

工學碩士 學位論文

초·중등학교 고효율조명기기  
ESCO사업 관련  
에너지절감 산출방법개선

이 論文을 指導한 先生은 釜慶大學校 産業大學院 電氣工學科 高承翰 先生이다.  
釜慶大學校 産業大學院 電氣工學科 高承翰 先生은 이 論文을 審査한 先生이다.



2003年 2月

釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

高 承 翰

# 高承翰의 工學碩士 學位論文을 認准함

2002年 12月

主審 工學博士 金 千 德



委員 工學博士 金 仁 東



委員 工學博士 魯 義 哲



# 목 차

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Abstract .....                   | 1  |
| 제 1 장 서 론 .....                  | 3  |
| 1.1 연구의 배경 .....                 | 3  |
| 1.2 연구의 목적 .....                 | 10 |
| 제 2 장 기존의 에너지절감 산출방법 .....       | 12 |
| 2.1 고효율조명기기의 주요기자재 종류 및 특성 ..... | 12 |
| 2.2 기존의 산출방법 .....               | 15 |
| 2.3 적용시 문제점 .....                | 19 |
| 제 3 장 에너지절감 산출의 개선된 방법 .....     | 25 |
| 3.1 제안하는 새로운 방법 .....            | 25 |
| 3.2 적용시 개선효과 .....               | 27 |
| 제 4 장 제안된 방법의 검증 .....           | 32 |
| 4.1 검증방법 .....                   | 32 |
| 4.2 검증결과 .....                   | 32 |
| 제 5 장 결 론 .....                  | 37 |
| 참고문헌 .....                       | 38 |

**An Improved Method of Energy Saving Calculation  
in High Efficient Illumination Equipment ESCO  
Project of Elementary and Middle School**

*Seung han Go*

*Dept. of Electrical Eng. Graduate School  
Pukyong National University*

**Abstract**

This paper describes a new method of energy saving calculation in high efficient illumination equipment ESCO (Energy service company) project. There are some problems when the conventional calculation method is applied to the elementary or middle school ESCO project because the working time of the method is based on that of the general office building. Basically the working time of the elementary or middle school is different from that of the office building. A new calculation method is proposed with the consideration of the real working time of the school. According to the proposed method the payment per month for the project can be

considerably reduced up to around 30% of the current value. Furthermore, the after service period can be extended 3 times the current period. The usefulness of the proposed method is verified through the investment and application of the method to the project already carried out.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경

ESCO(Energy Service Company)란 에너지절약 전문기업이란 뜻이며, “ESCO사업”이란 말 그대로 에너지절약 전문기업이 에너지절약 시설의 교체 또는 보완을 하는 사업을 의미하는 것이다. 좀더 구체적으로 말하면 사용자가 ESCO를 통하여 절약시설의 교체 또는 보완을 하는 사업으로서 사용자가 현재 사용하고 있는 관련 시설을 교체 또는 보완 하고자 하나 기술적으로나 재정적으로 사업을 수행할 수 없는 경우 ESCO가 기술과 자금을 100% 지원해 주고 여기서 발생하는 절감액으로 투자비와 이윤을 회수하는 기업이다. 에너지 저소비형 경제사회 구조 전환을 위한 정책의 일환으로 도입 되었으며 70년대 말부터 세계적으로 에너지시설자금의 조달을 위한 하나의 수단으로서 시작되었으며 현재 미국, 영국, 캐나다 등 약 25개국에서 시행하고 있다. 우리나라 ESCO의 등록현황을 살펴보면 그림 1-1에서 나타나 있듯이 92년도 3개 업체에서 2002년 10월 현재 161개 업체로 해마다 꾸준히 증가하고 있으며 에너지이용합리화법 제22조, 동법시행령 제21조 및 시행규칙 제10조의 규정에 의거 산업자원부장관에게 등록 받아 시행하고 있다.

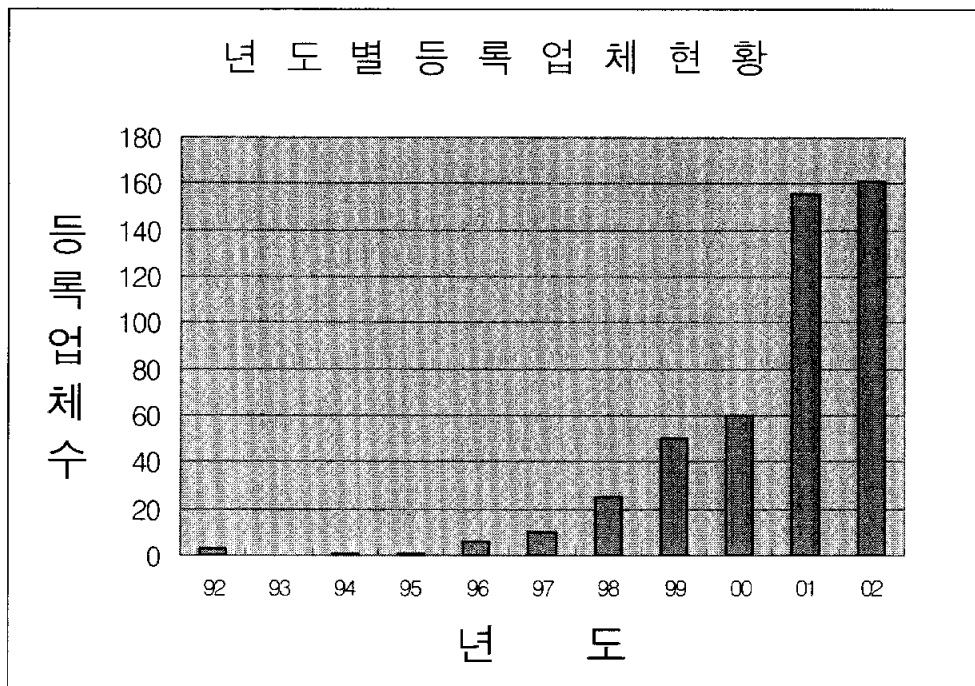


그림 1-1 우리나라의 ESCO사업자 등록현황

ESCO로 수행할 수 있는 사업의 범위는 에너지절약과 관련이 있는 모든 분야의 사업을 포함하고 있다. 예를 들면 고효율 조명기기 등의 교체사업, 빙축열 등 전기대체 냉방기기 보급사업, 폐열회수 이용사업, 고효율 보일러 교체사업, 공정개선사업, 고효율 전동기 교체사업 등이 그것이다[1].

ESCO사업의 계약형태는 “성과배분계약”과 “성과보증계약”의 두 가지 형태로 구분하여 시행하고 있으며 그림 1-2에 ESCO사업의 계약형태를 비교하여 나타내었다.

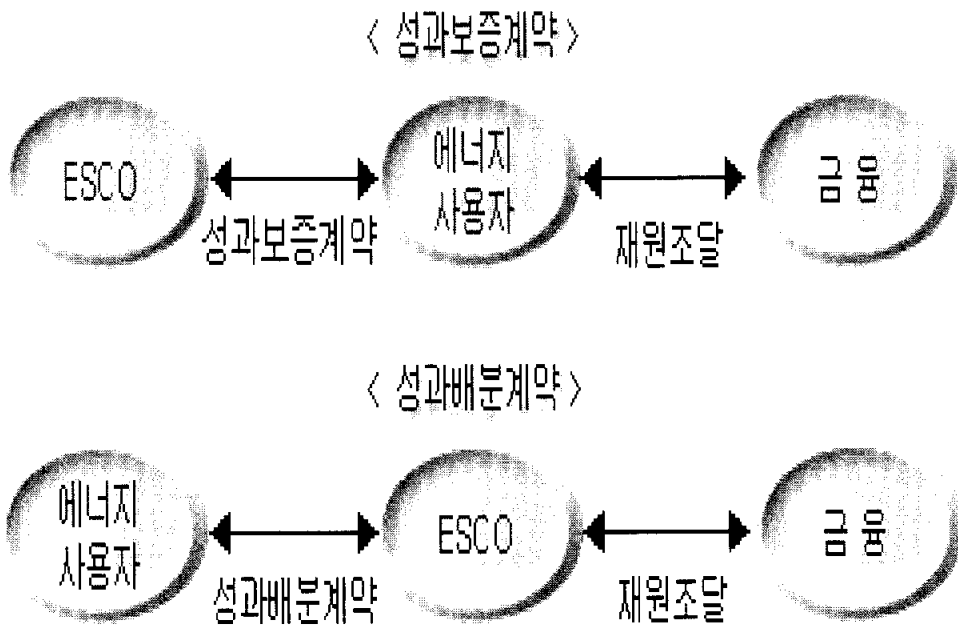


그림 1-2 ESCO사업의 계약형태 비교

“성과배분계약”이란 ESCO가 에너지절약시설의 투자재원 조달과 에너지절약성과까지 보증해주는 계약으로서 ESCO가 직접 에너지절약시설을 교체 또는 보완해 주면서 이에 소요되는 자금도 자체 자금이나 정부 또는 제3자로부터 융자 또는 차입을 하여 조달하고 아울러 교체 또는 보완한 시설의 에너지 절감효과(또는 절감액)까지도 책임지고 보증해주는 계약이다. 이 계약을 하게되면 에너지 사용자(시설주)는 시설 투자관련 경비를 전혀 부담하지 않고 새로운 시설로 바꿀 수 있다. 다시 말하면 ESCO가 위험부담이나 재원



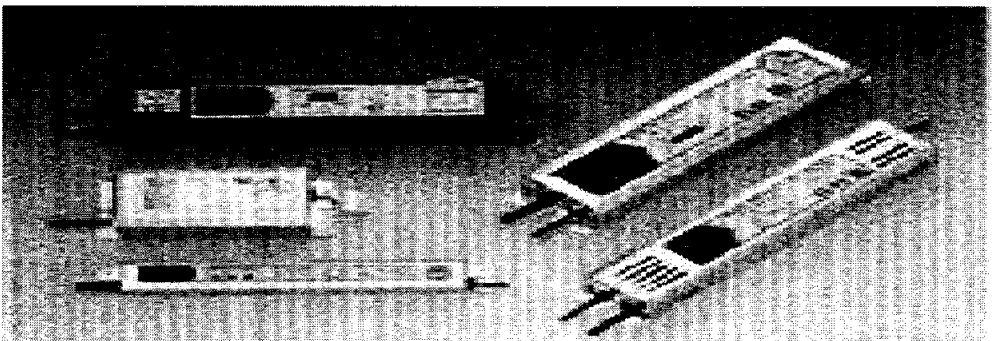
조달, 시공 등 모든 책임을 지게된다. 따라서 에너지사용자들은 이 계약을 선호하고 있다. 현재 국내에서 가장 많이 이용하고 있는 계약방식이다. 반면 “성과보증계약”이란 에너지 사용자가 직접 에너지 절약시설을 교체 또는 보완하며 이에 소요되는 비용도 자기자금 또는 정부나 금융기관으로부터 융자 등의 방법으로 직접 확보해야 하고, 융자를 받기 위해서는 ESCO로부터 에너지 절약시설의 교체 또는 보완에 따른 성과(절감액)를 보증 받아야 한다. 즉, ESCO는 에너지 사용자에게 에너지 절약시설의 교체 또는 보완으로 절약되는 성과만 보증해 주고 일정한 보증료를 받는 제도이다. 이 제도는 에너지 사용자에게는 자기부채 증가 및 담보 제공상의 문제 등으로 매력이 없는 제도이지만 ESCO의 육성과 ESCO사업의 활성화를 기하기 위하여는 육성·발전시켜야 할 제도로 판단된다. 미국에서 가장 보편적으로 사용되는 계약형태이다.

현재 교육청은 앞의 “성과배분계약” 방식을 채택하고 있다[5-6]. 그림 1-3은 교육청이 시행하는 고효율 조명기기 ESCO사업에서의 초·중등학교에 교체되는 주요 제품들을 나타낸 그림이다. ESCO 사업에서 울산광역시강북교육청에서 시행중인 고효율 조명기기 교체사업의 목적은 기존 재래식 조명기기를 에너지절약형 초절전 고효율 조명기기로 교체하는 사업으로 현재 초·중등학교 전력소비량의 약 50% 정도를 차지하고 있는 조명분야에 대해 전력소비량을 약 20% 감축시키는 것을 목표로 추진 중에 있다.

● **전자형 형광램프 ( 26mm 32W )**



● **전자식 안정기**



● **고조도 반사각**



그림 1-3 고효율 조명기기 교체사업의 주요 교체제품

사업내용으로는 32W 26 mm 절전형 슬림램프와 한국전력공사에서 인증하는 “고”마크 전자식안정기 그리고 조명효율을 높이는 고조도 반사갓으로 교체하는 것이다[3].

이러한 고효율 조명기기 교체사업의 효과로는 먼저 전력량을 절감시킬 수 있으며 조명기기의 유지보수 비용이 절약되고 또한 조명의 질을 향상시킬 수 있으며 초·중등학교시설의 효율적인 교육환경 개선이 가능하다는 것이다[2-4]. ESCO의 에너지절감 산출 및 검증방법에는 용도에 따라 일반적으로 4가지 방법이 있다.

첫번째는 에너지사용자와 ESCO의 합의에 의한 계산식으로 이것은 비교적 간단한 계산식으로 에너지절감을 산출하는 방법으로 고효율 조명기기 교체사업과 같은 경우 사용할 수 있다.

두번째로는 계측장비를 이용한 측정으로 직접 전압계, 전류계, 전력계 등으로 에너지절감을 측정하는 방법이다. 수용가에 최대전력감시시스템(Demand Controller)을 설치할 경우 이 방법을 사용할 수 있다.

세번째로는 에너지비용분석으로 이것은 사용에너지에 따른 에너지절감을 산출하는 방법이며 예를 들면 기존의 노후화된 냉난방설비를 심야전력을 이용한 빙축열 냉난방시스템으로 교체할 경우 이 방법을 사용할 수 있다.

네번째로 컴퓨터 시뮬레이션이 있는데 이것은 컴퓨터시스템을

이용하여 에너지절감을 산출하는 방법으로 빌딩의 에너지소비를 컴퓨터시스템으로 모니터링 하여 에너지절감을 산출할 경우 이 방법을 사용할 수 있다.

따라서 ESCO 사업자는 에너지사용자와의 협의 아래 해당 설치의 용도에 따라 적합한 방법을 채택하여 사용하는 것이 바람직하며 에너지 절감량을 산출하고 검증하는 비용은 기법에 따라 다양하므로 적절한 방법을 채택하는 것이 중요하다.

현재 울산광역시강북교육청은 합의에 의한 계산식으로 고효율 조명기기 교체사업에 대해 합의에 의한 계산식으로 에너지절감을 산출하는 방법을 채택하고 있다.

본 논문을 연구하게 된 동기는 현재 울산광역시강북교육청과 ESCO사업자간에 시행하고 있는 이러한 기존의 합의에 의한 계산식의 에너지절감 산출방법이 문제점이 있어 이를 합리적인 방법으로 개선하기 위한 것이다.

## 1.2 연구의 목적

일반적으로 ESCO의 에너지절감 산출방법에는 용도에 따라 여러 가지가 있지만 교육청에서 고효율 조명기기의 ESCO사업에 대해서 에너지절감 산출방법은 에너지사용자와 ESCO의 합의에 의한 계산식을 이용하고 있다. 여기서 ESCO사업자가 에너지절감 산출방법에서 조명기기의 연평균사용시간을 기존 3,600시간(10시간/일 × 30일/월 × 12월/년)으로 높게 적용하고 있다. 이것은 에너지 사용량이 많은 일반 빌딩이나 사무실과 같은 값이며 비교적 에너지사용량이 적은 초·중등학교에 비해 매우 큰 값이다. 따라서 이로 인해 연평균 사용시간의 증가하게 됨에 따라 투자비 환수기간이 단축되어 교체되는 조명기기의 보증기간이 줄어들게 되었고 또한 월상환액이 증가하여 울산광역시강북교육청의 예산의 비용부담이 증가되는 문제점이 발생되었다.

본 논문에서는 이러한 기존의 에너지절감 산출방법을 분석하여 문제점을 지적하고 초·중등학교시설의 에너지사용특성을 고려한 합리적인 방법으로 개선하는 새로운 방법을 제안하여 그 타당성을 사례조사를 통하여 검증하였다. 따라서 새로운 방법을 통해 교육청의 ESCO사업에 대한 연간 예산의 비용부담을 해소시키고 각 학교의 조명기기에 대해서 원활한 유지관리를 도모하고 보다 정확한 에너지절감 산출방법으로 울산광역시강북교육청과 ESCO사업자 상호

간의 고효율 조명기기 ESCO사업에 대한 신뢰도를 향상시키는 것을 목적으로 연구를 하였다.

지금까지 연구의 배경과 목적에 대하여 서술하였으며, 제2장에서는 기존의 에너지절감 산출방법에 대해서 살펴보고, 또한 이러한 기존의 방법을 적용하여 교육청이 시행한 초등학교 10개교에 대해서 사업현황의 문제점에 대하여 알아본다. 제3장에서는 조명기기의 연평균 사용시간을 각 학교의 연간수업시간과 같다는 가정하에 실제 연평균 사용시간을 정의하여 새로운 에너지절감 산출방법을 제안한다. 그리고 기존의 산출방법에 의한 에너지 절감현황과 새로운 방법의 절감현황을 비교 분석한다. 제4장에서는 해당학교 관할지점 한국전력공사 영업부의 자료를 바탕으로 한 실제의 에너지 절감현황을 기존 및 새로운 방법의 에너지 절감현황과 비교하여 제안하는 방법에 대해 검증해본다. 제5장에서는 결론 및 추후 연구과제에 대하여 언급하였다.

## 제 2 장 기존의 에너지절감 산출방법

### 2.1 고효율조명의 주요기자재 종류 및 특성

현재 교육청에서 초·중등학교 시설에 적용하고 있는 고효율조명의 주요기자재 종류는 26mm 23W 형광램프, 전자식안정기, 고조도 반사갓이 있다. 이들의 종류와 특징을 살펴보면 다음과 같다.

첫번째는 기존의 32mm 40W 대체용으로 개발된 26mm 32W 형광램프이며 이것은 관경 26mm 부근에서 최대의 효율을 얻는데 착안되었으며 밝기와 수명측면에서도 우수성을 실현한 형광램프이다. 특징으로는 재래식에 비해 약 20%의 절전효과를 갖으면서도 약 20% 정도의 조도증가를 가져올 수 있는 고효율시스템이다. 그리고 별도의 32W용 형광등 안정기를 채택하여야만 우수한 효과를 발휘할 수 있다. 이때 절전효과는 36% 정도이다. 또한 연색성과 색온도가 뛰어난 3과장 형광램프로 물체를 자연스럽고 아름답게 보이게 한다. 표 2-1은 기존램프와의 비교 및 효과를 나타낸 것이다. 그리고 참고로 최근 많이 사용하고 있는 전구식 형광등기구에는 별도의 장치 없이 백열전구 소켓을 직접 사용할 수 있는 장점이 있으며, 20W 형광등기구는 백열전구 100W 상당의 밝기를 낼 수 있어 약 70-80%의 전력을 절감할 수 있는 고효율 기자재이며, 보통 15W, 18W, 20W, 23W 형태로 유통되고 있다.

표 2-1 기존램프와의 비교 및 효과

| 형 명             |        | FL 40D               | FHF 32SSEX-N           | 효 과                      |
|-----------------|--------|----------------------|------------------------|--------------------------|
| 치               | 관경[mm] | 32.5                 | 25.5                   | VOLUME 38% 절감            |
|                 | 관장[mm] | 1.198                | 1.198                  | -                        |
| 소비 전력[W]        |        | 40                   | 32                     | 전자안정기 대비<br>8W 절감        |
|                 |        | 49                   | 32.5                   | 자기식안정기 대비<br>16.5W 절감    |
| 광 속[lm]         |        | 2,660                | 3,050                  | 광속 15% 향상                |
| 평균연색<br>평가수(Ra) |        | 65                   | 84이상                   | 연색성 향상                   |
| 효 율[lm/W]       |        | 66                   | 95                     | 44% 향상                   |
|                 |        | 54                   | 93.8                   | 74% 향상(설계기준)             |
| 수 명(Hrs)        |        | 8,000                | 16,000                 | 2배 향상                    |
| 필라멘트<br>TYPE    |        | COIL형                | STICK형                 | 수명 향상                    |
| 형광막 도포          |        | 일반<br>형광체            | 보호막코팅+<br>3파장형광체       | 연색성 및 효율 향상              |
| 수은봉입            |        | 액상수은<br>Drop<br>Type | Shield Ring<br>수은봉입 확산 | 미량 주입에 의한<br>수명, 품질환경 개선 |
| 무 게(g)          |        | 250                  | 205                    | 유리자원 20% 절감 및<br>폐기물 감소  |



특히 램프와 전자식 안정기는 일체형으로 하여 즉시 점등이 되는 장점이 있어 최근 보급이 증가하고 있다. 특징으로는 전자식 안정기를 내장한 형태의 형광등으로 전력소비를 기존의 백열등에 비해 65~75% 정도 절감 가능하고 소형화(compact)로 기존 백열전구 대신 간단히 설치할 수 있다.

두번째로 전자식안정기는 IC인버터 회로를 채택한 절전형 안정기로서, 절전형 형광램프와 함께 사용하여 종전의 자기식 안정기와 재래식형광램프 사용의 경우에 비하여 30% 이상의 절전효과를 가져온다.

세번째로 고조도 반사갓은 조명이 요구되는 공간에 빛을 집중시키기 위하여 광반사율이 높은 반사갓을 사용하여 발광효율을 높이는 조명등기구이다. 형광램프 반사 등기구는 갓의 삼면(좌, 우, 배면)으로 흡수 소실되는 빛을 얼마만큼 되살려 낼 수 있으며, 또한 오래 쓸 수 있느냐에 따라 그 효율성을 평가받을 수 있다. 종래의 형광램프 몸체는 이와 같은 원리를 충분히 살리지 못한 채 백색에 나뭇 등으로 도장되어 있어 단시간내 변질 변색되기 때문에 반사율이 급격히 떨어져 귀중한 에너지를 낭비하고 있으나 반사율이 90%인 고조도 반사갓은 소실되는 빛을 되살려 밝기를 배가시켜 준다.

따라서 형광램프와 안정기수를 줄여 소비전력을 약 20% 이상 절감시킬 수 있고 자외선과 공해에 강한 내구성이 우수하며, 대전

방지와 난반사 처리(Glare) 등으로 경제성이 뛰어난 초절전 에너지절약형 제품으로 최근 지하철역 등에 많이 보급되고 있으며, 공공기관에서의 보급율도 증가하고 있다.

조명설비에서의 에너지절약을 위한 고조도 반사갓은 높은 반사율을 가진 내구성 있는 원판을 사용하고, 중첩반사를 완전 제거한 광학형상의 반사갓을 사용하며, 신축건물인 경우에는 등기구 수량을 약 30% 축소 가능하며, 개보수인 경우에는 4등을 2-3등으로, 3등을 2등으로 교체 가능하고 램프의 표면온도도 낮아 수명도 길어짐으로써 에너지절약 뿐만 아니라 보수유지비도 절약할 수 있다.

특징으로는 철판에 백색 멜라민 수지를 도장한 것, 알루미늄 박판을 증착시킨 것, 은제도금 등이 있으며 발광효율을 최고 90% 까지 향상시킨다. 통상 형광등(직관형, 서크라)에 등기구와 조합되어 쓰이며 조건에 따라 25~50%의 절전효과가 있다[7-9].

이와 같은 고효율 및 고마크 인증기자재를 학교시설에 적용하여 교육청은 기존의 노후된 재래식 조명기기를 ESCO사업을 통하여 교체하여 기존에 기준조도(300LX)에 미치지 못하는 학교에 대하여 사업을 통해 조도를 향상시키고 또한 조명효율을 증가시켜 전기요금의 절감 등 효율적으로 교육환경을 개선시켜 나가고 있다.

## 2.2 기존의 산출방법

기존의 재래식안정기 40[W]를 32[W] 전자식안정기로 교체할

경우 안정기 손실전력을 기존 40[W]의 경우 10[W], 그리고 32[W]의 경우 거의 없다고 하여 각각의 소비전력은 100[W], 64[W]로 교체 전, 후의 절감효과를 표 2-2의 필요산출 변수자료에서 보는 바와 같이 36[W]가 된다. 여기서 안정기 수량을 32[W] 2등용을 1,000[개] 교체할 경우 필요한 삼파장 형광램프는 2,000[개]가 된다 .

표 2-2 필요산출 변수자료

| 항 목            |         | 교 체 전 | 교 체 후 | 비 고 |
|----------------|---------|-------|-------|-----|
| 소비 전력[W]       | 32W 2등용 | 100   | 64    |     |
|                | 32W 1등용 |       |       |     |
| 안정기수량[EA]      | 32W 2등용 | 1.000 |       |     |
|                | 32W 1등용 |       |       |     |
| 삼파장 형광램프[EA]   |         | 2.000 |       |     |
| 연 평균사용시간[Hrs/] |         | 3,600 |       |     |
| 에너지단가[원/kWH]   |         | 99    |       |     |

여기서 ESCO사업자가 기존에 적용한 고효율 조명기기의 연평균 사용시간은 3600[시간]으로 이것은 하루 10[시간], 월 30[일], 연간 12[개월]로 계산된 값으로 비교적 에너지사용량이 많은 일반 빌딩이나 사무실 등과 같이 큰 값이다. 여기서 기존의 연평균사용 시간을 C라고 하여 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$C = 10\text{시간/일} \times 30\text{일/월} \times 12\text{개월/년[Hrs/년]} \text{ ----- (2-1)}$$

여기서 연간 에너지 절감량과 에너지 절감액을 구해보면, 먼저 에너지 절감량 D는 식(2-2)와 같이 구해진다.

$$D = A \times 0.036 \times C \text{ [kWH]} \text{ ----- (2-2)}$$

여기서 A=교체수량[개]이다. 또한 에너지 절감액은 에너지 절감량을 에너지단가와 곱한 값으로 식(2-3)과 같다.

$$E = D \times \text{에너지단가 [천원/년]} \text{ ----- (2-3)}$$

여기서 에너지단가는 99[원]으로 일률적으로 적용되어 있다. 실제 각 학교별 에너지단가는 연간 전기요금에 연간 전기사용량을 나누게 되면 정확한 값이 구해진다.

표 2-3 연간 에너지 절감량 및 절감액 산출

| 구분   | 소비전력<br>[W] | 수량<br>[EA] | 연평균 가동시간<br>[Hrs/yr] | 연간사용량<br>[kWH/yr] | 연간사용액<br>[천원/yr] |
|------|-------------|------------|----------------------|-------------------|------------------|
| 교체 전 | 100         | 1.000      | 3,600                | 360,000           | 35,640           |
| 교체 후 | 64          | 1.000      | 3,600                | 230,400           | 22,809           |
| 절감효과 | 36          | -          | -                    | 129,600           | 12,831           |

그리고 이 값도 마찬가지로 투자비 환수기간과 비례하여 영향을 준다. 따라서 교체 전, 후의 연간 에너지 절감량은 129,600[kW H/yr]가 되고 연간 에너지 절감액은 12,831[천원/yr]가 된다.

여기서 투자비 환수기간을 구해보면 총투자 사업비를 연간 에너지 절감액으로 나누게 되면 식(2-4)가 된다. 총투자 사업비는 ESCO를 하기 위한 자재비, 인건비, 요율, 융자금이자 그리고 이자를 모두 포함한 금액이다.

$$\begin{aligned}
 \text{투자비 환수기간 } T &= \text{총투자 사업비} / \text{연간 에너지 절감액} \\
 &= \text{총투자 사업비} / E \text{ [년]} \text{ ----- (2-4)}
 \end{aligned}$$

표 2-4 투자비 환수기간 산출

| 총투자 사업비<br>[천원] | 에너지 절감량<br>[kWh/yr] | 에너지 절감액<br>[천원/yr] | 투자비 환수기간<br>[년] |
|-----------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| 80,000          | 162,000             | 15,852             | 5.04            |

(※ 총투자 사업비 = 자재비 + 인건비 + 요율 + 융자금이자 + 이윤)

따라서 총투자 사업비 65,000[천원]를 연간 에너지 절감액 12,831[천원]으로 나누서 5.06[년]이라는 기간이 나오게 됨을 알 수 있다.

### 2.3 적용시 문제점

현재 울산광역시강북교육청의 학교 현황은 초등 40개교, 중등 20개교로 모두 60개교가 지역에 분포되어 있다. 이 중에서 이러한 기존의 에너지절감 산출방법을 이용하여 교육청과 ESCO 사업자와 2001년도 05월부터 2002년도 02월까지 교육청관내 초등학교 10개교에 대해서 실시하였다. 표 2-5는 이러한 기존의 에너지절감 산출방법에 따른 조명기기의 연평균 사용시간 3,600[시간]과 에너지 단가 99[원]을 적용하여 각 학교별 고효율 조명기기교체 사업현황을 나타내는 것이다.

표 2-5 학교별 고효율조명기기 교체사업현황

( 2001.05~2002.02월까지)

| 번호     | 학교명  | 전자식<br>안정기<br>[32W] |     | 에너지<br>절감량<br>[kWH/년] | 에너지<br>절감액<br>[천원/년] | 년평균<br>사용시간<br>[Hrs/년] | 총<br>투자비<br>[천원] | 에너지<br>단가<br>[원] | 투자비상환액      |          |                 |
|--------|------|---------------------|-----|-----------------------|----------------------|------------------------|------------------|------------------|-------------|----------|-----------------|
|        |      | 2등용                 | 1등용 |                       |                      |                        |                  |                  | 월상환액<br>[원] |          | 상환<br>기간<br>[년] |
|        |      |                     |     |                       |                      |                        |                  |                  | 1~59<br>개월  | 마지막<br>월 |                 |
| 1      | 다운초등 | 564                 | 94  | 79,186                | 7,839                | 3,600                  | 39,197           | 99               | 664.354     | 39.197   | 5               |
| 2      | 삼일초등 | 475                 | 92  | 67,522                | 6,685                | 3,600                  | 33,423           | 99               | 566.495     | 33.423   | 5               |
| 3      | 녹수초등 | 446                 | 97  | 64,087                | 6,345                | 3,600                  | 31,723           | 99               | 537.681     | 31.723   | 5               |
| 4      | 전하초등 | 575                 | 104 | 81,259                | 8,045                | 3,600                  | 40,223           | 99               | 681.751     | 40.223   | 5               |
| 5      | 태화초등 | 188                 | 22  | 25,790                | 2,553                | 3,600                  | 12,766           | 99               | 216.377     | 12.766   | 5               |
| 6      | 연암초등 | 512                 | 92  | 72,317                | 7,159                | 3,600                  | 35,797           | 99               | 606.726     | 35.797   | 5               |
| 7      | 서부초등 | 531                 | 98  | 75,168                | 7,442                | 3,600                  | 37,208           | 99               | 630.647     | 37.208   | 5               |
| 8      | 상진초등 | 630                 | 100 | 88,128                | 8,725                | 3,600                  | 43,623           | 99               | 739.379     | 43.623   | 5               |
| 9      | 동부초등 | 682                 | 132 | 96,941                | 9,597                | 3,600                  | 47,986           | 99               | 813.317     | 47.986   | 5               |
| 10     | 약수초등 | 577                 | 110 | 81,907                | 8,109                | 3,600                  | 40,544           | 99               | 687.188     | 40.544   | 5               |
| 합<br>계 |      | 5,180               | 941 | 732,305               | 72,498               |                        | 362,491          |                  |             |          |                 |

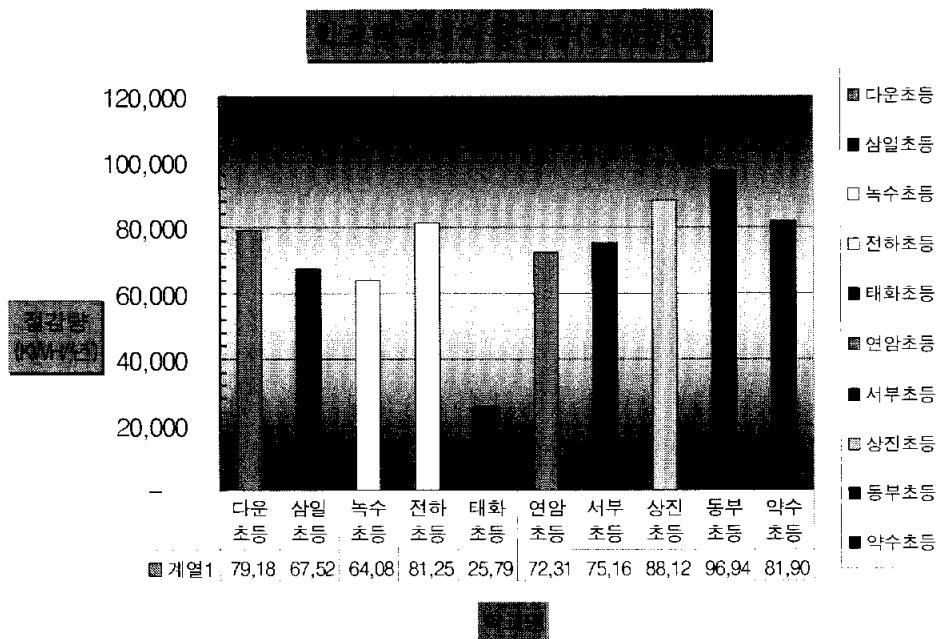


그림 2-1 학교별 연간 에너지 절감량 산출현황



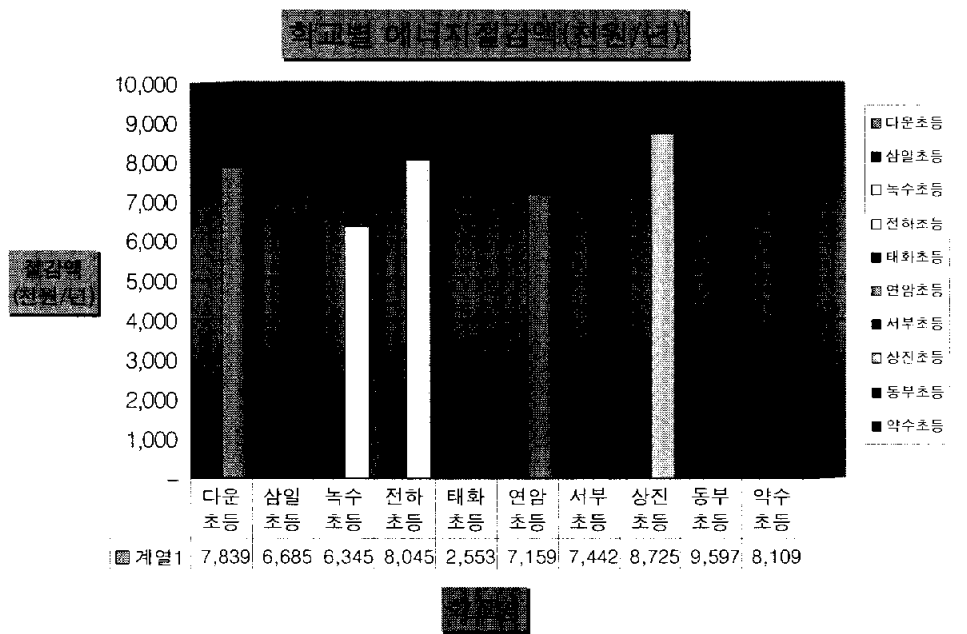


그림 2-2 학교별 연간 에너지 절감액 산출현황

그리고 향후 교육청관내 중구 12개교, 동구 10개교, 북구 7개교에 대하여 연차적으로 추진 할 계획이다. 표 2-5에서 다운초등의 경우를 살펴보면 전자식 안정기 교체 수량을 2등용을 564[개] 1등용을 94[개]로 교체하여 이에 따른 학교의 연간 에너지 절감량과 연간 에너지 절감액은 각각 78,286 [kWH/년] 및 7,839[천원/년]이 나왔으며 고효율 조명기기 교체사업을 하기 위한 자재비, 인건비, 요율, 용자금이자 그리고 이자를 모두 포함한 금액 즉 총투자 사업비는 39,197[천원]으로 이에 따른 투자비 환수기간은 약 5[년]으로 교육청이 부담하는 월상환액은 664,354[원]으로 나타났다. 그림 2-1 및 그림 2-2는 각 학교별 연간 에너지 절감현황을 그래프로 나타낸 그림이다.

기존의 울산광역시강북교육청이 고효율 조명기기 교체 ESCO사업에서 적용한 에너지 절감 산출방법에 따라 실시한 관내 초등학교 10개교의 사업현황을 살펴보았다. 여기서 기존의 에너지 절감 산출방법의 경우에 나타난 문제점은 아래와 같다.

#### - 고효율 조명기기 연평균 사용시간의 과다 산출적용

▶ 연평균 사용시간 C는 식(2-1)에서 알 수 있듯이 하루 10 [시간], 월 30[일], 연간 12[개월]으로 계산된 3,600[시간]으로 적용

▶ 투자비 환수기간 T는 식(2-4)로 부터 총투자 사업비를 연간 에너지 절감액으로 나눈 값으로 약 5[년]으로 적용

- **연평균 사용시간 과다 산출적용에 따른 투자비 환수기간 단축**

▶ 에너지 사용자(교육청) : 높은 월상환액으로 예산의 비용부담 증가와 교체제품의 보증기간이(A/S) 단축됨에 따라 유지관리비가 늘어나는 단점

▶ ESCO 사업자 : 은행 부채비율 감소, 교체 제품의 유지관리비 감소되어 이윤이 증가되는 장점

다음 장에서는 이러한 기존의 문제점을 해결할 수 있는 초·중등학교시설의 에너지 사용특성을 고려한 새로운 에너지절감 산출방법을 제안하였다.

## 제 3 장 에너지절감 산출의 개선된 방법

### 3.1 제안하는 새로운 방법

우선 초·중등학교 조명기기의 연평균 사용시간을 각 학교별 연간 수업시간과 같다고 하고 실제의 연평균 사용시간을 다음과 같은 식으로 정의한다.

$$C' = K \times Y [\text{Hrs/년}] \text{ ----- (3-1)}$$

(여기서  $K$  = 일평균 수업시간

$Y$  = 연간 수업일수가 된다.)

먼저 일평균 수업시간  $K$ 를 구해보면 초등학교의 경우 학년별 요일별 수업시간을 조사하여 구한 다음 이것의 전체의 합계에 평균을 나누게 되면 표 3-1에서 4.78[시간]이라는 값이 나오게 된다.

그리고 연간 수업일수는 현행 초·중등교육법시행령 제45조에 의거 220[일]로 규정되어 있다. 따라서 이들을 상호 적용시켜보면 실제 연평균 사용시간은 식(3-2)와 같은 값이 나오게 된다.

$$C' = 4.78 \times 220 = 1,052 [\text{Hrs/년}] \text{ ----- (3-2)}$$

표 3-1 초등학교의 일평균 수업시간

| 요일<br>학년 | 월    | 화    | 수    | 목    | 금    | 토    | 합계          | 일평균수업<br>시간 |
|----------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------------|
| 1        | 4    | 4    | 5    | 4    | 4    | 4    | 25          | 4.17        |
| 2        | 4    | 4    | 5    | 4    | 4    | 4    | 25          | 4.17        |
| 3        | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 4    | 29          | 4.83        |
| 4        | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 4    | 29          | 4.83        |
| 5        | 6    | 6    | 5    | 6    | 5    | 4    | 32          | 5.33        |
| 6        | 6    | 6    | 5    | 6    | 5    | 4    | 32          | 5.33        |
| 합계       | 30   | 30   | 30   | 30   | 28   | 24   | 172         | <u>4.78</u> |
| 평균       | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 4.67 | 4.00 | <u>4.78</u> |             |

이 값은 앞은 기존의 3600[시간]보다는 약 1/3 정도의 값이다.  
또한 이러한 실제의 연평균 사용시간을 적용한 투자비 환수기간을  
구해보면 식 (3-3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 T_e &= 65,000,000 / (1000 \times 0.036 \times 1.052 \times 99) \\
 &= 17.33[\text{년}] \text{ ----- (3-3)}
 \end{aligned}$$

이 값은 앞의 기존의 투자비 환수기간의 5.06[년] 보다는 약 3배 정도 긴 기간임을 알 수 있다. 결과적으로 기존의 산출방법에 의한 각 학교의 연평균 사용시간과 투자비 환수기간에 비해 제안된 산출방법으로 했을 경우의 값과는 차이가 많이 난다는 것을 알 수가 있다. 물론 각 학교별 조명기기의 사용시간은 다소 차이가 많을 것이다. 교실별로 조명기기를 사용하고 있는 장소와 그리고 사용하지 않는 장소 그리고 보통교실과는 다른 숙직실과 행정실 그리고 화장실 등과 같은 교실과는 다른 경우의 조명부하의 사용시간, 그리고 일조량이 적고 많음도 조명 사용시간에 많은 영향을 줄 것이다. 그리고 방학기간에는 행정실과 같은 장소에만 사용되는 경우도 있을 것이다. 하지만 여기서 제안된 일평균 사용시간은 이들에 대해 모두 감안하여 나타낸 평균적인 수치이다.

### 3.2 적용시 개선효과

지금까지 제안하는 새로운 에너지절감 산출방법에 대해 알아보았다. 다음의 표 3-1은 교육청과 ESCO가 만약에 제안된 새로운 에너지절감 산출방법을 이용했을 경우의 에너지 절감현황을 기존에 사용하던 에너지절감 산출방법에 의해서 얻어진 결과와 상호 비교하여 교육청이 2001년 05월부터 2002년 02월까지 시행한 초등학교 10개교에 대한 비교현황을 나타낸 것이다.

표 3-1 기존방법을 새로운 방법으로 적용시 개선현황

| 학교명  | 기존의 산출방법              |                      |                        |                    | 새로운 산출방법              |                      |                        |                    |
|------|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------|
|      | 에너지<br>절감량<br>[kWH/년] | 에너지<br>절감액<br>[천원/년] | 연평균<br>사용시간<br>[Hrs/년] | 투자비<br>환수기간<br>[년] | 에너지<br>절감량<br>[kWH/년] | 에너지<br>절감액<br>[천원/년] | 연평균<br>사용시간<br>[Hrs/년] | 투자비<br>환수기간<br>[년] |
| 다운초등 | 79,186                | 7,839                | 3,600                  | 5.06               | 23,140                | 2,291                | 1,052                  | 17.33              |
| 삼일초등 | 67,522                | 6,685                | 3,600                  | 5.06               | 19,731                | 1,953                | 1,052                  | 17.33              |
| 녹수초등 | 64,087                | 6,345                | 3,600                  | 5.06               | 18,728                | 1,854                | 1,052                  | 17.33              |
| 전하초등 | 81,259                | 8,045                | 3,600                  | 5.06               | 23,746                | 2,351                | 1,052                  | 17.33              |
| 태화초등 | 25,790                | 2,553                | 3,600                  | 5.06               | 7,537                 | 746                  | 1,052                  | 17.33              |
| 연암초등 | 72,317                | 7,159                | 3,600                  | 5.06               | 21,133                | 2,092                | 1,052                  | 17.33              |
| 서부초등 | 75,168                | 7,442                | 3,600                  | 5.06               | 21,966                | 2,175                | 1,052                  | 17.33              |
| 상진초등 | 88,128                | 8,725                | 3,600                  | 5.06               | 25,753                | 2,550                | 1,052                  | 17.33              |
| 동부초등 | 96,941                | 9,597                | 3,600                  | 5.06               | 28,328                | 2,804                | 1,052                  | 17.33              |
| 약수초등 | 81,907                | 8,109                | 3,600                  | 5.06               | 23,935                | 2,370                | 1,052                  | 17.33              |
| 계    |                       | 72,498               |                        |                    |                       | 21,186               |                        |                    |

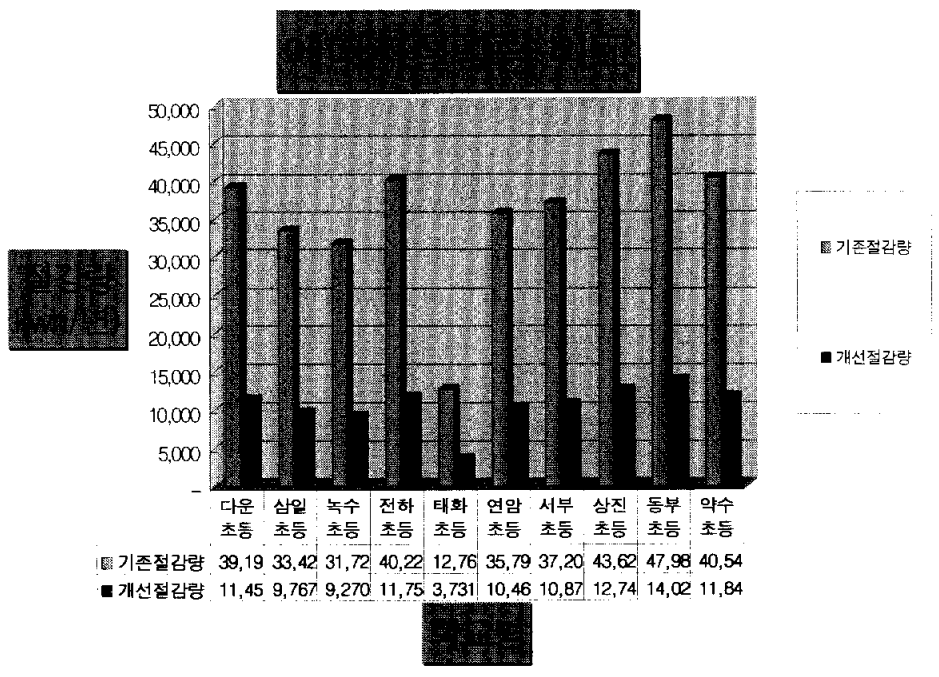


그림 3-1 기존과 개선된 방법의 에너지 절감량 비교



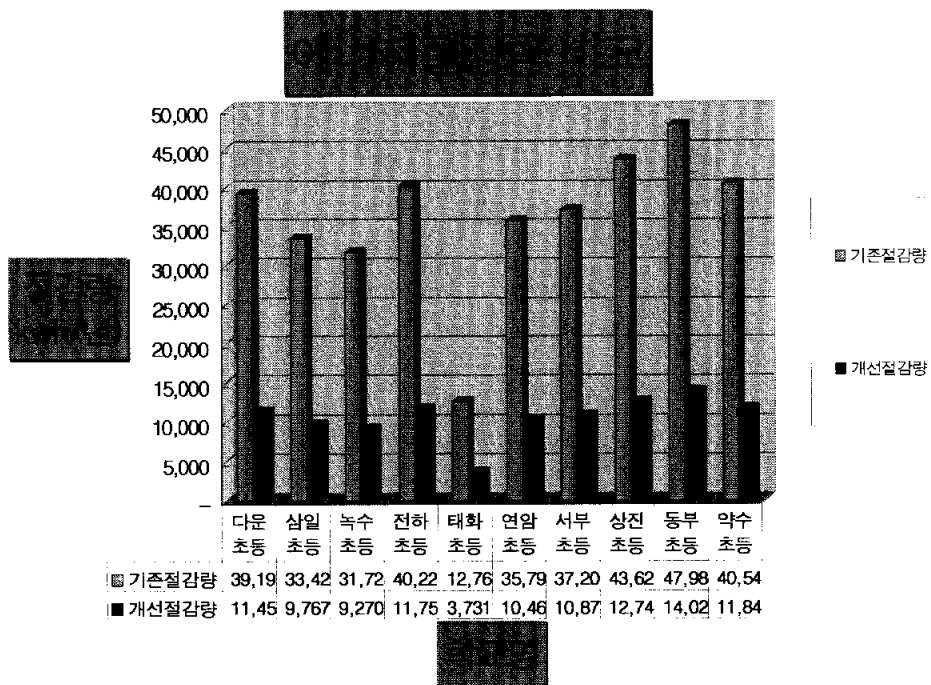


그림 3-2 기존과 개선된 방법의 에너지 절감액 비교

표 3-1에서 기존의 산출방법에 의한 연평균 사용시간 3,600[시간]의 경우 다운초등학교를 살펴보면 연간 에너지 절감량은 79,186[kWH]이고 연간 에너지 절감액은 7,839[천원]이다. 이에 따른 투자비 환수기간은 5.06[년]으로 나왔으며 새로운 산출방법에 의해서 약 1/3 정도 줄어든 값의 연평균 사용시간 1,052[시간]을 적용했을 경우 각각의 연평균 에너지 절감량과 절감액은 23,140[kWH] 및 2,291[천원]으로 기존의 값보다 약 1/3 정도 줄어든 값이다. 그리고 그 결과로 투자비 환수기간은 17.33[년]으로 앞의 5.06[년] 보다 약 3배 정도 많은 값을 알 수 있다. 이에 따른 기존의 각 학교별 연간 에너지 절감량과 절감액을 개선 후와 비교해 보면 그림 3-1 및 그림 3-2와 같이 나타난다. 따라서 새로운 방법의 개선효과는 무엇보다도 각 학교의 조명기기의 연평균 사용시간이 줄어들게 되어 각 학교의 연간 에너지 절감량과 절감액은 약 1/3 정도 줄어들지만 투자비 환수기간이 약 3배 정도 기간이 늘어나 교육청이 부담하는 월상환액이 줄어들고 또한 제품의 보증기간도 마찬가지로 늘어났다는 것이다.

## 제 4 장 제안된 방법의 검증

### 4.1 검증방법

실제로 고효율 조명기기의 교체 전·후의 에너지절감을 알아보기 위해 우선 사업을 시행한 초등학교 10개교의 관할지점 한국전력공사 영업부를 직접 방문하여 비교적 조명부하가 아닌 다른 부하(냉난방기)의 사용량이 적은 교체전년도 04월, 05월, 06월의 전기사용량과 전기요금과 교체후년도 04월, 05월, 06월의 각 학교별 전기사용량과 전기요금을 조사하여 실제의 월평균 에너지 절감량과 절감액의 계산하여 작성해 보았다. 그리고 기존의 산출방법으로 했을 경우 월평균 에너지 절감량과 절감액과 제안하는 새로운 산출방법의 월평균 절감량과 절감액을 계산하여 비교해 보니 표 4-1과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

### 4.2 검증결과

표 4-1에서 다운초등의 경우를 살펴보면 교체전년도 월평균 사용량과 전기요금은 각각 11,379[kWH], 1,206,888[원]이었으며 교체후년도 월평균 사용량과 전기요금은 각각 10,574[kWH] 및 1,051,093[원]으로 다소 줄어들었으며 이 값들의 차인 실제 조사된 절감분은 각각 805[kWH], 155,787[원]으로 나타났다.

표 4-1 개선 전,후의 학교별 에너지절감량 비교현황  
(교체 전년도 04.05.06월 평균과 교체후년도 04.05.06월 평균비교)

| 학교명  | 교체 전년도<br>평균 |             | 교체 후년도<br>평균 |             | 조사된 전·후<br>절감분<br>(한국전력공사) |                   | 기존의 방법              |                   | 새로운 방법              |                   |
|------|--------------|-------------|--------------|-------------|----------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
|      | 사용량<br>[kWH] | 전기요금<br>[원] | 사용량<br>[kWH] | 전기요금<br>[원] | 에너지<br>절감량<br>[kWH]        | 에너지<br>절감액<br>[원] | 에너지<br>절감량<br>[kWH] | 에너지<br>절감액<br>[원] | 에너지<br>절감량<br>[kWH] | 에너지<br>절감액<br>[원] |
| 다운초등 | 11,379       | 1,206,880   | 10,574       | 1,051,093   | 805                        | 155,787           | 1,833               | 525,833           | 536                 | 153,532           |
| 삼일초등 | 14,637       | 1,580,177   | 14,113       | 1,397,187   | 524                        | 182,990           | 1,563               | 472,583           | 457                 | 137,985           |
| 녹수초등 | 14,461       | 1,486,246   | 14,012       | 1,387,188   | 449                        | 98,058            | 1,470               | 436,000           | 430                 | 127,303           |
| 전하초등 | 9,701        | 1,025,410   | 9,106        | 901,395     | 596                        | 124,015           | 1,881               | 562,750           | 550                 | 164,311           |
| 태화초등 | 11,596       | 1,201,523   | 11,382       | 1,126,818   | 213                        | 74,705            | 606                 | 199,833           | 177                 | 58,347            |
| 연암초등 | 8,424        | 889,347     | 7,862        | 778,338     | 562                        | 111,009           | 1,674               | 500,833           | 489                 | 146,233           |
| 서부초등 | 7,824        | 812,053     | 7,526        | 745,074     | 298                        | 66,979            | 1,674               | 567,917           | 489                 | 165,820           |
| 상진초등 | 10,538       | 1,120,364   | 9,986        | 988,515     | 553                        | 131,849           | 2,070               | 679,750           | 605                 | 198,473           |
| 동부초등 | 13,272       | 1,385,621   | 12,786       | 1,265,715   | 487                        | 119,906           | 2,244               | 735,917           | 656                 | 214,872           |
| 약수초등 | 10,723       | 1,145,700   | 9,889        | 979,011     | 834                        | 166,689           | 2,077               | 616,833           | 607                 | 180,103           |

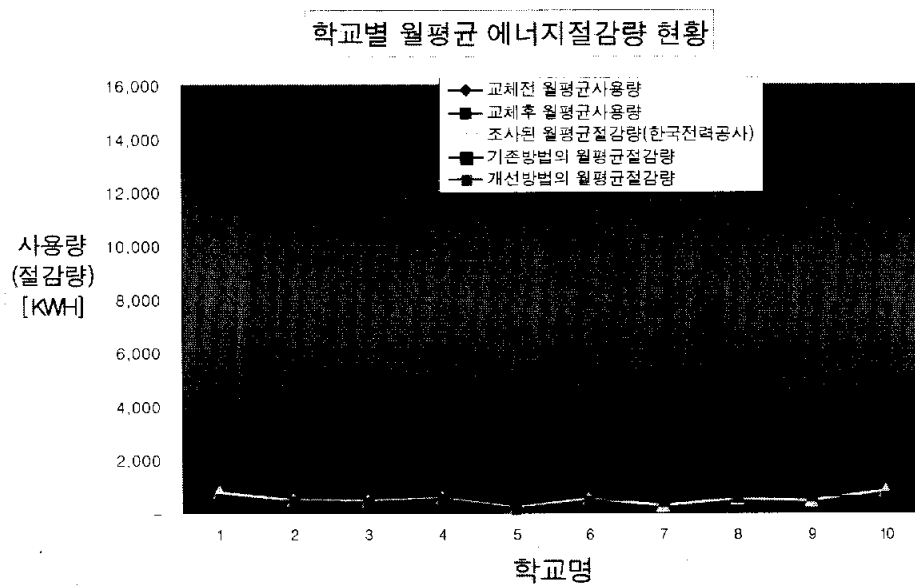


그림 4-1 개선 전,후의 에너지 절감량 비교현황

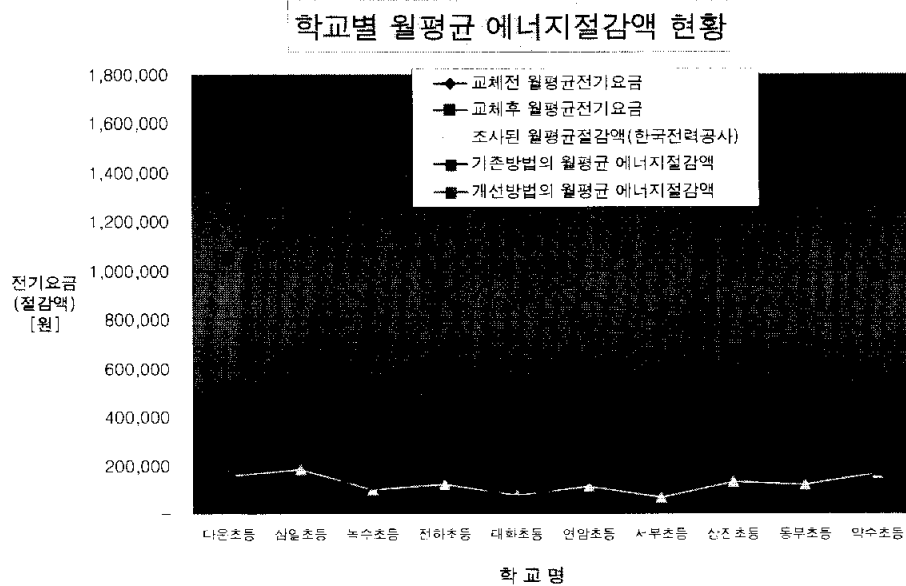


그림 4-2 개선 전,후의 학교별 에너지 절감액 비교현황

여기서 기존의 산출방법에 의한 월평균 에너지 절감량과 절감액은 각각 1,833[kWH] 및 525,833[원]으로 실제 조사된 절감분보다 약 3배 가량 많은 값으로 나타났다. 그리고 제안된 새로운 산출방법으로 했을 경우 월평균 에너지 절감량과 절감액은 각각 536[kWH] 및 153,532[원]으로 이 값은 앞의 실제로 조사된 값과 동일한 값으로 나타났으며 학교별로 조금씩 차이는 있지만 결과적으로 모두 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 그림 4-1 및 그림 4-2는 앞의 표 4-1의 값을 이용하여 초등학교 10개교에 대해 교체 전년도 04, 05, 06월의 평균과 교체 후년도 04, 05, 06월의 평균을 비교한 에너지절감 현황을 그래프로 나타낸 것이다.

## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 초·중등학교 시설에 대한 고효율 조명기기 교체 ESCO사업에서 현재 울산광역시강북교육청과 ESCO사업자 간에 시행중인 합의에 의한 계산식 중 기존에 일률적으로 적용하던 연평균사용시간을 학교의 에너지사용 특성을 고려한 방법을 새로이 제안하였다. 그 결과 조명기기의 연평균 사용시간은 기존 3,600[시간]에서 1,052[시간]으로 약 1/3 정도 감소되었으며 이로 인해 투자비 환수기간은 5.06[년]에서 17.33[년]으로 약 3배 정도 증가되었다. 따라서 제안하는 방법을 적용할 경우 기대되는 효과로는 무엇보다도 정확한 에너지절감 산출방법으로 교육청과 ESCO 사업자 상호간 사업의 신뢰도를 향상시킬 수 있으며 기존방법보다 투자비 환수기간이 증가됨에 따라 교육청이 부담하는 월상환액이 감소되어 연간 예산의 비용부담을 해소시킬 수 있고 마지막으로 교체되는 제품의 보증기간이 증가됨에 따라 각 학교의 조명기기에 대한 원활한 유지관리를 도모할 수 있다는 등의 장점을 들 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방식은 초·중등학교 뿐만 아니라 대부분 교육기관의 고효율조명기기 ESCO사업에 있어서 좀더 정확한 에너지절감 산출에 기여하는 바가 클 것으로 기대된다.



## 참 고 문 헌

- [1] (사)에너지절약전문기업협회, "The Magaxine for Energy Service Companies", pp. 53~55, 2002.07
- [2] 교육인적자원부, "교육시설의 에너지절약사업 적용 타당성검토 및 지침서 개발 연구", pp. 03~05, 1998.
- [3] 한국전력공사 전력연구원 전력기반조성사업실, "전력수요관리사업운영지침", pp. 08~09, 2002.
- [4] 울산광역시강북교육청, "교실 조도개선 ESCO사업 분석결과", pp. 06, 1999.
- [5] 에너지관리공단홈페이지 - 에너지관리진단  
[<http://www.kemco.or.kr/diagnosis/>]
- [6] (사)에너지절약전문기업협회홈페이지 - 기술자료  
[<http://www.esco.or.kr/main2.htm>]
- [7] 한국전력공사홈페이지 - 전력정보광장 에너지의 모든 것  
[<http://www.kepco.co.kr/energy/index.html>]
- [8] 한국에너지기술연구원 - 기술정보검색 - 에너지  
[<http://www.kier.re.kr/search.htm>]
- [9] (재)한국조명기술연구소 - 산업정보검색 - 조명기술DB  
[<http://www.kilt.re.kr/asp/search/tlist.>]

## 감 사 의 글

늦은 밤 하루일을 마치고 힘들었지만 항상 웃으면서 재미있게 공부하던 친구들, 수업의 흥미를 위해서 열과 성을 다해주시던 교수님들 모습이 우선 떠오르게 됩니다. 그리고 이 논문의 준비에서 발표, 심사까지의 모든 과정에서 다시 한번 인내와 보람을 함께 느끼게 지도 해주신 노의철교수님에게 무엇보다도 고마운 마음을 전하고 싶습니다. 또한 애정 어린 마음으로 세심하게 논문심사를 해주신 김천덕 교수님과 김인동 교수님께도 머리 숙여 감사 드립니다. 대학원 생활동안 힘들고 어려울 때 항상 같이 고민하며 즐겁게 지냈던 영준, 성진 등 대학원 학형들에게도 감사 드리며 항상 건강하고 좋은 결실을 맺길 기원합니다. 또한 전기공학과 모든 교수님들과 학과사무실 직원분들 모두 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 끝까지 포기하지 않도록 물심양면 내조와 응원을 아끼지 않았던 나의 사랑스런 아내 영희와 힘찬 기쁨과 희망을 안겨주었고 곧 있으면 세상에 나올 우리아기 하늘이에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

2002년 한해가 저물어 가고 있는 계절에 집에서..