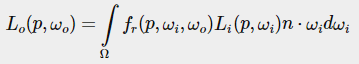
PBR / Theory 2



BRDF

-bidirectional reflective distribution function 양방향 반사 분포 함수

-점p에서 광원을 향하는 벡터 ωi, 점p에서 관측자(카메라)를 향하는 벡터 ωo, 표면 법선벡터 n, 마이크로 표면의 거친 정도를 나타내는 a를 입력으로 받음

-BRDF는 물질 특성을 고려할 때, 불투명 표면의 최종 반사광에 각 개별의 광선이 얼마나 기여하는지 대략적으로 나타냄

-ex) 표면이 거울일 때, BRDF 함수는 들어오는 광선 ωi에 대해서 0.0을 반환하고, 나가는 광선 ωo는 1.0을 반환함

-microfacet을 기반으로 물질의 반사, 굴절 특성을 근사함

-또한, 에너지 보존 법칙도 준수해야함

-기술적으로 Blinn-Phong은 동일한 ωi와 ωo를 입력으로 사용하는 BRDF로 간주되어짐

-그러나 Blinn-Phong은 에너지 보존 법칙을 준수하지 않기 때문에 Physically based가 아님

-표면의 빛에 대한 반응을 대략적으로 나타내는 물리적 기반 BRDF가 있으나, 실시한 렌더링 파이프라인은 Cook-Torrance BRDF라는 BRDF를 사용함

-kd : 굴절되는 빛의 비율

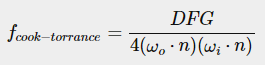
-ks : 반사되는 빛의 비율

-f lambert 라는 방정식의 diffuse 부분이 Lambertain diffuse 라고 알려져있음, diffuse shading에 사용한 것과 유사함

-c는 albedo, 또는 표면의 컬러 / 파이로 스케일링되기 때문에 diffuse light를 표준화

-diffuse light에 대해서 더 좋은 결과를 가져오는 다른 방정식도 있으나, 이보다 많은 양의 자원을 소모해 Lamberatin diffuse로 대부분의 실시간 렌더링에 충분함

-f cook-torrance

-D, F, G는 각각 표면의 반사 특정의 특정 부분을 근사하는 함수유형을 타나냄

-D : Normal Distribution function 정규 분포 함수, 표면의 거칠기의 영향을 받는 halfway 벡터에 정렬되는 양을 근사함, microfacets을 근사하는 주요함수

-F : Fresnel equation 프레넬 방정식은 서로 다른 표면 각에서의 표면 반사 비율

-G : Geometry function microfacets의 자체 음영 속성을 설명, 표면이 거칠면 표면의 미세 기둥이 다른 미세 기둥을 가릴 수 있어서 표면이 반사하는 빛을 감소시킴

-DFG는 물리학적 요소에 대한 근사치임

-각 D, F, G 에 사용되어진 함수

-D : Trowbridge-Reitz GGX

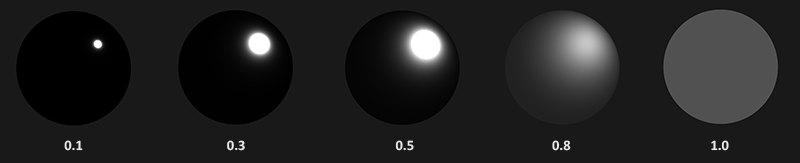
-F : Fresnel-Schlick

-G : Smith Schlick-GGX

Normal distribution function / D Trowbridge-Reitz GGX

-h는 거실치의 척도인 표면의 microfacets을 측정하기 위한 halfway vector임

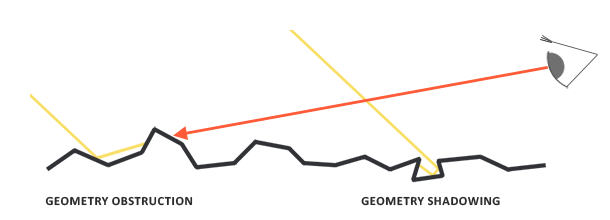
-표면의 거칠기의 매개 변수에 대해 표면 법선과 빛의 방향 사이의 중간 벡터로 h를 취하면 나오는 결과

-거칠기가 낮으면 표면이 매우 매끄러움, 따라서 microfacets가 작은 반경의 중간 벡터에 정렬됨, 매우 NDF는 매우 밝은 지점을 표시함

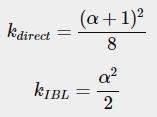
-GLSL코드의 Trowbridge-Reitz GGX

|  |
| --- |
| float DistributionGGX(vec3 N, vec3 H, float a)  {  float a2 = a\*a;  float NdotH = max(dot(N, H), 0.0);  float NdotH2 = NdotH\*NdotH;    float nom = a2;  float denom = (NdotH2 \* (a2 - 1.0) + 1.0);  denom = PI \* denom \* denom;    return nom / denom;  } |

Geometry function / G Smith Schlick-GGX

-미세한 표면이 서로 겹쳐서 광선이 차단되는 상대 표면적을 통계적으로 근사치를 계산

-k는 directional lighting 혹은 IBL lighting에 대해 기하학 함수를 사용하는지에 따라 α를 다시 매핑함

-α는 엔진이 거칠기를 α로 변환하는 방법에 따라 달라질 수 있음

-geometry를 효과적으로 근사값을 가지기 위해서는 view방향과 light 방향 벡터 둘 다 고려해야함 Smith 방법을 사용해 두 가지를 모두 고려할 수 있음

-Schlick-GGX, Smith방법을 사용해 Gsub으로 사용하면 거칠기 R에 따라 변하는 시각적효과

-0~1 사이의 multiplier인데, 1.0은 microfacets 쉐도잉를 측정하지 않으며, 0.0은 완전한 쉐도잉을 측정함

-GLSL에서 geometry 함수

|  |
| --- |
| float GeometrySchlickGGX(float NdotV, float k)  {  float nom = NdotV;  float denom = NdotV \* (1.0 - k) + k;    return nom / denom;  }    float GeometrySmith(vec3 N, vec3 V, vec3 L, float k)  {  float NdotV = max(dot(N, V), 0.0);  float NdotL = max(dot(N, L), 0.0);  float ggx1 = GeometrySchlickGGX(NdotV, k);  float ggx2 = GeometrySchlickGGX(NdotL, k);    return ggx1 \* ggx2;  } |

Fresnel equation / F Fresnel-Schlick

-굴절되는 빛에 반사되는 빛의 비율을 나타냄, 표면을 바라보는 각도에 따라 다름

-빛이 표면에 부딪히는 순간 바라보고 있는 각도를 기반으로 해 반사되는 빛의 비율을 알려줌

-에너지 보존 법칙으로 빛의 굴절된 부분을 직접 얻을 수 있음

<http://filmicworlds.com/blog/everything-has-fresnel/>

-모든 표면이나 재료는 표면을 똑바로 바라볼 때, 기본 반사율 수준을 가짐

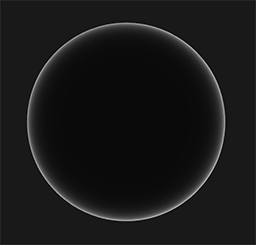
-각도에서 바라보면 모든 반사는 표면의 기본 반사율에 비해서 더 분명해짐

-거의 90도에서 책상을 보면 반사가 뚜렷해지는 것을 볼 수 있음

-Fresnel equation은 복잡하지만, Fresnel-Schlick를 통해 근사할 수 있음

-F0는 표면의 기본 반사율을 나타내고, IOR이라고 불리는 것을 사용해서 계산되어짐

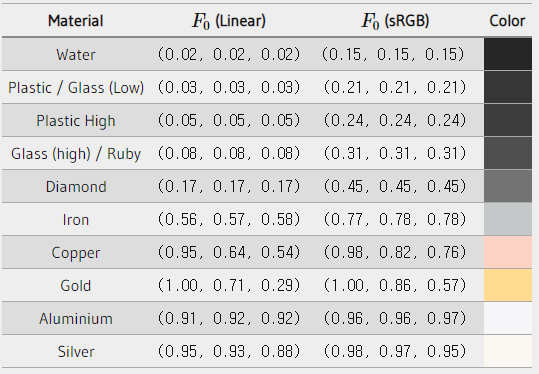
-구 표면에서 볼 수 있는 것처럼 표면의 방목 각도를 볼수록 fresnel, 반사가 강해짐



-Fresnel-Shlick 근사가 유전체나 비금속 표면에 대해서만 정의가 됨

-다른 방정식을 사용해서 전도체나 금속 표면에 대해서 정의해야 하나, 불편하기 때문에 F0에서의 값을 미리 계산함으로써 근사함

-대형 데이터베이스에서 값들을 찾을 수 있음

-유전체 표면에 대해서는 반사율이 0.17보다 높지 않음을 볼 수 있음

-도체의 경우 기본 반사율이 훨씬 높음

-또한 금속 표면의 경우 기본 반사도가 착색되어서 F0이 RGB 삼중항으로 표시되어지는데, 이는 금속에서만 발견되는 특징임

-표면이 금속인지, 비금속인지 설명하는 금속성 metalnes라고 하는 매개 변수를 추가

-실제는 금속, 비금속은 바이너리임, 맞다 아니다로 나뉘어지는데, 대부분의 렌더 파이프라인에서는 금속성을 0~1 사이의 값으로 선형으로 구성 할 수 있음, 주로 금속 표면에 있는 먼지, 모래, 스크래치 등 표면을 묘사하는 데 재질의 정밀도가 부족하기 때문임

-사전에 F0를 계산

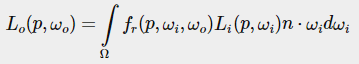
|  |
| --- |
| vec3 F0 = vec3(0.04);  F0 = mix(F0, surfaceColor.rgb, metalness); |

-0.04는 일반적인 유전체의 평균값임

-GLSL에서 Fresnel Schlick 근사치를 변환함

|  |
| --- |
| vec3 fresnelSchlick(float cosTheta, vec3 F0)  {  return F0 + (1.0 - F0) \* pow(1.0 - cosTheta, 5.0);  } |

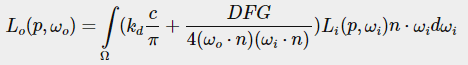
Cook-Torrance reflectance equation

-기본 반사 방정식

-위에 설명한 모든 구성요소를 반사 방정식에 포함

-Fresnel항 F는 표면에서 반사되는 빛의 비율, ks임 즉 반사율 방정식의 반사 부분이 암시적으로 ks를 포함한다는 것을 의미함

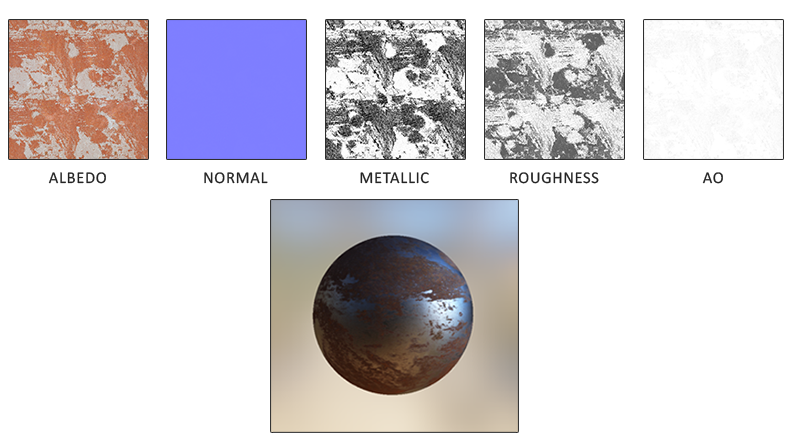
-최종 반사율 방정식



Authoring PBR materials

-텍스처를 사용하면 각 특정 표면 점이 금속에 반응하는지, 거칠거나 부드럽거나 또는 표면에 서로 다른 파장의 빛에 어떻게 반응하는지에 따라 fragment당 제어할 수 있음

-PBR 파이프라인에서 자주 볼 수 있는 텍스처의 목록

-Albedo : 각 텍셀에 대해 표면의 색상 또는 반사율을 지정함, 이전에 diffuse texture로 사용한 것과 비슷하지만, 모든 조명 정보는 texture에서 추출됨. diffuse texture은 종종 albedo texture에서 원하지 않는 이미지 내부의 그림자, 또는 어두워진 틈새가 있을 수 있어서 표면의 색상만 포함해야 함

-Normal : Normal map texture에서 사용하였던 것과 똑같음, fragment당 normal map을 사용하여서 각각의 고유한 법선을 지정하면 표면이 울퉁불퉁하다는 착각을 줄 수 있음

-Metallic : 금속성은 텍셀이 금속성인지 아닌지를 텍셀 당 지정함, PBR엔진이 설정되는 방식에 따라서 금속성을 그레이 스케일 또는 검정색, 흰색으로 작성할 수 있음

-Roughness : 텍셀을 기준으로 표면의 거칠기를 지정함, 거칠기 값은 표면의 통계적

microfacets의 방향에 영향을 미침, 일부 PBR 엔진은 일부 아티스트가 더 직관적이라고 생각하는 거칠기 맵 대신 부드러움 맵을 기대하기 때문에, 이러한 값들은 (1 - 값) 으로 변환하면 됨

-AO : Ambient Occlusion 주변 폐색은 잠재적으로 주변 geometry의 추가 그림자 요소를 지정함, 예를 들어서 벽돌 표면이 있다면 albedo texture은 벽돌의 틈새에 그림자 정보가 없어야함, 조명 단계가 끝날 때, 주변 폐색을 고려하면 scene의 시각적인 품질을 크게 항샹시킴

-아티스트들은 이러한 Physically based input 값을 텍셀 단위로 설정, 조정할 수 있음

-texture 값을 실제 재질의 물리적 표면 특성에 기반 할 수 있음

-PBR을 사용하면 환경이나 조명 설정에 관계없이 물리적 특정이 그럴듯해 보이게 인위적으로 쉽게 만들 수 있음