

확산모형을 이용한 고효율조명기기의 보급 분석

원종률\*, 황성욱\*\*, 김정훈\*\*, 이병하\*\*\*

안양대학교 전기전자공학과\*, 홍익대학교 전기제어공학부\*\*, 인천대학교 전기공학과\*\*\*

Distribution Analysis of High Efficient Lighting Equipments Using Diffusion Model

Jong-Ryul Won\*, Sung-Wook Hwang\*\*, Jung-Hoon Kim\*\*, Byung-Ha Lee\*\*\*

Anyang Univ.\* , Hong-Ik Univ.\*\* , Incheon Univ.\*\*\*

**Abstract** - 우리나라와 같이 에너지자원이 없어 전량을 수입에 의존하여야 하는 나라에서는 에너지 소비절약이라고도 일컬어지는 고효율 기기의 보급에 많은 관심을 가져야 한다. 고효율기기의 사용은 전체적인 부하전력량을 줄여나가며, 한번 보급되면 계속 에너지를 절감할 수 있고, 부하를 차단하여야 하는 불편도 적어지게 된다. 또한 기술개발로 인한 기기수출효과 및 다양한 효과가 있으므로 국가적으로는 커다란 이익이 될 수 있다. 따라서 고유가시대를 맞아 고효율 기기의 사용에 특히 많은 관심을 가져야 하며, 정부에서도 많은 관심을 가지고 있기도 하다. 본 논문에서는 전체 전력소비량의 20%이상을 차지하는 조명기기에서 고효율조명기기에 대해 확산모형을 이용하여 보급상태를 분석해 보고자 한다.

부분으로서 이에 대한 절약이 시급히 필요하다. 조명부분 중에서 특히 기존의 저효율 제품인 백열등은 고효율 기기인 안정기 내장형램프로 교체할 필요가 있는 중요한 효율향상 대상기기이다. 따라서 미국을 비롯한 전세계적으로 이를 보급하기 위한 노력을 기울이고 있다. 미국에서는 energy star 프로그램에서 'change a light, change a world'라는 프로그램으로 Screw-In CFL의 보급에 노력하고 있으며, 국내에서도 안정기내장형램프의 보급을 위하여 지원제도를 실시하고 있다.

본 논문에서는 이러한 안정기내장형램프를 중심으로 확산모형을 통하여 보급상태를 분석하여 보고자 한다.

2. 고효율조명기기 지원제도 및 효율기준

1. 서 론

현재 세계는 교토의정서 발효로 에너지의 사용에 대한 위기감이 고조되고 있다. 선진국에서는 이미 이것을 대비하여 에너지 절약 및 신·재생 에너지 개발 등에 많은 노력을 기울여서 그 성과를 각종 회의나 학회를 통하여 발표하고 있다. 세계 10위의 에너지 소비국인 우리나라는 지구 온난화 방지를 위한 배출가스 의무가 부여될 것이 확실시 되므로 교토 의정서 발효 전후 에너지 절약 및 신·재생에너지 개발에 본격적인 국가적 관심을 기울이기 시작하여 국회에서 2004년 10월 신산업포럼이 발족되었고 그 내부에 에너지 산업위원회가 설치된 바 있다.

한편 최근 들어 중국을 비롯한 신흥시장의 경제가 급속도로 성장하여 산업화가 급속도로 진행되면서, 석유의 공급보다 수요가 많은 상황이 인식되어 배럴당 50불을 넘어가는 고유가 시대에 접어들자 석유자원이 전무한 국내에서는 에너지의 절약 및 효율향상은 지구온난화 방지와 더불어 매우 필요한 대안으로 부각되고 있다.


특히 에너지 절약 부분은 에너지사용합리화법에 의하여 관련 부처에서 지속적으로 추진되어 오고 있고, 특히 산업자원부와 에너지관리공단에서 시행하고 있는 에너지 효율등급제 등을 비롯한 4가지 에너지 효율관리 프로그램은 관련부문에 대한 성과를 이루어냈다. 공공부문 및 규모가 큰 민간부문에 이러한 정책이 쉽게 적용이 되는 반면, 상대적으로 규모가 작은 민간부문에 고효율기기의 보급이 쉽지 않은 실정이다.

우리나라의 에너지 사용량의 대부분은 수입하고 있고 이 중에서 전력사용이 차지하고 있는 비중은 높다, 전기의 생산의 주요설비 및 원료는 상당 부분이 아직까지 거의 전량 수입에 의존하며 이산화탄소 배출과 직접적인 연관이 있는 석유 및 석탄에 원료에 의존하는 비중은 약 40%로 가장 높다. 따라서 고효율 전력기기의 사용 확대는 바로 이 부분 발전설비의 대체효과가 가장 해당되므로 매우 필요한 실정이다. 이러한 고효율기기 중에서 조명부분은 국내 총 전력사용량의 20%를 차지하는 상당한

2.1 지원제도

현재 에너지관리공단에서는 고효율기자재로 등록된 아래의 안정기 및 안정기내장형램프에 대하여 지원제도를 실시하고 있다.

대상품목



에너지관리공단의 고효율 에너지기자재로 등록된 품목은 안정기 및 안정기내장형 램프

구분	종류	정격 출력(Watt)	지원단가(원/개)
정형램프	FLLR 20W 1용량	18W	1,400
	FLLR 20W 2용량	36W	2,000
안정기내장형 램프	FLLR 20W 2용량	36W	4,200
	FLLR 20W 2용량	45W	2,100

그림 1 국내 고효율조명기기 지원제도

또한 국외에서는 BC Hydro에서의 지원제도를 조사하였다.

Lighting	Energy Star Test	\$1 - \$4*	AB
Fluorescent T12	Screw-In T12 Fluorescent T12	\$4 - \$5*	AB
Fluorescent T8 Lamp	Energy Star T8 Lamp Fluorescent T8	\$40 - \$40*	AB
Incandescent Lamp	Screw-In CFL (40-watts) Screw-In CFL (42-watts) CFL Compact Lamp Hardwood CFL (42-watts) Hardwood T12 (42-watts)	\$2 \$12 \$2 \$30 \$45	AB AB AB AB AB
Incandescent Lamp (100-watts)	High-Output Compact Lamp High-Output Compact Lamp	\$1 \$1	AB AB
Incandescent Lamp (60-watts)	Screw-In LED (60-watts) Hardwood LED (60-watts)	\$15 \$15	AB AB
Incandescent Lamp (50-watts)	Screw-In LED (50-watts) Hardwood LED (50-watts)	\$41 \$41	AB AB
Incandescent Lamp (100-watts)	Fluorescent T8 Fluorescent T8	\$24 - \$40*	AB AB
Incandescent Lamp (100-watts)	Fluorescent T8 Fluorescent T8	\$23 - \$25*	AB AB
Incandescent Lamp (100-watts)	Fluorescent T8 Fluorescent T8	\$18 - \$45*	AB AB

Handheld fluorescent lamp	High Power LED lamp	91	28
Handheld fluorescent lamp	High Power LED lamp	84	28
Fluorescent lamp	LED lamp 1.5W	93	28
Fluorescent lamp	LED lamp 1.5W	86	28
Handheld fluorescent lamp	High Power LED lamp	90	28
Handheld fluorescent lamp	High Power LED lamp	83	28
Fluorescent lamp	LED lamp 1.5W	91	28
Fluorescent lamp	LED lamp 1.5W	84	28
Handheld fluorescent lamp	LED lamp 1.5W	90	28
Handheld fluorescent lamp	LED lamp 1.5W	83	28
Table lamp	High Power LED lamp	91	28
Table lamp	High Power LED lamp	84	28
Table lamp	High Power LED lamp	91	28
Table lamp	High Power LED lamp	84	28

그림 2 BC Hydro의 지원제도(incenrive) 현황

Table Runner Target Values for 2005 - lamp - basket Japan

Fixture Type for Fluorescent Lamps	Lumens/Watt
1. Straight 110W rapid start	75.0
2. Straight 40W HF operation	85.5
3. Straight 40W rapid start	71.0
4. Straight 40W starter type	60.5
5. Straight 40W starter type, electronic ballast	77.0
6. Straight 20W starter type, magnetic ballast	48.0
7. Circular type, total lamp wattage 472W	81.0
8. Circular type, 52W total lamp wattages, 72W	62.0
9. Circular type, total lamp wattage 462W, electronic	75.5
10. Circular type, total lamp wattage 462W, magnetic	58.0
11. Table light with CFL	62.5
12. Table light with straight FL	61.5

## 2.2 효율기준

### 2.2.1 백열전구

#### - 목표 및 최저소비효율 기준

구분	소비전력	[lm/W]	
		목표소비효율기준	최저소비효율기준
		2003년 12월 31일까지	2003년 1월 1일 부터
110V	90W형	12.6	10.2
	60W형	15.0	12.0
	100W형	15.5	12.3
220V	90W형	12.0	9.9
	60W형	13.5	11.0
	100W형	14.6	12.7

#### - 소비효율부여 등급기준

R	등급
R ≤ 1.00	1
1.00 < R ≤ 1.10	2
1.10 < R ≤ 1.20	3
1.20 < R ≤ 1.30	4
1.30 < R	5

$$R(\text{소비효율등급부여지표}) = \frac{\text{목표소비효율}[\text{lm/W}]}{\text{당해 모델의 소비효율}[\text{lm/W}]}$$

### 2.2.2 안정기내장형 램프

#### - 목표 및 최저소비효율 기준

구분	소비전력	목표소비효율기준		최저소비효율 기준	
		2003년 12월 31일	2003년 1월 1일	2003년 5월 1일	부터
거울 타입	10W 미만	52.0	45.0		
	10W 이상 15W 이하	58.0	50.0		
	15W 초과 20W 이하	67.0	58.0		
	20W 초과	63.0	53.0		

#### - 소비효율부여 등급기준

R	등급
R ≤ 1.00	1
1.00 < R ≤ 1.04	2
1.04 < R ≤ 1.08	3
1.08 < R ≤ 1.12	4
1.12 < R ≤ 1.16	5

$$R(\text{소비효율등급부여지표}) = \frac{\text{목표소비효율}[\text{lm/W}]}{\text{당해 모델의 소비효율}[\text{lm/W}]}$$

### 2.2.3 일본 성에너지법 톨러너 효율기준

## 3. 확산모형

### 3.1 확산모형

확산모형의 목적은 주어진 잠재 고객들 사이에 새로 도입된 혁신 제품이 시간에 따라 어떻게 확산되어 가는가를 설명하기 위한 것이다. 확산모형은 1960년 Fourt와 Woodlock에 의해 처음 제시된 후, Mansfield(1961년), Bass(1969년) 등에 의해 발전되어 왔으며, 최근의 연구들은 대부분 Bass모형을 근간으로 하고 있다. Bass모형의 근간은 신제품의 채택유형을 크게 두 가지, 즉 혁신자(Innovator)와 모방자(Immitator)로 나누어진다. 혁신자(Innovator)란 시도하는 그룹이며, 모방자(Immitator)란 광고 등을 통해 제품에 대한 정보를 획득한 후 과감히 신제품의 사용을 시도하는 그룹이며, 모방자(Immitator)는 혁신자(Innovator)들이 제품을 사용한 결과를 보고 모방하여 신제품 사용을 시도하는 그룹이다. 이를 Bass는 외부적 영향에 의한 제품 구입과 내부적 영향에 의한 제품 구입이라고 불렀다. 고효율기기 보급에 있어 Bass모형은 시사하는 바가 큰데, 정부의 지원책은 외부적 영향에 의해 고효율기기를 채택하는 중요한 영향이 될 것이며, 보급이 시작되면서 점차 내부적 영향에 의한 고효율기기의 수요가 증가하게 될 것이다. 따라서 정부를 포함한 고효율기기 제조업자나 DSM 프로그램의 이해 관련자들은 누적보급량이 고점에 이를 때까지는 강력한 지원책을 펴야 할 것이다. Bass의 확산모형을 사용하기 위해서는 m, p, q 등 3개의 모수를 추정하여야 한다.

확산모형은 적용되는 상황에 따라 다양한 형태의 확산모형이 있으나 대체적으로 Bass모형을 근간으로 하고 있다. Bass모형은 hazard 함수로부터 식 (1)과 같이 되며, 여기서 p, q는 수요자의 성향을 대변한다.

$$\frac{f(t)}{1-F(t)} = p + qF(t) \quad (1)$$

p : 혁신계수(Coefficient of Innovation)

q : 모방계수(Coefficient of Imitation)

f(t) : 시간 t에서의 채택 확률

F(t) : 시간 t에서의 누적 채택 확률

이를 미분방정식으로 풀면 식(2)와 같이 된다.

$$n(t) = m \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+qe^{-(p+q)t})^2} \quad (2)$$

m : 최대 잠재량

따라서 Bass 모형의 확산함수의 값은 세 가지 확산 계수  $p$ ,  $q$ ,  $m$  값에 따라서 결정된다. 따라서 누적보급대수는 이러한 파라미터를 통계를 통해 추출하고 이를 적분하여 구한다.

$$TCN_i = m \int_0^i \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q \cdot e^{-(p+q)t})^2} dt \quad (3)$$

### 3.2 안정기내장형램프 보급분석

안정기 내장형램프는 기본적으로 기존의 백열등 전구를 대체할 수 있다. 백열전구용 소켓이 설치돼 있는 경우에는 안정기 내장형램프를 사용할 수 있다. 안정기 내장형램프는 백열전구에 비해 비싸지만 수명이나 밝기, 소비전력량 등을 따져보면 훨씬 경제적이다. 안정기 내장형 램프는 백열전구보다 20%나 더 밝지만 소비되는 전력은 1/4에 불과하다. 하루 10시간씩 사용할 경우 소비전력은 백열등이 60W, 안정기 내장형 램프는 14W(77% 절전), 전구의 밝기는 100 : 121(21% 향상), 수명은 1000시간 : 6000시간(4배 이상)이다.

최근 2001~2005년간 백열전구의 판매량을 보면 과거 평균 5,000만대에서 현재는 평균 3,000만대 정도이다. 백열전구의 수명과 연간 판매량을 분석하여 보면 백열전구의 실제 사용대수는 과거 5,000만대 기준으로 1,400만대 정도이다. 또한 안정기 내장형램프는 2002년 1,100만대 수준에서 현재는 1,500만대 수준까지 증가하고 있다. 백열등의 수명을 평균 4개월, 안정기 내장형 램프의 수명을 평균 2년으로 하여 이들의 상호 교체가능성과 수명을 고려하여, 백열전구를 모두 안정기 내장형램프로 교체한다고 가정할 때의, 안정기내장형램프의 전체 잠재사용대수는 약 3,800만대정도로 추산된다.

현재의 통계에 기초하며 다른 추가 정책이 없을 경우, 대략 다음과 같은 확산모형 그래프를 유추하여 낼 수 있다. 2020년을 전후하여 백열등을 모두 대체하여 최대로 포화될 것으로 기대된다.

파라미터는  $p=0.001$ ,  $q=0.2$ ,  $m=38,000,000$ 으로 하며 수명은 2년으로 하여 교체대수를 고려하여 계산하였다.

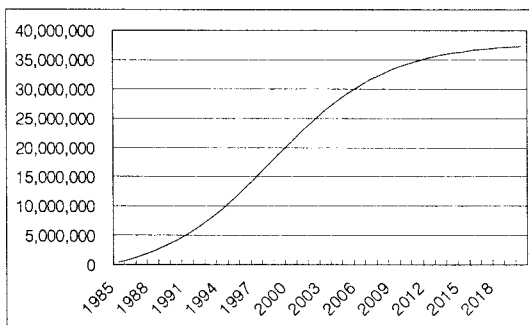


그림 2 안정기 내장형램프의 확산

## 4. 결 론

우리나라의 에너지 사용량의 대부분은 수입하고 있고 이 중에서 전력사용이 차지하고 있는 비중은 높다, 전기의 생산의 주요설비 및 원료는 상당 부분이 아직도 거의 전량 수입에 의존하며 이산화탄소 배출과 직접적인 연관이 있는 석유 및 석탄에 원료에 의존하는 비중은 약

40%로 가장 높다. 따라서 고효율 전력기기의 사용 확대는 바로 이 부분 발전설비의 대체효과가 가장 해당되므로 매우 필요한 실정이다. 이러한 고효율기기 중에서 조명부분은 국내 총 전력사용량의 20%를 차지하는 상당한 부분으로서 이에 대한 절약이 시급히 필요하다. 조명부분 중에서 특히 기존의 저효율 제품인 백열등은 고효율 기기인 안정기 내장형램프로 교체할 필요가 있는 중요한 효율향상 대상기기이다. 따라서 미국을 비롯한 전세계적으로 이를 보급하기 위한 노력을 기울이고 있다. 미국에서는 energy star 프로그램에서 'change a light, change a world'라는 프로그램으로 Screw-In CFL의 보급에 노력하고 있으며, 국내에서도 안정기내장형램프의 보급을 위하여 지원제도를 실시하고 있다. 이러한 안정기내장형램프를 중심으로 확산모형을 통하여 보급상태를 분석하였으며, 고효율조명기기의 지원제도 및 효율기준에 대해서도 조사하였다. 2020년을 전후하여 안정기내장형램프의 포화가 예상된다. 추후 데이터의 보안을 통해 좀 더 상세한 분석을 실시하여 보고자 한다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 전력산업기술기반조성사업에 의한 기초전력연구원 주관(R-2002-7-150)으로 수행된 연구결과와 일부임

### [참 고 문 헌]

- [1] Jong-Ryul Won, Sung-Wook Hwang, Jung-Hoon Kim, Byung-Ha Lee, "An Analysis of the Electricity Savings by Reinforcing Energy Efficiency Standards for Room Air Conditioners", ICEE 2006.
- [2] 산업자원부, 산업자원부고시 제2005-29호 고효율에너지기자재보급촉진에 관한 규정, 2005.03
- [3] 산업자원부, 산업자원부고시 제2006-29호 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정 2006.03
- [4] 고효율에너지기자재 복합시스템 인증중심으로 개선방안 연구, 에너지관리공단, 2006.
- [5] 고효율 조명기기 보급촉진을 위한 조명기기 효율관리 방안 에 관한 연구, 2005.