

공간구문론과 전문가시스템을 활용한 BIM 공간배치 최적화 방안

권오철^{1*} · 조주원²

¹대림대학교 건축공학과, ²(사)빌딩스마트코리아

BIM Space Layout Optimization by Space Syntax and Expert System

Ocheol Kwon^{1*} and Joowon Cho²

¹Dept. of Architectural Engineering, Daelim Univ.

²buildingSMART Korea

Received 27 October 2016; received in revised form 8 December 2016; accepted 18 December 2016

ABSTRACT

As building space constitution and layout are critical for satisfying the building owner and users, their optimization is so important in the design process. However it's not always simple to set up objective criteria for the space layout optimization for different requirements and the architects mostly depend on their own experience for these. This study is to suggest a way to make up for this issue by referencing and deducing the space layout based on the given BIM space information and existing knowledge. For this purpose, the Space Syntax is applied to extract the information from a space model and an Expert System is used to make the best use of the relevant knowledge. Based on the Integration indexes for all the spaces, we could compare the space layout alternatives and determine the best selection for different accessibility conditions.

Key Words: BIM, Expert System, Space Layout, Space Syntax

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

일반적으로 건축설계에 있어 공간의 구성과 배치는 건물주 및 사용자의 만족도에 결정적인 영향을 미치는 요소이며 기본설계 단계에서부터 건축물 용도에 최적화된 공간배치를 작성하는 것은 그만큼 중요한 업무라고 할 수 있다. 하지만 다양한 요구 조건에서 공간배치의 최적화에 대한 객관적인 판단기준을 마련하기란 쉽지 않으며, 기본적인

로 설계자들의 전문적 경험에 의존해야 하는 것이 현실이다. 건축물의 최적화된 공간배치는 기능 및 디자인적 측면에서 다양하고 복합적인 요소들이 반영되어야 하기에 공간구성 및 배치에 대한 종합적인 분석이 필요하다.

또한 현대 정보기술의 발달에 따라 BIM(Building Information Modeling)^[1]은 설계정보의 운용과 활용에 많은 이점을 가져다 줄 것으로 예상되고 있다. 현재 건설업계에서 BIM은 아직 도입기에 접어들고 있으나 시설공간을 중심으로 한 초기 설계 단계일수록 비교적 활발하게 활용되어왔다. 이러한 측면에서 공간배치는 BIM을 성공적으로 활용할 수 있는 분야이다.

*Corresponding Author, ohckwon@daelim.ac.kr
©2017 Society for Computational Design and Engineering

80년대 중반부터 널리 활용되어온 공간구문론^[1]은 공간의 연결 관계를 정량적으로 분석하고 그 의미를 제시해줌으로써 객관적인 공간해석이 가능하도록 해주었다. 나아가 공간의 구성 및 배치에 대한 완성도를 평가하고 개선할 수 있는 방안을 제시해주었다. 특히 BIM은 객체지향 CAD에 기반하고 있기에 공간구문론 분석에 유리한 점을 가지고 있다^[3]. 또한 공간구문론은 공간의 의미 분석에 적극적으로 활용되어 왔기에 BIM을 활용한 건축물의 성능분석에도 유효한 이론으로 파악된다. 그러나 공간배치에 있어서는 대안을 제시하기보다는 일반적으로 BIM 모델링이 이미 진행된 이후에 그 결과물을 분석하는 수준이고, 해석에 있어서도 전문적인 지식을 요구한다. 더욱이 공간기능의 복합적인 특성으로 인해 이러한 공간배치 해석에 대한 객관적인 비교와 판단은 쉽지 않으며, 기본적으로 설계자들의 전문적 경험에 의존하는 것이 현실이다.

이러한 전문가의 경험지식은 첫째, 개인적 이유로 시간이 지나면서 손실될 위험성이 있기에 일관되고 지속적인 반영이 어려울 수 있다 - 일관성의 결여. 둘째, 경험지식의 수준과 성향이 전문가마다 다르다는 사실도 공간배치의 완성도에 대한 객관적 판단을 어렵게 하는 요인으로 작용한다 - 객관성의 결여. 셋째, 이러한 개인적 경험 또는 직관에 의존하다 보면 전체적인 공간의 기능적 측면에서 비효율적이거나 잘못된 배치가 이루어질 수 있으며, 이러한 오류는 복잡한 공간구조를 요구하는 건축물일수록 그 가능성이 높아질 수 밖에 없다 - 신뢰성의 결여.

한편 최근 수십 년간 이루어진 인공지능 기술의 발전으로, 비록 제한적이기는 하나, 설계자의 전문적인 경험지식을 축적하고 지능적으로 활용할 수 있는 기술적 환경이 마련되고 있다. 특히 전문가시스템^[2]은 경험지식의 유지관리뿐만 아니라 지속적인 업데이트를 통해 고도화가 가능하다는 측면에서 이러한 문제를 개선하기에 적절하다 할 수 있다. 본 연구에서는 공간설계에 있어서 경험지식의 일관성, 객관성, 신뢰성 확보라는 위 3가지 요구사항을 만족시키기 위하여 전문가시스템의 활용 가능성을 살펴보고자 하였다. 또한 이를 위해 일반적 요구조건 및 공간구문론으로 표현된 설계자의 경험지식을 전문가시스템에 입력하여 설계자의 기술적 오류를 방지하고 나아가 최적화된 공

간의 배치를 도출하고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

일반적으로 건축물의 실내 공간들은 일정한 조건에 따라 분류되어 구성될 수 있다. 공간의 배치란 설계 및 디자인 요구사항에 따라 이와 같이 공간을 구성하는 작업이라 할 수 있다. 본 연구는 이러한 요구사항 가운데 공간의 용도와 접근성에 관련된 설계 경험지식을 적용하여 최적화된 공간배치 대안을 도출하고자 하였다. 여기서의 공간배치란 공간 사이의 위상학적 관계성과 용도를 고려한 구성 및 배치를 의미하며 개별 공간의 크기나 형태 등 기타 요소의 최적화를 의미하지는 않는다.

이러한 공간배치의 최적화를 판단하는 기준은 설계자의 경험지식에 따라 다를 수 있다. 특히 어떤 공간용도가 다른 공간용도보다 접근성이 높아야 하는지 여부는 건축물 성능의 복합성을 고려할 때 건물주 및 설계자마다 그 판단 기준이 다를 수 있다. 본 연구는 공간 접근성에 대한 이론적 배경으로 공간구문론^[1]을 적용하였고 경험지식의 다양성을 고려하여 여러 시나리오를 적용하였다.

한편 최적화된 공간배치를 도출하기 위한 도구로는 전문가시스템을 활용하였다. 이를 위해 시험용 공간모델의 정보와 설계자 경험지식을 입력하여 지식베이스를 구성하였다. 이러한 지식베이스는 확장성을 고려하여 일반 데이터베이스를 사용하였으며 접근성을 고려하여 서버-클라이언트 환경에서 구현하였다.

전체적인 연구의 진행은 다음과 같이 요약될 수

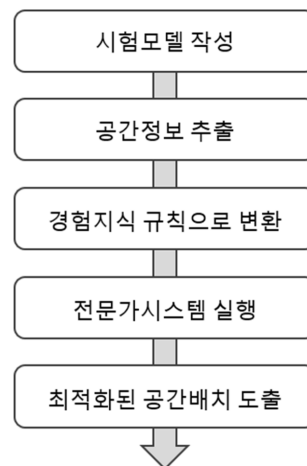


Fig. 1 Research procedure

있다(Fig. 1 참조). 우선 시험용 공간 배치도를 작성하였다. 이로부터 공간구문론에 따른 공간 네트워크를 수동으로 추출하고 그 정보를 전문가시스템에 입력하였다. 그 다음 공간용도에 대한 가상의 경험지식을 규칙(Rule)으로 변환하여 시스템에 입력하였다. 그 결과 모든 규칙을 만족하는 복수의 공간배치안을 도출하였다. 이들을 대상으로 공간용도 별 상대적 접근성에 대한 가상의 경험지식을 추가로 적용하여 최적의 공간배치안을 도출하였다.

2. 선행연구 고찰

1980년에 등장한 공간구문론(Space Syntax)^[11]은 도시 및 건축물 공간의 속성과 현상을 분석하여 사회적, 문화적, 기능적으로 해석 및 예측하기 위한 방법론으로서 활발하게 적용되어왔다^[3]. 주로 공간의 구성과 관계로부터 추출된 위상학적 그래프나 지표를 바탕으로 공간배치의 구조적 특성을 해석하거나^[4] 시간에 따른 변천에 대한 연구가^[5] 이루어졌다. 또한 이러한 공간 정보를 사용자의 이동 패턴과 연계하여 해석하거나^[6] 그들의 행동을 예측하는 연구도^[7] 다수 이루어졌다. 본 연구의 목표인 건축물의 공간배치 작업에는 공간의 특성이 가장 중요한 요소라는 점을 감안하면 공간구문론은 유용한 이론적 근거를 제공할 것으로 기대된다. 특히 다양한 공간배치 대안들이 존재할 경우 공간구문론적 이론은 최적의 대안을 도출하는 데에 도움이 될 것으로 예상된다. 하지만 이미 완공된 건축물을 분석하여 해석 또는 비교하는 연구가 그 동안 주를 이룬 반면에 설계단계에서 공간배치를 위한 연구는 아직 국내외에서 미흡한 상황이다.

한편 2000년대 초반부터 활발하게 적용되고 있는 BIM데이터의 국제표준인 IFC(Industry Foundation Classes)^[12] 포맷에는 공간요소를 IfcSpace란 별도의 클래스로 정의하고 있다. 이에 따라 BIM데이터의 공간객체와 다른 건물요소들간의 관계를 분석하여 공간네트워크를 생성하고 공간구문론적으로 해석하려는 연구가 진행된 바 있다. Li *et al.*^[13]은 사용자가 BIM데이터를 작성하면 자동으로 공간 토폴로지를 추출하고 공간구문론 지표를 제시하여 최적의 설계대안을 찾는 데에 도움을 주고자 하였다. Jeong^[14]은 IFC포맷을 대상으로 공간

형상을 해석하여 네트워크를 생성하고 공간구문론 지표를 추출하여 건축물을 해석하고자 하였다. Kim^[15]은 기존 BIM도구로 생성한 모델과 연동하여 공간구문론 지표를 제시하였다. 그리고 Park^[16]은 BIM모델로부터 공간네트워크를 추출하여 이를 시각화하고 객체모델로 변환시킨 바 있다. 이들 연구의 공통적인 특징은 BIM데이터로부터 공간정보를 추출하여 활용했다는 점이라고 할 수 있을 것이다. 그러나 BIM에서 추출된 공간정보를 대상으로 공간구문론적 측면에서 다양한 대안들을 지능적으로 제시하는 연구는 부족한 것으로 조사되었다.

한편 공간배치와 관련하여 전문가시스템을 활용한 연구 사례는 다음과 같다. Moon^[8]은 병원의 위치와 규모 등 요구조건을 전문가시스템에 입력하여 공간배치 유형을 정한 바 있다. 또한 Kim *et al.*^[9]은 주어진 공간배치를 전문가시스템으로 분석 및 추론하여 지능형 공간정보를 추출하였다. 그리고 Park^[10]은 전문가시스템에 시설계획과 설계안을 입력 및 비교하여 공간배치에 대한 유효성을 평가하였다. 그러나 대부분의 관련 연구는 전문가시스템으로 공간의 배치안을 제시하기보다는 단순 정보를 추론하거나 주어진 공간배치의 특성을 분석하는 범위였음이 지금까지 확인되었다. 더욱이 공간배치안을 제시하기 위해 전문가시스템과 공간구문론을 접목한 분야에서는 적절한 선행연구를 찾기 어려웠다. 따라서 본 연구는 두 가지 분야를 통해 지능적인 공간배치 대안을 제시한다는 점에서 차별성이 있다고 볼 수 있다.

3. 이론적 배경

3.1 공간 구문론

공간구문론은 공간의 연결관계를 분석하여 건축물이나 도시의 공간배치에 대한 사회적, 심리적, 기능적 의미를 해석하는 이론으로서 전체 공간과의 상호 관계를 바탕으로 개별 공간의 위상학적 특성을 연구하는 이론이다. 이를 위해 건축물의 내부공간의 경우 볼록공간(convex space) 형태의 단위공간을 노드로 표현하고 링크 형태로 연결한 공간 네트워크로 변환한다. 그리고 모든 단위공간은 상호 연결되고 이동시 거쳐야 하는 링크의 수량을 깊이로 다루어 다양한 정량적 지표들을 산출한다. 공간구문론은 이들 단위공간이 전체 공간

Table 1 Index definition^[1]

지표	공식	용어
평균심도	$MD = \frac{\sum_i D_i}{k-1}$	k : 전체 단위공간 수량 D_i : 공간 i 까지의 깊이
비대칭성	$RA = \frac{2(MD-1)}{k-2}$	
상대적 비대칭성	$RRA = \frac{RA}{D_k}$ $D_k = \frac{2\left(k\left(bg_2\left(\frac{k+2}{3}\right)-1\right)+1\right)}{(k-1)(k-2)}$	
통합도	$I = \frac{1}{RRA}$	

에서 차지하는 관계성을 정량적으로 산출해보면 결국 인간의 거주하는 공간들은 어느 특정한 관계성을 내포한다는 이론이다.

이러한 관계성을 표현하는 대표적 지표인 통합도(Integration)는 특정 공간에서 다른 모든 공간까지 도달하는데 거쳐야 할 깊이에 반비례는 지표이다. 즉 통합도가 높은 공간일수록 이동하는데 거쳐야 하는 공간의 전체적인 수량이 적기 때문에 중심에 근접하여 접근이 쉬운 공간이라 할 수 있다. 반면에 통합도가 낮은 공간일수록 접근이 어렵고 전체적으로 중심에서 멀어져 격리되어 있다고 볼 수 있다. 이러한 통합도는 본 연구에서 공간 배치의 최적화 여부를 판단하는 지표로 사용하였다. 통합도를 구하기 위해서는 단계별로 평균심도(MD), 상대적 비대칭성(RA), 실질적 상대적 비대칭성(RRA)의 계산이 필요하며 공간구문론에서는 일반적으로 Table 1에서와 같이 정의하고 있다. 평균심도(MD, Mean Depth)는 특정 공간이 다른 공간들로 이동할 때 얼마나 많은 문 또는 단위공간 경계를 지나야 하는지를 모두 측정하여 평균을 낸 값이다. 이러한 평균심도는 공간수량에 따라 큰 편차가 발생하여 상대적으로 비교하기가 어렵다. 상대적 비대칭성(RA, Relative Symmetry)은 이를 보완하여 0과 1 사이에 분포하도록 조정된 지표로서 작을수록 공간이 건물 중심에 위치한다는 의미를 가진다. 그러나 이러한 RA도 여전히 전체 공간수량에 좌우되므로 보다 절대적인 지표가 필요하다. 실질적 상대적 비대칭성(RRA, Real Relative Asymmetry)은 이를 보정한 지표로서 여기서는

Table 2 Definition of partial integration

지표	공식	용어
부분 통합도	$I_u = \frac{\sum_i I_i}{n}$	n : 용도 u 의 공간 수량 I_i : 공간 i 의 통합도

Hillier^[1]의 보정계수를 반영하였다. 끝으로 RRA는 일반적으로 작은 수치이므로 그 역수를 통합도(Integration)로 정의하여 사용되고 있다.

본 연구에서는 부분 통합도를 Table 2에서와 같이 용도 별 공간들의 평균 통합도로 제한한다. 여기서 공간 구성의 기준은 시설계획이나 용도 등이 될 수 있으며 일반적으로 공간의 접근성은 이와 같은 기준에 따라 달리 요구된다. 예를 들어, 사람들의 빈번한 접근을 요구하는 공간일수록 통합도가 높은 위치에 배치되어야 하며, 반대로 일반인의 접근이 제한되는 공간일수록 상대적으로 통합도가 낮은 곳에 배치되는 것이 합리적이다. 따라서 이러한 부분 통합도의 조합은 건축물의 성능에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 그러나 부분 통합도의 조정은 공간분류가 늘어날수록 경우의 수가 늘어나 합리적인 공간배치가 어려워진다. 이를 위해 공간구성 별로 통합도의 우선순위를 사전에 정해 놓을 필요가 있으며 이는 전문가의 경험지식에 해당된다. 본 연구에서는 이와 관련된 다양한 경험지식을 가정하여 적용하였고 그 결과를 비교하여 최적의 공간배치를 도출하고자 하였다.

3.2 전문가 시스템

전문가시스템(Expert System)^[2]은 주어진 정보와 지식을 바탕으로 추론을 진행하여 새로운 정보를 밝혀내는 컴퓨터 프로그램으로서 제한된 입력 정보(Fact)를 대상으로 전문가 지식을 규칙(Rule)의 형태로 지식베이스에 축적하고 이를 반복 적용하여 이론적으로 가능한 결론을 효율적으로 찾아내기 위해 사용된다. 전문가시스템은 추론 과정에서 정보를 수정하거나 새로운 정보를 생성하면서 최초 입력정보의 완성도를 높여나가게 된다. 이러한 추론은 규칙에 적용될 정보가 더 이상 없을 때까지 반복 진행된 후 종료되며 최종 정보를 결과물로 남기게 된다.

본 연구에서 적용한 전문가시스템은 접근성을 고려하여 서버-클라이언트 환경의 웹프로그램으로 개발되었으며 지식베이스는 정보의 확장성을

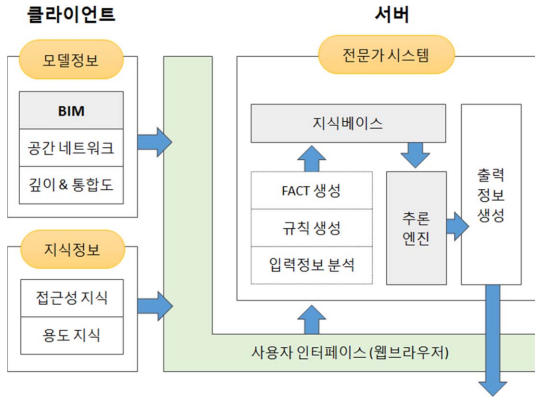


Fig. 2 System structure

고려하여 서버용 데이터베이스를 활용하였다. 따라서 사용자는 일반 웹 브라우저를 통하여 손쉽게 시스템에 접근하여 정보를 입력하고 추론을 수행할 수 있도록 하였다(Fig. 2 참조).

4. 공간정보

4.1 공간 네트워크

공간구분론에서는 건축물을 단위공간 노드와 링크로 연결되는 네트워크로 표현한다. 여기서 단위공간이란 가시영역으로 분절되어 볼록(Convex)한 형태를 지닌 공간을 의미한다. 본 연구의 시험용 BIM 모델은 Table 3에서와 같이 10개의 단위공간으로 구성된 공간 네트워크로 표현하였다. 우선 IFC포맷으로 작성한 BIM 데이터를 SMC^[17]로 읽어들여 각각의 문과 연결된 공간목록을 추출하였다. 하나의 문은 두개의 공간과 접하고 있으므로 모든 문에 대하여 각각 유일한 공간셋을 형성한다. 이들을 자동으로 연결하여 공간 네트워크를 생성하였고, 1번 공간은 두 개의 볼록 공간으로 분절하여 네트워크를 수정하였다.

한편 모델에서 공간의 용도는 미리 지정하지 않았다. 실무에 있어서는 모든 공간의 용도를 사전에 정의한 후 배치하겠으나, 여기서는 공간을 우선 물리적으로 배치한 후 경험지식으로부터 최적의 구성을 추론하여 용도를 지정하는 방식으로 진행하였다. 그리고 공간의 크기와 형태 등 기타 속성은 고려하지 않았다. 다만 본 모델은 Table 4에서와 같이 4가지의 용도만을 고려하였고 각 용도별로 일정한 수량의 공간들로 구성된다고 가정하였다.

Table 3 Generation of space network

단계	공간 네트워크 생성과정	방법
1	<p>BIM 모델링 후 IFC로 변환</p>	수동 Revit 활용
2	<p>각 문의 연결공간 정보추출</p>	자동 SMC 활용
3	<p>각 문의 공간셋으로 변환</p>	자동
4	<p>공간 네트워크로 변환</p>	자동
5	<p>블록공간 수정 반영</p>	수동

Table 4 Space organization

용도	사례1	사례2	사례3	수량
용도1	(공용)	(휴게용)	(회의용)	2
용도2	(사무용)	(공용)	(휴게용)	3
용도3	(회의용)	(사무용)	(공용)	3
용도4	(휴게용)	(회의용)	(사무용)	2
합계				10

Table 5 Indexes for each space

	MD	RA	RRA	I(통합도)
공간 0	3.22	0.49	1.62	0.62
공간 1	1.89	0.20	0.65	1.55
공간 2	2.33	0.30	0.97	1.03
공간 3	2.44	0.32	1.05	0.95
공간 4	2.00	0.22	0.73	1.38
공간 5	1.89	0.20	0.65	1.55
공간 6	2.00	0.22	0.73	1.38
공간 7	2.56	0.35	1.13	0.88
공간 8	2.44	0.32	1.05	0.95
공간 9	2.78	0.40	1.29	0.77
평균	2.36	0.30	0.99	1.11

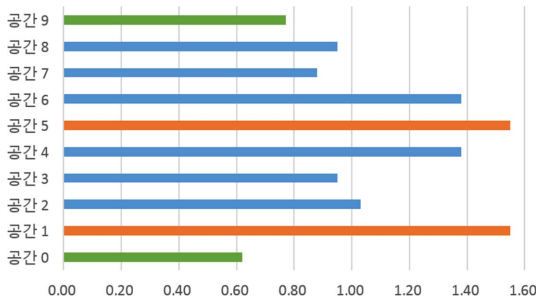


Fig. 3 Comparison of the integrations

4.2 입력 정보

모델로부터 추출하여 전문가시스템에 입력될 공간정보(Fact)는 첫째, 공간 네트워크를 바탕으로 단위공간의 상대적 깊이와 둘째, 이를 근거로 계산된 공간별 통합도이다(Table 5 참조). 여기서 통합도가 가장 높은 공간1과 공간5는 접근성이 높은 개방된 공간임을 확인할 수 있었고 통합도가 가장 낮은 공간0은 접근성이 낮은 격리된 공간임을 확인할 수 있었다(Fig. 3 참조).

Table 6 Common rules for space constitution

규칙	내용
규칙1	공간은 오직 1개의 용도만을 가진다.
규칙2	용도1로 2개의 공간이 필요하다.
규칙3	용도2로 3개의 공간이 필요하다.
규칙4	용도3으로 3개의 공간이 필요하다.
규칙5	용도4로 2개의 공간이 필요하다.

Table 7 Common rules for space allocation

규칙	내용
규칙6	공간1, 5은 용도1로 사용된다.
규칙7	공간0은 용도2로 사용된다.
규칙8	공간4는 용도3으로 사용된다.
규칙9	공간8은 용도4로 사용된다.
규칙10	공간2는 용도2로 사용될 수 없다.
규칙11	공간6,9는 용도3으로 사용될 수 없다.
규칙12	공간7은 용도4로 사용될 수 없다.

5. 경험지식

5.1 공간의 용도 지식

본 연구에 적용된 경험지식의 대상은 2가지로 구분하였다. 첫째, 공간 용도에 대한 지식으로서 모든 공간은 하나의 용도만을 가져야 하며 용도1, 용도2, 용도3, 용도4의 4가지로 분류된다고 가정하였다. 이를 규칙(Rule)으로 표현하면 Table 6와 같다. 또한 시설계획이나 기타 요구사항, 또는 설계자의 경험에 따라 특정 공간이 어느 용도를 가져야 하는지에 대한 지식이 있을 수 있다. 이를 규칙으로 표현하면, 예를 들어, Table 7과 같다.

5.2 공간의 접근성 지식

두 번째 경험지식은 공간의 상대적 접근성에 대한 지식을 대상으로 하였다. 공간은 용도에 따라 접근성에 있어서 차이가 발생하며 이는 공간배치에 있어서 고려해야 할 사항이 된다. 공간의 접근성에 대한 지식은 Table 2에 정의된 용도별 부분 통합도의 우선순위로 표현하였다. 어느 용도의 접근성을 우선시할 것인지는 전문가마다 의견이 다를 수 있기에, 본 연구에서는 모든 경우를 시험하고자 하였다. 이에 따라 Table 4에 명시된 4가지 용도에 대하여 총 24가지의 경우의 수가 발생하며

Table 8 Scenario rules for integration

순서	시나리오	조건
1	시나리오1234	$I_1 > I_2 > I_3 > I_4$
2	시나리오1243	$I_1 > I_2 > I_4 > I_3$
3	시나리오1423	$I_1 > I_4 > I_2 > I_3$
...
23	시나리오3421	$I_3 > I_4 > I_2 > I_1$
24	시나리오4321	$I_4 > I_3 > I_2 > I_1$

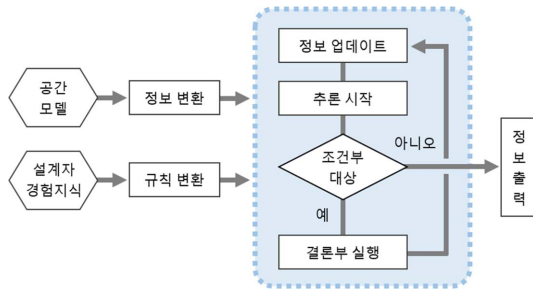


Fig. 4 Inference procedure

이를 개별 시나리오로 정의하면 Table 8에서와 같다. 여기서 “시나리오abcd”는 부분 통합도가 “ $I_a > I_b > I_c > I_d$ ”인 경우로 정의된다.

5.3 지식의 적용

위의 두가지 경험지식으로부터 변환된 규칙(Rule)들은 각각 조건부(IF)와 결론부(THEN)로 구성되어 전문가시스템의 지식베이스에 저장된다. 한편 모델로부터 추출된 공간정보는 작업을 위한 임시 메모리에 저장시키고 동시에 각 공간의 구성을 기록할 빈 템플릿을 생성하였다. 추론이 시작되면 규칙의 조건부는 일치하는 공간 정보(Fact)를 찾아 결론부를 실행하여 관련 공간(들)의 용도를 지정하고 저장한다(Fig. 4 참조). 이러한 과정은 모든 규칙의 조건부에 적용할 정보가 더 이상 없을 때까지 반복된다. 결국 추론을 진행하면서 공간들의 용도가 지정되고 어느 수준에 도달하면 적용할 조건부가 모두 사라져 추론을 멈추게 된다. 만일 추론이 종료되었음에도 모든 공간의 용도가 지정되지 못할 경우 해당 시나리오는 합당한 결론을 도출시키지 못한 것이므로 예외로 처리한다. 이는 최초에 입력된 규칙이 논리적으로 충돌이 발생하여 해답을 도출하지 못했다는 것을 의미한다. 반면에 모든 공간의 용도가 지정되었다는 것은 해당 규칙

에 논리적 모순이 없어 공간배치가 가능하다는 것을 의미한다. 전문가시스템은 이와 같이 주어진 규칙 즉 경험지식 하에서 가능한 해답을 도출할 뿐만 아니라 경험지식의 논리성을 평가 하는 역할도 수행한다.

6. 결과 및 해석

6.1 용도에 따른 공간배치

우선 용도에 관한 지식으로 가능한 공간배치를 걸러내기 위해 전문가시스템에 규칙을 입력하고 (Table 6, 7 참조) 시험모델에 적용하여 추론한 결과 Table 9와 같이 총 6가지의 대안이 도출되었다. 여기서 공간이 용도N에 소속되었는지 여부는 O과 X로 표시하였다.

Table 9 Space allocation for Rule1~Rule12

배치안	용도	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
배치1	용도1	X	O	X	X	X	O	X	X	X	X
	용도2	O	X	X	O	X	X	O	X	X	X
	용도3	X	X	O	X	O	X	X	O	X	X
	용도4	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O
배치2	용도1	X	O	X	X	X	O	X	X	X	X
	용도2	O	X	X	X	X	X	O	O	X	X
	용도3	X	X	O	O	O	X	X	X	X	X
	용도4	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O
배치3	용도1	X	O	X	X	X	O	X	X	X	X
	용도2	O	X	X	X	X	X	O	X	X	O
	용도3	X	X	O	X	O	X	X	O	X	X
	용도4	X	X	X	O	X	X	X	X	O	X
배치4	용도1	X	O	X	X	X	O	X	X	X	X
	용도2	O	X	X	X	X	X	O	X	X	O
	용도3	X	X	X	O	O	X	X	O	X	X
	용도4	X	X	O	X	X	X	X	X	O	X
배치5	용도1	X	O	X	X	X	O	X	X	X	X
	용도2	O	X	X	O	X	X	X	X	X	O
	용도3	X	X	O	X	O	X	X	O	X	X
	용도4	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X
배치6	용도1	X	O	X	X	X	O	X	X	X	X
	용도2	O	X	X	X	X	X	X	O	X	O
	용도3	X	X	O	O	O	X	X	X	X	X
	용도4	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X

Table 10 Integration for each space allocation

배치	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄
배치1	1.55	0.98	1.10	0.86
배치2	1.55	0.96	1.12	0.86
배치3	1.55	0.92	1.10	0.95
배치4	1.55	0.92	1.07	0.99
배치5	1.55	0.78	1.10	1.16
배치6	1.55	0.76	1.12	1.16
평균	1.55	0.89	1.10	1.00

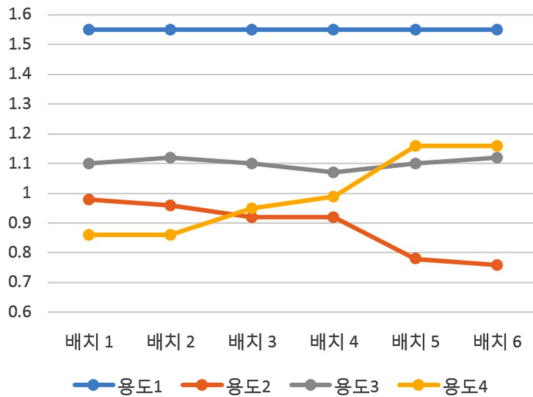


Fig. 5 Integration distribution for space allocations

6.2 부분 통합도

접근성과 관련하여 배치안의 공간용도 별 부분 통합도를 계산한 결과는 Table 10에서와 같다. 통합도는 앞서 설명한 바와 같이 수치가 높을수록 공간의 상대적 위치가 건축물 중심에 근접하고 접근성이 높아진다. 반대로 수치가 낮을수록 외곽에 위치하며 격리된 공간으로 해석될 수 있다. 계산 결과 평균적으로 용도1 < 용도3 < 용도4 < 용도2의 순서로 통합도가 높았고 변동성에 있어서 용도1이 가장 안정적인 반면에 용도2와 4의 변화가 크다는 것을 알 수 있었다(Fig. 5 참조). 특히 용도1은 통합도가 가장 높은 중심 공간으로 구성되어 있어 공용으로 사용되기에 적합하였다. 반면에 용도2은 모두 통합도가 1.00 이하로서 상대적으로 격리된 공간에 적절하다는 점을 알 수 있었다.

6.3 접근성에 따른 공간배치

그 다음 Table 8의 부분 통합도 시나리오를 전문가시스템에 입력하여 추론한 결과 아래와 같이 3가지 경우에 대해서만 유효한 결과가 도출되었

다. 이는 나머지 시나리오의 경우 Table 9의 공간 배치에 대하여 구현이 불가능하다는 사실을 의미한다. 모든 경우에 용도1의 통합도가 가장 높았고 나머지 용도는 다양한 순서를 보여주었다. 도출된 시나리오의 부분 통합도를 시각화하면 Table 11에

Table 11 Space layout simulation

배치	배치도	네트워크
		○ :공용 ○ :통합도 상 ● :통합도 중 ● :통합도 하
배치1		
배치2		
배치3		
배치4		
배치5		
배치6		

서와 같으며 각각의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

6.3.1 시나리오1324

이는 부분 통합도의 크기가 $I_1 > I_3 > I_2 > I_4$ (용도1 > 용도3 > 용도2 > 용도4)인 경우로서 공간배치 1안과 2안에 대하여 유효하였다. 두 배치안 모두 용도3이 상대적으로 개방적이었고 용도4가 격리된 모습을 보여주었다. 배치2는 배치1보다 용도3의 개방성을 높이는데 유리하였다. 반면에 두 배치안에서 모두 용도4의 통합도가 동일하였다.

6.3.2 시나리오1342

이는 부분 통합도의 크기가 $I_1 > I_3 > I_4 > I_2$ (용도1 > 용도3 > 용도4 > 용도2)인 경우로서 공간배치 3안과 4안에 대하여 유효하였다. 두 배치안 모두 용도3이 가장 개방적이고 용도2가 격리된 상태를 나타냈다. 배치3은 용도3의 접근성을 높여주는 대신 용도2와 용도4를 거의 동일한 수준으로 낮추었다. 만일 2개의 용도 접근성이 가장 유사한 배치를 원한다면 배치3의 용도2과 4의 위치에 배치하는 것이 유리할 것이다. 만일 모든 공간 접근성의 차이를 최소화 하려면 배치4를 취하는 것이 적합할 것이다. 반면에 두 배치안 모두 공간용도2의 접근성에는 차이가 없었다.

6.3.3 시나리오1432

이는 부분 통합도의 크기가 $I_1 > I_4 > I_3 > I_2$ (용도1 > 용도4 > 용도3 > 용도2)인 경우로서 공간배치 5안과 6안에 대하여 유효하였다. 공간용도4이 가장 개방적이고 공간용도2이 가장 격리된 경우로서 배치5와 배치6이 도출되었다. 두 배치안 모두 용도4의 통합도가 전체 결과에서 가장 높았으며 용도3과 크기가 유사했다. 따라서 접근성이 가장 좋은 공간의 위치를 찾는다면 용도4에 배치하는 것이 적절할 것이다. 반면에 두 배치안에서 용도2은 통합도는 전체 결과에서 가장 낮았다. 또한 가장 격리된 공간들이 필요하다면 용도2의 위치에 배치하는 것이 좋을 것이다. 따라서 접근성의 차이가 가장 큰 공간들을 원한다면 배치6의 용도4와 2의 위치에 각각 배치하는 것이 최선일 것이다.

6.3.4 소결

이들은 용도와 통합도 관련 규칙들을 모두 적용한 결과로서 본 연구에서 도출한 최종적인 공간배

치안에 해당된다. 결국 어느 배치안을 선택할 지 여부는 특정 공간의 접근성과 건축물의 성능을 종합적으로 고려한 용도별 통합도의 우선순위 따라 결정될 것이다.

7. 결 론

본 연구에서는 전문가의 경험지식을 최적화된 건축물의 공간배치에 적용하려는 목적으로 공간 구성에 대한 조건과 더불어 시범적으로 부분 통합도의 상대적 순위를 규칙의 형태로 변환하여 전문가시스템에 입력하였다. 또한 입력된 경험지식을 전문가시스템으로 추론하여 공간을 재구성하는 방식으로 진행하였다. 그 결과, 주어진 경험지식을 모두 만족하는 공간배치안을 도출할 수 있었고 통합도 시나리오 별로 최적의 배치안을 선정할 수 있었다. 또한 전문가시스템을 활용함으로써 설계자의 경험지식을 데이터베이스로 유지할 경우, 지식의 단순 추가만으로도 공간배치를 위한 복잡한 추론이 가능하다는 점을 확인하였다. 따라서 이에 대한 보다 심도있는 연구를 진행할 경우 공간배치 설계업무에 있어서 광범위한 전문가의 지식이 반영된 논리적 대안들을 제공함으로써 그 동안 경험에 의존해야 했던 설계자에게 실무적 차원의 도움이 될 것으로 기대한다.

공간의 용도별 접근성에 근거한 공간배치는 상대적인 판단기준에 따르며 절대적으로 최적화된 설계대안을 정하기는 어려울 것이다. 그럼에도 불구하고 공간배치가 건축물 성능을 좌우하는 요소인 점을 감안하면 설계품질에 미치는 영향은 크다고 볼 수 있다. 더욱이 이와 관련된 전문가 경험지식이 누적될수록 신뢰성 높은 판단기준이 형성될 것으로 기대하고 있으며, 만일 방대한 지식베이스에 근거하여 유형별로 가장 빈번한 공간배치가 도출된다면 이는 공간설계 품질의 기준으로서의 역할을 할 것이다. 나아가 이러한 기준과 비교하여 주어진 공간배치에 대한 품질의 상대적 측정이 유효할 것이다.

이를 위해 향후 추가로 연구되어야 할 내용은 다음과 같을 것이다. 본 논문에서는 경험지식의 범위를 공간의 상대적 관계를 기반으로 한 접근성을 중심으로 적용하였으나, 용도, 크기, 방향, 형태, 운용계획, 법규, 분류 등 공간의 성능에 영향을 미치는 그 밖의 속성까지 폭넓게 경험지식의 대상으로

삼아야 할 것이다. 또한 공간구문론을 적용하는데 있어서 통합도 이외에도 연결도, 통제도 등의 국지지표와 명료도, 조화도 등의 관계지표를 반영하여 결과 해석에 대한 유효성을 높일 필요가 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 한국연구재단(NRF)의 연구비지원(과제번호 NRF-2013R1A1A2058204)에 의해 수행되었습니다.

References

- Hillier B. and Hanson J., 1984, *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Expert_system
- Park, I., 2015, The Trend of Space Syntax Studies and Research Problem Types, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design* 31(9), pp.29-38.
- Oh, J., Park, H., and Kim, S., 2011, A Study on the Analysing Space Configuration and Character of Exhibition Area in Neo-Classical Museum, *Journal of the Korean Institute of Interior Design*, 20(3), pp.225-232.
- Choi, J., 1996, Changes in Residential Lifestyle in the Contemporary Korean Society in the Context of the Changes in the 3LDK Apartment Unit Plans in the Metropolitan Seoul Area, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 22(9), pp.3-13.
- Kim, K., et al. 2014, An Analysis of the Relationships between pedestrian Traffic Density and the Physical Environment Factors of Commercial Streets, *Journal of the Urban Design Institute of Korea*, 15(5), pp.161-171.
- Yoo, J. and Lee, Y., 2008, A Study on the Correlation through Quantitative Analysis of Spatial Configuration and Customer's Behavior in Retail Shop, *Journal of the Korean Institute of Spatial Design*, 3(1), pp.59-67.
- Moon, C., 1992, A Study on the Development of an Expert System for the Architectural Programming of Nursing Department in General Hospital, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 8(5), pp.29-37.
- Kim, S. and Yeom, J., 2008, A Basic Study to Implement a Spatial Reasoning Engine - Reasoning and Visualizing Spatial Relations using a Rule Engine, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 24(5), pp.109-116.
- Park, Y., 2010, A Study on the Development of the Expert System for Validation of Spatial Layout in Terms of Space Program in Healthcare Architecture based on BIM Technologies-Focused on the Design Competition for Seoul Geriatric Hospital, *Journal of The Korea Institute of Healthcare Architecture*, 16(4), pp.7-14.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling
- <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview>
- Li, Y. et al., 2009. Design with Space Syntax Analysis based on Building Information Model: Towards an Interactive Application of Building Information Model in Early Design Process, *CAAD Futures 2009, Montreal*, pp.501-514.
- Jeong, S., 2010, Development of a Spatial Sub-division Technique using BIM for Space Syntax Analysis of a Korean Traditional House, *Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 10(3), pp.57-62.
- Kim, M., 2011, Development of the Spatial Analysis Software for the Application to the Early Stage of BIM Design Process, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 27(10), pp.171-178.
- Park, Y., 2012, A Study on Development of the Spatial Network Analysis Tool based on Open BIM Technologies, *Society of CAD/CAM Engineering*, 17(1), pp.7-16.
- <http://www.solibri.com>



권 오 철

1985년 연세대학교 건축공학과 학사
1987년 연세대학교 건축공학과 석사
2006년 연세대학교 건축공학과 박사
1989년~2008년 삼성건설 근무
2008년~현재 대림대학교 건축공학과 교수
관심분야: BIM, 건설정보관리, CM



조 주 원

(사)빌딩스마트협회 해외협력국 국장
(주)에이이씨리코리아 이사
경희대학교 겸임교수
미국 Ohio 대학교 이학박사
관심분야: BIM 품질검토 및 관리, BIM 모델 에너지 분석 및 시뮬레이션, BIM 물량산출