

工 學 碩 士 學 位 論 文

多衆利用施設 地下空間의 避難
安全性에 關한 研究



釜 慶 大 學 校 產 業 大 學 院

安 全 工 學 科

吳 唱 煥

工學碩士學位論文

多衆利用施設 地下空間의 避難
安全性에 關한 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

2013 年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

安全工學科

吳 唱 煥

이 논문을 吳唱煥의 工學碩士
學位論文을 認准함



主	審	工學博士	權 五 憲 (印)
委	員	工學博士	崔 載 旭 (印)
委	員	工學博士	朴 外 哲 (印)

목 차

1. 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	3
1.3 연구 동향	5
2. 이론적 고찰	8
2.1 화재 시뮬레이션의 개요	8
2.2 지배방정식	9
2.3 대상 건축물	11
2.4 시뮬레이션 방법	15
3. 결과 및 분석	18
3.1 Shutter No. 5 열림 및 반단힘	18
3.2 Shutter No. 9 열림 및 반단힘	29
3.3 Shutter No. 6,8 열림 및 반단힘	40
3.4 Shutter No 5, 6, 7, 8, 9 열림 및 반단힘	51
3.5 Shutter 개폐에 따른 온도의 비교	62
3.6 Shutter 개폐에 따른 이산화탄소 농도의 비교	65
3.7 Shutter 개폐에 따른 가시거리의 비교	68
4. 결론	71
참고문헌	72
Abstract	74

표 목차

Table 1 층별용도	11
Table 2 P1, P2, P3 parameters	15
Table 3 Dimension and location of shutter	17
Table 4 Combination of parameters	17

그림 목차

Fig. 1 대상건축물 평면도	12
Fig. 2 시뮬레이션 대상층 평면도	13
Fig. 3 Computational domain and configuration	16
Fig. 4 Comparison of temperature variation at P1~P3	18
Fig. 5 Temperature distribution at $y=3.5\text{m}$	19
Fig. 6 Comparison of Carbon dioxide concentration variation at $z=1.8\text{m}$..	20
Fig. 7 Carbon dioxide concentration distribution at $z=1.8\text{m}$	22
Fig. 8 Comparison of Visibility variation at $z=1.8\text{m}$	23
Fig. 9 Visibility distribution at $z=1.8\text{m}$	25
Fig. 10 Comparison of temperature at P1~P3	26
Fig. 11 Comparison of temperature, carbon dioxide concentration, visibility at fire size	28
Fig. 12 Comparison of temperature variation at P1~P3	29

Fig. 13 Temperature distribution at $y=3.5\text{m}$	30
Fig. 14 Comparison of Carbon dioxide concentration variation at $z=1.8\text{m}$..	31
Fig. 15 Carbon dioxide concentration distribution at $z=1.8\text{m}$	33
Fig. 16 Comparison of Visibility variation at $z=1.8\text{m}$	34
Fig. 17 Visibility distribution at $z=1.8\text{m}$	36
Fig. 18 Comparison of temperature at P1~P3	37
Fig. 19 Comparison of temperature, carbon dioxide concentration, visibility at fire size	39
Fig. 20 Comparison of temperature variation at P1~P3	40
Fig. 21 Temperature distribution at $y=3.5\text{m}$	41
Fig. 22 Comparison of Carbon dioxide concentration variation at $z=1.8\text{m}$..	42
Fig. 23 Carbon dioxide concentration distribution at $z=1.8\text{m}$	44
Fig. 24 Comparison of visibility variation at $z=1.8\text{m}$	45
Fig. 25 Visibility distribution at $z=1.8\text{m}$	47
Fig. 26 Comparison of temperature at P1~P3	48
Fig. 27 Comparison of temperature, carbon dioxide concentration, visibility and half closed	50
Fig. 28 Comparison of temperature variation at P1~P3	51
Fig. 29 Temperature distribution at $y=3.5\text{m}$	52
Fig. 30 Comparison of Carbon dioxide concentration distribution at $z=1.8\text{m}$..	53

Fig. 31 Carbon dioxide concentration distribution at $z=1.8\text{m}$	55
Fig. 32 Comparison of visibility variation at $z=1.8\text{m}$	56
Fig. 33 Visibility distribution at $z=1.8\text{m}$	58
Fig. 34 Comparison of temperature at P1~P3	59
Fig. 35 Comparison of temperature, carbon dioxide concentration, visibility and half closed	61
Fig. 36 Comparison of temperature at P1	62
Fig. 37 Comparison of temperature at P2	63
Fig. 38 Comparison of temperature at P3	64
Fig. 39 Comparison of carbon dioxide concentration at P1	65
Fig. 40 Comparison of carbon dioxide concentration at P2	66
Fig. 41 Comparison of carbon dioxide concentration at P3	67
Fig. 42 Comparison of visibility at P1	68
Fig. 43 Comparison of visibility at P2	69
Fig. 44 Comparison of visibility at P3	70

1. 서 론

1.1 연구의 배경

건축기술의 발달과 현대사회의 요구에 따라 대형 다중이용시설이 건설되고 있는 실정이며, 이러한 새로운 형태의 건축물의 화재안전에 대한 대책이 요구되고 있다. 다중이용시설은 단위 면적에 비하여 많은 사람이 운집하는 특성을 갖고 있는 시설이다. 통로의 구성, 피난출구의 위치 등 재실자들이 내부구조에 익숙하지 못하여 화재 등 비상시에 신속한 대피에 한계가 있다. 그에 따라 다중이용시설의 화재발생시 사회에 미치는 영향 또한 적지 않다.

특히, 지하시설의 경우 지상 구조물과 달리 외부와 폐쇄적인 상황에서 재실자의 이동이 이루어져야 하기 때문에 화재와 같은 사고 발생시 많은 사람들이 신속하고 안전하게 대피할 수 있도록 계획 하는것이 무엇보다도 중요하다 할 수 있다. 최근에는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 실제화재와 거의 유사한 상황을 모사함으로써 화재시 안전한 대피경로 확보와 인명 및 재산의 피해를 줄 일 수 있는 건축물의 설계에 응용되고 있다.

본 연구에서는 대형 공간을 갖는 건축물 중의 하나인 경기장의 지하공간에 대해 화재안전성을 확보하기 위하여 가상 화재시의 화재성상 및 연기분포 현상에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 분석을 실시하여 그 개선방안을 제시하고 이 연구를 통해 제시되는 시사점과 한계점에 대하여 논하였다.

특히, 지하시설의 경우 지상 구조물과 달리 외부와 폐쇄적인 상황에서 재실자의 이동이 이루어져야 하기 때문에 화재와 같은 사고 발생시 많은 사

람들이 신속하고 안전하게 대피할 수 있도록 계획 하는것이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

방화셔터는 유지관리 또는 시스템 운영상 방화셔터 하부에 방치되는 장애물과 시스템 장애로 인하여 정상적으로 작동이 안되어 소방대상물에 상당한 피해를 가져 올 수 있고, 정상적으로 작동이 된다고 하더라도 장기간 방치된 방화셔터의 오작동이 이루어질 가능성이 높아 인명피해로 확대될 수도 있다.

건축법 시행령 제46조의 방화구획의 설치기준에 의하면 주요구조부가 내화구조 또는 불연재료로 된 건축물로서 연면적이 1천 제곱미터를 넘는 것은 국토해양부령으로 정하는 기준에 따라 내화구조로 된 바닥·벽 및 갑종 방화문(국토해양부장관이 정하는 기준에 적합한 자동방화셔터를 포함)으로 구획하도록 규정하고 이를 "방화구획"이라 정하였다.

그러나 방화셔트는 내화벽이나 방화문에 비하여 구획성능이 뒤떨어 진다고 할 수 있으므로 본 연구에서는 대형 공간을 갖는 건축물 중의 하나인 경기장의 지하공간에 대해 방화구획선상에 설치된 방화셔터의 작동에 따른 피난 및 화재안전성능을 구현하기 위하여 가상화재시의 화재성상 및 연기 분포현상에 대해 컴퓨터시뮬레이션을 통해 분석하고 개선방안을 제시하여 안전한 소방대상물의 유지 관리 방향을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 목적

경기장 건축물은 소방법에서는 관람집회 및 운동시설에 해당하는 방호공간으로 관람시설에 필요한 부대시설을 확보한 방호공간으로 구성되어 있는 대형 공간이라 할 수 있다

그동안 국내 및 외국에서 발생한 화재사례에서 알 수 있는 바와 같이 경기장은 다른 소방대상물에 비하여 화재 잠재위험요소 및 발생빈도는 높지 않은 편이지만 화재발생 시에는 실내공간의 특수성 및 관람객이 군집되어 있기 때문에 소방대원의 구조 및 피난활동, 소화활동이 매우 어렵다. 따라서 과학적이고 효과적인 소방시스템을 구축하지 않을 경우 대형사고로 확대될 가능성이 매우 높은 소방대상물이라 할 수 있다.¹⁾

또한 2011년도 소방방재청에서 발표한 2011년도 전국화재현황 분석²⁾에 따르면 전체화재 43,875건으로 전년대비 4.8%가 증가되어 2,012명의 인명피해와 256,528백만원의 재산피해가 발생하여 전년대비(10년) 화재건수는 4.8%(2,012건) 증가, 인명피해는 1.6%(30명), 재산피해는 3.8%(10,249백만원) 각각 감소하였다고 나타나며, 화재증가 사유는 부주의 2,369건, 기계적요인 12건, 가스누출 33건, 화학적요인 11건 각각 증가함에 따라 전년대비 2,012건이 증가함으로 전체대비 건축물에서 61.6% 화재가 발생하였으나 피해내역은 사망이 총 263명중 건축물에서 88.2%(232명) 부상은 총 1,599명중 건축물에서 84.2%(1,347명)의 피해가 발생하여 건축물에서 화재건수대비 인명피해율이 높은 것으로 나타내고 있는 추세로 분석 되었다.

그러므로 방화셔트의 적합여부를 확인하는 것을 위해 화재가 발생한 경우 방화셔트 개폐에 따른 화재특성을 화재시뮬레이션으로 조사하고자 한다.

지하공간의 설비시설은 인공적인 환경으로서 빛, 열, 실내공기질을 제어하여 거주자에게 쾌적한 공간을 제공하기 위해 설치되었다. 하지만 화재와 같은 재난 발생 시 인공적인 환경기능을 상실하게 되어 피난 안전성 확보에 치명적인 영향을 미치게 된다. 이를 해결하기 위해 법규에 규정된 다양한 건축적, 설비적 방재시설들을 설치하여 화재에 대비하고 있지만, 전반적으로 방재 시설의 최적 구성 및 피난 안전성 평가에 대한 체계적인 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 경기장 지하공간의 화재발생 상황을 실제 건축물을 대상으로 화재실험을 할 수 없는 현실적 한계가 있으므로, 최근 많이 사용되고 있는 미국표준기술연구소(National Institute of Standards Technology, NIST)에서 개발한 FDS(Fire Dynamic Simulator)³⁾를 이용하여 실제화재와 유사한 조건에서 화재발생 상황을 모사하여 방화구획선상에 설치된 방화셔트의 작동에 따른 화재성상 및 연기분포현상에 대해 분석하고 개선방안을 제시함으로써 안전한 소방대상물의 유지관리 방향을 제시하는데 목적이 있다.

1.3 연구 동향

다중이용시설의 대표적인 시설인 복합상영관의 국내 복합상영관 방재대책에 관한 연구에서 허준호, 윤명오⁴⁾는 21세기들어 영화산업의 발달로 탄생한 복합상영관에서는 수많은 사람들이 문화생활을 즐기고 소비하는 장소가 되고 있다. 그러나 복합상영관을 이용하는 수많은 사람들은 불특정다수인으로 복합상영관의 구조와 관련정보가 매우 부족하여 현실적으로 화재시 많은 인명피해가 예상된다. 특히, 복합상영관은 대부분 대형지하공간 또는 초고층건물의 상층부에 십여개의 상영관과 다양한 문화시설이 자리잡아 일시에 수많은 인파가 몰리는 대표적 다중이용시설이다. 만일 화재 등 재난이 발생하였을 경우, 수많은 관객들의 생명과 안전을 보장하기는 상당히 어려울 것이다. 그러므로 이와같은 문제점을 극복하기 위하여 복합상영관에서의 화재 피난안전상 체계적인 방재대책이 필요하여 컴퓨터시뮬레이션을 실시하고 이를 바탕으로 적절한 방재대책의 방향성을 제시하였다.

박재성 등⁵⁾은 건축물의 피난안전에 관한 국가간 기준 비교 연구를 통해 합리적인 피난안전 기준을 위한 자료를 조사 분석하여 이를 근거로 화재시 재실자의 안전한 피난을 위한 현행 기준의 문제점과 개선방안을 도출하였으며

김대희 등⁶⁾은 건축물 피난관련 연구동향 및 특성에 관한 연구를 통해 건축물의 피난에 대한 기존 연구를 중심으로 건축물 피난연구의 전반적인 현황을 살펴보고, 우리나라의 건축물 피난관련 연구방향의 기초적 자료를 제시하였다

이수경 등⁷⁾은 사례를 통한 다중이용업의 피해원인 분석 및 대책에 관한 연구를 통해 다중이용업의 화재원인을 분석하고, 시뮬레이션을 수행하여 화재위험성 평가기준을 파악하여, 방화문의 설치 및 유지관리, 피난로의 확보, 간이스프링쿨러의 설치, 관계자의 안전의식 고취 등의 개선대책을 제시하였다.

고경찬 등⁸⁾은 복합상영관 화재 및 피난시뮬레이션을 통한 화재 영향평가에서 화재로 인한 인명 피해 및 재산피해를 최소화 할 수 있도록 화재시뮬레이션을 통한 화재 영향평가를 수행하여 연기에 의한 질식 등에 의한 인명피해를 막고, 원활한 소방활동을 위한 자료를 제시하였다.

박외철 등⁹⁾은 개구부유동이 대류에 미치는 영향에 관한 수치연구에서 개구부에서 유입되는 공기는 천장의 온도를 형성하는데 영향을 주었고 공기의 유입이 빠를수록 온도는 감소하고 최고온도의 형성 위치가 유출되는 개구부 쪽으로 이동하는 것을 밝혔다.

박외철 등¹⁰⁾은 청정실 화재에 대한 화재시뮬레이션을 수행하여 제연설비와 스프링클러설비의 필요성과 연기의 확산가능성을 확인하였다. 그 결과 제연설비로 연기를 안전하게 배출할 수 있는 것으로 나타났고, 제연설비가 작동하면 연기가 청정실 내의 다른 구역으로 앓음을 알 수 있었으며 스프링클러의 역할은 연기의 발생을 억제하고 화재확산을 방지하는 역할을 하는 것으로 확인하였다.

또 박외철 등^{11,12)}은 FDS를 이용한 실내화재 시뮬레이션의 문제점을 파악하기위해 메탄올 화재를 모사하여 중심형 화재, 벽면형 및 모서리형 화재를

측정치와 비교하였는데, 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 모사에는 중대한 결점이 있는 것으로 지적되었다.

백승태 등¹³⁾은 국내 초고층 아파트의 화재 시 안전구역(대피장소)의 효용성 검토에 관한 연구에서 국내의 초고층 아파트를 선정하여 피난시물레이션을 수행한 결과를 바탕으로 초고층 아파트의 화재시 건물의 중간에 피난층을 설치하여 화재 시 건물내의 재실자들에게 피난성능을 확보시켜주는 장치로 국내 아파트에 안전구역을 적용할 경우 그에 대한 효용성을 검토하였다.

이상과 같이 화재관련연구에서 FDS를 사용한 시물레이션이 활발하게 이루어지고 있고, 이를 바탕으로 FDS를 활용하여 실내화재 발생시 피난계획을 효과적으로 수립할 필요성이 대두된다.

2. 이론적 고찰

2.1 화재 시뮬레이션의 개요

화재 시뮬레이션은 가상공간에 실제 화재 발생과 유사한 입력 변수들을 지정하고, 해당공간에 대한 화재모의시험을 실시함으로써 화재 대상공간의 피해정도를 미리 예측할 수 있는 것으로,

본 연구에서는 범용성이 비교적 높은 미국 표준기술연구소(NIST)에서 개발한 FDS를 이용하였다. FDS는 3차원 시뮬레이션 툴로서 화재구간의 연기농도, 가시거리, 연기의 이동경로 등을 예측함으로써 특정시간에서의 화재형상에 대한 검토가 가능하다.

또한 Solver인 FDS와 후처리 소프트웨어인 Smokeview로 구성되어 있는 3차원 시뮬레이션으로 화재 구간에서의 벽체 온도, 내부 공기온도, 연기농도 분포, 가스분포, 연기의 이동경로를 정량적·정성적으로 평가할 수 있다.

건물 내에 화재가 발생하면 화염에서의 연소에 의한 실내온도의 상승폭이 크고 강한 기류가 형성되므로 해석구간의 유체는 압축성 유체로 고려되어야 하며, 고온으로 인한 화염 및 연기로부터 복사열전달을 포함하여 계산하여야 한다. FDS는 이러한 공간에 연소반응을 모델링할 수 있도록 설계되었으며 FDS를 구성하는 기본 이론은 다음의 방정식으로 구성된다.

2.2 지배방정식

3차원 공간 내 화재와 관련된 유동 및 열전달을 지배하는 질량, 운동량 및 에너지보존법칙은 다음과 같다.

(1) 질량 보존 방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0$$

(2) 화학종 방정식

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

(3) 운동량 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \nabla p = \rho \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_{ij}$$

(4) 에너지 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \nabla \cdot \mathbf{q} + \Phi$$

(5) 이상기체의 상태 방정식

$$p = \frac{\rho R T}{M}$$

여기서 $\frac{dp}{dt}$ 는 $\frac{\partial p}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla p$ 이고 시간에 대한 압력의 물질도 함수를 나타낸다

기호 설명은 다음과 같다.

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 : 개구부중심선의 x방 x향평균유속(m/s)

u : 속도벡터(m/s)

w : 단위체적당화학종생성률(-)

Y : 질량분율(-)

ρ : 밀도(kg/m^3)

f : 힘벡터(N)

k : 열전도계수($\text{W/m} \cdot \text{K}$)

$\dot{m}'''$: 단위체적당생성률

τ : 전단응력(N/m^2)

q : 복사열전달량(kW/m^2)

2.3 대상 건축물

2.3.1 건축물의 제원

본 연구대상 건축물의 구조는 축구전용경기장으로 지하2층 및 지상3층, 건축면적은 22,667.92㎡, 연면적은 82,781.40㎡ 이며, 특별 피난 계단 32개소, 경사로 3개소, 승강기 2개소, 피난계단수 32개소, 옥외계단 5개소, 비상구 5개소로 이루어 지며, 각층별 용도는 Table 1과 같다.

Table 1 층별용도

층	명칭	건물용도 및 명칭	구 조	내장물	바닥면적	비 고
지하2층		보도, 사무, 주차장 컨벤션센터, 전기실	철골조	암면텍스, 노출콘크리트	17,128.22㎡	
지하1층		방송, 사무, 주차장 컨벤션센터, 여행사	철골조	암면텍스, 노출콘크리트	21,212.82㎡	
지상1층		관람(귀빈석), 웨딩홀 레스토랑,월드컵전시관	P.C	암면텍스, 노출콘크리트	16,165.84㎡	
지상2층		관람, 보도(기자석)	P.C	암면텍스, 노출콘크리트	9,741.98㎡	
지상3층		방송, 통신	P.C,지붕	암면텍스, 노출콘크리트	17,301.71㎡	

본 연구대상 건축물의 전체 평면도는 Fig. 1에 나타내고,

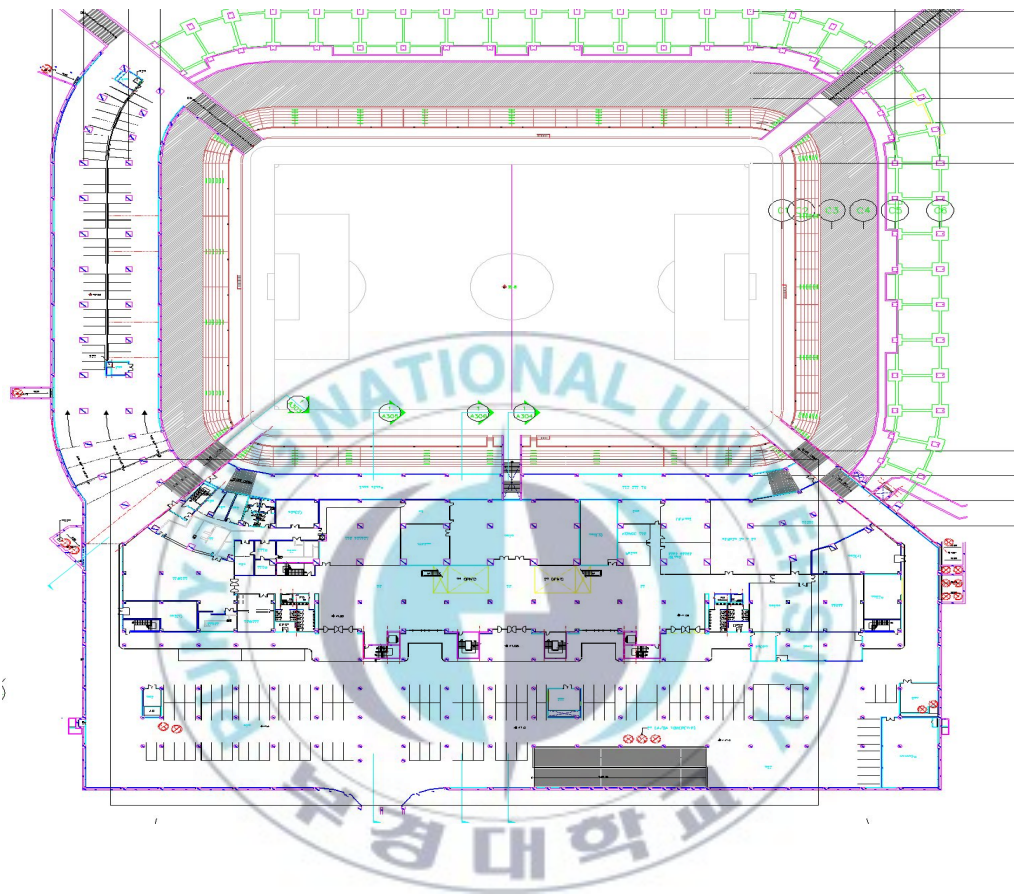


Fig. 1 대상건축물 평면도

지하 2층 평면도

Fig. 2 시뮬레이션 대상층 평면도

2.3.2 피난계획의 검토

피난계획은 건물에서 화재가 발생한 경우 공간 내의 거주자를 보다 안전한 장소로 빠른 시간 내에 대피시키는 것이다. 안전 피난계획은 관련 법령의 준수도 중요하지만 예상되는 화재에 대비한 화재실 및 인접 공간에서의 대피, 화재층에서의 대피, 비화재층으로의 피난 등 일련의 피난계획을 세우고 그 안전 수준을 검토해야 한다. 화재안전의 주목적인 인명안전 측면에서 보면 건축물의 피난계획은 가장 중요한 설계요소라 할 수 있다.



2.4 시뮬레이션 방법

시뮬레이션 대상 공간은 지하 2층의 콘크리트 구조로 울산에 위치한 M 경
기장의 지하로비 공간의 총 9개의 방화셔트로 로비의 출입구 마다 설치되어
있으며 3m/min의 하강속도를 가진 자동식 방화셔터이다.

또한 피난시 피난구 유도를 위한 비상유도등과 손전등, 그리고 개인 소화
기가 비치되어 있으며 중앙방재센터에 CCTV 감시시설을 갖추고 있다.

지하2층의 실제공간을 대상으로 시뮬레이션을 수행하기 위한 Table 2와
같이 온도, 이산화탄소 농도, 가시거리의 parameter의 값은 다음과 같이 정
하며,

Table 2 P1, P2, P3 parameters

구 분	Temperature	Visibility	Carbon Dioxide
P1, P2, P3	TP1, TP2, TP3	VP1, VP2, VP3	CP1, CP2, CP3

시뮬레이션 대상공간 전체크기가 82m×16m×3m인 방화셔트의 위치는
shutter No.1에서 No.9의 지하2층의 실제공간 시뮬레이션 모델은 Fig. 3과
같다.

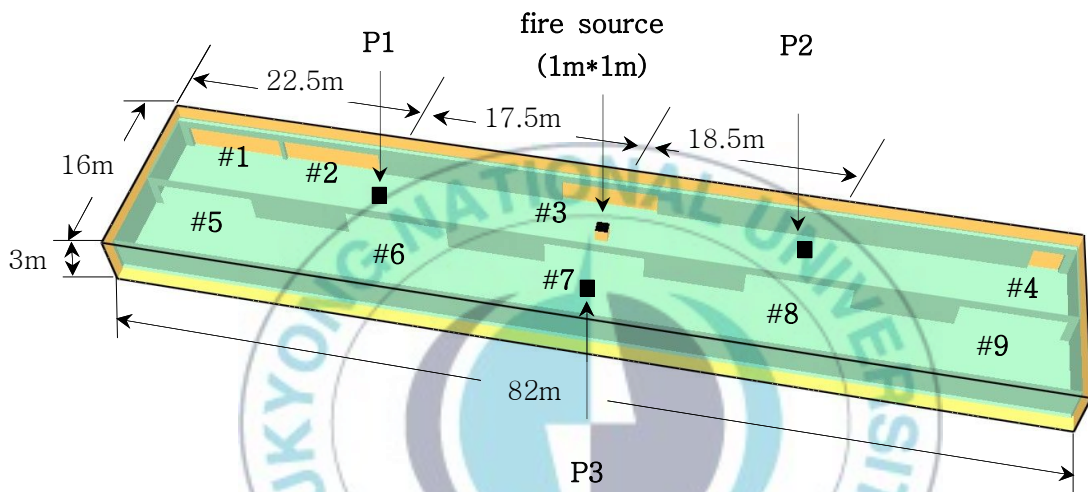


Fig. 3 Computational domain and configuration

방화셔트의 좌표가 Table 3과 같이 주출입문 등을 포함하여 총 9개소의 방화셔트가 있다. 로비 중심부의 화원 양쪽 및 지하주차장에 3.5m면의 온도와 바닥으로 1.8m 높이에 위치한 이산화탄소의 체적농도 및 가시거리를 세점 P₁, P₂, P₃를 배열하여 온도와 이산화탄소의 체적농도 및 가시거리를 계산하도록 설정 하였다.

열방출율은 15.6MW로 설정하고 300초 동안 시뮬레이션을 수행한 결과를 비교 분석했다. 화재발생 순간($t=0s$)부터 계산종료($t=300s$)까지의 값으로의 $y=3.5m$ 에서의 온도 및 $z=1.8m$ 에서의 이산화탄소의 농도와 가시거리를 비교했다.

Table 3 Dimension and location of shutter

shutter No.	dimension	location	remark
1	9m×2.5m	0m ~ 9m	출입문
2	9m×2.5m	9.5m ~ 18.5m	출입문
3	9m×2.5m	36m ~ 45m	출입문
4	3m×2.5m	78m ~ 81m	출입문
5	9m×2.5m	0m ~ 9m	출입문
6	9m×2.5m	18m ~ 27m	대형창
7	9m×2.5m	36m ~ 45m	출입문
8	9m×2.5m	54m ~ 63m	대형창
9	9m×2.5m	72m ~ 81m	출입문

본 연구에서 Table 4의 화재규모와 방화셔터의 개폐여부에 따라 시뮬레이션을 수행한 4가지 경우를 Table 4와 같이 Case A, B, C, D로 표시하였다.

Table 4 Combination of case

Case	Shutter No.	open comparison		fire size(MW)	
		open	half closed	15.6	7.8
A	5		half closed	15.6	
		open			7.8
B	9		half closed	15.6	
		open			7.8
C	6,8		half closed	15.6	
			half closed		7.8
D	5,6,7,8,9		half closed	15.6	
			half closed		7.8

3. 결과 및 분석

3.1 Shutter No.5 열림 및 반닫힘

3.1.1 P1~P3의 온도 변화

Fire shutter No.5가 열려 있는 경우, P1~P3 위치에서의 온도 변화를 Fig. 4에 비교하였다. P3에서의 온도는 낮게 나타나는 반면 P1의 온도는 P3에서는 상온보다 급격하게 높게 나타났고, 이는 No.5 shutter를 통해 고온의 공기가 배출되므로 다른 위치보다 온도가 월등히 높다.

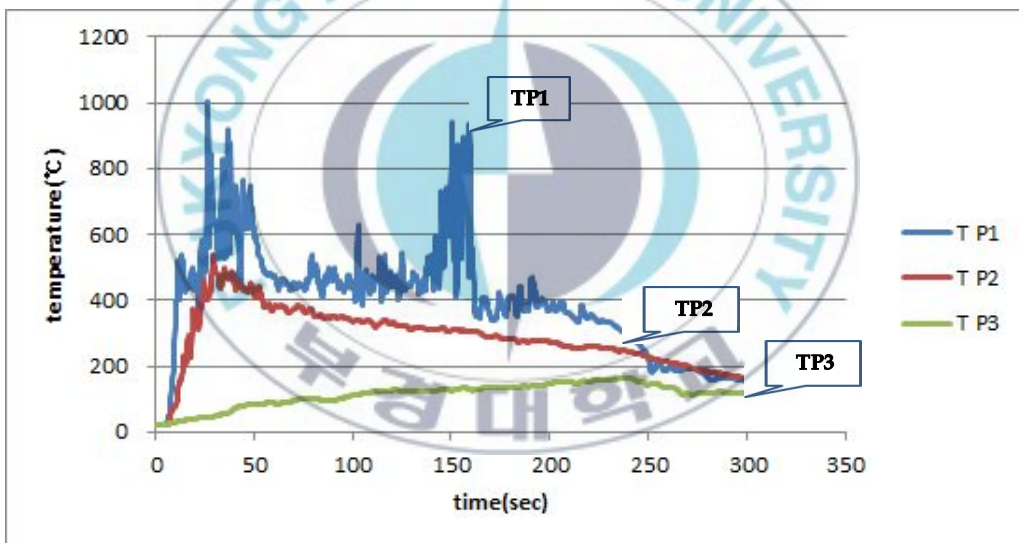


Fig. 4 Comparison of temperature variation at P1~P3.
(No.5 shutter open)

3.1.2 $y=3.5\text{m}$ 의 온도 분포

No.5 shutter가 열려 있는 경우, $y=3.5\text{m}$ 평면에서의 온도 분포는 Fig. 5의 (a)는 화재 발생후 50초에서의 온도분포이며 (b)는 200초에서의 온도분포를 나타낸다. 비발화 지점 구역으로 고온의 공기가 확산되고 있음을 보여준다.

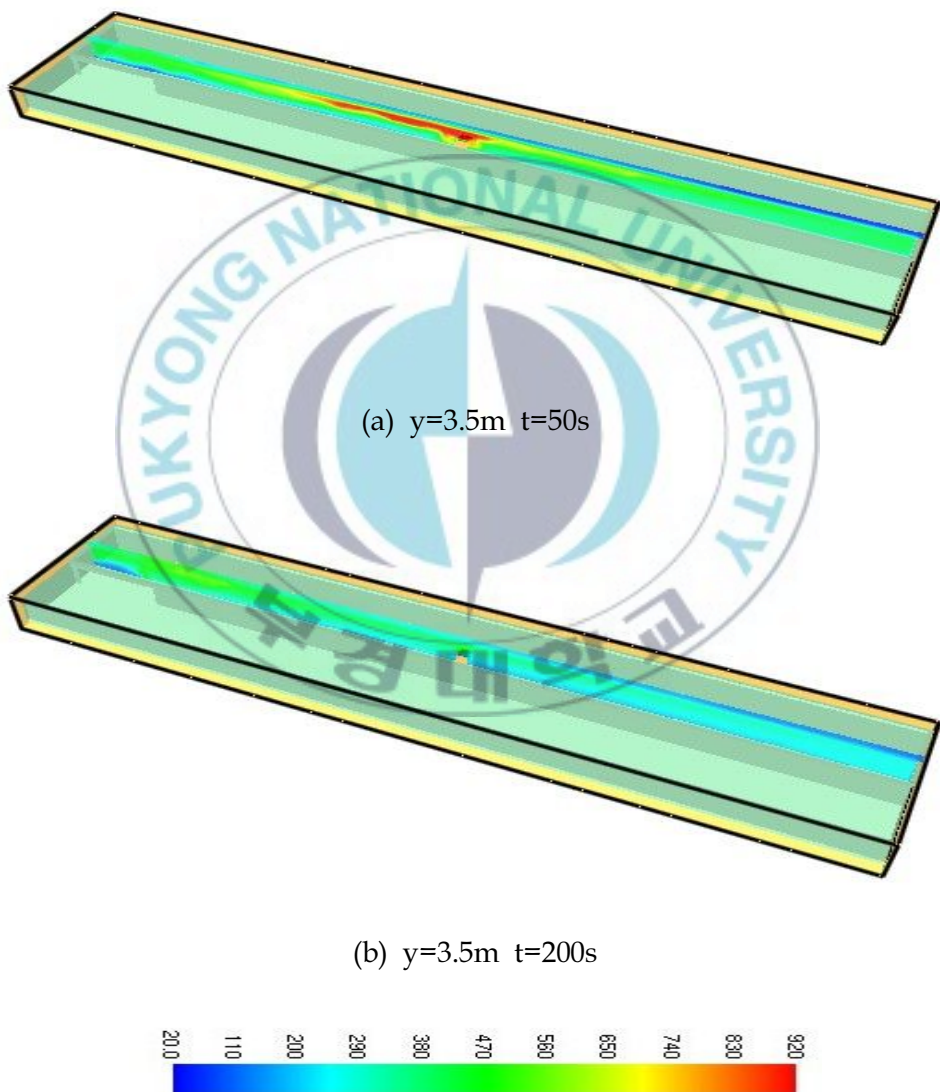


Fig. 5 Temperature distribution at $y=3.5\text{m}$.
(shutter No.5 open)

3.1.3 $z=1.8\text{m}$ 의 이산화탄소 농도 변화

No.5 방화셔터가 열려 있는 경우, 세점 P1, P2, P3에서의 이산화탄소의 농도 변화를 Fig. 6에 비교 하였다. 시간의 경과에 따라 내부의 이산화탄소의 농도분포는 큰 변화가 없었으며, 방화셔터가 개방된 부분에서는 이산화탄소의 영향이 미치는 것으로 나타났고, P3에서 이산화탄소의 농도가 상대적으로 낮게 나타났다. 이산화탄소의 농도가 Fig. 4의 온도와 비슷한 형태로 확산된다.

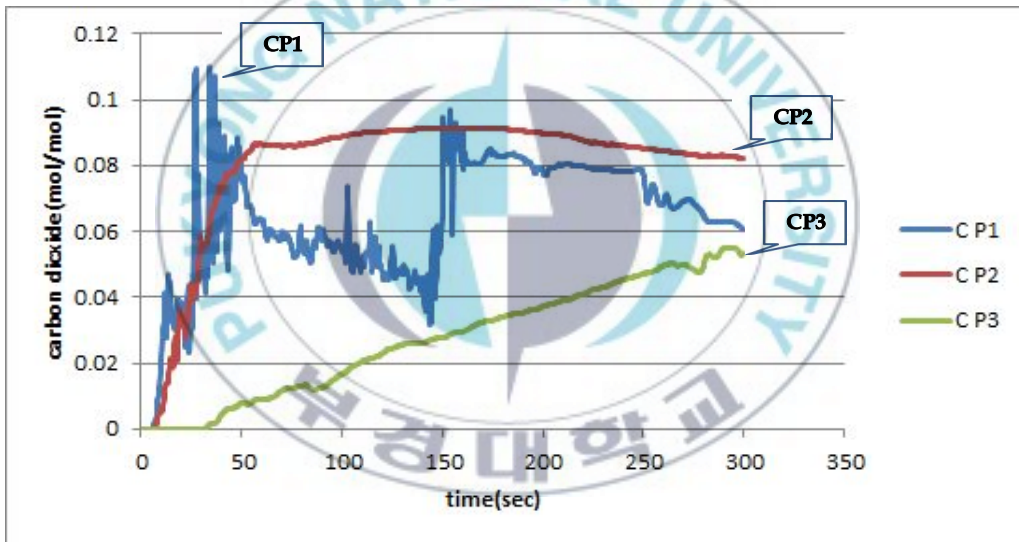
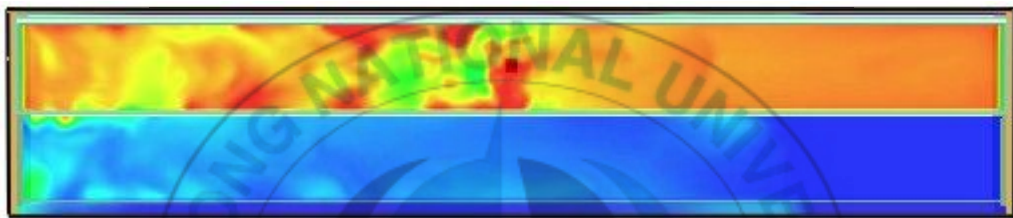


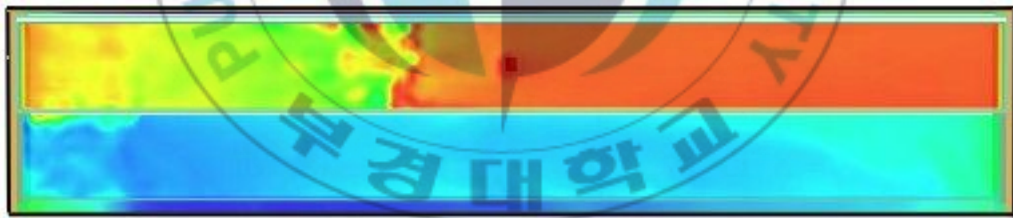
Fig. 6 Comparison of Carbon dioxide concentration variation at $z=1.8\text{m}$.
(No.5 shutter open)

3.1.4 $z=1.8\text{m}$ 의 이산화탄소 농도 분포

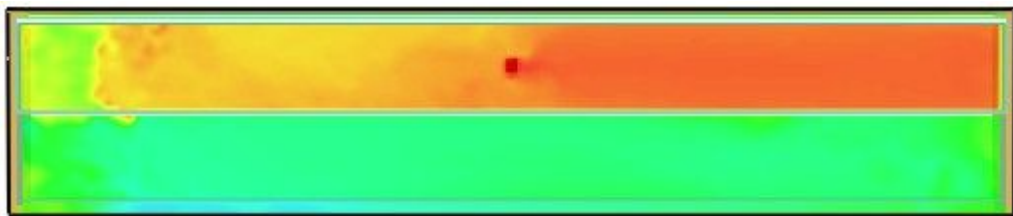
No.5 방화셔터가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x - y 평면에서 이산화탄소의 농도 분포는 Fig. 7의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 시간의 경과에 따라 화재실 내부의 이산화탄소의 분포는 큰 변화가 없었으나, 발화점에서는 상승하는 열기에 의하여 이산화탄소의 농도가 비발화 지점 입구 쪽으로 확산된다.



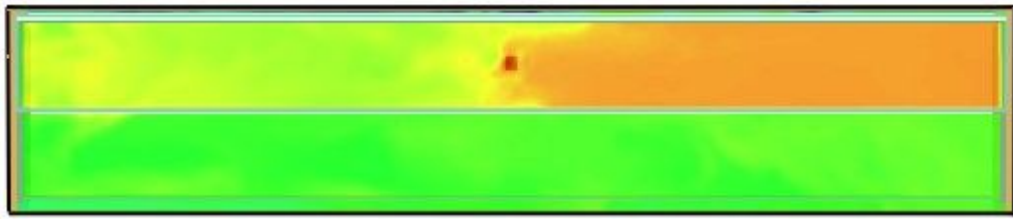
(a) $t=50\text{s}$



(b) $t=100\text{s}$



(c) $t=200\text{s}$



(d) $t=300s$

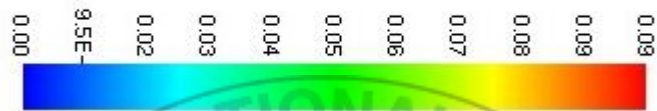
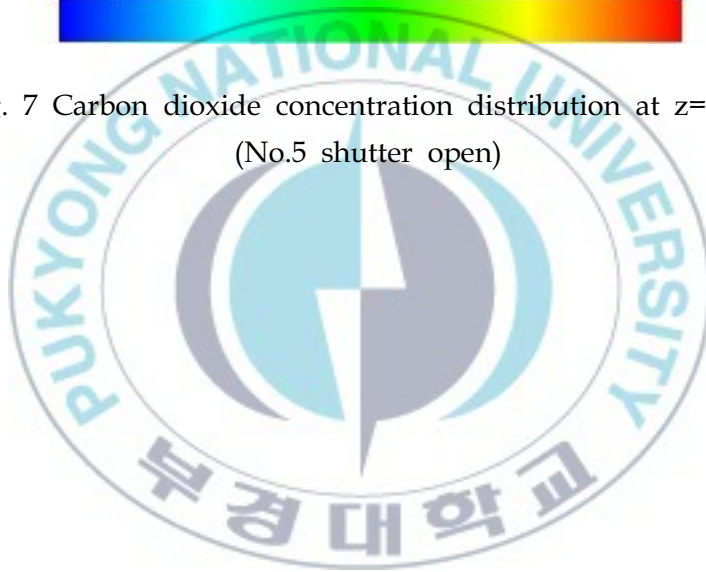


Fig. 7 Carbon dioxide concentration distribution at $z=1.8m$.
(No.5 shutter open)



3.1.5 $z=1.8\text{m}$ 가시거리의 변화

No.5 shutter가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 가시거리는 Fig. 8에서 비교 하였다. 시간의 경과에 따라 P1, P2는 P3보다 단시간에 의해서 가시거리의 변화가 있음을 알 수 있다.

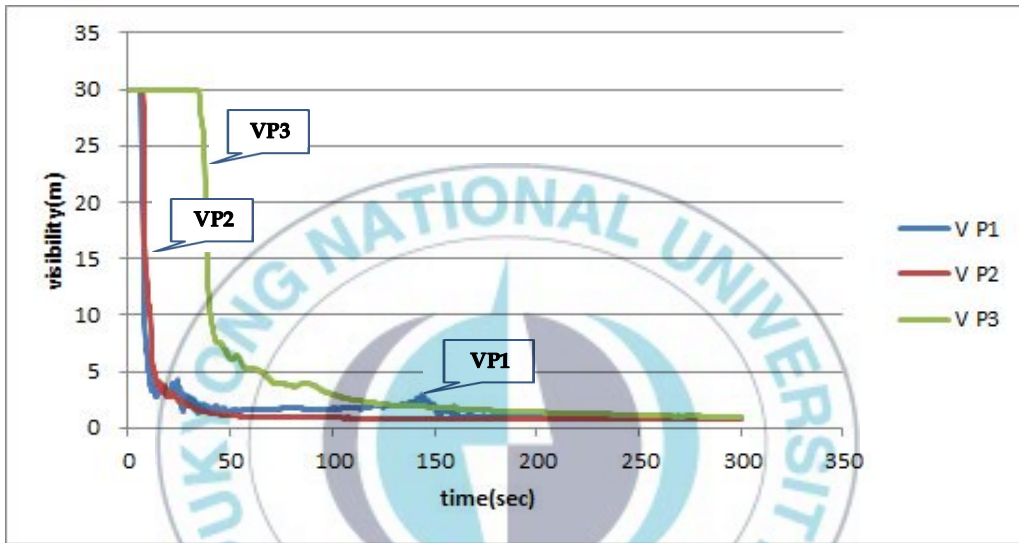
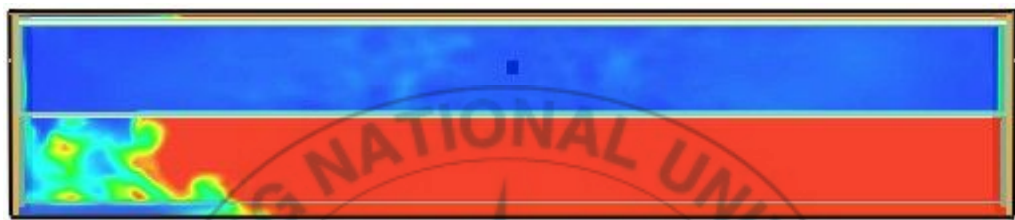


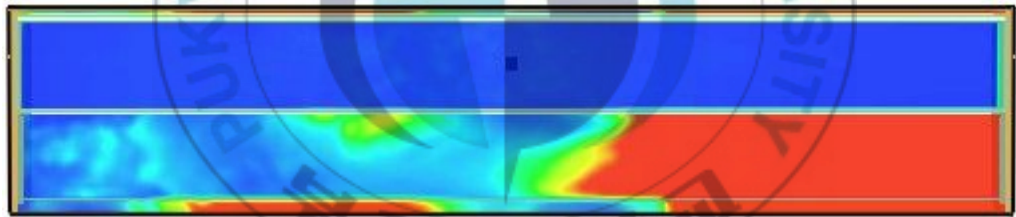
Fig. 8 Comparison of Visibility variation at $z=1.8\text{m}$.
(shutter No.5 open)

3.1.6 $z=1.8\text{m}$ 가시거리의 분포

No.5 shutter가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 가시거리 분포는 Fig. 9의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 시간이 지남에 따라 내부의 가시거리 분포의 변화는 단시간에 일어난다. 큰 지하공간에서의 비교적 빠른 시간인 150초 이후의 가시거리는 전혀 없는 것으로 나타났다.



(a) $t=20\text{s}$



(b) $t=40\text{s}$



(c) $t=80\text{s}$



(d) $t=150s$



Fig. 9 Visibility distribution at $z=1.8m$.
(shutter No.5 open)

3.1.7 Shutter 개폐(half closed)에 따른 온도의 비교

No.5 shutter가 열린 경우(T1)와 1.5m 닫혀 있는 경우(T2), y=3.5m P1~P3의 위치에서 온도 변화를 Fig. 10과 같이 나타낸다. 큰 변화가 없으며 오히려 1.5m 닫힌 경우의 최고온도 도달 시점이 짧아진다.

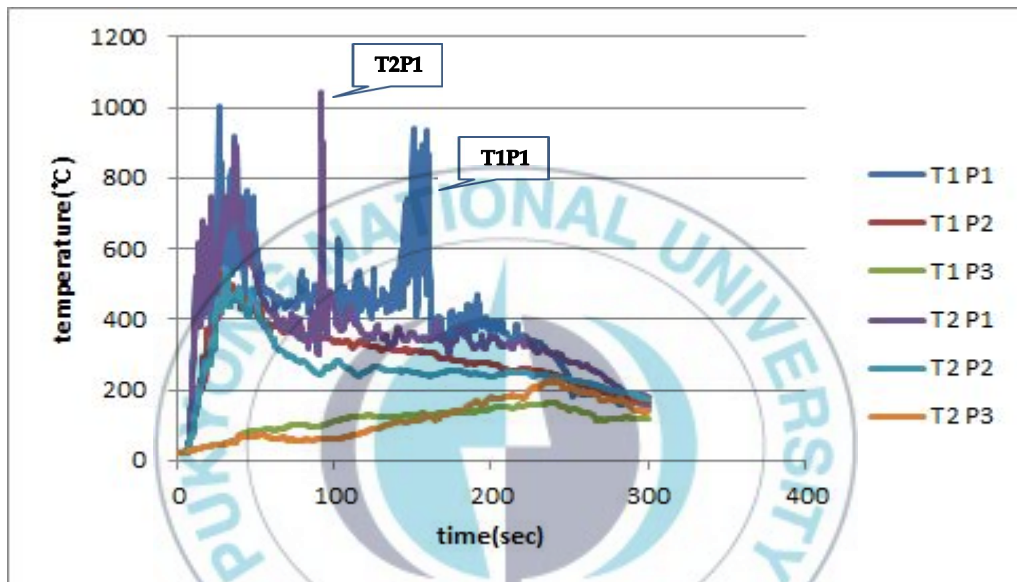
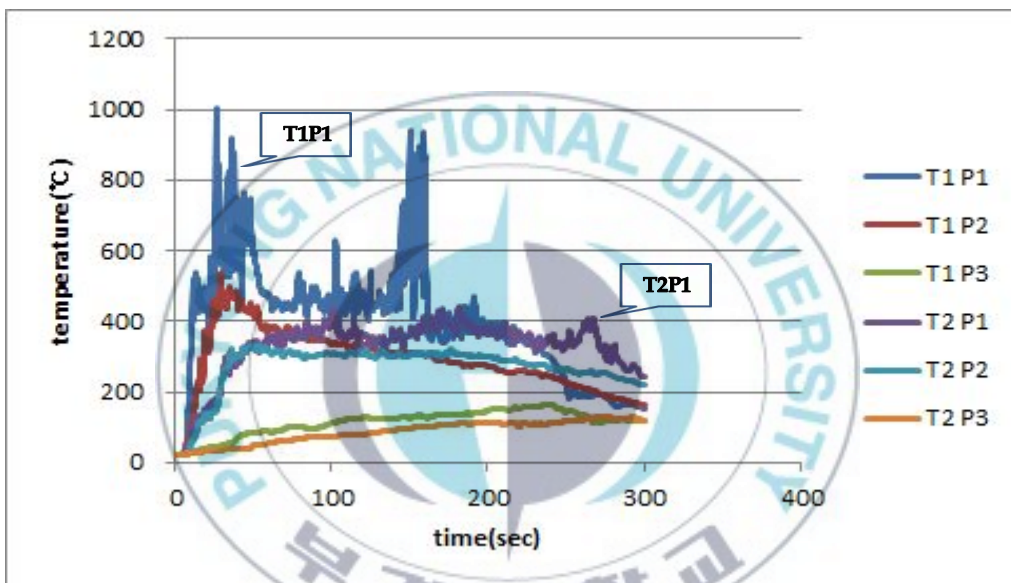


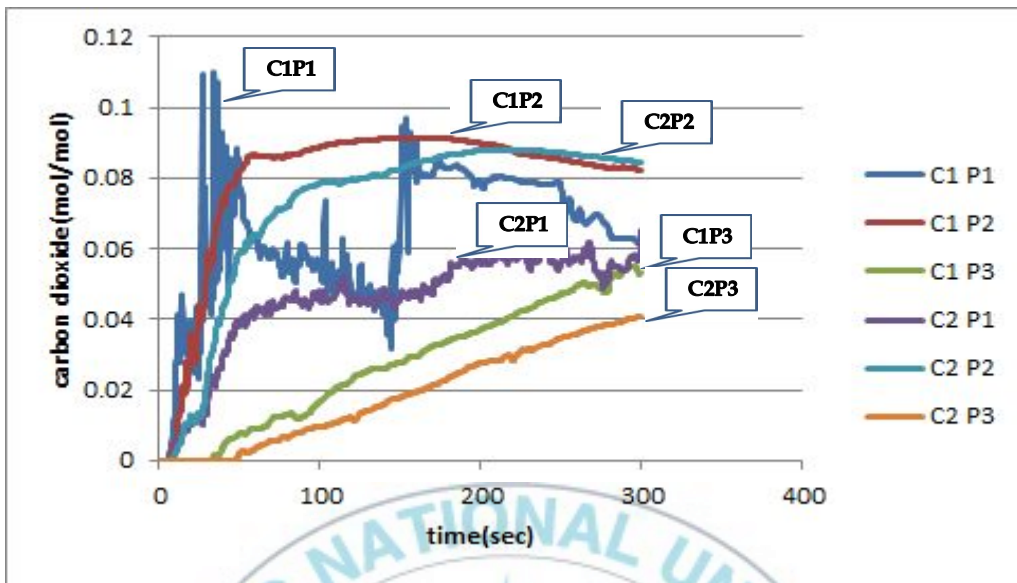
Fig. 10 Comparison of temperature at P1~P3,(shutter No.5 open)

3.1.8 화재규모에 따른 온도, 이산화탄소 농도, 가시거리의 비교

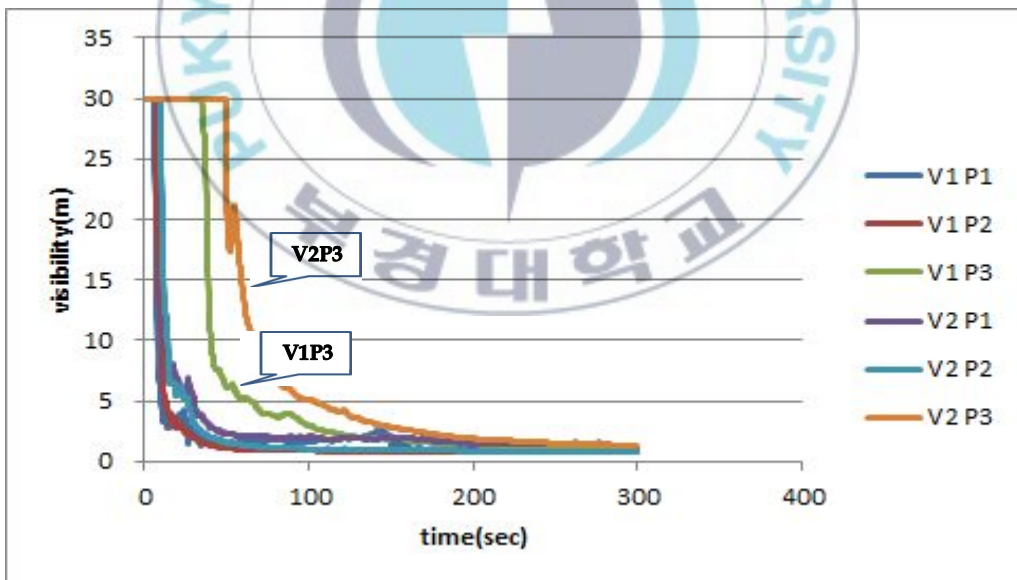
No.5 shutter가 열려 있는 경우(T1,C1,V1)의 화재규모가 반으로 감소 되었을 경우(T2,C2,V2)의 P1~P3의 위치에서 온도, 이산화탄소 농도, 가시거리를 Fig. 11의 (a) ~ (c)와 같이 비교하여 나타낸다. 온도, 이산화탄소 농도, 가시거리가 화재규모에 비례하여 낮아짐을 볼 수 있다.



(a) Comparison of temperature variation



(b) Comparison of carbon dioxide concentration variation



(c) Comparison of visibility variation

Fig. 11 Comparison of temperature, carbon dioxide concentration, visibility at fire size.(shutter No.5 open)

3.2 Shutter No.9 열림 및 반닫힘

3.2.1 P1~P3의 온도 변화

Fire shutter No.9 가 열려 있는 경우, P1~P3 위치에서의 온도 변화를 Fig. 12에 비교하였다. P3에서의 온도는 낮게 나타나는 반면 개방된 지점의 P2 온도는 P3에서는 상온보다 급격하게 높게 나타났고, 이는 No.9 shutter를 통해 고온의 공기가 배출되므로 다른 위치보다 온도가 월등히 높다.

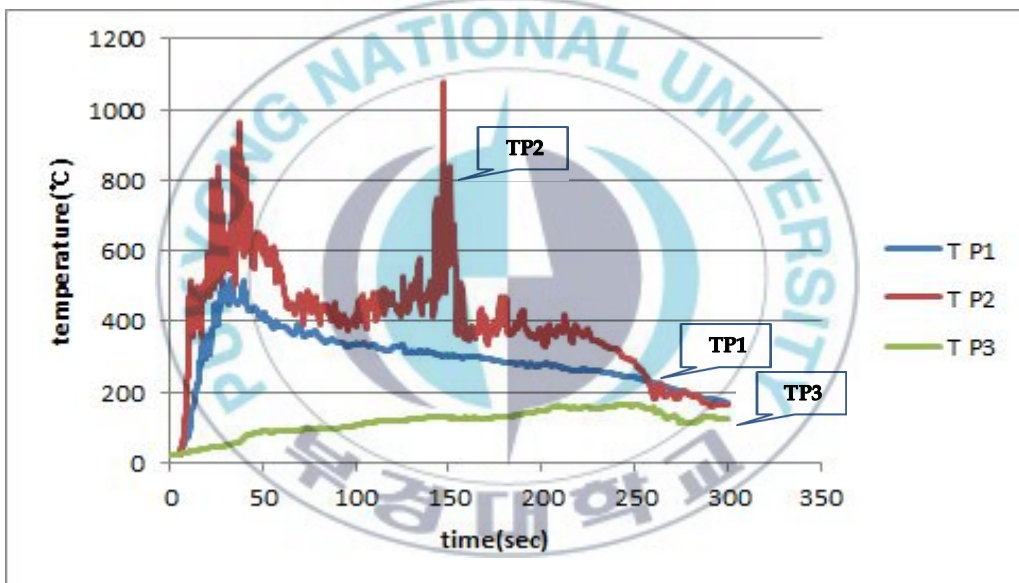


Fig. 12 Comparison of temperature variation at P1~P3.
(15.6MW, No.9 shutter open)

3.2.2 $y=3.5\text{m}$ 의 온도 분포

No.9 shutter가 열려 있는 경우, $y=3.5\text{m}$ 평면에서의 온도 분포는 Fig. 13의 (a)는 화재 발생후 50초 에서의 온도분포이며 (b)는 200초에서의 온도분포를 나타낸다. 비발화 지점 구역으로 고온의 공기가 확산되고 있음을 보여준다.

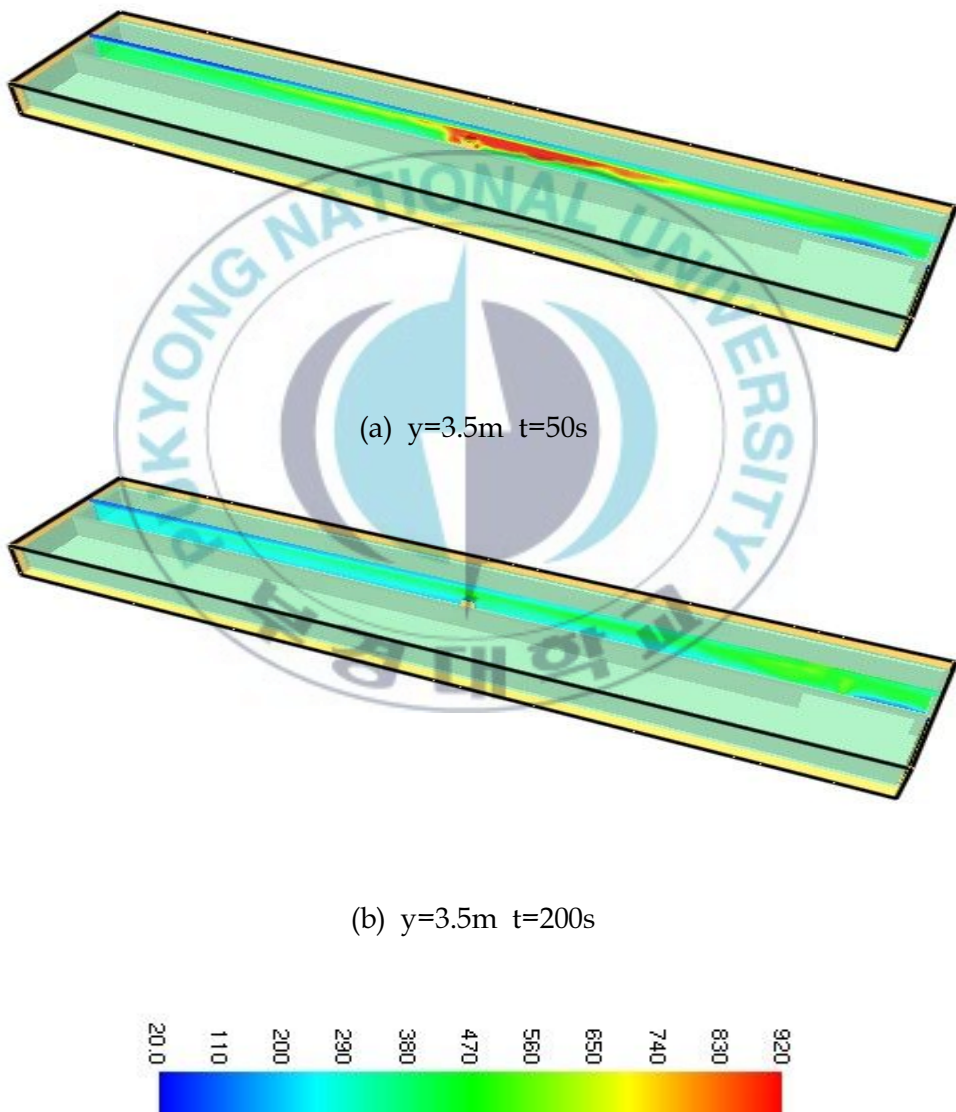


Fig. 13 Temperature distribution at $y=3.5\text{m}$.
(shutter No.9 open)

3.2.3 $z=1.8m$ 의 이산화탄소 농도 변화

No.9 방화셔터가 열려 있는 경우, P1~P3위치에서 이산화탄소의 농도 변화를 Fig. 14에 비교하였다. 시간의 경과에 따라 내부는 이산화탄소의 농도 분포는 큰 변화가 없었으며, 방화셔터가 개방된 부분에서는 이산화탄소의 영향이 미치는 것으로 나타났고, P3에서 이산화탄소의 농도가 상대적으로 낮게 나타났다. 이산화탄소의 농도가 Fig. 12의 온도와 비슷한 형태로 확산되나 P1의 농도는 일정하나 P2의 농도 변화는 개방된 셔트에 의해 나타남을 보여준다.

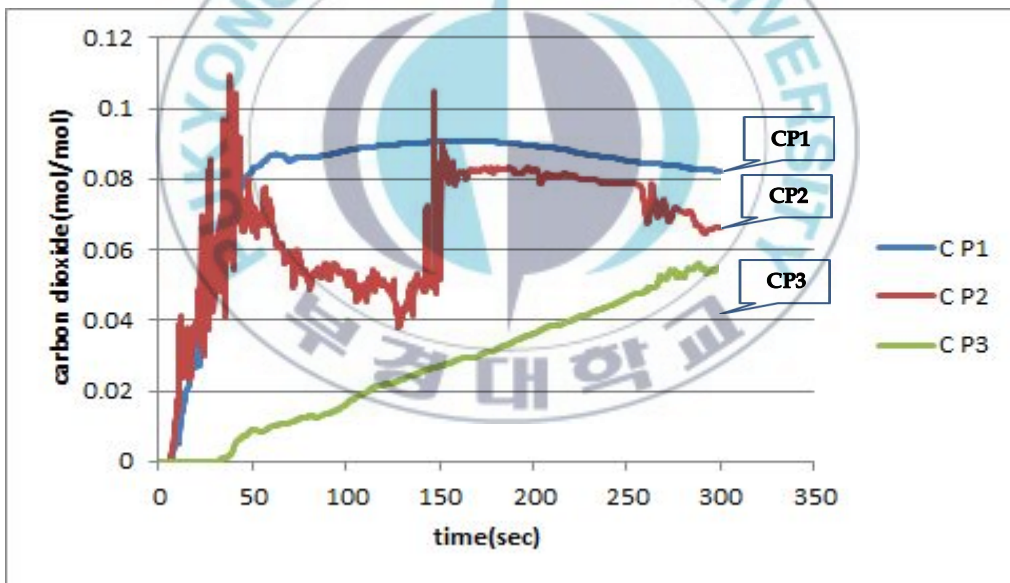
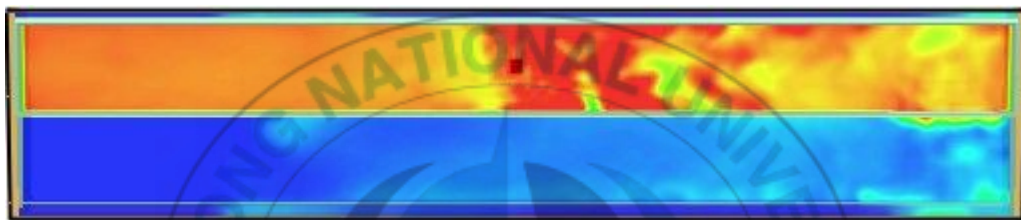


Fig. 14 Comparison of Carbon dioxide concentration variation at $z=1.8m$.
(No.9 shutter open)

3.2.4 $z=1.8\text{m}$ 의 이산화탄소의 농도 분포

No.9 방화셔터가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 이산화탄소의 농도 분포는 Fig. 15의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 시간의 경과에 따라 화재실 내부의 이산화탄소의 분포는 큰 변화가 없었으나, 발화점에서는 상승하는 열기에 의하여 이산화탄소의 농도가 비발화 지점 입구 쪽으로 확산된다.



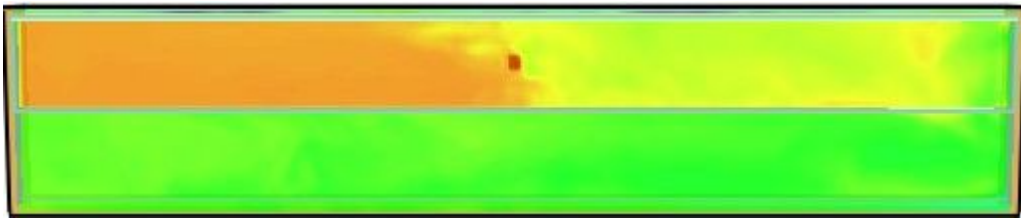
(a) $t=50\text{s}$



(b) $t=100\text{s}$



(c) $t=200\text{s}$



(d) $t=300s$



Fig. 15 Carbon dioxide concentration distribution at $z=1.8m$.
(No.9 shutter open)



3.2.5 $z=1.8\text{m}$ 가시거리의 변화

No.9 shutter가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 가시거리는 Fig. 16에서 비교 하였다. 시간의 경과에 따라 P1, P2는 P3보다 단시간에 의해서 가시거리의 변화가 있음을 알 수 있다.

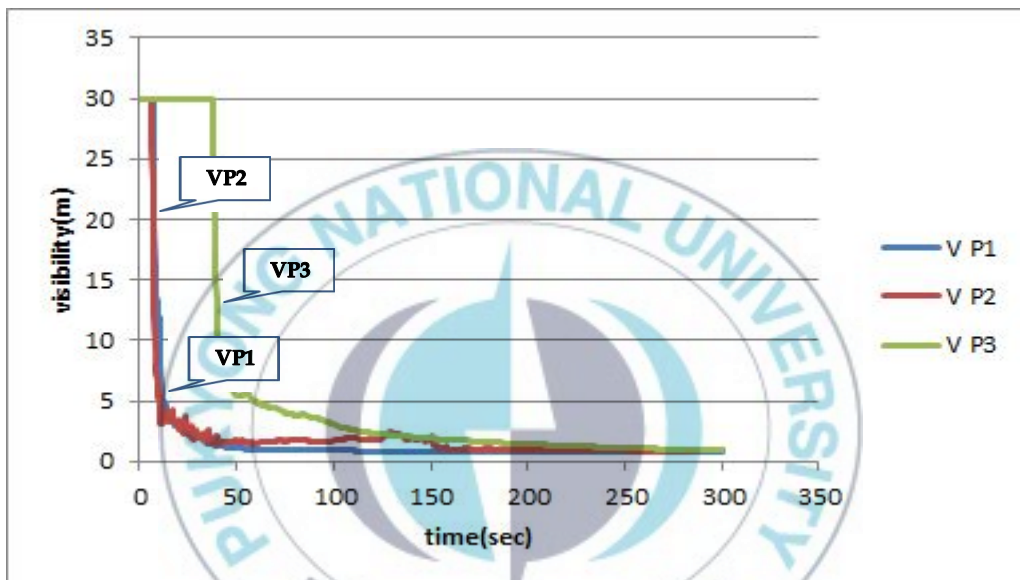


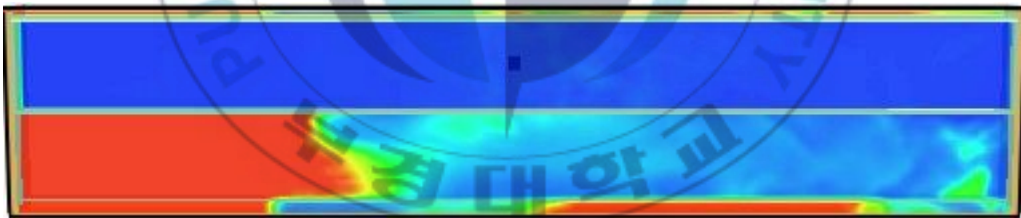
Fig. 16 Comparison of Visibility variation at $z=1.8\text{m}$.
(shutter No.9 open)

3.2.6 $z=1.8\text{m}$ 가시거리의 분포

No.9 shutter가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 가시거리 분포는 Fig. 17의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 시간의 지남에 따라 내부의 가시거리 분포의 변화는 단시간에 일어난다. 큰 지하공간에서의 비교적 빠른 시간인 shutter No.5의 경우와 마찬가지로 150초 이후의 가시거리는 전혀 없는 것으로 나타났다.



(a) $t=20\text{s}$



(b) $t=40\text{s}$



(c) $t=80\text{s}$



(d) $t=150s$



Fig. 17 Visibility distribution at $z=1.8m$.
(shutter No.9 open)



3.2.7 Shutter 개폐(half closed)에 따른 온도의 비교

No.9 shutter가 열린 경우(T1)와 1.5m 닫혀 있는 경우(T2), y=3.5m P1~P3의 위치에서 온도 변화를 Fig. 18과 같이 나타낸다. P2의 위치만 차이가 나고 큰 변화가 없다.

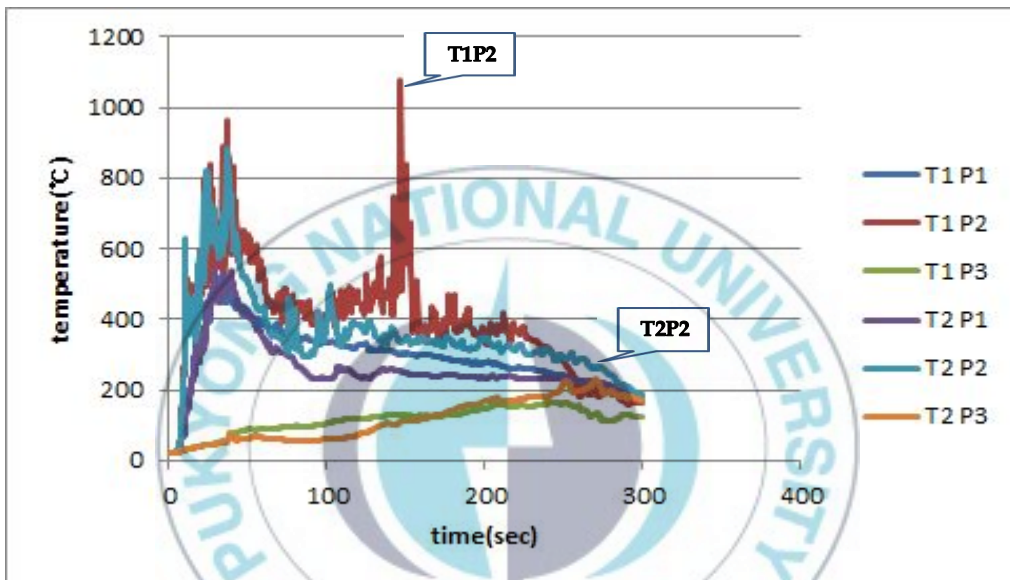
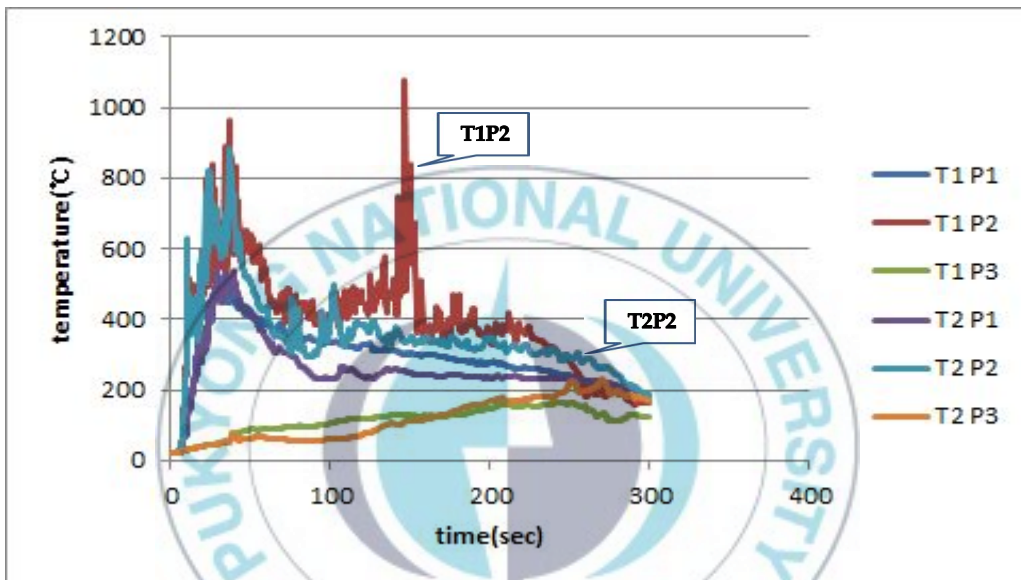


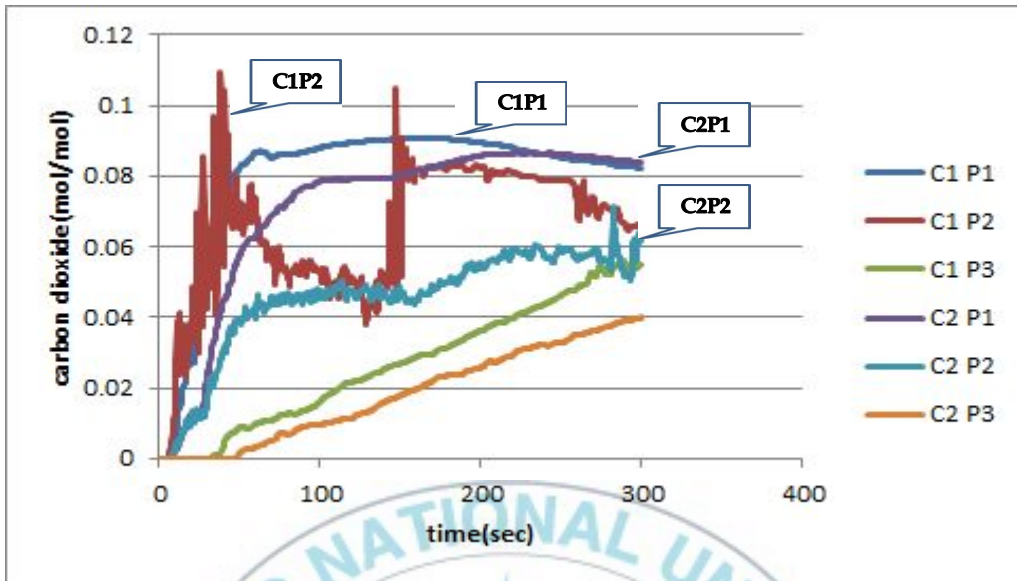
Fig. 18 Comparison of temperature at P1~P3.(shutter No.9 open)

3.2.8 화재규모에 따른 온도, 이산화탄소 농도, 가시거리의 비교

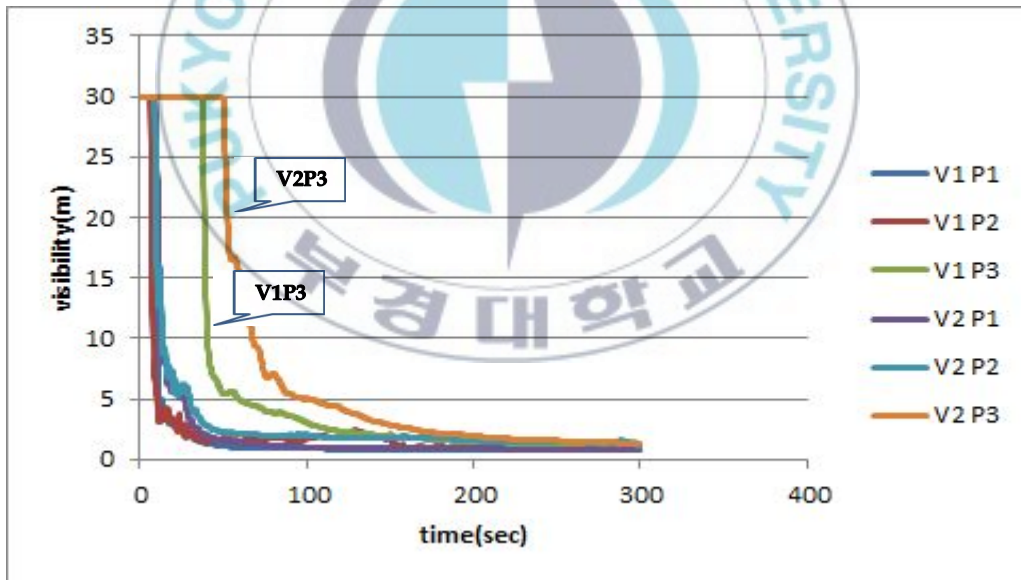
No.9 shutter가 열려 있는 경우(T1,C1,V1)의 화재규모가 반으로 감소 되었을 경우(T2,C2,V2)의 P1~P3의 위치에서 온도, 이산화탄소, 가시거리를 Fig. 19의 (a) ~ (c)와 같이 비교하여 나타낸다.



(a) Comparison of temperature variation



(b) Comparison of carbon dioxide concentration variation



(c) Comparison of visibility variation

Fig. 19 Comparison of temperature, carbon dioxide concentration, visibility at fire size.(shutter No.9 open)

3.3 Shutter No.6,8 열림 및 반닫힘

3.3.1 P1~P3의 온도 변화

Fire shutter No.6,8이 열려 있는 경우, P1~P3위치에서의 온도 변화를 Fig. 20에 비교하였다. P3에서의 온도는 낮게 나타나는 반면 P1의 온도와 P2 온도는 대칭을 이루어 급격하게 높아지다가 하강하는 것은 No.6,8 shutter를 통해 고온의 공기가 배출되므로 다른 위치보다 온도가 높다.

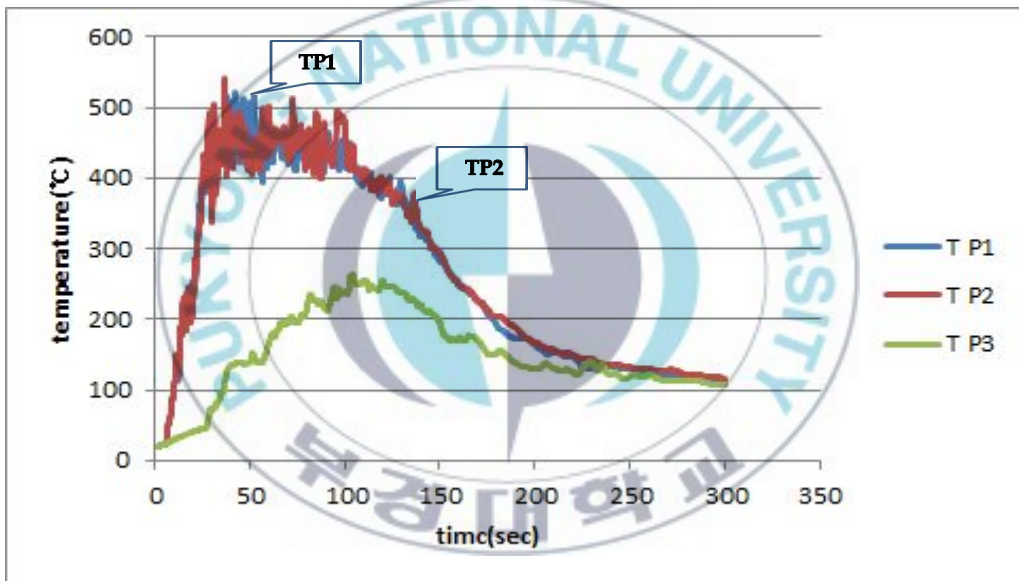


Fig. 20 Comparison of temperature variation at P1~P3.
(15.6MW, No.6,8 shutter open)

3.3.2 $y=3.5\text{m}$ 의 온도 분포

No.6,8 shutter가 열려 있는 경우, $y=3.5\text{m}$ 의 평면에서의 온도 분포는 Fig. 21의 (a)는 화재 발생후 50초에서의 온도분포이며 (b)는 200초에서의 온도분포를 나타낸다. 비발화 지점 구역으로 고온의 공기가 확산되고 있음을 보여준다.

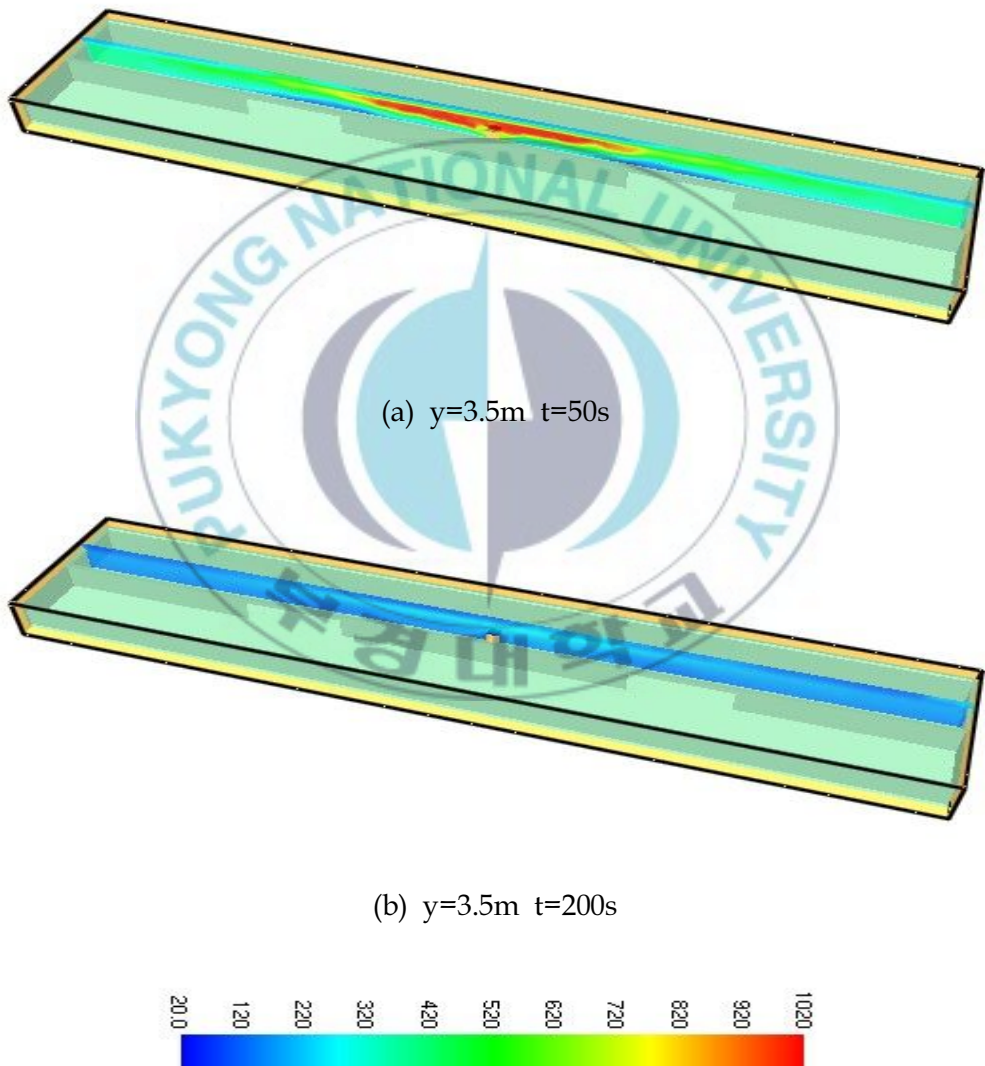


Fig. 21 Temperature distribution at $y=3.5\text{m}$.
(shutter No.6,8 open)

3.3.3 $z=1.8\text{m}$ 의 이산화탄소 농도 변화

No.6,8 방화셔터가 열려 있는 경우, P1~P3위치에서 이산화탄소의 농도 변화를 Fig. 22에 비교하였다. 시간의 경과에 따라 내부의 이산화탄소의 농도분포는 같아지나, P1과 P2의 이산화탄소의 농도가 거의 동일하게 분포되어 나타나며 Fig. 18의 온도와 비슷한 형태로 확산된다.

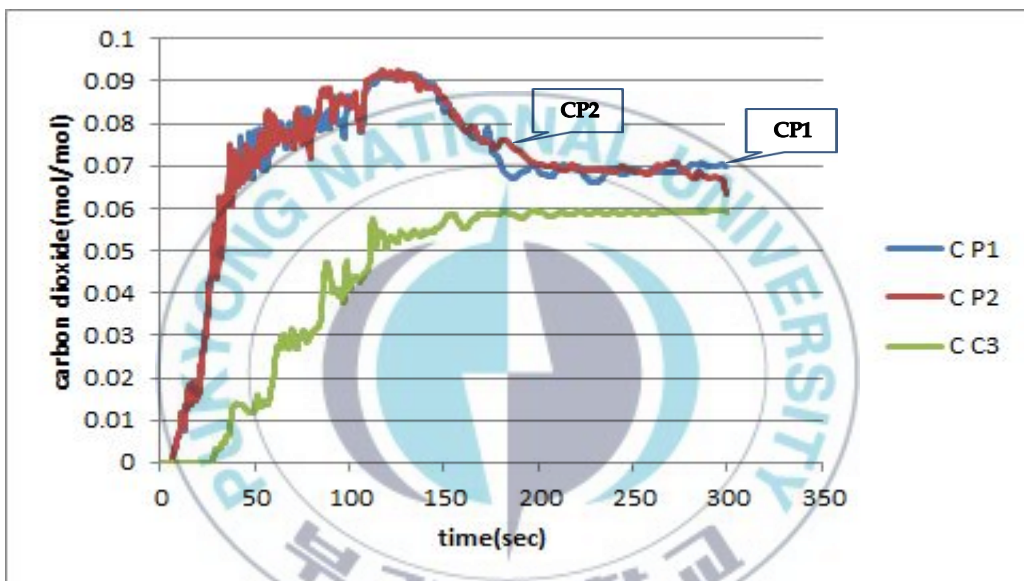
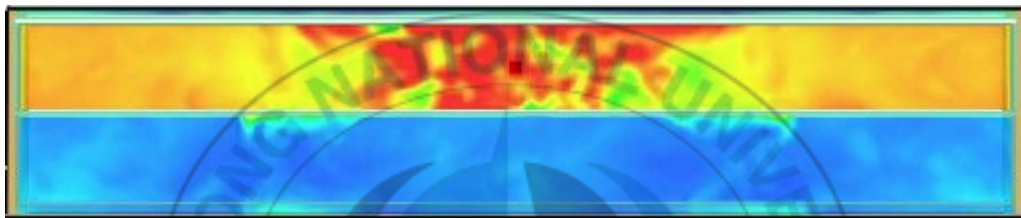


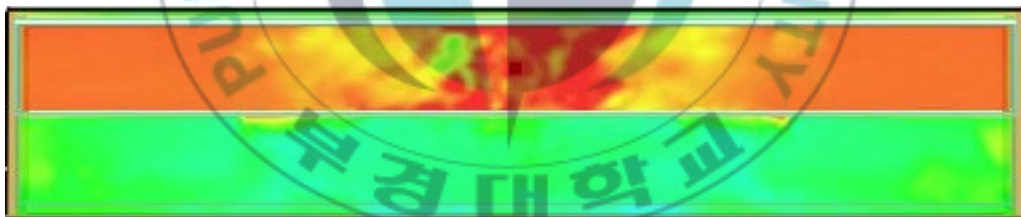
Fig. 22 Comparison of Carbon dioxide concentration variation at $z=1.8\text{m}$.
(No.6,8 shutter open)

3.3.4 $z=1.8\text{m}$ 의 이산화탄소 농도 분포

No.6,8 방화셔터가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x - y 평면에서 이산화탄소의 농도 분포는 Fig. 23의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 시간의 경과에 따라 화재실 내부의 이산화탄소의 분포는 큰 변화가 없었으나, 발화점에서는 상승하는 열기에 의하여 이산화탄소의 농도가 비발화 지점 입구 쪽으로 비슷한 형태로 확산된다.



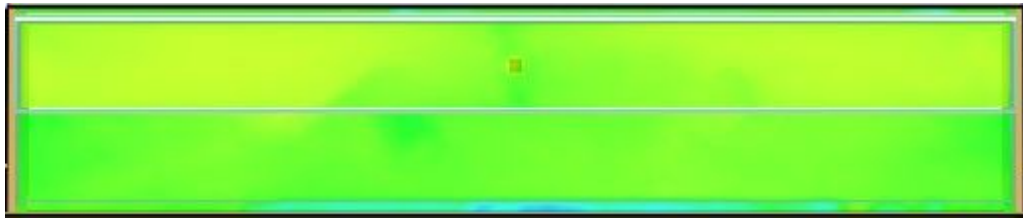
(a) $t=50\text{s}$



(b) $t=100\text{s}$



(c) $t=200\text{s}$



(d) $t=300s$



Fig. 23 Carbon dioxide concentration distribution at $z=1.8m$.
(No.6,8 shutter open)



3.3.5 $z=1.8\text{m}$ 가시거리의 변화

No.6,8 shutter가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 가시거리는 Fig. 24에서 비교 하였다. 시간의 경과에 따라 P1, P2는 P3보다 단시간에 의해서 가시거리의 변화가 있고, P3의 가시거리는 더 빨라짐을 알 수 있다.

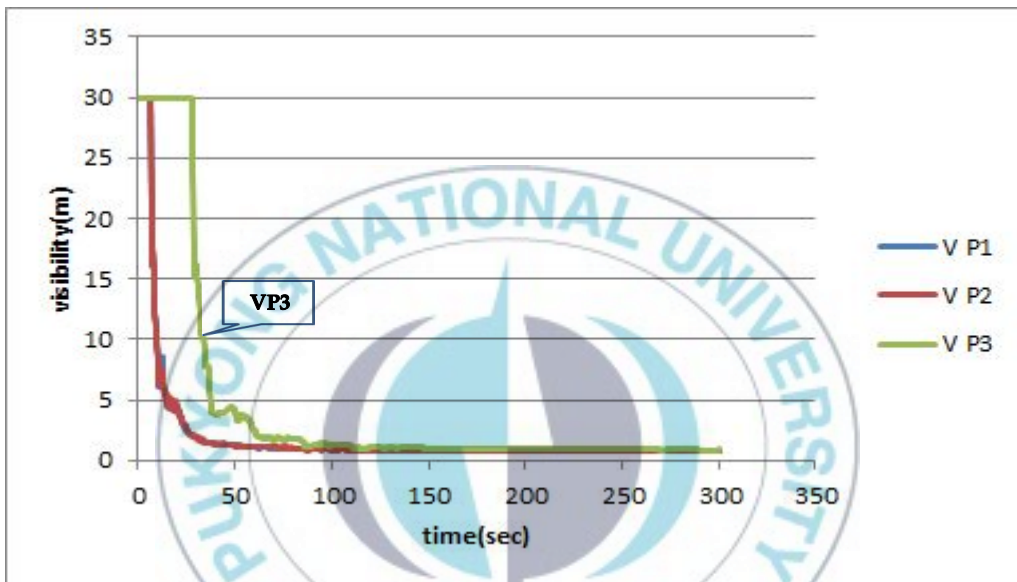
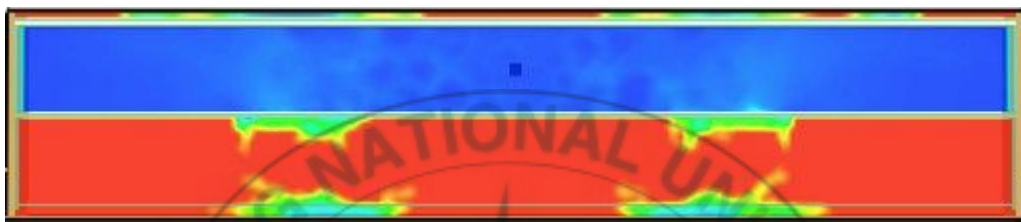


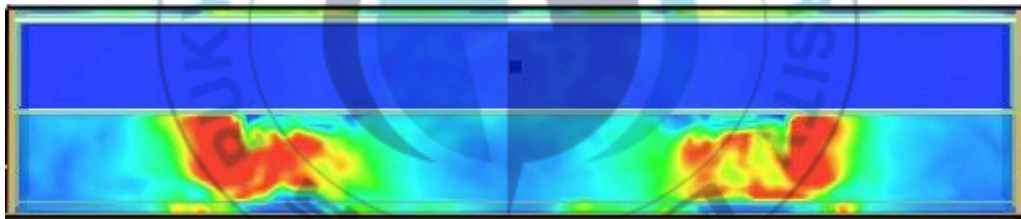
Fig. 24 Comparison of visibility variation at $z=1.8\text{m}$.
(shutter No.6,8 open)

3.3.6 $z=1.8\text{m}$ 가시거리의 분포

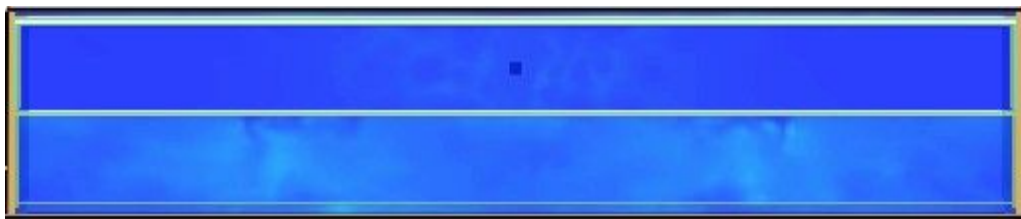
No.6,8 shutter가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 가시거리 분포는 Fig. 25의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 시간의 지남에 따라 내부의 가시거리 분포의 변화는 단시간에 일어난다. 큰 지하공간에서의 가시거리는 비교적 빠른 시간인 80초로 더 빨리 진행 되는 것으로 나타났다.



(a) $t=20\text{s}$



(b) $t=40\text{s}$



(c) $t=60\text{s}$



(d) $t=80s$

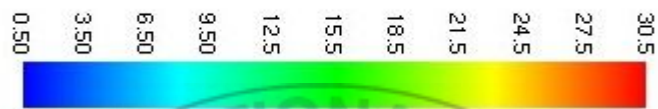


Fig. 25 Visibility distribution at $z=1.8m$.
(shutter No.6,8 open)



3.3.7 Shutter 개폐(half closed)에 따른 온도의 비교

No.6,8 shutter가 열린 경우(T1)와 1.5m 닫혀 있는 경우(T2), y=3.5m P1~P3의 위치에서 온도 변화를 Fig. 26과 같이 나타낸다. 1.5m 닫혔을 경우 P1의 최고온도 도달시간이 빠르다.

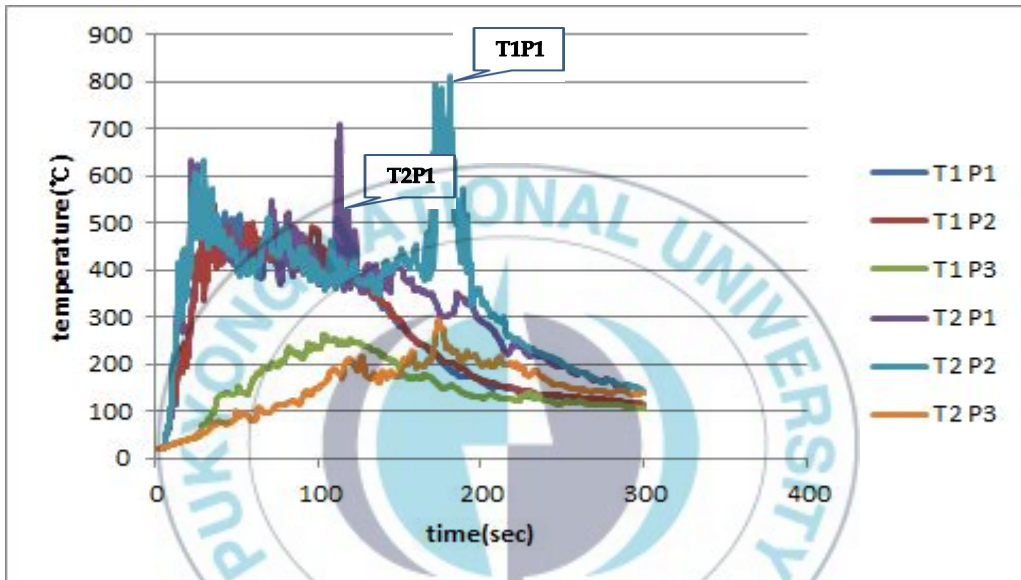
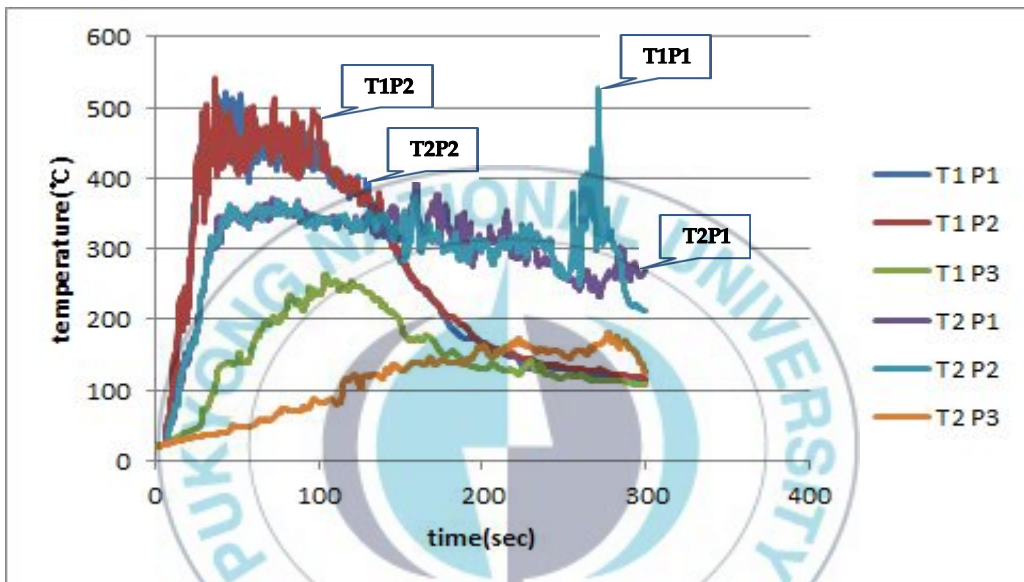


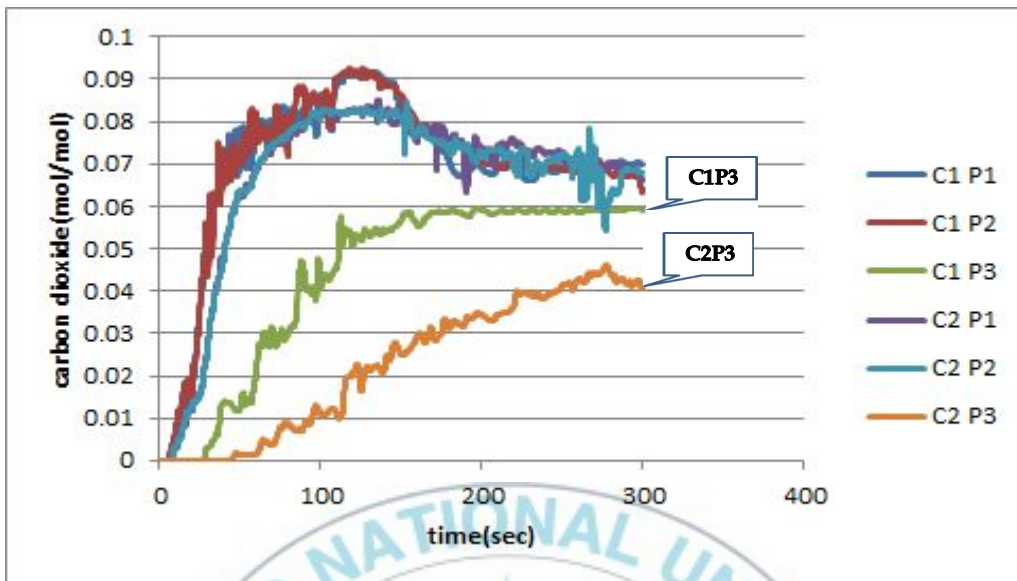
Fig. 26 Comparison of temperature at P1~P3.(shutter NO.6,8 open)

3.3.8 화재규모 및 half closed의 온도, 이산화탄소 농도, 가시거리의 비교

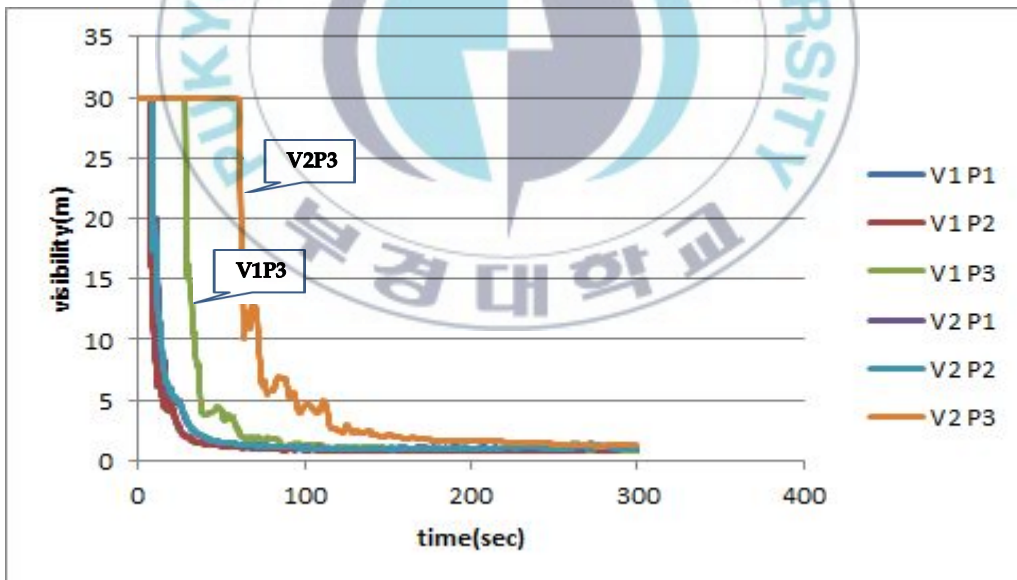
No.6,8 shutter가 열려 있는 경우(T1,C1,V1)와 화재규모가 감소되어 shutter가 1.5m 하강한 경우(T2,C2,V2)의 P1~P3의 위치에서 온도, 이산화탄소 농도, 가시거리를 Fig. 27의 (a) ~ (c)와 같이 비교하여 나타낸다.



(a) Comparison of temperature variation



(b) Comparison of carbon dioxide concentration variation



(c) Comparison of visibility variation

Fig. 27 Comparison of temperature, carbon dioxide concentration, visibility and half closed.(shutter No.6,8 open and half closed)

3.4 Shutter NO.5, 6, 7, 8, 9 열림 및 반단힘

3.4.1 P1~P3의 온도 변화

Fire shutter No.5,6,7,8,9 가 열려 있는 경우, P1~P3 위치에서의 온도 변화를 Fig. 28에 비교하였다. P1과 P2 온도는 상온보다 높게 나타났고, P3에서의 온도는 급격하게 높게 나타났다. No.5,6,7,8,9 shutter를 통해 고온의 공기가 배출되므로 P3의 온도가 급격한 변화를 보여 높다.

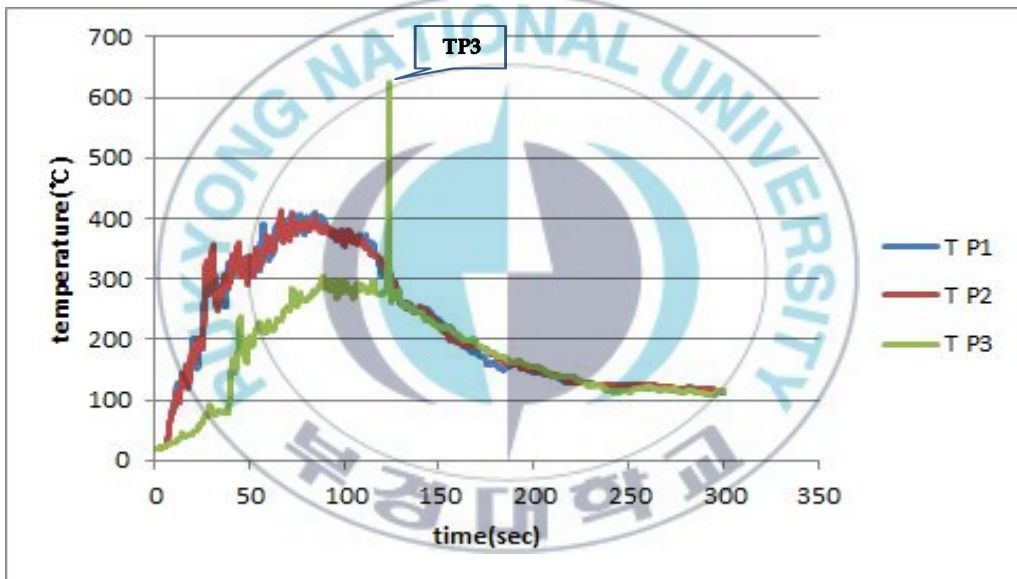


Fig. 28 Comparison of temperature variation at P1~P3.
(No.5,6,7,8,9 shutter open)

3.4.2 $y=3.5\text{m}$ 의 온도 분포

No.5,6,7,8,9 shutter가 열려 있는 경우, $y=3.5\text{m}$ 의 평면에서의 온도 분포는 Fig. 29의 (a),(b)에서 보는 것과 같이 발화 지점 구역에서 비발화 지점 구역으로 고온의 공기가 확산되고 있음을 보여준다.

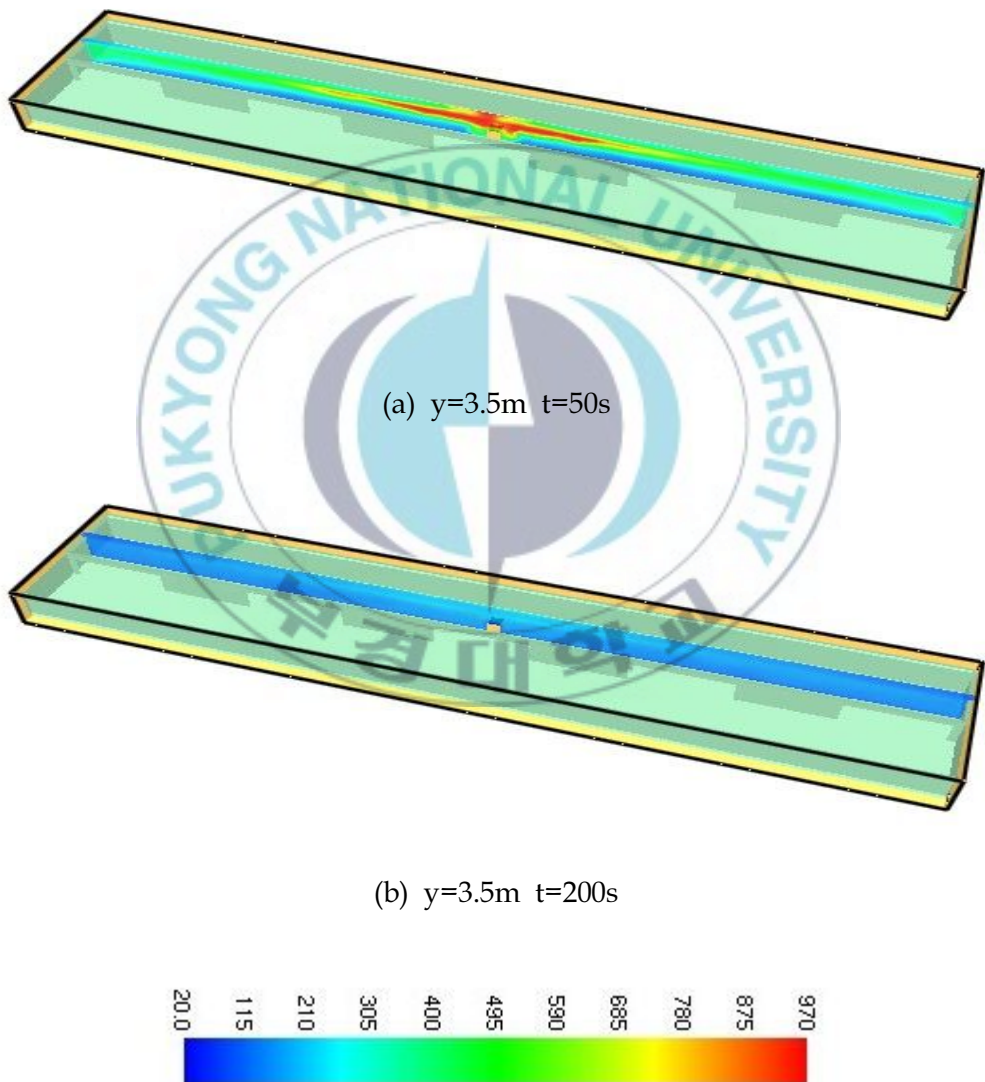


Fig. 29 Temperature distribution at $y=3.5\text{m}$.
(shutter No.5,6,7,8,9 open)

3.4.3 $z=1.8m$ 의 이산화탄소 농도 변화

No.5,6,7,8,9 방화셔터가 열려 있는 경우, P1~P3위치에서 이산화탄소의 농도 변화를 Fig. 30에 비교하였다. 시간의 경과에 따라 내부는 이산화탄소의 농도분포는 거의 같아졌으며, 전체 방화셔터가 개방된 부분에서 이산화탄소의 영향이 미치는 것으로 나타났고, P3에서 이산화탄소의 농도가 일정 시간에 변화를 보이고 Fig. 28의 온도와 비슷한 형태로 확산된다.

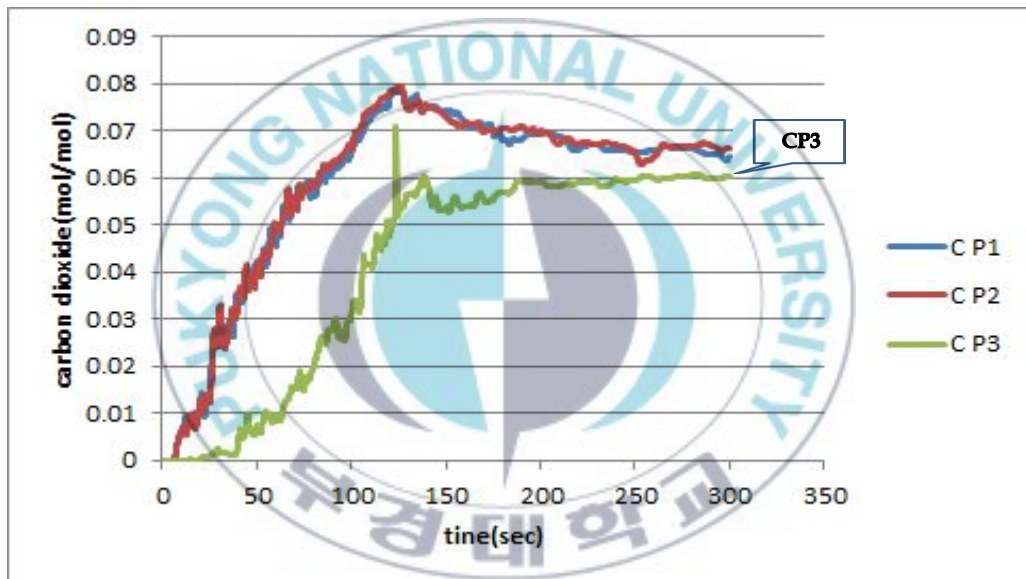
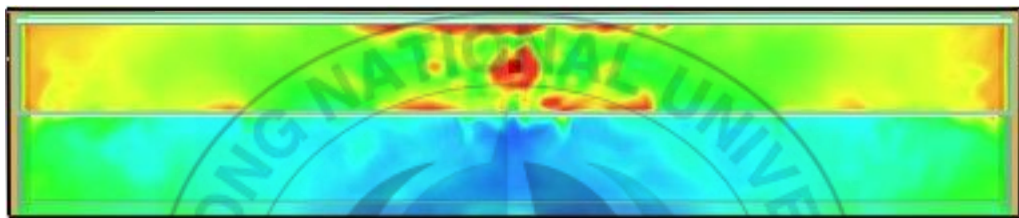


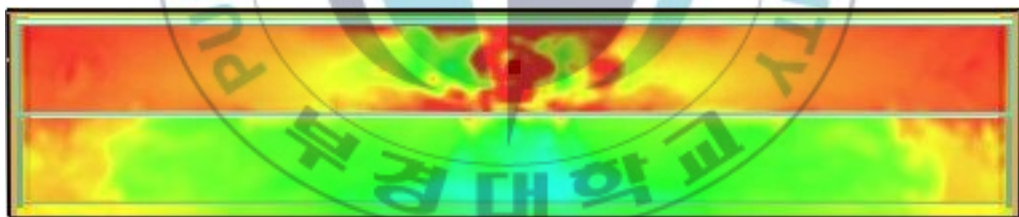
Fig. 30 Comparison of Carbon dioxide concentration distribution at $z=1.8m$.(No.5,6,7,8,9 shutter open)

3.4.4 $z=1.8\text{m}$ 의 이산화탄소의 농도 분포

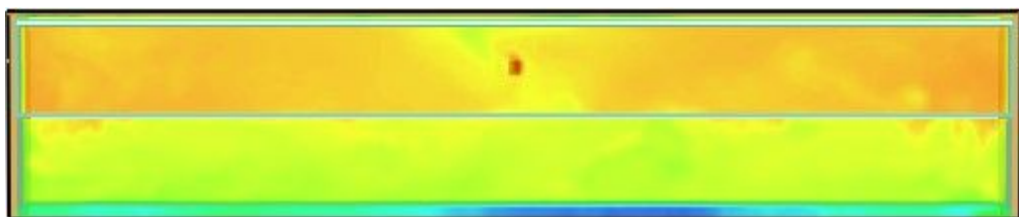
No.5,6,7,8,9 방화셔터가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x - y 평면에서 이산화탄소의 농도 분포는 Fig. 31의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 시간의 경과에 따라 화재실 내부의 이산화탄소의 분포는 큰 변화가 없었으나, 발화점에서는 상승하는 열기에 의하여 이산화탄소의 농도가 비발화 지점 입구 쪽으로 비슷한 형태로 확산된다.



(a) $t=50\text{s}$



(b) $t=100\text{s}$



(c) $t=200\text{s}$



(d) $t=300s$

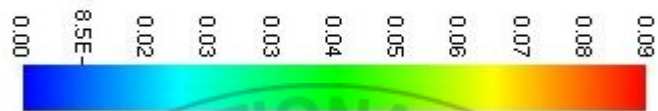


Fig. 31 Carbon dioxide concentration distribution at $z=1.8m$.
(No.5,6,7,8,9 shutter open)



3.4.5 $z=1.8\text{m}$ 가시거리의 변화

No.5,6,7,8,9 shutter가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 가시거리는 Fig. 32에서 비교 하였다. 시간의 경과에 따라 발화지역의 P1, P2는 P3보다 단시간에 의해서 가시거리의 변화가 있음을 알 수 있다.

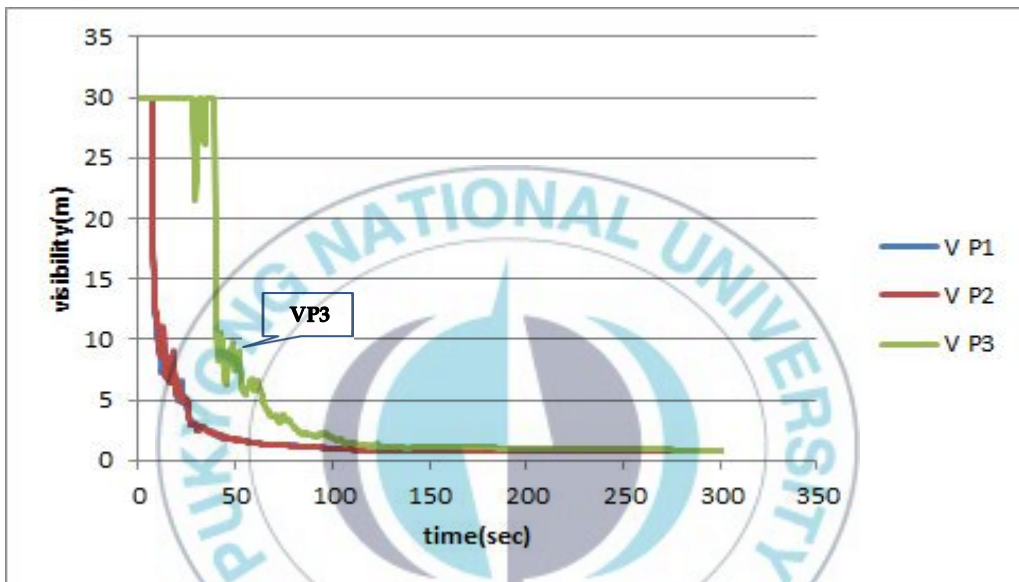
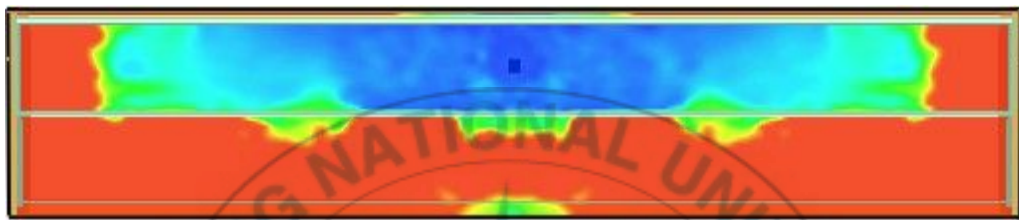


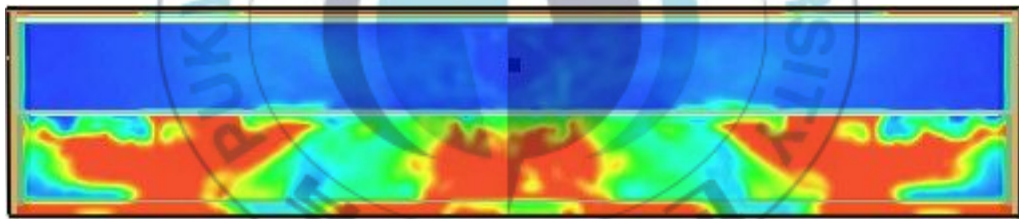
Fig. 32 Comparison of visibility variation at $z=1.8\text{m}$.
(shutter No.5,6,7,8,9 open)

3.4.6 $z=1.8\text{m}$ 가시거리 분포

No.5,6,7,8,9 shutter가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x - y 평면에서 가시거리 분포는 Fig. 33의 (a)~(d)에서 보는 것과 같이 나타났다. 시간의 지남에 따라 내부의 가시거리 분포의 변화는 단시간에 일어난다. 큰 지하공간에서의 가장 빠른시간인 60초 이후의 가시거리가 전혀 없는 것으로 나타났다.



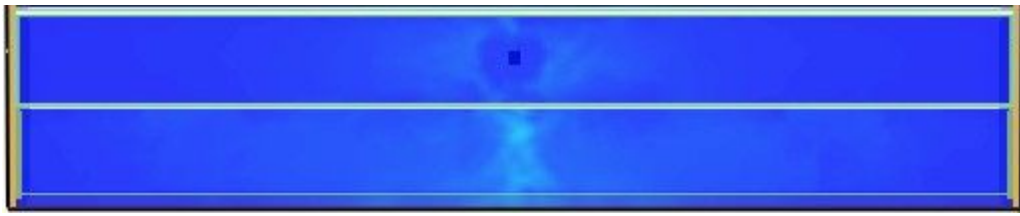
(a) $t=10\text{s}$



(b) $t=20\text{s}$



(c) $t=40\text{s}$



(d) $t=60s$



Fig. 33 Visibility distribution at $z=1.8m$.
(shutter No.5,6,7,8,9 open)

3.4.7 Shutter 개폐(half closed)에 따른 온도의 비교

No.5,6,7,8,9 shutter가 열린 경우(T1)와 1.5m 단혀 있는 경우(T2), y=3.5m P1~P3의 위치에서 온도 변화를 Fig. 34과 같이 나타낸다. 셔트가 전체 열린 경우의 P3를 제외하고 비슷하게 진행된다.

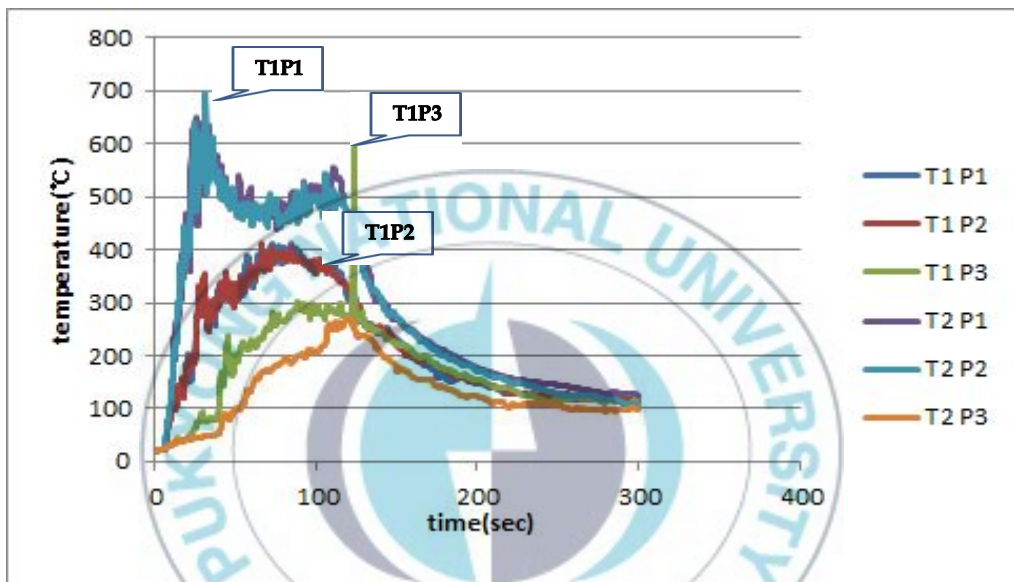
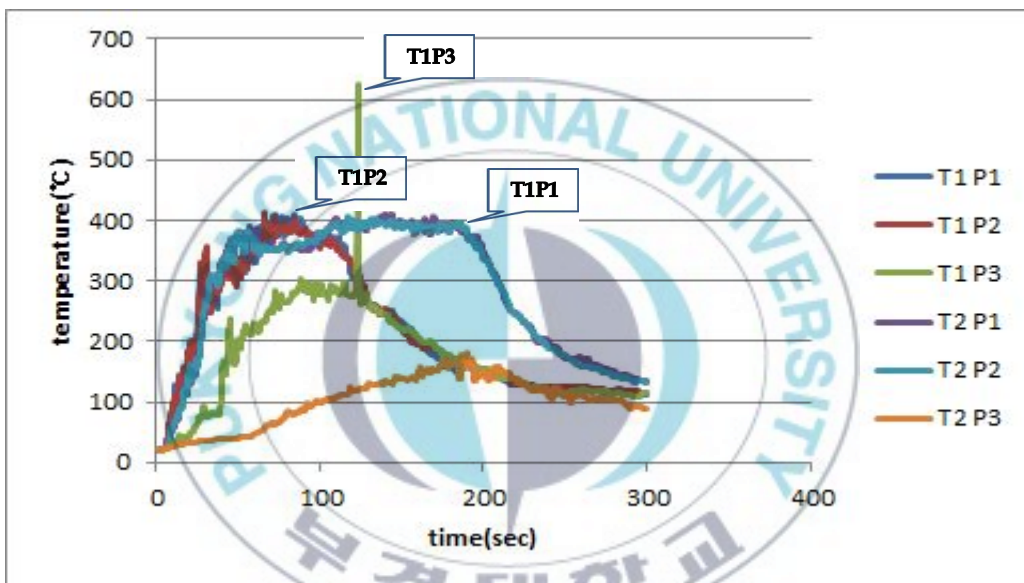


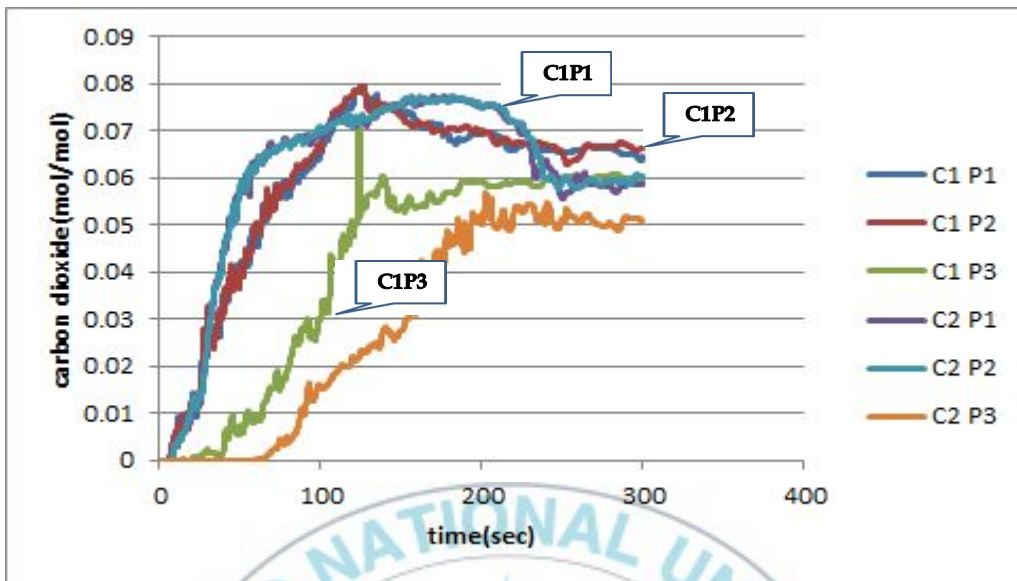
Fig. 34 Comparison of temperature at P1~P3.(shutter No.5,6,7,8,9 open)

3.4.8 화재규모 및 half closed의 온도, 이산화탄소 농도, 가시거리의 비교

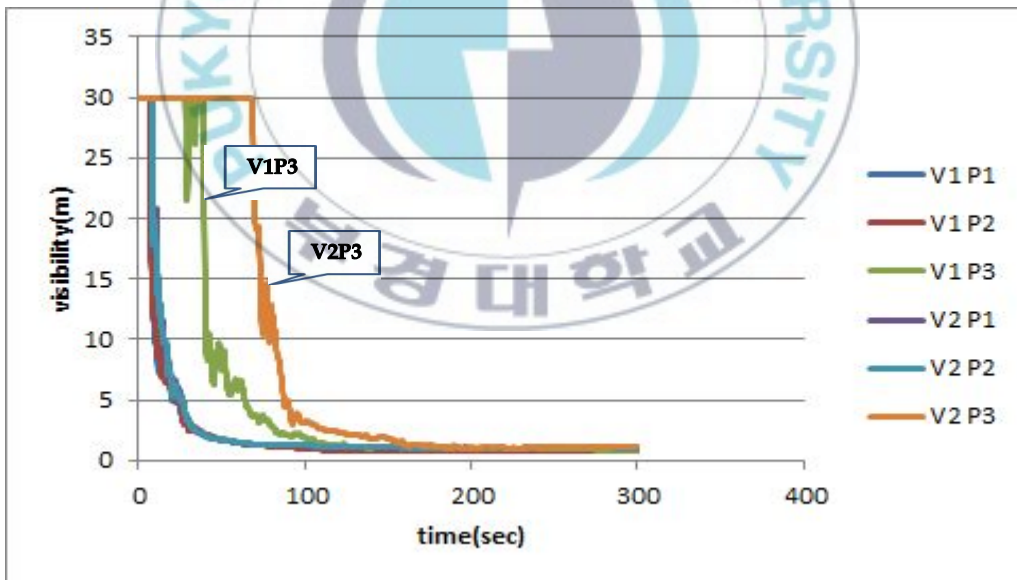
No.5,6,7,8,9 shutter가 열려 있는 경우(T1,C1,V1)와 화재규모가 감소 되고 shutter가 1.5m 하강한 경우(T2,C2,V2)의 P1~P3의 위치에서 온도, 이산화탄소 농도, 가시거리를 Fig. 35의 (a) ~ (c)와 같이 비교하여 나타낸다. 비발 지점인 P3지점이 가장 차이가 난다.



(a) Comparison of temperature variation



(b) Comparison of carbon dioxide concentration variation



(c) Comparison of visibility variation

Fig. 35 Comparison of temperature, carbon dioxide concentration, visibility and half closed.(shutter No.5,6,7,8,9 open and half closed)

3.5 Shutter 개폐에 따른 온도의 비교

3.5.1 P1의 온도

화재규모가 15.6MW이고 No.5,6,7,8,9 shutter의 case A, B, C, D가 열려 있는 경우의 P1의 온도를 Fig. 36에 비교하였다. 발화지점 방향인 P1쪽 shutter가 개방된 Case A의 경우가 최고 높은 온도를 가리킨다. shutter의 개폐에 따른 최고온도의 차이는 크므로 shutter 개폐의 영향이 많은 것으로 나타났다.

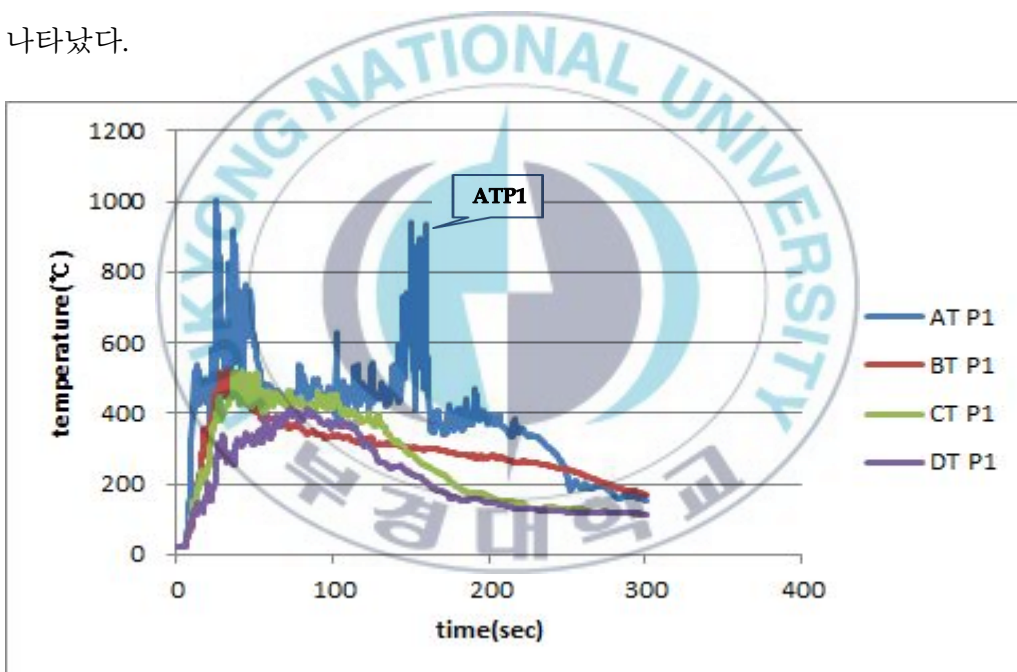


Fig. 36 Comparison of temperature at P1.

3.5.2 P2의 온도

화재규모가 15.6MW이고 No.5,6,7,8,9 shutter의 case A, B, C, D가 열려 있는 경우의 P2의 온도를 Fig. 37에 비교하였다. 발화지점 방향인 P2쪽 shutter가 개방된 Case B의 경우가 최고 높은 온도를 가리키고 있다. shutter의 개폐에 따른 최고온도의 차이는 크므로 shutter 개폐의 영향이 많은 것으로 나타났다.

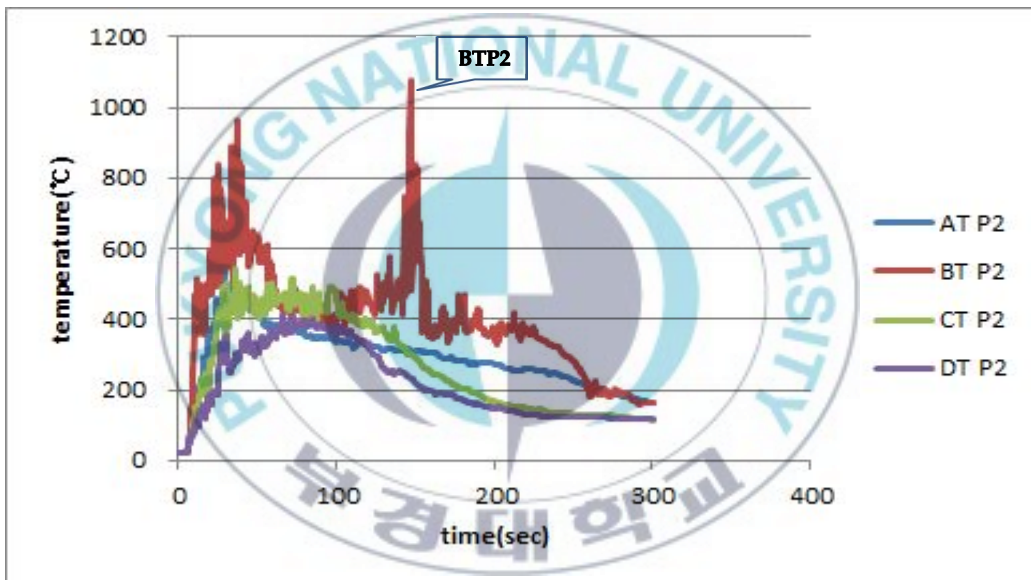


Fig. 37 Comparison of temperature at P2.

3.5.3 P3의 온도

화재규모가 15.6MW이고 No.5,6,7,8,9 shutter의 case A, B ,C, D가 열려 있는 경우의 P3의 온도를 Fig. 38에 비교하였다. Case A, B, C는 개폐에 따른 온도 변화는 거의 없고, 가장 많이 shutter가 개방된 Case D의 경우가 최고 높은 온도를 가리키고 있다. shutter의 개폐에 따른 최고온도의 차이는 크므로 shutter 개폐의 영향이 많은 것으로 나타났다.

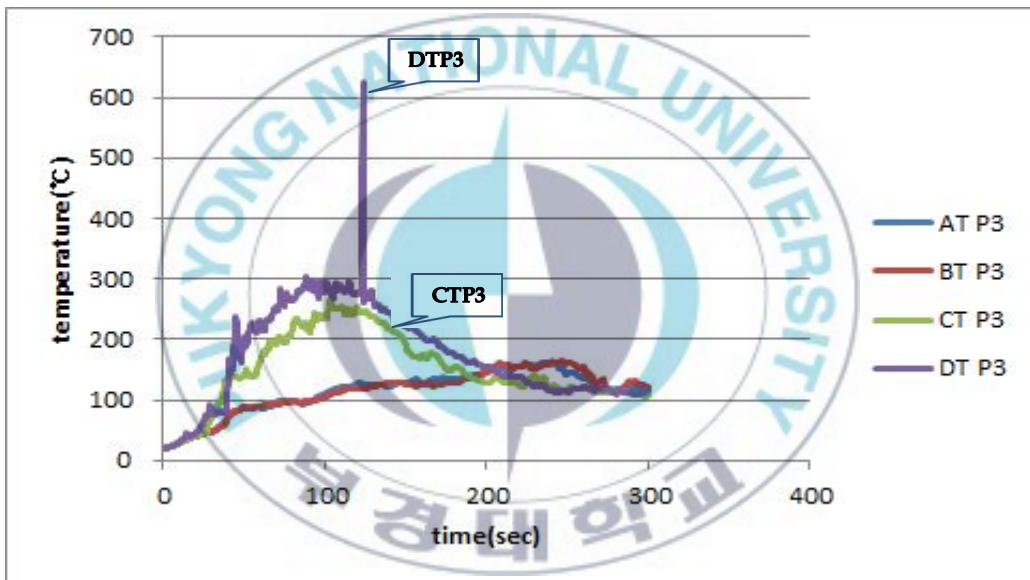


Fig. 38 Comparison of temperature at P3.

3.6 Shutter 개폐에 따른 이산화탄소 농도의 비교

3.6.1 P1의 이산화탄소 농도

화재규모가 15.6MW이고 No.5,6,7,8,9 shutter의 case A, B, C, D가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 P1의 이산화탄소 농도는 Fig. 39에 보는 것과 같이 나타났다. 발화지점 방향인 P1쪽 shutter가 개방된 Case A의 경우가 이산화탄소의 농도의 변화가 가장 심하게 나타났지만, 시간의 경과에 따라 큰 변화는 없었으며, 방화셔터의 부분개방으로 인해 내부에서는 이산화탄소의 농도가 시간이 지남에 따라 거의 동일화 됨을 알 수 있었다.

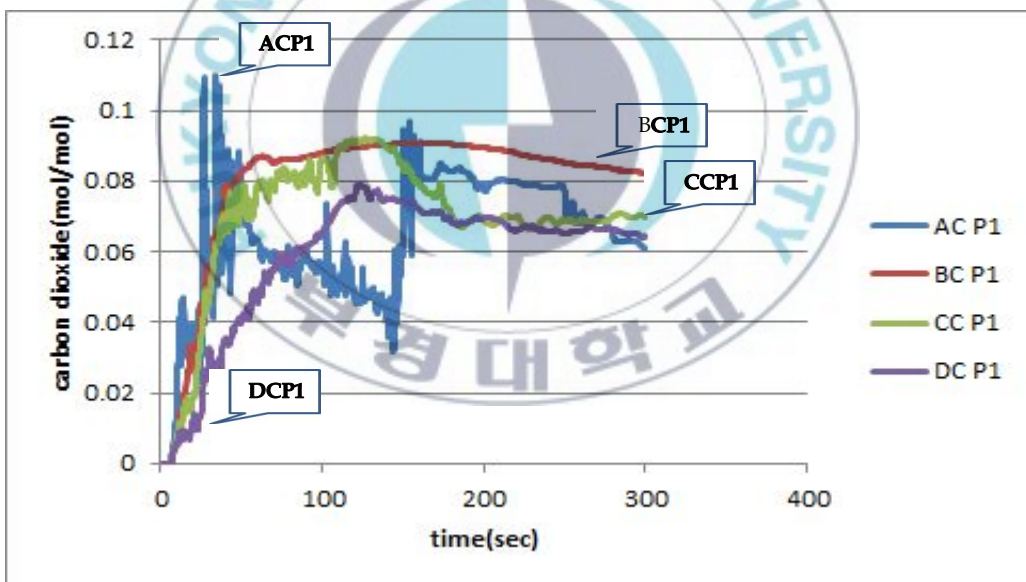


Fig. 39 Comparison of carbon dioxide concentration at P1.

3.6.2 P2의 이산화탄소 농도

화재규모가 15.6MW이고 No.5,6,7,8,9 shutter의 case A, B, C, D가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 P2의 이산화탄소 농도는 Fig. 40에 보는 것과 같이 나타났다. 발화지점 방향인 P2쪽 shutter가 개방된 Case B의 경우가 이산화탄소의 농도의 변화가 가장 심하게 나타났지만, 시간의 경과에 따라 큰 변화는 없었으며, 방화셔터의 부분개방으로 인해 내부에서는 시간이 지남에 따라 이산화탄소의 농도가 거의 동일화 됨을 알 수 있었다.

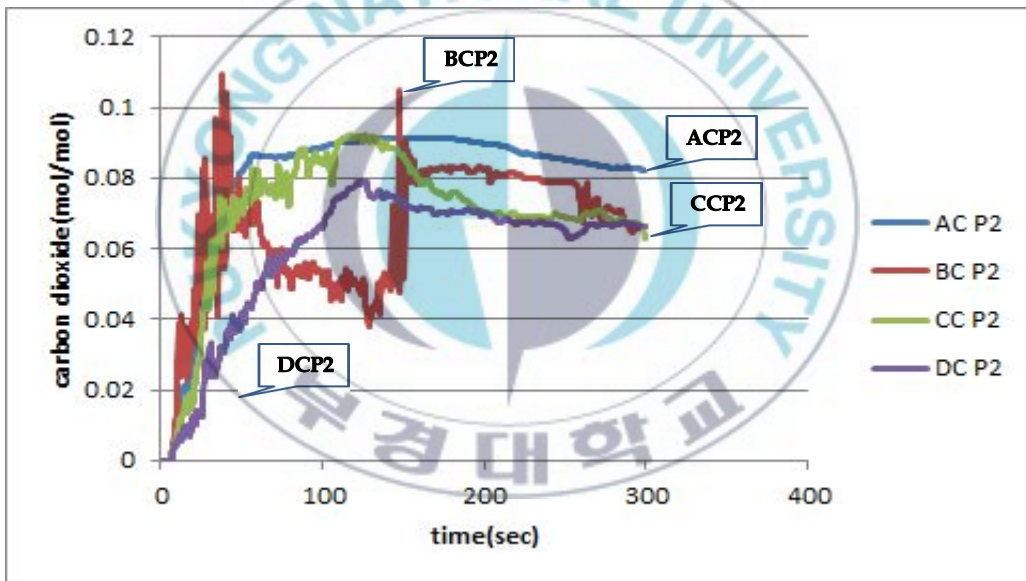


Fig. 40 Comparison of carbon dioxide concentration at P2.

3.6.3 P3의 이산화탄소 농도

화재규모가 15.6MW이고 No.5,6,7,8,9 shutter의 case A, B ,C, D가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 P3의 이산화탄소 농도는 Fig. 41에 보는 것과 같이 나타났다. 발화점을 중심으로 P3지점의 이산화탄소의 농도의 변화는 시간의 경과에 따라 큰 변화는 없었으며, 방화셔터의 부분개방으로 인해 내부에서는 이산화탄소의 농도가 거의 동일화 됨을 알 수 있었다.



Fig. 41 Comparison of carbon dioxide concentration at P3.

3.7 Shutter 개폐에 따른 가시거리의 비교

3.7.1 P1의 가시거리

화재규모가 15.6MW이고 No.5,6,7,8,9 shutter의 case A, B ,C, D가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 P1의 가시거리 변화를 Fig. 42에 비교하였다. 개방된 지점의 Case A의 P1지점이 가시거리가 가장 짧으나 거의 같은 것으로 나타났다.

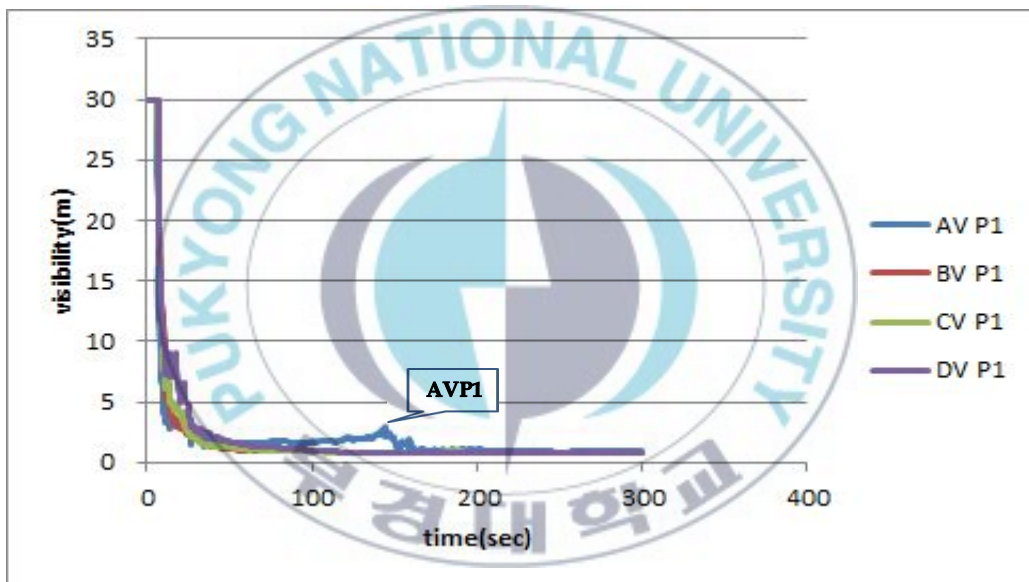


Fig. 42 Comparison of visibility at P1.

3.7.2 P2의 가시거리

화재규모가 15.6MW이고 No.5,6,7,8,9 shutter의 case A, B, C, D가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 P2의 가시거리 변화를 Fig. 43에 비교하였다. 개방된 지점의 Case B의 P2 지점이 가시거리가 가장 짧으나 거의 같은 것으로 나타났다.

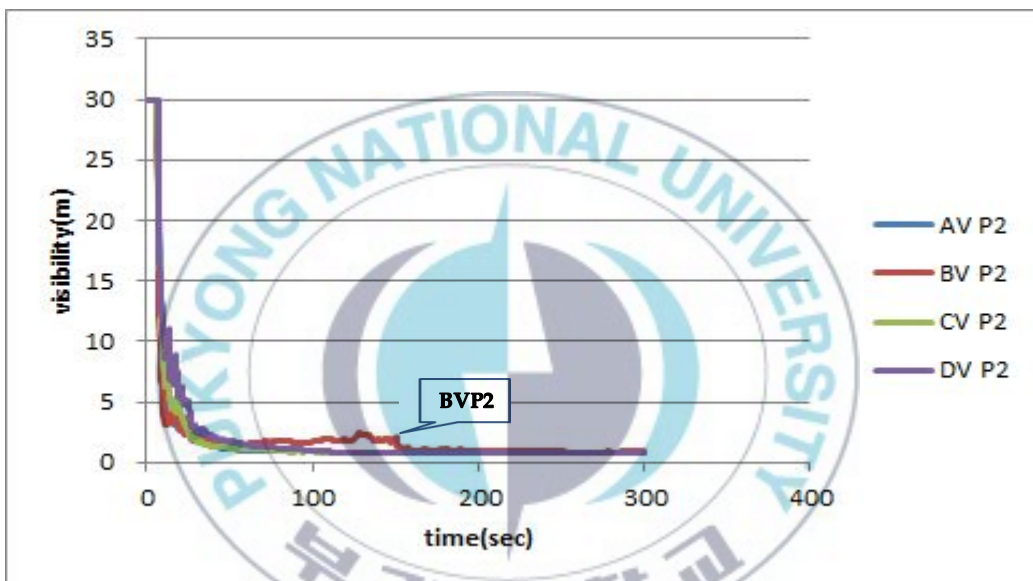


Fig. 43 Comparison of visibility at P2.

3.7.3 P3의 가시거리

화재규모가 15.6MW이고 No.5,6,7,8,9 shutter의 case A, B ,C, D가 열려 있는 경우, $z=1.8\text{m}$ 의 x-y평면에서 P3의 가시거리 변화를 Fig. 44에 비교하였다. Case C, D가 개방된 지점 P3의 가시거리가 가장 짧은 것으로 나타났다.

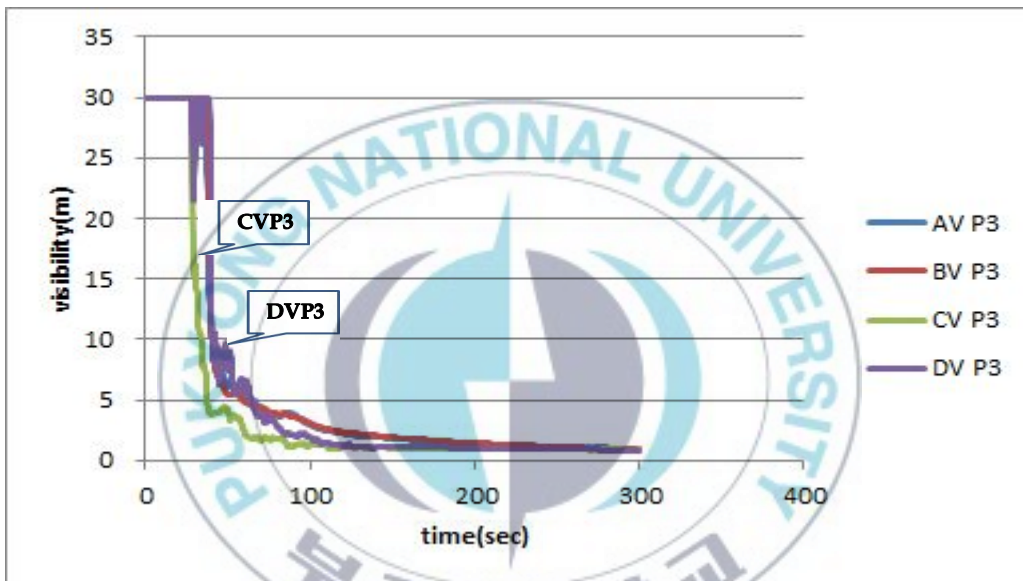


Fig. 44 Comparison of visibility at P3.

4. 결 론

본 연구는 실제 지하공간의 $82\text{m} \times 16\text{m} \times 3\text{m}$ 크기의 다중이용시설 지하로 비공간에서 발생 할 수 있는 화재를 FDS로 모사하여 온도와 이산화탄소 농도, 가시거리를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 방화셔트 오작동에 의한 셔트 미폐쇄에 따른 온도를 비교한 결과 오작동에 의한 셔트의 미폐쇄가 열린 경우 보다는 최고온도에 도달하는 시점이 빠르고 높게 나타남으로 소방시설의 유지관리 및 피난시간의 중요성을 알 수 있었다.
- 2) 방화셔트의 개폐에 따른 case별 온도를 비교한 결과 최고온도 및 가시거리의 차이가 나타나 피난동선의 중요성과 방화셔트의 개폐에 따른 최고온도 및 가시거리가 달라짐을 알 수 있었다
- 3) 이산화탄소 농도 분포의 변화는 온도 변화와 비슷하여 시간이 지남에 따른 온도와 유사한 변화를 나타냈다.
- 4) 셔트가 열린 경우가 닫혀있는 경우보다 가시거리가 짧게 나타남으로 피난시간이 피난 안정성에 중요한 변수임을 알 수 있었다.
- 5) 방화셔트 오작동은 실내 최고온도 및 이산화탄소 농도, 가시거리에 많은 영향을 미치므로 출입문 외의 방화셔트는 피난 안전성에 중요한 변수임으로 설계시 방화벽으로 설치할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 1) 일본건축센터 건축방재계획지침, 1997.
- 2) 소방방재청, “2011년도 전국 화재발생 현황 분석 결과”, 2011.
- 3) K. Mc Grattan, B. Klein, S. Hostikka and J. Floyd,
“Fire Dynamics Simnlator(Version5.2) User’s Guide”, NIST, U.S.A, 2008.
- 4) 허준호, 윤명오, “국내복합상영관 시설의 방재대책에 관한 연구” 2002.
- 5) 박재성, 윤명오, 이용재, “건축물의 피난안전에 관한 국가간 기준 비교 연구”, 한국화재소방학회 논문지, 제 16 권, 제 2 호, pp. 27 ~ 32, 2002.
- 6) 김대희, 윤인식, 황은경, “건축물 피난관련 연구동향 및 특성에 관한 연구”, 춘계학술논문발표회 논문집”, pp. 3 ~ 8, 2007.
- 7) 이수경, 김찬호, 김상원, “사례를 통한 다중이용업의 피해원인 분석 및 대책에 관한 연구”, 한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문지, pp. 126 ~ 131, 2007.
- 8) 고경찬, 강주생, 황준호, “부산CJ 스파크 복합상영관 화재 및 피난시물레이션을 통한 화재영향평가 보고서”, 한국나이스기술단, 2007.
- 9) 박외철, 이경아, “개구부 유동이 대류에 미치는 영향에 관한 수치연구”, 한국산업안전학회지, 제 15권, 제3호, pp. 52~56, 2000.
- 10) 박외철, 고경찬, 정이규, “청정화재시물레이션”, 한국안전학회 학술발표회 논문집, pp. 197~202, 2006.
- 11) 고경찬, 박외철, “FDS를 이용한 실내화재 모사의 문제점 - I. 중심형 화재”, 산업안전학회지, 제19권, 제1호, pp. 18~22, 2004.

- 12) 고경찬, 박외철, “FDS를 이용한 실내화재 모사의 문제점 - II. 벽면형 및 모서리형 화재”, 산업안전학회지, 제19권, 제3호, pp. 9~13, 2004.
- 13) 백승태, 이수경, 강계명, 정기신 “국내 초고층 아파트의 화재 시 안전구역(대피장소)의 효용성 검토에 관한 연구”, 한국화재소방학회 추계학술 논문발표회 논문지, pp. 374 ~ 377, 2003.



A Study on Refuge Safety of the Underground Space in Crowd Facilities

Chang-Hwan Oh

Department of Safety Engineering, Graduate School of Industry

Pukyong National University

Abstract

The study copy out the fire with FDS(Fire Dynamics Simulator) being in the underground space at crowd facilities of 82m×16m×3m size, this study came to the conclusion of comparison between the temperature and Carbon dioxide concentration, visibility.

1) The comparisons of temperature for what the shutter is not closing according to the fire shutter malfunction showed results that when the shutter is not closing were more speed and higher than when the shutter is opening for reaching the higher temperature. So, There were importance about the maintenance for Fire Fighting Facilities and the time for emergency evacuation.

2) The Result of comparing temperature with the fire shutter is opened and closed, It was difference the higher temperature and visibility. It was confirmed that the higher temperature and visibility is changed according to the fire shutter's open and close.

3) The change for distributions of carbon dioxide concentration showed results similar to the change of temperature in length of time.

4) A condition when the shutter is opening was shorter than when the shutter is closing in visibility. therefore, the time for emergency evacuation is important variable of the stability fore emergency evacuation.

5) The fire shutter malfunction had an effect on the higher temperature and carbon dioxide, visibility and the fire shutter except entrance door is important variable, so that It requires that the fire wall is installed for design process.

감사의 글

이 분야에 관심을 갖고 공부를 다시하게 될 기회가 주어져 처음에는 의욕도 많았던 것 같았는데 열심히 하지 못 한 것이 아쉬움만 듭니다.

그동안 강의와 논문을 지도해주신 박외철 교수님께 진심으로 감사를 드리며 논문을 심사하여 주시고 완성을 위하여 부족한 부분을 지도해주신 권오현, 최재욱 교수님과 피곤함을 감추시고 강의를 해주시던 안전공학과 교수님들의 특별한 관심과 도움을 주신 동기 및 지인들에게 감사의 뜻을 전하고 싶습니다.

좀더 충실하게 하지 못한 아쉬움이 있으나 학업을 마무리 할 수 있도록 보이지 않는 힘이 되어준 사랑하는 아내와 건강하고 열심히 노력하는 우리 딸 예림이와 정아, 그리고 어려운 여건 속에서도 항상 열심히 최선을 다하시는 분들에게 고마움을 전합니다.

2012년 12월

오 창 환