

## 20161595 배성현

$$\mathbf{c} = \mathbf{e}_{cm} + \mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cs} + \sum_{i=0}^{n-1} (\text{att}_i)(\text{spot}_i) [\mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cli} + (\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}) \mathbf{d}_{cm} * \mathbf{d}_{cli} + (f_i)(\mathbf{n} \odot \hat{\mathbf{h}}_i)^{srm} \mathbf{s}_{cm} * \mathbf{s}_{cli}]$$

OpenGL의 기본 조명 공식은 위와 같다. 먼저 i번째 광원(각 광원)에 의한 지역적인 효과를 나타내는  $(\text{att}_i)(\text{spot}_i)(\mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cli} + (\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}) \mathbf{d}_{cm} * \mathbf{d}_{cli} + (f_i)(\mathbf{n} \odot \hat{\mathbf{h}}_i)^{srm} \mathbf{s}_{cm} * \mathbf{s}_{cli})$ 의 식을 세부적으로 보게 되면  $\mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cli}$ 는 i번째 광원에 대한 물체의 지역 앰비언트 반사를 의미하며 OpenGL에서는 각 광원에 대한 앰비언트 반사를 전역적인 것과 지역적인 것으로 나누어 생각한다. 이 때  $\mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cli}$ 은  $\mathbf{a}_{cm}$ ,  $\mathbf{a}_{cli}$ 의 두 RGB색깔 간의 곱이기 때문에 RGB 각 채널끼리의 곱셈을 하게 된다(아래 첨자의 c는 RGB색깔임을 의미하며, m은 material의 성질, li는 i번째 빛을 의미한다.).

다음으로  $(\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}) \mathbf{d}_{cm} * \mathbf{d}_{cli}$ 식은 i번째 광원에 대한 물체의 난반사를 의미한다. 이는 Phong의 조명 모델에서의 난반사 색깔  $I_{i\lambda} \cdot k_{d\lambda} \cdot (N \cdot L_i)$ 에 대응되게 된다. 식에서  $\overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}$ 의 V는 현재 조명 계산을 하려는 꼭짓점의 좌표이고,  $P_{pli}$ 는 광원의 위치를 의미하므로  $\overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}$ 는 광원에서 빛이 들어오는 방향의 반대 방향에 대하여 길이가 1인 벡터를 나타내고 이는 위의 Phong의 조명모델에서의 L에 해당되게 된다. 따라서  $\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}$ 은  $(N \cdot L_i)$ 에 대응되고, n과  $\overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}$ 의 내적이 양수일 때만 값을 취하고, 그 이외의 경우에는 0을 취하여 뒤에서 들어오는 빛은 고려하지 않게 된다.

다음으로  $(f_i)(\mathbf{n} \odot \hat{\mathbf{h}}_i)^{srm} \mathbf{s}_{cm} * \mathbf{s}_{cli}$ 식은 i번째 광원에 대한 정반사를 의미하게 된다. 이는 Phong의 조명 모델에서의 정반사에 관한 식  $I_{i\lambda} \cdot k_{s\lambda} \cdot (N \cdot H_i)^n$ 에 대응되게 된다. 식의 halfway벡터  $\mathbf{h}_i$ 는 조명모델에서 지역관찰자를 사용할지, 무한관찰자를 사용할지에 따라 달라지게 된다. 지역 관찰자를 사용( $v_{bs}=\text{true}$ )한다면 관찰자가 눈 좌표계의 원점(0 0 0 1)<sup>t</sup>에 있는 상황이기 때문에  $\mathbf{h}_i = \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli} + \overrightarrow{\mathbf{VP}}_e$ 의 식을 사용하며, 무한 관찰자를 사용( $v_{bs}=\text{false}$ )한다면 눈 좌표계에서 양의  $z_e$ 축 방향 (0 0 1 0)<sup>t</sup>이 관찰자 방향으로 사용이 되어  $\mathbf{h}_i = \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli} + (0 \ 0 \ 1 \ 0)^t$ 의 식이 사용된다. 또 이는 단위벡터로 사용되어야 하기 때문에  $\hat{\mathbf{h}}_i$ 를 실제로 사용한다. 또  $(f_i)(\mathbf{n} \odot \hat{\mathbf{h}}_i)^{srm} \mathbf{s}_{cm} * \mathbf{s}_{cli}$ 식에서  $f_i$ 는  $\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}$ 가 0이 아닐 때에는 1을, 0일 때에는 0값을 가지게 된다.  $\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}$ 가 0이 아니라는 것은 n과  $\overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}$ 의 각도가 90도보다 작다는 것을 뜻하므로 이는 물체 표면에 대하여 앞쪽에서 빛을 비춘다는 것을 의미한다. 따라서 이 때만  $f_i$ 가 1값을 가지고 그 외에 0값을 가진다는 것은 정반사도 난반사처럼 기본적으로 뒤에서 들

어오는 빛은 고려하지 않는다는 것을 의미한다.

다음으로  $att_i$ 는  $i$ 번째 빛의 감쇠 효과에 대한 처리를 해주는 값을 의미한다.  $att_i$ 는 광원의 위치  $P_{pli}$ 에 의하여 결정되게 되는데,  $P_{pli}$ 의  $w$ 가 0이라는 것은 이 광원이 평행광원이라는 것을 의미하고 무한 거리만큼 떨어진 평행광원에 대해서는 거리에 따른 빛의 감쇠효과를 내지 못하기 때문에  $P_{pli}$ 가 0일 때에는  $att_i$ 는 1.0의 값을 가지게 된다. 또  $P_{pli}$ 의  $w$ 가 0이 아니라는 것은 점 광원임을 의미하기 때문에 이 때는  $\|VP_{pli}\|$ (쉐이딩 지점에서부터 광원까지의 거리)대한 이차식의 역수를 사용하여 광원에 대한 감쇠효과를 내며  $att_i$ 는  $\frac{1}{k_{0i}+k_{1i}\|VP_{pli}\|+k_{2i}\|VP_{pli}\|^2}$ 의 식으로 표현된다. 만약 OpenGL에서 빛의 감쇠효과를 명시적으로 표현하지 않으면 디폴트 값인  $k_{0i} = 1, k_{1i} = k_{2i} = 0$ 이 되기 때문에 디폴트로는 빛의 감쇠 효과 기능을 사용하지 않는다.

다음으로  $spot_i$ 는  $i$ 번째 광원이 spot광원 일 때의 처리를 해주게 된다. 이  $spot_i$ 의 값은 기본적으로  $c_{rli}$ (스팟 광원의 절단각도)가 180인 경우와 180이 아닌 경우로 나뉘게 되는데  $c_{rli}$ 가 180도인 경우에는 일반 점광원을 의미하므로,  $spot_i$ 의 값을 1.0으로 하여 계산을 하게 된다. 180도가 아닌 경우에는 spot광원을 의미하므로 이제 표현하려는 점  $V$ 가 절단 각도 범위 내에 있는지 없는지에 대한 여부를 판단하게 된다. 이는 내적( $\overrightarrow{P_{pli}} \cdot \hat{s}_{dli}$ )을 이용하여 판단하게 되는데  $\overrightarrow{P_{pli}}$ 는 조명의 위치에서 점  $V$ 를 향한 방향에 대한 단위 벡터이고,  $\hat{s}_{dli}$ 는 스포트 조명의 중심축 방향에 해당하는 단위 벡터이므로 내적( $\overrightarrow{P_{pli}} \cdot \hat{s}_{dli}$ )은  $\overrightarrow{P_{pli}}$ 와  $\hat{s}_{dli}$ 사이의 각도의 코사인 값과 같다. 따라서 이 내적 값 ( $\overrightarrow{P_{pli}} \cdot \hat{s}_{dli}$ )이  $\cos c_{rli}$ 보다 작다면 절단각도  $c_{rli}$ 보다  $\overrightarrow{P_{pli}}$ 와  $\hat{s}_{dli}$ 사이의 각도가 더 크다는 것을 의미하고 이는 곧 점  $V$ 가 스포트 조명의 밖에 있다는 것을 의미하기 때문에  $spot_i$ 는 0.0값을 가지게 되어 이 광원은 점 $V$ 에 아무런 기여를 하지 않게 된다. 그리고 ( $\overrightarrow{P_{pli}} \cdot \hat{s}_{dli}$ )이  $\cos c_{rli}$ 보다 같거나 크다면 이는 점  $V$ 가 스포트 조명의 안에 있다는 것을 의미하기 때문에,  $(\overrightarrow{P_{pli}} \cdot \hat{s}_{dli})^{Srli}$ 의 값을 사용하게 되고, 이러한 내적 값의  $Srli$ 제곱, 즉  $\cos^{Srli}$ 값을 사용하는 이유는 주변으로 갈수록 어두워 지는 효과를 내기 위해서이다.

따라서 이렇게 구한 각 광원에 대한 반사색깔을  $n$ 개의 광원에 대하여 모두 더한 후 전역 엠비언트 반사( $a_{cm} * a_{cs}$ )와 물질의 방사 색깔( $e_{cm}$ )을 더하여 OpenGL의 기본 조명 공식을 얻게 된다.