

지방의 지속가능성을 위한 재생가능에너지: 중국에서의 교훈 Renewable Energy for Rural Sustainability: Lessons from China

Aiming Zhou

John Byrne

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

지방(비도시 지역)에 전기를 공급하는 것은 중국과 다른 개발도상국의 지역개발에 있어서 핵심적인 요소이며 앞으로도 그러할 것이다. 세계인구의 절반 이상이 지방에 살고 있는 상황에서 지방의 재생가능에너지 적용 및 평가에 대해 중국에서 얻은 교훈은 전 세계적인 지속가능개발전략을 세우는 데 있어 매우 유용할 것이다. 이 연구는 중국의 지방에서의 에너지 수요를 기술하고, 세 지역(내몽고, 중국서부의 칭하이와 신장)의 부존자원을 살펴보고 이들 지역에서의 에너지 대안과 전력망에서 떨어진 분리형 재생가능에너지기술의 경제적 적용가능성을 평가한다. 중국의 선도적 에너지 및 환경 분야 연구기관과 에너지환경정책연구소(Center for Energy and Environmental Policy)가 8년간 수행한 공동연구는 재생가능에너지기술을 이용하여 사회적, 환경적으로 지속가능한 방법으로 지역의 전력수요를 충족시킬 수 있음을 보여준다.

핵심어: 재생가능에너지, 지속가능개발, 중국에너지정책, 중국환경정책

현재의 화석연료 및 핵에너지에 기반한 에너지시스템이 지속가능하지 않다는 사실은 널리 알려져 있다 (Byrne & Rich, 1992; World Commission of Environment Development, 1987 참조). 현재의 시스템에서 비롯되는 환경적 위험과 불확실성에는 화석연료의 연소에서 비롯되는 기후변화, 대기오염, 산성비; 핵발전소의 사고위험; 핵폐기물 처리문제 및 사용연한 경과 후 원자로의 해체문제; 핵에너지의 사용에서 비롯되는 핵확산 위험 등이 있다. 지속가능 에너지 미래를 추구하는 대부분의 정책대안에 공통적인 것은 현재의 체제로부터 재생가능 에너지에 점점 더 많이 의존하는 체제로 이전하는 것이다.

지속가능한 에너지체제로의 이전을 위해서는 도시 뿐만 아니라 지방의 에너지 수요 또한 해결할 수 있어야 한다. 현재 세계인구의 과반수는 (53%) 비도시지역에서 살고 있다 (United Nations, 2001). 재생가능 에너지자원을 보다 많이 이용함으로써 현재 안정적인 전력서비스를 받지 못하고 있는 개발도상국의 20억 이상 비도시 지역주민에게 전기를 공급할 수 있을 것이다 (Lenssen, 1993). 재생에너지에 기반을 둔 분산형 에너지 서비스를 통해 현재의 개발유형에서 소외되고 있는 지역주민들은 가시적인 사회적 경제적 혜택을 얻을 수 있을 것이다. 이러한 혜택에는 음식과 약품 냉장, 집안 조명, 성인과 아동을 위한 저녁 수업, 지역의 경제개발을 보조하기 위한 (양수기와 같은) 소형 전동기 사용 등이 포함된다 (Byrne, Shen, & Wallace, 1998; Cabraal, Cosgrove-Davies, & Schaeffer, 1996)

세계인구의 21% 및 세계 비도시지역인구의 4분의 1이 살고 있는 중국에 대한 지원은 지속가능한 에너지개발을 위한 어떠한 전략의 성공을 위해서도 필수적이다 (인구정보는 China Statistical Bureau, 2001 참조). 중국에서의 최근의 연구는 개발 필요성에도 부합하고 대기공유권(Atmospheric Commons)의 지속가능성을 회복하기 위한 전 세계적 노력에도 기여할 수 있는 재생가능 에너지 대안에 관한 충분한 가능성을 보여준다.

중국의 지방에너지 수요

과거 30년 동안 중국은 지방에 대한 전기공급을 포함하여 중국 전체의 전기 공급량을 급격히 확대해 왔다. 이 결과 지방 비도시지역에 안정적인 전력서비스를 공급하는 데 상당한 진전을 이루었다. 현재 중국시민의 62% (8억) 는 비도시지역에서 살고 있고, 그 대부분은 (7억 이상) 전력망에 연결되어 있다 (China Statistical Bureau, 2001). 그럼에도 불구하고 7,000만에 달하는 원격지 주민은 전기를 공급받지 못하고 있고 (Li, 2001), 아마도 비슷한 수의 사람들이 만성적인 송배전 실패를 비롯한 집중화된 에너지시스템에서 야기되는 문제를 겪고 있다. 이러한 취약지역 주민 중 약 4,500만 명은 내몽고 자치구, 칭하이, 그리고 신장의 세 지역에 살고 있다. 이러한 원격지에 송전망을 연결하는 데는 엄청나게 많은 비용이 들기 때문에, 이 지역의 많은 촌락들은 그들의 일상생활에서의 에너지 수요를 충족하기 위해서 뿔감이나 디젤/가솔린 발전기에 계속 의존하고 있다. 중국의 서부지역은 소득이 낮은 소수민족 거주자들의 비율이 높고 인구밀도가 낮다. 사실상 이 지역 주민의 대다수는 국가 빈곤선인

일인당 연간소득 100달러 이하에서 생활하고 있다 (Poverty-Alleviation Office of State Council, World Bank, & UNDP, 1999).

중국에는 몇 가지의 매우 매력적인 재생에너지 대안이 있다. 중국정부 (State Planning and Development Commission & Ministry of Science and Technology, 1994)에 따르면 중국의 풍력 잠재량은 약 1,600GW이다. 이는 중국의 현재 발전용량의 8배에 달한다. 마찬가지로 태양광발전(photovoltaic)기술의 개발 전망 또한 밝다. 중국의 대부분 지역은 평균 1,668 kWh/m²에 달하는 상당히 높은 일조량을 가지고 있다 (PV의 적정 일조량은 1,200 kWh/m²로 간주된다; State Planning and Development Commission & Ministry of Science and Technology, 1994 참조). 두 기술 모두 중국의 전력망에 연결되지 않은 원격지에 전통적인 송전망 전력보다 더 빨리 전기서비스를 공급할 수 있다 (Byrne et al., 1998).

경제개발은 중국의 주요 국가목표이며 앞으로도 그러할 것이다. 그러나 국가의 경제적 필요를 지속가능한 방법으로 충족하는 것이 가능할 것인가? 재생가능한 에너지에 중점을 둔 대안적인 에너지 발전경로를 추구하는 것은 중국의 장기적인 경제적 및 환경적 이해에 부합할 것이다. 재생에너지의 개발은 중국의 제한된 자연자원을 고갈시키거나 환경을 파괴하지 않고도 지역개발을 촉진하는 것을 도울 수 있다. 동시에 이러한 전략은 지역공동체가 지역에서 활용 가능한 자원을 이용하고 그들의 필요에 봉사하는 지역에너지 산업을 창출토록 함으로써 에너지를 수입하는 데 따르는 여러 가지의 사회적 경제적 불이익을 피할 수 있게 해 준다.

중국 서부지역: 개관

전력송전을 받지 못하는 내몽고 자치구, 칭하이, 신장 지역에는 100만 가구가 살고 있다 (China Statistical Bureau, 2000). 더 많은 수의 가구들은 불안정한 송전서비스를 받는다. 이러한 가구들은 목축, 농업, 그리고 상업 등에 종사한다. 이 지역에서는 많은 수의 인구가 재생가능에너지가 아니고서는 전기를 공급받기 어려운 분산된 형태로 살고 있다. 이들 가구들 및 지역의 사회적, 경제적, 재생에너지 관련 특징들을 아래에서 간략히 기술한다.

내몽고 자치구

중국 서북부의 내몽고 자치구는 중국 최초의 자치구이다. 내몽고 자치구는 중국에서 가장 큰 행정지역단위들 중 하나로서 면적이 1,183백만 km^2 로, 중국 전면적의 8분의 1에 이른다 (China Statistical Bureau, 2000). 내몽고의 1998년 현재 추정인구는 2,345만명이다 (China Statistical Bureau, 2000). 그 지역 인구의 5분의 3은 초원지대에 산다. 내몽고 자치구 가구의 6% 이상, 160만 인구가 전기서비스를 받지 못하고 있다. 전통적으로 내몽고의 경제는 농업위주이고 가축사육과 산림 생산물이 지역 농업수입의 대부분을 차지하고 있다. 몇 개의 고속도로가 내몽고의 도시들을 중국의 다른 지역과 연결하고 있으며 국내선 항공노선이 내몽고의 대도시와 북경 사이에 운행되고 있다. 그러나 내몽고의 대부분 지역은 고립상태로 남아 있다.

내몽고 농부와 목축인의 연간 일인당 순수입은 1999년에 약 241달러였으며 목축인의 일인당 순수입이 농부들보다 높다. 참고로 도시주민의 연간 일인당 순수입은 574달러였다. 내몽고자치구의 평균 가구당 구성인원은 4.1명이고 도시지역 가구는 평균 3.2명이다 (China Statistical Bureau, 2000).

내몽고 자치구는 풍부한 풍력과 일조량을 가지고 있다. 연구에 따르면 내몽고 자치구에서 풍력과 태양에너지는 상호보완적인 관계에 있다: 일조량이 적은 겨울철에는 바람이 세고 바람이 약한 여름철에는 일조량이 크다 (Byrne et al., 1998; Shen, 1998). 이는 풍력-태양광 복합시스템이 이 지역 사용자들에게 안정적인 전기를 공급해줄 수 있음을 시사한다.

칭하이성(省)

중국의 칭하이-티벳 고원에 위치한 칭하이성은 국가면적의 13분의 1을 차지하며 (약 721,000 km^2) 가장 인구가 적은 지역 중 하나이다. 1997년 현재 인구는 약 496만명이고 (China Statistical Bureau, 1999b) 그중 3분의 2가 원격지에 살고 있다. 거의 백만명에 달하는 15%의 가구가 전기공급을 받지 못하고 있다. 국내외 시장에 판매되는 칭하이의 주요자원은 석탄, 석유, 그리고 철광석이다. 농업부문은 칭하이 소득의 17%를 차지한다.

칭하이의 농부와 목축인의 일인당 연간소득은 1998년 현재 176달러이다. 참고로 도시지역거주자의 일인당 연간소득은 566달러이다. 칭하이의 평균 농촌가

구는 평균 5.8명으로 구성되어 있고 도시가구는 3.4명으로 구성되어 있다 (China Statistical Bureau, 1999b).

칭하이에서는 단지 몇몇 현(縣)만이 풍력자원이 풍부하나 성의 대부분 지역은 적절한 수준이다. 하지만 칭하이의 일조자원은 이례적으로 풍부하다. 중국기후과학협회는 칭하이의 일조량에 대해 국내 최고등급을 매긴 바 있다. 칭하이의 일조량은 내몽고 자치구보다 더 풍부하다 (연간 일조시간이 내몽고보다 20%가 길다; Qiu, 1991).

신장 위구르 자치구

신장 위구르 자치구는 중국에서 가장 면적이 넓은 성으로 전체면적이 164만 7천 km²에 달하며 중국 전체면적의 약 6분의 1에 해당한다. 1995년 신장의 추정인구는 1,660만이고 약 9백만이 원격지에 거주한다. (China Statistical Bureau, 1997). 지역 가구의 약 11%, 약 200만 주민이 전기공급을 받지 못하고 있다. 농업은 신장의 전통적인 경제기반이지만 광범한 석유, 천연가스, 석탄 자원을 포함한 지역자원을 이용할 새로운 산업들이 최근에 개발되고 있다. 말할 필요도 없이 낮은 인구밀도로 인해 인구의 4분의 1은 송전망을 이용한 전력공급에서 배제되었다.

신장 지역의 농부와 목축인의 1996년 현재 일인당 연간순수입은 약 173달러이다. 참고로 도시주민의 일인당 연간순수입은 약 640달러이다. 신장의 농촌 가구당 인구는 약 4.7명이고 도시 가구는 3.8명이다 (China Statistical Bureau, 1997).

신장의 풍력자원은 칭하이나 내몽고자치구보다는 덜 풍부하나 일조자원은 풍부하다. 사실상 신장은 칭하이보다 일조시간이 더 많다. 세 지역의 재생가능 에너지 자원에 관한 자세한 사항은 표1에 나타나 있다.

표 1 중국 서부지방의 풍력 및 태양에너지 자원

	풍력에너지 밀도(W/m ²)	연간 풍속 3m/s 이상인 시간	연간 풍속 6m/s 이상인 시간	연간 총 일조량 (kWh/m ²)	연간 총 일조시간
중국기후과학협회에 의해 정의된 자원풍부지역 (Qiu, 1991)	>150	>4,000	>1,500	>1,500	>2,800
내몽고	100-300	4,000-7,000	1,000-4,000	1,400-1,700	2,800-3,400
칭하이	--	1,168-5,912	184-1,304	1,892-2,014	4,386-4,476
신장	--	906-2,700	18-876	1,708-2,006	4,406-4,704

에너지 시스템 운영성과와 신뢰성

재생가능에너지 시스템은 운영성과와 신뢰성을 기준으로 평가할 필요가 있다. 그러나 원격지에 대해서는 이러한 기준은 기존의 개념정의를 넘어서, 원격지의 생활과 관련된 사회, 경제 그리고 환경적인 요소들이 고려된 더 넓은 안목이 요구된다. 부하 손실 확률과 같은 순수한 기술적 신뢰성에 대한 문제나 대량 에너지 생산은 가축을 기르거나 농경생활을 하는 지역사회의 삶에 중요한 관심대상이 되지 않는다.

오히려 원격지에서의 운영성과와 신뢰성은 생활에 필요한 에너지를 생산하는 능력을 말하며, 지역의 사회조직과 경제체제에 지속적이고, 생활영위에 필수적인 주요 환경자원(토양과 물 공급 등)을 훼손하지 않는 에너지 생산방식이 필요하다. 토양의 자양능력을 저감시키고 (예를 들면 특정 형태의 바이오매스의 이용), 공기와 물의 질을 저하시키는 (예를 들면 최근 중국의 지방에서 나타난 석탄연소로 인한 산성도 상승) 연료를 사용하는 기술과 그동안 원격지에 설치할 수 없었던 대형 발전기 같은 에너지 체제는 원격지 생활공동체의 필요와는 맞지 않을 것이다.

재생가능에너지 자원이 지속적 공급이 어려운 점이 있다. 그러나 신속한 부품 교환이 어렵고, 현지 수리가 어렵고, 비싸며 운송이 느린 장거리 연료 공급에 의존 (예를 들면 원격지 디젤발전기)으로 인해 자주 서비스가 중단되는 에너지 체제는, 재생가능에너지 기술에 비해 신뢰성이 낮다고 간주될 수 있다(Byrne와 1998). 에너지 자원은 지속가능한 지역 발전에 공헌 여부에 따라 평가되어야 하기 때문에,

에너지 공급 특성뿐만 아니라 지역의 기술적 능력과 천연자원의 이용가능성, 환경적 효과, 수명기간 총비용과 사회적 충격 등이 함께 운영성과에 고려되어야 한다.

전통적인 에너지 시스템-특히 전기공급이 불안정한 계통연계 서비스나 발전기-과 비교해 볼 때, 재생가능 에너지 대안은 기본적인 에너지 수요를 충족시키며, 사람들의 건강과 환경적 지속가능성을 저해하지 않음과 동시에 경제·사회적 발전을 촉진함으로써 원격지 주민들로부터 긍정적인 평가를 받을 것이다.

전반적으로, 중국 원격지의 5백여 가구를 대상으로 한 우리의 조사연구는, 비록 에너지 시스템의 기술적 요소도 중요하지만, 에너지 사용의 사회·환경적 측면도 마찬가지로 중요하거나 혹은 더욱 중요하다는 것을 말해 주고 있다¹⁾.

원격지 에너지 대안 에 대한 평가

소형 가솔린 및 디젤 발전기(주로 500 와트 이내)와 태양광 및 풍력 에너지 대안을 원격지 가구와 지역사회 규모에서 평가하기 위하여, 에너지·환경 정책연구소는 '원격지 재생가능에너지 분석 및 디자인 방법(Rural Renewable Energy Analysis and Design Tool: RREAD)'이라는 컴퓨터 모의실험 모델을 만들었다. 이는 자원과 기술 및 경제적 측면에서 지역 발전을 위한 분산형 에너지 대안을 평가하는 다면적인 모의실험방법이다(Shen, 1998).

RREAD는 자료입력 행렬(Matrix), 계산 엔진, 그리고 출력 모듈 등 세가지 모듈로 구성되어 있다. 자료 입력 행렬은 풍력 및 태양광 자원 자료, 부하 자료, 시스템 구성(태양 발전기술, 소형 풍력 터빈, 그리고 소형 화석연료 발전기 등), 시스템 구성을 위한 총 자본 및 운영비용, 재정적 자료, 그리고 정책 시나리오 정보(예를 들어 세제 혜택, 보조금 및 사회적 편익·비용을 내재화하기 위한 프로그램 이니셔티브 등) 등 여섯 가지 정보를 활용한다.

계산엔진의 작동을 통하여 RREAD는 기술적, 경제적, 사회적 및 환경적 측면에서 재생가능 에너지 시스템과 디젤 발전기의 운영성과를 함께 분석한다. 그것은 에너지 시스템의 운영결과와, 저장장치(주로 배터리 뱅크)를 추정하며, 부하요건을 통한 자원 이용가능성을 비교하고, 에너지 부족분을 결정하며, 환경적 충격을 예측하고, 사회적 요인(예를 들어, 공급가능성과 각 가정의 에너지 관리에 대한 문제점)을 파악하며, 각 시스템의 경제적 평균화 비용을 계산한다(Byrne외, 1998;

Shen, 1998).

내몽고, 칭하이, 신장에서 지속가능 에너지이용의 사회경제적 평가를 위해서 에너지·환경정책 연구소는 중국 서부지역의 원격지 에너지 사용자들의 다양성을 통계적으로 대표하는 표본 설계와 종합적인 조사 설문지를 만들었다. 중국의 농업부, 과학원, 그리고 재생가능에너지 개발센터 (중국의 에너지 연구소(Energy Research Institute)중 일부)의 공동연구자들과 긴밀한 협력하에, 에너지환경정책 연구소는 중국 서부전역 22개 현의 531 원격지 가구를 조사하였다(Byrne, Wang, Shen, & Zhou, 2001).

이 연구를 통해 최초로 중국 원격지에서 에너지 사용자, 이용 및 기술에 대한 독특한 데이터 베이스를 구축하였다. 각 현과 지역수준에서 수집된 사회 경제적 정보와 함께 가구별 조사 자료는 이 지역에서 재생가능에너지 대안을 채택할 때 영향을 미치는 사회적, 경제적 및 기술적 요인들을 파악하기 위하여 통계적 기법(주로 상관관계와 회귀분석)으로 평가분석 되었다.

표본자료를 바탕으로, 연구팀은 중국 서부지역에서 비계통 연계 재생가능 에너지 시스템의 잠재성을 추정할 목적으로 주요 예측인자를 파악하였다.

중국 서부지역에서 분리재생가능 에너지 시스템의 경제학

중국 서부지역에서의 다양한 공급형태를 파악하기 위해 에너지·환경 센터 연구팀은 소규모 재생가능에너지 시스템에 대한 광범위한 경제적 분석을 수행하였다 (<http://www.nrel.gov/china/publications.html>). 연구팀은 이 연구를 통해 파악한 결과를 아래와 같이 요약하였고 두 가지 기준이 강조되었다. 이 기준은 a) 현금 수입이 많지 않은 가구가 재생가능 에너지 시스템을 구매할 수 있는 능력과 b) 가구의 에너지 수요를 충족시키기 위한 재생가능에너지와 비재생에너지 간의 비용 비교이다.

물론, 충분한 평가를 위해 보다 많은 기준이 필요할 것이다. 그러나 구매 능력 여부와 비교 비용은 원격지 가구들이 에너지 대안을 선택하는 능력을 제한하는 기본적인 요인이다. 재생가능 에너지 시스템이 이 기준을 충족시키는 경우, 이 시스템은 부가적인 혜택(전통적인 에너지 기술과 비교할 때)을 발생시키기도 한다. 예를 들면, 지역의 전통, 기술적 이해와 기능, 그리고 정치경제적 체제와 이 시스템이

부합할 수 있는지에 관해서 제기되는 주요한 우려사항들은 소규모 재생가능 에너지 시스템을 설계할 때 충분히 고려되어야 한다. 이와 유사하게, 환경에 대한 부정적인 영향도 태양과 풍력 에너지 시스템의 이용으로 피할 수 있으며, 이러한 기술은 진정으로 지속가능한 발전을 지원하기 위하여 보급될 수 있을 것이다. 따라서 이 장의 중점사항은 자원의 구매능력과 비교비용면에서 유리하지 않은 조건하에서도 재생가능에너지 전략을 실현할 수 있음을 보여주는 것이며 이러한 조건에서도 성공할 수 있다는 것은 원격지에서 '연성경로(soft path)'가 충분히 실현될 수 있음을 확증해 주고 있다고 하겠다.

분리형 재생가능에너지 시스템의 구매능력

중국의 원격지에서 사용되고 있는 전형적인 분리형 (즉, 전력망에 연결되지 않은) 재생가능에너지 시스템은 적정규모의 PV와 풍력발전기인데, 이들은 개별가구와 소규모 지역(100가구 미만)에 전력을 공급하기위해 설치된다.

가장 흔한 PV시스템은 반도체를 사용하여 태양광을 전기로 직접 전환시키는 솔라 패널을 사용하며, 풍력터빈 시스템은 터빈 날개를 회전시킴으로써 바람의 운동 에너지를 전기로 전환시키는 발전기를 포함한다. PV패널이나 풍력터빈과 같은 발전장치 이외에도 분리형 재생가능 에너지 시스템에는 배터리, 충전 제어기와 변환기로 구성된 소위 주변 장치(balance of system)가 함께 장착된다. 태양 및 풍력 에너지는 항상 안정적으로 공급되지 않는기 때문에 (즉 하루 중 일정시간에만 파워가 공급되고, 일 년 중에도 일정기간 동안만 사용가능한 비율로 공급되므로), 에너지 저장 시스템은 매우 중요하다.

전형적인 에너지 저장 시스템은 매우 간단한 형태의 (자동차 배터리 몇 개를 서로 연결시키는) 배터리 뱅크이다. PV패널이나 풍력터빈은 태양광이나 풍력자원을 이용 가능한 시간 중에 배터리 뱅크에 충전시키며, 충전된 에너지는 연결된 수용가에서 사용된다. 과잉충전이 되지 않도록 배터리 뱅크를 보호하고 전기 장치에서 일어나는 방전으로 인해 배터리 수명이 줄어드는 것을 막기위해 충전 제어기(소위 전력조절기)가 설치되며, 이는 배터리가 충전한도나 방전한도에 이를 때 전류 흐름을 단속하게 된다. 더구나 전기장치에 필요한 교류 형태의 전기를 공급하기위해 배터리의 직류를 교류로 변환시키는 직류·교류 변환기가 설치된다²⁾.

완전한 소규모 분리형 PV 및 풍력 시스템은 통상 전선 셋업과 보조구조 및 필요

한 주변장치 구성요소(즉 배터리 뱅크, 충전 조절기, 그리고 직류·교류 변환기) 등이 장착된 전기발전장치(소규모 PV패널 또는 풍력터빈)를 가지고 있다. 관심이 높아져가고 있는 소규모 PV/풍력 복합 시스템은 PV패널과 풍력 터빈이 함께 장치된다. 전형적인 분리형 재생가능에너지 시스템에 대한 디자인은 그림1에서 볼 수 있다.

PV, 풍력, 그리고 복합 시스템에 대한 적절한 규모는 중국 서부지역 수용가에 대한 심층적인 면접조사를 통해 결정되었다. 대체적으로 우리가 연구한 매우 다양한 표본가구에 적용할 수 있는 일간 전기수요의 세 가지 수준을 발견하였다(그림 2참조). 조사대상 가구의 에너지 사용 장치에 대한 측정과 우리 연구팀이 개별적으로 수용가에 대해 장래 에너지 수요에 대한 기대 등을 조사한 설문조사를 통하여 우리들은 일간 가구당 에너지 사용형태와 부하 등을 파악할 수 있었다. 이렇게 수집한 정보를 바탕으로 원격지 가구의 일별 전기수요가 300kW~ 1.6kW정도가 되는 것으로 파악되었다. 우리 연구가 진행된 3개 지역의 평균 원격지 가구의 평균 가족수는 4.4명이었다(중국의 평균 가족수는 3.65명임. 1999a표 참조)³⁾.

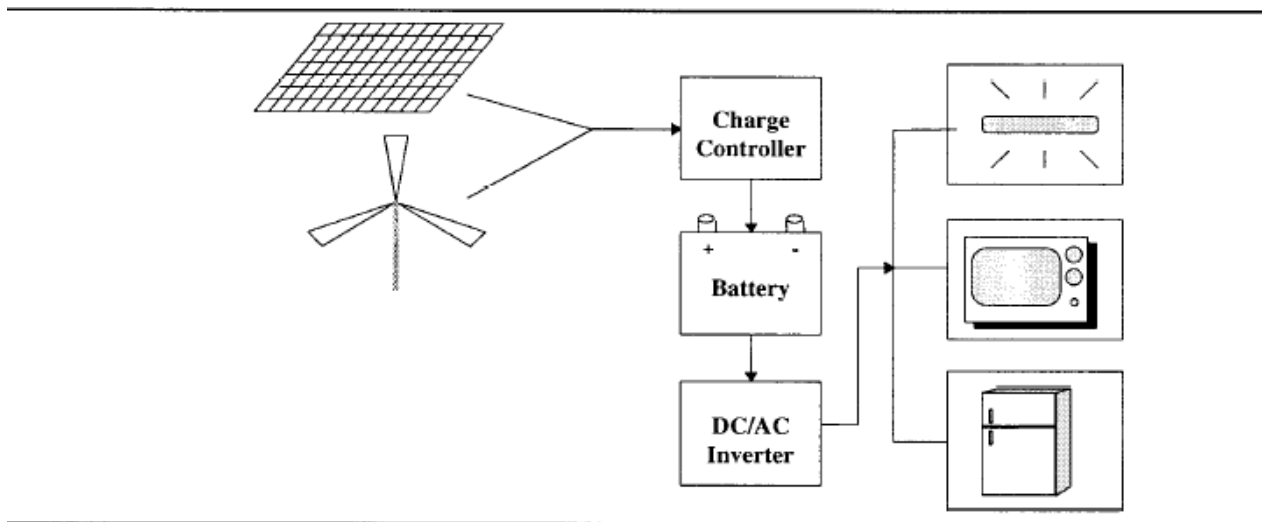


그림 1 분리형 복합형 재생가능에너지 시스템 개념도

Note: AC = Alternating Currents; DC = direct current.

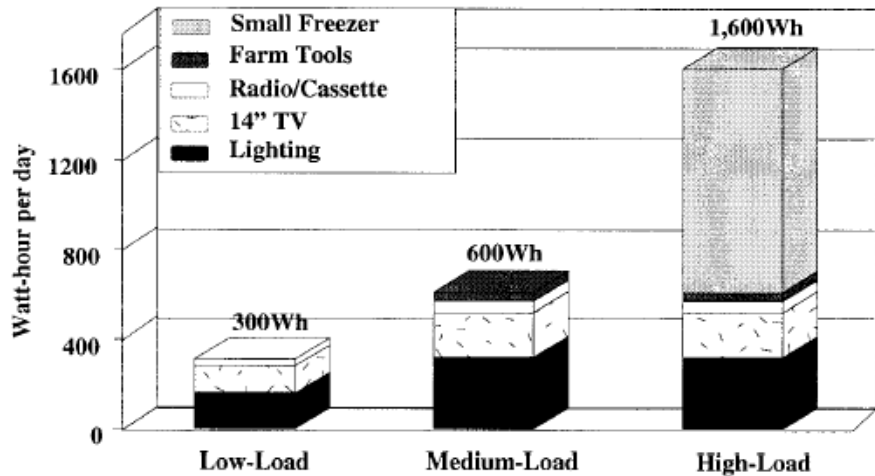


그림 2 중국 서부의 일일 가계전력수요표

일부의 원격지 가구들 - 대부분 적당한 소득이 있고 가정이 젊다 - 은 주로 통신과 조명을 위해 전력을 필요로 하며, 평균 일일 부하량은 약 300Wh이다. 대가족과 고소득층은 전력을 작은 펌프와 건조기 같은 특정한 농기계에 공급하기위해 사용하기를 원하며 일일 사용량은 600Wh 이상이다. 상류층(중국의 지방기준으로 이것은 연간 소득액이 미화로 천불이상을 의미한다)은 소형 냉장고를 구매할 수 있으며, 이 냉장고는 주로 의약품이나 특정한 종류의 식품을 냉장하기위해 쓰인다.

20개 이상의 PV, 풍력 그리고 복합형 재생가능에너지 시스템이 위 그림 2에서 나타난 부하 규모에 해당하는 지역 가구들의 수요에 부합된다.

PV 시스템: 22Wp - 120 Wp;

풍력 시스템: 100W-300W;

복합형 시스템: 35Wp PV - 100W 풍력발전에서 60 Wp PV- 100W 풍력발전; 35Wp PV- 200W 풍력발전에서 100Wp PV- 200W 풍력발전; 그리고 60Wp PV- 300W 풍력발전에서 120Wp PV- 300W 풍력발전.

전형적으로 미국기술인 120Wp PV시스템을 제외하고는 다른 모든 시스템은 중국제 PV 배열판을 사용한다. 풍력발전 시스템은 모두 중국 제조업체들이 만든다. 우리는 전력을 이와 같은 소규모로 공급할 수 있는 풍력터빈을 제조하는 미국, 유럽 혹은 일본 회사들에 대한 정보를 얻을 수 없었다. 이것은 지역의 에너지 수요에 대한 기술적인 사항들을 개발도상국들이 더 잘 알고 있음을 보여

주는 것이기도 하다. 배터리와 충전 조절기 또한 중국 제조업체들이 생산하나 직류/교류 변환기(DC/AC Inverter)는 주로 수입하고 있다. 부분적으로 소규모 재생가능에너지 시스템을 위한 장비들 주요부분이 중국에서 만들어질 수 있기 때문에, PV 구성의 평균비용은 Wp 당 \$7.39에서 \$7.55보다 적고, 풍력 발전기는 W당 \$1.70에서 \$2.78보다 적고, 복합형 재생가능에너지 시스템은 W당 \$2.28에서 \$3.54보다 적다. 비록 중국과 에너지환경정책센터간의 파트너쉽으로 인해 미국 에너지성으로부터 실험 프로젝트를 위한 자금을 지원받을 수 있었지만, 중국의 지역 사회들은 재정지원에 대한 방안을 거의 가지고 있지 않다.

표 2 내몽고 자치구(IMAR), 신장, 칭하이의 PV, 풍력발전 및 복합형 에너지시스템의 균등화 비용

시스템	지역	생산량 범위(kWh year ⁻¹)	평균화비용(\$kWh ⁻¹)
풍력	내몽고 자치구	196-640	0.25-0.37
	칭하이	27-342	0.31-1.51
	신장	8-212	0.46-4.11
PV	내몽고 자치구	37-225	0.70-0.94
	칭하이	47-328	0.52-0.78
	신장	55-400	0.45-0.68
복합형	내몽고 자치구	256-860	0.30-0.50
	칭하이	102-663	0.36-1.02
	신장	95-538	0.46-1.16
가스/디젤 발전기	전지역	481-554	1.09-1.19

자금을 빌릴 수 있는 시스템이 없음에도 불구하고, 중국 서부 지역사회들을 조사한바로는 대부분의 (그러나 전부는 아니고) 지역 가구들이 소규모 PV, 풍력발전 혹은 복합형 재생가능에너지 시스템을 구매할 수 있다고 믿고 있는 것으로 밝혀졌다. 분리형 태양광시스템에 들어가는 비용은 \$150에서 \$900이고, 풍력발전기는 \$225에서 \$600불이며, 혼합형 재생가능에너지 시스템은 \$450에서 \$1,300이다. 중국과 에너지환경정책센터 공동연구팀이 분석한 바에 따르면 각 가계들이 (소득수준에 따라 다르긴 하지만) 2년에서 5년 동안 저축을 하면 재생가능에너지 시스템을 구매하는데 충분한 자금을 모을 수 있는 것으로 나타났다. 중국에서 지역사회의 요구를 충족시키는 재생가능 에너지 분야의 발전이 이루어지고 있다는 것은 분명한 사실이다. 현재 내몽고 자치구(IMAR)에서는 약 6만개 이상의 소형 풍력 터빈들이 가동 중이고 약 40만개의 소규모 PV 시스템이 세 지방에 가동중이다(Li, 2001). 중국 서부에서 성장하고 있는 소규모

재생가능에너지시스템에 특화된 지역 산업들이 이러한 시스템들을 생산해 왔다.

가격경쟁력 분석

가정용 PV, 풍력발전, PV-풍력발전 복합형발전시스템과 전통적으로 화석연료를 사용하는 소규모 발전기의 가격을 세 지역 11개현에 걸쳐 비교하였다. 이러한 시스템의 가격 분석을 위한 가정과 변수들은 광범위한데, 그것들은 국가 재생가능에너지 연구소에 보고한 주요 보고서에 기술되어 있다(Byrne 외, 2001). 재정분석에 흔히 쓰이는 평분석기법이 균등화된 비용을 추정하기 위해 사용되었다⁴⁾. 이러한 추정 과정은 시스템들의 완전한 라이프 사이클 가격 비교를 가능하게 한다. 각 기술은 최대 에너지 (kWh) 발전 용량을 기준으로 평가되었다. 서로 다른 기술의 경제성을 비교하기 위해, 우리는 모든 시스템의 전생애 기간에 걸친 설치 자본 비용과 가동, 연료 그리고 유지보수 비용을 종합해서 분석의 근거로 삼았다⁵⁾.

우리의 분석에 의하면 가구 단위의 규모를 위한, 분리형 발전을 위한 가장 저렴한 시스템 구성은 성이나 현마다 다르다 (표2 참조). 풍력발전 또는 복합형 재생가능 에너지 시스템이 내몽고 자치구에서 가장 비용이 저렴한 대안인 반면 칭하이와 신장에서는 PV 또는 복합형 재생가능에너지 시스템이 가장 비용효율적인 대안이다.

중요한 점은 모든 세 지방에서 사회적 환경적인 편익을 포함하지 않더라도 재생가능 에너지 시스템은 경제적으로 전통적인 에너지 대안보다 우위에 있다는 것이다 (Byrne 외, 2001).

지역 지속가능성 증진

재생가능 에너지에 기반을 둔 지역 사회가 얼마나 실현가능한지 그 잠재적인 규모를 추측하기 위해서, 중국 서부지역의 사회경제적 자료와 재생가능 시스템의 평균화된 비용에 대한 추정치를 결합시킨 로지스틱 회귀모델⁶⁾을 만들었다.

이러한 접근방법에서, 가구 수입 및 소규모 재생에너지 시스템을 구매하려는

의향 정도는 각 성에서 에너지시스템별로 그것을 선호하는 가구들의 비율을 알아내기 위해서 자원 및 시스템 산출 데이터와 비교된다. 이러한 사회 경제적인 접근방법에 기반을 두고, 중국-에너지환경정책센터 공동연구팀은 내몽고 자치구, 칭하이 그리고 신장의 재생가능 에너지에 기반을 둔 지역 개발의 잠재성을 추정하였다.(표 3 참조)

표 3 내몽고 자치구, 신장, 및 칭하이의 재생가능에너지 시스템의 시장 크기

	구매될 수 있는 총 기기수			총 설치용량(메가와트)	
	PV	풍력	복합 시스템	PV	풍력
내몽고 자치구	195,793	200,867	136,234	9.79	20.09
신장	189,990	164,444	152,900	9.50	16.44
칭하이	58,698	57,237	43,325	2.93	5.72

내몽고 자치구와 신장, 칭하이의 분리형 PV와 풍력발전을 위한 지역 재생가능 에너지 시스템의 잠재성은 상당한 것으로 보인다.

- PV 시스템 잠재성: 우리의 분석에 의하면 내몽고 자치구의 경우, 원격지의 계통연계가 안된 가구들의 93%가 태양광 시스템에 흥미를 보이고 있었으며 그 시스템을 소유할 능력이 있다. 반면 신장과 칭하이는 각각 92% 와 95%이다.
- 풍력발전 시스템 잠재성: 내몽고 자치구에서 계통전력에 연결이 안 된 지역 가구들 중 풍력 시스템을 소유할 수 있는 능력과 구매의향을 보인 가구의 비율은 약 95%이다. 신장과 칭하이는 계통연계가 안된 원격지 가구들의 약 79%와 93%가 소규모 풍력 터빈을 선호하고 구매할 능력이 있다.
- 복합 시스템 잠재성: 세 지역 모두에서 분리형 PV나 풍력발전 시스템보다 복합시스템의 시장 잠재력이 더 작다. 우리들이 연구한 바로는 내몽고 자치구와 신장 그리고 칭하이의 계통연계가 안된 가구의 각각 65%, 73% 그리고 70%가 복합시스템을 구매할 의향 및 능력이 있다.

전반적으로, 중국-에너지환경정책센터 공동연구팀은 85만 이상의 원격지 가구들이 모두 가정용 및 지역공동체용 소규모, 분산형 시스템으로서 세 지방을 합쳐 PV 22메가와트와 풍력발전 42메가와트 설치용량 규모로 재생가능에너지 시스템을 잠재적으로 구매할 것이라고 예측한다 (Byrne외, 2001). 이것은 현재 이 세 지역에서 전력공급의 혜택을 받지 못하고 있는 원격지 주민의 90% 이상이 서비스를 받는다는 것을 의미한다. 이로써 재생가능에너지는 그 지역 생활

에서의 전력 수요를 충족시킬 핵심적인 수단이 될 것이다.

결론

원격지 전력화는 중국과 다른 개발도상국들의 지역개발에 있어서 핵심적인 요소이며 앞으로도 그러할 것이다. 중국-에너지환경정책센터 공동 연구팀의 8년간에 걸친 연구의 결과는 사회적 환경적으로 지속가능한 방식으로 중국 서부에 전력을 공급할 수 있는 재생가능한 에너지 대안이 가능하다는 것을 보여준다.

이 문제에 있어서 중국의 성공은 지속가능한 지역 개발전략을 추진하는 데 있어서 의미 있는 교훈을 제공한다. 그러나 지속가능한 지역 에너지 미래를 만드는 데에는 극복해야 할 어려움이 있다. 이러한 분산형 기술의 지역 상업화를 가로막는 중요한 장애들이 존재한다. 특히 지역 공동체의 필요에 대처하는 잘 발달된 용자 서비스가 없다는 것이 그것이다. 그러나 아마도 가장 중요한 장벽은 국가 및 국제정책을 형성하는 산업화-도시화에 편중된 개발모델일 것이다. 이러한 문제에 대한 패러다임의 전환 없이는 지역의 지속가능성이 달성되지 않을지도 모른다.

1) 원격지가 현금수입이 많지 않기 때문에, 구매능력여부가 중요하다(분리형 재생에너지 시스템의 구매능력부문 참조)

2) 비록 항상 변환기를 포함시킬 필요가 있는 것은 아니지만, 교류에 의해서 작동되는 장치와 조명이 월등하게 많기 때문에 사실상 이것은 필수적이다.

3) 참고로 3.14인자로 구성되는 평균적인 미국가구는 하루에 30~50kWh의 전기를 사용한다 (US Census Bureau, 2001).

4) 평준화된 비용(Levelized Costs)은 재무 분석에서 사용되는 연금 개념을 이용하여 평준화된 연간 할인율을 계산 적용해서 평가기간에 걸쳐 표준화한 에너지시스템의 전체 할인비용으로 정의된다.

5) PV는 기대수명이 15년이고 풍력터빈은 보통 10년이 주기이다. 생산업자들이 주장하듯이 풍력발전이나 소규모 PV/풍력 복합형 시스템의 배터리의 수명은 3년이고, PV의 배터리 수명은 4년이며 대규모 PV/ 풍력 복합형 시스템의 배터리 수명은 5년이다. 그러나 현장경험에 의하면 중국의 배터리는 보통 풍력과 소규모 복합형 시스템의 경우 1년간만 지속이 되고 풍력발전과 대규모 복합형 시스템의 경우는 2년간 지속된다. 충전기와 직류/교류 전환기의 수명은 보통 10년 정도이다.

6) 로지스틱 회귀 모델(LRM)은 양분된 종속변수(예를 들면 재생가능 에너지 시스템과 비재생 에너지 시스템에 대한 가계 선호도)가 있을 때 적절하게 사용된다. 결과가 양분화된 변수 사이 중 어디에 위치할지에 대한 확률은 로그함수로서 다루어진다. 최대가능성추정으로 불리는 수학적 방법을 사용함으로써, 로지스틱 회귀모델은 양분화된 결과들의 정확한 확률추정을 할 수 있도록 만들어질 수 있다.

참고문헌

- Byrne, J., & Rich, D.(1992). *Energy and Environmental Policy: Vol. 6. Energy and environment: The policy challenge*, New Brunswick, NJ:Transaction Publishing
- Byrne, J., Shen, B., & Wallace, W.(1998). The economics of sustainable energy for rural development: A study of renewable energy in rural China. *Energy Policy*, 26(1), 45-54.
- Byrne, J., Wang, Y.D., Shen, B & Zhou, A. (2001). *Off-grid renewable energy options for rural electrification in western China*. Newark: University of Delaware, Center for Energy and Environmental Policy.
- Cabraal, A., Cosgrove-Davis, M., & Schaeffer, L. (1996). *Best practice for photovoltaic household electrification programs: Lessons from experiences in selected countries* (World Bank Technical paper No.324). Washington DC: The World Bank.
- China Statistical Bureau.(1997). *Xinjiang statistical yearbook*, 1996. Beijing: China Stastical Publishing House.
- China Statistical Bureau. (1999a). *Chinese statistical yearbook*, 1998. Beijing:China Stastical Publishing House.
- China Statistical Bureau. (1999b). *Qinghai statistical yearbook*, 1998. Beijing:China Stastical Publishing House.
- China Statistical Bureau. (2000). *Inner Mongolia statistical yearbook*, 1998. Beijing:China Stastical Publishing House.
- China Statistical Bureau. (2001). *Data communique of the Fifth National Census* , China. Beijing: China Statistical Publishing House.
- Kammen D.(1999). Bringing power to the people: Promoting appropriate energy technologies in the developing world. *Environment*, 41(5).
- Lessen, N. (1993). Providing energy in developing countries. In L.R.Brown et al.(Eds.), *State of the world 1993*(pp.109-119). New York:W.W. Norton.
- Li, J.(2001). *Commercialization of solar PV systems in China*. Beijing:China Environmental Science Press.
- Lovins, A.(1977). *Soft energy paths: Toward a durable peace*. Cambridge, MA: Ballinger.

Ministry of Agriculture. (1999). *Materials on wind and solar energy resources statistics in western China*, 1999. Beijing: China Statistical Publishing House.

Poverty-Alleviation Office of State Council, World Bank, & UNDP. (1999). *China rural areas poverty-alleviation investigation report*. Retrieved from www.cnsp.org.cn/ZTBD/GPZYT

Qiu, D. (1991). *Rural energy integrated planning and application*. Beijing, China: Tsinghua University Press.

Shen, B. (1998). *Sustainable energy for the rural developing world: The potential for renewable energy to assist developing countries in pursuing sustainable rural development*. Doctoral dissertation, University of Delaware, Newark.

Smil, V. (1993). *China's environmental crisis*. London: M. E. Sharpe.

State Planning and Development Commission & Ministry of Science and Technology. (1994). *China's Agenda 21-White paper on China's population, environment and development in the 21st century*. Beijing: China Environmental Science Press.

United Nations. (2001). *World population monitoring 2001-population, environment and development*. New York: United Nations Publication Office.

U.S. Census Bureau. (2001). *Households and families: 2000*. Washington, DC: National Technical Information Service.

World Commission of Environment Development. (198). *Our commmen future*. New York: Oxford University Press.

Aiming Zhou는 박사과정 학생이며 델라웨어 대학교 에너지환경정책연구소의 연구원이다. 그는 이전에는 중국 에너지연구소의 재생가능에너지개발센터에서 연구원으로 근무하였다.

John Byrne은 델라웨어 대학교 에너지환경정책센터의 교수이자 소장이다. 그는 한국 서울에 위치한 지속가능한에너지환경공동연구소의 공동소장이기도 하다. 연락처는 Center for Energy and Environmental Policy, University of Delaware, Newark, DE 19716-7301; phone: (302)831-8405; e-mail: jbbyrne@udel.edu