

## 대학 강의에서의 신재생에너지 주제 활용 사례

\*이 슬기<sup>1)</sup>, \*\*허 은녕<sup>2)</sup>

### A case of Problem Based Learning(PBL) using new and renewable energy examples

\*Sul-Ki Yi, \*\*Eunnyeong Heo

**Key words** : New and renewable energy(신재생에너지), lecture(강의), Economic valuation(경제성평가)

**Abstract** : 2007년 2학기 지구환경기술경영에서 팀 프로젝트 주제로 제시된 ‘서울대학교 내 최적 발전 방식 선정’에 대해 두 팀이 연구를 수행하여 태양광 에너지와 폐기물 에너지를 각각 서울대학교 내 최적 발전 방식으로 제시했다. 이 강의가 이루어낸 성과는 다음과 같다. 첫째, 학생들에게 고유가의 지속과 화석에너지의 고갈, 그리고 지구 온난화 문제 등으로 인해 신재생에너지의 도입과 활용이 시급하다는 문제의식을 심어주었다. 둘째, 학생들에게 신재생에너지의 보급에 있어서 서울대학교의 선도적 역할에 대한 기대와 이에 대한 의무감을 갖게 해주었다. 셋째, 신재생에너지가 아직까지는 기존의 화석연료에 비해 경제성을 확보하지 못하고 있지만, 학생들의 연구 결과를 바탕으로 살펴보았을 때 일정 기간 내에 경제성의 측면에서 충분히 타당해질 수 있다는 확신을 갖게 해 주었다. 지구환경기술경영은 학생들에게 신재생에너지에 대한 살아있는 교육을 체험할 수 있게 해 주고, 이를 통해 강의가 신재생에너지의 인력양성에 기여한다는 의의를 갖는다. 강의 내에서 수행된 연구 결과들이 현실에 반영될 수 있는 후속조치들을 시행하기 위해 노력한다면 더욱 유의미한 강의가 될 수 있을 것이다.

#### subscrip

NPV : net present value  
IRR : internal rate of return  
MARR : minimum attractive rate of return  
PBL : Problem based learning

### 1. 서 론

고유가 상황의 지속과 기후변화협약의 진전 등으로 인해 신재생에너지의 중요성이 날로 커지고 있다. 신재생에너지의 보급과 활성화를 위해서는 기술의 개발과 경제성 평가 등의 학술적 연구가 반드시 뒷받침되어야 한다. 하지만 동시에 신재생에너지교육과 이를 통한 인력 양성 또한 매우 중요하며, 이와 관련된 연구들이 이루어지고 있다. 특히 강인애(2007)<sup>1)</sup>, 강인애 이정석(2007)<sup>2)</sup>, Alias, H., & Saleh, H.M(2007)<sup>3)</sup>, Donnelly, R., & O'Rourke, K. C.(2007)<sup>4)</sup>등과 같은 PBL 관련 연구들의 활발하게 이루어지고 있다.

‘지구환경기술경영’은 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 2학년 2학기 전공수업이다. 모든 수강생들은 한 학기동안 몇 개의 조로 나뉘어 주어진 주제에 대한 팀 프로젝트를 수행

하게 된다. 2007년 2학기에는 ‘서울대학교 내 최적 발전 방식 선정’과 ‘서울대학교 셔틀버스 최적 연료 선정’에 대한 연구가 진행되었다. 각 주제에 대해 2팀씩 총 4팀이 연구를 수행하였으며 각기 다른 의미 있는 연구결과를 도출했다. 본 연구에서는 2007년 2학기 지구환경기술경영 수업에서 이루어진 4건의 연구 중 서울대학교 내 최적 발전 방식 선정과 관련된 2건의 연구를 검토 및 분석할 것이다. 이를 통해 신재생에너지 교육이 대학 강의에서 적용되는 사례를 살펴보고, 그 의의와 한계에 대해 고찰할 것이다.

### 2. 서울대학교 내 최적 발전 방식 선정

‘서울대학교 내 최적 발전 방식 선정’이라는 주제에 대하여 신은진 외 10명<sup>5)</sup>과 최혁준 외 9명<sup>6)</sup>이 연구를 수행하였다. 이 절에서는 각 연구에 대해 살펴보도록 하겠다.

1) 서울대학교 에너지시스템공학부 석사과정  
E-mail : cream2@snu.ac.kr  
Tel : (02)880-8284 Fax : (02)882-2109

2) 서울대학교 에너지시스템공학부 부교수  
E-mail : heoe@snu.ac.kr  
Tel : (02)880-8283 Fax : (02)882-2109

## 2.1 서울대학교 내 태양광 발전시스템 도입 방안

신은진 외 10명은 태양광 에너지가 서울대에 서 적용하기에 가장 적합한 신재생에너지원이라 는 판단 하에 연구를 진행했다. 그 근거는 첫째 서울대학교의 일조시간이 전국 평균치보다 크다 는 점, 둘째 학내에 태양광 발전이 가능한 옥상 면적이 넓다는 점, 셋째 친환경적이라는 점이다.

서울대학교 연간 전력소모량의 4% (3,974,742kWh)를 태양광발전시설로 충당하는 것 을 목표로 정하고, 12개 주요건물에 태양광발전시 설을 설치하여 4,368,493kWh를 발전할 수 있을 것 으로 예측하였다.

### 2.1.1 환경·사회적 비용 분석

#### 1) 방법론

순현재가치법(NPV)과 내부수익률법(IRR)을 이용하여 환경 및 사회적 비용을 추정하고 시나 리오별 경제성분석을 시행하였다.

대안들을 비교하기 위해서는 비교의 기준이 마련되어야 하는데, 가치의 절대치를 기준으로 써 삼는 방법을 순현재가치법이라 한다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$B_t$ : t시점에서 현금유입(편익)

$C_t$ : t시점에서 현금유출(비용)

$r$ : 내부수익률

현금흐름의 증가수입액을 등가지불액과 같게 만들어주는 이율로서, 내부수익률을 수입과 지출 이 있는 일련의 현금흐름의 현재액을 0으로 만들 어주는 이율이다.

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$B_t$ : t시점에서 현금유입(편익)

$C_t$ : t시점에서 현금유출(비용)

$r$ : 내부수익률

#### 2) 환경비용 분석

기존의 방식으로 생산되는 전력을 대체함으로 인하여 환경적 편익이 발생한다. 환경 피해비용과 배출권 판매비용을 계산함으로써 총 환경비용을 120,412,540원으로 추정하였다. 이는 한국환경정책평가연구원의 자료를 이용하여 추정한 112,462,630원의 환경피해비용과 7,951,620원의 배 출권 판매비용의 합이다.

#### 3) 사회적비용 분석

100명의 서울대학생을 대상으로 Fig. 1 에 예 시된 설문지를 이용하여 설문조사를 시행했다. 조 사결과, 등록금을 통한 시설 설치비용 충당안은

기각되었으나 440,000,000원의 기부금을 조성할 수 있을 것으로 예측되었다.

3. 태양광 발전 시설 도입시 등록금 인상을 어느 정도 범위까지 감수하실 수 있습 니까? ① 1% ② 3% ③ 5% ④ 5% 이상 ⑤ 감수할 수 없다
4. 서울대학교에 태양광 시설을 설치한다면 얼마나 기부하실 생각하실 생각이 있 으십니까? ① 1-10만원 ② 10-30만원 ③ 30만원-50만원 ④ 50만원 이상 ( ) : 비 용을 써주세요. ⑤ 기부할 생각이 없다.

Fig. 1 Questionnaire example

### 2.1.2 시나리오별 경제성 분석

태양광 발전 설비의 초기 설치비용에 대한 정 부 지원의 유무에 따라 두 가지의 시나리오를 산 정하여 연구를 진행했다. 시나리오별 경제성 분석 과정에서 등장하는 최저수익률(MARR)은 수용할 수 있는 투자안에 대한 수익률의 최저값을 의미 한다.

#### 1) 시나리오 1: 정부가 보조금을 지원하는 경우

태양광 발전 설비의 초기 설치비용을 정부에 서 지원해주므로 초기 설치비용이 cash flow에 나 타나지 않고, 잔존가치 역시 제외하게 된다. 이러 한 조건 하에서 태양광시설의 1회 일괄설치, 2회 분산설치, 3회 분산설치의 경제성을 5% MARR 하에서 현재가치법으로 분석한 결과 일괄설치 방 안이 가장 경제성 있는 대안이며, 이 경우 연간 등가 편익은 6,819,481원으로 추정되었다.

#### 2) 시나리오 2: 정부의 보조금 지원이 없는 경우

적자 부분인 설치비와 발전비용을 전기 판매 비용으로 충당한다. 초기 비용은 2008년 학교 예 산 10억과 기부금 4.4억 의 합인 14.4억 원으로, MARR은 5%, 설치비 관련 대출 금리는 7%로 가 정했다.

분석 결과, 2020년 전후에 자본회수가 가능할 것으로 추정되었다. 즉, 멀지 않은 미래에 태양광 설비의 설치가 경제성을 가질 수 있을 것이라는 결과를 얻었다.

## 2.2 서울대학교 내 최적 발전방식의 선정

최혁준 외 9명은 폐기물에너지 발전을 이용하 여 서울대학교 전력량의 9%를 대체하는 것을 목 표로 하였다. 9%는 산업자원부가 2030플랜에서 제시한 신재생에너지 목표수치이다. 이를 위해서 는 폐기물 발전을 통해 연간 47,838MWh를 발전 해야 한다. 즉, 용량 5,461kW인 발전소를 항상 가 동해야 하므로 5,500kW 발전소를 건설하는 것으 로 가정했다. 전기설비의 감가상각연수는 30년으 로 두었고, 할인율은 2000~2006년간 국고채 변화

율의 기하평균인 5.22%를 사용했다. 이를 통해 30년간의 전기요금 절감가능액의 현가로 612억원을 계산해냈다.

이러한 가정을 바탕으로 하여 <신에너지 및 재생에너지 이용, 개발, 보급 촉진법 제 2조>에서 정의된 11개의 신재생에너지 개발을 통한 누적현가를 계산한 뒤 가장 경제성있는 대안으로 폐기물에너지를 선정하였다.

### 2.2.1 폐기물에너지 발전시 예상되는 문제점과 해결방안

#### 1) 환경오염

##### ① 문제점

일반적으로 폐기물에너지를 이용한 발전에는 악취 발생과 대기오염 및 수질오염 등이 뒤따를 가능성이 있다.

##### ② 해결방안

쓰레기 분리수거와 최신설비 도입, 그리고 연소제어방식 사용으로 오염물질을 처리할 수 있다. 또한, 방지설비를 사용하고 건물을 용도별로 밀폐화시키며 환경감시시스템을 도입하는 등의 노력으로써 주변 환경에 대한 영향을 최소화할 수 있다.

#### 2) 지역주민과의 갈등

##### ① 문제점

최혁준 외 9명이 179명의 지역주민들을 상대로 실시한 설문조사 결과에 따르면 주민의 72.7%가 현재 상황에서의 폐기물발전소 건설에 대해 무조건 반대를 표명하거나 적절한 보상을 요구하고 있다.

##### ② 해결방안

설문조사결과 주민의 72%가 원인요소만 적절히 제어되거나 해결책이 생긴다면 폐기물 에너지 발전에 대한 반대를 표현하지 않았다. 또한 발전단지의 관광지로의 활용, 편의시설 구축, 다이옥신 발생량 실시간 보고 등을 통하여 지역주민과의 갈등을 해결할 수 있을 것이다.

### 2.2.2 폐기물에너지 발전의 최적화방안 연구

#### 1) 폐기물 수집 방안

필요 전력을 생산하기 위해서는 연간 8,521톤의 쓰레기가 필요하다. 이 중에서 서울대에서 연간 배출되는 쓰레기의 양인 1,700톤을 자체 충당하고, 부족분인 6,821톤을 관악구에서 싼값 혹은 무료로 들여올 수 있을 것으로 분석했다.

#### 2) 발전소 건설 방안

발전소 건설을 위해 학내 공간을 실사한 결과 테니스장의 부지(Fig. 2)에 타워형 발전소를 건립할 수 있을 것으로 분석했다.



Fig. 2 Seoul national university tennis court site<sup>1)</sup>

### 2.2.3 예상효과

#### 1) 경제적 효과

발전소 건설비와 발전에 필요한 비용은 30년 현가로 206억 6천만 원으로 계산되었으며, 발전소 건설로 인한 종량제 봉투값의 절감을 고려하면 122억 원의 현가가 산출된다.

#### 2) 환경적 효과

폐기물의 청정처리와, 폐기물 발전을 이용한 친환경 냉난방시스템 구축이 가능해진다. 또한 폐기물을 자원으로써 재활용하는 효과를 얻을 수 있다.

#### 3) 사회적 효과

신재생에너지의 보급과 홍보라는 측면에서 적지 않은 효과를 기대할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 시민들의 폐기물발전소에 대한 거부감을 완화시킬 수 있는 발전소의 새로운 패러다임을 제시할 수 있을 것이다.

## 3. 강의의 성과(\*)

지구환경기술경영은 교수자가 직접 지식을 전달하는 강의에 더해 앞서 살펴본 것과 같이 학생들이 직접 수행하는 연구로 구성된다. 모든 학생들은 연구의 최종 보고서에서 500자 내외의 연구 후기를 쓰게 되는데, 이를 통해서 다음과 같은 점들을 강의의 성과로 평가할 수 있다.

첫째, 고유가의 지속과 화석에너지의 고갈, 그리고 지구온난화 문제 등으로 인해 신재생에너지의 도입과 활용이 시급하다는 문제의식을 심어주었다. 학생들의 연구 후기중 이 점이 드러나는 부분들을 직접 인용해보았다.

① ... 화석에너지의 고갈 문제와 환경오염문제의 해결방안이라는 점에서 신재생에너지는 꼭

1) 구글 어스 <http://earth.google.com>

도입해야 할 과제이다,

② 최근 멈출 줄 모르고 급등하는 유가를 통하여 에너지 문제의 심각성을 새삼 느낄 수 있다. 이러한 분위기 속에서 한 학기 동안 수행한 신재생에너지를 통한 서울대학교 내 최적전력생산방식에 대한 연구는 상당히 의미 있는 과제였다고 생각한다. ...

③ 최근 배럴당 100달러대에 육박하는 고유가 문제와 기후변화협약 등 다각적으로 제기되는 지구환경 문제는 우리에게 신재생에너지 도입과 기술개발이라는 미룰 수 없는 과제를 안겨 주었다. ...

둘째, 신재생에너지 보급에 있어서 서울대학교의 선도적 역할에 대한 기대와 이에 대한 의무감을 갖게 해주었다. 학생들의 연구 후기중 이 점이 드러나는 부분들을 직접 인용해보았다.

① ... 이러한 시도를 통해 서울대학교는 고유가 시대에 대처하는 하나의 본보기로서 그리고 경제적인 측면을 함께 고려하는 합리적인 지성의 보고로서 자리매김할 수 있을 것이다.

② ... 서울대학교는 국립대학으로서 신재생에너지의 도입을 선도해야 할 의무가 있다고 생각되며, 만약 서울대학교 내에 태양광 발전시스템이 도입된다면 그 상징성과 파급효과는 엄청나게 클 것이다.

③ ... 국가의 대표적 교육기관이라는 상징성을 지닌 서울대가 앞장서서 태양광 발전을 도입한다면 구각 전체에 큰 파급효과를 일으키리라 생각된다. ...

셋째, 아직까지는 기존의 화석연료에 비해 경제성을 확보하지 못하고 있는 신재생에너지가 실제 본인들의 연구 결과를 바탕으로 살펴보았을 때 일정 기간 내에 충분히 적용 가능한 에너지라는 점에 대한 확신을 갖게 해 주었다. 학생들의 연구 후기중 이 점이 드러나는 부분들을 직접 인용해보았다.

① ... 분석결과를 보면 알 수 있듯이 향후 몇 년 후에는 기술의 발전으로 일반적인 경우에도 충분히 경제성이 있는 것으로 판단되는데, ...

② ... 태양광 시설의 도입에 관한 다양한 시나리오를 제시하고 그에 따른 분석을 수행한 결과 생각보다 비싼 초기설치 비용으로 인하여 당장에 전 지역에 설치하는 것은 무리가 따랐지만 앞으로의 기술발전으로 인한 모듈의 효율 상승과 유가상승을 고려한다면 충분히 도입유인이 존재한다고 할 수 있겠다. ...

③ ... 일반적으로 신재생에너지는 화석에너지에 비해 경제성이 매우 떨어진다고 생각되는데, 개략적인 경제성 평가에서나마 우리가 택한 폐기물 이용 발전 방식이 경제성이 충분히 있다는 결과를 얻은 것에 그 의미를 두고 싶다. ...

#### 4. 결론

지구환경기술경영은 학생들이 한 학기동안 신재생에너지에 대한 살아있는 교육을 체험하게 된다는 데에 신재생에너지 강의로서의 일차적 의의를 가지며, 이를 통해 강의를 신재생에너지 인력양성에 기여한다는 점에서 두 번째 의의를 찾을 수 있다. 주어진 주제에 대하여 분석 범위와 목적, 그리고 결론 도출에 이르기까지 학생들이 스스로 연구하는 과정에서 다양한 신재생에너지를 접하게 될 뿐만 아니라 이에 대한 기초적인 수준 이상의 공부를 하게 된다. 앞서 살펴본 바와 같이 학생들의 연구에서는 주제와 관련된 대안을 선정하기 위해 관련된 여러 신재생에너지에 대해 직접 분석을 시행했으며, 이 과정에서 각 에너지원별 특징과 장단점 및 적용범위에 대한 결론을 도출해냈다. 학생들이 직접 작성한 연구 후기에서 역시 이러한 의의를 확인할 수 있다.

반면 11년에 걸쳐 유의미한 연구가 진행되어 왔음에도 연구의 결과가 실제 프로젝트와 연결되지 못했다는 점은 극복해야 할 부분으로 인식된다. 특히나 대학 강의 내에서 이루어지는 연구라는 특성상, 공간적으로 대학 내의 문제에 대한 연구들이 많은데 이러한 연구의 결과들이 학내에서 신재생에너지 이슈를 공론화시키게 된다면 지구환경기술경영은 한층 더 큰 의의를 가질 수 있을 것이다.

#### References

- [1] 강인애, 2007. "디지털 시대의 PBL: e-PBL", 강명희, 강인애, 송상호, 임철일, 조일현, 최수진, 허희옥(공저). 미래를 생각하는 e-러닝 콘텐츠 설계. 서울: 서현사.
- [2] 강인애, 이정석, 2007. "PBL 수업에서 학습자로서의 자기인식 변화에 대한 사례연구". 열린교육연구, Vol.15, No. 1, pp. 69-87, 2007.
- [3] Alias, H., & Saleh, H.M., 2007, "The effect of the blended Problem-Based Learning method on the acquisition of content-specific knowledge in mechanical engineering". World Transactions on Engineering and Technology Education, Vol. 6, No. 2. pp. 249-252, 2007.
- [4] Donnelly, R., & O' Rourke, K. C., 2007, "Blended Problem-Based Learning for Teacher Education: Lessons Learnt". Journal of Further and Higher Education, Vol. 31, No. 1. pp. 31-40, 2007
- [5] 신은진 외 10명, 2007, "서울대학교 내 태양광 발전시스템 도입방안"
- [6] 최혁준 외 9명, 2007, "서울대학교 내 최적 발전방식의 선정"