

**원격지 발전을 위한 지속가능한 에너지의 경제성:  
중국 원격지의 재생가능한 에너지에 관한 연구**

**The Economics of Sustainable Energy for Rural Development: A  
Study of Renewable Energy in Rural China**

**John Byrne, Bo Shen and William Wallace**

미국 델라웨어대학 에너지 환경정책 센터, Newark, DE 19716, USA

National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401,  
USA

이 글은 개발도상국내 원격지에서 전력계통망에 연결되어 있지 않은 재생가능 에너지의 경제성을 평가하기 위한 모델링 작업과 사례연구를 검토하고 있다. 이 연구와 분석을 위해 중국 내몽고 자치지구의 41개 가구가 사례로 선정되었다. 이 가구들은 적어도 1년 동안 400 W미만의 풍력발전 또는 150W 미만의 태양광발전을 가동한 경험이 있는 가구들이다. 우리들이 이 연구에서 분석한 바에 의하면 가정용을 위한 전력계통망에 연결되어 있지 않은 재생가능에너지 시스템이 전통적인 가솔린을 연료로 한 발전시스템에 비해 가격 경쟁력이 있으며, PV와 풍력을 함께 사용한 복합시스템은 일년 내내 가정에 전력을 공급할 수 있고 가정의 늘어난 에너지 수요를 충족할 수 있는 것으로 평가되었다. 이 글의 마지막 부분에서는 개발도상국에 있어서 지금 한창 관심의 대상이 되고 있는 재생가능에너지의 기술시장 개발에 관한 정책 조언이 실려 있다.

지난 30년간 개발도상국의 전력 부문은 급속히 팽창되었다. 그러나 원격지에 사는 20억 인구에게는 아직도 전력망 시스템이 다 공급되지 못하고 있다. 전력망에 연계되기 위해서는 많은 비용이 들기 때문에 인구의 증가율에 비해 전력망 시스템의 서비스 공급 증가율이 더욱 더디게 증가하고 있다 (Lenssen, 1993). 전력망에 연결되어 있지 않은 재생가능에너지의 개발은 개발도상국의 원격지에서 전력 공급 차별성을 줄일 수 있는 중요한 수단이다.

성공적이게도 원격지의 재생가능에너지는 오지 가구들이 지금껏 써온 가솔린이나 디젤을 연료로 한 전통적인 전력공급 시스템에 비해서 경제성이 있는 것으로 나타나고 있다. 오지에 위치한 가구에게는 높은 연료공급비용과 시설유지 보수 비용, 예비 부품의 부족으로 인해 전통적인 내연발전기 보급에 많은 한계가 있었다. 그에 대한 대안으로 분리형 시설인 가정용 재생가능 에너지, 예를 들면 태양광발전(PV), 풍력, 그리고 태양광발전과 풍력 발전을 함께 사용한 복합형 발전 기술이 원격지의 늘어나는 가정용 에너지 수요를 충족할 수 있다. 개발도상국의 전력망에 연결되지 않은 재생가능 에너지에 관한 연구에 의하면 이러한 재생가능 에너지 기술들은 안정적이고 상대적으로 낮은 발전비용으로 원격지에 위치한 가구들과 지역 공동체에 전력을 제공할 수 있는 것으로 나타나고 있다 (Byrne et al., 1997; Cabraal et al., 1996; Hammad, 1995; Liebenthal et al., 1994).

이런 재생가능에너지의 사용은 가시적인 사회적 경제적 이득을 원격지 주민들에게 가져다 준다. 음식이나 의약품을 을 냉장한다거나, 가정용 전구의 사용, 작은 규모의 전기를 사용한 모터의 가동(예를 들면 물 펌프), 그리고 소외된 원격지의 교육과 통신기회의 공급 등도 이러한 이득에 포함된다고 할 수 있다 (Acker and Kammen, 1996; Byrne et al., 1997; Cabraal et al., 1996). 또한 풍력과 태양광 발전 시스템은 원격지의 경제를 지원하는 데 환경적으로 지속가능한 방법을 제공한다.

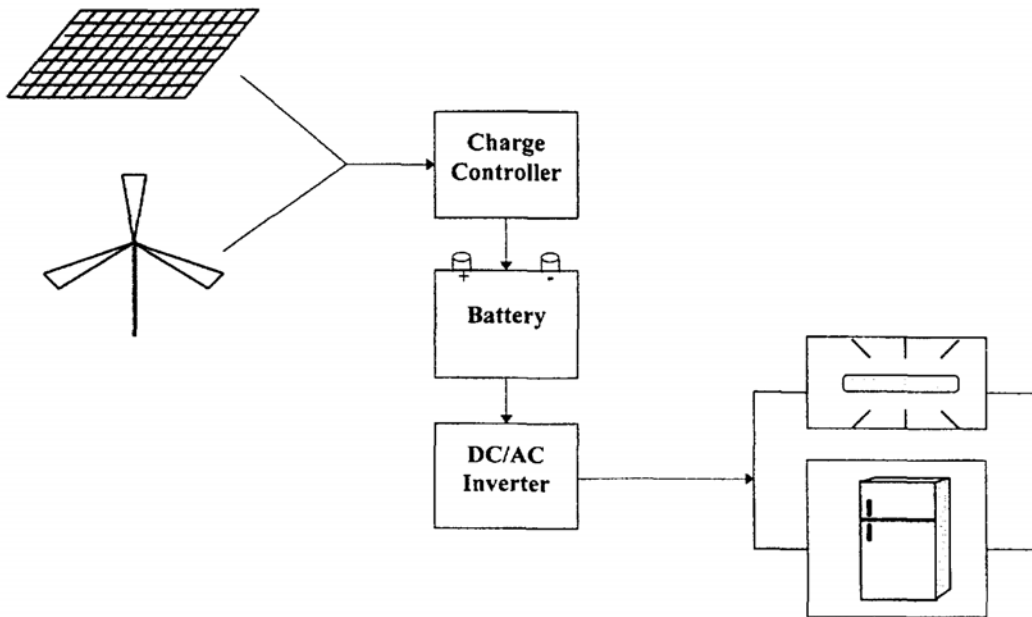
이 글은 중국의 내몽고 자치지역의 대표적으로 선정된 41개의 가구들에게 전기를 제공하는 작은 규모의 재생가능에너지 시스템의 경제성을 분석 요약하고 있다.<sup>1)</sup> 분석대상으로 이 지역의 유목 가구들이 사용하는 소형 PV (60 W<sub>p</sub>-120W<sub>p</sub>), 풍력 (100 W-300W) 그리고 태양광과 풍력을 함께 사용한 복합형 시스템 (300 W 풍력터빈과 소규모에는 35W<sub>p</sub>-60W<sub>p</sub>, 대규모에는 100W<sub>p</sub>-120W<sub>p</sub>의 태양광발전의 복합)을 선정했다. 이 연구에서는 새로이 개발된 스프레드시트 모델이 사용되었으며 원격지의 재생가능에너지 시스템 설치에 따른 균등화 비용의 산정과, 이러한 시스템의 신뢰성, 그리고 전력생산 능력 등이 논의되었다. 그리고 이 글의 마지막 부분에서는 개발도상국에서 지금 한참 관심의 대상이 되고 있는 소규모 비계통연계 재생가능에너지의 시장 발전에 관한 정책 조언이 언급되어 있다.

---

1) 41개 가구는 중국 과학원, 내몽고 지방정부 그리고 내몽고 대학의 협조로 선정하였다. 지리적, 사회경제적으로 그 지역을 대표할 수 있는 가구인가가 선정 기준으로 적용되었다.

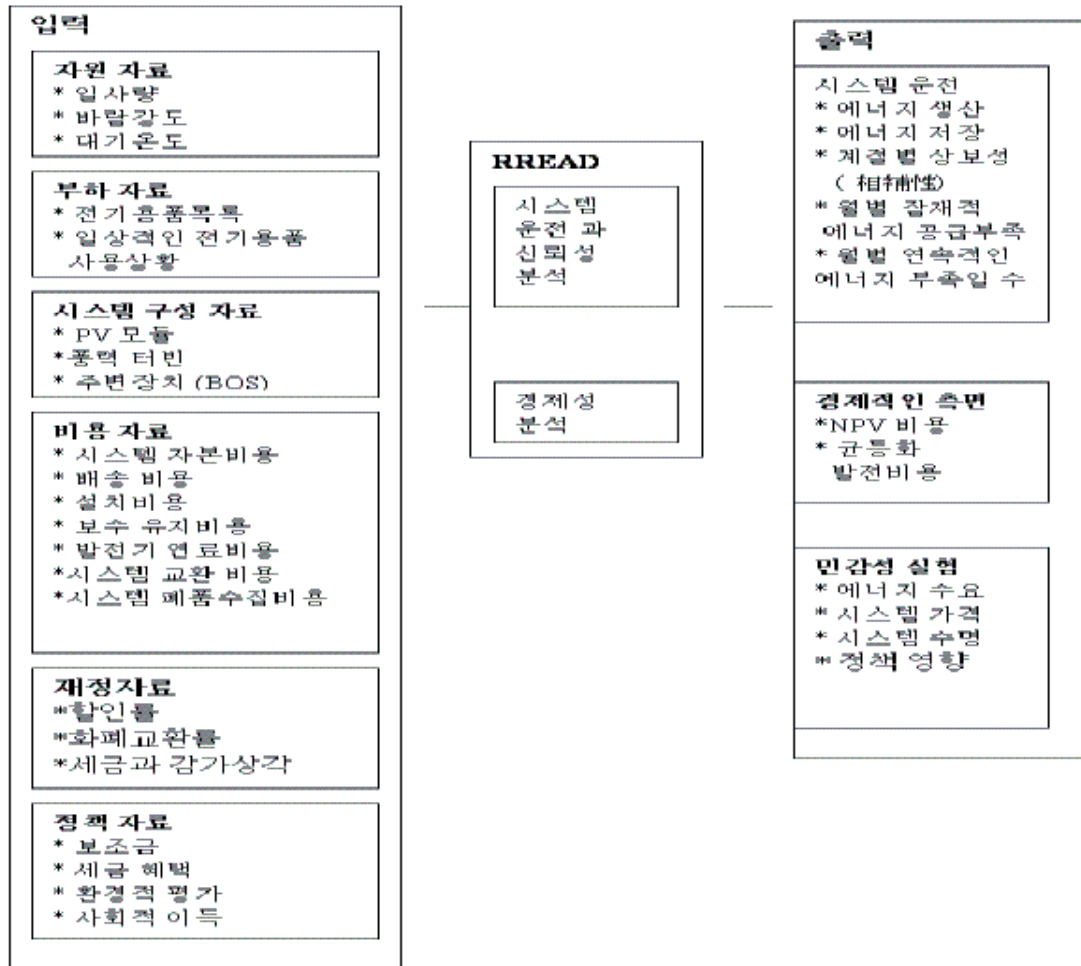
## 가정용규모 재생가능에너지 시스템의 경제성

전형적인 가정용 규모의 분리형 재생가능에너지 시스템은 태양광발전, 그리고 작은 풍력 터빈 시스템을 포함한다. 태양광과 풍력발전을 함께 사용하는 복합형은 현재로서는 보편적인 것은 아니지만 점차 관심이 높아지고 있는 분야이다. 분리형 재생가능 에너지 시스템의 주요한 부품으로는 에너지 전환장치 (작은 PV 어레이 (array) 또는 풍력터빈)와 그를 지원하는 필요한 구조, 그리고 그 주변 장치 (BOS: Balance-of-System)가 있다. 주변장치로는 전기를 저장하기 위한 배터리뱅크, 배터리를 과충전을 방지하는 충전 조절기, 그리고 직류를 교류<sup>2)</sup>로 바꾸기 위한 변환장치 등이 있다. 복합형 발전시설에는 이외에도 PV 어레이와 풍력 터빈이 포함되어 있다. 분리형 재생가능에너지 시스템의 디자인은 [그림1]이 보여 주고 있다.



[그림 1] 가정용 규모의 복합형 재생가능 에너지시스템의 개념도

2) 변환기를 포함하는 것이 꼭 필요한 것은 아니지만 AC를 사용한 가정 전기용품과 조명이 많기 때문에 변환기는 가장 실용적인 시스템 구성이 된다.



[그림 2] RREAD 도해

### 전력망에 연결되지 않은 재생가능에너지의 경제적 모델링

세 종류의 재생가능에너지 기술- 태양광발전(PV), 풍력 터빈, 그리고 PV와 풍력 발전을 함께 쓴 복합발전-의 에너지 생산 및 경제성을 평가하기 위해서 우리는 "원격지 지역 재생가능에너지 분석 및 디자인 (Rural Renewable Energy Analysis and Design: RREAD)"이라고 불리는 스프레드 시트 컴퓨터 모델을 개발하였다. 이 모델은 3가지의 모듈 - 데이터 입력 모듈, 계산 엔진과 출력 모듈로 구성되어 있다 ([그림2] 참조). RREAD는 기술 구성자료의 입력과 함께 자원, 경제적, 재정적 데이터, 그리고 관련된 정책 요인 정보를 처리함으로써, 사용자들에게 전력 생

산 및 사용자에게 맞는 재생가능에너지 이용의 경제성 분석을 제공한다.

자료 입력 모듈은 재생가능에너지 자원 현황, 가정 부하 데이터, 시스템 구성(configuration)의 기술적 명세서, 시스템 비용, 재정적 데이터 그리고 정책 시나리오 자료<sup>3)</sup> 등 6개의 데이터세트로 구성되어 있다. 자원, 부하 그리고 시스템 구성 데이터들은 전력 생산과 시스템 가동 능력을 평가하고 각 가정의 요구에 부합하는 전력공급의 신뢰성을 분석하기 위해서 사용되었다. 경제적, 재정적 그리고 정책적 자료들은 시스템의 경제적 면에 있어서의 실행가능성을 평가하기 위해 이용되었다.

### 시스템 가동능력과 신뢰성 분석

개별가구 또는 촌락의 일상적 사용에 어느 정도의 전력이 공급가능한지를 결정하기 위해 RREAD은 연간 전력생산을 추정하기 위해, 우선 풍력 터빈 그리고 / 또는 PV 어레이의 시간당 전력 생산을 추정하였다. 이 연구모델의 계산 알고리즘은 지구의 수평면 방사조도(평방 미터 당 와트로 나타내는 태양에너지 측정단위), PV 어레이의 직류 변환 효율성, 어레이의 크기, 대기 온도 등의 자료 등을 이용하여 PV의 시간당 전력생산량을 추정한다. 한 장소의 시간당 지구의 수평면 방사조도나 대기 온도는 그 장소의 표준기상년도 데이터로부터 얻어 질 수 있다. <sup>4)</sup> 지구 수평면 방사조도는 그 장소의 위도와 어레이의 각도를 감안해 어레이 판의 조사(照射)수치로 조정되었다.

풍력 터빈의 연간 전력 생산량을 계산하기 위해서 허브(hub)높이에서 측정된 시간당 바람의 강도와 터빈의 파워 곡선<sup>5)</sup>이 사용되었다. 바람의 세기는 매년 크게 다를 수 있으므로 바람에 관한 자료를 보다 정확히 얻기 위해서는 여러 해동안 측정된 자료가 필요하다.

일단 가정용 규모의 재생가능에너지 시스템의 에너지 가치 평가가 이뤄지면, 모

3) 사회적 환경적 외부비용을 알아보기 위해 세금, 세금혜택 또는 보조금 등이 이 예로 들 수 있다. 이것들은 연료와 기술비용에 나타나 있지 않다.

4) 표준 기상년(TMY: Typical Meteorological Year)의 데이터는 여러 해의 데이터를 근거로 날씨의 전형적인 해를 말한다. 대부분의 TMY자료들은 30년간의 기상통보를 근거로 작성된다.

5) 풍력 터빈의 파워 곡선은 각기 다른 바람의 세기에 따라 얼마큼의 전력이 생산되는 가를 나타낸다.

델은 주변장치 (배터리 뱅크<sup>6</sup>), 충전 조절기<sup>7</sup>) 그리고 직류/교류 변환기<sup>8</sup>) 등)로 인한 전력손실<sup>9</sup>)을 감한 후에, 시간당 전력생산을 총합하여 연간생산량으로 바꾼다. 연간 에너지 생산은 에너지 공급의 균등화 발전비용 계산을 위해 사용된다. <sup>10)</sup>

## 경제성 분석

이 모델에서는 서로 다른 시스템간의 균등화 비용과 기타 경제성을 비교 분석하기 위해, 각 시스템 운영 결과를 재정·경제·정책 변수와 연계하여 사용하였다. 이 모델은 평가기간 동안을 대상으로 재생가능에너지 시스템과 가솔린 및 디젤 발전기 등 다른 경합 시스템에 수반되는 비용을 추정한다. 다양한 에너지 옵션들을 비교하기 위해 균등화 비용을 계산하는데 할인비용흐름 (discounted cost streams)이 사용되어졌다.

균등화 비용 분석을 수행하기 위해서는 평가기간동안 발생된 모든 자본비용과 운영비용을 고려하여야 한다. 비용 흐름에는 발전설비 비용과, 주변장치 비용, 그리고 연간 운영 및 보수 (O&M) 비용이 포함된다. 발전설비 비용에는 PV 어레이,

---

6) RREAD 는 자동적으로 시스템의 특성이나 요구된 부하에 의해 자동적으로 배터리 뱅크의 크기를 조정한다. 이 배터리 뱅크는 두 가지 방법으로 그 크기가 규정된다. 시스템의 관점으로는 일상적인 배터리 저장 능력은 전지 정격(定格)전압을 가구의 일상적인 최대 전력 소비 (예를 들면, 만약 모든 가구의 전기용품들이 상식적인 사용빈도에 비추어 동시에 사용될 때의 소비 수준 )로 나누는 것으로 결정될 수 있다. 한 배터리 뱅크의 총 용량은 일상적인 배터리 저장과 비축일수(지속적인 공급 부족으로 인한)의 산물이다. 배터리 뱅크의 평균 방전심도(DOD: Depth of Discharge)는 또한 크기를 규정하는 데 중요하다. DOD는 배터리 뱅크의 총 용량에 대해 방출된 전력이 일상적으로 어느 정도 차지하는 가로 규정된다. 이 연구에서는 배터리 수명을 최대화하기 위해 DOD가 40%를 차지하는 것으로 상정되었다.

7) RREAD는 충전 조절기의 크기는 전력 생산장치의 정격(定格)출력의 크기와 같다고 보았다.

8) 직류/교류 변환기의 크기는 한 가구의 총 전기용품 규모의 정격출력과 같거나 (수요 관점에서), 전력생산 장치의 정격출력과 같다고 볼 수 있다 (공급측면에서).

9) 전력손실은 배터리 뱅크를 충전과 방전할 때, 직류를 교류로 전환할 때 일어날 것이다. 부속품의 성능이나 낡기 정도에 따라 그 정도가 다를 것이기 때문에 이 모델은 사용자에게 부속품의 효율성 수치를 입력할 수 있도록 하고 있다.

10) RREAD는 계절적인 운전기능을 평가하기 위해 월별 생산량을 저장하고 그리고 매일 생산량은 각 가구나 촌락의 에너지 수요가 에너지 공급 신뢰성 관점에서 얼마나 부응하는 가를 평가하는 데 쓰여 질 수 있다. RREAD는 또한 다른 종류의 시스템 구성(configuration)을 위해 매달 며칠 동안이 전력공급의 적자인지를 계산할 수 있다. 태양 광이나/또는 바람의 자원들이 충분치 않고 배터리 뱅크에 전달된 전력이 가구나 촌락의 최고 부하수요에 못 미치는 때에 전력공급이 적자인 날들이 발생한다.

풍력터빈, 복합형과 내연발전기 등 하드웨어 비용과 이의 수송 및 설치비용이 포함된다. 주변장치 비용은 PCS (power conditioning system)의 구매와 수송, 설치에 들어가는 일체의 비용이 포함된다. 발전설비 비용과 주변장치 비용 흐름 모두 초기비용과 교환비용을 포함한다. 어떤 하드웨어는 평가기간이 지난 후에도 여전히 사용가치가 남아 있으므로, 설비의 남은 가치를 시스템 평가에 반영하기 위해, 정액 감가상각 방법을 사용하였다. 각 하드웨어의 사용수명이 다한 후의 고철가치도 고려하였다. 운영 및 보수비용은 정규적인 서비스와 관리 그리고 수리비용을 포함한다. (예: 내연발전기에 대한 윤활유 점검, 잡다한 수리 등이 포함되며, PV 시스템에 대하여는 PV 어레이 표면세척과 전기연결 검사 등이 포함된다). 내연발전기에 대하여는 배송 연료비용이 포함되어져야 한다. 이는 현지의 연료가격과 설치장소까지의 평균 배달비용에 근거를 두고 있다.

스프레드시트 모델을 이용하여 모든 비용을 예측한 이후에는, 평가기간 동안의 비용을 현재가치로 환산한 후 모두 합하여 순 현재가치(NPV) 비용을 구하였다. 순 현재가치 비용, 평가기간, 그리고 할인율 등이 균등화 비용을 구하기 위해 사용되었으며, 그 다음에는 연간 에너지생산량으로 나누어 균등화된 단위당(kWh) 비용이 계산되어졌다. 이 모델에서 연간 에너지생산량은 두 가지 방법으로 결정되어진다. 공급 또는 생산자 관점에서 RREAD는 시스템의 순 생산 (저장과 전력변환으로 인한 손실을 제외함)을 연간에너지 생산량으로 본다. 이에 따르면 재생가능 에너지시스템의 경우 에너지원의 밀도와 이용가능성에 의하여 생산량이 결정된다. 내연발전기의 경우 주요 결정요인은 운영시간이다. 두 번째 방법은 수요 또는 사용자 관점으로, 가구가 실제 소비한 에너지양을 연간 에너지생산량으로 보는 것이다. 에너지 소비는 가구가 소유한 가전용품의 종류와 양, 그리고 각 가구의 일일 평균 에너지 사용정보를 근거로 결정된다. 그러나 재생가능에너지의 경우에는 에너지원의 이용가능성이 실제 가구가 사용하는 에너지의 상한선을 결정하게 되므로, 가구의 잠재적 에너지 수요가 시스템의 발전용량을 초과하는 경우 시스템 순생산을 곧 연간 에너지생산량으로 볼 수 있다.

### **민감도 분석**

RREAD를 이용하면 기술적, 경제적, 정책적 변화가 비계통연계 재생가능에너지 시스템에 가져오는 영향을 검토하는 민감도 분석이 가능하다. 또한 이를 이용하여

시스템의 신뢰성도 가구의 수요수준을 조정함으로써 시험해 볼 수 있다. 시스템의 가격과 보조금 수준, 그리고 시스템 구성의 변화가 시스템의 균등화 비용에 가져다 주는 변화도 검토할 수 있다. 그리고 연료비용과 운영시간이 변동될 경우 재생가능 에너지의 경제성을 내연발전기관의 경제성과 비교할 수 있다. 또한 연속형 표준동작책무기기 (continuous duty cycle equipments)에 전력공급이 필요한 경우에도 재생가능에너지 기술과 내연발전기관간의 비교가 가능하다. 11)

RREAD는 기존 또는 새로운 정책 (에너지, 세제, 재정 환경 또는 기타정책)의 변화를 평가하는 데도 사용할 수 있으며, 비계통연계 시스템상에 적용된 기술적 효율의 향상도 고려할 수 있다.

중국의 내몽고 자치지역 (IMAR: Inner Mongolia Autonomous Region)내의 다양한 가구시스템에 대한 일련의 비용 비교연구를 위해 이 스프레드시트 모델이 사용되었다. 이 보고서의 다음 부분은 이 지역에 설치된 가정용 재생가능에너지 시스템에 대하여 실시한 에너지 공급과 경제성 분석결과를 요약하고 있다. 그러나 분석 결과에 앞서 우선 IMAR에 대한 기본적인 정보를 제공하고자 한다.

### 내몽고 자치지역 (IMAR) 개요

IMAR는 중국내 5개 소수민족 자치행정구역중의 하나이다. IMAR는 중국의 북방지역에 위치하고 있으며, 몽골공화국과 국경을 접하고 있다. IMAR의 면적은 1백 18만 km<sup>2</sup> 로 중국 총면적의 1/8에 해당하며, IMAR의 2/3지역은 초목지대이다. 인구는 2천 2백 5십만 명이며, 63%가 원격지에 살고 있다. 일인당 소득은 2,000위엔 (보고서 작성 당시 환율로 약 241달러)<sup>12)</sup> 이며, 농촌지역 인구 일인당 소득은 970 위엔 (117달러) 이다. 일인당 소득은 그리 크지 않지만, IMAR 원격지 가구의 수입은 중국의 10개 미개발 지역 (China State Statistical Bureau, 1995) 중에서는 최고에 속한다. 지역의 평균 인구밀도는 km<sup>2</sup>당 19명으로, 중국 내에서는 가장 낮은

11) (냉장고 등의) 지속적인 표준동작책무기기(Continuous Duty Cycle Equipments)에 전기를 공급하기 위해서는, 발전설비를 24시간 지속적으로 가동하여야 한다. 그러나 내연발전기관으로서 그런 설비에 배터리를 사용하여 에너지를 공급하는 것이 보다 실용적이고 효과적이다. 배터리를 사용하기 위해서는 충전조절기와 직류교류 변환기가 설치되어야 한다. RREAD 는 발전설비가 지속적인 표준동작책무기기에 에너지를 공급하는 경우든 아니든 모두를 계산할 수 있다.

12) 이 보고서에 사용된 환율은 \$1.00(US)=¥8.30 (중국위엔)이다.



인구밀도에 속한다. 지역의 광활한 초목지역의 경우는  $\text{km}^2$ 당 3명이다 (Li, 1991). IMAR의 외딴 지역에 있는 가구에 전기선을 가설하는 비용이 크기 때문에, 오늘날 까지도 1,100 마을과 198 동네의 30만 가구가 오늘날 전기가 없이 생활하고 있다.

중국 기상과학 아카데미 (CAMS: Chinese Academy of Meteorological Science)의 연구에 따르면, IMAR는 중국내에서도 풍력과 태양에너지원이 풍부한 지역으로 분류된다 (Zhu, 1988; He and Shi, 1995; Yan, 1994 참조). CAMS의 연구는 중국의 각 지역의 에너지원 잠재량을 풍부, 한계, 빈곤 등 3가지로 분류하고 있다. CAMS의 정의에 따르면  $\text{m}^2$  당 풍력에너지 밀도가 150W 이고 연간 일조량이  $\text{m}^2$ 당 1,510 kWh이면 풍부지역에 속한다. 비록 IMAR 내에서도 지역에 따라 큰 차이가 존재하지만, CAMS의 정의에 따를 때 IMAR 지역은 에너지 풍부지역에 속한다.<sup>13)</sup>

이 지역의 풍부한 풍력과 태양에너지원에 대하여 1970년대 말부터 본격적인 개발이 시작되었으며, 이후 괄목할 만한 진보가 있었다. 지역정부가 제공하는 재정적 유인에<sup>14)</sup> 힘입어, 이미 12만 가구에 11.2MW 규모 이상의 풍력터빈과 100 kW<sub>p</sub> 이상의 3,800여 PV 시스템이 설치되어 있다. 1995년말 현재 50만 이상의 목축농가가 풍력 또는 태양력 혹은 두 에너지원 모두로부터 나오는 전기를 공급받고 있다. (People's Daily, 1996, Oversea Edition, Oct 28). 이로써 IMAR는 세계에서 가장 큰 규모의 원격지역 풍력 및 PV 시스템 사용자군에 속한다.

일찍부터 시작된 재생가능에너지 개발덕분에 내몽고지역은 가정용 풍력 및 태양에너지 시스템의 생산과 설치 그리고 관리에 있어 상대적으로 성숙한 수준의 생산 능력을 갖출 수 있게 되었다. 오늘날 내몽고 지역에는 10개의 풍력터빈 생산업체와 1개의 PV 조립라인이 가동 중에 있다. 기술지원 및 훈련소 뿐 아니라 지역 서비스 센터도 88개 현 중 60개 이상의 현에 퍼져있다. (China Electric Power,

13) 이 지역은 태양과 풍력원이 부인할 수 없이 풍부하지만, 그 변동이 크기 때문에, 좋은 에너지 사업설계를 위해서는 실제 지역에 대한 평가가 필수적이다. 내몽고 신에너지 담당관서 (the Inner Mongolia New Energy Office)는 이 지역 내에서의 풍력밀도를 남부지역의 경우  $\text{m}^2$  당 100W로부터 북부지역의 경우 300W로 보고하고 있다. 연간 일조량도  $\text{m}^2$ 당 1,400~1,740 kWh로 알려져 있다 (Inner Mongolia New Energy Office, 1995).

14) 1986년과 1990년 사이에 IMAR 정부는 1천 6백만 위엔 (약 2백만 달러) 상당의 보조금을 가정용 재생가능에너지 시스템 보급을 위해 지급하였다. 최근의 데이터는 입수되지 않았지만, IMAR 관리에 따르면 비슷한 수준의 보조금이 지속적으로 지급되고 있다고 한다.

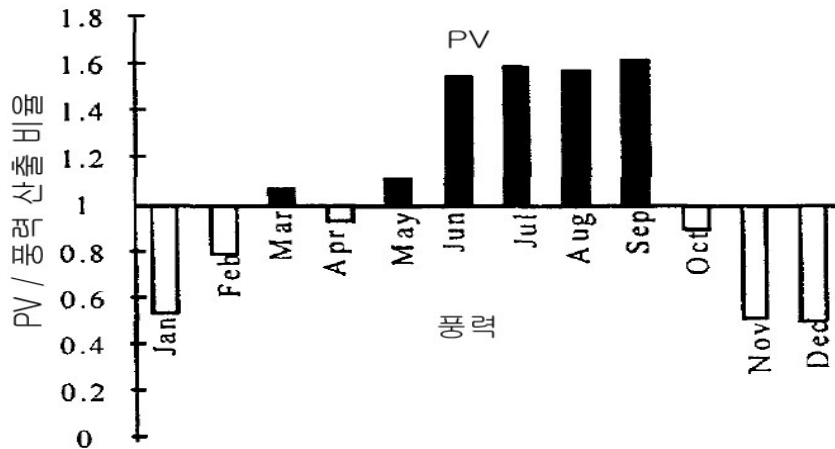
1996). 이렇게 잘 갖춰진 인프라구조는 이 지역에 풍부한 풍력 및 태양에너지 자원과 맞물려 대규모의 재생가능에너지 시장개발을 위한 단단한 기초가 되고 있다.

## 사례연구

중국과학원, 지역 재생가능에너지 담당관서, IMAR 기획위원회와의 협의에 따라 IMAR지역 내 Su Ni Te You, Si Zi Wang, A Ba Ga, Dong Wu Zhu Mu Qin 등 네 몽고 중앙과 북부에 위치한 4개의 현이 사례연구지역으로 선정되었다.

### 자원 평가 (resource evaluation)

Su Ni Te You의 풍력과 태양에너지원을 합해서 네 개의 현 가운데 가장 좋은 조건을 가지고 있다.<sup>15)</sup> Si Zi Wang은 가장 좋은 태양에너지원 조건을 가지고 있고, 풍력면에서는 두 번째이다. A Ba Ga는 상당량의 일조량을 가지고 있으며, 좋기는 하지만 다소 변동성 있는 풍력에너지원을 가지고 있다. Dong Wu Zhu Wu Qin 은 다른 지역에 비할 때 적당한 량의 태양에너지와 풍력에너지원을 보유하고 있다.



[그림 3] Su Ni Te You 지역의 월별 PV / 풍력 산출 비율

평가대상이 된 4개의 지역은 양적으로도 매력적인 태양에너지와 풍력에너지원을 가지고 있기도 하지만, 동시에 이 두 가지 에너지원의 이용가능성 간에 상당한 상보성을 보여준다. 봄과 가을에 동반되는 강한 바람은 태양이 강해지는 여름에는 줄

15) 각 지역에 대한 시간대별 태양에너지와 풍력에너지원의 현황은 IMAR 자치정부자료를 사용하였다.

어드는 성향이 있다. [그림 3]은 Su Ni Te You의 태양에너지와 풍력원의 상보성을 보여주고 있다.<sup>16)</sup> PV와 풍력 시스템의 상보성은 풍력과 PV의 복합형 시스템을 이용하여 연중 안정적인 에너지 공급이 가능함을 의미한다.

### 균등화 비용 분석

균등화 비용분석은 4개 지역에 위치한 41개 목축농가가 사용하는 기존 가정용 규모의 재생가능에너지 시스템을 대상으로 이루어졌다. 60W<sub>p</sub>, 75W<sub>p</sub>, 85W<sub>p</sub>, 100W<sub>p</sub>, 120W<sub>p</sub> 등 5개 규모의 PV 시스템이 평가대상이 되었다. 이 가운데 120W<sub>p</sub> 급 시스템은 미국에서 제조되었으며 나머지는 중국 내에서 제조된 PV 어레이를 사용하고 있다. 사례연구에 사용된 풍력시스템은 모두 현지 제조업체에서 만들어졌으며, 100W, 200W, 300W 등 3가지 규모로 공급되어진다. 풍력-PV 복합형 시스템은 300W 규모 풍력 터빈에 소규모의 경우는 35W<sub>p</sub> ~ 60W<sub>p</sub> 규모의 PV, 대규모의 경우에는 100W<sub>p</sub> ~ 120W<sub>p</sub> 규모의 PV와 결합된 시스템을 사용하고 있다. 모든 시스템은 교류부하와 연결되어 있으며, 특별 설계하에 현지에서 만들어진 납 축전지와 충전조절기 그리고 직류교류변환기를 함께 사용하고 있다.

PV 시스템의 예상수명은 15년이며, 풍력터빈은 보통 10년이다. 제조업체에 따르면 배터리의 수명은 풍력전용 또는 소규모 풍력/태양광 시스템의 경우 3년이며, PV 전용의 경우 4년, 대규모 PV-풍력 복합형시스템의 경우 5년이다.<sup>17)</sup> 그러나 현장실험의 결과로는 이들 배터리의 수명은 풍력과 소규모 복합형시스템의 경우 약 1년이며, PV 전용 또는 대규모 복합형 시스템의 경우는 2년이다.<sup>18)</sup> 충전조절기와 직류교류변환기의 수명은 10년이다.

가정용으로 적합한 두 가지 규모의 가솔린 발전기가 (450W와 500W 규모) 비교 대상으로 사용되어졌다. 이들 발전기는 일본에서 만들어졌으며 현지 시장에서 구

16) 이 지역에서의 연간에너지공급에 적절한 규모인 200W급 풍력시스템과 300W급 PV시스템이 이 산출비율분석을 위해 사용되었다.

17) 풍력전용 또는 소규모 복합형 발전의 경우, 풍력터빈으로부터의 전기공급 변동 때문에 이에 연결된 배터리는 보다 깊은 방전을 겪게 된다. 이 때문에 이러한 발전시스템 구성에서는 배터리 수명이 짧아진다.

18) 이 연구에 협조하는 중국과학원의 연구자들의 현장방문 결과에 따르면, 사용자들이 배터리 사용에 대한 적절한 지식이나 훈련이 없는 상태에서 배터리를 적절히 사용하거나 관리하지 못하게 되고, 이에 따라 배터리의 수명이 짧아지는 것으로 알려졌다.

입이 가능하다. 발전기는 일일 당 4시간동안 최대용량으로 작동하는 것으로 가정하였다. 이 운영시간은 해당 4개 현의 현지 사용자 경험을 토대로 한 것으로, 이들의 경험으로는 운영시간을 이보다 크게 할 경우 부품의 고장이나 추가수리비용이 현저히 늘어나게 된다. 이들 현들은 외딴 곳에 위치하여있기 때문에 부품의 실패나 수리가 늘어난다는 것은 곧 발전기 사용불능기간이 늘어나는 것을 의미한다. 비계통연계 외딴지역 발전설비에 대한 다른 사례연구 결과도 이러한 운영시간계획을 뒷받침한다 (Berdner et. al., 1994 참조).

내몽고지역에서 가솔린 가격은 갤런당 약 1.65달러 (3.561위엔)이다. 발전기에 사용되는 윤활유 가격은 쿼트당 0.6달러 (8.1위엔)이다. 이 두 가지 물품에 대한 외딴지역으로의 배송비용은 지역에 따라 달라진다. 연구대상인 4개 현에 대한 가솔린과 윤활유의 배송비용은 갤런당 1.42달러 (3.121위엔)이다. 이 비용은 가솔린과 윤활유의 시장가격에 더해져서 각각의 배송연료가격으로 산정되었다.

가정용 규모의 PV, 풍력, 복합형 시스템과 가솔린 발전기에 대한 균등화 비용비교가 네 개 현에 대해서 수행되었다. [표 1]은 이 균등화 비용연구에 사용된 가정과 매개변수들을 보여준다. 우리의 연구는 현재 41개 목축농가에 설치된 가정용 규모의 시스템을 대상으로 하였다. 각각의 시스템은 최대에너지 발전용량 (kWh)에 따라 평가되었다. 서로 다른 기술에 대한 경제성 비교를 위해 우리는 연구의 기반을 시스템 설치비용에 두었다.<sup>19)</sup>

평가대상의 PV 시스템은 연간 120 kWh ~ 240kWh (현에 따라 다르다)의 소규모 가정용 부하의 전기만을 공급할 수 있다. 풍력터빈은 연간 200 kWh ~ 640 kWh 규모의 다소 큰 규모로 공급할 수 있다. 가솔린 발전기의 경우 연간 480 kWh ~ 730 kWh 규모의 부하를 담당할 수 있으며, 이는 연속형 표준동작책무 기기에 전기를 공급하는 지 여부에 따라 달라진다.<sup>20)</sup>

19) IMAR 지역 내에서 가정용 규모의 시스템을 생산하는 업체에 대하여 100W의 풍력터빈 또는 16 W<sub>p</sub> 규모의 PV 판매 추가분마다 정부가 지원하는 200위엔 (24달러)의 보조금혜택은 이 연구에서 제외되었다. IMAR 보조금은 풍력터빈에 대하여는 20%, PV에 대하여는 24%의 할인효과를 가져온다.

20) 평가에 사용된 두 가지 규모의 내연발전기는 연속형 표준동작책무 기기에 전기공급을 하지 않아도 되는 경우, 연간 650 kWh ~ 730 kWh의 전기를 공급할 수 있다. 그러나 만약 이 발전기가 연속형 표준동작책무 기기에 전기를 공급해야하는 경우에는 에너지 저장과 전환으로 인한 손실 때문에 480 kWh ~ 550 kWh로 더 낮은 정도의 전기 부하만을 담당할 수 있다.

[표 1] 가정용 시스템 분석을 위한 가정 및 매개변수

매개변수	풍력	PV	PV/풍력 복합형	가솔린 발전기 <sup>a</sup>
시스템 유형	100W-300W	60W <sub>p</sub> -120W <sub>p</sub>	PV 100W <sub>p</sub> -300W <sub>p</sub> 풍력 300W	450W-500W
시스템 총 자본비용 (\$/W)	\$1.70-\$2.78	\$7.39-\$7.55	\$2.28-\$3.54	\$1.10-\$1.57
총비용중 풍력터빈 또는 PV 어레이 비중(%)	43%-61%	83%-85%	60%-77%	-
시스템 수명	10년	15년	10년	8000시간
할인율 (%)	12%	12%	12%	12%
순현재가치 평가기간 (년)	10	10	10	10
배터리 비용(\$/kWh)	\$36	\$36	\$36	\$36
배터리 수명 <sup>b</sup> (년)	3년	4년	5년	5년
배터리 방전심도(%)	40%	40%	40%	40%
변환기 비용 (\$/kW)	\$140-\$320	\$140-\$320	\$140-\$320	\$140-\$320
변환기 수명 (년)	10년	10년	10년	10년
조절기 비용 (\$/kW)	\$82-\$116	\$82-\$116	\$82-\$116	\$82-\$116
조절기 수명 (년)	10년	10년	10년	10년
주변장치 에너지 손실 (%)	32.5%	32.5%	32.5%	32.5%
연간 보수 유지 비용(\$/연)	\$2.50	\$2.50	\$5.00	\$18
연료공급비용 (\$/갤런)	-	-	-	\$3.07

<sup>a</sup> 냉장고 펌프와 같은 연속형 표준동작책무 기기에 대한 전기공급 및 비공급 경우를 포함

<sup>b</sup> 현장경험상 실제 수명은 풍력전용 또는 소규모 복합형의 경우 1년, PV전용 대규모 복합형 그리고 내연발전기는 2년이다.

이 지역의 가구조사에 의하면, 대부분의 가정은 300 Wh-600Wh/일의 전기를 주로 조명, 라디오 또는 흑백 텔레비전을 이용하는 데 사용하고 있다. 소형 냉장고를 이용할 경우, 일일 전력 소비는 1.2 kWh-1.6kWh 로 늘어난다. 상대적으로 높은 전력소비는 보다 높은 용량의 풍력터빈, 발전기 또는 복합형 발전시스템을 통해 공급될 수 있다 ([표 2] 참조).<sup>21)</sup> 우리의 분석은 네 지역의 가정

용규모 그리고 분리설치형 시스템에 대한 최소비용 기술은 풍력에너지임을 보여주고 있다 ([표 2] 참조). 현지에서 만들어진 소규모 풍력 터빈은 외딴지역의 목축 가정의 전력서비스 공급을 위한 가장 경제적인 방법 (\$0.24-\$0.37/kWh)이다. 목축 가정의 분리설치형 발전 설비로서 PV는 그 다음으로 저렴한 대안이다: 평균 균등화 비용은 Si Zi Wang 지역의 \$0.67/kWh 에서부터 Dong Wu Zhu Mu Qin 지역의 약 \$0.73/kWh 에 달한다. 두 개의 내연발전기의 균등화 비용은 \$0.76-\$1.19/kWh 로서 상대적으로 비싸다. 내연발전기의 높은 비용은 대부분 연료 운송비용과 상대적으로 높은 수리 및 유지비용 때문이다.

[표 2] PV, 풍력, 가솔린 발전기와 복합시스템의 균등화 비용

시스템	출력범위(kWh/yr)	균등화비용 (판매자가 전적한 배터리 수명, \$/kWh)	균등화 비용 (실제사용을 근거로 한 배터리수명, \$/kWh)
풍력 전용	260-640	0.24-0.37	0.50-0.63
PV 전용	120-240	0.67-0.73	0.77-0.83
소형 복합시스템	400-750	0.31-0.46	0.57-0.72
대형 복합시스템	560-870	0.32-0.46	0.43-0.57
내연발전기(연속 표준동작책무 비고려)	660-730	0.76-0.80	0.76-0.80
내연발전기(연속표준동 작책무 고려)	480-560	1.09-1.19	1.16-1.27

### 복합형 재생가능 에너지의 분석

내연발전기의 높은 균등화 비용에도 불구하고, 가정에서의 전력 수요가 시간이 지남에 따라 증가하기 때문에 (특히 모든 계절에 걸쳐 지속적인 전력 서비스 수요에 대응하여), PV 혹은 풍력만을 이용한 시스템은 이 네 지역에서 내연발전기와 경쟁하기 어려울 것이다. 왜냐하면 이 두 자원의 이용률이 극히 낮은 시기 (여름에는 풍력 그리고 겨울에는 PV) 에 있어서는 전력공급이 매우 비싸지기 때문이다. 이에 대한 한 가지 방법은 보다 많은 에너지를 공급할 수 있고

21) 미국 가정은 상대적으로 25-40 kWh/day 를 소비하고 있다.

일 년 내내 지속적인 서비스를 제공할 수 있는 PV-풍력 복합형 시스템의 개발이다. 본 연구에서 검토된 모든 시스템 중, PV-풍력 복합형 시스템은 가장 경제적으로 타당한 것이었다. 300W의 풍력 터빈과 35W<sub>p</sub> 혹은 60W<sub>p</sub>의 PV를 사용하는 소규모 복합형 시스템으로 Su Ni Te You 지역(가장 좋은 재생가능에너지 잠재량을 가지고 있음)에서는 \$0.31/kWh의 균등화 비용으로, Dong Wu Zhu Mu Qin (가장 적은 풍력 및 태양 자원을 가지고 있음) 지역은 \$0.46/kWh의 균등화 비용으로 연간 400kWh에서 750kWh까지의 에너지를 공급할 수 있다. 300W의 풍력 터빈과 100W<sub>p</sub> 혹은 120W<sub>p</sub>의 PV를 이용한 대규모 복합형 시스템은 \$0.32/kWh-\$0.46/kWh 수준의 균등화 비용으로 보다 많은 발전량(520kWh-870kWh)을 제공할 수 있다. 균등화 비용에 대한 분석은 [표 2]에 요약되어 있다.

제작자가 제시하는 배터리 수명과 실제 수명과는 차이가 있기 때문에 우리는 여러 가지 시스템의 균등화 비용을 검토하기 위해 배터리 수명에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 우리는 실제 사용을 근거로 한 배터리 수명을 이용했을 때 시스템 균등화 비용이 14%에서 108% 까지 크게 증가하는 것을 발견하였다 ([표 2] 참조). 이는 배터리의 올바른 관리를 위한 교육이 필수적임을 보여주고 있다. 보다 높은 품질의 밀봉된 배터리 함 역시 현지 생산 배터리에 대한 대안이 될 수 있다. 그러나 유지관리가 필요 없는 배터리를 사용하게 되면, 높은 가격과 운송비용으로 인해 시스템의 비용을 증가시킬 것이고, 이는 현금이 부족하거나 거의 없는 외딴 지역 목축민들의 구입능력에 영향을 줄 것이다. 이들 사용자에게 대한 적절한 자금 조달 방법이 없다면, 높은 초기 비용은 구입능력을 저해하는 커다란 장애요소이다.

재생가능 에너지원의 질은 각 지역의 PV와 풍력 발전의 발전용량에 영향을 미치지만, 에너지 시스템의 비용순위에는 영향이 없었다. 또한 이는 각 기술간의 비용차이에 대해서도 큰 영향을 주지 않는다. [그림4]는 Su Ni Te You와 Dong Wu Zhu Mu Qin 지역에 대한 우리의 시스템 분석의 결과를 보여주며, 이 그림에서 우리는 똑같은 비용 패턴을 볼 수 있다.

우리의 비용 분석 결과, 복합형 시스템은 비교적 안정된 비용으로 증가된 에너지 수요를 충족시킬 수 있으며 정기적인 보수, 부품 고장 그리고 연료 부족으

로 시스템이 중단되는 어려움을 가지고 있는 기존 내연발전기에 대하여 경쟁력이 있는 것으로 나타났다.

현재 진행중인 에너지 환경 정책 연구소와 미국립 재생가능에너지 연구소(National Renewable Energy Laboratory) 공동의 IMAR 연구는 마을 규모의 재생가능 에너지 시스템의 설계 및 적용에 대한 내용을 담고 있다. 본 논문에서는 가정용 규모 데이터만 다루고 있지만, 마을 규모의 시스템(소규모의 사업체에 전력공급을 포함함)은 보다 효율적인 주변장치(BOS)를 이용함으로써 균등화 비용을 낮출 수 있기 때문에, 마을규모의 시스템 역시 경쟁력을 가지고 있다고 말할 수 있을 것이다.

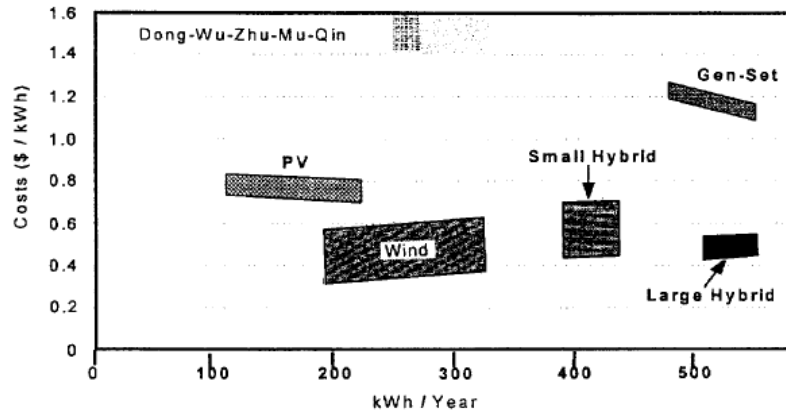
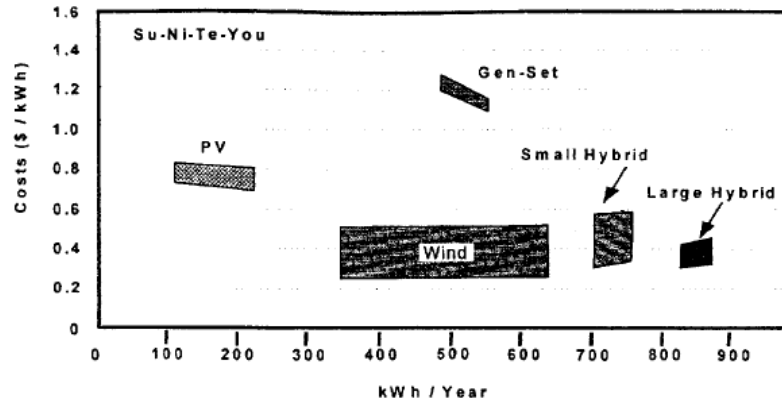
## 마을 및 가정용규모의 재생가능에너지 장려를 위한 정책

본 장에서 제시되고 있는 분석은 외딴지역 마을이나 가정의 전력 필요를 충족시킬 수 있는 경제적인 재생가능에너지 이용이 가능함을 보여주고 있다. 내몽고 지역은 성공적인 원격지 재생가능에너지 개발을 위한 중요한 특징들 - 풍부한 풍력 및 태양 에너지; 많은 마을 및 가정들이 전력망으로부터 멀리 떨어져 있기 때문에 전력망 연결이 경제적으로 어려움; 적절한 비용으로 마을 및 가정에 전력을 공급할 수 있는 생산 시설들이 비교적 잘 갖추어져 있음; 재생가능에너지 시스템을 구입할 수 있는 가정의 경제여건이 향상되고 있음 - 을 지니고 있다.

많은 연구들이 비슷한 조건의 아시아, 라틴 아메리카 그리고 태평양 섬국가에서 재생가능에너지가 특히 디젤이나 가솔린 발전기에 비해서 비용 효과적인 전력원임을 보여주고 있다(Cabraal et al., 1996; Hammad, 1995; Liebenthal et al., 1994). 현재까지의 연구결과 밝혀진 재생에너지 이용기회를 최대한 활용하기 위해서는, 원격지의 재생가능에너지 발전을 위한 정책과 제도적 장치가 필요하다. 전력계통에 연결되지 않은 마을 및 가정의 재생가능에너지 시장의 개발을 촉진하기 위한 몇 가지 제안이 아래에 제시되어있다.

첫째, 전력계통 연계비용이 너무 비싸고 재생가능에너지의 사용이 경제적으로





1. 최대 전력생산 (kWh)를 근거로한 균등화 비용
2. 각 기술별 배터리 수명의 차이에 따른 균등화 비용의 변화
3. 복합시스템은 소형의 경우 300W의 풍력 터빈과 35W-60W의 PV를, 대형의 경우 100W-120W의 PV를 사용함
4. 발전기 비용은 매일 1kWh의 에너지를 연속형 표준동작책무 기기(continuous duty cycle equipment)를 위해 사용하는 것으로 가정한다

[그림 4] 중국 내몽고 몇 지역의 PV, 풍력, 가솔린 발전기 및 복합 시스템 균등화 비용

가능한 곳에 전력 서비스를 제공하기 위해, 중앙 및 지역 정부 차원에서 구체적인 목표와 시간계획을 고려한 에너지 정책이 필요하다. 이러한 점에서, 외딴 지역에 전력망을 연결하는 것이 어렵다는 점을 정부가 지역주민들에게 분명하게 이해시키는 의사소통 과정이 필요하다. 이러한 상호이해는 마을 및 가정용 규모의 시스템의 시장점유를 증가시킬 수 있다. 그렇지 않을 경우, 가까운 시기에

전력망 서비스를 이용할 수 있다는 기대 때문에 재생가능에너지 개발이 어려움에 직면할 수 있다.

더 나아가, 개발도상국 정부들은 원격지 주민들을 위한 재생가능에너지 시장을 조성할 필요가 있다. 중앙 정부는 목표지역에 특화된 재생가능 에너지의 개발과 장애를 극복하기 위한 지역기반의 협력체제를 구축해야 한다. 그리고 지방 및 중앙 정부는 재생가능에너지기술 시장개발을 촉진하기 위해 정부-기업간 파트너십을 장려하여야 한다.

개발도상국은 초기 단계를 제외하고는 지역의 재생가능 에너지 생산자에 대한 보조금의 제공을 피하여야 한다. 보조금은 단기간의 이익을 얻을 수는 있지만 보조금 지급이 중단되었을 때 가격이 올라가기 때문에 이를 지속시킬 수는 없다. 장기적으로는 공공기금을 활용하여 원격지에서 재생 에너지를 구입하는데 어려움을 줄이기 위한 시범사업, 연구개발 활동을 지원하고, 가장 중요하게는 순환대부(revolving loan) 등의 재생가능에너지 개발기금을 지원하는데 사용할 수 있다. 개발도상국에서 이러한 재원을 확보함으로써, 다변조직 (multilateral organization)으로부터 투자를 유도할 수 있고, 세계은행(World Bank)의 세계환경기구(GEF: Global Environmental Facility)나 유엔개발프로그램 (UNDP: United Nations Development Programme)의 지원자격을 갖추게 된다.

마을 및 가정용 규모의 재생가능에너지 개발을 위한 자금을 제공하기 위한 재원조달 메카니즘으로서 순환자금(revolving fund)의 이용에 대해 특별한 관심을 가질 필요가 있다. 많은 나라의 경우, 지역공동체는 상업적 재원에 대한 접근이 어렵다. 순환대부는 공공자금과 다변적 조직의 자본을 통합운영하고, 지역공동체의 상환금을 이용함으로써 그 격차를 줄일 수 있다. 이러한 펀드의 존재는 재생가능에너지 시스템을 구입할 수 있는 가정과 마을의 수를 확장함으로써 시장을 조성하고 안정화시키는데 크게 도움을 줄 수 있다.

탄력적인 대출이자와 상환방법 또한 시장의 발전이라는 목표에 기여할 수 있다. 예를 들어, 내몽고 지역의 많은 목축 농가들은 가정에서의 기본적인 필요뿐만 아니라 특정한 경제적 역할 (양수펌프 및 전기 양털깎기)을 위해 재생가능에너지 시스템을 구입하기 원한다. 만약 목축 농가들이 초기에 비용을 덜 지

불하고 나중에 사업이 확장되어 감에 따라 지분을 늘리거나, 초기에 저리의 자금을 대출받고 나중에 이자를 높인다면 원격지의 경제개발과 전력화라는 두 가지 목적을 달성 할 수 있다.

효과적인 자원조달 메카니즘의 개발과 더불어, 개발도상국은 원격지의 재생가능에너지 시장의 개발을 촉진하기 위해 인센티브 정책을 채용할 수 있다. 제조업자에게 주는 투자연동 세액공제(sliding scale investment tax credits)는 재생가능에너지를 촉진하기 위한 중요한 방법이 될 것이다. 두 번째로는 기존 에너지 공급자보다 적은 세금을 재생가능에너지 생산자에게 부과함으로써 재생가능에너지가 가지는 사회적 환경적 이익을 반영하도록 하는 것도 한 방법이 될 것이다.

개발도상국은 인센티브 제도와 함께 급속한 재생가능에너지 이용을 증진시키는 시장변환(market transformation) 전략을 검토해야 할 필요가 있다. 중요한 방법 중 하나는 정부가 재생가능에너지 이용의 목표량을 정하는 재생가능에너지 할당(RPS: Renewables Portfolio Standard)이다. 이러한 정책은 에너지 공급자로 하여금 최저비용 기술을 개발함과 동시에 새롭게 출현하는 시장에 적응하기 위한 특정 기술 개발을 촉진할 것이다.

두 번째 방법은 정책적, 제도적 개선의 도입과 함께 지역 재생가능에너지 시장을 지원할 수 있는 정부, 기업, 공동체 그리고 연구소 등을 포함하는 정책 협력기관의 육성이다.

마지막으로, 개발도상국은 재생가능에너지의 설계, 계획, 마케팅 그리고 정책 평가 등의 분야에서 다변적조직의 인적, 제도적 지원을 확보하는 것이 중요하다. 개발도상국은 선진국과의 협력을 통한 재생가능에너지 기술이전을 위한 제도적 기초를 분명히 하는 노력을 기울여야 한다.

## 결 론

원격지의 전력화는 현재에도 그리고 향후에도 개발도상국 지역개발의 중요한

요소가 될 것이다. PV나 풍력과 같은 재생가능에너지 기술을 통해 개발도상국은 원격지 가정들의 에너지 필요를 경제적, 환경적으로 지속가능한 방법으로 충족시킬 수 있다. 재생에너지를 도입하기 위한 제도적 장치, 재생가능에너지에 필요한 자금을 조달하기 위한 효과적인 재정지원 메카니즘, 재생가능에너지 개발을 촉진하기 위한 인센티브 활용제도의 도입, 재생가능에너지 개발을 장려하기 위한 시장변환전략의 실행 그리고 재생가능에너지 기술을 개발을 위한 국제적 협력의 증진 등의 효과적인 정책도입은 화석연료를 사용하는 기존의 에너지 시스템과 재생가능에너지 시스템이 경쟁할 수 있는 환경을 조성할 것이다.

개발도상국들이 직면하고 있는 과제 또한 크다. 그러나 지속가능한 개발의 원칙들이 경제, 에너지, 환경 정책에 반영되고 개발도상국들의 필요에 부응하는 국제적인 지원이 이루어진다면 이러한 과제들은 극복될 수 있을 것이다. 이런 모든 것을 통해, 개발도상국들과 국제사회는 지속가능한 미래를 달성하기 위한 새로운 아이디어와 정책을 생산해 낼 수 있을 것이다.

## 인사말

본 연구는 미국립 재생가능에너지 연구소 (National Renewable Energy Laboratory)와의 도급계약 (XR-2-11248-1)을 통해 지원되었음을 밝힘. 우리는 Applied Energy Group의 Ralph Nigro의 기술적 지원에 감사하며 중국 연구팀의 이 연구에서 가정조사 및 자원과 기기데이터를 수집하여준 Li Xiuguo, Lin Li, Shao An, Wang Sicheng, Ji Binghou 와 Yang Meidong에 대하여 감사를 드립니다.

## Reference

Acker, R, & Kammen, D (1996). The quiet (energy) revolution: analyzing the dissemination of photovoltaic power systems in Kenya. *Energy Policy*, 24(1), 81-111.

Berdner, J, Whitaker, C, Wenger, H and Jennings C (1994) 'Design and cost optimization of utility-grade off-grid power system' Paper presented at the World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, December 1994.

Byrne, J, Shen, B, Wallace, W and Li, X (1997) *Levelized Cost Analyses of Small-Scale, Off-Grid Photovoltaic, Wind and PV-Wind Hybrid Systems for Inner Mongolia, China*. Report submitted to the National Renewable Energy Laboratory, prepared by the Center for Energy and Environmental Policy, University of Delaware, Newark, Delaware.

Cabrall, A, Cosgrove-Davies, M and Schaeffer, L (1996) *Best Practices for Photovoltaic Household Electrification Programs: Lessons from Experiences in Selected Countries* World Bank Technical Paper No. 324. World Bank, Washington, DC.

China Electric Power (1996) 'Electricity comes from wind' Vol 503(No2), February. Beijing, China.

China State Statistical Bureau (1995) *Statistical Yearbook of China 1995* China Statistical Publishing House, Beijing, China.

Hammad, M (1995). Photovoltaic, wind and diesel: a cost comparative study of water pumping options in Jordan. *Energy Policy*, 23(8), 723-726.

He, D and Shi, P (1995) 'Wind energy utilization in China' in Yan, Luguang (ed) *Solar Energy in China: Proceedings of the High-Level Expert Meeting for China* Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 128-136.

Inner Mongolia New Energy Office (1995) *Graph of Renewable energy Resource Distribution in Inner Mongolia* Hohhot, Inner Mongolia.

Lessen, N (1993) 'Providing energy in developing countries' in World-watchInstitute, *State of the World*, 1993 W W Norton and Company, Inc, New York, NY, 101-119.

Li, C (1991) 'The development and utilization of wind energy in Inner Mongolia' in Chinese Solar Energy Society (ed) *The Development of New and Renewable Sources of Energy in China* China Science and Technology Press, Beijing, 70-72.

Liebenthal, A, Mathur, S and Wade, H (1994) *Solar Energy: Lessons from Pacific Island Experience* World Bank Technical Paper (244), World Bank, Washington, DC.

People's Daily (1996) (Overseas edition), 'Energy corridor has been formed in Inner Mongolia grassland' Beijing, China. October 28.

Yan, C (1994) *China Energy Development Report* Economci Mangement Press, Beijing, China.

Zhu, R (1988) *China's Solar and Wind Resources and Utilization* Meteorology Press, Beijing, China.