

ㄷ자형 초등학교의 비상구를 중심으로 한 정량적 배치방법

Systematic Emergency Exit Planning Method in School Design

이 승 선* 권 준 범** 정 인 재***
Lee, Seung-Sun Kwun, Joon-Bum Jeong, In-Jae

Abstract

This study examined emergency exit location with the most representing school floor type with a mathematical model that applied optimized algorithm in the field of engineering. Recent school buildings became much more diverse in floor planning than the old days. Nevertheless, architect's approach to building prevention against fire related emergency planning still relies on an personal experience and knowledge. Therefore, since school buildings are much more likely to be exposed to any fire related events, emergency exit planning has to be seriously evaluated with a scientific method.

The algorithm, which acquires the number of persons in each spatial type(node) and the minimum physical distance between spatial types(arc), can propose the most optimized emergency exit locations. Consequently, this study compared an architect's fire exit planning with the scientific outcome of this study and suggested the most reliable emergency exit locations.

키워드 : 학교계획, 비상구, 정량적 평가, 시설배치계획

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

1. 서론

더욱이 최근 제7차 교육과정의 일환으로 BTL을 통한 학교시설신축에 다양한 방법의 배치계획이 적용되고 있으

1.1 연구의 배경과 목적

1999년 콘테이너를 활용한 청소년 수련시설인 '놀이동산 씨랜드'에서 원인 미상의 화재가 발생하여 취침 중이던 유치원생 19명과 인솔교사 및 강사 4명 등 총 23명이 숨지고 5명이 부상당하는 참사가 빚어졌다. 이처럼 단순한 공간구조의 건축물에서도 학생들은 신체적·정신적으로 미성숙하다는 점에서 안전사고 발생 시 대피 및 대처하는 판단이 미숙할 수밖에 없다. 따라서 화재 발생 시 신체적·물질적 피해가 더욱 커질 수 있는 요인으로 작용하고 있다. 한편, 한국화재보험협회에서 발간한 <표 1> 특수건물 화재조사분석(2009)에 따르면 학교시설의 경우 화재발생빈도가 다른 건물들에 비해 2배 이상 높고, 지속적으로 신축 혹은 개축이 되고 있어 안전사고의 비율은 점차 증가하고 있음을 알 수 있다.

표 1. 최근 5년간 업종별 화재발생빈도)

(단위: x10³/년)

업종	연도	2005	2006	2007	2008	2009	평균 빈도
학교		54.95	89.47	25.25	105.26	112.75	77.54
아파트		54.51	61.00	43.49	91.75	91.33	68.38
판매		30.33	27.34	23.81	43.61	55.61	36.14
음식		0.00	25.64	24.39	18.52	101.69	34.05
11층		24.71	24.85	16.19	43.04	41.45	30.05
공장		21.38	26.95	19.47	38.94	41.65	29.68
숙박		25.49	22.56	13.20	31.75	23.32	23.26
병원		14.84	19.72	6.21	25.81	30.00	19.32
학원		14.71	29.41	12.35	11.76	22.22	18.09
국유		7.56	14.02	5.29	14.87	18.21	11.99
방송		0.00	0.00	11.11	22.73	20.00	10.77
공연		0.00	0.00	7.63	7.52	0.00	3.03
평균		26.74	31.74	22.90	48.50	50.38	36.05

* 정회원, 세종대 건축대학원 학석사 연계과정

** 정회원, 세종대 건축학과 부교수, 건축학 박사, 교신저자
(joonkwun@sejong.ac.kr)

*** 정회원, 한양대 기술경영학과, 산업공학과 부교수, 공학박사

1) 고영선, 2009년도 특수건물 화재조사분석, 한국화재보험협회, 2010

며,²⁾ 과거에 비해 상대적으로 규모나 공간적으로 다른 교육환경 역시 학생들의 공간지각에 영향을 미쳐 위험성을 높이는 요소가 될 수 있다. 따라서 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 건축가의 직관적 판단과 최소법적요건을 충족시키는 현재의 대피계획은 객관적이고 정량적으로 검증될 필요성이 있다.

이에 본 연구는 학교기본계획에서 학생들의 대피에 있어 보다 적절하고 객관적인 대피계획을 세우는데 그 목적이 있다. 이를 위해 시설배치계획(Facilities Layout)³⁾의 방법론 중 공학적으로 설비위치를 설정하는 데 사용되는 수리적 모형과 최적화 알고리즘을 응용하여 학교 건물에서의 새로운 비상구 배치 방법의 가능성을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 연구의 일반화를 위해 제7차 교육과정 도입 이후 최근 신축되는 초등학교 교사동의 다양한 배치 계획방법 중 가장 많이 활용되고 있는 ‘ㄷ자형’ 배치와 ‘ㄷ자형’ 배치방법의 학교를 선정하기로 했다.⁴⁾ ㄷ자형 배치의 경우, 대피층에서 한 동이 필로티 구조로 떨어진 형태가 대부분이기 때문에 결과적으로 대피층에서는 ‘ㄷ자형’의 배치가 50%정도의 비율로 그 대표성을 갖는다고 할 수 있다. 따라서 ‘ㄷ자형’ 배치의 S초등학교를 공학적 알고리즘 분석을 위한 건축물로 선정하였다. 연구의 방법은 S초등학교의 평면구성에서 대피층의 비상구 위치와 방재 관련 법규상의 문제점은 없는지 파악하고 수리적 모형과 최적화 알고리즘을 응용하여 대피층 평면상에서 피난계단을 기준으로 정량적인 분석을 통한 최적의 비상구 위치를 선정하는 것이다. 향후 ‘P자형’이나 ‘ㄱ자형’과 같이 이형적인 배치방법에 대해서도 추가적으로 연구를 실시하여야

할 것이다.

2. 이론적 고찰

본 절에서는 기존에 이루어진 학교계획에 관한 연구 혹은 피난안정성에 대한 연구를 검토하고 피난안정성을 평가하기 위해 필요한 변수들을 파악하고자 한다. 또한, 기존 피난시뮬레이션 프로그램과 연구에 사용되는 프로그램의 차이점 및 특성을 알아보았다.

2.1 선행연구 검토

학교계획에 관한 연구는 공간구성상 순수한 건축계획에 대해서 분석한 연구와 건축물 내부 시설환경에 관한 연구가 주를 이루며, 학교배치계획이나 실내 환경평가를 분석하는 데에 주안점을 두는 경향을 보이고 있다. 또한 학교의 안전사고관리에 대한 연구들도 존재하긴 하지만, 이러한 연구들은 안전사고의 실태를 유형별로 분석하거나⁵⁾, 행정적인 개선방향만을 나열했다는 한계를 지니고 있다.⁶⁾ 따라서 본 연구에서는 특수건물 중 화재발생 빈도가 가장 높은 학교시설에 있어 화재발생 시의 대피방안을 학교계획적인 측면에서 실질적이고 정량적인 방법으로 연구하고자 한다.

한편, 피난안정성을 정량적으로 평가하고 분석하고자 하는 연구는 다양하지만 대부분은 이미 검증된 시뮬레이션 프로그램인 SIMULEX나 Building EXODUS를 이용한 피난시간계산과 그에 따른 비교가 주를 이루고 있다. 그 외의 연구로는 먼저, 공간분석 이론인 가시성 그래프 분석(VGA:Visibility Graph Analysis) 기법을 기반으로 피난비용을 산정하는 연구가 있다. 이 연구는 피난과정에서 실제 이동하는 거리의 합과 이동과정에서 나타나는 시각정보의 변화의 합을 환산하여 합산하는 원리로 구성되어 있다. 이때 합산한 값을 피난비용으로 설정하고 이는 피난거리라는 가설하에 이를 실제건물을 대상으로 SIMULEX의 결

2) 김현진 외, 초등학교 현상설계 당선안에 나타난 배치 유형에 관한 연구, 한국교육시설학회논문집, v.17 n.5, pp.11-12, 2010
 3) 한상찬, 산업공학개론, 초판, 형설 출판사, pp.139.157, 2006(시설배치계획(Facilities Layout)은 서비스 내지 생산의 흐름에 맞춰 건물, 시설, 기계설비, 통로, 차고, 사무실 등의 위치를 공간적으로 적절히 배치하는 것인데, 통상 공장 내의 건물배치, 통로배치, 기계배치, 시설배치 등이 모두 망라된다. 설비배치의 본래의 목적은 생산시스템의 유효성이 크도록 기계, 원자재, 작업자 등의 생산요소와 생산설비의 배열을 최적화하는 것이다.
 4) 김현진 외, 초등학교 현상설계 당선안에 나타난 배치 유형에 관한 연구, 한국교육시설학회논문집, v.17 n.5, pp.13-18, 2010 (2000년 이후 국내의 초등학교 현상설계에서 당선된 작품 중 전국적으로 총 30개의 사례들을 분석한 결과, ㄷ자형 배치방법과 ㄷ자형 배치방법의 구성비율이 각각 26.7%, 23.3%로 나타나 다른 유형들에 비해 높은 비율을 보여주고 있다.)

5) 김정만, 학교안전관리, 한국학교보건학회지, v.4 n1, pp.8-11, 1991(이 학술지널에 따르면 학교 내에서 발생하는 안전사고를 크게 (1) 추락에 의한 사고, (2) 실형실 안전사고, (3) 화재사고, (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 대행 기구 설치’ 또는, 지역 교육청 단위별 학교 안전 사고 처리 자문기구를 신설하여 사고 처리 과정의 재정립을 제안하였다.)

과 값과 비교하여 피난성능을 예측한 연구이다.⁷⁾ 또한 평면을 정점(Node)과 변(Link)으로 네트워크화 시켜 네트워크상의 변화를 통해 피난계획의 신뢰도를 파악하는 네트워크 분석법을 이용한 피난안정성의 평가수법에 피난거리와 피난장해를 피난안정성의 평가지표로 부가한 새로운 피난안정성 평가수법을 제안한 연구가 있다.⁸⁾

이와 같이 기존연구에서 나타나는 방법들은 실 간의 거리와 실들의 관계를 통하여 피난안정성의 평가를 이루어 냈다. 반면, 본 연구에서는 실 간 최단거리와 평면의 구성 및 배치 그리고 더 나아가 각 실별 재실자의 수까지 고려된 공학적 알고리즘을 바탕으로 최적화된 비상구의 위치를 제시하였다. 또한 기존연구가 건축계획 이후에서야 피난안정성을 검토할 수 있는 반면에 본 연구는 건축계획 단계에서부터 피난성능의 평가와 분석을 동시에 수행할 수 있는 가능성이 있다.

2.2 피난경로 확보에 대한 현행 제도

현행 건축법에서 학교 건축물은 특정소방대상물 중 교육연구시설에 분류되어 있다. 하지만 서론에서 얘기했듯이 초등학교 학생들의 상대적으로 미숙한 판단능력을 보았을 때, 초등학교 건축물은 법적 기준을 충족하더라도 화재 발생시 최소한의 법적기준만으로는 대처하는 데 부족함이 있다고 여겨진다.

이에 본 절에서는 피난경로 확보에 관한 법규 중 건축구조와 재료에 관한 내용을 제외한 평면구성에 영향을 미치는 법규에 한하여 논하고자 한다. 현행 제도상의 피난규정은 직선거리와 계단의 개수, 바깥쪽의 출구 설치 등의 단순한 의무만을 요구하고 있다.⁹⁾ 이와 같이 건축법규는 각 건축물들의 용도나 재실자의 신체적 특성을 고려하지

않고 있기 때문에 초등학교와 같이 재실자의 대부분이 어린 학생일 경우나 다른 특수 건축물의 용도에 따른 피난 관련 대책이 마련되어야 할 것이다.

2.3 분석 프로그램의 소개 및 특성

일반적으로 사용되는 피난 시뮬레이션 프로그램에는 SIMULEX, ELVAC, EVACNET4, Building EXODUS 등이 있다. 각각의 시뮬레이션 프로그램들의 특성을 보면, 먼저 SIMULEX는 다층 건물에서 개별적인 사람들의 움직임을 좌표를 기반으로 보여주는 프로그램이다. ELVAC은 엘리베이터를 이용한 긴급피난시간을 계산하는 프로그램이며, ELACNET4의 경우는 최대 재실자의 수와 각 통로의 통과시간을 바탕으로 최적의 건물 피난계획을 결정하는 프로그램이다. 마지막으로 Building EXODUS는 재실자의 특성을 반영한 화재발생시 대피모형을 보여준다.¹⁰⁾ 이 같은 프로그램들은 대부분 건축계획 이후에 시뮬레이션을 실행하여 피난성능을 평가한다는 공통점을 지니고 있으나, 설계계획단계에서부터 적극적으로 활용하기에는 프로그램의 특성상 한계가 있다. 또한 화재시 인간의 행동에 관한 정보가 매우 적기 때문에 시뮬레이션이 객관적인 피난계획을 알려준다고 하기에는 다소 어려움이 있다.¹¹⁾

그러나 본 연구에서 사용하는 수리적 모형과 최적화 알고리즘은 건물 내의 계단, 통로, 실의 용도 등을 감안하여 평면계획상 비상구의 위치를 적절히 배열하는 것이다. 이때, 각 실의 유형별 인원수(node)와 실 간의 거리(arc)를 분석하고 그에 따른 최적의 비상구 위치를 설정할 수 있다. 이에 따라 건축계획단계에서부터 최적화된¹²⁾ 비상구의 위치를 통해 피난성능의 평가와 분석을 동시에 수행할 수 있는 장점이 있다.

3. 수리적 모형과 최적화 알고리즘 분석방법

7) 최재필 외, 시각과 거리를 이용한 피난비용 분석 기법 개발, 대한건축학회논문집, v.22 n.12, pp.116-120, 2006
 8) 정군식, 피난안정성의 정량적인 평가수법개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집, v.28 n.1, pp.106-108, 2008
 9) 이호진, 학교건축계획, 초판, 사단법인 한국교육환경연구원, pp.291-391, 2009(피난경로 확보에 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㎡(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) <http://www.firemodelsurvey.com/EgressModels.html>, 2011. 07.15(각 피난 시뮬레이션 프로그램들 및 이 외 프로그램들에 대한 자세한 설명은 위 URL을 통해서 볼 수 있다.)
 11) 박인숙 외, 다중이용시설물에서의 효율적인 피난유도에 관한 현황 분석, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp. 793, 2007(이 논문에는 따르면 화재발생시 인간행동예측의 어려움을 다음과 같은 이유로 설명하고 있다.(1) 화재는 드물게 발생하며 예측이 어렵다.(2) 화재는 위험하며 행동이 비합리적이며 비합체적이다.(3) 화재현상은 매우 복잡하며 시뮬레이션이 어렵다.(4) 화재의 발생환경이 다양하기 때문에 화재시의 행동을 일반화 할 수 있는 가능성이 적다.)
 12) 비상구와 피난계단, 각 실의 인원수와 실제거리를 토대로 가중된 거리합의 최소화화 비상구와 피난계단간의 최대거리의 최소화화를 뜻한다.

비상구의 최적화된 위치 값을 알기 위해 우선 변수의 값을 고정하는 과정이 필요하다. 즉, 건축가가 건물의 여러 가지 기능과 건축법규를 고려하여 계획한 코어의 위치와 개수는 고정 값으로 설정한다. 또한 같은 이유에서 건축가가 설정한 총 7개의 비상구의 개수 또한 합리적인 비교분석을 위해 고정 값으로 설정한다. 분석에 앞서 고정값을 정하지 않을 경우 비용과 현실적인 문제점들이 고려되지 않아 현재보다 상당히 많은 개수의 비상구와 코어를 요구할 가능성이 있기 때문이다.

3.1 S초등학교의 피난층의 제도적 현황 분석

ㄷ자형 배치의 ‘S초등학교’는 <그림 1>과 같이 피난층에서 4개의 피난계단과 7개의 비상구위치를 확보하고 있다. 각 실마다 30m 이내에 직통계단이 설치되어 있으며(건축법 39조), 2개소 이상의 직통계단이 설치되어있다(건축법 39조). 그리고 총 7개의 출구가 건축물로부터 바깥쪽으로 향하여 설치되어 있다(시행령 35조). 또한 검토결과와 같이 건축법규상 대피층 평면의 모든 곳에서 비상구설치가 가능한 것으로 분석되었다.

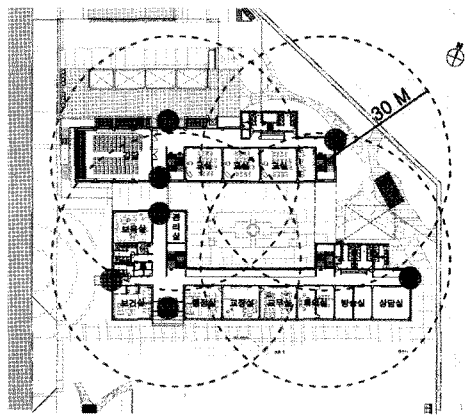


그림 1. S 초등학교 피난층에서의 피난경로확보 준수사항

3.2 각 실의 유형별 재실자 수(Node) 분석방법

본 연구에서 각 실의 유형별 재실자 수를 분석하기 위하여 S초등학교의 설계개요 중 층별 면적개요에 표기된 용도에 따라서 실의 유형을 분류하였다. 각층의 평면상에서 실의 용도가 같은 경우, 예를 들어 일반교실 3개가 연속적으로 배치된 경우에는 이것을 하나의 Node로 설정하고 그 안의 재실자의 수를 통합하여 표기하였다. 재실자의 수가 명확하지 않은 경우에는 학교건축계획의 학급수별 시설기준에 따른 수용학생수를 기준으로 하였으며 이 기준마저 명확하지 않은 경우 설계도면상 좌석수를 재실자수로 산정하였다.¹³⁾ 각 실별 재실자수를 최대인원으로 통

합하여 산정한 이유는 모든 상황에서 최악의 경우를 고려하기 위함이다.

표 2. 2층 공간별 재실자 구성

(단위: 명)						
식당(대)	식당(소)	가정실	공용교실	복측교실	남측교실	학생휴게실
460	180	35	35	105	175	10

표 3. 3층 공간별 재실자 구성

(단위: 명)					
다목적강당	도서관	컴퓨터실	공용교실 2개	복측교실 3개	남측교실 5개
35	84	35	70	105	175

표 4. 4층 공간별 재실자 구성

(단위: 명)				
과학실1	과학실2	공용교실	복측교실 3개	남측교실 5개
35	35	35	105	175

표 5. 5층 공간별 재실자 구성

(단위: 명)			
미술실	어학실	음악실	복측교실 3개
35	35	35	105

3.3 각 실의 유형별 물리적 최단거리(Arc) 분석방법

물리적 최단거리(Arc)는 <그림 2>와 같이 각 실간의 실질적인 최단거리를 말한다. 이를 계산하는 방법은 Node별로 하나의 무게중심점을¹⁴⁾ 산출하여 Node와 Node간 무게중심점 사이의 최소 직선거리를 이루는 경로를 따라 측정되는 거리의 합이다.

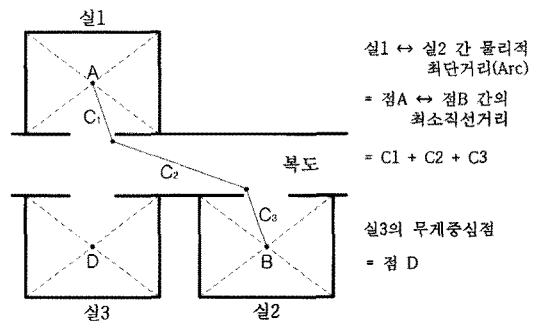


그림 2. 물리적 최단거리(Arc)의 산출방법 예시

3.4 수리적 모형과 최적화 알고리즘의 프로세스

본 연구에서 사용하는 수리적 모형과 최적화 알고리즘을 요약한 내용은 <그림 3>과 같다. 실의 용도별 분류 및 재실자 수 산출, 실 간 최소 직선거리 산출, 의사결정변수

13) 이호진, 학교건축계획, 초판, 사단법인 한국교육환경연구원, pp.97-203, 2009

14) 평면상에서 한 공간의 면적 상 중심점을 뜻한다.

표 6. A초등학교 지상 1층 시설유형별 거리(Node) & 시설유형간 거리(Arc)

(단위: m)

유형별 (재실자 수 명)	강당 (180)	보육실 (20)	보건실 (10)	행정실 (10)	교장실 (1)	교무실 (10)	회의실 (8)	방송실 (10)	상담실 (10)	복측교실 3개(105)	관리실 (1)	계단A (516)	계단B (516)	계단C (516)	계단D (516)
강당 (180)		34.7	50.6	49.6	58.4	67.4	75.6	85.4	94.4	35.3	32.9	51.9	16.7	40.9	76.6
보육실 (20)	34.7		27.1	26.3	35.1	44.2	53.2	62.2	71.2	47.7	12.2	65.8	30.0	17.6	59.3
보건실 (10)	50.6	27.1		26.4	35.4	44.5	53.2	62.5	71.5	50.9	25.6	81.9	36.0	18.1	53.9
행정실 (10)	49.6	26.3	26.4		12.9	21.9	30.9	39.9	48.6	61.4	23.9	78.6	44.6	11.1	31.2
교장실 (1)	58.4	35.1	35.4	12.9		12.9	21.9	30.9	39.9	71.1	32.7	89.4	53.4	19.4	22.3
교무실 (10)	67.4	44.2	44.5	21.9	12.9		12.9	21.9	30.9	80.2	36.4	98.4	62.4	28.3	13.4
회의실 (8)	75.6	53.2	53.2	30.9	21.9	12.9		12.9	21.9	89.2	50.8	107.3	71.3	37.3	11.3
방송실 (10)	85.4	62.2	62.5	39.9	30.9	21.9	12.9		19.6	97.8	59.7	116.3	80.3	46.2	11.1
상담실 (10)	94.4	71.2	71.5	48.6	39.9	30.9	21.9	19.6		107.1	68.7	125.3	89.3	55.2	19.5
복측교실3개 (105)	35.3	47.7	50.9	61.4	71.1	80.2	89.2	97.8	107.1		45.5	22.2	19.4	53.3	89.2
관리실 (1)	32.9	12.2	25.6	23.9	32.7	36.4	50.8	59.7	68.7	45.5		63.9	27.0	15.0	50.9
계단A (516)	51.9	65.8	81.9	78.6	89.4	98.4	107.3	116.3	125.3	22.2	63.9		37.8	71.7	107.7
계단B (516)	16.7	30.0	36.0	44.6	53.4	62.4	71.3	80.3	89.3	19.4	27.0	37.8		33.2	71.7
계단C (516)	40.9	17.6	18.1	11.1	19.4	28.3	37.3	46.2	55.2	53.3	15.0	71.7	33.2		37.8
계단D (516)	76.6	59.3	53.9	31.2	22.3	13.4	11.3	11.1	19.5	89.2	50.9	107.7	71.7	37.8	

입력, 수리모형 구축에 따른 비상구위치 최적화로 구성되어 있다. 각각의 입력과정 및 구축과정은 다음 절을 통해 설명하도록 한다.

하기 위한 수리모형을 제안하였다. 또한 실제 데이터를 사용하여 최적의 위치를 정하고 건축가가 제안한 기존의 건축계획과 비교 분석하는 것을 목적으로 한다.

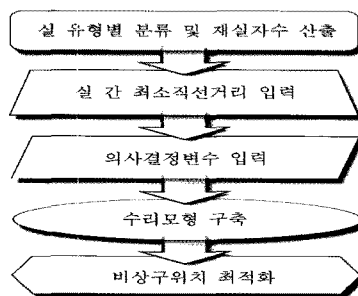


그림 3. 수리적 모형과 최적화 알고리즘의 프로세스 과정

4. 결과 및 해석

본 절에서는 S초등학교의 각 실에서 비상구까지의 총 이동거리를 최소화하는 7개의 비상구의 최적위치를 결정

4.1 수리적 모형과 최적화 알고리즘에 의한 변화모델

S초등학교의 수리모형을 구축하기 위해 필요한 기호를 정리하면 아래와 같다.

w_i : 시설 i 의 상주 인원

$i = 1, 2, \dots, 15$, $i = (1: 강당), (2: 보육실), (3: 보건실), (4: 행정실), (5: 교장실), (6: 교무실), (7: 회의실), (8: 방송실), (9: 상담실), (10: 복측교실3개), (11: 관리실), (12: 계단1), (13: 계단2), (14: 계단3), (15: 계단4)$

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

$j = 1, 2, \dots, 15$

M : 임의의 큰 수

표 7. 실험결과

* 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

수리모형을 통해 본 연구가 정리하고자 하는 의사결정 변수는 다음과 같다.

$$X_{ij} = 0, 1, \forall i, j \tag{4}$$

$$Y_j = 0, 1, \forall j \tag{5}$$

Y_j : 만약 시설 j 의 근처에 비상구가 설치된다면 1, 그렇지 않으면 0으로 표기하였다.

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

위에서 w_i 와 d_{ij} 는 <표 6>에서 주어진 바와 같다. 각 계단의 상주인원은 학교 2층부터 5층까지의 전체 상주인원이 균등하게 4개의 계단을 통해 비상시에 대피함을 가정하여 계산하였다.¹⁵⁾ 위의 기호와 의사결정변수를 사용하여 수리모형을 구축하면 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{15} w_i d_{ij} X_{ij}$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^{15} X_{ij} = 1, \forall i \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^{15} Y_j = 7 \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{15} X_{ij} \leq MY_j, \forall j \tag{3}$$

15) 지상층을 제외한 2층에서 5층까지 산정된 재실자수를 통합하여(2064명) 이를 피난계단에 개수인 4로 나눈 값을 말한다.

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 비상구가 할당되어야 함을 나타낸다. 제약식(2)은 전체 비상구의 수를 7개로 한정한다는 것을 의미한다. 제약식(3)은 비상구가 설치될 때에만 그 비상구로 시설이 할당되어 대피가 가능함을 뜻한다. 마지막으로 제약식(4),(5)는 의사결정 변수가 0혹은 1의 값을 가져야 함을 나타내는 식이다. 즉, 비상구가 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++과 상용 최적화 소프트웨어인 ILOG CPLEX 11.0 연동하여 진행하였다. 실험 결과는 <표 7>과 같다.

실험결과에 따르면 비상구는 강당, 보육실, 북측교실 3개, 계단 A, 계단 B, 계단 C, 계단 D의 근처(Y1=1, Y2=1, Y10=1, Y12=1, Y13=1, Y14=1, Y15=1)에 설치되어야 하는 것이 최적인 것으로 나타났다. 또한 각 계단과 유형별 재실자수에 따라 할당된 최적화된 비상구의 위치는 <표 8>

표 8. 최적화된 비상구 할당 위치모형

최적화비상구위치	수리모형결과	할당 인원
Y1=1 (강당)	$X_{1,1} = 1$	강당 인원
Y2=1 (보육실)	$X_{2,2} = 1,$ $X_{11,2} = 1$	보육실, 관리실 인원
Y10=1 (북측교실3개)	$X_{10,10} = 1$	북측교실3개 인원
Y12=1 (계단 A)	$X_{12,12} = 1$	계단 A 인원
Y13=1 (계단 B)	$X_{13,13} = 1$	계단 B 인원
Y14=1 (계단 C)	$X_{3,14} = 1,$ $X_{4,14} = 1,$ $X_{5,14} = 1,$ $X_{14,14} = 1$	보건실, 행정실, 교장실, 계단 C 인원
Y15=1 (계단 D)	$X_{6,14} = 1,$ $X_{7,14} = 1,$ $X_{8,14} = 1,$ $X_{9,14} = 1,$ $X_{15,15} = 1$	교무실, 회의실, 방충실, 상담실, 계단 D 인원

와 같다.

<표 7>의 total cost=854는 <표 8>에서 제한대로 대피를 하였을 경우의 총 이동거리가 854m임을 의미한다.

4.2 기존 평면과 변화모델간의 평가

건축가가 계획한 평면이 갖고 있는 비상구의 위치는 <그림 4>와 같이 강당, 보육실, 계단 A, 계단 B, 계단 C, 그리고 복도 양끝의 보건실과 상담실 앞에 총 7개로 계획되어 있다. 이와 같이 많은 학교건축물에서 건축가의 직관에 따라 복도 양끝에 비상구가 설치되는 것으로 볼 수 있으나 이는 7차 교육과정 이전의 ‘ㄱ자형’과 같이 획일화된 교사동의 배치계획에 있어서 하나의 관습과 같은 피난계획이라고 판단된다. 반면 2000년 이후 점차 다양하고 복잡해지는 학교건축계획에 있어 이러한 직관적이고 관습적인 계획방법에 의해서 비상구의 위치를 배치하는 것은 비합리적인 계획방법이라 판단 할 수 있다.

실제로 수리적 모형과 최적화 알고리즘에 의해 측정된 실험결과 값을 현재 S초등학교에 설치된 비상구의 위치와 비교하면 많은 부분이 일치하나 화장실과 보건실 옆에 설치된 비상구와 상담실 옆의 비상구 대신 북측교실3개 근처에 비상구를 설치하고 계단 C와 계단 D 근처에 비상구를 설치할 것을 제안하고 있다. 알고리즘 최적화 분석결과가 제안하는 방법으로 비상구의 위치를 재설정 한 결과는 <그림 5>와 같다. 상대적으로 재실 인원이 많은 북측 교

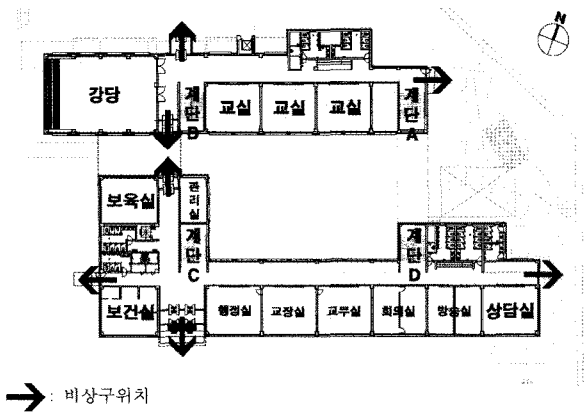


그림 4. S초등학교 피난층의 비상구 위치

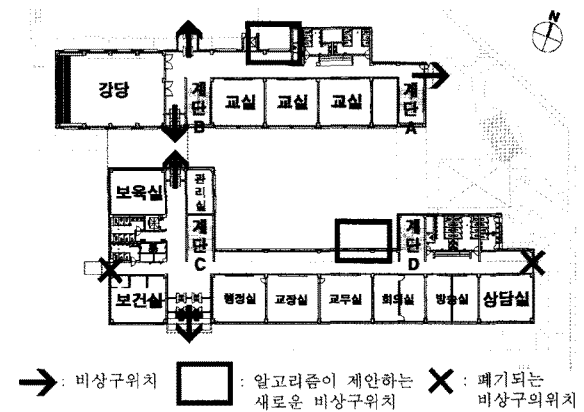


그림 5. 최적화된 비상구 위치의 결과

사동에 비상구의 개수가 1개 증가하였으며, 남측 교사동의 경우 복도 양끝으로 계획되어 있던 2개의 비상구가 아닌 계단 C와 계단 D사이에 1개의 비상구를 계획하는 것이 객관적으로 피난효율이 더 높은 것으로 분석되었다.

한편 알고리즘의 분석결과 값에 대해서 학교건축계획방법의 단위공간계획에 대해서 고려해보면 보건실의 경우 옥외활동 중에 발생하는 사고와 부상을 고려했을 때 1층에 배치하는 것이 바람직하며 체육관과도 인접하는 것이 효율적이다. 또한 차량의 접근이 용이한 위치에 배치하여 응급환자의 수송이 원활하게 이루어질 수 있도록 한다는 방침이 있다.¹⁶⁾ 이러한 방침을 따르면서도 알고리즘이 제안하는 비상구의 위치를 충족하기 위해서는 현재의 보건실의 위치는 타당하지 않는 것으로 보인다. 따라서 현재 보건실과 보육실의 크기나 실의 모양이 비슷하며 두 실간의 거리상의 차이가 크지 않기 때문에 각각의 위치를 서로 맞바꾸는 것이 합리적이며, 알고리즘의 결과와 학교건축의 단위공간계획 두 가지 모두를 충족하는 이상적인

16) 이호진, 학교건축계획, 초판, 사단법인 한국교육환경연구원, pp.97-203, 2009

평면배열이라 판단된다.

5. 결론

본 연구는 2000년 이후 설계된 학교건축 배치유형 중 대피층에서 가장 높은 비율의 배치유형을 보여주는 ‘ㄷ자형’ 배치방법의 S초등학교를 대상으로 공학적 알고리즘 분석을 실행하였다. 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 비상구 위치를 제안할 수 있었다. 이때, 건축가가 제안한 A초등학교의 평면과 알고리즘에 의한 위치선정결과와 비교를 통해 다음과 같은 제안을 할 수 있다.

- (1) S초등학교의 현재 계획된 비상구의 위치 중 양끝 복도에 위치한 2개의 비상구를 다른 위치로 변경하여 최적화된 비상구의 위치를 제안하였다. 이는 앞서 언급했듯이 7차 교육과정 이전의 획일화된 ‘ㄷ자형’ 학교건축에서 나타나는 관습적인 계획방법이 더 이상 효율적이지 않다는 것을 의미하며 최근 다양해지고 복잡해지는 교사동의 배치방법들, 예를 들어 F자형, P자형 등의 이형적인 배치유형에 대해서 추가적으로 분석이 필요할 것으로 보인다.
- (2) 제시된 피난계획을 바탕으로 학교건축계획의 방침을 검토하여 보건실과 보육실의 위치를 변경하는 등의 좀 더 효율적인 평면배열을 제안하였다. 본 연구는 POE개념이 아닌 설계초기계획단계에서 사용될 가능성이 있는 공간분석 및 배치방법의 가이드라인을 제안하는 것이기 때문에 설계단계에서 건물의 디자인적 측면에서 도움이 될 수 있는 방면으로 활용이 가능할 것이라고 사료된다.

이와 같은 연구의 결과를 통하여 학교건축계획에서 보다 학생들의 안전에 기여하는 객관적이고 정량적인 피난계획을 수립할 수 있다는 가능성을 찾을 수 있었다. 또한 이번 연구에서 볼 수 있듯이 학교 건축물이 갖고 있는 제한된 실 유형과 7개의 비교적 적은 수의 비상구를 계획하는 것에서 조차 건축가와 공학적 분석 기법은 2개의 차이점을 나타내는 것을 볼 수 있었다. 이를 통해 학교건축뿐만 아니라 더 복잡하고 대형화된 공간모델에서의 연구가 이루어진다면 수리적 모형과 최적화 알고리즘의 활용성을 더 크게 알 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 본 논문이 제안하는 수리모형의 가정과 이로 인해 발생하는 한계는

다음과 같다.

첫째, 건축법적인 제약과 현실적인 문제들로 인해 본 연구가 제시한 비상구의 수는 전적으로 건축가의 판단을 따르는 것으로 이상적인 비상구의 수는 알 수 없다는 것이다. 둘째, 2층 이상의 시설에서 대피하는 인원수를 모든 계단에 같은 비율로 배분하여 사용 할 것으로 가정하고 있으나 이는 시설에 거주하는 사람의 대피 속성과 성별, 나이 등에 영향을 받을 것이므로 추후에 이러한 정성적 특성을 반영한 최적화 모형을 개발한다면 의미 있는 연구가 될 것이다. 또한 본 논문에서는 대피거리의 총합을 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.

참고문헌

1. 김선덕, 학교 안전 사고 실태와 개선 방안 연구 : 경기도 초등학교를 중심으로, 수원대학교 석사학위논문, 2000
2. 김형진 · 김상진 · 이선영 · 박찬규, 초등학교 현상설계 당선안에 나타난 배치 유형에 관한 연구, 한국교육시설학회지 v.17 n.5, 연구논문, 2010
3. 양호산, 건물 내 사고 대응 매뉴얼 작성에 관한 연구 : 학교 화재를 중심으로, 부경대학교 석사학위논문, 2000
4. 김정만, 학교안전관리, 한국보건학회지 v.4권 n.1, 학술저널, 1991
5. 고영선, 2009년도 특수건물 화재조사분석, 한국화재보험협회, 2010
6. 이호진, 학교건축계획, 초판,(사)한국교육환경연구원, 2009
7. 박인숙 외, 다중이용시설물에서의 효율적인 피난유도에 관한 현황 분석, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2007
8. 한상찬, 산업공학개론, 초판, 형설출판사, 2006
9. 정군식, 피난안정성의 정량적인 평가수법개발에 관한 연구 : 피난거리와 피난장해에 대한 고려를 위한 연구, 대한건축학회 논문집 v.28 n.1, 2008
10. 최재필 외, 시각과 거리를 이용한 피난비용 분석 기법 개발, 대한건축학회 논문집 v.22 n.12, 2006

접수 2011. 8. 11
 1차 심사완료 2011. 9. 19
 2차 심사완료 2011. 9. 26
 게재확정 2011. 9. 26