Check for updates

JFMSE, 34(3), pp. 484~493, 2022.
수산해양교육연구, 제34권 제3호, 통권117호, 2022.
www.ksfme.or.kr
https://doi.org/10.13000/JFMSE.2022.6.34.3.484

선박 화재 시 제연경계벽 길이와 간격이 온도 및 가시거리에 미치는 영향에 대한 연구

김 원 욱†
†한국해양수산연수원(교수)

A Study on the Effect of Length and Spacing of Draft Curtains on Temperature and Visibility in case of a Ship Fire

Won-Ouk KIM†
†Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology(professor)

Abstract

According to the accident statistics of the Korean Maritime Safety Tribunal, a total of 13,687 marine accidents occurred over the past 5 years (2016~2020) of which 588 cases were fire and explosion, accounting for 4.3% of the total. In particular, fire and explosion accidents accounted for 4.3% of accidents while large-scale marine casualties such as fatalities accounted for 5.6%, which was higher than other accidents. In this study, the optimal installation conditions are proposed by analyzing the effects of smoke draft curtains, which are not installed on ships on changes in temperature and visibility in case of fire. As a result, in the presence of draft curtains, the temperature one of the verification factors for the evacuation limit value, did not reach the standard value under all conditions. However, in the case of visibility most directly related to survival in case of fire, it was confirmed that the installation of draft curtains helps to improve the survival rate. The results of analyzing the optimal installation conditions for the length and spacing of draft curtains under the physical settings in this study are as follows. In the condition of 10m spacing of draft curtains, 30cm was the optimal condition, and when the spacing was 20m or 30m, 40cm in length was found to be optimal. Since the various size and type of fire are very important factors in the analysis of the survival rate by fire, further research is needed.

Key words : Maritime accident, Fire, Fire door, Draft curtain, Available safe escape time

Ⅰ. 서 론

중앙해양안전심판원의 사고 통계자료에 의하면 과거 5년간(2016~2020) 총 13,687건의 해양사고가 발생하였으며 이 중 화재 · 폭발은 588건으로 전체의 4.3%를 차지하였다. 이때, 사망사고는 총 589명 중 33명, 부상은 1,900명 중 78명으로 확인되었다(KMST, 2021). 특히, 화재 · 폭발 사고는 사고 비율이 4.3%인데 반해 사망과 같은 대형 인명사고는 5.6%로 타 사고에 비해 그 비율이 높은 것으로 나타났다. 실습선에는 소화 작업 실패를 고려하여 승무원과 실습생들의 대피허용한계시간을 증대시키기 위한 방화문이 설치되어 있다. 이 설비는 화재경보 발령 시 자동으로 폐쇄되어 화재 확산을 막는다. 특히, 방화문은 사망의 대부분을 차지하는 연기 확산을 방지하는데 큰 효과가

† Corresponding author : 051-620-5816, kwo0228@naver.com

있다. 방화문에 대한 자세한 내용은 해상인명안전협약(SOLAS: International Convention for the Safety of Life at Sea) Ⅱ-2 구조(방화, 화재탐지 및 소화)에 자세히 설명되어 있다. 그러나 실제로는 모든 승객 및 승무원들이 동시에 피난을 완료하지 못할 수 있어 미처 피난하지 못한 방화문 안쪽에 위치한 인원에게는 치명적일 수 있다. 이런 이유로 육상의 건축물에는 화재 발생 시 사망의 대부분을 차지하는 연기유동을 지연시키는 제연경계벽을 설치하고 있으며 자세한 내용은 “제연설비의 화재안전기준 제4조 제연설비(NFSC 501)”에 규정하고 있다(NLIC, 2022). 또한, 지하공간, 터널 등에 제연경계벽에 관한 많은 선행 연구(Kim et al., 2021; Baek and Lee, 2016; Kwark, 2006; Roh and Hur, 2004)가 수행되었다. 하지만, 선박에는 제연경계벽 설치가 강제되지 않아 유사 연구가 거의 진행되지 않았다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 주어진 실험조건 하에서 다양한 제연경계벽의 길이와 간격을 대상으로 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 비교분석하여 최적의 설치 조건을 분석하고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

본 연구에서는 한국해양대학교 실습선인 한바다호의 일반배치도(GA: General Arrangement)를 이용하여 피난 복도의 상세를 확인하여 분석하였다. 이때 사용된 프로그램은 미국 표준연구소(NIST: National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 화재분석 프로그램 (FDS: Fire Dynamic Simulator)을 이용한다(NIST, 2014).

1. FDS의 개요

FDS(Fire Dynamic Simulator)는 Navier-Stokes 방정식을 이용하여 수치 해석을 수행하는 CFD (Computational Fluid Dynamics) 프로그램으로 온도 상승, 연기의 흐름 및 가시거리 분석 그리고 스프링클러와 같은 소화 장비의 효과를 분석하는데 최적화된 화재분석전용 프로그램으로 현장에서 많이 사용되어진다. Navier-Stokes 방정식은 식(1)과 같다(McGrattan and Forney, 2004).

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = f_i - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad \cdots (1)$$

여기서, u : 속도, f : 단위체적당 걸리는 외력, ρ : 밀도, p : 압력, ν : 점성계수이다.

온도 및 가시거리는 FDS(Fire Dynamic Simulator)를 이용하여 분석하며 이때, 생존가능시간을 의미하는 유효피난시간의 조건인 온도 및 가시거리는 선박에만 적용되는 기준이 없기 때문에 육상에 적용되는 소방방재청고시 제2014-31호 소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준의 별표(1)의 내용을 기준값으로 설정하였으며 이때 온도는 60℃, 가시거리는 5m이다(Rie and Lew, 2003).

2. 화재 시뮬레이션

화재 시뮬레이션을 위해서 한바다호의 피난 복도의 상세를 파악하여 3차원 모델(.dxf)을 제작하였으며 이때, 복도의 길이는 50m, 폭은 1.2m, 높이는 2.42m이었다(<Table 1>).

<Table 1> Parameters of Corridor structure

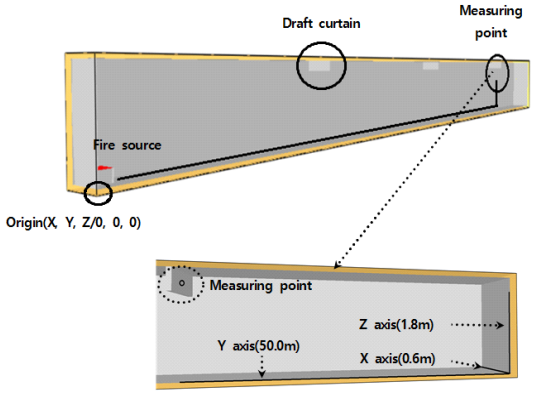
Content	parameters (m)
Length	50.0
Width	1.20
Height	2.42

또한, 화재 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 화재공간의 재질, 화재의 크기 및 화재장소 등과 같은 다양한 조건과 변수가 필요하며 그 물리적 조건은 <Table 2>와 같다. 이때, 거주구역에서 가장 많이 발생할 수 있는 목재를 화원으로 설정하였으며 화재의 크기는 1MW를 사용한다. 화재의

크기를 1MW로 설정한 이유는 선박의 피난 복도와 유사한 철도차량에 대한 데이터를 참고하였다. 이때, 철도차량 표준 설계화재곡선 산출 방법에서 1MW가 도달하는 시간을 flash over로 판정하고 있기 때문이다. Flash over는 화재가 발생한 구역 전체에 화염이 휩싸이는 현상으로 실습생 및 승무원들이 인내 할 수 있는 한계거주시간을 결정하는 중요한 요소로 사용된다(Lee et al., 2011).

<Table 2> Simulation parameters of Fire

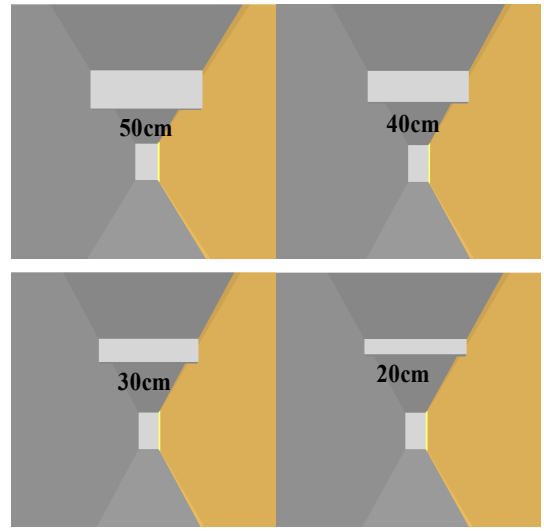
Content	parameters
Simulation time	100 sec.
Fire scale	1MW
Size of Fire Source	60cm × 60cm
Flammable Material	wood
Interior Temperature	20 ℃



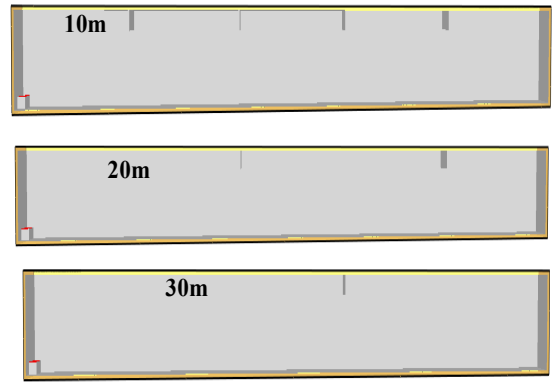
[Fig. 1] Measuring point of temperature & visibility.

온도 및 가시거리 분석을 위한 측정위치는 [Fig. 1]에서 보는 바와 같이 오른쪽 하단의 기준점으로부터 x축은 복도의 중간점인 0.6m, y축은 피난 완료 지점인 복도 끝단 50m 그리고 z축은 일반적인 사람의 호흡 위치인 1.5 ~ 1.8m로 설정하나 본 연구에서는 안전을 고려한 1.8m로 하였다. 피난구인 복도 끝은 문이 닫힌 것으로 가정한다.

이때, 화재 시뮬레이션은 방화문이 열려 있는 상황과 제연경계벽의 길이가 각각 20cm, 30cm, 40cm, 50cm([Fig. 2])일 경우로 다양하게 구분하여 수행하였으며 간격은 10m, 20m, 30m([Fig. 3])이다. 여기서 제연경계벽의 길이는 천정에서 내려오는 길이를 의미하며 간격은 첫 번째 제연경계벽에서 다음 제연경계벽까지 거리이다.



[Fig. 2] Draft Curtain length (20, 30, 40, 50cm).

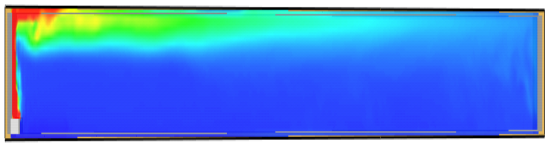


[Fig. 3] Draft Curtain interval (10, 20, 30m).

Ⅲ. 결과 및 고찰

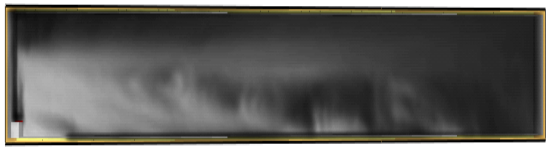
1. 제연경계벽이 설치되지 않은 경우

[Fig. 4]는 복도에 제연경계벽이 설치되지 않고 방화문이 작동하지 않은 경우에 온도 분포를 나타낸 것이다. 이때, 그림에서 홍색은 200℃이상, 녹색은 100~200℃, 청색은 100℃를 나타내고 측정위치의 최고온도는 45.1℃로 대피허용한계값인 60℃에는 도착하지 않는 것으로 나타났다.



[Fig. 4] Temperature distribution without draft curtain.

[Fig. 5]는 복도에 제연경계벽이 설치되지 않고 방화문이 작동하지 않은 경우에 가시거리를 나타낸 것이다. 이때, 가시거리는 화재 발생 후 47.3초에 30m, 49.2초에 20m, 51.3초에 10m 그리고 대피허용한계값인 5m에는 52.9초에 도착하였다.



[Fig. 5] Visibility distribution without draft curtain.

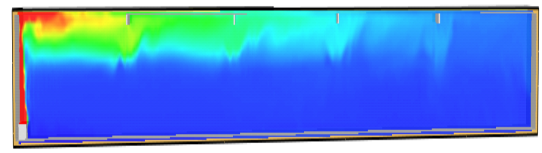
2. 제연경계벽이 설치된 경우

가. 온도분석

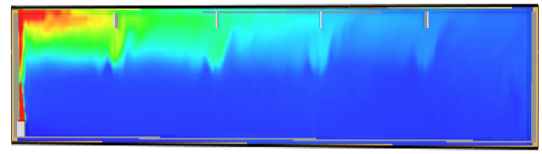
본 연구에서 설정한 물리적 환경 속에서 화재 시뮬레이션을 수행한 결과, <Table 3>에서 보는 바와 같이 모든 시뮬레이션에서 대피허용온도 60°C를 초과하지 않는 것으로 확인되었다. 이때 향상율은 방화문이 열려있는 상태를 1로 하여 계산한다. 온도 증가율은 제연경계벽의 간격이 10m, 길이가 20cm일 경우 1.13, 30cm일 경우 1.24, 40cm일 경우 1.30, 50cm일 경우 1.46으로 분석되었다. 제연경계벽이 온도 상승률 제어에는 최대 1.46의 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

<Table 3> Max. temperature according to the length of draft Curtain at a interval of 10m

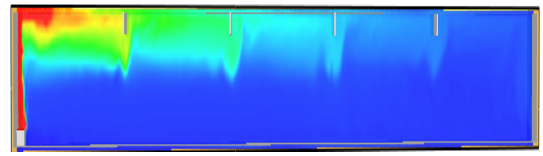
Content	Max. Temp. (°C)	60℃ (sec)	Improvement rate
None Draft Curtain	45.1	no	1
Draft Curtain 20cm	39.8	no	1.13
Draft Curtain 30cm	36.3	no	1.24
Draft Curtain 40cm	34.6	no	1.30
Draft Curtain 50cm	30.9	no	1.46



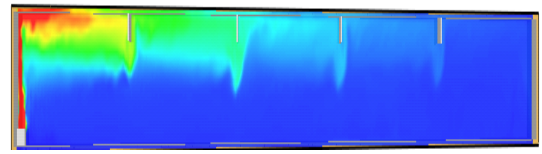
[Fig. 6-a] Temperature distribution with 20cm length draft curtain & interval(10m).



[Fig. 6-b] Temperature distribution with 30cm length draft curtain & interval(10m).



[Fig. 6-c] Temperature distribution with 40cm length draft curtain & interval(10m).

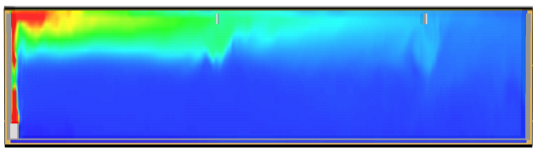


[Fig. 6-d] Temperature distribution with 50cm length draft curtain & interval(10m).

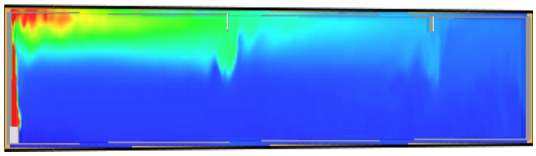
<Table 4>에서 보는 바와 같이 온도 증가율은 제연경계벽의 간격이 20m, 길이가 20cm일 경우 1.12, 30cm일 경우 1.14, 40cm일 경우 1.18, 50cm일 경우 1.23으로 분석되었다. 제연경계벽이 온도 상승률 제어에는 최대 1.23의 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

<Table 4> Max. temperature according to the length of draft Curtain at a interval of 20m

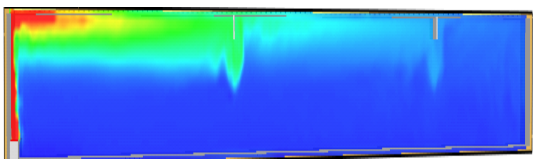
Content	Max. Temp. (°C)	60℃ (sec)	Improvement rate
None Draft Curtain	45.1	no	1
Draft Curtain 20cm	40.4	no	1.12
Draft Curtain 30cm	39.4	no	1.14
Draft Curtain 40cm	38.2	no	1.18
Draft Curtain 50cm	36.8	no	1.23



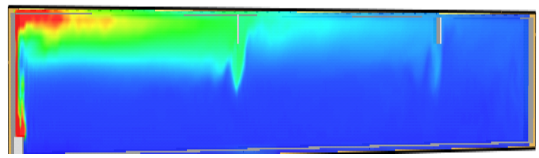
[Fig. 7-a] Temperature distribution with 20cm length draft curtain & interval(20m).



[Fig. 7-b] Temperature distribution with 30cm length draft curtain & interval(20m).



[Fig. 7-c] Temperature distribution with 40cm length draft curtain & interval(20m).

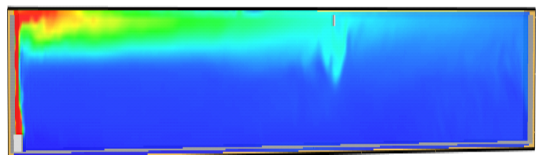


[Fig. 7-d] Temperature distribution with 50cm length draft curtain & interval(20m).

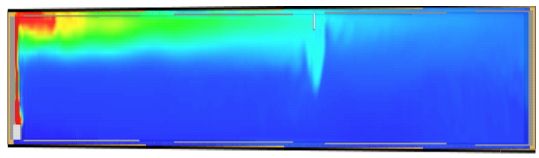
<Table 5>에서 보는 바와 같이 온도 증가율은 제연경계벽의 간격이 30m, 길이가 20cm일 경우 1.03, 30cm일 경우 1.12, 40cm일 경우 제연경계벽이 온도 상승률 제어에는 최대 1.14 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

<Table 5> Max. temperature according to the length of draft Curtain at a interval of 30m

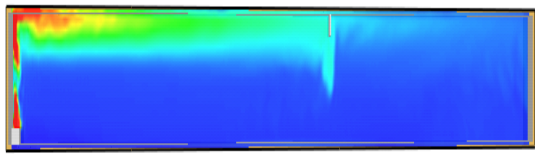
Content	Max. Temp. (°C)	60℃ (sec)	Improvement rate
None Draft Curtain	45.1	no	1
Draft Curtain 20cm	43.7	no	1.03
Draft Curtain 30cm	40.4	no	1.12
Draft Curtain 40cm	40.0	no	1.13
Draft Curtain 50cm	39.4	no	1.14



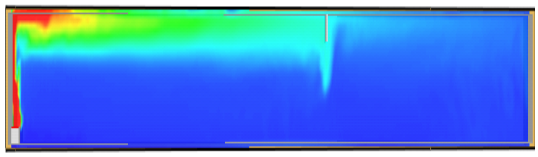
[Fig. 8-a] Temperature distribution with 20cm length draft curtain & interval(30m).



[Fig. 8-b] Temperature distribution with 30cm length draft curtain & interval(30m).



[Fig. 8-c] Temperature distribution with 40cm length draft curtain & interval(30m).



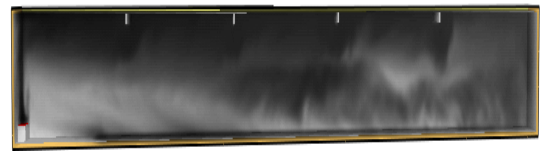
[Fig. 8-d] Temperature distribution with 50cm length draft curtain & interval(30m).

나. 가시거리 분석

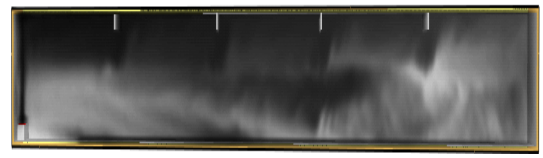
본 연구에서 정한 물리적 한경 속에서 화재 시뮬레이션을 수행한 결과, <Table 6>에서 보는 바와 같이 10m 간격에 제연경계벽의 길이 50cm를 제외하고는 모두 대피허용한계값인 5m에 도달하는 것으로 확인되었다. 이때 향상율은 방화문이 개방되어 있는 상태를 1로 하여 계산한다. 가시거리 향상율은 제연경계벽의 간격이 10m, 길이가 20cm일 경우 1.56, 30cm일 경우 1.82, 40cm일 경우 1.93 으로 분석되었다. 즉, 제연경계벽은 최대 가시거리를 1.93 향상시키는 것으로 확인되었다.

<Table 6> Min. visibility according to the length of draft Curtain at a interval of 10m

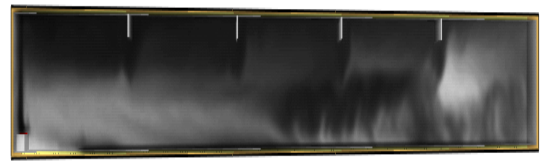
Content	Min. visibility(m)	5m (sec)	Improvement rate
None Draft Curtain	2.7	52.9	1
Draft Curtain 20cm	3.9	82.6	1.56
Draft Curtain 30cm	4.6	96.2	1.82
Draft Curtain 40cm	4.4	102	1.93
Draft Curtain 50cm	15.5	no	-



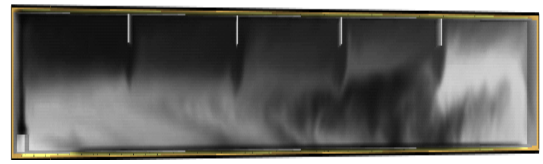
[Fig. 9-a] Visibility distribution with 20cm length draft curtain & interval(10m).



[Fig. 9-b] Visibility distribution with 30cm length draft curtain & interval(10m).



[Fig. 9-c] Visibility distribution with 40cm length draft curtain & interval(10m).

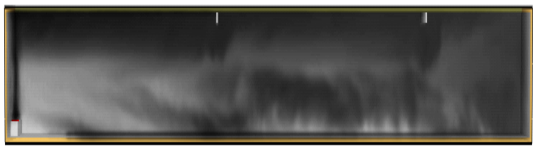


[Fig. 9-d] Visibility distribution with 50cm length draft curtain & interval(10m).

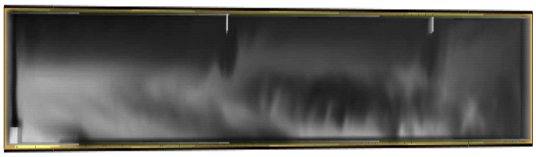
<Table 7>에서 보는 바와 같이 20m 간격에서는 모두 대피허용한계값인 5m에 도달하는 것으로 확인되었다. 가시거리 향상율은 제연경계벽의 간격이 20m, 길이가 20cm일 경우 1.20, 30cm일 경우 1.38, 40cm일 경우 1.54, 50cm일 경우 1.51로 분석되었다. 즉, 제연경계벽은 최대 가시거리를 1.54까지 향상시키는 것으로 확인되었다.

<Table 7> Min. visibility according to the length of draft Curtain at a interval of 20m

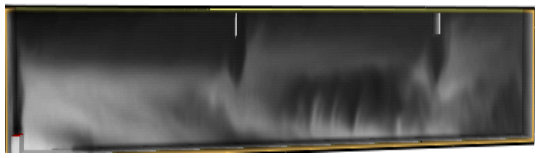
Content	Min. visibility(m)	5m (sec)	Improvement rate
None Draft Curtain	2.7	52.9	1
Draft Curtain 20cm	3.4	63.5	1.20
Draft Curtain 30cm	3.5	72.9	1.38
Draft Curtain 40cm	3.6	81.7	1.54
Draft Curtain 50cm	3.6	79.7	1.51



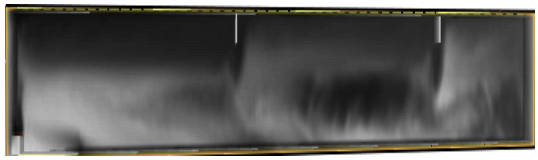
[Fig. 10-a] Visibility distribution with 20cm length draft curtain & interval(20m).



[Fig. 10-b] Visibility distribution with 30cm length draft curtain & interval(20m).



[Fig. 10-c] Visibility distribution with 40cm length draft curtain & interval(20m).

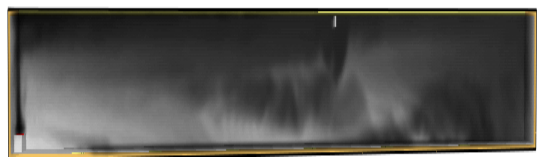


[Fig. 10d] Visibility distribution with 50cm length draft curtain & interval(20m).

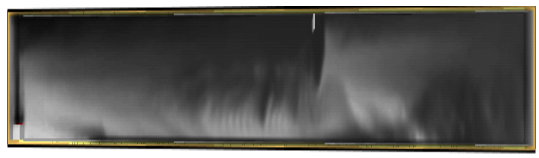
<Table 8>에서 보는 바와 같이 30m 간격에서는 모두 대피허용한계값인 5m에 도달하는 것으로 확인되었다. 가시거리 향상율은 제연경계벽의 간격이 30m, 길이가 20cm일 경우 1.09, 30cm일 경우 1.13, 40cm일 경우 1.20, 50cm일 경우 1.24로 분석되었다. 즉, 제연경계벽은 최대 가시거리를 1.24 향상시키는 것으로 확인되었다.

<Table 8> Min. visibility according to the length of draft Curtain at a interval of 30m

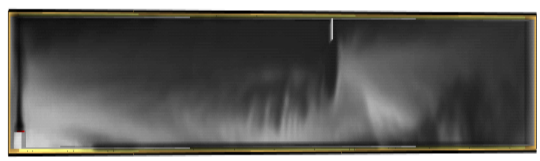
Content	Min. visibility(m)	5m (sec)	Improvement rate
None Draft Curtain	2.7	52.9	1
Draft Curtain 20cm	3.1	57.6	1.09
Draft Curtain 30cm	3.2	62.0	1.13
Draft Curtain 40cm	3.3	63.4	1.20
Draft Curtain 50cm	3.5	65.6	1.24



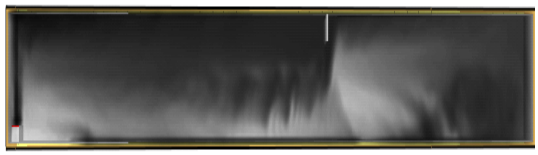
[Fig. 11-a] Visibility distribution with 20cm length draft curtain & interval(30m).



[Fig. 11-b] Visibility distribution with 30cm length draft curtain & interval(30m).



[Fig. 11-c] Visibility distribution with 40cm length draft curtain & interval(30m).



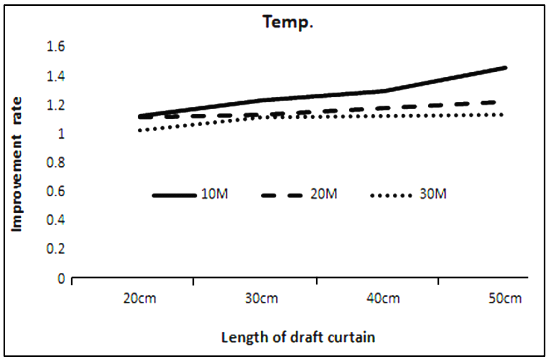
[Fig. 11-d] Visibility distribution with 50cm length draft curtain & interval(30m).

<Table 9>는 제연경계벽의 길이와 간격에 따른 온도변화를 분석한 것으로 방화문이 미작동한 상태를 1로 하여 그 향상율을 비교하였다. 이때 온도 감소에 대한 유의적 영향은 거의 없었으나 간격이 10m에 길이가 50cm인 경우는 1.46으로 가장 높게 나타났다.

<Table 9> Comparison of temperature variation with time at measuring point length of draft curtain & interval

Interval(m)	Length Draft curtain(m) / Max. Temp.(℃)			
	20cm	30cm	40cm	50cm
10	1.13	1.24	1.30	1.46
20	1.12	1.14	1.18	1.23
30	1.03	1.12	1.13	1.14

[Fig. 12]는 이를 쉽게 알아보기 위해 그래프로 나타낸 것이다.



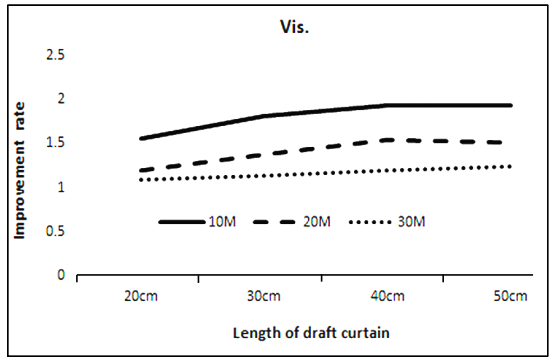
[Fig. 12] 5Comparison of temperature variation with time at measuring point length & interval of draft curtain.

<Table 10>은 제연경계벽의 길이와 간격에 따른 가시거리 변화를 분석한 것으로 방화문이 미작동한 상태를 1로 하여 그 향상율을 비교하였다. 이때 가시거리의 경우는 온도에 비해 상대적으로 영향이 높은 것으로 나타났다. 이때, 간격이 10M인 경우에는 길이가 30cm 이상은 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며 20m와 30m에서는 40cm에서 거의 유사한 결과로 분석되었다.

<Table 10> Comparison of visibility variation with time at measuring point length of draft curtain & interval

Interval(m)	Length of draft curtain(m) / Max. Vis.(m)			
	20cm	30cm	40cm	50cm
10	1.56	1.82	1.93	-
20	1.20	1.38	1.54	1.51
30	1.09	1.13	1.20	1.24

[Fig. 13]은 이를 쉽게 알아보기 위해 그래프로 나타낸 것이다.



[Fig. 13] Comparison of visibility variation with time at measuring point length & interval of draft curtain.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서 정한 물리적 조건 하에 제연경계벽의 간격과 거리에 대한 화재 시뮬레이션을 수행한 결과 제연경계벽은 온도 감소에는 큰 영향이 없었으나 화재 시 사망에 대부분을 차지하는 연기의 경우 확산 속도를 감소하는데 도움이 되는 것으로 나타났다. 자세한 내용은 아래와 같이 분석되었다.

① 온도의 경우 대피허용한계값인 60℃에는 모든 데이터가 도달하지 못했으며 또한, 유의적 영향은 발견하지 못했다. 단, 간격 10m, 길이 50cm인 경우, 기준값 1에 대해 1.46으로 가장 높게 나타났으며 최소값은 1.03으로 간격 30m, 길이 20cm인 경우로 나타났다.

② 가시거리의 경우는 온도에 비해 상대적으로 영향이 높은 것으로 나타났다. 이때, 최대값은 간격 10m, 길이 50cm인 경우로 대피허용한계값 5m에 도달하지 못하였다. 대피허용한계값인 5m에 도달한 데이터에 대한 분석 중 기준값 1에 대해 가장 높은 값은 간격 10m, 길이 40cm인 경우로 1.93, 최소값은 간격이 30m, 길이 20cm인 경우로 1.09로 나타났다.

③ 종합 분석결과, 본 연구에서 제안한 제연경계벽은 대피허용한계값 검증 요소인 온도는 모든 데이터에서 도달하지 않고 유의적인 차이를 보이지 않았으나 화재 시 생명과 가장 직결되는 가시거리의 경우는 제연경계벽 설치가 인명 생존율 향상에 도움이 되는 것으로 확인되었다.

④ 제연경계벽을 많이 그리고 길게 설치하면 최적이겠지만 공간적, 경제적 조건을 감안하지 않을 수 없다. 이때, 본 연구에서 정한 물리적 조건하에 제연경계벽의 길이와 간격에 대한 최적의 설치 조건을 분석한 결과 간격이 10m인 경우에는 길이가 30cm, 20m와 30m에서는 40cm로 나타났다.

향후, 선종별 특징을 고려한 다양한 화재뿐만 아니라 해양풍력발전시설과 같은 해양플랜트에 대한 연구도 필요할 것이다.

References

Baek DS and Lee SC(2016). Study of the Characteristics of Smoke Spread by an Installing Smoke Barrier in Medium Length Road Tunnel, Fire Sci. Eng., 30(5), 9~17. https://doi.org/10.7731/KIFSE.2016.30.5.009

Kim HW, Lee YS and Nam YJ(2021). A Study on the Characteristics of Smoke in the Depth of the Smoke Reservoir Screen in Large Volume Space, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 33(2), 064~071. https://doi.org/10.6110/KJACR.2021.33.2.064

Korean Maritime Safety Tribunal(2021). Statistical annual reports from 2016 to 2020, Status of marine accidents' causes as per types and years, https://www.kmst.go.kr/eng/com/selectHtmlPage.dohtmlName=m4_vesseltype on May. 18.

Kwark JH(2006). Standardization of the Performance Test Procedure for Smoke Control System, T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng., 20(3), 21~28.

Lee DH, Park WH, Jung WS and Kim CH(2011). Study of Standard Design Fire Curve of Various Railcar, 2011 Autumn Conference of the Korean Society for Railway, 1426-1431.

McGrattan KB and Forney GP(2004). Fire dynamics simulator (Version 4) user's Guide, Technical reference guide. National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 1018.

NLIC(2022). National Law Information Center, Ship Fire Protection Structure Standards, http://www.law.go.kr on jan. 30.

NLIC(2021). National Law Information Center, NFSC 501, http://www.law.go.kr on Sep. 30.

NIST(2014). Fire Dynamics Simulator(Version 5) User's Manual, http://fire.nist.gov/fds on Sep. 30.

Rie DH and Lew JO(2003). A study of heat & smoke evacuation characteristics by the changing of operational method of tunnel fan shaft ventilation system for fire on subway train vehicle, Fire

Science and Engineering, 17(2), 62~69.
Roh SK and Hur JH(2004). A Study on the Risk Assessment of the Underground Space-The Estimation of Smoke Reservoir Screen for Smoke Control in Subway Station Platform, T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng., 18(4), 103~109.

• Received : 02 May, 2022
• Revised : 02 June, 2022
• Accepted : 10 June, 2022