기술해설

조명기구에서의 에너지 절감과 효율표시 방안

김 훈(강원대학교 공과대학 전기공학과 교수)

근래 에너지 절감 문제는 단순히 에너지를 아끼자는 차원만이 아니라, 환경의 문제와 긴밀히 연결되어 있다. 더욱 문제가 되는 것은 기후변화협약 등의 국제 협약을 통하여, 에너지와 환경의 문제를 국제 통상과 산업의 문제로 취급하는 국제 추세이다. 에너지 절감의 과제를 소홀히 취급한다면, 수출을 위주로 성장하여 온 한국 경제는 금융위기로 촉발된 위기 이상의 큰 난관을 맞이할 수도 있는 것이다.

조명시스템은 인간생활에 가장 밀접한 기술적 요소로서 전기에너지 사용의 비중이 큰 편에 속하므로, 각국의 에너지 절감 프로젝트에서 시범적인 사업의 위치를 차지하고 있으며[1], 이는 우리 나라에서도 예외가 아니다. 그러나 조명에너지 절감을 위한 각 과제들이 전반적인 관점에서 체계적으로 구성되고 수행되고 있는지를 점검할 필요가 있으며, 이 과제는 에너지자원 기술개발 지원센터의 의뢰로 한국 조명전기설비학회가 현재 수행중이다.

1. 조명기구와 에너지 절감

조명시스템을 구성하는 요소는 제품에 따라 광원, 안정기, 그리고 조명기구로 나눌 수 있다. 광원과 안정기는 그 용도와 성능이 상대적으로 명확하게 규정되어 있으며, 그 종류는 조명기구에 비하여 비교적 제한되어 있는 편이다. 광원의 성능을 나타내는 지표로는 입력전력, 광속, 발광효율과 함께 색온도, 연색성, 크기, 수명, 동작온도, 인가전압 등을 생각할 수 있으며, 이 지표들은 모두 명확하게 규정하고 측정할 수 있다. 안정기도 마찬가지로 효율, 고조파, 전자파 장해 등의 전기적 양과 함께 크기, 온도특성 등으로 특성이 명확하게 규정된다.

조명기구는 조명시스템 중에서 실질적인 조명 효과를 지배하는 가장 중요한 요소로서 전기적 기능, 기계적 기능, 광학적 기능을 수행한다. 조명기구의 가장 중요한 기능은 광학적 기능으로서 이를 통하여 조명의 전반적인 효과와 성능을 좌우하는 것이다.

조명기구의 성능 평가에는 질적인 측면의 고려가 반드시 필요하며, 이는 일반적으로 조명의 균제도, 실내 각 면의 밝기, 연직면 조도, 글레어, 분위기 등을 말하는 것으로 인식되어 있다. 그러나 이러한 질적인 지표를 상승시키기 위하여 루버나 프리즘 등을 이용하는 경우 일반적으로 조명기구의 효율은 저하한다. 또한 실내 전반의 분위기나 거주자의 심리적인 반응 등 질적인 특성을 나타내는 객관적이고 보편적인 평가 지표가 제시되지 못하고 있다는 것도 문제이다.

이에 따라 조명시스템에서의 에너지 효율 상승을 위한 각종 개발 및 투자는 평가가 쉽고 종류가 제한되어 있는 광원과 안정기의 개발에 치중되어 있는 형편이다. 조명기구는 그 종류가 거의 무한히 많고

그 양적 질적 성능을 평가하는 것이 어려우며, 이에 따라 개발 목표 및 수준 설정도 어려워서 상대적으로 개발이 등한시되어 왔다. 더불어 조명기구의 개발을 주로 디자인 측면에서만 취급해왔던 기존의 인식도 에너지 절감과 관련된 조명기구의 개발을 등한시하게 된 한 원인이라 할 수 있다.

조명기구에서의 효율 향상 수단으로 제시되고 있는 거울면 반사판－일명 고조도 반사판－의 사용도 적절한 기술적 설계가 등한시됨으로서 최대의 에너지 절감 효과를 얻지 못하고 있는 것으로 평가된다. 실제로 거울면 반사판의 반사율은 기존 사용되는 에나멜 소부도장 반사판에 비하여 크게 높지 않다. 거울면 반사판의 성능은 반사판의 형상을 조절하며 빛이 필요한 방향으로 최대한의 빛을 보내주는 배광을 갖도록 할 수 있어야만 최적의 성능을 발휘하는 것이라 할 것이다.

해외에서는 조명기구 자체의 효율을 향상시키는 연구와 함께 조명기구의 효율을 등급별로 표시함으로서 에너지 절감을 도모하는 노력이 매우 활발하며, 그 효과도 오히려 램프나 안정기의 고효율화보다도 높은 것으로 평가되고 있다. 이 해설에서는 조명기구와 관련하여, 효율 표시 및 보수율의 평가 등을 통하여 에너지 절감을 도모하는 몇 가지 방식들을 소개하고자 한다.

특정 조명시스템에서의 에너지 사용량은 설계 단계에서 이미 결정되며, 실내조명에서 조명의 양적인 지표를 달성하기 위해서 사용되는 조명기구의 수는 다음 식으로 결정된다.

$$\text{조도 } E=\frac{\text{램프개수 N}\times\text{램프광속 }\Phi\times\text{조명률 U}\times\text{보수율 M}}{\text{작업면 면적 A}}$$

위의 식에서 조명기구와 관계되는 값은 조명률 U와 보수율 M이다. 조명률과 보수율이 높아지면 특정 조도를 달성하는데 필요한 램프의 개수가 적어지고, 에너지의 사용량이 줄어들게 된다. 이는 산술적으로 램프와 안정기의 효율을 향상시키는 것과 동일한 효과를 가진다.

주어진 환경에서 조명률은 조명기구의 배광에 의해 결정된다. 그러나 조명률은 방의 크기와 반사율과 같이 조절하기 어려운 요소들에 의하여 영향을 받으므로 그 수준을 일반화하기 어렵다. 조명기구의 성능을 나타내는 지표로서 쉽게 이해되는 기구효율은 측정과 등급화가 쉬우나, 그 값이 높다고 해서 반드시 조명률이 따라서 높아지는 것은 아니라는 점에 유의하여야 한다.

보수율은 조명기구 외에도 다른 많은 요소들이 관계하며, 조명기구는 먼지 등에 의해 효율이 저하되는 것이 보수율을 저하시킨다. 따라서 적절한 청소 간격을 설정함으로서 보수율을 상승시킬 수 있다.

2. 미국의 Voluntary Luminaire Efficacy Program

1992년 미국 연방의회를 통과한 EPACT(Energy Policy Act)는 여러 에너지 소비 분야에서의 에너지 절감과 관련된 정책, 규제, 자발적 노력들에 대하여 규정하고 있으며, 조명분야에도 획기적인 각종 정책이 포함되어 있다. 정책 중의 하나는 조명기구 제조자 및 관련자들에게 자발적인 조명기구 시험 및 표시제도를 만들도록 규정하고 있다[2]. 정부의 DoE(에너지부)는 제도의 성립을 위한 재정적, 기술적 지원을 하고 만들어진 제도에 대하여 EPACT 규정과의 합치여부를 위주로 정기적인 평가와 승인을 수행한다.

이에 따라 NLC(National Lighting Collaborative)가 결성되었으며, 이는 NEMA, ALA, 제조업자, 설계자, 에너지 절약 전문가, 정부 대표, 연구소, 대학, 전력회사 대표들로 구성되어 있다.

NLC에서는 NEMA에서 개발한 조명기구의 효율 평가지표인 Luminaire Efficacy Ratıng(LER)을 조명기구의 성능을 나타내는 지표로 채택하였다. LER은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{LER}=\frac{\text{기구효율}\times\text{내장램프 전체의 정격광속}\times\text{안정기율}}{\text{조명기구 입력전력}}$$

LER의 측정방법은 NEMA의 Standard LE5로 규정되어 있다. 단위는 [lm/W]로서 램프, 안정기, 조명기구 전체를 포함한 "조명시스템의 발광효율"

이라는 의미를 갖고 있어 의미가 단순하고 명확하다. 또한 단순한 값으로서 표시가 간편하며 기구만이 아니라 시스템 전체(광원과 안정기 포함)의 효율을 나타내므로 조명기구의 효율이 낮을 경우 고효율 램프나 안정기를 사용하여 값을 상승시킬 수 있어 조명시스템 전체의 성능 향상이 쉽다는 장점이 있다.

NLC는 우선 표 1과 같은 종류의 조명기구에 LER을 측정 표시하도록 권장하고 있다. 이들 기구는 상업용, 산업용의 일반적 형광등기구로서 전체 형광등기구 판매량의 80[%]를 차지한다. 장차 적용대상기구의 추가가 예정되어 있으며, 우선적으로 2ft×2ft, 1ft×4ft 기구가 검토되고 있다. LER 값은 동일 종류의 조명기구 사이에서만 비교될 수 있으며, 다른 종류의 조명기구에서 LER비교는 의미가 없다.

이와 같이 적용대상 조명기구를 제한한 것은 질적인 수준이 각 제품별로 유사하게 안정되어 있고, 대량으로 생산 사용되는 조명기구에 대하여 우선적으로 적용하여 에너지 절감만을 고려함으로 해서 조명의 질적 수준이 낮아지는 일이 없도록 하기 위해서이다. 질적 측면의 고려도 할 수 있도록 하기 위한 지표의 개발은 IALD와 IESNA 의 연구 과제로 주어져 수행되고 있다.

표 1. LER 표시가 권장되는 조명기구

조명기구 형식(약자)	램프 수 및 길이	설 명
2' x 4' Lensed Troffers(FL)	2 lamps, 1220 mm (4 foot) 3 lamps, 1220 mm (4 foot) 4 lamps, 1220 mm (4 foot)	하면에 프리즘 렌즈를 사용한 40W 형광램프용 매입 조명기구
2' x 4' Parabolic Troffers(FP)	2 lamps, 1220 mm (4 foot) 3 lamps, 1220 mm (4 foot) 4 lamps, 1220 mm (4 foot)	하면에 파라볼릭 루버를 사용한 40W 형광램프용 매입 조명기구
Wraparound (FW)	2 lamps, 1220 mm (4 foot) 4 lamps, 1220 mm (4 foot)	유백색 아크릴 커버로 둘러 싼 천장 직부형 기구
Strip(FS)	1 lamp 2 lamps	천장 직부형의 램프 노출형 기구
Industrial (FI)	2 lamps	하면 개방형의 매어달기형 또는 직부기구로서 바닥에서 15ft 이상 높이에 사용된다.

LER과 함께 표시하도록 되어 있는 Yearly Lighting Energy Cost(연간 조명에너지 비용)은 전기요금이 $0.08/[kWh] 수준일 때 이 조명기구를 이용하여 연 3,000시간동안 연속해서 광속 1,000[lm]을 얻는데 드는 연간 전기요금으로서 다음 식으로 계산된다.

$$\text{Yearly Lighting Energy Cost} = \frac{0.24 \times 1{,}000}{\text{LER}}$$

LER값은 조명기구에 대한 Specification sheet에 표시하도록 되어 있으며, 1997년 현재 품목에 따라 50~100[%]의 제품에 표시되고 있다. 표시 예를 그림 1에 보인다.

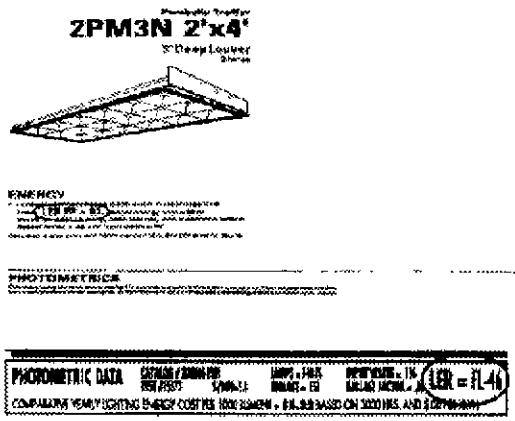

그림 1. LER 및 Yearly Lighting Energy Cost를 표시한 예

한편, LER 표시제도의 홍보를 위하여 LE5 Standard와 함께, 교육용 자료, 계산용 소프트웨어를 보급하고, 발표회 및 교육용 프로그램, 세미나를 개최하며, 인터넷상의 Web Sites를 만드는 등의 사업도 진행되고 있다.

3. Energy Star Residental Light Fixture Program

미국의 DoE와 EPA(Environmental Protection Agency)는 에너지 절감과 환경 보호를 위하여 가정용 조명기구에 대한 Energy Star 마크 부여 프로그램을 1997년 3월 공동 개시하였고, 1997년 6월말

첫 표시제품이 출시되었다[3]. 최초 에너지 절감 기능을 갖는 컴퓨터용 모니터에 부여되었던 에너지 스타 마크(그림 2)는 상당한 에너지 절감 효과를 거두었으며, 이제 가정용 조명기구에 부착되게 된 것이다.

그림 2. Energy Star 마크

대략 미국의 가정에는 30억 개의 조명기구가 사용되고 있는 것으로 추정되며 이중 85[%]가 백열전구를 사용하는 기구이다. 모든 조명기구를 형광램프를 사용하는 고효율 기구로 바꾼다면 연 700억[kWh]의 전력을 절감할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 그러나 고효율 기구의 보급에는 이 기구가 기존의 기구에 비하여 기능이 떨어지고, 수요가 부족하며, 소비자의 인식이 낮다는 장해가 있다. 또한 초기비용이 높고, 시공자와 실수요자가 다른 경우 이해 차이가 있으며, 미적인 관점에서도 떨어진다.

이러한 장해를 갖고 있는 고효율 기구의 보급을 위해 NRDC(Natural Resources Defense Council), LRC(Lighting Research Center) 등의 연구기관에 의뢰해서 실내용, 실외용 조명기구 각각에 대하여 기준을 만들고, EPA와 제조회사의 협의를 거쳐 자발적 프로그램을 구성하였다. 즉, 효율이 상위 10~20[%]에 속하는 제품에 Energy Star 마크를 부여하고 이 제품들의 품질보증과 홍보는 EPA에서 담당한다. 프로그램의 수행으로 고효율 광원을 사용하는 새로운 기구의 개발을 촉진하는 것이 주 과제이며 지나친 가격상승은 억제토록 하고 있다. 98년 5월 현재 39 업체가 프로그램에 참여하고 있으며 상세한 정보는 EPA의 인터넷 홈페이지에서 얻을 수 있다.(http://www.epa.gov/appdstar/fixtures/index.html)

4. 조명률과 글레어를 고려한 지표 개발

미국에서 실시되고 있는 LER 표시제도나 에너지 스타 마크는 모두 기구효율을 평가의 지표로 삼고 있다. 그러나 기구효율이 상승한다고 해서 에너지 절감이나 조도의 상승을 보장하는 것은 아니라는 데 문제가 있다. 역설적으로 기구효율이 가장 높은 것은 조명기구 없이 램프만을 사용하는 것이겠으나, 빛의 낭비를 막을 수 없는 것이다.

실제로 설계에 반영되는 것은 조명률로서 램프에서 발생된 빛이 작업면에 어느 정도나 입사되는지를 나타내는 비율이다. 따라서 에너지 절감을 위해서 사용되는 조명기구의 등급은 조명률을 기준으로 하여야 할 것이며, 질적인 요소가 더불어 평가되어야 할 것이다.

현재 조명률과 질적인 요소를 동시에 고려할 수 있는 적절하고도 간편한 지표는 개발되지 않았으나, 독일의 A. Stockmar가 수행한 연구가 주목된다[4]. 이 연구에서는 갖가지 배광의 직접식 조명기구 100종 이상에 대하여 Standard Room에서의 작업면 조도를 독일 조명학회의 조도계산법(LiTG Pub. 3.5)에 의해 계산하고, 질적인 요소로는 글레어 지수(Unified Glare Rating, UGR)를 평가하였다.

평가의 결과를 그림 3에 보였다. 이를 보면 거의 동일한 배광 형태 내에서도 UGR은 3단계 정도의 차이를 보이며 UF(조명률) 값은 대개 0.6 부근에 나타나는 것을 알 수 있다. 이에 따라 Stockmar는 UGR과 배광에 무관하게 UF 값에 따라 조명기구를 다음과 같이 분류하도록 제안하고 있다.

UF>0.7 E1 (Very Good)
0.7>UF>0.5 E2 (Good)
0.5>UF E3 (Less Good)

이 연구는 조명설계에 실제로 이용되는 조명률을 평가 지표로 하고 있고, 질적인 요소를 포함시키려는 시도가 있었다는 것에 의미가 있으나, 실질적인

에너지 절감의 효과를 갖도록 유도하기 위해서는 보다 심화된 연구가 필요하다.

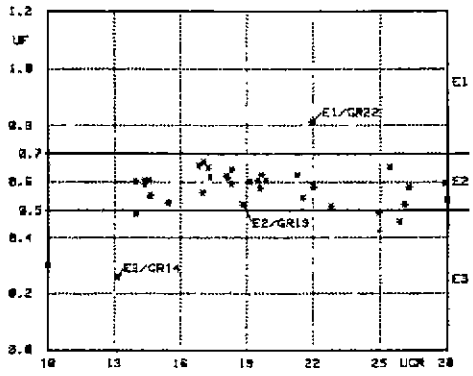

그림 3. 각종 직접식 조명기구들의 조명률(종축)과 글레어 지수(횡축)

5. 보수율과 에너지 절감

조명기구에 대하여 적절한 보수율을 설정하는 것이 에너지 절감의 가장 강력한 수단이 될 수 있다는 것이 미국의 Bernecker와 Cerino 의 연구에서 입증되었다[5]. 이들은 두 종류의 조명기구에 대하여 길이 60ft, 폭 40ft, 높이 11.5ft의 방에 조도 75fc (807lx)를 제공하는데 필요한 기구의 수와 사용전력 등을 계산하였다.

조명기구의 종류는 40W T12 3등용 매입형 형광등기구로서 프리즘 렌즈를 사용한 것과 파라볼릭 루버를 사용한 것이다. 북미조명학회(IESNA)가 추천하는 조도계산법인 구역광속법(ZCM)에서는 주어진 방의 형태에 의해 각 조명기구의 조명률(이용률 CU, Coefficient of Utilization)은 정해진다.

주위환경은 청결(clean)과, 더러움(dirty)의 두 가지로 하고 조명기구의 청소간격을 6개월, 1년, 3년으로 변경시키면 이에 따라 보수율이 변한다. 조명기구의 청소간격이 변하면 보수율에 해당되는 광손실률(LLF, Light Loss Factor)의 여러 계수 중에서 조명기구 오염에 관련된 계수(LDD, Luminaire Dirt Depreciation)의 값이 변한다. 각각의 경우에 대하여 필요한 조명기구의 수는 표 2와 같이

표 2. 조명기구의 종류, 주위환경, 청소주기에 따라 조도 75fc를 제공하는데 필요한 조명기구 수

조명기구 종 류	주위환경	6개월 주기	1년 주기	3년 주기
프리즘 렌즈	청 결	37	39	44
	더러움	42	45	55
파라볼릭 루버	청 결	39	41	50
	더러움	45	52	72

계산되었다.

표에서 알 수 있듯이 청소 주기를 줄임으로서 조명기구의 수를 줄여도 같은 조도를 제공할 수 있다. 이는 자주 청소를 해주면 먼지에 의해 조명기구의 효율이 감소하는 것을 막을 수 있기 때문이다. 청소주기 단축의 효과는 청결한 환경보다 더러운 환경에서 더욱 크며, 하면이 밀폐되는 프리즘 렌즈 형태보다 파라볼릭 루버에서 더욱 크다.

조명기구의 수가 줄어들면 사용하는 조명전력의 양도 줄어든다. 각 청소주기에 따라 연간 사용되는 조명전력량을 계산하여 표 3에 보였다. 비교를 위해 26[mm] 형광램프와 전자식 안정기를 사용하였을 때의 전력량도 병기하였다. 고효율의 형광램프와 안정기를 사용하는 것은 조명기구와 주위환경에 무관하게 에너지를 절감한다. 그러나 단순히 청소주기를 줄이는 것 만으로도 상당한 에너지를 절감할 수 있고, 경우에 따라서는(파라볼릭루버, 더러운 환경) 어떤 조합보다도 가장 효율적인 에너지 절감 방안이 될 수 있다는 것을 알 수 있다.

이러한 형태의 조명계획이 어느 정도의 경제적 이득을 가져오는지를 판단하기 위해서 미국 내의 두 도시를 선정하여 조명 제품의 가격, 전력 요금, 설치비용, 청소비용 등을 조사하고, 인플레 및 아자율을 감안하여 10년간의 조명비용을 계산하였다. 두 도시는 대도시인 뉴욕과 펜실베니아의 소도시이다.

두 도시 별로 조명비용의 차이는 거의 없으며, 청소 주기를 줄여줌으로서 조명에 드는 비용이 평균 10[%]정도, 최대 28[%]까지 감소하는 것으로 나타났다. 26[mm] 형광램프나 전자식 안정기를 사용하는 것은 초기투자 비용이 높아서 조명비용이 그다

지 감소하지 않으며 오히려 증가하는 경우도 있다. 적절한 가격정책과 리베이트 제도의 중요성을 나타내는 결과라 하겠다.

표 3. 연간 조명전력량[kWh] (아래 수자는 3년 주기 청소에 비해 감소한 비율)

조명기구 종 류	프리즘 렌즈		파라볼릭 루버	
주위 환경	청결	더러움	청결	더러움
6개월 주기	14045 -15.91%	15943 -23.64%	14804 -22.0%	17082 -37.5%
1년 주기	14804 -11.36%	17082 -18.18%	15563 -18%	19739 -27.78
3년 주기	16702	20878	18980	27331
26mm 형광램프	12355 -26.3%	15444 -26.3%	14040 -26.3%	20218 -26.3
전자식 안정기	13728 -17.81%	17160 -17.81%	15444 -18.63%	22594 -17.33%
26mm 형광램프와 전자식안정기 병용	11232 -32.75%	14040 -32.75%	12636 -33.42%	18486 -32.36%

6. 맺음 말

조명기구의 기구효율, 조명률, 보수율에 따른 효율등급 표시제도와 에너지 절감의효과를 살펴보았다. 이 방식들은 램프나 안정기를 고효율화 하는 것과 마찬가지의 효과를 가지고 있으며, 그 다양성과 가능성은 오히려 램프나 안정기보다 훨씬 크다고 할 수 있다.

다만 이러한 방식이 국내에서도 효과를 갖기 위해서는 조명기구의 광학적 성능을 측정하고 개발하는 기술을 보편화하는 것이 선결과제이다. 또한 에너지 절감의 효과는 조명 설계과정에서 결정되므로 조도 계산법을 표준화하고, 조명률과 보수율 등을 결정하는 방법을 보급하는 것도 필수적이다.

참 고 문 헌

[1] Whela, Valerie, et al., "USA and Canada Update From North America . U.S. and Canadian Lighting Regulations and U S Fluorescent Ballast Standards", Right Light 4 proceedings, 1997, Vol 2, pp 97~104, Copenhagen, Denmark

[2] Atkinson, Barbara A., et al., "Voluntary Luminaire Efficacy Program A Model for Collaboration", Right Light 4 proceedings, 1997, Vol.1, pp. 245~248, Copenhagen, Denmark

[3] Nirk, Lena, "The ENERGY STAR Residental Lighting Program", Right Light 4 Proceedings, 1997, Vol 2, pp. 3~6, Copenhagen, Denmark

[4] Stockmar, Axel, "Proposal for a Luminaire Specific Index for the Description of Photometric Properties of Interior Luminaires Taking into Account the Efficient Use of Energy", Right Light 4 proceedings, 1997, Vol 2, pp 41~45, Copenhagen, Denmark

[5] Bernecker, Craig A , Cenno, Anthony, "Luminaire Maintenance as an Energy Saving Strategy", Right Light 3 proceedings, 1993, Vol.1, pp. 139~146, Newcastle-upon-Tyne, UK

◇著 者 紹 介◇

김 훈(金 燻)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1983년 서울대 대학원 전기공학과(석사). 1988년 서울대 대학원 전기공학과(박사). 1993년 호주국립대학 방문교수. 현재 강원대 공대 전기공학과 부교수, 당학회 편수이사.