

## A Study of the Evacuation Safety for Workers on the Theater Stage Plan Shapes

Yong-Gyu Park\*, Heung-Sik Woo\*

\*Student, Dept. of Safety Engineering, Dongguk University WISE, Gyeongju, Korea  
\*Professor, Dept. of Safety Engineering, Dongguk University WISE, Gyeongju, Korea

### [Abstract]

The purpose of this study is to suggest that performers in the performing arts actively utilize the loading dock and stage door when evacuating from the stage space of a performance hall in a crisis situation. Therefore, first, we analyzed the system related to the performance hall's safety. The stage evacuation type was classified into A, B, C, and D forms by applying the building law audience evacuation standards. Second, statistical data were organized based on measurement data, and the characteristics of each form were summarized. Third, the network reliability measurement method was borrowed to evaluate the evacuation safety of the evacuation route in the stage space. We confirmed quantitatively that the direction of the loading dock direction and stage door direction on the stage is advantageous for evacuation. In this study, it was possible to distinguish the advantage of evacuation according to the type of evacuation, ( $A(0.1274) > B(0.1228) > C(0.0487)$ ) with A being the most advantageous. These results can be expected to improve the evacuation safety of the stage, and furthermore, they are expected to be used as basic data for stage evacuation.

▶ **Key words:** Theatre Safety, Stage Safety, Evacuation Safety, Multi-use Facility, Network Reliability

### [요 약]

본 연구는 공연시설 내 공연장 무대공간에서 위기상황에서 피난 시 공연예술종사자가 반입구 및 공연자통로를 적극적으로 활용하는 것을 제안하는 것이 목적이다. 먼저 공연장 안전과 관련된 제도를 분석하고 무대피난 유형을 건축법 내 객석 피난 기준을 적용하여 A, B, C, D 형태로 분류하였다. 둘째, 측정자료를 바탕으로 통계자료를 정리하고 각 형태의 특징을 정리하였다. 셋째, 무대공간에서 피난 경로의 피난 안전성을 평가하기 위해 네트워크 신뢰도 측정방법을 차용하였다. 그리고 무대중심에서 반입구 방향, 공연자 출입문 방향이 피난에 유리함을 정량적으로 확인하였다. 본 연구에서 피난형태에 따른 피난의 유리함( $A(0.1274) > B(0.1228) > C(0.0487)$ )을 구분할 수 있었다. 이러한 결과는 무대피난 안전성을 향상과 무대피난의 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

▶ **주제어:** 공연장 안전, 무대안전, 피난안전, 다중이용시설, 네트워크 신뢰도

- 
- First Author: Yong-Gyu Park, Corresponding Author: Heung-Sik Woo
  - \*Yong-Gyu Park (park4310@korea.kr), Dept. of Safety Engineering, Dongguk University WISE
  - \*Heung-Sik Woo (Woohs@dongguk.ac.kr), Dept. of Safety Engineering, Dongguk University WISE
  - Received: 2023. 02. 07, Revised: 2023. 02. 21, Accepted: 2023. 03. 08.

## I. Introduction

기존 공연산업의 안전관리는 제도를 기반으로 한 안전한 운영과 이에 따른 시설 위주의 안전관리가 초점이 되어 안전사고를 예방하는 데 주력했다. 이러한 다양한 안전사고 예방 활동에도 불구하고 화재 및 유사상황의 위기상황 발생 시 구성인원과 근무환경에 따른 적절한 조치가 계획되지 않는다면 공연종사자와 관객의 생명을 위협하게 되는 상황이 발생함으로 이에 소홀할 수 없다.

공연산업의 규모가 확장됨에 따라 공연장 안전이 대두되고 있으며 2022년 1월부터 ‘중대재해 처벌 등에 관한 법률’이 시행되면서 공연장도 안전관리를 철저히 할 필요성이 대두되고 있다. 공연장의 안전을 목적으로 하는 대상을 ‘중대재해 처벌 등에 관한 법률’ 시행목적에서 살펴보면 ‘시민과 종사자의 생명과 신체를 보호함’이라고 명시되어 있으며 이를 바탕으로 공연장에서는 ‘관객안전’과 ‘공연종사자안전’으로 구분할 수 있다. 또한, 공연종사자의 수는 지속해서 증가하는 추세에도 불구하고[1] 공연종사자의 안전과 관련된 연구는 미미한 실정이다.

화재 및 지진 등의 유사 위기상황 발생 시 인간의 행동은 최적의 경로가 아닌 친숙한 경로를 통해 대피하려는 경향이 있다[2]. 하지만 공연장의 구조는 흡사 미로를 연상시키는 복잡한 건축구조로 구성되어 익숙해지기 쉽지 않다. 따라서 위기 상황의 발생 전 피난 방법 안내는 매우 중요한 부분이며 반드시 안내하도록 제도적으로도 의무화하고 있다[3].

하지만 선행연구를 살펴보면 고시원, 영화관 등의 다중이용업종 이용자 중심의 피난 안전성을 연구한 사례이며 [4-5] 다중이용시설과 관련한 업종의 종사자 안전과 관련된 선행연구는 이용자와 종사자의 구분이 모호하여 연구된 이력이 부족한 실정이다. 이용자와 종사자의 구분이 명확한 공연장의 경우 관객안전의 선행연구는 다수 존재하나, 종사자의 안전을 연구한 사례를 찾기 쉽지 않다.

따라서 본 연구에서는 기존의 관객영역의 피난안전 연구와는 다른 공연종사자의 피난을 위하여 본론Ⅱ.에서는 무대공간 피난안전과 관련된 제도를 분석하였다. 이를 기준으로 본론Ⅲ.에서는 무대 중심에서의 피난로를 분석하여 무대 평면 형태적 분류를 수행하였다. 본론Ⅳ.에서는 네트워크 모델을 활용하여 무대 피난과 관련된 정량적 검증을 수행하였다. 본 연구의 한계점은 통로의 적재, 조도 등의 현장 관리적 요소가 반영되면 결과가 달라질 수 있으며 실내외 공연상황의 안전관리 기초자료로써 활용을 기대한다.

## II. Current Status Survey of Performance facilities

### 1. Space Safety Characteristics of Performance Facilities and Theatre

국내 공연시설의 연간 공연 구성을 분석하여 보면 13년 평균(2009~2021) 기획 공연은 약 30(29.4)%, 대관 공연은 약 70(70.6)%이다. 대관 공연의 비율이 높다는 것은 공연을 위하여 공간을 대여하는 외부자가 그 공간으로 공연을 수행하려 방문한다는 뜻으로 해석된다. 이는 공연을 위하여 방문하는 외부 공연자가 그 공간이 지리, 구조적으로 익숙하지 않다는 것을 의미한다. 참고로 2022년 공연시설 내 입주 공연예술단체 현황을 살펴보면 전국의 968개의 공연시설 중 70.2%가 입주 공연예술단체가 없다는 것을 알 수 있으며 약 70%의 공연예술단체는 공연을 위하여 익숙하지 않은 공연장을 방문한다는 것을 방증한다[6].

Table 1.은 공연시설 및 공연장의 특성을 비교 분석할 수 있는 자료를 살펴보면 지하공간의 특징을 비교하여 설명한다.

Table 1. Comparison of Space Characteristics[7]

Risk Factor Comparison	
Underground Space	Performing Facility
No Natural Light	Windowless Space
Under the Ground	Case by Case
Closed Space	Closed Space
Complex Internal Structure	Complex Internal Structure
Inexperienced Space	Inexperienced Space
Fire Load is High	Case by Case
Multi-Person Space for Unspecified Use	Multi-Person Space for Unspecified Use

공연시설은 무창구조의 특성, 무대 아랫공간은 연습실, 분장실 등 복잡한 내부구조 및 폐쇄적인 특징을 가진다. 이러한 지하 공간구조와 유사한 환경으로써 위기상황 시 (특히, 화재 특성상 재실하고 있는 모든 사람) 위험한 상황에 부닥칠 우려가 있다. 따라서, 공연장에 방문하는 모든 이들의 안전한 피난을 위하여 피난과 관련된 시설 및 안내 행위가 매우 중요하다.

### 2. Analysis on Status of Domestic Performance Facilities

공연장은 공연법에 따라 일정한 시설과 조건을 갖추어 지방정부에 등록하여 운영하여야 한다. 객석규모에 따라서 Table 2.와 같이 대공연장, 중공연장, 소공연장으로 분류될 수 있다. 또한, 건축법상 건물군의 분류에 따라 제2종 근린

Table 2. Scope of Facility by Theaters Class

Class	Seats	Theaters[6]	Related Laws[8-9]	
			Indoor Air Quality Control Act	Building Act
Large	~1000	164	Public-Use Facility	Floor Area Less than 500㎡
Medium	999~500	547		
	499~300	236		
Small	299~100	223		-
	99~	111	Facilities For Cultural Activities and Assembly	

Table 3. Laws and Contents Related to Buildings Evacuation(Gate and Corridors Only)

Section	Rules on Standards for Evacuation · Fire Protection Structures, Etc. of Buildings[10-12]		
Gate	Article 10 Standards for Installation of Gate From Viewing Rooms, Etc.		
	Type	Pull Type-Swing Door Prohibition	
	Count	More than 2	
	Width	More than 1.5m	
	Total Effective Width	Floor Area Every 100㎡ - More than 0.6m Ratio Width	
	Article 11 Gate Installation Standard of Head Off to Outside the Building		
	Walking Distance	Article 34, Section 1 Regulation Distance Twice or Less	
	Type	Pull Type-Swing Door Prohibition	
Count	In Addition to Main Gate, Auxiliary Gate or Install More than 2 Emergency Gates.		
	Article 15 Width of Corridors and Standards for Installation		
Corridors	Width	More than 1.5m	
	Type	Floor Area of Viewing Rooms - 300㎡ or More	Outside the Viewing Room - both Sides, Back
		Floor Area of Viewing Rooms - Less than 300㎡	Outside The Viewing Room - Front, Back

생활시설, 문화 및 집회시설로 분류되며 ‘실내공기질 관리법’에 따라 1000석 이상의 공연장은 다중이용시설로 분류되어 운영되고 있다. 2022년 국내 공연시설은 968개이며 공연장 수는 모두 1,281개로써 1,000석 미만의 공연장이 91% 이상의 중소규모 공연장이 주류를 이루고 있다[6].

**3. Evacuation Safety of Theater and System Analysis Related to Evacuation Guidance**

공연장의 위기 발생 시 공연장 종사자가 주로 있는 공간은 무대 위이다. 따라서 본 연구에서 무대공간에서 밖으로 나가는 효과적인 피난 방법을 연구하는 것이 목적이므로 국내 공연장을 대상으로 무대공간 피난로 구조를 분석하였으며, 공연자의 효과적인 피난 방법에 직접적인 영향을 미칠 것으로 판단되는 출구와 통로를 중심으로 규정을 조사하였고 Table 3.과 같이 정리하였다. 또한, 구조적으로 복잡한 공연장을 방문한 사람을 위하여 피난 안내와 관련된 법·제도를 조사하여 문제점을 파악하여 정리하였다.

먼저, 건축법상 출입구의 기준은 위치, 너비, 개수, 문 열림의 방향을 규정하고 있으며 통로의 기준은 폭, 길이, 개수 등을 면적에 따라 설계되도록 하고 있다. 무대공간에서 근무하는 공연자 측면에서 ‘건축물 바깥쪽에서의 출구’ 설치기준을 살펴보면 ‘출구의 유효너비는 1.5미터 이상’, ‘주된 출

구 외에 보조출구 또는 비상구를 2개소 이상 설치’하게 되어 있지만, 공연시설 전체공간을 기준으로 매우 넓은 공간구조로 구성되어 있으며 장치 반입구 같은 무대공간에서 공연시설 밖으로 향하는 넓고 높은 문을 낼 수 있는 명확한 기준이 없는 한계가 확인되었다. 이를 다시 정리하자면 관람실은 법으로 분명한 출구 및 통로 규정은 존재하지만 무대공간은 공연시설 영역으로 포함되어 ‘건축물의 바깥쪽으로 출구의 설치기준’에 따라 설치되는 한계가 있다[11].

공연장은 포함되지 않지만, 업태가 비슷한 ‘다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법’의 관련 법령을 확인하여보면, 비상구 통로를 위치, 너비, 개수 문열림의 방향에 대하여 구조, 높이, 추락방지 등의 규정과 피난 통로의 길이와 형태 규정을 좀 더 상세히 기술하고 있다. 이러한 특징을 종합하여 피난을 고려한 설계를 할 수 있도록 제도화되어 있다. 하지만 해당 법령 내에서 규정하는 운영형태에 해당하지 않았다[13].

이러한 공연장에서 공연자가 공연을 위하여 방문한 경우, 위기상황 발생 시 안전하게 피난하기 위해서는 피난안전과 관련한 내용을 교육 혹은 고지된 내용을 쉽게 확인할 수 있어야 한다. 이와 관련된 문제점을 도출하기 위해 피난 안내와 관련된 법령과 제도를 살펴보고 Table 4.에 정리하여 문제점을 파악해보았다.

Table 4. Scope of Facility by Theaters Class

Related Laws	Content	Target
Public Performance Act Article 11-5[5]	Notification of Escape-Related Prior to the Beginning of Public Performance.	Audience
	Post of Emergency Evacuation Plan	
Act on Fire Prevention and Safety Control Article 36[14]	Post of Emergency Evacuation Plan	-

공연법 내 관람자를 대상으로 공연 전 비상상황 시 피난과 관련된 내용을 안내하도록 의무화하고 있으며 피난 안내유도정보 게시의 내용도 ‘공연법’과 ‘화재의 예방법’(약칭)의 내용에 각 층마다 보기 쉬운 위치에 게시하도록 의무화하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 내용은 정확한 장소와 개수가 특정되지 않아 유동인구가 많은 관객 위주로 게시될 우려가 있으며 이러한 행위는 방문한 공연장이 익숙하지 않은 공연자에게는 위기상황발생 시 상당한 위협으로 다가올 수 있다.

### III. Analysis of Stage Evacuation Facility

#### 1. Selection of Theater and Evacuation Facility Investigation

공연장은 목적에 따라 크기와 형태가 달라지지만, 그와는 상관없이 일정규모 이상의 공연을 목적으로 운영되는 공연장의 경우 공연을 위한 장치물을 반입을 목적으로 하는 전용 출입로가 ‘반입구’ 또는 ‘장치 반입구’라는 이름으로 존재하였다[15]. 반입구가 존재하는 공연장의 구조적 특징과 피난로로 사용 가능 여부를 확인하기 위하여 다음과 같은 조사와 분석을 하였다.

국내 국공립 공연시설을 임의로 선정하여 공연시설 내 운영되는 44개의 공연장 내부구조를 조사하였다. 본 연구에서 공연자들이 무대 공간에서 밖으로 피난하는 가장 효과적인 피난 방법을 연구하는 것이 목적이므로 무대 중심에서 밖으로 나가는 가장 가까운 출입구 2개를 조사하여 데이터화 하였으며 무대 중심에서 밖으로 나가는 출입구 2개의 경로, 경로상의 문, 밖으로 향하는 비상구 등 특징을 조사, 비교하여 상호 간의 어떤 특징이 있는지 살펴보았다.

조사대상 공연시설의 홈페이지에 공시된 대관자들의 장비수송 및 공연시설 이용에 참고될 만한 정보 중의 하나인 공연장 도면을 활용하였고, 절대적인 수치 측정엔 오차가 있을 수 있으나 무대 중심으로부터의 출입구들을 비교하는데에는 상대적인 비교가 가능할 것으로 판단된다. 공연장

에 따른 공간에 대한 사용용도 및 적재물 여부에 관해서는 확인할 수 없었으므로 무대 중심에서 출구까지의 동선 중 적재물 및 타 사용 용도로 인한 변수는 고려하지 않았다.

무대 중심의 결정은 Fig. 1.을 참고하며, 객석공간과 무대공간을 구분하는 기준인[15] 프로시니엄(A) 양 끝을 시작으로 주 무대 뒷 끝단(B)을 기준으로 대각선으로 가로지르는 X자의 중심(C)으로 하였다.

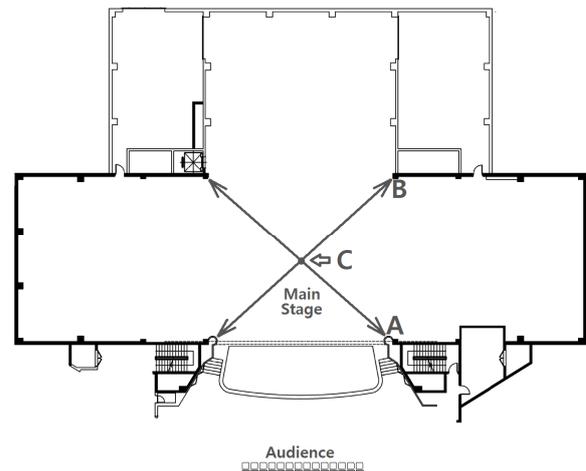


Fig. 1. Decision of Center in Main Stage

무대 중심에서 가장 가까운 피난로를 찾는 본 연구에서 출발점을 무대 중심으로 시작하는 이유는 모든 공연장의 크기와 형태가 다르며 일명 ‘포켓’이라고 부르는 측면무대, 후면무대의 크기와 형태가 상이하므로 모든 공연장이 공통으로 가지고 있는 주 무대의 중심은 어느 공연장이나 공통으로 존재하기 때문에 피난의 시작을 무대 중심으로 가정하였다. 이렇게 결정된 무대 중심에서 밖으로 나갈 수 있는 가장 가까운 출구와 두 번째로 가까운 출구를 조사하였다. 또한, 출구를 확인하는 과정에서 피난에 영향을 줄 수 있는 경로상의 문 형태와 개수 그리고 문 폭을 조사하였다. 또한, 공연자만이 이용할 수 있는 피난로인지, 관객과 피난로를 공유하는지를 확인하여 그 과정에서의 피난의 어려움을 확인하였다. 공연장의 다양한 피난에 관련된 정보를 토대로 공연장 규모에 따른 피난특성도 살펴보기 위하여 공연장별 객석 수를 조사하였다.

## 2. Classification by Shape of Stage Evacuation

Table 3.의 건축물 피난과 관련된 내용을 살펴보면 '제 38조 관람실 등으로부터의 출구 설치', 및 '제39조 건축물 바깥쪽으로의 출구 설치'라는 출구와 관련된 2가지 내용을 확인할 수 있으며 객석 중심적 내용으로 구성되어 있다. 이를 이해하기 위해서는 Fig. 2.의 공연시설과 공연장의 구분을 위한 개념도를 참고할 필요가 있다.

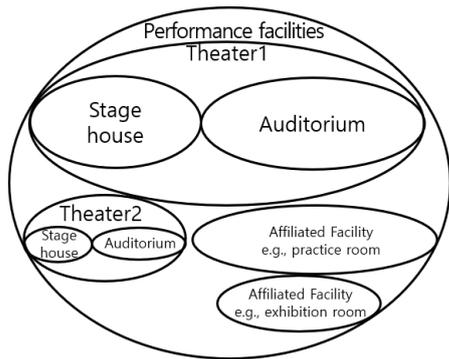


Fig. 2. Composition of Performance Facilities and Concept Diagram

공연장은 공연시설에 포함되는 개념이다. 공연시설 내 규모에 따른 공연장이 1개 이상 있으며 공연시설 내 필요에 의한 연습실, 전시실 등의 부대시설이 포함되는 개념이며, 공연장은 다시 무대와 객석으로 구분할 수 있는데 건축법 내 언급되는 '관람실 또는 집회실'의 개념이 객석이며 객석은 공연장에 포함되는 개념이다, 따라서 건축법의 '바깥쪽으로 나가는 출구'에 대한 개념은 공연장이 아닌 공연시설의 바깥쪽 즉 외부로 나가는 출구를 의미하는 것이다. 따라서 제38조의 '관람실' 개념을 무대공간에 적용, 그 기준으로 Fig. 3.처럼 질의 절차도를 작성하였다.

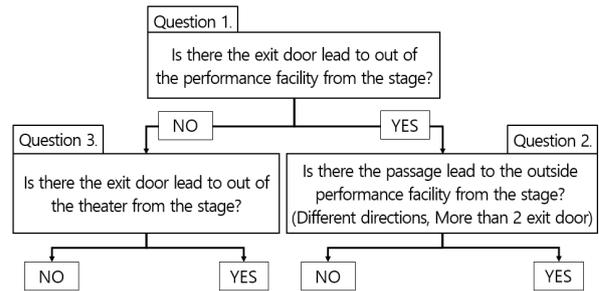


Fig. 3. Question for Classification of Stage Escape Types and Procedures Diagrams

현재 국내 국가표준의 용어기준[15] 장치 반입구 (Loading Dock) 및 공연자 출입구(Stage Door)라는 단어를 사용하고 있지만, 수치와 관련된 다른 규정이 없어 소규모 공연장의 경우 장치 반입구 및 공연자 출입구의 구분이 모호하며 비상구의 법적 기준이 역시 모호하여 반입구를 비상구로 사용할 수 있음에도 적재물의 적재 및 안내 부족 등 다양한 문제점이 잠재하고 있다.

따라서 무대에서 가장 효과적인 피난 방법과 무대공간 피난로 특징에 따른 공연장을 분류하여 각 특징을 살펴보았다. 조사대상 44개의 공연장에 Fig. 3. 질의 절차도에 따른 결과를 Table 5.처럼 분류하였으며 A, B, C, D 분류에 따라 각 분류별 대표적 특징이 확인되었다.

객석영역의 피난 동선이 겹치는 것을 지양하기 위하여 무대 중심을 기준으로 공연시설 바깥으로 나갈 수 있는 출입구 또는 반입구 여부를 확인하였다. 또한 무대공간에서 공연시설 바깥으로 나가는 출입구와 반입구가 2개 이상(동선이 겹치지 않는) 존재하는지를 확인하였다.

하지만 무대가 3층 이상, 바깥으로 바로 나갈 수 없는 구조의 공연장의 경우 최대한 관객과의 동선을 구분하였는지를 확인하였으며 질의 절차에 따라 공연시설의 무대공간 피난로 특징별 형태를 Fig. 4.과 같이 4가지로 분류할 수 있었다.

Table 5. Characteristics on Type of Stage Evacuation

Type	Q-A	Detail
A	Q1-Yes Q2-Yes	Evacuation Direction: From Stage House to Performance Facility Outside-More than 2 Gate (Different Directions, The Audience's and the Evacuation Route Do not Overlap)
B	Q1-Yes Q2-No	Evacuation Direction: From Stage House to Performance Facility Outside-Only 1 Gate(The Audience's and the Evacuation Route do not Overlap)
C	Q1-No Q3-Yes	Evacuation Direction: From Stage House to Theater Outside-More than 2 Gate (Different Directions, Does not Go Through the Auditorium)
D	All-No	Evacuation Direction: Only Auditorium

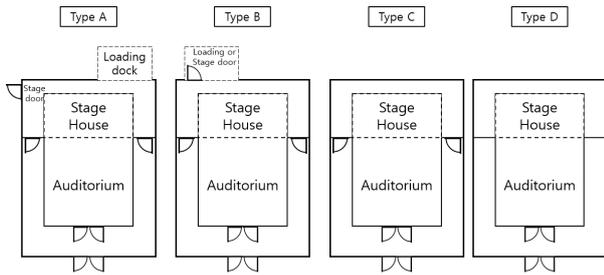


Fig. 4. Type Classification of Stage Escape

### 3. Analysis by Shape of Stage Evacuation

24개의 공연시설 중 44개의 국공립 공연장의 객석 규모 별로 분류한 결과 대극장 14개, 중극장 24개, 소극장 6개로 구분되며 무대공간 피난로 형태별 분류결과 Type A 14개, Type B 21개, Type C 8개, Type D 1개로 분류할 수 있었다.

모 집단의 개수가 많지 않아 소극장 및 Type C, D는 통계적으로 유효한 개수는 아니나, 전국단위의 충분한 모 집단이 확보된다면 상기의 분류가 유효할 수 있으리라 판단되며 본 연구에서는 대, 중규모의 공연장 위주의 분석 및 Type A, B를 유의미하게 판단할 것이며 소극장 및 Type C, D 제외하지 아니하고 참고자료로서 활용하였다. 또한 반입구의 형태 중 승강기 방식은 피난 시 활용하지 않기에 본 연구에 반영되지 않았다.

무대공간 피난로 형태별 분류를 살펴보면 Type A, B인 약 79.5%(35개)의 공연장이 무대공간에서 공연시설 바깥으로 즉각적인 탈출을 할 수 있는 구조였다. 조사대상의 약 20.5%(9개)인 Type C, D의 경우 피난 시 관객과의 동선이 겹치므로 피난에 유의함이 요구된다고 판단된다.

피난로 형태별 분류에 객석 규모별 분류로 교차 분석하여 살펴보면 1000석 이상의 대규모 공연장 모두(14개) 무대공간에서 공연시설 바깥으로 즉각적인 탈출이 가능하였다. 중규모 공연장은 전체의 약 38.6%(17개)의 공연장이 무대공간에서 공연시설 바깥으로 즉각적인 탈출이 가능하였다. 약 16%(7개)의 중규모 공연장에서 관객과의 피난 동선이 겹치는 것을 확인할 수 있으며 특히 1개의 공연장은 객석방향이 유일한 탈출로인 것을 발견하였는데 후속연구로써 더 많은 타 공연장의 사례를 수집하여 분석할 필요가 있다고 사료된다.

## IV. Safety Assessment of Stage Evacuation and Consideration

### 1. Evacuation Safety Model by Evacuation Distance and Evacuation Obstacle

본 연구에서는 피난 경로 시각화를 위하여 네트워크 모델의 활용하였고, 규모에 따른 지수변화를 이용한 정량화가 특징인 네트워크 신뢰도 방식을 활용하였다.

무대공간의 효과적인 피난 경로를 확인하기 위하여 평면 형태의 무대공간 피난로를 단순 수치화된 결과를 기존의 네트워크 신뢰도 측정방법을 차용하여 무대공간의 피난 경로에 대한 피난 안전성 평가를 하고자 한다.[16-18]

Fig. 5.는 정점(Node)과 변(Link)으로 피난의 시작점(S)과 피난의 완료점(G, G1, G2)의 연결을 나타낸 네트워크 그래프의 기본개념도이다. 네트워크 신뢰도(Network Reliability)는 각 변이 가진 피난 가능 확률을 변의 신뢰도라고 하며, 임의의 출발점에서 피난 정점까지, 피난 경로의 모든 변 신뢰도를 계산한 합성 신뢰도를 정의하며 다음의 식으로 피난 경로상 네트워크 신뢰도를 구할 수 있다.

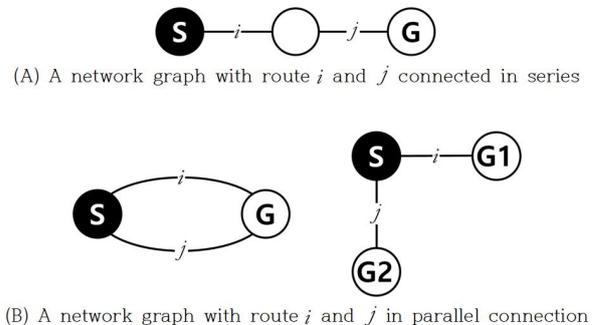


Fig. 5. Network Graph Showing Connectivity between 'Node' and 'Link'

피난 경로 i, j가 직렬로 연결된 경우, 식(1) (Fig. 5.-A)

$$R_{ij} = r_i \times r_j \quad (1)$$

경로 i, j가 병렬로 연결된 경우, 식(2) (Fig. 5.-B)

$$R_{ij} = 1 - (1 - r_i)(1 - r_j) \quad (2)$$

$R_{ij}$ : 피난 경로 i, j의 합성신뢰도(네트워크 신뢰도)

$r_i$ : 피난 경로 i 변의 신뢰도

$r_j$ : 피난 경로 j 변의 신뢰도

상기의 식으로 피난경로상 네트워크신뢰도를 구할 수 있다.

하지만 규모나 형태의 변화에 영향을 미치지 않는 기존의 네트워크 신뢰도 계산법을 개선한 선행연구에서는 거리에 따라 달라지는 변수와 피난 경로상 존재하는 장애요인 변수를 반영하는 변의 신뢰도를 다음의 식(3)으로 정리하였다.

$$r(d) = r_0^{d/d_0} \cdot \prod h_k \quad (3)$$

$r(d)$ : 거리  $d$ 에 대한 변의 신뢰도

$r_0$ : 기준거리  $d_0$ 에 대한 변의 신뢰도,

기준 변의 신뢰도

$d_0$ : 기준거리

$h_k$ : 피난 경로  $k$ 번째 장애요인의 통과 신뢰도

( $0 \leq h_k \leq 1$ )

본 연구에서는 무대공간의 평면 형태에서 효율적인 피난 경로를 확인하였으며 모든 피난 경로는 직렬연결이며 장애요인은 '문의 폭'의 요소만 반영, 문의 열림 방향, 피난 동선의 꺾임, 비탈길, 문의 잠김 여부, 바닥의 높낮이, 관객과 피난 경로 겹침 등 다양한 장애요인은 반영하지 않았다. 이는 본 연구의 선행분석에 도출된 무대공간의 피난 형태별 분류에 따른 효과적인 피난을 네트워크 신뢰도가 절대적이고 정량적인 수치로 표현해줄 수 있는지 확인하는 차원에서 시도하는 것이며 긍정적 결과가 도출되면 다양한 장애요인을 반영한 후속연구가 필요할 것이다.

상기의 이론을 바탕으로 출발정점은 무대공간, 경로는 최단거리(m), 장애요인은 문(Link당 1개)의 폭, 거치는 정점은 공간이며 경로의 절반을 가정하였다. 그리고 기준거리는 링크 중 가장 긴 거리를 기준(45.47m)으로 0.1의 신뢰도를 가정하여 계산식에 반영하였다. 장애요인의 문의 폭은 기준변의 신뢰도 식 (3)을 참고하여 건축법 내 출입문의 가장 작은 기준인 0.75m를 기준으로[19-21] 0.1의 신뢰도를 가정하여 폭이 길어질수록 1에 수렴하도록 수정하여 적용하였다.

## 2. Consideration of Evacuation Safety by Stage Evacuation Route

무대공간의 피난 경로를 분석한 수치적 결과를 네트워크 신뢰도 측정방법을 활용하여 일차적으로 거리에 따른 신뢰도를 반영하여 계산하였으며 이차적으로 장애요인 문

폭의 너비에 따른 신뢰도 가중치를 반영하여 계산하였고 변화를 분석하였다.

Fig. 6.는 공연장의 무대 중심에서 가장 가까운 출입구 2개를 수치로 측정된 모든 측정값을 반입구 방향, 공연자 출입구방향, 로비방향, 객석방향 거리 신뢰도 평균으로 정리하였고 또한 문 폭의 신뢰도 가중치를 반영한 각 피난 방향별 평균을 표시하였다.

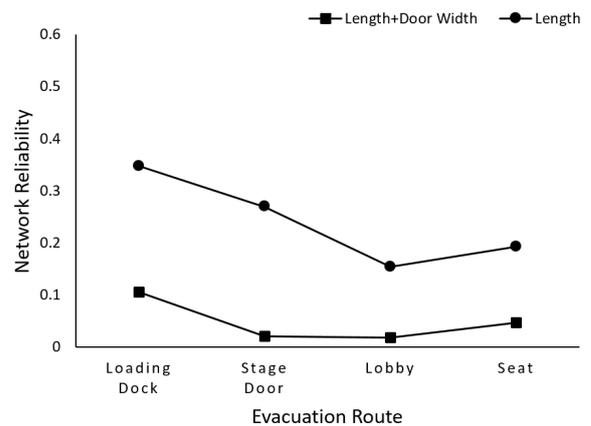


Fig. 6. Network Reliability by Evacuation Direction

반입구 방향 및 공연자 출입구 방향이 로비와 객석방향의 신뢰도 평균에 비하여 신뢰도가 높은 것을 확인할 수 있다. 이에 문 폭의 신뢰도 가중치를 반영한 결과 급격한 신뢰도 하락폭을 확인할 수 있는데 이는 거리에 따른 신뢰도에서 장애요소가 반영된 결과이다.

거리+문 폭 신뢰도 가중치 반영 평균 그래프는 반입구 (0.1059)방향이 다른 비교 대상에 비하여 높은 피난 신뢰도를 표현하고 있다. 확인한 차이를 보이지 않지만, 거리 가중치 평균의 그래프와 마찬가지로 반입구(0.1059)>공연자 출입구(0.0213)>로비(0.0186) 순으로 우하향 하는 경향을 확인할 수 있으며 최대 하락폭(0.2483)인 공연자 출입구 평균 신뢰도의 경우 문 폭이 다른 출입구에 비교하여 좁은 특성이 반영된 결과이므로 피난계획 시 참고할 사항이다.

공연장별 최단 피난 경로 2개를 Fig. 5.의 (B)를 참조, 병렬계산 하여 공연장별 무대공간 피난로 신뢰도를 도출하고 유형별로 구분하여 유형별 네트워크 신뢰도 평균을 구하였고 Fig. 7.로 도식화하였다.

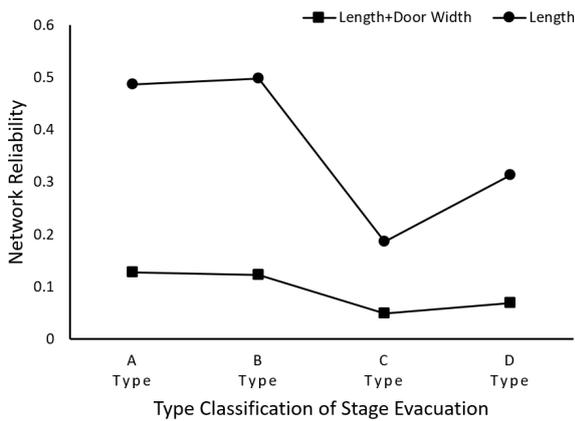


Fig. 7. Network Reliability by Stage Evacuation Type

거리+문 폭 신뢰도 가중치 반영 평균 그래프에서 A(0.1274)와 B(0.1228) 유형이 0.1 이상의 비교적 높은 신뢰도를 보여주고 있다. 이 그래프 역시 완만하지만, A(0.1274)>B(0.1228)>C(0.0487) 유형 순서로 우하향 하는 경향을 확인할 수 있다.

거리가중치 신뢰도 평균과 거리+문 폭 가중치 신뢰도 합인 평균치 결과를 살펴보면 A와 B 유형의 무대가 비교 대상에 비추어 비교적 신뢰도가 높은 것을 확인할 수 있다. 특히 C 유형의 무대가 가장 낮은 신뢰도를 확인할 수 있는데 이것은 무대공간에서 건물 밖까지의 피난 동선이 관객의 피난 동선과 겹치지 않는다. 즉각적으로 밖으로 향하는 출입구는 없으며, 피난 시작점이 객석 방향 피난 경로에 비교하여 상대적으로 길고, 무대 중심에서 로비로 향하는 출입문 폭의 평균이 좁아 피난에 불리하게 작용한 결과이다.

Fig. 6와 7의 그래프에서 반입구 방향, 공연자 출입구 방향 및 무대 A, B의 피난유형이 무대에서 무대공간 피난로 신뢰도가 상대적으로 높았다. 이는 무대 중심에서 건물 밖까지의 피난 거리 평균이 짧은 것이 큰 영향을 미쳤으며 대극장, 중극장 일부, 소극장 일부 반입구 문 폭의 평균이 상대적으로 긴 것이 큰 영향을 미쳤다. 이는 무대 공간에서 즉각적으로 건물 밖으로 피난할 수 있는 출입구 확보와 그 문 폭 길이의 중요성을 방증한다.

### V. Conclusions

기존 다중이용시설의 피난안전과 관련된 연구는 이용자(관객영역) 중심의 피난안전 연구결과물들이 주류를 이루었다. 하지만 본 연구는 관련업 종사자(무대영역)의 피난

안전을 고민하였다는 점에서 이전 연구와의 큰 차이점이 있다. 따라서 무대영역 피난 형태의 평면 형태적 분류를 시도하고 이를 네트워크 모델을 활용하여 정량적 검증을 시도하였으며 그 결과 유의미한 자료가 만들어졌고 해당 내용의 정리는 다음과 같다.

1) 공연장은 지하 공간과 유사한 특징을 공유하고 있으므로 공연장 방문 시 반드시 직원의 안내와 현장 안전교육 필요

2) 피난의 기본은 아는 곳으로 피난하는 것이 원칙이므로 반입구 및 공연자 출입구를 적극 활용할 수 있도록 유도 필요

3) 공연장 건축 또는 리모델링 계획 시 무대공간 피난과 관련된 기술적 반영을 위한 적극적인 참여가 반드시 필요

4) 기존의 시뮬레이션 방법은 시간적, 비용적 소모가 비교적 부담스러운 측면이 있었으나 네트워크 모델을 활용하면 공연산업의 특성인 빠른 흐름에 적합한 안전관리의 방법으로 활용 가능

5) 뿐만 아니라 공연장 이외의 장소에서의 공연, 행사 등을 기획할 시 안전관리 계획서 또는 재해대처 계획 시 무대안전, 군중관리 등에 정량적 자료로써 활용 가능 및 지자체 자체적 평가수행 가능

본 연구의 결과는 각 공연장의 안전관리 및 운영자가 해당 공연장의 안전관리에 있어서 무대공간 피난의 형태학적 기준과 안전관리 계획 시 기초자료로써 활용할 수 있다. 또한, 야외 행사나 야외 콘서트 등 평면적 특징을 가지는 군집특성 업무에 활용될 것으로 기대되며 이를 위해서는 후속적 연구가 요구된다.

본 연구의 진행 시 자료확보를 위하여 각 공연장의 홈페이지에 올라온 한정된 자료와 제한된 정보들이 연구의 완성도에 영향을 끼쳤으며 이를 개선하기 위해서 관객과 공연장 운영자는 온라인 콘텐츠 및 홈페이지를 활용하여 안전과 관련된 자료의 적극적인 관심이 필요하다. 또한, 많은 안전연구자가 공연안전에도 관심을 가져 공연안전과 관련된 연구 자료들이 많이 생산되어 공연안전을 넘어 행사안전, 나아가 문화안전 발전에 이바지하길 기대해본다.

### REFERENCES

[1] Y. G. Park, D. K. Kim, J. K. Park and K. H. Kim, "A Study on the Safety and Improvement of Small Theatres in Korea," Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 29, No. 6, pp. 22-27, Dec. 2014. DOI:https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2014.29.6.0 22

- [2] B. Levin, "Human Behavior in Fire: What We Know Now," SFPE Fire Protection Engineering Seminars Technology Report 84-3, pp. 10, 1984.
- [3] Public Performance Act Article 11-5.
- [4] J. H. Kim, S. Y. Joo and J. J. Lee "An Evaluation on Evacuation Safety in Multiplex Cinema based on Fire & Evacuation Simulation," Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 7-13, Jun. 2007.
- [5] J. H. Kim, J. H. Yang, and H. T. Seok, "A Study on the Variation of Evacuation Time according to the Width of Corridor and the Emergency Exit in Gosiwon's Fire State," The Korean Solar Energy Society Spring Annual Conference, Vol. 29, No. 1, pp. 133-138, EXCO, Korea, Apr. 2009.
- [6] Ministry of Culture, Sports and Tourism, and Korea Arts Management Service, "Survey on the Performing Art" Soo Printing, pp. 1-156, 2009-2021.
- [7] Japan Architecture Center, "Building Disaster Prevention Measurement Guidelines - Fire Prevention of Buildings Evacuation Plan Commentary-j" Korea Fire Insurance Association, pp. 21, 1997.
- [8] Indoor Air Quality Control Act Article 3.
- [9] Building Article 2.
- [10] Rules on Standards for Evacuation · Fire Protection Structures, etc. of Buildings Article 10.
- [11] Rules on Standards for Evacuation · Fire Protection Structures, etc. of Buildings Article 11.
- [12] Rules on Standards for Evacuation · Fire Protection Structures, etc. of Buildings Article 15-2.
- [13] Special Act on the Safety Control of Publicly Used Establishments Article 9-1
- [14] Act on fire prevention and safety control article 36.
- [15] Different kinds of Theaters and Stages and Their Spaces-Terminology.
- [16] G. S. Jeong, "Quantitative Evaluation of Escape Safety Considering Decrease of Reliability by Escape Distance and Escape Barrier," Proceeding Autumn Annual Conference of the Architectural Institute of Korea - Planning, Vol. 28, No.1, pp. 105-108, Korea National Housing Corporation, Korea, Oct. 2008.
- [17] G. S. Jeong, "Quantitative Evaluation of Escape Safety Considering Extension of Escape Time by Escape Distance and Escape Barrier," Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 9, No. 5, pp. 1-7, Oct 2009.
- [18] H. J. Jeong, G. S. Jeong, and Y. C. Ahn, "Study on the Escape Safety of University Dormitory with the Consideration of Plan Types," Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 10, No. 6, pp. 1-7, Dec. 2010.
- [19] Rules on Standards for Evacuation · Fire Protection Structures, etc. of Buildings Article 25.
- [20] S. H. Chung, "A Study on the Improvement Alternatives using USN Technology on Bicycle and Infrastructures," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 15, No. 8, pp. 173-180, Aug. 2010. DOI:<https://doi.org/10.9708/jksci.2010.15.8.173>
- [21] S. H. Chung and H. R. Park, "A Study of Integrated Press System Implementation for Traffic Information," Journal of Korea Society of Computer and Information, Vol. 14, No. 9, pp. 147-156, Sep. 2009.

## Authors



Yong-Gyu Park received the B.S., in Safety Engineering from DongGuk University WISE, M.S. in Safety Engineering from DongGuk University WISE, Ph.D. Candidate in Safety Engineering from DongGuk University, Korea,

in 2008, 2013 and 2020, respectively. Park is Theatre Safety Manager and Government Employee at the Busan National Gugak Center, in Korea. He is interested in Theatre Safety Engineering, and Crowd Management.



Heung-Sik Woo received B.S., M.S., and Ph.D. degrees in Mechanical Engineering from Sungkyunkwan University, Korea. Dr. Woo joined the faculty of the Department of Safety Engineering at DongGuk University WISE,

Gyeongju, Korea, in 1991. He is currently a Professor in the Department of Safety Engineering, at DongGuk University WISE. He is interested in Mechanical Safety and Industrial Safety.