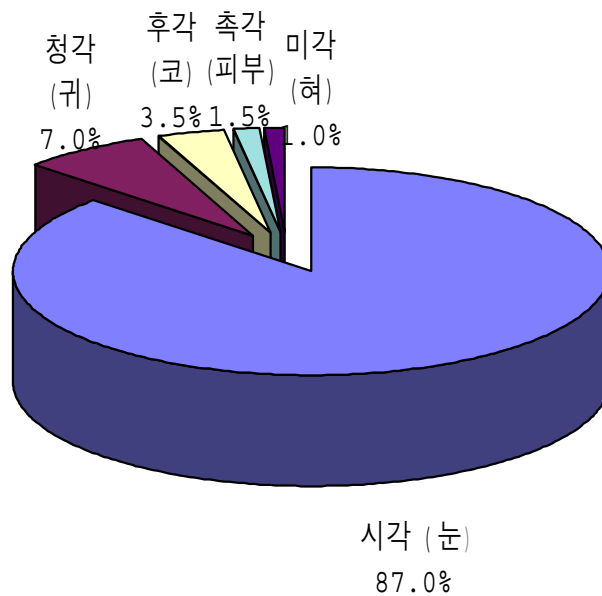


제 2 장 기본 이론의 고찰

2.1 사무소 건물에서의 조명

2.1.1 사무소 건물의 시환경

건물내부의 환경은 범위에 따라서 작업자 주변의 작업공간 환경과 건물의 한층 또는 건물 전체를 포함하는 광역 환경으로 구분할 수 있다. 이중 작업공간에 있어서 중요한 환경요소로는 시환경과 음환경 및 온열환경을 들 수 있다. 1980 년과 1985 년 미국에서의 건물환경연구의 조사 결과에 따르면 응답자의 65%가 시환경에 불만을 갖는 것으로 나타났으며, 이러한 조사 결과는 인체의 정보취득을 담당하고 있는 감각기관과 관련이 있는 것으로 해석할 수 있다. 인체의 감각기관의 정보취득 능력은 [그림 2.1]에서 보는 바와 같이 시각에 의한 것이 87%로 가장 지배적이며 따라서, 작업환경에서도 시환경이 압도적으로 중요한 위치를 차지하고 있다.



[그림 2.1] 인체 감각기관의 정보취득 능력

정보화의 발전이 급속히 빠르게 진행되고 있는 현대사회에서 거의 대부분의 사무실은 이미 OA(Office AUTOMATION)환경이 이루어져있고 그에 따른 VDT(Visual Display Terminal)에 의한 작업 또한 증가하는 추세에 있다. 이에 맞추어 건물들도 인텔리전트화 되어 가고 있고 VDT 를 사용하는 공간에서의 조명환경에 대한 신중한 고려가 필요하다. 인텔리전트 건물에서의 시환경의 경우, 수평 책상면에서의 작업이 주로 이루어지는 기존의 일반적인 사무소 건물과는 달리 VDT(video display terminal) 작업이 주로 이루어지고 있으므로 기존의 사무실과는 다른 조명설계가 요구된다고 말할 수 있다. 기존 사무소 건물에 있어서의 시환경에 대한 개선 요구, 재실자의 요구에 신속히 대응하고자 하는 인텔리전트 빌딩으로서의 요구, VDT 작업 대한 고려 및 에너지 소비 절감 등의 이유로 인하여 일반 건물과 인텔리전트 빌딩에 있어서의 조명의 차이는 [표 2.1]과 같이 요약될 수 있다.

[표 2.1] 일반건물과 인텔리전트 건물과의 조명차이

비교 항목	일반 건물	IB 건물
작업면	·책 상면(수평면)	·VDT(수직면) ·책 상면(수평면)
조명방식	·직 접 조명 / 전 반 조명	·TAL(작업+전반병용조명)
조명 제어	·수동제어 (벽스위치) ·자동제어(스케줄 On/Off)	·스케줄 On/Off ·재실감지 On/Off ·개별제어 On/Off
자연광 제어 및 활용	·수동 블라인드 ·창문근처 On/Off	·자동 블라인드 ·창문근처 On/Off ·조광제어(Dimming) ·설비형 자연채광 장치

[표 2.2]는 일반적인 사무소건물과 인텔리전트 사무소건물에서 조명설계방법의 차이점을 보여주고 있다.

[표 2.2] 일반건물과 인텔리전트 빌딩의 조명설계 방법의 비교

기존의 인공조명 설계 방법	IB의 조명설계 시 추가사항
1) 설계조도 결정 (조도기준 : KSA 3011-1933)	1) TAL 방식에 의한 작업용 조명조도와 전반 조도 결정
2) 광원 선정	2) 자연채광 방식 결정
3) 조명방식 및 조명 기구 선정	3) 인공조명 제어방식 결정
4) 조명을 설정	4) 조도 및 휘도 계산
5) 조명기구 소요대수 결정(총광속법)	5) 조명제어 센서에 의한 조명제어 시스템 조율
6) 조명기구 설치간격 결정	6) 타 IB 시스템과의 연계 운용 방안 결정
7) 제어방법 결정(조명기구 그룹핑, 스위치 위치 결정)	
8) 건축평면도에 조명기구 배치 및 배선 설계	

2.1.2 사무소 건물에서의 실내조명환경

일반적으로 현대 사무소 건물 내에서 이루어지는 업무는 다음의 세가지 형태로 분류되고 모든 작업형태를 만족시키는 실내조명환경이 요구되고 있다. 사람과의 대면을 통한 작업, 문서를 통해 이루어지는 작업, 그리고 VDT를 통해 이루어지는 작업이 있다(Coaton, 1997).

(1) 사람

사람과의 대면을 통한 업무는 회의, 면접, 그리고 강연 등이 있고 의사소통의 수단으로 대화뿐 아니라 표정과 몸짓이 중요한 표현방식이 되고 있다. 따라서 표정, 특히 눈이나 입을 통한 움직임이 명확하게 드러나도록 광원의 위치는 결정되어야 한다.

(2) 문서작업

전자장비과 정보기술의 발달은 문서 없는 사무실을 예고했지만 아직까지 이루어지지 않고 있다. 오히려 컴퓨터, 팩시밀리, 프린터와 복사기의 사용의 증가로 인해 더욱 많은 양의 문서작업을 야기시키고 있다.

과거의 사무환경과 비교할 때 약 95%이상의 근무자들이 컴퓨터를 가지고 있거나 모니터를 통해 작업이 이루어지고 있다. 이러한 사무실 업무를 위한 장비가 증가함에 따라 구역별 업무방식의 사무소내부는 개인작업공간을 위한 칸막이 등이 설치되고 이로 인한 그림자의 발생으로 실내조도는 어두워지게 된다.

(3) VDT(Visual Display Terminal)

VDT는 수직의 작업면으로서 자체적으로 빛을 발산하며 광원의 역할을 한다. 문서작업은 수평면에서 이루어지므로 이 두 작업사이에 발생하는 시환경을 복합적으로 고려해야 한다. 하지만 수직면에서 이루어지는 문서작업의 비율이 증가하고 있으며 이것에 따라 조명조건의 변화가 요구되고 있다.

[표 2.3]은 사무소건물에서 작업종류에 따른 권장조도를 나타내고 있다.

[표 2.3] 사무소건물에서의 작업의 종류별 권장조도

	1984년	1994년
내부가 깊은 사무소	750lx	750lx
일반적인 사무소	500lx	500lx
회의실	500lx	300lx-500lx
중역실	500lx	300lx-500lx
컴퓨터 작업실	300lx-500lx	300lx-500lx
VDT 영역		300lx-500lx

2.1.3 VDT 조명방식

(1) 전반조명방식

천장 전체의 조명기구를 배치해서 실 전체의 작업면에 똑같은 조도를 주는 방식이다. 실내의 사무기구의 배치가 변경되어도 작업대상, 작업장소가 변해도 조명의 상태는 변하지 않는 유연성이 있다. 조명기구는 아래 쪽이 개방된 기구가 사용되고 있지만 VDT 작업이 일상화된 요즘은 현휘를 발생시키지 않는 형태의 기구를 사용하고 있다.

VDT 작업실에서의 조명은 조명기구를 VDT 화면에 교차하도록 배치해서 수평 작업면에는 주로 좌우의 방향에서 균등히 빛을 나누어 적절한 조도가 얻어지도록 하는 것이 좋다.

(2) 국부적 전반조명방식

작업대상, 작업장소에 따라 조명기구를 배치해 이러한 기구로 실 전체의 조명도 겸하는 방식이다. 작업장소에서의 빛을 유용히 활용해 그림자, 현휘, 광막반사 등의 영향을 최소화하는 것이 바람직하다.

(3) 국부조명방식

작업대상에만 조명을 하는 방식이다. 실의 일부분에 있어서 높은 조도를 필요로 하는 작업대상, 작업자에 대해 보조조명으로 사용되는 경우가 많다.

(4) 국부전반병용조명방식(Task and Ambient Lighting : TAL)

근래에 건물의 냉, 난방, 조명 등을 컴퓨터에 의해 자동화함에 따라 검토될 수 있는 방식이다. 전반조도를 최소한의 필요한량만 유지하고 국부적인 조명으로 작업대의 조도를 확보하여, VDT 로 비쳐 들어오는 것을 해결하는 방식이다. 구역별로 조닝되어진 작업 공간에 맞는 조명방식이 사용되어지고 있다.

전반조명은 조명기구를 천장으로 향하여 간접조명으로 하고 국부조명은 각각의 책상이나 칸막이 등의 가구에 조명기구를 매입하는 방식이 일반적인 방식이다. 1974년 미국 필라델피아 애틀랜틱 피치필드사(ARCO)에서 최초로 채택하여 지금은 신축

사무소 건물의 60%가 채택하고 있다. 에너지절약과 재실자 쾌적도, 작업능률 향상 까지 동시에 만족시키는 방법으로 선호되고 있다.

TAL 방식에 의해 조명을 하는 경우는 실전체가 음울한 느낌을 주지 않도록 하기 위해 천장과 벽의 휘도가 동시에 과도하게 높아지지 않도록 주의한다(김정태, 1993). [그림 2.2]는 TAL 방식의 사무실의 예를 보여주고 있다.



(a) 사무가구내장형



(b) 탁상용

[그림 2.2] 국부전반병용조명이 사용되는 사무실

2.1.4 VDT 작업시 조명의 고려사항

VDT 작업의 조명환경은 일반 사무작업의 조명환경과 근본적으로 다르다. 일반 작업시의 경우 일정한 조명의 질이 유지되고, 조도가 상승하면 시각대상물이 보기 쉽게 되는 것에 비해서, VDT 작업시의 경우 조도가 상승하면 보기 쉬운 키보드 입력용 원고가 있고, 반대로 조도가 상승하면 VDT 상에 표시되어진 문자나 도형같은 보기 어려운 대조적인 두 가지의 시각대상물이 있기 때문에 각 상황을 적절히 조정해야만 한다.

VDT 조명환경을 적절히 유지하기 위해서는 다음과 같은 요건이 필요하다.

- (1) 키보드나 입력용 서류면에 대해서 필요한 조도를 확보한다
- (2) VDT 화면의 글자나 도형 등이 잘 보이도록 화면위의 수직면 조도를 제한한다
- (3) VDT 화면에 비치는 고휘도 조명기구의 반사상에 의해 글자 등이 잘 보이지 않는 곳이 나타나므로 조명기구의 휘도를 제한해야 한다
- (4) 각각의 시대상물로 시선을 이동하게 되는 경우 눈의 적응상태가 크게 변화하지 않도록 하기 위해서 작업면과 그 주변의 휘도차를 적절한 한계 이내에서 제한해야 한다.

2.2 몬테카를로 방법

2.2.1 기본개념 및 난수 발생 방법

몬테카를로 방법은 통계적 확률이론에 기반을 둔 기술로서 난수(random number)를 발생시킨 후에 각 과정을 시뮬레이션하여 원하는 값의 확률적 분포를 알아내는 방법이다(김재삼, 1997). 난수발생 과정이 결과나 거동에 직접적으로 관련이 있는지 없는지에 따라 결정론 또는 확률론으로 구분된다. 조도계산을 위한 몬테카를로 방법은 결정론이다.

본 연구에서 개발한 실내조도계산 수치모델에서 몬테카를로 방법은 광원의 기하학적 형상면 위에서 광자의 발생위치과 방사방향, 그리고 완전확산면위에서의 광자의 반사방향을 결정하는데 적용되었다. 몬테카를로 방법에서 사용되는 확률 개념은 다음과 같다(유기형, 1997).

확률을 P_k 로 정의하고 일어날 수 있는 경우의 수를 사건 E_k 라 정의하면, 확률 P_k 는 0 과 1 사이에 존재한다. 만약 모든 경우에 사건 E_k 가 발생한다고 한다면 확률은 1이 되고 어떤 경우에도 발생하지 않는다면 확률은 0이 된다.

만약 E_i 와 E_j 가 서로 독립이면, $P(E_i \text{ and } E_j) = 0$, $P(E_i \text{ or } E_j) = p_i + p_j$ 가 된다.

$E_i, i = 1, 2, 3, \dots, N$,이 서로 독립이면 $\sum_{i=1}^N p_i = 1$ 이 된다.

모든 X 에 대한 확률을 나타내는 것을 확률밀도함수 $P(x)$ 로, 이것에 대한 확률누적함수인 확률분포함수를 $F(x)$ 로 나타낼 수 있다. 확률 변수 X 가 구간 $(x, x+dx)$ 사이의 값을 가지게 될 확률은 (식 2.1)과 같이 정의할 수 있다.

$$P(x)dx = [x < X < x+dx] \text{일 확률} \quad (\text{식 2.1})$$

확률 분포 함수 $F(x)$ 는 $P(x)$ 를 적분함으로써 (식 2.2)를 구할 수 있다.

$$F(x) = \int_a^x p(t)dt = [X \leq x] \text{일 확률} \quad (\text{식 2.2})$$

몬테카를로 방법을 이용하는데 있어서 중요하게 고려되어야 할 부분 중의 하나는 분포가 균일한 난수를 발생시키는 것이다. 만약 균일하지 못한 편중된 분포를 가지는 난수열을 가지고 몬테카를로 방법을 적용시키면 결과는 왜곡되어 쓸모없는 값이 된다. 따라서 난수는 완전히 무작위적이고 균일한 분포를 가지는 임의의 수열로 이루어지는 것이 가장 바람직하다.

어느 특정한 구간에서 모든 값이 나타날 확률이 일정하면서, 발생된 순서가 인접한 숫자 간의 상관도가 없는 난수열의 분포를 균일확률분포(uniform probability distribution)라 하며, 이 분포는 다른 모든 확률의 기초가 된다..

난수 생성에서 중요하게 고려할 점들을 요약해 보면 다음과 같다.

- (1) 좋은분포 - 무작위성, 균일성
- (2) 긴 주기
- (3) 재생가능
- (4) 계산의 효율성

난수를 발생시키는 방법은 여러가지가 있는데 그 중 일반적인 것으로는 선형 합동적 방법(Linear Congruential method)이 있다. 선형 합동적 방법은 Lehmer(1948)가 처음 사용한 이래 거의 표준적으로 사용되어 왔고 가장 좋은 방법으로 알려져 있다. 이 방법은 완전히 결정적인 방법에 의해 겉보기에 무작위하게 보이는 수를 생성하지만 균일한 분포를 가지고 있고 독립성을 가지고 있다. 어떤 정수 S_i 가 주어졌을 때 이 수열은 (식 2.3)과 같다.

$$S_{i+1} = (aS_i + c) \bmod m \quad (\text{식 2.3})$$

여기서 a 는 승수(multiplier), c 는 증분(increment), m 은 계수(modulus)라고 부르며 이들은 모두 음이 아닌 정수들이다. $N \bmod m$ 은 N 을 m 으로 나누고 난 나머지를 말한다. 예를 들면 $5 \bmod 3 = 2$, $15 \bmod 10 = 5$ 가 된다.

이러한 방법으로 발생시킨 난수는 최대 m 이하의 주기를 갖는 것을 알 수 있다. 따라서 a 와 c 의 자리에 어떤 값을 할당하느냐에 따라 수열의 주기가 m 보다 작아질 수 있게 된다. 예를 들어 $a = 1$, $c = 1$ 로 놓으면 $S_{i+1} = S_i + 1$ 이 되어 최대 주기 m

이 구현되지만 이렇게 해서 생성된 수열은 난수라고 하기에는 부적당하다. 또 하나의 예로서 $a = 3, c = 1, m = 16$ 으로 놓고 $S_1 = 7$ 부터 시작해 보면, 0~15 사이의 수 중에서 {7, 6, 3, 10, 15, 14, 11, 2}만이 순서대로 생성되고 나머지 수는 생성되지 않는다. 따라서 a, c, m 을 결정하는 것은 좋은 난수를 발생시키는데 상당히 중요한 요건이 된다. 여러 가지 연구에 의해서 얻어진 유명한 난수 생성자들의 승수 a 와 계수 m 을 보면 [표 2.4]와 같다(김재삼, 1997).

[표 2.4] 선형 합동적 난수 생성자

a	m	c	
23	10^8+1	0	Lehmer
$2^7 + 1$	2^{35}	1	Rotenberg
3141592653	2^{35}	271828128	
65539	2^{29}	0	RANDU – IBM/360
69069	2^{32}	1	Marsaglia – VAX
16807	$2^{31} - 1$	0	SURAND – IBM/360
1664525	2^{32}	0	IMS
742938285	$2^{31} - 1$	0	l'Ecuyer
515	2^{47}	0	CDC

2.2.2 광자의 발생 위치

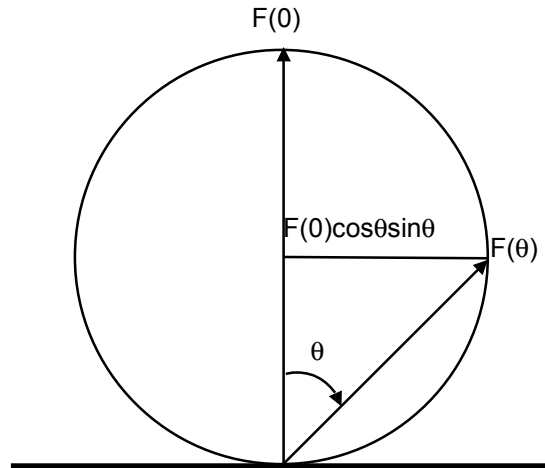
형광전구의 경우 형광전구의 내면에 칠해져 있는 형광물질은 완전 확산 투과물질이므로 형광전구의 표면에서 광자는 모든 방향으로 똑같은 확률을 갖고 방사된다. 이 때 방위각은 (식 2.4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = 2\pi R \quad (\text{식 2.4})$$

단, R: 난수

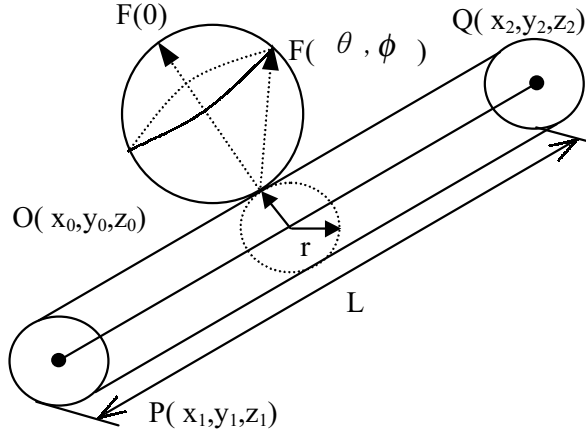
[그림 2.3]에 보인 것과 같이 빛이 입사하는 입사각과 같은 개념으로 광원면에서 수직으로 방사하는 광자의 확률분포를 $F(0)$ 라고 할 때 $F(\theta)$ 의 방사각은 (식 2.5)와 같이 정의될 수 있다(Chen, 1998).

$$F(\theta) = F(0) \cos \theta \quad (\text{식 2.5})$$



[그림 2.3] 광자의 방사각

3 차원적으로 볼 때 [그림 2.4]와 같이 형광전구의 임의의 위치에서의 방사 확률 분포함수는 방사각 θ 와 방위각 ϕ 를 사용하여 (식 2.6)으로 나타낼 수 있다.



[그림 2.4] 광원면에서 광자 방향(θ, ϕ)

$$F(\theta, \phi) = F(0) \cos \theta d\omega \quad (\text{식 2.6})$$

이 식은 다시 (식 2.7)과 (식 2.8)로 변형될 수 있다.

$$\int_0^{\pi/2} F(0) \cos \theta \sin \theta d\theta = 1 \quad (\text{식 2.7})$$

$$F(\theta) d\theta = \frac{2\pi F(0) \cos \theta d\theta}{\int_0^{2\pi} 2\pi F(0) \cos \theta d\theta} 2 \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (\text{식 2.8})$$

(식 2.8)로부터, (식 2.9)를 얻을 수 있다.

$$\int_0^{\theta} 2 \cos \theta \sin \theta d\theta = \frac{1 - \cos 2\theta_0}{2} = R \quad (\text{식 2.9})$$

여기서 방사각(θ)와 방위각(ϕ)은 (식 2.10)과 (식 2.11)로 계산할 수 있다.

$$\theta = \frac{\cos^{-1}(1-2R)}{2} \quad (\text{식 2.10})$$

$$\phi = 2\pi R \quad (\text{식 2.11})$$

단, R: 난수

2.3 광선추적기법

광자의 반사, 투과, 흡수 그리고 굴절과 같은 복잡한 광학적 특성을 표현할 수 있도록 광자가 운동하는 방향과 크기를 벡터화 시키고 각 입자들의 진행경로를 입자가 소멸될 때까지 추적하는 방법이다. 광자의 방향은 반사면의 확률분포(probability distribution)에 따라 난수(random number)에 의해 결정된다. 방사된 광자는 공간 내에서 직진을 하다가 면에 도달하고 흡수 또는 반사될 것 인지가 결정된다. 광자가 표면 또는 광원에 흡수되면 다음의 광자가 광원에서 방사된다. 이러한 계산 절차는 여러 번 반복되고 결과적으로 표면의 조도는 그 표면에 입사하는 광자의 수에 따라서 결정된다.

2.3.1 형광전구의 기하학적 형상

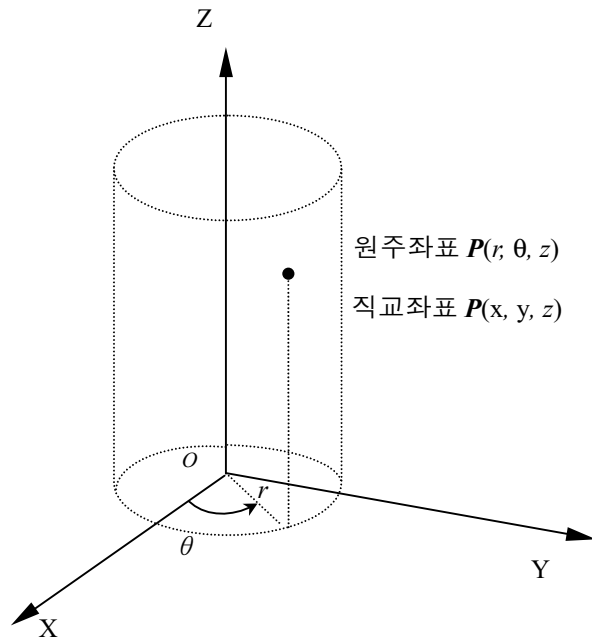
형광전구의 기하학적 형상은 원통형으로서 형광전구 표면에서 광자가 방사되는 점의 위치는 형광전구 반지름(r)과 각도(θ)를 이용해 원주좌표계로 나타내야 한다. 원주좌표계는 [그림 2.5]와 같이 나타낼 수 있다.

점 P 의 직교좌표(x, y, z)와 원통좌표(r, θ, z) 사이에는 (식 2.12)가 성립한다(백용배 외 1인, 1996).

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \\ z = z \end{cases}$$

$$\begin{cases} r^2 = x^2 + y^2 \\ \theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \end{cases}$$

(식 2.12)

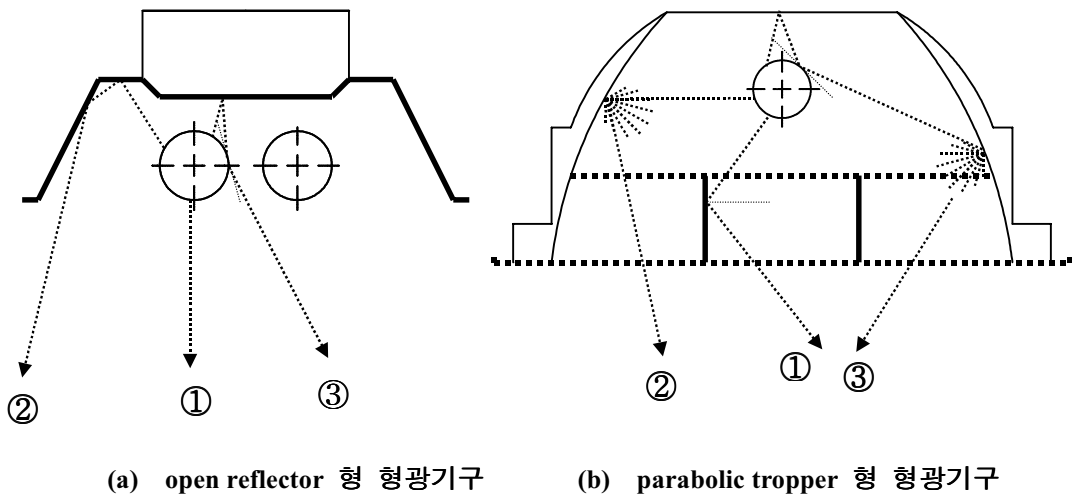


[그림 2.5] 원주좌표계

2.3.2 광자의 광학적 거동

형광전구에서 방사된 광자가 작업면에 도달하기 전에 조명기구를 빠져 나오는 과정은 [그림 2.6]에 보인 것처럼 광원에서 방사된 다음 직접 나오는 성분①, 반사갓에서 반사된 다음 빠져 나오는 성분②와 반사갓에서 반사되고 다시 형광전구에 부딪힌 다음 빠져 나오는 성분③으로 구분 될 수 있다. [그림 2.6]의 (a)는 Open-Reflector 형의 등기구, (b)는 Parabolic tropper 형의 등기구에서의 광자의 방사과정을 보여주고 있다.

컴퓨터 모델에서 사용 될 반사의 종류는 거울이나 광택성 알루미늄과 같이 경면 반사재료와 확산 반사재료의 두 가지로 구분하였다.



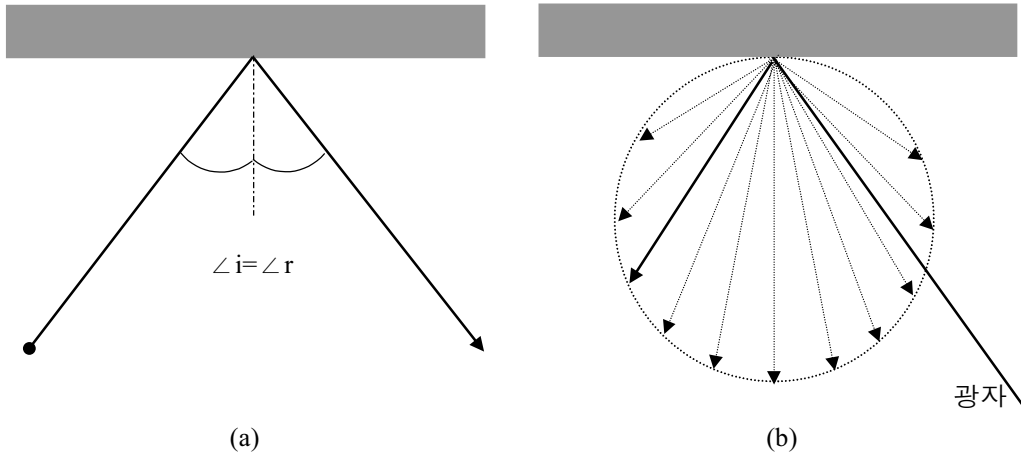
[그림 2.6] 광자의 방사방향

(1) 경면 반사

반사면의 반사율에 따라서 반사하는 광자의 에너지가 입사한 광자의 에너지보다 감소하지만 광자의 반사각은 [그림 2.7]의 (a)와 같이 같게 된다.

(2) 확산 반사

확산반사의 경우 모든 방향으로 같은 세기의 광자가 발산된다. 광자가 확산반사의 특성을 갖는 재료에 입사하면 에너지의 일부는 표면의 반사율에 따라서 순간적으로 흡수되고 나머지 광자는 입사 광자의 방향과 관계없이 [그림 2.7]의 (b)와 같이 난수에 의해 임의의 방향으로 방사하게 된다(Steven, 1994).



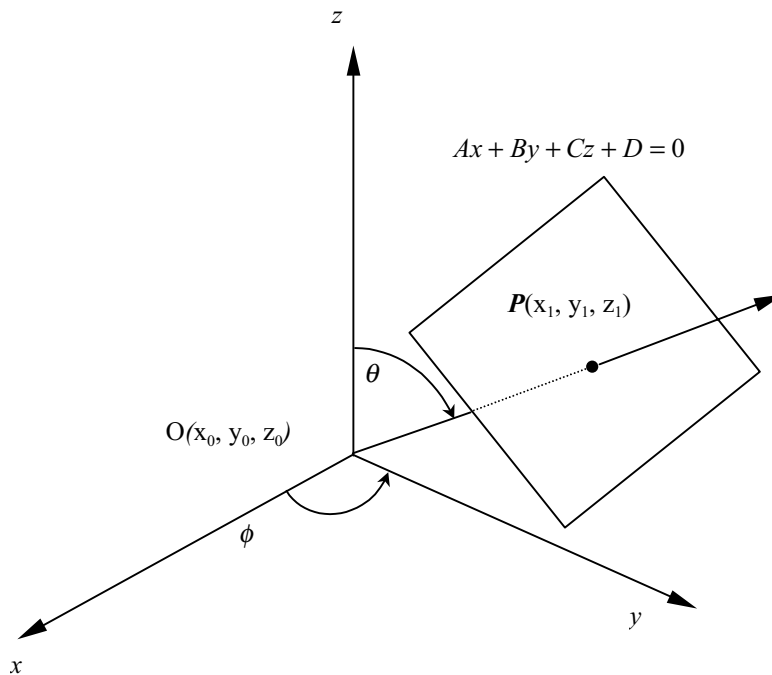
[그림 2.7] 경면반사(a)와 확산반사(b)

2.3.3 직선과 평면과의 기하학적 관계

형광전구에서 방사된 광자가 형광등의 반사갓이나 실내의 임의의 표면에 입사한 다음 반사되는 것을 모델링 하기 위해서는 광자의 움직임을 벡터화시켜야 한다.

광자의 위치를 X, Y, Z 를 축으로 하는 직교좌표계에서 표시하면 원래의 위치 $O(x_0, y_0, z_0)$ 에서 새로운 위치 $P(x_1, y_1, z_1)$ 로 이동하는 경우, 입자의 방향은 [그림 2.8] 과 같이 방사각과 방위각으로 결정할 수 있다. 각 축의 방향코사인은 (식 2.13)과 같다.

$$\begin{cases} V_x = \sin \theta \cos \phi \\ V_y = \sin \theta \sin \phi \\ V_z = \cos \theta \end{cases} \quad (\text{식 2.13})$$



[그림 2.8] 공간내 광자와 면의 접점

교점과 평면이 만나는 직선의 방정식을 (식 2.14)로 변형하여 (식 2.15)에 대입하여 매개변수 t 값을 구하고 t 값을 다시 직선의 방정식에 대입하여 교점의 좌표(x_1, y_1, z_1)를 구할 수 있다.

$$\begin{cases} x_1 = x_0 + V_x t \\ y_1 = y_0 + V_y t \\ z_1 = z_0 + V_z t \end{cases} \quad (\text{식 2.14})$$

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (\text{식 2.15})$$

$$\frac{x - x_1}{l} = \frac{y - y_1}{m} = \frac{z - z_1}{n} \quad (\text{식 2.16})$$

광자의 운동방향과 평면과의 기하학적 관계는 평면의 방정식(식 2.15)와 직선의 방정식(식 2.16)이 주어졌을 때 평행, 수직 또는 각을 이루게 되는데 각각의 조건은 다음과 같다(유기형, 1997).

1) 평행 : 직선과 평면이 평행하기 위한 필요충분조건은 평면의 법선 방향비(A, B, C)와 직선의 방향비(l, m, n)가 서로 수직인 관계에 있어야 하므로 $(A, B, C) \cdot (l, m, n) = 0$ 이 되어야 한다. 따라서 직선과 평면이 평행하기 위한 조건은 $Al + Bm + Cn = 0$ 이다.

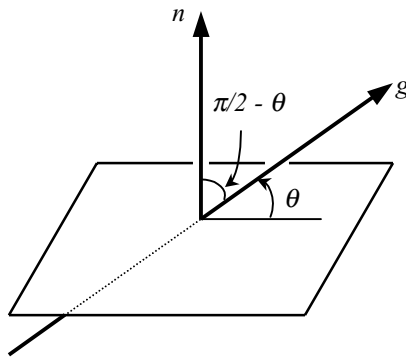
2) 수직 : 직선과 평면이 수직이 될 필요충분조건은 평면의 법선 방향비(A, B, C)와 직선의 방향비(l, m, n)가 적당한 실수 r 에 대하여 $(A, B, C) = r(l, m, n)$ 이 성립하는 것이다. 따라서 직선과 평면이 수직이 될 조건은

$$\frac{l}{A} = \frac{m}{B} = \frac{n}{C} \text{ 이 된다.}$$

3) 교차 : 먼저 직선과 평면이 만나는 교점의 좌표를 구하기 위해서 직선을 조금 다르게 표시하면 $x = x_0 + lt; y = y_0 + mt; z = z_0 + nt$ 으로 표시할 수 있다. 이것을 평

면의 식에 대입하여 $(Al + Bm + Cn)r = -(Ax_l + By_l + Cz_l + D)$ 로부터 r 값을 구할 수 있고 r 값을 직선식에 대입하여 교점의 좌표를 구할 수 있다. 직선과 평면이 이루는 각 θ 는 직선과 평면의 법선 벡터와 이루는 각을 구해서 얻을 수 있다.

[그림 2.9]는 평면과 직선이 만나는 각을 도식화한 것이다. 공간내의 평면과 직선이 교차하는 각은 (식 2.17)과 (식 2.18)을 이용하여 구할 수 있다.



[그림 2.9] 광자와 평면이 이루는 각

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \frac{Al + Bm + Cn}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \sqrt{l^2 + m^2 + n^2}} \quad (\text{식 2.17})$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \cos^{-1}\left[\frac{Al + Bm + Cn}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \cdot \sqrt{l^2 + m^2 + n^2}}\right] \quad (\text{식 2.18})$$

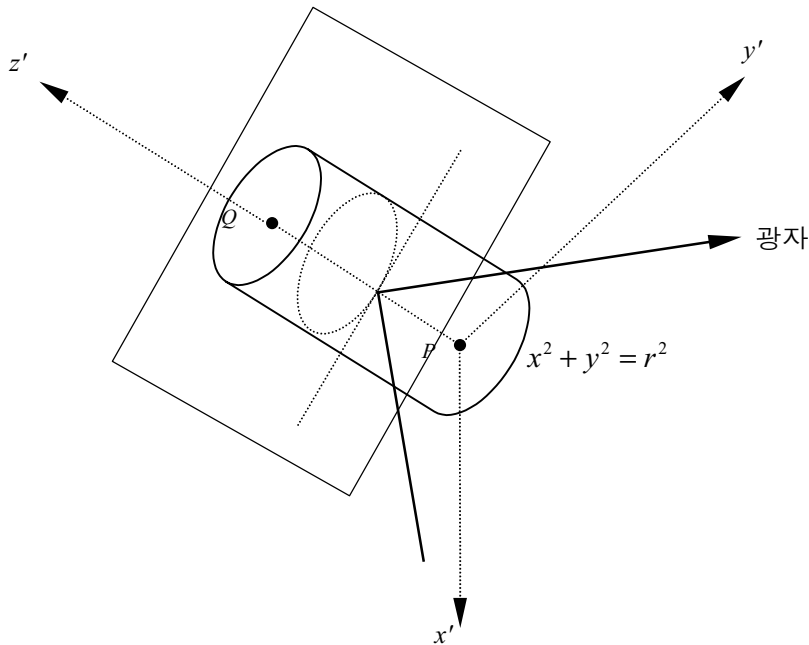
2.3.4 직선과 곡면과의 기하학적 관계

형광전구에서 방사된 광자가 형광등의 반사갹에서 반사된 다음 다시 형광전구의 표면에 입사하고 반사되는 경우가 있는데 이는 직선과 곡면의 기하학적 관계로 설명될 수 있다. 광원면에서 반사하는 광자의 법면을 구하기 위해 [그림 2.10]에 보인 것과 같이 광원을 직교좌표계상의 한 평면 위의 원으로 가정하였다. 광원의 반지름은 (식 2.12)를 통해 xy 평면상의 점으로 나타난다.

두 점을 한 축으로 하는 새로운 좌표평면이 결정되면 2차곡면(식 2.19)로 표현되는 원의 식에 직선의 방정식(식 2.16)을 대입하여 곡면과 만나는 접평면의 방정식(식 2.20)을 구할 수 있다(Lindley, 1992).

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz + Gx + Hy + Iz + J = 0 \quad (\text{식 2.19})$$

$$(2Ax + Dy + Ez + G)x + (2By + Dx + Fz + H)y + (2Cz + Ex + Fy + I)z + (Gx + Hy + Iz + J) = 0 \quad (\text{식 2.20})$$



[그림 2.10] 광자와 광원의 교점