

2019 가을호

제16권 제3호

통권73호

ISSN 1739-1342

ENERGY FOCUS

에너지포커스



에너지경제연구원

CONTENT

권두칼럼

- 에너지효율 혁신전략으로 에너지전환정책의 새로운 방향 제시. 4
에너지경제연구원 선임연구위원 소 진 영

이슈와 시선

- 에너지전환, 국가 에너지효율 혁신이 핵심이다. 6
에너지경제연구원 연구위원 이 성 인
- 건물부문의 에너지효율 혁신전략 11
한국에너지공단 건물에너지팀장 안 진 한
- 수송부문의 에너지효율 혁신전략 16
한국에너지공단 수송에너지팀장 이 광 복
- 기기부문의 에너지효율 혁신전략 21
한국전기연구원 전력정책연구센터 센터장 조 기 선
- 에너지효율 혁신전략의 성공을 위한 제안. 27
법률사무소 이이(EE, 怡怡) 변호사 구 민 회



• 동 향 •

- 미국의 에너지효율 인센티브 프로그램과 시사점. 32
에너지경제연구원 부연구위원 석 주 헌
- 부유식 해상풍력발전 현황과 보급확대의 선결요건. 47
포스코경영연구원 수석연구원 장 기 윤

• 논 단 •

- 가정부문 전력수요 전망을 위한 기후 지표 개선 연구. 57
에너지경제연구원 부연구위원 강 병 옥
에너지경제연구원 연구위원 김 철 현
- DR 자원 비용·편익 분석 사례 고찰 및 시사점. 75
에너지경제연구원 연구위원 김 지 효
한국전력거래소 수요시장팀 차장 김 은 철
한양대학교 자원환경공학과 부교수 김 진 수

• 에너지통계 인포그래픽 •

- 에너지통계 인포그래픽. 91

• 연구원 소식 •

- 연구원소식. 95

에너지효율 혁신전략으로 에너지전환정책의 새로운 방향 제시



소진영

에너지경제연구원
선임연구위원

문재인 정부는 에너지전환을 핵심 기조로 에너지 관련 다양한 정책을 추진하고 있다. 이러한 정책은 원자력발전과 석탄발전의 단계적 축소와 더불어 재생에너지 보급 확대를 통해 친환경 에너지시스템을 구축하는 것을 주요 골자로 하고 있다. 주요 선진국들의 정책과 비교할 때 그 기조는 유사하지만, 실전적인 측면에서는 에너지효율과 수요관리의 역할이 그리 크지 않은 것이 현실이다. 특히 에너지 다소비·저효율 구조가 고착화되는 현실에서도 에너지 공급측면에 정책이 집중된 경향이 있어 아쉬움이 있었다.

주요 선진국들은 에너지전환정책에서 재생에너지 보급이라는 공급측면과 에너지효율 향상이라는 수요측면의 정책을 고루 채택하면서도 ‘에너지효율 우선정책(Efficiency First)’을 표방하며 후자에 정책적 역량을 집중하는 추세에 있다. 에너지효율 최우선은 에너지전환정책의 상위(high-level)의 원칙으로서, 에너지, 기후 및 경제적 목표를 달성하는데 있어 비용-효과적인 에너지 절감이 중심적인 역할을 해야 한다는 의미를 담고 있다. EU는 2016년에 청정에너지전환을 촉진하기 위해 8개의 입법안으로 구성된 청정에너지 패키지를 발표했는데, 여기에서 에너지효율 최우선을 정책순위의 가장 상위에 두고 있다. 독일 또한 최근 발표한 ‘에너지효율 그린페이퍼(Green Paper on Energy Efficiency)’에서 독일의 에너지전환(Energiewende)을 선도하는 원칙으로 에너지효율 최우선을 채택하고 있다.

최근에 우리나라 정부는 부처합동으로 ‘에너지효율 혁신전략’을 수립하여 발표하였다. 경제가 성장하면서도 에너지 소비는 감소하는

‘탈동조화(Decoupling)’를 달성한 선진국형의 고효율 에너지 소비구조를 2030년까지 우리나라에 실현한다는 비전을 설정하고, 이를 달성하기 위한 구체적인 전략들을 제시하고 있다. 에너지전환정책의 틀에서 보면 비로소 에너지효율과 수요관리의 역할이 부각되었으며, 공급측면과 수요측면이 균형을 이뤄 정책 믹스의 완성도가 높아진 것으로 평가된다.

문제는 실천이다. 신재생에너지 보급과 같은 공급측면의 정책은 그 성과가 보급 통계나 설치된 설비들을 통해 가시적으로 확인되기 때문에 관심과 추진의 동력이 지속될 여지가 높다. 반면, 그 성과가 가시적으로 확인되기 어려운 에너지효율과 수요관리 정책의 경우 이를 가시화할 수 있는 성과지표를 개발하고 주기적으로 평가하여 추진 동력의 지속성을 확보할 필요가 있다. 에너지효율 혁신전략은 다양한 인센티브와 함께 규제 강화의 내용도 포함하고 있으며, 일부 규제는 국민과 이해당사자에 추가적인 비용을 초래할 수도 있다. 본 전략의 순조로운 이행을 위해서는 비용 부담의 필요성에 대한 공론화와 공감대 형성이 선결되어야 한다.

본 에너지포커스 2019 가을호의 이슈와 시선 섹션은 이번에 발표된 에너지효율 혁신전략을 주제로 구성하였다. 에너지효율 및 수요관리 분야 전문가와 전략 수립에 직접 참여한 담당자로부터 본 전략의 의의, 각 부문별 주요 내용 및 향후 과제, 그리고 전략의 성공을 위한 제언에 대해 의견을 들어보았다. 우리나라 에너지전환정책의 새로운 방향을 이해하는데 도움이 되길 기대한다.



이슈와 시선

에너지전환, 국가 에너지효율 혁신이 핵심이다

에너지전환, 국가 에너지효율 혁신이 핵심이다

이성인 에너지경제연구원 연구위원 silee@keei.re.kr

1. 왜 에너지효율 인가

에너지는 일상생활과 경제활동에 반드시 필요한 필수재이다. 그러나 부정적 외부효과를 발생시킨다. 에너지 생산과 소비과정에서 온실가스와 미세먼지 등 환경 오염물질을 발생시켜 지구온난화와 건강을 위협하는 요인이 되고 있다. “에너지효율”은 가장 친환경적이고 경제적인 제1의 에너지源이다. 에너지효율은 에너지 소비와 온실가스 배출을 감축에 기여할 수 있는 가장 경제적 수단이다. 또한 부존 에너지자원이 빈약하여 에너지의 대부분을 수입에 의존하는 취약한 에너지수급 구조를 가지고 있는 우리나라가 에너지 안보를 확보할 수 있는 유용한 정책수단이다. 따라서 에너지안보 확보, 미세먼지, 기후변화 대응을 위해서는 에너지효율 혁신이 핵심이 되어야 한다. 국제에너지기구(IEA)는 효율향상을 온실가스 감축기여도가 가장 높은 정책수단으로 전망(효율향상 44%, 재생에너지 36%, Energy Efficiency 2018)하고 있다.

에너지효율은 에너지 및 온실가스 감축, 에너지안보 강화 이외에도 건물·공장 등 의 자산가치 증진,

일자리 창출, 산업경쟁력 향상, 거시경제발전 기여 등 에너지·환경·사회경제 측면에서 다양하고 복합적 효과를 가져다준다. 이에 따라 유럽연합(EU)은 에너지효율을 가장 저렴하고, 깨끗하고, 안전한 제1의 에너지자원으로 인식하고 2012년 에너지효율지침을 통해 에너지효율 우선정책(Efficiency First)을 적극적으로 추진하고 있다.

우리나라는 세계 8위의 에너지 다소비 국가로 에너지효율 지표인 에너지원단위도 OECD 최하위 수준에 정체하고 있는 다소비·저효율 에너지 소비구조가 고착화되어 있는 실정이다. 독일 미국 등 선진국에서는 경제성장에도 불구하고 에너지 소비가 꾸준히 줄어들고 있다. 그러나 우리나라 에너지 소비는 지속적으로 증가하고 있다. 선진국형 에너지수급 구조로 전환하기 위해서는 무엇보다 에너지효율 혁신을 통해 수요를 원천적으로 줄이는 것이 중요하다. 지속가능 발전과 에너지전환을 달성하기 위해 에너지 저효율·다소비 구조를 에너지 고효율·저소비구조로 전환이 하는 것이 시급한 사회적 과제이다. 에너지 다소비·저효율 소비구조를 개선하기 위해 정부는 지난 8월 범정부차원에서



에너지 소비구조를 변화시켜 나가겠다는 의지를 담은 ‘에너지효율 혁신전략’을 발표했다. 이에 추진 배경과, 주요 내용 및 향후 추진과제를 살펴보기로 한다.

2. 에너지 다소비·저효율 구조 고착화 우려

독일, 미국 등 선진국의 에너지 소비는 경제성장(GDP)에도 불구하고 감소하는 탈동조화 현상을 보이고 있다. 그러나 국내 에너지 소비는 지금까지 지속적 증가추세를 보이고 있다. 독일과 일본 에너지 소비는 2004년을 정점으로 감소하고 있고, 미국과 OECD 평균은 2007년을 정점으로 감소하고 있다. 2010~2017년 기간 동안 주요국의 1차에너지 소비 증가율을 살펴보면, 한국은 17.9% 증가되었으나 일본 14.0%, 독일 0.6%, 미국 3.6%, OECD 평균은 2.4% 감소되었다.

우리나라 에너지효율 수준은 선진국들에 비하여 상대적으로 매우 낮고, 효율향상 추이도 정체 상태에 머물러 있다. 에너지효율 지표인 에너지원단위가 2017년 기준 OECD 35개국 중 33위로 꼴찌 수준이다. 원단위 개선(2010~2017년)도 OECD 35개국 중 32위로 매우 저조한 실적을 보여준다. 원단위가 상대적으로 높은 것은 제조업 중심 경제구조를 반영하는 측면도 있다. 문제의 심각성은 원단위 개선이 정체 상태에 머물러 있다는 점이다. 에너지 다소비·저효율 구조가 고착화되는 것이 아닌가 하는 우려마저 해야 하는 상황이다.

우리나라는 에너지 안보가 매우 취약한 에너지 다소비 국가이다. 세계 에너지 소비의 2.1%를 소비하는 세계 8위 다소비 국가이다. 석유, 석탄과

전력소비도 세계에서 7번째로 많이 소비하는 국가이다. 에너지 순수입과 석유 순수입은 세계 5위로 에너지 안보 측면에서 매우 취약하다. 우리나라는 에너지 부존자원 최빈국으로 에너지 해외의존도가 94%에 이르고, 에너지 수입액이 총수입의 1/3 가량 차지하고 있다.('17년 에너지수입액은 총수입액의 23%, 1,095억 달러).

산업부문, 전력 및 비에너지 소비비중은 상대적으로 높은 편이다. GDP 생산의 36.3%를 담당하는 산업부문이 최종에너지 소비의 61.7%를 차지하고 있다. 이는 에너지를 많이 사용하는 제조업 중심의 경제구조에 기인한다. 특히 에너지 다소비 산업인 석유화학과 1차 금속산업이 산업부문 에너지 소비의 각각 48%(최종에너지 소비 29.6%), 21%(최종에너지 소비 12.9%)를 사용하고 있다. 또한 비에너지와 전력 소비가 주요 국가에 비해 많이 소비하고 상대적으로 높은 증가 추세이다. 비에너지(납사 등) 비중은 2000년 21.5%에서 2017년에는 26.2%로 높아졌다. 산업부문 에너지 소비에서 차지하는 비중도 2000년 38.2%에서 2017년에는 42.4%로 높아졌다. 전력소비도 상대적으로 높은 증가세를 보여 소비비중이 2000년 13.7%에서 2017년 18.7%로 높아졌다

3. 국가「에너지효율 혁신전략」주요 내용

정부는 지난 8월 2030년 중장기 국가 에너지효율 목표를 포함한 ‘에너지효율 혁신전략’을 발표했다. 에너지효율 혁신전략은 산업, 건물, 수송부문 효율 혁신을 바탕으로 공동체 단위까지 에너지 수요를 최소화하면서, 동시에 연관산업 육성을 통한 양질의



이슈와 시선

에너지전환, 국가 에너지효율 혁신이 핵심이다

일자리 창출을 도모하겠다는 새로운 패러다임을 제시하고 있다. 에너지효율 혁신을 연관서비스 육성과 연계해 추진하고, 이를 통해 신규 일자리 창출과 효율혁신이 선순환 되는 체계를 갖추어 나간다는 계획이다.

금번 혁신전략은 2030년 최종에너지 소비를 기준수요 대비 14.4%인 29.6백만TOE 절감을 목표로 하고 있다. 이를 달성하기 위해 ① 규제와 인센티브 조화를 통해 산업, 건물, 수송 부문별 효율을 혁신하고, ② 시스템/공동체 단위까지 에너지 소비를 최적화 하면서, ③ 연관산업 육성을 통해 양질의 일자리 창출을 도모하겠다는 전략이다. 구체적으로는 기존에 해오던 수요관리 정책의 유지·강화를 통해 10.7백만 TOE를 감축하고, 새로 도입된 정책을 이행함으로써 18.9백만 TOE를 절감할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 산업부문은 자발적 에너지효율 목표제 도입, 공장에너지관리시스템(FEMS) 설치지원 확대 등을 추진한다(12.4백만 TOE 절감). 건물부문에서는 ‘에너지스타’ 건물제도 도입, 으뜸효율가전제도 시행, 형광등 퇴출 및 스마트조명 보급 확대 등을 추진한다(7.2백만 TOE 절감). 수송부문에서는 자동차 평균연비 강화, 차세대 지능형 교통시스템 구축 등을 추진 한다(10.0백만 TOE 절감).

우리나라는 매 5년마다 수립하는 “에너지이용합리화 기본계획”을 통해 현재 에너지 효율정책의 기본 틀을 마련하였다. 우리나라의 지금까지 효율정책은 중장기계획 수립, 다양한 시책 도입 등 양적 측면에서 매우 우수한 편이다. 그러나 계획의 이행력 및 시책들의 실효성과 같은 질적 측면에서 선진국에 비하여 매우 미흡한 것으로 평가된다. 또한 규제 중심으로 인센티브 등 지원체제는 상대적으로 매우 미흡한 것으로 평가되고 있다. 현재 산업부문은

’15년에 도입된 배출권거래제 등 온실가스 총량규제 중심으로, 건물부문은 가전·사무기기·조명 등 기자재 효율관리와 신축건물 효율관리를 중심으로, 수송부문은 승용차 대상 평균연비 관리 중심으로 효율정책이 추진되고 있다. 이번 전략이 계획대로 추진되어 국가 에너지 소비구조 혁신과 각 부문별 에너지효율을 획기적으로 제고하는 초석이 되기를 기대해 본다.

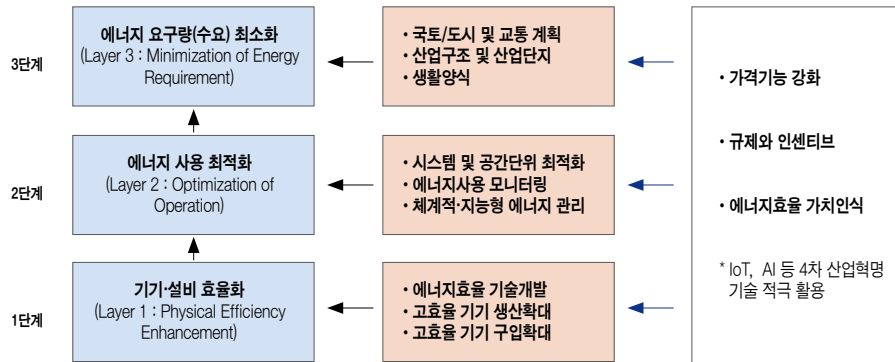
4. 이제 에너지효율 혁신, 사회적 공감대 형성과 강력한 실행이다

이번 에너지효율 혁신전략을 성공적 추진을 위해서는 실행을 뒷받침할 수 있는 분야별 실행계획을 마련하고, 실행을 위한 재정적 예산 뒷받침이 요구된다. 정부는 수요자 중심의 실효성 있는 세부 실행프로그램을 마련하고 예산확보와 지원체계 확충을 통해 강력한 추진의사를 보여줄 필요가 있다. 정부는 과거 여러 차례 에너지 효율향상 정책을 발표한 바 있다. 그러나 예산이 확보되지 못하거나 국제유가가 내려가는 등 여건이 개선되면 용두사미식으로 계속 추진을 못해왔다. 따라서 이번 에너지효율 혁신전략의 지속적 실천여부에 대해 경제주체와 전문가의 이목이 쏠려 있다.

국가 에너지효율 혁신은 모든 국민과 경제주체가 참여하여 함께 지속적으로 노력할 때 달성할 수 있는 시대적·사회적 과제이다. 에너지 소비를 최소화하기 위해서는 기술, 경제, 제도적 접근과 함께 구조적이고 통합적 노력이 필수적이다. 에너지는 에너지사용 기기 및 설비를 통해 소비된다. 따라서 에너지 소비를 줄이기 위해서는 우선 기기·설비의 효율화와 고효율



[그림 1] 국가 에너지 소비 효율혁신 구조적·통합적 접근



제품 보급 확대이다. 나아가 다양한 기기 및 설비를 설치·운용하는 건물, 공장, 도시 등 공간단위에서 시스템적 최적인전과 철저한 에너지관리이다. 미래 국토/도시·교통 등 공간계획, 에너지·산업 시스템 계획에서 에너지효율을 핵심가치로 고려하여 구조적으로 에너지 총 소요량이 최소화되도록 노력해 나가야 한다.

국가 효율혁신이 입체적이고 구조적으로 이루어지기 위해서는 경제주체 모두가 동참하고, 통합적으로 접근할 때 가능하다. 참여 유도에 있어 에너지 가격기능의 강화와 함께 규제와 인센티브의 적절한 조화, 에너지효율 가치에 대한 인식 공유가 핵심이다. 중장기적으로 가격기능의 강화와 함께 사회적 비용(공급비용 + 환경비용)을 반영하는 에너지 가격체계를 확립하여 소비자의 에너지효율 투자와 합리적 소비를 유도해야 한다. 가격기능이 제대로 작동되지 않는 상황에서는 특히 규제와 인센티브의 적절한 조화가 매우 중요하다. 규제 중심의 에너지효율화 정책에서 벗어나 기업 등 경제주체들의 자발적인 참여를 끌어낼 수 있도록 인센티브 확대가

요구된다. 이를 위해서는 재정적 지원 확충 등 정부의 의지가 중요하다.

에너지효율 실행 프로그램은 소비자와 시장 참여자의 니즈(Needs)를 바탕으로 설계되고 운영되어야 한다. 이제 정책 입안자 중심에서 수요자 중심으로 제도와 프로그램이 설계·평가되어야 정책의 실효성이 담보될 수 있다. 에너지 효율투자에 다양한 장애요인(절감성과 계량화 어려움, 불확실성, 자금부족, 정보·기술 부족 등)들이 시장에 뿌리 깊게 존재하기 때문에 적절한 효율투자가 이루어지지 못하고 있다. 따라서 사용자 측면에서 경제성 있는 고효율기기 사용을 의무화하고, 경제성이 낮은 새로운 고효율기기 및 시스템에 대한 보조금 지원 등 지원 체계를 확충해 나갈 필요가 있다. 그리고 소비효율 등급제, 대기전력 저감 제도, 건축 기준, 자동차 연비 등 규제 제도로도 기술적·환경적 변화를 반영하는 지속적 재정비가 필요하다. IoT, AI 등 4차 산업혁명 기술을 적극적으로 적용하여 효율관리 기반을 강화할 필요가 있다. 경제주체의 참여 확대와 정책의 실효성을 높이기 위해서는 ‘산학연 효율혁신 플랫폼’을



이슈와 시선

에너지전환, 국가 에너지효율 혁신이 핵심이다

구축·운영하는 방안도 검토될 필요가 있다. '효율혁신 플랫폼'을 통해 경제주체가 함께 손잡고 추진할 경우 국가 에너지효율 혁신이 보다 실효성 있게 추진될 것으로 기대된다. 이제 무엇보다 중요한 것은 재정적 지원예산 확충 등 정부의 의지와 추진력이다.



건물부분의 에너지효율 혁신전략

안전한 한국에너지공단 건물에너지팀장 jhahn@energy.or.kr

1. 서론

우리나라의 에너지소비량은 282백만toe(2016년)로 세계 8위이며, 석유소비 8위, 전력소비 7위로서 세계 14위인 경제규모에 비해 높은 수준이다(〈표 1〉 참조).

또한 국내 에너지소비현황 중 건물부문 에너지소비 현황은 전체의 20%를 차지하고 있으며, 2000년 이후 연평균 1.8%수준으로 꾸준히 증가하고 있다.

이중 비중이 가장 높은 가정용 소비(48%) 증가율은 전반적으로 둔화되고 있으나, 반면 서비스업 성장에 따른 냉방과 조명 용도의 소비 확대에 기인한 상업·공공용도의 에너지소비현황이 빠른 증가세를 보이고 있다. 2000년부터 2016년까지의 1인당 전력소비량 증가세를 보면 한국은 0.19→0.39(TOE/인)으로 미국(0.73→0.74), 독일(0.27→0.29), 일본(0.35→0.41)보다 증가세가 가파르다.

〈 표 1 〉 국가별 에너지 소비 위상(2016)

구분	1위	2위	3위	4위	5위	6위	7위	8위	9위	10위
에너지소비 (백만toe)	중국	미국	인도	러시아	일본	독일	브라질	한국	캐나다	이란
	2,958	2,167	862	732	426	310	285	282	280	248
석유소비* (백만 톤)	미국	중국	인도	일본	사우디	러시아	브라질	한국	독일	캐나다
	865	574	217	184	167	147	140	123	112	105
전력소비 (TWh)	중국	미국	인도	일본	러시아	독일	한국	캐나다	브라질	프랑스
	5,899	4,148	1,216	1,012	969	573	544	538	520	478

자료: World Energy Balance 2018(IEA), Statistical Review of World Energy 2018(BP)



이슈와 시선

건물부문의 에너지효율 혁신전략

〈표 2〉 2016년 기준 건축물 현황(국토부 녹색건축과)

구 분	10년미만	10~20년	20~30년	30년이상	기 타	합 계
동 수(천동)	1,191	1,228	1,536	2,543	554	7,054
연면적(천㎡)	910,427	1,072,122	1,041,066	462,363	87,645	3,573,625

국제에너지기구(IEA)자료에 의한 국내 상업·공공 부문의 에너지원단위(에너지소비량/‘서비스업부가가치’, ‘16년)는 0.022(TOE/천\$)로서 주요국인 미국의 0.016(TOE/천\$), 독일 0.014(TOE/천\$), 일본 0.012(TOE/천\$)의 에너지원단위와 비교하여 미흡한 수준이다.

이는 건물부문의 에너지효율을 향상할 여지가 많음을 의미하고 있으며, 지난 8.21일 발표된 에너지효율혁신전략의 배경이라고 할 수 있겠다.

2. 건물의 에너지효율혁신 전략

우리나라 건물현황을 살펴보면 신축건물은 그 해년도의 상황에 따라 다르겠지만 매년 약 30만동 수준의 신축건물이 보급되고 있으며, ‘16년 기준으로 약 7백만동의 건축물이 보급되어 있다. 이중 2010년 이후 신축건물은 에너지설계기준, 건축물에너지효율등급인증, 제로에너지빌딩 등의 건물에너지효율화정책이 강화된 시점에 이루어져 밀도 있게 건물 효율화가 이루어져 있다고 볼 수 있다. 반면에 그 이전에 지어진 기존 건물을 대상으로 한 효율화 정책은 에너지절약전문기업(ESCO), 에너지진단, 에너지이용합리화자금지원, 그린 리모델링 등의 제도가 있지만 건물주의 선택에 의하여

자발적으로 이루어지고 있어 비용대비 개체효과의 경제성, 건물주와 사용자의 이해관계 및 정책의 수용성 등의 다양한 요인에 의하여 상대적으로 충분치 못한 것이 현실이다.

따라서 이번 에너지효율혁신전략에서는 신축건물을 대상으로 한 정책과 함께 기존건물의 효율향상을 이룰 수 있는 정책을 반영하려고 노력하였다. 이를 위해 기존건물의 에너지원단위를 활용하여 상호비교가 가능한 한국형 에너지스타프로그램 도입과 노후된 공동주택의 에너지리빌딩 도입, 건물의 에너지설비의 합리적인 운영을 할 수 있도록 건물에너지관리시스템(BEMS) 보급확대 및 동하절기 전력에 의한 냉·난방 에너지급중에 따른 피크관리를 위한 가스냉방 등 비전기식 냉방에너지원 다양화 정책이 혁신전략에 포함되었다.

가. 한국형 에너지스타제도

미국의 ‘에너지스타 건물’ 제도를 벤치마킹해 기축건물에 대한 효율평가체계를 마련을 위해 매 3년마다 시행하고 있는 「에너지소비총조사」를 통해 건물유형별 규모별 등 평균에너지원단위 도출하고 기존건물에서 상호 비교하여 자가 건물의 효율 평가가 가능한 지표를 개발하고 활용될 수 있도록 하여야 하겠다. 그리고 효율향상을 위한 다양한 솔루션을



제공 후 ESCO, 진단, 자금융자 등의 정책을 활용할 수 있도록 선순환연결이 가능한 세밀한 계획이 필요해 보인다. 여기서 좀 더 나아가서 시민에게 직접 접하는 주택을 대상으로 마을단위 「에너지리빌딩」 사업으로 노후공동주택의 효율개선사업도 추진된다. 내년에는 시범사업으로 3개소를 선정하여 공유부문과 점유부문에 대한 에너지효율 개선 대상을 도출하고 여기에 소요되는 비용의 일부에 대상으로 에너지공급자 효율향상사업(EERS)을 활용하여 추진하는 방안에 대한 세부방안이 마련되어야 할 것이다.

나. 고효율 가전제품 보급 및 백열등 퇴출

효율등급 관리대상 가전(10개 품목 : TV, 냉장고, 김치냉장고, 에어컨, 세탁기, 냉온수기, 전기밥솥, 진공청소기, 공기청정기, 제습기) 중 매년 으뜸효율 가전을 선정하고, 소비자에게 구매가의 일정비율(10% 등) 환급하는 제도가 금년부터 시행에 들어갔다. 이와 함께 '제조사-판매자-소비자-정부'간 으뜸효율 확산 사회적 협약 체결하여 각 주체별로 연구개발 강화, 판매원 교육·정보제공 및 으뜸효율 제품선정을

담당하여 고효율가전기기의 보급 활성화를 추진한다. 이와 함께 조명기기의 효율향상을 위한 시책으로서 형광등의 최저효율 기준을 한계치까지 단계적으로 상향해 '27년 이후 신규제작·수입 형광등의 시장판매 금지를 통하여 사실상 형광등을 조명시장에서 퇴출(의료용·식물재배용·해충퇴치용·광고용 등 특수용도 형광등은 퇴출대상에서 제외)하게 되며, 고효율 조명기기인 LED의 보급 확대를 위하여 LED와 IoT기술이 결합된 스마트조명의 활성화 계획도 발표되었다.

다. 건물에너지관리시스템(BEMS)

건축물 운영단계에서 에너지소비 성능이 최적화 되도록 공공·민간건물 대상으로 건물에너지관리시스템(BEMS) 보급의 필요성은 반드시 필요한 사항이다. 현재 공공기관을 (10,000㎡이상 신축건물)대상으로 「공공기관 에너지이용합리화 운영규정, 산업부 고시」에 근거하여 의무사항으로 이행하고 있으나 향후 제로에너지인증 보급 로드맵에 따라 대상 범위

〈표 3〉 에너지효율혁신전략(산업부, 2019.8.)

구분	주요 내용	성과
	(ESPM) 환경청 제공 온라인 평가 플랫폼을 활용해 기존건물 에너지성능평가 및 우수건물 에너지스타 인증	건물 3만5천동 대상 분석결과 연평균 2.4% 절감효과 확인('12)
	(EERS) 에너지공급자 대상 효율향상 의무부과를 통해 고효율제품 보급을 지원('18년 27개 州 시행)	절감효과('19,美에너지효율위원회) :시행주△1.2%vs,미시행주△0.3%
	(탑-러너) 고효율 가전제품 시장확대를 위해 '정부-제조사-판매자-소비자'간 사회적 협약 체결('16.6)	'20년까지 최대 1.3백만tCO2 온실 가스 감축 기대('18, 獨 연방환경부)



이슈와 시선

건물부문의 에너지효율 혁신전략

〈표 4〉 일본의 EMS 활용 성과 (2015년 기준)

구 분		에너지절감량(kL)	평균 에너지절감률
EMS 비활용	대기업 등	364,969.8	0.8%
	중소기업	28,401.3	5.4%
	합계	393,371.1	0.8%
EMS 활용	대기업 등	27,894.9	7.0%
	중소기업	12,143.7	17.8%
	합계	40,038.6	8.6%

확대가 추진된다. BEMS 보급 활성화를 위해서 시장의 혼선을 최소화 할 수 있도록 해야 할 것이다. 현재 BEMS의 국가표준은 KS F1800-1(기능과 정의)에 대하여 지난 '14년에 제정된 후 관계점 등 여타 기술에 대한 표준을 제정하고 있다. 이와 함께 설치확인 제도는 건물에너지관리시스템의 설치후 운영에 의한 에너지절약효과를 확인할 수 있는 관리시스템(운영검증 및 운영인력 양성 등)의 전환필요성, BEMS제조업체 등록제와 같은 자격부여 방안 및 관련법의 하위규정으로 제정하여 정책의 활성화를 이룰 필요가 있다.

라. 냉방에너지원 다양화

최근 기후변화에 따라 여름철 냉방기기 사용이 일반화 되고 있고 이에 따른 최대전력에 영향을

미치는 냉방수요가 증가하고 있으며, 주요원인으로 전기식 냉·난방기에 기인하고 있는 것으로 판단된다. 반면 비전기식의 대표적인 냉난방기인 GHP의 보급은 오히려 축소되어 냉방비중의 약 7%수준에 머무르고 있다.

냉방수요에 의한 전력피크 해소를 위하여 건축물에 중앙집중 냉방설비를 설치할 때에는 해당 건축물에 소요되는 주간 최대 냉방부하의 60% 이상을 심야전기를 이용한 축냉식, 가스를 이용한 냉방방식, 집단에너지사업허가를 받은 자로부터 공급되는 집단에너지를 이용한 지역냉방방식, 소형 열병합발전을 이용한 냉방방식, 신재생에너지를 이용한 냉방방식, 그 밖에 전기를 사용하지 아니한 냉방방식의 냉방설비로 수용하여야 한다고 규정되어 있다. 향후 가스냉방 등 비전기식 냉방기기의 기술개발 및 보급확대정책이 중요할 것이다.

〈표 5〉 최근 3개년 최대전력 발생일의 냉·난방수요 비중(한전)

구 분	2014년	2015년	2016년
냉방수요 비중	20.8%	24.9%	28.2%
난방수요 비중	24.3%	26.6%	25.2%



3. 맺음말

에너지효율은 가장 친환경적이고 경제적인 제1의 에너지원이다. IEA에 따르면 효율향상에 의한 에너지소비 감소는 경제성장을 저해하지 않으면서도 온실가스과 미세먼지를 감축할 수 있으며, 에너지원별로 온실가스 감축기여도는 재생에너지 35%, CCS 14%보다 높은 40%로서 가장 효과적인 수단이기도 하다. 금번에 정부에서 발표한 「에너지효율혁신전략」을 통해 '30년 최종에너지 소비는 기준수요(현재의 기술발전, 소비행태, 정책 등이 지속될 경우 예상되는 수요 전망치) 대비 14.4%(29.6백만 TOE) 감소할 전망이다. 물론 건물부문에서도 1.7백만 TOE의 절감이 예상된다. 정부가 발표한 에너지효율혁신정책의 차질 없는 이행을 통해 소기의 목적이 달성 될 수 있도록 많은 관심과 지지가 필요해 보인다.



이슈와 시선

수송부문의 에너지효율 혁신전략

수송부문의 에너지효율 혁신전략

이광복 한국에너지공단 수송에너지팀장 leekp@energy.or.kr

1. 서론

정부에서는 지난 8월 경제활력대책회의를 통해 에너지 소비구조 혁신을 위한 2030년까지의 중장기 전략을 담은 「에너지효율 혁신전략」을 발표했다.

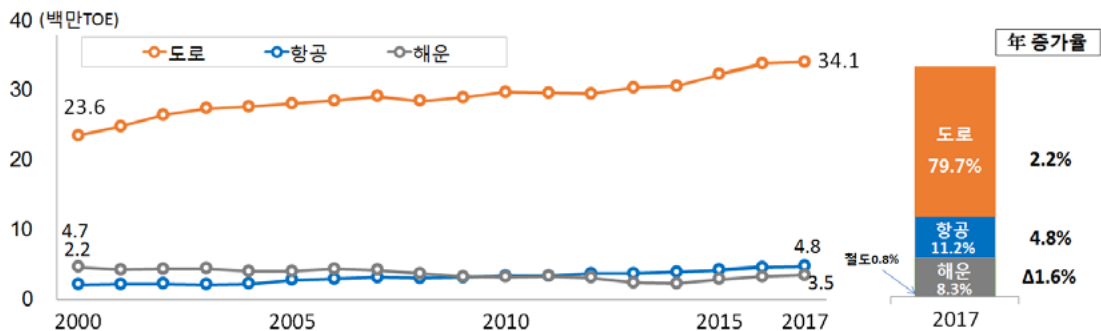
이는 주요 선진국들이 2000년 이후 에너지효율 향상을 통해 경제성장과 에너지소비 감소를 함께 달성한 데 비해, 우리나라는 세계 8위의 대표적 에너지다소비국가(GDP 12위)이면서도 최종에너지소비가 지속적으로 증가중이고,

에너지원단위도 OECD 국가중 최하위 수준(35개국 중 33위)이어서 이에 대한 정부의 개선 의지 표명이다.

이번 혁신전략은 산업, 건물, 수송 전부문의 효율혁신을 바탕으로 적극적 수요관리 효율정책을 제시하고 있다.

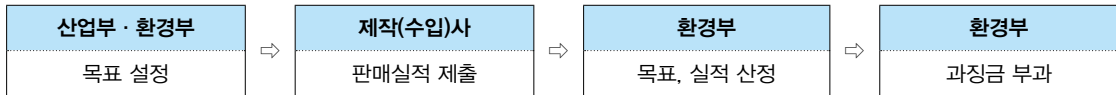
수송부문 에너지소비량은 우리나라 전체 에너지소비의 18.3%를 차지하고 있으며, 지속적으로 1%대의 꾸준한 증가세를 보이다가 2015년 이후 유가 안정과 차량 대형화로 인해 3%대의 높은 증가세를 보이고 있다.

[그림 1] 수송부문 에너지사용량 및 증가율





[그림 2] 평균연비제도 운영 절차



도로에서의 에너지소비량은 수송부문 전체의 약 80%를 차지하고 있다. 도로용 에너지효율(에너지소비/수송량)도 전체적으로 개선되고는 있으나 주요 선진국에 비해 미흡하며, 중대형차에 대한 효율관리 정책도 미흡한 수준이다.

이를 개선하고자 수송부문 에너지효율 혁신전략으로 도로에서의 에너지효율을 향상시키기 위해 자동차 평균연비 제고, 자율주행차와 연계한 차세대 지능형교통시스템 확산, MaaS(Mobility as a Service) 확산 기반 조성 등 세가지를 제시되었다.

2. 수송 에너지효율 혁신전략

가. 자동차 평균연비 제고

기업평균연비제도는 제작사(수입사)별 해당년도

판매대수 등을 기준으로 특정산식에 따라 연비기준을 설정 후, 실제연비가 기준에 미치지 못할 경우 과징금을 부과한다.

적용대상은 현재 승용차, 승합차(15인승 이하) 및 소형(3.5톤 미만) 화물차를 대상으로 하고 있으며, 중대형차의 경우 2022년부터 제도적용을 목표로 시험인프라 구축 및 시험방법을 마련 중에 있다.

제작사(수입사)가 평균연비(산업부) 또는 평균온실가스배출량(환경부) 기준 중 선택이 가능한 선택형단일규제를 적용하고 있으며, 적용기준도 연차별 기준(연비·온실가스) 또는 고효율차량 판매비율중 선택이 가능이 가능하다.

2030년까지 평균연비 목표는 지속적으로 강화하여 28.1 km/L 수준으로 강화할 예정으로, 이를 위해 관계부처 협의 및 국제공조도 고려할 예정이다.

제작업체의 평균연비 달성을 위해 정부에서는 공공기관의 친환경차 구매·임차비용을 현재의

〈표 1〉 연도별 평균연비/평균온실가스 기준 (연차별/판매비율별)

연 도		2016	2017	2018	2019	2020
승용차, 10인 이하 승합차	연비(km/L)	18.6	19.2	19.6	21.4	24.3
	CO ₂ (g/km)	127	123	120	110	97
15인 이하 승합차, 3.5톤 미만 화물차	연비(km/L)	14.4	14.5	14.6	15.1	15.6
	CO ₂ (g/km)	180	178	177	172	166
판매비율		10%	20%	30%	60%	100%



이슈와 시선

수송부문의 에너지효율 혁신전략

70%에서 100%로 상향하는 등 친환경차 보급 정책을 지속적으로 강화할 예정이며, 중대형차를 대상으로 하는 평균연비기준도 도입할 예정이다.

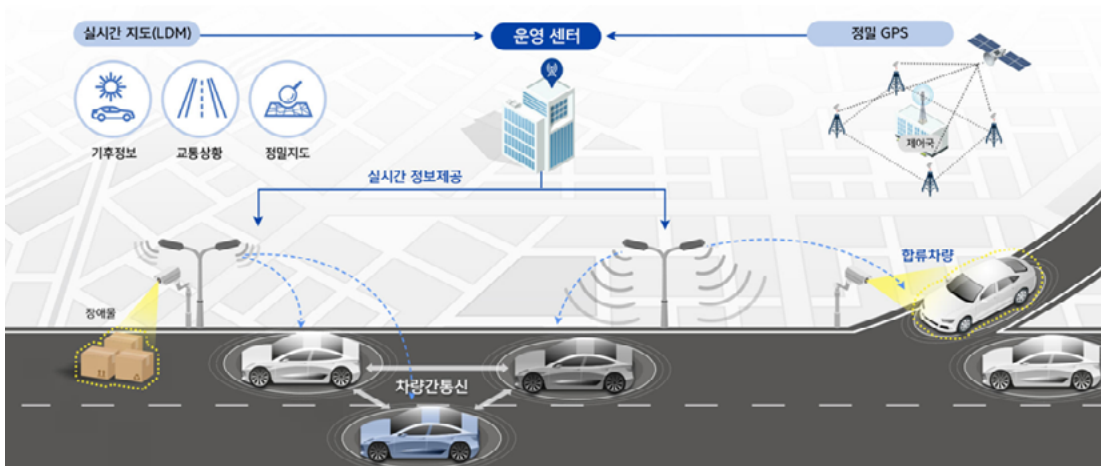
나. 자율주행차와 연계한 차세대 지능형교통시스템 확산

차세대 지능형교통시스템(C-ITS : Cooperative-Intelligent Transport Systems)이란 차량이 운행중

V2V(차량간), V2I(차량-인프라간) 무선통신을 기반으로 실시간으로 정보를 공유하는 시스템이다. 이를 통해 주변 교통상황과 위험 정보로부터 교통사고를 예방하고 교통정체 해소 등으로 차량의 주행속도가 약 30% 향상되어 도로에서의 에너지를 절약한다.

또한, C-ITS 구축시 자율주행차량의 한계, 즉 악천후시 차량 센서기능의 저하 및 원거리와 사각지대 검지의 한계 극복을 위한 도로인프라를 지원할 수 있다.

[그림 3] C-ITS 개념도



[그림 4] 각국의 C-ITS 보급 계획

구분	2000~2005	2006~2010	2011~2015	2016~2020	2021~				
미국	통신 기술·서비스개발, 표준화					정책수립	실도로 구현 효과검증	시범사업	확대구축
유럽	통신 기술·서비스개발, 표준화					실도로 구현 효과검증	정책수립	시범사업	확대구축
일본	통신 기술·서비스개발, 표준화					실도로 구현 효과검증	시범사업	정책수립	확대구축
국내	기초기술개발					통신기술서비스 개발과 표준화 (시범사업, 실증사업)			확대구축



〈표 2〉 주요국 MaaS 서비스 현황

국가	서비스명	주요 내용
핀란드 (헬싱키)	웜 (Whim)	▶ 2,500대 이상의 택시, 렌터카, 대중교통 결합 ▶ 스마트폰을 통해 경로설정·결제서비스 제공
스웨덴 (예테보리)	유비고 (UbiGO)	▶ 대중교통, 공유차량, 택시, 자전거 시스템 결합 ▶ 하나의 앱과 청구서에 통합 서비스 제공
독일	킵시트 (Qixxit)	▶ 21곳 이상의 서비스 제공업체 협력 ▶ 사용자 요구에 따라 가능 경로를 계획·제시하여 사용자가 비교 선택할 수 있도록 유도

C-ITS 보급을 위해 국내에서는 19년말까지 대전-세종시간 고속도로를 포함하여 국도, 시가지도로 87.8km에서 시범사업을 진행하고 있으며, 2030년까지 전체 도로의 30%에 C-ITS를 구축할 계획이다.

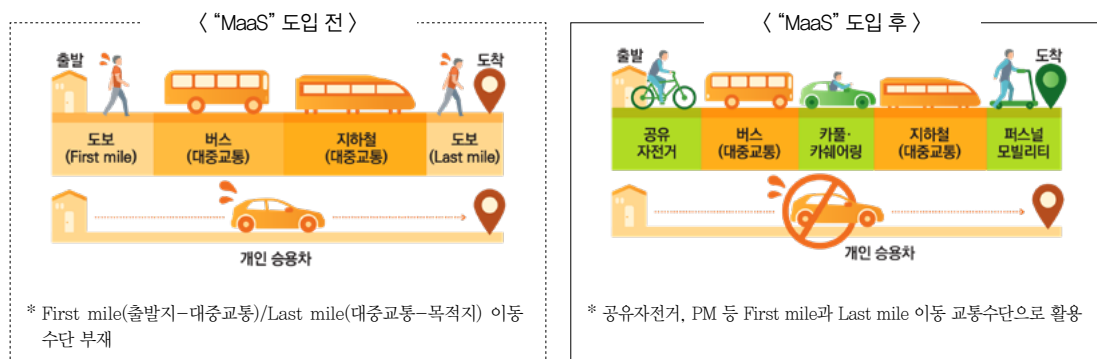
이를 위해서는 국제 표준에 부합하는 C-ITS 핵심장비에 대한 표준을 제정하고 상호호환성을 확인하며, 자율주행을 위한 주요 핵심부품 국산화 및 도로에 5G 통신장비 설치 및 자율주행 교통관제센터

구축 등 스마트 인프라도 함께 병행되어야 한다.

다. MaaS(Mobility as a Service) 확산 기반 조성

MaaS란 소비자가 목적지에 가기 위해 앱(App)을 통해 이동경로를 설계하고 이에 따른 이동수단을 예약하며 교통요금을 통합결제하여 교통을 하나의 서비스 수단으로 제공한다. 이를 통해 대중교통과 공유교통수단(퍼스널모빌리티 포함)을 연계하여

[그림 5] MaaS 도입 전·후 비교





이슈와 시선

수송부문의 에너지효율 혁신전략

사용자 편의성 증대로 대중교통 이용분담률을 제고하여 에너지를 절약한다.

국내에서도 대중교통과 新교통수단(Personal Mobility, 공유차량 등)이 연계된 “Door-to-Door” 서비스 구현을 위해 스마트시티와 연계한 각 교통수단간 통합결제(One-Pay All-Pass) 플랫폼, 경로탐색 최적화 등 통합 모빌리티 서비스를 실증하고 있다. 이를 위해 정부에서도 최고속도 25km/h 미만인 전동킥보드의 자전거도로 주행을 2020년부터 허용하는 등 新교통수단의 안전·통행기준을 마련하고, 공유차량이 활성화되도록 제도 정비를 통해 지원할 예정이다.

방안에 대한 깊은 고민이 필요해 보인다.

끝으로 어렵게 도출된 에너지수요관리 정책이 효과적으로 이행되기 위해서는 전문가의 의견 수렴을 통한 세부적인 정책 보완 및 정부 관계부처간 협력체계를 구축하여 주기적으로 이행을 점검하는 적극적인 추진이 필요하다.

3. 맺음말

자동차의 연비를 향상시키기 위해서는 우선적으로 고연비 차량 및 친환경차 연구·개발을 위한 자동차 제작사의 자발적인 연비향상 노력이 있어야겠으며, 정부에서도 규제 완화 및 인센티브 제공 등 제도적 지원과 산·학·연 인프라 구축을 통한 공동연구 지원 등에 아낌이 없어야겠다.

수송부문은 다양한 교통수단 만큼이나 이해관계자도 다양하고, 연관된 정부부처도 다양하다. 가령, 전기차 보급과 관련하여 보면 전기차 제작사, 전기차 정비업체, 배터리 등 부품 제조업체, 보험회사, 전기차 운전자, 전기차 이용자 이외에 도로망과 관련 인프라 등등

이번 택시업계와 카풀등 차량공유 서비스의 대립을 보면서 통합교통서비스 등 신교통 서비스 제공을 위해서는 서로가 기득권을 내려놓고 다양한 입장의 이해관계자의 의견을 수용하며 서로가 상생할 수 있는



기기부문의 에너지효율 혁신전략

조기선 한국전기연구원 전력정책연구센터 센터장 kscho@keri.re.kr

1. 서론

지난 8월 21일 정부는『에너지효율 혁신전략』을 발표했다. 에너지 소비구조 혁신을 위한 2030년까지의 중장기 전략이다. 전략이 완벽할 수는 없지만 지속적으로 관리하고 혁신한다면 목표달성이 요원하지는 않을 것이다. 금번 혁신전략은 에너지 소비구조 혁신의 초석이 되고 합리적인 소비구조를 실현하는 동력이 되어야 한다. 정부의 혁신전략은 그 시작을 공표한 것이고 이제는 업계와 시장이 구체적인 실행으로 결과를 보여야 한다. 이를 위해서 무엇보다 세부 실행전략이 철저하게 준비되어야 한다. 에너지효율을 개선하는 일차적 수단은 단위기기의 효율개선과 시스템단위의 운용효율제고 등 기술개발 영역이고, 이차적 수단은 고효율기기의 보급 확대 및 저효율기기의 시장 퇴출 등 시장 또는 정책영역이다. 즉, 에너지 효율향상은 기술개발과 정책수단이 매우 유기적이고도 전략적으로 연계되어야 한다. 에너지 이용기기는 시장의 경쟁구도 속에서 새로이 출현하고 퇴출되는 과정을 반복하는 데 정부가 사회적 가치 실현을 목적으로 시의적절한 시장 개입을 하게 된다.

때문에 에너지 효율향상 기기에 대한 전략이 단순하게 보일 수 있으나 실상은 매우 전략적인 정책 판단에 기초한다.

본 고에서는 금번 에너지효율 혁신전략에서 에너지 효율향상 기기부문의 전반적인 내용과 의미를 살펴보고, 에너지 효율향상 기기의 시장전환(market transformation) 개념과 향후 과제에 대해서 살펴보고자 한다.

2. 에너지 효율향상 기기부문의 혁신전략

우선 금번 에너지효율 혁신전략의 주요내용은 다음의 4가지로 요약하고 있다. 첫째, 규제·인센티브 조화를 통해 산업·건물·수송 부문별 효율혁신, 둘째, 개별 기기를 넘어 시스템/공동체 단위 에너지소비 최적화, 셋째, 에너지효율 혁신을 뒷받침하는 인프라 확충, 넷째, 수요관리에서 연관산업 육성병행으로 정책 패러다임 전환이다. 고효율 기기의 개별 보급 전략에서 한발 나아가 부문별 정책수단을 도입하여 개별 기기의 보급



이슈와 시선

수송부문의 에너지효율 혁신전략

[그림 1] 에너지효율 혁신전략에 따른 부문별 효율정책 추진방향

구 분	정책분야	정책프로그램(시행연도) 및 해외사례	기존정책		신규정책
			보완	폐지	도입
산업 부문	사업장 효율 목표관리	· 우수사업자 인증('17) Better Plant 자발적 협약		✓	✓
	온실가스 배출규제	· 목표관리제('12) 및 배출권거래제('15) 배출권거래제(美 일부지역)	✓		
	FEMS 보급	· 설치보조금('11), 설치확인 세액공제('15) EMS사업자제도	✓		✓
	지역에너지 효율공동체	· 에너지절약기술정보협력사업(업종별, '99) 아돌러스 호프(마이크로그리드 산단) Learning Energy Efficiency Network	✓		✓ ✓
	신축건물 효율기준	· 에너지절약 설계기준('03), ZEB 인증('17) 친환경건물 인증 ZEB 인증 패시브하우스 인증	✓		
건물 부문	기존건물 성능개선	· 그린 리모델링('14) 에너지스타건물 인증 Carbon Saving Community Obligation	✓		✓ ✓
	BEMS 보급	· 설치확인 세액공제('15) Real Time Energy Management(뉴욕주)	✓		✓
	기기 효율관리	· 소비효율등급('92), 고효율기자재인증('96) · 대기전력저감('99) 에너지공급자효율의무(EERS) 탑 러너 이니셔티브 형광등 퇴출계획	✓	✓	✓ ✓ ✓
	자동차	· 승용차 평균연비기준('11) 중대형차 평균연비기준	✓		✓
	교통시스템	· C-ITS('19예정) C-ITS 실용화			✓
수송 부문	新교통수단	· 「여객자동차운수사업법」 개정('19. 下) 통합교통서비스 “Qixxit” 운영			✓
합 계			8	2	13

자료: 산업통상자원부, 에너지효율 혁신전략, p.11, 2019.8.21



환경을 전략적으로 개선하고 기술혁신을 견인할 인프라를 확충하며 연관산업과 유기적 연계를 도모한 효율정책의 새로운 패러다임을 제시하였다.

정부와 다소비사업장간 에너지원단위 개선목표를 협약하는 자발적 에너지효율목표제, 건물의 효율평가체계(한국형 에너지스타 건물 등), 수송수단의 평균연비기준강화 등 부문별 효율목표 달성을 위한 포괄적 정책수단을 두어 개별 기기의 보급 여건을 정책적 차원에서 개선하고 목표 달성을 위한 구속력을 제고하였다.

에너지 효율향상 기기부문의 혁신전략은 산업부문에서 ICT기반의 공장에너지관리시스템(FEMS) 확대, 건물부문에서 효율우수등급 제품 중 으뜸효율 가전을 선정하여 소비자에게 구매가의 일정비율을 환급하는 한국형 Top Runner Initiative, 형광등의 최저효율기준을 한계치까지 단계적으로 상향하여 2027년 이후 신규로 제작하거나 수입한 형광등의 시장판매를 금지하는 형광등 퇴출, 수송부문에서 승용차 평균연비 대폭 향상 및 중대형차량 평균연비기준 도입과 차세대 지능형 교통시스템(C-ITS) 실증 도입 등을 제시하였다.

더불어 에너지소비 효율등급제도를 개선하는 조치로서 등급기준을 기술개발 전망과 효율향상 효과 등을 고려하여 주기적으로 갱신하고, 효율등급 관리품목도 재정비하며, 에너지다소비 기기인 산업용기기에 대한 소비효율등급제도 적용을 단계적으로 확대함으로써 에너지효율 혁신 인프라 확충 구축을 병행기로 하였다. 또한, 에너지효율 연관산업의 경쟁력 제고를 위한 시장연계형 R&D 지원과 국내 시장 활성화 방안, 혁신제품에 대한 실증사업 추진 및 금융세계 등 종합지원 방안을 제시하였다.

금번 에너지 효율향상 기기부문의 혁신전략은 단순히 기기의 보급계획을 넘어서 관련 인프라 및 연관산업의 영향 등을 종합적으로 고려하여 효율향상 기기의 시장확산을 조기에 끌어올리고 산업경쟁력 제고 및 산업생태계 조성으로 연계하여 지속가능한 에너지 효율시장 구조를 마련하였다고 평가할 수 있다. 다만, 에너지 효율향상 기기부문의 혁신은 기술·시장·제도·정책을 유기적으로 연계하고 전략적으로 판단해야 하며, 시장실패나 기존산업과의 관계 등을 종합적으로 검토하고 결정되어야 한다. 시장전환(market transformation) 개념은 이러한 관점에서 유용한 정책결정 도구가 될 것이다.

3. 에너지 효율향상 기기의 시장전환 개념

에너지 효율향상(이하 고효율) 기기가 시장에서 점유율을 확대해가는 과정은 통상 S-curve로 표현되는데, 기술 태동기에는 혁신성을 중시하는 소수의 소비자(early adapters)가 기술을 선택하고, 이후 실용성 및 경제성을 중시하는 다수의 소비자가 기기를 채택하게 된다. 이 과정에는 아무리 훌륭한 기기라도 일반인들이 사용하기까지는 넘어야 할 침체기(chasm, 첨단기술수용론)를 거치게 되므로 정책당국의 역할이 요구된다. 시장단계를 [태동기-성장기-완성기]로 구분할 때, 단계별 기술채택의 동인은 “혁신성(기술성) - 실용성(경제성) - 규제성(정책성)”으로 규정할 수 있다. 고효율기기의 보급은 이러한 시장단계별 동인의 관점에서 분석하고 전략을 수립하게 된다.

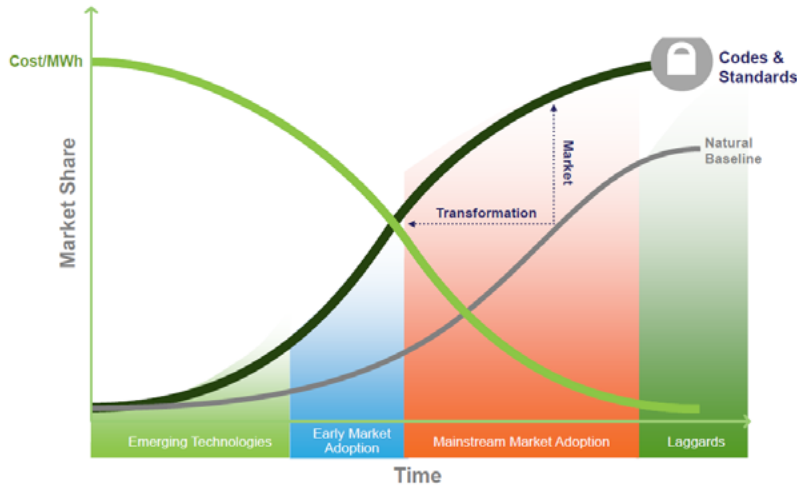
시장전환(Market Transformation)이란 시장에서



이슈와 시선

수송부문의 에너지효율 혁신전략

[그림 2] 시장전환(Market Transformation) 개념도



자료: David Cohan, 2015 National Symposium on Market Transformation Program, US DOE
(<https://aceee.org/sites/default/files/pdf/conferences/mt/2015/MT101-Cohan.pdf>)

새로이 등장한 특정 기기나 기술이 확산해 가는 과정에서 해당 기기나 기술의 시장단계 진입 시기를 앞당기고 보급률을 제고하는 일련의 시장개입(market intervention)을 말하며, 시장단계별 진입장벽을 제거 또는 완화하는 조치(시장전환수단)를 투입하여 기기나 기술의 확산 속도를 높이는 전략적인 활동이다([그림 2] 참조).

시장전환수단(measures for market transformation)으로는 인센티브 제도, 표준 및 라벨링(S&L; Standard & Labeling)제도, 효율등급표시제도, 기기인증제도, 사용의무/권고제도, 최저효율기준(MEPS; Minimum Energy Performance Standards), 교육, 홍보 등 매우 다양한 형태가 전 세계적으로 시행·공유·활용되고 있다. 국내에서도 전술한 고효율 기기부문의 혁신전략에서 제시한 바와 같이 대부분의 수단이 활용되고 있다. 다만, 시장전환이

매우 전략적인 활동이라 언급하였듯이 시장전환수단은 그 자체로서의 의미보다는 어떤 대상을 어떤 시점에 어떤 시책을 통해 시장에 전략적으로 개입하느냐를 결정하는 과정이 중요하고 문제의 핵심이다. 이를 위해서 시장단계별로 시장참여자를 규정하고 시장단계별 시장장벽을 발굴하여 제거 또는 완화하는 전략을 수립하게 된다.

고효율 기기는 산업 특성상 기기를 채택하는 주체와 이용하는 주체가 서로 다를 수 있다. 때문에 시장단계별 시장참여자를 규정하는 것이 중요하며, 해당 고효율 기기가 대체할 것으로 기대되는 기존 산업과의 관계를 합리적으로 조정하는 역할 또한 매우 중요하다. 저효율 기기 산업을 고효율 기기 산업으로 전환하는 중장기 전략을 선제적으로 공유하여 관련 산업이 충분히 준비하고 대응할 수 있는 여건을 조성하는데 정부의 역할이 있다. [그림



[그림 3] 시장장벽 및 시장개입 전략

	Market Barrier	Intervention Strategy
Supply Side	Product Availability	- Develop relationships with regional and national market actors - Use targeted mid- and upstream incentives to influence stocking and promotion practices of EE products - Run design competitions based on desired performance
	Product Quality	- Conduct lab/field testing and share results - Establish 3rd part quality testing system - Establish or influence specification, code or standard
	Knowledge/Capability	- Partner with manufacturers, trades, retailers to influence technical and sales training - Provide technical assistance and information to trades and professionals who influence EE choices
Demand Side	Product Price/1 st Cost	- Utilize/coordinate incentives - Coordinate bulk purchase/buyer aggregation to create production scale economies (emerging technologies) - Partner with market actors to offer financing options
	Product Awareness	- Develop and deploy research-based marketing materials/tools - Collaborate/coordinate and use collective leverage to negotiate marketing investments by market actors - Coordinate marketing efforts
	Value Proposition/Business Case	- Conduct research to identify compelling selling value proposition - Conduct demonstration projects; disseminate case study results - Develop and disseminate business case tools

자료: Karn Horkitz, "Evaluating of Market Transformation Programs", 2017 ACEEE Market Transformation Symposium

3]은 시장장벽을 식별하고 시장개입 전략을 수립하는 예시이다.

금 번『에너지 효율 혁신 전략』에서 에너지 효율향상 기기부문의 혁신전략이 나름의 역할을 다하기 위해서는 시장 전환관점에서 전략의 적절성·효과성·수월성 등을 종합적으로 평가하는 정기적 프로세스를 마련하고 시의적절한 시장개입 전략을 시장에 기초하여 판단해야 한다.

4. 향후 과제

에너지 효율향상 기기부문의 혁신은 기기가

시장에 출현하여 퇴출하는 전 과정을 주도면밀하게 살펴야 가능하다. 혁신적 기술개발로 에너지 이용 방식을 혁신하고, 다양한 시장장벽에도 불구하고 고효율 기기가 저효율 기기를 시장에서 대체하며, 중국에는 차기 혁신 기술이 고효율 기기를 대체하는 전 과정에서 정책당국의 정확한 판단과 의사결정이 중요하다. 이러한 점에서 금번 에너지 효율향상 기기부문의 혁신전략이 실효성을 갖기 위한 향후 과제를 다음과 같이 제시한다.

첫째, 고효율 기기에 대한 평가기술을 확보해야 한다. 시장전환수단을 시의적절하게 사용하기 위해서는 해당 고효율 기기가 시장에서 어떤 위치를 점하고 있는지 인지하는 것이 우선이며, 기술평가,



이슈와 시선

수송부문의 에너지효율 혁신전략

시장평가, 제도평가, 정책평가 등 다수의 평가기술에 기반하여 체계적인 정책의사결정이 이루어져야 한다. 다시금 평가기술을 재정비해 볼 필요가 있다.

둘째, 고효율 기기부문의 혁신전략의 실효성을 담보할 프로세스가 필요하다. 시장전환수단이 당초 의도한 바와 같이 시장에서 작동한다면 문제가 없겠으나, 정책당국이 완벽하게 시장을 선도할 수 없으므로 주기적으로 혁신전략을 점검하고 되먹임(feedback)하는 과정이 구축될 수 있게 마련되어야 한다. 시장전환수단을 시행이 중요한 것이 아니고 관리가 중요하다는 사실을 주지할 필요가 있다.

셋째, 에너지 효율시장이 역동적으로 작동되기 위해서는 혁신적인 신흥기술이 시장에 지속적으로 유입되어야 한다. 이를 위해서 에너지 효율향상 기술에 대한 혁신적인 R&D 지원과 혁신기술의 공유체계가 마련해야 한다. 공공과 민간의 역할을 명확히 분담하고, 에너지 이용방식의 원천적인 전환을 도모하는 공공기술의 확보와 기술공유 플랫폼을 정부차원에서 제공하여 기존 산업의 시장경쟁력 및 산업의 상생구조를 마련함으로써 기술발전에만 따른 시장의 피로감을 해소하고 산업발전의 토대를 마련해야 한다. 정부의 역할이 무엇보다 중요하다.

넷째, 효율향상 기기 보급에서 중요한 것은 소비자가 정확한 정보에 접근할 수 있어야 한다는 것이다. 소비자가 합리적으로 소비할 수 있도록 다양한 형태의 프로그램을 마련해야 한다. 특히나 소비자가 기기를 선택하는 단계(기기 판매단계)에서 보다 정확한 정보를 제공받고, 고효율 기기의 접근성이 보장되는 것이 중요하다. 금번 혁신전략에서 으뜸가진과 관련한 사회적 협의제도 매우 유용한

방식임에 에너지 효율향상 기기 전반에 걸쳐 확대하는 방안을 검토해 볼 필요가 있다.

다섯째, 최저효율기준인 MEPS의 강력한 시행이 필요하다. 시장에서 퇴출되는 기술과 산업에 대한 영향을 감안하여 다소 소극적인 자세를 취해 온 것이 사실이나, 중장기적인 계획을 가지고 고효율 산업으로 전환하기 위한 정부의 정책적 노력이 병행된다면 최저효율기준은 충분히 연착륙시킬 수 있을 것이다. 또한, MEPS로 생산과 판매를 금지한다고 해서 이용이 금지되는 것이 아니기 때문에 기기의 수명에 기초하여 이용실태를 정확히 파악하고 공익기금을 통해 최저효율기준 이하의 에너지 이용기기를 교체하는 방안도 반드시 병행하여 검토되어야 한다.

본 고에서는 기기부문의 에너지효율 혁신전략에 대해서 살펴보았다. 에너지 효율향상은 에너지 정책에서 가장 우선되어야 한다. 가장 환경친화적이고도 경제적인 에너지원이며, 한정적인 에너지 자원을 이용하는 데 기본이기 때문이다. 금번 『에너지효율 혁신전략』은 우리사회가 고효율 에너지사회로 전환하는 계기가 되고, 에너지 효율향상 기술·시장·제도·정책이 보다 역동적으로 작동하여 에너지 정책의 새로운 지평이 되기를 바란다.



에너지효율 혁신전략의 성공을 위한 제안

구민회 법률사무소 이이(EI, 怡怡) 변호사 gu@eelaw.kr

1. 에너지효율 혁신전략의 내용

에너지효율 혁신전략(이하 ‘혁신전략’)이 8.21 발표되었다. 경제성장과 에너지소비 감소를 동시에 달성하여 선진국형 에너지 소비구조를 실현하는 것을 목표로 삼아 2030년 최종에너지 소비 29.6백만toe를 감축하기 위한 방안을 담았다. 특히 산업부문에서는 12.4백만toe를 줄이는 것이 목표인데, 효율 혁신 전략에서 10.7백만toe를, 기존 정책 수단에서 1.7백만toe를 줄이겠다고 한다.

혁신전략은 “에너지효율‘을 가장 친환경적이고 경제적인 ”제1의 에너지원“으로 선언하고 온실가스와 미세먼지를 줄이기 위한 가장 효과적인 수단이고, 경제적이며, 성장과 에너지안보 측면에서도 크게 기여하는 것으로 평가하였다.

혁신전략은 우리나라의 사정이 세계 8위의 대표적 에너지다소비 국가로서 에너지 다소비와 저효율의 구조가 고착화 추세에 있다고 진단했다. 산업부문은 다소비업종 비중이 증가하고 제조업 원단위 개선이 정체되고, 건물부문은 상업·공공용 소비가 빠르게 증가하고 있는데, 특히 전력소비 증가가 우려될

수준이며, 수송부문은 차량증가·대형화로 인해 최근 높은 증가세를 보이고 있다고 분석하였다.

그렇지만 지금까지의 에너지효율 정책이 효율향상 투자유인이 부족하고(산업부문), 기존건물 효율평가체계가 미비하며(건물부문), 차량 평균연비 관리가 미흡(수송부문)하는 등 여러 문제가 있다고 진단한 다음, 그림1과 같은 추진방안을 내세우고 있다.

혁신전략은 우리나라가 당면한 에너지 저효율의 문제를 제대로 짚었고, 확실하고 분명한 비전과 목표를 내세운 다음 분명한 추진 방향을 보이고 있다. 다만, 제대로 이행되기 위해서 몇 가지는 보완되어야 할 것으로 보인다.

2. 혁신전략에 보완되어야 할 점

가. 기존 정책 수단의 잠재력을 최대한 끌어내는 노력

혁신 전략에서는 산업부문에서의 새로운 ‘효율혁신 전략’으로 자발적 효율목표제를 도입하고, 공장에너지관리시스템을 보급하고, 마이크로그리드



이슈와 시선

에너지효율 혁신전략의 성공을 위한 제안

[그림 1] 에너지효율 혁신전략 중 에너지효율 혁신 추진방안

〈비전 및 목표〉	
"2030년 선진국형 고효율 소비구조 실현" 30년 최종에너지 소비 29.6백만TOE 절감(BAU 대비 14.4%↓) 30년 최종에너지 원단위(TOE/백만원) 0.082(17년 대비 27.4%↓)	
추진 방향	· 규제·인센티브 조화를 통한 부분별 효율 혁신 추진 · 개별기기를 넘어 시스템/공동체 단위 에너지소비 최적화 · 수요관리에서 연관산업 육성으로 효율정책 패러다임 전환
추진 과제	1. 산업 건물·수송 부분별 효율혁신 [산업] ① '자발적 에너지효율목표제' 도입 ② 공장에너지관리시스템 활용확대 [건물] ③ 한국형 '에너지스타 건물' 도입 ④ 고효율 가전·조명기기 확산 [수송] ⑤ 자동차 평균연비 제고 ⑥ 차세대 지능형교통시스템 구축
	2. 시스템/공동체 단위 에너지소비 최적화 ① 마이크로그리드 산업단지 및 지역 에너지효율 공동체 구현 ② 마을 단위 '에너지 리빌딩(Rebuilding)' 도입 ③ 'Mobility as a Service' 확산 기반조성
	3. 에너지효율 혁신 인프라 확충 ① 에너지공급자 효율향상의무(Energy Efficiency Standard) 도입 ② 에너지소비 효율등급제도 합리화(기준설정 합리화, 대상품목 재정비) ③ 합리적인 전기요금 체계 마련 ④ 非전기에너지(가스냉방, 미활용 열) 활용 확대
	4. 에너지효율 연관산업 육성 ① 핵심 제품설비(전동기/스마트조명/건자제) 경쟁력 제고 ② 에너지효율 서비스·솔루션(진단·컨설팅/에너지관리시스템) 산업생태계 조성

자료: 에너지효율 혁신전략, 2019. 9

산단 조성 등을 하겠다고 한다. 그런데, 이러한 새로운 효율혁신 전략은 법령개정/시범사업, 제도 도입 등을 위해 2020년 이후에나 본격 진행될 수 있다. 하지만 우리의 사정은 지금 당장부터 산업부문의 에너지효율을 높이지 않으면 안 될 정도로 에너지 효율이 매우 낮고, 온실가스 배출량도 막대한 아주 심각한 상황이다.

그런데 지금 당장 기존 정책 수단을 보완해서 제대로 이행하기만 하면 2030년까지 1.7백만toe가 아니라,

산업부문에서만 매년 1.7백만toe 이상도 줄일 수 있다고 본다. 특히 에너지다소비사업장들이 이제까지 의무적으로 받은 에너지진단결과만이라도 최소한 전부 이행하게 하고, 공제받을 수 있는 에너지절약시설 투자액의 규모를 대폭 늘려 투자가 활성화되게 하고, 배출권거래제도 기업들이 할당 많이 받는데에만 초점을 맞추는 데에서 벗어나 감축 투자 활동에 나서게끔 개선하면 충분히 가능한 목표이다.



[그림 2] 에너지효율 혁신전략 중 산업부문의 방안과 계획

30년 절감량 (△26.6백만TOE)	효율혁신 전략 (△18.9백만TOE)	기존 정책수단 (△10.7백만TOE)
산업 △12.4백만TOE	▶ 자발적 효율목표제 도입 ▶ 공장에너지관리시스템 보급 ▶ 마이크로그리드 산단 조성 등 △10.7백만TOE	▶ 의무진단, ESCO ▶ 절약시설 설치용자 등 △1.7백만TOE
• 자발적 에너지효율목표제 도입(산업부)	'19~	(20~) 법령개정/시범사업 (21~) 본사업(우수사업장 인증제 통·폐합)
• 공장에너지관리시스템(FEMS) 활용확대(산업부)	'19~	(19~) 보급지원 (20~) EMS사업자 등록제도 도입
• 마이크로그리드 산단 및 지역 효율공동체(산업부)	'20~	(~30) 누적 20개 산단조성 (~30) 누적 40개 공동체조성

자료: 에너지효율 혁신전략, 2019. 9

기존 정책수단은 새로운 효율혁신 전략과는 달리 절감잠재량이 충분히 파악되어 있다. 2018년도 에너지진단 결과를 보면 의무진단 대상 627개 사업장의 에너지절감잠재량이 연간 0.55백만toe로서 2030년까지 기존 정책 수단으로 줄이겠다고 계획한 1.7백만toe의 32%를 차지한다. 새로운 효율혁신 전략을 통해서 줄이겠다고 한 10.7백만toe과 비교하면 5%에 이르는 규모이다. 이렇게 상당한 규모로 분명한 효과를 거둘 수 있다는 점에서 보면 기존 정책수단을 보완하고 제대로 이행하는 쪽으로 혁신전략의 무게 중심을 옮길 필요가 있다.

나. 이행을 뒷받침 할 예산

혁신전략의 성공적인 이행은 돈과 조직이 반드시 뒷받침되어야 한다. 그렇지만 안타깝게도 과제를 이행하고 목표를 이루려면 국가 전체적으로 돈이 얼마가 드는지가 혁신전략에는 나와 있지 않다. '에너지효율을 높여 기후위기를 극복하는데 2030년까지

국가 전체적으로 매년 20조가 쓰이도록 하겠다!'라는 선언이 아쉬운 이유다.

이번 혁신전략을 한정해서 보면 대규모 투자가 이루어지지 않고는 할 수 있는 일이 거의 없다. 따라서, 기업들이 자발적효율목표제를 도입해서 원단위를 개선하는 활동을 하려면 기업들은 매년 얼마를 투자해야 하고, 정부는 대기업까지 포함해서 용자를 얼마까지 늘릴지, 직접 지원하는 보조금은 어떤 항목에 어느 규모에 이르고, 간접적으로 지원하는 형식의 세액공제는 어느 정도까지 예상할지, 또한 에너지효율 서비스 솔루션 산업생태계를 조성하는데 매년 투입할 자금은 얼마가 될지 등에 대한 구체적인 내용이 앞으로 반드시 보완되어야 하겠다.

다. 충분한 인센티브와 분명한 규제

자발적 에너지효율목표제를 에너지다소비사업장이 적극 참여하도록 제공되는 인센티브로 '목표달성시



이슈와 시선

에너지효율 혁신전략의 성공을 위한 제안

우수사업장 인증 및 에너지 의무진단을 면제하고, 이행연도의 전력산업기반기금 부담금 환급 적극검토'가 혁신전략에 제시되어 있다. 여기서 전력산업기반기금 부담금은 전기요금의 3.7%인데, 혁신전략에서는 환급은 중소/중견기업을 대상으로 하겠다고 한다.

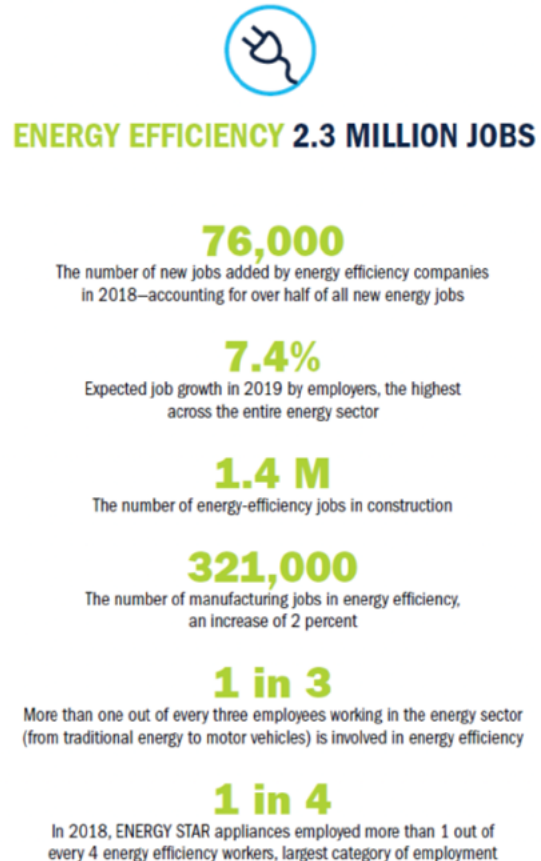
이와 같은 인센티브는 1)부담금 환급 액수가 크지 않고, 2)환급 대상에 최종에너지소비의 대부분을 차지하는 대기업이 제외되어 있고, 3)의무진단은 면제가 아니라 오히려 확대강화해야 할 정도로 에너지효율화에 있어 필수 불가결하다는 것을 생각하면, 적절해 보이지 않는다. 오히려 투자세액공제를 늘려주고, 절약시설 설치 용자액을 크게 확대(2019년 예산, 2800억에 불과)하면서 대기업까지 그 수혜대상에 포함시키는 것이 자발적 에너지효율목표제를 성공적으로 확대시키는 방법이 아닐까 한다.

이제까지 우리의 에너지효율 정책의 문제는 변변치 않은 인센티브와 불분명하거나 있어도 집행하지 않는 규제에서 비롯된 면이 크다. 혁신전략에서도 EERS 의무화, 미활용열 활용, 진단/컨설팅(ESCO 등) 서비스 산업 활성화, 에너지다소비사업자 신고사항 개선 등에 있어서 에너지이용 합리화법의 개정을 추진해서 규제를 정비하겠다고 계획하고 있는데, 최종에너지소비의 증가 추이를 확실히 꺾을 수 있도록 분명한 집행 의지가 충분히 잘 반영된 법 개정이 이루어져야 하겠다.

3. 훨씬 더 많은 양질의 일자리를 만들어 낼 혁신전략

‘2030년까지 에너지효율 분야 신규일자리가 6만9000개가 창출된다!’는 것이 혁신전략의 기대효과이다. 그런데 미국의 경우를 보면 에너지효율

[그림 3] 미국의 에너지효율 관련 일자리



자료: 에너지효율 혁신전략, 2019. 9

부문에서 2018년 한 해에만 76,000개가 새롭게 늘어났고 이는 에너지 분야 전체의 절반 이상을 차지하는 규모라고 한다.

에너지효율을 높이고 온실가스를 감축하기 위해서는 진단, 컨설팅, ESCO, 측정, 검증, 설계, 제조, 건설, 엔지니어링 등 다양한 분야에서 일하는 많은 사람들이 필요하다. 또 혁신전략에서 말하는 에너지의 수요,



공급, 환경 등을 망라한 통합 에너지 빅데이터 개방·공유 플랫폼을 구축하고 운영하는데 우수한 인력이 필요하고, 만들어진 데이터를 이용하는 다양한 스타트업이 생겨나면 또 많은 일자리가 생긴다.

우리는 2030년까지 6만9000개가 아니라 매년 6만9000개가 늘어날 수 있다는 비전을 가져야 한다. 이것이 충분한 예산을 뒷받침해서 혁신전략을 제대로 이행해야 할 또 다른 이유이기도 하다.



미국의 에너지효율 인센티브 프로그램과 시사점¹⁾

석주현 에너지경제연구원 부연구위원 juheon@keei.re.kr

1. 서론

에너지효율 인센티브는 일정 수준으로 에너지 소비를 감축하도록 소비자를 유도하기 위해 에너지 공급자(에너지효율 프로그램 관리자)가 소비자에게 제공하는 재정적 혹은 비재정적 지원이라고 할 수 있다.²⁾ 아울러 고효율기기와 같은 신기술의 보급을 확산에 있어 존재하는 여러 가지의 장애요인을 줄이기 위한 목적으로도 인센티브는 활용된다.³⁾

에너지효율 인센티브는 재정적 인센티브, 비재정적 인센티브, 그리고 결합 인센티브로 구분되며, 상류, 중류, 하류를 대상으로 지원될 수 있다. 대부분의 인센티브 프로그램은 최종소비자를 대상으로 하는 재정적 인센티브가 주를 이루고 있는데, 이는 재정적 인센티브가 절감량 계산도 간편하고 지원방식도 비교적 손쉽기 때문이다. 하지만 최근의 미국 에너지효율 인센티브 프

그램에서는 재정적 지원만을 단독으로 사용하기 보다는 재정적 지원에 비재정적 지원을 더한 결합 지원 프로그램이 점차 증가하고 있다.⁴⁾

이에 반해 국내의 에너지 효율 인센티브 프로그램은 주로 재정적 인센티브가 대부분이고 대상 또한 최종소비자(하류 프로그램)로 국한되어 있다. 국내의 에너지 효율을 개선하고 고효율기기 보급·확산을 위해 다양한 인센티브가 요구되므로 에너지효율 향상(인센티브) 프로그램에 오랜 역사를 갖고 있는 미국 사례를 조사·분석하는 것이 필요하다. 따라서 본고는 미국의 인센티브 프로그램을 집중적으로 분석하여 국내에 적용 가능한 에너지효율 인센티브 프로그램을 모색하고 시사점을 도출하고자 한다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 에너지효율 인센티브에 대한 전반적인 개념을 이해하기 위해 인센티브의 필요성 및 종류에 관해서 다룬다. 제3절에서

1) 본고는 석주현, 미국 EERS의 고효율기기 인센티브 보급대상 및 산정방안 연구, 에너지경제연구원(2018)의 주요 내용을 발췌하여 수정·보완한 것임.

2) EPA(2010), p.5

3) EPA(2010), p.11

4) EPA(2010).



는 미국의 에너지효율 인센티브 프로그램 사례를 구체적으로 살펴보고, 제4절에서는 내용을 간단하게 정리하고, 에너지효율 인센티브 프로그램의 국내 적용을 위한 시사점을 제시한다.

‘정보부족’은 소비자 혹은 시장 참여자가 시장에서 가장 효율적인 제품을 선택함에 있어 필요한 정보, 전문 지식 혹은 시간이 부족한 경우 발생한다.

2) 인센티브 지원방향⁸⁾

2. 에너지효율 인센티브의 필요성 및 종류

가. 에너지효율 인센티브 필요성

1) 장애요인⁵⁾

고효율기기 및 서비스를 시장에 보급하는데 있어 시장에 참여하는 핵심주체와 시장참여자들은 장애요인(시장장벽)에 직면하게 되며, 인센티브는 이러한 시장장벽을 줄이거나 해소하는데 중요한 역할을 한다. 시장장벽은 크게 구조적, 재정적, 정보부족으로 구분된다.

‘구조적 장벽’은 주인-대리인 문제 혹은 상충문제(split incentive) 등의 구조적인 이유 혹은 정보의 비대칭성으로 시장의 특정 당사자가 에너지효율 투자에 대한 동기 부여가 되지 않는 경우에 발생한다. 세입자(주택 소유주)와 집주인(건축주)간의 관계⁶⁾, 에너지 관리자와 경영주간의 관계⁷⁾에서 발생한다.

‘재정적 장벽’은 고효율기기 혹은 기술이 일반제품과 비교하여 훨씬 고가일 때 발생한다. 즉, 고효율기기가 일반제품보다 30만원 비싼 경우, 대부분의 소비자는 가격이 조금 더 저렴한 일반제품을 선택한다.

이러한 장애요인을 해소하기 위해 에너지효율화 인센티브는 ① 인센티브 상충문제 해소, ② 거래비용 감소, ③ 저비용 자금 조달 가능, ④ 양질의 정보 제공 및 위험과 불확실성 감소하는 방향으로 지원되어야 한다.

‘주인-대리인 문제’ 혹은 ‘인센티브 상충문제’를 해소하기 위해 에너지 비용과 직접 관련이 없는 임대인, 건축주, 에너지 관리자 등이 에너지효율 투자를 유도하는 방향으로 인센티브가 설계·지원되는 것이 필요하다.

고효율기기를 구매하기 위해 제품 검색, 수집, 평가가 필요하며 이는 소비자에게 높은 거래비용을 발생시킨다. 고효율기기에 대한 정보 수집 및 검색이 복잡한 경우 소비자는 상대적으로 초기 투자비용이 낮고 효율이 낮은 제품을 선택할 가능성이 높아진다. 따라서 고효율 제품 및 서비스에 관한 정보 획득을 간편하게 하여 ‘거래 비용을 감소’시키는 것이 필요하다.

고효율기기는 일반제품보다 초기 투자비용이 높으므로 저소득층과 같은 소비자들은 고효율기기 구매가 어려우므로 낮은 비용으로 제품을 구매할 수 있는 자금조달 방법을 제공하는 것이 필요하다.

소비자들은 고효율기기 혹은 에너지 절약방법에 대

5) EPA(2010) ; 이성인 외(2018)를 토대로 작성

6) 요금을 지불하는 사람은 세입자이고 집주인은 요금과 관련이 없으므로 비용을 들여 고효율기기를 구매할 유인이 없음

7) 특정 에너지효율 투자가 기대에 미치지 못하는 수익 흐름을 발생시키는 경우 에너지 관리자의 편익에 악영향을 끼칠 수 있는 경우 에너지 관리자는 기업 전체의 이익보다 사적인 이익을 추구하여 기업에 도움이 되는 에너지효율 투자를 배척하게 됨

8) 이성인 외(2018), pp. 42~44를 바탕으로 작성



한 정보가 부족하여 낮은 수준으로 에너지효율 투자를 하게 되는데 이를 방지하기 위해 소비자에게 에너지효율 투자의 편익과 비용을 이해할 수 있는 '신뢰성 있고 정확한 정보 제공'이 이루어지는 것이 필요하다.

또한 '양질의 정보 제공'은 위험과 불확실성 감소에도 기여한다. 시장 초기단계에서 고효율기기는 가격이 높고 일반적으로 생소하므로 고가의 에너지효율 제품을 선택하는 것은 위험이 존재하기 마련이다. 다시 말해, 제품의 성능 및 미래 에너지 가격에 대한 정보 부족은 에너지효율 투자에 대한 불확실성을 높여 소비자나 기업이 에너지효율 투자를 주저하게 만든다. 제조업체도 고효율기기에 관한 소비자 선호도에 대한 정보 부족으로 위험과 불확실성에 직면하게 되어 에너지효율 투자(고효율기기 생산)를 주저하게 되므로 '위험과 불확실성을 감소'시키는 것이 중요하다.

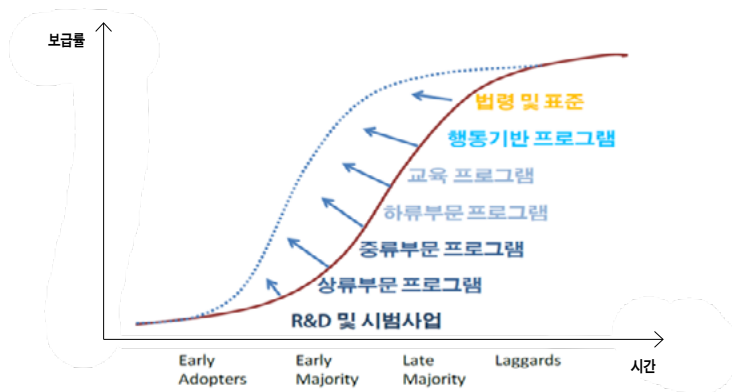
3) 인센티브 지원 효과⁹⁾

일반적으로 신기술의 확산은 S-커브를 따르며, 고효율기기 보급도 이와 같다. 보급 초기에는 소수의 소비자(early adopter)만 고가의 신제품을 구입하므로 시장 보급률이 낮다. 시간이 지남에 따라 고효율기기가 보편화되면서 시장 보급률은 급증하게 되며, 이후에는 제품의 시장 확산 속도가 안정화되고 둔화된다.

인센티브 지원(시장개입)으로 붉은색 S-커브에서 파란색 S-커브로 변화하게 되고 신제품 보급률도 증가하는 것을 [그림 1]을 통해 확인할 수 있다. 즉, 인센티브는 고효율기기가 대중화될 때까지 시장 장벽을 완화시킨다.

보급 단계별 다른 인센티브 프로그램이 적용될 수 있다. 보급 초기 단계에서는 고효율기기 도입을 장려하는

[그림 1] 고효율기기(신기술)의 보급률 및 인센티브 효과



자료: SEAD(2013), p. 31

9) SEAD(2013)를 바탕으로 작성



상류부문 인센티브 프로그램이 적절하다. 이후 고효율 기기의 시장 보급률을 증가시키기 위해 중류 및 하류부문 프로그램을 활용하여 제품을 대중화시킬 수 있다.

재정적 지원 프로그램은 시장 보급률이 낮은 고효율 기기를 대상으로 하는 것이 효과적이다 그러나 시장 보급률이 30~40%에 도달하는 경우 재정적인 지원은 필요하지 않으며, 재정적 지원이 지속적으로 효과가 있는 것도 아니다. 대개 5년 정도 효과가 있으며, 시간이 경과함에 따라 재정적 지원의 효과는 감소한다.

나. 에너지효율 인센티브 종류 및 대상

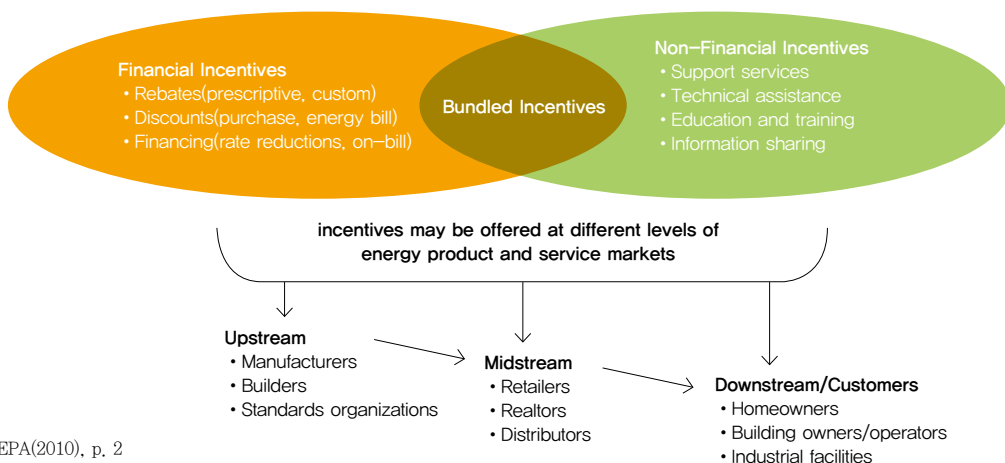
1) (비)재정적 지원 및 결합 지원¹⁰⁾

인센티브는 크게 ‘재정적 지원(financial incentive)’, ‘비재정적 지원(non-financial incentive)’, 및 ‘결합 지

원(bundled incentive)’으로 구분할 수 있다.

재정적 지원은 리베이트(rebates), 할인(discounts), 융자지원(financing) 등을 포함한다. 리베이트는 에너지효율 프로그램에 의해 개별 고객에게 지급되는 금액으로, 일반적으로 적격 제품을 구매할 경우 리베이트 쿠폰 또는 신청서가 제출된 후 지급된다. 리베이트는 특정 제품에 대해 사전에 정의된 고정금액을 지급하는 ‘규범적(관행적, prescriptive)’ 방식과 특정 제품 또는 프로젝트에 대해 절감량 확인 이후 절감량을 기준으로 지급하는 ‘맞춤형(custom)’ 방식으로 구분할 수 있다. 할인은 구입 시점에 제품가격의 일정부분을 할인하여 주는 것으로, 일종의 선불 환급금이라고 할 수 있다. 또한 에너지 요금에 대한 크레딧(credits) 혹은 할인 방식이 될 수도 있다. 프로그램을 통해 고객에게 대출금과 같은 지원을 하는 것을 융자지원이라고 한다.¹¹⁾

[그림 2] 에너지효율화 인센티브 종류



자료: EPA(2010), p. 2

10) EPA(2010), pp. 5~6, pp. 12~16을 바탕으로 작성

11) EPA(2010) ; 이성인 외(2018)



비재정적 지원은 ‘정보 서비스’와 ‘기술 서비스’를 포함한다. ‘정보 서비스’는 가정/시설/설비의 에너지 평가(진단), ENERGY STAR와 같은 제품 로고와 에너지절약 제품 사용을 장려하는 프로그램, 제품 및 기술에 대한 정보 제공, 훈련(교육) 등이 포함된다.

소비자에게 ‘고효율기기와 관련된 정보 제공’은 고효율기기 보급을 촉진시킨다. 사실 소비자는 고효율기기에 대한 정보가 부족하므로 고효율기기 선택에 있어 한계가 존재한다. 소비자에게 제품 및 에너지절약 정보와 같은 충분한 정보 제공을 통해 이를 해결할 수 있다. ‘정보 서비스’의 장점은 거래비용이 낮고 시장 범위(상류·중류·하류)가 광범위하며, 결정적으로 근본적인 시장장벽 해소가 가능하다는 점이다. 반면, 다른 시장장벽 해소에 한계가 있고, 특정 시장 참여자 및 거래에만 영향을 주며, 지속적인 지원 없이는 장기적으로 효과를 나타낼 수 없다는 단점이 있다.

‘기술 서비스’는 특정 프로젝트에 대한 분석 및 전문적 지원을 제공하는 것이다. 다시 말해, 소비자가 프로젝트를 추진하는데 요구되는 세부사항(specification)을 개발하고 비용과 편익을 파악하여 에너지 효율 향상을 도모할 수 있도록 지원하는 것을 의미한다. 소비자는 에너지를 절약하기 위해 어떤 조치가 필요한지는 알고 있으나 프로젝트를 평가하고 시공할 전문가에 대한 정보가 없어 이를 발견하는데 많은 비용을 지출한다. 업체(전문가) 또한 소비자가 탐색하는데 많은 비용을 지불하는데 이와 같은 높은 거래비용을 줄이기 위해 기술 서비스 지원이 필요하다. 기술 서비스의 장점은 총투자 대비 비용이 상대적으로 저렴하고 특정 시장과 고

객을 대상으로 하는 점이다. 단점은 전체 시장의 영향이 잠재적으로 제한되고 제한된 시장과 프로젝트에만 접근 가능하다는 것이다.

‘결합 지원’은 재정적 지원과 비재정적 지원을 조합한 것이다. 하나의 지원 프로그램만 사용하기 보다는 둘을 결합하여 사용하는 것이 시장 전환을 가속시키고 프로그램의 영향력을 확대하는 것에 효과적이므로 미국에서는 결합 지원 프로그램이 대세이다. 또한 결합 인센티브는 보다 적은 비용으로 프로그램의 소비자 참여를 제고하고 에너지절감 목표를 달성할 수 있다.

2) 상류, 중류, 하류 프로그램

인센티브는 제조업체, 유통업체, 소비자(고객)를 대상으로 지원될 수 있다. 제조업체를 대상으로 하는 프로그램을 상류(upstream) 프로그램이라 한다. 소매업자나 유통업체 등 시장 공급망(market supply chains)을 대상으로 하는 프로그램을 중류(midstream) 프로그램이라고 하며, 소비자(고객)를 대상으로 하는 프로그램을 하류(downstream) 프로그램이라 한다.¹²⁾

가) 상류 프로그램 : 제조업체 대상¹³⁾

상류부문 인센티브 프로그램은 제조업체를 대상으로 하며, 제조업체가 보다 고효율적인 제품을 생산하고 생산 비용을 절감하도록 동기를 부여한다. 시장 진입의 초기단계에서 소요되는 기술의 선행 투자비용(up-front cost)을 줄이는데 효과적이다.

12) SEAD(2013)

13) SEAD(2013), p.8, p.27, p.35를 바탕으로 작성



수천 혹은 수천만 명의 소비자와 거래하는 하류부문 인센티브와 달리 상대적으로 적은 수의 제조업체만 거래하면 되므로 거래 비용이 낮은 장점이 있다. 제품(기기)이 시장에 출시되기 전에 제품 가격을 낮추므로 하류 인센티브보다 소비자 가격에 미치는 영향이 크다는 점에서 승수 효과도 있다.¹⁴⁾ 그러나 제조업체에 인센티브가 제공되므로 소비자가 직접적으로 금전적인 혜택을 누릴 수 없고, 지원 대상을 특정 소비자 집단으로 목표하는데 있어 제약이 있으므로 무임승차¹⁵⁾ 비용이 높다는 점이 대표적인 단점이다. 아울러 시장에 고효율 제품을 적정 가격으로 출시하기 위해 제조업체가 고효율기기 생산에 드는 비용을 추산하는 것도 필요하다.

나) 중류 프로그램 : 유통/판매업체 대상¹⁶⁾

중류부문 인센티브 프로그램은 소매업체(유통/판매업체)를 대상으로 하며, 고효율기기의 도입, 유통 및 판매를 촉진하여 시장에 영향을 주는 것을 목적으로 한다. 고효율기기 판매를 촉진하기 위해 소매업체를 대상으로 제품에 대한 교육을 실시하여 소비자에게 고효율기기를 홍보하여 소비자로서 하여금 고효율기기 구매를 유도할 수 있다. 이는 제품 구매를 결정할 때 필요한 제반 정보를 소비자에게 제공하여 소비활동에 수반되는 거래비용을 줄이는데 도움을 준다. 즉, 중류부문 인센티브가 소매업자를 대상으로 하지만 구매 결정시점에서 소비자에게 영향을 미친다는 것을 의미한다.

특히 중류부문 인센티브는 고효율기기의 가격이 높고 인센티브 프로그램의 예산이 적은 경우 효과적일 수

있다. 소매업체가 판매하는 고효율기기의 이윤이 낮은 경우, 소량의 인센티브라도 소매업체는 고효율기기를 판매하는데 유인책으로 작용한다.

중류부문 인센티브는 ‘주인-대리인 문제’가 존재하는 경우 유용하게 이용될 수 있다. 예를 들어 중앙 집중식 에어컨을 설치하는 경우 제품 선택은 에너지소비 비용과 관련이 없는 시공업체가 결정하는 경우가 대부분이다. 시공업체에게 고효율 에어컨 구매·설치에 대한 리베이트(환급금)를 지원한다면 이 같은 문제를 해결하는데 도움이 될 수 있다.

공급망(상류, 중류, 하류)에서 중류부문 프로그램은 상류부문 프로그램보다 거래비용이 높으며, 또한 규모가 가장 큰 유통업체만 혜택을 누려 승자독식의 폐해를 유발하고 시장의 파급효과가 적다는 단점이 있다.

다) 하류 프로그램 : 소비자 대상

하류부문 인센티브 프로그램은 최종소비자를 대상으로 하며, 고효율기기에 대한 소비자의 인식을 제고하여 다른 고효율기기 구매에 대한 긍정적인 파급 효과를 유발한다.¹⁷⁾

하류부문 지원방식은 리베이트, 요금 납부식 용자(on-bill financing), 직접 설치 등이 있다. 리베이트는 고효율기기의 구매 비용에 대한 일정 금액을 환불해주는 것으로서 소비자가 신규 고효율기기 구매 시에 지불하는 가격을 낮추는 효과가 있다. 요금 납부식 용자는 소비자가 고효율기기 구매 시 지불하는 초기 비용(up-front cost)을 분산시켜 매달 전기요금에서 선행비용

14) 소매가격에 승수 효과

15) free rider: 인센티브를 지급하지 않아도 소비자가 고효율기기를 구매하는 경우

16) SEAD(2013), p.8, pp.26~27을 바탕으로 작성

17) SEAD(2013), p. 8



[그림 3] 인센티브 지원 대상 및 대상별 지원의 장단점

제조업체 (상류 프로그램)	유통업체 (중류 프로그램)	고객 (하류 프로그램)
• 장애요인 - 비경쟁력 가격(높은 가격) - 생산능력 부족 - 낮은 에너지 가격 • 이점 - 대상업체 수가 적음 - 소매가격에 승수효과 • 단점 - 소비자에게 불투명 - 특정기업 혜택	• 장애요인 - 제품 제고 부족 - 마케팅 홍보 부족 - 낮은 에너지 가격 • 이점 - 마케팅 역량 레버리지 - 의사결정 단계에서 고객 접촉 • 단점 - 유통업체 선정 - 특정 업체만 혜택	• 장애요인 - 효율투자에 대한 위험 인식 - 정보 부족 - 효율투자에 대한 자금 제약 • 이점 - 특정 집단을 목표 대상으로 가능 - 긍정적인 확산 효과 • 단점 - 대상고객 많음 - 참여유도를 위한 홍보 필요

자료: SEAD(2013), p.34

을 지불할 수 있도록 하는 것이다.¹⁸⁾ 직접 설치하는 유틸리티 또는 공인된 시공업체가 가정을 방문하여 고효율기기를 직접 설치해 주는 것으로 금융적 지원이 수반되기도 한다.¹⁹⁾ 직접 설치하는 유틸리티에게 많은 비용 부담을 주기 때문에 미국에서는 주로 저소득층 가구와 고효율기기 접근이 어려운 소비자를 대상으로 지원된다. 고비용이지만, 다른 프로그램에 비해 참여자당 에너지 절감 효과가 높다는 Nadel and Geller(1995)의 연구 결과가 있다.²⁰⁾

하류부문 프로그램은 저소득 가구와 같은 특정 계층을 대상으로 삼을 수 있다는 유연성이 있으며, 다수의 소비자를 대상으로 개별적으로 환급/할인 혜택을 주기 때문에 거래비용이 크다는 단점이 있다.²¹⁾

3. 미국의 에너지효율 인센티브 프로그램 사례

가. 상류, 중류, 하류 프로그램 사례²²⁾

상류와 중류부문에 여러 가지 프로그램이 있지만 본 고에서는 대표적인 사례만 하나씩 소개하도록 하겠다. 캘리포니아 주의 'Primary Lighting program'은 상류 인센티브의 대표적인 사례이다. 캘리포니아 주는 고효율 조명기기의 생산을 장려하기 위해 제조업체에 인센티브를 제공하고 있으며, 조명 인센티브 프로그램 중에서 가장 비용 효과적이다.²³⁾ 중류 인센티브의 대표적인

18) 구매 비용을 에너지 절감량을 통해 월 전기요금에서 상쇄시킬 수 있도록 하는 것

19) SEAD(2013), p. 26

20) SEAD(2013), p. 26

21) SEAD(2013)

22) 프로그램에 대한 자세한 내용은 석주현(2018) 참조

23) CPUC(2018)



예로는 PG&E의 Retail Products Platform(RPP)이다. RPP는 가전제품에 의한 전력부하를 감소시키기 위해 에너지스타 인증제품 판매에 대해 유통·판매업체(중류)에 일정량의 인센티브를 제공하는 것으로, 유통·판매업체의 고효율기기 판매를 촉진하는 프로그램이다.²⁴⁾

하류부문은 최종소비자를 대상으로 하는 프로그램이므로 부문별 다양한 프로그램이 있지만, 본고에서는 주거용 건물의 개보수 지원 프로그램, 가구부문 소득 수준별 리베이트 프로그램, 에너지스마트 식료품가게 프로그램, 및 소상공인 지원 프로그램을 중점적으로 분석하였다. 이러한 프로그램은 고효율기기 교체에 대해 리베이트나 용자를 지원하는 하류 프로그램이지만, 에너지 진단과 같은 비재정적 지원과 재정적 지원이 함께 지원이 되는 프로그램이다.²⁵⁾ 또한 지원 대상이 소득 수준이 낮은 저소득계층이나 소상공인을 대상으로 하고 있어 국내 에너지효율 프로그램의 지원대상이나 지원방식 개발에 도움이 될 것으로 판단되어 본고에서 중점적으로 다루었다.

1) 주거부문 : 에너지효율 인센티브 프로그램

주거부문에서는 미국의 3개(캘리포니아, 뉴욕, 매사추세츠) 주에서 시행되고 있으나, 국내에서 시행되고 있지 않은 건물 개보수 프로그램과 소득 수준별 차등

지원 리베이트 프로그램에 대해 다루고자 한다.

캘리포니아주는 건물 개보수 프로그램 계약 또는 참가 업체를 통해 시공을 완료 시 에너지효율향상 품목에 대한 리베이트를 지원하는 'Home Upgrade 프로그램'을 시행하고 있다.²⁶⁾ 뉴욕주와 매사추세츠주에서는 '소득 수준에 따른 차별된 리베이트'를 제공하고 있다. 특히, 소득 수준이 낮은 가구의 경우 고효율기기 설치에 어려움이 있으므로 이러한 가구의 고효율기기 보급을 촉진하기 위해 용자와 리베이트를 함께 지급하고 있다.²⁷⁾ 뉴욕주는 가구에 에너지진단을 먼저 제공한 후, 에너지스타 인증을 받은 고효율기기로 교체를 위해 용자 혹은 용자 및 리베이트 함께 지원하는 프로그램을 운영하고 있다. 1) Home Performance with ENERGY STAR, 2) Assisted Home Performance with ENERGY STAR, 3) Empower New York와 같은 세 가지 형태의 프로그램을 진행하고 있으며, 소득 수준에 따라 0%, 50%, 100%로 지원된다.²⁸⁾ 매사추세츠주도 뉴욕과 비슷하게 가구 고객에게 소득 수준에 따른 리베이트를 제공하는 '소득 기반 에너지 효율 리베이트 프로그램(Income-Based Energy Efficiency Rebate Program)'을 운영하고 있다.²⁹⁾

MassCEC社와 CMLP社는 난방시스템과 연관이 있는 '히트펌프 리베이트'를 소득 수준에 따라 지원하고 있다. MassCEC社는 가구뿐 아니라 상업, 공공, 비영

24) Fable(2016)

25) 단, 에너지스마트 식료품가게 프로그램은 하류 프로그램이지만 재정적 지원만 하는 프로그램임

26) CPUC(2018)

27) EPA(2010)

28) NYSERDA 홈페이지, Home Energy Efficiency Programs (검색일: 2019.1.31)

29) MassSave 홈페이지, Income Eligible Programs (검색일: 2019.1.31.)

30) 공기열원 히트펌프와 같은 청정 냉난방기술에 대한 이용도를 제고하기 위함임.

31) MassCEC(2019)



동향

미국의 에너지효율 인센티브 프로그램과 시사점

〈표 1〉 주거부문 : 에너지효율 인센티브 프로그램 비교

인센티브 프로그램	내용
(CA) Home Upgrade program	• 건물 개보수 프로그램 계약 또는 참가 업체를 통해 시공을 완료할 시 에너지효율향상 품목에 대한 리베이트를 지원 • 품목 : HVAC 시스템 교체, 환기구 단열 및 실링, 외벽 단열, 바닥 단열, 창 단열, 지붕 단열, 온수기 교체, 수영장 펌프, 조명 • 품목별 지원액은 시공업체를 통해 결정되며, 각 소비자의 개보수 시행에 대해 최대 \$5,500까지 환급금 지급
(NY) Home Energy Efficiency Performance • Home Performance with ENERGY STAR • Assisted Home Performance with ENERGY STAR • Empower New York	• 가구에 에너지진단을 먼저 제공한 후, 에너지스타 인증을 받은 고효율기기로 교체를 위해 용자 혹은 용자 및 리베이트 함께 지원하는 프로그램 • 소득 수준에 따라 0%, 50%, 100%로 지원
(MA) Income Eligible Programs	• 저소득층을 대상으로 무료 가정 에너지진단을 제공 • 에너지 절약 제품 지원 1) 에너지효율적인 LED 조명, 침단 파워 스트립, 절수형 수도꼭지, 저유량 샤워헤드 등의 고효율기기 설치 2) 기존의 냉장고, 냉동고, 의류세탁기 등의 가전제품의 효율성 분석을 통해 효율기기로 무상 교체 가능 여부 평가 3) 기존 난방 시스템 분석을 통해 무료 교체 4) 다락방, 벽 및 지하실의 단열을 비롯하여 가정에서 외풍이 있는 구역을 차단으로써 최대 25% 절약할 수 있도록 하는 단열재 업그레이드
(MA) Residential and Small-Scale AS Heat Pump Program	• 히트펌프 리베이트를 소득 수준에 따라 지원 • 주 정부 평균 소득의 80% 이하인 가구, 120% 이하인 가구에 대해 추가적으로 인센티브를 제공 • 자격기준 : 소득 및 가구 규모에 따라 결정되는데, 소유주 및 가족구성원의 연방 소득세 신고서에 따라 가장 최근 사용된 총 가구 소득을 기준
(MA) Heat Pump Rebate program	• 비주거부문과 소득 수준과 관계없이 주거부문에 히트펌프 용량에 따라 12 kBTU/hr 당 625달러를 지급 • 최하위 소득계층(평균 소득의 80% 이하)에는 12 kBTU/hr 당 1,500달러를 지급하고 최대 7,500달러까지 지원

자료 : CPUC(2018) ;

SDGE 홈페이지, Home Upgrade (검색일: 2019.1.25.) ;

NYSERDA 홈페이지, Home Energy Efficiency Programs (검색일: 2019.1.31.) ;

MassSave 홈페이지, Income Eligible Programs (검색일: 2019.1.31.) ;

MassCEC(2019) ;

CMLP 홈페이지 (검색일: 2019.1.23.)의 자료를 바탕으로 저자 작성



〈표 2〉 비주거부문 : 에너지효율 인센티브 프로그램 비교

인센티브 프로그램	내용
(CA) EnergySmart Grocer Program	• 상업부문 사업주에게 에너지진단을 무료로 제공하고, 냉장제품, LED, 식기세척기, HVAC 등 고효율 에너지절감설비에 대한 교체를 지원
(NY) Small Business rebate program	• 전력수요량 100kW 이하의 ConEdison의 소상공인 대상 리베이트 프로그램 • 냉장/냉동고, HVAC, 주방기기(오븐, 식기세척기, 프라이어, 스팀기, 보온 캐비닛)
(NY) Small Business Direct Install Lighting Program	• 전력 수요량 120kW 이하의 소규모 비거주 고객에게 조명, 냉각용 모터, 제어시스템 교체를 지원 • 지원 자격을 만족할 경우 무상으로 에너지 진단 제공 및 교체 비용의 70% 지원 • 비용 지불 후 환급되는 절차를 거치지 않고, 계약한 조명 설치 전문업체에게 유틸리티가 70%의 비용을 직접 지불하며, 나머지 비용은 고객이 용자 옵션에 따라 지불

자료: PG&E 홈페이지, EnergySmart Grocer (검색일: 2019.1.25.) ;

ConEdison 홈페이지, 소상공인 리베이트 (검색일: 2019.01.22.) ;

Central Hudson 홈페이지, 소상공인 조명기기 직접설치 프로그램 (검색일: 2019.01.22.) ;

Central Hudson 홈페이지, Business Energy Efficiency Incentives (검색일: 2019.1.22.) ;

Central Hudson 홈페이지, Energy Efficiency Faqs (검색일: 2019.1.21.)를 바탕으로 저자 작성

리기관을 대상으로 ‘Residential and Small-Scale ASHP Program³⁰⁾’을 운영하고 있으며, 주 정부 평균 소득의 80% 이하인 가구, 120% 이하인 가구에 대해 추가적으로 인센티브를 제공하고 있다.³¹⁾ CMLP社는 MassCEC社와 유사하게 평균 소득의 80% 이하, 120% 이하인 가구를 대상으로 ‘히트펌프 리베이트 프로그램(Heat Pump Rebate Program)’을 운영하고 있다.³²⁾

2) 비주거부문 : 에너지효율 인센티브 프로그램

산업·상업부문에도 다양한 지원 프로그램이 있지만, 국내 지원 프로그램이 산업부문에 집중되어 있고 중소기업에 관한 지원 프로그램이 부재하므로 본고에서는 상업부문, 특히 소상공인에 집중하여 분석하고자 한다.

캘리포니아주 PG&E社의 ‘에너지스마트 식료품가게 프로그램(EnergySmart Grocer Program)’은 상업부문 사업주에게 에너지진단을 무료로 제공하고, 냉장제품, LED, 식기세척기, HVAC 등 고효율 에너지절감설비에 대한 교체를 지원하고 있다.³³⁾

뉴욕주의 ConEdison社의 ‘소상공인 리베이트 프로그램

30) 공기열원 히트펌프와 같은 청정 냉난방기술에 대한 이용도를 제고하기 위함임.

31) MassCEC(2019)

32) CMLP 홈페이지 (검색일: 2019.1.23.)

33) PG&E 홈페이지, EnergySmart Grocer (검색일: 2019.1.25)



(Small Business rebate program'은 전력수요량 100kW 이하의 ConEdison의 소상공인 고객을 대상으로 냉장고/냉동고, HVAC 및 주방기기를 지원하는 프로그램이다.³⁴⁾

뉴욕 Central Hudson의 '소상공인 조명 직접설치 프로그램(Small Business Direct Install Lighting Program)'은 전력 수요량 120kW 이하의 소규모 비거주 고객에게 조명, 냉각용 모터, 제어시스템 교체를 지원한다.³⁵⁾ 지원 자격에 해당할 경우 무상으로 에너지진단을 사전에 제공 받을 수 있으며, 이후 진행되는 교체 프로젝트에 있어 총 비용의 70%를 지원받을 수 있다.³⁶⁾

나. (비)재정적 및 결합 인센티브 프로그램 사례

에너지효율 인센티브 프로그램은 지원방식 및 대상으로 구분할 수 있다. [그림 2]에서 보듯이, 하나의 프로그램은 재정적 지원 프로그램이면서 동시에 하류 프로그램으로 구분될 수 있다. 즉, 프로그램이 금전적 지원을 바탕으로 한다면 재정적 지원 프로그램에 속하고, 대상이 최종소비자이면 하류 프로그램에 속한다. 이렇듯, 기준에 따라 하나의 프로그램을 다른 분류로 구분할 수 있다. 그러므로 (비)재정적 및 결합 인센티브 프로그램의 사례는 앞서 언급한 상류, 중류, 하류 프로그램의 사례와 중첩되므로 간단하게 정리하고, 비재정적 인센티브 프로그램의 사례는 앞에서 다루지 않았으므로 좀 더 구체적으로 소개를 하도록 하겠다.

재정적 인센티브는 금전적인 방식으로 지원하는

것으로 앞서 언급한 상류부문의 Primary Lighting program, 캘리포니아주의 홈 업그레이드 프로그램(Home Upgrade program), 매사추세츠주의 주거용 및 소규모 AS 히트펌프 프로그램(Residential and Small-Scale AS Heat Pump Program)과 히트펌프 리베이트 프로그램(Heat Pump Rebate program) 등이 있다. 이외에도 다양한 고효율기기 보급을 지원하기 위해 주거 및 비주거부문의 각종 에너지효율 리베이트 프로그램(Energy Efficiency Rebate Program)이 있다.³⁷⁾

비재정적 인센티브는 '정보 서비스'와 '기술 서비스'를 지원하는 프로그램이다. 정보 서비스의 대표적인 사례로 에너지 마켓플레이스(Energy Marketplace)이다. 에너지 마켓플레이스는 가전제품 등 다양한 제품의 에너지효율 정보뿐만 아니라 구매 인센티브에 관한 정보도 동시에 제공하여 고객이 비용-효과적으로 에너지를 절약할 수 있는 제품을 선택하도록 유도한다.³⁸⁾ 기술 서비스의 사례로는 ConEdison의 Connected homes platform이 있다. Connected homes platform은 전력소비를 줄이기 위해 주거용 태양광, 스마트온도조절기 등을 설치하고자 하는 소비자(고객)와 시공·판매업체를 연결시켜주는 플랫폼이다. Connected homes platform은 소비자의 에너지사용량을 분석하여 에너지를 효율적으로 이용할 수 있는 제품을 추천하고 소비자에게 적합한 시공·판매업체를 소개해주는 것으로 기술 서비스의 하나로 볼 수 있다.³⁹⁾

결합 인센티브는 재정 및 비재정 서비스를 동시에 제

34) ConEdison 홈페이지, 소상공인 리베이트 (검색일: 2019.01.22)

35) Central Hudson 홈페이지, Business Energy Efficiency Incentives (검색일: 2019.1.22.)

36) Central Hudson 홈페이지, Energy Efficiency Faqs (검색일: 2019.1.21)

37) 자세한 내용은 석주현(2018) 부록 2 참조

38) 석주현(2018)적

39) 석주현(2018)



공하는 인센티브이다. 앞서 소개한 중류부문의 Retail Products Platform(RPP), 홈 에너지효율 향상 프로그램(Home Energy Efficiency Performance), 적격 소득 프로그램(Income Eligible Programs), 에너지스마트 식료품가게 프로그램(EnergySmart Grocer Program), 소상공인 조명 직접설치 프로그램(Small Business Direct Install Lighting Program) 등이 있다.

4. 결론 및 시사점

본고에서는 미국의 에너지효율 인센티브 프로그램을 크게 상류, 중류, 하류로 구분하여 살펴보았다. 특히, 소비자를 대상으로 하는 하류 프로그램 중에서 주거용 건물의 개보수 지원 프로그램, 가구부문 소득 수준별 리베이트 프로그램, 에너지스마트 식료품가게 프로그램, 소상공인 지원 프로그램 중심으로 분석하였고 이를 정리하면 다음과 같다.

Home upgrade 프로그램을 제외한 다른 프로그램은 에너지진단과 고효율기기 교체를 결합한 인센티브 프로그램이다. 즉, 단순히 고효율기기 구매에 대한 리베이트(환급금)를 제공하기 보다는 가구 혹은 상업에서 필요한 고효율기기를 파악하기 위한 에너지진단 서비스를 제공하고 이에 적합한 고효율기기를 지원하고 있다.⁴⁰⁾

가구부문의 프로그램들은 또한 '소득수준에 따라 차등'으로 지원되고 있다. 뉴욕주는 연간 소득 기준으

로 차등으로 인센티브를 지급하고 있으며, 특히 뉴욕 주의 '중간 소득 60%이하' 가구에게는 프로그램 비용의 100%를 무상으로 지원하고 있다.⁴¹⁾ 매사추세츠주의 Income Eligible Program은 '평균소득 이하' 가구를 대상으로 하고 있다.⁴²⁾

상업부문의 프로그램도 가구부문 프로그램과 유사하게 에너지진단과 에너지효율제품 교체를 동시에 지원하는 EnergySmart Grocer Program과 Small Business Direct Install Lighting Program을 시행하고 있다. 전자는 식료품 가게에 특화된 프로그램이고, 후자는 전기 사용량이 적은 소상공인을 대상으로 하고 있다는 점에서 '특정 대상'을 목표로 하는 프로그램들이다.⁴³⁾⁴⁴⁾

국내에서 시행하고 있는 전력부문의 고효율기기 인센티브 프로그램은 고효율기기 교체에 대해 정액의 리베이트를 제공하는 '재정적 지원 프로그램'이다.⁴⁵⁾ 반면 미국은 사례에서 보듯이, 재정적 인센티브에 비재정적 인센티브를 조합한 인센티브를 사용하고 있으며, 주거·상업·산업 및 제품 공급망 전반(상류, 중류, 하류)에 걸쳐 인센티브 프로그램을 시행하고 있다. 따라서 미국의 사례 분석을 통해 국내에 적용을 고려할 수 있는 고효율기기 지원에 대한 몇 가지를 제안하도록 하겠다.

첫째, '소득수준에 따른 차별' 지원 프로그램과 '사회 취약계층을 대상'으로 하는 프로그램 개발이다. 소득수준에 따른 차등 지원은 고효율기기 채택에 대한 무임승차를 방지하고 소비자를 통한 프로그램 참여를 높일 수 있다. 특히, 저소득층이나 소상공인은 시간이나 자금

40) SDGE 홈페이지, Home Upgrade (검색일: 2019.1.25)

41) NYSERDA 홈페이지, Home Energy Efficiency Programs (검색일: 2019.1.31.)

42) MassSave 홈페이지, Income Eligible Programs (검색일: 2019.1.31.)

43) PG&E 홈페이지, EnergySmart Grocer (검색일: 2019.1.25.)

44) Central Hudson 홈페이지, 소상공인 조명기기 직접설치 프로그램 (검색일: 2019.01.22.)

45) 한국전력공사 홈페이지, 수요관리 고객지원 (검색일: 2019.3.30.)



동향

미국의 에너지효율 인센티브 프로그램과 시사점

이 부족하여 고효율기기 접근성에 어려움이 있는 계층
이므로 이들에게 직접설치나 비용의 50% 이상 지원은
프로그램의 참여를 높일 수 있다.⁴⁶⁾ 다만, 국내 적용 시
지원 대상 선정의 기준이 되는 소득을 무엇을 기준으로
할 것인지를 정하는 것이 중요하다. 예를 들어 소득세
(국세청), 건강보험, 최하위 계층 등이 기준이 될 수 있
다. 소득 기준에 따라 적용 대상 및 수혜자가 달라질 수
있으므로 ‘소득 기준 선정’에 대한 심사숙고가 필요하
며, 이에 대한 연구가 필요하다.

둘째, Home upgrade 프로그램과 같은 ‘건물 개보수
프로그램의 도입’이다. 건물 개보수는 전반적으로 건
물의 에너지효율을 개선시킨다. 미국은 건물 개보수와
관련된 HVAC 시스템, 외벽·바닥·창·지붕·환기
구 단열재, 온수기 교체, 조명 등과 같은 에너지효율제
품을 대상 품목으로 지정하여 지원하고 있다.⁴⁷⁾ 국내도
에너지효율향상의무화(EERS)⁴⁸⁾ 사업에서 LED 조명을
지원하고 있지만 개별 가구에 대한 지원은 아니며, 또
한 건물 효율 향상에 기여할 수 있는 에너지효율제품에
대한 지원은 전무한 실정이다. 따라서 건물 개보수와
같은 프로그램을 도입과 지원 품목을 발굴하는 것이 요
구된다.

셋째, ‘결합 인센티브 프로그램의 개발’이다. 가구 및
상업부문의 미국 사례에서 보듯이 미국은 재정적 지원
(환급금)뿐만 아니라 비재정적 지원(에너지진단)을 결

합한 지원 프로그램을 실시하고 있다. 중류부문 지원
프로그램인 Retail Products Platform(RPP)은 재정적
지원(환급금)과 비재정적 지원(교육)을 결합한 것으로,
고효율기기 판매에 대한 소량의 인센티브를 유통업체
에게 지급하여, 유통업체로 하여금 고효율기기에 대한
홍보·판매에 동기를 부여하는 것이다.⁴⁹⁾ 또한 고효율
기기를 소비자에게 홍보·소개하기 위한 유통업체 대
상으로 제품 교육도 포함된다.⁵⁰⁾ EPA(2010)은 경우에
따라 재정적 지원에 비재정적 지원을 결합하여 프로그
램을 실시하는 것이 낮은 비용으로 프로그램의 참여⁵¹⁾
를 높이고 절감목표를 달성할 수 있다고 하였다.

넷째, ‘가구·상업부문으로 고효율기기 대상 품목 발
굴·확대’이다. 국내의 고효율기기 지원 사업은 절감량
이 높은 산업용 고효율기기 보급에 집중되어 있다. 미
국은 모든 부문(가구·상업·산업)에 걸쳐 에너지를 절
감할 수 있는 에너지효율제품(주로 Energy Star 제품)
에 대해 보급·지원을 하고 있다. 따라서 산업뿐만 아
니라 가구·상업으로 에너지효율제품을 보급·확대하
는 프로그램을 개발하는 것이 필요하다. 미국의 보급대
상 품목은 가구부문에서는 온수기, 가전제품(냉장고,
냉동기, 세탁기, 제습기, 공기청정기), HVAC 등이 있
고, 상업부문은 프라이어, 스팀기, 제빙기, 오븐, 냉동
고 급탕 온수기 등이 있다.⁵²⁾⁵³⁾ 국내 가구·상업부문의
고효율기기 인센티브의 보급대상 선정 시에, 에너지효

46) 이성인 외(2018)

47) SDGE 홈페이지, Home Upgrade (검색일: 2019.1.25.)

48) 에너지효율향상의무화(Energy Efficiency Resources Standard, EERS)는 에너지공급자에게 에너지 판매량과 비례하여 절감목표를 부여하고, 다양한 효율향상 투자를 통
해 목표를 달성하도록 의무화하는 제도임(석주현, 2019)

49) PG&E(2016)

50) PG&E(2016)

51) 제조업체, 소매업체 및 소비자의 참여

52) NYSEDA, “ELIGIBLE HOME ENERGY IMPROVEMENTS : Home Performance with ENERGY STAR”, pp.1~2

53) SDG&E(2018), pp. 1~3



올등급표시 및 고효율에너지기자재 인증 적용대상 제품들을 고려할 수 있다.

다섯째, 상류·중류 프로그램 개발이다. 즉, 제조업체(상류), 유통/판매업체(중류)에게 인센티브를 제공하는 프로그램 개발이다. 국내는 최종소비자를 대상으로 하는 하류 프로그램 위주로 에너지효율향상의무화(EERS) 사업이 진행되고 있다. 앞서 설명하였듯이, 제품의 보급 단계 혹은 시장 장애요인에 따라 이에 적합한 지원 프로그램이 있다. 다시 말해, 상류 프로그램은 고효율기기 보급 초기단계의 제품 가격 하락을 위해 제조업체에 지원금을 제공하는 것이고, 중류 프로그램은 제품의 홍보·보급·확산을 위해 유통/판매업체에게 지원하는 것이다.⁵⁴⁾ 고효율기기의 보급이 S-커브를 따르듯이, 보급 단계에 적합하게 지원 대상을 다양화하는 프로그램이 필요하다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

- 이성인·소진영·석주현·김창훈·이효선, EERS 비용 효과적 추진전략에 대한 연구, 한국전력공사, 2018
- 석주현, EERS 도입에 따른 지역난방 대응방안 연구, 한국지역난방공사, 2019
- _____, 미국 EERS의 고효율기기 인센티브 보급대상 및 산정방안 연구, 에너지경제연구원, 2018
- _____, 해외 에너지분야의 디지털 플랫폼 구축현황 및

시사점, 에너지경제연구원, 2018

〈외국 문헌〉

- CPUC, Energy Efficiency Portfolio Report, 2018
- EPA, Customer Incentives for Energy Efficiency Through Program Offerings, 2010
- Fable, Scott, (2016), 2016 Residential Plug-load and Appliance Energy Efficiency Programs, PG&E.
- NYSERDA, ELIGIBLE HOME ENERGY IMPROVEMENTS : Home Performance with ENERGY STAR.
- <https://www.nysderda.ny.gov/-/.../eligible-energy-improvements.pdf>
- MassCEC, Residential and Small-Scale Air-Source Heat Pump Program Manual, 2019
- PG&E, Request for Authority for Retail Products Platform (RPP) Pilot within PG&E's Residential Energy Efficiency Plug-Load and Appliances Sub-Program, 2016
- SDG&E, Energy Efficiency Business Rebates Product Catalog, 2018
- SEAD, A Global Review of Incentive Programs to Accelerate Energy-Efficient Appliances and Equipment, 2013

〈웹사이트〉

한국전력공사 홈페이지, 수요관리 고객지원

54) SEAD(2013)



동향

미국의 에너지효율 인센티브 프로그램과 시사점

- _____, Business Energy Efficiency Incentives
<http://www.savingscentral.com/rebates/business.htm> (검색일: 2019.1.22.)
- _____, Energy Efficiency Faqs
<https://www.cenhud.com/faqs/energy-efficiency-faq> (검색일: 2019.1.21.)
- CMLP 홈페이지
<https://concordma.gov/1752/Your-Home>
(검색일: 2019.1.23)
- ConEdison 홈페이지, 소상공인 리베이트
<https://www.coned.com/en/save-money/rebates-incentives-tax-credits/rebates-incentives-tax-credits-for-commercial-industrial-buildings-customers/small-business/new-incentives-for-small-business-owners> (검색일: 2019.01.22)
- MassSave 홈페이지, Income Eligible Programs
<https://www.masssave.com/en/saving/income-based-offers/income-eligible-programs/>
(검색일: 2019.1.31)
- NYSERDA 홈페이지, Home Energy Efficiency Programs
<https://www.nyserda.ny.gov/All-Programs/Programs/Home-Energy-Efficiency-Upgrades> (검색일: 2019.1.31)
- PG&E 홈페이지, EnergySmart Grocer
https://www.pge.com/en_US/small-medium-business/save-energy-and-money/rebates-and-incentives/industry-rebates/grocery.page (검색일: 2019.1.25)
- SDGE 홈페이지, Home Upgrade
<https://www.sdge.com/residential/savings-center/rebates/energy-upgrade-california-home-upgrade> (검색일: 2019.1.25)



부유식 해상풍력발전 현황과 보급확대의 선결요건¹⁾

장기윤 포스코경영연구원 수석연구원 serijky@posri.re.kr

1. 서론

문재인 정부의 대통령 공약사항인 “깨끗하고 안전한 에너지공급”을 위해 다양한 정책들이 수립되어 시행 중이다. 여기에는 ‘미세먼지 종합대책(2017)’, ‘제8차 전력수급기본계획(2017)’, ‘재생에너지 3020 이행계획(2017)’ 등이 포함된다. 탈(脫)원전과 탈석탄을 통해 기저발전을 축소하고 천연가스 및 재생에너지 비중을 확대한다는 내용이 핵심이다.

현재 우리나라 에너지 정책은 저탄소·친환경 에너지 전환을 목표로 한다. 금년 6월, 『제3차 에너지기본계획』에서 재생에너지 발전 비중을 2040년까지 30~35%까지 확대한다는 내용으로 에너지 정책의 장기(長期) 로드맵을 발표하였다.

정부 주도로 재생에너지 보급확산과 목표달성을 위한 다양한 사업들을 추진하고 있으나, 미자력 사업자의 부실시공과 관리소홀, 민원에 의한 사업지연 또는 취소, 환경훼손 등 문제점이 지속 발생하는 상황이다.

특히, 협소한 국토를 재생에너지 사업부지(敷地)로 효율적으로 활용하면서, 선진기술을 접목하고 민원까지 최소화할 수 있는 사업을 정부 차원에서 모색하고 있는 상황에서 스코틀랜드의 부유식 해상풍력의 상업발전 소식은 매우 시의적절했다고 할 수 있다.

이에 다음 장에서는 정부의 신재생에너지 보급확대 관련정책을 소개하고 부유식 해상풍력의 장단점과 국내외 추진현황을 살펴보고 국내에서 사업 추진시 검토하고 해결해야 할 선결요인을 함께 검토해 보았다.

2. 정부, 재생에너지 보급확대 통한 에너지전환 정책 추진

2017년 5월, 문재인 정부가 출범하면서 이전 정부와는 차별화되도록 환경(環境)과 국민의 안전, 그리고 재생에너지 확대라는 새로운 에너지정책 기조를 제시하였다. (<표 1> 참조)

1) 본 보고는 포스코경영연구원 “부유식 해상풍력발전, 재생에너지 정책 돌파구 될까?(2019)”의 내용을 재구성 하였음.



〈표 1〉 우리나라 에너지정책 방향

구분	박근혜 정부	문재인 정부
급전순위	경제성 중시	환경성 중시
공급목표	공급 안정성	국민 안전
화석연료 의존도	화석연료 확대	천연가스, 재생에너지 확대

자료: 언론자료, 포스코경영연구원 재정리 (2019)

정부는 『제8차 전력수급기본계획(2017. 12)』²⁾을 수립하여 중앙집중형 전원공급의 비효율성 개선을 위해 분산형 전원 확대를 대안으로 제시하면서, 재생에너지 보급목표를 제시하였다. 저탄소·친환경의 에너지믹스로 천연가스와 재생에너지 활용도를 높이는 것이 주요 내용이다.

이와 함께, 정부는 『재생에너지 3020 이행계획(이하 ‘재생에너지 이행계획’)³⁾을 수립하여 발전 비중을 2030년까지 20% 수준으로 확대하는 후속 조치를 마련했다. (〈표 2〉 참조)

재생에너지 이행계획은 보급목표를 2016년 15.1GW에서 2030년 63.8GW로 설비규모를 4배 확대한다. 발

전원별 구성은 태양광(36.5GW, 57%), 풍력(17.7GW, 28%), 폐기물(3.8GW, 6%), 바이오(3.3GW, 5%) 순으로 추진하고 신규 발전설비의 85%를 태양광과 풍력 중심으로 보급한다는 계획이다.

한편 재생에너지 보급확산 과정에서 몇 가지 사전점검이 필요한 사항들이 제기되었다. 첫째, 상대적으로 값싼 기저발전(원자력, 석탄화력발전)을 축소하고 침두발전(LNG발전, 재생에너지) 확대에 따른 추가비용에 대한 부분이다. 국책연구기관⁴⁾과 유관기관⁵⁾에서는 상당한 부담이 있을 것으로 분석결과를 발표했다. 정부는 최근까지 전기요금의 가시적인 인상을 자제함으로써, 국민이 체감하는 부담을 최소화하고 있다.

〈표 2〉 우리나라 발전원별 현황 및 목표(%)

연도	원자력	석탄	LNG	신재생	석유	양수	계
2017년	30.3	45.4	16.9	6.2	0.6	0.7	100
2030년	23.9	40.5	14.5	20.0	0.3	0.8	100

자료: 산업통상자원부, 제8차 전력수급기본계획(2017~2031)

2) 산업부 (2017. 12)

3) 산업부 (2017. 12)

4) 에너지경제연구원(2017. 6), 「신정부 전원구성안 영향 분석」, 한국에너지기술연구원(2017.8) 등

5) 입법조사처(2017. 6. 22), 탈원전 시나리오에 소요되는 비용추계



둘째, 재생에너지의 간헐성으로 인한 안정적인 전력 공급이 훼손될 가능성에 대한 지적이다. 정부도 재생에너지 발전 비중 20% 확대에 따른 공급 안정성에 부정적 영향이 있다는 점을 부정하지 않고 있다. 다만 백업용으로 다양한 발전원을 확보하고 에너지저장장치(ESS)를 연계하여 불안정성을 보완할 수 있다는 입장이다. 또한 작년 9월부터 금년 9월까지 발전설비 예비율이 평균 26%를 상회하고 있으며, 특정지역 또는 전국차원의 정전사태가 일어나지 않았다는 점을 강조하고 있다.

셋째, 재생에너지 보급목표 달성을 위한 설비증설이 적기(適期)에 가능한가에 대한 우려이다. 주지하는 바와 같이, 대부분 개발사업은 지역주민 반대와 민원으로 사업이 지연되거나 취소되는 사례가 종종 나타나고 있다. 재생에너지 단지조성에도 다양한 민원으로 애로사항이 수시로 발생하고 있다. 더군다나 무자격 사업자의 부실시공과 관리소홀, 무분별한 사업개발에 따른 하천 오염과 산림훼손, 재생에너지의 간헐성을 보완하기 위한 에너지저장장치의 화재 빈발(頻發) 등 재생에너지 보급사업이 건실하게 진행되는데 적지 않은 문제점이 발생하여, 대책 마련이 필요한 상황이다.

위의 3가지 선결요건 중에서도 시급하게 해결해야

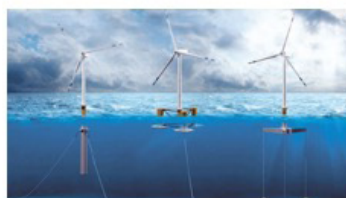
할 사항은 단지조성을 위한 부지확보라고 할 수 있다. 정부는 재생에너지 보급목표를 효과적으로 달성하기 위해서 자격을 갖춘 사업자 확보와 민원 최소화, 그리고 사업의 경제성까지 확보하는 방안을 모색하던 중, 스코틀랜드 하이윈드(Hywind)에서 상업발전에 성공했다는 소식을 접하게 된다. 하이윈드는 국내에서는 시도되지 않았던 부유식 해상풍력 발전방식이다.

가. 우리나라 재생에너지 보급확산 대안으로 부유식 풍력발전 대두

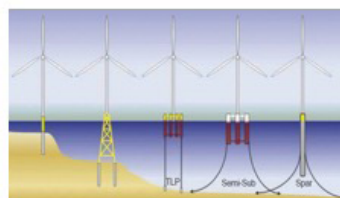
왜, 부유식(浮游式) 해상풍력인가? 부유식 해상풍력은 발전설비 본체가 바닥에 고정되지 않고 수중에 띄워진 상태에서 전기를 생산한다. 물론 계류(繫留) 시스템을 구축하여 일정한 범위를 벗어나지 않도록 해저 케이블로 본체를 해저(海底)에 고정시켜 놓는다. 본체가 바닥에 직접 닿아 있는 경우는 고정식 해상풍력이라고 한다. (〈사진 1〉 참조)

풍력발전은 바람에너지를 전기에너지로 전환하며, 생산된 전기는 연결된 송전 및 배관망을 통해 수요지로 전송한다. 풍력 발전설비의 보급 초기에는 대부분 육지(On-Shore)에 입지했으나 기술발전과 입지여건 변화

〈사진 1〉 해상풍력 발전방식의 구분



〈부유식 풍력발전〉



〈고정식 풍력발전〉



〈표 3〉 풍력발전 방식별 장단점 비교

구분		장점	단점
육상풍력		짧은 공사기간, 낮은 설치비 및 운영비, 관리 용이	소음, 설비 운반, 환경훼손, 입지제한으로 대단지 조성 어려움, 다양한 민원 발생
해상풍력	고정식	설치 용이, 낮은 운영 관리비, 대단지 조성 가능	바다, 연안 생태계 훼손, 어업권 등 민원 발생, 육상대비 높은 설치비용
	부유식	먼바다 및 심해 설치, 낮은 환경/ 지질 조사비용, 대단지 조성 가능	심해(深海)에 설치 어려움(100m 이상), 높은 운영 관리비, 높은 그리드 비용, 경제성 확보에 어려움

자료: New Atlas(2017), WPK(2015/ 2017)를 이용하여 포스코경영연구원 재정리(2019)

로 해상(Off-Shore)으로 설치 범위가 확대되고 있다. 해상풍력은 육상풍력 대비 입지, 소음, 운반 등 여러 측면에서 장점이 있는 것으로 평가되고 있다.

일반적으로 풍량이 일정하고 풍부할수록 더 많은 전력을 생산할 수 있다. 따라서 풍력발전은 풍량이 좋은 곳에 입지해야 경제성이 높아진다. 일반적으로 육지에서 멀어질수록 풍량은 풍부해진다. 부유식 풍력발전은 고정식 풍력발전 보다 먼 바다에 단지조성이 가능하며, 풍량이 좋은 곳에 입지할 가능성이 상대적으로 높다.

나. 해상풍력 발전방식은 고정식과 부유식으로 구분

앞서 언급한 바와 같이, 부유식 해상 풍력발전은 육지로부터 먼 바다의 풍부한 바람 자원을 활용할 수 있으며, 수심(水深)도 충분히 깊은 곳에 설치할 수 있다. 육지에서 수십 Km 떨어짐으로써 상대적으로 민원이 적고, 구조물 제작 및 설치, 그리고 지질조사 등 관련비

용이 고정식 대비 상대적으로 유리한 것으로 보고되고 있다.⁶⁾ 이를 정리하면 〈표 3〉과 같다.

또한 사업개발 과정에서 가장 큰 문제로 대두되고 있는 어업권 보장과 같은 민원은 육지에서 멀어질수록 줄어들 가능성이 크다. 풍력발전은 육상보다는 해상이 유리할 수 있으며, 해상에서도 고정식 보다 육지로부터 보다 먼 위치에 입지 가능한 부유식이 여러 측면에서 장점이 있다.

풍량과 민원이 해결된다면 다음은 사업의 경제성 확보가 중요한 사안이다. 최근 재생에너지 분야의 기술 개발로 관련설비 가격인하와 함께, 설비의 효율성이 개선됨으로써 재생에너지 균등화발전비용(LCOE)⁷⁾이 하락세를 보이고 있다. 또한 지역에 따라서는 기존 화석 연료 발전단가와 비교해도 비슷하거나 우수한 것으로 보고되고 있다. 사업의 경제성 확보 여지는 상당부분 있는 것으로 보인다.⁸⁾

6) 입법조사처(2017, 6, 22), 탈원전 시나리오에 소요되는 비용추계

7) Levelized Cost of Electricity

8) IRENA(2019), 'Renewable Power Generation Costs in 2018'



3. 국내외 부유식 해상풍력 추진 현황

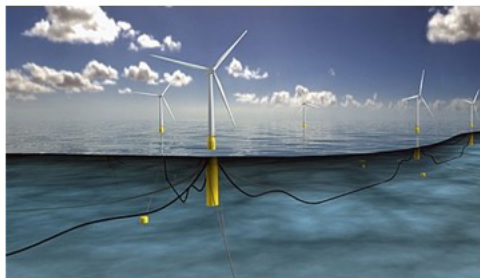
가. 스코틀랜드, 하이윈드(Hywind) 세계 최초 상용화 성공

2017년 12월, 세계 최초로 부유식 해상풍력 발전설비가 스코틀랜드(하이윈드, Hywind)에서 상업운전에 성공했다. 하이윈드 발전단지는 스코틀랜드 북동부 피터헤드(Peterhead) 해안에서 25Km 떨어진 지역에 위치한다. 운전기간은 25년으로 로터(Rotor) 지름 154m, 날개(Blade) 길이 75m, 터빈 무게 12,000톤

(총 투자비 3,000억원)이다. 연간 130GWh 전력을 생산하여, 약 2만 가구에 공급하고 있다.

30MW(6MW*5기) 규모의 해상풍력 단지의 운영주체는 스코틀랜드 정부와 노르웨이 정유사 에퀴노르(Equinor, 舊 Statoil)이다.⁹⁾ 하이윈드 발전단지에는 수심 95~100m 해상에 720~1600m 간격으로 발전설비가 설치되었으며, 최대 40m/s의 강한 바람과 20m 정도의 높은 파도에도 전복되지 않도록 설계되었다. 설비하부는 거대한 원통형 부표로 이뤄져 있고 이는 해저 바닥에 설치된 3개의 고정장치와 케이블로 연결되어 있다. (〈사진2〉 참조)

〈사진 2〉 세계 최초 부유식 해상풍력 Hywind 발전단지



자료: <https://www.equinor.com>

나. 일본, 정부기관과 민간기업의 협력으로 실증 테스트 통해 2023년 상업화 추진

일본은 2023년까지 기술적 문제를 극복하고 경제성 있는 부유식 해상풍력 시스템 구축을 목표로 실증사업을 추진 중이다. MW당 90~100억원 수준으로 사업의 경제성 확보를 목표로 하고 있으며, 여기에는 전력송전

해저-케이블 비용까지 포함된다.

2017년부터 정부기관(NEDO)¹⁰⁾과 동경전력이 컨소시엄을 구성하여 파일럿 프로젝트를 추진중이며, 아키타(Akita)현 서남해 10Km 해상에서 수심 80~100m, 조류속도 1.5~1.7m/s에서 5MW급 실증사업(총투자비 800억원)이 대표적이다.

2018년 8월에는 히타치조선과 동경대학이 바지선형

9) New Atlas (2017, 10, 20)

10) New Energy Development Organization: 일본의 신에너지 개발기구



〈사진 3〉 일본 NEDO의 부유식 풍력발전 터빈



자료: 일본풍력발전협회(JWPA) <http://jwpa.jp>

(Barge Type) 부유체에 풍차를 탑재한 차세대 부유식 발전시스템(3MW급) 실증기 개발을 완료하면서, 목표 달성의 가능성을 높이고 있다.

또한 금년 5월에는 새로운 실증기 가동을 시작으로 2021년까지 기술검증을 마치고 2023년까지 상업 운전을 추진할 계획이다. 일본은 다양한 부유식 본체 모델을 개발하면서 상용화에 속도를 높이고 있다. (〈사진 3〉 참조)

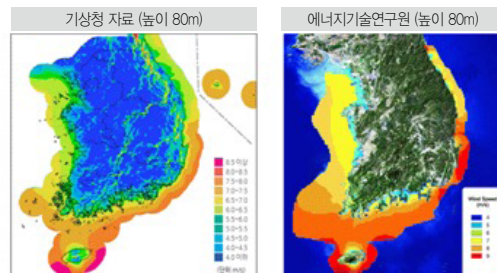
이외에도 미국(Oregon), 중국, 노르웨이, 브라질(Petrobras) 등 주요국들은 부유식 해상풍력발전 시스템 개발과 실증단지 조성을 추진중인 것으로 알려지고 있다.

우리나라는 울산시가 가장 적극적으로 사업화 추진

우리나라는 경상북도, 제주도, 울산시가 대규모 단지조성을 검토 중이다. 이중에서 울산시가 가장 적극적으로 사업화를 준비하고 있다. 울산시는 석유공사와 2020년까지 5MW급 부유식 해상풍력 발전시스템 개발과 함께, 2030년까지 1GW 규모의 단지조성을 추진 중이다. 국내 유관기관 자료에 따르면 울산 앞바다 바람 자원은 7.5~9m/s 수준으로 양호한 것으로 나타났다. (〈사진 4〉 참조)

울산시가 조성하려는 부유식 풍력단지는 산업부의 재정지원을 확보했으며, 동해 가스전 플랫폼과 가스배

〈사진 4〉 울산 앞바다 바람자원 지도 (2018년)



울산 앞바다(50km) 풍속: 7.5~8m/s

울산 앞바다(50km) 풍속: 9m/s

자료: 환경일보 (2018)



관 활용을 전제조건으로 사업타당성(F/S)을 수행 중이다. 여기에는 국비 27억원 등 총 40억원이 투입되어 2020년 5월까지 진행된다.

사업타당성 결과를 바탕으로 큰 문제가 없을 경우, 2030년까지 국비 등 총 6조원을 투입하여 동해 가스전 인근에 원자력 발전소 1기에 해당하는 1GW 규모의 발전단지가 조성된다. 5MW급 터빈 40기(基)씩 묶어 총 5개 단지로 구성될 예정이다.

울산시는 세계 최고 수준의 조선해양 플랜트 인프라를 활용할 수 있다는 장점과 관련산업 활성화에 선도적 역할이 가능하다는 점을 홍보하고 있다. 울산시는 부유체 제작과 계류시스템 설치에 현대중공업에 비롯한 울산의 조선해양 플랜트 산업기반을 활용할 계획이다.

울산시는 풍력단지가 조성될 동해 가스전 인근 해상은 해안에서 58Km 떨어져 있어 소음문제, 어업권 문제를 최소화할 수 있는 우수한 입지조건이라는 점, 송배전 선로도 이미 구축되어 계통연계가 수월하고 관련비용 절감도 가능하다는 점을 부각시켜 다양한 투자자와 접촉을 시도하고 있다.

작년 12월, 울산시는 민간투자사 간담회를 통해 SK E&S-CIP(덴마크 투자운용사), GIG(영국 투자사), 코엔스헥시콘(스웨덴 해양플랜트 및 부유체 전문기업), 위드파워코리아(WPK) 등 글로벌 투자사와 접촉했다. 또한 EON(독일 에너지기업), 맥쿼리(호주 다국적 투자사), 에퀴노르(노르웨이, 정유사, Hywind 운영사) 등도 간접적이거나 참여의사를 표명하는 등 국내 부유식 해상풍력에 대한 다국적 투자사들이 관심을 보이고 있다.

금년 1월, 울산시는 동해 가스전을 중심으로 ‘부유식 해상풍력 발전단지 조성을 위한 업무협약(MOU)’을

4개 민간 투자사와 체결했다. 여기에는 로열 더치 셸(Royal Dutch Shell)과 코엔스헥시콘(CoensHexicon), SK E&S와 CIP(Copenhagen Infrastructure Partners), GIG(Green Investment Group), KFWind(Korea Floating Wind) 등이 포함되었다.

4. 부유식 풍력발전 보급확대시 선결사항 점검 및 시사점

정부와 지자체는 ‘재생에너지 이행계획’ 달성을 위해 다양한 노력을 기울이고 있다. 그러나 여러 이유로 대규모 단지조성에서는 주춤하는 양상을 보이고 있다. 이에 대규모 사업추진과 주변 인프라를 활용할 수 있는 부유식 해상풍력에 주목하고 있다.

그러나 국내에 부유식 해상발전의 상용화 사례가 없고 이에 따른 기술적 문제와 사업의 경제성이 검증되지 않은 상태이다. 이에 사업화(事業化)를 경쟁적으로 추진하기 보다 충분한 검토시간을 가지고 실증이 필요하다는 지적이 나오고 있다.

이에 울산시가 추진 중인 해당지역과 사업규모를 중심으로 기술적 안정성과 사업의 경제성을 확보하고 성공적인 단지조성을 위한 선결(先決) 요인을 살펴보았다.

가. 관련부처의 인허가 관련 사전협조 및 해당지역 어민들의 수용성 확보

울산시가 추진 중인 부유식 해상풍력단지 예정지는 군 사작전 지역으로 국방부와 사전 협조가 불가피하다.¹¹⁾

11) 울산뉴스 (2019. 3. 22)



부유식 해상풍력 발전설비를 설치하게 되면 바다 밑에도 규모가 큰 구조물이 자리잡게 된다. 이는 해군 선박(예: 잠수함 등) 통행에 지장을 줄 수 있어 사업추진 자체가 불투명해질 수 있다.

또한 풍량(風量) 자료를 확보하기 위한 풍향계측타워뿐만 아니라 라이다 등 원격감지 계측기를 반경 5Km에 설치할 경우, ‘공유수면 점용허가’를 받아야 한다. 관련 허가권을 가진 울산지방 해양수산청은 국방부 승낙 없이는 불가능하다는 입장이다. 국방부는 최근까지 긍정적인 입장을 표명하고 있지 않다.¹²⁾ 한편 울산시 관계자는 국방부로부터 긍정적인 답변을 받았다고 하였으나, 아직까지 확인된 사항은 없다.

『공유수면관리법(公有水面管理法)』은 개발(開發) 보다 보전(保全)과 관리(管理)를 중요시 한다. 따라서 환경, 해상유통, 국방 등 제반 부문에서 문제가 없다는 관련부처의 최종 결론을 확보해야 한다.

한편 발전단지 예정지인 동해 가스전은 어종(魚種)이 풍부한 어장으로 널리 알려져 있다. 이에 울산, 부산, 포항 등 동해안권 어민들은 생존권이 위협받는다며, 사업 백지화를 주장하고 있다. 해당지역 어민들의 사업에 대한 이해도 제고와 이익(利益)이 공유될 수 있도록 사업추진에 대한 어민들의 수용성 확보가 필요하다.¹³⁾

그리고 단지조성 예정지역은 일본과 배타적 경제수역(EEZ)¹⁴⁾으로 양국간 분쟁이 수시로 발생하고 있다.¹⁵⁾ 어선끼리 충돌하거나(문창호, 2018년), 국내 선박이 납치되거나(덕양호, 2008년), 분쟁으로 대치하는(신평호,

2005년) 등 충돌과 분쟁이 빈번하게 발생하는 지역이다.

원활한 사업진행을 위해서는 소관부처의 인허가와 함께, 최근 일본과의 경제전쟁으로 예민해져 있는 양국 관계를 자극하지 않도록 사전(事前) 설명회 등 대책 마련이 필요하다.

나. 국부유출과 기술중속의 우려16)에 대한 대응 방안 마련 필요

앞서 살펴 본 바와 같이, 울산시의 사업파트너는 대부분 외국 투자사 중심이다. 상용화 이후 수익배당에 따른 국부유출이 발생하게 된다.

또한 규모의 경제(Economy of Scale)가 적용되는 발전터빈은 국내에 대형 터빈(8MW급 이상)이 개발되지 않아 수입에 따른 기술의존도가 심화될 수 밖에 없는 상황이다.

부유식 해상풍력 발전설비에서 핵심설비가 아닌 부유체(浮遊體, floating body)는 국내 생산이 가능하겠으나, 단지조성 초기부터 외국산 터빈을 도입할 경우, 기술개발의 기회를 놓칠 수 있다. 기술이전을 전제로 선진기업과 업무협약(MOU)을 체결해야겠으나, 이행여부의 불확실성이 남아있다. 영업기밀에 해당하는 대형 터빈 제조기술 이전이 순조롭게 진행될지에 대해서는 부정적인 시각이 많다.

부유식 해상풍력 단지조성 및 상용화까지 최소 6년 정도의 시간이 소요될 것으로 보인다(〈그림 1〉 참조).

12) YTN (2019, 4, 3)

13) 울산신문 (2019, 3, 26)

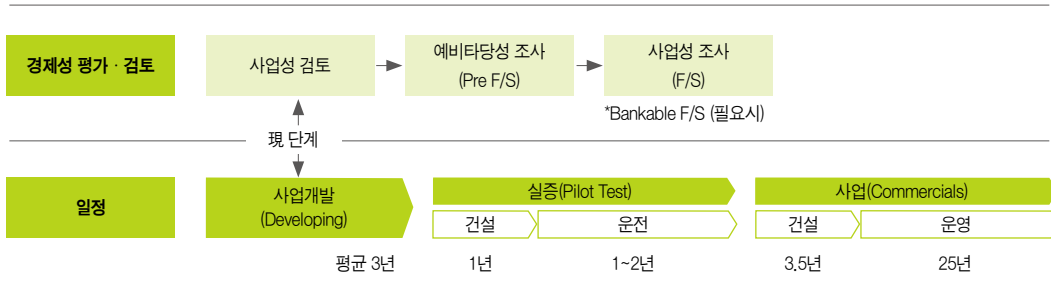
14) 배타적 경제수역 (Exclusive Economic Zone): 유엔 국제해양법상 모든 자원에 대해 독점적 권리를 행사할 수 있도록 보장한, 자국 연안에서 200해리까지의 수역 (1해리=1.852m)

15) 울산저널 (2019, 6, 1)

16) 울산신문 (2019, 5, 29)



〈그림 1〉 부유식 해상풍력 발전단지 조성기간



자료: New Atlas(2017), WPK(2017)를 이용하여 POSRI 재정리

사업개발 및 실증(Pilot Test: 건설 1년, 운전 1~2년), 상업운전을 위한 건설단계(3.5년) 등에 6년 정도의 시일이 소요된다. 그 동안 터빈 대형화와 주요부품 국산화 개발을 위한 시간으로 활용해야 할 것이다.

다. 사업의 경제성 확보 과제

육지보다 해상의 풍속이 평균 70% 더 우수하고 외해(外海)로 갈수록 발전설비 입지에 유리한 점이 있다. 그러나 총사업비 증가로 수익성 확보에 어려울 것이라는 지적이 나오고 있다.

총사업비는 투자비와 운영비로 구성된다. 투자비는 MW 단위가격에 수량을 곱하여 산출된다. 관련업계는 부유식 해상풍력의 MW당 투자비는 육상풍력 대비 2배 이상, 고정식 해상풍력 대비 1.5배 클 것으로 추정하고 있다. 이는 지역별 지형 및 설비구조 차이에 기인한다.

그리고 운영비 또한 MW당 운영비에 수량을 곱해서 산정된다. 설비(예: 수중 구조물, 해저 케이블, 수상

구조물 등) 정기검진 및 A/S 비용이 반영되고, 점검주기와 점검방식에 따라 운영비 규모가 결정된다. 부유식 해상풍력은 심해(深海)에 입지하고 높은 파도와 바람에 지속적으로 노출되어 육상풍력 대비 1.5~2배, 고정식 해상풍력 대비 1.5~2.5배 높을 것으로 관련업계는 추정하고 있다. 파일럿 테스트와 실증단계에서 정확한 투자비와 운영비 산정이 어렵겠지만 육상풍력과 고정식 해상풍력 대비 부유식 풍력의 총사업비 규모가 커질 가능성은 남아있다.

이와 함께, 수익성을 결정하는 총매출액(總賣出額)은 총발전량과 전력가격의 곱으로 산출된다. 부유식 해상풍력 발전설비의 총발전량(kWh)은 설비이용률(CF)¹⁷⁾ 38% (Hywind 평균값)를 적용하고 가동일수(1년 365일)와 발전용량을 곱하여 산정한다. 여기에 전력가격과 재생에너지공급인증서(REC) 가격에 가중치¹⁸⁾를 곱한 결과를 더한후, 총발전량과 곱하여 총매출액을 산정한다.

사업의 연간수익 즉, 사업의 경제성은 총매출액(연간)에서 총비용(연간 투자비와 운영비 합)을 차감하여 결정

17) 설비이용률 (CF: Capacity Factor)

18) REC 가중치 2~2.5배 반영



한다. 최근 해상풍력의 총투자비는 발전터빈 대형화와 설치관련 기술축적으로 감소세를 보이고 있으나, 육상 풍력과 고정식 해상풍력과 비교하여 1.5~2배 높은 투자비 및 운영비 부문에서 부유식 풍력발전사업의 경제성 확보는 가장 중요하게 다뤄져야 할 사안이다.

이상에서 살펴본 부유식 해상풍력은 정부의 대규모 단지조성을 통한 재생에너지의 안정적인 보급확산에 기여할 뿐만 아니라 연관산업 활성화와 일자리 창출에서도 중요한 역할이 기대된다. 다만 기술개발과 실증단계를 통한 국부유출과 기술종속의 우려를 불식시키도록 충분한 사전점검과 대응이 따라야 한다. 그리고 사업성 확보를 위해서 REC 가중치 상향화 같은 지원방안도 추가적으로 검토되어야 한다. 이와 함께 정부와 지자체, 유관기관은 우리나라 재생에너지 보급확대를 통한 깨끗하고 안전한 에너지공급을 구현하도록 단계적이며, 협력적으로 머리를 맞대어야 할 것이다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

- 에너지경제연구원, 「신정부 전원 구성안 영향분석」, 2017
산업통상자원부, 「재생에너지 3020 이행계획」, 2017
_____, 「제8차 전력수급기본계획(2017~2031)」, 2017
포스코경영연구원, 「부유식 해상풍력발전, 재생에너지 정체 돌파구 될까?」, 2019
WPK 「사례로 본 부유식 해상풍력의 시사점과 울산적용 가능성」, 2017
_____, 「한국 부유식 해상풍력 적용의 경제성 및 사업성 분석」, 2015

〈외국 문헌〉

- New Atlas, 'World's first floating wind farm powers up off Scotland', 2017. 10. 20
YTN, '부유식 해상풍력발전단지 탄력..난제는 산적', 2019. 4. 3
에너지경제, '부유식 풍력, 일본은 앞서나가는데.... 우리는 업계 양분', 2016. 3. 10
울산뉴스, '부유식 해상풍력단지 '암초'..해군군사작전 통로', 2019. 3. 22
울산매일, '부유식 해상풍력발전과 지속가능한 발전', 2019. 5. 29
울산신문, '울산시 부유식 해상풍력발전 사업 허술', 2019. 3. 26
울산저널, '부유식 해상풍력, 울산의 미래 먹거리가 될 수 있나' 2019. 6. 1
한국에너지신문, "부유식 해상풍력' 풍력산업의 새 해법될까', 2017. 11. 13

〈웹사이트〉

- 울산광역시청 (<http://www.ulsan.go.kr>)
일본풍력발전협회 (<http://jwpa.jp>)
하이윈드 (<https://www.equinor.com>)
환경일보 (<http://www.hkbs.co.kr>)



가정부문 전력수요 전망을 위한 기후 지표 개선 연구¹⁾

강병욱 에너지경제연구원 부연구위원 byunguk.kang@keei.re.kr

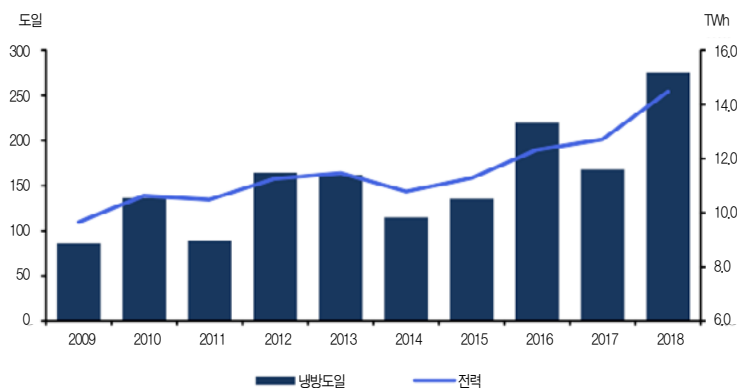
김철현 에너지경제연구원 연구위원 chkim@keei.re.kr

I. 서론

최근 들어 폭염이나 한파와 같은 이상 기후 현상이 빈번하게 발생함에 따라 기후 변수가 에너지 소비에 미치는 영향력이 확대되고 있다. 2016년 여름에는 이상 폭염으로 냉방도일이 전년 대비 56.9%(서울 기준) 급증하면서 최대전력이 8.1%나 증가(8,518 만 kW)하였고,

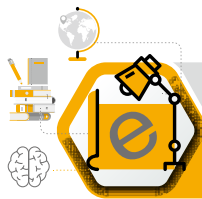
폭염이 집중된 8월에는 건물 부문 전력 소비가 전년 동월 대비 12.4% 증가했다. 이러한 폭염을 계기로 2016년 12월에는 2005년 이후 10년 이상 지속되어 온 주택용 누진요금제²⁾가 개편되기도 했다. 2018년 다시 찾아온 폭염은 더욱 심각해서 냉방도일은 2016년의 앞선 폭염보다 20.2% 증가했고 최대전력도 8.6%나 높아졌다. 이상 기온 현상은 여름에만 국한된 것은 아니었다.

[그림 1] 최근 냉방도일과 여름철(7~8월) 가정용 전력 소비 추이



1) 본고는「에너지 수요 전망을 위한 기후 지표 개선 연구」 강병욱·김철현(2018)의 일부 내용을 부분적으로 수정 및 보완한 것이다.

2) 주택용 누진요금제는 2016년 개정되기 전 2005년 12월 28일에 마지막으로 개정되었다.



2017~2018년 겨울에는 극심한 한파로 도시가스 소비가 대폭 증가했다. 한파가 집중된 2017년 12월에는 난방도일이 전년 동월 대비 18.9% 증가하면서 가정용 도시가스 소비가 26.4% 증가하여 도시가스 공급에 비상이 걸리기도 했다.

이처럼 기후 변동성 확대로 기후 변수가 에너지 수요에 미치는 영향력이 커지고 있어 에너지 수요 예측력 제고를 위해 기후 변수를 개선할 필요성이 대두되고 있다. 본고의 주요 목적은 첫째, 기존에 고려하던 일반적인 냉·난방도일의 에너지 수요 적합도를 개선하는 것과 에너지 수요와 밀접한 관련을 가지는 새로운 기후 변수를 발굴하는 것이다. 기존의 냉·난방도일은 각각 24도와 18도를 기준 온도로 하고 일평균기온을 이용하여 계산하여 왔다. 그러나 기준 온도가 달라질 경우, 일평균기온 대신 일 최저 기온을 사용할 경우, 근무일과 휴일에 각각 다른 가중치를 부여할 경우 등 다양한 경우에 냉·난방도일의 설명력은 달라질 수 있다. 또한 난방용 에너지는 온도 뿐 아니라 습도나 일조량, 강수량, 풍속, 운량 등 다양한 기후 인자의 영향을 함께 받는데 이러한 요인을 함께 고려하면 설명력이 높아질 수 있다.

두 번째는 에너지 수요 전망에서 기후 변수 전제 방법을 개선하는 것이다. 에너지 수요를 전망할 때 전망 기간에 대해 기후 변수를 특정한 방법으로 가정하게 되는데, 일반적으로는 평년기온을 가정하는 방식이 가장 널리 사용되고, 기간은 10년, 20년, 30년 등 다양한 기간의 평균 기온이 사용된다. 그러나 이처럼 장기간의 평균기온을 이용하는 방식은 [그림 1]에서 드

러나는 것과 같은 최근 냉방도일의 상승 추세 등 기후 변화 추이를 잘 반영하기 힘들어 에너지 수요 예측력을 떨어뜨리게 된다. 미국의 에너지정보청(EIA, U.S. Energy Information Administration)에서는 이러한 문제를 일찍이 발견³⁾하여 2000년 중반 이후 기후 변수 전제 방법을 과거 특정 기간의 평균을 사용하는 방식에서 탈피하여 자체적으로 추정하거나 미국해양대기청(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)의 자료를 활용하고 있다.

본고에서 제안된 기후 변수와 전제 방식이 에너지 수요 예측력을 얼마나 개선시키는지 가정 부문 전력 수요를 대상으로 계량경제학적 방법을 이용하여 진단한다. 분석 대상으로 가정 부문을 선정한 것은 가정 부문의 에너지 수요가 기후 변수에 가장 민감하게 반응하기 때문이고, 여러 에너지원 중 전력을 선택한 것은 최근 주요한 이슈로 대두되고 있는 가정용 냉방 에너지 소비로는 전력이 거의 대부분을 차지하고 있기 때문이다.

II. 최적 기후 변수 선택

1. 가정용 전력 소비 설명을 위한 기후 변수

가. 냉방도일 및 난방도일

에너지 소비 추정 및 예측에 가장 기본적으로 쓰이는 기후 변수는 냉방도일(CDD, Cooling Degree Days)과

3) Livezey and Smith (1999)와 Morris (1999)는 1965년 이후 1998년까지 기온이 상승추세를 보이고 있으며 이로 인해 난방도일은 점차 감소하고 냉방도일은 점차 증가함을 보였다. 또한 이를 통해 EIA의 기후 변수 전제 방식인 장기간 평균 기온을 전망 전제로 사용하는 것은 최근 기후변화 추세를 반영할 수 없기 때문에 에너지 수요 전망을 왜곡시킬 수 있다고 지적했다.



난방도일(HDD, Heating Degree Days)이다. 냉·난방도일은 일평균기온과 기준 온도의 차이를 합산한 것으로 아래와 같이 계산된다.

$$CDD = \sum_i (Temp_i - 24)^+, \quad HDD = \sum_i (18 - Temp_i)^+$$

식에서 $Temp_i$ 는 i -일의 기온을, $(\cdot)^+$ 은 양(+)의 값만을 취한다는 의미이다. 에너지 소비 추정에서 기온 자체가 아닌 냉·난방도일을 사용하는 이유는 기온이 에너지 소비에 미치는 영향이 여름철과 겨울철에 있어 비대칭적일 뿐만 아니라 비선형이기 때문이다.⁴⁾

냉·난방도일의 계산에 있어서 기준 기온의 설정 방법에 따라 다양한 냉·난방도일을 계산할 수 있고 각각의 설명력이 달라질 수 있다. 본고에서 고려한 냉방도일은 CDD18, CDD24, CDDmin18, CDDmin20이다.⁵⁾ 기준 온도는 다양하게 설정할 수 있으나, 본고의 목적이 최적 기준 온도를 찾고자 하는 바가 아니므로 대표적인 온도만을 고려하였다. 각 변수명 뒤의 숫자는 이용된 기준온도를 의미하며, min은 냉방도일 계산에서 일평균기온 대신 일최저기온을 사용했음을 나타낸다. 난방도일은 일 대표 기온의 종류에 따라 HDD18과 HDDmin18만을 고려하였다.

나. 불쾌지수 및 불쾌도일

여름철 냉방용 전력 소비에 영향을 미치는 기후 변수로는 냉방도일 이외에도 불쾌지수를 들 수 있다. 불

쾌지수(DI, Discomfort Index)는 기온과 습도를 함께 고려하여 불쾌감을 느끼는 정도를 나타내는 지수로 다음과 같이 계산된다.

$$DI = \sum_i DI_i, \\ DI_i = \frac{9}{5} Temp_i - 0.55(1 - RH_i) \left(\frac{9}{5} Temp_i - 26 \right) + 32$$

식에서 $Temp_i$ 와 RH_i 는 각각 i -일의 기온(℃)과 상대 습도⁶⁾를 나타낸다. 본고에서는 일간 불쾌지수를 일평균기온과 습도를 이용하여 계산하고 월간 불쾌지수는 일간 불쾌지수를 월간으로 합산하여 계산하였다.

불쾌지수가 전력 소비에 영향을 미치는 시기는 주로 여름철이므로 불쾌지수 자체를 연간 또는 월간 전력 소비 추정 식에 포함하는 것은 다른 설명변수의 추정값에 잘못된 영향을 미칠 수 있다. 따라서 불쾌지수에 냉·난방도일의 계산 방식을 적용하여 다음과 같은 새로운 변수를 제안하고 이를 불쾌도일(DD, Discomfort Degree days)로 정의한다.

$$DD = \sum_i DD_i = \sum_i (DI_i - 75)^+$$

기상청의 자료에 따르면 불쾌지수(DI)가 75~80사이에서는 50%정도가 불쾌감을 느끼기 때문에 불쾌도일 계산을 위한 기준 불쾌지수를 75로 설정하였다.⁷⁾

다. 근무일 여부

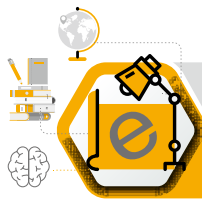
근무일 여부는 기후 변수는 아니지만, 가정용 에너지 소비의 특성상 기후 변수와 밀접히 연관되어 있다.

4) 기온과 에너지 소비의 비대칭적 관계와 비선형적 관계에 대해서는 Chang et al. (2016), 신동현(2016), 박철웅·박철호(2018) 등에도 잘 나와 있으니 이를 참고하기 바란다.

5) 실제로 냉·난방도일을 계산하는 방식은 상당히 다양하다. 기준온도의 다양성 뿐 아니라 다수의 기준온도를 함께 고려할 수도 있다. 이에 대해서는 신동현·조하현(2014a, b), 신동현(2016)을 참고하기 바란다.

6) 상대습도는 통상의 습도를 의미한다.

7) 기상청(2018, 7, 15., https://www.kma.go.kr/HELP/basic/help_01_05.jsp)에 따르면 불쾌지수가 68~75사이에서 불쾌감을 나타내기 시작하여, 75~80 사이에서는 50%정도가 불쾌감을 느끼고 80이상에서는 전원이 불쾌감을 느낀다.



예를 들어, 같은 수준의 폭염이 발생한다 해도 근무일에 발생하는 것과 직장, 학교 등의 휴무로 대부분의 가족 구성원이 집안에 거주하는 주말에 발생하는 것은 에너지 소비에 큰 차이를 가져온다. 본고에서는 주어진 날의 근무일 여부에 따라 가중치에 변화를 둔 다음의 세 가지(WD100, WD115, WD105) 경우를 고려한다. WD100은 근무일에는 1, 공휴일은 0.0을 설정하고 월간으로 합산하여 계산, WD115는 근무일은 1, 공휴일은 1.5, WD105는 근무일은 1, 공휴일은 0.5의 값을 부여하여 계산하였다.

$$WD100 = \sum_i I_i, I_i = \begin{cases} 1 & \text{if working day} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$WD115 = \sum_i I_i, I_i = \begin{cases} 1 & \text{if working day} \\ 1.5 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$WD105 = \sum_i I_i, I_i = \begin{cases} 1 & \text{if working day} \\ 0.5 & \text{otherwise} \end{cases}$$

공휴일의 가중치에 차이를 두는 이유는 기후 조건이 같더라도 공휴일 여부에 따라 가정에 거주하는 시간이 다르면 에너지 소비에도 차이가 있을 것이라는 가정 때문이다. 월간으로 합산된 근무일수 자체가 가정용 에너지 소비에 미치는 영향은 미미할 수 있으나 일간 수준에서 근무일 여부와 기후 변수와의 상호작용(interaction)을 고려하여 그 영향력을 비교해볼 필요는 있다. 상호작용은 일반적으로 변수들의 곱으로 계산되는데, 예를 들어 근무일수와 불쾌지수의 상호작용 변수는 아래와 같이 계산된다.

$$WD115*DI = \sum_i I_i * DI_i, I_i = \begin{cases} 1 & \text{if working day} \\ 1.5 & \text{o.w} \end{cases}$$

상호작용은 복수의 변수 사이에서도 적용 가능하므로 고려 가능한 상호작용 변수의 경우의 수는 상당히 많다. 최적 기후 변수 탐색을 위한 후보로서 먼저 근무일수와 기후 변수 간의 상호작용을 생성하고, 추후 결과에 따라 두 변수 이상의 상호작용 변수를 고려하기로 한다.

2. 가정용 전력 소비 자료 변환

최적 기후 변수 선택을 위해선 전력 소비 자체를 이용하기보다는 기후에 영향을 받는 냉난방용 전력 소비량만을 따로 분리하여 분석하는 것이 바람직하다. 전력 소비에 영향을 미치는 요소는 기후 외에도 다양한 요소가 있는데 최적 기후 변수 탐색을 위해 가정용 전력 소비의 원자료⁸⁾를 이용할 경우 기후 변수 이외에도 전력 소비에 영향을 미칠 수 있는 이러한 변수들을 모두 포함해야 한다. 하지만 이 경우 기후 이외의 변수들이 기후 변수의 추정 계수에 영향을 미치게 되고, 이것이 기후 변수 선택에 잘못된 결론을 이끌 수 있다.

본 연구에서는 김철현·강병욱(2017)에서 시도된 방법⁹⁾을 발전시켜 가정용 전력 소비를 냉방용(cooling), 난방용(heating), 냉난방용 제외(w/o cooling and heating)로 분해하는 방식을 제안한다. 분해 방식은 기온에는 거의 영향을 받지 않고 기본적으로 발생하는 월간 전력 소비량을 추정한다 다음 전체 가정용 소비에서 이를 차감하여 냉난방용 소비량을 도출하는 것이다. 먼저 5월과 10월은 냉난방 소비가 없고, 냉방용 소비는 6~9월에만, 난방용 소비는 11~4

8) 본 연구에서 가정용 전력 소비 자료는 한전 전력통계속보의 월간 계약종별 판매량 중 주택용을 이용하였다.

9) 김철현·강병욱(2017)에서는 가정 냉방용 소비만을 분해했는데, 선행보간법이 아닌 각 월에서 5월 또는 10월의 소비를 차감하는 식으로 중간 기간을 추정했음



월에만 발생한다고 가정한다. 월간 냉난방용 제외 소비량은 매해 5월과 10월의 가정용 전력 소비량을 기준으로 그 사이 기간은 선형 보간법을 이용하여 추정한다. 냉난방용 소비량은 전체 가정용 전력 소비량에서 추정된 월간 냉·난방용 제외 소비량을 뺀 값인데¹⁰⁾, 냉방용은 6~9월, 난방용은 11~4월이 되며 구체적인 분해식은 아래와 같다.

$$Ele = Ele_{cool} + Ele_{heat} + Ele_{w/o cool and heat}$$

$$Ele_{w/o cool and heat} = \begin{cases} Ele & \text{for May, Oct} \\ g(Ele_{May}, Ele_{Oct}) & \text{for Jun-Sep} \\ g(Ele_{Oct}, Ele_{May}) & \text{for Nov-Apr} \end{cases}$$

$$Ele_{cool} = \max(Ele - Ele_{w/o cool and heat}, 0) \text{ for Jun-Sep}$$

$$Ele_{heat} = \max(Ele - Ele_{w/o cool and heat}, 0) \text{ for Nov-Apr}$$

식에서 $g(\cdot)$ 은 중간 월의 냉난방 제외 소비를 추정하는 함수로서 본 연구에서는 선형 보간 함수를 이용한다.

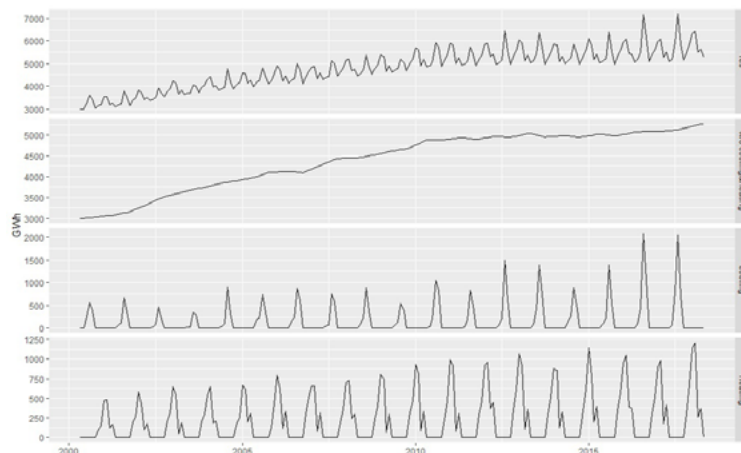
아래 [그림2]는 위의 방법을 이용하여 도출된 가정용 용도별 전력 소비량으로, 첫 번째 패널은 월간 가정용 전력 소비 자체이며, 두 번째 패널은 냉난방용 제외, 세 번째는 냉방용, 마지막은 난방용 소비량을 나타낸다. 이후에 진행될 최적 냉방용 및 난방용 기후 변수 탐색에는 세 번째와 네 번째의 냉난방용 소비량을 이용하여 분석하였다.

3. 냉난방용 전력 소비 설명을 위한 최적 기후 변수 선택

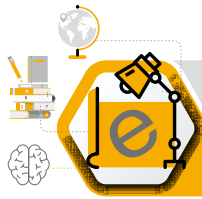
가. 상관관계(correlation) 분석

아래 표는 냉방용 전력 소비와 기후 변수와의 상관

[그림 2] 가정용 전력의 냉난방용 소비 분해



10) 음의 값을 가지는 경우는 0으로 처리하였다. 본 연구에서 이러한 경우는 단 한차례(월)뿐이었음



논단

가정부문 전력수요 전망을 위한 기후 지표 개선 연구

관계를 나타낸다. 첫 번째 열은 각 기후 변수와 냉방 소비의 관계를 나타내며 나머지 세 열은 기후 변수와 근무일수와의 상호작용을 변수화한 것이다. 예를 들어, 표에서 DI와 WD100의 교차는 0.25인데, 이는 냉방용 전력 소비와 WD100*DI의 상관계수를 나타낸다.

주목해야 할 결과는 근무일수와의 상호작용 변수로 세 가지 서로 다른 공휴일의 가중치에 대해서 WD115가 WD100이나 WD105 대비 높은 상관관계를 나타내고 있다는 것이다. WD100이나 WD105의 경우는 오히려 근무일 여부를 고려하지 않는 경우(no_WD)보다 상관관계가 낮게 나타난다.

아래 <표2>는 WD115, DD, CDD 계열 상호작용 변수와 냉방도일과의 상관관계를 나타낸다. 표에서 나

타나 듯이 WD115*DD*CDD24가 냉방용 전력 소비와 가장 높은 상관관계를 나타내고 있다.

가정 난방용 전력과 난방용 기후 변수와의 상관관계는 아래 <표3>과 같다. 냉방용의 경우와는 달리 난방용의 경우는 변수별로 난방용 전력소비와의 상관관계 차이가 크지 않다. 단, 근무일 여부와와의 상호작용에서는 냉방용과 마찬가지로 WD115의 경우가 WD100이나 WD105의 경우보다 높은 상관관계를 나타내고 있다.

나. 표본 외(out-of-sample) 예측오차(RMSE)분석

계량경제학에서 모형의 예측력을 비교할 때, 가장 보편적으로 사용되는 방법은 표본 외 RMSE(Root

<표 1> 냉방용 전력 소비와 상관관계 분석

	no WD	WD100	WD115	WD105
DI	0.41	0.25	0.44	0.34
DD	0.65	0.63	0.66	0.65
CDD18	0.46	0.41	0.47	0.44
CDD24	0.60	0.57	0.60	0.58
CDDmin18	0.48	0.46	0.49	0.48
CDDmin20	0.56	0.54	0.56	0.55

<표2> 냉방용 전력 소비와 근무일 여부 상호작용과의 상관관계

WD115DDCDD18	WD115DDCDD24	WD115DDCDDmin18	WD115DDCDDmin20
0.69	0.72	0.70	0.71

<표3> 난방용 전력 소비와 상관관계 분석

	no WD	WD100	WD115	WD105
HDD18	0.63	0.60	0.63	0.62
HDDmin18	0.62	0.59	0.63	0.61



Mean Square Error)를 비교하는 것이다. RMSE는 아래와 같이 계산된다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (f_t - o_t)^2}, \quad f_t = t\text{기의 예측치}, \quad o_t = t\text{기의 실측치}$$

식에서 (f_t)는 예측치와 실측치의 차이로서 예측오차이다. 계산 방식은 먼저 표본 내 구간에 대해 아래의 선형 회귀식을 추정하고, 여기서 도출된 계수를 이용하여 표본 외 구간의 냉방용 전력 수요를 예측한 후 RMSE를 계산하는 식이다.

$$Ele_{cool} = c + \beta * X + error, \quad X = \text{기후변수}$$

아래 <표4>는 각각의 회귀식으로부터 RMSE를 계산한 결과이다. 앞 절의 상관관계 분석에서와 마찬가지로 기후변수와 근무일 변수가 교차하는 칸의 값은 그 두 변수의 교차항을 이용하여 구성한 회귀식의 RMSE를 나타낸다. 회귀식 추정에 이용된 표본 내 구간은 2000~2015년이며 표본 외 구간은 2016~2017

년의 월간 자료이다.

분석결과 불쾌지수(DI)보다는 불쾌도일의 예측오차가 더 작았으며, 냉방도일 계열에서는 CDD24가 모든 경우에 있어 예측오차가 가장 작았다. 근무일 여부와 상호작용에서는 역시 근무일보다 공휴일에 더 큰 가중치를 둔 WD115와의 상호작용 예측력이 가장 좋았다.

아래 <표 5>는 세 변수의 교차항을 이용한 예측결과를 나타내고 있는데, 상관관계 분석에서와 마찬가지로 두 변수의 상호작용보다는 세 변수의 상호작용이 더 높은 예측력(더 낮은 RMSE)을 보여줌을 알 수 있다.

난방용 기후 변수에 대한 예측오차는 다음의 회귀식을 이용하여 아래 표와 같은 결과를 도출하였다.

$$Ele_{heat} = c + \beta * X + error, \quad X = \text{기후변수}$$

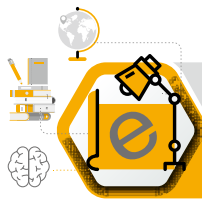
난방용의 예측오차 분석에서는 상호작용 변수의 예측력이 근무일 여부를 고려하지 않았을 경우보다 소폭 높은 것으로 나타난다.

<표4> 냉방용 전력 수요의 예측오차 비교

	no WD	WD100	WD115	WD105
DI	823.35	868.61	816.23	843.99
DD	643.93	650.55	643.76	645.51
CDD18	795.15	815.51	789.34	803.43
CDD24	703.89	719.2	700.18	709.66
CDDmin18	788.95	796.89	787.08	791.91
CDDmin20	743.77	747.36	743.40	744.80

<표5> 근무일 여부 상호작용 변수 예측오차(GWh) 비교

WD115DDCDD18	WD115DDCDD24	WD115DDCDDmin18	WD115DDCDDmin20
599.80	552.37	593.72	577.70



〈표6〉 RMSE 분석(in GWh)

HDD18	HDDmin18	WD115HDD18	WD115HDDmin18
306.32	300.09	306.28	300.07

다. 최적 냉난방용 기후 변수 선택

이상의 주요 결과를 정리하면 다음과 같다. 냉방도일 계열에서는 일평균기온을 이용하고 기준 온도를 24℃로 설정했을 경우가 상관관계와 예측력이 높았다. 난방도일 쪽에서는 상관관계와 예측력 분석 결과가 상반되게 나왔는데, 최저 기온을 이용했을 때의 결과가 평균 기온을 이용했을 경우 대비 상관관계는 소폭 낮았으나, 예측력은 더 높은 것으로 나타났다. 불쾌지수와 불쾌도일의 비교에서는 모든 경우에 불쾌도일이 더 높은 설명력을 보여주었다. 또한, 모든 후보 변수에서 근무일 여부와는 상호 작용을 고려했을 경우 설명력이 높아졌는데 특히, 공휴일에 근무일 대비 더 높은 가중치를 두는 경우에 설명력이 상승했다. 이러한 분석 결과, 본고에서 고려한 변수 중 가정 냉난방용 전력 소비를 가장 잘 설명하는 변수는 WD115DDCDD24와 WD115HDDmin18이었다.

III. 전제 방법론 선택

1. 국내외 주요 기관의 기후변수 전제방법

가. 평년 기온 전제

에너지경제연구원(KEEI)에서는 단기, 중기, 장기

에너지 수요전망 보고서를 발간하고 각 전망에서 기후변수로는 난방도일과 냉방도일이 사용되며 각 기후변수의 전망 기간 전제를 작성하기 위해 과거 10년 일평균기온의 평균이 사용된다. 일반적으로 평년 기온이라 함은 과거 30년 평균 기온을 뜻하지만 에너지경제연구원에서는 비교적 최근의 기후 변화 추이를 반영하기 위해 과거 10년 평균 기온을 사용한다.

일본의 IEEJ(The Institute of Energy Economics, Japan)에서도 에너지경제연구원과 유사하게 과거 특정 기간의 평균기온을 이용하여 기후변수 전제를 작성한다. IEEJ에서는 반기별로 전망 기간 1~2년의 단기 에너지 수요 전망 보고서를 발간하고 있고 기후변수로는 냉·난방도일을 사용하고 있으며 1981년 이후 전 기간 과거 일평균기온의 평균값을 이용해서 전망 전제를 작성한다.

나. 기상 예측 기관의 예측 자료 활용

미국의 EIA는 과거 특정 30년의 평균(30-year normal) 기온을 이용하여 냉·난방도일을 전제해 왔으나 최근에는 방식을 바꾸어 미국해양대기청(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 제공하는 기후변수 예측 자료를 사용한다. EIA가 기후변수 전제 방식을 바꾼 것은 기후변화로 인한 난방도일의 감소 및 냉방도일의 증가를 실증적으로 분석한 연구결과¹¹⁾에 바탕을 둔 것이다.



2. 최근 기후 변화 추이를 반영한 전제 방법론 개발

과거 일정 기간의 평균기온을 이용하는 경우, 최근의 기후 변화 추이를 반영하기 힘들다. 평년 기온을 전제할 때는 그 저변에는 기온이 특별한 추세 없이 특정 평균기온을 기준으로 등락을 반복한다는 가정이 전제되어 있으나 최근 우리나라의 기후변화 추이, 특히 여름철의 냉방도일 추이를 고려한다면 이러한 가정은 Morris (1999) 등이 지적한 미국의 경우와 마찬가지로 문제가 있다. IPCC(2013)에 따르면 기후변화로 인한 온난화는 전 지구적 현상으로 IPCC의 첫 번째 평가보고서(IPCC, 1990)가 발간된 이후, 세계 각지에서 지속적 온난화와 그에 대한 대책에 관한 연구가 쏟아져 나왔다.¹²⁾

이처럼 냉방도일과 난방도일이 특정 추세를 가질 경우, 전망 기간 평년기온을 가정하고 전제를 작성하는 것은 예측력을 떨어뜨릴 수밖에 없다. 계량경제학적

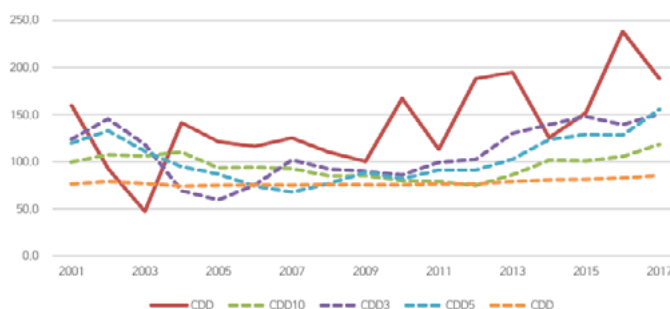
관점에서 본다면 이는 실제 자료생성과정(true data generating process)을 잘못 파악한 데서 비롯된 모형설정오류(mis-specification problem)에 해당한다고 할 수 있다. 따라서 아래에서는 세 가지 다른 전제 방법을 살펴보고 어떤 방법이 최근의 기후변화 추이를 더 잘 반영할 수 있는지에 대해서 논의하기로 한다.

가. 단순 산술평균

첫 번째 전제 방법으로는 과거 다양한 기간의 단순 산술평균을 고려하였다. 위에서 서술한 대로 이는 최근의 기후변화 추이를 반영하는 데 문제가 있는 방법이나 나머지 두 방법에 대한 비교 기준(reference case)이 된다는 점과 과거 자료의 평균 기간을 변화시킬 때 예측력이 변할 수 있다는 점 등에서 살펴볼 가치가 있다.

아래의 [그림 3]을 보면 최근 냉방도일이 지속적 상승

[그림 3] 2001~2017년 냉방도일 추이 및 산술평균을 이용한 전망

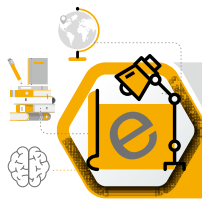


자료: 「기상청 날씨누리」(2018.10.21., <http://www.weather.go.kr>)

주: CDD는 실제, CDDi는 최근 i년 일평균 기온의 평균을 이용한 CDD, CDD_는 1980년 이후 모든 자료를 이용

11) Livezey and Smith (1999)와 Morris (1999) 등을 참고하기 바란다.

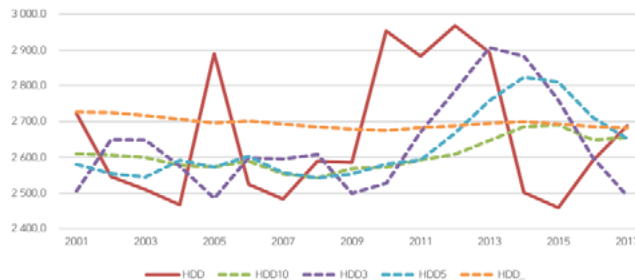
12) 예를 들어 Held(1993), Hulme, Zhao and Jiang(1994), Staple and Wall(1996), Bray, Hooke and Carter(1997), Reichert, Schnur and Bengtsson(2002), Laternser and Schneebeli(2003), Lemieux and Scott(2005) 등을 참고하기 바란다.



논단

가정부문 전력수요 전망을 위한 기후 지표 개선 연구

[그림 4] 2001~2017년 난방도일 추이 및 산술평균을 이용한 전망



자료: 「기상청 날씨누리」(2018.10.21., <http://www.weather.go.kr>)

주: HDD는 실적, HDDi는 최근 i년 일평균 기온의 평균을 이용한 HDD, HDD_는 1980년 이후 모든 자료를 이용

추세를 보임에 따라 평균 기간이 짧을수록 최근의 추이를 더 잘 반영할 수 있게 된 것으로 보인다. 반면, 아래 난방도일의 경우, 실적 자료는 특별한 추이를 보이고 있지 않고, 따라서 HDD3~HDD_ 중 어느 예측치가 더 실적에 가까운지를 그림만으로는 판단하기 힘들다.

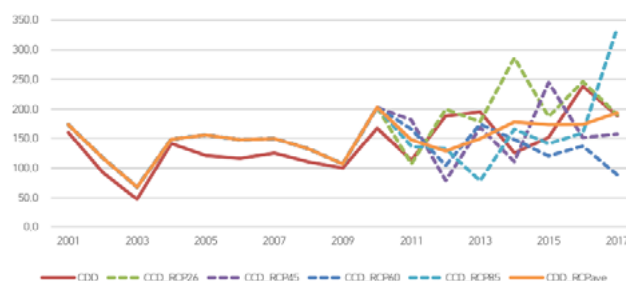
나. 지구시스템모델(Earth System Model) 시뮬레이션

우리나라 기상청과 국립기상과학원에서는 수치모델

시뮬레이션을 이용한 기후예측 자료를 제공하고 있다. 기상청에서는 일기예보를 주요 목적으로 1년 이하의 예보를 담당하는 반면, 국립기상과학원에서는 기후변화와 관련하여 2100년까지의 장기시나리오 작성을 위한 지구시스템모형을 운용한다.

수치모델에 대한 정의는 기상청의 웹사이트에 다음과 같이 나와 있다. “수치예보모델은 지구의 기상시스템을 대기 상태와 운동을 지배하는 역학·물리 방정식을 사용하여 기상학적으로 모델링한 것으로, 시·공

[그림 5] 2001~2017년 냉방도일 추이 및 지구시스템모델 예측 결과



자료: 실측자료는 서울 108관측지점 기준, 시뮬레이션 자료 중 2010년까지의 실측값은 서울 전 지역 관측지점의 평균

주: 「기상청 날씨누리」(2018.10.21., <http://www.weather.go.kr>) 및 「기상청 기후정보포털」(2018.10.21., <http://www.climate.go.kr>)의 일평균기온 실측 및 시뮬레이션 자료를 바탕으로 냉방도일 계산



[그림 6] 2001~2017년 난방도일 추이 및 지구시스템모델 예측 결과



자료: 실측자료는 서울 108관측지점 기준, 시물레이션 자료 중 2010년까지의 실측값은 서울 전 지역 관측지점의 평균
주: 「기상청 날씨누리」(2018.10.21., <http://www.weather.go.kr>) 및 「기상청 기후정보포털」(2018.10.21., <http://www.climate.go.kr>)의 일평균기온 실측 및 시물레이션 자료를 바탕으로 냉방도일 계산

간적으로 연속체인 기상시스템은 수학적으로 직접 계산될 수 없기 때문에 수치예보모델에서는 통상 지구를 바둑판같은 수많은 격자로 나누어 격자점마다 대기의 상태와 운동에 대한 방정식을 계산하도록 구성한다.¹³⁾

기상과학원의 시물레이션 자료를 이용하여 냉난방도일 예측치를 계산한 결과는 아래와 같다.

붉은 실선은 실측 일평균기온을 바탕으로 한 냉방도일, 나머지 점선은 국립기상과학원의 시나리오별 시물레이션 결과를 이용해서 계산한 냉방도일이다. 주황색 실선은 네 가지 시나리오의 평균이다.¹⁴⁾ 전반적으로 산술평균의 경우보다 실적치에 가까움을 알 수 있고 네 가지 시나리오의 평균이 시물레이션의 변동성을 줄여 가장 예측력이 좋은 모습을 보이고 있다.

난방도일의 결과는 위의 [그림6]에서 볼 수 있는데, 난방도일은 평균기온을 사용한 경우에 비해 예측력이 크게 개선되지 않음을 알 수 있다. 이는 첫째로 최

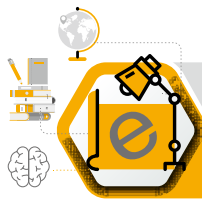
근 난방도일이 특별한 추세를 보이지 않았고, 둘째로 2010~2013년까지 이상 저온으로 급증한 난방도일이 일종의 극단치(outlier)로 작용했기 때문으로 분석된다.

다. 지수평활법(Exponential Smoothing)

지수평활법은 이동평균(Moving Average)과 함께 가장 많이 사용되는 평활법(Smoothing)이다. 평활법이란 시계열 자료에서 단기적 변동성을 제거하고 부드러운(smooth) 추세(경우에 따라서 단수 혹은 복수의 계절성이 포함된)를 추출하여 미래 자료를 예측하는 방법이다. 다양한 형태의 지수평활법이 존재하나, 본고에서는 연구목적에 부합하는 단순지수평활법(Simple Exponential Smoothing), 이중지수평활법(Double Exponential Smoothing, or Holt method), 삼중지수평활법(Triple Exponential Smoothing, or Holt-

13) 기상청 국가기상수평검퓨터센터 웹사이트(http://www.kma.go.kr/aboutkma/intro/supercom/model/model_concept.jsp) 인용(2018.10.17)

14) 각 RCP 시나리오의 숫자는 복사강제력, 즉 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도를 의미하는 양이나 온실가스 누적이 기온에 영향을 미치기까지는 20년 정도의 시차가 존재하므로 2011~2017년 전망치에 한정할 경우 위 시나리오 간 구분은 무의미하다고 볼 수 있다.



논단

가정부문 전력수요 전망을 위한 기후 지표 개선 연구

Winters method)을 사용하기로 한다.

단순지수평활법은 시계열자료가 추세나 계절성을 가지지 않는 경우에 적합한 방법이며 h 기 후의 예측치는 아래와 같이 계산된다.

$$L_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)L_{t-1}$$

$$\hat{y}_{t+h|t} = L_t$$

이중지수평활법은 추세를 가지는 시계열 자료에 적합한 방법으로 t 기 후의 예측치는 아래와 같이 계산된다.

$$L_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + G_{t-1})$$

$$G_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)G_{t-1}$$

$$\hat{y}_{t+h|t} = L_t + G_t h$$

여기서 G_t 는 t 기의 추세(trend or growth component)를 나타내는 부분이고 L_t 는 추세를 제외한 나머지 부분을 말한다.

세 번째는 삼중지수평활법으로 시계열 자료를 추세, 계절성, 그리고 나머지 부분으로 나누고 각각을 가중평균하는 방식으로 아래와 같이 계산된다.

$$L_t = \alpha(y_t - S_{t-m}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + G_{t-1})$$

$$G_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)G_{t-1}$$

$$S_t = \gamma(y_t - L_{t-1} - G_{t-1}) + (1 - \gamma)S_{t-m}$$

$$\hat{y}_{t+h|t} = L_t + G_t h + S_{t-m+h_m^*}, \quad h_m^* = [(h-1) \bmod m] + 1$$

여기서 S_t 는 t 기의 계절성, m 은 계절성의 주기, 그리고 $A \bmod B$ 는 A 를 B 로 나누었을 때의 나머지를 말한다.

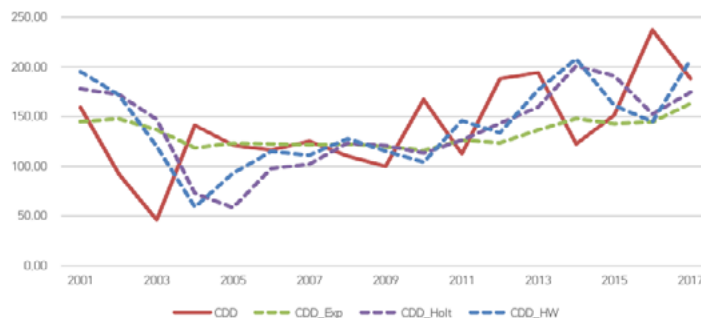
아래의 두 그래프는 지수평활법을 이용하여 각각 냉방도일과 난방도일을 예측한 결과를 보여주고 있다.

아래 [그림7],[그림8]에 따르면 전반적으로 삼중지수평활법(Holt-Winters method)이 가장 우수한 예측력을 보이는 듯 하나 자세한 비교를 위해 다음 절에서 RMSE를 계산하여 비교하기로 한다.

3. 기후지표 전제방법론의 예측력 비교

아래 <표7>은 앞에서 설명한 기후지표 전제 방법론의 예측력 비교를 위해 RMSE를 계산한 것이다. 각 전

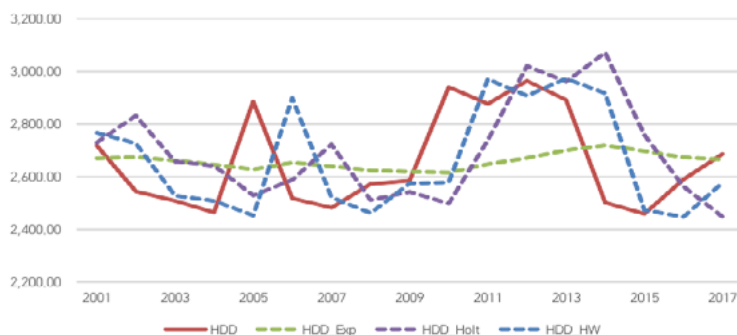
[그림 7] 2001~2017년 냉방도일 추이 및 지수평활법 예측 결과



자료: 「기상청 날씨누리」(2018.10.21., <http://www.weather.go.kr>)



[그림 8] 2001~2017년 난방도일 추이 및 지수평활법2 예측 결과

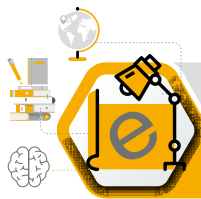


자료: 「기상청 날씨누리」(2018.10.21., <http://www.weather.go.kr>)

〈표 7〉 기후변수 전제방법론의 RMSE 비교(2011~2017년)

구분		CDD		HDD	
		RMSE	%	RMSE	%
산술 평균	10년	85.7	100	228.6	100
	3년	57.3	66.9	224.3	98.1
	5년	67.7	78.9	249.3	109.1
	전 과거	99.1	115.6	193.0	84.4
CMIP5	RCP2,6	62.8	73.3	272.3	119.1
	RCP4,5	70.3	82.0	349.4	152.8
	RCP6,0	67.4	78.6	282.0	123.3
	RCP8,5	82.1	95.8	296.8	129.8
	평균	44.9	52.4	277.8	121.5
지수평활법1	단순	55.2	64.5	170.0	74.3
	이중(Holt)	48.6	56.8	173.2	75.7
지수평활법2	단순	47.7	55.6	167.8	73.4
	이중(Holt)	43.4	50.6	220.0	96.2
	삼중(Holt-Winters)	38.7	45.2	157.3	68.8

주: 두 번째와 네 번째 열의 %는 비교 기준이 되는 과거 10년 평균 전제방법의 RMSE를 100으로 할 때 나머지 다른 방법들의 상대적 RMSE를 나타냄.
%가 100 미만인 경우, 즉 비교 기준 경우보다 예측력이 좋은 경우 진한 글씨로 표기



제방법론으로 향후 1년을 예측하는데, 1980~2017년 자료를 이용하여 표본외예측 방법으로 2011년부터 2017년까지 순차적으로 예측하여 RMSE를 계산하였다.

우선 냉방도일에 대한 예측결과를 살펴보면 다음과 같다. 과거 일평균기온의 일정 기간 평균값을 예측치로 사용한 경우는 3년 평균의 예측력이 가장 좋다. 지구시스템모델의 시뮬레이션 자료를 이용한 경우를 보면 네 가지 시나리오 모두 10년 평균을 사용하는 것보다 예측력이 개선되었다. 눈에 띄는 것은 네 시나리오의 평균인데, 각 시나리오의 단기적 변동성을 축소시키기 위해 고려된 평균의 경우 예측오차가 기준 방법의 52.4%에 불과해 예측력이 상당히 큰 폭으로 개선된다는 것을 알 수 있다.

지수평활법은 365개의 일평균기온 시계열 자료에 지수평활법을 적용한 방법(지수평활법1)과 월별 냉·난방도일에 적용한 방법(지수평활법2)으로 나뉘는데, 두 방법 모두 예측력이 상당히 큰 폭으로 개선되었음을 알 수 있다. 지수평활법1의 예측오차는 기준 방법 대비 56.8~64.5%에 불과하고, 지수평활법2의 경우에는 예측오차가 45.2~55.6% 수준으로 감소해 가장 좋은 결과를 보여주고 있다.

난방도일에 대한 예측결과는 아래와 같다. 과거 일정 기간의 평균을 사용한 방법에서는 냉방도일과는 반대로 평균 기간이 가장 긴 전 과거 평균 방법이 예측오차가 가장 낮다. 지구시스템모델의 결과는 네 가지 시나리오와 시나리오 평균 모두 10년 평균 기온을 사용한 방법보다 예측오차가 증가하는 것으로 나타난다. 지수평활법은 냉방도일에서 만큼은 아니지만 예측력이 일관되게 개선되는 결과를 보여주고 있다. 지수평활법2의 이중지수평활법 경우만 제외하면 나머지 모든 지수평활법에서 예측오차는 기준 방법의 70% 전후

수준으로 낮아짐을 볼 수 있고, 특히, 지수평활법2의 삼중지수평활법은 냉방도일에서와 같이 난방도일 예측에서도 가장 신뢰도 높은 결과를 보여주고 있다.

IV. 전력 소비 예측력 비교

본 장에서는 새로운 기후 변수와 전제 방법론을 함께 사용할 경우, 예측력이 얼마나 개선되는지를 평가하고자 한다. 비교대상이 되는 모형은 우선 아래의 기준모형과 비교모형2, 비교모형3의 세 모형이다.

$$\text{기준: } CH = c + CDD24 + HDD18 + e$$

$$\text{비교2: } CH = c + WD115 + DD + CDD24 + HDDmin18 + WD115DDCDD24 + WD115HDDmin18 + e$$

$$\text{비교3: } CH = c + WD115DDCDD24 + WD115HDDmin18 + e$$

전제 방법론으로는 2절에서 기준방법으로 사용된 10년 평균에 의한 방법과 지수평활법1의 이중지수평활법(Holt method)이 사용되었다. 본 절의 분석 대상이 되는 모형과 전제 방법론을 표로 나타내면 다음과 같다. <표8 참고>

본고에서 제안하는 방법론을 통해 가정용 전력 수요 예측력이 얼마나 개선되었는지를 최종적으로 판단하기 위해서는 위 표의 case1과 case3을 비교하면 된다. case2를 함께 비교하는 이유는 case1과 case2의 비교를 통해 전제 방법론 변화로 인한 예측력 개선 정도를 측정할 수 있고, case2와 case3(혹은 case4)의 비교를 통해 기후 변수 선택으로 인한 개선 정도도 측정할 수 있기 때문이다. case4는 비교모형3을 이중지수평활법과 함께 이용한 경우인데, 독립변수의 개수가 비교모형2에 비해 훨씬 적기 때문에 모형의 효율성 측



〈표 8〉 모형 및 전제 방법별 분석 대상

구분		전제 방법	
		10년 평균	이중지수평활법
모형	기준모형, 식(1)	case1	case2
	비교모형2		case3
	비교모형3		case4

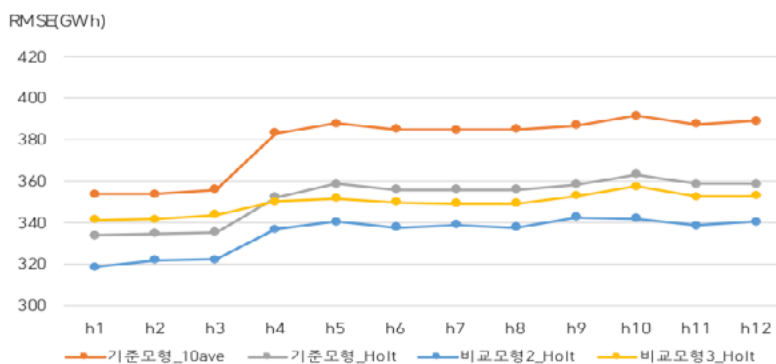
면에서 우수한 모형이라 할 수 있다. case3의 경우 6개의 기후변수가 사용된 반면, 나머지 모든 경우는 2개의 기후변수가 사용되어 모형의 자유도 등의 문제로 case3과 같은 많은 독립변수를 고려하기 힘든 경우 case4는 유용한 선택이 될 수 있다.

아래 [그림 9]는 〈표 8〉의 case1~4를 이용하여 12개월의 가정용 전력 수요를 예측하고, 각각의 예측오차를 고정창(rolling window) 방식으로 계산한 결과이다. 예상대로 일반적인 냉·난방도일을 10년 평균을 이용하여 전제한 case1(주황색)의 예측오차가 가

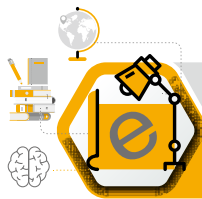
장 높게 나왔고, 새로운 기후변수 및 상호변수를 모두 포함하고 예측방법론으로는 지수평활법을 이용한 case3(파란색)의 예측오차가 가장 낮게 나왔다.

그래프에서 case2는 case1과 case3의 사이에 위치해있는데, 둘 사이의 정중앙보다는 약간 아래에 있는 것을 볼 수 있다. 즉, 이 경우에는 전제 방법론 변경으로 인한 예측력 개선(case1-case2)이 새로운 기후변수로 인한 개선(case2-case3)보다는 약간 높게 나타났다다는 것을 알 수 있다. 그러나 어느 효과가 더 큰지에 관한 문제는 경우에 따라 다르게 나타날 수 있어

[그림 9] 기후변수 및 전제 방법별 예측오차: 고정창(rolling window) 방식



자료: 「기상청 날씨누리」(2018.10.21., <http://www.weather.go.kr>)



이를 일반화하기는 어렵다고 판단된다.

기후 변수로는 상호변수만을 포함한 case4(노란색)는 case2와 교차하고 있으므로 case4가 모든 경우에 case2보다 우월하다고 말하기는 힘들다. 그러나 h1~h3을 제외한 나머지 모든 경우에 case4가 case2에 비해 낮은 예측오차를 보이고 있어 단순한 냉·난방도일 대신 상호변수를 이용한 경우, 전반적 예측력이 향상된다고 할 수 있다.

V. 결론 및 시사점

본고에서는 최적 기후 변수와 최적 기후 변수 전제 설정 방법론을 제시하였다. 연구 결과에 따르면 두 가지 방법을 혼합하여 사용할 경우 모형의 예측력이 가장 높아지는 것으로 나타났다. 그러나 자료의 한계로 특정방법이 가용하지 않을 수도 있고,¹⁵⁾ 분석의 용이성에 중점을 두는 경우 두 가지 방법을 혼합하여 사용하는 것이 적절하지 않을 수도 있다. 따라서 에너지 수요 전망을 수행하는 연구자의 관점에서 본 연구 결과를 어떻게 활용할 수 있을지에 대해 정리하며 글을 맺고자한다.

첫 번째, 최적 기후 변수만을 활용하는 경우에도 연구자에 따라 고려할 수 있는 옵션은 여러 가지가 있다. 기존의 냉방도일과 난방도일 두 변수만을 이용하는 경우, 각각 근무일 여부와의 상호 작용 변수를 대체하는 것만으로 모형의 예측력은 상승한다. 불쾌지수를 이용하고 있는 경우에도 모형의 예측력 개선을 위

해서는 불쾌도일이나 불쾌도일에 근무일 여부를 고려한 변수로 대체하는 편이 더 우수하다.

두 번째, 최적 기후 변수 전제 방법론(지수평활법)만을 고려하는 것도 모형의 예측력 개선에 도움이 된다. 특히, 일간 기후 변수 자료가 가용하지 않은 경우, 상호 작용 변수를 사용하는 대신 지수평활법을 활용하는 것만으로도 예측력을 향상시킬 수 있다.

마지막은 최적 변수와 지수평활법을 동시에 적용하는 경우이다. 이 경우는 포함하고자 하는 상호변수의 수에 따라 연구자가 들여야 할 노력이 달라질 수 있는데, 예를 들어 단순히 h 로 대체하는 경우는 지수평활법을 적용하여 도출한 미래의 일간 e 에 근무일 여부만을 적용할 수 있다. 만약 불쾌도일이 추가된 h 로 대체하고자 할 경우는 지수평활법으로 도출된 w 에 근무일 여부를 적용하면 된다. 이처럼 근무일 여부와의 상호 변수에 포함되는 변수의 수와 모형에 포함될 상호변수 자체의 수에 따라 작업의 용이성은 달라질 수 있다.

참고문헌

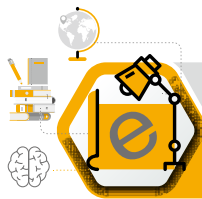
〈국내 문헌〉

- 강병욱·김철현(2018), 에너지 수요 전망을 위한 기후 지표 개선 연구, 에너지경제연구원.
- 김철현·강병욱(2017), 국내 에너지 소비 변화의 요인 분해 분석, 에너지경제연구원.
- 박철웅·박철호(2018), 용도별 특성을 고려한 도시가스 수요함수의 추정, 에너지경제연구 17(2), 1-29.

15) 일간 기상 자료가 확보되지 않는 경우, 상호변수는 사용할 수 없다.



- 신동현(2016). 전력소비 변동성에 대한 기온의 연속 · 누적 효과 분석: 전력시장 안정화 및 온실가스 저감을 위한 시사점. 에너지경제연구원.
- 신동현 · 조하현(2014a). 기온의 연속 · 누적 효과가 일일 최대전력소비에 미치는 영향에 관한 연구. 응용경제 16(3), 37-76.
- 신동현 · 조하현(2014b). 한국 일일 최대전력소비의 기상 변수 민감도와 임계 기온에 관한 실증연구. 경제연구 32(3), 175-212.
- 〈외국 문헌〉
- Bray, M., J. Hooke and D. Carter (1997). Planning for Sea-Level Rise on the South Coast of England: Advising the Decision-Makers. Transactions of the Institute of British Geographers, 22(1), 13-30.
- Chang, Y., C. S. Kim, J. I. Miller, J. Y. Park and S. Park (2016). A New Approach to Modeling the Effects of Temperature Fluctuations on Monthly Electricity Demand. Energy Economics, 60, 206-216.
- EIA (2017). Short-Term Energy Outlook. Energy Information Administration.
- Held, Isaac M. (1993). Large-Scale Dynamics and Global Warming. Bulletin of the American Meteorological Society, 74(2), 228-242.
- Hulme, M., Z. C. Zhao and T. Jiang (1994). Recent and Future Climate Change in East Asia. International Journal of Climatoloy, 14, 637-658.
- IEEJ (2017). Economic and Energy Outlook of Japan through FY2018. Institute of Energy Economics Japan.
- IPCC (1990). Climate Change - The First Assessment Report. Cambridge University.
- IPCC (2013). Climate Change 2013 - The Fifth Assessment Report. Cambridge University.
- Latarnser, M. and M. Schneebeli (2003). Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931 - 99). International Journal of Climatology, 23, 733-750.
- Lemieux, C. J. and D. J. Scott (2005). Climate change, biodiversity conservation and protected area planning in Canada. Canadian Geographer, 49(4), 384-399.
- Livezey, R. E. and T. M. Smith (1999). Covariability of Aspects of North American Climate with Global Sea Surface Temperatures on Interannual and Interdecadal Timescales. Journal of Climate, Jan 1999, 289 - 302.
- Morris, M. (1999). The Impact of Temperature Trends on Short-Term Energy Demand. Energy Information Administration, Sep 1999.
- Reichert, B. K., R. Schnur and L. Bengtsson (2002). Global Ocean Warming Tied to Anthropogenic Forcing. Geophysical



논단

가정부문 전력수요 전망을 위한 기후 지표 개선 연구

Research Letters, 29(11), 1-4.

Staple, T. and G. Wall (1996). Climate Change and Recreation in Nahanni National Park Reserve. Canadian Geographer, 40(2), 109-120.



DR 자원 비용 · 편익 분석 사례 고찰 및 시사점¹⁾

김지효 에너지경제연구원 연구위원 jhyokim@keei.re.kr

김은철 한국전력거래소 수요시장팀 차장 romance486@kpx.or.kr

김진수 한양대학교 자원환경공학과 부교수 jinsookim@hanyang.ac.kr

1. 서론

'14년 11월 수요자원거래시장이 개설된 지 벌써 약 5년이 지났다. 15년 의무감축용량 2,889MW, 정산금 1,047억 원 수준이었던 수요자원거래시장은 18년에는 의무감축용량 4,141MW, 정산금 1,850억 원 수준까지 성장하였다(〈표 1〉).²⁾ 수요반응(DR, Demand

Response) 자원을 활용하는 주요 목적은 계통 피크수요를 감축하고 계통한계가격(SMP, System Marginal Price)을 하락시켜 전력공급의 비용효율성을 높이는 것이므로, 의무감축용량 및 정산금 규모 증가는 DR 자원의 활용가능성 및 가치가 커지고 있음을 보여준다. 19년 8월 기준 의무감축용량은 원자력 발전기 4기에 해당하는 수준으로 전 세계에서 미국에 이어 2위 규모이며,

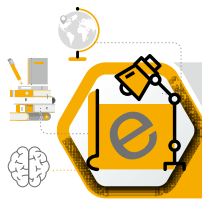
〈표 1〉 수요자원거래시장 실적('15~'18)

구분	의무감축용량 (MW)	감축실적 (MWh)	거래시행시간 (시간)	정산금 (억 원)
2015년	2,889	204,852	1,593	1,047
2016년	3,885	422,627	2,370	1,655
2017년	4,271	197,153	1,182	1,948
2018년	4,141	221,264	1,279	1,850

자료: 한국전력거래소, 2018년도 전력시장 통계, 2019.

1) 본고는 「국민 DR 편익 분석」, 에너지경제연구원(2017a) 및 「수요자원의 경제적 · 사회적 비용편익 분석에 관한 연구」, 에너지경제연구원(2019)의 일부 내용을 부분적으로 수정 · 보완하여 발전시킨 것임.

2) 감축실적이나 거래시행시간은 특별한 추세를 보이지 않지만, 이는 당시의 전력수급여건 및 시장여건에 좌우되는 지표이므로 수요자원거래시장의 성장세 평가에 활용하기에는 적절치 않음.



시장에 참여하는 수요관리사업자 및 참여고객의 숫자도 빠르게 증가한 것으로 나타났다.³⁾

4차 산업혁명, 분산형 자원의 확대, 기후변화 대응 등 전력산업의 여건 변화는 DR 자원 활용의 확대를 요구하는 상황이다. 특히, 에너지 전환으로 대두되는 변동적 재생에너지 보급 확대는 DR 자원에 최대부하 삭감, SMP 하락 등 기존 역할 외에도 변동성 대응 등 추가적인 역할을 부과할 것이라 예상되어, DR 자원의 활용은 양적 · 질적으로 확대될 것으로 예상된다. 제3차 에너지기본계획(산업통상자원부, 2019)은 첫 번째 중점과제인 “에너지 소비구조 혁신”의 두 번째 정책과제로 “수요관리 시장 활성화”를 제시하였다. 그 일환으로 제3차 에너지기본계획은 공장 · 빌딩 등 대규모 사업장 중심의 현행 DR 시장에 소형 상가 · 가정도 참여하도록 허용하는 국민DR 제도를 도입하겠다는 계획을 발표하였다. 국민DR 제도는 IoT 계측기, 스마트 가전기기 등에 대한 원격 · 자동제어를 확대하여 DR 자원의 활용도를 높일 뿐만 아니라, 통신 · 가전 · 사회복지 등 다양한 산업에 긍정적 영향을 미칠 것으로 기대된다.

이러한 중요성에도 불구하고, 아직 DR 자원 활용에 따라 어떠한 편익이 발생하고 비용이 소요되는지에 대해서 체계적인 연구가 이루어진 바 없다. 이에 따라 DR 자원에 대한 보상과 활용방식에 대한 비판적 여론이 지속해서 제기되고 있다.⁴⁾ 여론에 언급된 내용은 실시간 수요감축요청(신뢰성DR)에 대기하는 것만으로도 높은 수준의 기본정산금을 받고 있으나 감축이행률이 낮기 때문에 전력계통에서 수요감축 실효성이 낮다는 점, 신뢰성DR을 자주 발령하여 기업들의 자유로운 생산 활동

에 지장을 초래할 수 있다는 점 등으로 요약될 수 있다. 이러한 비판 중 일부는 아직 초기 단계인 수요자원거래 시장 운영 방식의 한계에서 기인할 수 있다. 그러나 근본적으로 이러한 비판을 해소하고 DR 자원의 활용도를 높이기 위해서는 체계적인 분석방법론에 기초하여 DR 자원의 비용 · 편익 항목을 식별하고, 비용효과성을 제고하기 위한 방향을 도출할 필요가 있다.

이러한 배경에서 본고는 DR 자원을 비롯한 분산형 자원의 비용 · 편익을 분석하거나 분석방법론을 제시한 국내 · 외 사례를 살펴보고, 국내 전력산업 특성을 고려한 DR 자원의 비용 · 편익 분석체계 수립에 활용할 수 있는 시사점을 도출한다. 본고의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 해외의 DR 자원 비용 · 편익 분석 사례를 살펴보고, 시사점을 도출한다. 3절에서는 국내의 분산형 자원 비용 · 편익 분석 사례를 살펴보고, 시사점을 도출한다. 4절에서는 논의결과를 종합하여 국내 전력산업 특성을 고려한 DR 자원 비용 · 편익 분석체계 수립을 위한 시사점을 제시한다.

2. 해외 분석 사례

가. 현황

우리나라보다 먼저 DR 자원을 활용해온 미국, 영국, 호주 등 주요국은 DR 자원의 비용 · 편익을 객관적 기준 하에 정량적으로 분석하기 위한 가이드라인을 수립 · 발표하거나 자체적으로 비용 · 편익을 분석하여, DR 자원

3) <http://www.etnews.com/20190801000279> (2019. 9. 3. 검색)

4) <http://www.ekn.kr/news/article.html?no=440918> (2019. 9. 3. 검색)



활용도 제고 및 선제적 영향 분석에 활용하였다.

CPUC(California Public Utilities Commission)은 선도적으로 DR 자원의 비용·편익을 분석하기 위한 체계를 마련하였다. CPUC는 83년 DR을 비롯한 다양한 수요측 자원의 비용·편익을 분석하기 위해 「Standard Practice for Cost-Benefit Analysis of Conservation and Load Management Programs」라는 매뉴얼을 발간하였다. 수요측 자원⁵⁾의 다양화 및 분석방법론 개선에 따라 지속적으로 이를 개정하다가, 10년에는 DR 자원에만 초점을 맞춘 「2010 Demand Response Cost Effectiveness Protocols」을 발표하기에 이르렀다. 이 프로토콜은 개정을 거듭하여 가장 최근에는 「2016 Demand Response Cost Effectiveness Protocols」(CPUC, 2016)이 발표되었다.

미국 DOE(U.S. Dept. of Energy)은 유틸리티(utility) 또는 수요관리사업자(DR provider)의 운영 하에 전력 수요조절의 대가로 인센티브를 받는 “ratepayer-funded DR program”⁶⁾의 비용효과성을 분석하기 위한 가이드라인을 13년 발표하였다(DOE, 2013). 이는 CPUC(2002)가 개발한 SPM(Standard Practice Manual)을 DR 프로그램에 맞춰 조정한 것이다. CPUC의 비용·편익 분석체계는 캘리포니아 주에서 시행되는 DR 프로그램에 초점을 맞춰서 작성되었기 때문에, 연방정부 관점에서 볼 때 다양한 주에서 시행되는 DR 프로그램에 적용하기 어렵다. 이러한 배경에서 DOE(2013)는 다양한 주에 적용 가능한 가이드라인을

제시하였다는 데 의의가 있으나, 전력도매시장⁷⁾에 직접 참여하는 DR 프로그램은 대상 범위에서 제외하였다.

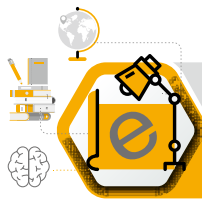
NESP(National Efficiency Screening Project)는 17년 에너지효율 자원의 비용효과성 평가를 위한 매뉴얼(NESP, 2017)을 발표하였다. NESP(2017)는 이 매뉴얼이 에너지효율 자원을 대상으로 하고 있지만, 비용효과성 분석 원칙이나 자원가치 평가(RVT, Resource Value Test)에 한해서는 DR 자원까지 확대하여 적용할 수 있다고 밝혔다. NESP(2017)은 CPUC 프로토콜은 비용·편익 분석 시 정책목표(policy goal)를 반영하기 어렵다는 점, 캘리포니아 주 외의 지역에 적용 시 일관된 기준을 적용하기 어렵다는 점, 정량화가 어려운 비용·편익 요소에 대한 고려가 부족하다는 점을 들어, 이러한 한계를 극복하기 위한 일반적 원칙을 제시하는데 그 목적을 두었다.

DOE(2013), CPUC(2016), NESP(2017)은 분석 결과 자체를 제시하기보다는, DR 자원의 비용·편익 요소는 무엇인지 식별하고 이와 관련된 이해관계자 각각에 대해 비용·편익 요소들이 어떻게 귀속될 수 있는지를 미국 시장(또는 정부)의 관점으로 설명하는 데 초점을 맞추었다. 즉, 유틸리티, DR 프로그램을 승인하는 시장 관리자, 관할지역(jurisdiction) 등의 관점에서 보았을 때, DR 자원의 재무성 또는 경제성 확보 여부를 분석할 수 있는 객관적 기준을 제시하는 것이 주요 목적이다. 따라서 이 가이드라인을 적용하여 실제 DR 프로그램의 재무성을 분석한 결과나 주 정부 또는 연방

5) 에너지절약, 에너지효율향상, 부하관리, 열병합발전 등의 분산형 자원 등이 해당됨.

6) 이 DR 프로그램의 운영비용은 해당 유틸리티의 수용가가 전기요금을 통해 최종적으로 지불하기 때문에 DOE(2013)는 “ratepayer-funded DR program”이라는 용어를 사용함.

7) Emergency DR, Capacity market programs, Energy market programs, Ancillary services market programs 등에 직접 참여하는 DR 프로그램은 DOE(2013) 논의 대상에서 제외됨.



논단

DR 자원 비용 · 편익 분석 사례 고찰 및 시사점

정부 차원에서 DR 자원의 경제성을 분석한 결과 중 공
개된 자료를 찾기는 쉽지 않다.

반면, 영국, 호주, 스페인이나 개별 기업이 수행하는
DR 프로그램에 대해서는 비용 · 편익 분석 결과가 발표
된 바 있다. Bradley et al.(2013)은 영국 전력시장에서
DR 자원의 비용 · 편익 항목을 식별하고, 항목별 정량
적 근사치를 문헌 연구에 기초해 추정하였다. Oakley
Greenwood(2014)는 호주 산업부(Australian Dept.
of Industry)의 의뢰로 DR 메커니즘(DRM, Demand
Response Mechanism)⁸⁾의 도매시장 영향과 송 · 배전
망 영향에 초점을 맞추어 편익을 추정하고, DRM의 이
행비용을 산출하였다. Brattle Group(2015)은 글로벌
수요관리 기업인 EnerNoc의 의뢰를 받아 “DR 프로그
램의 편익은 비용보다 큰가?”라는 근본적 질문에 답하
기 위해 DR의 편익 항목을 식별하고, 일부 항목에 대한
정량화 결과를 제시하였다. Conchado et al.(2016)은
스페인의 주택용 전력 수용가를 대상으로 하는 가상적
DR 사업의 편익을 산정하였다. 분석 대상이 되는 DR
사업은 계시별 요금제와 같은 가격 기반 DR 프로그램
이며, 수용가는 전기요금 최소화를 위해 자동화된 제어
기기를 사용하여 전력소비 패턴을 조정할 수 있다고 가
정하였다.

본 절은 전술한 해외 사례에서 DR 프로그램의 분석
관점을 어떻게 분류하였는지, 관점별로 어떠한 비용 ·
편익 요소를 고려하였는지, 비용 · 편익 분석결과를 중
합적으로 보여주기 위해 어떤 지표를 사용하였는지를
중점적으로 살펴본다. 이를 토대로 국내 DR 자원의 비

용 · 편익 분석체계 수립 시 어떠한 시사점을 얻을 수
있는지를 논한다.

나. 이해관계자 분류

DOE(2013), CPUC(2016)은 DR 프로그램의 이
해관계자를 식별하고 각각에 대해 비용 · 편익 요소
를 제시하였다. Oakley Greenwood(2014)과 Brattle
Group(2015)은 분석 시 어떠한 이해관계자를 대변하
는지 명시적으로 밝히지는 않았으나, 연구 결과를 볼
때 암묵적으로 사회적 관점에서의 경제성을 분석한 것
으로 추론된다. NESP(2017)은 DR 자원의 이해관계자
를 세세하게 식별하는 대신, 정책목표 달성까지 포함
하여 DR 프로그램의 비용효과성(cost-effectiveness)
을 분석하는 새로운 관점을 제시하였다. Bradley et
al.(2013)과 Conchado et al.(2016)은 참여자, 발전
기업, 사회적비용 등 다양한 관점의 비용 · 편익 요소
를 고려하였으나, 관점별로 비용 · 편익 요소를 명시
적으로 할당하지 않았다.⁹⁾ 이에, 본고는 DOE(2013),
CPUC(2016), NESP(2017)를 중심으로 DR 프로그램
분석 시 이해관계자를 어떻게 분류하였는지 살펴본다.

DOE(2013)는 DR 프로그램의 이해관계자를 참
여자(participant), DR 프로그램에 참여하지 않
는 수용가(ratepayer), 프로그램 관리자(program
administrator), 총자원비용(TRC, Total Resource
Cost), 사회적비용(societal cost)으로 분류하였다. 참
여자 관점에서는 DR 프로그램에 직접 참여해서 부하

8) DRM은 호주 에너지위원회(COAG, The Council of Australian Governments Energy Council)의 의뢰로 호주 에너지시장운영공사(AEMO, Australian Energy Market Operators)에서 13년에 개발한 체계임. 이는 기존 호주에서의 소매사업자 중심 DR과 달리, 대규모 수용가의 도매시장 DR 참여를 용이하게 하고 적절한 보상을 받을 수 있도록 설계됨.



를 조정하는 수용가의 비용·편익을 분석 대상으로 삼았다. 이때, DR 프로그램을 통해 참여자의 순 비용(net cost)이 감소하는지 여부를 분석한다. DR 프로그램에 참여하지 않는 수용가 관점에서는 수용가영향도 분석(RIM test, Ratepayer Impact Measure test)을 실시한다. DOE(2013)는 DR이 유발하는 유틸리티의 수입 변화(revenue change)를 보전하기 위해 전기요금 이 변화하는 프로그램을 상정하였기 때문에, DR 프로그램 시행은 참여하지 않는 수용가에도 영향을 미칠 수 있다. 따라서 참여자 분석과 수용가영향도 분석 결과를 비교하면 DR 프로그램이 분배에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 프로그램 관리자에 대해서는 프로그램 관리자 비용 분석(PAC test, Program Administrator Cost test)을 실시하여 해당 DR 프로그램과 관련된 유틸리티 또는 DR 사업자의 비용·편익을 분석한다. 총자원비용 분석(TRC test)은 유틸리티와 참여자의 비용합이 감소하는지 분석하여, DR 프로그램이 점증 비용(incremental cost)을 감소시키는지 파악한다. 마지막 사회적비용 분석(societal cost test)은 외부성까지 포함까지 포함하여 DR 프로그램이 사회 전체의 비용을 감소시키는지 분석한다.

CPUC(2016)은 참여자 분석, 수용가영향도 분석, 프로그램 관리자 분석, 총자원비용 분석을 제시하였다. 참여자 분석, 수용가영향도 분석, 프로그램 관리자 분석의 정의는 DOE(2013)과 동일하다. 총자원비용 분석의 경우, DOE(2013)의 사회적비용 관점에서 고려된 요소들이 대부분 포함되고 있기 때문에 DOE(2013)의 총자원비용 분석 또는 사회적비용 분석과의 구별이 다소

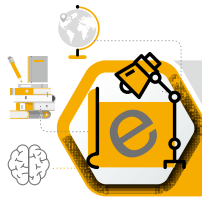
모호하다.

NESP(2017)는 주요 분석(primary test)과 부차적 분석(secondary test)으로 분석 관점을 구분하였고, 주요 분석으로 자원가치 분석(RVT)을 제시하였다. 이는 특정 관할권 내의 정책목표를 반영하여 DR 자원의 가치를 다루며, 정책목표에 따라 DR 프로그램의 비용·편익 영향을 식별하여 어느 방향의 영향이 더 큰지를 분석하는 것이다. 자원가치 분석에서는 유틸리티 비용·편익과 비유틸리티 비용·편익을 동시에 모두 고려하는데, 후자에 대해서는 정책목표를 고려하여 자원가치 분석에 반영할 범위를 설정한다. 따라서 유틸리티와 비유틸리티 관점 각각에 대해 금전적 가치로만 보면서도 상쇄되는 항목이 존재한다고 하더라도 정책목표에 따라 각기 다른 중요도로 반영될 수 있다. 부차적 분석에서는 자원가치 분석 결과 비용 효과적이라고 판단된 자원에 대해 유틸리티 수용가들이 얼마를 지불해야 하는지, 여러 프로그램 중에 우선순위를 어떻게 매길 것인지, 프로그램 설계 시 고려되어야 하는 제약조건이 있는지 등의 실행적인 문제를 분석한다.

다. 비용·편익 항목

DOE(2013), CPUC(2016), NESP(2017), Bradley et al.(2013), Oakley Greenwood(2014), Brattle Group(2015), Conchado et al.(2017)에서 어떤 비용·편익 항목을 고려하였는지 살펴본다(<표 2>). 이때, DOE(2013)에 대해서는 사회적비용 분석, CPUC(2016)에 대해서는 총자원비용 분석,

9) 관점별로 비용·편익 항목을 할당하지 않을 경우 서로 상쇄되는 비용·편익을 고려하지 못해 잘못된 분석 결과를 도출할 수 있음. 예컨대, 참여자 입장에서 DR 프로그램 시행으로 인한 전기요금 절감액은 전력회사 입장에서는 수입 감소에 해당하기 때문에 사회적 관점에서 볼 때는 이 두 요소는 서로 상쇄됨.



논단

DR 자원 비용 · 편익 분석 사례 고찰 및 시사점

〈표 2〉 DR 자원의 비용·편익 분류: 해외 사례

	DOE (2013)	CPUC (2016)	NESP (2017)	Bradley et al. (2013)	OG (2014)	BG (2015)	Con- chado et al. (2017)
비용							
프로그램 관리자 비용	●	●	●	●	●		
프로그램 관리자 자본비용	●	●	●	●	●		
DR 계획비용(관리자)	●	●	●	●	●		
DR 계획비용(참여자)	●		●				
참여자 거래비용	●	●	●				
참여자 서비스상실비용	●	●					
참여자 O&M비용	●			●			
에너지소비 증가	●						
환경 적응비용	●						
환경 외부비용	●						
참여자 인센티브			●				
편익							
에너지비용 회피	●	●	●	●	●	●	●
용량비용 회피	●	●	●	●	●	●	●
송·배전비용 회피	●	●	●	●	●	●	●
보조서비스비용 회피	●	●	●	●	●	●	
환경적응비용 회피	●	●	●	●	●		●
환경외부비용 회피	●		●			●	
기타편익	●	●	●		●		
시장참여 수입		●					
전기요금 절감				●			

주 1) OG(2014)는 Oakley Greenwood(2014)를, BG(2015)는 Brattle Group(2015)를 가리킴.

주 2) Brattle Group(2015) 및 Conchado et al.(2016)은 비용 항목은 분석하지 않음.

NESP(2017)에 대해서는 자원가치 분석의 내용을 중점적으로 살펴본다. 그 이유는 타 문헌과의 비교 및 국내 적용 시 시사점 도출을 위해 최대한 많은 이해관계자를

종합적으로 고려하는 관점을 살펴보는 것이 유용하기 때문이다.



1) 비용 항목

가) 사업자의 DR 프로그램 이행 · 관리에 소요되는 비용

사업자 관점에서 DR 프로그램 이행 · 관리에 소요되는 비용은 프로그램 시행을 위해 설비를 투자하고, IT를 도입하고, EM&V(Evaluation, Measurement & Verification)를 수행하고, 관련 설비의 O&M(Operation & Management)을 수행하는 데 소요되는 비용으로, 증분비용(incremental cost)을 기준으로 정의된다. DOE(2013)과 CPUC(2016)은 공통적으로 이들 비용을 장 · 단기로 구분하여 장기 비용은 연간 분할하여 분석에 반영할 것을 권고하였다. 단, DOE(2013)은 참여자 관점에서도 이 비용이 발생할 수 있음을 지적하였으나, CPUC(2016)은 사업자 관점에서만 발생하는 비용만 고려하였다. Oakley Greenwood(2014)는 이 비용이 참여자에게 발생하는지 사업자에게 발생하는지 구분하지 않은 채 단일 비용으로 간주하여 분석에 반영하였다. 반면, Bradley et al.(2013) 및 NESP(2017)는 이 비용을 비교적 세분화하여 제시하였다.

나) 참여자 비용

참여자가 DR 프로그램에 참여하기 위해 지불하는 비용 중 사회적 관점에서 볼 때 상쇄되지 않는 비용은 거래비용(transaction cost), 서비스상실비용(value of lost service), 참여자의 계측비용 및 O&M 비용이다. 거래비용은 참여자의 교육, 장비 설치, 프로그램 적용, 에너지 진단, 부하감축 계획 운영 등과 관련된 기회비용이다. 서비스상실비용은 수요감축으로 인한 생산성 저하 또는 편안함(comfort) 감소로 인한 비용을 가리킨

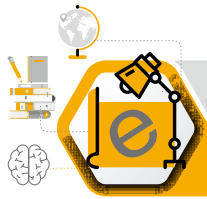
다. 거래비용과 서비스상실비용은 DR 참여를 결정하는 데 중요한 역할을 하지만, 정량화가 매우 어려워 실증 분석 시 간과되기 쉽다. CPUC(2016)은 자발적으로 참여 여부를 결정할 수 있는 DR 프로그램은 참여자의 편익이 비용보다 클 것이기 때문에, 이 조건을 이용하여 거래비용과 서비스상실비용 합계 최대치를 역산하는 방식을 제안하기도 하였다. 계측비용 및 O&M 비용은 DR 프로그램 이행 · 관리에 소요되는 비용 중 일부를 참여자도 부담할 때 발생하는 비용이다.

다) 에너지소비 증가 및 환경 비용

DR 프로그램을 시행하여 도리어 전력소비가 증가하는 경우가 발생할 수 있다. 예컨대, 부하감축 시간대의 전력소비량 감소분과 부하이전 시간대의 전력소비량 증가분을 비교하여 후자가 더 클 경우에는 전력소비가 증가하게 된다. 이 경우, 전력소비 증가로 인해 공급 비용이 증가할 뿐만 아니라 관련된 환경비용도 증가할 수 있다. NESP(2017)은 에너지효율 자원을 대상으로 작성되었기 때문에 이 가능성을 거의 고려하지 않았지만, DOE(2013)은 이 가능성을 고려하였다. 전력소비 증가가 수반하는 환경비용의 경우, 규제가 존재하는 오염물질 관련 비용은 적응비용으로, 규제가 존재하지 않는 오염물질 관련 비용은 외부비용으로 구분한다(DOE, 2013).

라) 참여자 인센티브

DOE(2013)이나 CPUC(2016)은 수요감축의 대가로 참여자가 수령하는 인센티브를 참여자 분석에서는 편익, RIM 분석이나 PAC 분석에서는 비용으로 간주하였



다. 따라서 사회적 관점 또는 총자원비용에서는 참여자 인센티브는 상쇄되는 요소로 간주하여 분석에 반영하지 않았다. 그러나 NESP(2017)은 정책목표에 따라 참여자 인센티브의 중요도가 금전적 가치와 다르게 평가될 수 있기 때문에, 일단 자원가치 분석의 비용 요소로 포함할 것을 권고하였다.

2) 편익 항목

가) 공급비용 회피(avoided supply costs)¹⁰⁾

에너지비용 회피(avoided energy costs)는 에너지(전력) 소비량 자체가 감소하는 편익이다. DR 프로그램 시행 시 부하감축(load curtailment), 부하이동(load shift) 등의 방식으로 특정 시간대의 부하를 감축하여 전체적으로 전력소비량(kWh)이 감소한다면, 발전에 소요되는 에너지비용을 절감할 수 있다.

발전설비 회피(avoided capacity costs)는 피크부하 시간대의 비싼 한계 발전기 가동비용을 절감하거나 신규 발전설비 도입을 지연 · 회피하여 얻는 편익이다. 발전설비 회피는 가장 핵심적인 편익이지만 Oakley Greenwood(2014)가 지적하였다시피 발전설비 공급이 장기적으로 충분할 경우에는 이 편익을 얻기 어려울 수 있다.

송 · 배전비용 회피(avoided transmission & distribution costs)는 송 · 배전설비 건설을 지연 · 회피하는 편익이다. 이 편익은 전력망 특징, 계획 중인 송 · 배전설비 투자, 관련 지역의 피크 수요, DR 프로

그램 특징 및 부하 영향에 따라 달라질 수 있기 때문에, 지역별로 달라질 수 있다.

보조서비스비용 회피(avoided ancillary service costs)는 시장규칙이 완비된 상황에서 DR 자원을 빠르고 확실하게 응동할 수 있을 때 발생하는 편익이다. 변동적 재생에너지 보급이 확대되고, 부하 추종(load following) · 주파수 조정(frequency regulation) 등 보조서비스 제공에 특화된 DR 프로그램이 확대된다면 이 편익은 커질 것이다. DOE(2013), Oakley Greenwood(2014)는 현시점에서 이 편익이 발생하기 어렵지만, 앞으로는 이 편익이 커질 것이라 예상하였다. CPUC(2016)은 재생에너지 발전의 유연성 문제 해결에 기여하는 DR 자원에 대해서는 보통의 DR 자원보다 더 높은 가치(110%)를 부여해야 한다고 권고하였다.

나) 환경 편익

DR 자원을 활용하여 발전량(kWh)을 줄이거나 부하이전을 통해 친환경적으로 발전연료 전환(fuel switching)을 달성할 수 있다면, 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 온실가스 등 오염물질 배출량을 줄일 수 있다. DOE(2013) 및 NESP(2017)은 규제가 존재하는 오염물질을 회피하는 비용을 환경 적응비용 회피로, 규제가 존재하지 않는 오염물질을 환경 외부비용 회피로 구분하였다. 뿐만 아니라, 발전기 소음 경감, 보건 개선, 재생에너지 보급 촉진¹¹⁾ 등의 추가적인 환경 편익도 기대할 수 있다.

10) 대부분의 해외 사례는 유사한 용어를 사용하여 공급비용 회피를 설명함. 반면, Bradley et al.(2013)과 Conchado et al.(2016)은 약간 다른 용어를 사용하나 그 의미와 범위는 공급비용 회피와 크게 다르지 않음. 예컨대, Bradley et al.(2013)은 절대적 · 상대적 전력수요 감소로 인한 발전비용 및 온실가스 배출량 절감 편익과 계통 피크 절감으로 인한 단기 한계비용 절감을 제시함. Conchado et al.(2016)은 전력수요 절감(kW 및 kWh)을 통한 발전설비 투자비, 송 · 배전설비 투자비 및 연료비의 절감을 제시함.

11) Brattle Group(2015)은 계시별 요금제 형태로 DR 프로그램이 설계된다면 재생에너지 보급을 촉진하는 효과도 기대할 수 있다고 언급함.



다) 기타 편익

DR 프로그램을 활용하여 비용 효과적으로 대 정전 등 극단적 사건(extreme event)의 완충장치를 마련할 수 있다. 또한, 시장 경쟁도(market competitiveness)가 활성화되어 소비자 후생이 개선되고, 전력도매시장의 가격 변동성(volatility)이 완화되는 효과를 얻을 수 있다. 경쟁 활성화는 혁신을 유인하여 고용창출 등의 효과로 이어질 수 있다. 유틸리티 입장에서는 설비 등 대형 투자를 회피·지연시킴에 따라 재무여건 개선 및 리스크 경감 효과를 얻을 수 있으며, 소비자와의 접점이 확대되어 관계를 개선하는 효과를 얻을 수 있기도 하다.

CPUC(2016)은 CAISO(California Independent System Operator)가 운영하는 도매전력시장에 참여하여 얻는 수입을 총자원비용 분석 시 편익에 계상해야 한다고 보았다. Bradley et al.(2013)은 DR 프로그램에 참여하여 소비자의 전기요금에 감소하는 것도 편익으로 간주하였다. 그러나 이후 연구 결과를 살펴볼 때, 전기요금 절감이라는 정책목표가 특별히 강조되지 않는 한 전기요금 절감은 유틸리티의 수입 감소로 직결되어 사회적 관점에서 보았을 때는 서로 상쇄되므로 별도 편익이라 보기는 어렵다.

라. 경제성 지표

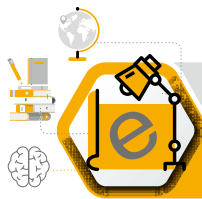
비용·편익 분석 결과를 나타내는 지표로 순현재가치(NPV, net present value), B/C 비율, 내부수익률(IRR, international rate of return) 등이 사용된다. DOE(2013), CPUC(2016)는 NPV를 “first-best DR cost-effective measure”로 제시하였다. Oakley Greenwood(2014)는 NPV로 DRM의 비용·편익 분석

결과를 제시하였다. NESP(2017)은 NPV는 비용효과성의 크기를 보여줄 수 있는 반면 상이한 관할권에 속한 프로그램의 비용효과성을 비교하는 데에는 활용될 수 없으며, 프로그램 간 비용효과성 비교에는 B/C 비율을 활용하는 것이 적절하다고 설명하였다.

마. 검토 결과 및 시사점

해외 사례 검토 결과, DOE(2013) 및 CPUC(2016)이 DR 자원의 비용·편익을 가장 폭넓게 고려한 것으로 나타났다. NESP(2016)은 비용보다는 편익을 더 정교하게 고려하였는데, 이는 NESP(2016)가 DR 자원에 비해 상대적으로 비용 항목이 명료한 에너지효율 자원의 평가를 목적으로 작성된 매뉴얼이기 때문이다. 시장참여 수입, 참여자 인센티브, 전기요금 절감을 제외하면, 대부분의 항목에 대해서는 사례 간 상충되는 요소는 없어, 각 사례는 상호 일관성을 갖춘 것으로 볼 수 있다.

다만, 국내·외 전력산업 구조 및 DR 프로그램 운영 방식이 달라 해외 사례에서 제시한 분석체계를 수정 없이 국내 DR 자원의 비용·편익 분석에 적용하기는 어렵다고 판단된다. 예컨대, DOE(2013)은 도매전력시장에 개설된 DR 프로그램을 적용 범위에서 제외하였다. 그러나 우리나라에서 DR 자원은 수요자원거래시장을 통해 도매전력시장에 참여하고 있다고 보아야 한다. CPUC(2016)은 시장참여 수입을 총자원비용 관점의 편익에 반영한다. 그러나 우리나라에서 DR 사업자의 시장참여 수입은 한국전력이 지불하는 정산금에서 기인하므로(「전력시장운영규칙」 제12.6.2.1~제12.6.2.4조), 사회적 관점에서 볼 때에는 상쇄될 수 있다. 또한, 미국이나 호주에서는 DR 사업을 전력공급자가 직·간접적으로 수행하는 데, 우리나라는 전력공급자(한국전력)와 분



리된 DR 사업자가 수행한다. 해외에서는 전력공급자가 직접 · 간접적으로 DR 프로그램 시행에 따라 수반되는 수입 변화를 전기요금에 반영할 수 있는 구조인데, 국내에서는 DR 사업으로 인한 수입 변화를 단기간 내 전기요금에 반영하기 어려운 구조이다. 즉, 국내에서는 수용가 영향도 관점의 분석이 필요하지 않을 수 있다.

국내 수요자원거래시장의 운영 목적 및 방식을 고려할 때 정책목표를 반영하는 자원가치 분석의 관점은 유용하게 활용될 수 있을 것이라 판단된다. 정부는 DR 자원 활용을 통해 전력공급비용 상의 편익뿐만 아니라 신사업 창출, 분산형 전원 보급 확대 등의 부차적인 효과도 기대하고 있다. 이러한 정책목표별 중요도를 고려하여 DR 자원의 비용 · 편익 분석 시 반영하는 것도 고려해볼 필요가 있다.¹²⁾

3. 국내 분석 사례

가. 개요

국내에서는 17년에 국민DR 편익을 실증 분석한 에너지경제연구원 보고서(이하 KEEI(2017b))를 제외하면 본격적으로 DR 자원의 비용 · 편익을 분석한 연구를 찾아보기 어렵다. KEEI(2017b)은 17년 수행된 국민DR 실증사업¹³⁾ 결과를 이용하여 17~26년 동안 국민DR 자원의 편익을 도출하였다. 이 연구는 DOE(2013) 및 CPUC(2002)를 참조하여, 국민DR의 이해관계자를

참여자, 수요관리사업자, 수용가영향도, 총자원비용, 사회적비용으로 분류하여 편익을 계산하였다.

DR 자원은 아니지만 분산형 자원을 대상으로 비용 · 편익 분석은 수행된 바 있다. 한국개발연구원은 기업 · 준정부기관이 참여하는 태양광, (해상)풍력 보급사업에 대한 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침(이하 KDI(2013))을 발표한 바 있다. 이 지침은 태양광, (해상)풍력 보급사업의 편익 항목을 선정하고, 이에 대한 정량화 방안을 제시하였다.

한국개발연구원은 15년 스마트그리드 확산사업의 예비타당성조사를 진행하고, 그 결과를 보고서(이하 KDI(2015))로 발표하였다. KDI(2015)는 스마트그리드 확산과 관련된 28개 단위사업을 편익 발생 경로의 유사성에 따라 ESS(Energy Storage Service) 기반 수요반응, EMS(Energy Management System) 기반 에너지효율화, AMI 기반 전력재판매, 전기차, 신재생 · 분산전원, 신재생 출력 안정화의 6개 사업군으로 분류하였다. 이 중 ESS 기반 수요반응 사업군과 EMS 기반 에너지효율화 사업군에 대한 편익 분석결과는 DR 자원의 편익 식별에 참고할만하다.

한국전기연구원과 에너지경제연구원은 분산형 전원으로써 열병합발전의 편익을 분석한 보고서(이하 KERI · KEEI(2015))를 발간하였다. KERI · KEEI(2015)는 회피비용 관점에서 열병합발전의 편익 항목을 분류하고, 각 항목별 산정방식을 두루 검토하여, 최종적으로 체계적인 편익 산정절차 및 정량화 결과를 제시하였다.

효율향상, 부하관리, 기반조성 사업을 수행하는 에너

12) 정량화가 어려운 효과라면 비용효과성(cost-effectiveness) 분석에 반영하는 것도 고려해 볼 수 있음.

13) 국민DR 실증사업은 에너지 미터가 설치된 가구를 대상으로 전력피크 시 모바일 앱을 이용해 미션을 알리고, 이 가구가 미션 시작 후 1~2시간 동안 전기를 절약하여 미션을 성공하면 통신비 할인 등의 보상을 제공하는 사업임.



지공급자 수요관리투자사업(「에너지이용 합리화법」 제9조)의 경우, 매년 투자계획 심의 시 SPM(CPUC, 2002)에 근거해 비용·편익을 분석한 결과를 검토한다. 에너지공급자 수요관리투자사업이 에너지공급자효율향상의무화제도(EERS, Energy Efficiency Resource Standards)로 전환을 앞두고 있는 상황에서 라온프렌즈(2019)는 에너지효율 자원의 비용·편익 검토 권고 항목을 제시하였다.

본 장은 전술한 국내 사례에서 고려된 분산형 자원의 비용·편익 요소는 무엇인지, 비용·편익을 정량화하기 위해 어떠한 방법론과 가정을 사용하였는지를 중점적으로 살펴본다. 해외 사례 검토 시와 마찬가지로 사회적 관점 또는 총자원비용 관점으로 한정해 비용·편익을 살펴본다. 이를 토대로 DR 자원의 비용·편익 분석체계 수립에 활용할 수 있는 시사점을 도출한다.

나. 비용·편익 항목 및 정량화 방식

1) 비용 항목

〈표 3〉에 제시된 연구 사례 중 분산형 자원의 비용을 고려한 경우는 라온프렌즈(2019)에 불과하다. 나머지 연구는 편익 분석에 초점을 맞춰, 비용은 연구 범위 내에 포함시키지 않았다. 라온프렌즈(2019)는 SPM(2002)를 우리나라 에너지 공급실정에 맞춰 총자원비용 관점의 비용 항목을 공급자 지원금과 참여자 부담금으로 제시하였다. 에너지효율향상사업에서는 고효율기기 보급 비용이 발생하며, 에너지공급자 수요관리 투자사업 또는 EERS에서는 이 비용을 공급자와 참여자가 나누어 부담하게 된다. 이때, 공급자가 부담하는 비용을 “공급자 지원금”, 참여자가 부담하는 비용을 “참

여자 부담금”이라고 볼 수 있다.

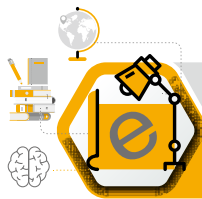
〈표 2〉와 비교해보면 공급자 지원금은 프로그램관리자 자본비용에 해당하며, 참여자 부담금과 일치하는 개념은 없다고 판단된다. 에너지효율향상사업에서는 소비자가 고효율기기를 채택하므로 이 비용을 공급자와 참여자가 부담하는 개념이 성립할 수 있다. 반면, DR 사업에서는 핵심 자본이 계속 관련설비(ex. 계량기)인데, 이 설비는 대개 소유권을 공급자가 가지기 때문에 자본비용을 참여자와 공급자가 부담할 가능성이 낮다. 한편, 국내에서는 계측비용, 관리비용, O&M 비용, 거래비용 및 서비스상실비용의 정의 및 정량화 방안에 대해 아직까지 논의가 시작되지 않은 것으로 파악된다. 또한, 부하이동이 유발하는 에너지, 환경 차원에서의 비용도 아직까지 논의에 놓인 것으로 보인다.

2) 편익 항목

분산형 자원의 편익에 대해서는 발전비용 회피, 송·배전비용 회피, 에너지비용 회피 등 공급비용 회피를 중심으로 그 정의와 정량화 방식에 대해서는 상호 일관된 결과를 제시하고 있다. 발전비용 회피, 송·배전비용 회피, 에너지비용 회피의 정의는 〈표 2〉에서 제시한 해외 사례와 거의 동일하다. 이에, 그 정의보다는 이 가치를 어떻게 정량화하였는지에 초점을 맞추어 국내 사례를 살펴본다.

가) 발전비용 회피

발전비용 회피의 가치를 정량화하기 위해, 먼저 대상이 되는 분산형 자원이 어떤 발전원을 대체하는지 정의한다. 그다음, 이 발전원의 연간균등화비용(LCOE,



〈표 3〉 분산형 자원의 비용·편익 분류: 국내 사례

	KEEI (2017b)	KDI (2013)	KDI (2015)	KERI- KEEI (2015)	라온프렌즈 (2019)
비용					
공급자 지원금					●
참여자 부담금					●
편익					
발전비용 회피	●		●	●	●
송·배전비용 회피	●		●	●	●
에너지비용 회피	●	●	●	●	●
온실가스비용 회피	●	●	●	●	●
환경오염물질 회피	●		●	●	●
참여자 요금절감					●
비상발전기 연료비용(부편익)			●		

Levelized Cost of Energy)에 분산형 자원이 회피하는 전력수요(kW)를 곱하여 연간 균등화된 발전비용 회피 편익을 계산하였다. 〈표 3〉의 분석 대상 자원은 각기 다르지만 모두 LNG 발전설비를 대체설비로 가정하였다. 이때, 활용된 LNG 발전설비의 연간균등화 비용은 132,954원/kW·year(KDI, 2015), 164,868원/kW·year(KERI·KEEI, 2015), 55,498원/kW·year(라온프렌즈, 2019)로 분석시점, 운영·유지비 포함 여부에 따라 달라진다.

나) 송·배전비용 회피

송·배전비용 회피는 분산형 자원이 회피하는 전력수요(kW)에 송·배전회피단가(연간균등화 송·배전설비단가)를 곱해 산정하는 방식을 취하였다. KDI(2015)는 지역별로 송·배전비용 회피의 편익이 달

라질 수 있다고 보아 수도권, 비수도권, 제주권으로 나누어 편익을 산정하였다. 반면, KERI·KEEI(2015), KEEI(2017b), 라온프렌즈(2019)는 지역별 차이를 고려하지 않았다. KDI(2015)는 수도권 송전회피단가에 95,031원/kW·year, 비수도권 송전회피단가에 38,044원/kW·year, 제주권 송전회피단가에 155,718원/kW·year, 배전회피단가에 37,449원/kW·year를 대입하였다. KERI·KEEI(2015)은 송전회피단가에 48,034원/kW·year, 배전회피단가에 34,264원/kW·year를 대입하였다. KEEI(2017b)는 전력산업연구회 외(2014) 및 이창호(2016) 논의 결과를 종합하여 송·배전회피단가에 75,000원/kW·year를 대입하였다. 라온프렌즈(2019)는 한국전력이 매년 발표하는 통계로부터 송·배전설비의 자산 가치를 추정하여 107,941원/kW·year를 송·배전회피단가로 제안하였다.



다) 에너지비용 회피

에너지비용 회피는 분산형 자원이 회피하는 전력 소비량(kWh)에 회피에너지단가를 곱하여 산정한다. KDI(2013; 2015)는 회피에너지단가에 SMP를 대입하였다. KDI(2013)은 도매전력시장이 그대로 유지된다는 가정하여 공급곡선과 수요곡선을 도출하여 전망한 SMP를 분석에 사용하였다. KDI(2015)는 전력수급계획의 전원구성 전망 자료, 부하특성 분석에 따른 SMP 결정 전원 비율 분석, 연료별 발전단가 자료 등을 종합하여 미래 SMP를 추정하여 분석에 사용하였다. KERI·KEEI(2015)는 LNG 복합화력 연료단가로 회피에너지단가를 정의하였는데, 제7차 전력수급기본계획에 제시된 LNG 발전의 열소비용 및 열량단가를 토대로 회피에너지단가에 118.6원/kWh을 대입하였다. KEEI(2017b)는 회피에너지단가에 '2017년 에너지공급자 수요관리 투자사업 계획'(산업통상자원부·한국에너지공단, 2017)을 인용하여 143.8원/kWh을 대입하였다. 라온프렌즈(2019)는 한국전력의 시간대별 구매단가 자료에 기초하여 동·하계 경부하, 중간부하, 최대부하 시간대의 SMP를 회피에너지단가로 제안하였다.

라) 온실가스 등 환경오염물질 회피

온실가스비용 회피는 <표 3>에 제시된 모든 국내 연구사례에서 고려되었다. 이 편익은 분산형 자원이 회피하는 전력소비량(kWh)에 온실가스회피단가(온실가스 한계저감비용)를 곱하여 산정되었다. KDI (2013; 2015)에서는 다양한 온실가스 한계저감비용을 검토한 결과 가장 보수적이며 최신의 전력수급기본계획에서 사용된 21,000원/tCO₂를 분석에 사용하였다. 이후에 발

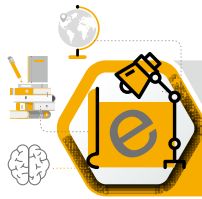
표된 연구(KERI·KEEI, 2015; KEEI, 2017b; 라온프렌즈, 2019)는 IEA(2012)에서 전망한 우리나라의 20년 배출권 가격(25,000원/tCO₂)을 분석에 사용하였다.

일부 연구(KDI, 2015; KERI·KEEI, 2015; KEEI, 2017b; 라온프렌즈 2019)는 추가적으로 환경오염물질 회피를 분석하였다. 해외 사례(<표 2>)는 주로 SO_x, NO_x 등의 대기오염물질만 고려하였는데, 국내 사례는 미세먼지까지 고려한다는 특징을 가진다. 대기오염물질 회피의 편익은 온실가스비용 회피와 마찬가지로 회피 전력소비량(kWh)에 대기오염물질 회피단가를 곱하여 산출하는 방식을 취한다. 대기오염물질 회피단가는 온실가스와 달리 연구별 편차가 큰 편이다. 그 이유는 아직 국내 고유의 연구(1차 연구)를 통해 대기오염물질에 대한 외부비용을 산정한 사례가 없으며, 해외의 연구결과를 가치 이전하여 국내 외부비용을 산정하고 있기 때문이다(한국조세재정연구원, 2018).

마) 그 외 편익

라온프렌즈(2019)는 참여자 요금절감을 에너지효율 향상사업의 편익으로 제시하였다. 그러나 앞서 해외 사례에서 논하였듯이 참여자 요금절감은 한국전력의 수입이 감소한다는 것을 의미하기 때문에, 정책목표에 따른 중요도를 차등화하지 않는다면 두 요소가 상쇄될 수 있다. 따라서 참여자 요금절감을 사회적 관점 또는 총자원비용 관점의 편익으로 볼 수 있는지에 대해서는 전력산업 구조 및 전기요금 결정 방식을 고려한 논의가 필요하다.

부편익으로 분류된 비상발전기 연료비용은 신뢰성 DR 발령 시 비상발전기를 이용해 수요감축요청에 대응하는 경우에 적용 가능하다. KDI(2015)는 비상발전기의 시간당 디젤사용량에 DR 적용시간과 디젤연료가격



을 곱하여 비상발전기 연료비용을 산정하였다.

다. 검토 결과 및 시사점

국내 사례 검토 결과, KEEI(2017b) 및 라온프렌즈(2019)를 제외하면 사회적 관점 또는 총자원비용 관점에서의 분석에 초점을 맞추었다. KEEI(2017b)와 라온프렌즈(2019)는 국내 전력산업 특징을 고려하여 이해관계자를 구분하고 이에 따라 비용 · 편익 항목을 분류하였으나, 아직까지는 해외 가이드라인의 단순 적용에 불과한 상황이다. KEEI(2017b)는 전력공급자(한전)의 편익이 100% 수요관리사업자에게 이전된다는 비현실적인 가정을 적용하여 수요관리사업자의 편익을 분석하였다. 라온프렌즈(2019)는 공급자, 참여자, 비참여자, 총자원비용으로 이해관계자를 구분하였다. 그러나 우리나라의 전기요금 결정방식 상 에너지효율향상사업이 비참여자에게 어떻게 영향을 미칠지 불분명하기 때문에, 이 같은 이해관계자 분류는 현 단계에서는 시기상조인 것으로 판단된다. 따라서 국내 전력산업 특성 및 수요자원거래시장의 운영 방식을 고려하여 향후 DR 시장의 이해관계자를 본격적으로 식별할 필요가 있다.

국내 연구에서는 아직까지 비용 관련 논의가 초보적 수준에 머물러 있다. DR 자원 활용 시 각 이해관계자별로 다양한 유형의 비용이 발생할 수 있기 때문에, 이들 비용에 대한 정량적 · 정성적 고려 없이 DR 시장 참여자 및 정책 의사결정자에게 유용한 정보를 제공하기는 어렵다. 따라서 DR 자원 활용에 어떠한 비용이 수반되는지에 대한 논의가 시작되어야 할 것이다. 먼저, 해외 사례에서 고려된 비용을 살펴보고 이 비용들이 국내 여건에서도 발생 가능한지 검토하는 과정이 필요하다. 다음으로, 국내 여건에서 발생 가능한 비용 항목을 이해

관계자별로 할당하여 DR 시장에 참여하기 위해 각 이해관계자가 어떠한 비용을 지불하는지 체계화할 필요가 있다.

국내 연구에서는 대부분의 공급비용 회피 편익에 대해서는 그 정의 및 정량화 방식에 대한 충분한 논의가 이루어졌다고 판단된다. 그러나 재생에너지 확대와 더불어 그 중요성이 커질 것이라 예상되는 보조서비스비용 회피에 대해서는 아직까지 제대로 논의된 바 없다. 원격 · 자동제어 방식을 활용하는 DR 자원의 개발이 확대될 경우, 보조서비스비용 회피의 가치는 더 커질 뿐만 아니라 극단적 사건에 대응하는 옵션 가치(option value)도 커질 것이다. 따라서 보조서비스비용 회피 및 옵션 가치의 정의 및 정량화 방안에 대한 정책적 · 학술적 논의가 요구된다.

국내에서는 DR 자원 활용을 통해 기대되는 기타 편익에 대한 논의도 아직 미흡한 편이다. 해외 사례에서 소개된 국가들의 도매전력시장과 국내 도매전력시장 간에는 상당한 차이가 존재하므로, 해외 사례에서 언급된 기타 편익이 국내에서도 발생할 것이라 기대하기 어렵다. 따라서 국내 전력시장 특성을 고려하여 <표 3>에 제시된 편익 외에 어떠한 편익을 기대할 수 있는지에 대한 고찰이 필요하다. 예컨대, 에너지 전환에 따라 RPS 이행비용 증가가 예상되므로, DR 자원을 활용하여 RPS 이행비용을 일부 회피하는 효과를 얻을 수 있을 것이다. 또한, DR 자원을 활용하여 수요관리 비즈니스를 확산시키고자 하는 정책목표에 기여할 수 있을 것이다.

4. 맺음말 및 제언

수요자원거래시장의 빠르게 성장하고 DR 자원의 활



용이 확대되는 상황에서, DR 자원의 비용·편익에 대한 체계적인 분석은 수요자원거래시장에 참여하는 각종 이해관계자의 전략 수립에 필요한 기초자료를 제공하여 시장 활성화 및 연관 산업 진흥에 기여할 것이다. 또한, 이러한 분석이 주기적으로 이루어진다면 수급계획 수립, 시장제도 개선방향 도출, 전력공급 최적화 및 에너지비용 절감에도 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 따라서 DR 자원의 비용·편익 분석체계를 조속히 마련하고, 그 분석 결과를 시장 및 정책 관계자에게 제공할 필요가 있다.

DR 자원의 비용·편익 분석체계 마련을 위해서는 먼저 관련 논의가 비교적 활발하게 이루어진 해외 사례를 참조할 필요가 있다. 해외 사례에서 DR 시장의 이해관계자를 어떻게 분류하였는지, 이해관계자별로 어떠한 비용·편익이 발생한다고 보았는지를 두루 검토하여 국내 적용방안을 모색해야 할 것이다. 국내 적용 방안 모색 시에는 전력산업 구조 및 수요자원거래시장 운영 방식이 반드시 고려되어야 한다. 한편, 해외 사례 검토 결과는 분산형 자원 비용·편익을 분석한 국내 사례와 교차 검토되어야 할 것이다. 한국개발연구원에서 일부 분산형 자원에 대해서는 예비타당성조사 지침 및 적용 결과를 제시하고 있기 때문에, 여기에 제시된 편익 항목의 정의 및 정량화 방식에 대해서는 일관성을 유지하는 것이 바람직할 것이다. 또한, EERS 제도 도입과 더불어 에너지효율 자원에 대한 비용·편익 분석체계가 정비될 것이라 예상되는 만큼, 관련 연구동향도 주시할 필요가 있다. 이러한 각종 연구사례를 종합적으로 검토한 뒤, 국내 DR 자원 특성에 맞춰 추가될 수 있는 비용·편익 요소를 검토해야 할 것이다.

DR 자원을 통한 수요관리 목표가 전력수급기본계획에 반영되고 그 활용이 정책적으로 추진되는 우리나라

의 특성을 고려할 때, NESP(2017)의 권고에 따라 정책목표 달성도를 분석에 반영하는 방안도 고민해 볼 필요가 있다. 이 경우, 정책목표는 금전화하기 어려운 경우도 있기 때문에 비용·편익 분석은 비용효과성 분석으로 수정될 수 있을 것이다. 수급 안정성 확보, 신사업 창출, 참여고객 다양화 등 다양한 정책목표가 DR 자원의 비용효과성을 평가하는데 반영될 수 있다. 이러한 평가 방식은 DR 자원의 유형과 활용 방식이 다변화될수록 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

- 라온프렌즈, 에너지공급자 효율향상의무화제도 법제화 영향조사 연구, 한국에너지공단, 2019
- 산업통상자원부, 제3차 에너지기본계획, 2019
- 산업통상자원부·한국에너지공단, 2017년 에너지공급자 수요관리 투자사업 계획(심의위원회용, 2017.3.13.), 2017
- 에너지경제연구원, 국민 DR의 편익 산정 방법론 연구, (주)인코어드 테크놀로지스, 2017a
- 에너지경제연구원, 국민DR 편익분석, 한국전력거래소, 2017b
- 에너지경제연구원, 수요자원의 경제적·사회적비용편익 분석에 관한 연구, 한국전력거래소, 2019
- 이창호, “분산전원의 정의, 역할 및 가치,” 에너지 수급 브리프 Series No.3-4, 2016
- 전력산업연구회, 분산형 집단에너지 전원 활성화를 위한 정책연구, 한국전력거래소, 2014
- 한국개발연구원, 2015년도 예비타당성조사 보고서:



- 스마트그리드 확산사업, 2015
- 한국개발연구원, 공기업 · 준정부기관 사업 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구, 2013
- 한국전기연구원 · 에너지경제연구원, 집단에너지사업 활성화를 위한 전력시장 제도개선 및 지원방안 연구, 한국집단에너지협회, 2015
- 한국전력거래소, 2018년도 전력시장 통계(2019.5), 2019
- 한국전력거래소, 전력시장운영규칙(2019.4), 2019
- 한국조세재정연구원, 발전용 에너지 세세부담금 체계 합리적 조정방안 연구, 기획재정부, 2018
- 〈외국 문헌〉
- Bradley, P., M. Leach and J. Torriti, “A Review of the Costs and Benefits of Demand Response for Electricity in the UK,” Energy Policy, 52, 2013, 312–327.
- Brattle Group, Valuing Demand Response: International Best Practices, Case Studies, and Applications, 2015
- Conchado, A., P. Linares, O. Lago and A. Santamaria, “An Estimation of the Economic and Environmental Benefits of a Demand-Response Electricity Program for Spain,” Sustainable Production and Consumption, 8, 2016, 108–119
- CPUC, 2010 Demand Response Cost Effectiveness Protocols, 2010
- CPUC, 2016 Demand Response Cost Effectiveness Protocols, 2016
- CPUC, California Standard Practice Manual: Economic Analysis of Demand-Side Programs and Projects, 2002
- CPUC, Standard Practice for Cost-Benefit Analysis of Conservation and Load Management Programs, 1983
- DOE, A Framework for Evaluating the Cost-Effectiveness of Demand Response, Prepared for the National Action Plan on Demand Response: Cost-Effectiveness Working Group, 2013
- IEA, World Energy Outlook 2012, 2012.
- NESP, National Standard Practice Manual for Assessing Cost-Effectiveness of Energy Efficiency Resources, 2017
- Oakley Greenwood, Cost-Benefit Analysis of A Possible Demand Response Mechanism, 2014
- 〈웹사이트〉
- 전자신문 홈페이지, <http://www.etnews.com/20190801000279>
- 에너지경제신문 홈페이지, <http://www.ekn.kr/news/article.html?no=440918>

Infographic

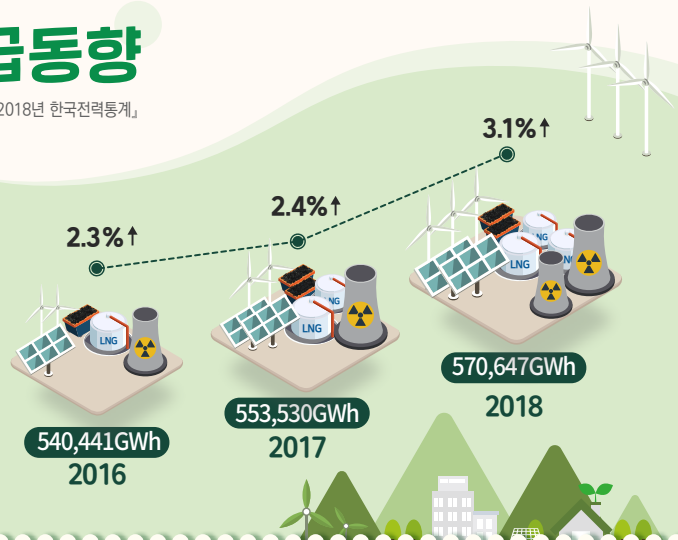
2018년 전력수급동향

* 출처: 한국전력공사, 「2018년 한국전력통계」

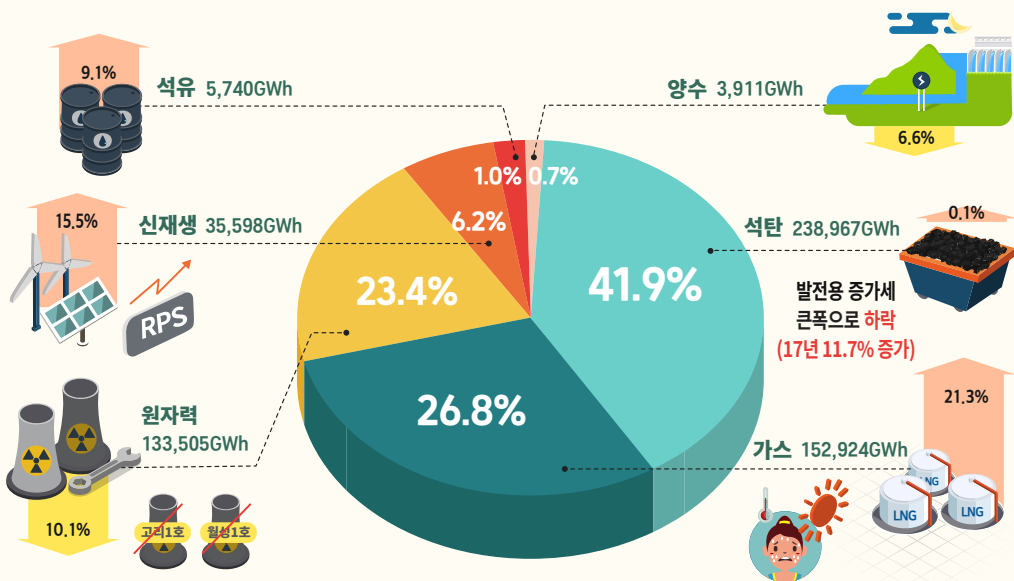
2018년 총발전량

전년대비 3.1% 증가한
570,647GWh를 기록

* 발전사업자 발전량과 상용자가 발전량 중 한전구입량 기준



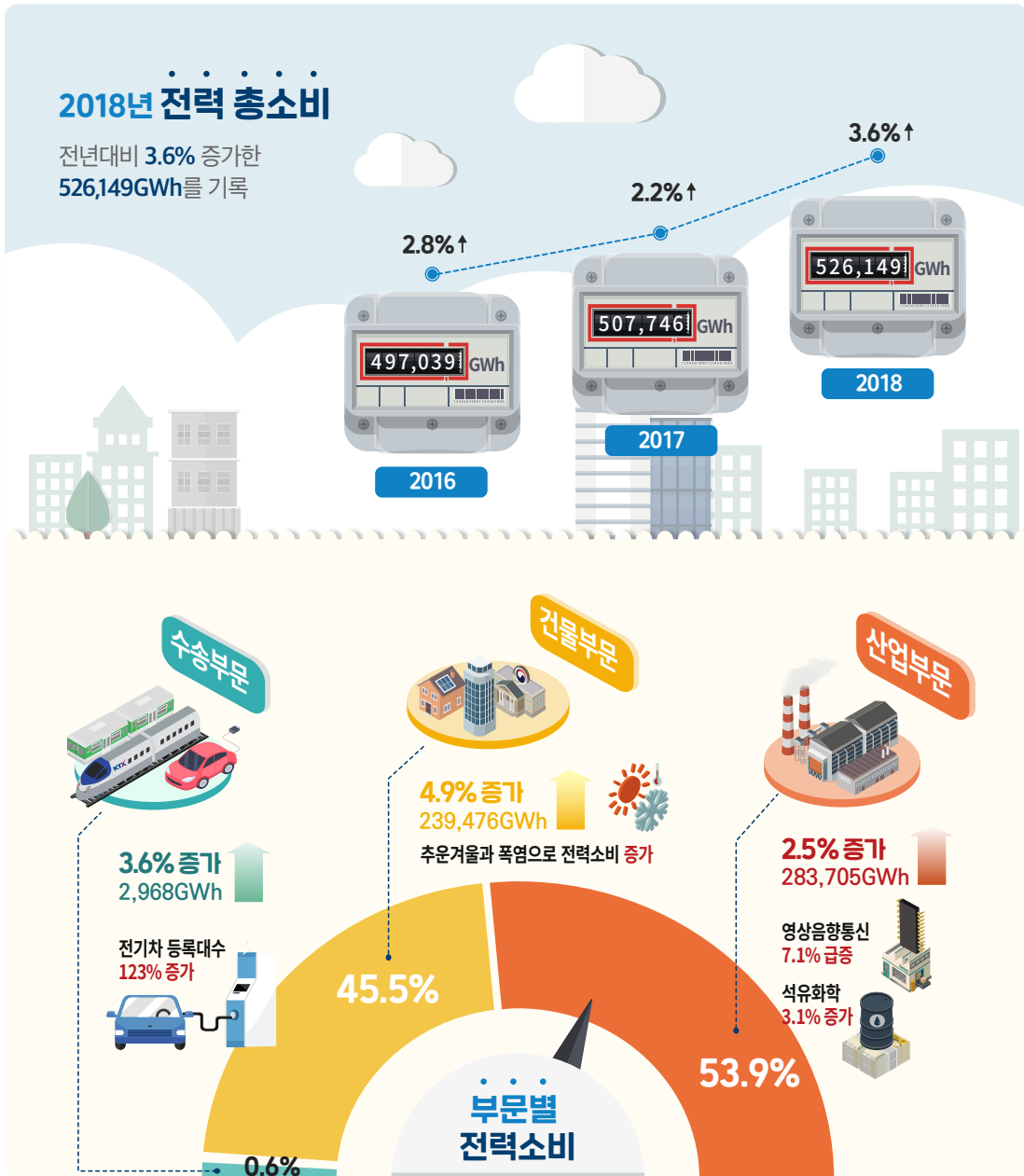
에너지원별 발전량



Infographic

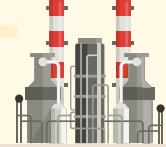
2018년 전력 총소비

전년대비 3.6% 증가한
526,149GWh를 기록





2018년 석유수급 동향 및 2019년 국제원유 시황



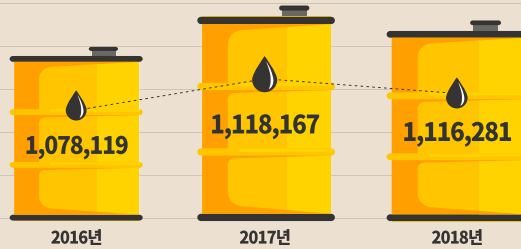
2018년 석유수급 동향

※ 출처: 한국석유공사

총 원유수입량 (단위: 천배럴)

2018년은
전년대비 **0.2%**

※ 정제투입량은
1,106,266천배럴로
전년대비 **1.0%** 감소



2018년 국가별 원유수입

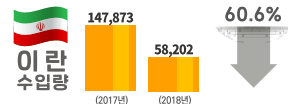
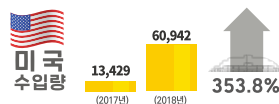
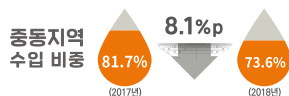
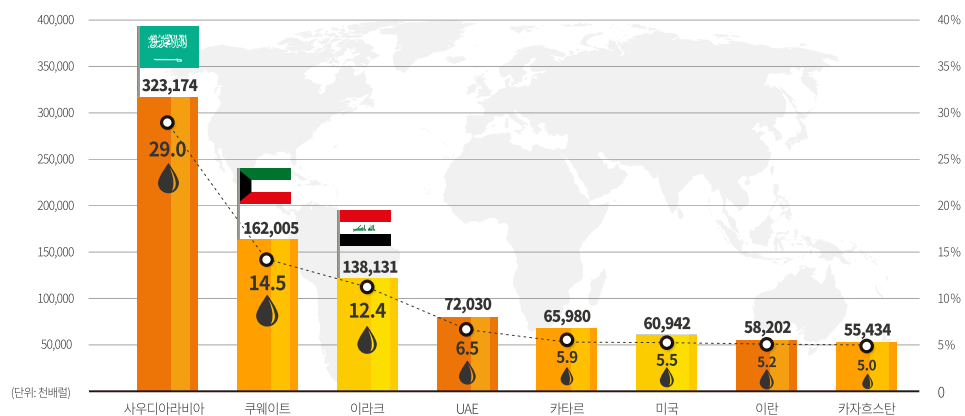


국가별 원유수입량



비중

주: 2018년 원유 수입량 비중 5% 이상 국가



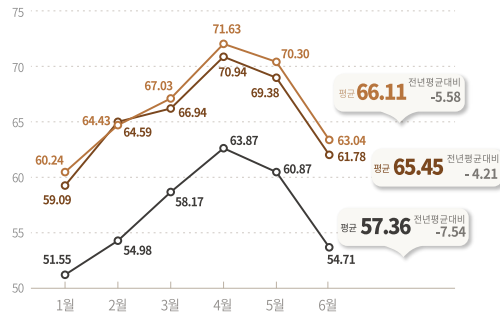
Infographic

2019년 국제원유 시장

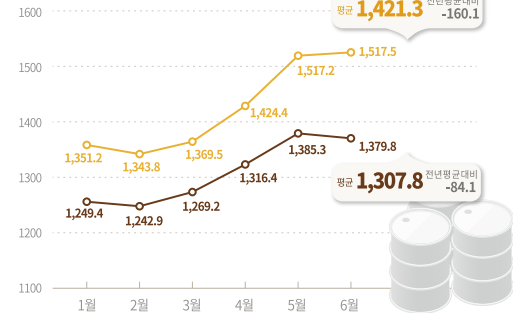
※ 출처: 에너지경제연구원 『2019 하반기 국제원유 시장과 유가 전망』

주요 원유 및 석유제품의 2019년 상반기 가격

(단위: \$/배럴) ● 브렌트 ● 두바이 ● WTI



(단위: 원/리터) ● 보통휘발유 ● 경유

자료: 한국석유공사 Opinet (<http://www.opinet.co.kr/user/main/mainView.do>)상반기 유가하락
주요원인미국 원유생산 증가로
인한 공급과잉미·중 무역 분쟁지속으로
인한 세계경기 둔화 우려

시나리오별 원유가격(두바이유) 전망

시나리오	2019년					2020년		
	1분기(실적)	2분기(실적)	3분기	4분기	연평균	1분기	2분기	상반기
기준유가			61.50	63.10	63.89	61.10	58.05	59.58
고유가	63.41	67.55	67.25	69.30	66.88	68.10	66.90	67.50
저유가			54.15	55.10	60.05	51.50	46.95	49.23

주: 2019년 7월 전망

기준유가 시나리오 주요 내용

- 2019년 하반기 미국-중국 무역 분쟁 심화, 미국-이란 갈등 유지, OPEC+ 감산 지속
- 2020년 상반기 OPEC+ 감산 규모 유지, 미국-중국 무역 분쟁 유지

NEWS

2019 가을호

‘한-몽골 에너지전문가 워크숍’ 개최

일시 2019년 7월 2일

장소 몽골 울란바토르



에너지경제연구원은 2019년 7월 2일 몽골 울란바토르에서 “스마트에너지시스템 부문에서의 한-몽 에너지 협력 방안”이라는 주제로 한-몽 에너지전문가 공동워크숍을 개최하였다. 동 워크숍은 우리나라 기업의 몽골 재생에너지 및 스마트에너지 관련 분야 진출 시의 애로요인 파악 및 스마트에너지시스템 분야의 양국 협력 신규 방향 모색을 목적으로 개최되었다.

기본/일반연구사업
합동 중간발표회

일시 2019년 7월 10일 ~ 12일

장소 에너지경제연구원 별관 2층 대회의실 및 화상회의실



에너지경제연구원은 2019년 7월 10일에서 12일까지 기본/일반연구사업 중간발표회를 합동으로 개최하였다. 과제별 세션을 구성하여 총 13개 세션별로 세미나 형식의 합동발표회가 시행되었으며, 이를 통해 유사 주제 연구 추진에 대한 전문 지식과 경험을 상호 교류하는 자리가 되었다.

개원 33주년 기념 세미나

일시 2019년 8월 30일 14:00
장소 서울 삼성호텔 아도니스홀



에너지경제연구원은 2019년 8월 30일 서울 삼성호텔 아도니스홀에서 '에너지경제연구원 개원 33주년 기념 세미나'를 개최했다. 이번 세미나에서는 정부, 연구기관, 대학 등 국내외 전문가를 초청해 미래 지속가능한 에너지 시스템으로의 혁신에 대해 논의하고 글로벌 에너지 안보 환경변화에 대한 동향을 공유했다. 뿐만 아니라 세션 I에서는 지속가능 에너지시스템으로의 혁신, 세션 II에서는 미래 에너지 사회로의 이행과 우리의 전략이라는 주제로 세미나를 진행했다.

울산혁신도시 공공기관과 함께하는 고교 오픈스쿨 협약식

일시 2019년 9월 3일 11:15
장소 울산광역시교육청 집현실



에너지경제연구원은 2019년 9월 3일 울산광역시교육청 집현실에서 울산교육청과 혁신도시 공공기관 8곳(근로복지공단, 한국동서발전(주), 한국산업안전보건공단, 한국산업인력공단, 한국생산 기술연구원, 한국석유공사, 한국에너지공단, 한국전기 안전공사)과 '고교 오픈스쿨 협약'을 체결했다.

에너지경제연구원 등 6개 기관은 마이스터고, 울산공고, 울산기술공업고 학생 20명을 대상으로 총 30시간의 전기, 기계분야 '에너지/산업 영마이스터 육성과정'(연계형1)을 운영하고 있다.

제11기 차세대에너지리더과정 개강식 개최

일시 2019년 9월 6일 16:00

장소 서울 엘타워 멜론홀



에너지경제연구원은 2019년 9월 6일 서울 엘타워 멜론홀에서 '제11기 차세대에너지리더과정' 개강식을 개최했다. 이 날 개강식에서는 서울대학교 홍종호 교수의 '에너지전환 정책의 도전과 기회'라는 주제로 개강 특강이 이루어졌고, 이어 이번 과정을 통해 에너지 각 부문에 대한 전문성을 강화하고 아울러 문화, 예술, 건강 등 다양한 분야에서 차세대에너지리더로 필요한 자질을 함양할 것을 당부하는 조용성 원장의 환영사가 있었다.

에너지경제연구원 추계 연찬회

일시 2019년 9월 19일 ~ 20일

장소 전라남도 신안군 증도면 엘도라도리조트



에너지경제연구원은 2019년 9월 19일부터 20일까지 전라남도 신안군 증도면 엘도라도리조트에서 추계 연찬회를 개최하고 인권경영 및 직장 내 괴롭힘 방지 교육 등을 실시하였다. 또한 보성녹차밭 탐방, 태평염전 체험활동 등을 통해 부서 및 조직원 간 화합을 도모하였다.

2019 에경연-자원경제학회 정책토론회

일시 2019년 9월 26일~27일

장소 에너지경제연구원 대회의실(별관 2층)



에너지경제연구원은 2019년 9월 26일~27일, 에너지 전환정책 2주년을 맞이하여 그동안의 성과와 이슈 및 현안을 검토하고 지속가능한 추진 방향을 모색하기 위하여, 자원경제학회와 정책토론회를 공동주최했다. 본 토론회에 허은영 서울대학교 교수, 김형건 강원대학교 교수, 김수이 홍익대학교 교수 등 에너지경제연구원 및 자원경제학회 50여 명이 참석하였고, 한국동서발전 울산화력본부, 태화강 국가정원 등에도 현장 방문하였다.

「에너지 포커스」는 에너지와 자원 및 환경분야의 경제·정책·시장과 관련된 주요 이슈의 분석과 국내외 동향을 수록함으로써, 향후 관련 정책의 수립과 사업수행에 관한 정책적 대안을 도출하는 데 기여하고자 계간(비등재 학술지)으로 발간되고 있습니다.

* 본 논문은 KEEI 홈페이지(www.keei.re.kr)에서도 보실 수 있습니다.

제16권 제3호

에너지 포커스 ENERGY FOCUS

발 행 2019년 10월 30일

발 행 인 조 용 성

편 집 인 이 대 연

편집위원 심성희 김윤경 김효정 소진영 이성규 조준상

발 행 처 에너지경제연구원
44543 울산광역시 중구 종가로 405-11(성안동)
전 화 : (052)714-2114

디 자 인 디자인 범신
인 쇄 전 화 : (042)254-8737

※ 파본은 교환해 드립니다.

정가 : 5,000원