

***다시점 가시영역 분석도구설정에 관한 기초연구

- 3D게임엔진을 이용한 래스터 연산방식을 중심으로 -

A study for the establishment of analysis tool for the visible area of three dimensional space

- Based on the Raster operation using 3D game engine -

김석태* / Kim, Suktae
전한중** / Jun, Hanjong

Abstract

In the late 1970s, the method of quantitative and scientific space structural analysis based on graph theory was introduced to the process of space design, which arranges design and functional elements, as relying heavily on intuition could produce errors due to unverified experiences and prejudices of the designer. As the method of space analysis is complex and hard to express visually and requires repetitive operations, it was discussed theoretically only. However, with the development of computer performance and graphic in recent years, visualization became possible. But the method of visual structural analysis of space is at the level of two dimensions and it is not easy to get accurate data when it is applied to limited three dimensional space such as an interior space. For the visual structural analysis of space, this study presents 4 indices including visibility volume level, pure visibility connection frequency, effective visibility connection frequency, and path visibility connection frequency. This study also presents space division using three dimensional arrangement rather than the existing vector operation method and raytracing algorithm at the lattice constant. Based on this, an analysis tool for the visible regions of three dimensional space that is capable of evaluating at multiple points by using three dimensional game engine and presentation tool that allows the analyzer to interpret the data effectively is made.

It is applied to 2 prototype models by displacing Z axis, and the results are compared with UCL Depthmap to verify the validity of data and evaluate its usefulness as a multidimensional, multi-view space analysis tool.

키워드 : 가시영역, 공간분석, 그래프이론, 3D게임엔진

Keywords : Isovist, Spatial Analysis, Visibility Graph, 3D Game Engine

1. 서론

1.1. 연구의 목적 및 배경

실내디자인자가 공간을 설계하는 과정에서 조형요소와 기능요소들을 배치하고 조합해 나가는 것은 하나의 공간예술이라 할 수 있다. 그러나 이러한 작업은 디자이너의 직관에 크게 의존하기 때문에 검증되지 않은 경험과 상황에 대한 선입관으로 인하여 실수를 하기 쉽다. 그리하여 과거에는 공간에 대한 정상적인 평가가 주류를 이루어 왔으나 2차 대전이 끝나는 무렵부터 정량적이고 과학적인 공간구조분석에 대한 시도가 이루어지

기 시작하였다. 이러한 공간구조분석에 관한 많은 연구들이 건축공간의 물리적 환경 수준을 높이기 위해 공간의 구조를 분석하고자 하였으나, 공간을 지각하는 요소들의 관계성을 파악하기 어렵고, 또한 복잡하며 반복적인 연산을 요구하기 때문에 쉽게 이루어지지 못했다. 그러나 70년대 후반부터 컴퓨터의 도움으로 이러한 이론적 공간구조 분석론들은 그 결실을 맺기 시작하였다.

특히 공간에서 생활하는 인간들이 공간을 체험하는 가장 중요한 요소인 시지각 분야는 괄목할 만한 성과를 많이 생산하고 있으며, 현재에도 수많은 공간연구자들의 관심의 대상이 되고 있다. 공간분석은 크게 통계적 이론과 그래프 이론으로 구분할 수 있는데 통계적 이론에 비하여 그래프 이론은 공간설계에 대한 좀 더 직접적이고 가시적 데이터를 제공할 수 있다는 장점으로 인하여 더욱 주목받고 있다. 그러나 현재까지 나온 대다수

* 정희원, 인제대학교 디자인학부/유니버설디자인연구소 조교수

** 정희원, 한양대학교 건축학부 부교수, 건축학박사

*** 본 논문은 2006년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임

의 그래프 분석이론은 2차원 이론으로 태생적으로 3차원 공간에 적용함에 있어서 많은 한계를 드러내왔다. 3차원으로서의 확장에 어려움을 주는 가장 큰 요인은 매우 복잡한 공간형태 분석 알고리즘과 천문학적인 연산시간을 요구한다는 점과 결과데이터를 분석자나 디자이너에게 효과적으로 프리젠테이션 해주기 어렵다는 점 때문이었다. 이에 본 연구에서는 베네딕트(Benedikt)의 가시장이론(isovist)이론과 펜(Penn)과 터너(Turner)의 가시그래프(VGA; visibility graph analysis)이론에 기반한 3차원 공간분석모델과 분석도구를 제시하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

3차원 공간분석을 위하여 가상의 공간에 3차원 모델을 설정하고 격자로 영역을 분할하여 각 격자점을 시점으로 하여 목표점으로서의 가시성 판정을 종합하는 방법을 사용하였다. 본 연구는 3차원 분석이므로 목표점은 3차원 매트릭스에 배열되며, 격자의 크기의 조절로서 결과데이터의 해상도를 조절할 수 있게 된다. 분석도구는 게임엔진을 이용하여 시점에서 목표점으로서의 광선추적방식을 사용하여 알고리즘을 단순화 시키고 게임엔진의 공간표현 기능과 함께 데이터를 캐드로 전송하여 추출 및 필요에 따른 표현적 가공을 할 수 있도록 하였다.

분석을 위하여 가시체적도, 순수가시연결빈도, 유효레벨가시연결빈도, 경로가시연결빈도 등 4지표를 제시하였고, Z축으로 변위가 있는 것과 없는 것, 2개의 프리미티브 공간모델을 이용하여 분석하고 UCL DepthMap²⁾과 그 결과를 비교하였다.

또한 본 연구는 공간체험자의 행태를 배제한 순수한 공간의 구조와 가시영역의 분포를 분석하기 위한 이론으로 무지향적 가시장이론과 가시그래프 이론을 기반으로 하므로 체험자의 시각적 행태를 기반으로 하는 가시권분석은 제외하였다. 그러므로 시야각에 대한 고려나 공간특성에 따른 의도화된 목표점 선별은 포함되지 않는다.

2. 시각적 속성과 관련된 그래프 분석이론

2.1. 공간구문론(Space Syntax)

국내에서도 오래전부터 활발하게 연구되고 있는 공간구문론은 공간구조를 단위공간의 연결관계를 통하여 분석하는 방법으로서 공간구조에 내재되어 있는 사회적 특성을 객관적이고 정량적으로 보여주는 방법론이다.³⁾

공간구문론의 가장 큰 특징은 시각적 단위를 사용하여 단위공간을 노드로 정의한다는 점과 공간의 깊이를 계산하여 공간의 위계와 통합관계를 파악한다는 점이다. 그리고 공간의 연결관계를 나타내는 그래프(Justified graph)를 재현하는 과정에서 분석을 위한 공간단위를 노드로 정의하는데 있어 두 가지 방법을 제시한다.⁴⁾

하나는 단위공간내의 어느 점에서도 단위공간 전체가 시각적으로 파악이 가능한 볼록공간(convex space)으로 분절시키는 방법과 시각적으로 한눈에 들어오는 일종의 루트를 하나의 선분으로 하여 단위공간을 표현하는 축선도(axial map) 방식으로 모두 시각적 단위를 사용하고 있다.

이러한 연결관계를 이용하여 연결도(connectivity)⁵⁾, 통제도(control value), 전체통합도(global integration), 국부통합도(local integration), 공간명료도(intelligibility)등의 척도를 얻을 수 있다.

공간구문론이 공간의 연결관계에 초점을 둔 분석방법이지만 가시성을 기반으로 한 그래프화 분석이론이라는 점에서 시지각 속성과 관련되어 있는 일련의 연구들과 맥락을 같이 한다.

2.2. 가시장이론(Isovist Field)

공간의 고정된 특정지점(일반적으로 공간의 중심점)에서 360도로 시각적으로 관찰할 수 있는 가시영역을 형상화한 것이다.

어떤 경계안의 특정한 점으로부터 보여질 수 있는 모든 영역을 연결한 다면체를 정의하고 이를 바탕으로 얻어지는 좌표들이다. 최초 가시장이론을 제안한 베네딕트(Benedikt; 1979)는 시각적 경계선을 이용하여 가시영역도를 작성하고 이를 기반으로 가시영역변수, 가시한계변수, 공간개방도, 공간개방변수, 공간개방벡터 등의 지표를 제시하였다.

이후 와이즈(Wise; 1985)는 가시길이, 차폐길이, 분산(variance), 비대칭도(skewness), 밀도(compactness), 람다(Lambda)와 같은 척도를 추가로 제시하였으며, 영국 바틀렛 건축학교 가상현실연구소의 터너(Turner; 2001)는 2차원 공간의 시각영역 분석소프트웨어인 뎀스맵(DepthMap)을 발표하면서 면적(area), 밀도(compactness) 개방각(drift Angle), 개방도(drift Magnitude), 최대반지름(max Radial), 폐쇄도(occlusivity), 경계의 둘레(perimeter)와 같은 지표로 정리하였다.

2.3. 가시성그래프(Visibility Graph Analysis; VGA)

이 기법은 공간구문론을 제안한 영국 바틀렛 건축학교의 터

1)본 연구에 사용된 캐드는 AutoCAD2005TM이다.

2)Isovist와 VGA, Space Syntax분석을 위해 영국 바틀렛 건축학교(UCL) 가상현실센터에서 개발된 소프트웨어이다.(Depthmap: a program to perform visibility graph analysis. In Proceedings 3rd International Symposium on Space Syntax pp.31.1 - 31.9)

3)김민석, 공간의 가시성에 기반한 ERAM모델, 서울대학교 대학원 건축학과 석사학위논문, 2006.2, p.8

4)이와 관계된 이론으로서 공간구조를 이동(movement)의 측면에서 공간 점유의 가능성 정도를 파악하기 위하여 인접행렬을 추출하는 재현과정을 추가한 ERAM(최재필 외, 2003)이론이 제안된바 있다.

5)임의의 노드에서 바로 이웃한 노드로 이동할 수 있는 방법의 수를 나타내는 지표로서 그 공간에 직접 연결된 다른 단위 공간들의 개수를 의미한다.

너(Turner)와 펜(Penn)에 의해 좀 더 구체적인 가시영역의 개념으로 공간구문론을 보완하기 위해 제안되었다. 공간구문론의 분석에서 노드의 설정이 2차원 벡터나 블록한 폐곡선이었다면 이 방법은 2차원 매트릭스에 배열된 정점을 이용한다. 공간을 일정한 정밀도 이상의 격자로 분할하고 각 점을 노드로 설정하여 이 노드가 이웃한 노드와 시각적 연결이 이루어져 있으면 빈도수를 증가시키는 방법을 사용한다.

그러므로 사용자에게 의해 지정되는 격자의 간격은 분석의 정밀도를 조절할 수 있으며 격자의 간격이 좁아질수록 정밀한 데이터를 수렴할 수 있으나, 분석에 필요한 연산시간이 길어지는 단점이 있다. 또한 가시그래프(VGA)이론은 가시성 그래프로부터 공간구문론의 핵심개념인 깊이(depth)를 정량화 한다. 즉 노드와 노드가 단 하나의 링크로 연결되면 깊이 1이 되며, 몇 개의 노드를 거쳐서 접근해야 하면 그 거친 노드의 숫자만큼 깊이가 된다. 그러므로 이 분석방법은 물리적 거리가 아닌 오로지 시각적 연결관계 만이 중요하다. 즉, 공간을 이용하는데 있어 중요한 것은 이동할 때 발생하는 물리적 노력이 아닌 이동에 필요한 추가정보의 습득여부라는 전제를 가진다.⁶⁾

가시성과 깊이라는 양면을 가지고 있기 때문에 그래프 생성 방법은 가시장이론과 유사하고 구조분석방법은 공간구문론과 유사하여 두 이론의 특징을 모두 갖는 이론이라 할 수 있다.

2.4. 시각적 접근과 시각적 노출

(Visual Access & Visual Exposure; VA & VE)

공간구문론이 사회학적 관점에서 공간을 분석한다면 1984년 아치(Archea)에 의해 처음 제안된 이 이론은 환경심리학적 관점이 크게 작용하는 이론이다. 이 모델이 이전의 환경심리학의 저작과 비교되는 점은 건축환경을 수학적으로 추상화시키려고 시도하고, 추상화된 환경에서 환경 내에서의 행동(behavior)과 직관적으로 명확한 관계를 설정하였다는 데 있다.⁷⁾

이 이론의 가장 큰 영향을 미친것은 베네딕트(Benedikt)의 가시장이론이다. 가시장이론이 공간의 특징중심에서 가시영역과 특성을 추출하는 정적이론인 반면에 인간의 행동심리에 대한 예측에 관심을 갖는다. 그러므로 시각적 접근과 노출모델은 시점의 의도된 지향성과 시야각이라는 개념을 갖게 되고 시점이면서 목표점이 되는 각 점은 시각적 접근 가능성과 노출 가능성이라는 2개의 지표로 이원화되어 더욱 구체적인 분석이 가능하다.

그러나 시점의 지향성에 대한 예측과 기대에 대하여 아직까지의 연구에서는 학계가 공감할 만한 충분한 근거를 제시하지 못하고 있기 때문에 시점의 이동 및 목표점의 설정에 대한 부

분을 보완한 이론들이 국내외적으로 계속 제안되고 있다.

2.5. 공간분석방식의 한계점 및 3차원화

도시나 단지와 같은 공간을 분석했을 때 나타나는 지표는 절대값이 아닌 분석대상 공간 내에서 나타나는 값에 대한 상대치들이다. 그러므로 분석대상지역은 넓을수록 데이터의 신뢰도가 높아진다. 반면에 실내공간은 한정된 공간이면서 상대적으로 좁기 때문에 시각적 활동이 더욱 활발히 일어나므로 기존의 2차원 분석으로는 정확한 가시영역의 도출에 한계가 있다.

또한 현대건축물은 점점 더 형태가 복잡해지면서 공간의 경계가 모호해지고 이에 따른 공간의 연출이 다원화되고 있다.

뱌퍼드(Bamford; 2000)는 가시장이론에 수직 시각적도인 고도각을 도입하였고 피셔(Fisher; 2003)는 관찰점으로부터의 빈공간의 용적을 측정하여 이를 개방도(SOI:spatial openness index)로 명명하였는데, 이를 위해 공간을 정육면체로 분할하여 2차원 래스터 데이터를 3차원으로 배열하고 검토편위를 반구로 설정하여 조망선을 지정한 뒤, 조망선 내부에 포함되는 정육면체의 수를 측정하는 방법을 사용하였다. 이들은 2차원적 공간 측정 방법인 가시장이론을 3차원으로 발전시키려는 시도들이다.⁸⁾ 그러나 이러한 이론들은 공간에 임의의 한계선을 설정하고 가시선이 한계면에 투영되는 면적과 형태를 중심으로 분석이 이루어지는 영상처리기법들이므로 완전한 3차원 분석기법이라고 보기는 힘들다.

3. 분석도구의 구축

크게 가시판정 도구와 판정결과 데이터의 프리젠테이션 도구로 분리된다.

대다수의 그래프분석 이론들은 벡터를 기반으로 계산하므로 분석의 기본이라 할 수 있는 가시판정은 수학적으로 정의가 가능한 형태에 한하여 산출이 가능하며 최종적으로 폐쇄된 다각형의 형태로 결과물이 표현된다. 그러나 3차원 공간에 대한 분석은 상당히 복잡한 부울(bool)대수연산 거치지 않는 한 연산이 어렵고 또한 면이 아닌 시점과 면의 중간에 위치한 빈공간에 대한 가시변수를 얻어낼 수 없기 때문에 본 연구는 VGA이론의 격자(grid)시스템을 이용하여 래스터기반의 분석방법을 선택하였다.

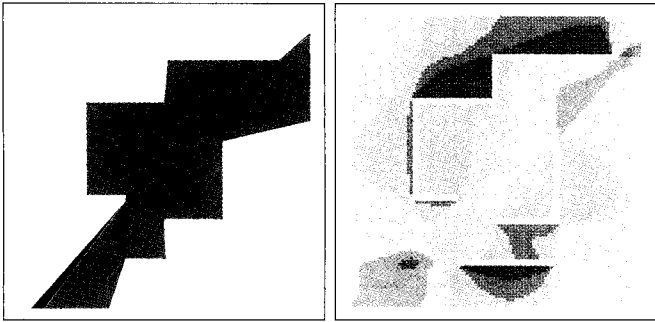
벡터기반의 연산과 비교했을 때 래스터기반의 연산의 가장 큰 차이점은 분석해상도(resolution)를 지정해야 한다는 점이다. <그림 1>과 <그림 2>는 Depthmap에서 벡터기반과 래스터기반의 가시영역도(Isovist Area)의 분석방법과 결과에 대한 차이

6)김민석, 공간의 가시성에 기반한 ERAM모델, 서울대학교 대학원 건축학과 석사학위논문, 2006.2, p.22

7)황용하, 시각적 접근-노출 모델의 재고찰, 서울대학교 대학원 건축학과 석사학위논문, 2002.2

8)Isovist의 3차원 기능확장을 통한 도시경관의 가시성 분석기법 개발, 국토계획, 제40권 2호, 2005.4, p.184

를 보여주고 있으며, 이를 통하여 벡터방식은 가시여부만을 래스터방식은 공간의 각 지점의 가시가능성까지를 분석해 낼 수 있음을 알 수 있다.



<그림 1> 벡터연산 가시영역연산

<그림 2> 래스터기반 가시영역연산

래스터 분석에서는 연산을 위한 분석대상 공간을 분할시키는 격자의 크기가 공간 분석의 정밀도를 결정하게 되지만 3차원 매트릭스에 대한 연산의 경우 지나친 격자의 세분화는 연산속도를 크게 저하시키는 원인이 될 수 있다.

이는 Z축에 대하여 분석 세그먼트가 크게 증가하면서 분석데이터량이 폭주하기 때문이므로 처리속도를 감안하여 C++컴파일러를 이용하였다.⁹⁾

분석도구를 설계함에 있어서 또 하나의 문제점은 분석된 데이터를 시각적으로 프리젠테이션 하는 것이다. 2차원 결과 데이터와 달리 3차원 데이터는 결과를 한 화면에 분석자가 쉽게 이해하고 필요한 데이터를 가공할 수 있도록 하기 어렵다. 그래서 본 연구에서는 결과데이터(변수)를 아스키(ASCII)포맷의 파일로 저장하고 이를 어토리쉬(AutoLisp)프로그래밍으로 오토캐드(AutoCAD)에서 불러들여 다양한 시각적 분석을 할 수 있도록 하였다.

3.1. 게임엔진과 3D그래픽 엔진

3D그래픽엔진은 게임개발을 위해 탄생되었으며, 게임시장의 확대와 더불어 급속도로 발전되고 있기 때문에 게임엔진의 한 부분이라고도 할 수 있다. 3D그래픽엔진은 컴퓨터 내의 가상공간에 시각화가 가능한 일종의 논리공간을 구성하는 것이라 할 수 있다. 좀 더 기술적으로 표현한다면 게임을 만드는 데 있어 필요한 기초기술의 집합물중의 일부를 말하는 것으로 3D로 그래픽을 표현하는 게임 엔진 중 AI(인공지능), 사운드음향, 인풋 시스템 등을 제외한 그래픽 출력에 한정된 부분을 담당하는 것이다.¹⁰⁾ 그러므로 게임엔진은 크게 렌더링엔진, 애니메이션엔진, 물리학엔진 등으로 구분될 수 있다.

본 연구에서는 3차원 공간에 대한 분석과 묘사를 용이하기 위하여 이러한 3D엔진의 특징을 이용하게 되었다. 시각적인 렌

더링을 컨트롤하는 API¹¹⁾는 마이크로소프트사의 Direct3D와 SGI의 OpenGL이 주로 사용되고 있는데 그 중에서 DirectX 9.0c환경에서 개발된 국산 게임엔진 LEGO를 사용하였다.

3.2. 연산 알고리즘

(1) 각 점에서의 시지각 여부 판정방법

3D엔진의 광선추적(raytracing)방식의 알고리즘을 이용하여 가시판정루틴을 제작하였는데, 이는 게임 상의 총(시점)에서 발사된 탄환이 타겟(목표점)을 맞힐 수 있는가의 알고리즘과 동일하다고 할 수 있다. 다시 말해 분석도구에서는 시점에서 발사된 광선이 목표점에 도달하였는가의 여부로 가시성을 판정하는 것이다. 이를 위해 3D모델은 모두 삼각형(triangle) 폴리곤으로 구성되어야 하며 시야공간이 되는 부분들은 3차원 공간의 정점으로 표현되며, 3차원 벡터로 계산이 된다.

우선 시점에서 분석대상으로 추출된 목표점(target point)까지의 광선벡터를 구하고 하나의 시점과 광선벡터에 대하여 3D 모델의 모든 삼각형과의 충돌여부를 판별한다. 이 과정에서 모델은 모두 삼각형 폴리곤으로 분해되고 폴리곤의 수만큼 반복 연산을 거치게 된다. 이러한 방법을 모든 목표점을 대상으로 순차적으로 연산하여 빈도수를 계산하였다.

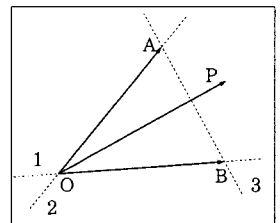
(2) 폴리곤 교차(충돌)판정 알고리즘

Direct3D에서 충돌여부를 판정하는데 사용되는 함수의 입출력 변수는 다음 <표 1>과 같이 정의되며 내부연산에 대한 수학적 알고리즘은 다음과 같다.

<표 1> 삼각형 교차판정함수의 변수 정의

HRESULT WINAPI D3DXIntersect	
LPD3DXBASEMESH pMesh,	// 3D model(모든 삼각형 정보) : Input
CONST D3DXVECTOR3 *pRayPos,	// 시작되는 정점 정보 : Input
CONST D3DXVECTOR3 *pRayDir,	// 보려고 하는 정점으로의 방향 : Input
BOOL *pHit,	// 충돌여부 정보 : output
DWORD *pFaceIndex,	// 충돌된 삼각형에 대한 Index : output
FLOAT *pU,	
FLOAT *pV,	
FLOAT *pDist,	// 시작되는 정점에서 방향벡터에 대한 비율거리 : output
LPD3DXBUFFER *ppAllHits,	
DWORD *pCountOfHits;	

<그림 3>과 같이 OA, OB는 고정된 벡터이고 여기에 임의의 벡터 OP가 존재할 때 이를 수학적으로 정의하면 $OP = u \times OA + v \times OB$ 로 표현될 수 있다.¹²⁾ 여기에서 u 와 v 에 제약을 가하면 점P는 특정한 영역을 표현할 수 있게 된다. P가 OAB영역을 표현하기 위한 조건은 삼



9)본 연구에서는 Microsoft사의 Visual Studio 2005 .Net이 사용되었다.

10)김병철, DirectX 9.x 3D게임프로그래밍, 대림, p.118

11)application programming interface, 운영체제와 응용프로그램 사이의 통신에 사용되는 언어나 메시지 형식

12)여기에서 u, v 는 임의의 실수라고 가정한다.

각형의 변 ①②③에 하나씩 있게 된다. 그러므로 점P가 삼각형 OAB에 포함되는지를 검사하는 것은 u, v 가 다음 세 개의 조건을 만족하는지를 검사하는 것이다.

- ① $0 \leq u$
- ② $0 \leq v$
- ③ $u + v \leq 1$

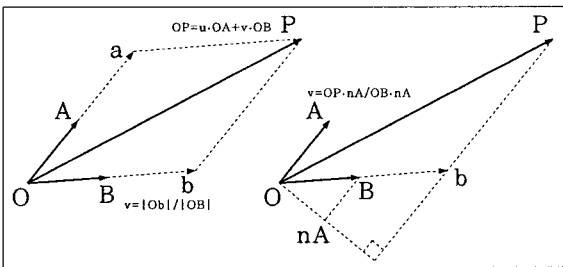
반직선과 삼각형 평면의 교점이 P, 삼각형의 각 꼭지점이 O, A, B이므로 반직선과 삼각형의 교차판정은 다음과 같이 코딩될 수 있다.¹³⁾

```

if ( *u < 0.0f || *u > det )
    return FALSE;
if ( *v < 0.0f || *u + *v > det )
    return FALSE;

```

이 경우에 발생하는 문제는 OP를 OA와 OB로 분해하는 것, 다시 말해 u, v 값을 어떻게 구하는 것인가 하는 것이다.



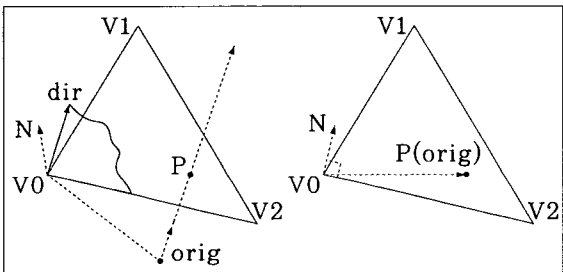
<그림 4> 벡터분해

<그림 4>의 좌측도를 보면 $v = |OA|/|OB|$ 임을 알 수 있다. 이때 벡터 OB와 Ob를 OA에 수직인 벡터 nA에 투영을 하면 우측도와 같이 된다.¹⁴⁾ 여기서 벡터 Ob와 OP는 법선 nA에 대하여 같은 정사영을 갖기 때문에, $Ob \cdot nA = OP \cdot nA$

$$\therefore v = Ob \cdot bA / OB \cdot nA = OP \cdot nA / OB \cdot nA$$

같은 방법으로 u를 표현하면 $u = OP \cdot nB / OA \cdot nB$ 으로서 OP에 대한 벡터를 분해해 낼 수 있다.

(3) 내적값과 법선



<그림 5> 내적값 (OP · N)과 법선(N)

<그림 5>의 좌측도는 IntersecTriangle의 입력이고 우측도는

13)Picking일 riuddn IntersecTriangle이 출력하는 u, v 를 사용하면 마우스의 3차원 위치와 카메라와의 거리를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{마우스의 3차원 좌표} = i0 + u*(v1 - i0) + v*(v2 - i0)$$

14)이를 수학적으로 정의하면

$$v = |OA|/|OB| = |Ob|nA \cos \theta / |OB|nA \cos \theta = Ob \cdot nA / OB \cdot nA$$

좌측도의 dir과 평행한 방향을 바라본 그림이다. 그림에 표시된 법선(N)은 V0, V2를 포함하고, 바라보는 방향과 평행한 평면의 법선벡터이다. 이때, 점 P와 orig는 이 벡터 N에 대해 같은 정사영을 갖는 점들이므로

$(orig - V0) \cdot N = (P - V0) \cdot N$ 이 성립한다. N을 법선으로 하는 평면은 dir과 평행한 방향을 바라봤으므로 V0, V2, (V0 + dir)을 포함하는 평면이고 따라서 법선 $N = dir \times (V2 - V0)$ 과 같이 구해질 수 있다. *가 외적연산자이므로 정리하면 $u = tvec \cdot (dir \times e2) / e1 \cdot (dir \times e2)$ 가 된다.¹⁵⁾

이를 변수로 정의하면 다음과 같이 코딩할 수 있으며, 산출된 내적값과 법선에 최적화 프로세스를 거쳐 삼각 폴리곤과의 교차여부를 판정할 수 있게 된다.

```

D3DXVec3Cross( &pvec, &dir, &edge2 );
FLOAT det = D3DXVec3Dot( &edge1, &pvec );
*u = D3DXVec3Dot( &tvec, &pvec );
FLOAT flnvDet = 1.0f / det;
*u *= flnvDet;

```

3.3. 지표의 제안

(1) 가시체적도(3D Isovist capacity)

시각적 연결도는 특정지점에서의 공간전체에 대한 시선 발산의 발산을 통해 보여질 수 있는 영역을 표현한다. 그러므로 시점을 공간의 중심점으로 설정한다면 가시영역도와 유사한 가시영역이 나타나게 된다. 기존의 가시장이론과 다른 점은 래스터 기반의 연산방법을 사용하기 때문에 결과가 격자 상에 표시된다는 것과 결과데이터가 3차원 배열형태이므로 2차원 평면에 결과가 나타나는 것이 아닌 3차원 입체공간에 결과를 표시한다는 점이다. 이 데이터는 보이는(true), 보이지 않는(false)의 디지털화된 진리값으로 양분되어 가시장이 명확하게 나타나며, 체계적인 보이는 격자(true)의 총합으로 산출될 수 있다.

분석대상공간의 전체 체적으로 나누면 특정좌표에서 공간의 개방감을 측정할 수 있는 가시체적비가 되며, 공간의 개방도를 평가할 수 있는 지표중의 하나로 활용될 수 있다.

(2) 순수가시연결빈도(VF; Visibility Frequency; 전체점→전체점)

순수가시연결빈도는 분석대상공간 내의 모든 점에서 모든 점으로의 시각적 연결도를 총합한 수치로서 공간 내 각 지점의 관찰용이성을 파악할 수 있다. 모든 격자를 3차원의 배열로 할당하여 배열에 존재하는 모든 좌표에서 모든 지점으로의 가시판정을 하여 시각적으로 연결된 횟수를 파악한 것이다. 이를 수학적으로 정의하면 관찰이 가능한 영역 I(C)내에 있는 모든 시점 C에서 목표점 T로 광선을 발사했을 때 순수가시연결빈도 VF는 다음과 같이 정의될 수 있다.¹⁶⁾

15) $e1 = V1 - V0, e2 = V2 - V0$ 그리고 $tvec = orig - V0$ 로 정의하여 정리한 것이다.

16)함수P는 C(Camera)에서 T(Target)를 바라볼 때 가시적으로 보이는가

$$VF = \sum_{T \in R(C)}^n P(C \rightarrow T) \cdot F(T)$$

<수식 1> 순수가시연결빈도

여기에서 C' 는 공간 내에 존재하는 3차원 배열의 모든 점으로서 개수 $n = x_i \cdot y_i \cdot z_i$ 이고 시각적 접속이 조건 없이 발생하므로 빈도 $F(T)$ 는 항상 1이 될 것이다.

(3) 유효레벨가시연결빈도

(VF_e : Effective level Visibility Frequency; 특정레벨→전체점)

순수가시연결빈도가 공간의 모든 점에 대한 분석을 하므로 모든 Z축에 대한 분석도 수행하게 된다. 그러므로 유도사인, 방법카메라, 보안등 설치위치 등에 활용될 수 있다. 그러나 이러한 관찰행위는 수직적으로도 자유롭게 이동이 가능한 경우에만 가능한 것이다.

실제로 공간의 관찰은 인간을 중심으로 이루어지므로 인간과 관련된 가시영역분석은 시점대상을 모든 점으로 설정하는 것이 아닌 인간의 눈높이가 존재하는 특정레벨(Z값)을 대상으로 했을 때 더욱 유효한 데이터를 얻을 수 있을 것이다. 레벨은 공간의 용도에 따라 누워있는 경우, 엮드려있는 경우, 앉아있는 경우, 서있는 경우 등 다양한 동작에 의해 바뀔 수 있지만 본 연구에서는 인간이 서있는 자세에서 평균 눈높이로 1600을 설정하였다.¹⁷⁾ <수식 2>과 같이 정의될 수 있으며, 시점 C_{level} 은 특정레벨에 한정되어 좌표군이 2차원 매트릭스를 이루기 때문에 판정개수 $n = x_i \cdot y_i$ 가 된다.

$$VF_{level} = \sum_{T \in R(C)}^n P(C_{level} \rightarrow T) \cdot F(T)$$

<수식 2> 유효레벨가시연결빈도

이 지표는 보안을 위한 방법카메라, 경비실이나 중앙감시실과 같은 통제실의 위치, 범죄취약지역과 같은 인간의 시각속성과 관련된 정적 요소의 위치를 파악하는데 사용될 수 있다.

(4) 경로가시연결빈도

(VF_p : Applicative Visibility Frequency; 경로→전체점)

공간을 평면적으로 볼 때 모든 장소를 균등하게 사용하는 것은 아니다. 다시 말해 공간 내에 인간이 이용하는 패턴과 이동 경로에 따라 많이 사용하는 지점들이 정해질 수 있다. 그러므로 특정 경로에서 공간전체를 관찰할 때 시각적으로 연결되는 지점은 공간이 동적으로 사용될 때의 유효한 분석데이터를 제시할 것이다. 유효가시연결빈도가 정적이라면 적용가시연결빈도는 동적 개념이라 볼 수 있다. 이 지표를 통해 사인물, 표지판, 랜드마크의 위치설정, 대피 안내와 같은 동적상황에 효과적인 데이터를 제시할 것이다. 그러므로 이 지표는 패스의 설정이 선행

를 판정하는 확률(Probability)을 의미하는 함수이다.
17)가상현실언어인 VRML에서 아바타 시선높이의 기본값(default)이 1,600으로 맞추어져 있다.

되어야 하므로, 특정한 실험이나 시뮬레이션을 통해 공간 내 이동경로를 파악해내야만 분석이 가능하다. 경로점은 1차원 배열 형태의 스크립트로 지정되며, 정점(경로점)의 정밀도가 데이터의 정밀도에 영향을 준다. 또한 VF_p 의 최고값은 정점의 수가 된다.

$$VF_p = \sum_{T \in R(C)}^n P(C_{path} \rightarrow T) \cdot F(T)$$

<수식 3> 경로가시연결빈도

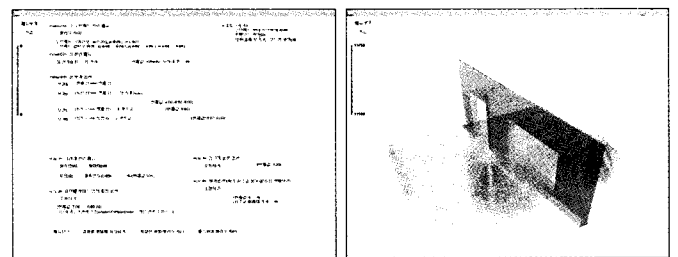
3.4. 인터페이스

이상의 이론들을 바탕으로 게임엔진을 활용하여 개발된 어플리케이션은 DirectX기반이므로 모델데이터는 X파일¹⁸⁾ 포맷으로 로딩을 하며, 분석연산의 3차원 배열형태의 결과데이터는 데이터정보를 담은 헤더와 함께 ASCII형식으로 저장(save) 및 불러오기(load)를 할 수 있도록 하였다.

우선 분석 해상도를 설정하는 격자간격 설정창과 지표별 데이터를 산출을 위한 파라미터 및 분석버튼을 통해 분석을 수행하게 하였다.<그림 6>

분석모델은 결과로서 표현되는 점들의 중첩을 최소화시키기 위해 3소점 투시도의 형태로 화면에 표시되며 마우스 조작에 의하여 모델을 검토(examine)¹⁹⁾할 수 있도록 구성하였다.

검토 과정에서 결과데이터의 효과적인 시각적 판독을 위한 부가옵션으로 모델을 불투명, 와이어프레임, 투명, 반투명으로 조절할 수 있도록 하였으며, 색상으로 표현되는 점의 크기를 조절할 수 있는 기능과 화면에 보여지는 점의 범위설정 및 모델을 잘라서 내부를 볼 수 있는 모델클리핑 기능을 부여하였다. 또한 단축키를 통해 흑백모드 전환, Z축 별로 한층씩 단계별보기 등의 기능을 추가하였다.<그림 7>



<그림 6> 메뉴 인터페이스

<그림 7> 분석화면 인터페이스

그러나 3D엔진을 통하여 보여지는 화면은 매우 복잡해질 수 있고, 필요한 데이터의 추출이나 분석목표에 따른 가공이 어렵기 때문에 저장된 데이터를 캐드로 읽어 들여 2차 분석을 위한 프리젠테이션이 가능토록 하였다.<그림 10~17>는 분석도구의

18)최초에는 Direct3D 유지모드(retained mode)에서 사용되기 위해 개발되었고 DirectX6에서 즉시모드(immediate mode)에서 사용할 수 있도록 확장된 DirectX 전용포맷으로 3DSMax에서 Plugin으로 export가 가능하다.

19)마우스 휠을 이용한 Zoom In/Out과 마우스 드래그에 의한 Orbit, Rolling이 가능하며, 이외에도 대부분의 표현전환은 키보드 단축키를 배정하였다.

화면이고, <그림 18>이후의 이미지는 모두 데이터전송(ASCII 포맷)을 하여 AutoLisp에 의해 효과적으로 시각화되는 캐드상의 분석화면들이다.

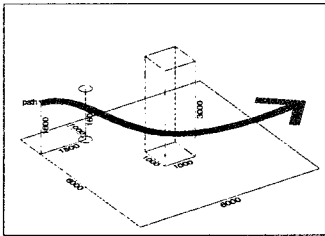
4. 기초모델실험 및 분석도구 테스트

4.1. 단위 모델의 설정 및 지표별 그래프 추출

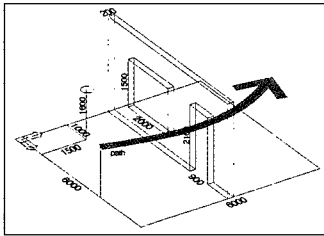
(1) 모델의 설정

6,000(w)×6,000(d)×3,000(h)의 단위공간을 설정하고 두 개의 공간을 실험모델로 삼았다. 하나(모델A; 그림 8)는 공간의 중심에 1,000×1,000크기의 정방형 기둥이 하나 설치된 경우이며, 다른 하나(모델B; 그림 6)는 공간을 양분하는 두께 200의 간막이 벽이 있고 바닥에서 높이600지점에 2000(w)×1500(h)의 창문과 900(w)×2100(h)의 문이 오픈되어 있는 모델이다.

모델A와 모델B는 평면적으로는 각각 동일한 형태를 띠지만 모델A는 수직적 변위가 없고, 모델B는 수직적 변위를 갖는 모델이라는 데서 차이가 있다. 격자는 연산시간을 고려하여 200간격으로 설정하였다. 또한 두 모델의 내부에는 각각 100개소의 관찰좌표가 정의되어 있는 임의의 패스커브(높이:1600)가 스크립트 형식으로 설치되어 있다.²⁰⁾



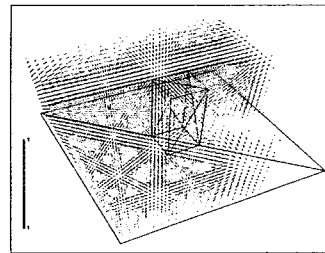
<그림 8> 모델A



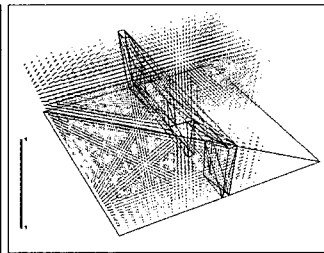
<그림 9> 모델B

(2) 가시체적도 분석

좌표 2000,1500 높이1600에서의 가시영역을 3차원 체적으로 연산한 결과이다. 3차원적으로 표시되어 판독이 쉽지는 않지만 높이(Z축)와 관계없이 일정한 가시영역권을 나타내고 있는 모델A와 달리 모델B는 높이에 따라 부분적으로 시각적 접근성이 떨어지는 것을 알 수 있다.



<그림 10> 모델A 가시체적도



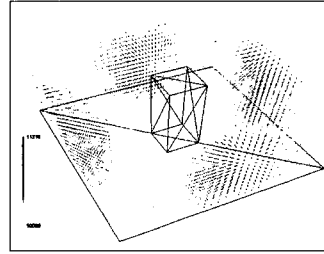
<그림 11> 모델B 가시체적도

(3) 순수가시연결빈도

공간 내의 모든 점이 시점이 될 수 있다는 가정 하에 산출되

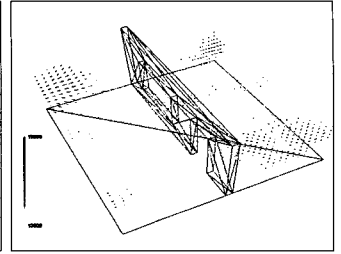
20) <그림 8>와 <그림 9>에 표시된 커브는 방향을 표시하였으나 본 연구는 목표점의 범위가 한정되지 않은 무지향성 이론이므로 분석과정에서 방향에 대한 의미는 없다.

는 지표로서 분석결과는 감시카메라의 위치설정이나 실내 조명 등의 배치와 같이 오브젝트 중심의 위치선정에 효과적인 데이터를 제공해 줄 수 있다. <그림 12>를 보면 기둥과 같은 수직 요소 주변은 시각적 사각이 많이 발생함을 알 수 있으며, <그림 13>을 보면 개구부에서 전체공간의 관찰은 용이하지만 개구부에 인접한 벽체는 반대로 공간관찰력이 떨어짐을 알 수 있다. 더욱이 벽체상부는 공간에 대한 시각적 접근이 많이 떨어진다.



<그림 12> 모델A

순수가시연결빈도(빈도(표시범위:10000~1300))

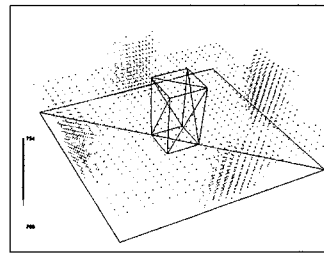


<그림 13> 모델B

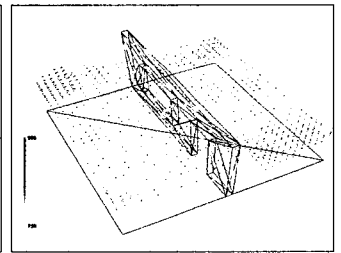
순수가시연결빈도(빈도(표시범위:10000~11300))

(4) 유효레벨가시연결빈도

이 지표는 특정높이²¹⁾에서 공간에 대한 관찰도를 측정하는 것이다. 그러므로 순수가시연결빈도와 달리 인간이 공간을 관찰할 때 관찰될 수 있는 빈도를 나타내게 된다. 그러므로 사인물이나 경비실의 위치선정 등에 사용될 수 있는 데이터를 제공하게 된다. 이 지표도 순수가시연결빈도와 유사한 양상을 보이고 있는데, <그림 14>는 높이 방향으로 변위가 거의 발생치 않는 반면에 창이나 문과 같이 Z축으로 변화가 있는 경우 순수가시연결빈도보다 변위가 커진다.<그림 15>



<그림 14> 모델A 유효레벨가시연결빈도
(표시범위:700~754)

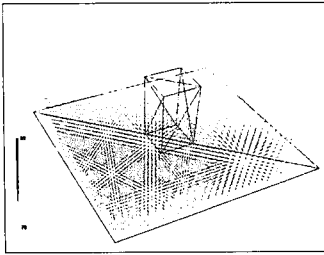


<그림 15> 모델B 유효레벨가시연결빈도
(표시범위:750~849)

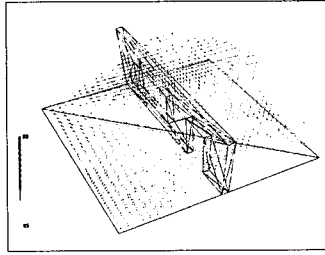
(5) 경로가시연결빈도

이 지표는 유효레벨가시연결빈도보다 더욱 실제적인 시각적 연결빈도를 얻기 위한 것으로서 사전에 지정된 경로상에서 이동 중에 발생할 수 있는 시각적 연결빈도를 나타낸 것이다. 본 실험에서는 임의의 패스커브를 이용하였기 때문에 결과데이터가 건축적으로 큰 의미를 가지지는 못하지만 유효레벨가시연결빈도와 비교하여 보면 분명 큰 차이를 발견할 수 있다. 이는 특정한 경로는 공간내부의 가시영역과 시각적 연결가능성을 크게 변화시킬 수 있음을 의미한다.

21) 여기에서는 인간의 눈높이인 1600으로 설정하였다.



<그림 16> 모델A 경로가시연결빈도
(표시범위:75~99)



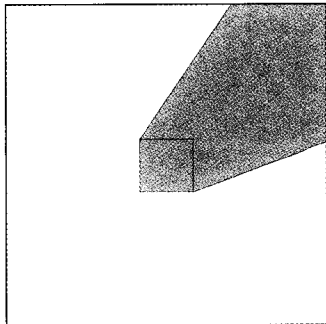
<그림 17> 모델B 경로가시연결빈도
(표시범위:85~99)

4.2. DepthMap과의 비교 검증

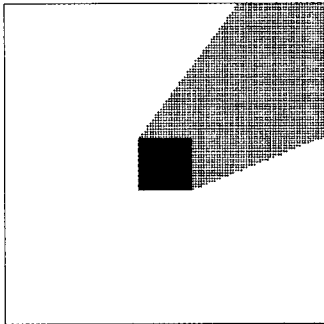
(1) Isovist Area(가시영역도)와 가시체적도 비교

두 개의 모델을 영국 바틀렛 건축학교(UCL) VR센터에서 개발된 Depthmap을 이용한 2차원 Isovist의 가시영역도와 본 연구를 위해 개발된 3차원 공간분석도구에 의한 가시체적도의 2차원 평면과 비교해 보았다.²²⁾

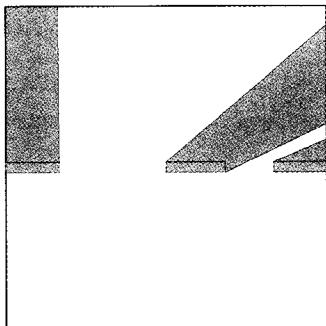
Z방향으로 변위가 없는 2차원적 공간인 모델A의 경우 DepthMap은 벡터화된 다각형의 영역을 본 분석도구에서는 시각적 연결이 가능한 격자를 표시해주고 있을 뿐 가시영역도(Isovist Area)와 가시체적도가 동일하게 나타났다. 그러나 Z축으로 변위가 있는 모델B의 경우 공간의 가시음영지역을 정확하게 보여주고 있다.



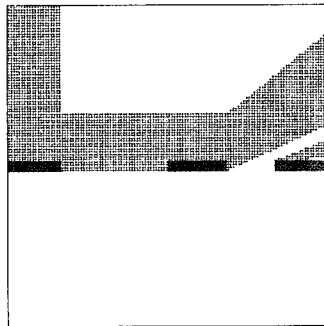
<그림 18> 모델A의 가시영역도



<그림 19> 모델A의 가시체적도의 평면도



<그림 20> 모델B의 가시영역도



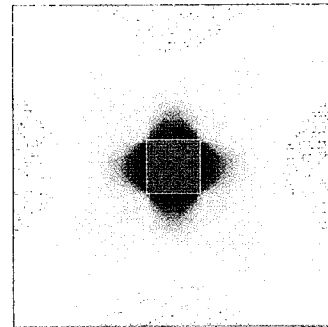
<그림 21> 모델B의 가시체적도의 평면도

(2) VGA Connectivity와 순수가시연결빈도 비교

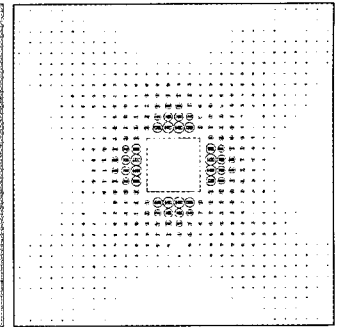
모델A의 경우 가시영역도와 동일하게 포인트 분석에 의한 가시그래프(Visibility Graph)와 분석도구에 의한 순수가시연결빈도 분석결과치는 동일하게 나타나고 있다.<그림 22> 그러나

²²⁾시점은 1000(x),1500(y),1600(z)로 두 모델 모두 동일하게 설정하였다.

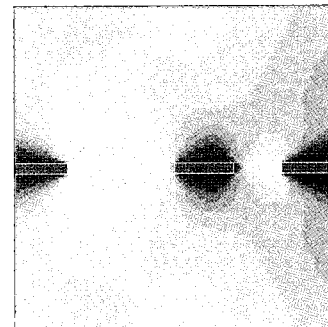
캐드로 읽어들이 데이터의 크기를 원(circle)으로 표시하여 평면적으로 중첩하여 보면 모델B의 경우 평면적으로는 거의 유사하게 보이지만 Z축으로 상당한 데이터의 변위가 심하게 나타남을 알 수 있다.<그림 20>



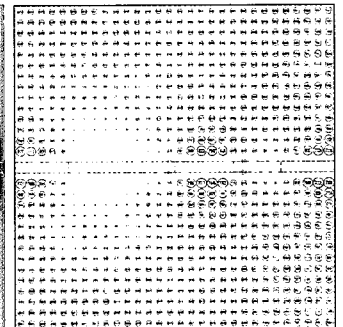
<그림 22> 모델A의 VGA Connectivity



<그림 23> 모델A의 순수가시연결빈도



<그림 24> 모델B의 VGA Connectivity

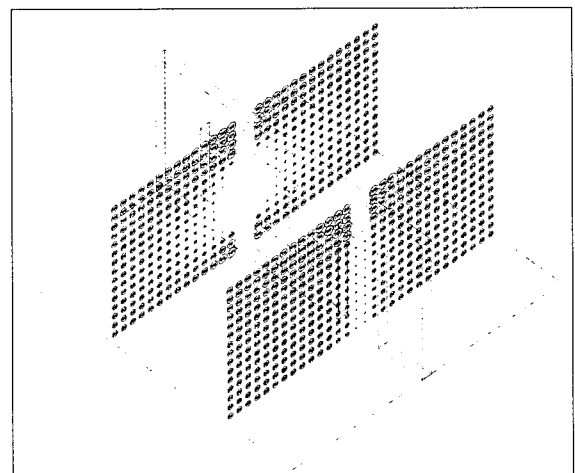


<그림 25> 모델B의 순수가시연결빈도

4.3. Z축 변위 측정

(1) 단면분석

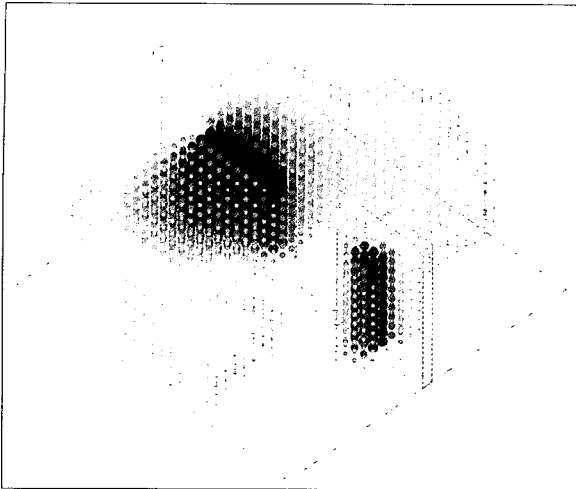
Z축으로 변위를 갖고 있는 모델B에 대한 좀 더 심층적인 분석을 수행하였다. 개구부에 가시연결빈도가 최고치를 기록하며 이를 중심으로 타원곡선형의 가시연결빈도가 높은 지역이 대칭으로 나타났으며, 개구부의 상하부에는 가시음영지역이 나타났다. 이 지역은 개구부의 영향을 거의 받지 않아 개구부의 유무에 관계없이 순수가시연결빈도 최고지역의 절반정도의 순수가시연결빈도를 보였다.



<그림 26> 모델B의 개구부 단층분석

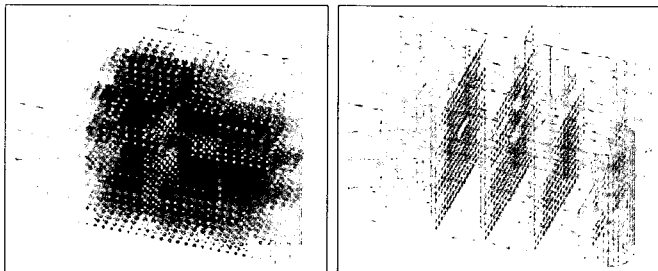
(2) 입체분석

<그림 27>는 가시연결빈도가 높은 영역을 강조하는 역상 (Inverse) 프리젠테이션 결과를 아이소매트릭으로 나타낸 것이다. 가시연결빈도가 높은 지역은 개구부에 밀집해 있으며, 크기에 비례하여 가시영역권이 급격히 감소됨을 알 수 있다.

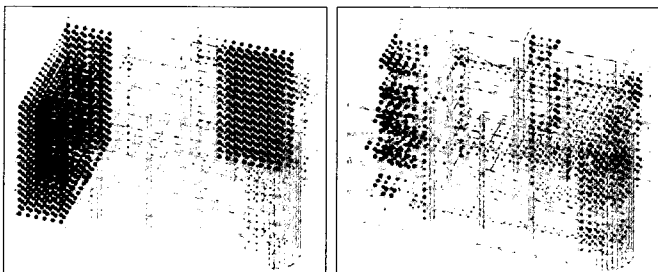


<그림 27> 모델B의 순수가시연결빈도 (노출빈도10500~14298)

두 개의 개구부가 인접할 경우 개구부간의 상호작용에 의해서 크기가 큰 개구부의 가시영역권이 작은 쪽으로 끌려가는 양상을 보였다. 그리고 <그림 28~31>은 좀 더 복합적인 건축요소에 대한 적용실험을 위해 4개 층의 바닥이 여러 가지 형태로 오픈되어 있는 가상의 공간을 대상으로 실험해 본 것이다.



<그림 28> 오픈공간의 가시성 양호영역 <그림 29> 오픈공간의 가시구조 단면분석



<그림 30> 오픈공간의 가시성 불량영역 <그림 31> 오픈공간의 가시성 중간영역

5. 결론

시각 속성과 관련된 공간구조 분석기법들은 미적측면만 고려되어 직관적으로 행해왔던 공간계획을 과학적이고 정량적으로 디자인하는데 실효성 있는 데이터를 얻어낼 수 있기 때문에 활

발히 국내외적으로 연구가 진행되고 있다. 그러나 최근 들어 설계되는 공간의 연출이 다차원적이고 입체화되는 추세이므로 기존의 평면적 분석방식을 탈피하여 3차원적이며, 공간사용패턴에 의한 다시점분석이 가능한 이론의 연구는 매우 의미 있다고 생각된다.

본 연구는 다차원, 다시점에서의 가시영역분석을 위한 기초적 연구로 4개의 지표를 제안하였으며, 이를 게임엔진의 광선추적알고리즘을 이용한 충돌판정기술과 3D 그래픽 가속기능이 지원되는 3차원 프리젠테이션을 이용하여 도구를 개발하였다.

그리고 분석도구를 실험함으로써 기존연구의 연장선상으로서의 유효성을 증명하였으며, 더 나아가 기존의 분석방법에 의한 데이터에서 발견되지 못한 새로운 가능성을 제시하였다는데 의의가 있다. 본 연구의 결과는 공간의 보안시스템설계, 시각적 취약지역예측, 랜드마크의 위치설정, 유도사인체계의 구축 등의 다양한 디자인 설계과정에서 유용한 자료를 제시하고, 정량적 검증도구로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 본 연구에서 제시된 지표들은 공간의 가시영역 시각화를 위한 빈도수의 산출에 머무르고 있으며 공간의 특성을 파악하기 위해 지표를 이용한 사회학적 통계와 같은 부분들은 논의되지 않았으므로 가용한 변수가 한정되어 있다. 또한 제시된 이론과 이를 바탕으로 개발된 분석도구는 기존의 가시장이론 (Isovist Field)과 가시성 그래프 이론에 기초한 무지향성 이론을 근거로 하고 있다. 그러므로 더욱 종합적이고 신뢰도가 높은 공간의 가시영역 분석을 위해서 다양한 지표의 추가적 개발 및 목표점과 시야각의 개념이 포함된 종합적 분석방법으로 향후 개선해 나아갈 계획이다.

참고문헌

1. Dalton, N. S., Webmap At Home. In New Developments in Space Syntax Software, 2007
2. Turner, A., UCL Depthmap 7: from isovist analysis to generic spatial network analysis. In New Developments in Space Syntax Software, 2007
3. O'Sullivan, D. and Turner, A., 2001, Visibility graphs and landscape visibility analysis. International Journal of Geographical Information Science 15, 2001
4. Turner, A., Doxa, M., O'Sullivan, D. and Penn, A., 2001, From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. Environment and Planning B: Planning and Design 28, 2001
5. Mark Deloura저, 류광 역, Game Programming Gems, 2001, 정보문화사
6. 김민석, 공간의 가시성에 기반한 ERAM모델, 서울대학교 대학원 건축학과, 공학석사학위논문, 2006.2
7. 황용하, 시각적 접근-노출 모델의 재고찰, 서울대학교 대학원 건축학과 석사학위논문, 2002.2
8. 김영준, 공간시각구조의 정량적 분석도구 설정에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 건축학과 석사학위논문
9. 김충식 · 이인성, Iovist의 3차원 기능확장을 통한 도시경관의 가시성 분석기법의 개발, 국토계획 40권 2호, 2005.4

<접수 : 2007. 8. 30>