

광속전달법에서의 효율적인 Form Factor 계산방법에 관한 연구 (The Study on Form Factor Computation Methods in the Luminous Flux Transfer Method)

최안섭

(세종대학교 공과대학 건축공학과)

(An-Seop Choi)

Abstract

This paper gave a review of form factor computations in the luminous flux transfer method and practical application of DiLaura's recently developed form factor computation. A systematic analysis of how the results of a contour integration solution differ from those of existing numeric solutions were undertaken with a developed computer simulation program. Various situations between sending and receiving surfaces were considered, including the facing, size, and distance between surfaces.

1. 서론

조명설계과정에서 조명시스템에 의한 조도값의 정확한 계산은 매우 중요한 작업이다. 과거의 수계산에 의한 평균조도계산에서 탈피하여, 컴퓨터에 의한 정확한 조도값을 효율적으로 계산하려는 노력이 지속되고 있다. 초기의 컴퓨터를 이용한 조명계산은 기계공학의 복사열 전달방법에서 비롯된 광속전달법(Flux Transfer Method)에서 출발하였다. 이 광속전달법은 건축공간 대부분의 표면재질이 완전확산면으로 이루어져있기 때문에 널리 사용될 수가 있었다. 광속전달법을 통해서 정확한 조도값을 얻기 위해서는 계산에 필요한 역자승법칙(Inverse square law), Configuration Factor, Form Factor 등을 효율적으로 계산해야 한다. 그래서 각각의 효율적인 계산을 위한 노력들이 진행되었는데, 그 중에서도 가장 계산시간에 큰 영향을 미치며 여러 가지 제약조건이 따르는 Form Factor 계산에 관한 연구가 가장 활발히 진행되었다.

본 논문에서는 광속전달법의 전체 메카니즘과 Form Factor 계산방법에 대한 연구흐름을 소개하고, 최근에 제기된 새로운 Form Factor 계산방법의 정확성과 실용성에 대한 검증을 수행하고자 한다. 이를 위해 Form Factor를 계산할 수 있는 시뮬레이션 프로그램을 개발하고, 다양한 상황에서의 Form Factor 값을 계산하여 검증작업의 객관성을 갖고자 한다.

2. 본론

2.1 광속전달법

광속전달법을 이용한 실내의 조도계산은 실내면을 유

한요소로 나누어 직접성분과 간접성분으로 분리하여 계산한다(그림 1). 직접 성분은 조명기구로부터 작업면으로의 직접적인 광속전달을 의미하며, 역자승법칙을 통해 그 값을 구할 수 있다. 이때 조명기구로부터 작업면 계산포인트까지의 거리가 조명기구 최대치수의 5배 이상되어야 역자승법칙을 사용할 수 있으며(5-times rule), 만약 그러하지 못하다면 조명기구를 유한 면요소로 나누어 각 유한 면요소로부터의 광속전달을 역자승법칙을 사용하여 계산한다. 이때의 각 유한 면요소는 전체 조명기구와 동일한 배광을 가지며, 그 크기는 전체 배광의 각 각도에서의 광도값을 유한 면요소의 개수로 나눈 값이다.

간접성분은 우선 실내의 각 면을 유한 면요소로 나누고, 각 유한 면요소에서의 초기 광속발산도값을 구한다. 이 값은 유한 면요소 중심점에서의 조도값을 조명기구로부터 역자승법칙을 사용하여 구하고 면의 반사율을 곱해서 구하는데, 위의 직접성분에서처럼 5-times rule을 준수하도록 해야한다. 초기 발산광속도값을 기준으로 광속발란스식(Flux Balance Equation)을 만든 후, 반복적인 방법을 통해 각 유한 면요소에서의 최종적인 광속발산도값을 구한다. 반복적인 방법으로는 주로 Gauss-Seidal, Jacobi, Southwell 방법들이 주로 사용되며, 주로 약 5~7회의 반복을 통해 수렴된 값을 얻을 수 있다[1]. 이때 각 유한 면요소간의 Form Factor값을 구해야 하는데 가장 시간이 많이 소비되는 계산과정으로, 이것을 얼마나 효율적이고 정확하게 계산하느냐에 따라 전체 조명계산의 정확성과 효율성이 좌우된다. 다음은 유한 면요소에서의 최종 광속발산도값과 Configuration Factor를 통해 간접성분에 의한 작업면 포인트에서의 조도값을 구하고, 마지막으로 먼저 계산된 직접성분과

간접성분을 합하여 최종적인 조도값을 구한다.

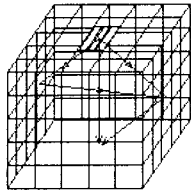


그림 1. 유한요소를 이용한 광속전달법
Fig. 1. Flux transfer method using finite elements

2.2 Form Factor 계산방법

Form factor는 두 유한 면요소의 기하학적 관계성을 나타내는 것으로[2], 두 면요소들간의 기하학적 함수를 의미한다(그림 2, 식(1)). 좀더 정확히 표현하면 한 면요소를 떠난 총 광속중에서 다른 한 면요소로 도착하는 광속의 비율을 의미한다. 이러한 Form Factor값을 결정하는 요인은 두 면요소들의 크기, 크기와 관련된 두 면요소들의 상대적인 거리, 두 면요소들의 수직벡터로 결정되는 마주보는 각도의 방향성 등이다.

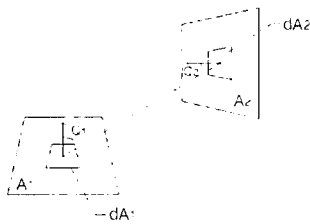


그림 2. 일반적인 Form factor의 기하학적 형상
Fig. 2. General geometry for form factor

$$F_{12} = \frac{1}{A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{r^2} dA_1 dA_2 \quad (1)$$

위의 식(1)에서 살펴볼 수 있듯이, 계산식은 광속을 보내고 받는 두 면요소들에 대한 이중 면적분으로 구성되어 있다. 적분식에서는 수치적인 방법이나 분석적인 방법으로 해를 구할 수 있는데, 일반적인 Form factor 적분식에서는 폐형식해를 갖고 있지 않기 때문에 분석적인 방법을 적용하기는 어렵다. 그래서 주로 수치적 방법인 유한함에 의한 대략적인 해가 실질적인 방법으로 이용되고 있다. 다만, 다음과 같은 특별한 경우에는 Form factor값을 분석적인 방법을 통해 이중 적분식의 해를 구할 수 있다. 두 사각면들이 하나의 모서리를 공유하면서 직각을 이루는 경우(그림 3)와 같은 형태와 면적을 갖으며 평행으로 마주보는 사각면들의 경우(그림 4)에만 한정되어 사용될 수 있다.

Form factor에 적용될 수 있는 새로운 적분계산방법들에 대한 연구는 조명계산에서의 중요성 때문에 계속

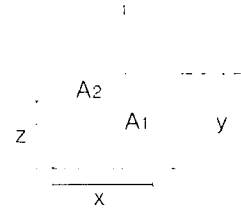


그림 3. 수직인 사각면의 Form factor
Fig. 3. Perpendicular rectangles for form factor

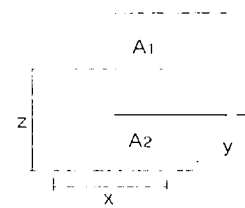


그림 4. 수평인 사각면의 Form factor
Fig. 4. Parallel rectangles for form factor

진행되어 오고있다. Herman은 그의 책에서 Stoke의 이론이 이중 면적분 계산에 적용되면 계산시간이 상당히 절약된다고 소개하였고[3], 이어 Fock은 완전 확산반사면의 경우에는 Stoke의 이론을 이용하여, 면적분이 등고선적분으로 대체될 수 있다고 증명하였다[4]. 또한 Moon과 Spencer는 다각 면요소를 위한 특별한 등고선적분의 해를 개발하였다[5,6]. 그 후, 간략적인 수치적 해가 개발되어 사용되고 있는데, 이 해는 두 사각면들이 일반적으로 서로 수직을 이루거나(그림 5, 수식(2)) 서로 평행으로 마주보는 경우이다(그림 6, 수식(3)).

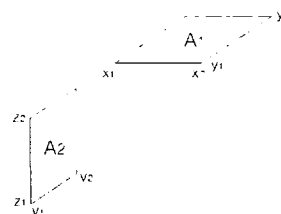


그림 5. 수직으로 마주보는 사각면의 Form factor
Fig. 5. General perpendicular rectangles for form factor

$$F_{12} = \frac{1}{\pi A_1} \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{(x-\bar{x})(\bar{z}-z)}{[(x-\bar{x})^2 + (y-v)^2 + z^2]^{3/2}} dy dx dz dv$$

$$= \frac{1}{2\pi A_1} \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 G(v, z_j, x_i, y_m)(-1)^{i+j+k+m} \quad (2)$$

$$G(v, z_j, x_i, y_m) = a\sqrt{c^2 + b^2} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{c^2 + b^2}} + \frac{1}{4}(a^2 - b^2 - c^2) \ln(a^2 + b^2 + c^2)$$

$$a = y_m - v_i$$

$$b = \bar{z} - z_j$$

$$c = x_i - \bar{x}$$

$$\bar{x} = x_coordinate_of_surface2$$

$$\bar{z} = z_coordinate_of_surface1$$

$$A_1 = area_of_surface1 = (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)$$

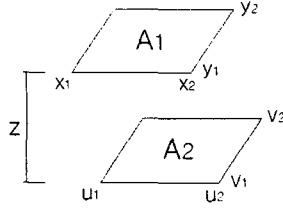


그림 6. 수평으로 마주보는 사각면의 Form factor
Fig. 6. General parallel rectangles for form factor

$$F_{12} = \frac{z^2}{\pi A_1} \int_{u_1}^{u_2} \int_{v_1}^{v_2} \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \frac{1}{[(x-u)^2 + (y-v)^2 + z^2]^2} dy dx dv du$$

$$= \frac{z^2}{2\pi A_1} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 H(u_i, v_j, x_k, y_m) (-1)^{i+j+k+m} \quad (3)$$

$$H(u_i, v_j, x_k, y_m) = b\sqrt{1+a^2} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{1+a^2}} + a\sqrt{1+b^2} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{1+b^2}} - \frac{1}{2} \ln(1+a^2+b^2)$$

$$a = \frac{1}{z}(x_k - u_i)$$

$$b = \frac{1}{z}(y_m - v_j)$$

$$A_1 = \text{area_of_surfacel} = (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)$$

그러나 이 식도 두 사각 면들이 서로 수직을 이루거나 평행으로 마주보는 경우에만 한정되어 사용된다는 단점이 지적되어 왔다. 이에 DiLaura는 여러 이론들을 통해 새로운 개념을 정립하여, Form factor 계산에 실제로 적용할 수 있는 새로운 알고리즘을 개발하였다[7-11]. 그는 면적분을 등고선적분으로 변형하여 해를 구할 수 있는 여러 방법들을 소개하였다. 그의 여러 이론과 식을 살펴보면, 기존의 식으로 계산이 불가능했던 사각 면 이외의 여러 다각 면들과 수직 및 평행이외의 마주보는 경우들의 Form factor 값을 계산할 수 있다. 일반적인 다각 면요소와 모든 마주보는 각도의 경우를 위한 이중 적분식을 개발한 것이다. 이러한 식들이 정확성과 효율성을 갖고 있다면 광속전달법에서 널리 적용될 수 있을 것이다. 그가 제안한 여러 계산식 중 컴퓨터 프로그램 코드로 쉽게 사용될 수 있는 것이 다음과 같은 등고선적분 식이다[10][그림 7, 식(4)].

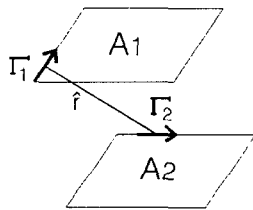


그림 7. 일반적인 다각면 Form factor의 기하학적 형상
Fig. 7. General polygon geometry for form factor

$$F_{12} = \int_{\Gamma_1} \int_{\Gamma_2} d\gamma_2 \cdot \text{or} \hat{r} d\gamma_1 \quad (4)$$

벡터 \hat{r} 은 광속을 보내는 면의 선분 중심에서 광속을 받는 면의 선분 중심으로 이어지는 단위 벡터를 나타내며, Γ_1 과 Γ_2 는 광속을 보내고 받는 두 면요소들의 불연속 방향성 등고선 선분이다. 그리고 $d\gamma_1$ 과 $d\gamma_2$ 는 각 등고선의 미분벡터 요소이다.

광속을 보내는 다각 면 A가 각 M모서리에 I개수의 불연속 선분을 가지고 있고, 광속을 받는 다각 면 B가 각 N모서리에 J개수의 불연속 선분을 가지고 있다면, 연속적인 이중 등고선은 작게 나누어진 불연속 선분들인 Γ_{1mi} 과 Γ_{2nj} 을 따라 선적분한 합으로 작게 나눌 수 있다. 그래서 다음과 같은 이중 등고선 적분의 수치적 해가 계산될 수 있다.

$$F_{12} = -\frac{1}{2\pi A_1} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\Delta\Gamma_{2nj} \cdot \text{or}) (\hat{r} \cdot \Delta\Gamma_{1mi}) \quad (5)$$

기존 Form factor 계산 프로그램[식(2),(3)]에서는 먼저 두 사각 면요소들이 수직 또는 평행으로 마주보고 있는가를 체크한다. 그리고 광속을 보내고 받는 각 사각 면요소 모서리의 3차원 xyz 좌표와 각 모서리 사이의 길이를 구한 후, 식(2)와 (3)이 각각 실행된다. 그러나 새로운 DiLaura의 Form factor 계산 프로그램에서는 두 사각 면요소들의 각 모서리 등고선 선분의 벡터와 그 선분들 중심점의 xyz 좌표만으로 Form factor를 계산한다. 필요한 벡터와 중심점이 구해진 후 식(5)가 실행된다. 이러한 계산방식은 두 면요소들간의 다양한 상황을 계산할 수 있도록 하여 Form factor 계산에 융통성을 줄 수 있으며, 기존 방법보다 계산과정의 절차를 줄인 효율적인 방법이라 할 수 있다.

2.3 시뮬레이션의 개요

정확성 검증을 위해 기존 Form factor 계산방식의 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램과 새로운 DiLaura의 Form factor 적분 알고리즘을 기초로 한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램들은 FORTRAN 언어를 사용해 만들어 졌으며, 일반 PC에서 실행될 수 있는 프로그램으로 컴파일되었다. 특히 DiLaura의 프로그램은 계산에 필요한 입력값들을 일반화하여, 임의의 다각형 모양과 수직과 평행인 관계를 포함한 임의의 마주보는 각도에 대한 Form factor를 계산할 수 있도록 하였다.

DiLaura의 등고선 적분의 수치적 해를 이용한 새로운 Form factor 계산방식의 정확성을 조사하기 위해, 먼저 사각 면요소들이 수평과 수직으로 마주보는 경우

를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과들을 기존 방법의 결과들과 비교함으로써 새로운 방법에 대한 정확성을 평가하였다. 그리고 다양한 경우들을 시뮬레이션함으로써 평가 결과의 신뢰성을 높이려고 하였는데, 여러 경우의 두 면요소들간의 마주보는 각도, 크기, 거리 등을 고려하였다. 또한 두 면요소 모서리들의 불연속 등 고선 선분의 개수도 여러 경우를 고려하였다. 임의의 각도로 마주보는 경우와 사각 면요소 이외의 형태를 갖는 다각 면의 경우는 기존의 사각 면요소들의 수직과 평행으로 마주보는 한정된 경우의 방법으로는 결과를 비교할 수 없기 때문에 DiLaura의 논문결과[10]를 참고하였다.

2.4 시뮬레이션의 결과

2.4.1 두 면이 평행으로 마주보는 경우

먼저, 동일한 크기를 갖는 두 사각 면요소들의 경우가 조사되었는데, 두 면요소들간의 서로 다른 세가지 거리가 시도되었다(그림 8). 그리고 각 평면 모서리의 서로 다른 네가지의 선분 개수가 조사되었다. 표 1의 결과를 보면, 각 모서리의 등고선 선분의 개수에 따라 정확도의 차이가 발생한 것을 알 수 있다. 더 많은 선분 개수의 결과가 기존 방법의 결과의 적은 차이를 보여주었으며, 각 모서리를 그대로 하나의 선분으로 사용한 경우(선분의 개수가 1인 경우)를 제외하고는 대체로 정확한 Form factor값이 계산되었다. 가장 큰 차이는 선분의 개수가 1인 경우(No. 1-1)에서 나타났으며, 선분을 2등분하여 선분의 개수를 2로 만든 경우에는 2%이내의 적은 차이를 보여 주며 정확도를 높였다. 각 모서리의 선분의 크기를 매우 작게한 경우(선분의 크기가 모서리를 1/20로 나눈 경우)는 매우 정확한 결과를 나타내었다.

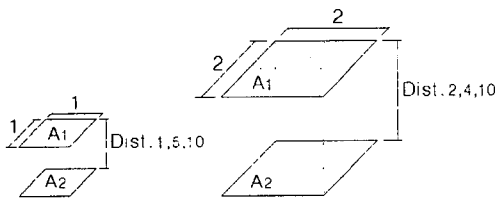


그림 8. 평행인 경우(동일 면적)
Fig. 8. Parallel rectangle cases(same areas)

다음은 두 면요소들의 크기가 서로 다른 경우를 비교하였다(그림 9). 광속을 보내는 면의 크기가 광속을 받는 면의 크기보다 4배인 경우와 그 반대의 경우를 조사하였다. 이 경우를 위해서도 서로 다른 두 면요소들간의 거리가 시뮬레이션되었다. 앞서 살펴보았던 두 면요소들이 같은 크기를 갖는 경우와 마찬가지로, 각 모서리의 서로 다른 선분의 개수가 시도되었다. 표 2의 결

표 1. 평행인 경우(동일 면적)

Table 1. Parallel rectangle cases(same areas)

No.	크기 (거리)	선분개수	선분개수	선분개수	선분개수	식(3) 값
		1	2	10	20	
1-1	1x1(1)	0.212207	0.203692	0.199977	0.199865	0.199825
		-6.20%	-1.94%	-0.08%	-0.0201%	
1-2	1x1(5)	0.012483	0.012423	0.01240405	0.012404	0.012403
		-0.65%	-0.17%	-0.01%	-0.0090%	
1-3	1x1(10)	0.003167	0.003163	0.003162	0.003162	0.003162
		-0.17%	-0.04%	0.00%	-0.0007%	
1-4	2x2(2)	0.212205	0.203693	0.199977	0.199865	0.199843
		-6.19%	-1.93%	-0.07%	-0.0111%	
1-5	2x2(4)	0.070736	0.069135	0.068611	0.068595	0.068590
		-3.13%	-0.79%	-0.03%	-0.0071%	
1-6	2x2(10)	0.012483	0.012424	0.012405	0.012404	0.012403
		-0.64%	-0.17%	-0.01%	-0.0090%	

과에 나타나 있듯이, 앞의 경우와 비슷한 경향을 보여 주었다. 선분의 개수가 1인 경우가 가장 큰 약 11%의 차이를 보여 주었으며, 개수가 20으로 증가한 경우에는 차이가 0.01% 이하인 거의 동일한 값을 보여주었다.

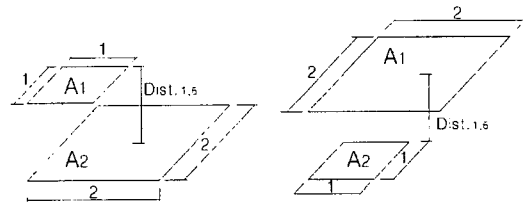


그림 9. 평행인 경우(상이한 면적)

Fig. 9. Parallel rectangle cases(different areas)

표 2. 평행인 경우(상이한 면적)

Table 2. Parallel rectangle cases(different areas)

No.	크기 (거리)	선분개수	선분개수	선분개수	선분개수	식(3) 값
		1	2(4)	10(20)	20(40)	
2-1	1x1- 2x2(1)	0.463169	0.418655	0.415388	0.415288	0.415253
		-11.54%	-0.82%	-0.03%	-0.0084%	
2-2	1x1- 2x2(5)	0.046785	0.046201	0.046140	0.046138	0.046137
		-1.40%	-0.14%	-0.01%	-0.0021%	
2-3	2x2- 1x1(1)	0.115792	0.104664	0.103847	0.103821	0.103813
		-11.54%	-0.82%	-0.03%	-0.0073%	
2-4	2x2- 1x1(5)	0.011696	0.011574	0.011536	0.011535	0.011534
		-1.40%	-0.14%	-0.01%	-0.0033%	

전체적으로, 각 모서리의 작은 크기의 선분 경우가 정확한 결과를 보여 주었으며, 선분의 크기를 모서리의 1/10로 줄인 경우에는 0.1%보다 적은 차이를 나타내며 매우 정확한 Form factor값이 계산되었다.

2.4.2 두 면이 수직으로 마주보는 경우

이번 경우는 두 면이 공통된 모서리를 공유하는 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 새로운 방법에 대한 정확도를 조사하였다. 그리고 각각의 경우도 두 면이 수평으로 마주보는 경우와 마찬가지로, 두 면의 서로 다른 크기, 거리, 선분의 개수를 조사하였다.

두 면이 공통된 모서리를 갖고 있는 경우(그림 10)는 기존 방법의 결과와 상당히 큰 차이를 보여주었는데, 특히 모서리 선분의 크기가 큰 경우에서 더욱 그러하였다(표 3). 가장 큰 차이를 보여준 경우는 각 모서리를 그대로 하나의 선분으로 사용한 경우로 약 47%의 차이를 나타내었다. 각 모서리를 2등분하여 두 개의 선분으로 나눈 경우에도 여전히 약 30%의 차이를 나타내었으나, 선분의 크기를 모서리의 1/20로 줄인 경우에는 차이가 약 4%로 크게 줄어들었다. 이와 같이 모서리를 작은 크기의 선분으로 나눈 경우에는 비교적 정확한 결과를 나타내었는데, 이러한 경향은 같은 크기를 갖는 두 면 요소들에서나 서로 다른 크기를 갖는 두 면 요소들의 경우 모두 해당되었다.

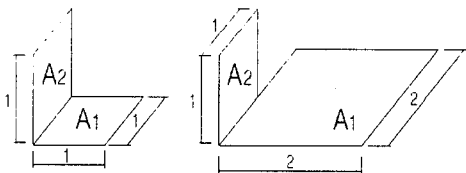


그림 10. 수직인 경우(동일한 모서리 공유)
Fig. 10. Perpendicular rectangle cases(sharing a common edge)

표 3. 수직인 경우(동일한 모서리 공유)
Table 3. Perpendicular rectangle cases(sharing a common edge)

No.	크기	선분 개수	선분 개수	선분 개수	선분 개수	식(3) 값
		1	2(4)	10(20)	20(40)	
3-1	1x1- 1x1	0.106103	0.140063	0.185332	0.192431	0.200044
		46.96%	29.98%	7.35%	3.8055%	
3-2	2x2- 1x1	0.85559	0.055899	0.069674	0.071250	0.073093
		-17.05%	23.52%	4.68%	2.5219%	

각 면 요소의 모서리가 같은 평면에 위치하고 있지 않은 일반적인 경우를 조사하였다(그림 11). 표 4에 나타나 있듯이 이러한 일반적인 수직으로 마주보는 경우에는 훨씬 적은 차이를 보여주었다. 모서리를 그대로 하나의 선분으로 사용한 경우에도 약 9% 이내의 차이를 나타냈으며, 각 모서리를 이등분하여 두 개의 선분으로 나눈 경우에는 차이가 약 3% 정도로 줄어들었다. 선분의 크기를 모서리의 1/20로 줄인 경우에는 0.02% 차이의 매우 정확한 Form factor 값이 계산되었다.

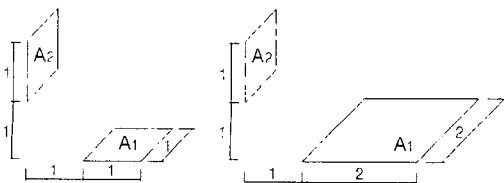


그림 11. 수직인 경우(일반적인 경우)
Fig. 11. Perpendicular rectangle case(general)

표 4. 수직으로 마주보는 경우(일반적인 경우)
Table 4. Perpendicular rectangle case(general)

No.	크기 (거리)	선분 개수	선분 개수	선분 개수	선분 개수	식(2) 값
		1	2(4)	10(20)	20(40)	
4-1	1x1- 1x1(1)	0.034025	0.033431	0.032959	0.032943	0.032938
		-3.30%	-1.49%	-0.06%	-0.0154%	
4-2	2x2- 1x1(1)	0.023198	0.021373	0.021200	0.021194	0.021192
		-9.47%	-0.85%	-0.04%	-0.0082%	

2.4.3 두 면이 임의의 각도로 마주보는 경우

마지막으로 두 면 요소들이 임의의 각도로 서로 마주보고 있는 경우(그림 12)가 조사되었다. 두 면 요소들이 한 모서리를 공유하며, 30도와 60도 각도로 마주보는 경우가 조사되었다. 이 경우는 각 면의 크기를 1x1로 고정하였고, 단지 모서리의 선분 개수만을 다르게 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 기존의 방법[식(2),(3)]으로는 이러한 경우들의 Form factor 값을 구할 수 없기 때문에 DiLaura의 논문에 나온 결과와 비교하였다. 두 면 요소들이 한 모서리를 공유하였기 때문에 앞에서 살펴본 경우와 마찬가지로 각 모서리 선분의 크기가 클 경우에는 큰 차이를 보여주었다(표 5). 그러나 모서리를 작은 크기의 선분으로 나눈 경우는 적은 차이를 보여 주었다. 선분의 크기를 모서리의 1/20로 줄인 경우에는 약 2%보다 적은 차이의 정확한 결과를 보여주었다.

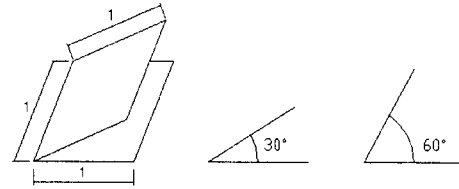


그림 12. 임의의 각도로 마주보는 경우
Fig. 12. Arbitrary facing case-different angles

표 5. 임의의 각도로 마주보는 경우
Table 5. Arbitrary facing case-different angles

No.	크기 (각도)	선분 개수	선분 개수	선분 개수	선분 개수	Form Factor
		1	2	10	20	
5-1	1x1(30)	0.482091	0.545853	0.604109	0.611390	0.619030
		22.14%	11.82%	2.41%	1.23%	
5-2	1x1(60)	0.254650	0.306626	0.356130	0.363292	0.370910
		31.34%	17.33%	3.98%	2.05%	

3. 결론

확산반사면으로 이루어진 건축공간에서의 광속전달법에 의한 조명계산에 있어 빠르고 정확한 Form factor의 계산은 매우 중요한 과정이다. 과거에는 사각 면에만 한정된 일반적인 수치적 해가 사용되었기 때문에, 경사진 천장 또는 사각면이 아닌 일반적인 다각 면 등의 특별한 경우를 위해서는 다른 계산방법이 요구되어왔다.

이것을 위해 DiLaura는 두 면의 이중 등고선 적분의 수치적 해를 소개하면서 Form factor 계산에서의 융통성을 부여하였다. 그의 제시방법은 Form factor계산을 통한 조명계산 방법에 새로운 전기를 마련해 주었으나, 그 방법에 대한 자세한 검증작업이 계속 이어지지 못하였다.

본 연구에서는 DiLaura가 제안한 등고선 적분의 수치적해[식(5)]를 구하는 알고리즘을 기본으로 한 Form factor 계산 컴퓨터 프로그램을 개발하고, 그 방법의 적용성을 알아보기 위해 정확성에 대한 검증작업을 수행하였다. 전체적으로 평가해 볼 때, 기존의 두 면이 수직 또는 평행으로 마주보는 일반적인 수치적해[식(2),(3)]와 비교적 동일한 값을 보여주었다. 계산에 사용된 선분의 크기가 Form factor값의 정확성에 큰 영향을 미치고 있었는데, 모서리를 2등분 한 선분 크기의 경우에는 비교적 정확한 결과인 약 3% 미만의 차이를 보여주었다. 그러나 두 면이 한 모서리를 공유한 경우에는 좀더 작은 선분크기의 경우가 정확한 결과를 보여주었다. 선분의 크기를 모서리의 1/10로 줄인 경우에는 차이가 약 7%로 줄어들 수 있기 때문에, 각 모서리의 선분크기 결정에 주의해야 한다.

form factors. Journal of the Illuminating Engineering Society 27(2):77-82, 1998.

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음(KRF-2000-003-E00609).

참 고 문 헌

- [1] Cohn M.F., Wallace J.R. Radiosity and realistic image synthesis. Academic Press International 1993.
- [2] The IESNA handbook 9th edition 2000.
- [3] Herman R.A. A treatise on geometrical optics. Cambridge University Press, 1900.
- [4] Fock V.A. Zur berechnung der beleuchtungsstarke. Z. Physik 27:102, 1924.
- [5] Moon P. The scientific basis of illuminating engineering. McGraw-Hill 1936.
- [6] Moon P., Spencer D.E. The photic field. The MIT Press 1981.
- [7] DiLaura D.L., Quinlan J. Nondiffuse radiative transfer 1: Planar area sources and point receivers. Journal of the Illuminating Engineering Society 24(2):102-112, 1995.
- [8] DiLaura D.L. Nondiffuse radiative transfer 2: Planar area sources and receivers. Journal of the Illuminating Engineering Society 25(2):140-149, 1996.
- [9] DiLaura D.L. Nondiffuse radiative transfer 3: Inhomogeneous planar area sources and point receivers. Journal of the Illuminating Engineering Society 26(1):182-187, 1997.
- [10] DiLaura D.L., Santoro S. Nondiffuse radiative transfer 4: General procedure for planar area sources and area receivers. Journal of the Illuminating Engineering Society 26(1):188-200, 1997.
- [11] DiLaura D.L., Santoro S.R., Miller T.F., Terch G.S. Nondiffuse radiative transfer 5: Calculation of occluded