

폐기물 처리시설 홍보실내 화재 및 피난에 관한 연구

이재영* · 전용한**

*상지대학교 부동산학과 · **상지대학교 소방공학과

A Study on Fire and Evacuation in the Public Relations Room of Waste Treatment Facilities

Jae-Young Lee* · Yong-Han Jeon**

*Department of Real Estate, Sangji University

**Department of Fire Protection Engineering, Sangji University

Abstract

The public relations room of the waste disposal facility is a space that can be visited by a large number of unevaluated personnel. Therefore, it is essential to design against fire, and research on fire and evacuation is essential. In this study, in order to evaluate the safety of the occupants in the event of fire and evacuation based on the life safety standards of occupants, the increase in risk due to heat, visible distance, and toxic gases on a plane 1.8m from the floor, which is the limit of breathing of the evacuee, over time. It was analyzed by location. As a result, the RSET of the P-01 exit was 93.0 seconds and the ASET was 272.6 seconds, the RSET of the P-02 exit was 45.8 seconds, the ASET was 147.7 seconds, the RSET of the P-03 exit was 106 seconds, and the ASET was 182.9 seconds.

Keywords : Fire, Evacuation, RSET, ASET

1. 서론

폐기물 처리시설은 상주하는 인원은 적으나 홍보실에는 불특정 다수의 인원이 방문할 수 있는 공간으로 반드시 화재에 대비한 시설들이 설치되어 있어야 하며, 또한 화재 및 대피에 대한 연구가 반드시 필요하다. 폐기물 처리시설의 화재 연구는 화재시를 대비한 공학적인 분석기법이 필요하며 이를 위해 연기를 비롯한 다양한 가스에 대한 유동 해석을 통한 위험도를 평가하여 피난 대책 수립에 반영하여 인명과 재산 피해를 최소화할 수 있게 된다. 화재 분석 및 원인을 파악하는데 실제상황에 맞는 크기로 실험을 하는 것이 가장 바람직하지만 예산 및 시간의 제약뿐만 아니라 국소적인 정보에 대한 획득만 가능하다. 이러한 연구는 국내외적으로 진행중에 있으며 Yoo(2015) 등은 정량적 위험도 평가를 위한 시나리오 구축시 제반인자가 화재안전성에 미치는 영향을 분석하였으며¹⁾, 또한 Poon(2014) 등은 ASET, REST의 방법론에 대한 검토 및 시간 경과에

따른 공간의 유용성을 기반으로 화재 안전평가를 실시하는 연구를 진행하였다.

하지만 폐기물 시설내에 대한 연구가 아직 진행한 바가 없어 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 화재 확산 및 피난 특성을 파악하여 폐기물 처리시설 홍보실 설계에 반영하도록 분석데이터를 제공하고자 한다.

2. 판정 기준

2.1 화재 시뮬레이션 평가 방법

건축물의 화재시 재실자들이 피난할 수 있게 적용되고 있는 인명안전기준은 <Table 1>에 나타내었으며, 화재로 인한 건물 내부에 있는 재실자들의 위험도 상승 원인은 총 3가지로 열과 가시거리 및 독성가스로 구분할 수 있다. <Table 1>에 나타난 재실자의 인명안전기준을 토대로 화

[†]Corresponding Author : Yong-Han Jeon, Fire Protection Engineering, Sangji University, 83 Sangjidaegil, Wonju, Gangwondo, E-mail: kcv76@hanmail.net

재 및 대피시 재실자의 대피 안전성을 평가하기 위해 대피자의 호흡 한계선인 바닥으로부터 1.8m 평면에 대해 열, 가시거리, 독성가스에 의한 위험도 증가를 시간에 따라 위치별로 분석한다.

분석된 위험도는 인명안전기준에서 제시된 내용과 비교하여 허용기준치를 초과하는 경우 해당 위치는 위험한 지역으로 판단하게 되며 그 시간을 해당 위치에 대한 피난 허용시간(ASET : Available Safe Egress Time)으로 판단하며, 본 연구에서는 열에 의한 영향, 가시거리에 의한 영향, CO에 대한 위험도를 평가한다.

<Table 1> Safety standards of an evacuationist

Performance standards		
Respiratory limit line	Based on 1.8m floor	
Effects of heat	Below 60° C	
Effects of visible distance	Uses	Allowed distance limit
	Other facilities	5m
	Meeting facilities Sales facilities	10m
Effects of Toxic	ingredient	Toxicity reference value
	CO	1,400ppm
	HCN	80ppm
	O2	More than 15%
	CO2	Less than 5%

화재해석 시뮬레이션 평가 프로그램은 설정된 위치의 위험요인을 정해진 시간에 따라 출력하는 기능을 포함하고 있다. 그러나 이러한 출력데이터를 해당 위치에서의 위험값으로 판단하는 것은 실제 대피자의 호흡간격을 고려하지 않았으며 화재의 특성으로 인해 유동성(fluxional)이 커짐에 따라 실제 대피자의 위험도를 과대나 과소평가할 우려가 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 대피자의 호흡 간격을 고려한 분석을 실시하였다.

2.2 피난 시뮬레이션 평가 방법

피난 중에 나타나는 거주자의 이동을 예측하는 것은 성능 위주의 건축물 화재안전 분석 방식에 있어 핵심적 측면이다. 이러한 피난은 아래와 같이 다양한 요인에 의해 대피가 지연되며 이로 인해 최종적인 피난 소요시간(RSET : Required Safe Egress Time)이 증가하게 된다. 국내

에서는 감지, 통보, 조치, 피난개시에 대한 지연 시간(Delay time to start)을 건축물의 용도에 따라 구분하였다. 그러나 본 피난 시뮬레이션에서 수행하는 평가 직접 중 화재실의 경우 재실 특성상 화재상황을 재실자가 직접 인지하여 대피할 수 있으므로 통보, 조치, 피난개시에 대한 지연시간이 발생하지 않는다. 따라서 화재안전성 평가시 화재실의 경우 재실자의 대피 지연시간을 화재 감지기의 감지시간으로 고려하며 화재실 이외의 지역에 대해서는 산업건물의 특성을 감안하여 화재 감지기의 감지시간과 추가로 1분의 지연시간을 적용하여 피난 시뮬레이션을 실시하며 최종적인 피난 소요시간을 산정한다.

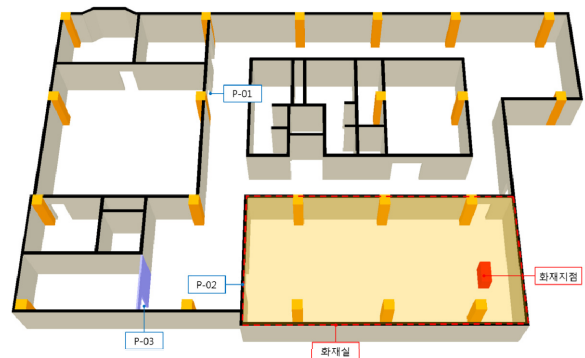
2.3 피난 안전성 평가 방법

방재 설계의 최종적 목표는 대상 건축물에서 화재 발생시 연기 등으로 인한 피해가 발생하기 이전에 건축물 내 모든 재실자가 설계된 안전한 장소로의 피난이 가능하도록 함에 있다.

이러한 방재 설계의 평가는 기본적으로 화재 발생 후 건축물 내부의 재실자들이 위험한 상황에 도달하게 되는 시간과 재실자들이 피난을 완료하는데 필요한 시간과의 비교를 통해 이루어지게 된다. 여기서 거주자들이 대상공간에서 피난을 완료하는데 필요한 최소피난요구 시간을 RSET(Required Safe Egress Time : 피난 소요시간)이라 하며, 화재로 인하여 위험에 도달하게 되는 시간을 ASET(Available Safe Egress Time : 피난 허용시간)이라 한다. 방재 설계의 목표달성은 RSET이 ASET 이하가 되는 경우로 판단하며, 만약 그 반대라면 대상 건축물의 피난안전성능은 확보되지 못한 것으로 판단한다.

3. 수치해석 결과 및 분석

3.1 화재 시뮬레이션



[Figure 1] Underground pump room analytical and grid shapes

[Figure 1]에 화재시뮬레이션 모델링을 나타내었다. 해석대상인 홍보실의 제원은 32.8m × 21.2m × 4.2m이며, 재실자의 호흡선을 평균 높이인 바닥에서 1.8m 상부에서 위험도를 평가하였다. P-01 ~ P-03는 피난구로 설정하였으며, 각각의 위치에서 호흡간격을 고려하여 온도 및 가시거리 및 일산화탄소 농도에 대한 수치해석 분석을 하였다.

‘소방시설등의 성능위주 설계 방법 및 기준 시행령 별표1’에 인명안전기준이 제시되어 있으며 본 연구에서는 성능기준 수치에 도달하였을 때 위험한 것으로 판단하였다. 또한 출구마다 분석된 위험요소로 허용한계시간을 계산하여 산출하였으며 허용한계시간에서 출구마다 시간을 평가하여 가장 보수적인 데이터를 출구에 대한 피난 허용시간(ASET : Available Safe Egress Time) 으로 판단하였다. 시뮬레이션 설정에 대한 데이터는 <Table 2>에 나타내었다.

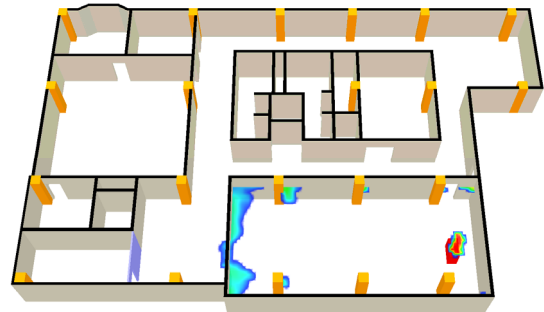
<Table 2> Fire Simulation Settings Data

Analysis grid number	270,984	
	Multi mesh(164×106×15+24×71×6)	
Grid resolution	δx : 20cm	
	$D^*/\delta x$: 7.73	
Initial temperature	20°C	
Ignition material	Red Oak(CH1.700.72N0.01)	
Fire scenario	Fire due to overheating of electronic devices	
Maximum calorific value	3,300kW	
CO generation fraction	0.004 kg/kg	
Smoke generation fraction	0.015 kg/kg	
Disaster prevention equipment	sensor	Smoke detector (evacuation delay time calculation according to detection)
	Sprinkler	Non-operation (considering the worst condition)
	Ventilation equipment	Non-operation (considering the worst condition)

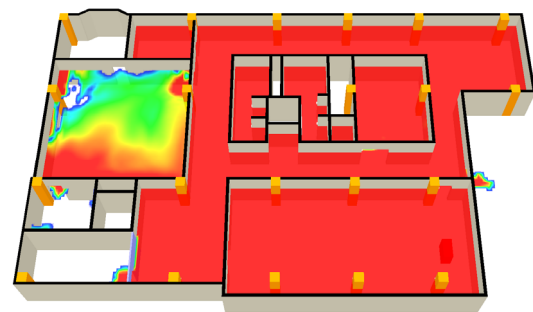
3.2 화재 시뮬레이션 결과

FDS를 이용한 홍보실 화재 시뮬레이션 결과는 가시거리, 온도, CO농도에 대한 결과 및 그래프를 나타내었다. 또한 그래프에 한계선을 표시하였으며, P-01 ~ P-03의

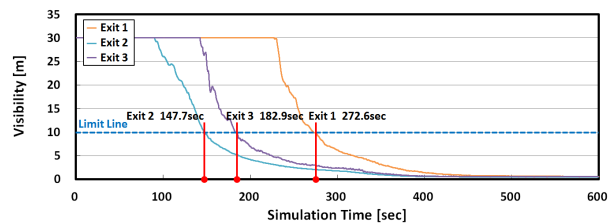
피난구별 허용한계시간을 계산하여 표시하였다.



[Figure 2] Distribution of visible distance (After 100s)



[Figure 3] Distribution of visible distance (After 400s)

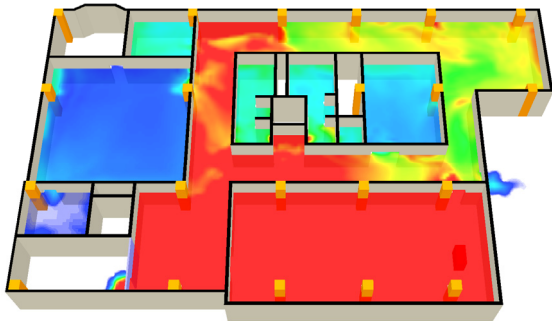


[Figure 4] Safety assessment. over time(visibility)

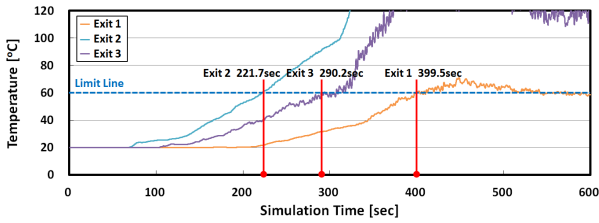
<Figure 2> ~ <Figure 4>에는 가시거리에 따른 안전성 평가 결과를 분석하여 나타내었다. 화재실내에 있는 피난구인 P-02 지점과 피난구인 P-01 지점은 화재가 발생하고 각각 147.7초, 272.6초 이후 위험할 것으로 예측되었으며, 최종 피난구인 P-03 지점에서는 182.9초 이후부터 위험할 것으로 예측되었다.



[Figure 5] Distribution of Temperature (After 100s)

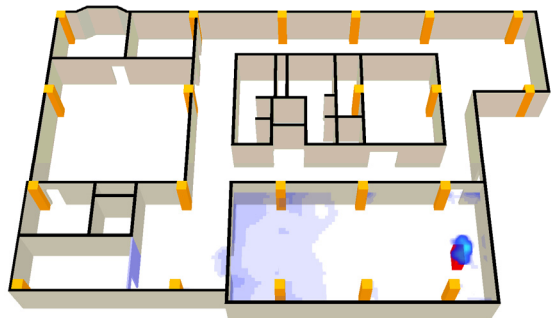


[Figure 6] Distribution of Temperature (After 400s)

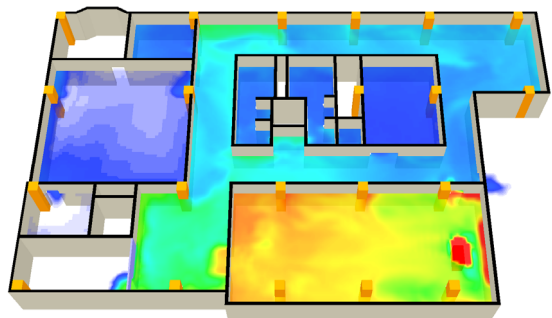


[Figure 7] Safety assessment. over time(Temperature)

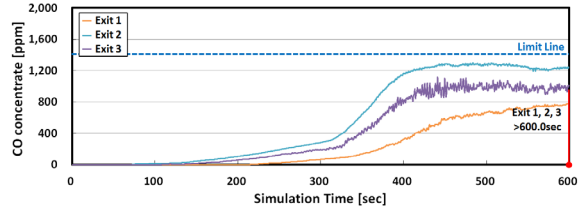
<Figure 5> ~ <Figure 7>에는 온도분포에 따른 안전성 평가 결과를 나타내었으며, 화재실내에 있는 피난구인 P-02 지점과 피난구인 P-01 지점은 화재가 발생하고 각각 221.7초, 290.2초 이후 위험할 것으로 예측되었으며, 최종 피난구인 P-03 지점에서는 399.5초 이후부터 위험할 것으로 예측되었으므로 최소 위험온도에 도달하기 전의 시간까지는 각 피난구 장소를 벗어나야 함을 알 수 있다.



[Figure 8] Distribution of CO concentrate (After 100s)



[Figure 9] Distribution of CO concentrate (After 400s)



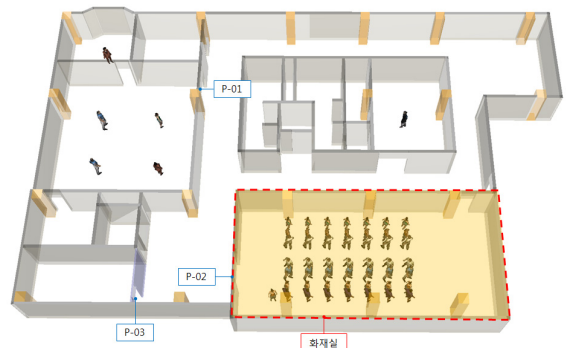
[Figure 10] Safety assessment. over time(CO concentrate)

<Figure 8> ~ <Figure 10>에 일산화탄소 농도 분포에 따른 안전성 평가 결과를 나타내었다. 피난구인 P-01, P-02, P-03지점 모두에서 일산화탄소 위험 농도에는 미치지 않는 것으로 예측되었다.

<Figure 5> ~ <Figure 10>의 결과를 비교해 볼 때 가시거리 분포가 허용한계시간에 가장 빠르게 도달한 것으로 나타났으며, 이는 일반적인 화재에서 볼 수 있는 형태로 연기의 발생분율이 크게 나타나고, 확산속도가 연기가 빠르게 가장 빠르게 진행됨이 때문이다. 특히 일산화탄소의 농도는 발생분율이 다른 변수들에 비해 낮아 60°C(온도의 허용한계인)까지 도달하는 시간이 늦게 진행되어 모든 장소에서 위험농도에 도달하지 않았다. 따라서 본 연구는 대피자들의 위험성을 판단하기 위한 요소는 연기에 의한 가시거리 분포에 따른 안전성 평가를 실시하였다.

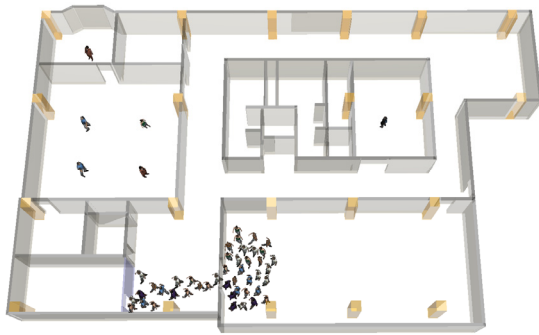
3.3 피난 시뮬레이션

본 연구는 피난 해석을 위해 pathline 피난시뮬레이션을 통해 해석을 실시하였으며, <Figure 11>에 나타내었듯이 피난인원은 총 56명으로 설정하였으며, 대상은 홍보실로 하였다. 화재실은 재실 특성상 화재상황을 재실자가 직접 인지하여 대피할 수 있으므로 통보, 조치, 피난개시에 대한 지연시간이 발생하지 않으므로 감지기 감지 후 즉시 피난하는 것으로 설정하였다. 또한 비화재실은 감지기 감지후 피난지연시간 1분으로 적용하여 피난하는 것으로 설정하였다.



[Figure 11] Model of analysis and personnel placement

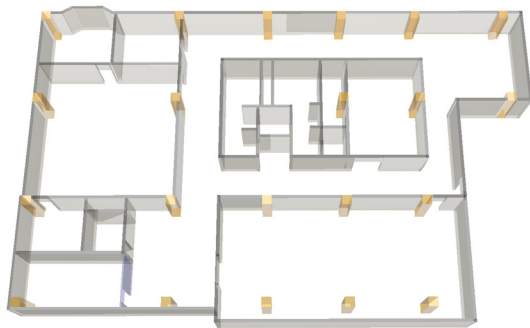
3.4 피난 시뮬레이션 결과



10s after the evacuation



70s after the evacuation



End of evacuation(80.7 s)

[Figure 12] Result of evacuation simulation

<Figure 12>에 나타내었듯이 피난은 80.7초에 완료되었으며 중앙제어실피난구(P-01) 피난시뮬레이션 결과 67.3초, 감지시간은 25.7초, 피난소요시간(RSET)는 93.0초로 나타났으며 화재실피난구(P-02)은 피난시뮬레이션 결과 20.1초, 감지시간은 25.7초, 피난소요시간(RSET)는 45.8초로 나타났다. 마지막인 최종피난구(P-03)에서는 피난시뮬레이션 결과 80.7초, 감지시간은 25.7초, 피난소요시간(RSET)는 106.4초로 나타났다. 각각의 피난구에서는 피난허용시간을 하회하여 홍보실 화재의 경우 피난 안전성이 확보됨이 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 폐기물 처리시설 홍보실의 화재 발생에 대비하여, 화재 및 피난에 대한 시뮬레이션을 통해 관계자료 검토 및 화재안전성평가를 수행하였다. 홍보실 화재 대한 안전성 평가를 통하여 화재 발생시 재실자들의 피난에 대한 안전성 여부를 <Table 3>과 같이 분석한 결과, 피난소요시간이 피난 허용시간을 초과하지 않는 것으로 분석됨에 따라 화재 발생시 재실자의 피난 안전성능이 확보되는 것으로 평가되었다.

<Table 3> Safety evaluation by evacuation area

피난구	RSET	비교	ASET
P-01	93.0s	<	272.6s
P-02	45.8s	<	147.7s
P-03	106s	<	182.9s

이러한 안전성에 대한 평가는 소방시설들이 미작동한다는 가정하에 진행한 종합안전성평가한 것으로 실제 화재 발생시에는 소방설비의 연계로 보다 원활한 피난안전성능이 확보될 수 있음을 의미한다.

5. References

- [1] E. Ronchi, P. Colonna(2012), "The evaluation of different evacuation models for assessing road tunnel safety analysis." *Tunnelling and Underground Space Technology*, 30(1):74-84.
- [2] J. O. Yoo(2015), "A study on evacuation characteristic by cross-sectional areas and smoke control velocity at railway tunnel fire." *Journal of Korean Tunnel Underground Space Association*, 17(3):215-226.
- [3] J. S. Roh, H. S. Ryou(2009), "CFD simulation and assessment of life safety in a subway train fire." *Tunnelling and Underground Space Technology*, 24(4):447-453 .
- [4] K. B. McGrattan(2010), *Fire dynamics simulator version 5 user's guide*. National Institute of Standards and Technology, USA.
- [5] L. Qu, W. K. Chow(2013), "Common practices in fire hazard assessment for underground transport stations." *Tunnelling and Underground Space*

Technology, 38(1):377-384.

- [6] P. Abolghasemzadeh(2013), "A comprehensive method for environmentally sensitive and behavioral microscopic egress analysis in case of fire in buildings." Safety Science, 59(1):1-9.
- [7] P. J. DiNenno(2008), The SFPE handbook of fire

protection engineering (4th ed). National Fire Protection Association, USA.

- [8] S. L. Poon(2014), "A dynamic approach to ASET/RSET assessment in performance based design." Procedia Engineering, 71(1):173-181.

저자 소개



전용한

현재 상지대학교 소방공학과 부교수로 재직 중.
관심분야 : 열전달, 수치해석, 화재 및 피난



이재영

현재 상지대학교 부동산학과 부교수로 재직 중.(건축사)
관심분야 : 건축계획 및 설계, 건설 안전, 건축 환경