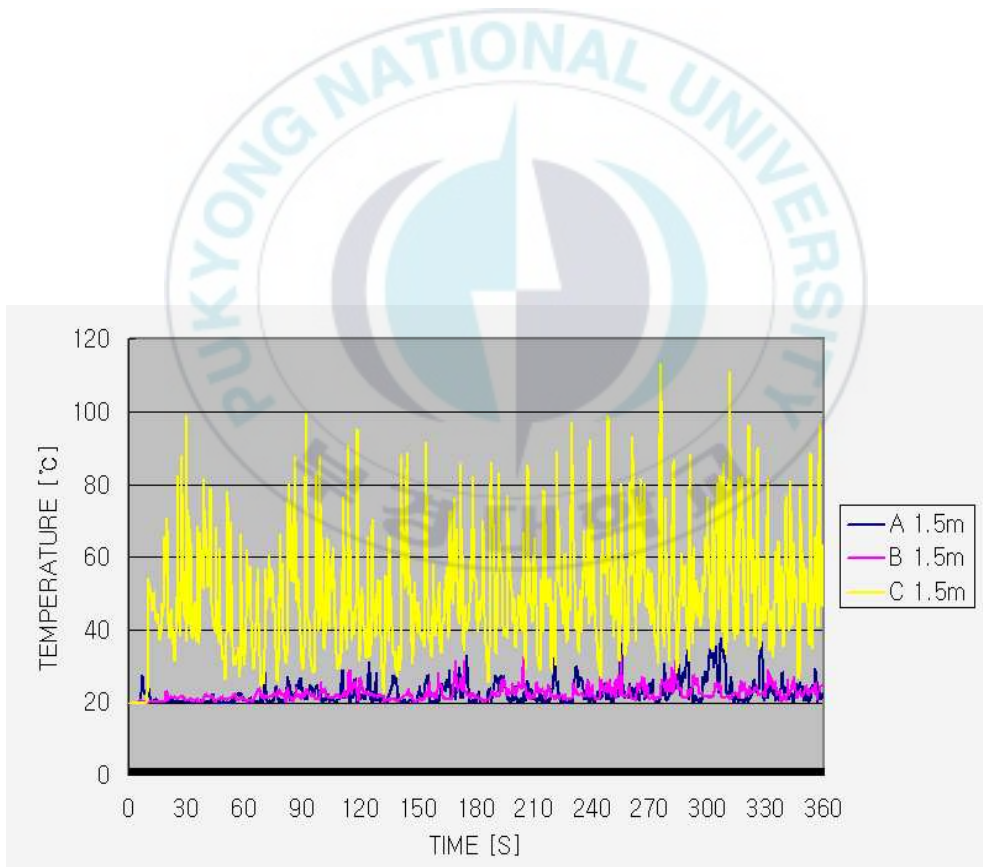


Fig. 33 Comparison of temperature variation at A₃ B₈ C₄

3.5.5 A, B, C, 각각 1.5m의 일산화탄소 변화

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 미설치 시에 각각 A, B, C, 지점의 1.5m높이에서 일산화탄소 변화량을 Fig 34에서 비교 하였다. 실험결과 30초 이후의 평균값이 A지점(승강장)은 2.87ppm으로 평균값은 낮으나 직접적인 화원의 영향에도 불구하고 제연경계벽 미설치로 인해 빠르게 피난계단으로 일산화탄소가 이동해 안정된 그래프 형태를 보이며, B지점(피난 계단참) 역시 3.99ppm 대합실로 이동하는 수직개구부의 형태로 안정적인 값을 보인다. C지점(대합실 입구)은 최고 평균 282.2ppm에서 최저 평균 28.73ppm으로 빠르게 이동된 일산화탄소가 대합실에 적체현상을 보이고 불규칙한 그래프를 나타내며 전체 평균 118.11ppm으로 높게 나타났다.

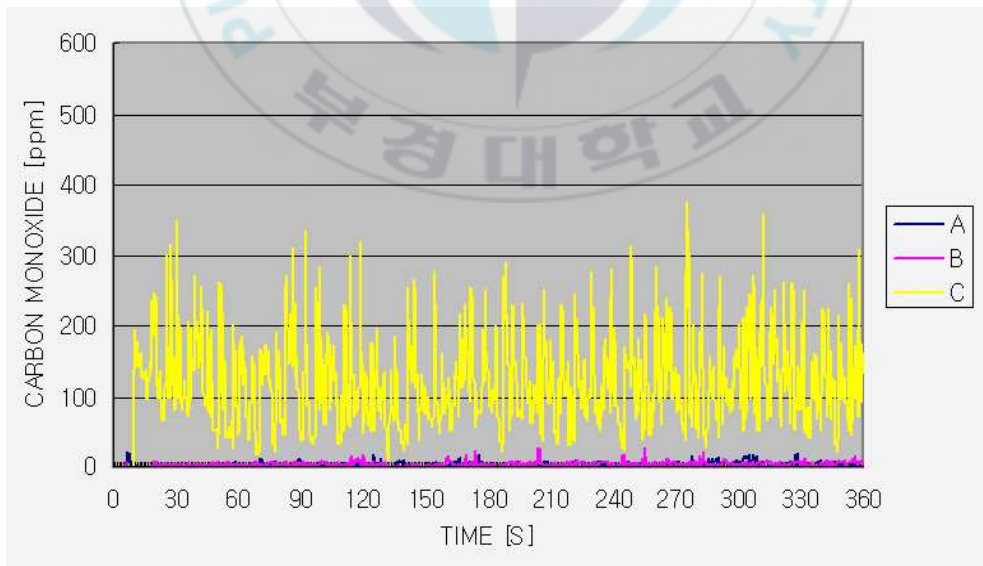


Fig. 34 Comparison of Carbon monoxide variation at A₃ B₈ C₄

3.5.6 $y=1.0m$ 의 온도 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 미설치 시에 $y=1.0m$ 의 x - z 평면에서의 온도 분포는 Fig. 35의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 큰 차이점은 없으나 화원에서는 상승하는 열기의 흐름이 승강장 천정에 부딪힌 후 확산된 후 개방된 공간으로 이동하는 현상을 보여주고 있다.

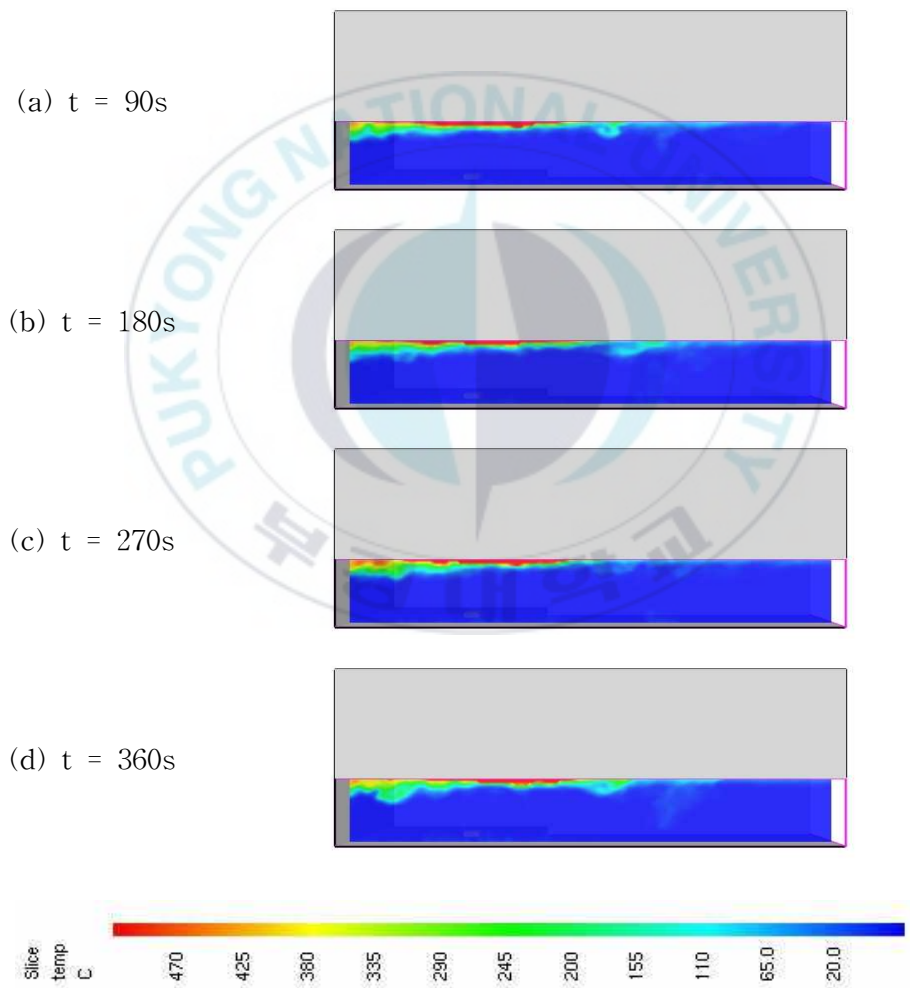


Fig. 35 Temperature distribution at $y=1.0m$

3.5.7 $y=4.0m$ 의 온도 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 미설치 시에 $y=1.0m$ 의 $x-z$ 평면에서의 온도 분포는 Fig. 36의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 피난계단으로 이동하는 고온의 공기와 연기는 대합실 쪽으로 유입되는 것을 볼 수 있다.

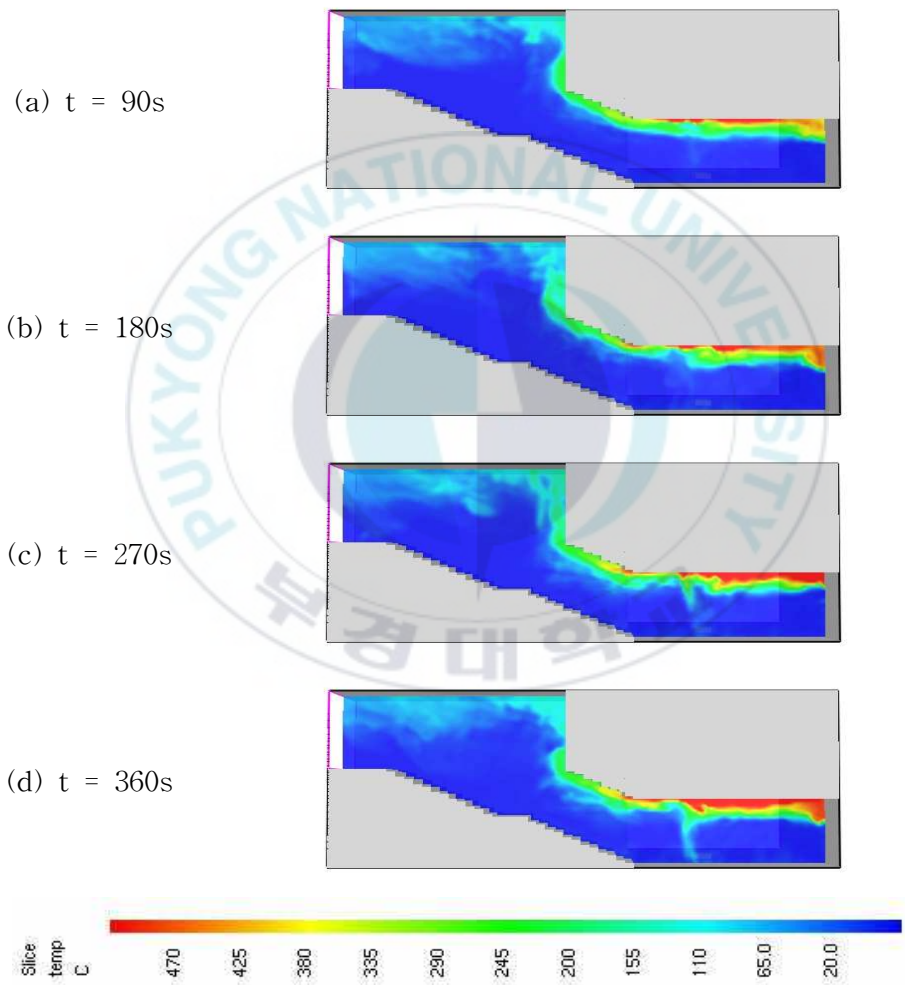


Fig. 36 Temperature distribution at $y=4.0m$

3.5.8 $y=1.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 미설치 시에 $y=1.0m$ 의 x - z 평면에서의 일산화탄소 분포는 Fig. 37의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 시간대별로 큰 변화 없이 화원 근처의 일산화탄소 분포가 높고, 승강장 전체적으로 확산 회석되어 진다.

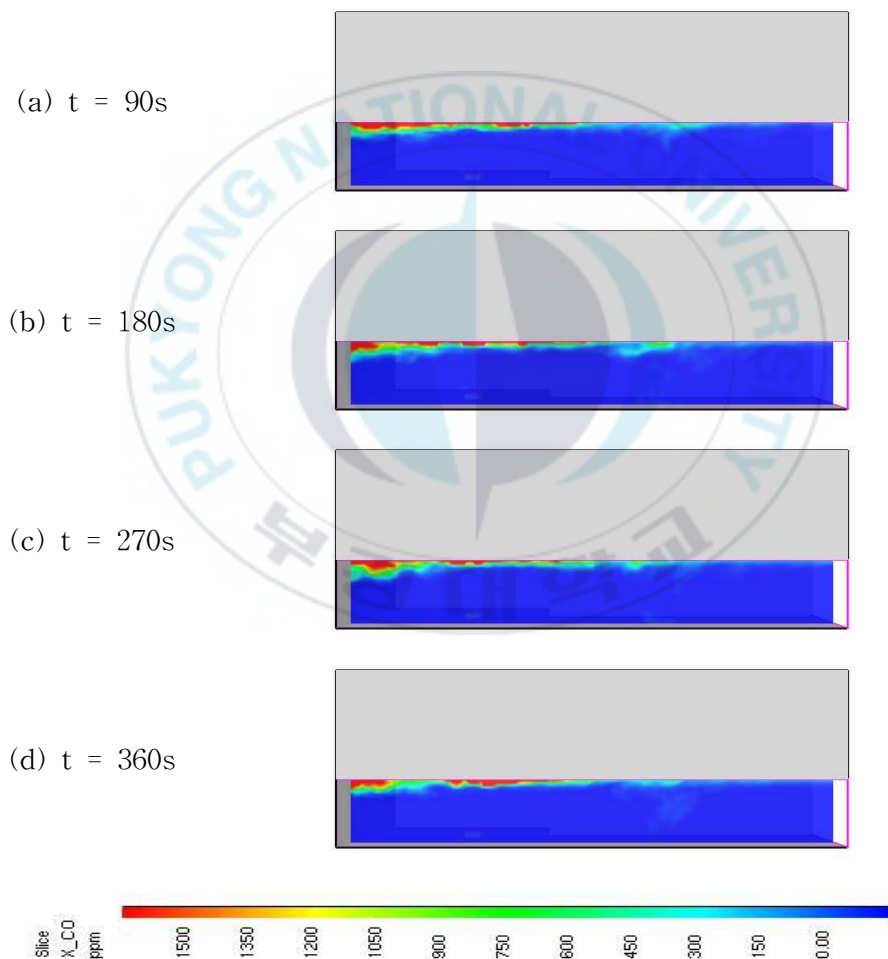


Fig. 37 Carbon monoxide distribution at $y=4.0m$

3.5.9 $y=4.0m$ 의 일산화탄소 분포

화재크기가 2MW이고 배기구의 유속은 2.27m/s로 배기하고 있으며 제연경계벽 미설치 시에 $y=4.0m$ 의 x - z 평면에서의 온도 분포는 Fig. 38의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 제연경계벽 미설치로 인해 바로 피난계단으로 이동하며 B지점을 통과하는 일산화탄소가 대합실 쪽으로 유입되는 것을 볼 수 있다.

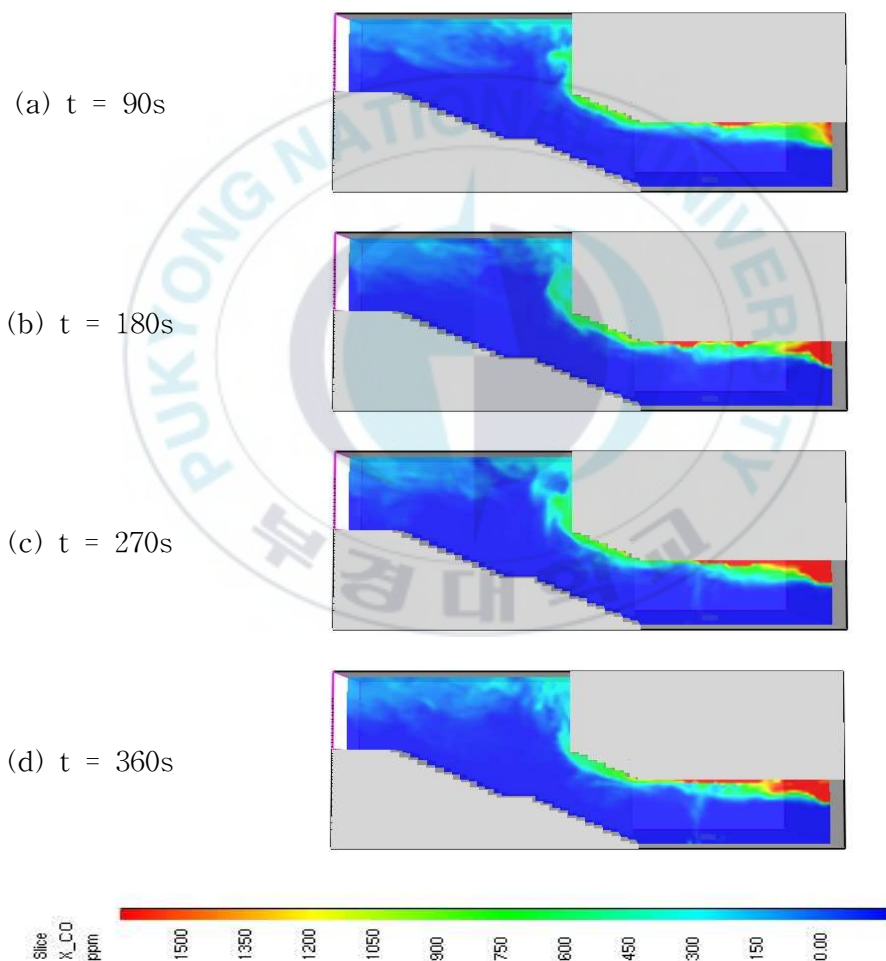


Fig. 38 Carbon monoxide distribution at $y=4.0m$

3.6 CASEⅢ CASEⅣ 유속 비교

화재크기가 2MW이고 배기구는 유속은 2.27m/s 배기하고 있으며 제연경계벽의 설치 및 미설치에 따른, $y=4.0\text{m}$ 의 x - z 평면에서의 속도 분포는 Fig. 6의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 비교 하여 나타냈다. 제연경계벽을 설치한곳은 다소 특정 위치만 빠른 속도 변화를 나타내면 전체적으로 안정된 속도를 보이며 제연경계벽을 설치하지 않은 곳은 전체적으로 모든 공간이 빠른 속도 변화를 보이고 있다.



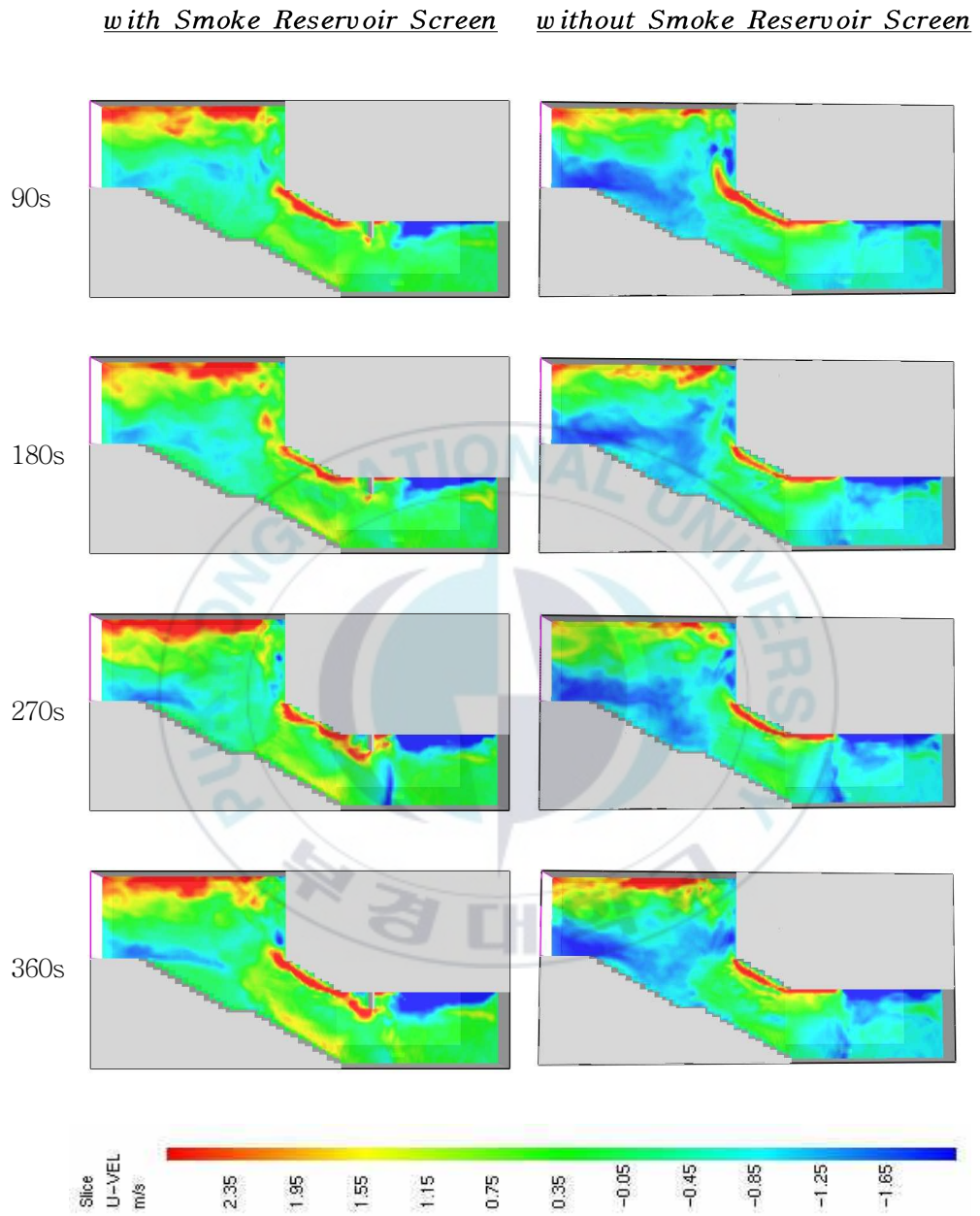


Fig. 39 U-Velocity distribution near stairway
with and without Smoke Reservoir Screen

3.7. 풍속에 따른 온도의 비교

3.7.1 제연경계벽 설치시 A지점의 풍속 변화에 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 제연경계벽이 설치된 상태에서 $A_1 \sim A_5$ 까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 39에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 $A_1 \sim A_5$ 에 제연경계벽을 설치할 경우 풍속에 따른 평균 온도 값은 4°C 정도 변화만 있는 것을 알 수 있다. 이것으로 보아 풍속 변화에 따른 온도 변화는 거의 없는 것으로 실험결과로 나타났다.

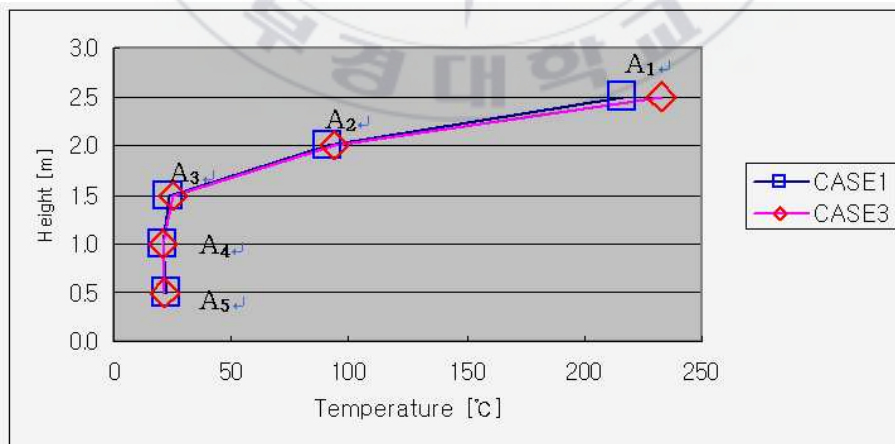


Fig. 40 Comparison of average temperature at $A_1 \sim A_5$

3.7.2 제연경계벽 설치시 B지점의 풍속 변화에 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 제연경계벽이 설치된 상태에서 B₁~B₁₀까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 40에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 B₁ 지점에서만 2℃ 정도의 차이를 보일뿐 거의 유사한 온도를 보이며, 전체 평균 온도 값은 0.1℃ 정도의 차이만 보이고 있다. 풍속에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

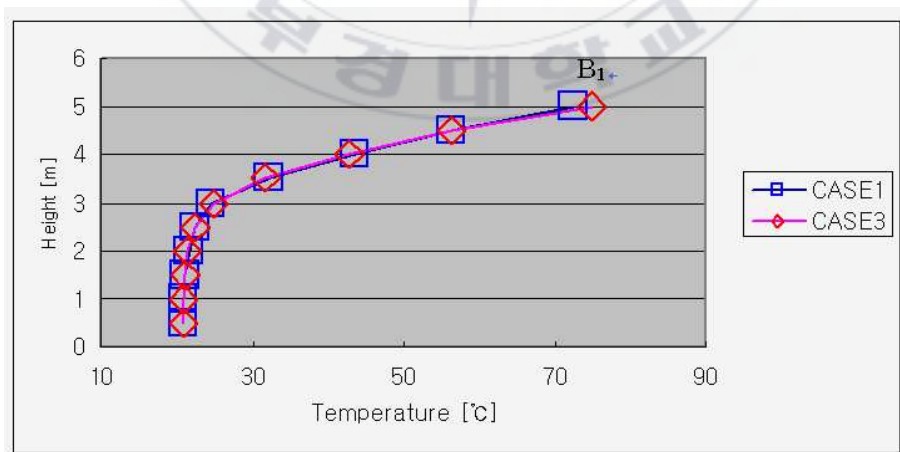


Fig. 41 Comparison of average temperature at B₁~B₁₀

3.7.3 제연경계벽 설치시 C지점의 풍속 변화에 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 제연경계벽이 설치된 상태에서 $C_1 \sim C_6$ 까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 41에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 C_1 지점에서는 배연풍속이 2.27m/s일 때 약 1.2℃ 정도 높게 나타났고, C_6 지점에서는 배연풍속이 1.2m/s일 때 약 3℃가 높게 나타났다. 전체 평균 온도 값은 0.3℃ 정도의 차이만 보이며 풍속에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

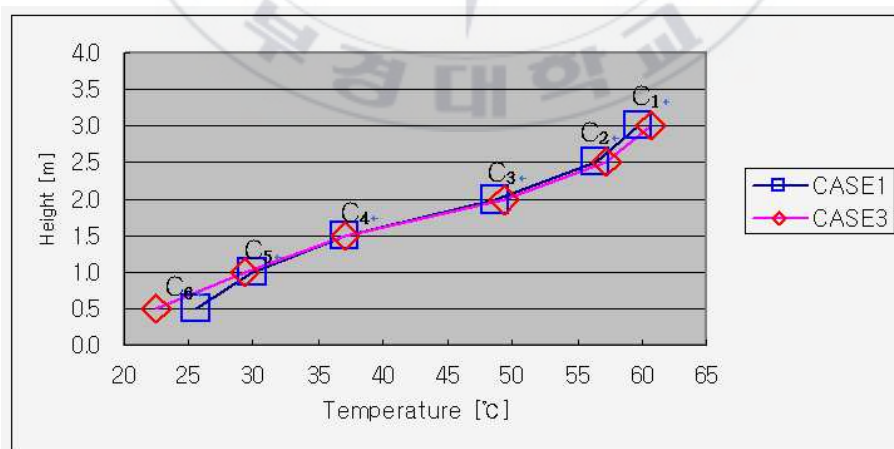


Fig. 42 Comparison of average temperature at $C_1 \sim C_{10}$

3.7.4 제연경계벽 미설치시 A지점의 풍속 변화에 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 제연경계벽이 미설치된 상태에서 A₁~A₅까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 41에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 각 지점에서 거의 유사한 온도를 보이며, 평균 온도 값은 0.3℃ 정도의 차이만 보이고 있다. 풍속에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

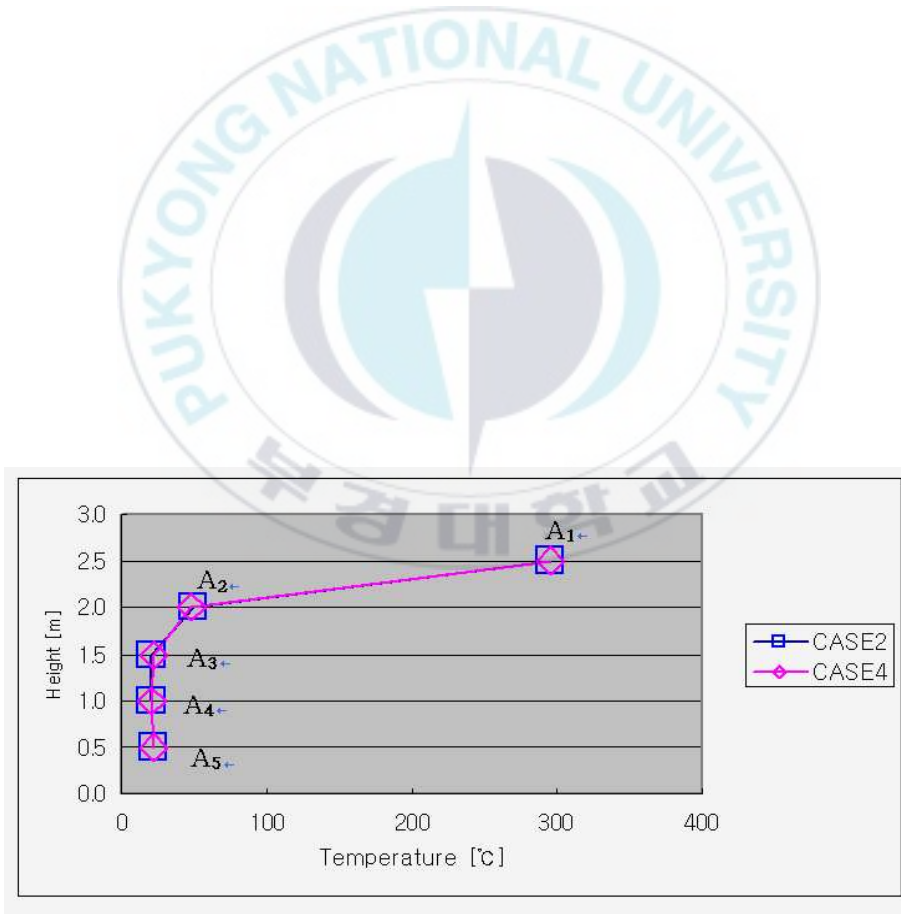


Fig. 43 Comparison of average temperature at A₁~A₅

3.7.5 제연경계벽 미설치시 B지점의 풍속 변화에 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 제연경계벽이 설치된 상태에서 B₁~B₁₀까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 41에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 평균 온도 값은 1.5℃ 정도의 차이만 보이고 있으며, 풍속에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

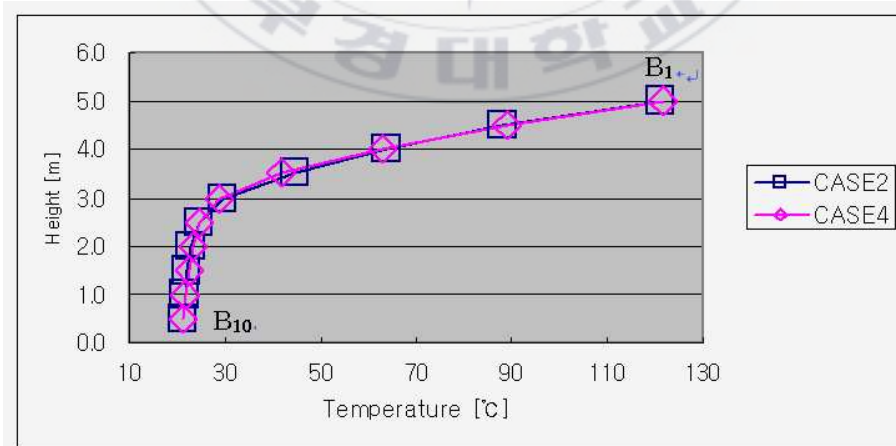


Fig. 44 Comparison of average temperature at B₁~B₁₀

3.7.6 제연경계벽 미설치시 C지점의 풍속 변화에 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 제연경계벽이 설치된 상태에서 $C_1 \sim C_6$ 까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 42에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 $C_1 \sim C_6$ 지점에서 제연경계벽을 미설치 시에 평균 온도 값은 0.3°C 정도의 차이만 보이고 있다. 2.27m/s 이하 1.2m/s 이상의 풍속에서는, 풍속에 따른 큰 영향은 없는 것으로 나타났다.

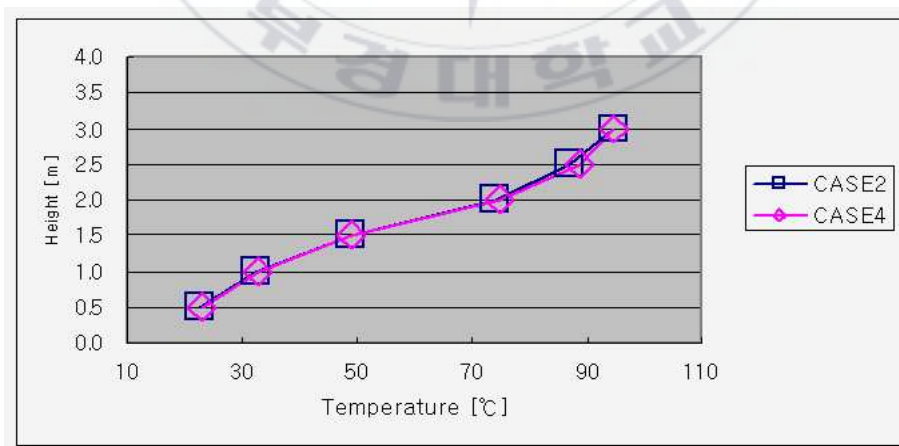


Fig. 45 Comparison of average temperature at $C_1 \sim C_6$

3.8 제연경계벽에 따른 온도의 비교

3.8.1 풍속 1.2m/s 일때 A지점의 제연경계벽 따른 경우

화재의 규모가 2MW 이고 1.2m/s 풍속에서 제연경계벽의 설치와 미설치에 따른 상태에서 $A_1 \sim A_5$ 까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 43에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 A_3 에서 A_5 까지는 비슷한 온도 변화를 보이거나 A_2 에서부터 급격한 차이를 보이며, 설치된 경우 A_1 지점의 평균 온도 216°C 인데 반해 미설치된 경우 294°C 로 차이를 보인다. 제연경계벽의 설치와 미설치에 따른 차이를 나타내고 있으며 제연경계벽이 미설치 되었을 경우 전체 평균 온도 값은 10°C 정도 높게 나타났다.

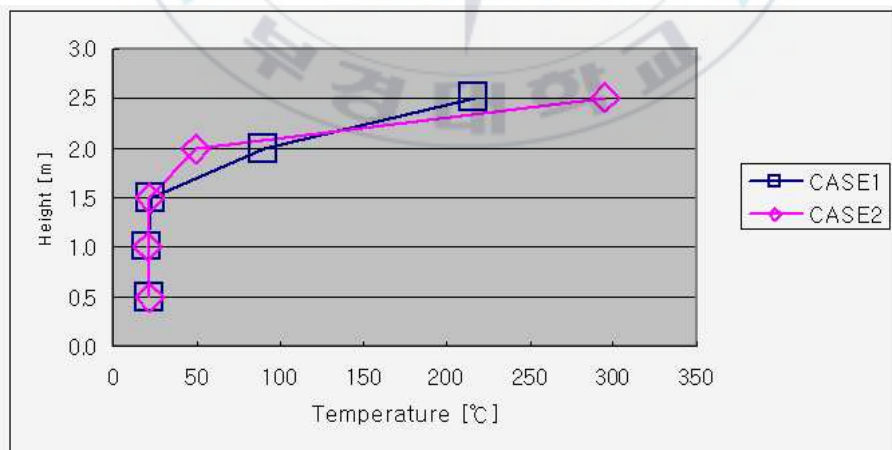


Fig. 46 Comparison of average temperature at $A_1 \sim A_5$

3.8.2 풍속 1.2m/s일 때 B지점의 제연경계벽 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 1.2m/s 풍속에서 제연경계벽의 설치와 미설치에 따른 상태에서 $B_1 \sim B_{10}$ 까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 44에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 B_1 에서 B_5 까지 천정에 가까울수록 큰 온도 변화를 보이며 B_6 에서부터 비슷한 온도를 보인다. 제연경계벽이 설치된 경우 최고 온도 33.6℃인데 반해 미설치된 경우 46℃로 큰 차이를 보이고 있으며 제연경계벽이 미설치 되었을 경우 전체 평균 온도 값은 12.4℃정도 높게 나타났다.

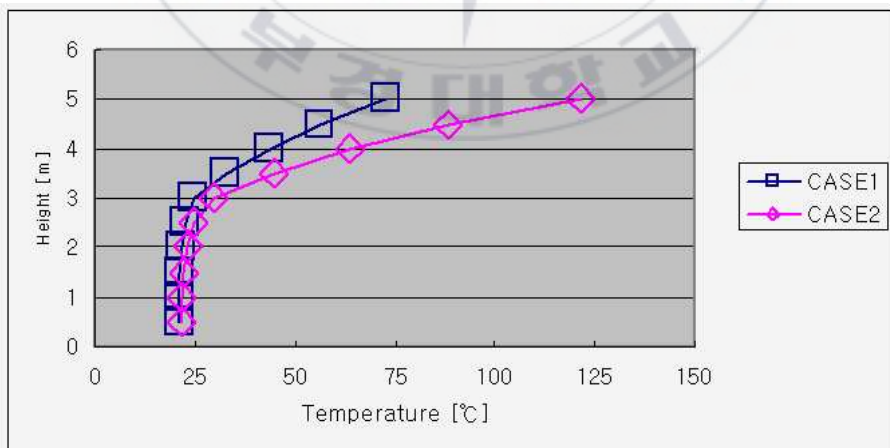


Fig. 47 Comparison of average temperature at $B_1 \sim B_{10}$

3.8.3 풍속 1.2m/s일때 C지점의 제연경계벽 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 1.2m/s 풍속에서 제연경계벽의 설치와 미설치에 따른 상태에서 $C_1 \sim C_6$ 까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 45에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 제연경계벽의 설치와 미설치시 가장 큰 온도 변화를 보이고 있다. C지점의 경우 승강장의 고온의 공기가 대합실로 유입되는 곳으로 A, B, C지점 중 가장 큰 차이 보이고 있다. C_1 지점에서는 제연경계벽 설치시 94.5℃, 미설치시 59.6℃로 큰 차이를 보이며 제연경계벽이 설치된 경우 전체 평균 온도 42.9℃인데 반해 미설치된 경우 59.9℃로 차이를 보인다. 제연경계벽이 미설치 되었을 때 전체 평균 온도 값은 17℃정도 온도가 높게 나타났다.

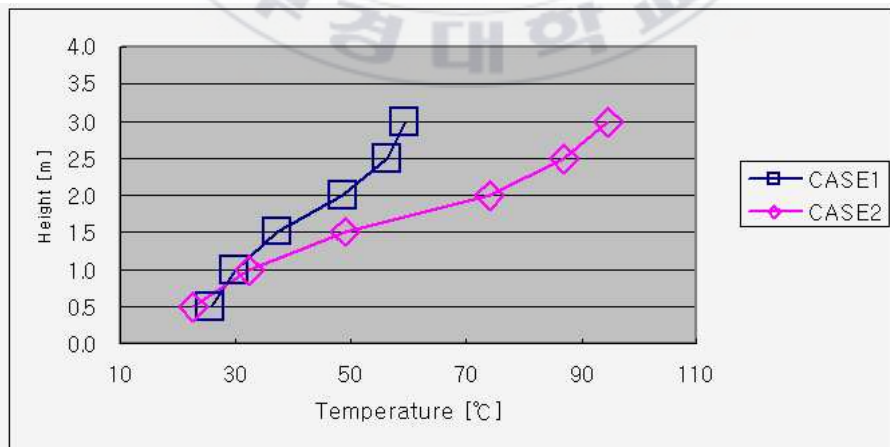


Fig. 48 Comparison of average temperature at $C_1 \sim C_6$

3.8.4 풍속 2.27m/s일때 A지점의 제연경계벽 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 2.27m/s 풍속에서 제연경계벽의 설치와 미설치에 따른 상태에서 A₁~A₅까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 46에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 A₃에서 A₅까지는 비슷한 온도 변화를 보이나 A₂에서부터 급격한 차이를 보인다. 설치된 경우 A₁지점의 평균 온도 232℃인데 반해 미설치된 경우 295℃로 차이를 보이며, 전체 평균 온도 값은 3℃ 정도의 차이를 보이고 있다. 제연경계벽이 미설치 되었을 경우 전체 평균 온도가 높게 나타났다.

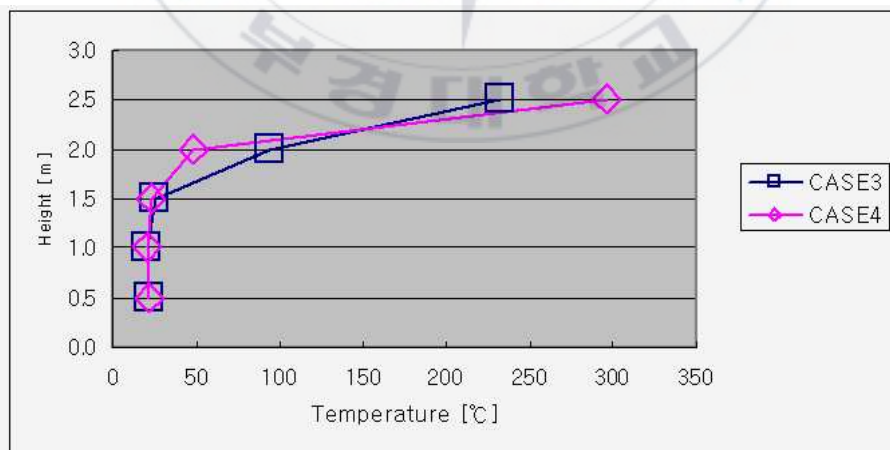


Fig. 49 Comparison of average temperature at A₁~A₅

3.8.5 풍속 2.27m/s일 때 B지점의 제연경계벽 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 2.27m/s 풍속에서 제연경계벽의 설치와 미설치에 따른 상태에서 B₁~B₁₀까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 47에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 B₁에서 B₅까지 천정에 가까울수록 큰 온도 변화를 보이며 B₆에서부터 비슷한 온도를 보인다. 제연경계벽이 설치된 경우 전체 평균 온도 33.7℃인데 반해 미설치된 경우 45.7℃로 차이를 보이며, 전체 평균 온도 값은 12℃ 정도의 차이를 보이고 있다. 제연경계벽이 설치 될 때 보다 미설치 되었을 때 온도가 높은 것으로 나타났다.

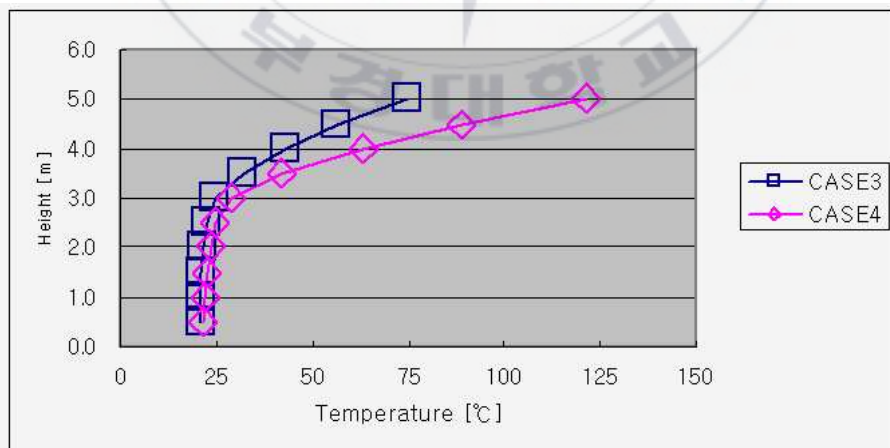


Fig. 50 Comparison of average temperature at B₁~B₁₀

3.8.6 풍속 2.27m/s일 때 C지점의 제연경계벽 따른 경우

화재의 규모가 2MW이고 1.2m/s 풍속에서 제연경계벽의 설치와 미설치에 따른 상태에서 $C_1 \sim C_6$ 까지 높이에 따른 온도 분포는 Fig. 48에서 보는 것과 같이 나타났다. 실험결과 제연경계벽의 설치와 미설치시 가장 큰 온도 변화를 보이고 있으며, C지점의 경우 승강장의 고온의 공기가 대합실로 유입되어 정체 되는 곳으로 가장 큰 차이 보이고 있다. 제연경계벽이 설치된 경우 전체 평균 온도 42.6°C 인데 반해 미설치된 경우 60.4°C 로 차이를 보이며, 평균 온도 값은 17.8°C 정도의 차이를 보이고 있다. 제연경계벽이 설치될 때 보다 미설치 되었을 때 17.8°C 높게 나타났다.

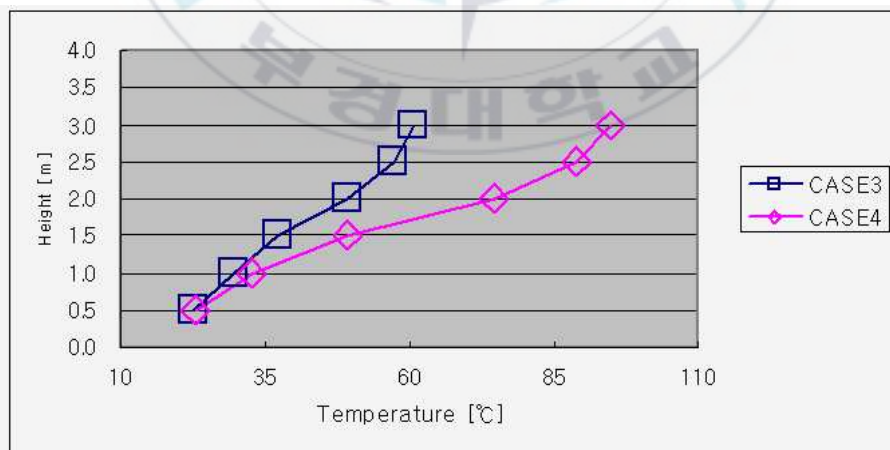


Fig. 51 Comparison of average temperature at $C_1 \sim C_6$

4. 결 론

본 연구는 실제 승강장의 크기 $17.4\text{m} \times 5.0\text{m} \times 7.0\text{m}$ 에 설치되어 있는 제연경계벽의 적합성여부를 확인하기 위하여 폴리우레탄 화재가 발생한 경우를 가정 하였다. 피난계단에 화재가 미치는 영향을 분석하기 위해 FDS(Fire Dynamics Simulator) 프로그램으로 온도 및 일산화탄소, 피난 계단 내의 유동속도를 비교한 결과로 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제연경계벽의 설치와 관계없이 배연구 풍속 1.2m/s 와 2.27m/s 에서는 배연구풍속의 영향이 크지 않았다.
- 2) 제연경계벽이 설치되었을 때 두 가지 배연구풍속에서 모두 승강장 계단과 대합실 입구의 온도가 제연경계벽이 없는 경우 보다 낮았다.
- 3) 일산화탄소 농도도 온도 분포와 유사한 결과를 나타냈었다.
- 4) 제연경계벽이 설치되지 않는경우에 연기가 빠른 속도로 계단천정으로 이동함을 볼 수 있었고, 제연경계벽이 설치된 경우에는 온도 및 일산화탄소의 분포와 연기의 이동 모습을 통해 제연경계벽이 연기 확산 지연됨을 확인 하였다.
- 5) 이상의 결과로부터 제연경계벽이 화재시 피난시간 확보에 도움이 됨을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 조완구, “지하철화재 위험성 및 안전대책”, 2003
- 2) 한국화재보험협회, “대구 지하철 화재 조사 보고서”, 2003
- 3) 박외철, “대구지하철역 제연의 문제점과 대책 - I.제연방식”, 한국화재 소방학회, 제17권권, 제4호, pp. 98~104, 2003
- 4) 박외철, “대구지하철역 제연의 문제점과 대책 -II.배기방식 제연설비의 풍량”, 한국화재 소방학회, 제17권권, 제4호, pp. 105~110, 2003
- 5) 박원희, 김동현, 장용준, “부산지하철 지하역사에서의 열부력 연기화재 실험”, 한국철도학회 06 춘계학술대회 논문집, pp.134-141, 2006
- 6) 노삼규, “지하공간의 위험성평가에 관한 연구 - 지하철 역사내의 연기 제어를 위한 제연경계벽의 효용성 평가”, 한국화재 소방학회, 제18권 제4호 pp. 103~109, 2004
- 7) 장희철 “지하철 역사 승강장 화재발생시 열/연기 거동 분석을 위한 실험 및 수치 연구(II) -수치적 접근-”
- 8) 박외철 “제연방식과 풍량에 따른 제연성능의 수치적 연구” 한국화재 소방학회, 제17권권, 제2호, pp. 56~61, 2003
- 9) 이동호 “지하철 제연설비 개선에 관한 연구” 한국화재 소방학회, 제12권, pp. 326~337, 2003
- 10) 최창진 “지하철 화재발생시 역사내 화재연기 거동 가시화 연구” 한국가시화 정보학회 추계학술대회 논문집, pp.64-68, 2005
- 11) K. B. McGrattan, ed, Fire Dynamics Simulator(version 4.07) User's Guide, NIST, U.S.A 2006.

*A study on delay in smoke spread of
the Smoke Reservoir Screen in Subway Platform*

Sam-Yeal Yoo

Department of Safety Engineering,
Graduate School of Industry,
Pukyong National University

Abstract

In this study, a fire with polyurethane has been assumed to see the suitability of the Smoke Reservoir Screen which is set up at the 17.4m *5.0m*7.0m size real platform. In order to analyze the effect of a fire to the evacuation stairway, temperature, carbon monoxide and flow speed at the evacuation stairway have been compared to each other using FDS(Fire Dynamics Simulator)program. According to this result, we've got the conclusion below.

1) The effect of ventilation speed was not too much different at the 1.2m/s and 2.27m/s ventilation speed without any relationship with Smoke Reservoir Screen set up

2) In case with Smoke Reservoir Screen set up, platform stairway and temperature of waiting room entrance was lower than the case without Smoke Reservoir Screen set up.

3) The density of carbon monoxide shows the similar result with temperature distribution.

4) In case without the Smoke Reservoir Screen set up, smoke moves fast to the stairway ceiling. On the other hands, in case with the Smoke Reservoir Screen set up, it was observed that the Smoke Reservoir Screen prevents the smoke diffusion through the investigation of temperature, a distribution of carbon monoxide, and the shape of smoke moving

5) From these result, it is concluded that the Smoke Reservoir Screen can provide more time for escaping

감사의 글

2년이라는 시간동안 배움을 시작한지가 어제 같은데 부족하지만 벌써
논문이 완성되어 정말 기쁘기 그지 없습니다. 부족한 저를 지도해 주시며
진정한 배움을 알게 해주신 박외철 교수님께 머리 숙여 감사드립니다.

발전된 논문이 될수 있도록 지도해 주신 이내우 교수님과 이의주 교수님
그리고 부족한 부분을 많이 일깨워 주신 최재욱 교수님, 장성록 교수님께
도 진심으로 감사 드립니다.

처음 FDS로 고민할 때 많은 도움을 주신 고경찬 박사님, 정이규 선배님
정말 감사드리며, 누구보다 내 일처럼 생각해 준 친구 정필훈 선생님께
진심으로 감사드립니다. 논문의 자료 수집에 도움을 주신 박종계 팀장님,
조영진 과장님께 감사 드립니다.

직장생활과 학업을 병행할수 있도록 지원해 주신 한국소방 임직원 여러분
께 감사드리며, 대학원 석사과정을 무사히 끝맺을 수 있도록 후원해 주신
어머니, 형, 형수님에게 감사드립니다.

이 석사논문이 끝이라고 생각하진 않습니다. 이제 한 단락을 끝내고 다시
시작이라고 생각 하며 저를 격려해 주시고 가르쳐 주신 분들에게 기대에
부흥 할 수 있도록 노력과 더욱 발전된 모습으로 보답 드리겠습니다.

그리고 마지막으로 제 논문에 가장 큰 도움을 주시고 마지막까지 힘을 낼 수 있도록 격려 해준 양봉라에게도 진심으로 감사의 말을 올리고 싶습니다.

