

캠퍼스 건물에 적용 가능한 카운터 센서와 태양광 발전의 효과

- 서울대학교 공대 신양 학술정보관을 대상으로 -



서울대학교

초록

본 연구는 카운터 센서와 태양광 발전을 통하여 서울대학교 공대 신양 학술정보관의 전력 에너지 사용량을 줄이는 방안을 제시하고, 경제성 평가를 하는 것을 목적으로 한다.

먼저 공대신양 화장실의 사용빈도 조사와 카운터센서 업체 문의를 통해 조명 전력 절감률을 추출하였다. 그리고 신양 설계도면과 AutoCad를 통한 옥상 면적 측정과 업체 문의를 통해 태양광 발전기 예상 전력 생산량을 추출하였다. 마지막으로 이 결과와 현재 신양 전력 사용량 및 전력 사용료를 토대로 경제성 분석을 통해 손익 분기점을 도출했다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 카운터센서를 화장실에 설치해 78.3%의 전기를 절감할 수 있다.
- 카운터센서 설치에 따른 손익분기점은 2년 3개월이다.
- 태양광 발전을 통해 월 평균 13500kWh 전력을 발전할 수 있다.
- 태양광 발전기 설치에 따른 손익분기점은 15년이다.

이러한 연구결과를 바탕으로 공대 신양학술관의 에너지 사용 개선 및 서울대학교 건물 에너지 절감방안을 위한 정책을 세우는데 참고가 될 것이다.

- **핵심어:** 전력 절감, 카운터 센서, 태양광 발전기, 경제성분석

목차

1. 서론
2. 선행연구 및 실태조사
 - 2.1. 카운터 센서
 - 2.2. 태양광 발전
3. 이론적 배경
 - 3.1. 카운터 센서
 - 3.2. 태양광발전
 - 3.3. 경제성 분석
 - 3.3.1. 순현재가치(NPV: Net Present Value)
 - 3.3.2. 비용 편익 분석(B/C Analysis)
4. 연구 방법
 - 4.1. 카운터 센서
 - 4.2. 태양광발전
5. 연구 결과 및 분석
 - 5.1. 카운터 센서
 - 5.1.1. 현재 화장실 전기사용요금
 - 5.1.2. 전기 사용량 절감 효과 예상
 - 5.1.3. 카운터 센서 비용 편익 분석(B/C Analysis)
 - 5.2. 태양광발전
 - 5.2.1. 신양 학술정보관의 전기 사용량 및 요금
 - 5.2.2. 신양 학술정보관 옥상의 조건
 - 5.2.3. 태양광 발전 장치의 전기 사용량 절약 효과 및 설치비용
 - 5.2.4. 태양광 발전 장치 비용 편익 분석(B/C Analysis)
6. 결론
 - 6.1. 연구 요약 및 의의
 - 6.2. 연구의 한계
 - 6.2.1. 경제성 분석에서의 물가상승률 및 이자율 가정
 - 6.2.2. 카운터 센서 연구 시 부족한 표본 집단.
 - 6.3. 후속 연구 제안
 - 6.3.1. 다른 전력 소모 수단의 절감 방안
 - 6.3.2. 태양광 발전 이외의 신재생 에너지 적용 방안
7. 참고문헌

표 목차

<표 1> (주)보탬의 조사에 따른 서울대학교 화장실 전기 사용량 절감률.....	8
<표 2> 3층 남자화장실 이용자수 및 이용시간	9
<표 3> 자체 조사에 따른 신양 학술정보관 화장실 전기 사용량 절감률.....	10
<표 4> 2009년 44-1동 전기사용량.....	12

그림 목차

<그림 1> 2006년 국내 에너지 다소비 기관(에너지 관리공단 2007년 조사).....	1
<그림 2> 국내대학의 에너지 사용증가.....	1
<그림 3> 카운터 센서 시스템 구성도	5
<그림 4> 3층 화장실의 평일 및 주말 이용시간.....	9
<그림 5> 3층 화장실의 평균 이용시간	10
<그림 6> 공대 신양 학술 정보관 4층 평면도.....	12

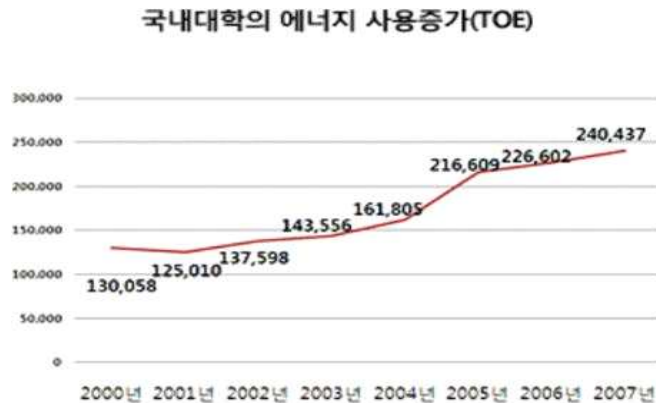
1. 서론

국내 에너지 사용률이 해가 거듭될수록 증가하고 있다. 녹색 연합의 보도 자료에 따르면 2006년 에너지 관리공단이 발표한 190개 에너지 다소비 기관 통계에서 대학은 815,976MWh를 소비하였다.¹⁾ 이는 190개 기관 사용량의 14%에 달하는 엄청난 양이다. 특히 서울대학교의 경우는 <그림1>에서 볼 수 있듯이 1년 에너지 사용량이 23개 대학 중 가장 많은데 구체적으로 2006년 한 해 동안 30년생 잣나무 6,846만여 그루가 흡수해야하는 수준의 이산화탄소량인 7만747톤을 배출했다고 한다.²⁾

No	업체명	시도	업종	연료 (TOE)	전력 (MWh)	총사용량(TOE)
1	인천국제공항공사(청사운영처)	인천	공공	6916.92	192709	48,349
2	현대기아자동차 남양기술연구소	경기	연구소	5950.66	158515	40,031
3	호텔롯데(롯데월드)	서울	호텔	6959.83	120569	32,882
4	(주)코엑스	서울	상용	5671.68	114911	30,378
5	서울대학교	서울	학교	4812.29	116547	29,870
6	연세의료원	서울	병원	6779.47	86358	25,346
7	호텔롯데(백화점포함)	서울	호텔	5360.00	82919	23,188
8	삼성서울병원	서울	병원	7124.00	63050	20,680
9	서울아산병원	서울	병원	7675.13	59897	20,553
10	포항공과대학교	경북	학교	4049.89	74716	20,114

<그림 1> 2006년 국내 에너지 다소비 기관(에너지 관리공단 2007년 조사)

<그림2>에서 국내 대학의 에너지 사용증가 추세를 살펴 볼 때 2010년 현재는 2006년보다 더 많은 전력을 사용하고 있다는 것을 예상할 수 있다. 결국 수치적으로 볼 때 서울대학교의 에너지 사용량은 국가 전체로 보아도 많은 비중을 차지하고 있다. 따라서 서울대학교의 실질적인 에너지 절감은 국가적으로도 중요한 과제라고 할 수 있다.



<그림 2> 국내대학의 에너지 사용증가

1) 연합, 「기후변화 대응, 대학이 나설 때다 - 190개 에너지 다소비 기관 중 대학 23곳」, 녹색연합 보도자료, 2008.3
 2) 위와 같은 보도자료

한편, 서울대학교는 고유가 시대가 지속됨에 따라서 지난 2008년 에너지절약 대책을 시행하였다. 에너지 소비를 절감시키기 위해 가로등 격등제, 승용차 2부제(홀짝제)등 다양한 대책을 시행해 왔으며, 전력 사용을 절감할 수 있는 다양한 대책들 또한 포함하고 있다. 하지만 이러한 대책들은 전반적으로 캠퍼스의 외부요소에 초점을 맞추었기 때문에 캠퍼스 내 개별 건물들에 적용시킬 수 있는 구체적인 방안들은 부족한 실정이다.

그리고 대학에서 사용하는 에너지의 거의 대부분은 건물에서 사용하는 전기 에너지이고 전기 에너지는 다른 분야의 에너지보다 사용률이 가장 크게 증가하는 추세이다.³⁾ 따라서 건물 이용자들의 전력 소비패턴에 따라 전력이 낭비되는 부분을 설비를 통해 보완하는 노력이 필요하다.

효율적인 설비를 통해 전력 소모를 줄이는 것은 에너지 절약뿐 아니라, 경제적인 측면에서도 이득이 있을 것으로 예상된다. 앞으로 우리나라에도 이산화탄소 배출권 제도가 시행되면 톤당 8만원으로 계산했을 때, 7만 747톤은 56억5976만원에 해당하는 돈이다. 이로 볼 때 단순히 에너지 절약으로 인한 경제적인 이득 외에 탄소 배출권을 대비하는 측면에서도 전력 에너지 절감 연구는 필수적이다.

이 논문은 서울대학교 건물에서 전력소비를 절감하는 방안에 대해서 제시하고자 한다. 현재 신축건물이 몇 안 되는 서울대학교 캠퍼스 내에는 자동 점등, 냉·난방 시스템과 같은 효율적인 첨단시설들이 설치되지 않은 건물들이 많이 존재하고 있다. 그 중에서도 특별히 공대 신양 학술정보관은 24시간 내내 만남의 장소, 카페, 전산처리 업무, 세미나실, 독서실 등 다양한 목적으로 많은 사람들이 이용하고 있는 건물로, 전력 소모가 다른 건물에 비해 상당하지만 구식 설비를 사용함으로써 비효율적으로 전력을 소모한다고 판단된다. 이 때문에 본고는 먼저 공대 신양학술정보관을 연구 대상으로 하여 전기 에너지 절감방안을 연구하고자 한다.

공대 신양학술정보관 건물 내부에서 사용하고 있는 전산실 컴퓨터, 냉·난방 전력 등에 대해서도 개선여지가 필요해 보이지만, 각 층의 화장실은 사용자의 유무와 상관없이 밤낮으로 조명을 켜놓고 있어 지속적인 전력낭비가 발생된다고 생각된다. 화장실에는 조명을 사용자가 켜고 끌 수 있는 스위치가 따로 설치되어 있기는 하지만 사용자들의 부족한 절약의식 탓인지 조명을 켜고 끄는 모습은 좀처럼 보이지 않는다.

또한 공대 신양학술정보관은 지리적으로 높은 곳에 위치하고 있고 주위 건물들에 의해 일조량을 방해받지 않는다. 또한 현재 건물의 옥상을 특별한 용도로 활용하지 않고 있는 상태이다. 이와 같은 조건은 최근 친환경에너지로 각광 받고 있는 태양광 발전 설비를 적용시키기에 적합하다고 판단된다.

따라서 본고는 공대 신양학술정보관을 대상으로 하여 전력 사용을 절감하고 친환경적으로 개선할 수 있는 공학적 해결 방안에 대해 논의할 것이다. 먼저 타대학에서 적용하고 있는 에너지 절감 방안을 조사하여 예상되는 결과를 생각해 볼 것이

3) , 「대학은 에너지 먹는 하마?」, 아주경제 보도자료, 2010. 02

다. 그리고 연구 대상인 공대 신양학술정보관의 화장실에서 현재 어느 정도 전력낭비를 하고 있는지 화장실 유동인구 조사를 통해 알아볼 것이다. 이에 대한 해결방안으로 첨단 장치(카운터 센서) 도입 시 절감할 수 있는 전력량과 경제성을 분석하여 전력 소모를 효율적으로 절감할 수 있는지 살펴볼 것이다. 또한 장기적인 에코 패러다임을 고려하여 태양광 발전 장치를 설치 후 생산 가능한 전력량과 경제성을 분석하고 태양광 발전의 적용 가능성을 알아 볼 것이다. 이를 바탕으로 카운터 센서와 태양광 발전의 적용 효과에 대해 최종적으로 결론을 도출해 낼 것이며, 본고에서 고려하지 못한 한계점과 추후 연구과제에 대해서도 논하고자 한다.

2. 선행연구 및 실태조사

본 연구에 들어가기에 앞서 타 대학에서 전력 사용을 절감하고 친환경적으로 개선한 사례를 조사해보았다. 타 대학에서 어떤 방법을 사용하였는지, 그리고 적용한 결과 어느 정도의 효율을 낼 수 있었는지에 대하여 알아보았다.

2.1. 카운터 센서

공주대학교에서는 재실센서, 카운터 센서를 이용해 매년 전력의 30%를 절감하고 있다. 공주대의 강의실과 연구실 등에서는 재실센서를 설치하여 사람이 나간 이후 10분 정도 지나면 자동으로 불이 꺼지고 5분이 지나면 냉난방 시설이 자동으로 꺼지게 된다. 이 후 사람이 다시 들어오면 불이 켜지나 냉난방은 사용자 자신이 켜야 하는 시스템인데, 10분간의 여유를 두는 이유는 화장실 등 간단한 업무 등으로 잠시 이동하는 경우 반복적인 점등으로 인한 전구 수명 감소를 줄여주기 위해서이다. 그리고 화장실에는 카운터 센서를 이용하여 불이 켜지는 시스템이 가동 중이다. 한 명이 들어가면 1차적으로 모든 불이 켜지고 몇 사람이 더 들어가더라도 불은 계속 유지되며, 화장실 사용자가 전부 다 나가게 되면 모든 불이 자동으로 소등된다.

카운터 센서를 설치하여 사용하고 있는 공주대학교의 사례에서 알 수 있듯이 공대 신양학술정보관 화장실에도 카운터센서를 설치함으로써 어느 정도 전력 사용량을 절감시킬 수 있을 것이다.

2.2. 태양광 발전

상지대학교는 지열을 이용하는 5개동의 건물과 태양광 발전시스템을 갖춘 4개동 등 총 9개동에 신재생에너지 설비를 구축하고 연간 3억4,100만원의 에너지 절감효과를 거두고 있다. 상지대의 재생가능에너지 설치는 2005년 ‘맑음관’에 처음으로 지열에너지 시설이 설치된 이후로 현재까지도 계획 진행 중에 있다.

신재생 에너지를 이용해 에너지 절감 효과를 얻고 있는 상지대학교의 사례를 통해 공대 신양학술정보관에서도 태양광 발전의 도입으로 경제적인 에너지 절감 효과를 얻을 수 있을 것이라고 예상할 수 있다.

3. 이론적 배경

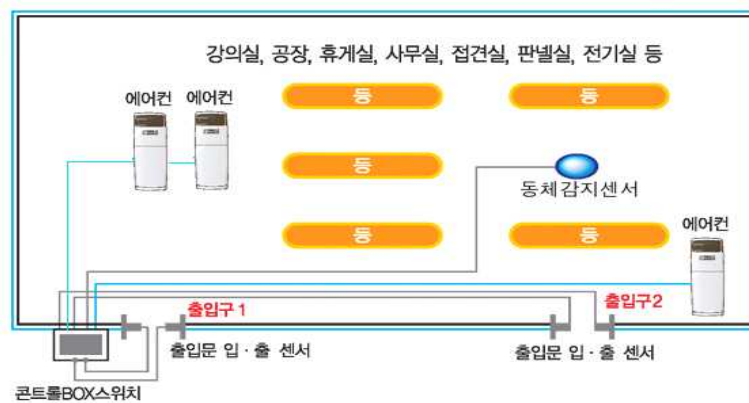
공대 신양학술정보관에 카운터 센서와 태양광발전을 적용하기에 앞서 그 가능성을 판단해보고자 각 장치의 이론적인 내용에 대해 알아보았다. 각각의 장치에 대한 기본 설명과 적용과정, 범위를 조사하였다.

3.1. 카운터 센서

카운터 센서는 출입자 인원을 IN카운트하고 퇴실자 인원을 OUT카운트하여 그 수가 0일 때 자동소등이 이루어지는 시스템이다.

기존의 동작감지센서는 내부 물체의 움직임만 감지하여 실행이 되므로 오작동이 빈번했다. 반면에 카운터 센서는 출입구의 입출방향감지센서에 의해 사용자의 입출 카운터 및 방향을 감지하여 시스템을 가동시킨다. 동시에 실내의 적외선 센서를 통해 사용자의 움직임을 감지하여 자동으로 시스템을 실행, 정지시키는 센서이다.

현재 카운터 센서는 화장실 자동소등을 시작으로 시스템 에어컨의 자동제어 시스템에도 사용되어 학교, 사무실의 절전시스템에 적용되고 있다. 카운터센서를 이용한 소방시스템과 홈 네트워크 보안시스템까지 개발되어 카운터센서의 적용범위는 확장되어가고 있다. 카운터 센서 시스템의 구성도는 다음 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 카운터 센서 시스템 구성도

3.2. 태양광발전

지구에 도달하는 태양에너지는 현재 인류가 사용하는 화석연료 및 원자력에너지 사용량의 10,000배 이상이나 되는 양이다. 태양에너지는 태양의 열에너지를 이용하는 태양열 발전과 태양광을 전기로 변환시키는 태양광 발전(태양전지)으로 나뉘어 사용되고 있다. 태양광 발전에는 태양 전지라 불리는 전기 변환 장치가 사용된다.

태양전지의 가장 기본적인 원리는 광전 효과⁴⁾이다. 태양전지에서는 반도체가 빛 에너지를 흡수하여 입자(정공과 전자)가 발생하고 그 입자가 전지 내부를 움직임으로서 전기가 발생하는 것이다. 요즘 사용되는 반도체에는 도핑 작업과 재료의 결정 방법을 통해 그 효율이 연구수준에서 30%까지 도달한 상태이다.

태양전지의 최소 단위는 셀(Cell)로 약 1.5V의 전압을 생산한다. 더 큰 전압을 얻기 위하여 여러 개의 셀(평균적으로 36개)을 직렬로 연결하여 모듈(Module)을 만들 수 있는데 이는 10~35V의 출력을 낼 수 있다. 모듈을 인버터(Inverter)를 사용하여 승압(약 200~700V)할 수 있는데 이를 스트링(String)이라 부른다. 마지막으로 여러 개의 스트링을 병렬로 연결하여 승압된 전압을 유지하면서 전력량을 증가시킬 수 있는데 이를 어레이(Array)라 부른다.

태양 전지의 수명은 전지의 종류와 환경조건 등에 의하여 결정되는데 보통 20년 이상이다. 또한 설치 후 먼지 같은 이물질이 쌓일 경우 효율이 저하되는데 이런 이물질은 보통 비에 씻겨 내려가기 때문에 특별한 유지보수를 필요로 하지 않는다.

태양의 위치는 지구의 자전, 공전에 의하여 계절과 시간에 따라 그 위치가 변한다. 태양전지는 태양의 빛을 받아 발전하는 것이므로 모듈이 태양광선에 수직일 때 최대의 출력을 낼 수 있다. 이러한 이유로 기상청의 태양 위치와 발전 장치의 GPS를 연계하여 태양을 추적하는 장치가 고안되었다. 하지만 아직까지 이 장치는 비용면에 있어 비효율적이어서 본 연구에서는 고정형 발전 장치를 고려하였다.

3.3. 경제성 분석

3.3.1. 순현재가치(NPV: Net Present Value)

순현재가치란 효율적인 사업선정을 위한 방법 가운데 하나로 투자 사업으로부터 사업의 최종년도까지 얻게 되는 순편익(편익-비용)의 흐름을 현재가치로 계산하여 이를 합한 것이다.⁵⁾ 이 때 동일한 시점에서 비교가 가능하도록 적절한 할인율을 선택하여 현재가치를 환산한다. 어떤 사업의 NPV가 0보다 크면 투자가치가 있는 것으로 평가하고 NPV가 0보다 작으면 투자가치가 없는 것으로 평가한다.

3.3.2. 비용 편익 분석(B/C Analysis)

비용 편익 분석은 여러 정책대안 가운데 가장 효과적인 대안을 찾기 위해 각 대안이 초래할 비용과 편익을 비교, 분석하는 기법이다.⁶⁾ 어떤 프로젝트와 관련된 편익과 비용들을 모두 금전적 가치로 환산한 다음, 이 결과를 토대로 프로젝트의 경제성을 평가한다. 각 대안의 비교에는 NPV, 내부수익률(Internal Rate of Return) 등이 쓰인다.

4) 등의 물질이 고유의 특정 파장 보다 짧은 파장을 가진 전자기파를 흡수했을 때 전자를 내보내는 현상

5) <http://terms.naver.com/item.nhn?dirId=701&docId=4101> 검색일자 2010.11.15.

6) <http://terms.naver.com/item.nhn?dirId=806&docId=415> 검색일자 2010.11.15.

4. 연구 방법

장치를 실제로 신양에 적용하기 위해서는 보다 구체적인 자료가 필요하였다. 연구 방법에서는 연구에 필요한 정보를 수집하는 과정과 장치의 실제 적용 과정을 제시함으로써 연구의 전체적인 방향을 기술하였다.

4.1. 카운터 센서

카운터 센서를 신양 학술정보관 화장실에 설치하여 절감할 수 있는 전기요금을 계산하기 위해서는 몇 단계의 자료조사가 필요하였다.

우선 첫 번째로 화장실에서 발생하는 전기요금을 알아야 한다. 이를 위해 화장실에서 쓰이는 조명기구의 소비전력을 확인하고 화장실 불이 켜져 있는 시간을 관리실에 문의해보았다.

두 번째로 신양 화장실에 카운터 센서를 설치하였을 때 얻을 수 있는 전기량의 절감률을 계산해 보았다. 절감률을 계산하기 위해서는 화장실에 사람이 없는데도 불이 켜져 있는 시간이 얼마나 되는지 알아야 했다. 이를 확인하기 위해 3층 남자 화장실의 이용시간을 하루에 3시간씩 총 5일에 걸쳐 조사하였다.

마지막으로 카운터 센서를 설치하기 위한 초기 비용을 알아야 했다. 초기설치비용을 가정하기 위해 2007년부터 서울대학교 화장실에 카운터 센서를 설치한 업체인 SG에너지와 (주)보탬에 비용을 문의해보았다.

4.2. 태양광발전

연구를 수행하기 위하여 우선적으로 신양에서 사용되는 전기량과 전기요금을 확인할 필요가 있었다. 이에 대한 자료를 얻기 위하여 본교 행정기구 중 기획과에 문의하였다. 또한 태양광 발전 장치의 설치 건적을 계산하기에 앞서 신양의 옥상 공간의 면적을 조사해봐야 했다. 연구 계획 시 직접 신양 옥상에 올라가 태양광 발전 장치를 설치할 수 있는 공간의 면적을 실측하려 하였다. 하지만 보다 정확한 연구를 위하여 정밀한 자료를 필요로 하였고 본교 공과대학 기획과에 문의하여 이에 관한 내용을 얻을 수 있었다.

태양광 발전의 효율과 얻을 수 있는 전압은 위의 이론적 배경에서 다루었다. 하지만 이는 태양 전지의 보편적인 값으로 실제 설치비용과 전력 산출 양을 알 필요가 있었다. 이를 위하여 경남도청, 고흥 금호 태양광발전소, 합천 신천 태양광발전소 등 20곳의 발전소와 130여 곳의 주택용 태양광 발전장치를 설치한 신재생 에너지 전문업체인 Solar E&S(Solar Energy & System Co.)에 자문을 구하였다.

5. 연구 결과 및 분석

카운터 센서와 태양광 발전의 연구 결과와 그 분석은 다음과 같다.

5.1. 카운터 센서

5.1.1. 현재 화장실 전기사용요금

현재 신양 학술정보관에는 총 8개의 화장실이 있다. 화장실 내부에는 3개의 형광등과 2개의 백열등이 사용되고 있고 화장실 입구에는 2개의 백열등이 더 설치되어 있다. 이 때 사용되는 형광등은 Philips사의 FLR32SS모델로 소비전력은 32W이고 백열등은 Philips사의 SU11194-4004 모델로 소비전력은 20W이다. 이를 바탕으로 화장실 하나당 소비전력을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{소비전력}(W) &= 4 \times 20W (\text{백열등의 소비전력}) + 3 \times 32W (\text{형광등의 소비전력}) \\ &= 176W \end{aligned}$$

24시간 불이 켜져 있는 신양 학술정보관 화장실에서 한 달 동안 사용되는 전력량을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{전력량}(Wh) &= 176W (\text{소비전력}) \times 24h (\text{사용시간}) \times 30\text{일} (\text{기간}) \\ &= 126720(Wh) \end{aligned}$$

신양 학술정보관에서 쓰이는 평균 전기요금단가는 누진세를 고려하여 77원/kwh이므로 한 달 동안 신양 학술정보관 전체 화장실에서 쓰이는 전기요금은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{전기요금(원)} &= 126.72kWh (\text{전력량}) \times 77\text{원}/kWh (\text{요금단가}) \times 8\text{개} (\text{화장실 개수}) \\ &= 78059.52(\text{원}) \end{aligned}$$

결론적으로 신양 학술정보관의 전체 화장실에서 쓰이는 한 달 평균 전기요금은 약 7만8천원이고 1년 동안 요금은 약 93만6천원이다.

5.1.2. 전기 사용량 절감 효과 예상

2007년 서울대학교 관악캠퍼스 내에 있는 985개의 화장실에 카운터 센서를 설치한 (주)보템의 조사에 따르면 전기 사용량의 절감률은 다음의 <표 1>과 같이 87.5%에 이른다.)

7) <http://www.botem-e.com>.

2010.11.11

구분	월 사용량(kWh)		절감량 (kWh)	절감률(%)
	설치 전	설치 후		
화장실(985개)	139,868kWh	17,483kWh	12,2385kWh	87.5%

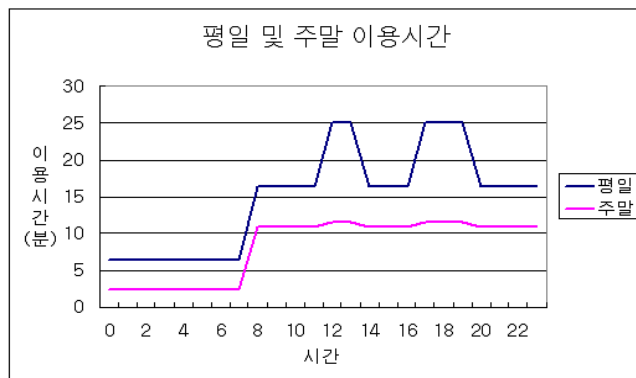
<표 1> (주)보탬의 조사에 따른 서울대학교 화장실 전기 사용량 절감률

하지만 전기 사용량 절감 효과를 좀 더 정확하게 예측하기 위하여 자체 조사를 실시하였다. 우선 화장실 이용자들의 시간대별 이용 정도를 조사해보았다. 신양 학술정보관에 있는 8개의 화장실은 모두 이용률이 다르지만 분석을 좀 더 보수적으로 하기 위해 이용률이 높은 편인 3층 남자 화장실을 기준으로 선택하였다. 3층 남자 화장실의 이용자수와 이용시간은 다음 <표 2>와 같다.

시간 날짜		18시-19시		21시-22시		24시-01시	
		이용자수 (명)	이용시간 (분)	이용자수 (명)	이용시간 (분)	이용자수 (명)	이용시간 (분)
평일	11월1일(월)	42	28	23	16	6	4
	11월3일(수)	44	26	35	18	11	7
	11월5일(금)	33	21	20	15	5	8
	평균	39.67	25	26	16.33	7.33	6.33
주말	11월6일(토)	23	16	18	13	5	4
	11월7일(일)	18	7	13	9	3	1
	평균	20.5	11.5	15.5	11	4	2.5

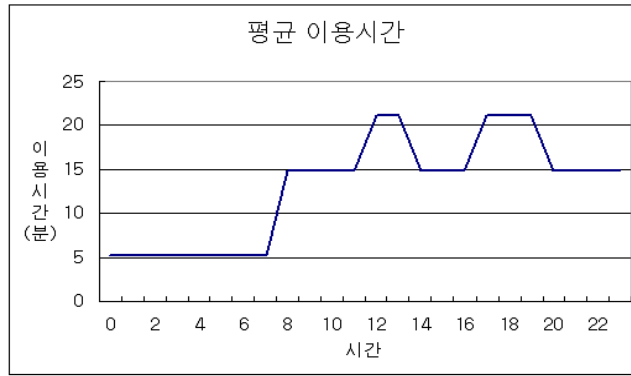
<표 2> 3층 남자화장실 이용자수 및 이용시간

평균 이용시간을 추정하기 위해 시간대를 3수준으로 나누어보았다. 이용자가 많은 것으로 예상되는 식사시간 전후, 이용자가 비교적 일정할 것으로 보이는 오전부터 밤까지, 마지막으로 이용자가 거의 없을 것으로 보이는 새벽시간으로 나누었다. 이를 바탕으로 추정한 평일 및 주말의 화장실 이용시간 다음 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 3층 화장실의 평일 및 주말 이용시간

평일에 가중치 $\frac{5}{7}$ 을 주고 주말에 가중치 $\frac{2}{7}$ 을 주어 3층 화장실의 평균 이용 시간을 구할 수 있으며 시간대에 따른 평균 이용시간은 아래의 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 3층 화장실의 평균 이용시간

시간대별 이용시간을 합산한 값을 통해 구한 1시간당 평균 이용시간은 12.94분이 다. 즉 60분 중에 13분은 화장실을 이용하고 있으며 47분은 이용자가 없는데도 불이 켜져 있는 것이다. 카운터 센서가 확실히 출입과 퇴실을 구분한다면 이용자가 없는 47분 동안 불을 끌 수 있다.

또한 형광등의 ON/OFF는 소비전력에 큰 영향을 미치지 않는다.⁸⁾ 형광등을 한번 켜고 꺼질 때 소비되는 전력량은 3초에서 10초 동안 켜놓았을 때의 전력량과 비슷하다. 공대 신양 학술정보관에서 사용하는 Philips사의 전구는 모두 필라멘트의 가열 없이 바로 켜지는 전자식 조명기구이므로 켜거나 꺼진 이후의 전력소모는 거의 동일하다. 따라서 카운터 센서가 설치되어 ON/OFF가 자주 일어나더라도 전력량에는 크게 영향을 미치지 않을 것이다.

이를 바탕으로 공대 신양 학술정보관 화장실의 전기사용량 절감률을 구하면 다음의 <표 3>과 같이 78.3%이다.

구분	월 사용량(kWh)		절감량 (kWh)	절감률(%)
	설치 전	설치 후		
화장실 (1개)	126.72kWh	27.46kWh	99.26kWh	78.3%

<표 3> 자체 조사에 따른 신양 학술정보관 화장실 전기 사용량 절감률

8) , 이용후, 이진우, 1999, 형광등 안정기의 연속 점등과 ON/OFF시 실제 소비 전력 비교, 한국조명·전기설비학회, pp76-79

5.1.3. 카운터 센서 비용 편익 분석(B/C Analysis)

경제학에서 정책의 경제성을 평가하는 대표적인 방법론인 비용편익분석(B/C Analysis)을 통해 결정을 한다. 투자를 통해 얻어지는 이익이 비용보다 클 경우에 투자를 결정한다.

5.1.3.1. 카운터 센서 설치비용

2007년부터 서울대학교 내 화장실에 카운터 센서를 설치한 업체인 SG에너지와 (주)보탐에 카운터 센서 설치비용에 대한 견적을 문의해 보았다. 공대 신양 학술정보관 화장실 크기를 기준으로 SG에너지는 화장실 하나당 25만원을 제시했고 (주)보탐은 19만8천원을 제시했다. 본 연구에서는 최저가격인 19만8천원을 설치비용으로 간주하였다. 따라서 8개 화장실 전체의 총비용(Total Cost)은 158만4천원이다.

5.1.3.2. 카운터 센서 편익

카운터 센서 설치를 통한 화장실 전기사용량의 절감률은 78.3%이고 전체 화장실에서 쓰이는 한 달 평균 전기요금은 약 7만8천원이다. 따라서 카운터 센서를 설치하여 얻을 수 있는 한 달 평균 편익은 약 6만1천원이다.

5.1.3.3. 비용 편익 분석(B/C Analysis)

투자 결정의 경제성을 증명하는 도구로써 순현재가치(NPV : Net Present Value)를 이용한다. NPV는 예상 순이익을 현재의 화폐가치로 보여주는 것이다. NPV를 구하기 위해서는 할인율에 대한 가정이 필요하다. 2010년10월 현재 한국은행이 발표한 기준금리는 2.25%로 월 금리로 환산했을 때 약 0.185%가 된다. 따라서 우리는 0.185%를 할인율로 가정하고 비용 편익 분석을 하기로 한다.

$$NPV_{\text{편익}} = I_0 + I_1/(1+r) + I_2/(1+r)^2 + \dots + I_n/(1+r)^n \\ = 61,000 + 61,000/(1+0.00185) + 61,000/(1+0.00185)^2 + \dots + 61,000/(1+0.00185)^n$$

I : 해당 월의 순이익
 n : 월차
 r : 할인율

카운터 센서를 설치하는 것이 경제적으로 이익이 되기 위해서는 비용보다 편익이 커야하므로 $NPV_{\text{편익}} \geq NPV_{\text{비용}}$ 인 경우 설치할 수 있다. $NPV_{\text{편익}} \geq NPV_{\text{비용}}$ 이 되게 하는 최소 n 값을 구하면 27이다. 따라서 27개월, 즉 2년 3개월 이후부터 손익분기점(Break-even point)을 지나 비용보다 편익이 크게 된다.

5.2. 태양광발전

본 연구에서는 정확한 물리량을 구하기 위하여 직접적인 조사가 아닌 전문 기관에 자문을 구하여 연구를 수행하였다. 본교 기획과, 공과대학 기획과, Solar E&S에 문의를 하여 얻은 자료를 통대로 공대 신양 학술정보관에서 사용하고 있는 에너지양과 절약 가능한 양을 분석하고 경제성을 평가하였다.

5.2.1. 신양 학술정보관의 전기 사용량 및 요금

24시간 개방으로 운영되고 있는 공대 신양 학술정보관에서는 많은 양의 전기가 사용되었다. 이에 대하여 본교 기획실에 문의한 결과 신양에서 2009년 사용한 전기량은 아래의 <표 4>와 같았다.

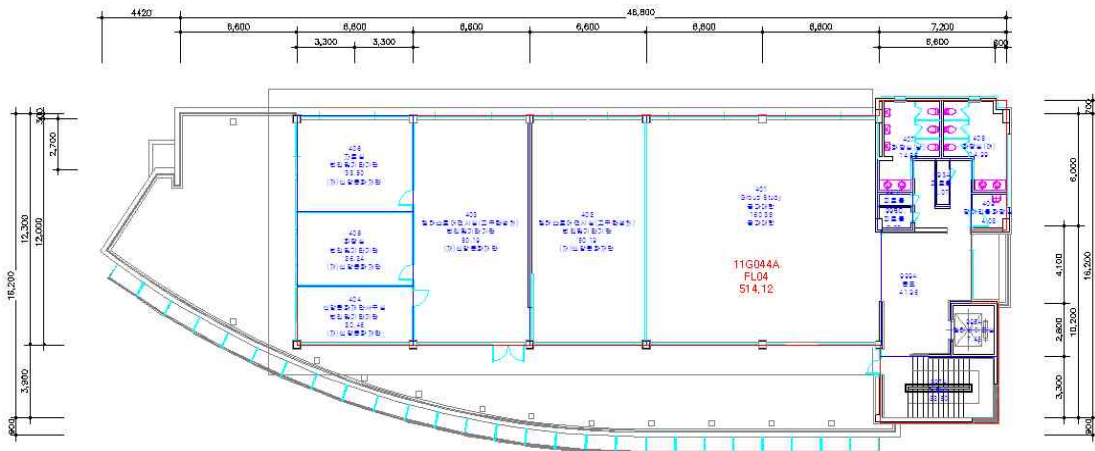
단위:kWh											
1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
60,240	61,320	54,840	58,080	40,680	56,400	49,800	47,280	52,440	44,520	46,920	60,960

<표 4> 2009년 44-1동 전기사용량

통계로 계산한 2009년 신양의 월평균 전기사용량은 52790kWh이었다. 누진세를 고려하여 계산된 신양의 월평균 전기요금단가는 1kWh당 77원으로 신양의 월평균 전기요금은 4,064,830원이었다.

5.2.2. 신양 학술정보관 옥상의 조건

공과대학 기획실에 문의한 결과 신양 옥상의 평면도는 존재하지 않았다. 특정한 용도가 없을 시 본래 옥상의 평면도는 구상하지 않는다는 이야기였다. 하지만 본 연구에서는 정확한 자료를 필요로 하였고 따라서 신양4층의 평면도를 통해 넓이를 측정하였다. AutoCad 프로그램을 사용하여 <그림 6>의 평면도에서 테라스를 제외한 면적을 구해본 결과 넓이가 약 754m²라는 것을 확인할 수 있었다.



<그림 6> 공대 신양 학술 정보관 4층 평면도

5.2.3. 태양광 발전 장치의 전기 사용량 절약 효과 및 설치비용

태양광 발전 장치의 정확한 설치비용과 전력량을 산출하기 위하여 신재생 에너지 전문업체인 Solar E&S에 자문을 구하였다.

정부에서는 2020년까지 신재생에너지주택(Green home) 100만호 보급을 목표로 사업을 추진하고 있다. 이는 태양광, 태양열, 지열, 바이오 등의 신재생 에너지를 일반주택이나 공동주택에 설치 시 설치비의 일부를 무상 지원하는 사업으로 최대 50~60%까지 지원금이 지급된다. 하지만 이 사업은 장치의 용량이 3kWh 이하 크기까지 제한되어 있고 3kWh가 넘는 경우 발전 사업으로 등록되어 보조금을 지원받을 수 없다.

한국전력거래소에서 전국 32개소 발전소의 전력거래량을 분석하여 나온 자료에 따르면 2008년 태양광발전의 평균 이용률은 15.3%로 조사되었다. 이는 연간 평균 이용률로 하루 평균 발전시간은 약 3.6시간 정도로 생각할 수 있다.

Solar E&S에 따르면 보급형 태양광 발전 장치는 약 16m²~20m²의 면적에 설치할 경우 3kWh의 전력을 생산할 수 있다고 하였다. 발전 장치가 18m²를 차지한다고 가정하여 신양 옥상에 설치할 경우 시간당 약 125kWh의 전력을 발전할 수 있었다. 하루 평균 발전 시간은 약 3.6시간이므로 발전 장치가 설치될 경우 하루에 450kWh의 전력을 생산할 수 있는 것이다. 이를 월단위로 환산하면 월평균 13500kWh의 발전이 이루어질 수 있고, 매월 1,039,500원의 전기요금을 절감할 수 있다.

태양광 발전 장치는 3kWh 장치를 설치할 경우 4,500,000원의 금액이 들었다. 신양에 설치를 할 경우 3kWh 장치 기준 41대가 설치될 수 있었고 총 설치비용은 184,500,000원이 예상되었다.

5.2.4. 태양광 발전 장치 비용 편익 분석(B/C Analysis)

2009년 통계로 알아본 신양의 월평균 전기요금은 4,064,830원이었다. 또한 태양광 발전 장치를 설치할 경우 매달 1,039,500원의 전기요금을 절감할 수 있을 것이다. 발전 장치를 설치하는데 필요한 금액은 약 184,500,000원으로 예상하고 있다. 태양전지의 수명을 20년으로 가정하고 이를 토대로 경제성 분석을 해보면 다음과 같다.

태양광 발전 장치는 월평균 1,039,500원의 전기요금을 줄여준다. 이를 연단위로 환산하면 매년 12,474,000원의 금액을 절약할 수 있다. 총비용(Total Cost)인 설치 금액은 약 184,500,000원으로 물가 상승률(Inflation)과 이자율이 동일하다고 가정한다면 손익분기점은 14.8년으로 생각할 수 있다. 앞에서 언급했듯이 태양전지의 수명이 20년인데 반해 15년 후부터는 이익을 창출해 낼 수 있기 때문에 초기 요금은 많이 들지만 충분히 경제적인 시도라 할 수 있다.

6. 결론

본 연구의 결론으로서 연구 요약 및 의의와 본 연구에서의 한계, 그리고 후속 연구에 대한 제안은 다음과 같다.

6.1. 연구 요약 및 의의

본 연구에서는 공대 신양의 에너지 사용 절감 방안으로 카운터센서와 태양광발전 장치를 통한 전력량 이득을 산출했다. 카운터 센서는 (주)보탐에서 이미 서울대학교 내에 설치된 다른 건물의 절감률을 조사하였다. 그리고 신양의 시간대별, 요일별 실제 이용률 조사를 통해 얼마정도의 절감률을 보일지를 예측하였다. 태양광 발전 장치의 전력 절감효과를 예상하기 위해서는 신양 4층 평면도에서 테라스 부분을 빼서 옥상의 면적을 구하였다. 그리고 이를 통해 생산 가능 전력을 예측해보았다.

이후에는 의사결정 시 중요한 기준이 되는 경제성분석을 시행하였다. 카운터센서의 설치가격은 SG에너지와 (주)보탐에서 제시한 가격 중 최저가격을 채택했다. 태양광 발전 장치는 Solar E&S로부터 자문을 통해 보급형 발전장치를 기준으로 평가하였다. 경제성 분석에서는 비용편익분석(B/C Analysis)을 이용해 보수적인 손익 분기점을 도출했다. 본 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 신양 화장실에서 60분 기준으로 실제 사람이 사용하는 시간은 13분에 불과했다. 또한 점등/소등 시간은 전력량에 별 영향을 미치지 않았다. 이를 통해 78.3%의 절감률이 예측되었으며, 이는 87.5%라는 (주)보탐에서 제시한 절감률 만큼 높았다. 따라서 공대 신양 화장실에 카운터 센서를 설치하면 낭비되는 전력을 상당히 절약 할 수 있을 것으로 보인다.
- (2) 태양광 발전 장치는 평균 이용시간 3.6시간 기준으로 월평균 13500kWh의 전력을 발전할 수 있을 것으로 예측했다. 2009년 신양의 월평균 전기사용량이 52790kWh인 것을 감안하면 매우 많은 양이다.
- (3) 2010년 10월 한국은행이 발표한 기준금리 2.25%를 기준으로 카운터 센서의 손익 분기점은 2년3개월이 될 것으로 예측하였다.
- (4) 태양광 발전 장치는 3kWh 장치 기준 41대가 설치될 수 있었고 총 설치비용은 184,500,000원이 예상되었다. 신양의 월평균 전기요금은 4,064,830원으로 손익 분기점은 15년이 될 것으로 예상되었다. 태양광 발전 장치 평균 수명이 20년 정도임을 감안할 때 경제적 이득이 발생할 것으로 보인다.

본 연구에서 제시한 수치적 자료는 실제 신양 학술정보관의 에너지 절감 방안 관련 의사결정에 사용될 수 있을 것이다. 또한 현재 서울대학교의 많은 건물들에서도 본 연구에서 제시한 것과 비슷한 에너지 사용 절감 효과를 도출해 낼 수 있을 것으로 기대한다. 따라서 카운터 센서와 태양광 발전 장치는 서울대학교 에너지 절감을 위한 효과적인 방법으로 활용될 수 있을 것이다.

6.2. 연구의 한계

6.2.1. 경제성 분석에서의 물가상승률 및 이자율 가정

본 연구에서는 카운터센서 설치의 경제성 분석을 하는 과정에서 적용되는 이자율을 2010년 현재 한국은행이 발표한 기준금리인 2.25%로 가정하였다. 또한 태양광 발전 장치의 경우 향후 20년간 물가상승률(Inflation)과 이자율이 동일할 것이라는 가정 하에서 분석을 진행하였다. 그러나 현실에서는 정부의 재정정책 및 통화정책에 따라 기준금리가 변동되고 물가상승률과 명목 이자율 사이에는 분명 차이가 존재한다. 그러므로 더 심도 있는 경제성 분석을 위해서는 기준 금리와 물가상승률 변화에 따른 민감도 분석(Sensitivity Analysis)이 병행되어야 할 것이다.

6.2.2. 카운터 센서 연구 시 부족한 표본 집단

카운터 센서의 효율에 관한 연구에서 조사한 화장실 사용자의 표본수가 상대적으로 적어 결과의 일반화에 어느 정도 한계가 있을 것으로 예상된다. 공대 신양학술정보관의 이용률이 높은 편인 3층 남자화장실을 대상으로 사용자의 수, 이용 시간 등을 조사하였지만 시험기간과 비 시험기간에 따라 3층 화장실의 이용자 수에 차이가 있을 것이다. 그리고 학생들이 주로 강의를 듣는 시간대인 9시~16시 사이에는 3층 화장실보다 카페와 전산실로 사용되는 1, 2층 화장실의 이용자 수가 상당 수 될 것이므로 3층 화장실만을 표본으로 한 것에는 어느 정도 한계가 있다고 생각한다.

또한 일반적으로 남성보다 여성들이 한사람 당 화장실을 오랫동안 이용한다고 알려져 있으며, 이는 화장실 이용시간 자료를 조사할 때 충분히 고려해야 할 대상이다. 따라서 정확한 연구결과를 얻기 위해서는 남녀 구분 없이 각 층의 모든 화장실 이용자수를 조사하는 것이 이상적인 방법일 것이다.

6.3. 후속 연구 제안

6.3.1. 다른 전력 소모 수단의 절감 방안

공대 신양학술정보관은 앞에서 언급하였듯이 2층에 전산실을 운용하고 있어, 다량의 컴퓨터가 작동되고 있다. 항상 모든 컴퓨터를 학생들이 사용하고 있는 것이 아니기 때문에 무의미하게 작동되고 있는 컴퓨터가 많이 있을 것이다. 컴퓨터 사용 시 전력은 모니터의 전력이 상당수 차지한다고 알려져 있으며 일정 기간 컴퓨터를

사용하지 않을 때 작동되는 모니터의 절전 모드는 약 2W 정도의 적은 소비 전력으로 기존 전력을 많이 감소시켜준다고 한다. 우리는 신양 학술정보관 전산실의 컴퓨터들은 모두 정상적으로 절전 모드가 작동되고 있는 상태이고, 불필요하게 낭비되는 전력 소모가 그리 크지 않을 것이라고 생각하였다. 이러한 이유로 본 연구에서는 컴퓨터 소비 전력에 관해 조사하지는 않았지만 적은 전력량이라도 낭비되고 있는 상태이기 때문에 충분히 연구해 볼만한 가치가 있다고 생각한다.

또한 본 연구에서는 냉·난방 장치, 엘리베이터 등 신양 학술정보관에서 전력을 사용하는 다른 시설물에 대해서 다루지 못하였다. 냉·난방 장치 역시 수동으로 작동하기 때문에 첨단 장치의 도입을 통한 효율적인 냉·난방 장치의 사용이 바람직 할 것이다. 그리고 대부분 건물에서는 엘리베이터가 2층을 운용하지 않는데 반해 모든 층을 운용하는 신양 학술정보관의 엘리베이터 또한 추가적인 전력 소비가 발생되고 있다고 볼 수 있으며 이에 대한 연구도 고려해 볼 만 할 것이다.

6.3.2. 태양광 발전 이외의 신재생 에너지 적용 방안

사례 조사에서 살펴보았듯이 타 대학교에서는 태양광 발전 이외에도 지열 발전을 병행하여 신재생 에너지를 적극 이용하고 있었다. 건물에 적용 가능할 것으로 예상되는 신재생 에너지 발전으로 태양광, 태양열, 지열, 풍력 등이 있다. 해당 건물의 지리적, 구조적 조건에 따라 신재생 에너지 발전을 통한 경제적 손익이 각각 다르겠지만, 건물에서 소비되는 전력을 대체할 수 있고 앞으로 그린 캠퍼스 조성을 목표로 하고 있는 서울대학교의 취지에서 다른 신재생 에너지 발전의 연구는 충분히 가치가 있을 것이다.

7. 참고문헌

- 강신욱, 권학철, 박주현, 이석규, 주진환, 2010, PIR을 이용한 에너지절감형 자동조명제어 시스템 개발, 한국조명·전기설비학회, Vol.24.
- 김동우, 석호태, 양정훈, 이종민, 정재웅, 2010, 사례분석을 통한 대학건물의 전력 에너지 사용량 조사 및 분석, 한국생활환경학회지, Vol.17.
- 김상훈, 송현직, 인은학, 이성범, 이충식, 2003, 송배전공학, 동일출판사, 서울시.
- 노재엽, 이용후, 이진우, 1999, 형광등 안정기의 연속 점등과 ON/OFF시 실제 소비 전력 비교, 한국조명·전기설비학회.
- 손학식, 2010, 신재생 설비 전력시스템, (주)한국에너지정보센터, 서울시.
- 손형진, 2009, 저탄소를 위한 대학들의 노력, 그린캠퍼스 운동 사례# 1, <http://www.greenkorea.org/zb/view.php?id=column&no=575>, (검색일자:2010.10.04)
- 손형진, 2009, 저탄소를 위한 대학들의 노력, 그린캠퍼스 운동 사례# 2, <http://www.greenkorea.org/zb/view.php?id=column&no=577>, (검색일자:2010.10.04)
- 이원일, 2010, 저탄소 녹색성장을 위한 스마트그리드 (Smart Grid) 추진의 전략 방향 설정에 관한 연구, 경영컨설팅연구, Vol.10.
- 코니시 마사키, 스즈키 타쯔히로, 카바야 마사오(2008), 알기 쉬운 태양광 발전시스템. 인포더북스, 이현화 역음
- Godfrey Boyle(2004) Renewable Energy-Power For a Sustainable Future. Oxford University Press, English