

# 공간 반사율 및 배광에 따른 이용률 변화에 관한 기초적 연구

(A Fundamental Study on the Changes of Coefficients of Utilization by Surface Reflectance and Photometry)

김유신\* · 박병철\* · 정근영\* · 최안섭\*\*

(\*세종대학교 건축공학과 박사과정 · \*\*세종대학교 건축공학과 교수)  
(Yu-Sin Kim · Byoung-Chul Park · Keun-Young Jeong · An-Seop Choi)

## Abstract

Zonal cavity method, which is a kind of the lumen method, is used the calculation of the average illuminance on the workplane in an interior. Important factors of the method are cavity ratio, coefficient of utilization, and light loss factor. A Coefficient of Utilization varies with a kind of luminaires and is affected by surface reflectance of space. For this, the data from Coefficient of Utilization computation were analyzed with the same lumens and different photometry. This paper analyzes the changes of Coefficients of Utilization on the photometry of luminaires and surface reflectance of space.

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

과거 단순히 빛을 밝히기만 하던 시대부터 기능적인 인공조명의 역할을 중요시 하는 근래에 이르기 까지 실내조명계획은 건축가, 인테리어 디자이너 그리고 전기설계자에 의해 미적인 측면 혹은 양적인 측면으로 한쪽에 치우쳐 계획되어왔다. 그러나 현재 모든 산업이 세분화되고 실내환경의 쾌적성을 추구하면서 실내조명 계획의 질적·미적·에너지절약적인 측면이 강조되고 있으며, 조명기구 제조사 및 조명디자이너의 역할이 확대되고 있다.

실내공간을 계획함에 있어, 조명계획은 매우 중요하다. 에너지 및 빛의 질적인 측면에서 주광을 이용하는 조명계획, 카페·레스토랑·침실 등 재실자의 심리적 측면을 고려하여 분위기 창출을 위한 조명계획, 그리고 사무실·도서관·공장 등 작업자의 안전 및 작업행위의 효율을 높이기 위한 조명계획은 현대 사회에서 필수 불가결한 요소이다.

세계의 각국은 실내조명계획 시 양적인 측면에서 일반적으로 공간 및 작업행위별 조도기준을 제시하고 있다. 이러한 조도를 예측하는 방법으로는 일반적으로 광속법(Lumen Method)과 해석적 방법인 광속전달법(Luminous Flux Transfer Method), 그리고 광선추적기법(Raytracing Method) 등이 있다. 이 중 실험을 근거로 한 광속법에는 삼배광법, 구역공간법(Zonal Cavity Method), 영국구역법(British Zonal Method),

독일의 LiTg법, 프랑스의 UTE법 그리고 국제조명위원회 계산법 등이 있다[1].

이러한 광속법은 일반적으로 조도기준을 기초로 실내 작업면에 균일한 조도를 얻기 위한 광원의 수량을 결정하는 것으로 조명기구의 배광, 방의 형상, 천장, 벽, 바닥의 반사율 그리고 광손실을 등을 고려하여 산정한다. 광속법 중 구역공간법은 공간비율(Cavity Ratio), 이용률(Coefficients of Utilization) 그리고 광손실율(Light Loss Factor) 등에 의하여 산정한다[2].

### 1.2 연구의 목적

본 연구는 광속법 중 현재 가장 널리 사용되는 구역공간법의 이용률이 천장, 벽, 바닥 반사율 및 조명기구의 배광특성에 따라 어떻게 변화하는지 산출하였다. 따라서 본 연구의 목적은 산출된 결과를 토대로 공간 반사율의 특성에 따른 적합한 조명기구 배광의 선정을 위한 이용률의 변화를 분석하는 것이다.

### 1.3 연구의 방법 및 절차

본 연구는 IES Handbook에서 제시하는 이용률의 산정식을 컴퓨터 프로그래밍 언어인 Visual Fortran 6.0 코딩하여 이용률 계산 소프트웨어를 만들었다[3]. 그리고 동일한 광원의 다른 배광을 지닌 조명기구를 선정하고, 천장, 벽, 바닥의 반사율을 달리하여 각 조명기구의 이용률을 산출하였다. 산출된 이용률을 공간의 반사율에 따라 분석하여 반사율 및 조명기구 배광특성

에 따른 적용가이드라인을 제시하였다. 다음 그림 1은 본 연구의 절차를 도식화한 것이다.

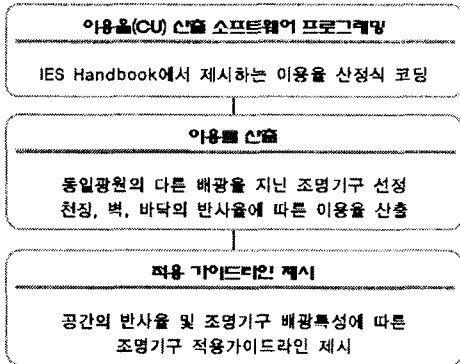


그림 1. 연구의 절차  
Fig. 1. Research procedure

## 2. 구역공간법(Zonal Cavity Method)

광속법(Lumen Method)은 실내공간의 작업면 평균 조도를 산출하는 데 사용된다. 광속법 중 구역광속법은 이용률과 광손실율을 고려하여 평균조도를 산출하고, 원하는 목표조도(일반적으로 조도기준)를 위한 조명기구의 수량을 산출하는데 사용된다. 다음 식 (1)과 (2)는 평균조도 및 조명기구 수량을 산출하는 식이다[2].

$$E_m = \frac{N \times n \times F \times CU \times LLF}{A} \quad (1)$$

$$N = \frac{E_m \times A}{n \times F \times CU \times LLF} \quad (2)$$

여기서,  $E_m$  = 목표조도  
 $N$  = 조명기구 수량  
 $n$  = 조명기구 광원의 수량  
 $F$  = 광원의 광속  
 $CU$  = 이용률  
 $LLF$  = 광손실

### 2.1 절차

#### (1) 이용률

구역공간법은 방을 세 개의 공간으로 나누고 이를 기준으로 조명기구의 배광분포, 방의 크기, 공간의 반사율에 영향을 받는 이용률을 산출한다. 세 개의 공간은 천장면에서부터 조명기구까지, 조명기구에서부터 작업면까지 그리고 작업면으로부터 바닥면까지로 나눈다. 그리고 천장공간과 바닥공간의 유효반사율을 각 공간 비율과 공간의 반사율을 기준으로 산출하여 조도계산을 수행한다.

#### (2) 공간비율(Cavity Ratio)

구역광속법에서는 방의 크기, 비율, 형상, 조명기구 및 작업면의 높이가 이용률에 영향을 주는 것을 천장 공간비율(CCR), 방공간비율(RCR), 바닥공간비율(FCR)로 나타낸다. 다음 식 (3)은 공간비율을 구하는 식이고, 그림 2는 구역공간법에서 분할하는 세 공간이다[2].

$$CR = \frac{5h(\text{cavity length} + \text{cavity width})}{\text{cavity length} \times \text{cavity width}} \quad (3)$$

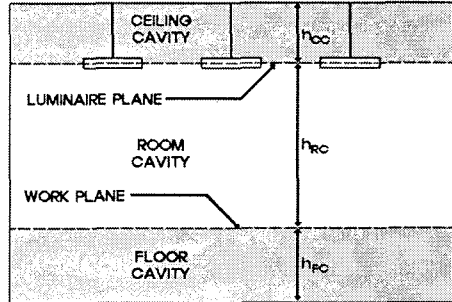


그림 2. 구역광속법에 사용되는 세 공간  
Fig. 2. The three cavities used in ZCM

#### (3) 유효 공간 반사율(Effective Cavity Ratio)

각기 다른 반사율을 가진 천장과 벽으로 구성된 천장 공간, 바닥과 벽으로 구성된 바닥공간의 유효 천장 공간 반사율( $\rho_{cc}$ )과 유효 바닥 공간 반사율( $\rho_{fc}$ )로 치환한다. 다음 식 (4)는 유효 공간 반사율을 산출하는 식이다[2].

$$\rho_{eff} = \frac{\rho_B \rho_W F \left( \frac{2A_B}{A_W} (1-F) - F \right) + \rho_B F^2 + \rho_W \frac{A_B}{A_W} (1-F)^2}{1 - \rho_B \rho_W \frac{A_B}{A_W} (1-F)^2 - \rho_W (1 - 2 \frac{A_B}{A_W} (1-F))} \quad (4)$$

여기서,  $A_B$  = 공간평면의 면적  
 $A_W$  = 공간벽면의 면적  
 $\rho_B$  = 공간천장 및 바닥의 반사율  
 $\rho_W$  = 공간벽면의 반사율  
 $F$  = 가상평면과 천장 및 바닥면의 Form Factor

#### (4) 광손실률(Light Loss Factor)

구역광속법의 광손실률은 실제 상황에 맞도록 보정하는 요소로서 회복 가능한 요소와 불가능한 요소로 분류된다. 회복 가능한 요소는 보수나 청소, 광원의 교체 등으로 회복할 수 있는 요소이고, 회복 불가능한 요소는 장치와 주변 환경에 의한 요소로 일반적인 보수 등에 의해 변화하지 않는 요인을 말한다. 다음 표 1은 광손실률의 회복 가능한 요소와 회복 불가능한 요소이다[2].

표 1. 광손실율의 회복 가능 요소와 불가능 요소  
Table 1. Light loss factor



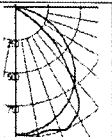







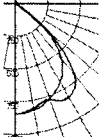
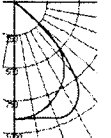


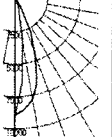

구분	내용
회복 가능 요소	-광원 광속의 감소요소(LLD) -조명기구의 먼지열화 요소(LDD) -실내면 먼지열화 요소(RSDD) -광원 수명 요소(LBO)
회복 불가능 요소	-조명기구 주위의 온도 요소 -열방출의 열적 요소 -공급전압 요소 -안정기 요소 -안정기와 광원의 광학적 요소 -장치 작동 요소 -광원의 위치 및 기울임 요소 -조명기구 표면열화 요소

### 3. 배광형태에 따른 이용률 비교

#### 3.1 조명기구 선정

본 연구는 동일한 광원을 사용하고 배광 형태가 다른 조명기구의 배광데이터를 이용하여 반사율에 따른 조명기구의 이용률을 비교하였다. 다음 표 2와 같이 동일한 형태의 서로 다른 배광을 지닌 형광램프 조명기구와 아크릴·루버 커버를 사용한 조명기구, 배광의 형태가 다른 루버형 형광램프 조명기구 그리고 배광이 다른 원형 PAR 램프 조명기구의 4가지 Type, 8가지 조명기구를 선정하였다[3]~[5].

표 2. 조명기구 선정  
Table 2. Selections of luminaires

Type	기구 이미지		배광형태	
A				
	광각	협각	광각	협각
광원 : FL 1x28W				
B				
	아크릴	루버	아크릴	루버
광원 : FL 1x32W				
C				
	루버 1	루버 2	루버1	루버2
광원 : FL 1x28W				
D				
	광각	협각	광각	협각
광원 : PAR 56 300W				

### 3.2 이용률 비교 분석

선정된 4가지 Type의 8개 조명기구의 IES 데이터를 Visual Fortran 6.0으로 코딩한 계산 프로그램에 입력하여 다음 표 3과 같이 이용률을 비교하였다. RCR이 작은 경우, 즉 조명기구의 발광면과 작업면의 거리가 짧은 경우에는 벽 반사율 보다 천장 반사율의 영향이 더 많이 받으며, RCR이 클수록 천장 반사율의 영향이 적어지며, 벽 반사율의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 특히, RCR이 0인 경우에는 벽 반사율에 관계없이 천장반사율에 따라 이용률에 변화가 발생하는데, 이는 RCR이 0인 경우에는 다음 식 (5)와 같이 벽 반사율에 관계없이 계산되기 때문이다[2].

$$CU_{RCR=0} = \frac{\Phi_{down} + \rho_{cc}\Phi_{up}}{1 - \rho_{cc}\rho_{fc}} \quad (5)$$

여기서,  $\Phi_{down}$ : 조명기구의 밑으로 발산되는 광속  
 $\Phi_{up}$ : 조명기구의 위로 발산되는 광속  
 $\rho_{cc}$ : 유효천장반사율  
 $\rho_{fc}$ : 유효바닥반사율

다음 표 4는 조명기구의 배광형태에 따른 이용률의 차이를 나타낸 것이다. 표 4와 같이 대체로 배광형태에 있어서 협각인 조명기구가 광각의 조명기구보다 이용률이 높은 경향을 보였다. RCR이 높아지면 이용률은 낮아져 반비례관계를 나타냈다. A와 D type은 벽의 반사율이 감소함에 따라 협각과 광각의 평균 이용률의 차이가 증가하였다. 그리고 천장 반사율의 감소에 따라서 협각과 광각의 이용률이 평균 1%로 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며, 벽 반사율에 따른 이용률의 차이는 평균 4~5%로 나타났다. 또한 RCR의 증가에 따라 협각과 광각의 이용률 차이는 비례관계를 나타냈는데, 이는 광각이 협각보다 RCR의 증가에 따른 이용률의 감소가 크게 나타남을 알 수 있다.

B type은 RCR의 증가에 따라 이용률의 감소차이가 크게 나타났다. 또한 RCR이 2이하일 경우에는 아크릴 조명기구의 이용률이 루버형 조명기구보다 높게 나타났으나 RCR이 3이상일 경우에는 루버형 조명기구의 이용률이 아크릴 조명기구보다 높게 나타나 이용률의 평균차이가 '- '값을 나타내었다. 천장 반사율의 감소에 따라 아크릴 조명기구와 루버형 조명기구의 이용률이 평균 8%로 나타났으며, 벽 반사율에 따른 이용률의 차이는 평균 17~29%로 다른 조명기구에 비해 큰 차이를 보였다. C type은 A, D type과 마찬가지로 RCR의 변화에 따른 이용률의 증감비율이 유사하게 나타났다. 그리고 천장 반사율의 감소에 따라 루버 1 조명기구와 루버 2 조명기구의 이용률이 평균 1%로 나타났으며, 벽 반사율에 따른 이용률의 차이는 평균 1%로 A, D type 보다 낮은 감소율을 보였다.



표 4. 배광형태에 따른 이용률의 차이  
Table 4. Difference of Coefficients of Utilization by Distribution

A Type												
천장	80				70				50			
벽	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	
0	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
1	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	
2	0.04	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	
3	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	
4	0.06	0.08	0.08	0.08	0.05	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	
5	0.07	0.08	0.10	0.09	0.07	0.08	0.10	0.11	0.08	0.09	0.09	
6	0.07	0.10	0.11	0.12	0.07	0.10	0.09	0.10	0.09	0.10	0.13	
7	0.09	0.11	0.12	0.14	0.08	0.09	0.10	0.14	0.11	0.13	0.14	
8	0.10	0.12	0.13	0.17	0.08	0.12	0.13	0.15	0.12	0.14	0.15	
9	0.10	0.13	0.14	0.16	0.10	0.11	0.15	0.16	0.11	0.15	0.16	
10	0.09	0.13	0.13	0.18	0.09	0.11	0.16	0.18	0.12	0.16	0.18	
ave	0.07	0.08	0.09	0.11	0.06	0.08	0.09	0.10	0.08	0.09	0.10	

B Type												
천장	80				70				50			
벽	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	
0	0.16	0.16	0.16	0.16	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12	0.12	0.12	
1	0.10	0.08	0.04	0.01	0.09	0.05	0.03	0.00	0.03	-0.02	-0.03	
2	0.07	0.01	-0.03	-0.07	0.06	0.00	-0.05	-0.11	-0.05	-0.09	-0.14	
3	0.04	-0.02	-0.10	-0.15	0.02	-0.05	-0.12	-0.20	-0.12	-0.17	-0.24	
4	0.02	-0.06	-0.16	-0.24	-0.02	-0.08	-0.16	-0.27	-0.15	-0.23	-0.34	
5	0.00	-0.11	-0.21	-0.27	-0.04	-0.14	-0.24	-0.31	-0.20	-0.29	-0.40	
6	-0.02	-0.12	-0.24	-0.36	-0.04	-0.15	-0.24	-0.36	-0.22	-0.32	-0.46	
7	-0.02	-0.16	-0.27	-0.40	-0.07	-0.17	-0.31	-0.42	-0.21	-0.32	-0.48	
8	-0.04	-0.15	-0.30	-0.41	-0.07	-0.27	-0.46	-0.62	-0.23	-0.36	-0.48	
9	-0.05	-0.16	-0.33	-0.45	-0.15	-0.30	-0.42	-0.63	-0.25	-0.41	-0.56	
10	-0.05	-0.21	-0.32	-0.44	-0.08	-0.18	-0.38	-0.53	-0.27	-0.45	-0.53	
ave	0.02	-0.07	-0.16	-0.24	-0.01	-0.10	-0.20	-0.30	-0.14	-0.23	-0.32	

C Type												
천장	80				70				50			
벽	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	
0	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	
1	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	
2	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	
3	0.03	0.05	0.06	0.05	0.05	0.07	0.06	0.05	0.05	0.06	0.07	
4	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.08	0.09	0.08	
5	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.08	
6	0.04	0.05	0.08	0.06	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.05	0.07	
7	0.07	0.08	0.06	0.04	0.05	0.05	0.09	0.07	0.08	0.09	0.08	
8	0.05	0.06	0.10	0.04	0.08	0.06	0.10	0.08	0.09	0.10	0.08	
9	0.06	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.10	0.11	0.06	
10	0.09	0.07	0.08	0.07	0.06	0.10	0.08	0.09	0.07	0.08	0.09	
ave	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	

D Type												
천장	80				70				50			
벽	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	
0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	
1	0.07	0.08	0.09	0.09	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	
2	0.10	0.10	0.10	0.11	0.09	0.10	0.10	0.11	0.10	0.10	0.12	
3	0.11	0.12	0.13	0.14	0.10	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	0.14	
4	0.12	0.14	0.14	0.16	0.12	0.14	0.14	0.16	0.14	0.15	0.16	
5	0.13	0.15	0.17	0.18	0.13	0.15	0.17	0.19	0.16	0.17	0.18	
6	0.15	0.17	0.19	0.19	0.15	0.17	0.19	0.21	0.17	0.19	0.21	
7	0.15	0.19	0.22	0.22	0.16	0.19	0.22	0.22	0.19	0.21	0.22	
8	0.18	0.20	0.22	0.24	0.18	0.21	0.22	0.25	0.22	0.23	0.24	
9	0.19	0.23	0.24	0.27	0.20	0.22	0.24	0.27	0.23	0.25	0.26	
10	0.21	0.24	0.25	0.28	0.21	0.23	0.25	0.28	0.25	0.27	0.27	
ave	0.13	0.15	0.16	0.18	0.13	0.15	0.16	0.18	0.16	0.17	0.18	

다음 그림 3은 동일한 RCR에서 벽의 반사율과 배광 형태의 차이에 따른 이용률 차이를 나타낸 것이다. A type은 광각과 협각의 이용률 차이가 약 4%~6%로 거의 균일한 차이를 보였다. 그리고 벽 반사율이 감소함

에 따라 광각과 협각의 이용률 차이가 증가하여 반비례관계를 보였으며, 천장반사율의 감소에 따른 이용률의 차이는 거의 나타나지 않았다. 선정된 조명기구 중 천장 반사율에 의한 차이는 거의 없는 반면에 B Type은 벽 반사율에 의한 이용률의 차이는 크게 나타났다. 벽 반사율이 낮아질수록 이용률은 급격하게 낮아졌는데, 그 차이는 약 15%로 나타났다. C type의 경우, A type보다 더욱 균일한 이용률의 차이를 나타내었다. 특히, 벽 반사율의 변화에 따른 이용률 차이는 거의 균일하게 나타났으며 천장 반사율의 감소에 따라 이용률 차이가 증가하여 반비례관계를 나타내었다. D type의 경우는 이용률의 평균 차이가 A type과 유사한 형태를 나타내고 있으나 이용률의 차이는 평균 18%로 가장 크게 나타났는데 천장보다 벽의 반사율 변화에 따라 이용률 차이가 크게 나타났다.

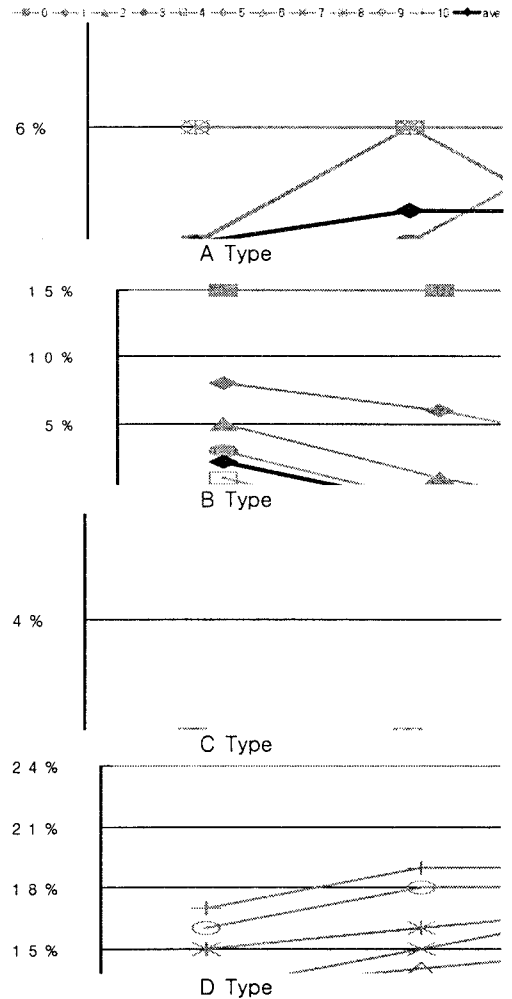


그림 3. 반사율에 따른 이용률의 차이  
Fig. 3. Difference of Coefficients of Utilization by Reflectance

### 3.3 소결

본 연구에서는 광속법을 이용하여 작업면 평균 조도를 산정할 때 이용되는 조명기구의 이용률을 공간의 반사율과 조명기구의 배광형태 차이에 따른 변화를 분석하였다. 크게 4가지 Type을 분류하고 각 Type별 동일광원의 배광형태가 서로 다른 2 종류의 조명기구를 선정하여, 천장 및 벽 반사율의 변화에 따른 조명기구 이용률을 비교분석하였다. 그 결과를 다음과 같이 정리하였다.

- ① RCR이 증가할수록 조명기구의 이용률은 감소하였으며, 더불어 천장 반사율보다 벽 반사율에 따른 이용률 변화가 크게 나타났다.
- ② RCR의 변화에 따른 조명기구의 이용률의 변화폭은 다음과 같이 나타났다.
  - A, D Type(동일한 조명기구 형태에서 배광형태가 다른 경우) : 최소 9% ~ 최대 76%
  - B, C Type(조명기구의 형태와 배광형태가 다른 조명기구) : 최소 36% ~ 최대 76%
- ③ 조명기구의 배광형태가 협각인 경우 광각의 조명기구보다 높은 이용률을 나타냈으며, 광각과 협각의 이용률 차이는 천장이나 벽 반사율의 변화에 따른 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.
- ④ 공간의 반사율과 배광형태의 차이에 따른 조명기구의 이용률의 차이는 다음과 같이 나타났다.
  - A, D Type : 벽 반사율이 감소함에 따라 배광형태에 따른 이용률의 차이가 증가를 나타냈으며, 천장 반사율의 변화에 따른 이용률 차이의 변화는 거의 없었다.
  - B Type : 벽 반사율이 감소함에 따라 배광형태에 따른 이용률의 차이는 급격한 감소를 보였다.
  - C Type : 천장, 벽 반사율의 변화에 따라 배광형태에 따른 이용률의 차이는 거의 나타나지 않았으며, 거의 균일하게 나타났다.

### 4. 결 론

본 연구의 결과와 같이 조명기구의 이용률은 조명기구의 배광형태나 벽 반사율보다 천장 반사율에 따른 변화가 적게 나타났다. 이는 선정된 조명기구의 배광형태가 모두 직접 조명기구로서 조명기구의 상향으로 발광하는 광속이 없기 때문인 것으로 사료된다. 그리고 본 연구의 결과와 같이 직접 조명기구의 이용률은 RCR에 따라 큰 변화를 보이기 때문에 광속법을 이용하여 작업면 평균 조도를 산정할 때에는 RCR에 따른 이용률의 고려가 중요한 요소로 작용한다는 것을 알

수 있었다.

본 연구는 공간의 반사율에 따라 조명기구의 배광형태가 이용률에 미치는 영향을 비교하였다. 이러한 결과로 실내조명계획 시 조명기구를 선정함에 있어 공간의 반사율을 고려한 조명기구의 배광형태를 선정하는 기준으로 이용률을 이용할 수 있을 것이다. 본 연구는 직부등을 기준으로 이용률을 비교하였으나, 향후에는 펜던트 및 간접조명기구를 비교하여 연구 결과의 활용범위를 넓혀야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구의 저자의 일부는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았음.

### 참 고 문 헌

- (1) 최홍규 외 7, 조명설비 및 설계, 성인당, 2006
- (2) IESNA Lighting Handbook, Ninth Edition, Illuminating Engineering Society of North America, 1993
- (3) Visual Fortran 6.0 manual
- (4) www.lithonia.com
- (5) www.zumtobel.us
- (6) www.erco.com