



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학석사 학위논문

# FIT 도입의 재무적 타당성 분석

- 학습곡선으로 추정한 태양광 비용 중심으로 -

2016 년 2 월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과 환경관리전공

박 용 철

## 국문초록

2011년 신·재생에너지의 주요 정책인 FIT 제도가 폐지되고 2012년부터 RPS가 도입되었다. RPS 도입 이후 중소규모 발전사업자들의 사업 환경을 개선하기 위해 FIT를 재도입하자는 주장이 제기되어 왔으나 재정적 부담, 시장 논리에 의한 운영 필요 등을 이유로 합의점에 도달하지 못한 상황이다. 이 연구는 FIT 도입의 재무적 타당성을 다룬 연구로 시나리오 분석을 통해 FIT 지원규모에 따라 발전사업자의 수익이 어떻게 달라지는지 분석하였으며, 시간의 흐름에 따라 태양광 초기투자비용이 감소할 것을 고려하여 분석을 보다 정밀히 하였다. 분석 결과, REC 입찰 여부에 따라 발전사업자의 수익성이 크게 차이나는 것을 확인할 수 있었다. REC 입찰 성공이 보장된다면 FIT 지원이 없어도 태양광 초기 투자비용이 2,198원/W(2018년) 수준에 이르렀을 때 사업기간 내에 손익분기점에 도달할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 REC 입찰에 실패할 경우 FIT 지원 없이는 초기투자비용이 1,530원/kWh(2029년) 수준까지 떨어진다 하더라도 사업기간 내에 손익분기점에 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 민감도 분석 결과, 정부의 지원이 적을수록 SMP에 따른 사업자의 손익분기점이 크게 달라지는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 지원이 적을수록 SMP의 변동에 대해 발전사업자의 수익성이 크게 달라지는 것을 보여준다. REC 입찰을 보장된다면 발전사업자의 수익이 안정적이 되겠으나, 시장의 논리로 운영되는 RPS 하에서 발전사업자의 REC 입찰을 보장해줄 수 있는 장치가 제대로 마련될지 확신할 수 없다. 따라서 FIT를 도입함으로써 발전사업자들의 수익을 보장해줄 필요가 있다. 그리고 현재 태양광 초기투자비용이 과거에 비해 많이 낮아졌을 뿐더러 향후 태양광 초기투자비용이 지속해서 감소할 것으로 예상하기 때문에 이에 대한 정부의 재정적 부담 역시 과거보다 많이 완화될 것으로 보인다.

**주요어 :** 태양광 초기투자비용, 학습곡선, 재무성 분석, FIT

**학 번 :** 2013-21988

# 목 차

제 I 장 서론 .....	1
제 1 절 연구배경 및 목적 .....	1
제 2 절 연구방법 .....	3
제 II 장 이론적 배경 및 관련 정책 .....	5
제 1 절 이론적 배경 .....	5
제 2 절 관련 정책의 이해 .....	7
1. 발전차액지원제도(FIT) .....	7
2. 신·재생에너지 공급의무화제도(RPS) .....	8
제 III 장 선행연구 .....	12
제 1 절 FIT와 RPS 논의에 관한 연구 .....	12
제 2 절 학습곡선에 관한 연구 .....	15
제 3 절 기존연구와의 차별점 .....	17
제 IV 장 자료 및 연구모형 .....	19
제 1 절 자료 .....	19
제 2 절 연구모형 .....	20
1. 학습곡선 .....	20
2. LCOE .....	22
3. 재무성 분석과 시나리오 .....	25

제 V 장 분석결과 .....	30
제 1 절 태양광 초기투자비용 추정 .....	30
제 2 절 LCOE .....	33
제 3 절 재무성 분석 .....	37
 제 VI 장 결론 .....	 41
 참고문헌 .....	 44
 부 록 .....	 48

## 표 목 차

[표 1] 신·재생에너지원별 가중치 .....	10
[표 2] 발전차액지원제도와 신·재생에너지 공급의무화제도의 비교 .....	11
[표 3] LCOE 입력자료 .....	24
[표 4] 태양광 사업의 재무성 분석조건 .....	29
[표 5] 과거 태양광 초기투자비용 및 향후 전망치 .....	31
[표 6] 과거 태양광 LCOE 및 향후 전망치 .....	35
[표 7] 태양광 발전사업 재무성 분석을 위한 시나리오 .....	37
[표 8] 시나리오와 사업참여년도에 따른 태양광 발전사업자의 손익분기점 .....	40

## 그 립 목 차

[그림 1] 학습곡선 시스템 .....	6
[그림 2] 과거 태양광 REC 거래가격 .....	28
[그림 3] 국내 태양광 초기투자비용의 학습곡선 .....	30
[그림 4] 「제7차 전력수급기본계획」에 따른 태양광 설비 전망치(2015~2029) .....	31
[그림 5] 과거 국내 태양광 초기투자비용 및 향후 전망치 .....	32
[그림 6] 과거 태양광 LCOE와 SMP .....	33
[그림 7] 과거 태양광 LCOE 및 향후 전망치 .....	34
[그림 8] 최근 3년간(2013~2015년) SMP 가격 추이 .....	36

# 제 I 장 서 론

## 제 1 절 연구배경 및 목적

1988년에 설립된 '기후변화에 관한 정부 간 협의체'(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 1990년 제1차 평가 종합보고서를 발간으로 시작하여 기후변화와 그 영향에 대한 과학적 분석을 수행해왔다. IPCC 실무그룹 1은 2014년 11월에 발간한 제5차 평가 종합보고서에서 기후변화에 대한 인류의 영향은 명백한 것으로 규정하며, 현 수준으로 에너지를 지속해서 사용할 경우 세계의 온도는 금세기말(2081~2100년)에 평균기온 3.7도가 상승하고 해수면은 63cm가 상승할 것이라 경고하였다.

기후변화의 주요 원인은 전 세계 경제성장과 인구성장에 따른 화석 연료 연소의 증가에 의한 이산화탄소 배출량의 증가라고 볼 수 있다. McGlade·Ekins(2015)는 2100년까지 지구 온도 상승을 2도 이하로 제한한다는 목표를 달성하려면 화석 연료 매장량 중 석탄은 80% 이상, 가스는 50%, 석유는 30%를 개발하지 말아야 한다고 밝혔는데, 이는 기후변화에 대응하기 위해서 화석연료 사용량의 감소는 필수적임을 보여준다. 세계는 기후변화에 대응하기 위해 기후변화협약, 교토의정서, 온실가스 거래제 등을 통해 화석연료 사용을 줄일 것을 권고하는 동시에 국가 차원에서도 신·재생에너지에 대해 정책적으로 지원하고 있다. REN21(2015)에 따르면 2015년 현재 164개국이 신·재생에너지 목표를 세웠으며, 145개국이 신·재생에너지지원정책을 수립하였다고 한다. 이는 신·재생에너지가 화석연료의 대체재로서 그 중요성이 세계적으로 인식되고 있음을 보여주며, 앞으로 지속가능한 사회를 위해선 신·재생에너지 체계가 마련되어야 한다는 것을 보여준다.

신·재생에너지에 대한 정책적 지원은 기후변화 및 화석연료 대체 측면에서도 중요하지만, 우리나라에 있어서 신·재생에너지는 무엇보다 에너지 안보 강화 측면에서도 중요하다고 할 수 있다. 에너지경제연구원에 따르면 우리나라의 에너지 해외의존도는 2013년 기준 95.7%로 대부분의 에너지를 해외에서 수입하고 있는 것으로 나타났다. 국제적으로 기후변화에 대응하기 위해 온실가스 배출량 감소가 요구되는 분위기 속에서 해외의존적인 에너지 시장 구조는 국내 에너지 수급의 불확실성을 심화시킬 수 있다. 또한, 에너지 수급의 불확실성으로 인해 국제 에너지 상황에 따라 국가 경제가 타격을 입을 가능성이 크다. 게다가 「제7차 전력수급 기본계획」에 따르면 2029년까지 전력수요가 연평균 2.1%씩 증가할 것으로 전망되기 때문에 에너지 안보의 필요성과 중요성은 더 커질 것으로 보인다. 우리나라는 주요 에너지원으로 쓰이는 화석연료나 우라늄 같은 부존자원이 없기 때문에, 에너지 자급률을 높이기 위해서는 기본적으로 신·재생에너지산업을 육성할 필요가 있다. 따라서 신·재생에너지산업육성은 기후변화 문제에 대응하는 동시에 에너지 안보를 강화할 수 있는 중요한 정책이라고 할 수 있다.

우리나라는 2002년 신·재생에너지발전 고시를 통해 발전차액지원제도(Feed-in Tariff, FIT)를 처음으로 도입하였다. 2007년 신·재생에너지에 대한 FIT 지원 규모는 약 266억원이었으나, 2008년 태양광 산업에 대한 지원이 확대되면서 FIT의 규모는 약 1,195억원으로 급격히 증가하였다. 하지만 2011년 재정적 부담 등을 이유로 FIT는 폐지되었고 2012년에 RPS가 도입되었다. RPS를 통해 신·재생에너지 산업은 규모 측면에서 눈에 띄는 성장을 보였지만, RPS 하에서 중소기업의 발전사업자들은 상대적으로 불리한 환경에 놓이게 되었고, 그 결과 파산, 경영규모 축소 등에 이르게 되었다. 이에 대하여 소규모 태양광발전 사업자 연합체를 비롯한 학계, 시민단체 등에서 소규모 FIT 재도입을 통해 중소기업 발전사업자들의 사업 환경을 개선해줄 것을 요구하고 있지만, 정부 측에서는 재정적 부담, 시장 논리에 의한 운영 필요 등을 이유로 소규모 FIT 재도입을 반대하고 있는 상황이다.



이 연구는 FIT 제도입의 필요성과 타당성을 알아보기 위한 것으로 FIT 지원규모에 따른 태양광 발전사업자의 재무성을 분석하는 것을 목적으로 한다. RPS 하에서 불리한 위치에 있는 중소규모 발전사업자를 위해서 FIT 지원이 필요한 상황이지만 과거 국내에서 시행되었던 FIT는 재정적 부담을 수반하기 때문에 FIT를 제도입하기 위해서는 재정 완화 가능성에 대해 모색할 필요가 있다. FIT의 재정 부담을 완화하기 위한 방법으로는 독일과 같은 해외 FIT 사례처럼 FIT 지원금액에 대한 재원 자체를 정부가 아닌 소비자가 부담하도록 하는 방법, 설비용량에 따라 지원해주는 것이 아니라 ‘서울형 FIT’처럼 발전량에 따라 지원해주는 방법, 기존 FIT 제도처럼 설비용량에 따라 지원금액을 결정하되 최소한의 지원금액을 산정하여 지원규모를 최소화시키는 방법 등이 있다. 이 연구에서는 발전량에 따라 지원규모가 결정되는 ‘서울형 FIT’를 도입하는 경우에 대해서 분석하되, 시간이 지남에 따라 태양광 초기투자비용이 감소하게 되는 것을 고려하였다. 태양광 초기투자비용은 태양광 사업에 참여 시 필요한 비용 중 가장 큰 비중을 차지하기 때문에 미래 초기투자비용이 어떻게 달라지는가에 따라 미래 발전사업자의 수익이 크게 달라진다고 할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 정책의 도입여부와 시간의 흐름에 따른 태양광 초기투자비용의 변화를 고려하여 FIT 도입의 필요성과 재무적 타당성을 알아보고자 한다.

## 제 2 절 연구방법

이 연구는 세 단계에 걸쳐 진행된다. 첫 번째로 학습곡선을 이용하여 향후 태양광 초기투자비용을 추정하고자 한다. 학습곡선은 생산량 증가에 따른 비용(가격)의 하락을 추정하기에 용이한 분석도구로서 실증연구가 많이 진행되어왔다. 신·재생에너지 산업은 기술개발 및 규모 성장이 다른 산업에 비해 단기간 내에 이뤄졌기 때문에, 자료 수집이 상대적으

로 용이하여 학습곡선에 관한 실증연구가 많이 진행되었다. 따라서 이 연구에서도 학습곡선을 통해 초기투자비용을 추정하는 것은 적절하다고 할 수 있다. 두 번째로 앞서 구한 태양광 초기투자비용 추정치를 이용하여 태양광 LCOE 전망치를 구함으로써 어느 시점에 정부의 지원 없이 태양광 발전사업자들이 손익분기점에 도달할 수 있는지 확인하고자 한다. 세 번째로 태양광 초기투자비용 하락을 고려할 경우 FIT 지원 규모에 따라 발전사업자들의 손익분기점이 어떻게 달라지는지 살펴보고자 한다. 이를 위해 FIT 지원 규모에 대한 시나리오 분석을 수행하였다. 시나리오에 사용한 FIT 지원 규모는 현재 서울시에서 자체적으로 시행하고 있는 서울형 FIT의 지원 수준에 근거하여 설정하였다. 그리고 SMP와 할인율에 대해 민감도 분석을 수행함으로써 정책 외의 요소에 대해서 발전사업자의 수익성이 어떻게 달라지는지 알아보하고자 한다.

## 제 II장 이론적 배경 및 관련 정책

### 제 1 절 이론적 배경

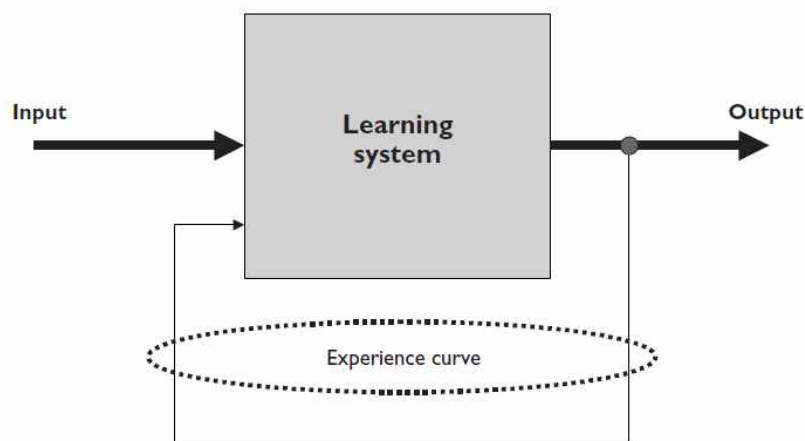
경험곡선(Experience curves)으로 불리기도 하는 학습곡선(Learning curves)은 특정 생산물품의 증장기 비용 혹은 가격을 추정하기 위해 사용하는 수학적식으로 학습효과(Learning-by doing)이론을 기반으로 한다. 학습효과이론이란 생산과정에서의 반복적인 행동이 효율을 증가시켜 노동생산성을 향상시키고, 나아가 총 실질비용까지 하락시키게 된다는 이론으로 미래 태양광 초기투자비용을 추정하는 데에 적용할 수 있다.

FIT는 태양광 설비 생산 과정에 대해 직접적으로 지원하지는 않지만, 태양광 산업 참여에 대한 유인을 제공함으로써 태양광 설비의 수요를 증가시켜 간접적으로 태양광 설비 생산에 영향을 미친다고 할 수 있다. 즉, FIT에 의한 태양광 설비 수요의 증가는 태양광 설비 생산의 증가를 야기하며, 이는 FIT에 의해서 태양광 설비 산업에서 학습효과가 나타날 수 있다는 것을 보여준다. 따라서 학습곡선으로 도출한 미래 초기투자비용을 FIT의 재무성 분석에 이용하는 것은 적절하다고 할 수 있다.

학습곡선은 1936년 Wright(1936)에서 항공기 생산량과 비용의 관계를 수학적 모델로 실증연구하면서 처음으로 제시되었다. Arrow(1962)는 내생적 성장이론에서 기술과 혁신의 효과를 설명하는 과정에서 학습곡선의 경제학적 의미를 끌어내 모형화시켜 이론으로 정립되었다. Arrow(1962)는 학습(learning)은 생산과정에서 문제를 해결하려는 시도에서 발생한다고 보았다. 반복적인 생산과정을 통해 학습효과가 나타나으로써 효율이 향상되고, 이것이 단순 반복 작업 이상의 결과를 가져오게 되어 기술진보까지 나타나게 된다는 것이다(Arrow, 1962). 초기의 경

험곡선이 설명하는 범위는 노동향상성에 따른 노동투입비용(cost of individual inputs)에 국한되었으나 Boston Consulting Group(BCG)에 의해 학습곡선에 관한 연구가 활발히 진행되면서 학습곡선의 범위는 ‘생산 과정에서 나타나는 모든 비용요소’로 확장되었다. 여기에는 연구개발비, 광고비, 간접비 등 상품이 최종소비자에게 도달하기까지 소요되는 모든 비용이 포함된다. BCG에 의해 경험곡선은 총비용과 누적생산량에 대한 관계를 설명하는 개념으로 확대되었다(장한수·최기련, 2006).

[그림 1]은 학습곡선 시스템을 도식화한 것으로 학습효과모형의 기본적인 구조를 설명하고 있다. 투입요소(input)는 화폐단위로 측정 가능한 재화를 의미한다. 투입요소가 학습시스템에 투입되면 학습시스템은 투입요소를 물리적 단위로 표현 가능한 산출물(output)의 형태로 생산한다. 투입요소가 학습시스템을 통해 산출물로 만들어지는 과정에서 성과를 향상시킬 수 있는 피드백이 발생하게 되고, 이것은 다시 투입요소와 함께 학습시스템에 투입되면서 학습이 이뤄지게 된다. 이것은 생산과정 없이는 학습이 발생할 수 없다는 것을 보여주며, R&D 연구만으로는 기술이 비용 효율적으로 될 수 없다는 설명을 뒷받침한다(Wene, 2000).



출처 : Wene(2000)

[그림 1] 학습곡선 시스템

## 제 2 절 관련 정책의 이해

### 1. 발전차액지원제도(FIT)

발전차액지원제도(FIT)는 전통에너지원에 비해 상대적으로 비싼 신·재생에너지 산업을 육성하기 위해 정부나 지자체 차원에서 보조금을 지원해주는 제도다. REN21(2015)에 따르면 80개 국가가 FIT를 도입하고 있으며, 대표적인 국가로 독일, 스페인 등이 있다. 신·재생에너지 산업은 화석연료나 원자력과 같은 에너지원에 비해 규모의 경제가 형성되지 않아 시장경쟁력이 뒤처지기 때문에 지원 없이는 산업이 육성되기 어렵다. FIT는 이런 문제를 해결하기 위한 정책으로 일정수준의 수익을 보장해 줌으로써 안정적인 투자환경을 조성하여 산업을 육성시키는 것을 목적으로 하고 있다. 일반적으로 FIT는 신·재생에너지 전력 생산에 지불하는 돈의 양을 고정시킨 형태와 추가적인 프리미엄을 제공하는 형태로 구분된다(Haas et al., 2011). 국가마다 지원방식이나 재원에 있어서 조금씩 차이가 있는데, 우리나라에서 2011년까지 시행된 FIT의 경우 기준가격을 고시하여 15~20년 동안 기준가격과 계통한계가격(SMP)의 차액을 지원하였으며, 전력산업기반기금을 재원으로 하였다.

FIT의 가장 큰 장점은 수익을 보장해 줌으로써 신·재생에너지에 대한 안정적인 투자환경을 조성한다는 것이다. 안정적인 수익은 산업 기반이 미비한 신·재생에너지 시장에 발전사업자들이 참여하도록 유도하며, 미래 전력시장에 대한 안정성은 투자자와 기업으로 하여금 장기적인 기술 개발에 집중할 수 있도록 해준다.

하지만 FIT는 지불기간과 기준가격, 기술의 발전 등 미래에 대한 불확실성이 존재하기 때문에 전력시장의 가격을 왜곡할 수 있다는 문제점을 갖고 있다(Lesser & Su, 2008). 그리고 전원별 기준가격을 적절하게 조정하지 않을 경우에는 시장을 침체시키거나 발전업자들에게 과도한 소비자잉여를 차지하게 할 수도 있다(윤석기·김종달, 2010). 또한, 재원 확

보를 위해 전기요금을 인상할 경우 소비자의 저항을 불러일으킬 수도 있다.

서울시는 짧은 일조시간과 높은 임대료 및 공사비, 인증서 판로 등 다각도의 어려움에 직면해 있는 소규모 태양광 발전시설을 활성화하기 위해 2013년부터 서울형 FIT를 도입하였다. 도입 초기 서울형 FIT는 정부에서 시행한 FIT와는 달리 발전량에 따라 50원/kWh을 5년 동안 지원하고 FIT 사업에 가입 가능한 대상으로 50kW 이하로 제한하였으나, 2015년부터는 지원금액은 100원/kWh으로 확대하고 가입가능한 설비용량도 100kW 이하로 제한하는 것으로 지원범위를 확대하였다. 또한, 태양광 산업 진입 시 필요한 비용에 대해 제도적 지원을 하고 있는데, 대표적으로 발전설비용량에 따른 임대료 산정과 저리용자 지원이 있다. 발전설비용량에 따른 임대료 산정의 경우 ‘공유재산 및 물품관리법’에 따르면 옥상이나 지붕에 태양광 설비를 설치할 경우 공시지가에 기초해서 임대료를 산정하게 되어있다. 서울시는 2013년 5월 에너지조례를 개정함으로써 시유지에 발전설비를 설치할 경우 공시지가가 아닌 설비용량에 따라 임대료를 부과하도록 하였는데, 2013년 도입 초기에는 25,000원/kW의 임대료를 부과하였으나, 2015년부터는 20,000원/kW을 부과하도록 하여 발전사업자의 부담을 완화하였다. 저리용자지원은 태양광 초기투자비용에 대한 부담을 완화해주는 제도로 발전사업자들이 적은 부담으로 용자를 지원받을 수 있게 해준다.

## 2. 신·재생에너지 공급의무화제도(RPS)

RPS는 발전사업자에게 총 에너지 발전량 중 일정 비율을 신·재생에너지로 공급하도록 의무화하는 제도로 FIT와 더불어 신·재생에너지 대표 정책 중 하나라고 할 수 있다. RPS는 시장메커니즘에 의한 신·재생에너지의 보급 확대를 지향하며, 정부의 재정 부담을 경감시켜 정부실패

를 최소화하면서 발전사업자 간 경쟁을 촉진하여 신·재생에너지 물량 확대와 관련 산업 및 시장 육성을 통한 시스템 비용을 줄이는 것을 목적으로 한다(한귀현, 2010). REN21(2015)에 따르면 RPS를 도입한 국가는 17개로 대표적인 국가로는 미국, 영국 등이 있다. 우리나라의 경우 2012년 1월부터 시행되었으며, 2024년까지 신·재생에너지 공급량을 10%로 올리는 것을 목표로 하고 있다.

RPS제도의 공급의무자는 발전설비용량이 500MW 이상인 발전사업자로 대상 기업은 매년 새롭게 선정된다.<sup>1)</sup> 공급의무자들은 자체적으로 신·재생에너지를 이용하여 전기를 공급하거나 다른 발전사의 신·재생에너지인증서(Renewable Energy Certificate, REC)를 구매하는 방식으로 의무할당량을 채울 수 있는데, 여기서 REC란 신·재생에너지를 이용하여 전기를 공급했다는 사실을 증명해주는 인증서를 가리킨다. REC 거래는 계약시장, 현물시장, 판매사업자 선정제도를 통해 가능하고, 거래가격은 REC거래시장의 수요와 공급에 따라 결정된다. 정부는 REC를 바탕으로 공급의무자들의 의무이행 여부를 판단하고 이행하지 못하였을 경우 과징금을 부과하는데, 과징금은 REC 평균거래가격의 150% 이내에서 부과된다.

또한 RPS는 기술성이 떨어지는 발전원에 대해서는 공급량에 가중치를 부여함으로써 에너지원별 균형발전을 도모하고 있다. 가중치는 환경, 기술개발 및 산업 활성화에 미치는 영향, 발전원가, 부존잠재량, 온실가스 배출 저감에 미치는 효과 등을 고려하여 결정되며, 3년마다 재검토하는 것을 원칙으로 한다. 2014년 9월에 발표된 「제 4차 신·재생에너지 기본계획」에 따르면, 지목에 따른 구분은 폐지되었으며 100kW 미만의 소규모 발전사업자에 대한 가중치를 구분하고, 건축물을 이용하여 설치할 경우에도 규모에 따라 가중치를 차등 부여하는 등 설치유형과 규모에 따라 차등 가중치를 부여하는 것으로 바뀌었다.

---

1) 2014년 현재 총 14개 공급의무자 : 한국수력원자력, 남동발전, 중부발전, 서부발전, 남부발전, 동서발전, 지역난방공사, 수자원공사, SK E&S, GS EPS, GS 파워, 포스코에너지, 엠피씨올존 전력, 평택에너지서비스

[표 1] 신·재생에너지원별 가중치

구분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준	
		설치유형	세부기준
태양광에너지	1.2	일반부지에 설치하는 경우	100kw 미만
	1.0		100kW 부터
	0.7		3,000kW 초과부터
	1.5	건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우	3,000kW 이하
	1.0		3,000kW 초과부터
	1.5	유지의 수면에 부유하여 설치하는 경우	

자료 : 산업통상자원부, 「신·재생에너지 공급의무화제도 관리 및 운영지침」

RPS는 설비용량이나 발전량을 대상으로 목표를 설정하기 때문에 시장규모를 예측하는 데 용이하고, 직접적인 재정지원이 없기 때문에 재정적 부담이 적다는 장점이 있다. 그리고 발전사업자들 간의 경쟁으로 인한 생산비용 절감의 유인이 존재하여 비용을 최소화하려는 움직임을 이끌어낼 수 있다. 이러한 과정은 해당 산업이 경쟁력을 갖출 수 있게 해준다는 장점이 있다.

반면, REC 거래가격이 변동적이고 발전사업자들이 REC 거래시장에서 입찰 성공하는 것이 보장되어 있지 않기 때문에 FIT와 비교했을 때 투자환경이 안정적이지 못하다는 단점이 있다. 또한, 태양광을 제외하고는 신·재생에너지원별로 의무할당량이 정해진 것이 아니기 때문에 경제성이 좋은 신·재생에너지로 사업이 집중될 우려가 있으며, 기술기반이 약한 에너지원은 경쟁체제 도입 시 외국의 기술이나 제품에게 시장이 선점당할 우려도 존재한다. 그리고 RPS는 대규모 발전사업자들이 연구개발을 비용절감을 할 수 있는 유인을 제공하지만, 자체적인 연구개발이 상대적으로 힘든 소규모 발전사업자들의 경우 발전사업자들 간의 경쟁에서 뒤처질 가능성이 있다.



[표 2] 발전차액지원제도와 신·재생에너지 공급의무화제도의 비교

구 분	발전차액지원제도(FIT)	신·재생에너지 공급의무화제도(RPS)
구조	<ul style="list-style-type: none"> <li>정부에서 정한 기준가격과 SMP의 차액을 지원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>생산물량 사전 설정</li> <li>발전의무량 부과 후 시장에서 가격 결정</li> </ul>
도입국가	<ul style="list-style-type: none"> <li>독일, 스페인 등 80개 국가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>미국, 영국 등 17개 국가</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>중장기 가격을 보장하여 안정적인 투자환경 조성</li> <li>안정적 투자유치로 기술개발과 산업 성장 가능</li> <li>중소기업 발전 촉진</li> <li>신·재생에너지 분산 배치 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>공급규모 예측 용이</li> <li>사업자 간 비용절감을 위한 경쟁을 촉진시켜 효율적인 생산비용 절감 가능</li> <li>민간에서 가격이 결정됨으로써 정부의 재정 부담 완화</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>정부의 재정부담 증가</li> <li>적정 수준의 기준가격 책정 어려움</li> <li>안정적 사업 영위가 가능하여 신·재생에너지 기술개발 저해 우려 있음</li> <li>기업 간 경쟁이 부족하여 생산가격을 낮추기 위한 유인 부족</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>경제성이 좋은 특정 에너지로 편중될 가능성</li> <li>제도 도입을 위한 기반 구축이 전제</li> <li>기술기반이 약한 상태에서 경쟁체제 도입 시 외국 기술 시장 선점 우려</li> <li>투자회수에 대한 불확실성으로 투자 및 공급이 감소할 수 있음</li> <li>상대적으로 중소기업에게 불리하여 시장 참여 어려움</li> </ul>

자료 : 김운수(2012) 자료를 종합하여 재구성.

## 제 III장 선행연구

### 제 1 절 FIT와 RPS에 관한 연구

염미경(2013)은 신·재생에너지정책을 보급정책 변화의 특징과 시사점을 지방보급사업 대상자와 일반보급사업 대상자에 대한 면접조사법을 통해 연구를 수행하였다. 분석 결과 기존 FIT에서 나타난 재정부족 등의 문제는 FIT 자체의 문제가 아닌 것으로 나타났다. 구체적으로는 정부가 보급 확대에만 주력한 점, 발전사업자당 한계용량 기준을 제외시켜 발전사업자나 시공사가 무차별적으로 발전설비를 공급하게 한 점, 설치 후 사후관리가 미흡했던 점에서 재정부족의 문제가 발생하였다고 지적하였다. 또한, 정부지원액을 많이 받아 설치한 사용자일수록 태양광설비에 대한 만족도가 상대적으로 높게 나온 것을 근거로, 태양광설비의 효율적인 사용을 위해서는 ‘설치비용 절감’이 중요하며, 이를 위해 정부의 설치비용 지원제도를 지속할 필요가 있음을 시사하였다.

안혜영(2011)은 RPS제도의 도입이 태양광 발전에 미치는 영향에서 RPS의 도입은 인센티브 적용 등으로 인해 태양광산업에 긍정적인 것이라는 결과를 보여주었다. 하지만 도입 초기에는 갑작스러운 제도 변화로 인해 부작용이 발생할 수 있기 때문에 일정 기간 동안 기존의 FIT 정책을 병행하여 급격한 시장변화에 의한 타격을 최소화할 것을 주장하였다.

최현경(2009), 이민식(2009)은 FIT와 RPS의 이론적 근거와 각각의 장단점을 비교 및 분석하였다. 그리고 미국, 영국, 일본 등의 FIT와 RPS의 해외동향을 살펴보고, 신·재생에너지에 대한 국내 정책동향을 살펴봄으로써 향후 정책이 추진되어야하는 방향을 제시하였다. 최현경(2009)은 RPS와 FIT는 각각의 장단점의 존재하기 때문에 FIT와 RPS를 병행 운

용을 고려하는 것도 앞으로 나아가야 할 방향 중 하나라고 제시하였다. 이민식(2009)은 대표적인 RPS 국가인 미국이 FIT를 병행 도입하는 움직임과 FIT 폐지 후 다시 부활시킨 일본의 사례 등을 근거로 RPS의 점진적 도입과 FIT의 일정 기간 유지가 필요하다고 주장하였다. 그리고 이민식(2009)은 RPS 하에서 중소기업의 사업 참여가 어려워질 것을 지적하며, 내수시장 확대 및 고용창출을 위해 재정 부담이 적은 소규모 FIT를 유지할 것을 주장하였다.

이수진·윤순진(2011)은 RPS를 도입하여 실행하고 있는 해외 사례를 비교, 검토 및 분석하여 RPS 시행국가의 성공요인과 실패요인을 파악하였다. RPS 수행하고 있는 캘리포니아, 텍사스, 스웨덴, 영국, 일본을 대상으로 비교분석한 결과, 캘리포니아, 텍사스, 스웨덴에서는 목표치를 성공적으로 달성하고 있었으며, 영국과 일본의 경우 RPS의 이론적 기대가 구현되고 있지 않은 것으로 나타났다. RPS의 성공적 시행 여부는 재생가능에너지 부존자원의 규모와 구성 형태, 인증서 가격, 벌금, 가중치 설정과 같은 내용의 적절한 설계, 제도의 일관성 유지와 같은 요소에 의해 결정되는 것으로 나타났다. 그리고 우리나라는 지열, 바이오매스, 풍력과 같은 부존자원이 적기 때문에 국내 RPS 시행 시 성공 여부에 대해 부정적인 입장을 보였으며, RPS를 도입을 폐기하거나 FIT를 병행하여 운영할 것을 주장하였다.

이상훈(2014)은 국내 신·재생에너지 보급과 산업 육성의 한계를 분석하면서 공급 위주의 에너지 정책의 한계, 신·재생에너지 정책의 낮은 위상, 신·재생에너지 분류와 정의의 문제 등을 지적하였다. 그 중 RPS 하에서 중소규모 재생에너지 발전이 위축된 것을 지적하면서, 서울형 FIT를 양성화 및 제도화하여 중소규모 태양광 발전과 도심형 태양광 발전 확대방안을 마련할 것을 주장하였다.

구민교(2011)는 신산업정책론 관점에서 FIT를 분석하였는데, 분석에 따르면 정치적 리더십의 과잉, 정책조정 및 숙의기구의 부재, 책임성과 투명성의 부재가 FIT의 조기퇴출에 영향을 미친 것으로 나타났다. 그리고 합리적인 산업정책을 위해선 정책결정권자의 의지와 유관기관 간의

정보 공유 및 조정, 책임성과 투명성 등이 필요하다고 주장하였다.

FIT와 RPS 도입에 대한 경제성 분석은 그 연구의 수가 많지 않다. 이형석·양승룡(2010)은 FIT와 RPS 각각에 대하여 선형계획법을 이용하여 최소의 비용으로 신·재생에너지 목표를 달성하는 발전원별 포트폴리오를 찾고, 이때의 최적 비용을 도출·비교하였다. FIT와 RPS 제도를 비교분석하였다. 분석결과, 정책의 도입이 없는 경우 최적비용은 5,916억원이 소요되는 것으로 나타났으며, FIT 제도에 의한 최적비용은 SMP 변화에 따라 7,678~8,162억 원/년이 소요되는 것으로 나타났으며, RPS 제도에 의한 최적비용은 자체조달 및 외부조달 비율에 따라 7,385~8,531억 원/년이 소요되는 것으로 나타났다. 이행비용은 FIT가 RPS보다 368억 원/년이 절감되는 것으로 나타났지만, FIT 제도에서 발전차액비용이 총비용에서 차지하는 비중은 17.4~22.3%인 반면, RPS 제도에서 인증서 구매비가 63.8~82.9%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 RPS제도에 의한 비용이 인증서 가격과 전력생산자의 자체조달 능력에 의해 크게 좌우되는 것을 의미한다. 이에 대해 저자는 각 발전원별 특성과 경쟁력을 고려한 제도의 보완과 FIT 제도 간 협력이 필요하다는 결론을 내렸다.

김운수(2012)는 비용편익분석을 이용하여 FIT와 RPS의 경제성을 비교 분석하였다. 김운수(2012)는 변동조건인 초기투자비용, SMP, FIT 기준가격, REC 거래가격에 대해서는 민감도분석을 수행하였으며, 고정조건들은 각각 할인율 4.5%, 유지관리비 3%, 효율감소율 0.5%, 설비이용률 12.5%로 설정하였다. 기초투자비용 320만원/kW, SMP 117원/kW, REC 거래가격 180.0원/kW일 경우의 FIT와 RPS 각각의 비용편익을 분석하여 수익구조를 비교하였다. 분석결과 FIT를 20년간 지원할 경우 손익분기점이 9년, RPS제도 하에서 REC 거래로 수익이 발생할 경우 손익분기점이 15년인 것으로 나타났다. 저자는 RPS의 수익구조가 FIT보다 좋지 않기 때문에 RPS로 전환 시 태양광 사업이 위축되지 않기 위해서 FIT를 비롯한 정책적 지원이 필요하다고 주장하고 있다.

## 제 2 절 학습곡선에 관한 연구

국내 신·재생에너지에 대한 학습곡선은 아직 연구가 많이 진행되지 않았다. 장한수·최기련(2006)은 에너지 기술에 대한 학습효과에 대해서 이론적으로 고찰하였다. 학습곡선의 이론, 메카니즘, 정책 응용 등에 대하여 다루고 있으며, 학습효과에 관한 국내 연구가 부족한 상황에서 이 연구는 학습효과 이론에 대한 기반을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

박성준 외(2012)는 국내 태양광 보급지원정책과 연구개발 투자계획을 고려한 2요인 학습곡선(TFLC; Two factor learning curve)을 이용하여 국내 태양광 발전의 그리드패리티를 예측하였다. R&D의 시간지연효과와 지식누적량의 진부화율을 고려하여 시나리오 분석을 수행한 결과, 시간지연효과 2년, 지식누적량의 진부화율 10%/년이 가장 설득력이 큰 것으로 나타났다. 연구결과에 따르면 태양광설비규모가 2배씩 증가할 때, 설비규모의 증가로 인한 비용의 감소율(LRD; Learning by Doing)은 1.9%로 나타났으며 기술개발에 의한 비용의 감소율(LRS; Learning by Searching)은 21.2%로 나타났다.

가장 최근에 진행된 국내연구로 에너지경제연구원에서 분석한 정운경(2013)이 있다. 정운경(2013)은 1976~2012년 세계 태양광 모듈 가격을 이용하여 학습곡선을 구한 후 국내 BOS 가격 자료와 혼합하여 미래 태양광 초기투자비용을 추정하였다. 할인율은 KDI 기준에 따른 5.5%를 사용하였고, 운영유지비는 1%, 성능저하율은 0.7%, 설비이용률은 15.5%를 사용하였다. 연구결과 이 기간에 나타난 학습률은 22.7%로 나타났으며, 2030년의 LCOE는 152원/kWh으로 나타났으며, SMP는 연평균 1% 상승할 것을 가정하였을 경우 2023년에 그리드패리티를 달성하는 것으로 나타났다. 하지만 이 연구에서는 지역적 범위가 서로 다른 세계 태양광 모듈가격과 국내 BOS비용을 혼합하여 초기투자비용을 추정하였다는 점에서 한계가 존재한다.

해외 연구는 학습곡선에 대한 연구가 비교적 많이 진행되었다.

Hamon(2000)은 태양광 시스템에 대해 전반적으로 서술하고 있으며, 나아가 학습곡선을 통해 태양광 기술의 학습효과 분석을 시도하였다. 태양광 비용을 도출하기 위해 모듈 가격과 BOS 비용으로 구분하여 분석을 시도하였다. 태양광 모듈에 대해서는 1968~1998년 세계 태양광 모듈 가격을 이용하여 추정하였으며, 학습곡선을 도출한 결과 학습률은 20.2%인 것으로 나왔다. 하지만 BOS 비용의 경우 BOS 비용에 포함된 제품들은 이미 성숙 단계에 진입한 시장의 제품이기 때문에 경험 축적에 의한 추가적인 학습효과를 보기는 어려우며, 따라서 학습곡선은 BOS 비용을 추정하기에는 적절치 않은 도구라고 서술하였다.

De La Tour et al.(2013)은 2020년까지의 세계 태양광 모듈 가격을 학습곡선을 이용하여 추정하였다. 이 연구의 특징은 태양광 모듈 가격과 누적설비용량뿐만 아니라 R&D, 규모, 실리콘 가격, 은 가격을 동시에 고려했다는 것이다. 각 변수를 서로 조합하여 1990~1999년 기간에 대한 각각의 학습곡선을 구한 후 각 경우에 대하여 2011년까지의 비용을 추정하였다. 그리고 2011년 추정비용과 실제 비용 간의 차이를 비교하여 가장 설명력이 높은 변수 조합을 발견하였다. 분석 결과 학습곡선 기본 모형에 실리콘 가격을 추가하였을 경우에만 설명력이 증가하였으며, 그 외 다른 조합은 다중공선성의 문제 등으로 인해 모두 설명력이 떨어지는 것으로 나타났다. 기본모형과 실리콘 가격을 이용하여 2020년 모듈 가격을 추정한 결과, 2011년부터 2020년까지 모듈 가격은 1.52\$/Wp에서 0.50\$/Wp로 67% 감소하는 것으로 나타났으며, 누적설비용량의 증가에 의한 감소분은 75%, 실리콘 가격의 감소에 의한 감소분은 25%인 것으로 나타났다.

Kobos et al.(2005)은 1981년~1997년의 기간 동안 미국의 태양광과 풍력의 설비용량과 RD&D를 이용하여 학습곡선을 추정하였다. 연구결과 풍력의 경우 시간지연효과는 5년, 기술지식의 진부화율은 2.5%일 경우 LRD가 14.2%, LRS가 18%인 것으로 나타났다. 태양광의 경우 시간지연효과 3년, 기술지식의 진부화율 10%일 경우 LRD 18.4%, LRS 14.3%로 나타났다.

Nemet(2006)은 학습곡선을 통해 과거 태양광 사업의 비용 감소요인 분석을 시도하였다. 기본적인 모형과 달리 비용, 설비규모, 발전량, 실리콘 비용 등 다양한 변수를 고려하여 분석함으로써 향후 태양광 연구개발의 투자규모를 가늠하여 보려는 시도를 하였다. Nemet(2006)은 미래 태양광 수요에 있어서 더 이상 누적설비용량과 모듈 효율로 설명할 수 있는 부분은 크지 않을 것이며, 리스크 관리, R&D 등이 더 적절할 것이라고 주장하였다.

### 제 3 절 기존연구와의 차별점

기존 연구를 살펴보면 FIT와 RPS에 대한 논의는 다소 진행되었으나 FIT 필요성에 대한 정량적인 분석은 많지 않은 것을 알 수 있다. 김운수(2012)는 FIT와 RPS에 대한 태양광 사업의 경제성을 분석하였으나, 초기투자비용, SMP, REC 거래가격과 같은 변동조건에 대한 추정 없이 시나리오 분석만을 수행하였다는 점에서 한계가 존재한다. 앞서 언급한 변동조건은 태양광 사업의 재무성을 분석 결과를 좌우하는 결정적인 요소이기 때문에, 시나리오 분석만을 수행하기보다는 추정치를 구함으로써 보다 정밀히 재무성을 분석할 필요가 있다. 이 연구에서는 태양광 재무성 분석에서 대표적인 비용 항목인 초기투자비용의 전망치를 추정함으로써 재무성 분석을 더욱 정밀히 하였다.

학습곡선에 관한 연구를 살펴본 결과, 국내에서 진행된 연구는 그 수가 적었다. 최근 태양광 초기투자비용을 추정한 정윤경(2013)의 경우 비용자료를 이용한 것이 아니라 대리변수인 가격 자료를 이용하여 도출하였으며, 대상의 공간적 범위가 다른 두 변수를 이용하여 추정했다는 점에서 한계가 존재한다. 태양광 비용의 학습곡선을 추정하기 위해서는 비용자료를 이용하는 것이 합당하나, 자료 수집의 한계로 인해 일반적으로는 태양광 모듈 가격을 대리변수로 이용한다. 하지만 이 연구에서는 대

리변수인 태양광 모듈 가격을 이용하지 않았으며, 국내 태양광 초기투자 비용을 직접 이용하였다. 국내 태양광 초기투자비용을 이용하는 것은 우리나라의 특수성을 고려한다는 점에서 의미가 있다. 우리나라는 다른 나라에 비해 태양광 사업에 늦게 진입하였기 때문에 초기에는 태양광 관련 기술이 상대적으로 뒤쳐졌다. 1997년 세계 평균 모듈가격(\$4.4/W)과 국내 태양광 모듈의 가격(11,479원/W)을 비교해보면 그 차이를 알 수 있다. 하지만 국내 태양광 기술의 발달로 국내 태양광 모듈 가격은 빠른 속도로 저렴해졌고 그 결과, 2014년 태양광 모듈은 비슷한 가격 수준을 유지하게 되었다. 이처럼 국내 태양광 비용의 변화는 세계의 흐름과는 다르게 나타났기 때문에 세계 평균 태양광 초기투자비용 자료를 이용하기보다는 국내 태양광 초기투자비용을 이용하여 분석하는 것은 보다 정확한 결과를 보여줄 것으로 생각한다.



## 제 IV 장 자료 및 연구모형

### 제 1 절 자료

태양광 학습곡선에 관한 선행연구들을 살펴보면 통상적으로 세계 태양광 모듈 가격을 초기투자비용의 대리변수로 사용하였다. 초기투자비용을 직접 구하여 사용하는 것이 가장 좋은 방법이지만, 공간적 범위가 세계 단위로 커지게 되면 국가마다 다른 산업, 기술 수준으로 인해 하나로 수렴된 세계 태양광 초기투자비용을 구하는 것은 어려울 뿐만 아니라 설정 구한다 하더라도 대표성 측면에서 문제가 발생할 가능성이 크다. 이러한 이유로 태양광을 대상으로 한 학습곡선 연구에서는 일반적으로 기초투자비용 대신 태양광 모듈 가격을 대리변수로 사용하였다. 태양광 모듈은 태양광 초기투자비용의 40~60%를 차지하고(Hamon, 2000) 그 용도가 태양광 설비 제작에 국한되어있기 때문이다.

하지만 이 연구에서는 태양광 모듈 가격이 아닌 태양광 초기투자비용을 사용하였다. 국내 태양광 초기투자비용은 PVPS(Photovoltaic Power Systems Programme)의 자료를 이용하였다. PVPS는 세계에너지기구(International Energy Agency, IEA)의 기술개발협력협의체 중 하나로, PVPS 가입 국가들은 매년 각국의 태양광 산업에 대한 정보가 담긴 National Survey Report를 제출하게 되어있다. 우리나라의 경우 한국에너지기술연구원(KIER)에서 작성하여 제출하였는데, 국가를 대표하여 보고된 자료인 만큼 국내 태양광 초기투자비용을 대표할 수 있다고 판단하여 대리변수 사용 없이 태양광 초기투자비용을 직접 이용하였다.

분석의 시간적 범위는 1997년~2014년이며, 공간적 범위는 국내이다. 태양광 초기투자비용은 1997~2010년까지는 PVPS 자료를 이용하였으며, 보다 정확한 자료를 사용하기 위해 2011~2014년 국내 태양광 초기투자

비용은 국회예산정책처 내부 자료를 이용하였다. 국내 태양광 누적설치 용량 자료는 1997~2013년까지는 PVPS의 자료를 이용하였고 2014년의 경우 ‘제7차 전력수급기본계획’에 나와 있는 실적 자료를 이용하였다.

## 제 2 절 연구모형

### 1. 학습곡선

태양광 초기투자비용을 추정하기 위한 학습곡선 모형은 다음과 같다.

$$P_t = P_0 Q_t^E \quad \text{<식 1>}$$

$$\log P_t = \log P_0 + E \log Q_t \quad \text{<식 2>}$$

- $P_t$  : t년의 태양광 초기투자비용
- $P_0$  : 초기년도의 태양광 초기투자비용
- $Q_t$  : t년의 태양광 누적설비용량
- $E$  : 학습효과 계수

$P_t$ 는 t년의 태양광 설비 1W에 대한 초기투자비용이다.  $P_0$ 는 초기년도의 태양광 1W에 대한 초기투자비용으로 여기에서는 1997년을 초기년도로 가정하였다. PVPS에서 구한 태양광 초기투자비용은 명목 가격이기 때문에 2010년 기준 실질가격으로 변환하여 물가상승률을 반영하였다.

$Q_t$ 는 t년의 국내 태양광 누적설비용량(kW)을 의미한다. 마지막으로  $E$ 는 학습효과 계수로 누적생산량이 늘어남에 따라 판매가격이 하락하게 되면 (-)의 값을 가지게 되고, 학습효과가 클수록 절대값은 커진다. 하지만  $E$  자체로는 경험이나 학습에 의한 비용 감소를 파악하기 어려우므로 진보율(Progress ratio; PR)과 학습률(Learning rate; LR)이라는 형태로 표현할 필요가 있다. PR은 <식 1>을 계량화한 지표로 누적생산량이 2배로 증가할 때마다 상대적 비용의 감소 비율을 의미한다. 이를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$PR = 2^{-E} \quad \text{<식 3>}$$

LR은 PR을 좀 더 명시적으로 나타낸 것으로 경험이 두 배로 늘어났을 때의 비용의 감소율을 의미한다. 예를 들면, 학습률이 15%라는 것은 경험이 두 배로 늘어날 때마다 단위비용이 15%씩 줄어든다는 것을 의미한다. LR을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$LR = 1 - PR = 1 - 2^{-E} \quad \text{<식 4>}$$

## 2. LCOE

균등화발전비용(Levelized Cost of Energy, LCOE)은 발전설비의 전 생애에 걸쳐 발생하는 모든 비용을 전 생애에 걸쳐 생산하는 발전량으로 나눠준 것으로, 발전설비 설계과정부터 폐기단계까지 발생하는 총 (투자) 비용을 시설의 수명기간 안에 회수하는 데에 필요한 최소한의 시불변(time-invariant)한 평균 단위가격이다(정윤경, 2013). LCOE를 통해 해당 에너지원의 기술 수준이 어느 정도인지 평가할 수 있으며, 건설비용, 수명, 에너지기술 등이 상이한 에너지원의 발전단가를 비교하기 용이하기에 특히, 신·재생에너지원에서 많이 사용되고 있다. LCOE는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$LCOE(\text{원}/kWh) = \frac{\text{총 발전시설 비용의 현재가치}}{\text{총 발전량의 현재가치}} \quad \text{<식 5>}$$

LCOE는 발전량 단위당 발생하는 발전비용을 의미하는 것으로 총 발전시설 비용의 현재가치를 총 발전량의 현재가치로 나눠준 값이다. 이것을 다르게 표현하면 다음과 같다.

$$LCOE_n \times \sum_{t=1}^T \frac{E_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{\text{발전시설비용}_t}{(1+r)^t} \quad \text{<식 6>}$$

<식 6> 는 <식 5>를 다르게 표현한 것으로 n년도 LCOE에 단위당 총 발전량의 현재가치를 곱한 값은 발전시설 생애동안 발생하는 총비용

의 현재가치와 같다고 할 수 있다. 발전시설비용을 살펴보면 크게 초기 투자비용과 연간유지비용으로 나눌 수 있다. 초기투자비용은 발전소를 설치하는 첫 해에 투자되는 비용이지만 연간유지비용은 매년 소비되는 비용이기 때문에 할인율의 적용을 구분할 필요가 있다. 따라서 비용을 초기투자비용과 연간유지비용으로 구분할 경우 <식 7>로 표현할 수 있다.

$$LCOE_n = \frac{\text{초기투자비용}_n + \sum_{t=1}^T \frac{\text{연간유지비용}_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad \text{<식 7>}$$

마지막으로 태양광은 에너지원의 특성상 항시적으로 전력을 생산하지 못한다는 특징이 있다. 따라서 발전량  $E_t$ 를 구할 때에는 설비이용률 (Capacity Factor; CF)을 고려하여야 한다. 그리고 시간이 지남에 따라 설비 자체의 효율이 감소하기 때문에 연간 발전량을 구할 때에는 효율감소를 역시 고려해줘야 한다. 발전량( $E_t$ )은 <식 8>과 같으며 이 모든 것을 종합하면 <식 9>로 표현할 수 있다.

$$E_t = (1-d)^t \times 365 \times 24 \times CF \quad \text{<식 8>}$$

$$LCOE_n = \frac{S_n + \sum_{t=1}^T \frac{OM \times S_n}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{(1-d)^t \times 365 \times 24 \times CF}{(1+r)^t}} \quad \text{<식 9>}$$

이 연구에서 사용된 모수는 다음과 같다.

[표 3] LCOE 입력자료

변 수	설 명	입력 값	비 고
$S_n$	초기투자비용(n년)	-	원/W
$E_t$	단위당 발전량(t년)	-	kWh/kW
T	설비 내구연수	20	
OM	운영유지비	1%	이창호 외(2011)
r	할인율	5.5%	KDI(2008)
d	효율감소율	0.7%	국회예산정책처(2015)
CF (Capacity Factor)	설비이용률	13.25%	에너지관리공단 신·재생에너지

초기투자비용은 학습곡선을 통해 추정된 값을 이용하였고, 연간 설비용량은 「제7차 전력수급기본계획」에서 2029년까지 전망한 자료를 이용하였다. 내구연수는 통상적으로 사용하는 20년으로 가정하였다. 미래현금흐름의 예측은 명목 가격에 의한 현금흐름보다는 불변가격에 의한 현금흐름의 사용이 자의성 개입의 여지가 적기 때문에 불변가격으로 계산한 현금흐름을 실질할인율로 할인하는 방식을 취한다(KDI, 2008). 따라서 이 연구에서 사용하는 할인율은 KDI(2008)에서 발표한 5.5% 실질할인율을 사용하는 것으로 한다. 운영유지비는 이창호(2011)에서 기준가격을 산정하는 데 사용한 1%를 이용하였다. 효율감소율은 국회예산정책처(2015)의 2007~2011년에 FIT 사업에 참여하였던 발전사업자들의 연간 발전량의 감소율인 0.7%를 이용하였다. 설비이용률(CF)은 에너지관리공단 신·재생에너지센터 기준을 사용하였다. 신·재생에너지센터에서는 사

용한 평균 3.18시간/일(13.25%)을 전기생산가능시간으로 제시하여 단위당 발전량을 계산하고 있다. 따라서 이 연구에서도 설비이용률은 에너지공단에서 사용하는 13.25%로 가정하였다.

일반적으로 LCOE는 할인율을 비롯한 효율 감소율 등에 따라 결과의 차이가 크게 나타나기 때문에 민감도 분석이 함께 수행되곤 한다. 하지만 이 연구의 목적은 제반 조건의 변화에 따른 그리드패리티의 변화를 살펴보는 것이 목적이 아니라, 태양광 초기투자비용이 하락했을 때 태양광이 그리드패리티에 도달할 수 있는지 판단하기 위한 것이기 때문에 민감도 분석은 제외하였다.

### 3. 재무성 분석과 시나리오

재무성 분석이란 사회전체의 입장이 아닌 개별 사업주체의 입장에서 금전적 비용과 수입을 추정하고, 이에 따른 재무적 수익성을 계산하여 타당성 유무를 결정하는 방법으로 공공사업의 비용과 편익을 국가 전체적(사회적) 입장에서 분석하는 경제성 분석과 차이를 갖는다(KDI, 2008). 이 연구는 초기투자비용 하락과 FIT 지원에 따른 발전사업자의 수익성을 분석하는 연구이기 때문에 경제성 분석보다는 재무성 분석이 적합하다고 판단하여 재무성 분석을 수행하였다. 그리고 민간투자법에 의해 공식적으로 민간투자 사업을 평가할 때에는 불변현금흐름 방식을 따르고 있기 때문에, 이 연구에서는 2010년을 기준으로 한 불변가격 분석을 수행하였다.

재무성 분석방법으로는 순현재가치법(Net Present Value, NPV)을 사용하였다. 순현재가치법이란 사업에 대한 투자로부터 기대되는 미래의 현금유입액 현재합계와 유출액 현재합계의 차이가 0보다 크면 재무적 타당성이 있다고 평가하는 방법이다(KDI, 2008). 이 연구에서 사용된 모형은 다음과 같다.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad \text{<식 10>}$$

$$NPV_n = \sum_{t=0}^T \frac{(SMP_t + REC_t + FIT_t) \times E_t}{(1+r)^t} - \left( S_n + \sum_{t=0}^T \frac{OM \times S_n}{(1+r)^t} \right) \quad \text{<식 11>}$$

$SMP_t$ : SMP 판매로 인한 수익	$E_t$ : 단위당 발전량(kWh/kW)
$REC_t$ : REC 판매로 인한 수익	$OM$ : 운영유지비
$FIT_t$ : FIT 지원금액	$r$ : 사회적 할인율

태양광 발전사업자가 태양광 설비 1kW를 설치함으로써 발생하는 수익은 SMP, REC 거래가격, FIT 지원금액이 있으며, 비용으로는 초기투자비용과 운영유지비가 있다. <식 11> 에서 사용된  $E_t$ ,  $OM$ ,  $r$ 은 앞서 언급한 LCOE 모형에서 사용된 것과 동일하다. 재무성 분석에서는 할인율에 대해서 4.5%, 6.5%일 경우에 대해 민감도 분석을 수행하였다. 현실을 보다 정확하게 설명하기 위해서 SMP, REC 거래가격의 변동성을 모두 고려하면 좋겠지만, 이 연구에서 모든 상황을 고려하는 것은 한계가 있다. 따라서 SMP, REC 거래가격에 대해서 일정한 기준을 갖고 시나리오를 편성하는 것이 필요하다.

SMP의 경우 발전사업자 수익에 결정적인 영향을 미치기 때문에 다양한 전망치를 고려하는 것이 타당하다. 하지만 최근 SMP를 살펴보면 SMP의 급락으로 인해 향후 SMP를 전망하는데에는 어려움이 따른다. 더불어 신고리 원전 3호, 4호기가 2016년, 2017년에 잇달아 추가 가동되어 전력 공급이 더욱 늘어나고 국제유가의 하락으로 인해, 향후 SMP가 크게 반등할 가능성은 낮은 것으로 보인다. 따라서 SMP에 대해서는 시나리오 구성은 하지 않고 2015년 1월~11월의 평균가격인 101.59원/kWh를 기준가격으로 설정하여 분석하였다. 그리고 2015년 월별 SMP의 최저



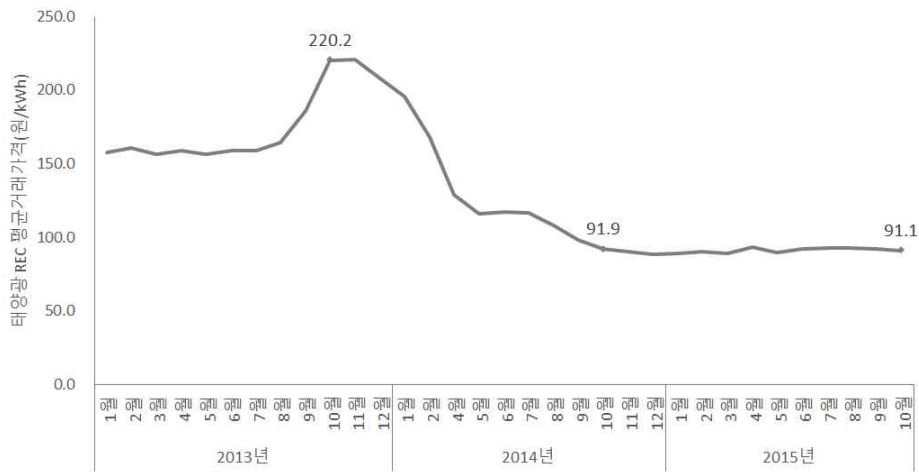
가인 81.53원/kwh(7월)과 141.54원/kWh(1월)에 대해서 불변가격이라 가정하고 민감도 분석을 수행하여 SMP의 변화에 따라 결과가 어떻게 달라지는지 알아보았다.

RPS 하에서 REC는 발전사업자들이 SMP 외의 수익을 얻을 수 있는 유일한 방법이기 때문에 REC 거래가격에 대해 시나리오 분석을 수행할 필요가 있다. REC 거래가격이 시장논리에 의해 결정된다고 하지만, 국가 REC의 공급 등으로 인해 REC 거래가격의 변동성을 예측하는 것은 쉽지 않다. 따라서 이 연구에서는 RPS 하에서 문제가 되고 있는 입찰경쟁률에 대해서 시나리오를 구성하기로 하였다. 2015년 상반기 REC 태양광 입찰을 살펴보면, 전체 접속건수 9,817개소 중 1,002개소가 선정되어 REC 입찰경쟁률이 9.8:1이었다는 것을 알 수 있다.<sup>2)</sup> 이것은 태양광 발전사업자들이 전기를 생산한다 하더라도 REC로 판매할 수 있는 확률이 10.2%로, 약 10명 중에 9명은 REC 거래 자체를 하지 못한다는 것이다. REC 입찰 여부는 발전사업자의 수익에 상당한 비중을 차지하기 때문에 매우 중요한 사항이라고 할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 다양한 REC 거래가격에 대한 시나리오 분석을 수행하기보다는 REC 입찰 성공 여부에 따른 재무성을 분석하는 것에 초점을 맞추기로 한다.

[그림 2]는 과거 태양광 REC 평균거래가격을 나타낸 것으로, 2014년 상반기에 급락한 태양광 REC 거래가격은 2015년 10월에도 작년과 비슷한 91.1원/kWh 수준을 유지하고 있다. 이 연구에서 사용하는 REC 거래가격은 불변가격으로 편의상 과거 REC 거래가격과 비슷한 수준인 100원/kWh으로 가정하여 분석을 진행하였다.

---

2) 최덕환, '상반기 RPS 태양광 입찰, 10대 1로 역대 최고', 이투뉴스, 2015.5  
<http://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=81683>



자료 : 신·재생에너지 공급인증서 거래시스템

[그림 2] 과거 태양광 REC 거래가격

이 연구에서는 FIT 지원 규모에 따라 발전사업자의 재무성이 어떻게 달라지는지 파악하는 것이 목적이기 때문에, SMP, REC 거래가격과는 달리 FIT에 대해서는 지원금액 규모에 따라 시나리오를 구성하였다. 시나리오 구성은 FIT 지원이 없을 경우(시나리오 1, 2), 50원/kWh일 경우(시나리오 3, 4), 100원/kWh(시나리오 5, 6)일 경우로 구분하였다. 시나리오 1은 현재 시행되는 정책의 변화 없이 그대로 유지되는 상황으로 (Business-as-usual, BAU) RPS만 시행되는 상황을 의미한다. 시나리오 2는 발전사업자들을 대상으로 FIT를 지원해주되 적은 규모의 금액을 지원하는 상황으로 초기 서울형 FIT의 지원규모인 50원/kWh을 지원하는 것으로 설정하였다. 시나리오 5, 6은 현재 서울형 FIT의 지원규모를 지원해 줄 경우로 서울형 FIT를 전국단위로 확대할 경우의 재무성을 살펴 보기 위함이다. 서울형 FIT은 5년이란 기간만 지원해주지만, 시나리오 3, 4, 5, 6에서는 20년 동안 지원해주는 것을 전제로 한다.

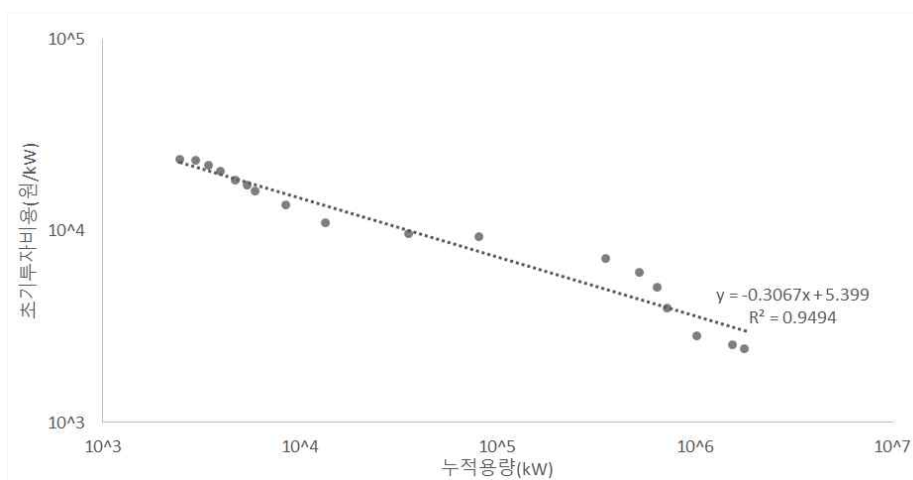
[표 4] 태양광 사업의 재무성 분석조건

항 목	규 모	비 고
FIT 지원규모	0원/kWh 50원/kWh 100원/kWh	서울형 FIT 지원 기준을 확대 적용
REC 거래가격	100원/kWh	2029년까지 지속될 것으로 가정 (불변가격)
SMP	81.53원/kWh('15년 최저) 101.59원/kWh('15년 평균) 141.54원/kWh('15년 최고)	

## 제 V 장 분석결과

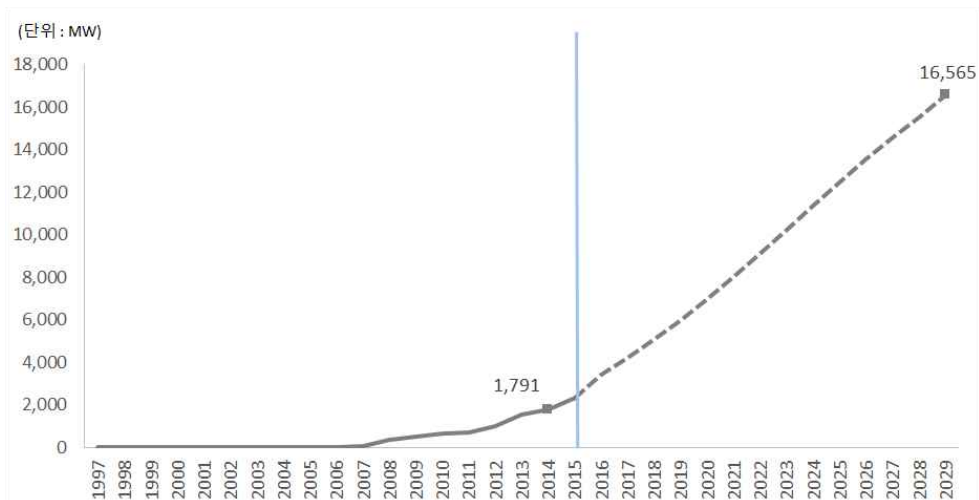
### 제 1 절 태양광 초기투자비용 추정

학습곡선 <식 1>을 살펴보면 지수함수 형태이기 때문에 로그로 치환하여 분석을 수행하여야 한다. [그림 3]은 1997~2014년 국내 태양광 초기투자비용과 국내 태양광 누적설비용량을 이용하여 로그함수식인 <식 2>로 구한 학습곡선이다. 학습곡선의 기울기는 학습효과 계수(E)로 학습곡선을 해석하기 위해 진보율 또는 학습률의 형태로 바뀌줄 필요가 있다. 학습곡선의 기울기인  $-0.3067$ 을 <식 3> , <식 4>를 통해 계산한 결과 진보율(PR)은 80.8%, 학습률(LR)은 19.2%로 나타났다. 이는 1997년부터 2014년까지 국내 태양광 누적설비용량이 두 배로 늘어날 때마다 국내 태양광 초기투자비용은 19.2%씩 감소하였음을 의미한다.



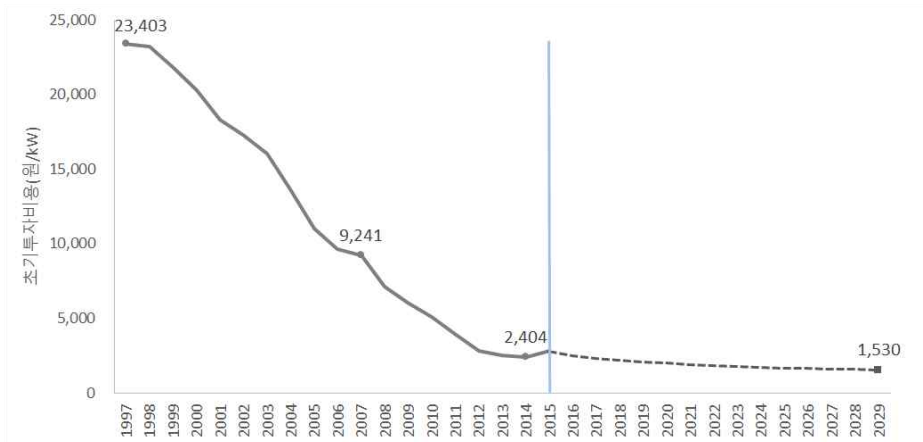
[그림 3] 국내 태양광 초기투자비용의 학습곡선

앞서 추정한 학습곡선( $P_t = 250611Q_t^{-0.3067}$ )을 이용하여 미래의 태양광 초기투자비용을 추정하였다. 미래에 대한 전망치는 「제7차 전력수급기본계획」의 전망치를 사용하였다. 「제7차 전력수급기본계획」에서는 「2차 에너지기본계획」, 「4차 신·재생에너지기본계획」의 신·재생에너지 설비용량 및 발전량 목표를 준수하여 2029년 기준 신·재생에너지 발전설비 목표 비중은 20.1%, 발전량 목표비중은 11.7%로 2029년에 16,565MW의 태양광 발전설비를 구축할 것을 목표로 삼았다.



[그림 4] 「제7차 전력수급기본계획」에 따른 태양광 설비 전망치(2015~2029)

[그림 5]와 [표 5]은 정부에서 제시한 설비용량 전망치를 이용하여 국내 태양광 기초투자비용을 추정한 결과로, 태양광 초기투자비용은 지속적으로 감소하지만 그 기울기는 완만해지는 것으로 나타났다. 2029년 국내 태양광 기초투자비용은 1,530원/W으로 현재의 63.6% 수준으로 감소할 것으로 나타났다. 하지만 그 감소 속도는 완만할 것으로 나타났다.



[그림 5] 과거 국내 태양광 초기투자비용 및 향후 전망치

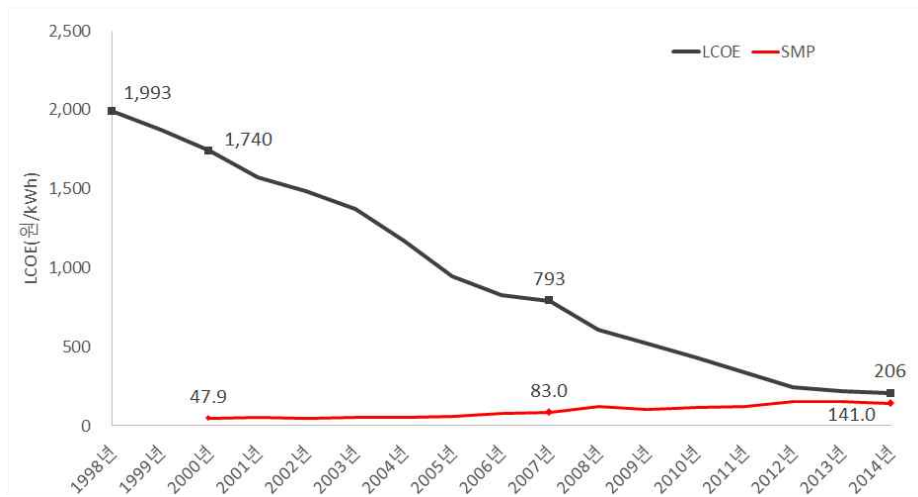
[표 5] 과거 태양광 초기투자비용 및 향후 전망치

(단위 : 원/W)

year	초기투자비용	year	초기투자비용
1997년	23,403	2015년	2,784
1998년	23,235	2016년	2,486
1999년	21,816	2017년	2,328
2000년	20,284	2018년	2,198
2001년	18,329	2019년	2,089
2002년	17,291	2020년	1,995
2003년	16,023	2021년	1,912
2004년	13,636	2022년	1,839
2005년	11,024	2023년	1,774
2006년	9,628	2024년	1,718
2007년	9,241	2025년	1,669
2008년	7,118	2026년	1,628
2009년	6,037	2027년	1,592
2010년	5,060	2028년	1,562
2011년	3,937	2029년	1,530
2012년	2,821		
2013년	2,532		
2014년	2,404		

## 제 2 절 LCOE

이 연구에서는 초기투자비용이 하락할 경우 태양광이 그리드패리티(grid parity)에 도달할 수 있는지 알아보기 위해 LCOE를 구하였다. 그리드패리티란 신·재생에너지 기술이 정부의 지원 없이 시장에서 경쟁력을 가질 수 있는 시점을 의미하는 것으로, 신·재생에너지의 경우 LCOE가 SMP와 같아지는 시점이 그리드패리티라고 할 수 있다. 따라서 신·재생에너지의 그리드패리티 달성에 있어서 SMP가격은 결정적인 요소라고 할 수 있다.



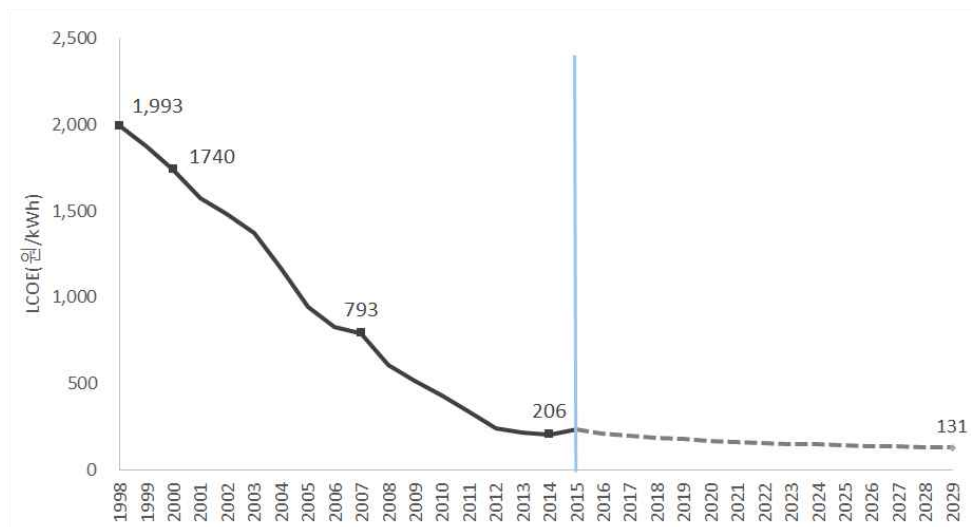
[그림 6] 과거 태양광 LCOE와 SMP

자료 : 전력거래소

LCOE 연구모형을 이용하여 태양광 LCOE를 구한 결과, 2000년의 태양광 LCOE는 1,740원/kWh으로 2000년 평균 SMP인 47.9원/kWh보다

36.4배 높은 것으로 나타났다. 이는 초기 태양광 사업의 경쟁력이 얼마나 낮았는지 보여주는 것으로 초기투자비용이 매우 높은 상황으로 정부의 정책적 지원 없이는 태양광 사업이 유지될 수 없음을 보여준다. 2007년 태양광 사업 참여가 높아지던 시점의 태양광 LCOE는 이전에 비해 빠른 속도로 감소하여 793원/kWh이 되었지만, 여전히 SMP(2007년 기준 83.0 원/kWh)에 비해서는 약 9.6배나 높은 것으로 나타났고 2014년 LCOE의 경우 206원/kWh으로 평균 SMP에 비해 1.46배 높은 것으로 나타났다. 이는 사업초기(1998년 기준 1,993원/kWh)에 비해 약 10.3% 수준으로 감소한 것으로 국내 태양광 사업이 빠른 속도로 경쟁력을 갖춰갔다는 것을 보여준다.

학습곡선으로 추정한 태양광 초기투자비용 추정치를 이용하여 향후 태양광 LCOE 전망치를 구한 결과는 다음과 같다.



[그림 7] 과거 태양광 LCOE 및 향후 전망치



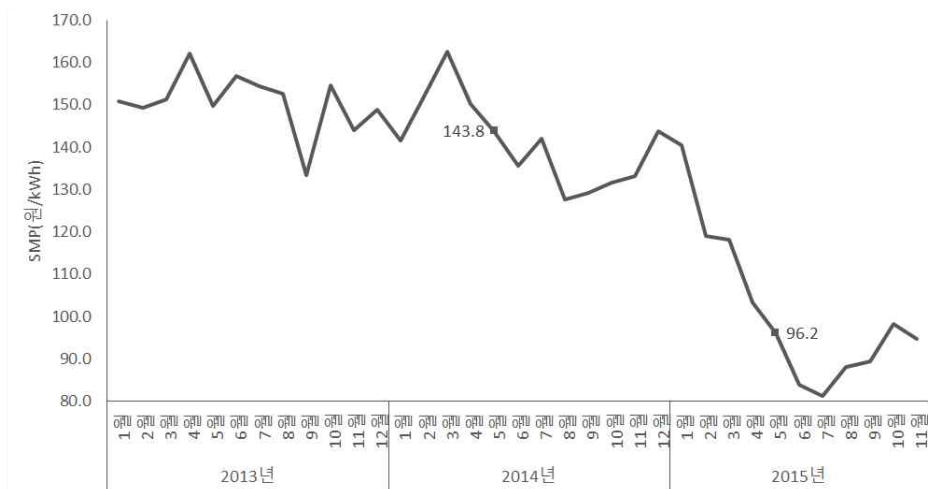
[표 6] 과거 태양광 LCOE 및 향후 전망치

(단위 : 원/W)

year	LCOE	year	LCOE
1998년	1,993	2015년	239
1999년	1,871	2016년	213
2000년	1,740	2017년	200
2001년	1,572	2018년	189
2002년	1,483	2019년	179
2003년	1,374	2020년	171
2004년	1,169	2021년	164
2005년	945	2022년	158
2006년	826	2023년	152
2007년	793	2024년	147
2008년	610	2025년	143
2009년	518	2026년	140
2010년	434	2027년	137
2011년	338	2028년	134
2012년	242	2029년	131
2013년	217		
2014년	206		

미래 태양광 LCOE 전망치를 분석한 결과, 향후 태양광 LCOE는 그 감소속도가 완화되어 2029년까지 131원/kWh 수준으로 낮아지는 것으로 나타났다. LCOE의 하락 추세는 태양광 초기투자비용의 감소추세와 비슷하게 나타나는데, 이는 태양광 사업의 총비용 중 초기투자비용이 대부분을 차지하기 때문이다. [그림 7]을 살펴보면, 향후 태양광 LCOE의 하락 추세는 앞으로 태양광 사업의 경쟁력이 이전과 같은 속도로 빠르게 좋아지지 않는다는 것을 보여준다. 1998년(1,993원/kWh)에서 2014년(206원/kWh)까지 태양광 LCOE는 16년 동안 1,787원/kWh(89.7%)이 감소하였지만, 추정결과에 따르면 2014년부터 2029년까지 LCOE는 75원/kWh(36.4%)이 감소할 것으로 나타났다. 이것은 향후 태양광 사업이 비용 감소를 통해 그리드패리티에 도달하는 것에는 어느 정도 한계가 있다

는 것을 의미하며, 태양광 사업이 그리드패리티를 달성하기 위해서는 비용감소 뿐만 아니라 SMP가 증가해야하는 것을 의미한다.



[그림 8] 최근 3년간(2013~2015년) SMP 가격 추이

자료 : 전력거래소

하지만 문제는 향후 SMP에 대한 전망이 좋지 않다는 것이다. 2014년 5월 143.8원/kWh이던 SMP는 1년 후 2015년 5월에는 100원/kWh 이하인 96.2원/kWh으로 급락하였다. 2015년에 들어서면서 SMP는 급락하기 시작하였고 2015년 5월부터 월평균 SMP는 100원/kWh 이하를 유지하고 있다. 더욱이 2016년, 2017년에 신고리 원전 3,4호기가 추가로 가동되기 때문에 전력예비율이 증가하고 국제유가의 하락으로 인해 SMP가 반등할 가능성은 낮은 것으로 보인다. 따라서 앞으로 LCOE가 지속적으로 하락한다 하더라도 SMP가 어느 시점에 태양광 LCOE를 상회하게 될지는 미지수이다.

설령 태양광 사업이 그리드패리티에 도달하여 SMP가 태양광 LCOE

와 동일한 시점에 이르게 된다 하더라도 SMP의 변동성으로 인해 여전히 태양광 사업은 안정적인 투자환경을 갖지 못할 가능성이 크다. 그리고 이것은 태양광 시장으로의 신규진입과 장기적인 투자계획의 억제로 이어질 것이다. 따라서 기술 발달로 인해 태양광 초기투자비용이 감소한다 하더라도 정부의 지원이 없이는 태양광 사업은 여전히 수익성이 보장되지 않을 것으로 보인다.

### 제 3 절 재무성 분석

앞서 구한 태양광 초기투자비용을 이용하여 FIT지원 규모에 따라 태양광 발전사업자의 손익분기점이 어떻게 달라지는지 시나리오 분석을 통해 알아보았다. 현 상태로 정책이 유지될 경우의 손익분기점을 통해 FIT 도입의 필요성을 살펴보고, 현재 서울시에서 시행하고 있는 서울형 FIT를 전국적으로 시행한다고 가정할 경우의 분석을 통해 FIT를 재도입할 경우 지원규모에 따라 발전사업자의 손익분기점이 어떻게 달라지는지 살펴보는 것을 목적으로 하였다.

[표 7] 태양광 발전사업 재무성 분석을 위한 시나리오

	FIT 지원규모	REC 거래가격	SMP
시나리오 1	지원 없음	입찰 실패(0원/kWh)	101.59원/kWh
시나리오 2		입찰 성공(100원/kWh)	
시나리오 3	50원/kWh	입찰 실패(0원/kWh)	
시나리오 4		입찰 성공(100원/kWh)	
시나리오 5	100원/kWh	입찰 실패(0원/kWh)	
시나리오 6		입찰 성공(100원/kWh)	

시나리오 1,2는 현 상태와 동일하게 FIT 지원이 없는 경우로 REC 입찰에 성공할 경우와 성공하지 못할 경우로 나누어 분석하였다. FIT 지원도 없고 REC 입찰도 실패할 경우(시나리오 1) 발전사업자는 태양광 초기투자비용이 1,530원/W 수준으로 저렴해진다 하더라도 사업기간 내에 손익분기점에 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 하지만 FIT 지원은 없지만, REC 입찰에 성공하여 REC 수익이 발생할 경우(시나리오 2) 태양광 초기투자비용이 2,198원/W(2018년) 수준이 되었을 때 18년 만에 손익분기점에 도달할 수 있으며, 초기투자비용이 1,561원/W(2028년) 수준이 되었을 때에는 10년 만에 손익분기점에 도달할 수 있는 것으로 나타났다.

시나리오 3, 4는 서울형 FIT 도입 초기의 지원규모로, 지원기간은 내구연수와 동일한 20년으로 한다. FIT 지원규모가 50원/kWh이고 REC 입찰에 실패하였을 경우(시나리오 3) 태양광 발전사업자는 초기투자비용이 1,718원/W(2024년) 수준이 되어야 사업기간 내에 손익분기점에 도달할 수 있는 것으로 나타났다. 50원/kWh의 지원도 받고 REC 입찰에도 성공할 경우(시나리오 4) 발전사업자는 태양광 초기투자비용이 2,486원/W(2016년)일 때 15년 만에 손익분기점에 도달할 수 있는 것으로 나타났다. 태양광 초기투자비용이 1,992원/W(2021년) 수준이 되었을 때 10년 만에 손익분기점에 도달할 수 있는 것으로 나타났다.

마지막으로 시나리오 5, 6은 현재 시행되고 있는 서울형 FIT를 전국 단위로 확장하였을 경우로 100원/kWh의 FIT 지원금을 20년 동안 지원해주는 것으로 가정한다. FIT 지원규모가 100원/kWh이고 REC 입찰에는 실패할 경우(시나리오 5) 태양광 초기투자비용이 2,198원/W(2018년) 수준이 되었을 때 18년 만에 손익분기점에 도달할 수 있으며, 1,562원/W(2028년) 수준이 되었을 때 10년 만에 손익분기점에 도달할 수 있는 것으로 나타났다. FIT 지원을 받으면서 REC 거래에도 성공하는 경우(시나리오 6)에 발전사업자는 태양광 초기투자비용이 2,486원/kWh(2016년)일 때 11년 만에 손익분기점에 도달할 수 있는 것으로 나타났다.

시나리오 결과를 종합하면 태양광 발전사업자의 수익은 REC 성공

여부에 따라 크게 차이가 나는 것으로 나타났다. REC 입찰 성공이 보장될 경우 FIT 지원이 없더라도, 초기투자비용이 2,198원/W(2018년) 수준이 되었을 때 사업기간 내에 손익분기점에 도달하는 것으로 나타났다. 하지만 REC 입찰에 실패할 경우, 초기투자비용이 1,530원/kWh(2029년) 수준이 되어도 FIT 지원 없이는 손익분기점에 도달하지 못하며, 100원/kWh이 지원될 경우 2,198원/kWh(2018년) 수준이 되었을 때 사업기간 동안 손익분기점에 도달할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 SMP 101.59원/kWh, REC 거래가격 100원/kWh일 경우에도 REC 입찰 성공이 보장된다면, 머지않아 태양광 발전사업자는 정부의 지원 없이 손익분기점에 도달할 수 있다는 것을 의미한다. 하지만 문제는 RPS의 특징상 시장 논리에 의해 REC 거래시장이 운영되기 때문에 REC 입찰 성공의 보장을 확신할 수 없다는 것이다. 2012년 RPS 도입 이후 RPS를 살펴보면, REC 거래가격 급락과 더불어 낮은 입찰 성공률 등을 통해 아직 제도가 안정적으로 운영되지 않고 있다는 것을 알 수 있다. 이에 대해 정부는 2016년부터 태양광 REC와 비태양광 REC를 통합하고, 소규모 발전사업자를 대상으로 REC 거래 물량을 배정하는 등의 제도적 장치를 마련할 것으로 보이지만, RPS 하에서는 경제성이 좋은 에너지원으로 편중될 가능성이 크기 때문에 소규모 태양광발전사업자의 수익이 안정적으로 보장될지는 미지수이다. 따라서 RPS가 안정적으로 운영되기 전까지 FIT를 통해 사업자의 수익성을 보장해줌으로써 중소규모 태양광 발전사업자의 지속적인 시장 참여를 유도할 필요가 있다.

민감도 분석 결과, 정부 정책으로 인한 발전사업자의 수익이 높을 때에는 SMP에 의한 손익분기점의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 정부 지원 수준이 가장 높은 시나리오 6의 경우 SMP에 따른 손익분기점의 차이는 약 2년으로 나타났다. 하지만 REC 입찰에 실패한 경우(시나리오 1,3,5) FIT 지원이 있다 하더라도 SMP 수준에 따른 손익분기점의 차이는 SMP에 따라 최대 8년이 차이나는 것으로 나타났다. 이를 통해 정부의 지원이 없는 상황에서는 발전사업자의 수익이 SMP 수준에 대하여 민감하게 반응한다는 것을 확인할 수 있다.

[표 8] 시나리오와 사업참여년도에 따른 태양광 발전사업자의 손익분기점

SMP 101.59원/kWh REC 100원/kWh		사업참여년도													
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
시나리오 1	FIT X, RPS X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
시나리오 2	FIT X, RPS O	-	-	-	20년	18년	17년	16년	15년	14년	13년	13년	12년	12년	12년
시나리오 3	FIT O, RPS X	-	-	-	-	-	-	-	-	20년	19년	18년	17년	16년	16년
시나리오 4	FIT O, RPS O	15년	13년	12년	11년	11년	10년	9년	9년	9년	8년	8년	8년	8년	7년
시나리오 5	FIT O, RPS X	-	-	-	20년	18년	17년	16년	15년	14년	13년	13년	12년	12년	12년
시나리오 6	FIT O, RPS O	11년	10년	9년	9년	8년	8년	7년	7년	7년	7년	6년	6년	6년	6년

## 제 VI장 결 론

우리나라는 다른 국가보다 태양광 사업에 발을 늦게 들여왔음에도 불구하고 FIT와 RPS를 통해 빠른 속도로 성장할 수 있었다. 하지만 2012년 RPS 도입 이후 중소규모 발전사업자들 사이에 경영환경이 악화되어 사업을 철수하는 사태가 일어났고, 최근에는 SMP 하락과 REC 거래가격 하락까지 겹쳐서 중소규모 발전사업자들의 수익성이 더 악화되었다. 이에 대해 중소규모 발전사업자를 비롯한 각 계에서 FIT를 재도입을 주장하고 있지만, 정부 측은 재정적 부담 등을 이유로 받아들이지 않고 있는 상황이다.

이 연구는 FIT 도입의 재무적 타당성 대한 연구로 FIT 지원 규모에 따른 발전사업자의 재무성을 분석하였다. 그리고 FIT 지원 규모에 따른 재무성 분석을 수행하되 향후 태양광 초기투자비용의 하락을 고려하여 분석을 보다 정밀히 하였다.

학습곡선으로 추정한 태양광 초기투자비용 전망치를 이용하여 분석한 결과, 2029년 태양광 LCOE는 131원/kWh 수준으로 하락하는 것으로 나타났다. 1998년(1,993원/kWh)부터 2014년(206원/kWh)까지 태양광 LCOE는 89.7% 감소했지만, 2014년부터 2029년까지는 36.4% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 앞으로 태양광 초기투자비용의 감소에만 의지해서 그리드패리티에 도달하기에는 어느 정도 한계가 있으며, SMP 증가와 기타 지원을 통해 수익 측면의 개선이 필요하다는 것을 보여준다.

태양광 발전사업자의 재무성에 대해 시나리오 분석을 수행한 결과 REC 입찰 여부에 따라 태양광 사업의 수익성이 매우 달라지는 것으로 나타났다. REC 입찰 성공이 보장된다면 FIT 지원이 없어도 태양광 초기투자비용이 2,198원/W(2018년) 수준에 이르렀을 때 사업

기간 내에 손익분기점에 도달할 수 있는 것으로 나타났지만, REC 입찰에 실패할 경우 FIT 지원 없이는 초기투자비용이 1,530원/kWh(2029년) 수준까지 떨어진다 하더라도 사업기간 내에 손익분기점에 도달하지 못하는 것으로 나타났다. REC 입찰의 실패하고 정부에서 50원/kWh을 지원해 줄 경우 초기투자비용이 1,718원/W(2024년) 수준이 되어서야 사업기간 내에 손익분기점에 도달할 수 있는 것으로 나타났다.

시나리오 분석 결과는 RPS 하에서 REC 입찰경쟁률이 해소된다면 태양광 발전사업자들이 수익을 확보할 가능성이 있음을 보여주지만, 시장의 논리로 운영되는 RPS 하에서 발전사업자의 REC 입찰을 보장해줄 수 있는 장치가 제대로 마련될지 확신할 수 없다. 태양광 사업자의 수익이 보장되지 않는다면, 중소규모의 태양광 발전사업자들의 경영환경은 더욱 악화될 것이며 향후 태양광 시장에 신규 진입하는 사업자 역시 감소할 것이다. 또한, 민감도 분석을 통해 발전사업자의 수익이 보장되지 않은 상황에서는 발전사업자의 수익성은 SMP에 민감하게 반응한다는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 정부의 정책적 지원이 적을수록 SMP 변동에 의한 발전사업자의 불안 심리가 더 커질 수 있다는 것을 보여준다.

따라서 FIT를 통해 RPS 하에서 상대적으로 불리한 위치에 있는 중소규모 발전사업자들의 수익성을 보장함으로써 발전사업자들이 태양광 사업에 지속적으로 참여할 수 있는 환경을 만들어 줄 필요가 있다. SMP와 REC 거래가격 및 입찰 가능성이 불확실한 상황 속에서 정부 차원에서 중소규모 태양광 발전사업자를 대상으로 FIT를 시행한다면, RPS의 제도적 한계를 보완함과 동시에 태양광 산업으로의 지속적인 신규 진입을 유도하여 태양광 산업이 안정적으로 성장을 견인할 수 있을 것이다. 그리고 현재 태양광 초기투자비용이 과거에 비해 많이 낮아졌을 뿐더러 향후 태양광 초기투자비용이 지속해서 감소할 것으로 예상하기 때문에 이에 대한 정부의 재정적 부담 역시 과거보다 많이 완화될 것으로 보인다.



이 연구는 미래 태양광 초기투자비용을 추정함으로써 태양광 사업의 재무성에 대해 정밀히 분석하였다는 점에 의의가 있다. 하지만 자료 확보의 한계로 태양광 설비규모별 초기투자비용을 이용하지 못했다는 점에서 한계가 있다. 그리고 학습곡선 추정 시 누적설비용량 외의 변수를 고려하지 못했다. 그리고 시나리오 분석을 통해 지원규모에 따른 발전사업의 수익성의 변화는 분석하였지만, 적정수준의 지원규모에 대해서는 다루지 못하고 있다는 점에서 한계가 있다. 또한, 온실가스 감축효과, 침투부하 회피비용 등과 같은 태양광 사업의 사회적 편익과 비용을 고려하지 못했다는 한계가 존재한다. 추후 국내 학습곡선에 대한 보다 정밀한 분석과 태양광의 사회적 비용 및 편익이 고려된 연구가 진행되길 기대한다.

## 참 고 문 헌

### 【국내문헌】

- 구민교(2013), “우리나라의 발전차액지원제도 사례 분석 : 신산업정책론 시각에서”, 「한국행정연구」, 22(1), 1-27.
- 국회예산정책처(2015), 「2014 회계연도 재정사업성과평가 : 경제·산업」
- 권태형(2014), “신·재생에너지 시장 확대를 위한 정책수단의 비교”, 「한국정책과학학회」, 18(2), 1-23.
- 김영경·장병만(2012), “한국 태양광발전사업의 에너지균등화비용(LCOE) 추정:재무적투자자 참여사업을 대상으로” 「한국신·재생에너지학회」, 8(3), 23-29.
- 김운수(2012), 「신·재생에너지 공급의무화제도 시행에 따른 서울형 햇빛발전지원제도 도입방안 연구」, 서울:서울시정개발연구원.
- 김유진·김수덕(2008), “국내 신·재생전원 보급지원제도”, 「한국경제연구학회」, 20, 107-133.
- 김준희·이웅직(2013), “RPS 제도 시행에 따른 의무이행 현황 분석 및 개선방안 연구” 「한국태양에너지학회 논문집」, 33(6), 98-104.
- 김태은(2011), “신·재생에너지 성장의 영향요인 연구”, 「한국행정학보」, 45(3), 305-333.
- 박성준 외(2012), “2요인 학습곡선 모형을 이용한 한국의 태양광 발전 그리드 패리티 예측”, 「대한산업공학회」, 25(4), 441-449.
- 산업통상자원부(2014), 「신·재생에너지 공급의무화제도 관리 및 운영지침」
- \_\_\_\_\_ (2015), 「제7차 전력수급기본계획(2015~2029)」, 산업통상자원부 공고 제2015-403호.
- 안혜영(2011), “2012년 RPS 제도 도입이 국내 태양광 발전 산업에 미치는 영향”, 「월간하나금융 8월호」
- 에너지경제연구원(2014), 「2014 에너지통계연보」

- 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 「신·재생에너지 보급통계」  
 \_\_\_\_\_, 「2014 신·재생에너지 백서」
- 염미경(2013), “신·재생에너지정책에 대한 평가와 시사점 : 제주도의 태양열  
 과 태양광발전시설을 중심으로”, 「지역사회학」, 14(2),  
 145-174.
- 윤석기·김종달.(2010). “신·재생에너지 의무할당제(RPS)에 대응한 발전사업  
 자의 의무(불)이행의 경제성 분석”. 「한국환경정책학회 학술대  
 회논문집」, 191-207.
- 윤순진·심혜영(2014), “전략적 틈새로서의 시민참여형 소규모 햇빛발전 확대  
 와 경로의존적 장애요인 : 서울시 시민햇빛발전협동조합 사례  
 를 중심으로”, 「한국사회학회 사회학대회 논문집」, 339-361.
- 이민식(2009), “FIT와 RPs 제도 비교와 시사점 : 태양광을 중심으로”, 「산  
 은경제연구소」
- 이상훈(2014), “한국에서 재생에너지 확대를 위한 정책적 과제”, 「환경법과  
 정책」, 12, 63-82.
- 이수진·윤순진(2011), “재생가능에너지 의무할당제의 이론과 실제 : RPS 도  
 입국가들에 대한 분석을 바탕으로”, 「환경정책」, 19(3),  
 79-111.
- 이창호 외(2009), “태양광 발전차액지원을 위한 기준가격 수립 연구”, 한국전  
 기연구원.
- \_\_\_\_\_ 외(2010), “2011년 태양광 등 발전차액지원제도 개선방안”, 한국전기  
 연구원.
- 이형석·양승룡(2010), “선형계획법을 이용한 RPS 제도의 효과적 도입방안”,  
 「자원·환경경제연구」, 19(1), 159-198.
- 장한수·최기련(2006), “에너지기술의 학습 효과에 대한 이론적 고찰”, 「에너  
 지공학」, 15(4), 209-228.
- 정윤경(2013), 「태양광 산업 및 모듈가격 전망과 대내외 대응전략 연구」,  
 에너지경제연구원 기본연구보고서 13-21.
- 최현경(2009), “신·재생에너지 의무할당제도(RPS)와 발전차액지원제도(FIT)  
 의 비교와 시사점”, 「산업경제 2009년 1월호」
- 허가형(2012), “제6차 전력수급기본계획의 문제점 및 개선과제”, 국회예산정

책처.

- 한국개발연구원(2008), 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)」
- 한귀현(2010). “신·재생에너지법제의 최근 동향과 그 시사점”. 「공법학연구」, 11(2), 437-471.

## 【외국문헌】

- Arrow, K.J.(1962) . The economic implications of learning by doing, The Review of Economic Studies, 29(3), 155-173.
- Ayres, R. U., & Martinas, K. (1992). Experience and the life cycle: some analytic implications. Technovation, 12(7), 465-486.
- De La Tour, A. et al. (2013), What Cost for Photovoltaic Modules in 2020? Lessons from Experience Curve Models, Working Paper 13-ME-03, CERN, Interdisciplinary Institute for Innovation.
- Lesser, J. A., & Su, X. (2008). Design of an economically efficient feed-in tariff structure for renewable energy development. Energy Policy, 36(3), 981-990.
- Wene. C. O.(2000), Experience Curves for Energy Technology Policy, IEA study book, Paris.
- IPCC(2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Volume I: Global and Sectoral Aspects.
- Haas et al., (2011). A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries. Renewable and sustainable energy reviews, 15(2), 1003-1034.
- Harmon, C.(2000). Experience curves of photovoltaic technology. Laxenburg, IIASA, 17.
- Kobos, P.H., Erickson, J.D., and Drennen, T.E, 2006, Technological

- learning and renewable energy costs : implications for US renewable energy policy, Energy Policy, 34, 1645-1658.
- McGlade, C., & Ekins, P.(2015). The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 [deg] C. Nature, 517(7533), 187-190.
- Nemet, G.(2006), “Beyond the Learning Curve: Factor Influencing Cost Reductions in Photovoltaics, Energy Policy, 34, 3218-3232.
- PVPS, National Survey Report of PV Power Applications in Korea, IEA.
- REN21(2015), Renewables 2015: Global Status Report, REN 21.
- Wright, T.P.(1936), Factors affecting the cost of airplanes. Journal of Aeronautical Sciences, 3(4), 122-128..

## 【인터넷자료】

국가통계포털

<http://kosis.kr/>

신·재생에너지 공급인증서 거래시스템

<http://rec.kpx.info/index.jsp>

에너지관리공단 신·재생에너지센터

<http://www.knrec.or.kr/knrec/index.asp>

전력거래소

<http://www.kpx.or.kr/>

이투뉴스

<http://www.e2news.com/>

### <부 록 1> SMP에 대한 민감도 분석

	SMP (원/kWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
FIT X, RPS O	81.53	-	-	-	20년	18년	17년	16년	15년	14년	13년	13년	12년	12년	12년
	101.59	-	20년	18년	16년	15년	14년	13년	12년	12년	11년	11년	11년	10년	10년
	141.54	16년	14년	13년	12년	11년	11년	10년	10년	9년	9년	9년	8년	8년	8년
FIT 50, RPS O	81.53	17년	15년	14년	13년	12년	11년	11년	10년	10년	9년	9년	9년	9년	8년
	101.59	15년	13년	12년	11년	11년	10년	9년	9년	9년	8년	8년	8년	8년	7년
	141.54	12년	11년	10년	9년	9년	8년	8년	7년	7년	7년	7년	7년	6년	6년
FIT 100, RPS O	81.53	12년	11년	10년	10년	9년	9년	8년	8년	8년	7년	7년	7년	7년	7년
	101.59	11년	10년	9년	9년	8년	8년	7년	7년	7년	7년	6년	6년	6년	6년
	141.54	9년	9년	8년	8년	7년	7년	6년	6년	6년	6년	6년	5년	5년	5년
FIT X, RPS X	81.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	101.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	141.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20년	19년	19년	18년
FIT 50, RPS X	81.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	101.59	-	-	-	-	-	-	-	-	19년	18년	17년	17년	16년	16년
	141.54	-	-	20년	18년	17년	15년	14년	14년	13년	12년	12년	11년	11년	11년
FIT 100, RPS X	81.53	-	-	-	20년	18년	17년	16년	15년	14년	13년	13년	12년	12년	12년
	101.59	-	20년	18년	17년	15년	14년	13년	13년	12년	11년	11년	11년	10년	10년
	141.54	16년	14년	13년	12년	11년	11년	10년	10년	9년	9년	8년	8년	8년	8년

## <부 록 2> 할인율에 대한 민감도 분석

	할인율	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
FIT X, RPS O	4.5%	20년	17년	16년	15년	14년	13년	12년	11년	11년	11년	10년	10년	10년	9년
	5.5%	-	20년	18년	16년	15년	14년	13년	12년	12년	11년	11년	11년	10년	10년
	6.5%	-	-	-	19년	17년	16년	14년	14년	13년	12년	12년	11년	11년	11년
FIT 50, RPS O	4.5%	14년	12년	11년	11년	10년	9년	9년	9년	8년	8년	8년	7년	7년	7년
	5.5%	15년	13년	12년	11년	11년	10년	9년	9년	9년	8년	8년	8년	8년	7년
	6.5%	17년	15년	13년	12년	11년	11년	10년	10년	9년	9년	8년	8년	8년	8년
FIT 100, RPS O	4.5%	10년	10년	9년	8년	8년	8년	7년	7년	7년	6년	6년	6년	6년	6년
	5.5%	11년	10년	9년	9년	8년	8년	7년	7년	7년	7년	6년	6년	6년	6년
	6.5%	12년	11년	10년	9년	9년	8년	8년	7년	7년	7년	7년	7년	6년	6년
FIT X, RPS X	4.5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5.5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6.5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FIT 50, RPS X	4.5%	-	-	-	-	-	20년	19년	18년	17년	16년	15년	15년	14년	14년
	5.5%	-	-	-	-	-	-	-	-	19년	18년	17년	17년	16년	16년
	6.5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20년	19년	19년	18년
FIT 100, RPS X	4.5%	20년	17년	16년	15년	14년	13년	12년	11년	11년	11년	10년	10년	10년	9년
	5.5%	-	20년	18년	17년	15년	14년	13년	13년	12년	11년	11년	11년	10년	10년
	6.5%	-	-	-	19년	17년	16년	14년	14년	13년	12년	12년	11년	11년	11년

## Abstract

# Financial feasibility study on Adoption of FIT -Focusing on PV cost estimated from Learning curves -

Yongcheol Park  
Environmental management  
in Departments of Environmental Planning  
The Graduate School  
Seoul National University

Since the discontinuation of the Feed-in Tariff (FIT) in 2011 and adoption of the Renewable Portfolio Standard (RPS) in 2012, calls for reenactment of FIT by small and medium sized utilities, due to lack of guaranteed profitability under RPS, have continued to rise. Government, however, disagrees with this viewpoint on the grounds of its constituting a financial burden, and the necessity of its management through market mechanisms, among others. This study analyzes the financial feasibility of utilities in the scenario where FIT is readopted in the form of Seoul FIT. In addition, it considers future PV initial system investment costs through estimation from learning curves.

Results show REC trading or REC non-trading to be a decisive factor in influencing the break-even-point (BEP) of utilities. When REC trading is guaranteed, BEP can be reached



even under initial system investment costs of 2,198won/kWh (2018), without FIT support (Scenario 2). On the other hand, when REC trading is not guaranteed, BEP cannot be achieved without FIT support even if initial investment costs fall to 1,530won/kWh (Scenario 1). Also, results of the sensitivity analysis demonstrate that as government support becomes smaller, BEP becomes more vulnerable to changes in SMP.

While utilities may experience stable profits in the case that REC trading is guaranteed, whether the market mechanism allowing for guaranteed REC trading will actually emerge is questionable. Thus, this research recommends the re-adoption of FIT to help resolve insecurities over profitability. Furthermore, expectations of continued decrease in PV initial system investment costs will likely lighten the financial burden of FIT.

**keywords : PV system cost, Learning curve, FIT,**

**Financial Analysis**

***Student Number : 2013-21988***