

$$c = e_{cm} + a_{cm} * a_{cs} + \sum_{i=0}^{n-1} (att_i)(spot_i)[a_{cm} * a_{cli} + (\mathbf{n} \odot \overrightarrow{VP}_{pli})d_{cm} * d_{cli} + (f_i)(\mathbf{n} \odot \hat{\mathbf{h}}_i)^{s_{rm}} s_{cm} * s_{cli}]$$

위와 같은 OpenGL의 기본 조명공식을 하나씩 풀어보면 다음과 같다.

먼저  $e_{cm}$ 은 물질의 방사 색깔로 물질 자체가 빛을 의미한다.  $a_{cm} * a_{cs}$ 는 엔비언트 반사에 대한 부분이다. 이러한 엔비언트 반사는 전역엔비언트 반사와 지역 엔비언트 반사로 나눌 수 있는데  $a_{cm} * a_{cs}$ 는 전역 엔비언트 반사의 색깔을 나타낸다.  $a_{cm}$ 은 물질의 엔비언트 색깔을 나타내고  $a_{cs}$ 는 전체적인 조명 모델을 나타내는 값으로 엔비언트 광원의 색깔을 나타낸다. 이때  $e_{cm}$ 과  $a_{cm} * a_{cs}$ 를 더해 간접조명을 구해서 더해준다.

이제 다음으로  $i$ 개의 광원에 대한 직접조명을 구해서  $\sum_{i=0}^n$ 을 통해서 전체 조명을 구해준다. 이제부터는  $i$  번째 광원에 의한 조명을 구하는 부분을 살펴본다. 가장 먼저  $att_i$ 는 거리에 따른 빛의 감쇠효과로 다음식을 통해 구할 수 있다.

$$att_i = \begin{cases} \frac{1}{k_{0i} + k_{1i}\|\overrightarrow{VP}_{pli}\| + k_{2i}\|\overrightarrow{VP}_{pli}\|^2}, & P_{pli}'s w \neq 0, \\ 1.0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

이 식에서 otherwise는  $P_{pli}'s w=0$ 이라는 뜻으로 평행광원이라는 뜻이고 이 때는 거리에

의한 감쇠효과는 없다. 그리고 이 식에서  $\|\overrightarrow{VP}_{pli}\|$ 는 쉐이팅 지점에서 광원까지의 거리이고  $k_{0i}, k_{1i}, k_{2i}$  계수에 따라 거리 제곱에 반비례해서 감쇠효과가 정해진다.

다음으로  $spot_i$ 는 광원이 소프트광원인 경우 처리해주는 값으로 아래 공식으로 구할 수 있다. 먼저 소프트 광원의 철단 각도인

$$spot_i = \begin{cases} (\overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dl})^{s_{rli}}, & c_{rl} \neq 180.0 \& \overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dl} \geq \cos c_{rl}, \\ 0.0, & c_{rl} \neq 180.0 \& \overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dl} < \cos c_{rl}, \\ 1.0, & c_{rl} = 180.0 \end{cases}$$

$C_{rl}$ 가  $180^\circ$ 이면 빛이 사방으로 퍼져 점광원임으로 0이 된다.  $\overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dl} < \cos C_{rl}$ 라면

눈의 위치  $V$ 가 소프트조명 밖에 있음으로 0이 되고 소프트조명 안에 눈이 있는 경우  $spot_i$ 의 값은 소프트의 중앙에서 멀어질수록 어두워지도록  $(\overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dl})^{s_{rli}}$  가 된다.

그리고 이제부터는 실제 사용되는 앰비언트반사, 난반사, 정반사로 나누어 계산해준다. 먼저 앰비언트 반사인  $a_{cm} * a_{ci}$ 는 i번째 광원의 지역 앰비언트 반사로  $a_{cm}$ 은 물질의 앰비언트 색깔,  $a_{ci}$ 는 i 번째 광원의 앰비언트 색깔로 이 둘을 곱해 앰비언트 반사를 구한다.

다음으로  $(\cap \odot \overrightarrow{VP}_{pli})d_{cm} * d_{ci}$ 를 통해 난반사를 구할 수 있다. 먼저  $\overrightarrow{VP}_{pli}$ 는 V는 눈의 위치  $P_{pli}$ 는 광원의 위치 또는 방향으로  $\overrightarrow{VP}_{pli}$ 는 광원에서 빛이 들어오는 방향의 반대방향으로 길이라 1인 벡터  $L$ 을 의미한다. 이때  $L$ 은 난반사 색깔 공식  $I_{l, g} \cdot k_{sg} \cdot (N \cdot L)$ 에서의  $L$ 이다. 그리고  $(\cap \odot \overrightarrow{VP}_{pli})$ 는 난반사 공식의  $(N \cdot L)$ 에 대응된다. 그리고 물질의 난반사 색인  $d_{cm}$ 과 광원의 난반사 색  $d_{ci}$ 를 곱해 전체 난반사를 구한다.

마지막으로  $(f_i)(\cap \odot \hat{h}_i)^{str} S_{cm} * S_{ci}$ 는 정반사 부분으로 본질적으로 정반사 색깔 공식인  $I_{l, g} \cdot k_{sg} \cdot (N \cdot H_i)$ 과 대응된다. 먼저 하프웨이 벡터  $h_i$ 는 다음 공식을 통해 구할 수 있다. 하프웨이 벡터는 광원에 대한 방향과 관찰자

$$h_i = \begin{cases} \overrightarrow{VP}_{pli} + \overrightarrow{VP}_e, & v_{bs} = \text{TRUE}, \\ \overrightarrow{VP}_{pli} + (0 \ 0 \ 1 \ 0)^t, & v_{bs} = \text{FALSE} \end{cases}$$

방향의 중간 방향으로의 단위 벡터이다. 먼저  $\overrightarrow{VP}_{pli}$ 가 광원에 대한 방향이다. 그리고 관찰자 방향은 지역관찰자 여부에 따라 달라진다.  $V_{bs} = \text{TRUE}$ 로 지역관찰자가 있다면  $\overrightarrow{VP}_e$ 가 관찰자 방향이되고  $V_{bs} = \text{FALSE}$ 라면 눈좌표계에서 양의 Ze 방향인  $(0 \ 0 \ 1 \ 0)^t$ 가 관찰자 방향으로 사용된다. 그리고 우리는 단위벡터를 사용함으로  $\hat{h}_i$ 를 사용한다.

그리고  $f_i$ 는 0 또는 1로  $\cap \odot \overrightarrow{VP}_{pli}$ 가 0보다 크면 앞쪽에서 빛이 비추는 상황으로 1이 되고 아니라면 0으로 해 두어서 비추는 빛은 무시한다. 그리고 물질의 정반사 색깔인  $S_{cm}$ 과 광원의 정반사 색깔인  $S_{ci}$ 를 곱해 정반사를 구한다.

즉 조명공식 전체를 요약하면 간접조명과 각 광원의 직접조명을 모두 더해 조명을 구하는데 직접조명은 앰비언트 반사 + 난반사 + 정반사에 감쇠효과와 스풋조명을 고려하여 전체 조명을 구하게 된다.