

제 3 장 수치 모델의 개발

3.1 수치 모델의 개요

본 수치 모델은 형광전구의 기하학적 · 광학적 모델링 이론을 몬테카를로 방법과 광선추적기법에 적용하여 형광등의 광속과 위치, 실내반사재료의 변화에 따른 실내조도를 예측할 수 있도록 개발되었다.

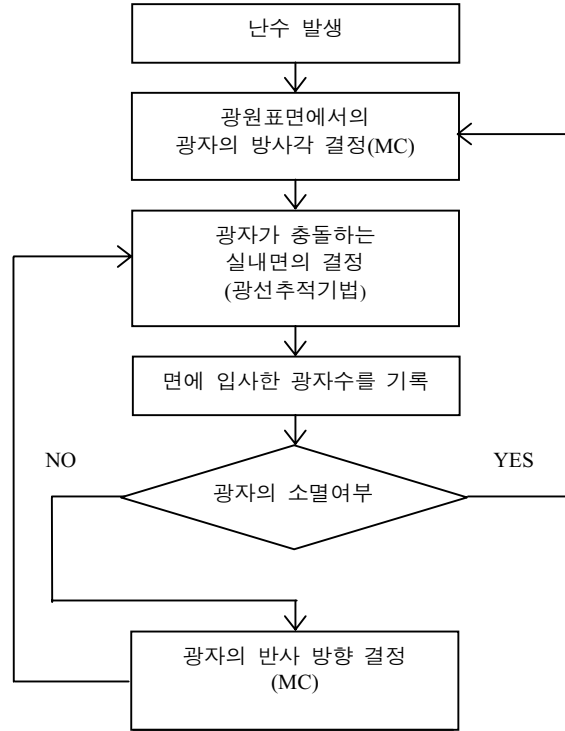
시뮬레이션의 과정은 다음과 같다. 우선 시뮬레이션의 수행을 위한 광자의 총개수를 결정하게 된다. 그리고 출력광속(lm)을 광자의 총개수로 나누면 광자 한 개가 갖는 광속이 결정된다. 광자의 개수와 광자의 세기가 결정되면 광원의 형상 범위 내에서 난수를 이용하여 발생위치를 결정하고 광자를 발생시킨다.

발생된 광자에 대해서 광자와 평면이 만날 조건 또는 광자와 광원이 만날 조건을 검사하게 되고 만약 계산 대상 평면에 광자가 입사하지 않고 소멸되면 광원에서 다음 광자를 발생시킨다. 하나의 광원에서 지정된 개수의 광자가 모두 방사되면 다음의 광원에서 같은 방법으로 광자를 발생시키고 모든 광원에서 광자가 발생하고 나면 각 계산 대상면의 조도값은 (식 3.1)로 계산한다(Chen, et al., 1998).

$$E = \frac{F}{P_{total}} \cdot \frac{P_n}{A} \quad (\text{식 3.1})$$

여기서, E: 조도 [lx]
F: 광원의 방사 광속 [lm]
 P_{total} : 전체 방사 광자수
 P_n : 계산 대상면으로의 입사 광자수
A: 계산 대상면의 면적[m²]

[그림 3.1]은 컴퓨터 모델의 핵심 알고리즘을 보여주는 것이다.



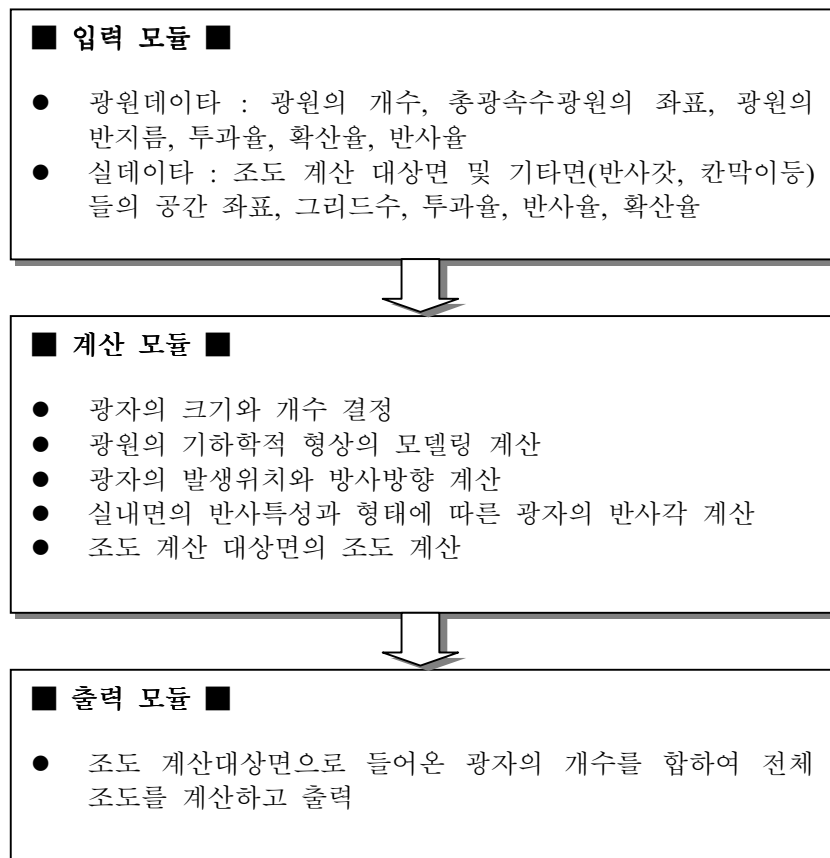
[그림 3.1] MCS 와 광선추적기법을 이용한 조도계산의 핵심 알고리즘

본 연구에서 개발된 컴퓨터 모델은 입력모듈, 계산모듈, 출력모듈로 구성되어 있다. 입력모듈은 다시 광원데이터와 실데이터로 나뉘어진다. 광원데이터에서는 형광 전구 1 개의 총광속수와 각 형광등의 양끝점의 중심좌표, 형광등의 반지름, 광원의 투과율, 반사율, 확산율을 입력한다. 실데이터에서는 조도계산대상면 및 기타 다른 면들의 공간좌표와 그리드수, 투과율, 반사율, 확산율을 입력하게 된다.

계산모듈에서는 광자의 개수를 결정하면 광원의 입력값중 총광속값을 광자의 개수로 나누어 광자 1 개당의 에너지를 계산한다. 다음으로 형광등의 양끝 중심점과 반지름을 가지고 원주의 일반방정식을 이용하여 공간내에서 임의의 위치와 방향을 갖고 있는 형광등의 기하학적 형상을 모델링하게 된다. MC 를 이용하여 광원면에서 광자의 발생위치와 방사방향을 결정하고 광선추적기법을 이용하여 광자와 면이 만나는 조건식에 의해 광자의 각도와 에너지를 결정하는 과정을 계산하게 된다.

출력모듈에서는 조도계산대상면으로 들어온 광자의 수를 합하여 각 그리드별 조도를 출력한다.

[그림 3.2]는 수치 모델의 개요를 나타내고 있다



[그림 3.2] 수치 모델의 개요

3.2 광원의 기하학적 형상 모델링

본 연구에서 적용되는 광원은 형광등으로써 원주의 기하학적 형상을 모델링하였다. 원주면은 고정된 벡터의 방향으로 이것과 수직인 면 위의 원이 움직이면서 만들어지는 곡면이다.

광원이 공간상에 임의의 방향을 갖고 있어도 광자를 발생시키도록 원주의 양끝 점을 벡터로 하는 직선 위를 움직이는 원의 방정식을 사용하여 광원의 형상을 정의하였다.

임의의 방향으로 정해진 벡터를 축으로 하는 새로운 좌표계를 만들고 좌표변환을 통해 각 방향의 방향여현을 원좌표계에 있는 원의 방정식에 적용하면 원주의 크기와 방향에 대하여 새로운 2 차곡면의 방정식이 구해진다(Anand, 1993).

원좌표계의 축을 x, y, z 로 놓고 새로운 좌표계의 축을 x', y', z' 라고 하고 임의의 벡터에 대하여 각축의 방향여현을 구해야 한다.

각축의 방향여현을 다음과 같이 정의하고

$$x' \text{의 방향여현} : [lx, mx, nx]$$

$$y' \text{의 방향여현} : [ly, my, ny]$$

$$z' \text{의 방향여현} : [lz, mz, nz]$$

임의의 벡터 $A[a, b, c]$ 라고 했을 때 z' 의 방향여현은 $[-a, -b, c]$ 가 되고 x' 와 y' 의 방향여현은 다음의 3 가지 조건을 가지고 도출해 낼 수 있다.

$$\text{조건 1: } lx \cdot lz + mx \cdot mz + nx \cdot nz = 0 \quad (\text{식 3.2})$$

$$\text{조건 2: } lx^2 + mx^2 + nz^2 = 1 \quad (\text{식 3.3})$$

$$\text{조건 3: } -mz \cdot lx + lz \cdot mx + mz = 0 \quad (\text{식 3.4})$$

위의 3 가지 조건식을 연립방정식을 이용하여 x' 의 방향여현 $[lx, mx, nx]$ 을 구하고 x' 와 z' 의 외적을 이용하여 y' 를 구한다. 새로운 좌표의 방향여현이 구해지

면 좌표변환에 의해 공간상에서 임의의 위치와 각도를 갖는 원은 2 차곡면의 식을 통해 변환되어 나타내어 지고 컴퓨터 모델에 적용되는 원주형의 일반형 방정식(식 3.5)가 얻어지게 된다.

$$(x \cdot lx + y \cdot mx + z \cdot nx)^2 + [x(mz \cdot nx - nz \cdot mx) + y(nz \cdot lx - lz \cdot nx) + z(lz \cdot mx - mz \cdot lx)]^2 = r^2 \quad (\text{식 3.5})$$

(식 3.5)를 정리하면 [표 3.1]과 같이 2 차곡면의 일반형 방정식(식 2.19)이 갖는 각 계수의 값을 구할 수가 있다.

[표 3.1] 2 차곡면 일반형 방정식의 계수 계산식

계수	계산식
<i>A</i>	$[lx^2 + (mz \cdot nx - nz \cdot mx)^2]$
<i>B</i>	$[mx^2 + (nz \cdot lx - lz \cdot nx)^2]$
<i>C</i>	$[nx^2 + (lz \cdot mx - mz \cdot lx)^2]$
<i>D</i>	$2[lx \cdot mx + (mz \cdot nx - nz \cdot mx) \cdot (nz \cdot lx - lz \cdot nx)]$
<i>E</i>	$2[lx \cdot nx + (mz \cdot nx - nz \cdot mx) \cdot (lz \cdot mx - mz \cdot lx)]$
<i>F</i>	$2[mx \cdot nx + (nz \cdot lx - lz \cdot nx) \cdot (lz \cdot mx - mz \cdot lx)]$
<i>J</i>	$-r^2$

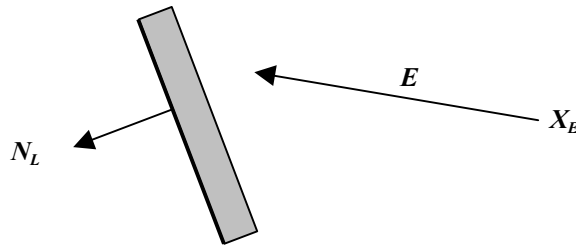
3.3 광원의 광학적 거동 모델링

방사된 광자가 실내 각면에 의해 반사, 흡수되는 것을 시뮬레이션하기 위해서 광자가 재료의 표면에 입사하는지의 여부를 검사하여야 한다. 검사조건은 다음과 같다.

- (1) 광자의 방향과 표면의 방향이 반대인가
- (2) 표면의 범위안에 광자가 들어오는가
- (3) 표면이 광자가 발생된 지점의 뒤쪽에 있지는 않은가

(1) ‘광자의 방향과 표면의 방향이 반대인가?’에 대한 검사

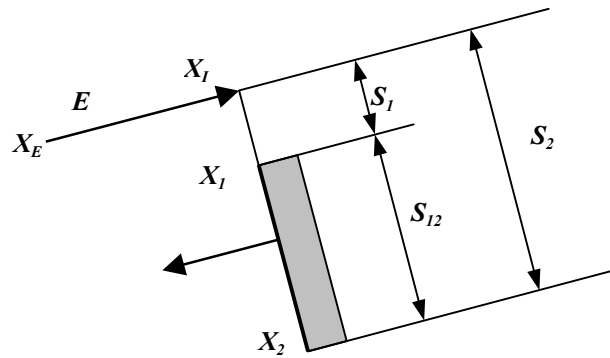
[그림 3.3]에서 X_E 는 광자의 발생점, E 는 방향성분, N_L 은 평면의 법선 벡터를 나타내며, 조건식은 $E \cdot N_L > 0$ 인 경우에 평면에 입사하지 않는다는 것을 알 수 있다.



[그림 3.3] 광자의 방향과 표면의 방향 검사

(2) ‘평면의 면적 안에 광자가 들어오는가?’에 대한 검사

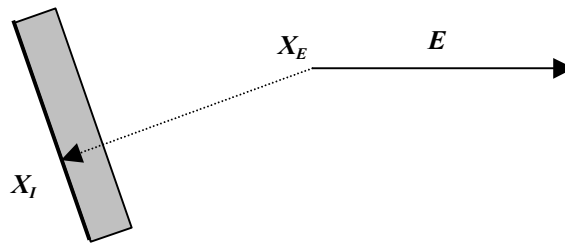
[그림 3.4]에 보인 것과 같이 $S_1 + S_2 > S_{12}$ 일 경우 광자가 평면의 범위를 벗어남을 알 수 있고, 여기서 S_1 과 S_2 는 $S_i = |X_{iL} - X_{iR}|^2$ ($i=1,2$)로 부터 구할 수 있다.



[그림 3.4] 광자가 평면의 범위안에 들어오는가를 검사

(3) ‘표면이 광자가 발생된 지점의 뒤쪽에 있지는 않은가?’에 대한 검사

[그림 3.5]에 보인 것과 같이 $(X_{iL} - X_E) \cdot E < 0$ 일 경우 광자의 출발점이 평면의 뒤쪽에 있음을 알 수 있다. 여기서 X_E 는 입자의 발생점, X_{iL} 은 평면과 만나는 교점, E 는 입자의 방향성분 벡터가 된다.



[그림 3.5] 평면이 광자의 출발점 뒤에 있는지의 검사