

박사학위논문

동태적 모형을 이용한
자가소비용 태양광발전 확산 정책 연구
Promotional Strategies of Photovoltaic System
for Self-consumption using System Dynamics Modeling

2018년 8월

세종대학교 대학원
기후변화협동과정
정희정

동태적 모형을 이용한
자가소비용 태양광발전 확산 정책 연구
Promotional Strategies of Photovoltaic System
for Self-consumption using System Dynamics Modeling

지도교수 전의찬

이 논문을 정책학 박사학위논문으로 제출함

2018년 8월

세종대학교 대학원
기후변화협동과정
정희정

국문초록

정희정의 박사학위논문을 인준함

2018년 8월

심사위원장 문 태 훈 (인)

심 사 위 원 이 태 화 (인)

심 사 위 원 정 창 권 (인)

심 사 위 원 김 하 나 (인)

심 사 위 원 전 의 찬 (인)

2017년 말 정부는 2030년까지 재생에너지로 전력량의 20%를 보급하겠다는 목표를 제시했다. 지난 2013년 발표된 제2차 에너지기본계획 상의 신·재생에너지 보급률 목표가 2035년까지 11%였음을 고려하면, 엄청난 변화라고 할 수 있다.

정부는 ‘재생에너지 3020 이행계획’에서 2018~2030년 신규 설치 목표 용량을 48.7GW로 설정했고, 그중 63%(30.8GW)를 태양광발전으로 충당하겠다고 밝혔다. 목표를 달성하기 위해서는 대규모 발전 사업뿐 아니라 소규모 발전기 설치도 큰 폭으로 늘려야 한다. 대규모 발전소 건설은 입지 선정과 추진 과정에서 민원 발생, 생태계 파괴 등 많은 난관에 부딪치게 되어 속도감 있게 진행되기 어려운 반면, 소규모 자가소비용 태양광발전은 대부분 유휴 공간에 설치하므로 갈등 유발 소지가 적어 신속하게 확대해 나갈 수 있다.

본 연구는 자가소비용 태양광발전의 확산과 에너지 전환을 위한 시민 참여 정책 수립에 기여하고자 다각적 분석을 통해 정책 제안을 도출하였다.

먼저 자가소비용 태양광발전을 성공적으로 보급시킨 해외 국가들의 다양한 태양광발전 확산 정책을 살펴보고, 설문조사를 통해 시민들이 자가소비용 태양광발전기를 설치하도록 만드는 유인을 확인했다. 그리고 단선적 사고의 한계를 극복하고 시스템의 순환적 피드백 구조를 파악하는 데 장점이 있는 ‘동태적 방법론’을 활용해 다양한 정책 실험이 가능한 모형을 구축했다. 동태적 모형을 활용한 정책 시뮬레이션은 자가소비용 태양광발전 중에서도 단독주택 지붕용 표준 보급모델인 3kW 용량의 태양광발전기를 대상으로 진행했고, ‘2030년까지 156만 가구’라는 정부의 보급 목표가 달성 가능한지 전망해 보았다.

선행연구와 설문조사를 통해 시민들이 태양광발전에 동참하도록 만드는 가장 효과적인 정책은 ‘경제적인 유인책’임을 확인할 수 있었다. 자가소비용 주택 태양광발전기 보급의 속도와 양에 있어 세계 1위 수준인 일본과 호주의 태양광발전 확산 정책을 우리나라와 비교해 본 결과, 자가소비용 태양광발전기 설치 시 경제적 혜택을 주는 정책으로 보조금 지급, 태양광발전기가 생산한 전기를 현금으로 보상해 주는 잉여전력 매입제도 도입 등은 공통적이었다(우리나라 잉여전력 매입제도는 2018년 말 이후 시행 예정).

본 연구는 전기요금, 보조금, 설비 가격, 잉여전력 매입제 등 자가소비용 태양광발전기 설치의 경제성에 영향을 주는 요인과 정책들을 선별한 뒤 그 관계를 분석한 인과순환지도를 작성했다. 인과순환지도를 바탕으로 정책 실행에 활용할 동태적 모형을 구축했고, 이미 시행중인 ‘보조금 정책’과 도입 예정인 ‘잉여전력 매입제도’를 변수로 입력해 시뮬레이션을 진행했다.

두 제도의 정책 효과를 분석하기 위해 수행한 시스템 다이내믹스 모델링 결과, 설치 시에만 1회성 혜택을 받는 보조금 정책보다 잉여전력 매입제가 태양광발전 확산에 더 큰 영향을 미칠 것임을 확인할 수 있었다. 자가소비에 따른 전기요금 절감 효과에 전력 판매 현금 수익이 더해진다면 태양광발전 보급 실적이 크게 증가할 것이라고 기대할 수 있지만, 잉여전력 매입 정책 도입의 효과는 기대만큼 크지 않을 것으로 분석되었다. 잉여전력 매입 기준가격이 주택용 전기요금의 절반 수준으로 정해질 예정이어서 잉여전력 판매 수익이 자가소비할 때보다 적어 태양광발전기 설치의 경제성 제고에 미치는 효과가 크지 않을 것이기 때문이다.

자가소비용 태양광발전을 효과적으로 보급하는 정책을 찾기 위해 보조금 지급 비율을 설치비의 25%, 50%, 75%로 설정하고, 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 50%, 100%, 150%로 가정해 9가지 정책 시나리오를 구성한 뒤 시뮬레이션을 진행했다. 그 결과 2030년 보급 목표인 156만

가구를 달성하는 시나리오는 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 150%, 보조금은 설치비의 75%로 설정한 P3(S3) 시나리오뿐이었다. 그 외 잉여전력 매입 기준 단가를 주택용 전기요금과 같은 수준으로 끌어올리고 보조금은 50% 이상 주는 P2(S2), P2(S3), 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 150%로 설정한 P3(S1), P3(S2) 시나리오의 경우 2030년까지는 불가능했지만, 2031~2036년 사이에는 목표를 달성할 것으로 예상되었다.

20년 동안(2018~2037년)의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 시나리오별 투입 예산과 그에 따른 성과를 비교한 결과, 보조금 지급 비율을 설치비의 25% 수준으로 낮추고 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 150% 수준으로 올린 P3(S1) 시나리오가 투입하는 예산 대비 성과가 가장 크고 태양광발전 설치 가구 수 목표도 달성 가능한 것으로 분석되었다.

잉여전력 매입 기준가격의 인상이 태양광발전 보급에는 효과적이거나 전력 회사에 부담을 전가하게 될 것이므로 정부와 전력회사의 부담은 줄이면서도 태양광발전 보급을 활성화할 수 있는 새로운 정책을 도입할 필요가 있다. 일본이나 호주 등과 같이 자가소비용 재생에너지에도 REC를 발급해 주고 재생에너지 사용 비율을 높이고자 하는 기업들이 그 REC를 구매할 경우 재생에너지 사용 실적으로 인정해 주는 정책을 도입하면, 정부나 한국전력의 부담을 증가시키지 않으면서도 자가소비용 태양광발전의 경제성을 제고하는 데 효과적일 것이다.

본 연구는 동태적 모형을 이용해 다양한 정책(특히 향후 시행 예정인 잉여전력 매입제도)의 도입 효과를 미리 분석해 봄으로써 자가소비용 태양광발전 확산을 위한 정책들의 바람직한 조합을 제안했다는 점에서 의미가 있다.

주요어 : 자가소비용 태양광발전, 주택 태양광발전, 동태적 모형,

시스템 다이내믹스, 확산 정책

< 목 차 >

제1장 서 론	
제1절 연구 배경 및 필요성	1
제2절 연구 목적	6
제3절 연구 범위 및 내용	9
제2장 이론적 고찰	
제1절 태양광발전 확산 이론	13
제2절 선행연구 분석	29
제3장 태양광발전 확산의 영향인자 및 인과순환지도	
제1절 자가소비용 태양광발전 확산 정책	41
제2절 태양광발전 확산의 영향인자	86
제3절 자가소비용 태양광발전 확산 인과순환지도	96
제4장 태양광발전 확산의 동태적 모형과 최적 정책	
제1절 태양광발전 확산 저장·유량 모형	119
제2절 태양광발전 확산 시나리오	136
제3절 태양광발전 확산을 위한 동태적 모델링	154
제4절 태양광발전 확산을 위한 최적 정책	161
제5장 결 론	
제1절 연구 요약	171
제2절 연구의 시사점 및 한계	175

참고 문헌	177
부록	193
Abstract	207

〈 표 목차 〉

<표 2-1> 그리드패리티 달성 국가 현황과 한국 상황 비교	17
<표 2-2> 통계적 방법론과 시스템 다이내믹스 방법론 비교	26
<표 2-3> 자가소비용 태양광발전 확산 선행연구	33
<표 2-4> 에너지 전환과 시민 참여의 중요성 선행연구	36
<표 2-5> 시스템 다이내믹스를 활용한 신·재생에너지 확산 연구	38
<표 3-1> 국내 태양광발전 설치량 중 자가소비용이 차지하는 비율 ..	42
<표 3-2> 국내 건축물의 태양광발전 설치 가능 면적 및 용량	43
<표 3-3> 국내 태양광발전 확산 지원 정책별 설치 용량	44
<표 3-4> 서울시 자가소비용 태양광발전기 보급 현황	48
<표 3-5> ‘태양의 도시, 서울’ 계획에 따른 연차별 보급 및 투자계획 ..	49
<표 3-6> 주요국 태양광발전 관련 정책 현황	50
<표 3-7> 호주의 주 정부별 소규모 재생에너지 설치 지원 FIT 현황 ..	64
<표 3-8> 일본의 태양광발전 설비 설치 현황	68
<표 3-9> 자가용 신·재생에너지 지원제도(공공부문 제외)	70
<표 3-10> 주택 대상 자가소비용 신·재생에너지 보급 목표 및 실적 ..	71
<표 3-11> 주택 형태별 그린홈 지원 사업 실적	72
<표 3-12> 연도별 신·재생에너지원별 주택 지원 현황	73
<표 3-13> 2013~2017년 태양광 대여 사업 실적	75
<표 3-14> 공동주택 태양광 대여 사업의 발전량, 전기요금 절감액, 대여료 사례	76
<표 3-15> 국비 지원을 통한 전국 배관다형 미니태양광발전기 보급 현황 ..	79

<표 3-16> 발전 설비 구분별 상계거래 및 전력거래 가능 여부	80
<표 3-17> 일반용 전기 설비에 대한 상계 거래 제도 운영 현황	81
<표 3-18> 한국·일본·호주의 자가소비용 태양광발전 지원 제도 비교	84
<표 3-19> 개편 전후 주택용 전력(고압) 전기요금 비교	87
<표 3-20> 미니태양광발전기 신청 취소 사유	89
<표 3-21> 자가소비용 태양광발전 설치 지원 사업 형태별 설치 실적 ..	90
<표 3-22> 미니태양광발전기 설치 동기	93
<표 3-23> 미니태양광발전기를 설치하지 않은 이유	94
<표 3-24> 전기요금 누진제 완화와 보조금 증액 조건 인지 후 미니 태양광발전기 설치 의향	95
<표 3-25> 호주의 지붕형 태양광발전기 설치 신규 및 누적 가구 수 ..	97
<표 3-26> 자가소비용 태양광발전기 설치 가구의 발전량과 잉여전력 현황	100
<표 3-27> 재생에너지 3020 이행계획 중 자가용 태양광발전 보급 목표 ..	101
<표 3-28> 자가소비용 태양광발전 확산 인과순환지도의 7가지 순환고리 ..	105
<표 3-29> 통합 인과순환지도의 변수들과 인과관계	118
<표 4-1> 국제 태양광발전 설비 단가와 국내 주택 태양광발전(3kW) 설치비 인하율	124
<표 4-2> 자가소비용 태양광발전 용량별 비중	125
<표 4-3> 모델에 입력한 주택용 재생에너지 설치 실적 관련 자료 ..	128
<표 4-4> 태양광발전 확산모형 관련 선행연구의 혁신계수와 모방계수 추정치	129
<표 4-5> 자가소비용 태양광발전 확산 모델의 변수 입력 값	130

<표 4-6> 장래 추계 가구 수 및 가구 증가율	131
<표 4-7> 자가소비용 주택 태양광발전기(3kW급) 설치 지원 사업비 ..	132
<표 4-8> 최근 6년간 주택용 태양광발전기 설치 보조금 지원단가 변화	138
<표 4-9> 2016~2017년 전기요금 누진제도 개편 전후 미니태양광발전기 설치에 따른 전기요금 절감액 비교	139
<표 4-10> 전력사용량별 주택 태양광발전기 초기 투자비 회수기간 변화	140
<표 4-11> 일본의 주택용 태양광발전 매입가격과 전기요금 비교 ..	142
<표 4-12> 일본 잉여전력 매입제도 시행에 따라 증가된 태양광발전기 출하량	143
<표 4-13> 호주 잉여전력 매입 기준가격 변동과 주택용 태양광발전기 설치 추이	144
<표 4-14> 주택용 전력 요금과 2018년 월가중평균 SMP 단가 비교	147
<표 4-15> 잉여전력 매입 기준가격과 보조금 조정 결합 정책 시나리오 ..	152
<표 4-16> 보급 목표 156만 가구 달성 시기와 투입 보조금 총액 비교 ..	156
<표 4-17> 정책 시나리오별 20년간 누적 보급 가구 수와 보조금 총액 ..	158
<표 4-18> 시나리오별 보급 성과와 온실가스 감축 효과 비교 ..	163
<표 4-19> 시나리오별 온실가스 감축량의 경제적 효과	164
<표 4-20> 시나리오별 보조금 투입에 따른 경제성 분석	165
<표 4-21> 온실가스의 사회적 비용 산출 기준	168
<표 4-22> 시나리오별 온실가스 감축량의 사회적 비용	169

〈 그림 목차 〉

〈그림 1-1〉 연구 흐름도	11
〈그림 2-1〉 일방향 단선적 인과관계(좌)와 원형 내부 순환적 환류 체계(우)	25
〈그림 3-1〉 연도별 자가용 태양광발전 누적 설치 용량	41
〈그림 3-2〉 한국, 일본, 호주의 자가용 주택 태양광발전 설치 실적 비교 ..	47
〈그림 3-3〉 독일 태양광발전 설비(10kW 미만) 설치량 및 FIT 평균 요금 단가	54
〈그림 3-4〉 영국 FIT 도입 후 태양광발전 설비 증가 추이	57
〈그림 3-5〉 호주의 주택 태양광발전 설비 설치 증가 추이	63
〈그림 3-6〉 일본 주택용 전기요금 대비 FIT 매입가격 비중 추이 ..	67
〈그림 3-7〉 일본의 주택용 태양광발전 설비 도입 현황	98
〈그림 3-8〉 국내 주택용 태양광발전기 설치 실적과 보조금 현황 ..	103
〈그림 3-9〉 전기요금 절감 효과에 의한 태양광발전 보급 성과 강화 루프(R1)	106
〈그림 3-10〉 설비 가격 인하, 모방 효과와 태양광발전 보급 성과의 강화루프(R2, R3)	111
〈그림 3-11〉 잉여전력 매입제도와 태양광발전 보급 성과의 균형 루프(B1)	112
〈그림 3-12〉 전기요금 조정과 잉여전력 판매수익의 균형루프(B2) ..	114
〈그림 3-13〉 보조금 확대 정책과 태양광발전 보급 성과, 정부 재정 부담의 균형루프(B3, B4)	115

<그림 3-14> 자가소비용 태양광발전 확산에 관한 통합 인과순환지도 .. 117

<그림 4-1> 전기요금 절감 효과에 의한 태양광발전 확산 모형 121

<그림 4-2> 잉여전력 매입정책의 효과에 의한 태양광발전 확산 모형 .. 122

<그림 4-3> 설비 가격 인하와 모방 효과, 보조금 정책과 혁신적인 소비자의 영향에 의한 태양광발전 확산 모형 123

<그림 4-4> 보조금 및 잉여전력 매입 정책을 통한 태양광발전의 수익성 확보로 태양광발전 설치 가구 증가 모형 127

<그림 4-5> 시뮬레이션 결과와 실제 태양광발전 보급 성과의 정합성 그래프 134

<그림 4-6> 보조금 지급 비율 변화에 따른 태양광발전 보급 가구 수 변화 148

<그림 4-7> 매입 기준가격 변화에 따른 태양광발전 보급 가구 수 변화 149

<그림 4-8> 2018~2037년 태양광발전 보급 가구 수 예측 시뮬레이션 결과 154

제1장 서론

제1절 연구 배경 및 필요성

우리나라는 2016년 기준 에너지 총량의 94.7%를 해외 수입에 의존하고 있다. 에너지 수입액은 2016년 기준 809억 4,200만 달러로 이는 국가 전체 수입액의 20%에 해당하는 수치다.

반면, 신·재생에너지¹⁾ 비중은 OECD 회원국들 가운데 가장 낮다. 2016년 기준 신·재생에너지 비중은 1차 에너지 대비 4.78%이고 총 발전량 대비 7.22%인데, 그중 바이오와 폐기물의 비중이 70% 이상을 차지할 정도로 높다. 국제에너지기구(IEA) 기준²⁾에 부합하는 재생에너지만으로 발전 비중을 다시 계산해 보면, 1.4%에 불과해 OECD 34개 회원국 중 최하위이다(2015년 기준). 이스라엘과 우리나라를 제외한 OECD 32개국의 재생에너지 발전 비중은 모두 10% 이상이어서 우리나라와의 격차가 매우 큰 상황이다.

에너지 안보를 강화하고 국제사회에 약속한 온실가스 감축목표³⁾를 달성

1) 재생에너지는 다음과 같이 구분된다. 신에너지란 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 수소·산소 등의 화학반응을 통해 전기 또는 열을 이용하는 에너지로서 수소에너지, 연료전지 등이 그 대표적인 예이다. 재생에너지란 햇빛·물·지열·강수·생물유기체 등 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지이다.

그동안 우리나라는 ‘신·재생에너지’라는 용어를 사용하면서 통계도 통합해서 생산해 오다가 2013년 7월 30일에야 국제에너지기구의 재생에너지 통계와의 합치를 위하여 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법’의 개정을 통해 두 용어를 구분하여 정의했다(한국에너지공단, 2016a).

문재인 정부는 신에너지와 재생에너지를 구분하여 국제기준에 부합하는 재생에너지 위주의 정책을 추진하겠다고 밝힌 바, 본 논문에서는 두 용어를 구분해서 사용한다.

2) 국내 신·재생에너지 보급 통계의 대부분이 폐기물에 의존한 것이나, 폐기물은 국제에너지기구에서 재생가능 에너지로 분류되지 못하기 때문에 진정한 의미의 재생에너지 생산량은 폐기물을 제외하고 산출되어야 한다(최충익, 2013).

3) 2015년 6월 30일, 우리나라 정부는 2030년 국가 온실가스 감축목표를 배출 전담치(BAU) 대비 37% 감축하기로 결정하고 이 내용을 유엔에 제출했다(환경부, 2015).

하기 위해, 또 산업과 경제를 활성화하기 위해서도 재생에너지 확산은 매우 중요하다. 재생에너지는 국내 자급이 가능한 에너지원이며 온실가스 감축 잠재력이 큰 저탄소 기술이기 때문이다. 또한 재생에너지는 화석연료 발전을 대체할 수 있기 때문에 미세먼지 등 대기오염 물질을 줄이고 무역수지를 개선하는 데도 큰 도움이 될 수 있다.

2017년 5월 출범한 문재인 정부는 2030년까지 재생에너지로 전력량의 20%를 보급하겠다는 목표를 제시하였다. 2013년 확정된 제2차 에너지기본계획 상의 기존 신·재생에너지 보급률 목표가 2035년까지 11%였던 것을 고려해보면, 새로운 목표는 보급량은 대폭 늘리면서 달성 시기는 단축시키겠다는 강력한 의지를 표현한 것이라고 할 수 있다. 게다가 새 정부의 계획은 ‘신에너지’는 제외하고 국제기준에 부합하는 ‘재생에너지’ 위주로 증가시킨다(이상훈, 2017)는 계획이기 때문에 더욱 도전적이다.

재생에너지를 속도감 있게 적극적으로 보급함으로써 국민의 안전을 최우선 가치로 두고 ‘탈(脫)원전’과 ‘탈석탄’의 비전을 실현하겠다는 것이 새 정부의 에너지 정책 기조이다. 그러나 현재 재생에너지원의 국내 보급 여건은 그다지 좋은 편이 아니다. 현행 전기요금제와 낮은 요금 단가는 재생에너지 보급을 저해하고 있으며, 홍보와 교육 부족, 높은 인구 밀도와 산지 비중 등으로 인해 재생에너지 시설 입지 지역에서 민원과 주민 반대가 불거지는 경우도 많다.

풍력발전은 환경과 입지에 대한 규제, 소음 피해를 문제 삼는 지역 주민들의 민원으로 인해 설치가 쉽지 않고, 조력과 파력 등 해양에너지 역시 해양생태 파괴 및 어업권 문제 등으로 추진이 곤란한 상황에 직면해 있다. 바이오에너지는 절대량을 해외 수입에 의존하고 있으며 가격 경쟁력이 낮아

4) (2017)은 2016년 말 기준 6단계 11.7배수에서 3단계 3배수로 전기요금 누진제가 대폭 완화되면서 주택용 전기요금이 전반적으로 하락했고, 자가소비용 신·재생에너지 발전 설비의 경제성도 상대적으로 하락해 시장이 축소될 가능성이 있다고 지적했다.

서 보급에 한계가 있다(이상훈·윤성권·김소희, 2015).

태양광발전도 아파트 등 공동주택 위주의 주거 문화, 높은 인구 밀도와 산지 비중 등 난관이 존재한다. 상업용 대형 태양광발전소는 전력 인프라가 집중된 대도시나 변전소에 여유 용량이 없는 곳에는 설치가 쉽지 않고, 삼상선로와 변압기 등이 없으면 추가 비용까지 발생하여 계통 연계 설치비가 급등한다. 이미 용량이 포화상태인 경우라면 관련 설비를 추가로 구축해야 하기 때문에 그에 따른 부담도 매우 크다(이상훈 등, 2015).

서울과 같은 대도시에서는 전력망이 90% 가까이 지중화⁵⁾되어 있어 계통 연계가 더욱 난해한 문제가 된다.

이런 상황에서 소규모 분산형 발전설비인 자가소비용 태양광발전이 주목받고 있다. 태양광발전은 아파트 베란다에도 설치 가능한 미니태양광발전기 보급사업, 햇빛발전협동조합 결성과 시민펀드 모집 등 다양한 방식으로 시민 참여를 활성화함으로써 돌파구를 찾아가고 있다.

자가소비용 태양광발전은 계통 연계 관련 문제를 걱정할 필요가 없는 만큼, 전력망과 관련 인프라 구축 부담을 덜면서도 시민 참여형으로 재생에너지를 확산할 수 있는 해결책이라는 점에서 큰 의미가 있다.

게다가 재생에너지에 호감을 갖고 적극적으로 생산에 참여하게 함으로써 전기를 소비만 하던 시민들을 ‘에너지 프로슈머(prosumer)’로 만드는 데도 기여할 수 있다. 프로슈머란 생산자(producer)와 소비자(consumer)라는 두 단어를 합쳐 만든 신조어로 생산과 소비를 동시에 하는 새로운 주체를 의미한다. 실제로 자가소비용 태양광발전 시스템은 누구나 전기를 스스로

5) 유동수 더불어민주당 의원이 한전에서 제출받은 자료에 따르면, 가공배전선로(전봇대) 및 가공송전선로(송전탑)의 지중화 사업은 서울 및 전국 6대 광역시를 중심으로 추진되고 있다. 2017년 기준으로 서울의 가공송전선로 지중화율은 89.4%를 기록한 데 비해 전국 평균은 11.6%에 그쳤다. 또한, 서울의 가공배전선로 지중화율은 58.4%인데 비해 전국 평균은 17.5%, 경기도는 25.7%였다. 인천은 가공배전선로 지중화율이 37.9%, 가공송전선로 지중화율이 70.0%로, 서울에 비해 낮았지만 경기보다는 높았다(경기일보, 2017).

생산해서 소비하고 남으면 판매도 하는 에너지 프로슈머 사업의 근간이 될 수 있다(배순영·황은애, 2016).

2016년 기준으로 국내 자가소비용 태양광발전 보급 용량은 551MW인데, 이는 전체 태양광발전 누적 보급 용량(4,502MW)의 12.2%에 달하는 적지 않은 양이다(한국에너지공단, 2017). 한국태양광산업협회(2011)에 따르면, 국내 건축물의 태양광발전 설치 가능 용량이 13,298MW이며 그중 주거용 건축물에만 설치해도 가능 용량이 7,685MW에 이르러 확산의 잠재력도 크다.

주택에 자가소비용 태양광발전기를 설치해 그 혜택을 직접 누리며 재생에너지와 관련한 긍정적인 경험을 하게 된 시민들은 재생에너지 확대 정책에 대한 적극적인 지지자가 될 가능성이 크다. 한국에너지공단(2007), 정순희·최혜경·김창섭·홍승우·이선이·오은혜(2009), 백종학(2015), 최윤정·전윤주·전혜지·백여교(2016), 대전광역시(2017), 서울시 강남구(2018), 서울시 녹색에너지과(2018a) 등에서 주택에 태양광발전기를 설치한 시민들을 대상으로 실시한 만족도 설문조사 결과를 살펴볼 수 있는데, 공통적인 답변은 태양광발전기 설치가 만족스럽고 이웃에도 설치를 권유할 의사가 있다는 것이다.⁶⁾

이러한 점을 고려해 보면, 자가소비용 태양광발전기 확산 사업의 중요성과 시급성은 대규모 재생에너지 건설 사업에 뒤지지 않는다고 판단된다.

6) 등(2009)에서는 단독주택에 3kW 태양광발전기를 설치한 180가구 대상 설문조사 결과, 만족도가 10점 만점에 8.04점으로 높게 나타났고 조사대상의 72.2%가 주변에 태양광발전기를 설치하도록 추천할 의사가 있다고 답했다. 대전광역시(2017)는 태양광발전기를 설치한 100가구를 대상으로 실시한 설문조사에서 공동주택의 베란다에 미니태양광발전기를 설치한 가구의 78%, 단독주택에 태양광발전기를 설치한 가구의 92%가 이웃에게 설치를 권유하고 싶다고 응답했다.

서울시 강남구(2018)의 설문조사에서는 태양광발전기 설치를 권유할 의사가 있다는 응답이 97%에 달했다. 서울시 녹색에너지과(2018a)에서는 미니태양광발전기를 설치한 서울시민 750가구 대상 만족도 조사 결과, 매우 만족한다(30.0%)와 만족한 편(35.7%)이라는 응답이 대부분이었으며, 불만족하다는 응답은 9.8%에 그쳤다. 미니태양광발전기를 이웃에게 설치하도록 권유할 의사가 있는냐는 질문에도 매우 그렇다(48.2%)와 그렇다(26.4%)는 답변이 대다수였다.

우리나라의 현행 재생에너지 보급 여건에 비추어볼 때, 2030년까지 전력량의 20%를 재생에너지로 보급하겠다는 목표를 달성하기 위해 가장 시급한 과제는 재생에너지 생산에 대한 시민들의 자발적인 참여를 활성화하는 것이다.

시민 참여를 통해 재생에너지 보급을 빠른 속도로 확대하는 구체적인 전략을 수립하기 위해서 자가소비용 태양광발전 확산을 위한 연구는 필수적이라고 하겠다.

제2절 연구 목적

정부가 시행중인 대표적인 시민 참여형 태양광발전 확산 정책은 주택에 자가소비용 태양광발전기 설치를 지원하는 것이다. 태양광발전 설치 지원 사업이 시작된 것은 지난 2004년으로 ‘태양광주택 10만호 보급사업’이 5년 동안 진행되다가 2009년부터는 ‘그린홈 100만호 프로젝트’로 확대·개편되었다. 그린홈 100만호 프로젝트는 2035년까지 100만 가구에 태양광발전, 태양열, 지열, 연료전지 등 지역별·주택별 특성에 적합한 가정용 신·재생에너지를 보급한다는 목표로 추진되어 왔다(한국에너지공단, 2016a).

신·재생에너지 100만 가구 보급 목표는 당초 2020년까지 달성하겠다는 계획이었지만, 실적이 부진하자 정부는 2035년까지로 목표 달성 기한을 15년이나 늦췄다. 격년으로 발간되는 ‘2014 신·재생에너지백서’에는 목표 기한이 2020년으로 표기되어 있으나 2016년 말에 발간된 ‘2016 신·재생에너지백서’에는 목표 달성 연도가 2035년으로 바뀌어 있다(한국에너지공단, 2014; 2016a).

위 목표는 지난 2017년 12월, 정부가 강력한 재생에너지 확대 의지를 담아 발표한 ‘재생에너지 3020 이행계획’에서 다시 변경되었다. 보급 가구 수 목표는 156만 가구로 더 높였고, 달성 기한은 2030년으로 앞당겼다.

2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 20%로 끌어올리겠다는 계획에서 정부가 내세운 첫 번째 이행 방안은 자가용 재생에너지의 확대이다. 그중에서도 도시형 자가용 태양광발전의 확대를 중요하게 다루면서 보급 목표를 별도로 명시했다. 총 전기 사용 고객 대비 자가용 태양광발전기 설치 가구의 비율이 2016년 현재 94가구 중 1가구꼴인데, 2022년까지 자가용 태양광발전기가 약 30가구당 1가구, 2030년까지 약 15가구당 1가구에 보급되도록 하겠다는 것이다. 이를 위해 자가용 태양광발전 생산 전력의 상계 처리 후

잉여전력에 대한 현금 정산을 실시하겠다는 전략을 내세웠다(산업통상자원부, 2017a).

상계 처리란 자가소비용 발전 설비를 설치해 생산된 전기를 사용하고 남으면 한전 측으로 역송했다가 전력이 부족한 때 다시 끌어와 쓸 수 있도록 해 전기요금을 절감할 수 있는 전력 거래 방법이다. 그동안에는 잉여전력을 전기요금 차감용으로만 인정해 왔는데 앞으로는 현금 매입도 해준다는 것이다.

새로운 목표를 달성하기 위해서는 현재까지의 증가 추세와는 비교도 할 수 없을 만큼 단기간 내 대대적인 보급 성과가 필요한 상황이다. 그동안의 보급 속도가 지지부진해 목표 달성 기한을 늦춰온 점을 들어 부정적인 전망을 내놓는 목소리가 없지 않지만, 호주와 일본이 이룬 성과를 살펴보면 그리 비관적이지만은 않다. 이들 국가들은 단기간 내 주택용 태양광발전 설비 보급에 성공했고, 세계 1위 수준의 보급률을 자랑한다.

호주는 2007년 8,123채에 불과했던 태양광발전기 설치 주택 수가 5년 만인 2012년에 거의 100만 채에 가깝게 증가하는 성과(2012년 98만 7,376가구, 2013년 118만 7,783가구를 이뤄냈다(Clean energy regulator, 2018). 2017년 말까지 전체 주택 지붕의 23%에 해당하는 181만 3,961가구에 태양광발전기가 설치되어 지붕형 태양광발전 보급률이 세계에서 가장 높은 수치를 기록했다(코트라, 2018).

일본은 태양광발전기를 설치한 가구 수가 2004년에는 21만7000가구였는데, 12년 만인 2016년에는 200만 가구(2016년 기준 2,053,155가구를 돌파했다(JPEA, 2017). 우리나라도 이들 나라와 같이 태양광발전 확산에 성공하려면 어떻게 해야 할 것인가.

본 연구는 다음과 같은 질문에서 시작된다.

(1) 한국의 자가소비용 태양광발전 보급률이 지난 10여 년 동안 제자리걸

음을 한 구조적 원인은 무엇일까? 일본과 호주에서 자가소비용 태양광발전을 성공적으로 확산시킨 에너지 정책의 핵심 요소는 무엇인가?

(2) ‘재생에너지 3020 이행계획’에서 설정한 자가소비용 재생에너지 설치 목표(2030년까지 156만 가구)는 달성 가능한가? 정부가 새롭게 도입하기로 한 잉여전력 매입제는 목표 달성에 얼마나 도움이 될까?

(3) 자가소비용 태양광발전 보급 성과를 효과적으로 제고할 수 있는 정책은 무엇인가? 정부의 재정 투입을 적게 하면서도 태양광발전 보급 성과를 최대한 늘릴 수 있는 최적의 정책 조합은 무엇인가?

본 연구는 보급 목표치에 훨씬 못 미치고 있는 자가소비용 재생에너지의 확산을 보다 신속하게 진행되도록 하는 정책을 제시하는 데 목적이 있다.

이를 위해 첫째, 자가소비용 태양광발전 확산의 핵심적인 영향인자를 파악할 것이다. 어떤 요인이 태양광발전의 빠른 확산을 가능하게 만드는 추동력을 갖고 있는지 찾아보고자 한다.

둘째, 자가소비용 태양광발전 확산의 구조를 파악할 것이다. 잉여전력 매입, 보조금 지급, 전기요금 등 다양한 정부의 정책들이 동시에 작동하면서 애초의 정책 방향과 다른 방향으로 영향력을 미치게 되기도 하는 구조적 문제를 파악해야만 문제의 해법도 찾을 수 있기 때문이다.

셋째, 재생에너지 보급 확산에 가장 효과적인 정책이 무엇인지 찾기 위해서는 다양한 정책의 사회적 영향과 파급효과에 대한 정확한 진단이 선행되어야 한다. 시뮬레이션을 통해 관련 정책들이 자가소비용 태양광발전 설비 보급량 증가에 어떤 효과를 내는지 살펴보고 보급량을 극대화할 수 있는 방안을 찾아 제시하는 것이 이 연구의 목적이다.

제3절 연구 범위 및 내용

본 연구는 자가소비용 재생에너지 설비, 그중에서도 주로 주택에 설치되는 소형 태양광발전기에 초점을 맞췄다. 그 이유는 신·재생에너지 주택 보급 실적 중 대부분이 태양광발전 보급 주택이며 향후에도 태양광발전을 위주로 보급이 이뤄질 것으로 전망되기 때문이다. 실제로 2017년 말 현재 태양광발전 보급 주택 수는 250,928가구로 전체 신·재생에너지 보급 주택(293,672가구)의 85.4%를 차지한다(한국에너지공단, 2018).

정부의 자가소비용 신·재생에너지 보급 예산도 단독주택 대상 표준 보급모델인 3kW 용량의 태양광발전기 설치를 지원하는 데 초점이 맞춰져 있다. 산업통상자원부의 2018년 자가소비용 신·재생에너지 보급 지원 사업 계획을 보면 총 예산(688억 원) 가운데 72.7%(500억 원)가 태양광발전에 집중되어 있고, 그중에서도 단독주택에 3kW 이하 태양광발전기 설치를 지원하는 예산이 73%(364억 9700만 원)를 차지하고 있다(산업통상자원부, 2018).

정부가 ‘재생에너지 3020 이행계획’에서 밝힌 ‘2030년까지 156만 가구’라는 보급 목표는 태양광발전뿐 아니라 태양열 온수기, 풍력 발전과 지열 발전 등 다양한 에너지원을 주택에 보급함으로써 달성하겠다는 수치이나, 본 연구에서는 이 목표를 모두 3kW 용량의 태양광발전기 설치를 통해 달성하는 것으로 가정했다. 3kW급 태양광발전기 보급을 기준으로 동태적 모형을 구축하고 정책 시나리오를 작성해 시나리오별로 2018년부터 향후 20년 동안의 보급 실적을 전망해 보는 시뮬레이션을 진행했다. 그리고 시나리오별 태양광발전 보급 실적, 국가 재정 투입액, 온실가스 저감 효과 등을 분석해 정책들의 최적 결합 방안을 찾아 제안했다.

본 연구에서는 문헌조사 및 사례연구, 설문조사, 그리고 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 방법론을 활용했다.

국내의 문헌조사 및 사례연구를 통해서 는 자가소비용 재생에너지 설비에 대한 정의, 국내외 자가용 설비 보급 현황을 살펴보고, 자가용 태양광발전 확산 관련 각종 정책과 제도를 조사 및 비교 분석했다. 공동주택에 자가소비용 태양광발전기를 널리 보급할 수 있는 정책을 적극 도입해 미니태양광발전기 보급 사업이 활발히 진행된 서울시의 사례도 구체적으로 살펴봤다.

해외의 모범적인 정책을 찾기 위해서 미국, 일본, 독일, 호주, 영국 등의 에너지 정책을 분석했다. 그중에서도 주택 태양광발전 확산에 팔목할 성과가 있었던 일본과 호주의 경우, 구체적인 제도의 세부 지원 내용에 대한 조사 및 효과 분석을 진행했다. 일본(1996~2016년)과 호주(2001~2017년)의 주택 태양광발전 보급 실적, 전기요금과 전력 구매 기준가격 등의 통계를 활용해 자가소비용 태양광발전 보급 확대를 위한 모델을 설계하였다.

설문조사를 연구방법론으로 택한 것은 자가소비용 태양광발전 설치에 가장 큰 영향을 미치는 요인에 대한 시민들의 의견을 듣기 위해서였다. 태양광발전기 설치자 400명과 미설치자 167명 등 총 567명을 대상으로 설문조사를 실시해 자가소비용 태양광발전 확산의 영향인자를 확인했다.

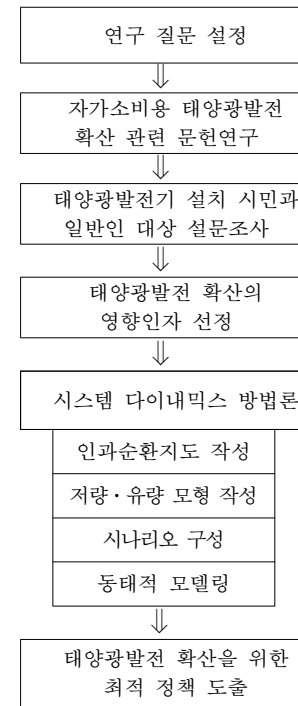
시스템 다이내믹스를 활용한 이유는 다양한 요인과 정책의 상호 작용을 통해 나타날 미래 상황을 예측할 때 유용한 방법론이기 때문이다. 이 방법론을 통해 여러 가지 변수가 동시에 포함된 복합적인 모델을 구성해 장기적인 시간의 흐름에 따른 변화상도 살펴볼 수 있다(박경배, 2006).

시스템의 중요 요소들을 파악하고 복잡하게 얽힌 관계를 밝히는 데 유용한 시스템 다이내믹스는 재생에너지 확산 연구에 자주 활용된다. 다양한 정책에 따른 재생에너지 보급량을 장기적 관점에서 예측해 수치화할 수 있으므로 어떤 정책이 더 효과적인지 비교 분석하는 것도 가능하다(이동성, 2015).

본 연구는 시스템 다이내믹스를 방법론으로 자가소비용 태양광발전 확산의 인과구조 파악을 위한 인과순환지도(Causal Loop Diagram)를 완성한 뒤,

저량·유량 모형(Stock Flow Diagram)을 구축해 국내 자가소비용 태양광발전 보급량을 전망해보는 시뮬레이션을 진행하였다.

문헌연구, 설문조사, 시스템 다이내믹스 방법론을 통한 인과순환지도와 저량·유량 모형 작성, 시나리오 구성, 모델링 등의 순서로 진행된 본 연구의 흐름은 다음 <그림 1-1>과 같이 정리할 수 있다.



<그림 1-1> 연구 흐름도

본 논문의 장별 구성은 다음과 같다.

1장에서는 연구의 필요성과 목적, 연구의 범위 등을 제시하고 2장에서는 이론적 고찰과 함께 태양광발전 확산 관련 선행연구의 성과를 정리했다.

3장에서는 설문조사 등을 통해 태양광발전 확산의 영향인자를 파악했다. 자가소비용 태양광발전기 설치의 경제성에 영향을 미치는 중요한 요인인 전기요금 절감 효과, 잉여전력 매입제도에 따른 전기 판매 수익, 설비 가격 인하, 보조금 등을 변수로 한 인과순환지도를 작성해 태양광발전 확산 구조의 동태성을 파악했다.

4장에서는 시스템 다이내믹스를 활용해 태양광발전 확산의 저장·유량 모형을 구축했다. 변수와 상수, 함수식을 도출하여 시뮬레이션을 진행함으로써 정부 재원이 적게 투입되면서도 태양광발전 보급을 가장 많이 할 수 있는 정책 조합을 찾아보았다.

제2장 이론적 고찰

제1절 태양광발전 확산 이론

태양광발전의 경제성 분석에는 다른 에너지원과 비교 가능한 발전 단가를 산출하는 에너지 균등화비용(Levelized Cost of Energy) 또는 균등화 발전비용(Levelized Cost of Electricity, 이하 LCOE⁷⁾), 신·재생에너지원의 발전 단가와 화석연료 발전 단가가 같아지는 시점을 의미하는 그리드패리티(Grid Parity) 개념이 대표적으로 활용된다. 이론적 배경으로 LCOE와 그리드패리티에 대해 살펴보고 태양광발전 확산 연구 관련 이론으로 혁신 확산 이론, 학습곡선 이론 등에 대해 소개할 것이다. 본 연구에서 활용한 시스템 다이내믹스 방법론의 이론적 배경에 대해서도 기술하겠다.

1. LCOE

가. LCOE의 개념과 특성

신·재생에너지원의 경제성을 평가하는 방법은 두 가지로 구분할 수 있다. 하나는 특정 신·재생에너지원의 시스템을 생산단가 측면에서 기존 에너지 공급원과 비교해 평가하는 비교 우위적 경제성 평가 방법이다. 다른 하나는 투입된 비용과 에너지 산출량을 해당 시스템 내에서 산정해 이를 비용편익 분석, 투자수익률 분석, 투자회수기간 분석 등을 통해 평가하는 방법이다(남태섭, 2016).

7) 균등화비용(levelized costs of energy)과 균등화 발전비용(levelized costs of electricity)은 영문 약자가 LCOE로 서로 같기 때문에 혼용되고 있다(소진영, 2014).

비교 우위적 경제성 평가법 중 하나인 LCOE는 특정 발전소에서 생산된 전력 단위(kWh)당 평균 실질발전 비용(원)으로, 발전 시설에서 발생하는 총 비용의 현재가치를 총 발전량의 현재가치로 나눠서 계산한다(이철용, 2017).

에너지원의 경제성을 평가하는 대표적인 방법인 LCOE는 발전설비 설계 과정부터 폐기 단계까지 발생한 총 투자비용을 시설의 수명기간 안에 회수하기 위해 손익분기점을 고려하며 판매해야 하는 발전량의 최저가격, 즉 생산원가를 의미한다(남태섭 · 이관영 · 김경남, 2016).

국제적으로 가장 보편적으로 사용되며 우리나라에서도 널리 사용되는 LCOE 산출식은 국제에너지기구와 원자력에너지기구에서 채택하고 있는 식(2-1)과 같다(IEA and NEA, 2010; 소진영, 2014).

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \{(I_t + OM_t + F_t + C_t + D_t) \times (1+r)^{-t}\}}{\sum_{t=1}^n \{E_t \times (1+r)^{-t}\}} \quad (2-1)$$

여기에서,

I_t : t년도의 투자 비용

OM_t : t년도의 운영 및 유지보수 비용

F_t : t년도의 연료 비용

C_t : t년도의 탄소 비용

D_t : t년도의 해체 비용

E_t : t년도의 발전량

r: 할인율

LCOE 산출 방식이 에너지의 경제성을 평가하는 도구로 널리 사용되는 이유는 규모와 기술, 건설 비용과 운전 비용, 수명 등이 각기 다른 다양한 발전원들의 발전단가를 쉽게 산정해 상호 비교할 때 매우 유용하기 때문이다(Branker, Pathak and Pearce, 2011; Short, Packey and Holt, 2005; BNEF, 2013; 정운경, 2013).

LCOE에 의해 산정된 kWh당 발전 가격, 즉 발전단가는 신·재생에너지와 기존 에너지원이 등가를 이루는 그리드패리티 비교에 유용하다. 그리드패리티는 태양광발전 확산 정책에 있어 매우 중요한 지표이며, 에너지 전환을 목표로 하는 세계 각국에서는 그리드패리티 달성에 초점을 맞춰 정책을 추진한다(한전경제경영연구원, 2016d).

LCOE에 따른 그리드패리티 개념은 전력시장의 관점과 전기 소비자의 관점에서 구분해 보면 더 이해하기 쉽다. 전력시장의 관점에서는 신·재생에너지 발전단가와 화석연료의 발전단가가 같아질 때 그리드패리티가 달성되었다고 한다. 전기 소비자 관점에서는 주택에 설치된 신·재생에너지 설비의 발전단가와 주택용 전기요금에 동일해지는 것을 의미한다(한전경제경영연구원, 2016d).

나. LCOE의 현황 및 시사점

안남성(2017)은 매년 2조 2000억 원씩 꾸준히 태양광발전에 투자하면 우리나라도 2020년 전후로 태양광발전의 LCOE가 한전의 전기요금은 물론 원자력이나 석탄 발전 단가보다 더 낮아질 것으로 전망했다. 시간의 흐름에 따라 기술이 발전하고 비용은 감소하기 때문에 같은 금액을 투자하더라도 더 큰 효과를 볼 수 있다고 전망하면서 그리드패리티 달성과 신·재생에너지 확산의 선순환 고리를 강조했다.

신·재생에너지, 특히 태양광발전의 그리드패리티 달성 여부와 그 보급률

은 아주 밀접한 관계가 있다. 많은 시민들이 태양광발전 보급에 활발하게 참여할 때 그리드패리티가 달성될 수 있으며 역으로 그리드패리티가 달성될 때 시민 참여도 활성화될 수 있다는 것이다(이유수, 2016).

전기 소비자 관점에서 그리드패리티는 주택에 설치된 태양광발전의 LCOE가 전기요금보다 낮을 때 도달할 수 있다. LCOE에 의해 산정된 신·재생에너지원의 발전단가가 전기요금과 같거나 낮을 경우 그리드패리티가 달성된다는 의미이다(한전경제경영연구원, 2016d).

2014년 기준으로 보조금 없이도 주택용 태양광발전의 그리드패리티가 달성된 국가로는 미국 하와이, 독일, 호주, 일본, 이탈리아, 스페인, 그리스, 태국, 남아공, 터키, 이스라엘 등이 있다. 이 가운데 독일, 호주, 일본은 주택용 태양광발전의 LCOE가 전기요금보다 낮아 그리드패리티에 도달한 것으로 분석된다(한전경제경영연구원, 2016d). 아래 <표 2-1>은 그리드패리티 달성 국가 현황과 한국 상황을 비교해 볼 수 있도록 정리한 것이다.

미국은 보조금(투자세액공제)을 포함하여 LCOE를 산정하면 51개 주 가운데 14개주에서 그리드패리티가 달성되었다(2014년 기준, Deutsche Bank, 2015). 보조금을 제외하면 하와이에서만 그리드패리티가 달성된 것으로 나타난다. 51개 주의 LCOE와 주택용 전기요금을 비교해 보니, 주로 전기요금이 높은 주에서 그리드패리티가 달성된 것으로 분석되었다. 주택용 전기요금은 최소 0.09\$/kWh(위싱턴)에서 최대 0.38\$/kWh(하와이)까지 4배 이상 차이가 났다(한전경제경영연구원, 2016d).

<표 2-1>에서 한국의 태양광 LCOE(0.22~0.26\$/kWh)는 주택용 전기요금(0.12\$/kWh)보다 2배 가량 높은 것으로 확인된다. 한국에서 그리드패리티가 달성되지 못한 이유는 전기요금 결정 과정이 비합리적이기 때문이라는 지적이 있다. 전기요금보다 태양광발전의 발전단가가 낮아져야 시민들이 스스로 태양광발전 설비를 설치하게 될 텐데 우리나라는 전기요금이 전력 시장

에서 가격 기능에 의해 결정된 구입 비용을 반영하여 결정되지 않고 자의적인 방식으로 결정되기 때문에 문제라는 것이다(이유수, 2016).

<표 2-1> 그리드패리티 달성 국가 현황과 한국 상황 비교

구 분	LCOE(\$ ¹⁾ /kWh)	주택용 전기요금 (\$/kWh)	일사량 (kWh/m ² /year)
한국	0.22~0.26	0.12	985
독일	0.19	0.33	958
호주	0.15	0.40	1,833
일본	0.14	0.28	1,167
미국 (51개주 평균)	0.14(보조금 유) / 0.19(보조금 무)	0.13	1,400
하와이	0.11	0.38	1,816
뉴욕	0.14	0.20	1,405
코네티컷	0.14	0.19	1,381
로드아일랜드	0.14	0.18	1,396
버몬트	0.15	0.18	1,308
매사추세츠	0.14	0.17	1,390
뉴햄프셔	0.14	0.17	1,381
캘리포니아	0.11	0.16	1,843
뉴저지	0.14	0.16	1,420
메릴랜드	0.13	0.14	1,475
네바다	0.10	0.13	2,047
뉴멕시코	0.10	0.12	2,008
애리조나	0.10	0.12	2,032
콜로라도	0.11	0.12	1,779

주 1) \$는 본 논문 전체에서 미국의 달러를 의미함.

자료: Deutsche Bank, 2015; 한전경제경영연구원, 2016d.

본 연구에서 초점을 맞추고 있는 주택용 3kW급 태양광발전기의 LCOE를 산출해 독일, 중국과 비교한 연구 결과를 살펴보면, LCOE를 낮추기 위해 어떤 조치가 필요한지 파악할 수 있다. 이철용(2017)에 따르면, 우리나라 주택용 3kW 태양광발전기의 LCOE는 134원/kWh로 독일 118.2원/kWh, 중국 98.3원/kWh에 비해 높은 것으로 나타났다.

태양광발전기의 이용률에서는 한국(14.93%, 2015년 신·재생에너지 보급 통계 상의 태양광 설비 이용률)의 여건이 중국(16%)에는 못 미쳤지만 독일(11%)보다는 좋았다(중국과 독일의 설비 이용률 정보는 ‘Projected coats of generating electricity 2015’ 기준). 그러나, 직접비, 간접비, 부가세 등 자본 지출은 한국 5,503,674원, 독일 4,576,104원, 중국 3,715,166원으로 한국이 가장 높았다. 부품 교체비, 토지 임차료, 안전관리비 등 유지보수 비용도 한국은 연간 35,000원으로 가장 비쌌고, 중국(13,284원)과 독일(14,100원)은 비슷한 수준이었다(이철용, 2017).

2. 혁신 확산 이론과 학습곡선

가. 혁신 확산 이론

혁신 확산 이론(Diffusion of Innovation Theory)은 신기술이나 신제품, 새로운 것으로 인식되는 아이디어나 활동들이 사회에 어떻게 퍼져나가는지를 설명하는 이론이다(Rogers, 2005). 미국 뉴멕시코대학교 커뮤니케이션 저널 리즘학과 석좌교수였던 에버렛 로저스(Everett M. Rogers)가 1962년 출판한 책 ‘Diffusion of Innovation’ (국내에서는 『개혁의 확산』이라는 제목으로 번역됨)에서 처음으로 제시했고, 미국 텍사스대학교(델러스 캠퍼스) 경영대학의 교수였던 프랭크 베스(Frank M. Bass)에 의해 더 체계적으로 정리가 되었다(이상근·김진화·백현·이의방, 2013).

어떠한 혁신이든 간에 처음에는 소수의 사용자에 의해 수용되다가 임계치에 다다르게 되면 그 확산 속도가 빠르게 증가하다가 포화상태가 되면 확산의 속도가 점차 줄어들게 되기 때문에 혁신의 수용률은 S자 모양의 곡선 그래프로 표현된다. 확산 이론의 이 S자 곡선은 특정한 기술이나 혁신이 퍼져나가는 과정 및 속도를 설명하는 데 유용하게 활용된다(미디어전략연구소, 2010).

Rogers(2005)는 S자 곡선의 어느 지점에서 혁신을 수용하는가를 기준으로 혁신 수용도에 따라 집단을 5가지 범주로 구분하고 각각의 성격과 비율을 제시했다. 가장 빨리 수용하는 혁신자(Innovator)는 전체 가운데 2.5%가 존재하며, 초기 수용자(Opinion leader or Early adapters)는 13.5%, 초기 다수 수용자(Early majority)와 후기 다수 수용자(Late majority)는 각각 34.0%, 지체자(Laggards or Late adapters)는 16.0%가 있다고 구분했다(Rogers, 2005; 미디어전략연구소, 2010).

Bass(1969)의 확산 모형은 신제품이 확산되는 과정에서 시간에 따른 제품의 수요 변화를 설명하기 위해 초기 시점에 제품을 수용하는 오피니언 리더 혹은 얼리 어댑터 그룹을 혁신자로 설명했고, 이를 모방해서 구매하는 그룹을 모방자로 구분해서 설명했다. 이는 Coleman, Katz and Menzel(1966) 모델이 혁신자 그룹만을 설정하고, Venkatraman, Loh and Koh(1994)의 모형이 모방자 그룹만을 설명하고 있다는 점에서 차별성이 있다(이상근 등, 2013).

Bass 확산모형은 신제품의 보급, 마케팅, 전략, 기술 관리 등의 분야에서 널리 사용되는데, 혁신자를 만드는 외부 영향 요인으로 마케팅과 광고, 언론보도 등이 대표적이며 모방자는 구전(Words of Mouth)과 같은 내부 자극에 영향을 받는다고 보았다(Sterman, 2000).

광고 등의 외부 영향을 받아 혁신적인 사고를 갖는 사람이 신제품을 채

택하는 경우, 총 인구 중 혁신적 사고를 갖는 사람의 비율과 그 구매 속도가 혁신에 의한 구매를 결정하는 주요인인데, 혁신 비율과 혁신 속도의 곱을 혁신계수(Innovation Coefficient)로 정의한다. 이미 신제품을 채택한 사람의 영향을 받는 모방에 의한 구매는 사용자와 미사용자가 만나는 접촉률과 그 구매확률이 좌우하게 되는데 접촉률과 구매확률의 곱을 모방계수(Imitation Coefficient)로 정의할 수 있다(곽상만 · 유재국, 2016).

Bass 확산모형에 의한 누적 수의 산정식은 식 (2-2)와 같다.

$$N(t) = \frac{dN(t)}{dt} = p[m - N(t)] + \frac{q}{m}N(t)[m - N(t)] \quad (2-2)$$

여기에서,

N(t): 일정 기간(t) 동안 누적된 수용자의 수

m: 잠재 시장의 크기

p: 혁신계수 (외부 영향에 의한 제품 수요)

q: 모방계수 (내부 영향에 의한 제품 수요)

기본적인 Bass 확산모형은 혁신계수(p)와 모방계수(q)를 변하지 않는 값으로 설정하게 되는데, 변수를 어떻게 설정하느냐에 따라 서로 다른 결과를 도출하며 이로 인해 동태적인 확산 속도의 변화를 시뮬레이션하는 데 한계가 있다는 점이 단점으로 지적된다(박경배, 2006).

이러한 단점을 극복하기 위해 확산계수와 모방계수를 동태적으로 변화시키는 설정이 Horsky and Simon(1983) 등에 의해 이미 시도된 바 있다. 이들의 연구에서는 광고 지출액에 따라 혁신계수가 변화하는 모형을 사용했다(박경배, 2006).

나. 학습곡선 이론

확산이론이 신기술·신제품의 확산 과정과 행태를 설명한다면, 학습곡선(Learning Curve or Experience Curve)⁸⁾ 이론은 가격 측면에서 기술의 확산 추세를 규명하는 데 활용된다. 즉, 가격 경쟁력을 분석하고 예측하는 연구 방법론이다.

보스턴 컨설팅 그룹은 학습곡선이 각광받는 연구방법론으로 자리 잡는데 기여했는데, 1966년 당시 누적 경험이 두 배 쌓일 때마다 실질 달러 가치를 기준으로 약 25%씩 가격이 일정한 비율로 계속 줄어든다는 조사 결과를 통해 총 비용과 누적 생산량의 관계를 파악하는 방법론을 제시했다(Stern and Deimler, 2009).

학습 곡선이란 같은 제품을 계속 생산하다보면 동일한 작업을 반복함에 따라 제품 단위당 노동의 투입량이 일정한 비율로 감소하기 마련인데 이러한 경향을 나타낸 것이다. 동일 작업이 반복되면서 기술이 숙련되면 생산에 필요한 시간이 줄어들고 원가도 절감된다는 의미다(박민혁 · 이재걸 · 이윤경 · 김정주, 2007).

최초의 학습곡선 개념은 학습을 통해 경험이 축적됨으로써 특정 재화 생산에 필요한 노동력이 감소하는 현상을 설명하는 것이었으나, 광의의 학습으로 확장되어 에너지 분야에 적용되면서 제품이나 기술의 총 비용이 전반적으로 감소하는 현상을 지칭하게 되었다(장한수, 2007). 학습곡선 모형은 에너지-환경-경제 모형에서 효과적인 에너지 정책을 설계하는 데 필요한 중요한 기술변화를 예측하기 위한 방법론으로 적극 활용되고 있다(박성

8) 영문 표기는 Learning Curve(LC), 또는 Experience Curve(EC, 경험곡선)라고 혼용되는 경우가 있다. 그러나 엄밀하게 구분하자면, LC는 반복적으로 동일한 작업을 하면서 단위 노동시간 동안 학습에 의해 획득하게 되는 비용 절감 효과를 설명하는 데 한정되어 있는 반면, EC는 재화 생산을 위한 모든 활동을 통해 발생 가능한 총비용 절감 효과를 측정하기 위한 것이다. LC보다 EC가 광의의 개념으로 쓰인다는 점에서 차이가 있다고 하겠다(장한수, 2007).

준·이덕주·김경택, 2012).

단위 비용(CN)을 산정하는 계산식은 식 (2-3)과 같다(박민혁 등, 2007).

$$CN_t = a \times N_t^b \quad (2-3)$$

위 식에서,

CN: 생산 또는 설비에 대한 단위 비용(unit cost)

N: 누적생산량 또는 설비용량

a: 비용자료에서 첫 번째 시점의 비용

b: 학습계수

t: 주어진 시점

생산 원가 절감의 이유와 추세는 규모의 경제로도 설명이 가능하다. 단위 당 비용은 시간이 지남에 따라 하락하기 마련인데, 이는 규모의 경제 효과 일 수도 있고 학습 효과 때문일 수도 있다. 다만, 규모의 경제가 현재의 생산량과 평균비용의 관계를 나타낸다면, 학습곡선은 누적된 생산량과 평균비용의 관계를 나타낸다는 점에서 일종의 동적인 규모의 경제로 해석할 수 있다(박민혁 등, 2007).

전 세계 태양광발전 누적 설비 용량은 2015년 228GW에 이르렀다(REN21, 2017). 세계 각국에서 태양광발전이 지속적으로 성장하고 있는 것은 태양광 발전의 가격이 하락하고 있기 때문이다. 태양광발전 패널의 학습곡선은 통상 22%로 알려져 있다. 태양광 인프라가 2배로 늘어날 때마다 태양광발전 패널 생산 비용은 22%씩 감소한다는 의미이다. 태양광 시장이 성장하면서 원가가 갈수록 낮아지는 추세는 일부 선진국만이 아니라 전 세계로 확산되고 있다(Seba, 2015).

3. 시스템 다이내믹스

가. 시스템 다이내믹스의 특성과 활용

시스템 다이내믹스는 다양한 구성요소들이 연결되어 있는 시스템을 관찰하고자 할 때, 시스템 자체와 그 시스템이 시간에 따라 어떻게 변화하는지를 동시에 고려하는 연구 방법론이다(김기찬·정관용·최진·김희숙·김성원, 2007).

시스템 다이내믹스가 유의미한 분석기법으로 체계화된 것은 1960년대로, MIT의 제이 포레스터(Jay Forrester) 교수가 경제 시스템과 도시의 산업 및 주택 문제를 다룬 ‘산업 다이내믹스(Industry Dynamics, 1961)’ 와 컴퓨터 모델링을 통해 도시의 성장과 부패의 원인을 밝히려 한 ‘도시 다이내믹스(Urban Dynamics, 1969)’ 를 펴내면서부터다.

포레스터 교수는 도시에서 작동하는 힘의 복잡한 상호 작용을 모델링할 수 있다면, 그 원리를 다양한 인과관계의 이해와 문제 해결의 방법으로 확장할 수 있다고 보았다. 세계적인 비영리 연구기관인 ‘로마클럽’ 은 그 가능성을 인정해 인류의 위기에 대한 연구 프로젝트를 포레스터 교수 팀에 맡겼고 그 결과물이 바로 ‘성장의 한계(1972)’ 다. 이 연구보고서는 세계의 인구, 환경 오염, 식량 생산과 자원 약탈이 지금 추세대로 증가한다면 지구는 100년 이내에 성장의 한계에 도달하게 되며, 인구와 산업의 생산력은 돌이킬 수 없을 정도로 급락할 것이라는 결론을 담고 있어 논쟁을 불러 일으켰고, 로마클럽에는 세계적 명성을 안겨줬다(McDemont and O'Connor, 2016).

이후 시스템 다이내믹스는 기업 경영, 정부 정책, 각종 의사결정 행위에 대한 이해와 문제 해결을 위해 더욱 폭넓게 활용돼 왔다(문태훈, 2002). 시스템 다이내믹스가 현대사회의 복잡성을 포괄적으로 이해하는 데 유용한

분석 틀을 제공하기 때문이다. 현대사회는 매우 복잡적이고 그 하위 구성요소들이 상호 연관되어 있거나 상호 의존성을 갖고 있기 때문에 단선적 사고로는 제대로 파악하기 어렵다(신동익, 2011).

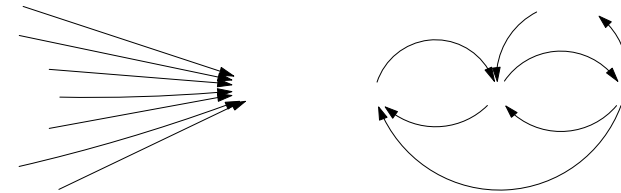
단선적 사고는 어떠한 문제의 인과관계가 단일한 방향으로만 흐른다고 가정하며, 문제를 일으키는 다양한 요인(변수)들을 독립-종속의 관계로 본다는 점에서 한계가 있다. 이에 반해, 시스템 사고는 복잡한 문제와 문제를 불러일으킨 요인들을 하나의 구조로 보며, 그 구조를 포괄적으로 이해하고자 한다(Richardson, 1991).

즉, 어느 한 시점에서 문제가 되는 정태적 요인을 찾기보다 시간의 흐름에 따른 문제의 동태적 행태를 시스템의 구조에서 찾는 사고방식(Sterman, 2000)이며, 시스템 다이내믹스는 바로 그 시스템 사고에 입각하여 문제를 이해하고 해결하려는 연구방법론이라고 할 수 있다.

정의하자면 시스템 다이내믹스는 시스템에 대해 직관적으로 이해하고 효과적인 변화 전략을 찾기 위해 시스템 사고를 기반으로 구조를 모형화한 뒤, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석하는 연구방법론이다(김동환, 2004). 문제에 대한 접근 방식에 있어 다음과 같은 특성을 갖고 있다.

첫째, 일회적 사건이나 모델 파라미터에 대해 정확하게 측정하고자 하기 보다는 시간의 경과에 따른 문제 행태의 변화 추이를 파악하는 데 초점을 맞춰 시스템의 성장 및 쇠퇴, 주기적 변동 등을 파악한다(김도훈·문태훈·김동환, 1999).

둘째, 변화의 원인을 순환적 인과관계 속에서 찾아낸다. <그림 2-1>처럼 일방향의 단선적 인과관계, 예컨대 동기가 높으면 학업성취도가 높다는 식으로 일방향의 단선적 인과관계만 파악하는 것이 아니라 동기와 학업성취도가 서로 영향을 주고받는다든 원형의 피드백 관점에서 분석하는 것이 특징이다(문태훈, 2002).



<그림 2-1> 일방향 단선적 인과관계(좌)와 원형 내부 순환적 환류체계(우)

자료: 문태훈, 2002.

셋째, 시스템의 구조가 행태를 결정한다는 원칙에 따라 행태보다 구조에 초점을 두고 행태의 변화를 위해 필요한 시스템의 변화를 점검할 수 있도록 한다(김동환, 2001).

이와 같이 시스템 다이내믹스는 접근 방식이 까다롭고 복잡한 과정을 거쳐야 하므로 사회 전반으로 확산되는 데 어려움을 겪었지만, 기업과 정부에게는 자신들이 세운 경영 전략과 정책 등을 가상으로 실험하여 그 효과를 사전에 분석할 수 있는 방법론으로 유용하게 활용되었다(김동환, 2004).

하나의 원인이 하나의 결과만을 가져오며 측정할 수 없는 문제는 중요하지 않다는 식의 단선적 사고에 의존하면 정책은 실패할 수밖에 없다. 이런 측면에서 시스템 다이내믹스는 기존 방법론의 한계를 극복할 수 있기 때문에 의사결정자들로부터 그 유용성을 인정받게 된 것이다(김도훈 등, 1999).

<표 2-2>는 시스템 다이내믹스의 중요한 특징을 기존 연구방법 중 통계적 방법과 비교해 볼 수 있도록 정리한 것이다.

시스템 다이내믹스는 동태성을 분석할 수 있고 장기적 예측이 용이하며 손쉽게 정책 실험을 할 수 있다는 장점이 있어 기업이나 정부의 전략 및

정책 수립에 유용하다고 할 수 있다. 그러나 통계적 방식과 비교해 수치적 정확성과 단기성 예측 측면에서는 부족할 수 있으니 시스템 다이내믹스를 통해 작성한 인과순환지도와 모형이 현실을 잘 반영하는지 확인하기 위해 실제 데이터 등 준거모드와 비교해 봐야 한다(문태훈, 2002).

<표 2-2> 통계적 방법론과 시스템 다이내믹스 방법론 비교

특 성	통계적 방식	시스템 다이내믹스
추론 방식	경험적 자료	변수들간의 인과적 관계
분석 대상	정태적 행태 (점 추정)	동태적 행태
분석 초점	두 변수간 상관관계	다 변수들간 순환관계
분석 목표	수치적 정확성	구조적 정확성
정책 예측	단기적 예측	장기적 예측
정책 실험	어려움	쉬움 (정책 수단의 발견)

자료: 김도훈 등, 1999.

경영 전략과 정책 수립에 있어 시스템 다이내믹스가 어떠한 유용성을 갖는지 좀 더 면밀히 살펴보자.

현대사회는 기능이 매우 복잡하며 하위 시스템들이 상호 연관되어 있고 상호 의존적이라는 특징이 있다. 하지만, 대다수의 정책 결정자들은 임기 내에 성과를 내야 한다는 근시안적인 생각으로 총체적인 인과관계를 파악하지 못하고 일부분밖에 보지 못하는 정태적 시각에 빠져 있기 쉽다. 시스템 다이내믹스는 복잡한 문제들의 구조적 원인을 파악하고 해결책을 찾아 내는 방법이며, 기존의 시각에서는 원인 파악이 어려웠던 정부 정책의 부작

용 등 다양한 문제에 대한 해결의 도구로 활용될 수 있다(김도훈 등, 1999).

시스템 다이내믹스를 활용한 연구는 문제 정의, 인과순환지도 작성, 모형 구축의 단계를 밟게 된다(김도훈 등, 1999). 그 다음으로는 모형의 시뮬레이션 결과를 실제 데이터 등 준거모드와 비교해 타당성을 입증한 후, 각종 정책 대안을 모의 실험하면서 최적의 대안을 찾아낸다(문태훈, 2002). 이 과정에서 서로 다른 정책의 영향력이 결합되면서 장기적인 시간의 흐름에 따라 미래가 어떻게 변화되는지 예측이 가능해진다(Gary, Kunc, Morecroft and Rockart, 2008).

시스템 다이내믹스는 현실 속에 존재하는 순환적인 인과관계, 다중의 피드백 루프(feedback loops)를 밝히는 구조 분석에 장점이 있으며, 그 구조 분석을 통해 시스템의 문제 해결 방향을 찾아 제안할 수 있다. 구조 분석을 통해 정책 목표와 반대 방향으로 자기 강화가 이뤄지는 악순환 고리(양(+))의 피드백 루프, 정책 목표와 반대 방향으로 안정화되는 정체화의 고리(음(-))의 피드백 루프를 발견한 뒤 특정 변수의 값을 인위적으로 변화시키거나 구조 자체를 변화시키는 정책을 적용함으로써 전환을 시도할 수 있도록 한다는 데 시스템 다이내믹스 모델링의 유용성이 있다(김도훈 등, 1999).

시스템 사고는 피드백 분석을 통해 ‘정책지렛대’를 발견할 수 있도록 한다. 정책지렛대란 작은 힘으로 큰 변화를 가져올 수 있는 정책 개입지점을 의미한다(김동환, 2004). 시소를 탈 때 중앙에 가까운 부분이 아니라 끝부분을 눌러야 시소가 쉽게 움직이듯, 작은 힘으로 큰 효과를 볼 수 있는 지점을 정책지렛대라고 한다. 시스템 다이내믹스는 악순환에 빠진 시스템을 지배하는 피드백 구조를 분석하여 문제를 해결할 수 있는 정책지렛대를 찾아 원하는 목표를 신속하고 효과적으로 달성할 수 있게 한다(Moxnes, 2004).

결론적으로 시스템 사고를 통한 정책 연구는 구조를 분석해 최소한의 노

력으로 시스템의 큰 변화를 가져올 수 있는 효과적인 정책 개입 지점을 발견해 대책을 마련하는 것이다(장남정 · 김민경 · 양고수, 2013).

나. 태양광발전 확산 정책에서의 적용 필요성

기업의 경영 전략과 정부의 정책 수립에서 시스템 다이내믹스가 갖는 유용성은 태양광발전 확산에서도 마찬가지이다. 여러 복잡한 요인(변수)이 많고, 목표의 빠른 달성을 위해 시행착오를 줄일 수 있는 시뮬레이션이 필수적이며, 가장 효과적인 정책지렛대를 찾아야 하기 때문이다.

시스템 다이내믹스에서 양의 피드백 루프, 정책지렛대라는 개념은 ‘임계질량’ 또는 ‘티핑 포인트’와 유사하다. 임계질량은 아무리 충격을 가해도 폭발하지 않던 우리님을 순식간에 폭발시키는 특정한 변수 값을 뜻한다. 티핑 포인트는 모든 것이 한꺼번에 변화하고 전염되는 극적인 순간을 뜻한다. 자동차, 냉장고, 텔레비전, 오락기계, 컴퓨터, 휴대폰 등의 확산 과정에서는 임계질량 혹은 티핑 포인트라 부를 만한 현상을 거의 예외 없이 발견할 수 있다(김동환, 2004).

본 연구에서 다루고자 하는 태양광발전 확산 정책은 시민의 자발적인 참여가 전제되어야만 한다. 특히, 자가소비용 태양광발전기 설치에서는 화학에서의 임계질량과 사회 현상에서의 티핑 포인트에 준하는 확산의 계기를 찾는 과정이 매우 중요하다.

제2절 선행연구 분석

1. 자가소비용 태양광발전 확산 연구

최윤정 · 진윤주 · 전해지 · 백여교(2016)는 태양광발전 패널(3kW)을 설치한 단독주택 가구들을 대상으로 만족도와 경제성을 조사했는데, 투자비 회수기간은 평균 7.6년으로 충분한 경제성이 확인되었으며 전기료 절감 면에서 다들 만족스러워하는 것으로 조사되었다. 태양광발전 확산을 위해 초기 설치비 부담이 없는 태양광 대여 사업에 대한 적극적인 홍보, 고장확인 시스템 개발, 적극적인 사후 응대와 유지관리 시스템, 미관과 공간 효율을 고려해 크기가 작고 고효율인 제품의 개발 등을 추진할 필요가 있다고 제안했다.

김태주 · 안정근(2012)은 단독주택에 태양광발전 설비 보급을 활성화하기 위한 방안을 찾기 위해 전문가 및 태양광발전기 설치자들을 대상으로 설문 조사를 실시해 중요 요인을 도출했다. 중요시하는 부문은 경제, 기술, 정책, 환경, 주택 순으로 나타났고 경제 부문에서도 태양광발전기 설치에 따른 경제성이 가장 중요하다고 손꼽았다.

반영운 · 이태호(2010)는 단독 및 공동주택의 태양광발전 설비 보급 사업 관련 시민들이 중요하게 여기는 사안이 무엇인지 설문조사를 실시했다. 정부의 일관적이고 지속적인 사업 추진과 함께 설치 보조금의 비율을 60% 이상으로 확대하는 것이 중요하다는 답변이 많았다. 발전 차액 지원 제도, 공동주택에 대한 설비 보급의 확대, 민간 개발 사업에 대한 의무화, 공공시설 대상 보급 확대, 교육 지원, 사회적 약자층에 대한 설비 지원, 잉여전력의 판매 등도 중요하다는 응답이 많았다. 태양광발전 보급 사업이 환경 문제 해결에 큰 영향을 미칠 것이고 기존 전력을 대체할 가능성도 클 것으로 기대한다는 응답이 많았다. 설비의 효율성 증대 노력, 설비 설치의 용이성, 다

른 시설 및 설비와의 연계 이용, 규모의 차별성, 무상 A/S 기간의 연장, 설치 장소의 다양성도 중요하다는 답변이 많았다.

정기철·이광호·박유경·심동혁(2012)은 친환경 자동차와 가전제품, 태양광발전기나 태양열 시설 등 녹색기술을 확산·촉진시키는 정책 수단의 효과를 분석했다. 태양광발전 확산에 긍정적인 영향을 미치는 요인으로 소비자 부담을 경감시키는 것이 중요하며, 에너지 비용 절감 효과와 설비의 가격 인하를 중요하게 꼽았다. 설비의 지속적인 기술 혁신, 효율 향상, 원가 절감 등은 설비 가격 인하에 영향을 주며, 전기요금 누진제는 전기 사용량이 많을수록 설비 설치로 인한 요금 절감 효과를 크게 누릴 수 있게 한다고 말했다.

민간 주도의 자가소비용 태양광발전 설비 보급 촉진 사업인 태양광 대여 사업은 아직 경제성이 부족한 것이 사실이다. 이에 정부는 태양광 대여 사업자에게 한시적으로 신·재생에너지 생산인증서(Renewable Energy Point, 이하 REP)를 발급해 주고 이를 판매해 수입을 확보할 수 있도록 하고 있다(한국에너지공단, 2016a). 이근모(2016)는 태양광 대여 사업의 안정적인 운영과 활성화를 위해 소비자, 태양광 대여 사업자, 에너지 사업자에게 발전량의 일정 비율을 반드시 신·재생에너지로 채우도록 하는 신·재생에너지 공급의무화제도(Renewable Portfolio Standard, 이하 RPS)를 적용받는 발전사 등 모든 당사자에게 편익이 돌아가는 REP 활용 방안과 전환계수 선정 방안을 제안했다.

유현지(2016)는 공동주택에 적용 가능한 태양광발전 지원 사업 선정을 위해 경제성과 환경성을 평가하는 모델을 만들고 보조금, 대출, 이자 지원, 대여 사업 등 4가지 지원 사업의 효과를 비교 분석했다. 16개 광역시도별로 발전량을 산출하고 세대당 월 평균 전기사용량도 200~600kWh 사이를 100단위로 구분해 5가지 시나리오에 대하여 분석을 수행했다는 점은 기존 연

구와의 차이점으로 부각된다.

서울시가 추진한 원전하나줄이기 정책 중 대표 사업인 미니태양광발전기 보급은 인구밀도가 높고 대부분 공동주택에서 거주하고 있는 대도시에서 시민 참여형 태양광발전을 확산하기 위한 노력이었다. 미니태양광발전기 보급 사업에 대한 논문들도 나오기 시작했다.

백종학(2014)은 서울시 25개 자치구 중 미니태양광발전기가 가장 많이 보급된 노원구민들의 인식을 조사했는데, 설문조사 결과 미니태양광발전기 설치를 결정하는 데 가장 큰 영향을 미친 것은 경제적 요인인 것으로 나타났다. 미니태양광발전기 설치를 결정하게 된 요인으로 전기요금 절감 효과(31.3%)를 손꼽은 주민이 가장 많았고, 그 다음으로 많은 답변도 설치 시 지급되는 보조금(29.7%)으로 역시 경제적 요인에 해당되었다. 다음으로는 기후변화에 대한 관심(21.9%), 천연자원 고갈에 대한 걱정(9.4%), 에너지 교육(4.7%), 원전에 대한 불안감(3.1%) 순이었다.

Lee and Jeong(2017)은 서울시 미니태양광발전기 보급 사업의 성과가 25개 자치구별로 다르게 나타난 요인을 분석했다. 재정적으로 여유가 있는 자치구보다는 재정 능력이 부족한 자치구에서 더 높은 성과가 나타났는데, 이는 자치구의 재정자립도가 낮으면 서울시의 보조금에 의존하는 정책을 시행하게 되기 때문인 것으로 분석되었다. 그 외에도 기후변화에 관한 조례 제정 여부 등 제도적 역량, 주택 소유자의 수, 기후변화와 저탄소 정책에 대한 대중의 인식 등이 각 자치구의 미니태양광발전기 보급에 긍정적인 영향을 미쳤고, 특히 중요한 역할을 한 것은 구청장의 정치적 의지인 것으로 나타났다.

염성찬·이용균(2015)은 경제성·재무성 분석을 통해 서울시 미니태양광발전기 보급 정책의 적정 보조금 산정에 관해 연구했다. 현재는 보조금을 단일하게 지급하고 있는데, 가구별 평균 전력소비량에 따라 보조금을 차등

지급해야 형평성이 있다고 제안했다. 전기요금 누진제의 영향으로 전력 소비가 많은 가구는 미니태양광발전기 설치 후 큰 전기요금 절감 효과를 볼 수 있지만, 에너지를 적게 쓰는 가구에서는 전기요금 절감 효과가 적어서 설치비 투자를 회수하기까지 시간이 많이 걸리기 때문이다.

김준한(2015)은 서울시가 2014년 미니태양광발전기 설치 지원 사업을 시작했다. 그러나 보급 목표량의 20% 미만밖에 달성하지 못한 상황에 대해 원인을 분석했다. 낮은 전기요금, 시민들의 인식 부족, 기업과 소비자들 사이의 낮은 신뢰도 등이 태양광발전 보급 사업의 장벽으로 손꼽혔다. 개선 방안으로는 미니태양광발전기 관련 인식과 신뢰성 제고를 위한 홍보, 요금 상계 거래 제도 간소화, 공동주택 신축 시 설치 의무화, 건물 소유자가 초기 설치 비용을 재산세를 통해 장기간 갚아나가는 청정에너지 자산평가(PACE: Property Assessed Clean Energy) 금융 등의 정책적 대안을 제시했다.

정용섭(2015)은 미니태양광발전기를 가전제품의 하나로 인식하고 구매하고자 할 때 어떤 요인의 영향을 많이 받는지에 대해 분석했다. 제품의 특성으로는 기능성, 스타일, 고객서비스, 소비자의 특성으로는 지각된 위험, 혁신성, 친환경성을 요인으로 도출해 이 6가지 요인을 분석한 결과, 기능성이 구매 의도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 태양광발전기는 생산 전력량에 따른 전기요금 절감 효과가 객관적인 정보로 도출되기 때문에 구매 시 제품의 성능과 관련된 정확하고 객관적인 정보를 제공해야 구매를 유발할 수 있다는 분석이다.

국외에서도 베란다에 태양광발전기를 설치하는 사업과 이에 대한 연구는 문들이 나오고 있다. 그중 일본의 사례를 연구한 Matsui(2015)의 경우, 공공 제정의 지원을 받아 태양광발전 패널을 설치하는 일본인이 많다고 소개하면서 베란다 태양광발전 보급 확대를 위해 태양광발전 패널보다 인버터의 비용을 내리는 것이 더 중요하다고 지적했다.

<표 2-3> 자가소비용 태양광발전 확산 선행연구

연구자	연구대상	주요 연구내용
최윤정 등 (2016)	주택 태양광(3kW)	3kW 태양광발전 패널을 설치한 단독주택 가구 대상 설문조사를 통해 만족도와 경제성 분석
반영운 등 (2010)	단독·공동주택 태양광	정부 정책, 보조금, 설비의 효율성, 서비스 등 태양광발전 설비 보급에서 시민들이 중요하게 여기는 사안에 대한 설문조사. 보조금을 60% 이상으로 확대해 달라는 답변이 많았음.
정기철 등 (2012)	그린홈 등 녹색기술	태양광발전 확산의 정책수단 분석
이근모 (2016)	태양광 대여 사업	태양광 대여 사업 활성화를 위한 새로운 REP 활용 방안과 전환계수 선정 방안 제안
유현지 (2016)	보조금, 대출, 이자지원, 대여 사업	공동주택에 태양광발전 확산 보조금, 대출, 이자지원, 대여 사업의 효과 비교 분석
백종학 (2014)	서울시 미니태양광	미니태양광발전기를 설치한 서울시 노원구민 대상 설문조사 결과, 설치에 가장 큰 영향을 미친 요인은 전기요금 절감 효과, 보조금 등 경제적 요인
Lee and Jeong (2017)	서울시 미니태양광	서울시 미니태양광발전기 보급사업 성과가 25개 자치구별로 다르게 나타난 요인 분석
염성찬 등 (2015)	서울시 미니태양광	경제성·재무성 분석을 통해 미니태양광발전기 보급 정책의 적정 보조금 산정 연구, 전력소비량에 따른 보조금 차등 지급 제안
김준한 (2015)	서울시 미니태양광	서울시 미니태양광발전기 설치 사업의 실적이 낮은 원인이 전기요금과 시민 인식 부족 등이라고 분석하고 개선 방안 제시
정용섭 (2015)	서울시 미니태양광	미니태양광발전기를 가전제품으로 구매하고자 할 때 영향을 많이 받게 되는 요인 분석, 기능성이 가장 큰 영향 미침
Matsui (2015)	미니태양광	미니태양광발전기 보급 확대를 위해 패널보다 인버터 비용을 낮추는 게 더 중요

2. 에너지 전환과 시민 참여의 중요성 연구

최승국(2016)은 서울시의 원전하나줄이기와 태양광발전 활성화 정책을 에너지 전환을 위한 방안으로 보고 그 성과와 문제점을 분석하고 대안을 제시하고 있다. 미니태양광발전기 보급 사업은 시민들이 보다 쉽게 전기 소비자에서 생산자로 전환할 수 있게 만들었다고 평가했고, 시민 참여를 높이기 위하여 교육과 홍보에 힘쓰고, 태양광발전 시범단지 조성 등 시민들이 직접 보고 체험할 수 있는 모델을 개발하도록 힘써야 한다고 제안했다.

김현수(2017)는 서울시 미니태양광발전기 보급 사업이 지속적으로 확산될 수 있는 정책 방안을 에너지 시민성의 관점에서 분석해 제시했다. 에너지 시민성의 유형과 미니태양광발전기 보급사업의 활성화를 위한 요소의 상관관계를 살펴본 결과 공동체 문화, 에너지 의식, 홍보 및 교육이라는 공통 요소가 도출되었다. 연구자는 에너지 시민성을 함양한 시민들이 스스로 홍보주체가 되어 태양광발전 확산을 도울 수 있도록 서울시에서 시민들의 참여 기반을 조성해야 한다고 주문했다.

Magnani and Osti(2016)는 에너지 전환을 위해 공동체 에너지에 시민들의 참여가 이뤄지는 방식을 유형화해 분석하고, 전략을 수립하고자 했다. 재생 가능한 에너지 프로슈머들의 지역 협동조합은 지역공동체를 기반으로 하지만, 다른 유형들(녹색 및 윤리적 에너지 소비자 연합, 녹색 전력 공급을 위한 이니셔티브)은 관심과 이익 기반의 공동체로 반드시 같은 지역 거주자들만 함께하는 것은 아니며 특히 녹색 전력 공급 이니셔티브는 새롭게 시도되는 유형이다.

Schoor and Scholtens(2015)는 에너지 전환은 사회 전반에 막대한 파급 효과를 줄 수 있으며, 그 변화를 위해 어떤 요소들이 필요한지 밝혔다. 지역공동체 에너지 이니셔티브가 분산형 지속 가능한 에너지 시스템에 큰 기여를 하고 있으며, 특히 공유 비전의 개발, 활동 수준 및 조직 유형이 지역

네트워크에 중요한 요소임을 밝혔다.

이유진(2013)은 정부로부터 예산 지원을 받아 조성된 ‘그린 빌리지’에서 전기 소비량이 증가하고, 태양광발전으로 전기차를 충전하던 마라도에서 전기차가 급증하자 추가적인 전력 생산을 명분으로 석유 의존도가 높아지는 사례를 분석하였다. 이를 통하여 에너지원의 전환만큼이나 에너지의 사용 행태와 인식이 중요하다는 점을 상기시켰다. 또한 영국의 전환마을 ‘토티네스’ 사례를 살펴보고 서울의 ‘원전하나줄이기’ 사업을 중심으로 한 에너지 전환 가능성을 따져보면서 지자체의 지원과 더불어 교육·홍보 등을 통해 시민 의식을 향상시키고 참여도를 높여야 한다고 강조했다.

이승지(2011)는 태양광발전 시설이 설치된 방식을 정부주도형과 주민주도형으로 구분하여 주민의 에너지에 대한 인식을 비교하였다. 중앙 정부와 지자체의 정책 추진 의지도 중요하지만 주민들의 인식 전환이 필수적이라고 주장하였다.

최병두(2013)는 대구시 솔라시티 정책의 시사점과 한계를 살펴본 뒤 에너지 전환을 위한 원칙으로 재생가능에너지로 전환, 수요관리 중심의 정책, 지역 분산형 에너지 시스템 확산, 시장에 의존한 관리가 아닌 시민 참여적 에너지 거버넌스 등을 제시했다.

박진희(2013)는 독일의 에너지 전환 정책을 분석하면서 ‘에너지 시민권’의 형성과 ‘시민 참여’가 중요하다고 역설했다. 시민 참여는 재생가능에너지 설비의 사회적 수용성을 높임으로써 에너지 전환을 추진하는 원동력이 될 것이므로 에너지 체계의 전환을 위해 시민 참여형 정책은 필수적이라고 강조했다.

〈표 2-4〉 에너지 전환과 시민 참여의 중요성 선행연구

연구자	연구대상	주요 연구내용
최승국 (2016)	서울시 원전하나 줄이기 정책	서울시 원전하나줄이기 정책과 태양광발전 활성화 정책은 에너지 전환을 위한 방안이라 평가
김현수 (2017)	서울시 미니태양광	서울시 미니태양광발전기 보급 사업의 확산을 위해 에너지시민성 함양의 중요성 강조
Magnani et al.(2016)	공동체 에너지	에너지 전환을 위한 공동체 에너지에 시민 참여가 이뤄지는 방식 유형화 분석, 전략 수립
Schoor et al.(2015)	에너지 전환	지역 공동체 에너지 이니셔티브가 분산형 지속가능한 에너지 시스템에 큰 기여를 하고 있다고 평가
이유진 (2013)	마라도 그린빌리지	정부 주도로 조성된 그린 빌리지에서 전기 소비량이 증가한 사례 분석을 통해 시민 인식의 향상과 참여의 중요성 강조
이승지 (2011)	태양광발전	태양광발전 설치 방식을 정부주도와 주민주도형으로 구분해 주민의 에너지에 대한 인식 비교
최병두 (2013)	대구시 솔라시티 정책	대구시 솔라시티 정책의 의의와 한계를 평가하고 시민 참여적 에너지 거버넌스로의 전환 제안
박진희 (2013)	독일 에너지 전환	독일 에너지 전환 정책 분석을 통해 에너지 시민권의 형성과 시민 참여의 중요성 강조

3. 시스템 다이내믹스를 활용한 신·재생에너지 확산 연구

안남성(2017)은 시스템 다이내믹스 모델링을 통해 우리나라가 매년 2조 2000억원씩 태양광발전에 투자하면 2030년 누적 설치량이 55GW를 초과해 전체 발전량의 8~9%를 태양광발전으로 보급 가능하며 신·재생에너지 보급률 20% 목표달성도 가능하다고 밝혔다. 또한 태양광발전의 LCOE도 떨어져 2020년 전후로 한전의 전기요금은 물론 원자력이나 석탄 발전 단가보다 낮아질 것으로 전망했다. 재원 마련이 문제인데 온실가스 감축목표 달성을

위해 국외에서 감축 사업을 벌이는 데 필요한 예산 5조원을 재생에너지 내수시장에 투자하면 재생에너지의 티핑 포인트가 조기 달성돼 온실가스도 감축하고 재생에너지 보급률도 높일 수 있다고 주장했다.

김연지(2015)는 시스템 다이내믹스를 이용해 개발도상국의 태양광발전 확산 모형을 개발했는데, 규모의 경제 실현과 학습률의 향상이라는 두 가지 조건이 핵심이다. 학습 효과에 따라 태양광발전의 균등화 발전 비용이 점차 낮아질수록 태양광발전은 시장에서 가격경쟁력을 확보하고 매력도가 높아지게 되며, 시장 확산에 따라 구매자 비율이 높아지면 구전 효과 등의 시장 논리에 따라 신규 사업이 증가하는 모방 효과가 발생한다. 이에 따라 확산의 일정 임계질량에 도달하기까지는 규모의 경제 기반을 조성해 줄 필요가 있으며, 확산의 과정에서는 학습률을 높이기 위한 인력양성 등의 요소가 병행될 경우 태양광발전 확산을 극대화할 수 있다는 결론을 도출하였다.

이동성(2015)은 우리나라에서 2011년까지 시행되었던 발전차액지원제도(Feed-in Tariffs, 이하 FIT)와 현재 시행중인 RPS 제도의 효과를 시스템 다이내믹스 방법론을 통해 장기적 관점에서 비교 분석했다. 신·재생에너지 발전량 증가 추이를 시뮬레이션한 결과, 정부가 신·재생에너지 전력을 고정가격에 사취 사업자 수익을 보장하는 FIT 제도가 RPS 제도보다 7.2배 정도 더 많은 에너지를 생산하게 함을 밝혔다. 그러나, 서울, 인천, 경기, 강원, 충청, 영남, 호남, 제주 등 8개 시·도로 구분해 각각 FIT와 RPS 제도의 발전량의 증가 추이를 비교한 결과, 모든 지역에서 FIT 제도가 우위에 있는 것은 아니었다. 신·재생에너지 발전량이 많은 인천과 영남지방에서는 FIT보다 RPS가 우위에 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 장기적 관점에서 신·재생에너지 발전량을 극대화하려면 중앙정부 주도의 획일적인 정책이 아니라 지역 상황을 고려한 정책이 시행되어야 한다고 지적했다.

전찬용(2014)은 시스템 다이내믹스와 몬테카를로 시뮬레이션을 복합해 새

로운 에너지기술경제성 평가방법을 제시하고, 실물읍선 기법을 적용하여 최적의 정부지원금 산정방법을 제안했다. 새로운 평가방법에 따르면, 2020년까지 한국정부가 계획한 태양광발전소 건설이 가지는 가치는 기존 현금흐름할인법을 통해 산정한 것보다 무려 2조 1천 6백억 원이나 큰 것으로 분석되었다.

장남정·김민경·양고수(2013)는 시스템 다이내믹스 기법을 이용해 온실가스 감축정책을 정성적, 정량적으로 평가했다. 그린홈 100만호 보급사업과 승용차 요일제 운영에 대해서는 인과순환지도를 통해 정성적 평가를 했는데, 두 정책 모두 참여자들이 오히려 에너지를 더 쓰거나 예상한 효과를 얻기 어렵다는 문제가 생길 수 있어 보완책이 필요한 것으로 분석되었다. 그린홈 보급사업은 참여 주민의 에너지 과소비를 막기 위해 보완책이 필요하며, 승용차 요일제는 인센티브(통행료 감면, 주차장 무료 이용 등) 제공을 통해 참여율을 제고시키거나 의식교육, 규제 등의 방안의 추진을 검토할 필요가 있다는 것이다. 탄소포인트제 가입세대 예측 시뮬레이션에서는 10만 세대 달성에 약 18개월의 시간이 소요되는 것으로 예상되었다.

<표 2-5> 시스템 다이내믹스를 활용한 신·재생에너지 확산 연구

연구자	연구대상	주요 연구내용
안남성 (2017)	신·재생에너지 보급 목표	매년 5조원을 재생에너지 내수시장에 투자하면 2030년 신·재생에너지 보급률 20% 목표 달성 가능
김연지 (2015)	개발도상국 태양광 확산	개발도상국 태양광발전 확산 모형 개발
이동성 (2015)	FIT와 RPS	FIT와 RPS 제도의 효과를 비교 분석한 결과 FIT가 RPS보다 7.2배 정도 더 많은 에너지를 생산하게 함
전찬웅 (2014)	정부 지원금 산정법	새로운 에너지기술 경제성 평가방법과 최적의 정부 지원금 산정 방법 제안
장남정 등 (2013)	온실가스 감축정책	그린홈 100만호 보급사업 참여자의 에너지 과소비를 막는 보완책 필요

4. 전기요금 결정 이론 관련 연구

신광조(2017)는 주택용 전기요금 누진제 정책을 결정하는 요인을 찾기 위해 전력수급과 경제 상황, 한국전력공사의 경영상황, 국내 정치적 상황을 대표하는 데이터를 수집해 실증적인 분석을 했다. 분석 결과, 다른 정치·경제적 요인들에서는 통계적으로 유의미한 관계를 확인하지 못하고 전력수급 상황을 대표하는 설비예비율 한 가지만이 전기요금 누진율을 결정하는 요인으로 확인되었다.

최병선(2012)은 1982년 한국전력공사 창립 이후 2009년까지 24차례에 걸쳐 이뤄진 전기요금 조정 사례를 분석해 에너지 공기업의 요금 규제의 실태와 문제점을 밝혀냈다.

장효준(2012)은 재생에너지 RPS 도입이 전력요금에 어떤 영향을 미치는지 분석했는데, 의무비율이 3%일 때 2010년 103.38원이었던 전기요금이 2020년 189.19원으로 1.83배 상승하는 것으로 나타나는 등 소비자의 부담이 큰 것으로 분석되었다. 소규모 FIT의 활성화를 통해 소비자들의 부담도 경감시키고 대규모 재생에너지 설비 보급에 따른 환경문제 등도 줄일 수 있다고 주장했다.

5. 선행연구와의 차별성

본 연구는 목표치에 못 미치고 있는 자가소비용 재생에너지의 보급 및 확산이 보다 신속하게 진행될 수 있도록 만드는 정책을 제시하는 데 목적이 있다. 기존의 많은 연구들이 대형 발전 사업에 주목하고 있어, 자가소비용 태양광발전 등에 대한 연구는 상대적으로 부족한 편이며 최적의 정책을 찾는 데도 한계가 있었다.

그동안 재생에너지 확산 정책에 대한 연구는 주로 대형 발전 사업의 성

과에 관련되어 FIT와 RPS라는 정책의 비교에 집중되어 있었다. 국내에서 FIT와 RPS 제도는 발전 사업용 태양광발전에 대해 적용되며, 자가소비용 주택 태양광발전기와 미니태양광발전기는 적용 대상에서 제외되어 있다.

비록 발전량의 규모는 작지만, 자가소비용 소형 태양광발전기 설치를 통해 재생에너지에 처음으로 접하게 된 시민들이 긍정적인 경험을 쌓는다면 에너지 소비자에서 에너지 프로슈머로의 변신에 더 적극적으로 나서게 될 수 있다. 따라서 재생에너지 확산을 위해 소형 태양광발전에 대한 시민 참여는 매우 중요한 사안이며 대규모 재생에너지 확산 사업만큼이나 중요하다고 볼 수 있다. 본 연구는 자가소비용 소형 태양광발전기 설치에 시민들이 적극 참여하도록 유도하는 정책 방향에 초점을 맞춰 연구를 진행하기로 했다.

본 연구는 자가소비용 태양광발전에 초점을 맞춰 보조금과 잉여전력 매입제도 등의 정책이 태양광발전 보급에 어떤 영향을 미치는지에 대해 동태적인 분석을 한다는 점에서 기존 연구와 차별성을 갖는다. 특히, 아직 도입되지 않은 잉여전력 매입제의 정책 효과를 미리 분석해 봄으로써 매입 기준가격을 어떤 수준에서 결정해야 할지 제안하고자 한다.

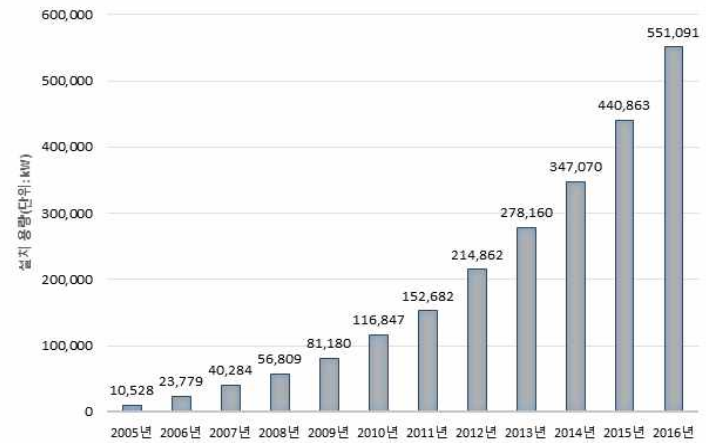
자가소비용 소형 태양광발전기 설치 사업에 한정해 연구하지만, 그 연구 결과는 재생에너지 전반에 대한 시민 참여 확대에 적용 가능할 것으로 기대한다.

제3장 태양광발전 확산의 영향인자 및 인과순환지도

제1절 자가소비용 태양광발전 확산 정책

1. 자가소비용 태양광발전

자가소비용 태양광발전기는 주로 건축물의 옥상이나 지붕, 베란다 등에 설치되는 소형 발전시설로 분산형 전원으로서 의미를 가진다. 생산된 전기를 스스로 사용함으로써 전기요금 절감 혜택을 볼 수 있도록 주택이나 건물 등에 태양광발전기를 설치하도록 지원하는 것은 세계 각국에서 시행하고 있는 보편적인 재생에너지 확산 정책이다.



<그림 3-1> 연도별 자가용 태양광발전 누적 설치 용량

자료: 한국에너지공단, 2017.

2016년 기준으로 국내 자가용 태양광발전 보급 용량은 551,091kW이며 <그림 3-1>에서 보듯 매년 그 양은 증가하고 있다. 전체 태양광발전 누적 보급 용량 가운데 자가소비용이 차지하는 비중은 2006년에는 66.3%였으나 대형 사업용 발전기가 본격적으로 설치되면서 감소하고 있다(<표 3-1> 참고). 2016년 기준으로 전체 누적 태양광발전기 설치량(4,501,652kW) 가운데 차지하는 비중은 12.2% 정도 된다.

<표 3-1> 국내 태양광발전 설치량 중 자가소비용이 차지하는 비율

(단위: kW)

연도	자가용 태양광 연도별 신규설치량	태양광 연도별 신규설치량	연도별 신규설치량 중 자가용의 비율(%)	자가용 태양광 누적 설치량	태양광 누적 설치량	태양광 누적설치량 중 자가용의 비율(%)
2006	13,251	22,322	59.4%	23,779	35,844	66.3%
2007	16,505	45,347	36.4%	40,284	81,191	49.6%
2008	16,555	275,665	6.0%	56,809	356,856	15.9%
2009	24,181	166,838	14.5%	81,180	523,694	15.5%
2010	34,295	126,645	27.1%	116,847	650,339	18.0%
2011	35,835	78,818	45.5%	152,682	729,157	20.9%
2012	62,180	295,158	21.1%	214,862	1,024,315	21.0%
2013	63,298	530,720	11.9%	278,160	1,555,035	17.9%
2014	68,910	926,263	7.4%	347,070	2,481,298	14.0%
2015	93,793	1,133,900	8.3%	440,863	3,615,198	12.2%
2016	110,228	886,454	12.4%	551,091	4,501,652	12.2%

자료: 한국에너지공단, 2017.

자가소비용 태양광발전 누적 보급 용량 중에서는 가정용(241,076kW)의 비중이 가장 많고, 그 뒤로는 공공시설(158,913kW), 교육시설(77,160kW), 사회 복지시설(27,461), 산업시설(10,619), 상업시설(7,180) 등의 순이다(한국에너지공단, 2017).

국내 건축물의 태양광발전기 설치 가능 용량은 최대 13,298MW에 이르는 것으로 추산된다(한국태양광산업협회, 2011). <표 3-2>에서 보듯 건축물 중에서도 주거용의 설치 가능 면적이 가장 넓으며, 설치 가능한 용량은 7,685MW로 전국의 주택에만 태양광발전기를 보급해도 7GW 이상의 발전 용량을 확보할 수 있어 그 잠재량이 큰 것으로 확인되었다.

<표 3-2> 국내 건축물의 태양광발전 설치 가능 면적 및 용량

구분	면적(m ²)	설치 가능 용량(MW)			단위면적당 설치용량
		최소	중간	최대	
주거용	612,878,311	1,014	2,029	7,685	0.2508kW/10m ²
공업용	175,138,446	1,079	2,159	4,317	0.3000kW/10m ²
상업용	22,812,005	141	282	310	0.2720kW/10m ²
서비스용	9,608,376	59	119	131	0.2720kW/10m ²
공공용	9,549,753	42	84	95	0.2000kW/10m ²
문교 ¹⁾ ·사회용 ²⁾	53,082,405	334	668	760	0.2862kW/10m ²
합계	883,069,296	2,669	5,341	13,298	

주: 1) 문교용: 교육연구 및 복지시설

자료: 한국태양광산업협회, 2011.

2) 사회용: 운동, 의료, 문화 및 집회시설

정부는 자가소비용 태양광발전 확산을 위해 건물, 지역, 주택 등 대상을 구분해 보조금 지원 정책을 펴고 있다. ‘태양광 대여 사업’의 경우, 설치

자에게 정부가 직접 보조금을 지원하지 않고도 시장에서 경제성을 확보할 수 있는 구조가 완성되어 자가소비용 태양광발전 확산에 큰 역할을 하고 있다. 태양광 대여 사업은 민간 사업자가 주택에 태양광발전 설비를 설치한 뒤 자가소비를 통해 절감된 전기요금 효과를 배분하는 방식으로 민간 사업자는 주택 소유자로부터 대여료를 받는 한편, REP 판매로 수익을 얻을 수 있다(한국에너지공단, 2016a).

<표 3-3>는 최근 3년간 태양광발전 설치 용량을 국내 태양광발전 확산 지원 정책에 따라 구분한 것이다. RPS 제도는 발전 사업자에게 에너지의 일정 비율을 재생에너지로 공급·판매하도록 강제하는 방식으로 발전 사업을 통한 지원 정책이다. 태양광발전 신규 설치 용량의 대부분이 RPS 정책을 통해 설치되는 것을 알 수 있다. 자가소비용 중에서는 주택 지원 사업의 비중이 가장 크고 그 다음으로는 태양광 대여 사업이다.

<표 3-3> 국내 태양광발전 확산 지원 정책별 설치 용량 (단위: kW)

정책 구분	2014년	2015년	2016년	2017년	
건물 지원	5,043	5,800	6,261	6,524	0.6%
지역 지원	11,947	14,016	12,109	12,077	1.0%
주택 지원	22,337	20,984	27,358	23,274	2.0%
융복합 지원	6,105	4,801	7,087	5,639	0.5%
태양광 대여	6,018	8,568	7,971	15,883	1.3%
RPS	865,228	985,634	803,842	1,120,797	94.6%
합계	916,678	1,039,803	864,608	1,184,193	100.0%

자료: 한국태양광산업협회, 2018; 한국수출입은행, 2018에서 재인용.

자가소비용 태양광발전은 전력 계통 연결 방식을 기준으로 두 가지로 구분할 수 있는데, 해당 주택에서만 사용하는 독립형과 계통 연계형으로 구분된다. 계통 연계형은 다시 두 가지로 나눌 수 있는데, 계량기에 연결하는 방식과 플러그에 연결하는 방식으로 구분된다.

최근 공동주택 베란다 등에 설치되고 있는 미니태양광발전기는 주로 계량기가 아니라 주택 내 플러그에 연결해서 사용한다. 계량기 연결형은 2012년 1월부터 신·재생에너지 발전설비 설치 시, 이미 설치되어 있는 수전용 계량기 외에 잉여전력용 계량기도 추가로 설치하도록 의무화되었다(서울시 녹색에너지과, 2016). 수전용 계량기란 일반적으로 건물에 설치된 계량기로 한 전으로부터 전기를 공급받아 쓰는 전기사용량을 표시하는 계량기이고, 잉여전력용 계량기란 발전설비가 생산한 발전량이 건물에서 소비한 것보다 많을 경우 잉여 전력량(발전량-소비량)을 표시하는 계량기이다. 미니태양광발전기는 생산되는 전력이 소량이어서 대부분 해당 주택에서 바로 소비되어 잉여전력이 거의 없으므로 플러그에 연결해 사용하며 잉여전력용 계량기도 별도로 설치하지 않는다.

국내 법규에는 ‘소규모 신·재생에너지발전전력 등의 거래에 관한 지침’에 ‘자가용 신·재생에너지발전설비설치자’에 대한 정의가 담겨 있다. 지침에 의하면 자가용 신·재생에너지발전설비설치자는 ‘전기사업법’ 제2조 제19호의 규정에 의한 자가소비용 전기설비(전기사업용전기설비 및 일반용전기설비 외의 전기설비)를 설치한 자로서 신·재생에너지 발전을 하는 자를 말한다.

한전의 전력수급계약서(PPA)에 포함된 자가소비용 전기설비는 ‘발전설비 10kW 이하, 저장장치 총방전용량 10kWh 이하, 태양광발전 50kW 이하’로 규정되어 있으며, 판매사업자의 공급용 전력량계를 이용하여 전력거래가 가능하며 발전한 전력이 많을 경우에는 다음달 사용한 전력량에서 차

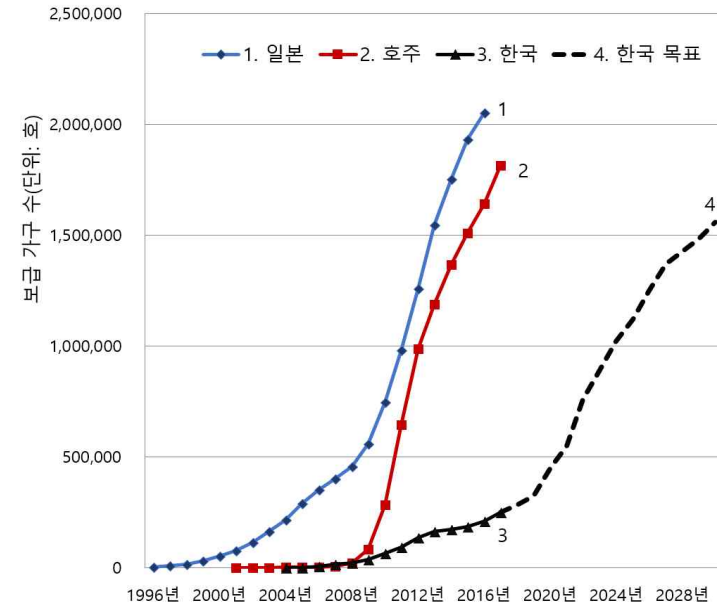
감하는 것으로 되어 있다. 10kW 이하 태양광발전기 설치자는 남은 전기를 판매사업자 중개를 통해 다른 소비자에 공급할 수 있으며, 전기요금에 반영하여 정산한다고 되어 있다(김창섭·이상훈·윤성권·이항주, 2018).

자가소비용 재생에너지 설비는 에너지 비용 절감에 큰 도움을 준다. 에너지 가격이 상승하는 상황에서 태양광발전기를 설치해 스스로 생산한 전력을 사용하면 전기요금 절감 효과를 수십 년 동안 지속적으로 볼 수 있다.

김창섭 등(2018)은 소비자에게 선택권을 부여함으로써 다양한 전원 구성을 가능하게 만들어 시장의 구조변화에 도움이 되며 에너지 전환에서도 핵심적인 역할을 수행할 수 있다는 점에서 자가용 재생에너지의 특징과 가능성을 강조했다. 또한, 에너지협동조합, 공동구매프로그램, 크라우드 펀딩 플랫폼, 대여 서비스 등 더 많은 소비자가 자가소비에 접근할 수 있도록 새로운 비즈니스 모델이 등장하는 상황이라 앞으로 전력망의 유연성은 더욱 확대될 것이라고 전망했다.

지난 2017년 12월, 정부는 재생에너지 확대 의지를 담아 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 발표했다. 이 계획에는 첫 번째 이행 방안으로 자가용 재생에너지의 확대를 내세웠고, 그중에서도 도시형 자가용 태양광발전의 보급을 중요하게 다루고 있다. 2035년까지 100만 가구에 재생에너지 설비를 보급하겠다는 기존 목표를 대폭 강화했다. 보급 목표는 100만에서 156만 가구로 더 높였고, 달성 기한은 2035년에서 2030년으로 앞당겼다. 2030년까지 약 15가구당 1가구에 보급하겠다는 목표다(산업통상자원부, 2017a).

새롭게 설정된 보급 목표와 현재까지의 주택 태양광발전 보급 실적을 그래프로 그리면 <그림 3-2>와 같다. 이 그림에는 자가용 주택 태양광발전기 확산에 성공한 일본(1)과 호주(2)의 보급 실적도 함께 그려 우리나라의 상황과 비교해 볼 수 있도록 했다.



<그림 3-2> 한국, 일본, 호주의 자가용 주택 태양광발전 설치 실적 비교
 자료: JPEA, 2017; Clean energy regulator, 2018; 한국에너지공단, 2018.

정부가 발표한 2022년과 2030년의 목표는 그래프 위에 점을 찍은 뒤 점선(4)으로 이어 표시했다. 현재까지의 보급 실적은 아랫부분 삼각형 점을 이은 곡선(3)인데, 이 곡선과 목표 점을 이어보면 우리나라도 호주나 일본처럼 급격한 증가가 이뤄져야만 목표 달성이 가능할 것임을 인식할 수 있다. 그래프의 기울기는 일본이나 호주의 실적을 나타내는 곡선의 경사도와 비교하면 덜 가파르지만, 목표 달성을 위해서 그동안의 증가 추세와는 비교도 할 수 없을 만큼 대대적인 보급 실적이 요구되는 상황이다.

최근 서울시를 중심으로 플러그에 연결하는 미니태양광발전기가 공동주택

베란다 공간에 빠른 속도로 설치되고 있는데, 자가소비용 태양광발전 설치 가구를 효과적으로 확대할 수 있는 방안으로 주목할 만하다.

<표 3-4> 서울시 자가소비용 태양광발전기 보급 현황

구분		2003 ~2013	2014	2015	2016	2017	합계
베란다형	설치 개소 (호)	-	1,777	3,258	8,311	18,605	31,951
	용량 (kW)	-	420	902	2,187	5,121	8,630
주택형	설치 개소 (호)	2,780	903	1,223	1,662	1,896	8,464
	용량 (kW)	9,180	2,813	3,675	5,117	5,911	26,696

* 베란다형: 가전제품처럼 플러그에 연결해서 사용하는 1kW 미만 용량의 미니태양광발전기

* 주택형: 계통에 연결해 사용하고 잉여전력은 상계 거래하며 용량은 주로 1~3kW

자료: 서울시 녹색에너지과, 2018.

<표 3-4>에서처럼 2003년 시작된 주택 태양광 보급 사업의 경우 서울 지역에 설치된 가구 수가 8,464가구인 데 비해, 2014년 시작된 미니태양광발전기 보급 사업의 실적은 4배 가까이 많은 31,951가구나 된다.

2017년 11월, 서울시는 ‘태양의 도시, 서울’ 종합계획(<표 3-5> 참고)을 통해 다음과 같은 태양광발전기 보급 목표를 공표했다. 3가구당 1가구에 태양광발전기가 설치되도록 한다는 계획이다.

서울과 같은 대도시에서는 대규모 발전 사업을 진행할 공간적인 여유도 없고, 단독주택보다 공동주택이 많기 때문에 미니태양광발전기 보급 사업은 태양광발전의 효과적인 확산을 위한 중요한 전략이라고 할 수 있다.

<표 3-5> ‘태양의 도시, 서울’ 계획에 따른 연차별 보급 및 투자계획
(단위: 백만원, MW)

사 업 명	사업비 보급용량	연차별 보급 및 투자계획							
		~2017년	5년계	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	
총 계	사 업 비	1,958,484	254,519	1,703,965	166,906	300,001	414,341	384,364	438,353
	국비	174,580	9,403	165,177	12,208	36,474	37,439	40,282	38,774
	시비	559,153	62,577	496,576	41,622	86,586	101,761	127,469	139,138
	민자	1,136,443	160,330	976,113	96,907	163,774	252,971	209,398	253,063
	공사	88,308	22,209	66,099	16,169	13,167	22,170	7,215	7,378
	보급용량	1,007	141	866	80	138	225	196	228
가 정 용	베란다형	255,999	12,200	243,799	22,078	44,320	49,900	62,861	64,640
	임대주택	139	5	134	9	21	26	36	42
태 양 광	단독주택	110,144	32,724	77,420	15,734	16,052	18,193	13,808	13,633
	민간건물	41	9	33	6	7	8	6	6
	기타시설	294,270	49,770	244,500	4,500	6,000	30,000	84,000	120,000
		145	23	122	2	3	15	42	60
		367,981	15,981	352,000	22,000	40,000	70,000	100,000	120,000
	221	45	176	11	20	35	50	60	
	10,371	272	10,099	1,250	2,478	2,333	2,135	1,903	
	5	0	4	0	1	1	1	1	
공 공	공공건물	222,166	36,321	185,845	8,525	48,252	44,662	44,176	40,230
	주 차 장	90	9	80	4	18	18	20	20
태 양 광	기타시설	39,358	0	39,358	2,422	13,638	9,298	7,368	6,632
	학 교	18	0	18	1	6	4	4	4
		119,010	59,416	59,594	10,016	6,736	9,369	11,426	22,047
		64	25	40	4	7	8	9	12
	143,200	45,200	98,000	19,600	19,600	19,600	19,600	19,600	
	72	23	49	10	10	10	10	10	
랜 드	상 징 물	39,002	51	38,951	850	408	5,669	20,673	11,351
	마 곡 지 구	19	0	19	0	0	3	10	6
산 업 육 성	에너지공사(발전 사업)	15,513	0	15,513	5,313	5,100	5,100	0	0
	산업기반	20	3	17	4	4	4	2	2
		255,601	651	254,950	44,950	78,600	131,400	0	0
	158	0	158	28	40	90	0	0	
	84,668	1,908	82,760	9,312	18,612	18,612	18,112	18,112	
	0	0	0	0	0	0	0	0	
제도개선·홍보		1,200	25	1,175	355	205	205	205	205
		15	0	15	0	2	3	5	5

자료: 서울시 녹색에너지과, 2017.

2. 주요 국가의 자가소비용 태양광발전 확산 정책

세계 각국은 재생에너지 발전·확대를 위한 다양한 정책을 시행하고 있다. 별도의 요금 제도, 발전량 규제 정책도 있고, 재생에너지 투자에 대한 세금 감면, 보조금 지급과 같은 직접적인 지원 정책도 있다. 주요국에서 시행하고 있는 주요한 재생에너지 관련 정책 현황은 다음 <표 3-6>과 같다 (REN21, 2017).

<표 3-6> 주요국 태양광발전 관련 정책 현황

구 분	FIT	RPS	미터링	REC	경매	세금 감면	직접 보조
덴마크	○	-	○	○	○	○	○
독일	○	-	-	-	○	○	○
미국	-	●	●	●	-	○	○
벨기에	-	●	●	○	○	○	●
스페인	-	-	-	○	○	○	○
영국	○	○	-	○	-	○	○
이탈리아	○	-	○	○	○	○	○
인도	●	○	●	○	○	○	○
일본	○	-	-	○	○	○	○
중국	○	○	-	-	○	○	○
캐나다	●	●	●	-	●	○	○
프랑스	○	-	-	○	○	○	○
호주	●	○	○	○	●	-	○
한국	-	○	○	○	-	○	○

주: 국가명 가나다순, ○ 국가단위 시행, ● 지역(州)단위 시행

자료: REN21, 2017.

에너지 자립률 제고, 환경 문제 해결, 기후변화협약 대응 등을 위해 세계 각국 정부가 추진하는 재생에너지 보급 지원 정책 중 가장 대표적인 것이 정부가 재생에너지 전력을 장기간 고정가격에 사취 사업자 수익을 보장하는 FIT와 발전사에게 발전량의 일정 비율을 재생에너지로 공급·판매하도록 의무를 부과하는 RPS이다.

RPS는 우리나라와 미국, 영국, 호주 등에서 시행하고 있다. 독일, 프랑스, 영국 등 유럽의 주요 국가들은 FIT를 운영하고 있는데, 각국의 여건에 따라 적용 대상, 거래 방법, 가격 등은 차이가 있다.

국가 간 FIT 가격 차이는 정부의 지원 정책 의지, 자국 내 LCOE 등에 큰 영향을 받는다. 특히 최근에는 유틸리티급 대규모 태양광발전의 경우 전통적인 화석연료 발전보다 LCOE가 낮아져서 FIT를 통한 지원 필요성이 감소하고 있는 추세다(Lazard, 2016). 이에 따라 다수 국가들에서 대규모 설비에 대해서는 FIT 대신 경매제도를 적용하는 것으로 방향을 전환하고 있다. 독일, 프랑스, 오스트리아 등은 지붕형 및 건물 부착형 소규모 설비에 국한해 FIT를 적용하고 있다(원동규·이병식·주희천, 2017).

신·재생에너지 설비를 이용해 전기를 생산·공급했음을 증명하는 신·재생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificate, 이하 REC)의 발행과 거래도 재생에너지 보급을 지원하는 정책이다. RPS에 의한 의무를 이행해야 하는 발전사나 재생에너지 사용 비율을 늘리고자 하는 기업 등이 실적을 대신 인정받기 위해 REC를 구매하는 경우가 많다.

넷 미터링(Net Metering)은 전기 소비자가 재생에너지 발전 시스템을 이용해 생산한 전력을 자가소비한 후 남는 잉여전력은 계통망을 통해 전력회사에 되팔 수 있게 하는 제도이다. 전력회사는 소비자의 총 사용 전력량에서 재판매한 전력량을 상계해서 요금을 청구하게 된다. 전기요금 차감뿐 아니라 잉여전력을 현금 매입까지 해주는 국가들도 있는데, 잉여전력을 전력

회사가 소매 전력 요금 단가로 매입해줌으로써 FIT 제도와 유사하게 주택용 태양광발전기 설치 가구에게 태양광발전 전력 판매를 통한 부수입을 창출해 주는 효과가 있다(김신아, 2017).

아프리카, 중동, 중앙아시아의 일부 국가를 제외하고 대부분의 국가들이 FIT, 넷 미터링, 경매 제도 중 2가지 이상의 제도를 시행하고 있다(REN21, 2016). 이 중 FIT가 가장 많은 국가에서 시행되고 있으며, 직접 보조 및 세급 우대 정책과 넷 미터링이 그 뒤를 잇는다(Buro, 2016).

다음으로 자가소비용 태양광발전기 설치를 유도하는 세계 각국의 정책과 그 성과에 대해 살펴보고자 한다.

가. 독일

독일은 1980년대에 시민들이 직접 발전소를 건설하고 전기를 생산·사용하는 ‘시민발전소’가 시작되었으며, 2000년 이후에는 ‘시민기업’과 ‘협동조합’이 활성화되었다(권승문·김세영·신근정, 2014).

2000년 ‘재생에너지법(Erneuerbare Energien Gesetz, 이하 EEG)’을 제정하여 재생에너지를 석유나 원자력 등으로 생산한 에너지보다 우선적으로 높은 가격에 판매할 수 있도록 했는데, 이 법에 따라 수익이 보장됨으로써 시민발전소가 정착되는 계기가 되었다(이창훈, 2015). EEG는 태양광발전 확대를 위해 연방은행에서 저리로 자금을 빌릴 수 있는 민간투자 유도정책과 FIT, 태양광발전 지붕 설치 프로그램, R&D 투자, 솔라벨리 조성 등을 지원해왔다(Inderberg and Turner, 2016).

독일은 이미 1990년대 초반 태양광발전기 설치 보조금을 도입했다. 소형 분산 그리드 시스템을 위한 태양광발전 보조금 제도 ‘천 개의 지붕 프로그램(1,000 roofs programme)’을 통해 태양광발전기(1~5kW) 설치 비용의 70%를 보조했다. 그 결과 1990~1995년 사이 2,000개의 지붕에 태양광발전

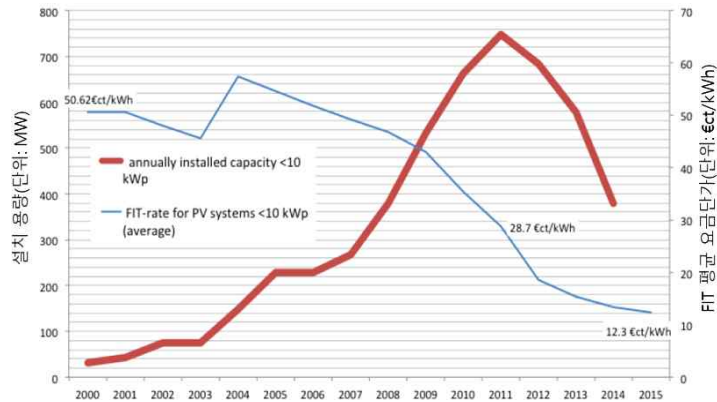
기가 설치됐다(Inderberg and Turner, 2016).

1991년에는 ‘재생가능한 에너지로 생산한 전기의 공공 배전망 연결에 관한 법률(Stromeinspeisegesetz)’이 발효되었는데 이 법은 재생가능한 에너지로 생산한 전력을 지역의 공공 전력공급회사가 반드시 사들여서 적당한 값을 쳐주도록 규정하고 있다. 전력 구매 가격은 1kWh당 17페니히로 책정되었는데, 태양광발전에 대해서는 각 지역마다 훨씬 높은 가격을 주는 경우도 많았다(이필렬, 1998).

1999년 4월~2003년 7월 시행된 ‘10만 개의 지붕 프로그램(100,000 roofs programme)’에서는 주택이나 공공건물에 1kW 이상의 태양광발전기를 설치할 때 설치 비용을 연방 정부에서 전액 무이자로 대여해 줬다. 빌린 돈은 약 90%에 해당하는 금액을 7년 동안 상환하면 되는데 남은 금액은 8년째에도 발전 설비에서 전기를 생산하고 있으면 탕감 처리했다(이필렬, 2003). 이 계획은 300MW 용량의 태양광발전 추가 설치를 목표로 했으나 약 55,000개가 설치됐고 261MW의 추가 용량이 공급됐다(Inderberg and Turner, 2016).

독일은 FIT를 통해 송전 사업자가 재생에너지 발전 전력을 우선적으로 공급받고 재생에너지 사업자에게 정부가 고시한 기준가격을 20년간 고정적으로 지급하도록 했다. 재생에너지 사업자에게 지급되는 금액은 전력회사가 전기요금에 EEG 부과금 항목으로 부과해 회수하는 구조다. 초기의 태양광 발전을 통해 생산된 전력에는 다른 전원에 비해 높은 FIT 기준가격이 적용되었다. 이 같은 FIT 시행으로 독일은 일조량이 낮은 불리한 자연 환경에서도 세계 최대의 태양광발전 국가로 성장할 수 있었다(원동규 등, 2017).

<그림 3-3>은 소규모 태양광발전 생산 전력에 대한 FIT가 독일에서 태양광발전 설치를 급격히 증가시켰음을 보여주는 그래프다. 그러나 FIT 지원 단가가 떨어짐에 따라 최근 태양광발전 신규 설치 용량도 급격히 감소하는 추세를 보이고 있다.



* 두꺼운 선 : 매년 설치된 태양광발전 용량(발전 규모 10kW 미만)

* 얇은 선 : FIT 평균 요금단가 변화 추이

<그림 3-3> 독일 태양광발전 설비(10kW 미만) 설치량 및 FIT 평균 요금 단위
 자료: Inderberg and Turner, 2016, p.22.

독일은 2011년 동일본 대지진 이후 탈원전을 선언하고 재생에너지 확대에 더욱 적극적으로 나섰다(원동규 등, 2017). 독일 정부는 일본 후쿠시마 핵발전소 사고 직후인 2011년 6월 가동 중인 핵발전소 모두를 2022년까지 폐쇄하기로 했다. ‘에너지 전환’ 정책을 추진한 결과, 2017년 기준 총 전력 발전량(654.1TWh) 가운데 재생에너지원으로 생산한 전기가 33.1%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다(전기신문, 2018). 이 같은 추세라면, 재생에너지 발전량 비중 목표(2020년 35%, 2030년 50%, 2050년 80%)를 달성할 수 있을 것으로 예상된다.

후쿠시마 원전 사고 이후 독일 정부는 ‘에너지 혁신(Energiewende)’ 정책을 채택한 뒤 2022년까지 기존 원전을 완전히 폐쇄하도록 추진하면서 재

생에너지도 적극 확대하고 있다. 최근에는 FIT 정책뿐 아니라 태양광발전 사업자와 소비자의 직거래, 입찰 경쟁, 자가소비 우대 등 다양한 정책을 시행하고 있다. 직거래는 사업자가 전력 구매자를 직접 접촉하여 태양광발전을 통해 생산된 전력을 판매하는 형식이다. 입찰 경쟁은 2015년 시범사업으로 도입되었는데, 2017년부터는 용량이 750kW 이상인 발전기에서 생산된 전력은 모두 입찰하도록 하고 있다. 또한 태양광발전 단가가 일반 주택용 전기요금과 비교해 경쟁력이 있어서 가정용 중심으로 시행해온 자가소비 우대 방안을 사업용까지 확대하는 중이다(한국에너지공단, 2016a).

재생에너지의 전원 비중이 증가하면서 계통이 불안정해지고 전기요금이 인상되자 태양광발전을 설치해 생산된 전기를 모두 판매했던 주택에 에너지저장장치(ESS)를 설치해 생산된 전기를 자가소비함으로써 전기요금 부담을 덜도록 유도하는 정책이 추진되고 있다(김신아, 2017). 태양광발전기와 ESS를 연계해 설치하는 경우, 보조금은 설치 금액의 약 30% 수준에서 지급한다(홍유식·남정호·정호철·지영승·이윤정, 2017).

독일은 주택에 설치된 소규모 태양광발전기에서 생산된 전기도 모두 구매해주는 FIT 제도를 시행해 왔는데, 전기요금이 인상됨에 따라 태양광발전기가 생산한 전력을 전력회사에 FIT 가격으로 판매하는 것보다 자가소비함으로써 아낄 수 있는 전기요금에 의한 이익이 더 커지는 태양광발전의 그리드패리티가 달성되었다. 이에 따라 독일 정부는 소규모 태양광발전에 대해 FIT 대신 경매제도를 적용하는 것으로 정책을 변경했다(김신아, 2017).

나. 영국

영국은 태양광발전 설비 보급 지원을 위한 다양한 자금조달 방식이 발달해 있으며, 태양광발전기 설치자가 태양광발전으로 생산한 친환경 전력을 소비자에게 온라인으로 직접 판매할 수 있는 전력거래 플랫폼이 등장해 분

격 가동되고 있다(한전경제경영연구원, 2016a).

소규모 재생에너지 생산을 활성화하기 위한 요금 상계형 FIT 도입이 요구되어 왔는데, 2008년 새로운 에너지기후변화부(Department for Energy and Climate Change) 창립 직후, 에너지법(Energy Act, 2008)에서 ‘재생에너지 열 인센티브(Renewable Heat Incentive)’ 라고 불리는 재생 열과 가스에 대한 관세와 함께 FIT 도입을 허용하는 조항을 발표했다(Inderberg and Turner, 2016).

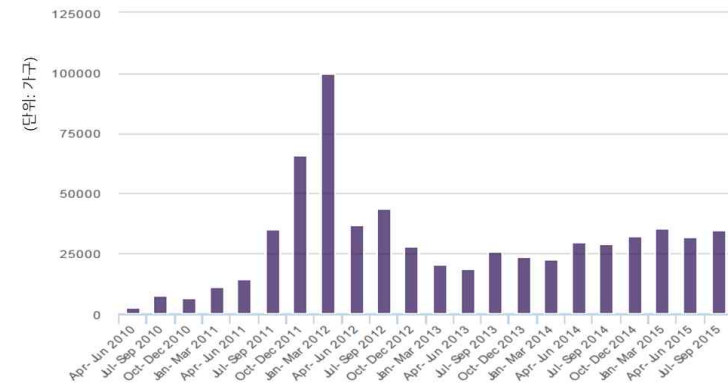
영국은 5MW 이하 태양광발전, 풍력, 바이오 및 수력 발전 설비를 FIT의 대상으로 하고 있다. 에너지원별/용량별 정액 거래를 하며, 거래 가격은 영국 가스·전력시장국(Office of Gas and Electricity Market)에서 소비자물가와 연동하여 갱신한다. 건축물 부착형 태양광발전 설비에 대한 FIT 기준 단가가 해당 설비로부터 전력을 공급받는 건축물의 에너지 효율 등급에 따라 달라진다는 점은 독특한 정책이다. 효율 등급이 높은 건축물에 부착된 10~50kW 사이의 설비에 가장 높은 FIT 가격을 적용하고 있다. 건물 부착형이 아닌 독립형도 FIT의 적용을 받는다(원동규 등, 2017).

다음 <그림 3-4>에서 보듯이 2010~2015년 기간 동안 영국의 프로슈머가 폭발적으로 증가했는데, 이것은 소규모(최대 4kW 미만)의 지붕 장착형 태양광발전소에 투자한 가정이 늘어났기 때문이다(Inderberg and Turner, 2016).

신규 태양광발전 설비는 2010년에 급격히 증가하여 2012년 초에 정점을 찍었다. 이 기간 동안 투자 수익은 상당히 좋았다. 예를 들면 고금리 개인 저축 계좌, 가정이 이용할 수 있는 쉽게 접근 가능한 금융 제품이 있었다. 이것은 더 많은 이들에게 태양광발전기 설치를 매력적인 투자로 인식하게 만들었다(Balcombe et al. 2014).

영국은 태양광발전 설비 보급 지원을 위한 다양한 자금조달 방식이 발달

해 있다는 점이 특징적이다(한전경제경영연구원, 2016a). 태양광발전 보급 확대를 위한 주요 금융상품 중 ‘Home Equity Solar Loans’ 는 영국의 독특한 주택담보대출 상품이다. 건물에 부착된 태양광발전 패널이 생산하는 전력으로 인한 전기요금 절감분과 전력 판매를 통해 창출되는 추가 수입을 산정해 대출에 반영한다.



<그림 3-4> 영국 FIT 도입 후 태양광발전 설비 증가 추이

자료: Inderberg and Turner, 2016, p.45.

‘솔라 리스(Solar lease)’ 는 태양광발전 설비를 제3자가 소유하고 사용자는 계약기간 동안 월 단위의 설비임대 수수료를 지불하는 임대방식이다(한전경제경영연구원, 2016a). Free Solar Panel Program, Free Solar PV Program이라는 이름으로 통용되는 대여 사업은 4kW 이하의 주택용 태양광발전도 FIT 대상이 되고 잉여전력도 보상을 받을 수 있다. 사업자는 이를 이용해 수익을 얻고 소비자는 전기요금을 절약할 수 있는 구조다(이근모, 2016).

‘소규모 상업용 유틸리티 금융(Small commercial utility finance)’은 태양광발전 패널이 설치된 건물의 지분 소유자가 태양광발전 패널을 소유하는 유틸리티의 지분을 보유하고, 건물의 임차인은 필요한 전력을 지분 소유주가 지분을 가지고 있는 유틸리티로부터 구매하는 방식이다(한전경제경영연구원, 2016a).

영국에는 태양광발전기 설치자가 태양광발전으로 생산한 친환경 전력을 소비자에게 온라인으로 직접 판매할 수 있는 플랫폼 서비스도 시행 중이다(한전경제경영연구원, 2016a). 벤처기업 ‘오픈 유틸리티(Open Utility)’와 100% 재생에너지 전력 공급을 표방하는 전력회사 ‘굿 에너지(Good Energy)’의 합작으로 탄생한 온라인 전력거래 플랫폼 피클로(Piclo)가 대표적이다. 피클로는 다양한 기능을 도입함으로써 생산자와 소비자 간 거래의 편의성을 강화해 주목받는 모델이다. 2013년 설립된 오픈 유틸리티는 신·재생에너지 설비로 생산한 전력을 온라인에서 거래하는 모델을 영국 최초로 제시했다(한전경제경영연구원, 2016a).

다. 미국

미국은 재생에너지 발전 설비로 전력을 직접 생산해 소비한 뒤 남은 전기를 전력회사에 판매할 수 있게 함으로써 자가소비용 재생에너지 설비 설치 가구를 지원하는 넷 미터링 제도를 지난 1983년 세계 최초로 도입한 국가이다. 이 제도는 전 세계로 전파되어 현재 52개국에서 시행되고 있으며, 우리나라에서는 ‘상계 거래’라는 이름으로 제도화되었다(한전경제경영연구원, 2016c)

넷 미터링은 재생에너지 발전 설비의 초기 설치비용이 비싸다는 점, 자가발전 전력은 저장이 곤란하다는 단점을 보완해 줄 수 있는 제도이다. 예를 들어, 태양광발전기는 낮 동안만 전기를 생산하고 설치 가정에서는 주로 밤

에 전기를 사용하게 된다. 이처럼 전기 생산 시간과 소비 시간대가 불일치해 낮에는 생산된 전기가 남고 밤에는 전력회사의 전기를 하게 된 경우, 넷 미터링 제도를 통해 ‘가상의 저장고’에 쓰고 남은 잉여전력을 보관해 두었다가 전력회사에 소매요금으로 판매할 수 있도록 함으로써 재생에너지 발전 설비 설치자의 투자수익률을 제고해 준다(안희영, 2016)

이렇게 넷 미터링은 장점이 많은 제도이지만, 너무 큰 효과를 발휘해 참여 수가 급격히 늘어나자 전력회사에 부담을 주게 되고 형평성 논란을 일으키면서 부작용 완화 대책이 필요하게 되었다. 태양광발전이 경제성을 확보해 더 이상 지원해 주지 않아도 되는 발전원이 되었고 태양광발전기를 설치한 가구들이 남은 전력을 판매해 수익을 얻으면서도 송배전망 비용은 부담하지 않으면 그 비용은 결국 태양광 미설치 가구들이 부담하게 된다는 점에서 형평성 논란을 일으켰던 것이다(Edison Electric Institute, 2016).

이에 따라 미국 각 주에서는 잉여전력에 대한 보상액을 소매요금에서 소매요금 기준으로 인하하고 태양광발전 설치 가구에게 요금을 추가하는 방식으로 넷 미터링의 부작용을 완화하기 위해 힘쓰고 있다(한전경제경영연구원, 2016c).

2006년부터 시작된 주거용 재생에너지 세액 공제(Residential Renewable Energy Tax Credit)도 넷 미터링과 마찬가지로 자가소비용 태양광발전 확산에 큰 역할을 했다. 이 제도는 태양광발전뿐 아니라 태양열 온수, 연료 전지, 소규모 풍력에너지, 지열 열펌프 등을 다양한 신·재생에너지 시설을 대상으로 하며 주택에 해당 설비를 설치하면서 투자한 비용 중 대상 금액의 30%에 대해 공제를 신청할 수 있다(에너지경제연구원, 2017).

최대 공제액이나 세부 내용은 기술별로 차이가 있고, 공제 신청 가능한 비용에는 현장 준비·조립·전력망 연결 등을 위한 인건비까지 포함할 수 있다. 태양광발전과 온수설비에 대해서는 최대 공제의 한도를 없애 설치를 적

극 권장하고 있으며 대상 건물이 해당 납세자의 주 거주지가 아니어도 지원받을 수 있다(에너지경제연구원, 2017).

미국 태양광발전 산업 발전의 원동력으로 작용했다는 평가를 받는 투자 세액 공제 제도는 당초 2016년 종료될 예정이었으나 2022년(주거용은 2011년)까지 기간이 연장되었으며, 그 덕분에 태양광발전 보급 성과는 물론 일자리 창출 효과도 클 것이라는 전망이 나오고 있다. 미국 태양광산업협회는 2016~2020년까지 5년 동안 22만 개의 태양광 산업 관련 일자리가 창출되어 2020년에는 관련 산업 종사자 수가 2015년의 2배 수준인 42만 명까지 증가할 것으로 예상했다(한국에너지공단, 2016b).

미국에서 ‘커뮤니티 솔라(Community Solar)’가 활성화되고 있는 것도 주목할 만하다. 커뮤니티 솔라, 즉 공동체 태양광발전이란, 사업자가 추진하는 태양광발전 사업에 다수의 소비자가 자발적으로 참여해 일정 비용을 부담해서 요금(전력량)을 상계하거나 수익을 공유하는 형태이다(NREL, 2010).

커뮤니티 솔라는 지붕형 태양광발전기 설치 공간에는 한계가 있으나 태양광발전 이용 희망 소비자는 증가하는 상황에서 태양광 에너지에 대한 접근성을 확대하는 방안으로서 등장했다. 쉽게 설명하자면, 다른 곳에 있는 태양광발전량을 마치 자신의 집에서 발전한 것처럼 이용하는 가상시스템이라고 할 수 있다. 태양광발전기를 설치하기 어려운 이들에게 전기요금 절감 효과를 누리면서 태양광발전기가 생산한 전력을 사용할 수 있는 혜택을 제공하기 때문에 재생에너지에 대한 인식과 주민 수용성 제고에도 기여하고 있는 것으로 평가된다(한전경제경영연구원, 2017).

미국에는 주택 소유자가 아니어도 주택 지붕 위에 설비를 소유할 수 있는 태양광발전기 임대 사업이 활성화되어 있다. 설치자는 태양광발전 시스템을 설치 및 유지 관리를 하고 고객은 발전된 전력에 대해 장기 고정 가

격을 지불하거나 시스템 자체를 임대하는 방식이다(Brown, 2016).

이 사업은 2008년 선에디슨(SunEdison)이라는 기업이 ‘서비스로서의 태양광발전’ 개념을 도입하면서 시작됐다. 회사가 비용을 응자해 주기 때문에 주택 소유자들은 태양광발전 패널을 구매하기 위해 자본을 투자할 필요가 없어졌고, 일단 20년 계약을 맺고 설치를 하면 20년 뒤 대폭 할인된 가격에 설비를 구매하거나 철거할 수 있다(Seba, 2015).

2005년 캘리포니아 주 버클리 시에서 처음으로 만들어져 미국 내 23개 주로 퍼져나간 PACE(Property Assessed Clean Energy) 계획도 태양광발전 확산에 큰 역할을 했다(Seba, 2015). PACE는 ‘청정에너지 자산 평가’라고도 번역되는데 건물 소유자가 재생에너지 설치 비용을 재산세를 통해 장기간 갚아나가는 금융 지원책이라고 할 수 있다.

재생에너지 설비 설치나 에너지효율 관련 공사는 초기 투자비가 많이 들어가고 만약 이사를 가게 되면 설비를 이동시키기도 힘들어 주택 소유자들은 쉽사리 투자를 결정하지 못한다. 그런데 PACE라는 금융 프로그램을 활용하면 주택 소유자는 초기 투자비용에 대한 부담을 지지 않아도 된다. 상환의무가 주택에 담보되어 있기 때문에 상황이 다 끝나기 전에 부동산이 매각된다면 상환의 의무는 새로운 부동산 소유자에게 넘어간다. 주택의 새로운 소유자가 에너지 시설에 대한 혜택을 누리면서 남은 투자 비용을 상환해 나가도록 되어 있다(유정민, 2014).

샌프란시스코 북쪽의 소노마 카운티에서 PACE의 효과를 확실히 확인할 수 있다. 2009년 3월 에너지독립계획을 시작한 소노마 카운티에서는 단 3년 만에 주민 1인당 500W의 태양광발전 설비를 보유하게 되는 큰 성과를 이뤘는데 그 과정에 PACE의 역할이 컸다고 한다(Seba, 2015).

라. 호주

호주는 1997년 교토의정서 체결로 온실가스 감축 의무 이행 대상국이 된 뒤 재생에너지 확대 정책을 본격적으로 펼쳐왔다. 2009년 새로운 재생에너지 공급 목표인 RET(Renewable Energy Target)를 도입했는데, 2020년까지 재생에너지 발전량을 총 발전량의 20% 수준으로 끌어올리겠다는 목표를 제시했다(원동규 등, 2017).

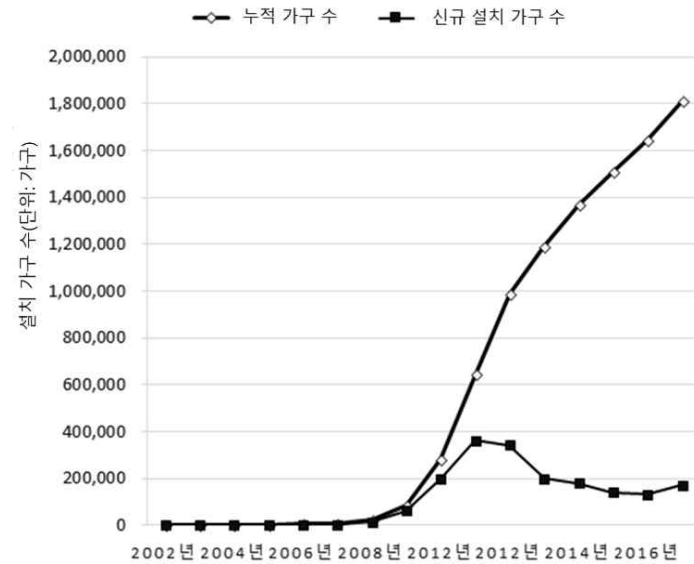
호주 연방 정부가 국가 전체의 재생에너지 공급 목표를 제시하고 REC 구입 의무 등을 통해 재생에너지 확대에 나섰다면, 주 정부에서는 자체적으로 FIT를 도입해 재생에너지 확대에 직접적으로 기여했다(원동규 등, 2017).

그 덕분에 호주의 태양광발전이 아주 빠른 속도로 보급되었다. 태양광발전 보급 관련 모범국으로 꼽히는 독일에서도 100만 개의 태양광발전 설비가 보급되기까지 약 12년이 걸렸는데, 호주에서는 약 4년 동안 100만 개의 태양광발전 설비가 세워졌다(Seba, 2015).

자가소비용 태양광발전기를 설치한 주택도 급격하게 증가했다. 2007년 지붕에 태양광발전기를 설치한 주택이 전국에 8,123채뿐이었지만 불과 5년 만인 2012년에는 거의 100만 채에 가깝게 설치되었다. 2012년에는 98만 7,376 가구, 2013년에는 118만 7,783가구의 지붕에 태양광발전기가 설치되었다(Clean Energy Regulator, 2018). 2014년 기준, 호주 주택 7채 중 1채가 지붕형 태양광발전 시스템을 이용하게 됐다(Brown, 2016). 세계은행에 따르면 독일 인구는 2016년 기준 8,267만 명, 호주는 2,413만 명인데, 인구 수를 따져 비교해 봐도 호주의 태양광발전 보급은 가히 폭발적인 수준이다.

호주의 주택 태양광발전기 설치 가구 증가 추이를 그린 <그림 3-5>를 살펴보면, 2009년을 기점으로 급격히 늘어났다는 것을 알 수 있다. 그 당시 호주에서는 자가소비용 태양광발전기가 생산한 전력에 대해서도 FIT를 적용하기 시작했는데, 그 제도의 효과가 제대로 나타난 것으로 분석된다. 주

정부는 2008~2009년부터 주택의 자가소비용 태양광발전기 생산 전기를 kWh당 44~60호주센트로 구매해 줬다. 당시 주택용 전기요금이 20호주센트 정도였는데, 태양광발전 전력 매입 기준가격은 그보다 2~3배나 높았던 것이다.



<그림 3-5> 호주의 주택 태양광발전 설비 설치 증가 추이

자료: 호주 Clean Energy Regulator, 2018.

대부분의 주 정부는 사용하고 남은 잉여전력만 구매해줬지만, 수도 캔버라가 위치한 호주수도 준주(ACT)와 시드니가 있는 뉴사우스웨일스 주(NSW)는 사용량에 상관없이 생산된 전력량대로 모두 보상해줬다(Gross Rebate Tariffs 도입). <표 3-7>에서 주 정부별 지원 제도의 차이를 살펴볼 수 있다.

태양광발전기가 생산한 전력량에서 가정에서 소비한 전력량을 제외하고 남은 잉여 전력량에 대하여 보상해 주는 제도를 넷 FIT(Net feed-in tariffs)라고 한다. 넷 FIT를 채택한 주들의 이름과 매입 기준가격은 다음과 같다. 노던(Northern Territory) 45.8호주센트/kWh, 퀸즐랜드 44호주센트/kWh, 남부호주 44호주센트/kWh, 태즈메이니아(Tasmania) 20호주센트/kWh, 빅토리아 60호주센트/kWh, 서부호주 40호주센트/kWh 등이다(원동규 등, 2017).

<표 3-7> 호주의 주 정부별 소규모 재생에너지 설치 지원 FIT 현황

주명	지원개시 연도	FIT지원액 (kWh당 호주센트)		지원기준	지원종료 연도	2016년 총지원액 (백만 호주달러)
		개시 기준액	변경액 (연도)			
퀸즐랜드	2008	44	8(2013)	net	2028	256
NSW	2009	60	20(2011)	gross ¹⁾	2016	202
남호주	2008	44	16(2011)	net ²⁾	2028	117
수도준주	2009	47.5	30.2(2011)	gross	설치 후 20년	14
빅토리아	2009	60	25(2012)	net	2024	87
서부호주	2010	40	27(2011)	net	설치 후 10년	31
합계						707

주: 1) gross: 발전총량 기준으로 지원, 2) net: 자가소비 후 남은 잉여전력 기준으로 지원
 자료: Mineral Council of Australia, 2017; 주호주대사관, 2018; 원동규 등, 2017.

자가소비용 태양광발전에 대한 FIT 도입 외에도 지난 2009년부터 호주에서 시행된 지원정책이 또 있다. 호주 정부는 2009년부터 ‘가정 및 지역 태양광발전 계획(Solar Homes and Communities Plan)’을 시행하면서 소규모 태양광발전 설비에서 생산된 전력에 대해 REC도 발급해 줬다(에너지경제연

구원, 2014).

이것은 솔라 크레딧(Solar Credit)이라는 정책인데, 소형 재생에너지 발전 시스템 도입 확대를 위해 소형 재생에너지 시설에서 생산한 전력에 대해 최대 5배의 인센티브 배율을 적용해 REC를 지급했다. 대규모 재생에너지 발전 설비에서 생산된 전력에 부여된 REC보다 5배나 비싼 가격으로 판매할 수 있도록 가중치를 부여해 준 것이다(한전경제경영연구원, 2016b).

호주 정부는 전력회사나 대용량 전력 소비자에게 REC 구매 의무를 부과해 재생에너지로 생산된 전력에 대해 금전적 인센티브를 부여했다. 이에 따라 자가소비를 통한 전기요금 절감과 잉여전력량에 대한 지역별 FIT 지원 혜택, 그리고 총 발전량에 대한 REC 인증서 판매 수익까지 얻을 수 있게 됨에 따라 자가소비용 태양광발전의 경제성은 더욱 향상되었다.

이러한 적극적인 지원책 덕분에 주택용 태양광발전의 폭발적 확산이 이뤄졌다. 현재 호주는 주택용 태양광발전기 설치율에서 세계 1위로 손꼽힌다.

소형 재생에너지 발전시스템에 대한 5배의 REC 가중치는 시설 용량 1.5kW까지만 부여했고 1.5kW 초과 시에는 통상적인 REC를 부여했다. 5배의 가중치는 2009년 6월9일~2011년 6월30일까지 유지되었고 2011년 7월~2012년 6월까지는 3배, 2012년 7월~2012년 12월까지는 2배의 가중치를 적용했다. 당초에는 2015년에 가중치 적용이 종료될 예정이었으나, 소규모인증서 발행량이 폭증하고 소매요금이 인상되는 등 부담이 커져 가중치 적용은 2013년에 조기 종료되었다(한전경제경영연구원, 2016b).

마. 일본

일본은 1994년부터 주택을 중심으로 태양광발전 보급이 확대되기 시작했다. 일본 정부는 주택용 태양광발전기 설치 시 설비 가격의 절반에 가까운 1kW당 최대 90만 엔을 보조하는 제도를 시행했는데, 그 보조금 제도에 힘

입어 1997~2004년 일본의 태양광발전 누적 도입량이 세계 1위를 차지했다(대외경제정책연구원, 2009).

이 보조금 제도는 2005~2008년 중단되었다가 2009년부터 ‘저탄소사회 구축행동계획’ (2008년 7월)에 의거하여 재개되었다. 지원 대상은 주택용 태양광발전기 설치자 중 설비 가격이 70만 엔/kW 이하이며 전기안전환경연구소(JET)로부터 태양전지 모듈 인증을 받은 경우로 한정했다. 보조금의 액수는 발전기 용량 1kW당 7만 엔으로 일반 가정에서 주로 3~3.5kW급 발전기를 설치하므로 20만~25만 엔을 받게 되었다(대외경제정책연구원, 2009).

중앙정부가 보조금 지급을 다시 시작함에 따라 지자체들도 별도의 보조금 지급을 재개했다. 도쿄도 10만 엔/kW, 가나가와현 3~6만 엔/kW, 사이타마현 3.5만 엔/kW 등 지자체별로 보조금액은 달랐는데 전체 지자체 중 약 17%가 별도의 보조금 제도를 운용했었다(대외경제정책연구원, 2009).

일본의 태양광발전은 그동안 주택용 태양광발전 시장이 이끌어왔다(임상범, 2015). 주요한 동인은 2009년 11월 도입된 잉여전력 매입제라고 할 수 있다(투데이에너지, 2009). 태양광발전기를 설치한 가정과 학교 등에서 자가 소비 후 남은 잉여전력을 전력회사가 의무적으로 고가에 매입하도록 한 제도가 시행되자 태양광발전이 급격하게 증가했다.

이 제도는 10개 주요 전력회사에 대해 10kW 미만 주택용 태양광발전 설비로 발전해 자가소비한 뒤 남은 잉여전력을 10년간 고정가격으로 매입하도록 의무를 부과한 것이다. 잉여전력 매입 단가는 그동안 자발적으로 매입하던 가격보다 2배 높은 가격으로 책정되었는데, 당시 매입 가격은 1kWh당 48엔이었다(에너지경제연구원, 2018).

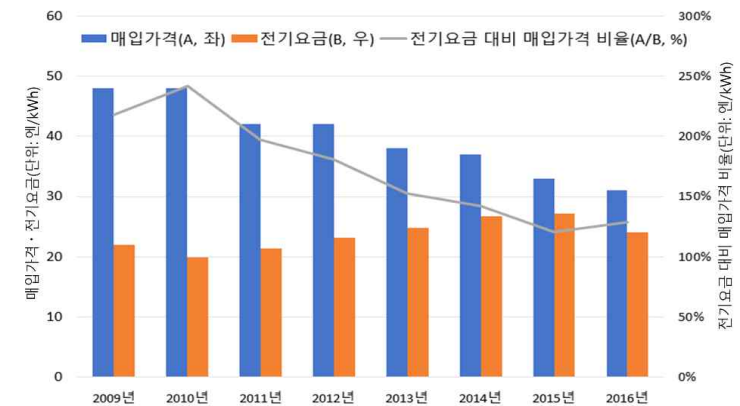
일본 경제산업성의 계산에 따르면, 국가와 지방자치단체의 설치 수당에 잉여전력 판매 수익의 10년치를 합산하면 신축 주택에 태양광발전 설비를 설치할 경우 한 가정당 수익은 약 180만 엔에 이르는 것으로 전망되었다

(투데이에너지, 2009).

한편, 전력회사가 지불한 잉여전력 매입 비용은 모든 전기 이용자에게 다음해 요금 형태로 부과되었다. 재생에너지 확산에 소요되는 비용을 전기 소비자에게 직접 부담시키는 방법은 수혜자 부담 원칙에 따른 것으로 전기요금 인상이라는 단점이 있으나, 소비자에게 에너지절약 유인을 제공할 수 있다는 점은 장점이라고 할 수 있다(국회예산정책처, 2010).

잉여전력 매입제도는 태양광발전만을 대상으로 한 제도였으나, 동일본 대지진 이후 2012년 7월부터 고정가격 매입대상을 풍력·수력·지열·바이오매스 등으로 확대한 FIT제도가 시행되면서 잉여전력 매입제도는 FIT의 일부로 포함되었다(에너지경제연구원, 2018).

전력 매입 기준가격은 <그림 3-6>에서 보이듯이 조금씩 인하되고 있지만, 일본의 주택 태양광발전기 설치는 계속 늘어나고 있다.



<그림 3-6> 일본 주택용 전기요금 대비 FIT 매입가격 비중 추이

자료: METI, 2016; IEA, 2017; 원동규 등, 2017.

일본은 2010년부터 녹색전력증서의 거래를 시작했는데, 이는 자가소비한 재생에너지 전력에 대해 환경적 가치를 인정해 주고 그 가치를 거래함으로써 추가적인 수익을 올릴 수 있도록 한 것이다. 즉, 재생에너지로 생산한 전력을 화석연료 절감 및 이산화탄소 배출 억제 등 환경적 부가 가치를 가진 전력으로 인정하고, 그것을 녹색전력증서의 형태로 구입하고 거래할 수 있도록 했다(김창섭 등, 2018). 잉여전력 매입제도에 녹색전력증서 거래를 통한 이익이 더해지면서 자가소비용 태양광발전의 경제성은 더 제고될 수 있었다.

녹색전력증서는 재생에너지로 생산된 전력에 대한 제3자 인증으로, 녹색전력증서를 구입하면 재생가능 에너지로 발전한 전기를 사용한 것으로 인정해 주기 때문에 자발적으로 녹색전력증서를 활용하는 기업들이 증가했다(코트라, 2010a).

일본은 후쿠시마 원자력발전소 사고 이후 정부의 강력한 태양광발전 촉진 정책에 힘입어 주택 부문뿐만 아니라 비주택 부문에서도 태양광발전 보급이 급격히 증가했다(〈표 3-8〉 참고).

〈표 3-8〉 일본의 태양광발전 설비 설치 현황

구분	연도	태양광(주택)		태양광(비주택)	
		용량(만kW)	개소(호)	용량(만kW)	개소(호)
FIT 개시 이전	2012년 6월까지 누적 설치량	470	-	90	-
FIT 개시 이후	2012.7~2013.3	96.9	211,005	70.4	17,407
	2013	130.7	288,118	573.5	103,062
	2014	82.1	206,921	857.2	154,986
	2015	85.4	178,721	830.6	116,700
	2016.8	29.7	60,088	263.3	34,753
FIT 개시 후 합계		424.8	944,854	2595.0	426,908

자료: 일본 자원에너지청, 2016.

2020년경 일본의 신축 주택에 태양광발전기가 설치되는 비율이 약 60%까지 확대되고 2030년에는 가구당 평균 설치 용량이 6.3kW까지 증가할 것이라는 예상도 나오고 있다(임상범, 2015).

후쿠시마 사고 이후 일본은 전력시스템의 개혁도 본격적으로 추진했다. 전력소매시장을 전면 개방했고, 재생에너지 전원 비중을 확대해 원전을 대체할 수 있도록 다양한 지원 정책을 도입했다. 재생에너지 전원의 빠른 보급확대를 위해 FIT 제도, 주택용 태양광발전 시스템 설치 보조금 등 재정적 지원책을 중심으로 운영되었다. 그 결과, 재생에너지 전원 비중은 2010년 3.5%에서 2015년 7.41%로 빠르게 증가했다(김신아, 2017).

3. 우리나라의 자가소비용 태양광발전 확산 정책

국내 자가소비용 태양광발전(재생에너지) 보급 및 지원과 관련된 제도는 주택 지원 제도, 태양광 대여 사업, 건물 지원 사업, 상계 거래 제도, 신·재생에너지 전기요금 할인 제도 등이 있다. 각 제도와 지원 대상은 〈표 3-9〉와 같이 정리할 수 있다.

가. 주택용 태양광발전 설비 설치 지원 사업

지난 2004년 시작된 ‘태양광주택 10만호 보급사업’ 과 함께 주택에 자가소비용 태양광발전 설비의 설치를 지원하는 사업이 본격화되었다. 2009년부터는 이를 확대·개편하여 태양광발전뿐 아니라 태양열, 지열, 연료전지 등 신·재생에너지를 지역별·주택별 특성에 맞춰 가정용으로 보급하는 ‘그린홈 100만호 프로젝트’ 가 시작되었다(한국에너지공단, 2016a).

<표 3-9> 자가용 신·재생에너지 지원제도(공공부문 제외)

구 분	1kW 미만	~3kW	3~9kW	~30kW	~50kW
단독주택	미니태양광 지원 사업	주택 지원 사업	태양광 대여 사업	-	
	-	상계 거래			
공동주택	미니태양광 지원 사업	주택 지원 사업	태양광 대여 사업		
	-	상계 거래			
건물	건물 지원 사업				
	상계 거래				
	신·재생에너지 전기요금 할인 제도				
산업	신·재생에너지 전기요금 할인 제도				

자료: 김창섭 등(2018)에서 인용 후 연구자 추가 작성.

그린홈이란, “태양광발전, 태양열, 지열 등 신·재생에너지를 도입하고 고효율 조명과 보일러, 친환경 단열재를 사용함으로써 화석연료 사용을 최대한 억제하고, 온실가스 및 대기를 오염시키는 물질의 배출을 최소화하는 저에너지 친환경 주택”을 말한다(한국에너지공단, 2016a).

2035년까지 그린홈 100만호 보급을 목표로, 태양광발전, 태양열, 지열, 소형풍력, 연료전지 등의 신·재생에너지를 일반주택 또는 공동주택에 설치할 경우 설치비의 일부를 무상으로 지원하고 있다(한국에너지공단, 2016a). 보급을 활성화하기 위해 지원 사업 외에도 세제 개선도 추진했다.

<표 3-10>은 그린홈 100만호 보급 사업의 목표와 실적을 비교한 것이다. 2004년 태양광주택 보급이 시작되었는데, 처음 보급실적은 310호밖에 되지 않았다. 이후 2005년 907호, 2006년 5,964호, 2007년 7,317호, 2008년 9,142호가 증가했으며, 2009년에는 14,895호, 2010년 26,364호, 2011년 28,990호, 2012년 43,280호, 2013년 25,875호, 2014년 10,859호, 2015년 12,641호, 2016년 25,090호, 2017년 39,294호에 추가로 설치되었다. 2017년 총 누적 250,928호를 기록하고 있다.

<표 3-10> 주택 대상 자가소비용 신·재생에너지 보급 목표 및 실적
(단위: 호)

연도	기존 신·재생에너지 보급 목표	신·재생에너지 신규 보급 실적	신·재생에너지 누적 보급 실적	태양광발전 신규 보급 실적	태양광발전 누적 보급 실적
2009	16,000	19,193	43,862	14,895	38,535
2010	37,000	29,822	73,684	26,364	64,899
2011	67,000	35,602	109,286	28,990	93,889
2012	105,000	52,356	161,642	43,280	137,169
2013	146,000	31,658	193,300	25,875	163,044
2014	201,000	14,304	207,604	10,859	173,903
2015	227,000	15,665	223,269	12,641	186,544
2016	381,000	27,448	250,717	25,090	211,634
2017	485,000	42,955	293,672	39,294	250,928
2018	618,000				
2019	786,000				
2020	1,000,000				

자료: 한국에너지공단, 2018.

그린홈 100만호 지원 사업의 주택형태별 보급 실적은 <표 3-11>과 같이 정리할 수 있고, 신·재생에너지지원별 주택 지원 현황은 <표 3-12>와 같다 (한국에너지공단, 2018).

<표 3-11> 주택 형태별 그린홈 지원 사업 실적

구 분	2004~2010	2011	2012	2013	2014	2015 ¹⁾	2016 ¹⁾	2017 ¹⁾	계	비중 (%)	
단독주택	주택 수(개소)	26,650	7,451	14,715	9,619	10,749	9,764	10,561	6,655	96,164	32.7
	지원액(백만원)	327,747	75,624	81,152	59,416	54,879	49,589	41,314	32,864	722,585	89.1
민간공동주택	주택 수(개소)	7,626	7,623	2,774	2,718	1,116	1,046	11,452	24,200	58,555	19.9
	지원액(백만원)	7,547	3,212	4,635	310	224	304	1,600	5,136	22,968	2.8
국민임대주택	주택 수(개소)	39,408	20,528	34,867	19,321	2,439	4,855	5,435	12,100	138,953	47.3
	지원액(백만원)	35,115	9,384	11,712	5,258	354	746	872	1,502	64,953	8.0
기타 ²⁾	지원액(백만원)	562	-	-	-	-	-	-	-	562	0.1
계	주택 수(개소)	73,684	35,602	52,356	31,658	14,304	15,665	27,448	42,955	293,672	100
	지원액(백만원)	370,971	88,220	97,499	64,984	55,467	50,639	43,786	39,502	811,068	100

주: 1) 2015-2017년 실적은 승인사업 기준(현재 미완료된 사업으로 사업 종료 후 정산 실적 변동 가능)

2) 기타 실적은 2010년도 신·재생에너지 설비 사후관리 및 제로하우스(과천) 소요비용임

자료: 한국에너지공단, 2018.

<표 3-12> 연도별 신·재생에너지지원별 주택 지원 현황

구 분	2004~2010	2011	2012	2013	2014	2015 ¹⁾	2016 ¹⁾	2017 ¹⁾	계	비중 (%)	
태양광	주택 수(개소)	64,899	28,990	43,280	25,875	10,859	12,641	25,090	39,294	250,928	85.4
	보급량(kW)	66,150	19,104	36,222	20,625	22,337	20,984	27,358	23,274	236,054	-
	지원금(백만원)	287,580	49,993	54,824	26,045	21,195	18,659	21,065	25,265	504,637	62.2
태양열	주택 수(개소)	5,752	5,397	7,184	3,676	1,310	976	647	519	25,461	8.7
	보급량(m)	120,347	27,034	30,548	18,082	19,052	12,857	8,733	7,576	244,229	-
	지원금(백만원)	56,477	14,493	17,321	8,209	7,727	5,773	3,999	3,452	117,451	14.5
지열	주택 수(개소)	1,703	923	1,320	1,875	1,961	1,745	1,426	2,965	13,917	4.7
	보급량(kW)	18,544	16,005	22,734	32,770	34,261	30,304	24,731	13,775	193,107	-
	지원금(백만원)	15,239	11,743	17,235	22,789	21,019	17,695	12,477	6,758	124,945	15.4
바이오펠릿	주택 수(개소)	348	-	-	-	-	-	-	-	348	0.1
	보급량(kW)	8,811	-	-	-	-	-	-	-	8,811	-
	지원금(백만원)	938	-	-	-	-	-	-	-	938	0.1
소형풍력	주택 수(개소)	25	-	327	-	-	-	-	-	352	0.1
	보급량(kW)	60	-	6	-	-	-	-	-	66	-
	지원금(백만원)	415	-	44	-	-	-	-	-	459	0.1
연료전지	주택 수(개소)	957	292	245	232	175	303	285	177	2,666	1.0
	보급량(kW)	209	292	245	232	175	300	284	177	1,914	-
	지원금(백만원)	9,760	11,991	8,075	7,941	5,525	8,512	6,245	4,027	62,076	7.7
기타 ²⁾	지원금(백만원)	562	-	-	-	-	-	-	-	562	0.1
	합계	주택 수(개소)	73,684	35,602	52,356	31,658	14,304	15,665	27,448	42,955	293,672
합계	지원금(백만원)	370,971	88,220	97,499	64,984	55,467	50,639	43,786	39,502	811,068	100

주: 1) 2015-2017년 실적은 승인사업 기준(현재 미완료된 사업으로 사업 종료 후 정산 실적 변동 가능)

2) 기타 실적은 2010년도 신·재생에너지 설비 사후관리 및 제로하우스(과천) 소요비용임

자료: 한국에너지공단, 2018.

2017년 말 발표된 ‘재생에너지 3020 이행계획’에는 도시형 자가용 태양광발전 확대 정책과 목표가 밝혀져 있다.

주택, 건물 등 자가용 재생가능에너지 보급 호수는 2016년 24만호에서 2022년에는 76만호, 2030년에는 156만호가 되도록 한다는 것이다. 전기사용 고객 수는 2016년 현재 한국전력통계 기준으로 2,255만호이다. 자가용 설비용량 확대 목표는 2017년 55MW, 2018년 120MW, 2019년 130MW, 2020년 140MW이다(산업통상자원부, 2017a).

도시형 태양광발전 보급 확대를 위해 자가용 태양광발전 생산 전력의 상계 처리 후 잉여전력에 대한 현금정산을 실시하는 등 상계 거래 제도를 개선한다는 것이 주요 전략이다. 그동안 자가용 태양광발전기가 생산한 전력은 다 사용하지 못하고 남는 경우, 전기요금 차감에만 활용해왔다. 또한 공동주택은 상계 거래 허용 대상이 아니었으나, 앞으로는 공동주택도 상계 거래가 가능하게 되었다(산업통상자원부, 2017a).

나. 태양광 대여 사업

태양광 대여 사업은 보조금 지원을 통해 설비를 보급하는 정부 주도 방식을 탈피해 민간이 주도적으로 자가용 태양광발전기 설비 보급에 나서도록 하기 위해 2013년 도입되었다. 태양광 대여 사업자가 주택에 태양광발전 설비를 설치한 뒤 일정 기간 동안 설비의 유지·보수 서비스를 제공해 주는 조건으로 주택 소유자로부터 대여료를 받게 되는 구조이다. 따라서 주택 소유자는 태양광발전 설비 설치 시 필요한 초기 투자비 부담에서 벗어날 수 있게 되었다(한국에너지공단, 2016a).

태양광 대여 사업자는 정부가 매년 평가를 통해 선정하고 있다. 사업자들이 소비자로부터 받을 수 있는 대여료의 상한액도 정부가 정해서 제시한다. 태양광 대여 사업의 대상은 월 평균 200kWh 이상의 전력을 사용하는 단독

주택과 공동주택이다. 일반 단독주택에는 3kW 규모의 발전기를 설치할 수 있고, 월 평균 전기사용량이 600kWh 이상인 단독주택의 경우 최대 9kW까지 설치 가능하다. 사업기간은 기본 7년(연장 최대 8년)으로 대여 사업자가 약정한 기간 동안 유지 관리를 책임지게 된다(한국에너지공단, 2016a).

소비자는 줄어드는 전기요금의 일부를 대여료로 납부하며, 대여 사업자는 대여료와 REP 판매를 통해 수익을 올릴 수 있게 된다. 정부는 일정 대여료 상한액만 제시하고 시장에서 경제 원리에 의해 자율적으로 운영되도록 한다. 전력회사가 태양광 대여 사업자로부터 REP를 구매할 경우 RPS 제도에 따른 과징금 감면, 의무이행량 연기분 경감 등의 용도로 활용할 수 있도록 인정해 주고 있다(한국에너지공단, 2016a).

2015년부터 매년 보급 목표를 초과 달성하는 등 태양광 대여 사업은 날이 갈수록 호응을 얻고 있는데, 연도별 태양광 대여 사업 실적은 <표 3-13>와 같다.

<표 3-13> 2013~2017년 태양광 대여 사업 실적

구분		2013	2014	2015	2016	2017	계
가구 수	단독주택	60	2,006	2,454	2,011	5,294	11,825
	공동주택	-	-	6,342	8,351	10,680	25,373
	계	60	2,006	8,796	10,362	15,974	37,198
용량 (kW)	단독주택	180	6,018	7,362	6,033	15,882	35,475
	공동주택	-	-	1,206	1,938	3,749	6,893
	계	180	6,018	8,568	7,971	19,631	42,368

자료: 한국에너지공단, 2018.

우리나라 주거형태 중 공동주택의 비중이 크기 때문에 2016년부터는 대
여 사업이 공동주택에서도 추진될 수 있도록 했고, 옥상에 태양광발전기를
설치하는 곳이 늘고 있다(한국에너지공단, 2016a).

<표 3-14>는 대여 사업을 통해 옥상에 135.2kW 용량의 태양광발전기를
설치한 뒤 생산된 전기는 공용으로 사용하고 있는 서울시 송파구 소재 공
동주택 거여1단지 전력 생산량과 공용 전기요금 절감액, 대여료를 정리한
것이다. 지난 2년간의 통계를 살펴보면 시간이 갈수록 대여료는 감소하고
전기요금 절감액은 증가하는 것으로 확인된다.

<표 3-14> 공동주택 태양광 대여 사업의 발전량, 전기요금 절감액, 대여료 사례

구분	2016년			2017년		
	발전량 (kWh)	절감액 (원)	대여료 (원)	발전량 (kWh)	절감액 (원)	대여료 (원)
1월	10,063	1,685,350	1,859,000	9,528	1,595,750	1,859,000
2월	11,786	1,973,910	1,859,000	11,050	1,850,660	1,859,000
3월	13,404	2,244,900	1,859,000	16,385	3,114,870	1,859,000
4월	17,862	2,991,530	1,859,000	16,983	2,844,220	973,697
5월	18,540	3,105,070	1,859,000	18,285	3,475,240	973,697
6월	19,985	3,347,090	1,859,000	21,846	4,265,110	973,697
7월	15,545	2,603,480	1,859,000	15,174	2,541,340	973,697
8월	16,030	3,929,550	1,859,000	13,171	2,205,920	973,697
9월	14,832	2,484,070	1,859,000	15,208	2,546,980	973,697
10월	13,995	2,343,880	1,859,000	14,167	2,922,820	973,697
11월	10,722	1,795,730	1,859,000	13,471	2,256,180	973,697
12월	9,876	1,654,040	1,859,000	10,882	1,822,550	973,697
합계	172,640	30,158,600	22,308,000	176,151	31,441,640	14,340,273

자료: 서울 송파구 거여1단지 아파트 관리사무소, 2018.

다. 미니태양광발전기 보급 사업

중앙정부 차원의 자가소비용 태양광발전 보급 사업 외에 자가소비용 소
형 태양광발전 확산에 기여한 대표적인 정책 사례로 서울시의 미니태양광
발전기 보급 지원 사업을 주목할 만하다. 2014년부터 본격적으로 시작된 이
사업은 서울시의 ‘원전하나줄이기’ 정책의 일환으로, 아파트 베란다 등
작은 자투리 공간도 발전소로 만들고 더 많은 시민들을 에너지 생산에 참
여시키기 위해 기획되었다.

그동안의 주택용 태양광발전기 표준 보급 모델은 3kW 용량이었는데,
3kW급 태양광발전기를 설치하려면 최소 20㎡의 빈 공간과 600만 원 이상
의 비용이 필요했고, 한번 설치하면 철거와 이동이 어려웠다. 이 때문에 넓
은 옥상이나 지붕 등 태양광발전기 설치 가능 공간을 소유하지 못한 아파
트 거주자들, 자주 이사를 다닐 수밖에 없는 세입자들은 재생에너지 생산에
참여하고 싶어도 불가능했다.

서울시에는 단독주택보다 공동주택에 사는 시민들이 더 많기 때문에 기
존 신·재생에너지 생산 보급사업에서 소외되어 있던 공동주택 거주자들의
참여를 이끌어내기 위해 새로운 사업이 필요했다. 그래서 아파트 베란다 등
공동주택에도 설치할 수 있고 크기가 작아 가전제품처럼 이사할 때 떼어서
가지고 갈 수 있는 미니태양광발전기 보급 사업이 기획된 것이다.

실제로 서울시의 『2017년도 주거실태조사 통계보고서』에 따르면 서울
시 내 주택은 총 3,784,705호이며, 종류별로는 아파트가 1,589,491호(42.0%)
로 가장 많고 그 다음으로 단독주택(영업 전용 단독주택 및 다가구주택 포
함, 1,141,659호, 30.2%), 다세대주택(653,861호, 17.3%), 오피스텔(129,152호,
3.4%), 연립주택(109,399호, 2.9%) 등의 순이다.

미니태양광발전기는 창가에 햇빛만 비친다면 공동주택 거주자도, 자주 이
사 다니는 세입자도 설치 가능하다. 미니태양광발전기 보급은 신·재생에너

지 생산 대중화의 걸림돌을 제거함으로써 시민 참여를 확대하는 사업이라고 할 수 있다.

서울시는 미니태양광발전기 설치비의 50% 정도를 보조금으로 지원했는데, 공동주택 주민들의 공동체 의식 활성화를 위해 같은 아파트 단지에서 이웃끼리 뜻을 모아 10가구 이상이 동시에 태양광발전기 설치를 신청한 경우, 추가 인센티브를 지급하기도 했다. 인센티브는 10가구 이상이면 5만원, 20가구 이상이면 10만원이 지급되었다(서울시, 2015a).

서울시의 25개 자치구 중 노원구는 서울시가 본격적으로 정책을 시행하기 이전인 2014년 4월부터 구비 1억 2,000만원을 들여 400세대를 대상으로 아파트에 미니태양광발전기 설치를 추진했다. 2014년 6월 서울시의 미니태양광발전기 설치 사업이 본격적으로 추진되자 서울시 전체 설치 목표인 8,000가구 중 25%(2,000가구) 이상을 노원구에 설치하겠다는 목표를 세우고 동별 주민설명회를 개최하고 홍보물을 추가 제작해 배부하는 등 신청을 독려하기 위한 적극적인 활동을 펼쳤다.

또한 노원구는 구 예산을 별도로 편성해 10인 이상의 단체 신청자에게 서울시 지원금 이외에 추가로 5만원을 지급했다(노원구, 2014). 2015년에는 노원구(5만원)뿐 아니라 구로구(10만원), 송파구(5~10만원) 등도 구 차원의 보조금을 지급하며 주민들의 에너지 생산을 적극 독려했다(구로구, 2015; 송파구, 2015).

서울시는 에너지 생산에 동참한 시민들 중 희망자 70명을 선별해 ‘에너지 시민 홍보대사’로 위촉함으로써 자부심을 갖게 하고, 자발적인 활동을 지원해 시민 스스로의 경험이 이웃에게 전파되어 더 많은 시민들이 에너지 생산에 참여할 수 있도록 유도하고 있다(서울시, 2015b).

그 결과, 베란다에 미니태양광발전기를 설치해 에너지를 생산하고 있는 곳은 점점 늘어 2014년 1,777개소, 2015년 3,258개소, 2016년 8,311개소,

2017년 18,805개소에 추가 설치되었고, 2017년 12월 현재 서울시에는 누적 3만 1,951개소(설치용량 8,630kW)에 보급되었다(서울시, 2018).

에너지 소비자예만 머물던 시민들이 손쉽게 에너지 생산자가 될 수 있도록 지원해주는 이 정책은 전국으로 빠르게 확산되었다. 2016년 서울을 비롯해 부산, 대구, 광주, 인천, 경기 등 6개 광역시·도와 수원, 성남 등 18개 기초 시·군에서 추진(경향신문, 2016)했고, 중앙정부가 예산 지원에 나서게 되었다. 산업통상자원부가 2016년 추경예산을 확보해 미니태양광발전기 보급 사업을 지원하기로 결정해 일부 지자체에 예산 지원이 되었고, 2017년부터는 전국에서 국비와 지방비를 일정 비율로 매칭하여 미니태양광발전기 보급 사업이 추진되고 있다. 국비 지원을 통한 미니태양광발전기 보급 실적은 다음 <표 3-15>와 같다.

<표 3-15> 국비 지원을 통한 전국 베란다형 미니태양광발전기 보급 현황

지자체	2016년			2017년			계 ¹⁾		
	보조금 (백만원)	개소 (호)	용량 (kW)	보조금 (백만원)	개소 (호)	용량 (kW)	보조금 (백만원)	개소 (호)	용량 (kW)
서울	800	4,531	1,194	2,466	13,280	3,680	3,266	17,811	4,874
대구	65	361	97	109	598	162	174	959	259
인천	-	-	-	57	250	84	57	250	84
광주	-	-	-	33	198	50	33	198	50
대전	-	-	-	100	573	149	100	573	149
울산	-	-	-	50	300	78	50	300	78
경기	13	74	20	218	992	326	231	1,066	346
강원	-	-	-	74	417	111	74	417	111
충남	-	-	-	185	686	276	185	686	276
전북	-	-	-	79	474	121	79	474	121
전남	146	533	218	218	1,004	325	364	1,537	543
경남	-	-	-	78	396	118	78	396	118
계	1,024	5,499	1,529	3,667	19,168	5,480	4,691	24,667	7,009

주 1) 보조금의 경우 국비 보조금(실집행 기준)만 산정 자료: 한국에너지공단, 2018.

라. 상계 거래 제도

우리나라도 2005년 4월 미국의 넷 미터링과 유사한 요금 상계 거래 제도를 도입했다(<표 3-16> 참고). 도입 당시의 참여 대상은 3kW 이하 규모의 발전설비로 한정되었으나, 재생에너지 설비 보급과 프로슈머 확산 정책 추진에 발맞춰 점차 그 참여 대상 범위와 판매허용 수준이 확대되고 있다(안희영, 2016).

2017년 12월 발표한 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 통해 정부는 자가용 태양광발전 보급 확대를 위해 상계 거래 제도를 개선해 잉여전력에 대한 현금정산을 실시하겠다고 밝혔다. 그동안 자가용 태양광발전기로 생산된 전력을 다 소비하지 못했을 경우, 이후에 내야 할 전기요금을 차감할 때만 활용해왔다. 또한 공동주택은 상계 거래 허용 대상이 아니었으나, 앞으로는 공동주택도 상계 거래가 가능하게 되었다(산업통상자원부, 2017a).

<표 3-16> 발전 설비 구분별 상계거래 및 전력거래 가능 여부

구분	일반용 전기설비	자가용 전기설비	사업용 전기설비
정의	발전용량 10kW 이하	일반용·사업용 외의 설비	전기사업자가 설치한 설비
전력 거래	불가	가능	가능
상계 거래	가능	가능	불가

자료: 한국에너지공단, 2018.

상계 거래와 관련된 법률은 ‘소규모 신·재생에너지발전전력 등의 거래에 관한 지침’, ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법’ 및 ‘전기사업법’ 제43조의 전력시장 운영규칙 등이다(김소희·이상훈·윤성

권·신혜지·문효동, 2017). 국내 상계 거래 제도에는 약 24만 호가 참여하고 있는데 대부분 주택 거주자이며 주택용 전기요금 누진제 단계 완화를 통해 전기요금 절감에 목적이 있다(김창섭 등, 2018).

상계 거래에서는 재생에너지 발전설비를 설치한 고객이 직접 생산해 역송전한 전력의 단가를 고객이 전력회사에서 전기를 받아서 사용할 때 지불하는 수전전력 단가와 동일한 소매요금을 적용한다. 그러나 잉여전력을 현금 정산할 때는 소매가 아니라 도매가격(SMP) 기준으로 거래될 예정이다.

소규모 신·재생에너지 보급 및 프로슈머 제도 확산에 따라 상계 거래 참여 대상의 범위가 지속적으로 확대되고 있다(<표 3-17> 참고). 2017년 연말 발표되었던 ‘재생에너지 3020 이행계획’에 포함된 자가용 설비의 상계 전력량에 대한 현금 구매도 2018년 3월에 규정이 개정되면서 가능해졌다.

<표 3-17> 일반용 전기 설비에 대한 상계 거래 제도 운영 현황

구분	상세 내용				
도입시기	2005년 4월				
적용대상	일반용 전기 설비 설치자				
정산방법	발전량과 수전량 상계(잉여전력량 발생시 익월로 이월되며 판매불가)				
수익구조	전력량 요금에서 차감				
설비기준	도입시기	2005년	2012년	2016년 2월	2016년 9월
	태양광발전	3kW	10kW	50kW	1,000kW
	기타 신·재생	3kW	10kW	10kW	10kW

자료: 김소희 등(2017)에서 인용 후 연구자 재작성.

마. 전기요금 할인 제도

기업들이 자가소비용 재생에너지 발전기를 설치하도록 독려하는 전기요금 제도가 2017년부터 시행되고 있다. 재생에너지 발전기로 생산해 자가소비하는 전기가 일정 비율 이상인 경우, 한전에 납부해야 하는 전기요금을 대폭 할인해 주는 방식이다.

법적 근거는 한전 전기공급약관 공급약관세칙 별표 4 기본공급약관이다. 구체적인 내용은 신·재생에너지와 에너지저장장치(Energy Storage System, 이하 ESS) 보급 확산을 촉진하기 위해 신·재생에너지 할인 적용기준 변경, 신·재생에너지와 ESS를 함께 설치 시 추가 인센티브 신설, 신·재생에너지 및 ESS 할인 적용기간 연장 등이다(한국전력 홈페이지, 2017).

우선 신·재생에너지 전기요금 할인 적용기준이 변경되었다. 신·재생에너지 자가소비용 비율이 20% 이상인 경우, 총 전기요금의 10~20%를 할인해 왔으나, 신·재생에너지를 자가소비할 경우 절감되는 전기요금의 50%를 할인하는 방식으로 변경되었다. 신·재생에너지 발전설비 용량이 1,000kW 이하라면 용량 제한 없이 신청할 수 있도록 적용대상이 확대되었다.

ESS 보급 활성화를 위해 계시별 요금을 적용받는 일반용·산업용(갑)II, 일반용·산업용·교육용(을) 전력 소비자 중 자가소비용으로 ESS를 설치할 경우 전기요금 할인 혜택을 주기로 했다. 기한은 2020년 12월까지이다.

피크 감축량은 평균 최대수요 전력 감축량의 3배를 적용하며, 이에 해당하는 기본요금을 할인하는데 할인금액 계산 식은 아래와 같다.

$$\text{할인금액} = \text{평균 최대수요전력 감축량(kW)} \times 3\text{배} \times \text{기본요금 단가(원/kW)}$$

전력량 요금은 경부하시간대 충전 전력에 대한 전력량 요금의 50%를 할인받을 수 있게 되었다. 상기의 기본요금 및 전력량 요금 할인금액은 계약

전력 대비 ESS 배터리용량 비율에 따라 차등 적용한다.

4. 국내외 자가소비용 태양광발전 확산 정책 비교

일본과 호주는 자가소비용 주택 태양광발전 보급 속도와 그 양에 있어 세계 1위 수준이다. 특히 2009년을 기점으로 급격한 증가세를 보였는데, 앞서 살펴본 것처럼 두 나라 모두 2009년부터 공격적인 재생에너지 확산 정책을 시행했다는 것이 공통점이었다.

일본은 2005~2008년 중단되었던 보조금 지급을 2009년부터 다시 시작했고, 호주는 2009년 9월부터 새로운 재생에너지 공급 목표인 RET 달성을 위한 다양한 프로그램을 본격적으로 시행했다.

2009년 당시 두 나라가 도입한 공통된 정책으로는 태양광발전기로 생산해 자가소비한 뒤 남은 전력을 현금으로 보상해 주는 잉여전력 매입제도가 있었다. FIT를 적용해 주택용 전기요금보다 비싼 가격으로 잉여전력을 매입해 줬다. 또한 두 나라 모두 자가소비용 전력에 대해서도 재생에너지 공급 인증서를 발급해 주고 그 증서를 거래해 추가로 수익을 얻을 수 있도록 했다는 점에서도 공통적이다.

호주는 2009년 9월부터 자가소비용 소규모 재생에너지 전원에 대해 ‘솔라 크레딧’이라는 가중치를 부여한 REC를 발급해 줬다. 일본은 재생에너지 설비로 생산해 자가소비한 전력에 대해 녹색전력증서를 발급해 주고 그 증서의 거래를 통해 경제적 이익을 얻을 수 있도록 했다. 호주와 일본에는 시행되고 있으나 우리나라는 아직 도입하지 않은 대표적인 정책이 자가소비용 태양광발전에 대한 녹색전력증서나 REC의 발급이다. 우리나라는 발전사업자에게만 REC를 발급해 주고 있다.

일본의 녹색전력증서, 호주의 REC는 같은 구조의 정책으로 재생에너지의 환경적 가치를 인정해 줌으로써 증서 형태로 거래되도록 해 재생에너지의

보급 확대를 촉진한다.

자가소비용으로 인한 전기요금 절감 효과, 잉여전력 판매 수익, REC 거래 수익 등 3중의 경제적 혜택을 누릴 수 있기 때문에 두 나라에서 자가소비용 태양광발전의 보급이 2009년 이후 폭발적으로 이뤄진 것으로 분석된다.

<표 3-18>에서는 호주와 일본, 우리나라의 자가소비용 태양광발전 확산 정책을 정리하고 비교해 보았다.

<표 3-18> 한국·일본·호주의 자가소비용 태양광발전 지원 제도 비교

구분	한국	일본	호주
보조금	○	○	○
	2004년부터 시행	1994년부터 시행, 2005~2008년 중단되었다가 2009년부터 재도입	
잉여전력 매입 (FIT)	○	○	○
	※ 2018년 말 혹은 2019년 이후 시행 예정	2009년 도입, 전기요금보다 2배 이상 비싼 가격으로 10년간 매입 시작	2008~2009년 도입, 쓰고 남은 전력뿐만 아니라 생산된 전력 전체를 사용 여부와 상관없이 매입하는 주 정부도 있음
매입 기준가격	상계 거래 제도에 의한 SMP 기준	FIT에 의한 고정가격	FIT에 의한 고정가격
REC 발급	X	○	○
		자가소비한 전력에 대해 녹색전력증서 발행, 2010년부터 거래를 통해 추가 수익 확보 가능	2009년부터 소규모 태양광발전 설비에 대해 REC를 발급. 설비 용량 1.5kW까지 5배의 가격으로 REC 발급

호주와 일본에서는 REC나 녹색전력증서를 기업이 구입하면 재생가능 에너지로 발전한 전기를 사용한 것으로 인정해 준다. 이런 제도를 활용해 자발적으로 사용 전력의 100%를 재생에너지로 전환하는 기업들도 늘어나고 있다.

국내 기업 중엔 처음으로 삼성전자가 2018년 6월, 미국·유럽·중국의 전 사업장에서 100% 재생에너지를 사용하겠다고 선언했다.⁹⁾ 대형 제조공장에서 사용하는 전력을 모두 직접 재생에너지 설비를 설치해 충당하는 것은 어려워도 증서를 구입하거나 전력회사로부터 재생에너지만 따로 구매할 수 있는 녹색전력요금제를 활용해 100% 재생에너지로 전환이 가능하기 때문이다. 우리나라에는 기업이 재생에너지만 100% 쓰고 싶다고 해도 관련 제도가 아직 도입되지 않았기 때문에 삼성전자가 100% 재생에너지를 사용하겠다고 선언하면서 국내 사업장은 그 대상에서 제외할 수밖에 없었던 것이다.

9) 2018년부터 수원 사업장 내 주차장과 옥상 등에 약 4만 2천㎡ 규모의 태양광발전 패널을 설치하고 2019년에는 평택, 2020년에는 화성 사업장에도 태양광발전과 지열 등 약 2만 1천㎡ 규모의 재생에너지 설비를 설치할 예정이라고 밝혔다. 또한, 재생에너지 인프라가 충분히 갖춰진 미국·유럽·중국에서는 모든 사업장에서 100% 재생에너지 사용을 추진하겠다고 밝혔다. <https://news.samsung.com/kr/?p=372702>, [2018.06.14.]

제2절 태양광발전 확산의 영향인자

1. 영향인자 선정

3장 2절에서는 선행연구 분석과 설문조사를 통해 자가소비용 태양광발전 확산의 중요 영향인자를 선정하고자 한다. 우선 그동안 진행된 선행연구 결과를 분석해 시민들이 자가소비용 태양광발전기를 설치하게 만드는 중요한 요인들을 정리해 보았다.

백종학(2014)은 미니태양광발전기를 설치한 서울시 노원구민들의 인식을 조사했는데, 설치 결정에 가장 큰 영향을 미친 요인은 전기요금 절감 효과(31.3%)이라는 답변이 가장 많았다. 그 다음으로는 설치 시 지급되는 보조금(29.7%), 기후변화에 대한 관심(21.9%), 천연자원 고갈에 대한 걱정(9.4%), 에너지 교육(4.7%), 원전에 대한 불안감(3.1%) 등이 뒤를 이었다.

정기철 등(2012)은 전기요금 절감 효과와 설비 가격의 인하를 태양광발전 보급의 중요 요인으로 분석했다. 설비의 지속적인 기술 혁신과 효율 향상, 원가 절감 등은 설비 가격의 인하와 설비 설치로 인한 에너지 비용 절감으로 이어져 태양광발전 보급에 긍정적인 영향을 미칠 것이라고 밝혔다. 또한 태양광발전 등 재생에너지 시설 설치 확대를 위해 에너지요금의 지속적인 절감 효과가 큰 영향을 미치기 때문에 전기요금의 중요성을 강조했다.

김태주·안정근(2012)은 전문가와 태양광발전기 설치자들을 대상으로 실시한 설문조사 결과, 태양광발전 보급 활성화를 위해 중요한 부문은 경제, 기술, 정책, 환경, 주택 순이며 경제 부문 중에서도 태양광발전기 설치에 따른 경제성이 가장 중요하다는 응답이 나왔다고 밝혔다.

반영운·이태호(2010)는 설문조사를 통해 시민들이 설비 설치 시 지원하 는 보조금의 비율 확대, 태양광발전 차액 지원 제도, 공동주택에 대한 설비

보급의 확대, 잉여전력의 판매, 설비의 효율성 증대 노력, 설비 설치의 용이성, 무상 A/S 기간의 연장, 설치 장소의 다양화 등을 중요하게 고려하고 있음을 밝혀냈다.

그동안 진행된 여러 설문조사 및 선행연구 결과, 자가소비용 태양광발전 설치에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 경제성이며, 전기요금 절감 효과 때문에 태양광발전기를 선택했다는 설치자들이 가장 많은 것으로 나타났다.

전기요금 단가가 비쌀수록 자가소비용 태양광발전기가 생산한 전력을 자가소비함으로써 누릴 수 있는 전기요금 절감 효과가 커지는데, 2016년 12월부터 전기요금 절감 효과가 대폭 감소하게 되었다. 2004년부터 12년째 유지되던 6단계의 주택용 전기요금 누진체계가 3단계로 대폭 완화되었기 때문이다. 기존 6단계의 누진제에서는 최저와 최고 단계의 요금 단가 차이가 11.7배였는데, 3단계로 바뀌면서 요금 단가 차이도 3배로 대폭 줄었다. 개편 전후 전기요금 비교 표는 <표 3-19>와 같다.

<표 3-19> 개편 전후 주택용 전력(고압) 전기요금 비교

사용 구분	2013년 11월 21일 개편		2016년 12월 1일 개편	
	기본요금	전력량 요금	기본요금	전력량 요금
~ 100kWh 이하	410원	57.7원	730원	78.3원
101 ~ 200kWh	730원	98.9원		
201 ~ 300kWh	1,260원	147.9원	1,260원	147.3원
301 ~ 400kWh	3,170원	215.6원		
401 ~ 500kWh	6,600원	325.7원	6,060원	215.6원
501kWh 초과	10,760원	574.6원		

자료: 한국전력 사이버지점

100kWh 이하를 1단계로 하고 매 100kWh 단위로 단계를 나뉘며, 500kWh 초과를 최고 단계인 6단계로 구분했던 기존 요금체계는 개편 이후, 가장 저렴한 요금이 적용이 되는 1단계는 월 200kWh 이하, 2단계는 평균 사용 구간인 201~400kWh, 3단계는 다소비 구간 401kWh 이상으로 분류되었다.

전기요금 누진제의 완화가 신·재생에너지 보급 사업에 악영향을 미칠 것이라는 우려도 제기되었다. 자가소비용 태양광발전기를 설치해 생산된 전기를 사용함으로써 전기요금 부담을 스스로 줄이려는 이들이 요금 체계 변경으로 인해 감소할 것으로 예상되기 때문이다.

태양광발전기 설치로 인해 체감할 수 있는 경제적인 효과가 클수록 호감도가 상승할 수 있으나, 경제적 효과가 줄어 실망하게 된다면 선순환 사이클은 악순환 사이클로 바뀔 수 있다. 실제로 2016년 12월 단행된 주택용 전기요금 누진제 완화로 인하여 누진 단계별 전력 단가가 인하되면서 태양광발전기 설치로 얻을 수 있는 경제적 효과가 감소하게 되자 미니태양광발전기를 설치하겠다고 신청했다가 신청을 취소한 경우도 적지 않은 것으로 드러났다.

서울시에서 지정한 미니태양광발전기 보급 업체인 서울시민햇빛발전협동조합에서 2017년 미니태양광발전기 설치 신청을 했다가 취소한 1,100명을 대상으로 그 이유를 조사한 자료를 살펴보면, 전기요금 누진제 완화로 인해 전기요금 절감액이 감소했기 때문이라는 답변이 19.8%를 차지했다. 이는 ‘이유 없이 마음이 바뀌었다’는 응답(23.2%)을 제외하고는 가장 큰 비중을 차지하는 답변이었다. 서울시민햇빛발전협동조합의 ‘2017년 미니태양광발전기 설치신청 취소 사유 분석’에 따르면, 설치가 불가능해 취소했다는 답변도 13.4%로 많았고, 판리실이나 집주인, 타세대, 혹은 가족의 반대로 취소한 경우도 8.1%로 나타났다. 보조금이 소진되었거나 비용 부담으로 신청을 취소한 경우는 6.7%였다.

<표 3-20> 미니태양광발전기 신청 취소 사유

순위	구분	응답자수(명)	비율(%)
1	별다른 이유 없이 단순한 변심	255	23.2%
2	설치에 따른 전기요금 절감액이 부족해서	218	19.8%
3	기타	187	17.0%
4	베란다 구조 등 설치가 불가능해서	147	13.4%
5	가족 구성원 또는 이웃의 반대 때문에	90	8.2%
6	설치 업체를 변경하고 싶어서	70	6.4%
7	보조금이 소진되어서	60	5.5%
8	발전기 설치가 조망을 방해해서	36	3.3%
9	이사 또는 집 수리 때문에	24	2.2%
10	설치 비용이 부담스러워서	13	1.2%
	합	1100	100.0%

자료: 서울시민햇빛발전협동조합, 2017.

여러 선행연구 자료를 살펴본 결과, 시민들이 재생에너지 생산에 동참하도록 만드는 데 가장 큰 영향력을 미치는 것은 경제적인 유인책이라는 사실이 확인되었다. 전기요금 절감 효과, 보조금, 설비 가격의 인하 등이 자가소비용 태양광발전기 설치에 따른 경제성을 좌우하는 중요 인자들이다. 경제성 제고 방안으로 보조금 비율의 확대, 잉여전력의 판매와 발전차액 지원 도입 등의 필요성도 제기되었다.

경제적 유인책 외 기후변화에 대한 관심, 에너지 교육의 영향 등으로 태양광발전기 설치를 결정했다는 응답도 적지 않으므로 설문조사를 통해 다양한 요인의 영향에 대해 재확인해보고자 한다. 또한 2016년 12월 시행된 전기요금 누진제 완화 조치가 시민들이 자가소비용 태양광발전기 설치를 결정하는 데 어떤 영향을 미쳤는지도 설문조사를 통해 확인해 보기로 했다.

2. 태양광발전 설치에 대한 시민의식 조사

가. 설문조사의 설계

자가소비용 태양광발전기 설치의 영향인자를 선정하기 위한 설문조사의 대상에는 태양광발전기 설치 가구는 물론 미설치 가구도 포함하기로 했다. 태양광발전기의 용량과 설치 방식이 다양하므로 설치 가구 중에서는 어떤 가구를 조사하면 좋을지 조사해 보았다.

개인이 주택에 설치하는 자가소비용 태양광발전기는 단독주택 옥상 등에 설치 가능한 1~3kW급 발전기, 공동주택 베란다에도 설치 가능한 1kW 미만의 미니태양광발전기가 있다. 단독주택용 1~3kW급 발전기를 설치하는 방식으로는 정부의 주택지원 사업에 따른 설치 보조금을 받고 일부는 자부담하는 방식과 대여 사업을 통해 설치하는 방식이 있다. 서울, 인천, 수원 등 일부 지방자치단체에서 시행하는 태양광발전 이자 지원 사업을 활용해 설치비를 대출받을 수도 있다. 자가소비용 태양광발전 설치 지원 사업의 구분과 각 사업별 보급 가구 수는 <표 3-21>과 같다.

<표 3-21> 자가소비용 태양광발전 설치 지원 사업 형태별 설치 실적

구분	미니태양광발전기	주택 태양광발전	태양광 대여 사업
설치 용량	1kW 미만	~3kW	3kW(월평균 전력량이 600kWh이상인 경우 최대 9kW)
사업 시행기간	2014년 ~	2004년 ~	2013년 ~
2017년 말 기준 보급 가구 수(개소)	45,663	250,928	37,198

자료: 서울시 녹색에너지과, 2018b; 한국에너지공단, 2018.

미니태양광발전기 설치 지원 사업은 2014년에 시작되어 태양광발전 주택 설치 지원 사업(2004년)이나 대여 사업(2013년)에 비해 출발이 늦었으나 4년 만에 4만 5,663가구가 참여하는 등 보급 가구 수가 급격히 늘고 있는 것을 확인할 수 있다(<표 3-21> 참고).

태양광 대여 사업은 설치 시 자부담금이 없기 때문에 설치에 따른 경제성 평가 기준이 다른 지원 사업과 다르며 설치 가구 수도 가장 적어 설문조사 대상에서 제외하기로 했다.

3kW급 태양광발전기를 설치하면 매달 300kW 이상의 전력이 생산된다.¹⁰⁾ 이에 따라 전력소비가 월 평균 전력사용량이 300kW대인 평균적인 수준인 가구라면 세금을 제외하고는 전기요금을 거의 내지 않아도 된다. 쓰고 남은 전력은 상계 처리되어 적립했다가 전기를 많이 쓰는 달에 전기요금을 차감하는 데 사용하기 때문에 매달 얼마의 전력이 생산되든지, 전기요금이 얼마인지 신경을 쓰지 않으면 바로바로 체감하기 어렵게 된다.

이에 비해 미니태양광발전기는 용량이 작기 때문에 생산되는 전력량도 작아서 매달 전기요금의 일부만 절감할 수 있다. 따라서 매달 내는 전기요금에서 차감되는 금액도 인식하기 쉽고 3kW급 태양광발전기를 설치한 가구에 비해 전기요금이나 정책의 변화에 따른 태양광발전기 설치의 효과의 변화에 대해 더욱 민감하게 반응할 수 있다.

이러한 이유로 자가소비용 태양광발전 확산의 영향인자를 찾기 위한 설문조사 대상을 미니태양광발전기 설치 가구로 정하는 것이 적절하다는 판단을 하게 되었다. 자가소비용 태양광발전 설치에 따른 경제성 평가에 민감한 미니태양광발전기 설치 가구에 한정해 설문조사를 실시하기로 하고, 조사 대상 지역은 서울시로 정했다.

10) 한달에 생산하는 전력량의 계산식은 다음과 같다. 3kW×15.5%×24시간×30일=334.8kWh. 3kW 이하 태양광발전기의 전력 이용률은 15.5%로 했는데, 해당 자료의 출처는 한국에너지공단 그린홈(<http://greenhome.kemco.or.kr>).

설문조사 대상을 서울시민으로 한정된 이유는 미니태양광발전기 설치 지원 사업이 2016년 하반기 이후 국비 지원 사업이 되어 전국으로 확산되긴 했으나, 설문조사가 진행된 2017년 초에는 미니태양광발전기 설치자가 대부분 서울시민이었기 때문이다.

이번에 실시한 설문조사의 총 유효 표본 수는 567명인데, 그중 400명은 2014~2016년 미니태양광발전기를 설치한 서울시민이고, 167명은 태양광발전기를 설치하지 않은 일반 시민이다. 조사기간은 2017년 1월 3일~2월 22일이었으며 우선으로 전화 설문조사를 진행하였다.

설치자에 대해서는 미니태양광발전기 설치를 결정하게 된 요인을 밝히기 위한 질문을 했다. 설문 내용은 설치 동기, 선택 기준, 만족도, 만족 또는 불만족스러운 이유, 전기요금 누진제와 보조금에 대한 의견, 주위에 권유할 의사가 있는지 등으로 구성하였다. 미설치자에게는 설치하지 않은 이유, 보조금 증액 시 설치의향 등에 대해 물어보았다.

나. 설문조사 결과 분석

미니태양광발전기 설치자에게 발전기 설치를 결정한 동기를 묻는 질문으로 9가지 선택지가 제시되었으며, 그중 가장 많은 선택을 받은 영향 요인은 ‘전기요금 절감 효과(62.0%)’였다. 그 다음으로는 ‘설치 시 지급되는 보조금(12.8%)’이라는 응답이 많았다. 미니태양광발전기 설치에 가장 큰 영향을 끼친 1, 2순위 요인이 모두 경제적인 것으로 나타났다.

그 다음 순으로는 ‘설치한 사람의 추천 등 주변인 권유(9.6%)’, ‘기후변화 문제 등의 환경 문제에 대한 관심(7.6%)’, ‘방사능 누출 등 원자력 발전의 안전성에 대한 불안감(4.4%)’, ‘기후변화 및 에너지 관련 교육 프로그램 참여 경험(1.6%)’ 순으로 나타났다.

미니태양광발전기 설치 동기로 제시된 선택지 9가지를 요인 분석한 결과

설문조사 대상자의 유형을 다음과 같이 3가지로 구분할 수 있었다. 첫째, 경제성에 초점을 맞춘 그룹, 둘째, 규범적, 사회적 관심에 초점을 둔 그룹(환경과 에너지 문제 등에 관심 많음), 셋째, 즐거움과 관계 지향적인 그룹(주변인의 권유, 마을 이미지 때문이 설치했다는 응답자).

<표 3-22>는 9가지 선택지에 대한 5점 척도 평가 평균 성적이다.

<표 3-22> 미니태양광발전기 설치 동기

순위	내 용	평균점수	영역
1	전기요금 절감 효과	4.37	경제
2	설치 시 지급되는 보조금	4.12	경제
3	기후변화 등 환경문제에 대한 관심	3.44	사회/환경
4	천연자원 고갈에 대한 우려	2.92	사회/환경
5	원자력발전에 대한 불안감	2.77	사회/환경
6	밀양 송전탑 문제 등 사회적 관심	2.60	사회/환경
7	주변인의 권유	2.58	관계
8	나 자신과 마을 이미지 개선 효과	2.39	관계
9	에너지에 대한 교육 참여 경험	2.25	사회/환경

“누진제 완화로 미니태양광발전기 설치에 따른 전기요금 절감 효과가 감소될 것이라는 점을 미리 알았어도 미니태양광발전기를 설치했을까?” 라는 질문에는 ‘설치했을 것’이라는 답변이 81.9%로 많았으나, ‘설치하지 않았을 것’이라는 답변도 18.1%나 되었다. 전기요금 누진제 완화로 인해 경제적 효과가 감소되었기 때문에 태양광발전기 설치를 후회한다는 응답자들도 적지 않다는 것이다.

미니태양광발전기를 설치하지 않은 서울시민 167명을 대상으로 설치하지

않은 이유에 대해 질문한 결과, <표 3-23>에서 정리한 것처럼 ‘전기요금 절감 효과가 적어서(20%)’, ‘초기 설치비가 부담스러워서(18%)’ 등 경제적 이유가 가장 큰 것으로 나타났다.

<표 3-23> 미니태양광발전기를 설치하지 않은 이유

순위	내용	비율
1	베란다가 남향이 아니거나 설치 불가능	26.3%
2	사업에 대해 몰랐음	24.0%
3	전기요금 절감 효과가 적어서	20.0%
4	초기 설치비 부담	18.0%
5	입대의, 관리실, 이웃의 반대	6.6%
6	기타	5.1%

한편, ‘베란다가 남향이 아니거나 설치가 불가능한 상태다’ (26.3%)와 ‘이웃의 반대에 부딪쳐 설치할 수 없었다’ (6.6%)는 답변을 합치면 그 비율이 32.9%나 되는데, 이는 관심과 의지가 있지만 설치 공간 확보에 어려움을 겪는 시민들이 적지 않다는 것을 알려주는 수치이다. 더 많은 시민들이 태양광발전이 참여하도록 하려면 이들에게 햇빛발전 펀드나 에너지협동조합에 가입하는 등 다양한 참여 방식을 제시할 필요가 있다. 3장 1절에서 살펴본 미국의 ‘커뮤니티 솔라’ 방식도 도입을 적극 고려할 만하다.

2016년 말 시행된 누진제 완화로 미니태양광발전기 설치 가구가 감소할 것이라는 우려가 제기되자 정부는 설치 보조금을 늘렸다. 2016년까지는 자부담금이 설치비의 50%였는데 2017년부터는 25%만 자부담하면 미니태양광발전기 설치가 가능해졌다. 이 상황을 미니태양광발전기 미설치자들에게 알린 뒤 미니태양광발전기 설치 의향을 확인하니 다음과 같은 답변이 나왔다.

미설치자 중 71.8%가 설치에 긍정적인 반응을 보인 반면, 여전히 부정적

인 입장을 유지하거나 잘 모르겠다는 응답도 28.2%로 제법 많은 것으로 나타났다(<표 3-24> 참고). 전기요금 절감 효과가 적어서 설치를 안 했다는 응답자 중 60.6%는 보조금이 증가했다면 설치 의사가 있다고 밝혔지만, 나머지 39.4%는 부정적인 입장을 유지했다.

<표 3-24> 전기요금 누진제 완화와 보조금 증액 조건 인지 후 미니태양광발전기 설치 의향

구분	내용	비율
1	전혀 설치할 생각이 없다	4.2%
2	설치하고 싶지 않다	11.4%
3	잘 모르겠다	12.6%
4	설치에 관심이 생겼다	38.3%
5	설치를 적극 고려해보겠다	33.5%

이번 설문조사를 통해 태양광발전의 시민 참여 확산에 가장 큰 영향을 미치는 영향인자는 경제적 유인이라는 점을 재확인할 수 있었다. 설문조사 결과, 시민들은 보조금보다 전기요금 절감 효과를 더 중시하며 전기요금 누진제 완화로 인한 전기요금 절감 효과 감소에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 시민들이 경제적 유인 중에서도 전기요금 절감 효과를 가장 중요하게 여긴다는 점은 선행연구에서도 공통적으로 확인된 바 있다.

전기요금 절감 효과가 적으면 보조금 액수가 증가했다고 해도 태양광발전기 설치를 하지 않겠다고 응답하는 이들이 적지 않다는 점은 자가소비용 태양광발전기 확산을 위한 정책이 어떤 방향으로 가야 할지 시사하는 바가 크다. 바람직한 정책 방향을 구체적으로 제시하기 위해 선행연구 분석 및 설문조사에서 확인한 태양광발전 확산의 중요 영향인자인 경제적 유인을 중심으로 인과순환지도 작성과 모델링을 진행하고자 한다.

제3절 자가소비용 태양광발전 확산 인과순환지도

1. 인과순환지도 변수 설정

여기서는 1절에서 살펴본 국내외 정책 사례와 2절에서 선행연구 분석 및 설문조사를 통해 도출한 영향인자들을 종합해 자가소비용 태양광발전 확산에 관한 인과순환지도의 변수를 설정하고자 한다.

선행연구와 설문조사 결과에서 확인할 수 있듯 자가소비용 태양광발전기 설치 결정 시 시민들이 가장 우선적으로 고려하는 것은 경제성이다. 자가소비용 태양광발전 설치의 경제성을 높여 보급을 활성화하기 위해 시행하는 대표적인 정책들을 1절에서 살펴본 국내외 사례를 종합해 정리하자면, 보조금 지급, 상계 거래, 잉여전력 매입, REC나 녹색전력증서 발급 등이 있다.

보조금은 초기 설치비 부담을 줄여줌으로써 태양광발전 설비 설치를 독려할 수 있다. 전기요금 절감 효과는 자가소비용 태양광발전 설비가 가동되는 기간 내내 누릴 수 있는 경제적 효과이다. 즉, 전력회사로부터 전기를 구입하는 것보다 직접 생산하여 소비하는 것이 더 저렴한 상황을 만들면 태양광발전 설비의 확산을 효과적으로 유도할 수 있다. 상계 거래는 쓰고 남은 전기를 모아두었다가 전기를 많이 쓰는 달에 사용할 수 있도록 해 전기요금 절감 효과를 증가시켜주는 지원책이다.

여기에 더해 잉여전력 매입제도를 도입해 사용하고 남은 전기를 비싼 가격으로 사준다면 태양광발전 확산은 더욱 급속하게 진행될 것이다. 실제로 이 같은 정책을 도입해 효과가 확실히 나타난 국가들의 사례가 있다.

<표 3-25>에서 확인할 수 있듯이, 호주는 주택용 태양광발전 보급 속도가 세계적으로 유래가 없을 정도로 폭발적이어서 2009년 이후 약 4년 동안 100만 개의 태양광발전 설비가 설치된 바 있다(Seba, 2015).

<표 3-25> 호주의 지붕형 태양광발전기 설치 신규 및 누적 가구 수

연 도	신규 설치 가구 수	누적 설치 가구 수
2001	118	118
2002	251	369
2003	664	1033
2004	1,089	2,122
2005	1,406	3,528
2006	1,115	4,643
2007	3,480	8,123
2008	14,064	22,187
2009	62,916	85,103
2010	198,208	283,311
2011	360,745	644,056
2012	343,320	987,376
2013	200,407	1,187,783
2014	180,139	1,367,922
2015	141,489	1,509,410
2016	132,673	1,639,944
2017	171,877	1,813,961

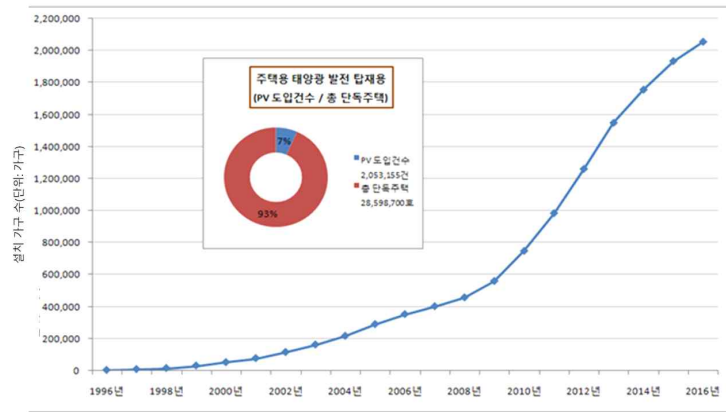
자료: 호주 Clean Energy Regulator, 2018.

호주 정부가 2020년까지 재생에너지 사용 비율을 전체 전기 에너지의 20%까지 확대하기로 목표를 설정하고 다양한 정책을 시행하기 시작한 해가 2009년이였다. 특히 FIT 제도를 자가소비용 태양광발전기 설치 주택에도 적용해 주택에서 사용 후 남은 전력을 매입해줬는데, 이 정책이 태양광발전 확산에 큰 효과가 있었던 것으로 평가된다(KOTRA, 2010b). 잉여전력을 주택용 전기요금보다 2배 이상 비싼 고정 가격으로 매입해주는 제도를 실행함으로써 자가소비용 태양광발전 설치의 경제성이 향상되었기 때문이다.

잉여전력 매입제도는 소규모 신재생에너지 발전 설비로 생산한 전력에 대해 가중치를 적용한 REC를 발급해 주는 ‘솔라 크레딧’이라는 정책과 함께 시행되었다. 자가소비로 전기요금 절감이 되고, 잉여전력량에 대해서

는 FIT 지원 혜택이 주어지며, 총 발전량에 대해 인증서가 발급되어 판매 수익을 올릴 수 있게 되면서 자가소비용 태양광발전 설치가 폭발적으로 증가하게 된 것이다(한전경제경영연구원, 2016b).

일본도 2009년 11월, 태양광발전의 남은 전기에 대한 잉여전력 매입제를 도입하면서 주택 태양광발전이 급격하게 증가했다. 일본의 주택 태양광발전 보급 성과를 보여주는 <그림 3-7>에서 2009년 이후 그래프가 가파르게 상승하는 것을 확인할 수 있다.



<그림 3-7> 일본의 주택용 태양광발전 설비 도입 현황

자료: JPEA(1996~2005년 : 재단법인 신에너지재단(NEF)의 보조금 교부 실적, 2006~2008년 : 일반사단법인 신에너지 도입촉진협의회(NEPC) 조사, 2009~2013년 : 태양광발전 보급확대센터(J-PEC) 보조금 교부 결정 건수 JPEA 집계, 2014~2016년 : 경제산업성(METI) HP 재생가능에너지 설비도입상황자료)

잉여전력 매입제를 통해 일본 정부는 태양광발전기를 설치한 가정과 학교 등에서 발생하는 잉여전력을 전력회사가 의무적으로 10년간 고가로 매입하도록 했는데, 2009년 당시 매입 기준가격은 1kWh당 48엔이었다(투데이

에너지, 2009). 지난 2009년 일본의 주택용 전기요금 단가는 약 26엔/kWh였으므로 잉여전력 매입 기준가격(48엔)은 거의 2배 가까이 높은 수준이었다. 당시 국가와 지방자치단체에서 제공하는 설치 보조금에 10년치 잉여전력 판매 수익을 합산되어 자가소비용 태양광발전의 경제성이 증가했고, 이것이 추동력이 되어 태양광발전의 가정 보급이 확대된 것으로 분석된다.

우리나라는 자가소비용 주택 태양광발전기에 대해 설치 보조금은 주고 있지만, 남은 전기를 현금으로 매입해 주는 정책을 병행하지는 않고 있다. 태양광발전기 설치 주택에서 사용하고 남은 전력은 다음 달로 이월이 되는데, 그동안의 상계 거래 제도에서는 사용전력에 대한 요금만 상계 처리하도록 돼 있었고 잉여전력에 대한 현금 지급 등의 보상은 할 수 없었다(에너지신문, 2017). 이는 전력 사용량이 적은 가구가 태양광발전기를 설치했을 경우, 경제성이 떨어지는 원인으로 작용한다.

주택용 태양광발전 시스템에 대한 경제성 평가에서 비용편익(B/C)비가 1.0 이하로 낮게 나온 가구는 대부분 전력 사용량이 적고 발전량은 전력 사용량을 초과하여 생산된 경우였는데, 잉여전력이 많이 발생되었지만 한전에서 잉여전력을 매입해 주지 않기 때문에 연간편익이 적은 것으로 나타났다(김광원·서윤규·홍원화, 2014). 태양광발전 시스템에서 생산되는 전력량이 충분하여 쓰고 남은 전력이 있어도 한전에서 매입하지 않기 때문에 가구별 전력사용량이 비용편익비에 미치는 영향이 컸다.

국회 이훈 의원실(산업통상자원중소벤처기업위)이 한전으로부터 제출받은 2017년 국정감사 자료에 따르면, 태양광발전기 설치 가구가 사용하는 전력은 생산된 전력의 절반밖에 안 되는 것으로 나타났다(에너지신문, 2017). 사용하고 남은 잉여전력은 다음달로 이월해 적립했다가 전기를 더 많이 사용하는 달에 전기요금을 차감하도록 되어 있지만, 태양광발전기 설치 가구들의 연간 전력 사용량이 많지 않아 잉여전력이 계속 늘어나고 있다.

미상계 전력량은 <표 3-26>에서 보이듯, 2011년 784MWh에서 2014년에는 2만 5,043MWh로 증가했고, 2017년 8월에는 13만 6,389MWh로 급증해 2011년도에 비해 무려 174배 증가한 것으로 나타났다(중앙일보, 2017).

태양광발전기 설치 가구는 2011년 3만 6,339가구에서 2017년 8월 26만 6,670가구로 7.3배로 증가했고, 발전총량도 1,907MWh에서 22만 9,288MWh로 120배 늘어났다. 이 가구들은 발전한 전력량 가운데 절반 정도만 사용하고 남은 전력은 계속 이월하고 있으며, 누적된 전력량을 2017년 8월 기준으로 현금화하면 약 149억 원에 이르는 것으로 집계됐다(에너지신문, 2017).

<표 3-26> 자가소비용 태양광발전기 설치 가구의 발전량과 잉여전력 현황 (단위: MWh)

구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017.8
총발전량	1,907	13,577	31,881	54,627	87,052	124,880	229,288
상계량	1,061	8,780	22,473	39,837	65,582	93,784	167,452
미상계량 (누계)	784	5,577	12,086	25,043	42,771	73,120	136,389

자료: 한국전력, 2017; 에너지데일리, 2018.01.04.

이러한 문제점이 2017년 국정감사를 통해 제기되면서 언론에서도 잉여전력 문제가 관심 있게 다뤄진 뒤 정부는 2017년 12월 말, ‘재생에너지 3020 이행계획’을 통해 자가소비용 태양광발전에 대한 잉여전력 현금 정산제를 도입하겠다고 밝혔다(산업통상자원부, 2017a).

이행계획에 따르면, 정부는 2022년까지 약 30가구당 1가구, 2030년까지 약 15가구당 1가구에 자가소비용 태양광발전을 보급하기로 하고, 현재 자가용 태양광발전 보급 호수가 24만호인데 이를 2022년에는 76만호, 2030년에는 156만호까지 늘리겠다는 목표를 세웠다.

<표 3-27> 재생에너지 3020 이행계획 중 자가용 태양광발전 보급 목표

구분	2016년	2022년	2030년
태양광발전 설치 가구/*총 전기사용고객 비율	1/94	1/29.7	1/14.5
주택, 건물 등 자가용 보급 호수	24만호	76만호	156만호

* 총 전기사용고객 : 2,255만호(2016년 기준, 한국전력통계)

자료: 산업통상자원부, 2017a.

정부는 자가용 태양광발전 확대를 위해 잉여전력에 대한 현금정산이 실시될 수 있도록 관련 법령 개정 등 준비를 진행하고 있다. 이에 따라 지난 2018년 3월 30일, ‘소규모 신·재생에너지 발전전력 등의 거래에 관한 지침’이 일부 개정되었다(국가법령정보센터, 2018).

이 지침에 따라 발전설비용량 1000kW 이하 태양광발전 설비로 발전한 전력 중 자가소비 후 남은 전력은 판매가 가능해졌다. 태양에너지 발전설비를 제외한 신·재생에너지 발전설비나 전기발전 보일러, 총 저장용량이 1000kWh 이하이면서 총 증·방전설비용량이 1000kW 이하인 전기저장장치·전기자동차시스템 설비의 경우는 연간 총 생산량의 50% 미만에 대해서만 판매할 수 있다(산업통상자원부 고시 제2018-56호).

재생에너지를 통한 상계 거래 대상자의 잉여 발전량에 대해 별도의 전력요금을 지급할 수 있도록 근거가 마련된 것이다. 현재는 잉여 발전량을 다음 달로 이월만 할 수 있었으나, 개정된 지침에 따라 상계 거래 대상자의 선택에 따라 별도의 전력요금을 지급하거나 다음 달로 이월할 수 있게 되었다. 상계 거래 허용 대상에는 단독주택뿐 아니라 공동주택도 포함되었다.

그리고, 별도의 전력요금에 대한 지급단가 기준은 지급 대상기간 중 전력

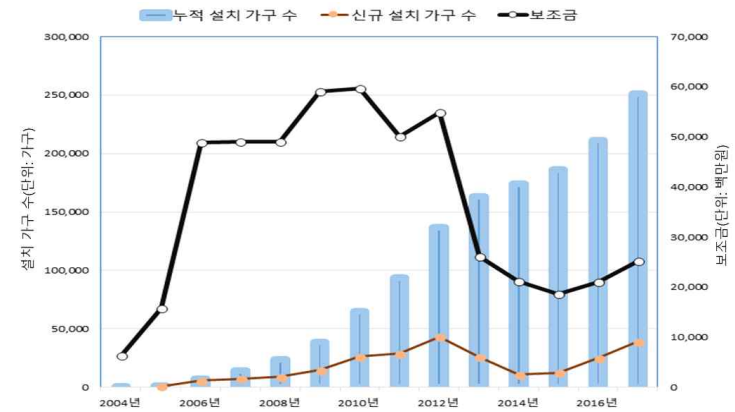
시장의 ‘가중평균 계통한계가격(System Marginal Price, 이하 SMP)’으로 정해졌다(산업통상자원부 고시 제2018-56호). SMP란, 전력시장에서 결정되는 전력의 가격으로 흔히 ‘전기의 도매가’라고도 불린다. 우리나라 전체 발전 비용이 최소화되도록 발전 가격이싼 순서대로 발전소를 가동시켜 예측된 전력 수요를 충족할 때, 마지막 발전기의 발전 가격이 그 시간의 SMP를 결정하게 된다(전력거래소, 2018).

잉여전력 현금 구매의 시행은 한전의 세부적인 상계 거래 처리기준이 마련된 이후 시행될 예정이다. 고시 개정만으로 모든 대상에 대한 잉여전력 매입이 가능해진 것은 아니다. 2018년 하반기 국회를 통해 ‘전기사업법’ 개정이 추진되어야 하며, 그 이후 대통령령과 시행령 개정이 진행되어야 하므로 2019년 이후에야 시행이 가능해질 전망이다.11)

잉여전력의 현금 정산이 가능해짐에 따라 자가소비용 태양광발전의 경제성이 향상되어 일본과 호주 등의 사례에서 확인할 수 있듯, 자가용 태양광발전의 설치율이 증가될 것으로 기대된다. 단, 일본과 호주의 잉여전력 매입 기준가격은 주택용 전기요금보다 2배 가까이 높은 수준이었지만 우리나라는 전기요금보다 낮은 SMP 기준으로 정해질 예정이다. 잉여전력 매입제도의 도입이 자가소비용 태양광발전 설치율 증가에 얼마나 큰 영향을 미칠 수 있을지는 제4장에서 모형을 구축한 뒤 시뮬레이션을 통해 전망해 보기로 한다.

현재 시행중인 자가소비용 태양광발전 설치 지원 정책은 보조금 정책이 유일하다. 이에 따라 매년 신규 설치 실적은 오로지 보조금 액수의 증감에 의해 좌우되며 그 실적도 목표 치에 못 미치는 수준이다. <그림 3-8>에서도 2012년 이후 보조금이 대폭 줄면서 설치 실적도 함께 감소했으며 보조금과 신규 설치 실적 그래프의 모양이 일치하는 것으로 확인된다.

11) 신재생에너지정책실 정책기획팀 관계자 인터뷰, 2018.5.14.



<그림 3-8> 국내 주택용 태양광발전기 설치 실적과 보조금 현황

자료: 한국에너지공단, 2018.

자가소비용 태양광발전기를 모범적으로 확산시킨 일본과 호주에서 채택한 공통적인 정책은 자가소비용 태양광발전 전력에 인증서를 발급해 주고 이를 거래할 수 있게 함으로써 추가적인 수익을 확보할 수 있게 한 것이다. 지난 2009년부터 일본은 자가소비용 태양광발전기가 생산한 전력 중 사용하고 남은 잉여전력을 전력회사가 일정한 가격으로 매입하도록 했다. 뿐만 아니라 자가소비한 전력에 대해 녹색전력증서를 발급해 주고 2000년부터는 증서를 거래할 수 있도록 했다(김창섭 등, 2018). 호주는 2009년부터 ‘가정 및 지역 태양광발전 계획’을 시행하면서 소규모 태양광 설비에 대해 REC를 발급해 줬다(에너지경제연구원, 2014).

REC 발급과 거래는 국내에도 시행되고 있는 정책이긴 하나, 국내에서는 상업용 태양광발전 전력에만 REC를 발급한다. 다만, 자가소비용 태양광 대역 사업에 대해서는 사업자에게 REP를 발급해 주고 판매 수입을 올릴 수

있도록 하고 있다. 전력회사가 태양광 대여 사업자로부터 REP를 구매하면 RPS 제도와 관련한 과징금 감면, 의무이행량 연기분 경감 등의 용도로 활용 가능하도록 인정해 준다(한국에너지공단, 2016a).

선행연구 고찰을 통해 파악된 자가소비용 태양광발전 확산의 주요 요인, 그리고 설문조사를 통해 집계한 시민들의 의견을 바탕으로 자가소비용 태양광발전기 설치의 경제성에 영향을 주는 전기요금 절감 효과, 보조금, 잉여전력 매입제도, 설비 가격 인하 등을 주요 변수로 채택했다. 또한 신제품의 확산과정에서 나타는 혁신적인 소비자와 혁신자를 모방함으로써 2차 구매를 하는 모방자들의 존재도 인과순환지도의 변수로 채택해 자가소비용 태양광발전 확산과 관련한 인과순환지도를 다음과 같이 작성하였다.

2. 인과순환지도

앞서 선정한 변수들을 이용해 작성한 인과순환지도에서는 <표 3-28>과 같이 3개의 강화루프와 4개의 균형루프 등 7가지 순환고리를 찾을 수 있다.

루프의 명칭을 R1~R3, B1~B4로 붙였는데, R은 강화(Reinforce)의 영문 이니셜이며 순환할수록 자기 강화가 이뤄지는 양(+)의 피드백 루프라는 의미를 담은 것이다. B는 균형(Balance)을 의미하는 영어 단어의 첫 글자를 딴 것으로 음(-)의 피드백 루프가 형성되어 루프를 순환할 때마다 정책 목표와 반대 방향으로 안정화되면서 정체가 일어나는 구조를 그린 것이다.

피드백 루프 화살표 끝에 있는 양(+)이나 음(-)의 부호는 변수들 간의 인과관계 방향을 표시하는 것이다. 원인변수와 결과변수가 같은 방향(증가→증가, 감소→감소)으로 변화하면 양(+)의 인과관계, 반대 방향(증가→감소, 감소→증가)으로 변할 때는 음(-)의 인과관계이다. 피드백 루프에서 화살표 끝에 전부 양(+)의 부호가 붙어 있거나 음(-)의 부호가 짝수 개이면 양(+)의 피드백 루프이다(김동환, 2004).

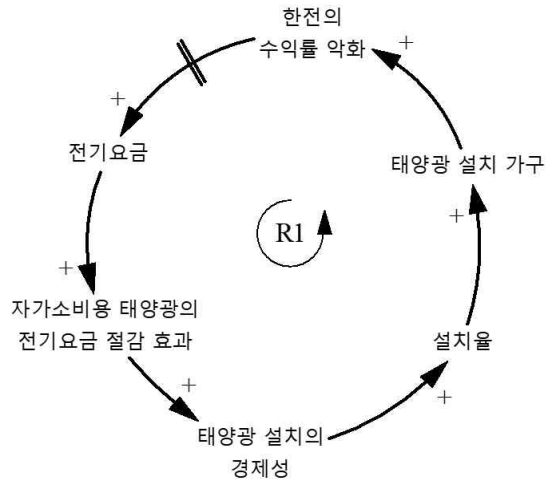
<표 3-28> 자가소비용 태양광발전 확산 인과순환지도의 7가지 순환고리

구분	내 용
R1	전기요금 절감 효과에 의한 태양광발전 보급 성과 강화루프
R2	설비 가격 인하에 의한 태양광발전 보급 성과 강화루프
R3	태양광발전기 설치 가구 증가에 의한 모방 효과와 보급 성과 강화루프
B1	잉여전력 매입제도와 태양광발전 보급 성과의 균형루프
B2	전기요금 조정과 잉여전력 판매수익의 균형루프
B3	보조금 확대 정책과 태양광발전 보급 성과의 균형루프
B4	보조금 확대 정책과 정부 재정 부담의 균형루프

이는 선순환(자기 강화 피드백), 또는 악순환(일탈 강화 피드백)하는 루프로 시스템이 지속적인 성장하거나 지속적으로 쇠퇴하게 됨을 의미한다. 반면, 음(-)의 부호가 홀수 개일 때는 음(-)의 피드백 루프가 된다. 이는 자기 균형, 안정화, 혹은 일탈 억제 피드백이라고도 불리며 시스템은 안정적인 상태를 유지하게 된다(김동환, 2004).

가. 전기요금 절감 효과에 의한 태양광발전 보급 성과 강화루프(R1)

자가소비용 태양광발전기를 설치한 가구들은 생산된 전기를 직접 사용함으로써 전기요금 절감 효과를 보게 된다. 전기요금 단가가 비쌀수록 자가 생산 전기 사용에 따른 경제적 이익은 더 커진다. 따라서 주택용 전기요금에 적용되는 누진제는 자가용 태양광발전기 설치 동기를 강화시키는 요인이 될 수 있다. 전기요금이 인상된다면 자가소비용 태양광발전의 경제성이 제고되어 설치 가구가 증가되는 구조를 그린 것이 R1 루프이다.



* 화살표 위의 세로 2줄(//)은 지연 효과(딜레이) 표시

<그림 3-9> 전기요금 절감 효과에 의한 태양광발전 보급 성과 강화루프(R1)

강화루프 R1은 전기요금이 인상되어 자가소비용 태양광발전기가 원활히 보급될 수 있다는 선순환 구조를 그린 것이나, 자칫 정책 목표와 반대 방향으로 악순환이 진행될 수도 있다. 전기요금은 많은 규제와 복잡한 구조 속에서 법정 산정기준과 절차에 따라 정책적·정치적 판단을 거쳐 결정되기 때문이다.

태양광발전의 확산만을 위해 전기요금 인상이 추진되는 경우는 거의 없겠지만, 신·재생에너지 보급 촉진을 위해 발전사가 부담하는 비용은 전기요금 매출 원가에 포함되므로 태양광발전 보급 성과가 전기요금 인상의 요인이 되는 것으로 인과순환지도를 작성했다. 그리고 태양광발전 보급 성과로 인한 재정부담이 곧바로 전기요금 인상으로 이어지는 것이 아니라 더

많은 요인들의 영향을 받고 복잡한 정책적 판단과 산정 절차를 거쳐 이뤄진다는 점에서 ‘지연 효과(딜레이)’가 존재함을 2개의 세로 줄로 화살표 위에 표시했다.

해외에서는 일반적으로 재생에너지 발전 지원에 투입되는 비용은 전기요금을 통하여 회수하고 있다. 이를 위해 많은 국가들이 채택하고 있는 제도가 부과금(Surcharge) 또는 녹색프리미엄 제도이다. 부과금은 재생에너지 설비로 생산한 에너지의 사용자 모두에게 요금을 부과하는 형태이고, 녹색프리미엄은 재생에너지의 보급 확산에 기여하겠다는 의지를 가진 사용자에게만 차별적으로 요금을 부과한다. 부과금은 요금의 일부이지만, 녹색프리미엄은 스스로 선택한 사람들에게만 부과되며 자발적인 투자 또는 기부로서의 의미가 있다고 할 수 있다(이상훈·윤성권·김소희, 2015).

전기사용자에게 재생에너지 확대에 투입된 추가적인 비용을 분담하도록 하는 이러한 제도는 재생에너지 생산 확대가 전기요금 인상에 반영되는 구조를 투명하게 공개한다는 점에서도 의미가 있다. 그러나 국내에는 아직 이 제도가 도입되지 않았고, 전기요금 산정 관련 기준에서도 재생에너지 보급 촉진과 전기요금 인상의 상관관계가 직접적으로 명시되어 있지 않다.

국내 전기요금 산정을 위한 세부 기준은 산업통상자원부의 고시 ‘발전사업세부허가기준, 전기요금산정기준, 전력량계 허용오차 및 전력계통운영업무’에 명시되어 있다. 재생에너지 보급 촉진 정책이 전기요금에 영향을 미칠 수 있다는 것은 지난 2012년 1월 16일 일부 개정되었던 ‘식량경제부 고시 제2012-2호’에서 확인 가능하다. 2012년 정부가 에너지 사업자에게 에너지의 일정 비율을 신·재생에너지로 공급·판매하도록 의무를 부과하는 RPS를 시행하기로 하면서 당시 고시에는 발전회사가 신·재생에너지 보급 촉진의 의무를 이행하면서 부담하는 비용을 전기요금 매출 원가에 포함하도록 했다(최병선, 2012). 아래는 관련 조항이다.

제13조(적정원가의 구성) ①적정원가는 매출원가에 판매비와 관리비, 적정법인세비용을 합한 금액에 6개 발전 사업자의 세전손익과 일부 영업외손익을 가감하고 재평가 감가상각비와 송·배전이용요금 수입을 차감한 금액으로 한다.

②제1항의 매출원가는 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법 시행령 제18조의11에 의한 의무이행비용을 포함한다. (국가법령정보센터, 2012)

2014년 5월 21일 고시가 전부 개정되면서 위 문구는 사라졌다. 하지만 발전회사의 부담을 전기요금에 반영하는 것은 전기요금 결정의 일반 원칙이다(최병선, 2012).

태양광발전 보급 성과와 전기요금 사이에 존재하는 지연효과는 정책적 실패(Overshoot)가 있을 수도 있음을 의미한다. 그 대표적인 사례가 2016년 12월 시행한 전기요금 누진제 완화 조치이다.

주택용에 적용되는 전기요금 누진제는 자가소비용 태양광발전기 설치 가구에 경제적인 이익을 제공하는 주요 요인이었고 이에 따라 태양광발전기 설치 가구가 증가하고 있었으나, 정부는 전기요금 누진제도에 대한 국민적 불만을 잠재우기 위해 2016년 12월부터 6단계에서 3단계로 누진제를 전격 완화시켰다. 누진제 완화에 따라 신·재생에너지 생산을 통해 누릴 수 있는 전기요금 절감 효과가 감소하게 되면 가뜩이나 성적이 안 좋은 신·재생에너지 보급률 제고에 제동이 걸릴 수 있다는 우려도 제기되었다.¹²⁾

실제로 2016년 12월 단행된 주택용 전기요금 누진제 완화로 인하여 누진 단계별 전력 단가가 인하되면서 태양광발전기 설치로 얻을 수 있는 경제적

12) (2017), 양이원영(2017) 등의 기사는 전기요금 누진제 개편이 재생에너지 생산에 악영향을 미칠 수 있다고 지적했다.

효과가 감소하게 되자 인기를 얻기 시작한 미니태양광발전기에 대한 호감이 떨어져 설치 신청을 취소하는 경우도 적지 않은 것으로 나타났다.

서울시에서 지정한 미니태양광발전기 보급 업체 중 하나인 서울시민햇빛발전협동조합에서 2017년 상반기에 미니태양광발전기 설치 신청을 했다가 취소한 1,100명에 대해 그 이유를 조사한 결과에 따르면, 전기요금 누진제 완화에 따른 전기요금 절감액의 감소를 손꼽은 경우가 19.8%로 ‘별다른 이유 없이 마음이 바뀌었다’는 응답(23.2%)을 제외하고는 가장 많은 비중을 차지했다. 서울시민햇빛발전협동조합은 서울시의 미니태양광발전기 보급 사업에 2014년부터 매년 참여하고 있으며 시장점유율이 가장 높은 업체다.

전력 다소비 가구에 대한 요금 부과가 ‘징벌’ 수준으로 지나친다는 지적도 있었고 전기요금 개편이 필요하다라는 문제제기가 오래 전부터 있었던 것도 사실이지만, 누진제의 순기능에 대한 신중한 고려가 부족한 근시안적인 결정이라는 비판도 적지 않았다.¹³⁾

누진제 완화로 태양광발전기 설치 가구가 감소할 것이라는 우려가 제기되자 정부는 설치 보조금을 늘렸다.¹⁴⁾ 자가소비용 태양광발전기 설치의 경제성을 제고하는 정책이 보조금 지급밖에 없는 상황이었으며, 보조금 지급 비용 인상이 유일한 대응책이었던 것이다.

보조금의 효과는 설치 시 초기 부담을 줄여주는 데 그치는 반면, 태양광발전기가 생산한 전기를 자가소비하면서 누리는 전기요금 절감 효과는 발전 설비가 수명을 다할 때까지 지속된다. 이번 연구를 통해 진행된 설문조

13) 권승문(2016), SBS 뉴스(2016) 등에서 전기요금 누진제 완화에 대한 비판적인 기사들을 찾아볼 수 있다.

14) 월 평균 450kWh 이상의 전력을 사용하는 가구는 전기요금 누진제로 인한 전기요금 절감 효과가 커서 경제성이 충분히 확보되므로 자발적으로 태양광발전기를 설치하도록 보조금을 지급하지 않았으나, 2017년부터는 모든 가구에 보조금을 지급하고 있다. 서울시는 미니태양광발전기 설치 보조금을 설치비의 50%에서 2017년 75%로 올렸다. 보조금 증액은 전기요금 누진제 완화로 미니태양광발전기 설치에 따른 전기요금 절감 효과가 축소되어 투자비 회수기간이 길어지는 것을 방지하기 위한 조치였고, 25% 증액된 보조금 예산은 국비를 확보해 충당했다.

사에서 자가소비용 태양광발전기를 설치한 시민들이 1순위로 꼽는 설치 동기도 전기요금 절감 효과였다.

전기요금은 자가소비용 태양광발전 확산에 핵심요소다. 태양광발전기 설치 후 체감할 수 있는 경제적인 효과가 클수록 호감도는 더 상승할 것이다.

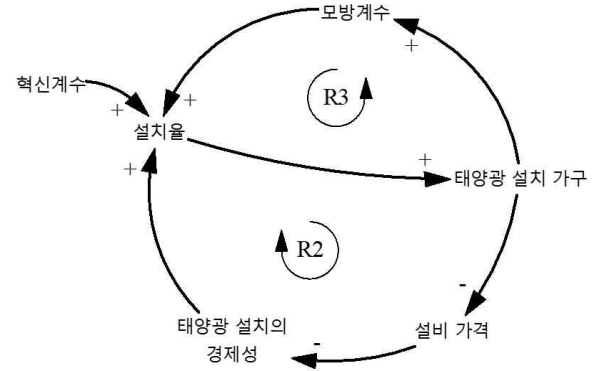
나. 설비 가격 인하에 의한 태양광발전 보급 성과 강화루프(R2)

기술의 발전, 시장의 확대에 힘입어 태양광발전 설비 가격은 매년 인하되고 있다. 태양광 인프라가 2배로 늘어날 때마다 태양광발전 패널 생산 비용은 22%씩 감소하는 추세여서 태양광발전 패널의 학습곡선은 통상 22%로 알려져 있다(Seba, 2015).

규모의 경제에 의해 태양광발전 설비 가격이 인하되면 태양광발전 설치 부담은 줄어드는 대신 설치에 따른 경제성은 향상된다. 이에 따라 설치 가구는 더 늘어나고, 시장이 확대되면서 설비 가격은 또 떨어진다. 강화루프 R2는 순환하면서 계속해서 양의 방향으로 효과가 강화되는 선순환 구조이다.

다. 태양광발전 설치 가구 증가에 의한 모방 효과와 보급 성과 강화루프(R3)

강화루프 R3는 주변에 태양광발전기를 설치 가구들이 늘어날수록 그것을 보고 모방하여 태양광발전기를 설치하는 가구도 증가한다는 구조를 표현한 루프이다. 신제품은 기존 구매자로부터 긍정적인 이야기를 듣는 등 간접 경험에 의해 비구매자가 구매 욕구를 느끼게 되어 확산되는데, 이를 모방 효과라 하고 모방 효과의 특성은 모방계수에 반영된다(Sterman, 2000).



<그림 3-10> 설비 가격 인하, 모방 효과와 태양광발전 보급 성과의 강화루프(R2, R3)

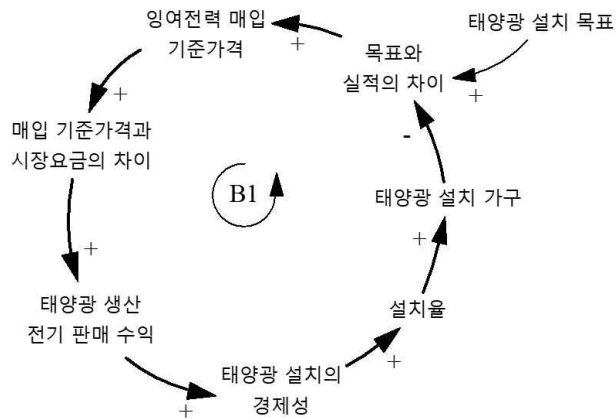
라. 잉여전력 매입제도와 태양광발전 보급 성과의 균형루프(B1)

잉여전력 매입은 정부가 자가소비용 태양광발전기 설치 가구를 대폭 증가시키겠다는 목표를 세우고, 그 목표 달성을 위해 새롭게 도입하기로 한 정책이다. 자가소비용 태양광발전기를 설치한 가구에서 쓰고 남은 전기는 적립해 두었다가 전기를 많이 쓰는 달의 전기요금을 차감하는 것만 가능했다. 앞으로는 현금 정산도 가능할 것으로 예상된다. B1은 잉여전력 매입제도가 태양광발전 보급 성과와 어떤 인과관계가 있는지 작성한 루프이다.

피드백 루프에서 화살표 끝에 음(-)의 부호가 홀수 개일 때는 음(-)의 피드백이 형성되어 한 바퀴 순환할 때마다 정책 목표와 방향이 반대로 바뀌게 된다. 이에 따라 구조에 안정화와 정체가 생기게 된다. 이번 루프가 바로 음의 피드백이 형성된 균형루프이다.

태양광발전 생산목표와 생산량 사이의 격차를 줄이기 위해 도입된 잉여

전력 매입제도는 전기 판매 수익을 확보해줘 태양광발전기 설치의 경제성을 제고시킨다. 이에 따라 설치 가구가 증가하게 되지만, 목표가 어느 정도 달성되면 잉여전력 매입 기준가격을 인하하게 될 것이므로 이 고리는 균형의 순환고리가 된다.



<그림 3-11> 잉여전력 매입제도와 태양광발전 보급 성과의 균형루프(B1)

태양광발전 확산 목표가 어느 정도 달성되면 정부가 매입 기준가격을 인하하게 됨을 일본이나 호주 등 해외 사례에서도 확인할 수 있었다. 매입 기준가격이 낮아지면 태양광발전기 설치 가구의 전기 판매 수익도 줄어들고 태양광발전기 설치의 경제성도 떨어져 신규 설치 가구도 감소하게 될 것이다. 이렇게 당초 정책 목표와 방향이 바뀌게 됨으로써 구조에 정체가 생기게 되므로 잉여전력 매입제도와 태양광발전 보급 성과의 균형루프가 작성되었다.

마. 전기요금 조정과 잉여전력 판매수익의 균형루프(B2)

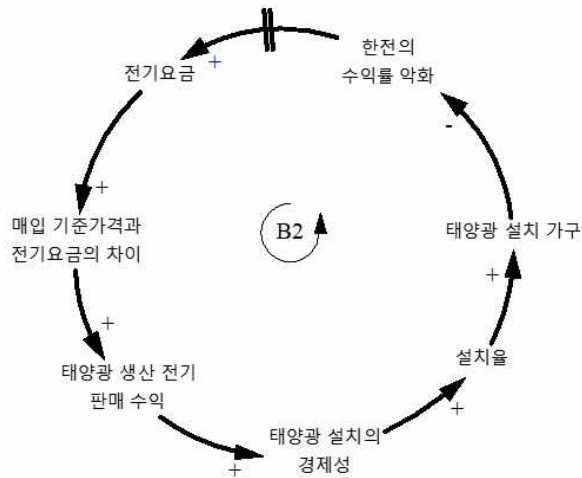
그동안 우리나라는 전력의 생산에서 판매에 이르기까지 발생하는 비용을 전기요금에 제대로 반영하지 않고 가능한 한 전기요금을 낮게 유지하는 한편, 그 비용을 한전의 적자형태로 유지해 왔다(이유수, 2016). 실제로 한전은 2008년 이후 적자를 이어오다가 2011년에는 1조가 넘는 적자를 기록하기도 했다. 2013년에 와서야 흑자 전환이 이뤄지긴 했으나 전기요금 규제로 인해 원가를 충분히 반영하지 못하는 구조적 문제는 여전하다(조석·이지평·김창섭·윤순진·노동석·전영환 등, 2016).

전력산업 구조개편이 이뤄진 선진국들은 전력 생산에서 판매에 이르기까지 발생된 모든 비용을 전기요금이 충당할 수 있도록 전력시장에서 요금을 결정한다. 시장에서 요금이 결정되는 과정에서 전기요금이 상승하게 되는 반면, 태양광발전 등 재생에너지의 발전단가는 하락하면서 소비자 스스로 재생에너지를 설치할 유인이 커지게 된다(이유수, 2016).

자가소비용 태양광발전기 설치 가구가 늘면 전력회사의 매출은 감소할 것이다. 잉여전력 매입제도가 도입되고, 매입 기준가격이 전기요금보다 높게 책정되어 태양광발전기가 생산한 전기를 의무적으로 매입해야 하면 전력회사의 재정부담은 더 커지게 된다.

균형루프 B2는 태양광발전 설치 가구의 증가로 인한 전력회사의 재정 부담이 누적되어 전기요금을 인상하게 되는 경우, 매입 기준과 전기요금의 차이가 감소하고 태양광발전 설치자의 전기판매 수익이 떨어질 수 있다는 구조를 표현한 것이다.

B2는 화살표의 끝에 음(-)의 부호가 한 개이므로 균형루프이다. 전력회사가 재정적 부담으로 인해 전기요금을 인상하면 태양광설치자의 전기 판매 수익이 감소해 태양광발전 신규 설치도 저조해지는 구조를 이 루프에서 파악할 수 있다.



<그림 3-12> 전기요금 조정과 잉여전력 판매수익의 균형루프(B2)

이 인과순환지도에는 ‘딜레이(화살표 위 || 표시)’가 존재한다. 이는 전기요금 결정 과정의 복잡함과 다양한 규제로 인해 전력회사의 재정적 부담이 전기요금 인상으로 즉각 반영되기 어려운 구조에 있음을 표현하는 것이기도 하다.

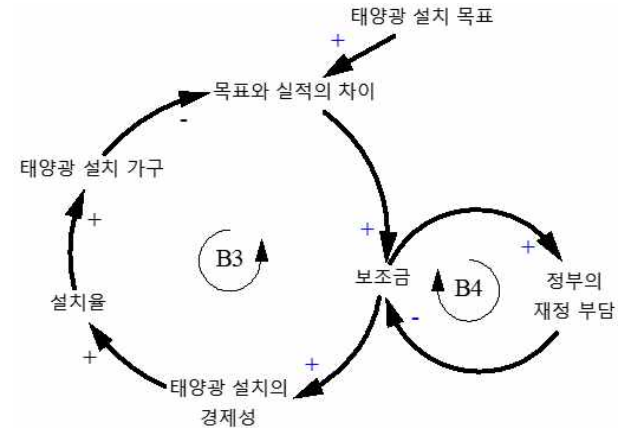
바. 보조금 확대 정책과 태양광발전 보급 성과의 균형루프(B3)

균형루프 B3은 태양광발전 보급 성과를 높이기 위해 정부가 보조금을 확대하는 정책을 시행함으로써 형성된 피드백이다. 보조금을 통해 태양광발전기 설치비 부담이 줄어들면 태양광발전 생산에 참여하는 이들도 늘어나게 된다. 보조금 증대에 따라 태양광발전기 설치가 늘어나게 되고 보급 목표가

어느 정도 달성되어 목표와 실적과의 차이가 줄어들면, 정부가 보조금을 줄이게 될 것이다. 순환 고리를 따라 회전하다 보면 정책의 방향이 반대로 바뀌어 균형을 이루게 된다는 음의 피드백, 균형루프가 완성되었다.

사. 보조금 확대 정책과 정부 재정부담의 균형루프(B4)

보조금을 통한 재생에너지 확산 정책은 정부의 예산에 한도가 있으므로 지속적으로 확대될 수 없다. 정부가 보조금 예산을 확대하면 할수록 재정적 부담은 커지게 된다. 정부 예산에 한계가 있기 때문에 정부는 보조금을 지속적으로 늘릴 수가 없고 줄이게 된다. 균형루프 B4는 보조금 확대 정책과 정부의 재정부담 사이의 관계를 표현한 것이다.



<그림 3-13> 보조금 확대 정책과 태양광발전 보급 성과, 정부 재정부담의 균형루프(B3, B4)

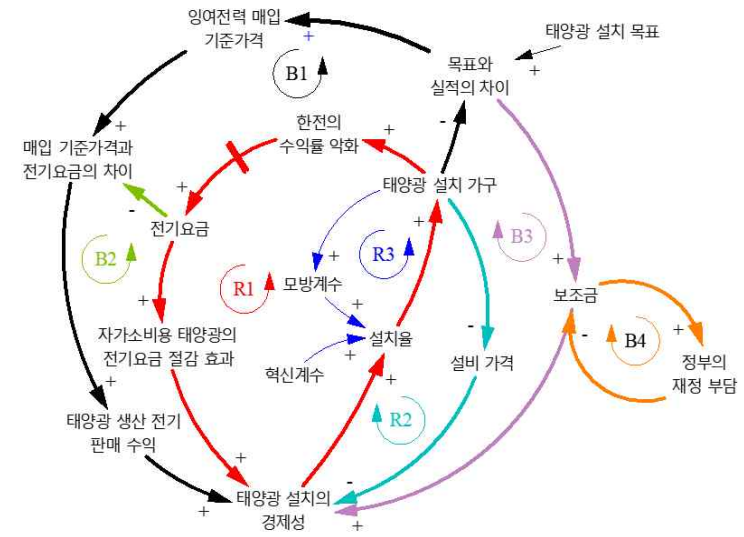
우리는 예산의 부담으로 인한 태양광발전 지원정책의 큰 변화를 경험한 바 있다. 2012년 이후부터 FIT가 중단되고 RPS가 시행된 것이 바로 그것이다. FIT는 2008년 이후 발전차액 예산이 급증하자 연도별 발전차액 한계용량(2009년 50MW, 2010년 70MW, 2011년 80MW)을 설정하다가 결국 중단되었다(한국에너지공단, 2016a). 무분별한 보조금 확대 정책은 예산과 세금의 부담 증가, 발전차액지원제도 중단과 같은 또 다른 사태를 야기할 우려도 있다.

아. 자가소비용 태양광발전 확산에 관한 통합 인과순환지도

차례로 살펴본 개별 루프들을 한데 모아 종합적인 인과순환지도를 작성해 전체적으로 보면 흥미로운 구조들이 발견된다. 3개의 강화루프와 4개의 균형루프가 결합되면서 서로 영향을 미치다보니, 개별 루프를 보면서 파악했던 단편적 구조 외에 새로운 인과관계가 드러나게 되는 것이다.

전기요금 절감 효과가 커져 태양광발전 설치의 경제성이 제고됨으로써 태양광발전 설치가 증가(R1)되면, 목표와 실적의 차이가 줄어들어 잉여전력 매입 기준가격(B1)과 보조금(B3)도 감소가 되니 태양광발전 설치의 경제성이 악화될 수 있다. 그러나, 태양광발전 설치 가구가 증가하면서 이를 모방해 설치하는 이들이 늘어나고(R3) 설비 가격은 떨어지기 때문에(R2) 태양광발전 전기를 새롭게 설치하려는 이들은 계속 늘어나게 된다.

<그림 3-14>은 위에서 하나하나 살펴본 7가지 순환고리를 한데 모은 통합 인과순환지도이다.



<그림 3-14> 자가소비용 태양광발전 확산에 관한 통합 인과순환지도

다음 <표 3-29>에서는 통합 인과순환지도의 변수들과 그 인과관계를 한 눈에 볼 수 있게 정리했다. 통합 인과순환지도에 따르면, 태양광발전 설치의 경제성에 영향을 미치는 변수는 전기 판매 수익, 전기요금 절감 효과, 보조금과 설비 가격 등이며 이들 변수들이 한꺼번에 영향을 미치면서 나타날 시스템의 다이내믹스를 다음 장에서 시뮬레이션을 통해 살펴볼 것이다.

<표 3-29> 통합 인과순환지도의 변수들과 인과관계

구분	내 용
R1	전기요금 절감 효과에 의한 태양광발전 보급 성과 강화루프
	전기요금 → (+)태양광발전 설치의 전기요금 절감 효과 → (+)태양광발전 설치의 경제성 → (+)설치율 → (+)태양광발전 설치 가구 → (+)한전의 수익률 악화 → (+)전기요금
R2	설비 가격 인하에 의한 태양광발전 보급 성과 강화루프
	태양광발전 설치 가구 → (-)설비 가격 → (-)태양광발전 설치의 경제성 → (+)설치율 → (+)태양광발전 설치 가구
R3	태양광발전 설치 가구 증가에 의한 모방 효과와 보급 성과 강화루프
	태양광발전 설치 가구 → (+)모방계수 → (+)설치율 → (+)태양광발전 설치 가구
B1	잉여전력 매입제도와 태양광발전 보급 성과의 균형루프
	태양광발전 설치 목표와 실적의 차이 → (+)잉여전력 매입 기준가격 → (+)매입 기준가격과 전기요금의 차이 → (+)태양광발전 생산 전기 판매 수익 → (+)태양광발전 설치의 경제성 → (+)설치율 → (+)태양광발전 설치 가구
B2	전기요금 조정과 잉여전력 판매수익의 균형루프
	태양광발전 설치 가구 → (+)한전의 수익률 악화 → (+)전기요금 → (-)매입 기준가격과 전기요금의 차이 → (+)태양광발전 생산 전기 판매 수익 → (+)태양광발전 설치의 경제성 → (+)설치율 → (+)태양광발전 설치 가구
B3	보조금 확대 정책과 태양광발전 보급 성과의 균형루프
	태양광발전 설치 목표 → (+)목표와 실적의 차이 → (+)보조금 → (+)태양광발전설치의 경제성 → (+)설치율 → (+)태양광발전 설치 가구 → (-)목표와 실적의 차이
B4	보조금 확대 정책과 정부 재정 부담의 균형루프
	보조금 → (+)정부의 재정 부담 → (-)보조금

제4장 태양광발전 확산의 동태적 모형과 최적 정책

제1절 태양광발전 확산 저항·유량 모형

1. 모형의 설계

시스템 다이내믹스에서 컴퓨터 시뮬레이션을 하기 위해 만든 모델을 저항·유량 모형이라고 부른다(김도훈 등, 1999). 이 장에서는 3장에서 완성한 인과순환지도를 저항·유량 모형으로 전환한 뒤 모델링을 통해 태양광발전 확산을 위한 바람직한 정책 방향을 찾고자 한다.

모델링은 스텔라(Stella), 벤심(Vensim), 파워심(PowerSim)과 같은 소프트웨어를 사용해 프로그램화되는데(곽상만 등, 2016). 본 연구에서는 벤심 DSS(Decision Support System) 버전을 사용했다. 벤심은 미국의 벤타나 시스템(Ventana System)사에서 개발한 소프트웨어로 모델의 개념화, 문서화, 시뮬레이션, 분석, 민감도 테스트, 최적화 등이 가능하며 DSS는 벤심이 지원하는 모든 기능을 사용할 수 있는 버전이다(김기찬 등, 2007).

시스템 다이내믹스 모델링은 시스템의 시간에 따른 변화를 수학적으로 표현하는 방법이며, 문제의 정의, 정성적 분석(인과순환지도 작성), 정량적 분석(저항·유량 모형), 시뮬레이션의 과정을 거치게 된다(곽상만 등, 2016).

인과순환지도를 저항·유량 모형으로 전환하려면 다음의 몇 가지 작업이 필요하다. 첫째, 인과순환지도의 변수들을 각각 저항과 유량으로 구분해 줘야 하는데, 저항은 축적되는 변수, 유량은 흐르는 변수를 의미한다. 예를 들어 댐은 저항, 댐으로 유입되거나 방출되는 물은 유량으로 보면 된다. 시스템 다이내믹스에서는 저항을 수준 변수(level variable), 유량을 변화율 변수

(rate variable)라고 부르며, 변화율 변수가 지나치게 복잡해지지 않도록 하기 위해 보조 변수(auxiliary variable)를 첨가하게 된다(김동환, 2000).

둘째, 일반적으로 인과순환지도는 추상적인 변수들로 구성되어 있으나, 인과순환지도를 저장·유량 모형으로 전환시키는 과정에서는 구체적인 변수들을 찾아서 넣고 관계성도 밝혀 추가해야 한다(김동환, 2000).

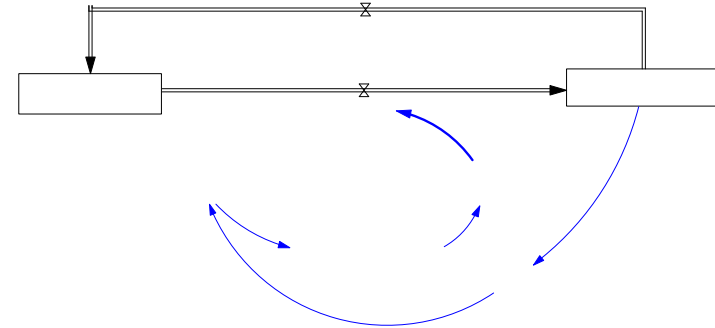
셋째, 모델에 구체적인 변수들과 관계성을 밝혀준 뒤에는 수식을 통해 각 변수들 사이의 관계를 수치적으로 정의해 줘야 한다(김동환, 2000).

3장에서 완성한 인과순환지도의 내용을 시스템 다이내믹스 저장·유량 모형으로 바꾸기 위해 우선 주요 변수들을 압축해 보았다.

자가소비용 태양광발전기의 원활한 확산은 경제성 확보에 달려 있고, 경제성은 전기요금 절감 효과, 전기판매 수익, 보조금, 설비 가격 등에 의해 좌우된다. 이 중에 정부가 정책적 개입을 통해 비교적 쉽게 결정해 시행할 수 있는 정책은 보조금과 잉여전력 매입 가격이다. 정부는 이 두 가지 정책을 통해 재생에너지가 자생적으로 확산능력을 갖추기 전까지 확산을 촉진할 수 있다. 정책을 통해 재생에너지의 경제성 확보에 절대적인 영향을 미치게 되며, 누적 설치 가구 수가 늘어남에 따라 차츰 LCOE가 전기요금보다 낮아져 그리드패리티에 도달하게 되면 재생에너지 확산이 시장의 힘과 원리에 의해 자생적으로 진행될 수 있다.

본 연구에서는 인과순환지도를 바탕으로 주요 변수들을 압축적으로 구성해 자가소비용 태양광발전 확산의 저장·유량 모형을 구축하고 인과관계를 수식으로 정의했다.

전기요금 절감 효과가 태양광발전 설치에 따른 수익을 보장해 줌으로써 태양광발전을 확산하는 전략 모형은 <그림 4-1>과 같다.

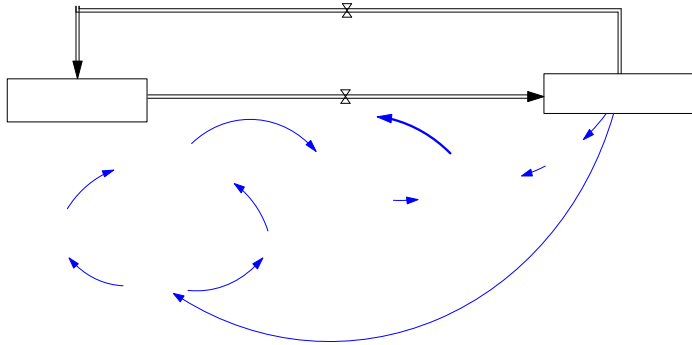


<그림 4-1> 전기요금 절감 효과에 의한 태양광발전 확산 모형

적정한 수준의 전기요금이 책정되어야 태양광발전 확산에 도움이 되겠지만 전기요금은 복잡한 구조 속에서 결정되므로 태양광발전 설치 가구 증가에 따른 재정부담이 전기요금에 영향을 미치는 구조를 표현하였다.

<그림 4-2>는 잉여전력 매입 정책에 의해 태양광발전 설치 가구의 전기 판매 수익이 확보되어 경제성이 제고되는 모형을 그렸고, 전기 판매 수익에 영향을 주는 요인들, 즉 전기요금, 잉여전력매입 기준가격, 매입 기준가격과 전기의 시장요금의 차이, 재정부담 등의 변수도 모형에 포함시켰다.

태양광발전 설치 가구의 증가로 인해 전력회사가 느끼는 재정부담은 전기요금을 인상시키게 되는 압박 요인이 된다. 그러나, 전기요금 단가와 태양광발전의 생산 전력이 거래되는 기준가격의 차이가 크면 클수록 재정부담은 더 커진다. 국민들의 저항, 산업계에 미치는 영향 등 고려해야 할 사항이 많기 때문에 전기요금 인상의 압박이 곧바로 전기요금 인상으로 이어질 수도 없다.

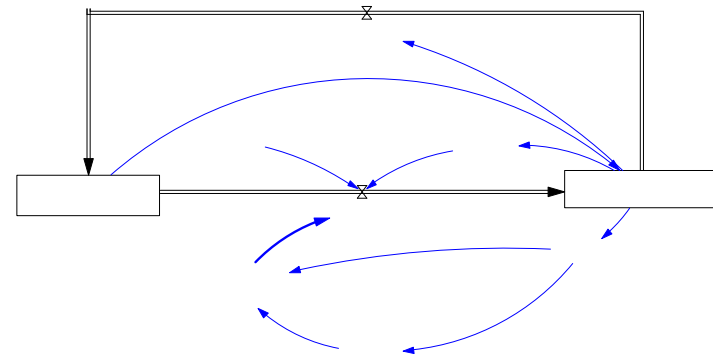


<그림 4-2> 잉여전력 매입정책의 효과에 의한 태양광발전 확산 모형

<그림 4-3>은 태양광발전 설치 가구 증가에 따른 설비 가격 인하와 모방 효과, 보조금 정책과 혁신적인 소비자의 영향으로 태양광발전이 확산되는 모형이다. 태양광발전 설치 가구가 늘어날수록 규모의 경제 효과, 혹은 학습 효과에 의해 태양광발전 패널의 생산 원가도 하락(박민혁, 2007)하게 된다. 실제 기업들 사이의 경쟁이 본격화되면서 대량 생산과 제품 효율 향상도 이뤄져 태양광발전 모듈 가격은 2016년 0.48\$/W에서 2025년에는 절반 이하인 0.22\$/W로 하락할 것이라는 전망도 나오고 있다(BNEF, 2017).

이에 따라 태양광발전의 수익성은 더 좋아지게 될 것이므로 이 점도 모형에 반영했다. 학습 효과 모델은 설치 용량이 증가할수록 단위 생산 비용이 절감되는 관계식을 찾는 방법이다(곽상만·유재국, 2016).

보조금을 늘리면 태양광발전 설비의 가격이 낮아지는 효과가 있어서 수익률을 높이는 데 도움이 된다. 태양광발전의 수익성이 좋아지면 신규 설치 가구가 늘어나게 된다. 태양광발전 설치 가구가 증가하면 그만큼 철거 가구도 증가한다. 태양광발전기에는 수명이 있기 때문이다.



<그림 4-3> 설비 가격 인하와 모방 효과, 보조금 정책과 혁신적인 소비자의 영향에 의한 태양광발전 확산 모형

정부는 재생에너지 보급 사업의 성과 기준으로 설치 가구 수 목표를 설정했지만, 이 모형에서는 철거 가구 수를 제외한 실제 설치 가구 수를 추산해 보기 위해 철거 가구 수를 유량 변수로 포함시켰다.

태양광발전 설비 가격은 과거 실제 데이터와 미래 전망치까지 자료가 충분히 확보되어 있으므로 이를 기준으로 상수의 값을 바꿔가며 수작업으로 실제 자료와 비교해 모수를 구했다.

<표 4-1>에 정리된 국내의 태양광발전 설비 가격 자료를 모형에서 사용할 설비 가격 함수식 산출에 활용했다.

<표 4-1> 국제 태양광발전 설비 단가와 국내 주택 태양광발전(3kW) 설치비 인하율

연도	국제 태양광 설비 단가 (\$/W)	국제 태양광 설비 단가 인하율(%)	국내 주택 태양광(3kW) 가구당 평균 설치비 (보조금+자부담) (원/가구)	국내 주택 태양광 가구당 설치비 인하율(%)
2010	3.24	-	13,931,338	-
2011	2.65	18.2%	13,571,429	5.9%
2012	1.80	32.1%	9,510,309	76.7%
2013	1.58	12.2%	8,752,418	14.5%
2014	1.49	5.7%	8,453,735	6.1%
2015	1.31	12.1%	7,855,433	12.4%
2016	1.14	13.0%	7,261,832	13.3%
2017	1.00	12.3%		
2018	0.93	7.0%		
2019	0.88	5.4%		
2020	0.84	4.5%		
2021	0.81	3.6%		
2022	0.78	3.7%		
2023	0.75	3.8%		
2024	0.72	4.0%		
2025	0.70	2.8%		

자료: 한국수출입은행, 2018; 한국에너지공단, 2017에서 인용 후 연구자 환산.

연구 대상 정책의 정확한 효과를 분석하기 위해 3kW 규모의 주택 태양광 발전에 한정해 시뮬레이션을 하기로 하고, 입력 자료도 3kW 규모의 주택 태양광발전 설치비와 보조금 기준으로 제한했다. 정부의 재생에너지 보급 정책 지원 대상은 태양광발전 외에도 태양열, 풍력, 지열, 바이오 펠릿 등이 있으나 다른 에너지원은 상대적으로 설치하는 가구 수가 미미하기 때문이다. 실제로 한국에너지공단(2018)에 따르면, 2017년 기준 전체 신·재생에너지 설치 가구의 85.4%가 태양광발전 설치 가구였다. 또한 태양광발전기 설치 가구 중에서도 대다수는 3kW급 발전기를 설치하고 있다.

<표 4-2>를 보면, 2015년 국내 자가소비용 태양광발전 보급용량은 약 94MW에 달하는데, 주택용 설비용량인 3kW 이하 규모가 전체의 약 40%를 차지한다.

<표 4-2> 자가소비용 태양광발전 용량별 비중

용량 기준	설치 용량(kW)	비중(%)
1kW 이하	1,297	1.4
1~3kW 이하	35,223	37.6
3~10kW 이하	3,122	3.3
10~50kW 이하	15,406	16.4
50~100kW 이하	12,103	12.9
100~200kW 이하	17,839	19
200~500kW 이하	4,287	4.6
500~1,000kW 이하	1,651	1.8
1,000kW 초과	2,865	3.1
총합계	93,793	100

자료: 한국에너지공단, 2017.

현재 정부의 태양광발전 주택 보급 통계는 단독주택과 공동주택 대상 사업의 성과를 한데 취합하고 있다. 공동주택의 경우 옥상에 공용으로 설치한 경우 공동주택의 모든 가구에 태양광발전이 설치된 것으로 성과를 집계하고 있다. 이에 따라 가구당 지급되는 보조금액도 편차가 크며, 설치 가구 수는 증가해도 가구당 설비 용량은 감소하는 현상 등이 나타나고 있다(국회예산정책처, 2010).

본 연구는 객관성과 정확성 확보를 위해 3kW급 주택 태양광발전기를 기준으로 보급 사업의 성과를 시뮬레이션하기로 했고, 투입 보조금과 그에 따

른 성과, 각 정책의 효과를 비교해 보고자 했다.

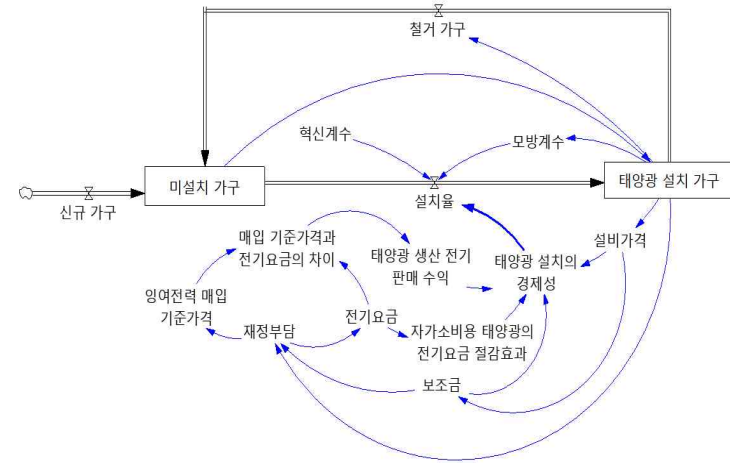
보조금은 정부의 태양광발전 확산 의지에 의해 도입되는데, 설비 가격을 기준으로 산출된다는 점을 감안해 모형을 구축했다. 자가소비용 태양광발전의 보조금액은 한국에너지공단이 매년 설비 가격의 인하율을 반영해 산정하고 있다. 따라서 이 모형에서 보조금은 설비 가격의 영향을 받고, 태양광 설치의 경제성에 영향을 미치는 것으로 관계를 설정하고 함수식을 산출했다. 보조금은 설비 가격에 일정 비율(예, 50%, 75% 등)을 곱하면 된다.

위에서 설명한 4가지 모듈, 전기요금 절감 효과에 따른 확산, 잉여전력 구매정책에 따른 확산, 보조금 정책에 의한 확산, 태양광발전 설치 가구 증가에 따른 설비 가격 인하, 학습 효과와 모방 효과로 인한 확산 모듈을 한데 모아 아래와 같은 종합 모델이 완성되었다. 자가소비용 태양광발전 확산을 촉진할 수 있는 저량·유량 모형은 <그림 4-4>와 같으며 이는 새로운 혁신 제품, 전염병, 정책 이슈 등이 사회적으로 확산되는 과정을 설명하는 바스 확산모형을 일부 변형시켜 완성된 것이다.

시스템 다이내믹스의 확산모형은 주변 논리와 조건들을 함께 고려해 반영할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 저량·유량의 프레임은 의사결정을 모델링하는 데 유용하게 활용될 수 있다.

<그림 4-4>의 저량·유량 모델을 살펴보면, 태양광발전 설치율에 영향을 미치는 변수는 태양광발전 설치의 경제성, 혁신계수와 모방계수의 3가지이다. 태양광발전기 설치의 경제성에 영향을 미치는 요소는 설비 가격, 태양광발전 생산 전기 판매 수익, 전기요금 절감 효과, 보조금 등 4가지이다.

시나리오는 태양광발전 생산 전기 판매 수익과 전기요금 절감 효과에 영향을 미치는 잉여전력 매입 기준가격과 보조금을 변화시키는 것으로 구성했다. 잉여전력 매입 기준가격과 보조금은 정부가 정책 의지로 조정 가능한 요소라는 공통점이 있다.



<그림 4-4> 보조금 및 잉여전력 매입 정책을 통한 태양광발전의 수익성 확보로 태양광발전 설치 가구 증가 모형

2. 모형 파라미터 및 계수 설정

인과순환지도에서 표현된 시스템 구조를 시뮬레이션 가능한 모형으로 구축한 뒤에는 이 모형의 변수에 계량적인 정보를 입력해야 한다. 변수와 상수, 함수식 등을 확보해야 시뮬레이션이 가능하다.

실제 데이터 값을 바탕으로 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 모형을 통해 생성된 행태의 변화가 실제 데이터와 가장 가깝도록 특정 파라미터의 값을 추정하며 계수를 산출했다. 실제 데이터는 <표 4-3>과 같은 국내 주택 태양광발전 보급 성과 및 보조금, 전기요금 등의 자료를 입력했으며, 상수의 값을 바꿔 가며 관련 실제 자료와 비교해 모수를 구했다.

<표 4-3> 모델에 입력한 주택용 재생에너지 설치 실적 관련 자료

연도	신·재생 누적설치 가구 수(호)	신·재생 누적보조금 (백만원)	태양광발전 누적설치 가구 수(호)	태양광발전 누적보조금 (백만원)	주택용 전기요금 평균 단가 (원/kWh)
2010	73,684	370,971	64,899	287,580	119.85
2011	109,286	459,191	93,889	337,573	119.99
2012	161,642	556,690	137,169	392,397	123.69
2013	193,300	621,674	163,044	418,442	127.02
2014	207,605	677,140	173,903	439,637	125.14
2015	223,295	728,069	186,544	458,296	123.69
2016	251,391	772,982	211,634	479,361	121.52
2017	293,672	811,068	250,928	504,626	

자료: 한국에너지공단, 2018; 한국전력공사, 2017.

신제품은 기존 구매자의 구전 효과나 비구매자의 간접 경험 등에 의해 구매 욕구를 느끼게 된 이들이 해당 제품을 구매함으로써 시장에서 확산된다. 이를 모방 효과라고 한다. 신제품의 시장 확산에 따라 구매자 비율이 증가하면, 구전 효과 등의 시장 논리에 따라 신규 구매 규모가 커지는 모방 효과가 발생한다. 모방 효과의 특성은 모방계수에 반영된다(Sterman, 2000).

태양광발전 확산에 관한 혁신계수와 모방계수의 범위를 참고하기 위해 확산이론 관련 기존 선행연구를 살펴보았다. 각 계수들의 값은 <표 4-4>와 같이 차이가 있었다. 연구 대상 지역과 시점이 서로 다른 만큼 각 시공간의 특성이 반영되어 제법 큰 차이가 있는 것으로 분석된다. 선행연구의 이 같은 데이터는 본 모형에서 산출된 계수 값이 적정범위 안에 있는지 타당성을 검토하는 비교 자료로 활용하였다.

<표 4-4> 태양광발전 확산모형 관련 선행연구의 혁신계수와 모방계수 추정치

선행연구 문헌	혁신계수 추정치	모방계수 추정치	대상국가
Sultan, Farley and Lehmann (1990)	0.03	0.38	미국, EU
Evans, M. et al. (2006)	0.00077	0.697	미국 캘리포니아
Evans, M. et al. (2006)	0.0116	0.308	미국
Islam, T. (2014)	0.0914	0.03	캐나다 온타리오
김연지 (2015)	0.000135	0.2	캄보디아

자료: Sultan, Farley and Lehmann, 1990; 김연지, 2015에서 인용 후 추가 작성.

혁신계수의 범위는 <표 4-4>와 같이 0.000135에서 0.0914 사이의 값을 갖는 것으로 나타났고, 모방계수의 최저치는 0.03, 최고치는 0.697의 범위 안에 있는 것으로 나타났다.

기본적인 바스 모형은 혁신계수와 모방계수를 상수로 설정하는데, 이 때문에 동태적인 확산 속도의 변화를 시뮬레이션하는 데 한계가 있다는 지적을 받게 된다(박경배, 2006). 이러한 단점을 극복하기 위해 본 모형에서는 모방계수가 보급 가구 수 증가에 따라 변화하는 것으로 설정하였다. 확산계수와 모방계수를 동태적으로 변화시키는 설정은 Horsky and Simon(1983), 박경배(2006) 등이 이미 시도한 바 있다.

선행 연구 중 Sultan, Farley and Lehmann(1990)은 혁신적이고 실험적인 제품들이 다양하게 출시되었던 1950년대부터 1980년대에 유럽과 미국에서 칼라TV, 에어컨 등 수십 가지 제품의 보급에 대해 확산 모형을 이용해 연구한 15개 논문에서 적용했던 213개 파라미터 세트들의 평균값을 구했다.

다양한 제품에 대해 적용한 213개 세트의 혁신계수와 모방계수가 산출되었는데, 혁신계수 평균값은 0.03, 모방계수 0.38이었다. 이 모형에서는 위 연구에서 산출한 혁신계수 평균값 0.03을 채택했다.

혁신계수는 상수 값으로 정했으나, 태양광발전 설치 가구가 늘어날수록 모방하는 이들도 증가하므로 모방계수는 설치 가구가 일정 수준 이상으로 올라가면 수치가 변하는 것으로 조건을 설정하고 계수를 추정했다. 과거의 태양광발전 보급 데이터와 부합되도록 상수의 값을 바꿔가며 모방계수 수치를 구했는데, 이 모델에서 사용된 모방계수는 0.1~0.3 사이에서 분포한다. 태양광발전 설치 가구 수가 각각 20만, 30만, 50만, 100만으로 늘어날수록 모방계수도 상향 조정된다.

모델에서 사용한 파라미터의 값과 단위는 표와 같다. 그 외 각 변수의 수식은 부록으로 정리했다.

<표 4-5> 자가소비용 태양광발전 확산 모델의 변수 입력 값

변수	값	단위
혁신계수	0.03	fraction
모방계수	0.1~0.3	fraction
가구 초기 값	1,952.4	만 가구
태양광발전 설치 가구 초기 값	25	만 가구

통계청(2017)이 추계한 2017년 기준 가구 수(1,952만 4000호), 2017년 현재 태양광발전기를 설치한 주택 수 250,928호(한국에너지공단, 2018)를 초기 값으로 입력했다.

그리고, 국내 총 가구 수는 고정된 것이 아니라 시간에 따라 증감할 것이

므로 통계청(2017)의 ‘장래 가구 추계: 2015~2045년’ 자료(<표 4-6> 참조)에서 가구 증가율을 추출해 입력했다. 2020년은 시뮬레이션 시작 후 4년째에 해당하며 2025년은 9년, 2030년은 14년, 2035년은 19년이 되는 해이므로 해당 연도의 증가율이 입력되도록 수식을 작성했다.

<표 4-6> 장래 추계 가구 수 및 가구 증가율

연도	2015	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045
가구 (만호)	1,901.3	1,952.4	2,017.4	2,101.4	2,164.1	2,206.7	2,230.6	2,231.8
증가율 (%)	1.65	1.24	1.02	0.69	0.5	0.33	0.14	-0.07

자료 : 통계청, 2017.

철거 가구 수는 태양광발전 패널의 평균 수명을 20년으로 잡고 철거율(1/20=0.05)을 태양광발전기 설치 가구 수에 곱해서 구했다. 최근에는 태양광 패널 수명을 25년으로 상정하는 경우가 많으나, 이 모형에서는 2004년부터 태양광발전기 보급 사업이 시작되었으며 당시 태양광발전 패널 수명은 20년으로 산정했다는 점, 주택 재건축과 이사 등으로 수명을 다하기 전에 철거를 하는 경우 등을 감안하여 20년을 기준으로 철거율을 입력했다.

태양광발전기 설치의 경제성은 태양광 생산 전기 판매 수익과 전기요금 절감 효과, 설비 가격과 보조금의 영향을 종합적으로 반영할 수 있도록 고려해 수식을 산출했다.

<표 4-7>에서는 국내 주택용 3kW 태양광발전기 설치 시 투입된 보조금과 자부담 금액, 총 사업비를 살펴볼 수 있다. 가구당 3kW급 태양광발전기 설치 가격은 보조금과 자부담을 모두 합해 2017년 현재 700만원 정도이며 매년 인하되어 왔다. 설비 가격의 변화는 이와 같이 확보된 실제 데이터를

반영해 수식을 산출했다.

태양광발전 보급 사업에 보조금을 주기 시작한 2004~2016년까지 보조금 지급 비율은 30~70%(평균 값 52%)였다. 이 통계는 보조금 비율이 태양광발전기 설치 가구 증가에 미치는 영향력을 산출하는 자료로도 활용했다.

<표 4-7> 자가소비용 주택 태양광발전기(3kW급) 설치 지원 사업비
(단위: 억원)

연도	설치 가구 수	총 사업비	보조금	총 사업비 대비 보조금 비율(%)	자부담
2004	310	89.8	63.0	70.2%	26.8
2005	907	227.4	157.6	69.3%	69.8
2006	2,452	616.6	431.6	69.9%	185.0
2007	2,883	572.1	417.9	73.0%	154.2
2008	3,264	633.3	420.1	66.3%	213.2
2009	3,950	758.0	495.0	65.3%	263.0
2010	6,583	917.1	503.7	54.9%	413.5
2011	5,264	714.4	395.0	55.3%	319.4
2012	10,864	1,033.2	453.7	43.9%	575.5
2013	6,204	543.0	214.1	39.4%	325.0
2014	7,295	616.7	205.9	33.4%	362.1
2015	6,682	524.9	168.6	32.1%	321.7
2016	8,177	593.8	179.2	30.2%	365.4
합계	64,835	7,840.3	4,105.6	52.4%	3,594.6

자료: 한국에너지공단, 2017; 국회 박재호 의원실, 2017에서 재인용 후 편집.

정부는 2016년까지 태양광발전기 설치 보조금 지급 비율을 점점 낮춰가고 있었고, 2016년 보조금 지급 기준은 25%였다. <표 4-7>에서 2016년 보조금 비율이 30.2%로 나타난 것은 소비자에게 받는 설치비를 깎아주는 보급 업체들이 많아 정부의 보조금 지급 기준보다 실제 소비자들에게 제공된

보조금의 지급 비율이 다소 높아진 것이다. 그러나 2016년 말 전기요금 누진제가 완화되면서 태양광발전기 설치에 따른 전기요금 절감 효과가 급감해 경제성이 떨어지게 되자 정부는 2017년부터 보조금 지급 비율을 50%까지 끌어올렸다.

잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 100%와 150% 수준으로 인상해 자가소비용 태양광발전기 설치의 경제성을 제고하는 경우, 보조금 지급 비율을 현행(50%) 수준에서 25%로 낮추거나 75%로 높이는 정책 시나리오를 추가해 시뮬레이션 했다.

잉여전력 매입 전력량이 늘어 재정 부담의 압박감이 생기면 매입 기준가격을 인하하게 되는 것으로 함수식을 구성했다. 또한, 잉여전력 매입제도를 도입하지 않았을 경우, 매입 기준가격이 주택용 전기요금 대비 50%, 100%, 150%일 경우, 각각 0~1.5의 숫자를 더하는 것으로 수식을 작성했다.

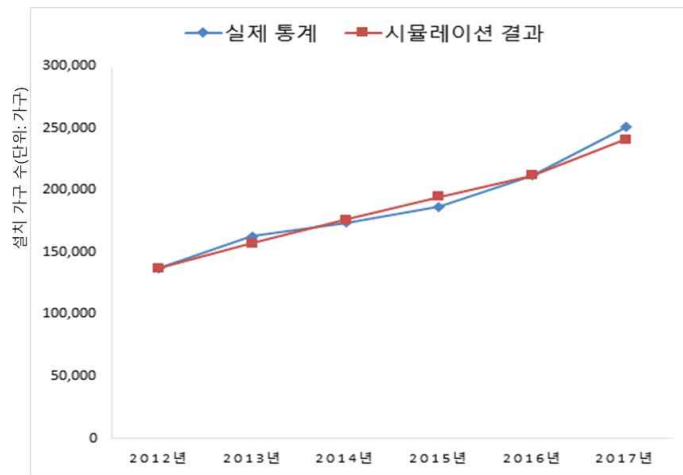
최근 정부는 자가소비용 태양광발전의 잉여전력 매입 시 기준가격을 SMP 값으로 하기로 결정했는데, SMP는 주택용 전기요금 단가의 50% 수준에 해당한다. 잉여전력 매입 기준가격이 주택용 전기요금의 50% 수준인 경우를 기준으로 하고 100% 수준, 150% 수준으로 인상하는 경우를 상정해 해당 정책의 영향을 받아 변화되는 상황을 시뮬레이션해 보기로 했다.

태양광발전기 설치 가구가 증가할수록, 보조금 지급액이 늘어갈수록 정부와 전력회사의 재정적 부담이 커지게 된다. 어느 수준 이상으로 증가하게 되면, 각각 누적된 재정부담 때문에 정책에 큰 변화가 생기게 될 것으로 전망하고 수식을 작성했다. 모형에 반영되는 정책의 큰 변화란 잉여전력 매입 기준가격, 전기요금의 변화를 의미한다.

전기요금은 재정 부담이 증가함에 따라 10~20% 인상하는 것으로 수식을 작성했다. 전기요금에 상수(0.1)를 곱해 단위를 맞췄다.

3. 모형의 타당성 검증

모형의 최적화는 실제 데이터와 시뮬레이션을 통해 생성된 데이터와의 비교를 통해 수행된다. 본 모형의 타당성 검증을 위해 실제 2012~2017년 국내 주택 태양광발전 보급 성과 그래프와 시뮬레이션을 통해 그려진 그래프를 비교했다. 다음 <그림 4-5>와 같이 시뮬레이션을 통해 작성된 그래프는 실제 데이터로 그린 그래프와 유사한 것으로 나타났다.



<그림 4-5> 시뮬레이션 결과와 실제 태양광발전 보급 성과의 정합성 그래프

2017년 12월, 정부는 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 발표하면서 자가소비용 태양광발전을 비롯한 재생에너지 보급 확산 목표를 밝혔다. 2030년까지 재생에너지를 1차 에너지 대비 20%까지 확대하겠다는 목표와 함께 2030년까지 156만 가구에 재생에너지를 보급하겠다는 계획이다.

정부가 태양광발전뿐 아니라 태양열, 지열, 연료전지 등을 포함한 주택용 재생에너지 보급 목표를 설정하고 있는 바, 이번 시뮬레이션을 통해 태양광발전뿐 아니라 신·재생에너지 보급 가구 수 역시 전망했다. 실제 신·재생에너지 보급 주택 수와 모형을 통해 시뮬레이션한 결과를 비교해 보니, 신·재생에너지 보급 주택 수와 태양광발전 보급 주택 수는 증가 기울기가 비슷하며 모형을 통해 시뮬레이션한 결과와 실제 보급 실적도 유사한 패턴을 보였다.

이는 전체 신·재생에너지 보급 주택은 대부분 태양광발전 보급 주택이기 때문인 것으로 분석된다. 실제로 2017년 말 현재 태양광발전 보급 주택 수는 250,928가구로 전체 신·재생에너지 보급 주택(293,672가구)의 85.4%를 차지한다(한국에너지공단, 2018).

이에 따라 이번에 구축된 모형은 태양광발전뿐 아니라 신·재생에너지 주택 보급 사업 전체의 성과를 전망하는데도 활용 가능할 것으로 판단된다.

제2절 태양광발전 확산 시나리오

1. 태양광발전의 확산 요소

자가소비용 태양광발전 보급 확산을 위한 정부의 대표적인 정책인 보조금과 잉여전력 매입 기준가격을 어떻게 조정하는 것이 바람직한지 시물레이션 실험을 하기로 하고 시나리오 작성을 위해 관련 자료를 조사했다.

지난 2005년부터 2016년 11월까지 주택용 전기요금에는 6단계로 구분해 1단계와 6단계의 요금 차이를 11.7배로 설정한 누진제가 적용되어 왔다. 에어컨 사용으로 전력사용량이 급증하는 여름철, 누진제의 영향으로 전기요금이 폭증한 경험이 있는 가구들이 불만의 목소리를 내기 시작했고 급기야 집단 소송사태까지 벌어졌다. 이에 정부는 2016년 12월, 6단계였던 누진제 구간을 3단계로 바꿨다(산업통상자원부, 2016).

누진제 완화로 인해 자가소비용 태양광발전 설치에 따른 전기요금 절감 효과가 급감하게 되면 태양광발전 설치 동기가 감소할 것을 우려해 정부는 보조금을 인상하게 된다. 중앙정부에서 주도하는 주택 태양광발전 보급 사업은 물론 서울시 등 지자체를 중심으로 시작된 미니태양광발전기 보급 사업에서도 마찬가지였다.

산업통상자원부 공고 제2017-19호 ‘2017년 신·재생에너지보급(주택지원)사업 지원공고’에 따르면, 그동안 월 평균 전력사용량이 450kWh 이상인 주택은 태양광발전 분야 지원 대상에서 제외되었으나 2017년부터는 이러한 제한이 사라졌다. 6단계의 전기요금 누진제 덕분에 월 평균 전력사용량이 450kWh 이상인 주택은 보조금을 받지 않고 태양광발전기를 설치해도 전기요금 절감 효과가 커 경제성이 충분하기 때문에 그동안 보조금 지원 대상에서 제외해 왔다.

2014~2015년에는 월 평균 전력사용량이 500kWh, 2013년에는 550kWh 이상인 가구가 보조금 지원 제외 대상이었으며, 해마다 보조금 지원 제외 범위를 늘려가고 있었다. 그러나 2017년부터는 모든 주택이 보조금 지원 대상에 포함되었다.

아래 <표 4-8>에서 주택용 태양광발전기 설치에 대한 정부의 보조금 지원기준 변화를 살펴볼 수 있다. 보조금 단가는 매년 인하되고 있었으나, 2017년부터는 월 평균 전력사용량 기준으로 세분화되었고 일부 구간에서는 단가가 대폭 인상되었다.

주택별 전력사용량을 기준으로 보조금에도 차등을 두는 것은 형평성을 확대한다는 측면에서 긍정적이다. 그동안에는 보조금이 정액이었기 때문에 전력을 많이 소비하는 가구가 상대적으로 더 많은 혜택을 받고 전력을 아껴쓰는 가구가 받는 혜택은 더 적었다.

반면 2016년 12월, 전기요금 누진제 완화 이후 2017년부터는 모든 가구를 보조금 대상으로 포함시키게 됨으로써 태양광발전기 설치에 따른 경제성이 확보되어 보조금 없이도 자발적인 설치가 증가하도록 유도해왔던 정책 방향은 후퇴한 것으로 평가된다.

서울시도 미니태양광발전기 설치 보조금을 설치비의 50%에서 2017년부터 75%로 올렸다. 보조금 증액은 전기요금 누진제 완화로 미니태양광발전기 설치에 따른 전기요금 절감 효과가 축소되어 투자비 회수기간이 길어지는 것을 방지하기 위한 조치였다. 25% 증액된 보조금 예산은 국비를 확보해 충당할 수 있었다.

<표 4-8> 최근 6년간 주택용 태양광발전기 설치 보조금 지원단가 변화

(단위: 천원)

연도	설비 용량 구분		보조금 지원단가	도시지역 지원단가		
2013	단독주택	3kW 이하	1,150/kW	1,380/kW		
2014	단독주택	2.0kW이하	1,110/kW	1,330/kW		
		2.0kW초과~3.0kW이하	940/kW	1,120/kW		
2015	단독주택	2.0kW이하	1,010/kW	1,210/kW		
		2.0kW초과~3.0kW이하	840/kW	1,000/kW		
	공동주택	~ 30kW/동	960/kW	1,150/kW		
2016	단독주택	2.0kW이하	960/kW	960/kW		
		2.0kW초과~3.0kW이하	670/kW	800/kW		
2017	단독주택	2.0kW 이하	월 평균 전력사용량 650kWh 초과 가구	410/kW	490/kW	
			600kWh초과~650kWh이하	550/kW	660/kW	
			550kWh초과~600kWh이하	690/kW	830/kW	
			500kWh초과~550kWh이하	830/kW	1,000/kW	
			450kWh초과~500kWh이하	1,240/kW	1,490/kW	
			450kWh이하	1,380/kW	1,660/kW	
		2.0kW 초과~ 3.0kW 이하	월 평균 전력사용량 650kWh 초과 가구	350/kW	420/kW	
			600kWh초과~650kWh이하	470/kW	560/kW	
			550kWh초과~600kWh이하	580/kW	700/kW	
			500kWh초과~550kWh이하	700/kW	840/kW	
			450kWh초과~500kWh이하	1,050/kW	1,260/kW	
			450kWh이하	1,170/kW	1,400/kW	
공동주택	~ 30kW/동	1,320/kW	1,580/kW			
2018	단독주택	2.0kW 이하	550kWh초과	520/kW	620/kW	
			500kWh초과~550kWh이하	770/kW	930/kW	
			450kWh초과~500kWh이하	1,030/kW	1,240/kW	
			400kWh초과~450kWh이하	1,160/kW	1,390/kW	
		2.0kW 초과~ 3.0kW 이하	400kWh이하	1,290/kW	1,550/kW	
			550kWh초과	420/kW	510/kW	
			500kWh초과~550kWh이하	630/kW	760/kW	
			450kWh초과~500kWh이하	840/kW	1,010/kW	
			400kWh초과~450kWh이하	950/kW	1,140/kW	
			400kWh이하	1,050/kW	1,270/kW	
			공동주택	~ 30kW/동	1,240/kW	1,490/kW

자료: 한국에너지공단, 2013-2018.

<표 4-9>는 2016~2017년 전기요금 누진제도 개편 전후 미니태양광발전기 설치에 따른 요금 절감액을 비교한 것이다. 한달에 304kWh(2015년 기준 서울시 거주 가구의 월 평균 전력소비량)를 사용하는 가구가 260W 용량의 제품을 설치했을 경우 요금 절감 효과를 추정 계산해 보면, 2016년에는 월 8,320원이 절감되었는데 2017년에는 절감액이 5,350원으로 감소하게 된다.

260W(130W 2장) 용량의 제품을 설치할 때 받을 수 있는 보조금은 49만원이다. 누진제 완화로 전기요금 절감 효과는 감소했지만, 보조금이 기존 50%에서 2017년에 최대 75%(국비 25% 포함)로 확대되었기 때문에 자부담은 오히려 줄었다. 예를 들어, 월 평균 304kWh의 전력을 소비하는 가구에서 260W 용량의 배란다형 미니태양광발전기를 설치할 경우, 보조금이 2016년 기준 36만원에서 2017년에는 49만원으로 확대되었다. 이에 따라 자부담금을 전기요금 절감액을 통해 회수할 수 있는 기간은 기존 3.1년에서 2.8년으로 단축되었다.

<표 4-9> 2016~2017년 전기요금 누진제도 개편 전후 미니태양광발전기 설치에 따른 전기요금 절감액 비교

설치조건	요금 제도	설치 전후 전기요금	요금절감 효과	서울시 보조금	자치구 보조금	자부담	회수 기간
월 평균 304kWh를 소비하는 가정이 260W 68만원 제품을 설치할 경우	2016년 6단계	48,220원 → 39,900원	8,320원	2016년 36만원	5~10만원	19~24만원	3.1년
	2017년 3단계	45,250원 → 39,900원	5,350원	2017년 49만원	X	29만원	
					5~10만원	9~14만원	1년
					X	19만원	

자료: 서울시 녹색에너지과, 2017.

2016년 12월부터 소급 적용된 전기요금으로 가구당 연평균 11.6%, 전력 사용이 높은 여름과 겨울은 14.9%의 전기요금 인하 효과가 있을 것으로 예상되었다(산업통상자원부, 2016). 위에서 살펴보듯 전기요금의 인하는 자가 소비용 태양광발전기 설치 동기를 약화시킬 것으로 우려되어 이에 대한 대책으로 정부는 <표 4-10>과 같이 보조금 지급 대상과 비율을 확대해 초기 투자비 회수기간을 단축시키고자 했다.

<표 4-10> 전력사용량별 주택 태양광발전기 초기 투자비 회수기간 변화

(단위: 년)

월 사용량 (kWh)	350	400	450	500	550	600	650
누진제 개편 전	9.2	7.2	7.9	6.3	5.0	4.2	3.7
누진제 개편 후	8.8	7.0	8.4	7.4	7.2	6.8	6.5
누진제 개편+보조금 확대 후	6.1	4.9	4.7	5.2	5.4	5.5	5.5
보조율(%)	25→50		0→45	0→30	0→25	0→20	0→15

자료 : 한국에너지공단, 2016a.

정부는 2017년 12월 발표한 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 통해 자가용 태양광발전 보급 확대를 위해 잉여전력에 대한 현금정산을 실시하겠다고 밝혔다(산업통상자원부, 2017a).

그동안 자가용 태양광발전기에서 생산한 전력을 다 사용하지 못하고 남은 경우, 이월했다가 다음 달 전기요금 차감에 활용했다. 그러나 전력사용량이 적은 주택에서는 이월해 누적된 전력량이 해가 바뀌어도 계속 남아 있는 경우가 많다. 2017년 8월 기준으로 그 누적 전력량은 총 136,389MWh(에너지데이터리, 2018)에 이르며 이를 현금화하면 약 149억 원에 이른다는 언론 보도도

있었다(에너지신문, 2017).

이에 정부는 자가용 태양광발전 시스템 보급 확대를 위해 상계 거래 제도를 개선해 잉여전력을 매입해 주기로 결정한 것이다. 해외에도 자가용 소규모 태양광발전기로 생산해 사용하고 남은 잉여전력을 매입해주는 국가들이 여럿 있다. 이들 국가들은 잉여전력을 소매가격으로 구매해 주고 있으며, 소매가격보다 훨씬 높은 고정 가격으로 구매해주는 FIT를 적용하는 국가도 있다. 특히, 일본과 호주는 소매가격보다 높은 고정 가격으로 잉여전력을 매입해주는 제도를 실시한 후 소규모 태양광발전 설치 가구가 급격히 증가했다.

일본은 2009년 11월, 잉여전력을 주택용 전기요금보다 2배 가까이 높은 가격(48엔/kWh)으로 전력회사가 10년간 매입하는 제도를 시행했고, 이는 태양광발전 확대에 기폭제가 되었다(코트라, 2010a).

일본의 태양광발전 잉여전력 매입가격과 주택용 전기요금을 비교한 <표 4-11>에서 보이듯, 2009년 당시 일본의 주택용 전기요금은 239\$/MWh였고 이를 엔화로 환산하면 약 22엔이므로 당시 잉여전력 매입 기준가격(48엔)은 2배 이상 높은 수준이었음을 알 수 있다.

<표 4-11> 일본의 주택용 태양광발전 매입가격과 전기요금 비교

구분 (단위)	연도	매입 기준가격 (엔/kWh) (A)	전기요금 ¹⁾ (엔/kWh) (B)	전기요금 대비 매입 가격 비율(%)
잉여전력 매입제도	2009	48	22.01	218%
	2010	48	19.85	242%
	2011	42	21.34	197%
FIT 제도 (2012.7~)	2012	42	23.19	181%
	2013	38	24.82	153%
	2014	37	26.81	142%
	2015	33	27.24	121%
	2016	31	24.10	129%
	2017	28	-	-
	2018	26	-	-
자료 출처 및 설명		일본 경제산업성	일본 경제산업성. 2009~2011년 값은 IEA 자료에서 환산	(A/B)×100

주 1) 2009~2011년 자료는 IEA(2018)의 전기요금 자료(\$/MWh)를 엔화로 환산.
환율 기준은 기획재정부 통화별 환율 조사통계, e-나라지표 홈페이지 참고.
www.index.go.kr/potal/stts/idxMain/selectPoSttsIdxSearch.do?id_cd=1068

자료: IEA, 2018; METI, 2016; 원동규 등, 2017; 에너지경제연구원, 2018에서 인용
후 환산 및 재구성.

일본은 2009년에 잉여전력 매입제도를 시행했을 뿐 아니라 중단했던 보조금 지급도 재개했다. <표 4-12>에 나타난 전년 동기 대비 330% 증가 실적은 잉여전력 매입제도와 보조금 도입에 따른 영향이라고 할 수 있다.

일본에서는 태양광발전기에서 생산한 전기를 자가소비했을 경우, 자가소비한 전력에 대해 녹색전력증서를 발급해 주고 증서의 거래를 통해 수익을 올릴 수 있도록 해주고 있다. 녹색전력증서의 거래는 2010년부터 시작되었

다. 녹색전력증서는 재생에너지로 생산해 자가소비한 전력의 환경적 가치를 인정해 주고 그 가치를 거래함으로써 추가적인 이익이 생기도록 해 재생에너지 설비 보급에 도움을 주고자 기획된 것이다(김창섭 등, 2018).

<표 4-12> 일본 잉여전력 매입제도 시행에 따라 증가된 태양광발전기 출하량

기간	2008년 10~12월	2009년 10~12월	비고
출하량	5만877kW	16만7895kW	전년 동기 대비 330% 증가

자료: 일본 일간공업신문, 2000, 코트라, 2010a에서 재인용.

기업들이 녹색전력증서를 구입하면 재생가능 에너지로 발전한 전기를 사용한 것으로 인정해 준다. 이 때문에 사회공헌과 기후변화 대응 실천 등을 위해 자발적으로 녹색전력증서를 활용해 사용하는 전력을 100% 재생가능 에너지로 전환하는 기업들이 늘고 있다(코트라, 2010a). 녹색전력증서를 통해 유니레버 재팬은 사용전력의 100%를 재생에너지로 전환하는 것이 가능했다(김창섭 등, 2018).

호주에서도 전기요금 단가보다 2배 이상 비싼 가격으로 주택용 태양광발전 잉여전력을 구매해주는 정책을 각 주마다 2008년 혹은 2009년에 도입했다. 일부 주 정부에서는 쓰고 남은 전력만 구매하는 것이 아니라 생산된 전력 전체를 사용 여부와 상관없이 구매해 주는 지원책을 시행하기도 했다(원동규 등, 2017).

뿐만 아니라 2009년부터 호주는 소규모 태양광발전 설비에 대해 REC를 발급해 줬는데, 설비 용량 1.5kW까지 5배의 가격으로 발급했다(에너지경제연구원, 2014).

이러한 적극적인 지원책 덕분에 주택용 태양광발전의 폭발적인 확산이 이뤄졌다. 현재 호주는 주택용 태양광발전기 설치율에서 세계 1위 수준이다.

아래 통계 자료를 통해 호주의 4개 주에서 주택용 태양광발전 설치 가구 수가 얼마나 급격하게 증가했는지 살펴볼 수 있다. 4개 주는 호주의 6개 주 가운데 태양광발전 설치율이 높은 4개 주를 선정한 것이다.

<표 4-13> 호주 잉여전력 매입 기준가격 변동과 주택용 태양광발전기 설치 추이

연도	퀸즐랜드주		뉴사우스웨일즈주		남호주주		빅토리아주	
	잉여전력매입 기준가 (cent/kWh)	설치 가구 수 (호)	잉여전력매입 기준가 (cent/kWh)	설치 가구 수 (호)	잉여전력매입 기준가 (cent/kWh)	설치 가구 수 (호)	잉여전력매입 기준가 (cent/kWh)	설치 가구 수 (호)
2001	-	33	-	12	-	41	-	15
2002	-	71	-	23	-	107	-	19
2003	-	150	-	134	-	246	-	98
2004	-	328	-	235	-	300	-	152
2005	-	339	-	291	-	380	-	254
2006	-	195	-	216	-	413	-	200
2007	-	475	-	779	-	1,037	-	828
2008	44	3087	-	2,890	44	3,456	-	2,036
2009	44	18,283	60	14,008	44	8,569	60	8,429
2010	44	48,697	60	69,988	44	16,705	60	35,676
2011	44	95,303	20	80,272	16	63,553	60	60,214
2012	44	130,252	20	53,961	16	41,851	25	66,204
2013	8	71,197	20	33,998	16	29,187	25	33,332
2014	8	57,748	20	37,210	16	15,166	25	40,061
2015	8	39,507	20	33,477	16	12,081	25	31,344
2016	8	34,422	20	29,495	16	12,604	25	26,720
2017	8	48,836	20	42,172	16	15,810	25	30,771

자료: BAEconomic, 2017; Clean energy regulator, 2018.

자가용 태양광발전에 대한 녹색전력증서 발행, REC 발급은 국내에서는 아직 도입되지 않은 정책들이다.

우리나라도 자가용 태양광발전 확산을 위해 뒤늦게나마 잉여전력을 현금 매입해 주기로 했으나, 일본이나 호주와 같은 폭발적인 증가는 없을 것으로 예상된다. 왜냐하면 우리 정부는 자가용 태양광발전 잉여전력의 매입 기준을 계통한계가격(System Marginal Price, 이하 SMP)으로 정했기 때문이다.

SMP는 전력시장에서 결정되는 전력의 가격으로 흔히 ‘전기의 도매가’라고도 표현된다. 전력거래소에서 운영하는 전력시장도 일반적인 시장과 마찬가지로 수요와 공급에 의해 가격이 결정되지만, 일반 시장과는 차이가 있다. 전력거래소는 다음날의 전력수요를 시간대별로 예측한 뒤 발전 사업자들에게 전력 공급을 얼마나 할 수 있을지 미리 그 용량을 입찰 받는다. 그 후 시간대마다 원자력, 석탄 등 변동비용(발전량에 비례해 소요되는 비용, 주로 연료비), 즉 전력 생산 비용이 저렴한 발전기(기저발전)부터 중유, LNG 등 전력 생산 비용이 비싼 발전기를 차례로 투입한다. 전력수요와 공급이 일치하는 시점에 가장 비싼 발전기의 변동비용이 해당 시간대의 SMP로 결정된다. 이 SMP를 기준으로 각 발전기들의 전력 판매 수익이 결정된다(전력거래소, 2018).

산업통상자원부 고시 ‘소규모 신·재생에너지발전전력 등의 거래에 관한 지침’에 따르면, 전기판매사업자가 전기공급자에게 지급할 요금산정 및 발전차액지원금 산정에 월가중평균 SMP를 사용하게 되어 있다. 앞으로 시행될 자가용 태양광발전의 잉여전력에 대한 현금 보상도 역시 월가중평균 SMP를 사용하도록 정해졌다(산업통상자원부 고시, 2018).

SMP는 시간별로 산정되므로 하루에 24개의 값이 있는데 단순평균 SMP는 SMP의 대표 값으로 사용하기에 부적절하므로 전력수요에 대한 가중 평균값이 사용된다. 전력통계정보시스템(<http://epsis.kpx.or.kr>)에서 전력수요에 대해

가중한 가중평균 SMP 값을 제공하고 있다(전력거래소, 2018).

가중평균 SMP의 가중값을 산출하려면 각 시간의 SMP와 각 시간의 수요를 곱한 값을 더하고 총 전력수요로 나누면 된다. ‘SMP1’은 01시의 SMP, ‘SMP24’는 24시의 SMP, ‘수요1’은 01시의 전력수요, ‘수요24’는 24시의 전력수요를 의미한다. 일가중평균 SMP 산출식은 식 (4-1)과 같다.

$$\text{일가중평균 SMP} = \frac{(\text{SMP1} \times \text{수요1} + \text{SMP2} \times \text{수요2} \dots + \text{SMP24} \times \text{수요24})}{(\text{수요1} + \text{수요2} + \dots + \text{수요23} + \text{수요24})} \quad (4-1)$$

월가중평균 SMP는 시간 수를 월간 시간 수로, 연가중평균 SMP는 연간 시간 수(24시간×365일=8,760시간)으로 하여 계산할 수 있다(전력거래소, 2018).

SMP 가격은 소매 가격보다 저렴하다. 자가용 재생가능에너지 발전 시스템을 설치해 전기요금 절감 효과를 볼 수 있는 주택의 경우, 주택용 전기요금에 누진제가 적용되고 있기 때문에 태양광발전기로 생산한 전기를 사용하면서 한달에 400kWh 이상을 사용하는 가구라면 1kWh당 최고 215.6(고압)~280.6(저압)원을 절약할 수 있다. 매달 201~400kWh의 전력을 사용하는 가구는 1kWh당 147.3~187.9원을 아낄 수 있다.

태양광발전 잉여전력 매입 기준가격으로 결정된 월가중평균 SMP는 70~100원대로서 2017년 평균은 81.5원이었다. 태양광발전기를 설치한 가구들은 자가소비했을 경우 전기요금 절감 효과가 판매 수익보다 더 크기 때문에 굳이 판매할 유인이 생기지 않을 가능성이 많다. 다만, 이월 누적된 전력이 많아 전기요금 차감용으로는 다 소진하지 못하는 전력을 현금 정산해 당장 수익을 올릴 수 있으므로 이 제도를 활용하는 가구들도 적지는 않을 것으로 예상된다.

<표 4-14> 주택용 전력 요금과 2018년 월가중평균 SMP 단가 비교

구분	주택용 전기요금(저압)		주택용 전기요금(고압)		월가중평균SMP단가	
	기본요금	전력량요금	기본요금	전력량요금	적용년월	SMP
~ 100kWh 이하	910원	93.3원	730원	78.3원	2018년 1월	92.23원
101 ~ 200kWh						
201 ~ 300kWh	1600원	187.9원	1,260원	147.3원	2018년 2월	90.75원
301 ~ 400kWh						
401 ~ 500kWh	7300원	280.6원	6,060원	215.6원	2018년 3월	101.47원
501kWh 초과						

자료: 한국전력 홈페이지, 2018.

2. 모형의 기본 행태(Base Run) 실험

시스템 다이내믹스 모델링은 시스템의 다이내믹한 변화 행태를 시뮬레이션해서 보여줄 수 있을 뿐만 아니라, 정책적 변화의 효과가 시스템에 어떤 영향을 가져올 것인가를 추정할 수 있게 해준다(채여라·문태훈·김동환·이동성·정수영·이경택, 2016).

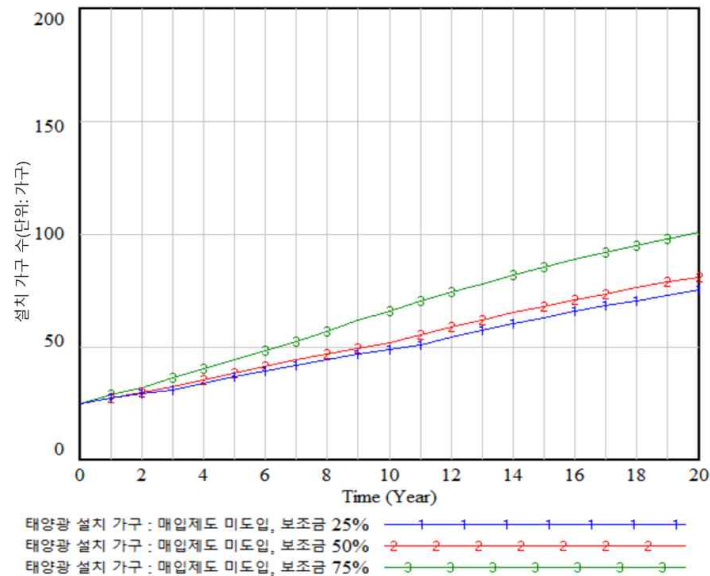
본 연구에서 핵심적인 정책 실험은 보조금 예산을 감소시키거나 증가시켜 보는 것이다. 태양광발전 확산 정책 가운데 가장 기초적인 방식이 보조금 예산을 증가시키는 것일 수밖에 없기 때문이다. 보조금 정책 외에 정부가 새롭게 도입하기로 한 잉여전력 매입제도의 정책적 효과가 어떤 성과를 가져올 것인가를 추정해 보는 것 또한 본 연구의 핵심적인 실험이다. 잉여전력 매입 기준가격에 따라 제도의 효과도 큰 폭으로 변화할 수밖에 없다.

이에 우선 잉여전력 매입제도가 도입되지 않은 상황에서 보조금을 25%씩 변화시켜 보는 것으로 모형의 기본 행태(Base Run) 실험을 해보았다. 또한,

보조금은 현행과 같은 수준으로 고정시키고 잉여전력 매입 기준가격을 25%씩 증가시켜 보면서 그 효과를 살펴보는 기본 행태 시물레이션을 진행했다.

기본 행태 실험은 어떤 정책을 적용하지 않은 상태에서 변수들의 규모가 어느 정도인지를 미리 확인해 볼 수 있으며, 그 실험 결과를 바탕으로 시나리오 구성 시 변수를 통제하는 의사결정에도 도움을 받을 수 있다(김병석, 2013; 최우람, 2010).

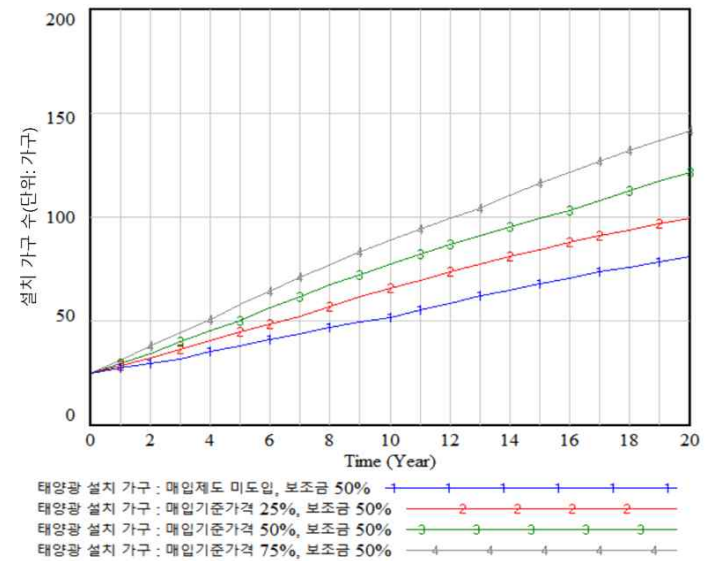
잉여전력 매입제도 도입 전, 보조금은 현행과 같은 50% 수준으로 지급하던 경우를 기준으로 삼고, 보조금 지급 비율을 25%씩 감소 또는 증가시켜 보았다. 20년간(2018~2037년)의 시물레이션 결과는 <그림 4-6>과 같다.



<그림 4-6> 보조금 지급 비율 변화에 따른 태양광발전 보급 가구 수 변화

<그림 4-6>에서 확인되는 바는 보조금을 현 수준보다 25% 감소시켜도 태양광발전 보급 가구 수에 미치는 영향은 그다지 크지 않을 것으로 예측된다는 점이다. 보조금 지급 비율을 75%로 늘릴 경우, 태양광발전 보급 가구 수가 제법 많이 증가하긴 하지만 다른 정책적 지원이 없다면 20년 뒤인 2037년에도 100만 가구 정도에 그치는 것으로 나타났다. 이는 2030년까지 156만 가구라는 정부의 목표에 비하면 상당히 미흡한 실적이다.

보조금 지급 비율은 현행과 같이 50%로 고정한 뒤, 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 25~75% 수준으로 25%씩 올리며 시물레이션한 결과는 <그림 4-7>과 같다.



<그림 4-7> 매입 기준가격 변화에 따른 태양광발전 보급 가구 수 변화

<그림 4-7>에서 보이듯, 태양광발전기 보급 가구 수는 매입 기준가격이 인상됨에 따라 정량적으로 증가한다. 그러나, 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 75%까지 끌어올린다고 해도 20년 뒤(2037년) 보급 가구 수는 150만 가구에 훨씬 미치지 못한다. 잉여전력 매입 기준가격을 75% 이상으로 높이지 않는다면 2030년까지 156만 가구라는 정부의 보급 목표를 달성하기 어려울 것으로 예측된다.

잉여전력에 대한 현금 매입이 태양광발전 확산에 분명한 효과가 있을 것으로 예상되긴 하지만, 매입 가격이 SMP 기준이면 주택용 전기요금 단가보다 훨씬 저렴한 수준이어서 정책 도입의 효과가 기대만큼 크지 않은 것으로 분석할 수 있다.

<그림 4-6>과 <그림 4-7>을 함께 보면, 잉여전력 매입제도와 보조금 제도, 두 가지 정책의 효과를 비교해 볼 수 있다. 보조금을 변화시키는 것보다는 잉여전력 매입 기준을 변화시키는 것이 그 효과가 더 확실하며 정량적으로 예측 가능하다는 것이 드러난다. 보조금은 설치 시에만 1회성으로 혜택을 받을 수 있는 반면, 잉여전력 판매를 통해서 지속적으로 수익을 얻을 수 있다는 점에서 잉여전력 매입제가 태양광 확산 성과에 미치는 영향이 더 큰 것으로 분석된다.

또한, 기본 행태 실험을 통해 보조금 정책과 잉여전력 매입제, 각각의 정책만으로는 2030년까지 156만 가구라는 정부의 보급 목표를 달성하기 힘들다는 점을 확인할 수 있었고 이는 다양한 정책을 조합할 필요가 있음을 시사한다.

보급 목표 달성을 위해서는 보조금과 잉여전력 매입 기준가격도 기본 행태 실험에서보다 더 큰 폭으로 인상해야 한다는 점도 파악할 수 있다. 현재 태양광발전 설치 시 보조금 지급 비율은 50%, 잉여전력 매입 기준가격은 주택용 전기요금의 50% 수준으로 정해져 있고, 이를 각각 75% 수준까지 올

려 기본 행태 시뮬레이션을 했으나, 정부의 보급 목표에 훨씬 미치지 못하는 결과가 나왔기 때문이다.

따라서 실제 시뮬레이션에서는 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 100~150%까지 끌어올려 그 효과를 살펴보고자 한다. 태양광발전기 설치 보조금을 100%까지 끌어올리는 것은 실현 불가능한 일이므로 보조금은 25~75% 사이에서 변화시켜 보는 것으로 했다.

3. 시나리오 구성

이러한 문제 의식을 가지고 본격적인 시뮬레이션을 위한 시나리오를 구축하였다. 잉여전력 매입 기준 금액과 보조금을 조정하는 다양한 정책 조합 시나리오를 만들어 각각 20년 동안(2018~2037년) 주택 태양광발전 설치 가구가 얼마나 증가하는지 추이를 살펴보았다. 보조금과 잉여전력 매입 기준 금액을 동시에 내리는 정책은 시나리오에서 제외했다. 태양광발전 확산의 정책 의지가 강력한 정부가 보조금과 잉여전력 매입 기준 금액을 동시에 내리는 정책을 시행할 가능성이 없으며, 그 결과도 시뮬레이션을 통하지 않고도 예측 가능하기 때문이다.

보조금 조건의 변화는 보조금(Subsidy)의 약자 S를 써서 단계에 따라 숫자(1~3)를 붙였고, 잉여전력 매입 기준 금액의 변화는 가격(Price)의 약자 P에 숫자(1~3)를 붙여 단계를 표현했다. 직관적으로 인식하는 데 도움을 주고자 낮은 수준에는 숫자도 낮은 수가 붙도록 했다. 예컨대, 보조금 지급 비율 25%는 S1, 50%는 S2, 75%는 S3로 표기했다. 잉여전력 매입 기준 금액은 해당 제도를 도입하지 않았을 경우를 기준 시나리오로 삼기로 했고, 제도 도입 전 상황을 P0이라고 표현했다. 잉여전력 매입 기준 금액이 주택용 전기요금 단가의 50% 수준인 경우 P1, 100% 수준인 경우 P2, 150% 수준인 경우 P3라고 표기했다.

이러한 과정을 통해 아래 <표 4-15>와 같이 기준 시나리오를 포함, 9가지 정책 시나리오를 설정하였다. 기준 시나리오는 잉여전력 매입제도가 도입되지 않고, 보조금은 현재와 같이 50% 수준에서 제공되는 경우이다. 매입 기준가격을 주택용 전기요금 단가의 50%, 100%, 150%로 조정하고, 보조금은 25%, 50%, 75%로 조정하는 것으로 시나리오를 구성했다.

보조금 25%는 주택용 전기요금 누진제가 완화되기 전인 2016년까지의 보조금 지급 비율이었다. 누진제가 완화되면서 정부가 보조금을 50%까지 끌어올렸던 것이다. 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 100%와 150% 수준으로 인상해 자가소비용 태양광발전 설치의 경제성을 제고하는 경우, 보조금 지급 비율은 25%로 낮추는 정책 시나리오를 추가해 시뮬레이션해 보기로 했다.

<표 4-15> 잉여전력 매입 기준가격과 보조금 조정 결합 정책 시나리오

시나리오명	매입 기준가격	보조금 지급 비율
기준 P0(S2)	매입제도 미도입	50%
P1(S2)	주택용 전기요금의 50%	50%
P1(S3)		75%
P2(S1)	주택용 전기요금의 100%	25%
P2(S2)		50%
P2(S3)		75%
P3(S1)	주택용 전기요금의 150%	25%
P3(S2)		50%
P3(S3)		75%

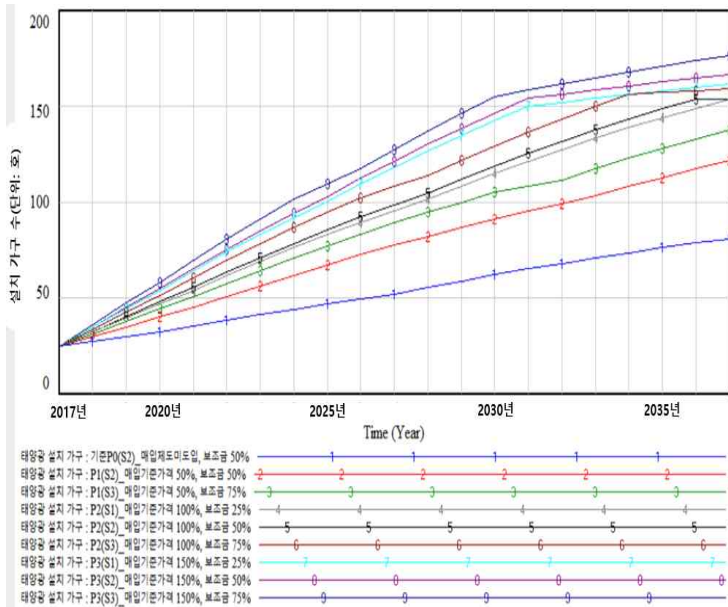
보조금 예산은 한정되어 있기 때문에 같은 예산을 투입할 경우, 보조금 지급 비율이 높을수록 태양광발전 보급 가구 수는 감소할 수밖에 없다. 현실에서처럼 보조금 총액을 묶어놓고 보조금 지급 비율을 조정하는 시뮬레이션을 한다면 당연히 비율이 높을수록 보급 가구 수가 감소하는 결과가 나올 것이다.

따라서 이번 시뮬레이션에서는 보조금 총액을 제한하지 않았다. 다양한 정책 시나리오를 실험해 봄으로써 최적의 정책을 찾기 위해서다. 시뮬레이션 결과, 시나리오별로 소요되는 보조금 예산에는 큰 차이가 나타날 것으로 전망된다. 다양한 시나리오별로 각기 다른 투입 예산에 따른 보급 성과를 비교함으로써 최적의 정책을 찾아보고자 한다.

제3절 태양광발전 확산을 위한 동태적 모델링

2절에서 설정한 9가지 시나리오가 향후 20년 동안(2018~2037년) 태양광발전 설치 누적 가구 수를 얼마나 증가시킬 수 있을지 시뮬레이션한 결과를 그래프로 표현하면 아래 <그림 4-8>과 같다.

정부의 ‘재생에너지 3020 이행계획’ 상의 자가용 설비 보급 목표(2030년까지 156만 가구)를 무난히 달성할 것으로 기대되는 정책 조합은 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 150%까지 끌어올리고 보조금도 75%까지 주는 P3(S3) 시나리오가 유일한 것으로 나타났다.



<그림 4-8> 2018~2037년 태양광발전 보급 가구 수 예측 시뮬레이션 결과

이번 시뮬레이션을 통해서 새롭게 도입될 예정인 자가소비용 태양광발전 잉여전력 매입제도의 영향력을 예측해 볼 수 있었다. 보조금은 현행과 같이 50% 수준으로 고정하고 잉여전력 매입제도가 도입되지 않는 경우(기준 P0(S2) 시나리오)와 잉여전력 매입제도가 시행되었을 경우(P1(S2), P2(S2), P3(S2))를 비교하면, 잉여전력 매입제도의 효과로 20년 후 보급 가구 실적이 매입 기준가격의 수준에 따라 1.5~2.1배 증가하는 것으로 나타났다.

하지만, 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 50% 수준으로 정했을 경우(P1(S2), P1(S3) 시나리오)에는 지금으로부터 20년 후인 2037년이 되어도 보급 실적이 정부가 제시한 목표 가구 수인 156만 가구(2030년 기준)에 미치지 못한다는 시뮬레이션 결과가 나왔다. 잉여전력 매입 기준가격이 주택용 전기요금의 50% 수준이면 보조금 지급 비율을 75%로 올려도 보급 목표를 달성하지 못한다는 것이다. 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 100%로 정한 시나리오 중에서 보조금 지급 기준을 25%로 설정한 P2(S1) 시나리오도 보급 실적이 목표치에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

<표 4-16>에서는 시뮬레이션 기간 중 156만 가구 보급 목표를 달성하지 못한 4개의 시나리오는 제외하고, 그 외 5개 시나리오만 남겨 목표 달성 시기와 그 기간 동안 투입된 보조금 총액을 정리했다.

시뮬레이션 결과, 보조금 지급 수준이 50%인 경우 잉여전력 매입 기준가격은 주택용 전기요금과 비슷한 수준으로 올려야 보급 가구 수 목표 달성이 가능할 것으로 예상된다. 잉여전력 매입 기준가격이 주택용 전기요금의 100%인 경우는 보조금이 50%, 75%인 P2(S2), P2(S3) 시나리오, 잉여전력 매입 기준가격이 주택용 전기요금의 150%인 경우는 보조금 비율에 상관없이 P3(S1), P3(S2), P3(S3) 시나리오 모두 그 시기는 2030~2036년까지 조금씩 차이가 있긴 하지만 20년 시뮬레이션 기간 내에 156만 가구 보급 목표를 달성할 것으로 기대된다.

<표 4-16> 보급 목표 156만 가구 달성 시기와 투입 보조금 총액 비교

시나리오명	매입 기준가격	보조금 비율	소요기간 ¹⁾ (목표달성 연도)	투입 보조금 총액 ²⁾ (억원)	목표달성 시나리오의 투입 보조금 순위 ³⁾
P2(S2)	주택용 전기요금의 100%	50%	19년(2036년)	73,997	3
P2(S3)		75%	17년(2034년)	107,913	5
P3(S1)	주택용 전기요금의 150%	25%	17년(2034년)	36,859	1
P3(S2)		50%	14년(2031년)	65,984	2
P3(S3)		75%	13년(2030년)	97,348	4

- 주 1) 시물레이션 기간(2018~2037년) 내 정부 보급 목표(156만 가구)를 달성할 수 없는 시나리오는 삭제했음.
 2) 태양광발전을 156만 가구에 보급하기까지 투입된 보조금 총액
 3) 투입된 보조금 액수가 가장 적은 시나리오를 1순위로 평가했음.

<표 4-16>에서 P2(S3)와 P3(S1) 시나리오는 둘 다 2034년 같은 해에 156만 가구 보급 목표를 달성할 것으로 전망되는데, 투입된 보조금 총액이 각각 10조 7,913억 원과 3조 6,859억 원으로 3배 가까이 차이 나는 것을 확인할 수 있다. 일정한 성과를 내는 데 투입되는 예산의 규모가 이렇게 큰 차이가 있다는 점은 앞으로 어떤 정책을 채택해야 비용 면에서 효과적일지 시사하는 바가 크다. 즉, 보조금은 줄이는 대신 잉여전력 매입 기준가격을 올릴 때 비용 대비 효과가 증가한다는 것이다.

시나리오별로 156만 가구에 태양광발전을 보급하면서 투입한 보조금 규모를 비교해 순위도 매겼는데, P3(S1) 시나리오가 가장 적은 예산으로 목표를 달성할 것으로 예상되고 그 다음으로 P3(S2), P2(S2), P3(S3), P2(S3) 시나리오 순이었다.

정부는 새롭게 도입되는 잉여전력 현금 매입제의 기준 단가를 주택용 전

기요금보다 낮은 SMP 기준으로 정한 상태이다. 2017년 기준 월가중평균 SMP는 81.5원이었다. 한달 전력 사용량이 40kWh 이상인 가구에서 태양광발전 생산 전력을 자가소비할 경우 1kWh당 215.6~280.6원, 201~400kWh의 전력을 사용하는 가구는 1kWh당 147.3~187.9원의 요금 절감 효과를 볼 수 있는데, 잉여전력을 판매할 경우엔 주택용 전기요금 단가의 50% 수준에서 보상을 받게 된다. 이에 따라 잉여전력 매입제도가 자가용 태양광발전 설치의 경제성을 기대만큼 제고시키지는 못할 것으로 파악된다.

잉여전력 현금 매입 단가를 높이고 보조금 지급 비율도 올린다면 자가소비 비용 태양광발전 설치에 따른 경제성이 양호해지기 때문에 태양광발전 보급 성과도 당연히 제고되리라는 것은 쉽게 예상할 수 있다. 그러나, 보조금 지급 비율을 25%에서, 50%, 75%로 높이면 그만큼 정부의 재정 부담이 크게 늘어나게 되는데도 태양광발전 보급 성과가 큰 폭으로 증가하는 것은 아니라는 점을 이번 시물레이션을 통해 확인할 수 있다.

<표 4-17>은 시나리오별로 20년간 누적 보급 가구 수와 투입 보조금 총액을 기록한 것이다. P2(S1)과 P2(S2), 두 시나리오를 비교해 보면, 20년간 투입한 보조금 총액이 각각 3조 7,795억 원, 7조 6,471억 원으로 2배나 차이가 나지만, 보급 실적은 각각 153만 7500가구, 153만 7600가구로 불과 100가구밖에 차이가 나지 않는 것으로 나타났다.

잉여전력 매입제도를 도입하지 않고 보조금은 50% 수준으로 지급하는 기준 시나리오(P0(S2))와 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 100%, 보조금 지급 비율을 25%로 설정한 P2(S1) 시나리오를 비교해 보면, 투입한 보조금 총액은 각각 3조 7,601억원, 3조 7,795억원으로 차이가 0.5%밖에 나지 않지만, 보급 실적은 80만 8,800가구와 153만 7,500가구로 2배 가까이 차이가 났다. 이처럼 같은 액수의 보조금을 투입해도 정책에 따라 성과에 큰 차이가 날 수도 있음을 확인할 수 있다.

<표 4-17> 정책 시나리오별 20년간 누적 보급 가구 수와 보조금 총액

시나리오명	매입 기준가격	보조금	20년간 누적 보급 가구 수 (만 가구)	20년간 보조금 총액 (억원)
기준 P0(S2)	매입제도 미도입	50%	80.88	37,601
P1(S2)	주택용 전기요금의 50%	50%	121.51	58,822
P1(S3)		75%	137.58	101,273
P2(S1)	주택용 전기요금의 100%	25%	153.75	37,795
P2(S2)		50%	153.76	76,471
P2(S3)		75%	158.99	120,934
P3(S1)	주택용 전기요금의 150%	25%	161.57	41,658
P3(S2)		50%	166.63	85,892
P3(S3)		75%	176.45	136,417

이 시뮬레이션 결과는 보조금의 비율을 높이는 것보다 잉여전력 매입 기준 단가를 높이는 것이 태양광발전 보급 성과를 제고하는 데 효과적이며, 비용 면에서도 효율적이라는 점을 시사한다.

보조금 예산은 한정되어 있기 때문에 보조율이 늘어날수록 보급 호수는 감소할 수밖에 없는 것이 현실이다. 게다가 주택 태양광발전 보급 사업의 보조금과 관련된 불만과 문제제기가 최근 들어 자주 등장하고 있다.

청와대의 국민청원 인터넷 게시판에는 “주택용 태양광 정부 지원 하지 마세요. 차라리 직접 하는 게 더 쌉니다” 라는 제목의 글이 올라와 있다.¹⁵⁾

15) 청와대 국민청원 인터넷 게시판, 2018.1.29., “주택용 태양광 정부 지원 하지 마세요. 차라리 직접 하는 게 더 쌉니다.” <https://www1.president.go.kr/petitions/120536> [2018.5.29.] 이 글에서는 정부의 보조금을 받아 태양광발전기 설치 업체를 통해 3kW 태양광발전기를 주택에 설치하려면 자부담금을 400만원 정도 내야 하지만, 보조금을 받지 않고 직접 설치하고자 확인해본 소요 비용은 278만원에 불과했다면서 그 내역을 다음과 같이 밝혔다. 태양광발전 모듈(250W) 1개당 13만원×12개=156만원, 인버터(접속반대장) 48만원, 구조물 지지대 19만원, 전기기사 인건비 30만원, 설치기사 인건비 20만원, 케이블 부자재 5만원.

주택용 태양광발전 정부 보조 사업은 참여 업체가 한국에너지공단으로부터 보조금을 신청해서 받고, 설치 가구에는 자부담액만 받는 구조로 진행된다. 보조금 예산이 한정되어 있으나 수요가 많다보니 보조금 확보를 위해 업체 간 과열 경쟁이 일어나고 있다. 또한 보조금을 받는 업체들마다 설치 가구에 요구하는 자부담에 큰 차이가 있으며 그 금액은 부풀려져 있는 경우가 많다보니 보조금을 업체에 주지 말라는 주장이 나오게 된 것이다.

지난 2017년 10월 한국에너지공단에 대한 국정감사에서도 주택 태양광발전 보조금을 둘러싼 난맥상에 대한 지적이 나왔다. 국회 박재호 산업통상자원중소벤처기업위원은 정부의 보조금 지원 유무와 상관없이 소비자가 주택에 태양광발전 설치를 위해 부담하는 금액이 같은 경우도 발견되는 등 보조금 집행에 문제가 있다고 지적했다(투테이에너지, 2017). 3kW 용량의 주택용 태양광발전기 설치 시 적정 사업비가 평균 702만원(2017년 기준)으로 설정되었지만, 실제 설비 단가는 최저 401만원에서 최대 851만원으로 두 배 이상 차이가 났다고도 밝혔다.

주택 태양광발전 보조금은 업체들의 경쟁이 과열되어 정부가 보조금 신청을 받기 시작하자마자 시스템이 마비될 정도로 신청이 몰려 순식간에 마감이 되어버리는 상황이며, 적정 설비 단가 기준도 무시되기 일췌이다. 업체들은 정부의 보조금이 확보된 만큼만 영업을 진행하기 때문에 태양광발전 설치 실적은 정부가 정한 보조금 한도 내에서만 증가하게 되는 것이 사실이다. 태양광발전 보급 성과는 보조금의 비율에 달려 있는 것이 아니라는 의미이다. 이러한 점에 주목해 보조금 정책의 바람직한 개선 방향을 찾아야 할 것이다.

시뮬레이션 결과, 매입 기준가격을 주택용 전기요금 단가의 100~150% 수준으로 정한 시나리오에서 보급 가구 수가 150만 가구를 넘어선 이후에는 그 성과가 지속적으로 증가하지 않고 정체되거나 오히려 감소하는 추세

도 나타나고 있다. 이는 정부와 한전의 재정 부담에 따른 정책 의지의 후퇴, 전기요금이나 잉여전력 매입 기준가격의 조정 등이 추진되고 태양광발전 패널 수명 종료로 철거하는 가구도 발생하기 때문인 것으로 분석된다. 이는 인과순환지도와 저량·유량 모형이 담아낸 현실 세계의 구조적 문제들이 원인이 되어 나타난 결과라고 할 수 있다.

제4절 태양광발전 확산을 위한 최적 정책

시나리오별 태양광발전 설비 보급에 따른 발전량과 온실가스 감축량을 산출한 뒤 사회적 효과를 금액으로 환산해 보았다. 그 금액과 시나리오별로 투입된 보조금 총액을 비교해 어떤 정책이 가장 비용 효율적인지 찾아보고자 한다.

태양광발전 확대에 따른 온실가스 감축량도 계산했다. 온실가스 감축량 계산은 여러 가지 방법이 있다. 그중 한 가지는 환경부의 고시(2013) ‘공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침’에 명시된 방법이다. 외부감축사업 온실가스 감축량 산정 방법론을 명시한 이 지침에는 3kW 이하 태양광발전기 설치에 따른 온실가스 절감량 산출 기준을 전력생산량을 모니터링 하는 경우와 모니터링 하지 않는 경우로 나눠 제시하고 있다.

또 다른 방법은 태양광발전기가 생산한 전기를 자가소비하면 그만큼 한전 전력망에서 공급받는 전기량은 감소하게 되므로 태양광발전에 의한 온실가스 감축량은 한전의 화력발전소에서 전기를 생산할 때 발생하는 온실가스 양과 같다고 가정하고 산정하는 것이다.

여기서는 환경부 고시에 따른 방법으로 산출하기로 한다. 구체적인 방법론은 부록에 게재하였다.

본 연구에서는 보급 용량 목표가 아닌 가구 수를 기준으로 시뮬레이션했으며, 가구당 3kW의 태양광발전 설비를 설치하는 것을 가정했으므로 그에 따른 보급 용량을 산출했다.

환경부의 고시(2013)에 공개된 외부감축사업 온실가스 감축량 산정 방법론 중 전력생산량을 모니터링 하지 않는 경우는 다음의 식 (4-2)에 따라 산정하도록 되어 있다.

$$ER = E \times EF_{CO2eq} / 1,000 \quad (4-2)$$

여기에서,

ER : 총 온실가스 감축량 (tCO_{2eq})

E : 감축 사업에 의한 전력생산량 (kWh)

EF_{CO_{2eq}} : 조정 전력 배출계수 (tCO_{2eq}/MWh)

위 식의 전력생산량인 E는 다음 식 (4-3)에 따라 산정된다.

$$E = \sum C_i \times N_i \times \eta_i \times h_i \quad (4-3)$$

위 식에서,

C_i : 사업 후 재생에너지 i의 설비용량 (kW/대)

N_i : 재생에너지 i의 설치 대수 (대)

η_i : 사업 후 재생에너지 i에 따른 전력 이용률 (%)

h_i : 재생에너지 i의 운전시간 (h)

운전시간은 해당 감축량 산정 기간(일) × 24(시간/일)를 적용하도록 되어 있다. 적용 계수로는 조정 전력 배출계수(0.46625tCO_{2eq}/MWh)¹⁶⁾를 사용하며, 태양광발전기의 이용률은 15.5%¹⁷⁾로 한다.

위의 계산식으로 3kW급 태양광발전기를 100가구에 보급했을 경우의 효과를 계산해 보니 407,340kWh의 전력을 생산해 온실가스는 190tCO_{2eq} 감축한 것으로 산정되었다.

16) ‘ 온실가스·에너지 목표관리제 운영 등에 관한 지침’ 별표 4의 국가 고유 전력 배출계수(2007-2008년 평균)에 지구온난화지수를 반영하여 이산화탄소상당량톤으로 계산한 값.

17) 전력 이용률 출처는 한국에너지공단 그린홈 홈페이지(<http://greenhome.kemco.or.kr>), 용량 3kW 이하 기준 적용.

이 계산식을 이용해 앞서 시뮬레이션한 9가지 정책 시나리오별 태양광발전기 보급 성과에 따른 온실가스 감축량을 산정해 보았다. 온실가스 감축량은 20년 동안 누적된 수치이며 그 결과는 <표 4-18>과 같다.

<표 4-18> 시나리오별 보급 성과와 온실가스 감축 효과 비교

시나리오명	20년간 누적 보급 가구 수 (만 가구)	온실가스 감축량 (만 tCO _{2eq})
기준 P0(S2)	80.88	1,111
P1(S2)	121.51	1,998
P1(S3)	137.58	2,399
P2(S1)	153.75	2,734
P2(S2)	153.76	2,840
P2(S3)	158.99	3,135
P3(S1)	161.57	3,360
P3(S2)	166.63	3,474
P3(S3)	176.45	3,704

기준 시나리오의 온실가스 저감량은 1,111만 tCO_{2eq}이며, 시나리오 P1(S2)에서 1,998만 tCO_{2eq}, 시나리오 P1(S3)에서 2,399만 tCO_{2eq}, 시나리오 P2(S1)에서 2,734만 tCO_{2eq}, 시나리오 P2(S2)에서 2,840만 tCO_{2eq}, 시나리오 P2(S3)에서 3,135만 tCO_{2eq}, 시나리오 P3(S1)에서 3,360만 tCO_{2eq}, 시나리오 P3(S2)에서 3,474만 tCO_{2eq}, 시나리오 P3(S3)에서 3,704만 tCO_{2eq}의 온실가스 감축 효과가 있는 것으로 나타났다.

온실가스 감축 효과가 가장 큰 시나리오는 P3(S3)였다. P3(S3)는 보조금 비율은 75%, 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 150% 수준으로

설정된 시나리오이다. 최적 정책을 찾기 위해서는 시나리오에 대한 다각도의 평가가 필요하며 정책 시행 과정에서 투입된 재정 등도 고려해야 하기 때문에 경제성 분석 등 추가적인 분석이 더 필요하다.

이번에는 온실가스 감축 효과를 사회적 비용으로 환산해 보았다. 온실가스 배출량 저감의 경제적 효과를 평가하는 가장 대표적인 기준은 온실가스 배출권 거래 가격이다. 국내 온실가스 배출권 거래 가격을 기준으로 삼아 환산해 보았다. 최근 1년간 온실가스 배출권의 평균 거래 가격은 톤당 22,260원¹⁸⁾이었다. 9개 정책 시나리오별 온실가스 저감량에 온실가스 배출 단위당 비용을 곱해서 산출한 금액은 아래 <표 4-19>와 같다.

<표 4-19> 시나리오별 온실가스 감축량의 경제적 효과

시나리오명	20년간 누적 보급 가구 수(만 가구)	온실가스 감축량 (만 tCO ₂ e)	온실가스 감축의 경제적 효과(억 원)
기준 P0(S2)	80.88	1,111	24,841
P1(S2)	121.51	1,998	44,675
P1(S3)	137.58	2,399	53,641
P2(S1)	153.75	2,734	61,132
P2(S2)	153.76	2,840	63,502
P2(S3)	158.99	3,135	70,098
P3(S1)	161.57	3,360	75,129
P3(S2)	166.63	3,474	77,679
P3(S3)	176.45	3,704	82,821

18) (<http://marketdata.krx.co.kr>)의 KAU17(2018년 7월2일 기준, 최근 일년간 가중평균) 22,260원/ton. KAU는 한국배출권(Korean Allowance Unit)의 약자.

기준 시나리오의 온실가스 감축 효과에 따른 경제적 효과는 2조 4,841억 원이며, 시나리오 P1(S2)에서 4조 4,675억 원, 시나리오 P1(S3)에서 5조 3,641억 원, 시나리오 P2(S1)에서 6조 1,132억 원, 시나리오 P2(S2)에서 6조 3,502억 원, 시나리오 P2(S3)에서 7조 98억 원, 시나리오 P3(S1)에서 7조 5,129억 원, 시나리오 P3(S2)에서 7조 7,679억 원, 시나리오 P3(S3)에서 8조 2,821억 원으로 각각 산출되었다.

위에서 산출한 경제적 효과와 시나리오별 투입 보조금 총액을 비교해 보면 <표 4-20>과 같다. 온실가스 감축의 경제적 효과를 편익으로, 20년간 투입한 보조금 총액을 비용으로 상정하고 편익·비용 비율(B/C Ratio)도 산출해 보았다. 이를 통해 어떤 시나리오가 가장 비용 효과적인지 살펴볼 수 있다.

<표 4-20> 시나리오별 보조금 투입에 따른 경제성 분석

시나리오명	온실가스 감축의 경제적 효과(억 원) (B)	20년간 투입 보조금 총액(억 원) (C)	시나리오별 경제성 분석 (B/C ratio)	경제성 순위
기준 P0(S2)	24,841	37,601	0.66	6
P1(S2)	44,675	58,822	0.76	5
P1(S3)	53,641	101,273	0.53	9
P2(S1)	61,132	37,795	1.62	2
P2(S2)	63,502	76,471	0.83	4
P2(S3)	70,098	120,934	0.60	8
P3(S1)	75,129	41,658	1.80	1
P3(S2)	77,679	85,892	0.90	3
P3(S3)	82,821	136,417	0.54	7

<표 4-20>에서 보듯 B/C ratio가 1 이상인 시나리오는 P2(S1)과 P3(S1)으로 나타났다. 두 시나리오 모두 보조금 지급 비율을 25%로 낮춘 시나리오로 P2(S1)는 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 100%, P3(S1)는 주택용 전기요금의 150%로 설정한 경우이다. P3(S1) 시나리오의 B/C ratio가 1.80으로 가장 높았고, 그 다음으로 P2(S1) 시나리오가 1.62였다.

정부는 한정된 예산을 효율적으로 배분하기 위해 노력한다. 정부의 예산 투입을 최소화하면서도 성과는 최대화할 수 있는 정책을 찾는 것이 시물레이션의 목적이었고, 그에 따라 P3(S1)과 P2(S1)가 최소한의 비용으로 최대한의 보급 성과를 낼 수 있는 정책 시나리오로 분석되었다. 그 다음으로는 P3(S2), P2(S2) 시나리오가 투입된 보조금 대비 온실가스 저감 효과가 큰 것으로 나타났다.

그러나 투입 예산 대비 성과가 좋다고 해도 당초의 보급 목표를 달성하지 못했다면 그 정책은 실패한 것으로 평가될 수밖에 없다. P2(S1) 시나리오의 경제성이 우수한 것으로 분석되었으나, 시물레이션 결과 2037년에도 정부가 설정한 보급 목표 가구 수인 156만 가구(2030년 기준)에 미치지 못할 것으로 예상된다. 20년의 시물레이션 기간(2018~2037년) 동안 목표 달성에 성공할 것으로 예측되는 시나리오 가운데에서 P3(S1) 시나리오가 유일하게 B/C ratio가 1 이상이다. P3(S1) 시나리오는 잉여전력 매입 기준가격은 주택용 전기요금의 150% 수준으로 끌어올리고 설치 보조금 지급 비율은 25%로 낮췄을 경우이다.

시물레이션 기간인 2037년까지 156만 가구 보급 목표를 달성할 것으로 예상되는 P2(S2), P2(S3), P3(S1), P3(S2), P3(S3) 등 5개 시나리오 가운데 경제성 순위를 매겨보면 P3(S1), P3(S2), P2(S2), P3(S3), P2(S3) 순이다. 순위가 가장 높은 P3(S1)은 잉여전력 매입 기준가격이 주택용 전기요금의 150%이며 설치 보조금 지급 비율이 25%인 경우, 순위가 가장 낮은 P2(S3) 시나리

오는 잉여전력 매입 기준가격이 주택용 전기요금의 100%이며 설치 보조금 지급 비율이 75%인 경우이다.

온실가스 배출 단위당 사회적 비용을 산정하는 기준은 배출권 거래 가격 외에도 다양하다. 온실가스 저감 효과의 사회적 비용을 국외 공신력 있는 기관에서 발표한 비용계수를 활용해 환산해 보았다. 우선 ‘온실가스 배출 저감량 × 온실가스 배출 단위당 사회적 비용’ 식을 어떻게 정의할 것인지부터 결정해야 한다. 연구자마다 그 기준과 범위, 방법론이 각기 달라 온실가스 저감량에 곱해지는 온실가스 배출 단위당 비용에 다양한 값이 존재하기 때문이다.

미국 연방정부는 환경 규제의 비용 효과 분석에 온실가스 감축 비용을 반영하기 위해 연방정부 차원에서 CO₂, CH₄, N₂O 피해비용 계수를 개발했는데, 이 피해비용 계수는 기후변화로 야기될 수 있는 종합적인 피해 비용을 포함하고 있다. 예를 들어 냉방비의 증가, 농업 생산성의 변화, 보건 문제, 홍수로 인해 발생할 재산 피해 비용 등이 포함된다. 이 연구에서는 추정치가 할인율에 민감하다는 점을 감안해 여러 가지 할인율(2.5%, 3%, 5%)을 적용해 각각의 값을 제시하고 있는데, 할인율 기준을 3%로 적용했을 경우의 2015년 CO₂ 피해비용 계수는 36\$/ton이다(양명호 · 이종희 · 김영수, 2017; US Government, 2016).

그러나 미국 연방정부가 제시한 사회적 비용이 과소 추정되었다고 주장하며 미국 스탠퍼드 대학의 몇몇 과학자들은 다른 비용 계수를 제시했다(Moore and Diaz, 2015). 그들은 기후변화에 취약한 개발도상국의 피해 비용이 포함되어야 한다면서 다른 비용 계수를 제시했는데, 그 연구에서 제시된 온실가스 배출에 대한 사회적 비용은 220\$/ton이다. 이 수치는 미국 연방정부가 제시한 것보다 6배 이상 큰 값이다(Moore and Diaz, 2015; Than, 2015).¹⁹⁾ 온실가스 배출 단위당 사회적 비용을 요약하면 <표 4-21>과 같다.

<표 4-21> 온실가스의 사회적 비용 산출 기준

구분	온실가스의 사회적 비용 산출 기준	온실가스의 사회적 비용 환산 가격 기준	비고
미국 연방정부(2016) ¹⁾	36\$/ton	40.7천 원/ton	1\$ = 1,130원 적용 ²⁾
Moore and Diaz(2015) ³⁾	220\$/ton	248.8천 원/ton	1\$ = 1,130원 적용 ²⁾

주: 1) Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866(Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, US Government, 2016)
 2) 한국은행 경제통계시스템(<http://ecos.bok.or.kr/>) 2017년 연평균 환율 기준
 3) Nature Climate Change(Moore and Diaz, 2015)

위 두 가지 기준 중 Moore and Diaz(2015)에서 제시한 기준을 적용해 9가지 시나리오별 온실가스 감축량의 사회적 효과를 산출해 보았다. 220\$/ton 기준을 2017년 연평균 환율 기준(1\$ = 1,130원)으로 환산해 20년간 누적 보급 가구 수와 이에 따른 온실가스 감축량, 그리고 온실가스 감축으로 얻는 사회적 비용이 어느 정도인지 추정해 보았다. 그 결과는 <표 4-22>와 같다.

기준 시나리오의 온실가스 저감 효과에 따른 사회적 비용은 27조 6,195억 원이며, 시나리오 P1(S2)에서 49조 6,702억 원, 시나리오 P1(S3)에서 59조 6,391억 원, 시나리오 P2(S1)에서 67조 9,672억 원, 시나리오 P2(S2)에서 70조 6,024억 원, 시나리오 P2(S3)에서 77조 9,361억 원, 시나리오 P3(S1)에서 83조 5,296억 원, 시나리오 P3(S2)에서 86조 3,636억 원, 시나리오 P3(S3)에서 92조 814억 원으로 각각 산출되었다.

19) Moore and Diaz(2015) 기후변화 및 에너지 정책 제안을 도출할 때 널리 이용되고 있는 IAM(Integrated Assessment Model)의 수정모형을 사용해 연구하였다. 수정모형을 통해 시간이 흐름에 따라 사회적 비용이 누적되는 점 등을 고려하여 사회적 비용에 반영하였다.

<표 4-22> 시나리오별 온실가스 감축량의 사회적 비용

시나리오명	20년간 누적 보급 가구 수 (만 가구)	온실가스 감축량 (만tCO ₂ eq)	온실가스 감축의 사회적 비용(억 원)
기준 P0(S2)	80.88	1,111	276,195
P1(S2)	121.51	1,998	496,702
P1(S3)	137.58	2,399	596,391
P2(S1)	153.75	2,734	679,672
P2(S2)	153.76	2,840	706,024
P2(S3)	158.99	3,135	779,361
P3(S1)	161.57	3,360	835,296
P3(S2)	166.63	3,474	863,636
P3(S3)	176.45	3,704	920,814

이번 정책 시나리오에 대한 경제성 분석은 단순히 정부의 보조금 예산이 얼마나 투입되는가를 기준으로 삼았기 때문에 일정 부분 한계가 있는 것이 사실이다. 자가소비용 태양광발전 확산을 위해 투입되는 보조금은 정부의 예산이고, 잉여전력 매입에 따른 부담은 전력회사의 몫이다.

보조금 지급 비율을 낮추는 대신 잉여전력 매입 기준 단가를 인상하면 한국전력이 재정 부담을 안게 된다. 정부의 재정 부담이 한국전력으로 전가되는 셈이다. 이에 따라 태양광발전 확산 목표 달성을 위해 정부와 한국전력의 재정 부담을 늘리지 않으면서도 태양광발전 보급 성과를 제고할 수 있는 추가적인 정책 도입의 필요성이 제기된다.

앞서 제3장 1절과 2절에서도 이미 살펴본 바, 호주와 일본에는 시행되고 있으나 우리나라는 아직 도입하지 않은 대표적인 정책이 자가소비용 태양

광발전에 대한 녹색전력증서나 REC의 발급이다. 일본의 녹색전력증서, 호주의 REC는 이름만 다를 뿐 같은 구조의 정책으로 재생에너지의 환경 가치를 증서 형태로 거래되도록 함으로써 재생에너지의 보급 확대를 촉진하는 데 기여하고 있다.

우리나라에서는 발전 사업자가 운영하는 신·재생에너지 설비로 발전한 전력에 대해서는 REC 발급을 하고 있는 반면, 자가소비용 신·재생에너지 설비로 생산한 전력에 대해서는 REC 발급을 하지 않고 있다. 자가소비용 발전 설비가 생산한 전력에 대한 인센티브는 발전 사업자에 주어지는 것과 비교하면 부족한 것이 사실이다. 전기요금 부담 경감 효과 외에 앞으로 잉여전력 매입에 따른 이익이 더해질 것이긴 하지만, 전기요금 누진제의 완화로 인해 전기요금 절감액이 감소했고 잉여전력 매입 기준가격은 주택용 전기요금 단가보다 낮은 SMP 기준으로 설정될 예정이어서 자가소비용 신·재생에너지에 대한 경제적 인센티브가 충분치 않은 상황이다.

자가소비용 태양광발전에 대한 REC 발급은 정부의 재정 투입을 증가시키지 않고도 태양광 발전을 효과적으로 증가시킬 수 있는 방안이라는 점에서 적극적으로 도입을 고려할 만한 정책이다. 자가소비용 태양광발전 설비로 생산한 전력에 대해 발급된 REC 구매 행위를 재생에너지 사용 실적으로 인정해 준다면, 재생에너지 사용 비율을 늘리거나 온실가스를 감축하고자 하는 기업들이 자발적으로 REC를 찾게 될 것이므로 정부나 전력회사가 직접적인 재정 부담을 하지 않고도 자가소비용 태양광발전 설치 가구의 경제적 이익을 증가시켜 줄 수 있다.

제5장 결 론

제1절 연구 요약

정부는 2030년까지 발전량의 20%는 재생에너지를 통해 보급하겠다는 목표를 제시했다. ‘재생에너지 3020 이행계획’에서는 2018~2030년 새로 설치되는 목표 용량 48.7GW 가운데 63%(30.8GW)는 태양광발전 설비를 통해 충당하겠다고 밝혔다. 이 목표가 달성되려면 대규모 태양광발전소 건설 사업뿐 아니라 소규모 발전 설비들도 대폭 늘어야 할 것이다.

대규모 발전 사업은 입지 선정과 추진 과정에서 민원 발생과 생태계 파괴 등 난제가 발생하여 진행에 어려움을 겪는 경우가 많다. 반면, 건축물의 유휴 부지를 활용하는 소규모 자가소비용 태양광발전기 설치 사업은 입지 관련 민원과 주민 반대를 유발할 우려가 거의 없어 속도감 있게 추진할 수 있다. 소규모 태양광발전은 시민 참여형 재생에너지 확산 방안으로서도 큰 의미가 있고, 설치 가능 용량 또한 적지 않다.

정부도 이 점을 인식하고 ‘재생에너지 3020’ 목표 달성 방안의 일환으로 자가소비용 태양광발전 확대를 앞세웠다. 자가소비용 태양광발전기를 설치해 그 장점을 파악하고 재생에너지와 관련한 긍정적인 경험을 한 시민들은 재생에너지 확대 정책을 적극 지지하게 될 가능성도 크기 때문이다.

본 연구는 우선 주요국의 선진 정책과 사례 분석, 선행 문헌 연구, 그리고 설문조사를 통해 시민들이 재생에너지 생산에 동참하는 행동을 결정하는 데 가장 중요한 유인은 경제성임을 확인할 수 있었다. 자가소비용 주택 태양광발전 보급의 속도와 양에 있어 세계 1위 수준인 일본과 호주의 에너지 정책은 좋은 시사점을 준다. 두 나라 모두 자가소비용 태양광발전기를 설치했을 경우, 생산 전력의 자가소비에 따른 이익, 잉여전력 판매 수익에

더해 재생에너지 인증 증서의 거래 수익까지 1석3조의 경제적 혜택을 받을 수 있도록 함으로써 2009년을 기점으로 자가소비용 태양광발전의 급속한 확산에 성공한 것으로 분석되었다.

다음으로 시스템 다이내믹스를 이용해 경제적 유인을 중심으로 한 자가소비용 태양광발전의 시민 참여 확산 관련 인과순환지도를 완성한 뒤, 저장·유량 모형을 구축해 정책들의 최적 결합 방안을 찾기 위한 시뮬레이션을 진행했다.

모델의 기본 행태 시뮬레이션을 통해 잉여전력 매입제를 적용하지 않은 상태에서 보조금 정책의 효과, 보조금 정책에 변화를 주지 않은 상태에서 잉여전력 매입제의 효과를 각각 확인해 본 결과, 보조금보다 잉여전력 매입제가 태양광발전 확산에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

보조금의 혜택은 설치 시에만 1회성으로 받을 수 있는 반면, 잉여전력 판매수익은 지속적인 경제적 혜택을 누릴 수 있기 때문에 태양광발전 확산에 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다. 하지만, 잉여전력 매입 기준가격이 주택용 전기요금 단가보다 저렴한 수준으로 정해진다면 전력을 판매하는 것보다 자가소비할 때 경제적 이익이 더 커서 정책 도입의 효과가 크지 않을 것으로 전망되었다.

보조금 지급 비율은 설치비의 25%, 50%, 75%로 설정하고 잉여전력 매입 기준가격은 주택용 전기요금의 50%, 100%, 150%로 가정하여 정책 시나리오를 9가지로 구성한 뒤, 시나리오별로 2018~2037년까지 20년간 주택 태양광발전 설치 가구 수를 얼마나 증가시킬 수 있는지 시뮬레이션을 진행했다.

그 결과 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 150%, 보조금은 설치비의 75%로 설정한 P3(S3) 시나리오만이 정부가 설정한 2030년 156만 가구 보급 목표를 달성할 가능성이 있는 것으로 나타났다. 잉여전력 매입 기준 단가를 주택용 전기요금의 100%로 하고 보조금은 50% 이상 주는

P2(S2), P2(S3), 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 150%로 가정하고 보조금은 25%와 50%로 각각 설정한 P3(S1), P3(S2) 시나리오의 경우, 2031~2036년 사이에 156만 가구 목표를 달성할 것으로 예상되었다.

156만 가구 이상에 태양광발전을 보급시키기 위해 투입해야 하는 예산을 각 시나리오별로 비교한 결과, 보조금 지급 비율을 설치비의 25% 수준으로 낮추고 잉여전력 매입 기준가격을 주택용 전기요금의 150% 수준으로 올린 P3(S1) 시나리오가 투입 예산 대비 성과가 가장 큰 것으로 분석되었다. 이러한 분석을 통해 보조금의 비율을 늘리는 것보다 잉여전력 매입 기준 단가를 올리는 것이 태양광발전 보급 성과를 제고하는 데 효과적이며, 비용면에서도 효율적이라는 점이 확인되었다.

보조금과 잉여전력 매입 기준가격을 올리면 태양광발전 확산 효과는 크겠지만, 정부와 전력회사의 재정부담이 증가하게 된다. 이에 정부와 전력회사의 부담은 늘리지 않으면서도 태양광발전 보급을 활성화할 수 있는 새로운 정책을 도입해 기존 정책들과 조합할 필요가 있다.

호주의 경우, 자가소비용 태양광발전기로 생산한 전력에 ‘솔라 크레딧’이라는 가중치를 부여한 REC를 발급해 줬다. 일본 역시 녹색전력증서를 발급한다. 그리고 그 증서가 거래되도록 함으로써 자가소비용 태양광발전기 설치에 따른 경제적 이익이 증가하게 되었다. 반면, 우리나라는 REC 발급대상을 발전사업자에게 한정하고 있다.

호주와 일본 등에서는 REC나 녹색전력증서를 기업이 구입하면 재생가능에너지로 발전한 전기를 사용한 것으로 인정해 주기 때문에 이를 통해 사용전력의 100%를 재생에너지로 전환하고자 하는 기업들도 늘어나고 있다. 기업이 제품 생산 현장이나 사무공간 등에서 사용하는 전체 전력을 직접 재생에너지 발전 설비를 설치해 스스로 공급하는 것은 힘든 일이다. 그러나, 재생에너지 인증 증서를 구입하거나 전력회사로부터 재생에너지만 따로 구매

할 수 있는 녹색전력요금제를 활용한다면 100% 재생에너지로 전환하는 것이 가능하다.

국내 기업 중엔 처음으로 삼성전자가 2018년 6월, 미국·유럽·중국의 전 사업장에서 100% 재생에너지를 사용하겠다고 선언했다. 그러나 국내 사업장은 선언 대상에서 제외되었다. 그 이유는 우리나라에는 기업이 재생에너지만 100% 쓰고 싶다고 해도 관련 제도가 아직 도입되지 않았기 때문이다.

일본, 호주 등과 같이 자가소비용 재생에너지에도 REC를 발급해 주고 재생에너지 사용 비율을 늘리고자 하는 기업이 그 REC를 구입할 경우 재생에너지 사용 실적을 인정해 주는 정책을 도입한다면, 정부나 한국전력이 추가적인 재정 부담을 하지 않고도 자가용 태양광발전의 경제성을 제고하는데 큰 효과가 있을 것이다. 또한, 재생에너지 사용 비율을 늘리고자 하는 기업들을 덕분에 재생에너지

제2절 연구의 시사점 및 한계

본 연구는 자가소비용 태양광발전의 경제성을 제고함으로써 보급을 활성화하기 위해 어떤 정책적 개입이 필요한지 방향성을 제시했다. 문헌조사, 설문조사, 시스템 다이내믹스 방법론을 이용해 보조금 정책과 잉여전력 매입제 등 바람직한 정책 조합을 제안한 본 연구는 다음과 같은 의의가 있다.

첫째, 에너지 전환을 위해 자가소비용 재생에너지 설비 확산이 중요한 이유를 밝히고, 세계 각국에서 추진중인 자가소비용 태양광발전 확산 정책을 구체적으로 비교 정리했다. 세계적으로 자가소비용 태양광발전 보급률이 높은 일본과 호주에서는 보조금과 잉여전력 매입제도뿐 아니라 REC 발급 등 다각적인 경제적 유인책을 중복 채택해 시민 참여를 유도했음을 밝혔다.

둘째, 정부가 자가소비용 태양광발전 확산을 위해 도입하기로 결정한 잉여전력 매입제도의 효과를 예측해 보는 시뮬레이션을 최초로 진행했다. 그 결과, 매입 기준 단가가 주택용 전기요금 단가보다 저렴한 수준으로 정해지면 정책 도입의 효과가 크지 않을 것임을 확인하고 매입 기준가격을 어떤 수준에서 결정해야 할지 제안했다.

셋째, 단선적 사고의 한계를 극복할 수 있는 시스템 다이내믹스 연구 방법론을 통해 자가소비용 태양광발전 확산의 동태적인 구조를 파악했을 뿐 아니라, 다양한 정책과 보급 성과의 인과관계를 밝혔다. 여러 정책들의 효과를 비교 분석한 결과, 보조금 정책보다 잉여전력 매입제가 태양광발전 확산에 미치는 영향이 더 크다는 점을 확인할 수 있었다.

넷째, 태양광발전 확산을 위한 다양한 정책들이 동시에 투입되어 상호 작용함으로써 나타날 미래 상황을 예측하고 정책들의 바람직한 조합을 제안했다는 점에서 의미가 있다. 보조금 정책과 잉여전력 매입제도가 결합되면서 나타나는 효과를 시뮬레이션한 결과, 보조금의 비율을 높이는 것보다 잉여

전력 매입 기준 단가를 올리는 것이 태양광발전 보급 성과를 제고하는 데 효과적이며 비용 면에서도 효율적이라는 점을 확인했다.

다섯째, 본 연구는 시스템 다이내믹스 방법론을 통해 여러 가지 변수가 동시에 포함된 복합적인 모델을 구성해 20년이라는 장기적인 시간의 흐름에 따른 태양광발전 보급 성과를 살펴보았다. 본 연구를 통해 작성된 인과순환 지도와 저장·유량 모형은 다양한 정책에 따른 보급량의 증가 추이를 장기적인 관점에서 예측해 수치화할 수 있으므로 정부의 에너지 정책 설계 및 추진 과정에서 유용한 참고 자료가 될 것으로 기대한다.

다만 이번 연구는 다음과 같은 측면에서 몇 가지 한계점을 가지고 있다.

인과순환지도 작성과 모형 구축 과정에서 변수 선정 시 중요한 일부 변수들만 채택했기 때문에 현실에 존재하고 있는 많은 피드백 루프들이 생략될 수밖에 없었다. 확보 가능한 자료가 제한적이어서 더 다양한 정책 시나리오를 구성하지 못했다는 것도 아쉬운 점이다.

현실에는 존재하나 미처 파악되지 못했던 중요한 피드백 루프들을 추가하고 사고의 범위를 확장해 더 다양한 변수와 자료들을 포함시켜 모형을 보완한다면, 정책 결정에서 활용 가능한 완성도 있는 모형이 구축될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 태양광발전 보급 목표량을 달성하는 데에 투입되는 정부의 보조금 예산만으로 비용 분석을 했다. 잉여전력 매입제도 시행에 따라 한국전력이 부담하게 될 비용을 산출하고 이를 포함시켜 경제성 분석을 하는 후속 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

[국내 문헌]

경기일보, 2017.10.25., “유동수, 경기도 전선 지중화를 10~20%대,” <http://www.kyeonggi.com/?mod=news&act=articleView&idxno=1406793>, [2018.6.2.]

곽상만·유재국, 2016, 『시스템 다이내믹스 모델링과 시뮬레이션: Vensim의 활용』, 경기: 북코리아.

국가법령정보센터, 2012, “발전사업세부허가기준, 전기요금산정기준, 전력량계 허용오차 및 전력계통운영 고시,” <http://www.law.go.kr/LSW//admRulLsInfoP.do?chrClsCd=&admRulSeq=2000000067715>, [2018.5.16.]

_____, 2018, ““소규모 신·재생에너지 발전전력 등의 거래에 관한 지침,” <http://www.law.go.kr/행정규칙/소규모신·재생에너지발전전력등의거래에관한지침>, [2018.5.16.]

국회예산정책처, 2010, 『신재생에너지보급평가』.

권승문, 2016.12.6., “내가 이리려고 전기를 아꼈나...” 레드양, <http://www.redian.org/archive/106235>, [2018.5.21.]

권태형, 2014, “신·재생에너지 시장 확대를 위한 정책수단의 비교: 가격정책과 수량정책의 정책결합,” 『한국정책과학학회보』, 18(2), pp.1-23.

권태형, 2017, “국내 태양광 발전 보조금 제도의 정책 효과: 공급의무화제도 사례를 중심으로,” 『한국태양에너지학회 논문집』, 제37권 제1호, pp.59-69.

김광원·서윤규·홍원화, 2014, “태양광발전시스템이 적용된 그린홈의 경제성 평가

에 관한 연구,” 『대한건축학회 논문집 - 계획계』, 30(5), pp.221-228.

김기찬·정관용·최진·김희숙·김성원, 2007, 『Vensim을 활용한 System Dynamics』, 서울: 서울경제경영출판사.

김도훈·문태훈·김동환, 1999, 『시스템 다이내믹스』, 서울: 대영문화사.

김동환, 2000, 『김대중 대통령의 시스템 사고』, 서울: 집문당.

김동환, 2004, 『시스템 사고 : 시스템으로 생각하기』, 서울: 선학사.

김병석, 2013, “도시공간구조의 특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향에 관한 연구,” 박사학위 논문, 중앙대학교, 서울.

김소희·이상훈·윤성권·신혜지·문효동, 2017, 『기업형 프로슈머 육성을 위한 제도 연구 최종보고서』, 세종: 산업통상자원부, P-2016-003-T0.

김신아, 2017, “주요국의 에너지 프로슈머 관련 정책 동향 및 비즈니스 모델 분석,” 『에너지경제연구원 에너지포커스』, 2017년 여름호(제14권 제2호, 통권64호), pp.62-78.

김연지, 2015, “System Dynamics를 이용한 태양광발전 확산 모형 연구: 개발도상국 사례를 중심으로,” 박사학위 논문, 세종대학교, 서울.

김인호, 2015, “전력가격의 합리화에 기초한 전력산업의 국제경쟁력 강화,” 『통상법률』, (121), pp.12-50.

김진오·조경엽, 2002, “경쟁적 전력 시장에서의 재생에너지 활성화 방안 연구,” 『에너지경제연구원 연구보고서』, pp.1-141.

김진오·조경엽, 2003, “대체에너지개발을 위한 보조금 및 조세정책의 경제적 파급효과,” 『에너지경제연구』, 2(1), pp.1-25.

김진형, 2010, “공동주택 태양광발전 시스템의 경제성 평가,” 『한국기후변화학회지』, Vol. 1, No. 2, 2010, pp.163-177.

김태주·안정근, 2012, “저탄소 녹색성장시대에 단독주택에서의 신·재생에너지 활성화 연구: 태양광 주택을 중심으로,” 『주거환경』, 제10권 2호,

pp.65-74.

김창섭·이상훈·윤성권·이항주, 2018, 『자가용 신재생에너지 발전시스템 보급 활성화를 위한 한국형 모델 개발』, 경기: 한국에너지공단.

김현수, 2017, “서울시 베란다형 태양광 미니발전소 보급사업의 활성화를 위한 정책 분석 : 에너지시민성 관점을 중심으로,” 석사학위 논문, 서울시립대학교, 서울.

남수태, 2014, “혁신확산이론에 따른 스마트폰 지속사용의도에 관한 연구: 아이폰 사용자와 안드로이드 사용자의 충성도 비교를 고려하여,” 박사학위 논문, 원광대학교, 전북.

남태섭, 2016, “LCOE기법을 이용한 발전소 온배수열 공급사업의 타당성 연구,” 석사학위 논문, 고려대학교 그린스쿨대학원, 서울.

남태섭·이관영·김경남, 2016, “발전소 온배수열 활용사업의 경제적 유인제도 연구: 에너지균등화비용(LCOE) 분석을 중심으로,” 『에너지공학』, 25(1), pp.29-42.

권승문·김세영·신근정, 2014, 『시민 참여형 재생에너지 활성화를 위한 제도 개선 방안 연구』, 녹색연합·정의당 김제남 의원실.

대외경제정책연구원(2009). 『KIEP 지역경제포커스』, Vol. 3, No. 53.

대전광역시, 2017, “보도자료: 가정용 태양광, 전기요금 절감 효과 톡톡,” http://www.daejeon.go.kr/drh/board/boardNormalView.do?boardId=normal_0189&menuSeq=1632&ntatcSeq=1094375167, [2018.7.1.]

동아경제, 2017.1.2., “누진제 개편에 태양광 보급 ‘울상’: 전기료 절감 효과 ‘톡,’” <http://www.daenews.co.kr/daenews/board/index.php?category=5&mode=view&uid=24605&no=3>, [2018.5.21.]

문태훈, 2002, “시스템다이내믹스의 발전과 방법론적 위상,” 『한국 시스템다이내

믹스연구』, 제3권 제1호, pp.61-77.

박경배, 2006, “신생 하이테크 산업의 동적 성장 과정과 생존 가능한 경쟁 전략: 한국 이동 전화 산업 실증 분석,” 박사학위 논문, 한국과학기술원, 대전.

_____, 2017, “Calibration & Policy Optimization,” 한국시스템다이내믹스학회 2017년 시스템다이내믹스 모델링 공개강좌, 서울.

박민혁·이재걸·이윤경·김정주, 2007, “학습곡선 모형을 이용한 신재생에너지 원가분석 기법,” 『한국에너지공학회 2007년도 추계학술발표회 논문집』, pp.169-174.

박성준·이덕주·김경택, 2012, “2요인 학습곡선 이론을 이용한 태양광기술의 발전 단가 학습률 분석,” 『대한산업공학회지』, Vol.25, No.4, pp.441-449.

박진희, 2013, “시민 참여와 재생가능에너지 정책의 새로운 철학-독일 에너지 전환 정책 사례를 토대로,” 『환경철학』, 16호, pp.159-188.

반운영·이태호, 2010, “국내 주택부문 태양광 보급정책에 대한 시민 인식분석,” 『한국태양에너지학회 논문집』, 30(2), pp.1-9.

배순영·황은애, 2016, “에너지 프로슈머, 소비자관점에서 다시보기,” 『소비자정책동향』, 제70호.

백종학, 2014, “에너지 전환 관점에서 본 주택 미니태양광 설치사업에 대한 주민 인식: 서울시 노원구를 중심으로,” 석사학위 논문, 서울대학교, 서울.

(사)미디어전략연구소, 2010, 『그린스타트 운동 활성화를 위한 추진전략 방안 연구』, 세종: 환경부.

산업통상자원부, 2016, 보도참고자료 “누진제 개편으로 주택용 동·하계 전기요금 부담 15% 경감.”

_____, 2017a, “재생에너지 3020 이행계획(안).”

_____, 2017b, “2017년 신·재생에너지보급(주택지원)사업 지원공고,” 공고 제2017-19호.

_____, 2018, “2018년 신재생에너지보급(주택지원)사업 지원공고,” 공고 제2018-184호.

서울시 강남구, 2018, “태양광 미니발전소 보급지원사업 설문조사 결과보고,” <http://opengov.seoul.go.kr/sanction/14444491>, [2018.7.1.]

서울시 녹색에너지과, 2016, “2016년도 서울시 태양광 미니발전소 보급 지원 사업 업무처리 매뉴얼.”

_____, 2018a, “서울시 미니태양광 설치 만족도 및 시민인식조사 결과,” <https://opengov.seoul.go.kr/sanction/14583849>, [2018.7.1.]

_____, 2018b, “2018년 서울시 베란다형 태양광 미니발전소 보급 계획.”

서울 송파구 거여1단지 아파트 관리사무소, 2018, “태양광발전기 대여 사업의 발전량, 전기요금 절감액, 대여료 사례(미발행 자료).”

서울연구원, 2017, 『2017년도 주거실태조사 통계보고서』, 서울시.

소진영, 2014, 『계통안전성을 고려한 태양광·풍력 발전의 경제성연구』, 울산: 에너지경제연구원.

_____, 2017, 『전기요금 누진제 개편이 신재생에너지 시장에 미치는 영향 분석』, 울산: 에너지경제연구원.

신광조, 2017, “전기요금 누진제 정책 결정요인 연구,” 석사학위 논문, 서울대학교, 서울.

신동익, 2011, “시스템 다이내믹스를 활용한 제품 : 서비스 통합시스템의 비즈니스 모델 가치체계 모델링 및 분석 방법론,” 석사학위 논문, 서울대학교, 서울.

안남성, 2017, “디지털 기술 혁명과 에너지 정책의 전환,” 데일리한국 주최 2030 에너지시스템 전환을 위한 토론회, 서울 코엑스.

안희영, 2016, “미국의 넷미터링 논란과 제도 개선 추이,” 『전기저널』, 2016년

11월호. <http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=1148>, [2018.5.21.]

양명호·이종희·김영수, 2017, “이산화탄소 사회적 비용의 원전예의 적용 사례와 시사점.” 『원자력정책 Brief Report 2017-1』, 제38호.

양이원영, 2017.1.9., “전기요금 깎아주니 행복하십니까: 싼 전기요금이 재생에너지 전환 가로막아.” 오마이뉴스, http://www.ohmynews.com/NWS_Web/Mobile/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002277569, [2018.5.21.]

에너지경제연구원, 2014, 『세계 에너지시장 인사이트』, 제14-22호.
 _____, 2017, 『세계 에너지시장 인사이트』, 제17-16호.
 _____, 2018, 『세계 에너지시장 인사이트』, 제18-18호.

에너지데일리, 2018.01.04., “자가용 태양광 ‘잉여전력’ 상계처리 해준다.” <http://www.energydaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=8559> 2, [2018.5.21.]

에너지신문, 2017.10.23., “태양광 상계거래시 잉여전력 보상 ‘전무’”.

염성찬·이용균, 2015, “서울시 태양광 보급 정책의 적정보조금 산정에 관한 연구: 수용자적 입장에서의 재무성 분석을 중심으로.” 『환경영향평가』, 24권 4호, pp.317-331.

원동규·이병식·주희천, 2017, “신재생에너지 지원정책 현황 및 동향 분석 - 태양광 발전을 중심으로.” 『한국혁신학회지』, 제12권 제3호, pp.83-115.

유정민, 2014, “서울시 에너지 전환 정책 제언.” 『환경정의연구소 이슈레포트』, 1호.

유현지, 2016, “공동주택의 최적 태양광 지원 사업 선정을 위한 경제성 및 환경성 평가 모델.” 석사학위 논문, 연세대학교, 서울.

이근모, 2016, “자가용 설비 보급확대를 위한 REP 활용 방안에 관한 연구.” 석사

학위 논문, 홍익대학교, 서울.

이동성, 2015, “시스템 다이내믹스를 이용한 신·재생에너지 정책 비교에 관한 연구: FIT와 RPS를 중심으로.” 석사학위 논문, 중앙대학교, 서울.

이상근·김진화·백현·이의방, 2013, “매체와 정보유형에 따른 정보확산 차이에 관한 연구.” 『지능정보연구』, 제19권 제4호, pp.133-146.

이상훈·윤성권·김소희, 2015, 『신·재생에너지 보급에 따른 소비자 수용성 확보방안 연구』, 경기: 한국에너지공단(2004-02-0008-0-000).

이상훈, 2017, “2030년 재생에너지 발전량 20%, 도전과 과제,” 기후변화센터·CSK에너지정책연구원 주최 신재생에너지 3020 목표 달성을 위한 바람직한 정책방향 세미나, 한국프레스센터 20층 국제회의장.

이우수, 2016, 『에너지 프로슈머 활성화를 위한 개도개선 방안 연구』, 울산: 에너지경제연구원.

이유진, 2013, 『전환도시』, 경기: 한울 아카데미.

이정전, 2011, 『환경경제학의 이해』, 서울: 박영사.

이창훈, 2015, “신·재생에너지의 환경적 영향에 관한 법적 고찰.” 『환경법연구』, 제37권 1호, pp.122-136.

이철용, 2017, 『태양광 원가분석을 통한 균등화 비용 국제 비교 분석』, 울산: 에너지경제연구원.

이필렬, 1998, “재생가능에너지의 세계적 동향과 시사점.” 『지속가능하고 평화로운 미래를 위한 재생가능에너지 워크숍 자료집』, 유네스코한국위원회·환경운동연합 주최, pp.15-21.

이필렬, 2013, “독일재생가능에너지.” 『FES-Information-Series』, 프리드리히 에베르트 재단 주한 협력 사무소, pp.1-12.

임상범, 2015, 『한/중/일 에너지삼국지』, 경기: 도서출판 좋은 땅.

장남정·김민경·양고수, 2013, “시스템 다이내믹스 기법을 이용한 온실가스 감축

정책 평가,” 『한국 시스템 다이내믹스 연구』, 제14권 제1호, 55-68.

장한수, 2007, “2요인 학습곡선과 혁신시스템 접근을 통한 재생에너지기술 정책 평가,” 박사학위 논문, 아주대학교, 경기.

전력거래소, 2018, “자주 받는 질문(FAQ): 월가중평균 SMP의 산정 방법,” <https://www.kpx.or.kr/www/selectBbsNttList.do?bbsNo=4&key=106>, [2018.5.23.]

전찬웅·신준석, 2014, “시스템 다이내믹스와 복합 리얼옵션 기반 신·재생에너지 기술가치평가,” 『대한산업공학회지』 v.40, no.2, 195-204.

전기신문, 2018.7.5., “독일 전력산업 현황과 진출 여건,” <http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=2107>, [2018.7.5.]

정기철·이광호·박유경·심동혁, 2012, 『녹색기술의 확산·촉진을 위한 정책수단의 효과 분석』, 서울: 과학기술정책연구원.

정순희·최혜경·김창섭·홍승우·이선아·오은혜, 2009, 『그린 홈 이용실태 및 만족도 설문조사』, 서울: 국회예산정책처.

정용섭, 2015, “미니태양광 발전 가전제품의 제품특성이 구매에 미치는 영향에 관한 연구,” 석사학위 논문, 인하대학교, 인천.

정윤경, 2013, 『태양광 산업 및 모듈가격 전망과 대내외 대응전략 연구』, 울산: 에너지경제연구원.

조석·이지평·김창섭·윤순진·노동석·전영환·이상훈, 2016, 『에너지에 대한 모든 생각』, 서울: (주)메디치미디어.

중앙일보, 2017.10.24, “가정용 태양광 설비, 투자비 보상 받기 힘들다.” 경제 6면.

채여라·문태훈·김동환·이동성·정수영·이경택, 2016, 『기후변화 대응역량 강화를 위한 시스템다이내믹스 모델 개발』, 세종: 한국환경정책평가연구원.

최세종·황상선·김강원·황순현·이승환·김발호, 2016, “태양광발전설비 보급을 위

한 생산량기반 보조금의 도입 시 경제성분석,” 『대한전기학회 학술대회 논문집』, Vol.2016, No.11, pp.183-185.

최승국, 2016, “에너지 전환을 위한 태양광발전 활성화 방안 연구: 서울시를 중심으로,” 석사학위 논문, 서울시립대학교, 서울.

최병선, 2012, “에너지공기업 요금규제 방식과 체제의 개선 방안,” 석사학위 논문, 서울대학교, 서울.

최우람, 2010, “시스템 다이내믹스를 활용한 친환경건축물 인증평가항목의 동태 모형 개발,” 박사학위 논문, 전남대학교, 광주.

최윤정·전운주·전혜지·백여교, 2016, “태양광발전패널을 설치한 단독주택에 있어서 설치특성 및 사용자 만족도 분석,” 『한국생활과학회 학술대회논문집』, p.146.

최충익, 2013, 『기후변화 다이내믹스: 기후변화 도시 대응의 시·공간적 역동성』, 서울: 도서출판 대영문화사.

코트라(KOTRA), 2010a, “에너지 매입제도 변화로 인한 그린전력시장 수요 가속화,” <https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/3/globalBbsDataView.do?setIdx=242&dataIdx=96739>, [2018.5.24.]

_____, 2010b, “호주, 태양광 패널시장 무르익어,” <https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/7/globalBbsDataView.do?setIdx=245&dataIdx=98841>, [2018.5.24.]

_____, 2017, “호주의 신재생에너지 산업동향,” <http://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/4/globalBbsDataView.do?setIdx=243&dataIdx=163464>, [2018.5.24.]

_____, 2018, “호주, 새로운 에너지 정책 발표와 함께 떠오르는 배터리 스토리지,” <http://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/5/globalBbsDataView.do?setIdx=244&dataIdx=163977>, [2018.5.24.]

통계청, 2017, “장래가구추계 보도자료: 2015~2045년.”

투데이에너지, 2009.11.9., “日, 이달부터 태양광 잉여전력 매입,”
<http://todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=50534>,
 [2018.5.21.]

_____, 2017.10.19., “주택 태양광 보급, 유통업자 배만 불러,”
<http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=127119>,
 [2018.5.29.]

한국수출입은행 해외경제연구소, 2018, 『2018년 1분기 태양광산업동향』.

한국에너지공단, 2007, “보도자료: 태양광주택, 설치시설 가동률 및 만족도 높아,
 태양광주택 사후관리 설문결과 발표.” 경기: 한국에너지공단.

_____, 2014, 『2014 신·재생에너지백서』, 경기: 한국에너지공단.

_____, 2016a, 『2016 신·재생에너지백서』, 경기: 한국에너지공단.

_____, 2016b, 『주간에너지이슈브리핑』, 116호, 경기: 한국에너지공단.

_____, 2017, 『신재생에너지보급통계』, 경기: 한국에너지공단.

한국일보, 2017.9.19., “대전시, 아파트·주택 태양광발전 만족도 높아,”
<http://hankookilbo.com/v/c63c1728b08e49c49075c82651eace09>,
 [2018.5.21.]

한국태양광산업협회, 2011, 『태양광발전 보급 잠재량 조사를 통한 확대기반 조성
 에 관한 보고서』, 서울: 지식경제부.

한전경제경영연구원, 2016a, 『KEMRI 전력경제 REVIEW』, 7호.

_____, 2016b, 『KEMRI 전력경제 REVIEW』, 14호

_____, 2016c, 『KEMRI 전력경제 REVIEW』, 20호

_____, 2016d, 『KEMRI 전력경제 REVIEW』, 24호.

_____, 2017, 『KEMRI 전력경제 REVIEW』, 17-16호.

홍유식·남정호·정호철·지영승·이윤정, 2017, 『ESS 산업 생태계 강화지원정책 및

전략 개발』, 세종: 산업통상자원부.

환경부, 2013, 공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침.

환경부, 2015, “2030년 온실가스 감축목표 확정,”
<http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?menuId=284&boardMasterId=108&boardId=534140>, [2018.5.21.]

Brown, R. L., 2016, 『에너지 대전환: 화석연료 기반경제의 붕괴와 新에너지 경제의 부상』, (정성우·조운택 역), 서울: 어문학사(원서출판 2015).

McDemont, I and J. O'Connor, 2016, 『생각의 미래: 미래를 통찰하는 시스템사고』, (아시아미래인재연구소 역), 서울: 지식노마드(원서출판 1997).

Rogers, E. M., 2005, 『개혁의 확산』, (김영석 역), 서울: 커뮤니케이션북스(원서출판 2003).

SBS 뉴스, 2016.12.17., “박진호의 시사전망대: 전기요금 할인, 많이 받으려면 많이 써라?,” http://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1003942858, [2018.5.21.]

Seba, T., 2015, 『에너지혁명 2030』, (박영숙 역), 서울: 교보문고(원서출판 2014).

Stern, C. W. and M. S. Deimler, 2009, 『BCG 전략 보고서』, (이영준 역), 경기: 21세기북스(원서출판 2006).

[국외 문헌]

Australian Energy Market Commission, 2013, *2013 Residential Electricity Price Trends*.

_____, 2014, *2014 Residential Electricity Price Trends*.

_____, 2015, *2015 Residential Electricity Price Trends*.

- _____, 2016, *2016 Residential Electricity Price Trends*.
- _____, 2017, *2017 Residential Electricity Price Trends*.
- BAEconomic, 2017, *Electricity production subsidies in Australia*, Minerals Council of Australia.
- Bass, F., 1969, "A new product growth model for consumer durables," *Management Science*, Vol.15, pp.215-227.
- BNEF, 2013, "Levelised Cost of Electricity Update: Q2 2013," Research Note.
- _____, 2017, *2Q 2017 Global PV Market Outlook*.
- Branker, K., M.J.M. Pathak and J.M. Pearce, 2011, "A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.15, pp.4470-4482. 25.
- Brown, R. L., 2015, *The Great Transition: Shifting from Fossil Fuels to Solar and Wind Energy*. New York: W.W. Norton & Company.
- Byrne, J. and L. Kurdgelashvili, 2011, The Role of Policy in PV Industry Growth: Past, Present and Future. In Luque, A., Hegedus, S. (Eds.), *Handbook of PV Science and Engineering*, Wiley.
- Coleman, J., E. Katz and H. Menzel, 1966, *Medical Innovation : A Diffusion Study*, New York: Bobbs-Merrill.
- Coyle, R.G. 1998, "The Practice of system dynamics: milestones, lessons and ideas from 30 years experience," *System Dynamics Review*, Vol.14, No. 4, pp.343-365.
- Deutsche Bank, 2015, *Solar Grid Parity in a Low Oil Price Era*.
- Edison Electric Institute, 2016, "Solar Energy and Net Metering," <http://www.eei.org/issuesandpolicy/generation/NetMetering/Documents/Straight%20Talk%20About%20Net%20Metering.pdf>, [2018.5.5.]
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2016, *Development of Renewable Energy Sources in Germany 2015*.
- Gary, M. S., K. M. Morecroft and S. F. Rockart, 2008, "System dynamics and strategy," *System Dynamics Review*, Vol. 24, No. 4, pp.407-429.
- GTM Research and Solar Energy Industries Association, 2017, "U.S. Solar Market Insight, quarterly and annual reports," <https://www.greentechmedia.com/research/subscription/u-s-solar-market-insight#gs.lMQLHCg>
- Håkon, T., Jackson Inderberg, Kerstin Tews and Britta Turner, 2016, "Power from the People?," *FNI Report*, 5/2016.
- Horsky, D. and Leonard S. Simon, 1983, "Advertising and the Diffusion of New Products," *Marketing Science*, Vol. 2, pp.1-10.
- IEA, 2014, *Energy Balances of OECD Countries*.
- _____, 2017, *World Energy Outlook 2017*.
- _____, 2018, *Energy Prices and Taxes, First Quarter 2018*. Paris, France: IEA Publications.
- IEA and NEA, 2010, *Projected Costs of Generating Electricity: 2010 Edition*.
- IRENA, 2017, *Renewable Energy Target Setting*.
- Islam, T., 2014, "Household level innovation diffusion model of photo-voltaic(PV) solar cells from stated preference data," *Energy Policy Volume 65*, February 2014, pp.340-350.
- Jeon, Chanwoong, 2014, "Two Essays on the Valuation and Subsidy

estimation : Korea Photovoltaic industry case,” Doctoral Dissertation, The Graduate School Sungkyunkwan University Management of Technology, Seoul.

Lazard, 2016, *Lazard’s Levelized Cost of Energy Analysis-Version 10.0*.

Lee, Jae-Seung and Jeong-Won Kim, 2017, “The Factors of Local Energy Transition in the Seoul Metropolitan Government: The Case of Mini-PV Plants,” *Sustainability*, 2017, 9(3), 386; DOI:10.3390/su9030386.

Magnani, N. and G. Osti, 2016, “Does civil society matter? Challenges and strategies of grassroots initiatives in Italy’s energy transition,” *Energy Research & Social Science* 13, pp.148-157.

Matsui, K., 2015, “Simple Utility-Interactive Photovoltaic Power Conditioners Installed in Veranda of Apartment Houses,” *Journal of the Japan Institute of Energy*, 94, pp.571-575, Special articles: Grand Renewable Energy.

METI, 2016, “Settlement of FY 2016 Purchase Prices and Surcharge rates under FIT Scheme for Renewable Energy,” News Release.

Moore, F. C. and Diaz D. B., 2015, “Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy,” *Nature Climate Change*, 5, pp.127-131.

Moxnes, E., 2004, “Misperceptions of basic dynamics: the case of renewable resource management,” *System Dynamics Review*, Vol. 20, No. 2, pp.139-162.

NREL, 2010, *A Guide to Community Solar*, <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/49930.pdf>, [2018.6.19]

REN21, 2016, *Renewables 2016 Global Status Report*.

_____, 2017, *Renewables 2017 Global Status Report*.

Richardson, G. P., 1991, *Feedback thought in social science and system theory*, Philadelphia: University of Pennsylvania Press.

Schoor, van der., Tineke and B. Scholtens, 2015, “Power to the people: Local community initiatives and the transition to sustainable energy,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, pp.666-675.

Seba, T., 2014, *Clean Disruption of Energy and Transportation: How Silicon Valley Will Make Oil, Nuclear, Natural Gas, Coal, Electric Utilities and Conventional Cars Obsolete by 2030*. United of America: tonyseba.com

Short, W., Daniel J. Packey and Thomas Holt, 2005, *A manual for the economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies*, NREL.

Sterman, J., 2000, *Business Dynamics : System Thinking and Modeling for a Complex World*, NY: McGraw Hill.

Sultan, F., J. U. Farley and D. R. Lehmann, 1990, “A Meta-Analysis of Applications of Diffusion Models,” *Journal of Marketing Research*, Vol. 27, pp.70-77.

Venkatraman, N., L. Loh and J. Koh, 1994, “The adoption of Corporate governance mechanisms: a test of competing diffusion models,” *Management Science*, Vol.40, pp.496-507.

〈부 록〉

1. 미니태양광발전기 설치 관련 설문조사지 195
2. 모델링 수식 203
3. 재생에너지 발전(태양광발전, 풍력) 외부감축사업 온실가스 감축량 산정 방법론 207

<부록 1> 미니태양광발전기 설치 관련 설문조사지

1. 미니태양광발전기 설치 사업에 대해 알게 된 계기는 무엇인가요?

- ① 서울시나 구청에서 배포한 홍보물을 보고
- ② 서울시나 구청에서 개최한 에너지 관련 교육을 통해
- ③ 구청 직원의 권유와 주민 설명회를 통해
- ④ 신문, TV 등 매스컴의 보도를 통해
- ⑤ 주변인의 소개를 통해(마을 대표, 이미 설치한 사람의 추천 등)
- ⑥ 인터넷을 통해
- ⑦ 기타 ()

2. 다음에 제시된 항목들이 미니태양광발전기 설치 결정에 미친 영향의 정도를 알려주세요. ①은 전혀 없다, ⑦은 매우 크다, ①에서 ⑦ 사이 숫자 중 하나를 선택해 주세요.

- 1) 이미 설치한 사람의 추천 등 주변인 권유 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
- 2) 설치 시 지급되는 보조금 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
- 3) 전기요금 절감 효과 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
- 4) 관련 산업의 육성 및 경기활성화 효과 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
- 5) 기후변화 문제 등의 환경 문제에 대한 관심 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
- 6) 원자력발전의 안전성에 대한 불안감(방사능 누출 등) ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
- 7) 에너지에 대한 교육 효과 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
- 8) 밀양 송전탑 갈등과 같은 사회적 문제에 대한 관심 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
- 9) 천연자원 고갈 가능성에 대한 걱정 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦
- 10) 나 자신, 우리 아파트나 마을의 이미지 개선 효과 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

2-1. 위에 제시된 항목 이외에 미니태양광발전기를 설치하기로 결정하는데 영향을 미친 요인이 있다면 적어주세요.

()

2-2. 위에 제시된 항목 중 설치 결정에 가장 큰 영향을 미친 요인을 순서대로 2가지만 알려주세요. (1부터 10까지의 번호를 기록)

()

3. 전기요금 절감액이나 전력생산량을 관심 있게 체크하고 계시나요?

전혀 아니다 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ 매우 그렇다

4. 스마트폰으로 체크할 수 있는 와이파이 계량기를 설치해주면 체크하겠는가?

전혀 아니다 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ 매우 그렇다

5. 전기요금 절감액은?

- ① 거의 차이가 없음
- ② 2,000원 미만
- ③ 4,000원 미만
- ④ 6,000원 미만
- ⑤ 8,000원 미만
- ⑥ 8000원 이상
- ⑦ 아직 모름

6. 미니태양광발전기 설치를 확산하기 위해 향후 개선되어야 할 점은 무엇이라고 생각하시나요? 아래 보기 가운데 가장 중요하다고 생각하시는 점을 선택해 순서대로 2가지만 적어주세요.

- ① 설치비에 대한 보조금 지원을 더 늘려야 한다.
- ② 더 많은 전력이 생산될 수 있도록 설비의 효율을 높여야 한다.
- ③ 재생가능에너지 관련 교육 프로그램과 다양한 정보를 제공해 미니태양광발전기에 대한 이해도를 높여야 한다.
- ④ 신청 절차를 단순화시켜서 더 쉽게 설치 신청을 할 수 있도록 해야 한다.
- ⑤ 태양광발전 설비의 디자인을 개선해야 한다.
- ⑥ 더 많은 사람들이 제대로 알 수 있도록 홍보를 강화해야 한다.
- ⑦ 태양광발전기를 설치한 사람들의 커뮤니티가 활성화되어야 한다.
- ⑧ 기타 ()

7. 최근 전기요금 누진제가 완화되면서 미니태양광발전기 설치에 따른 전기요금 절감 효과가 감소되었습니다. 이 사실을 미리 알았다면 태양광발전기 설치를 하지 않았을까요? (태양광발전기 설치를 후회한다면 ⑦번)

전혀 아니다 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ 매우 그렇다

7-1. 이에 따라 정부에서는 보조금을 늘려 작년보다 올해 설치하는 사람들은 자부담금이 더 줄어들게 될 것으로 보입니다. 이에 대해 찬성하시나요?

전혀 아니다 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ 매우 그렇다

7-2. 전기를 적게 쓰는 사람에게 보조금을 더 많이 주는 식으로 보조금에 차등을 두는 것이 좋다는 의견에 대해서는 어떻게 생각하시나요?

전혀 아니다 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ 매우 그렇다

8. 주변 이웃들에게 미니태양광발전기 설치를 권유하실 의사가 있습니까?

(중정도順)

- ① 매우 그렇다
- ② 그렇다
- ③ 보통이다
- ④ 그렇지 않다
- ⑤ 전혀 그렇지 않다

<미니태양광발전기 미설치자 대상 질문>

9. 미니태양광발전기를 설치하지 않은 이유는 무엇입니까?

- ① 미니태양광발전기 설치사업 자체를 알지 못했다.
- ② 알고는 있었으나 보조금이 적어 초기 설치비가 부담스러워서
- ③ 알고는 있었으나 전기요금 절감 효과가 적어서
- ④ 미니태양광발전기를 설치하고 싶었으나 배란다가 남향이 아니거나 배란다 모양이 설치에 불가능해서
- ⑤ 설치하고 싶었으나 아파트입주자대표회의(혹은 관리실, 이웃 등)에서 반대해서
- ⑥ 기타 의견이 있으시면 적어주세요.

10. 전기요금 누진제가 완화되어 미니태양광발전기 설치에 따른 전기요금 절감 효과가 감소하게 되자, 작년까지는 자부담금이 50%였는데 올해 정부의 보조금이 더 늘어나 자부담을 25% 정도만 하면 발전기 설치가 가능하게 되었습니다. 미니태양광발전기 설치에 대해 어떻게 생각하십니까?

- ① 전혀 설치할 생각이 없다
- ② 설치하고 싶지 않다
- ③ 잘 모르겠다
- ④ 설치에 관심이 생겼다
- ⑤ 설치를 적극 고려해보겠다

<부 록 2> 모델링 수식

1. 신규가구 = $21.67 + \text{STEP}(-4.87, 4) + \text{STEP}(-4.26, 9) + \text{STEP}(-4.02, 14) + \text{STEP}(-3.74, 19)$

2. 미설치 가구 = 철허 가구 - 미설치 가구 * 설치율 + 신규 가구
Initial Value = 1952.4, Units: 만 가구

3. 태양광 설치 가구 = 미설치 가구 * 설치율 - 철허 가구
Initial Value = 25, Units: 만 가구

4. 혁신계수 = 0.03
Units: fraction

5. 모방계수 = IF THEN ELSE(태양광 설치 가구 > 20, IF THEN ELSE(태양광 설치 가구 > 30, IF THEN ELSE(태양광 설치 가구 > 50, IF THEN ELSE(태양광 설치 가구 > 100, 0.3, 0.25), 0.2), 0.15), 0.1)
Units: fraction

6. 철허 가구 = 0.05 * 태양광 설치 가구
Units: 만 가구

7. 설치율 = IF THEN ELSE((모방계수 + 혁신계수) / 100 + 태양광설치의 경제성 / 100 > 0, (모방계수 + 혁신계수) / 100 + 태양광설치의 경제성 / 100, 0) - 0.0015
Units: fraction

8. 태양광 설치의 경제성 = 태양광 생산 전기 판매 수익+자가소비용 태양광의 전기요금 절감 효과+1/(설비 가격-보조금)*10

Units: fraction

9. 설비 가격 = 700-태양광 설치 가구*0.3

Units: 만원

10. 태양광 생산 전기판매 수익 = 매입 기준가격과 전기요금의 차이+1

Units: 원/kWh

11. 매입 기준가격과 전기요금의 차이 = IF THEN ELSE(잉여전력 매입 기준가격>0, 잉여전력 매입 기준가격-전기요금, 0)

Units: 원/kWh

12. 잉여전력 매입 기준가격 = IF THEN ELSE(재정부담>2, -1.5, IF THEN ELSE(재정부담>1.5, -1, 0))+X

Units: 원/kWh

13. 재정부담 = IF THEN ELSE(보조금>500, 1, 0.5)+IF THEN ELSE(태양광 설치 가구>150, 1, 0)+IF THEN ELSE(태양광 설치 가구>100, 0.5, 0)+STEP(0.25, 5)

Units: fraction

14. 전기요금 = IF THEN ELSE(재정부담>1, IF THEN ELSE(재정부담>2, 1.2, 1.1), 1)

Units: 원/kWh

15. 태양광설치의 전기요금 절감 효과 = 전기요금*0.1

Units: fraction

16. 보조금 = 설비 가격*X

Units: 만원

<부 록 3> 재생에너지 발전(태양광발전, 풍력)

외부감측사업 온실가스 감측량 산정 방법론

자료: 환경부 고시 제2013-180호

「저탄소 녹색성장 기본법」 제42조 및 같은 법 시행령 제28조에

따른 「공공부문 온실가스-에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」

1. 적용조건

본 방법론은 재생에너지 발전설비를 설치하여 전력생산 및 자가 전력으로 대체하는 활동에 적용 가능하다.

본 방법론을 적용하기 위해서는 다음의 조건을 만족해야 한다.

- ① 적용 가능한 발전용 재생에너지원은 태양광과 풍력으로 제한한다.
- ② 3kW이하 발전설비 용량에 적용 가능하다.
- ③ 재생에너지 발전 설비가 없는 신설되는 경우에 적용 가능하다.
- ④ 기존의 설비에 용량을 추가하는 경우에도 적용 가능 하지만 전체 용량이 3kW를 초과할 수 없다.

2. 온실가스 배출 감측량 산정

온실가스 배출 감측량은 ① 전력 생산량을 모니터링 하는 경우, ② 전력 생산량을 모니터링 하지 않는 경우 선택적으로 적용 가능하다.

① 전력생산량을 모니터링 하는 경우

온실가스 배출 감측량은 다음의 계산식에 따라 산정한다.

$$ER = E \times EF_{CO_2eq} / 1,000$$

- ER : 총 온실가스 감축량 (tCO₂eq)
- E : 감축사업에 의한 전력생산량 (kWh)
- EF_{CO₂eq} : 조정 전력 배출계수 (tCO₂eq/MWh)

① 모니터링 항목

데이터/변수	E
단위	kWh
설명	모니터링 기간 중 감축사업에 의한 전력생산량
데이터 출처	전력량계
모니터링 주기	지속적

② 적용 계수

기호	정의	적용값
EF _{CO₂eq}	조정 전력 배출계수	0.46625tCO ₂ eq/MWh*

* '공공부문 온실가스-에너지 목표관리제 운영 등에 관한 지침' 별표 4의 국가 고유 전력배출계수(07~08년 평균)에 지구온난화지수를 반영하여 이산화탄소상당량톤으로 계산한 값

② 전력생산량을 모니터링 하지 않는 경우

온실가스 배출 감축량은 다음의 계산식에 따라 산정한다.

$$ER = E \times EF_{CO_2eq} / 1,000$$

- ER : 총 온실가스 감축량 (tCO₂eq)
- E : 감축사업에 의한 전력생산량 (kWh)
- EF_{CO₂eq} : 조정 전력 배출계수 (tCO₂eq/MWh)

여기에서 E는 다음의 계산식에 따라 산정된다.

$$E = \sum C_i \times N_i \times \eta_i \times h_i$$

- C_i : 사업 후 재생에너지 i의 설비용량 (kW/대)
- N_i : 재생에너지 i의 설치 대수 (대)

- η_i : 사업 후 재생에너지 i에 따른 전력 이용률 (%)
- h_i : 재생에너지 i의 운전시간 (h)

① 배출량 산정 항목

데이터/변수	단위	설명
C _i	kW/대	사업 후 재생에너지 i의 설비용량
N _i	대	재생에너지 i의 설치 대수
h _i	h	재생에너지 i의 운전시간*

* 운전시간은 해당 감축량 산정 기간(월) × 24(시간/일) 적용

② 적용 계수

기호	정의	적용값
η _i	사업 후 재생에너지 i에 따른 전력 이용률**	태양광: 15.5%, 소형풍력: 20%**
EF _{CO₂eq}	조정 전력 배출계수 사용	0.46625tCO ₂ eq/MWh

** 전력 이용률 출처: <http://greenhome.kemco.or.kr>, 그린홈, 한국에너지공단(3kW 이하 기준)

3. 방법론 개정 이력

문서 버전	일자	이력 정보
1.0	2013.12.31.	최초 등록

< 예시 >

3kW 태양광을 100개 가구에 설치하여 자가 이용하는 사업에서의 연간 온실가스 감축량 산정 (단, 전력생산량 모니터링 하는 경우에는 전력생산량은 428,530kWh로 계측되었다고 가정)

1 전력생산량을 모니터링 하는 경우

☞ 온실가스 감축량 산정식

$$ER = E \times EF_{CO_2eq} / 1,000$$

$$= 428,530 \times 0.46625 / 1,000$$

$$= 200tCO_2eq$$

3kW 태양광 100개 가구 보급에 의한 온실가스 감축량은 200tCO₂eq로 산정됨.

- ① 모니터링 항목
E = 428,530kWh
- ② 적용계수
EF_{CO₂} = 0.46625tCO₂eq/MWh

2 전력생산량을 모니터링 하지 않는 경우

☞ 온실가스 감축량 산정식은

$$ER = E \times EF_{CO_2eq} / 1,000$$

여기에서 $E = \sum C_i \times N_i \times \eta_i \times h_i$

$$= 3kW/대 \times 100대 \times 15.5\% \times 8,760h$$

$$= 407,340kWh$$

태양광 보급으로 연간 407,340kWh의 전력 공급을 하는 것으로 산정됨

$$ER = E \times EF_{CO_2eq} / 1,000$$

$$= 407,340kWh \times 0.46625tCO_2eq/MWh / 1,000$$

$$= 190tCO_2eq$$

3kW 태양광 100개 가구 보급에 의한 온실가스 감축량은 190tCO₂eq로 산정됨.

Abstract

Promotional Strategies of Photovoltaic System
for Self-consumption using System Dynamics Modeling

Hee Jung Chung

Cooperate Course of Climate Change

The Graduate School

Sejong University

At the end of 2017, the government introduced a goal of promoting 20% of power generation with renewable energy by 2030. Recalling that the target of the new renewable energy penetration rate according to the Second Energy Basic Plan, established in 2013, was 11% by 2035, this is a huge change.

The government set a new installment target capacity of 48.7GW in 2018~2030 in the 'Renewable Energy 3020 Implementation Plan', and announced that it will cover 63%(30.8GW) with photovoltaic system. In order to achieve this goal, the installation of small-scale generators as well as large-scale power generation projects must be increased significantly. Building a large-scale power plant quickly faces many difficulties in selecting site and implementing the projects. However, small-scale photovoltaic system for self-consumption(hereinafter referred to as SC) can be expanded quickly with less concern about civil complication and ecosystem destruction.

This study sought to find the optimal strategy for the diffusion of photovoltaic system for SC and contribute to establishment of citizen participation policy for energy conversion.

First, this research looked at the various photovoltaic system promotional strategies of overseas countries that have successfully supplied photovoltaic system and confirmed the incentive to make citizens install SC photovoltaic system through surveys. This research constructed a model that can be used for various strategy experiments using 'system dynamics' methodology that has the merit of overcoming limitations of monopolistic thinking and reading the cyclical feedback structure of the system. The strategy simulation using the system dynamics model is based on the 3kW roof-top system among the SC photovoltaic system. Also this study has prospected on the possibility that the government could achieve the goal that will be supplied 1.56 million households by 2030.

Preceding researches and surveys confirmed that the most effective strategy to encourage citizens to participate in photovoltaic production is 'economic incentive'. As a result of comparing to Japan and Australia, which is the world's No.1 in terms of the speed and capacity of SC solar power supply in houses, with Korea, it is found that subsidy for the economic benefit of installing SC photovoltaic system and Renewable Energy Buyback Scheme (hereinafter referred to as REBS) that allows the owners of SC photovoltaic system to sell their excess electricity to the utilities are also in common. (Korea's REBS will be implemented after the end of 2018).

After selecting the factors and policies that affect the economics of SC photovoltaic system installation, such as electricity rates, subsidies, facility cost and REBS, this study created a causal loop diagram that describes the relationship among them. Based on the causal loop diagram, this research constructed a system dynamics model for conducting strategy experiments. This study has prospected through the simulation that the effect of the strategies by inputting the subsidy strategy already implemented, and the REBS as variables.

In order to analyze the strategy effects of 'subsidy' and 'REBS', modeling

using system dynamics was performed. As a result, it can be seen that REBS effect is more influential on the spread of photovoltaic system than subsidy strategy, which can benefit only once at installation. However, the proposed buyback rate is half of the price of residential electricity. Since SC has more economic benefit than selling the electricity power, the effect of policy adoption is analyzed that it is not as good as expected.

To find an effective strategy to supply photovoltaic system for SC, the subsidy ratio is adjusted to 25%, 50%, and 75%, and the buyback rate is adjusted to 50%, 100%, and 150% of residential electricity rate. After combining the nine strategy scenarios, this study simulated each. As a result, the scenario for achieving 1.56 million households in 2030 was the P3(S3) scenario, in which the buyback rate was set at 150% of the residential electricity rate and the subsidy was set at 75% of the installation cost. Among the rest, P2(S2), P2(S3), which raise the buyback rate to the same level as that of residential electricity rate and give subsidy more than 50%, P3(S1) and P3(S2) scenarios, which the buyback rate was set at 150% of the residential electricity rate, it was not possible until 2030, but it was expected to achieve the target between 2031 and 2036.

Based on the simulation results for 20 years(2018~2037), this research has compared the input budget for each scenario and the results, and analyzed that the P3(S1) scenario, which reduced the subsidy rate to 25% and raised the subsidy rate to 150% of the residential electricity rate, has the greatest performance compared to the budget and achieves the target of photovoltaic system installed households.

It is necessary to adopt a new strategy that can stimulate the supply of photovoltaic system while reducing the burden on the government and electric power companies, since the increase in the buyback rate will be burden on the electric power companies. If Government issue REC for renewable energy for

SC such as Japan and Australia, and companies that desire to increase the use of renewable energy can purchase the REC.

This strategy is effective to increase the economic efficiency of SC photovoltaic system without increasing the burden of the government or Korea Electric Power Corporation. This study is meaningful in that it suggests a desirable combination of the strategies for the diffusion of SC photovoltaic system by using the system dynamics model and experimenting with various strategies(in particular REBS to be implemented in the future).

Keywords : Self-consumption Photovoltaic System, residential solar, System Dynamics Modeling, System Dynamics, Promotional Strategies