광선추적을 위한 컴퓨터 시늉에서 산란효과를 구현하기 위한 방법 및 응용

The method to realize the scattering effects for ray tracing computer simulations and its applications

이원용*, 임동건*, 이윤우**, 이인원**
고려대학교 물리학과*, 한국표준과학연구원**
wylee2002@empal.com

1. 서론

컴퓨터를 이용한 광선추적을 통하여 조명 설계를 할 경우 대부분 산란 효과를 포함하는 구성 부품을 가지게 된다. 본 연구에서는 광선추적을 할 경우 컴퓨터 언어를 이용하여 산란효과를 구현하는 방법을 제시하였다. 사용한 컴퓨터 언어는 C++이다.

2. 산란분포와 난수(random number)의 대응관계

우선 광선의 정진행(specular) 방향을 z축으로 잡고 ϕ방향에 대한 확률분포는 일정하다고 가정한다. θ방향에 대한 확률분포는 θ방향에 대한 광도 측정값을 이용한다. θ방향에 대한 측정값이 $f(\theta)$의 산란분포를 이룬다면 θ방향에 대한 확률분포는 $af(\theta)$의 형태를 가지게 된다. 여기에서 a는 확률을 규격화하기 위한 상수이다.

광선추적에서 산란 특성을 적용하기 위해서는 컴퓨터에서 발생시키는 난수와 산란분포 함수를 대응시켜줘야 한다. 우선 컴퓨터에서 난수를 얻어 θ방향을 정하고, 그 후에 또 난수를 얻어 ϕ방향을 정하게 된다. 그런데 θ방향에서 ϕ방향으로 산란되는 총 입체각은 θ값에 따라 달라진다. 즉 산란되는 총 입체각이 sinθ에 비례하게 되므로 난수의 배분을 θ방향에 따라 sinθ에 비례하도록 해야 한다. 즉 θ방향으로 난수의 배분은 $af(\theta)sin\theta$의 형태로 해 주어야 한다. 여기에서 a는 이전 것과 다른 규격화상수이다.

C++에서 컴퓨터에서 주어지는 난수는 rand()라는 함수로 주어지며 그 값은 0~32767 안에서 선택된다. 또한 RAND_MAX에 32767이 상수값으로 저장되어있다. 난수와 대응시키기 위한 최종적인 산란분포 함수를 $g(\theta) = af(\theta)sin\theta$라 하자. 그림 1은 g(θ)를 일정한 θ 간격으로 나타내주고 있다. 각 구간에 g(θ)의 크기에 맞는 적당한 개수의 숫자를 대응시키면 된다. 각 구간에 대응되는 숫자 개수의 총합은 RAND_MAX가 된다. 즉 RAND_MAX = $\sum_{k=1}^{max} n_k$ 이다.

만약 컴퓨터에서 어떤 난수값 rand()를 발생시켰다면 이 값을 각 구간에 들어가야 할 숫자 개수의 합으로 볼 수 있다. 즉 다음과 같이 구간 k까지의 숫자 개수의 합으로 볼 수 있다.

$$\text{rand()} = \sum_{i=1}^{k} n_i$$

즉 위의 관계로서 rand()값으로부터 k를 찾고, k에 대응되는 θ_k를 구함으로써 우리가 원하는 난수에 대응되는 산란각을 구할 수 있다. 위 식을 규격화시키기 위해 양변을 RAND_MAX로 나누어주면 다음

과 같이 된다.

$$\frac{rand()}{RANDMAX}=\sum_{i=1}^{k}\frac{n_i}{RANDMAX}$$

$\sum_{i=1}^{k}\frac{ni}{RANDMAX}$의 전체 구간에 대한 값은 1이 되므로 $\frac{n_i}{RANDMAX}$는 곧 g(θ)와 같은 값을 가지게 된다. 따라서 g(θ)의 적분값 G(θ)를 이용하여 다시 표현하면

$$G(\theta)=\frac{rand()}{RANDMAX}$$

와 같은 간단한 식으로 귀결된다. 따라서 구하고자하는 산란각은 다음의 관계로 구할 수 있다.

$$\theta=G^{-1}(\frac{rand()}{RANDMAX})$$

대부분의 경우에 g(θ)는 적분하기 어려운 형태가 되므로 G(θ)는 그림 1과 같이 구간을 나누어 구분구적법으로 계산한다. 또한 컴퓨터에서 주어지는 rand()값은 수치해석 방법으로 G(θ)와 대응시켜 가장 근사한 θ값을 구하게 된다.

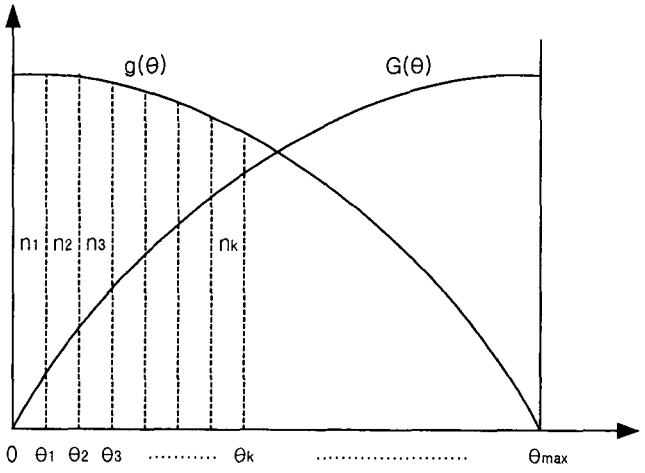

그림 1. 산란분포함수와 난수의 대응

3. 결론

Φ방향으로 균일한 산란분포를 가지고 θ방향으로 f(θ)의 형태를 가지는 산란모형을 컴퓨터에서 주어지는 rand() 함수를 이용하여 컴퓨터 시늉으로 구현하는 방법을 연구하였다. 이러한 연구는 미국, 일본, 유럽 등 광학 선진국에서는 이미 수행되어왔고, 많은 소프트웨어가 상품화되어 나와 있지만 국내에서는 이러한 연구가 미진하다. 본 연구에서는 컴퓨터 언어를 이용하여 산란효과를 구현하는 방법을 제시함으로서 많은 분들이 이에 관심을 가지고 응용 및 발전된 시늉방법을 개발하는 기회가 되길 기대한다.

참고 문헌

1. G. R. Fowels, "Introduction to modern optics", Holt, Rinehart and Winston, Inc., p40~46.
2. Frank L. Pedrotti, Leno S. Pedrotti, "Introduction to optics", Prentice-Hall, Inc., p7~13.
3. Mary L. Boas, "Mathematical Methods in the Physical Sciences", John Wiley & Sons, Inc., p410.