

중국 티베트 지역의 100kW급 태양광발전시스템 성능분석

김 석기¹⁾, 최 봉하²⁾, 박 수억³⁾, 송 진수⁴⁾

Performance Analysis of 100kWp Photovoltaics System in Tibet

Seokki Kim, Bongha Choi, Soo-Uk Park, Jinsoo Song

Key words : : Solar Cells, PV array, Grid-Connected PV system, Tibet

Abstract : This paper presents the performance evaluation of PV systems installed at Tibet area of China in order to identify the key factors that determines system operation at a severe climate conditions and promote the cooperation of PV technology between Korea and China. The installed systems consist of 100kW on-grid connected PV systems, BOS(balance of systems), data acquisition and transmission equipments. The Korea side supplied the solar cell, BOS like as inverter, control box and monitoring system. And the Chinese side assembled solar module, constructed site and built control house. It has been shown that the average radiation per monthly from Tibet is 1.5 times larger than that from Mokpo. Also, radiation time from Tibet is 2hour higher than that from Korea. The economical analysis has shown that with the current prices, investment in a grid connected PV systems is generally profitable

1. 서 론

태양광발전기술은 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술로써, 햇빛이 비치는 곳에서는 어디서나 전기를 얻을 수 있으며 다른 발전방식은 달리 대기오염, 소음, 발열, 진동 등의 공해가 전혀 없는 깨끗한 발전방식이다. 최근 전세계 에너지 수요는 경제성장과 인구증가에 따른 문화생활의 향상으로 급격히 증가하고 있는 상황이다. 이로 인하여 CO2와 같은 환경문제의 대두로 세계 각국에서는 무공해 청정에너지원에 대한 관심이 고조되고, 정부의 에너지정책의 커다란 변화가 예고되고 있는 가운데 태양광을 이용한 새로운 에너지원에 대한 커다란 잠재력의 활용은 매우 중요한 시점에 이르렀다.

국내의 경우 과거 도서지역, 무인등대 등 소규모 전화 사업으로 추진되어오다가, 근래에 들어 대규모 MW급 태양광발전시스템이 발전사업을 목적으로 건설되고 있고, 이와 더불어 정부차원에서 2012년까지 10만호 지붕용 태양광발전사업을 단계적으로 추진하고 있다.

중국은 에너지 생산과 소비측면에서 매우 잠재력이 큰 나라이고, 아직까지 화석연료의 의존도가 높기 때문에, 경제개발이 급속도로 진행되는 상황에서 환경문제를 피할 수 있는 재생에너지원

의 개발에 대한 관심이 점차 커지고 있다. 특히 중국내 사막지역은 IEA PVPS Task 8 프로그램에서 정한 재생에너지원의 생산 최적지로 지명되었다¹⁾.

한중 국제협력사업을 통해 티베트지역과 같이 태양에너지가 풍부한 지역에 한국의 설계기술과 구성부품에 대한 기술수준의 현지 평가는 한국기업의 해외시장 진출을 위해 매우 중요한 자료로 활용될 수 있다.

따라서 본 논문에서는 국내 순수 태양광시스템 설계기술과 국산제품이 지리적 환경과 기후조건이 상이한 중국 티베트지역에 100kW 태양광발전 실증시스템의 시공 운전을 통한 모니터링 결과를 바탕으로 국내기술과 제품의 우수성을 입증하고자 태양광발전시스템의 성능과 경제성 분석 검토를 수행하고자 한다.

-
- 1) 한국에너지기술연구원 재생에너지연구부
E-mail : skkim@kier.re.kr
Tel : (042)860-3124 Fax : (042)860-3739
 - 2) 한국에너지기술연구원 에너지정책연구부
E-mail : bigunit@kier.re.kr
Tel : (042)860-3489 Fax : (042)860-3135
 - 3) 한국에너지기술연구원 에너지정책연구부
E-mail : supark@kier.re.kr
Tel : (042)860-3034 Fax : (042)860-3135
 - 4) 한국에너지기술연구원 재생에너지연구부
E-mail : jsong@kier.re.kr
Tel : (042)860-3738 Fax : (042)860-3739

2. 본 론

2.1 시스템의 구성

중국 티베트 현지에 설치된 100kW급 태양광 발전시스템은 태양광 어레이에서 발생된 전력을 상용계통에 연계시켜 전력사정이 열악한 서부지역에 양질의 전기를 공급하도록 구성된 시스템이다. 전체 태양광발전시스템은 태양전지 100kWp, 인버터 50kVA 2대, 기상관측 및 시스템 운전결과 수집을 위한 모니터링시스템, 계통연계를 위한 송배전 시스템으로 구성되었다. 그림 1은 계통 연계형 100kW급 태양광발전시스템의 구성도이다.

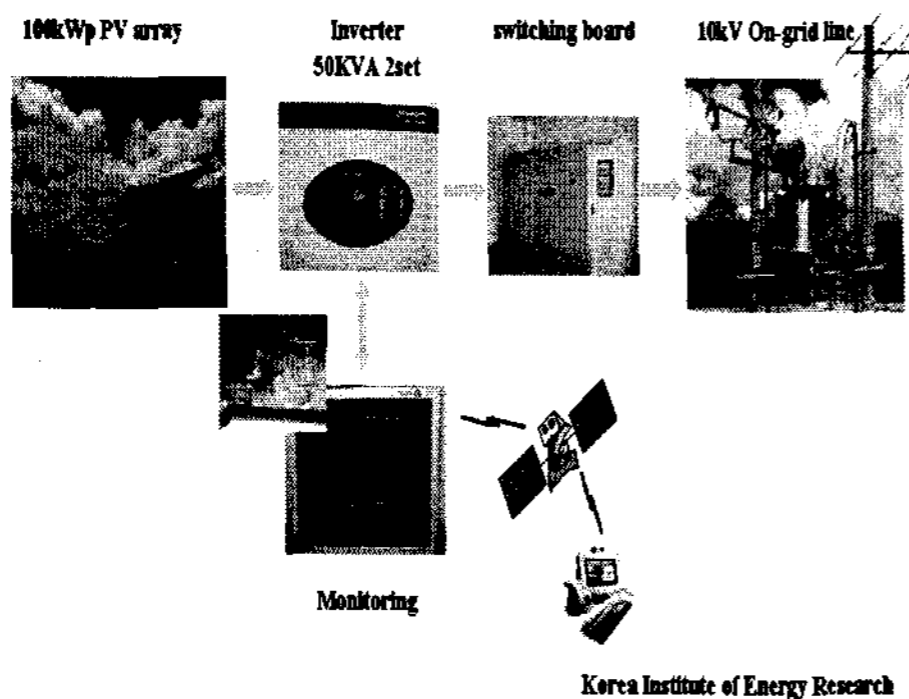


그림 1 100kW 태양광발전시스템의 구성도

100kW 태양광발전시스템의 실증시험단지 설치지역은 아시아의 중심부인 위도 30°05' 와 경도 90°30' 이며, 해발 4205m에 위치한 중국 티베트지역이다. 이 지역은 풍부한 일사량, 청명한 기상 및 태양광발전을 위한 매우 우수한 기후환경조건을 갖추고 있다. 특히 일사량도 한국과 비교할 때 평균 1.5배(티베트 5.73, 한국 3.89)에 이르고, 일별 일조시간도 평균 7시간으로 매우 길다.

2.2 태양광 어레이

100kW 태양광어레이 구성은 (주)KPE(구 포톤 반도체에너지)에서 단결정 실리콘 태양전지를 제작하고, 태양광 모듈은 중국 (주)Suntech에서 조립 시공하였으며, 전기적 특성은 <표 1>과 같다. 조립 설치된 태양광 모듈은 총 616장으로 정격용량 155W급 44장, 160W급 440장, 165W 132장이 사용되었다. 태양광 어레이 결선은 11직렬 14병렬 4 그룹 및 태양광발전 특성, 기상자료를 실시간으로 순시 평균값을 샘플링해서 데이터를 저장토록 구성되었다. 그림 2는 티베트 현지에 완공된 100kW 태양광발전시스템의 태양광 어레이의 구성 모식도이다.

<표 1> 태양광 모듈의 사양

항목	사양		
최대전력(Pmax)	155	160	165
최대전류(Imp)	4.51	4.65	4.74
최대전압(Vmp)	34.4	34.4	34.8
단락전류(Isc)	4.9	5	5.04
개방전압(Voc)	43.2	43.2	43.6
수량(장)	44	440	132
무게(kg)	16		
크기(mm)	1580 x 808 x 50		
측정조건 : AM 1.5, 1000W/m ² , Tc = 25°C			

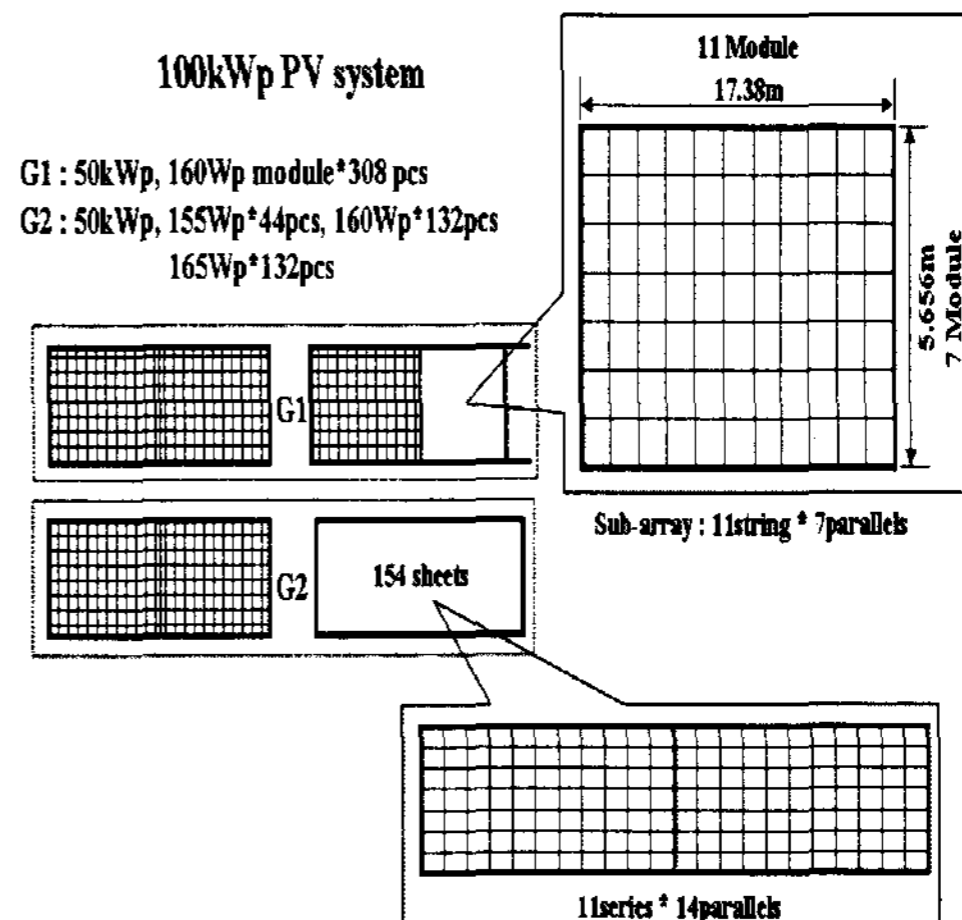


그림 2 태양광어레이의 구성 모식도

2.3 연계형 인버터

계통연계형 인버터는 정격용량 50kVA IGBT 소자를 사용한 3상4선식 PWM 방식의 강제송풍식 냉각 시스템을 갖추고 있다. 동작 전압 범위는 DC 300-600V, 정격 출력전압은 AC 380V, 출력 주파수는 50Hz±0.5Hz로 안정적인 주파수 위에서 동작하고 효율은 95% 이상이다. 인버터의 성능보완은 시스템 성능측정 및 분석 결과를 생산업체에 피드백하여 개선점 도출하고 그 결과를 추가 시스템의 설계 제작에 반영함으로써 인버터의 운전조건 최적화를 도모하였다. 그림 3와 그림 4는 개선된 인버터를 활용한 100kW 태양광발전시스템의 완공 후 시스템 전압, 전류, 출력 및 일사량 등의 운전 특성을 실시간 측정된 결과이다. 각 상별 전압, 전류 및 발전전력은 인버터 설계조건을 만족시켰고, 시스템이 정상적으로 운전됨을 확인하였다.

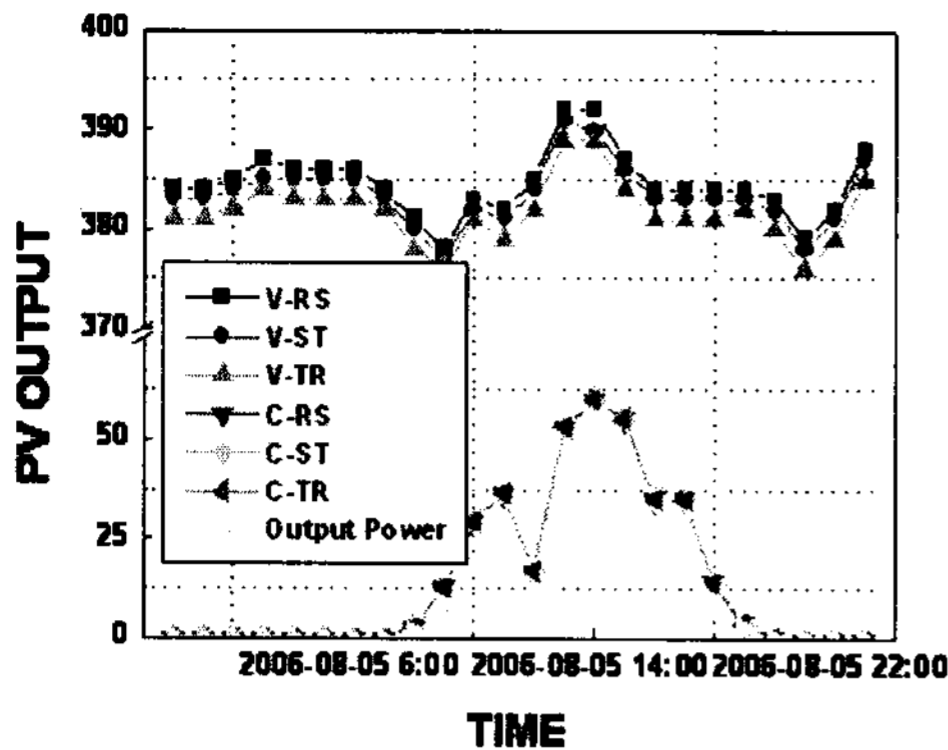


그림 3 인버터의 전기적 출력특성

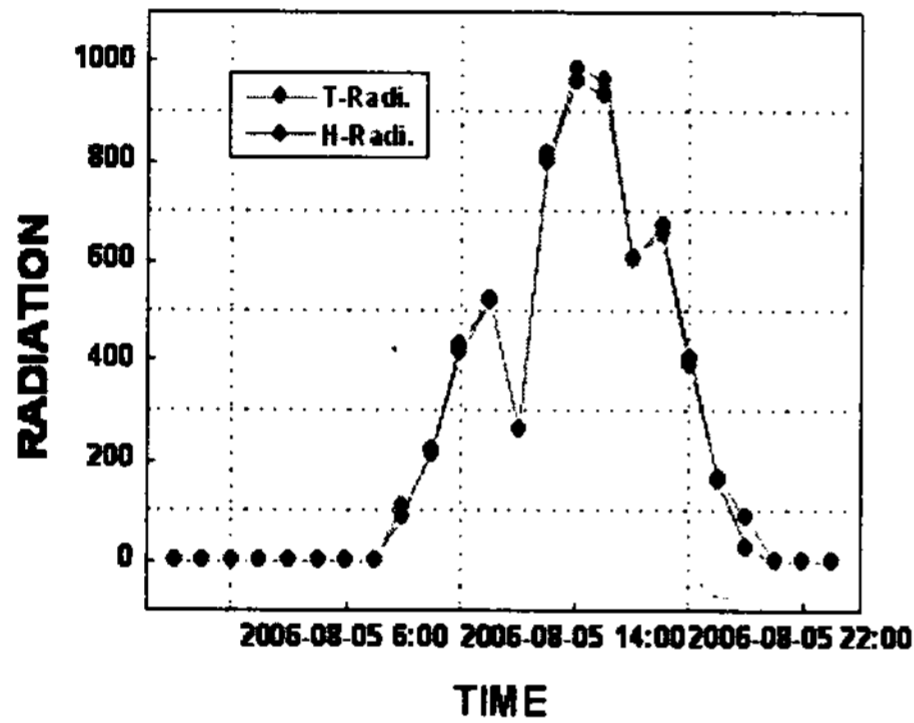


그림 4 태양광 어레이의 일사량

2.4 모니터링시스템

모니터링시스템의 구성은 당초 위성통신을 통해서 한국에서 현지 태양광발전시스템의 수집된 자료와 문제점을 실시간으로 파악하고 제어할 수 있는 시스템으로 구성하였다. 하지만 중국 티베트 지역은 국가방위 차원에서 위성통신과 인터넷 통신사정이 열악한 관계로 현재는 현지에서 로컬로 태양광발전량을 포함한 모든 자료를 취득 후 메일을 통해 자료가 수집되고 있다.

3. 운전결과

3.1. 시스템 운전특성

1차년도에 시공 완료되어 운전된 50kW 태양광발전시스템의 수집된 결과를 토대로 시스템의 수정 보완하여 2차년도에 추가적으로 50kW 태양광발전시스템을 설치함으로써 최종적으로 100kW 태양광발전시스템 실증단지가 완공되었다.

그림 5는 2005년 9월부터 2006년 10월까지 1년간 운전된 태양광발전시스템의 실증시험 모니터링 결과를 나타내었다. 2006년 4월까지 50kWp PV

시스템을 운전하였으나, 2006년 5월 22일 추가로 50kWp 시스템을 설치함으로써, 100kWp 태양광발전시스템이 완공되었다. 태양광발전량은 계절적인 기후조건, 온도와 날씨에 따라 발전량의 변화가 발생한다. 10월의 경우 발전량에 현저히 낮은 것은 PCS 운전/정지의 반복으로 인한 출력량이 감소하였다. 이는 일사량 급변으로 인해 인버터의 기동/정지 반복에 의한 원인이었다. 따라서 계통의 저전압 동작값, 단독운전 검출시간 및 과도응답특성의 수정보완을 통해 시스템의 운전특성을 개선하였다.

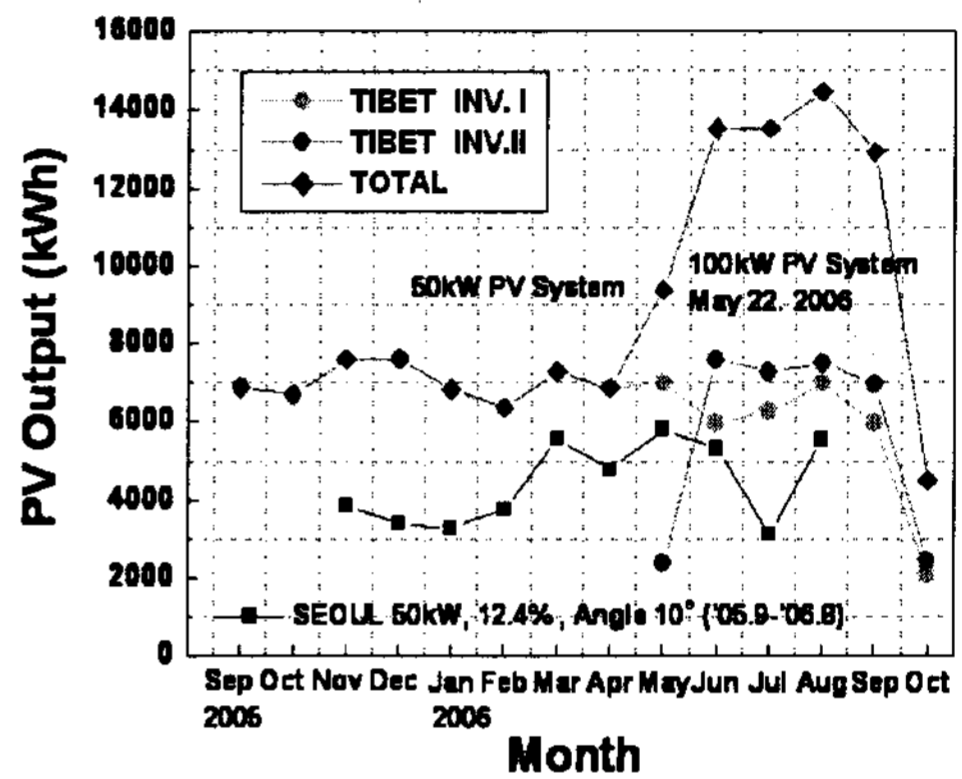


그림 5 100kWp 태양광발전시스템의 월별발전량

그림 6은 월별 발전량에 따른 시스템 이용율을 나타낸 것이다. 일반적으로 태양광발전시스템의 이용율은 다음과 같이 표현된다.

$$= \frac{\text{누적발전량(kWh/일)}}{\text{시스템용량(kW)} \times \text{운전시간}}$$

국내의 경우 일사량, 누적발전량으로 볼 때 약 12-14% 이용율을 보이는 반면, 중국 티베트의 경우 평균 18%이상의 매우 높은 결과를 얻었다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 국내 보다 일사량, 일조시간, 청명도 및 운전시 모듈온도 등 태양광발전시스템이 운전되기에 최적의 기상 조건을 갖고 있기 때문이다.

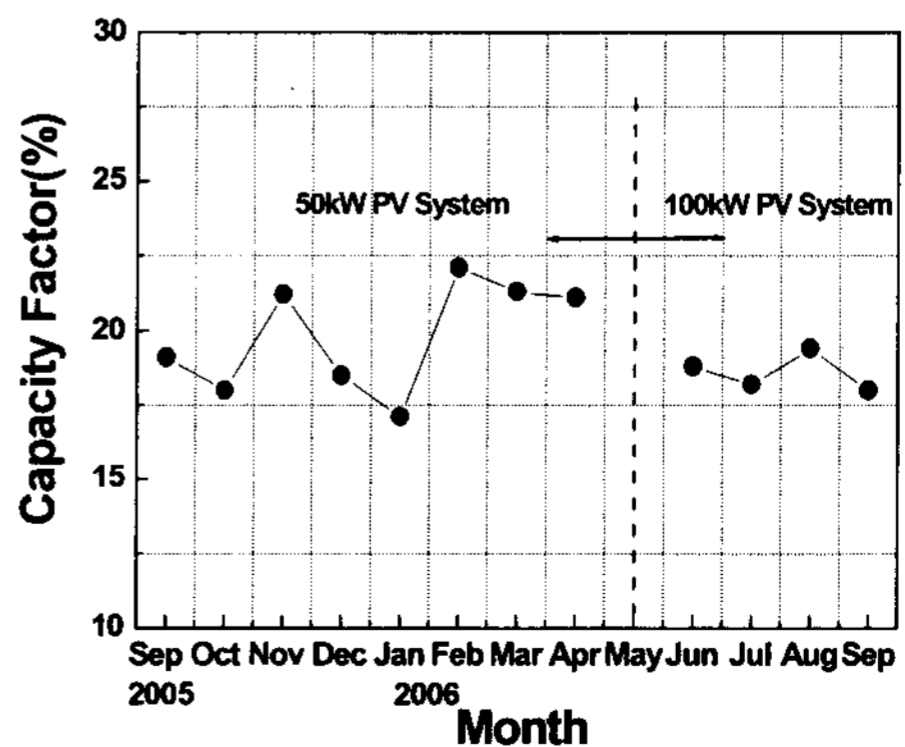


그림 6 100kWp 태양광발전시스템의 이용률 또한 단결정 50kWp 태양광모듈을 기준으로 시스템의 성능비를 계산하면 79.9%를 보였고, 산정조건은 다음과 같다.

- 티베트 평균 일사량 5.73kWh/m²
- 연간 누적발전량 : 83,538 kWh
- 출력 : 2091.45 kWh/kWp
- 성능비(%) : 83,538/(2091.45 * 50) = 79.9

3.2 경제성 분석

실증단지의 PV 시스템 경제성은 시스템의 설치 및 운영·유지에 들어가는 비용과 연간 발전량, 시스템 수명, 할인율 등을 고려한 발전단가를 구함으로써 알 수 있다. 연간 발전단가를 구하기 위해 본 연구에서 사용한 방법^[4]은 다음의 식 (1)과 같다.

$$P = \left\{ C_T \cdot \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} + AC \right\} / Q_A \quad [\text{원/kWh}]$$

- P: 발전단가
- C_T: 총자본비용
- AC: 연간 유지·운영 비용
- r: 할인율
- n: 시스템수명
- Q_A: 연간발전량

총자본비용은 초기투입비용으로써 크게 PV 모듈 비용, 인버터를 포함한 BOS 비용, 국내에서 생산된 PV 시스템 구성 요소들을 티베트 현지로 운송하는데 들어가는 운송 비용, 토목·건축공사비용, 전기공사 비용, 건설과정에서의 인건비용, 부지비용 등이 포함되며, 각각의 내역은 다음의 <표 2>와 같다. 공사비용, 인건비용, 부지비용은 중국 현지 통화 기준이다.

<표 2> 초기 투입비용 내역

비용 항목	비용
PV 모듈	450,000 천원
BOS	128,000 천원
운송	17,200 천원
토목·건축공사	1,666 천위안
전기공사	1,700 천위안
공사 인건비	303 천위안
부지	46 천위안

<표 3> 연간 유지, 운영비용 내역

비용 항목	비용
인건비	28,000 위안
통신비	4,800 위안
연료비	15,000 위안
공공요금	2,000 위안
장비 유지비	3,000 위안
합계	52,800 위안

연간 유지·운영 비용은 티베트 현지에서 PV 시스템을 유지·운영을 위해 매년 들어가는 비용으로

구체적인 내역 및 비용은 다음의 <표 3>과 같다. 모두 중국 현지에서 발생하는 비용이므로 현지 통화 기준이다.

초기투입비용을 연간 균등화하기 위한 시스템 수명 및 할인율, 한국과 중국의 통화로 산정된 비용을 달러화 기준으로 통일하기 위해 적용한 환율 등의 경제 지표들은 <표 4>와 같다.

<표 4> 기준 경제 지표

항목	값
시스템수명	20 년
할인율	7 %
원/달러 환율	940 원/달러
위안/달러 환율	7.77 위안/달러

이러한 비용 데이터를 발전단가 방정식에 대입하였을 때 연간 비용은 111,700 USD로 산정된다. 이를 연간 발전량인 187,276 kWh로 나눈 티베트 100kW PV 시스템의 발전단가는 0.60 USD/kWh 이며, 국내 통화로 환산할 경우는 564원/kWh로 나타났다.

4. 결론

본 논문 국내 순수 설계기술과 제품을 지리적, 환경적 기후조건이 다른 중국 티베트지역에 태양광발전시스템을 설치시공과 운전 및 모니터링을 통해 수집된 자료를 성능분석과 중국 티베트지역에 미치는 영향과 경제성 분석을 병행 수행함으로써 국산제품의 신뢰성 확보한다. 실증실험을 통하여 검증된 국산 제품의 중국시장진출과 단기적으로 중국 정부의 MW급 대규모 태양광발전사업 로드맵에 국내기업이 참여할 수 있는 방안과 교두보를 확보하여, 국내 태양광산업의 성장과 중국 시장진출이 활성화되길 바란다.

References

- [1] Jinsoo Song, Kosuke Kurokawa, 'Potential of Very Large Scale PV Power Generation System on Desert', 12th International PV Solar Energy Conference, Jeju, Korea, June, 2000.
- [2] Sidrach-de-Cardona M, Lopez LM. 'Performance analysis of a grid-connected photovoltaic system', Energy 1999.
- [3] Fanney AH, Dougherty BP, Davis MW. 'Measured performance of building integrated photovoltaic panels', ASME J Solar Energy Eng 2001.
- [4] M. Oliver, T. Jackson, "The evolution of economic and environmental cost for crystalline silicon photovoltaics" Energy Policy, Vol. 28, pp. 1011-1021, 2000