공간구조분석을 위한 시뮬레이션 추적 분석에 관한 연구

A Study on Simulation tracking analysis for Spatial configuration analysis

박 종 현* 이 종 렬**

Park, Jong-hyun Lee, Jong-Ruyl

Abstract

An architectural space can be considered a life form that interconnects a number of architectural elements such as the humans who live in it. It is difficult to understand and evaluate the complexity of the interrelation between each element, but there have been various attempts to understand and evaluate this architectural space. The Space Syntax that emerged in 1980s has been studied and used more frequently than other methods. Space Syntax is the space analysis tool that analyzes the physical structure of space and represents it as a graph. Space syntax enables its various applications in space analysis by quantifying each spatial property of a whole structure, analyzing it systemically and objectively based on mathematical logic, and representing the results as a quantitative value. Integration of Space Syntax, a widely used index, reflects human behavior in spatial configuration. Meanwhile, there have been various studies in the field of architectural environmental psychology about the relationships between space and human behavior by applying behavioral science to architectural plan. One of the most widely used one is spatial behavior simulation which uses models and simulates the behavioral characteristics to anticipate practical situations and investigate the behavior related spatial problems. In this study, which focuses on the accessibility of the space syntax model, the usefulness of space will be analyzed through the simulation of human behavior that moves through each space. Furthermore, the validity of index will be verified by displaying several examples and compared with integration in space syntax, which represents the usefulness of space.

키워드 : 공간구문론, 공간구조, 행동 모델, 시뮬레이션

Keywords : Space Syntax, Spatial Configuration, Behavior Model, Simulation Tracking

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축 공간은 그 안에 있는 사람을 포함하여 수많은 건축 요소들이 유기적으로 연결되어있는 하나의 생명체와도 같다. 이를 이해하고 평가하기 위한 노력은 다양하게 이루어져 왔으나 각 요소가 상호간에 주고받는 복잡한 영향 속에서 객관적이고 명확한 이해와 평가는 어려운 일이다. 따라서 이를 쉽게 이해하기 위해서는 건축을 구성하는 각 요소를 따로 나누어 분석하고 연구하는 방법이 사용된다.

이중에서 공간의 구조를 대상으로 하는 분석방법으로는 통계분석과 그래프분석이 있다. 통계분석은 공간 외적인 데이터 입력을 통해 분석하는 것으로 GIS 기반 분석이론들과 사회과학적 통계기법들이 주로 연구되고 있고, 그래프 분석은 공간을 그래프로 단순화하여 분석하는 방법으로 가시성(Visibility)과 접근성(Permeability, Access-ibility) 이라는 두 가지 측면에서 분석을 하는 방법이다.

가시성, 즉 공간의 시각적 속성에 기반하는 분석으로는 VGA 와 Isovist, VAE등이 있으며 접근성, 즉 공간의 연결관계에 기반하는 분석으로 Space Syntax과 ERAM 모델 등이 이 분야의 연구로 알려져 있다.

이중에서도 특히 1980년대에 등장한 공간구문론(Space Syntax)은 다양하게 연구되고 많이 이용되어지고 있다. Space Syntax는 공간의 물리적 구조를 분석, 표현 할 수 있는 공간분석 방법으로 전체공간속에서 각각의 공간의 위상을 계량화하여 체계적이고 객관적인 분석을 위해 수리적 논리에 기반하는 공간구조를 해석하여 그 결과를 정량적인 수치로 제시함으로써 다양한 활용이 가능하다. 특히 Space Syntax의 통합도는 가장 널리 사용되는 지표로서 공간구조 내에서 사람의 행태를 반영한다.

한편 건축 환경심리분야에서 건축계획의 행동과학적인 접근방법에 따라 공간과 인간행동의 관계 연구가 다양하게 진행되어 왔다. 특히 공간 내에서 사람의 행동특성을 모델화 하여 시뮬레이션 함으로써 실제현상을 예측하고 행동특성과 관련된 공간상의 문제점을 검토하기 위한 공간행동 시뮬레이션이 다양하게 활용되어져 왔다.

본 연구에서는 공간모델에서 공간의 접근성에 주목하여, 공간의 연결 관계에 따른 이용자의 공간이동을 가상화해서 이용자가 각 공간의 이동에 따른 공간의 이용성을 분석한다. 또한 Space Syntax의 다양한 지표들 중 공간의 이용성을 대변하는 통합도와 비교를 통하여 지표의 타당성을 검증하고자 한다.

* 정회원, 경민대학 건축토탈디자인과 외래교수

** 정회원, 경민대학 건축토탈디자인과 조교수

1.2 연구의 범위 및 방법

2장에서는 기존 공간분석도구 중 가장 알려져 있으며 많이 사용되는 Space Syntax를 살펴보고 그 중에서도 통합도의 정확한 의미와 공간이용성과의 관계를 살펴본다.

3장에서는 행동모델 시뮬레이션 기법의 도구와 방법을 개발하고 여기서 얻어질 수 있는 지표들을 살펴보고자 한다.

4장에서는 Space Syntax의 통합도와의 비교를 통하여 지표의 타당성을 검증하고, 선행연구의 실례를 통하여 Space Syntax와 시뮬레이션 분석(Simulation Tracking 1.0)의 지표를 확인한다.

5장에서 시뮬레이션추적분석의 결과와 향후 연구 과제를 살펴보고자 한다.

2. Space Syntax의 고찰

이 방법론은 특정 공간을 분석하기 위해서는 단순히 이웃 공간간의 관련성이나 특정한 공간간의 관계가 아니라 거시적인 관점에서 모든 공간간의 상호관련성을 바탕으로 공간의 상호 유기적 결합을 공간분석의 전제로 하며, 인간이 공간을 인지하고 사용하는 공간사용행태에 대한 이해의 분석에 기본을 두고 있다.

힐리어(B. Hillier)에 의하면 모든 건축공간은 사회적 논리성을 지니게 되며, 그 건축공간이 속한 사회 문화적 속성을 반영하게 된다. 따라서 Space Syntax에 의한 분석은 단지 물리적 분석에 그치지 않고 사회문화적 속성의 분석이 가능하게 되며, 이는 인간의 생활상에 의한 공간의 이용도를 예측하는 예측성(Predict)의 특징과 공간의 물리적 구조를 논리적으로 설명하고 명확히 표현하는 표현성(Descriptive)의 특징을 가지고 있다.

Space Syntax는 특정 공간을 분석하기 위해서 모든 공간간의 상호 관련성을 바탕으로 공간의 상호 유기적 결합을 공간분석의 그 전제로 하므로 공간구조 (Spatial configuration)의 상대적 배치의 차이에 대해서 기술할 수 있게 해주는 객관적 방법론이라 할 수 있다.

Space Syntax는 건축 및 도시를 구성하는 공간의 개체적 속성(예를 들어 공간의 형태, 크기 등) 대신, 개별 공간들의 관계성(configuration)의 집합으로 파악하고, 이 관계성의 집합들이 드러내는 형태적(morphological) 특성을 수학적 모델로서 규명하고자 하는 분석기법이다. 따라서 건축도면 등에서 불필요한 요소를 배제하고 필요한 요소만을 강조하는 다이어그램으로 표현하여 분석하는 것이 보다 효과적이다.

다음 <그림 1>에서 가장 단순한 구조의 공간을 그림과 같이 동그라미로, 공간간의 연결은 선으로 표시한 J-Graph 혹은 JPG (Justified Permeability Graph) 라고 불리는 그래프로 표한한 그림이다. 여기서 결절점(nodes)은 단위공간, 연결선(edges)은 각 공간간의 연결 관계를 의미한다. J-Graph를 이용하면 공간의 개체적 속성을 크기와 형태를 배제한 개별 공간간의 관계성만을 쉽게 살펴볼 수 있다.

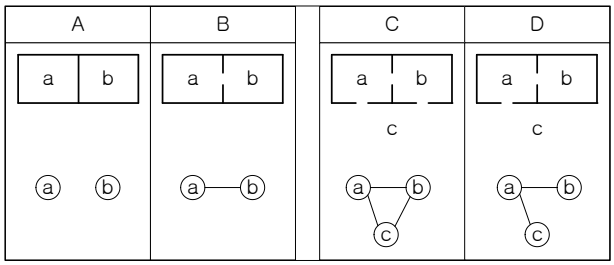


그림 1. J-Graph 관계도 1

그림 A 에서 ⓐ와 ⓑ는 서로 인접하고 있지만 연결되어 있지 않으며 실제 건축공간에서는 존재하지 않을 것이다.

그림 B에서 ⓐ와 ⓑ는 서로 연결되어 있으며, 이때 ⓐ에 대한 ⓑ의 관계는 ⓑ에 대한 ⓐ의 관계와 같고 이를 형태적으로 대칭(Symmetry)적인 관계를 가진다고 본다. 이러한 대칭성은 ⓐ와 공간 b의 고유한 관계적 특성이다.

여기에 제 3의 공간으로 외부공간 ⓒ와의 관계를 부여한 그림 C와 그림 D에서는 대칭성의 관계가 달라진다. 즉 그림 C에서는 모든 공간에서 각각 다른 공간으로 이동할 수 있다 즉 상호 대칭적 관계를 갖지만 그림 D에서는 ⓐ를 거치지 않고서는 ⓑ에서 ⓒ로 혹은 그 반대로의 이동이 불가능하다. 즉 비대칭(Asymmetry)적 관계를 갖게 된다.

그림 C 에서는 ⓐ, ⓑ, ⓒ 의 공간구조와 완전한 대칭을 이루게 되므로 실제로 공간을 사람이 이용한다고 할 때 똑같은 정도의 이용성을 보일 것으로 판단할 수 있다. 그러나 D 공간구조에서는 ⓐ 를 중심으로 ⓑ, ⓒ 가 위치하므로 공간이용에서 ⓐ가 ⓑ, ⓒ 보다 더 많이 이용되게 될 것임을 알 수 있다. 이때 ⓐ 와 ⓑ, ⓒ 의 이용성의 차이는 각 공간의 중심성과 밀접한 관계를 가지게 됨을 알 수 있다.

실제 건축공간은 특수한 극히 일부의 경우를 제외하고는 완전한 대칭적 구조보다는 비대칭적 구조를 가지게 된다. 공간의 수가 많아져서 복잡한 구조다 될 수록 각각의 공간은 비대칭의 정도가 매우 다양하게 될 것이다. 그래프를 이용한 시각적 표현에서는 비대칭의 정도를 분석하는데 한계가 있으므로 Space Syntax에서는 수학적 논리를 이용하여 이 비대칭의 정도를 계량화한다.

위의 연결 관계에서 대칭적 구조의 공간과 비대칭적 구조를 가진 공간의 본질적인 차이를 정량화 하여 살펴볼 수 있는 깊이(Depth), 즉 Space Syntax에서 가장 기본적인 공간이라는 개념이 사용된다. 하나의 공간에서 다른 공간으로 이동할 때 거쳐야 하는 최소한의 공간의 수(정확히는 연결통로의 수)가 공간의 깊이가 된다. 이때 직접 연결된 공간간의 깊이 (JPG에서 나타나는 연결선)는 1이 된다.

위의 그림 C에서 보듯, 대칭적 공간에서는 모든 공간에서 다른 공간으로 갈 때의 깊이가 1로 모두 같지만, 비대칭적 공간인 그림 D에서는 ⓐ↔ⓑ, ⓐ↔ⓒ는 각각 1로 같고, ⓑ↔ⓒ는 2의 깊이를 갖는다.

즉 ⓐ 에서는 모든 공간의 깊이가 1로 같지만 ⓑ와 ⓒ에서는 ⓐ 로는 깊이가 1이고, ⓒ혹은ⓑ로는 ⓐ를 거쳐서 가야만 하므로 공간의 깊이는 2가 된다.

이때 ⓐ 는 공간 구조상 대칭적 위치에 있으며, ⓑ와 ⓒ는 공간구조상 비대칭적 위치에 있다고 할 수 있다. 또 전체 공간구조에서는 각 공간의 깊이가 같다면 이 공간의 구조는 대칭적이라고 할 수 있으며 그 깊이가 다르다면 이 공간 구조는 비대칭적이라고 말할 수 있다.

한 특정한 공간 i 로부터 다른 공간 j로 이동하기 위하여 거쳐야 하는 최소한의 공간의 수, 즉 공간의 깊이(Depth)를 $d(i,j)$로 표시하고, 분석의 대상이 되는 전체 공간의 수(K로 정의한다)와 함께 이는 Space Syntax 이론의 주요한 변수가 된다.

또한 하나의 공간에서 다른 공간으로 이동할 때 거쳐야 하는 공간의 수가 많다면 공간의 깊이가 깊다고 할 수 있으며, 이때 공간의 깊이가 깊은지 그렇지 않은지는 상대적인 것이다. 이때 어느 한 공간에서 다른 공간으로 이동할 때 깊이가 깊은, 즉 Depth가 큰 공간일수록 이동하기에 많은 노력이 든다고 할 수 있다. 따라서 깊이가 작은 공간으로의 이동이 일어날 가능성에 비하여 깊이가 큰 공간으로의 이동이 일어날 가능성은 적다

한편, 어느 특정 공간이 가지는 전체 공간과의 관계를 나타낸 것을 통합도(Integration)라 말한다. 이는 분석대상 범위내의 축선도에 표현된 모든 축선(공간)들을 기점과 종점으로 가정했을 때, 한 축선에서 다른 모든 축선으로의 공간깊이를 기준으로 계산한 값인 것이다. 이 Integration(INT)을 이용하면 각기 다른 공간수를 가진 공간 구조간의 정량적 비교가 가능하다.

또 이와는 별도로 한 공간이 얼마나 많은 공간과 직접적으로 연결되어 있는가를 연결도(Connectivity) 라 말한다. 다른 공간으로의 통로가 많다는 것은 연결된 공간들과의 관계에서 동선의 중심적 공간임을 나타낸다. 그러나 다른 공간으로의 연결이 많다면 이 공간에서 연결된 어느 한 공간에 미치는 영향력은 상대적으로 감소할 수밖에 없다. 즉 연결된 공간이 하나라면 그 공간내의 사람은 반드시 그 공간으로 이동하겠지만 연결된 공간이 둘이라면 각 공간으로 이동할 확률은 절반이 된다. 이러한 공간이 이웃한 공간에 미치는 영향력, 즉 경로선택의 융통성을 통제도(Control Value) 라고 말하고 이는 각 단위공간에 1의 값을 부여하고 특정 공간에 인접한 각 공간들의 숫자의 역수를 합한 수치로써 계산된다. 결국 통상적으로 1이상이면 강한 통제도를 보여준다고 할 수 있으며, 이하이면 약한 통제도를 보여준다고 할 수 있다.

Space Syntax에서 가장 주요하게 활용되는 지표는 통합도이다. 앞에서 살펴보았듯이 통합도는 전체공간에서 각 공간의 위상적 중심을 수치로써 계량화한 것이다.

여기에서 위상적 중심은 전체 공간구조를 이용하는데 있어서 가장 빈번한 이용이 발생될 가능성이 높은 공간이 된다. 이는 공간의 이동시 구조적 최단거리를 이용하는 것을 전제로 하는 분석이기 때문이다. 그러나 구조적 최단거리가 물리적 최단거리를 의미하지는 않으며 따라서 실제로는 공간 이동이 다르게 발생할 수도 있다. 또한 공간의 구조를 미리 인지하고 있지 않은 경우에는 최단거리가 아니라 탐색의 방법에 따라 다른 공간 이동이 발생하게 될 것이다.

따라서 지금까지의 연구에서 밝혀진 바와 같이 Space Syntax의 분석은 연구적 측면에서 매우 유용하지만, 이 분석 방법과는 다른 접근방법으로 같은 공간을 분석하여 다각적이고 입체적인 방법으로 공간을 보다 정확하게 이해하는 것이 필수적이라 할 것이다.

3. 시뮬레이션추적 분석

3.1 행동모델

행동모델이란 실제공간에서 나타나는 공간 사용자의 행동을 조사하고 이를 간략화하여 재현한 것이다. 이때 실제 인간의 모든 행동을 모델화 하는 것이 아니라 가능한 한 단순화하여 공간과의 관련이 깊은 부분만을 추출 및 모델화하고 한정된 범위 내에서 고찰하여야 한다.

인간의 행동이란 정보처리 시스템으로서의 행동영역인 공간에서 인간이 여러 가지 정보를 선택적 혹은 강제적으로 받아들이고 일정한 정보처리를 한다. 그래서 자기의 욕구나 행동목표를 정하고 그것을 충족하는 상태에 현재의 상태를 이행시키기 위해 인간은 공간에 대해 작용하는 것이다.[1)]

행동모델은 공간과 인간의 상호적 관계와 그로 인하여 나타나는 현상에 대한 체계적인 설명을 할 수 있으며, 공간과 인간과의 대응관계에서 나타난 문제점을 해결하는데 도움을 줄 수 있다. 이를 이용하면 도시 및 건축 계획 단계에서 만들어질 새로운 공간에 대한 확률적 예측을 가능하게 할 수 있다.

행동모델의 분류에는 목적에 따른 분류로 재현모델, 계획모델, 예측모델로 나눌 수 있다.

표현방법에 따른 분류로는 수학적이론이나 수법을 적용한 수학모델과 컴퓨터 프로그래밍언어에 의해 현상을 표현하는 컴퓨터시뮬레이션모델이 있으며, 계량화가 힘든 심리적인 내용을 포함한 현상을 말로 기술하는 언어모델도 있다. 또한 행동내용으로 분류하면 행동의 종류에 따라 질서모델, 유동모델, 분포모델, 상태모델로 나눌 수 있다.

특히 본 연구에서 사용하는 모델은 컴퓨터 시뮬레이션 모델로 분포모델과 유동모델의 특성을 갖는데 ① 분포모델은 위치에 따른 분포특성이 나타나며 이러한 분포특성을 분석하면 그 공간의 성격이나 이용 이유 등에 대하여 설명할 수 있다. ② 유동모델은 공간에 대한 두지점간의 이동을 중심으로 인간의 행동을 모델화 하는 것으로 두 지점사이의 상태변화가 위치의 이동으로 나타나게 되는 행동을 다루게 된다. 즉 관람행동, 피난행동, 운동행동 등을 대상으로 하며, 유동특성을 파악하는데 따라 계획의 규모, 배치, 동선의 평가가 가능하다.

1) 신건축학대계 11 - 환경심리 P184

표 1. 행동모델의 분류

기준	목적	표현방법	행동내용
분류	재현모델	수학모델	질서모델
	계획모델	시뮬레이션모델	유동모델
	예측모델	언어모델	분포모델
			상태모델

이 모델은 취급대상에 따라 개인형과 군집형이 있는데 본 연구에서는 개인형을 대상으로 한다. 이것은 공간을 취급하는 방법에 있어서 대상공간을 부정형의 종합적인 몇 가지로 표현할 수 있고, 상세한 유동까지 표현할 필요가 없을 경우 네트워크형을 사용한다. 대상 공간의 분할이 어렵고 공간전체도 균일한 경우에는 매쉬형을 사용하는데 본 연구에서는 네트워크형을 사용하고자 한다. 이는 공간을 노드로 나타내고 그들의 연결을 링크로 나타내는 J-Graph와 같은 형태이다. 유동을 취급하는 방법에는 모델화하려는 공간에서 인간의 행동 특성에 따라 대기행렬형과 배분형으로 나눌 수 있다.

유동표현에 따라서 흐름의 방향을 다루며 방향성을 가지고 있을 일방향의 경우와 왕복교환의 흐름이 있을 경우의 선택형이 있다.

표 2. 유동표현의 분류

기준	대상	공간	유동	표현
분류	개인형	네트워크형	대기행렬형	일방향형
	군집형	매쉬형	배분형	선택형

유동모델에서 2지점간의 이동에서 어느 공간으로 이동할 것인가를 선택하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있는데 이를 천이확률(추이확률)이라고 한다. 이를 결정하는 방법으로는 아래와 같이 6가지의 방법을 제시할 수 있다.[2)]

1. 실제 유동의 관찰로부터 결정
2. 공간이 갖는 흡인력· 매력도를 설정하여 결정
3. 공간과 공간과의 연결방법의 성질에 의해 결정
4. 공간 자체의 성질과 공간 상호의 연결방법의 성질, 양쪽에서 유동잠재력을 계산해서 결정
5. 공간의 구성요소를 바탕으로 회귀식(回歸式)을 작성해서 결정
6. 공간 상호의 관련수(인접공간수)에 의해 결정

따라서 본 연구에서 다루는 유동모델은 네트워크형의 공간에서 배분형의 유동을 갖는 개인을 대상으로 선택형 표현을 다루고 있다. 공간선택의 방법은 접속공간수에 의한 선택을 한다.

3.2 시뮬레이션분석의 방법

시뮬레이션이란 복잡한 문제를 해결하기 위하여 모델을 이용하는 모의실험 또는 모사(模寫)를 의미한다. 복잡한 문제를 해석하기 위하여 실제현상이 아니면서 실제현상과 같은 체계를 가지고 있는 것으로서 실제현상을 유의하게 재현하고, 실험하여 그 특성을 파악하는 것이다. 즉 일종의 가상현실이라고 할 수 있다. 이는 실제 현상을 연구하는 것보다 용이하며 비용과 시행착오를 줄일 수 있다.

건축에서 이용하는 시뮬레이션에는 실물모형을 이용하는 모형시뮬레이션과 컴퓨터를 이용하는 컴퓨터 시뮬레이션이 있으며, 이중 컴퓨터 시뮬레이션은 인간의 사고나 행동의 변화를 컴퓨터 소프트웨어로 구현하여 나타내는 것으로 컴퓨터의 하드웨어 및 소프트웨어 기술의 발달로 매우 복잡한 시뮬레이션이 가능하여지고 있다.

시뮬레이션을 실시하기위한 모델은 시뮬레이션에서 검토하고자 하는 부분에 대해 될수록 적은 요인으로 단순화해서 모델화하는 것이 바람직하다.[3)]

여기서는 J-Graph를 이용해 공간과 이동을 단순화하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 사람의 공간이동 특성을 파악하고자 한다.

J-Graph에서 사람의 공간이동은 노드에서 노드로 에지를 통해 이동하는 것으로 정의 할 수 있다. 실제 건축공간에서는 공간에서 공간으로 통로를 통하여 이동하는 것과 대응된다. 이때 어느 공간으로 이동하게 될 것인지는 한 공간이 얼마나 많은 공간과 직접적으로 연결되어 있는가에 따라 달라진다. 즉 아래 <그림 2> 좌측에서 b에서는 반드시 a로 이동하게 되지만 a 에서는 b, c 공간으로 두 개의 이동방법이 있으므로 두 공간 중 어느 한곳으로 이동하게 될 것이다.

이는 Space Syntax에서의 연결도 및 통제도와 관련이 있다. 공간에서 공간으로 이동시 이동이 가능한 선택의 개수는 연결도와 같으며 이동의 확률적 결과가 이동 후의 공간에 통제도의 값으로 더해지게 된다.

연결도가 높은 공간은 이웃한 공간으로의 이동이 쉽게 이루어지는 공간이 되고 마찬가지로 이웃한 공간에서 이동하여 들오기도 쉽다고 볼 수 있다. 하지만 다른 공간으로의 연결이 많다면 이 공간에서 연결된 어느 한 공간에 미치는 영향력은 상대적으로 감소할 수 밖에 없다. 즉 연결된 공간이 하나라면 그 공간내의 사람은 반드시 그 공간으로 이동하겠지만 연결된 공간이 둘이라면 각 공간으로 이동할 확률은 절반이 된다. 이러한 공간이 이웃한 공간에 미치는 영향력, 즉 경로선택의 융통성을 통제도(Control Value) 라 하고 각 단위공간에 1의 값을 부여하며 특정 공간에 인접한 각 공간들의 숫자의 역수를 합한 수치로 계산한다. 통상적으로 1이상이면 강한 통제도를 보여준다고 할 수 있으며, 이하이면 약한 통제도를 보여준다고 할 수 있다.

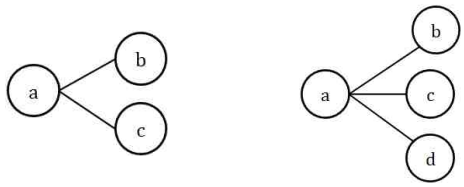
$$CV = \sum_{i \in A} \frac{1}{Cn_i}$$

다시 살펴보면 하나의 공간이 주변의 공간에 미치는 영향력은 그 공간으로 이동할 확률이 된다. 즉 하나의

2) 신건축학대계 11 - 환경심리 P185

3) 신건축학대계 11 - 환경심리 P199

공간은 1의 통제도를 가지고 연결도로 나누어 주변의 각 공간에 나누어준다.



a : 2
b , c : 0.5

a : 3
b, c, d : 0.3

그림 2. J-Graph 관계도 2

공간구문론에서 통제도는 각 공간이 미치는 영향력을 표현하고 공간사이의 이동정도를 나타낼 수 있지만 지역적인 변수로서 바로 인접한 공간의 영향만을 나타내는 한계가 있다. 시뮬레이션 분석에서는 통제도의 방식을 확장하여, 공간의 이동정도를 시뮬레이션하여 전역적인 공간에 끼치는 영향의 정도를 얻고자 한다.

위 <그림 2> 왼쪽의 경우 a공간은 b , c에 각각 1/2의 통제도를 주지만 오른쪽그림에서 a 공간은 b, c, d 에 각각 ⅓ 의 통제도를 주게 된다. 이를 다시 말하면 좌측그림의 a 공간에서 b, c 공간으로 이동할 확률은 각 50%(0.5)가 되고 우측그림에서는 33%(0.33)이 된다. 각 공간이 이웃한 다른 공간으로 영향을 주는 통제도는 연결도, 즉 직접 연결된 공간의 수의 역수이며 이는 그 공간에서 다른 공간으로 이동할 가능성이 곧 확률이 된다.

다시 말해 왼쪽공간구조에서 a 에서는 50%의 확률로 b 나 c 공간으로 이동할 수 있으며 b 나 c 에서는 100 % 확률로 a 공간으로 이동하게 된다.

이러한 연결도와 통제도에 의한 공간이동시의 공간선택 방법은 결국 앞서 살펴본 유동모델에서의 환이확률의 방법중 6번과 완전히 일치한다.[4)]

지금까지 살펴본 바와 같이 전체 공간구조 내에서 사람의 이동시 이동할 공간의 선택은 각 공간에 연결된 공간의 수에 따른 확률로 결정될 수 있지만 그 선택의 결과는 다르다. 즉 b 공간에서 이동의 선택확률은 a, c, d가 3등분하게 되지만 실제 이동의 결과는 a, c, d 중 어느 한 공간으로만 일어날 수도 있다.

따라서 확률적으로 어느 한 공간이 어떤 값을 갖든 실제로 이동이 이루어지면 선택되어 이동한 공간으로 100%의 이동이 발생하게 된다. 그리고 이러한 이동 결과의 연속적인 결과가 전체 공간구조내에서 발생하는 유동이 되는 것이다.

그러므로 이러한 이동을 추적하여 살펴보면 전체공간구조 내에서 인간의 행동과 공간의 이용을 파악하고 결과를 분석할 수 있다.

3.3 시뮬레이션 분석도구

시뮬레이션 분석을 위해서는 공간의 구조를 J-Graph형태로 표현하여 단순화할 필요가 있다.

공간구문론 분석을 위한 Depthmap 이나 S3 에서는 자체적으로 그래픽엔진을 사용하여 이를 구현하였지만 본 연구에서는 간단히 Micro-soft의 VISIO를 사용하여 Convex maps을 만드는 작업을 하였다.

VISIO 는 객체지향개념에 기반한 다이어그램 작성을 위한 전문도구로서 다이어그램의 각 요소를 객체로 다루어 다어어그램이나 간단한 건축용도면을 쉽게 그리는 것이 가능하며, 간단히 수정하거나 객체간의 관계를 재정의 할 수 있다. 또한 Active X 기술을 이용한 소프트웨어 프로그래밍이 가능하여 Visual Basic 이나 Visual C++ 로 프로그램을 작성하고 VISIO 객체에 액세스 할 수 있다. 다이어그램의 각 요소를 객체로 취급하는 특성을 이용하면 convex map에서 쉽게 J-Graph를 만들어 낼 수 도 있다. 이때 Convex map 과 J-graph는 공간구문론적으로 구조가 동일하므로 어떤 것으로 분석을 실행하여도 같은 결과가 얻어진다. 시각적인 측면에서는 convex map 에서 분석하였을 경우가 즉시적으로 이해하기 쉬우나 특정공간을 기준으로 한 분석을 위해서는 J-Graph에서 분석하는 것이 편리하다.

본 연구에서는 개발의 편의상 Visual Basic 으로 작성되었으며 Active X 기술을 이용하여 VISIO의 객체정보를 가져와 분석을 시행한다. 이때의 분석결과는 쉽게 알아볼 수 있도록 하기 위하여 VISIO에 표시할 수도 있으며, 시트 형식의 표로 보여줄 수도 있게 하였다.

분석결과를 재처리하기 위하여 SPSS나 Excel로 데이터를 보낼 수 있게도 하였다. SPSS나 Excel에서는 이 데이터를 다시 가공하거나 분석하고 도표화 시킬 수 있으므로 필요한 모든 용도에 사용할 수 있다.

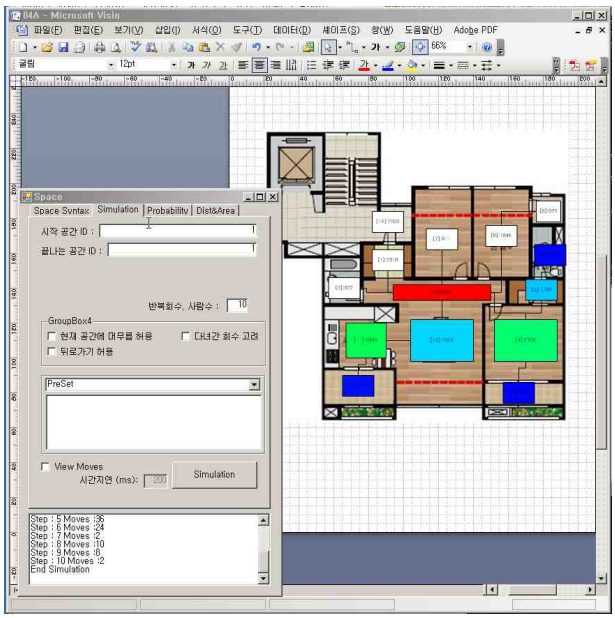


그림 3. ST 1.0 구동화면

현재 ST 1.0 에서는 시뮬레이션 추적의 결과 중 각 사용자의 이동 경로와 거기서 추출된 각 공간의 이용회수

4) 신건축학대계 11 - 환경심리 P185

(통행빈도) 만을 지표로서 보여주고 있으나, Excel 및 SPSS를 이용하여 데이터를 가공하여 보다 다양한 정보의 추출이 가능하며, 이는 차후 후속연구를 통하여 다양한 지표의 개발을 하여야 할 것이다.

본 연구에서는 공간의 이용회수와 이를 Excel에서 각 공간의 이용비로 가공하였으며 SPSS를 이용하여 회귀분석[5]을 실시하였다.

4. 분석사례

4.1 비교실험대상

본 장에서는 건축공간의 행동모델에 관한 시뮬레이션 분석의 검증을 위하여 기존 연구 자료를 수집, 비교하고 이를 토대로 각 공간으로의 행동패턴에 관해 분석해 보고자 다음 두 가지의 실험대상을 선정하였다. 첫째, 기존 공간분석 프로그램인 Space Syntax와 행동패턴에 의한 공간이용 확률 분석인 시뮬레이션(Simulation Tracing 1.0 이하 ST 1.0)분석방법의 비교를 통하여 분석결과에 관한 타당성을 검증하는 것이다. 이러한 검증 과정을 위해서는 단순하고 예측가능한 공간체계가 필요하므로 현재 상용중인 아파트 기본 평면[6]의 예를 통하여 공간분석의 결과를 비교해 보고 결과를 검증하고자 한다. 둘째, 삼성동 코엑스몰을 대상으로 공간구조와 길찾기의 상호관련성을 분석 연구[7]한 자료를 선행 예제로 선택하여 실제의 결과치와 시뮬레이션의 정량적 분석치를 비교 연구해 보고자 한다. 선행 연구인 백승호(2002년)의 연구에서는 코엑스몰을 공간 형태로만 구성된 가상의 공간(VRML)으로 사이버 공간에 구축하여 116명의 실험자를 대상으로 길찾기 실험을 실시한 연구이고, 총 세 차례의 실험을 통해 임의로 주어지는 목적지를 찾기까지 사용하는 공간의 사용 빈도수(통행빈도)를 조사하였다. <표 4. 참고> 이에 따라 본 연구에서는 앞서 연구한 자료인 코엑스몰을 이용하여 동일한 공간구조와 자체적으로 작성된 축선도를 사용하여 시뮬레이션(ST 1.0)하고 정량적 데이터를 도출하여 이를 비교 분석해 보고자 한다. 이 또한 실측자료와 비교하여 본 연구의 목적인 ST 1.0의 공간분석결과에 관한 설득력 있는 검증을 하고자 한다.

4.2 대상 검증

(1) 시뮬레이션(ST 1.0) 검증

본 연구의 목적인 시뮬레이션(ST 1.0) 분석의 검증을 위하여 단순하고 공간의 위계예측이 명확한 공간구조체계가 필요하다 판단하였다. 이를 위하여 기본적인 아파트 단위평면에 나타나는 공간구조에 주목하였다.

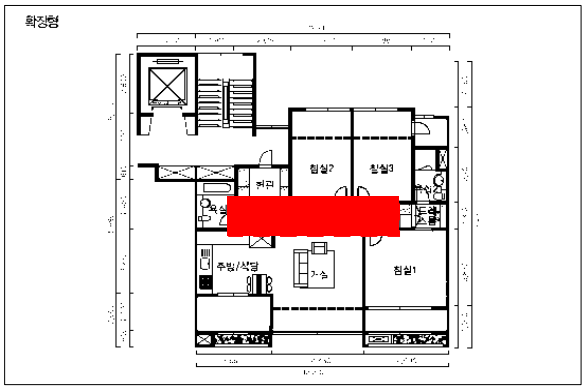


그림 4. 은평 뉴타운 단위세대 아파트 84㎡ A형

위의 <그림 4>은 은평 뉴타운 신축아파트 단위세대의 기본평면을 나타내고 있다. 이 평면에서 나타나는 공간위계를 경험적으로 예측하여 살펴보면, 현관에서부터 침실 1로 통하는 거실과 침실 2사이의 복도성격의 공간, 그리고 거실이 가장 위계가 높을 것으로 예측되었다. 이에 따라 이러한 가정을 바탕으로 Space Syntax와 ST 1.0을 이용하여 분석하고 <표 3>에서 보는바와 같이 실제 각 분석의 정량적 결과를 비교해 보았다.

표 3. 아파트평면의
Space Syntax, ST 1.0 비교 분석표 <R^2 = 0.812>

순위	공간 NO	INT	비율	ST	비율	순위
1	2(복도)	2.3123	0.1662	5969	0.2199	1
2	4(침실1)	1.3874	0.0997	3130	0.1153	2
3	10(거실)	1.2241	0.0880	1900	0.0700	7
4	8	1.0953	0.0787	2026	0.0746	4
4	1	1.0953	0.0787	2000	0.0737	5
6	3	0.9910	0.0712	970	0.0357	13
6	7	0.9910	0.0712	1024	0.0377	11
8	5	0.8324	0.0598	2132	0.0785	3
9	11	0.7707	0.0554	1900	0.0700	7
9	13	0.7707	0.0554	1052	0.0387	9
11	14	0.6713	0.0482	2000	0.0737	5
11	9	0.6713	0.0482	1013	0.0373	12
13	6	0.5624	0.0404	1066	0.0392	9
14	12	0.5336	0.0383	950	0.0350	14

그 결과 Space Syntax의 분석 지표에서는 2번 공간인 복도 공간이 가장 높은 공간위계를 가지고 있음으로 나타났다. 이는 앞서 예측한바와 같이 현관에서 각 실로 나뉘어 연결되어지는 공간인 복도공간이 가장 높은 통합도를 나타내고 있었고, 이 같은 공간구조 안에서 가장 높은 위계상에 놓여 있다고 판단할 수 있겠다. 그리고 아울러 주목할 만한 부분은 ST 1.0 분석에서도 위와 같은 공간이 가장 높은 분석수치를 나타내고 있다는 것이다. 또한 각 공간들의 위계(순위)상황도 비슷한 양상을 보이고 있어 ST 1.0 분석의 결과역시 공간분석 측면에 있어 높은

5) 회귀분석(回歸分析, regression analysis)은 통계학에서 관찰된 연속형 변수들에 대해 독립변수와 종속변수 사이의 인과관계에 따른 수학적 모델인 선형적 관계식을 구하여 어떤 독립변수가 주어졌을 때 이에 따른 종속변수를 예측한다. 또한 이 수학적 모델이 얼마나 잘 설명하고 있는지를 판별하기 위한 적합도를 측정하는 분석 방법이다.

6) 은평 뉴타운 아파트 단위세대 84㎡ A형, 은평구 도시개발

7) 백승호, 공간구조가 길찾기에 미치는 영향에 대한 연구, 서울대학교 석사논문, 2002 4

설득력을 가지고 있다 판단된다. 그러나 눈으로 보이는 분석수치의 비교로는 정량적인 비교 결과를 얻어낼 수가 없다. 따라서 이 두 분석값의 지표상황을 종합 분석하기 위하여 회귀분석(regression analysis)을 통한 관계데이터를 추출해 보았다. 그 결과 수치가 R^2=0.812로 비교적 높게 측정되었다. 이는 ST 1.0의 분석 방법이 기존 Space Syntax 분석 프로그램의 분석 지표와 함께 공간분석 프로그램으로써 높은 예측률을 얻을 수 있다 판단된다.

(2) 시뮬레이션(ST 1.0) 분석

본격적인 시뮬레이션 분석 결과를 비교하기 위하여 앞서 선행된 연구 자료를 바탕으로 코엑스몰의 공간 분석 시뮬레이션을 다시한번 적용해 보았다.

분석결과를 살펴보면 <표 4>의 Space Syntax에서 나타난 통합도가 가장 높은 공간은 2번 공간<그림 5>로 나타났다. 이는 공간 구조에서 가장 중심이 되는 공간이 접근성이 높아 Space Syntax에서 말하는 통합도가 가장 높은 공간이 되는 것이다. 한편 시뮬레이션(ST 1.0) 분석결과에서 길찾기 통행량의 가장 많은 빈도수를 높인 부분은 11번 공간(코엑스몰 입구 - 메가박스 방향)(ST=5088)이다. 이는 공간구조 내에서 각 공간에 출입할 확률을 계산하여 구현해 내는 결과로서 각 공간들끼리의 연결성과 접근성의 확률 결과로 판단된다. 그러나 실제 이 공간의 통행량을 직접 조사한 연구자료[8]를 시뮬레이션(ST 1.0) 결과와 비교해보면 11번 공간이 아닌 4번 공간의 빈도수가 가장 높은 것으로 나타나 있다. 이는 코엑스몰의 공간 구조 내에서 잠재해 있는 통행자들의 길찾기 이용 빈도수와 인지도 측면에서 가장 높은 곳이라 분석된다.

이 세 가지의 결과를 종합 분석해보면 분석한 내용에서의 높은 통합도로 나타난 위계(순위)공간들은 각기 다르게 나타났다.[9] 이에 각 분석내용의 비교지표가 불분명하고, 그 원인을 찾아내기가 어려우므로 이들의 비교는 무의미하다고 판단된다. 따라서 독립변수와 종속변수간의 회귀분석을 통하여 각 지표간의 비교 후 공간분석 방법론에 관한 각 타당성을 더욱 밀도 있게 판단하야 할 것이다.

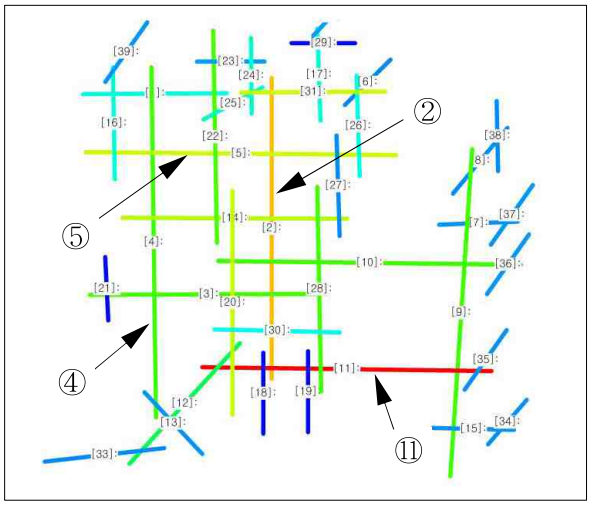


그림 5. 코엑스몰의 길찾기 시뮬레이션 스펙트럼

표 4. 코엑스몰의 ST, Space Syntax, 실측조사 비교 분석표(ST기준 상위 10개 공간)

ST 순위	공간 NO	ST	비율	INT	비율	INT 순위	실측1	실측2	실측3	실측 평균	실측 순위
1	11	5088	7.29	1.9806	4.67	2	63	60	60	61	6
2	2	4262	6.11	2.5748	6.07	1	68	73	56	65.6	4
3	5	3724	5.34	1.8840	4.44	3	85	74	65	74.6	2
4	31	3721	5.33	1.7963	4.23	5	52	34	32	39.3	12
5	20	3701	5.30	1.7165	4.04	6	61	56	68	61.6	5
6	14	3639	5.22	1.8840	4.44	3	78	70	67	71.6	3
7	22	3171	4.55	1.4854	3.50	10	60	49	38	49	10
8	3	3147	4.51	1.6792	3.96	8	63	56	38	52.3	9
9	9	3137	4.50	1.2874	3.03	16	60	57	65	60.6	7
10	28	3125	4.48	1.6435	3.87	9	63	51	56	56.6	8
11	4	3124	4.48	1.4304	3.37	13	99	87	75	87	1

(3) 각 분석 내용과의 상관관계

앞의 연구에서 도출된 3차례의 실측값과 위의 (2)에서 도출된 3차례의 분석 실험을 토대로 본 연구는 통행 빈도량의 회귀분석(regression analysis)을 실시하였다.

표 5 각 공간분석 변수와 통행빈도와의 R^2 비교표

	INT	ST
1차 실험	0.5809	0.6970
2차 실험	0.6371	0.7190
3차 실험	0.5301	0.7110
평균	0.5827	0.7100

위의 <표 5>에서 보는 바와 같이 통합도와 시뮬레이

8) 백승호, 앞의 연구

9) 각 분석별 가장 높은 통합도 및 보행자수는 각기 다른 공간으로 나타났다. 시뮬레이션은 11번(ST=5088), Space Syntax는 2번(int=2.5748), 실측조사는 4번 공간이다.

션(ST 1.0)과의 결과를 비교해 보면, 3차례 모두 통행빈도와의 상관관계가 비교적 높은 것으로 나타났다. 이 결과로서 주목할 만한 점은 3차례의 실측조사와 회귀값에서 ST 1.0이 Space Syntax 통합도 수치보다 월등히 높다는 점이다. 회귀분석(R^2)의 평균 수치 또한 ST(R^2=0.7100) 분석값이 INT(R^2=0.5827) 분석값 보다 더욱 높다.

이 결과에서 알 수 있는 바 공간구조의 기하학적 위계를 기반으로 하는 Space Syntax와는 달리 공간 이용의 확률적 분포를 기반으로 분석하는 ST 1.0 분석 지표가 보다 더욱 높은 예측률을 나타낼 수 있다.

5. 결 론

앞의 분석을 통하여 우리는 공간 사용 측면에서 Space Syntax는 시뮬레이션(ST 1.0)분석과의 회귀분석을 통하여 나타난 공간 이용 패턴의 예측률을 비교하여 보았다.

이에 따라 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

첫째, 공간분석 지표로서 이미 검증화 된 Space Syntax와 ST 1.0의 분석결과는 두 지표간의 회귀분석 결과 비교적 높은 상관관계(R^2=0.812)를 나타내었다. 이러한 검증을 통해 'ST 1.0의 분석지표 역시 공간구조의 정량화된 지표로서 높은 예측률을 나타낸다.'라는 결론에 설득력을 얻을 수 있다.

둘째, Space Syntax 의 통합도와 ST 1.0에서 나타나는 이용빈도는 실제로 조사된 공간사용 빈도수와의 비교에서 공간구조와 공간이용 목적 또는 패턴에 따라 우리가 기대할 수 있는 높은 예측률을 보여주지 못할 수도 있다. <표 4. 참고>

셋째, 그러나 공간의 깊이가 아닌 공간이용 확률을 기반으로 프로그래밍 되어있는 시뮬레이션(ST 1.0)분석은 실측현황과의 회귀분석을 통하여 분석치를 나타낸 결과, 이 분석이 Space Syntax보다 더욱 높은 예측률을 보였다. <표 5. 참고>

Space Syntax는 깊이(depth)[10]라는 기본단위를 통하여 공간간의 연결도에 따라 공간구조상의 기하학적 위계를 기반으로 하는 정량적인 통합도를 나타내는 방법론이다. 반면, 시뮬레이션 추적(ST 1.0)은 공간구조에서 환이확률 중 6번의 방법인 인접공간 수에 의해 결정된 확률을 기반으로 하며 또한 Space Syntax의 지역적 지표인 연결도와 통제도 산출방식을 확장하는 방법으로 공간의 사용빈도에 관한 수치와 비율을 산출하는 공간분석 방법론이다. 위에서 나타난 결과에서 알 수 있듯이, 시뮬레이션 추적은 Space Syntax 와는 다른 접근에서 공간의 구조를 분석하여 다각적이고 입체적으로 공간의 구조를 분석 활용할 수 있는 방법을 제시하고 있으며 이는 Space Syntax의 통합도보다 더욱 명료한 분석 수치를 얻어 낼 수 있었다.

향후 연구과제로 시뮬레이션 추적은 이동시 공간의 선택에 다양한 방법을 적용하여 분석하는 것이 가능하며, 분석 결과를 효과적으로 이용할 수 있도록 보다 다양한 지표의 개발이 필요하다.

10) 하나의 공간에서 다른 공간으로 이동할 때 거쳐야 하는 최소한의 공간의 수

참고문헌

1. Hillier, B. and Hanson, J., "The Social Logic of Space", Cambridge University Press, 1984
2. Hillier, B., "Space is the Machine", Cambridge University Press, 1996
3. 신건축학대계편집위원회, 신건축학대계 11 - 환경심리 ,대광서림, 1990
4. 백승호, 공간구조가 길찾기에 미치는 영향에 대한 연구, 서울대학교 석사논문, 2002 4
5. 김영욱, 공간형태와 공간인식의 상호관련성 연구, 대한건축학회 논문집, 제16권 10호, 20000
6. 김영욱, Space Syntax를 활용한 공간구조속성과 공간사용패턴의 상호관련성 연구-인사동 지역의 보행자 및 차량 통행량을 중심으로, 대한국토・도시계획학회지「국토계획」제38권 제4호, 2000
7. 박종현, 권영, 이채성. 일제강점기 신도시공간구조 분석-군산시의 사례를 중심으로, 대한건축학회, 제14호, 2006
8. 최재필 외 3인, 확률과정에 기초한 ERAM 이론의 재해석 및 검증, 대한건축학회 20권 11호, 2007
9. Space Syntax 홈페이지 (www.spacesyntax.com)

논문접수일 (2009. 10. 26)
심사완료일 (1차 : 2009. 11. 16, 2차 : 해당없슴)
게재확정일 (2009. 11. 20)