

학교강당의 평면적 특징에 따른 대피효율에 관한 연구

Evacuation Efficiency on School Auditorium Floor Layout

권준범* 김덕수** 김길채***
Kwun, Joon-Bum Kim, Duk-Soo Kim, Khil-Chae

Abstract

This study compared evacuation effectiveness between the conventional school auditorium plan and a suggested hypothetical plan that was generated by a mathematical model, which is commonly applied in the field of industrial engineering. Recent school buildings became much more complicated in floor planning due to new social needs and modern curriculum than the old days. Nevertheless, architect's approach to floor composition in terms of fire emergency evacuation planning, still has no relation to optimized effective but relies more on an conventional school planning. Therefore, since school buildings are much more likely to be exposed to any fire related events than any other building types, emergency exit effectiveness based on spatial composition has to be seriously evaluated with a scientific method.

The algorithm, which acquires the number of persons in each spatial type(node) per floor and the minimum physical distance between spatial types(arc), can propose the most optimized spatial layout per floor regarding emergency evacuation event. Consequently, this study evaluated school's fire exit effectiveness focusing on auditorium area with the scientific tool and suggested the most reliable spatial layout regarding possible emergency evacuation event.

키워드 : 학교계획, 비상구, 정량적 평가, 시설배치계획

Keywords : School Design, Emergency Exit, Quantitative Evaluation, Facilities Layout

1. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

현재 서울시의 학교시설복합화 지원 사업은 세부기능별 시설용도에 따라 크게 실내체육관, 문화 및 교육, 수영장, 도서관, 정보센터 그리고 주차장으로 구분될 수 있다. 이 중 학생과 지역주민의 운동 및 여가활동 프로그램은 국민 소득 향상과 여가시간 증대로 시민들의 여가활동을 흡수할 수 있는 스포츠 및 문화생활에 대한 사회적 수요가 급증하고 있는 현상과 발맞춰 서울시는 이와 관련된 시설을

지원하는 60개소 외 10개를 더 추진 중에 있다. 즉, 학교 시설을 복합화하고 일반인들에게 개방하는 시설개방사업은 지역사회 복지 및 문화 수요에 따른 공공시설 확충 방안이 기반하고 있다. 그러나 교육이라는 특수목적에 방해하지 않는 범위에서 불특정다수와 학교시설이 공용할 때 발생할 수 있는 다양한 안전문제에 대한 방안과 사회적 공감대 절실하게 필요한 실정이다.

한편, 최근 한국화재보험협회가 발간한 '특수건물화재조사분석' 보고서에 따르면 다양한 특수건물 대상건수 1000건당 업종별 화재발생빈도는 평균이 58.3건이었으며 이중 아파트가 121.3건으로 가장 높았고 바로 다음으로 학교시설이 113.9건으로 뒤를 이었으나 아파트는 생활공간으로서 주로 소규모 화재가 빈번하게 발생하는 반면 학교라는 시설은 다양한 연령의 학생들이 주 구성원이고 현재 시설개방에 따른 불특정다수가 사용하는 공간이라는 측면에서 그 위험성과 심각성이 더 높다고 할 수 있을 것이다.

* Professor, Ph.D., Dept. of Architecture, Sejong Univ., Korea

** Associate Professor, Ph.D., Dept. of Architecture, Hanbat National Univ., Korea

*** Professor, Ph.D., Dept. of Architectural Engineering, Chungwoon Univ., Korea,

Corresponding Author,

Tel: 82-32-770-8173, E-mail: ski8579@gmail.com

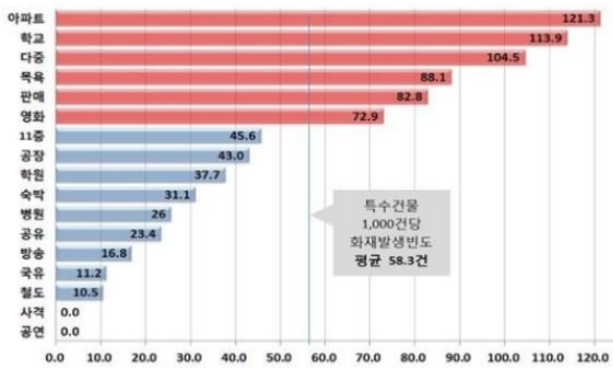


Figure 1. Fire Occurrence Rate per Building Type

따라서 본 연구는 학교시설복합화에 있어 스포츠 및 문화시설의 수요를 충족하고자 학교 강당/체육관에 대한 개방빈도가 가장 높다는 현실에 입각하여 그 평면적 유형과 비상시 대피효율을 공학적 알고리즘과 대피시뮬레이션기법을 근거로 비교분석하여 향후 조금 더 안전한 강당/체육관평면의 형태를 제안하는 것에 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

학령인구감소와 제7차 교육과정도입으로 인한 교육제도의 변화와 더불어 학교시설의 개방이라는 사회적 현상에 따라 학교의 구성원과 공간활용의 방법이 과거에 비해 상당히 변화하였으며 이에 따라 건축계획적인 측면에서도 여러 가지 새로운 논의가 활발하게 진행되고 있다. 특히 교사표준설계도는 학교의 전체적인 환경수준을 높였다는 긍정적인 평가를 받고 있으나 주로 건축재료와 건물외관, 시공 상의 경제적 측면이 발전하였을 뿐 평면계획적인 측면에서는 과거의 관습이나 전통을 그대로 따르는 경우가 많다. 특히 학교 강당/체육관은 그 고유 기능에 따라 거의 모든 학교가 농구코트 1~2개를 소화해낼 수 있는 크기에서 경우에 따라 줄업식이나 학교행사를 무난하게 진행할 수 있는 전통적인 직사각형의 프로시니움(Proscenium)¹⁾ 평면 형태를 따르고 있다. 한편 최근 몇 년 사이 우리사회는 불행하게도 학생관련 참사를 몇 차례 목격하였으며 이에 따라 학생안전에 대한 관심이 높아졌음에도 불구하고 학교건축계획에 있어서 이와 관련하여 별다른 변화가 없다는 문제의식에 따라 학교공간 중 가장 많은 학생이 모일 수 있고 불특정다수에게 개방되고 있는 강당/체육관

1) Picture frame stage라고도 불리는 이 형태는 강연, 콘서트, 독주, 연극공연 등에 가장 대표적이고 적합한 공간형태이며 일정한 방향으로만 관객을 대하고 투시도법을 공간에 응용함으로써 공연 내용을 한정된 고정객자 속에서 보는 듯한 하나의 통일된 느낌을 준다.

공간에 한하여 연구의 일반화를 위해 농구코트 2개를 소화해낼 수 있는 크기를 기준으로 그 평면적 형태에 따라 비상시 어떠한 영향을 줄 있는 지 과학적인 평가방법으로 비교하고 개선안을 제시하고자 한다.

2. 이론적 고찰

본 장에서는 학교의 복합화계획과 관련된 선행연구와 피난안정성에 대한 연구를 검토하고 피난안정성을 평가하기 위해 필요한 변수들을 파악하고자 한다. 또한 기존 피난시뮬레이션 프로그램과 연구에 사용되는 프로그램의 차이점 및 특성을 서술하였다.

2.1 지역 체육 및 문화시설로서의 학교시설

서론에서도 언급하였듯이 학교시설을 복합화하고 일반인들에게 개방하는 시설개방사업은 지역사회의 복지 및 문화 수요에 따른 공공시설 확충 방안의 기반하고 있는 동시에 교육이라는 특수목적에 방해하지 않는 범위에서 불특정다수가 공용할 때 발생할 수 있는 다양한 안전문제에 대한 방안과 사회적 공감대 필요성이 실정이다.²⁾ 최초의 학교개방화 및 복합화, 즉 지역 커뮤니티와 교육시설의 연계는 1930년 미국에서 헨리 모리스(Henry Morris)에 의해 빌리지 대학(Village College)라는 개념으로 시작하여 1944년에 이미 지역주민의 신체발달과 윤리 및 정신에 이르기까지 광범위한 의무를 분담하도록 요구되어왔다. 반면 국내에서의 교육시설 복합화사례는 2001년이 돼서야 금호초등학교의 복합화사례가 처음이라고 알려져 있으며³⁾ 이후 아래와 같이 다양한 관련연구들과 함께 국민체육진흥법 제43조에 의해 학교운동장을 중심으로 한 체육시설을 지역 주민들에게 개방할 것을 규정하고 있다.⁴⁾ 이중 학교 체육관 겸 강당 시설의 구성요소는 경기시설, 무대, 관람

2) 선행연구에 따르면 64% 이상 대부분의 학교는 지역주민을 위한 개방을 부정적으로 보고 있으며 이에 대한 가장 큰 이유는 관리상의 문제 31%와 유지관리에 따른 요금징수의 문제가 56%로 나타났고 이는 최근 학교 담장 허물기 사업에 대한 비판적인 견해로 더욱 높아진 것으로 판단되나 대체로 지역주민들의 사용가능시간대를 새벽 6:00~9:00, 오후 18:00~22:00 그리고 주말 06:00~22:00시로 보는 견해가 지배적이다.

3) Shin, C. K. & Jung, E. A.(2015), Daytime Learning Place Nighttime Playground in Hwasung City, Resident Oriented School Complex, Joongboo Ilbo

4) 학교의 여러 구성요소 중 체육관 겸 강당시설과 유사한 시설을 한곳으로 집중 배치하여 계획함으로써 공간의 합리적인 활용성, 융통성을 높이고 분산된 유지관리 역량을 단일화시킬 필요성이 강조되고 있다.

시설과 함께 화장실, 샤워실, 탈의실 등의 부속시설이 대표적이며 그 규모는 각 학교별 체육교과 및 신체발달의 단계에 따라 결정되는 경우가 많으나 표준으로는 농구코트를 둘 수 있는 크기로서 최소 400m²(22.5×12.8m)가 필요하고 보통은 500m²(28.6×15.2m)로 설계하는 것이 바람직하며 초/중학교의 학급 수에 따른 최저소요면적은 다음과 같다.⁵⁾

Table 1. Minimum spatial requirement for auditorium

# of classrooms		6	9	12	15	18	21	24
Minimum size(m ²)	Elementary School	120	180	240	360	360	420	480
	Middle School	150	225	300	375	450	525	600

또한 이와 관련하여 최영기 외 2인이 조사한 ‘충북지역 학교 체육관 겸 강당 시설에 대한 실태조사 및 활용방안’에 따르면 다수의 학교가 농구장 규모(28m×15m)이상의 공간을 확보하고 있었으며 설문조사로 확인된 가장 선호하는 규모로는 대부분 농구 코트 이상의 공간을 선호하였고 구체적으로 가장 이상적인 규모로는 농구 코트(34m×21m) 또는 배구 코트(24m×28m) 2면 이상인 것으로 확인되었다.⁶⁾

한편 시대별 특징으로는 우선 1970년대에 와서야 최초로 공립 고등학교에 체육관 겸 강당시설이 건축되었고 기와나 슬레이트 함석의 재료를 상용하여 계획되었다. 이후 1980년대에서야 철판을 가공하여 만든 패널을 지붕재료로 사용하며 화장실, 탈의실 및 샤워시설과 같은 부속시설이

추가되어 환경적으로 향상이 되었다. 1990년대에 비로서 내/외장 재료가 다양해지고 철골구조가 본격적으로 활용되었으며 특히 샌드위치 패널이 외부 마감재로 선호되었다. 그러나 평면 및 배치유형에 있어서는 장방형 강당 및 체육시설, 즉 직사각형 대공간이 대부분이며 최근 2000년대에 와서야 정방형 공간이 간혹 나타나고 있다.

2.2 피난규정

최근 교육부 자료에 따르면 우리나라 초중고 화재 발생 현황은 2011년 75건, 2012년 71건 그리고 2013년에 91건으로 총 237건의 크고 작은 화재사고가 발생하였으며⁷⁾ 이중 고등학교 27%, 중학교 29% 그리고 초등학교가 무려 42%의 화재빈도를 보이고 있어서 특히 어린이들이 사용하는 시설의 화재안전계획이 더욱 절실한 상황으로 나타났다.⁸⁾ 한편 일반적으로 피난이라 함은 비상시 재실자가 안전한 장소로 대피하는 포괄적인 행위를 의미하나 그 경로는 간단명료해야하며 수단은 원시적 방법에 의하는 것을 원칙으로 한다.⁹⁾ 또한 설비는 고정적인 시설에 의해야만 하고, 가구식의 기구나 장치 등은 피난이 늦어진 소수의 사람들에게 대한 극히 예외적인 보조 수단으로 사용되어야 한다.¹⁰⁾

한편 피난안정성 평가는 피난통로¹¹⁾를 통해 실제적인 피난에 필요한 시간이 피난 가능시간을 초과하는지를 실험하는 것이며.¹²⁾ 피난행동의 기본방안은 화재가 일어난

Table 2. Selected Literature Review on School Sports Facilities

Author	Published	Main Issue
Kim, H. I. & Kim, J. I.	1989	Several case studies and almost 4,000 interviews regarding preferences, activities and programs for local sports facility.
Lee, Y. H. & Lee, H. J.	2003	Exploring sports facilities and its main object for local residents as a practice area, walking and relaxation space.
Lee, S. J. et. al.	2006	Proposing a multi-use strategy for school network as a public facility for regional welfare and cultural activity.
Lee, H. R. & Dong, J. U.	2010	Suggesting new criteria for school sports facilities based on diverse analysis on ecological environment and indoor activities.
Song, W. Y. et. al.	2012	Higher demand on local school sports facilities' program and accessibility due to increased overall GNP and holidays.

5) 이광노, 건축계획, 문은당 p.321, 2004

6) 최영기 외 2인, 충북 지역 학교 체육관 겸 강당 시설에 대한 실태조사 및 활용방안, 대한건축학회, 2000. 06

7) 2013년의 교육시설의 화재원인으로는 “전기적인 요인”이 42.3%로 가장 높고 “부주의”에 의한 화재가 29.1%로 높게 나타난 것으로 조사되어 노후화한 소방/전기시설의 개보수가 시급하며 특히 체육관과 강당을 포함한 실합실, 컴퓨터실, 시청각실과 같이 상대적으로 전기에 많이 노출될 수밖에 없는 특별실들의 안전관리가 절실히 요구되어지는 것으로 보인다.

8) 권준범, 교육시설의 화재 안전대책은 개선되고 있는가?, 한국교육시설학회논문집, v.21 n.5, p.15, 2014

9) 이윤하 외3, 특수학교 소방시설 및 지도교사의 화재안전의식 개선방안, 한국화재소방학회, p.278, 2011

10) 피난경로에 따라서 일정한 구획을 정하여 피난 구역을 설정하고 최종적으로 안전성을 높이는 것이 합리적이며 관리상의 이유로 자물쇠를 채워두는 것은 큰 위험을 초래하므로 피해야한다.

11) 피난통로의 개수의 적정성과 관련하여 국내법규기준은 일정 규모 및 용도에서 최소 양방향 피난통로의 확보를 요구하고 있으나 영국의 Approved Document나 미국의 Life Safety Code등과 같은 국제법규는 총 수용인원 600명 초과 시 3개소 이상의 통로를 확보하도록 되어있으며 피난통로의 이격 각도의 적정성 또한 국내법규기준은 명기되어있지 않은 반면 국제법규는 실내 어는 지점에서 연결선의 각도가 45도 이상, 단 45도 이하일 경우에는 피난계단 구조인 내화구조의 외부벽 확보를 의무화하는 등 보다 세밀한 사항을 요구하고 있다.

실에서 1차적으로 대피, 층 전체에서 계단으로의 대피, 피난층이 계획되었다면 피난층으로의 대피, 그리고 마지막으로 해당 건축물에서의 대피시키는 개념이다. 이는 단순히 대피경로에 근거한 피난계산을 체크하는 것뿐만 아니라 시설계획에는 나타나지 않은 건축물 용도로 본 특성이나 유지관리상의 특성 그리고 비상관리까지 고려하여 종합적인 안정성을 수립하는 것이 중요하다.

Table 3. Selected Literature Review on School Safety

Author	Published	Main Issue
Kim, J. M	1991	Identifying major school safety accidents based on several case studies and interviews regarding fire protocols and its understanding.
Kim, S. D	2000	Actual school safety conditions and its improvement issues based on Kyungi-do's elementary schools.
Jung, M. H & Lee, B. G.	2007	Safety assessment of the evacuation at school building by escape training and simulation.
Choi, C. H & Cho, M. K.	2009	Evaluation on evacuation safety in training facilities for young people based on fire and evacuation simulation.
Lee, Y. H & etc.	2011	Improvements on the status of fire fighting facilities and teacher's fire safety awareness about special school.
Lee, Y. J	2014	Proposing an efficient strategy for school fire safety as a public facility for regional welfare.

학교의 강당 겸 체육관은 장 스펠에 의한 천장이 높은 대공간으로 이루어진 경우가 대부분이라 화염 및 연기의 전파를 허용한다면 순식간에 시설 전체에 위험성이 커질 가능성이 매우 높을 뿐만 아니라 실의 규모에 비해 개구부가 적고 벽으로 둘러싸여있어 형태와 기능상 화재에 더욱 취약한 특성을 갖고 있다. 따라서 재실자를 중심으로 한 용도분류를 토대로 용도별 재실자 밀도와 피난용량을 산정하여 각 건축물의 특성에 맞는 피난규정을 융통성 있게 적용해야하나 국내규정은 단순히 건축물의 구조 및 이용 목적을 중심으로 분류하고 획일적인 수치로만 규정하여 선진외국에 비해 효율성이나 현실성이 다소 떨어지는 것이 사실이다.¹²⁾ 즉, 피난 시 경로 확보에 관한 국내법규는 건축구조

12) 피난 소요시간은 실 사용자의 연령과 남녀노소의 개인별 특성에 따른 보행속도와 공간형태 그리고 피난 경로의 효율적 거리를 바탕으로 계산된다.
 13) 미국과 영국의 경우 획일적인 사양적 기준에서 탈피하여 건축물의 조건에 맞는 성능적 기준을 병행하는 반면 우리나라는 이에 대한 기본적인 개념이 없는 상황이다. 또한 피난용량 산정에 있어서도 미국과 영국은 용도별 재실자밀도를 법규로 제정하여 규정수립 시 필요인자들을 과학적이고 공학적으로

와 재료에 관해서는 비교적 객관적인 기준이 마련되어 있으나 평면구성에 영향을 줄 수 있는 건축계획적인 내용은 매우 부족한 실정이다. 또한 비상상황에서 나타날 수 있는 인간의 본능적 행동패턴을 고려하지 않았을 뿐만 아니라 보행속도를 포함한 신체적 차이나 판단능력의 차이를 무시하고 초등학교 1학년에서 고등학교 3학년까지의 학생들을 일괄적으로 ‘학생’으로 분류하여¹⁴⁾ 단순히 평면상의 직선거리와 계단의 개수, 바깥쪽으로의 출구 설치 등의 최소기준만을 충족하면 되는 것으로 되어있다.¹⁵⁾ 때문에 학교 건축물이 법적 기준을 충족하였다도 학교의 종류에 따라서 비상시 최소한의 법적기준만으로는 재난을 대처하기에는 현실적으로 부족함이 있는 것이 사실이다.

2.3 비상시 행태 심리적 특성

비상상황에서 인간의 돌발적이거나 본능적인 행태심리는 귀소본능, 일상도지향성, 지광본능, 퇴피본능, 추종본능, 향개방성, 역시경로선택제, 지근거리선택제, 직진성과 좌회본능 등 크게 10가지로 나뉜다.¹⁶⁾ 이중 대표적인 심리를 간단히 살펴보면 귀소본능은 발화지점에 상관없이 무의식 중에 왔던 길로 되돌아가려는 경향이며 화재현장에서 사망자가 복도나 계단/승강기 부근에서 많이 발견되는 것은 이를 증명한다고 할 수 있다. 일상도지향성이란 비상시 판단능력의 급감으로 발화지점과 상관없이 일상적으로 파악하고 있던 길로 탈출을 시도하는 경향이다. 추종성이란 대구 지철 화재사고 때나 세월호 사건 때도 나타났듯이 군중심리에 의해 남의 눈치를 보면서 단호한 결단을 못 내리는

적용하고 있으며 일본의 경우도 재실자밀도개념을 피난안전설계법에서 도입하여 건축법에 도입하고 있는 반면 우리나라는 단순하고 획일적인 수치로만 명시하고 있다.

14) 현행 건축법은 초, 중, 고등학교 건축물을 특정소방대상물 중 획일적으로 단순 교육연구시설로 분류하고 있으나 특정 건축물의 피난 성능은 해당 건축물의 공간구조 외 이용자의 행태가 더 중요한 변수로 작용할 것이다.
 15) 이호진, 학교건축계획, 초판, 사단법인 한국교육환경연구원, pp.291~391, 2009(피난경로 확보에 관한 규정은 (1) 건축법 39조, 영34조에 표기된 거실에서 보행거리 30m 이내에 직통계단 설치할 것. 단 내화구조, 불연재료 시 보행거리 50m 이내 설치할 것, (2) 건축법39조 영34조에 표기된 3층 이상의 층으로 그 층의 거실면적 합계가 400㎡(업무), 200㎡이상(판매영업, 교육연구) 직통계단 2개소 이상 설치할 것, (3) 영 35조에 5층 이상, 지하 2층 이상의 건물에 피난계단 또는 특별피난계단을 설치할 것, 11층 이상, 지하3층 이하의 건물에는 특별피난계단을 설치할 것, (4) 영35조 피난규칙 11조에 학교, 승강기설치대상 건축물에 건축물로부터 바깥쪽으로 가는 출구 설치할 것을 규정하고 있다.)
 16) 이강훈, 건축방재계획론, 경남대학교 출판부, pp.96~266, 1999

상황으로 밀폐된 공간에 연기를 피울 경우 혼자 있는 사람은 합리적이고 신속한 판단을 하는 반면 여러 명이 있을 경우 행동개시가 늦어진다는 실험을 통해서 증명된바있다. 직진성은 무조건 앞으로만 나가려는 본능이며 좌회본능은 대부분의 사람들이 오른손 오른발잡이라 오른쪽 근육의 발달로 왼쪽으로 가려한다는 가설과 문화적인 요인으로 해석하는 설명이 있으나 다소 모호한 개념이라고 판단되지만 현실적인 통계는 무시할 수 없는 것이 현실이다. 비상재난시 피난안전에 가장 직결된 요소는 인간의 기본적인 행동과 심리상태라고 추정은하지만 인간본연의 안위에 심대한 위해가 가해질 경우 무의식중의 반사적인 행동이나 결단은 본능적인 것과 학습된 2가지 상반된 인자로 구성되어있어 명확한 근거나 이유를 설명하기가 쉽지 않으며 특히 어린 아이들의 행동패턴을 정의하기는 더더욱 어렵다.

2.4 분석 프로그램의 소개 및 특성

본 연구에서 사용하는 수리적 모형과 최적화 알고리즘은 산업공학에서 지난 40여 년간 주로 공장의 기계설비의 배치에서 효율적인 생산성향상, 즉 서로 필요상관적인 기계 또는 부서들을 가장 근접하게 배치하여 생산성을 최대한으로 높이려는 목적으로 그 실용성이 이미 검증된 기법이다. 이를 건축적으로 응용하여 건물 내의 계단, 통로, 실들의 용도 등을 감안하여 평면계획상 비상구의 위치를 바탕으로 필요 실들을 재구성 하거나 공간의 유형이나 배열에 따라 그 성능을 평가하는 방식을 시도한 것이다. 본 연구에서는 각기 다른 유형의 체육관/강당에서의 유형별 인원수(node)와 주어진 비상구까지의 거리(arc)를¹⁷⁾ 분석하고 피난효율성을 최적으로 높일 수 있는 평면유형을 제안할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 따라 건축계획단계에서부터 최적화된 평면구성이나 평면유형을 통해 피난성능의 평가와 분석을 동시에 수행할 수 있는 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 즉, 기존연구나 Simulex와¹⁸⁾ 같은 피

난평가 알고리즘은 구성실들간의 거리와 실들의 관계를 통하여 피난안전성의 평가를 이루어 냈다면 본 연구는 실간 최단거리와 평면유형 및 배치 그리고 더 나아가 각 실별 채실자의 수 까지 고려된 공학적 알고리즘을 바탕으로 피난을 위한 최적화된 평면유형을 제안하고자 한다.

3. 알고리즘 분석방법

앞서 문헌조사를 통해 학교 체육관 겸 강당의 표준규격이라고 설정할 수 있는 농구코트 크기인 최소 400m²(22.5 ×

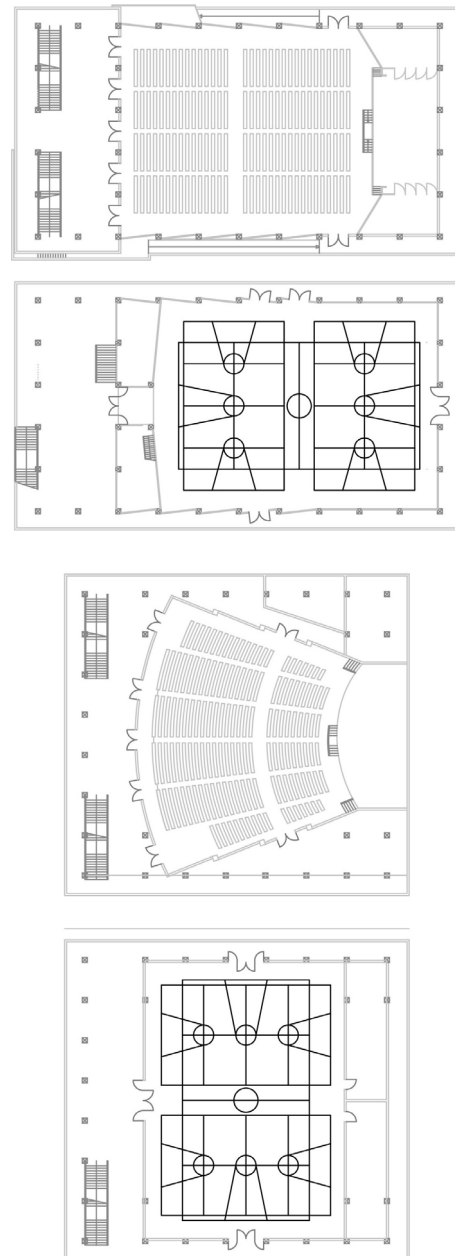


Figure 2. Standard School Auditorium/Gym in Traditional Proscenium Type vs. Modified Proscenium Type

17) Node란 동일한 기능과 인원을 수용하는 학교 강당을 하나의 구성단위로 보고 그 안의 채실자의 수를 통합하여 표기했다는 뜻이며 Arc란 각 강당유형별 공간적 중심에서 비상구까지의 거리로 실질적인 최단거리를 말하는 것으로 물리적 최단거리 분석방법은 Node별로 하나의 무게중심점을 산출하여 Node와 Node간의 무게중심점 사이의 최소 직선거리를 이루는 경로를 따라 측정되는 거리의 합이다.

18) 1995년 영국 Edinburgh대학 연구진이 C언어로 개발한 거주자 피난 시뮬레이션 프로그램으로 현재 소방업체에서 가장 널리 사용되는 대피평가모델이나 단일 층의 주어진 공간에서의 평가는 뛰어나지만 복층의 건물과 설계 전 평가에 있어서는 취약한 약점이 있다.

12.8m) 또는 500m²(28.6×15.2m)로 설계하는 것이 바람직하다는 근거와 하부에 경기시설 및 화장실, 샤워실, 탈의실 등의 부속시설, 상부에 강당실 및 무대, 탈의실, 화장실 등의 부속시설로 계획된 전통적인 직사각형의 체육관 겸 강당과 변형된 프로시니엄 유형의 강당을 동일한 기능과 동일한 비상구 숫자를 설정하고 그 피난대피효율성을 분석하였다. 즉, 분석을 위해 가상의 체육관 겸 강당의 기능과 건축법규를 고려하여 계획한 총 6개의 비상구의 개수 또한 합리적인 비교분석을 위해 고정 값으로 설정한다. 분석에 앞서 고정 값을 정하지 않을 경우 알고리즘 분석은 비용과 현실적인 문제점들이 고려되지 않아 현재보다 상당히 많은 개수의 비상구와 코어를 요구할 가능성이 있기 때문이다. 각 층의 실의 용도가 같은 경우 이것을 Node로 설정하고 그 안의 재실자 수를 통합하여 표기하였다. 재실자의 수는 학교건축계획의 학급수별 시설기준과 관람석의 수용 가능인원을 기준으로 산정하였다. 각 실별 재실자수를 최대인원으로 통합하여 산정한 이유는 모든 상황에서 최악의 경우를 고려하기 위함이며 A 초등학교의 층별 현황은 다음과 같다.

Table 4. 1st Floor Spatial Types and its Number of Occupant

Spatial Type	Occupant
Gym	60
Rest Room 1	2
Rest Room 2	1
Locker Room 1	N/A
Locker Room 2	N/A
Staircase 1	8
Staircase 2	1
Storage	5
etc.	10

Table 5. 2nd Floor Spatial Types and its Number of Occupant

Spatial Type	Occupant
Auditorium	60
Stage	10
Anteroom	10
Rest Room 1	2
Rest Room 2	1
Staircase 1	8
Staircase 2	1
Storage	5
Extra Room	10

표 6의 경우 학교 강당과 체육관의 가상의 필요 실들과 동일한 가상의 최대 재실자 수 및 각 실들 간의 거리를 매트릭스로 작성한 것이다. 이와 같은 작업을 각 층에 대해 같은 방식으로 한 후 서로 다른 데이터를 바탕으로 피난시간을 측정하여 비교하고자한다.

4. 결과 및 해석

본 절에서는 강당 겸 체육관의 각 실에서 가상의 최대 재실자의 수를 바탕으로 비상구까지의 총 이동거리(시간)를 최소화하는 최적유형을 결정하기 위한 수리모형을 제안하였으며 비교 분석하는 것을 목적으로 한다. 수리모형을 구축하기 위해 필요한 기호를 정리하면 다음과 같다.

w_i : 시설 i 의 상주 인원

$i = 1, 2, \dots, 9, i = (1: \text{강당}), (2: \text{화장실 } 1), (3: \text{화장실 } 2), (4: \text{탈의실 } 1), (5: \text{탈의실 } 2), (6: \text{계단 } 1), (7: \text{계단 } 2), (8: \text{창고}), (9: \text{기타실})$

d_{ij} : 시설 i 에서 시설 j 까지의 거리,

$i = 1, 2, \dots, 9, j = 1, 2, \dots, 9$

M : 임의의 큰 수

Table 6. A Elementary School 1st Floor Room Types and Distance(Node) & (Arc)

(Scale: m)

Room Type (Occupant)	Auditorium (60)	Stage (10)	Anteroom (10)	Restroom 1 (2)	Restroom 2 (1)	Staircase 1 (8)	Staircase 2 (1)	Storage (5)	etc. (10)
Auditorium(60)		35.7	50.6	49.6	58.4	67.4	75.6	85.4	94.4
Stage(10)	35.7		27.8	26.3	35.1	44.2	53.2	62.2	71.2
Anteroom(10)	50.6	27.8		26.4	35.4	44.5	53.2	62.5	71.5
Restroom 1(2)	49.6	26.3	26.4		12.9	21.9	30.9	39.9	48.6
Restroom 2(1)	58.4	35.1	35.4	12.9		12.9	21.9	30.9	39.9
Staircase 1(8)	67.4	44.2	44.5	21.9	12.9		12.9	21.9	30.9
Staircase 2(1)	75.6	53.2	53.2	30.9	21.9	12.9		12.9	21.9
Storage(5)	85.4	62.2	62.5	39.9	30.9	21.9	12.9		19.8
etc.(10)	94.4	71.2	71.5	48.6	39.9	30.9	21.9	19.8	

Table 7. Analysis Result

* Status : optimal Solution Found
 * Total cost : 107
 * Exit number : 6
 * Decision variables :

	Y1=1	Y2=1	Y3=0	Y4=0	Y5=0	Y6=0	Y7=0	Y8=0	Y9=0
$X_{ij} =$									
i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

수리모형을 통해 본 연구가 정리하고자 하는 의사결정 변수는 다음과 같다.

Y_j : 만약 시설 j 의 근처에 비상구나 계단이 있다면 1, 그렇지 않으면 0으로 표기하였다.

X_{ij} : 만약 시설 i 의 인원이 시설 j 의 근처에 설치된 비상구나 계단을 이용한다면 1, 그렇지 않으면 0으로 표기하였다.

위의 기호와 의사결정변수를 사용하여 수리모형을 구축하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize } \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{15} w_i d_{ij} X_{ij} \\
 & \text{s.t. } \sum_{j=1}^{15} X_{ij} = 1, \forall i \quad (1) \\
 & \sum_{j=1}^{15} Y_j = 7 \quad (2) \\
 & \sum_{i=1}^{15} X_{ij} \leq M Y_j, \forall j \quad (3) \\
 & X_{ij} = 0, 1, \forall i, j \quad (4) \\
 & Y_j = 0, 1, \forall j \quad (5)
 \end{aligned}$$

목적함수는 각 시설에 배정된 비상구까지 거리의 합을 최소화하는 식이다. 여기서 거리의 합은 시설에 상주하는 인원수 곱하기 이동거리로 인원수가 많은 시설일수록 거리의 합이 증가하게 된다. 제약식 (1)은 모든 시설에 사용 가능한 하나의 비상구나 계단이 할당되어야 함을 나타낸다. 제약식 (2)은 전체 비상구의 수를 6개로 한정한다는

것을 의미한다. 제약식 (3)은 비상구나 계단이 설치될 때에만 할당되어 대피가 가능함을 뜻한다. 마지막으로 제약식 (4), (5)는 의사결정 변수가 0혹은 1의 값을 가져야 함을 나타내는 식이다. 즉, 비상구나 피난계단이 필요하다면 1의 값을 갖고 필요하지 않는다면 0의 값을 가진다. 실험은 Intel(R) Core 2 Duo CPU 3.16 GHz, 3.25 GB RAM을 가지는 컴퓨터 Microsoft Visual Studio 2005 C++와 상용 최적화 소프트웨어인 ILOG CPLEX 11.0 연동하여 분석하였다. 문헌조사를 통해 얻은 표준적 크기의 강당 겸 체육관을 관습적으로 설계한 직사각형의 공간과 이를 변형한 프로시니엄 형태의 공간을 비교하여 알고리즘이 동일한 재실자의 수를 바탕으로 피난 시 필요거리를 바탕으로 재구성한 분석결과는 시간적으로 2분 12초의 차이를 보였다. 이는 응급처치법에서 심폐소생술(CPR)은 상황 발생 후 최소 5분에서 최대 10분 내에 시행되어야 하며 항공사의 경우 운명의 90초 룰이 있듯이 화재사건 시 방재전문가들이 바라보는 생사를 가를 수 있는 시점이 화재발생 후 최초 2-3분이라는 점을 감안하면 안전에 있어서 매우 큰 차이라고 할 수 있다. 따라서 학교건축에 있어서 건축가의 직관에 따라 관습적으로 계획되는 공간계획은 2000년 이후 점차 다양하고 복잡해지는 기능에 있어 부적합하며, 비상구나 피난계단의 수와 위치를 총 재실자의 수와 연관하여 고려하지 않은 구성방법은 상당히 위험할 수도 있는 계획방법이라 판단된다.

5. 결론

교육시설 내 체육관 겸 강당은 전통적으로 재학생 중심의 교육 장소이자 지역 주민들의 사회 체육과 문화 활동

의 장이기도 하다. 그러나 시설의 노후화와 부적절한 건축 계획 그리고 면적 협소의 문제뿐만 아니라 비상시 대피안전에 대한 별다른 고려가 없어서 많은 위험요소를 잠재적으로 갖고 있다. 즉, 지금까지도 학교는 학생 교육만을 위한 성역이라는 의식이 팽배하였으나 열린 학교라는 시대적 조류로 인해 불특정다수가 사용하는 공간으로 변화하고 있으며 이에 따른 안전의식이 중요해지고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서 다루었던 구체적이고 과학적인 대피안전방안을 다음과 같이 제시하고자 한다. 학교 체육관 겸 강당시설의 부차적 기능을 수행하는 유사 시설을 집약화시키되 규모는 농구코트 또는 배구코트 2면 이상이 되도록 계획하는 것이 타당한 것으로 조사되었다. 화재공학의 발전에 의해 가능해진 화재안전설계는 새로운 건축재료뿐만 아니라 공간 구성을 위한 설계 유연성을 적극적으로 제공한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 피난 안정성 평가는 피난 시간의 확보 여부를 및 피난 경로와 피난 출구 위치의 적정성 등을 종합적으로 판단할 수 있는 중요한 수단이 되었다. 본 연구는 공간구성의 변화와 피난 및 화재 시뮬레이션을 병행 실시하여 실제적이고 구체적인 피난 안정성을 평가하였다. 이는 화재안전 규정이 ‘사양규정’에서 ‘성능규정’으로 바뀌는 세계적인 추세에 맞게 우리의 학교 건축도 피난성능이라는 개념의 도입이 필요하다는 것을 의미한다. 다만 대피거리의 총합을 재실자의 수와 관계하여 최소화한 단순모형이 반드시 사망자수의 최소화로 이어진다고 단정하기에는 보다 많은 연구가 필요한 것이 사실이다. 따라서 이에 적합한 동적모형(Dynamic Model)의 개발이 필요할 것으로 보인다.

접수 2017. 1. 31
1차 심사완료 2017. 3. 9
게재확정 2017. 3. 29

References

1. Lee, Yong Jae, Study on the Fire Safety Performance Beyond Measures of School Facilities, Review of the Korean Institute of Educational Facilities, v.21 no.5 2014.09
2. Hwang, Sun-Wook, Educational Facility and Fire Safety, Review of the Korean Institute of Educational Facilities, v.21 no.5 2014.09
3. Choi, Jae-Pil, Kim, Min-Suk, Choi, Hyun-Chul, Development fo Evacuation Cost Analysis Method Based on Euclidean Distance with Visual Depth, Journal of the Architectural Institute of Korea, v.22 n.12, 2006.12