OpenGL의 조명 공식은 퐁의 조명 모델을 기반으로 한 공식이다. 이는 Polygon model에 대한 여러 성질과 조명 계산에 관련된 정보들을 OpenGL 함수를 통하여 설정하였을 때, Rendering Pipeline을 거쳐가는 과정에서 조명 계산을 하도록 설정을 하였을 때 사용된다. OpenGL의 조명 공식은 Shading을 하려는 지점의 꼭지점 좌표 V, 그 점의 법선 벡터 n과 물질 인자, 광원인자, 조명 모델 인자들을 사용하여 계산한다. 또한 광원이 여러 개일 경우에는 각 지점별로 반사효과는 각 광원에 대한 효과를 더하여 계산한다. OpenGL에서는 퐁의 조명 모델을 기반으로 하므로 광원이 미치는 영향을 정반사, 난반사 그리고 앰비언트 반사로 나눈다.

이제 공식에서 각 변수 및 식이 나타내는 부분을 하나씩 알아보면 아래와 같다. $a_{cm} * a_{cli}$는 각각의 광원에서의 지역 앰비언트 반사 색깔이다. 각각 광원의 색깔과 앰비언트 반사 계수를 나타낸다. $(n \odot \overrightarrow{VP_{pli}})d_{cm} * d_{cli}$는 난반사의 색깔을 나타내는 부분이다. 따라서 n은 법선 벡터를, $\overrightarrow{VP_{pli}}$는 광원 벡터를 의미한다. V는 조명 계산을 하려는 지점의 좌표이고, P_{pli}는 광원의 위치 또는 방향을 나타내고 이 둘을 이은 방향으로의 단위벡터가 된다. 그렇게 n과 $\overrightarrow{VP_{pli}}$ 둘의 내적을 구하는 것이다. 또한 $d_{cm} * d_{cli}$ 는 광원의 색깔과 난반사 계수의 곱을 의미한다. 다음으로는 정반사의 색깔을 나타내는 부분인 $(f_i)(n \odot \widehat{h_i})^{s_{rm}} s_{cm} * s_{cli}$이다. $\widehat{h_i}$는 해프웨이 벡터로 $\overrightarrow{VP_{pli}}$를 기본으로 하고, 지역 관찰자를 사용하는지 여부에 따라서, 사용하는 경우에는 원점으로 향하는 $\overrightarrow{VP_e}$를, 사용하지 않는 경우에는 $(0\,0\,1\,0)^t$를 관찰자 방향으로 사용하여 더해준다. 그러고 나서 단위 벡터로 만들어 준 것이 $\widehat{h_i}$이다. s_{rm}는 정반사 공식에서 제곱을 해주는 정반사 지수를 나타내고, $s_{cm} * s_{cli}$는 위의 난반사와 유사하게 광원의 색깔과 정반사 계수를 나타낸다. f_i는 정반사 공식에서는 나오지 않는 변수인데, 이는 n과 $\overrightarrow{VP_{pli}}$ 사이의 각도가 90도보다 작을 때 1이 되고 이외에는 0인 변수이다. 이 셋을 더하면, $a_{cm} * a_{cli} + (n \odot \overrightarrow{VP_{pli}})d_{cm} * d_{cli} + (f_i)(n \odot \widehat{h_i})^{s_{rm}} s_{cm} * s_{cli}$ 이 된다.

여기에 스폿 광원 효과 값과 빛의 감쇠 효과 값을 곱해서 i번째 광원이 물체에 직접적으로 영향을 미치는 반사 색깔로 사용한다. 첫 번째로 빛의 감쇠 효과는 Figure 1의 그림처럼 광원에서 멀어질수록 빛의 세기가 약해지는 효과이다. OpenGL에서는 감쇠함수로 Figure 2의 공식을 사용하는 것을 볼 수 있다. 여기서 w가 0이 아니라는 것은 평행 광원이 아니라는 것을 의미한다.

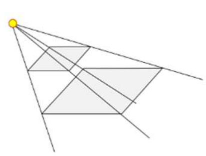

Figure 1

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

Figure 2

이 효과를 나타내는 값으로는 att_i를 사용하고 있다. 다음으로 스폿 광원 효과는 광원이 스폿 광원인 경우를 처리하기 위해 사용한

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

Figure 3

다. 이는 Figure 3을 보면 확인할 수 있는데, 우선 조건을 나누는데 들어간 c_{rli}는 스폿 광원의 절단 각도이고, 180.0의 값인 경우에는 1.0이므로 스폿 광원의 효과는 나지 않게 된다. 나머지 2개의 case는 $\overrightarrow{P_{pli}V} \odot \widehat{s_{dli}}$와 $\cos c_{rli}$를 비교함으로써 스폿 조명의 범위 내에 있는지를 판별한다. Figure 4를 참고하여 생각하면 되는데, 이 경우에 $\cos c_{rli}$보다 작은 경우가 범위 밖에 있게 된다는 점을 확인할 수 있다. 스폿 조명의 범위 내에 있는 경우는 갈수록 어두운 효과를 위해서 s_{rli} 제곱을 넣어주어 효과를 내준다. 스폿 조명 효과는 $spot_i$으로 나타냈다.

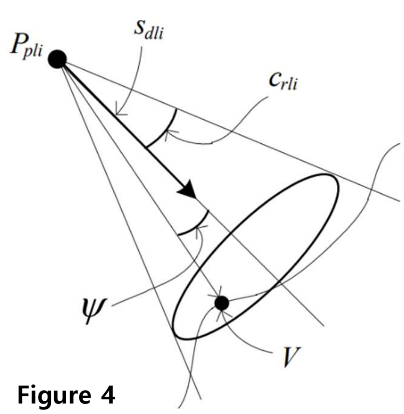

Figure 4

이렇게 구한 i번째 광원의 효과를 시그마로 모두 더해주고, 마지막으로는 전역 앰비언트 반사와 물질의 방사 색깔을 더해준다. 전역 앰비언트는 $a_{cm} * a_{cs}$로 나타내고, 물질의 방사 색깔은 e_{cm}으로 나타냈고 최종적으로 공식을 나타내게 되면 아래와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} \mathbf{c} \;=\; & \mathbf{e}_{cm} + \mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cs} + \\ & \sum_{i=0}^{n-1} (att_i)(spot_i)[\mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cli} + (\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli})\mathbf{d}_{cm} * \mathbf{d}_{cli} + (f_i)(\mathbf{n} \odot \hat{\mathbf{h}}_i)^{s_{rm}} \mathbf{s}_{cm} * \mathbf{s}_{cli}] \end{aligned}$$