기초 컴퓨터그래픽스

20191583 김태곤

과제의 수식을 설명하기 전 먼저 수업시간때 배운 기본 퐁의 조명모델에 대해 알아보자.

$$I_\lambda = I_{a\lambda} \cdot K_{a\lambda} + I_{l\lambda} \cdot K_{d\lambda} \cdot (N \circ L) + I_{l\lambda} \cdot K_{s\lambda} \cdot (R \circ V)^n$$

기본적인 퐁의 조명 모델에서는 앰비언트반사, 난반사, 정반사 세가지 형태의 반사를 고려하였다 이는 반사되는 빛의 색깔 I_λ와 여러가지 Material Parameter인 K_λ로 이루어져 있다.
이제 OpenGL에서 사용하는 실제 식을 살펴보자.

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

최종 픽셀의 색상을 정하는 식을 살펴보면 크게 3부분의 덧셈으로 이루어져 있다. 그중 Σ에 포함된 식을 살펴보면 이전에 살펴본 기본 퐁의 조명과 닮았음을 확인할 수 있다. Σ 뒷부분을 먼저 알아보자. 먼저 $a_{cm} * a_{cli}$는 i번째 광원에 대한 앰비언트 반사 색깔이다. $(n \odot \overrightarrow{VP_{pli}}) d_{cm} * d_{cli}$는 난반사 색깔 $I_{li\lambda} \cdot K_{d\lambda}(N \cdot L_i)$에 대응된다. $\overrightarrow{VP_{pli}}$의 의미를 살펴보면 V는 현재 조명 계산을 하려는 꼭지점의 좌표이고, P_{pli}는 광원의 위치를 나타낸다. 3차원 공간에서 두개의 동차 좌표 $P_1 P_2$가 있을 때 $\overrightarrow{P_1P_2}$가 나타내는 벡터에 대한 정의에 의하면 어떤 종류의 광원을 사용하건 $\overrightarrow{VP_{pli}}$는 광원에서 빛이 들어오는 방향의 반대 방향에 대하여 길이가 1인 벡터, 즉 L에 해당된다. 내적 $(n \odot \overrightarrow{VP_{pli}})$의 계산 방식을 통해 $N \cdot L$에 대하여 양수만 취한다는 것을 알 수 있다. 이는 뒤에서 오는 빛은 고려하지 않음을 의미한다. d_{cm}과 d_{cli}는 난반사때 물질의 색과 광원의 색으로 이 모든 요소의 곱으로 난반사 색이 정해진다. Σ부분의 마지막 부분 $(f_i)(n \odot \hat{h}_i)^{s_{rm}} s_{cm} * s_{cli}$는 정반사 색깔을 나타낸다. 여기서 해프웨이 벡터 $\hat{h}_i$는 다음과 같이 정의된다.

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

해프웨이벡터는 $\left(\frac{L+V}{|L+V|}\right)$로 광원에 대한 방향과 관찰자 방향의 중간 방향으로 정의했었다. 위 식에서 $\overrightarrow{VP_{pli}}$는 광원에 대한 방향이고, 지역 관찰자 사용 여부에 따라 뒤의 식이 달라진다. 지역 관찰자를 사용하면 관찰자가 눈 좌표계의 원점 $P(0\,0\,0\,1)^t$에 있는 상황이므로, 꼭지점 좌표 V에서 원점으로 향하는 벡터 $\overrightarrow{VP_e}$가 관찰자 방향이 된다. 무한 관찰자를 사용하면 양의 z_e축 방향인 $(0\,0\,1\,0)^t$가 관찰자 방향이 된다. 해프웨이 벡터는 단위벡터이므로 $\hat{h}_i$가 된다. f_i는 0 또는 1을 가지는 변수이다. $n \odot \overrightarrow{VP_{pli}}$가 0보다 크면 1, 아니면 0의 값을 가진다. $n \odot \overrightarrow{VP_{pli}}$가 0보다 크다는 것은 두 벡터의 각도가 90° 보다 작다는 뜻이다. 이는 정반사 또한 난반사의 경우처럼 광원이 앞쪽에서 빛을 비출 경우에만 색깔을 더한다는 뜻이다. 즉 뒤에서 오는 빛은 무시한다. s_{cm}과 s_{cli}는 정반사 때 물질의 색과 광원의 색으로 앞의 요소를 모두 곱하면 정반사 색이 된다.

앞에서 구한 앰비언트 반사, 난반사, 정반사 값을 모두 더하면 i번째 광원에 대한 반사 식이 나오는데, 이 값은 실제 물체에 대한 광원의 직접적인 효과라 하기에는 불충분하다.
위의 식에 att_i 와 $spot_i$ 를 곱해 최종 광원이 물체에 직접적으로 영향을 미치는 반사색이 된다.
att_i는 빛의 감쇠 효과를 위한 값으로 다음과 같다

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

$w=0$ 인 경우는 광원이 평행 광원임을 의미한다. 이때 att_i는 1.0의 값을 가져 감쇠효과는 일어나지 않는다. 빛의 감쇠는 광원과의 거리에 비례하는데, 무한한 거리인 평행광원은 감쇠 효과가 없다.
k는 그냥 계수이며 $\|PV_{pli}\|$는 광원까지의 거리 d 이다.
$spot_i$는 i번째 광원이 스폿 광원일 경우 처리하기 위한 값으로 다음과 같다.

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

s_{rli}는 스폿광원의 절단 각도로 180° 일 경우 $spot_i$는 1이다. 일반 점광원이 아닐 경우 c_{rli} 값에 따라 두가지로 나뉜다. 위의 내적 값이 $\cos c_{rli}$ 보다 작은 경우, 즉 점 V가 스폿 조명의 범위 밖에 있는 경우 $spot_i$는 0의 값을 갖는다. 범위 안에 들어올 경우 $\overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dli}$ 의 값을 s_{rli}로 조절하여 주변으로 갈수록 어두워지는 스폿 조명 효과를 내준다.
지금까지 구한 모든 반사를 i개의 광원만큼 모두 처리하고 더해주면 여러 광원이 물체의 표면에 미치는 영향을 알 수 있다.
이번 과제에서 주어진 최종 픽셀 색상 C의 식을 보면 위에서 구한 Σ 식을 제외하고 두가지 요소가 더 더해져 있다. 그중 하나는 전역 앰비언트 반사인 $a_{cm} * a_{cs}$ 이다.
Σ 식에서는 지역앰비언트 반사로 OPENGL에서는 각 광원에 대한 앰비언트 반사를 이처럼 지역적인 것과 전역적인 것으로 나누어 생각한다. 나머지 하나인 e_{cm}은 방사 색깔이다.
이로써 OpenGL의 기본 조명 공식이 다음과 같이 얻을 수 있다

$$C = \underbrace{e_{cm}}_{\text{방사색깔}} + \underbrace{a_{cm} * a_{cs}}_{\text{전역 앰비언트 반사}} + \sum_{i=0}^{n-1} \underbrace{(att_i)}_{\text{빛의 감쇠 효과}} \underbrace{(spot_i)}_{\text{spot 광원처리}} \Big[\underbrace{a_{cm} * a_{cli}}_{\text{지역 앰비언트 반사}} + \underbrace{(n \odot \overrightarrow{VP_{pli}})\, d_{cm} * d_{cli}}_{\text{난반사}} + \underbrace{(f_i)(n \odot \hat{h}_i)^{s_{rm}}\, s_{cm} * s_{cli}}_{\text{정반사}} \Big]$$