

2012-005  
정책연구

# 태양열발전사업 활성화를 위한 신재생에너지 지원정책 도출

— 춘천시 봉어섬 사례를 중심으로 —

국립중앙도서관 출판시도서목록(CIP)

태양열발전사업 활성화를 위한 신재생에너지 지원정책 도  
출 : 춘천시 봉어섬 사례를 중심으로 / [전영신 지음]. --  
춘천 : 한국기후변화대응연구센터, 2013

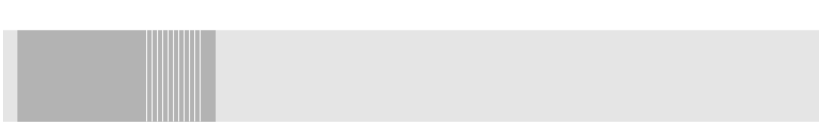
p. ; cm

참고문헌 수록  
ISBN 978-89-97562-14-5 93530 : 비매품

신재생 에너지[新再生--]  
태양열 발전[太陽熱發電]

563.75-KDC5  
621.31244-DDC21

CIP2013004659



# 목차

**연구요약** ..... vi

**제1장 서론** ..... 3

    제1절 연구의 배경 및 목적 ..... 3

    제2절 연구의 범위 및 방법 ..... 5

        1. 연구의 범위 ..... 5

        2. 연구의 내용 ..... 5

        3. 연구의 추진체계 ..... 7

**제2장 태양열발전 기술현황 및 신재생에너지 지원정책** ..... 11

    제1절 태양열발전 기술개요 ..... 11

        1. PTC (Parabolic Trough Collector) ..... 13

        2. LFR (Linear Fresnel Reflector) ..... 15

        3. 타워형 (Tower) ..... 16

        4. 접시형 (Dish) ..... 17

    제2절 전세계 태양열발전 건설현황 ..... 19

    제3절 국내 신재생에너지 공급현황 ..... 22

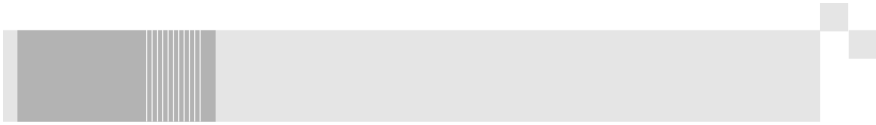
    제4절 국내 신재생에너지 지원정책 ..... 25

        1. 신재생에너지공급의무화제도 (RPS) ..... 25

        2. 발전차액지원제도 (Feed-in Tariff) ..... 28

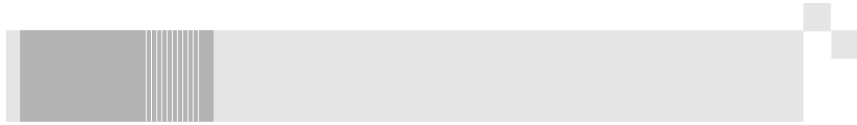
        3. 기타 신재생에너지 지원제도 ..... 29

<b>제3장 SAM시뮬레이션을 통한 태양열발전 비용-효과 분석</b> .....	<b>33</b>
제1절 SAM을 이용한 발전단가 및 발전량 산정 .....	33
제2절 전력가격 시계열 분석 .....	44
<b>제4장 태양열 발전차액기준가격 및 REC가중치 산정</b> .....	<b>49</b>
제1절 발전차액기준가격 및 REC가중치 선정모델 .....	49
1. 균등화발전단가 .....	52
2. 실물옵션모형 .....	53
제2절 실물옵션모형 적용 .....	57
1. 태양열발전 용량별 발전차액기준가격 .....	60
2. 저용량 태양열발전 집광방식별 발전차액기준가격 .....	63
3. 태양열 및 태양광 선호도 분석 .....	68
4. REC 가중치 .....	69
<b>제5장 봉어섬 태양열발전사업 경제성 분석</b> .....	<b>75</b>
제1절 태양열발전사업 관련 이해관계 .....	75
제2절 봉어섬 경제성 분석 .....	77
<b>제6장 결론 및 정책제언</b> .....	<b>85</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>89</b>
<b>부록</b> .....	<b>95</b>



## 표목차

[표 2-1] 태양열발전 기술별 특성치 .....	18
[표 2-2] 연도별 신재생에너지 생산량 .....	23
[표 2-3] 연도별 발전량 중 신재생에너지 비중 .....	24
[표 2-4] 연도별 신재생에너지 의무공급량 .....	26
[표 2-5] 태양광발전 의무공급량 .....	27
[표 2-6] 발전원별 REC가중치 .....	27
[표 3-1] 10MW급 PTC에 대한 Storage/Solar multiple별 균등화발전단가 .....	38
[표 3-2] 100MW급 PTC에 대한 Storage/Solar multiple별 균등화발전단가 .....	39
[표 3-3] 고용량 Tower형 CSP의 storage/Solar multiple별 균등화발전단가 .....	42
[표 3-4] 저용량 Tower형 CSP의 storage/Solar multiple별 균등화발전단가 .....	43
[표 3-5] Tower형 태양열발전 이용율 .....	43
[표 3-6] SMP의 ADF 검정 결과 .....	45
[표 3-7] SMP 표류율 및 변동성 .....	45
[표 4-1] 저용량 PTC 발전차액기준가격 .....	64
[표 4-2] 저용량 Fresnel 발전차액기준가격 .....	65
[표 4-3] 저용량 Tower 발전차액기준가격 .....	66
[표 4-4] 저용량 Dish 발전차액기준가격 .....	67
[표 4-5] 균등화발전단가로 계산한 태양열발전 REC 가중치 .....	69



## 그림목차

<그림 2-1> 타워형 태양열발전장치 .....	12
<그림 2-2> PTC 발전시스템의 개념도 .....	13
<그림 2-3> 태양열복합화력발전(ISC) 개념도 .....	14
<그림 2-4> LFR 발전시스템 개념도 .....	15
<그림 2-5> 타워형 태양열발전시스템 개념도 .....	16
<그림 2-6> 접시형 태양열발전시스템 개념도 .....	17
<그림 2-7> 전세계 태양열발전 건설용량 추이 .....	19
<그림 2-8> 전세계 태양열발전소 프로젝트 진행현황 .....	21
<그림 2-9> 연도별 1차 에너지 공급량 .....	22
<그림 2-10> 연도별 신재생에너지 생산량 .....	23
<그림 2-11> 연도별 발전량 중 신재생에너지 비중 .....	24
<그림 2-12> RPS제도 개요 .....	26
<그림 2-13> 발전차액지원제도 개요 .....	28
<그림 3-1> 인천 지역의 연간 시간대별 일사량 데이터 .....	34
<그림 3-2> 광주 지역의 연간 시간대별 일사량 데이터 .....	34
<그림 3-3> 울산 지역의 연간 시간대별 일사량 데이터 .....	35
<그림 3-4> 강릉 지역의 연간 시간대별 일사량 데이터 .....	35
<그림 3-5> SAM 시뮬레이션 수행결과 .....	36
<그림 3-6> 지역별 10MW급 PTC 태양열발전의 균등화발전단가 .....	37
<그림 3-7> 10MW급 PTC에 대한 Storage/Solar multiple별 균등화발전단가 .....	38
<그림 3-8> 2MW급 PTC의 Storage/Solar multiple별 발전량 .....	40
<그림 3-9> 2MW급 PTC의 Storage/Solar multiple별 균등화발전단가 .....	40
<그림 3-10> PTC의 용량별 최적조건에서의 균등화발전단가 .....	41
<그림 3-11> PTC의 용량별 최적조건에서의 이용율 .....	41
<그림 3-12> 고용량 Tower형 CSP의 storage/Solar multiple별 균등화발전단가 .....	42

<그림 3-13> 저용량 Tower형 CSP의 storage/Solar multiple별 균등화발전단가 ... 43

<그림 3-14> 월가중평균계통한계가격 ..... 44

<그림 4-1> 발전차액지원 발전용량 ..... 50

<그림 4-2> 발전차액지원 발전량 ..... 51

<그림 4-3> 발전차액지원금액 ..... 51

<그림 4-4> 균등화발전단가 개념 ..... 52

<그림 4-5> 불확실성이 존재할 때 투자결정 ..... 53

<그림 4-6> 월가중평균계통한계가격 ..... 54

<그림 4-7> 실물옵션의 가치 ..... 55

<그림 4-8> 발전차액의 구조 ..... 56

<그림 4-9> 균등화발전원가로 인한 발전차액잉여 ..... 57

<그림 4-10> 100MW급 PTC 할인율별 발전차액기준가격 ..... 58

<그림 4-11> 100MW급 PTC 투자비 감소에 따른 발전차액기준가격 ..... 59

<그림 4-12> 10MW급 PTC 발전차액기준가격 ..... 61

<그림 4-13> 1MW급 PTC 발전차액기준가격 ..... 61

<그림 4-14> 100MW급 Tower 발전차액기준가격 ..... 62

<그림 4-15> 1MW급 Tower 발전차액기준가격 ..... 62

<그림 4-16> 저용량 PTC 발전차액기준가격 ..... 64

<그림 4-17> 저용량 Fresnel 발전차액기준가격 ..... 65

<그림 4-18> 저용량 Tower 발전차액기준가격 ..... 66

<그림 4-19> 저용량 Dish 발전차액기준가격 ..... 67

<그림 4-20> 태양열 집열방식 및 태양광에 대한 균등화발전원가 잉여 ..... 68

<그림 4-21> 태양열 및 태양광발전의 전력가격 별 Willingness to Pay ..... 70

<그림 4-22> 태양광발전 및 소규모 태양열발전의 REC가중치 ..... 71

<그림 5-1> 봉어섬 태양열발전사업 당사자간의 이해관계 ..... 76

<그림 5-2> 봉어섬 태양열사업 경제성 분석방법 ..... 77

<그림 5-3> 봉어섬의 발전차액잉여 분석을 통한 발전방식별 경제성 분석 ..... 78

<그림 5-4> 봉어섬 신재생에너지사업 시행 시 강원도의 편익 ..... 79

<그림 5-5> 지원정책의 불확실성 하에서 강원도의 봉어섬 개발전략 ..... 80



## 태양열발전사업 활성화를 위한 신재생에너지 지원정책 도출

---

강원도는 2011년 춘천시 봉어섬 30만 $m^2$  부지 중 20만 $m^2$ 에 6MW급 태양광발전을 민간사업자가 설치하도록 허가하였다. 민간사업자인 강원솔라파크는 240억원을 투자하여 태양광발전설비 건설과 동시에 강원도에 기부채납하고 일정기간 전력판매 및 신재생에너지인증서를 판매하고 있다. 강원도는 봉어섬 여분의 부지 10만 $m^2$ 를 방치하지 않고 소득창출 및 2018동계올림픽 신재생에너지생산 약속이행 등의 효과를 누리기 위하여 태양열발전사업자 유치에 필요한 상황이다. 또한 신재생에너지 사업자는 봉어섬에 태양열발전을 설치하고 기부채납 후 15년간 사업을 수행할 경우, 전력판매 등으로 수익을 얻는 것은 물론 설치/운영 실적 축적으로 인하여 해외의 태양열발전사업에 진출할 수 있는 교두보를 쌓을 수 있다. 하지만 태양열발전사업을 수행하기 위해서는 많은 투자비가 필요한 반면, 전력판매수익만으로는 투자비를 회수할 수 없다. 따라서 태양열발전에 대한 발전차액/REC가중치가 주어지지 않을 경우에는 발전사업자는 수익을 얻을 수 없기 때문에 봉어섬에 태양열발전을 건설하지 않을 것이고, 강원도에서 추구하는 봉어섬 이용계획은 차질이 생기게 된다. 따라서 태양열발전에 대한 적절한 발전차액/REC가중치 부여가 필요하며, 본 연구에서는 이를 위하여 전력가격의 불확실성을 고려한 실물옵션 방법론을 적용하여 태양열발전 기술별 발전차액/REC가중치를 산정하였다. 봉어섬에 적용하기 위하여 경제성이 가장 좋은 태양열 집광방식을 계산하였으며,



계산결과 2MW급 타워형이 가장 경제적임을 알 수 있었다. 발전차액이 지원될 경우에 2MW급 태양열발전이 가장 경제적임을 산정하였지만, 태양열사업에 대한 지원제도가 시행되면 태양열사업이 유리하고, 태양열사업 지원제도가 시행되지 않으면 태양광 사업을 하는 것이 유리하다는 당연한 결과일 뿐이다.

지원제도 시행의 불확실성이 태양열사업의 중요한 변수로 작용하게 되지만, 여기서 말하는 불확실성은 측정이 불가능한 나이트의 불확실성(Knightian Uncertainty)이다. 전력가격과 같이 측정 가능한 리스크(Risk)를 이용하는 실물옵션분석을 수행할 수는 없지만, 지원제도의 불확실성 하에서 불어섬 태양열발전사업에 대한 타당성평가를 위하여 태양열에 대한 발전차액지원제도 시행확률이라는 애매한 개념을 적용하여 분석을 수행하였다. 분석결과 태양열 발전차액지원제도 시행확률이 60%일 때 태양광사업을 허가하지 않고 태양열 발전차액지원제도가 시행되는 상황을 기다릴 경우, 강원도에서 15년 이후에 얻게 되는 이익은 총 21.06억원으로 당장 태양광사업을 허가했을 때의 이익인 총 22.02억원보다 낮았다. 하지만 70% 이상일 경우에 태양광발전사업을 허가하지 않고 태양열 발전차액지원제도 시행을 기다리는 것이 24.57억원으로 당장 태양광사업을 허가하는 것보다 2.55억원 더 높은 가치를 가진다는 것을 알 수 있었다. 앞서 언급한 태양열에 대한 지원제도 시행 시에는 태양열사업이 유리하고, 지원제도가 없을 경우에는 태양광사업이 유리하다는 당연한 분석보다는 정교한 결과이지만, 태양열사업에 대한 지원제도 시행확률이 70%라는 것이 측정 가능하지 않다는 것이 문제이다.

국내에서의 태양열발전은 시범사업으로만 진행해왔기 때문에 아직 실증단계에 도달했다고 볼 수 없기 때문에, 상용플랜트급의 발전량을 얻기 위해서는 많은 시간이 필요하다. 또한 아직 연구개발 단계이므로 전력생산단가를 산정하기에 어려움이 존재하기 때문에 REC가중치 산정에는 회의적인 시각이 많다. 하지만 태양광사업의 경우에도 초기에는 높은 발전차액을 지불하여 사업자를 유치하였고, 현재 보급률이 상승하고 있으므로, 태양열발전에 대해서도 지원정책을 시행하여 국내사업은 물론 해외사업의 진출을 도모하자는 움직임도 존재한다. 결국 중앙정부의 의지에 따라 발전차액/REC가중치

가 결정되며, 발전차액지원제도 부활 확률이 70%이상일 경우 기다리는 것이 유리하다는 결과가 나왔지만, 새정부가 들어선지 얼마 되지 않아 제2차 국가에너지기본계획이 수립되고 나서야 원자력과 신재생에너지에 대한 구체적인 정책방향이 잡힐 것으로 예상된다. 이와 같은 상황에서 당장 소규모 태양열사업의 지원확률 70%를 예단하는 것보다는 기본계획이 세워지는 과정에서 소규모 태양열사업에 대한 지원 확률이 가시화 될 때까지 기다려보는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

▮ **키워드** : 태양열발전, CSP, 봉어섬, 발전차액지원제도, Feed-in Tariff, RPS제도, 신재생에너지 공급인증서 가중치, REC 가중치, 균등화발전단가, LCOE, 실물옵션, Real Option

# 제 1 장

# 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

제 2 절 연구의 범위 및 방법



# 제1장

## 서론



### 제1절 연구의 배경 및 목적

- 우리나라는 2009년 11월 국무회의에서 2020년 국가 온실가스 감축목표를 “배출전망(BAU) 대비 30% 감축”으로 최종 결정함에 따라 온실가스 저감 목표 달성을 위해서는 기존기술을 대체하여 에너지 수요를 담당할 수 있는 기술이 필요함.
- 신재생에너지는 온실가스 저감효과에 더하여 에너지안보를 확보하여 지속가능한 발전을 달성하는데 필요한 옵션 중 하나임.
  - 정부는 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제12조 5항 및 관계법령에 따라 2022년까지 총발전량의 10%를 신재생에너지를 공급하기로 함.
  - 2010신재생에너지보급통계에 따르면 약1.2% (5.9GWh/474.7GWh) 정도만 신재생에너지로 전력생산이 되고 있어, 2022년 10% 달성을 위해서는 신재생에너지에 대한 투자가 시급한 실정임.
- 강원도는 붕어섬을 관광지로 개발하고자 지난 1993년 호안블럭 등 기반조성 공사를 완료하였으나 환경처리 시설에 따른 규제로 사실상 방치하였음. 하지만 2012년 8월 붕어섬 총 31만여㎡ 부지 중 20만여㎡에

260억원을 투자하여 조성한 6,000kW 용량의 태양광발전설비 준공함.

- 정량적 효과 : 연간 7,900MWh의 전력 생산을 통해 3,560톤 이상의 CO<sub>2</sub>를 저감할 수 있을 것으로 기대.
  - 정성적 효과 : 교육형 체험 관광단지 (강원도지사님 인터뷰).
- 봉어섬 10만㎡ 여분의 부지에 태양열발전소를 설치 운영할 경우 전력생산효과 뿐만 아니라 태양에너지이용기술의 집약체로서의 교육효과를 배가시킬 수 있을 것으로 기대됨. 또한 2018평창동계올림픽 신재생에너지 공급 약속이행 효과도 기대할 수 있음.
- 하지만 태양열발전 사업은 태양광발전과는 다르게 RPS제도 하에서 신재생에너지공급인증서(REC)의 가중치가 정해지지 않은 반면, 비용은 매우 높기 때문에 경제성이 부족하여 민간사업자를 유치하기 어려움.
- 본 연구에서는 태양열발전사업의 활성화를 위한 신재생에너지지원정책 도출하기 위하여 태양열발전사업자가 경제성을 확보할 수 있는 적정 수준의 발전차액기준가격 또는 신재생에너지공급인증서 가중치를 계산하였음.
- 또한 강원도의 입장에서 춘천시 봉어섬에 태양열발전사업을 수행하는 것이 유리한 것인지 또는 태양광사업이나 기타사업을 수행하는 것이 유리한지, 아니면 시간을 두고 기다리는 것이 유리한 것인지에 대한 전략을 도출하였음.



## 제2절 연구의 범위 및 방법

### 1. 연구의 범위

- 태양열발전소 건설운영 주체를 발전사업자 또는 민간신재생에너지발전사업자로 한정
- 태양열발전타입별, 설치용량별 경제성 분석에 따른 사업유치를 위한 신재생에너지인증서(REC)의 적정 가중치 도출
- 발전차액지원제도 등과 같은 RPS제도 이외의 정부의 신재생에너지지원 정책에 대한 분석 수행

### 2. 연구의 내용

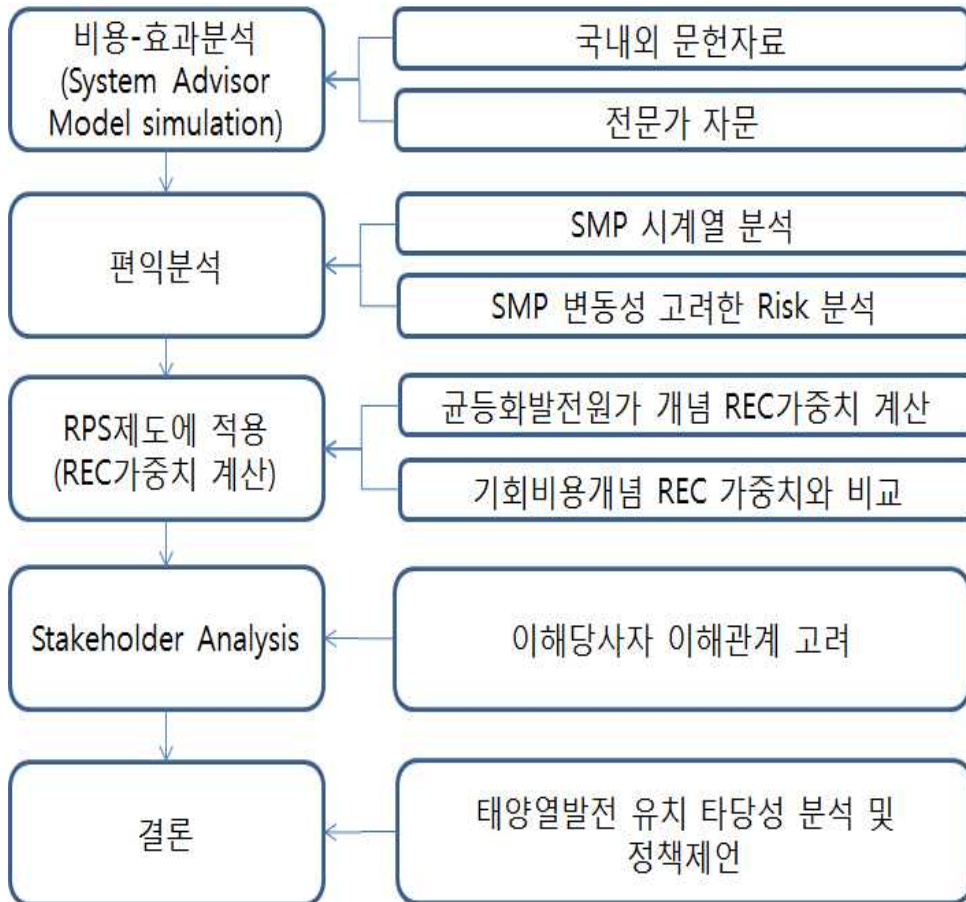
- 태양열 발전 기술의 개요
  - 태양열 집광방식(PTC, Tower, Fresnel, Dish)별 기술특성 조사
  - Thermal Storage 유무 여부에 따른 특성 조사
  - 태양열 발전 전체시스템의 특성
- 태양열발전 비용-효과 분석
  - System Advisor Model 시뮬레이션 (NREL 재생에너지 분석 프로그램)
  - 국내 일사량 데이터 적용 시간대별 발전량 분석
  - 최적 Thermal Storage 및 Solar multiple 도출

6 | 태양열발전사업 활성화를 위한 신재생에너지 지원정책 도출

- 전력가격 리스크 분석
  - 전력계통한계가격(System Marginal Price; SMP) 시계열 분석
  - SMP의 변동성 계산
  
- 태양열사업 활성화를 위한 신재생에너지 지원정책 도출
  - 신재생에너지원별 균등화발전단가 적용 발전차액/REC 가중치 계산
  - SMP의 불확실성에 따른 기회비용 개념의 발전차액/REC 가중치 계산
  
- 이해관계자 분석 (Stakeholder analysis)
  - 강원도, 중앙정부/신재생에너지센터 및 태양열사업자의 이해관계 분석
  
- 정책제언
  - 신재생에너지 정책의 불확실성에 대비한 강원도 봉어섬 활용전략 도출



### 3. 연구의 추진체계





## 제 2 장

# 태양열발전 기술현황 및 신재생에너지 지원정책

- 제 1 절 태양열발전 기술개요
- 제 2 절 전세계 태양열발전 건설현황
- 제 3 절 국내 신재생에너지 공급현황
- 제 4 절 국내 신재생에너지 지원정책



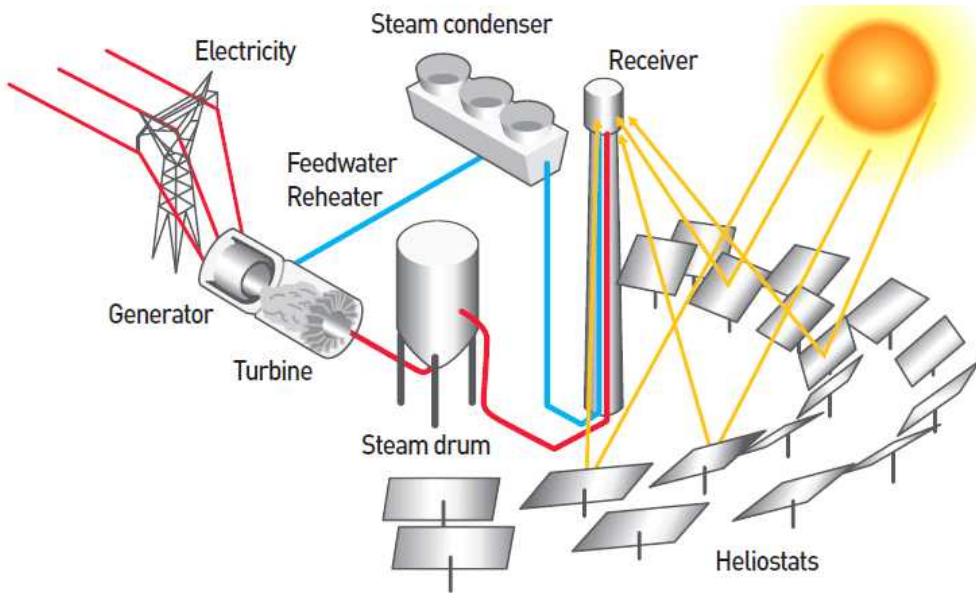
## 태양열발전 기술현황 및 신재생에너지 지원정책



### 제1절 태양열발전 기술개요

- 집광형태양열발전(Concentrated Solar Power; CSP) 기술은 넓은 면적에 걸쳐 조사되는 태양광을 거울이나 렌즈를 사용해 작은 면적에 집광(集光)시켜 얻는 태양열(Solar Thermal) 에너지로 전기를 생산하는 기술을 말함.
- 집광된 빛은 열로 변환되고 변환된 열에너지가 스팀터빈을 작동시켜 발전기를 통해 전기를 생산함. 태양광의 경우에는 반도체소자를 이용하여 직류를 생산하기 때문에 이를 교류로 변환하는 인버터가 필요한 반면, 태양열발전은 직접 터빈을 구동시켜서 전기를 생산하기 때문에 교류를 발생시킴.
- <그림 2-1>은 타워형 태양열발전기를 나타내며, 반사경(heliostat)은 보통 평판 거울로 태양의 움직임에 따라 태양광을 최대한으로 집광하기 위해 각도가 실시간으로 조정되며, 흡열기(receiver)로 조사된 태양열이 열매체를 가열함.

- 열매체로는 일반적으로 열전달 및 저장 용량이 큰 용융염(molten salt)이 사용되며, 증기 드럼(steam drum)을 통해 생산된 증기가 터빈을 구동시키고, 이를 통해 발전기(generator)에서 전기가 생산되는 방식임.

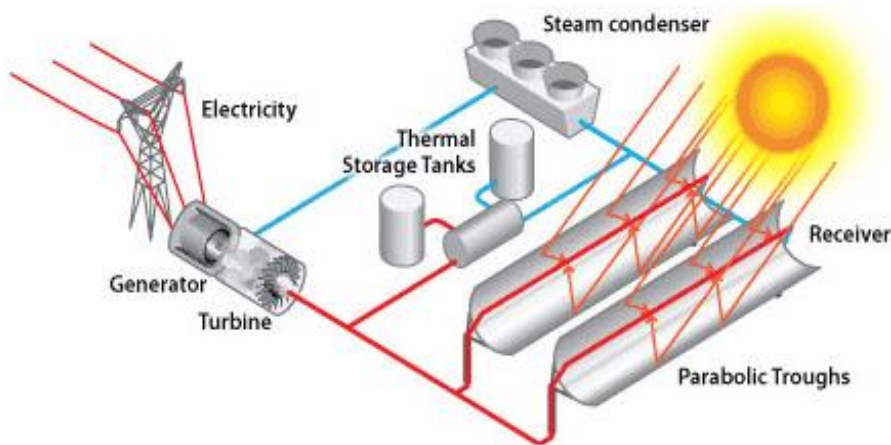


<그림 2-1> 타워형 태양열발전장치

출처 : <http://www.eere.energy.gov/>

## 1. PTC (Parabolic Trough Collector)

- PTC는 포물선 형태의 직선형 집광거울을 이용하여 집열관에 집광하여 집열관 내의 열매체를 가열하고, 열교환기를 통해 증기를 생성하고 발전하는 시스템임.
  - 열매체는 약 400 °C 근처까지 가열 된 후, 열교환기에 보내 증기(약 380 °C)를 발생시킴.
  - 시스템 효율은 15 % 정도임.

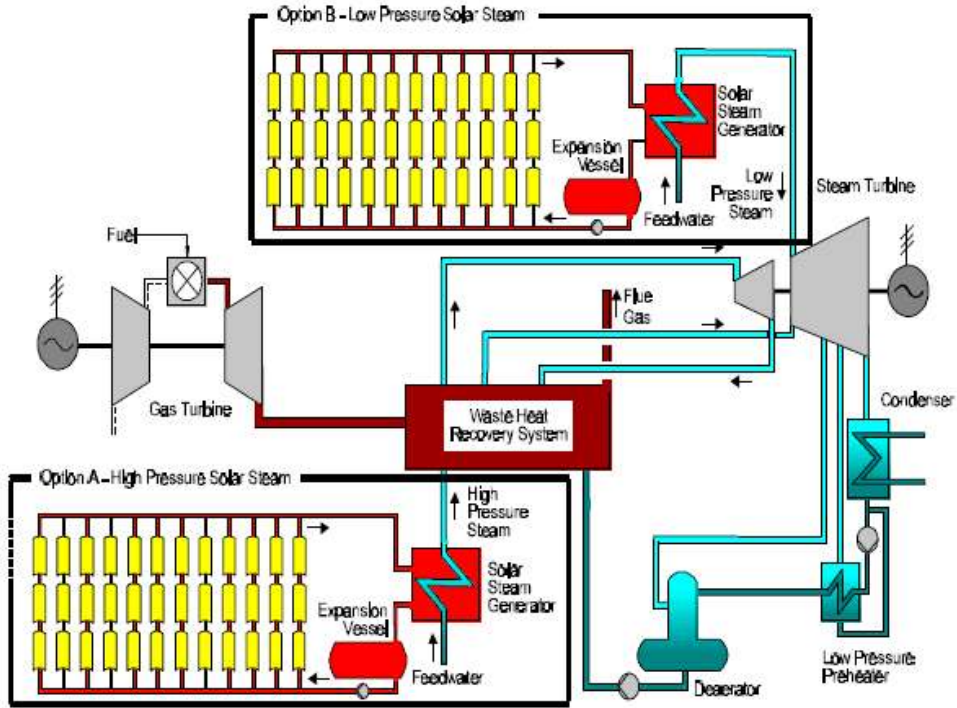


<그림 2-2> PTC 발전시스템의 개념도

출처 : <http://www.eere.energy.gov/>

- 집광거울과 집열관을 장거리로 연결할 경우 집열 튜브의 열 손실이 발생하는 문제가 있지만, 고급 집광기술이 필요하지 않고, 구조가 간단하기 때문에 다른 태양열 발전 기술과 비교하여 시스템 가격이 저렴함.
- 1980년대부터 미국 캘리포니아에서 상용 운전 실적이 있고, 태양열발전 기술 중 가장 성숙한 기술임.

- PTC와 가스 복합 사이클을 결합하는 태양열복합발전 (Integrated Solar Combined Cycle; ISCC)으로 이용할 수 있으며, ISCC는 태양열에 의해 발생된 증기 및 가스 터빈 이후 HRSG(Heat Recovery Steam Generator)를 통해서 얻어지는 열로 만들어 지는 증기를 이용하여 발전하는 시스템에서 연료가 되는 가스의 일부를 대체 할 수 있음. 이집트, 모로코, 알제리 등에서 프로젝트가 진행됨.



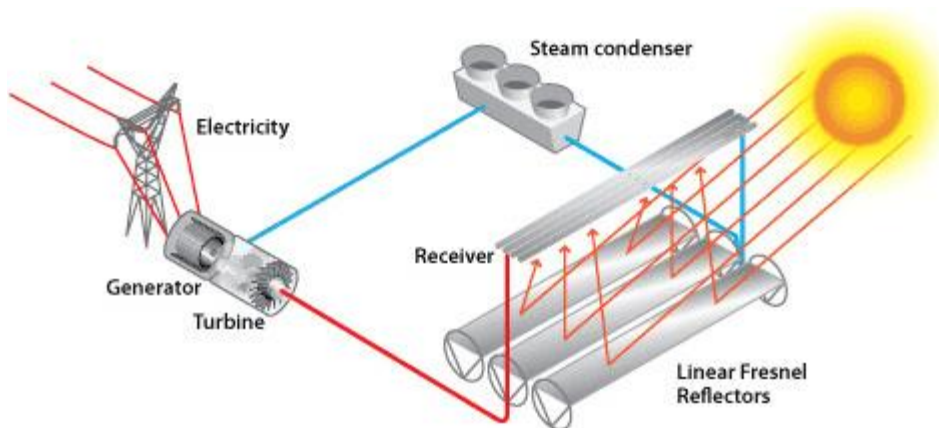
<그림 2-3> 태양열복합화력발전(ISCC) 개념도

출처 : Solar Paces



## 2. LFR (Linear Fresnel Reflector)

- LFR은 PTC와 유사한 기술로서 평면 또는 약간 굽은 긴 집광거울의 각도를 조금씩 바꾸어 몇 미터 위쪽에 있는 집열관에 집광하여 증기를 생성하는 방법임.
- 시스템효율은 8~10 %<sup>1)</sup>로 PTC보다 낮지만, PTC의 곡면집광거울보다 제조가 용이하고 비용이 저렴하며, 바람의 영향을 받지 않는 장점이 있음.
- LFR은 열교환기를 통하지 않고 집열관에서 직접 증기를 생성하는 DSG (Direct Steam Generation) 시스템이 채용되고 있으며, PTC보다 고온의 증기 (약 480 °C)를 얻을 수 있기 때문에, 터빈 효율의 향상이 가능하므로, 발전용 플랜트의 증기공급 등의 실증실험이 미국이나 호주 등에서 실시되고 있음.



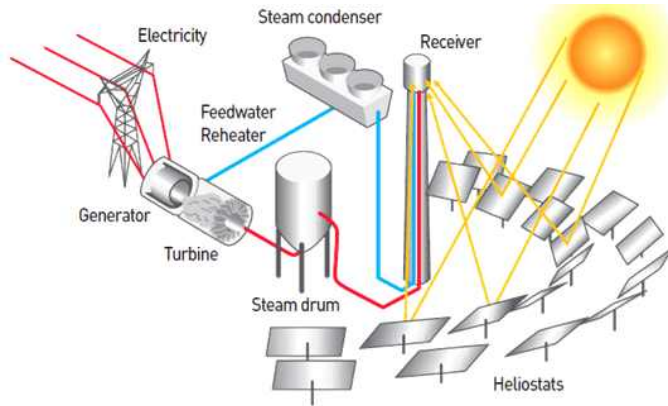
<그림 2-4> LFR 발전시스템 개념도

출처 : <http://www.eere.energy.gov/>

1) "Technology Roadmap Concentrating Solar Power" (2010, IEA)

### 3. 타워형 (Tower)

- 타워형 태양열발전은 헬리오스타트(Heliostats)라는 다수의 평면집광거울을 사용하여 일반적으로 탑 위에 놓인 집열기에 태양의 움직임을 추적하면서 집광하고 그 열로 증기를 만들어 발전하는 시스템임.
- 집열기에 모아진 열은 주로 용융염을 이용하는 열매체로 축열되어 열교환기를 통해 증기를 생성하지만, 최근에는 LFR방식과 마찬가지로, 열교환기를 통하지 않는 직접시스템을 생산하는 시스템을 사용하는 경우도 있음.
- 타워형은 PTC보다 고온의 증기를 생성할 수 있기 때문에, 터빈 효율을 높여 더 많은 전력을 얻을 수 있으며, 대용량 시스템 효율은 20 ~ 35%로 보고되고 있음. 집열 온도를 올려 1,000 °C 부근의 고온·고압의 공기를 만들면, 가스 터빈에서 천연 가스 대체 및 복합 사이클에의 응용도 가능함.



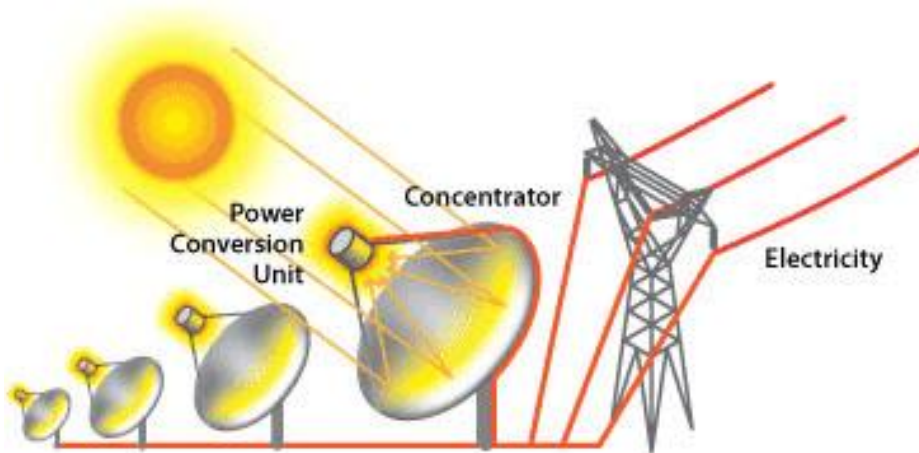
<그림 2-5> 타워형 태양열발전시스템 개념도

출처 : <http://www.eere.energy.gov/>

- 우리나라에서는 일사량이 많지 않아서, PTC와 같이 낮은 온도에서 운전되는 경우보다 타워형같은 고온으로 운전되는 집광방식이 유리할 것으로 간주되어, 대구시에 200kW급 타워형 태양열발전소가 건설되었음.

#### 4. 접시형 (Dish)

- 접시형 태양열 발전은 포물선 곡선 모양의 집광거울을 이용하여 집광하고 초점 부분에 설치된 스텔링엔진<sup>2)</sup>과 마이크로터빈 등으로 발전하는 시스템임. 크기는 직경 5 ~ 15m, 발전 출력은 5 ~ 50kW이며, 다른 시스템에 비해 소규모이므로 분산형 발전시스템으로 적합하며, 많은 수의 접시형 태양열발전기를 설치하는 경우도 있음.
- 열매체를 약 750 °C까지 가열 하는 미국의 25kW급 접시형 태양열발전의 효율이 30%로 보고되고 있음. 미국, 유럽 등을 중심으로 실증시험 진행 중임.



<그림 2-6> 접시형 태양열발전시스템 개념도

출처 : <http://www.eere.energy.gov/>

2) 외부 열원에 의해 엔진 내부의 기체 (주로 헬륨을 사용하는)을 팽창·수축시켜 구동력을 얻는 외연 기관

[표 2-1] 태양열발전 기술별 특성치

	PTC	Tower	Linear Fresnel	Dish
용량 (MW)	10-300	10-200	10-200	0.01-0.025
기술성숙도	Commercially proven	Pilot commercial projects	Pilot projects	Demonstration projects
기술개발 리스크	Low	Medium	Medium	Medium
작동온도(℃)	350-550	250-565	390	550-750
Plant peak efficiency (%)	14-20	23-35	18	30
capacity factor (%)	25-28 (no storage) 29-43 (7h storage)	55 (10h storage)	22-24	25-28
용도	· 계통연계형 발전 · 중고온 공정 가열	· 계통연계형 발전 · 고온 공정 가열	· 계통연계형 발전 · 발전소 증기 공급	· 소규모 분산형발전
토지 점유도	대	중	중	소
냉각수 사용량	3,000L/MWh (또는 공냉식)	2,000L/MWh (또는 공냉식)	3,000L/MWh (또는 공냉식)	불필요
이점	· 상용운전실적 · 발전효율, 투자비, 운전비 실증됨 · 모듈방식 · 축열과 조합 가능 · 화력발전과 하이브리드 사례 있음	· 높은 발전효율 · 고온 축열 가능 · 화력발전과 하이브리드 가능	· 상업이용가능단계 · 집광거울 현지 구입 및 가공 가능 · 플랜트비용 저렴 · 화력발전과 하이브리드 가능	· 30% 이상 (피크시) 높은 발전효율 · 모듈방식 · 제조가 간단하며 대량생산 가능 · 냉각수 필요없음
과제/전망	· 석유기반의 열매체 사용으로 운전온도 400℃정도로 제한되어 증기의 고온화에 한계가 있음 · 기술개발에 따른 개선여지가 작음	· 연건발전량 투자비, 운영비 등에 대해 상용운전 플랜트의 실증 필요 · 기술개발을 통한 개선가능성 매우 높음	· 출시된지 얼마 안 되었으며 대규모 플랜트의 실적이 필요 · 기술개발을 통한 개선가능성 매우 높음	· 대형상용화 플랜트 사례 없음 · 대량생산 시 비용에 대해 검증 필요 · 양산화가 진행되면 개선 여지 있음

출처 :

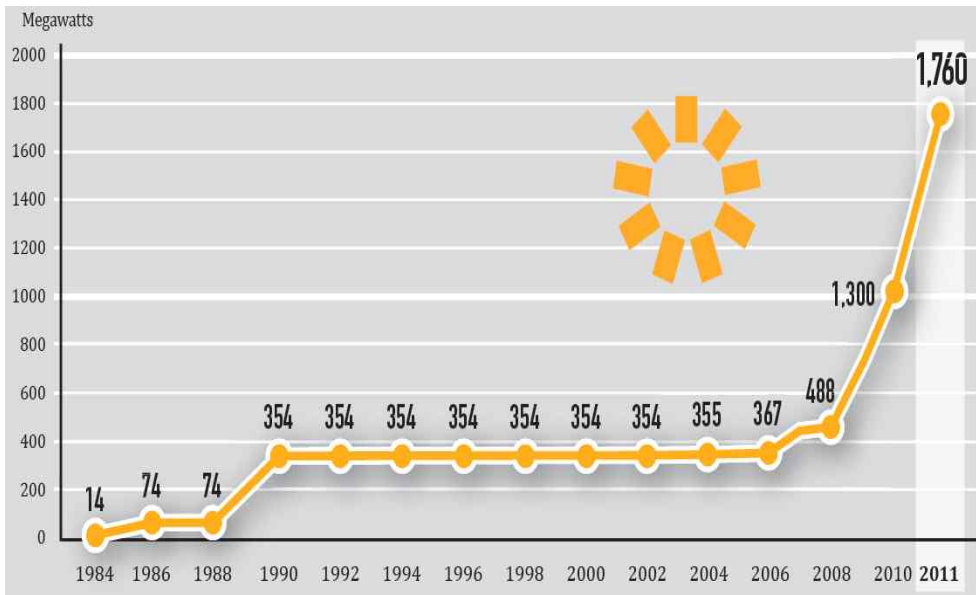
1) NEDO, 再生可能エネルギー技術白書 재인용

2) IRENA, Renewable Energy Technologies : Cost Analysis Series, Concentrating Solar Power, 2012



## 제2절 전세계 태양열발전 건설현황

- 미국의 Luz company는 1985년에서 1991년 사이 캘리포니아 남부의 모하비사막에 태양열발전소 SEGS(Solar Energy Generating Systems) 시리즈를 1호부터 9호까지 건설함.
  - SEGS 시리즈는 PTC 타입이며, 현재까지 상용운전 되고 있음.
- 하지만 1991년에서 2005년까지는 태양열발전에 대한 건설이 없었지만, 15년의 공백기를 거친 이후 2006년에 미국 아리조나주 1MW 플랜트, 스페인의 타워형 플랜트인 PS10(11MW)와 네바다주의 64MW 플랜트의 건설로 태양열발전 건설은 다시 시작됨.



<그림 2-7> 전세계 태양열발전 건설용량 추이

출처 : REN21, Renewables 2012 Global Status Report, 2012

- 그 이후 전세계적으로 20GW 수준의 태양열발전소가 건설 중에 있으며, 이를 주도하는 나라는 미국과 스페인임.
  - 현재 미국과 스페인의 플랜트가 건설된 태양열발전의 90%를 차지함.
  - 미국의 경우 세금우대와 RPS제도를, 스페인은 발전차액지원제도(Feed-in Tariff)를 시행하여 정부 주도의 태양열발전 건설을 유도하고 있음.
  - 알제리, 이집트 및 모로코는 천연가스 복합발전과 결합한 태양열발전을 건설하였거나 건설 중이며, 호주, 중국, 인도, 이란, 이스라엘, 이탈리아, 요르단, 멕시코 및 남아프리카공화국은 대형 태양열발전플랜트를 개발 중에 있고, UAE는 이미 건설에 착수하였음.
  
- 가동중인 PTC와 타워형플랜트 중에는 6~7.5시간의 열저장장치를 부착하고 있으며, 6~7.7시간의 저장장치를 부착할 경우 이용율(capacity factor)이 20~28%(저장 없을 경우)에서 30~40%로 증가함<sup>3)</sup>.
  - 스페인에서는 Gemasolar에 의해 건설된 19~20MW급 타워형 데모플랜트에 15시간 용융염 축열장치를 부착하여 운영하고 있으며, 연간 6,500시간(74% 이용율)을 운전할 수 있을 것으로 예상됨.
  - 알제리, 이집트 모로코에서는 태양열과 천연가스를 사용하는 복합태양열발전(ISCC; Integrated Solar Combined Cycle)이 건설 완료 또는 개발 중이고, 미국과 이탈리아에서는 건설 중에 있음.
  - 호주에서는 소규모의 LFR(Linear Fresnel Reflector)이 석탄화력발전소를 보조하고 있음.
  
- 2010년 말 현재 1,229MW 용량의 태양열발전플랜트가 전세계적으로 운전되고 있으며, 스페인 749MW, 미국 509MW, 호주에 4MW가 설치되어 있음. 2012년 3월말 현재 전세계적으로 설치된 태양열발전플랜트는 1.9GW 정도임. 스페인은 1,330MW를 설치하였고, 미국은 518MW를 설치하였음.
  
- 현재 설치된 플랜트 중 94%정도가 PTC이며, 타워형은 스페인에 70MW 정도가 건설되었고, LFR는 스페인 31MW, 호주에 4MW가 설치되어 있음.

3) IRENA, Renewable Energy Technologies : Cost Analysis Series – Concentrating Solar Power, 2012



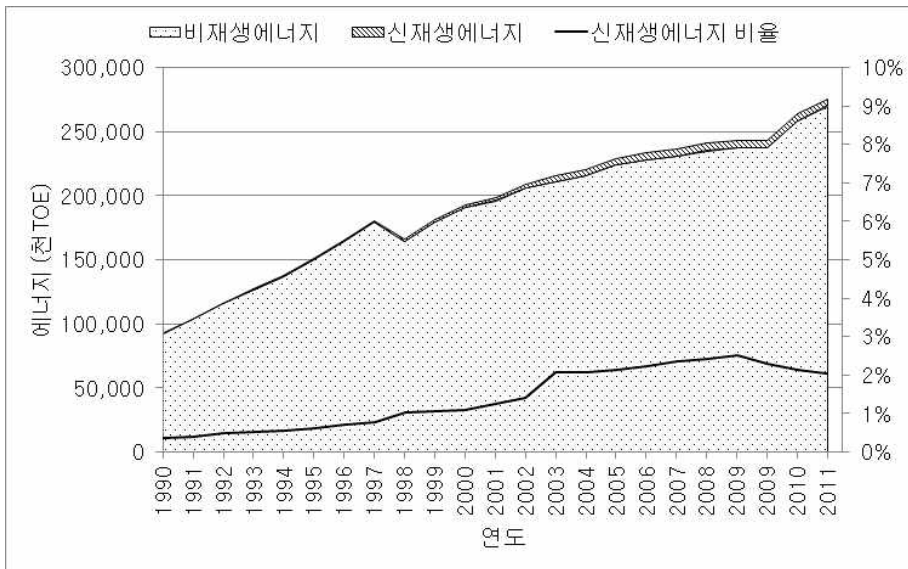
<그림 2-8> 전세계 태양열발전소 프로젝트 진행현황

출처 : Solar Paces ([http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/by\\_country.cfm](http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/by_country.cfm)) 자료 정리



### 제3절 국내 신재생에너지 공급현황

- 우리나라 1차 에너지와 신재생에너지 사용량은 IMF가 있던 1998년에만 전년대비 8.1%의 감소율을 보이고 있으며, 그 이외에는 지속적인 증가를 보이고 있음. 신재생에너지의 경우에는 IMF와 상관없이 지속적으로 증가하였고, 공급율도 해마다 상승함.



<그림 2-9> 연도별 1차 에너지 공급량



- 연도별 신재생에너지 생산량을 보면, 폐기물에너지의 생산 비중이 매우 크며, 2003년에 대수력발전을 신재생에너지에 포함시킴으로서 신재생에너지의 비중이 전체적으로 증가하는 경향을 보임.

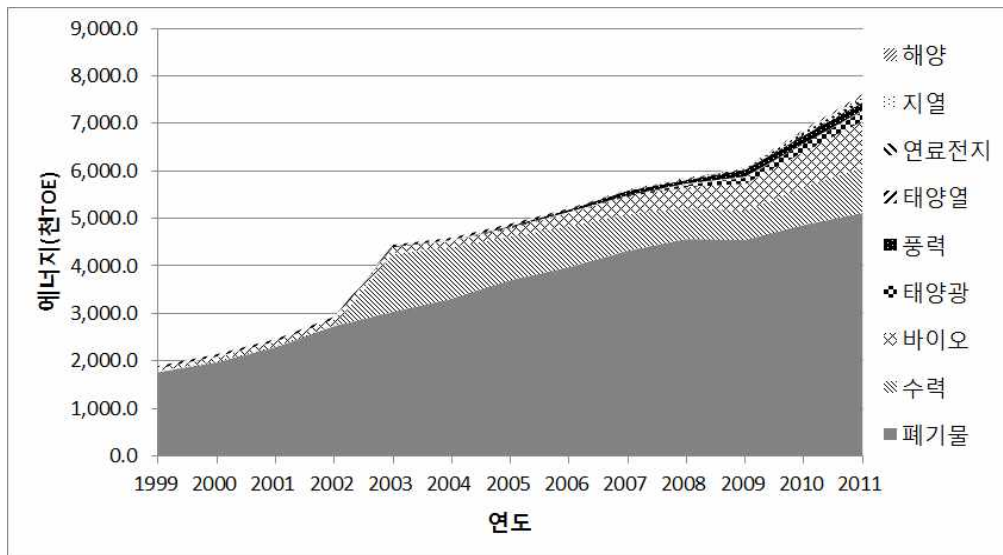
[표 2-2] 연도별 신재생에너지 생산량

(단위 : 천TOE)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2,010	2011
태양열	42.1	41.7	37.2	34.8	32.9	36.1	34.7	33.0	29.4	28.0	30.7	29.3	27.4
태양광	1.1	1.3	1.5	1.8	1.9	2.5	3.6	7.8	15.3	61.1	121.7	166.2	197.2
바이오	64.9	82.0	82.5	116.8	131.1	135.0	181.3	274.5	370.2	426.8	580.4	754.6	963.4
풍력	1.5	4.2	3.1	3.7	6.2	11.9	32.5	59.7	80.8	93.7	147.4	175.6	185.5
수력	27.1	20.5	20.9	27.6	1,225.6	1,082.3	918.5	867.1	780.9	660.1	606.6	792.3	965.4
연료전지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.7	1.8	4.4	19.2	42.3	63.3
폐기물	1,760.5	1,977.7	2,308.0	2,732.5	3,039.3	3,313.3	3,705.5	3,975.3	4,319.3	4,568.6	4,558.1	4,862.3	5,121.5
지열	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.4	2.6	6.2	11.1	15.7	22.1	33.4	47.8
해양	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	11.2	47.8
Total	1,897.3	2,127.3	2,453.3	2,917.3	4,437.4	4,582.4	4,879.2	5,225.2	5,608.8	5,858.5	6,086.2	6,856.1	7,571.6

주) 2003년부터 수력에 대수력 포함

출처 : 2011년 신재생에너지 보급통계, 신재생에너지센터, 2012



<그림 2-10> 연도별 신재생에너지 생산량

- 지속적으로 증가하는 전력수요에 대해서 연도별 발전량 중 신재생에너지 비중을 보면, 2003년 수력발전의 신재생에너지 포함으로 급격히 증가한 후 일정수준을 유지하다가 최근 급속히 증가하는 양상을 보이고 있음. 현재 RPS제도가 시행되고 있으며 2022년까지 생산전력의 10%에 대하여 신재생에너지를 이용해야 되기 때문에 비중은 점차 높아질 것으로 예상됨.

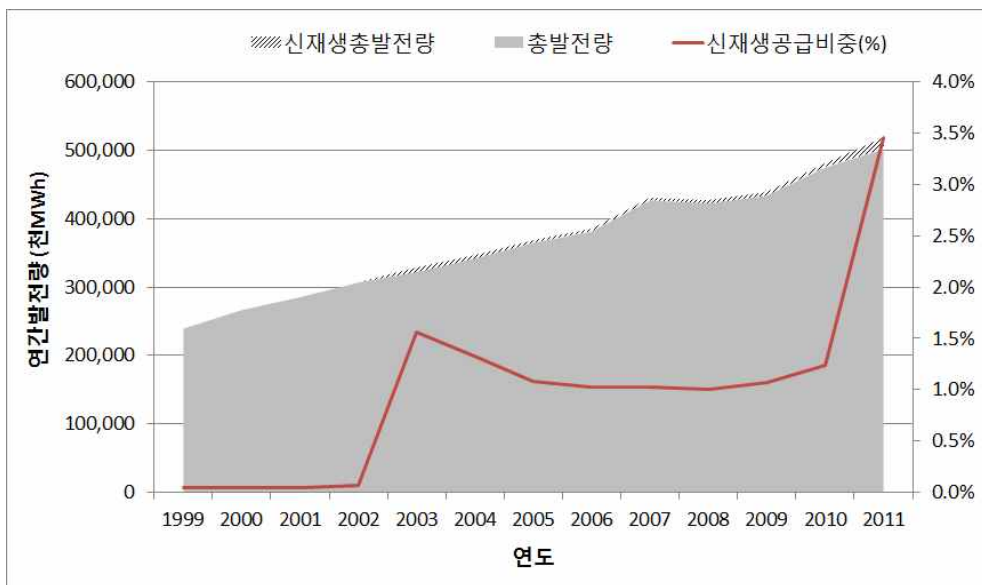
[표 2-3] 연도별 발전량 중 신재생에너지 비중

(단위 : GWh)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
총발전량	239,325	266,400	285,224	306,474	322,452	342,148	364,639	381,181	426,647	422,355	433,604	474,660	501,527
신재생 총발전량	119	104	103	203	5,035	4,534	3,950	3,899	4,395	4,227	4,618	5,890	17,346
신재생 공급비중	0.05%	0.04%	0.04%	0.07%	1.56%	1.33%	1.08%	1.02%	1.03%	1.00%	1.07%	1.24%	3.46%

주1) 총발전량은 양수발전 포함한 수치임

출처 : 에너지관리공단 신재생에너지센터, 2011년 신재생에너지 보급통계, 2012



<그림 2-11> 연도별 발전량 중 신재생에너지 비중

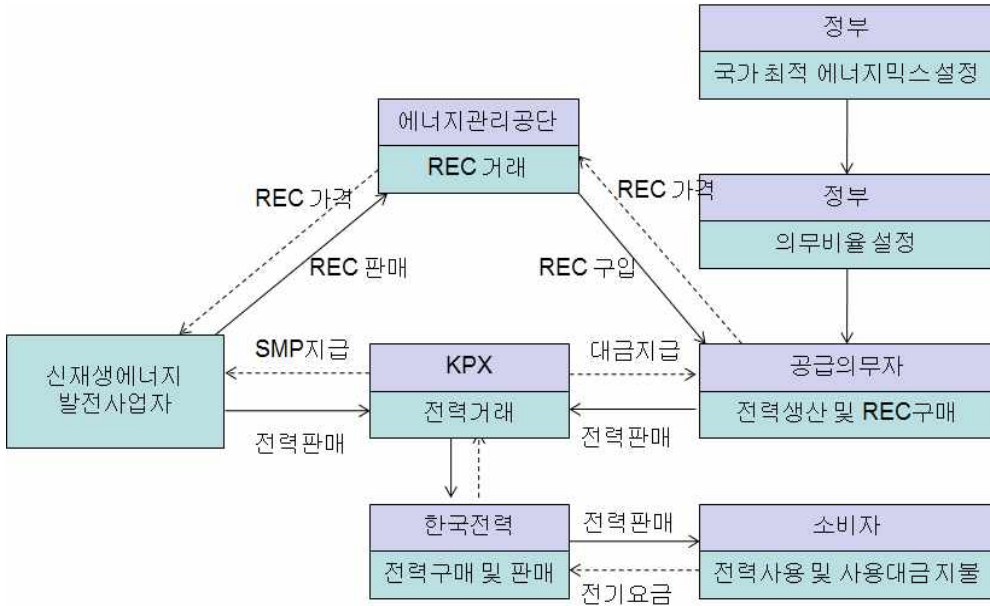


## 제4절 국내 신재생에너지 지원정책

- 우리나라는 신재생에너지의 이용 확대를 위하여 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」이 제정·운영되고 있음.
  - 1987년 12월 4일 제정된 「대체에너지보급촉진법」이 기술개발 위주로 되어 있어 1997년 12월 13일 보급사업을 추가하고, 명칭을 「대체에너지 개발 및 이용·보급촉진법」으로 변경하여 제정함.
  - 2004년 12월 31일 명칭을 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」으로 변경하고, 신재생에너지 기술의 사업화 지원 및 신재생에너지 설치 전문기업 등록제의 신설 등의 내용을 대폭 수정하였고, 2010년 RPS제도 관련 조항을 포함하여 개정됨.
  - 우리나라는 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제31조에 근거하여 신재생에너지센터가 설립되어 신·재생에너지 보급을 위한 각종 사업을 수행해 오고 있음.

### 1. 신재생에너지공급의무화제도 (RPS)

- RPS제도는 일정규모 이상의 발전사업자에게 총 발전량 중 일정량 이상을 신재생에너지 전력으로 공급토록 의무화하는 제도로써, 미국, 영국, 이태리, 스웨덴 등에서 시행중임.
  - 공급의무자 : 설비규모(신재생에너지설비 제외) 500MW 이상의 사업자
    - ▶ 한국수력원자력, 남동발전, 중부발전, 서부발전, 남부발전, 동서발전, 지역난방공사, 수자원공사, SK E&S, 포스코에너지, GS EPS, GS파워, MPC 울촌전력 등



<그림 2-12> RPS제도 개요

- 연도별 의무공급량은 공급의무자의 지난 연도 전력생산량에 연도별 의무비율을 곱한 발전량 이상으로 하며, 의무공급량은 신재생에너지공급인증서<sup>4)</sup>를 기준으로 산정함.
  - 연도별 의무공급량 = 공급의무자의 전년도 발전량(신재생발전량 제외)×의무비율
  - REC (Renewable Energy Certificate) : 공급인증서의 발급 및 거래단위로서 공급인증서 발급대상 설비에서 공급된 MWh기준의 신재생에너지 전력량에 대해 가중치를 곱하여 부여하는 단위

[표 2-4] 연도별 신재생에너지 의무공급량

해당연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
비율(%)	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	9	10

4) 신·재생에너지 설비를 이용하여 에너지를 공급하였음을 증명하는 인증서

- 태양광 산업의 집중육성 측면에서 시행초기 5년간 할당물량을 집중 배분하고 2017년부터는 별도 신규할당 없이 타 신재생에너지원과 경쟁을 유도함.

[표 2-5] 태양광발전 의무공급량

해당연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
신규(GWh)	276	591	907	1,235	1,577	1,577	1,577	1,577	1,577	1,577	1,577

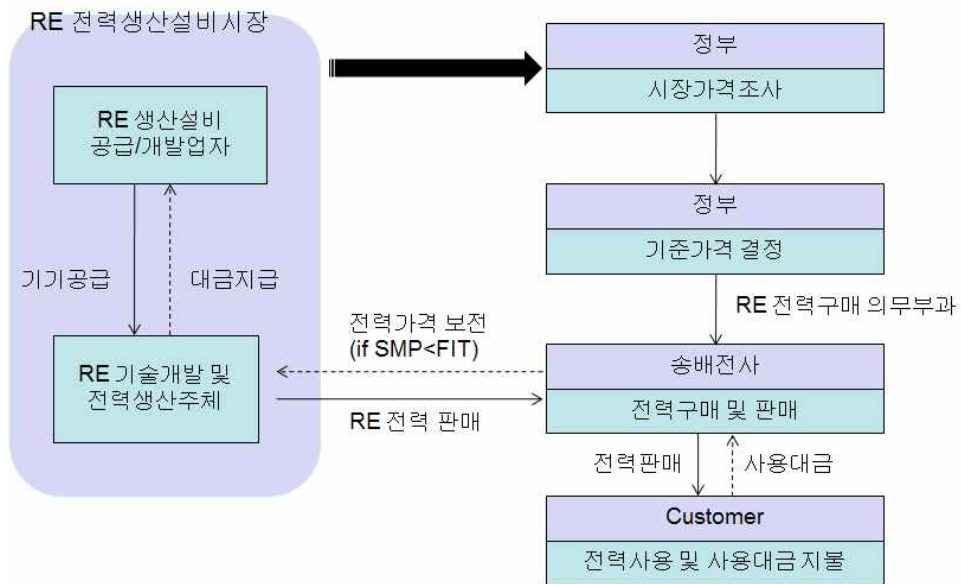
- 유연성 메커니즘을 이용하여 공급의무량의 20% 이내에서 차년도로 연기 허용 (단, 2014년까지는 의무공급량의 30%까지 허용). 의무공급량 미이행분에 대해서는 공급인증서 평균거래가격의 150% 이내에서 불이행사유, 불이행 횟수 등을 고려하여 과징금 부과함. 발전원가, 온실가스 감축효과, 산업육성효과, 환경훼손 최소화, 해당 신재생에너지의 부존잠재량 등을 고려하여, 공급인증서(REC)의 가중치를 3년마다 결정함.

[표 2-6] 발전원별 REC가중치

구분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준		
		설치유형	지목유형	용량기준
태양광에너지	0.7	건축물 등	5개 지목 (전, 답, 과수원, 목장용지, 임야)	
	1.0	기존시설물을	기타 23개	30kW 초과
	1.2	이용하지 않는 경우	지목	30kW 이하
	1.5	건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우		
기타 신·재생에너지	0.25	IGCC, 부생가스		
	0.5	폐기물, 매립지가스		
	1.0	수력, 육상풍력, 바이오에너지, RDF 전소발전, 폐기물 가스화 발전, 조력(방조제 有)		
	1.5	목질계 바이오매스 전소발전, 해상풍력(연계거리 5km이하)		
	2.0	해상풍력(연계거리 5km초과), 조력(방조제 無), 연료전지		

## 2. 발전차액지원제도 (Feed-in Tariff)

- 신재생에너지 투자경제성 확보를 위해 신재생에너지 발전에 의하여 공급한 전기의 전력거래 가격이 지식경제부 장관이 고시한 기준가격보다 낮은 경우, 기준가격과 전력거래와의 차액(발전차액)을 지원해주는 제도임.
- 2012년부터 RPS제도 시행으로 일몰 시행되고 있으나, 현재 소규모사업자의 투자를 유도하기 위하여 제도부활에 대한 논의 중임.



<그림 2-13> 발전차액지원제도 개요

### 3. 기타 신재생에너지 지원제도

- 그린홈100만호 보급사업
  - 2020년까지 신재생에너지주택 100만호 보급 목표
  - 신재생에너지원 주택 설치 시 기준단가의 일부 정부 보조
  - 그린빌리지 : 마을단위(10가구 이상, 아파트 등 공동주택) 지원
- 일반보급보조사업
  - 신·재생에너지 설치비의 일정부분을 정부 무상 보조·지원함
  - 상용화 유도 및 기상용화기술 보급활성화
  - 일반보급사업 : 상용화된 설비 자가용 설치비 지원
  - 시범보급사업 : 신기술(정부지원 R&D활용조건) 상용화 지원
- 지방보급사업
  - 지역특성에 맞는 환경친화적 신·재생에너지 보급
  - 에너지 수급여건 개선 및 지역경제 발전을 도모
  - 지방자치단체 제반 사업 지원(국비 50%, 지방비 50%)
- 설치의무화사업
  - 공공기관이 신·증·개축하는 1,000m<sup>2</sup>이상의 건축물
  - 10%이상 신·재생에너지 설비 설치에 투자하도록 의무화('13.1.1부터 11% 이상 적용)
- 금융지원사업
  - 장기저리의 금융지원을 통해 초기 투자비를 줄이고 경제성을 확보하여 신·재생에너지 설비 보급과 관련 산업을 육성
  - 전력기반기금('13년 150억) - 신재생에너지 발전설비 지원
  - 에너지자원특별회계('13년 642억원) - 발전설비 이외 지원





제 3 장

# SAM시뮬레이션을 통한 태양열발전 비용-효과 분석

제 1 절 SAM을 이용한 발전단가 및 발전량 산정

제 2 절 전력가격 시계열 분석



## SAM시뮬레이션을 통한 태양열발전 비용-효과 분석



### 제1절 SAM을 이용한 발전단가 및 발전량 산정

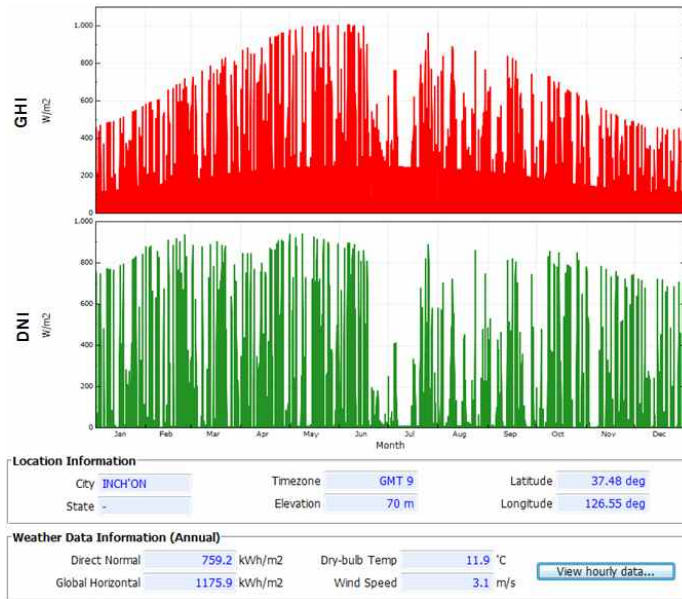
- 발전차액기준가격 또는 REC가중치를 계산하기 위해서는 투자비 및 전력생산량이 필요하며, 본 연구에서는 System Advisor Model(SAM)<sup>5)</sup>을 이용하여 이를 산정하였음. DOE EERE에서 제공하는 인천, 강릉, 광주, 울산지역의 연간 시간대별 기상데이터<sup>6)</sup>를 바탕으로 SAM 시뮬레이션을 수행하여 태양열 발전량 및 발전단가를 산정하였음.
  - 기상데이터를 SAM에 입력한 다음 그림들을 보면, 6~7월의 장마기간에 대부분 지역의 DNI<sup>7)</sup>가 낮으며, 지역별로는 연간 DNI가 가장 높은 광주(1,111.8kWh/m<sup>2</sup>)를 시작으로 가장 낮은 인천(759.5kWh/m<sup>2</sup>)까지 지역별 편차가 존재함.
  - 발전차액 및 REC가중치는 전국적으로 동일하므로, 본 연구에서는 지역별 비용 및 발전량을 산정한 후 평균치를 이용하여 계산하였음.

5) NREL 등의 기관에서 개발한 신재생에너지 경제성평가 모형

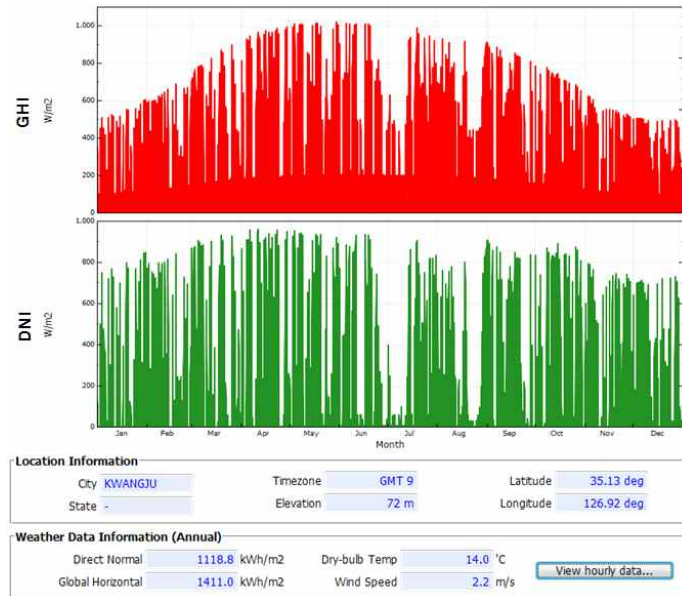
6) [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata\\_about.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm)참조

7) DNI(Direct Normal Irradiation): 지표면에 직각으로 도달하는 일사량. 태양열발전의 경우 직선으로 도달되는 태양광을 집광하므로 DNI의 양에 따라 발전량이 결정됨

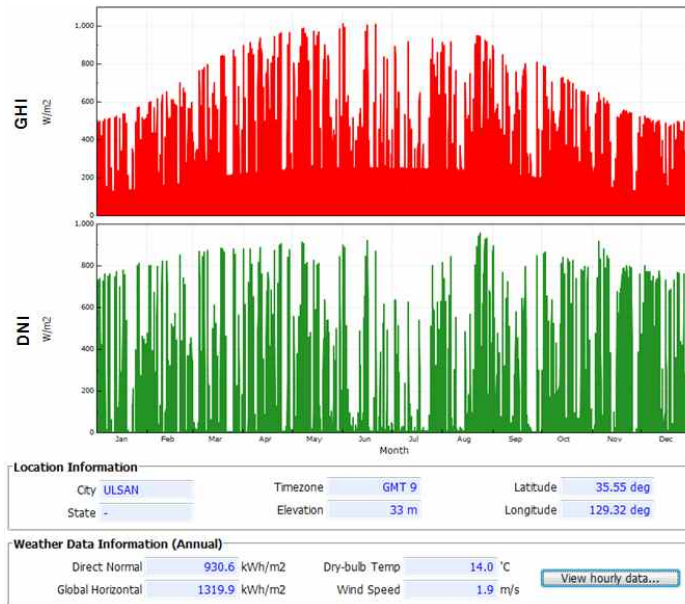
GHI(Global Horizontal Irradiance): 지표면에 도달하는 모든 일사량. 태양광의 경우 직선으로 도달하지 않아도 발전가능 하므로 GHI에 따라 발전량 결정됨



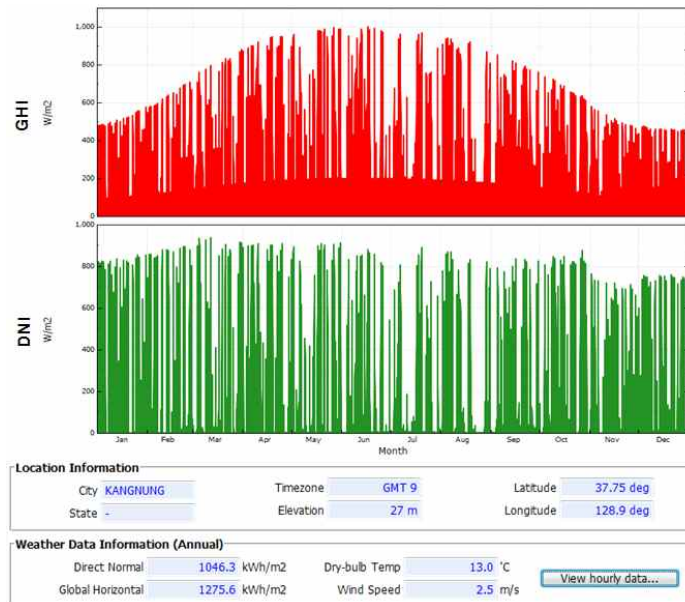
<그림 3-1> 인천 지역의 연간 시간대별 일사량 데이터



<그림 3-2> 광주 지역의 연간 시간대별 일사량 데이터

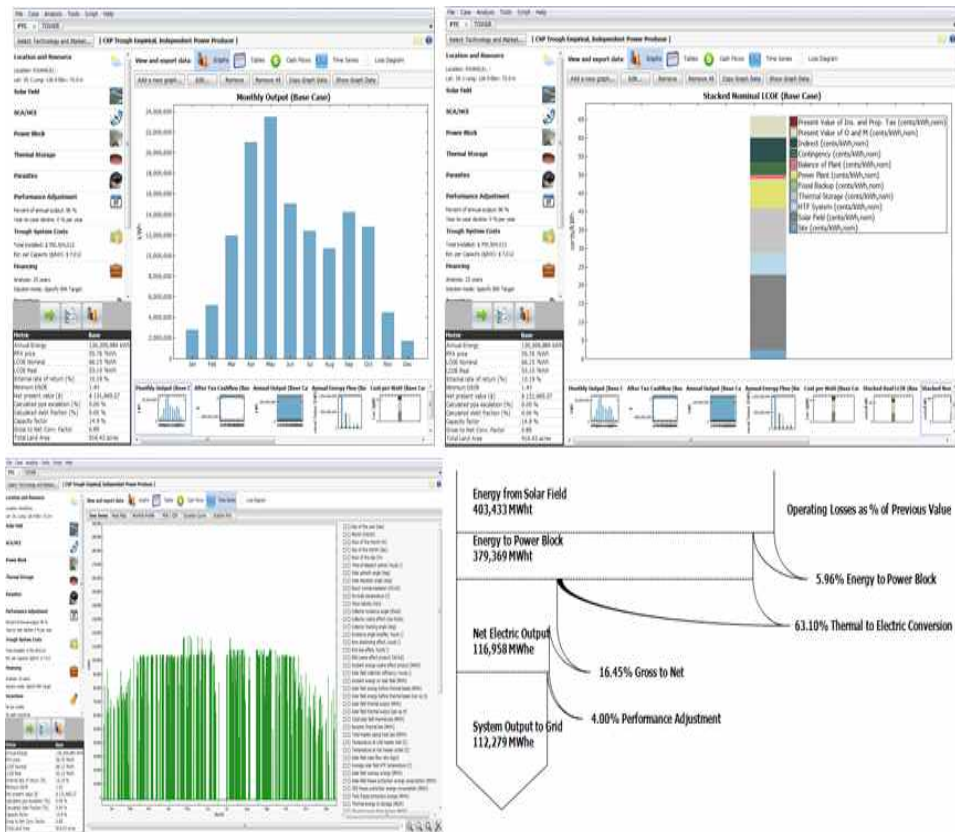


<그림 3-3> 울산 지역의 연간 시간대별 일사량 데이터



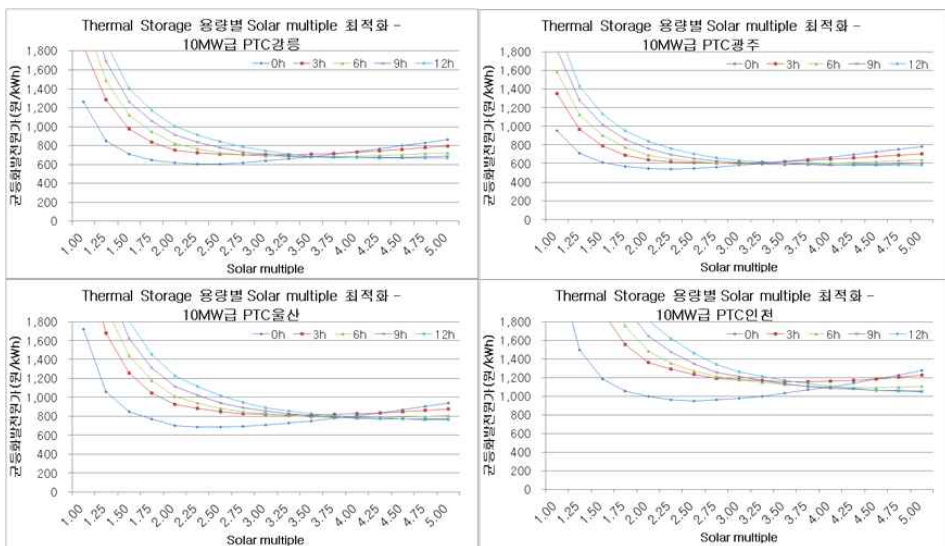
<그림 3-4> 강릉 지역의 연간 시간대별 일사량 데이터

- SAM 시뮬레이션은 대상지역의 8,760시간대별 일조량 데이터를 입력함으로써 시작되며, 본 연구에서는 앞서 언급한 4개 지역의 시간대별 일사량데이터를 이용하여 발전량을 산정하였음.
- <그림 3-5>는 SAM 시뮬레이션 결과화면 중 일부이며, 시뮬레이션을 통하여 월별 발전량과 균등화발전단가, 8760시간대별 발전기 출력, 전력생산과정에서 발생하는 손실에 따른 태양열발전 효율을 알 수 있음.



<그림 3-5> SAM 시뮬레이션 수행결과

- 태양열발전시스템은 집열된 에너지를 Thermal storage에 저장하여 필요한 시간에 전력을 생산할 수 있으며, 저장하기 위해서는 발전용량보다 많은 태양에너지를 집열하며 이때의 발전용량 대비 비율을 Solar multiple이라 함.
- Thermal storage와 Solar multiple은 증가시킬수록 발전량은 높아지지만, 그에 따른 비용이 발생하기 때문에 비용대비 효과를 높일 수 있는 최적의 조건에서 태양열발전사업을 시행하는 것이 경제적임.
- 발전차액 및 REC가중치의 경우 비용효과적인 시스템에 보조금을 지급하는 것이 타당하므로, 본 연구에서는 지역별평균 균등화발전단가가 가장 낮은 최적의 Thermal storage 시간 및 solar multiple에 대한 비용 및 발전량을 이용하여 발전차액기준가격 및 REC가중치를 산정하였음. (집광방식, 용량 및 지역별 균등화발전단가 및 발전량 데이터는 부록 참조).

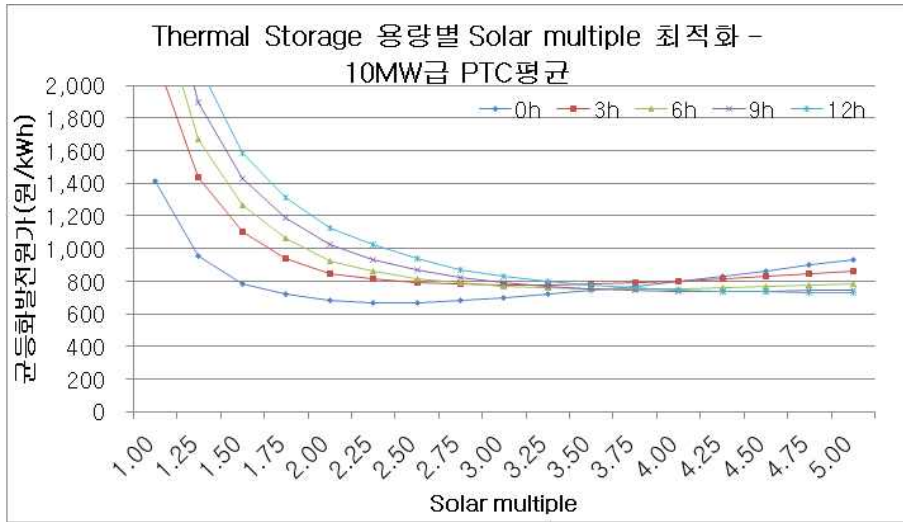


<그림 3-6> 지역별 10MW급 PTC 태양열발전의 균등화발전단가

[표 3-1] 10MW급 PTC에 대한 Storage/Solar multiple별 균등화발전단가

(단위 : 원/kWh)

열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,409.8232	2,173.8569	2,556.7031	2,940.3364	3,324.8207
1.25	952.3928	1,438.1786	1,667.1644	1,896.3230	2,125.7628
1.50	786.5322	1,106.2364	1,266.6792	1,427.2441	1,587.6637
1.75	720.1370	941.6724	1,059.7778	1,184.3468	1,308.9465
2.00	680.6243	849.4696	923.4217	1,023.2065	1,124.4776
2.25	668.3242	816.8047	858.7211	934.0835	1,020.8910
2.50	668.7507	793.6164	816.1111	865.6523	936.9204
2.75	681.1815	780.2652	788.7983	820.1083	872.2402
3.00	698.6692	775.7646	771.4702	791.3855	827.3670
3.25	719.8076	776.5284	760.4492	771.2905	796.3544
3.50	744.9397	781.2521	753.8975	756.1415	773.5222
3.75	772.1228	790.2069	751.0770	746.2865	757.3455
4.00	800.5962	801.0370	752.8973	740.6574	746.3131
4.25	831.2342	814.2750	758.8186	738.7084	738.5225
4.50	862.8444	828.5962	766.2509	739.0279	734.0739
4.75	897.0590	845.3032	775.9296	741.7600	731.8258
5.00	932.2905	863.8676	786.6996	747.0152	731.6616



<그림 3-7> 10MW급 PTC에 대한 Storage/Solar multiple별 균등화발전단가



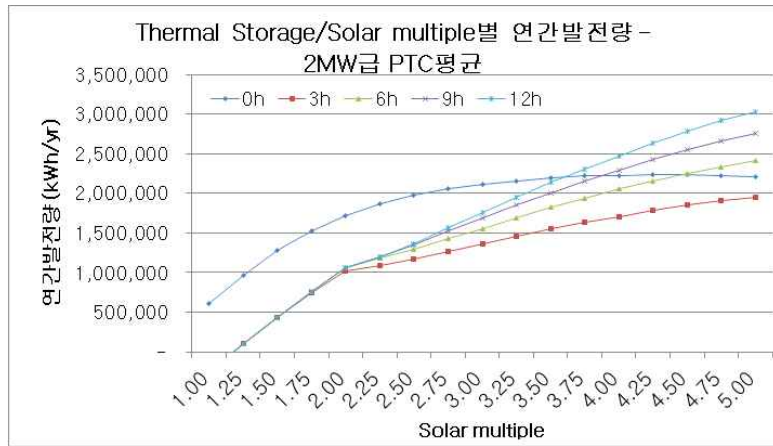
- [표 3-1]과 <그림 3-7>은 각 Thermal storage별 solar multiple에 대한 균등화발전단가를 나타내며, 계산결과 가장 효율이 좋은 조건은 열매체저장시스템 없이 solar multiple을 2.25로 집광하는 것이 최적으로 선정되었음.
- solar multiple이 1.0보다 높을 경우가 더 효과적으로 계산되는 이유는 일사량이 시간대별로 변하기 때문임. 즉, 일조량이 적은 시간대에 solar multiple이 높으면 더 많은 전력을 생산할 수 있기 때문에 1.0보다 높은 solar multiple일 경우에 최적에 도달 할 수 있음.
- PTC의 경우 용량이 커짐에 따라서 최적의 설계조건이 변화함. [표 3-2]를 보면 100MW급 PTC의 경우 최적의 설계조건은 solar multiple 2.75와 3시간의 Thermal storage를 적용할 경우에 가장 저렴한 균등화발전단가(LCOE; Levelized Cost of Energy)로 전력을 생산할 수 있음.

[표 3-2] 100MW급 PTC에 대한 Storage/Solar multiple별 균등화발전단가

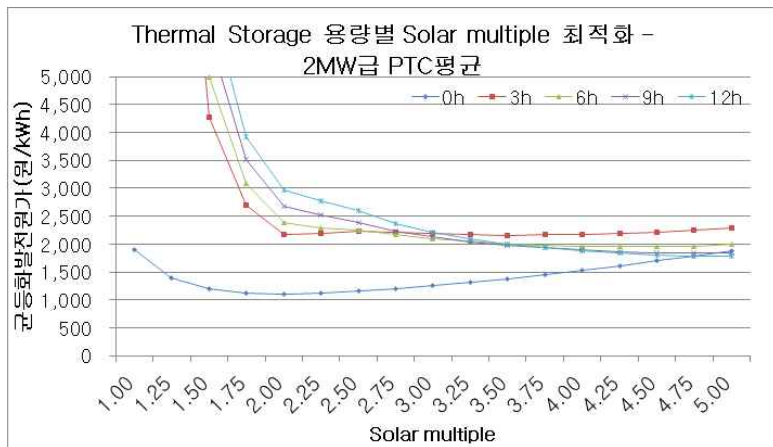
(단위 : 원/kWh)

열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,447.6358	1,123.7305	1,322.1333	1,520.5167	1,719.6751
1.25	978.1530	921.6255	1,068.3785	1,215.4482	1,362.6826
1.50	807.2321	801.3865	917.7879	1,034.2961	1,150.9559
1.75	738.4969	730.0036	820.8469	917.6731	1,014.4795
2.00	698.2087	692.2300	753.1232	834.2713	917.1720
2.25	686.0016	672.9784	712.4036	773.8218	845.6729
2.50	686.4750	663.9856	688.5976	730.9393	790.2975
2.75	698.9939	662.1616	674.9304	704.4604	748.6329
3.00	717.0273	666.6177	668.3580	688.7207	720.7103
3.25	738.7496	676.1810	666.8212	678.8684	702.3237
3.50	764.6419	688.6519	668.5927	673.2866	690.3285
3.75	792.5446	703.2782	673.3329	671.0679	682.5452
4.00	821.7712	719.4782	681.5057	671.8499	677.8858
4.25	853.2982	737.1050	691.6002	674.8203	675.7634
4.50	885.8138	756.3200	703.1503	679.6618	675.8955
4.75	920.9244	776.5054	716.1001	686.6668	677.8716
5.00	957.0762	797.7960	730.0481	695.4090	681.1651

- PTC의 용량이 작아지면 스팀터빈도 작아지므로 효율이 급격히 떨어짐. Thermal storage를 장착하더라도 열저장장치에 소요되는 에너지가 더 많아지기 때문에 <그림 3-8>에서와 같이 설치하지 않을 경우보다 발전량이 더 떨어지는 경우도 발생함. 따라서 <그림 3-9>에서처럼 균등화발전단가도 급격히 상승함.

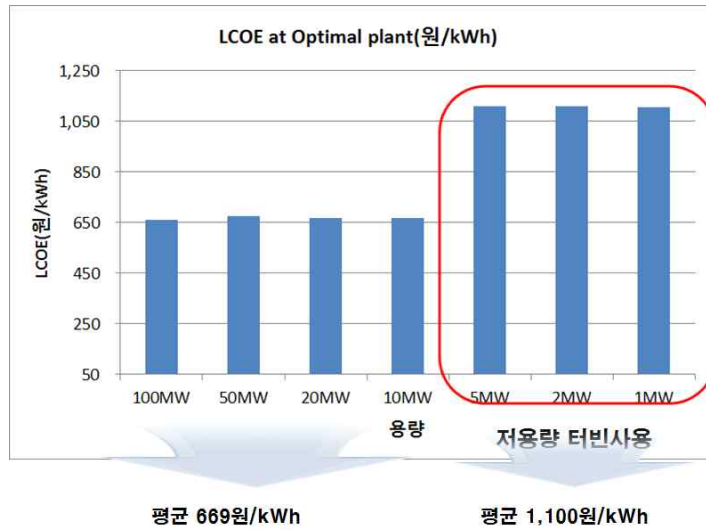


<그림 3-8> 2MW급 PTC의 Storage/Solar multiple별 발전량

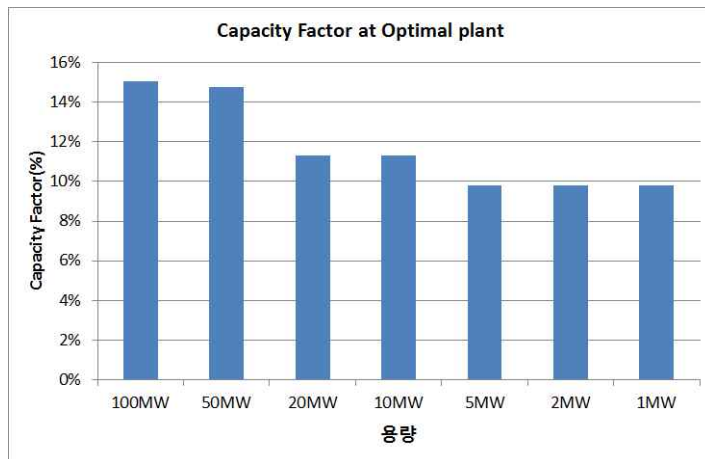


<그림 3-9> 2MW급 PTC의 Storage/Solar multiple별 균등화발전단가

- <그림 3-10>에서 알 수 있듯이 PTC 5MW이하의 용량에서는 저용량 터빈을 사용하기 때문에 대용량의 PTC의 균등화발전단가인 650원/kWh보다 월등히 높은 1,100원/kWh 근처에서 단가가 형성됨. <그림 3-11>의 이용률의 경우에도 15%근처에서 10%로 점점 감소하는 경향을 보임.



<그림 3-10> PTC의 용량별 최적조건에서의 균등화발전단가



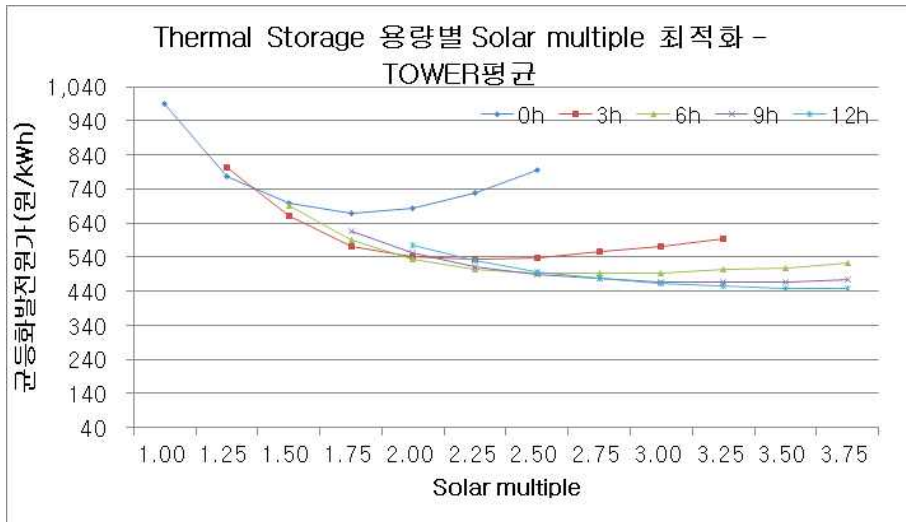
<그림 3-11> PTC의 용량별 최적조건에서의 이용률

- Tower형의 경우에도 PTC와 비슷한 경향을 보임. 고용량의 경우 12시간의 저장장치가 유리하며, 저용량의 경우에는 6시간의 저장장치가 더 경제적임을 알 수 있음. 균등화발전단가는 고용량의 경우 450원/kWh 정도이며, 저용량의 경우 1,000원/kWh정도에서 형성됨을 알 수 있음.

[표 3-3] 고용량 Tower형 CSP의 storage/Solar multiple별 균등화발전단가

(단위 : 원/kWh)

열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	989.1992				
1.25	777.2681	803.0075			
1.50	697.6646	659.6516	691.8031		
1.75	669.4313	571.9966	589.9058	615.9004	
2.00	683.6313	540.3949	533.7486	553.6158	575.7137
2.25	728.9376	532.2105	504.1387	510.7987	529.0827
2.50	794.1703	539.0600	493.4449	487.3254	498.3614
2.75		554.8570	494.2249	476.8502	479.1901
3.00		570.4561	494.0324	467.1935	461.8634
3.25		592.8769	502.4646	468.4216	455.6974
3.50			509.6247	467.8148	448.2445
3.75			524.3628	474.3722	449.1005

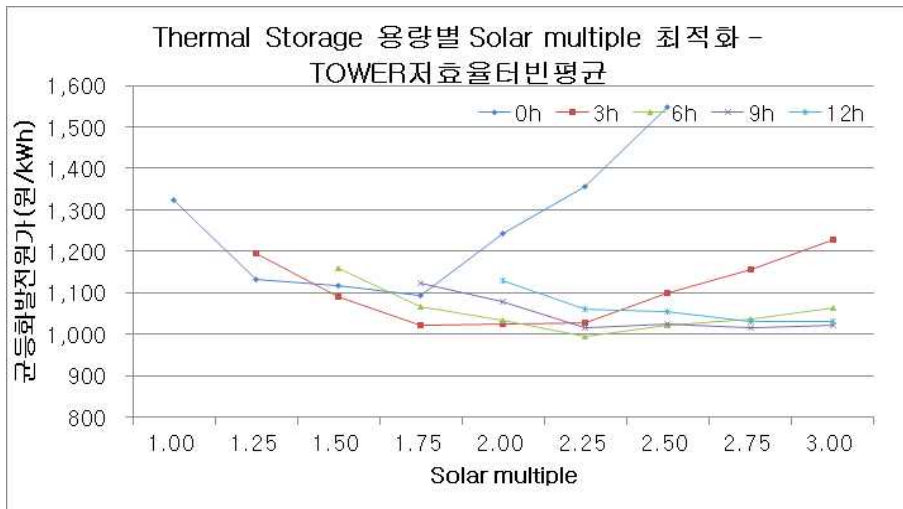


<그림 3-12> 고용량 Tower형 CSP의 storage/Solar multiple별 균등화발전단가

[표 3-4] 저용량 Tower형 CSP의 storage/Solar multiple별 균등화발전단가

(단위 : 원/kWh)

열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,323.5186				
1.25	1,131.3698	1,193.8961			
1.50	1,118.3035	1,090.2754	1,160.6976		
1.75	1,094.6645	1,022.4875	1,066.0283	1,124.8966	
2.00	1,243.4934	1,024.3995	1,033.1236	1,078.0614	1,128.9802
2.25	1,356.5648	1,027.6954	994.8313	1,016.6406	1,060.6606
2.50	1,546.5124	1,100.7981	1,022.3618	1,024.6329	1,053.3828
2.75		1,156.4803	1,037.3322	1,014.6165	1,030.6158
3.00		1,227.1238	1,065.0156	1,020.8458	1,030.2565



<그림 3-13> 저용량 Tower형 CSP의 storage/Solar multiple별 균등화발전단가

- 이용율의 경우에는 고용량일 경우 27.20%로 PTC보다 월등히 높은 이용율을 보이고 있으며, 저용량의 경우에도 14.50%로 PTC와 대등한 수준임<sup>8)</sup>.

[표 3-5] Tower형 태양열발전 이용율

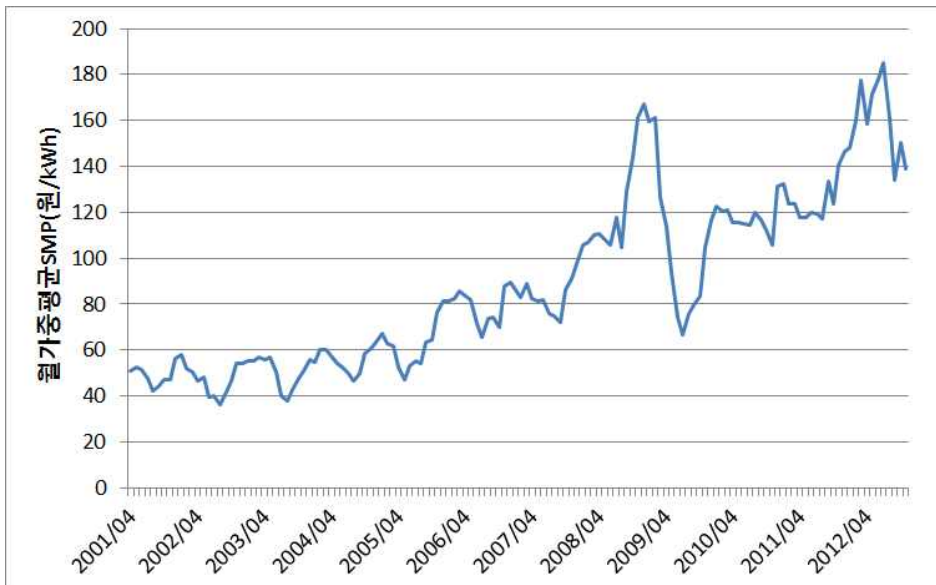
	고용량 Tower형 CSP	저용량 Tower형 CSP
이용율	27.20%	14.50%

8) 대구에 설치되어 있는 200kW급 타워형의 경우 R&D단계로서 14.5% 이용율 도달 못함.



## 제2절 전력가격 시계열 분석

- 발전차액/REC가중치 실물옵션모형에 이용되는 전력판매가격인 계통한계가격(SMP; System Marginal Price)의 추세와 변동성을 계산하기 위하여 시계열 분석을 수행하였으며, 계통한계가격 데이터는 전력통계정보시스템<sup>9)</sup>의 데이터를 이용하였음.



<그림 3-14> 월가중평균계통한계가격

출처 : 전력거래소

- SMP가 Geometric Brownian motion을 따른다고 가정하였으므로, 이를 검정하기 위해 ADF(Augmented Dickey-Fuller)검정을 실시함.
  - SMP에 로그를 취한 후 데이터의 ADF검정 결과 t통계량이 -3.303241으로 유의수준 5%에서 단위근이 존재한다는 귀무가설을 기각할 수 없음.

9) <http://epsis.kpx.or.kr/>

- 단위근이 존재한다는 것은 전력가격이 확률보행(Random Walk)과정을 따른다는 것을 의미하며, 로그를 취한 SMP가 단위근이 존재하므로 SMP가 Geometric Brownian motion을 따른다고 추정할 수 있음.

[표 3-6] SMP의 ADF 검정 결과

	t value	t-test critical value		
		10%	5%	1%
log(SMP)	-3.303241	-3.145882	-3.442474	-4.025426

- 다음 식의 Geometric Brownian Motion의 표류율(drift rate)과 변동성(volatility)은 SMP의 로그수익률의 단순이동평균(simple moving average)을 이용하여 계산함.

$$\frac{dx}{x} = \alpha dt + \sigma dB$$

x: SMP, dB: 표준브라운니안 운동, α: 표류율, σ: 변동성

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_{t-i} - \bar{x})^2}, x_i = \ln\left(\frac{S_i}{S_{i-1}}\right), \bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{t-i}$$

[표 3-7] SMP 표류율 및 변동성

α(drift rate)	σ(volatility)
0.0073842	0.078154





제4장

# 태양열 발전차액기준가격 및 REC가중치 산정

제 1 절 발전차액기준가격 및 REC가중치 선정모델

제 2 절 실물옵션모형 적용



## 태양열 발전차액기준가격 및 REC가중치 산정



### 제1절 발전차액기준가격 및 REC가중치 선정모델

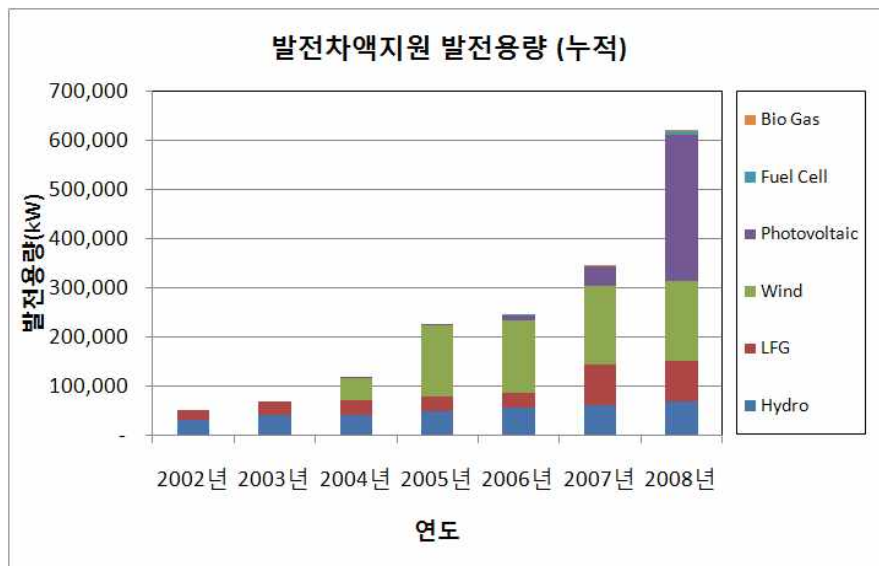
- 우리나라는 2001년 10월부터 2011년까지 발전차액지원제도(Feed-in tariff)를 시행함. 이 제도는 신재생에너지 투자의 경제성 확보를 위해 신재생에너지를 이용하여 공급한 전기의 전력거래가격(월가중평균계통한계가격)이 지식경제부 장관이 고시한 기준가격보다 낮은 경우, 기준가격과 전력거래와의 차액(발전차액)을 지원해주는 제도임.
- 신재생에너지 발전차액 지원 운영실적 보고서<sup>10)</sup>에 따르면, <그림 4-1>에서처럼 2008년의 경우에는 태양광발전 용량이 급격히 증가하는 모습을 보이고 있음. <그림 4-2>의 발전량을 보면 태양광발전량은 이용율이 낮기 때문에 2008년 태양광발전의 급격한 용량증가에 비해서 상대적으로 적은 발전량을 보이고 있음. 하지만 <그림 4-3>에서처럼 발전차액기준가격이 높기 때문에 발전량대비 지원되는 금액은 급격히 높아짐.
- 전영신(2010)<sup>11)</sup>의 연구에 의하면 태양광사업에 편중되는 현상에 대한 원인이 발전차액기준가격 산정방법에 있다고 판단하였음. 즉, 기존의 균

10) 에너지관리공단, 신재생에너지 발전차액 지원 운영실적 보고서, 2009. 2.

11) 전영신, '실물유통을 이용한 발전차액모형 개발 및 신재생에너지 인증서 가중치에의 적용', 박사학위논문, 아주대학교, 2010

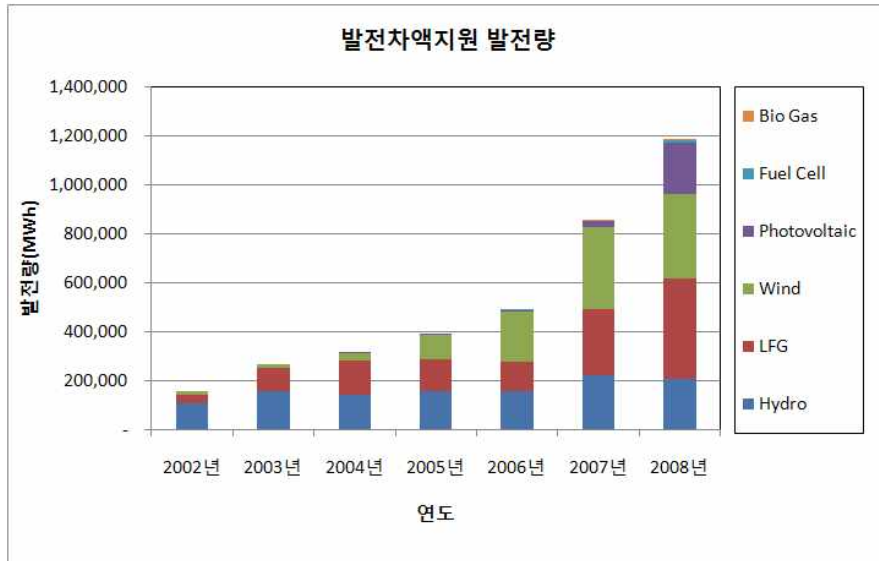
등화발전단가를 계산하여 기준가격으로 선정할 경우 비용만 고려하므로, 전력가격의 변동성으로부터 발생하는 옵션가치를 계산하지 않기 때문에 태양광발전으로 편중되는 현상이 발생된 것으로 연구하였음. 동 연구에서는 이러한 옵션가치를 고려한 실물옵션모델을 개발하였고, 이 모델은 발전차액지원제도 뿐만 아니라 RPS제도 하의 REC가중치에 적용할 수 있음.

- 본 장에서는 기존의 균등화발전단가로부터 발전차액기준가격 및 REC가중치를 산정하는 방법과 실물옵션모형을 이용한 방법론을 비교하고, 태양열발전사업에 모형을 적용하여 태양열발전사업의 적정한 REC가중치와 발전차액기준가격을 산정하였음.



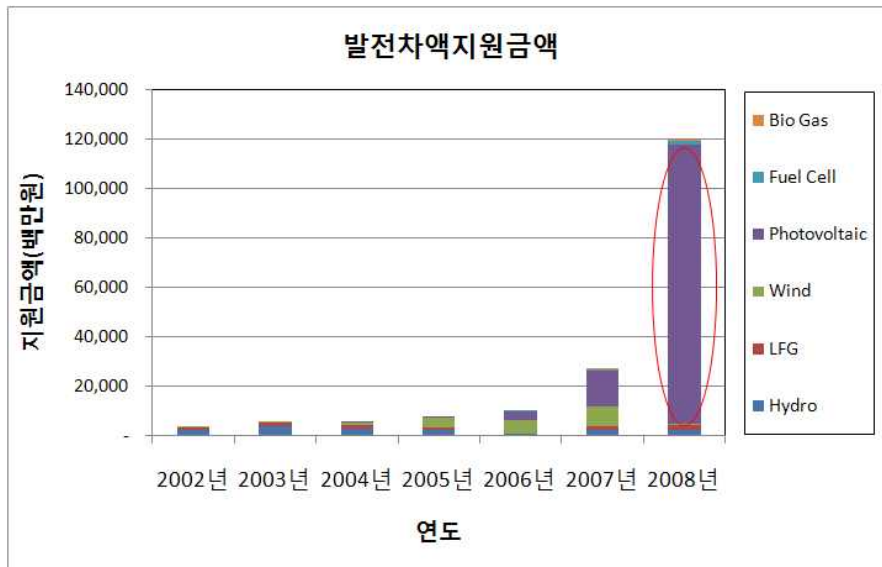
<그림 4-1> 발전차액지원 발전용량

출처 : 에너지관리공단 신재생에너지 센터



<그림 4-2> 발전차액지원 발전량

출처 : 에너지관리공단 신재생에너지 센터

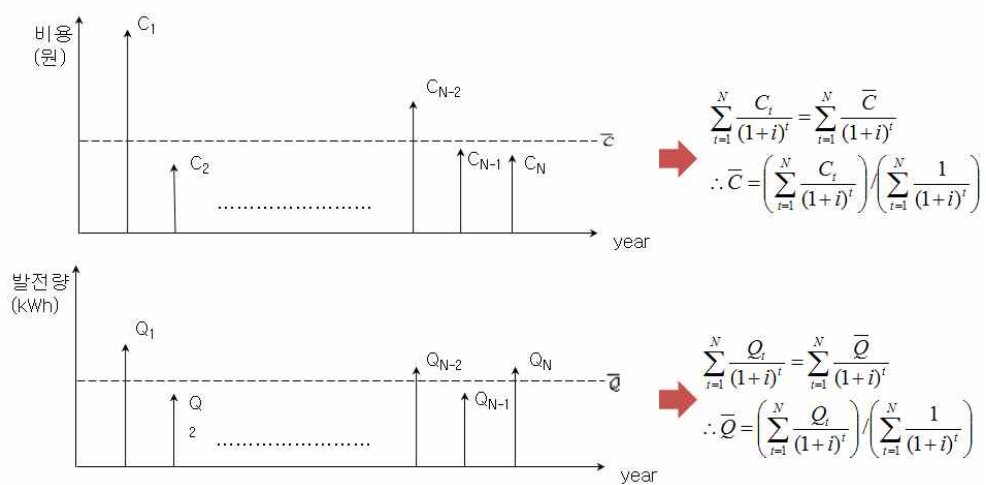


<그림 4-3> 발전차액지원금액

출처 : 에너지관리공단 신재생에너지 센터

### 1. 균등화발전단가

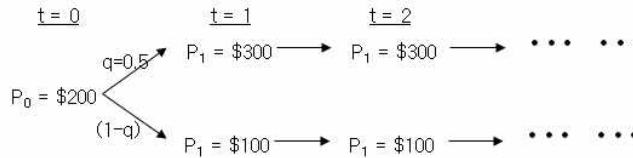
- 발전소 건설 및 운영에 따른 비용은 매년 변화하고, 또한 발전량도 여러 조건에 의해 달라지므로 신재생에너지원별 발전단가의 비교가 용이하지 않음. 따라서 매년 비용과 발전량이 서로 다른 대안간 비교를 위해 연도별 불규칙하게 발생하는 비용과 발전량을 균일하게 등가화함.
- 이 때 비용은 화폐의 시간적 가치를 고려하여 일정시점으로 할인하고 발전량도 동일시점으로 할인함. 이렇게 산출된 비용과 발전량을 이용하여 발전단가를 산출하여 비교하는 방법을 균등화발전단가방법이라 함.



**발전차액 = Levelized Cost =  $\bar{C}/\bar{Q}$  (원/kWh)**  
 균등화발전원가방법은 전력가격을 고려하지 않음

<그림 4-4> 균등화발전단가 개념

## 2. 실물옵션모형



<그림 4-5> 불확실성이 존재할 때 투자결정

- <그림 4-5>에서처럼 현재 \$200인 제품가격이 1년이 지난 후 가격이 \$300로 상승할 확률이 50%이고, \$100로 하락할 확률이 50%일 경우를 가정하고, 투자비 \$1,600, 할인을 10%라고 하면 현재 투자를 할 경우에는 기대되는 제품의 가격이 \$200이므로 NPV는 다음과 같음.

$$NPV_{t=0} = -\$1,600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{\$200}{(1.1)^t} = -\$1,600 + \$2,200 = \$600$$

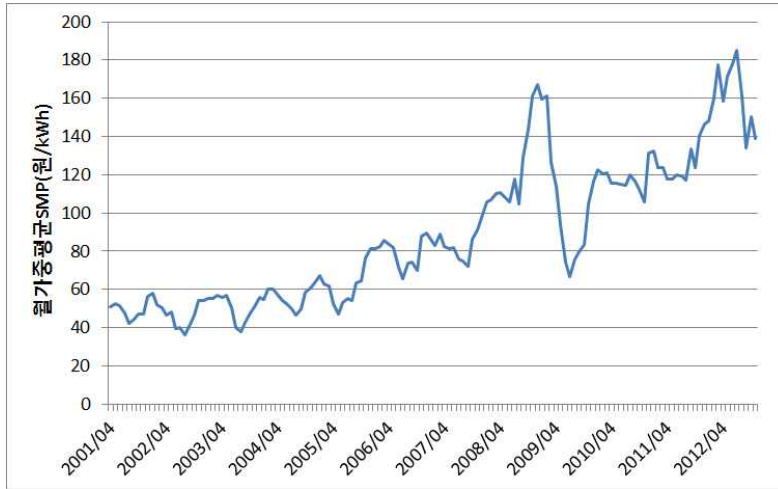
- NPV가 0보다 크기 때문에 당장 투자하면 이익이라고 생각할 수 있지만, 당장 투자하면 가격이 오르는 상황을 기다릴 수 있는 기회비용을 버리는 것이기 때문에 최대의 이윤을 얻지 못함. 다시 말해, 1년을 기다린 다음 제품가격이 \$300이 되면 사업을 시작하고, \$100으로 떨어지면 사업을 시작하지 않을 수 있기 때문에 1년을 기다렸을 때 기대되는 NPV는 다음과 같음.

$$NPV_{t=1} = 0.5 \left[ -\frac{\$1,600}{1.1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{\$300}{(1.1)^t} \right] = \frac{\$850}{1.1} = \$773$$

- 결론적으로, 당장 투자하는 것도 NPV가 0보다 크기 때문에 손해를 보는 것은 아니지만, 기다릴 경우에는 더 많은 이익을 얻을 수 있음<sup>12)</sup>.

12) Dixit and Pindyck(1994) 참조

- 이와 같이 불확실성이 존재하는 경우의 투자결정에는 여러 가지 실물옵션이 존재할 수 있음. 앞서 전력가격시계열 분석에서 알 수 있듯이 SMP도 불확실성이 존재하기 때문에 투자결정에 있어서 연기할 수 있는 기회비용을 고려해야 함.



<그림 4-6> 월가중평균계통한계가격

출처 : 전력거래소

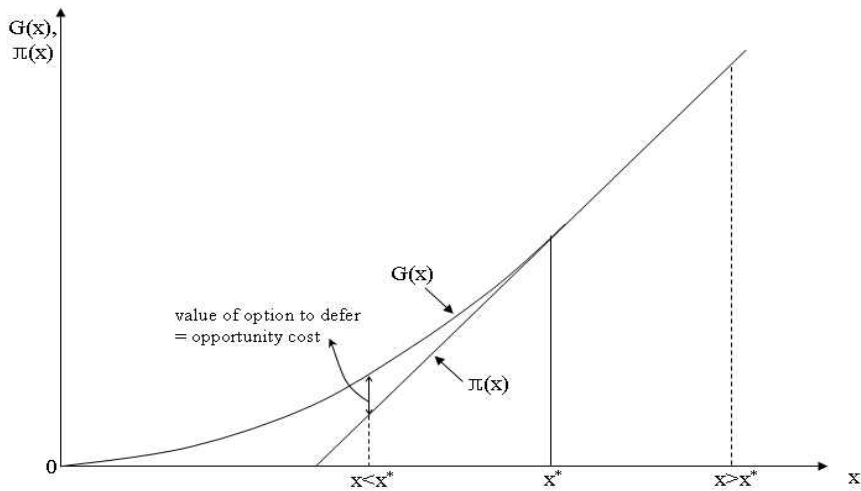
- 모형의 주안점은 기대수익  $E[\pi_i(x,t)]$ 을 극대화시키는 투자시기를 결정하는 것이며, SMP가 Geometric Brownian Motion을 따를 경우 이를 수식으로 표현하면 다음과 같음<sup>13)</sup>.

$$\begin{aligned} & \max_u E[\pi(x, u, t)] \\ & s.t. \quad \frac{dx}{x} = \alpha dt + \sigma dB \end{aligned}$$

여기서, x: 월 가중평균 SMP, α: 표류율, σ: 변동성,  
dB: 표준브라운니안 운동, u(t)는 제어변수(control variable) 임.

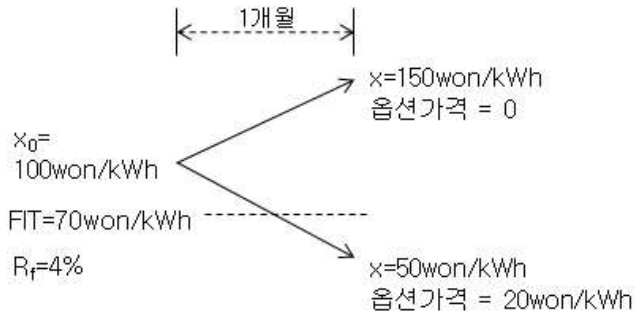
13) 모형에 대한 수학적인 전개는 전영신(2010) 참고





<그림 4-7> 실물옵션의 가치

- <그림 4-7>의  $x \geq x^*$  구간에서는 사업에 투자를 하는 것이 당연함.  $x < x^*$  구간에서는 비록 이윤이 0보다 커서 사업에 투자를 해도 손해를 보지는 않겠지만, 앞서 언급한 바와 같이  $x$ 의 가격이 상승할 가능성을 기대하고 기다리는 옵션을 보유하고 있는 것이 유리함.
- 따라서  $x < x^*$  인 사업에 대한 투자를 유인하기 위해서는 그 부족한 기회비용에 대한 보상을 해 주어야 하며, 발전차액지원제도는 이러한 보상의 한 방법임.
- 발전차액지원제도는 SMP에서 발전차액기준가격 보다 부족분을 보전해 주기 때문에 금융공학에서 말하는 풋옵션(put option)으로 간주할 수 있음.
- <그림 4-8>에서와 같이 현재의 전력가격의 kWh당 100원이고, 1개월 이후 전력가격이 150원/kWh로 상승하거나 50원/kWh로 하락할 수 있다고 가정하고, 발전차액기준가격을 70원/kWh로 하고, 무위험이자율을 4%라고 할 경우,



<그림 4-8> 발전차액의 구조

- 풋옵션(FIT)을 매입하고,  $\Delta$ kWh의 전력을 매도한 포트폴리오 구축하면, SMP의 상승과 하강 시 동일한 포트폴리오 가치를 가져야 하므로

$$-150\Delta = -50\Delta + 20$$

$$\Delta = -0.2$$

- SMP가 상승/하강 상관없이 30의 가치를 갖는 무위험 포트폴리오는 차액거래가 존재하지 않을 때, 무위험포트폴리오의 수익률은 무위험이자율( $r_f$ )과 동일함.

$$\text{현재 포트폴리오 가치} = 30e^{-0.04/12} = 29.9$$

- 현재 SMP=100won/kWh이다. 옵션가치를 P라고 하면,  $\Delta$ kWh를 매도하고 1주의 풋옵션을 구매한 가치는

$$P - 100 \times (-0.2) = 29.9$$

$$P = 9.9 \text{ won/kWh}$$

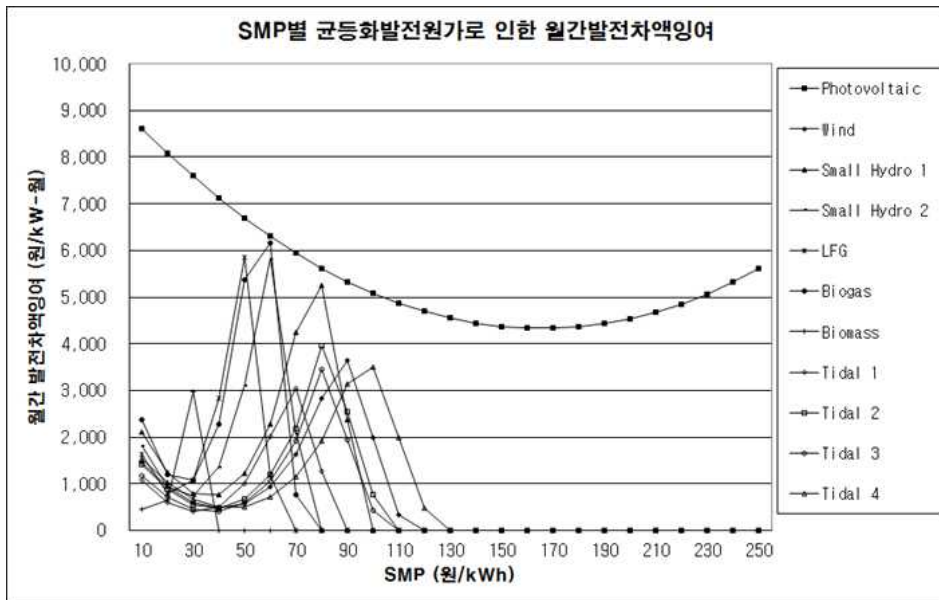
- 즉, 현재 SMP = 100won/kWh 상황에서 FIT=70won/kWh의 발전차액기준가격을 정해주면 무위험이자율 4%일 때 kWh당 9.9won의 가치를 부여해 준 것으로 간주할 수 있음. 이와 같은 풋옵션가치와 전력판매가격으로부터 얻는 수익의 불확실성을 고려하여 기다리지 않고 당장 투자를 하도록 발전차액기준가격을 구하는 것이 본 연구에서 사용되는 모형임<sup>14)</sup>.

14) 본 연구에서 유럽형 풋옵션의 가치산정은 블랙-숄즈 공식을 이용하여 산정하였음.



## 제2절 실물옵션모형 적용

- 전영신(2010)<sup>15)</sup>의 연구에서는 제1절에서 언급한 태양광발전으로의 편중현상에 대해서 균등화발전원가와 실물옵션모형에서의 FIT의 차이를 발전차액 잉여라 칭하고, 각 발전원 별로 계산하여 태양광발전 사업자가 받게 되는 발전차액잉여분이 대부분의 월 가중평균 SMP에서 가장 높음을 발견하였고, 이와 같은 이유로 발전차액 잉여가 가장 높은 태양광사업으로 편중되는 현상을 설명하였음.

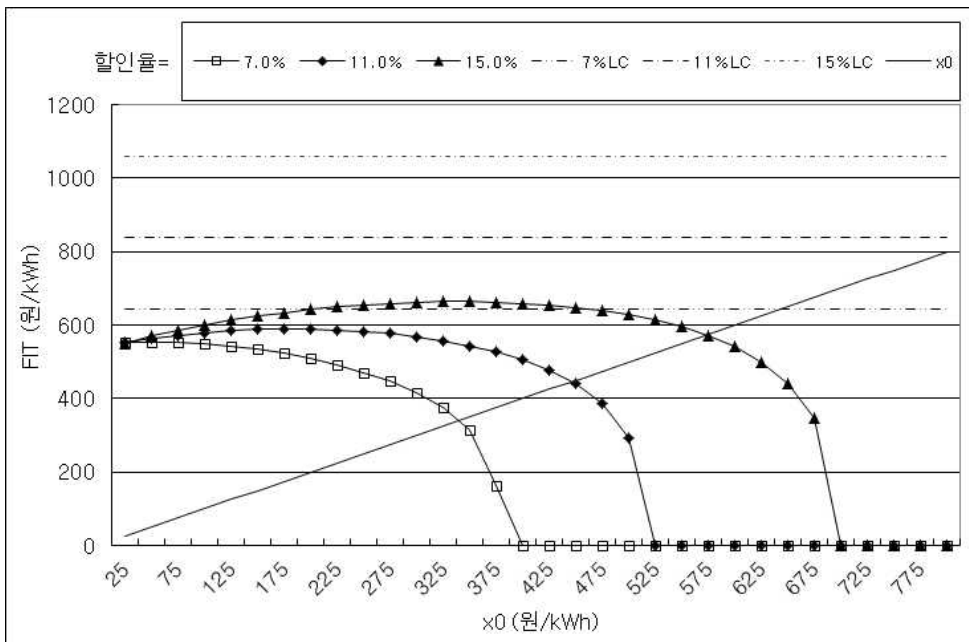


<그림 4-9> 균등화발전원가로 인한 발전차액잉여

출처 : 전영신(2010)

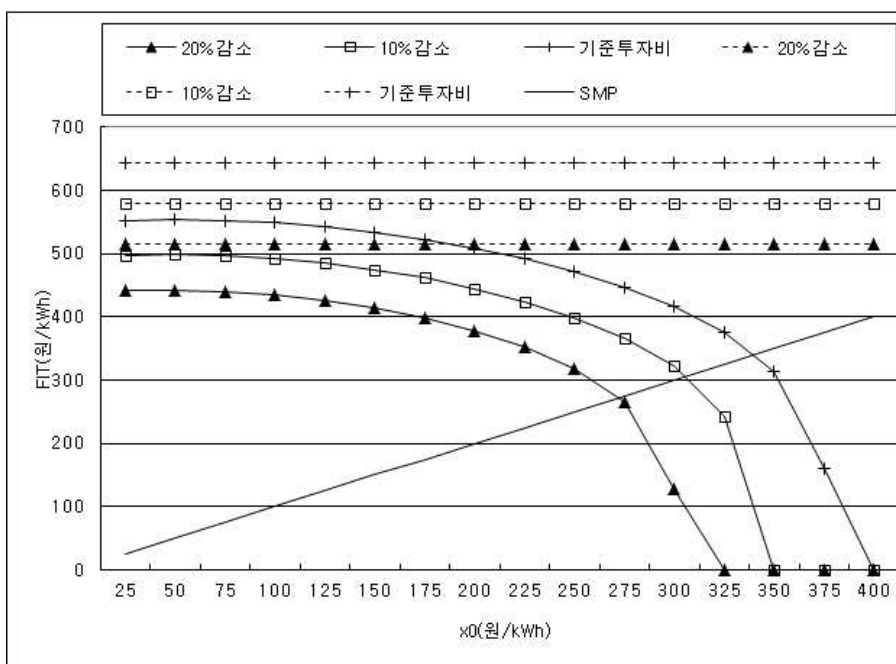
15) 전영신, 전계서, pp. 36~37

- 본 절에서 발전차액기준가격이나 REC가중치를 계산하기 위해서는 태양열 발전사업의 비용, 이용율 및 전력가격의 변동성이 필요하며, 이는 앞장의 System Advisor Model 시뮬레이션 결과와 전력가격 시계열분석을 통하여 확보하였음.
- PTC 태양열발전소의 경우 할인율이 증가함에 균등화발전원가로 계산된 발전차액은 증가하며, 앞서 언급한 바와 같이 발전차액잉여가 존재하여 동일한 할인율에 대한 실물옵션 모형으로 계산된 발전차액기준가격보다 균등화발전단가로 계산된 발전차액기준가격이 모든 전력가격에서 더 높음을 알 수 있음.



<그림 4-10> 100MW급 PTC 할인율별 발전차액기준가격

- 신재생에너지기술에 대한 정부지원의 목표는 기술혁신을 통한 비용의 감소 이므로 이를 고려하기 위하여 투자비 감소에 따른 발전차액기준가격을 비교해 보았음. 태양열발전투자비의 감소에 따른 발전차액기준가격은 당연히 감소하며, 발전차액잉여가 존재하여 동일한 투자비에 대해서도 실물옵션 모형으로 계산된 발전차액기준가격보다 균등화발전단가로 계산한 발전차액기준가격이 낮음을 알 수 있음.



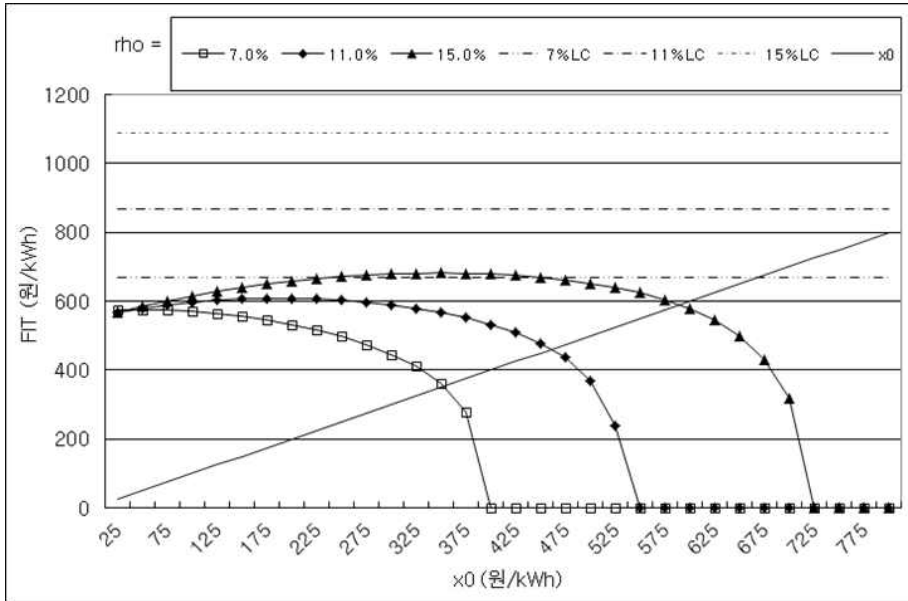
<그림 4-11> 100MW급 PTC 투자비 감소에 따른 발전차액기준가격

- 발전차액 잉여는 전력가격의 변동성이 존재하기 때문에 발생하는 유럽형 풋 옵션의 가치로 인해 발생하며, 그 크기에 따라 사업의 경제성이 바뀌게 되어 사업방향이 변화하게 됨. 본 연구에서는 이와 같은 잉여의 크기를 이용하여 최종적으로 춘천시 봉어섬의 신재생에너지 사업분야 선정에 대한 타당성분석을 수행하여 발전전략을 수립하였음.

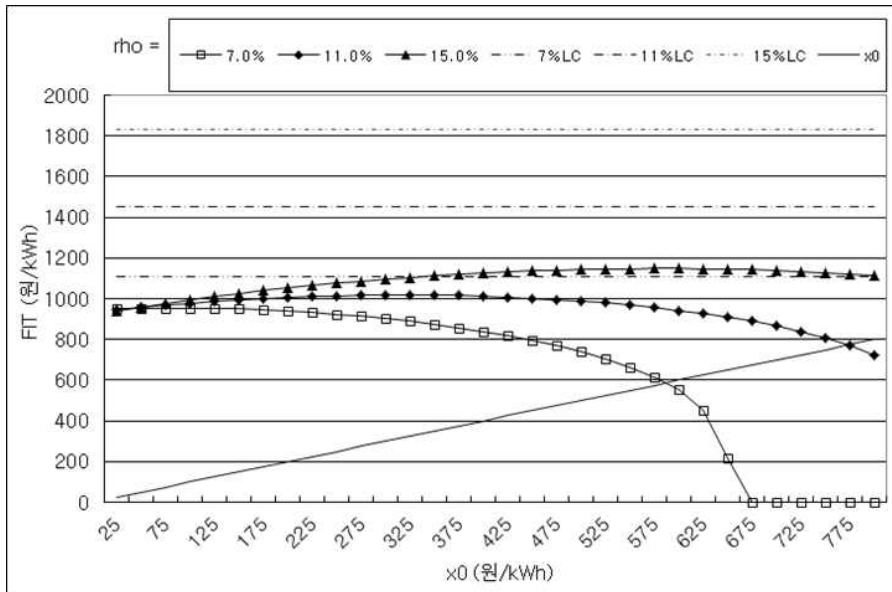
## 1. 태양열발전 용량별 발전차액기준가격

- PTC와 Tower형은 용량이 작아짐에 따라 스팀터빈도 작아져 SAM 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 효율이 떨어지기 때문에 발전비용이 증가함. 규모에 따른 비용, 발전량의 차이는 SAM시뮬레이션 자료를 이용하였음.
- <그림 4-12, 13, 14, 15>는 PTC와 Tower형 태양열발전기의 용량의 차이에 따른 발전차액기준가격을 균등화발전단가방식과 실물옵션방식을 적용하여 계산한 결과임. 균등화발전단가로부터 계산된 발전차액기준가격은 현재의 전력가격과 무관하게 일정한 것을 알 수 있음.
- 실물옵션으로부터 계산된 기준가격은 전력가격인 SMP가 증가함에 따라 일정수준까지는 상승하다가 다시 하락하는 경향을 보임. 상승하는 이유는 발전차액의 구조가 유럽형 풋옵션이기 때문에 SMP가 증가하면 발전차액기준가격과 SMP의 차액이 점점 작아져서 더 높은 발전차액기준가격이 필요하기 때문임. 하강하는 이유는 SMP가 증가함에 따라 이윤이 증가하여 발전차액으로 지원을 받지 않더라도 충분한 이익을 얻을 수 있기 때문임<sup>16)</sup>.
- 현재의 가격수준에서 받아야 하는 발전차액기준가격의 수준은 10MW급 PTC의 경우 약 600원/kWh, 1MW급PTC의 경우에는 약 1,000원/kWh으로 계산되었음. Tower형의 경우 100MW급의 경우 약 400원/kWh, 저용량의 경우 약 900원/kWh로 증가하였으나, PTC형보다는 낮은 발전차액기준가격을 보이고 있음.

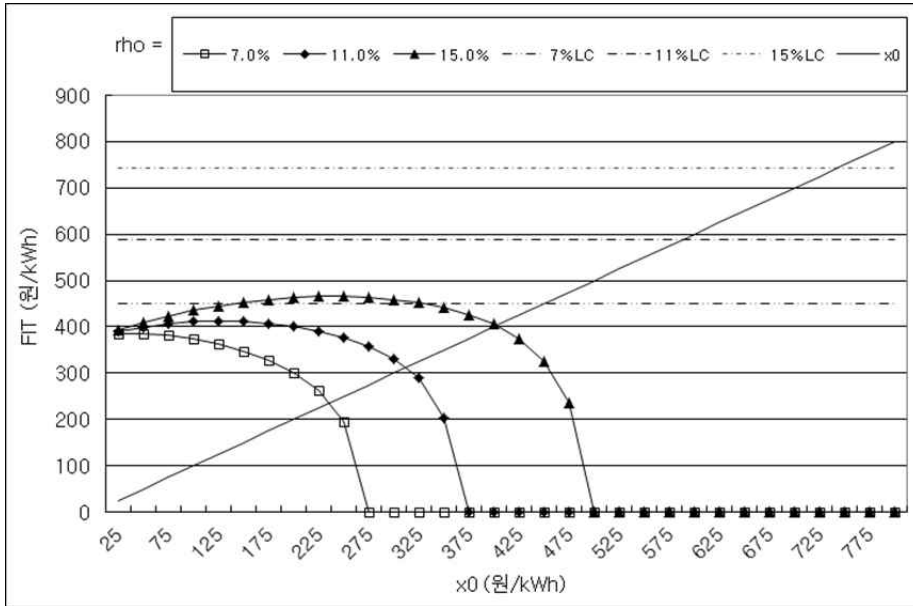
16) 상세한 분석은 전영신(2010) 참고.



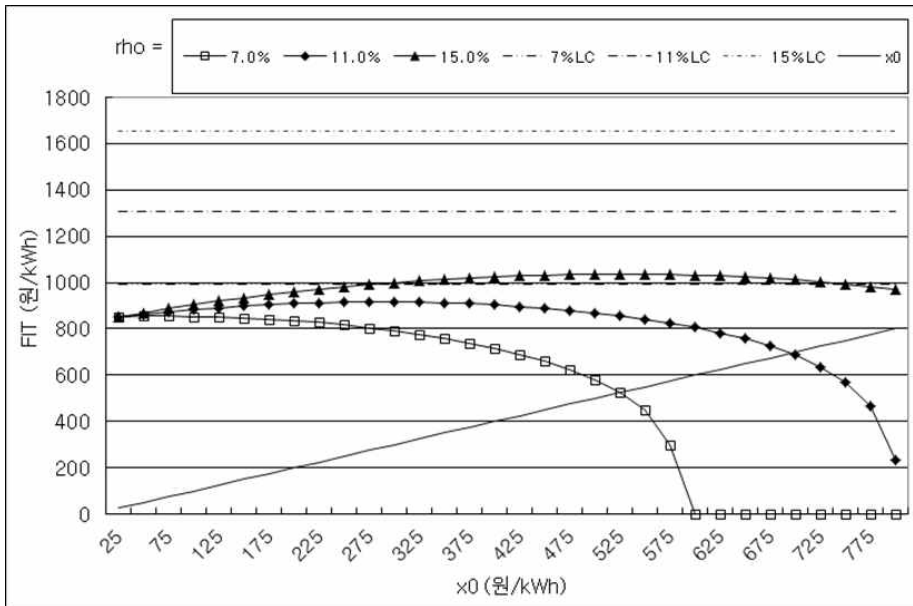
<그림 4-12> 10MW급 PTC 발전차액기준가격



<그림 4-13> 1MW급 PTC 발전차액기준가격



<그림 4-14> 100MW급 Tower 발전차액기준가격



<그림 4-15> 1MW급 Tower 발전차액기준가격



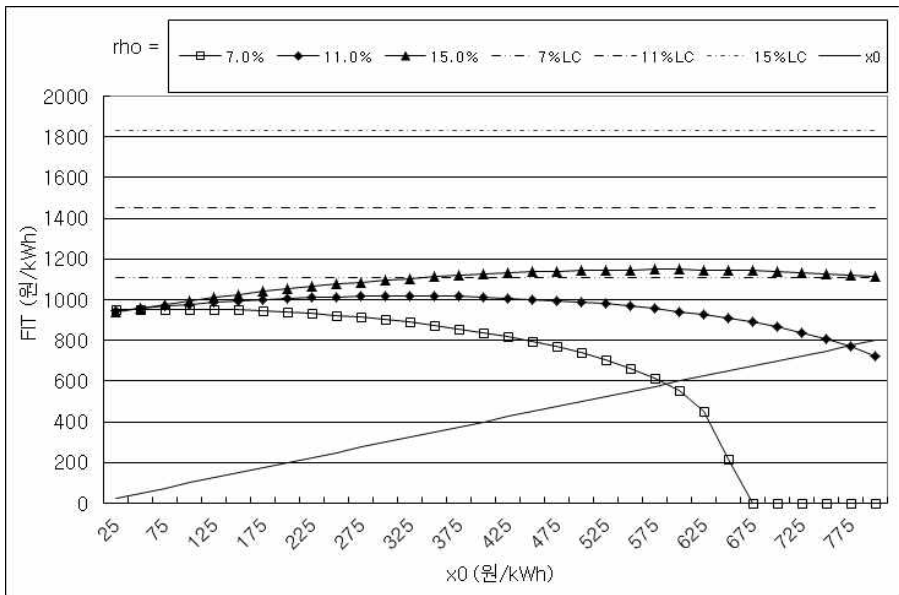
## 2. 저용량 태양열발전 집광방식별 발전차액기준가격

- 발전차액지원제도는 발전단가가 높을 경우 그에 맞는 발전차액기준가격을 지원해 주기 때문에 비용이 적은 집광방식에 대한 설치유인이 없으며, 그보다는 발전차액기준가격과 전력가격의 변동성으로 인해서 발생하는 발전차액잉여의 크기에 따라 집광방식 또는 태양광과 같이 다른 발전방식으로 신재생에너지를 생산할 유인이 존재함.
- 봉어섬의 태양열발전소건설 대상 토지면적은 약 십만 $m^2$ 로 대용량의 태양열 발전소를 건설할 수 없으며, 2~3MW급의 저용량 태양열발전소만 건설할 수 있음. 따라서 본 연구 중 봉어섬 사업추진전략수립 부분에서는 저용량 태양열발전에 대한 분석을 수행하였음.
- 저용량태양열 집광방식별 발전차액은 다음의 <표 4-1, 2, 3, 4>와 <그림 4-16, 17, 18, 19>에서와 같으며, 저용량에서 발전차액기준가격이 가장 높은 것은 PTC방식으로서 할인을 11%일 때, 대부분의 전력가격대에서 1,000원/kWh 근처에서 발전차액기준가격이 형성되고 있으며, Fresnel형과 Tower형은 900원/kWh 근처에서 형성됨. 가장 효율적인 집광방식은 Dish형으로서 600원/kWh 근처에서 발전차액기준가격이 형성됨.
- 정부의 입장에서는 저규모의 태양열발전의 경우에는 Dish형으로 신재생에너지 발전사업에 투자하기를 선호하겠지만, 신재생에너지발전사업자의 경우에는 자신의 이익을 극대화할 수 있는 집광방식을 선호할 것으로 예상됨.

[표 4-1] 저용량 PTC 발전차액기준가격

(단위 : 원/kWh)

할인률 전력가격	5%	7%	9%	11%	13%	15%
50	954.15	953.66	954.99	956.56	957.93	959.00
100	942.80	954.31	966.88	977.95	987.11	994.49
150	925.93	949.79	973.91	994.73	1,011.90	1,025.70
200	903.03	939.83	976.00	1,007.00	1,032.40	1,052.90
250	873.64	924.26	973.19	1,014.80	1,048.80	1,076.30
300	837.05	902.79	965.44	1,018.40	1,061.50	1,096.20
400	736.45	839.62	934.25	1,012.60	1,075.70	1,126.20
500	568.94	739.53	878.65	988.59	1,075.20	1,143.60
균등화 발전단가	958.25	1,111.09	1,276.09	1,451.85	1,636.90	1,829.76

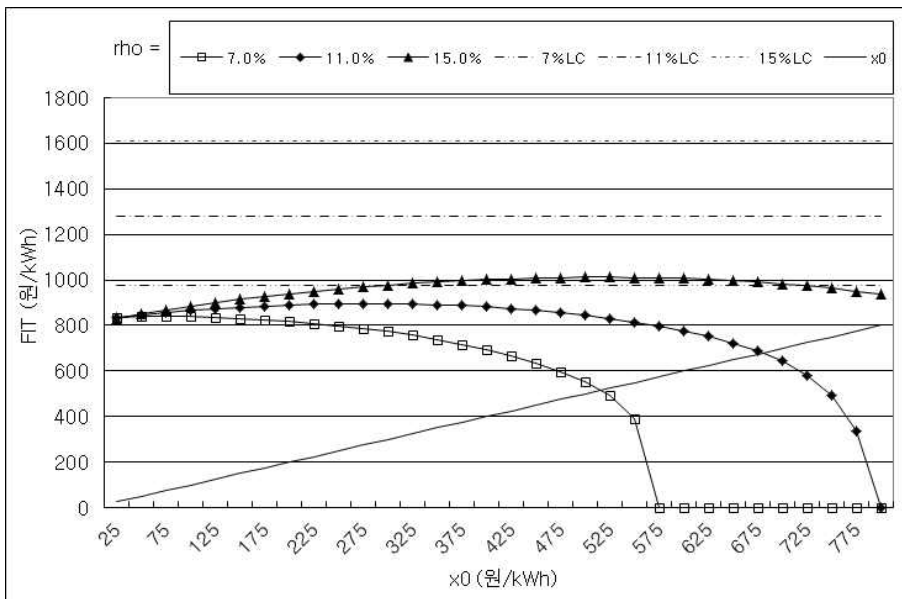


<그림 4-16> 저용량 PTC 발전차액기준가격

[표 4-2] 저용량 Fresnel 발전차액기준가격

(단위 : 원/kWh)

할인률 전력가격	5%	7%	9%	11%	13%	15%
50	836.18	838.15	841.42	844.55	847.17	849.28
100	823.72	837.76	852.33	865.01	875.46	883.90
150	804.80	831.37	857.66	880.22	898.75	913.72
200	778.79	818.73	857.40	890.34	917.31	939.09
250	744.97	799.53	851.55	895.54	931.43	960.37
300	702.04	773.21	839.95	895.90	941.30	977.80
400	576.03	694.18	797.72	881.66	948.57	1,001.80
500	N.A.	552.56	722.20	844.84	938.55	1,011.60
균등화 발전단가	840.90	976.10	1,122.10	1,277.60	1,441.30	1,611.90

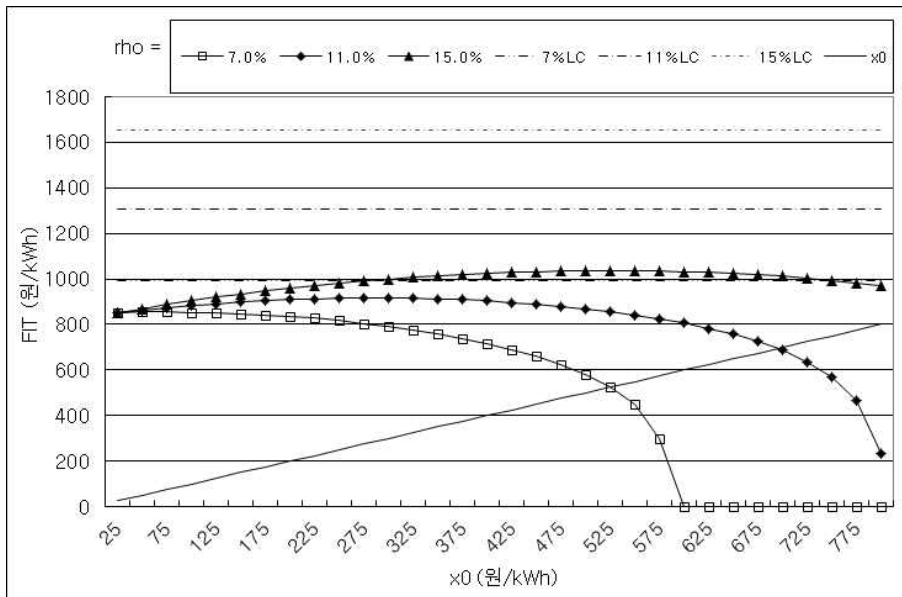


<그림 4-17> 저용량 Fresnel 발전차액기준가격

[표 4-3] 저용량 Tower 발전차액기준가격금액

(단위 : 원/kWh)

할인률 전력가격	5%	7%	9%	11%	13%	15%
50	850.54	854.15	858.72	862.88	866.35	869.13
100	838.23	853.92	869.79	883.51	894.80	903.93
150	819.59	847.82	875.41	899.01	918.37	934.03
200	794.02	835.59	875.55	909.51	937.30	959.76
250	760.82	816.96	870.21	915.19	951.87	981.46
300	718.81	791.42	859.28	916.13	962.27	999.39
400	596.89	715.07	819.00	903.46	970.88	1,024.60
500	259.95	582.03	747.30	869.11	962.73	1,035.90
균등화 발전단가	855.18	994.81	1,145.54	1,306.11	1,475.16	1,651.34

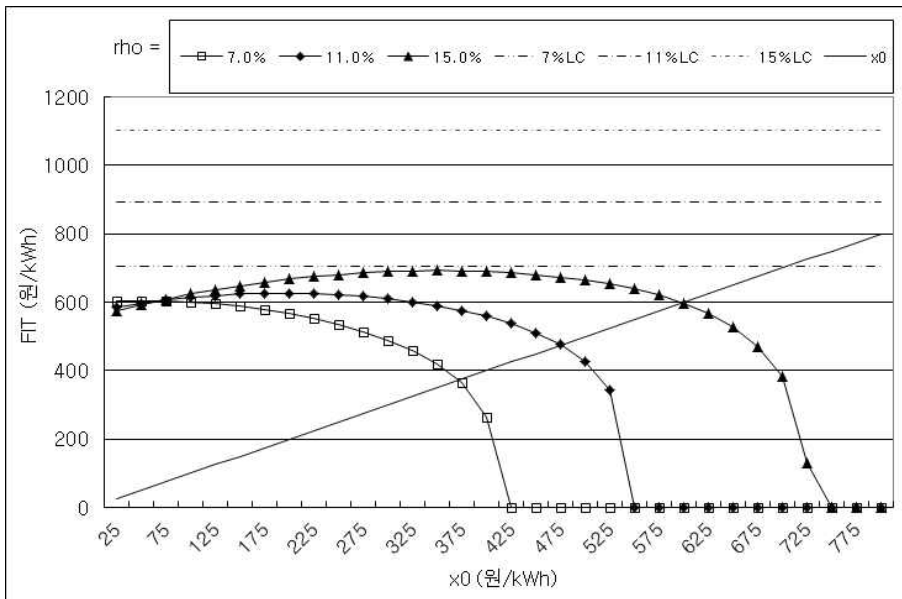


<그림 4-18> 저용량 Tower 발전차액기준가격

[표 4-4] 저용량 Dish 발전차액기준가격

(단위 : 원/kWh)

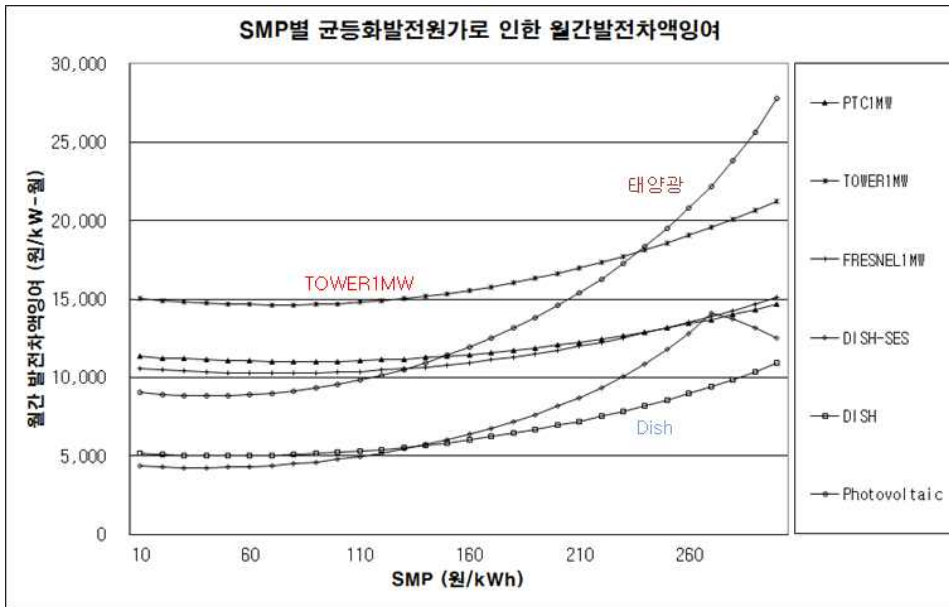
할인률 전력가격	5%	7%	9%	11%	13%	15%
50	612.73	604.77	600.19	597.03	594.58	592.54
100	596.85	600.93	607.68	614.11	619.51	623.83
150	571.59	588.49	607.27	623.85	637.55	648.57
200	535.55	566.83	598.93	626.60	649.25	667.47
250	485.80	534.55	582.16	622.35	654.92	680.98
300	414.44	488.34	555.65	610.66	654.52	689.30
400	N.A.	263.71	456.17	559.20	633.46	689.89
500	N.A.	N.A.	N.A.	425.49	574.01	665.02
균등화 발전단가	618.98	703.88	795.54	893.18	995.97	1,103.10



<그림 4-19> 저용량 Dish 발전차액기준가격

### 3. 태양열 및 태양광 선호도 분석

- 발전사업자가 붕어섬에 신재생에너지사업에 투자할 때 발전차액잉여를 더 많이 얻는 집광방식 또는 태양광발전 사업에 투자할 것이므로, 이에 대한 분석을 수행하기 위하여 각 태양열 집광방식 및 태양광발전에 대하여 균등화발전원가에서 실물옵션 모형으로 계산된 발전차액을 차감한 발전차액잉여를 비교하였음.
- <그림 4-20>을 보면 SMP가 230원/kWh까지는 타워형1MW의 발전차액잉여가 가장 높고, 230원/kWh이상에서는 태양광이 유리함을 알 수 있음. 가장 비용효과적인 접시형은 발전차액지원 받을 경우에는 타방식에 비해 낮은 잉여를 획득함.



<그림 4-20> 태양열 집열방식 및 태양광에 대한 균등화발전원가 잉여

## 4. REC 가중치

- 발전차액지원제도는 2011년까지만 시행하였고, 2012년 부터는 RPS제도를 시행하고 있음. 기존에 발전차액을 지원받던 신재생에너지사업자에게 남은 기간에 대한 발전차액을 지원하는 일몰제도로 전환하였음. RPS제도 하에서는 대규모 사업에만 투자할 유인이 많기 때문에 소규모 사업에 대한 발전차액지원제도를 부활시키자는 의견이 있지만, 아직 불확실한 상황임.
- 태양광의 발전단가가 기타 신재생에너지원보다 월등히 높기 때문에, 현재 RPS제도에서 태양광을 이용한 전력생산의무량을 따로 지정하고 있음. 태양열발전의 경우 태양광보다 비슷하거나 또는 높은 비용을 필요로 하기 때문에, 태양열발전량에 대하여 태양광발전 생산의무량으로 인정하고, REC가중치를 태양광과 동일한 기준으로 산정하는 방안이 합리적이라 할 수 있음.
- 균등화발전단가로 계산한 REC 가중치는 다음과 같으며, 붕어섬에 적용하기 위하여 태양열발전의 경우 저용량발전설비에 대하여 계산하였음.

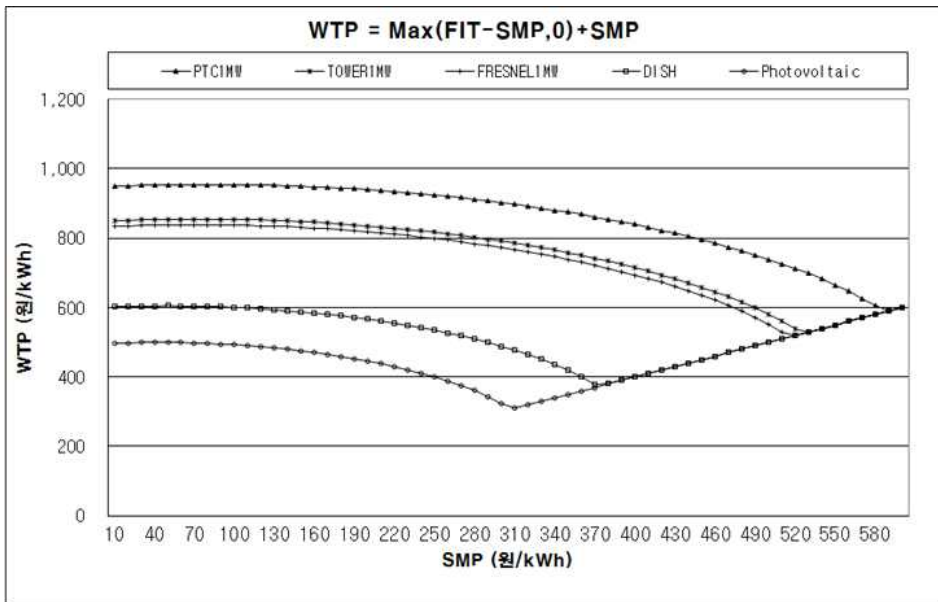
[표 4-5] 균등화발전단가로 계산한 태양열발전 REC 가중치

	태양광	PTC	Tower	Fresnel	Dish
REC가중치	1.0	1.91	1.71	1.68	1.21

- 발전차액지원제도와 마찬가지로 REC가중치도 균등화발전단가로 계산할 경우에는 전력가격의 변동성이 존재하기 때문에, 그에 따른 잉여가 발생하므로 실물옵션을 이용한 REC가중치를 산정하는 것이 단일 신재생에너지원로의 편중현상을 막을 수 있을 것으로 사료됨.
- 실물옵션 모형을 RPS제도의 REC 가중치에 적용하기 위해서는 각 집광방식별 발전차액기준가격(FIT)를 먼저 계산한 후, FIT에서 현재 SMP를 뺀 가격

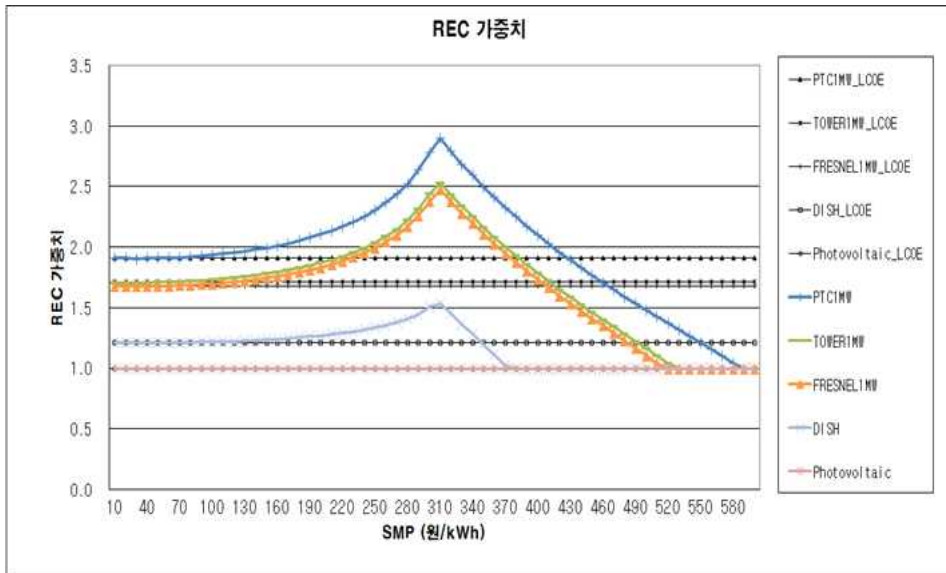
즉,  $\max[(FIT-SMP),0]$ 이 사업자가 기꺼이 사업에 투자할 정도의 보조금 수준이며, 전력수요자의 입장에서 SMP이외에 추가로 지불할 용의가 있는 최소가격이 될 것임.

- 이와 같은 각 발전원별 전력수요자의 지불용의가격을 WTP(Willingness to Pay)라 칭하고,  $WTP = \max[(FIT-SMP),0] + SMP$ 를 계산하여 그 비율대로 REC 가중치를 할당하였음. 이렇게 되면 매 시간대별로 SMP가 변하게 되므로 각 발전원간 가중치는 매시간 변화하게 됨.



<그림 4-21> 태양열 및 태양광발전의 전력가격 별 Willingness to Pay





<그림 4-22> 태양광발전 및 소규모 태양열발전의 REC가중치

- <그림 4-22>를 보면 SMP가 130원/kWh 이전까지는 균등화발전단가방식으로 계산한 REC가중치와 실물옵션 모형으로 도출한 REC가중치가 비슷하지만, SMP가 130원/kWh이상일 경우 균등화발전원가 방식보다 실물옵션 모형에서 더 높은 REC가중치를 산정하고 있음.
- 이 결과의 의미는 만약 기존의 방식대로 균등화발전단가를 이용하여 태양열발전의 REC가중치를 산정할 경우에는 가격변동성으로부터 발생하는 잉여의 차이가 생기기 때문에, 전력가격이 130원/kWh 이상일 경우에는 태양열 투자는 줄어들고 태양광발전 사업에 투자할 유인 존재한다는 것임. 또한 현재 전력가격이 130원/kWh이상이므로 태양열에 대한 투자유인이 존재하지 않는다는 의미이기도 함.



제 5 장

# 붕어섬 태양열발전사업 경제성 분석

제 1 절 태양열발전사업 관련 이해관계

제 2 절 붕어섬 경제성 분석



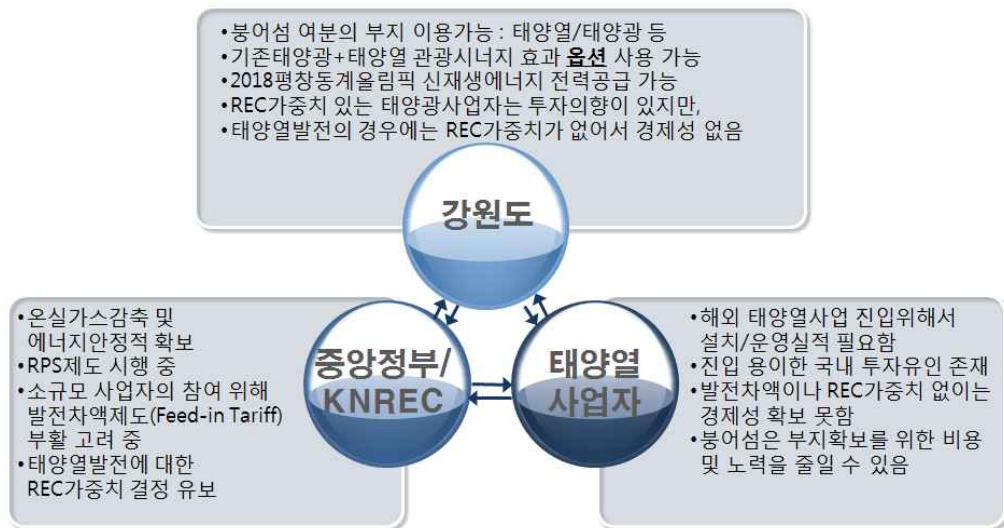
## 봉어섬 태양열발전사업 경제성 분석



### 제1절 태양열발전사업 관련 이해관계

- 봉어섬 여분 부지의 태양열발전사업 시행과 관련된 이해당사자는 크게 봉어섬을 도유지로 소유하고 있는 강원도, 태양열발전사업자 및 신재생에너지 지원 정책기관으로서 발전차액기준가격이나 REC가중치를 산정하는 기관인 중앙정부/신재생에너지센터로 볼 수 있음.
- 강원도의 경우 봉어섬부지에 6MW급의 태양광발전소를 설치/운영하도록 허가한 상태이고, 나머지 부지를 이용하여 태양열사업, 태양광사업 또는 기타의 사업을 수행해보려고 하고 있음. 봉어섬에 태양열발전 사업을 시행할 경우, 발전사업자의 기부체납 이후 사업자 운영기간 이후에 전력판매사업을 수행하여 수익을 낼 수 있을 뿐 아니라, 2018평창동계올림픽에 신재생에너지를 공급하여 환경올림픽약속을 이행하는데 일조할 수 있으며, 기존의 태양광발전과 결합하여 관광시너지 효과를 기대할 수 있음. 하지만 REC가중치가 있는 태양광사업자는 봉어섬에 투자할 의향이 있지만, 태양열발전의 경우 REC가중치나 발전차액지원제도를 지원받지 못하고 있기 때문에 사업자의 유치가 힘들.

- 중앙정부/신재생에너지센터는 온실가스 감축 및 에너지의 안정적 확보를 위해서 RPS제도를 시행중임. 하지만 RPS제도 하에서는 대규모 신재생에너지 사업만 진행되는 경향이 있어서, 소규모 사업자의 참여를 위해 일정규모 이하에 대해서 발전차액지원제도를 부활하자는 의견이 대두되고 있음. 하지만 태양열발전기 중 Dish형의 경우 진해 등지에 시범설치 운영된 사례와, Tower형의 경우 대구에 200kW급으로 플랜트가 운전되고 있기는 하지만, 상용화운전에 성공한 사례가 없어서 REC가중치는 유보된 상태임.
- 태양열사업자의 경우 국내는 일사량(DNI)이 좋지 않아서 사업에 적합하지 않기 때문에, 해외에서 태양열사업을 추진하려고 하고 있음. 하지만 해외의 태양열사업에 진입하기 위해서는 설치/운영 실적이 필요하므로 국내에서의 태양열사업 유인이 존재함. 하지만 발전차액이나 REC가중치 없이는 경제성이 없어서 사업에 투자를 하지 못하고 있음. 봉어섬의 경우에는 부지확보를 위한 비용 및 노력을 줄일 수 있기 때문에 REC가중치 등의 지원만 있다면 충분히 매력적인 사업이 될 것임.

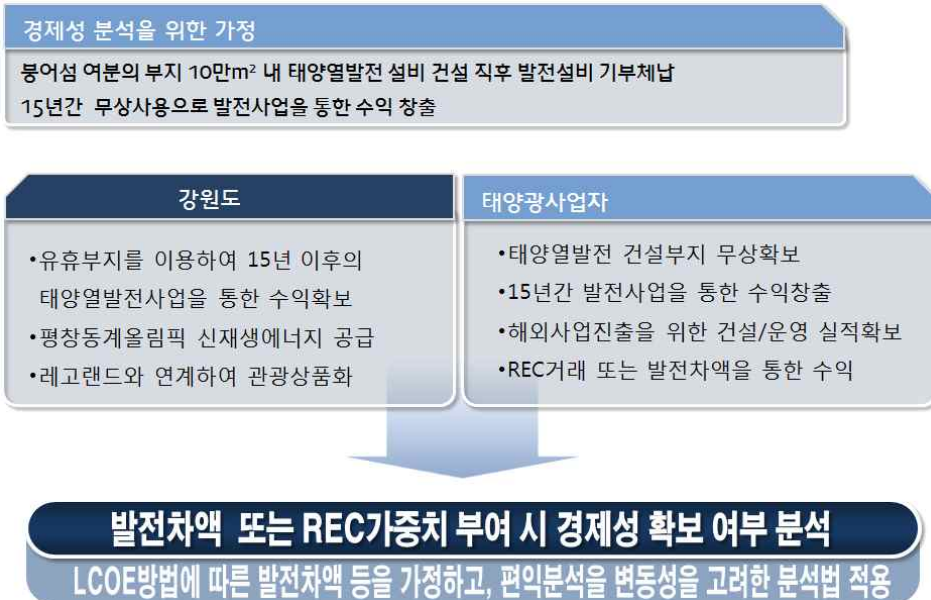


<그림 5-1> 봉어섬 태양열발전사업 당사자간의 이해관계



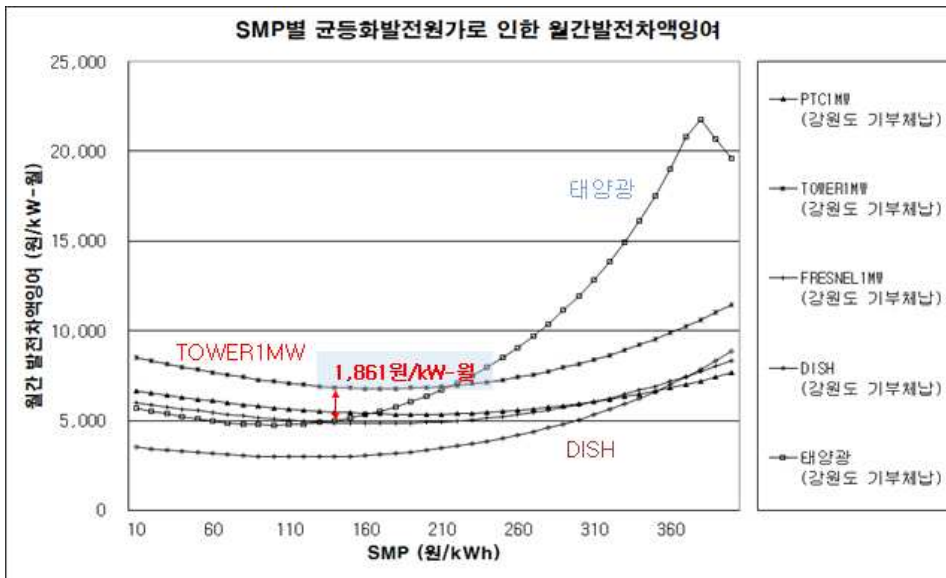
## 제2절 붕어섬 경제성 분석

- 이해관계분석에서 언급한 바와 같이 강원도는 15년 이후 전력판매이익, 동계올림픽 신재생에너지공급 및 관광상품과 연계효과를 기대할 수 있으며, 태양광사업자는 건설부지 무상확보, 15년간 전력 및 REC판매수익 획득 및 건설/운영 실적확보로 해외사업진출 가능성증대효과를 기대할 수 있음.
- 본 연구에서 사용된 실물옵션 모형을 이용한 REC가중치나 발전차액기준가격은 모든 발전원에 대해서 동일한 선호도를 갖도록 하는 REC가중치 및 기준가격임. 하지만 정부에서 균등화발전단가를 이용하여 가중치와 기준가격을 산정할 경우에는 발전원별로 발생하는 잉여편익이 서로 다르기 때문에 더 유리한 발전방식을 선택할 수 있음.



<그림 5-2> 붕어섬 태양열사업 경제성 분석방법

- <그림 5-3>의 계산결과에 따르면, 발전차액지원제도를 시행할 경우 SMP가 140원/kWh일 때 태양열사업을 시행할 경우 태양광사업보다 1,861원/kW-월 더 많은 발전차액잉여를 획득함. 다시 말해, 봉어섬에 타워형 2MW급 태양열발전기를 설치할 경우 태양광발전기를 설치했을 때 보다 1,861원/kW-월 × 2MW = 372만원/월의 초과이윤이 발생함. 따라서 당장 태양광사업을 시행하지 않고 태양열발전에 대한 정부지원책 발표를 기다리는 가치는 연간 4,464만원(=372만원/월×12개월)보다 더 많은 잉여를 얻을 수 있어야 태양광사업을 하지 않고 기다리도록 하는 유인이 생김.



<그림 5-3> 봉어섬의 발전차액잉여 분석을 통한 발전방식별 경제성 분석

- 태양열사업자와 강원도의 경우 현금흐름이 다른 시점에 발생하기 때문에 경제성은 따로 계산되어야 함. 즉, 발전사업자의 경우에는 태양열발전기 설치 이후 15년 동안 전력판매액과 발전차액지원금액으로 경제성을 확보하는 반면, 강원도의 경우에는 15년 이후 사업자가 물러난 후부터 발생하는 현금흐름이 편익으로 작용함.



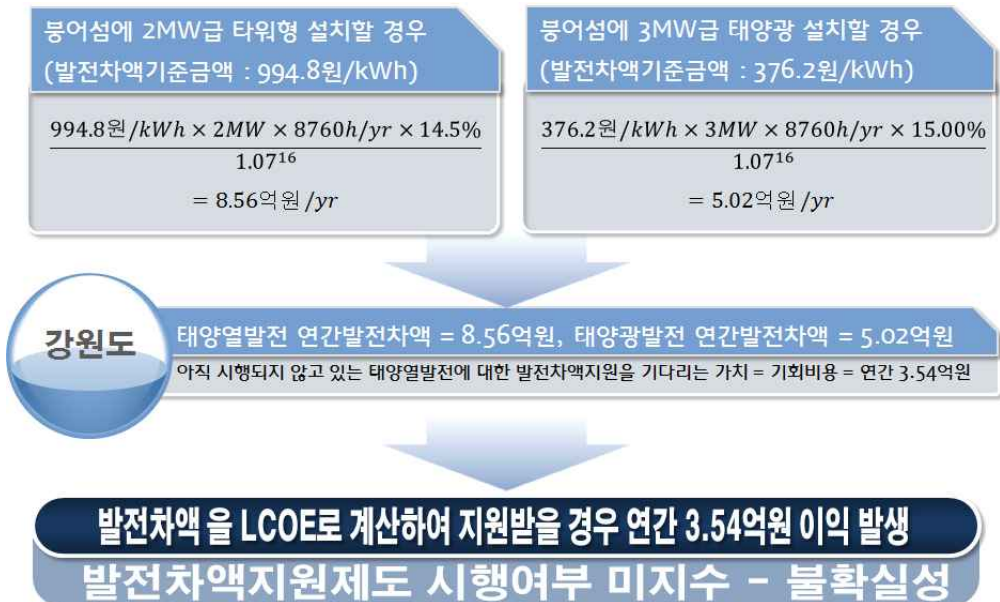
○ 강원도의 입장에서는 태양열발전에 대한 발전차액지원제도가 시행되면 붕어섬에 태양열발전사업을 하도록 허가해 주고, 15년 이후에 태양열발전으로부터 얻을 수 있는 전력판매가격 및 발전차액을 지원받을 수 있음.

- 붕어섬에 설치 가능한 2MW급 타워형의 경우 이용율은 14.50%이며, 발전차액기준가격이 994.8원/kWh이므로, 사업시행 후 16년 이후에 강원도에서 얻을 수 있는 편익은 현재가치로 연간 8.56억원이 됨.

$$\frac{994.8 \text{원}/kWh \times 2MW \times 8760h/yr \times 14.50\%}{(1.07)^{16}} = 856,046,661 \text{원}/yr$$

- 붕어섬에 태양광을 설치할 경우에는 3MW용량이 설치가 가능하며, 이용률 15%, 발전차액기준가격 376.20원/kWh<sup>17)</sup>로 가정하면, 16년 후 강원도의 편익은 현재가치로 연간 5.02억원이 됨.

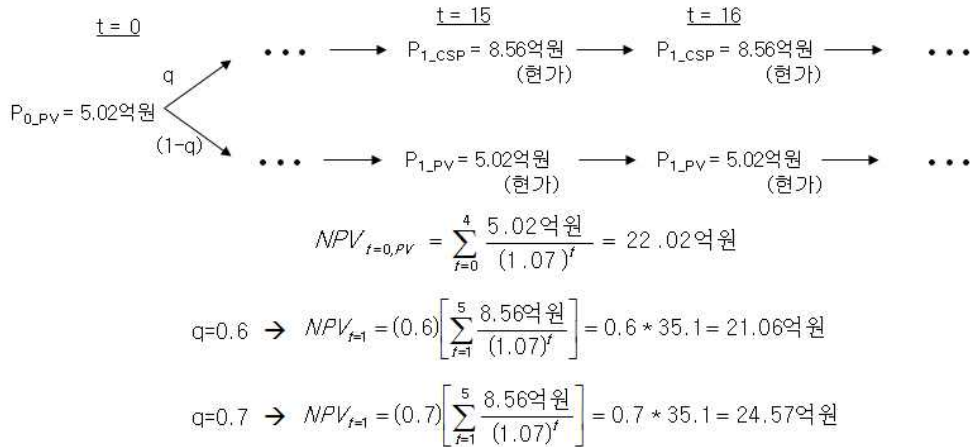
$$\frac{376.2 \text{원}/kWh \times 3MW \times 8760h/yr \times 15.00\%}{(1.07)^{16}} = 502,336,769 \text{원}/yr$$



<그림 5-4> 붕어섬 신재생에너지사업 시행 시 강원도의 편익

17) 2011년 기준 1MW초과 3MW이하 일반부지 발전차액기준가격 (출처 : 신재생에너지센터)

- 발전차액지원제도가 부활되어 태양열발전예 발전차액을 지원해 줄 경우, 강원도가 태양열사업을 허가하면 태양광사업을 허가했을 때보다 3.54억원이 이익을 더 얻을 수 있지만, 발전차액제도의 부활은 확정되지 않은 불확실한 상황임. 따라서 제도부활의 불확실성을 고려한 발전전략 수립이 필요함.
- <그림 5-5>는 지원제도의 불확실성이 존재할 때, 봉어섬 여유부지에 태양광사업을 당장 시행하도록 허가할 경우와 당장 사업을 허가하지 않고 발전차액제도의 부활여부를 확인 한 다음 태양열발전사업을 허가할 경우에 대한 분석임.



<그림 5-5> 지원정책의 불확실성 하에서 강원도의 봉어섬 개발전략

- 기다리는 기간을 1년이라 가정하고, 당장 태양광사업을 허가할 경우에 16년 이후부터 얻게 되는 총 편익이 22.02억원이므로, 봉어섬을 15년간 현물로 제공한 강원도의 입장에서 NPV는 22.02억원(다른 사업에 투자하는 경우는 고려하지 않음)으로 0보다 크기 때문에 당장 태양광사업을 투자하도록 결정하더라도 22억원의 이익을 보장받을 수 있음.

- 1년 후 태양열발전에 대한 지원정책이 수립될 확률( $q$ )이 60%일 경우의 현재의 정보만으로 기대되는 NPV는 21.06억원으로 당장 태양광사업을 허가하는 것보다 낮은 이익을 얻을 수 있음. 하지만 1년 후 태양열발전에 대한 지원정책이 수립될 확률( $q$ )이 70%일 경우 현재의 정보만으로 기대되는 NPV는 24.57억원으로 당장 태양광사업을 허가 하는 것보다 2.55억원의 이익을 더 얻을 수 있음.
- 결론적으로 1년 후 태양열발전 지원정책 수립될 현재에서 바라보는 확률이 70%이상이면, 당장 태양광사업을 시행하지 않고 1년을 기다렸다가 태양열사업의 발전차액을 지원해줄 경우에 태양열 사업을 시작하는 것이 유리하고, 1년 후에도 태양열사업에 지원을 해주지 않을 경우에는 태양광사업을 하던지 다른 의사결정을 할 수 있는 권리를 행사하면 됨.
- 하지만 당장 태양광사업을 허가하면 이러한 1년 뒤에 의사결정할 수 있는 권리를 포기하는 것이기 때문에 태양열사업에 대한 지원정책이 선정될 확률이 70%보다 높은지 또는 낮은지가 중요해짐. 하지만 여기서 말하는 확률을 측정하지 못한다는 것이 문제임. SMP와 같이 과거 데이터가 존재한다면 시계열분석을 이용하여 확률에 대한 분석을 수행할 수 있겠지만, 정부가 소규모 태양열사업에 대한 발전차액지원제도나 태양열사업의 REC 가중치를 부여할지에 대한 확률은 구할 수 없음<sup>18)</sup>.
- 특히 새정부가 들어선지 얼마 되지 않아 소규모 신재생에너지 지원제도에 대한 정책방향이 아직 결정되지 않았으며, 제2차 국가에너지기본계획 수립이후에나 원자력 및 신재생에너지에 대한 구체적인 정책 방향이 설정될 것으로 예측됨.

18) 경제학에서는 이와 같이 측정할 수 없는 불확실성을 Knightian uncertainty라 하고, 전력 가격과 같이 측정할 수 있는 경우를 리스크로 분류함.



제 6 장

결론 및 정책제언



## 제6장

# 결론 및 정책제언

- 강원도는 태양광발전이 기 설치된 봉어섬 여분의 부지를 방치하지 않고, 소득창출 및 2018동계올림픽 신재생에너지 생산 약속이행 등의 효과를 누리 기 위하여 태양열발전사업자 유치가 필요한 상황임.
- 발전사업자는 봉어섬에 태양열발전을 설치하고 기부채납 후 15년간 사업을 수행할 경우, 전력판매 등으로 수익을 얻는 것은 물론 설치/운영 실적 축적 으로 인하여 해외의 태양열발전사업에 진출할 교두보를 쌓을 수 있음.
- 하지만 발전차액/REC가중치가 주어지지 않을 경우에는 발전사업자는 수익 을 얻을 수 없기 때문에 봉어섬에 태양열발전을 건설하지 않을 것이고, 강 원도에서 추구하는 봉어섬 이용계획은 차질이 생기게 됨.
- 따라서 태양열발전에 대한 적절한 발전차액/REC가중치 부여가 필요하며, 본 연구에서는 이를 위하여 전력가격의 불확실성을 고려한 실물옵션 방법 론을 적용하여 태양열발전 기술별 발전차액/REC가중치를 산정하였음.
- 태양열발전은 용량이 작아짐에 따라 발전단가도 작아지며, 봉어섬에 적용가 능한 용량인 2MW급에 대하여 균등화발전단가방식으로 계산된 발전차액기 준가격은 PTC 1,111.09원/kWh, Fresnel 976.10원/kWh, Tower 994.81원 /kWh, Dish 703.88원/kWh으로 Dish형이 가장 낮음. 이 결과를 REC가중

치에 적용하면 태양광을 1로 하였을 경우, PTC 1.91, Tower 1.71, Fresnel 1.68, Dish 1.21로 산정되었음.

- 이와 같이 균등화발전단가로 계산할 경우 Dish형이 가장 적은 비용이 소요되지만 전력가격의 변동성으로 인하여 발생하는 발전차액의 유럽형옵션가치와 전력가격의 불확실성에 따른 기회비용을 고려한 실물옵션분석 수행 결과, 전력가격이 210원/kWh보다 낮은 수준에서 Dish형보다는 Tower형 태양열발전 사업을 수행하는 것이 발전차액잉여를 더 많이 획득하게 되어 발전사업자는 타워형발전을 선호할 것으로 생각됨.
- 발전차액지원제도가 부활할 경우 붕어섬에 2MW급 Tower형 태양열발전사업이 가장 경제적임을 산정하였지만, 결국 태양열사업에 대한 지원제도가 시행되면 태양열사업이 유리하고, 태양열사업 지원제도가 시행되지 않으면 태양광사업을 하는 것이 유리하다는 당연한 결과일 뿐임.
- 이와 같이 지원제도 시행의 불확실성이 태양열사업의 중요한 변수로 작용하게 되지만, 여기서 말하는 불확실성은 측정이 불가능한 나이트의 불확실성(Knightian Uncertainty)임. 전력가격과 같이 측정 가능한 리스크(Risk)를 이용하는 실물옵션분석을 수행할 수는 없지만, 지원제도의 불확실성 하에서 붕어섬 태양열발전사업에 대한 타당성평가를 위하여 제원제도 시행확률이 라는 애매한 개념을 적용하여 분석을 수행하였음.
- 불확실한 상황을 고려한 경제성 분석을 통하여, 발전차액지원확률이 60%일 때 태양광사업을 허가하지 않고 발전차액지원제도가 시행되는 상황을 기다릴 경우 강원도에서 15년 이후에 얻게 되는 이익은 총 21.06억원으로 당장 태양광사업을 허가했을 때의 이익인 총 22.02억원 보다 낮음. 하지만 70% 이상일 경우에 태양광발전사업을 허가하지 않고 기다리는 것이 24.57억원으로 당장 태양광사업을 허가하는 것보다 2.55억원 더 높은 가치를 가진다는 것을 알 수 있었음.



- 앞서 언급한 태양열에 대한 지원제도 시행 시에는 태양열사업이 유리하고, 지원제도가 없을 경우에는 태양광사업이 유리하다는 당연한 분석보다는 정교한 결과이지만, 태양열사업에 대한 지원제도 시행확률이 70%라는 것이 측정가능하지 않다는 것이 문제임.
- 국내에서의 태양열발전은 시범사업으로만 진행해왔기 때문에 아직 상용화 단계에 도달했다고 볼 수 없기 때문에, 상용플랜트급의 발전량을 얻기 위해서는 많은 시간이 필요함. 또한 아직 연구개발 단계이므로 전력생산단가를 산정하기에 어려움이 존재하기 때문에 REC가중치 산정에는 회의적인 시각이 많음. 하지만 태양광사업의 경우에도 초기에는 높은 발전차액을 지불하여 사업자를 유치하였고, 현재 보급률이 상승하고 있으므로, 태양열발전에 대해서도 비용은 높은 편이지만 지원정책을 시행하여 국내사업은 물론 해외사업의 진출을 도모하자는 움직임도 있음.
- 결국 중앙정부의 의지에 따라 발전차액/REC가중치가 결정되며, 지원제도 부활 확률이 70%이상일 경우 기다리는 것이 유리하다는 결과가 나왔지만, 새정부가 들어선지 얼마 되지 않아 제2차 국가에너지기본계획이 수립되고 나서야 원자력과 신재생에너지에 대한 구체적인 정책방향이 잡힐 것으로 예상됨. 이와 같은 상황에서 당장 소규모 태양열사업의 지원확률 70%를 예단하는 것보다는 기본계획이 세워지는 과정에서 소규모 태양열사업에 대한 지원 확률이 가시화 될 때까지 기다려보는 것이 바람직할 것으로 사료됨.



## 참고문헌

- 김영창, 발전설비 투자이론, 예경M&B, 2006
- 김은일, 김건훈, “신·재생에너지원 발전전력 차액지원을 위한 현행 기준가격의 재산정”, 한국태양에너지학회 2008년도 춘계학술발표대회 논문집, pp. 281-286, 2008
- 박호정·장철호, “실물옵션을 이용한 소형열병합발전의 경제성 평가 : 전력가격 변동성을 고려하여”, 자원·환경경제연구, vol. 16(4), pp. 763-779, 2007
- 산업자원부, 신재생에너지 발전차액지원제도 개선 및 RPS제도와 연계방안, 2006
- 에너지관리공단, 신재생에너지 발전차액 지원 운영실적 보고서, 2009
- 에너지관리공단 신재생에너지센터, 2011년 신재생에너지 보급통계, 2012
- 윤원철·손양훈, 김수덕, “실물옵션(real option)을 활용한 발전소 건설 타당성 분석”, 자원·환경경제연구, vol. 12(2), pp. 217-244, 2003
- 윤원철, 시뮬레이션과 실물옵션 기법을 활용한 원전 경제성 분석, 에너지경제연구, vol 5(1), pp. 27-55, 2006
- 전영신, 김형택, “실물옵션(Real Option) 분석을 통한 발전차액기준가격(Feed-in Tariff) 산정 - 모델 개발 및 태양광 사업에 적용”, 에너지경제연구, vol. 9(1), pp. 25~53, 2010
- 전영신, 실물옵션을 이용한 발전차액모형 개발 및 신재생에너지 인증서 가중치에의 적용, 박사학위논문, 아주대학교, 2010
- 지식경제부, 200kW급 타워형 태양열 발전 시스템 기술개발, 2012
- 최기련, 에너지경제학, 예경M&B, 2005
- 한국전력공사 전력경제처, 투자사업을 위한 경제성 평가, 1994
- Black, F. and Scholes, M., “The Pricing of Options and Corporate Liabilities”, Journal of Political Economy, Vol 81, pp. 637-659, 1973
- Brennan, M. J. and Schwartz, E. S., “Evaluating Natural Resource Investments”, The Journal of Business, vol. 58(2), pp. 135-157, 1985

- Butler, L. and Neuhoff, K., "Comparison of feed-in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development", *Renewable Energy*, vol. 33, pp. 1854-1867, 2008
- Dixit, A. K., "Entry and Exit Decisions under Uncertainty", *The Journal of Political Economy*, vol. 97(3), pp. 620-638, 1989
- Dixit, A. K., and Pindyck, R. S., *Investment under uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, p. 135, p. 141, 1994
- Hull, John C., *Options, Futures, and Other Derivatives*, Prentice Hall, 2009
- IRENA, *Renewable Energy Technologies : Cost Analysis Series, Concentrating Solar Power*, 2012
- IEA, *Technology Roadmap- Concentrating Solar Power*, 2010
- Karatzas, I., Lehoczky, J. P., Sethi, S. P. and Shreve, S. E., "Explicit Solution of a General Consumption/Investment problem", *Mathematics of Operations Research*, vol. 11(2), pp. 261-294, 1986
- Kumbaroğlu, G., Madlerner, R. and Demirel, M., "A real option evaluation model for the diffusion prospects of new renewable power generation technologies", *Energy Economics*, vol. 30, pp. 1882-1908, 2008
- Laurikka, H. and Koljonen, T., "Emissions Trading and Investment Decisions in the Power Sector - a Case Study in Finland", *Energy Policy*, vol. 34, pp. 1063-1074, 2006
- McDonald, R. and Siegel, D., "The Value of Waiting to Invest", *Quarterly Journal of Economics* (November), vol 101, 707-728, 1986
- Merton, R. C., "Lifetime Portfolio Selection under Uncertainty : The Continuous - Time Case", *The Review of Economics and Statistics*, vol. 51(3), pp. 247-257, 1969
- Mitchell, C., Bauknecht, D. and Connor, P. M., "Effectiveness through risk reduction : a comparison of the renewable obligation in England and Wales and the feed-in system in Germany", *Energy Policy*, vol. 34, 297-305, 2006

- NREL, Energy Analysis : Solar Power and the Electric Grid, 2010
- NREL, System Advisor Model (SAM) User Manual, 2012
- NEDO, 再生可能エネルギー技術白書, 2010
- Denholm, P. and Mehos, M., Enabling Greater Penetration of Solar Power via the Use of CSP with Thermal Energy Storage, National Renewable Energy Laboratory, 2011
- REN21, Renewables 2012 Global Status Report, 2012
- Stirling, A., “On the economics and analysis of diversity”, SPRU Electronic Working Paper Series No. 28, 1998
- Trigeorgis, L., Real Options, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1996.
- World Bank GEF, Assesment of the World Bank/GEF Strategy for the Market Development of Concentrating Solar Thermal Power, 2006
- Yang, M., Blyth, W., Bradley, R., Bunn, D., Clarke, C., Wilson, T., “Evaluating the Power Investment Options with Uncertainty in Climate Policy”, Energy Economics, vol. 30, pp. 1933-1950, 2008
  
- 에너지관리공단 신재생에너지센터 <http://www.knrec.or.kr/>
- 전력통계정보시스템 <http://epsis.kpx.or.kr/>
- IEA Solar Power And Chemical Energy Systems <http://www.solarpaces.org/>
- 한국은행 경제통계시스템 <http://ecos.bok.or.kr/>
- DOE EERE <http://www.eere.energy.gov/>
- CSP today <http://social.csptoday.com/>
- National Renewable Eenergy Laboratory <http://www.nrel.gov/>



# 부록







## 부록 1. SAM 시뮬레이션 결과

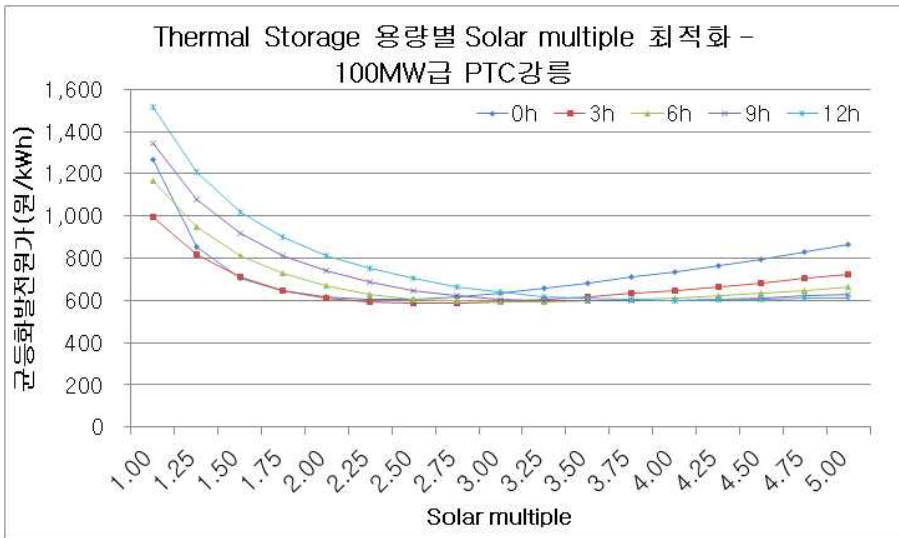
- 1.1 PTC
- 1.2 Tower
- 1.3 Fresnel
- 1.4 Dish

### 1.1 PTC

- Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 100MW급PTC강릉

(단위 : 원/kWh)

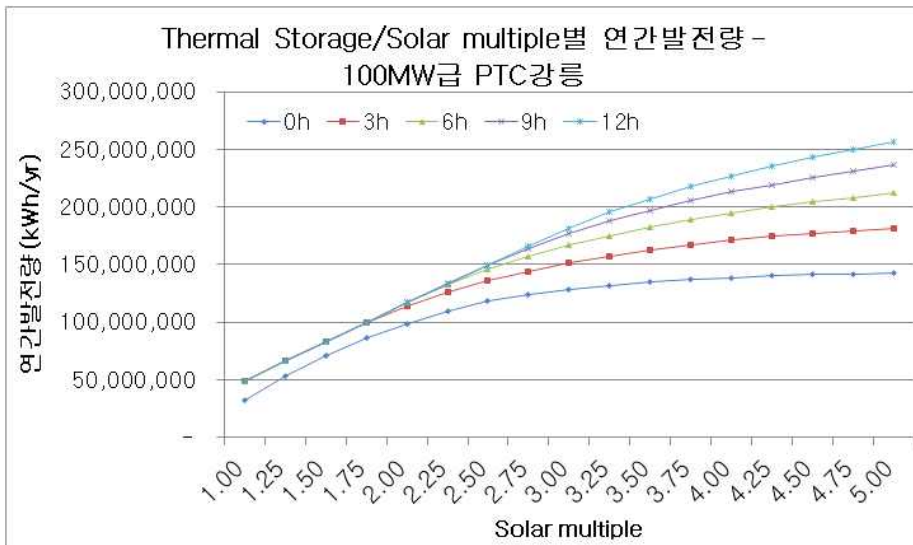
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,264.61	993.38	1,167.93	1,342.67	1,517.13
1.25	854.16	816.22	945.68	1,075.77	1,205.63
1.50	708.24	710.18	813.07	915.91	1,019.03
1.75	646.66	644.36	728.76	814.48	900.22
2.00	618.92	609.51	668.05	741.42	814.87
2.25	606.13	594.24	629.30	688.38	752.73
2.50	604.27	589.09	607.07	648.24	704.14
2.75	618.39	590.07	596.31	622.16	665.56
3.00	637.58	595.58	592.87	607.78	637.86
3.25	658.72	605.11	594.09	599.55	619.69
3.50	683.26	617.39	598.75	597.44	609.34
3.75	709.24	632.33	604.84	598.31	603.65
4.00	736.91	648.76	613.29	601.22	601.76
4.25	766.66	665.88	623.49	606.70	602.31
4.50	797.30	684.47	635.00	612.85	604.70
4.75	830.18	704.54	647.63	619.98	608.21
5.00	864.46	724.76	661.50	628.90	613.45



○ Thermal storage/Solar multiple별 발전량 - 100MW급PTC강릉

(단위 : kWh/vr)

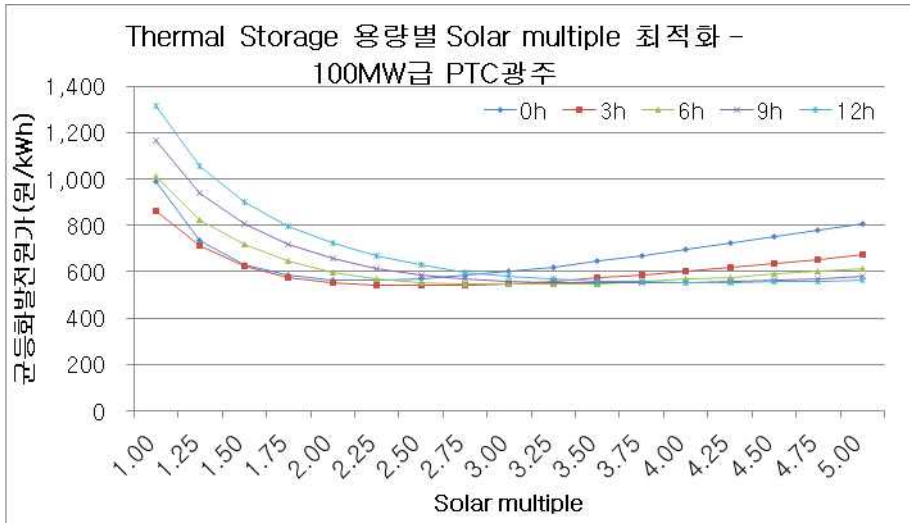
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	31,892,300	49,219,000	49,193,500	49,167,700	49,157,000
1.25	53,279,400	66,244,700	66,219,100	66,169,600	66,143,800
1.50	71,552,400	83,412,300	83,386,700	83,360,800	83,326,400
1.75	86,357,200	99,952,700	100,124,000	100,098,000	100,064,000
2.00	98,576,700	114,144,000	116,958,000	116,932,000	116,898,000
2.25	109,199,000	125,774,000	132,371,000	133,448,000	133,414,000
2.50	118,086,000	135,662,000	145,747,000	149,682,000	149,959,000
2.75	123,746,000	144,195,000	157,042,000	164,279,000	166,416,000
3.00	128,126,000	151,535,000	166,669,000	176,669,000	181,758,000
3.25	131,874,000	157,688,000	175,025,000	187,712,000	195,428,000
3.50	134,700,000	162,938,000	182,311,000	197,022,000	207,228,000
3.75	137,052,000	167,262,000	189,019,000	205,392,000	217,739,000
4.00	138,918,000	170,989,000	194,839,000	212,991,000	227,027,000
4.25	140,280,000	174,355,000	199,940,000	219,583,000	235,400,000
4.50	141,371,000	177,182,000	204,452,000	225,813,000	243,016,000
4.75	141,995,000	179,469,000	208,461,000	231,567,000	250,107,000
5.00	142,342,000	181,593,000	211,902,000	236,497,000	256,410,000



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 100MW급PTC광주

(단위 : 원/kWh)

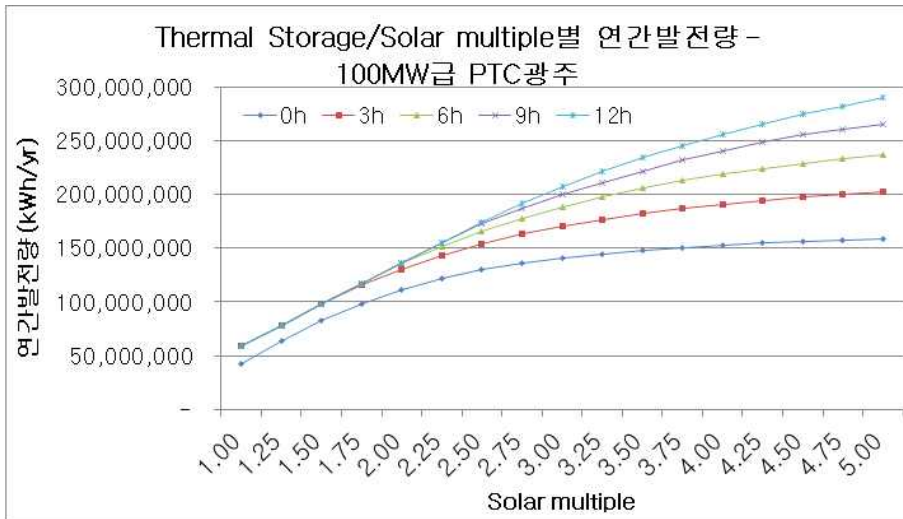
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	986.10	859.13	1,010.97	1,162.82	1,314.67
1.25	733.73	711.64	825.00	938.58	1,052.26
1.50	629.35	625.84	716.75	807.72	898.85
1.75	586.78	576.67	643.84	719.82	795.74
2.00	564.99	553.07	596.06	658.31	723.77
2.25	561.40	542.05	569.11	613.16	669.14
2.50	568.85	538.77	554.43	583.44	627.33
2.75	582.93	540.58	546.98	566.81	597.89
3.00	599.32	548.07	544.54	557.11	579.30
3.25	620.80	560.00	545.46	552.51	567.71
3.50	644.29	573.27	549.17	550.03	560.10
3.75	668.88	587.66	556.01	550.23	556.40
4.00	694.66	602.37	566.02	552.27	554.89
4.25	721.30	618.41	576.62	556.48	554.74
4.50	748.32	635.57	588.18	562.55	556.09
4.75	776.40	653.97	601.00	571.03	559.32
5.00	805.46	673.50	614.33	581.19	563.66



○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 100MW급PTC광주

(단위:kWh/vr)

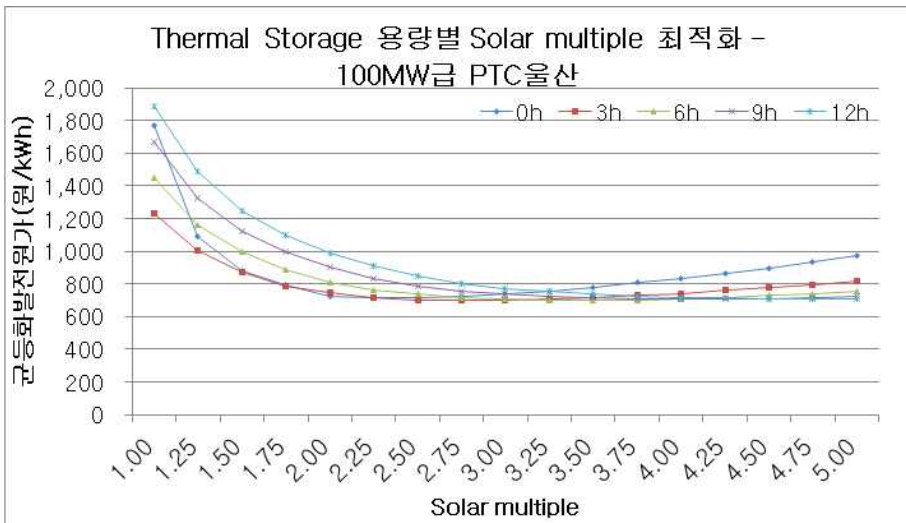
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	42,217,000	58,810,600	58,777,500	58,752,200	58,732,900
1.25	64,069,200	78,559,500	78,534,900	78,508,900	78,482,000
1.50	83,227,300	97,909,000	97,901,800	97,876,100	97,850,100
1.75	98,414,500	115,567,000	117,328,000	117,301,000	117,276,000
2.00	111,714,000	130,206,000	135,740,000	136,419,000	136,371,000
2.25	122,011,000	142,760,000	151,602,000	155,221,000	155,530,000
2.50	129,852,000	153,614,000	165,320,000	172,329,000	174,454,000
2.75	135,927,000	163,031,000	177,388,000	186,878,000	192,024,000
3.00	141,168,000	170,599,000	188,041,000	199,767,000	207,471,000
3.25	144,949,000	176,553,000	197,569,000	211,150,000	221,164,000
3.50	147,999,000	181,852,000	206,030,000	221,863,000	233,755,000
3.75	150,585,000	186,533,000	213,152,000	231,561,000	244,959,000
4.00	152,724,000	190,893,000	218,869,000	240,427,000	255,324,000
4.25	154,542,000	194,624,000	224,156,000	248,256,000	265,071,000
4.50	156,138,000	197,833,000	228,880,000	255,123,000	274,082,000
4.75	157,406,000	200,477,000	232,949,000	260,755,000	282,097,000
5.00	158,392,000	202,635,000	236,632,000	265,435,000	289,469,000



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 100MW급PTC울산

(단위 : 원/kWh)

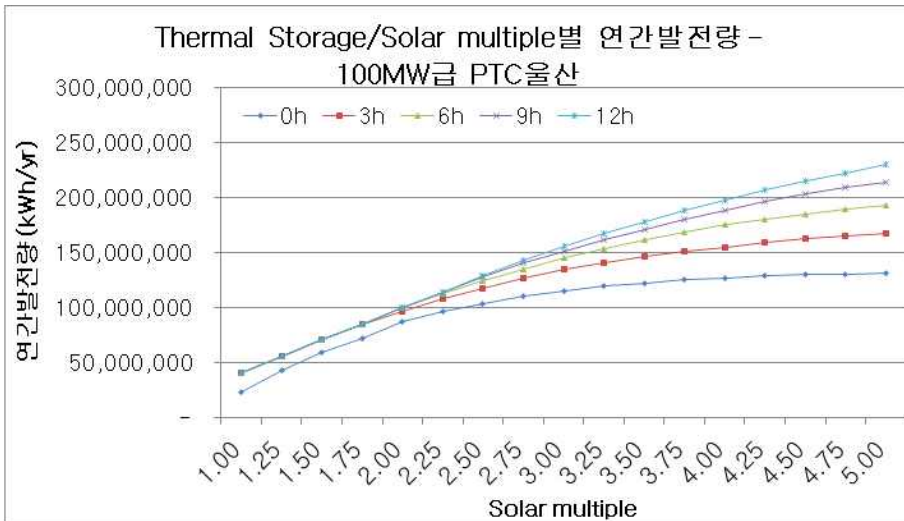
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,772.45	1,231.71	1,449.78	1,668.13	1,886.51
1.25	1,092.24	1,004.07	1,164.19	1,324.65	1,485.26
1.50	876.32	868.18	994.24	1,120.55	1,247.09
1.75	795.67	788.26	888.24	993.05	1,097.89
2.00	726.52	743.63	811.75	900.45	989.98
2.25	712.17	717.51	765.80	832.54	910.44
2.50	713.46	702.39	736.68	784.24	849.10
2.75	720.55	696.05	718.23	755.20	802.13
3.00	734.82	696.81	708.00	735.96	772.84
3.25	754.31	703.74	702.91	722.16	752.56
3.50	778.10	714.47	701.15	713.16	737.26
3.75	805.76	727.44	702.76	707.69	725.54
4.00	834.59	741.91	708.68	705.97	717.83
4.25	865.89	758.18	717.93	705.88	712.99
4.50	898.53	775.74	728.05	708.24	710.84
4.75	935.36	793.75	739.75	713.58	710.65
5.00	973.06	813.39	752.46	720.51	711.10



○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 100MW급PTC울산

(단위:kWh/vr)

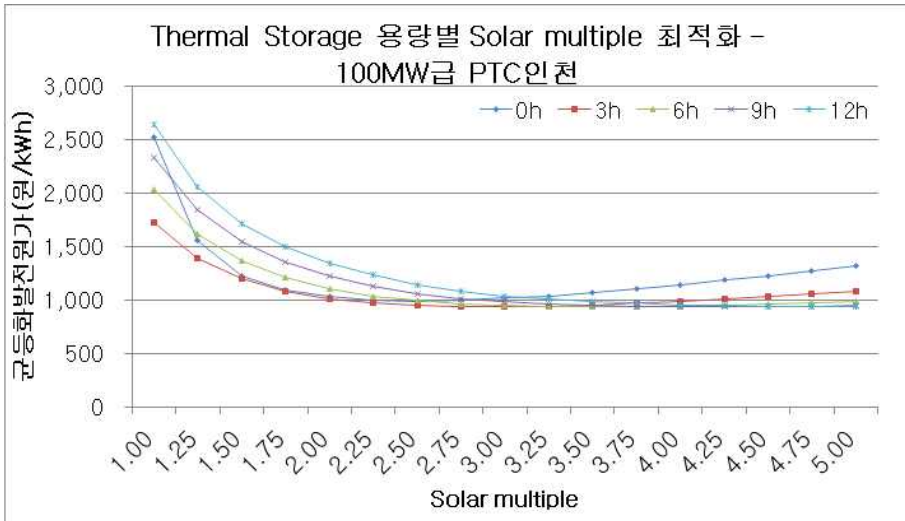
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	23,487,300	41,021,100	40,987,000	40,955,000	40,929,700
1.25	43,039,700	55,678,900	55,653,400	55,627,800	55,601,800
1.50	59,771,700	70,578,900	70,577,200	70,551,700	70,525,900
1.75	72,577,800	84,545,600	85,044,900	85,027,000	85,000,600
2.00	86,875,800	96,840,700	99,673,100	99,734,000	99,700,200
2.25	96,180,800	107,849,000	112,665,000	114,318,000	114,308,000
2.50	103,533,000	117,829,000	124,420,000	128,206,000	128,889,000
2.75	109,965,000	126,617,000	135,093,000	140,258,000	143,131,000
3.00	115,136,000	134,183,000	144,629,000	151,221,000	155,516,000
3.25	119,294,000	140,491,000	153,313,000	161,545,000	166,842,000
3.50	122,546,000	145,911,000	161,372,000	171,114,000	177,587,000
3.75	125,003,000	150,691,000	168,641,000	180,037,000	187,854,000
4.00	127,118,000	154,990,000	174,809,000	188,082,000	197,366,000
4.25	128,737,000	158,745,000	180,036,000	195,713,000	206,237,000
4.50	130,036,000	162,086,000	184,907,000	202,640,000	214,415,000
4.75	130,655,000	165,173,000	189,257,000	208,663,000	222,027,000
5.00	131,111,000	167,785,000	193,195,000	214,109,000	229,451,000



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 100MW급PTC인천

(단위 : 원/kWh)

열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	2,517.63	1,721.67	2,025.97	2,328.93	2,639.90
1.25	1,550.65	1,391.89	1,614.13	1,835.94	2,059.26
1.50	1,221.30	1,192.06	1,365.81	1,539.99	1,713.68
1.75	1,092.49	1,074.23	1,209.10	1,352.06	1,495.00
2.00	1,027.76	1,008.49	1,098.25	1,217.39	1,338.59
2.25	997.88	971.77	1,031.80	1,123.60	1,228.90
2.50	981.21	949.23	992.72	1,056.21	1,143.02
2.75	991.59	938.15	965.41	1,011.15	1,078.50
3.00	1,013.47	936.37	947.02	984.65	1,032.44
3.25	1,035.62	941.29	938.22	964.83	1,001.87
3.50	1,068.63	951.85	933.23	949.14	982.04
3.75	1,103.58	965.75	933.08	938.78	966.06
4.00	1,139.34	984.70	937.39	935.07	952.09
4.25	1,181.01	1,006.05	944.92	933.28	943.20
4.50	1,224.67	1,030.68	956.36	934.83	938.49
4.75	1,272.24	1,055.26	969.68	938.72	936.60
5.00	1,320.34	1,081.84	984.55	944.40	936.65

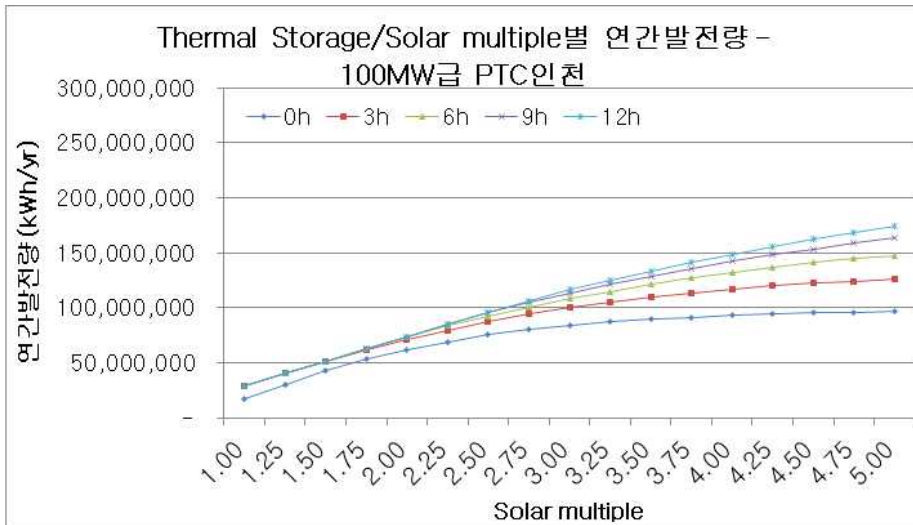




○ Thermalstorage/Solarmultiple별발전량 - 100MW급PTC인천

(단위:kWh/vr)

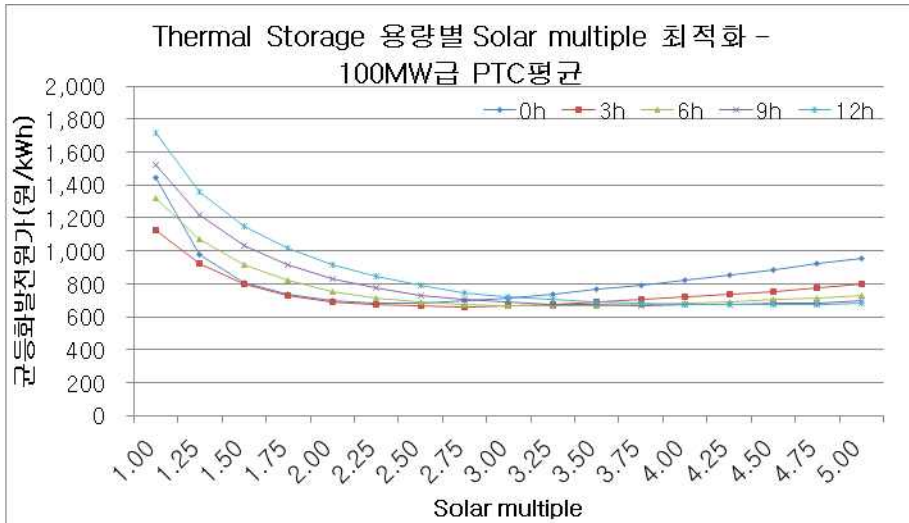
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	16,535,400	29,347,200	29,330,200	29,334,500	29,248,900
1.25	30,316,200	40,165,400	40,140,000	40,136,100	40,103,400
1.50	42,887,700	51,402,500	51,376,800	51,335,600	51,323,800
1.75	52,859,000	62,039,200	62,476,400	62,449,900	62,422,500
2.00	61,412,400	71,407,000	73,670,900	73,768,600	73,735,200
2.25	68,642,600	79,630,800	83,619,300	84,704,900	84,686,300
2.50	75,280,800	87,188,900	92,330,200	95,192,900	95,745,800
2.75	79,907,200	93,942,000	100,504,000	104,755,000	106,452,000
3.00	83,480,000	99,854,600	108,125,000	113,028,000	116,412,000
3.25	86,889,500	105,037,000	114,862,000	120,915,000	125,324,000
3.50	89,229,300	109,523,000	121,241,000	128,570,000	133,322,000
3.75	91,269,400	113,506,000	127,015,000	135,720,000	141,084,000
4.00	93,116,800	116,775,000	132,159,000	142,000,000	148,806,000
4.25	94,386,800	119,633,000	136,787,000	148,026,000	155,900,000
4.50	95,405,900	121,994,000	140,766,000	153,523,000	162,403,000
4.75	96,058,900	124,241,000	144,380,000	158,618,000	168,464,000
5.00	96,625,900	126,151,000	147,652,000	163,349,000	174,198,000



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 100MW급PTC평균

(단위 : 원/kWh)

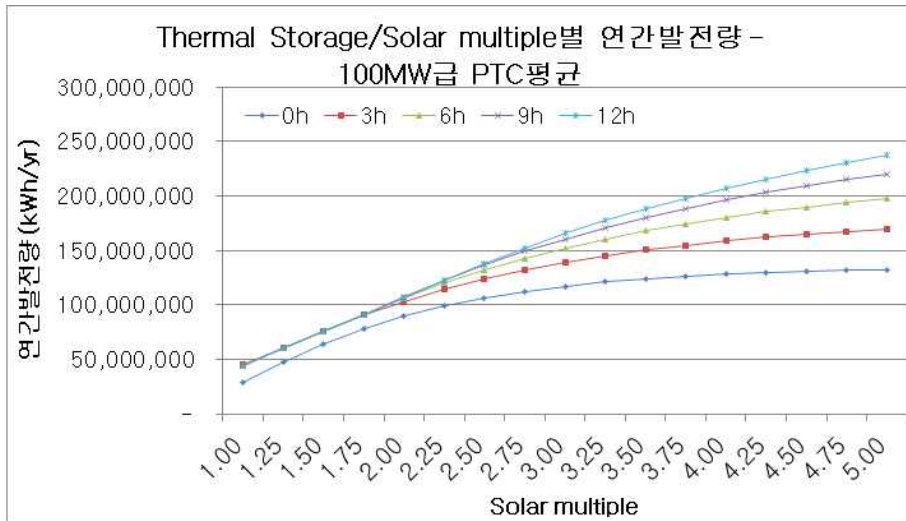
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,447.6358	1,123.7305	1,322.1333	1,520.5167	1,719.6751
1.25	978.1530	921.6255	1,068.3785	1,215.4482	1,362.6826
1.50	807.2321	801.3865	917.7879	1,034.2961	1,150.9559
1.75	738.4969	730.0036	820.8469	917.6731	1,014.4795
2.00	698.2087	692.2300	753.1232	834.2713	917.1720
2.25	686.0016	672.9784	712.4036	773.8218	845.6729
2.50	686.4750	663.9856	688.5976	730.9393	790.2975
2.75	698.9939	662.1616	674.9304	704.4604	748.6329
3.00	717.0273	666.6177	668.3580	688.7207	720.7103
3.25	738.7496	676.1810	666.8212	678.8684	702.3237
3.50	764.6419	688.6519	668.5927	673.2866	690.3285
3.75	792.5446	703.2782	673.3329	671.0679	682.5452
4.00	821.7712	719.4782	681.5057	671.8499	677.8858
4.25	853.2982	737.1050	691.6002	674.8203	675.7634
4.50	885.8138	756.3200	703.1503	679.6618	675.8955
4.75	920.9244	776.5054	716.1001	686.6668	677.8716
5.00	957.0762	797.7960	730.0481	695.4090	681.1651



○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 100MW급PTC평균

(단위:kWh/vr)

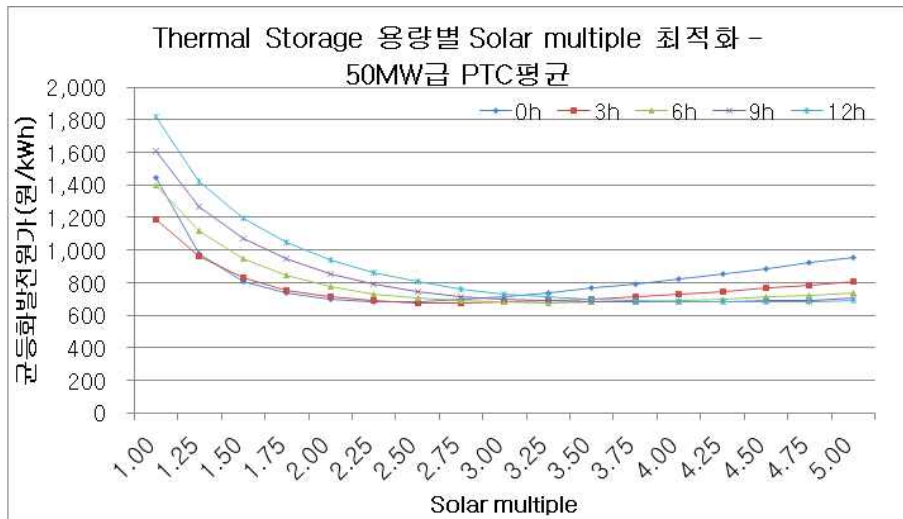
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	28,533,000	44,599,475	44,572,050	44,552,350	44,517,125
1.25	47,676,125	60,162,125	60,136,850	60,110,600	60,082,750
1.50	64,359,775	75,825,675	75,810,625	75,781,050	75,756,550
1.75	77,552,125	90,526,125	91,243,325	91,218,975	91,190,775
2.00	89,644,725	103,149,425	106,510,500	106,713,400	106,676,100
2.25	99,008,350	114,003,450	120,064,325	121,922,975	121,984,575
2.50	106,687,950	123,573,475	131,954,300	136,352,475	137,261,950
2.75	112,386,300	131,946,250	142,506,750	149,042,500	152,005,750
3.00	116,977,500	139,042,900	151,866,000	160,171,250	165,289,250
3.25	120,751,625	144,942,250	160,192,250	170,330,500	177,189,500
3.50	123,618,575	150,056,000	167,738,500	179,642,250	187,973,000
3.75	125,977,350	154,498,000	174,456,750	188,177,500	197,909,000
4.00	127,969,200	158,411,750	180,169,000	195,875,000	207,130,750
4.25	129,486,450	161,839,250	185,229,750	202,894,500	215,652,000
4.50	130,737,725	164,773,750	189,751,250	209,274,750	223,479,000
4.75	131,528,725	167,340,000	193,761,750	214,900,750	230,673,750
5.00	132,117,725	169,541,000	197,345,250	219,847,500	237,382,000



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 50MW급PTC평균

(단위 : 원/kWh)

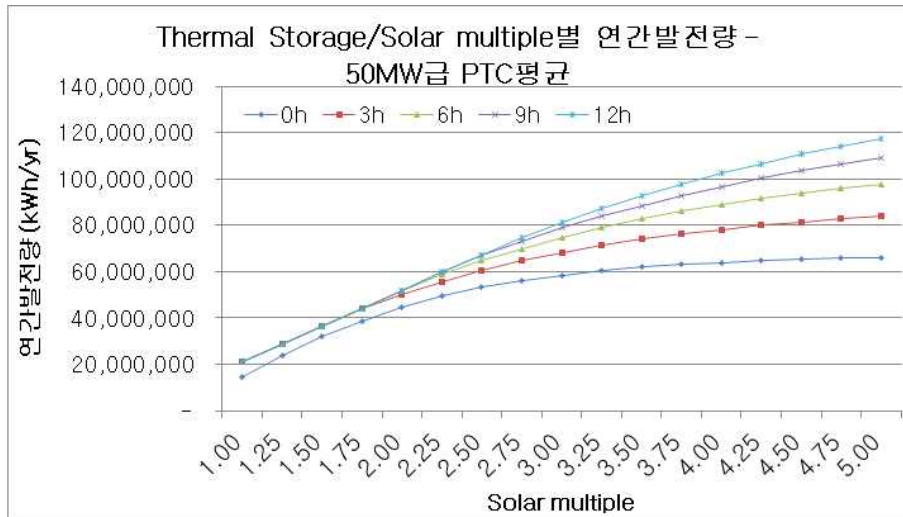
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,443.8731	1,189.5883	1,399.1939	1,609.3977	1,820.1706
1.25	975.9544	961.2421	1,114.3323	1,267.6154	1,421.0466
1.50	806.3535	830.1570	950.7579	1,071.6225	1,192.2586
1.75	738.5598	752.3779	845.8926	945.5471	1,045.4114
2.00	698.2504	711.3455	773.7540	856.9790	942.0159
2.25	685.8102	688.9793	728.5446	791.4671	865.0200
2.50	686.3998	678.3745	702.9742	746.1344	806.5823
2.75	699.2937	675.7682	688.0903	717.6739	762.6628
3.00	717.3662	679.0205	680.0248	700.3176	732.6626
3.25	739.1771	687.5848	677.6189	689.6510	713.2287
3.50	765.0856	699.2958	679.0967	683.4390	700.4989
3.75	793.0970	713.6634	683.1372	680.5099	692.0917
4.00	822.4294	729.5439	690.7095	680.6458	686.6542
4.25	853.9841	746.6885	700.3816	682.9124	683.9577
4.50	886.5363	765.3798	711.5870	687.4965	683.6903
4.75	921.7626	785.7113	724.3152	694.3657	685.3684
5.00	958.0310	806.4573	737.9393	702.6229	688.2441



○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 50MW급PTC평균

(단위:kWh/vr)

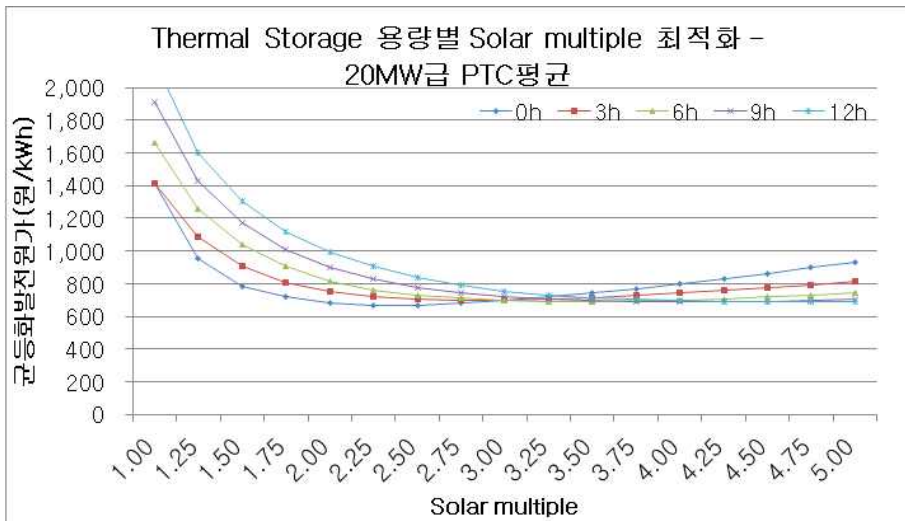
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	14,314,513	21,073,950	21,066,075	21,052,425	21,035,350
1.25	23,902,450	28,852,150	28,842,475	28,830,750	28,818,550
1.50	32,234,350	36,617,750	36,607,300	36,590,200	36,579,200
1.75	38,801,000	43,944,750	44,295,525	44,281,500	44,266,250
2.00	44,857,025	50,218,100	51,862,250	51,967,225	51,953,500
2.25	49,548,400	55,715,750	58,737,925	59,635,325	59,658,275
2.50	53,387,800	60,514,625	64,664,925	66,829,750	67,277,650
2.75	56,213,800	64,691,050	69,936,100	73,185,525	74,645,750
3.00	58,512,000	68,305,350	74,676,275	78,804,125	81,339,100
3.25	60,390,275	71,322,250	78,873,675	83,886,625	87,291,350
3.50	61,821,150	73,938,200	82,625,750	88,547,875	92,681,475
3.75	62,997,400	76,183,325	86,037,550	92,844,575	97,649,825
4.00	63,990,450	78,177,375	88,944,500	96,733,150	102,303,625
4.25	64,746,175	79,943,900	91,520,675	100,313,875	106,602,775
4.50	65,368,525	81,472,975	93,824,050	103,520,775	110,541,825
4.75	65,761,125	82,756,025	95,854,050	106,334,100	114,151,350
5.00	66,052,900	83,931,200	97,695,200	108,869,375	117,545,950



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 20MW급PTC평균

(단위 : 원/kWh)

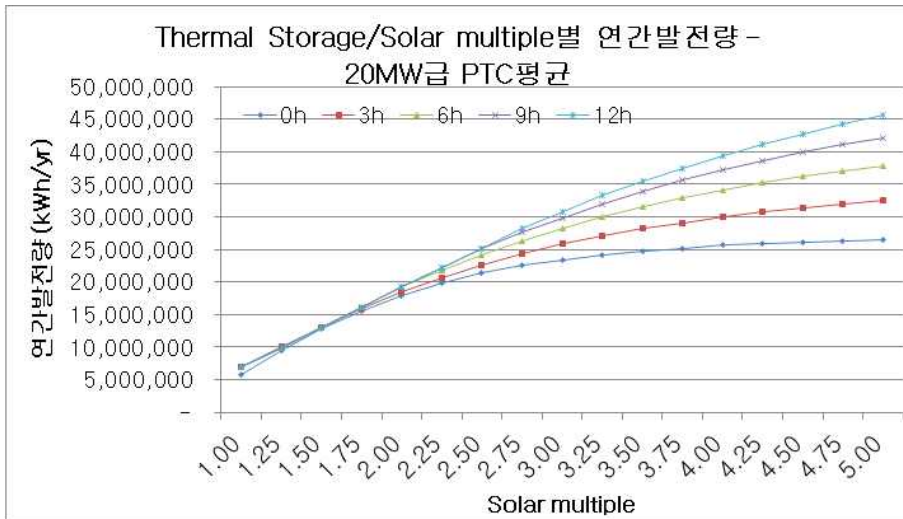
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,409.8219	1,415.0941	1,663.7589	1,913.1221	2,162.5124
1.25	952.3878	1,084.7063	1,256.7557	1,428.8909	1,601.4480
1.50	786.5291	909.0781	1,040.8664	1,172.4007	1,304.2469
1.75	720.1373	805.6034	905.9640	1,012.5063	1,119.2398
2.00	680.6237	750.2006	815.5767	903.5259	992.9841
2.25	668.3247	723.7774	763.3327	829.3747	906.3716
2.50	668.7515	707.7708	731.3713	775.5844	838.8393
2.75	681.1826	700.4183	711.5621	741.3116	787.8428
3.00	698.6711	700.2627	699.6290	719.3369	752.4213
3.25	719.8079	705.5910	694.1695	705.6431	729.3112
3.50	744.9403	714.8111	692.9084	696.3760	713.1635
3.75	772.1239	727.3910	694.6779	691.5331	702.4292
4.00	800.5963	741.1122	700.4404	689.6077	695.4562
4.25	831.2342	756.8377	709.0086	690.3133	691.0520
4.50	862.8454	773.9181	718.9144	693.3183	689.2378
4.75	897.0604	792.0860	729.9760	698.2168	689.3308
5.00	932.2891	811.9655	742.9405	705.7653	691.3651



○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 20MW급PTC평균

(단위:kWh/vr)

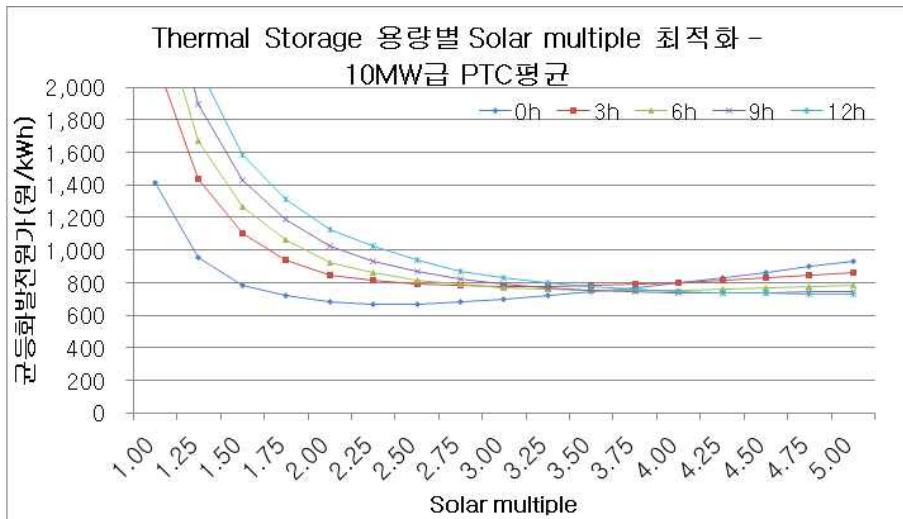
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	5,725,805	6,913,075	6,909,033	6,903,520	6,899,193
1.25	9,561,055	9,973,340	9,970,480	9,967,710	9,962,910
1.50	12,893,770	13,039,185	13,033,325	13,031,605	13,025,563
1.75	15,520,400	15,999,350	16,117,025	16,110,250	16,103,825
2.00	17,942,825	18,558,500	19,170,375	19,199,475	19,194,200
2.25	19,819,375	20,666,700	21,838,975	22,164,550	22,170,850
2.50	21,355,125	22,597,125	24,209,175	25,036,875	25,187,775
2.75	22,485,550	24,312,725	26,338,375	27,588,500	28,132,500
3.00	23,404,800	25,796,850	28,264,775	29,870,800	30,833,100
3.25	24,156,100	27,066,725	29,978,775	31,917,925	33,229,950
3.50	24,728,450	28,166,225	31,527,750	33,829,650	35,434,325
3.75	25,198,950	29,102,675	32,938,050	35,563,950	37,447,100
4.00	25,596,175	29,961,075	34,142,525	37,161,875	39,311,500
4.25	25,898,475	30,704,050	35,190,400	38,623,925	41,060,475
4.50	26,147,400	31,364,400	36,145,875	39,950,050	42,670,925
4.75	26,304,425	31,952,300	37,016,675	41,152,825	44,164,400
5.00	26,421,150	32,445,300	37,764,500	42,177,000	45,532,200



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 10MW급PTC평균

(단위 : 원/kWh)

열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,409.8232	2,173.8569	2,556.7031	2,940.3364	3,324.8207
1.25	952.3928	1,438.1786	1,667.1644	1,896.3230	2,125.7628
1.50	786.5322	1,106.2364	1,266.6792	1,427.2441	1,587.6637
1.75	720.1370	941.6724	1,059.7778	1,184.3468	1,308.9465
2.00	680.6243	849.4696	923.4217	1,023.2065	1,124.4776
2.25	668.3242	816.8047	858.7211	934.0835	1,020.8910
2.50	668.7507	793.6164	816.1111	865.6523	936.9204
2.75	681.1815	780.2652	788.7983	820.1083	872.2402
3.00	698.6692	775.7646	771.4702	791.3855	827.3670
3.25	719.8076	776.5284	760.4492	771.2905	796.3544
3.50	744.9397	781.2521	753.8975	756.1415	773.5222
3.75	772.1228	790.2069	751.0770	746.2865	757.3455
4.00	800.5962	801.0370	752.8973	740.6574	746.3131
4.25	831.2342	814.2750	758.8186	738.7084	738.5225
4.50	862.8444	828.5962	766.2509	739.0279	734.0739
4.75	897.0590	845.3032	775.9296	741.7600	731.8258
5.00	932.2905	863.8676	786.6996	747.0152	731.6616

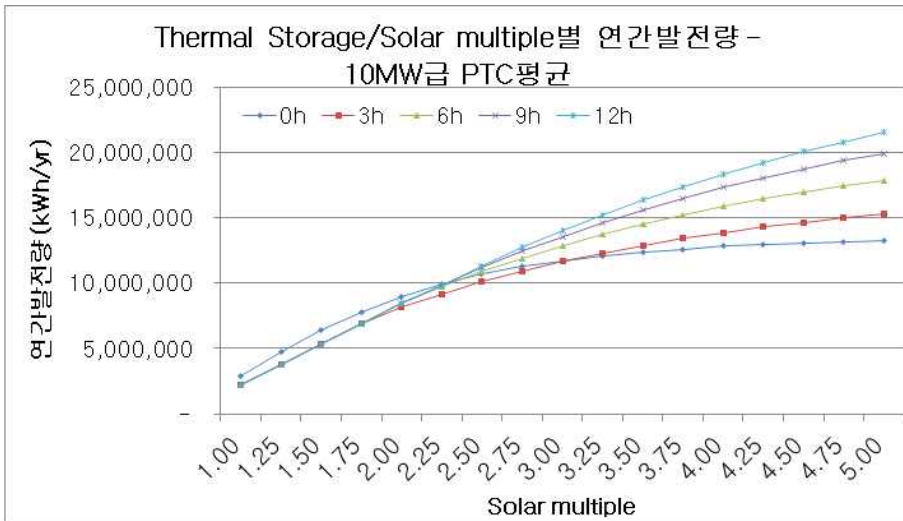




○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 10MW급PTC평균

(단위:kWh/vr)

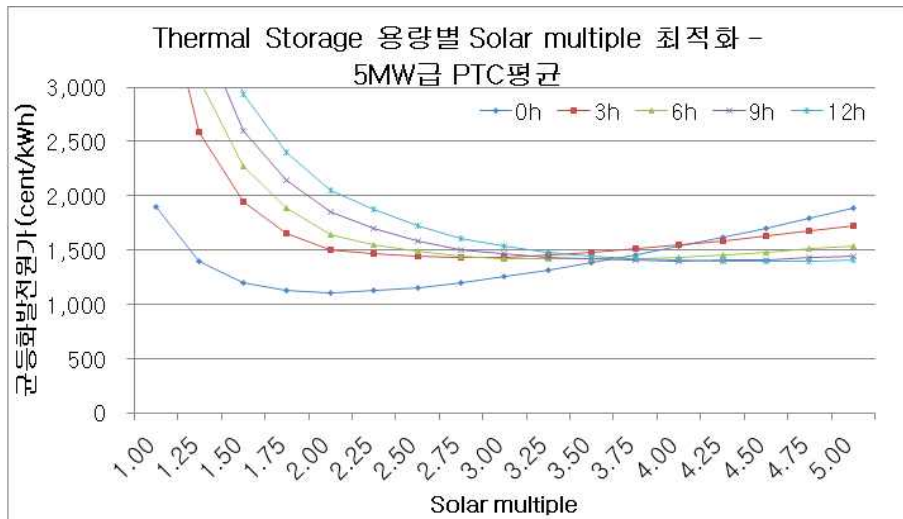
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	2,862,900	2,250,068	2,248,005	2,245,879	2,243,668
1.25	4,780,503	3,761,058	3,758,015	3,755,365	3,752,790
1.50	6,446,860	5,357,643	5,354,928	5,352,365	5,350,173
1.75	7,760,203	6,843,745	6,888,918	6,886,383	6,884,943
2.00	8,971,405	8,194,878	8,465,748	8,476,893	8,474,840
2.25	9,909,695	9,156,468	9,706,530	9,839,975	9,841,908
2.50	10,677,575	10,076,395	10,847,725	11,215,940	11,275,503
2.75	11,242,793	10,912,365	11,879,710	12,468,888	12,705,210
3.00	11,702,433	11,643,075	12,816,345	13,575,665	14,020,068
3.25	12,078,055	12,297,063	13,682,933	14,600,635	15,216,200
3.50	12,364,235	12,885,425	14,488,603	15,577,875	16,334,675
3.75	12,599,493	13,394,608	15,232,350	16,477,350	17,365,875
4.00	12,798,090	13,859,858	15,881,850	17,300,250	18,316,325
4.25	12,949,238	14,269,125	16,440,225	18,046,775	19,210,600
4.50	13,073,715	14,647,350	16,956,450	18,739,550	20,032,325
4.75	13,152,233	14,970,350	17,412,200	19,368,525	20,799,950
5.00	13,210,555	15,247,975	17,831,950	19,924,000	21,512,250



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 5MW급PTC평균

(단위 : 원/kWh)

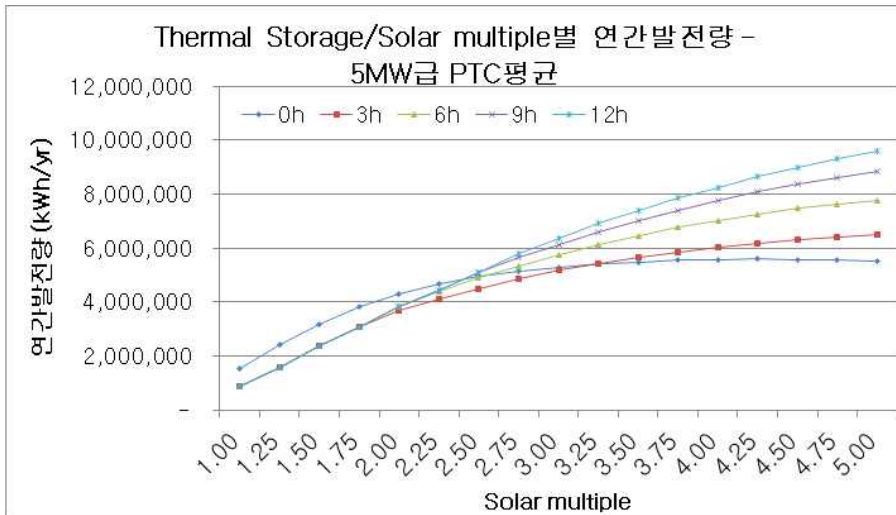
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,898.0022	4,196.6747	5,098.4514	5,999.3026	6,905.1562
1.25	1,395.0505	2,585.5606	3,074.5379	3,564.7112	4,054.5384
1.50	1,196.8660	1,944.1350	2,273.4263	2,603.3724	2,933.9989
1.75	1,128.4473	1,653.8297	1,891.6060	2,143.4426	2,395.6733
2.00	1,111.0362	1,501.4507	1,647.5469	1,846.7595	2,049.5570
2.25	1,124.9723	1,464.9105	1,548.7450	1,697.6319	1,871.0743
2.50	1,157.2365	1,441.2112	1,485.3010	1,581.7384	1,722.7459
2.75	1,202.5370	1,430.8161	1,445.7439	1,506.4100	1,607.8897
3.00	1,257.2396	1,437.4696	1,425.2038	1,462.0263	1,531.9056
3.25	1,318.8635	1,453.7980	1,416.2746	1,434.6565	1,482.5213
3.50	1,384.3068	1,478.2328	1,415.0813	1,415.4003	1,448.0006
3.75	1,455.4165	1,509.9540	1,420.7245	1,405.1541	1,425.0230
4.00	1,533.1222	1,545.0572	1,434.3788	1,402.9583	1,410.7461
4.25	1,614.0035	1,584.6006	1,455.8791	1,405.4651	1,401.7171
4.50	1,699.5202	1,625.5686	1,479.6869	1,413.1755	1,399.7190
4.75	1,791.0506	1,672.4870	1,508.0680	1,427.1093	1,401.6380
5.00	1,887.8937	1,725.9040	1,540.0617	1,445.5208	1,407.7514



○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 5MW급PTC평균

(단위:kWh/vr)

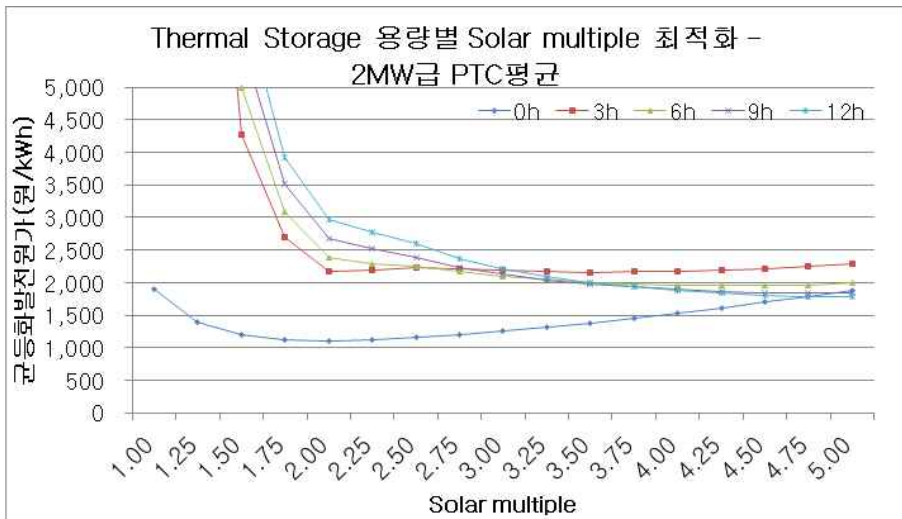
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,512,753	868,857	867,107	866,017	864,658
1.25	2,396,588	1,592,870	1,591,476	1,589,932	1,589,021
1.50	3,187,920	2,361,263	2,359,965	2,358,403	2,356,818
1.75	3,799,615	3,061,238	3,085,928	3,084,735	3,083,498
2.00	4,284,125	3,686,380	3,829,640	3,835,965	3,834,340
2.25	4,650,755	4,100,640	4,378,813	4,451,058	4,452,443
2.50	4,929,090	4,495,328	4,883,735	5,075,688	5,109,868
2.75	5,136,038	4,857,975	5,343,940	5,642,928	5,768,528
3.00	5,288,115	5,163,950	5,752,245	6,137,178	6,362,865
3.25	5,399,028	5,430,723	6,121,888	6,583,365	6,893,298
3.50	5,484,863	5,660,358	6,460,708	7,006,513	7,383,708
3.75	5,541,290	5,854,138	6,767,378	7,393,618	7,834,095
4.00	5,568,400	6,026,723	7,032,125	7,741,730	8,248,060
4.25	5,581,890	6,174,290	7,252,583	8,063,863	8,638,028
4.50	5,578,835	6,309,138	7,454,980	8,353,973	8,987,678
4.75	5,557,350	6,414,453	7,627,765	8,603,253	9,312,230
5.00	5,522,370	6,489,493	7,775,555	8,820,305	9,607,185



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 2MW급PTC평균

(단위 : 원/kWh)

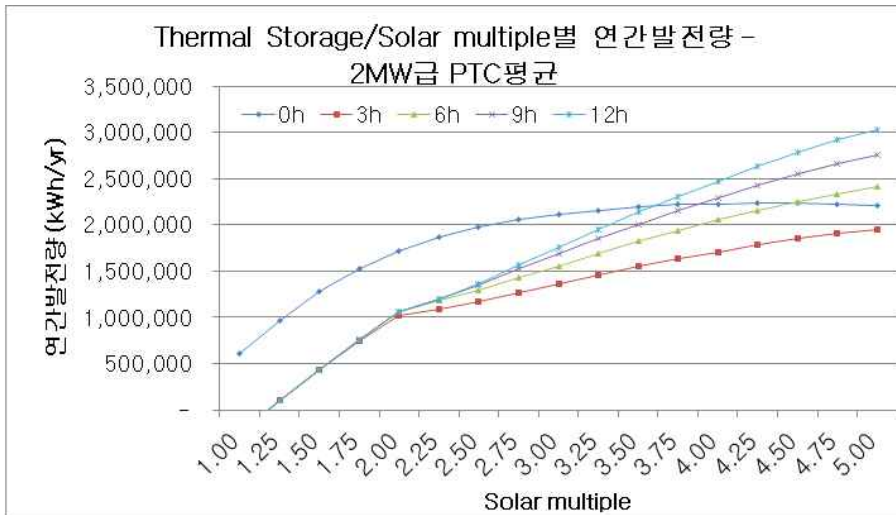
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,898.0017				
1.25	1,395.0439	11,394.3451	13,537.3753	15,680.4054	17,824.8372
1.50	1,196.8674	4,262.9173	4,982.2172	5,701.5172	6,421.2877
1.75	1,128.4444	2,696.2940	3,094.8571	3,506.0989	3,918.0190
2.00	1,111.0362	2,165.3904	2,388.0510	2,680.2778	2,973.7468
2.25	1,124.9704	2,198.6772	2,296.3815	2,523.8074	2,782.7849
2.50	1,157.2356	2,228.1494	2,243.2846	2,380.7672	2,595.8267
2.75	1,202.5385	2,203.6138	2,163.9233	2,226.7110	2,376.2531
3.00	1,257.2402	2,188.9279	2,103.3019	2,124.9712	2,212.4422
3.25	1,318.8626	2,172.0366	2,053.9777	2,045.6243	2,093.8943
3.50	1,384.3053	2,157.4497	2,005.9419	1,977.4691	2,000.4047
3.75	1,455.4172	2,166.0561	1,983.2614	1,934.4010	1,936.5631
4.00	1,533.1205	2,178.9283	1,964.5203	1,896.2037	1,882.9356
4.25	1,614.0042	2,194.4441	1,956.1027	1,869.7653	1,842.8981
4.50	1,699.5194	2,220.0497	1,956.8246	1,851.3806	1,811.7088
4.75	1,791.0466	2,257.4786	1,969.2098	1,845.7348	1,792.6363
5.00	1,887.8963	2,296.9052	1,989.2454	1,849.0275	1,782.3706



○ Thermalstorage/Solarmultiple별발전량 - 2MW급PTC평균

(단위:kWh/vr)

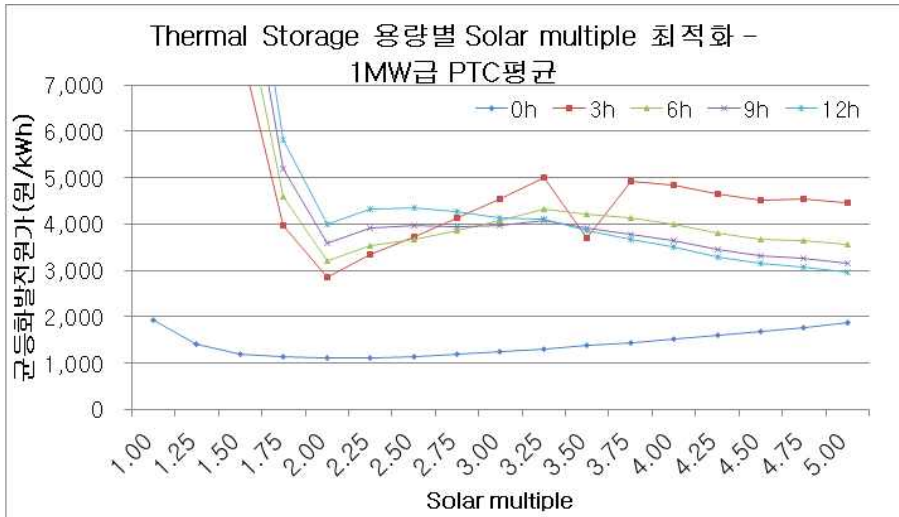
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	605,101				
1.25	958,640	108,434	108,434	108,434	108,434
1.50	1,275,167	430,749	430,749	430,749	430,749
1.75	1,519,850	751,070	754,459	754,337	754,162
2.00	1,713,650	1,022,433	1,056,847	1,057,220	1,057,077
2.25	1,860,305	1,092,852	1,181,278	1,197,597	1,197,484
2.50	1,971,638	1,163,067	1,293,428	1,348,878	1,356,486
2.75	2,054,413	1,261,722	1,428,141	1,527,017	1,561,308
3.00	2,115,245	1,356,467	1,559,096	1,689,005	1,762,271
3.25	2,159,613	1,453,967	1,688,485	1,846,843	1,952,240
3.50	2,193,948	1,551,337	1,823,069	2,006,003	2,137,890
3.75	2,216,515	1,632,364	1,939,145	2,148,298	2,305,893
4.00	2,227,363	1,709,397	2,053,780	2,291,173	2,471,868
4.25	2,232,755	1,783,374	2,159,168	2,424,578	2,628,050
4.50	2,231,535	1,847,875	2,254,885	2,550,665	2,777,538
4.75	2,222,945	1,900,898	2,336,610	2,660,790	2,912,443
5.00	2,208,945	1,950,493	2,407,915	2,758,193	3,035,178



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 1MW급PTC평균

(단위 : 원/kWh)

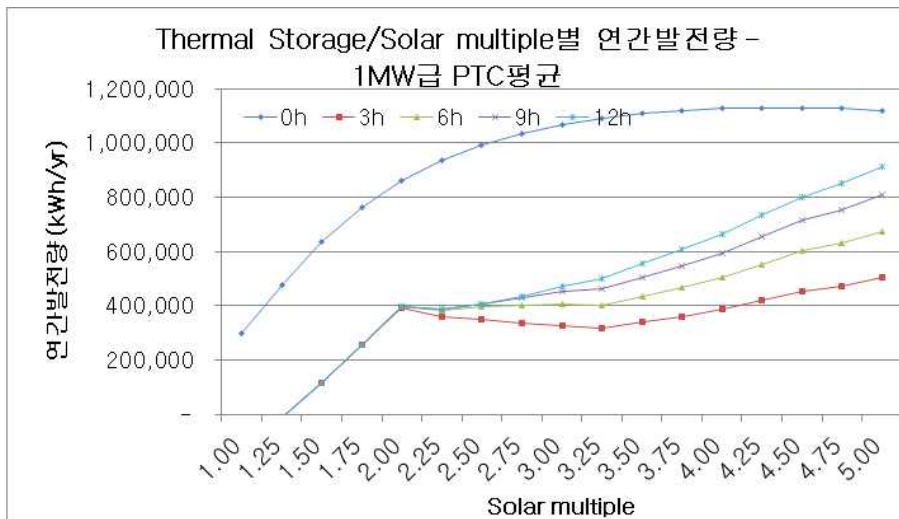
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1,923.3209				
1.25	1,403.1233				
1.50	1,199.6422	7,830.9693	9,152.3217	10,473.6741	11,795.8907
1.75	1,127.9482	3,979.4342	4,589.5066	5,198.5152	5,807.9221
2.00	1,107.0696	2,839.1748	3,198.6613	3,591.3482	3,984.0351
2.25	1,120.3297	3,334.6492	3,531.1764	3,924.1156	4,326.3775
2.50	1,151.0151	3,716.2720	3,673.3787	3,957.8379	4,335.3176
2.75	1,194.1292	4,132.0324	3,857.6633	3,953.5155	4,256.6942
3.00	1,247.8005	4,538.8881	4,064.3234	3,977.8535	4,136.4705
3.25	1,307.4704	4,994.1229	4,317.6241	4,087.9861	4,099.1060
3.50	1,371.5574	3,702.1238	4,203.6400	3,916.7930	3,850.2182
3.75	1,441.3456	4,908.0341	4,122.9186	3,787.7220	3,666.0521
4.00	1,517.0513	4,840.4824	4,004.1448	3,648.6103	3,499.6887
4.25	1,596.2611	4,650.1776	3,817.4856	3,462.5385	3,295.9765
4.50	1,680.1597	4,509.3773	3,674.0972	3,310.6281	3,141.9472
4.75	1,769.3742	4,537.6886	3,648.6828	3,257.9916	3,072.7595
5.00	1,864.2970	4,457.2995	3,559.5953	3,155.5377	2,964.7155



○ Thermalstorage/Solarmultiple별발전량 - 1MW급PTC평균

(단위:kWh/vr)

열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	298,568				
1.25	476,560				
1.50	636,109	117,243	117,243	117,243	117,243
1.75	760,259	254,447	254,379	254,379	254,379
2.00	859,895	389,896	394,510	394,510	394,510
2.25	934,006	360,282	384,102	385,119	385,119
2.50	991,147	348,668	394,940	405,697	406,107
2.75	1,034,440	336,438	400,552	430,026	435,792
3.00	1,065,624	327,085	403,419	451,134	471,286
3.25	1,089,215	316,179	401,622	462,079	498,619
3.50	1,107,170	339,021	434,977	506,385	555,377
3.75	1,119,077	360,204	466,397	548,571	609,035
4.00	1,125,478	384,740	503,815	595,368	664,969
4.25	1,128,787	420,792	553,185	654,634	734,718
4.50	1,128,624	454,872	600,476	713,196	800,792
4.75	1,125,087	472,844	630,539	753,703	849,554
5.00	1,118,454	502,557	672,820	808,099	912,366

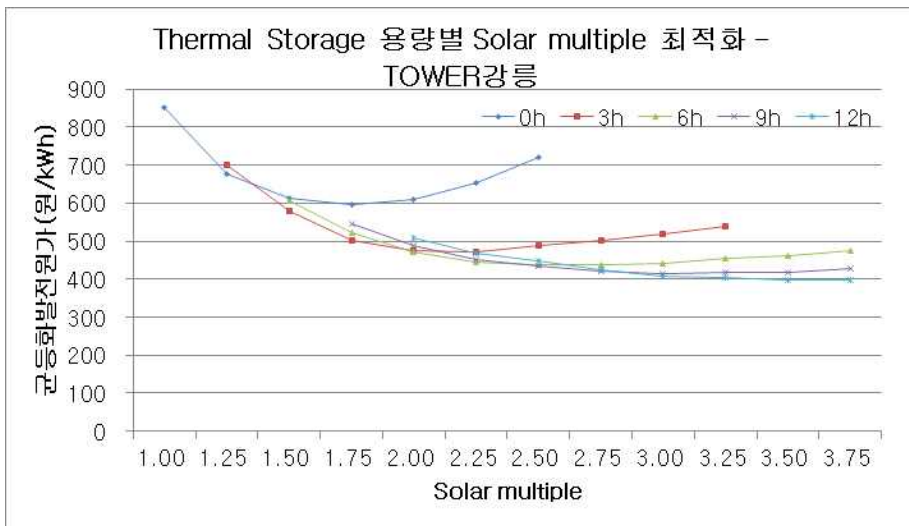


## 1.2 Tower

- Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 100MW타워강릉

(단위 : 원/kWh)

열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	850.9903				
1.25	675.9485	699.6036			
1.50	613.2549	578.5098	606.5508		
1.75	595.0222	502.0054	520.7673	543.9495	
2.00	608.9018	475.0028	469.8943	488.7844	508.3302
2.25	651.5154	472.6021	443.1798	451.3266	468.0461
2.50	719.1437	488.1476	439.0318	433.3782	446.8187
2.75		500.2466	438.6460	420.5473	423.9385
3.00		517.1118	442.6833	413.1041	407.4072
3.25		537.9424	453.3093	416.3586	403.0455
3.50			461.6241	418.3273	397.2843
3.75			476.1438	426.7669	398.7624

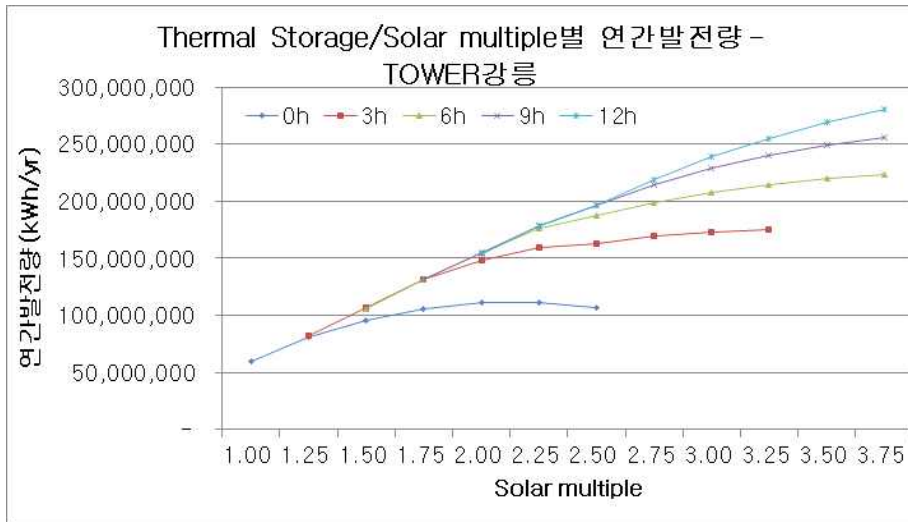




○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 100MW급타워강릉

(단위:kWh/vr)

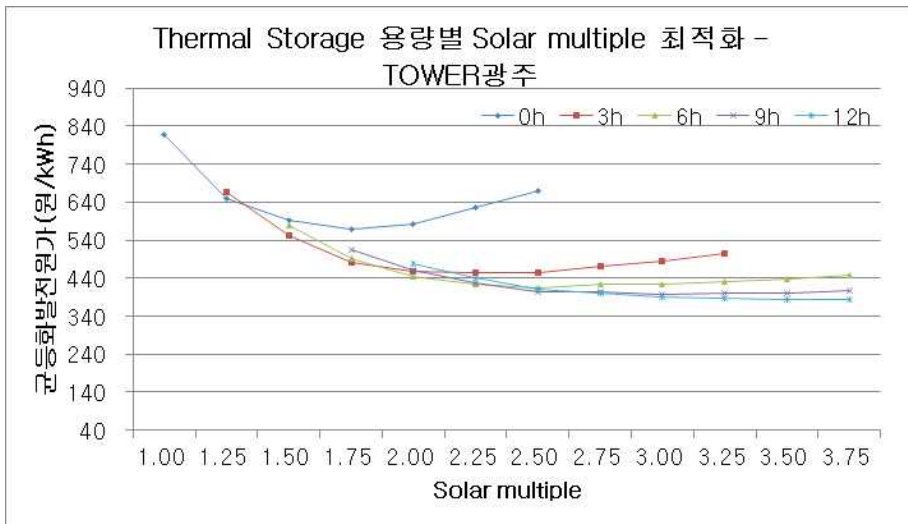
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	59,847,368				
1.25	81,311,040	82,443,064			
1.50	95,934,840	106,390,416	105,965,416		
1.75	106,009,216	131,060,768	131,553,184	130,957,224	
2.00	110,897,680	147,875,296	155,283,184	154,837,344	154,245,376
2.25	111,202,216	159,067,152	175,754,512	178,598,448	178,041,776
2.50	106,901,664	163,051,152	187,500,208	196,211,856	196,409,536
2.75		169,153,600	199,098,848	214,148,144	218,840,240
3.00		172,512,672	207,651,200	229,092,624	238,986,016
3.25		175,344,064	214,071,040	239,615,328	254,267,264
3.50			219,960,384	249,217,264	269,252,480
3.75			223,722,256	255,969,616	280,780,896



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 100MW타워광주

(단위 : 원/kWh)

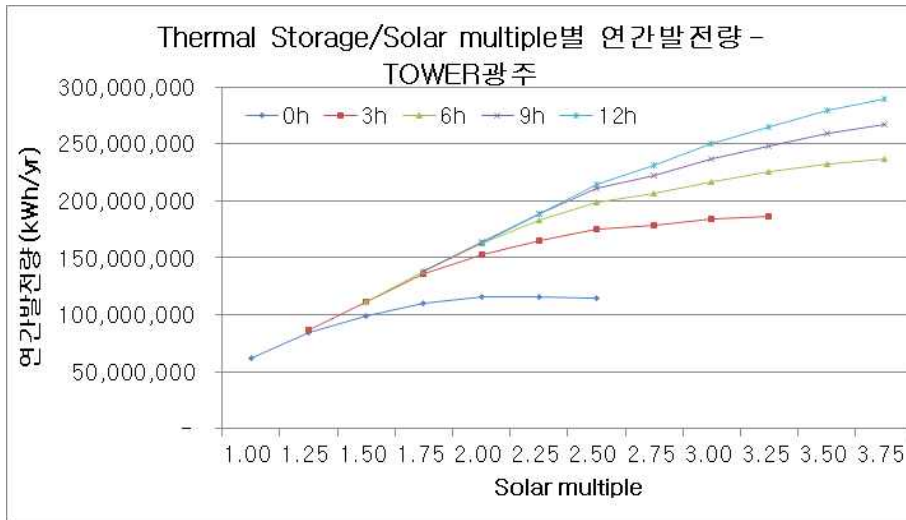
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	816.3878				
1.25	648.8807	664.7800			
1.50	593.2526	552.7880	579.8659		
1.75	569.8366	482.8517	492.8424	514.2784	
2.00	582.0485	458.6097	445.6283	460.5587	478.5373
2.25	624.6223	454.0453	425.1563	426.4538	440.8655
2.50	669.7432	453.9242	414.8351	404.1058	410.2676
2.75		472.5631	422.5337	403.7059	401.2948
3.00		484.7659	422.5416	398.3421	388.8757
3.25		503.9262	430.3560	401.1217	386.0232
3.50			436.3126	401.4343	382.1149
3.75			449.0028	407.9980	385.1901



○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 100MW급타워광주

(단위:kWh/vr)

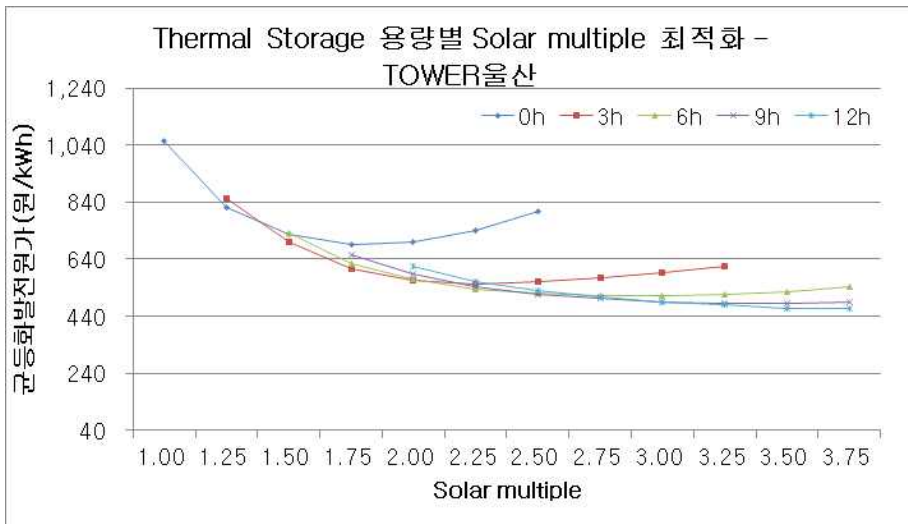
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	62,408,816				
1.25	84,218,848	86,289,256			
1.50	99,203,568	111,377,520	110,876,792		
1.75	110,303,432	135,819,024	138,575,376	138,099,024	
2.00	115,561,432	152,608,784	163,147,744	163,776,672	163,297,952
2.25	115,649,384	165,099,616	182,704,752	188,516,240	188,535,936
2.50	114,786,760	175,344,352	198,436,800	210,424,912	213,907,808
2.75		178,591,200	206,163,424	222,529,632	230,633,216
3.00		183,605,504	217,069,904	237,099,184	249,853,568
3.25		186,697,632	224,947,136	248,111,072	264,875,936
3.50			231,815,104	258,745,648	278,933,824
3.75			236,591,264	267,049,456	289,911,520



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 100MW타워울산

(단위 : 원/kWh)

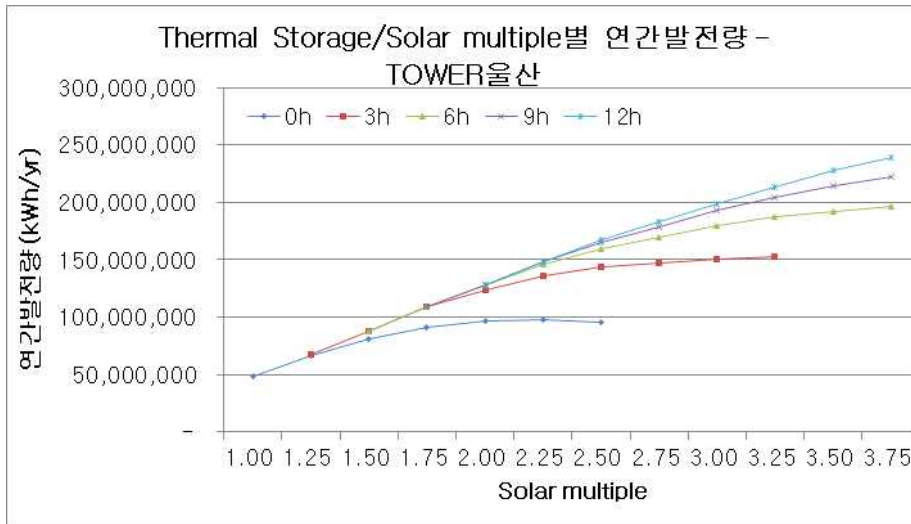
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1052.3179				
1.25	820.8188	854.1105			
1.50	724.6969	698.9084	732.4442		
1.75	689.2328	604.9321	625.8404	653.6307	
2.00	701.0020	567.6350	567.9319	588.9488	612.9924
2.25	741.0412	552.6207	533.1847	541.5088	560.8485
2.50	808.8190	558.8364	518.5896	517.9764	528.6943
2.75		574.0212	513.8974	502.2297	507.4312
3.00		590.2191	509.8269	488.2782	488.5297
3.25		616.7069	517.9898	486.4347	479.1881
3.50			526.7234	484.2272	468.6200
3.75			541.9740	489.5157	467.4368



○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 100MW급타워울산

(단위:kWh/vr)

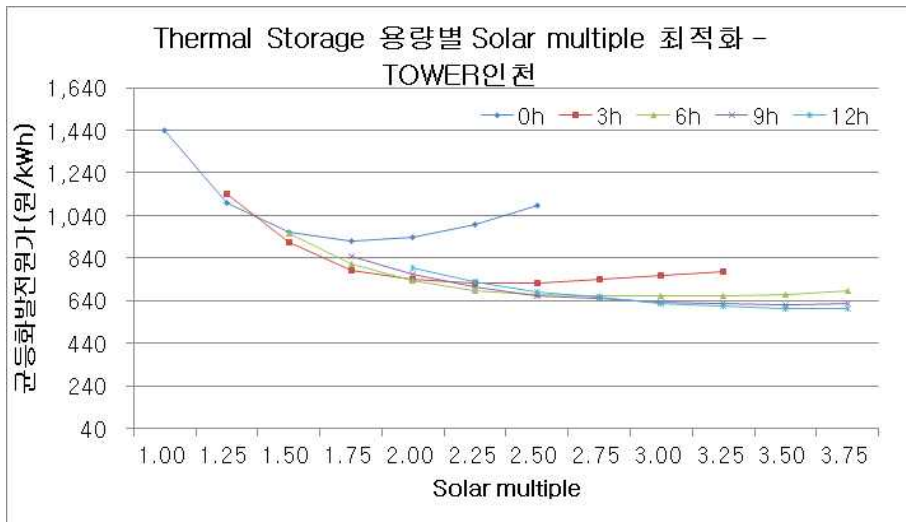
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	48,407,104				
1.25	66,799,592	67,386,920			
1.50	81,210,200	88,091,888	87,779,624		
1.75	91,210,200	108,409,584	109,142,776	108,656,680	
2.00	96,211,896	123,600,752	128,335,160	128,366,016	127,777,328
2.25	97,590,040	135,777,808	145,839,024	148,611,664	148,328,656
2.50	95,713,192	143,387,280	159,751,392	165,202,368	166,989,360
2.75		147,060,576	169,569,632	178,915,712	182,452,896
3.00		150,852,592	179,985,808	193,490,064	198,969,488
3.25		152,637,328	186,968,688	204,700,416	213,462,672
3.50			192,274,688	214,756,544	227,703,344
3.75			196,118,144	222,681,968	239,030,880



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 100MW타워인천

(단위 : 원/kWh)

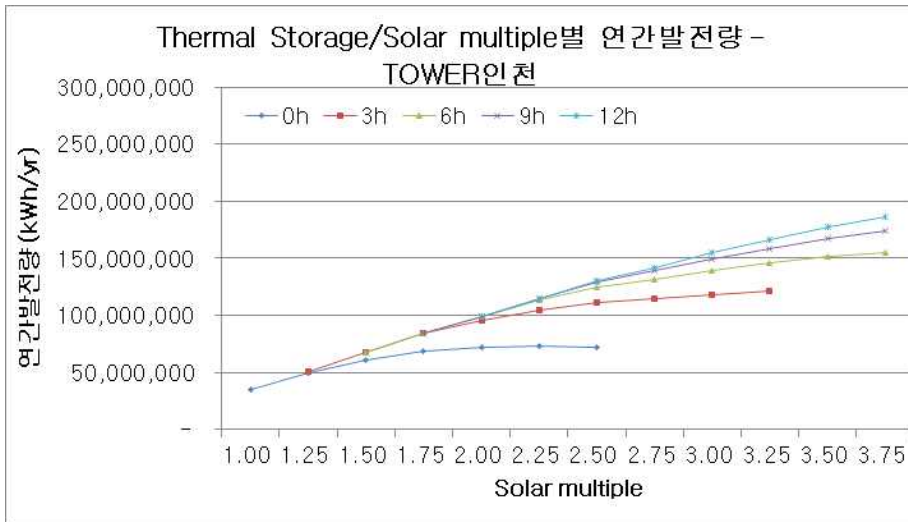
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1442.4893				
1.25	1100.4647	1138.8483			
1.50	964.1416	912.9543	958.3734		
1.75	918.5816	783.3444	810.7701	846.3839	
2.00	938.8794	737.7019	734.0525	762.6847	793.2839
2.25	997.2916	720.1770	689.1514	702.0770	728.2829
2.50	1086.4186	722.1921	668.6477	665.9694	682.5339
2.75		739.4205	665.8966	648.1172	655.0719
3.00		756.7325	662.1930	631.6629	629.6928
3.25		779.4719	665.9100	628.9409	617.1035
3.50			669.7407	623.1800	603.6239
3.75			686.6190	626.6718	600.9366



○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 100MW급타워인천

(단위:kWh/vr)

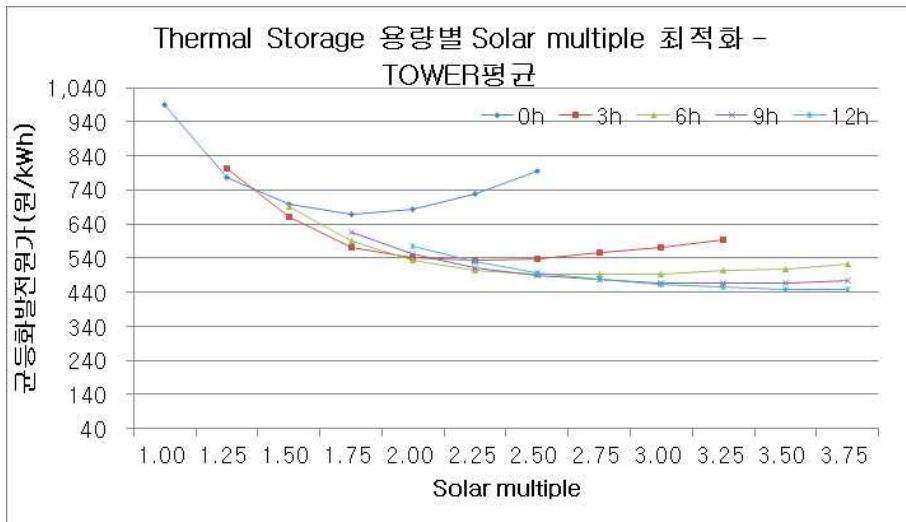
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	35,299,672				
1.25	49,944,428	50,645,428			
1.50	61,020,612	67,416,184	67,065,104		
1.75	68,503,280	83,796,136	84,323,224	83,983,328	
2.00	71,910,896	95,202,472	99,374,944	99,217,856	98,813,712
2.25	72,636,552	104,356,576	113,009,592	114,796,680	114,394,400
2.50	71,517,872	111,360,760	124,339,384	128,931,992	129,781,320
2.75		114,411,560	131,121,912	138,924,192	141,594,448
3.00		117,859,432	138,786,496	149,793,248	154,590,224
3.25		121,128,416	145,862,912	158,770,240	166,215,984
3.50			151,548,912	167,245,408	177,162,272
3.75			155,083,728	174,252,000	186,249,808



○ Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 100MW타워평균

(단위 : 원/kWh)

열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	989.1992				
1.25	777.2681	803.0075			
1.50	697.6646	659.6516	691.8031		
1.75	669.4313	571.9966	589.9058	615.9004	
2.00	683.6313	540.3949	533.7486	553.6158	575.7137
2.25	728.9376	532.2105	504.1387	510.7987	529.0827
2.50	794.1703	539.0600	493.4449	487.3254	498.3614
2.75		554.8570	494.2249	476.8502	479.1901
3.00		570.4561	494.0324	467.1935	461.8634
3.25		592.8769	502.4646	468.4216	455.6974
3.50			509.6247	467.8148	448.2445
3.75			524.3628	474.3722	449.1005

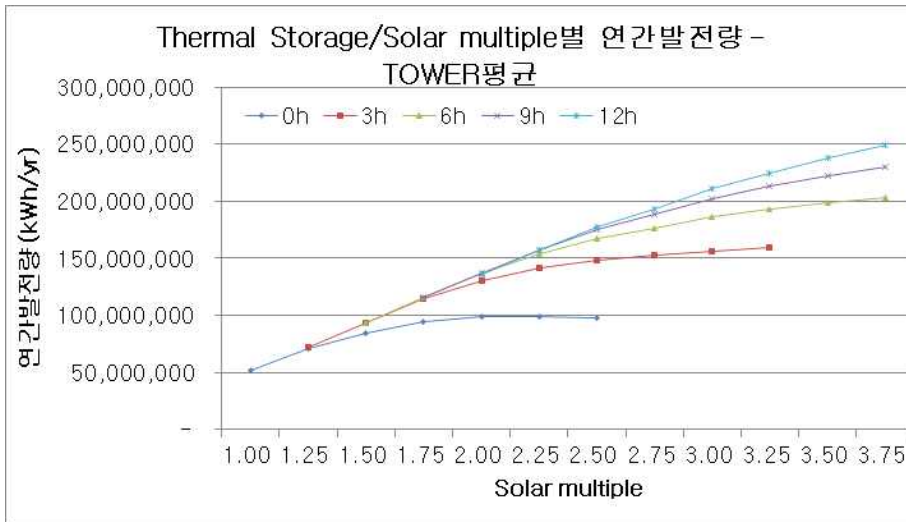




○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 100MW급타워평균

(단위:kWh/vr)

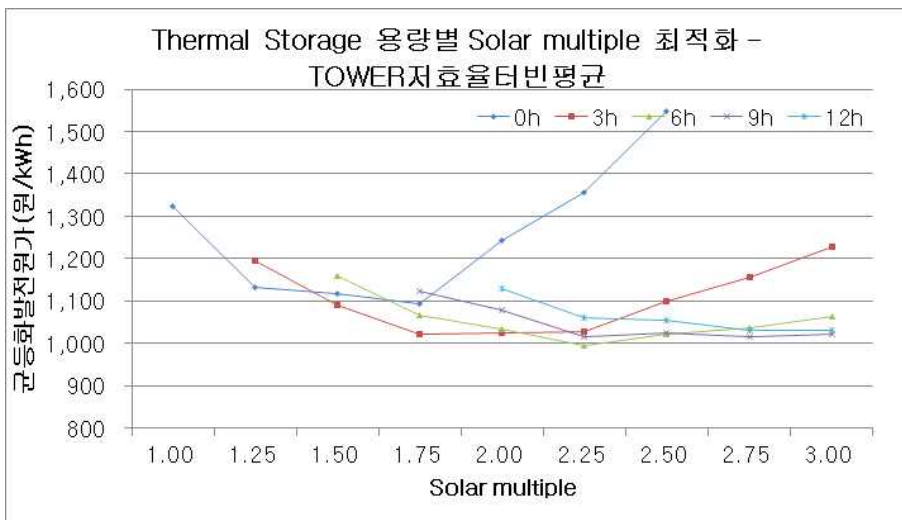
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	51,490,740				
1.25	70,568,477	71,691,167			
1.50	84,342,305	93,319,002	92,921,734		
1.75	94,006,532	114,771,378	115,898,640	115,424,064	
2.00	98,645,476	129,821,826	136,535,258	136,549,472	136,033,592
2.25	99,269,548	141,075,288	154,326,970	157,630,758	157,325,192
2.50	97,229,872	148,285,886	167,506,946	175,192,782	176,772,006
2.75		152,304,234	176,488,454	188,629,420	193,380,200
3.00		156,207,550	185,873,352	202,368,780	210,599,824
3.25		158,951,860	192,962,444	212,799,264	224,705,464
3.50			198,899,772	222,491,216	238,262,980
3.75			202,878,848	229,988,260	248,993,276



- Thermal storage/Solar multiple별 균등화발전원가 - 저효율터빈100MW 타워평균

(단위 : 원/kWh)

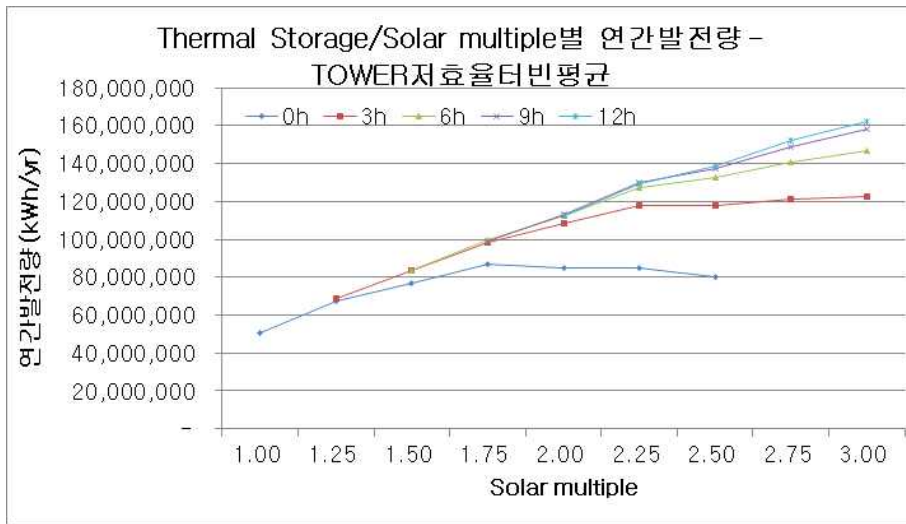
열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	1323.5186				
1.25	1131.3698	1193.8961			
1.50	1118.3035	1090.2754	1160.6976		
1.75	1094.6645	1022.4875	1066.0283	1124.8966	
2.00	1243.4934	1024.3995	1033.1236	1078.0614	1128.9802
2.25	1356.5648	1027.6954	994.8313	1016.6406	1060.6606
2.50	1546.5124	1100.7981	1022.3618	1024.6329	1053.3828
2.75		1156.4803	1037.3322	1014.6165	1030.6158
3.00		1227.1238	1065.0156	1020.8458	1030.2565



○ Thermalstorage/Solarmultiple별 발전량 - 100MW급타워평균

(단위:kWh/vr)

열매체저장 solar multiple	0h	3h	6h	9h	12h
1.00	50,782,588				
1.25	67,691,240	68,677,944			
1.50	76,880,928	83,819,848	83,395,728		
1.75	87,130,560	98,572,584	99,621,872	99,218,224	
2.00	84,866,576	108,299,080	112,621,600	112,945,824	112,644,168
2.25	85,179,568	117,702,288	127,029,176	129,626,056	129,347,328
2.50	80,456,680	117,948,744	132,290,024	137,277,232	138,666,848
2.75		121,232,352	140,372,896	148,848,192	151,787,248
3.00		122,757,632	146,523,024	158,162,784	161,969,680

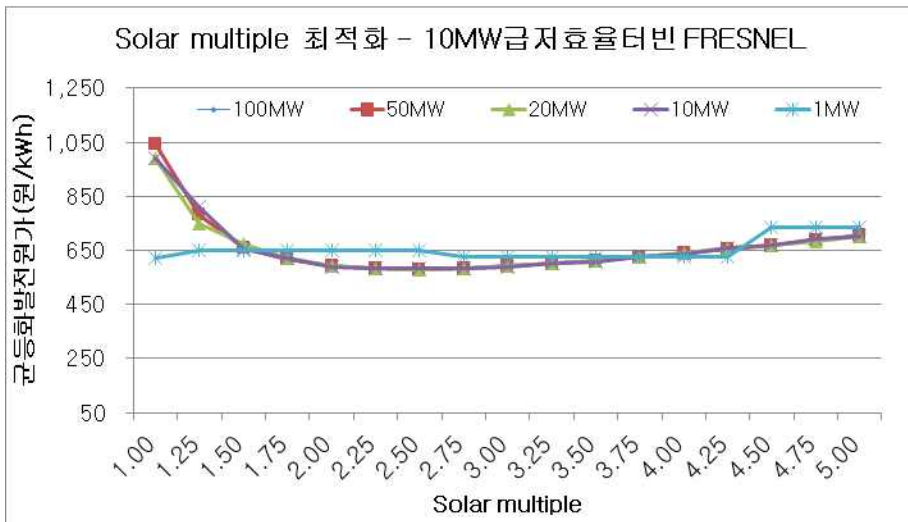


### 1.3 Fresnel

○ Solar multiple별 균등화발전원가 - 고효율터빈 Fresnel 평균

(단위 : 원/kWh)

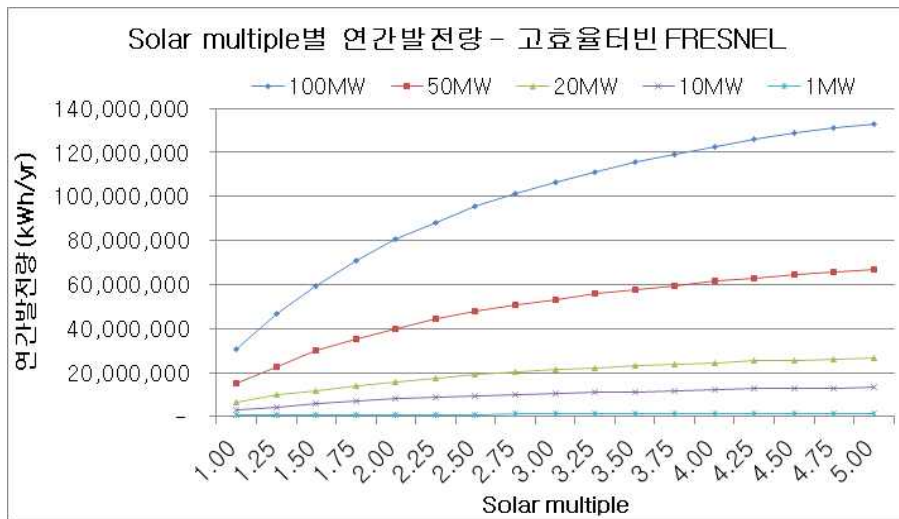
용량 solar multiple	100MW	50MW	20MW	10MW	1MW
1.00	1,043.4455	1,043.4464	993.0730	993.0727	619.9721
1.25	771.8385	783.5658	750.4441	808.9428	648.2225
1.50	665.6338	661.2838	675.5732	652.9379	648.2225
1.75	615.4377	615.4370	619.9725	619.9721	648.2225
2.00	592.1659	593.0978	594.2007	589.3160	648.2225
2.25	582.7751	582.1960	583.2583	583.2595	648.2225
2.50	580.5427	580.5436	580.4738	581.4104	648.2225
2.75	584.1074	584.1075	584.1064	584.1074	626.2335
3.00	591.2919	590.7082	591.2902	588.2811	626.2335
3.25	600.8113	601.5067	601.5076	601.5074	626.2335
3.50	612.5259	612.5271	613.5189	609.1736	626.2335
3.75	625.3877	625.3878	627.1604	627.1594	626.2335
4.00	639.2754	640.1107	641.2148	636.3386	626.2335
4.25	654.8664	654.8659	657.0235	657.0231	626.2335
4.50	670.2020	670.2026	667.9772	667.9781	734.0409
4.75	687.8380	686.5681	685.3822	691.2774	734.0409
5.00	705.3978	706.6439	704.0726	704.0739	734.0409



○ Solar multiple별 발전량 - 고효율터빈 Fresnel 평균

(단위:kWh/vr)

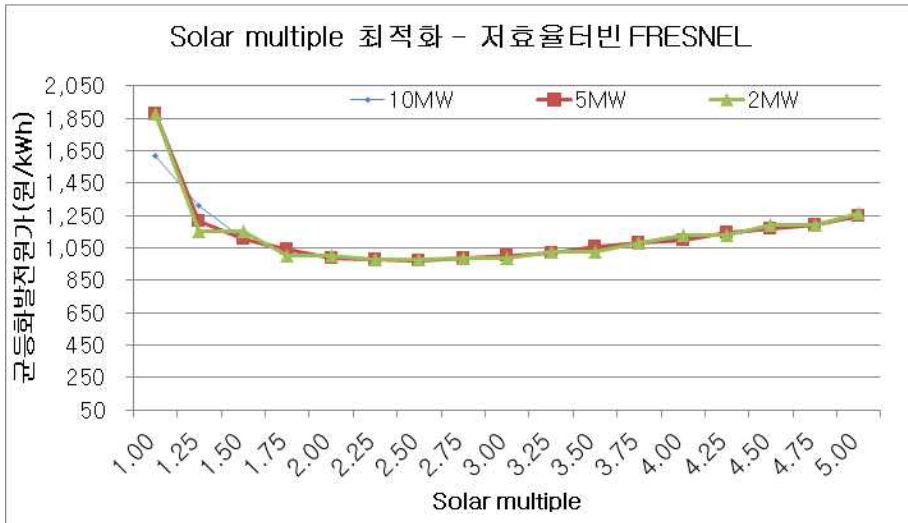
용량 solar multiple	100MW	50MW	20MW	10MW	1MW
1.00	30,683,725	15,341,850	6,554,133	3,277,068	696,193
1.25	46,640,175	22,796,500	9,734,383	4,351,143	696,193
1.50	59,652,925	30,221,850	11,599,080	6,203,873	696,193
1.75	70,988,325	35,494,200	13,923,853	6,961,930	696,193
2.00	80,502,400	39,965,875	15,864,600	8,223,275	696,193
2.25	88,162,825	44,360,200	17,527,625	8,763,795	696,193
2.50	95,360,750	47,680,300	18,983,650	9,704,823	696,193
2.75	101,144,825	50,572,400	20,229,000	10,114,483	1,144,137
3.00	106,650,075	53,154,750	21,330,075	10,493,968	1,144,137
3.25	111,132,475	55,729,400	22,291,725	11,145,868	1,144,137
3.50	115,507,825	57,753,800	23,150,050	11,441,370	1,144,137
3.75	119,078,125	59,539,050	23,916,325	11,958,180	1,144,137
4.00	122,720,000	61,485,700	24,634,100	12,202,850	1,144,137
4.25	125,878,750	62,939,425	25,253,475	12,626,745	1,144,137
4.50	128,531,525	64,265,700	25,634,175	12,817,070	1,342,678
4.75	131,025,000	65,441,825	26,145,150	13,153,100	1,342,678
5.00	133,034,750	66,586,475	26,582,200	13,291,075	1,342,678



○ Solar multiple별 균등화발전원가 - 저효율터빈 Fresnel 평균

(단위 : 원/kWh)

solar multiple \ 열매체저장	10MW	5MW	2MW
1.00	1,043.4455	1,043.4464	993.0730
1.25	771.8385	783.5658	750.4441
1.50	665.6338	661.2838	675.5732
1.75	615.4377	615.4370	619.9725
2.00	592.1659	593.0978	594.2007
2.25	582.7751	582.1960	583.2583
2.50	580.5427	580.5436	580.4738
2.75	584.1074	584.1075	584.1064
3.00	591.2919	590.7082	591.2902
3.25	600.8113	601.5067	601.5076
3.50	612.5259	612.5271	613.5189
3.75	625.3877	625.3878	627.1604
4.00	639.2754	640.1107	641.2148
4.25	654.8664	654.8659	657.0235
4.50	670.2020	670.2026	667.9772
4.75	687.8380	686.5681	685.3822
5.00	705.3978	706.6439	704.0726



○ Solar multiple별 발전량 - 저효율터빈 Fresnel 평균

(단위:kWh/vr)

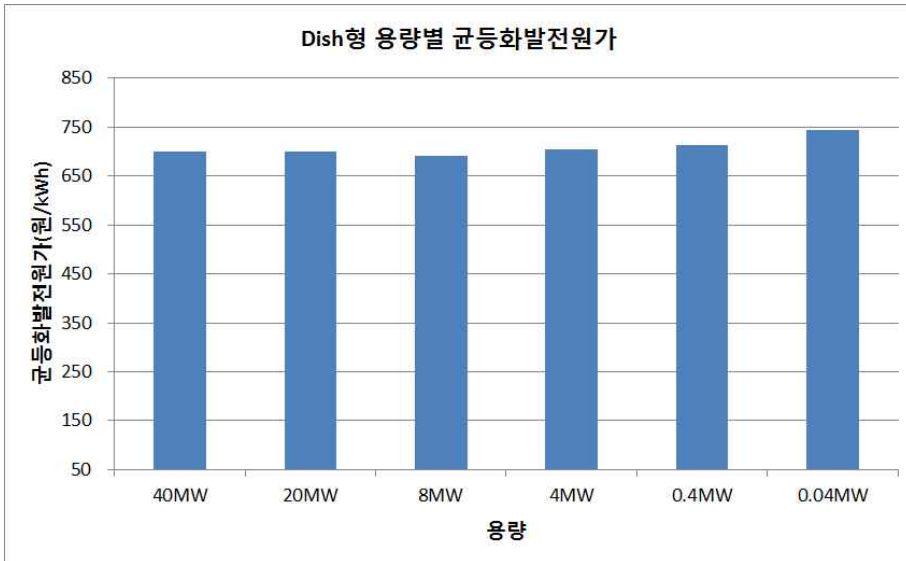
열매체저장 solar multiple	10MW	5MW	2MW
1.00	2,824,100	1,147,200	458,880
1.25	3,898,430	2,216,190	978,741
1.50	5,348,850	2,674,430	978,741
1.75	6,570,320	3,090,190	1,385,500
2.00	7,267,410	3,793,740	1,385,500
2.25	8,217,650	4,108,820	1,701,540
2.50	9,036,280	4,393,500	1,701,540
2.75	9,494,210	4,859,440	1,943,780
3.00	10,107,600	5,053,790	1,943,780
3.25	10,635,400	5,230,880	2,127,080
3.50	10,960,100	5,552,850	2,127,080
3.75	11,377,500	5,688,750	2,275,500
4.00	11,781,700	5,832,700	2,402,530
4.25	12,012,700	6,061,840	2,402,530
4.50	12,320,600	6,160,310	2,499,120
4.75	12,585,400	6,247,790	2,499,120
5.00	12,730,000	6,401,240	2,574,590



## 1.4 Dish

(단위 : 원/kWh)

	균등화발전원가(원/kWh)	전력생산량(kWh/yr)
40MW	699.1	1,043.4464
20MW	699.0	783.5658
8MW	691.4	661.2838
4MW	704.1	615.4370
0.4MW	714.0	593.0978
0.04MW	744.1	582.1960







연구책임 | 전영신 책임연구원

정책연구 2012-005

**태양열발전사업 활성화를 위한 신재생에너지  
지원정책 도출**

\*인 쇄 \_ 2013년 3월

\*발 행 \_ 2013년 3월

\*발 행 인 \_ 홍 성 태

\*발 행 처 \_ 한국기후변화대응연구센터

\*주 소 \_ (200-041) 강원도 춘천시 중앙로5

\*홈페이지 \_ [www.crik.re.kr](http://www.crik.re.kr)

ISBN \_ 978-89-97562-14-5 93530

