Unreal Engine PBR - 2013년 VE

Diffuse $f(l, v) = \dfrac{C_{diffuse}}{\pi}$, $C_{diffuse} =$ diffuse albedo

(diffuse 색상)

Cook-Torrance Microfacet Specular BRDF

Specular $f(l, v) = \dfrac{D(h)\, F(v, h)\, G(l, v, h)}{4\,(n \cdot l)\,(n \cdot v)}$

Specular D $D(h) = \dfrac{\alpha^2}{\pi\left((n \cdot h)^2(\alpha^2 - 1) + 1\right)^2}$, $\alpha = roughness^2$

Specular G

$$k = \dfrac{(Roughness + 1)^2}{8}$$

$$G_1(v) = \dfrac{n \cdot v}{(n \cdot v)(1 - k) + k}$$

$$G(l, v, h) = G_1(l)\, G_1(v)$$

Specular F

$$F(v, h) = F_0 + (1 - F_0)\, 2^{(-5.55473(v \cdot h) - 6.98316)(v \cdot h)}$$

$F_0 =$ Specular reflectance at normal incidence

Unreal PBR에서 필요한 모델의 재질 값

Base Color = Albedo
Metallic
Roughness

Image-Based Lighting

$$\int_H L_i(l)\,f(l,v)\cos\theta_i\,dl \simeq \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\frac{L_i(l_k)\,f(l_k,v)\cos\theta_{ik}}{p(l_k,v)}$$

환경맵으로부터 들어올 빛을 모두 계산하기에는 너무 많기 때문에 적당히 1000~10000개 샘플링 하더라도 실시간으로 하기엔 느리다. 그렇기에 미리 계산하는 방법을 Unreal PBR에서 사용하고 있다. (전처리)

Split Sum Approximation (두 부분으로 나눠 계산해도 괜찮으니다)

$$\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\frac{L_i(l_k)\,f(l_k,v)\cos\theta_{ik}}{p(l_k,v)} \simeq \left(\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}L_i(l_k)\right)\left(\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\frac{f(l_k,v)\cos\theta_{ik}}{p(l_k,v)}\right)$$

그래서 TextureMap 생성시 필요한 모든 빛을 미리 계산하여 두는 곳에 앞에서 생성해 Normal 방향으로 1번만 샘플링해도 모든 색을 가져올 것과 같은 효과를 가진다.

(Irradiance Map) → Diffuse (그래서 그냥 가져와 쓰면 된다)

계산이 많은 부분을 roughness와 $\cos\theta$를 이용해 미리계산해 Texture 2D 형태로 만들어 데이터를 이어지가 있는 표 데이터 처럼 사용한다

$$\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\frac{f(l_k,v)\cos\theta_{ik}}{p(l_k,v)} = LUT.r \times F_o + LUT.y$$

$$f(l,v) = \frac{D(h)F(v,h)G(l,h)}{4(n\cdot l)(n\cdot v)}$$

$$F(v,h) = F_0 + (1-F_0)(1-v\cdot h)^5$$

$$= F_0 - F_0(1-v\cdot h)^5 + (1-v\cdot h)^5$$

$$\boxed{= F_0(1-(1-v\cdot h)^5) + (1-v\cdot h)^5}$$

$$\int_H f(l,v)\cos\theta_i \, dl = \int_H \frac{\overline{F}}{F} f(l,v)\cos\theta_i \, dl$$

$$= F_0(\sim) + (\smile)$$

$$\int_H f(l,v)\cos\theta_i \, dl = F_0 \int_H \frac{f(l,v)}{F(v,h)}\left(1-(1-v\cdot h)^5\right)\cos\theta_i \, dl$$

$$+ \int_H \frac{f(l,v)}{F(v,h)}(1-v\cdot h)^5 \cos\theta_i \, dl$$

그래서 F_0 앞의 값들 $\int_H () + \int_H ()$ 을 미리 계산(전처리)해두면 나중에 빠르게 계산할 수 있다.

대부분은 Specular IBL Map에 계산은 뒤 저장되어 있고 추가적으로 Roughness와 $\cos\theta$에 대응 표를 만들어 Look-UP Texture(LUT)로 저장해 필요한 시점을 찾아 사용한다.