

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.4.479

JCCT 2023-7-57

공장 작업대 배치 형태에 따른 RSET 분석

RSET Analysis of Factory Workbench Layout Configuration

장우기*, 장덕진**, 공하성***

WOO-GI JANG*, DEOK-JIN JANG**, HA-SUNG KONG***

요약 화재 발생 빈도는 높으나 인명 피해보다 재산 피해에 초점이 맞추어져 있으며 동시에 피난 시뮬레이션이 성능 위주설계를 하는 특정소방대상물을 중심으로 이루어지는 현실 속에서 소규모 공장은 피난 안전 연구의 사각지대에 존재한다. 또한, 기존의 연구에서 제시하는 방법들은 안전을 개선하는 데 큰 시설·설비 및 구조의 변화를 요구한다.

이 연구에서는 피난 시뮬레이션을 통해 공장 작업대의 위치 변화만으로 RSET이 달라지며 대피 가능 여부에도 차이가 있음을 밝혀냈다. 작업대를 세로 형태로 배치하는 것이 가로 형태 배치 대비 이동 거리를 줄여 RSET을 줄임에 알 수 있으며 가장 RSET이 짧은 것은 '세로-가로'의 복합형이었다. 연구 결과는 예산 등의 제약으로 필수적 안전 설비를 제외한 추가적 투자가 어려운 소규모 공장에서 RSET을 줄일 수 있는 실용적 대안을 제시했다는 점에서 의의가 있다.

주요어 : 피난시뮬레이션, 공장화재, RSET, 피난안전성, 패스파인더

Abstract Although fire incidents occur frequently in factory buildings, the focus has primarily been on property damage rather than human casualties. In this study, we conducted an analysis of RSET(Required Safe Egress Time) variation by examining the relocation of workbenches using evacuation simulations.

The results demonstrated that a simple change in workbench placement led to different RSET and variations in the feasibility of evacuation. Specifically, arranging workbenches in a vertical configuration reduced travel time for workers and minimized total evacuation time. The hybrid layout of "vertical-horizontal" exhibited the shortest RSET, while the "horizontal-vertical" configuration resulted in the longest RSET. These research findings are significant as they provide practical alternatives to decrease RSET in small-scale factories where additional investments beyond essential safety equipment may pose challenges due to budget constraints. However, it is important to note that this study solely focused on comparing RSET while controlling for all other factors, without considering real-life fire simulations. Therefore, further research is necessary to integrate fire simulations and conduct comprehensive assessments of evacuation safety.

Key words : Evacuation simulation, Factory fire, RSET, Evacuation safety, Pathfinder

1. 서론

국가화재정보 시스템의 화재통계자료에 따르면 2021년

한해 화재 발생 건수가 초등학교·중학교·고등학교·대학교 등 학교는 190건, 백화점·쇼핑센터·전통시장 등의 판매시설은 953건, 금융기관·오피스텔·일반빌딩 등 일반

*정회원 우석대학교 소방·안전공학과 석사과정 (제1저자)

**정회원 우석대학교 소방방재학과 박사과정 (제2저자)

***정회원, 우석대학교 소방방재학과 교수 (교신저자)

접수일: 2023년 5월 3일, 수정완료일: 2023년 5월 21일

게재확정일: 2023년 7월 1일

Received: May 3, 2023 / Revised: May 21, 2023

Accepted: July 1, 2023

*Corresponding Author: 119wsu@naver.com

Dept. of Fire and Disaster Prevention, Woosuk Univ, Korea

업무시설은 1,012건, 공장화재는 2,323건으로 나타났다 [1]. 이처럼 학교, 판매시설, 일반업무시설 등과 비교 시 공장은 화재 발생 빈도가 높은 위험 요관리 시설로서 단순 산술로 화재 발생이 학교 대비 12배, 판매시설 대비 2.4배 일반업무시설 대비 약 2배 높게 나타났다.

우리나라에서 제조업은 전체 GDP의 27.5를 차지하는 중추적인 역할을 담당하며 경제성장의 바탕이 되어 왔다[2]. 그러나 일반 화재와 달리 공장화재의 경우 인적 피해 발생 비중은 적고 물적 피해가 막대한 특성으로 피난에 대한 고려가 적어 인식 전환 및 대책이 필요하다.

최근 다수 사상자가 발생한 공장화재 사례를 분석한 이의평(2019)의 연구에 따르면 공장화재는 전체 화재 평균 대비 물적 피해가 5배 이상으로 크며 사상자는 적은 특징을 보이지만 다양한 안전 관리가 부재할 시 다수의 사상자가 보이는 것을 사례 분석을 통해 제시했다. 여기에서는 경보설비의 기능 정지와 정전, 소방시설 관리 및 소방안전 관리의 복합적 부재 외 총 8가지의 요인이 다수 사상자의 원인으로 지적했다[3].

공장화재 발생 후 사상자를 줄이기 위해서는 철저한 2차 사고의 예방적 대책들이 필요한데 기존의 공장화재 연구에서는 예방적 대안에 대한 제안으로 설비 및 구조 측면에서의 방법을 제시했다. 첫째, 설비 측면에서 오찬욱 외 2인(2019)은 공장화재와 관련해 공장에서 생산하는 물품의 위험성에 따른 정확한 살수 면적 산정으로 스프링클러 설비 설치할 것을 주장했다[4].

둘째, 구조 측면에서 이동혁 외 1인(2018)은 모든 건축물에 적용되는 내화구조의 높이인 6m를 화재 규모에 따라서 충분히 높여 적용하는 것이 필요하며, 이를 통해 공장화재 시 시설물의 붕괴 방지로 발생할 수 있는 2차 사고를 예방할 수 있다고 제안한다[5].

재난의 주요 특징은 재현 불가능성에 있으며 이에 여러 명의 사상자가 나오는 화재 상황을 예방하고 대비하기 위해서는 시뮬레이션 등을 활용한 가상 시나리오를 활용한 방법이 유용하게 활용될 수 있다.

그러나 현행 법률에서는 성능위주설계를 진행하는 경우에서만 피난 시뮬레이션에 대해 안내하며 실제 현장에서의 적용 역시 마찬가지이다. 성능위주설계를 하여야 하는 특정소방대상물은 연면적 200,000m² 이상의 특정소방대상물·건축물의 높이가 100m 이상인 특정소방대상물·지하층을 포함한 층수가 30층 이상인 특정소

방대상물·철도 및 도시철도 시설·공항시설·영화상영관이 10개 이상인 특정소방대상물·지하 연계 복합건축물에 해당하는 특정소방대상물로[6] 공장의 경우 연면적 200,000m²를 넘지 않는 경우가 많고 이로 인해 특히 가장 많은 비중을 차지하는 소규모 공장의 경우 화재 피난 및 대비의 사각에 존재하고 있다.

이 연구에서는 현재 우리나라에서 가장 큰 비중을 차지하는 2층 이하의 소규모 공장 1개소를 모델로 선정하여 피난 시간을 많이 확보하여 안전을 추구하는 방법을 모색하고자 한다. 소규모 공장의 경우 예산을 비롯한 현실적 제약으로 인하여 시설, 설비 및 구조의 측면에서의 크나큰 전환에 어려움이 있다. 이에 피난 장애물에 해당하는 ‘작업대’의 위치 변화에 따른 RSET의 변화를 시뮬레이션 기반으로 분석하고, 이를 바탕으로 시설, 설비 및 구조의 변화 없이 기구의 단순 배치 형태에 따라서도 충분히 화재로부터 사상자를 줄이는 여유 피난 시간을 보다 확보할 수 있음을 알아보고자 한다.

II. 피난 시뮬레이션

1. 피난 시뮬레이션

피난 시뮬레이션은 건축물의 화재로부터 피난안전계획을 수립하고 설계의 대안을 찾기 위하여 미국 국립표준사무국에서 1970년대 시작한 것이 그 원류이다[7]. 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 모델 개발을 진행한 것이 현재까지 이어져 오고 있으며 국내에서는 1995년 영국에서 개발된 ‘Simulex’가 도입되며 시뮬레이션이 본격화된 이래, 화재시뮬레이션과 피난시뮬레이션을 결합하여 RSET(필요피난시간)과 ASET(허용피난시간)을 비교하는 피난 안전성 평가가 이루어 지고 있다.

2. 필요피난시간

필요피난시간(Required Safe Egress Time)은 화재를 인지한 직후부터 피난을 개시하고 피난을 완료한 시간까지 소요되는 총 피난 시간을 의미하는 개념으로 ‘RSET’이라고 불린다.

RSET에 영향을 미치는 요인에는 화재가 발생한 해당 건축물의 특성, 피난에 참여하는 건축물 사용자의 특성, 수용인원 및 밀도, 피난 경로, 피난 장애물, 경보 방식 등이 있다. 연구에서는 이 중 다른 조건들을 모두

통제조건으로 같게 설정하고 ‘피난 장애물’에 해당하는 공장 작업대의 배치 변화에 따른 피난 속도 변화에 초점을 맞추어 시뮬레이션을 진행했다. 즉, RSET에 영향을 미치는 인자 중 피난 장애물의 배치에 따른 차이점을 분석하여, 대규모 시설·설비·구조의 변화가 아닌 단순한 공간 배치 차이가 RSET에 영향을 미치는지에 대해 공학적 분석으로 알아본다.

3. 시뮬레이션 프로그램

피난 시뮬레이션을 하기 위한 프로그램 중 국내에서 많이 활용되는 프로그램은 Simulex, Building EXODUS, Pathfinder 등이 존재한다.

연구에서는 공간 반영방법에서 연속공간형이며, 피난 행동이 조건부 개인인 ‘Thunderhead Engineering’社의 ‘Pathfinder 2023.1 Version’을 활용하여 시뮬레이션을 진행했다. Pathfinder는 독성 정보를 단독 프로그램으로서는 반영하지 못한다는 단점이 있어 실제 피난안전성 평가에서는 Pyrosim을 비롯한 화재시뮬레이션에서 독성 정보를 넣어주어야 한다.

이 연구에서는 피난 안전성 평가가 아닌 단순 RSET 차이만을 분석하고자 하므로 시뮬레이션에서 공장에서 연소하는 물질을 가정하지 않은 한계가 존재한다.

III. 연구 방법

연구에서는 소방청 고시 행정규칙인 ‘소방시설 등의 성능위수설계 방법 및 기준’의 [별표 1]에서 제시하는 화재 및 피난 시뮬레이션의 시나리오 작성 기준에 따라서 시나리오를 작성했다. 또한, 피난 가능 시간의 기준은 최악의 상황을 고려하며 고시 속 표준 기준을 적용하여 ‘화재경보 신호를 이용한 경보설비와 함께 비 훈련 직원을 활용한 경우’로 지정, 4분 이하로 대피하면 피난 가능 시간 기준에 부합하는 것으로 설정했다[8].

1. 건물 사용자 특성

분석 도구인 Pathfinder 피난 시뮬레이션의 입력변수는 보행속도, 키, 어깨너비이다. 연구에서는 실제 공장에서 근로하는 사람들의 인적 사항을 ‘연령 및 성별’을 기준으로 조사한 후 국가기술표준원의 ‘한국인 인체치수조사’ 자료를 참고하여 키, 어깨너비의 평균값으로 설정하여 입력했다[7]. 또한, 해당 근로자들의 보행속도는

박세진 외 6인(2007)의 연구에 근거하여 입력했으며, 연구에 적용된 건물 사용자 특성 종합은 <표 1>과 같다 [8].

표 1. 근로자의 신체적 특성 및 보행속도
 Table 1. Physical Characteristics and Walking Speed of Workers

Ages	Gender	Height (cm)	Shoulder Width(cm)	Walking Speed(m/s)	Number of workers
20s	Woman	162.4	39.7	1.35	10
	Man	175.3	44.2	1.49	1
30s	Woman	162.7	39.5	1.35	20
	Man	175.8	44.4	1.49	4
40s	Woman	161.2	38.9	1.41	28
	Man	173.8	43.1	1.41	3
50s	Woman	157.9	37.9	1.41	22
	Man	170.6	41.8	1.41	0

2. 피난 시뮬레이션 적용 대상(실크기)

연구에 활용된 시설은 전라북도에 있는 제조공장 A로 우리나라에서 가장 많은 단독 2층 형태의 공장이다. 연면적은 7,128㎡, 건축면적은 3,564㎡이다. 실제 공장에서는 2층을 창고로 사용하고 있었으며 사람들은 1층에서 모든 작업환경을 갖추어 활용하고 있었다. 이에 연구에서는 지상 1층에 있는 7개의 작업장, 1개의 관리실 및 복도를 기준으로 연구를 진행했다. 건물 1층의 평면도는 <그림 1>과 같다.

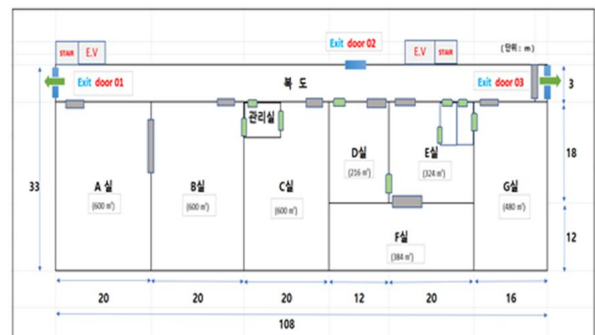


그림 1. 건물 평면도
 Figure 1. Building floor plan

건물에는 길이 108m, 폭 3m의 복도가 있으며 복도의 양 끝단에는 건물의 양쪽으로 탈출할 수 있는 비상출입문이 존재한다.

3. 사용자의 수와 장소(작업장 및 관리실)

작업장과 관리실에 따른 근로자의 실제 배치 현황을 살펴보면 다음과 같다. 건물 1층 공간에 있는 7개의 작업장(A실~G실)과 관리실 1개에 총 근로자 88명이 근무하는 환경으로 A실 10명, B실 10명, C실 15명, D실 10명, E실 8명, F실 3명, G실 30명 그리고 관리실 2명이다. 각 실별 근로자의 배치표는 <표 2>와 같다.

표 2. 장소에 따른 근로자의 배치 현황
Table 2. Actual worker placement by work location

Category	Room 'A'	Room 'B'	Room 'C'	Room 'D'	Room 'E'	Room 'F'	Room 'G'	Mgmt Office	Sum
Woman	8	7	14	10	8	3	29	1	80
Man	2	3	1	0	0	0	1	1	8
Total	10	10	15	10	8	3	30	2	88

4. 기타 조건

피난 시뮬레이션을 적용하기 위한 다른 조건들을 살펴본 후 종합적인 요인의 가감 결과 기본값을 적용했다. 다음은 피난 시뮬레이션에 설정해야 할 기타 조건이다.

첫째, 공장 내 발화 가능성과 위험물질은 다음과 같다. 실제 공장에서는 상자를 적재하여 팔레트에 옮기는 작업이 주로 이루어지고 있다. 따라서 플라스틱으로 된 상자 및 팔레트에서 유독 가스가 발생할 확률이 있다.

둘째, 환기 조건으로는 별도 제연설비가 존재하지 않는 자연 급·배기 상황을 가정했다.

셋째, 시나리오에 작용할 공장 내 발화원과 장소는 실제 공장에서 화재 가능성이 있는 충전식 전동 핸들카를 선정하였다. 복도에 거치되며 필요에 따라 복도를 오가며 상자를 옮기는 데 활용하는 충전식 전동 핸들카 내부의 배터리 부분의 스파크로부터 발생한 화재 상황을 고려하고 이에 따라 피난하는 것을 가정했다.

넷째, 공장 근로자의 경우 해당 장소에 대해 불특정한 인원이 아닌 실제 장기간 근무하여 공장의 지리에 대해서 밝은 편으로 일반적 화재 상황보다 피난 시간이 빠를 것으로 가정하였다. 이를 바탕으로 종합적으로 '기본값'을 적용했다.

5. 피난 시나리오

소규모 공장 건물의 1층 작업장의 작업대 배치 형태에 따라 실제 근무하는 근로자 88명의 RSET 변화 여

부가 있는지에 대해 알아보기 위해 <표 3>과 같이 시나리오 1~4를 구성했다.

표 3. 시나리오 구성
Table 3. Composition of scenario

Scenario	Workbench Layout	Evacuation Participation
1	Horizontal Direction	Woman: 88 Man: 8 Total: 88
2	Vertical Direction	
3	Horizontal-Vertical Direction	
4	Vertical-Horizontal Direction	

화재 발생은 <그림 2> 복도의 '출입문 2' 부근에서 화재가 발생·확대되는 상황을 가정하였으며 피난 방법은 수평적 피난로인 복도 공간을 지나 건물 양쪽에 있는 비상 출입문을 최종 피난구로 대피하는 것으로 정했다.

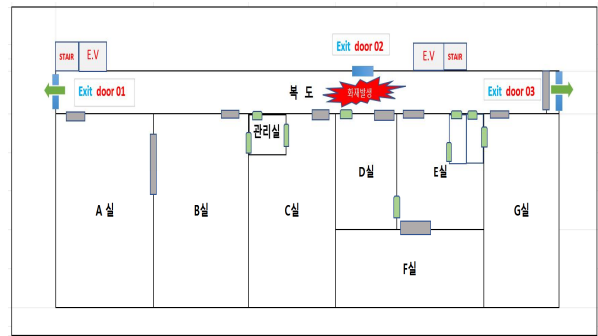


그림 2. 화재 발생 지점
Figure 2. Outbreak of fire

1) 시나리오 1

근로자 88명을 대상으로 1층 작업장의 작업대 배치 형태가 '가로 방향'일 때를 가정하여 <그림 3>의 시나리오 도면을 구성하였다. 출입문 2 부근에서 화재가 발생한 후 확대되는 가상 상황으로 출입문 1과 출입문 3을 피난 시뮬레이션의 최종 피난구로 지정했다.

2) 시나리오 2

근로자 88명을 대상으로 1층 작업장의 작업대 배치 형태가 '세로 방향'일 때를 가정하여 <그림 4>의 시나리오 도면을 구성하였다. 출입문 2 부근에서 화재가 발생한 후 확대되는 가상 상황으로 출입문 1과 출입문 3을 피난 시뮬레이션의 최종 피난구로 지정했다.

3) 시나리오 3

근로자 88명을 대상으로 1층 작업장의 작업대 배치 형태가 '가로-세로 방향'일 때를 가정하여 <그림 5>의 시나리오 도면을 구성하였다. 출입문 2 부근에서 화재가 발생한 후 확대되는 가상 상황으로 출입문 1과 출입문 3을 피난 시뮬레이션의 최종 피난구로 지정했다.

4) 시나리오 4

근로자 88명을 대상으로 1층 작업장의 작업대 배치 형태가 '세로-가로 방향'일 때를 가정하여 <그림 6>의 시나리오 도면을 구성하였다. 출입문 2 부근에서 화재가 발생한 후 확대되는 가상 상황으로 출입문 1과 출입문 3을 피난 시뮬레이션의 최종 피난구로 지정했다.

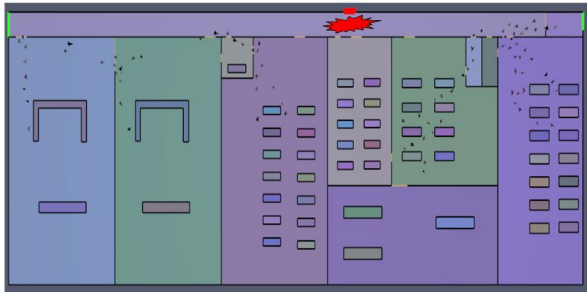


그림 3. 시나리오(1)_가로 방향
 Figure 3. Scenario(1)_Horizontal Direction

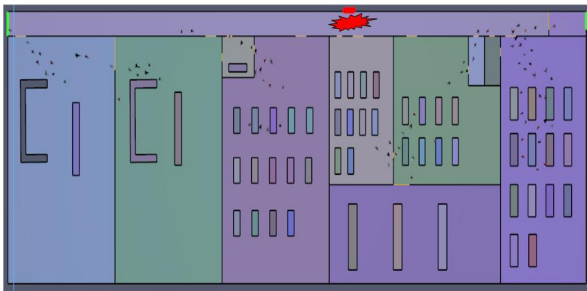


그림 4. 시나리오(2)_세로 방향
 Figure 4. Scenario(2)_Vertical Direction

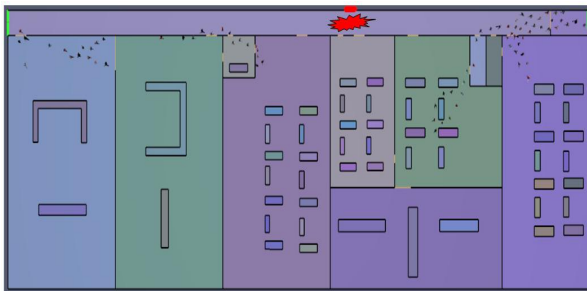


그림 5. 시나리오(3)_가로-세로 방향
 Figure 5. Scenario(3)_Horizontal-Vertical Direction

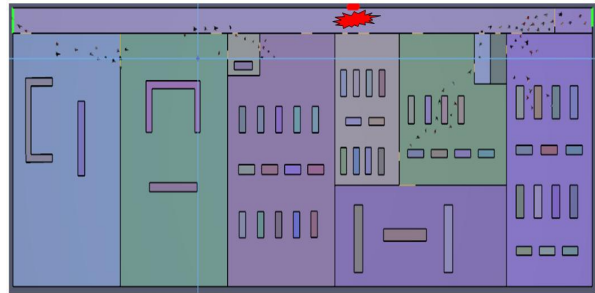


그림 6. 시나리오(4)_세로-가로 방향
 Figure 6. Scenario(4)_Vertical-Horizontal Direction

6. 피난 개시 시간 설정 및 주요 분석구간의 설정

RSET은 감지 시간, 통보 시간, 반응 시간, 피난 전 행동 시간, RSET의 5가지 요소로 구성된다. 각 내용에 대한 설명은 다음과 같다.

첫째, 감지 시간은 발화 후 화재 감지까지 걸리는 시간을 의미한다.

둘째, 통보 시간은 화재감지기로부터 재실자에게 화재 경보가 통보되는 시간을 의미한다.

셋째, 반응 시간은 경보 후 재실자가 화재임을 인지하고 행동을 결정하는 데 걸리는 시간을 의미한다.

넷째, 피난 전 행동 시간은 재실자가 피난 전 준비에 걸리는 시간을 의미한다.

다섯째, RSET은 피난 거리의 이동에 걸리는 시간 및 출구 등 병목구간 통과시간 등의 합을 의미한다.

이 중 앞의 세 시간을 합친 것을 '피난 개시 시간'이라 하며 화재 발생 후 어느 정도 시간이 지난 상황을 가정한다. 이 연구에서는 법적 기준 및 선행연구를 종합 고려하여 피난 개시 시간을 60초로 설정하였다.

더하여, 이 연구에서는 주요 분석구간으로 시나리오 상 최종 피난구에 해당하는 공장 건물 1층의 출입문 1과 출입문 3 부근을 설정하였다.

IV. 실험 결과

1. 피난 시뮬레이션 결과

피난 시뮬레이션을 진행한 후 시나리오별 RSET을 비교한 값은 <표 4>와 같다. 시나리오 4에 해당하는 작업대 배치 방향(가로-세로)이 가장 RSET이 짧은 것으로 나타났으며 실제 최종 피난구 미통과 인원에서도 유의한 차이가 발생했다.

표 4. 작업대 배치 형태에 따른 시뮬레이션 결과
Table 4. Simulation results depending on the layout of workbench

Scenario	Workbench Layout	RSET(sec)	Difference	Non-evacuee
1	Horizontal Direction	117.5	+3.1	4
2	Vertical Direction	116.0	+1.6	2
3	Horizontal-Vertical Direction	117.8	+3.4	4
4	Vertical-Horizontal Direction	114.4	0	0

우선 RSET 값에서 시나리오 1은 117.5(sec), 시나리오 2는 116.0(sec), 시나리오 3은 117.8(sec), 시나리오 4는 114.4(sec)로 나타났다. 가장 RSET이 짧은 시나리오 4를 기준으로 피난에 있어 시나리오 1은 3.1초, 시나리오 2는 1.6초, 시나리오 3은 3.4초가 더 소요된 것으로 나타났다. 다음으로 시나리오 4의 RSET값을 기준으로 최종 피난구 미통과 인원을 산정한 결과 시나리오 1에서 4명, 시나리오 2에서 2명, 시나리오 3에서 4명으로 나타나 실제 작업대 배치 형태에 따라서 동일 시간 대비 생존 인원에 유의한 차이가 있음을 알 수 있다.

2. 실험 결과 고찰

실험 결과에 의하면 시나리오 3의 RSET이 가장 길고 시나리오 4의 RSET이 가장 짧게 나타났다. 이에 시나리오 3과 시나리오 4의 근로자 88명의 이동 거리를 비교해본 결과 최소·최대는 물론이며 평균적으로 시나리오 3의 근로자가 시나리오 4의 근로자 대비 3.3m를 더 이동해야 하는 것으로 나타났다.

표 5. 근로자의 이동 거리(m) 결과
Table 5. Workers movement distance result

Scenario	88 Workers Movement Distance		
	Max(m)	Min(m)	Average(m)
3	120	78.5	43.1
4	8.7	73.4	42.0

즉, 시나리오 3의 RSET이 시나리오 4의 RSET보다 더 오래 걸린 이유는 RSET이 이동 거리에 비례하는 조건이기 때문이다. 피난 경로상 이동 거리를 줄여주는

작업장 배치만으로도 피난에 걸리는 이동 거리에 영향을 줄 수 있고 더 나아가 RSET의 감소를 통한 개인의 생명 보호까지 연결해줄 수 있음을 고찰할 수 있다.

V. 결 론

공장 건물 화재는 통계적으로 화재 건수는 압도적으로 많으나 인명 피해보다 재산 피해가 많은 점에서 상대적으로 피난의 중요성이 간과될 수 있으며, 화재가 발생했을 때를 가정한 피난 시뮬레이션은 성능위주설계 대상인 특정소방대상물에 한하고 있어 실제 공장 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 소규모 공장에서의 연구가 부족하다. 또한, 최근 사고에서 살펴보면 안전 관리 결함이 존재하는 공장에서 다수의 사상자가 발생하는 사고들이 발생하고 있다. 선행연구에서 기존 연구자들은 시설·설비 또는 구조의 변경을 바탕으로 한 안전성 확보 방안을 제시하고 있다. 그러나 소규모 공장의 현실적 여건을 고려하여 큰 비용을 들이지 않고 위험을 경감하는 방법의 모색이 필요한 시점이다.

이에 이 연구에서는 피난 시뮬레이션을 통해 작업대의 위치 변화에 따른 피난 시간 변화를 분석하였다. 그 결과 단순한 작업대의 위치 변화에 따라 피난에 걸리는 시간의 변화를 가져올 수 있으며 더 나아가 대피 가능 여부에도 차이가 남을 알 수 있었다. 구체적으로 작업대 배치를 가로 형태로 두는 것보다 세로 형태로 두는 것이 근로자의 이동시간을 줄여 RSET을 경감시켜줄 수 있었으며 복합적으로 '세로-가로'방향의 복합형이 가장 적은 RSET을, '가로-세로' 방향의 복합형이 가장 긴 RSET을 나타냈다.

이러한 연구 결과는 예산 등의 제약으로 인해 필수 안전 설비를 제외한 보충적 성격의 시설과 설비 투자가 어려운 소규모 공장에서도 화재 발생 시 RSET을 감소시킬 수 있는 실용적인 대안을 제시했다는 점에서 기초 자료로서 그 의의가 존재한다. 다만, 실제 화재 시뮬레이션에 기반한 상황을 고려한 것이 아닌 모든 요인을 통제 후 RSET만을 비교한 것으로 추후 화재시뮬레이션과 결합한 피난 안전성 평가를 통한 추가 연구의 필요성이 있다.

References

- [1] National Fire Intelligence System, 2021 Fire Statistical Yearbook, p. 107
- [2] Kim KI, Park JH, Song KH, “Aggregate Productivity Growth and Firm Dynamics in Korean Manufacturing 2007 - 2017”, *International Economic Journal* 35(3) pp.289-313:289. 2021. DOI : 10.1080/10168737.2021.1952641
- [3] Lee EP, “Analysis of the Causes of Multiple Casualties in an Electronics Factory Fire”, *Fire Science and Engineering* 2019; 33(4) pp. 130-139, 2019.DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2019.33.4.130>
- [4] Oh CW, Oh RS, Choi JH, “A Study on a PCB Manufacturing Plant’s Fire Risk Assessment due to the Mitigation of Fire Protection Zone and an Improvement Way through Estimation of Sprinkler Demand Water Flow Rate”, *FIRE SCIENCE AND ENGINEERING*, 33(2) pp. 56-62, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2019.33.2.056>
- [5] Lee DH, Yoo BT, “A Study on Fireproofing Application by Fire Magnitude”, *JOURNAL OF THE KOREAN INSTITUTE OF GAS*, 22(5) pp. 46-52, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7842/kigas.2018.22.5.46>
- [6] Enforcement Decree of the Fire Safety Act, Partially Revised on August 31, 2022 [Presidential Decree No. 32893, Enforced on August 31, 2022], Fire Safety Agency.
- [7] Seo DG, “Research Trends in Evacuation Simulation for Performance-Based Fire Safety Design of Buildings.”, *Korean Fire Protection Association Webzin* Vol 90. 2020.
- [8] Performance-Based Design Method and Criteria for Fire Facilities [Enforced on July 26, 2017] [Fire Service Headquarters Notification No. 2017-1, July 26, 2017, Revised by Other Laws]: Attachment-1