

동선관련 정성적 요구사항 평가를 위한 가중치를 적용한 BIM기반 정량데이터 활용방안에 관한 연구

신재영*, 이진국**

요약

본 논문은 건물의 동선에 대한 정량적 평가기준을 마련하기 위한 하나의 접근방법을 제안하며, 이를 위해 건물정보모델링(BIM, Building Information Modeling)을 이용하여 동선관련 객체 및 속성의 정량적 데이터를 활용한다. 동선을 계획하고 분석하는 작업은 설계 초기부터 중요하며, 건축법규나 설계지침 등에 제시된 동선 관련 규정을 따르기 위한 목적 외에도 거주자의 편의성의 관점에서 중요하다. 본 논문에서 제시하는 방법에 의거하면, BIM에서 추출할 수 있는 다양한 값들을 이용하여 '편리한 동선'과 같은 정성적인 내용의 정량적 비교 및 판단을 사용자의 가중치 설정에 따라 가능하도록 지원한다. 해당 가중치는 물리적 거리, 공간의 깊이 및 동선 방향 전환수, 매개공간의 창문면적 등을 포함하며, 사용자가 부여한 가중치에 따라 정량화된 비교 방안을 통해 동선관련 설계품질에 대한 평가에 활용 가능하다.

키워드 : 건물 동선, 정량적 데이터, 가중치, 설계 품질 평가

An Approach to the BIM-enabled Assessment of Building Circulation using Quantitative Data and its Weight

Jaeyoung Shin*, Jin-Kook Lee**

Abstract

This paper describes a quantitative approach to the BIM-enabled assessment of building circulation by using quantitative data and applying its weight. Assessment of building circulation plays an important role before construction stage because of related requirements regulated by design guide, building codes, etc. and design decision making as well. In this paper, Qualitative issue is mainly dealt with that are usually excluded from rule checking objects due to their implicit definition such as 'comfortable circulation'. A weighting framework is suggested using weighted data of circulation properties such as 1) metric distance, 2) number of passing spaces, 3) number of turning spaces, 4) window area of passing space, etc.

Keywords : Building circulation, Quantitative data, Weight, Design quality assessment

1. 서론

1.1 연구의 배경과 방법

건물 동선에 대한 품질 검토는 건물 내 보행자 동선과 관련한 기본적인 요구조건을 충족시키는 것을 우선으로 하며, 건축 계획 및 설계 과정에서 중요한 요소 중 하나이다[1,7]. 동선 관련 요구조건들은 'OO공간으로 O미터 이내에 직통하는 동선'과 같이 직접적인 평가가 가능한 정량적인 항목뿐만 아니라, '접근이 편리한 동선'과 같은 정성적인 항목들을 포함한다[12]. 동선관련 품질검토는 통상적으로 계획 및 설계 전문가들에 의한 주관적인 판단에 근거하여 수행되어 왔다. 이는 객관적인 평가가 어렵고 수행하는 과정

※ Corresponding Author : Jin-Kook Lee

Received : March 30, 2015

Revised : April 27, 2015

Accepted : April 30, 2015

* Dept of Interior Architecture Design, Hanyang University, email: jjyoung311@gmail.com

** Dept of Interior Architecture Design, Hanyang University, email: designit@hanyang.ac.kr

▣ 본 연구는 국토교통부 도시건축 연구개발사업의 연구비지원(14AUDP-B068892-02)에 의해 수행되었음

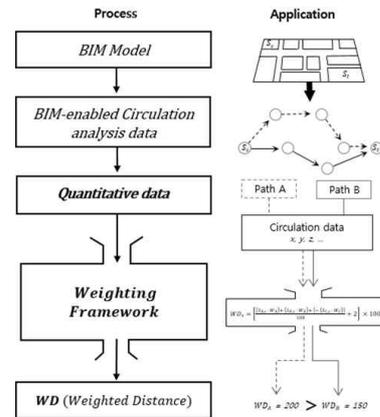
에서 상당한 시간과 비용이 소요 된다[2,4,7]. BIM기반 설계의 경우, 건물의 동선 관련 객체와 속성정보를 적극 활용함으로써 정량적이고 표준적인 동선 품질의 평가 수행이 가능하다 [6,-8,15]. 그러나 BIM모델의 해당 정보는 정량적인 설계 항목에 한해 제한적으로 활용되고 있다. 미국 GSA의 BIM기반 법원청사건물 동선분석 사례에서도 해당 평가 수행 시 정성적인 평가항목은 제외되었다[1,2,4]. 건물 동선에 대한 종합적인 품질 향상을 위해서는 정성적인 평가요소가 포함되어 수행되어야 할 것이다[1]. 이에 본 논문은 동선에 관한 정성적 요구사항 평가를 위하여 가중치를 적용한 BIM기반 정량데이터의 활용방안에 관하여 기술하고자 한다.

‘접근이 편리한 동선’과 같은 정성적 검토항목에 정량적으로 접근하기 위하여, BIM 모델에서 다양한 동선관련 정확한 데이터를 계산하고 추출하는 것이 중요하다[7,8,15]. 이를 위해 본 연구자의 선행 연구에서 정의한 BIM기반 동선 관련 수치데이터인 NDBC (Numeric Data of Building Circulation)를 활용하였다[7,8]. 해당 데이터는 스크립트언어 기반의 BERA 랭귀지 (Building Environment Rule and Analysis Language) 및 관련 도구를 이용하여 IFC기반 룰체킹도구인 솔리브리 모델 체커(SMC; Solibri Model Checker) 상에서 계산 및 추출되었다 [5,6,16,17]. 해당 접근방법의 테스트를 위하여 실제 대학 건물의 BIM모델을 제작하여 사용자의 가중치 적용 시나리오를 가정하여 적용하였으며, 해당 결과를 사례 비교 예시로 기술하였다.

1.2 연구의 목적 및 범위

본 연구에서 제안하는 가중치 적용 순서를 도식화하면 (그림 1)과 같다. 건물의 BIM 모델로부터 계산된 동선 거리 및 다양한 관련 데이터가 주어지면, 설계의도 또는 건물의 개별적 요구사항 등이 고려된 ‘가중치반영 거리’(WD; Weighted Distance)가 도출된다. WD는 가중치 적용으로 변환된, 사용자의 설계 및 평가의도가 반영된 새로운 개념의 ‘거리값’이다. 이를 통해 본 논문은 정성적 동선 평가항목에 대해 정량적으로 평가할 수 있는 하나의 접근방법을 제안한다. 또한 이는 실제 건물 모델을 통해 WD의 개념을 적용하여 비교 평가를 수행하고자 한다.

(그림 1) 건물 BIM 모델로부터 가중치가 적용된 정량값을 도출, 비교하는 과정 다이어그램



(Figure 1) Quantitative data derivation from the qualitative factors using weights

2. 문헌 고찰 및 배경

2.1 동선 분석 및 평가 사례 고찰

동선 분석 및 평가에 관한 연구는 관찰 등과 같은 정성적인 접근 방법으로 주로 수행되어왔다[3,7-9,10,11]. 가령, 유석환(2014)은 상업공간에서 고객의 구매행태와 제품 카테고리 배열 및 객동선 계획과의 상관관계를 분석하기 위하여, 특정 가전 브랜드샵을 중심으로 공간 배치 및 고객의 구매행태에 따른 객동선을 관찰 조사하였다. 정량적인 접근 방법이 적용된 예로는 공간들의 위상기하학적 연결관계를 활용하는 공간구문론을 들 수 있다. 임현식과 김영옥(2003)은 공간구문론을 통해 인사동지역의 공간구조적 특성과 보행특성을 분석하여 가로체계변화에 따른 보행네트워크의 변화를 예측하였다. 송나균 외(2009)는 외암마을의 여가공간에서의 공간구조 및 보행체계를 분석하기 위하여 공간구문론을 적용하였다. 기존연구에서 활용한 공간구문론의 가시성 및 접근성 기반의 분석은 공간 구조에 기초한 시각화에 초점이 맞춰져 있으며, 통계적으로 정량화된 수치를 근거로 한다.

반면, BIM모델을 활용한 동선 평가는 다양한 BIM 객체 및 속성데이터 그 자체 및 해당 값들로부터 부가적으로 계산된 정량값들에 대한 활용을 기반으로 한다[1,2,7,8,15]. 대표적인 사례로,

미국 GSA는 복잡한 법원의 설계 지침에 대한 평가를 위하여 BIM기반 설계검토 도구들을 개발 및 적용하였다. 이는 물 기반 건축 프로그램 검토, 동선 및 보안 평가, 에너지 및 비용 분석 등을 포함한다. 특히 동선에 관한 검토 항목에는 대개의 건물이 일반/제한구역으로 구획된데 비하여 세 가지 구역(일반/제한/보안)으로 구분된 동선 체계에 대한 복잡한 요구사항이 포함되어 있다. 이 사례는 설계 초기에서부터 동선에 대한 정확한 평가를 가능케하여 설계 품질을 향상시키며 기존 프로세스를 단축시켰다는 평가를 받고 있다. 하지만 ‘편리한 동선’과 같은 정성적 항목은 평가에서 모두 제외되고 ‘O피트 이내의 거리’등과 같은 정확한 수치에 대한 평가만을 수행하였다[1,2,4,14].

BIM기반의 건축계획 및 설계안 비교 등 관련 연구 및 개발 사례는 시공 등의 분야에 비해 많지 않다. 또한 언급된 GSA의 사례와 같이 BIM을 사용한 동선 분석은 정량적 평가항목에 한정되어 있다[1,13]. 본 연구는 그러한 한계를 극복하고자 하는 시도로써 BIM으로부터 추출한 데이터에 가중치를 적용하여 정성적인 동선 설계 항목에 대한 정량화된 평가 방안을 제시할 수 있도록 접근한다.

2.2 동선 품질의 정량적인 평가를 위한 BIM 활용 가능성

동선 품질 요구 조건들은 크게 정량적인 항목과 정성적인 항목으로 구성된다. 아래의 예시는 GSA의 미국 법원 설계 가이드에서 제시된 동선에 관한 규정 내용의 일부이다[12,13].

(ex1) *“Attorney/witness rooms must be directly accessible from public circulation.”*

(ex2) *“Judge’s chambers are accessed from restricted circulation with convenient access to the courtrooms.”*

BIM을 이용한 동선 품질 검토의 대상은 Pass/Fail이 명확하게 도출되는 정량적인 항목(예시 1)을 위주로 수행되어 왔다. 반면, 정성적인 요소들(예시2)은 평가 대상에서 제외되어 왔다[1, 12,13]. 그러나 동선의 제반 품질 향상을 위해서는 정성적인 요소를 포함하여 종합적으로 평가되어야 한다.

일반적으로 BIM기반의 건물 설계 품질 검토

는 대상 법규 및 지침들을 정의한 룰셋을 기반으로 룰체킹 응용 소프트웨어 환경에서 실행된다[2-5]. 이의 경우, 정의된 룰셋의 범위 내에서 수행되므로 파라미터의 활용 및 응용에 한계가 있다[5,7]. 이진국(2010)은 이러한 소프트웨어 기반 룰체킹의 대안으로, 스크립트언어 기반의 BERA (Building Environment Rule and Analysis)랭귀지를 개발하였다. 사용자는 BERA 랭귀지를 이용하여 IFC 모델에 속해있는 다양한 공간 객체 및 속성들을 사용자 정의된 쿼리에 따라 추출하고 활용할 수 있다. 다음의 코드는 BERA 랭귀지 사용자 매뉴얼(2010)에 제시된 BERA프로그램 코드의 예시이다.

```
Rule officeCircRule1(Space start,
Space end) {
    Path p = getPath(start, end);
    p.distance < 100;
}
```

OfficeCircRule1은 시작점에서 도착지점으로 향하는 동선 중 물리적 길이가 100미만인 특정 동선에 대해 그래프의 시각화를 명령하는 룰이다. 이처럼 BERA프로그램은 다양한 파라미터를 조합하여 새롭게 정의된 룰의 검토를 지원한다.

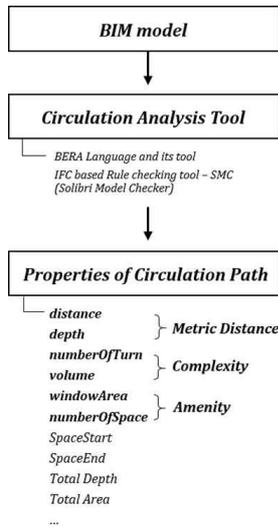
본 연구의 선행 연구에서 이현수, 이진국(2014)은 실제 대학교 건물의 동선 관련 객체 및 속성들의 정량적 데이터를 추출하기 위하여 BERA 랭귀지도구를 사용하였다. 추출한 동선정보 중 특정 수치 데이터를 NDBC로 정의하였다. 이는 간단한 연산과정을 통해 동선 분석의 근거로 활용되었다. 또한, 실제 여러 리모델링 계획안들의 동선 비교분석을 위해 적용되었다. 본 연구는 공간객체와 그 속성의 정량데이터가 동선 품질 평가의 객관적인 근거로서 활용될 수 있음을 보여준 사례이다. 이처럼 BIM 모델에서 추출한 정량데이터를 정교하게 활용한다면, 정성적인 동선 품질 항목을 정량적으로 평가하는 접근이 가능할 것이다.

3. 동선 및 속성에 대한 정량적 데이터

3.1 동선 관련 데이터

동선 관련 정량적 데이터를 연산하기에 앞서, IFC모델에서 추출 가능한 관련 속성들에 대한 데이터종류의 분류가 선행되어야 한다. 이를 통해 동선의 평가 요소로 적용 가능한 값들의 취합이 가능하다. 동선 관련 속성데이터는 기존 연구와 동일한 방식으로 BERA 랭귀지와 관련 프로그램을 이용하여 얻을 수 있다[5,7]. (그림 2)는 BERA 프로그램 코딩을 통해 추출한 동선 데이터의 예시를 보여준다. 동선 관련 속성데이터에는 동선의 시작점, 도착지점, 동선 id 및 명칭, 물리적 거리, 매개공간의 면적 및 부피, 회전 수, 공간의 깊이 등이 있다. 본 논문에서는 물리적 거리, 회전 수, 공간의 깊이, 창문의 면적과 공간의 부피 데이터를 동선 평가의 요소로 활용한다. 이들은 크게 1) 물리적 거리, 2) 복잡성 3) 편의성 세 가지의 유형으로 분류된다. 각 유형 및 동선 평가요소들은 건물의 용도 및 설계 의도에 따라 동선 품질에 미치는 비중이 다르다.

(그림 2) BIM 모델에서 추출된 동선의 속성 데이터 및 본 연구에서의 분류



(Figure 2) Properties of circulation paths extracted from BIM models and classification

3.2 동선의 물리적 거리

건물 동선은 수평거리와 수직거리의 두 가지 종류가 존재한다. 전자는 동일한 층에서 생성되는 길이이며, 후자는 계단, 경사로, 엘리베이터 등 수직적 이동을 지원하는 건축객체(이하 수직

이동객체)에 기인하여 생성된다[15]. 이에 건물 동선은 (1)의 식으로 표현될 수 있다. 이때 MD(Metric Distance)는 전체 동선의 길이, HD(Horizontal Distance)는 수평거리, VD(Vertical Distance)는 수직거리를 의미한다.

$$MD = HD + VD \quad (1)$$

(MD: 전체 동선 길이, HD: 수평거리, VD: 수직거리)

일반적으로 물리적 거리의 비교는 동선의 총 길이를 기준으로 한다. 하지만 동일한 길이에서 수평거리와 수직거리에 따라 동선에 대한 비중의 차이가 있다. 간단한 예시로서, 동일한 층에서의 이동만이 있는 동선과 수평적, 수직적 이동이 모두 있는 동선의 경우를 가정할 수 있다. 이 경우 두 동선의 총 길이가 같다면, 보행자의 입장에서는 수직적 이동이 있을 때 상대적으로 목적지에 도달하기에 어려울 것으로 유추할 수 있다. 본 논문에서는 수평거리에 대한 수직거리에 가중치를 부여하는 방식을 적용한다. 한편 수직거리는 수직이동객체에 따라 동선의 효율성에 차이가 발생하지만 본 연구에서는 수직 동선에 대한 수직이동객체간의 가중치는 동일함을 전제로 한다.

3.3 동선의 복잡성

3.3.1 동선 방향 전환수

동선 방향 전환수는 시작점에서 도착지점으로 이동하기까지 몇 차례의 동선의 방향 전환이 있는지에 대한 속성값이다. 택시 기하학[18]으로 잘 알려진 다른 예로, 동선거리가 같더라도 방향의 전환수가 품질에 영향을 미치는 하나의 요소임을 보여준다. 실제로 택시 기하학에서 정의된 두 거리 중 여러 번의 회전이 있는 동선은 한번의 회전이 있는 동선과 비교해 볼 수 있다. 이들은 물리적 거리는 동일하나 목적지에 도달하는 실제 과정은 회전수가 많은 동선이 보다 많은 비용이 소요될 것으로 예측할 수 있다. 따라서 동선 방향의 전환의 수가 많은 동선일수록, 목적지까지 도달하는 경로에 대한 가중치가 증가한다.

3.3.2 공간의 깊이

공간의 깊이는 공간구문론에서 다루지는 주요한 개념 중 하나이며, 시작점과 도착지점 사이에 존재하는 공간의 개수로 정의된다[19]. 시작점과

도착지점 사이의 공간인 매개공간은 다양한 관계 조건에 따라 동선의 형태 및 특성을 결정짓는데 기여한다. 매개공간의 개수 및 그것들의 위상관계는 건물 내 동선의 단순함 혹은 복잡함의 정도에 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 매개공간의 깊이를 동선의 복잡성을 평가하는 요인으로서 활용한다.

3.4 동선의 편의성

3.4.1 창문의 면적

자연광은 실내 환경의 질적 개선 및 재실자의 심리적, 신체적인 건강에 영향을 미친다[20]. 이에 건축설계시 자연광을 유입시키는 장치로서 창문의 역할이 중요하다. 특히 보행 공간에서 창문과 같은 장치는 활용도에 따라 보행자의 정서적 만족감을 유발하며, way-finding효과를 증대시키는 요인으로 작용한다[21]. 본 연구에서 창문의 면적은 보행환경의 품질에 영향을 주는 요소로 활용한다. 매개공간의 개수에 의한 영향을 통제하기 위하여, 매개공간에 속한 창문 면적의 평균값을 사용한다.

3.4.2 매개공간의 부피

일반적으로 규모가 큰(large-scale) 공간은 단위 부피당 장애요소가 적을 확률이 높기 때문에 통행이 용이하다. 이러한 관점에서 공간의 높이와 가로 및 세로(너비) 사이의 길이 관계는 공간의 질적 요소와 관련이 있다. 예를 들어 공간객체의 길이의 비율에 따라 다양한 공간의 형태가 형성되며, 공간의 형태에 따라 사람들은 편안함 혹은 불편함을 느낀다[22]. 따라서 공간의 부피 및 길이(높이, 가로, 세로)는 보행 환경의 질적 측면에 긍정적인 요소로 작용한다. 그러나 매개공간의 부피는 보행거리와 상관관계를 가진다는 점에서, 거리에 따른 부피 증가 효과를 통제할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 매개공간의 평균 부피(이하 평균부피)를 활용한다.

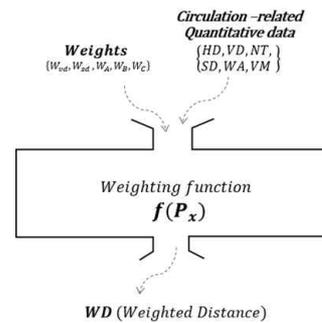
4. 가중치 적용 및 WD(Weighted Distance)의 정의

4.1 가중치 설정의 의미

제안하는 가중치 적용 체계는 크게 두 가지

관점에서 의미를 가진다. 첫 번째, 가중치는 설계자, 건축주 및 설계 검토자 등 사용자의 설계 의도 및 건물의 용도에 따라서 가변적이다. 두 번째, 건물 환경 혹은 특수한 건물 조건 등에 따라 동선의 평가요소에 대한 비중이 달라질 수 있다. 예를 들어, 업무공간과 상업공간은 동선 계획의 목적이 상이하다. 업무공간의 경우, 업무능률을 향상시키기 위해 동선의 효율성을 고려한다. 용도별 적절한 동선 구분 및 유통성 확보 등의 평면계획이 요구된다[23]. 반면, 상업시설은 이용자의 구매충동을 자극하기 위하여 의도적으로 동선을 복잡하게 연출한다[9]. 병원의 경우, 환자의 이동 및 실간 관계 등을 고려한 동선계획이 기본 원칙이다. 이외에도 환자에게 외부경관과의 접촉을 장려하는 보행환경의 구축을 지향한다[22]. 본 연구에서는 가중치를 설정할 때, 다양한 설계의도를 반영할 수 있도록 사용자 정의 가능한 가중치를 제안한다. 이로써 동일한 동선이라도 동선계획의 목적에 따라 평가의 기준을 다르게 설정할 수 있다. 한편 가중치가 적용된 결과값들은 동일한 조건의 가중치 설정을 전제로 할 때, 정량비교가 유의미하다.

(그림 3) 가중치 적용을 위한 초기값 및 연산



(Figure 3) The process of calculation for weighting and its input data

4.2 가중치 적용 방법

가중치는 사용자에 의해 정의되는 값으로, 가중치를 적용하는 방법은 1) 동선 품질 유형과 2) 유형별 개별 요인에 따라 구분된다. (그림 3)은 가중치를 적용하기 위한 함수의 초기 입력값과 함수식을 통한 연산 결과값을 보여준다. 초기 입력값은 개별동선의 해당 데이터 값과 가중치이

다. 즉, 개별요소(instance)단위에서 데이터 및 가중치를 적용하여 동선 평가가 수행된다. 이와 같은 접근방식은 집합단위에서의 비교만이 유의미했던 선행연구[7]와 대조된다.

4.2.1 동선 품질 유형에 따른 개별요인에 대한 가중치 설정

동선 품질의 유형은 물리적 거리, 동선의 복잡성 및 편의성으로 구성된다. 첫 단계로 세 가지 유형에 따른 개별요인들에 대한 가중치가 설정된다. 건물의 개별동선의 전체 집합을 P 라 할 때, 집합 P 의 원소 P_x 에 대한 물리적 거리, 복잡성, 편의성은 각각 A_x, B_x, C_x 로 정의한다.

$$P = \{P_i | 1 \leq i \leq n\}$$

(P : 개별동선의 전체 집합, n : 개별동선의 개수)

$$A_x = HD_x + W_{vd} \cdot VD_x \quad (2)$$

(A_x : 개별 동선 P_x 에 대한 물리적 거리, HD_x : 수평거리, VD_x : 수직거리, W_{vd} : 수직거리에 대한 가중치)

$$B_x = NT_x + W_{sd} \cdot SD_x \quad (3)$$

(B_x : 개별 동선 P_x 에 대한 동선의 복잡성, NT_x : 동선 방향 전환수, SD_x : 공간의 깊이, W_{sd} : 공간의 깊이에 대한 가중치)

$$C_x = WA_x + VM_x \quad (4)$$

(C_x : 개별 동선 P_x 에 대한 동선의 편의성, WA_x : 창문의 평균 면적, VM_x : 평균부피)

A_x 는 수평거리와 W_{vd} 만큼의 가중치를 둔 수직거리의 합으로, 건물 동선의 상대적 길이를 의미한다. B_x 는 동선 방향 전환수와 가중치 W_{sd} 가 부여된 매개공간의 개수(공간의 깊이)의 합을 말하며, 동선의 복잡성을 나타내는 값이다. W_{vd} 는 수평거리에 대한 수직거리에 할당된 가중치이며, W_{sd} 는 공간의 깊이에 대한 동선 방향 전환수의 상대적 가중치이다. C_x 는 동선의 편의성에 대한 정량화된 수치로, 창문 평균면적과 매개공간의 평균부피의 합으로 정의된다. A_x 와 B_x 의 유형과는 달리 C_x 에 속한 두 요소는 독립적으로 작용하기 때문에 서로에 대한 상대적인 가중치를 설정하지 않았다.

4.2.2 동선 품질 유형별 전체 동선에 대한 개별 동선의 비

동선 P_x 에 대한 A_x, B_x, C_x 는 집합 P 의 모든 개별 원소의 $A_k, B_k, C_k(k=1,2,\dots,n)$ 에 대한 비로

나타내는 중간과정을 거친다. 이때, 각 유형별 전체동선에 대한 개별동선 P_x 의 비는 각각 $S_{A,x}, S_{B,x}, S_{C,x}$ 로 정의한다. ($S_{A,x}$: 물리적 거리, $S_{B,x}$: 복잡성, $S_{C,x}$: 편의성) 이로써 $S_{i,x}$ ($i = A, B, C$)은 단위와 상관없이 사측연산을 포함한 다양한 연산이 가능해진다.

$$S_{A,x} = \frac{A_x}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{HD_x + W_{vd} \cdot VD_x}{\sum_{i=1}^n HD_i + W_{vd} \cdot VD_i}$$

($S_{A,x}$: 전체 동선에 대한 개별동선 P_x 의 물리적 거리) (5)

즉, $S_{A,x}$ 는 가중치가 적용된 전체 동선의 길이에 대한 동선 P_x 의 길이비를 의미한다. 동일한 방식으로 $S_{B,x}$ 와 $S_{C,x}$ 은 동선의 복잡성과 편의성에 관하여 전체동선에 대한 개별동선의 비를 나타낸다.

4.2.3 동선 품질 유형에 대한 가중치 설정

W_i (양수, $i = A, B, C$)는 세 가지 동선 품질 유형에 대한 중요도를 반영한 비율이며, 각 유형별 비 $S_{i,x}$ ($i=A, B, C$)에 적용된다. W_i 의 값은 사용자에게 의해 설정되는 매개변수 값이며, 전체 합은 $W_A + W_B + W_C = 100(\%)$ 이 성립하도록 설정한다. 연산식 (6)은 $S_{A,x}$ 에 대한 W_A 가중치를 설정하는 식이다. $S_{B,x}$ 와 $S_{C,x}$ 의 경우도 동일한 방식으로 적용된다.

$$S_{A,x} \cdot W_A = \left\{ \frac{HD_x + W_{vd} \cdot VD_x}{\sum_{i=1}^n HD_i + W_{vd} \cdot VD_i} \right\} \cdot W_A$$

(W_A : 물리적 거리에 대한 가중치) (6)

4.3 WD(Weighted Distance)의 정의

WD_x 는 연산식(7)을 통해 도출된 결과값으로 가중치가 적용된 상대적 거리를 의미한다. 해당 연산식은 개별동선을 대상으로 동선의 종합적인 품질을 정량적으로 평가하기 위하여 고안된 하나의 지표이다.

$$WD_x = \left[\frac{(S_{A,x} \cdot W_A) + (S_{B,x} \cdot W_B) + \{- (S_{C,x} \cdot W_C)\}}{100} + 2 \right] \times 100$$

(7)

(WD_x : 동선의 물리적 거리, 복잡성 및 편의성에 대한 가중치가 적용된 개별동선 P_x 에 대한 상대적 거리)

가중치를 적용하는 방식은 통계학적 개념인

가중평균을 기반으로 한다. 분자에는 동선 품질 유형에 대한 자료값에 가중치를 곱하여 합산한 식이 전개된다. 이때 WD_x 는 $S_{i,x}$ ($i = A, B, C$)에 대하여 $S_{A,x}$, $S_{B,x}$ 와 양의 상관관계, $S_{C,x}$ 는 음의 상관관계를 가진다. 그 결과 $S_{A,x}$ 와 $S_{B,x}$ 는 양의 값으로, $S_{C,x}$ 는 음의 값이 된다. 분모의 경우, 가중치의 총합인 $W_A + W_B + W_C = 100(\%)$ 이다. 추후 결과값의 크기비교를 용이하기 위하여 추가적인 연산을 진행한다. $WD_x \geq 0$ 이 항상 참인 결과를 도출하기 위해 2을 더하고 최종적으로 100을 곱함으로써 연산과정이 완료된다. 즉, 개별 동선 P_x 은 1)물리적 거리, 복잡성 및 편의성에 대한 가중치가 적용된 후, 2) WD_x 의 값으로 정량화 된다. 3)대안 동선들과의 WD값 비교를 통해 정량적인 동선 평가를 수행할 수 있다.

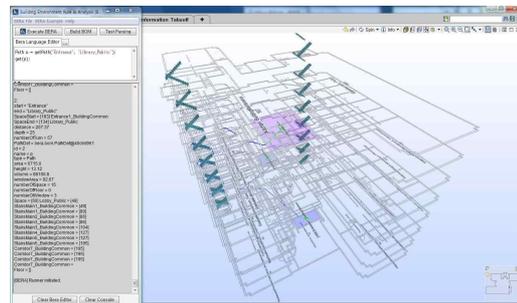
5. 가중치를 적용한 정량적 동선분석 예시

본 단락은 정량적 동선 평가방법에 대한 테스트 수행 및 해당 결과에 대한 비교분석을 기술한다. (그림 4)는 H대학교 C단과대학건물의 BIM모델을 활용하여 서로 다른 두 가지 동선 데이터와 가중치를 적용하여 비교한 예시이다. Path X는 시작점이 ‘입구’이고, 도착점이 ‘도서관’인 동선이다. Path Y는 ‘2층 홀’에서 ‘식당’으로 향하는 동선이다. Path X와 Path Y에 대한 두 가지 시나리오를 계획하였으며, 각 시나리오마다 5가지 유형의 가중치를 설정하였다. 두 동선의 속성값 및 시나리오 별 해당 가중치는 <표 1>에 제시된 바와 같다. 시나리오1에서 물리적 거리, 복잡성 및 편의성에 대한 가중치는 차례로 $W_A=80$, $W_B=15$, $W_C=5$ 이고, W_{vd} 와 W_{sd} 의 경우는 $W_{vd}=3$, $W_{sd}=2$ 이다. 시나리오2의 경우에는 $W_A=50$, $W_B=20$, $W_C=30$, $W_{vd}=2$, $W_{sd}=1$ 으로 설정되었다. 시나리오1은 물리적 거리의 가중치가 큰 반면, 시나리오2는 상대적으로 편의성에 대한 비중이 높은 조건을 가진다. 주어진 시나리오의 조건과 두 종류의 개별 동선(Path X, Y)에 따라, <표 1>에서와 같이 4가지 WD값이 도출되었다.

동선의 종류별, 시나리오별로 WD값을 비교한 결과, 두 가지 측면에서 해석이 가능하였다.

시나리오1에서 두 종류의 동선을 비교하면, Path X는 Y보다 물리적 거리는 길지만 동선의 복잡함의 정도가 낮다는 것을 파악할 수 있다. 실제로 두 동선의 WD값을 보면, Path X의 값이 Y보다 작다. 이는 물리적 거리가 길어도 가중치를 설정함에 따라 평가 결과가 달라질 수 있음을 의미한다. 시나리오별 동선 비교의 경우, 시나리오1, 2에 따라 동선 Path X의 결과값은 각각 240.961과 207.100이다. 동일한 동선이지만 설계 의도에 따라 가중치를 다르게 설정함으로써 결과값에 차이가 발생한다. 만약 동선의 평가요소들 간 가중치를 설정하지 않는다면, 항상 일률적인 결과값이 나올 것이다. 제안하는 가중치 적용 체계는 다양한 설계 의도 및 조건을 반영됨을 예시를 통해 확인 할 수 있다. 또한 동선데이터와 가중치의 조합으로 도출된 WD값은 하나의 정량화된 평가 지표로 활용될 수 있을 것이다.

(그림 4) C건물을 대상으로 가중치 적용 및 미적용 동선값 비교 분석 테스트 예시 (Solibri Model Checker 및 BERA랭귀지도구 사용)



(Figure 4) Example of the test case using an existing building's BIM model

<표 1> 건물 동선의 속성값과 시나리오에 따라 가중치를 적용한 동선 및 결과 데이터

Path properties	Path X	Path Y	Scenario 1		Scenario 2	
			W_i ($i=A,B,C$)	W_k ($k=vd, sd$)	W_i ($i=A,B,C$)	W_k ($k=vd, sd$)
(A) Metric Distance	HD	74.94	19.06	-	-	-
	VD	132.43	161.15	3	2	-
	NT	57	65	-	-	-
(B) Complexity	SD	25	34	2	1	-
	WA(avg)	6.178	13.017	-	-	-
(C) Amenity	VM(avg)	5873.387	4342.489	5	30	-
WD			Path X	240.961	207.100	
			Path Y	244.039	202.900	

<Table 1> Example of circulation properties, weighted circulation and results

6. 요약 및 제언

동선품질의 정성적 항목에 대한 평가를 수행할 수 있도록, 본 연구에서는 BIM 모델로부터 동선 관련 데이터를 추출하고 분류하여 해당 값들에 대한 가중치를 설정하였다. 또한, 가중치 연산을 통해 정량화되고 매개변수화된 하나의 평가 접근방법을 제안하였다. BERA랭귀지와 관련된 도구를 이용하여 동선 데이터를 추출하였고, 물리적 거리, 동선 방향 전환수, 공간의 깊이, 매개공간의 창문 면적 및 부피를 동선 품질 평가 요소로 활용 하였다. 동선 요소에 대한 가중치는 개별 요인별, 유형별로 단계적으로 적용된다. 이들은 1) 사용자 정의 2) 건물 시나리오에 따른 변경 가능성 도입을 특징으로 다양한 설계 의도를 반영할 수 있다. 가중치가 적용된 결과값(WD)은 여러 가지 동선 계획안들의 정량적 비교평가를 가능하게 한다.

BIM기반의 건축 계획 및 설계안 비교 등 관련 연구는 일부 선진 사례를 제외하면 많지 않다. 이러한 관점에서 본 연구자들은 건축물의 설계에 BIM으로 추출된 정량적인 데이터를 정성적인 설계항목에 접목시키고자 하는 연구 및 개발을 수행하고자 하며, 본 연구는 BIM 데이터를 활용한 정량적인 동선 평가에 관한 기초연구로서 의의가 있다. 그러나 동선의 품질 평가 항목은 설계 목적 및 공간의 특성에 따라 보다 세분화될 필요가 있다. 이를 위하여 건물 용도별 가중치의 지표개발 및 다각적인 가중치 산정방법 등의 후속 연구가 진행되어야 할 것이다. 후속 연구의 방향으로 수직적, 수평적인 확장이 있다. 전자는 수직이동객체 간에 가중치 설정 등, 가중치 적용 항목의 세분화를 통해 가능하다. 후자의 경우, 동선 품질요인의 종류 및 유형의 다양화 작업으로 동선의 회전각도 등이 해당한다.

References

- [1] Jin-Kook Lee, "Need for BIM-enabled Design Quality Assurance from the Early Phase of Building Design", *The BIM*, No. 8, pp25-27, autumn 2012.
- [2] Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston, "BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors", 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp.203-246, April 2011.
- [3] Hyun-Bae Yoo, Ji-Sook Choi, "Relationship between visual sign distribution characteristics and pedestrians' walking behaviors in underground shopping centers in Daejeon City", *Journal of Digital Contents Society* Vol. 8 No. 3, pp. 263-267, 2007.
- [4] Chuck Eastman, "Automated Assessment of Early Concept Design, *Architectural Design*", Special issue, Volume 79, Issue 2, pp. 52-57, 2009.
- [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] Solibri, Solibri Model Checker® (SMC), an IFC-based rule checking BIM tool Available: <http://www.solibri.com>, 2010.
- [7] Hyunsoo Lee, Jin-Kook Lee, "An approach to the BIM-enabled Building Design Assessment using Quantitative Datasets Derived from Circulation-related Objects & Properties", *Design Convergence Study*, vol.13, no. 5, pp49-66, Oct, 2014.
- [8] Hyunsoo Lee, Jisoo Kim, Minkyu Shin, Inhan Kim and Jin-Kook Lee, "A Demonstration of BIM-enabled Quantitative Circulation Analysis using BERA Language", *Proceedings of the 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Minings, IAARC*, p 202-209, Jul, 2014.
- [9] Seouk-Hwan Yu,, "A Study on Space Arrangement and Traffic Line of Home Appliances Brand Shops by Shopper' Purchasing Behavior - Focused on Samsung Digital Plaza", *Journal of the Korean Institute of Interior Design*, vol..23, no.4, pp190-200, 2014.08
- [10] Hyun-Sik Lim, Young-Ook Kim, "Analysis of the pedestrian network System using space syntax", *Journal of the Architectural Institute of Korea* Planning

- g & Design, vol. 23, No.1, pp551-554, April, 2003.
- [11] Na-Guen Song, Jeong-Tae Yeo, Dong-Wan Ko, "Visitor Circulation in Leisure Spaces using Space Syntax- Focusing on Ouam Traditional Folk Village", Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, vol37, no.1, pp1-8, April, 2009.
- [12] Department of Justice, US, US Court Design Guide, <http://www.gsa.gov/portal/content/103732>, 2007.
- [13] U.S. GSA, "Circulation and Security Validation", GSA BIM Guide Series 006 , May, 2012.
- [14] Jong-Cheol Seo, Han-Joon Kim, In-HanKim, "Open BIM-Based Quality Control for Enhancing the Design Quality in the Architectural Design Phase", Korean Journal of Construction Engineering and Management, vol.13, no.4, Jul. 2012.
- [15] Jin-kook Lee, Charles M Eastman, Jaemin Lee, Matti Kannala, Yeon-suk Jeong, "Computing walking distances within buildings using the universal circulation network", Environment and Planning B: Planning and Design 2010, vol. 37, pp.628-645, 2010.
- [16] Jin-Kook Lee, Charles M. Eastman, Yong Cheol Lee, "Implementation of a BIM Domain-specific Language for the Building Environment Rule and Analysis", International Journal of Advanced Robotic Systems, 2014.
- [17] Jin-Kook Lee, Charles M. Eastman, "BERA LANGUAGE (Building Environment Rule and Analysis Language) USER MANUAL", Design Computation, Georgia Institute of Technology, 2010.
- [18] NIST(National Institute of Standards and Technology), "Manhattan distance", <http://xlinux.nist.gov/dads/HTML/manhattanDistance.html>
- [19] Sonit Bafna, "SPACE SYNTAX A Brief Introduction to Its Logic and Analytical Techniques", Environment and Behavior, Vol. 35 No. 1, pp.17-29, 2003.
- [20] Jennifer A. Veitch and Anca D. Galasiu, "The Physiological and Psychological Effects of Windows, Daylight, and View at Home: Review and Research Agenda", NRC-IRC Research Report RR-325, National Research Council of Canada Institute for Research in Construction Ottawa, ON, K1A 0R6, Canada, 2012
- [21] Mahlum Architects Inc., "healthcare design insights - Daylightin", issue 01, autumn 2009, <http://www.mahlum.com/sharing/healthcare.asp>, 2009.
- [22] Christopher Alexander, Sara Ishikawa, Murray Silverstein, "A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction", Oxford university press, 1977.
- [23] Roger Ulrich, Xiaobo Quan, Craig Zimring, Anjali Joseph, Ruchi Choudhary, "The Role of the Physical Environment in the Hospital of the 21st Century: A Once-in-a-Lifetime Opportunity" Report to The Center for Health Design for the Designing the 21st Century Hospital Project, 2004
- [24] Kyung Hwey Park, Sang Youb Lee, Jong Chil Shin, "Importance Weight Analysis of Architectural Design Factors Affecting on the Office Valuation", Seoul Studies, vol.12, no.1, pp53-71, 2011.

신재영



2015년 : 한양대학교 실내건축디자인학과 학사

2015~현재: 한양대학교 대학원 석사과정
관심분야 : 건물정보모델링(BIM), 실내건축디자인 등

이진국



2000년: 연세대학교 이학학사
2003년: 연세대학교대학원 이학석사
2010년: 미국 조지아텍 건축대학 공학박사(디자인컴퓨팅, DB)

2005~2012: 조지아텍 디지털빌딩연구소 연구원
2011~2011: 오토데스크사 IDEA스튜디오 연구원
2012~현재: 한양대학교 실내건축디자인학과 조교수
관심분야 : 디자인컴퓨팅, 건물정보모델링(BIM), 디지털디자인, 실내건축디자인 등