

설계초기 동선 분석을 위한 BIM기반 정량 평가지표 및 평가체계에 관한 연구**

BIM-enabled Quantitative Indicators for Analyzing Building Circulation in Early Phase of Design

Author 신재영 Shin, Jaeyoung / 정희원, 한양대학교 실내건축디자인학과 석사과정
이진국 Lee, Jin-Kook / 정희원, 한양대학교 실내건축디자인학과 조교수, 공학박사*

Abstract In order to ensure a certain level of the quality of design, standardized evaluation indicators are being used as an objective criterion. Even though the evaluation indicators are quantifiable, limitations such as inefficiency and inconsistency caused by manual task in the evaluation process still have been found. BIM (Building Information Modeling) technology that is commonly adopted in architectural design process provides an environment which enables us to figure out a building model to be interpreted quantitatively with the basis of the building information model. It supports quantitative, consistent, accurate and quick evaluations so as to improve quality of design even in the initial design phase.

This paper aims to establish BIM-enabled quantitative indicators and an evaluation framework to analyze building circulation even in early phase of design. The indicators are composed of 4 types (relative distance, accessibility, simplicity, pedestrian friendliness) and 7 sub-types. The evaluation framework is the process to derive Parameterized Path Value (PPV) as weighting on each indicator. For demonstrating the scalability of the suggested evaluation indicators and the framework, the authors implemented an evaluation tool and a case study has been carried out by using an actual building remodel project.

Keywords 건물정보모델링(BIM), 동선 평가, BIM기반 정량 평가지표, 동선 평가지수
Building Information Modeling (BIM), Evaluation of Circulation, BIM-enabled Quantitative Indicator, Parameterized Path Value (PPV)

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

동선은 공간계획과 연계하여 핵심적으로 다루어지는 설계 요소 중 하나이며, 건축설계 초기부터 보안, 안전 및 피난과 같은 강제성이 강한 요소와 보행의 쾌적함, 접근성, 가시성 등의 보행요소까지 다각도의 관점에서 계획된다.¹⁾ 특히, RFP(Request For Proposal)와 같은 건축주 및 건물 이용자의 요구사항은 설계 의사 결정에 중요한 요소로 작용한다. 그러나 이러한 요구사항들은 설계에 반영하기 위한 기준이 구체적이지 않고, 정성적으로 다루어지는 항목들이 대부분이며 요구 변화가 잦다는 점에서 설계업무의 낭비발생의 주 요인으로 지적되기도

하므로,²⁾ 표준화된 평가접근이 필요하다.

표준화된 설계 평가 지표는 설계 검토 과정의 효율을 증대시키며 설계의 품질을 평가하는 객관적인 기준 및 평가도구로 활용되어왔다.³⁾ 표준화된 지표는 다양한 관

- 1) John Simones, Experience & Space, 실내디자인학회 special issue, 3권, 2010.11, pp.36-39, Jin-Kook Lee, Charles M. Eastman. et al, Computing walking distances within buildings using the universal circulation network, Environment and planning. B, Planning & design, Vol.37, No.4, 2010, pp.628-645, Charles M. Eastman, Automated assessment of early concept designs. Architectural Design, Vo.79 No.2, 2009, pp.52-57, 김찬주, 이진경, 복합건물 보행 동선체계 관련 법령 고찰, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 34권 2호, 2014, pp.123-124
- 2) 이상혁, 김예상, 설계단계 낭비요인 분석을 통한 대형 건축사무소의 업무 효율성 평가, 대한건축학회 논문집-구조계, 27권 1호, 2011, pp.197-204
- 3) 이진경 외 2인, 복합건축 효율적 동선체계 평가를 위한 정량화 지표 개발, 대한건축학회 논문집-계획계, 29권 9호, 2013, pp.59-66, 이진경 외2인, 복합건축 동선체계 평가를 위한 정량화 지표의 가중치 설정, 대한건축학회 논문집-계획계, 30권 10호, 2014, pp.15-22, 류임우, 주거지역내 학교시설의 정량적 설계평가항목 개발, 주거환

* 교신저자(Corresponding Author): designit@hanyang.ac.kr
** 본 연구는 국토교통부 도시건축 연구개발사업의 연구비지원(15AUDP-C067809-03)에 의해 수행되었습니다.

점에서 디자인 평가 요소를 체계화함으로써 설계를 위한 기본적인 방향을 제시하며, 설계의 전체적인 목표 및 지향점을 파악할 수 있도록 한다.⁴⁾ 동선 계획 및 평가에 관한 선행 연구에서는 표준적 평가 기준을 마련하기 위하여 통계 분석 결과를 바탕으로 동선에 영향을 주는 건축적 요소들에 대한 가중치를 산출하였으며, 이를 근거로 유의미한 평가 지표 요소들을 도출하여 정량화된 평가의 지표를 제시하였다. 하지만 제안된 평가 지표를 실제 사례에 적용하는 과정에서 수행되는 관찰 및 측정 등의 수작업은 시간과 비용 소요, 면적 산출 등의 기준 부재 등의 한계점이 있었다. 더욱이 물리적인 건물 모델이 부재한 설계 단계에서는 해당 지표의 적용이 어려울 것으로 판단되었다.

건물정보모델링(Building Information Modeling, 이하 BIM)은 파라메트릭 객체 정보를 바탕으로 기하학적 형상정보를 넘어서는 건물 모델을 제작하고 해석 가능하게 하였으며, 특정 공간들 사이에 생성되는 동선의 최단거리 등과 같은 정량적인 값들을 계산하는데 효과적으로 활용될 수 있다.⁵⁾ BIM기반의 건물 정보는 명확한 객체 정보와 정량적인 기준에 근거하여 추출되며, 이를 기반으로 수행되는 설계분석은 정량적이며 일관성 및 정확성을 확보할 수 있다. 또한, 기존의 동선 설계 검토 과정을 자동화함으로써 비용을 절감할 수 있다.⁶⁾

설계 초기 단계일수록 설계 검토의 결과를 단시간에 피드백 결과로 활용하여 보완함으로써, 결과적으로 주어진 기한 내에 프로젝트의 설계 방향에 맞는 최적의 안을 도출하여 시공 전 건물에 대한 예측가능성을 높이는 것이 중요하다. 여러 사례에서 볼 수 있듯 BIM모델 기반의 설계 분석은 전문가들의 경험적 지식에 의지해 주로 수작업으로 수행되어 온 기존의 프로세스를 단축 및 보완 가능할 것이다. 본 연구는 이러한 배경을 일환으로, 설계 초기 단계에서 동선 분석을 지원하기 위하여 BIM기반의 동선 정량 평가지표 및 평가 체계 개발을 목적으로 한다. 선행 연구 고찰을 통해 동선 평가요소를 파악하고 이를 BIM 정보와 연계하여 동선 평가지표로서 활용하는 접근방법을 제안하고자 한다.

1.2. 연구 방법 및 범위

본 연구는 건물 용도에 따른 동선 평가요소 및 지표를 중심으로 관련 선행 연구 고찰을 통해 기존의 지표 기반의 동선 평가 접근방법을 살펴보고, 기존의 동선 평가 방식을 보완하는 방안으로 활용될 BIM기반의 동선 분석 접근방법을 고찰한다. 본 연구의 목적은 공간 배치와 연계되어 동선 계획이 진행되는 계획 설계 과정에서 정량적인 동선분석을 지원하기 위함이며, 이에 기 설계 단계에서 동선 분석요소로 적용 가능한 BIM기반 동선 관련

데이터를 도출하여 활용하는 방안을 제고한다. 이에 따라 본 연구의 범위 및 방법과 절차는 다음과 같이 요약된다.

1) 동선 평가지표의 유형화 및 정의: 디자인 가이드, RFP, 법규 등의 동선관련 지침과 선행 연구 결과를 근거로 파악된 동선의 평가요소로부터 동선 평가 지표를 유형화한다. 유형화된 지표는 BIM모델로부터 생성된 동선객체의 속성 정보로 정의된 세부지표로 구성된다.

2) BIM기반 동선 평가체계 개발: 동선 평가지표로 정의된 BIM기반 동선의 속성 정보와 평가지표의 비중에 따른 가중치를 활용하여 BIM기반 동선 평가체계를 개발한다. 평가체계를 통해 최종적으로 평가지수가 도출되며, 해당 지수는 동선 계획안들 간 비교분석을 통해 최적의 계획안을 결정하는 근거 자료로서 활용될 수 있다.

3) 동선 평가지표의 사례 적용과 관련 도구 개발: 동선 평가체계를 적용하여 평가를 수행하는데 용이하도록 관련 프로그램을 개발한다. 이를 이용하여 실제 건물 리모델링 프로젝트 설계안을 대상으로 도출된 동선 평가결과를 분석함으로써 본 연구에서 제안하는 동선 평가의 접근 방법의 적용 가능성을 검토한다.

2. 동선 분석에 관한 선행 연구 고찰

2.1. 동선 평가요소 도출 및 지표 개발

실무에서 적용되는 동선 설계 지침에서는 프로젝트별 주요 평가요소들이 다양하나, 기존의 동선 설계 평가 관련 연구들은 표준적인 평가기준을 마련한다는 측면에서 공간용도의 특성에 따라 동선에 관한 정성적, 정량적 평가요소를 도출 및 분석하였다. 본 연구에서는 선행연구 고찰을 통해 실내 공간 설계 과정에서 주요하게 다루어지는 동선 평가요소 및 지표의 특성을 살펴보았다. <표 1>은 국내에서 수행된 관련 연구 사례 및 각 연구에서 도출한 평가요소 및 지표를 정리한 것이다.

경 (한국주거환경학회논문집), 13권 3호, 2015, pp.125-134, 송병준 외 2인, 학교시설개선을 위한 평가지표개발에 관한 연구, 한국실내디자인학회 논문집 21권 6호, 2012, pp.260-270, 정성운 외 2인, 건축실무자 조사를 통한 초고층 공동주택 주거환경평가지표에 관한 연구, 대한건축학회 논문집-계획계, 23권 11호, 2007, pp.11-18, 이지은 외 2인, 건축 디자인품질향상을 위한 평가지표 개발에 관한 연구, 한국디지털건축인테리어학회 논문집 11권 1호, 2011, pp.15-22

4) 이준성, 발주자 요구사항 관리를 위한 정보관리 시스템 활용의 필요성, 건축과사회, 2009, pp.150-157

5) 이진국, BIM을 이용한 디자인 초기 건물설계 품질검토 자동화의 필요성, The BIM, 8호, 2012, pp.25-27

6) 김지수, BIM과 그래프를 기반으로 한 건물 동선의 표현과 분석 접근방법-UCN의 확장형인 MRP 그래프의 제안, 한국건설관리학회 논문집 16권 5호, 2015.9, pp.3-11

선행 연구들은 실무에 적용 가능한 건축 설계 및 동선 관련 평가지표 개발을 목적으로 관련 연구 사례 및 현장 조사, 전문가 설문 조사 등을 실시하여 평가항목을 도출하고 이들의 중요도를 확인하였다. 이를 통해 파악된 유의미한 평가요소들은 궁극적으로 설계의 전체적인 품질 향상을 위한 표준적인 자료로서 활용 가능하다는 점에서 의의를 가진다. 그러나, 평가항목의 지표를 기반으로 실제 사례의 현황을 분석하기 위한 실측 및 평가기준 적용 과정에서 평가자의 주관적인 판단이 개입될 여지가 있었다. 예를 들어, 동선의 접근성, 편리성, 단순성과 같은 요소는 정량적인 기준이 적용되기 어려우며, 공간의 면적 및 높이 등의 정량적 요소는 공간의 물리적 특성을 막론하고 일관된 측정 기준을 설정하여 측정하기에 한계가 있었다. 이외에도, 장기간의 시간과 다수의 인력이 요구되었다. 가령, 이진경 외(2014)⁷⁾는 동선체계 평가를 위한 정량화 지표를 실제 사례에 적용하기 위하여 9개의 복합건축물 대상으로 약 2개월 동안 실측을 통해 물리적 현황을 조사하였다. 기존의 방식에 입각하면, 물리적인 건물 환경이 부재한 설계 단계에서는 평가지표의 적용이 어렵거나, 평가 결과를 활용하기에 비효율적인 측면이 존재한다.

<표 1> 동선 평가요소 도출 및 지표 개발 연구 사례

저자, 연도	주요 내용	(실내) 동선 관련 평가 요소
이진경 외, 2012	동선계획 특성에 따라 복합건축 계획에 중요한 동선계획 요소 도출 및 중요도 분석	지역/대지/건물 내 접근, 평면적/입체적 가시성, 수평/수직/입체 동선 연결, 중심공간, 공간구조
김찬주 외, 2013	복합상업시설의 공간구성요소 규정 및 시설 유형별 공간 구성요소의 특성 도출	진입공간, 중심공간, 수평동선, 수직동선
이진경 외, 2013	복합건축 효율적 동선체계 평가를 위한 정량화 지표 개발 및 우선순위 도출	동선계획요소 : 통로, 출입구, 중심공간, 수직동선, 시설
이진경 외, 2014	복합건축 동선체계 평가를 위한 정량화 지표의 가중치 및 평가기준 설정	평가요소 : 폭, 길이(거리), 높이, 개수, 방향전환개수(깊이)
류임우, 2015	학교시설 설계 평가 항목 개발 및 중요도 분석	기능 동선의 명확한 분리, 유기적 공간구성(동선의 효율성 및 이동의 원활함, 공간의 연속성)
송병준 외, 2012	학교시설의 평가 요인 분석을 통해 평가항목 도출 및 평가지표 제안	기능공간과의 연계성, 이동성, 접근로/출입문/이동수단의 현황
정성운, 2007	초고층 공동주택의 주거 성능 평가를 위한 주거 환경 평가지표의 체계화 및 평가 항목의 중요도 조사	수직동선기능의 적정성, 수평 동선 기능의 적정성, 출입 용이성, 공용공간과 각 주호의 연계성
이지은 외, 2011	공공건축물의 건축디자인 품질 평가 지표 추출 및 국내 현황에 맞는 디자인 품질 지표 개발	수직, 수평동선의 안전성 및 편리성

2.2. BIM기반 동선 분석 접근 방법

CAD기반 설계에서 BIM으로의 전환은 기하학적 형상 위주의 설계에서 3차원의 기하학적 형상 정보와 건물 객

체 및 그 속성의 정보 모델링으로의 변화를 의미한다. 이는 건물 모델에 저장된 형상 정보 및 의미 정보를 바탕으로 건물의 생애주기 동안 다양한 관점에서 건물 모델을 해석하고 응용할 수 있는 기반을 제공한다.

설계 단계에서 동선 분석을 위한 BIM응용은 건물 모델(객체) 기반의 정량적인 접근이며, 공간객체와 공간객체와 관계를 가지는 건축객체는 동적으로 생성되는 동선객체를 표현하고 분석하는데 활용 가능한 명시적인 속성정보들을 포함하고 있다.<표 2> 이러한 일련의 정량화된 동선 정보는 디자인 의사결정 지원 및 설계 품질 검토 등에 활용될 수 있으며, 초기 설계단계부터 동선분석 결과를 활용함으로써 설계의 품질을 향상시키고, 이로 인한 시간적, 경제적 이익을 얻을 수 있다. 현재까지의

<표 2> BIM기반 동선 시각화 및 분석 연구 사례

저자, 연도	주요 내용	동선 분석 접근 방법
Jin-Kook Lee, et al., 2010	BIM기반의 동선 그래프 구조 정의 및 개발	그래프 생성을 위해서 벽체, 기둥과 같은 객체 정보를 기반으로 공간 정보를 가지는 공간 객체 및 공간 객체 간 위상관계 파악에 필요한 문 객체와 수직 동선 객체(계단, 램프 등)의 기하정보를 이용
Ya-Hong Lin et al., 2013		개구부의 개폐 상태, 개인 및 공공 공간의 용도 속성, 배급 설비로부터의 거리를 기준으로 하는 위험 범위를 보행자 동선에 영향을 주는 요소로 정의하여 그래프 생성의 변수로 활용
Eastman, C, 2009	BIM기반 설계품질검토 (동선 관련 룰 검토)	법원 건물을 대상으로 미국 법원 설계 지침(2007)에서 명시하는 평가 항목들에 대하여 BIM기반 설계 검토 자동화 모듈을 개발
최준호 외, 2014		법원의 동선 체계에 대하여 3가지 보안 등급에 따른 구축조건과 각 구역에 따른 물리적 접근의 제한조건 등의 지침사항 포함
Jae Min Lee, 2010		건축 법규를 대상으로 인허가 단계에서의 설계 요구 조건에 대한 검토 자동화 시스템을 연구 개발
Jin-Kook Lee, 2011		직통계단 설치 및 피난 구조에 적합한 보행거리 등 동선에 관한 규제도 포함
Yongcheol Lee et al., 2015	BIM기반 동선 객체 정의 및 랭귀지 기반 분석	설계단계 별 생성 가능한 건물 정보의 범위를 고려하여 동선 관련 요구조건에 대한 자동 검토 프로세스를 일반화하여 제시하였으며, BIM기반 설계 검토 자동화 시스템 개발 연구 사례를 통해 검증
Hyunsoo Lee, 2015		BIM 실내 공간 프로그램 및 동선 분석을 목적으로 특화된 스크립트 언어인 BERA 랭귀지(BERA Language: Building Environment Rule and Analysis Language) 및 관련 도구 개발
		동선의 접근성과 가시성에 대한 조건 검토를 위해 BERA 랭귀지를 확장 정의
		접근성 및 가시성 검토를 위한 알고리즘은 시작점에서 도착지점을 연결하는 동선의 방향 전환 수를 변수로 활용
		BIM기반 동선의 정보 체계 정립을 위한 목적으로 BIM기반 동선 객체와 해당 속성들을 정의
		설계 검토에 실질적인 응용을 위하여 BIM모델로부터 계산될 수 있는 동선의 정량화된 데이터(NDBC, Numeric Data of Building Circulation) 집합을 제시

7) 이진경 외 2인, op. cit., pp.15-22

BIM을 이용한 설계 분석의 접근은 구체적이며 정량적인 결과를 도출할 수 있는 검토 항목에 한정되어 적용되고 있다. BIM기반의 설계 품질 검토의 경우에도 거리, 피난 계단의 설치 유무, 공간과의 물리적 연결관계 등 정량적으로 해석 가능한 평가 기준을 제시하고 있는 법규 등의 규정 항목을 중심으로 연구 및 개발이 수행되고 있다. 그러나 동선 계획 요구사항의 많은 부분은 정성적인 요소(예를 들면, 접근이 편리한 동선 등)로 이루어져있으며 보행자 관점에서 중요하게 다루어진다.⁸⁾

이에 본 연구에서는 동선에 영향을 주는 정성적인 요소를 중심으로 평가지표를 활용한 기존의 동선 평가 접근 방법을 응용하여 BIM기반 동선 평가지표 정의 및 활용 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 건물 객체의 형상 및 속성으로부터 추가적인 연산을 통해 얻을 수 있는 정량값 및 가중치를 적용하는 개념을 제시한다.

3. 동선 평가지표의 유형 및 정의

동선 평가의 기준을 마련하기 위하여 본 장에서는 평가지표를 유형화하고 세부 지표를 정의한다. 이에 본 연구에서는 두 가지 측면에서 접근한다. 첫 번째는 보행자 중심의 접근으로서, 국내외 건설 프로젝트의 설계지침, 디자인 가이드 및 법규와 선행 연구의 사례를 참조하여 동선 평가를 위한 요소들을 파악하고 분류한다.<표 3> 다음은 건물 객체 중심의 접근으로서, 건물 모델로부터 추출 가능한 동선 관련 정량 데이터를 검토하여 앞서 분류한 평가지표 유형을 기준으로 BIM기반 동선 평가요소를 도출하고 이를 세부 지표로 정의한다.

3.1. 상대적 거리

동선을 정량적으로 평가하는 가장 기본적이고 일반적인 기준은 물리적 거리이며, 동선의 '효율성'을 평가하는 요소로 해석되기도 한다. 동선은 수평적 동선과 수직적 동선, 두 종류로 구분되며, 수평동선은 동일한 레벨의 층에서, 수직동선은 서로 다른 레벨의 층을 수직적으로 연결하는 건축객체, 이를테면 계단, 경사로, 승강기 등에 의해 생성된다. 수평동선과 수직동선의 물리적 거리는 BIM모델로부터 생성된 동선 그래프를 이용하여 자동 산출이 가능하다. 동선은 물리적 거리 외에도 피난동선, 공간의 용도 및 기능 분리, 수직적 이동을 최소화하는 등의 무장애 요소 등 기능적인 측면에서 고려되기도 한다. 이처럼 두 종류의 동선은 계획 의도에 따라 중요도의 차

이가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 동선의 물리적 거리와 기능적인 측면을 모두 고려하면서 정량적으로 비교 평가를 할 수 있도록 1)수평거리와 2)수직거리를 평가지표로 정의한다.

3.2. 접근성

건물 동선은 건물의 공간구조에 따라 구획되며 공간 간 상호관련성을 바탕으로 형성되는 공간 네트워크와 관련이 깊다. 이러한 관점을 기반으로 하는 공간구문론은 공간의 위상적 관계를 바탕으로 공간 구조를 정량적으로 분석하는 대표적인 방법론이다.⁹⁾ 공간구문론에서 공간구조 특성을 정량화하는 기본적인 개념은 공간을 지나는 축선의 수를 의미하는 공간의 깊이로, 전체 공간을 통합하는 정도를 산출하는 기준이 된다.¹⁰⁾ 이처럼 공간 중심의 분석 접근은 동선 체계의 특성을 정량적으로 나타내

<표 3> 동선 평가지표와 관련 요구사항 (법규, 지침 등)

동선의 평가지표 유형	동선 관련 요구사항	분석 내용
상대적 거리	수평방향으로의 동선 강조 : (중략) 주요한 움직임이 가능한 수평방향으로 이루어질 수 있도록 하며 승강기 및 계단 등의 수직이동 경로의 사용을 최소화 하도록 한다. <국립서울병원 현대화 재건축 건축설계지침(2007)>	수평적, 수직적 동선은 물리적 측면 외에도 기능적으로 차이가 있으며 필요에 따라 적절한 동선을 선택하여 계획되어야 함을 암시함.
접근성	판사실로의 접근은 제한된 동선에서 이루어지며, 판사실로부터 법정으로의 접근이 용이 하도록 한다. <미국 법원 설계지침(2007)>	시작점과 종점이 물리적으로 또는 시각적으로 연결성 높은 동선일수록 접근성이 좋은 동선으로 해석될 수 있음.
명료성	방문자는 다른 기능적 영역을 관통하지 않고 각 환자 간호단위로 간결하고 직접적인 경로로 접근 가능해야 한다. <WBDG(Whole Building Design Guide)>	환자의 입원실에 접근하는 간호사의 동선은 단순하고 목적지로의 접근이 쉬운 특성이 중요함.
보행자 편의성	정신병원의 특성상 장기입원환자 및 노인환자들이 다수이고 정신적인 장애자임을 감안하여 자연채광과 자연환기가 병원내 모든 부분에서 가능하도록 함으로써 실내를 밝고 쾌적하게 유지할 수 있도록 계획한다. <국립서울병원 현대화 재건축 건축설계지침(2007)> 수평동선이 교차하는 곳에는 적절한 여유공간을 계획하여 동선의 혼잡을 피한다. <교육시설 설계매뉴얼(2008)> 노인복지시설 건물 저층부: 저층부에 친밀한 교분을 위한 커뮤니티 활동 공간의 확보를 권장한다. <디자인서울 공공건축물 가이드라인(2014)>	건물의 이용자에 따라 보행공간의 환경적 요소의 조건이 다양함. 병원 내부의 환자 동선의 경우, 환자들의 심리적, 신체적 고통을 경감시키는 효과를 고려하여 자연광 유입 및 자연적 환경 조성에 대한 요구사항이 강조됨. 노인복지시설의 경우, 노인들의 소외감을 감소시키도록 하는 보행공간의 조성을 권장함.

8) 국립서울병원, 국립서울병원 현대화 재건축 건축설계지침, 2007, http://www.gsa.gov/graphics/pbs/Courts_Design_Guide_07.pdf, 경기도교육청, 교육시설 설계매뉴얼, 2008, <http://sculture.seoul.go.kr/files/2013/02/511c88fdc7f534.61703791.pdf>

9) 김영옥, Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구, 국토계획, 38권 4호, 2003, pp.7-17
10) Jean D. Wineman, et al, Spatial and Social Networks in Organizational Innovation, Environment and Behavior, Vol.41 No.3, 2009, pp.427-442

기 위한 기반이 된다. 이진국 외(2014)¹¹⁾는 BIM기반 동선의 초기 모델링 및 표현을 위하여 보행자 중심에서 공간객체 중심의 해석이 필요하며, 공간 객체의 개수 및 위상학적 관계 유형에 따라 동선의 다양한 조건을 표현할 수 있음을 보여주었다.

본 연구에서는 동선의 접근성을 평가하기 위해 공간의 위상적 연결 관계를 바탕으로 접근하고자 하며, 해당 척도로서 다음의 두 가지 요소를 지표로 정의한다. 1)두 공간(동선의 시작점과 종점) 사이에 존재하는 매개공간들의 개수와 2)매개공간과 동선적으로 직접 연결되는 공간의 개수

3.3. 명료성

건물 내 공간구조에 따라 구획된 동선은 보행자의 측면에서 간단하고 명확하게 인지되는 것이 중요하다. 보행자의 이동 패턴을 특징짓는 동선의 방향 전환 조건은 동선이 명료하게 계획되었는지 판단하기 위한 동선의 평가요소로서 정량적인 개념을 기반으로 적용될 수 있다.¹²⁾ Winter, Stephan¹³⁾은 방향 전환 각도의 크기와 같이 방향 전환의 조건에 따라 발생하는 비용을 반영한 선형 그래프를 제시하였으며, Turner A¹⁴⁾는 공간구문론의 기본 개념에서 확장하여 공간 간 위상적 깊이와 전환 각도를 기초로 한 분석방식(Angular Segment Analysis, ASA)을 소개하였다. 이는 도착점에 이르는 경로 상에 존재하는 선분들(path segments)간의 전환각도를 고려하여 공간 통합도를 측정하기 위한 도구로서 활용되었다.¹⁵⁾ 본 연구에서는 동선의 명료성을 결정짓는 평가지표로 공간구문론에서 공간 구조를 해석하기 위해 기반이 되는 개념들을 적용한다. 이에 해당하는 여러 요소들 중에서 BIM기반 동선 그래프로부터 추출 가능한 1)동선의 방향 전환 수, 2)방향 전환 각도를 평가지표로 정의한다.

3.4. 보행자 편의성

공간의 용도 및 디자인 의도 등에 따라 보행자 측면에서 중요하게 인지되는 보행 환경적 요소가 존재한다. 보

행자 동선에 관한 일부 연구 결과에서 밝혀진 바에 따르면, 동선과 환경적 요인이 중요한 상관관계를 가지며, 그 요인에는 자연광의 유입, 보행로의 주변 경치, 안전, 교통량, 보행의 쾌적한 환경, 보행로의 공간 규모, 휴게 공간 등의 공공공간의 확보 등이 포함되어 있다.¹⁶⁾ 하나의 예시로서, 병원 내부에서 의료진 또는 환자 등 건물 이용자를 위한 보행 환경은 공간 간 이동거리는 짧으면서 환자의 심리적인 효과를 고려하여 자연광의 내부 유입을 유도하는 환경으로 조성된다. 본 연구에서는 보행자 관점에서 선호되는 보행 환경을 동선의 평가항목으로 고려하여 근거 기반 디자인(Evidence-based Design, EBD) 등의 선행 연구 결과 및 동선 관련 지침사항에서 비롯된 세 가지 요소를 평가지표로 정의한다. 1)창문의 평균면적, 2)특정한 공간 용도를 가지는 공간비율, 3)보행 공간의 평균 부피

4. BIM기반 동선 평가체계 개발

동선 계획 시 설계 목적에 따라 강조되는 요소가 다를 수 있다. 이를 반영한 평가체계로서 일반적으로 각 평가 요소에 대한 가중치를 적용하는 방법을 이용할 수 있다. 마찬가지로 앞서 정의된 동선 평가지표는 중요도에 따른 가중치가 결합되어 보다 실질적인 평가기준으로서 기능할 수 있다.

본 장에서는 설계 초기 단계에서 BIM모델로부터 동선 객체를 생성하고 평가지표 및 가중치를 적용하여 평가 분석하는 일련의 과정에 대하여 BIM기반 동선 평가체계를 개발하는 것을 목적으로 한다.

동선 평가체계를 통해 궁극적으로 동선 평가 지수값(Parameterized Path Value, 이하 PPV)을 산출할 수 있다. 비교 대상인 동선 계획안들 간에 동일한 가중치를 적용하는 경우, 이들의 상대적인 평가를 가능케 하며, PPV는 다수의 동선 계획안에 대한 디자인 의사 결정의 근거로 활용될 수 있다.

4.1. 동선 객체 생성 및 동선 평가지표 추출

건물 동선객체는 공간객체 및 이외 건축객체와 같은 정적인 건물 객체와 대조적으로 정적인 객체들의 형상정보를 기반으로 연산되어 생성된다.¹⁷⁾ 즉, 시작과 끝 지점이 지정됨을 전제로 연속된 공간객체 집합의 구성에 따

11) Jin-Kook Lee, Mi Jeong Kim, BIM-enabled Conceptual Modelling and Representation of building circulation, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.11 2014, pp.1-8
 12) Sonit Bafna, Space syntax - a brief introduction to its logic and analytical techniques. Environment and Behavior, Vol.35 No.1, 2003, pp.17-29
 13) Winter, Stephan, Modeling costs of turns in route planning, GeoInformatica Vol.6 No.4, 2002, pp.345-361
 14) Turner Alasdair, From axial to road-centre lines: a new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis, Environment and Planning B: Planning and Design. Vol.34 No.3, 2007, pp.539-555
 15) 박준영 외 3인, 인간 생태학적 관점에서의 상업지구 내 가로망의 공간배열 특성, 한국생태환경건축학회논문집 13권 5호, 2013, pp.17-22

16) <http://www.mahlum.com/pdf/MahlumHDIAutumn2009Issue01.pdf>, Kraut, R. E., et al., Informal communication in organizations: Form, function, and technology. In Human reactions to technology: Claremont symposium on applied social psychology, 1990, pp.145-199, 김선영, 공공공간 디자인 요소의 중요도와 이용자 디자인 만족도 - 복합용도시설 부설광장을 중심으로-, 한국디자인포럼, 32권, 2011, pp.61-70
 17) Charles M. Eastman, op. cit., pp.52-57

라 다양한 인스턴스가 동적으로 정의된다. 이때 해당 동선 객체와 연관된 건물 객체들의 정보는 동선 객체의 속성으로 활용될 수 있다.¹⁸⁾ 동선 평가를 위한 요소로서 필요한 동선 데이터를 얻기 위해서는 BIM모델로부터 동선 객체를 생성하는 것이 선행되어야 한다. 동선 평가 체계의 첫 단계는 동선객체를 생성하고 이로부터 특정 동선 데이터를 도출하는 과정이다.

주어진 BIM모델로부터 생성된 동선객체의 집합을 P 라 할 때, 동선객체의 인스턴스는 P_i 이며, P_i 의 평가 지표의 유형을 나타내는 PF_i 은 다음과 같이 표현된다. PF_i 의 각 요소는 앞 장에서 분류하여 정의한 평가지표로 구성된다.

(1) $P = \{P_i | P_i$ 는 건물 모델로부터 생성된 동선 객체, $1 \leq i \leq n$; n 은 동선객체의 개수}

(2) $PF = \{PF_i | PF_i$ 는 동선객체 P_i 의 평가지표 유형} = $\{D_i, A_i, S_i, U_i\}$

(3) $D_i = \{VD_i, HD_i\}$

(4) $A_i = \{IS_i, AS_i\}$

(5) $S_i = \{NT_i, AT_i\}$

(6) $U_i = \{WA_i, VM_i, UG_i\}$

P_i : 동선객체

PF_i : 동선객체의 평가지표 유형

D_i, A_i, S_i, U_i : 상대적 거리, 접근성, 명료성, 보행자의 편의성

VD_i, HD_i : 수직거리, 수평거리

IS_i, AS_i : 공간의 깊이, 매개공간에 직접 연결된 공간 수

NT_i, AT_i : 방향 전환 수, 방향 전환 각도의 평균

WA_i, VM_i, UG_i : (바닥면적에 대한)창문면적, 공간 부피, 공간의 용도

4.2. 동선 평가지표의 표준화

동선 평가지표에는 길이, 면적, 부피, 개수와 같이 양적 단위가 다른 BIM데이터 값을 포함하고 있다. 단위가 서로 다른 값들을 연산하기 위해서는 표준화된 값으로의 변환이 필요하다. 본 연구에서는 GIS 환경에서 공간 문제에 대한 의사결정을 위하여 제안된 다요소 의사결정방법(MCE, Multi-Criteria Evaluation)의 표준화 방법¹⁹⁾을 차용한다. 세부 평가지표들이 동선에 미치는 영향에 따라 두 가지 표준화의 방식을 제시한다.

(7)의 경우, 평가지표가 동선에 긍정적인 요소로 작용하는 경우이며, 이에 대응하는 데이터 값이 클수록 표준화된 값이 증가한다. (8)의 경우는 반대로 평가지표가 동

선에 부정적인 요소로 작용하는 경우로서, 대응하는 데이터 값이 작을수록 표준화된 값이 증가한다. 각각의 평가 요소들의 표준화 값은 서로 비교 가능한 수치이기 때문에 이후 각 요소들의 중요도를 반영하여 가중치를 적용할 수 있다.

$$(7) \text{ 표준화 값, } S(X_i) = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

$$(8) \text{ 표준화 값, } S(X_i) = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}}$$

X_i : 동선평가요소의 개별요인에 대한 BIM데이터 값

X_{\min} : 동선 계획안별 X_i 들 중 최솟값

X_{\max} : 동선 계획안별 X_i 들 중 최댓값

$S(X_i)$: X_i 의 표준화 값

4.3. 동선 평가지표의 변수화 및 동선 평가지수 (PPV) 도출

본 연구에서는 동선의 목적에 따라 각 평가요소에 대한 중요도를 반영할 수 있도록 동선 평가지표에 대한 가중치를 매개변수화하는 개념을 제안한다. 앞서 표준화 과정에서와 마찬가지로 GIS분야에서 가중치를 적용하는 방식으로 활용되는 가중선형조합법(WLC, Weighted Linear Combination)을 활용하고자 한다. 상기 방법은 지표값에 가중치를 곱한 후 합하여 산출된 최종 값을 비교하여 대안을 평가할 수 있는 방법이다.²⁰⁾

본 동선 평가체계에서의 가중치는 4가지의 평가지표 유형(w_{PF}) 및 각 평가지표(w_x)에 대한 변수로 구성된다. 가중치(w_{PF}) 및 가중치(w_x)는 각기 집합 범위에서 요소 간 상대적인 값으로 정의되며, 총합은 1(100%)로 일정하다. 매개변수화된 동선 평가지표 유형은 $Prm(PF_i)$ 로 정의되며, 설정된 평가지표의 범위 내에서 가중치를 적용하여 계산된 PPV_i 은 동선 평가지수(PPV)이다. PPV는 여러 개의 동선 객체 또는 동선 객체 집합의 상대적인 순위를 결정하는 값으로, 값이 큰 동선일수록 순위가 높은 동선임을 의미한다. 다음은 동선 평가 지수값(PPV)을 도출하는 연산식을 보여준다.

(9) $PRM = \{Prm(PF_i) | Prm(PF_i)$ 은 동선객체 P_i 의 매개변수화된 평가지표 유형}

$$= \{Prm(D_i), Prm(A_i), Prm(S_i), Prm(U_i)\}$$

(10) $W_x = \{W(X_i) | W(X_i)$ 는 동선객체 P_i 의 평가지표에 대한 상대적 가중치}

$$= \{W(VD_i), W(HD_i), W(IS_i), W(AS_i), W(NT_i),$$

18) 경기도교육청, op. cit.

19) STEPHEN J. CARVER, Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems, International Journal of Geographical Information Systems, Vol5 No.3, 1991, pp.321-339

20) Ryan Richardson Reeves, Deriving traverse paths for scientific fieldwork with multicriteria evaluation and path modeling in a geographic information system, MS. thesis, The USC graduate school, university of southern california, 2015, pp.18-21

$W(AT_i), W(WA_i), W(VM_i), W(UG_i)$

$$(11) Prm(PF_i) = \sum S(X_i) \times W(X_i)$$

(12) $W_{PF} = \{W(PF_i) | W(PF_i) \text{는 동선객체 } P_i \text{의 평가 지표에 대한 상대적 가중치}\}$
 $= \{W(D_i), W(A_i), W(S_i), W(U_i)\}$

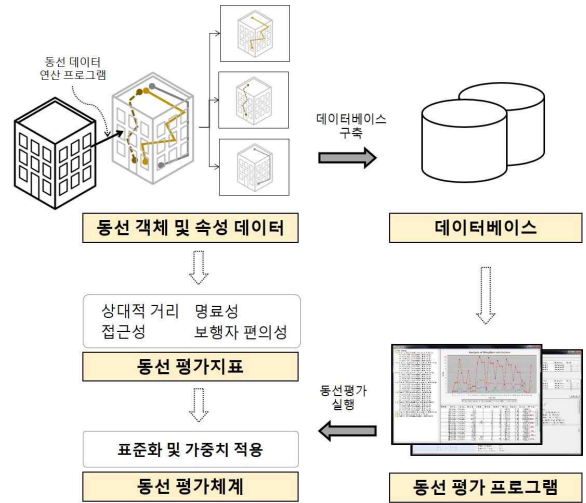
$$(13) PPV_i = 1000 \times \sum Prm(PF_i \times W(PF_i))$$

$Prm(PF_i)$: 변수화된 동선 평가지표 유형

$W(X_i)$: 평가지표에 대한 가중치

$W(PF_i)$: 평가지표 유형에 대한 가중치

PPV_i : 동선 평가지수(PPV)



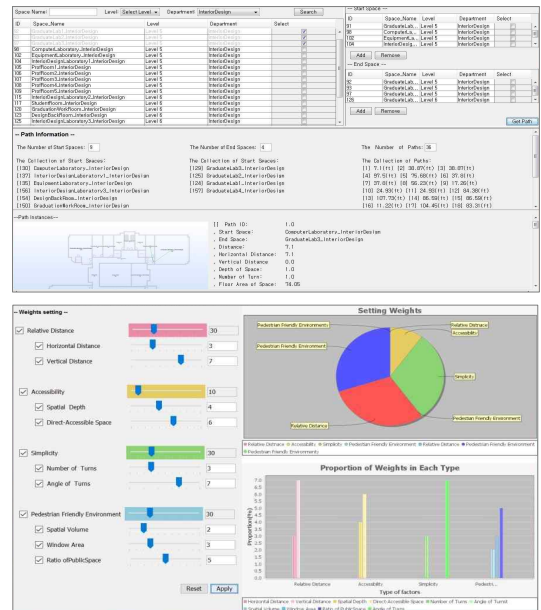
5. 동선 평가지표 적용을 통한 설계안 분석

<그림 1> 동선 데이터 활용을 위한 외부 데이터베이스 구축 및 활용 프로그램 개발

5.1. 동선 평가 프로그램 개발 및 활용

BIM기반 동선 평가체계를 적용하여 실제 동선 계획안을 평가하기 위해서는 사용자가 평가 대상의 동선 데이터를 효율적으로 관리하고 활용할 수 있는 프로그램의 개발이 효과적이다. 이를 위해서는 1)모델로부터 추출된 동선객체들의 속성 데이터들의 일관성이 유지되어야 하며, 2)반복적인 디자인 평가 과정에서 데이터의 재사용이 용이해야 한다. 3)또한, 이러한 데이터를 기반으로 사용자가 평가지표에 대한 가중치를 손쉽게 반영하여 지수값(PPV)을 도출하는데 효율적이어야 한다. 본 연구에서는 IFC(Industry Foundation Classes)기반 룰체킹 도구인 솔리브리 모델 체커(Solibri Model Checker)상에서 BERA랭귀지 및 관련 도구를 이용하여 동선객체들의 속성 데이터를 추출하였다. 추출된 데이터를 활용하기 위하여 <그림 1>과 같이 평가 대상 모델로부터 생성되는 모든 동선 객체들의 다양한 속성 데이터 중 평가지표로 정의된 데이터값을 저장하는 데이터베이스를 구축하였다. 상기 데이터베이스와 연동하여 특정 시나리오에 대해 동선 평가지표를 기반으로 BIM기반 동선 평가지수를 산출하는 동선 평가 프로그램을 구현하였다. <그림 2>는 본 연구에서 개발한 프로그램의 동선 정보 검색 도구와 동선 평가 도구 인터페이스의 일부를 나타낸다.

사용자는 이 프로그램과 연동된 데이터베이스를 활용하여 특정 시나리오에 따른 동선의 해당 평가지표값에 대한 가중치를 설정할 수 있다. 이후 동선 평가체계에 따라 사용자로부터 정의된 가중치가 적용되어 동선 객체들 간의 정량화된 평가 결과값(PPV) 및 추가적인 시각적 분석 자료를 제공받을 수 있다.



<그림 2> 동선 평가 프로그램의 동선 정보 검색 도구(위) 및 동선 평가 도구(아래) 인터페이스

5.2. 설계 초기 단계에서의 동선 계획안 평가

BIM기반 동선 평가지표의 사례 적용 대상지로 서울 소재지의 H 대학의 단과대학 건물을 선정하였다. 해당 단과대학은 3개의 전공학과로 구성되어 있으며, 전공에 따라 층별로 공간이 구분되어 사용되고 있다. 최근 2013년도에는 리모델링 프로젝트가 진행되어 학과별 공간 구성 및 이에 따른 동선 구조가 변경되었다. 대상 모델에 대한 동선 평가 데모는 다음과 같은 시나리오를 바탕으로 수행하였다.

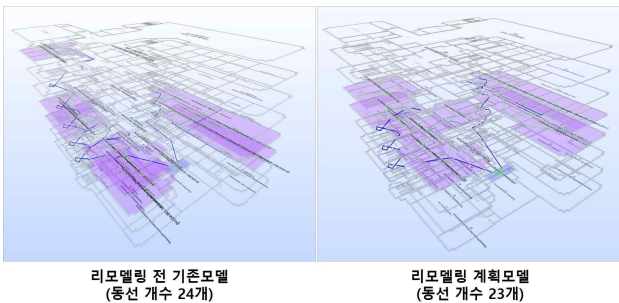
1)건물의 주 출입구에서 3개의 전공 학과 중 C전공 학생들이 이용하는 공간으로 도달하는 모든 동선을 대상으로 리모델링 전 기존 평면과 리모델링 설계안의 (평

균)동선을 비교한다.

2)상대적 거리와 보행자 편의성의 측면에서 평가한다. 이때, 상대적 거리 요소는 동선에 부정적인 요소로, 보행자 편의성은 긍정적인 요소로 작용한다.

3)평가지표의 중요도 차이가 반영되지 않은 경우와 평가지표 간 중요도의 차이를 주었을 때 동선의 평가 결과를 비교한다.

위의 시나리오를 기반으로 동선 모델을 생성하였으며, 동선 평가체계 적용을 위해 필요한 동선 데이터를 추출하였다. <그림 3>은 시나리오 1)에 대하여 동선 데이터 연산 프로그램을 이용하여 리모델링 전후 모델로부터 동선객체가 생성된 모습이다. 동선 평가지표의 중요도를 반영한 가중치는 <표 4>와 <표 5>와 같이 설정되었다. <표 4>은 평가지표 간 중요도의 차이를 반영하지 않은 경우로, 두 동선의 평가지표 유형 및 개별 지표 간 동일한 가중치가 주어졌다. 입력값에 대한 동선 평가지표 산출값은 리모델링 전 C학과의 동선 모델은 580, 리모델링 계획안에 대한 동선 모델은 415로, 리모델링 전 동선 모델의 평가가 높게 나타났다. <표 5>는 평가지표 간 중요도의 차이를 반영한 것으로, 상대적 거리 내 수직거리와 수평거리에 대한 가중치는 각각 0.3, 0.7, 보행자 편의성 내 창문의 면적, 공간의 부피, 공용공간의 비율은 각각 0.2, 0.3, 0.5로 설정하였다. 상대적 거리 및 보행자 편의성 지표 유형 간 가중치는 각각 0.6, 0.4로 나누어 적용하였다. 서로 다른 가중치 입력에 대한 지표 산출값은 리모델링 전 동선 모델은 460, 리모델링 후의 동선 모델은 540으로 평가지표들에 대한 중요도 차이를 반영하기 전과 후의 평가 결과에 차이가 발생하였다. 이는 동선 평가 시 평가지표간 가중치의 차이를 반영함으로써 설계 대안들을 평가하는 접근이 필요함을 보여준다. 이에 본 연구에서는 BIM기반의 동선 평가지표를 제안하였으며, 평가자가 여러 건물 설계안들 중에서 설계 목적에 가장 잘 부합하는 안을 채택할 수 있도록 지원하는 활용 지표가 될 수 있을 것으로 본다.



<그림 3> 평가 대상 건물의 시나리오 기반 리모델링 전후 동선 모델 비교

<표 4> 평가 동선모델의 지표값(동선데이터)과 지수값 산출 (가중치 동일한 경우)

동선 평가지표 유형	W_{PF}	동선 데이터 (평균값)	W_x	(기존 평면) C학과	(리모델링 계획안) C학과
상대적 거리	0.5	수직거리	0.5	18.52	24.96
		S(VD)		1	0
	수평거리	0.5	31.74	25.93	
			S(HD)	0	1
			0.3	0.7	
보행자 편의성	0.5	창문의 면적	0.33	33.90	32.36
		S(WA)		1	0
	공간의 부피	0.33	2087.67	2148.25	
	S(VM)		0	1	
	공용공간 비율	0.33	0.28	0.11	
S(UG)	1		0		
동선 평가 지수값(PPV)				580	415

<표 5> 평가 동선모델의 지표값(동선데이터)과 지수값 산출 (서로 다른 가중치가 적용된 경우)

동선 평가지표 유형	W_{PF}	동선 데이터 (평균값)	W_x	(기존 평면) C학과	(리모델링 계획안) C학과
상대적 거리	0.6	수직거리	0.3	18.52	24.96
		S(VD)		1	0
	수평거리	0.7	31.74	25.93	
			S(HD)	0	1
			0.3	0.7	
보행자 편의성	0.4	창문의 면적	0.2	33.90	32.36
		S(WA)		1	0
	공간의 부피	0.3	2087.67	2148.25	
	S(VM)		0	1	
	공용공간 비율	0.5	0.28	0.11	
S(UG)	1		0		
동선 평가 지수값(PPV)				460	540

6. 결론

본 연구는 설계 초기 단계에서 동선 분석을 위한 BIM 기반 동선 평가체계 개발의 일환으로, 건물모델로부터의 정량적 지표 추출 및 체계화, 그리고 이를 적용한 동선 평가 방법의 방향성을 제시하는데 목적을 두고 있다. 이를 위하여 다양한 주요 동선 평가요소들을 고려하여 동선 평가지표의 유형을 분류하였으며, 실제 BIM데이터로 추출 가능한 평가요소들을 중심으로 세부 지표를 정의하였다. 해당 지표체계는 표준화 및 가중치 적용의 과정을 거쳐 최종적으로 평가지수를 도출하며, 각각의 동선 계획안들은 도출된 개별 평가지수의 정량적 비교를 통해 평가된다. 본 연구에서 제안한 BIM기반 동선 평가체계는 다양한 목적으로 평가기준을 적용할 수 있도록 평가 지표에 대한 가중치를 변수화하여 제시하였다. 이로 인해 사용자에게 의해 설정된 가중치의 타당성에 대한 추가적인 검토과정이 요구된다. 이에 향후 전문가 조사, POE(Post Occupancy Evaluation) 등의 방법을 통해 시

나리오별, 건물 용도별 동선 평가지표의 적정 가중치 설정에 대한 후속 연구가 필요하다.

현재 AEC(Architecture, Engineering, Construction)분야에서는 BIM기술의 활용이 활발하게 이루어지고 있는 추세이지만, 상대적으로 높은 LOD(Level of Detail)를 요구하는 실내디자인 분야에서는 BIM기술의 보급 및 적용이 미약하다. 본 연구는 설계 초기 과정에서 실내 동선 계획 및 분석을 지원하기 위한 BIM기술의 활용방안을 제시하였으며, 관련 전문 지식을 기반으로 건물의 물리적 요소를 재해석하는 접근을 통해 BIM기술의 활용범위가 실내디자인 분야로의 확장가능성을 보여주었다.

참고문헌

1. 국립서울병원, 국립서울병원 현대화 재건축 건축설계지침, 2007
2. 경기도교육청, 교육시설 설계매뉴얼, 2008
3. Hyunsoo Lee, Definition of the Path Object and its Properties for Evaluating Building Circulation Issues using BIM-Enabled Numeric Data. *M.S. thesis*, Department of Interior Architecture Design, Graduate School of Hanyang University, 2015
4. Jae Min Lee Automated checking of building requirements on circulation over a range of design phases. *Ph.D. thesis*, College of Architecture, Georgia Institute of Technology, 2010
5. Jin-Kook Lee, Building Environment Rule and Analysis (BERA) Language: And its Application for Evaluating Building Circulation and Spatial Program. *Ph.D. thesis*, College of Architecture, Georgia Institute of Technology, 2011
6. Ryan Richardson Reeves, Deriving traverse paths for scientific fieldwork with multicriteria evaluation and path modeling in a geographic information system, MS. thesis, The USC graduate school, university of southern california, 2015
7. 김선영, 공공공간 디자인 요소의 중요도와 이용자 디자인 만족도 - 복합용도시설 부설광장을 중심으로-, 한국디자인포럼, 32권, 2011
8. 김지수, BIM과 그래프를 기반으로 한 건물 동선의 표현과 분석 접근방법-UCN의 확장형인 MRP 그래프의 제안, 한국건설관리학회 논문집 16권 5호, 2015.9
9. 김영욱, Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구, 국토계획, 38권 4호, 2003
10. 김찬주, 이진경, 복합건물 보행 동선체계 관련 법령 고찰, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 34권 2호, 2014
11. 류임우, 주거지역내 학교시설의 정량적 설계평가항목 개발, 주거환경, 한국주거환경학회논문집 13권 3호, 2015
12. 박준영 외 3인, 인간 생태학적 관점에서의 상업지구 내 가로망의 공간배열 특성, 한국생태환경건축학회학회논문집 13권 5호, 2013
13. 송병준 외 2인, 학교시설개선을 위한 평가지표개발에 관한 연구, 한국실내디자인학회 논문집 21권 6호, 2012
14. 이상혁, 김예상, 설계단계 낭비요인 분석을 통한 대형 건축사무소의 업무 효율성 평가, 대한건축학회 논문집-구조계, 27권 1호, 2011
15. 이준성, 발주자 요구사항 관리를 위한 정보관리 시스템 활용의 필요성, 건축과사회, 2009
16. 이지은 외2인, 건축 디자인품질향상을 위한 평가지표 개발에 관한 연구, 한국디지털건축인테리어학회 논문집 11권 1호, 2011
17. 이진경 외 2인, 복합건축 효율적 동선체계 평가를 위한 정량화 지표 개발, 대한건축학회 논문집-계획계, 29권 9호, 2013
18. 이진경 외 2인, 복합건축 동선체계 평가를 위한 정량화 지표의

가중치 설정, 대한건축학회 논문집-계획계, 30권 10호, 2014

19. 정정성운 외2인, 건축실무자 조사를 통한 초고층 공동주택 주거환경평가지표에 관한 연구, 대한건축학회 논문집-계획계, 23권 11호, 2007
20. 최준호, 김인한, 개방형 BIM 기반의 건축인허가 적법성검토체계 구축을 위한 사전프로세스 적용 방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집-계획계, 30권 9호, 2014
21. Charles M. Eastman, Automated assessment of early concept designs. *Architectural Design*, Vol.79 No.2, 2009
22. Jean D. Wineman, et al, Spatial and Social Networks in Organizational Innovation, *Environment and Behavior*, Vol.41 No.3, 2009
23. Jin-Kook Lee, Charles M. Eastman. et al, Computing walking distances within buildings using the universal circulation network, *Environment and planning. B, Planning & design*, Vol.37 No.4, 2010
24. John Simones, Experience & Space, 실내디자인학회 special issue, 3권, 2010.11
25. Kraut, R. E., et al., Informal communication in organizations: Form, function, and technology. In *Human reactions to technology: Claremont symposium on applied social psychology*, 1990
26. Jin-Kook Lee, Mi Jeong Kim, BIM-enabled Conceptual Modelling and Representation of building circulation, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol.11 2014
27. Sonit Bafna, Space syntax - a brief introduction to its logic and analytical techniques. *Environment and Behavior*, Vol.35 No.1, 2003
28. STEPHEN J. CARVER, Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol5 No.3, 1991
29. Turner Alasdair, From axial to road-centre lines: a new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis, *Environment and Planning B: Planning and Design*. Vol.34 No.3, 2007
30. Winter, Stephan, Modeling costs of turns in route planning, *GeoInformatica* Vol.6 No.4, 2002
31. Ya-Hong Lin, et al, The IFC-based path planning for 3D indoor spaces, *Advanced Engineering Informatics*, Vol.27 No.2, 2013
32. Yongcheol Lee, et al, Automated Rule-Based Checking for the Validation of Accessibility and Visibility of a Building Information Model. *Proceeding, ASCE International workshop on Computing in Civil Engineering*, 2015
33. 이진국. BIM을 이용한 디자인 초기 건물설계 품질검토 자동화의 필요성, *The BIM*, 8호, 2012
34. <http://sculture.seoul.go.kr/files/2013/02/511c88fdc7f534.61703791.pdf> (디자인서울 공공건축물 가이드라인)
35. <http://web.nibs.org/design/hospital.php> (WBDG (Whole Building Design Guide))
36. <http://www.mahlum.com/pdf/MahlumHDIAutumn2009Issue01.pdf>
37. http://www.gsa.gov/graphics/pbs/Courts_Design_Guide_07.pdf (미국 법원 설계 지침)

[논문집수 : 2016. 06. 30]

[1차 심사 : 2016. 07. 13]

[게재확정 : 2016. 08. 18]