기초 컴퓨터 그래픽스

HW4

20192138 조명재

1. OpenGL의 기본 조명 공식

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

위 조명 공식은 수업시간에 배웠던 점 광원, 평행 광원, 스폿 광원, 그리고 앰비언트 광원을 적용하여 만들어진 식이라는 것을 보조교재를 통해 알 수 있었다.

우선 $\sum_{i=0}^{n-1}[\ldots]$ 와 같이 i 값이 0 부터 n-1 까지 되어 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 각 광원에 대한 처리라고 볼 수 있으며 즉, 광원의 개수는 자연스럽게 n 이라는 것을 알 수 있다.

그렇다면 […] 식에서 앰비언트 반사, 난반사, 그리고 정반사 이 세 가지를 통한 식에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

$$[\mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cli} + (\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli})\mathbf{d}_{cm} * \mathbf{d}_{cli} + (f_i)(\mathbf{n} \odot \hat{\mathbf{h}}_i)^{s_{rm}}\mathbf{s}_{cm} * \mathbf{s}_{cli}]$$

$\mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cli}$ 이 식은 물질의 앰비언트 색깔 $\mathbf{a}_{cm}$과 i번 광원에 대한 로컬 앰비언트 반사 색깔 $\mathbf{a}_{cli}$ 이 곱해서 적용된 것을 알 수 있다.

그 다음엔 수업시간에 배웠던 난반사 색깔 $I_{l_i\lambda} \cdot k_{d\lambda} \cdot (N \cdot L_i)$ 이 식은 위에서 보인

$(\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli})\mathbf{d}_{cm} * \mathbf{d}_{cli}$ 이 식과 대응되는 것으로 짐작할 수 있으며 V는 쉐이딩을 하려는 지점의 꼭지점 좌표로 w 좌표가 0이 아닌 것을 자연스럽게 알 수 있다.

이 때, $\overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}$ 이 벡터는 P 즉, 광원이 점 광원(w != 0)인지와 평행 광원(w = 0)인지에 대해서 이 두 광원에 대해서 해당 벡터는 광원 P 에서 V 지점으로 빛이 들어오는 방향의 반대 방향으로 길이가 1인 벡터로서 수업시간에 배운 L(Light) 과 동일하다고 볼 수 있다.

따라서 내적을 통해 cos 값을 획득하는데 0도에서 90도 사이의 값에서는 양수로 90도에 가까워질 수록 0에 가까워져 반사 색깔이 검은색에 가까워지는 것을 암시할 수 있고, 90도가 넘어가게 될 경우에는 음수가 되므로 이를 0으로 취급하여 검은색 즉, 뒤에서 들어오는 빛을 고려하지 않겠다라는 의미로 받아들일 수 있다.

그리고 내적한 값에 물질의 난반사 색깔 $\mathbf{d}_{cm}$과 i 번째 광원의 난반사 색깔 $\mathbf{d}_{cli}$이 곱해서 적용된다.

$(f_i)(\mathbf{n} \odot \hat{\mathbf{h}}_i)^{s_{rm}} \mathbf{s}_{cm} * \mathbf{s}_{cli}$ 이 식은 수업시간에 배웠던 정반사 $I_{l_i\lambda} \cdot k_{s\lambda} \cdot (N \cdot H_i)^n$ 이 식과 대응되는 것으로 하프웨이 벡터 $\mathbf{h}_i$ 는 관찰자가 지역 관찰자인지, 무한 관찰자인지에 따라 다음과 같이 결정이 된다고 한다.

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

수업시간에서 하프웨이 벡터는 광원에 대한 방향 L 벡터와 관찰자 방향 V 벡터의 중간 방향으로 $\frac{L+V}{|L+V|}$ 임을 알 수 있다.

위에서 v_{bs} 이 부분에 대해서 의문을 가졌는데 이 것은 관찰자 방향으로 TRUE 값을 갖을 경우 지역 관찰자, FALSE 값을 갖을 경우 무한 관찰자라는 것을 알 수 있었다.

지역 관찰자를 사용하게 될 경우에 관찰자가 눈 좌표계의 원점에 있는 상황으로 $\mathbf{P}_e = (0\ 0\ 0\ 1)^t$ 임을 알 수 있고, 무한 관찰자를 사용하게 될 경우에 눈 좌표계에서 양의 z 축 방향으로 관찰자 방향이 사용되기 때문에 위와 하프웨이 벡터가 위와 같이 결정되는 것을 알 수 있었다.

그렇다면 의문이 드는 부분은 (f_i) 이 추가로 곱해진 것에 대한 것이다.

(f_i) 값은 오직 0 또는 1을 갖도록 하는 변수로 이전에 봤던 난반사에서 내적값 즉, cos 값이 0보다 클 경우에 1, 아닐 경우엔 광원이 뒤에 배치된 것으로 0을 갖는다.

따라서, (f_i) 이 값을 통해 정반사도 난반사처럼 광원이 표면의 앞쪽에서 빛을 비출 경우에만 반사 색깔을 더하는 것을 자연스럽게 알 수 있다.

앞에서 적용된 값들에 정반사 물질의 색깔 $\mathbf{s}_{cm}$과 i 번째 광원의 정반사 색깔 $\mathbf{s}_{cli}$이 곱해서 적용된다.

그러면, 앞서 말한 앰비언트 반사, 난반사, 정반사를 다 더한 다음에 att_i 와 $spot_i$ 를 곱하는 것을 알 수 있는데 수업시간에 배웠던 것에서 추가로 스폿 광원까지를 고려한 $spot_i$ 도 곱하는 것을 알 수 있으며 이러한 값들을 곱하게 되면 광원이 물체에 직접적으로 영향을 미치는 반사 색깔로 사용할 수 있게 된다.

att_i 는 빛의 감쇠 효과로 수업시간에 했던 식과 유사하다.

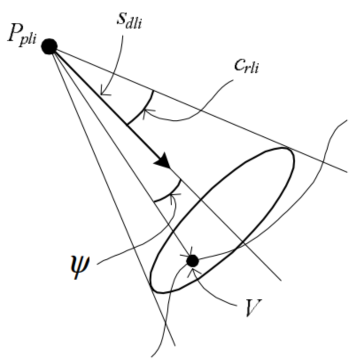
$$att_i = \begin{cases} \frac{1}{k_{0i} + k_{1i}\|\mathbf{VP}_{pli}\| + k_{2i}\|\mathbf{VP}_{pli}\|^2}, & \mathbf{P}_{pli}\text{'s } w \neq 0, \\ 1.0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

w=0 일 때 1.0 이 적용되는 것을 볼 수 있는데 이는 평행 광원으로 무한 관찰자를 사용할 경우 감쇠 효과를 적용하지 않는 것은 당연하다고 이해할 수 있다.

w가 0이 아닐 때 점 광원으로 지역 관찰자를 사용할 경우 $\mathbf{P}_{pli}$ 는 결국 i 번째 광원이므로 $\|\mathbf{VP}_{pli}\|$ 는 쉐이딩 지점에서 광원까지의 거리로 이해할 수 있다.

그렇다면 w가 0이 아닐 때 빛의 감쇠 효과를 설정하지 않으려면 $\|\mathbf{VP}_{pli}\|$ 를 무효화시키면 되는 것이므로 $k_{1i} = k_{2i} = 0$ 으로 지정하고 $k_{0i} = 1$ 으로 설정하게 된다면 이는 결국 w=0 일 때의 평행 광원과 동일하게 되는 것을 알 수 있다.

$spot_i$ 는 i 번째 광원이 스폿 광원일 경우를 처리하기 위에 곱해지는 것으로 식은 다음과 같다.



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

$spot_i$ 식은 왼쪽 사진을 통해서 자연스럽게 이해할 수 있으며 디폴트 값은 1.0 이다.

$c_{rli} = 180.0$ 인 케이스를 생각해보면, 이는 쉐이딩 하고자 하는 위치에 적용된 여러 반사들과 빛의 감쇠 효과를 적용한 것을 그대로 적용하는 것으로 $spot_i$ 값은 1.0 이며 스폿 광원 효과가 나타나지 않는다.

$c_{rli} \neq 180.0$ 인 케이스에서는 $\overrightarrow{\mathbf{P}_{pli}\mathbf{V}} \odot \hat{\mathbf{s}}_{dli} < \cos c_{rli}$ 인 경우와 $\overrightarrow{\mathbf{P}_{pli}\mathbf{V}} \odot \hat{\mathbf{s}}_{dli} \geq \cos c_{rli}$ 인 경우에 따라서 $spot_i$ 값이 결정된다.

우선 $\overrightarrow{\mathbf{P}_{pli}\mathbf{V}} \odot \hat{\mathbf{s}}_{dli}$ 의 값은 $\cos\psi$ 값을 갖는데(두 벡터가 길이가 1) $\cos c_{rli}$ 값보다 작은 경우 ψ 값이 c_{rli} 보다 커진 경우로 쉐이딩 하고자 하는 곳에 범위를 벗어난 케이스이다.

따라서 $\overrightarrow{\mathbf{P}_{pli}\mathbf{V}} \odot \hat{\mathbf{s}}_{dli} < \cos c_{rli}$ 인 경우 $spot_i$ 값은 0.0 이 되며 $\overrightarrow{\mathbf{P}_{pli}\mathbf{V}} \odot \hat{\mathbf{s}}_{dli} \geq \cos c_{rli}$ 인 경우 주변으로 갈 수록 어두운 효과를 주기 위해서 약간의 트릭을 이용하여 i 번의 스폿 광원 지수 s_{rli} 를 $\overrightarrow{\mathbf{P}_{pli}\mathbf{V}} \odot \hat{\mathbf{s}}_{dli}$ 에 제곱 형태로 적용하여 $(\overrightarrow{\mathbf{P}_{pli}\mathbf{V}} \odot \hat{\mathbf{s}}_{dli})^{s_{rli}}$ 값이 된다.

따라서 각 광원들에 따라 어떻게 값이 형성되는지를 살펴봤고 각 광원에 대한 반사 색깔을 다 더하면 다음과 같다.

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

그 후에 전역 앰비언트 반사 $\mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cs}$와 물질의 방사 색깔 $\mathbf{e}_{cm}$을 더하면 OpenGL의 기본 조명 공식이 다음과 같이 형성된다.

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