

초등학교 층별 구성과 비상시 대피효율성의 관계

Effective Evacuation based on Elementary School's Floor Layout

권 준 범* 김 덕 수** 김 길 채***
Kwun, Joon-Bum Kim, Duk-Su Kim, Khil-Chae

Abstract

This study compared evacuation effectiveness between the conventional school floor plan and a suggested hypothetical floor plan that was generated by a mathematical model that is commonly applied in the field of industrial engineering. Recent school buildings became much more complicated in floor planning due to the new educational system 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 a conventional school planning. Therefore, since elementary school buildings are much more likely to be exposed to any fire related events than middle school or high-school, 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 compositing per floor regarding emergency evacuation event. Consequently, this study evaluated elementary school's fire exit effectiveness with the scientific tool and suggested the most reliable spatial composition per floor 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

학령인구감소등과 같은 사회적 변화 외에도 제7차 교육과정도입에 따른 교육제도의 변화에 따라 학교의 구성과 학습활동의 형태가 과거에 비해 다양해졌으며 이에 따른 건축계획적인 측면에서도 새로운 논의나 시도가 주로 '홈베이스'라는 새로운 공간을 중심으로 많이 시행되고 있다. 그럼에도 불구하고 학교건축의 전체적인 평면배치에 관한 변화는 미미한 것이 사실이다. 80년대에 연구하고 보완한 교사표준설계도를 바탕으로 학교의 환경수준과 학교시설

업무의 능률을 높이고자하였으나 이것은 어디까지나 건축재료와 외관, 시공상의 개선이었을 뿐 평면계획적인 측면에서는 교실 내의 미세한 부분이나 계단실의 위치와 개수 등에 약간의 변동이 있던 것이 고작이었으므로 앞으로 많은 연구가 이루어져야 할 부분이다.¹⁾

한편 최근 몇 년 사이 우리사회는 일련의 학생관련 참사를 계기로 사회안전망에 대한 높은 관심을 보이고는 있으나 정작 학교건축계획에 있어서는 이와 관련된 별다른 변화가 없어 보인다. 특히 연간 고작 6시간 이상의 안전재해 교육을 해야 한다는 최소한의 지침을 지키는 초등학교는 13% 뿐이고 이나마 형식적인 이론 수업에 그치는 경우가 많으며 교사들도 5명 중 2명은 최근 1-2년 사이 안전교육을 받지 못한 것으로 조사되었다고 한다.²⁾ 따라서 학생들이 밀접해있는 학교에서는 작은 화재라도 언제

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

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

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

Corresponding Author,

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

1) 이광노 외, 건축계획, 문은당, p.295, 2007

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

든지 큰 참사로 번질 가능성이 큰 만큼 본 연구는 오랫동안 관습적으로 해온 학교의 층별 평면구성이 비상시에 어떠한 영향을 줄 수 있는지 과학적인 평가방법으로 비교하고 개선안을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

교육부 자료에 따르면 최근 3년간 우리나라 초중고 화재 발생 현황은 2011년 75건, 2012년 71건 그리고 2013년에 91건으로 총 237건의 크고 작은 화재사고가 발생하였다고 보고되었다. 그러나 더 큰 문제는 이 중 고등학교 27%, 중학교 29% 그리고 초등학교가 무려 42%의 화재빈도를 보이고 있어서 어린이들의 화재교육이 더욱 절실한 상황으로 나타났다.³⁾ 따라서 본 연구에서는 연구의 일반화를 위해 표1에서와 같이 전국 초등학교의 평균학급수와 평균규모를 조사하였으며⁴⁾ 이를 바탕으로 대표성을 갖는다고 판단되는 A초등학교의 층별 구성을 수학적 알고리즘을 통해 새롭게 구성된 층별 구성과 비교분석하여 화재 시 대피효율성을 실험하였다. 연구의 방법은 A초등학교의 평면구성에서 각층의 교실구성과 그에 따른 인원수 그리고 비상구와 피난계단의 위치를 파악하고 수리적 모형과 최적화 알고리즘을 응용하여 평면상에서 피난계단을 기준으로 정량적인 분석을 통한 화재대비 최적의 층별 구성을 제안하였다.

Table 1. Average Number of Elementary Class and Students in Korea

	Average Number of Class per School	Average Number of Students per School
Seoul	31.5	763.8
Busan	23.2	510.7
Daegu	26.9	598.9
Incheon	27.9	647.7
Kwangju	26.6	621.7
Cheju	15.4	341.6
Nation's Average	20.2	459.8

2. 이론적 고찰

본 장에서는 학교계획과 관련된 전문가의 의견과 피난 안정성에 대한 연구를 검토하고 피난안정성을 평가하기 위해 필요한 변수들을 파악하고자 한다. 또한 기존 피난시뮬레이션 프로그램과 연구에 사용되는 프로그램의 차이점 및 특성을 서술하였다.

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

4) 2014년 교육통계분석자료집

2.1 선행연구 검토

학교건축계획에 관한 연구는 필요공간의 구성적인 면을 순수한 건축계획의 관점에서 분석한 연구와 학교의 내부 시설환경에 관한 연구가 주를 이루며, 주변대지의 물리적 조건과 자연적 조건을 바탕으로 한 학교배치계획이나 교실의 실내 환경평가를 분석하는 연구가 대부분을 차지하는 것으로 보인다. 반면 학교의 안전사고관리에 대한 연구들도 간혹 존재하긴 하지만, 이러한 연구들은 안전사고의 실태를 유형별로 분석하거나⁵⁾, 정책적 개선방향만을 나열했다는 한계를 지니고 있다.⁶⁾

한편 교육시설의 화재원인분석을 살펴보면 2013년의 경우 “전기적인 요인”이 42.3%로 가장 높고 “부주의”에 의한 화재가 29.1%로 높게 나타난 것으로 조사되어 노후한 소방/전기시설의 개보수가 시급하며 특히 실험실, 컴퓨터실, 시청각실과 같이 상대적으로 전기에 많이 노출될 수밖에 없는 특별실들의 안전관리가 절실히 요구되어지는 것으로 보인다.⁷⁾ 따라서 학교시설의 화재안전관리를 염두에 두어두고 그 화재 위험빈도를 근거로 피난안전성을 확보할 수 있는 공간계획에서 학교시설의 배치나 평면계획을 시작하는 것이 유리하며 한편으로는 공간별 사용자 수에 따른 층별 공간배치가 합리적일 것이라는 예상을 쉽게 가질 수 있을 것이다. 그러나 우리나라 초등학교뿐만 아니라 중학교와 고등학교의 사무관계와 관련된 제실들의 배치패턴을 보면 표 2에서 나타나듯 안전과는 무관한 이유로 1층에 배치된 경우가 대부분이다. 본 연구를 위해 학교시설계획 경험이 있는 실무자들에 대해 약식의 설문조사를 한 결과 사무관계 제실의 종류로는 교장실, 교무실, 사환실, 숙직실, 인쇄실, 자료실, 양호실, 창고 등을 꼽았으나 이들 실들을 주로 1층에 배치하는 특별한 이유는 양호실을 제외하곤 없어 보이는 것이 현실이다. 조사결과 교장실의 경우 대부분 1층에 배치하는 이유는 교장선생님의 대외접촉이 많고 전체 운동장을 볼 수 있는 것이 좋기 때문에 의

5) 김정만, 학교안전관리, 한국학교보건학회지, v.4 n1, pp.8-11, 1991 (이 학술저널에 따르면 학교 내에서 발생하는 안전사고를 크게 (1) 추락에 의한 사고, (2) 실험실 안전사고, (3) 화재 사고, (4) 교통사고, (5) 전기기구로 인한 사고, (6) 수영 시 사고로 나눌 수 있다.

6) 김선덕, 학교 안전 사고 실태와 개선 방안에 관한 연구 -경기도 초등학교를 중심으로-, 수원대학교, 2000 (개선방향을 제안으로 교원들이 본연의 교육활동에만 전념할 수 있도록 ‘사고처리 대형 기구 설치’ 또는, 지역 교육청 단위별 학교 안전사고처리 자문기구를 신설하여 사고 처리 과정의 제정립을 제안하였다.)

7) 이용재, 학교시설의 화재안전성능 확보 방안에 관한 고찰, 한국교육시설학회논문집, v.21 n.5, p.16, 2014

부의 출입구와 가깝게 배치한다는 다소 권위적이고 추상적인 의견이 있었을 뿐 특별한 이유는 없어보였다. 교무실 또한 교사들의 수업준비 및 휴식공간의 역할을 겸할 수 있도록 되도록 정숙한 분위기가 유지될 수 있고 별도의 회의실과 함께 주로 1층 전체를 사무관계 제실들로 설계한다는 관습적인 이유 이외에 특별한 기능을 고려한 계획은 없어보였다. 양호실은 긴급한 경우 외부에서 병원차량의 접근이 용이해야하고 대부분의 큰 사고는 운동장에서 일어난다는 이유를 들어 운동장과 주 출입구와 가까운 1층 배치가 합리적이라고 사료되나 인원수가 가장 많은 교실과 특별실을 제외한 일반 사무와 관계된 실들의 1층 배치하는 특별한 이유는 관습적인 이유 외 없어보였다. 특히 화재안전에 관한 합리적인 배치차원에서 그 근거나 이유를 알 수 없고 오히려 매우 비합리적인 배치계획이라고 실무자들 또한 동의하였다.

Table 2. Major Types of School's Deputy Office and its Floor Location

Type of Deputy Office	First Floor Location Ratio	Average Occupants
Principal's Office	97.3%	1.1
Teacher's Office	98.6%	21.3
Clerk's Office	92.1%	8.3
Night Duty Room	72.7%	1.6
Printing Room	74.8%	N/A
Reference Room	79.7%	N/A
School's Infirmary	100%	4.2
Storage Room	66.8%	0.2

따라서 본 연구에서는 특수건물 중 화재발생 빈도가 가장 높은⁸⁾ 학교시설에 있어 화재발생 시의 대피효율을 학교계획적인 측면에서 가장 실질적으로 높일 수 있는 층별 구성을 정량적인 방법으로 제시하여 오랜 관습에서 벗어나 다른 차원에서 학교시설계획을 바라볼 수 있게 근거를 마련하는데 연구의 의의를 찾고자 한다.

2.2 비상시 현행 건축법규의 문제점

현행 건축법에서 초등학교, 중학교, 고등학교 건축물은 특정소방대상물 중 통합적으로 단순하게 교육연구시설에 분류되어있다. 하지만 특정 건축물의 피난 성능은 해당 건축물의 공간구조와 이용자의 행태에 따라 복합적으로 관련되어 나타난다. 즉, 피난의 효율은 기본적으로 최단거리

8) 2005년에서 2009년 사이 업종별 화재발생빈도를 보면 아파트의 평균 화재빈도는 68.38%로 2위, 판매시설 36.14%로 2위, 음식점 34.05%로 3위이며 평균은 36.05%로 나타났으나 학교시설은 평균빈도가 77.54%로 압도적 1위로 나타났다.

와 비상시 즉각적인 반응 그리고 계획된 판단에 따른다는 것이 일반적인 상식이나 미숙한 어린학생들에게 이러한 기본적인 것조차 기대하기는 무리일 것이다. 따라서 초등학교 1학년에서 고등학교 3학년까지의 학생들을 일관적인 잣대로 획일화하여 같은 '학생'으로 분류하고 개념적으로 동일시하기에는 신체적인 특징이나 보행속도 그리고 초등학교 학생들의 상대적으로 미숙한 판단능력의 차이를 고려하지 않는 시선은 상당히 비현실적이고 모순점을 안고 있다. 때문에 초등학교 건축물이 법적 기준을 충족하였더라도 비상시 최소한의 법적기준만으로는 재난을 대처하기에 현실적으로 부족함이 있는 것이 사실이다.

피난 시 경로확보에 관한 법규 중 건축구조와 재료에 관한 내용을 제외한 평면구성에 영향을 미치는 법규만을 논하자면 현행 제도상의 피난규정은 인간의 행동패턴이나 여러 가지 현실적인 요소를 고려하지 않고 단순히 평면상의 직선거리와 계단의 개수, 바깥쪽으로의 출구 설치 등의 최소기준만을 충족하면 되는 것으로 되어있다.⁹⁾ 이와 같이 건축법규는 각 건축물들의 용도나 재실자의 신체적 특성을 현실적으로 반영하고 있지 않고 있기 때문에 초등학교와 같이 재실자의 절반 이상이 미숙한 어린 학생일 경우나 다른 특수 건축물의 용도에 따른 피난관련 대책은 조금 더 세심하고 특별한 관점에서 마련되어야 할 것이다.

2.3 비상시 행태 심리적 특성¹⁰⁾

비상재난 시 피난안전에 가장 직결된 요소는 인간의 기본적인 행동과 심리상태라고 추정하지만 이는 본능적인 것과 학습된 인자로 구성되어있어 명확한 근거나 이유를 설명하기가 쉽지 않으며 특히 어린아이들의 행동패턴을 정의하기는 더더욱 어렵다. 단, 여러 문헌들을 종합해보면 표 3에서와 같은 내용으로 압축된다는 것이 일반적인 견해로 그 구성인자는 귀소본능, 일상도선지향성, 향광성, 위

9) 이호진, 학교건축계획, 초판, 사단법인 한국교육환경연구원, pp.291-391, 2009 (피난경로확보에 관한 규정은 (1)건축법39조, 영34조에 표기된 거실에서 보행거리 30m 이내에 직통계단 설치할 것. 단 내화구조, 불연재료시 보행거리 50m 이내 설치할 것, (2) 건축법39조 영34조에 표기된 3층 이상의 층으로 그 층의 거실면적 합계가 400㎡(업무), 200㎡(상업, 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.)

10) 이강훈, 건축방재계획론, 경남대학교 출판부, pp.96-266, 1999

협회피성, 추종성, 향개방성, 역시경로선택제, 지근거리선택제, 직진성과 이성적 안전시향성 등 10가지 정도로 정리된다.

Table 3 Major Act on Instinct under Emergency Situation

Behavior Characteristic	Acting Pattern
Homing instinct	Instinct to return where he or she first entered regardless point source of fire.
Preferring known daily route or orientation	Preferring to escape with known or used route or orientation regardless point source of fire
Phototropic	Tendency to escape to any brighter area regardless point source of fire
Risk aversion	Tendency to avoid any danger such as smoke, fire and/or spark.
Blandishment	Blindly following other people without absolute awareness.
Preferring Open door	Similar to Phototropic but tendency to search wherever its open.
Preferring first path	Tendency to choose any path that comes first in sight regardless point source of fire
Preferring shortcut	Tendency to search any nearest stairs or shortcut to any exit.
Straight motion	Tendency to run straight without any particular reason.
Reasonable safety behavior	Tendency to escape based on consciousness and reasons.

2.3 분석 프로그램의 소개 및 특성

방재전문평가업체에서 사용되는 대표적인 피난 시뮬레이션 프로그램은 크게 4가지로 SIMULEX, ELVAC, EVACNET4, Building EXODUS 등이 있다. 각각의 시뮬레이션 프로그램들의 특성을 간략하게 살펴보면, 먼저 가장 많이 사용된다고 보이는 SIMULEX는 건물에서 개별적인 사람들의 움직임을 남녀노소의 신체적 특징을 기초로 좌표나 방점을 통하여 보여주는 프로그램으로 최초 발화지점이나 남녀노소의 비율이나 구성정도를 자유롭게 입력하여 시각적으로 시연한다. ELVAC은 주로 초고층건물에서 엘리베이터를 이용한 긴급피난시간을 계산하는 프로그램이며, ELACNET4의 경우는 최대 채실자의 수와 각 통로의 통과시간을 바탕으로 최적의 건물 피난시간을 정량적으로 보여준다. 마지막으로 Building EXODUS는 SIMULEX 프로그램과 비슷한 방법으로 채실자의 특성을 반영한 화재발생 시 대피상황을 보여주며 단일층의 공간에서만 분석이 가능한 SIMULEX의 한계를 보완하였다고 하나 방재전문가들의 의견은 다소 분분한 것이 사실이다.¹¹⁾ 또한 기존의 분석이 프로그램들은 대

11) <http://www.firemodelsurvey.com/EgressModels.html>, (자세한 설명은 위 URL을 통해서 확인할 수 있다.)

부분 건축계획 이후에 시뮬레이션을 실행하여 피난성능을 평가한다는 공통점을 지니고 있으나, 설계계획 초기단계에서부터 적극적으로 활용하기에는 프로그램의 특성상 한계가 있다.

그러나 본 연구에서 사용하는 수리적 모형과 최적화 알고리즘은 산업공학에서 효율적인 시설배치를 최단동선과 서로 필요상관적인 요소/부서를 근접 배치하여 생산성을 최대한으로 높이는 것에 초점을 맞춰 지난 40여년 넘게 실용적으로 검증된 기법이다. 이를 건축적으로 응용해 건물 내의 계단, 통로, 실들의 용도 등을 감안하여 평면계획상 비상구의 위치를 바탕으로 필요 실들을 재구성하고 배열하는 방식을 시도한 것이다. 이때, 각 실의 유형 별 인원수(node)와 실간의 거리(arc)를¹²⁾ 분석하고 피난효율성을 최적으로 높일 수 있는 평면구성을 제안할 수 있다. 이에 따라 건축계획단계에서부터 최적화된¹³⁾ 평면구성을 통해 피난성능의 평가와 분석을 동시에 수행할 수 있는 장점이 있다. 즉, 기존연구들은 실간의 거리와 실들의 관계를 통하여 피난안정성의 평가를 이루어 냈다면 본 연구는 실 간 최단거리와 평면의 구성 및 배치 그리고 더 나아가 각 실별 채실자의 수 까지 고려된 공학적 알고리즘을 바탕으로 피난을 위한 최적화된 평면구성을 제시하였다.

3. A 초등학교 현황과 알고리즘 분석방법

분석을 위해 건축가가 건물의 여러 가지 기능과 건축법규를 고려하여 계획한 코어의 위치와 개수는 고정 값으로 설정한다. 또한 같은 이유에서 건축가가 설정한 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.

12) Node란 일반교실이 학년별로 3-4개가 연속적으로 배치된 경우 이를 하나의 구성단위로 보고 그 안의 채실자의 수를 통합하여 표기했다는 뜻이며 Arc란 각 실의 공간적 중심에서 중심까지의 거리로 실간의 실질적인 최단거리를 말하는 것으로 물리적 최단거리 분석방법은 Node별로 하나의 무게중심점을 산출하여 Node와 Node간의 무게중심점 사이의 최소 직선거리를 이루는 경로를 따라 측정되는 거리의 합이다.

13) 비상구와 피난계단, 각 실의 인원수와 실제거리를 토대로 가중된 거리합의 최소화과 비상구와 피난계단간의 최대거리의 최소화를 뜻한다.

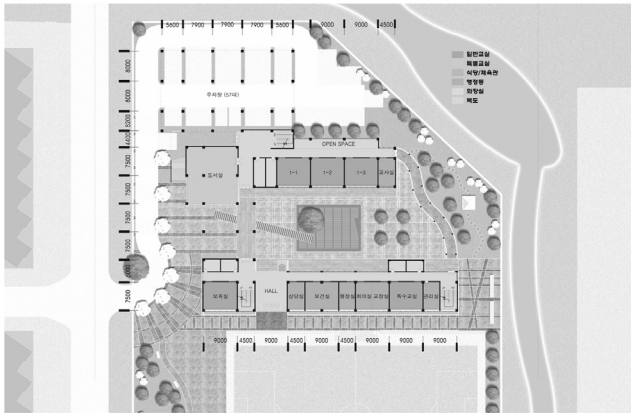


Fig. 1. First Floor Plan of A Elementary School

위의 그림 1에서와 같이 A 초등학교는 각 실마다 30m 이내에 직통계단이 설치되어 있으며(건축법 39조), 2개소 이상의 직통계단이 설치되어있다 (건축법 39조). 그리고 총 6개의 출구가 건축물로부터 바깥쪽으로 향하여 설치되어 있다(시행령 35조). 또한 검토결과 건축 법규상 대피층 평면의 모든 곳에서 비상구 설치가 가능한 것으로 분석되었다.

3.1 A 초등학교의 층별 구성 현황 분석

본 연구의 분석대상인 A 초등학교는 총 5개 층으로 구성되어 있으며 각 실의 유형별 재실자 수를 분석하기 위하여 층별 면적개요에 표기된 용도에 따라서 실의 층별 유형을 분류하였다. 각 층의 실의 용도가 같은 경우 이것을 Node로 설정하고 그 안의 재실자 수를 통합하여 표기하였다. 재실자의 수가 명확하지 않은 경우에는 학교건축 계획의 학급수별 시설기준에 따른 수용학생수를 기준으로 하였으며 이 기준마저 명확하지 않은 경우 설계도면상 좌석수를 재실자 수로 산정하였다. 각 실별 재실자수를 최대 인원으로 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
Principle's Office	1
Teacher's Office	8
School's Infirmary	1
Clerk's Deputy Office	2
Library	60
Three First Grade Classrooms	90
One Special Classroom	10
Counselling Room	1
Child Care Room	1
Night Duty Room	1

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

Spatial Type	Occupant
Teacher's Office	4
Two First Grade Classrooms	60
Computer Classroom	34
Audio-visual Classroom	36
Storage	N/A
Dining Area/Kitchen	280
Reference Room	1
Teacher's Resting Area	8

Table 6. 3rd Floor Spatial Types and its Number of Occupant

Spatial Type	Occupant
Teacher's Office	8
Five Second Grade Classrooms	150
Five Fourth Grade Classrooms	150
Gymnasium	60
Experiment Classroom	34
Extra Room	8

Table 7. 4th Floor Spatial Types and its Number of Occupant

Spatial Type	Occupant
Teacher's Office	6
Five Third Grade Classrooms	150
Five Fifth Grade Classrooms	150
Science Lab.	34
Language Lab.	34
Extra Room	8

Table 8. 5th Floor Spatial Types and its Number of Occupant

Spatial Type	Occupant
Teacher's Office	6
Two Third Grade Classrooms	60
Five Sixth Grade Classrooms	150
Art Classroom	34
Music Classroom	34
Extra Room	8

위 표에서 나타난 실들의 종류와 재실자 수 그리고 피난거리를 중심으로 분석한 알고리즘 값과 피난에 효율적인 층별 구성을 한 후의 알고리즘 값을 분석하여 비교하면 다음과 같다.

위 표 7의 경우 현재 A 초등학교의 1층에 구성된 각 실들과 재실자 수 및 각 실들 간의 거리를 매트릭스로 작성한 것이다. 이와 같은 작업을 모든 층에 대해 같은 방식으로 하고 이후 전기사고에 노출될 가능성이 큰 실들을 가능하면 지상층에 위치시키고 실크기는 같으나 재실자 수가 상대적으로 많은 실들을 가능하면 저층에 위치시킨 다음 상대적으로 재실자 수가 적은 실을 상부로 배치시킨 후 2가지 서로 다른 데이터를 바탕으로 피난시간을 측정하여 비교하고자한다.

Table 9 A Elementary School 1st Floor Room Types and Distance (Node) & (Arc)

Scale: m

Room Type (Occupant)	Library (60)	Counselling (1)	Infirmary (1)	Clerk's Deputy (2)	Principle's (1)	Teacher's (8)	Child Care (1)	Three First Grade (90)	Special Classroom (10)	Night Duty Room (1)	Stairs A (516)	Stairs B (516)	Stairs C (516)
Library (60)		35.7	50.6	49.6	58.4	67.4	75.6	85.4	94.4	35.3	40.9	51.9	16.7
Counselling (1)	35.7		27.8	26.3	35.1	44.2	53.2	62.2	71.2	47.7	17.6	65.8	30.0
Infirmary (1)	50.6	27.8		26.4	35.4	44.5	53.2	62.5	71.5	50.9	18.1	81.9	36.0
Clerk's Deputy (2)	49.6	26.3	26.4		12.9	21.9	30.9	39.9	48.6	61.4	11.1	78.6	44.6
Principle's (1)	58.4	35.1	35.4	12.9		12.9	21.9	30.9	39.9	71.1	19.4	89.4	53.4
Teacher's (8)	67.4	44.2	44.5	21.9	12.9		12.9	21.9	30.9	80.2	28.3	98.4	62.4
Child Care (1)	75.6	53.2	53.2	30.9	21.9	12.9		12.9	21.9	89.2	37.3	107.3	71.3
Three First Grade (90)	85.4	62.2	62.5	39.9	30.9	21.9	12.9		19.8	97.8	46.2	116.3	80.3
Special Class (10)	94.4	71.2	71.5	48.6	39.9	30.9	21.9	19.8		107.8	55.2	125.3	89.3
Night Duty Room (1)	35.3	47.7	50.9	61.4	71.1	80.2	89.2	97.8	107.8		22.9	22.2	19.4
Stairs A (516)	51.9	65.8	81.9	78.6	89.4	98.4	107.3	116.3	125.3	22.9		63.9	37.8
Stairs B (516)	40.9	17.6	18.1	11.1	19.4	28.3	37.3	46.2	55.2	53.3	63.9		71.9
Stairs C (516)	16.7	30.0	36.0	44.6	53.4	62.4	71.3	80.3	89.3	19.4	37.8	71.9	

4. 결과 및 해석

본 절에서는 A 초등학교의 각 실에서 재실자의 수를 바탕으로 비상구나 계단까지의 총 이동거리를 최소화하는 층별 공간구성의 최적위치를 결정하기 위한 수리모형을 제안하였다. 또한 실제 데이터를 사용하여 최적의 위치를 정하고 건축가가 제안한 기존의 건축계획과 비교 분석하는 것을 목적으로 한다.

4.1 수리적 모형과 최적화 알고리즘에 의한 변화모형

A 초등학교의 수리모형을 구축하기 위해 필요한 기호를 정리하면 아래와 같다.

- w_i : 시설 i 의 상주 인원
- $i = 1, 2, \dots, 15, i = (1: \text{도서관실}, (2: \text{상담실}, (3: \text{보건실}, (4: \text{행정실}, (5: \text{교장실}, (6: \text{교무실}, (7: \text{보육실}, (8: \text{1학년실}, (9: \text{특별실}, (10: \text{숙직실}, (11: \text{계단1}, (12: \text{계단2}, (13: \text{계단3},$

d_{ij} : 시설 i 에서 시설 j 까지의 거리, $i = 1, 2, \dots, 15, j = 1, 2, \dots, 15$

M : 임의의 큰 수

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 사용한다면 1, 그렇지 않으면 0으로 표기하였다.

위에서 w_i 와 d_{ij} 는 각 계단의 상주인원은 학교 2층부터 5층까지의 전체 상주인원이 균등하게 3개의 계단을 통해 비상시에 대피함을 가정하여 계산하였다.¹⁴⁾ 위의 기호와 의

14) 지상층을 제외한 2층에서 5층까지 산정된 재실자수를 통합하여 (1982명) 이를 피난계단에 개수인 3로 나눈 값을 말한다.

Table 10. Analysis Result

* Status: optimal Solution Found
 * Total cost: 854
 * Exit number : 7
 * Decision variables :

	Y1=1	Y2=1	Y3=0	Y4=0	Y5=0	Y6=0	Y7=0	Y8=0	Y9=0	Y10=1	Y11=0	Y12=1	Y13=1	Y14=1	Y15=1
X_{ij}															
i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

사결정변수를 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 시설에서 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 않다면 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 진행하였다.

4.2 기존 평면과 변화모델간의 평가

행정실 및 사무관계실을 1층에 배치하고 가능한 한 저학년을 저층에 배치하고 고학년을 상부 층에 관습적으로 배치한 초등학교 층별 구성과 알고리즘이 같은 개념이기는 하나 재실자의 수와 피난 시 필요거리를 바탕으로 재구성한 배치계획에서 산출된 결과 값은 실험결과 9분 34초의 차이를 보였다. 이는 화재 시 생사를 가릴 수 있는 최초 2-3분, 즉 소위 말하는 “골든타임”이라고 얘기하는 방재전문가들의 생각과는 상당히 많은 시간차이를 보이고 있는 것이다. 또한 많은 학교건축물에서 건축가의 직관이나 관습에 따라 복도 양 끝에 비상구나 피난계단을 설치하는 경향이 있으나 이는 과거 ‘-자형’과 같이 획일화된 교사동의 배치계획에 있어서 하나의 관습과 같은 피난계획이라고 보인다. 반면 2000년 이후 점차 다양하고 복잡해지는 학교건축계획에 있어 이러한 직관적이고 관습적인 계획방법에 의해서 비상구나 피난계단의 수와 위치를 총 재실자의 수와 연관하여 고려하지 않은 층별구성방법은 상당히 위험할 수도 있는 계획방법이라 판단 할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 전국 초등학교의 규모나 학생 수에 있어 가장 평균적인 A 초등학교를 대상으로 총 피난시간을 재실자 수 대비 층별 실구성에 따라 공학적 알고리즘을 건축적으로 응용하여 분석하였다. 평면을 구성하고 있는 각 실들을 유형별로 분류하고 재실자 수(Node)와 각 실 간의 최단거리(Arc)들을 분석한 후에 수리적 모형과 최적화 알고리즘을 기반으로 객관적이고 정량적인 최적의 층별 실구성에 따른 피난시간 최소화를 제안 할 수 있었다. 즉, 본 연구는 화재 등의 재난이 발생하였을 때에 상대적으로 미숙한 어린학생들이 재실자로 있는 초등학교 건물에서 피난이 얼마나 신속하고 용이하게 이루어질 수 있는지와 과거에서부터 지금까지 관습적으로 해온 층별 구성이 피난효율성에 있어 부정적인 요소로 직결되는 매우 중대한 계획적 오류라는 문제의식으로 부터 출발하였다. 이는 화재안전전 규정이 ‘사양규정’에서 ‘성능규정’으로 바뀌는 세계적인 추세에 우리의 학교구성은 피난성능이라는 개념에 과연 부합하고 있는가라는 의문에서 부터 출발하였다. 신체적으로나 정신적으로 판단능력이 떨어지는 저학년을 지상층에 배치하고 이후 재실자수가 많은 공간부터 지상층에 가깝게 배치하여 피난효율성을 높인다는 결론이 예측하기 쉬운 단순한 논리라고 보일 수도 있으나 피난에 있어 절대적인 요소인 공간구조와 환경요인을 지금까지의 관습적이고 다소 권위적인 학교건축물의 공간구성에 대해 정량적인 방법으로 명확한 차이점과 개선점을 보임으로서 향후 초등학교건축물의 공간구성에 변화의 근거를 마련하였다고 생각된다. 단, 본 논문에서는 대피거리의 총합을 재실자의 수와 관계하여 최소화하는 것을 목적으로 한 모형을 개발했지만, 대피거리의 최소화가 반드시 사망자수의 최소화로 이어진다고 단정하기 힘들 수 있다. 따라서 이에 적합한 동적모형(Dynamic Model)의 개발이 필요할 것으로 보인다.

References

1. Kwun, Joon-Bum, Is Fire Safety Issue Improving in School Environment, Review of the Korean Institute of Educational Facilities, v.21 no.5 2014.09
2. 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

3. Hwang, Sun-Wook, Educational Facility and Fire Safety, Review of the Korean Institute of Educational Facilities, v.21 no.5 2014.09
4. 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

접수 2015. 9. 30
 1차 심사완료 2015. 11. 4
 게재확정 2015. 11. 20