

경로이용행태를 가중한 공간의 3차원 시지각 특성 분석기술*

A Study on the 3-Dimensional Spatial Visibility Features Reflecting the Path use Behaviour

Author 김석태 Kim, Suk-Tae / 정회원, 인제대학교 디자인학부 실내디자인전공 교수, 공학박사

Abstract The probability of visual perception occurrence varies in case the expectation of using each unit space of which the whole space consists because the size of space subject to analysis is very large or the organization is complicated in the analysis of spatial visual configuration. Therefore, it is necessary to compensate space analysis and index measurement by applying weight to the point of view for the probability of experiencing space. This study proposed a method of analyzing visibility ratio by applying the integration of space syntax theory as weight, and grasped the effect in comparison with the visibility ratio when weight was not applied.

Keywords 가시성, 공간구문론, 컴퓨터시뮬레이션, 가중치 보정
Visibility, Spatial Configuration, Computer Graphic Simulation, Value weighted

1. 서론

1.1. 연구의 배경과 목적

“인간이 지각한 공간의 크기와 실제의 물리적인 크기와는 반드시 일치하지 않고 양자 사이에는 차이가 있는 경우가 많다. 공간의 심리적, 지각적 효과에 관하여 실제의 거리와 공간의 크기가 어떠한 차이를 갖고 지각되고 있는가에 대하여 정량적 정성적인 경향을 안다는 것은 공간디자인에 있어서 중요한 지식이 된다.”¹⁾

건축가를 비롯한 공간디자이너들은 경관을 설계하는 과정에서 그 효과를 파악하기 위해 모형이나 투시도 등 여러 가지 매체를 이용하여 사전에 시뮬레이션하곤 한다. 그러나 이러한 방법들은 현실적인 공간과 스케일감에서 차이가 크고 평가의 객관성이 떨어지기 때문에, 보다 과학적이고 정량적인 평가방법이 필요하게 되었다.

1990년대에 접어들면서 공간계획 및 설계과정에 컴퓨터가 본격적으로 도입되면서 급속히 발전하고 있는 공간구조 분석이론은 그래픽기술의 도약에 힘입어 더욱 직관적이고 현실성 있는 데이터를 제시해 줄 수 있게 되었다.

그러나 기존의 공간구조분석이론들은 대부분 평면에 기반을 둔 2차원 분석이론들이기 때문에 입체적 관점에서 다루어져야 할 경관분석에 적용하기에는 여러 가지 한계

를 가지고 있었다. 그것은 단순한 평면분석이라는 한계점 외에도 시점과 조망점을 구분하지 않는 일원화된 측정의 틀, 공간의 구조적 특성과 관련한 행태의 미반영 등이 주요 문제점으로 지적되어 왔다.

본 연구에서는 3차원 컴퓨터그래픽 기술을 이용하여 경관요소와 조망경로의 관계에서 발생하는 시지각도를 측정하고, 조망경로에 행태변수의 가중치를 부여하여 효용적 데이터로 보완하는 방법론을 제안하고자 하였다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서 제안하고 있는 경관분석 방법론은 공간의 가시성 분석에서 활용되어 오던 배티(M.Batty)와 터너(A.Turner)의 가시성그래프(Visual Graph)이론에 기초하고 있다.

배티의 이론은 베네딕트(M.Benedikt)의 가시장(Isovist field)이론을 보완한 것으로서 2차원 격자로 구획된 평면에 균일하게 노드(측정포인트)를 배열시켜 연결도를 측정하는 방식이다. 그러나 이 방식은 입체공간분석에 한계가 있기 때문에, 본 연구에서는 3차원 컴퓨터그래픽 환경에서 노드를 3차원 좌표에 배열시켜 노드간의 가시연결여부를 파악하는 방법을 사용하였다.

그리고 제안된 분석방법론에 예시를 적용하여 가시성분석실험을 수행하였으며, 조망점 설정방법에 따라 2차에 걸쳐 평가 하였다.

* 이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (2012R11A1A2005147)

1) 정무웅, 환경과 공간, 태림문화사, 2001, p.91

1차 분석은 도로선상에 조망점(시점)과 건물벽면에 대상점을 각각 측정포인트로 설정하고, 각 지점 간에 발생하는 시선과 차폐요소간의 관계과약을 통해 순수개방도를 측정하였다.

2차 분석은 모든 시점군을 동일한 조망가능성으로 설정한 순수개방도(1차 분석)에 조망예측값을 가중하여 통합가시도를 산출하고 순수개방도의 결과와 비교평가하였다. 여기에서 가중치로 활용되는 도로의 행태요소(조망가능성)는 공간구문론의 통합도(integration)지표를 활용하였다.

가시도 분석 및 통계에 사용된 분석어플리케이션은 자체제작하였다. 가시성 판독 및 예시공간전체에 대한 분석어플리케이션은 가상현실 전문분야에서 활용되고 있는 OpenGL 3D기술을 적용하였으며, 데이터 정량화 및 세부특성과약은 AutoLisp를 이용하여 캐드상에서 구현하였다.

위의 내용을 정리하면 본 연구는 다음과 같은 측면에서 기존의 연구와 차별된다.

- 1) 3차원 컴퓨터그래픽에 기반한 입체화 경관분석이론
 - 2) 조망점과 대상점을 분리시킨 목표지향적 시각구조분석
 - 3) 공간이용행태를 가중치로 적용한 효율적 데이터 보정
- 적용된 예시공간은 국내에 소개한 모대학 캠퍼스를 모티브로 제작된 가상모델을 사용하였다. 경관 및 차폐요소는 건물로 한정하였으며 경관의 조망은 캠퍼스 내에 위치한 도로에서만 이동하면서 인지하는 것으로 가정하였다.

2. 분석이론의 배경

2.1. 인지와 시지각

인간의 행동은 환경으로부터 받은 정보와 이에 대한 반응의 과정을 반복하면서 이루어진다. 환경정보는 일련의 지각, 기억, 경험, 상상, 판단, 추리 등의 복잡한 과정에 의해 인지되는데, 이러한 인지과정의 최초 자극은 대부분 시지각에 의해 습득된다.

시지각은 환경의 인지를 위한 공간정보의 구성에 가장 많은 정보를 수집하는 감각기관이기도 하다. 그러므로 공간을 이해하기 위해서는 시각적 구조와 특성을 파악하는 것이 매우 중요하며, 현재 연구되고 있는 많은 공간구조분석 이론들도 이러한 시각적 속성에 기반하고 있는 이론이 중심을 이루고 있다.

시지각 속성과 관련하여 정량적 공간구조분석의 토대가 된 이론으로서 김진균(1994)은 건축공간의 3차원적 내외부 공간의 연속성과 그 방향성에 주목하여 시선축의 개념을 도입한 건축공간 해석의 이론적인 체계를 구축하였다. 그는 시지각이 일어나는 3가지 기본인자로 시각, 시각대상, 시각틀을 제시하고 인자간의 관계하에서 시각구조가 형성되는 것으로 보았다.

경관분석의 기초적 메커니즘도 시각구조의 형성에서 시각

되며, 바라보는 조망점(시점)인 관리경관요소와 바라보이는 대상점(시각대상)인 관리조망요소의 관계성에서 비롯된다.

2.2. 공간구문론

“건축이 사회적, 즉 인간의 행동학적 변화에 가장 큰 영향을 받고 있는 점을 고려할 때, 공간과 사회가 이루고 있는 유기적인 관계성이 공간의 분석방법과 해석에 유효한 척도로 작용할 수 있다.”²⁾

“건축 및 도시분야에서 오래전부터 적용되고 있는 공간구문론은 단위공간의 연결관계를 통하여 공간의 구조를 분석하는 방법으로서, 공간구조에 내재되어 있는 사회적 특성을 객관적이고 정량적으로 보여주는 방법론이다.”³⁾

공간구문론은 복잡한 공간의 구조를 노드(단위공간)단위로 분절하고, 각 노드 간을 이동하는데 필요한 방향전환을 공간의 깊이로 산출하여 공간전체의 위계구조를 파악하는 일종의 그래프 이론이다. 그러므로 공간의 연결관계에 기초한 위상구조를 보여줄 뿐, 단위공간의 크기나 거리는 고려하지 않는다. 이 이론은 비정형적으로 변형, 발전된 건축물이나 도시의 형태를 단위공간으로 재구성한 노드간의 관계성을 수리적 방법으로 해석할 수 있으며, 이러한 공간의 재구성과정에서 단위공간의 정의와 단위공간간의 관계성 파악이라는 두 가지 이슈를 중요하게 다루고 있다. 공간의 관계성은 동선의 연결과 시각적 연결관계로 구분할 수 있는데 공간구문론은 공간의 연결관계를 파악함에 있어 동선적, 시각적 연결관계를 모두 고려한다.

산출되는 지표는 공간전체의 위계구조를 나타내는 전역적(global)지표와 각 노드와 주변노드간의 관계성을 나타내는 지역적(local)지표로 구분된다.

핵심지표인 통합도(global integration)는 공간의 위계중심으로 부터의 거리를 나타내는 전역적 개념을 나타내고 있는데, 통합성이 높은 것은 위계상의 중심에 있으며, 그만큼 인식도가 높아짐을 의미한다.⁴⁾

전체통합도의 지역지표인 국부통합도(local integration)는 각 단위공간에서 특정된 깊이까지만의 통합도를 계산한 것이다. 여기에서 깊이란 인간의 인식가능한 방향전환의 평균상수(일반적으로 3)를 의미하는 것으로서, 선행연구들에서는 주로 보행량과 관련이 깊은 것으로 보고 있다.

본 연구에서는 전체통합도와 국부통합도를 경관을 지각하는 주요조망점인 도로로의 접근용이성, 즉 조망가능성으로 설정하여 가중치로 적용하였다.

2) 황미영, 임재진, Space Syntax Model에 의한 공간해석방법에 관한 고찰, 한국박물관건축학회논문집 통권2호, 1999, p.90

3) 김석태, 건축공간구조의 다차원적 분석모델에 관한 연구, 한양대 박사논문, 2008, p.40

4) 이와 관련하여 김영옥(2001)은 전체통합도가 0.4에서 0.6인 경우에는 공간이 상호분리되어 있는 분리성이 강하고 반면에 1보다 크면 공간들이 서로 통합되어 있는 통합성이 크다고 보았다.

2.3. 가시성그래프이론

본 연구의 분석개념의 기반이 되고 있는 가시성그래프(Visual Graph)이론은 1979년 베네딕트(M.Benedick)가 제안한 가시장(Isovist Field)이론과 힐리어(B.Hiller)의 공간구문론의 개념을 포괄하는 것이다.

“가시장이론의 아이디어는 페포니스 그룹에 의해 개발된 스파셜리스트(Spatialist) 소프트웨어를 사용하게 되었는데, 여기에 사용된 개념은 힐리어의 연구를 위한 과도기적 논문으로 이해되었다. 최근의 터너(Turner, 2001), 배티(Batty, 2001), 달튼(Dalton, 2001), 래티(Ratt, 2002)의 연구에서는 가시영역 그래프, 시선추적, 동작기반모형, 이미지 분석을 이용한 도시와 건물의 형태학에 대한 대안으로서 가시장이론의 개념을 재조명하고 있다.”⁵⁾

2001년 배티는 도시경관 분석을 목적으로 탠디(Tandy, 1967)가 제안한 뷰셰드(Viewshed)를 기반으로 하는 래스터(raster) 방식의 가시장 분석기법을 제시한바 있다.

“이 방법은 일정범위 내의 공간을 동일크기의 격자로 분할한 뒤 특정 지점에서 360도 방향으로 방사된 시선에 보이는 격자들의 수량이나 범위 등으로 계량화 하는 방법으로서, 가시영역의 면적이나 경관의 복잡도 등은 다양한 척도로서 활용가능성이 있다.”⁶⁾

같은 해인 2001년 터너(Turner)는 배티의 래스터방식의 가시장이론에 공간구문론의 깊이(depth)개념을 도입하여 가시성그래프이론(Visual Graph Analysis)을 제안하였다. 가시성그래프이론은 건축적 구성과 사용자간에 지속되는 공간 인지과정은 본질적이라는 전제하에 공간구조에 있어 시야성과 접근성의 관계를 가치중립적 기준으로 규명하고자 한 것이다.

“이 이론은 물리적 거리가 아닌 오로지 시각적 연결관계만을 중시하고 있다. 즉, 공간을 이용하는데 있어 중요한 것은 이동할 때 발생하는 물리적 노력이 아닌 이동에 필요한 추가정보의 습득여부라는 전제를 가지고 있다.”⁷⁾

본 연구에서는 조망점에서 대상점으로의 가시도(개방도) 측정하는 과정에서 가시성그래프이론의 1차 분석의 개념을 도입하였다.

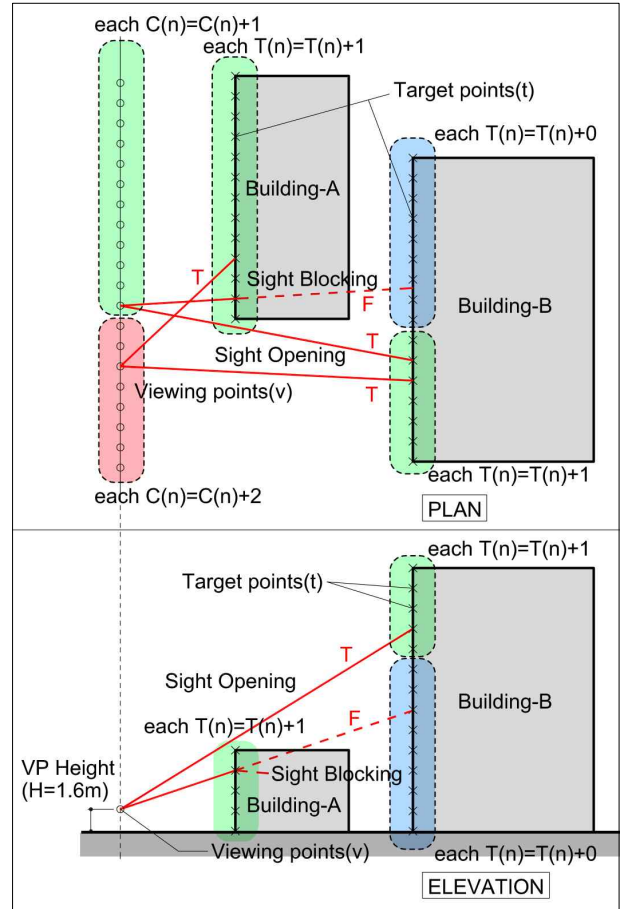
따라서 가시성그래프이론과 동일하게 시야각과 거리특성은 분석에 포함되지 않는다. 즉 각 조망점에서는 시야각의 제한 없이 수직수평360도의 범위에 들어오는 모든 대상점에 대하여 시지각 기회를 갖게 되며, 시점과 대상점간의 거리 제한 없이 시선이 연결되면 모두 가시성이 인정되는 것으로 간주한다.

3. 분석알고리즘의 제안과 구현

5) 조극래, 박몽섭, 외기인접방식별 공동주택 단위평면 특성분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 22권1호, 2006, p.69
 6) 김충식, 이인성, 3D-Isovist를 이용한 도시경관 분석 기법 연구, 한국도시설계학회, 추계학술대회논문집, 2003, p.434
 7) 김민석, 공간의 가시성에 기반한 ERAM모델, 서울대 석사논문, 2006, p.22

3.1. 3차원 가시성 분석알고리즘

본 연구에서 제안하고 있는 분석방법의 기본개념은 <그림 1>과 같이 측정 포인트를 등간격으로 분포시켜, 각 측정지점간에 발생하는 시선의 연결여부를 반복적으로 파악하여 나가는 일종의 복잡계 시뮬레이션 분석방식이다.



<그림 1> 분석개념

분석절차는 다음과 같다.

우선 분석대상공간을 3차원으로 모델링하고, 조망점과 대상점 3차원 좌표상에 각각 측정포인트를 설치한다.

측정지점은 도로선상에 배치되는 조망점과 건물벽면에 배치되는 대상점으로 속성을 구분하며, 상호간에 발생하는 시선선분벡터가 건물과 같은 차폐요소(모델링 데이터)에 의해 차단되는가를 시선별로 반복 판별하여 각 측정포인트마다 시각적 연결값을 누적시켜 최종 결과를 3차원 그래프로 재현시킨다. 이 과정에서 건물은 관리경관요소(조망대상)임과 동시에 차폐물로 역할을 하게 된다.

분석연산은 조망점에 행태가중치 대입여부에 따라 2차에 나누어 진행하였다.

1차 분석은 대상점에 대하여 시점이 연결되었을 때 도로의 예상이용빈도와 무관하게 시각적 특성을 동일하게 보는 순수개방도 분석이다. 다시 말해 경관요소⁸⁾에 대한 모든 시

8) 본 연구에서는 관리경관요소를 건물로 한정하고 있다.

점이 갖는 가치를 동등하게 1로 간주하는 것이다.

2차 분석은 시점의 조망기회에 변수를 주는 것으로서 각 시점으로서의 접근가능성 또는 예상이용빈도에 공간구문론의 통합 개념을 도입하여 가중분석하는 것이다.

조망점과 대상점간에 발생하는 모든 시선에 대하여 연결된(차폐되지 않은) 시선의 비율을 모델의 개방도(openness index)로 정의하였다. 개방도는 가중치가 적용되지 않은 순수개방도(O_G)와 가중치가 적용된 통합개방도(O_W)로 구분하였으며, 통합개방도의 가중치는 공간구문론의 전체통합도와 국부통합도(깊이3)를 적용하였다.

시선의 개방(시각적 연결)여부를 판별하는 방식은 다음과 같다.

가상공간에 3차원 면(triangle face)⁹⁾으로 구성된 가상의 건물을 모델링하고, 여기에 계획된 조망점과 대상점에 측정포인트를 배열한다. 그리고 모든 조망점과 대상점간의 시선벡터와 차폐물을 구성하는 3차원 면간의 교차관정(intersection)을 통해 교차가 이루어지지 않을 경우 개방되어 있는 것(T)으로 판단하여 누적값을 증가시키고, 교차된 경우(F)에는 누적시키지 않는다. 이러한 과정을 반복하여 모든 측정지점에 대한 누적값(시선연결빈도)을 산출해 내고, 이를 직관적인 분석이 가능한 3차원 컴퓨터그래픽 정보와 정량적인 가시도 분석데이터로 얻어내었다.

분석어플리케이션은 OpenGL기반의 범용 게임엔진인 일리히트(Irrlicht) 버전1.4을 활용하여 자체 제작하였다.

시점과 대상점간의 시각적 연결여부 판정은 광선추적(ray-tracing)알고리즘을 응용하였으며, 이는 일반적인 게임엔진들이 제공하고 있는 충돌감지(collision detection)알고리즘과 매우 유사하다.¹⁰⁾

건물모델링 및 조망점, 대상점은 AutoCAD에서 스크립트 방식으로 입력할 수 있도록 하였으며, 측정포인트는 AutoLisp의 행출력(write-line)함수를 이용하여 ASCII포맷으로 덤프하도록 하였다.

본 연구에서는 건물을 조망하는 시점을 도로면으로 한정하였다. 일반적인 공간구조론에 의하면 도로의 폭은 큰 의미가 없으며, 각 도로에 통과하는 사람의 수만 의미를 갖게 된다. 이를 공간구문론의 통합의 개념에 대입하였으며 본 연구에서도 각 도로를 시각적 기준으로 분절시킨 선분(axial line)으로 변환하여 입력하였다.

최종 분석데이터는 일리히트의 2D그래픽엔진을 이용하여 컬러바의 형식으로 출력이 가능토록 하였으며, 특정한 포맷으로 계획된 ASCII형식의 파일로 덤프하고, 이를 AutoCAD에서 다시 임포트하여 통계데이터를 추출하였다. 이는 결과데이터가 3차원 구조를 가지고 있기 때문에

9) 3차원 컴퓨터그래픽에서는 모든 면(polygon)을 3개의 정점(vertex)을 가진 삼각면(triangle)로 세분하여 기본 단위로 삼는다. 각 정점은 3차원 좌표를 가짐과 동시에 색상속성을 가지게 된다.
10) 시각 차폐판정은 컴퓨터 모델링된 건물(차폐물)의 각 폴리곤을 3차원 면으로 분해하고, 각 정점(vertex)의 좌표식에서 산출된 내적값과 시선의 법선(선분벡터)간의 관계식을 통해 교차여부를 판독하였다.

범용적인 통계패키지에서는 처리가 어렵기 때문이다.

3.2. 가중치의 적용방법

앞에서 언급한 바와 같이 도로의 행태속성(조망가능성)을 산정함에 있어서 공간구문론의 통합도를 변수로 활용하였다. 공간구문론은 본 연구의 근간을 이루는 가시성 그래프이론이 공간구문론과 동일한 공간의 깊이개념을 적용하고 있으며, 모태가 같은 가치중립적 특성측면에서 지표로 적용하기에 가장 타당한 것으로 판단하였기 때문이다.

공간구문론 분석어플리케이션은 서울대학교 건축도시공간연구소(LAUS)에서 개발한 S3 Axial Analyzer v2.0을 이용하였으며, 산출된 통합도를 캐드시스템에 입력하여 가시도 분석어플리케이션으로 전송하였다.

통합도의 산출방식은 지속적으로 연구되고 보완되고 있지만, 가장 일반적인 함수를 사용하였다. S3에 적용되고 있는 통합도 $I(i)$ 와 보정계수는 다음과 같다.¹¹⁾

$$\text{통합도 } I(i) = \frac{2}{n-2} \left(\frac{\sum_{k=1}^n d(i,k)}{n-1} - 1 \right) D_n$$

$$\text{보정계수 } D_n = \frac{6.644n \times \log(n+2) - 5.17n + 2}{(n-1)(n-2)}$$

$d(i,k)$: i 노드에서 k 노드까지의 깊이
 n : 노드의 총 개수

<그림 2> 연구에 적용된 표준통합도 산출공식

3.3. 평가지표의 설정

본 연구에서는 분석결과를 평가하기 위하여 몇가지 지표를 설정하였다.

순수개방도(O_G)는 각 조망점과 대상점간에 발생하는 시선 중에 차폐물에 시선이 차단되지 않고 연결되는(보여질 수 있는) 비율로 정의하며, 이는 조망관리요소와 관리경관요소가 서로 매칭이 잘되고 있는가를 파악할 수 있는 지표로 활용될 수 있다.

통합개방도(O_W)는 조망점의 이용예측빈도를 감안하여(가중치를 적용하여) 순수개방도를 보정한 것이다. 통합개방도를 산출하는 과정에서 전체통합도를 반영한 것을 전체통합개방도 $O_{W(i)}$, 국부통합도(깊이3)를 반영한 것을 국부통합개방도 $O_{W(r,3)}$ 로 구분하였다.

부분시각도(pv)는 특정한 부분의 개방도로서, 일정범위의 측정포인트가 가능한 시선에 대하여 차폐물에 의해 가려지지 않은(개방된) 비율을 나타낸다. 이 지표는 조망점과 대상점에서 각각 측정이 가능하다.

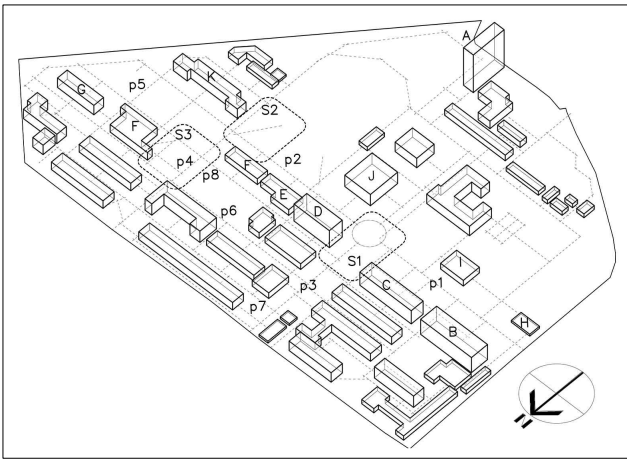
위의 지표들은 시선전체에 대한 연결빈도를 나타내는 것이므로, 상대적 평가지수 즉 백분율로 산출된다.

11) 최재필, 최현철, 조영진, 조형규, 김민석, 공간분석 통합 소프트웨어 개발 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 21권 10호, 2005, p.156

4. 실험 및 결과

4.1. 예시모델의 설정과 분석루틴

가시성분석실험을 위한 예시모델은 국내에 소재한 모대학의 캠퍼스를 모티브로 하였다.<그림 3> 다만 본 연구는 실제공간에 대한 경관평가를 목적으로 하는 것이 아닌 3차원 가상공간을 이용한 입체적 시지각 특성파악의 가능성을 파악하기 위한 것이므로, 현장실측을 하지 않고 구글에서 제공하는 지리정보시스템의 데이터를 토대로 모델링하는 수준으로 구축하였다.



<그림 3> 예시공간

대지의 최대크기는 785m(x)×559m(y)으로서 전체적으로 높낮이가 없는 평지로 되어 있다. 수십동의 건물 및 구조물 중 가시성에 영향을 줄 수 있는 규모의 주요건물 45개 동을 차폐요소로 설정하여 모델링하였다. 이는 측정포인트를 1미터 간격으로 설정했기 때문에 측정포인트가 최소 4개 이상 설치되지 않는 작은 요소나 시간적 가변성을 가지는 요소는 입력하지 않은 것이다. 따라서 입간판이나 가로수와 같은 요소는 배제되었다.

대상점의 측정포인트는 45개 동의 건물벽면에 가로, 세로, 높이 각 1미터 간격으로 총 150053개를 설치하였다.¹²⁾

건물에 대한 조망은 도로에서 발생하는 것으로 하였으며, 도로는 중심선을 기준으로 123개의 축선으로 정의하였다. 이는 가중치 적용 분석을 위해 사용되는 공간구문론의 결과데이터와 기준을 일치시키기 위함이다.

조망점은 도로축선을 따라 1미터 간격으로 모두 9464개를 설치하였다.¹³⁾ 따라서 분석을 위해 정의되는 시선은 약 14억 개(9464×150053)가 발생하게 되고 이 시선은 모델데이터의 각 면에 대하여 수행하므로 연산시간이 폭증할 수 있다. 그러므

12) 지붕면은 시각적 차폐 및 조망요소로 의미가 없기 때문에 측정지점을 설치하지 않았다.

13) 측정포인트 중 조망점은 도로중심선을 따라 1m간격으로, 대상점은 건물의 모든 표면에 1m간격으로 설치하였다. 이 측정포인트의 간격은 좁을수록 분석결과값은 더욱 세밀하게 얻을 수 있다.

로 차폐모델의 3차원 데이터는 623개의 면(triangle face)으로 최대한 단순하게 모델링하였다.

그럼에도 14억개에 대한 시선을 모든 차폐요소에 대하여 교차평정을 하게 되는데, 모든 면은 노멀벡터(normal vector)를 가지고 있기 때문에 면의 양방향의 교차여부를 각각 체크하기 위한 2번의 연산이 필요하므로 약 1조 7천억회의 가시성 평정을 반복수행(loop)하여야 한다.¹⁴⁾

4.2. 순수개방도 분석(1차) 결과

(1) 순수개방도분석

가중치를 적용하지 않은 순수개방도(O_c) 분석에서 150053개의 대상점에 대한 각 조망점 측정포인트의 누적값은 최소 905회에서 최대 33277(평균 17821.76)로 나타났다. 즉 가시성이 가장 낮은 조망점은 전체 건물벽면 중 0.6%를, 가장 높은 조망점은 22.17%를 관찰할 수 있음을 보여주고 있다.

대상점에 설치된 측정포인트는 최소 0회에서 최대 5461회(평균 11233.8)의 누적값이 나타났다. 따라서 도로상에 가장 많이 개방된 지점(벽면)은 모든 조망점에 대하여 3.64% 노출되고 있음을 의미한다. 반대로 도로상에서 전혀 노출되지 않는 부분도 있는 것으로 나타나는데, 이러한 측정지점은 전체의 0.84%(1260개)로 모두 대지의 외곽벽면부분인 것으로 파악되었다.

이를 종합하면 예시모델의 순수개방도는 조망점측과 대상점측 모두 동일하게 11.88%로 계산되는데, 그 이유는 개방도가 시선의 수를 기준으로 하며 시선은 조망점과 대상점 각 1개씩이 쌍(pair)이 되기 때문이다. 다시 말해 순수개방도에서는 시선이 연결되면 조망점과 대상점 모두 누적값이 동일하게 증가한다.

개방도가 높을수록 도로와 건물간의 상호 시지각 효율이 높다고 할 수 있다.

(2) 건물대상점별 부분시지각도(p_v)

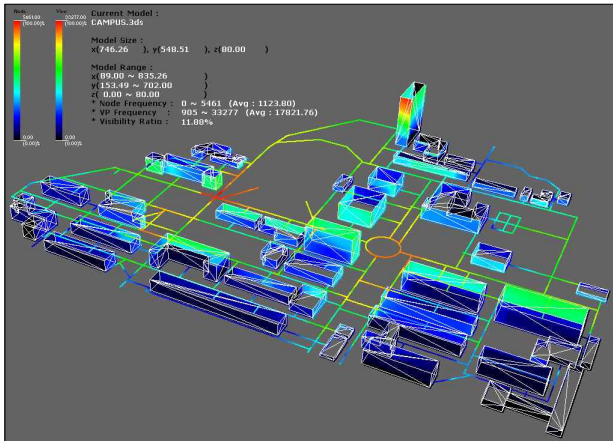
시지각도는 측정포인트의 수에 따라 누적값에 변화가 크기 때문에 공간의 시각적 위상관계를 판단하기 위하여 상대값으로 환산하였다. 즉, 가장 시지각도가 높은(가시누적이 가장 높은) 노드를 100으로 보았을 때의 백분율로 환산하여 <그림 4>와 같이 3차원 공간에 플로팅하여 공간의 시지각적 위상중심을 파악하였다.

건물에서는 A동 벽면 (1458포인트 평균 61.41%)이 가장 높게 나타났으며, 층별로 시지각도의 차이가 커서 상층으로 올라갈수록 인지성이 높게 분석되었다. 또한 도로p1과 p2에 인접한 벽면의 부분시지각도(p_v)가 높게 나타났는데, B동 남측(3069pt 평균 51.58%), C동 남측(2726pt 평균 42.7%), D동 남측(2442pt 평균 48.35%), E동 남측(780pt 평균 46.63%), F동(780pt 평균 48.10%), G동(1003pt 평균

14) 반복평정을 위한 루프 인덱싱 C 는 면 $F(i)$ 에 대하여 시점 v 와 대상점 t 에 의해 발생하는 시점 $S(v,t)$ 의 3차원벡터 $2C(i,v,t)$ 가 된다.

30.69%), F동(1407평균 21.07%)순으로 서측으로 갈수록 높게 측정되었다. 이는 서측에 비하여 동측의 도로가 더욱 밀집된 것을 반영한 것으로 보인다.

이 도로와 마주보고 있는 남측건물들의 북측벽면은 H동(170pt 평균33.81%), I동(546pt 평균 37.48%), J동(1200pt 평균44.22%), K동(2457pt 평균40.33%)으로 서측은 낮게, 동측은 상대적으로 높게 나타났다.

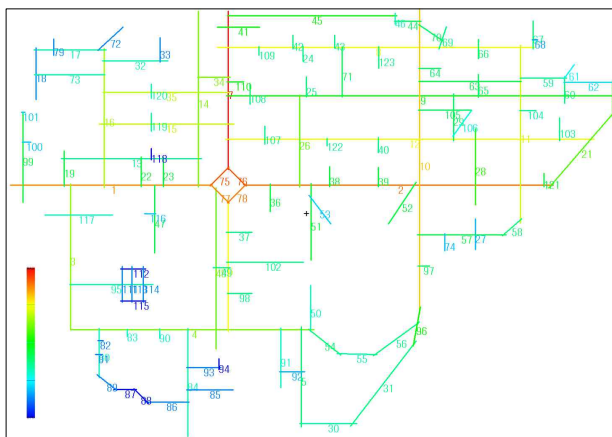


<그림 4> Visibility Access(None Weighted)

4.3. 도로의 개방도와 통합도의 비교

도로의 조망가능성을 예측하여 가중치로 적용하기 위해 공간구문론을 분석을 수행하여 123개 도로축선의 전체통합도와 국부통합도를 산출하였다.

산출결과 광역적 지표인 전체통합도는 최대 2.0에서 최소 0.8로 나타났다. 이는 위상중심에 있는 도로가 위상 최외곽 도로보다 2.5배 정도 통합성이 높음을 의미한다.



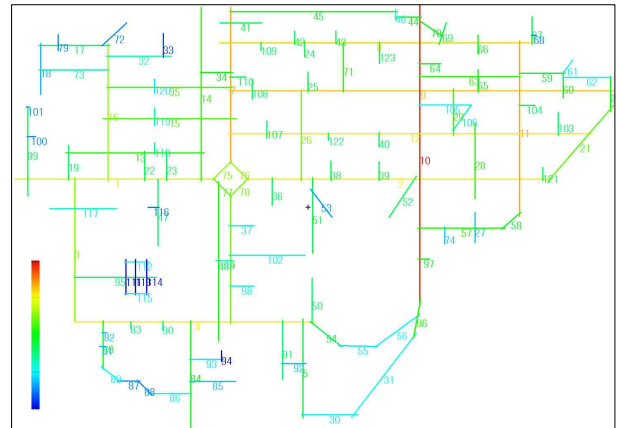
<그림 5> Space Syntax(Global Integration)

<그림 5>는 공간구문론의 전체통합도(i)를 나타낸 그래프로서¹⁵⁾, 서측교차로(S1)를 중심으로 북측도로p3(i=1.98)가 가장 높고 동서를 잇는 도로p1(i=1.82), p2(i=1.86))가 그 다음으

15) 서측 교차로(로터리)의 형태가 가시성분석에서는 원형인 반면, 공간구문론 분석에서는 다이어몬드형으로 나타난 것은 공간구문론의 모든 노드는 시각적으로 개방된 직선으로 노드화 시키기 때문이다.

로 높게 나타나고 있다. 이는 S1영역을 위시한 북측도로와 동서간선도로가 전체 대지의 위상의 중심이 됨을 의미한다.

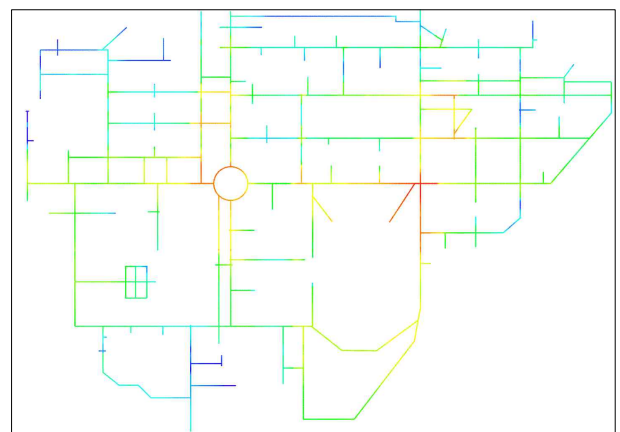
지역적인 지표인 국부통합도는 최대3.4에서 최소0.5로 나타나, 보행통행량의 가중치는 전체통합도보다 큰 최대 6.8배의 차이를 보이는 것으로 분석되었다.



<그림 6> Space Syntax(Local Integration, r = 3)

<그림 6>은 국부통합도(r=3)를 분석한 그래프이다. 남북을 잇는 간선도로들 p4(r=3.38), p3(r=2.95) p5(r=2.93)에서 높게 나타나고 있다. 동서방향의 간선도로는 전체통합도 분석에서 높게 나타난바 있는 p1과 p2보다 오히려 p3, p4, p5를 연결하는 p6(r=2.84)), p7(r=2.81), p8(r=2.74)가 높아서 동북측 영역에 보행량이 상대적으로 집중될 것으로 예측되었다. 이는 보행통행이 많은 곳은 그만큼 대지를 조망할 확률이 높다는 전제에서 설정한 것이다.

전체통합도와 국부통합도 분석결과를 종합하면 공간의 전체위상구조는 서측광장(S1)을 중심으로 형성되어 있으나, 도로의 통행패턴은 동측광장의 북측영역(S3)를 중심으로 이루어지는 것으로 파악할 수 있다.



<그림 7> Visibility by Buildings(pv)

<그림 7>은 본 연구에서 제안된 방법으로 도로축선상에 설치된 조망점 측정포인트들의 각 시선연결 누적값을 최대값에 대한 백분율(pv)로 그래프화시켜 평면으로 재현한 것이다. 이를 통하여 도로의 각 지점별 단지내 건물로

의 시각적 접근성을 파악할 수 있다.

이 결과를 공간구문론의 종합결과와 비교하여 보면 두 특성이 모두 나타나 있음을 알 수 있다. 서측의 교차점(S2, 203pt 평균 91.51%)이 가장 시지각성이 높고 동측광장(S1, 216pt 평균 85.77%)과 북부광장(S3, 332pt 평균 76.25%)이 그 다음으로 높게 나타나고 있다. 이를 역으로 해석한다면 대지내 모든 지역에서 전체건물을 인지하기에 가장 유리한 지역이 S2영역이며, 그 다음으로 S1, S3의 순으로 일정한 영역이 형성되어 있다고 할 수 있다.

기존의 이론이 도로만의 관계성을 고려하여 동선상의 위계구조를 파악할 수 있는 반면에 본 연구에서 제시하는 방법은 시각적 영향을 미치는 요소들에 의해 형성된 공간의 시지각 중심점을 파악할 수 있음을 알 수 있다.16)

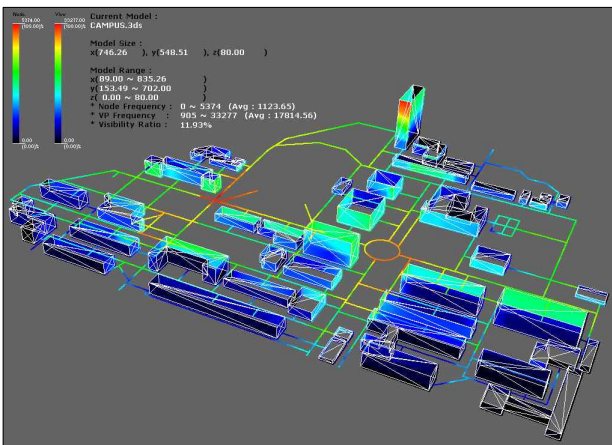
4.4. 가중치를 적용한 시각구조분석(2차 분석)

위의 통합도 데이터를 축선상에 배열된 각 조망점에 가중치로 입력하여, 동일한 방법으로 분석연산을 하였다.

순수개방도에서는 모든 조망점이 1이라는 동일한 기회값을 가지므로 연결빈도가 횡수(정수)로 나타나지만 가중치를 적용한 통합개방도의 경우 각 측정포인트는 횡수가 아닌 통합도의 누적(실수)으로 나타나게 된다.

(1) 전체통합도의 가중치 적용

전체통합도에 대한 분석결과 각 대상점은 최소 0에서 최대 5374(평균 1123.65)만큼의 시선연결이 이루어졌으며, 조망점에서의 시지각도는 최소 905에서 최대 33277(평균 17814.56), 이를 종합한 통합개방도는 11.94%로 나타났다.<그림 8> 이 수치는 가중치를 반영하지 않은 순수개방도보다 0.06%상승된 것으로서 대지 전체에서는 큰 차이를 보이지 않은 것이다.



<그림 8> Visibility Access(Global Integration)

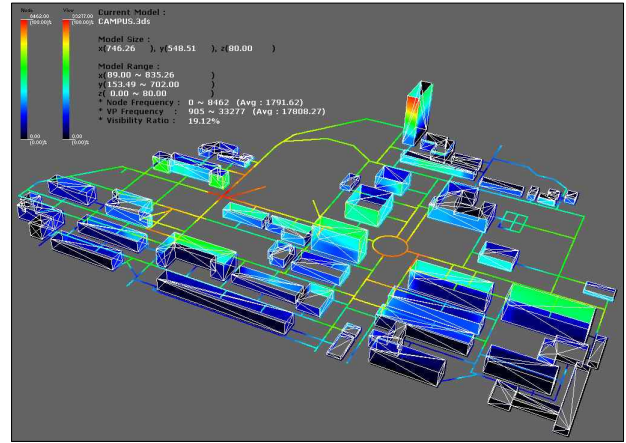
(2) 국부통합도의 가중치 적용

국부통합도를 각 조망점의 가중치로 적용하였을 때, 각

16) 공간구문론에서는 도로의 연결관계만을 고려하기 때문에 경관요소나 차폐물의 영향은 반영되지 않는다.

대상점의 누적값은 최소 0에서 최대 8462(평균 1791.62)이며, 조망점에서의 누적값은 최소 905에서 최대 33277(평균 17814.56)이다.<그림 9>

이를 종합한 통합개방도는 19.12%로서 가중치를 반영하지 않은 순수개방도에 비하여 7.24%상승된 것으로, 전체통합개방도에 비하여 크게 상승한 수치이다.



<그림 9> Visibility Access(Local Integration, R=3)

4.5. 건물별 비교분석

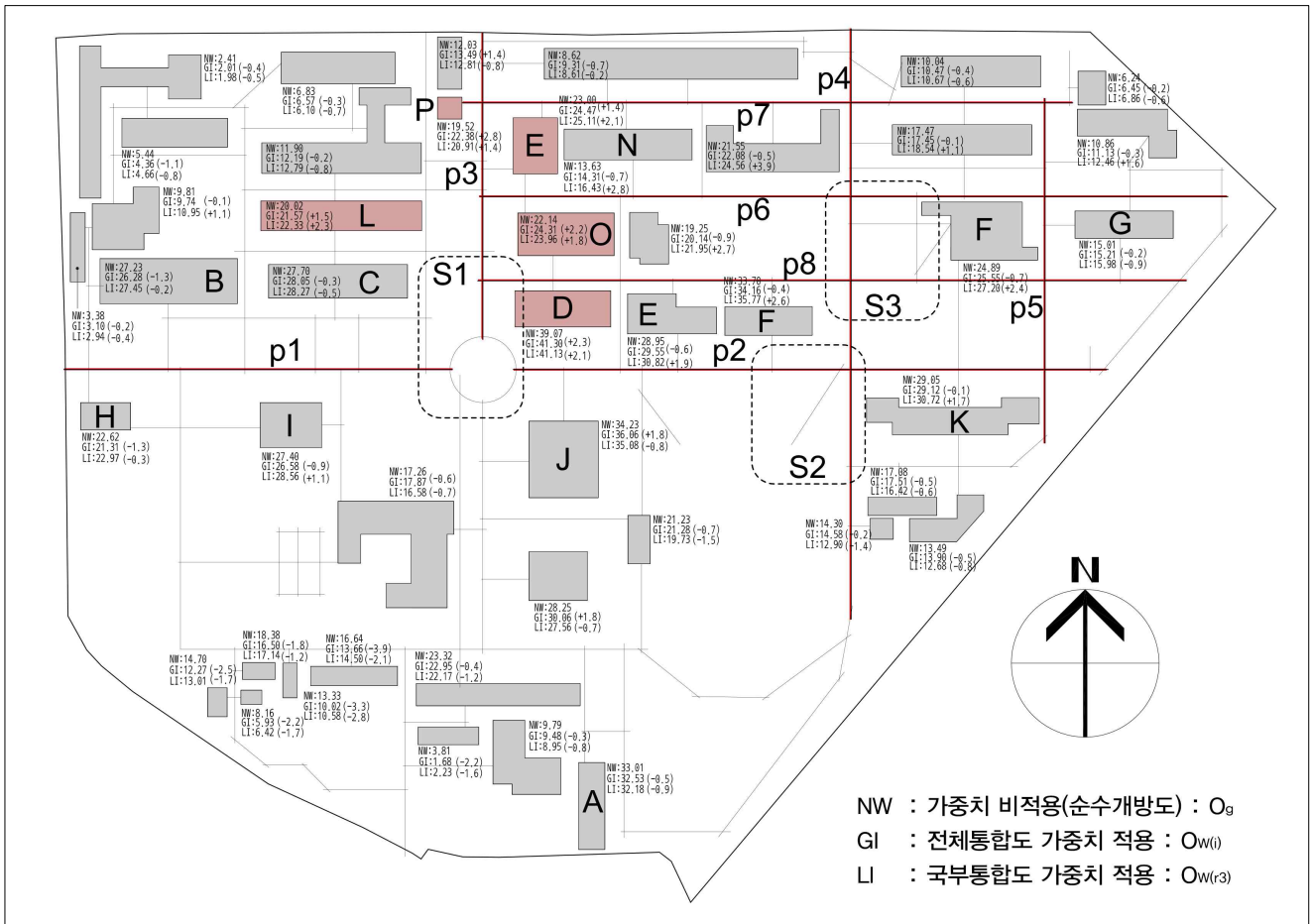
<그림 10>은 순수개방도와 전체통합개방도 $O_{W(i)}$, 국부통합개방도 $O_{W(r3)}$ 분석시 나타나는 각 동별 부분시지각도(pv)의 증감을 종합한 것이다.

순수개방도(O_C)와 비교하였을 때, 전체통합개방도 $O_{W(i)}$ 와 국부통합개방도 $O_{W(r3)}$ 가 모두 증가하는 것은 D동($O_{W(i)}:-2.3, O_{W(r3)}:-2.1$), E동($O_{W(i)}:-1.4, O_{W(r3)}:-2.1$), L동($O_{W(i)}:-1.5, O_{W(r3)}:-2.3$), O동($O_{W(i)}:-2.2, O_{W(r3)}:-1.8$), P동($O_{W(i)}:-2.8, O_{W(r3)}:-1.4$)등 5개 동으로서, 통합성이 높은 도로가 밀집된 지역에 위치하고 있다.

반면에 남측에 위치한 소규모 건물들은 크게 감소하는 경향을 보이는데, 도로의 밀도와 통합도가 낮기 때문인 것으로 보인다.

$O_{W(i)}$ 는 37개동이 대부분 감소한 반면에 8개 동만 증가하였으며, $O_{W(r3)}$ 는 29개동이 감소하고 16개동이 증가하였다. 완전한 일관성을 확인할수는 없지만 $O_{W(i)}$ 가 감소하는 건물은 대체적으로 도로가 분산되어 있는 남측지역이며, $O_{W(r3)}$ 가 감소하는 건물은 남북측의 외곽지역에 주로 분포하고 있다.

대지의 외곽면에 위치하여 순수개방도가 떨어졌던 건물들은 도로축과의 정렬방향에 따라 감소폭이 다른 것으로 나타났다. 건물의 장방향이 도로면에 면해있는 경우에는 감소폭이 작고, 직각방향으로 배치된 경우에는 감소폭이 컸다. 이를 종합하면, 도로 예측이용빈도가 주는 영향 외에도 건물의 배치형태가 상당히 큰 영향을 미치고 있음을 시사하는 것이다.



<그림 10> 순수개방도와 통합개방도 분석결과 건물 동별 부분시각각도의 증감비교

5. 결론

경관분석의 기초데이터인 공간의 시각적 특성을 얻기 위해서는 조망점의 형태, 밀도, 통합성, 차폐물의 밀집도와 형태, 경관대상물의 규모와 형태 등 고려해야 할 사항이 매우 많다. 다양한 요인들이 미치는 영향을 수학적으로 정의하기는 거의 불가능에 가깝기 때문에 본 연구에서 제안하는 복잡계 시뮬레이션 분석방법이 대안이 되어 줄 것으로 기대하였다. 이에 3차원 공간과 측정포인트를 이용한 시각구조 분석방법론을 제안하고 예시모델을 이용하여 분석시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통하여 각 도로와 건물의 시각적 특성을 정량적으로 산출해 낼 수 있었으며, 그래프로 재현하여 직관적인 평가도 가능함을 알 수 있었다.

또한 예시모델을 구축된 분석어플리케이션에 적용하여 실험하는 과정에서 다음과 같은 몇가지 부가적 과제를 얻을 수 있었다.

첫 번째, 건물의 높이를 고려한 입체화된 시각구조분석 및 정량적인 개방도 추출이 가능하였으므로 3차원 분석에서는 건물의 높이뿐만 아니라 경사지환경에서도 분석도 가능할 것임을 예상할 수 있다.

두 번째, 행태반영을 위해 조망점의 예측가능변수로 통합도를 가중치로 적용하였을 때 건물의 시각각도에 일부 변화가 있었다. 이러한 변화에는 건물의 형태와 밀집도가 도로의 통합성보다 다소 큰 영향을 주는 것으로 보인다. 다만 하나의 예시모델에 적용한 것일 뿐이므로 차폐물의 밀집도와 도로의 통합도 관계를 주제로 하는 좀 더 면밀한 후속연구가 필요하다.

세 번째, 가시거리의 한계가 고려되어 있지 않기에 이론적으로 실효성이 떨어지는 부분이 있다. 어플리케이션을 제작할 때에는 근거리 한계와 원거리 한계의 변수를 설정할 수 있도록 하였지만, 거리에 따른 시각감소 효과를 판단하지는 못한다. 따라서 인간의 보편적 시각특성에 대한 연구와 함께 거리에 따른 가시한계에 대한 보완적 연구는 의미를 가질 것이다.

네 번째, 비교적 단순한 모델을 적용하였지만 연산에 상당한 시간이 소요됨을 알 수 있었으며 이를 위해서는 교차판정 알고리즘의 개선, 분산연산 방식 등의 개선연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구는 방법론을 제안하고 하나의 예시에 대입하여 적용가능성을 타진한 것이므로, 사례의 비교결과가 당장

특별한 의미를 가지지는 못한다. 다만 방법론과 이론을 계속 보완해 나간다면 경관영향 평가나 랜드마크 입지선정 등의 객관적 평가에 응용될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

참고문헌

1. 정무용, 환경과 공간, 태림문화사, 2001
2. 김민석, 공간의 가시성에 기반한 ERAM모델, 서울대 석사논문, 2006
3. 김석태, 건축공간구조의 다차원적 분석모델에 관한 연구, 한양대 박사논문, 2008
4. 김영욱, 공간형태와 공간인식의 상호관련성 연구, 대한건축학회 논문집(계획계) 16권 10호, 2000
5. 김진균, 시각구조분석에 의한 건축공간의 해석에 관한 연구, 대한건축학회논문집 10권 12호, 1994
6. 김충식, 이인성, 3D-Isovist를 이용한 도시경관 분석 기법 연구, 한국도시계획학회, 2003 추계학술대회논문집
7. 조극래·박몽섭, 외기인접방식별 공동주택 단위평면 특성분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계) 22권 1호, 2006
8. 최재필, 최현철, 조영진, 조형규, 김민석, 공간분석 통합 소프트웨어 개발 연구, 대한건축학회논문집(계획계) 21권 10호, 2005
9. 황미영, 임채진, Space Syntax Model에 의한 공간해석방법에 관한 고찰, 한국박물관건축학회논문집 통권2호, 1999
10. B.Hillier, A.Leaman, P.Stansall, M.Bedford, Space syntax. Environment and Planning B: Planning and Design, 3(2), 1976
11. M. Batty, Exploring isovist fields: space and shape in architectural and urban morphology, Environment and Planning B: Planning and Design 28(1), 2001
12. A.Turner, M.Doxa, O.Sullivan, A.Penn, From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space, Environment and Planning B; 28(1), 2001

[논문접수 : 2015. 02. 27]

[1차 심사 : 2015. 03. 20]

[게재확정 : 2015. 04. 03]