※ $A \odot B = \max(0, A \cdot B)$: 백라이트 제거 등을 위해 내적 후 양수 값만 취함.

$\underbrace{a_{cm} \cdot a_{cli}}_{①} + \underbrace{(n \odot \overrightarrow{VP_{pli}}) d_{cm} \cdot d_{cli}}_{②} + \underbrace{(f_i)(n \odot \hat{h}_i)^{s_{rm}} s_{cm} \cdot s_{cli}}_{③}$ → 'i번 광원'에만 국한되는 지역적 효과 공식 [1]

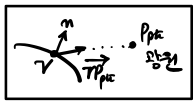
① i번 광원에 대한 ambient 반사 색깔

a_{cm} : 물질의 ambient 색깔을 나타내는 변수로, RGBA 채널 값을 가진다.

a_{cli} : 많은 광원 중 i번 광원의 ambient 색깔을 나타내는 변수로, RGBA 채널 값을 가진다.

→ Phong의 조명 모델 : $I_{a\lambda} \cdot k_{a\lambda} \rightarrow a_{cm} \cdot a_{cli}$

② i번 광원에 대한 난반사 색깔.



n : 광원에 대한 물질의 normal 벡터

V : 조명 계산을 위한 물질의 꼭지점 좌표

P_{pli} : i번 광원의 위치

→ $\overrightarrow{VP_{pli}}$: 빛이 물체로 들어오는 방향의 반대 방향이고 크기가 1인 벡터

d_{cm} : 물질의 난반사 색깔을 나타내는 변수로, RGBA 채널 값을 가진다.

d_{cli} : i번 광원의 난반사 색깔을 나타내는 변수로, RGBA 채널 값을 가진다.

→ Phong의 조명 모델 : $I^D_{l\lambda} \cdot k_{d\lambda} \cdot (N \odot L) \rightarrow d_{cm} \cdot d_{cli} \cdot (n \odot \overrightarrow{VP_{pli}})$

③ i번 광원에 대한 정반사 색깔. ← Phong의 모델을 그대로 사용하지 않고, Blinn-Phong의 halfway vector를 사용

f_i : 백라이트를 고려하지 않기 위한 flag. $f_i = \begin{cases} 1, & \text{if } n \odot \overrightarrow{VP_{pli}} > 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$

n : 광원에 대한 물질의 normal 벡터

$\hat{h}_i$: halfway vector. H = normalize (L+V) In Blinn-Phong Model.

→ $\hat{h}_i = \dfrac{h_i}{|h_i|}$, $h_i = \begin{cases} \overrightarrow{VP_{pli}} + \overrightarrow{VP_e}, & \text{if } v_{bs} = \text{TRUE} \\ \overrightarrow{VP_{pli}} + (0\ 0\ 1\ 0)^t, & \text{else} \end{cases}$ 양의 z축 방향이 관찰자 방향

v_{bs} : Boolean. 지역 관찰자를 사용하고 있어 특정 지점(w=1)에서 물체를 볼 때 TRUE, 무한 관찰자일 땐 FALSE.

P_e : 관찰자의 위치 (eye)

s_{rm} : 물질의 정반사 지수. 커질 수록 정반사 방향에서 벗어남에 따라 감쇠 효과가 커짐. (∵ $\cos^{s_{rm}}\phi$ 그래프)

s_{cm} : 물질의 정반사 색깔을 나타내는 변수로, RGBA 채널 값을 가진다.

s_{cli} : i번 광원의 정반사 색깔을 나타내는 변수로, RGBA 채널 값을 가진다.

→ Blinn-Phong의 조명 모델 : $I^S_{l\lambda} + k_{s\lambda} \cdot (N \odot H)^n = s_{cm} \cdot s_{cli} \cdot (f_i)(n \odot \hat{h}_i)^{s_{rm}}$

$\underbrace{(att_i)}_{①}\underbrace{(spot_i)}_{②}$ [1] → 감쇠, 스폿 광원 등을 고려한 실질적인 i번 광원의 효과 [2]

① 빛의 감쇠 효과를 위한 값

※ $\|v\|$ = 벡터 v의 길이 → 광원과 물체의 거리가 멀어짐에 따라 att_i이 작아져 광원의 효과가 줄어듦.

k_{0i}, k_{1i}, k_{2i} : 감쇠 정도를 결정하는 상관 계수. [default] : $k_{0i} = 1$, $k_{1i} = k_{2i} = 0$, $att_i = 1$ → 감쇠 고려 X

$$att_i = \begin{cases} \dfrac{1}{k_{0i} + k_{1i}\|\overrightarrow{VP_{pli}}\| + k_{2i}\|\overrightarrow{VP_{pli}}\|^2}, & \text{if } P_{pli}[3]\ (=w) \neq 0 \rightarrow \text{점 광원} \\ 1, & \text{else} \rightarrow \text{평행 광원} \end{cases}$$

← 평행 광원은 광원과 물체의 거리의 영향만 받으므로 감쇠 효과를 무시함.

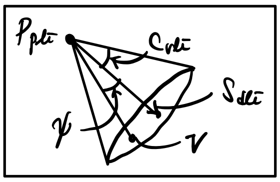
② i번째 광원이 스폿 광원일 경우 처리를 위한 값.

↳ 스폿 절단 각도 범위 내에서만 영향을 주는 광원. (스폿 조명 영향권 밖에선 검은 (0,0,0,0) 빛)

$$spot_i = \begin{cases} (\overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dli})^{s_{rli}}, & \text{if } c_{rli} \neq 180 \ \& \ \overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dli} \geq \cos(c_{rli}) \\ 0, & \text{else if } c_{rli} \neq 180 \ \& \ \overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dli} < \cos(c_{rli}) \\ 1, & \text{else [default]} \rightarrow \text{스폿 광원이 아님.} \end{cases}$$

c_{rli} : 스폿 광원의 절단 각도.

$\hat{s}_{dli}$: 스폿 조명의 중심 축의 단위 벡터



$$\overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dli} = \cos\psi$$

$$\therefore \overrightarrow{P_{pli}V} \odot \hat{s}_{dli} = \cos\psi < \cos(c_{rli}) \Rightarrow \text{범위 밖} \Rightarrow spot_i = 0$$

$$\qquad \qquad \qquad \qquad \geq \cos(c_{rli}) \Rightarrow \text{범위 안} \Rightarrow spot_i = \cos^{s_{rli}}\psi$$

ψ값이 커질수록 범위의 변두리에 해당하고, $spot_i$의 값이 작아진다.

s_{rli} : 정반사의 s_{rm}처럼, 축에서 멀어지는 정도와 $spot_i$ 사이의 상관 계수

n개의 광원에 대해 모든 합을 구함.

$$c = \underbrace{e_{cm}}_{①} + \underbrace{a_{cm} \cdot a_{cs}}_{②} + \sum_{i=0}^{n-1}[2]$$ ← 최종 OpenGL 기본 조명 공식"

① e_{cm} : 물질의 방사 색깔

② $a_{cm} \cdot a_{cs}$: 전역 앰비언트 반사.

물질의 앰비언트 색깔이 (a_{cm}), 장면 자체의 앰비언트 광원 색깔(a_{cs})을 곱해 장면 자체의 전역 앰비언트 반사를 구함.