

화생방 방호시설의 행동 절차 분석을 통한 진입 소요시간 예측 시뮬레이션

박선호¹ · 이현수 · 박문서* · 김수영¹

¹서울대학교 건축학과

Chemical/Biological/Radiological Protective Facility Entering Time Estimation Simulation with Procedure Analysis

Park, Sun Ho¹, Lee, Hyun-Soo¹, Park, Moonseo*, Kim, Sooyoung¹

¹Department of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University

Abstract : As CBR(Chemical, Biological, and Radiological) attack increases, the importance of CBR protective facilities is being emphasized. When CBR warfare emerges, a task force team, who exist outside of CBR protective facility, should enter the CBR protective facility through neutralizing process in CCA(Contamination Control Area) and TFA(Toxic Free Area). If a bottleneck occurs in the process or zones, the task force team cannot enter the CBR protective facility efficiently and may cause inefficiency in its operation performance or result in casualties. The current design criteria of the CBR protective facility is only limited to ventilation system and it does not consider how much time it takes to enter the facility. Therefore, this research aims to propose the entering time estimation model with discrete event simulation. To make the simulation model, the procedure performed through CCA and TFA is defined and segmented. The actual time of the procedure are measured and adapted for the simulation model. After running the simulation model, variables effecting the entering time are selected for alternatives with adjustments. This entering time estimation model for CBR protective facility is expected to help take time into consideration during the designing phase of CBR protective facility and help CBR protective facility managers to plan facility operation in a more realistic approach.

Keywords : Chemical, Biological, Radiological Protective Facility, Entering Time, Simulation, Procedure Analysis

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

일본의 옴진리교 독가스 테러, 미국의 탄저균 테러부터 가장 최근의 시리아 독가스 살상에 이르기까지 화생방 무기는 적은 양으로도 심각한 피해를 일으킬 수 있기 때문에 화생방 공격에 대한 방호는 매우 중요하다(Jeong 2010). 화생방 방호시설은 화생방전 발생 시 개인 보호 장구를 착용하지 않고도 임무를 수행 할 수 있는 보호공간을 의미하며, 최근 현대전의 양상이 다양해지

고 화생방 무기의 공격 위험도가 증가함에 따라 그 필요성이 강조되고 있다(Kim 2011).

화생방전 발생 시 화생방 방호시설 외부에 있는 작전인원은 방호시설 내 오염통제구역에서 제독과정을 실시한 후 무해구역으로 진입하게 된다. 이 과정에서 수용인원 대비 부족한 설비, 동선의 비효율성 등으로 인해 특정 구역에서 병목현상이 발생할 경우 작전 수행의 효율성이 저하되며 이는 큰 인명피해로도 이어질 수 있게 된다. 현재 군 및 민간의 화생방 방호시설 설계 지침에는 수용인원 대비 소요면적을 비롯한 기초적인 설계 기준만 제시되어 있으며(Ministry of National Defense, 이하 MND 2012; U.S. Department of Defense 2008) 실제 화생방전 발생 시 작전인원의 화생방 방호 시설 진입 소요시간 및 이를 평가할 수 있는 기준이 부재한 실정이다.

본 연구는 화생방 방호시설 안에서 이루어지는 오염

* Corresponding author: Park, Moonseo, Department of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea
E-mail: mspark@snu.ac.kr
Received May 13, 2014; revised June 23, 2014
accepted June 23, 2014

제독 절차 및 시간을 분석하여 화생방 방호시설의 진입 소요시간을 예측 할 수 있는 시뮬레이션 모델 개발을 목적으로 한다. 이를 통해 화생방 방호시설 진입 과정 중 발생 가능한 병목구역을 사전에 예측하고, 각종 대안에 따른 방호시설 진입 소요시간의 변화를 파악함으로써 설계자 및 관련분야 종사자들의 효율적인 방호시설 설계 및 작전 운용의 기초자료로써 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 평면이 정확화 되어있는 군 화생방 방호시설을 대상으로 하였으며, 화생방전 발생 시 출입 및 제독이 이루어지는 오염통제구역 및 무해구역에서의 행동절차 및 소요시간을 측정하여 이를 시뮬레이션 모델 개발에 활용하였다.

본 연구의 진행방법은 다음과 같다.

- 1) 화생방 방호시설 진입 과정에서 발생하는 문제점을 조사하고 시뮬레이션 모델링에 대해 고찰한다.
- 2) 전문가 면담 및 군 화생방 방호시설 방문을 통하여 소요시간 측정 항목을 도출한다.
- 3) 소요시간 측정 항목을 제독 공간 및 행동절차로 세분화한다.
- 4) 방호시설 내 행동절차와 시간 영향요소를 반영하여 방호시설 진입 소요시간 예측 시뮬레이션 모델을 개발한다.
- 5) 모델의 타당성 검증을 위해 현역 군 장병의 실제 화생방 방호시설 진입 소요시간과 비교한다.
- 6) 화생방 방호시설 진입과정 중 발생하는 병목현상 및 원인을 분석하여 이에 영향을 미치는 변수들을 찾아낸다. 주요 변수들의 조정을 통해 대안을 작성하고, 이에 따른 진입 소요시간의 변화를 분석하여 시사점을 도출한다.

2. 이론적 고찰

본 장은 화생방 방호시설과 관련한 선행 연구들을 고찰한다. 이후 본 연구에서 활용된 이산사건 시뮬레이션 모델링의 적용타당성을 설명한다.

2.1 화생방 방호시설 진입 절차

화생방 방호시설의 오염통제구역(CCA, Contamination Control Area)은 외부로부터 진입한 오염된 인원을 제독하는 곳이다. 오염통제구역은 Fig. 1과 같이 전실(ESA, Equipment Store Area), 액체오염구역(LHA, Liquid Hazard Area), 기체오염구역(VHA, Vapor Hazard Area), 공기폐쇄실(AL, AirLock)로 구성

되며 제독 과정을 거친 후 무해구역(TFA, Toxic Free Area)으로 진입하게 된다.

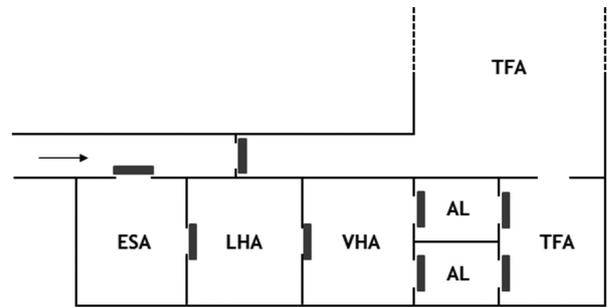


Fig. 1. Floor Plan of CBR Protective Facility

화생방전 발생 시 화생방 방호시설 외부에 있는 인원은 작전을 수행한 후 신속하게 오염통제구역을 지나 방호시설 내로 진입해야 한다. 오염통제구역의 각 실은 고유 양압 유지를 위해 인원의 실 간 이동을 제외하고는 문이 폐쇄되어 있어야만 한다. 외부의 오염된 인원은 먼저 오염통제구역의 전실로 입장을 하여 화학 오염탐지기를 통해 화생방 작용제 오염정도를 확인한다. 이후 전투화 덮개, 총기 및 개인 장구류를 제독하고 각 장비를 지정장소에 폐기 및 보관 후 액체오염구역으로 진입한다. 액체오염구역에서는 화생방 보호의를 폐기 후 1차적으로 물 샤워를 통해 피복을 제독하고 기체오염구역으로 이동한다. 기체오염구역에서는 방독면을 제외하고 모두 탈의 및 오염물 폐기 후, 2차 물 샤워를 통해 제독한다. 샤워를 마친 인원은 공기폐쇄실에 진입하기에 앞서 호흡을 참고 방독면을 제거한 후 즉시 공기폐쇄실로 진입하여 에어샤워(Air-Shower)를 실시한다. 이 때 인체에 남은 작용제를 모두 제거한 후 무해구역으로 이동하여 화생방작용제의 잔류 오염여부를 확인하고 새 피복을 착용하여 다시 정상 임무를 수행하게 된다(National Emergency Management Agency, 이하 NEMA 2012).

2.2 화생방 방호시설 관련 기존 연구

전 세계 각지에서 발생한 화생방 무기 테러와 그 치명적인 살상력을 고려하여 화생방 무기의 특성과 위험도 분석, 민간 화생방 대피시설에 관한 다수의 연구가 수행되었으나, 실제 화생방전 발생 시 군 작전이 이루어지는 군 화생방 방호시설에 관한 연구는 주제의 특수성으로 인하여 미비한 실정이다. 이 중 본 연구와 관련된 것은 Table 1과 같다.

Table 1. Literature Review to CBR Protective Facility

Author	Description
Kowalski et al. (2003)	Presents the results of research on the performance of air-cleaning and air-disinfection systems used for protecting buildings against bioterrorism
Thompson et al. (2008)	Provides a literature survey of four subject areas dealing with the risk analysis of bioterrorism
Nakano et al. (2009)	Presents the methodology to assess building designs for protection against chemical and biological threats
Kim (2011)	Proposes some suggestions to improve efficiency through analyzing problems and surveying professionals
NEMA (2009)	Analyzes the necessity of CBR protective facility and provides reinforcement work for the existing facilities
NEMA (2011)	Make a standard model of emergency CBR protective facility for private citizen.
NEMA (2012)	Proposes the manual of civil defense equipment of CBR warfare
Sim & Hwang (2003)	Describes the air conditioning system of CBR protective facility

먼저 화재방 방호시설 관련 초기 연구들은 화재방 공격의 위험성과 화재방 공격이 건물에 미치는 영향 등을 분석한 후 화재방 방호시설의 필요성을 제시하였다(Thompson et al. 2008, NEMA 2009). 또한 화재방 공격의 위험성이 증대됨에 따라 화재방 공격에 방어할 수 있는 건물의 구조, 설계 방법을 제시하기도 하였다(Kowalski et al. 2003, Nakano et al. 2009).

국내에서는 기존의 1-4등급 민방위 대피시설의 현황을 조사하고 대피시설의 설계 기준 및 활용·보강 방안을 제시하였다. 또한 화재방전 시 민방위 장비 활용법에 대해 연구를 수행하였지만 연구대상을 단순 민간 대피시설로 제한하였다(NEMA 2011, NEMA 2012).

Sim & Hwang(2003)은 화재방 방호시설의 공조시스템에 대해 화재방 설비의 종류와 성능, 각 실의 양압 형성 방법 등을 설명하였으나 연구대상이 단순 공조시스템으로 제한되어 있다는 한계가 있다.

최근에는 화재방 방호시설의 활용도를 높이기 위하여 기존 방호시설의 문제점을 분석하고 전문가 및 일반집단에 설문을 하여 개선방안을 제시하였다(Kim 2011). 하지만 시설 운용방법 및 관리·교육에서의 개선안만 제시하였을 뿐, 실질적으로 중요한 방호시설 진입 소요시간을 반영하지 못한다는 한계가 있다.

본 연구에서는 화재방전 시 외부에 있는 군 작전 인원의 방호시설 진입과정에서 발생하는 병목현상의 원인을 찾아내고 이에 따른 대안 제시 및 개선 효과 분석을 통해 화재방 방호시설의 작전 효율성을 높일 수 있는 실제적인 개선안을 제시함으로써 기존 연구와의 차별성을 지닌다.

2.3 이산사건 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션이란 모델을 만들어 시스템의 운영 또는 특성을 파악함으로써 현실 문제를 이해하고 여러 가지 대안의 결과를 예측하는 기법이다(Kim et al. 2007, Yang et al. 2013). 그 중 이산사건 시뮬레이션(DES, Discrete Event Simulation)은 상태의 변화가 시간에 따라 변화하며 그 변수가 특정한 점에서 순간적으로 변하는 것을 말한다(Banks 2001).

Table 2. AnyLogic Modeling Source

Symbol	Title	Explanation
	Source	It generates entities and it is usually a starting point of a process model
	Service	It seizes a given number of resource units, delays the entity, and releases the seized units
	Seize	It seizes a given number of resource units from a given resourcepool
	Release	It releases a given number of resource units previously seized from a given resourcepool by seize object
	Link	The stream of work process
	Resource Pool	It defines a set of resource units that can be seized and released by entities
	Sink	It disposes entities and it is usually an end point in a process model

본 연구의 경우 화재방 방호시설로 진입하는 인원은 군인을 대상으로 하기 때문에 인간의 다양한 행태와 의사결정·감정을 배제한 채 충분한 훈련을 통해 해당 정보 및 절차를 명확히 숙지한 상태로 가정한다. 따라서 작전 수행 인원은 방호시설 내에서 사전에 정해진 시간과 순서에 의해 움직이므로 이산사건 시뮬레이션에 적합하다.

따라서, 본 연구에서는 유연성과 통합성이 우수한 AnyLogic(AnyLogic 7, The AnyLogic Company)에서 제공하는 Discrete Event Simulation 모델링 기능을 이용하여 화재방 방호시설 진입 소요시간을 예측하는 시뮬레이션 모델을 개발하며 시뮬레이션 모델 개발에 사용된 AnyLogic의 모델링 요소는 Table 2와 같다.

3. 화재방 방호시설 진입 시뮬레이션 모델

본 장은 화재방 방호시설 진입 시뮬레이션 모델링에 필요한 행동절차 세분화와 시뮬레이션 모델 개발 및 결과로 이루어져 있다.

Table 3. Procedure Performed through CCA and TFA

Zone	Activity	Procedure	Classification
ESA	1	Door opening (ESA)	Control
	2	Enter into ESA	Movement
	3	Measure contamination	Control
	4	Move to military shoe washer	Movement
	5	Neutralize the military shoe cover	Neutralization
	6	Move to equipment storage	Movement
	7	Arrange the equipment	Control
	8	Move to trash box	Movement
	9	Discard contaminated equipment	Neutralization
	10	Move in front of the door to LHA	Movement
LHA	11	Door opening (LHA)	Control
	12	Enter into LHA	Movement
	13	Move to shower room	Movement
	14	Water shower	Neutralization
	15	Move to trash box	Movement
	16	Discard contaminated equipment	Neutralization
	17	Move in front of the door to VHA	Movement
VHA	18	Door opening (VHA)	Control
	19	Enter into VHA	Movement
	20	Move to trash box	Movement
	21	Discard contaminated equipment	Neutralization
	22	Move to shower room	Movement
	23	Water shower	Neutralization
	24	Dry wetness	Neutralization
	25	Move to gas mask storage	Movement
	26	Desorb gas mask & Stop breathing	Control
	27	Move in front of the door to AirLock	Movement
AL	28	Door opening (VHA-AirLock)	Control
	29	Enter into AirLock	Movement
	30	Set the timer	Neutralization
	31	Air Shower	Neutralization
	32	Door opening (AirLock-TFA)	Control
TFA	33	Enter into TFA	Movement
	34	Measure contamination	Control
	35	Move to clothes storage	Movement
	36	Wear clothes	Neutralization
	37	Come out from TFA	Movement

3.1 오염통제구역-무해구역 실별 행동절차 세분화

오염통제구역 및 무해구역에서 이루어지는 행동절차는 전문가 면담 및 군 화생방 방호시설 방문을 통해 군 장병의 행동을 관찰 및 분석하여 세분화한다. 행동절차는 각각의 행동의 특성에 따라 이동, 통제, 제독의 세 가지로 분류된다. 이동은 오염통제구역 및 무해구역 내에서 한 위치에서 다른 위치로 움직이는 행동으로 장비 및 실 간의 이동 등이 해당된다. 통제는 화생방 방

호시설 운용요원이 각 인원의 행동절차를 통제하는 것으로 오염여부 확인, 출입문 개폐 등이 해당된다. 제독은 피복 및 인체의 부착된 오염물질을 제거하는 행동으로 오염물 제거, 장비/피복/인체의 제독 등이 포함된다. 오염통제구역 및 무해구역 내 실별 행동절차를 세분화한 것은 Table 3과 같다.

3.2 화생방 방호시설 행동절차 시뮬레이션 모델링

3.2.1 시뮬레이션 조건 설정

시뮬레이션을 통한 화생방 방호시설 진입 소요시간 예측을 위해 다음의 시뮬레이션 조건을 설정하였다.

- 1) 방호시설 진입 인원은 충분한 훈련을 통해 방호시설 진입 행동절차에 대해 명확히 숙지한 상태이다.
- 2) 방호시설 진입 인원은 신체/정신적으로 개별적 차이가 존재하지 않는다.
- 3) 각 실에서 모든 행동절차를 마친 인원은 다음 실에 여유 공간이 있을 경우에만 다음 실로 진입 할 수 있다 (MND 2012).

3.2.2 시뮬레이션 모델 개발

행동 절차 세분화 및 소요시간 측정을 위해 방문한 군 화생방 방호시설의 평면과 구조는 ‘국방·군사시설 기준-화생방 방호시설 설계지침’에 기술된 설계기준과 유사하였다. 소요시간은 2명의 장병이 화생방 방호시설 진입 행동절차를 각 2번 실시한 것을 측정하였으며 각 Event에는 최솟값, 최댓값과 평균값을 계산하여 삼각분포(Triangular Distribution)를 적용하였다.

Fig. 2의 시뮬레이션 모델 요소는 각 행동절차의 순서 및 흐름을 설명한다. 각각의 행동절차는 Service로 표현되며 각 Service는 고유의 ResourcePool을 갖고 있어 공간과 자원의 제약, 소요시간을 지니게 된다. 예를 들어, 행동절차 13(샤워시설 이동)은 공간의 제약 상 최대 4명만이 동시에 이동이 가능하다. 행동절차 14(개인 제독)는 자원의 제약 상 최대 2명이 동시에 제독 할 수 있다. 따라서 이 경우 4명의 인원이 행동절차 13을 끝마쳐도 행동절차 14의 자원 제약 상 2명이 대기 상태로 있어야 한다.

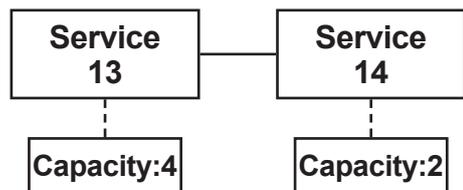


Fig. 2. Model Explanation 1

Fig. 3의 시뮬레이션 모델 요소는 오염통제구역 및 무해구역에서 각 실 간 인원의 이동을 설명한다. 예를 들어, 모델 요소 Seize_ESA는 행동절차 1과 행동절차 2를 행하고 있는 인원의 총합이 전실(ESA)의 수용 인원을 넘지 않도록 외부에서 전실(ESA)로의 인원 진입을 제지하며, 만약 한 명의 인원이 전실(ESA)에서 행동절차를 모두 마쳤을 경우 Release_ESA에서는 다음 실인 액체오염구역(LHA)로 한 명의 인원을 보내게 된다.

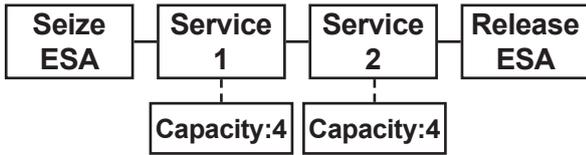


Fig. 3. Model Explanation 2

이와 같이 37개의 화재방 방호시설 내에서 이루어지는 모든 행동절차들은 Service로 소요시간 및 공간·자원의 제약과 함께 표현되며 오염통제구역 내 모

든 실간 이동은 Seize와 Release로 제한된다. Fig. 4는 AnyLogic에서 구현한 화재방 방호시설 진입 소요시간 예측 시뮬레이션 모델이다.

3.2.3 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션 결과의 분석은 시뮬레이션을 100번 반복 수행하여 나온 값들의 평균을 바탕으로 하였다. 시뮬레이션 결과 2명의 인원이 37개의 모든 행동절차를 마치는데 걸리는 시간은 682.7초로 나타났으며 이는 현역 장병을 대상으로 실제 측정된 화재방 방호시설 진입 소요시간인 680초와 유사한 결과를 보였다. 전문가 자문 결과, 화재방전시 방호시설 외부에서 작전을 수행하는 최소 인원은 20명이라고 하였으며 시뮬레이션 결과, 20명의 인원이 모두 화재방 방호시설로 진입하는데 걸리는 총 소요시간은 2619.7초로 나타났다. 이때 각 행동절차에서의 평균 지연시간은 화재방 방호시설 진입 총 소요시간에 영향을 미치며 그 값은 Table 4와 같다.

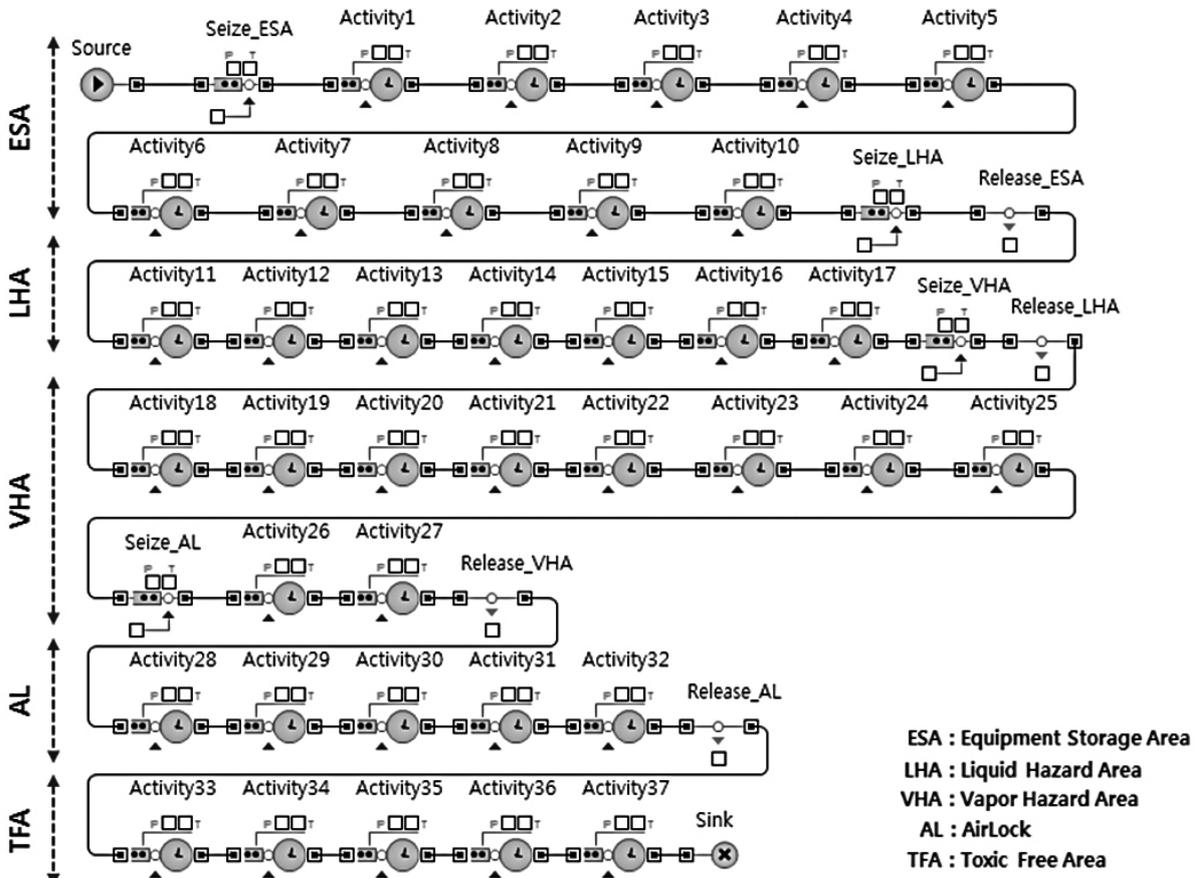


Fig. 4. Entering Time Estimation Simulation Model

Table 4. Delay Time Between Activities

(Unit : Sec)

Activity	Delay Time	Activity	Delay Time
1	0	18	0
2	0	19	0
3	1.66	20	0
4	0	21	0
5	0	22	0
6	0	23	0.07
7	0	24	0
8	0	25	0
9	0.26	26	0
10	0	27	0
11	0	AirLock(28-32)	226.40
12	0	33	0
13	0	34	0
14	4.17	35	0
15	0	36	0
16	0	37	0
17	0		

행동절차의 평균 지연시간 측정 결과 대부분 지연시간 없이 행동절차가 진행되었지만, 공기폐쇄실로의 진입(28→32)과 액체오염구역에서의 개인제독(14)에서 각각 226.40초, 4.17초의 지연시간이 발생하였다. 이는 각 공기폐쇄실에 단 한 명의 인원만이 출입 가능하며 에어샤워의 소요시간이 약 180초 이상으로 오랜 시간을 필요로 하지만 현재 국방부 화생방 방호시설 설계지침에는 공기폐쇄실의 설계 기준이 2개소 이상 설치로만 기술되어 있어 시간대비 적정 인원을 수용하지 못해 병목현상을 일으키는 것으로 분석된다.

4. 대안 분석 및 논의

본 장에서는 앞서 발견한 병목현상을 해결할 수 있는 대안을 제시하고 설계 대안 별 시뮬레이션 결과를 분석하여 시사점을 도출하였다.

4.1 시뮬레이션 모델을 활용한 화생방 방호시설 설계 대안 개발

특정 변수가 전체 시뮬레이션 결과에 미치는 영향을 살펴보고자, 모든 조건이 동일한 상황에서 해당 변수만을 조정한다. 기존안의 행동절차 지연시간 분석 결과 공기폐쇄실(28-32)과 개인제독(14)에서 가장 오랜 지연시간이 발생하였으므로 이와 관련된 공기폐쇄실 및 샤워기를 주요 변수로 선정하여 각 대안을 작성한다.

주요 변수별 대안은 Table 5와 같다. 기존안(Base)은 국방부 화생방 방호시설 설계 기준에 따라 공기폐쇄실, 샤워기를 각각 2대로 설정한다. 대안 A는 공기폐쇄실을 2개소에서 3개소로 증가시킨다. 대안 B는 샤워기를 2대에서 3대로 증가시킨다. 대안 A+B는 공기폐쇄실과 샤워기의 상호 영향 정도를 분석하기 위해 각각의 개수를 3

개로 증가시킨다. 대안 C는 공기폐쇄실을 4개소로 증가시킨다.

Table 5. Alternatives of Simulation Model

Type	# of Shower Room	# of AirLock
Base	2	2
A	2	3
B	3	2
A+B	3	3
C	2	4

4.2 시뮬레이션 모델을 활용한 화생방 방호시설 설계 대안 비교/분석

주요 대안별 화생방 방호시설 진입 소요시간은 Fig. 5와 같으며, 아래 Table 6은 대안별 행동절차 지연시간을, Table 7은 세부 인원별 진입 소요시간을 나타낸다.

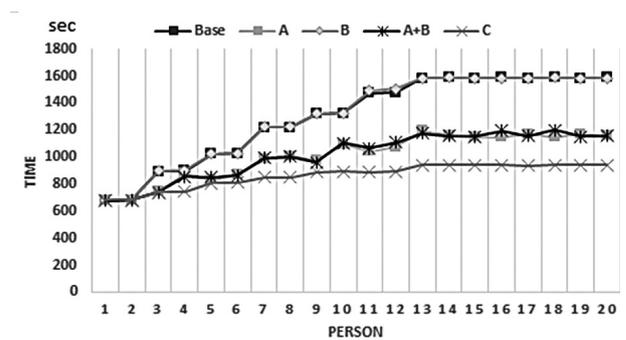


Fig. 5. Individual Entering Time by Alternatives

Table 6. Delay Time Between Activities by Alternatives

(Unit : Sec)

Type	Water Shower(14)	AirLock(28-32)
Base	4.17	226.40
A	4.33	100.19
B	1.89	226.43
A+B	1.89	100.71
C	4.17	48.36

대안 A의 경우 행동절차의 지연시간을 비교한 결과, 개인제독(14)에서의 지연시간은 변화가 없었으며, 공기폐쇄실(28-32)에서의 지연시간은 226.40초 → 100.19초로 크게 감소하였다. 결과적으로 20명의 작전 인원이 모두 화생방 방호시설 진입을 완료하는데 걸린 시간은 2619.7초 → 1975.4초로 644.3초가 감소하여 24.6%의 단축 효과를 보였다. 또한 개인 평균 진입 소요시간 역시 1296.1초 → 1007.9초로 288.2초 감소하여 22.3%의 단축 효과를 보였다. 대안 A의 분석 결과, 공기폐쇄실에서의

Table 7. Simulation Results by Alternatives

(Unit : Sec, %)

Person	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	16th	17th	18th	19th	20th	Total Time	Avg. Time
Base	678.5	682.7	893.0	897.2	1021.9	1026.3	1219.2	1220.8	1317.9	1323.3	1473.6	1479.0	1583.0	1588.0	1584.6	1587.8	1585.5	1587.1	1585.5	1587.4	2619.7	1296.1
A	680.4	683.9	742.8	878.2	828.7	869.5	982.1	1006.8	975.3	1092.5	1040.8	1075.8	1196.7	1162.6	1147.9	1148.7	1173.1	1147.9	1168.9	1157	1975.4	1007.9
	100.3	100.2	83.2	97.9	81.1	84.7	80.6	82.5	74.0	82.6	70.6	72.7	75.6	73.2	72.4	72.3	74.0	72.3	73.7	72.9	75.4	77.7
B	681.3	685.6	896.4	900.7	1023.0	1027.3	1222.4	1223.3	1320.2	1324.7	1491.3	1509.1	1584.5	1587.1	1583.4	1585.0	1582.9	1586.3	1583.6	1584.8	2620.2	1299.1
	100.4	100.4	100.4	100.4	100.1	100.1	100.3	100.2	100.2	100.1	101.2	102.0	100.1	99.9	99.9	99.8	99.8	99.9	99.9	99.8	100.0	100.2
A+B	679.6	682.7	739.9	855.2	849.6	866.2	992.8	1004.7	962.1	1104.6	1065.7	1107.7	1176.1	1156.9	1153.0	1194.9	1155.1	1199.4	1153.2	1155.9	1972.7	1012.7
	100.2	100.0	82.9	95.3	83.1	84.4	81.4	82.3	73.0	83.5	72.3	74.9	74.3	72.9	72.8	75.3	72.9	75.6	72.7	72.8	75.3	78.1
C	680.1	683.5	741.7	744.9	807.2	811.6	852.3	851.7	889.8	892.5	890.7	894.2	939.1	942.2	939.7	942.3	937.8	942.0	939.6	943.0	1606.5	863.2
	100.2	100.1	83.1	83.0	79.0	79.1	69.9	69.8	67.5	67.4	60.4	60.5	59.3	59.3	59.3	59.3	59.1	59.4	59.3	59.4	61.3	66.6

지연시간이 화생방 방호시설 진입 총 소요시간에 영향을 크게 미치는 변수로 분석되며 공기폐쇄실의 증설 시 현재 발생하는 병목 현상을 완화시켜 단위시간 당 제독 인원수를 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다.

대안 B의 경우 행동절차의 지연시간을 비교한 결과, 공기폐쇄실(28-32)에서의 지연시간은 변화가 없었으며, 개인제독(14)에서의 지연시간은 4.17초 → 1.89초로 감소하였다. 결과적으로 20명의 작전 인원이 모두 화생방 방호시설 진입을 완료하는데 걸린 시간은 2619.7초 → 2620.2초로 나타나 기존안(Base)과 비교하여 큰 차이가 없었다. 또한 개인 평균 진입 소요시간은 1299.1초로 측정되어 큰 차이가 없었다. 대안 B의 분석 결과, 샤워기-개인제독에서의 지연시간이 화생방 방호시설 진입 소요시간에 영향을 미치지 않는 변수로 분석된다. 따라서 기존안(Base) 시뮬레이션 결과 지연시간이 각각 1.66초, 0.26초, 0.07초 발생한 행동절차 3, 9, 23은 그 지연시간 값이 행동절차 14보다 작기 때문에 화생방 방호시설 진입 소요시간에 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다.

대안 A+B의 경우 행동절차의 지연시간을 비교한 결과, 공기폐쇄실(28-32)에서의 지연시간은 226.40초 → 100.71초로 크게 감소하였으며, 개인제독(14)에서의 지연시간은 4.17초 → 1.89초로 감소하였다. 결과적으로 20명의 작전 인원이 모두 화생방 방호시설 진입을 완료하는데 걸린 시간은 2619.7초 → 1972.7초로 나타나 대안 A와 비교하여 큰 차이가 없었다. 또한 개인 평균 진입 소요시간은 1012.7초로 측정되어 대안 A와 큰 차이가 없음을 나타냈다. 대안 A+B의 분석 결과, 주요 변수로 선정된 샤워기와 공기폐쇄실은 서로 영향을 미치지 않으며 독립적으로 작용하는 것으로 분석된다.

대안 C의 경우 행동절차의 지연시간을 비교한 결과, 개인제독(14)에서의 지연시간은 변화가 없었으며, 공기폐쇄실(28-32)에서의 지연시간은 226.40초 → 48.36초로

크게 감소하였다. 결과적으로 20명의 작전 인원이 모두 화생방 방호시설 진입을 완료하는데 걸린 시간은 2619.7초 → 1606.5초로 1013.2초가 감소하여 38.7%의 단축 효과를 보였다. 또한 개인 평균 진입 소요시간 역시 1296.1초 → 863.2초로 432.9초 감소하여 33.4%의 단축 효과를 보였다. 대안 C의 분석 결과, 공기폐쇄실 2개소 증설은 현재 화생방 방호시설 진입 과정 중 발생하는 병목현상을 효과적으로 해결할 것으로 분석된다.

대안별 시뮬레이션 결과 공기폐쇄실의 개소수가 화생방 방호시설 진입 소요시간에 크게 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이 결과에 따라 공기폐쇄실 1개소 증설시 20명의 작전 인원이 모두 방호시설을 진입 완료하는데 24.6%, 2개소 증설시 38.7%의 큰 시간 단축효과를 보였다. 따라서 화생방 방호시설 설계 시 오염동계구역 및 공기폐쇄실 각각의 유효 면적을 고려하여 적정수의 공기폐쇄실을 설계한다면 화생방전 발생 시 작전 인원의 방호시설 진입 소요시간을 단축하여 작전 효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

최근 화생방 공격에 대한 위협이 증가함에 따라 화생방 방호시설의 중요성이 강조되고 있다. 화생방전 발생 시 외부에 위치한 군 작전 인원은 임무를 마친 후 신속히 화생방 방호시설로 진입해야 하며 이를 위해 화생방 방호시설 진입 소요시간을 정확하게 예측하고 이를 바탕으로 화생방 방호시설의 설계 기준을 정립해야 한다. 하지만 현재의 화생방 방호시설 설계기준은 공조시스템 등 기계·설비에 국한되어 있으며, 실제 화생방전 발생 시 인원의 신속한 방호시설 진입을 위한 소요시간 측정 기준 및 방법은 부재한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 화생방 방호시설의 전시 작전

효율성을 높일 수 있는 화생방 방호시설 진입 소요시간 예측 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 이를 위해 오염 통제구역 및 무해구역에서 이루어지는 행동절차를 세분화하고 각 행동절차에 소요되는 시간을 측정하여 이를 화생방 방호시설 진입 소요시간 예측 시뮬레이션 모델 개발에 활용하였다. 시뮬레이션 결과 분석을 통해 외부에 위치한 군 작전 인원의 방호시설 진입과정에서 발생하는 병목현상의 원인을 찾아내었고 이에 대한 대안 제시 및 분석을 통해 병목현상을 완화할 수 있는 실제적인 개선안을 제시하였다. 이는 단순히 화생방 방호시설의 중요도와 기존 대피시설의 보강 방안에 머물던 기존의 연구에서 발전하여 실제 화생방 방호시설의 효율성과 기능성을 향상시킬 수 있는 개선안을 제시하였다는 점에서 차별성을 지닌다.

본 연구는 현재 기 시공된 화생방 방호시설의 진입 소요시간을 예측하고 예상되는 문제점을 사전에 파악, 이에 따른 대비책을 세울 수 있다는 점에서 의의가 있다. 그러나 장비 및 설비, 개인의 차이 등에서 발생하는 실제 시간의 차이를 반영하지 않고 일괄적인 값을 적용하였기 때문에 실제 발생할 수 있는 소요시간과의 차이를 반영할 수 없다는 점에서 한계가 있다.

본 연구는 군 화생방 방호시설만을 대상으로 수행하였으나, 행동절차 및 측정방법의 조정을 통해 민간 화생방 방호시설에도 적용이 가능하다. 향후 평가모델의 정확도 및 활용성을 향상시키는 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 '건설교통기술 촉진연구사업'(과제번호:12TRPI-C064106-01) 연구과제의 일부임.

References

- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L. and Nicol, D. M. (2000). *Discrete-event System Simulation*, 3rd Ed, McGraw-hill, p. 12.
- Benjamin P. T., and Lawrence C. B. (2008). "Survey of Bioterrorism Risk in Buildings", *Journal of Architectural Engineering*, 14(1), pp. 7-17.
- Jeong, Y. S. (2010). "A Study on Problems with the ROK's Bioterrorism Response System and Ways to Improve it", Korea Security Science Association, 22, pp. 113-144.
- Kim, K. M., Seo, H. B., Hwang, H. J., and Kim, K. J. (2007). "Application of Discrete Event Simulation on Tunnel Muck Hauling Operations", *Korean journal of construction engineering and management*, KICEM, 8(1), pp. 141-149.
- Kim, Y. H. (2011). "A Study on the efficiency improvement of shelter facilities operations in chemical, biological and radiological warfare", Master thesis, University of Yonsei.
- Ministry of National Defense (2012). *National Defense · Military Facility Design Criteria - Chemical, Biological, and Radiological Protective Facility Design Book*, Ministry of National Defense.
- National Emergency Management Agency (2009). *The Criteria and Practical Use of Chemical, Biological, and Radiological Protective Facility*.
- National Emergency Management Agency (2011). *Standard Model of Emergency Chemical, Biological, and Radiological Protective Facility for Private Citizen*.
- National Emergency Management Agency (2012). *Manual of Civil Defense Equipment of Chemical, Biological, and Radiological Warfare*.
- Park, D. W. (2009). "The threat analysis and countermeasure of Chemical, Biological, and Radiological attack", *The Korean Association for Crisis and Emergency Management*, KACEM, 1(1), pp. 389-400.
- Sim, W. S., and Hwang, T. Y. (2003). "The Air Conditioning Equipment System for Chemical, Biological, and Radiological Protective Facility", *Korea Air Cleaning Association*, 16(4), pp. 49-60.
- U.S. Department of Defense (2008). *Security Engineering: Procedures for Designing Airborne Chemical, Biological, and Radiological Protection for Buildings*, U.S.
- Victor M. N., William J. G., and Dulcy M. A. (2009). "Methodology to Assess Building Designs for Protection against Internal Chemical and Biological Threats", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(1), pp. 14-21.
- Wladyslaw K., William B., and Amy M. (2003). "Modeling Immune Building Systems for Bioterrorism Defense", *Journal of Architectural Engineering*, 9(2), pp. 86-96.

Yang, K. H., Lee, H. S., Park, M. S., Jeong, M. H., and Hwang, S. J. (2013). "A Study of the Tower Crane Hoisting Time Estimation Simulation Model with Climate Element for the High-Rise building Construction", *Korean journal of construction engineering and management*, KICEM, 14(2), pp. 96-107.

요약 : 최근 화재방 공격에 대한 위협이 증가함에 따라 화재방 방호시설의 중요성이 강조되고 있다. 화재방전 발생 시 화재방 방호시설 외부에 있는 작업인원은 화재방 방호시설 내 오염통제구역 및 무해구역에서 제독과정을 거쳐 방호시설 내부로 진입하게 된다. 이 과정에서 부족한 설비 등으로 인해 특정 절차 및 구역에서 병목현상이 발생할 경우 작업인원은 제시간에 방호시설 내로 진입 할 수 없게 되며, 이는 전시 작전 수행의 효율성 저하뿐만 아니라 큰 인명피해로도 이어지게 된다. 현재의 화재방 방호시설 설계기준은 공조시스템 등 특정 설비에 국한되어 있으며, 실제 화재방전 발생 시 실제 진입 소요시간을 고려한 설계기준은 부재한 실정이다. 본 연구에서는 화재방 방호시설 진입 소요시간에 크게 영향을 미치는 요소를 시뮬레이션에 반영하여 화재방 방호시설 진입 소요시간을 예측하는 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 이를 위해 오염통제구역 및 무해구역에서 이루어지는 행동절차를 세분화하고, 각 행동절차에 소요되는 실제 시간을 측정하여 이를 시뮬레이션에 적용하였다. 또한 진입 소요시간에 영향을 미치는 요인들을 선정하여 이들의 조절을 통해 대안을 작성하고 각 대안별 진입 소요시간 및 전체결과에 미치는 영향을 분석하였다. 이 모델은 향후 화재방 방호시설 진입 시뮬레이터의 모듈로써 활용될 수 있으며 방호시설 설계 및 운용자의 의사결정 기초자료로 활용될 수 있다.

키워드 : 화재방 방호시설, 진입 소요시간, 시뮬레이션, 행동 절차 분석
