

스마트그리드 거점도시 구축사업의 경제성 분석 시뮬레이션

허원창 · 신광섭 · 문용마 · 김우제* · 황우현

Simulation for Benefit-cost Analysis of Smart Grid Hub Project

Wonchang Hur · KwangSup Shin · Yongma Moon · Woo-Je Kim* · Woohyun Hwang

ABSTRACT

This study undertakes a simulation analysis for evaluating the benefits and costs of smart grid hub project. The purpose of the study is to explore extensively the alternatives for infrastructure configurations and identify the best scenarios that can satisfy all the stakeholder needs. We consider 19 parameters for configuring a smart grid hub city, and take a strategy of exhaustive search to find configurations that meet the two criteria simultaneously: each stakeholder's B/C ratio should be equally distributed and the B/C ratio of the entire city should be maximized. The results offer some meaningful implications for building a successful deployment strategy that can facilitate the diffusion of smart grid technologies.

Key words : Smart grid, Hub, Stakeholder analysis, Benefit-cost analysis

요약

본 연구는 최근 정부의 주요 에너지 관련 정책 중 하나인 지능형 전력망 확산 사업 중 스마트그리드 거점지구 프로젝트에 대한 경제성 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 연구의 목적은 거점도시의 구축을 위한 인프라 구성을 제시하고, 이에 따라 변동하는 다양한 이해관계자간 비용과 편익의 상호작용에 초점을 두고 가능한 대안을 탐색하여, 최종적으로 모든 이해관계자의 편익이 골고루 높으며, 도시 전체의 경제성이 높은 인프라 구축 대안을 제시하는 것이다. 본 연구결과는 향후 성공적인 스마트그리드 거점도시 프로젝트 수행을 위한 전략적 방향을 수립하는 데 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 스마트그리드, 거점도시, 이해관계자 분석, 경제성분석

1. 서론

스마트그리드란 기존 전력망에 정보통신기술을 접목하여, 공급자와 수요자간 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 지능형 수요관리, 신재생 에너지 연계, 전기차 충전 등을 가능케 하는 차세대 전력인프라 시스템을 일컫는다^[1]. 스마트그리드 기술의 구성요소로는 스마트계량기(AMI), 에너지관리시스템(EMS), 에너지 저장 시스템(ESS), 전기차 및 충전소, 분산전원, 신재생에너지, 양방향 정보

통신기술, 지능형 송배전 시스템 등을 들 수 있다. 우리나라의 경우 세계 10위의 탄소배출국으로 GDP대비 온실가스 배출량이 OECD 국가 평균치의 1.6배 수준에 이르기 때문에 지속가능한 성장을 위한 에너지 자립과 효율성 제고라는 측면에서 스마트그리드 기술의 검증과 구축을 통한 실증이 요구되고 있다. 정부에서는 전력 IT 사업(2005~2013), 스마트그리드 국가로드맵 수립(2010.1), 지능형전력망법 제정(2011.5) 및 시행(2011.11), 제주실증단지 운영(2009.12~2013.5) 등을 통해 제도적 기반과 기술검증을 이미 완료하였다^[2-4]. 현재 스마트그리드 제주실증단지는 도시전체의 전력수요에 대한 반응을 실증하는데 한계가 있으므로 가급적 빠른 시일 내에 거점 도시를 조성하여 이를 보완해야 한다는 요구가 발생하고 있어, 지자체 수요조사와 사업모델 별 공모 등을 거쳐 2013년 초까지 스마트그리드 거점도시 추진계획을 마련하고, 2016년까

Received: 2 December 2015, **Revised:** 22 December 2015,
Accepted: 22 December 2015

*Corresponding Author: Woo-Je Kim

E-mail: wjkim@seoultech.ac.kr
Dept. of Industrial and Information Systems Engineering,
Seoul National University of Science and Technology

지 7개 거점도시를 구축할 계획을 수립하였다.

본 연구의 목적은 스마트그리드 기술의 투자수익을 극대화할 수 있는 거점도시의 인프라 구축 및 운영 방안을 제시하는 것이다. 구체적으로 거점도시 구축과 관련된 각 이해관계자들의 공유가치창출의 관점에서 주체별 경제적 이익이 고르게 배분될 수 있는 최적의 구축방안을 제시하고자 한다. 기존의 스마트그리드 타당성 분석연구는 주로 편익의 유형을 경제성, 신뢰성(reliability), 환경(environmental), 안정성, 보안 등으로 구분하고 각 유형별로 타당한 편익 산정 방식을 도출하는데 초점을 두었다⁵⁻¹⁰⁾. 특히 많은 연구들이 위 유형을 포괄적으로 다루기보다는 특정한 편익 유형에 초점을 두고 연구되었으며, 대부분 유틸리티의 관점에서 운영 및 유지비용의 감소나, 설비투자회피 등으로 인한 자본투자의 감소 등을 주요한 편익항목으로 측정하고 있다. Pullins(2008)나 Baer et al.(2004)의 연구가 편익의 수혜자를 구분하는 분석을 수행하였으나, 본 연구에서처럼 수혜기간 편익의 균형(trade-off)을 주요한 연구요소로 고려하지는 않고 있다¹¹⁻¹²⁾. 또한 대부분의 연구는 스마트그리드의 기술의 주요한 특징인 1) 발전 및 저장용량의 충분한 확보, 2) 자산 및 운영의 효율성, 3) 전력품질 제고, 4) 위험방지과 자동복구, 5) 고객참여, 6) 거래시장 활성화 등으로 구분하고, 이 기술 요소들에 대한 달성정도를 투자 타당성으로 인식하는 태도를 취하고 있다¹³⁻¹⁵⁾. 따라서 거점도시와 같이 도시 전체의 관점에서 기술의 구성, 인프라 투자대상의 선정, 대상별 규모의 산정 등의 구성요인과 이에 따른 사업의 투자 타당성, 그리고 참여자들의 이해관계의 변화를 주목한 연구는 부족한 편이라고

할 수 있다. 이에 본 연구에서는 가상의 도시를 산정하고 스마트그리드 요소기술 별 적용 대상을 분류한 후, 이해관계자별로 편익과 비용의 균형을 도출하는 방향으로 경제성 분석 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구의 나머지는 다음과 같이 구성된다. 우선 2장에서는 거점도시에 대한 경제성 분석 연구의 필요성을 설명하고, 3장에서는 경제성 분석을 위한 비용 및 편익요소와 초기 조건 등을 설명하였다. 4장에서는 탐색적 방법으로 도출된 시나리오들과 이로부터 발견되는 시사점들을 제시하였으며, 이와 함께 거점지구의 최적형상으로 고려될 수 있는 대안을 제시하였다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 시사점과 함께 거점도시 구축사업의 바람직한 방향에 대하여 토의하였다.

2. 연구의 필요성

스마트그리드의 확산을 위하여 정부가 추진해온 실증단지 사업과 최근 논의되고 있는 거점지구 사업은 근본적으로 그 취지나 목적에서 다음과 같은 차이가 있다.

실증단지는 개발된 신기술의 유효성을 타진하는 데 초점을 두고 있는 반면, 거점도시는 사업화에 초점이 맞추어져 있어 안정적이며 경제성 있는 기술의 활용에 주안점을 두고 있다. 또한 실행규모 측면에서도 실증단지는 기술검증을 위한 최소규모로 운영하여 기술위주의 성과측정에 초점을 두지만, 거점도시에서는 기술확산 및 사업화를 위한 충분한 규모를 충족해야 하며, 공익성과 상업성을 동시에 추구하는 성과측정이 요구된다.

Table 1. Difference between smart grid test site and smart grid hub

구분	실증단지	거점지구
추진 단계	기술개발의 유효성 적용기술 준비도 및 고객 수용도 정립, 개발 활동 평가 기술적·사업적 예상 이슈 도출	사업화 가능성 적용기술 확산적용, 다수고객 수용도 및 사업화 성공여부 확인 확산적용을 위한 리스크 및 불확실성 해결
실행 규모	기술검증용 최소규모 충족 실증단지 제반 여건 고려, 검증 가능 기술 선별 및 적용 규모 확정 적용가능성, 상호운용성, 확장성 위주	확산·사업화를 위한 충분한 규모 충족 도시(재구)별 특성 고려, 사업화 가능 기술 선별 및 필요 규모 확보 안정성, 신뢰성, 영리성 위주
기술 특성	개발된 모든 신기술 검증 불확실한 신기술의 총체적 검증 기존 기술 대비 차별화수치 도출	안정적이며 경쟁력 있는 기술 구현 기존기술과 융합을 통한 신기술 구축 기존기술 대비 영리적 차별화 도출
성과 측정	기술 위주의 성과 측정 적용 기술의 실효성, 구현 목표 대비 완성도 소비자(지역주민) 이용참여도 및 피드백	공익성/상업성 위주의 성과측정 탄소절감을 위한 대체투자 및 녹색산업에서의 신규고용 효과 운영 및 유지보수비용 절감 효과

거점도시가 현실적인 규모의 스마트그리드 인프라 구축을 통한, 운영 논리 및 사업 모델 개발, 경제성 판단의 시험대가 되기 위해서는 기술개발, 실증, 사업화가 선순환 구조를 이룰 수 있도록 하는 거점도시 및 사업 모델이 필요하다. 또한 스마트그리드 관련 기술의 특징과 전력 소비 형태를 고려하여 적절한 서비스 모형을 설계하고, 새로운 기술과 사업 모델의 도입에 대한 경제적 타당성에 대한 분석도 수행 되어야 한다. 스마트그리드 거점도시의 개발이 세심하게 계획되고 조율되지 않는다면 큰 규모의 투자에도 불구하고 단순한 인프라 구축과 노후 설비의 개선에 머무르거나 일부 사업 참여자들의 단편적인 성과를 달성하는 것에 그칠 가능성이 높다^[16-18]. 따라서 거점지구 사업이 성과를 거두기 위해서는 스마트그리드 기술의 공급, 소비, 정책 측면에서의 이해관계자들에 대한 분석이 선행되어야 하며, 이들의 투자에 대한 경제적 동인을 자극하는 방식으로 인프라 구축 및 운영시나리오가 개발되어야 한다. 이를 위해서는 여러 가지 인프라 구축 및 정책 시나리오에 따라 각 이해관계자의 경제적 타당성이 어떻게 변화하는지를 분석하는 시뮬레이션 연구가 요구되며, 그 결과를 바탕으로 사업 추진의 전략적 방향을 수립하였

을 때 스마트그리드 기술에 대한 투자와 수용이 확산될 수 있을 것이다.

3. 이해관계자별 비용편익 분석

3.1 비용 및 편익요소 산정

스마트그리드 거점도시의 경제성을 분석하기 위해서 먼저 거점도시와 관련된 이해관계자를 정의하고, 각 이해관계자별로 거점도시에 도입될 스마트그리드 설비 구축 및 사용에 따른 비용요소 및 편익요소를 산정하였다. 본 연구에서는 거점도시의 이해관계자를 수용가, 신재생발전 시설, 한국전력, 및 정부로 구분하였고, 이 중 수용가는 다시 사용되는 스마트그리드 기술의 종류에 따라 스마트플래이스(SP), 신재생(SR), 스마트운송(ST)의 세 유형으로 세분화 하였다. Table 2에는 본 연구에서 사용된 각각의 이해관계자별 비용요소와 편익요소가 정의되었다. 각 항목의 계산 방식 및 기초 데이터는 부록에 정리하였다.

3.2 초기 인프라 구성의 설정

한 도시에는 다양한 유형의 전력수용가가 있으며 동일

Table 2. Cost and benefit elements depending on stakeholders^[19]

이해관계자 구분		비용요소		편익요소
		초기 투자비용	운영비용	
수용가	SP및 공통	<ul style="list-style-type: none"> AMI 구축비용 ESS/EMS 구축비용 	<ul style="list-style-type: none"> EMS 운영비용 	<ul style="list-style-type: none"> 전력 소비 절감 효과 Peak time 전력 수요 절감 (전력 구매 단가 저하)
	SR	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지 (태양광/풍력) 발전 설비 구축비용 	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지 발전 설비 운영비용 	<ul style="list-style-type: none"> 전력 구매 비용 절감 신재생에너지 판매 수익
	ST	<ul style="list-style-type: none"> EV구입 비용 충전기 (급속, 완속) 구입 및 설치비용 	<ul style="list-style-type: none"> EV 운영을 위한 전력 소비 (충전) 비용 충전기 운영비용 	<ul style="list-style-type: none"> EV 운행을 통한 에너지 대체 효과 충전기 운영 수익 V2G를 통한 전력 판매 수익
신재생에너지 발전시설		<ul style="list-style-type: none"> 발전시설 구축비용 ESS/EMS 구축비용 토지 구입 및 건축비용 	<ul style="list-style-type: none"> 발전시설 운영 비용 	<ul style="list-style-type: none"> 전력판매수익
유틸리티 (한국전력)		<ul style="list-style-type: none"> SPG (배전선로, 송변전 시스템) 구축비용 TOC/NOC 구축비용 	<ul style="list-style-type: none"> TOC/NOC/SPG 운영비용 전력 판매 매출 감소 V2G 전력 구매 비용 신재생에너지 발전차액 보전비용 	<ul style="list-style-type: none"> EV확산에 따른 전력 판매 증가 전력 운영 (검침, 변압기 부하 감시, 도전 및 소손, 발송배전설비) 회피 구입 전력 및 발전 회피 절세효과
정부		<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지 발전설비 구축 보조금 EV 구입 및 충전기 설치 보조금 		<ul style="list-style-type: none"> CO₂ 절감 및 에너지 수입 대체 효과 세수 증대 거시 경제 (생산, 부가가치) 유발 효과

Table 3. Initial infrastructure composition depending on smart grid users

구분	수용가 유형	호수	전력소비 (MWh)	유형별 비율	인프라 구성요소					
					ESS	EMS	AMI	EV/완속기	급속기	수용가 신재생
주택	A	14,390	4,158.7	89.9%	X	X	O	X	X	X
	B	10	2.9	0.1%	O	O	O	X	X	X
	C	1,600	462.4	*10%	O	O	O	O	X	O
아파트	A	235	3,433.3	97.9%	X	X	O	X	X	X
	B	5	69.4	*2.1%	O	O	O	O	O	O
상업	소형	3,961	7,640.7	99.5%	X	X	O	X	O	X
	대형A	40	11,764.2	*0.4%	O	O	O	O	O	O
	대형B	1	294.0	0.05%	X	O	O	X	X	X
농촌 시설	A	6,331	4,438.0	99.0%	X	X	O	X	X	X
	B	64	44.8	*1.0%	O	O	O	O	O	O
산업	A	132	3,779.2	93.0%	X	X	O	X	X	X
	B	1	598.7	0.7%	O	O	O	X	X	O
	C	9	5,388.2	*6.8%	O	O	O	O	O	O
공공	학교A	41	388.9	97.6%	X	X	O	X	X	X
	학교B	1	259.8	2.4%	O	O	O	O	O	O
	공건A	20	189.7	95.2%	O	O	O	O	O	O
	공건B	1	9.5	4.8%	X	O	O	X	X	X
교통	렌터카	1	-	*500대	O	O	O	O	O	X
발전	신재생	1	-	*2.0%	O	O	X	X	X	O
계	-	-	37,098.2	-	1,715	1,717	39,805	1,275	639	23.63%

유형의 수용가라 하더라도 그 규모에 따라서 스마트그리드 기술의 도입의지나 효과가 달라질 수 있다. 따라서 스마트그리드 거점도시의 경제성 분석을 위해서는 먼저 도시의 수용가 유형과 유형별 규모를 산정하고, 각 유형에 따라 구축될 스마트그리드 설비의 종류를 설정하여야 한다. 본 연구에서는 도시의 수용가 유형을 각각, 주택, 아파트, 상업시설, 산업시설, 공공시설, 교통시설, 발전시설로 구분하고 각 유형을 규모에 따라 다시 A, B, C 등으로 구분하였다. 또한 도시에 구축될 기술인프라로 AMI, ESS, EMS, 충전시설(급속 및 완속), 신재생발전설비를 고려하였다. Table 3은 수용가 유형에 따른 인프라 구성요소를 나타내고 있다. 가령 주택 A형 수용가는 AMI만을 도입하는 수용가로 정의되는 반면, 상업 대형 A는 앞서 기술한 6가지 인프라 구성요소를 모두 도입하는 것으로 가정하였다. 마지막으로 인구수는 10만을 기준으로 하여 수용가의 유형별 규모를 고려하였다.

Table 3은 경제성 분석 시뮬레이션을 위한 하나의 시나리오이자 입력 자료로서 활용된다. 즉 표에 설정된 유형별 호수 및 전력소비량에 따라서 하나의 거점도시 구축 시나리오가 정의되며 이에 따라 Table 2에 제시된 비용 및 편익항목이 산출된다. 현재 Table 3에 입력된 값은 시뮬레이션을 수행하기 위한 초기값으로 산정된 것이다. 이 초기값은 대규모 스마트그리드 실증이 수행되었던 제주와 신재생 설비 도입이 용의한 강원 등의 수용가 구성 및 전력수요 데이터를 바탕으로 산정하였다. 도입될 설비에 대해서는 모든 수용가에 AMI가 보급되는 것으로 가정하였고, 그 나머지 시설의 설치여부는 수용가 유형에 따라 다르게 산정되었으며, 이 유형의 비율을 조절하는 방식으로 경제성 분석의 시나리오가 산정된다. 표에서 합계는 요소기술 별 총 보급규모가 되며 신재생 부분의 비율은 대규모발전시설과 수용가 발전시설을 통한 발전량의 총 합으로 도시전체의 전력소모대비 비율로 나타내었다. 마지막으로 표의

유형별 비율에서 *로 표시된 부분은 시뮬레이션에서 주요한 민감도분석 항목으로 사용하여 해당 값의 변동이 이해관계자별 편익을 어떻게 변화시키는지 주목하였다.

3.3 분석 시나리오의 설정

앞서 설명한 바와 같이 경제성 분석 시뮬레이션은 제시된 수용가 유형별로 호수를 변동시키면서 이해관계자별 편익의 변화를 관찰하는 방식으로 진행된다. 유형별 호수가 변동되면 제시된 인프라 구성이 변동되어 도시 전체에 도입되는 요소기술의 총량이 변동되며, 그에 따라 각 이해관계자의 비용과 편익이 모두 변동된다. 그런데 총 19개의 수용가 유형에 대해 인프라 투자 규모를 독립적으로 변동시키게 되면 무한대에 가까운 조합의 시나리오를 만들어 낼 수 있다. 이에 본 연구에서는 주요하게 고려되어야 할 인프라 요소 및 유형을 중심으로 단계적으로 변동할 변수를 선택해나가는 방식을 취하였다.

먼저, 가장 큰 규모의 투자가 요구되는 대규모 신재생 발전규모를 도시의 총 전력수요량에 대비한 비율로 산정하였고 그 값을 2%에서 시작하여 증가시키는 방식을 취하였다. 한편 대규모 발전시설과 별개로 주택이나 농가 등 가정 내에 설치될 수 있는 신재생 발전시설의 규모를 정부에서 설정한 목표인 12.5% [1]로 제한하지 않고 12.5%에서 100%까지 변동하여 그 효과를 분석하였다.

한편 가정 내 HEMS+ESS보급 규모에 대해서는 다음과 같은 시뮬레이션 전략을 취하였다. 우선 단독주택 호수를 16,000호로 고정하고 이 중 유형 C의 인프라 구성을 가지는 주택비중의 초기값을 10%로 설정한 후 이 비율을 변동시키는 방식으로 B/C 변화를 살펴보았다. BEMS와 신재생, 충전시설이 보급된 대규모 상업시설의 규모의 경우, 소규모 상업시설의 수는 고정시키고, 대규모 상업시설 총 41곳 중 모든 인프라 요소가 설치되는 A유형의 비율을 변동시킴으로서 분석대상 시나리오들을 도출하였다. 전기차 보급 규모의 경우 수용가별 보급대수는 수용가 규모에 따라 변동적으로 산정하여 약 1,500대~3,500대 까지 변동시켰고, 충전기의 경우 완속기는 전기차 1대당 1기를 보급하는 것으로 가정하였고, 급속기는 렌트카 사업을 고려하여 전기차 수의 50%를 설치하는 것으로 가정하였다. 설치위치는 숙박업소나 쇼핑단지 등 대규모 상업시설과, 공공시설, 학교, 아파트 등에 수용가규모에 비례하여 산정하였다. 마지막으로 렌트카 사업규모는 500대에 시 시작하여 변동시켰다.

앞서 기술한 바와 같이 각 변수의 변화에 따라 B/C가 영향을 받는 이해관계자로는, 1) 수용가, 2) 신재생발전시

설, 3) 한국전력, 4) 정부 및 지자체 이며 수용가의 경우 스마트플레이스, 신재생발전, 스마트운송의 기술 구분에 따른 비용 및 편익구조가 도출된다. 독립변수의 변화 조합은 매우 많고 독립변수에 따른 네 이해관계자의 B/C 변화도 매우 복잡한 양상을 가지므로 수리적으로 최적의 인프라 규모를 찾는 것은 거의 불가능하며, 설사 전 범위에 대한 탐색을 통해 최적해를 찾는다 하더라도 현실적으로 무의미한 조합이 될 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서는 각 변수의 변동에 따른 B/C의 변화 형태에 주목하고, 궁극적으로는 모든 이해관계자의 B/C가 1을 넘도록 하여 편익이 골고루 배분되는 구조를 최적의 투자대안으로 찾아내고자 하였다. 이에 Table 3에 제시된 초기값에서 출발하여 시작하여 약 2,000여 가지 시나리오의 분석을 통해 B/C의 변화를 고찰하였다.

4. 경제성 분석결과

4.1 신재생 비율에 따른 B/C의 변화 I - 발전비율의 조절

Table 4는 대규모 신재생 발전단지의 생산규모와 개별 수용가의 발전량을 변화시키면서 이해관계자의 B/C가 어떻게 변하는지 살펴본 결과이다.

먼저 대규모 신재생 발전단지의 생산규모와 개별 수용가의 발전량을 변화시키면서 이해관계자의 B/C가 어떻게 변하는지 살펴보았다. 표에서 보는 바와 같이 대규모 신재생의 발전량이 늘어나면 한전의 B/C가 감소하는 반면 발전소의 B/C는 증가하는 것으로 나타났다. 특히 대규모 신재생의 규모가 2%가 되면 한전의 손실이 매우 크게 나타난다. 또한 개별 수용가에서 신재생 발전량의 늘리면 수용가의 B/C는 미세하게 감소하나 한전의 B/C가 상당히 큰 폭으로 증가하며, 정부의 B/C 역시 미세하게 증가하는 것을 알 수 있다.

도시 전체의 신재생 생산규모는 대규모 신재생 규모와 개별수용가의 신재생 발전량에 따라 변하게 되는데, 이때 두 발전원의 발전규모 조합에 따라 이해관계자들의 B/C가 다른 양상으로 변화한다. 즉 다음 Fig. 1에서처럼 도시 전체 발전량과 한전 및 신재생발전시설의 B/C 변화는 마치 무작위로 변하는 것처럼 나타나고 있다. 요약하면 모든 이해관계자의 B/C가 향상되는 방향은 1) 대용량 신재생 발전 규모를 증가시켜 신재생 발전단지의 B/C를 올리고, 2) 개별수용가의 발전규모를 늘려 1)에 의해 감소된 한전의 B/C를 올리되, 3) 이때 개별수용가의 B/C가 지나치게 하락하지 않는 범위까지로 제한해야 하는 것으로 제시될 수 있다.

Table 4. B/C ratio depending on smart renewable capacity

신재생 발전비율			B/C 결과 (단독C 및 아파트B 3%, 대형상업A 100%, 농촌시설B 1.5%)				
대규모 신재생	수용가 신재생	도시 신재생 생산	수용가 전체	신재생 발전소	한전	정부 (지자체 포함)	도시 전체
1.0%	12.5%	6.4%	1.069	0.419	2.509	1.333	1.134
1.5%	12.5%	6.9%	1.069	0.618	1.423	1.333	1.116
2.0%	12.5%	7.4%	1.069	0.811	0.337	1.333	1.098
1.0%	20.0%	9.7%	1.037	0.419	2.987	1.353	1.127
1.5%	20.0%	10.2%	1.037	0.618	1.901	1.353	1.110
2.0%	20.0%	10.7%	1.037	0.811	0.815	1.353	1.093
1.0%	30.0%	14.0%	1.003	0.419	3.625	1.376	1.118
1.5%	30.0%	14.5%	1.003	0.618	2.539	1.376	1.103
2.0%	30.0%	15.0%	1.003	0.811	1.453	1.376	1.088

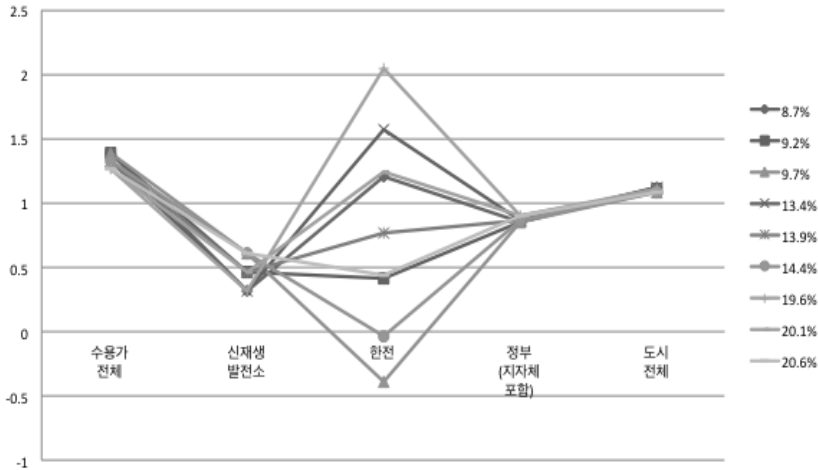


Fig. 1. Stakeholders B/C ratio depending on smart renewable capacity

4.2 신재생 비율에 따른 B/C의 변화 II - 투자규모의 조절

Table 5는 대규모신재생 발전량과 신재생 발전시설이 설치된 수용가의 신재생 발전량을 각각 도시 소비전력의 2%와 30%로 가정하고, 신재생 발전시설, ESS/EMS, 전기차의 인프라가 모두 구축된 수용가의 비율을 변동시키면서 B/C변화를 살펴본 결과이다.

먼저 인프라가 구축된 대형수용가의 규모를 고정한 상태에서 소규모 수용가(주로 주택가)에 대한 인프라 투자를 늘리면 한전의 B/C는 증가하는 반면 정부의 B/C 감소하는 것을 알 수 있다. 한편 소규모 수용가의 투자규모를

고정한 상태에서 대형수용가의 투자 비중을 높이면 역시 한전의 B/C는 증가하고 정부의 B/C는 감소하게 되는데, 이때 정부의 B/C가 감소하는 정도는 상대적으로 미미하다. 따라서 대형수용가에 대한 인프라 구축을 늘리는 것이 정부와 한전의 관점에서는 바람직하다고 해석할 수 있다. 그러나 대형수용가의 투자를 늘릴 경우 수용가의 B/C가 크게 감소하게 되어 앞선 결과와 상충하는 문제가 있다. 한 가지 흥미로운 부분은 대규모 수용가에 대한 투자가 1%일 때 (표에서 음영으로 표시된 부분)는 수용가 전체의 B/C가 수용가 투자규모에 반비례하는 것으로 나타나지만, 이를 1.5% 이상 올리면 비록 그 효과는 미약하긴

Table 5. B/C ratio depending on investment levels (large-scale SR 2%, individual customers SR 30%)

투자규모					B/C 결과				
전기차수	급속 충전기	도시 신재생	대형상업 시설	소규모 수용가	수용가 전체	신재생 발전소	한전	정부 (지자체 포함)	도시 전체
1,275	638	19.7%	1.0%	10%	1.273	0.607	0.018	1.386	1.196
1,595	638	20.6%	1.0%	30%	1.264	0.607	0.439	0.896	1.083
1,915	638	21.5%	1.0%	50%	1.255	0.607	0.860	0.709	1.007
1,325	677	21.7%	1.5%	10%	1.076	0.714	0.607	1.338	1.089
1,645	677	22.4%	1.5%	30%	1.082	0.714	1.028	0.911	1.016
1,965	677	23.2%	1.5%	50%	1.088	0.714	1.449	0.732	0.963
1,375	716	23.1%	2.0%	10%	0.922	0.819	1.197	1.302	0.986
1,695	716	23.8%	2.0%	30%	0.935	0.819	1.617	0.924	0.940
2,015	716	24.4%	2.0%	50%	0.946	0.819	2.038	0.752	0.905

Table 6. B/C ratio depending on EV investment (Customer investment - large-scale 2.5%, small-scale 30%)

투자규모				B/C 결과				
전기차	충전기	수용가 신재생 비율	도시 신재생 비율	수용가 전체	신재생 발전소	한전	정부 (지자체 포함)	도시 전체
1,695	716	30.0%	24.3%	0.935	1.008	0.520	0.924	0.927
2,175	917	30.0%	24.3%	0.944	1.008	1.076	1.043	0.971
2,655	1,113	30.0%	24.3%	0.953	1.008	1.627	1.160	1.012
3,615	1,898	30.0%	24.3%	0.937	1.008	3.088	1.385	1.064
3,615	1,898	40.0%	31.5%	0.922	1.008	4.025	1.399	1.064
3,615	1,898	50.0%	38.8%	0.909	1.008	4.962	1.412	1.065

하지만 투자규모에 비례하는 편익이 발생하는 것으로 나타났다.

신재생 발전소의 경우 도시 전체의 신재생 발전량의 증가와 함께 B/C가 상승하는 결과가 나타나지만, 이 때 한전의 B/C가 감소하는 상충효과가 발생하였다. 요약하면, 인프라 구축규모의 산정에 있어서는 대규모 수용가의 수를 늘리는 방향으로 하되, 개별수용가의 B/C가 하락하지 않는 정도까지 투자하는 것이 적정하며, 이를 바탕으로 정부의 B/C가 지나치게 하락하지 않는 범위에서 일반 소형수용가에 대한 투자 비중을 늘리는 방향으로 투자규모를 산정하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

4.3 전기차 보급 규모 확대에 따른 B/C 변화

마지막으로 다른 인프라 요소에 대한 투자를 고정하

상태에서 전기차 및 충전시설의 투자규모만을 확대하였을 경우 B/C의 변화를 살펴보았다. Table 6에 나타난 바와 같이 전기차의 보급 확대와 이에 대한 충전인프라 투자를 통해 전체 이해관계자의 B/C가 증가하는 효과가 나타난다. 특히 전기차의 확산은 정부와 한전의 B/C가 큰 폭으로 증가하는 효과가 있고, 수용가들은 투자규모를 늘리더라도 전기차 구입 및 충전인프라 구축 등의 비용과 운행비 절감의 편익이 상쇄되어 B/C의 변화폭이 크지 않은 것으로 나타났다. 만약 수용가 신재생 비율 증대나 EMS/ESS 도입 등 다른 투자요인 등으로 전기차 투자 확대 시 개별수용가의 B/C가 감소하게 된다면 전기차 보급 및 충전인프라의 확산으로 편익이 발생하는 정부와 한전의 적극적인 역할이 요구되는 지점이다.

지금까지 몇 가지 시나리오에 따라 제시된 거점도시의

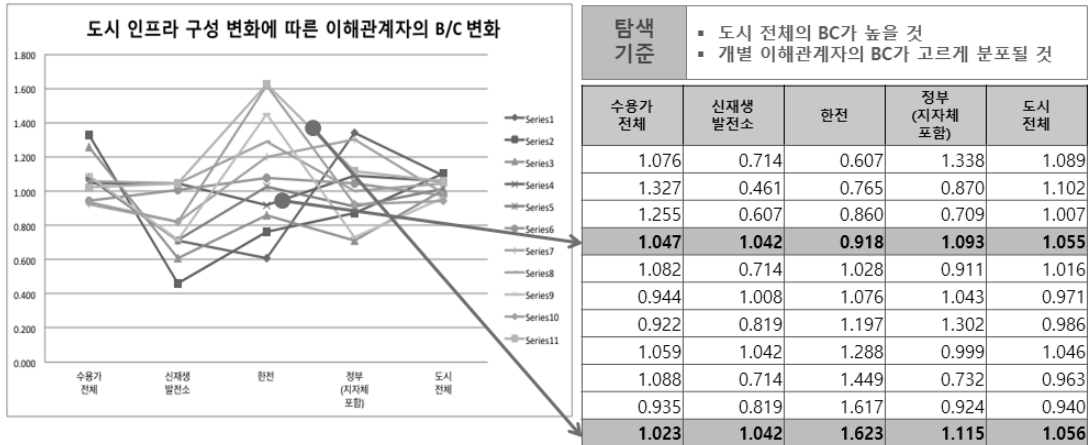


Fig. 2. Exploration of optimal investment scenarios

Table 7. Exploration of optimal investment scenarios

시나리오	전기차 보급		신재생 발전비율			투자대상 규모		B/C 결과				
	전기차	충전기	대규모발전소	수용가발전비율	도시전체발전량	대규모상업시설	단독주택	수용가 전체	신재생 발전소	한전	정부 (지자체 포함)	도시 전체
1	3383	1146	2.7%	45.0%	21.4%	90.0%	7%	1.078	1.074	1.172	1.362	1.151
2	3243	1136	2.7%	45.0%	21.3%	90.0%	6%	1.069	1.073	1.033	1.375	1.144
3	2793	1101	2.7%	55.0%	25.1%	90.0%	3%	1.013	1.071	1.173	1.436	1.112
4	2917	1095	2.7%	47.0%	23.2%	100%	4%	1.139	1.072	1.096	1.443	1.208
5	3053	1101	3.0%	60.0%	27.7%	90.0%	5%	1.112	1.181	1.069	1.437	1.193
6	3051	1099	2.5%	50.0%	22.4%	85.0%	5%	1.160	0.999	1.404	1.420	1.222
7	2933	1111	3.1%	65.0%	29.7%	90.0%	4%	0.996	1.215	1.043	1.433	1.103
8	3833	1181	2.8%	44.0%	21.4%	90.0%	10%	1.107	1.113	1.342	1.329	1.171
9	2782	1090	2.8%	70.0%	29.4%	80.0%	3%	1.019	1.107	1.431	1.461	1.129
10	3232	1125	2.4%	55.0%	23.7%	80.0%	6%	1.088	0.963	1.948	1.391	1.174
11	3221	1114	2.8%	55.0%	24.8%	85.0%	6%	1.148	1.110	1.217	1.412	1.215

도시구조에서 스마트그리드 인프라 보급규모의 변화에 따른 이해관계자별 B/C를 분석한 결과 다음의 시사점이 도출되었다. 첫째, 제시된 거점도시 형태에서 중요한 인프라 요소인 신재생 발전 규모에 따른 효과는 개별수용가에 의한 발전과 대규모 발전시설에 의한 발전에 따라 그 효과가 차별화 되며, 개별수용가의 경우에도 그 규모에 따른 변화가 차별화 되는 것으로 나타났다. 둘째, 대규모 발전시설의 경우 한전과 발전소간의 B/C가 상충하는 결과가 나타나는 데, 발전시설의 경우 발전용량을 2.5% 이상 올려야 경제적 타당성이 나타나지만 발전량을 1%만 상승

시켜도 한전의 손실이 막대하게 커지게 된다. 셋째, 수용가의 발전시설은 전력대체 효과가 큰 대규모 수용가를 중심으로 투자가 이루어 질 경우 한전의 B/C가 큰 폭으로 증가하고 정부의 B/C 감소가 미미하여 좋은 결과를 기대할 수 있으나, 이러한 대규모 투자는 수용가는 B/C가 크게 감소하는 결과가 나타난다. 반면 소규모 수용가의 발전시설은 한전과 정부의 B/C가 유사한 비율로 상충하는 반면 개별수용가의 B/C 감소폭은 크지 않은 특징이 있다. 넷째, 전기차의 보급은 경우 한전과 정부, 수용가 모두의 B/C를 상승시킬 수 있는 요소이다.

4.4 거점도시 최적 형상

지금까지 탐색적인 방법으로 거점도시의 구성시나리오에 따른 경제성 변화를 살펴보았다. 이 같은 논의를 토대로 1) 각 이해관계자들의 B/C가 고르게 나타나면서, 2) 도시 전체의 B/C가 높은 시나리오를 최적의 시나리오로 설정하고 다양한 변수 시나리오의 산정으로 통해 그것을 찾아내고자 하였다. Fig. 2는 거점도시 구성 시나리오를 임의로 변경하면서 제시된 탐색기준에 부합하는 것으로 판단되는 시나리오를 탐색하는 과정을 보여준다.

Table 7은 이러한 과정의 결과로 도출된 최적투자대안 시나리오들이다. 표에서 대규모 발전시설을 약 2.7%로 산정하여 신재생 발전소의 B/C가 약 1.07 정도로 타당하도록 설정하였다. 최적형상이 주는 시사점은 우선 수용가에 대한 인프라 구축의 경우 대규모 상업시설은 약 80% 이상으로 산정하고, 소규모 수용가의 경우 약 5~10% 정도의 대상으로 투자를 하되, 신재생 발전 인프라가 일단 구축된 경우에는 발전용량을 개별 수용가의 전력소비 대비 40~50%까지 끌어올리는 것이 유리하다는 것이다. 또한 앞선 분석결과와 같이 전기차는 많이 보급될수록 유리하나 단기간에 인구 10만 명당 약 2,500대 이상 보급은 어려운 점이 있고 또한 본 경제성 분석에서는 단계적 보급을 고려하고 있지 않은 바, 약 2,000~3,000대 수준의 투자규모를 제시하는 것이 적절한 것으로 보인다. 이러한 투자규모 산정방식에 따른 투자 결과 모든 이해관계자의 B/C는 1을 넘어서는 수준이 된다.

5. 결론 및 한계

스마트그리드는 도시 계획 및 인프라와 밀접한 관련이 있고, 그 성공 여부도 공공 부문과의 긴밀한 협력에 크게 좌우된다. 해외에는 전기 자동차 인프라, 에너지 효율성이 높은 건물, 신재생·분산형 발전 시스템 등 스마트그리드 기술에 근거한 비전을 내세우는 도시들이 늘어나고 있는 상황이다¹⁸⁾. 스마트그리드 거점도시는 기술의 대규모 보급과 도시개발을 연계함으로써, 스마트그리드에 대한 이해와 지식을 증진하고 전국 규모로 스마트그리드를 확산 시키기에 필요한 중요한 시발점이 될 수 있다. 이를 통해 취약한 분야를 확인 및 개선하고, 보급을 확산시켜 및 사업 모델을 테스트할 수 있기 때문이다. 전 세계적으로 많은 파일럿 프로젝트들이 진행되고 있지만 파일럿 프로젝트만으로는 대규모 보급 시 어떻게 운영될 것인지에 대한 이해에 한계가 있다. 따라서 경제적, 기능적으로 현실성을 지닐 수 있을 정도의 거점도시 규모의 프로젝트를 통한

학습과 여기에서 파생되는 지식을 공유하는 것이 중요하다. 따라서 다양한 거점도시 유형에 대한 정의와 지역의 특색을 반영한 인프라 구축 방안 및 운영 방안에 대한 시뮬레이션 연구는 대규모 거점도시 프로젝트의 효과적 수행을 위한 방향성을 제시하는 의미를 가진다.

본 연구에서는 스마트그리드 기술과 서비스의 확산을 위한 거점 도시를 구축에 대한 경제적 타당성을 분석하였으며, 특히 전체 사업에 대한 경제적 타당성이 아닌 해당 사업에 참여하는 이해관계자의 상호 연관성을 중심으로 비교 분석하였다. 이를 위해 거점도시를 구성하는 수용가 유형과, 수용가 유형에 따른 요소기술의 조합 형태를 시나리오로 설정하고 그 조합의 변화에 따라 각 이해관계자들의 경제성의 변화를 탐색하였다. 분석결과 신재생 발전 규모에 따라 한전, 수용가, 신재생 발전사업자의 BC가 매우 복잡한 양상을 띠며 변동함을 발견하였다. 대규모 신재생 발전단지의 규모는 발전사업자와 한전의 B/C가 상충하여, 발전규모를 높이기 어려운 것으로 나타났는데, 이에 대하여 한전의 손실을 보전할 수 있는 제도적 지원이 필요할 것으로 판단된다. 또한 소규모 수용가 보다는 대형 수용가의 기술보급 규모에 따라 경제성의 변화가 민감하게 움직이므로 이에 대한 투자규모 산정에 우선순위를 둘 필요가 있다. 즉 대형 숙박업소나 상업시설, 대규모 농촌산업시설에 대한 투자규모 산정이 선행되어야 한다. 개별 수용가의 신재생 발전의 경우 보급대상을 넓히는 것 보다는 보급된 수용가에서 발전용량을 극대화하는 방안이 더욱 바람직 한 것으로 분석되었다. 전기차의 경우 보급 규모가 커질수록 전체적으로 도시의 편익에 긍정적으로 기여하는 것으로 나타남으로써 신재생 비율 확대를 통한 한전의 편익 감소를 전기차 보급규모의 조정을 통해 보상하는 방안을 생각해볼 수 있다.

거점 도시 구성을 위한 가정 사항의 한계점도 존재한다. 거점 도시의 규모, 예산, 유형, 운영방안, 정책, 정부 지원 규모 등의 주요 사항이 본 연구기간 내에 결정되지 못했다. 규모는 인구 10만을 기준으로, 정부 및 참여자의 예산은 제한 없이, 운영 및 정책은 연구시점까지의 제시된 사항을 기반으로 가정을 하고 분석하였는데, 이에 대한 방향제시가 되었을 때, 이를 바탕으로 한 제약식을 제시하여 분석을 재실시 할 필요가 있을 것이다. 또한 도시 인구를 10만 인구를 비례하여 축소하여 분석 실시하였는데, 정확한 분석을 위해서는 대상 지역의 실제 데이터를 추출하여 분석할 필요가 있다. 비용 및 편익 산정의 가정에서도 한계점이 있다. SPG나 운영센터 등의 고정비용과 운영에서 발생할 수 있는 변동비용을 고려하였을 때, 스

마트 그리드 구성 예산 규모가 축소 또는 확대되었을 때, 비례적으로 설비의 축소나 확대가 되지 않고 있는 문제가 있다. 또한 현재 시간대별 차별적으로 적용되고 있는 전기 요금을 경제성 분석 수행을 위해 일일 평균 가격으로 가정하였으나, 이를 현실에 적용하기 위해서는 시간대별 전력 사용량과 전기요금을 적용하여야 더욱 정교한 결과를 얻을 수 있다. 하지만 비용 및 편익에 대한 기존 문헌의 부족으로 현재의 실증 단계에서 제시된 비용을 보수적으로 가정하여 적용할 수밖에 없었다.

신재생에너지 관련 장비(태양광 발전, 태양열 발전, 풍력 발전)의 도입을 위한 초기 투자비용 산정 시 생산 및 소비되는 장비의 용량이 아닌 전력 소비량 대비 신재생에너지 전환 비율을 기준으로 산정하였다. 이는 정부에서 공시한 신재생에너지 장비 표준 단가가 장비 별 용량으로 산정되지 않고, 단위 용량별 단가로 산정되어 있어 이를 활용하기 위한 방안이었다. 추후에는 이를 실제로 거점 도시에 도입될 수 있는 장비의 용량을 기준으로 단가를 산정하여 경제성 분석을 수행해야 할 필요가 있다.

마지막으로 한전의 기존 계통 운영에 대한 능력 및 기존 설비에 대한 활용으로 인한 절감효과는 고려되지 않았으나, 이에 대한 효용성은 충분히 존재하고 이를 추후 분석에는 반영할 필요가 있다. 설비에 대한 성능은 현재의 기술 수준과 비용에 기초하여 고려되었으나, 전반적으로 빠른 기술성장 및 상용화로 가격하락 등의 고려가 요구된다. 마지막으로 표준화 및 보안, 시스템 통합, 호환 등과 관련된 기술력이 보다 개선되고 정교화 될 필요가 있으나, 적용 및 구현 가능한 것으로 가정하여 분석된다.

References

1. Accenture (2010). "Strategy for implementing smart grid hub projects", presented in 2010.
2. Gwak, D., Lee, Y., and Jin, H. (2011) "Policy Issues for Promoting New Businesses and Strengthening Sustainability in Green Industry: Focusing on Renewable Energy and Green Car," KIET 2011-156.
3. KERI (2011) "A study on preliminary feasibility study of smart grid," 2011.
4. H. Farhangi. (2010) "The path of the smart grid," Power and Energy Magazine, IEEE, vol. 8, pp. 18-28.
5. Kannberg, L.D., Chassin, D.P., DeSteele, J.G., Hauser, S.G., Kintner-Meyer, M.C., Pratt, R.G., Schienbein, L.A., Warwick, W.M. (2003) GridWise: The Benefits of a Transformed Energy System, PNNL-14396, Pacific Northwest National Laboratory, 2003.9.
6. Anders, S. J. (2006) "San Diego Smart Grid Study: Modernizing the Grid," presented at the MW Regional Summit, 2006.11.
7. NETL (2007) Modern Grid Benefits, prepared for the US Department of Energy, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, 2007.8.
8. Faruqui, A., Hledik, r., Davis, C. (2009) "Sizing up the Smart Grid," presented at Elster EnergyAxis User Conference, 2009.2.
9. KEMA (2009) Smart Grid Evaluation Metrics, prepared for the GridWise Alliance, 2009.2.
10. EPRI (2008) Characterizing and Quantifying the Societal Benefits Attributable to Smart Metering Investments, Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute. 1017006.
11. Pullins, S. (2008) "Smart Grid:Enabling the 21st Century Economy," presented at the Governor's Energy Summit, West Virginia, 2008.12.
12. Baer, W.S., Fulton, B., Mahnovski, S. (2004). Estimating the Benefits of the Gridwise Initiative, Phase I Report, prepared for the Pacific Northwest National Laboratory, TR-160-PNNL, Rand Corporation.
13. EPRI (2010) Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects, Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute. 1020342.
14. Shin, K, Moon, Y, Hur, W. and Kim W.J. (2015) "Stakeholder Oriented Economical Efficiency Analysis on the Scenario to Implement Smart Transportation Services." Journal of the Korean Society for Simulation, Vol.24, No.1., pp. 35-43.
15. Hur, W., Moon, Y., Shin, K., Kim, W., Nam, S., and Park, K. (2015) "Economic Value of Li-ion Energy Storage System in Frequency Regulation Application from Utility Firm's Perspective in Korea," Energies, Vol.8., No.6., pp. 5000-5017.
16. Neenan, B and Hemphill, R. C. (2008) "Societal Benefits of Smart Metering Investments," The Electricity Journal, Vol. 21, pp. 32-45.
17. Korea Smart Grid Institute. (2010) "Analysis on trends of smart grid test projects", 2010.11.
18. Korea Smart Grid Institute. (2010) "Institutional policy for transition to smart grid system", 2010.09.
19. Ministry of Knowledge Economy (2010) "Smart Grid National Roadmap," 2010. 01.25.

**허원창 (wchur@inha.ac.kr)**

1997 서울대학교 산업공학과 학사
 1999 서울대학교 산업공학과 석사
 2004 서울대학교 산업공학과 박사
 2005~현재 인하대학교 경영학과 부교수

관심분야 : 기술혁신, 스마트그리드, Entrepreneurship, 행위자기반 시뮬레이션

**신광섭 (ksshin@inu.ac.kr)**

2003 서울대학교 산업공학과 학사
 2006 서울대학교 산업조선공학부 석사
 2012 서울대학교 산업조선공학부 박사
 2012~현재 인천대학교 동북아물류대학원 조교수

관심분야 : 스마트그리드, 경제적 타당성분석, 게임이론, 공급사슬 및 운영관리

**문용마 (yongma@uos.ac.kr)**

2000 서울대학교 산업공학과 학사
 2005 펜실베이니아주립대학교 산업공학/경영과학 석사
 2010 펜실베이니아주립대학교 산업공학 박사
 2010~현재 서울시립대학교 경영학부 부교수

관심분야 : 불확실성 모형, 에너지 경영, Real Option

**김우제 (wjkim@seoultech.ac.kr)**

1986 서울대학교 산업공학과 학사
 1988 서울대학교 산업공학과 석사
 1994 서울대학교 산업공학과 박사
 2003~현재 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과 교수

관심분야 : 소프트웨어공학, 스마트그리드, 최적화

**황우현 (hblue@kepco.co.kr)**

1983 중앙대학교 전기공학과 학사
 2000 한양대학교 전기공학과 석사
 2009 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 산업정보시스템전공 박사
 1997~ 현재 한국전력 SG&ESS 처장

관심분야 : 스마트그리드

부록 1 - 용어 정리

- AMI - Advanced Metering Infrastructure, 스마트 계량기
- ESS - Energy Storage System, 전력저장장치
- EMS - Energy Management System, 에너지관리시스템
- EV - Electrical Vehicle, 전기자동차
- HEMS - Home Energy Management System, 가정내 에너지관리시스템
- BEMS - Building Energy Management System, 건물 에너지관리시스템
- SP - Smart Place
- SR - Smart Renewable
- ST - Smart Transportation
- SPG - Smart Power Grid, 송배전선로 및 송변전 시스템
- TOC - Total Operation Center, 스마트그리드 종합 관제센터
- NOC - Network Operation Center, 네트워크 관제 센터
- V2G - Vehicle to Grid, 전기자동차의 잉여전력을 전력망으로 전송하는 시스템

부록 2 - 이해관계자별 비용 산정 기준

가. 수용가의 구축비용

- AMI 구축비용: 자재비 + 공사비 (Type 별 단가를 아래 표와 같이 적용함)

E-Type		표준형			
단상		단상		3상	3상
자재비	공사비	자재비	공사비	자재비	공사비
21,000	19,000	63,000	19,000	100,000	43,000

- AMI 네트워크 공사비용: DCU (22,000원)+ 모뎀 (14,000원) + 공사비 (18,000원)
- EMS 구축비용은 수용가 유형별 사례 기준 평균 비용을 적함 (공공-460,000천원, 산업-1,100,000천원, 상업-200,000천원, 가정-20,000천원 (상업시설의 10% 가정), 가정용 IHD-200,000원)
- ESS 구축비용=ESS (PCS+BMS+Battery) + NaS / Lithium 전지 비용

유형	일반가구	상업용	산업용	공공기관용	NaS전지
용량	3kw	15kw	250kW	100kw	원/kw
단가	900,000	4,500,000	75,000,000	30,000,000	300,000

- 가정용 ESS 운영비용은 0, 나머지 유형은 설치비의 월 0.1% 가정
- EMS 운영비용: 가정용-월 1,000원 (연 1,200원), 가정용 제외-설치비 0.4%

나. 전기자동차 관련 비용

- 전기차 관련 초기투자비용 산정 기준은 아래 표와 같음

구분	유형	단위	단가
전기차 가격	소형	천원	45,000
	준중형	천원	66,000
	전기버스	천원	550,000
충전기구입설치비	가정용	천원	490
	완속 10kW	천원	4,770
	급속 50kW	천원	33,820
전기차구입보조금	소형	천원	15,000
	준중형	천원	15,000
	버스	천원	100,000
충전기설치보조금	완속	천원	8,000
	급속	천원	0

- 전기자동차운영비는 월간 전력 구매량×전력단가 (단가는 급속/완속을 구분함)

- 충전설비 운영비는 완속기 월 기본요금 + 급속충전기 월 기본요금 + 급속충전기 전기요금
- 각 단가는 아래 표와 같음

구분	유형	단위	단가
전기차 연비	소형	km/kwh	8.0
	준중형	km/kwh	6.0
	전기버스	km/kwh	1.0
충전전력공급단가	저부하	원/kwh	63.8
	중부하	원/kwh	96.4
	고부하	원/kwh	132.2
공용급속충전단가		원/kwh	460.0
카셰어링대여요금	시간제	천원	4.5
	종일제	천원	70
충전기기본료		원/월/kw	2,200.0

다. 소규모 신재생에너지 발전 시설 구축비용 항목별 단가는 아래 표와 같음

구분	설치위치	유형	단위	단가
태양광 발전	일반건물 설치비	고정식	천원/kW	4,070
		추적식	천원/kW	5,604
		BIPV	천원/kW	9,553
	주택 설치비	고정식	천원/kW	3,913
		추적식	천원/kW	4,647
	발전효율		%	16%
정부 보조 비율		%	40%	
태양열 발전	일반건물 설치비	평판형·이중진공관형	천원/m ²	1,012
		단일진공관형	천원/m ²	1,160
	주택 설치비	평판형·이중진공관형 10m ² 이하	천원/m ²	1,189
		평판형·이중진공관형 10m ² 초과 30m ² 이하	천원/m ²	1,012
		단일진공관형 10m ² 이하	천원/m ²	1,359
		단일진공관형 10m ² 초과 30m ² 이하	천원/m ²	1,160
	발전효율		%	44%
정부 보조 비율		%	50%	
풍력 발전	설치 단가	소형풍력 3kW이하	천원/kW	2,740
		10kW이상	천원/kW	2,740
	발전효율		%	25.1%
	정부 보조 비율		%	60%
토지 구입비	필요면적		m ² /kW	3
	정부공시 지가	1m ² 당 10,000원 적용	m ²	10,000

- 운영비는 설치비 기준 비율 적용: 태양광 - 1%, 풍력 - 2%, 태양열-1%

라. 신재생에너지 발전시설

- 유형별 설치비용은 가정용 비용과 동일한 기준 적용
- ESS 250 kW 장비 기준 가격 적용
- 건물건축비: 40억 원 고정비용 적용
- 운영비는 초기 투자비용 대비 20%를 적용함

마. 한국전력

- SPG 구축비용: 스마트배전선로 비용 (1,273,333 천원) + 스마트변전시스템 구축비용 (2,991,667 천원)
- TOC 구축비용: 6,400,000 천원
- NOC 구축비용: 100,000 천원
- 운영비는 구축비의 3%로 가정

바. 정부

- ESS, EMS 구축비용 보조금

- 신재생에너지 장비 도입 정부 보조금
- EV 충전기 설치비 지원 및 EV 구입 보조금

사. 기타 가정 사항

항목	가정사항			
	주거용	서비스용	산업용	공공
총에너지절감비율	5.90%	10.00%	10.00%	10.00%
피크타임 수요 감소율	4%	4%	4%	4%
ESS 용량	3	15	250	100
전력거래소 거래량	1%	1%	1%	1%
전력판매 단가	105.12	101.69	81.23	94.18
통신비 단가 (원)	500	1000	2000	1000
인터넷요금	82.20%			
적용 ESS	NaS/Lithium			

이해관계자별 편익요소 산정 기준

1. 편익요소 산정기준

이해관계자	항목	계산식 및 세부항목
수용가	SP	<ul style="list-style-type: none"> • 전기료할인×전기요금×(전기사용량-SP에 의한 절감량)+SP에 의한 절감량×전기요금 • SP에 의한 절감량=월간소비전력×(EMS×ESS×AMI 절감비율)
	ST	<ul style="list-style-type: none"> • 전기료할인×전기요금×(전기사용량-SR에 의한 절감량)+SR에 의한 절감량×전기요금 • SR에 의한 절감량=SR전력생산량×SR 전력 소비율
	SR	<ul style="list-style-type: none"> • SR전력판매량×(태양광판매분/전체SR판매분)×태양광판매단가+SR전력판매량×(태양열판매분/전체SR판매분)×태양열판매단가+SR전력판매량×(풍력판매분/전체SR판매분)×풍력판매단가 • SR전력판매량=SR전력생산량×(1-SR 전력 소비율)
	EV	<ul style="list-style-type: none"> • EV 월간 연료비 절감+V2G 월간 전력 판매량+V2G 전력판매단가 • EV 월간 연료비 절감=호당 EV 대수×가솔린(디젤)월간 연료비 • V2G 월간 전력 판매량 = EV 월전력소비량 × 0.3(30%)
	충전기	<ul style="list-style-type: none"> • (호당급속충전기수×EV 보급수×0.3×EV급속충전단가×EV월별충전전력)/급속충전기수 • 외부 충전은 EV보급량의 30%로 가정하였기에 0.3을 곱함
	결합효과	<ul style="list-style-type: none"> • Synergy 효과×(SP전력절감+SR전력절감+SR전력판매수익+EV편익+충전기편익) • Synergy 효과 = SP×0.2+SR×0.1-ST×0.1
	신재생	SR 전력판매수입
한전	검침용역회피	1인당 검침용역회피 비용×기준인구수
	절세효과	1인당 절세효과 금액×기준인구수
	변압기부하감시 회피	1인당 변압기부하감시 회피 금액×기준인구수
	도전 및 소손방지	1인당 도전 및 소손방지 금액×기준인구수
	발전배전설비 회피	1인당 발전배전설비 회피 금액×기준인구수
	구입전력비 회피	1인당 구입전력비 회피 금액×기준인구수
	온실가스 회피	1인당 온실가스 회피 금액×기준인구수
정부	발전설비 회피	(연간 SP 및 SR 전력절감량 -EV 전력판매증가량)*kW당 발전설비회피 금액
	CO ₂ 절감 (SP/SR)	(SP+SR 전력절감량-EV전력증가량)*kW당 탄소배출량
	CO ₂ 절감 (EV)	EV보급대수×60km×365일×(가솔린 차량 탄소배출량-전기차 탄소배출량)
	CO ₂ 절감 총 편익	(전력절감으로 인한 CO2 절감 + EV에 의한 CO2절감)/1톤당 탄소 비용
	에너지 수입 대체	EV 보급대수 × 대당 에너지 수입대체 비용
	법인세 및 소득세	장비보급자 수익 10%
	생산유발액	기준인구수×1인당 생산유발액
부가가치	기준인구수×1인당 부가가치유발액	

가. 수용가

- 전력 절감 효과는 ESS 8%, AMI 4%, EMS 6%로 산정
- Peak time 전력 수요 절감(전력 구매 단가 저하): 4% 가정
- 신재생에너지 발전을 통한 전력 구매 비용 절감: 전체 전력 사용량 6% 적용

- 신재생에너지 판매 수익은 아래 표와 같음

유형	상세 기준	단위	단가
태양광 발전	일반부지 (15년 기준)	원/kW	484.52
	건축물 활용 (15년 기준)	원/kW	532.97
풍력 발전	10kW 이상	원/kW	107.29

- EV 운행을 통한 에너지 (휘발유) 대체 효과=가솔린차량 월간 연료비 적용
- 충전기 운영 수익: 급속 충전기 판매수익 + 완속 충전기 판매 수익
- V2G를 통한 전력 판매 수익: 충전전력공급단가 중 고부하 유형 단가 적용 및 월간 전력 구입량의 1/3 재판매 적용

나. 신재생에너지 발전 시설

- 전력판매수익: 전체 생산량 × 단가 (태양광 및 태양열 158원, 풍력, 165원 기준)

분류	종류	단위	값(원)
한전구매가	태양광	원/kW	158
	태양열	원/kW	158
	풍력	원/kW	165
REC 차액	태양광	원/kW	62.00
	태양열	원/kW	-
	풍력	원/kW	-
REC 단가 (RPS적용)	태양광	원/kW	220
	태양열	원/kW	100
	풍력	원/kW	100

다. 한국전력

- EV확산에 따른 전력 판매 증가: 전체 EV의 전력 판매량
- 전력 운영 (검침, 변압기 부하 감시, 도전 및 소손, 발송배전설비) 회피 적용 기준은 아래 표와 같음 (단위: 원)

항목	기준	단가
검침용역회피	1인당/1년간	1,063
절세효과	1인당/1년간	103
변압기부하감시 회피	1인당/1년간	63
도전 및 소손방지	1인당/1년간	22
발송배전설비 회피	1인당/1년간	674
구입전력비 회피	1인당/1년간	70
온실가스 회피	1인당/1년간	10
발전설비 회피	kW 당	548,800

라. 정부

- 1kW 당 탄소 배출량 = 443 gCO₂/kW
- 탄소 1t당 비용 = 12,000원/tCO₂
- 에너지수입 대체 효과 : EV 1대당 985.5원 적용
- 세수 증대: 법인세 및 소득세를 각각 장비 보급자 수익의 10% 가정
- 생산유발액 = 103,340 / 인
- 부가가치유발액 = 32,420 / 인