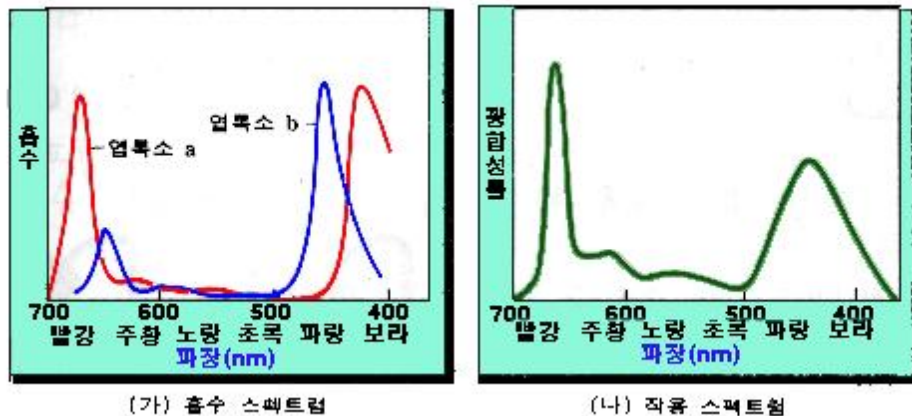


제 3 장 식물의 광합성과 자연광 도달경로

3.1 식물의 광합성과 자연광

식물의 광합성은 잎에서 가시광선을 흡수하여 일어나는데, 이때 주로 광합성에 이용되는 스펙트럼은 [그림 3.1.1](가)에 보인 것과 같이 430~470[nm]파장의 청색의 빛과 620~670[nm]파장의 적색의 빛인 것으로 알려져 있다. 특히 적색의 빛은 [그림 3.1.1](나)에서 보인 것처럼 광합성량이 최대로 일어나게 한다. 따라서 자연광은 청색계통에서 적색계통까지의 모든 스펙트럼을 포함하므로 식물의 광합성에 가장 적합한 빛이라 할 수 있다.



[그림 3.1.1] 빛의 파장에 따른 식물의 광합성

식물의 생육에 필요한 광량의 단위는 인체의 눈이 느낄 수 있는 밝기의 단위인 조도[lx]보다는 광합성 효율 측정시 일반적으로 사용되는 광자량[$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]을 사용하는데, 본 연구에서는 광자량 센서 제조회사인 LI-COR(LI-COR, 1991)사에서 제시한 조도와 광자량의 관계를 나타내는 (식 3.1.1)을 사용하여 계산된 조도로부터 광자량을 환산하였다.

$$Q = 0.018E$$

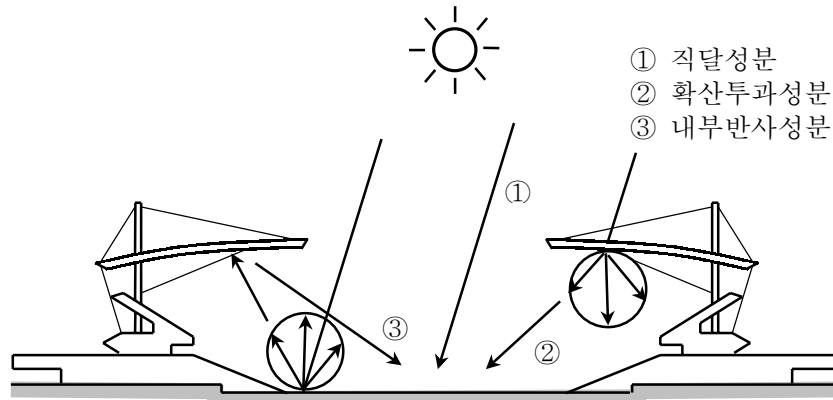
(식 3.1.1)

단, Q: 광자량[$\square\text{mol/m}^2\text{s}$]

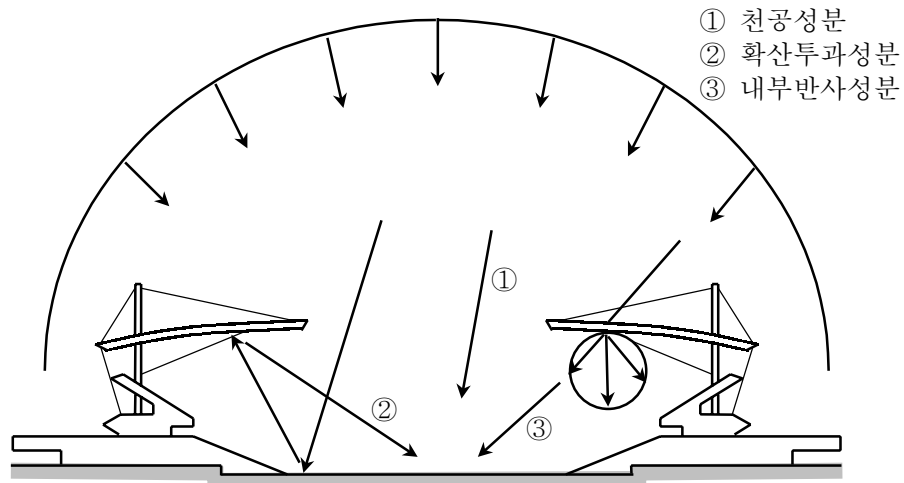
E: 조도[lx]

3.2 경기장 자연광 도달경로

광합성에 이용되는 자연광원은 크게는 태양으로부터의 직사일광과 천공의 확산광이 있다. 그리고 서울월드컵경기장과 같이 확산 투과성의 막구조 지붕을 갖는 곳에서 잔디면에 도달하는 자연광은 태양으로부터의 직사일광의 경우 직달성분, 확산투과 성분 및 내부 반사성분의 세가지로 나눌 수 있고, 천공확산광의 경우 천공성분, 확산투과성분 및 내부 반사성분으로 나눌 수 있다. 이러한 개념을 그림으로 나타내면 직사일광의 경우 [그림 3.2.1]과 같고, 확산천공광의 경우 [그림 3.1.2]와 같다.



[그림 3.2.1] 직사일광 도달경로



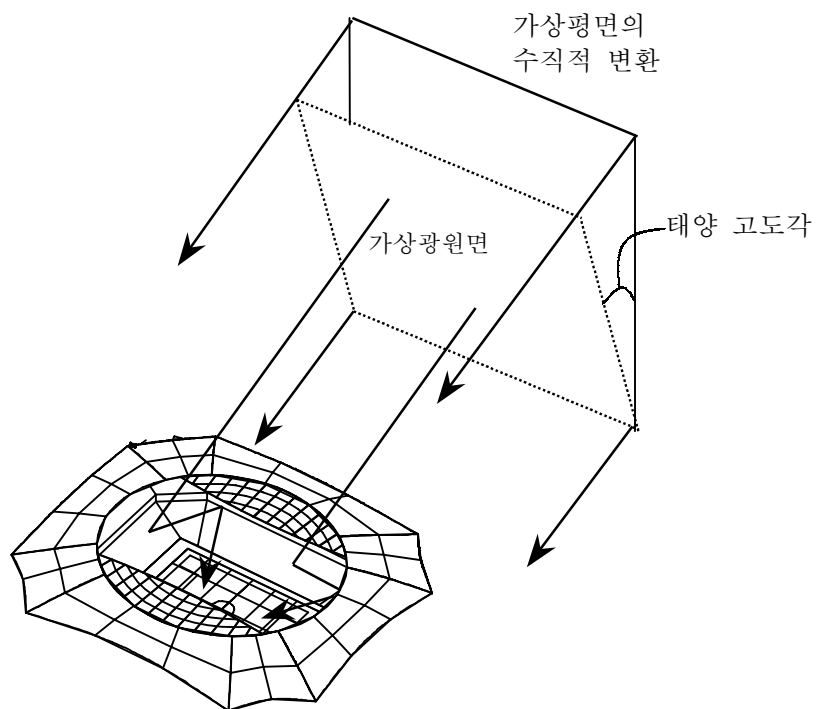
[그림 3.2.2] 확산천공광 도달경로

따라서 경기장 잔디면에 도달하는 빛의 양인 조도[lx] 및 광자량[$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]을 정확하게 예측하기 위해서는 가장 먼저 외부의 조건인 천기의 상태 및 태양의 위치를 정확하게 계산해야 한다. 그리고 외부로부터의 직사일광과 천공확산광이 잔디면에 도달하는 양을 정확하게 계산하기 위해서는 막구조 지붕의 투과특성과 경기장 내부 반사율을 정확하게 모델링 해야 한다.

3.3 조도의 계산

3.3.1 직사일광에 의한 조도 계산

직사일광에 의한 조도를 계산하기 위하여 태양의 위치(고도, 방위각)가 계산되면 우선 태양으로부터의 직달성분을 모델링하기 위하여 [그림 3.3.1]과 같이 운동장을 전부 포함할 수 있는 가상의 광원면을 설정하게 되는데, 가상광원면을 설정하기 위해서 우선 평면 입력 데이터의 x, y, z 축의 최대값과 최소값을 계산하여 입력 데이터의 범위 및 크기를 결정하게 된다. 이는 태양광선의 직달성분이 평행광선이기 때문에 가능한 것이다.



[그림 3.3.1] 직사일광 조도를 계산하기 위한 가상광원면

가상광원면이 설정되면 가상광원면을 수직적으로 변환하여 평면의 범위내에서 광자의 발생위치 x, y, z 를 쉽게 구할 수 있다. 난수를 이용하여 가상광원면에서 광자의 발생위치를 결정하게 되는데 가상 광원면은 태양의 고도에 따라 기울어져 있는 평면이 될 것이다. 계산과정을 단순하게 하기 위해서 가상광원면을 수직으로 세워서 난수로 x 와 z 축의 발생위치를 결정하면 쉽게 광자의 x, y, z 축의 좌표를 계산할 수 있다.

가상 광원면의 크기가 결정되면 Perez 천공모델에 의해 계산된 법선면 직사일광 조도를 이용하여 가상의 광원면에서 발생시켜야 할 광자의 개수를 결정한다. 광자의 개수가 결정되면 (식 3.3.1)에 의해 광자 한 개당의 세기를 결정한다.

$$q = \frac{E_{dN}}{q_n} \quad \text{(식 3.3.1)}$$

단, E_{dN} : 법선면 직사일광 조도

q_n : 광자의 개수

그리고 가상 광원면에서의 광자의 발생위치는 몬테카를로 방법에 의해 난수 (random number)를 발생시켜 결정된다. 발생된 광자의 진행방향은 태양의 고도와 방위각에 의해 결정한다. 발생된 광자가 경기장 평면에 입사하지 않은 경우에 이 광자는 소멸시키고 가상광원면에서 다음 광자를 발생시킨다. 그리고 지붕면에 도달한 빛은 일부는 반사 및 흡수되고 나머지가 확산투과 되므로 투과된 광자의 방향은 몬테카를로 방법에 의해 또 다른 새로운 방향을 결정하고 재료의 반사율과 투과율에 따라 광자의 소멸여부를 결정하게 된다. 새로운 방향벡터를 가진 광자는 다른 평면에 입사하는지를 다시 검사하게 된다. 이 과정을 광자가 소멸될 때까지 반복한다. 그리고 계산대상면에 직접 도달하지 않은 광자는 경기장 내부의 각 표면에서 상호 반사한 다음 계산대상면에 도달하게 되는데 이때의 광자의 방향과 진행방향도 몬테카를로방법과 광선추적기법에 의해 결정한다. 직사일광의 광자가 모두 발생되어 모두 소멸한 후에는 경기장의 각 구역별로 입사된 광자의 총 개수를 계산하여 각 구역의 직사일광에 의한 조도를 구한다.

$$E = \frac{n \times F_i}{A} \quad (\text{식 3.3.2})$$

여기서, E: 계산대상면 조도 [lx]

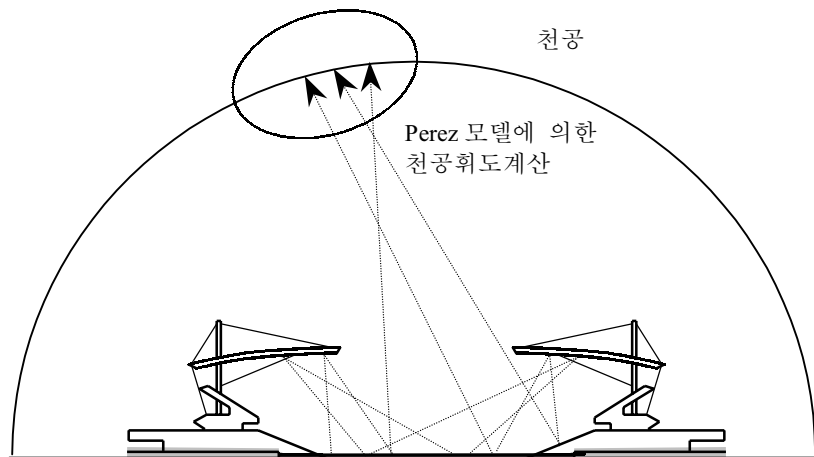
n: 계산대상면에 입사하는 광자의 갯수

F_i : 광자 한개당의 광속 [lm]

A: 계산대상면 면적 [m^2]

3.3.2 확산천공광에 의한 조도 계산

확산천공광에 의한 조도분포를 계산하기 위해서는 먼저 Perez 천공모델에 의해 외부 수평면 확산조도와 천공의 휘도를 구한다. 확산천공광에서는 발생하는 광자의 위치와 방향이 무작위성을 가지기 때문에 조도계산 대상면으로 들어오는 광자를 결정하기 힘들다. 따라서 직사일광의 경우와는 반대로 조도계산 대상면에서 광자를 발생시켜 외부 천공에 도달한 광자만을 대상으로 하여 조도를 계산한다. [그림 3.3.2]는 계산 대상면에서 발생된 광자가 외부 천공에 도달하는 예를 보인 것이다.



[그림 3.3.2] 확산천공광 조도를 계산하기 위한 광자의 개념

광자의 개수와 크기는 수평면 확산조도를 계산대상면의 면적에 적용하여 총 광자의 세기를 결정하고 광자의 수에 따라 광자 한 개의 광속[lm]을 결정할 수 있게 된다. 외부 천공의 휘도분포에 따라 외부 천공에 도달한 광자에 가중치를 주어 천공의 휘도분포에 따른 영향을 계산할 수 있다. 광자가 모두 발생되었으면 계산 대상면에 들어온 광자의 개수를 계산하여 확산천공광에 의한 계산 대상면의 조도를 구할 수 있다.