

## ZCM에 의한 평균조도 계산용 Software 개발

(The Development of Average Illumination Calculation Software using ZCM)

윤미림·심상만·허남돈·김훈

(Mee-Rim Yun, Sang-Man Sim, Nam-Don Hur, Hoon Kim)

### 요약

설계초기단계에서 고효율 조명기기의 채택을 원활하게 해주고, 동시에 LLF값을 산정 해줌으로써 건물설계에 적용되는 조명에너지를 절감해주기 위해서는 조명 설계 기법의 고도화와 조명 설계 과정의 표준화가 필요하다. 이를 위해서 구역공간법(ZCM: Zonal Cavity Method)을 이용한 평균조도 계산용 소프트웨어를 개발하였다.

### 1. 서 론

현대사회에 있어서 조명은 인공조명에 크게 의존하고 있으며 그 대부분이 전기에너지를 소비하고 있는 실정이다. 최근 국내에서도, 조명용으로 사용되는 전력이 총 전력소비량의 무려 18%를 상회하는 수준에 도달해 있다 게다가 절대량에서는 매년 크게 증가하고 있는 추세로 조명부분의 효율 향상은 실생활은 물론 국가 에너지 절약 측면에서도 매우 중요한 과제로 대두되고 있다.

또한 에너지 절약과 환경보호 및 생활의 편리라는 측면에서 볼 때, 조명이 우리 인간생활에 깊이 관련되어 있으며, 중요한 역할을 하고 있으므로, 조명분야에 대한 투자효과가 매우 클 것으로 분석되고 있다. 따라서 조명을 통하여 에너지 효율이나 환경문제를 해결하려는 움직임이 전 세계적으로 확산되어 가고 있다.[1]

우선 국외의 경우를 살펴보면, 에너지 절감 및 환경규제에 대처하기 위하여 정부주도 하에 강력한 제도적 규제와 재정적 지원을 병행하여 우선적으로 고효율 조명시스템 개발 및 보급촉진을 위한 다양한 프로그램을 시행중이다 또한 설계부문과 관련하여서는 각 국가마다 다양한 방법을 적용하고 있으며, 조명 설계 시 특정 기업의 조명기구 사용을 전제로 한 고도의 설계프로그램이 배포되고 있다. 또한 각 국에서 단위면적 당 조명전력 허용기준을 제정하였고, 이를 권고사항으로 실시하거나, 에너지 합리화법 등으로 규제 중이다. 따라서 국내에서도 전기에너지 중에서도 소비비중이 크고, 걸

전 잠재량이 가장 큰 조명부분에 대한 고효율화 노력을 보다 체계적으로 확대할 필요가 있다.

국내의 경우 조명에너지 절감의 노력을 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫번째는 고효율기기의 개발이다. 단위 개체로서의 램프, 안정기, 조명기구 등 조명에 사용되는 기기의 고효율화를 위하여 '93년부터 정부주도로 추진된 단위 조명기기의 고효율화 개발성과를 기반으로 하여 선진기술의 추가 확보를 통한 기술자립 및 업계경쟁력 강화를 시도하였다. 두 번째는 정책적인 배려로서 리베이트, 리트로핏 프로그램과 에너지 효율등급표시제도 등이 있다.[2]

본 연구에서는 단위 고효율 기기의 개발에 의하여 얻어지는 에너지 절감효과보다는 정책적인 범주에 속하는 리트로핏 프로그램과 설계초기단계에서 고효율 조명기기의 채택을 원활하게 해주고 동시에 보수율을 산정해줌으로써 건물설계에 적용되는 조명에너지를 절감하기로 한다. 이를 위해서는 조명 설계 기법의 고도화와 조명 설계 과정의 표준화가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 기존의 3배광법보다는 구역공간법(ZCM)을 이용하여 조명 설계 과정을 표준화 시켰고, 이를 바탕으로 평균조도 계산용 소프트웨어인 KZCM(Korean ZCM)을 개발하였다. 이것은 설계하고자 하는 공간에 필요한 조명기구의 대수 와 단위 면적당 소비전력, 조명기구의 효율 등을 계산하게 되므로 건물설계에서의 에너지 절감과 고효율 조명기기의 선택을 원활히 할 수 있다.

## 2. KZCM의 특징

### 2.1 운용 환경

KZCM은 Windows 98 환경 하에서 Microsoft Visual Basic 6.0 [5]으로 개발되었기 때문에, 윈도우 프로그램의 다양한 장점을 그대로 활용할 수 있다. 특히 각종 파라미터의 입력과 Tree View기능은 효율적이고 신속한 해석을 가능하게 하였다.

### 2.2 KZCM의 성능

KZCM은 조명디자이너가 실내공간을 디자인 할 때, 공간에 적합한 설계 조도 기준값, 실내공간의 특성(방의 크기, 반사율, 조명기구의 취부 높이, 작업면 높이), IES 파일, 램프종류, 조명기구 유지등급, 대기환경, 청소주기, 조명기구 형태 등을 입력하면, 이용률(CU, Coefficient Utilization), 방공간 비율, 유효 천정 공간 반사율, 유효 바닥 공간 반사율, 램프광속, 조명기구당 램프개수, 램프 총광속, 입력전력, 조명기구 효율, 램프 광출력 감소 요인(LLD), 조명기구 먼지열화 요인(LDD), 실내면 먼지열화 요인(RSDD), 램프 수명 요인(LBO), 광손실률(LLF), 조명기구 개수, 평균조도, 단위 면적당 소비전력을 출력으로 볼 수 있고, 조도계산서를 생성해주는 성능이 있다.

### 2.3 사용법

KZCM은 컴퓨터에 관한 지식이 없어도 간단하게 기본 데이터의 입력에 의해서 주어진 실내의 평균 조도를 계산할 수 있도록 짜여진 프로그램이다. 따라서 조명설계자가 건축물의 각 공간에 대하여 조명설계를 실시할 때 화면에서 보여지는 표준화된 조명설계 단계를 거치면서 정확하고 쉽게 조도계산서를 출력할 수 있다.

### 2.4 KZCM의 구성

#### 2.4.1 시작화면

그림1은 KZCM을 실행시켰을 때의 시작화면이다. 프로그램에 대한 정보와 프로젝트명, 설계자를 텍스트로 입력할 수 있고, 설계일은 자동으로 생성되도록 하였다. 입력된 값은 조도계산서가 출력될 때 보여주게 된다.

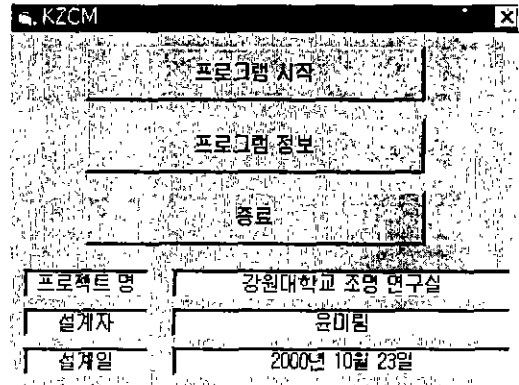


그림 1 시작화면

#### 2.4.2 Step1 화면

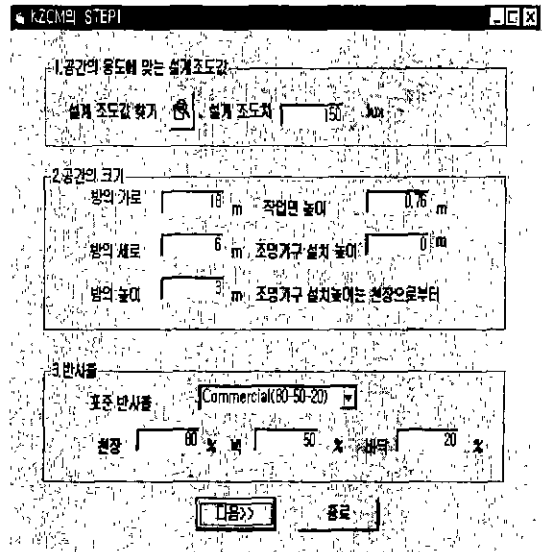


그림 2 step1 화면

Step1부터는 직접 계산에 영향을 미치는 입력값 부분이다. 입력값을 순서대로 살펴보면

1) 설계하고자 하는 공간에 대해, 적당한 조도값을 KS기준표(표1)를 참고하여 선택한다. 기준표는 사용자가 직접 선택할 수 있도록, Tree View형식으로 라이브러리를 구축하였다.

표2에서 최저-표준-최고의 조도범위의 선택은 거주자 연령( 40세이하: -1, 40~55세: 0, 55세이상: +1), 속도와 정확도의 중요성(중요하지 않음: -1, 중요함: 0, 매우 중요함: +1), 작업 배경면의 반사율(70%이상: -1, 30~70%: 0, 30%이하: +1) 등을 고려해서, 그 가중치의 합이 2이상이면 최고 추천조도, -2이하이면 최저 추천조도, 그 사이의 값은 표준 추천조도[4]를 선택하도록 하였다.

표 1 학교의 조도기준(KS A 3011)

장소/활동 과 조도분류			
강당, 집회실	F	세면장, 화장실	E
계단, 복도, 승강구	G	숙직실	E
공임실	G	실내 체육관	E
교실(칠판)	G	인쇄실	F
교직원실, 사무실, 회의실	F	창고, 차고	D
급식실, 식당, 주방	F	탈의실	E
두 건물을 잇는 복도	E	휴게실	F
방송실, 전화교환실	F	농구장, 배구장	E
보건실	F	수영장	E
비상계단	D	체조장	D
서고	F	테니스코트	E

표2 조도분류와 조도범위 (KS A 3011)

조도분류와 조도범위 [lx]			
A	3-4-6	F	150-200-300
B	6-10-15	G	300-400-600
C	15-20-30	H	600-1000-1500
D	30-40-60	I	1500-2000-3000
E	60-100-150	J	3000-4000-6000

그림3은 기준조도값을 Tree view로 보여주고, 사용자가 그 값을 선택하면 최저-표준-최고 조도기준을 선택하는데 필요한 3가지 사항을 옵션박스로 처리한 화면이다.

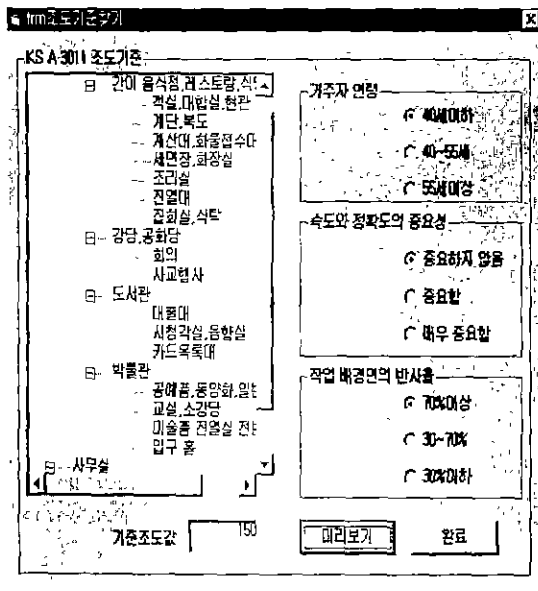


그림 3 Step1에서 KS A 3011 기준조도값

미리보기를 클릭해서 값을 확인했으면, 완료를 클릭해서 다시 Step1 화면으로 돌아간다.

2) 조명설계를 하고자 하는 공간의 크기(방의 가로, 세로, 높이, 작업면 높이, 조명기구 설치높이)를 그림4와 같은 방법으로 입력한다.

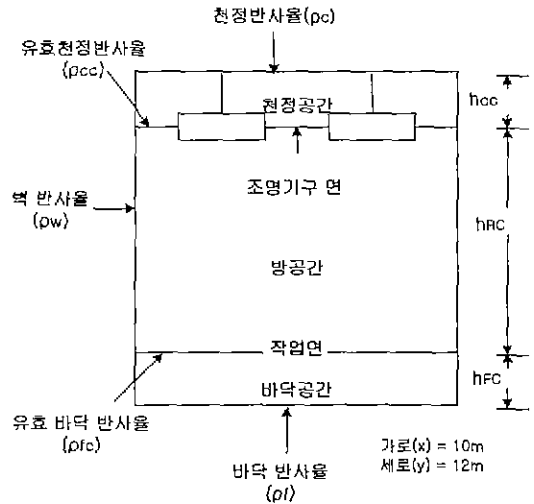


그림 4 ZCM에서의 3공간

3) 역시 각 공간의 반사율을 그림4와 같은 방법으로 입력한다. 여기서 반사율은 콤보박스를 클릭하면, 3가지 표준적인 장소의 반사율(Lithonia lighting사에서 제공하는 값)을 선택할 수 있고, 직접 입력도 가능하게 하였다.

Step1의 입력이 끝났다. 다음을 클릭하면 Step2 화면으로 넘어가게 된다.

### 2.4.3. Step2 화면

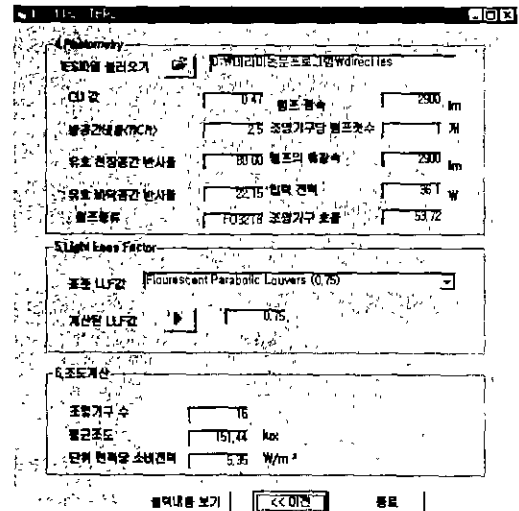


그림 5. Step2 화면

4) Photometric 파일인 IES파일(LM-63-1995)을 읽어들이어서 이용률(CU: Coefficient Utilization)과 조명기구 효율을 계산한다. 램프종류, 1개의 조명기구 내에 들어있는 램프개수, 램프의 총광속, 입력전력값은 IES 파일에서 읽어들이도록 코딩하였다. 그 외에 방공간 계수(RCR), 유효천장공간 반사율( $\rho_{CC}$ ), 유효 바닥공간 반사율( $\rho_{FC}$ )은 Step1의 2),3)에서 입력된 값을 식(1),(2),(3)에 각각 대입하여 계산되어진다.

$$\text{방공간 계수(RCR)} = \frac{5h_{cc}(x+y)}{x \times y} \quad (1)$$

$$\rho_{CC} = \frac{\rho_c}{\frac{A_s}{A_o} - \rho_c \left( \frac{A_s}{A_o} - 1 \right)} \quad (2)$$

$$\rho_{FC} = \frac{\rho_f}{\frac{A_s}{A_o} - \rho_f \left( \frac{A_s}{A_o} - 1 \right)} \quad (3)$$

$x$  : 방의 가로,  $y$  : 방의 세로

$h_{CC}$  : 조명기구 설치높이

$A_s$  : 천정(또는 바닥) 표면적

$A_o$  : 천정(또는 바닥) 개구부면적

#### ① 이용률(CU) 계산방법[3]

IES 파일(LM-63-1995)에서 CU값을 계산하는데 필요한 변수인 램프의 개수, 램프의 광속, 수직각의 개수, 수평각의 개수, 광도 값을 읽어들인다. 읽어들인 광도값에서 수직각을 기준으로 각각의 수평각에 해당하는 광도값을 뽑아서 식(4)에 대입하면 평균광도값을 얻을 수 있다.

$$I_{Avg} = \frac{1}{2(NH-1)} (I_{First} + 2 \sum_{I_{First}+1}^{I_{Last}-1} I + I_{Last}) \quad (4)$$

$I_{Avg}$  : 평균광도,  $NH$  : 수평각 개수

$I_{First}$  : 첫 번째 광도값,  $I_{Last}$  : 마지막 광도값

계산된 평균광도 중에서 수직각  $5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ, 55^\circ, 65^\circ, 75^\circ, 85^\circ, 95^\circ, 105^\circ, 115^\circ, 125^\circ, 135^\circ, 145^\circ, 155^\circ, 165^\circ, 175^\circ$ 에 해당되는 18개의 값만 선택하여 배열형식으로 읽어들인다.

이 값은 조명기구의 축광중심을 중심으로 한 구에서 바닥쪽 에서부터  $10^\circ$  간격으로 구역을 배분하여 생긴 18개의 구역에서의 평균광도 값이 되는 것이다. 각 구역에 번호를 할당하여, 구역지수  $N$

을 생성하고, 그 값의 범위는  $1 \leq N \leq 18$  이다.

그림(6)와 같은 구역배분에서  $N$ 번째 구역으로 나가는 광속은 식(5)과 같이 구할 수 있다.

$$\Phi_N = 2 \pi I_{0N} (\cos \theta_N - \cos \theta_{N+1}) \quad (5)$$

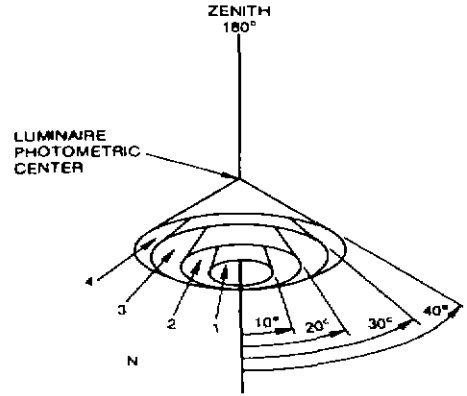


그림6. 구역광속을 계산하는데 사용되는  $10^\circ$  간격의 입체각

조명기구의 총광속과 상향 및 하향 광속비는 식(6),(7),(8)과 같고, 조명기구 효율은 식(9)와 같다.

$$\Phi_{total} = \sum_{N=1}^{18} \Phi_N \quad (6)$$

$$\Phi_{down} = \frac{1}{\Phi_{lamp}} \sum_{N=1}^9 \Phi_N \quad (7)$$

$$\Phi_{up} = \frac{1}{\Phi_{lamp}} \sum_{N=10}^{18} \Phi_N \quad (8)$$

$$\text{조명기구 효율} = \frac{\Phi_{total}}{\Phi_{lamp}} \quad (9)$$

$\Phi_{lamp}$  : 램프의 총광속

\* Lighting Handbook, 8th edition에서는 식(7),(8)의  $\Phi_{lamp}$ 를  $\Phi_{total}$ 로 잘못 표기하였다.

조명율은 식(10)과 같이 구할 수 있다.

$$CU = \frac{2.5 \rho_w C_1 C_3 (1 - D_C) \Phi_{down}}{G(1 - \rho_w)(1 - \rho_{FC}) C_0} + \frac{\rho_{CC} C_2 C_3 \Phi_{up}}{(1 - \rho_{CC})(1 - \rho_{FC}) C_0} + \left( 1 - \frac{\rho_{FC} C_3 (C_1 + C_2)}{(1 - \rho_{FC}) C_0} \right) \frac{D_C \Phi_{down}}{1 - \rho_{FC}} \quad (10)$$

식(10)에 있는 변수들은 Lighting Handbook, 9th edition을 참조하기 바란다

5) LLF(Light Loss Factor)값을 산정하기 위해서 표준 LLF값을 콤보박스에서 선택하는 방법과 직접 표준 LLF값을 계산하는 방법 두가지로 분류해 놓았다. 표준LLF값은 Lithonia lighting(US)사에서 제공하는 값을 이용하였다  
다음은 LLF값을 직접 계산하는 화면 구성의 치음이다.

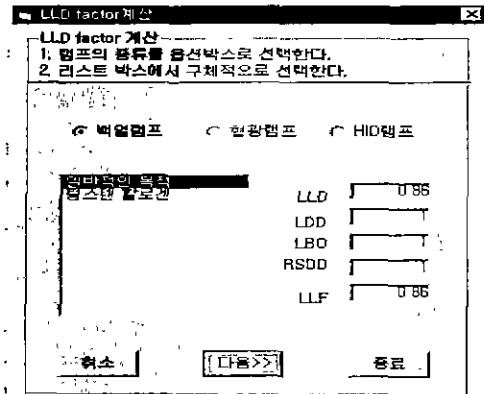


그림 7. LLD 계산 화면

가) 램프 광출력 감소 요인 (LLD)

- ① 제조사가 제공하는 도표에서 얻을 수 있다.
- ② 국내의 제품에 대하여는 제공되는 데이터가 없으므로 여기서는 Lithonia lighting(US)사에서 제공하는 값을 참고하도록 한다.

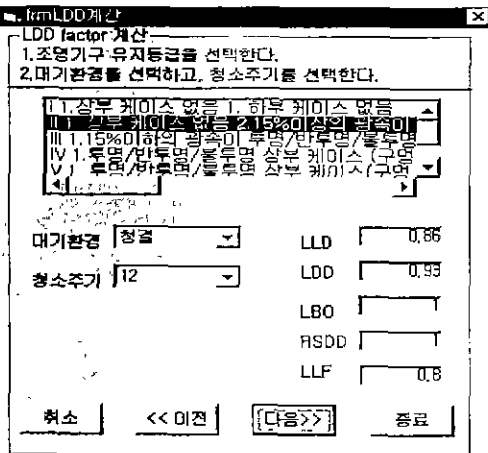


그림 8. LDD 계산 화면

나) 조명기구 먼지열화 요인 (LDD)

조명기구가 먼지 등으로 오염되면 광출력이 감소하며, 작업면의 조도가 낮아진다. 이 손실을 조명기구 먼지열화라 하고, 다음과 같이 계산된다.

① 사용되는 조명기구의 형태에 따라 여섯등급으로 분류된 표3를 이용하여 조명기구의 유지등급을 결정한다.

표 3 조명기구의 유지등급 분류

유지등급	상부 케이스	하부 케이스
I	1. 상부 케이스 없음	1. 하부 케이스 없음
II	1. 상부 케이스 없음 2. 15% 이상의 광속이 투명/반투명/불투명 상부 케이스의 구멍을 통해 방사됨	1. 하부 케이스 없음 2. 루버 또는 차폐장치 (배플)
III	1. 15% 이하의 광속이 투명/반투명/불투명 상부 케이스의 구멍을 통해 방사됨	1. 하부 케이스 없음 2. 루버 또는 차폐장치
IV	1. 투명/반투명/불투명 상부 케이스 (구멍 없음)	1. 하부 케이스 없음 2. 루버
V	1. 투명/반투명/불투명 상부 케이스 (구멍 없음)	1. 투명/반투명 하부 케이스 (구멍 없음)
VI	1. 상부 케이스 없음 2. 투명/반투명/불투명 상부 케이스 (구멍 없음)	1. 투명/반투명/불투명 하부 케이스 (구멍 없음)

② 조명기구를 사용하는 대기환경 등급과 조명기구 유지등급, 조명기구 청소계획 주기에 따라 다음 (11) 식에서 LDD값을 계산한다.

$$LDD = e^{-At^n} \quad (11)$$

A, B의 값은 표4 에서 조명기구 유지등급과 대기환경 등급의 결정에 따라 찾아낼 수 있다. t는 청소주기를 연수로 표시한 것으로 단위는 년이다.

다) 램프수명 요인(LBO)과 실내면 먼지열화 요인(RSDD)

램프 수명 요인(LBO)은 전체 사용 램프 수에

대한 작동되는 램프 수의 비를 의미하며, 램프 교환방식에 있어서 개별 교환방식을 선택한다면 램프 수명 요인은 1로 하여 입력한다. 여기에서는 개별 교환 방식으로 가정한다.

실내면에 먼지가 퇴적하면 반사 광속 및 작업면으로의 상호 반사가 줄어든다. 이를 고려하기 위하여, 표6을 이용해서 실내면 먼지열화 요인(RSD) 값을 다음과 같은 순서로 결정한다.

① 앞서 결정된 대기환경 등급 및 청소 주기에 따라 표5에서 먼지열화 예상치를 찾아낸다.

② 먼지열화 예상치, 조명기구의 종류, 방 공간 비율(RCR)값에 따라 표6에서 RSDD 값을 찾아낸다.

표 4 LDD 계산을 위한 상수

조명기구 유지등급	B	A				
		매우 청결	청 결	중 간	불 결	매우 불결
I	0.69	0.038	0.071	0.111	0.162	0.301
II	0.62	0.033	0.068	0.102	0.147	0.188
III	0.70	0.079	0.106	0.143	0.184	0.236
IV	0.72	0.070	0.131	0.216	0.314	0.452
V	0.53	0.078	0.128	0.190	0.249	0.321
VI	0.88	0.076	0.145	0.218	0.284	0.396

표5 청소주기와 대기환경에 따른 먼지열화 예상치

청소 주기	대기 환경 5등급				
	매우 청결	청결	중간	불결	매우 불결
0	0	0	0	0	0
3	2	5	9	11	15
6	5	8	13	17	21
9	6	10	16	20	26
12	7	12	18	23	29
15	8	14	20	25	32
18	9	15	21	27	34
21	10	16	22	29	36
24	11	17	23	31	37
27	12	18	24	32	38
30	13	19	25	33	39
33	14	20	26	34	40
36	15	21	27	35	41

표6 RSDD 값

Percent Expanded Def Depression	Luminaire Distribution Type											
	Direct		Semi-Indirect		Direct-Indirect		Semi-Indirect		Indirect			
10 20 30 40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

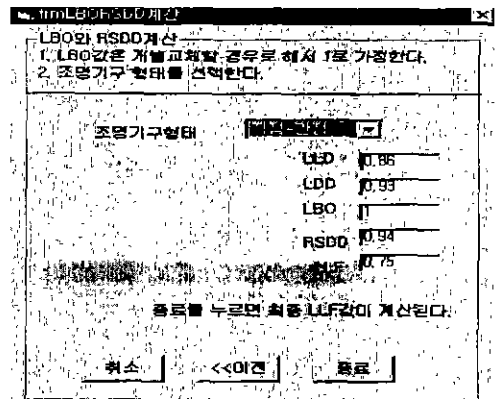


그림9. LBO, RSDD 계산 화면

5) 광손실률(LLF)

위에서 구해진 광손실률에 관련된 모든 구성 요소들이 계산되면, 구성 요소들의 전체 값 즉 LLD, LDD, RSDD, LBO 등을 모두 곱하여 광손실률 이 식(12)와 같이 구해진다.

$$LLF = LLD \times LDD \times RSDD \times LBO \quad (12)$$

최종 LLF 값이 계산되었으면, 종료버튼을 클릭해서 Step2 화면으로 돌아간다.

6) CU, LLF값에 의해서 공간에 적절한 평균조도를 제공하기 위한 조명기구의 개수는 식(13)에 의해서 계산되어진다.

$$N = \frac{F \cdot CU \cdot LLF}{A \cdot E} \quad [\text{개}] \quad (13)$$

N : 조명기구의 개수

$E$  : 작업면의 설계조도 [ $lx$ ]

$F$  : 조명기구 1개내에 들어있는 램프의총광속[ $lm$ ]

$CU$  : 이용률

$LLF$  : 광손실률

$A$  : 방의 면적 [ $m^2$ ]

마찬가지로 평균조도값은 위에서 구한 조명기구의 개수를 평균조도 구하는 식에 대입하면 구해진다. 마지막으로 단위 면적당 소비전력값은 식(14)에 의해서 계산되어진다.

단위 면적당 소비전력값:

$$\frac{\text{조명기구개수}(N) \times \text{조명기구소비전력}}{\text{방의면적}} \quad (14)$$

7) 조명설계가 완성되었으면, 출력내용보기를 클릭해서 전체 입력값과 계산값을 조도계산서 형식의 텍스트문서로 보여주고, 조도계산서의 저장과 인쇄가 가능하다.

을 계산해준다. 이를 바탕으로 설계초기단계에서 고효율 조명기구의 채택을 원활하게 해주고, 동시에 LLF값을 산정 해줌으로써 건물설계에 적용되는 조명에너지를 절감하도록 해준다. 또한 본 소프트웨어는 윈도우 프로그래밍 언어인 Microsoft Visual Basic6.0으로 개발되었기 때문에 컴퓨터에 대해 전혀 모르는 사용자도 쉽게 이용할 수 있도록 만들어졌다. 앞으로 업그레이드 시킬 점은 여러 종류의 IES 파일 형식을 적용하도록 개발하는 것이 필요하겠다.

### 참 고 문 헌

- (1) 안규한, 조명산업의 경쟁력 제고 방안에 관한 연구, 국민대학교, P9, 1996.10
- (2) 조명전력 허용기준 설정을 위한 추진전략 연구, 산업 자원부, 1998
- (3) Lighting Handbook, 9th edition, Illuminating Engineering Society of North America
- (4) 한국산업규격, "조도기준 KS A 3011-1993"
- (5) 주경민, 박성완, 김민호, Visual Basic Programming Bible Ver6.x

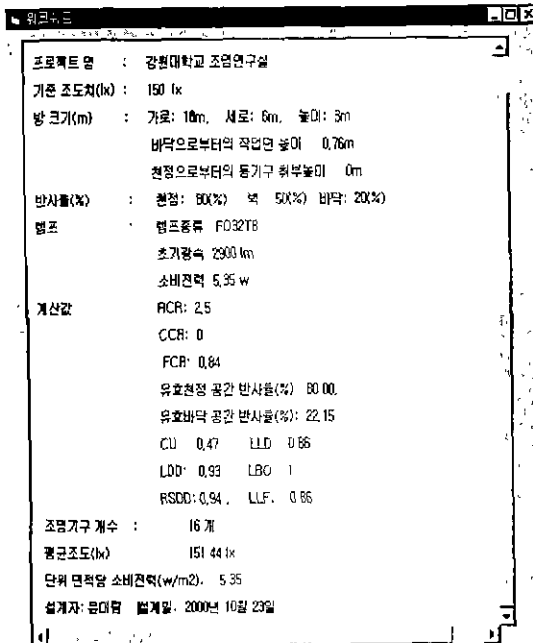


그림 10. 출력화면(조도계산서)

### 3. 결론

본 연구에서 개발한 KZCM은 설계하고자 하는 공간에 적절한 조도를 제공할 수 있는 조명기구의 개수를 계산해주고, 조명기구의 효율과 단위 면적당 소비전력