

공간탐색경로에 따른 3차원 시각구조 도출과 정량적 개방도 측정에 관한 연구*

A Study on the Deduction of 3-Dimensional Visual Structure and measurement of Quantitative Openness in Accordance with Spatial Probe Routes

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

Abstract Human can recognize the environment by detecting spatial perception, and most of environmental perception depends on visual perception. In view that the acquisition of spatial information is accomplished through visual recognition, analysis of visual structure contained in the space is thought to be very important sector in studying the characteristic of the space. The history of studies on visual structure of space, however, wasn't too long, and furthermore most of the theories up to now focused on static and planar principles. Under this circumstance, this study is intended to suggest new theory by combining Isovist theory and VGA theory that have been actively discussed as the theory on visual perception- based spatial structure and supplementing them between each other to expand into 3-dimensional model. The suggested theory is a complex principle in dimensional and dynamic form in consideration of visual direction, which forms 3-dimentional virtual model that enables visualization of the property of spatial structure as the routine discriminating whether visual connection is made between viewing point and target point, and the target point is included in the visual field quadrangular pyramid or not.

Such model was built up by an analysis application where four probe paths were applied to simulate the visual structure that occurs in virtual space, and then the characteristics were analyzed through quantification. In result, in spite of the path with equal space and equal length, significant difference in the acquired quantity of spatial information could be found depending on the probe sequence. On the contrary, it was found that probe direction may not affect the acquired quantity of information and visual property of the space.

Keywords 가시영역, 공간분석, 그래프이론, 3D그래픽엔진
Visibility Field, Spatial Analysis, Graph Theory, 3D Graphic Engine

1. 서론

1.1. 연구의 배경과 목적

인간은 공간을 지각함으로서 환경을 인식할 수 있고, 지각의 대부분을 시각적 정보에서 얻어진다. 시각적 정보는 다른 감각의 정보보다 구체적이며, 같은 시간에 비해 많은 정보를 받아들일 수 있도록 되어 있다는 사실은 많은 연구를 통해 익히 알려진 사실이다. 따라서 공간의 특성을 파악함에 있어서 그 공간이 가지는 시지각적 구조를 파악하는 것은 매우 의미있는 연구라고 할 수 있지만, 이

에 대한 연구의 역사는 그리 길지 않다.

공간구조와 관련한 연구는 1960년대 후반에 이르러 연구되기 시작하였으나, 시각적 속성과 관련한 연구가 비로소 체계적인 틀이 잡히기 시작한 것은 1980년대 들어와서부터이다.

이후 공간의 시각적 구조를 파악하고자 하는 연구들은 급격히 증가하고 있으나 현재까지의 연구들은 대부분 이미지분석과 같은 평면(2차원)적 수준에 머물고 있는 것이 사실이다.

시지각 구조의 분석방법론의 또 하나의 문제는 분석과정에서 색채나 양식과 같은 물리적 요인, 평가자의 경험(선입견) 및 신체적 특성과 같은 심리적 요인 등이 간섭되어, 이론의 가치중립성이 결여될 수밖에 없다는 점이다.

* 이 논문은 2009년도 인제대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음. (0001200912900)

이러한 관점에서 본 연구에서는 1980년대 후반부터 본격적으로 논의된 그래프 분석이론에 주목하여, 학계에서 인정받고 있는 이론들을 결합하고, 이를 입체적으로 분석할 수 있는 시뮬레이션 분석방법론을 제시하고자 한다.

또한 공간구조 전체에 대한 분석보다는 공간경험자가 경로를 이동하면서 발생하는 시각적 구조를 파악하고, 이를 정량화하여 선택적 경로의 효율성을 파악할 수 있는 시지향적 분석방법을 모색하고자 하였다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

우선 시각적 속성과 관련한 공간구조 분석이론을 파악하기 위하여, 공간구조의 특성을 정량화한 사례들에 대하여 고찰하였다.

이를 토대로 최근 많은 시각관련연구에서 적용되고 있는 가시장이론과 가시성그래프 이론을 기반으로 시야각체제한에 의한 가시도 측정분석이론을 제시하였다.

이 두 이론은 他분석이론에 비하여 정량적이며, 가치중립적 이론으로 평가되고 있고 같은 개념에서 출발하고 있으므로, 상호간의 보완을 통해 전산모델로 적용이 가능한 새로운 분석방법으로 개선이 가능하다는 장점이 있다.

그리고 제안된 2차원 분석이론을 3차원으로 분석할 수 있도록 차원을 확장하여 분석방법의 틀을 형성하였다.

3장에서는 구축된 분석이론이 실제 공간분석에 효과적인 적용이 가능한가를 증명하기 위하여 분석어플리케이션을 구축하였다.

어플리케이션 개발에 선행하여 분석알고리즘의 핵심적인 부분인 시각적 연결판정을 위한 물리적 판독알고리즘과 시야각체 형성에 대한 가시영역분석 방안을 연구하였다.

예시모델을 설정하고, 이를 개발된 어플리케이션에 적용하여 3장에서 제안한 3차원 경로탐색 가시성 분석이론의 효용성을 실험을 통해 평가하였다.

예시모델에는 임의로 설정된 동일한 길이와 이동패턴을 갖는 4개의 경로를 설정하여 각 경로의 탐색효율성을 정량적으로 도출하고, 이 과정에서 발생하는 공간의 시각적 구조를 3차원 그래프로 비주얼하게 재현하도록 하였다. 또한 정방향 이동과 역방향 이동간의 취득되는 공간탐색 정보의 양과 시각구조의 스타일이 어떠한 차이를 보이는지를 파악하여, 경로이동간의 시각적 지향성이 공간정보 취득에 미치는 영향을 아울러 파악토록 하였다.

2. 선행연구사례와 분석이론의 제안

2.1. 시각적 속성에 기반한 공간구조분석이론

지금까지 이루어진 공간의 시각구조와 관련한 연구들은

개인적 경험과 지식 또는 사회적 통념을 바탕으로 평가하는 정성적 방법과 공간의 사회적으로 통계화된 자료를 바탕으로 전개하는 정량적 방법이 주류를 이루고 있었으나, 최근 들어 물리적 특성을 추상화시켜 분석하는 그래프이론에 대한 연구와 적용이 활발해지고 있다.

시각적 구조분석 연구분야에서는 이미지 처리를 이용한 분석방법론이 상당부분을 차지한다.

이 분야의 선도적 연구로는 오기소사다키가 제안한 (1966, 1972, 1973)의 입면건폐율, 타케마사아키가 제안한 (1969, 1977, 1983)의 형태율을 비롯한 다카하시(1978, 1979)의 어안렌즈에 의한 정량화데이터를 지각특성과 대응시키는 방법 등이 대표적이다¹⁾.

이와 같은 맥락의 분석방법으로 송용호(2007)는 전통마을을 대상으로 하는 길·마당의 시각적 차폐도 분석을 위하여 인간의 시야각(field of view)과 가장 유사한 초점거리의 렌즈로 일정간격마다 촬영하고 범위 안에 나타나고 있는 형상을 건물량(담장, 건물), 지면량(도로, 대지, 화단), 천공량(하늘)으로 분류하여 각 요소가 점유하는 면적을 측량하는 방법을 사용한 바 있다.

이에 앞서 황미영(2003)은 박물관 공간연출의 시각적 특성분석을 위하여 투과성과 방향성(permeability & direction)²⁾, 가시성(visibility), 주시율(observation)과 같은 새로운 지표를 제안하였다. 가시성의 평가과정에서 가시장이론이 도입되었으나, 이 이론이 평면적인 가시한계비만을 제시하므로 이를 보완하기 위해 주시율이라는 고유의 지표를 제안하게 되었는데, 이는 하나의 시각틀 안에 인지요소³⁾가 차지하는 비율을 파악하여 가시도 분석에서의 평면적 분석보다 실질적인 연속 시지각의 투시도법적 현상을 정성적인 방법으로 보완하려는 것이었다.

이혁준(2003)은 이미지로 투영한 공간이미지에서 추출된 윤곽선⁴⁾을 이용한 설문(survey)을 통해 개인적 감성과 형태의 인지와의 관계성을 밝히고자 하였다. 이 연구도 공간을 이미지나 가상현실과 같은 공간매체를 활용하여 공간형태 정보를 인식시켜 반응을 얻어내는 방법이라는 측면에서 이미지를 분석방법이라고 할 수 있다.

공간과 조망을 물리적이며 시지각인 측면으로 해석하는 분석방법의 체계가 된 연구로서 김진균(1994)은 건축공간의 3차원적 내외부 공간의 연속성과 그 방향성에 주목하여 시선축의 개념을 도입한 시각구조분석의 이론적인 체

1) 이를 토대로 이정수(1997)는 차폐도와 천공율의 개념 등을 도입하기도 하였다.

2) 공간구문론에 의한 통합도, 연결도, 명료도 등을 추출하여 공간의 투과수준에 대한 검토를 하고, 단위공간의 세장비를 추출하여 공간의 방향성에 대한 분석자료를 얻어내었다.

3) 이 연구에서 인지요소는 기둥, 천장, 벽과 같은 물리적 요소, 전시 매체와 쇼케이스와 같은 전시구성요소, 통로, 바닥면과 같은 이동 요소로 구분되고 있다.

4) 이는 가치중립적 분석을 위해 차폐요소의 점유율 외의 다른 부차적인 요인들을 배제하려는 노력으로 평가된다.

계를 제시하였다.

그는 시지각이 일어나는 3가지 요소를 기본인자로 정의하여 해석체계를 구축하고 시지각의 한정요소인 건축공간의 시각요소인 건축공간의 중심, 방향성, 깊이 등의 시각구조적 특성을 이론적으로 서술하였다⁵⁾.

베네딕트(M.Benedikt)의 가시장이론도 이러한 공간과 시각의 물리적 속성을 실질적 성과를 거둔 최초의 그래프 분석방법으로 평가되고 있으며, 윤재신(1998)은 건축평면위의 임의의 한 점에서 주위의 벽면을 바라볼 때, 그 주위 벽면에 의하여 한정되는 전체공간의 형상이 관찰자가 서있는 지점을 중심으로 완전한 점대칭을 이루지 않으면 공간의 형상에 따라 관찰자가 한 방향으로 기울어지는 편향경사(directional inclination)를 지각하게 된다는 가정에 근거하여 포위평형(包圍平衡; enclosing balance)이라는 개념을 제안하였다.

이 이론도 공간환경에서 느끼는 심리적 상위개념들과 관련한 이론을 심리적 장(psychological field)이라는 실체적이고 객관적인 부분을 보완했다는 측면에서 가시장이론에 많은 영향을 받은 이론이다.

그래프 이론은 분석대상 상호간의 객관적 비교를 위해 부차적인 모든 요인을 배제하고 시각적 점유의 정도만을 평가에 반영한다는 측면에서 경관지표 분석에서도 활발하게 적용되고 있다.

입면건폐율⁶⁾, 조망차폐도⁷⁾와 같은 평행투영방식이나, 이를 보완한 부지입면차폐율⁸⁾, 천공차폐도⁹⁾와 같은 지표들이 이러한 그래프 분석과 같은 맥락에서 이해될 수 있는 것들이다.

이미지를 이용한 분석방법은 전산모델로 구축하기 어려우며, 시지각 관계에서 가장 중요한 시점과 대상점의 설정이 고정화된 2차원적의 면(面에) 국한되기 때문에 입체적이고 동적으로 활용되는 과정에서의 공간시각구조를 파악하기에는 여러 가지 측면에서 한계가 있는 반면에 그래프

분석은 이러한 문제들에 대한 가능성을 제시하고 있다.

본 연구에서는 가시장이론과 가시성 그래프 이론을 바탕으로 전산화 모델을 구축하고자 하였다.

2.2. 가시장이론(Isovist)¹⁰⁾

최초로 가시장이론을 제안한 베네딕트(M.Benedikt)는 연구를 통해 건축공간은 벽체들에 의하여 구획되며, 그 속에서 일어나는 인간의 지각과 행동은 주변의 시각적 한계에 의하여 직접적인 영향을 받는다고 주장하였다.¹¹⁾

가시장 이론은 관찰자의 중심으로 그 점에서 직접 보이는 모든 주변 환경을 가시장(isovist field)라고 정의하고, 그 영역의 면적과 형태를 계량화하는 수리적 모델을 통하여 시각적 개방, 고립, 은폐, 노출과 같은 심리적 개념과 관련된 이론으로 정립하였다¹²⁾. 그러므로 이 이론은 공간의 고정된 특정지점에서 360도로 시각적으로 관찰할 수 있는 가시영역을 그래프로 형상화한 가시도(可視度)측정방법이다.

이 분석방법은 공간의 중심에서 시각적으로 연결되어 있는 경계안의 폐곡선 영역을 시각화하여, 그 크기와 형태로 면적과 둘레, 길이 등을 측정한다. 이러한 분석을 통해 시지각적인 인식에 대한 속성, 프라이버시방어, 범죄취약지역 분석, 피난과 같은 길찾기 연구, 공간의 개방도 분석 등에 도움이 되는 객관적인 기초자료를 제공할 수 있다¹³⁾. 그러나 입체적인 변위를 갖는 차폐요소에 대한 명확한 기준이 없어 기존의 이미지 기반 분석이 안고 있는 2차원적 한계를 넘어서지 못하고 있으며¹⁴⁾, 시점의 설정이 공간의 중심점이라고 정의하고 있으나, 이 또한 기준이 애매하다는 것이 단점이다.

2.3. 가시성 그래프 이론(VGA)

건축적 구성에 있어 사용자와 지속되는 사건들에 의해 잠재적으로 규정되는 본질로서의 공간 인식의 과정은 비

- 5) 시각요소를 축과 방향성을 나타내는 선형요소, 공간을 한정하고 위요하는 평면요소, 평면요소들의 조합에 의해 깊이를 갖게 된 볼륨요소로 구분하였다.
- 6) 외부공간에서 시선이 건물에 의해 차단되지 않고 천공에 다다를 평균적 확률을 계산을 토해 도출한 것으로서 시야에 들어오는 건물 외벽 면적의 부지면적에 대한 비율을 의미한다.(이승미·강인호, 입면차폐도 지표의 적용상 문제점 및 개선방안에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 제23권 1호, 2003.4, p.260)
- 7) 주요 조망방향에서 본 주거동이 조망을 차폐하는 비율을 나타낸 지표로서, 조망면에 대한 주동 투영 입면적 합계의 비율을 의미한다.(국토연구원)
- 8) 도시적 차원으로 볼 때 부지의 최소 4방향에서 모두 기준 이상의 개방정도가 확보되어야 하므로, 총량수치가 아닌 각 방향별로 구체적인 입면 투영형상을 도식화한 부지입면 차폐도의 생성을 통해 계량화를 하는 방법이다.
- 9) 천공차폐도를 계량하는 방법으로서 월드럼 다이어그램(Waldram diagram)이나 미드타운 일광평가(Midtown daylight evaluation chart)와 같은 방법들은 원통형의 스크린 위에 3차원의 물체를 투영시키는 방법을 취하고 있다.

10) isovist(Location-Specific Patterns of Visibility)

11) 조극래·박봉섭, 외기인접방식별 공동주택 단위평면 특성분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집(제계획계) 22권 1호, 2006.1, p.69참조

12) 이 개념은 탬디(Tandy, 1967)의 선행연구인 뷰셰드(Viewshed)에서 유래된 것으로 보는 견해가 많다. 이러한 아이디어는 페포니스 그룹에 의해 개발된 스파셜리스트(Spatialist) 소프트웨어로 비로소 구현되었는데, 이는 공간통사론을 제안한 힐리어(Hillier)의 과도기 연구에 영향을 주었다. 최근의 터너(Turner, 2001), 배티(Batty, 2001), 달頓(Dalton, 2001), 래티(Ratt, 2002)의 연구에서는 가시영역 그래프, 시선추적(ray tracing), 동작기반모형(agent based modeling), 이미지 분석을 이용한 도시와 건물의 형태학에 대한 대안으로서 가시장이론의 개념을 재조명하고 있다.

13) 김석태, 건축공간구조의 다차원적 분석모델에 관한 연구, 한양대학교박사학위논문, 2008.8

14) 이를 보완하기 위해 벤퍼드(Bamford, 2000)는 기준의 가시장이론에 수직 시각적도인 고도각을 도입한바 있고, 피셔(Fisher, 2003)는 관찰점으로부터의 관찰범위를 3차원 반구로 설정하여 빈공간의 용적을 측정하는 3차원화를 시도한바 있다. 이는 개념적으로 완전한 3차원 분석이라고 볼 수 없으나, 2차원 분석의 틀을 일부 벗어날 수 있는 가능성을 제시했다는 측면에서 의미가 크다.

록 인식이 필요하지 않더라도 공간에 대한 인지과정은 본질적이다. 이러한 관점에서 가시성 그래프(visual graph)는 공간적 구조에 있어 시야성과 접근성의 관계를 순수하게 밝히고자 하는 부분에서 시작된다.¹⁵⁾

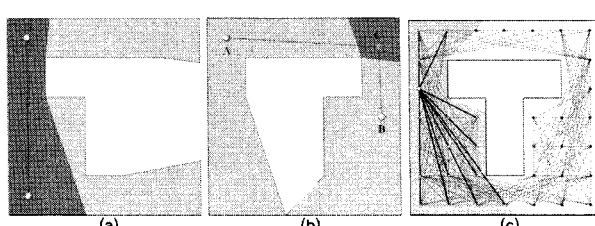
이 분석이론은 런던대학교 힐리어(B.Hillier)의 공간구문론(space syntax)을 보완하기 위해 터너(Turner)와 펜(Penn)에 의해 제안되었다. 공간구문론의 분석에서 노드의 설정이 2차원 벡터나 볼록한(convex) 폐곡선이었다면 이 방법은 2차원 매트릭스에 배열된 정점을 이용하여 확률적인 가시영역의 분포를 파악한다.

1차적인 분석은 가시장이론과 유사하다. 분석 전에 앞서 대상공간을 일정한 격자로 분할하고, 하나의 격자에서 그 격자간의 시각적인 연결도를 판독하여, 시각적 연결이 이루어진 격자의 그룹을 만들어 가시장을 형성한다¹⁶⁾. 동일한 방법으로 모든 격자의 가시성을 판정하면, 각 격자별로 시각적으로 연결되는 순수 가시연결빈도를 산정할 수 있게 된다.

2단계는 1단계의 방법으로 그 격자(비가시영역포함)로 연결되기 위해 몇 번의 시각적 방향전환을 필요로 하는 가로로 시각적 깊이(depth)를 산정한다<그림 1>. 이 방법은 방향전환을 공간의 깊이로 산정한다는 점에서 공간구문론과 상당히 유사하다¹⁷⁾.

가시장이론이 가진 가장 큰 취약점 중의 하나는 단일 시점에서 분석하는 방법으로서, 분석 시점과 가까운 곳에 차폐요소가 근접할 경우 오차가 커진다는 점이다. 이때 시점위치는 작은 차이에서도 결과 값의 오차가 커진다. 가시성 그래프 이론은 가능한 시점에서의 확률적 가시장을 형성하기 때문에 이러한 문제를 해결했다고 볼 수 있다.

이 이론은 벡터요소로 분석하는 것이 아니고, 격자에 의한 래스터 분석이므로 격자의 설정에 따라 분석의 오차를 조절할 수 있다. 즉 격자의 간격이 좁아질수록 정밀한 데이터를 수렴할 수 있으나, 분석에 필요한 연산시간은 길어지게 된다.



<그림 1> 시각영역의 중복과 그래프의 작성, Alasdair Turner et. al.
From isovists to visibility graph: a methodology for the analysis of architecture space

- 15) 김주영, 백화점 매장의 공간구조와 VMD에 따른 고객동선에 관한 연구
16) 가시장 이론의 시야장이 벡터로 이루어진 폐곡선면으로 이루어진 반면에 가시성 그래프 이론은 가시격자군을 형성한다는 점에서 차이가 있다.
17) 공간구문론은 동선상의 방향전환, 그래프 이론은 시각적인 접근을 위한 방향전환이라는 점에서 개념적 차이가 있다.

2.4. 3차원 분석이론의 제안

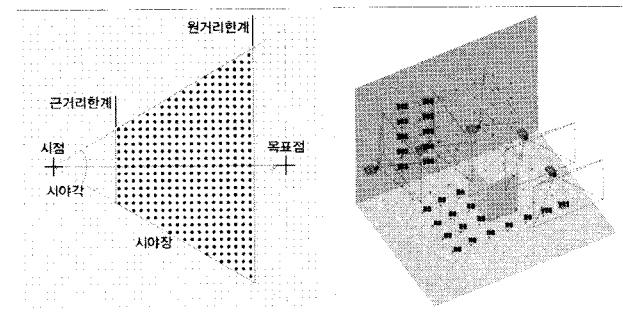
본 연구에서는 가시장이론의 영역성과 가시성그래프이론의 노드(격자)개념을 이용하여 상호간의 단점을 보완하고, 이를 3차원으로 확장하여 공간의 입체적인 시각구조 분석을 가능하게 하였다.

분석 대상공간을 가상의 3차원 모델로 재현하고, 그 안에 등간격의 노드를 3차원으로 배열하여, 정의된 시점에서 3차원으로 배열된 각 노드(대상점)로의 시각적 연결여부를 판정하여, 연결이 되었을 때, 시점과 노드에 각각 1만 큼씩의 빈도를 추가하는 방식이다¹⁸⁾.

시점은 시야각체의 제한(시야장의 형성, 그림 2 참조)에 의해 시야각체의 범위 내에 들어오는 노드에 대한 가시여부만을 판정하고, 시야각체를 벗어난 노드는 비가시영역으로 빈도에 포함되지 않는다. 시야장은 시점으로부터 시야각¹⁹⁾의 각뿔에서 근거리 한계와 원거리 한계를 제외한 각뿔절두체의 형태를 띠게 된다.

이를 수학적으로 표현하면 시점 VP 에서 목표점(노드) TP 를 바라볼 때, 시선은 P_n 은 $VP \rightarrow TP_{(x,y,z)}$ 로 정의할 수 있다. 시각적 연결이 성공한 총 노드의 수는

$$tVC = \sum_{TP \in TN(VP)} P(VP \rightarrow TP) \cdot F(TP) \text{ 가 되며}^{20)}, \text{ 접속률}(CR) \text{ 은 시각적 연결도 대비 전체 노드 수이므로 } tVC / TN \text{ 이된다.}$$



<그림 2> 시야장의 구조

<그림 3> 가시여부의 판정원리

3. 분석이론

3.1. 분석 어플리케이션의 설계

과거 공간분석이론은 연구자가 분석대상공간에 대하여 복잡하고 무한반복적인 분석과정을 계산하고 결과를 시각적으로 재현해내는 것이 거의 불가능에 가까웠기 때문에, 매우 개념적이고 실험적인 단계에 머무를 수밖에 없었다. 그러나 최근 들어 컴퓨터그래픽의 발달로 이러한 복잡하

- 18) 다수의 시점을 경로상에 정의한 시점 스크립트를 형성하여 각 노드의 연결도를 시각적으로 재현하고, 노드별 빈도값을 출력(export)하여 캐드시스템에서 통계처리할 수 있도록 하였다.
19) 본 연구에서는 90도로 설정하였다.(高橋鷹志 외 著, 환경과 공간, 태권문화사, 2001에 근거)
20) 여기에서 $TN(VP)$ 는 시야각체에 내에 들어오는 목표점의 집합이다.

고 반복적인 알고리즘을 손쉽게 연산해 낼 수 있고, 효과적인 그래픽으로 표현이 가능하게 되었다.

특히 최근 3차원 그래픽엔진의 발달과 함께 등장한 가상현실 시스템은 카메라 시점의 유통성 있는 조절로 3차원 공간을 2차원 환경에서도 효과적으로 디스플레이 시킬 수 있다. 이러한 특징과 성능을 이용하여 전장에서 제안한 분석알고리즘을 3차원 그래픽엔진을 이용하여 어플리케이션으로 제작하였다.

분석을 위한 가시성 판독방법을 어플리케이션의 판독루틴으로 개발하였다. 이 방법은 일반적인 3차원 슈팅게임에서 사용되는 충돌알고리즘과 매우 유사한 구조를 갖는다. 3차원 매트릭스를 정규화된 3차원 행렬로 배열해놓고 시점(viewing point)에서 각 목표점(target node)으로 순차적으로 탄환을 발사하면 그 탄환이 오브젝트의 범면에 충돌(collision)하는가를 판별하는 방법이다. 만약 충돌감지(collision detection)가 되지 않고 목표점에 무사히 탄환이 도달하면 행렬데이터의 값(빈도)을 증가시키는 방법을 사용하는 것이다.

3.2. 3차원 가시성 판정 알고리즘

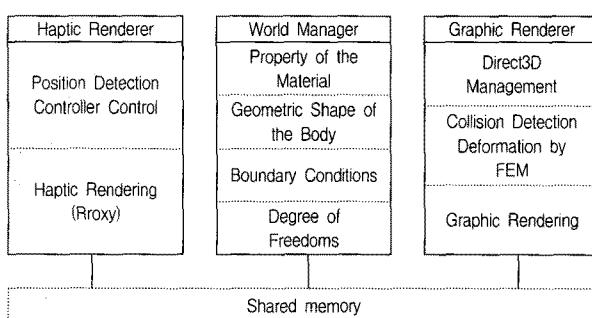
우선 분석대상 공간을 3DSMax, Maya와 같은 모델러에서 가상공간으로 구축하여 .x파일²¹⁾의 형식으로 어플리케이션으로 임포트한다. 충돌감지는 임포트된 모델의 각면(face)을 분해하여 자신을 제외한 모든 목표점에 대한 순차적인 충돌판정을 실행시킨다.

어플리케이션에서는 폴리곤의 벡터분해를 통해 모든 면을 삼각형의 면으로 구성하고, 시선(시점과 대상점의 방향벡터)과의 조건만족여부로 교차판정을 결정한다.

그리고 다시 절두체 내에 포함되는 노드인가를 판정하여, 최종적인 시각적 접속의 성공여부를 판독한다.

시각적 접속이 이루어진 노드는 일반적으로 몇 개의 군(群)을 형성하게 되고, 이를 비가시영역을 제외하여 색상으로 구분하면, 노드군에 의한 가시체적도(可視體積圖)를 얻을 수 있게 된다. 체적도는 정확한 체적으로 산출이 되지 않지만, 노드의 수로서 정량화가 가능하다²²⁾.

<표 1> The Structure of algorithm of 3D Graphic Engine



21) 분석어플리케이션의 그래픽 가속엔진은 Direct3D를 사용하였기 때문에 편의상 Direct3D에서 제공하는 호환포맷을 이용하였다.

<표 1>은 물리적 감지와 함께 효과적인 디스플레이가 가능한 그래픽엔진의 기본 구조를 보여주고 있다.

3.3. 카메라 시점(좌표계 전환)

월드 좌표계의 공간상의 한 점 P_w 의 x, y, z 좌표와 기준점(original point)까지의 거리를 d 라고 나타냈을 때 ex, ey, ez, d 가 나타내는 S_0 좌표계를 S_w 좌표계의 값으로 변환할 수 있고 ex, ey, ez, d 가 S_0 좌표계를 나타낼 수 있다고 말할 수 있을 것이다. 이 4개의 벡터로 어파인(affine)행렬은 다음 수식과 같이 정의할 수 있다.

$$A_0 = \begin{bmatrix} ex & ey & ez & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad ex = \begin{bmatrix} ex_x \\ ex_y \\ ex_z \end{bmatrix}, \quad ey = \begin{bmatrix} ey_x \\ ey_y \\ ey_z \end{bmatrix}, \quad ez = \begin{bmatrix} ez_x \\ ez_y \\ ez_z \end{bmatrix}, \quad d = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix}$$

이 행렬을 사용하면 점 p 의 변환을 간단하게 할 수 있다. 다음의 수식은 어파인(affine)행렬이 2개 좌표계의 관계를 표현하고 있음을 알 수 있다. 통상 좌표계는 기준 좌표계를 결정하여 아래 수식과 같이 정의되기 때문에 어파인 행렬이 좌표계 변환에 사용된다. 위의 예에서는 A_0 가 S_0 를 나타내고 있다.

$$Pw = \begin{bmatrix} Pw_x \\ Pw_y \\ Pw_z \end{bmatrix} = d + Px \cdot ex + Py \cdot ey + Pz \cdot ez = A_0 \cdot P$$

이 단계에서는 목표점의 변동에 따라 분석에 포함되는 매트릭스가 제한되게 된다. 다시 말해 관찰자의 이동에 따라 시야각에 들어오는 매트릭스가 각별체로 제한된다는 것이다.

인간의 시각범위는 눈의 중심을 지나는 직선의 양측 90도 까지이다.²³⁾ 그러므로 목표점을 중심으로 형성되는 90도 각도의 원뿔 내에 포함된 목표점들을 빠른 시간 내에 찾아내는 것이 중요하다.

3.4. 시야각의 제한

수직, 수평 시야각 θ_v 과 θ_h 도 절두체 평면에서 추출할 수 있다. 평면들이 물체 공간 안에서 정규화 되어 있다면, 두 각도는 다음과 같이 내적을 통해서 구한다.

$$\cos(\pi - \theta_v) = [a_{bottom} \ b_{bottom} \ c_{bottom}] \cdot [a_{top} \ b_{top} \ c_{top}]$$

$$\cos(\pi - \theta_v) = [a_{bottom} \ b_{bottom} \ c_{bottom}] \cdot [a_{top} \ b_{top} \ c_{top}]$$

절두체가 대칭이라면 수직, 수평 각각 두 가지 각도가 나올 수 있지만 본 연구의 경우에서는 발생하지 않는 것으로 보기 때문에 제외하도록 하였다.

22) 이는 앞서 언급한 가시성 그래프이론의 격자의 정밀도와 같은 것이다. 격자(여기에서는 대상점 노드)가 세분화될수록 정확한 체적이 계산되며, 전체 가시노드에 대한 비율로 가시연결도가 측정가능하다.

23) Edward T.Hall저, 보이지 않는 차원, 김광문 역, 세진사, 1991, p.106

카메라와 시점은 각각의 메서드와 변수를 갖기 때문에 각각 객체정의가 가능하다. 이는 컴퓨터 그래픽에서 절두체(截頭體) 쿠링(frustum culling) 알고리즘을 이용하여 선별해 낼 수 있다.

3.5. 절두체 정보 추출

시야 절두체는 여섯 개의 평면들(왼쪽, 오른쪽, 위, 아래, 가까운, 먼 평면)로 정의된다.

절단공간 안에서의 평면들을 알 수 있다고 할 때, 평면들을 변환하는데 사용한 행렬의 전치를 적용하여 이 평면들을 다시 공간으로 되돌릴 수 있다.

정규화된 입체는 대각선 정점들이 $(-1, -1, -1)$ 과 $(1, 1, 1)$ 인 하나의 입방체이다. 따라서 절단공간에서 왼쪽 평면의 법선 벡터는 $(a', b', c') = (1, 0, 0)$ 으로 주어진다.

점 $(-1, 0, 0)$ 이 그 평면에 속한다는 사실로부터 평면의 계수들을 알아낼 수 있다. 점의 좌표들을 평면 방정식에 대입하면 $1(-1) + d' = 0$ 이므로 $d' = 1$ 이다. 따라서 절단공간의 왼쪽 평면은 $N^T = [1 \ 0 \ 0 \ 1]$ 이며, 이것을 전치행렬로 변환하면 다음과 같이 모든 평면의 절두체 정보를 추출해 낼 수 있다.

$$M_{map} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$N_L = [M_{41} + M_{11} M_{42} + M_{12} M_{43} + M_{13} M_{44} + M_{14}]^T \rightarrow \text{left}$$

$$N_R = [M_{41} - M_{11} M_{42} - M_{12} M_{43} - M_{13} M_{44} - M_{14}]^T \rightarrow \text{right}$$

$$N_B = [M_{41} + M_{21} M_{42} + M_{22} M_{43} + M_{23} M_{44} + M_{24}]^T \rightarrow \text{bottom}$$

$$N_T = [M_{41} - M_{21} M_{42} - M_{22} M_{43} - M_{23} M_{44} - M_{24}]^T \rightarrow \text{top}$$

$$N_N = [M_{41} + M_{31} M_{42} + M_{32} M_{43} + M_{33} M_{44} + M_{34}]^T \rightarrow \text{near}$$

$$N_F = [M_{41} - M_{31} M_{42} - M_{32} M_{43} - M_{33} M_{44} - M_{34}]^T \rightarrow \text{far}$$

이러한 연구와 엔진의 개발을 기반으로 가시체적에 보완을 위하여 동적유효가시체적(動的有效可視體積)을 도출해 낼 수 있는 것이다.

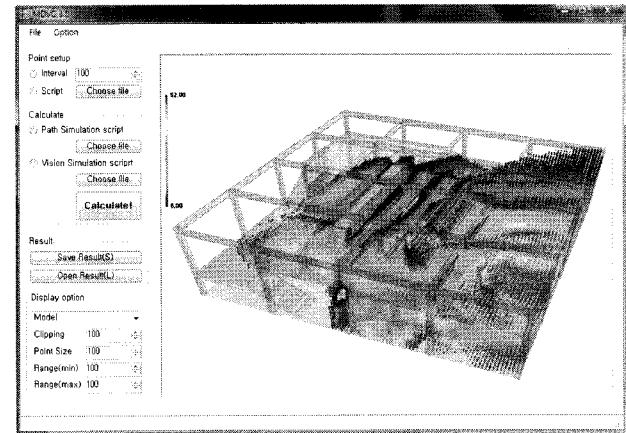
3.6. 공간구조의 시각적 재현

<그림 4>는 전절의 판정 알고리즘을 이용하여 제작된 어플리케이션의 모습이다.

그래픽엔진은 Microsoft사의 Direct3D²⁴⁾가 사용되었으

24) 3차원 그래픽 가속엔진은 DirectX와 OpenGL, Glide, HEIDI 등이 있다. OpenGL은 그래픽만을 제어하는 저수준의 렌더링 루틴만을 제공하는 반면에 Direct3D는 네트워크, 사운드 등의 멀티미디어 전반을 지원한다. Direct3D는 DirectX중 3차원 그래픽을 담당하는 Direct Graphic중의 일부분이다. 이 부분이 공간분석을 위해 가상모

며, 프로그래밍 툴은 Microsoft Visual Studio 2005(Visual C++)로 코딩되었다.

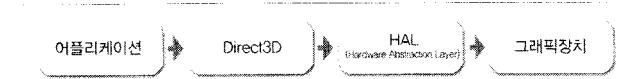


<그림 4> 분석을 위해 개발된 어플리케이션의 모습

Direct3D는 3D 가속하드웨어를 이용하여 3D 세계를 표현할 수 있도록 해주는 저수준 그래픽 API²⁵⁾로서, 어플리케이션과 그래픽 장치(3D 하드웨어)를 연결하는 중개자이다. 그림 5와 같이 Direct3D 파트는 Direct3D가 어플리케이션/프로그래머에게 공개하는 인터페이스와 함수들로 구성되어 있으며, 이를 인터페이스와 함수는 현재 버전의 Direct3D가 지원하는 모든 기능을 나타낸다.

Direct3D와 그래픽 장치에는 HAL(하드웨어 추상층)이라는 중간 단계가 존재한다. HAL은 장치로 하여금 특별한 작업을 수행하도록 하는 장치고유의 코드로서, 이를 통해 Direct3D가 각 장치의 세부적인 부분을 제어할 필요가 없도록 하고, 하드웨어 장치에 독립적인 규약을 확립하는 것을 가능하게 한다.

또한 프로그래머에게 이러한 추상화된 레스터라이즈를 제공하는 한편 지오메트리부분의 하드웨어적 가속이 가능하도록 하고 있다.



<그림 5> 어플리케이션, Direct3D, 하드웨어 간의 관계

델을 제어하는 기능과 시각적 판정부분 및 프리젠테이션에 필요한 주요기능들을 제공한다.

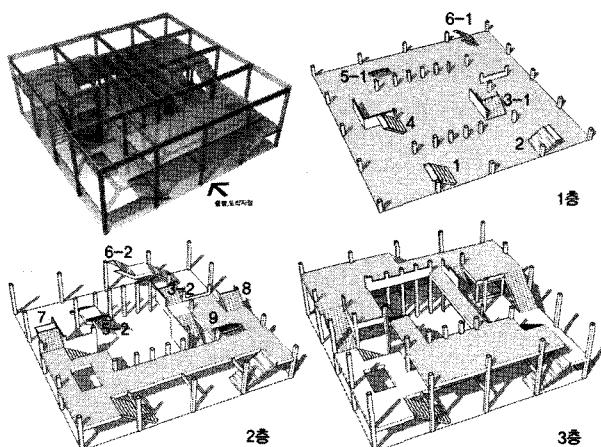
25) Application Programming Interface, 운영체계나 다른 응용프로그램에게 처리요구를 할 수 있도록 미리 경해진 특별한 메소드이다. API는 운영체계나 프로그램의 인터페이스로서 사용자와 직접적으로 대화하게 되는 그래픽 사용자 인터페이스나 명령형 인터페이스와는 차이가 있다. 또한 응용프로그램이 운영체계나 데이터베이스 관리시스템과 같은 시스템 프로그램과 통신할 때 사용되는 언어나 메시지 형식을 의미하기도 한다. API는 프로그램 내에서 실행을 위해 특정 서브루틴에 연결을 제공하는 함수를 호출함으로써 구현된다. 그러므로 하나의 API는 함수 호출에 의해 요청되는 작업을 수행하기 위해 이미 존재하거나 또는 연결되어야 하는 몇 개의 프로그램 모듈이나 루틴을 가진다.

4. 이론의 적용과 효과

4.1. 실험을 위한 예시공간

<그림 6>은 실험을 위해 준비된 가로, 세로 20m×20m, 높이 7.2m의 공간으로서, 3층 규모의 공간이 12개의 계단으로 서로 연결되어 있다.

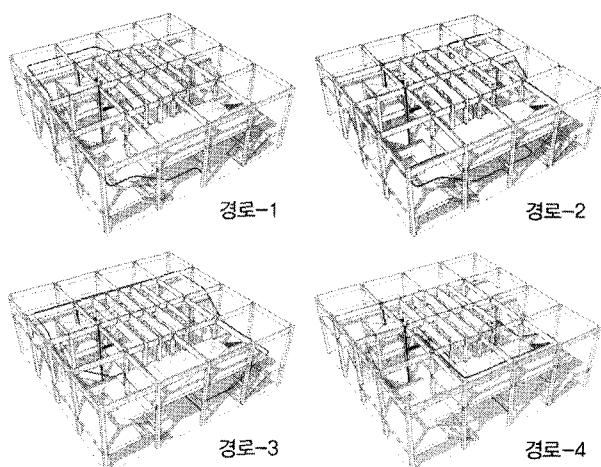
시각정보취득 및 시각구조분석 실험의 효과를 향상시키기 위해 층별 거냥도에서 보여지는 바와 같이 중앙을 중심으로 부분적으로 오프닝을 설치하였다.



<그림 6> 실험에 적용된 예시공간

4.2. 경로의 설정

<그림 7>과 같이 경로를 탐색하는 4가지 방법을 임의로 설정하였다. 실험을 위해 각 경로는 동일하게 70m의 길이로 통일하고, 계단을 이용한 충간이동도 동일하게 4회씩만 이루어지도록 하였다. 모든 경로는 1번과 2번 계단의 중앙부<그림 6>에서 시작하며, 시계방향으로의 이동을 정방향, 시계반대방향으로의 이동을 역방향인 것으로 설정하였다.



<그림 7> 실험을 위해 설정된 4개의 경로

<표 2> 경로별 경유 계단의 순서 및 경로길이

경로	계단 경유순서				경로길이	측정시점
	정방향	1	7	6-2	6-1	
path-1	역방향	6-1	6-2	7	1	70m
	정방향	1	8	3-2	3-1	
path-2	역방향	3-1	3-2	8	1	233개
	정방향	4	7	8	2	
path-3	역방향	2	8	7	4	
	정방향	5-1	5-2	9	3-1	
path-4	역방향	3-1	9	5-2	5-1	

4.3. 실험을 위한 가상공간과 공간전체의 분석평가

실험모델에는 시각적 연결도를 파악하기 위한 노드(대상점)를 0.2m간격으로 345,635개 설치하였으며, 탐색경로는 길이가 70m이므로, 0.3m간격으로 시점을 지정하여 각각 233개의 시점이 설치하였다. 시야각체에서 근거리와 원거리의 가시한계가 존재할 수 있으나, 예시공간은 한변의 길이가 20m에 불과하므로 한계를 두지 않았다.

<표 4>의 가시영역도(可視領域圖)는 어플리케이션으로 연산된 분석결과를 3차원으로 보여주고 있다.

이론적으로 어떠한 시각적 장애물이 없이 100%의 시각적 접속이 발생하게 된다면 80,537,149회의 최대 접속빈도를 보일 것이다. 그러나 탐색경로를 이동하면서 발생하는 시각적 차폐요소에 의해 시각적 접속빈도는 급격히 감소된다.

우선 정방향 시뮬레이션을 수행한 결과 path-1에서는 233개의 시점과 345,635개의 노드 간에 시각적 연결(tVC)이 2,921,058회 발생하여 전체(80,537,149회) 대비 3.64%의 접속율(CR)을 보였다. 또한 노드 중에서 가장 많은 시점에 노출된 곳 62회이며, 각 노드에 연결된 시각적 접속은 평균 8.45회로 나타났다.

path-2는 1,319,251회의 시각적 연결빈도(tVC)를 기록하여, 시각적 연결율이 1.65%로 나타났다. 가장 많은 노출은 62회로 path-1과 동일하지만 평균접속은 3.82회로 적게 나타났다. path-3은 2,533,645회 시각적 연결빈도(tVC)²⁶⁾를 보이면서, 3.14%의 접속율(CR)로 나타났으며, path-4는 4,875,248회 시각적 연결빈도(tVC)²⁷⁾로서, 6.05%의 접속율(CR)을 기록하였다.

4개의 경로시뮬레이션 결과를 비교해 보면 가장 높은 시각적 접속율(CR)을 보인 것은 path-4(6.05%)이며, 다음은 path-1(3.64%), path-3(3.15%) 순이고, 가장 적은 접속율(CR)을 보인 것은 path-2(1.65%)이다. 따라서 가장 높은 시각적 접속율(CR)을 보인 path-4에 비해 path-1은 불과 27%정도 밖에 공간의 정보를 취득하지 못함을 의미하며, 이는 탐색과정에서 느끼는 공간의 개방도에도 영향을 미칠 수 있음을 암시한다.

이는 경로가 같은 길이를 가지고 동일한 횟수의 계단을 이용하더라도 경로의 설정에 따라 탐색효율이 크게 차이날 수 있음을 보여준다.

26) 노드당 최대접속 62회, 평균접속 7.33회

27) 노드당 최대접속 103회, 평균접속 14.11회

4.4. 탐색 방향에 따른 성향분석

역방향 시뮬레이션은 동일한 경로상에서 정방향과 반대 방향으로 이동하면서 발생하는 대상노드와의 시작적 접속율을 측정하므로, 시점의 수는 동일하게 233개가 설정되었다. path-1은 233개의 시점에서 모두 2,948,511회의 시작적 연결이 발생하여 노드당 최대 51, 평균 8.53회의 시작적 연결빈도(*t VC*)를 보였다. 80,532,955회의 최대접속 가능빈도에 대비하여 3.69%의 접속율(*CR*)을 보여 정방향 시뮬레이션의 접속율(3.64%)과 불과 0.05%의 차이를 보였다.

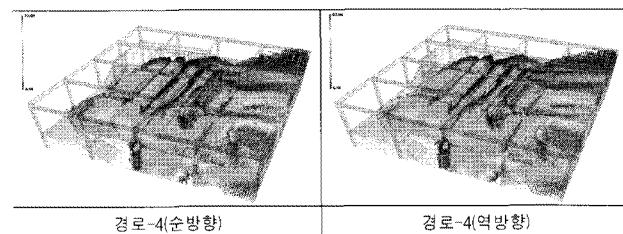
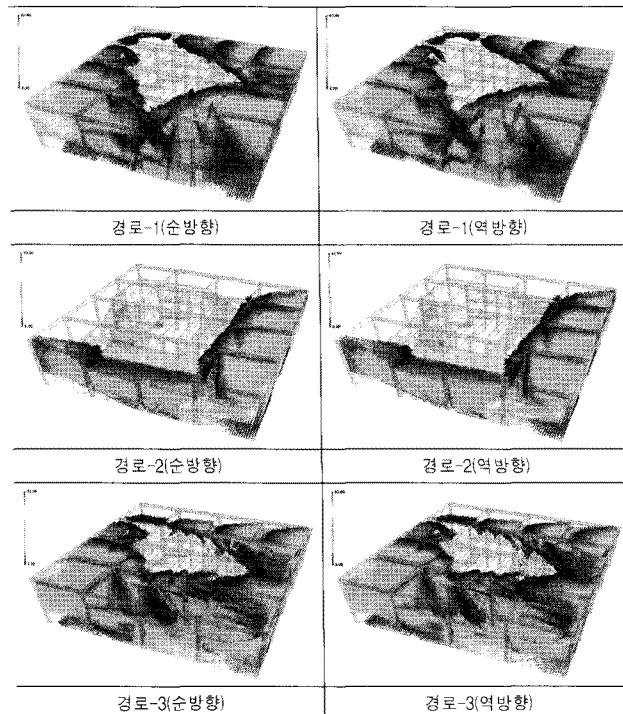
path-2의 역방향 시뮬레이션은 1,344,717회(노드당 최대 접속 63회, 접속평균 3.89회)의 시작적 연결이 발생하여, 정방향과 동일한 1.65%의 접속율(*CR*)로 나타났으며, path-3도 2,502,058회(노드당 최대접속 65회, 평균접속 7.24회)로 정방향의 2,533,645회 연결과 큰 차이가 나지 않아서 접속율(*CR*)도 정방향과 0.04%밖에 나지 않았다.

path-4 또한 4,864,180회(노드당 최대접속 101회, 평균 접속 14.07회)에 접속율(*CR*) 6.04%로 정방향의 경우와 비교하여 불과 0.01%차이만 보였다.

<표 3> 경로별 정방향, 역방향 연결빈도, 접속율 비교

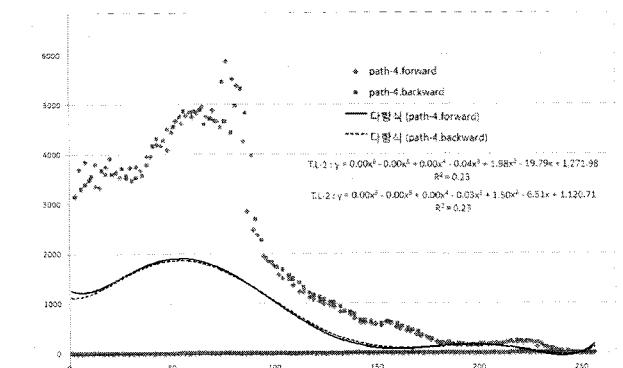
	path-1		path-2		path-3		path-4	
	정방향	역방향	정방향	역방향	정방향	역방향	정방향	역방향
연결빈도	2921058	2948511	1319251	1344717	2533645	2502058	4875248	4864180
최대접속	62	61	62	63	62	65	103	101
평균접속	8.45	8.53	3.82	3.89	7.33	7.24	14.11	14.07
접속율	3.64%	3.69%	1.65%	1.65%	3.15%	3.11%	6.05%	6.04%

<표 4> 분석결과(하위10%영역 제외)

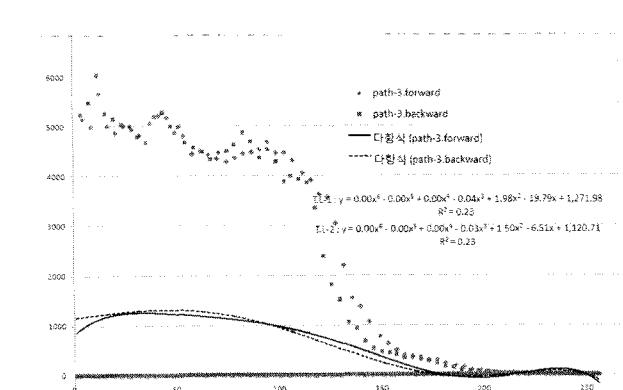


4.5. 가시연결도의 분포에 따른 특성분석

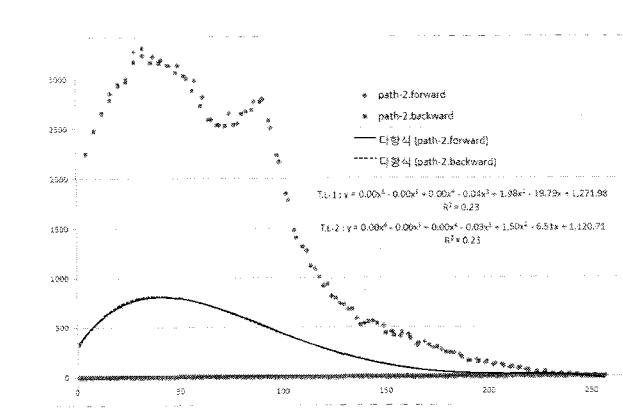
각 경로별 특성을 파악하기 위하여 시작적 접속의 분포를 그래프로 재현하였다.



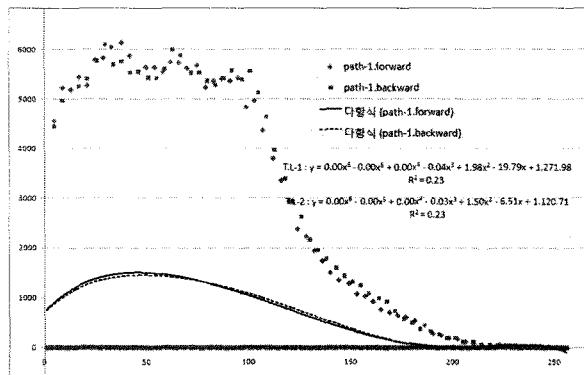
<그림 8> 경로-1의 연결빈도별 노드의 분포



<그림 9> 경로-2의 연결빈도별 노드의 분포



<그림 10> 경로-3의 연결빈도별 노드의 분포



<그림 11> 경로-4의 연결빈도별 노드의 분포

각 노드를 빈도별로 256개의 그룹으로 나누었을 때, 그룹별로 기록되는 빈도는 최소 0에서 최대 6142까지 큰 격차를 보이면서 분포된다. 이를 단항식을 대수의 합으로 연결한 6차 함수의 다항식(polynomial)으로 환산하여 추세선(trend line)으로 표현하면 <그림 8>~<그림 11>과 같이 나타난다.

그래프에 나타난 추세선 중 실선은 정방향이며, 점선은 역방향 탐색경로의 성향을 나타내고 있다. 또한 그래프의 x축은 접속빈도의 백분율을 컴퓨터 분석에 의해 0~255단계(2^8)로 표시한 것이며 y축은 시각적으로 접속이 발생한 노드의 수이다.

모든 경로가 공통적으로 접속율(CR)이 낮은 노드가 많으며, 접속율(CR)이 높은 노드는 급감하는 성향을 보인다. 접속율(CR)이 높은 노드의 분포가 크다는 것은 그만큼 공간이 개방적임을 의미하므로, 실험에 사용된 예시모델은 설정된 경로와 무관하게 개방성이 대체적으로 떨어지는 공간임을 암시한다.

정방향 시뮬레이션의 결과와 역방향 시뮬레이션의 접속분포도는 거의 일치하며, 이는 6차 다항식으로 정리한 추세선으로 파악하여 보았을 때, 좀 더 완벽하게 일치함을 파악할 수 있다²⁸⁾.

이는 공간의 탐색시 공간정보의 취득에 있어서 경로의 설정이 크게 영향을 미치지만, 같은 경로에서의 이동 방향은 시각적 정보취득량에 거의 영향을 주지 못함을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

5. 결론

공간의 인지과정에서 시지각을 통해 대부분의 정보를 취득하는 만큼 공간의 시각적 구조에 대한 연구는 매우 중요하다. 그러나 최근까지 진행된 많은 시각적 구조와 관

28) 여기에서 그래프의 플롯보다 추세선이 크게 낮은 것은 노드별로 구간별로 0번의 접속이 발생하는 부분이 있기 때문이다. 이러한 패턴은 상당히 주기적으로 발생하고 있는데, 이는 백분율을 256단계로 재분류하면서 발생하는 현상일 수도 있지만, 좀 더 명확한 원인 규명에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 수 있다.(시야각체를 제한하지 않는 경우 이러한 현상은 발생하지 않는다)

련한 많은 연구들은 2차원적이며 다분히 정적인 수준에 머무르고 있었다. 이러한 측면에서 공간의 3차원적 구조를 도출하고, 이를 탐색경로의 선택에 의해 어떠한 특성을 나타내는 가를 파악할 수 있음은 의미있는 연구라고 할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 탐색경로가 공간의 시지각 구조에 어떠한 영향을 미치는 가를 파악하여 보았다. 그 결과 다음과 같은 두 가지 결론을 지울 수 있었다.

첫 번째, 동일한 공간에서도 경로의 선택이 공간의 시각정보취득에 큰 영향을 미친다는 점이며, 두 번째, 동일한 경로는 진행방향이 공간의 시각정보 취득량과 개방패턴에 영향을 주지 않는 점이다.

따라서 경로상의 시각적 지향성은 큰 차이를 주지 못하지만, 경로의 설정은 매우 중요함을 의미한다.

본 연구의 결과는 공간 내의 효과적인 관람동선의 설정, 범죄예방을 위한 순찰경로 설정, 폐쇄회로 카메라의 설치 등의 사전 시뮬레이션에 적용되었을 때 실용적인 효과를 가져올 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Alasdair Turner, Alan Penn, Making isovists syntactic: isovist integration analysis, 2nd International Symposium on Space Syntax, 1999.4
2. Alasdair Turner, Maria Doxa, Alan Penn, From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space, Environment and Planning B, vol28
3. Alasdair Turner, Depthmap: A Program to Perform Visibility Graph Analysis, 3rd International Symposium on Space Syntax, Georgia Institute of Technology, 2001
4. 김석태, 건축공간의 다차원적 분석모델에 관한 연구, 한양대학교 대학원 건축공학과 박사학위논문, 2008.8
5. 김영준, 공간시각구조의 정량적 분석도구 설정에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 건축학과 석사학위논문, 2000.8
6. 김진균, 시각구조분석에 의한 건축공간의 해석에 관한 연구, 대한건축학회논문집 제10권 12호, 1994.12
7. 조국래·박몽섭, 외기인접방식별 공동주택 단위평면 특성분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계) 제22권 1호, 2006.1
8. 심재만, 고층아파트 단지의 차폐도 지표설정에 관한 연구, 인하대학교 대학원 박사학위논문, 2005
9. 송용호·이정수·이정훈·권홍순, 전통마을 길, 마당의 시지각 차폐도 분석, 대한건축학회논문집(계획계) 제23권 3호, 2007.3
10. 황미영, 박물관 전시공간의 시각적 시퀀스 구조에 관한 연구, 홍익대학교 대학원 건축학과 박사학위논문, 2003.12
11. 이혁준, 공간분석을 위한 정량적 분석 모델에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집 제14권 2호, 2005.4
12. 김진균, 시각구조분석에 의한 건축공간의 해석에 관한 연구, 대한건축학회논문집 제10권 12호, 1994.12
13. 윤재신, 건축평면에서 공간의 시지각적 화상화에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계) 통권115호, 1998.5
14. 김충기, ISOVIST의 3차원 기능확장을 통한 도시경관의 가시성 분석기법 개발, 대한국토도시계획학회지 제40권 2호, 2005.12

[논문접수 : 2010. 10. 31]

[1차 심사 : 2010. 11. 17]

[제재 확정 : 2010. 12. 10]