

Ray-Tracing 알고리즘을 이용한 CCTV배치 평가시뮬레이션*

Simulation to Evaluate CCTV Positioning in Use of Ray-Tracing Algorithm

Author 김석태 Kim, Suk-Tae / 정회원, 인제대학교 디자인학부 실내디자인전공 교수, 공학박사
안상욱 Ahn, Sang-Ook / 정회원, 부산광역시청 건축주택담당관실 건축정책담당사무관

Abstract Utilization of CCTV in crime prevention for public safety is accepted as the most effective measure in terms of crime prevention and control. Also, it is frequently used as a device that shows evidence of an unexpected situation or record on public social relationship. However, it is rare to find a study that qualitatively accessed the monitoring performance of a certain space depending on the choice and positioning of CCTVs. Thus, this study suggested a technology that can quantitatively compare and assess the monitoring performance of CCTVs depending on view angle and effective sight range of cameras as well as the monitoring performance depending on positioning measures. For the analysis, the concept of 3-dimensional surveillance field in the form of a frustum was suggested while deriving 3-dimensional range of sight and quantitative monitoring performance by applying Isovist theory. For the analysis technology, space of analysis subject, point of view (camera), and target point (measurement node) were installed at a 3-dimensional space and in use of ray-tracing algorithm, the line segment that was visually connected between the point of view and target point was extracted and accumulated. For such verification, analysis application was constructed and then applied to four alternative models on view angle and distance as well as four alternatives on positioning in order to verify its efficacy. Through the experiment, it was possible to compare and assess visibility depending on alternatives while quantifying the results by understanding the shadow areas beyond the monitoring range.

Keywords 범죄예방환경설계, 폐쇄회로 카메라, 가시성능, 3D시뮬레이션, 가시장이론
CPTED, CCTV, Visibility, 3D Simulation, ISOVIST

1. 서론

1.1. 연구의 배경과 목적

급속도로 발전, 변화하고 있는 현대사회의 부작용으로 발생하는 사회병리현상 중에 사회적 범죄는 시민들의 안전한 삶에 대한 가장 큰 위협요인 중의 하나이다.

상황적 범죄이론은 범죄의 기회를 감소시킴으로서 범죄를 예방하려는 접근방법으로, 가능한 한 체계적이고 지속적인 환경을 관리하여, 잠재적 범죄자들에게 검거의 위협, 계획적 범죄의 어려움을 인식시키거나 범죄의 명분을 감소시키는 것이다. 이러한 목적으로 CCTV의 설치는 범죄 의지를 꺾고 범죄성공의 기회를 줄여주는 역할을 하므로, 최근 강력범죄가 급증하고, 검거율이 낮아지는 상황에서 가장 효과적인 범죄예방 및 통제수단으로 여겨지고 있다.

더욱이 CCTV는 보안감시용, 생산라인이나 의료 등의 산업용, 차량블랙박스, 교통체계 관리용, 지역정보서비스 등 다양하고 광범위한 용도로 확대되어, 우수한 기능과 저렴한 CCTV시스템이 속속 발표되고 있다.

그러나 CCTV의 기종선택과 배치에 따른 감시성능을 정량적으로 평가하거나, 사각지대를 파악하는 공간적 특성연구는 상당히 미진한 상황이다.

이에 본 연구에서는 CCTV의 공간감시 형태 파악 및 그 성능의 계량화, 가시음영지역의 규모 및 가시성과의 상관관계 등, 공간대응적 측면에서의 특성을 분석하는 방법론을 제안하는 것을 목적으로 하고 있다.

1.2. 연구의 방법과 범위

CCTV의 감시성능은 대부분 시각적인 특성에 기인하고 있다. 이에 본 연구에서는 현재 많은 시각적속성에 기반한 공간구조분석이론의 토대가 되고 있는 가시장이론(ISO

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

VIST)을 근거로 하여, 분석개념을 설정하였다.

기존의 2차원 가시장을 3차원으로 확장하여, 감시장이 라는 개념을 제시하였으며, 이를 래스터방식의 가시장 분석방식을 적용하여 분석하였다.

CCTV의 배치로부터 발생하는 감시장의 성능을 ‘감시 하는 능동적 지수’와 ‘감시받는 피동적 지수’로 지표화시켰 다. 또한 감시영역의 지표를 제시하여, 시각적 사각지역 을 파악하고, 그 정도를 정량적으로 도출하여 그 특성을 비교분석하였다. 이를 위해 공간의 3차원 시각구조 분석 어플리케이션을 구축하였으며, 예시모델을 적용하여 이론 의 적용성을 파악하였다. 예시모델은 4가지 CCTV설치대 안에 대하여 한 개의 고정된 공간을 설정하였다. 이는 공 간의 특성은 고정적인 반면에 카메라의 설치는 가변적이고 유동성이 있기 때문이다. 또한 분석과정에는 공간의 건 축적인 부분만을 고려하였으며, 가구나 기타 설비 등의 가 변적인 요소는 배제하였다.

본 연구는 CCTV카메라의 화각과 배치에 따른 감시성 능을 분석하기 위한 기초적 시도로서, 카메라의 화소(분해 능)나 거리에 따른 시각적 정보의 감쇠 등의 변수는 배제 하고, 오직 광학적인 측면에서만 접근하였다.

2. 분석알고리즘의 제안과 구축

2.1. 분석방법론의 제안

(1) CCTV의 효율과 감시장

상황에 대한 행위자의 판단이 범죄를 결정하는 주요원 인으로 보는 합리적 선택이론(rational choice theory)에 의하면, 범죄행위는 범죄로 얻게 되는 이익(reward)과 범 죄행위가 발각될 위험(risk)에 대한 합리적 계산결과라고 할 수 있다. 상황에 대한 행위자의 의미부여와 해석을 중 시함으로써 범죄발생의 즉각적인 상황요인을 강조하는 상 호작용이론(symbolic interaction theory)의 경우에서 보면 인간의 모든 행위는 상황 속에서 발생한다고 보는 것으로, 어떠한 구체적인 상황보다는 이러한 상황에서 일어날 수 있는 인간들 간의 상호작용에 주목한다. 즉 범죄자는 주어 진 상황을 해석하고 그 해석을 통하여 행위의 가능성을 가지게 되는 것이다.¹⁾

행위자에게 기회를 적게 주는 가장 효과적인 방법 중의 하나가 폐쇄회로 카메라(CCTV)²⁾를 설치하는 것으로 알 려져 있다. 그러나 설치면적이 방대하거나 형태적으로 복잡 할 경우, 비효율적으로 많은 수의 카메라가 설치되어야 하므로, 설치와 관리에 많은 비용이 낭비될 수밖에 없다. 만약 카메라 설치계획 대안에 따라 감시효율을 측정할 수

있거나, 위치선정 작업 사전에 감시영역지역을 도출해 낼 수 있다면, 비용대비 감시효율을 극대화 할 수 있을 것이 다. 이를 위해 본 연구에서는 감시장(surveillance field)이 라는 개념을 제안하고자 하였다.

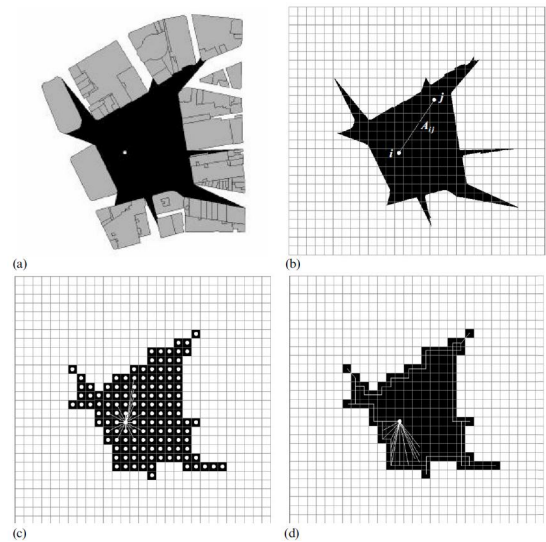
(2) 분석방법론의 배경

공간을 인지하는데 필요한 정보의 대부분은 시지각을 통해 취득되기 때문에 공간의 시각적 특성과 성능을 파악 하고자 하는 노력은 공간구조분석(spatial configuration analysis) 분야의 핵심주제로 다루어지고 있다.

현재 학계에서 많이 활용되고 있는 공간구조분석이론 중 시지각 특성을 분석하고 있는 이론들은 텐디(Tandy)의 뷰셰 드(Viewshed)와 베네딕트(Benedikt, 1979)의 가시장(Isovist field)이론을 근거로 하는 것들이 많은 수를 차지하고 있다.

특히 베네딕트의 벡터기반 가시장이론을 확률에 근거한 래스터방식의 가시장이론으로 발전시킨 배티(M.Batty)의 래스터기반 가시장이론은 공간의 중심을 기준으로 시각구 조를 도출하는 베네딕트의 이론적 한계를 극복하였으며, 이는 힐리어(B.Hiller)의 공간구문론(space syntax)과 결합 한 터너(A.Turner)의 가시그래프분석이론(VGA)으로 발 전하는데 크게 기여하였다.³⁾

본 연구에서는 시점(CCTV)의 설정을 베네딕트의 가시 장이론의 시점(viewing point)의 개념을 이용하고, 측정방 식을 배티의 래스터기반의 가시장이론의 개념을 도입하는 방법을 사용하였다. 배티가 제안한 기본적인 방법은 베네 딕트의 면적중심의 분석과 달리 평면상의 그리드에 측정 포인트를 설치하여 시점과 대상점간의 시선(sight line)이 연결되는 확률(개수)를 파악하는 방식이다.<그림 1>⁴⁾



<그림 1> 배티가 제안한 래스터방식의 가시영역 추적방법

1) 최재필·이기완, 시각적 접근과 노출모델을 이용한 범죄취약공간 해석에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계) 18권 4호, 2002.4, p.64
2) 폐쇄회로 텔레비전(closed circuit television), 주변에서 일어나는 상황이나 행동을 감시하기 위해 설치되는 카메라와 영상모니터시스템

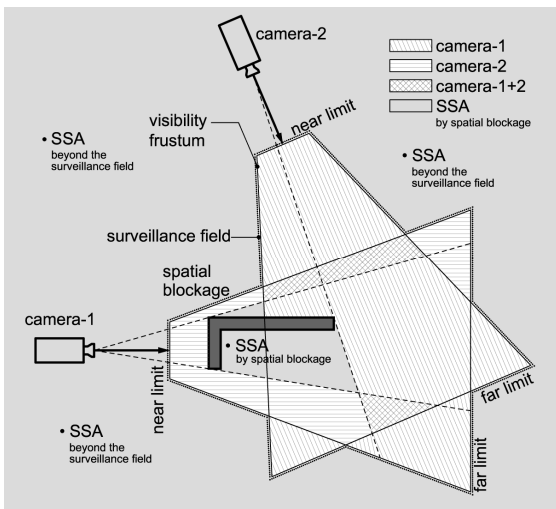
3) Turner, A·Doxa, M·O'Sullivan, D·Penn, A, From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. environment and planning B vol2 8no1, 2001
4) M.Batty, Exploring ISOVIST fields: space and shape in architectural and urban morphology, Environment and Planning B: Planning and Design v28, 2001, p.126

다만 위의 모든 이론들은 특정 층(level)에 국한된 평면적 분석이론이라는 점에서 한계를 가지고 있으므로, 이에 대한 대안이 필요하며, 본 연구에서는 이를 보완한 감시장(surveillance field)의 개념을 제안하는 것이다.

감시장은 가시장이론의 가시영역도와 같은 일련의 개념이지만, 가시장이론이 2차원 공간에 국한되어 있었다면, 감시장은 감시체(카메라)의 수직위치와 수직방향을 동시에 고려하는 3차원 개념으로 확장되는 것이다. 따라서 감시장은 시야각체가 각별형의 입체영역으로 설정된다.

또 하나의 차이점은, 시점에서의 무한 가시영역을 계산하는 가시장이론과는 달리 가시한계를 고려하므로 근거리한계와 원거리한계를 제외한 내부 영역만을 감시양호지역으로 구분하게 된다. 다시 말해 감시장의 가시영역은 그림 2와 같이 각별체의 머리를 잘라낸 절두체(frustum)의 형태를 가지게 되며, 그 내부에 포함된 측정포인트만을 가시영역권으로 보는 것이다.

감시장은 배치대안에 따라 여러 대의 CCTV와 시각차폐요소들에 의해 유기적인 형태를 형성하게 된다.



<그림 2> 분석개념도

2.2. 평가지표의 정의

<그림 3>과 같이 카메라마다 절두체형태의 입체적 가시영역이 발생하며, 여러 개의 가시영역(카메라)과 공간의 시각적 차폐요소에 의해 3차원의 감시장(surveillance field)이 형성된다.

감시장 내의 측정포인트는 상황에 따라 모든 카메라(시점)과 시각적으로 연결되는 경우도 있고, 차폐물에 의해 어떠한 카메라와도 연결되지 않는 경우도 발생한다.

따라서 모든 측정포인트는 각각의 고유의 연결값을 가지게 되고, 최대 연결값은 카메라의 수, 최소 연결값은 0이 된다. 이러한 연결 값의 총합계를 *conn*이라는 변수로 정의하고, 이를 목적가시권(분석영역) 내 전체 가능한 총 연결빈도로 나누면 총합적 감시성능을 도출할 수 있다. 이

를 본 연구에서는 피감시도 또는 피동적 감시한계지수(*pSLI*; passive surveilled limit index)라고 정의하였다. 다시 말해 *pSLI*는 목적하는 가시권 내의 모든 측정포인트 중 감시장 내에 카메라와 측정포인트간의 모든 시각적 연결의 수의 합의 비율을 의미한다.

반대로 동일한 방법으로 카메라들이 목적 가시권 내의 측정포인트 중 얼마만큼을 감지할 수 있는가를 파악하여 지표로 나타낸 것을 감시도 또는 능동적 감시한계지수(*aSLI*; active surveillance limit index)로 나타내었다. *aSLI*가 높다는 것은 공간에 대한 카메라의 감시성능이 그만큼 높다는 것을 의미한다.

또한 목적 가시권 내의 측정포인트 중 어떠한 카메라와도 시각적 연결이 발생하지 않는 경우가 발생할 수 있는데, 이러한 가시음영이 발생하는 이유는 측정포인트가 시야각별체(감시장)의 외부에 있는 경우와 시각적 차폐요소에 의해 모든 카메라의 시야에서 차단되는 2가지 경우 중 하나이다.

가시성을 확보해야 함에 불구하고, 제외되는 영역을 감시음영지역(surveillance shadow area)이라고 하였으며, 전체 목적 가시권에 대하여 음영가시권이 차지하는 비율을 감시음영률(*SSAR*; surveillance shadow area ratio)이라고 정의하였다.

가시음영률의 반대 개념지표는 설치된 카메라 중 한번이라도 노출된 측정포인트의 수를 계산하면 되며, 이는 감시장 내에 존재하는 모든 측정포인트의 수와 동일해진다.

3. 분석 어플리케이션의 제작

3.1. 분석알고리즘

일반적인 2차원 공간구조분석 어플리케이션들은 시선과 차폐물과의 관계성 연산을 시선선분벡터와 차폐요소 선분벡터 간의 교차판정을 통해 이루어진다.

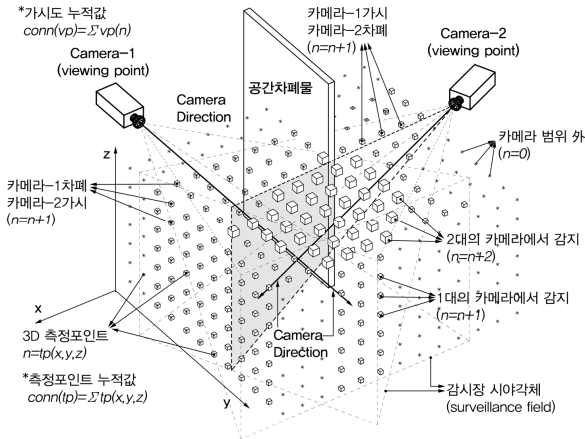
그러나 본 분석연산은 가상의 3차원 공간에서 이루어지며, 많은 수의 노드를 통해 정밀도를 향상시킬 수 있어야 하므로, 광선추적(ray tracing⁵⁾)방식을 응용하였다.

이 방식은 <그림 3>과 같이 가상의 3차원 공간에 분석대상공간을 컴퓨터 모델링하고, 여기에 측정포인트(node)와 카메라(viewing point)를 설정하여, 시야각체(감시장) 내의 측정포인트와 시점간의 관계를 연산하는 방식으로 이루어진다. 이때 공간모델은 차폐요소로 작용하게 되며, 시점에서 발사된 광선이 얼마만큼의 측정포인트에 입사되

5) 광선추적은 인간이 사물을 인지하는 원리를 이용한 방법으로, 최근 들어 3D모델링 프로그램의 렌더링 알고리즘에 주로 활용되고 있다. 광선추적의 일반적인 시퀀스는 광원에서 광자(photon)를 발사하고, 직진하는 광자가 물체(object)에 입사하면 흡수, 굴절, 반사되는 절차를 겪게 되며, 다시 다른 물체와 이러한 관계를 반복하게 된다. 최종적으로 이 광자는 인간의 망막의 시신경을 자극하는 개념이다.

능가를 측정하여, 전체 측정포인트에 대한 비율인 능동적 한계지수, 즉 감시도($aSLI$)로 환산하는 것이다. 이를 반대(대상점에서 시점으로)로 동시에 값을 누적시켜, 피감시도($pSLI$)를 함께 산출한다.

배티의 가시장분석이 2차원 형태라면, 감시장에 설치하는 측정포인트는 3차원 배열형태 $tp(x,y,z)$ 를 가지게 되며, 변수는 각각 누적값을 보관하게 된다. 이를 분석모델과 함께 컴퓨터 그래픽 처리를 통해 컬러바로 재현하면 직관적인 분석도 가능해진다.



<그림 3> 연산개념도

3.2. 기본구조

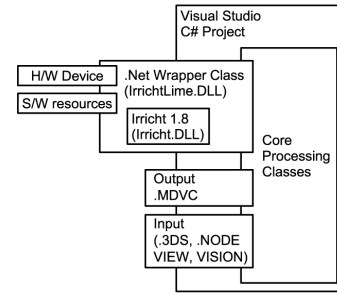
분석어플리케이션은 범용 3D그래픽 엔진인 일리히트 엔진(Irrlicht Engine v1.8)을 사용하였다. 일리히트는 상업용 게임엔진 못지않게 다양한 유틸리티(2D/3D graphic engine, physical engine 등)를 지원하며, 오픈소스 코드이므로 분석어플리케이션으로의 활용할 수 있는 다양한 확장성을 제공하고 있다.⁶⁾

코어그래픽(core graphics)출력에 Irrlicht를 적용하기 위하여 .Net 클래스로 래핑(wrapping)을 한 IrrlichtLime 라이브러리를 사용하였다. 분석어플리케이션 내부에서 3DS 모델과 일을 기본적으로 사용하며 측정포인트(.node), 시점(.view), 시야각체(.vision)등의 사용자정의 파일(script)을 받아 최종적으로 연산에 필요한 모든 조건들을 충족시킬 수 있도록 구성하였다. 이는 일반적으로 사용되는 3차원 모델 전용포맷인 Direct3D기반의 .x파일을 사용하는 것보다 더욱 유연한 호환성을 유지시킬 수 있도록 한 것이다.

핵심이 되는 래퍼(wrapper) 클래스는 C++ 코드로 작성된 엔진을 .Net managed code로 호출하도록 한 번 더 컴파일된 형태의 DLL이다. 이렇게 작성된 라이브러리는 메모리관리 등의 작업을 .Net framework에게 전담시킬 수 있으며 플랫폼 제약 등의 다양한 환경에 대해서 안전성이 뛰어나다. 다만 커널단계의 세밀한 조작을 위해서는 엔진을 다시 컴파일해야

6) Irrlicht 공식사이트(<http://irrlicht.sourceforge.net/>), API Manual(<http://irrlicht.sourceforge.net/docu/>)참조

하는 번거로운 과정과 래핑과정에서 생략된 클래스의 경우 사용하기 어려워질 수 있다는 단점이 있다.



<그림 4> 어플리케이션의 내부구조

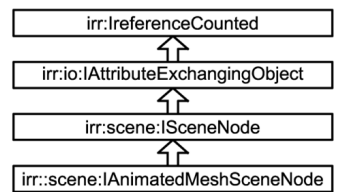
3.3. 카메라 이동과 모델의 표현 인터페이스

모델의 네비게이션을 위해 Maya 카메라 인터페이스와 동일하게 마우스 좌측버튼과 중앙버튼, 오른쪽 버튼을 이용하여 컨트롤 할 수 있도록 하였다. 마우스 좌측버튼은 aim handle를 중심으로 회전(orbit)을 담당하고 중앙버튼은 모델과 투사화면간의 거리(distance)를 조절하는 방식이다. 그리고 우측버튼은 aim handle을 조절(move target)하도록 하였다. 회전 시에는 up vector를 수직방향으로 고정하여 축이 틀어지지 않도록 하며, 내부적으로 복잡한 좌표연산이 필요하며 이는 Irrlicht Engine에서 자체적으로 제공하는 부분이기도 하다.

3.4. 모델파일의 재현

와이어프레임(Wireframe)과 솔리드(Solid)형식을 결합한 형태로 모델을 구현하여, 3차원 측정포인트에 대한 직관적 분석이 가능하도록 하였다. Wireframe출력형태를 기본으로 시작하여 10%간격으로 점진적인 투과(transparency)상태, 완전한 불투명(Solid)형태까지 출력할 수 있도록 하였다.

화면을 구성하는데 필요한 모든 객체들은 SceneNode 클래스로 취급된다. 그리고 그 객체들은 Mesh라는 좌표정보들의 집합체를 가지고 있으며, 이 정보를 이용해 충돌검사(collision detection) 및 각종 재질설정에 필요한 데이터로 활용하였다. 즉 본 분석어플리케이션에서는 3DS파일을 읽어 들여 Mesh 데이터를 따로 추출해 사용자가 원하는 투명도를 적용해 재질을 다시 한 번 설정하게 된다. Mesh 정보를 가지는 클래스 계승구조는 <그림 5>⁷⁾와 같다.



<그림 5> Mesh정보를 가지는 클래스 계승구조

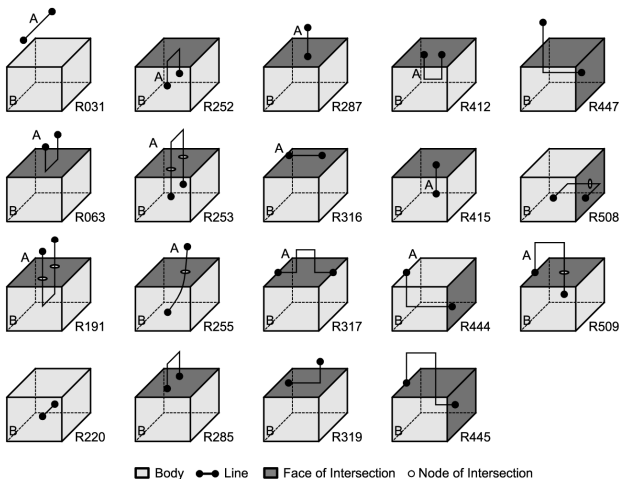
7) http://irrlicht.sourceforge.net/docu/classirr_1_1scene_1_1_i_bone_scene_node.html

3.5. 분석알고리즘의 코딩

측정포인트(node) 처리부분은 충돌연산에 필요한 대상 점(target point)으로 취급되며 공간상의 충돌연산의 매개 변수(parameter)로써 순수한 3차원 공간상의 점으로 관리한다. 따라서 하나의 측정포인트는 넓이, 길이도 가지지 않는 0차원 정보로 간주하게 되며, Vertex3D 클래스를 통해 x, y, z 정보를 가지고 이와 유사한 구조의 Vector3D 클래스를 통해 좌표 간 벡터연산을 수행하도록 하였다.

기본적으로 가시도 분석연산은 측정포인트(node)와 카메라(viewing point)를 잇는 3차원 공간상의 점 사이에 3차원 차폐물이 충돌되느냐 되지 않느냐의 연산으로서, 엔진상에서 제공하는 충돌처리 루틴으로 구현하였으며 충돌 처리여부를 검사할 모델의 ID를 부여하여 시각적 에너지량 연산 등의 세부적인 처리가 가능토록 하였다. 이 과정에서 내부적으로 충돌검사를 모델은 시야각체와 3D모델 2가지 종류가 존재한다.

시야각체에 대한 연산부분은 시야각과 가시거리가 제한 분석이므로, 절두체(frustum)와 노드, 장애물간의 연산이 모두 필요하다. 일반적인 가시도 분석연산은 무한한 절두체에서의 연산이라고 가정할 수 있으며 이는 기본적인 시점연산에서 사전 필터링 과정을 거쳐 연산대상을 줄여주는 과정이 추가로 필요하다. 절두체는 최소가시한계(near), 최대가시한계(far)값과 가로세로 각도를 가지며 총 8개의 포인트를 가진 6면체가 형성되므로, 그림 6과 같이 3D boundary와 1D line간의 토폴로지(topology) 연산방식을 사용하였다.



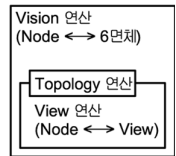
<그림 6> 3D, 1D 토폴로지 관계

<표 1>의 view와 vision연산 간의 관계는 한 차원 내려간 2D와 1D간의 관계를 보여주고 있으며, 교차(cross) 횟수를 따져본다면 동일한 결과를 얻을 수 있다. 교차가 한 번도 생기지 않는다면 비결합(disjoint)관계, 한번 일어난다면 노드가 내부에 존재하며 두 번 일어난다면 관통하여 비결합(disjoint)이 되는 것이다. 원거리 한계에 위치한

평면에 노드가 걸칠 수 있는 경우는 충돌횟수가 2회임에도 불구하고 정책에 따라 내부, 혹은 외부로 여길 수 있으며 이 경우에는 외부로 처리하게 된다. 각 모서리에 걸치는 경우에는 내부 혹은 외부로 처리될 수 있지만 이는 공간좌표 연산 상 오차한계에 근접할 수 있기 때문에 실험 결과에 미치는 영향은 지극히 미미하므로 제외하였다.

<표 1> View와 Vision연산간의 관계도

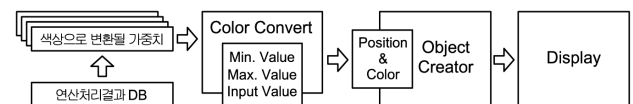
라인과 절두체 표면 충돌 횟수	결과
0	Node와 절두체는 서로 이웃함 (또는 근거리 한계 이내)
1	절두체에 Node가 포함됨
2	절두체 원거리 한계보다 멀리 존재함



3.6. 연산처리 후 결과출력

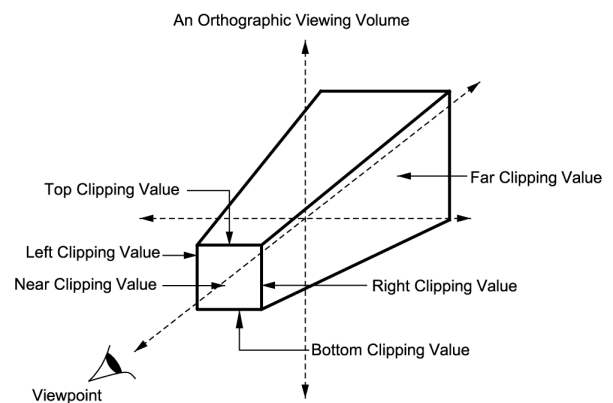
충돌연산(collision detection)이 모두 끝난 뒤 각 측정포인트(node)는 누적된 값들을 가지고 있게 된다. 각각의 가중치들을 설정된 컬러바(Color Bar)에 맞게끔 출력하기 위하여 설정된 값에 맞추어 Color (R, G, B)로 변환시켜주는 모듈을 거친다. 이후 절두체 또는 view, node의 형태에 맞게 오브젝트 객체를 생성하고 화면에 출력시킨다.

결과데이터의 그래픽처리(node, nview 출력)과정에서 노드는 하나의 점으로써 3D공간상 어느 위치에 존재하던지 스크린상에서는 1픽셀로 표현하였다. 그러기 위해서는 3D공간을 2D 모니터로 투영(Projection)하는 과정이 필요하며, 노드의 표현은 거리와는 상관없으므로 순수한 좌표 변환과정만을 거친 후 2D그래픽으로 처리하도록 하였다.



<그림 7> 충돌계산이 끝난 뒤 출력까지의 과정

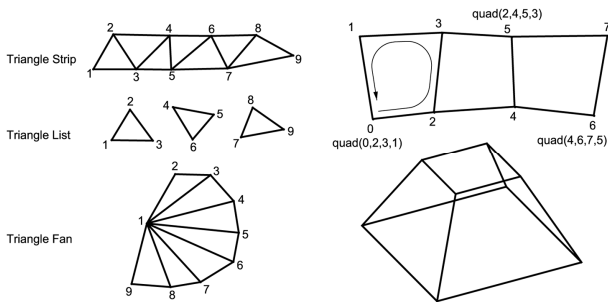
모델의 최종 프리젠테이션은 <그림 8>과 같이 원근감이 표현되는 Perspective방식을 채택하였으며 투시되는 좌표에 정사각형 2D박스를 출력하는 방식을 사용하였다.



<그림 8> 좌표투영방식

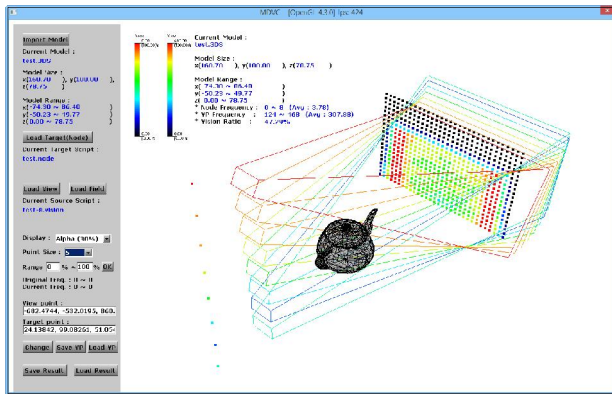
3.7. 그래픽처리 - 시야각뿔체(frustum)의 출력

여타의 3차원 그래픽 처리와 동일하게 폴리곤은 최소한의 도형인 삼각형의 조합으로 구성하였다. 하지만 절두체는 6면체의 변형으로 각 면은 2개의 삼각형이 필수로 포함되게 된다. 그러므로 처리데이터의 규모를 줄일 수 있도록 triangle fan이 아닌 quad strip데이터 형태를 취해 화면에 출력토록 하였다. 이러한 방식은 하나의 절두체를 구성하는데 필요한 정점(vertex) 개수들에서 겹치는 수를 확실하게 줄일 수 있다. 2개의 사각형을 구성하는데 삼각형의 기준으로 4개의 중복이 생긴다면 사각형 기준으로는 2개로 줄어드는 것이다.



<그림 9> 절두체의 표현, triangle fan과 quad strip의 비교

다음 <그림 10>은 위의 과정을 통해 개발된 3차원 시각 시뮬레이션 분석도구인 MDVC Lime이며, 간단한 실험모델을 이용한 검증테스트 결과를 보여주고 있다.



<그림 10> Field Vision Simulation Test Result

4. 가상공간 적용을 통한 실효성 검토

4.1. 예시모델의 설정

분석실험을 위해 <그림 11>과 같이 14400×14400×9600 크기의 공간 안에 4개 층(층고 2400)으로 구성된 가상모델을 구축하였다.

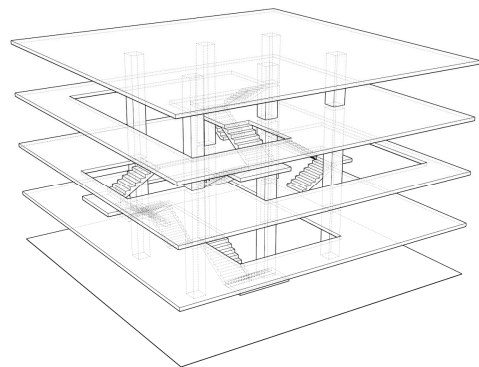
각층에는 중심 기준 13000×10600범위 내에 슬래브 오프닝이 있으며, 이를 6개소의 계단으로 연결하는 형태이므로, 중심부는 시각적으로 매우 복잡한 공간구조를 띄게 된다. 분석을 위한 측정포인트(node)는 두 가지 방법을 사용

하였는데, 하나는 쿼드(quad)형태의 영역에 측정포인트를 설치하는 형식으로, 높이와 관계없이 빈 공간에는 측정포인트를 완전히 채우는 방식이다.(쿼드영역분석)

쿼드분석에서는 외곽지점에서 2000씩 내부로 오프셋된 지점에 10400×10400×9450범위 내에 100간격(x,y,z)으로 총 968629개를 분포시켰으며, 모델 내부에 위치한 측정포인트는 삭제하였다.

다른 하나는 바닥면에서 실제 사람이 활동하는 유효높이까지의 영역에만 측정포인트를 설치하는 방식으로, 사람이 활동할 수 없는 영역은 제외하는 방식이다.(유효영역분석)

유효영역은 바닥면(계단포함)에서 높이 1800까지의 높이로 설정하였으며, 동일한 100간격(x,y,z)으로 총 386694개의 측정포인트 설치하였다.



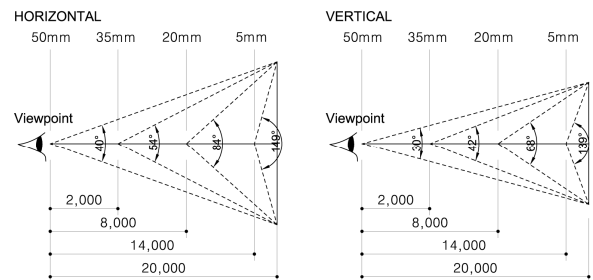
<그림 11> 실험에 사용된 예시공간

4.2. 화각에 따른 정보량의 변화

(1) 카메라 화각 대안(alternative) 설정

먼저 CCTV 카메라의 기종의 선택에 따른 가시성능평가를 수행하였다. 본 연구에서는 카메라의 화소나 밝기(F) 등 여타의 변수는 배제하고, 렌즈의 초점거리(화각)에 대한 변수만을 고려하였다. 렌즈의 초점거리를 그림 12와 같이 50mm, 35mm, 20mm, 5mm의 4가지로 구분하고, 이에 대한 화각(field of view)과 가시거리를 설정하였다.⁸⁾

카메라는 임의의 장소에 총 12개소를 설치하였으며, 모든 화각의 대안에 동일한 위치를 적용시켰다.



<그림 12> 렌즈의 초점거리와 화각과의 관계

8) 여기에서 사용된 카메라는 국내 S사의 CCTV를 기준으로 설정하였다. 이 카메라는 5~50mm까지의 줌렌즈(10배 가변 초점렌즈)를 장착하고 있으며, 야간가시거리는 20m이다.

(2) 화각에 따른 분석결과

쿼드영역에 대한 분석결과 35mm초점 카메라가 전체 가능한(차폐물이 없을 때) 측정포인트 968629개에 대하여 카메라와 1436041회(conn) 시각적으로 연결되어 12.35%로 가장 높은 피감시도(pSLI)를 보이고 있음을 알 수 있다.⁹⁾ 그 다음으로 50mm(8.7288%)>5mm(7.7941%)>20mm(6.1459%)의 순으로 감시성능이 높은 것으로 나타났다.<표 2>

카메라에서 각 지점에서의 감시도(능동적 가시한계지수)를 파악하였을 때에도 35mm(1.48)>50mm(1.05)>5mm(0.94)>20mm(0.74)의 aSLI를 보여 35mm초점렌즈가 가장 우수하고, 20mm초점렌즈에서 가장 열악한 감시성능을 보였다.

이를 종합하면 가장 높은 감시성능을 보인 35mm는 가장 낮은 20mm보다 2배의 감시성능을 보이는 것으로 볼 수 있다.

<표 2> 쿼드영역에 대한 분석결과

카메라 초점거리 대안		50mm	35mm	20mm	5mm
피동지수	Max	164086	211433	95406	181361
	Min.	17493	23851	35533	37643
	Avg.	84549.83	119670.08	59531.17	75495.5
	conn	1014598	1436041	714374	905946
	pSLI	8.7288%	12.3546%	6.1459%	7.7941%
능동지수	aSLI	1.05	1.48	0.74	0.94

다음 유효영역에 대한 분석에서도 35mm초점렌즈는 12개의 카메라와 시각적으로 연결 가능한 4640328개의 측정포인트에 대하여 538558회(conn)의 시각적 연결이 연산됨으로서, 11.606%로 가장 높은 피감시도(pSLI)를 보여, 전체영역에 대한 분석에서의 순위와 동일한 결과가 나타났다. 그 다음으로 5mm(7.50%), 50mm(7.43)의 순으로 나타났으며, 20mm는 5.42%로 가장 낮은 pSLI를 기록하였다. 따라서 가장 높은 35mm초점렌즈가 가장 낮은 20mm보다 2.14배 우수한 감시성능을 보이는 것으로 파악되었다. 다만 최고 순위와 최저 순위는 같으나, 중간순위가 변동되고, 감시율의 차이가 달라짐으로서, 관측대상점의 설정에 따라 결과에 차이를 보일 수 있음을 보여주고 있다.

카메라 측에서의 감시도(aSLI)는 <표 3>과 같이 35mm(1.39)>5mm(0.90)>50mm(0.89)>20mm(0.65)의 순으로 피감시도(pSLI)와 동일한 결과가 산출되었다.

<표 3> 유효영역에 대한 분석결과

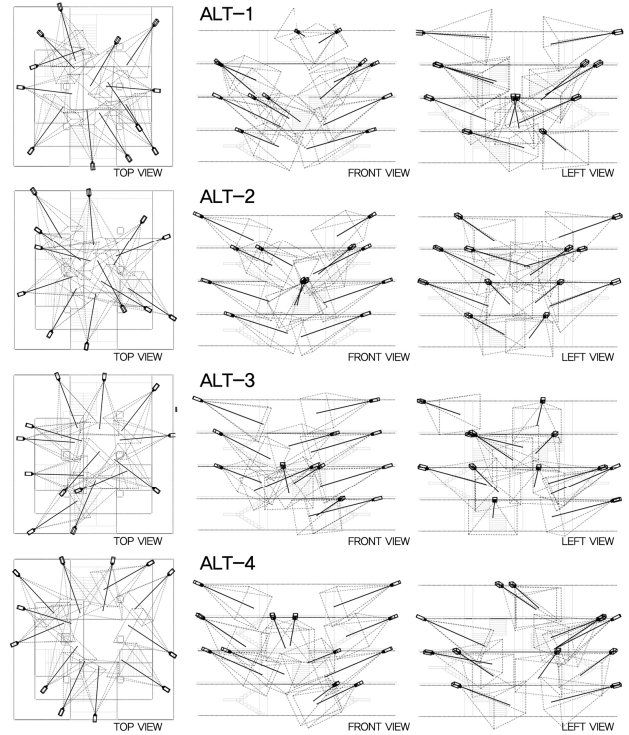
카메라 초점거리 대안		50mm	35mm	20mm	5mm
피동지수	Max	61003	71748	32768	53345
	Min.	0	0	0	10137
	Avg.	28743.92	44879.83	20966.33	28990.83
	Conn	344927	538558	251596	347890
	pSLI	7.4332%	11.606%	5.4219%	7.4971%
능동지수	aSLI	0.89	1.39	0.65	0.90

4.3. 배치대안별 성능평가

9) 35mm렌즈의 카메라는 최대 211433개, 최소 23851개(12개 카메라 평균 119670.08개)의 측정포인트를 관찰할 수 있으며, 가시연결도는 1436041로 나타났다.

(1) 배치 대안(alternative)의 설정

화각분석에서 가시도(aSLI)가 가장 높은 것으로 나타난 35mm초점렌즈를 대상으로 4개의 배치(위치)대안을 설정하였다. 모든 대안은 동일하게 총 12개소(1층: 2개소, 2층:4개소, 3층 4개소, 4층 2개소)를 설치하였으며, 그 위치는 <그림 13>과 같다. 또한 분석모델은 화각분석에서 사용한 것과 동일하다.



<그림 13> 카메라 설치대안(ALT-1)

(2) 분석결과

쿼드영역에 대한 분석결과는 <표 4>와 같이 ALT-2의 카메라의 배치가 피감시도(pSLI) 12.93%로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 ALT-4가 12.88%로 근사한 차이로 높은 값을 보이고 있다. 반면에 ALT-3은 11.92%로 가장 낮은 피감시도(pSLI)를 보이고 있다.

카메라의 감시도(aSLI)에 있어서도 ALT-2(1.55)=ALT-4(1.55)>ALT-1(1.48), ALT-3(1.43)의 순으로 나타나 피감시도(pSLI)와 감시도(aSLI)가 유사한 결과를 보였다.

<표 4> 쿼드영역에 대한 분석결과

카메라 배치대안		ALT-1B	ALT-2	ALT-3	ALT-4
피동지수	Max	211433	181307	168593	238963
	Min.	23851	27861	64898	27149
	Avg.	119670.08	125244.83	115423.17	124735.67
	conn	1436041	1502938	1385078	1496828
	pSLI	12.3546%	12.9301%	11.9161%	12.8775%
능동지수	aSLI	1.48	1.55	1.43	1.55

유효구역에 대한 감시율 분석에서 ALT-2가 가능한 4640328개의 측정포인트에 대하여 568332회(conn)의 시

각연결이 발생함으로서, 피감시도($pSLI$) 12.25%로 가장 높게 나타났으며, 반대로 ALT-3가 9.71%로 가장 낮은 피감시도($pSLI$)를 보였다.

카메라의 감시도($aSLI$)에서는 ALT-2(1.47)>ALT-2(1.39)>ALT-5(1.34), ALT-3(1.17)의 순으로 나타나, 전체 영역에 대한 감시도 분석과 순위와 값에 차이를 보였다.

이를 종합하면 가장 높은 ALT-2는 가장 낮은 ALT-3보다 1.26배 높은 감시성능을 보이는 것으로 요약할 수 있다.

<표 5> 유효영역에 대한 분석결과

카메라 배치대안		ALT-1	ALT-2	ALT-3	ALT-4
피동지수	Max	71748	85221	66711	89208
	Min.	0	8416	7177	6765
	Avg.	44879.83	47361	37560.17	43023.33
	conn	538558	568332	450722	516280
	$pSLI$	11.606%	12.2477%	9.7131%	11.1259%
능동지수	$aSLI$	1.39	1.47	1.17	1.34

4.4. 감시음영지역(SSA)분석

다음은 카메라에 의해 관찰이 불가능한 감시음영지역을 도출하고, 이를 감시음영률($SSAR$)로 환산하였다.

감시음영률($SSAR$)은 카메라에 시각적으로 감지되지 않는 영역의 크기를 나타내므로 $pSLI$ 나 $aSLI$ 와 반대로 지표가 낮을수록 감시성능이 우수한 것으로 볼 수 있다.

화각별 감시음영률(유효영역)을 분석한 결과 가능한 측정포인트 386694개 중 50mm는 156030개($SSAR=40.35\%$), 35mm는 104865개($SSAR=27.11\%$), 20mm는 183814개($SSAR=47.54\%$), 5mm는 132890개($SSAR=34.37\%$)가 시각적 연결이 전혀 발생하지 않아, 35mm초점렌즈 카메라를 설치할 때 음영지역이 가장 적게 발생하고, 20mm초점렌즈 카메라를 설치 때 가장 많이 발생하는 것으로 파악할 수 있다.¹⁰⁾

이는 감시율 측정에서 나타난 순위와 동일하지만 $SSAR$ 값이 35mm가 20mm에 대하여 1.75배 우수한 성능을 보이는 것으로 나타나 그 정도는 $pSLI$ 의 2.14배와 상당한 차이를 보이고 있는 것으로 파악되었다.

배치별 대안의 분석(유효영역)에서는 ALT-1이 140303개($SSAR=36.28\%$), ALT-2가 96980개($SSAR=24.32\%$), ALT-3가 14303개($SSAR=36.28\%$), ALT-4가 124821개($SSAR=31.54\%$)의 비가시 측정포인트가 발생함으로서, ALT-2가 가장 적고, ALT-1과 ALT-3가 가장 많은 감시음영률($SSAR$)을 보였다. 최대값과 최소값의 크기차이가 1.49배로서, 이 결과 또한 $aSLI$ 분석의 1.26배와는 차이를 보이고 있다.

4.5. 중복감시특성

위의 분석에서 감시한계지수($pSLI$, $sSLI$)와 감시음영률($SSAR$)의 차이가 발생하는 이유는 하나의 측정포인트

10) 시각적 연결이 전혀 발생하지 않은 측정포인트를 3차원 공간에 플로팅하면 직관적인 음영지역 파악이 가능하다.

에 중복 감시되는 빈도의 차이에서 발생한다.

가시도가 낮으면서도 중복 감시가 많이 된다는 것은 음영지역이 많이 발생함에 불구하고 카메라가 비효율적으로 배치되었음을 의미한다. 다시 말해 카메라 배치의 분배가 좋지 않은 것으로 볼 수 있다.

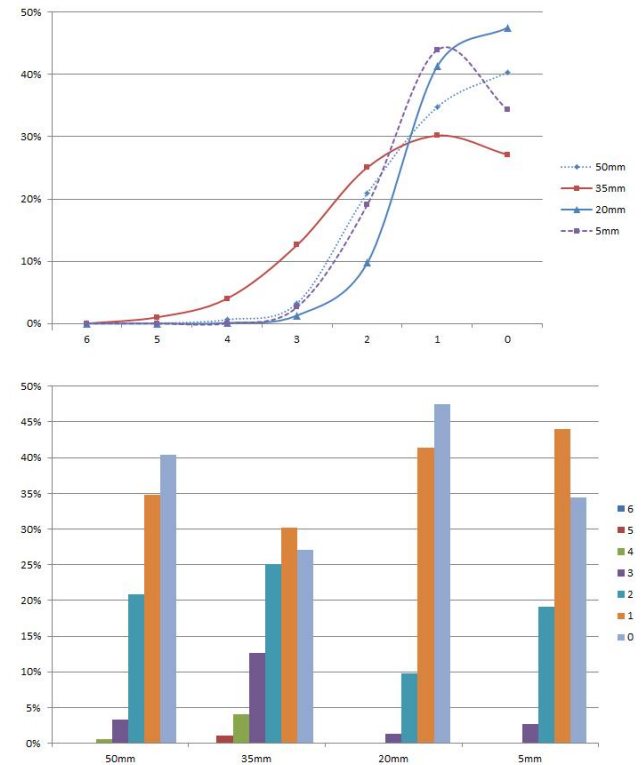
이에 대한 좀 더 정확한 데이터를 얻기 위해 각 대안별로 카메라의 중복감시특성을 파악하여 보았다.

<표 6>과 같이 35mm 렌즈에서, ALT-2배치에서 피감시도($pSLI$) 대비 감시음영률($SSAR$)이 높게 나타남으로서, 가장 효율적인 대안임을 보여주고 있다.

<표 6> 대안별 $pSLI$ 와 $SSAR$ 의 관계(유효영역분석)

	대안	$pSLI(A)$	$SSAR(B)$	A / B
화각대안 분석	50mm	7.43%	40.35%	18.42%
	35mm	11.61%	27.11%	42.81%
	20mm	5.42%	47.54%	11.40%
	5mm	7.50%	34.37%	21.81%
배치대안 분석	ALT-1	11.61%	36.28%	31.99%
	ALT-2	12.25%	24.32%	50.36%
	ALT-3	9.71%	36.28%	26.77%
	ALT-4	11.13%	31.54%	35.28%

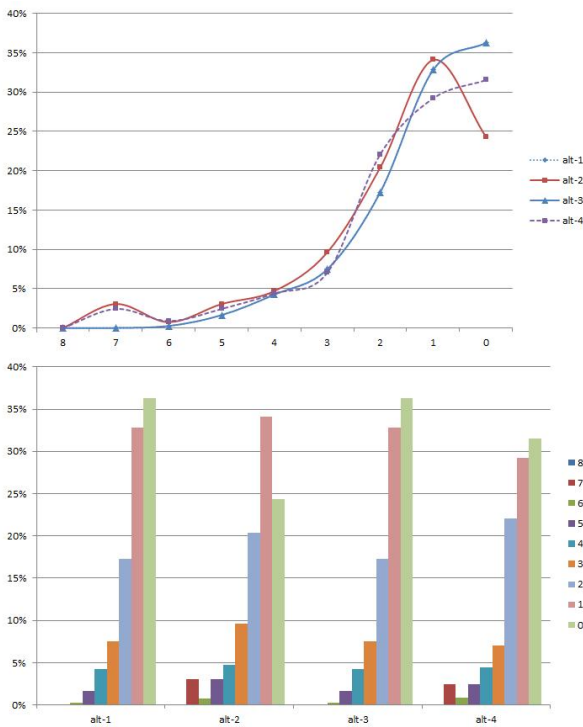
이를 <그림 14>와 같이 화각별 카메라의 중복감시 특성을 그래프화 하면, 35mm카메라는 다른 대안에 비하여 완만한 곡선을 보이고 있으며, 중복감시수별로 편차가 적은 것으로 나타났다. 다시 말해 카메라 배치에 따른 시야각체가 고른 분포를 보이고 있어, 감시음영지역(SSA)이 적게 발생하면서도 다양한 각도에서 공간의 감시가 가능함을 나타내고 있다.



<그림 14> 화각별 카메라 중복감시 특성

배치대안별 분석에서는 다소 다른 양상을 보이고 있는데, 모든 대안이 대부분 유사한 중복감시특성을 보이고 있지만 ALT-2는 유독 감시음영(비가시 측정포인트의 수)이 적게 발생한다는 점이다. 이는 임의의 측정포인트(피사체)에 대한 중복특성은 유사하지만, 시야각별체의 중복을 줄인 효과라고 볼 수 있다.

결론적으로 35mm초점렌즈 카메라를, ALT-2의 배치대안으로 설치하면, 감시효율은 극대화되는 것으로 판단할 수 있지만, 35mm렌즈는 다양한 각도에서 풍부한 정보를 입수하기 유리하고, ALT-2는 고른 배치에 의해 감시음영지역이 최소화하는데 기여한 것으로, 서로 다른 역할을 하는 것으로 볼 수 있다.



<그림 15> 대안별 카메라 중복감시 특성

5. 결론

이상으로 CCTV설치 대안별 감시효율성 분석을 위하여 3차원 감시장의 개념과 분석지표를 제안하고, 분석어플리케이션을 구축하여 이론의 적용성을 파악하였다.

이 방법은 3차원 가상공간 내에 측정포인트(node)와 절두체형태의 카메라 시야각체를 설정하고, 이 안에 포함되는 가시연결도와 이를 벗어난 감시음영빈도를 산출하는 방식이었다.

예시모델을 설정하고, 여기에 화각별 4가지, 배치별 4가지 대안을 적용하여 분석한 결과, 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻어낼 수 있었다.

첫 번째, 화각과 거리에 따른 대안적용을 통해 최적의

감시성능을 나타내는 대안을 선택할 수 있었다. 더욱이 입체적으로 복잡한 공간에서도 시각적 감시효율을 정량화시켜 객관적으로 평가할 수 있었다.

두 번째, 감시음영지역분석을 통해 감시권을 벗어난 영역을 파악할 수 있었고, 그 양을 측정하여 대안별 감시성능을 파악할 수 있었다. 또한 감시음영률은 피감시도와 비교하여 그 차이가 다름을 알 수 있었다.

세 번째, 중복감시빈도와 그 특성분석을 통해 대안이 갖는 문제점을 추정할 수 있다. 이를 토대로 카메라의 선택이나 배치대안의 보완이 가능할 것이다.

네 번째, 감시도(*aSLI*)와 피감시도(*pSLI*)는 비례 관계에 있다. 그 이유는 시각적 연결에 의해 각각의 누적값이 동일하게 상승하기 때문이다. 이러한 지표의 구분은 성능평가 시 어느 측의 관점에서 보는가하는 차이만 가질 뿐이다.

본 연구는 임의의 설정에 의한 유효영역에 대하여 분석하는 것이므로, 영역의 설정규모에 따라서 지표의 차이는 달라질 수 있다. 따라서 절대적인 지표가 아닌 상대적 지표로서, 대안간의 비교에만 활용될 수 있다. 그러나 이러한 일련의 연구는 설계단계에서 CCTV의 위치와 설치각도를 선정하고 검증하는데 효과적인 참고데이터를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 거리에 따른 취득정보의 감쇠, 시각적 접근각에 의한 특수성 등의 추가변수를 보완한다면 카메라 설치 후에 나타날 수 있는 취약지역을 사전에 좀 더 정확하게 예측할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Benedikt M. L., To take hold of space: Isovist and isovist field, *Environment and Planning B* vol6 no2, 1979
2. Turner, A·Doxa, M·O'Sullivan, D·Penn, A, From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. *environment and planning B* vol2 8no1, 2001
3. Hillier B·Hanson J., *The social logic of space*, Cambridge university press, 1984
4. M·Batty, Exploring ISOVIST fields: space and shape in architectural and urban morphology, *Environment and Planning B: Planning and Design*, v28, 2001
5. P·Longley, M·Batty, *Advanced spatial analysis*, Casa book of GIS, 2003
6. 이승재·강석진, 범죄피해대상 중심의 최적 감시위치 선정에 관한 연구, *대한건축학회(계획계)* 27권 12호, 2011.12
7. 최재필·이기완, 시각적 접근과 노출모델을 이용한 범죄취약공간 해석에 관한 연구, *대한건축학회논문집(계획계)* 18권 4호, 2002.4
8. 이상원, 가로 및 주택가 방범용 CCTV설치를 위한 진단 Program 개발에 관한 연구, *한국콘텐츠학회논문집* 9권 11호, 2009

[논문접수 : 2013. 10. 31]

[1차 심사 : 2013. 11. 21]

[게재확정 : 2013. 12. 13]