

# 디지털공간에 있어서 빛의 특성

The Characteristics of Light in Digital Space

홍 승 대 (Hong, Sungde)

안산공과대학 인테리어디자인과

## 1. 서론

- 1-1. 연구의 목적 및 배경
- 1-2. 연구의 방법 및 범위

## 2. 디지털공간

## 3. 현실공간의 빛

- 3-1. 발광의 원리
- 3-2. 기계적 특성
- 3-3. 광학적 특성
- 3-4. 광측정

## 4. 실세계와의 비교

- 4-1. 발광의 측면
- 4-2. 기계적 측면
- 4-3. 광학적 측면
- 4-4. 광측정의 측면

## 5. 디지털공간에서 빛의 특성

- 5-1. 인식의 평면성
- 5-2. 광원의 상징성
- 5-3. 제어된 표면
- 5-4. 무영광원
- 5-5. 비파동성

## 6. 결론

## 참고문헌

## (要約)

빛은 형상을 구체화시키고 표면의 특성을 전달한다는 측면에서 모델링, 렌더링, 애니메이션 등과 같은 3차원 컴퓨터 그래픽 어플리케이션이 제공하는 여러 기능 중에서 핵심이라고 할 수 있으며, 공간계획에 있어서 빛은 기능적인 측면과 미적인 측면에서 모두 고려해야할 대상으로서 공간 연출의 제반 요소인 색과 질감, 조도를 결정하는 중요한 요소로 간주된다.

본 연구는 현실공간과 디지털공간을 분리해서 취급할 수 없는 현재의 디자인 현실에 관한 인식을 바탕으로, 컴퓨터를 매개로 하여 구축되는 디지털공간의 빛에 관한 특성을 규명하기 위하여 물리적 세계의 빛의 제 속성을 정리하고 이를 디지털공간의 빛을 구현하기 위한 컴퓨터그래픽 기술과 비교 분석을 시도하였다. 연구의 결과로서 디지털 공간의 빛의 특성은 인식의 평면성, 제어 가능한 표면, 광원의 상징성, 무영광원, 비파동성으로 요약할 수 있으며, 향후 디지털 공간에 있어서 빛의 이용 방식에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

## (Abstract)

3D computer applications provide various functions such as modeling, rendering, animation, lighting and so on. Lighting is the core element in that light visualizes shape and develops characteristics of surface. In spatial design, light is the most important factor in deciding color, texture and illumination level which are the basic factors of spatial design.

The purpose of this study is to define the characteristics of lighting in digital space provided by the computer, based on the fact that physical space cannot be separated from digital space, and to show how light in the physical realm relates to computer graphics technologies.

This study shows there are following characteristics of light in digital space; iconic light, modifiable surface, shadowless light, 2-dimensional perception, and the particulate aspect of light but not the wave aspect of light.

Light in physical or digital space is capable of producing a visual sensation. The experimental space can be realized due to the lack of physics. Further study in new illumination procedures are required as computer media expands.

## (Keywords)

Computer graphics, Lighting, Digital space

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 목적 및 배경

컴퓨터 그래픽 관련기술의 발달로 인하여 디자인 결과물의 예측과 시안의 제시에 있어서 그 시각적 결과물의 양적인 측면의 발전은 두드러진다고 할 수 있다. 공간디자인 분야에의 컴퓨터 그래픽 기술의 도입은 기존의 2차원의 종이 위에 3차원, 또는 그 이상의 차원을 다루는데 대한 한계와 모순, 그리고 인간의 직관과 두뇌로는 표현하고 계산하기 힘든 정확한 수학적 논리에 대한 대안으로서 훌륭하게 자리매김하고 있다.<sup>1)</sup>

컴퓨터를 매개로 하여 구축되는 디지털 공간은 크게 2가지 활용 목적을 갖는다고 할 수 있다. 첫째는 이용의 측면으로서 물리적 실현을 전제로 한 계획 공간의 정확한 재현을 통한 연출 효과의 예측이다. 이는 물리적 모델의 디지털화 또는 전통적인 도면을 다양한 미디어를 이용하여 디지털 데이터로 변환 시킴으로써 새로운 디지털 모델을 생성하고 디자이너들에게 단순히 정보수집, 토론, 디자인 검토 등을 위한 역할을 수행한다. 둘째는 창조의 측면으로서 실행을 전제로 하지 않는 표현 자체로서의 공간 재현이다. 이는 디자인에 있어서 물질적 환경에 대한 인식의 폭을 넓힘으로서 비물질적 환경을 디자인 개념으로 인식하여 응용하게 된다.

디지털 공간이 실세계와 마찬가지로 대상에 대한 시각적인 인식과 체험을 기본적인 전제로 한다고 가정할 때, 이상의 2가지의 목적을 성취하기 위해서는 실세계와 디지털 공간에서 다루어지는 빛에 대한 정확한 이해가 선행되어야 가능하다고 할 수 있다.

빛은 형상을 구체화시키고 표면의 특성을 전달한다는 측면에서 모델링, 렌더링, 애니메이션 등과 같은 3차원 컴퓨터 그래픽 어플리케이션이 제공하는 여러 기능 중에서 핵심이라고 할 수 있으며 공간계획에 있어서 빛은 기능적인 측면과 미적인 측면에서 모두 고려해야할 대상으로서 공간연출의 제반 요소인 색과 질감, 조도를 결정하는 중요한 요소로 간주된다.

이에 본 연구는 공간디자인의 교육과 실무에서 컴퓨터그래픽 미디어의 활용 방법과 이를 이용한 디자인 교육에의 기초 자료를 제시함을 그 목적으로 하여, 물리적 세계의 빛의 제 속성을 정리하고 이를 기초로 디지털 공간의 빛을 물리적 세계와 비교 분석함으로써 그 특성을 규명하고자한다.

### 1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 디지털 공간에 관한 연구의 범위를 제시하기 위하여 우선적으로 그 개념적 특성을 관련 문헌을 통하여 정리하고, 물리적 세계의 인공광원에 관한 내용을 발광원리와 기계적인 측면, 광학적 측면, 광측정의 측면에서 고찰한다.

이를 기초로 하여 실세계와 비교, 분석하여 컴퓨터를 매개로 하여 이루어지는 디지털 공간의 빛의 특성을 규명하고자한다.

## 2. 디지털 공간

1) 이철재, 임종엽: 디지털 건축 형태 분석에 의한 공간 유형 연구, 한국실내디자인학회, 25호, p.176

일반적으로 현실공간은 사회적, 경제적, 문화적 가치 등이 물리적 재료를 통하여 표현되고 구체화된다. 또한 현실공간이 갖는 시간성과 장소성은 다양한 컨텍스트와 연계되어 여러 가지 의미를 파생한다. 반면 디지털 공간은 현실 세계에서 거론되는 여러 가치가 다각형이나 벡터값, 표면 매핑 등과 같은 전자적인 형태로 형상화된다. 거리, 위치, 질량 등과 같은 물리적 제약으로부터 자유로운 이러한 공간은 컴퓨터와 인터페이스 기술을 기반으로 네트워크 상에서 수시 접근이 가능하다. 이러한 디지털 공간의 발생 초기에는 컴퓨터 네트워크상에 존재하는 1차원적인 텍스트 기반의 환경이었으며(MUD) 이후 그래픽 인터페이스(GUI)와 하이퍼링크 기술이 도입되어 2차원적인 시각 환경(Web)이 구현되어 페이지로 대표되는 전자공간이 탄생한다.

본 연구의 논의대상인 3차원적 디지털 공간의 탄생 초기 환경은 하이퍼링크가 제외된 독립적 환경이었다. 따라서 제한된 접근 방식을 채택하였으며 그 기능 또한 한계를 갖고 있었다. 이러한 3차원적인 시각 환경을 기반으로 하는 디지털 공간은 다음의 3가지의 유형으로 분류할 수 있다.<sup>2)</sup>

첫째, 기존의 web과 현재의 3차원 모델링언어(VRML) 기술이 결합하여 만들어진 공간을 들 수 있으며<그림 1>, 둘째는 컴퓨터 게임으로서 초기의 2차원 평면상에서 행해지던 독립적인 게임이 3차원 환경의 네트워크 게임으로 발전하면서 다수의 사용자가 참여하는 공간이다.



그림 1> AT&T Research의 cospace

마지막 유형은 Marcos Novak과 Greg Lynn 등과 같은 건축가들의 일련의 작품에서 보여지는 액상건축(Liquid Architecture)이다. 이는 현실세계의 물리적 한계를 거부하고 가상세계의 맥락에서 반응하는 공간이며 정보네트워크를 통해 전달되는 유동적인 공간이다. 이상의 3가지 유형들은 공통적으로 무형의 정보를 재현하기 위하여 현실공간을 은유적으로 사용하고 있다는 것이며 이러한 현실 세계의 은유는 본 연구에서 논의하고자하는 디지털 공간의 빛에 대한 접근과 이해의 바탕이 된다.



그림 2> Marcos Novak의 warpMap4D

2) Dace A. Campbell: Design in Virtual Environments Using Architectural Metaphor, Univ of Washington, 1996

### 3. 현실공간의 빛

#### 3.1. 발광의 원리

IESNA<sup>3)</sup>에서는 빛을 '눈의 망막을 자극하여 시각각을 발생시키는 방사에너지'로 규정하고 있다. 즉 380~ 780 nanometer의 파장을 가지고 눈으로 감지할 수 있는 전자파를 빛이라 부르며 이 파장영역의 전자파를 발생하는 방사체를 통틀어 광원(light source)이라 한다. 따라서 빛은 방사에너지의 측면이나 시각각의 측면으로 구분해서 정의할 수 없고 2개의 측면에서 모두 기술되어야 하는 특성을 갖고 있다.

일반적으로 인공광원의 발광 방법은 온도방사와 방전(放電), 발광(luminescence)의 3가지로 대별할 수 있다.<sup>4)</sup> 온도방사는 원자 또는 분자에 열을 가함으로써 생기는 연속 스펙트럼 방사를 말하며 백열전구와 할로겐전구가 이에 해당된다.

방전현상을 이용한 광원에는 형광램프와 고휘도 방전램프(HID: high intensity discharge)가 있으며 이는 온도방사에 사용되는 텅스텐 와이어를 대신하여 가스(수은, 나트륨)나 증기(Vapor)를 이용하여 전류를 통하게 하는 발광 방식이다.<sup>5)</sup>

전기적인 발광을 이용한 방식은 고체(Solid-state)의 원자 또는 분자, 혹은 고체 대역에 있는 전자를 전기적으로 여기(excitation) 시키고 이것이 보다 낮은 상태로 되돌아갈 때 발생하는 광을 이용하는 광원을 말한다.

구분	발광원리	램프의 유형
백열등	온도방사	크립톤 램프, 할로겐 램프, 텅스텐 램프
방전등	방전	형광램프, 고압 수은램프, 고압 나트륨램프, 메탈할라이드 램프, 크세논 램프
고체광원	발광	EL 램프, LED, 반도체 레이저

표 1> 발광원리에 따른 인공광원의 분류

#### 3.2. 기계적 특성

특정한 인공광원의 속성을 규정하기 위해서는 여러 측면에서의 데이터가 요구되지만 본 연구에서는 광원에 대하여 생산자가 공통적으로 표시하는 배광, 광량, 광색과 같은 기계적 내용(Specification)을 중심으로 고찰한다.

##### (1) 배광

인공광원은 광원과 조명기구에서 방사되는 빛의 형상과 크기를 연직면 배광곡선도로 표시한다. 이는 특정 조명기구의 조명 효과를 도상적으로 나타낸 것으로 CIE-IES에서는 조명기구의 램프를 중심으로 상반기와 하반기의 광속비를 기준으로 직접조명에서 간접조명까지의 6가지로 배광 분류를 하고 있다.<sup>6)</sup> 이는 램프에 부착된 반사기(reflector)와 확산기(Diffuser)에 따라 그 배광 형상이 변하며, 조명 효과도 달라진다는 것을 의미한다.

3) Illuminating Engineering Society of North America

4) Alma E.F. Taylor: Illumination Fundamentals, Rensselaer Polytechnic Institute, p.24, 2000

5) 박우성: 성분적 속성에 기초한 조명기구디자인 교육프로그램, 디자인학연구, 42호, Vol.14 No.2, p. 62~63

6) 中島龍興, 近田玲子, 박필제역: 조명디자인 입문, 예경, 1999

CIE/IES Illuminance distribution	% Up light (0-180°)	% Down light (0-90°)	Typical distribution curve
Down	0-10%	100-90%	
Recessed	10-40%	90-60%	
Direct-indirect*	40-60%	60-40%	
General diffuse	60-80%	40-20%	
Indirect	80-90%	20-10%	

그림 3> CIE/IES 배광분류

##### (2) 광속(Lm)

백열등, 방전등, HID와 같은 인공광원의 광속은 공통적으로 입력되는 전력량(Watt)이 증가함에 따라 광량이 증가된다.<sup>7)</sup> 특히 형광등과 같은 방전등은 관(tube)의 형태가 대부분인데 광원의 길이에 따라 광속이 변화하는 특성을 갖는다.

제품명	사용 전력	광색	광속(Lm)	관경 (mm)	길이(mm)
L 20 W/25 S	20	백색	1050	38	590
L 20 W/20 S	20	백색	1150	38	590
L 20 W/30 S	20	온백색	1150	38	590
L 40 W/25 S	40	백색	2500	38	1200
L 40 W/20 S	40	백색	2800	38	1200
L 40 W/30 S	40	온백색	2800	38	1200
L 65 W/25 S	65	백색	4000	38	1500
L 65 W/20 S	65	백색	4400	38	1500
L 65 W/30 S	65	온백색	4400	38	1500

표 2> OSRAM 38 mm 직관 형광램프의 기계적 특성

##### (3) 광색

빛은 인간의 눈으로 인식할 수 있는 전자기파의 일부로서 우리가 빛으로 눈에 느끼는 것은 약 380nm - 760nm의 극히 작은 범위의 전자파이다. 이러한 가시 스펙트럼 내에서 색의 인식, 즉 물체의 인식이 가능하다. 일반적으로 사용되는 인공광원 역시 각 광원의 유형에 따라 특정한 에너지 스펙트럼을 갖는다. 다음 <그림4>는 완전한 백색광(Perfect white light)의 파장과 에너지의 발산에 관한 도표이다.<sup>8)</sup>

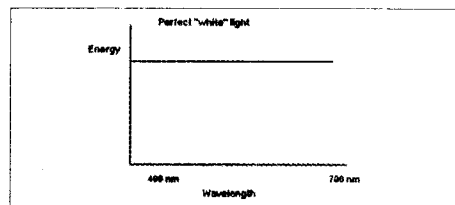


그림 4> 완전 백색광의 파장과 에너지

그러나 실제 광원의 파장과 에너지를 분석하면 모든 파장에 대하여 일정한 에너지가 발산되지 않는다. 따라서 광원의 유형에 따라 파장이 달라지고 그에 따라 반사되는 표면의 연색

7) M. D. Egan, 박종호 역: Concepts in Architectural Lighting, 기문당, p.83, 1997

8) <http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/illum/illum2.htm>

성(Color rendering)에 영향을 미친다.<그림 5>

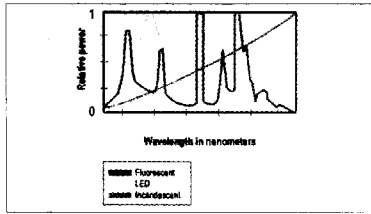


그림 5> 백열등, 형광등, LED의 분광강도

### 3.3. 광학적 특성

빛이 표면에 입사하게 되면 표면의 재질 특성에 따라 반사되거나 굴절된다. 또한 물체의 특성에 따라서는 물체 내부에서 빛이 투과되거나 흡수, 분산된다. 이러한 빛의 속성은 빛 자체의 특성을 설명하는데 뿐만 아니라 전자기적 방사(Electromagnetic radiation)현상을 설명하는 기초가 된다.

#### (1)직사

태양광선이나 인공광원을 직접 육안으로 보는 것처럼 중간 매개물을 거치지 않고 빛을 직접적으로 전달될 경우이다.

#### (2)반사

빛이 물체의 표면에 의해 변화되어 되돌아오는 현상으로서 경면반사와 확산반사로 분류된다.

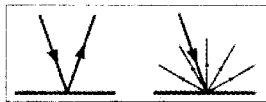


그림 6> 경면반사와 확산반사

#### (3)간섭과 회절

간섭이란 두 개 이상의 광선(파동)이 한 점에서 만날 때 그 점에서의 진동이 개개의 성분파의 진동의 합에 의해서 나타나는 현상을 말한다. 이러한 빛의 간섭 현상은 1801년 Thomas Young에 의해 처음으로 검증되었으며 <그림7>과 같이 두 틈새를 향해 빛을 쏘아주면 오른 쪽 스크린에는 틈새에서 바로 연장된 곳이 아니라 두 틈새의 중간 부분이 가장 밝고 어둡고 밝은 부분이 반복된다는 것이다.<sup>9)</sup>

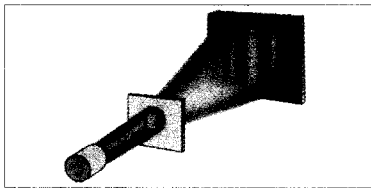


그림 7> T. Young의 빛의 간섭 실험

회절현상은 광원과 표면 사이에 구멍이나 장애물이 있을 때 이 장애물에 의해 빛이 에돌아가는(굽는) 현상으로써 빛의 간섭현상에 의하여 발생한다.

#### (4)굴절과 투과

빛의 굴절은 빛이 한 매질에서 밀도가 다른 매질로 진입할 때 그 경계면에서 진행방향이 꺾이는 현상을 말한다. 밀도가 다른 매질이라도 매질에 수직으로 진입한 빛은 굴절되지 않는다. 경계면에 경사지게 진입된 빛만이 굴절되는 이유는 두 매질의 경계면에 경사지게 진입된 빛이어야 빛의 앞부분에 두 매질의 밀도 차이로 저항을 많이 받는 쪽과 적게 받는 쪽이 생기기 때문이다. 매질이 투명한 소재일 경우 빛은 매질에 의해 흡수되고 빛의 파장과 매질의 두께에 따라 통과된 빛의 성질이 변화한다.<sup>10)</sup>

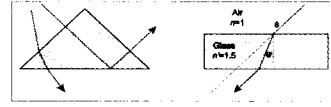


그림 8> 빛의 굴절 모형

#### (5)산란

대기 중의 미립자(공기, 먼지, 수증기)에 빛이 다다르면 빛이 갖고 있던 에너지가 전달되어 원자내의 전자를 강제적으로 진동시키고, 전자의 진동수에 해당되는 빛이 사방으로 방출하게 된다. 이를 빛의 산란이라 하고 낮에 하늘이 푸르게 보이고 일몰이 붉게 보이는 현상, 구름이 흰색으로 지각되는 이유가 된다. 이와 같은 빛의 산란 정도는 빛의 파장과 표면 입자의 크기, 모양과 밀접한 관계를 갖는다.<sup>11)</sup>



그림 9> 빛의 산란 모형

### 3.4. 광측정

인공광원에서 발생하는 빛의 양을 측정하는데 있어서 다음의 2가지 법칙이 적용된다.

#### (1) 거리지름의 반비례 법칙(Inverse Square Law)

일반적으로 조도는 특정 표면에 도달하는 평균적인 빛의 양(광속)을 지칭한다. 광원으로부터 측정 대상 표면까지의 거리가 증가되면 같은 양의 빛이 보다 넓은 면으로 배분되기 때문에 조도는 거리 제곱에 반비례하게 된다.

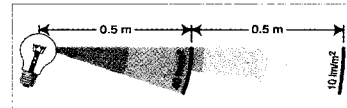


그림 10> Inverse Square Law

#### (2) 램버트 코사인 법칙(Lambert's Cosine law)

광선과 수직을 이루지 않는 표면에 도달하는 빛은 <그림11>과 같이 넓은 표면에 배분된다.

10) Alex Ryer: Light Measurement Handbook, International light Inc. p14, 1998

11) Alma E.F. Taylor, op. cit., p.16.

9) <http://nucl-a.inha.ac.kr/phys/mpphys/09-01.html>

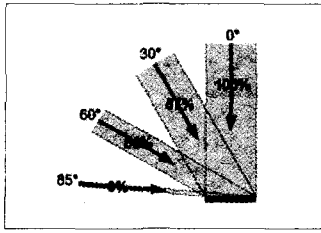


그림 11> Lambert's Cosine law

#### 4. 실세계와의 비교

이상에서 고찰한 인공광원의 제 특성을 중심으로 하여 이러한 내용이 디지털공간에서 어떻게 적용되고 제외되는가를 비교한다.

##### 4.1. 발광의 측면

가시권에서 시간에 따른 빛의 강도 변화는 <그림 12>와 같이 파면(Undulating surface)으로 나타나며 이 신호가 모니터와 같은 출력장치를 통해서 영상으로 나타난다.

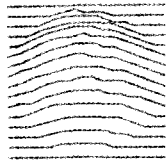


그림 12> 필드에서의 빛의 강도 변이

이때 비디오 신호가 제한된 정밀도에서 이산적(discrete)으로 추출되면 연속적인 강도를 지니는 면(Surface)에 근접하게 나타난다. 이는 컴퓨터의 기억장치에 각각의 정수값(integers)이 연속면에서의 각점의 높이를 표시하는 동시에 강도를 나타내는 정수의 배열로 표현할 수 있다.<sup>12)</sup> 이와 같이 비디오신호를 부호화하여 저장된 화상이 비트맵 이미지화된다. 따라서 디지털공간이 표현되는 스크린은 기억 매체에 저장된 화소의 배열에 대응하는 강도를 가진 사각형 셀의 연속인 것이다.

##### 4.2. 기계적 측면

###### (1)배광

인공광원의 배광곡선은 광원의 형상과 반사기, 확산기가 갖는 고유한 물리적 특성에 따라 표시된다. 이에 반하여 디지털공간의 광원은 반사기와 확산기가 없는 순수 광원의 성격이 강하고 빛의 형상과 크기를 표현하기 위하여 반사기와 확산기에 관한 모델링과 재질의 반사특성에 관한 변수의 입력이 요구된다. 반면 배광의 유형을 3차원 모델링 하는 것이 가능하여 반사기와 확산기가 제외된 상황에서의 배광형상 표현이 가능하다. <표 3>

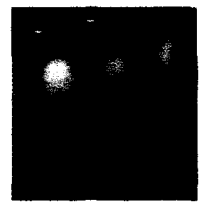
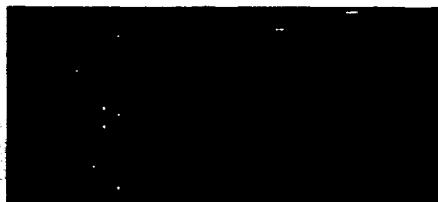
실세계의 배광형상	
디지털공간의 배광형상	 Lightscape의 Photometric Web을 이용한 디지털공간의 배광형상

표 3> 실세계와 디지털공간의 배광형상

###### (2)광속

인공광원은 광속이 전력의 양이나 광원의 크기에 따라 변하고 특정한 광원이 갖는 고유의 광량이 규정되어있다. 이는 고정된 광속을 갖는다고 할 수 있는데 디지털공간에서 사용되는 광원은 광원자체의 HSV 변수에 대한 입력값의 증감에 영향을 받는다. 따라서 광원의 유형이나 크기와 무관하게 가변적인 광속을 나타낸다고 할 수 있다.

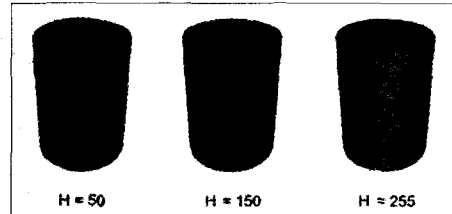


그림 15> HSV 변수의 증감에 따른 표면의 변화

###### (3)광색

인간이 광원의 색을 인식하는 과정은 광원이 갖는 특정한 에너지 스펙트럼이 인식 가능한 범위 내에서 포착된 것이라고 할 수 있다. 따라서 표면의 색은 광원의 스펙트럼에 영향을 받아 연색의 특성이 나타나게 된다. 디지털공간의 광원은 균일한 에너지 흐름을 갖는 빛을 가정하고 있으며 파장대역에 따른 색의 구현이 아닌 RGB 변수값에 따라 변화한다. 일반적으로 컴퓨터그래픽에서는 조명을 RGB의 3가지 요소로 분해하여 빛을 규정하고 광원의 색상은 RGB값의 합으로 결정된다. 광원은 방향성 광원(directional)과 전광(omni-directional)의 2가지 유형으로 대별되고 빛을 흡수하거나 반사할 수 있는 표면이 존재할 때 그 색상을 나타낸다. 여기서 표면의 색상은 RGB가 반사되는 비율에 의해서 표면색상의 근사치를 만든다. 예를 들어 광원의 색이 백색(W)으로 설정되고 표면이 적색(R)을 반사할 때 적색 표면으로 규정된다. 또한 광원의 색이 청색(B)이고 표면이 적색(R)을 반사할 때는 흑색 표면으로 규정된다.<그림 14>

12) William Mitchell, M. McCullough, 김인한, 김유진역: Digital Design Media, 기문당, p.95

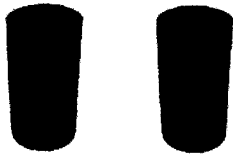


그림 14> 좌: 광색(W)+표면(R), 우: 광색(B)+표면(R)

### 4.3. 광학적 측면

#### (1) 직사현상

실세계의 모든 광원은 에너지의 위상 전환에 의한 발광을 기본 원리로 하고 있으며 반면 디지털 공간의 광원은 광원 자체가 발광하는 광원이 아닌 점(point)으로 규정된 벡터 위상값만을 갖는다. 따라서 실세계에서는 광원을 직시함으로써 나타나는 눈부심(glare)현상이 있지만 디지털공간에서는 광원 자체가 발광특성을 갖지 않기 때문에 광원의 에너지가 직접 육안으로 전달되는 직사 현상은 나타날 수 없는 것이다.<sup>13)</sup>

이는 광원의 광속과 광색을 나타내기 위해서 반사특성을 갖는 오브젝트가 필수적으로 요구되는 디지털공간의 조명모델에 기인하는 것으로서 광원과 반사체, 스크린의 관계 속에서 광원의 특성이 규정되는 디지털공간의 광원의 특성의 하나라고 할 수 있다.

실세계	디지털공간

표 4> 실세계와 디지털공간의 직사현상

#### (2) 반사현상

디지털공간의 조명모델은 주변광과 방사광, 반사광의 합으로 구성된다. 이는 광원의 RGB와 HSV 변수, 빛을 반사하는 오브젝트의 표면 특성과 관련이 된다. 따라서 반사체로 규정되는 오브젝트 표면에 대한 변수와 셰이딩 방식에 따라 경면 반사와 확산반사가 표현된다. 물리적 세계의 표면이 질감과 색채에 따라 고유한 반사율을 갖는 반면 디지털 표면은 변수의 조절에 의한 다양한 반사특성의 표현이 가능하다.<그림 15>

#### (3) 간섭과 회절현상

물리적 세계에 있어서 빛이 좁은 틈이나 장애물 끝을 지나게 될 때 회절 되어 회절 무늬를 만든다. 이는 간섭현상과 마찬가지로 진행되는 성분파의 진동의 합에 의해 나타나는 것으로서 물리적 공간에서의 빛이 파동(Wave)의 성격을 나타낸다는 것을 입증하는 현상이라고 할 수 있다. 그림 1과 같이 물리적 세계에서는 좁은 틈을 통과한 빛이 밝고 어두움이 반복적으로

13) 디지털공간에서 광원으로 표현되는 것은 발광 특성을 갖는 표면으로 설정된 반사체라고 할 수 있으며 이는 주변의 표면에 영향을 미치지 않는 상징적인 광원이라고 할 수 있다.

교차하는 무늬가 나타나지만 유사한 조건에서 디지털 공간의 빛은 명암의 차이가 분명한 무늬를 나타낸다.<표 5>

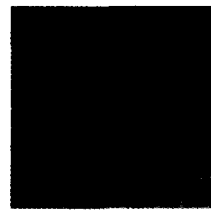


그림 15> 표면변수의 조절에 의한 벽돌표면의 반사표현

즉 디지털 공간에서 빛의 진행은 파동에 의한 에너지의 전달이 아닌 오브젝트의 투영(projection)과 절단(clipping)에 의한 음영처리(shading)의 결과로 나타난 2차원 비트맵 화상이라고 할 수 있다.<sup>14)</sup>

실세계	디지털공간

표 5> 실세계와 디지털공간의 회절현상

#### (4) 굴절과 투과현상

물리적 세계에서 표면의 상태와 재질에 따라 고유의 굴절률과 투과율을 갖게 된다. 반면 디지털 공간에서는 표면의 불투명도(opacity) 변수의 조절을 통하여 후면에 나타나는 이미지의 밝기(Brightness)와 색상(Hue)을 변화시켜 투명함을 표현한다. 그림1과 같은 설정에서 오브젝트의 불투명도를 50%로 변화시켜 실험한 <표 6>의 결과에서 나타난 바와 같이 배경의 색상과 오브젝트의 색상이 혼합된 색상이 표현되면서 후면에 나타나는 이미지의 색상경계차를 약화시키는 방식으로 투명도를 나타낸다.

불투명도(100)	불투명도(50)
H(100), S(100), B(100) R(85), G(255), B(0)	H(45), S(100), B(67) R(170), G(128), B(0)

표 6> 디지털공간의 투명도 표현

또한 자연계에서 빛(가시광선)을 분광기를 통하게 되면 굴절현상에 의하여 파장의 순서로 가시스펙트럼이 나타난다. 이는 빛이 입자로서의 특성뿐만 아니라 파동을 갖고 이동한다는 것인데 이러한 자연계의 물리적 현상에 반하여 디지털 공간에서

14) William Mitchell, M. McCullough, op. cit., p.223

는 굴절에 의한 스펙트럼 현상이 나타나지 않는다. 이는 디지털 공간의 빛이 파장의 성격을 갖는 빛이 아니라는 반증이라고 할 수 있는 것이다.

**(5)산란현상**

일출이나 일몰시 대기의 색이 등황색이나 적색을 나타내는 것은 태양광의 단파장 부분이 산란되고 장파장 대역이 투과되기 때문이다. 이와 같은 자연계의 현상은 대기가 분자나 미립자로 구성되어 있다는 사실을 기초로 나타나는 현상이라고 할 수 있다. 따라서 분자나 미립자가 아닌 2차원의 화소를 단위로 구성되는 디지털 공간은 전자의 진동에 의한 산란현상이 나타나지 않는다.<sup>15)</sup>

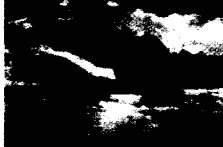
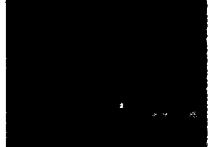
실세계	디지털공간
	

표 7> 실세계와 디지털공간의 산란현상

**4.4. 광측정의 측면**

거리제곱의 반비례 법칙과 램버트 코사인 법칙은 실세계공간과 디지털공간에서 공통적으로 적용되는 물리 법칙이라고 할 수 있다. <표 8>의 결과에서 나타난 바와 같이 실세계의 물리적 법칙이 디지털 공간에서도 적용되어 유사하게 이미지를 생성한다.





구분	램버트 코사인 법칙의 적용	거리제곱의 반비례 법칙의 적용
실세계		
디지털 공간		

표 8> 실세계와 디지털공간에서의 광측정 법칙의 적용

**5. 디지털 공간에서 빛의 특성**

이상과 같은 물리적 공간과 디지털 공간에서의 빛에 관한 비교를 중심으로 실세계와 차별화 되는 디지털공간의 빛의 특성을 분석하면 다음과 같다.

15) 디지털 공간에서는 이러한 산란현상을 별개의 시각적인 요소로 취급하여 표현한다.

**5.1. 인식의 평면성**

관찰자가 광원이 설치된 공간에 서있다면 공간 내에 분포하는 수많은 빛의 입자 중 극히 일부만이 눈으로 들어오고 망막의 간상체(Rod)와 추상체(Cone)를 자극한다. 이러한 일련의 자극을 통해 형태와 이미지가 뇌에 인식된다.<sup>16)</sup>

반면 디지털 공간에서는 관찰자의 시선과 물체사이에 2차원 격자구조의 래스터 스크린을 설정하게 되는데 3차원 시각공간 내에 위치한 래스터 스크린은 수많은 픽셀로 구성된다.<sup>17)</sup> 광원과 물체 표면의 반사과정에 대한 계산과정을 통해 각 픽셀의 색상이 결정되며 이러한 픽셀은 인간의 망막의 간상체와 추상체의 역할을 한다. 따라서 인간은 래스터 스크린에 나타나는 2차원적 이미지를 시신경을 통하여 다시 인식하는 과정을 거치게 됨으로써 그 평면성이 강조된다.

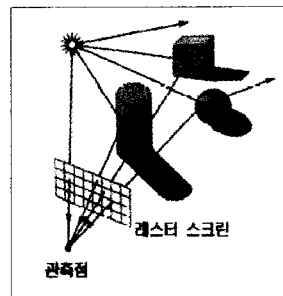


그림 16> 컴퓨터 스크린을 통한 물체의 인식과정

**5.2. 광원의 상징성**

실세계의 인공광원은 전기에너지를 빛과 열<sup>18)</sup>로 변환시키는 매개체가 존재하는 반면 컴퓨터그래픽에서는 이러한 실세계의 에너지 변환과정이 생략되고, 에너지의 분산이 3차원 좌표상의 하나의 상징적인 점(Point)와 면(mesh)으로 가정되며<sup>19)</sup> 그 강도를 색(HSV)으로 규정한다. 따라서 광원 자체에 대한 관심보다는 일정시점에서 관찰되는 표면의 밝기 강도에 주목한다. 즉 3차원적인 회화공간을 가장 정확하고 효율적으로 만들기 위하여 표면에서 반사되는 빛의 분포를 나타내는 정량적인 법칙을 채택하여 표면을 셰이딩한다.<sup>20)</sup> 이는 실세계의 재현이 컴퓨터 모니터 상에서 2차원적 결과물로서만 이루어지는 컴퓨터 그래픽의 기술적 특성이라고 할 수 있다.

일반적으로 실세계에서는 광원(Lamp)과 광원을 부착하는 기구의 결합에 의하여 조명기구(Lighting Fixture)<sup>21)</sup>로서 사용된다. <그림17> 이들 조명기구는 부착이나 매입과 같은 방법을 통하여 사용되며, 건축화조명과 같은 간접조명에서는 벽면이나 천장면 등에 광원이 직접 부착된다.

16) Roy S. Kalawsky: The Science of virtual reality and virtual environments, Addison-wesley, p.44, 1993

17) 김억 외: 건축설계전산론, 기문당, p.190, 1999

18) H=3.4W (H: 열량, W: 전구와 안정기에 공급되는 전력)

19) Alan Watt: 3D Computer Graphics, Addison-wesley, p.275~276, 2000

20) William Mitchell, M. McCullough, op. cit., p.227

21) 일반적으로 조명기구라고 지칭하는 것은 반사기와 광원이 결합되어 있는 것으로서 순수한 광원만을 지칭하는 것이 아닌 것이다.



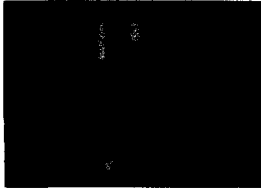


그림 17> 매입형 배플  
다운라이트의 구조

반면 디지털 공간에서는 광원은 제공되거나 형상이 표현되지 않으며 광원에 부착되는 물리적 특성과 형태를 갖는 반사기는 제공되지 않는다.<sup>22)</sup> 이러한 반사기나 확산기의 부재로 인하여 배광곡선과 같은 조명 데이터(Photometric web)의 제시가 어렵게 된다.<sup>23)</sup> 따라서 실제 공간에서는 조명기구가 하나의 시각요소로서 나타나고 광원의 글래어가 인식되는 반면에 컴퓨터그래픽에서는 동일한 공간을 조명기구가 표현되지 않은 상태에서 유사한 표현이 가능하다.<그림18> 즉 실세계에서는 조명기구가 빛을 분리할 수 없지만 컴퓨터그래픽에서는 조명기구가 빛을 분리되어 서로 다른 요소로 간주된다.

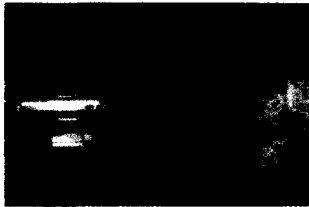


그림18> Kas Oosterhuis 와 Marcos Novak의  
Trans-ports 2001

### 5.3. 제어된 표면

디지털 공간에서는 RGB와 HSV 값을 조절하여 빛의 색을 조절한다. 여기서 빛의 강도는 HSV 값에 따르게 되는데 빛의 강도를 약화시키기 위해서는 어두운 색이 사용된다. 또한 특수한 효과를 목적으로 할 경우에는 빛의 강도를 증폭시키는 기능을 갖는다. 이러한 기능을 이용해서 빛의 강도를 증가시키면 표면 색체에 버닝(burned out)현상이 발생하고 표면색상의 V값이 증가하여 백색에 가까워지고 정확한 표면의 색을 확인하기 어렵게 된다. 이와 같이 디지털 공간은 실세계와 마찬가지로 조명의 색과 강도에 따라서 표면의 색이 변화한다. 그러나 광원 자체가 갖고 있는 빛의 강도와 별개로 광원의 영향을 받는 물체의 표면에 대한 밝기와 대비효과, 부드러움, 광택 등의 제어가 가능하다.

광원에 대한 표면의 제어뿐만 아니라 표면의 생성방식이 물리적 세계와 구분된다. 디지털 공간에서 빛과 반응하는 표면은 대부분 2차원 이미지를 이용한 매핑을 통하여 표현된다. 이는 물리적인 질감을 색채와 음영으로 표현하는 함으로써 시각적인 질감만을 표현한다. 따라서 물리적 세계에서 다루어지는

22) 컴퓨터그래픽에서의 Spotlight는 방향성이 있는 빛을 만들기 위한 Cone이 제공되거나 이는 실세계의 반사기와는 구분된다. 이는 방향성을 갖는 광원이라는 가상의 오브젝트이지 최종 렌더링 후에 스크린 상에 표현되는 화면 구성요소가 아닌 것이다.

23) 조명 데이터를 이미지 계산에 포함시키는 일부 소프트웨어에서는 반사기와 조명데이터를 분리해서 취급한다. 따라서 정확한 의미에서의 반사기의 물리적 특성에 따른 배광이라고 보기는 어렵다고 할 수 있다.

표면 반사율<sup>24)</sup>이 적용되기 어려운 점이 있다.

한편 빛의 입사각이 0도이고 백색광일 때 표면은 완전하게 조명된다. 이는 광원이 표면과 수직으로 위치하면서 표면을 비추는 경우로서 이때는 빛의 감쇠현상(attenuation)이 발생하지 않는다. 빛의 입사각이 증가하거나 색상을 포함하면 감쇠현상이 발생하기 시작하고 표면의 강도는 감소한다. 이와 같은 빛의 감쇠현상은 공간의 원근감을 이해하는 기초가 된다. 기본적으로 디지털 공간의 광원은 광원과 표면간의 거리와 각도에 따른 감쇠현상을 포함한다.<그림 19> 즉 실세계의 광측정에 사용되는 일반법칙인 거리제곱의 반비례 법칙과 램버트 코사인 법칙을 따른다. 그러나 실세계에서는 광원과 표면의 특성에 따라 자연스러운 감쇠현상이 나타나는 반면에 디지털 공간에서는 감쇠현상이 있는 장면을 만들기 위해서는 감쇠현상 옵션을 설정하거나 새로운 광원이 추가되어야한다. 또한 감쇠현상이 시작하는 지점과 끝나는 지점을 정확하게 설정할 수 있도록 하고 표면의 반사계수를 변화시켜 다양한 표현의 가능성을 제공한다.



그림 19> 빛의 감쇠에 의한 원근감의 표현

### 5.4. 무영광원(無影光源)

디지털 공간의 광원에 있어서 그림자는 선택적인 요소가 된다. 그림자에 대한 설정을 하지 않으면 그림자를 제외하고 장면을 생성한다. 디지털 공간에서 그림자는 광원에서 발생한 광선의 경로에 오브젝트가 놓임으로서 그 경로가 차단되어 나타난다. 그러나 그림자가 없는 장면을 만들고자할 때, 빛은 오브젝트를 통과하고 각 오브젝트는 설정된 재질과 색으로 표현되는 방법이 적용된다. 즉 그림자의 설정을 하지 않는다는 것은 오브젝트의 상대적인 위치가 조명 프로세스에서 영향을 미치지 않는다는 것이다. 또한 디지털 공간의 광원은 그림자의 위치와 색상, 밝기, 농도, 해상도의 조절이 가능하여 가공된 그림자의 생성이 이루어진다.<그림 20>

### 5.5. 비파동성

역사적으로 빛의 본성에 대해서 두 가지 학설이 서로 대립되어 왔으며 그 대표적인 것이 1678년 호이겐스(C. Huygens)가 제창한 빛의 탄성과설(파동설)과 뉴턴이 제창한 미립자설(光素說)이다. 이러한 대립은 현대의 양자역학(Quantum Mechanics)의 성립과 함께 해결되어 미시적 세계에서 자연의 본질적인 이중성(duality)임이 확인되어 현재는 빛을 전자기파로서 행동하지만 원자 차원에서의 에너지의 주고받음이 문제로 될 때에는 광자(光子:photon)라는 입자적 성격을 가진 에너지의 알맹이로 간주한다. 즉 빛이 파동과 입자의 이중성을

24) 표면 반사율은 재질이 갖는 고유한 속성으로서 광원에서 발산된 빛과 상호작용 하여 시각 환경을 구성한다.

지냈다는 것을 모순으로 생각지 않고 당연한 사실로 인정된다.<sup>25)</sup>

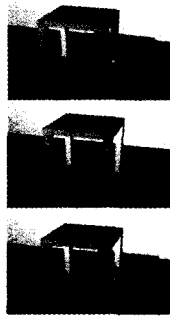


그림 20> 그림자의 생성과 위치변경

디지털 공간에 있어서의 빛은 이러한 이중성에 기초한 여러 가지 현상(반사, 굴절)이 재현된다. 그러나 디지털 공간에서는 파동설의 결정적인 증거인 간섭과 회절, 산란 현상이 나타나지 않는다. 이는 디지털 공간에서 적용되는 조명모델이 광원과 반사체(표면)의 특성만을 고려하여 만들어진 제한적 모델이라는 것에 기인한다고 할 수 있다. 물리적 세계의 광원이 파장대에 따라서 다양한 스펙트럼을 나타내는 것을 고려한다면 이러한 조명모델은 균일한 에너지 스펙트럼을 갖는 완전한 광(perfect Light)을 전제로 하고 있기 때문에 실세계의 모든 현상이 나타나지 않는다.

## 6. 결론

디지털 공간의 빛은 현실세계의 재현에 필수적인 시지각적, 광학적, 열역학적 특성을 고려하여 만들어진 조명모델 내에서 재현되기 때문에 실세계에서 빛의 전달에 따라 수반되는 다양한 물리적 현상을 모두 수용하지는 못한다. 이는 디지털 공간에서의 빛의 재현이 광학적 공식(Optical Formulae)<sup>26)</sup>과 열역학적 공식(Thermodynamical Formulae)<sup>27)</sup>에 의해 만들어진 조명모델 내에서 이루어지는 통계적 정확성에 기인한다. 즉 디지털 공간을 이동하는 각각의 빛은 이동경로를 상대적으로 단순화시킨 공식에 의해 만들어진 광학 시스템을 통해 투과와 반사, 굴절이 이루어진다. 따라서 실세계와 같은 빛의 모든 속성이 나타나지 않고 제한적으로 표현된다. 그러나 현재 디지털 공간에서 이루어지는 형태의 표현이 탈중력적으로 표현되어 실세계와 분리된 독자성을 갖는 것에 비교하면 실세계의 원리와 많은 점에서 유사성을 찾을 수 있다. 즉 외부세계의 인식을 가능케 하는 빛의 기능을 기본적으로 포함하는 점에

있어서는 실세계와 가상세계 모두 공통적이라고 할 수 있다. 디지털 공간에서 표현하는 스크린 2차원성은 현실세계의 여러 가지 물리적 법칙이 무시될 수 있으며 이를 이용한 다양한 공간 실험의 가능성을 제공할 수 있다. 이는 인공광원의 특성을 이용한 예측의 분야와 가상광원의 특성을 이용한 가상건축의 분야로 구분되어 발전되어 나아갈 것으로 예상된다. 확장된 표현의 영역으로서의 디지털 공간은 기존의 조명연출과 전혀 다른 개념의 빛의 이용 방식을 요구하고 있으며 이에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- Alma E. F. Taylor: Illumination Fundamentals, Rensselaer Polytechnic Institute. 2000
- Alex Ryer: Light Measurement Handbook, International Light Inc. 1998
- Alan Watt: 3D Computer Graphics, Addison Wesley, 2000
- Edward Allen: How Buildings Work, Oxford Univ. Press, 1980
- Dace A. Campbell: Design in Virtual Environments Using Architectural Metaphor, Univ. of Washington, 1996
- Roy S. Kalawsky: The Science of virtual reality and virtual environments, Addison-wesley, 1993
- M. D. Egan, 박종호 역: Concepts in Architectural Lighting, 기문당, 1997
- W. J. Mitchell & M. McCullough, 김인한 역: Digital Design Media, 기문당, 1997
- 김억의: 건축설계전산론, 기문당, 1999,
- 中島龍興, 近田玲子, 박필제 역: 조명디자인 입문, 예경, 1999
- Indoor and outdoor lighting '97/98, 오스람코리아
- 홍승대: 디자인학연구, CG를 이용한 조명연출효과에 예측, 42호, Vol.14 No.1
- 박우성: 디자인학연구, 성분적 속성에 기초한 조명기구 디자인 교육프로그램, Vol.14 No.2
- 이철재, 임종엽: 디지털 건축 형태 분석에 의한 공간 유형 연구, 한국실내디자인학회, 25호
- 김은숙: 아인슈타인과 광전효과, 과학동아, 1998년 1월호
- <http://www.siggraph.org/education/materials>
- <http://nucl-a.inha.ac.kr/phys/mphys/09-01.html>
- <http://www.listensoftware.com/LIGHTING.HTML>
- <http://www.cs.sunysb.edu/~mueller>
- <http://www.cs.rice.edu/~jefjh/render/terms.html>

25) 김은숙: 아인슈타인과 광전효과, 과학동아 1998년 1월호

26) 광학적 공식에 입각한 레이딩 알고리즘의 대표적인 것은 광선추적기법(Raytracing)이 있으며 이는 수많은 빛의 입자(Photon)가 공간을 움직이는 것으로 가정하고 우리가 특별히 관심을 갖는 것에 대하여 우리 눈에 들어오는 것으로 가정한다. 이 알고리즘은 스크린 상의 각각의 픽셀에서 3차원 모델 쪽을 향하여 뒤쪽으로 빛을 추적하는 것에 의하여 작동한다. 따라서 이미지를 생성하는데 필요한 화면 정보만을 계산한다.

27) 열역학적 공식에 의한 레이딩 알고리즘은 라디오시티(Radiosity)가 있으며 이는 광선 추적기법과 달리 이산화(Discretization)기법에 기반을 두고있다. 라디오시티에서는 모든 표면이 에너지의 방사체로 작용하여 각 표면의 광도를 계산하여 장면을 생성한다.