

보수율을 고려한 조명시스템의 경제성 평가

(The Economics Evaluation of Lighting System Considering Maintenance Factor)

심상만·김기훈·황남극·김훈

(Sang-Man Shim · Gi-Hoon Kim · Nam-Keuk Hwang · Hoon Kim)

요 약

조명시스템의 경제성에 크게 영향을 주는 요소들을 보면 초기 설비비, 보수비, 전기요금 등이 있다. 이 중에서 보수비는 램프 교환비, 램프교환 인건비, 청소비로 구성되어 있으므로 보수계획에 따라서 조명시스템의 경제성이 다르게 나타난다. 따라서 설계초기에 어떠한 조명시스템이 경제적으로 유리한가를 예측하는 것은 중요하다. 그러므로 본 연구에서는 국내에서 평균조도를 제산하는데 사용되는 ZCM에서의 보수율 구성 요소들을 변화시켜 보수율을 값을 산정한 후 조명시스템의 경제성 평가 위해 개발한 WEELS(Worksheet for Economics Evaluation of Lighting Systems)에 적용하여 조명시스템에서 보수율의 중요성을 보였다.

1. 서 론

최근 조명시설의 대형화나 문화수준 향상에 따른 조명시설의 고급화로 보다 정확한 경제성 평가가 요구되고 있다. 경제성을 평가하는 방법에는 비용/편익 분석을 통하여 평가하는 방법과 여러 대안의 비교분석을 통해 평가하는 방법이 있다[1,2]. 전자는 일반적인 경제성 분석의 방법으로 편익의 계량이 매우 어렵고, 후자는 비용을 중심으로 하기 때문에 상대적으로 용이하여 많이 채택된다.

대안의 비교분석법들 중에는 모든 자금 흐름을 일정한 시점의 동일한 가치로 환산한 후 최선안을 선정하는 방법으로 현재 등가 비교법과 연차지불등가 비교법이 있다[3]. 그리고 수익률 분석법, 자본 회수기간법, 비감 분석법 등이 있다. 여기서는 현재 등가 비교법과 연차지불등가 비교법을 이용하였다. 조명시스템의 경제성에 크게 영향을 주는 요소들을 보면 초기 설비비, 보수비, 전기요금 등이 있는데 이 중에서 보수비는 램프 교환비, 램프교환 인건비, 청소비로 구성되어 있다. 그러므로 보수비는 보수계획에 따라서 조명시스템의 경제성이 다르게 나타난다. 특히 보수비중에서도 조명시스템의 청소 주기는 초기비용의 감소와 에너지 절감의 두 가지 효과가 있다[5,6]. 따라서 설계초기에 어떠한 조명시스템이 경제적으로 유리한가를 예측하는 것은 중요하다. 그리고 이러한 평가를 통해 선정된 조명시스템은 운용시 적절한 보수가 이루어지지 않으면 처음에 기대했던 조명 환경을 유지할 수 없으므로 보수율에 대한 설계자는 상세한 계획 과 사용자는 확실한 실행이 필요하다. 그러나 유지 및 보수를 적극적으로 하면 보수율이 큰 값이

되어 초기 설비비와 전력비는 싸게 되지만 오히려 유지 및 보수비가 크기 때문에 전체 조명시스템에 투자되는 비용은 증가하게 되므로 보수율에 대한 경제성 평가가 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 국내 조명설계시 평균조도 계산법으로 사용되는 ZCM에서 광손실률에 영향을 주는 요소들을 변화시켜 광손실률을 산출한 다음 조명시스템의 경제성 평가를 위해 개발된 WEELS(Worksheet for Economics Evaluation of Lighting Systems)에 적용하여 보수율에 대한 경제성 평가를 다음과 같이 수행하였다.

2. 광손실률 계산

조도계산시 사용되는 보수율은 조명시설을 어느 기간 동안 사용한 후 작업면 상의 평균조도와 초기조도의 비율 의미하며 조명설비를 시설한 초기의 조도는 시간이 경과함에 따라 점차 감소한다. 그것은 광원의 자체의 특성에 따른 광속 감소와 광원 및 조명기구가 대기환경으로 인한 먼지에 의하여 오염되기 때문이다. 따라서 처음 기대했던 조명환경을 유지하려면 광속 감소시의 광원을 교환하고 조명기구의 청소를 통하여 유지할 수 있다. 그러나 광원의 교환시기와 청소주기는 조명시스템의 경제성에 영향을 준다. 그러므로 본 연구에서는 조명시스템의 보수율에 대한 경제성을 평가하기 위해 국내에서 평균조도 계산법으로 사용되는 3배광법과 ZCM 중에서 정확도가 3배광법 보다 높게 평가되고 있는 ZCM의 광손실률을 스프레드시트를 이용하여 간편히 구할 수 있는 도구를 개발하였다.

기존에 광손실률을 계산하는 방법은 광손실률에 관련된 여러 요소들의 값을 구하는데 있어서 제조자가 제공하는 값을 데이터나 주어진 도표를 이용하여 구한 다음 수식에 적용하는 등 여러 단계를 거쳐서 계산하는 복잡함이 있었다. 그러나 여기서는 개발된 도구는 광손실률에 관련된 요소들의 데이터만 입력시키면 간단히 구해 지도록 구성하였다. 그리고 이러한 방법으로 구한 값을 WEELS에 적용하여 조명시스템에서의 보수율에 대한 경제성 평가를 실시하였다.

2.1 광손실률 계산 구성

광손실률 계산 구성은 광손실률 구성요소 중에서 회복 불가능 요소들은 배제하고 회복 가능 요소들인 ① 램프 광출력 감소 요인(LLD), ② 조명기구 먼지열화 요인(LDD), ③ 실내면 먼지열화 요인(RSDD), ④ 램프수명 요인(LBO)들을 고려하여 산출하였다.

2.2 광손실률 계산 흐름도

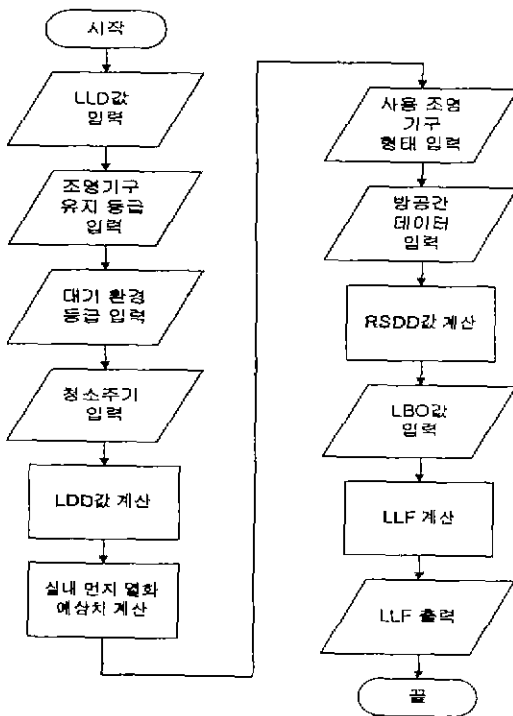


그림 21 광손실률의 계산 흐름도
Fig. 2.1 Calculation Flowchart about Lighting Loss Factor

2.3 광손실률 계산 프로그램의 형태

표 2.1 LLF 계산 프로그램
Table 2.1 The Program of LLF Calculation

1. 램프광출력의 감소요인을 입력한다.
 - (1) 제조자가 제공하는 도표에서 얻을 수 있다.
 - (2) 북미 조명학회에서 형광램프 38mm 40W의 경우 0.82, 형광램프 26mm 32W의 경우 0.88을 사용한다.
(국내의 제품에 대해서는 제공되는 데이터가 없으므로 상기값을 참고한다.)
2. 조명기구 먼지열화 요인의 계산을 위한 데이터를 입력한다.
 - (1) 조명기구 유지등급 분류 표에 의한 등급을 결정하여 입력한다.
(조명기구 유지등급의 종류 : 1, 2, 3, 4, 5, 6)
 - (2) 조명기구를 사용하는 대기환경 등급을 분류 표에 의해서 결정하여 등급을 입력한다.
(대기 환경의 5등급 : 매우 청결, 청결, 중간, 불결, 매우 부결)
 - (3) 청소 주기를 개월 단위로 입력 한다.
3. 실내면 먼지열화 요인의 계산을 위한 데이터를 입력한다.
 - (1) 앞에서 결정된 대기 환경 등급 및 청소 주기에 따라 실내면의 먼지 열화예상치가 결정된다.
 - (2) 사용되는 조명기구의 형태를 결정하여 입력한다.
(조명기구 형태의 종류: 직접, 반직접, 직접-간접, 반간접, 간접)
 - (3) 방공간 비율을 결정하기 위한 공간의 길이의 폭, 조명기구의 취부 높이를 m단위로 입력한다.
 - ① 공간의 길이 입력
 - ② 공간의 폭 입력
 - ③ 조명기구의 취부 높이 입력
 - ④ 공간비율 출력
4. 램프 수명 요인 값 입력
개별 교환 방식을 선택하는 것으로 하여 1을 입력한다.
5. 광 손실율을 계산한다.
 - (1) LLD의 출력
 - (2) LDD의 출력
 - (3) RSDD값의 출력
 - (4) LBO값의 출력
 - (5) LLF값의 계산
6. LLF 값이 출력된다.

3. 조명시스템의 보수율에 대한 경제성 평가 예

일반적인 사무실의 폭이 12m이고 길이가 18m, 등기구 취부 높이가 2.8m인 조명공간에서 조도 400lx를 유지하기 위해 매입 하면 개방형 직접식 2등용 형광등기구로써 그림 3.1과 그림 3.2와 같은 하부 케이스가 있는 것과 없는 것을 사용한 조명시스템에서 광원은 형광램프 26mm 32W를 사용하고, 광원의 교환사기를 램프의 정격수명의 70%로 하며, 주위환경은 청결과 더러움, 두 가지로 하여 보수율에 대한 경제성 평가를 다음과 같이 하였다.

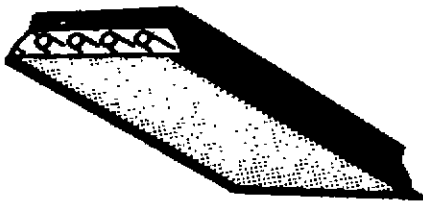


그림 3.1 하부 케이스가 있는 조명기구의 형태
Fig. 3.1 The Type of a Covered Luminaire

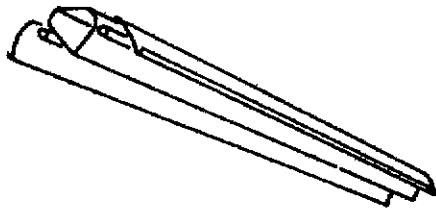


그림 3.2 하부 케이스가 없는 조명기구의 형태
Fig. 3.2 The Type of an Uncovered Luminaire

3.1 대기환경, 조명기구 유지등급, 청소주기에 따른 보수율의 경제성 평가

대기환경과 조명기구 유지등급 그리고 청소주기에 대한 보수율의 경제성을 평가하기 위해서는 먼저 LLF값을 계산하고, 이 값의 변화에 따른 조명기구의 수를 구하며 이에 따른 조명비를 산출하여 경제성을 평가하여야 하는데 '이러한 방법으로 구한 것이 표 3.1이다.

표 3.1 대기환경, 조명기구 유지등급, 청소주기에 따른 연간 조명비

Table 3.1 The Annual Lighting Cost According to Atmosphere Environment, Maintenance Class of Luminaires, Cleaning Cycle

주 위 환 경	기구 유지 등급	LLF	청 소 주 기							
			6개 월		1년		2년			
			6개 월	1년	6개 월	2년	6개 월	3년		
청 결	케 이 스 부 착	LLF	0.826	0.802	0.781	0.763	0.75	0.738		
		기구 수	28	29	29	30	30	31		
		조 명 비 ~ 보 수 비	298	180	140	115	113	105		
		운 전 비	831	859	880	912	916	931		
		계	1,129	1,039	1,020	1,027	1,029	1,036		
		LLF	0.791	0.754	0.728	0.704	0.687	0.671		
	케 이 스 부 착	기구 수	30	32	34	35	36	38		
		조 명 비 ~ 보 수 비	599	375	263	258	239	221		
		운 전 비	1,693	1,763	1,887	1,905	1,966	1,996		
		계	2,292	2,138	2,150	2,163	2,205	2,217		
		불 결	케 이 스 부 착	LLF	0.771	0.727	0.687	0.659	0.634	0.611
				기구 수	56	59	61	63	65	66
조 명 비 ~ 보 수 비	325			201	165	147	133	130		
운 전 비	907			968	1,028	1,058	1,089	1,150		
계	1,232			1,169	1,193	1,205	1,222	1,280		
LLF	0.714			0.656	0.61	0.576	0.548	0.523		
케 이 스 부 착	기구 수		62	68	73	77	81	85		
	조 명 비 ~ 보 수 비		667	429	354	314	297	284		
	운 전 비		1,875	2,057	2,208	2,329	2,450	2,570		
	계		2,442	2,516	2,562	2,643	2,747	2,854		

표 3.1에서 LLF의 경우 조명기구의 종류와 주위환경 그리고 청소주기를 변화시킴에 따라서 값이 각각 다르게 나타나는데, 이것은 여러 요소들 중에서 조명기구 먼지열화 요인에 의한 것이다. 여기서 청소 주기를 6개월 단축시 LLF값을 보면 주위 환경이 청결하고 조명기구 케이스가 부착되지 않은 조명시스템이 최대 2.4% 정도 주위 환경이 불결하고 조명기구 케이스가 부착된 조명시스템의 경우는 최대 5.8% 정도 개선됨을 알 수 있다. 따라서 동일한 조명환경과 같은 종류의 조명기구를 사용한 시스템에서 청소주기가 짧을수록 그리고 조명기구 케이스가 부착되지 않은 시스템이 LLF가 높게 나타났으며 청결한 환경보다는 불결한 환경에서 LLF의 개선효과가 더욱 크게 나타났다. 그리고 LLF에 따른 조명기구 수를 보면 청소주기를 줄임으로써 조명기구의 수를 줄여도 같은 공간에서 동일한 조도를 유지할 수 있다. 이것은 청소를 자주 하면 먼지에 의한 조명기구의 효율 감소를 막을 수 있기 때문이며 청소주기의 단축효과는 청결한 환경보다는 더러운 환경에서 더욱 크고 케이스가 없는 조명기구보다 있는 것이 더욱 크게 나타났다. 그러나 청소주기 단축하면 효율은 증가하나 경제적인 문제가 대두된다. 그러므로 적절하고 경제적인 조명시스템을 운용하기 위해 청소주기의 변화에 따른 조명설계 초기의 조명기구의 수 선정과 조명시스템의 운용시 유지보수비에 대한 영향을 고려하여야 한다. 그러므로 보수율에 따른 연간조명비의 경우를 보면 청소주기에 따라 매년 지불되는 조명비용이 각각 다를 수 있는데 환경이 청결하고 하부 케이스가 없는 조명시스템의 경우 그림 3.3과 같이 청소주기가 1년 6개월, 환경이 청결하고 하부 케이스가 있는 조명시스템의 경우 그림 3.4와 같이 1년, 환경이 불결하고 하부 케이스가 없는 조명시스템의 경우는 1년, 환경이 불결하고 하부 케이스가 있는 조명시스템의 경우는 그림 3.4와 같이 6개월 정도에서 각각 연간 조명비가 적게 나타나는 것으로 보아 환경이 더러운 곳과 하부 케이스가 부착된 조명시스템에서는 청소주기를 짧게 하여 보수하는 것이 경제적인임을 알 수 있다.

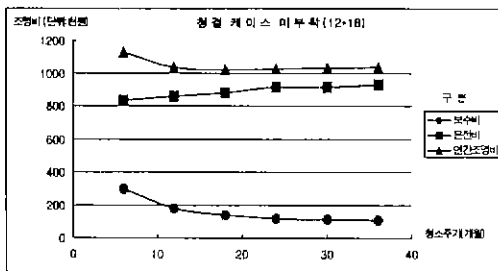


그림 3.3 대기환경이 청결하고 케이스가 부착되지 않은 조명시스템
Fig. 3.3 An Uncovered Lighting System in Clean Atmospheric Environment

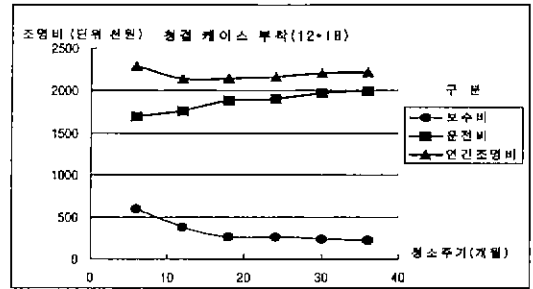


그림 3.4 대기환경이 청결하고 케이스가 부착된 조명시스템
Fig. 3.4 A Covered Lighting System in Clean Atmosphere Environment

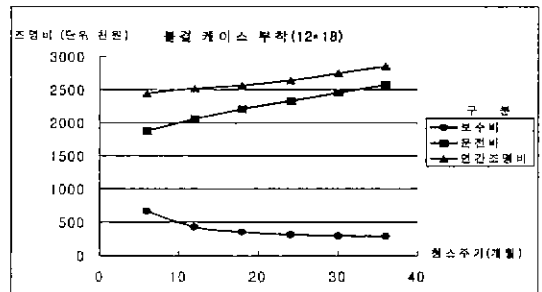


그림 3.5 대기환경이 불결하고 케이스가 부착된 조명시스템
Fig. 3.5 A Covered Lighting System in Dirty Atmosphere Environment

3.2 조명기구 형태에 따른 보수율의 경제성 평가

일반적인 사무실에서의 폭이 12m, 길이가 20m, 조명기구 취부 높이가 3m이고, 시설공간의 조도가 400lx인 조명시스템에서 광원은 형광램프 26mm 32W를 사용하고 조명기구 유지등급과 대기환경 그리고 청소주기 변화에 따른 직접과 간접식 조명기구의 LLF 값을 구하고 이에 따른 연간 조명비를 산정하여 표 3.2에 보였다.

표 3.2에서 연간 조명비의 경우 대기환경, 조명기구 유지등급이 동일하고, 같은 평균조도 400lx를 유지하는데 청소주기에 따른 경제성을 보면, 주위환경이 청결하고 케이스가 부착되지 않은 직접식 조명시스템은 1년 6개월, 간접식 조명시스템은 6개월에서 경제적인 것으로 나타났다. 그리고 주위환경이 불결하고 케이스가 부착되지 않은 직접식 조명시스템에서 1년 정도, 간접식 조명시스템은 6개월 정도에서 경제적인 것으로 보아 조명기구의 형태와 주위환경 그리고 청소주기에 따라 경제성이 다르다는 것을 알 수 있다. 또 간접식 조명시스템의 경우는 주위환경과 청소주기를 변화시켜도 6개월

정도에서 모두 경제적인 것으로 나타나므로 직접식 조명시스템보다 청소주기를 짧게 하는 것이 경제적인을 알 수 있다.

표 3.2 조명기구 형태에 따른 직접과 간접식 조명시스템의 연간 조명비
Table 3.2 Annual Cost of Direct and Indirect Lighting System Based on its Type

구 분			청 소 주 기					
			6개월	1년	1년 6개월	2년	2년 6개월	3년
청결 케이스	직접	조명비 (천원)	1,666	1,602	1,587	1,598	1,622	1,646
		LLF	0.832	0.806	0.776	0.758	0.741	0.726
미부착	간접	조명비 (천원)	3,694	3,720	3,778	3,879	4,008	4,127
		LLF	0.777	0.711	0.68	0.653	0.627	0.605
청결 케이스	직접	조명비 (천원)	1,743	1,673	1,695	1,723	1,761	1,766
		LLF	0.788	0.755	0.725	0.703	0.682	0.667
부착	간접	조명비 (천원)	3,897	3,978	4,048	4,184	4,353	4,485
		LLF	0.736	0.665	0.635	0.606	0.577	0.556
불결 케이스	직접	조명비 (천원)	1,781	1,754	1,784	1,830	1,877	1,923
		LLF	0.771	0.721	0.69	0.661	0.641	0.621
미부착	간접	조명비 (천원)	4,319	4,544	4,825	5,147	5,472	5,749
		LLF	0.664	0.582	0.533	0.492	0.459	0.434
불결 케이스	직접	조명비 (천원)	1,951	1,987	2,024	2,063	2,150	2,209
		LLF	0.703	0.637	0.607	0.587	0.559	0.54
부착	간접	조명비 (천원)	4,735	5,146	5,493	5,796	6,278	6,623
		LLF	0.606	0.514	0.468	0.437	0.4	0.377

3.3 사무실크기 변화에 따른 보수율의경제성 평가

일반적인 사무실 조명시스템에서 동일한 조도를 유지 하면서 사무실 크기를 변화시켜 청소주기에 따른 연간 조명비를 보면 주위환경이 청결하고 하부 케이스가 없는 직접식 조명시스템의 경우 표 3.3에서 청소주기가 1년, 주위환경이 불결하고 케이스가 부착되지 않은 간접식 조명시스템의 경우는 표 3.4에서 6개월 정도에서 경제적인 것으로 나타났다. 그러나 이것은 두 시스템 모두 램프의 교환을 개별 교환방식을 선택한 경우이므로, 교환방식을 달리하여 집단교환이나 개별집단 교환방식을 선택하면 경제성은 달라질 것이다.

표 3.3 직접식 조명시스템의 방 크기와 청소주기 변화에 따른 연간 조명비 (단위:천원)
Table 3.3 Annual Cost Based on Room Size and Cleaning Cycle of Direct Lighting System

구 분	청 소 주 기					
	6개월	1년	1년 6개월	2년	2년 6개월	3년
2m×60m	1,397	1,329	1,341	1,356	1,373	1,393
8m×60m	3,770	3,589	3,626	3,661	3,705	3,765
12m×48m	4,390	4,175	4,220	4,256	4,315	4,380
12m×60m	5,404	5,146	5,198	5,244	5,318	5,920
12m×96m	8,583	8,174	8,249	8,324	8,438	8,560
24m×168m	29,809	23,379	28,649	28,908	29,312	29,740

표 3.4 간접식 조명시스템의 방 크기와 청소주기 변화에 따른 연간 조명비 (단위:천원)
Table 3.4 Annual Cost Based on Room Size and Cleaning Cycle of Indirect Lighting System

구 분	청 소 주 기					
	6개월	1년	1년 6개월	2년	2년 6개월	3년
2m×60m	4,768	5,015	5,326	5,685	6,038	6,351
8m×60m	9,081	9,554	10,141	10,827	11,500	12,091
12m×48m	9,794	10,307	10,937	11,680	12,407	13,045
12m×60m	12,079	12,713	13,492	14,406	15,306	16,089
12m×96m	19,029	20,023	21,249	22,691	24,104	25,340
24m×168m	66,075	69,532	73,791	78,788	83,706	88,006

4. 결 론

국내 조명설계시 사용되는 평균조도계산법 중에서 ZCM을 이용하여 일반적인 사무실 조명시스템에서의 LLF에 영향을 주는 요소들을 변화시켜 보수율에 대한 경제성을 비교 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 조명기구의 종류, 주위환경, 청소주기에 따른 조명시스템의 경제성 평가는 청소주기를 단축할 경우 청결한 환경보다는 더러운 환경에서 조명기구 케이스가 없는 것보다는 있는 것이 보수율의 효과가 크게 나타났다. 그러므로 청소주기에 따른 경제성은 조명기구의 형태와 설치환경에 따라 각각 다르게 나타나기 때문에 보수율에 대한 경제성을 평가한 후 경제적인 청소주기를 선택하여 실시하여야 한다.

(2) 일반적인 사무실 조명시스템에서 조명기구 형태와 환경이 동일한 경우 램프를 개별 교환방식으로 하고, 사무실의 크기 변화에 의한 경제적인 청소주기는 모두 동일하게 나타났다. 그러나 램프의 교환방식을 다르게 실시할 경우 경제성은 달라질 것으로 본다.

이상과 같은 결과들을 볼 때 보수율은 주위환경과 조명기구의 종류 그리고 청소주기에 따라서 다르게 나타나므로 보다 보수율을 정확히 산정한 후 보수율에 따른 경제성 평가를 통하여 조명시스템을 구성하여야 하고 조명시스템에 대한 경제성은 조명설계과정에서 결정되므로 조도계산법과 보수율을 결정하는 방법을 표준화하여, 설계자는 상세한 계획 그리고 사용자는 확실한 실행으로 경제적인 조명시스템을 이룰 수 있다고 본다.

참 고 문 헌

- [1] 李相鎔, "經濟性工學", 螢雪出版社, pp. 9~12, 1997. 11.
- [2] 朴景洙, "Microcomputer 時代의 經濟性工學", 究冕社, pp. 103~145, 1987.
- [3] 金弘培, "費用便益分析論", 弘文社, pp. 3~5, 2000.
- [4] 池哲根, "照明原論", 文運堂, 1999.
- [5] IESNA, "Lighting Handbook, 8th ed.", IESNA, New York, 1993.
- [6] 日本照明學會, "Lighting Handbook", オーム社, 1987.