Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 21, No. 4 pp. 324-329, 2020

https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.324
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

수치해석을 통한 비상피난지원 시스템의 급기구 크기에 따른 유동분석

김지태[1], 박원희[2], 이덕희[2], 노경철[3*]
[1]중앙대학교 기계공학과, [2]한국철도기술 연구원, [3]동양대학교 철도기계시스템학과

Numerical analysis on effect of hole size on Emergency Evacuation Support System

Ji Tae Kim[1], Park Won Hee[2], Duck Hee Lee[2], Kyoung-Chul Ro[3*]
[1]Department of Mechanical Engineering, Chung-Ang University
[2]Korea Railroad Research Institute
[3]Rail road Mechanical Engineering, Dong-Yang University

요 약 비상피난 지원시스템은 화재 발생시 차연막이 형성되고 차연막 내부로 외기를 급기 가압을 해주어 연기의 유입을 막아주어 안전한 대피로를 제공한다. 본 연구에서는 수치해석을 통해 급기구 지름이 10, 15, 20, 30 mm로 변화 할 때 비상피난 지원시스템 차연막 내부에 급기구 크기가 유동에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과 급기구 지름이 감소할수록 비상피난지원 시스템 입구부터 출구 길이 방향으로 급기구를 통한 유량이 비교적 고르게 형성 되는 양상을 보였다. 또한 20 mm 이상으로 급기구를 타공 할 경우 출구부 근처에는 급기 유량이 거의 발생하지 않는 문제점이 발생 하므로 급기구 지름을 20 mm 보다 작게 타공 해야 할 것으로 판단된다. 차연막 내부 공간 압력은 20 mm 이하로 타공시 길이 방향으로 비교적 매우 균일한 분포를 보였다. 또한 수치해석 결과를 이용하여 급기구의 부차 손실계수을 산출 하였으며 약 K=1.5 으로 계산되었다. 따라서 향후 비상피난 지원 시스템 설계시 본 연구에서 도출한 급기구 지름에 따른 유동특성과 급기구의 부차손실을 적용하여 적절한 설계가 수행될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract The emergency evacuation support system provides a safe means of evacuation by preventing the inflow of smoke through the formation of a smoke shield curtain in fire situations and pressurizing fresh air to the inside of the smoke shield curtain. In this study, numerical analysis was performed to examine the effects of the hole size on the flow inside the smoke curtain. As the air supply size decreased, the flow rate through the air supply was formed relatively uniformly from the inlet to the outlet length of the emergency support system. In addition, the size of the air supply hole was more than 20 mm, the flow rate was very low near the outlet, so the air supply hole size should be smaller than 20 mm. In addition, the minor loss of the air supply hole was calculated to be K = 1.5 from the numerical results. Therefore, the proper design of an emergency evacuation support system is possible using the flow characteristics according to the size and minor loss of the air supply hole.

Keywords : Fire, Air supply, Pressurization, Hole size, Smoke

이 논문은 2020년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2019R1F1A1062013)
*Corresponding Author : Kyoung-Chul Ro(Dong-Yang Univ.)
email: kcro@dyu.ac.kr
Received October 29, 2019 Revised April 3, 2020
Accepted April 3, 2020 Published April 30, 2020

1. 서론

일반적으로 대공간은 단위면적당 많은 인구가 밀집되어 있는 다중이용건축물로 실화에 의해 화재가 발생할 가능성이 높으며 화재 발생 시 피난로와 연기의 이동 경로가 겹쳐 많은 인적, 물적 피해가 발생하는 문제점이 있다 [1]. 따라서 적절한 제연성능을 확보하는 것은 매우 중요하며 다양한 다중이용 건축물에서 용도에따른 가연물의 종류, 공간 높이등 특성에 따른 연기 유동과 제연성능을 수치해석적 방법으로 분석하고 제연성능 향상을 위한 다양한 방법을 제시하였다 [2-4]. 하지만 이와 같은 연구의 제연방법은 많은 기존의 다중이용 건축물이 노후화되고 신규 공조 시설물을 증설하기 위한 공간 및 비용등의 문제가 발생할 가능성이 높을 것으로 예상된다.

따라서 화재 발생시 대피자들을 연기로부터 보호 할 수 있는 추가적인 방법이 요구되어 지며 본 연구의 사전연구로 비상피난 지원 시스템을 제안한바 있다. 비상피난 지원 시스템은 크게 화재로부터의 열연기를 차단할 차연막과 차연막 내부로 연기 유입을 차단하고 신선한 외기를 공급해주는 급기부로 구성되어 있다. 급기부는 비상피난 지원 시스템의 소형화와 설치의 용이성 증대를 위해 사각 파이프 내부를 통해 급기 되며 급기구는 사각 파이프에 타공해서 생성되는 급기구를 통해 급기 된다.

비상피난 지원 시스템의 사전연구에서 외부 연기의 유입방지를 위해서는 화원의 지름에 따라 약 2 ~ 5 Pa 의 압력이 차연막 내부에 고르게 가압되어 져야 한다.[5]

따라서 본 연구에서는 수치해석 분석을 통해 타공하는 급기구의 지름과 급기구간의 거리가 차연막 내부 유동에 미치는 영향을 분석하여 적절한 설계안을 도출해 내고자 하였다.

2. 수치 해석 모델 및 조건

2.1 지배방정식 및 난류 모델

비상피난 지원 시스템의 급기 시스템의 급기구 조건에 따른 유동 해석을 수행하기 위해서 상용 CFD 소프트웨어인 ANSYS Fluent 18.2 를 사용하였다. 또한 난류 계산을 위하여 Fluent 내의 standard k-ε 모델을 사용하였다.

2.2 형상 및 경계 조건

Fig. 1 은 비상피난 지원 시스템이 포함된 다중이용건축물의 형상과 경계조건이다. 비상피난 지원시스템은 약 20 m 길이로 Fig. 1과 같이 계단 측면벽에 설치된다. 비상피난 지원시스템의 급기 시스템은 사각 파이프에 원형으로 타공을 하여 급기구를 생성 하였다. 사각 파이프의 크기는 60 X 60 mm 이며 각 급기구의간격은 0.5 m 이다.

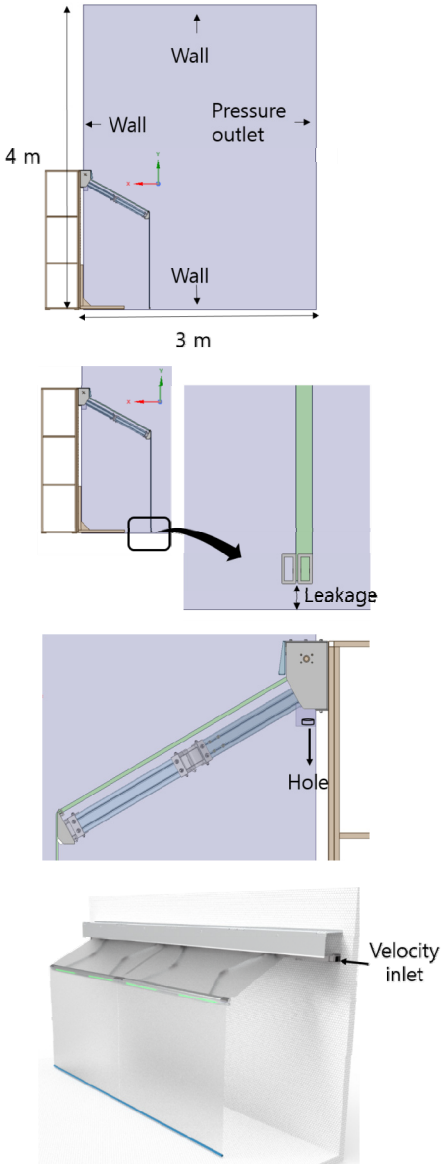


Fig. 1. Geometry and boundary condition.

경계조건은 공간의 양 끝에 20 ℃ 대기압 조건을 주었으며 모든 벽면은 단열 조건을 주었다. 또한 중력은 -z 방향으로 9.81 m/s^2 으로 설정 하였다.

격자는 Fig. 2 와 같이 6면체로 구성하였으며 급기구와 누설에서 Y+ 가 12 이하가 되도록 설정하였다. 격자수는 격자독립성 시험을 통해서 비상피난 지원 시스템 차연막 내부 중앙에서 유속을 기초로 약 41만개로 구성 하였다.

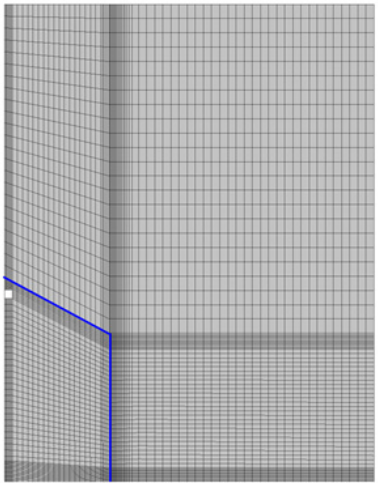


Fig. 2. Grid generation.

2.3 급기 조건 및 해석 방법

수치해석은 급기구 크기가 지름 10, 15, 20, 30 mm 로 증가 할 때 차연막 내부 공간의 평균 압력이 목표 압력인 2, 6, 10, 20, 40 Pa 에 도달 할 때 까지 급기유량을 증가시켜 반복 해석을 수행 하였다. 급기구 크기는 실제 제작이 용이한 범위에서 설정 하였다. 본 연구의 이전 연구에서 비상피난지원 시스템의 차연막에 화재에 의해 발생하는 연기 유입 차단을 위해서는 약 2~ 5 Pa 이상의 압력이 필요 한 것으로 판단되었다 [5]. 따라서 목표 압력 값을 Table 1 과 같이 설정 하였다. 초기 급기 유속은 모든 급기구에서 0.5 m/s 이며 Residual 이 10E-3 이 되면 수렴한 것으로 판단하여 계산을 중단후 차연막 내부 공간의 평균 압력을 계산하여 목표 값에 도달하지 않을 경우 급기 유속을 0.1 m/s 증가 하여 목표 압력 값에 도달 할 때까지 반복 계산을 수행 하였다. 평균 압력 계산 시 누설 면적 근처에서는 대기압으로 압력이 낮아지므로 누설면적 반경 10 cm 부분은 평균계산에서 제외 하였다. 또한 차연막 내부 최대 최저 압력은 Table 1 과 같다. 최대 압력은 급기 되는 유동이 부딪히는 바닥면에 형성되고 최저 압력은 누설면적 근처에서 발생한다.

Table 1. Goal pressure

Cases	Goal pressure [Pa]	Min Pressure	Max Pressure	Hole size [mm]
Case 1	2	1.91	2.10	10, 15, 20, 30
Case 2	6	5.76	6.23	
Case 3	10	9.87	10.21	
Case 4	20	19.76	22.30	
Case 5	40	38.43	41.04	

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 비상피난 지원 시스템 비상 피난 지원 시스템의 각 급기구에서 급기구 지름에 따른 급기 유량이다. 비상 피난 지원 시스템 입구 부분은 0 m 이며 출구 부분은 20 m 이다.

비상 피난 지원 시스템의 입구부터 출구 방향 까지 길이 방향으로 급기구에서 급기 되는 유량은 급기구 지름이 10 mm 일 경우 다른 급기구 지름에 비해 비교적 입구부터 출구 까지 유량이 분포되어 형성된다. 급기구 지름이 10 mm 일 경우 요구 압력이 변화 하여도 입구부분의 최고 유량에 비해 출구 부분 유량은 약 55% 이나 급기구 지름이 증가 할 경우 입구 부분 유량에 비해 출구 부분 유량이 급격히 감소한다. 특히 급기구 지름이 20 mm 이상일 경우 비상피난 지원 시스템 출구 부분에서의 유량이 매우 감소하고 따라서 출구 부분 가압에 문제점이 발생 할 수 있다. 따라서 비상피난 지원 시스템의 급기구는 작은 지름으로 형성 하는 것이 유동 분포에 유리할 것으로 판단된다.

Fig. 4는 급기구 지름이 10 mm 일 때 차연막의 중앙에서 비상 피난 지원 시스템 입구부터 출구 까지 길이 방향으로 압력분포이다. 입구와 출구 부분의 급기구로 급기되는 유량의 차이가 있음에도 불구하고 압력 분포는 입구부분이 높고 출구 방향이 낮지만 유량 분포에 비해 비교적 고른 분포를 보이고 있으며 낮은 요구 압력 일수록 더욱 고른 압력 분포를 보인다.

향후 다양한 형태와 길이의 비상 피난 지원 시스템의 급기 시스템 설계시 전산유체역학 해석을 통한 결과를 사용하는 것은 많은 자원이 필요 하므로 보다 간단한 접근 방법이 요구되며 급기구를 10 mm 로 고정 하였을 때 급기구의 부차손실을 구하여 Pipe network 와 같은 비교적 간단한 수치해석적 방법으로 결과를 구하는 것이 유리하다. Pipe network 는 손실 수두를 구하기 위해

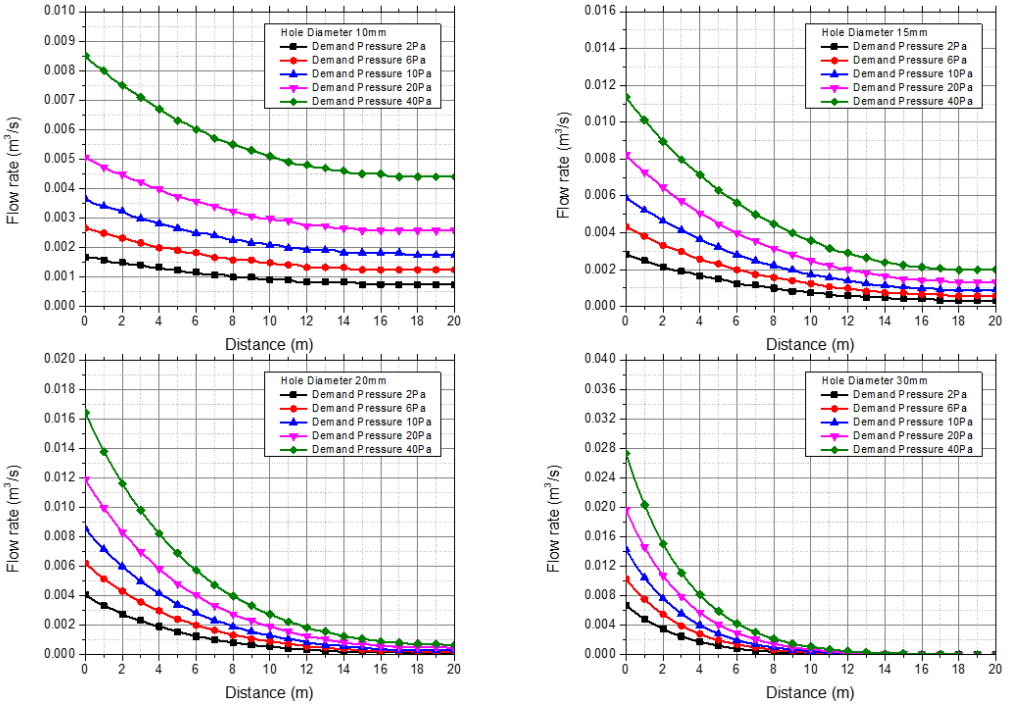


Fig. 3. Flow rate distribution of ventilation hole.

관내에서 Darcy-Weisbach 식과 부차손실을 사용하며 마찰손실 계산을 위해 Colebrook식을 사용한다. 부차손실은 주로 파이프 입출구, 팽창, 축소부 또는 다양한 밸브, 피팅과 같은 부분에서 발생하는 매우 복잡한 유동에 의한 에너지 손실을 나타낸 것이다.

높은 레이놀즈수의 난류유동에서 급격확대관, 급격축소관, 오리피스, 모서리 형태에 따른 마찰손실에 대해 많은 연구가 수행되었다. 비상피난 지원 시스템의 급기구는 타공에 의해 생성되으로 모서리의 각도가 90도로 각진 형태의 급기구가 파이프 내부로 매우 짧은 길이가 들어간 형상으로 가정 하였으며 이와 비슷한 급격축소관의 부차손실 K는 기존 연구에 의한 계산에 의하면 축소관 형태와 모서리 형상에 따라 약 0.5 - 2 범위인 것으로 알려져 있다 [6,7].

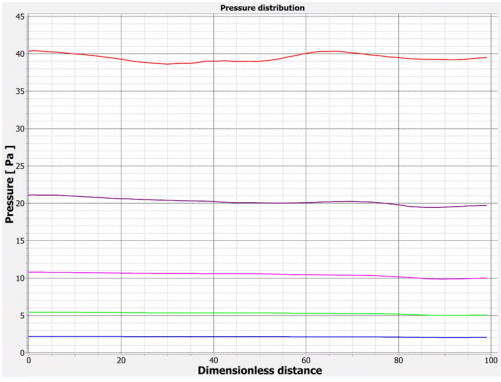


Fig. 4. Pressure distribution at center line of fire safety curtain.

본 연구의 수치해석상 토출되는 유속을 Pipe network 해석의 토출 유속을 비교하여 보았을 때 부차손실계수 K가 1.5일 때 펌프로부터 가장 가까운 첫 번째 급기구에서 유속이 pipe network 값이 수치해석 값에 비해 2.4% 높은 값을 보였다. 본 연구에서 사용한 Pipe network는 관의 조도, 마찰계수, 높이, 공기의 온도와 온도에 따른 물성치 등을 계산 하였으나 그 외 파이프 형상에 따른 영향 및 압력손실에 영향을 줄 수 있는 현상에 대한 고려가 미비하다. 따라서 이러한 제한을 고려하여 사용시 향후 시스템 설계에 유용하게 활용 될수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

비상 피난지원 시스템 급기 시스템 설계시 급기구의 크기가 내부 유동에 미치는 여향을 수치해석적 방법으로 분석하였으며 결론은 다음과 같다.

(1) 급기구를 통한 급기 유량 분포와 차연막에서 압력 분포를 균일하게 하기 위해서는 10 mm 크기로 급기구 타공이 요구된다.

(2) 급기구의 부차손실 계수 K 는 급기구 크기가 10 mm 일 경우 K=1.5로 향후 다양한 길이와 형태의 비상 피난지원 시스템 설계시 이를 활용 하면 유용 할 것으로 판단된다.

References

[1] Dong Gyun Park, "The failure of Emergency Management System and It's Implication of the Multi-Utilization Facilities Fire Model - with the Case of Seomun Market Fire", *Journal of the Korean Urban Management Association,* 19(1), pp 201-217, 2006. DOI: https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.5.626

[2] Sungyong Bae, Kyoung-Chul Ro, Hong Sun Ryou, "Numerical Study on the Effect of Fire Growth on the Evacuating Characteristics in the Carriage Fire", *In: Proceedings of 2009 Autumn Annual Conference,* The Korean Society for Railway, pp. 881-886, 2009.

[3] Yong Jun Jang, Won-Hee Park, Woo-Sung Jung and Chang Hyun Lee, "The Comparative Analysis of Passenger Evacuation Results Using CFAST and FLUENT", *Proceedings of 2007 Autumn Annual Conference, The Korean Society for Railway,* pp. 1348-1355 2007.

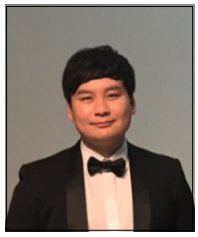
[4] Chan sol Ahn, "A Study for Estimation of Ventilation Capacity of Large Enclosure Considering Evacuation", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation,* 12(5), pp 7-12, 2012. DOI: https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2012.12.5.007

[5] JiTae Kim, Kun Hyuk Sung, Park Won Hee, Lee Duck Hee, Woo Jun You, Kyoung-Chul Ro. "Influence of the Fire on Emergency Evacuation Support System", *Journal of the Korea Academia-Industrial,* 19, pp 626-631, 2018. DOI: https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.5.626

[6] I. E. Idelchik, G. R. Malyavskaya, O. G. Martnrnko and E. Fried. "Handbook of hydraulic resistance, 2nd ED", pp 1-52, 1986. DOI: https://doi.org/10.1115/1.3264907

[7] Kim, H. J., & Park, J. P. Assessment of CFD Estimation Capability for the Local Loss Coefficients of Sudden Contraction and Expansion. Applied Chemistry for Engineering, 21(3), pp 258-264, 2010

김 지 태(Ji Tae Kim) [준회원]



- 2015년 3월 : 중앙대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 중앙대학교 일반 대학원 기계공학과

〈관심분야〉
전산유체, 화재, 혈류역학

박 원 희(Won-Hee Park) [정회원]

- 2000년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 기계공학부 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

〈관심분야〉
철도 방재 및 화재 열유체

이 덕 희(Duck-Hee Lee) [정회원]

- 1997년 8월 : 연세대학교 본대학원 물리학과(이학석사)
- 2016년 8월 : 연세대학교 본대학원 기계공학과(공학박사)
- 1997년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

〈관심분야〉
철도 방재 및 화재 열유체

노 경 철(Kyoung-Chul Ro) [정회원]

- 2001년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2009년 8월 : 중앙대학교 일반대학원 기계공학부 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 2011년 8월 : 중앙대학교 기계공학부 연구교수
- 2011년 9월 ~ 현재 : 동양대학교 철도차량학과 조교수

〈관심분야〉
전산유체, 열전달, 화재해석, 혈류해석