

ENERGY FOCUS

에너지 포커스

제6권 제3호 통권33호

2009

가을호

■ 권두칼럼

- 신재생에너지 지원은 성장동력 연계해야

■ 이슈진단

- 연변 조선족 자치주의 신재생에너지 분산전원 잠재력평가 및 투자진출방안
- 유전 개발투자 위축과 석유 공급능력 전망

■ 동향초점

- 그린에너지 클러스터 선진국 사례와 국내 적용방안
- 최근 국·내외 풍력발전 동향 및 성장전략

■ 논단

- 국가 온실가스 배출통계 관리체계 발전방안에 대한 논의
- 미국 전력수요반응 프로그램의 최대수요 감소효과와 시사점
- 에너지절약형 그린카 보조금지원에 대한 정당성 논의
- 중국 원자력발전의 동향 및 전망

■ 원유시장

- 원유시장 동향

ENERGY FOCUS



에너지경제연구원
KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE



KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE
KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE
KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE





ENERGY FOCUS

에너지 포커스

2009년 가을호



Contents

권두칼럼

- 신재생에너지 지원은 성장동력 연계해야 3
에너지경제연구원 원장 방 기 열

이슈진단

- 연변 조선족 자치주의 신재생에너지 분산전원 잠재력평가 및
투자진출방안 4
에너지경제연구원 명예연구위원 김 진 오
에너지경제연구원 초빙연구위원 오 상 면
- 유전 개발투자 위축과 석유 공급능력 전망 14
LG경제연구원 선임연구원 이 광 우

동향초점

- 그린에너지 클러스터 선진국 사례와 국내 적용방안 27
현대경제연구원 연구위원 김 동 열
- 최근 국·내외 풍력발전 동향 및 성장전략 47
산은경제연구소 전임연구원 장 두 석

논 단

- 국가 온실가스 배출통계 관리체계 발전방안에 대한 논의 63
에너지경제연구원 책임연구원 정 경 화
- 미국 전력수요반응 프로그램의 최대수요 감소효과와 시사점 81
에너지경제연구원 연구원 박 찬 국
- 에너지절약형 그린카 보조금 지원에 대한 정당성 논의 99
한국교통연구원 선임연구위원 황 상 규
- 중국 원자력발전의 동향 및 전망 118
에너지경제연구원 책임연구원 심 기 은
에너지경제연구원 위촉연구원 박 은 정

원유시장

- 원유시장 동향 130
에너지경제연구원 연구원 노 남 진

권두칼럼



신재생에너지 지원은 성장동력 연계해야

에너지경제연구원 원장 / 방 기 열

녹색성장의 핵심요소중 하나가 신재생에너지를 확대하는 것이다. 정부는 지난해 국가에너지기본계획 수립을 통해 현재 1차 에너지 소비에서 2.5%에 머무르고 있는 신재생에너지비중을 2030년까지 11%로 늘린다는 목표를 설정했다. 뿐만 아니라, 기술개발과 사업확대를 통해 신재생에너지 산업을 육성하고 이를 통해 일자리도 창출하는 등 성장동력의 요체로도 삼는다는 전략이다.

신재생에너지는 그 이용기술이 아직 충분한 상업화단계에는 도달하지 못해 화석에너지와 경쟁하기는 어렵다. 따라서 어느 정도 경쟁단계에 이를 때 까지 정부가 선도하여 신재생에너지 시장을 창출하고 산업도 육성해 주어야 한다. 그러나 국내 기술수준을 감안하지 않고 신재생에너지의 보급확대에만 주력하다 보면 산업육성이라는 정책지원 효과를 달성하기는 어렵다. 현재 설치된 신재생에너지 시스템의 국산화율은 풍력이 10%, 태양광이 25% 미만에 불과한 실정이다. 이로 인해 신재생에너지 공급이 확대되어도 외국의 기술과 제품이 국내시장을 잠식할 수가 있다. 신재생에너지 보급에 성공을 거둔 독일과 스페인의 경우, 자국이 개발한 기술과 제품을 주로 사용하기 때문에 산업육성에도 크게 기여한 것으로 평가되고 있다.

정부는 시장친화적인 지원정책의 일환으로 2012년부터 신재생에너지 의무할당제인 RPS(Renewable Portfolio Standards)제도를 도입할 방침이다. 그러나 여기서도 간과하지 말아야 할 것은 기술기반이 없는 상태에서의 경쟁제도 도입은 자칫하면 외국의 기술이나 제품이 시장을 선점케 함으로써 국내 산업기반이 약해지는 우를 범할 수도 있다. 따라서 경쟁은 유인하되, 신재생에너지에 대한 국내 기술발전과 산업육성을 촉진하고 이것이 곧 성장동력으로 이어질 수 있도록 제도를 다듬는 것이 중요하다.

그동안 신재생에너지는 보급확대 정책하에 정부의 지원이 당연시되었고, 기업은 기술과 제품을 개발하여 시장에서 승부를 걸려는 노력들이 미흡했다. 이제는 정부의 지원정책도 단순한 자금지원에서 벗어나 기술과 산업발전에 기여도가 높은 기업에게 보다 많은 인센티브가 돌아가도록 제도적 전환이 필요한 시점이다.

연변 조선족 자치주의 신재생에너지 분산전원 잠재력평가 및 투자진출방안

김진오 에너지경제연구원 명예연구위원

오상면 에너지경제연구원 초빙연구원

1. 서론

우리나라 신재생에너지 산업은 연구개발 및 보급 단계를 넘어 상용화 단계에 도달하였으며 향후 협소한 국내시장의 한계를 극복하고 국가경제의 신성장동력으로 성장하기 위해서는 수출산업으로의 전환이 필요하다. 반면 중국은 거대한 신재생에너지 시장잠재력을 보유하고 있는 국가이나 중국의 신재생에너지 시장에 대한 외국기업의 진입을 저해하는 여러 가지 시장진입장벽이 존재한다. 또한 일부 신재생에너지 산업부문에서 중국 신재생에너지 기술의 상용화 단계는 우리나라보다 앞선 부문도 존재한다.

그러나 중국의 방대한 시장규모와 현재 중국정부에 의해 적극적으로 시행되고 있는 신재생에너지 산업발전정책에 비추어 우리 기업들의 중국 신재생에너지 시장에 대한 적극적인 투자 및 연구협력을 통해 접근가능성을 확대하기 위한 노력이 요구된다. 우리 기업들이 접근할 수 있는 투자 및 기술협력 대상가능 지역은 현재 중국 정부가 지역경제 활성화를 위해 적극적으로 외국기업 투자유인정책을 추진하고 있는 중국 서북부지역과 동북 3성 지역일 것으로 보여진다. 특히 동북 3성

은 지역적으로 근접하며 민족적인 유대관계가 깊어 한국기업의 투자진출문제와 연결되었을 때 호의적인 관계설정이 가능한 곳이기도 하다.

본고에서는 연변 자치주의 풍력, 소수력, 태양광 및 바이오매스 분산전원부문의 개발가능 잠재량을 분석하고 이를 통해 동 지역에 대한 투자방안을 분석한다. 에너지경제연구원은 2007년 중 수행한 “연변 조선족 자치주의 신재생에너지 탐색 및 협력방안연구”를 통해 연변 자치주에서의 바이오에너지 협력방안을 제시한 바 있으며, 또한 에너지경제연구원과 연변 자치주 농업위원회 간 MOU를 체결(2008.6.30)한 바 있다. 신재생에너지 분산전원 중 소수력, 태양광, 바이오매스발전의 경우 투자사업 단위의 규모, 건별 전력공급가격 결정방식 등의 문제로 외국인투자가 제한적으로 이루어지고 있으나 풍력발전산업은 중국정부가 중점적으로 육성하는 신재생에너지 산업이며, 우리 정부 역시 향후 국내 산업의 중점적인 육성이 필요한 신재생에너지 산업부문으로 깊은 관심을 가지고 있다. 본고는 동북 3성 지역에서의 한·중 간 신재생에너지 협력모델 개발을 통하여 좁게는 남·북 및 한·중 간, 넓게는 동북아 국가가 상호 상생할 수 있는 신재생에너지 개발 및 보급전

락을 모색하기위해 이루어졌다.

2. 신재생에너지 분산전원 발전잠재량 평가

가. 연변 조선족 자치주 신재생에너지 잠재량

본고에서는 연변 자치주에서 생산 가능한 신재생에너지 분산전원 연구 대상을 소수력, 바이오매스발전, 풍력발전 그리고 태양광발전의 4개 신재생에너지 산업 부문으로 한정하였다. 연변 조선족 자치주의 상기 4개 분산전원 발전잠재량을 분석한 결과 총 1,528MW의 발전시설용량으로부터 연 3,701GWh의 전력공급이 가능한 것으로 추정되고 있다. 구체적으로 소수력발전 620MW(2,130 GWh), 바이오매스발전 37MW(260 GWh), 태양광발전 734MW(1,071 GWh), 풍력발전 137MW(240 GWh)의 추가적인 분산전원 개발잠재량

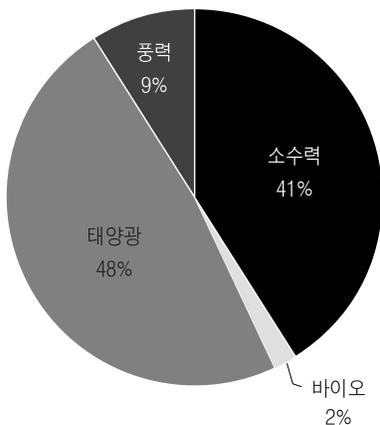
이 있는 것으로 조사되었다. 본 발전잠재량은 2005년 연변자치주 총발전량 2,018GWh의 1.8배에 해당된다. 연변 조선족자치주의 분산전원의 유형별 발전설비용량과 발전량 구성을 보면 [그림 1]과 [그림 2]와 같다.

연변 조선족 자치주의 개발가능 분산전원의 설비용량 구성비는 태양광발전이 48%로 가장 높고, 그 다음으로 소수력발전 41%, 풍력발전 9%, 바이오매스발전 2% 순으로 나타나고 있다. 반면, 발전량 구성을 보면 소수력발전이 57%로 가장 높고, 태양광발전이 29%, 풍력발전이 7%, 바이오매스발전 7%의 순으로 나타난다. 이와 같이 설비용량과 발전량과의 차이가 발생하는 것은 이용율(Load factor)의 차이에서 발생하는 것이다.

나. 중국 길림성의 풍력자원 잠재량

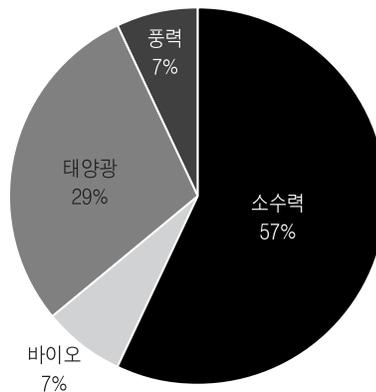
중국 영토의 1/3이 풍력발전 가능지역으로 판단되며, 중국 중앙기상연구소에 의해 이루어진 중국 전 지

[그림 1] 분산전원 유형별 발전설비용량 구성



자료: 현지조사, 연변과학기술대학, 2008

[그림 2] 분산전원 유형별 발전량 구성



역의 개발가능 풍력발전잠재량 조사에서 육상풍력개발 잠재량은 지상 10m 측정치에서 253GW로 추정되었고, 해상풍력잠재량 750GW를 포함하면 총 1,000GW 수준에 이르는 것으로 추정된다. 한편, UNEP는 중국의 개발가능 풍력발전잠재량이 3TW에 이르는 것으로 추정하고 있다.

연변 조선족 자치주가 속해 있는 길림성의 경우 511km² 지역의 지상 10m 높이 풍력밀도가 150W/m²이며, 기술적 풍력발전 개발잠재량은 6,000MW로 추정된다. 중국의 풍력에너지 분포도(그림 3) 참조)를 보면 연변 조선족 자치주는 풍력이 아주 풍부한 1등급 지역은 아니지만 비교적 풍부하거나 이용가능지역으로 평가되고 있다.

중국정부의 풍력발전산업 육성 의지는 중국의 미래 발전전략의 1순위가 석탄이고, 2순위가 수력이며, 3순위가 풍력발전인 점에서도 나타난다. 중국정부의 신재생에너지 개발계획에 나타난 풍력발전설비 설치 목표에 따르면 중국의 총 풍력발전시설용량은 2010년 5GW(이미 달성), 2020년에는 30GW, 2030년에는 150 ~ 200GW가 될 것으로 전망된다. 중국정부의 풍력발전산업 육성정책 동향을 살펴보면 중국정부는 중앙정부 주도로 이루어지는 대형 풍력단지 개발사업인 '풍력발전 특허권사업' 과 동 사업 입찰 참여기업의 평가시 70% 국내부품 의무비율 적용을 통해 강력한 국내 산업 육성정책을 시행하고 있다.

[그림 3] 풍력자원 분포도



자료: China Wind Power Generation Policy and Market Developments, December 2008, IEEJ

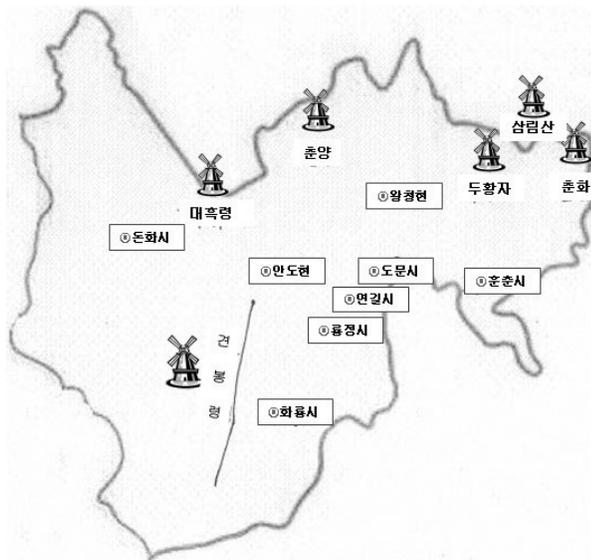
다. 중국의 풍력산업 동향

중국의 풍력발전 가격결정방식에는 입찰가격제도와 승인가격제도 2가지가 상존하고 있다. 입찰가격제도(bidding price)는 풍력발전 특허권사업(Wind Concession Projects)에 적용되며 2006년까지 15개 프로젝트(총 2,400MW)에 대하여 0.38~0.519원/kWh의 전력공급가격이 적용(평균 입찰가격 0.471원/kWh)되었다. 다른 하나는 지방정부 가격국에 의하여 채택된 승인가격(approval price)제도로서 0.42~0.78원/kWh 범위에서 결정되었다(평균 0.59원/kWh, 비입찰 발전가격은 세금포함 0.55~0.65원/kWh, 길림성 승인가격은 0.61원/kWh, 탈황 석탄

발전공급가격은 0.339원이다). 지방정부의 승인가격은 중앙정부의 입찰가격보다 통상적으로 높게 책정되어 왔다.

중국의 풍력시장 및 산업동향을 살펴보면 2006년 말 현재 15개 성에 80여 개의 대형 풍력단지가 조성되어 있으며, 2006년에는 세계 6위 풍력발전설비 보유국이었으나, 2007년 중 급격한 풍력발전설비 투자 증가로 세계 5위 풍력발전설비 보유국이 되었다. 중국정부의 강력한 국내산업 육성정책에 힘입어 중국 국내 제조회사의 국내 풍력발전 시장점유율은 2004년까지는 25% 수준에 불과하였으나, 2007년에는 55.9%로 급격한 시장점유율의 확대가 이루어졌다. 중국의 풍력발전설비 제조회사는 20개 이상의 기업(GoldWind, Zhejiang

[그림 4] 연변자치주 풍력자원개발 가능지역



자료: 현지조사, 중국 연변과학기술대학, 2008.

Yuanda, Sinovel, EastTurbine 등)이 존재한다. 현재 MW급 풍력터빈을 개발 중이나 외국의 주요 풍력발전 기업들의 기술수준과 상당한 격차가 존재하며, 중국 내 풍력발전부문 전문인력도 부족한 실정이다.

라. 연변 조선족 자치주 풍력발전 잠재량 조사

2008년 6월12일, 연변 자치주 상무위원회와 국전통원(國電龍源) 전력집단은 <연변자치주정부와 국전통원 전력집단과 합작하여 풍력발전을 개발하는 프로젝트전략협약>을 체결하여 연변 자치주에서 풍력발전단지 개발 프로젝트를 시작하였으며 연변 자치주 내에서 개발 가능한 풍력발전 설비용량 규모가 100만kW 이상에 달한다고 추정하였다.

2008년 4월에, 국전통원전력집단의 현장답사 결과를 보면 [그림 4]와 같이 왕칭의 춘양(春陽), 두황자(杜荒子); 화룡과 안도의 경계선에 있는 견봉령(顛峰嶺); 둔화의 대흑령(大黑嶺) 및 훈춘의 삼림산(森林山), 춘화(春化) 등 지역의 풍력자원이 풍부하다고 평가하고 있다.

3. 한·중 풍력발전 비교우위성 분석 및 전략적 선택

가. 중국의 풍력발전산업 특징

중국정부는 WTO, FTA와 같은 다자간, 양자간 무역시장 개방압력이 가속화되는 과정에서 국내부품의 무비율 제도를 시행함으로써 국내 풍력산업 육성의 기틀을 마련하는데 일단 성공했다. 그것은 신재생에너지 법 제정 및 각종제도 도입에 의해 안정적인 투자환경이

조성되어가고 있기 때문에 풀이된다. 이는 정부의 안정적인 투자환경 제공으로 국내기업의 시장진입 및 국내 풍력발전 산업육성에 일단 청신호가 켜졌다고 본다. 그러나 기술 know-how나 지적재산권과 같은 포괄적인 기술이전을 유도하지는 못했다는 평가이다.

반면 우리나라 풍력발전 사업은 몇가지 문제점을 안고 있다. 첫째, 조선업, 자동차산업 및 중공업분야에서의 산업발전을 바탕으로 상당한 수준의 정밀기계 생산 및 시스템부문의 경험을 축적했음에도 불구하고 소규모 국내시장의 제약조건이 존재하며, 대규모 풍력발전단지 설계 및 운영경험이 부족한 상태이다. 둘째, 부품산업이 비교적 활성화되어 있긴 하지만 외국 풍력발전업체에 대한 하도급 부품공급업체 역할에 머물러 있다는 점이다.

이런 상황에서 한국기업의 전략적 선택 및 정부의 역할은 무엇인가를 살펴볼 필요가 있다.

첫째, 협소한 국내시장의 한계를 극복하려면 부품생산과 시스템통합(SI)에 우월성을 확보하여야 한다. 세계 풍력발전시장은 오랜 전통을 갖고 기술축적이 이루어진 덴마크, 독일, 스페인, 미국 등 풍력발전 선진국들의 대형 풍력발전기업들이 주도하고 있다. 한국의 풍력발전 기업들과 풍력발전 선도기업 간에는 특히 디자인 및 핵심부품 생산기술 수준의 측면에 상당한 차이가 있으며 이를 극복하기 위해서는 단기적으로 비교우위성이 있는 부문에 우리 기업들이 역량을 집중해야 할 것이다.

둘째, 중장기적으로는 자체 연구개발 혹은 중소기업 유럽 풍력발전기업의 M&A를 통한 핵심부품 생산 기술의 습득이 관건이다. 수많은 중소기업이 자체적으로 보유한 핵심기술을 토대로 대형기업이 주도하고 있는 세계 풍력발전시장에 진입하기 위해 노

력해 왔지만 보급 또는 판매시장에서 열위를 면치 못했던 것은 풍력발전시장에서 진입장벽이 높았다는 증거라 할 수 있다. 이런 시점에서 우리가 취할 수 있는 방법은 핵심부품 디자인 및 생산기술을 보유한 외국의 중소기업 풍력발전기업과 M&A를 통해 주요 핵심기술을 이전 받아 우리의 기술을 한단계 upgrade하는 방식이라 할 수 있다.

셋째, 기술습득, catch-up 및 국내 풍력산업의 형성을 위해서는 정부주도의 대형 풍력발전단지 개발사업 추진을 통해 학습효과 및 규모의 경제를 확보할 수

있어야 한다. 성숙산업에서의 경쟁은 시장에 맡기는 것이 최선이나 아직 유치산업단계에 머물러 있는 국내 풍력산업의 육성을 위해서는 정부의 R&D지원과 산업화 기초 인프라구축이 필수적이다.

나. 한·중간 비교우위성 검증

중국과 한국 풍력산업의 비교우위성을 검토해 보기 위하여 [표 1]과 같이 14개 요소를 설정하고 한국과 중국의 관련 풍력제조회사들의 특징을 조사하였다.

[표 1] 중국과 우리나라기업의 비교우위성 검증

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Goldwind	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Sinovel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Windey	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
DEC	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
XEMC	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Huayi	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
CCE	●	●	●	●	●	○	○	●	○	●	●		●	●
Miracle	●	●	●	●	●	○	○	●	○	●	●		●	●
TBEA	●	●	●	●	●	○	○	●	○	●	●		●	●
Sinoma	●	●	●	●	●	○	○	●	○	●	●		●	●
CZE	●	●	●	●	●	○	○	●	○	●	●		●	●
SHHE	●	●	●	●	●	○	○	●	○	●	●		●	●
TWBB	●	●	●	●	●	○	○	●	○	●	●		●	●
Global	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Unison	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Hajin	●	●	●	●	●	○	○	●	○	○	●		●	●

Note: ● General ● better ● Superior ○ Non choice

A-Technology acquiring type: B-Financial Strength: C-Technology Mature Degree: D-R&D&M Capability, E-Patent and Certificate: F-Development Achievement: G-Developing Potential in the future: H-Consistent production capability of internal self-supporting: I-Consistent production capability of using outside resource: J-Technology Service (described in letter): K-Enterprise Background Resource: L-Cost(qualitative analysis): M-Capability of Pront Ability: N-Integral Evaluation Result

자료: ZhuangXing, Study on Potential Cooperation Opportunities of Wind Power between China and Korea, KEEI, 2008, 9

그 결과 중국의 5개 기업과 한국의 2개 기업이 비교적 우수한 경쟁력을 보유한 기업으로 평가되었다. 양국의 우수기업들은 강력한 재정적 능력보유, 오랜 전통을 바탕으로 탄탄한 기업 이미지 보유, MW급 R&D 능력과 국내생산경험 및 대형 풍력단지 개발실적 보유, 미래발전전망이 높은 것으로 평가된다. 반면 중국과의 차이점은 한국이 Tower 부문 등에서 생산 및 수출능력, 핵심부품 제조역량(자동차 및 선박산업 부품제조기술), 세계 풍력시장 진출을 위한 전략과 비전을 보유하고 있다는 것 등으로 나타났다.

이와 같이 한국기업이 중국기업에 비하여 부품산업, software 기술부문에 비교우위성을 확보(풍력자원조사평가, 터빈디자인, 망연계 운영규정, 인력양성 프로그램, 전략적 제휴에 대한 열린 경영체제 등)하고 있음이 발견된다.

다. 우리나라 풍력산업의 전략적 선택

[표 2]에서 보는 바와 같이 우리나라 풍력산업은 풍

력발전 선도국과 후발국 개발전략모형을 접목시키는 것이 되어야 한다. 중국은 이미 거대한 자국 내수시장을 기반으로 시스템과 부품생산 능력을 동시에 강화하고 있다. 따라서 우리나라의 풍력산업 개발모델은 시스템 경쟁력(덴마크형) + 부품산업 경쟁력(핀란드, 스웨덴형)을 통합하는 방향으로 차별화하여야 한다.

4. 한·중 풍력발전산업 협력 및 투자진출방안

가. 협력방안

중국과의 협력가능분야로서 한국기업이 비교우위성이 있는 사업을 발굴하여 상호 협력을 통한 한·중 간 전략적 제휴를 모색하는 방법이 있다. 특히 한국기업이 상대적으로 비교우위성을 확보하고 있다고 평가되는 software 부문의 협력가능성을 높다고 할 수 있다. 구체적으로 인력기능면에서 중국은 재생에너지 발전전력 기술연구나 개발주체의 전문성 부족으로 디자인, 제조,

[표 2] 풍력산업의 선도국과 후발국과의 특징

구분	국가	자국 시장	시스템 경쟁력	부품 경쟁력	비고 및 전략
先 導 國	독일,스페인,미국	大	大	大	풍력산업화 성공
	덴마크	小	大	小	부품은 outsourcing
	핀란드, 스웨덴	小	小	大	부품을 시스템 국가에 수출
後 發 國	중국, 인도	大	小	小	자국시장을 기반으로 시스템 및 부품 경쟁력 동시에 강화 중
	한국	小	小	中	해외 시장 진출을 목표로 빠른 시스템 경쟁력 강화와 순차적 부품 경쟁력 강화

자료: 신재생에너지 산업화촉진방안연구, 삼성경제연구소, 2008. 9.26

시험 그리고 설치, 운전 수리에 대한 훈련이 필요한 단계에 있기 때문이다. 자원평가기능면에서는 중국에는 아직 신뢰할 수 있는 지역별 풍력자원 평가자료가 부족하며 상세한 자료로 없이는 풍력단지 프로젝트 승인, 입지선택, 프로젝트 기획 과정의 장애요인 극복이 곤란하다.

또한 중국 국영전력사와의 공동 풍력단지 개발사업 추진, 중앙정부의 풍력발전 특허권사업이 아닌 동북 3성 지방정부와의 풍력단지 개발사업을 추진하는 방안 등이 한국 기업들의 중국 풍력발전시장 진출전략으로 고려해야 할 사항이라고 할 수 있다. 이런 점을 감안하여 중국 풍력발전부문에 대한 접근을 시도한다면 한·중 간 협력가능한 분야가 도출될 수 있다고 본다.

나. 투자진출방안

중국의 풍력발전부문에 진출하기 위해서는 현지투자가 요구되며, 성공적인 투자를 위해서는 기술 및 설비생산 측면에서 상호보완성이 존재하는 한·중 기업 간의 협력 확대와 동북 3성 지역에서의 풍력발전사업을 아우를 수 있는 정부 간 협력이 요구된다. 그러나 한국기업들의 대형 풍력단지 개발사업을 주도할 수 있는 역량이 초기단계 수준에 머무르고 있을 뿐이며 중국의 급격한 경제발전과 기술습득으로 중국과 한국 간의 기술 및 자본 측면에서의 보완성이 점차 감소되고 있는 것도 사실이다. 제도적인 측면에서는 중국정부의 국내 부품 의무비율이 동 지역에서의 생산활동을 요구하나 과거 에너지부문에 대한 중국투자 실패의 경험 등 요인으로 현재 국내기업들의 진출에 대한 의사결정에는 부정적으로 작용하고 있는 것도 사실이다.

그러나 현재 양국이 생산 및 설치 중인 풍력터빈 용

량이 유사하다는 점을 감안하면 풍력발전 기반산업이 존재하며, 개발가능 육상풍력자원의 규모가 우리나라 보다 큰 동북 3성 지역을 대상으로 다음과 같은 방식의 한·중 협력이 이루어질 경우 한국 풍력발전산업의 발전에 제약조건으로 작용하던 협소한 시장규모의 문제를 해결할 수 있다.

첫째, 중국 조선족 자치주의 산업기반이 대형 풍력발전산업의 발전을 위한 기반시설이 극히 미비되어 있고, 또한 대형 구조물의 운송에 필요한 항구에 대한 접근성이나 철도망 등의 기반시설 인프라구축도 부족한 상태이다. 길림성에는 현재 풍력터빈이나 부품제조업체가 없으며, 요녕성의 대련, 심양 등 물류여건이 좋은 대도시 지역에 풍력발전 생산기지로 활용할 수 있을 것이다. 풍력발전 전문기술인력 공급의 문제는 상대적으로 문화적, 사회적 동질성을 유지하고 있는 동북 3성 지역의 고급 전문인력을 활용할 수 있다. 특히 연변 조선족 자치주는 연변과학기술대학 등의 교육기관을 활용하여 신재생에너지 전문인력을 양성할 수 있는 인재양성센터로 활용가능하다.

둘째, 중국의 국내부품 의무비율(70%)에 따른 현지 생산 및 조립공장 운영의 필요성, 완제품 및 부품에 대한 차별관세제도(부품에 대한 우대 수입관세 적용), 기타 세계 및 금융 우대정책을 고려한다면 투자여건이 양호하다. 특히 동북 3성은 중국 정부가 지역경제 균형발전 정책의 일환으로 적극적으로 외국인투자를 장려하는 지역이므로 지역정부와의 협력을 통해 우호적인 투자환경을 조성할 수 있을 것으로 보여진다.

셋째, 지속적인 기술개발을 통해 핵심부품 및 소프트웨어 부문의 비교우위를 확보하여 중국기업과의 전략적 제휴 및 수출 전진기지화하는 방안도 모색할 필요가 있다. 따라서 대부분의 풍력발전단지 개발을 주도

하는 주요 중국 국영발전사와의 전략적 제휴를 통한 진출 전략이 필요하며, 중국 중앙정부의 동북지역 개발 사업을 적극적으로 활용할 수도 있을 것이다. 그리고 특히 중국의 풍력단지 개발경험이 있는 한전과 국내부품업체와의 컨소시엄 형성을 통한 동반진출전략도 하나의 방안이다.

동북 3성 지역에서의 한·중 간 풍력발전사업 협력 및 투자진출은 우리나라가 장기적으로 북한과의 관계 개선 및 동북아시아 에너지협력이 활성화될 경우 우리나라 기업의 동 지역 진출을 위한 발판을 마련할 수 있을 뿐 아니라 동북 3성 지역을 함께 아우르는 신재생에너지 사업진출의 허브로서의 역할을 수행할 수도 있을 것으로 기대된다.

본고를 통하여 신재생에너지 분산전원 발전잠재량이 연변 자치주 총 전력소비량의 1.8배에 이르는 것으로 파악되어 개발잠재량이 상당히 높은 것으로 평가되었다. 그리고 연변 자치주의 고등교육기관을 통한 풍력발전 기술전문인력 양성을 통해 우리 기업들의 신재생에너지 분산전원 사업 참여시 우수한 기술인력의 공급 기지가 될 수 있을 것으로 전망된다.

중국의 풍력발전산업과 비교우위성 검증을 통하여 우리나라 풍력발전 산업이 취해야 할 산업발전전략 모형으로 덴마크형 시스템 통합과 핀란드 및 스웨덴형 부품산업 경쟁력 확보전략을 제시하였다. 동북아 에너지 협력모형 구축을 위해서는 먼저 인종적, 문화적 동질성을 유지하고 있는 연변 자치주 및 동북 3성과 협력방안을 모색하고, 이를 동북아시아 전체에 적용할 수 있는 협력모델로 확대해 나간다면 미래 동북아 에너지공동체 형성에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

〈 참고문헌 〉

〈 국내 문헌 〉

김진오·오상면, 2007, 연변조선족자치주의 신재생에너지자원 탐색 및 협력방안 연구, 에너지경제연구원
 박세근, 2008, 중국의 풍력발전 현황과 전망, 한국수출입은행
 산업자원부·에너지관리공단, 2007, 신재생에너지 2030 RD&D전략(풍력)
 이민식, 2008, 세계 풍력발전산업의 동향 및 전망, KDB
 정환우, 2006, 중국 동북 3성 지역의 발전전망과 진출 시사점, 한국무역협회 무역연구소
 지식경제부, 2008, 신재생에너지 산업촉진방안 연구
 한기주 외, 2006, 중국의 에너지산업 현황, 전망 및 정책방향, 산업연구원 Issue Paper 2006-211

〈 중국 자료 〉

과학기술부 사무실 및 국제기술경제연구소 세계선두 기술발전보고 2007, 2008, 과학출판사
 국제에너지망(<http://www.in-en.com>)
 심화, 2008, 중국 국내외건축에서의 태양에너지 에너지이용의 상황분석, 현대 기업문화 2008년 14기(총 90기).
 연변 자치주 기상국, 중국날씨망 (<http://www.weather.com.cn>)
 연변 자치주통계국 연변통계년감 2007, 인민출판사 2007.8
 연변 정보망(<http://www.yb983.com>)
 연변 조선족자치주 발전개혁위원회

- (<http://www.ybxx.gov.cn>)
- 연변 주 상무국(<http://www.yanbiancom.gov.cn>)
- 연변 주 지방수력발전관리소
- 중국 과학기술협회 및 중국 자연자원학회 자원과학학
과발전보고 2006~2007, 중국 과학기술출판
사, 2007. 3.
- 중국 기상과학연구원(<http://cams.cma.gov.cn>)
- 중화인민공화국 상무국(<http://www.mofcom.gov.cn>)
- 중국 산업지도편집위원회 및 중국 경제경기감측센터
중국 에너지산업지도 2006~2007, 2007, 사회
과학문헌출판사
- 중국 산업지도편집위원회 및 중국 경제경기감측센터
중국산업지도 2007~2008, 2008, 사회과학문
헌출판사
- 중국 환경에너지망(<http://worldenergy.com.cn>)
- 〈외국 문헌〉**
- Baker & McKenzie, 2007, RELaw Assist
Renewable Energy Law in China
- CREIA-Greenpeace-GWEC, 2006, A Study on
the Pricing Policy of Wind Power in
China
- GWEC, 2008, Global Wind 2007 Report
<http://www.wilsoncenter.org/>
- IEA, 2008, Empowering Variable Renewables
- IEA, 2008, World Energy Outlook 2007
- Industry Canada, 2005, Wind Power: Capitalize on
Opportunities in a growing Canadian
Industry
- J. Lewis, 2007a, A Comparison of Wind Power
Industry Development Strategies in Spain,
India and China
- J. Lewis, 2007b, A Review of the Potential
International Trade Implications of Key
Wind Power Industry policies in China
- J. Li., 2007, China Wind Power Report, China
Environmental Sciences Press
- Li Junfeng and Ma Lingjuan, 2007, In Focus:
China's Wind Industry, Renewable Energy
Focus Sept./Oct. 2007 pp46-48
- L. Schwartz, 2008, China's Renewable Energy
Industry
- J. Szarka & I. Bluhdorn, 2006, Wind Power in
Britain and Germany: Explaining
Contrasting Development Paths,
Anglogerman Foundation for the Study of
Industrial Society
- REN21, 2008, Renewables 2007; Global Status
Report
- Z. Wang외, 2007, Review and Evaluation of the
Implementation of the Renewable Energy
Law of China, reeep-CREIA
- R. Wiser 외, 2007, Using the Federal Production
Tax Credit to Build a Durable Market for
Wind Power in the United States, Ernest
Orlando Lawrence Berkeley National
Laboratory(LBNL-63583)
- X. Zhuang, 2008, Analyzing the Competitive
Advantages for Sino-Korean Wind
Power Enterprises, Northeast Asia
Energy Focus Vol.5 No.4

유전 개발투자 위축과 석유 공급능력 전망



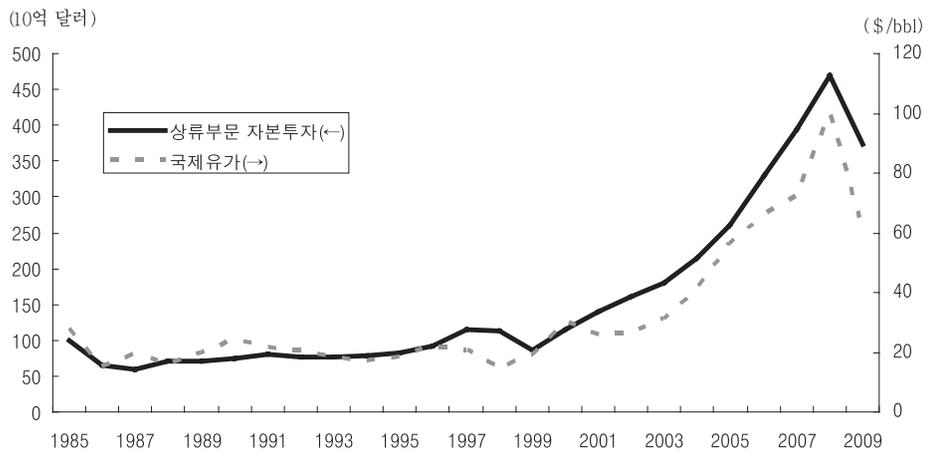
이 광 우
LG경제연구원 선임연구원

1. 서론

세계 경제가 적어도 내년부터 회복세를 나타낼 것으로

예상됨에 따라 세계 석유수요도 개도국을 중심으로 증가할 것으로 보인다. 이러한 가운데 국제 석유시장에서는 유전 개발투자 감소에 따른 원유 공급능력의 부족

[그림 1] 국제유가와 유전 개발투자 추이



주: 상류부문은 유전, 가스전의 탐사 및 개발 사업을 의미

2009년 국제유가는 EIA가 7월에 발표한 WTI 연평균 유가(배럴당 60.4 달러)를 적용

상류부문 자본투자는 IEA의 전망치

자료: IEA, "The impact of the financial and economic crisis on global energy investment," 2009. 4
EIA, "Short term energy outlook," 2009. 7

에 대한 우려가 대두되고 있다. 원유수요가 늘어나는 데 반해 공급이 정체될 경우 2008년 상반기와 같은 에너지위기가 재현될 수 있기 때문이다. 이르면 2011년부터 공급 차질이 발생할 것으로 예상되는 등

〈표 1〉 세계 50대 에너지기업의 투자계획

	2008년 (십억 달러)	2009년 (십억 달러)	연간 증가율 (%)
PetroChina	34.1	34.3	0.3
Shell	32.0	31.0	-3.1
Gazprom	31.9	25.7	-19.4
Petrobras	29.1	28.0	-3.7
Exxonmobil	23.9	24.9	4.3
Chevron	22.8	19.7	-13.5
BP	22.0	19.0	-13.6
ConocoPhillips	19.1	12.5	-34.8
Total	18.3	18.2	-0.5
Pemex	18.0	20.4	13.3
Sinopec	15.8	16.4	4.2
StatoilHydro	13.6	14.0	2.3
Eni	12.2	12.2	.7
Lukoil	11.1	5.1	-54.4
Devon Energy Corp	9.4	4.5	-52.0
Rosneft	8.7	6.5	-25.3
Repsol	8.2	8.5	3.7
Marathon	7.4	5.5	-25.1
Encana	7.4	5.7	-23.3
Occidental	6.8	3.5	-48.2
Canadian Natural Resources	6.4	2.7	-57.2
Apache	5.9	3.4	-43.5
Anadarko	5.3	4.2	-20.8
Talisman	5.2	3.2	-39.9
CNOOC	5.1	5.7	11.8
상위 25개 기업	379.8	334.8	-11.9
하위 25개 기업	133.2	107.2	-19.5
50대 기업 전체	513.0	442.0	-13.8

자료: IEA, "The impact of the financial and economic crisis on global energy investment," 2009. 4

연구기관에 따라 공급능력에 대한 전망이 상이한 상황이다.

본고에서는 유전 개발투자 위축의 정도와 영향을 살펴보고 향후 공급불안의 발생 가능성을 점검해 본다.

2. 유전 개발투자의 동향과 전망

가. 유전 개발투자의 최근 동향

지난 5년간 유전 개발투자 규모는 세계 석유수요 증가에 따른 국제유가의 상승세 지속, 글로벌 유동성 확대에 의한 저비용 자금조달 환경 등을 발판으로 연평균 21%씩 증가해 왔다.

그러나 활기를 띠던 유전 개발투자는 2008년 9월부터 글로벌 금융위기가 심화되면서 10년 만에 위축세로

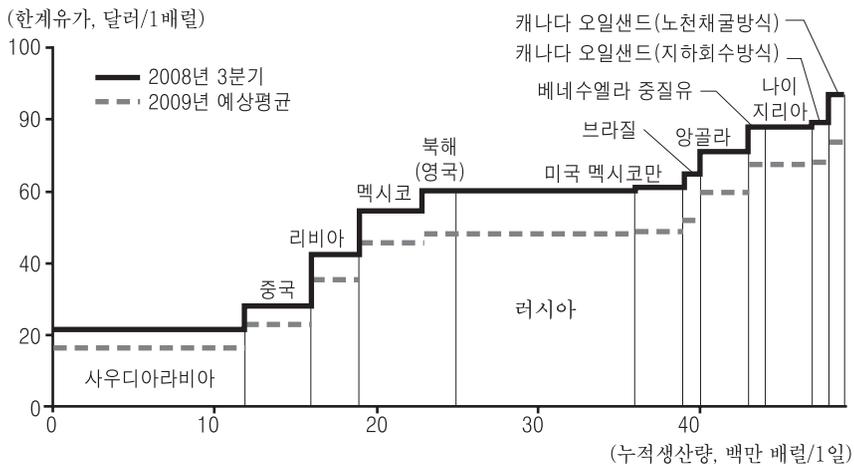
전환되었다. 금융 시장에서는 자금조달 비용이 급등하였고 국제 석유시장에서는 25년 만의 수요 감소로 국제유가가 2008년 연말 배럴 당 31달러(WTI 기준)까지 급락했기 때문이다. IEA, Barclays Capital 등 주요 에너지 연구기관과 구미 금융기관(IB)들은 저유가와 신용경색으로 인해 유전의 탐사·개발등 상류부문에 대한 투자가 2008년 대비 10~20% 줄어들 것으로 보고 있다(그림 1, <표 1> 참조).

나. 유전 개발투자 위축의 분류별 특징

1) 크게 위축되고 있는 심해 및 오일샌드 유전 개발

일반적으로 유가가 하락할 때 석유기업들이 가장 먼저 투자를 축소하는 부문은 유전 탐사사업이며, 다음으로는 완료 기한이 많이 남아 있는 유전 개발사업이다.

[그림 2] 주요 산유국의 한계유가 수준



자료: CERA, "Long aftershock," 2009. 3

또한 한계생산 비용이 높은 유전 개발사업도 우선 축소의 대상이 된다.

CERA(Cambridge Energy Research Associates)의 조사에 따르면 브라질, 나이지리아, 멕시코만 등의 신규 심해유전 사업의 한계유가(경제성을 보장하는 최소한의 유가 수준)는 60달러 이상, 캐나다의 오일샌드 개발사업은 90달러 내외로 추정되고 있다. 이에 비해 사우디아라비아 등 중동 지역의 한계유가는 20~50달러로 추정된다. 2009년 상반기의 국제유가가 WTI 기준으로 배럴당 51달러인 점을 고려해 볼 때 심해 유전이나 오일샌드의 개발사업이 크게 위축되고 있음을 짐작할 수 있다(그림 2 참조).

실제로 IEA가 최근 조사한 결과에 따르면 이번 글로벌 금융위기 이후 취소되거나 연기된 캐나다의 오일샌드 개발 사업규모는 2009년 4월까지 1,500억 달러에 이르며 이는 1일 원유 생산량 170만 배럴(2008년 1

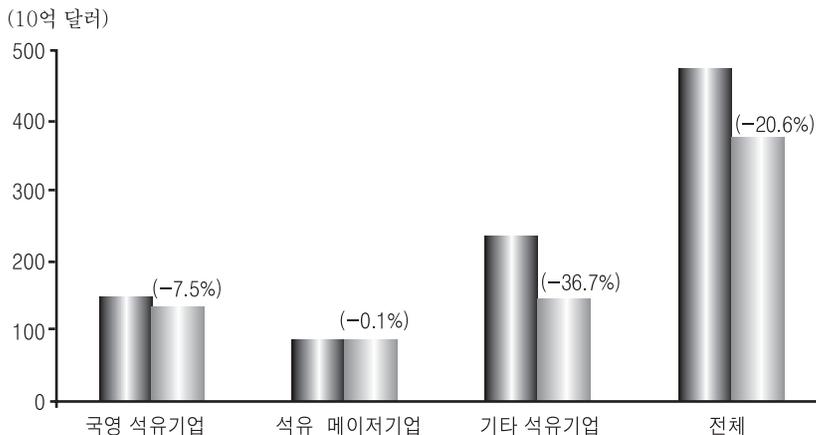
일 원유 생산량의 약 2%)에 해당한다.

2) 중소형 기업의 유전 개발투자 위축이 가장 심해

유전 개발투자의 위축은 유전의 채산성이나 개발 단계뿐만 아니라 사업 참여자인 석유기업의 자금조달 능력에 따라 서로 다르게 나타나고 있다. 모든 석유기업들이 유가 하락에 따른 채산성 악화를 경험하고 있지만 신용경색 때문에 석유기업들의 자본 조달 구조에 따라서도 유전 개발사업의 투자 위축 정도가 크게 달라지고 있는 것이다.

석유 메이저 기업들은 유동비율(유동부채 대비 유동 자산)이 115%(2009년 1분기 기준, ExxonMobil, BP, ConocoPhillips, Chevron 등 4개 석유 메이저 기업 유동비율의 평균값)로 높고 차입금 비중(자산 대비 차입금)이 22%로 낮아 재무 상황이 안정적이기 때문에 신

[그림 3] 석유기업 분류별 유전 개발투자



주: ()안은 2008년 대비 2009년의 투자 증가율, 2009년 투자는 IEA의 전망치
 자료: IEA, "The impact of the financial and economic crisis on global energy investment," 2009. 4

용경색에 따른 투자 위축은 제한적인 것으로 보인다.

사우디아라비아, 러시아 등 주요 산유국의 국영 석유기업들도 정부로부터 자금이나 채무 보증 등의 지원을 받고 있기 때문에 자본조달 사정이 크게 나빠지지 않은 것으로 보인다.

그러나 유전 개발투자 자금을 주로 외부로부터 조달하는 중소 규모의 석유기업들은 신용경색에 따른 자금 조달 상황 악화와 저유가로 인한 자금조달 능력 저하로 유전 개발사업의 추진이나 계획에 큰 어려움을 겪고 있다(그림 3 참조).

력을 고려해 볼 때 OPEC 지역 보다는 비OPEC 지역에서 유전 개발투자가 더 크게 위축되고 있음을 알 수 있다. OPEC 지역은 원유의 한계생산 비용이 낮고 국영 석유기업이나 석유 메이저들이 주로 사업을 진행하고 있는 데 비해 비OPEC 지역 유전은 심해유전, 오일샌드 등 한계생산 비용이 높은 경우가 많을 뿐 아니라 자금조달에 어려움을 겪고 있는 중소형 석유기업들이 개발사업에 참여하고 있는 경우도 많기 때문이다. 특히 오일샌드가 매장돼 있는 북미 지역의 경우 중소형 석유기업들이 많이 참여하고 있기 때문에 유전 개발투자의 위축이 가장 크게 나타나고 있다(그림 4 참조).

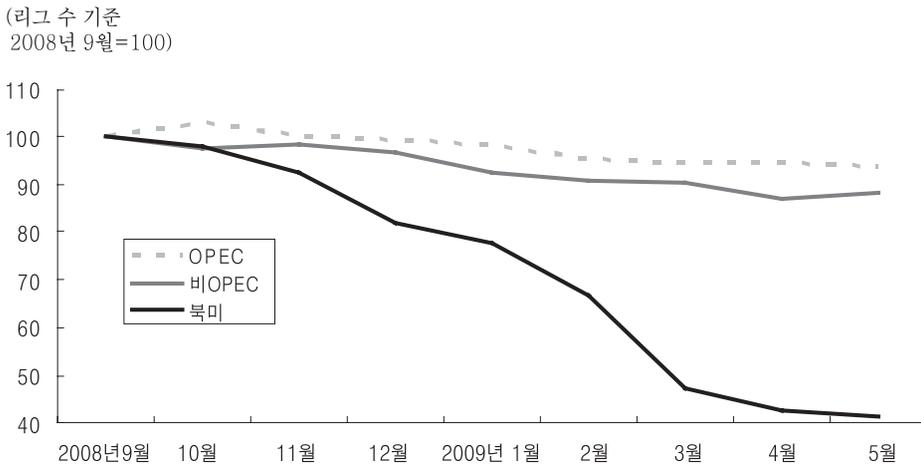
3) 북미 등 비OPEC의 투자가 크게 위축

다. 유전 개발투자 전망

이에 따라 유전 개발의 수익성이나 기업의 투자 능

북미 등 비OPEC을 중심으로 위축되고 있는 유전

[그림 4] 지역별 유전 개발투자 위축상황



주: 리그(rig)는 유정(油井) 굴착 장치를 뜻함.
 리그의 수는 유전 개발투자 활동의 대리변수(proxy variable)로 사용
 자료: Baker Hughes, On line DB(http://investor.shareholder.com/bhi/rig_counts/rc_index.cfm), 검색일(2009년 7월 20일)

개발투자의 회복세 전환은 수요 증가에 기반한 유가 상승이라는 국제 석유시장의 불확실성 해소와 유전개발 비용의 조정이 이뤄진 후에 가능할 것으로 보인다.

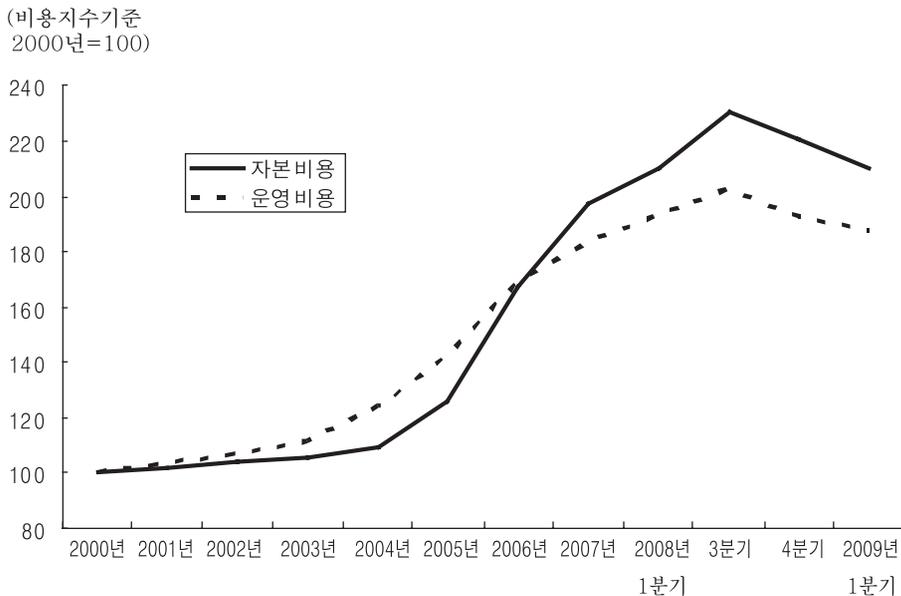
유전 개발투자를 판단하는 기준으로 원유 생산시점에서의 국제유가와 한계생산 비용의 차이로 결정되는 채산성을 들 수 있다. 장기적으로 미래의 국제유가는 미래의 석유수요와 공급에 의해 결정되는데 석유수요는 글로벌 경제와 각국 정부의 에너지정책에, 석유공급은 석유 매장량과 유전 개발투자의 영향을 받고 있다.

현재로서는 미래 석유수요의 불확실성이 매우 높은 상황이다. 글로벌 경제의 미래가 여전히 불투명한 상황이고 정부의 에너지정책에 영향을 미칠 '포스트-교토 협약'에 대한 협의가 올해 연말에 개최될 예정이기 때

문이다. 미래석유 수요의 불확실성은 '포스트-교토 체제' 구축 협의가 완료되고 글로벌 경기가 본격적인 회복세를 나타낼 것으로 예상되는 내년 하반기를 전후해서 점진적으로 해소될 것으로 전망된다. 저유가로 인한 채산성 악화 속에서 장기 국제유가를 가늠하기가 어려운 상황에 놓인 석유기업들이 내년 상반기까지 유전 개발투자를 적극적으로 하기는 어려울 것으로 보인다.

또한 유전 개발사업의 채산성에 영향을 미치는 유전 개발 비용이 하락세를 보이고 있는 점도 석유기업들이 유전 개발투자를 미루는 요인이 되고 있다. Global Insight와 CREA가 조사·발표하는 'IHS-CERA 상류 부문 자본비용 지수'를 살펴보면 유전 개발에 필요한 자본 비용은 빠르게 상승해 오다 2008년 4분기부터 하

[그림 5] 유전 개발비용 추이



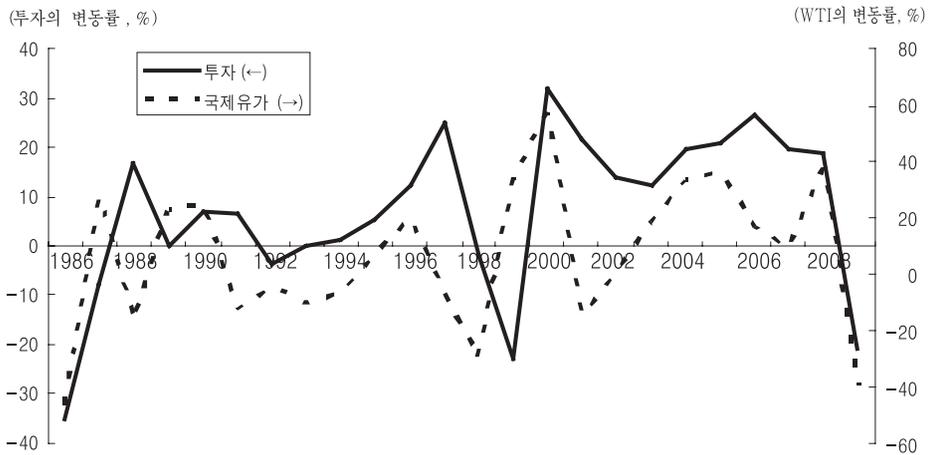
자료: HIS, On line DB(<http://www.ihsindexes.com/>), 검색일(2009년 7월 20일)

락하고 있다(그림 5 참조). 이러한 유전 개발비용의 하락은 철강, 시멘트와 같은 원자재 가격의 하락 등에 의해 발생하고 있다. OPEC은 유가가 1년 정도의 시차를 두고 유전 개발비용 하락에 영향을 미치는 것으로 추정하고 있다. 국제유가가 저점을 확인한 이후 상승세

가 나타난 시기가 2009년 4월부터이기 때문에 유전 개발비용의 하락은 2010년 상반기까지 이어질 것으로 예상된다.

이와 같이 국제 석유시장의 불확실성과 유전 개발비용의 하락세 지속이 예상되기 때문에 유전 개발투자

[그림 6] 국제유가와 유전 개발투자



주: 2009년 국제유가는 EIA의 7월 전망치(WTI 연평균 유가, 배럴당 60.4 달러)를 적용
 상류부문 자본투자는 IEA의 전망치
 자료: IEA, "The impact of the financial and economic crisis on global energy investment," 2009. 4
 EIA, "Short term energy outlook," 2009. 7

<표 2> 국제유가와 유전 개발투자 간의 상관관계

설명변수	계수	T 값
현재의 국제유가*	0.262	2.63
1년전의 국제유가**	0.367	3.41
2년전의 국제유가	0.080	0.81

주: 유전 개발투자과 국제유가는 전년 동기 대비 변화율을 나타냄.
 **는 99%, *는 95% 유의수준에서 유의함을 의미
 자료: LG경제연구원

는 내년 상반기까지 위축될 것으로 예상된다. 과거 유전 개발의 투자패턴을 살펴보면, 국제유가는 1년 정도의 시차를 두고 유전 개발투자에 영향을 미치는 것을 알 수 있다(그림 6 참조). 또한 실증분석을 통해 살펴 보아도 유가는 1년까지 시차를 두고 유전 개발투자에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다(표 2 참조).

3. 석유 공급능력 전망

가. 단기 석유 공급능력 전망

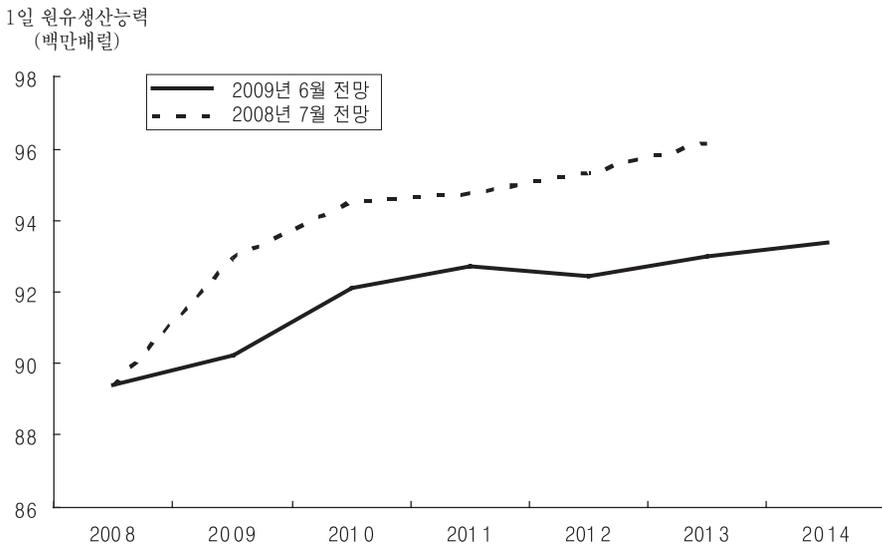
그러면 이와 같은 유전 개발투자의 위축이 앞으로

석유 공급에 어떤 영향을 미칠까? 향후 원유 공급능력은 유전 개발투자의 위축에 영향을 받으면서 기존 전망치 보다 낮은 수준의 공급능력 확대를 기록할 것으로 예상되며, IEA 등 주요 에너지 전망기관들은 유전 개발투자 위축을 주요 이유로 원유 공급능력 전망치를 최근 하향 수정하고 있다(그림 7 참조).

그러나 유전 개발투자 위축이 공급의 변화로 나타나기까지의 시차와 이미 개발이 진행 중인 대형 유전들의 생산 개시를 고려할 때 석유 공급위기의 발생 가능성은 당분간 낮을 것으로 예상된다.

실증분석에 따르면 원유 투자의 변동이 실제로 공급에 본격적인 영향을 미치는 데에는 10~15분기 정도의 시일이 걸리는 것으로 추정된다(그림 8 참조). 이를

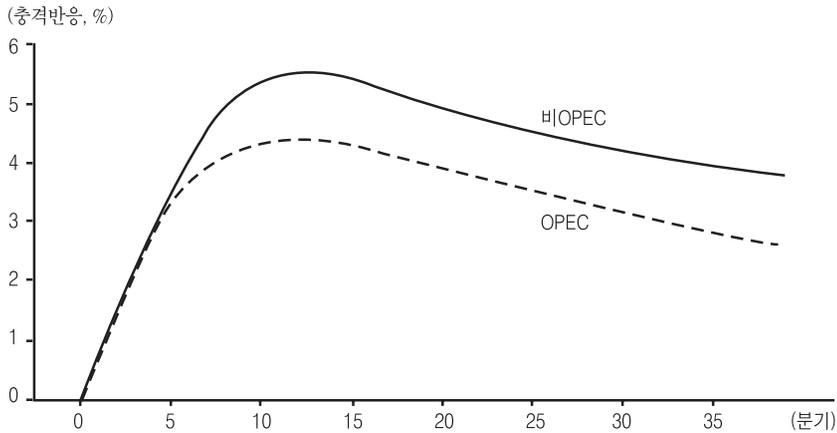
[그림 7] 세계 원유 생산능력의 중기 전망



자료: IEA, "Medium term oil market report," 2009. 6
—, "Medium term oil market report," 2008. 7

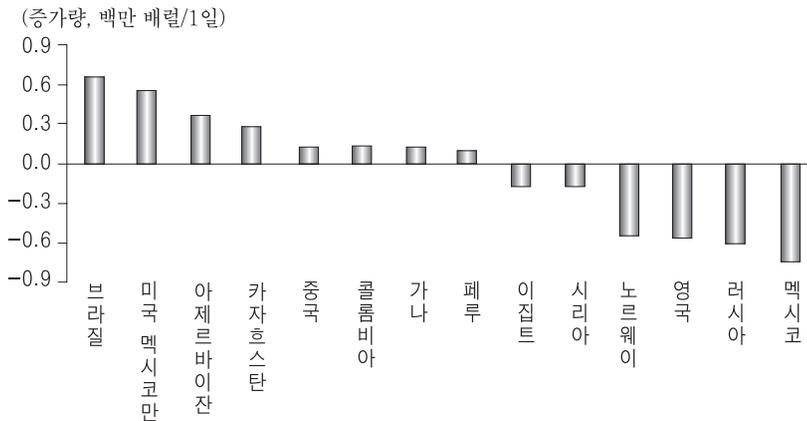
적용할 경우 지난해부터 시작된 유전 개발투자 위축에 따른 원유 공급능력의 감소 효과는 2011년 1분기부터 나타날 것이다. 그러나 기존 대형 유전의 개발사업이 계속 진행되고 있는 것을 감안하면 원유 공급능력의 감

[그림 8] 유전 개발투자와 원유생산 간의 상관관계



주: 충격반응은 유전 개발투자가 1% 늘어날 때 나타나는 원유 생산 증가율(%)을 의미
 자료: Sergio Guerra, "Long Run Relationship between Oil Prices and Aggregate Oil Investment: Empirical Evidence," The United States Association for Energy Economics, 2008, 1

[그림 9] 비OPEC의 원유 공급능력 증가 전망



주: 증가량은 2008년 대비 2014년 원유 공급능력의 차이
 미국 멕시코만의 공급능력 확대는 신규 능력 확대가 아닌 2008년에 발생한 허리케인 구스타프의 피해 복구에 따른 결과임.
 자료: IEA, "Medium term oil market report" 2009, 6

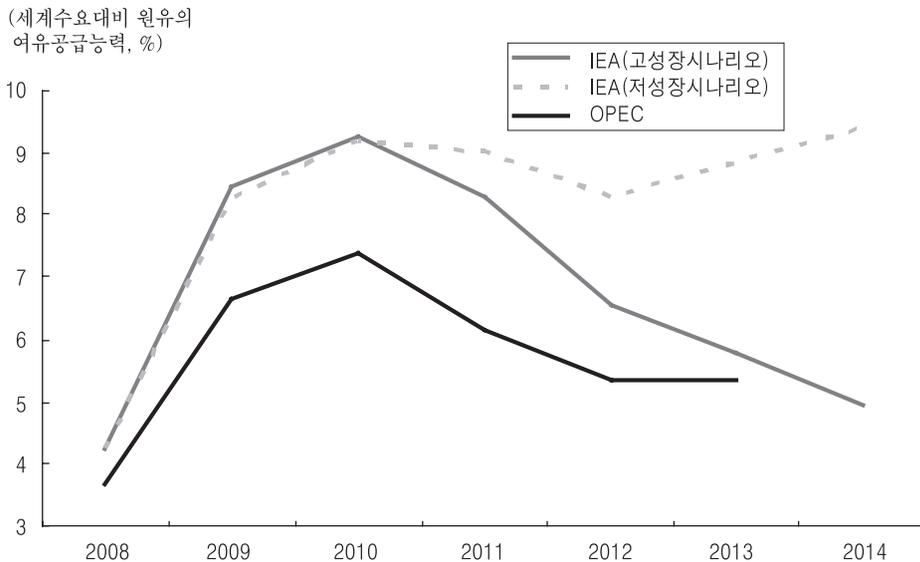
소 효과는 2012년경부터 본격화될 것으로 보인다. 유가 하락과 신용경색에 따른 유전 개발투자의 위축이 신규 탐사나 생산시점이 먼 사업을 중심으로 나타나는 반면, 원유 생산개시 시점이 가까운 유전 개발사업에 대한 투자는 큰 차질 없이 진행되고 있다. 비OPEC에서는 브라질(Tupi 유전) 등 남미 지역과 아제르바이잔(ACG 유전), 카자흐스탄(Tengiz, Kashagan 유전) 등 중앙아시아 지역에서, OPEC에서는 사우디아라비아(Khurais 유전) 등 중동 지역을 중심으로 최종 개발 단계에 이른 유전들이 잇따라 생산을 개시할 전망이다 ([그림 9] 참조). 이들 효과에 힘입어서 2011년까지는

세계 원유 공급능력이 확대될 것으로 예상된다.

나. 단기 원유 공급 부족 가능성 점검

한편, 글로벌 경제가 내년부터 서서히 회복세를 보일 것으로 예상됨에 따라 석유수요는 점진적으로 증가할 전망이다. 저탄소 사회를 위한 선진국 중심의 녹색 성장 정책 대두에도 불구하고 여전히 석유 제품에 대한 보조금을 지급하고 있는 개도국을 중심으로 석유수요가 글로벌 경제의 회복세에 따라 증가할 것으로 보이기 때문이다. IEA와 Goldman Sachs는 세계 석유수요가

[그림 10] 주요 기관별 원유의 여유 공급능력 전망



주: IEA는 향후 5년 동안 연평균 4%대 초반(고성장 시나리오)과 2%대 중반(저성장 시나리오)의 세계 경제 성장률에 기반한 두 가지의 수급 시나리오를 작성

OPEC은 향후 4년 동안 연평균 3%대 초반의 세계 경제성장률을 가정

자료: IEA, "Medium term oil market report," 2009, 6

OPEC, "World oil outlook 2009," 2009, 7

2008년 수준으로 회복될 시기를 2012년, OPEC은 2011년으로 예측하고 있다.

경기 회복에 따라 늘어날 것으로 예상되는 석유 수요와 원유 공급능력의 전망치를 감안하면 석유의 공급 부족 가능성을 가늠해 볼 수 있다. IEA와 OPEC이 추정한 세계 원유 공급능력과 세계 석유수요를 바탕으로 계산한 원유의 여유 공급능력을 살펴보면 이들 기관들은 당분간 석유의 공급위기 발생 가능성이 낮은 것으로 보고 있다(그림 10) 참조). 원유의 공급능력이 기존 예상보다는 낮아졌지만, 수요의 점진적인 회복세, 대형 유전들의 생산개시 등으로 인해 여유 공급능력이 2011년까지는 세계 수요 대비 6%대 이상을 유지할 것으로 예상하고 있는 것이다. 국제유가가 급등하던 2008년 상반기에 OPEC의 여유 생산능력이 세계 수요 대비 2%대까지 위축되었음을 감안하면 급용위기 발생 이전의 수준으로 석유수요가 회복되더라도 석유의 공급 불안이 재현될 가능성은 낮을 것으로 예상된다.

Goldman Sachs가 예측한 대로 비OPEC의 원유 생산 능력이 급속히 감소하기 위해서는 IEA나 OPEC의 원유 공급능력 전망에서 가정된 대형 유전 개발사업들이 중단되는 등 유전 개발투자가 크게 위축해야 한다. 그러나 현재 진행 중인 대형 유전 개발사업들은 유전 개발에 대한 투자 위축 정도가 미미한 국영 석유 기업이나 석유 메이저기업에 의해 대부분 진행되고 있기 때문에 이러한 급격한 원유 공급능력의 감소가 비OPEC에서 나타날 가능성은 낮을 것으로 보인다. CERA 역시 향후 5년 동안 1일 원유 생산량 760만 배럴의 공급 차질이 발생할 가능성을 제시하였는데, 저유가가 2010년 연말까지 지속된다는 비관적인 가정을 전제로 하고 있어 실현 가능성이 낮을 것으로 예상

된다.

따라서 현재로서는 Goldman Sachs나 CERA의 비관적인 공급능력 전망 보다는 기존 대형 유전의 개발 사업이 큰 차질 없이 진행됨을 가정하는 IEA나 OPEC의 원유 공급능력 전망이 가능성이 높아 보인다. IEA와 OPEC은 개발 중인 대형 유전들의 생산개시로 원유의 여유 공급능력이 7%대 이상을 유지하다가 세계 석유수요의 회복 이후에는 원유 공급능력의 확대 둔화로 점진적으로 줄어들어 2014년에는 4~5% 수준으로 하락할 것으로 보고 있다. 국제유가가 급등하던 2008년 상반기에 OPEC의 여유 생산능력이 2%대였음을 감안하면 당분간 원유 공급능력 부족에 기인한 공급위기가 발생할 가능성은 낮을 것으로 전망된다.

다. 중장기 석유 공급능력 전망과 공급 부족 가능성 점검

단기적으로는 아니더라도 최근의 유전 개발투자 부진은 중장기적으로 공급 불안 요인이 될 가능성은 있다. 앞으로 비OPEC을 중심으로 생산정점을 지난 대형 유전들의 생산이 감소할 것으로 전망되고 있는데 여기에 최근 유전 개발투자 부진의 영향이 겹칠 것이기 때문이다.

2000년대로 접어들면서 북해와 멕시코만의 원유생산이, 최근 들어서는 러시아의 원유생산이 정점을 지났다는 평가를 받는 등 비OPEC은 주요 산유국 대형 유전의 노후화로 인해 공급능력의 증가세가 둔화되고 있다. 이에 대해 IEA와 EIA 등 에너지기관들은 신규 유전 발견의 부진과 대형 유전들의 생산 감소로 비OPEC에서 전통적 원유의 생산이 감소할 가능성이 있는 것으

로 보고 있다(그림 11 참조).

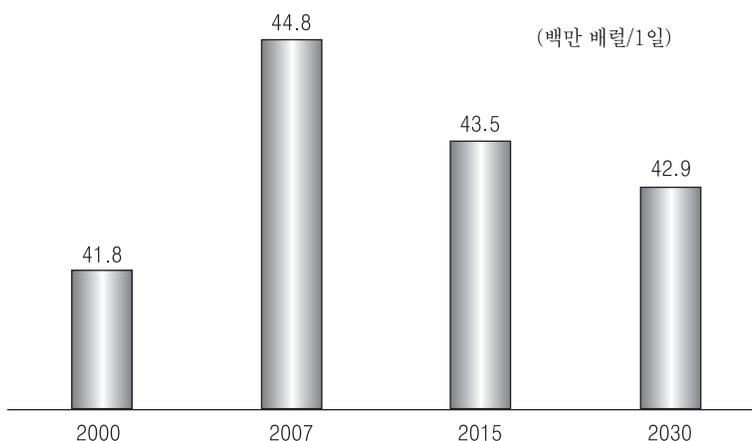
이와 같은 상황에서 최근 나타나고 있는 유전 개발 투자의 위축은 생산정점을 지난 비OPEC 대형 유전(세계 원유공급의 약 12%를 차지)의 생산 위축을 더욱 가속화시킬 것으로 예상된다. 또한 유전 탐사에 대한 투자 위축으로 신규 유전 발견의 부진도 지속될 것으로 보인다. 이에 따라 2012년경부터 유전 개발투자 감소의 영향이 나타나면서 비OPEC을 중심으로 세계 원유 공급능력이 위축될 위험성이 있는 것이다.

비OPEC을 중심으로 세계 원유 공급능력의 확대가 중장기적으로 부진할 것으로 보이는 가운데 예상 밖으로 석유수요가 급증할 경우에는 석유공급 불안이 고조될 것이다. 선진국 중심의 녹색성장 정책이 약화되고 세계 경제가 빠르게 회복될 경우에는 세계 석유수요가

급증하면서 현재 높아져 있는 원유의 여유 공급능력이 빠르게 축소되면서 석유공급 불안이 대두될 수 있다. 개발 착수에서 실질적인 생산으로 이어지기까지 시차가 존재하는 석유산업의 특성상 예상 수준 이상의 석유 수요 증가는 일시적인 수급 불안을 유발할 가능성이 있다.

또한 세계 원유공급의 OPEC 의존도가 확대되는 위험성도 있다. 비OPEC의 생산 위축이 가시화될 경우 카르텔을 통해 원유 생산량을 전략적으로 조절하는 OPEC의 생산량 및 가격에 대한 영향력이 크게 확대될 수 있다. OPEC의 정책에 따라 2012~2013년쯤에 국제유가가 다시 배럴당 100달러를 돌파할 가능성도 있는 것이다.

[그림 11] 비OPEC의 원유 생산량 감소 전망



주: Crude oil과 NGLs 합계 기준
 자료: IEA, "World Energy Outlook 2008," 2008, 11

4. 결론 및 시사점

지금까지 석유수급 분석을 통해 단기적으로는 지난 해와 같은 에너지위기 사태가 발생할 가능성이 낮은 것을 살펴보았다. 즉, 글로벌 경기회복에 따른 국제유가의 상승세는 당분간 완만할 가능성이 커 보인다.

그러나 중장기적으로 여전히 국제 석유시장의 불확실성이 존재한다. 비관적인 수급 상황을 전망하고 있는 기관들은 유전 개발투자 위축으로 인한 공급능력 확대 부진을 향후 석유수급에 대한 가장 큰 위협요인으로 지목하고 있다. 이와 더불어 각국의 녹색성장 정책의 효과가 부진한 가운데 글로벌 경제가 연평균 5% 이상의 빠른 성장세를 기록할 경우에도 수요가 급증하면서 공급능력 부족이 발생할 위험성도 있다. 예상 밖으로 공급능력 확대가 크게 부진하거나 수요가 빠르게 늘어날 경우에는 석유수급 상황이 빠듯해 지면서 2008년 상반기와 같은 유가급등 현상이 발생할 수도 있는 것이다.

중장기적 수급 불안요인이 시사하는 바는 세계 원유 공급에서 OPEC의 비중이 높아질 가능성이 크다는 것이다. OPEC의 공급비중 확대는 비OPEC에서 신규 대형 유전 발견의 부진이 이어질 경우 더욱 가속화될 것이다. OPEC의 공급비중이 높아질수록 카르텔의 영향력이 확대되기 때문에 OPEC 산유국의 소득 확대를 위한 공급 조절과 자원민족주의 강화로 국제유가의 상승 압력이 높아질 위험성이 있다.

또한 비전통 석유의 개발도 미래 석유시장의 중요한 변수로 떠올라야 할 것이다. 비OPEC의 대형 유전들이 노후화 되면서 기존 전통 유전의 한계가 더욱 부각될 것으로 예상된다. 따라서 2세대 바이오연료, 오일샌드, 초중질유, 오일 셰일, GTL(Gas to Liquids), CTL(Coal to Liquids) 등 비전통 석유의 개발이 전통적 원유의 한계를 어느 정

도 보충할 수 있을지 주요 관심사가 될 것으로 보인다.

〈 참고문헌 〉

- 이광우, “그린 뉴딜로 중장기 석유 수요 둔화,” LG 비즈니스 인사이트, 2009. 4
- _____, “고유가 시대의 자원 확보 경쟁과 전략,” 석유, 2008. 12
- _____, “유가 오르는데 원유공급은 왜 안 느냐,” LG 비즈니스 인사이트, 2008. 6
- _____, “고유가 시대와 신자원민족주의,” LG 비즈니스 인사이트, 2008. 1
- CERA, “Long aftershock,” 2009. 3
- EIA, “Short term energy outlook,” 2009. 7
- Goldman Sachs, “Bullish oil equities at beginning of new upcycle,” 2009. 6
- IEA, “The impact of the financial and economic crisis on global energy investment,” 2009. 4
- _____, “Medium term oil market report,” 2009. 6
- _____, “Medium term oil market report,” 2008. 7
- _____, “World energy investment outlook,” 2003
- _____, “World Energy Outlook 2008,” 2008. 11
- OPEC, “World oil outlook 2009,” 2009. 7
- Sergio Guerra, “Long Run Relationship between Oil Prices and Aggregate Oil Investment: Empirical Evidence,” The United States Association for Energy Economics, 2008. 1
- Baker Hughes, On line DB(http://investor.shareholder.com/bhi/rig_counts/rc_index.cfm)
- HIS, On line DB(<http://www.ihsindexes.com/>)

그린에너지 클러스터 선진국 사례와 국내 적용방안



김동열
현대경제연구원 연구위원

1. 서론

우리나라에 녹색성장의 바람이 거세게 불고 있다. 우리나라 녹색산업의 경쟁력은 선진국에 비해 한참 뒤져¹⁾ 있지만, 작년 8.15 경축사에서 이명박 대통령이 '저탄소 녹색성장'이라는 새로운 국가비전을 제시한 이래 녹색성장 드라이브를 강하게 걸고 있다. 작년 말에 '저탄소녹색성장기본법'을 입법 예고했으며, 올해 초 전담 추진조직인 녹색성장위원회를 출범시키고 총리로 하여금 공동위원장을 맡도록 했다. 그리고, 지난 7월에는 녹색성장 국가전략과 5개년 계획이라는 마스터플랜을 발표하기도 했다.

세계적으로도 녹색경쟁(green race)이 치열해지고 있다. 기후변화협약과 대체에너지개발에 대해 소극적인 입장이었던 전임 부시 대통령과 달리 작년말 당선된 미국의 오바마 대통령은 환경보호와 신재생에너지의

중요성을 강조하고 있다. 중국도 세계 4위의 태양전지 생산업체인 선테크(Suntech)를 육성하고 태양광발전 용량을 크게 늘리는 등 녹색성장의 국제적 트렌드에 맞춰가고 있다. 유럽에서는 지구온난화 및 기후변화에 대한 대응과 지속가능한 발전(sustainable development) 전략을 추진된 지 벌써 오래되었다.

본고에서는 녹색성장과 관련된 산업에서 앞서가고 있는 독일, 일본, 덴마크, 스페인, 그리고 프랑스 등 5개 선진국들은 어떤 배경과 정책을 통해 이 분야에서 세계적인 경쟁력을 갖추게 되었는지, '그린에너지 클러스터'²⁾의 현황과 육성과정으로부터 배워야 할 점은 무엇인지, 우리가 그린에너지 클러스터를 조성할 경우 어떤 점에 유의해야 하는지 등에 대해 알아보고자 한다.

그런데, 지금 우리나라에서 그린에너지 클러스터의 조성이 왜 필요한가? 그 이유는 선진국의 50~70% 수

1) 녹색산업과 관련된 기술수준은 선진국의 50~70%수준이며, 관련 제품의 세계시장 점유율은 1% 미만이고, 태양광 관련 설비의 수입의존도는 75%, 풍력의 경우에는 99%에 달할 정도로 심각한 수준이다.

2) 흔히 클러스터란 "상호 연계된 기업들과 전문화된 공급자, 서비스제공자, 관련 기관과 제도의 지리적 집중"으로 정의되므로, 여기서 그린에너지 클러스터란 태양광, 태양열, 풍력, 지열, 바이오에너지, 폐기물 에너지 등 그린에너지의發電 및發電설비와 관련된 기업들, 전문화된 공급자, 서비스 제공자, 관련 기관과 제도의 지리적 집중이라고 정의하기로 한다.

준(2007년 기준)에 불과한 녹색기술 격차 및 경쟁 열위³⁾를 따라잡기 위해서 보다 효과적인 방안이라고 보기 때문이다. 즉, (1) 관련 산업의 기술혁신을 촉진하고, (2) 선진국과의 기술 및 경쟁력 격차를 조기에 만회하며, (3) 나아가 관련 부품·소재의 수출산업화를 지원하는 데 그린에너지 클러스터 조성이 기여할 수 있을 것이다.

그리고, 기술특성상 태양광발전 산업은 부품·소재와 관련된 화학기술, 반도체기술, 전력기술이 필요함은 물론 발전설비 제조업, 토목건설업 등 다양한 기술과 산업이 융·복합되고 클러스터를 형성할 때 시너지효과를 발휘한다. 풍력발전 산업과 수소 연료전지 산업도 관련 기술과 산업의 융·복합과 클러스터 형성에 의한 단계 더 발전한다.

2. 선진국의 그린에너지 클러스터: 덴마크, 스페인, 독일, 프랑스, 일본

우리가 벤치마킹 대상으로 선정한 5개 선진국의 경우, 1970년대 석유위기 이후 신재생에너지 발굴 및 온실가스 감축분야에 선도적으로 투자함으로써 녹색성장의 흐름을 주도하고 있으며, 아래 표와 같이 그린에너지산업의 핵심분야라고 할 수 있는 태양광 및 풍력 산업에서 앞서 가고 있다.

그런데, 이들 5개국의 성공은 우연히 또는 운 좋게 이뤄진 것이 아니다. 계속되는 도전에 성공적으로 응전함으로써 문명이 성장한다고 했던 토인비(A. J. Toynbee)⁴⁾의 명제가 덴마크를 비롯한 5개국 그린에너지 클러스터 형성과 발전에 정확히 적용된다.

〈표 1〉 우리나라 그린에너지산업의 국제경쟁력

분야	기술분야	선도기업	세계 시장규모	국내 산업현황	
				시장점유율	기술수준
태양광	실리콘계	Sharp, Sanyo	200억불	0.7%	88%
	박막	Kaneka, Wurth Solar			61%
풍력	육상	Vestas, GE	375억불	1.1%	79%
	해상	Enercon, Vestas			68%
수소 연료전지	수송용	Honda, Toyota	32억불	0%	70%
	가정용	Sanyo, Ebara-Ballard			69%
	발전용	FCE, Siemens, Power			62%

자료 : 지식경제부(2008.9)에서 부분 인용

3) 발전설비의 수입의존도는 태양광 75%, 풍력 99.6%로서 매우 높은 상황(08.7월 기준).

4) 1889년 영국에서 태어난 저명한 역사가로서, 문명의 흥망성쇠를 분석한 《역사의 연구》 12권을 저술

〈표 2〉 태양광 및 풍력 시장점유율의 국가 순위

	1위	2위	3위	4위	5위	주요 업체
태양광	독일	일본	미국	스페인	네덜란드	· Q-Cells(독), Sharp(일), Kyocera(일), Suntech(중), Sanyo(일)
풍력	독일	스페인	미국	인도	덴마크	· Vestas(덴), Gamesa(스), Enercon(독), GE Wind(미), Siemens(덴)

자료 : Renewable 2007(Global Status Report), REN21 (지식경제부 자료(2008.9) 재인용).

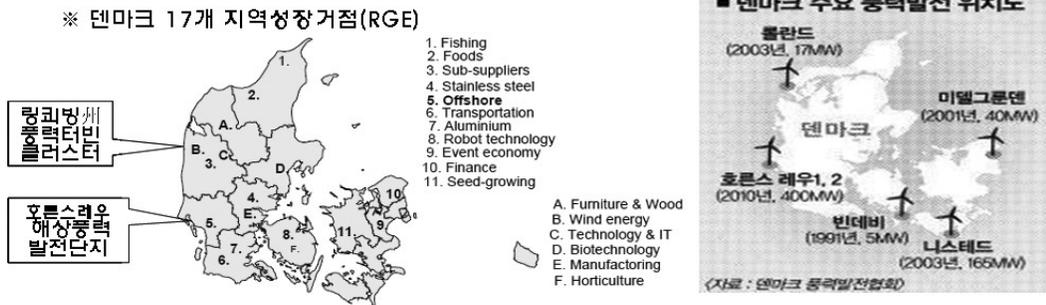
즉, 1970년대의 석유위기로 초래된 도전에 성공적으로 응전한 결과가 바로 덴마크의 풍력발전 산업이며, 독일 통일 이후 상대적으로 침체된 舊동독 3개 州의 경제재건과정에서 탄생한 것이 ‘솔라 밸리’ (Solar Valley) 클러스터이며, 스페인 바스크지역의 철강과 조선 산업의 침체를 극복하기 위한 노력이 에너지클러스터의 성공으로 결실을 맺었다. 프랑스 사보이지역의 클러스터도 1983년 공군기지의 철수로 인해 구멍 뚫린 지역경제를 되살리기 위해 20여년 노력한 결과물이었

으며, 일본 키타큐슈의 클러스터도 공해로 인한 삶의 질 하락과 도심 공동화를 막기 위해 시작한 도시재생 프로젝트의 성과물이다.

가. 덴마크: 풍력클러스터

유틀란트반도 서부 링괴빙주를 중심으로 클러스터를 형성하고 있는 덴마크 풍력산업의 세계적 경쟁력은 (1) 1970년대 석유위기(oil shock) 이후 30년 동안의

[그림 1] 덴마크 링괴빙 풍력클러스터 및 풍력발전단지의 위치



자료: 덴마크 풍력발전협회

장기 투자, (2) 안정적이고 장기적인 에너지정책⁵⁾의 결과라고 할 수 있다.

1970년대 1, 2차 석유위기의 영향을 다른 유럽 국가들에 비해 더욱 혹독하게 경험했던 덴마크는 에너지자립을 위한 국민적 공감대를 형성했으며, 북해의 유전개발에 투자하는 한편 풍력에너지 개발을 선도적으로 시작하여 30년 동안 지속적으로 매진해왔다

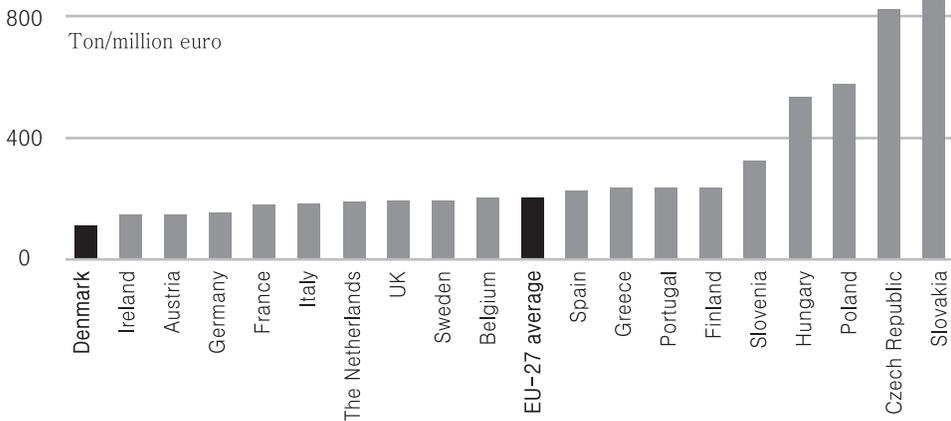
그 결과, 1980년부터 2006년까지 덴마크 경제는 78% 성장했으나 에너지소비는 거의 변화가 없으며, 덴마크의 에너지원단위는 EU국가 중 가장 낮은 수준

이다.

덴마크 정부의 에너지청이 주도하는 'Energy 21' 과 같은 중장기 에너지정책은 참여 기업들의 안정적 투자를 유인했고, 발전차액지원⁶⁾(FTT), 의무할당제도⁷⁾(RPS), 녹색인증⁸⁾(GC) 등 다양한 지원제도는 덴마크 기업들의 앞선 기술력과 경쟁우위를 뒷받침했다.

덴마크는 최근 2개의 200MW급 해상풍력 단지(호른스 레우 1, 2) 조성계획을 발표한 바 있다. 부지확보가 상대적으로 용이하고, 소음에 따른 민원의 소지도 비교적 적은 해상에 대규모 풍력단지를 조성하는 것이

[그림 2] 국가별 에너지원단위



자료: 덴마크 환경에너지국

5) “초기 5만시간(약6년) 동안은 고정가격에 전력을 구매해준다. 산업발전에 정부가 적극 개입하고, 보조금(FTT) 등 적극적 정책수단으로 투자를 유도해왔다”(올레 오드가르드(Odgaard), 덴마크 에너지청 특별자문관).
 6) 전력시장가격(SMP)과 신재생에너지 발전비용의 차액을 지원해줌으로써 보급을 확대하려는 제도.
 7) 전기사업자로 하여금 신재생에너지로 인한 전기를 일정비율 의무적으로 생산하도록 할당하고, 남거나 부족한 전력을 시장에서 거래하도록 함으로써 정부의 재정부담을 줄일 수 있음.
 8) 재생에너지를 사용해 생산된 전력을 배전망에 투입할 때 감독기관이 1MWh당 1개의 증명서를 발급하고, 재생에너지를 활용한 전력 생산업자는 이 증명서를 상품처럼 배전업체에 팔 수 있음.

유지보수의 어려움에도 불구하고 더 경제적이라는 판단에서 향후의 풍력발전단지는 육상 보다는 해상에서 더 개발하겠다는 계획이다.

아울러, 세계를 선도하는 덴마크 풍력터빈 기술은 활발한 산학연 공동 연구개발에 기인하며, 현재 베스타스(Vestas)와 같은 풍력터빈 및 부품업체들, 덴마크工大, 알보그대학, 리소(Riso) 국립연구소, 덴마크 수력연구소(DHI - Water & Environment) 등이 공동연구 컨소시엄을 구성하고 있다.

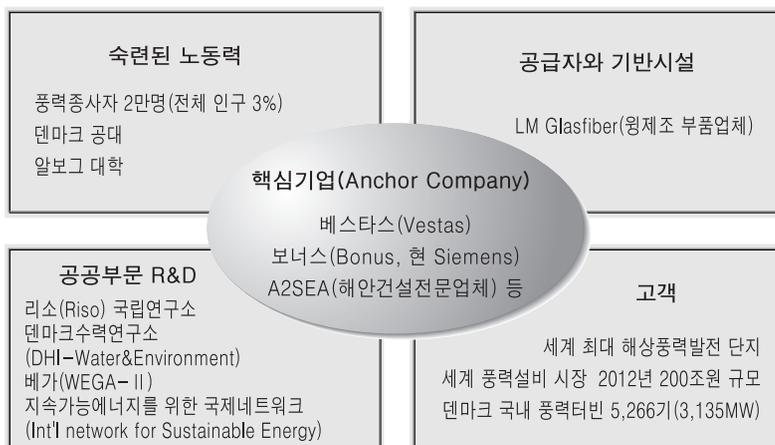
덴마크의 대표적 풍력발전회사인 베스타스(Vestas)는 1945년 창업 이래로 농기구 제작회사였으며, 이후 선박 및 자동차 부품을 생산하다가 1970년대 오일쇼크 이후 풍력발전에 관심을 가졌으며 1979년 세계최초로 상업용 터빈을 개발하는 데 성공했다. 세계 62개국에 3만 8천여 개의 풍력터빈을 설치했으며, 2005년 세계 풍력터빈 시장의 33%를 점유(세계 1위)하고 있다.

베스타스는 창의성을 강조하는 '3747' 시스템을 적용하고 있는데, 3일간 매일 12시간씩 일하고, 일주일 쉬며, 이어서 4일간 매일 12시간씩 일하고, 일주일 쉬는 근무시스템이다. 고난도의 위험한 작업을 집중적으로 해야 하는 특성을 살려, 충분한 재충전 시간을 제공함으로써 아이디어를 양산하고 생산성을 올리면서 안전사고는 최소화시키고 있다.

덴마크의 풍력클러스터를 이끌어가는 핵심기업(Anchor Company)은 베스타스(Vestas)와 보너스(Bonus, 현 Siemens), A2SEA(해안건설 전문업체) 등이다. 공공부문의 연구개발은 Riso 국립연구소가 주도하고, 기술인력 양성은 덴마크 공대, 알보그 대학 등이 담당하고 있으며, 이들은 베스타스 등 터빈생산업체들과 함께 산학연 R&D 컨소시엄을 구성하고 있다.

덴마크 풍력 클러스터의 대표적인 부품업체로는 터빈용 '윙(wing)' 을 제조하는 LM Glasfiber가 있다. 그

[그림 3] 덴마크 풍력 클러스터의 구성요소



※ 정부의 강력한 에너지 정책 리더십과 핵심기업들의 지속적인 기술개발이 경쟁력의 원천

러나, 최근 핵심부품을 터빈업체들이 자체 제작하는 수직통합의 흐름에 의해 부품업체들이 갈수록 경영에 어려움을 겪고 있다.

나. 스페인: 풍력 클러스터(북서부 '바스크주'⁹⁾ 중심)

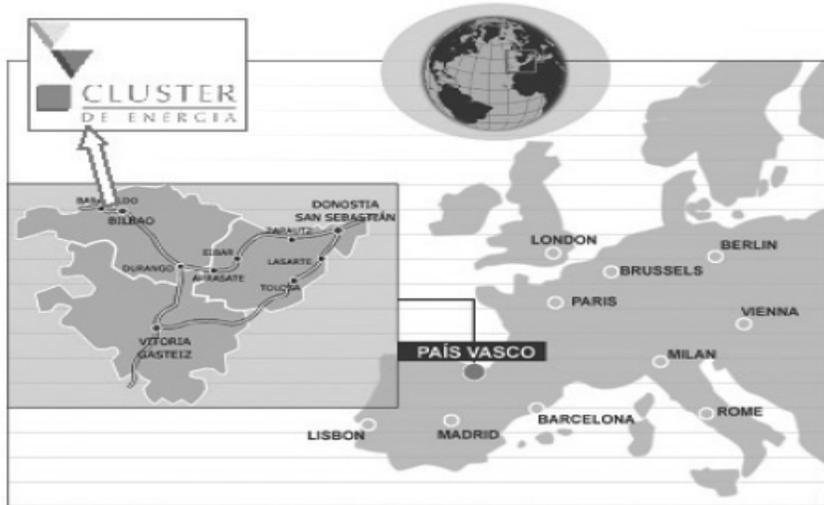
스페인인 400년전 소설 '돈키호테'에 풍차가 등장할 정도로 바람과 풍차로 유명하며, 험준한 산악지형에 풍력발전기를 설치하는 능력으로 차별화되어 있다. 세계 풍력발전 용량은 최근 10여년(1995~2008)만에 10배 이상 증가했으며, 아래 그림과 같이 스페인은 세계 2위의 풍력발전 능력을 지니고 있다(독일 27%, 스페인

16%, 미국 16%, 인도 8%, 덴마크 4%, 중국 4% 등).

스페인의 풍력발전 산업은 항공기 및 자동차 관련 제조업의 오래된 전통과 경쟁력을 토대로 안정적이고 높은 수준의 발전차액지원(FIT)을 통해 세계적 경쟁력을 갖추게 되었으며, 북동부지역 바스크주에 형성된 에너지클러스터가 대표적이다.

바스크주의 수도는 1997년 개관한 구겐하임미술관으로 유명한 빌바오이다. 20세기 전반까지만 해도 철광석과 제철소, 조선소로 유명한 공업도시였다. 바스크 에너지 클러스터(Basque Energy Cluster)는 1996년 바스크 주정부의 통상산업관광성(BDICC) 주도로 설립된 스페인 최대의 클러스터로서, 1980년대 철강업과

[그림 4] 스페인 바스크 에너지클러스터의 위치



9) Basque Energy Cluster는 1996년 Basque 주정부 통상산업성(BDICC) 주도로 설립된 스페인 최대의 클러스터로서, 1980년대 철강, 조선업의 침체에 따른 경제위기를 극복하기 위해 조성한 11개 클러스터 중 하나임.

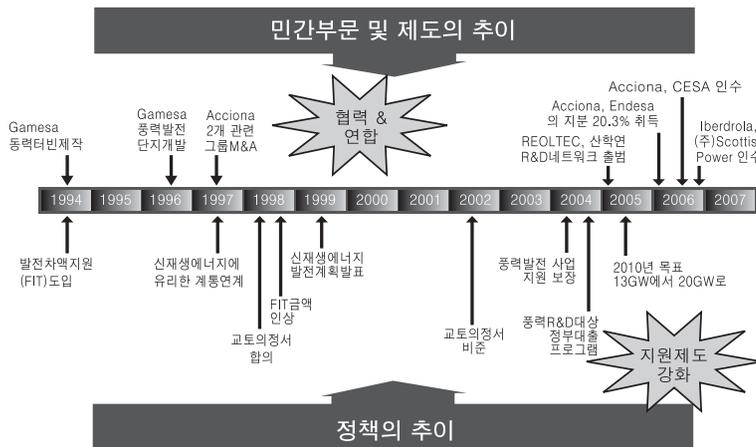
조선업의 침체에 따른 경제위기를 극복하기 위해 주정부와 지역상공회의소, 대학, 연구소 등이 합심하여 조성한 11개 클러스터 중 하나다.

스페인의 지원정책은 1994년 발전차액지원제도가 시작된 이래 재생에너지에 대한 지원을 지속적으로 강화하는 방향으로 추진되었으며, 민간부문에서는 기업들끼리 서로 경쟁하면서도 협력하고 연합하는 추세였

다. 이러한 흐름 속에서 세계 2위의 풍력터빈 제조업체 가메사(Gamesa)와 세계 1위의 풍력발전회사 악시오나(Acciona)가 탄생했다.

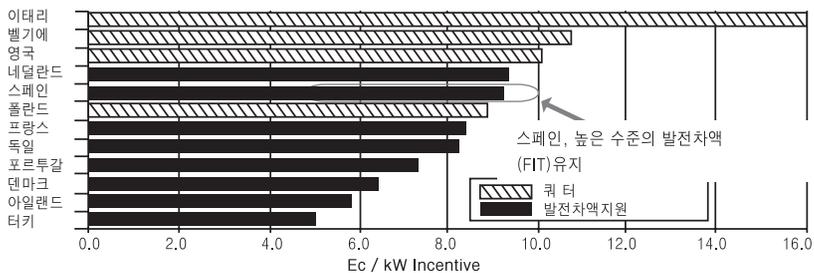
예를 들면, 2006년에 악시오나(Acciona)가 전력회사 Endesa의 지분 20.3%를 획득했으며, 풍력발전단지 개발회사 CESA를 인수하여 업계 1위로 도약했다. 그리고, 이베르드롤라(Iberdrola)가 2006년에

[그림 5] 스페인 정책의 부문별 시기별 흐름



자료: 가메사(Gamesa), 악시오나(Acciona) Annual Report; MOC Team

[그림 6] EU 국가별 발전차액지원



자료: Emerging Energy Research (2006)

(주)Scottish Power를 인수했다.

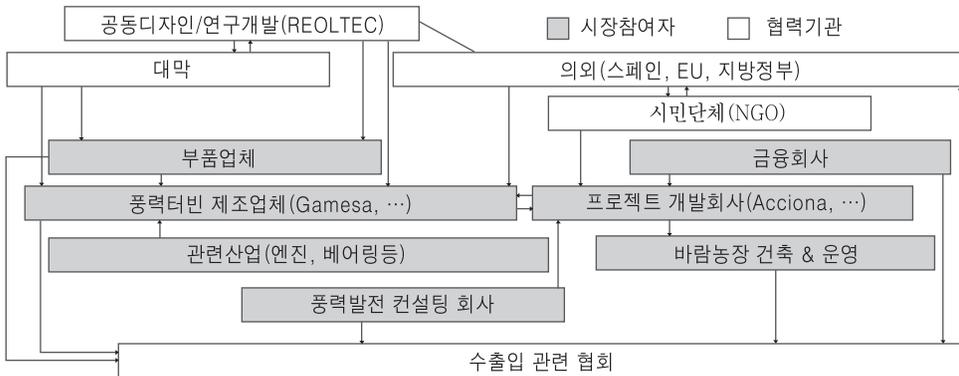
그리고, 스페인은 [그림 6]과 같이 높은 수준의 발전 차액지원(FIT)을 유지하고 있다.

스페인 풍력 클러스터의 핵심은 (1) 풍력터빈 제조업체(Gamesa, Acciona, Echotecnia 등)와 (2) 풍력발

전회사(Acciona, Iberdrola, Endesa)이며, 그리고 2005년 구성된 REOLTEC은 64개 참여기관(기업, 대학, 연구소, 정부기관 등)의 협력과 이해관계 조정을 담당하는 핵심 네트워크다.

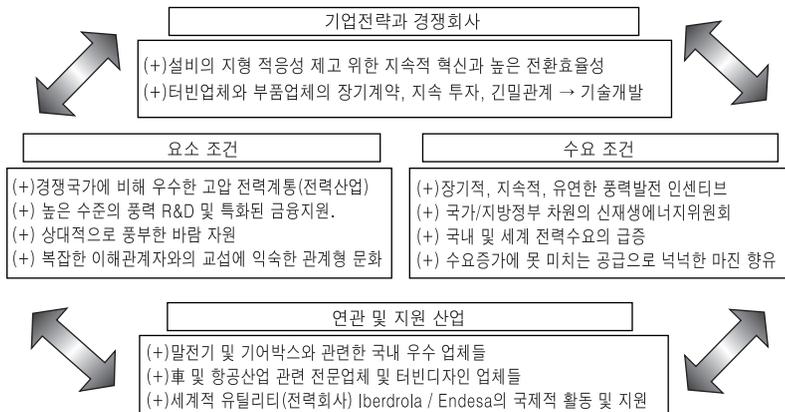
스페인 풍력산업의 강점은 터빈업체와 부품업체의

[그림 7] 스페인 풍력클러스터의 구성 및 네트워크



자료: MOC Team

[그림 8] 스페인 풍력클러스터의 구성요소별 강점



자료 : Harvard Business School (2007)

장기계약과 긴밀한 관계, 우수한 전력산업, 풍부한 바람자원, 장기적 풍력발전 인센티브, 부품업체의 우수성 등이다.

2005년 구성된 REOLTEC은 64개 참여기관(기업, 대학, 연구소, 정부기관 등)의 협력과 이해관계 조정을 담당하며, EU와 스페인 정부에 클러스터를 대표하고 있다.

스페인을 대표하는 풍력터빈업체는 가메사(Gamesa)이며, 원래 항공기부품을 만들던 회사였으나, 1994년 풍력터빈을 제조하기 시작한 이래 15년만에 세계 2위 업체로 도약했다. 가메사의 매출액 가운데 50%는 스페인 밖에서 발생하며, 미국, 프랑스, 이태리, 그리스, 포르투갈, 브라질 등에서도 현지 공장이 가동 중에 있다. 세계화에 성공한 기업이라고 할 수 있다.

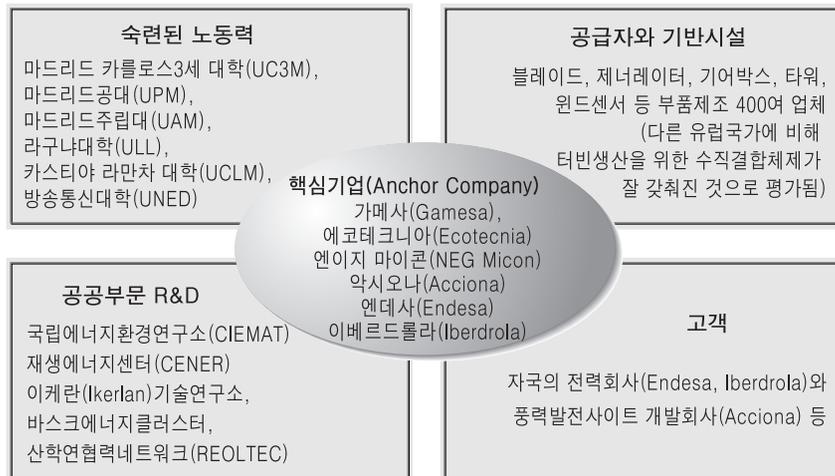
스페인 풍력 클러스터의 구성요소는 아래 그림과 같

으며, 핵심기업은 풍력터빈 제조회사인 가메사(Gamesa), 에코테크니아(Ecotecnia), 엔이지 마이콘(NEG Micon), 발전회사인 악시오나(Acciona), 엔데사(Endesa), 이베르드롤라(Iberdrola) 등이며, 산학연 공동R&D 네트워크인 'REOLTEC'를 통해서 이해관계를 조정하고 클러스터를 활성화시키고 있다. 특히, 전통있는 대형 전력회사(Endesa, Acciona, Iberdrola)들이 남미를 비롯한 해외 진출에 있어서 큰 역할을 하고 있다.

다. 독일: 태양광 클러스터

독일은 신재생에너지 산업의 허브로 부상하고 있으며, 2007년까지 태양광 발전용량 1위 국가¹⁰⁾이다. 독일

[그림 9] 스페인 풍력 클러스터의 구성요소



※ 스페인 정부는 높은 수준의 발전차액지원제도(FIT)를 유지하면서, 풍력클러스터 형성을 적극 지원

10) 2008년도에 스페인이 1위로 급부상했으나, 2009년 이후 다시 독일이 1위로 복귀할 전망.

은 세계에서 가장 큰 태양광발전 시장으로 2007년 세계 생산(2,392MW)의 49%를 차지했으며, 독일의 생산 용량은 2007년 1,100MWp에서 2012년 3,878MWp로 연평균 약28.7% 증가할 전망이다. 그리고, 2007년 독일의 R&D 투자액은 175.8M 로서, 2010년에는 224M 까지 증가할 전망이다.

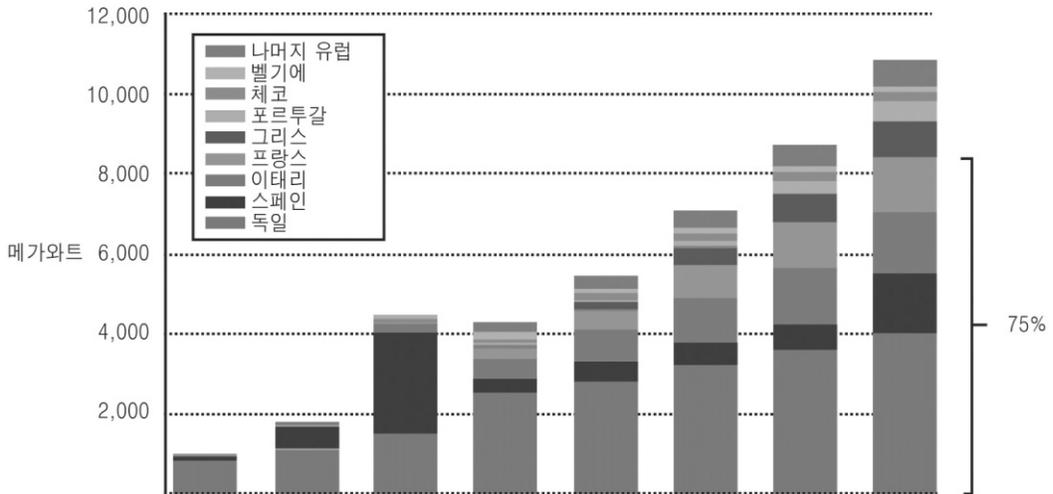
독일은 튀링겐-작센-작센안할트 등 구동독 3개 州를 중심으로 하는 '솔라 밸리' (Solar Valley)에 태양광 관련기업이 다수 집적¹¹⁾되어 있으며, 12개 기업과 12개 연구소가 태양전지 관련 공동연구를 하는 '솔라 포커스'(Solar Focus) 프로젝트가 추진되고 있다. 특히, 에어푸르트(Erfurt), 예나(Jena), 아이제나흐(Eisenach)를 중심으로 하는 튀링겐州 지역은 세계 태양광산업 매

출의 10%, 독일 태양광산업 매출의 1/3을 차지하고 있으며, 세계적인 태양광 장비 공급업체(Roth&Rau, Solarion 등)와 엔지니어링 업체(Sic Processing, ALO tec), 연구개발을 위한 연구소 등이 긴밀한 네트워크를 형성하고 있다.

튀링겐 지역의 핵심기업은 폴리실리콘을 생산하는 Wacker-Chemie, 태양전지 분야의 ERSOL Solar Energy이며, 튀링겐과 가까운 지역에 asolar, SunWays, Heckert Solar, CitySolar, SolarWorld, Q.cells 등이 위치하고 있다.

독일 태양광산업의 경쟁력은 (1) 전통적으로 경쟁력을 갖춘 광학, 화학, 정밀기기 등의 산업에서 축적된 기술력과 노하우, (2) 1990년대 중반 슈뢰더 총리에 의한

[그림 10] 유럽 태양광 발전용량 전망(낙관적 시나리오)



자료 : EPIA (2008).

11) 태양광 기업 27개, 연구소 12개, 대학 4개 등이 입주하고 있으며, 대표 기업으로는 Q.cells (작센-안할트), Ersol Solar (튀링겐), Solarion (작센) 등이 있다.

〈표 3〉 독일의 태양광 관련 기술개발을 지원하는 연구소들

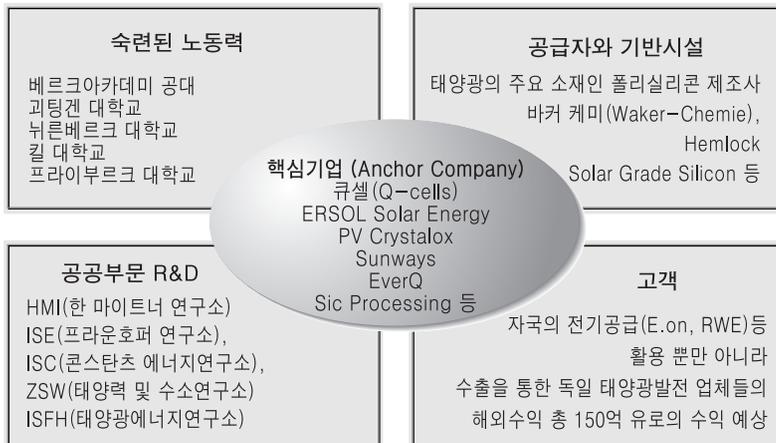
연구소	실리콘 재료기술	웨이퍼 기반 셀 기술	박막 기술	유기염료 증감 (색소 기술)	공정 및 생산 기술	시스템	위치
HMI-Hahan Meitner Institute www.hmi.de							Berlin
ISE-Fraunhofer Institute for Solar Energy System www.ise.fhg.de							Freiburg
ISC-Konstanz International Solar Energy Research Center www.isc-konstanz.de							Kontanz
IPV-Institute of Photovoltaics Research Center Julich www.fz-juelich.de							Julich
ZSW - Center for Solar Energy and Hydrogen Research Baden Wurttemberg www.zsw.de							Stuttgart Widderstall
ISFH-Institute for Solar Energy Research www.isfh.de							Hameln

주 : 표의 음영 부분은 원편의 연구소가 주로 담당하는 기술 분야를 나타냄.
자료 : 독일 투자청 (Invest in Germany, 2008년 5월).

‘혁신파트너스 프로젝트’ (과감한 연구개발 투자) 등에 기초하고 있다.

독일은 2007년도에 태양광 기술의 연구개발에 4,170만 유로를 투입했으며, 이는 전체 재생에너지 연

[그림 11] 독일 태양광 클러스터의 구성요소



※ 독일정부는 R&D와 노동력을 위해 광범위한 지원을 아끼지 않음

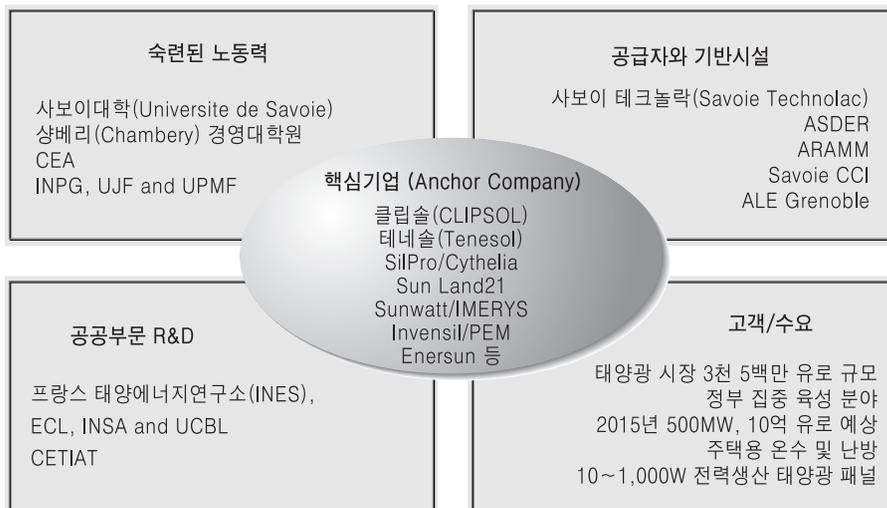
‘실리콘밸리’를 벤치마킹했다. 1991년에 20개 회사가 입주했고, 사보이대학(Savoie Univ.)의 과학 및 엔지니어 교수들이 단지 내 회사에 참여하기 시작했다. 1995년 단지 내에 샹베리(Chambery) 경영대학원 ENSAM이 입주했다. 2006년 단지 내에 프랑스국립태양에너지연구소(INES)가 입주하여, 공동 기술개발이 보다 활발하고 충실하게 진행되고 있다.

‘사보이 테크놀락’은 기업, 대학, 연구소를 유치하고 맞춤형 서비스를 제공하며, 공동 연구개발을 지원하는 등 클러스터의 핵심기관으로서 기능해 왔다. 사보이 테크놀락이 운영하는 테크노파크에는 현재 150개의 혁신 기업, 15개의 실험실, 18개의 경제발전기구, 69개의 대학 분교가 입주해 있으며, 사보이 지역에는 2,600명의 노동자와 5,100명의 학생, 600명의 교수와 연구원이 거주하고 있다.

사보이 지역에는 프랑스 태양광 제품의 50% 이상을 생산하는 등 다수의 태양광 기업이 집적되어 있으며, 프랑스 시장의 선두업체인 CLIPSOL은 론 알프스에서 태양광 제품의 50% 이상을 생산하고 있으며, 이 지역에 태양광 산업의 다수가 집적되어 있다. 예를 들면, Tenesol사는 PV(태양전지) 모듈과 PV 전력을 생산하는 설비 제작을 통해 PV 산업의 수직통합을 추진하고 있으며, SilPro사(Silicium Provence)는 2010년 실리콘 생산 10,000톤을 목표로 하고 있다.

론 알프스 지역은 프랑스 전체 연구개발 기금 8,800만 유로의 21%(1,830만 유로), 에너지분야 연구개발 기금 1,280만 유로의 48%(620만 유로), 태양광분야 연구개발 기금 480만 유로의 71%(340만 유로)를 점유하고 있다. 또한, 론 알프스지역에는 227개의 R&D프로젝트가 진행 중에 있으며, 210여 개의 전문 중소기업,

[그림 13] 프랑스 론알프스 태양광 클러스터의 구성요소



※ 론알프스의 경우 적극적인 공간활용을 통하여 새로운 산어 중심지로 성장

1천여명의 시장조사자들이 활동하고 있다.

론 알프스지역 태양광 클러스터를 이끌어가는 클립솔(CLIPSOL), 테네솔(Tenesol) 등 핵심기업과 사보이 테크놀라, 국립태양에너지연구소(INES) 등의 구성요소를 정리하면 아래와 같다.

마. 일본: 폐기물재활용 클러스터

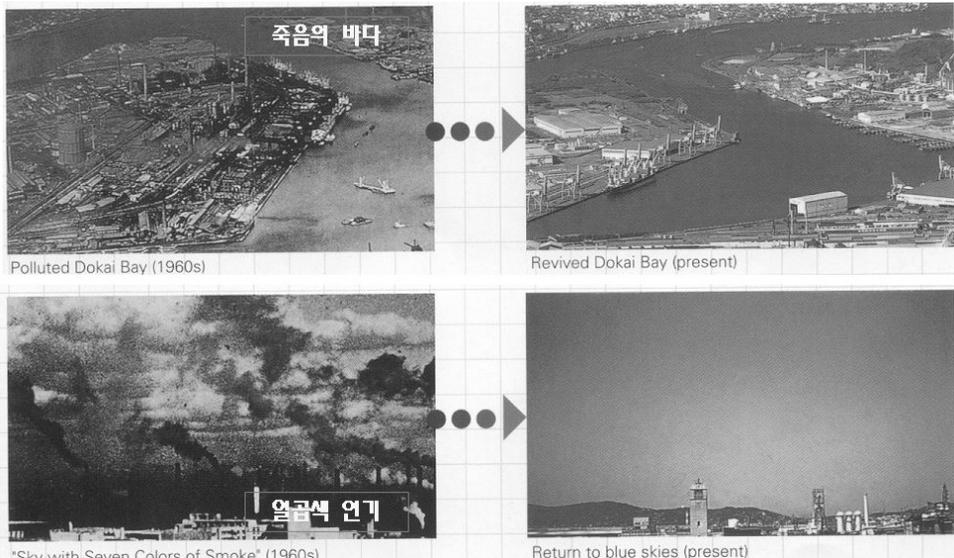
일본 키타큐슈(北九州市)는 1901년에 일본 최초의 관립 야와타제철소가 세워진 곳이다. 포항제철을 세우면서 공장의 배치까지 그대로 배워왔다는 곳이기도 하다. 일본 4대 공업지역의 하나로 1960년대에는 도시 전체가 심각한 공해로 몸살을 앓았다. 키타큐슈 앞 바다인 도카이만은 죽음의 바다로 알려졌고, 하늘은 일곱

색깔 스모그로 유명했다. 1970년대에 환경문제 해결을 위해 민관이 함께 지혜를 모으기 시작했고 지금은 친환경도시로 탈바꿈했다.

에코타운 프로젝트는 (1) 공해 방지와 삶의 질 향상을 위한 도시환경 정책의 비전으로서, (2) 도시산업시설의 쇠퇴와 구 도심권의 슬럼화에 따른 도심재생 프로젝트의 일환으로서, (3) 자원순환형 사회의 도래에 대비해야 한다는 등의 3가지 차원에서 1988년부터 계획을 수립하여 추진하기 시작했다.

처음에는 30만평 정도의 자원재활용시설 집적단지를 만드는 사업이었으나 구도심 활성화 사업, 생활환경 정비사업과 연계되어 쇠락해 가던 공업도시를 활기 넘치는 녹색도시로 바꿔놓았다. 도심을 흐르는 무라사키 강에는 100여 종의 물고기와 새들이 살고 있으며, 해마

[그림 14] 키타큐슈의 과거와 현재



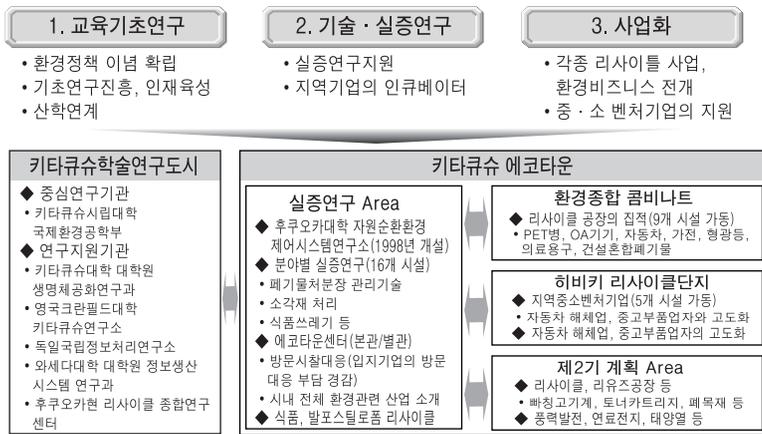
자료: 환경자원공사 내부자료

다 30만 명의 방문객이 키타큐슈의 성공 사례를 배우기 위해 에코타운 센터를 찾고 있다. 최근 키타큐슈는 시 전체를 자원순환형 도시인 에코타운으로 만들겠다

는 야심찬 계획을 발표한 바 있다.

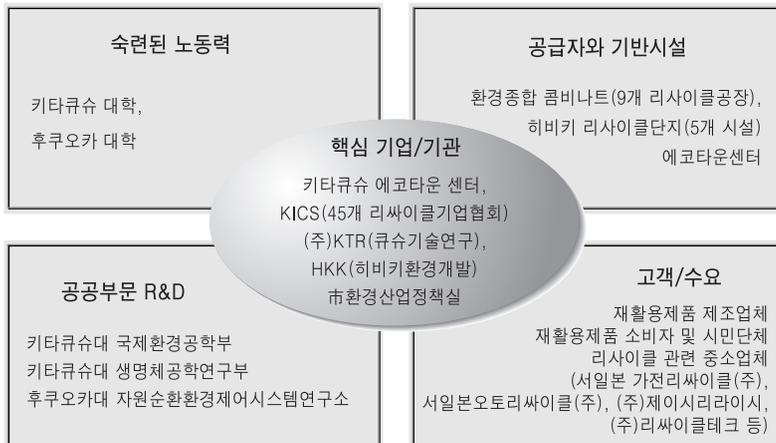
일본 키타큐슈의 에코타운 사업은 크게 (1) 환경종합 콤비나트와 히비키 리사이클 단지를 활용한 재활용사

[그림 15] 키타큐슈 에코타운 사업의 구성, 주체, 추진전략



자료: 환경자원공사 내부자료

[그림 16] 일본 자원순환 클러스터의 구성요소



※ 일본 정부의 예산지원과 환경규제, 자치단체의 위기의식 등이 클러스터 성과를 크게 좌우함

업, (2) 후쿠오카대학 연구소를 중심으로 한 16개 실증 연구 사업, (3) 키타큐슈시립대학을 중심으로 한 기초 연구 사업 등 3가지로 구성된다.

키타큐슈 자원순환 클러스터를 이끌어가는 핵심기관은 市에서 설립한 에코타운센터, 45개 리사이클기업들의 협회인 KICS, 신일본제철에서 분사한 (주)KTR(큐슈 기술연구), HKK(히비키환경개발), 키타큐슈市的 환경 산업정책실 등이라고 할 수 있다.

지금까지 살펴본 선진 5개국의 그린에너지 클러스터를 분야별, 모델별로 구분하고, 추진배경과 경쟁력 기반, 클러스터 형성을 위한 공동 연구개발 및 네트워크 활동, 형성주체 및 시기 등을 요약하면 아래 <표 4>, <표 5>와 같다.

3. 그린에너지클러스터의 국내 적용방안

위와 같이 선진국의 성공한 그린에너지 클러스터 사례를 우리나라에도 그대로 적용할 수 있다면, 선진국에 비해 상대적으로 뒤떨어져 있는 우리나라 녹색산업의 기술 혁신을 촉진하고, 선진국과의 기술 및 경쟁력 격차를 조기에 만회하며, 나아가 관련 부품·소재의 수출 산업화를 지원하는 데에도 유용한 역할을 할 것이다.

그러나, 아쉽게도 우리나라의 여건은 지금까지 살펴본 선진국들과 많이 다르다. 우리나라의 그린에너지 클러스터는 대부분 계획단계에 있거나 형성 초기단계에 있다. 따라서, 우리의 특성과 여건에 맞는 그린에너지 클러스터의 조성이 필요한 것이다.

먼저, 한국형 그린에너지 클러스터의 조성을 위해서

<표 4> 선진국 그린에너지 클러스터의 추진배경과 경쟁력

국가 (구분)	모델 (핵심지역)	추진배경	경쟁력 기반	공동연구개발 및 네트워크 활동
덴마크 (풍력)	민관협력 (링뢰빙)	석유과동 이후 국가안보 차원에서 에너지자립 위해 추진	초기가동 5만 시간의 발전차액 지원, 세계최초 상업용터빈 개발	'02년 공동연구 컨소시엄 (Riso국립연구소, 알보그대학, 덴마크공대, Vestas등) 구성
스페인 (풍력)	정부주도 (바스크)	화석에너지 의존도 낮추고, 침체된 지역경제 활성화	세계화(해외매출액이 50%이상)와 핵심부품의 수직계열화 시스템	REOLTEC(산학연 네트워크; 64개 기업 + 대학 + 연구소 + 공공기관)
독일 (태양광)	민간주도 (투링겐)	'21년 원자력발전소 폐쇄에 대비하고, 구동독 3개주 재건	투자지출의 50%까지 보상, 안정적 투자 위해 20년 고정관세율 적용	Solar Focus (공동R&D네트워크; 12개 기업 + 12개 연구소)
프랑스 (태양광)	정부주도 (론알프스)	공군기지 이전으로 침체된 지역경제 재건 과학기술 단지로 전환.	태양광 에너지/태양열 주택 분야에 집중	TENERRIDIS(회원사 93개, 파트너 198개, 공동연구개발 226개) + 사보이TP
일본 (자원순환)	정부주도 (키타큐슈)	철강업의 침체, 도심재생 사업의 일환으로 추진	키타큐슈 학술연구도시와 연계한 실증연구단지 운영, 테마파크형 단지 조성	키타큐슈大(기초)과 후쿠오카大(실증)의 공동연구개발 + KICS (45개 리사이클협회)

〈표 5〉 선진국 그린에너지 클러스터의 형성 주체와 시기

국가 (구분)	초기의 형성 주체 (핵심기관/핵심기업)	출범 시기(기간)	클러스터 유형	클러스터 발전단계
덴마크 (풍력)	Riso국립연구소, Vestas, Bonus 등 관련 기업	1980년대~(20년) (1996년 FIT도입)	-신재생(발전 + 산업) -민관협력 (Vestas + Riso연구소)	성숙단계
스페인 (풍력)	바스크주 BDICT, Gamesa(터빈), Iberdrola(발전), BBVA(은행)	1996~(12년) (1994년 FIT도입)	-신재생(발전 + 산업) -지방정부(바스크주 정부) 주도	발전단계
미국 (풍력)	로열더치셀, TXU, Mesa Power LLP(발전회사), TECO웨스팅하우스, Vestas	1999~(10년) (1999년 RPS도입)	-신재생(발전 + 산업) -대기업(Shell, TECO, Vestas)주도	발전단계
독일 (태양광)	Wacker-Chemie, Q.cells, ERSOL Solar, Sunways, PV Crystalox 등 민간기업	1991~(15년) (1991년 FIT도입)	-신재생(산업) -중소벤처기업(Q.cells 등) 주도	성숙단계
프랑스 (태양광)	지방의회, 사보이 테크놀라, INES(국립태양에너지연구소), IBC Solar AG, Novasic 등	1986~(20년) (1986년 TP 설립)	-신재생(산업) -지방정부(Savoie지방의회) 주도	발전단계
일본 (자원순환)	키타큐슈시 환경국, 키타큐슈 에코타운센터	1988~(20년) (1988년 ET 발표)	-자원순환(폐기물처리, 재활용) -지방정부(키타큐슈시) 주도	성숙단계

는 아래와 같은 5가지 과제를 고려해야 한다.

첫째, 중공업, 화학, 반도체 등 주력산업의 경쟁력을 토대로 한 녹색전환(green transformation)이다. 덴마크 베스타스, 스페인 가메사 등 풍력터빈 선두업체들과 독일의 태양광 관련 선두업체들(큐셀, 바커-케미 등)은 기존 주력산업에서의 경쟁력을 활용하여 새로운 시장을 개척했다.

세계 1위 풍력터빈 제조업체인 덴마크의 Vestas는 농기구, 차 부품, 선박 부품 제조업체에서 풍력터빈 업체로 성공적으로 변신했으며, 스페인의 경우 전통적으로 자동차 및 항공, 조선산업에서의 경쟁력을 활용하여 10여년 만에 풍력터빈 선진국으로 도약했다. 독일, 일본, 대만이 태양광 산업에서 앞서가는 이유도 광학, 화학, 정밀기기, 반도체 등 태양광과 연관된 산업에서의

높은 기술력과 경쟁우위를 유지하고 있었기 때문이다. 우리도 조선, 철강, 화학, 반도체, IT 등 주력산업의 경쟁력을 활용한다면 성공 가능성이 크다고 할 수 있다. 조선, 발전설비 등에서 강한 경쟁력을 활용한다면 풍력터빈 시장에서도 좋은 성과를 올릴 수 있을 것이며, 반도체, LCD 산업에서의 성공을 토대로 태양전지 시장에 뛰어든다면 후발주자로서의 불리함을 머지않아 극복할 수 있을 것이다.

둘째, 지속적인 인센티브 제공과 초기시장 창출노력이다. 덴마크 풍력산업이 앞선 이유는 초기가동 5만 시간(약 6년) 발전차액(FIT) 지원이라는 안정적인 정책이 있었기 때문이며, 스페인의 풍력산업이 급성장한 배경에는 유럽에서 두 번째로 높은 수준의 발전차액(FIT)을 유지하고 있는 정책적 지원이 자리하고 있다. 미국의

텍사스주가 캘리포니아를 제치고 풍력발전 1위를 기록하게 된 계기도 1999년부터 재생에너지 의무할당제도(RPS)를 도입한 것이었다. 우리나라도 현재 시행중인 발전차액(FTT) 지원과 의무할당제도(RPS) 등 각종 인센티브 제공을 통해 투자의 불확실성을 최소화하고 초기시장 창출에 기여하려는 노력을 장기간 지속적으로 기울여야 '그린에너지 산업'이 육성될 수 있을 것이다.

셋째, 발전단지 개발회사(Project Developer)의 육성이 필요하다. 전력생산의 경제성을 높이기 위해 발전단지가 대형화되는 추세에 있으며, 부지확보와 자금조달, 인허가, 운용 및 유지보수를 담당하는 발전단지 개발회사의 역할이 중요해지고 있다.

스페인의 Acciona가 세계 1위의 풍력발전 개발회사로 성장했으며, 발전단지 개발회사로서의 장점을 살려 풍력터빈의 판매실적도 급성장하고 있다. 우리나라도 한전과 주공, 토공 등이 협력하여 '공공성'을 갖춘 발전단지 개발회사를 만들어, 대규모 태양광 및 풍력 발전단지를 조성하는 방안을 검토할 단계에 도달했다.

넷째, 공동 연구개발(R&D) 사업을 통한 시너지효과 제고 및 클러스터 활성화가 핵심 성공요인(KSF)이다. 독일 튀링겐 지역의 솔라포커스, 스페인의 REOLTEC, 프랑스의 사보이 테크놀라, 미국 텍사스의 '론스타 Wind Alliance' 등과 같이 각 지역의 클러스터를 활성화하기 위한 공동 R&D 프로젝트가 활발하게 움직이고 있다.

우리나라도 울산-부산-창원을 연결하는 '그린카 오토벨트' 사업이 지역의 부품업체를 연결하여 초경량 소재로 된 고연비 자동차를 개발하는 공동 R&D 프로젝트의 사례라고 할 수 있다. 태양광이나 풍력분야에서 관련 대기업과 중소기업의 협력을 이끌어내고 지역별 클러스터의 활동을 내실화할 수 있도록 다양한 '공동

연구개발 프로젝트'를 추진하고 성공사례를 만들어 내는 것이 필요하다.

다섯째, 기존 산업단지의 녹색화가 가장 실용적이고 효과적인 접근이다. 일본 기타큐슈의 에코타운은 산업단지 녹색화의 대표적 사례로서 활발한 민관협력, 대학 연구소 등 연구기관의 집적과 실증연구, 핵심기관의 존재, 테마파크를 포함하는 공동체 친화적 단지조성 등 클러스터 성공요소를 고르게 갖추고 있다. 따라서, 녹색클러스터 조성을 위해서는 기존 산업단지의 녹색화와 주변 인프라의 조화가 중요하다. 우리나라도 울산, 포항, 구미, 여천 등 오래된 산업단지의 녹색화야말로 환경 개선과 새로운 산업육성 등 여러 차원에서 효과가 크고 실용적인 사업이라고 할 수 있다.

〈 참고문헌 〉

산업자원부, 국가균형발전위원회, 한국산업단지공단, 『2007 한국 산업클러스터 백서』, 2007
 지식경제부, 『2007 산업자원백서』, 2008.9
 에너지관리공단, 『신재생에너지 백서 2008』, 2008,
 『신재생에너지 가이드 2009』, 2009
 경상북도, 『동해안에너지클러스터 조성 기본계획 수립에 관한 연구』, 2007.12
 중앙대학교, 『경상북도 동해안에너지클러스터와 지역 발전에 관한 연구』, 2007.11
 한국산업기술재단, 『주요국의 지역정책』, 2008.1
 산업연구원, 삼일회계법인, 국토연구원, 한아도시연구소, 『산업단지 구조고도화 사업의 기본방향 및 중장기 추진전략 수립 등을 위한 연구』, 2008.11

- 한국산업단지공단, 『생태산업단지 구축 정책방향』, 2008.4
- 장재홍, 김동수, 박 경, 정준호, 『지역균형발전정책의 위상과 구조에 관한 국제비교 연구』, 산업연구원 연구보고서 제533호, 2008.12
- 권영섭, 정석희, 강호제, 박경현, 『지역특성화발전을 위한 혁신클러스터 육성방안 연구』, 국토연구원, 2005.12
- 에너지경제연구원, 『저탄소 녹색성장 기반구축을 위한 워크샵 자료』, 2009.4.14
- 녹색성장위원회, 『저탄소 녹색성장 추진방안』, 2009.2.16
- KISTEP, 『한국형 녹색기술 R&D 육성을 위한 발전전략 제언』, [KISTEP R&D FOCUS 2009-3호 (통권 제14호)], 2009.4
- 지식경제부, 『저탄소 녹색성장 기본법 (입법예고)』, 2008
- 장재홍, 『지역혁신정책과 지역균형발전간의 관계분석 및 정책대응』, 산업연구원, 2005
- 『지역경제발전을 위한 새로운 정책패러다임 모색』, [응용경제 10(2)], 2008
- 이홍주, 『저탄소 녹색도시 조성을 위한 광주광역시 기후변화대응 정책방향』, [광주연구 2009-1], 광주발전연구원
- 복득규, 『산업클러스터의 국내외 사례와 발전전략』, 삼성경제연구소, 2002
- 김진오, 『울산광역시 지역 에너지사업 로드맵 계획』, 에너지경제연구원, 2007.3
- 최병호, 문병근, 이재우, 정종필, 『한국의 제조업클러스터와 지역적 특화에 관한 연구』, [지역연구 제21권1호], 2005.4
- 이종호, 이철우, 『집적과 클러스터: 개념과 유형, 그리고 관련 이론에 대한 비판적 검토』, [한국경제지리학회지 제11권 제3호], 2008
- 주한 덴마크 대사관, 『덴마크: 기후솔루션 핵심개발국가』, 2008
- 한계숙, 김재욱, 최지호, 『기업간 네트워크의 특성과 혜택간의 관계: 산업클러스터에 입지한 중소기업을 대상으로』, [중소기업연구 제29권 제1호], 2007
- 한국산업기술재단, 『한국의 지역혁신 클러스터 형성조건』, 2004.3.26
- 환경자원공사, 『일본 에코타운 출장보고서』 (내부자료)
- KanEnergi Sweden AB, 『Green Energy Cluster』, 2007
- Invest In Germany, 『The Photovoltaic Industry in Germany - The World's Strongest PV Cluster(Industry Overview)』, 2008
- Germany Trade and Invest, 『News From Germany-Photovoltaics』, January 2009
- State Development Corporation of Thuringia, 『Solar Industry in Thuringia』, 2006
- Harvard Business School, 『The Spanish Wind Power Cluster』, May 4, 2007
- EMCC Case Studies, 『Energy sector: Basque energy cluster』, Spain, 2008
- Invest in Denmark, 『Area of Biz Excellence』, 2008
- Energie-Cites, 『Wind Energy-Ringkobing』 (case study by EC program)
- Bjarne E. Jensen, 『Clustering in Denmark and Danish Cluster Policy』, 2004

IEA, "Photovoltaics in France", 2006

Christian Labie, "Rhone-Alpes Cluster: A
Chance to Dynamize the Economical
Development of the Region", 2009

www.tenerrdis.fr

www.savoie-technolac.com

www.solarfocus.org

www.solarfocus.org

www.invest-in-thuringen.org

www.invest-in-germany.com

www.vtu.dk

www.clusterenergia.com

최근 국·내외 풍력발전 동향 및 성장전략



장두석

산은경제연구소 전임연구원

1. 서론

최근 환경문제와 관련하여 신재생에너지 산업이 급성장 중이다. 교토의정서를 시작으로 전 세계적인 환경문제를 해결하기 위해 추진 중인 여러 방법들 중에서 풍력발전 기술이 가장 앞서고 있다. 정부는 최근 '녹색성장 국가전략 및 5개년 계획'에서 향후 5년간 107조원의 예산을 투입하여 기후변화에 대응하고 녹색산업을 신성장동력화하려는 계획을 발표하였다.

지금까지 국내 풍력산업에는 선진 풍력업체에 자유단조부품 위주로 납품하는 업체들이 대다수였으나 최근에는 조선업체들을 중심으로 대규모 투자가 이루어지고 있다. 그럼에도 불구하고 아직까지 국내 풍력 산업은 성장 초기에 불과한 단계로 많은 한계요소를 가지고 있다.

본고에서는 세계 풍력발전 산업의 최신 동향을 파악하고 이에 대응하는 국내 풍력발전 산업 동향 및 성장 전략에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 최근 풍력발전시장 동향

가. 풍력발전 성장의 배경

최근 풍력발전 설치가 빠르게 증가한 가장 중요한 배경은 교토의정서의 실질적인 발효이다. 교토의정서는 선진국들이 2008~2012년까지 지구온난화를 유발하는 6종의 온실가스 배출량을 1990년 수준보다 평균 5.2%를 줄이자는 협약으로 국가별로 정해진 배출량을 위반할 경우 벌칙이 주어지며 풍력발전을 포함한 신재생에너지 산업이 급성장하는 계기가 되었다. 주요국에서는 이미 <표 1>과 같이 장·단기 감축 프로그램을 계획 및 실행 중이다. 우리나라는 현재까지는 개발도상국으로 간주되어 자발적 감축대상국으로 분류되어 왔다. 그러나 2005년 기준 온실가스 배출량 세계 10위인 우리나라는 2013년부터 시작되는 포스트 교토체계에서는 의무감축대상국으로 전환이 확실시 된다. 이에 따라 대통령 산하 녹색성장위원회는 최근 자발적 감축 대상국 중 최초로 감축목표를 발표하고 온실가스 배출량을 최대 BAU¹⁾대

1) Business As Usual(BAU) : 기존 온실가스 감축정책을 계속 유지할 경우 미래 온실가스 배출량 추이

비 30%까지 감축한다는 계획을 발표하였다.

교토의정서가 신재생에너지 산업 발전에 전반적이고 지속적인 영향을 미쳤다면, 풍력발전의 낮은 발전단가는 신재생에너지 중 풍력발전이 빠르게 확산된 가장 직접적인 요인이다. 풍력발전의 발전단가는 터빈가격 및 초기 설치비, 유지·보수 등이 포함된 운영비 등으로 구성된다. 반면 기존 상용발전은 여기에 연료비, 향후 CO₂ 배출에 따른 거래세 등이 추가돼 이들을 모두 포함하여 비교하면 풍력발전의 발전단가는 신재생에너지 뿐만 아니라 화력, 수력발전 등 일부 상용발전과도 경쟁이 가능할 정도로 낮은 수준이다.²⁾

특히, 연료비가 계속 증가할 것으로 가정하면 풍력발전은 화력발전 등 대부분의 상용발전과 비교해도 가

격측면에서 경쟁력을 갖게 된다. 경제위기의 여파로 급격히 하락하였던 유가가 최근 다시 상승하는 것을 감안하면 현실과 괴리되는 것으로 생각하기는 어렵다. 여기에 향후 CO₂ 배출에 따른 비용을 추가하면 기존 상용발전의 발전단가는 더욱 높아질 것이다. 유럽풍력협회(Europe Wind Energy Association; EWEA)의 자료에 따르면 육상풍력발전의 비용은 여러 제비용을 포함한 석탄, 천연가스 등을 원료로 하는 상용발전에 비해 발전단가가 낮다. 비록 해양풍력발전의 경우 상용발전에 비해 발전단가가 높을 것으로 추정되나 아직 본격적인 해양풍력발전이 시작되지 않았고, 육상풍력발전에 비해 기술이 성숙할 여지가 많아 해양풍력발전도 향후 성장 가능성이 높은 부문이다.

〈표 1〉 주요국가 증기감축목표 및 대책

국가	주요 내용
EU	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2020년까지 1990년 대비 20% 감축 ■ 「EU 기후변화 종합법(Directives)」 발표(2009.4) ■ 배출권거래제(EU-ETS) 도입 및 시행 (2005) ■ 자동차 온실가스 배출규제 도입(2009)
영국	<ul style="list-style-type: none"> ■ 세계최초로 기후변화 법안 도입, 감축목표 명시(2008.12) ■ 2020년까지 1990년 대비 34% 감축목표
미국	<ul style="list-style-type: none"> ■ 10년간 신재생에너지 산업 1,500억달러 투자계획(2009.1) ■ 2020년까지 2005년 대비 17% 감축을 담은 “청정에너지·안보법안(Waxman-Markey)”(2009.6, 하원통과)
일본	<ul style="list-style-type: none"> ■ 저탄소 사회구축을 위해 「Cool Earth 50」 발표 (2007.5) ■ 저탄소혁명전략 등을 담은 미래개척전략(J Recovery plan)(2009.4) ■ 2020년까지 2005년 대비 15% 감축(2009.6)

자료: 녹색성장위원회

2) 국내 발전차액 보조금 제도에서는 조력이나 바이오에너지의 발전차액 보조금이 가장 작은 편이나 연료비, 설치비 등을 고려하면 풍력발전이 가장 저렴한 것으로 예상된다

또한, 풍력발전의 발전단가는 아직까지 보조금에 의존하는 대부분의 신재생에너지와 비교할 경우에도 당연히 더 낮다. 물론 조력, 수력 등 일부 신재생에너지의 경우 향후 풍력발전의 발전단가와 비교 가능한 수준으로 낮아질 수 있으나 아직까지 본격적인 상용발전이 시작되지 않아 실질적으로 정밀하게 비교하기는 매우 어렵다. <표 2>에서와 같이 육상풍력발전의 운영비는

58\$/kWh로 가장 낮은 수준이며 초기설치비 또한 1,510\$/kWh로 상당히 낮다. 수력발전 등이 비교가능한 수준이나 입지가 비교적 제한되어 있고, 주변 기후 변화, 수몰지역의 발생 등 시장에서 정확히 예측되기 어려운 환경파괴 비용 등을 감안한다면 수력발전의 발전단가가 풍력발전보다 낮다고 할 수 없다.

〈표 2〉 재생에너지의 초기투자비 및 운영비용 비교

(단위: \$/kW, kWh)

구분	비용	2005	2010	2020
풍력(육상)	초기투자비용	1,510	1,370	1,180
	운영비용	58	51	45
풍력(해상)	초기투자비용	3,760	3,480	2,600
	운영비용	166	153	114
태양광	초기투자비용	6,600	3,760	1,660
	운영비용	66	38	16
태양열	초기투자비용	7,530	6,340	5,240
	운영비용	300	250	210
바이오매스	초기투자비용	3,040	2,750	2,530
	운영비용	183	166	152
지열	초기투자비용	17,440	15,040	11,560
	운영비용	645	557	428
조력	초기투자비용	9,040	5,170	2,910
	운영비용	360	207	117
수력	초기투자비용	2,760	2,880	3,070
	운영비용	110	115	123

주: 2010, 2020년은 추정값

자료: Europe Renewable Energy Council

국내 발전별 발전차액 보조금

(단위: 원/kWh)

태양광	연료전지	바이오에너지	조력	풍력
428.8~647.0	234.5	69.0~85.7	62.8~90.5	107.29

자료: 에너지관리공단

나. 설치용량의 증가

세계 풍력발전 설치용량은 <표 3>에서와 같이 2000~2008년 동안 연평균 27.4% 증가하여 2008년 기준 누적 설치용량은 121GW에 달한다. 미국과 중국의 설치용량 증가 속도가 상대적으로 빠른 것으로 나타났다. 특히 미국은 2008년 한 해 동안 8,358MW를 설치하여 독일을 따돌리고 최대 설치국이 되었다.

최근 풍력발전의 급격한 설치 증가로 연간 전력생산량이 신재생에너지에 의한 전력생산 중 차지하는 비율이 <표 4>에서와 같이 67.2%로 절대적 비중을 차지하

게 되었다. 반면 화력, 원자력 등 기존 상용발전을 모두 포함한 총 전력 생산량에서 차지하는 비중은 0.7%로 아직 미미한 편이나 향후 발전가능성은 충분하다고 할 수 있다.

최근 글로벌 경기침체로 누적 풍력발전 설치량은 다소 성장세가 둔화될 것으로 예상되나 그 폭은 크지 않을 것이다. 물론 경기침체의 영향을 받고 있는 것은 사실이며 2008년 하반기부터 2009년 상반기까지 미국의 풍력터빈 설치증가량은 기대치에 미치지 못한다. 상반기의 설치감소로 2009년 올해 목표치였던 10,000MW의 50% 달성도 어려울 것이란 의견도 있으며 현재의

<표 3> 연도별·국가별 누적 설치량

(단위: MW, %)

연도	2000	2002	2004	2006	2008	연평균 (2000~2008)
세계	17,400	31,100	47,620	74,052	120,798	27.4
미국	2,578	4,685	6,725	11,575	25,170	33.0
중국	346	469	764	2,599	12,210	56.1
독일	6,104	11,994	16,629	20,622	23,903	18.6
스페인	2,235	4,825	8,263	11,623	16,754	28.6
인도	220	1,702	3,000	6,270	9,645	60.4

자료: Global Wind Energy Council

<표 4> 신재생에너지에 의한 전력생산 비중(2006)

(단위: GWh, %)

	풍력	지열	태양광	태양열	조력 등	합계
생산량	130,073	59,240	2,781	1,061	550	193,795
(비중)	(67.2)	(30.6)	(1.4)	(0.5)	(0.3)	(100)

주: 1. 괄호 안은 신재생 에너지 중 비중
2. 수력, 바이오메스, 바이오가스 제외

자료: International Energy Agency

미국 정부 지원금이 모두 집행되어도 정책목표치였던 2030년까지 전력공급의 20% 공급이라는 목표치를 달성하기에는 턱없이 부족할 것이라는 전망도 있다. 게다가 이러한 부족한 지원금마저 아직까지 본격적으로 지원되지 못하고 있는 실정이다. 이러한 많은 제약조건에도 불구하고 장기적으로 풍력발전 설치량은 지속적으로 증가할 가능성이 매우 높다. 에너지 안보강화, 기후 변화, 빠른 석유가격의 상승 및 각국 정부의 강화되는 환경규제 등은 향후에도 지속적으로 풍력발전이 성장할 토양을 제공해 줄 것이기 때문이다.

당장 2009~2010년에도 연평균 14% 정도의 성장이 예상된다. 다만 대륙별로는 차이가 있을 것으로 예상되는데, 유럽은 육상풍력발전 부지가 거의 포화돼 급격한 성장이 어려워 2009~2010년 중 연평균 7% 성장에 그칠 전망이다. 1970~1980년대에 설치된 풍력발전 설비의 교체주기가 도래하였고, 포화된 육상풍력 부지를 해결해야 한다는 점을 고려한다면 향후 해상풍력발전의 성장이 예상되나 그 비중은 한동안 크지 않을 것이다.

반면, 미국 및 중국은 세계 풍력발전 성장을 견인할 것으로 예상된다. 미국은 향후 10년간 그린에너지 산업에 1,500억 달러를 투자하여 전력공급 중 신재생에

너지의 비율을 2008년 5%에서 10%까지 높일 계획이다. 또한 신규 풍력발전시설 설치에 직접적인 영향을 미쳤던 세액공제제도를 기존 1년씩 연장하다가 2012년까지 연속연장 하는 등 강력한 지원책을 펼치고 있다. 중국도 2020년까지 550조원을 투입하여 전체 에너지 생산 중 풍력발전 비율을 약 3%까지 높일 계획이다. 이러한 미국과 중국의 강력한 지원책은 향후 풍력발전시장이 미국과 중국 위주로 재편될 것임을 시사한다.

3. 풍력발전의 산업구조

가. 산업구조의 재편

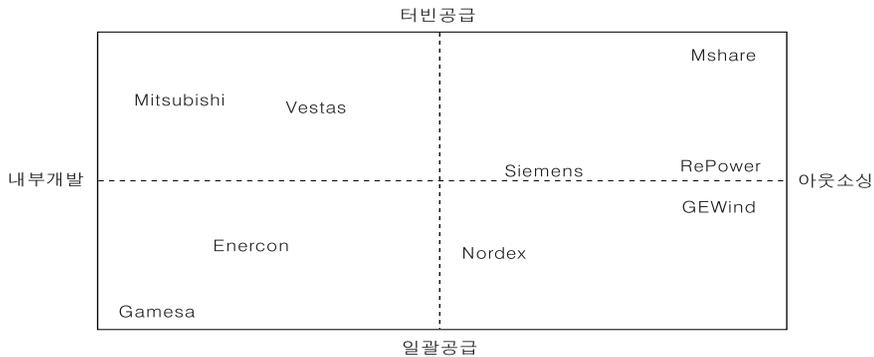
풍력발전시장의 규모는 2008년 기준 약 475억달러 정도로 다른 신재생에너지 산업에 비해 그 규모가 매우 큰 편이다. 향후 발전이 지속되면 수년 내 규모는 지금의 2배에 이를 것으로 추정되고 있다.

이러한 풍력발전 시스템의 가장 중요한 특징 중 하나가 한번 설치되면 유지·보수가 어려워 시스템의 전

〈표 5〉 선두 풍력터빈 업체들의 M&A 현황

회사	주요 M&A 사례
Vestas	NEG Micon(2004)
GE Wind	Rnron(2001)
Gamesa	Made(2003)
Siemens(Wind Power)	Bonus(2004), Winergy(2006)
Repower	Jacobs Energie(2001), BWU (2001)
Suzlon	Hensen(2006)
Nordex	Babcock(1996), Subwind(1998)

[그림 1] 글로벌 기업의 사업모델



자료: 산업자원부, 신·재생 에너지 R&D전략 2030, 전경련 자료 재인용

체적인 안정성이 매우 중요시된다는 점이다. 이 때문에 많은 설치 이력을 가진 상위업체 위주로 기업집중이 심화되었다. 상위 10개 풍력업체의 시장점유율이 2007년 기준 90.7% 정도로 매우 높은 편이다. 특히 세계 최대 풍력터빈 업체인 VESTAS는 비중이 축소되기는 하였지만 여전히 전 세계 풍력터빈의 약 20% 이상을 공급한다. 여기에 주요업체간 M&A가 급격히 증가하였다. 특히 Value Chain상의 핵심분야인 종합터빈제조사가 중심이 돼 1996년 17개였던 주요 업체가 7개사로 통합되었다. VESTAS는 2004년에 세계 3위 풍력터빈 업체인 NEG Micon을 인수하여 점유율을 크게 확대시켰고, GE Wind는 2001년 Enron을 인수하여 세계 2위로 도약하였다. 또한 Suzlon은 Hansen을 인수하여 기어박스 시장에서 두각을 나타내면서 세계 5위의 터빈제조업체로 부상하였다.

공급구조 측면에서도 주요 터빈업체들은 주요 부품의 수직계열화 및 일부 품목의 아웃소싱을 통해 수익성을 강화하고 있다. 특히 이러한 공급 구조변화를 통해

풍력단지 개발, 계획, 컨설팅, 운영 및 유지보수 등 관련된 전 분야에서 가능한 서비스를 제공하고 있다. 고부가가치의 핵심부품은 자체 개발하고 대부분의 소형 전문부품, 자유단조품 등이 계열사 하청 혹은 아웃소싱 대상이다.

나. 기술개발 동향

풍력발전의 최대 장점은 신재생에너지 중 가장 높은 경제성을 보유하고 있다는 점이다. 또한 CO₂ 등의 배기가스를 전혀 배출하지 않으며, 설치에 필요한 공간이 다른 신재생에너지에 비해 작고, 설치기간 또한 짧은 점도 장점으로 부각되고 있다.

이러한 많은 장점에도 불구하고, 전력생산량이 설치 지역의 풍질에 영향을 받는다는 사실은 치명적인 약점 중의 하나이다. 전력생산의 불균질성은 풍력발전이 단독으로 전력공급원이 되지 못하고 전력생산이 일정 수준이하로 떨어졌을 때 작동하는 보조 발전 시스템을

필요로 하게 한다. 이를 극복하기 위해 유럽에서는 국가간 대규모 전력통합³⁾을 통한 전력생산의 균일성을 확보하는 연구가 논의되고 있다.

대규모 전력통합과 함께 풍력터빈의 대형화 및 해양 풍력발전도 최근 풍력산업의 주요 관심사항이 되고 있다. 우선, 블레이드의 크기는 1980년대 초기에 지름 15m에 불과하였으나 현재 120m 이상으로 확대되었으며, 2020년경에는 250m 이상으로 커질 것으로 예상되고 있다. 이렇게 블레이드가 확대되는 가장 큰 원인은

블레이드 면적이 커질수록 면적당 초기 설치비용이 감소하고 풍력발전기의 효율성과 직결되기 때문이다. 풍력발전기의 발전단가 중 설치비의 비중이 약 70%에 이른다는 점을 고려하면 설치비의 감소는 풍력발전기 전체의 경제성과 직결되는 문제이다. 다만 2004~2008년 기간 중 철강재 등 원재료 가격의 급격한 상승으로 단위면적당 설치비용이 다소 상승하였으나, 장기적으로 관련 기술개발 및 공급능력 확대에 따라 단위면적당 설치비용은 감소할 것으로 예상된다.

〈표 6〉 풍력발전의 장·단점

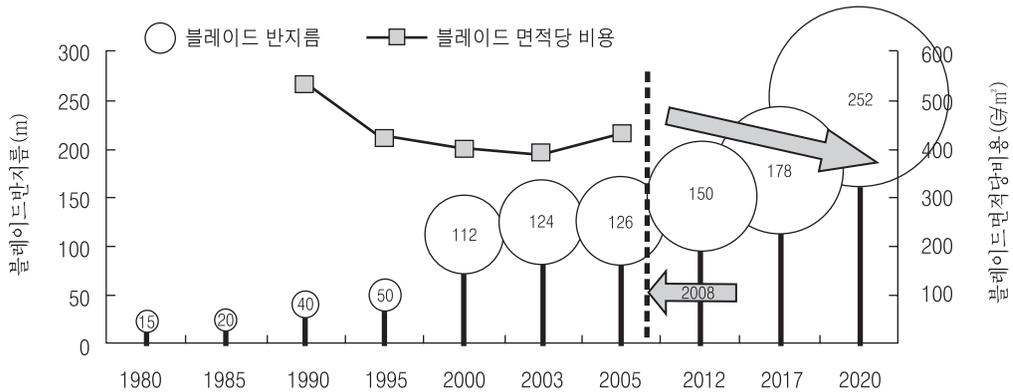
주요 내용									
장점	<ul style="list-style-type: none"> ■ 현재 신재생 에너지 중 발전단가가 가장 저렴 ■ 이산화탄소등 온실가스의 배출이 없어 무공해 에너지원 ■ 발전소 건설에 필요한 부지가 타 에너지원에 비해 작아 국토의 효율적인 이용 가능 								
	에너지원별 1GWh당 소요면적								
	(단위: m ² /GWh)								
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>석탄</th> <th>태양광</th> <th>풍력</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>단위당 소요면적</td> <td>3,462</td> <td>3,237</td> <td>1,335</td> </tr> </tbody> </table>		석탄	태양광	풍력	단위당 소요면적	3,462	3,237	1,335
	석탄	태양광	풍력						
단위당 소요면적	3,462	3,237	1,335						
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 시공기간이 짧아 전력수요에 대응하여 빠르게 풍력발전소 건설 가능 ■ 풍력산업은 20~30년 전부터 시작돼 기술의 최적화 및 시장의 성숙도가 높음 ■ 연료가격, CO₂ 배출가격의 변동성에서 발생하는 불확실성이 없어 기존 상용발전과 포트폴리오 구성으로 안정적인 비용구조 구성 가능 								
단점	<ul style="list-style-type: none"> ■ 풍질의 지역간 편차가 심해 설치가능 지역이 편중됨 ■ 풍향이 최소 4%이상 및 최대 25% 사이에만 정상 작동 ■ 정격전압 생산가능시간은 전체시간 중 18%에 불과 ■ CF³⁾ 25% 수준으로 상용발전소의 60~70%에 비하여 매우 낮음 ■ 미관 및 소음 상의 문제로 거주 지역 주민과 마찰 야기 ■ 고장발생시 접근이 용이하지 못해 수리가 어려움 								

3) 계체통합(Grid Integration)은 풍력발전소의 각 터빈을 통합 전력망에 연결시키는 것을 의미한다. 유럽은 풍질의 변화로 야기되는 전력생산의 변동성을 통계기술을 적용하여 축소시키기 위해 현재 대규모 전력통합을 추진 중임. 반면, 소규모의 풍력발전은 경제성의 문제로 축전기를 이용하여 변동성을 축소시키기도 하나 축전기의 낮은 효율이 해결해야 할 과제

또한, 풍력발전 설치지역이 한정된 반면, 풍력발전기는 대형화되고 있어 향후 해상풍력발전이 점진적으로 확대될 전망이다. 해상풍력발전 연구 및 설치가 이미 육상 설치지역이 포화된 유럽에서 가장 활발한 것도 이러한 이유 때문이다. 여기에 덧붙여 해상풍력발전은 육상풍력발전이 가지는 소음, 미관 및 지가하락의 문제 등 민원발생 가능성을 원천적으로 봉쇄할 수 있다. 경제적으로도 해상풍력발전의 품질이 육상에 비해 강하고 균일하여 CF가 40% 정도로 매우 높고 또한 내구연도도 육상에 비해 5년 가량 늘어난 약 25년 정도로 추정된다. 그럼에도 해상풍력발전의 설치비가 육상에 비해 2~3배에 이를 뿐만 아니라 설치 역시 쉽지 않아 유럽을 제외하고는 아직 본격적으로 확산되고 있지 않다. 그러나 향후 기술적인 문제가 해결되고 설치비용이 하락하면 해양풍력발전은 크게 확산될 가능성이 높다.

마지막으로, 최근 틈새시장으로 주목받고 있는 분야 중 하나가 소규모 풍력터빈 시장이다. 발전소 단위에서 사용될 수 있는 MW규모의 대형 풍력발전기가 아닌 10~100kW 정도의 소규모·가정용 풍력발전기를 건물에 설치하려는 수요가 증가하고 있기 때문이다. 소형 풍력발전기는 대형 풍력발전기 시장에서 일반적으로 통용되는 3엽 수평축 풍력발전기라는 시장의 표준형이 존재하지 않아 상대적으로 신규업체의 진입이 유리하다. 그러나 상대적으로 시장규모가 매우 협소하고 시장이 형성되는 초기단계에 불과해 장기적인 성장을 예측하기 매우 어렵다. 그러나 기술적으로 대형 풍력발전의 발전효율이 20% 이하인 반면 소형은 35~40% 정도에 이르고 유지·보수가 용이한 점, 소음·미관상의 문제가 상대적으로 크지 않은 점 등은 향후 전망을 밝게 한다. 일례로 국내업체 중 소형 풍력발전기를 주로 생산하는 아

[그림 2] 블레이드 면적과 단위면적당 초기 설치비용의 관계



주: 2008년 이후는 추정자료
 자료: Europe Wind Energy Association

4) CF(Capacity Factor)는 특정지역에 설치된 터빈에서 1년 동안 생산 가능한 전력생산량에 대한 실제 생산량의 비율로 WWEC(World Wind Energy Council)는 현재 평균적인 CF를 25% 수준으로 추정하고 있으며 2028년 까지 28%, 2026년 까지 30%로 증가될 전망

이알윈드파워의 경우 중국 및 인도네시아 풍력가로등 사업에 본격적으로 진출하여 사업을 확장하고 있다.

4. 국내 풍력발전산업 동향

가. 풍력발전 설치량의 증가

국내 풍력발전기 누적 설치량은 1999~2008년 동안 연평균 53.5% 증가하여 2008년에 232MW에 이르렀다. 2008년 시장규모는 MW당 20억 정도로 계산하면 약 700억원 규모이다. 연간 총발전량은 2008년 기준 375,641MWh로 국내 총 전력생산 중 비중은 0.1%에 그쳤다. 그러나 수력발전을 제외한 전체 신재생에너지 생산량 중 비중은 49.2%로 가장 높다.

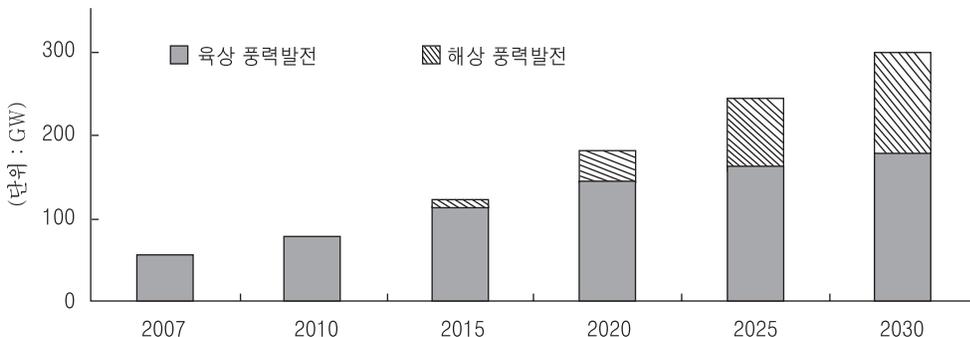
지역별로는 대부분의 풍력발전단지가 품질이 좋은 강원도, 경상북도 북부 및 제주도 지역에 집중되었다. 대부분 공기업, 지방자치단체가 사업주체로 아직 순수 민간사업자의 비중은 크지 않다. 또한 국내 설치된 풍

력터빈의 대부분을 외국산에 의존하고 있으며, 전체 146기 중 국내 업체가 제조·설치한 경우는 유니슨의 부산 고리풍력 1기에 불과하다.

정부 및 지방자치단체의 적극적인 투자계획과 RPS 제도의 시행으로 향후 국내 풍력발전기 설치량은 급증할 것으로 전망된다. 정부는 향후 3년간 2,522억을 투자하여 육상풍력발전소 1,145MW 및 해상풍력발전소 300MW를 건설할 예정이다. RPS제도의 경우 2012년부터 도입이 계획 중인데 법안이 통과되면 아직까지는 풍력발전이 신재생에너지 중 경제성이 가장 높아 대규모 발주 증가가 예상된다. 그러나 육상풍력발전의 경우 경제성 있는 풍력발전단지 설치지역이 제한돼 점차적으로 설치증가가 한계를 보일 것이다. 육상풍력의 경우 풍력발전단지의 필요면적이 다른 발전소에 비해 크지 않은 것은 사실이나 풍력발전기가 대형화되는 반면 경제성 있는 풍력발전설치 지역 자체가 많지 않은데다 풍력터빈 역시 상호 간섭을 줄이기 위해 일정 거리를 두고 설치해야 하기 때문이다.

반면, 해상풍력발전의 경우 기술적·경제적인 문제

[그림 3] 유럽의 육상·해상 풍력발전 누적 설치 전망



자료: Europe Wind Energy Association

를 해결하면 향후 발전가능성이 매우 높을 것이다. 최근 전라남도과 포스코건설이 품질이 양호한 전라남도 지역에 2015년까지 2.5조원을 투자하여 600MW규모의 해상풍력발전소를 건립예정인 것도 이러한 기대감을 반영한다.

나. 풍력발전기계산업 동향

국내 풍력발전 관련 기계산업의 시장규모는 2007년 현재 18억불이며 수출은 11억불 규모로 추정되고 있다.

2009년 7월말 현재 약 4,700개 업체가 에너지관리공단의 신재생에너지 전문기업으로 등록되어 있으며 그 중에서 풍력발전 대상 전문기업은 762개이다. 대부분 소규모 부품생산업체로 전체고용은 약 9,000명에 불과한 것으로 추정되고 있다. 그러나 실제적인 생산에 참여하는 풍력업체는 단조품을 주로 생산하는 자유단조업체, 최근 풍력발전에 대대적인 투자를 진행 중인 조선업체 및 소형 풍력터빈을 생산하는 소수 업체 등 수십 개 정도일 것으로 예상된다.

특히, 실제로 제품을 생산·판매하는 풍력관련 기계

<표 7> 국내 지역별 풍력발전 설치용량

(단위: kW, 기)

지역	발전소	사업자	준공연도	용량	수량	제작사
제주도	행원풍력	제주도	03-04	9,795	15	VESTAS, NEG-MICON
	신창풍력	제주도	06-03	1,700	2	VESTAS
	한경풍력	남부발전	07-12	21,000	9	VESTAS, NEG-MICON
	소 계			32,495	26	-
강원도	대관령풍력	강원도	04-12	2,640	4	VESTAS
	매봉산풍력	강원도	06-10	6,800	8	VESTAS, GAMESA
	양양풍력	중부발전	06-06	3,000	2	ACCIONA
	강원풍력	강원풍력	06-09	98,000	49	VESTAS
	태기산풍력	포스코건설	08-11	40,000	20	VESTAS
	소 계			150,440	83	-
경북	울릉도풍력	경상북도	99-08	600	1	VESTAS
	포항풍력	경상북도	01-02	660	1	VESTAS
	영덕풍력	영덕풍력	05-03	39,600	24	NEG-MICON
	소 계			40,860	26	-
전북	전북풍력	전라북도	07-11	7,900	10	VESTAS, NEG-MICON
부산	고리풍력	한수원	08-09	750	1	UNISON
합계				232,445	146	-

주: 1. 2008년 12월 기준

2. 2009년 3월 한국남부발전이 제주도에 12MW 규모의 해상풍력발전소 1단계 준공

업체 중 대다수는 자유단조업체로 2008년 기준 생산은 약 1.1조 정도로 추정된다. 관련 매출의 대부분은 대형 풍력발전기계 관련 제조회사의 매출이다. 매출의 약 90%는 자유단조업체가 생산하는 메인샤프트, 타워플랜지 및 타워 등에서 발생하며 매출 중 수출비중은 약 95% 이상이다. 이러한 매출구조는 국내 풍력발전 시장 규모가 협소하기 때문이며 향후에도 수출위주의 성장은 지속될 것이다. 향후 국내 풍력발전 설치량의 급격

한 증가가 예상되지만 현재 조선사 및 단조업체가 장기적으로 국내 내수만으로 성장을 지속하기에는 국내시장은 매우 협소한 상황이다.

아직까지 국내에서 풍력터빈을 종합적으로 설계·생산하고 실제 판매이력이 있는 업체는 유니슨이 유일하다. 그러나 2009년 상반기에는 기존 조선 4대 업체인 현대중공업, 삼성중공업, STX조선, 대우조선해양 등이 모두 풍력산업에 진출을 선언하고 적극적으로 투

〈표 8〉 풍력발전 부품별 주요 업체의 매출액

(단위: 백만원)

부품	업체	2007년	2008년
로터샤프트	평산	-	5,518
메인샤프트	태웅	62,984	119,858
	용현BM	-	55,020
	합계	62,984	174,878
유지보수	유니슨	-	2,600
크랭크샤프트	현진소재	33,281	92,100
타워	동국S&C	123,801	303,265
	CS WIND	33,215	148,647
	유니슨	-	9,200
	합계	157,016	461,112
타워플랜지	태웅	94,476	179,787
	평산	111,442	145,144
	마이스코	-	24,337
	용현BM	-	1,618
	합계	205,918	350,887
풍력터빈	유니슨	-	1,400
베어링 외	평산	29,464	37,041
합계		488,663	1,125,536

주: 1. 97~99%를 수출하여 매출액과 수출액의 차이는 거의 없음

2. 유니슨의 풍력터빈·유지보수 매출은 내수

자료: 각 사 공시자료 및 자체 추정

자에 나서 수년내 국내 업체간의 국·내외 수주경쟁이 예상된다. 이들은 조선업 등에서 발생한 최근의 급격한 수주감소를 대체에너지 산업 등에서 만회하려 풍력터빈 등에 투자 중인 것으로 파악된다.

〈표 9〉 국내 풍력발전투자 관련 주요 기업동향

기업	풍력발전 사업내용
효성	<ul style="list-style-type: none"> ■ 정부의 5MW 풍력발전시스템 주관기업으로 선정 ■ 현재 변압기와 증속기 생산, 2MW 풍력발전시스템 개발완료, 강원도 일대에서 풍력발전소 시범운영 ■ 풍력발전분야에서 연매출 2천억 이상이 목표
두산중공업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2006년부터 해상풍력발전 시스템 개발 및 국책과제 수행 중 ■ 제주도에서 해상 풍력발전 단지 건설 중
현대중공업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 풍력발전용 변압기, 차단기, 회전기, 발전기 등을 생산·수출 중 ■ 2010년 2월까지 전북 군산 산업단지 안에 1,057억원을 투자하여 풍력발전기 공장 건설 예정 - 1.65MW급 풍력발전기 연간 약 360기 정도 생산예정 ■ 0.4MW급 풍력발전기 주요제품, 2012년부터 본격 생산시 연매출 1조 2천억 기대
삼성중공업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 프로펠러 제조 기술을 이용하여 날개(Blade) 부분 사업 진출 ■ 총 6천억을 투자해 2.5MW급 육상터빈 및 5MW급 해상터빈을 연 200기씩 생산 예정
대우조선해양	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미국 풍력발전 기술업체 드윈드 5,000만달러에 인수-드윈드는 지금까지 총 710기의 풍력터빈을 유럽, 중국 등에 납품 ■ 신모텔개발비로 7,000만달러 투자 계획 ■ 북미지역에 풍력공장 설립 ■ 텍사스 지역에 1차로 40MW규모, 향후 840MW 규모의 풍력발전단지 설립 ■ 2020년 세계 3위권으로 시장의 15% 점유 목표
유니슨	<ul style="list-style-type: none"> ■ 풍력발전터빈 연 1,000MW 규모 생산가능 ■ 경북산청 공장을 2008년부터 가동하여 자유단조 제품도 생산 중 ■ 미국에 2MW급 풍력발전터빈 공급하기로 계약 발표 ■ 중국 랴오닝성 푸틴시와 5년간 2MW급 터빈 1,000기를 납품예정으로 약 4조원 규모
STX	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1999년 제주 행원 풍력단지 설립, 제주도에 3MW급 풍력발전기 5기 공급계약(STX엔진) ■ 풍력발전기 제조업체 하라코산유럽(네덜란드)를 240억에 인수 - 하라코산유럽은 풍력발전 원천기술, 핵심특허 및 R&D센터를 보유
태웅	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1만5천 톤 급 세계 최대 단조 프레스 보유 ■ 메인 샤프트, 타워플렌지 등을 생산하여 GE, Vestas 등 세계 선두 풍력발전 터빈업체에 납품
평산	<ul style="list-style-type: none"> ■ 풍력발전용 메인샤프트와 베어링 모듈 생산
현진소재	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vestas 등과 풍력 메인 샤프트 계약 체결
동국산업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 세계 1위 윈드타워 업체인 동국 S&C를 100% 자회사로 보유
용현BM	<ul style="list-style-type: none"> ■ 현진소재의 자회사로 메인샤프트, 타워 플렌지 등 생산

다. 기술개발 및 투자 동향

현재 국내 풍력발전기계의 기술수준은 아직 선진국과 차이를 보이고 있다. 육상의 경우 선진국대비 79%, 해양의 경우 68% 수준으로 추정된다. 특히 2008년에 설치된 146기의 풍력터빈 중 단 1기만이 유니슨에서 생산한 국산제품일 정도로 아직까지 시장에서 신뢰성을 획득하고 있지 못하다. 일부 자유단조품과 같이 선진국 수준에 도달한 부품이 있는 반면에 블레이드, 제어장치, 증속기 등과 같이 높은 기술력이 요구되는 제품의 경우 아직까지 자체 개발하지 못하고 있는 실정이다. 특히, 블레이드 등은 재료공학, 유체역학 등 고급공학기술이 요구돼 개발이 쉽지 않은 상황이다. 국내 업체 중 유니슨과 효성이 각각 750kW, 2MW급 풍력터빈의 국제인증을 획득하였으나 해외 주요업체는 이미 5~6MW급의 풍력터빈을 개발완료하고 3kW급 터빈을 인증 후 보급 중이다.

그러나 조선업체 중심으로 조선·중공업에서 쌓은 기술력 및 자금력을 기반으로 풍력터빈 개발을 추진하고 있어 수년 내로 경쟁력 있는 풍력터빈의 생산이 가능할 것으로 전망된다. 풍력터빈에 들어가는 주요 부품과 유사한 기술을 기존 조선업 등에서 이미 확보하여 빠르게 주요 부품의 개발이 가능할 것으로 보인다. 예를 들어 삼성중공업의 경우 금년 5월에 미국 풍력전시회에서 기존의 중공업에서의 프로펠러 제조 기술 등을 인정받아 아직 본격적인 생산기반이 없는 상황에서도 2.5MW급 풍력터빈 3기를 수주받았다. 또한 막강한 마케팅 능력 또한 향후 전망을 밝게 하는데, 일부 국내 대기업은 일부 발전설비 부품을 미국, 유럽 시장에 판매한 경험이 있으며, 이미 다른 산업을 통해 전력사업자들의 실수요자를 고객으로 확보하고 있어 향후 풍력시

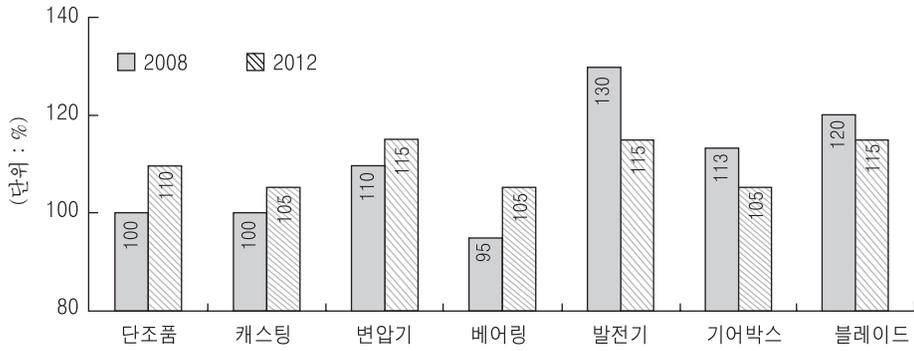
장에 진출할 경우 유리할 것으로 보인다.

5. 향후 전망 및 성장전략

2006년 이후 지속된 풍력발전기 관련 초과수요는 최근 빠르게 해소되고 있는데 이는 풍력발전기 수요가 증가하고 있음에도 불구하고 생산능력이 더 빠르게 증가하고 있기 때문이다. [그림 4]와 같이 고도의 기술이 필요한 블레이드, 기어박스 등의 핵심부품은 선진업체들의 높은 기술장벽으로 인해 초과수요가 상당기간 지속될 것으로 보이나 진입장벽이 상대적으로 높지 않은 단조품류와 베어링 등 비핵심부품은 수년 내에 초과 공급 시장으로 변할 것으로 보인다. 최근 타워플랜지, 메인샤프트 등 단조품에서 경쟁력을 가지고 있는 국내 자유단조업체들 중 일부업체가 2009년 상반기에 영업 손실을 냈다는 사실은 시사하는 바가 크다. 경기침체의 여파로 수요가 급격히 축소된 것을 감안하더라도 자유단조품 시장의 경쟁이 심화된 것은 부인할 수 없기 때문이다.

향후 세계 자유단조 부품시장에서의 경쟁이 격화될 것임은 분명하나, 국내 자유단조 풍력부품 업체들은 지속적으로 성장할 가능성이 높은 것도 사실이다. [그림 5]와 같이 풍력발전의 성장에 따라 국내 업체가 강점을 가지고 있는 타워플랜지 등 단조 부품 시장은 지속적으로 확대될 것이다. 여기에 국내 단조업체들은 그동안 단조품 수출을 통해 해외 판매망을 구축하였고, 이를 통해 이미 세계 수준의 높은 경쟁력을 확인하였다. 특히 향후 국내 내수시장이 확대되고 국내 터빈 제조사들이 본격적으로 해외 시장진입을 하게 되면 국·내외 관련 수요가 지속적으로 확대될 것이다. 최근 세계 최대 풍력터빈 업체인 네덜란드의 VESTAS가 국내 풍력터

[그림 4] 글로벌 풍력발전 부품수급 전망



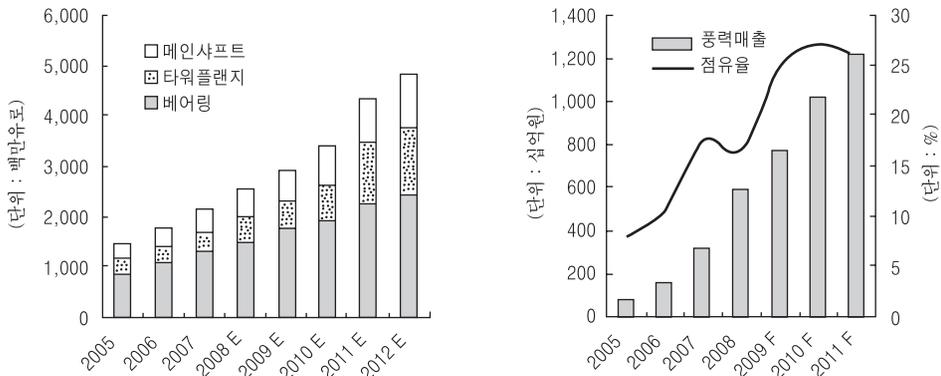
주: 수요대비 공급비율을 나타내며 2008년 8월말 기준
 자료: BTM Consulting

위부분에 5,000만 달러를 투자하고 부품 구매 비율을 높이겠다고 하는 점 등은 단조업체들의 높은 경쟁력을 확인시켜 준 것으로 볼 수 있다.

다만 좀 더 지속적이고 안정적인 성장을 위해서는 단순 부품 납품에서 벗어나 기어박스 등 본격적인 고부

가가치 부품 생산을 해야만 할 것이다. 이미 주요 단조 부품 업체들은 이를 대비하고 있는데 일례로 평산은 작년 4월에 증속기를 전문적으로 생산하는 Jake(독)를 인수하여 단순 단조부품회사에서 종합 풍력부품 제조 회사로 변모 중이다. 또한 최근 풍력타워 관련 세계 시

[그림 5] 풍력발전 관련 세계 단조부품 시장규모



자료: Global Wind Energy Council, Make Consulting, BTM Consulting

장의 약 25%를 점유하여 세계 1위의 풍력타워 제조업체인 동국 S&C는 풍력관련 투자확충을 위해 올해 8월 말에 코스닥에 상장을 하였다. 향후 동사는 자금을 확충하여 국내·외 신공장 증설, 유럽연합과 북미시장 등을 적극 공략할 계획이다.

단조업체들과 달리 최근 국내 조선업체 중심의 풍력산업 진출은 기대와 우려가 공존하고 있다. 국내 시장 규모가 확대되더라도 일정 수준 이상의 증가에는 한계가 있을 것으로 전망되고 이미 기존 풍력산업에 주요 업체가 시장을 장악하고 있는 상황에서 풍력발전산업에 대한 국내 메이저 조선사들의 공격적인 투자는 버블 형성의 가능성을 높이고 있기 때문이다. 또한 미국 등 주요국 정부의 풍력발전 지원에 대한 강력한 의지 표명과는 달리 실제 재정자금의 집행은 아직까지 본격적으로 집행되고 있지 못한 것도 이러한 가능성을 높이고 있다.

그러나 위와 같은 제약조건에도 불구하고 국내 조선업체들이 풍력산업에서 강자로 부상할 가능성 역시 적지 않다. 우선, 풍력발전은 장기적으로 기존 화석에너지를 자연 친화적인 신재생에너지로 바꾸기 위한 사업인 만큼, 앞으로도 수요가 지속될 것은 분명하다. 이러한 가정하에서 국내에는 이미 경쟁력 있는 풍력단조 부품회사가 존재하여 향후 조선업체들이 국내·외 풍력산업에 진출할 경우 시너지효과를 낼 수 있다. 여기에 이미 조선, 자동차 등에서 주요 풍력발전기 부품의 개발에 필요한 유사 기술을 확보하여 빠르게 개발이 가능한 것도 장점이다. 마지막으로 국내 조선사 등은 해외에서 대형플랜트를 수주한 경험을 다수 보유한 것도 유리한 여건으로 볼 수 있다. 현실적으로 풍력발전기도 조선, 중공업 등의 대형기계의 일종이기 때문이다.

이러한 장점을 바탕으로 구체적으로 국내 풍력발전산업을 신성장동력화하기 위해서는 몇 가지 전략이 필

요하다. 첫째로, 풍력터빈의 핵심부품인 플레이트, 기어박스 등을 직접 개발하고 주요 부품에서의 고부가가치화에 주력해야 한다. 자유단조품은 상대적으로 신규 진입장벽이 낮고 풍력발전기에서 차지하는 비율도 가격대비 5~10%에 불과하여 장기간 이익창출이 매우 어렵다고 할 수 있다. 따라서 IT, NT 등과 연계하여 핵심 고부가가치 풍력부품을 개발해야 한다. 둘째로, 풍력터빈제조사는 부품 수급을 안정화시키고 원가경쟁력을 확보하기 위해서 밸류체인상의 적극적인 수직계열화를 추구할 필요가 있다. 특히 선진 풍력업체가 그러하듯이 기술개발 속도가 빠른 전문 풍력부품의 경우, 이러한 기술력을 보유한 전문업체가 있을 경우 이들과의 협업도 필요하다고 할 수 있다. 세 번째로, 풍력발전 시스템 설계 및 운영 경험을 축적하여 운영서비스를 수출할 필요가 있다. 장기적으로 터빈관련 기계시장은 경쟁이 심화될 것으로 예상되나 관련 컨설팅 분야의 경우 진입장벽이 높아 고부가가치의 시장이 형성될 것이다. 이를 위해 정부 국책사업에 국내업체가 시스템 계획, 설계부터 제조·유지·보수까지 종합서비스를 제공하여 경험 및 이력을 축적할 기회를 줄 필요가 있다. 대부분의 해외 주요 풍력업체가 자국시장에서의 시장 점유력을 바탕으로 해외 시장에서 성장한 것을 참고한다면 국내에 풍력발전 시범단지의 육성은 매우 중요하다고 할 수 있다.

현실적으로 국내 풍력발전산업이 적극적으로 공략해야 하는 지역은 미국, 중국 등 기존 메이저 풍력터빈사가 시장을 장악한 국가보다는 잠재력은 있으나 아직 발전 초기단계에 있는 남미, 동남아 등과 같은 국가의 진출이 좀더 유리하다고 할 수 있다. 미국, 중국 등의 거대시장 진출도 필요하지만 장기적으로는 경쟁이 덜 치열한 신규시장 개척에 보다 더 적극적이어야 한다. 특히 금융시장이 미발달한 국가에 풍력발전기를 수출

할 경우 국내 금융사와 함께 진출하는 것도 주요한 전략이 될 수 있다. 초기 투자비용이 큰 반면 수익이 장기간에 걸쳐 발생하는 풍력발전의 특성을 활용하면 프로젝트 파이낸싱, 풍력보험 등 다양한 금융기법을 포함하는 토털서비스를 제공하며 진출할 수 있기 때문이다.

이러한 긍정적 전망에도 불구하고 장기적인 풍력시장 규모 및 국내 풍력발전 현황을 고려할 때 지금처럼 다양한 업체가 풍력산업에 진출하는 것보다는 1~2개 업체로 국내 풍력산업 역량을 집중할 필요가 있다. 실제로 대부분의 풍력발전 선진국의 경우에도 자국내 1~2개 선도업체 중심으로 시장이 형성되어 있다는 점은 시사하는 바가 크다. 정부의 정책지원도 가격경쟁력 및 기술축적을 위해 터빈업체 중심의 수직계열화 및 컨설팅·제조·설치 및 운영을 망라한 턴키방식으로 해외진출을 촉진하는 정책을 통하여 국내 산업역량을 집중할 수 있게 유도해야 할 것이다.

〈 참고문헌 〉

국가에너지위원회, 「제1차 국가에너지 기본계획 2008~2030」, 2008.8
 산업자원부, 「풍력자원 정밀조사 및 풍력단지 개발 기술 증진연구」, 2005.6
 삼정KPMG, 「Intro to Clean Energy : Wind」, 2009.3
 수은해외경제, 「중국의 풍력발전 현황과 향후전망」, 2008.6
 엄경아, 「풍력발전 미풍지속」, 신영증권, 2009.3
 에너지관리공단, 「2007, 신재생에너지통계」, 2008
 에너지관리공단, 「신재생에너지 RD&D전략 2030」,

2007.11
 에너지관리공단, 「신재생에너지백서」, 2008
 이수진, 「풍력발전: 차세대 신재생 에너지로서의 가능성 충분하다」, 동부증권, 2009.2
 이창호, 「신재생 에너지 의무할당제도 적용방안」, 한국전기연구원, 2008.10
 이창호, 「신재생에너지 의무할당제 국내 적용방안」, 한국조세연구원, 2009.6
 이충재, 「신재생에너지: 풍력발전 Wind Save the World」, 한화증권, 2009.1
 조인값, 이종환, 「풍력: 동심원효과 대 도넛효과」, 굿모닝신한증권, 2009.2
 지식경제부, 「지식·혁신주동형 녹색성장을 위한 산업발전전략」, 2008.12
 한국경제인연합회, 「풍력산업현황과 개선과제」, 2009.5
 한국무역협회, 「중국 풍력발전 산업현황 및 시사점」, 2009.3
 한국전력거래소, 지식경제부, 「제4차 장기에너지 수급계획」, 2008.12
 한병화, 「풍력, 바람의 질주가 다시 시작한다」, 현대증권, 2009.5
 EREC, 「Energy Revolution」, 2008.10
 EWEA, 「The Economics of Wind Energy」, 2009
 EWETP, 「Strategic Research Agenda, Market Deployment Strategy」, 2008.6
 GWEC, 「Global Wind 2008 Report」, 2009
 GWEO, 「Global Wind Energy Outlook, 2008」, 2008
 Trade Wind, 「Integrating Wind」, 09.2

국가 온실가스 배출통계 관리체계 발전방안에 대한 논의

정경화 에너지경제연구원 책임연구원

1. 서론

Post-2012 온실가스 감축 체제에 대한 국제협상이 금년 12월 코펜하겐총회를 목표로 진행되고 있다. 이 과정에서 선진국들이 우리나라에 대해 온실가스 감축 의무부담을 강력하게 요구하고 있어, 우리나라는 기후 변화문제에 대해 보다 적극적으로 대응해야 할 시기이다. 국가 온실가스 배출통계는 온실가스 감축정책수립에 근간이 되기 때문에 기후변화 대응의 기초에 온실가스 배출통계의 중요성이 있다.

그동안 우리나라의 온실가스 배출량 통계는 부문별 작성기관이 작성하고 총괄기관이 이를 취합·총괄하는 분산형 체계에서 작성되어 왔다. 부문별 작성기관을 살펴보면, 에너지부문의 온실가스 배출통계는 국가에너지통계를 담당하는 에너지경제연구원, 산업공정은 에너지관리공단, 임업은 국립산림과학원, 농·축산은 국립농림과학원과 국립축산과학원, 폐기물은 환경관리공단이 담당하고 있다. 에너지경제연구원은 부문별로 작성된 온실가스 배출통계를 취합하여 총괄 작성하며, 지식경제부는 작성된 국가 온실가스 배출통계에 대해 국가온실가스인벤토리협의회를 통하여 제3자 검토를

실시한다. 최종적으로 통계청과 협의된 국가 온실가스 배출통계는 지식경제부 홈페이지를 통해 공표되고 있다. 이러한 국가 인벤토리 작성체계는 post-2012 체제를 효율적으로 대비하기 위해서 제도적, 법적 절차에 따른 부속서 I 국가 수준의 국가인벤토리시스템으로 보완되고 발전되어야 할 필요가 있다.

효율적인 국가인벤토리시스템을 구축하기 위해서 우선적으로 고려하여야 할 사항은 다음과 같다. 첫째, 1994년부터 국가 온실가스 배출통계 작성에 참여해 온 작성기관의 전문성과 노하우(know-how)를 최대한 활용할 수 있도록 디자인되어야 한다는 점이다. 둘째, 우리나라의 산업구조 및 여건이 부속서 I 국가와는 다르다는 점을 반영해야 할 것이다. 우리나라는 총에너지소비량 중 97%를 수입에 의존하고 있으며, 2006년 국내 온실가스 배출량은 599.5 백만tCO₂eq로, 이는 1990년 대비 301.4 백만tCO₂eq가 증가한 수치이다(연평균 4.5% 증가). 이러한 증가는 주로 에너지 및 산업공정의 배출량 증가에 기인한다. 2006년 배출원별 배출비율을 살펴보면, 에너지 84.3%, 산업공정 10.6%, 농업 2.5%, 폐기물 2.6% 등이다. 우리나라의 온실가스 배출량에서 에너지 및 산업공정부문이 차지

하는 중요성은 실로 막대하며, 이들 부문의 전문성이 필히 요구된다 하겠다. 이는 향후 우리나라가 기후변화와 에너지문제를 같은 선상에 놓고 해결 방안을 강구해 나가야 한다는 점을 시사한다. 영국에서는 이미 기후변화와 에너지정책의 밀접한 관계를 반영하여 기후변화문제를 대응하고자, 지난 2008년 10월 에너지·기후변화부(The Department of Energy and Climate Change)를 신설하고, 국가 인벤토리 총괄부처를 환경식품농촌부(Defra)에서 에너지·기후변화부로 변경한 바 있다. 이는 영국이 전례 없이 환경, 경제, 에너지공급안보 등의 문제에 봉착하게 되었고, 기후변화와 에너지문제를 동시에 해결하고자 하는 의지가 반영된 결정이었다.

본고에서는 먼저 해외 주요국의 인벤토리 시스템 구축사례를 분석하고, 우리나라 여건에 맞는 온실가스 배출통계 작성체계의 발전방안을 제시하고자 한다.

2. 해외 주요국 국가 인벤토리 시스템 구축사례

가. 미국

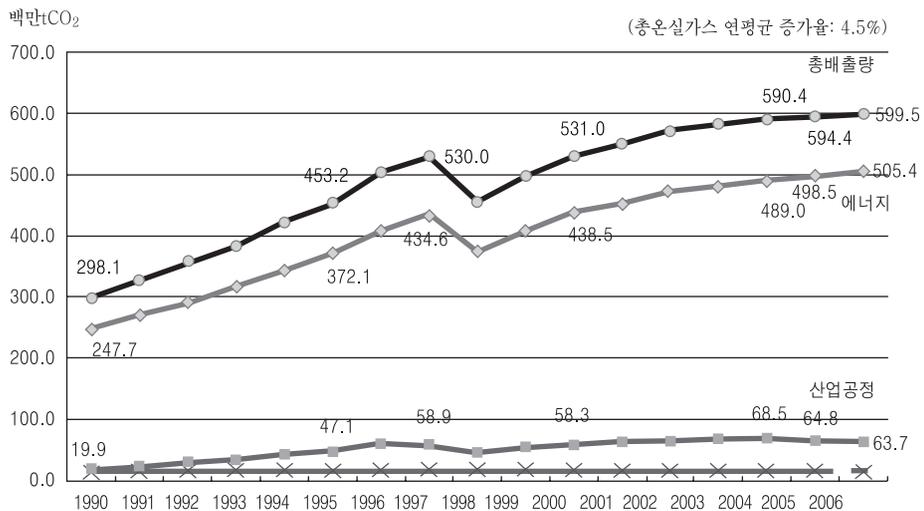
1) 국가 인벤토리 작성체계

미국의 온실가스 배출통계 관리체계는 중앙관리형이나, 총괄부처(EPA)가 지정한 작성실무기관(OAP)의 부문별 책임자(Source Leads)가 부문별 산정방법론을 결정하고 활동자료를 수집하여 배출통계를 작성하는 분산형 작성체계이다.

2) 총괄부처

미국의 온실가스 배출통계 총괄부처는 환경보호청(EPA)으로, EPA에서 분야별 작성결과를 취합 및 관리

[그림 1] 국가 온실가스 배출 추이



자료: 에너지경제연구원

하고, 미국 국무성에서 UNFCCC에 작성된 온실가스 인벤토리를 제출한다.

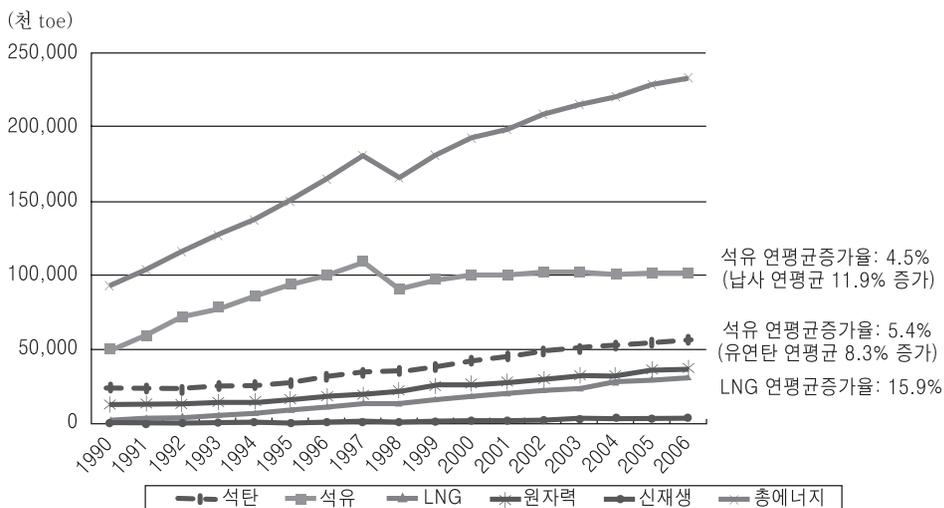
3) 작성실무기관

미국 인벤토리 작성실무기관은 EPA의 대기프로그램 사무국(OAP: Office of Atmospheric Programs)이다. OAP에서 국가인벤토리보고서 작성을 주관하며, EPA의 교통·대기오염관리부(OTAQ) 또한 일부(주로 교통부문) 배출량을 산정하고 있다. OAP와 OTAQ는 개별 배출원 카테고리 수준의 방법론 선택, 활동자료 수집, 배출량 산정에 대한 조정 작업을 수행한다. OTAQ는 주로 교통부문 배출의 모델링 관련 업무를 수행한다. OTAQ가 관리 및 유지하는 모델은 MOBILE(자동차 및 이륜차 온실가스 모델), NON-

ROAD(대중소 규모의 철도차량과 기타 차량 모델), NMIM(교통부문 인벤토리 취합 모델), MOVES(차량 배출 시뮬레이션 모델), Fuel Models(디젤 사용 철도 및 대형 차량의 오염배출 계량 모델) 등이 있으며, 이를 이용하여 각 교통 부문에서 발생하는 온실가스 및 오염 물질의 배출계수 등을 추정한다.

OAP의 인벤토리책임자(Inventory Coordinator)가 각 부문에 대한 요약 및 주요 카테고리에 대한 분석을 실시하고, 매년 UNFCCC에 제출하는 NIR(National Inventory Report) 및 CRF(Common Reporting Format) 작성 및 이들 문서에 대한 품질 보장에 대한 책임을 맡고 있다. 분야별 담당자(Source Leads)는 산정방법론 결정 및 활동자료 수집 업무를 수행하며, 담당 분야의 국가인벤토리보고서(NIR)를 작성한다.

[그림 2] 총에너지소비 추이



자료: 에너지경제연구원

4) 평가

미국의 국가인벤토리시스템은 중앙관리형이나, 배출원별 담당자(SL)에게 부문별 인벤토리의 작성, 보고, 검토, 개선 등의 전 과정을 위임하고 있는 분산형의 인벤토리 작성체계를 갖추고 있다. OAP의 인벤토리 총괄책임자는 배출원별 담당자가 작성한 부문별 보고서 및 부문별 스프레드시트 등을 취합 정리하여 NIR과 CRF를 작성하고 있다.

부문별 인벤토리 작성자는 부문별 자료제공기관 및 정부부처와 밀접한 관계를 가지는 각 부문의 전문가로 구성되며, 부문별 인벤토리 작성의 전 과정에 대한 권한을 위임받기 때문에 부문별 인벤토리 작성의 전문성을 제고할 수 있는 구조라고 할 수 있다.

반면 부문별 인벤토리 작성자의 권한이 큰 만큼, 부문별 인벤토리 산정방법론 및 QA/QC¹⁾ 수준의 일관성이 떨어질 수가 있기 때문에 인벤토리 산정방법론 및

QA/QC 수준의 일관성을 제고하기 위한 면밀한 “QA/QC 계획” 수립과 OAP 내부의 총괄책임자의 역할이 요구된다.

나. 일본

1) 국가 인벤토리 작성체계

일본 인벤토리 체계는 중앙관리형이나, 실질적으로는 분산형에 가깝다고 할 수 있다. 실무적으로 각 부처 및 기관이 온실가스 배출통계에 필요한 주요자료를 제공할 뿐만 아니라, 해당 인벤토리에 대한 CRF 및 NIR 검토 작업(QC)도 수행한다. 관련 부처의 QC 활동은 “QA/QC 계획”에 포함되어 있으며, 여기서 실제 산정에 이용되는 스프레드시트도 검토하며, 인벤토리 활동 자료, 배출계수 및 기타 데이터를 작성한다. 또한 전문가검토팀(Expert Review Teams)에서 관련 부처 및

〈표 1〉 미국 인벤토리 작성역할별 담당조직

역할	담당조직
배출량 산정방법 결정	EPA(OAP), 개별 배출원별 산정방법은 개별 배출원 담당자(SL) 책임
활동자료 수집	EPA(OAP), 개별 배출원별 활동자료 수집은 개별 배출원 담당자(SL) 책임
배출계수 결정	EPA(OAP)
배출량 산정	EPA(OAP 및 OTAQ), 개별 배출원별 배출량 산정은 개별 배출원별 담당자(SL) 책임
QA/QC	EPA(OAP)
NIR 및 CRF 작성	EPA(OAP)
UNFCCC 대응	EPA가 focal point, 미국 국무성에서 NIR 및 CRF UNFCCC에 제출

1) QC(Quality Control)는 작성중인 인벤토리를 질적으로 평가하고 향상시키기 위한 관례적인 기술적 조치 시스템으로 인벤토리 작성담당자가 수행하는 반면, QA(Quality Assurance)는 인벤토리 작성/개발 과정에 직접적으로 관여하지 않는 그룹/단체가 수행하는 인벤토리 검토로 독립적인 제3단체가 가장 적절하다.

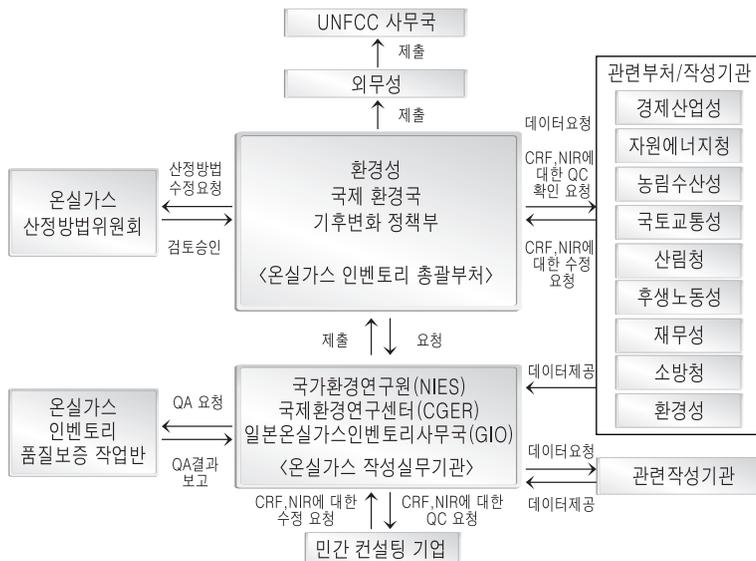
작성기관이 작성한 통계내용이나 작성에 사용된 특정 데이터에 대한 질문사항이 있을 경우에도 대응하는 책임을 맡고 있다. 더욱이 인벤토리 작성실무기관인 GIO가 컨설팅기업(현재 Mitsubishi)에 공식적으로 QC 작

업을 요청하여 실시함으로써 실질적으로 GIO 부문별 담당자는 부문별 온실가스 인벤토리 작성에 있어 관리 차원의 역할을 수행하고 있는 것으로 평가된다.

〈표 2〉 일본 인벤토리 작성 역할별 담당조직

역할	담당조직
배출량 산정방법 결정	온실가스배출량산정방법위원회
활동자료 수집	환경성(GIO) 및 관련 부처/기관
배출계수 결정	환경성(GIO) 및 관련 부처/기관
배출량 산정	GIO
QA/QC	GIO
NIR 및 CRF 작성	GIO
UNFCCC 대응	환경성이 focal point, 외무성이 UNFCCC에 제출

〔그림 3〕 일본 국가 인벤토리 작성을 위한 제도적 장치



자료: National Inventory Report of Japan(2009)

2) 총괄부처

환경성(국제환경국 기후변화정책부)가 인벤토리 총괄부처로써 국가 인벤토리 작성과 편집의 책임을 맡고 있다. 환경성이 국가 온실가스 배출통계를 공표하는 반면, 외무성이 작성된 인벤토리를 UNFCCC 사무국에 제출한다.

3) 작성실무기관

환경성 산하에 온실가스인벤토리사무국(GIO, Greenhouse Gas Inventory office of Japan)을 온실가스 배출통계를 CRF 및 NIR 형태로 제출하는 업무를 수행하도록 하였다.

여기서 GIO는 국립환경연구소(National Institute for Environmental Studies)의 국제환경연구센터(Center for Global Environmental Research) 소속

으로, 인벤토리에 관한 모든 배출량 및 흡수량 산정, 데이터의 계산, 편집, 보관, 관리 등 총괄업무를 수행하고 있다.

4) 온실가스산정방법위원회(the Committee for the Greenhouse Gas Emission Estimation Methods)

환경성은 최근 국제규정을 근거로 인벤토리 관련 신과학기술 통합 및 조정 업무를 총괄할 수 있는 “온실가스산정방법위원회(the Committee for the Greenhouse Gas Emission Estimation Methods)”를 편성하고, 동 위원회에서 온실가스 배출량과 흡수량 산정, 주요 카테고리 분석, 불확실성 평가를 수행하도록 하였다.

위원회는 포괄적 이슈를 다루는 인벤토리 품질보증 작업반(QA-WG)과 부문별 문제를 다루는 부문별전문반

[그림 4] 일본 온실가스산정방법위원회 구조



자료: National Inventory Report of Japan(2009)

(Breakout Group)으로 분리되어 있다. 부문별 전문반(Breakout Group)은 교통전문반, F-gas(HFCs, PFCs, SF6)전문반, 농업전문반, 폐기물전문반, LULUCF 전문반으로 구성되어 있다. 인벤토리 품질보증 작업반과 부문별전문반은 여러 분야의 전문가로 구성되어 있으며, 전문가들이 제안한 인벤토리 개선안은 동 위원회가 적절성 여부를 고려하여 승인하는 절차를 따르도록 하였다. 인벤토리 품질보증 작업반(QA-WG)은 QA 활동을 위한 조직으로, 인벤토리 작성과 직접적으로 관련되지 않은 전문가로 구성된다. 동 작업반은 인벤토리 품질을 관리하고, 각 배출원 및 흡수원에 대해 면밀한 검토를 수행하여 개선할 부분을 파악하는 업무를 수행한다.

5) 민간 컨설팅회사

환경성과 계약한 민간 컨설팅회사(현재 미쓰비시)는

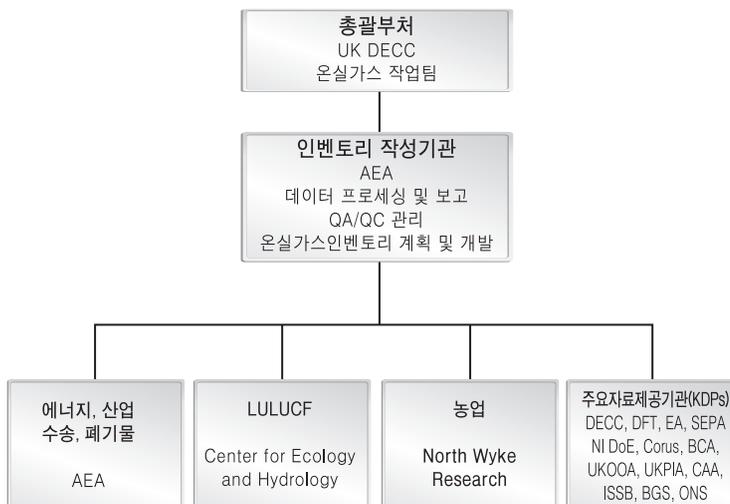
환경성 및 GIO에 의해 수집된 인벤토리(CRF, NIR, 스프레드시트, 기타 자료)의 QC 작업과 필요 시 전문가 검토팀(Expert Review Teams)의 초안검토에 대한 대응안을 작성하는 업무를 수행한다.

6) 평가

GIO가 일본의 온실가스배출통계를 산정하는 책임 기관이나 실질적인 각 부문별 인벤토리 산정 및 검토는 관련 정부 부처 및 기관과 컨설팅회사가 참여하고, 산정방법론 결정은 인벤토리산정방법위원회에서, QA 작업은 인벤토리 품질관리 작업반(QA-WG)에서 실시하고 있다. 즉 인벤토리 작성의 전 과정에 부문별 인벤토리 전문가 및 관련 정부 부처와 기관이 참여하고 있으며 GIO가 이를 총괄하는 형태이다.

인벤토리산정방법위원회 및 인벤토리 품질관리 작

[그림 5] 영국 NIS의 주요 조직구조



자료: National Inventory Report of UK(2009)

업반(QA-WG) 등을 별도로 마련하여 부문별 전문가와 함께 인벤토리 작성과정의 검토 및 개선을 논의하기 때문에 부문의 전문성과 노하우를 활용할 수 있으면서 방법론 및 QA/QC의 수준의 일관성을 제고할 수 있는 장점이 있다.

그러나 활동자료의 수집 및 배출계수의 결정 등이 부문별로 지정된 작성기관 내에서 이루어 지지 않고, 중간에 실무를 총괄하는 GIO를 두고 이루어지기 때문에 정보의 전달 및 공유 과정에서 비효율적일 수 있다. 또한 인벤토리 작성 시 부문별 전문가에게 주는 권한이 작기 때문에 향후 부문별 전문가의 역량 제고에 어려움이 있을 수 있다.

다. 영국

1) 국가 인벤토리 작성체계

영국의 인벤토리 작성체계는 분산형으로, AEA Technology사가 인벤토리 작성실무기관의 역할을 하면서 동시에 에너지, 산업, 수송, 폐기물 부문의 인벤토

리를 작성한다.

2) 총괄부처

영국의 인벤토리 책임부처는 에너지·기후변화부(DECC)로 2008년 10월 환경식품농촌부(Defra)에서 에너지·기후변화부로 변경되었다. 이러한 총괄부처의 변경에는 영국이 전례 없이 환경, 경제, 에너지공급 안보 등의 문제에 봉착하게 되었고, 온실가스 배출량의 2/3가 에너지부문에서 발생하는 등 기후변화와 에너지 정책의 밀접한 관계가 반영된 것이다.

3) 작성실무기관

AEA Technology가 부문별 인벤토리 담당기관이 작성한 인벤토리를 총괄 작성한다. AEA Technology는 1954년 원자력 연구를 목적으로 설립된 정부연구기관이었으나, 1988년부터 원자력 연구예산의 삭감으로 자립화가 추진되어, 1996년 비원자력 분야가 AEA Technology사로 독립하면서 확장되어 환경, 기후변화

〈표 3〉 영국 인벤토리 작성 역할별 담당조직

역할	담당조직
배출량 산정방법 결정	AEA, CEH, North Wyke Research
활동자료 수집	AEA, CEH, North Wyke Research
배출계수 결정	AEA, CEH, North Wyke Research
배출량 산정	AEA, CEH, North Wyke Research
QA/QC	AEA
NIR 및 CRF 작성	AEA
UNFCCC 대응	에너지·기후변화부(DECC)

관련 컨설팅을 주 업무로 하고 있다.

영국의 부문별 인벤토리 작성기관을 살펴보면 다음과 같다. 에너지, 산업, 수송, 폐기물 부문의 인벤토리는 에너지·기후변화부인 DECC CESA(Climate, Energy, Science and Analysis Division)가 소관부처이며, AEA Technology사가 동 부문의 인벤토리를

작성한다. 농업부문은 North Wyke Research²⁾가 Defra LMI(Land Management Improvement Division)와 계약에 의해 작성하고, 임업부문은 CEH(Centre for Ecology and Hydrology)³⁾사가 DECC CESA와 계약에 의해 작성한다.

〈표 4〉 영국 국가 온실가스 인벤토리 운영위원회

기관	주요 역할
DECC 기후·에너지·과학부	<ul style="list-style-type: none"> - 영국 국가 인벤토리 시스템 총괄부처 - 인벤토리 개발, 편집 및 보고 책임 - 온실가스 인벤토리 연구계약 관리 - 운영위원회 사무국 제공 - 기후변화지표로 사용되는 배출량 자료 제공 - 기술 및 과학적 문제에 대한 CCC에 자문
Defra 토지관리국	<ul style="list-style-type: none"> - 농업부문 인벤토리 연구계약 관리
DECC	<ul style="list-style-type: none"> - 산업연료이용통계 및 연소원에서 발생한 온실가스 배출량 산정을 위해서 EU-ETS의 연료 사용 및 연료특성 자료를 BERR과 GHGI에 제공
DECC EA Regulator	<ul style="list-style-type: none"> - 영국환경기관이 IPCC의 보고서작성 요구사항을 만족시키도록 지원하며, 산업프로세스 플랜트 설계부문을 인벤토리 작성실무기관에게 지원
DECC Offshore Regulator	<ul style="list-style-type: none"> - 인벤토리 추정을 위해 연근해 석유·가스산업(무역협회, UKOOA)의 활동자료와 배출계수 확보
BERR 에너지	<ul style="list-style-type: none"> - 요구형식과 기간에 맞춘 인벤토리 추정 및 보고를 위한 에너지통계 제공
지자체 지원부(DCLG)	<ul style="list-style-type: none"> - 요구형식과 기간에 맞춘 인벤토리 추정 및 보고를 위한 주택통계 제공
교통부 DrT	<ul style="list-style-type: none"> - 요구형식과 기간에 맞춘 인벤토리 추정 및 보고를 위한 수송통계 제공
영국환경규제당국 (EA, SEPA, DoENI)	<ul style="list-style-type: none"> - 인벤토리 추정 및 보고를 위한 요구형식과 기간을 맞춘 IPC/IPPC(PI, SPRI, ISR)에서 규정된 산업공정을 위한 오염물질 배출 인벤토리 제공
자치정부	<ul style="list-style-type: none"> - 양도문제(devolved issue), 지역적 자료 통합을 고려한 영국 온실가스 인벤토리 관점 검토

자료: National Inventory Report of UK(2009)

2) North Wyke Research : 비의학 생명 과학분야에 대한 학술 연구를 지원하는 정부출연 투자기관인 BBSRC (Biotechnology and Biological Sciences Research Council: 생명과학연구협의회) 산하 연구기관

3) CEH : 환경과학 분야에 대한 연구, 조사, 탐지 및 훈련을 담당하는 NERC (Natural Environment Research Council: 자연환경연구협의회) 산하 연구기관

4) 인벤토리운영위원회

영국 온실가스인벤토리운영위원회는 국가 인벤토리 검토와 개선을 지원하기 위해 2006년에 설립되었다. 동 위원회에서 에너지·기후변화부(DECC)의 온실가스인벤토리관리팀이 인벤토리 QA를 실시하고, 정부 부처를 포함한 인벤토리 관련 이해당사자가 의사를 소통하게 된다.

인벤토리운영위원회는 운영에 대한 조언을 받기 위한 특별보좌단(Special Advisors)을 두고 있으며, 그 구성원은 AEA의 인벤토리작성팀과 각 부문별 법률 및 경제 전문가를 포함하고 있다(〈표 4〉 참조).

라. 호주

1) 국가 인벤토리 작성체계

호주의 국가 온실가스 배출통계 작성체계는 전형적인 중앙관리형으로, 총괄부처인 기후변화부(DCC)내 전문가 작업반을 통해 배출량을 산정하고 검토한다.

2) 총괄부처 및 작성실무기관

총괄부처 및 작성실무기관은 기후변화부(DCC, Department of Climate Change)로, 2008년 1월부터 “Administrative Arrangements Orders of the Australian Government”에 따라 DCC가 온실가스 배출량 산정과 검토 작업 등 기후변화 관련 업무를 담당하고 있다. 데이터 수집 및 관리, 배출량 추정, 보고서 작성, UNFCCC에 제출 등 인벤토리 관련 제반 업무를 총괄하고 있다. 활동자료 수집과 관련하여 통계청과 농림자원경제청의 자료를 주로 활용하고 있으며, 농림자원경제청(ABARE, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics)은 농업활동 및 상품, 에너지 관련 자료를 제공한다. 또한 산업공정 부문의 배출량 산정을 위해 기업 데이터 수집과 LULUCF(Land Use, Land Use Change, and Forestry)의 토지변경에 대한 정보를 수집하기 위해서 위성사진을 담당할 컨설턴트를 고용하고 있다.

배출량 추정 및 검토는 전문가 작업반을 통해 수행하고 있으며, AGEIS(Australian Greenhouse Emissions Information System)과 LULUCF의 경

〈표 5〉 호주 인벤토리 작성 역할별 담당조직

역할	담당조직
배출량 산정방법 결정	기후변화부(DCC)
활동자료 수집	기후변화부(DCC)
배출계수 결정	기후변화부(DCC)
배출량 산정	기후변화부(DCC)
QA/QC	기후변화부(DCC)
NIR 및 CRF 작성	기후변화부(DCC)
UNFCCC 대응	기후변화부(DCC)

우 NCAS(National Carbon Accounting System)를 활용하여 배출량을 산정한다. AGEIS는 중앙식 배출량 산정체계의 데이터베이스로, 인벤토리 작성 및 보고, 자료보관 뿐만 아니라 QC 절차를 작성과정에 연계하여 설계된 시스템이다.

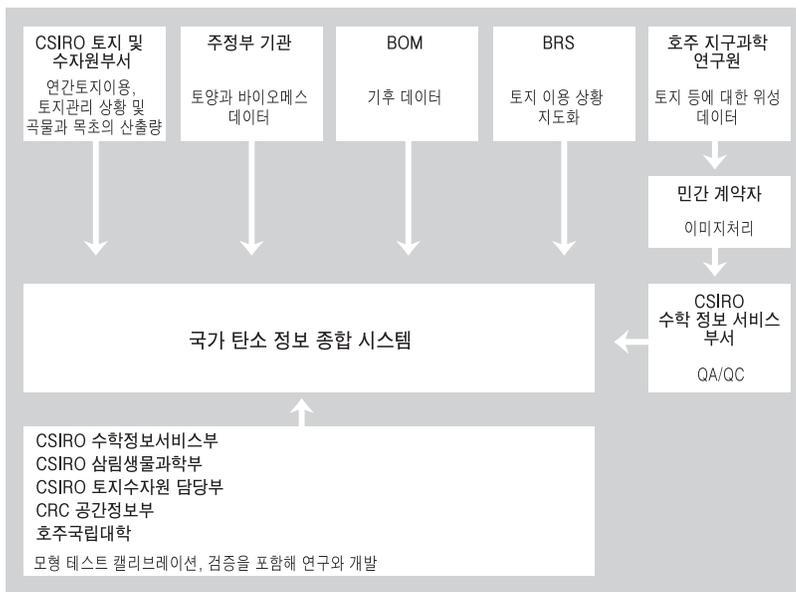
4) 평가

기후변화부(DCC)가 구축한 AGEIS를 중심으로 인벤토리가 통합 관리되고 있기 때문에 인벤토리 작성과정의 투명성 및 관리의 용이성이 있다. 최근 제정된 “National Greenhouse and Energy Reporting Act 2007”에 의거 에너지 사용과 온실가스 배출을 통합 관리할 수 있도록 단일 보고체계를 구축하기 위해 준비

중이다. 이러한 보고체계는 국가 수준의 에너지 및 온실가스 통계가 각 지자체, 산업, 기업 및 설비 수준으로 서로 일관성 있게 세분화(breakdown)될 수 있는 장점이 있다. 또한 필요한 활동자료 및 배출계수를 해당 공간에서 입력 하면 CRF가 자동 생성되는 시스템을 갖추어 보고체계의 효율성을 갖추고 있다.

그러나 서로 다른 방법론을 사용하는 부문별 인벤토리 작성을 하나의 동일 시스템으로 구축하는 작업이 어려울 수 있으며, 향후 부문별 인벤토리 방법론의 개선이 있을 때마다 전체 시스템과의 정합성을 고려해야 하는 비효율이 생길 수 있다. 또한 중앙집중형 시스템으로 부문별 인벤토리 전문가의 활용을 통한 방법론 개선에 어려움이 있을 수 있다.

[그림 6] 호주의 국가 온실가스 배출량 산정시스템



자료: National Inventory Report of Australia(2009)

마. 핀란드

1) 국가 인벤토리 작성체계

핀란드 국가 인벤토리 시스템은 분산형으로, 에너지 통계 담당기관인 통계청이 인벤토리의 총괄부처의 역할을 하면서 동시에 에너지 및 산업공정 부문의 인벤토리를 산정하고 있다.

2) 총괄부처

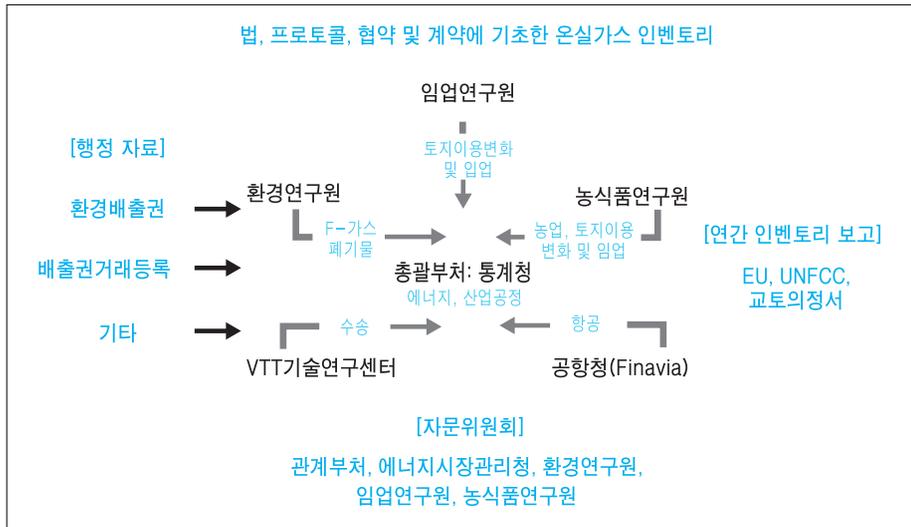
2005년 이후 핀란드의 국가 인벤토리 관리는 통계청이 주관하고 있다. 2001년 핀란드 정부는 핀란드의 국가기후전략을 준비하기 시작하였다. 여기에는 교토의정서하의 핀란드 감축의무를 달성하기 위한 프로그

램 및 수단도 포함되었다. 2003년 설립된 “범정부 기후변화 및 에너지 작업반”은 무역산업부(현 노동경제부)가 주도하였으며, 2005년 “국가 기후 및 에너지 전략” 개정작업 및 이의 이행에 대한 모니터링이 주요 업무였다. 2008년 11월 6일 개정된 동 전략은 2020년까지 상세한 기후 및 에너지정책 수단을 포괄하고 있다. 현재 노동경제부가 국가기후정책에 대한 책임기관이며, “범부처 기후변화 및 에너지 작업반”을 보조하는 고위 정부관료 작업반을 주도하고 있다.

3) 작성실무기관

핀란드 인벤토리 작성실무기관은 통계청이며, 부문별 온실가스 통계는 통계청이 관계기관과 협약(MOU)을 체결한 유관기관에서 작성한다. 통계청이 부문별로 작성

[그림 7] 핀란드 국가 인벤토리 시스템



자료: National Inventory Report of Finland(2009)

된 인벤토리를 취합하여 국가 인벤토리를 작성한다.

핀란드의 부문별 인벤토리 담당기관은 [그림 7]에서 보이고 있다. 에너지 및 산업공정은 에너지통계 담당기관인 통계청이 직접 작성하고, 운송(수송 및 항공)은 VTT 기술연구센터 및 공항청과 하청계약(subcontract)을 맺어 작성하고 있다. 이외에도 통계청과 협약(agreement)에 의해 작성되는 부문별 인벤토리는 다음과 같다. 토지이용 및 임업은 임업연구원, MTT 농식품연구원 등이 작성하고, 농업부문은 MTT 농식품연구원, 폐기물 및 F 가스는 환경연구원이 작성한다.

4) 자문위원회

온실가스 인벤토리 자문위원회는 총괄부처인 통계청이 설립하였으며, 전문기관 및 정부부처 관계자로 구성된다. 동 위원회는 UNFCCC 및 교토의정서상의 온실가스 보고와 관련한 상호 협조와 정보교환에 대한 책임이 있다. 또한 수집된 인벤토리 품질을 검토하며, 인벤토리 책임자의 직무분담 변경여부를 동 위원회의 합의에 의해서 결정한다. 이외에 장기 연구 추진 및 국제적 협조체제(UNFCCC, IPCC, EU)상의

의무사항 검토, 인벤토리 개발 및 보고 관련 프로젝트 검토 등의 업무를 수행한다.

5) 평가

부문별 작성기관이 인벤토리를 작성하고 작성실무기관이 이를 취합하는 분산형 형태로, 부문별 인벤토리 전문가의 역량 및 노하우의 활용을 통해 인벤토리 작성의 전문성이 제고될 수 있다. QA/QC와 관련된 이슈를 매년 4~7회 인벤토리작성반회의 및 인벤토리반과 전문가그룹간의 양자품질회의에서 다루고 있기 때문에 인벤토리 품질관리의 전문성 및 독립성을 제공할 수 있는 구조를 가지고 있다. 반면 단점은 부문별 인벤토리 작성의 방법론 및 품질관리의 일관성 제고를 위한 총괄부처 및 작성실무기관의 체계적인 관리가 필요하다는 점이다.

바. 종합

해외 주요국의 국가 인벤토리 시스템은 중앙관리형 또는 분산형으로 크게 분류될 수 있다. 중앙관리형은

〈표 6〉 국가별 총괄부처 및 관리체계 유형

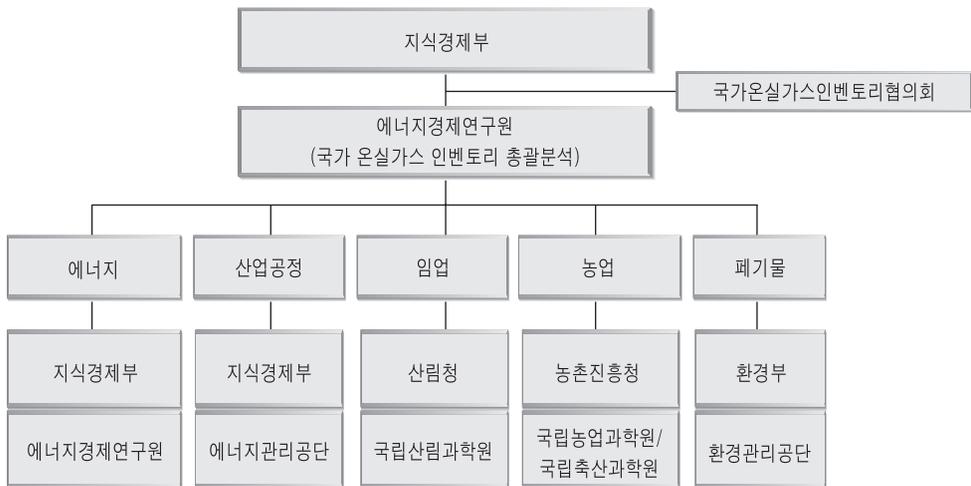
가	총괄부처	총괄관리체계
미국	환경관리국(EPA)	중앙관리형
일본	환경성	중앙관리형+분산형
영국	에너지·기후변화부(DECC)	분산형
호주	기후변화부(DCC)	중앙관리형
핀란드	통계청	분산형

일반적으로 총괄부처가 지정한 작성실무기관이 부문별 책임자를 지정하고 부문별 온실가스 배출통계를 작성하거나, 작성실무기관이 부문별 인벤토리 산정방법에 일부라도 관여하는 형태를 말한다. 중앙관리형의 장점은 작성실무기관의 부문별 전문가에 의해 일관적이고 통합성 있는 인벤토리 작성 및 관리가 가능하다는 점이다. 반면 단점은 작성실무기관이 다양한 부문의 전문가를 고용하거나 참여시켜야 하므로 비효율적으로 운영될 가능성이 있다. 호주와 미국이 중앙관리형의 국가 인벤토리 시스템을 구축한 국가로 볼 수 있다.

반면 분산형 인벤토리 관리체계는 부문의 전문성과 노하우를 활용하는 유형으로, 개별 부문의 작성기관이 온실가스 배출통계를 산정하고 작성실무기관이 이를 취합하여 총괄하는 형태이다. 이러한 유형은 부문별 인벤토리 작성기관이 산정하고 작성실무기관이 부문별

책임자를 지정하여 작성 및 보고 일정 확인, QA/QC 활동, 문서화 및 문서보관 등 부문별 온실가스 배출통계 작성업무를 지원하는 형태를 포함한다. 분산형은 인벤토리 관련 정부 및 기관, 부문별 전문가로 구성된 인벤토리협의회나 자문위원회를 설립하여 산정방법 결정, 활동자료 수집, 배출계수 결정, 인벤토리 작성자에 대한 인사결정 권한 등을 부여함으로써 인벤토리 총괄부처 및 작성실무기관에 대한 견제 및 보완 기능을 갖추는 것이 특징이다. 분산형의 장점은 전문성 있는 부문별 전문기관을 활용하여 부문별 온실가스 배출통계를 작성하기 때문에 효율적인 반면, 체계적인 부문별 인벤토리 작성을 위한 작성실무기관의 관리 감독이 필요한 점이 단점으로 지적될 수 있다. 영국과 핀란드가 분산형의 국가 인벤토리 시스템을 구축한 사례이다.

[그림 8] 현행 국가 온실가스 배출통계 작성 조직도



3. 국가 온실가스 배출통계 관리체계 발전방안

온실가스인벤토리협의회를 구성하여 현재까지 4차례의 국가온실가스인벤토리협의회를 개최한 바 있다.

가. 현 온실가스 배출통계 작성체계

1) 국가 인벤토리 작성체계

현재 우리나라의 국가 인벤토리 작성체계는 분산형으로, 6개 부문별 작성기관에서 작성된 온실가스 배출통계를 에너지경제연구원이 취합하여 총괄 작성한다.

2) 총괄부처

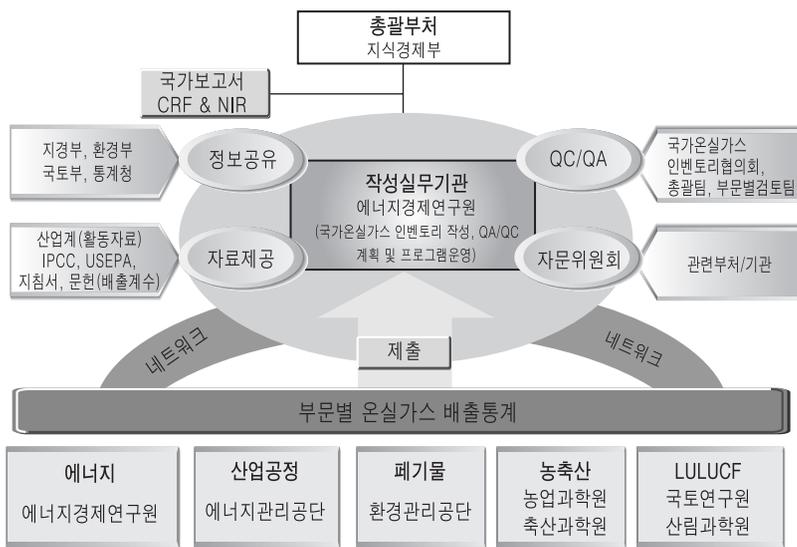
지식경제부는 1994년부터 관계부처와 협조하여 국가온실가스배출통계를 작성 관리해오고 있으며, 국가

3) 작성실무기관

국가에너지통계의 담당기관인 에너지경제연구원이 부문별로 작성된 온실가스 배출량을 취합하여 총괄 작성하고 있다.

부문별 온실가스 배출통계를 작성하고 있는 기관은 다음과 같다. 에너지부문은 에너지경제연구원, 산업공정 에너지관리공단, 임업 국립산림과학원, 농·축산 국립농업과학원과 국립축산과학원, 폐기물 환경관리공단 등이다.

[그림 9] 국가 인벤토리 시스템 주요 조직도



나. 국가 온실가스 배출통계 관리체계 발전방안

1) 국가 인벤토리 관리체계

앞서 언급하였듯이 현재 우리나라의 온실가스 배출 통계는 분산형 작성체제로 작성된다. 그러나 이러한 인벤토리 작성체계는 부속서 I 국가 수준의 제도적, 법적 절차에 따른 국가 인벤토리 시스템으로 완성되어진 것이 아니다. 이로 인하여 총괄부처, 작성실무기관, 부문별 작성기관 등 인벤토리 관련 부처 및 기관의 세세한 책임과 역할이 제도적으로 확립되지 않았고, 인벤토리에 대한 품질관리 또한 제한적일 수밖에 없었다.

따라서 포스트 교토체제에 대비하여 국가 인벤토리 시스템을 효율적으로 구축하기 위해서는 현재까지 부문별 작성기관이 축적한 경험과 노하우를 활용할 수 있도록 현 국가 온실가스 인벤토리 작성체계를 보완·강화시키는 동시에 제도적, 법적 절차를 지속적으로 보완할 필요가 있다. 즉, 총괄부처에게 인벤토리 책임 및 역할 부여와 동시에 권한을 강화함으로써, 부속서 I 국가 수준의 국가 온실가스 배출통계 작성 및 관리에 대한 전반적인 업무(〈표 7〉 참조)를 수행할 수 있도록 여건을 마련하는 것이 중요하다.

2) 총괄부처

우리나라 총괄부처에는 에너지 소관부처이며, 그동안 관련 부처와 협조 하에 국가 인벤토리를 관리해 온 지식경제부가 선정되어야 한다.

우리나라는 세계 9위의 에너지 소비국이며 2006년 연료 연소로 인한 이산화탄소배출량이 세계 9위이다. 따라서 우리나라의 총괄부처 선정에 있어 에너지문제

와 기후변화정책의 밀접한 관계를 반영해야 하며, 이러한 문제를 가장 효율적이고 효과적으로 해결할 수 있도록 에너지 담당부처를 선정하는 것이 중요하다.

또한 온실가스 배출통계는 에너지소비량, 산업공정, 제품생산량 등을 활용한 추정통계라는 점에서 총괄부처는 온실가스 배출부문에 대한 전문지식과 경험적 노하우를 갖추어야 한다. 2006년 기준 국내 온실가스 배출량 중 에너지부문이 85%, 산업공정이 10%를 차지하고 있기 때문에 국가온실가스통계는 에너지·산업통계와 연계될 때 가장 효율적인 시스템 설계가 가능하다고 할 수 있다.

따라서 향후 post-2012 기후변화체제에 대한 국제적인 압력에 효과적으로 대응하고 국가 자원의 효율적인 활용을 위해서는 에너지 중심으로 이미 구축된 국가 온실가스 통계 인프라를 개선·발전시켜야 한다.

3) 작성실무기관

작성실무기관에는 그동안 국가온실가스인벤토리를 총괄 작성해온 에너지경제연구원이 지정되는 것이 적절하다.

또한 부문별 인벤토리 산정은 전문지식과 경험적 노하우를 가진 현 부문별 작성기관이 계속 담당하여야 한다. 부문별 인벤토리 작성과 관련하여 향후 개선해야 할 사항은 다음과 같다. 현재 국가 인벤토리 작성에서 데이터 수집의 문제로 인하여 제외되고 있는 “솔벤트 및 기타제품이용”과 LULUCF(Land Use, Land Use Change and Forestry)의 “토지이용 및 토지이용변화”에 대한 인벤토리 개발이 필요하다. 솔벤트 및 기타 제품이용부문은 2006 IPCC 가이드라인에서 산업공정과 통합되어 IPPU(Industrial Process and Product

Use)로 분류되고 있으므로, 산업공정을 담당하는 에너지관리공단에서 산정하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 또한 토지이용 및 토지이용변화는 토지이용변화와 관련하여 위성사진의 확보가 용이한 국토연구원이 담당하는 것이 적절하다.

4) 국가온실가스인벤토리협의회

국가온실가스인벤토리협의회는 지식경제부, 환경

부, 국토해양부, 통계청 등 인벤토리 관련 부처 및 기관과 부문별 인벤토리 전문가로 구성하며, 연간 인벤토리 작성 및 개선계획에 대한 검토, 인벤토리 산정방법, 활동자료, 배출계수에 대한 결정 업무를 수행하게 된다.

동 협의회는 또한 배출통계작성반을 설립하여 연간 인벤토리 작성에 이용될 산정방법, 활동자료, 배출계수, 불확실성 평가, QA/QC 계획, NIR 및 CRF 등에 대한 검토 업무를 수행하도록 한다. 배출통계작성반은 인벤토리 작성에 직·간접적으로 관여하지 않은 전문

〈표 7〉 담당 부처 및 기관의 책임과 역할

■ 총괄부처 역할

- 국가 인벤토리 시스템 관리 및 계획
 - 국가인벤토리시스템(NIS) 개발 및 원활한 기능 수행을 위한 전반적인 통계 작성 절차 확정
 - 작성실무기관 및 부문별 작성기관과 온실가스 인벤토리 작성을 위한 계약 체결 및 성과물 관리
 - 관련 부처 및 기관의 NIS 주요조직에 대한 성과측정 기준 마련
 - "QA/QC 계획" 수립
 - UNFCCC 사무국 연락
- 제도적·법적 절차 마련 및 관련 부처/기관과 MOU 체결
 - 법률구조 및 조직구조 검토
 - 가이드라인 충족을 위해 필요한 법적 문서 마련
 - 인벤토리 작성에 필요한 자료 제공을 위한 부처 및 기관간 네트워크 구축 및 제도적 법적 절차를 통한 역할 및 책임 부여
 - QA/QC 검토팀 구성 및 능력 향상 기회 부여
 - 국가온실가스인벤토리협의회 구성(인벤토리, 활동자료 및 배출계수 확정 등)

■ 작성실무기관 역할

- 총괄부처와 계약에 의해 국가 인벤토리를 작성, 보고, 문서화 및 보관
- 국가 인벤토리를 CRF 및 NIR 형태로 총괄부처에 제출하는 전 과정 및 일정에 대해 총괄부처와 조정
- 부문별 작성기관이 작성한 온실가스 통계 및 문서 취합 관리
- 주요 자료제공자와 자료 제공 합의서 마련
- 기초자료 검토 및 인벤토리 품질개선 방안 마련
- "QA/QC 계획"에 의거 QA/QC 실시 및 문서화(총괄팀/부문별 검토팀 구성 및 운영)
- 부문별 책임자를 지정하여 부문별 온실가스 배출통계 작성업무 지원(작성일정, QA/QC, 문서화 및 문서보관 등)

■ 부문별 작성기관 역할

- 각 배출원별 인벤토리 산정 및 개발
- 산정된 온실가스 배출통계 보고, 문서화, 문서보관
- QC 실시 및 QA 관련 지원 업무
- 작성실무기관에 최종 데이터를 CRF 및 NIR 형태로 제공

가 그룹으로 구성하거나, 제3의 기관(통계청/건설청/기업)을 지정하여 검토 작업을 수행함으로써 인벤토리의 신뢰성을 제고시킬 수 있도록 해야 한다.

4. 맺음말

기후변화협약에 의거하여 협약 당사국은 국가 온실가스 배출량을 산정·보고하여야 하며, 우리나라는 1998년과 2002년 두 차례 국가보고서를 통해 온실가스 배출량을 제출한 바 있다. 이제 우리나라가 보다 기후변화에 적극적으로 대응하기 위해서는 현 국가 온실가스 배출통계 작성체계를 법적, 제도적 절차에 따른 부속서 I 국가 수준의 국가 온실가스 인벤토리 시스템(National System)으로 발전시켜 나가야 할 것이다.

이 과정에서 총괄부처와 부문별 부처 간의 긴밀한 협력이 매우 중요하다. 또한 온실가스 배출통계는 추정 통계라는 점에서 총괄부처는 온실가스 배출부문에 대한 전문지식과 경험적 노하우를 갖추어야만 한다. 특히 우리나라에서는 에너지부문이 온실가스 배출량의 85%를 차지하고 있기 때문에 이 분야에 대한 전문성이 필히 요구된다.

미국에서는 금년 6월 26일 기후변화와 에너지문제를 다루는 “미국 청정에너지 및 안보법(American Clean Energy and Security Act of 2009)”이 하원을 통과하였다. 이 법안은 청정에너지법 면책조항(Clean Air Act Exemptions)을 두어 이산화탄소 및 기타온실가스를 대기환경기준 또는 유해대기오염물질로서 규제할 수 없도록 하였다. 이는 동 법안이 미국의 온실가스 배출을 다루는 단일 법안이 될 수 있도록 하기 위해서였다. 영국도 지난 2008년 10월 인벤토리 총괄부처를

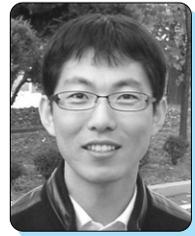
환경식품농촌부(Defra)에서 에너지·기후변화부로 변경하였다. 미국의 신규 법안 및 영국의 총괄부처 변경은 기후변화와 에너지문제를 같이 해결해 나가야 한다는 양국의 의지가 반영된 것이다.

우리나라도 미국 및 영국과 같이 에너지문제와 기후변화정책의 불가분의 관계로부터 자유로울 수 없다. 따라서 에너지 관련 부처를 중심으로 작성되어 온 현 온실가스 배출통계 체계를 그대로 유지·발전시키는 것이 앞으로 더욱 거세어질 기후변화대응에 대한 국제적인 압력에 효과적으로 대응할 수 있는 최선의 선택이라고 할 수 있다.

〈 참고문헌 〉

에너지경제연구원, 「국가온실가스배출통계」
 에너지경제연구원, 「국가에너지수급통계」
 UNFCCC, “National Inventory Report of US,” EPA, 2009
 UNFCCC, “National Inventory Report of Japan,” MOE/GIO, 2009
 UNFCCC, “National Inventory Report of UK,” DECC, 2009
 UNFCCC, “National Inventory Report of Australia,” DCC, 2009
 UNFCCC, “National Inventory Report of Finland,” Statistics Finland, 2009

미국 전력수요반응 프로그램의 최대수요 감소효과와 시사점



박 찬 국
에너지경제연구원 연구원

1. 서론

최근 전력망의 신뢰성, 효율성, 안정성을 향상시키고, 전기자동차 및 재생에너지 보급을 촉진함과 동시에 기후변화에 대응하기 위해 우리나라를 포함하여 선진국을 중심으로 지능형 전력망(smart grid) 프로젝트가 한창이다. 지능형 전력망은 고도화된 통신 인프라를 통해 전력사업자로 하여금 전체 전력망 부하를 지속적으로 모니터링할 수 있게 하고, 전력소비자들에게 실시간 가격신호를 보낼 수 있게 한다. 또한, 여름이나 낮 시간대와 같이 전력수요가 급증할 때 소비자 자발적으로 또는 전력사업자가 직접 전력사용기기의 부하를 관리할 수 있게 해준다.

이러한 지능형 전력망의 특징은 곧 수요반응(demand response)의 활성화로 귀결된다. 수요반응이란 최대전력수요를 줄이고 시스템의 긴급상황 발생을

피하기 위하여 요금 및 인센티브 수단을 통해 소비자의 전력소비패턴을 합리적으로 변화시키는 행위이다.¹⁾

세계 최대 전력소비국인 미국은 수요반응을 전력수요관리의 핵심자원으로 인식하고 지속적으로 수요반응 프로그램 도입을 확대하고 있다. 주별로는 대표적으로 캘리포니아, 코네티컷, 일리노이, 메릴랜드, 미시간 주가 수요반응 프로그램 도입을 적극 장려하고 있고, 전력소비자들에게 그들의 에너지소비 정보에 대한 접근을 확대하고 있다. 연방정부 차원에서는 에너지정책법 2005(EPAAct 2005)에서 FERC(미국 연방에너지규제위원회)로 하여금 미국의 전력 수요반응 시행현황을 평가한 보고서를 연간 발간하도록 의무화하고 있으며, 에너지독립안보법 2007(EISA 2007)에서 FERC가 국가적 차원에서 수요반응 프로그램의 잠재효과를 평가하고, 의회에 그 연구결과를 보고하도록 하고 있다. 또한, 미국회복및재투자법(ARRA 2009)에서도 수요반응 활

1) 일반 상품과 달리 전력의 수요반응이 중요한 이유는 전력이라는 상품의 특성 때문이다. 전력은 일반적인 재화와 달리 현실적으로 저장하기 어렵기 때문에 수요와 공급이 항상 일치해야 한다. 그러나 현재의 전기요금 체계는 실시간 전력시장 가격을 수용하지 못하고 있기 때문에 전력생산 비용이 증가할 때에도 그 증가된 비용은 전기요금에 반영되지 않는다. 따라서 전력수요의 증가, 연료비 증가, 공급설비의 고장 등으로 공급비용이 증가하는 경우에도 최종 가격에 반영되지 않아 자발적인 수요 감소가 일어나지 않는다. 이에 고유가, 기후변화, 전력시장의 효율화 등에 대응하기 위하여 합리적 전기요금제 및 수요반응을 정책적으로 지원하려는 움직임이 확산되고 있다. 본고에서는 수요반응을 전력부문의 수요반응으로 국한하여 사용한다.

성화 지원을 통해 에너지효율을 증진시킴과 동시에 일 자리 창출을 도모하고 있다.

본고에서는 가파르게 증가하고 있는 전력수요에 대응하기 위한 핵심 수단으로서 수요반응의 가치를 이해하고 관련 정책방안을 모색하기 위해, 전력최대소비국 이면서 수요반응을 전력수요관리 핵심자원으로 설정하고 있는 미국의 사례를 살펴보고자 한다. 이를 통해 수요반응이 갖는 효과와 해당 프로그램 활성화를 위한 정책적 시사점을 도출해내고자 한다.

2. 미국의 수요반응 프로그램 현황

가. 수요반응 프로그램 개요

수요반응은 크게 두 종류의 프로그램으로 구분할 수 있다. 시간별로 전기요금의 변화를 주어 최종 수요자가 자발적으로 전기사용 행태를 바꾸도록 하는 요금기반 방식과 전력망 신뢰성이 저하되었을 때나 전력부하가 심할 때 별도의 인센티브를 제공하여 전력사용량을 줄이는 인센티브기반 방식이 있다.

요금기반 수요반응 프로그램에는 실시간 요금제(Real Time Pricing), 구간별 요금제(Time of Use), 최대피크 요금차등제(Critical Peak Pricing) 등이 있다. 실시간 요금제는 도매시장의 가격변화를 실시간으로 반영하여 소매요금을 책정하는 방식을 가리키고, 구간별 요금제는 전력수요가 많은 구간과 적은 구간으로 구분하여 차별적인 소매요금을 부과하는 방식이며, 최대피크 요금차등제는 구간별 요금제 하에서 전력수요

가 많은 구간일지라도 최대전력수요가 발생하는 한 두 시간대에 훨씬 높은 요금을 책정하는 방식이다.

인센티브기반 수요반응 프로그램에는 직접부하제어(Direct Load Control), 차단가능 서비스(Interruptible Service), 긴급상황(Emergency) 프로그램, 소비자입찰(Demand Bidding) 방식 등이 있다. 직접부하제어는 계통 운영자가 가계, 기업 등 전력수용가와 사전 약정한 만큼의 부하대로 직접 제어하는 방식이고, 차단가능 서비스는 계통운영자가 일정한 상황이 되면 수용가의 부하를 차단할 수 있도록 하는 방식이다. 이 프로그램 시행 시 수용가는 전기요금 경감이나 보상액 지불 등의 인센티브를 받는다. 긴급상황 프로그램은 전력계통에 긴급상황이 발생했을 경우 소비를 감축한 소비자들에게 인센티브를 제공하는 방식이며, 소비자입찰 방식은 소비자들이 자신의 소비감축 의도량과 그에 상응한 보상단가를 입찰하는 행위를 통해 감축요구 수준을 만족시키는 방식이다. 이러한 다양한 프로그램들은 발전비용의 상당부분을 차지하는 최대전력수요 감축에 적절히 응용될 수 있다.

이러한 수요반응 프로그램은 추진비용, 효과, 환경영향 면에서 다음과 같은 긍정적 특징을 지니고 있다.²⁾

- 수요반응 프로그램은 전력 최대수요 기간에 일반적으로 최대 가동되는 가스화력 발전소를 대체할 수 있는 저비용의 수단이 될 수 있다. Thomas Weisel Partners에 따르면 수요반응을 통해 1MW를 생산하는 효과를 얻기 위해서는 약 24만 달러가 들어가는데 가스화력 발전소에서 1MW를 생산하기 위해서는 약 40만 달러가 소요된다. 이에 수요반응이 가스화력 발전소에 비해 40% 비

2) Thomas Weisel Partners, "A Primer on Demand Response", White Paper, 2007.10.16.

용 절감효과가 있다.

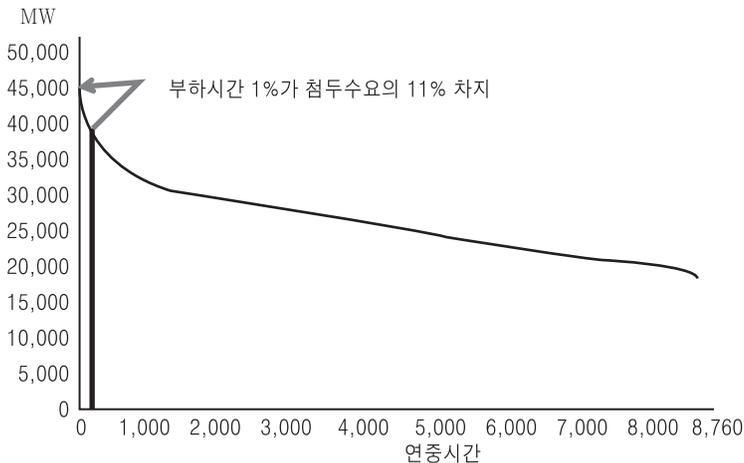
- 대형의 기술기반 수요반응 프로그램 제공업체가 수요반응 프로그램을 가동하는 데는 5분이 채 안 걸릴 수 있으나, 화력발전소를 최대 가동하기 위해서는 30분 이상이 소요된다.
 - 전력망에 부하를 줄이고, 최대전력수요 기간에도 도매전기요금을 낮춤으로써, 수요반응은 전력과잉 지역에서 전력부족 지역으로 도매전기 판매를 촉진한다. 이는 국가적 전력망 신뢰성을 향상시킨다.
 - 수요반응 프로그램은 발전소와 달리 온실가스 및 다른 유해물질을 배출하지 않기 때문에 청정 수단이다.
- 아래 그림은 캘리포니아 독립계통운영기관의 2002년 부하지속곡선을 보여주고 있다. 이 그림에서 1년 중

시간 기준 1%(87시간)가 첨두부하 기준 11%(44,961 MW)를 차지하고 있다. 수요반응이 이루어지지 못한다면 이 최대전력수요를 충족하기 위해 고비용의 발전소를 가동해야 하는 문제가 발생한다. 이러한 점에서 수요반응 프로그램은 일시적인 수요 급증에 대응하기 위해 발전량을 최대화하는 것보다 비용효과적(cost-effective)인 수단이라고 볼 수 있다.

나. 미국의 수요반응 프로그램 현황

미국 FERC는 2008년 미국 전역의 전력부문 기관을 대상으로 수요반응 프로그램 실시현황을 설문조사한 바 있다.³⁾ 이 조사결과, 미국에서는 전체 전력소비자 기

[그림 1] 캘리포니아 독립계통운영기관(CAISO)의 부하지속곡선(2002)



자료: Earle, R., Kahn, E.P., Macan, E. "Measuring the Capacity Impacts of Demand Response", 2009.7.

3) EPOA 2005(Energy Policy Act of 2005)는 FERC로 하여금 매년 미국의 전력수요반응 현황을 평가하는 보고서를 작성하도록 하고 있다. FERC가 2008년 설문조사 대상으로 삼은 기관은 미국에 소재한 전력사업자, 수요관리업체, 지역송전운영자(RTO), 독립계통운영자(ISO) 등이다. 설문조사 대상은 총 3,407개 기관이었으며, 이 중 63%가 설문에 응답했고, 최종적으로 조사에 활용된 설문결과는 전체 대비 55%의 응답결과물이었다. 자세한 내용은 FERC, "Assessment of Demand Response and Advanced Metering00", 2008.12.'의 [Appendix D: The FERC Survey]를 참조하기 바란다.

준 약 8%가 요금기반이든 인센티브기반이든 일종의 수요반응 프로그램을 활용하고 있었다. 동 설문조사결과를 요금기반 수요반응 프로그램과 인센티브기반 수요반응 프로그램을 구분하여 살펴보면 다음과 같다.⁴⁾

1) 요금기반 수요반응 프로그램

설문조사 결과, 2008년 요금기반 수요반응 프로그램을 제공하고 있는 기관의 수는 총 503개 기관으로 2006년 설문조사결과 462개 기관에 비해 약 9%가 증가하였다. 가장 많은 비중을 차지하고 있는 요금기반 수요반응 프로그램으로는 구간별 요금제였으며, 실시간 요금제와 최대피크 요금차등제가 그 뒤를 이었다.

첫째, 구간별 요금제는 설문조사대상 기관의 약 9%이자, 설문응답 기관의 약 17%에 해당하는 315개 기관이 시행하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 이 요금제는 주로 가정부문 소비자를 대상으로 보급되어 있었다. 구간별 요금제를 시행하고 있다고 응답한 315개 기관 중 241개 기관이 그들의 가정부문 고객을 대상으로 이 요

금제를 제공한다고 응답하였다.

둘째, 실시간 요금제는 설문조사대상 기관의 약 3%이자, 설문응답 기관의 약 5%에 해당하는 100개 기관이 시행하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 100개 기관 중 85개 기관이 소매 고객을 대상으로 실시간 요금제를 제공하고 있었다. 이는 2006년 조사결과 대비 54%가 증가한 수치이다.

셋째, 최대피크 요금차등제는 설문조사대상 기관의 약 2.5%이자, 설문응답 기관의 약 4.7%에 해당하는 88개 기관이 시행하고 있는 것으로 나타났다. 최대피크 요금차등제는 앞의 두 요금기반 요금제에 비해 늦게 도입된 제도로써 시행기관 수가 상대적으로 작았다.

2) 인센티브기반 수요반응 프로그램

인센티브기반 수요반응 프로그램은 앞서 설명한 바와 같이 인센티브를 통해 소비자의 전력소비를 감축하는 방식이다. 인센티브기반 수요반응 프로그램은 일반적으로 전력회사, 부하관리업체, 전력망운영자가 비용

<표 1> 미국의 요금기반 수요반응 프로그램 시행 현황

(단위: 개)

프로그램	2006		2008		증가율
	제공기관	설문응답기관/ 설문대상기관	제공기관	설문응답기관/ 설문대상기관	
구간별 요금제(TOU)	366	1,886/3,366	315	1,874/3,407	-14%
실시간 요금제(RTP)	60		100		67%
최대피크 요금차등제(CPP)	36		88		144%

자료: FERC, "Assessment of Demand Response and Advanced Metering", 2008.12.;2006.8

4) 미국의 지역별 수요반응 프로그램 현황을 포함한 보다 상세한 정보를 원한다면, FERC, "Assessment of Demand Response and Advanced Metering", 2008.12.의 [Chapter III, Demand Response]를 참조하기 바란다.

을 관리하고 전력망 신뢰성을 유지하기 위해서 부하를 통제하는 직접 수단을 제공한다. 특히, 즉시적이고 예측 가능한 수요반응이 요구되는 긴급 상황 시에 더욱 중요해진다.

미국에서 인센티브기반 수요반응 프로그램의 시행 현황을 살펴보면, 첫째, 직접부하제어 프로그램에는 2008년 기준 전체 설문조사대상 기관의 약 6%(설문응답기관의 약 11%)에 해당하는 209개 기관이 제공하고 있었다. 동 프로그램에 가입한 소비자의 수는 조사결과 총 513만 명으로⁵⁾ 2006년 설문결과 495만 명의 소비자에 비해 약 3.5%가 증가하였다. 직접부하제어 방식은 가장 일반적인 수요반응 프로그램의 하나로서 보통 전력수요와 공급을 조절하기 위해서나 최대전력수요 시 높은 수준의 전력구매를 줄이기 위해 이용된다.

둘째, 차단가능 서비스는 전체 설문조사대상 기관의 약 7%(설문응답기관의 약 13%)에 해당하는 248개 기관이 제공하고 있었다. 차단가능 서비스는 주로 대형 산업 및 상업 고객들을 중심으로 제공되고 있었다.

셋째, 긴급상황 프로그램은 전체 설문조사대상 기관 중 약 4%(설문응답기관의 약 7%)에 해당하는 136개 기관이 제공하였고, 소비자입찰 방식은 전체 설문조사대상 기관 중 약 1.6%(설문응답기관의 약 3%)인 57개 기관이 제공하였다. 이 두 종류의 프로그램은 아래 <표 2>에서 보다시피 2006년에 비해 제공 기관의 수가 큰 폭으로 확대되었다.

3. 미국 전력수요반응 프로그램의 최대수요 감소효과

미국의 에너지독립안보법 2007(EISA 2007)의 섹션 529(a)에서는 FERC가 국가적 차원에서 수요반응의 잠재력을 평가하고 관련 정책과제를 분석한 보고서를 의회에 제출하도록 의무화하고 있다. 이에 FERC는 2009년 6월 미국의 수요반응 잠재력을 분석하고 그 잠재력을 최대한 발휘하기 위해서 취해야 할 국가적 과제

<표 2> 미국의 인센티브기반 수요반응 프로그램 시행 현황

(단위: 개)

프로그램	2006		2008		증가율
	제공기관	설문응답기관/ 설문대상기관	제공기관	설문응답기관/ 설문대상기관	
직접부하제어(DLC)	234	1,886/3,366	209	1,874/3,407	-11%
차단가능(Interruptible)서비스	218		248		14%
긴급상황(Emergency)프로그램	27		136		404%
소비자입찰(Demand Bidding)	18		57		217%

자료: FERC, "Assessment of Demand Response and Advanced Metering", 2008.12.:2006.8

5) 설문조사 결과, 투자자소유 전력회사(Investor-owned utility)의 직접부하제어 프로그램에 가입된 소비자의 비중이 직접부하제어 프로그램에 가입된 전체 소비자 대비 78%를 차지하고 있었다.

를 명시한 보고서를 발간하였다⁶⁾. 이 장에서는 2009년의 FERC 동 보고서를 토대로 최대 전력소비국인 미국 이 수요반응 프로그램을 통해 얻을 수 있는 효과는 어느 정도인지를 살펴보고자 한다.

가. 주요 가정(assumptions)

1) 고객 분류

전력소매시장 고객은 4가지 형태로 구분된다. 첫째, 가정부문 고객으로 모든 일반 가정부문 고객을 총칭한다. 둘째, 소형 상업 및 산업 고객으로 여름 최대전력수요⁷⁾가 20kW 이하인 고객이다. 셋째, 중견 상업 및 산업 고객은 여름 최대전력수요가 20~200kW 수준인 고객이며 넷째, 대형 상업 및 산업 고객으로 여름 최대 전력수요가 200kW 이상인 고객이다.

2) 수요반응 프로그램 형태

FERC 보고서에서 다루고 있는 수요반응 프로그램에는 5가지 종류가 있다. 첫째, 동인기술(enabling technology)을 갖추지 않은 변동요금제(dynamic pricing)이다. 변동요금제는 시간에 따라 변하는 전력

요금을 고객에게 하루 전날(day-ahead) 또는 실시간(real time) 기준으로 적용하는 요금제를 의미한다. 변동요금제를 적용하게 되면 전력수요가 높을 때에는 요금이 올라가고, 낮을 때에는 요금이 내려가게 된다. FERC는 변동요금제에서 구간별 요금제(TOU)를 제외하고 있다. 구간별 요금제는 구간을 보통 일별 또는 계절별로 나누어 요금을 달리 책정하는데, 이 방식은 예상치 못한 전력수요 급증이나 전력망 신뢰성 문제에 민첩하게 대응할 수 없기 때문에 본 연구에서 제외시켰다.⁸⁾ 그리고 동인기술은 전력요금이 상대적으로 높은 시간대에 전력소비를 자동을 줄일 수 있도록 하는 기술을 의미한다. 대표적인 예로 지능형 자동온도조절기, 에너지관리시스템, 공정 제어 시스템 등을 들 수 있다.

둘째, 동인기술을 갖춘 변동요금제이다. 이 프로그램에서는 소비자가 자동화된 전력소비통제 기술을 이용하면서 변동요금제의 적용을 받게 된다. 가령 변동요금제의 적용을 받으면서 가정부문, 중소 상업 및 산업 고객이 프로그래밍이 가능한 자동온도조절기를 통해 에어컨 전력소비를 적절히 조절한다든가, 대형 상업 및 산업 고객이 통신 인프라를 통해 시설 내의 다양한 전력사용기기의 전력소비를 통제하는 경우를 들 수 있다.

그리고 셋째, 직접부하제어, 넷째, 차단가능 서비스, 다섯째, 소비자입찰 등의 기타 프로그램이 있다. 이 프

6) 미국에서 수요반응의 국가적 잠재력은 주별(state-by-state)로 5년과 10년 단위에서 평가한다. 평가보고서에는 수요반응 프로그램 활성화에 필요한 재정지원 및 인센티브와 같은 구체적인 정책 권고 사항을 수록하도록 하고 있다. 그리고 수요반응 프로그램을 유연하고, 비차별적이며, 공정한 보상 조건에서 제공하는 데 있어 장애요인을 확인하고, 그 장애요인을 극복할 수 있는 방안도 제시하도록 하고 있다. EISA 2007은 또한 FERC가 기존연구 및 현재 진행 중인 연구를 적극 활용하여 불필요한 노력이 들지 않도록 주의해야 한다고 강조하고 있다.

이번 평가는 미국의 주에 따라 수요반응 프로그램의 잠재력을 국가적으로 분석하는 최초의 연구에 해당한다. 또한 FERC가 보고서에 들어가는 데이터, 가정, 계산식, 결과를 투명하게 보여줌으로써 각 주(state)가 자체적인 정책 우선순위를 기반으로 수요반응 프로그램의 잠재력을 평가하기 위해 데이터와 가정을 업데이트하거나 수정할 수 있도록 해놓았다.

7) 여름철 가장 높은 순간의 전력소비수준을 의미한다.

8) FERC는 변동요금제의 예로 최대피크 요금차등제, 최대피크요 리베이트, 실시간 요금제를 들고 있다. 이 중 최대피크 리베이트는 최대전력수요 시 보다 높은 요금을 부과하기보다는 전력소비 감축실적에 따라 리베이트를 제공하는 방식으로 나머지 두 요금제와 성격이 다르다.

로그램들은 앞서 설명한 바와 같이 전형적인 인센티브 기반 수요반응 프로그램에 해당한다.

3) 수요반응 프로그램 확산 시나리오

FERC 보고서는 국가적 차원의 수요반응 잠재력을 평가하기 위해 4가지 시나리오를 설정하였다. 시나리오는 BAU(Business-as-Usual), 확장 BAU(EBAU, Expanded Business-as-Usual), 준완전참여(AP, Achievable Participation), 완전참여(FP, Full Participation)로 구분되어 있다. 이 4가지 시나리오 하에서의 결과는 수요반응 잠재력이 특정 변수에 따라 달라짐을 보여주고 있다. 가령 변동요금제와 AMI(advanced metering infrastructure: 양방향 통신시스템을 갖춘 계량 인프라)⁹⁾의 가용성, 동인기술 활용, 다양한 고객층의

각기 반응 등에 따라 그 잠재력이 달라진다.

기준선으로 사용되는 BAU 시나리오에서는 향후 10년 동안 기존부터 진행되어왔거나 현재 계획된 수요반응 프로그램들이 특별한 변화 없이 계속 추진된다는 것을 가정하고 있다. 현재 중대형의 상업 및 산업 고객들에 대해서는 주로 차단가능 서비스(interruptible service) 프로그램이, 가정부문과 소형 상업 및 산업 고객들에 대해서는 중앙 공조장치 등 에너지다소비 기기를 대상으로 한 직접부하제어(direct load control) 프로그램이 추진되고 있다.

확장BAU 시나리오는 BAU 시나리오에 다음의 가정을 추가한 것이다. ① AMI의 부분적 보급이 이루어진다. ② 변동요금제가 도입되나 소비자의 5%만이 변동요금제의 적용을 받는다. ③ 현재 구성의 인센티브기반 수요반응 프로그램은 미국의 모든 주로 확장되고, 참여

〈표 3〉 시나리오 가정별 주요 차이점

가정	BAU	확장BAU	준완전참여(AP)	완전참여(FP)
AMI 보급 ¹⁾	부분적 보급	부분적 보급	완전보급	완전보급
변동요금제 ²⁾ 적용 및 참여	현재 수준	자발적 참여(opt-in): 5%	기본요금제(opt-out): 60~75%	보편적(의무): 100%
동인기술 제공비율	0%	0%	95%	100%
동인기술 수용비율	0%	0%	60%	100%
비요금기반 수요반응 프로그램 ³⁾ 참여	현재 수준	모범사례 (best practice) 수준	모범사례 (best practice) 수준	모범사례 (best practice) 수준

주: 1) 부분적 보급은 2009년 초 약 500만대 스마트계량기가 보급된 시점에서 2019년까지 8천만대로 확대되는 상황이며, 완전보급은 2019년까지 1억 4천만대로 확대되는 상황을 가리키고 있다.

2) 구간별 요금제를 제외하고, 최대피크 요금차등제, 최대피크 리베이트, 실시간 요금제를 포함시켰다.

3) 입찰방식기반 프로그램으로 직접부하제어, 차단가능서비스, 수요자입찰방식 등을 의미하고 있다.

자료: FERC, "A National Assessment of Demand Response Potential", 2009.6.

9) 본고에서 AMI는 소비자의 전력소비정보를 시간별 또는 그보다 자주 기록하고, 일별 또는 보다 잦은 간격으로 중앙정보처리센터(central collection point)와 양방향으로 통신하는 계량 시스템을 의미한다.

울은 모범사례(best practices)¹⁰⁾ 규모로 확대된다.

준완전참여(AP) 시나리오는 AMI가 보편적으로 보급되고, 변동요금제가 기본 요금제로 설정되며, 직접부하제어 등의 인센티브기반 수요반응 프로그램이 변동요금제에 참여하지 않는 이들에게 적용되는 상황을 가정한 것이다. 이 시나리오에서는 변동요금제가 기본요금제로 정해져 있지만, 소비자들은 변동요금제 적용여부 선택권을 갖고 있으면서 60~75%가 변동요금제의 적용을 받고 있다. 추가로 프로그래밍이 가능하고 양방향 통신기능을 갖춘 자동온도조절기와 같은 동인기술이 비용효과적(cost-effective)인 수준에 이르렀고, 전체적으로 95% 정도 제공되고 있으나 실제 그 기술을 사용하는 고객들은 60% 정도이다.

완전참여(FP) 시나리오는 AMI가 보편적으로 보급되고 변동요금제가 기본 요금제로 정착되며, 증명된 동

인기술이 함께 제공되는 경우를 가정하였다. 여기에서는 모든 고객이 변동요금제의 적용을 받고 비용효과적인 동인기술을 사용한다.

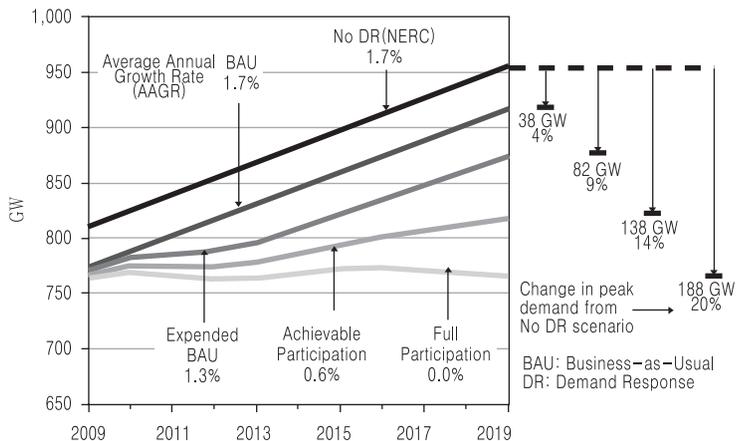
나. 수요반응의 잠재적 최대전력수요 감축효과

1) 종합적 효과

앞서 언급된 가정 하에 미국의 수요반응 잠재효과를 분석한 결과, 미국에서 변동요금제 도입과 비용효과적인 수요반응 동인기술 보급을 통해 수요반응 프로그램이 활성화될 경우 2019년 기준 최대전력수요 규모가 수요반응 프로그램이 시행되지 않는 경우 대비 최대 20% 축소될 수 있다.

[그림 2]는 시나리오별로 수요반응 프로그램 참여도

[그림 2] 시나리오별 미국의 최대전력수요(peak-demand) 전망



자료: FERC, "A National Assessment of Demand Response Potential", 2009.6.

10) 현 시점까지 가장 참여율이 높았던 사례를 의미한다.

가 확대되면서 첨두부하의 차이가 어떻게 나타나는지를 보여주고 있다. 수요반응 프로그램이 존재하지 않을 경우(No DR)의 최대전력수요는 연간 1.7%의 증가율을 보이고 있고, 2009년에 810GW에 달하며, 2019년에는 대략 950GW에 달한다. No DR은 NERC(North American Electric Reliability Corporation: 북미전 기신뢰성위원회)가 2008년 전망한 미국 첨두부하 확대시나리오를 토대로 하였다. NERC의 전망치에는 수요반응 프로그램으로 인한 최대전력수요 감소효과를 제외하고 있다.

BAU 시나리오에서도 최대전력수요는 연간 1.7%의 증가율을 보이고 있지만, No DR 대비 수요반응 효과가 감안되어 있다는 점이 다르다. 동 시나리오에서는 최대 전력수요 규모가 No DR 대비 38GW 축소되어 4%의 감소효과를 보인다. 확장BAU 시나리오에서는 2019년 기준 최대전력수요 규모가 No DR 대비 82GW 축소되어 9%의 감소효과를 보인다. 준완전참여(AP) 시나리오에서는 2019년 기준 최대전력수요 규모가 No DR 대비 138GW 축소되어 14%의 감소효과를 보이며, 완전참여(FP) 시나리오에서는 No DR 대비 188GW 축소되어 20% 감소효과를 보인다.

최대전력수요는 4가지 시나리오에서 수요반응 프로그램 형태와 참여정도에 따라 그 축소범위가 달라진다.¹¹⁾ [그림 2]와 같이 수요반응 활성화 수준이 가장 높

은 시나리오에서는 2019년 최대전력수요 규모가 BAU 시나리오에 비해 150GW정도 축소되면서, 2009년과 2019년에 평평한 수요 증가선을 보여주고 있다. 보통 일반적인 발전소의 최대 발전규모가 약 75MW 수준이라는 점을 감안하면 동 수준의 전력수요 감축량은 약 2,000개 발전소의 발전용량에 상당한 것이다.

국가적 차원에서 위의 4가지 시나리오의 상대적 영향을 비교할 때 BAU 시나리오 대비 확장BAU 시나리오에서 2019년까지의 최대전력수요 감축량이 약 2배 정도 된다. 이 차이는 현재 추진되고 있는 수요반응 프로그램을 수요반응 프로그램이 거의 추진되지 않거나 존재하지도 않는 주까지 적극 확산할 경우 발생하는 효과이다.

그러나 기존 프로그램 확산에 따른 효과를 넘어서 추가적인 수요반응 효과를 기대할 수 있다. 확장BAU 시나리오 대비 준완전참여(AP) 시나리오에서는 변동요금제가 적용됨으로써 그 효과가 54% 증가한다. 그리고 수요반응 프로그램 및 기술의 시장 수용에 대한 한계가 극소화된다고 가정하고 있는 완전참여(FP) 시나리오에서는 준완전참여(AP) 시나리오 대비 다시 그 효과가 33% 증대한다. 이 평가분석의 결과는 국가적 차원에서 변동요금제가 기본 요금제로 정착되고, 비용효과적인 동인기술들이 함께 활용할 경우 수요반응 효과가 최대화됨을 보여주고 있다.

11) 4개 시나리오의 결과는 사실상 무엇이 일어날 것인가에 대한 전망보다는 잠재력의 추정치에 해당한다. 이 연구에서 제시된 수치는 다양한 프로그램 형태에 관한 가정, 프로그램의 시장 수용, 프로그램의 전반적인 비용효과성(cost-effectiveness) 하에 잠재적으로 달성될 수 있는 수요반응 효과로 해석되어야 한다. 이 연구는 규제 측면에서 어떤 프로그램 또는 수단이 채택되고 실행되어야 하는지에 대해 언급하지 않는다. 따라서 이 연구에서의 잠재력 추정치는 개별 주나 전력사업자의 특정 목표나 갖춰야 할 요구사항을 의미하지 않는다. 그러나 각 주에 존재하는 잠재적 기회를 정량화함으로써, 수요반응 수준을 향상시키기 위한 다양한 경로를 이해하는 데 참고자료로 활용될 수 있다.

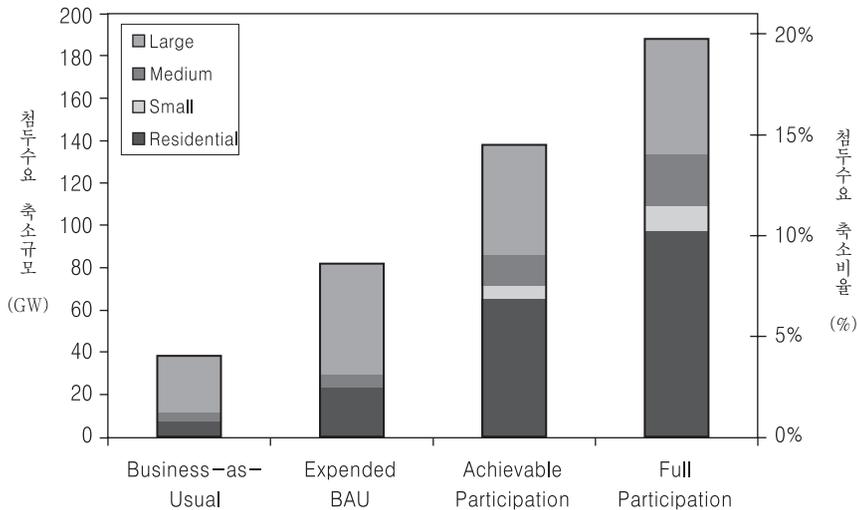
경제학에서 모델 기반의 분석과 같이, 이 연구의 추정치는 수많은 불확실성을 내포하고 있다. 그 불확실성의 대부분은 모델 모수를 추정하기 위해 사용된 데이터의 한계에서 비롯된다. 정확한 유틸리티 업체의 데이터를 갖고 수행한 수요반응 연구들은 보통 참여 고객 당 추정된 반응에 있어 10% 정도 오차범위를 갖고 있다. 이 분석에서는 대개 일반적으로 얻을 수 있는 자료나 2차 자료를 이용한 결과 각 시나리오별 추정치의 오차범위가 약 20% 정도 될 것으로 보인다.

2) 고객별, 지역별 효과

FERC는 시나리오별 수요반응 잠재력을 고객별 및 지역별로 구분하여 보다 구체적으로 제시하고 있다. 우선, 시나리오에 따라 고객 계층별로 수요반응의 잠재력이 다양하게 나타났다. 현재 미국에서 시행하고 있는 수요반응 프로그램의 대부분은 주로 대형 상업 및 산업 고객의 차단가능 방식과 소비자입찰 방식이다. 가정부문(residential)에서는 수요반응 프로그램 보급률이 상대적으로 저조하기 때문에 현 상황에서 큰 에너지절약 효과를 보이지 못하고 있다. 그러나 [그림 3]에서 볼 수

있듯이 BAU 시나리오에서 완전참여(FP) 시나리오로 진행될수록 가정부문에서의 수요반응 잠재력이 가장 크게 변한다. BAU 시나리오의 수요반응 잠재력에서 가정부문이 약 17%를 차지하고 있으나, 준완전참여(AP) 시나리오부터는 그 잠재력이 전체 대비 45%를 넘는다. EPRI에 따르면, 2008년 미국의 여름 최대전력수요에서 가정부문이 48%(382GW), 상업부문이 32%(258GW), 산업부문이 20%(161GW)를 차지하였다.¹²⁾ 이에 수요반응 프로그램이 활성화될수록 최대전력수요 규모가 가장 큰 가정부문에서 최대전력수요 감소효과가 빠르게 확대되는 것으로 해석된다.

[그림 3] 고객별 수요반응 잠재효과



자료: FERC, "A National Assessment of Demand Response Potential", 2009.6.

12) EPRI, "Assessment of Achievable Potential from Energy Efficiency and Demand Response Programs in the U.S.", 2009.1.

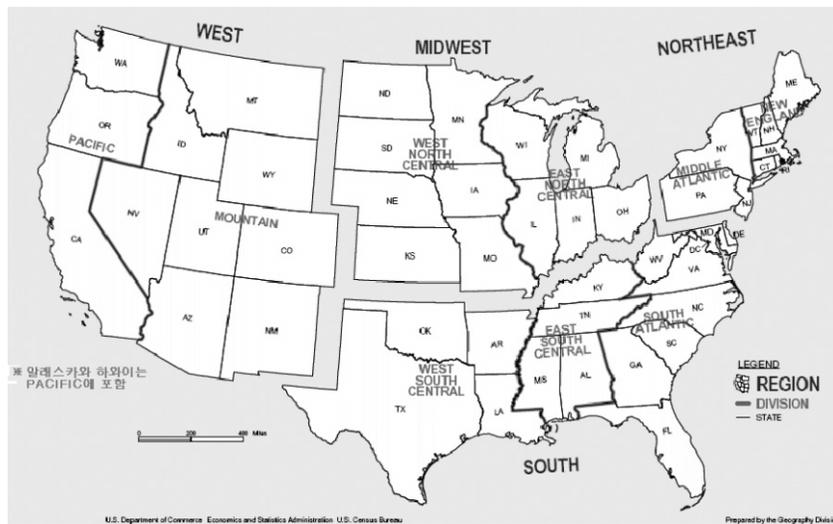
인구조사지역에 따라 미국의 주를 [그림 4]와 같이 9개 지역으로 나뉘볼 경우에도 시나리오별 수요반응 잠재력의 차이가 나타나고 있다.¹³⁾ 시나리오별 추정 잠재력은 중앙 공조장치, 동인기술의 비용효과성, 고객유형 등에 의해 지역별로 차이를 나타낸다.

중앙 공조장치가 확산되어 있으면 준완전참여(AP) 시나리오 및 완전참여(FP) 시나리오에서의 수요반응 프로그램 영향력이 크게 높아진다. 중앙 공조장치 비중이 높은 South Atlantic, Mountain, East South Central, West South Central 지역은 직접부하제어를 시행하고 변동요금제를 적용했을 경우 다른 지역보다 상대적으로 높은 수요반응 효과를 얻는 것으로 나타나

면서 준완전참여(AP) 시나리오 및 완전참여(FP) 시나리오에서 전반적으로 수요반응 잠재력이 높게 나타났다.¹⁴⁾

수요반응 동인기술의 비용효과성 또한 수요반응 잠재력의 지역적 차이에 영향을 미친다. 분석결과 Pacific, New England, Middle Atlantic 지역에서는 중앙 공조장치의 비율이 낮은 가운데, 수요반응 동인기술 도입비용이 다른 지역보다 상대적으로 높게 나타났다. 이 지역 일부에서는 동인기술 도입비용이 도입편익보다 높아 고객층 일부가 지능형 동인기술 대신 수동으로 작동되는 기술을 통해 최대전력수요를 감축하는 것으로 가정하고 효과를 분석하였다. 이에 동인기술 확산비중이 높은 지역보다 수요감소 효과가 낮게

[그림 4] 인구조사지역별 미국의 9개 지역



자료: U.S. Census Bureau

13) 각 지역별 규모의 차이를 조정(adjust)하기 위해 수요반응 효과를 수요절감 절대치가 아닌 각 지역별 최대전력수요 감축량의 비중으로 표시하였다.

14) 준완전참여(AP) 시나리오 및 완전참여(FP) 시나리오에서는 확장BAU 시나리오 대비 변동요금제가 중요한 역할을 한다.

나타났다.

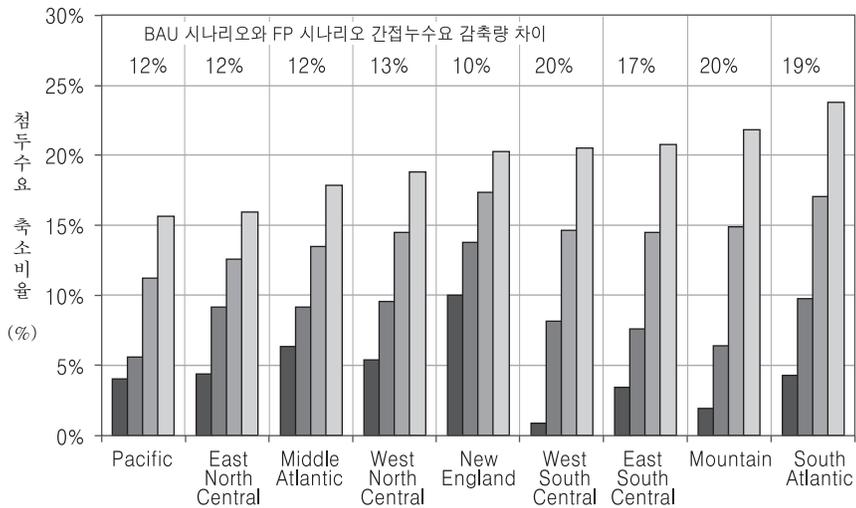
분석결과, 완전참여(FP) 시나리오 하에서 높은 수요반응 잠재력을 지닌 지역들이 반드시 BAU 시나리오와 완전참여(FP) 시나리오 간 효과차이를 크게 보인 것은 아니다. 일반적으로 서부와 북동부 지역에 있는 지역들이 BAU 시나리오와 완전참여(FP) 시나리오 간 효과차이가 적었다. Pacific, Middle Atlantic, New England 지역은 모두 그 차이가 12% 이하였다. 그러나 다른 지역들, 특히 남동부 지역은 20% 정도의 효과 차이가 나타났다.¹⁵⁾

4. 수요반응 프로그램 확산의 장애요인

미국에서 2019년까지 수요반응의 잠재효과를 최대화하기 위해서는 수많은 장애요인들이 제거되어야 하는 것으로 분석되었다. FERC는 규제, 경제, 기술, 기타 부문에서 수요반응 프로그램 확산 장애요인을 제시하였다.

규제 장애요인은 특정 규제 체계, 시장 구조, 시장 규칙, 또는 수요반응 프로그램 자체에 의해 발생하고, 경제적 장애요인은 전력사업자 또는 부하관리사업자가 수요반응 프로그램을 제공하거나 고객들이 수요반응 프로그램을 수용할만한 경제적 인센티브가 한정된 상

[그림 5] 지역별 수요반응 잠재효과



자료: FERC, "A National Assessment of Demand Response Potential", 2009.6.

15) 이번 평가는 미국 입장에서 다양한 프로그램 유형의 존재여부 및 결합 형태별로 지역별 차이를 판단할 수 있는 근거가 될 수 있다. 또한, 가장 참여율이 많은 지역과 앞으로 발전가능성이 높은 지역을 구분할 수 있을 것이다.

황을 가리킨다. 기술 장애요인은 새로운 형태의 계량 장비가 필요하다거나 계량 표준 또는 통신 기술의 미비를 가리키며, 기타 장애요인으로는 수요반응 프로그램에 대한 고객의 인식부족과 서비스를 받고자 하는 고객의 의지 부족 등을 가리킨다. FERC가 제시한 수요반응 프로그램 확산 장애요인들 중에서 주의깊게 살펴보아야 할 몇 가지를 간추려보면 다음과 같다.¹⁶⁾

첫째, 도매 전기요금과 소매 전기요금 사이의 불일치, 즉 원가가 반영된 변동요금제가 마련되어 있지 않다는 것이다. 고객들은 적절한 가격신호를 받지 못해 효율적으로 전력소비를 하지 못할 수 있다. 전력생산비용이 많이 드는 첨두부하 시간대에 전력소비를 늘리고 그렇지 않은 경우 전력소비를 줄이는 비합리적인 행동을 보일 수 있다. 현재 대부분의 국가에서 변동요금제가 가정부문 고객들에게 제공되지 못하고 있다. 한편에서는 그 이유로 필요한 지능형 계량 기술이 가정부문 고객층에 널리 보급되지 못했기 때문이라고 한다. 그러나 가격변동성을 싫어하는 고객의 인식 또한 그 이유에 포함될 수 있을 것이다.

사업 및 산업부문에서는 몇몇 전력사업자의 대형 상업 및 산업고객들이 구간대별로 다른 전기요금을 적용받고 있긴 하지만, 이 구간대별 요금차이가 완벽하게 전력공급 비용 또는 전력시장의 역동성을 반영하는 것은 아니다. 보통 시간대마다 전력공급비용을 반영하고 있지 못하며, 첨두부하 시간대의 장기적 발전용량 비용을 포함하고 있지 못하고 있다¹⁷⁾.

둘째, 수요반응 프로그램으로 인한 효과측정(meas-

urement and verification, M&V)이 어렵다는 문제가 있다. 수요반응 프로그램의 혜택을 정확하게 평가하기 위해서는 수요감소를 정량화하는 표준화된 지침이 필요하다. 현재 미국의 경우 이러한 지침은 전력사업자, 주(state), 독립계통운영자(ISO) 사이에서 불분명하고, 부정확하며, 일관성이 없다.

이는 수요반응 프로그램의 비용효과분석에 대한 의견 불일치 문제와도 연계된다. 수요반응 프로그램으로 유도된 첨두부하 감소의 재정적 가치를 정확하게 평가하는 것이 수요반응 편익을 이해하고 정량화하는 데 도움이 된다. 현재 그런 편익 평가에 포함되어야 할 것과 포함되지 말아야 할 것에 대해 의견이 분분한 상태이다. 예를 들어, 도매 전기요금 축소가 수요반응 효과로 주로 언급되면서 종종 단기적 편익으로 고려되고 있으나, 이 편익이 포함되어야 하는 시간적 기준이 불분명하다. 다른 이들은 이 편익이 단순히 발전업체에서 소비자로의 부의 이전에 해당하며, 수요반응 편익으로 고려해서는 안된다고 주장한다. 편익 산정 측면뿐만 아니라 비용 산정 측면에서도 의견이 분분하다. 수요반응 프로그램의 대부분 재정적 편익은 발전 비용의 축소에서 비롯된다. 그러나 발전비용 축소에 포함될 항목에 대해서 보다 많은 논의가 필요한 상황이다.

셋째, 비효과적인 수요반응 프로그램 설계로 인해 등록률이 낮거나 수요반응 프로그램의 효과가 적을 수 있다. 한 예로서 미국 일부 지역에서 2002년 시범적으로 구간별 요금제도를 시행한 바 있는데, 첨두(peak) 시간대 요금과 전력수요가 낮은(off) 시간대 요금 간

16) 수요반응 프로그램 확산의 장애요인에 대한 자세한 내용은 FERC, "A National Assessment of Demand Response Potential", 2009.6.를 참조하기 바란다.

17) 이에 2008년 7월에는 미국 캘리포니아 공공 유틸리티 위원회(California Public Utilities Commission)는 변동요금제를 그 주의 모든 고객층을 대상으로 기본요금제화하는 결정을 한 바 있다.

차이가 너무 작아 상당량의 부하를 첨두 시간대에서 전력수요가 낮은 시간대로 옮긴 고객들이 큰 요금 혜택을 받지 못했다. 결과적으로 그 고객들은 수요반응 프로그램에 대한 유용성을 의심하였고, 등록률도 높지 못했다.

또한, 수요반응 프로그램 시행기간이 너무 짧을 경우에도 고객들이 수요반응 프로그램을 수용하기 꺼려할 수 있다. 수요반응 프로그램이 시범 프로그램으로 시행될 경우, 고객 입장에서는 관련 장비와 시스템을 갖추고, 필요한 교육을 이수하는 것이 불필요하게 느껴질 수 있다. 결과적으로 수요반응 프로그램은 고객들이 받을 수 있는 보상 또는 혜택과 고객들이 수요반응 프로그램에 참여함으로써 인해 발생하는 불편함 또는 비용 간의 적절한 균형을 갖추어야 한다.

넷째, AMI의 미비를 지적할 수 있다.¹⁸⁾ AMI의 미비는 요금기반 수요반응을 시행하는 데 큰 장벽이 된다. 현재 미국에서는 한 전력회사만이 자사 고객이 변동요금제의 적용을 받을 수 있게 하는 데 필요한 계량기데이터관리시스템(MDMS)을 갖추고 있다. 현재 유선 네트워크를 통해 원격으로 정보를 읽을 수 있는 AMR(automated meter reading: 원격검침시스템)이 수백만 개 설치되어 있지만, 이 계량기들은 양방향 네트워크로 연결되어 있지 않으며, 세세하게 정보를 주고받을 수 없다. 이에 계량기데이터관리시스템에 큰 폭의 투자확대가 필요하며, 변동요금제를 지원할 수 있는 요금청구 시스템을 갖춰야 한다.

다섯째, 고객의 수요반응 효과를 높일 수 있는 다양

한 동인기술들이 존재하는데, 그 기술들이 아직 비용효과적이지 못하다는 점을 들 수 있다. 그 동인기술들은 사전 설정에 따라 자동으로 높은 가격대에 반응하는 지능형 자동온도조절기(smart thermostats), 여러 기가들이 함께 가격에 민감하게 대응하도록 하는 가정게이트웨이 시스템(whole home gateway system), 상업용 건물에 이용되는 발전된 형태의 에너지관리 시스템(advanced energy management systems), 산업에서 필요할 때 부하를 줄일 수 있는 공정제어시스템(process control systems) 등이 있다. 이 기술들에 대한 고객 인식과 시장 보급률은 낮은 편이지만 그 기술의 비용은 높은 편이다.

여섯째, 상호운영성(interoperability) 및 개방형 표준의 결여를 들 수 있다. 상호운영성과 개방형 표준은 계량기와 가정 내 동인기술과 같은 다양한 기술들이 상호 통신할 수 있는 조건이다. 만약 지그비(ZigBee)와 같은 개방형 표준에 기반한 통신 칩이 AMI에 장착되어 있다면, 고객들은 그들이 갖고 있는 계량기와 자동으로 통신할 수 있는 가정 내 정보기기를 구매할 수 있을 것이다. 이것은 에너지관리시스템을 자동화하거나 수요반응을 증대시키는 효과를 가져 온다. 개방형 표준은 또한 기술제공업체들 사이의 경쟁을 촉진시켜 비용을 축소하는 효과가 있다. 현재 정부 및 전력사업자들은 그들이 앞으로 설치할 AMI 시스템 기능 정립에 있어 개방형 통신 표준을 구축할 계획을 갖고 있다. 적합한 기술 프로토콜 및 표준의 필요성은 수요반응에 있어 현재 주요 이슈이다.¹⁹⁾

18) 브래틀 그룹(Brattle Group)이 2007년 캘리포니아 전력사업자를 대상으로 시행한 설문조사 결과에 따르면, 수요반응 프로그램이 활성화되지 못하는 가장 큰 장애요인으로 AMI의 미비가 선정되었다.

19) 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology: 국립표준기술원)는 EPRI와 함께 기존 표준을 검토하고 표준 간 상호운영성을 확보하기 위한 방안을 제시하고 새로운 표준을 제정하고자 노력하고 있다. NIST은 최종 결과물은 2009년 말에 FERC에 제출할 예정이다.

일곱째, 고객의 인지 및 교육 부족이 수요반응 프로그램 확산의 큰 장벽이다. 수요반응 프로그램 및 그 프로그램의 혜택과 관련하여 고객이 교육이 안되어 있을 경우 높은 수요반응 프로그램 참여율을 기대할 수 없다. 고객의 인식부족과 타성적인 행동 또한 자발적 행동이 요구되는 프로그램에 대한 참여율을 낮게 만드는 요인이다. 이에 고객의 수요반응 프로그램 인식을 우호적으로 바꾸고, 수요반응의 혜택을 홍보 및 교육하는 노력이 필요하다. 현재 요금기반 수요반응 프로그램에 대한 고객들의 경험 부족과 전력사업자들의 마케팅 부족이 큰 문제점으로 지적되고 있다.

5. 수요반응 프로그램 활성화를 위한 정책적 시사점

확장BAU 시나리오 하에서 추정된 수요반응 효과의 증가는 현재 미국에서 추진 중이거나 계획된 수요반응 프로그램이 전국적으로 확산된다는 것을 가정하고 있다. 확장BAU 시나리오는 또한 전력소매 차원에서 최소한의 변동요금제 참여를 가정한다. 그리고 현재 계획되어 있고 발표된 AMI 보급이 모두 인가되고 설치될 필요가 있다.

확장BAU 시나리오가 가능해지기 위해서는 고객들이 직접부하제어 프로그램과 차단가능 서비스에 참여함으로써 재정적 인센티브를 받아야 한다. 즉, 수요반응에 대한 적절한 보상이 뒤따라야 한다. 그리고 수요반응 프로그램으로 인한 전력수요 감소를 정량화하는 표준화된 지침 개발이 중요한데, 이는 수요반응 자원 계획을 정확하게 하고, 보상체계도 정교화하는 효과를 갖는다.

반면, 준완전참여(AP) 시나리오 및 완전참여(FP) 시나리오를 가능하게 하는 주요 동력은 변동요금제의 광범위한 시행이다. 전국적으로 AMI가 보급되고, 고객들이 변동요금제의 적용을 받으며 비용효과적인 수요반응 동인기술을 활용할 경우 이 시나리오가 성립된다. 동인기술에는 앞서 언급했듯이 가정 내 디스플레이, 프로그래밍과 양방향 통신이 가능한 자동온도조절기, 가정 내 네트워크 등이 포함된다. 준완전참여(AP) 시나리오에서는 고객이 변동요금제 적용을 받지 않겠다고 의사표현하지 않는 이상 기본적으로 변동요금제 적용을 받는 상황이며, 완전참여(FP) 시나리오는 의무적으로 모든 이가 변동요금제 적용을 받는 것이다. 이에 전력소매요금 규제자는 기존의 전력요금 구조를 변동요금제 구조로 변경하여야 한다. 그리고 동인기술이 비용 효과적일 필요가 있다. 이를 위해 초기에는 정부 보조금 및 재정지원책의 효과가 높을 것이다. 또한, 제도과 참여범위가 기존과 비교해 큰 폭으로 변한다는 것을 가정했으므로, 고객 교육과 기술지원 또한 확장 및 고도화되어야 한다. 특히, 가정부문의 고객들이 AMI와 변동요금제의 이익을 이해하고 받아들일 수 있어야 한다.

이와 같이 수요반응 잠재력을 지속적으로 확대하기 위한 주요 정책방향은 다음과 같다.

가. 효과적 프로그램 설계에 관한 정보 교류

앞서 지적했듯이, 수요반응 프로그램 설계의 고도화는 수요반응 프로그램의 시장보급을 촉진할 수 있는 중요한 수단이다. 수요반응 프로그램의 효과를 최대화하기 위해서는 규제 당국과 산업 이해당사자들이 향상된 수요반응 프로그램을 설계할 수 있도록 돕는 틀과 정보

가 필요하다. 이에 규제 조항 및 소매 요금제에 대한 사례분석, 콘퍼런스, 워크샵, 프로그램 실행에 관한 기술 보고서 등이 정보교류의 핵심 역할을 담당할 수 있을 것이다.²⁰⁾

나. 수요반응 프로그램에 대한 고객 인식확대와 교육

수요반응 프로그램의 참여율을 높이기 위해서는 정부와 전력사업자의 마케팅 노력이 보다 확대될 필요가 있다. 수요반응 프로그램 제공업체는 고객에게 그 프로그램의 혜택과 가용성, 운영방식에 대해 쉽게 알릴 수 있어야 한다.

FERC 보고서에 따르면 많은 고객들은 수요반응의 혜택에 대해 잘 알지 못하고 있고, 수요반응 프로그램에 참여하는 것을 일종의 부담으로 여기는 경향도 있다. 그러나 연구결과 변동요금제를 경험한 이들은 높은 만족도를 나타냈고, 지인에게 해당 요금 프로그램을 추천하기도 하였다. 이에 어떤 형태든 수요반응 프로그램의 참여를 확대하고자 한다면 고객들의 인식을 향상시키고, 대상별로 교육을 시행하는 것이 중요하다.

고객의 수용도를 높이는 전략에는 캠페인, 정부기관의 에너지효율 프로그램과의 공동 마케팅, 비용효과적인 툴 개발, 웹 기반 수요반응 관련 정보 창구 마련 등이 포함된다.

다. 상호운영성 및 개방형 표준

AMI의 발전은 상호운영성, 통신프로토콜에 관한 개방형 표준, 계량기데이터 보고(reporting) 표준 개발과 그 맥을 같이 한다. 이러한 표준 개발은 현재 여러 장애요인으로 인해 부분적으로 막혀있는 정보의 흐름을 원활하게 하는 역할을 한다. 상호운영성은 또한 수요반응 프로그램 및 변동요금제에서 활용될 수 있는 스마트 기기와 같은 새로운 기술의 개발을 가능하게 한다.²¹⁾

라. 수요반응 프로그램과 에너지효율 정책 조율

수요반응 프로그램과 에너지효율에 관한 정책들이 상호 조화를 이루어야 한다. 수요반응 프로그램과 에너지효율 투자는 상호 연결되어 있다. 수요반응 활동에 있어 고객의 참여는 전력소비 효율을 비롯한 에너지효율에 대한 관심을 증대시킨다. 수요반응과 에너지효율 정책이 별도로 진행되지 않도록 하기 위해, 관련 정책 이니셔티브가 조정되어야 한다.

마. 자원계획 설정과 부하 예측 시 수요반응 자원 고려

수요반응 자원은 장기적 자원계획에서 중요한 역할을 담당할 수 있다. 수요반응 자원을 자원계획 설정과 부하 예측 시 고려함으로써 송전업체와 부하관리업체들은 보다 정확하게 그들 영역에서의 에너지수요를 예

20) 특히, 많은 대수용가들은 지역별, 개별 전력사업자별 수요반응 프로그램이 각각 상이해 수요반응 프로그램을 검토하는 데 비용이 많이 들고, 그 프로그램에 참여할 동기가 축소된다고 주장한다.

21) 미국 EISA 2007에서는 그런 표준의 필요성을 인지하고, FERC로 하여금 NIST를 통해 그 표준들을 정립하도록 요구하고 있다. 규제자 및 산업 참여자들은 NIST의 표준개발 과정에 지속적으로 협조하여야 한다.

측할 수 있다. 이에 잠재적인 추가 최대부하 발전과 불필요한 송전망 과잉 투자를 방지할 수 있다. 수요반응 자원은 또한 긴급 대응 및 부가 서비스를 제공하는 등의 실시간 운영 측면에서도 중요한 역할을 할 수 있다.

6. 맺음말

미국의 사례에 비추어 볼 때 현재 추진 중이거나 계획된 수요반응 프로그램이 전국적으로 확산되는 확장 BAU 시나리오에서는 최대전력수요 감축효과가 BAU 대비 약 2배가 되고, 60% 정도의 전력소비자가 변동요금제의 적용을 받고 비용효과적인 지능형 동인기술을 활용하는 준완전참여(AP) 시나리오에서는 동 효과가 확장BAU 시나리오 대비 54%가 증가하였다. 그리고 모두가 변동요금제의 적용을 받고, 비용효과적인 지능형 동인기술을 활용하는 완전참여(FP) 시나리오의 경우 준완전참여(AP) 시나리오 대비 그 효과가 33% 증가하였다. 한편, 장기적으로 볼 때 가정부문 고객층의 수요반응 잠재력이 다른 부문에 비해 크게 나타났다.

이 분석결과는 수요반응의 효과를 살리기 위해서는 전력생산 원가를 소매전기요금에 반영하는 변동요금제 채택이 필요하며, 동시에 그 요금제를 뒷받침할 수 있는 동인기술이 갖춰져야 한다는 것을 강조한다. 또한, 장기적으로 가정부문에서 수요반응 프로그램을 통한 전력수요 감소효과가 크게 증가할 것이라는 점에서 AMI 보급과 함께 가정부문의 수요반응 프로그램이 더욱 각광받을 것이라는 것을 유추해 볼 수 있다.

그러나 우선적으로 해결해야 할 과제들이 있다. 본문에서 제시하였다시피, 수요반응 프로그램으로 인한 수요감소 효과를 설득력 있게 분석할 수 있는 방법을

개발하여야 하며, AMI 보급을 활성화시키기 위해 기간 상호운영성을 보장하고 개방형 통신프로토콜 표준을 정립하는 것이 필요하다. 동시에 기술의 비용효과성을 높여야 하는데, 이를 위한 기술혁신이 가속화되어야 한다. 나아가 수요반응 프로그램에 대한 고객의 인식을 우호적으로 바꾸고, 운영방식에 대해 쉽게 교육할 수 있는 마케팅 노력이 중요하다.

현재 지능형 전력망 구축이 선진국을 중심으로 본격화되고 있고, 개도국에서도 협소하게나마 전력망 효율과 신뢰성을 높이는 차원에서 국가사업으로 자리매김해가고 있다. 지능형 전력망 구축사업에는 AMI의 보급을 포괄하기 때문에, 지능형 전력망의 핵심 애플리케이션으로 수요반응 프로그램이 집중 거론되고 있는 상황이다. 그러나 수요반응 프로그램이 활성화되기 위해서는 AMI 보급을 이끄는 지능형 전력망 구축만으로 해결되는 것은 아니며, 경제적 차원에서 수요반응 효과를 정량화하는 분석방법 개발과 비용효과성을 지닌 기술보급, 제도적 차원에서 전력소비자에게 에너지절약 인센티브를 부여할 수 있는 변동요금제 도입, 사회문화적 차원에서 수요반응 프로그램에 대한 소비자의 인식 제고 및 교육이 함께 이루어져야 할 것이다.

〈 참고문헌 〉

- Earle, R., Kahn, E.P., Macan, E. "Measuring the Capacity Impacts of Demand Response", *Electricity Journal*, Vol. 22, Issue 6, 2009.7.
- EPRI, "Assessment of Achievable Potential from Energy Efficiency and Demand Response

- Programs in the U.S.", 2009.1.
- EPRI, "Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap", NIST, 2009.6.17.
- FERC, "Assessment of Demand Response and Advanced Metering", 2006.8.
- FERC, "Assessment of Demand Response and Advanced Metering", 2008.12.
- FERC, "A National Assessment of Demand Response Potential", 2009.6.
- NERC, "2008 Summer Reliability Assessment," 2008.5.
- The Brattle Group, "The State of Demand Response in California", California Energy Commission, 2007.4.
- Thomas Weisel Partners, "A Primer on Demand Response", White Paper, 2007.10.16.

에너지절약형 그린카 보조금 지원에 대한 정당성 논의



황상규

한국교통연구원 선임연구위원

1. 서론

과거 자동차의 발명으로 교통혁명을 이루었다면, 이제 화석연료 사용으로부터 탈피하는 새로운 교통혁명이 필요한 시점이다. 이런 교통혁명을 언급한 Richard Gilbert는 향후 20년내 화석연료에 의존하지 않는 교통시스템이 선진국에서 점차 보편화될 것으로 전망하고 있다¹⁾. 이런 변화속에서 그동안 경제활동에서 필수 불가결한 이동성을 보장해 주던 자동차가 이젠 온실가스발생의 주요 원인으로 간주되어 교통혁명의 대상이 되는 듯 싶다. 특히 수송효율이 상대적으로 낮은 승용차가 사용하는 석유는 석유수요의 지속적 증가, 석유매장량의 한계, 국제사회의 정치적 갈등 등으로 국제석유 시장에서 2008년 6월에 배럴당 \$120를 초과한 바 있다. 최근 금융위기 이후 경기침체로 인한 유가 하락이 있었지만, 향후 고유가 추세는 대세라고 다수의 석유전

문가는 예측하고 있다. 이런 결과로 차량소유자 개인에게는 물론 국가경제에도 큰 부담으로 작용되어, 국가차원의 수송부문 에너지 이용절감을 위한 특단의 대책마련이 필요한 실정이다.

해외의 경우, 에너지위기와 지구온난화 문제를 직시하고 오래 전부터 이에 대응하고 있다. 에너지문제는 단순히 경제위기로 국한되지 않고 국제간 자원전쟁의 양상으로 발전할 수 있다. 따라서 석유자원의 고갈에 대비하여 대체에너지를 개발을 하고, 지구온난화 가스인 이산화탄소 저감을 위하여 연료절약운행(eco-driving), 환경친화적인 미래형 차량기술 개발, 인간중심적이며 환경친화적인 교통기반 구축 등 다양한 노력을 하고 있다²⁾.

그러나 국내의 경우는 에너지위기에 대한 인식이나 적응력(adaptation)이 미진한 것으로 판단된다. 일례로 최근 자동차의 구매 및 이용 통계를 살펴보면, 고유

1) Richard Gilbert, Transport Revolutions: Moving people and freight without oil, Earthscan, 2008.

2) 2008년 1월에 개최된 유럽장관회의(ITP)의 특별세션에서 Eco-driving, Toward for sustainable transport를 주요 이슈로 논의

가에 불구하고 차량 구매의 소형화나 통행거리의 단축을 입증할 뚜렷한 경향은 나타나질 않고 있다³⁾. 이는 경차 구매동기가 운행에 따른 연료비 절감보다는 구입 당시 세금 감면에 더 영향을 받는 것으로 나타나, 에너지절감을 위한 근원적 대안으로써 경차 확대에 대한 한계를 반증하고 있다. 따라서 소득증가로 안전하고 편리한 차량을 이용하려는 욕구를 감안하지 않고 경차를 강매하려는 것보다는, 에너지절약형 차량의 보급을 통하여 연비 향상과 이산화탄소배출을 감소하는 것이 미래 지향적인 정책이라고 판단된다.

다행히 정부도 수송부문 에너지소비를 억제하기 위해서 차량의 연비 개선, 에너지절약형 자동차의 개발 등 자동차관련 대책을 발표하였다. 특히 『그린카 강국』을 국가적 정책목표로 설정하여 하이브리드차(Hybrid car)와 같은 에너지절약형 자동차의 개발 및 보급 확대에 많은 노력을 하고 있다.

그러나 에너지절약형 차량은 일반 차량에 비해 높은 차량가격 때문에 보급에 어려움이 많다. 그래서 정부는 하이브리드차를 구매하는 경우, 약 310만원 정도를 지원하여 에너지절약형 차량의 보급 활성화를 도모하고 있다. 그럼에도 불구하고 하이브리드차에 대한 정부지원이 형평성 측면에서 어긋난다는 지적도 있다. 이에 본고에서는 국내 에너지절약형 자동차의 이용 활성화를 위한 다양한 대안을 평가하고 향후 에너지절약형 자동차의 활성화를 위한 지원방안과 추진전략을 제시하고자 한다.

2. 국내 자동차 보유·이용 실태의 현황과 문제점

가. 설문조사의 개요

1) 설문조사의 목적과 방법

국내 연도별 자동차등록 증가추세가 감소하고 있지만, 자동차의 중·대형화 경향을 나타내고 있다. 특히 유류가격이 지속적으로 상승했음에도 불구하고 연료소비가 상대적으로 큰 중형차가 늘었는데, 이는 소형차에서 전환되었던 것으로 판단된다. 2008년 8월의 차량판매량을 전년 동기인과 비교하면, 마티즈의 판매량 변화를 보면 2007년 17,908대에서 2008년 현재 18,476대로 소폭(3.2%) 늘었으나, 쏘나타의 판매량은 2007년 35,933대에서 2008년 48,591대로 대폭 (35.2%) 증가하였다. 결국 경차에 비하여 중형차는 10배 이상 증가하여 경차 증가추이는 거의 없다고 판단된다.

본고에서는 국제 석유류 가격이 지속적으로 상승하던 2008년 6~7월에 에너지가격에 대응하여 자동차 이용 및 구매 행태를 파악하기 위한 설문조사를 시행하였다. 전국 대도시에 거주하는 자가용보유자 700명을 대상으로 전화설문조사를 시행하였다. 주요 설문응답 결과는 다음과 같다.

2) 설문조사 주요 결과

① 승용차 이용감축 의향

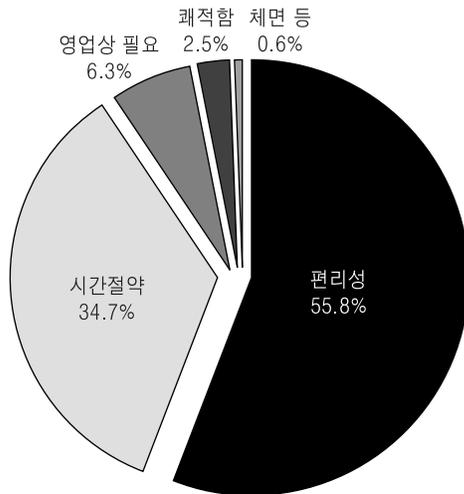
유류가 인상에 따라 승용차 이용억제 여부에 대한

3) 2008년 상반기 자동차판매량을 전년 동기인과 비교하면, 경차(마티즈)는 3.2% 증가한 반면, 중대형차(쏘나타)는 35.2%로 10배 이상의 차이를 보였다.

응답은 '평소 그대로' 승용차를 이용한다는 응답자가 전체의 47.7%로 가장 높게 나타났으며, '평소의 25%' (23.9%), '평소의 절반' (17.3%)으로 줄인다는 응답을 보여, 유류비 인상으로 인한 승용차 이용을 줄이겠다는 비율이 낮은 것으로 나타났다. 여성의 경우 '평소 그대로' 승용차를 이용(52.4%)한다는 비율이 남성(45.7%)에 비해 상대적으로 높게 나타났고, 연령이 높아질수록

승용차 이용 회수가 감축하는 경향이 더 높은 것으로 나타났다. 또한 차량의 1일 평균 주행 거리가 길수록 '평소 그대로' 승용차를 이용할 것이라는 응답 비율이 높아지는 경향이 나타난 반면, 평소 보다 이용 회수를 감축한다는 비율은 상대적으로 낮아지는 경향이 나타났다.

[그림 1] 승용차 포기 하지 않는 이유



<표 1> 고유가에 따른 승용차 이용 억제

(단위: %)

구분	응답자수	평소 그대로	평소의 25%	평소의 절반	평소의 75%	승용차 이용 포기	계	
전 체	700	47.7	23.9	17.3	8.7	2.4	100.0	
1일 평균 주행 거리	단거리	238	43.3	18.9	20.2	13.4	4.2	100.0
	중거리	271	46.9	29.2	17.3	5.2	1.5	100.0
	장거리	184	53.8	22.8	13.6	8.2	1.6	100.0
	모름	7	71.4	14.3	14.3	-	-	100.0

* 단거리: 10km 이하, 중거리: 11~30km 이하, 장거리: 31km 이상로 설정함

② 승용차 포기하지 않는 이유

유류비의 상승에도 불구하고 승용차 이용을 포기하지 않는 이유를 보면 승용차가 지니는 '편리성(door to door)'이 55.8%로 가장 높고, 다음으로 '승용차의 시간적 이점(대중교통에 비해 적은 시간 소요)'(34.7%)이 높게 나타났다.

③ 고유가가 지속될 경우 통행 변화

향후 유류비가 지속적으로 인상될 경우 승용차 이용을 어떻게 할 것인지에 대한 결과를 보면 '대중교통으로 전환'이 34.7%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 '카풀 등으로 자동차이용회수의 절감'(33.4%), '변화없음'(16.4%) 등의 순으로 나타났다.

연령이 높아질수록 유류비 인상에도 승용차 이용을 계속하겠다는 응답 비율이 높아지는 경향이 나타났다. 이는 고령자 계층이 대중교통이용이 불편하기 때문일

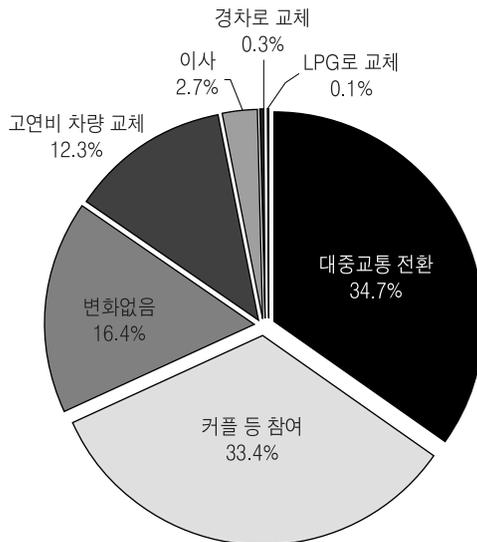
것으로 판단된다. 일반승용차를 주로 이용하는 응답자의 '대중교통으로 전환' 할 것이라는 응답 비율이 36.1%로 타 차량(예: 승합차)을 이용하는 응답자에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

사용연료별 차종에 따라서도 차이가 발생하였는데, '휘발유'를 사용하는 이용자의 '대중교통으로 전환' 할 것이라는 비율이 타 연료를 사용하는 이용자에게 비해 상대적으로 높게 나타났는데, 이는 국제원유가격의 급격한 상승으로 자가용승용차 이용에 많은 부담을 느꼈기 때문이라고 판단된다.

④ 향후 차량 구입 시 우선 고려 사항

향후 승용차 구입 시 우선 고려 기준을 보면 '차량 유지비'가 46%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 '차급(차량의 배기량)'(23%), '차량가격'(12%) 등의 순으로 나타났다. 성별에서 여성의 경우 향후 승용차 구입

[그림 2] 고유가에 대응한 통행수단 변화



시 '차량 유지비'를 고려하는 비율이 63.3%로 남성에 비해 상대적으로 높은 반면, 남성의 경우 '차량 유지비' 뿐만 아니라 '차급' 또한 중요하게 고려하는 것으로 나타났다. 사용연료별로 보면, 'LPG(가스)'인 경우 '차량 유지비'에 대한 고려는 없으며, '차급(차량의 배기량)'에 대한 고려율(40%)이 타 사용 연료에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

⑤ 향후 신규 차량 구입시 선호 차종

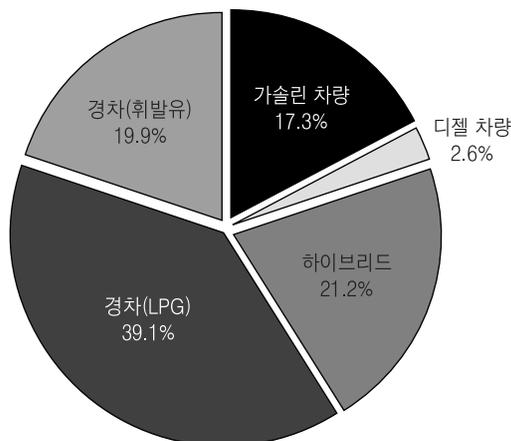
향후 교체하고 싶은 차량을 조사한 결과 '경차 LPG'가 39.1%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 '하이브리드 차량' (21.2%), '휘발유 경차' (19.9%) 등의 순으로 나타났다. 소득이 높을수록 '경차 LPG' 차량에 대한 구입 의향률은 낮아지는 경향이 나타나고, 승용다목적형 차량 주 이용자와 LPG 연료 사용자의 '경차 LPG' 구입 의향률이 상대적으로 높게 나타났다.

한편, 장래 자동차 구입패턴에 관한 설문조사 결과에 따르면, 차량 구입시 선호하는 배기량은 중·대형 차량이 '1500~2000cc'가 41.1%로 가장 높고, 다음으로 '경차(1000cc미만)' 23.6%, '1000~1500cc'가 20.3% 등의 순으로 나타났다. 다만 여성의 경우 '경차' 선택의향이 32.9%로 남성(19.6%)에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 연령에서 '20대'의 경우 타 연령에 비해 '경차'를 구입할 의향(32.9%)이 상대적으로 높게 나타났다.

3) 설문조사 요약

국내 자동차 증가 추이와 자동차 보유 및 이용실태를 살펴 본 결과, 다음과 같은 문제점이 발견되었다. 첫째, 자동차보유대수 증가율 자체가 크고 또 연비측면에서 비효율적인 중대형 자동변속기장착 자동차의 증가가 큰 것으로 나타났다. 따라서 온실가스 저감을 위해

[그림 3] 장래 차량구입시 선호하는 자동차 유형



선 우선적으로 자동차 증가를 억제할 수 있는 대중교통 활성화로 교통수단간 전환이 이루어질 수 있는 교통정책이 요구된다. 아울러 지속적으로 늘고 있는 중대형 자동차에 대해서는 세계상 차별화를 통하여 경소형 자동차로의 전환도 요구된다. 둘째, 자동차 주행거리가 크고, 자동차이용행태에 에너지 낭비적인 요소가 많은 것으로 나타났다. 자동차 일평균 주행거리가 최근 들어 다소 감소추세이나 아직도 외국에 비하여 길게 나타나 이에 대한 대책 마련이 요구된다. 또한 유가가 인상되어도 자가용승용차 이용자의 절반가량이 계속 차량이 용을 하겠다고 응답하였다. 그밖에도 자동차 운행시 급작스런 감가속이 많고 공회전 등 에너지 비효율적인 운전행태도 개선되어야 한다. 결국 에너지절감을 위해서는 교통수요관리정책의 추진과 함께 에코 드라이빙과 같이 연료절감적인 운전행태로의 변화도 요구된다.

3. 에너지절약형 그린카 지원방향과 국내외 사례

가. 에너지절감을 위한 자동차정책 방향

현재 자동차에 의한 교통문제로는 교통혼잡, 교통안전 및 교통환경 등이 제기되고 있다. 특히 자동차에 의한 온실가스 발생은 국가적 이슈로 등장하고 있다. 그러나 국내 자동차 보유 및 이용 패턴을 그대로 방치할 경우, 각종 문제는 더욱 심각해질 가능성이 높다. 특히 지구온난화에 대응하는 자동차정책은 매우 시급한 과제가 아닐 수 없다.

일반적으로 자동차부문의 온실가스 저감방안은 기존 자동차를 대상으로 연비효율이 좋은 자동차에 각종 지원혜택을 부여하여 연료절감을 도모하는 방안과 이에 연비효율이 좋은 미래형 에너지절약형 차량을 개발하여 이용을 활성화함으로써 온실가스 배출량을 줄이

〈표 2〉 유류비 인상 지속 시 구입의향 배기량

(단위: %)

현재 차량의 배기량	응답수	경차 (1000cc 미만)	1000~1500cc 미만	1500~2000cc 미만	2000cc 이상	차량 구입 안함	모름 /무응답	계
	700명	23.6	20.3	41.1	13.3	1.4	0.3	100.0
경차 (1000cc 미만)	36명	58.3	19.4	16.7	5.6	-	-	100.0
1000~1500cc 미만	19명	42.1	31.6	21.1	5.3	-	-	100.0
1500~2000cc 미만	223명	22.9	25.6	41.7	7.6	2.2	-	100.0
2000cc 이상	422명	20.1	17.1	43.8	17.3	1.2	0.5	100.0

자료: 한국교통연구원, 『자가용승용차의 보유 및 이용 실태조사』, 2008. 7.

는 방안으로 구분된다. 그밖에도 교통수요관리가 있는데, 행정규제나 가격부담을 부여하여 통행시간의 변경, 통행경로의 변경, 통행수단의 변경, 자동차의 효율적 이용, 통행발생원의 조정 등 다양한 방법이 있다.

앞으로 경제활동의 증가로 자동차의 증가는 불가피할 것이고 또한 안락하고 편리한 자동차를 선호하는 경향은 증가할 것이다. 특히 소득수준이 향상되면 소형보

단 대형위주의 자동차를 구매하는 행위를 인위적으로 금지할 수 없을 것이다. 따라서 자동차 크기를 소형화하는 것이나 운전행태를 변화하도록 유도하는 정책은 실제로 추진하는데 어려움이 많다.

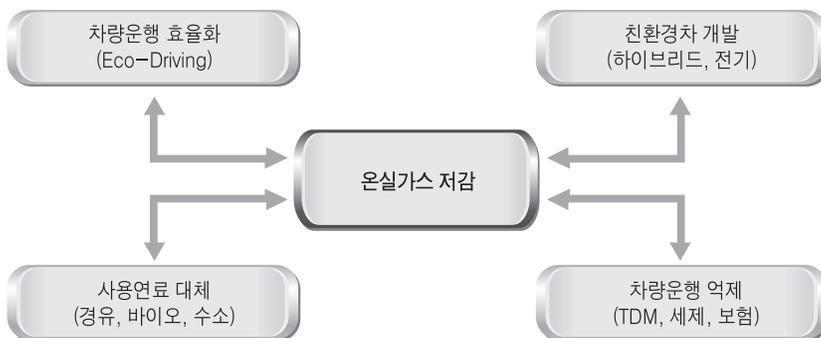
특히 미래 성장동력을 발굴해야하는 국가정책적 과제를 감안할 때, 자동차의 크기 자체만을 줄여 소형화하는 것보다는 에너지절약형 친환경 차량기술 개발을

〈표 3〉 에너지절감을 위한 자동차관련 교통정책 대안 비교

정책목표	주요 방안
승용차 이용억제	· 10부제, 요일제, 도심 주차상한제, 차량통행제한구역 확대 · 주차장 유료화, 혼잡통행료 징수, 유류세 인상
기존차량 연비개선	· 에코 드라이빙, 경소형차량 활성화, 수동변속 장착차량 지원 · 고효율 연비차량 지원, 판매차량의 연비 정보 제공 확대
에너지절약형차 개발 및 보급	· 대체연료 차량 도입 의무화(공공기관) · 이산화탄소 배출량에 의한 차등 지원(자동차세제 개편) · 대체연료 공급비용 보조금, 대체연료공급 인프라 확대

주: 음영처리부분은 본 연구의 대상을 의미함.

[그림 4] 에너지절약을 통한 자동차부문 온실가스 저감방안



통하여 자동차산업을 활성화를 도모하면서 저탄소 교통체계로 전환하는 것이 미래지향적인 정책이라고 판단된다. 이런 맥락에서 단기적으로는 기존의 고효율 자동차에 대한 지원을 통하여 이용을 활성화하고, 중장기적으로는 미래형 에너지절약형 자동차를 개발 및 보급을 통하여 자동차 이용자의 다양한 욕구를 충족시키는 동시에 저탄소 교통체계로 구축하는 것이야말로

적절한 정책대안이라고 판단된다.

나. 에너지절약형 자동차 지원정책 사례

1) 환경친화적 자동차의 종류

현행 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관

[그림 5] 에너지절약형 친환경 자동차 주요 특성 비교

	<p>◎ 하이브리드</p> <ul style="list-style-type: none"> - 보급확대 유리 - 과도기적 수단 - 비효율적 엔진 - 최고속도 180km/h - 연비: 24.7km/ℓ - 배기량: 1497cc - 최고출력 110마력
	<p>◎ 전기자동차</p> <ul style="list-style-type: none"> - 충전시설 필요 - 짧은 주행거리 - 무공해 차량 - 공차중량 1000 kg - 최고속도 140 km/h - 주행거리 160 km
	<p>◎ 수소연료전지자동차</p> <ul style="list-style-type: none"> - 충전소 필요 - 안전성 문제 - 완전무공해 - 공차중량: 1680kg - 최고속도: 150km/h - 주행거리: 620km

한 법률」에 따르면 환경친화적 자동차에 대한 정의는 전기자동차·태양광자동차·하이브리드자동차 또는 연료전지자동차 등을 지칭하고 있는데 화석연료를 쓰지 않고 대체에너지를 사용하는 자동차를 의미한다.

하이브리드(Hybrid) 자동차는 일반인에게 비교적 많이 알려진 내연엔진과 배터리엔진을 동시에 사용하는 차량으로서, 기존 자동차에 사용되던 내연기관 엔진에 전기 모터를 결합한 형태를 일컫는다. 하이브리드 자동차는 엔진과 모터를 모두 탑재하기 때문에 과도기적 기술이지만 현재 실용화가 가장 진전된 에너지절약형 자동차라 볼 수 있다. 전기자동차는 전기를 동력원으로 하는 차량이며 배기가스 배출이 전혀 없으며 기존 차량보다 소음이 적은 에너지절약형 차량이다. 에너지절약형 친환경 차량임에도 불구하고 배터리의 무거운 중량, 충전에 걸리는 시간 등의 문제 때문에 실용화되지 못하다가 고유가 시대 및 공해문제가 최근 심각해지면서 다시 개발이 되고 있다. 연료전지자동차는 연료전지로부터 생산된 전기로 구동되는 전기자동차의 일종으로서 모터에서부터 바퀴에 이르는 구조는 기존의 전기자동차와 같다. 그러나 수소충전소와 연료전지차의 안전문제 대책 마련이 필요하다.

2) 에너지절약형 친환경 자동차에 대한 지원 현황

① 한국

정부는 2008년 7월 1일부터 2012년 12월 31일까지 하이브리드차의 개별소비세와 취득세, 등록세, 교육세 등을 대폭 감면해 최대 310만원의 세제 혜택을 주기로 했다. 하이브리드차를 구입하는 사람은 세금 감면과 보조금까지 합쳐 500~600만원이나 싸게 살 수 있게 되는 셈이다. 이미 현대·기아차는 과천시와 함께 최근 하이

브리드차 보급 확대를 위해 올 연말까지 자사 하이브리드차를 구입하는 과천시민에게 현대·기아차 50만원, 과천시 150만 원 등 총 200만원의 보조금을 지원하기로 하는 등 지역적으로 보조금 지급이 이뤄지고 있다.

② 일본

세계 최초로 하이브리드가 양산 단계에 들어선 일본은 이미 이 분야에 대한 기술선도 하에 1998년부터 시기별로 적절한 각종 정부지원 및 세제혜택을 제공하여 성공적으로 보급 촉진을 달성했다. 구체적인 지원책은 <표 4>에 정리하였는데, 자동차 관련 세제 경감, 구입 보조금 지급, 소득세 및 법인세 우대조치 등으로 나눌 수 있다.

먼저 자동차 관련 세제 경감을 살펴보면, 개인 및 사업자가 하이브리드 자동차를 구입한 뒤 연간 주행거리가 6천km 이상일 경우 보조금을 최대 50만 엔을 지급하고, 신규 차량 구입시 22만 엔의 소득공제를 해주며 자동차 취득세도 2.2% 경감시켜 주고 있다. 구입보조금은 클린에너지 자동차 도입촉진 대책으로 구매단계에서 기존 동급차량과 가격차이 일정부분(50%까지)을 환경친화 자동차 구입 개인, 개인사업자, 법인을 대상으로 보조해주고 있다.

에너지절약형 차량에 대해 소득세 및 법인세 우대조치를 살펴보면, 기준취득가액의 7% 세액 특별공제나 30% 특별 감가상각을 적용하고 있다. 일본은 환경대책을 위한 차량 보급을 목적으로 하이브리드차 구입 보조금을 지원하고 있으며, 기업이나 지자체뿐만 아니라, 통근 또는 업무상 자동차를 이용하는 개인도 혜택을 부여하고 있다.

하이브리드차와 관련하여 정부가 일반차와의 가격 격차(약 50만 엔)에 대해 일반인을 대상으로 구입보조

금 50%를 지급하고, 지방정부 단위에서는 등록세 감면 (5% → 2.8%), 보유 첫해 자동차세 50% 감면, 차량 가격의 7% 세액 공제 등의 추가적인 지원책 및 세제혜택을 시행하고 있다.

③ 미국

오바마 정부는 선거공약인 Blueprint for Change에서 2015년 플러그인하이브리드 100만대 생산, Green Car 구입시 7천달러까지 세액 공제 등 에너지절약형 자동차정책을 발표한 바 있고, ‘그린 뉴딜 (Green Newdeal)’ 정책을 통해 저탄소사회를 지향하고 있다.

이에 따라 에너지절약형 자동차의 개발에 대한 투자

를 적극적으로 추진하고 있다. 이미 하이브리드차에 대해 1,000~3,000달러의 세금을 감면해주고 있으며, 전기차에 대해서도 2,500~7,500달러를 감면해 주는 법안이 의회를 통과하였다. 특히 최근에는 미국 BIG 3의 경영혁신대책으로 차세대 차량의 중요성이 부각되고 있고, 정부로부터 개발의 구체적인 로드맵 제시가 요구하고 있다.

미국은 과거 2005년까지 저공해자동차 구매 시 연방정부 및 주정부 차원에서 보조금 및 각종 세제상 다양한 지원을 하여 왔는데, 하이브리드/전기차의 경우 차량가격의 10%, 약 2,000달러까지 세액공제를 해 주고 있다. 구체적인 지원책을 살펴보면, 최근 연방정부의 에너지정책법(2005.8 제정)에 따라 IRS 주관하에

〈표 4〉 일본 에너지절약형 친환경 차량 지원 정책

지원대상	세제우대 내용
환경친화자동차 구매	<ul style="list-style-type: none"> 지방세인 자동차 취득세 경감(2008년까지 연장) <ul style="list-style-type: none"> - 천연가스, 메탄올, 전기자동차(2.7% 경감) - 하이브리드카(승용차 2.2%, 트럭/버스, 2.7%) 경감 - 환경친화인증자동차(구매가격 30만엔 공제) 지방세인 자동차세 경감세율 적용(구매후 1년간) <ul style="list-style-type: none"> - 전기, CNG, 메탄올, 초환친차(50%), 우환친차(25%), 양환친차(13%) 등
환경친화자동차 취득 연료공급시설 · 인프라	<ul style="list-style-type: none"> 소득세 및 법인세 우대조치 <ul style="list-style-type: none"> - 기준취득가액 7% 세액공제 - 기준취득가액의 30% 특별감가상각 저공해차 대상 재정 투융자로 저리 용자(차량가 40%, 금리 2.25%)
환경친화자동차 · 개조	<ul style="list-style-type: none"> 개조비용 보조금 지급 <ul style="list-style-type: none"> - CNG차 (개조비×1/2), 하이브리드차 (개조비×1/2×0.97(연도계수))
연료공급시설 · 인프라 (수소, CNG, 메탄올, 전기등)	<ul style="list-style-type: none"> 재산세 및 토지보유세 감면 (2008년까지 연장) <ul style="list-style-type: none"> - 재산세(고정자산)의 과표 2/3로 인하 - 토지보유세 비과세

2006.1.1 이후 2010.12.31까지 차량 제조사별로 6만대까지 연비향상을 및 연료 절감량 산정기준에 따라 차량 모델별로 차별화하여 하이브리드차는 650~3,400달러까지, 수소전기차는 8,000달러까지 연방 소득세 세액공제 혜택을 주고 있다.

④ 프랑스

프랑스는 미래형 환경친화적 자동차 개발 계획(2003.9)이후 에너지절약형 자동차 구입 장려, 정부 우선구매, 개인의 구매행태 변화 유도 등에 적극적이다. 전기자동차 구입 장려를 위해 보조금 연장조치(대당 3,060~3,810유로 지원)를 실시하였으며, 영업용 소형 전기자동차 구매 사업 소득세 감면 혜택이 있다. 또한 하이브리드차와 디젤차간 가격차이 20%를 보조해 주고 있으며, 특정 목표기간별 등록 하이브리드, LPG, CNG 차량에 연간 소득세에서 1,525유로를 공제해주

고 있다.

한편, 프랑스 “생태·에너지·지속가능 개발 및 계획부”는 자동차로 인한 온실가스 배출을 줄이기 위하여 이산화탄소(CO₂) 배출량에 연계한 생태적 보너스(Le “bonus écologique”) 제도를 2007~2008년에 시행하고 있다. 그 내용을 보면, 이산화탄소를 적게 배출하는 신규 차량 구매자에 대해서는 녹색 보너스(bonus)를 통해 차량구매가격을 보상하고, 이산화탄소를 많이 배출하는 오염 차량 구매자에 대해서 생태적 벌금(penalty)을 부과하고 있다.

⑤ 영국

영국은 2050년까지 주요 온실가스인 이산화탄소를 60% 감축한다는 목표를 설정하고 이를 달성하기 위해, 보다 깨끗하고 에너지절약형인 교통시스템을 구축하고 화석연료에 대한 의존을 감소시키는 것을 정책목표로

〈표 5〉 프랑스 녹색 보너스 및 생태적 벌금

구분	내용
녹색 보너스	<ul style="list-style-type: none"> • 이산화탄소(CO₂) 배출량 121~130g/km 사이: 200유로 • 이산화탄소(CO₂) 배출량 101~120g/km 사이: 700유로 • 이산화탄소(CO₂) 배출량 100g/km 이하: 1,000유로 • 이산화탄소(CO₂) 배출량 60g/km 이하(전기자동차): 5,000유로 • 초과 보너스(super-bonus) 또는 페차 지원금(premium): 300유로 <p>※ 초과 보너스는 저공해 자동차를 구입하면서 15년 이상되어 심하게 오염을 유발하는 차량을 폐기할 때, 추가로 300유로의 보너스를 받음</p>
생태적 벌금	<ul style="list-style-type: none"> • 이산화탄소(CO₂) 배출량 161~165g/km 사이: 200유로 • 이산화탄소(CO₂) 배출량 166~200g/km 사이: 750유로 • 이산화탄소(CO₂) 배출량 201~250g/km 사이: 1,600유로 • 이산화탄소(CO₂) 배출량 250g/km 초과: 2,600유로

하고 있다. 이를 위해, 하이브리드 차량에 대한 보유세를 감면해주고, 에너지절약형차량 구입에 대해 회사차량에 대한 소득세를 감면해주고, 런던 시내에 진입할 경우 부과되는 혼잡통행료를 면제해주고 있다.

4. 에너지절약형 그린카 지원방안 모색을 위한 대안 평가

가. 분석방법 개요

1) SP(Stated Preference) 조사

이미 앞에서 살펴본 것 처럼, 에너지절약형 차량 보급 확대를 위해선 도입 초기 단계에서 각종 지원을 통해 보급을 확대하는 것이 필요하다. 또한 세제 혜택과

같은 금전적인 지원과 통행권 및 주차권을 보장하는 비금전적 지원도 있을 수 있다.

이와 같은 다양한 지원방안 가운데 효과적인 방안을 도출하기 위하여 SP(Stated Preference) 조사를 활용하였다. 국내에서는 에너지절약형 자동차가 일반 시민에게 보급되지 못한 단계이기 때문에, 에너지절약형 차량 지원방안에 관한 가상 시나리오를 제시하여 그 선호도를 파악할 수밖에 없다. 이런 의미에서 에너지절약형 자동차에 선호도 조사를 위하여 SP 조사를 통하여 대안을 평가하는 것이 타당하다.

해외의 선행연구들에 대해 간략하게 정리하면, Brownston et al.(1996)은 캘리포니아 도시지역 4,746 가구에 대해 매년 신차와 중고차에 대한 수요를 미시적 수준에서 예측하는 연구를 시도하였다. 아직 그린카(대체연료 자동차 및 전기자동차)가 시장에 충분히 분포되어 있지 않기 때문에 분석방법은 SP 조사를 기

〈표 6〉 세계 각국의 에너지절약형 그린카 세제 및 보조금 현황

국가	지원내용
한국	2009년 7월부터 하이브리드차 구입 시 취득·등록세 140만원까지 감면, 개별소비세(교육세 포함) 130만원까지 감면, 지하철채권 200만원까지 의무매입 면제(약 40만원 절약 효과) * 최대 310만원까지 세금감면
일본	2009년 4월부터 하이브리드·전기차에 취득세(차량가액의 5%) 전액 면제, 중량세(차량 무게에 따라 붙는 세금) 3년간 면제(1~1.5t은 연간 18,900엔) * 하이브리드차에 최고 25만엔 보조금 지급 * 전기차에 최대 139만엔 보조금 지급(2010년 3월까지)
미국	하이브리드차 1,000~3,000달러 세금 감면, 전기차 2,500~7,500달러 세금 감면 * 하이브리드·청정디젤 등 구입 시 최대 4,000달러 세금 환급(2010년 3월까지)
프랑스	하이브리드차 2,000유로, 전기차 5,000유로 보조금 지급 * CO ₂ 배출량에 따라 보조금 지급(5,000유로까지) 또는 벌금 부과(2,600유로까지)

초로 수행하여 새로운 형식의 차량의 수요에 대한 예측을 수행하였다. 또한 Potoglou(2007)도 캐나다 온타리오주의 해밀턴 대도시 지역에서 기존 가솔린 차량, 하이브리드 차량, 대체연료 차량을 대상으로 가계의 에너지절약형 차량 선택에 대한 분석을 실시하였다⁴⁾. 이들 연구에서는 SP 조사를 실시하여 Logit모형을 활용하여 분석한 결과, 가계는 운영비용 감소, 차량 구매시 세금 감면, 낮은 배기가스 배출률 등과 같은 요인이 에너지절약형 차량에 대한 수요를 유인하지만, 무료주차 혹은 버스전용차로 운행 등의 요인은 중요한 요인이 아닌 것으로 밝혀졌다.

본고에서는 SP 설계단계에서 선행연구와 달리 다음과 같이 4가지측면에서 개선을 하였다. 첫째, 본 연구에서는 SP 조사를 수행하는 과정에서 먼저 차급에 대한 선택의향을 파악하고, 구입 예정 차급에 해당하는 시나리오를 제시하여 차급별 불일치로 인한 편이(bias)를 감소시켰다. 둘째, SP 조사 수행단계에서 미리 대표차종을 선정하여 차량에 대한 가격, 운영비, 연비 등과 관련된 정보를 숙지한 후 설문에 응하게 하여, 차량 정보로

인한 오류를 감소시켰다. 셋째, 설문에서 차종관련 대안 구성에서 현실적으로 가구의 승용차 선택에 많은 영향을 미치고 있는 유종(휘발유, 경유, LPG)을 고려하기 위해 유종과 차종(세단 혹은 SUV)을 조합하여 동시에 고려할 수 있도록 하였다. 끝으로 외국 선행연구들의 경우 정책수단에 대한 정책효과를 예측한 연구는 아직 시도되지 않았지만, 본고에서는 다양한 수단 중 어떤 정책수단이 가장 효과적인지를 파악하기 위하여 에너지절약형 자동차와 관련된 정책들을 서로 비교하여 보았다.

2) SP 조사 시나리오 설계

본 연구의 조사대상자는 서울 및 수도권 승용차 구입 희망자(신규/교체/추가) 약 412명을 선택하여, 하이브리드 자동차를 포함한 승용차 구입에 대한 SP 조사를 통하여 지원방안에 대한 응답자 선호도를 조사하였다.

SP 조사는 응답자에게 가상적인 상황을 제시해서 회답을 받는 조사이기 때문에 1인의 응답자로부터 복수의 선호의식 데이터를 얻을 수 있다. SP 자료를 분석하는

〈표 7〉 구입의향 차급별 시나리오 조합

기준	시나리오 조합
경차	(1) 경차(가솔린)+경차(디젤)+소형차(하이브리드)
소형차	(2) 소형차(가솔린)+소형차(디젤)+소형차(하이브리드)
중대형차	(3) 중/대형차(가솔린/세단)+중/대형차(디젤/세단)+중/대형차(하이브리드/세단)
	(4) 중/대형차(가솔린/세단)+중/대형차(디젤/SUV)+중/대형차(하이브리드/세단)
	(5) 중/대형차(가솔린/SUV)+중/대형차(디젤/세단)+중/대형차(하이브리드/세단)
	(6) 중/대형차(가솔린/SUV)+중/대형차(디젤/SUV)+중/대형차(하이브리드/세단)

4) Dimitris Potoglou, "Household demand and willingness to way for clean vehicles", Transportation Resaerch part D(2007)

방법은 대부분 개별선택 로짓모형을 중심으로 활용되고 있다. 이산선택모형은 임의의 선택 j 가 가진 선호도 혹은 효용은 그 선택이 가진 특성과 개인의 사회·경제적 속성에 따라 달라지지만 그 인자 모두를 관측한다는 것은 불가능하기 때문에 효용이 확률적으로 변동한다고 생각한 확률효용이론을 기초로 구축되었다.

확률항의 분포형은 몇 개의 관측 불가능한 요인의 동시분포이므로 일반적으로 정규분포라고 생각하는 것이 적절하다. 그러나 확률항을 정규분포라고 가정하는 프로빗 모형(Probit model)은 파라미터 추정이 복잡

하기 때문에 본 연구에서는 파라미터 추정이 쉬운 로짓모형(Logit model)을 도입하기로 했다. 따라서 SP 조사 결과를 바탕으로 승용차 선택모형을 정립하기 위한 모형은 로짓모형을 기반으로 구축하였다. 한편, SP 조사를 위한 시나리오 조합은 현재 선택가능한 자동차로 대안을 구성하였으며 구입의향 차급을 기준으로 다음의 <표 7>과 같이 6개 조합으로 구성하였다.

예를 들어, 구입의향 차급에 대한 질문을 한 후 경차를 구입할 의향을 가진 사람에게는 9개의 시나리오를 제시하였다. 마찬가지로 방법으로 소형차, 중·대형차 구

<표 8> SP 조사를 위한 속성 및 수준

차종		구입비 지원	연간 유류비 ¹⁾ (53.3km주행 가정)	대기오염 ²⁾	공공 주차 요금 할인	자동차세 할인	
1	경차	가솔린	(16.6)	193만원(100%기준)		50%	-
		LPG	(13.3)	158만원(100%기준)		50%	-
3	소형차	가솔린	(13.8)	232만원(100%기준)		-	-
4		디젤	(16.5)	182만원(100%기준)		-	-
5	하이브리드	(17.4) 1. 250만원 2. 500만원 3. 750만원	1. 96만원 2. 121만원 3. 145만원	1. 25%감소 2. 50%감소 3. 75%감소	1. 25%할인 2. 50%할인 3. 75%할인	1. 25%할인 2. 50%할인 3. 75%할인	
6	중/대형차	가솔린	(9.4)	341만원(100%기준)		-	-
7			(15.2)	211만원(100%기준)	-	-	-
8		디젤	(13.4)	225만원(100%기준)		-	-
9			(14.4)	209만원(100%기준)		-	-
10	하이브리드	(13.6) 1. 250만원 2. 500만원 3. 750만원	1. 188만원 2. 236만원 3. 283만원	1. 25%감소 2. 50%감소 3. 75%감소	1. 25%할인 2. 50%할인 3. 75%할인	1. 25%할인 2. 50%할인 3. 75%할인	

주: 1) 휘발유(1650원/L), LPG(1080/L), 경유(1550원/L) 기준, 2008.10

2) 일반적으로 배출량이 휘발유 차량에 비해 하이브리드 차량의 경우 70%, 디젤 및 LPG는 5% 정도 저감됨.

입의향자에게도 1인당 9개의 시나리오를 제시하였다.

3) 설명변수의 선택

본 연구에서 평가할 대안은 구입 지원액, 연간 유류비, 대기오염 저감률, 공공주차요금 할인율, 자동차세 할인율 등으로 이는 로짓모형의 설명변수로 각각 활용하였다.

$$P_{im} = \frac{\exp(V_{jm})}{\sum_{n=1} \exp V_{jn}} \quad (\text{대안 } i \text{를 선택할 확률})$$

$$V_{im} = \beta_0(\text{더미1}) + \beta_1(\text{더미2}) + \beta_2(\text{더미3}) + \beta_3(\text{더미4}) + \beta_5(\text{더미6}) + \beta_6(\text{더미7}) + \beta_7(\text{더미8}) + \beta_8(\text{더미9}) + \beta_9(\text{더미10}) + \beta_{10}(\text{구입비지원율}) + \beta_{11}(\text{연간유류비 절감}) + \beta_{12}(\text{대기오염 저감률}) + \beta_{13}(\text{주차요금할인율}) + \beta_0(\text{자동차세할인율})$$

P_{im} : 여기서 승용차별 효용 함수

더미1: '경차-가솔린' 이면 '1' 인 더미변수

더미2: '경차-LPG' 면 '1' 인 더미변수

더미3: '소형차-가솔린' 이면 '1' 인 더미변수

더미4: '소형차-디젤' 이면 '1' 인 더미변수

더미6: '중대형차-가솔린/세단' 이면 '1' 인 더미변수

더미7: '중대형차-디젤/세단' 이면 '1' 인 더미변수

더미8: '중대형차-하이브리드/세단' 이면 '1' 인 더미변수

더미9: '중대형차-가솔린/SUV' 면 '1' 인 더미변수

더미10: '중대형차-디젤/SUV' 면 '1' 인 더미변수

SP 조사를 위한 선택옵션에 대한 속성 및 수준은 <표 8>과 같으며, 이를 기초로 설문을 만들어 조사했다. 하이브리드차량 구입비 지원에 대한 기본대안을

기존 차량과 하이브리드 차량과의 가격차이의 약 50% 수준인 500만원을 지원하는 것을 토대로, 그 절반인 250만원을 지원하는 경우와 750만원을 지원하는 경우 등 3가지로 구분하였다.

연간 유류비 속성은 2009년에 출시된 '아반테 하이브리드(LPG)'의 공인연비(17.4km/ℓ)를 기준으로 기술 수준의 차이를 감안하여 약 ±20% 정도의 수준 차이를 두었다.

대기오염 저감에 대한 기본대안 역시 하이브리드 자동차의 기술수준 차이를 감안하여 25%, 50%, 75%로 설정하였다. 공공주차요금의 경우 하이브리드 차량에 대해서는 각각 25%, 50%, 75% 할인하는 경우로 구분하였다. 단 현재 경차에 대해서는 50% 할인을 시행하고 있기 때문에 50% 할인을 고정적으로 적용하였다. 자동차세의 경우 가솔린 차량과 디젤차량은 할인혜택이 없고, 하이브리드 차량에 대해서는 25%, 50%, 75% 할인 혜택을 적용하였다.

나. 분석결과

승용차 선택모형에 대한 추정 결과는 <표 9>와 같다. 모형에서 차량 가격 및 구입비 지원액, 연간 유류비 등은 만원 단위이고, 대기오염 저감률, 공공주차요금 할인율, 자동차세 할인율 등은 비율(%) 단위이다. 로짓모형의 적합도를 판정하는 지표로 추정된 모형이 관측된 자료를 얼마나 잘 설명하는가를 나타내는 우도비(p^2 likelihood ratio index)가 있는데, 다음 식과 같다.

$$- \text{우도비: } p^2 = 1 - \frac{LL(*)}{LL(0)}$$

$$- \text{수정 우도비: } \overline{p^2} = 1 - \frac{LL(*) - k}{LL(0)},$$

k 는 변수의 수임

〈표 9〉 승용차 선택모형 추정 결과

구분	Coeff.	t-ratio	P-value
BID(구입비 지원액)	0.0113	8.2531	0.0000
FEE(연간 유류비)	-0.0113	-5.6610	0.0000
AIR(대기오염)	0.0150	4.0157	0.0001
PARK(공공주차요금 할인율)	0.0494	14.2427	0.0000
DISC(자동차세 할인율)	0.0040	0.9193	0.3580
DMY1(경차-가솔린)	0.0481	0.1520	0.8792
DMY2(경차-LPG)	-0.1986	-0.6509	0.5151
DMY3(소형차-가솔린)	-0.1008	-0.3721	0.7098
DMY4(소형차-디젤)	-0.1097	-0.4575	0.6473
DMY6(중대형차-가솔린/세단)	-0.0226	-0.0970	0.9227
DMY7(중대형차-디젤/세단)	-0.1093	-0.4119	0.6804
DMY8(중대형차-하이브리드/세단)	0.0789	0.2610	0.7941
DMY9(중대형차-가솔린/SUV)	0.0229	0.0711	0.9433
DMY10(중대형차-디젤/SUV)0.0031	0.1394	0.4324	0.6654
LL(*)		-562.3874	
LL(0)		-3739.3982	
우도비(p^2)		0.84960	
수정 우도비(\bar{p}^2)		0.84895	

추정한 모형의 적합도는 p^2 또는 \bar{p}^2 로 판단할 수 있는데, p^2 또는 \bar{p}^2 는 최초의 우도함수 값에서 최적의 파라미터 사용 시 우도함수 값의 개선 정도를 나타낸다. 일반적으로 0.2~0.4 정도면 상당히 높다고 할 수 있다.

전체적으로 모형의 적합도(p^2 또는 \bar{p}^2)는 0.85로서 상당히 양호한 값을 나타내고 있다. 보다 상세한 차종선택에 대한 내용을 파악하기 위해 대안특성상수(alternative-specific constant)로서 차종선택터미변수를 도입하였다.

모형의 추정결과를 보면, 차종선택을 나타내는 대안 특성상수에 대한 결과값이 통계적으로 유의하지 못하지만 기준차량인 하이브리드 소형차와 비교하여 하이

브리드 중대형(세단)차와 가솔린 경차 등이 상대적으로 선호되는 경향을 나타내고 있으며, 연간 유류비 등의 계수는 음으로 나타나 각 속성의 수준값이 증가하면 효용이 감소함을 보여주고 있다. 반대로 구입비 지원액, 대기오염 저감률, 공공주차요금 할인율, 자동차세 할인율 등의 계수는 양으로 나타나 각각의 속성에 대한 수준이 증가하면 효용이 증가함을 보여 주고 있다.

다. 정책적 시사점

본고의 SP 조사가 에너지절약형 차량에 대한 선호를 알아보기 위한 것이기 때문에 추정된 결과를 기초로 각 속성의 중앙치를 이용하여 산출된 차종 선택에 대한

탄력성⁵⁾을 분석한 후, 하이브리드 차량에 대한 탄력성만을 별도로 정리한 결과는 <표 10>에 제시된 바와 같다.

우선 차량구입비 지원액에 대한 하이브리드 차량의 탄력성이 다른 항목에 비하여 높게 나타났는데, 구입비 지원액을 1% 증가하면 하이브리드 소형차의 수요는 0.15%, 하이브리드 중대형차의 수요는 0.04%씩 각각 증가할 것으로 추정된다. 따라서 에너지절약형 차량과 기존 차량간 가격차인 1,400만원(차량가액의 50%에 해당)을 지원하면 하이브리드 소형차 수요가 7.5%가 늘어날 것으로 추정된다.

주차요금 할인율에 대한 탄력성의 경우, 하이브리드 소형차(0.07)가 중대형차(0.01)에 비해 훨씬 탄력적인 것으로 나타나, 만일 공공주차요금을 50% 할인하면 하이브리드 소형차의 수요는 0.35%가 증가하는 반면, 하이브리드 중대형차의 수요는 0.1% 증가할 것으로 추정된다. 이처럼 하이브리드 차량에 대하여 주차요금을 할인해 주면, 하이브리드 차량이라도 소형차 구매자가 중대형차 구매자보다 공공주차 요금 할인율에 큰 영향을 받을 것으로 전망된다.

자동차세 할인율에 대한 탄력성의 경우, 자동차세

할인율을 1% 증가하면 하이브리드 소형차는 0.01%, 하이브리드 중대형차는 0.003% 증가하는데, 만일 자동차세를 50% 할인하면 하이브리드 소형차의 수요는 0.5% 증가하는데 비해 하이브리드 중대형차의 수요는 1.5% 증가할 것으로 전망된다.

한편, 지불용의액(Willingness-To-Pay)⁶⁾는 가구가 단기 혹은 장기적인 절약을 통해 편익(benefits)을 얻기 위해 추가로 지불하는 화폐액인데, 일반적으로 다른 조건이 동일하다고 가정하면 지불용의액은 승용차의 속성에 대한 파라미터를 구입비 지원에 대한 파라미터로 나눈 비율로 산정된다.

<표 11>을 보면, 연간 유류비 1만원을 절감하기 위해 가구는 승용차 구입에 있어서 3.6만원을 더 지불할 의사가 있는 것으로 나타났으며, 대기오염 1%를 절감하기 위해 약 4만 8천 원을 더 지불할 수 있음을 보여주고 있다.

2) 정책적 시사점

SP 조사 결과를 바탕으로 향후 승용차 구입에 대한 차종선택모형을 추정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었

<표 10> 하이브리드 속성에 대한 직접 탄력성

구분	구입비지원액	연간유류비	대기오염저감률	주차할인율	자동차세 할인율
소형	0.152	-0.141	0.072	0.071	0.01
중대형	0.038	-0.063	0.019	0.013	0.03

5) 탄력성이란 독립변수가 변화하였을 때 종속 변수의 변화율을 나타낸 것으로서 로짓모형의 탄력성은 사회 환경의 변화, 또는 교통 정책의 시행 시 변화된 조건에 대해서 특정대안을 선택할 확률의 변화를 추정할 때 사용된다.

6) 연간 유류비 절감, 대기오염 저감, 공공주차요금 할인, 자동차세 할인 등의 편익을 얻기 위해 승용차 구입 시 보다 더 지불하려는 구입비 지원으로 해석할 수 있다.

다. 첫째, 연간 유류비의 계수는 음으로 나타나 각 속성의 수준값이 증가하면 효용이 감소함을 보여주고 있다. 반대로 구입비 지원액, 대기오염 저감률, 공공주차요금 할인율, 자동차세 할인율 등의 계수는 양으로 나타나 각각의 속성에 대한 수준이 증가하면 효용이 증가함을 보여 주고 있다.

하이브리드 자동차의 경우 소형이 중대형보다 모든 속성에 대해 상대적으로 더 탄력적인 것으로 나타났다. 연간 유류비 1만원을 절감하기 위해 가구는 승용차 구입에 있어서 3.6만원을 더 지불할 의사가 있는 것으로 나타났다.

따라서 그린카 보급 활성화를 위한 여러 지원방안은 보급 확대에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 이 중 초기 구입비 지원에 대한 효과가 가장 큰 것으로 파악되었다. 이는 그린카가 상대적으로 고가이기 때문에 보급확산을 위한 구매 부담을 경감하는 방안 마련이 필요하다.

자동차 운행단계에서는 유류비 및 주차요금 할인 등과 같은 운행비용 절감 관련 정책적 지원도 효과적인 것으로 제시하고 있다. 따라서 그린카의 구입단계는 물론 운행단계에서도 혜택을 부여할 필요가 있음을 시사하고 있다. 특히 그린카 가운데 중대형보다는 소형이 상대적으로 많은 영향을 받기 때문에 각종 지원대상을 소형차 중심으로 우선 부여하는 것이 바람직 할 것으로 보인다. 또한 자동차세금 할인에 대한 탄력성도 비교적 높게 나타나, 그린카의 보급 확산을 위하여 현재 배기

량 중심의 자동차세 과세표준을 이산화탄소 배출량으로의 전환도 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

현재 세계 자동차산업에서는 지각변동이 발생하고 있다. 미국의 Big 3가 휘청거리고 있는 상황에서 각국은 에너지절약형 그린카를 선보이며 미래 자동차시장을 석권하려고 총력전을 펼치고 있다. 자동차산업은 국가경제에 미치는 영향과 고용파급효과 등 긍정적 효과도 크지만, 지구온난화의 주범인 이산화탄소를 배출하는 자동차를 생산하기에 부정적 효과도 크다. 특히 국내 자동차산업의 경우, 내수시장보다는 해외 수출에 의존하고 있기 때문에 해외의 에너지절약형 그린카 정책 동향을 예의 주시할 필요가 있다.

이미 언급한 것처럼, 각국은 그린카의 보급활성화를 위하여 각종 지원책을 내놓고 있으며, 가장 공통적이며 대표적인 것이 보조금 지원정책이다. 이렇게 일반 차량에 비하여 고가에 속하는 그린카를 지원하는 것은 초기에 시장을 형성하여 자동차생산에 따른 생산원가를 줄이려는 측면도 있지만, 자동차가 배출하는 배기가스를 줄이고, 연비향상을 통한 에너지 절감도 도모하고 있기 때문이다.

본고에서는 그린카에 대한 지원대안을 비교하였다. 분석결과, 자동차 초기 구입에 대한 지원이 영향이 큰

〈표 11〉 속성별 지불용의액(WTP)

구분	연간유류비 절감	대기오염 저감	자동차세 할인율
지불용의액	3.6만원(유류비 1만원)	4.8만원(1%)	1.3만원(1%)

것으로 나타나, 현재 정부가 하이브리드차에 대한 310 만원을 지원하는 것은 올바른 정책방향이라는 것은 이론적으로 뒷받침할 수 있다고 판단된다. 다만 본고에서는 그린카에 대한 지원으로 나타나는 차종간 형평성 문제 등을 다루지 못했는데 이는 추후의 연구과제로 남긴다.

또한 어떤 유형의 그린카를 개발하여 지원할 것인가도 주요 쟁점이다. 일본은 하이브리드차로 기술적 우위를 지켜나갈 것이고 유럽은 클린디젤로 경쟁력을 강화할 것이다, 최근 수소연료전지차와 대용량 전기차가 미래 그린카로 대체될 것이라는 주장이 우세하다. 남들이 개척한 시장에 뒤늦게 참여하는 것보다 블루오션을 추적 해야할 분야가 미래 그린카 시장이라고 판단된다. 올바른 정책진단이 필요한 시점이다.

〈 참고문헌 〉

- 강만욱, 『환경친화적 자동차의 보급 촉진을 위한 지원 방안』, 한국환경정책·평가연구, 2008. 7.
- 김승래, 『환경친화자동차 세제지원방안』, 조세연구원, 2007. 5.
- 에너지경제연구원, 『온실가스 저감 시나리오별 비용/편익 분석 연구』, 2000.
- 전재완, 『경차의 에너지절약 효과 및 보급확대 방안』, 산업연구원, 2007. 6.
- 한국교통연구원, 『기후변화협약대비 교통부문 온실가스 추정(2단계)』, 2005.
- _____, 『자가용승용차의 보유 및 이용실태 조사』, 2008. 7.
- Danilo et al., "Importance of vehicle costs, fuel prices, and Fuel efficiency in Hybrid Electric vehicle market success", TRR, 1738.
- Dimitris Potoglou · Pavlos S. Kanaroglou, "Household demand and willingness to pay for clean vehicles", 2007. 12.
- Pierpaolo Cazzola, "Forecast for motor vehicle and oil demand to 2030 and 2050", ITF, 2008. 5.
- Potter, Stephen(2004) : "Transport Energy and Emissions: Urban Public Transport", Chapter 13, PP.247-262 of Hensher David and Button, Kenneth (Eds) Handbook of Transport and Environment, Vol.4, Pergamon /Elsevier
- Richard Gilbert et al., "Transport Revolutions: Moving people and freight without oil", Earthscan, 2008.
- 경제협력개발기구(OECD), <http://www.oecd.org>
- 유럽자동차제조사 협회, <http://www.acca.be>

중국 원자력발전의 동향 및 전망



심 기 은



박 은 정

에너지경제연구원 책임연구원 에너지경제연구원 위촉연구원

1. 서론

1979년 미국의 스리마일섬(Three Mile Island) 원전 사고와 1986년 구소련의 체르노빌 원전사고 이후 원자력 발전의 건설은 긴 동면기에 접어들었다. 미국은 1973년 이후 원자력발전 건설을 한 건도 허가하지 않았고 1979년 사고 이후에는 원자력발전 건설 계획조차 세우지 않았으며, 유럽 대부분의 국가들도 체르노빌 참사 이후 원전 건설을 터부시해왔다. 그러나 21세기에 접어들어 세계적으로 에너지 부족 및 환경보호 문제가 대두되자 미국과 유럽 국가는 원자력발전의 지위와 역할의 중요성을 재차 고려하게 되었고, 결국 30여 년간 동결되었던 원자력발전 계획을 재가동하기 시작하면서, 이로써 전 세계적인 원자력발전의 회복세가 나타나기 시작했다.

화력, 수력과 함께 세계 3대 전력 구성원 중 하나인 원자력발전은 현재 약 30개국에서 사용되고 있으며, 총 430여 개의 원자력발전소가 운전 중에 있다. 프랑스, 한국, 일본 등의 많은 국가들이 원자력에너지를 적극적으로 발전시킴에 따라 원자력의 국산화, 대규모화를 실현해냈으며, 미국과 러시아 등은 이미 원자력발전

에 기반을 두고 안정적으로 전력을 공급하고 있다. 경제협력개발기구(OECD) 산하 원자력기구(NEA)에 따르면, 세계 원자력발전의 설비용량은 2030년까지 66% 증가할 전망이다.

이러한 추세에 발맞추어 중국 정부도 원자력발전의 성장을 에너지 구조조정, 환경보호 및 기후변화 대처를 위한 중요한 수단으로 인식하고 있다. 사실 중국의 경우, 2008년 기준 전력 설비용량 구성을 보면 화력발전이 약 76%로 절대적인 비중을 차지하고 있고, 수력은 약 22%, 원자력발전은 1.3% 정도로 청정에너지의 비중이 극히 낮은 석탄 위주의 에너지 구조를 형성하고 있다. 이처럼 매우 비합리적인 에너지 구조로 인해 자원이 대량 소모되고 환경보호 및 자원수송 업무에도 과부하가 걸리는 상태에 직면하게 된 것이다. 이러한 상황을 타파하고 지속 가능한 발전을 실현하기 위해서는 에너지절약 및 오염물질 배출감소를 가속화해야 할뿐만 아니라 적극적으로 청정에너지를 개발하려는 노력이 요구된다.

원자력은 이산화황 등의 오염물질을 배출하지 않고, 특히 온실가스 감축에 큰 기여를 하는 등 청정하고

안전하며, 대규모의 안정적인 전력공급이 가능한 에너지이다. 이러한 원자력의 평화적 이용을 가속화하는 것은 환경보호 강화와 지속 가능한 발전의 목적을 동시에 달성하는 데 있어 필수조건인 것이다. 이에 본고에서는 중국의 원자력발전 현황을 알아보고, 관련 분야의 발전을 위한 정책 변화, 지속적인 발전을 저해하는 걸림돌을 분석하며, 목표 달성을 위한 해결과제를 알아보고자 한다.

2. 중국 원자력발전 현황

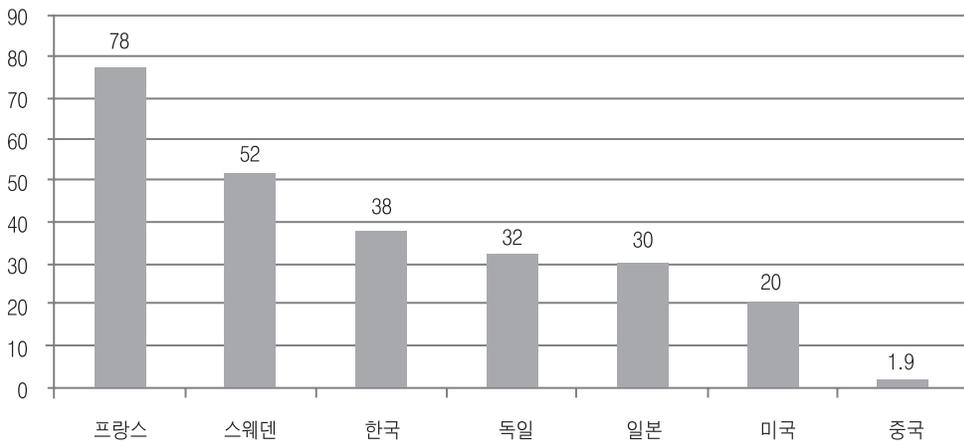
가. 중국 원자력발전 운전 추이

중국이 개혁개방 정책¹⁾ 시행 직후 건설하기 시작한

중국의 원자력발전은 비약적인 성장을 거듭해왔다. 1980년 대 친산(秦山) 30만kW 가압수형 원자력 발전소를 자체 기술로 설계·건설하고, 다아완(大亞灣) 100만kW 가압수형 원자력발전소를 건설했다. 또한 1991년에 친산 원자력발전소와 1994년 다아완 원자력발전소가 완공되어 가동된 후 중국은 친산 2단계, 링아오(嶺澳), 친산 3단계, 텐완(田灣) 원자력발전소를 건설했고, 저장(浙江) 친산, 광둥(廣東) 다아완, 장쑤(江蘇) 텐완에 3개의 원자력발전 기지를 마련했다. 이로써 현재 중국에서 운전 중인 원자력발전소는 11기로 총 설비용량이 약 910만kW에 이르고 있으며, 2008년 기준 전국 전력 설비용량 중 원자력발전의 비중은 1.3%를, 원자력발전의 연간 발전량은 683억 9,400만kWh로 전국 총 발전량의 2% 정도를 차지하고 있다. 이로써 매년 이산화탄소 배출량 약 16만 톤, 질산화합물 배출량 약 30만 톤, 이산

[그림 1] 국가별 총 발전량 중 원자력발전 비중

(단위: %)



자료: 한국수력원자력

1) 1978년 12월 18일부터 개혁개방 정책이 시행되기 시작했다.

화향 배출량 약 5,300만 톤을 감축하고 있다.

중국의 원자력발전 설계 능력을 살펴보면, 중국은 이미 30만kW, 60만kW 가압수형 원자력발전소의 자체 설계능력을 갖추었으며, 기본적으로 제2세대 100만kW급 원자력발전소 설계능력과 대규모 건설의 공정 설계능력을 구비했다. 30만kW의 가압수형 원자로 원자력발전소 플랜트는 해외로 수출하고 있으며, 60만kW의 국산화율은 70%이상, 100만kW 원자력발전소의 국산화율은 50% 이상에 달한다.

그러나 30여 년간 이어져 온 중국의 원자력발전 건설은 현재 원자력발전을 이용하고 있는 국가 중에서 그 비중이 미미한 편이다. 특히 원자력 의존도가 높은 프랑스와 비교할 때 그 차이는 엄청나다. 현재 프랑스는 원자력발전을 통해 생산한 전력을 수출하는 대표적인 국가로 원자력발전 공급량은 전체 발전량에서 무려 78%(2008년 기준)를 차지하고 있다.

위의 [그림 1]에서 보는 바와 같이 2008년 말 기준

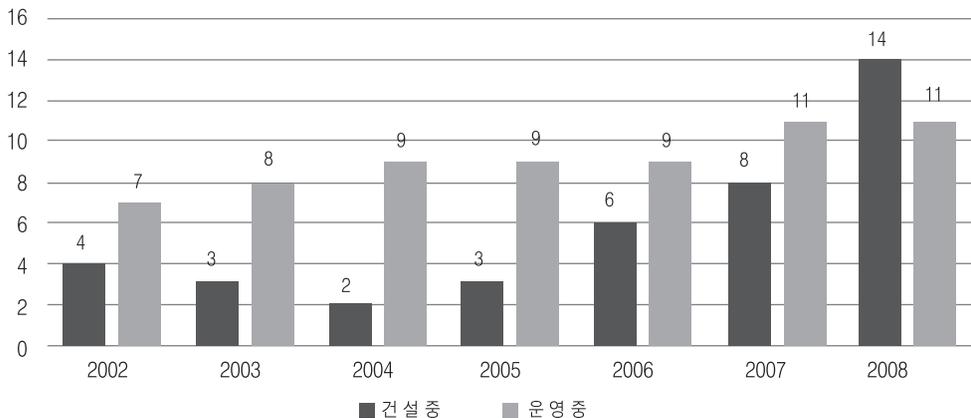
원자력발전소를 운영하는 주요국가 중 중국의 원자력발전 비중은 미미하다. 그러나 2008년 기준, 세계에서 건설에 들어간 원자로 10기 가운데 6기가 중국에 있다고 말할 정도로 중국의 원자력발전소 건설은 활발히 진행되고 있다. 또한 중국은 세계적인 추세에 발맞추고 안정적인 전력공급을 위하여 원대한 원자력발전 계획을 세워놓고 있어 원자력 발전의 급속한 확대가 예상된다. 2015년까지 가동에 들어갈 발전기를 24기 더 건설하겠다는 계획 아래 원자력발전에 대한 많은 투자와 기술도입, 인재양성에 힘쓰고 있는 상황이다.

나. 중국 원자력발전 건설 추이

중국의 원자력발전소 건설은 2005년부터 증가 추세를 보이기 시작하여 활기를 띠기 시작하였다. 최근 2002~2008년 기간 동안 중국의 원자력발전기 건설 추이를 살펴보면 [그림 2]와 같다.

[그림 2] 2002~2008년 원자력발전기 수

(단위: 기)



자료: CAEA_China NP Operation Annual Report.

2002년부터 2004년까지 건설 중인 원자력발전기 숫자가 감소하는 추세를 보이다가 2005년부터 증가하기 시작하면서 2007년과 2008년 사이에는 과거에 비해 그 수가 급증했다. 이러한 현상이 일어난 가장 큰 배경에는 <원자력발전 중장기 계획(2005-2020)>의 제정과 <원자력발전 산업의 세수정책 문제에 관한 통지>의 발표 등의 법률적 지원과 중국 정부의 원자력발전 체제의 개혁 및 새로운 운영 시스템이 자리 잡고 있다.

먼저 구체적으로 위에서 언급한 계획 및 통지에 대해 상술하면 다음과 같다. 중국 국가발전개혁위원회는 적극적인 원자력발전 건설 추진의 발전방침을 실현하고, 원자력발전 기술의 비약적인 발전을 도모하며, 세계 원자력발전 수준과 격차를 줄이기 위하여 동 <원자력발전 중장기 계획(2005-2020)>을 제정하게 되면서 원자력발전소 건설의 박차를 가해왔다.

동 <계획>에서는 “2020년까지 원자력발전 설비용량 4,000만kW를 달성하여, 원자력발전 설비용량의 비중을 4%에 이르게 할 것이다. 이 목표를 달성하기 위해서 2004~2015년 기간 동안 약 30기의 100만kW급 원자력발전기를 제작해야 한다.”는 내용을 언급하고 있다.

또한 2008년 4월 10일 재정부와 국가세무총국은 <원자력발전 산업의 세수정책 문제에 관한 통지>를 발표해 원자력발전기가 정식으로 상업적 가동을 시작한 다음 달부터 15년 동안 부가가치세 ‘先징수 後환급’ 정책을 시행하며, 1~5년, 6~10년, 11~15년으로 나누어 각각 75%, 70%, 55%의 환급 비율을 적용하기로 했다. 이와 같은 정책적 지원 아래 원자력발전 건설이 더욱 활기를 띠게 된 것이다.

이와 함께 많은 주목을 받은 것은 중국의 원자력발전 체제 및 기술 노선을 조정한 것이었다. 원자력발전 건설 분야에 있어서 CGNPC(중국 광동원자력발전집단)의 독점적인 국면을 타파하고, 일반 전력기업인 CPI(중국전력투자집단)가 원자력발전 영업 허가증을 획득하는 등 중국의 원자력발전 체제에 개혁이 이어졌다.

2006년에는 당중앙과 국무원이 ‘통합된 원자력발전 성장 기술노선’의 중대한 정책인 ‘도입, 흡수, 재창조’의 발전 방침을 결정하고, 현재 세계에서 가장 선진적인 제3세대 원자력발전 AP-1000기술을 도입하기로 했다. 이에 2007년 5월 22일 제3세대 원자력발전(AP-1000)기술을 도입하고 활용·보급하는 SNPTC(국가원자력기술공사)를 설립해 자체 브랜드의 원자력발전 기술을 형성해나가고 있는 것이다.

또한 2008년 초 국무원의 기관개혁 당시 국방과학기술공업위원회의 원자력발전 업무가 신설된 국가에너지국으로 편입돼 통합 관리되고 있다.²⁾ 이러한 전략적 지원 아래 현재 운전 중인 원자력발전기 11기의 구체적인 내용은 <표 1>과 같다.

다야완 발전소의 발전량 70%는 홍콩으로, 30%는 광둥지역으로 수송되고 있으며, 링아오 1단계 원자로(1호기)는 다야완 발전소의 복제형태로, 원자로 기술은 프랑스 프라마툼의 ANP(Advanced Nuclear Power) 기술을 채택했으나 그 중 30%는 국내 기술을 이용했다. 친산 1단계는 저장성 내, 상하이외 서남쪽에서 100km에 위치해 있으며, 중국이 처음으로 자체 설계하고 건설한 원자력 발전소이다. 친산 2단계(2호기, 3호기)는 현지에서 설계하고 건설한 원자로이며, 1단계의

2) 신설된 국가에너지국에는 기존의 국가에너지판공실, 국가발전개혁위원회 에너지국, 국방과학기술공업위원회의 원자력발전 업무를 담당하던 계통공정2사, 에너지관리와 관련된 국가발전개혁위원회의 자원절약 및 환경보호사, 공업사가 통합되어 구성되어 있다.

기반에서 확장 건설한 것이다. 텐완 1단계는 장쑤성 렌원강(連雲江)시에 위치해 있으며, 중·러 양국의 협력협약에 의해 건설된 것으로 이러한 형태의 원자력발전소 중 최대 규모의 공정이다.

이처럼 원자력발전을 건설에 있어 중국은 원자력 기술 선진국의 기술을 도입하는 한편 국산화 기술 향상에 도 노력을 기울이면서 원자력발전의 성장에 박차를 가하고 있다. 이러한 상황에서 2008년은 중국에서 승인된 신규 원자력발전 프로젝트, 신규 건설 원자력발전기, 신규 전기(前期) 공정이 승인된 원자력발전 프로젝트가 가장 많은 한해였다.

다. 중국 내 건설 중이거나 계획된 원자력발전 프로젝트

지금까지 신규 승인된 총 원자력발전 프로젝트는 8개로 총 24기의 원자력발전기가 건설될 것이며 총 설비용량은 2,540만kW에 달할 것으로 예상된다. 이미 착공되어 건설되고 있는 신규 원자력발전기는 14기이며, 이는 전 세계의 건설 중인 원자력발전기 중 30% 정도를 차지하고 있다.

사실 '11·5 규획'(2006-2010) 시기에 들어서면서 기초 기술을 더욱 강조하고, 과거보다 환경목표를 더욱 강화하고 있는데, 이러한 맥락에서 중국은 에너지

〈표 1〉 중국 내 현재 운전 중인 원자력발전소

명칭	노형	용량(MW), net/gross	상업적 운영시기	비고
다야완 1, 2호기	PWR	944/984	1994	프랑스 프라마톰(Framatom)의 프랑스 표준 가압수형 원자로와 GEC-ALSTOM의 증기터빈 사용, 프랑스 전력공사(EDF)가 관리 및 건설 담당.
친산 1호기	PWR	279/300	1994. 4	일본 미쯔비시의 압력용기 사용, 프랑스 아레바가 작업 감독
친산 2, 3호기	PWR	610/642	2002, 2004	CNP-600
링아오 1, 2호기	PWR	935/990	2002, 2003	CPR-1000
친산 4, 5호기	PHWR	665/728	2002, 2003	CANDU-6 기술, 캐나다 원자력그룹(AECL)이 주요 도급업체였음.
텐완 1, 2호기	PWR (VVER)	1,000/1,060	2007	러시아 AES-91형, 핀란드의 안전설비와 지멘스-프라마톰의 측정시스템 도입.
총 설비용량(net/gross)		8,587/9,108		

주: 1. PWR-가압수형 원자로, PHWR-가압중수형 원자로, VVER-가압수형 경수로.

2. CNP600: 중국이 최초로 자체 지적재산권을 보유한 상용화된 원자력발전 브랜드, CPR1000: 중국 개량형 가압수형 원자로, CANDU-6: 캐나다형 중수로. 자료: 세계원자력협회(World Nuclear Association).

원단위 20% 감축이라는 목표를 제시하고 있다. 이의 달성을 위해서 중국은 매년 4%씩의 에너지원단위를 감축해야 한다. 이처럼 강력한 목표가 더해지면서 원자력발전의 건설은 더욱 활기를 띠 것으로 예상된다. <표 2>에서는 현재 건설 중이거나 곧 착공할 주요 프로젝트를 간략히 정리해 놓았다.

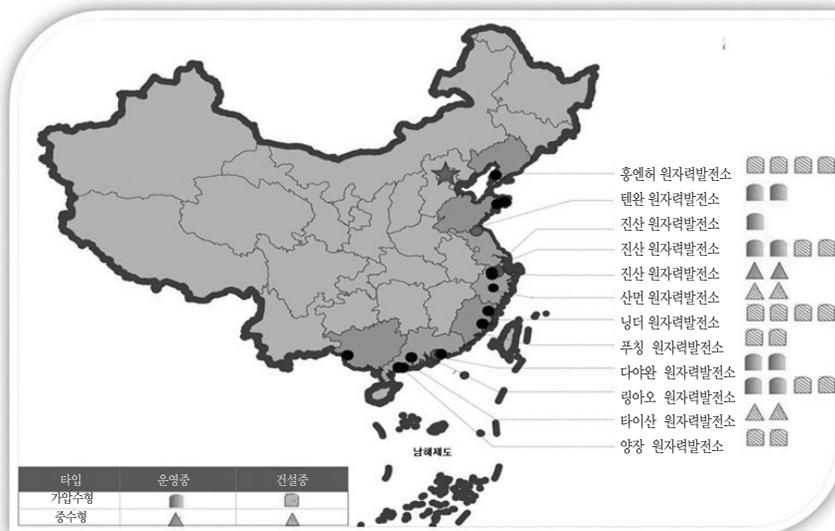
흥옌허 원자력발전 프로젝트는 CGNPC 산하 CNPEC(중국원자력발전공정집단)가 담당하며, 알스톰(Alstom)이 터빈발전기 설비를 제공했으며, 푸지엔성에 위치한 닝더 원자력발전소의 발전기는 국산화율이 70%이상에 달하고 있다. 타이산 프로젝트는 현재 아레바(Areva)의 1,600MW EPR 발전기 2기를 장착할 것인데, 2007년 11월 아레바와 CGNPC가 체결한 계약에 따르면, 아레바가 원자력발전기 2기와 2026년까지 사용 가능한 연료, 기타 원료 및 서비스를 제공하게 된다.

CGNPC와 아레바는 50%씩 출자해 공정을 위한 합작 회사를 설립했으며, 아레바의 유럽식 노하우에 바탕한 EPR 공장이 국내와 해외에서 기술이전 매개 서비스를 제공하게 된다.

3. 중국 원자력발전 계획의 상황 조정

이처럼 활발한 원자력발전 움직임에 발맞추어 관련 정책도 '적당한' 발전에서 '적극적인' 발전, '대대적인' 발전으로 그 강도가 점차 높아지고 있다. 이에 구체적으로 원자력발전 목표치를 조정 중이며, 연해 원자력발전을 강화하고 내륙지역의 원자력발전 건설을 과학적으로 계획하여 2020년에 총설비용량 중 원자력발전의 비중을 5% 이상으로 늘릴 계획이다.

[그림 3] 중국 원자력발전소 지역 분포



자료: Zhang Shengling(2009)

물론 수요에 따라 원자력발전의 성장이 더욱 가속화 될 수 있기 때문에 목표치는 재차 조정될 전망이다. 상술한 <원자력발전 중장기 계획(2005-2020)>에서 언급한 바와 같이 기존의 목표는 2020년까지 원자력발전 설비용량을 4,000만kW까지(2020년 전국 총 발전 설비용량은 10억kW에 이를 것) 증대하고 건설 중인 원

자력발전소 설비용량을 1,800만kW에 이르게 한다는 것으로, 이는 매년 200만kW의 성장을 요구하고 있다.

<계획> 제정 이후에도 점차 원자력발전에 대한 중요성이 부각됨에 따라 계속해서 원자력발전 설비용량 목표치는 상향조정되고 있는 상황이다³⁾. 가장 최근인 2009년 4월에는 국무원이 2020년에 7,000만kW까지

<표 2> 중국 내 건설 중이거나 착공예정의 주요 원자력 프로젝트

명칭	장소	용량(mw)	타입	프로젝트 관리	착공시기	운영시기
링아오 2단계 (3, 4호기)	광둥	2×1080	CPR-1000	CGNPC	2005.12, 2006.5	2010, 2011
친산 4단계 (6, 7호기)	저장	2×650	CNP-600	CNNC	2006.4, 2007.1	2011, 2012
홍옌허(紅沿河) 1단계 (1-4호기)	랴오닝(遼寧)	4×1080	CPR-1000	CGNPC	2007.8, 2008.4, 2009.3, 2010.7	2012-2014
양장(陽江) 1단계 (1-4호기)	광둥	4×1080	CPR-1000	CGNPC	2008.5, 2009.2, 9, 2010.7	2013-2015
닝더(寧德) 1단계 (1-4호기)	푸지엔(福建)	4×1080	CPR-1000	CGNPC	2007.11, 2008.9, 2009.7, 2010.3	2012-2015
싼먼(三門) 1단계 (1, 2호기)	저장	2×1100	AP1000	CNNC	2009.3	2013.8, 2014
푸칭(福清) 1단계 (1, 2호기)	푸지엔	2×1080	CPR-1000	CNNC	2008.11, 2009.6	2013.10, 2014.8
하이양(海陽) (1, 2호기)	산둥(山東)	2×1100	AP1000	CPI	2009.9	2014-2015
타이산(台山) 1단계	광둥	2×1600	EPR	CGNPC	2008.12, 2010.1	2014-2015

주: 1. CGNPC: 중국광둥원자력발전집단, CNNC: 중국원자력공업집단, CPI: 중국전력투자집단
 2. AP1000: 선진형 가압수형원자로 기술, 제3세대 원자력발전 기술, EPR: 유럽형 가압경수로
 자료: 세계원자력협회(World Nuclear Association), 신화망(新華網)

3) 원자력발전 설비용량 목표치 조정 현황(공식적으로 확정된 것은 아니며, 계획중인 내용을 밝힌 것임.): 2007년 5월 국가발전개혁위원회-2030년 1억 6,000만 kW, 2008년 3월 국가에너지국-2020년 최소 5,000만kW, 총 전력 설비용량 중 원자력발전 비중 최소 5%, 2008년 6월 전력기업연합회-2020년 6,000만kW.

설비용량을 증대하고 건설 중인 것은 1,800만kW에 이르게 하겠다고 언급한 바 있다.

아울러 전문가와 관련 기업들에 대한 의견수렴 과정을 마무리하고 발표 시기의 결정만을 남겨 놓고 있는 <신재생에너지 산업진흥 계획>에서도 원자력발전 개발 이용의 내용을 포함하고 있어 원자력발전의 성장에 박차를 가할 전망이다. 또한 초안이 이미 완성된 <원자력발전 조정 계획>에서는 2020년까지 중국의 원자력발전 운영 설비용량을 7,000만kW, 신규 건설 설비용량을 3,000만kW에 이르게 한다는 내용을 언급하고 있는데, 이 목표가 달성된다면 향후 10년의 원자력발전 신규 건설 설비용량은 과거 30년간의 설비용량을 합친 것 보다 많을 것으로 추산된다. [그림 4]에서는 2020년 원자력발전 설비용량 목표치의 조정 전과 후의 차이를 보여주고 있다.

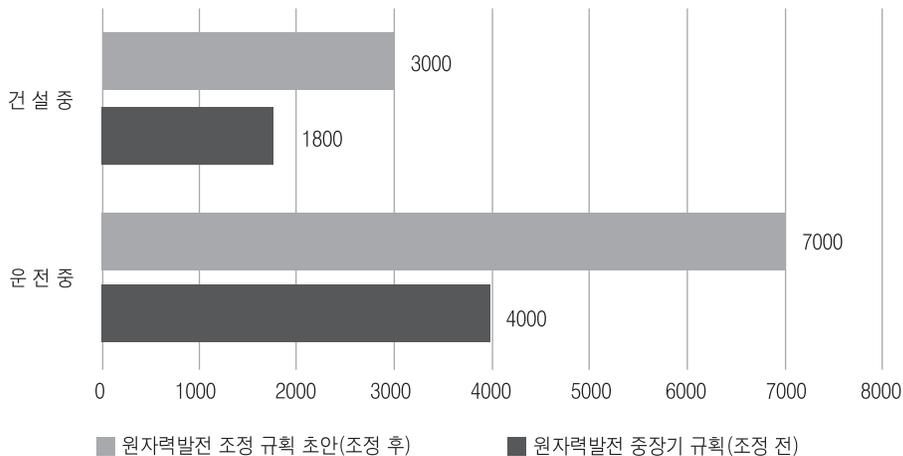
조정된 목표가 달성되면, 총 전력 설비용량 중 원자력발전의 비중은 5%까지, 발전량은 8% 정도까지 증대될 것이다. 중국의 현재 건설 중인 프로젝트는 기본적으로 연해지역에 분포해 있으며, 2009년 내 저장 쑤먼, 산둥 하이양, 광둥 타이산의 프로젝트가 착공될 예정이다.

4. 중국 원자력발전 성장의 걸림돌

앞장에서 언급하였듯이, 중국은 향후 원자력발전 육성에 있어 원대한 목표를 설정하고 그 실현에 박차를 가하고 있다. 하지만 이를 실현하기 위해 중국이 당면하고 있는 문제들도 산재해 있다. 본 장에서는 이러한 문제점들을 짚어보고자 한다.

[그림 4] 2020년 중국의 원자력발전 설비용량 목표 상향조정

(단위: 만kW)



자료: <원자력발전 중장기 계획(2005-2020)>, 선람기업망(線纜企業網).

가. 우라늄 자원 부족

2000년 이후 국제시장의 우라늄 가격이 급등하고 원자력발전에 대한 세계 각국의 관심이 높아짐에 따라 앞으로 우라늄의 수요가 기하급수적으로 증가할 전망이다. 중국의 확인 우라늄 매장량은 70,000tU인데, 이론적으로 단기간 동안 중국 대륙의 원자력 수요를 충당할 수 있는 양이다. 연간 약 840만 tU를 생산해 현재 수요량의 절반 정도를 충족시키고 있으며, 부족분은 카자흐스탄, 러시아, 나미비아에서 수입하고 있다. 중국 과학원 관계자의 소개에 따르면, 현재 중국의 핵연료 공급능력은 약 5,000만kW에 이르며, 40년 간 사용할 수 있고, 해외 수입은 약 1,000만kW에 이른다.

이러한 상황에서 다국적 원자력발전 메이저들은 중국시장의 향후 잠재력이 엄청날 것으로 예상하고, 남아프리카, 호주와 같은 기업은 일찍이 중국과 친밀한 관계를 유지하고 있다. CGNPC에 따르면, 중앙아시아 지역에서 중국의 첫 우라늄 관련 합작 사례인 중·카자흐 우라늄 채굴 합작기업의 Irkol 우라늄광이 카자흐스탄에서 생산에 들어간 상태이다. 이외에 CNNC는 홍콩에서 해외 우라늄 자원 개발을 진행하는 CNNC International Ltd.를 설립했다.

그러나 언제까지 중국이 핵연료 자원을 수입에 의존할 수만은 없을 것이다. 자원의 많은 양을 수입에 의존할 경우, 일단 생산이 중단되면 원료가 필요한 국가 입장에서는 엄청난 손실이 야기될 수밖에 없기 때문에 원자력발전 수요에 발맞추기 위한 핵연료 확보 문제는 하루 빨리 해결되어야 한다. 이러한 인식 아래 현재 국가 발전개혁위원회는 <천연우라늄 비축·관리 방법>을 연구 제정하고 있으며, 천연우라늄의 국가 비축체계도 마련 중에 있다.

나. 낙후된 기술력

현재 중국이 완전히 확보하고 있는 원자력발전 기술은 2세대 기술뿐인데, 3세대 기술로 건설된 원자력발전소는 1, 2세대 기술을 사용한 경우와 비교할 때, 설비용량이 더 크고 안전성이 높으며 경제성이 좋기 때문에 3세대 기술을 도입해 활용해야 한다. 아직 3세대 기술을 많이 활용하고 있지 않아 중국의 원자력발전 설비 비용이 빠른 시일 내에 감소하기는 어려울 것이지만, 원자력발전 설비의 플랜트 공급 능력은 갖추어지고 있다.

CNNC와 화능집단(華能集團)은 산둥 스타오완(石島灣)에 위치한 중국의 첫 고온냉각로 원자력발전소 시범 공정을 공동 추진했는데, 여기에 사용된 기술은 원자력발전의 발전비용을 크게 낮출 수 있다. 이 기술을 활용하면, 현재 평균 0.4위안 정도인 원자력발전의 발전비용을 0.31위안까지 떨어뜨릴 수 있어 화력발전보다 비용우위를 더 갖게 된다. 이 기술은 2013년 이후 광범위하게 보급될 것으로 예상되며, 그 때가 되면 원자력발전 전력송출 가격이 화력발전보다 낮아질 전망이다.

표준화 건설은 원자력발전 성장에 있어서 반드시 갖추어야 할 전제조건으로, 프랑스는 과학적으로 엄격한 표준화 관리에 의거해 원자력발전의 저렴한 가격비용과 몇 십 년간의 안전하고 안정된 운영을 유지해왔다. 그러나 중국이 원자력발전기를 여러 나라에서 수입하고 있어, 발전기 노형과 크기, 타입이 가지각색이며, 유지보수 비용도 비싸 원자력발전의 성장을 저해하고 있는 것이 사실이다.

다. 부족한 전문인력

이외에 원자력발전의 숙련된 기술인력 부족은 중국 원자력발전 성장을 저해하는 또 다른 문제 중 하나이다. 국내 교육기관은 2005년부터 원자력발전의 인재 양성을 활성화하기 시작해 다양한 원자력발전 인재를 양성하고 있지만, 아직 원자력발전 성장에 따른 충분한 필요 인력을 양성해 내지 못하고 있는 실정이다.

중국 국방과학기술공업국의 소개에 따르면, 100만kW급 원자력발전기 1기를 건설하기 위해서는 400명이 필요한데, 2020년까지 30기의 100만kW급 원자력발전소를 신규 건설하려면 1만 2,000명 이상에 달하는 관련 인력이 필요하다는 계산이 나온다.

이러한 상황이라면 원자력발전분야의 인력 공급이 급증하는 원자력발전 건설의 수요를 따라가지 못할 수도 있다. 현재 중국 원자력 산업 관련 인력의 70%는 고등기관에서 양성되고 있는데, 통계에 따르면 2007년 전국에 총 11개의 고등교육기관에서 국가 교육부가 인가한 원자력 관련 전공을 개설하고 있는 상황이지만, 원자력발전 건설의 급증하는 수요를 따라잡기 위해서 관련 인재 양성에 아직도 많은 노력이 요구되는 바이다.

5. 목표 달성을 위한 해결과제

이러한 어려움에도 불구하고 중국 경제의 성장을 유지하기 위해서는 원자력발전의 확대를 도모하지 않을 수 없다. 중국 공산당의 지휘 아래 소강사회(小康社会)⁴⁾를 건설하고 있으며, 글로벌 금융 위기 가운데에서

도 올해 8%대 경제성장이 예견되고 당분간 이러한 성장세가 지속될 전망이다. 이러한 사회 및 경제 발전의 수요에 발맞추기 위해서는 충분한 에너지가 뒷받침 되어야 한다.

그러나 한편으로 화석연료 위주의 에너지사용 뒤에 나타나는 심각한 환경문제를 간과할 수 없기 때문에 중국 정부는 석탄발전 비중을 낮추고 청정에너지 비중을 높이겠다는 확고한 신념을 보이고 있는 것이다. 현재 원자력발전에 대해 공식적으로 확정되어 있는 총 전력 설비용량 중 원자력발전 비중을 기존의 1.3%에서 4%까지 증대시키기 위해서는 연평균 2~3대의 발전기를 신규 건설해야 하며, 총 투자규모가 500억 달러를 넘어설 것으로 전망하고 있다. 그러나 현재 이 목표는 수요에 따라 상향 조정될 것이기 때문에 신규 건설 및 투자 규모도 더욱 확대될 예정이다.

사실 중국은 신규 건설 및 투자 규모 확대를 가능하게 하는 유리한 조건을 갖추고 있다. 중국이 경제발전을 하는데 있어 원자력발전에 대한 수요가 엄청나고, 각 지역에서도 원자력발전에 대한 적극성을 띠고 있으며, 원자력발전소 건설에 매우 적합한 부지를 보유하고 있는 것이다. 그러나 위에서도 언급했던 바와 같이 걸림돌이 되는 부분도 있다. 특히 원자력발전의 안전성과 경제성에 대한 부분이 주된 관심사인데, 원자력발전기의 안전성을 높이고 제조비용을 낮추는 것은 중국 원자력발전의 운명과 장래를 결정짓는다고 해도 과언이 아닐 것이다.

2003년부터 '적극적인 발전'이라는 모토로 중국의 원자력발전 정책이 적극성을 띠기 시작하면서 상용하는 체제들이 구축되기 시작했으나 매우 불완전한 것이

4) 중국 국민 전체가 중산층의 삶을 사는 사회.

사실이다. 이에 중국의 원자력발전은 아직 초보 단계에 있으며, 안정된 발전단계로 진입하기 위해서 해결해야 할 문제는 다음과 같다.

먼저 투자 주체가 증가해야 한다. 기존의 원자력 발전에 관련해서는 CNNC, CGNPC만 투자가 가능한 기업⁵⁾이었는데, 이와 같은 독점적인 투자 주체 시스템은 자금 부족 등의 문제로 인해 원자력발전의 성장을 저해할 수밖에 없다. 그러던 중 2004년에 중국 정부는 CPI에게 세 번째로 원자력발전 건설 허가증을 발급하여 원자력분야에 대한 투자 주체의 지위를 부여했고, 이를 계기로 다른 전력기업들도 이러한 자격을 얻기 위해 노력하고 있다.

다음으로 우라늄광 개발을 확대할 필요성이 있다. 2020년의 원자력발전 계획의 목표치를 감안할 때 기존의 우라늄광 자원으로는 확대되고 있는 수요를 충족시키기 어렵다. 현재 CNNC 산하 금원우라늄업유한공사(金原鈾業有限公司)만이 우라늄 탐사 및 채굴작업을 진행하고 있으며 수입량도 매우 적는데, 상류부문의 이러한 상황이 개선되지 않는다면, 중국 원자력발전의 급속한 성장을 기대하기 어렵다.

마지막으로 기술의 발전이 빠른 속도로 이루어져야 한다. 2007년 말 중국은 수백억 위안을 출자해 미국 웨스팅하우스(Westinghouse)의 AP1000 기술을 도입해 썬먼, 하이양 원자력발전소를 건설하고 있는 중이다. 그러나 현재 해외에서는 이미 4세대 원자력발전 기술에 대한 공동 연구개발이 진행 중이며, 이는 머지않아 중국이 다시 새로운 기술을 선택해야 할 상황에 놓이게 됨을 의미한다. 아직도 2세대 기술이나 3세대 기술이냐를 놓고 의견이 분분한 상황을 볼 때 새로운 기술 도

입에 앞서 또 한번의 진통을 겪어야 할 것이다.

상술한 것 이외에도 중국이 해결해야 할 과제들이 많음에도 불구하고, 화석연료를 대체하고 환경을 보호해야 한다는 중국 사회의 인식에 중국 정부의 원자력발전 육성에 대한 강력한 의지가 더해져 중국의 원자력발전의 지속적인 건설은 거스를 수 없는 추세가 되었다. 현재 진행되고 있는 발전계획 조정이나 제도적 근간 마련, 정부 차원의 적극적인 움직임은 향후 중국 원자력발전의 성장을 가속화할 것이며, 비합리적인 중국의 에너지 구조를 조정하는 데 큰 기여를 할 전망이다.

〈 참고문헌 〉

한국무역협회(상해지부), 『최근 중국 원전 산업 동향 및 시사점』중 한국수력원자력 자료, 2008. 5. 23.
 한국수출입은행 해외경제·투자정보, 『중국의 원자력 발전 현황과 향후 전망』, 2008. 9. 11.
 투자자보(投資者報), “中國核電三難”, 2009. 6. 6 기사.
 중증망(中證網), “中國核電建設“批量”發展“裂變”意義深遠”, 2009. 6. 17 기사.
 중국경제망(中國經濟網), “新能源振興規劃納入核電利用, 核電發展有望加速”, 2009. 5. 8 기사.
 과기일보(科技日報), “低 碳 能源: 中國核電迎來春天”, 2009. 3. 26 기사.
 선람기업망(線纜企業網), “〈核電發展調整規劃〉初稿已經形成”, 2009. 5. 13 기사.

5) 다른 기업은 지분 참여만 가능할 뿐 지배주주가 될 수 없다.

- 신화망(新華網), “福建福清核電站2號機組提前3個月開工”, 2009. 6. 18 기사.
- 중국산업연구망(中國行業研究網) 연구보고서, “中國核電業發展情況”, 2009. 5. 6.
- 천룡망(千龍網), “中國核電發展歷程和成就”, 2009. 6. 11기사.
- 연합증권(聯合證券) 연구보고서, “核電: 將在“替代”中波動”, 2008. 7. 30.
- 인민망(人民網), “國家能源局 框架敲定: 單設 黨組共9個”, 2008. 6. 28 기사.
- 세계원자력협회(WNA), Nuclear Power Reactors and Uranium Requirements(Reactor data: WNA to 1/7/09).
- 세계원자력협회(WNA), Nuclear Power in China, 2009. 6. 26.
- 중국국가원자력기구(CAEA), China NP Operation Annual Report.
- Zhang, Shengling, China's Nuclear Power Generation: Current Situation and Prospect, 2009 KEEI Korea · China · Japan Energy Workshop.

원유시장 동향

노 남 진 에너지경제연구원 연구원

1. 국제원유 가격

가. 월별가격 동향

국제유가는 금년 4월 이후 단기 급등세를 나타내며 6월 12일 기준 Dubai 현물유가가 \$71.48/bbl를, WTI의 경우 \$72.22/bbl를 기록, 상반기 최고 유가를 갱신하였다. 이러한 가격수준은 2009년 초 유가가 바닥에 떨어졌을 때와 비교하면 약 1.8배 ~ 2.1배 상승한 것으로 단기 유가 급등요인은 상반기 대규모 경기 부양자금 투입에 따른 유동성 증가와 경기회복 기대 증가에 따른 증시 상승세, 달러가치 하락세 등으로 분석된다. 하지만 펀더멘탈 측면의 유가 지지요인 부족으로 유가 상승세는 하반기까지 지속되고 있지는 못하는 양상이다. 6월 중반 이후 유가는 엇갈린 경기지표의 혼재와 달러가치의 등락으로 혼조세를 나타냈다. 6월의 미 제조업 지수가 예상보다 큰 폭으로 하락하고, 공장가동률은 1967년 이후 42년 만에 최저치로 하락했으며, 세계은행도 2009년 세계 경제 성장률을 -1.7%에서 -2.9%로 하향조정함에 따라 유가가 하락했으나 나이지리아 반군세력의 석유생산시설 공격 및

미국의 저금리 유지 정책으로 인한 달러가치 반락이 유가 상승을 지지하여 유가는 등락을 반복하였다.

이례적인 7월의 석유제품 재고 증가는 월초의 유가 하락세를 지지하였다. 7월 미국의 석유제품 재고는 큰 폭으로 증가하였는데 특히 중간유분의 경우 25년만에 최고치를 기록하기도 하였다. 이에 더해 경기침체로 인한 제품수요 부족 상황과 소비심리의 위축, 실업률 증가는 유가 급락을 유발하여 7월 중순 유가는 월초대비 약 \$10/bbl 이상 하락하였다.

하지만 7월 중순이후 원유재고는 감소하였으며, 경기회복을 나타내는 긍정적인 경기지표가 발표되고, 달러가치 하락세가 지속되자 유가는 재반등하였다. 미국의 경기 선행지수 및 엠파이어스테이트지수는 전월에 비해 크게 개선되었고 금융부문 및 주요 제조업체의 2분기 실적은 예상을 상회하였다. 경기지표의 개선과 기업실적호조로 다우지수는 9000포인트를 돌파하였고, 주택판매실적도 전월에 비해 개선되었으며 고용지표도 예상보다 호전되는 등 경기회복을 알리는 지표들이 연일 발표되었다.

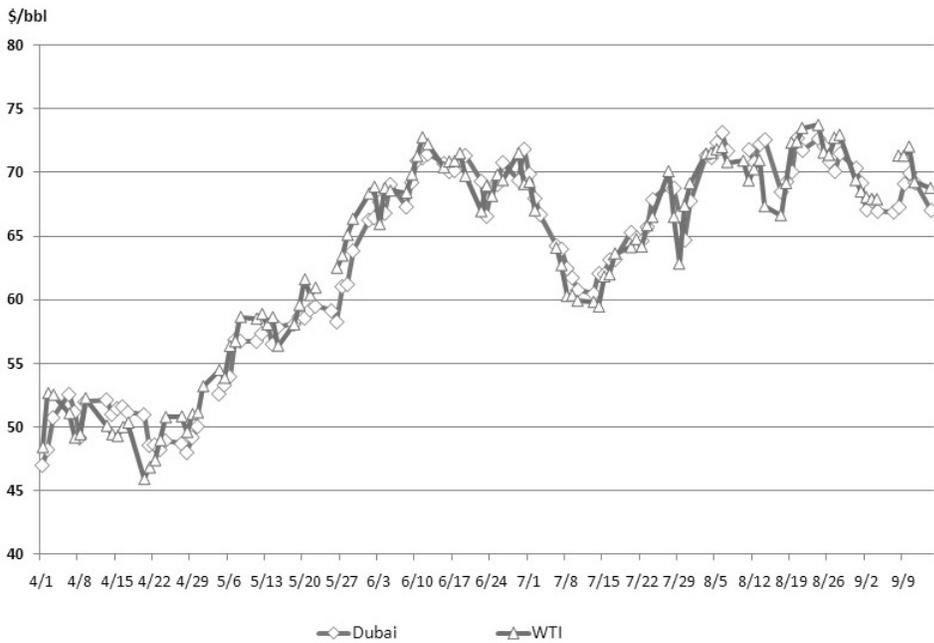
그러나 8월 이후 유가는 \$70/bbl선에서 등락을 반복하고 있는데, 기업실적 개선은 이어졌으나 경기의 개

선과 악화를 나타내는 지표들이 혼재한데다 펀더멘탈 측면의 유가상승 지지요인이 부족하고, 유가상승 시 차익실현을 위한 매물이 증가했기 때문이다.

나. 유가변동요인 분석

WTI-NYMEX 기준 선물유가는 4월 20일 \$45.88/bbl 를 기록한 이후, 한 달 만인 5월 20일 \$60/bbl를 돌파했

[그림 1] 국제유가 변동추이



<표 1> 분기별 원유가격 변동 추이 분석

(단위: \$/배럴)

	2008년	2009년			
	연평균	1/4	2/4	7월	8월
Dubai	94.29	44.32	59.29	64.97	71.37
Brent	97.47	44.67	59.35	64.64	72.87
WTI	99.92	43.2	59.75	64.16	71.06

으며, 또 다시 보름만인 6월 5일 \$70/bbl를 돌파하는 단기 급등세를 기록한 바 있다. 7월 초 유가는 석유제품 재고의 증가 및 일부 경기지표의 악화 소식으로 한 때 하락세를 기록하였으나, 중순 이후 유가는 다시 상승세를 나타내며 9월초 현재 배럴당 \$68~\$72 수준을 유지하고 있다.

금년 상반기 유가는 경기부양 자금 투입에 따른 유동성 증가와 경기회복기대 증가, 3월 이후의 달러화 약세 지속으로 꾸준한 상승세를 나타냈으며 이러한 요인들이 9월초 현재까지 유가에 크게 영향을 미치고 있음은 변함이 없다. 세계 주요국의 경기부양책 추진에 따른 증시 상승세와 3월 이후 지속된 달러가치의 약세가

올 상반기 유가 상승세를 지지한 주요 요인이었음을 [그림 2]와 [그림 3]을 그래프를 통해 발견할 수 있다.

그러나 하반기가 시작된 7월, 석유제품 재고의 증가와 부정적인 경기지표 발표로 인해 유가는 급락세를 나타낸 바 있으며, 펀더멘탈 측면의 유가 지지요인 부족으로 유가는 8월부터 9월 현재까지 \$70/bbl 수준 안팎에서 등락을 반복하고 있다.

증시의 상승세와 함께 달러가치 하락은 현재까지의 유가 상승세를 지지한 요인으로 작용하고 있다. 지난 3월 이후 유로화 대비 달러가치는 전반적인 하락세를 유지하였고 9월초 현재 달러가치는 3월 초 대비 약 17% 하락하였다. 석유수요의 증가가 나타나지 않는 상황에

〈표 2〉 2009년 5월~8월 중 석유시장에 영향을 미친 주요 사건

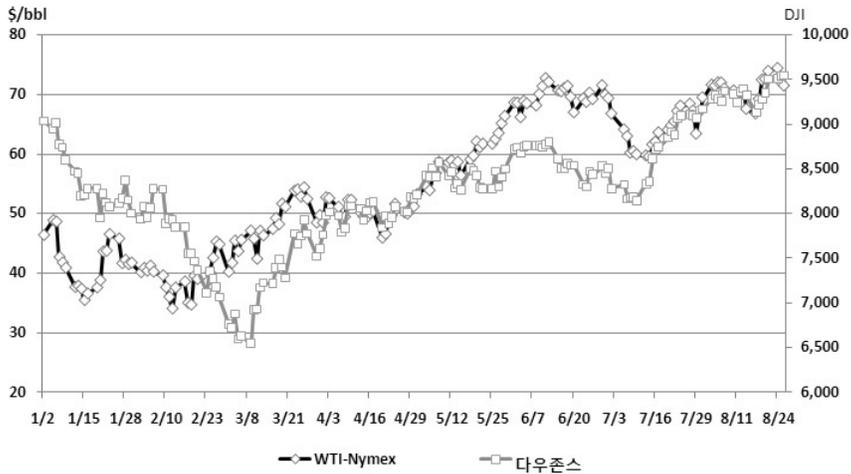
기간	주요 변동요인
5월	<ul style="list-style-type: none"> · 미 주요 19개 금융회사에 대한 재무건전성 평가인 스트레스테스트의 양호한 실적 발표 · US뱅크프, 캐피털원, BB&T의 정부 구제금융 상황을 위한 주식 매각 · 나이지리아 반군 세력의 송유관 폭파 사건과 니제르델타 지역 유조선의 통항을 방해 선언 · 미 펜실베이니아 주 및 텍사스 주의 연이은 정제시설 화재 발생 · 무디스, 미국 신용등급 AAA등급으로 평가
6월	<ul style="list-style-type: none"> · 미국 및 중국의 제조업 관련 지수 호전 · 'BRICS' 4국의 '슈퍼통화' 문제 논의 · G8 재무장관 회담에서의 러시아 대표 미 달러화에 대한 지지를 표명 · 나이지리아 무장세력의 Shell 파이프라인 습격으로 일부 원유생산 시설 가동 중단
7월	<ul style="list-style-type: none"> · 미 상품선물거래위원회(CFTC)의 선물 시장 투기거래 규제 강화 선언 · 미 연방준비제도이사회(FRB)의 금융위기 지원자금 규모 축소에 따른 경기회복기대 증가 · 예상보다 긍정적인 미국의 2/4분기 GDP성장률 기록 · 아우케이칼, 모토로라, 마스터카드 등 주요 기업의 2/4분기 실적 개선
8월	<ul style="list-style-type: none"> · JP Morgan의 MBIA 및 피자헛, 타코벨에 대한 투자의견 하향 조정 · 연방준비제도이사회(FRB)의 기준금리 동결을 결정 · 미 대형 소매 업체인 Home Depot와 Target의 예상보다 호전된 실적 발표 · 중국 정부의 신규대출 제한 정책으로 인한 대출 규모 급감

서 달러 가치의 변동은 석유 및 기타 현물가격에 가장 직접적인 영향을 미치는 요인으로 작용하고 있다.

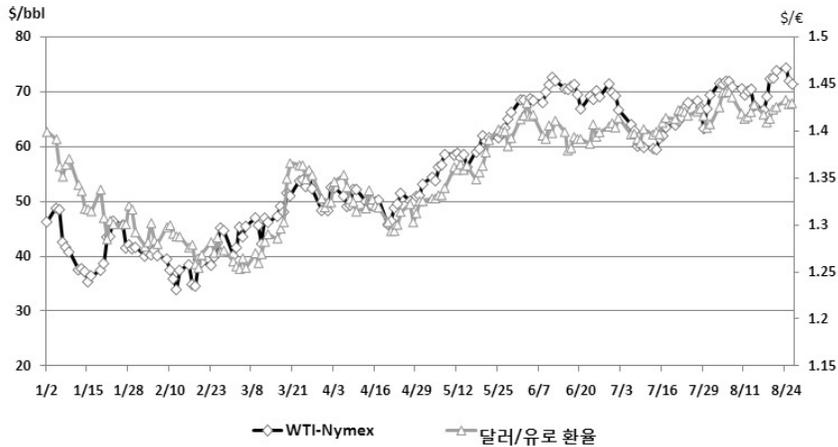
그러나 9월 들어 전반적인 증시의 상승세와 달러가치 하락에도 불구하고 유가는 석유제품 재고 증가 및 석

유 수요 부진에 대한 우려가 확대되어 등락을 반복하고 있으며, 결국 펀더멘탈 측면의 지지요인이 없는 유가 상승세는 한계에 도달한 듯하다. IEA, EIA, OPEC 등 주요 에너지기관은 월간보고서를 통해 올해와 내년의 석

[그림 2] 최근 Nymex 선물 유가와 다우존스 변동추이



[그림 3] 최근 Nymex 선물 유가와 달러/유로 환율 변동추이



유수요 전망치를 상향조정하고 있으나 여전히 석유 수요는 전년동기대비 크게 감소한 상황이며 세계 석유 수요량은 2008년 3/4분기부터 2009년 2/4분기까지 지속적인 감소세를 나타내고 있다. 최근 들어 세계 석유재고량은 증가폭이 점차 둔화되고 있지만 이는 석유수요의 증가 때문이기 보다 생산량 감소의 영향이 강하다.

금년초 세계주요국의 경기부양을 위한 자금 투입은 유동성을 증가시켜 석유시장 내 투기자본의 유입 가능성을 높이고 있다. 뉴욕상품거래소(NYMEX)의 WTI 원유 선물에 대한 비상업 거래량(투기거래로 추정)은 유가가 급락한 2008년 하반기 급격한 감소를 보였으나 작년 12월 이후 순매수는 지속적인 증가세를 나타내고 있다. 유가가 최고점을 찍고 급락세로 돌아서기 시작한 작년 7월부터 11월까지의 5개월간 누적 순매수 거래량은 1억 3,000만 배럴에 불과했으나, 올해 4월~8월 최근 5개월간 누적 순매수는 4억 2,600만 배럴로 3.2배 이상 증가하여 투기자금 유입 증가 조짐을 보이고 있다.

이에 미 오바마 정부는 투기자금으로 인한 석유시장

의 유가 급등 및 불확실성 억제를 위해 얼마 전 미국의 상품선물거래위원회(CFTC)와 영국의 금융감독청(FSA) 간의 투기자본 거래 제한·감시체제를 공조한 바 있다. 양 기관은 상대방 국가의 거래소에서 이뤄지는 거래실적 및 감시자료에 직접 접근할 수 있으며 투기자본 거래에 대한 규제와 강제조치를 공유할 수 있게 됐다. 양국의 체제 공조는 투기세력 억제에 대한 실효성을 높이기 위한 것으로 대부분의 WTI 선물거래가 뉴욕상품거래소(NYMEX)에서 이루어지고 있으나 일부는 런던의 ICE에서 이루어지고 있으며 그에 따라 CFTC의 규제를 피해 투기세력이 런던ICE에서 WTI를 거래할 가능성이 있었기 때문이다. 또 지난 9월 11일 CME(시카고상품거래소)그룹은 자사 관할 거래소(NYMEX, CME, CBOT, COMEX) 시장 참여자들에게 포지션 규제 관련 규정 준수를 촉구하는 경고성 메세지를 일제히 통보함에 따라 투기심리 위축에 힘을 더하고 있다. 석유 선물시장의 투기 자금 유입을 통한 유가 상승효과를 제한하기 위한 미 정부의 정책이 얼마나

〈표 3〉 세계 석유수급 및 재고변동

(단위: 백만 b/d)

	2008년		2009년	
	3/4	4/4	1/4	2/4
OECD 수요	46.7	47.3	46.6	44.5
비OECD 수요	39.3	38.1	37.9	39.7
세계 수요	85.9	85.4	84.5	84.1
비OPEC 생산	49.1	49.6	51.2	50.8
OPEC 원유생산	31.5	30.5	28.5	28.5
OPEC-NGL	4.7	4.8	4.9	4.9
세계 공급	86.3	86.0	84.6	84.4
재고 변동	0.4	0.6	0.1	0.3

자료: IEA Monthly Oil Market Report, 2009년 9월호

실효를 거둘 것인지도 향후 유가 결정요인으로 작용할 전망이다.

2. 세계 석유수급 동향

가. 석유수요

세계 석유수요는 2008년 1/4분기부터 2009년 2/4분기까지 지속적인 감소세를 기록하여 2009년 2/4분기 석유수요는 84.1백만b/d로 전년동기대비 2.2백만 b/d 감소한 것으로 나타난다. 그러나 IEA의 9월 보고서에 따르면 3/4분기 이후 세계석유 수요는 점차 회복세를 나타낼 것으로 전망되어 4/4분기에는 84.7백만 b/d를, 2010년에는 85.7백만 b/d를 기록할 것으로 전망되고 있다. 그러나 하반기 석유수요 회복 전망에도 불구하고 2009년 세계 석유수요는 전년대비 1.9백만 b/d 감소한 84.4백만b/d에 달할 것으로 전망되었다. 그러나 2009년 세계 석유수요는 전월전망치 대비 0.5

백만 b/d 증가한 수치로서 3/4분기가 끝나가는 무렵 전망한 것을 고려하여 4/4분기 이후 석유수요의 회복세가 보다 긍정적인 것임을 전망하고 있다.

IEA의 발표에 따르면 올해 6월 및 7월의 세계 석유수요는 OECD 북아메리카 지역과 비OECD 아시아지역에서의 수요증가로 인해 예상보다 호전된 것으로 분석되는데, 이는 이 지역의 경기 회복속도가 예상보다 빨랐기 때문인 것으로 분석되었다. 그러나 일부 지역에서의 석유수요 회복세는 아직 뚜렷하게 나타나고 있지 않아 선부른 세계 석유수요의 회복을 전망하기는 어렵다. 2009년 2/4분기 세계 석유수요는 여전히 전년동기 대비 2.6%감소하였고 3/4분기와 4/4분기 역시 각각 1.8%, 0.9% 감소할 것으로 전망되고 있기 때문이다.

OECD 지역의 석유수요는 여전히 부진한 것으로 분석되는데 2009년 석유수요는 전년대비 약 2.2백만b/d 감소할 것으로 전망되었으며 특히 2/4분기 석유수요는 전년동기대비 약 6.1% 감소하여 작년 10월 경기침체 이후 가장 큰 감소폭을 나타냈다. 7월 기준 OECD태평양 지역의 석유수요는 전년동기대비 7.0% 급락하였으며,

〈표 4〉 세계 석유수요의 변화

(단위: 백만 b/d, %)

	2008년				2009년				전년동기대비 증감	
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4
OECD	49	47.3	46.7	47.3	46.6	44.5	44.8	45.7	-2.4	-2.8
북미	24.8	24.4	23.6	23.9	23.5	23	22.9	23.1	-1.3	-1.4
비OECD	38.5	39	39.3	38.1	37.9	39.7	39.6	39	-0.6	0.7
중국	7.9	8	8.1	7.6	7.7	8.6	8.5	8.2	-0.2	0.6
기타아시아	9.9	9.9	9.4	9.5	9.9	10	9.5	9.6	0	0.1
세계전체	87.5	86.3	85.9	85.4	84.5	84.1	84.4	84.7	-3	-2.2

자료: IEA Monthly Oil Market Report, 2009년 9월호

OECD유럽은 약 5.6%, OECD 북미 지역의 석유소비
는 4.9% 감소한 것으로 분석되었다.

그러나 2009년 OECD의 석유수요는 전월전망치 대
비 27만b/d 상향조정 되었으며 2010년에는 올해보다
4.7% 증가한 45.4백만b/d가 될 것으로 전망되어 전월
전망치 대비 0.1% 상향조정되었다.

이에 반해 비 OECD지역의 석유수요 회복세는 두드
러졌는데 2009년 석유수요는 전년대비 약 0.4백만b/d
증가할 것으로 전망되었다. 특히 중국의 석유수요는 전
년대비 36만b/d 증가할 것으로 전망되어 비OECD지
역의 석유수요 증가를 주도할 것으로 전망되었으며 인
도 역시 올해 석유소비가 전년대비 12만b/d 증가할 것
으로 전망되었다.

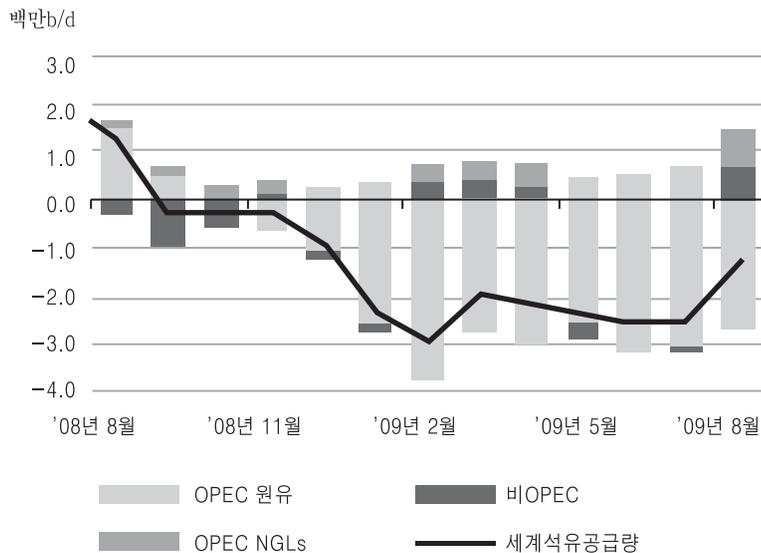
7월 기준 중국의 석유소비비는 전년동기대비 약 7백만

b/d 증가한 것으로 집계되었는데 이는 최근 4개월 연
속 전년대비 증가세를 나타낸 것으로 중간유분을 제외
한 기타 석유제품소비가 크게 증가하였다. 인도의 경우
7월 석유소비가 전년동기대비 3.4%증가하였는데 가뭄
으로 인한 관개시설 이용 증가와 전력사용 증가 때문인
것으로 분석된다.

나. 석유공급

8월 세계 석유공급은 전월대비 약 40만b/d감소하였
는데 비OPEC지역의 석유생산은 45만b/d 감소한 반면
OPEC의 석유생산은 5만b/d 증가하였고, 전년동기대
비 세계 석유생산량은 1.25백만b/d 감소한 것으로 집
계되었다.

[그림 4] 세계의 석유공급량 증감(전년동기대비)



자료: IEA Monthly Oil Market Report, 2009년 9월호

비OPEC의 2009년 및 2010년의 석유생산량은 약 51백만b/d가 될 전망이다, 특히 러시아, 중국, 미국의 생산량은 증가할 것으로 전망되나 캐나다 및 OECD유럽, 브라질 지역의 생산은 감소할 전망이다. 석유소비의 부진에도 불구하고 비OPEC의 생산은 예상보다 빠르게 회복될 전망되는 이유는 세계경기의 회복조짐과 높은 유가 수준, 상류부문 개발비용의 감소때문인 것으로 분석된다.

OPEC의 8월 석유생산은 전월대비 약 6만b/d 증가한 28.9백만b/d로 나이지리아, 베네수엘라, 앙골라의 생산량은 증가하여 사우디아라비아, 이란, 이라크의 생산량은 감소하였지만, 이로 인해 OPEC 감산합의 이행률은 전월의 68%에서 66%로 2%p 하락하였다.

한편, OECD 북미지역에 속한 미국과 알래스카의 8

월 생산량의 경우 폭풍으로 인한 석유생산시설 피해가 없어 예상보다 증가한 것으로 분석되는데 특히 미국의 경우 전년동기대비 38만b/d 증가한 7.9백만b/d를 기록하여 2009년 이래 가장많은 생산량을 기록할 것으로 전망된다.

러시아의 석유생산 역시 극동지역의 신규 유전의 생산량 증대로 예상보다 큰폭으로 증가하였으며 카자흐스탄의 석유 생산 역시 증가할 것으로 전망되어 2009년 석유 생산량은 전년대비 5만b/d 증가한 1.52백만b/d에 달할 전망이다.

7월 기준 중국의 석유 생산량은 기대에 못미치는 다칭을 비롯한 대규모 유전의 생산성으로 전년동기대비 10만b/d 감소한 것으로 집계되었으나 계획보다 이르게 시작된 해상 유전개발 프로젝트의 성과로 2009년말 및

〈표 5〉 OPEC 감산합의 이행상황

(단위: 백만 b/d)

	원유생산쿼터	감산목표	2009년 8월	
			생산량	이행률
알제리	1.2	0.2	1.22	75%
앙골라	1.52	0.24	1.78	0%
에콰도르	0.43	0.07	0.47	49%
이란	3.34	0.56	3.80	2%
쿠웨이트	2.22	0.37	2.24	99%
리비아	1.47	0.25	1.55	60%
나이지리아	1.67	0.32	1.74	75%
카타르	0.73	0.12	0.77	74%
사우디아라비아	8.05	1.33	8.2	95%
UAE	2.22	0.38	2.27	100%
베네수엘라	1.99	0.36	2.21	44%
OPEC-11	24.84	4.2	26.25	66%

자료: IEA Monthly Oil Market Report, 2009년 9월호

2010년 생산량은 점차 증가할 것으로 전망된다.

다. 석유재고

2009년 1월~7월까지 OECD의 원유 및 석유제품을 포함한 전체 석유재고는 지속적인 증가세를 기록, 원유 및 휘발유 재고는 3월 이후 수요가 회복되면서 증가세가 한풀 꺾인 반면, 중간유분 재고는 꾸준한 증가세를 이어가고 있다. OECD의 전체 석유재고 중 원유재고가 차지하는 비중은 1월 37.2%에서 7월 36.4%로 감소한 반면, 중간유분의 재고는 20.4%에서 21.5%로 증가하였다.

7월의 OECD 석유재고는 전월대비 12.8백만 배럴 증가한 2,778백만 배럴을 기록하였는데 북미지역의 중간유분재고는 크게 증가하였으나 휘발유 및 중유재고는 감소한 반면, 원유재고는 OECD태평양지역의 증가세가 두드러졌다.

유럽의 석유재고는 전월대비 약 3.2백만 배럴 감소했는데, 재고 감소의 대부분은 원유재고 감소에 기인한 것으로 원유재고는 전월대비 5백만 배럴 감소하였으나

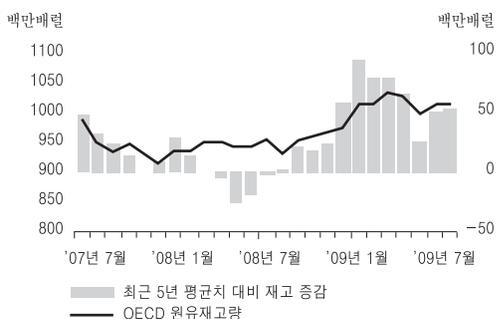
중간유분의 재고가 2.8백만배럴 증가하여 전체 석유재고 감소효과는 제한적이었다.

휘발유 재고 감소에도 불구하고 원유 및 중간유분 재고의 증가로 태평양 지역 OECD 국가의 전체 석유재고는 전월대비 12.4백만 배럴 증가했는데, 특히 원유재고는 전월대비 7.3백만 배럴 증가한 177.5백만 배럴을 기록하였다.

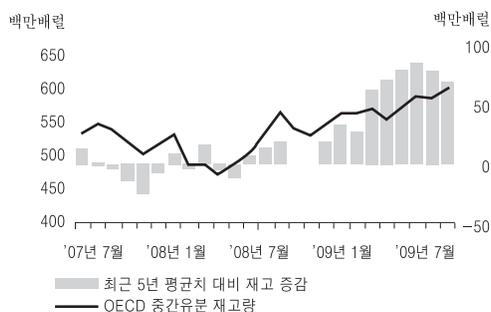
2009년 7월 기준 OECD 국가의 전체 석유제품 재고는 1,470.3백만 배럴로 전월대비 11.7백만 배럴 증가, 전년동기대비 71.9백만 배럴 증가하였다. 휘발유 재고의 경우 3월부터 5월까지 빠른 감소세를 나타내다 6월에 큰 폭으로 증가하여 7월의 OECD 휘발유재고는 전년동기대비 2.3백만 배럴 증가한 365.4백만 배럴을 기록하였다.

중간유분 재고는 지난해 10월 이후 지속적인 증가세를 기록하고 있는데, 이례적인 북미 지역의 중간유분 재고 증가상황은 OECD 중간유분 재고 급증의 주요 원인으로 분석되고 있다. 7월 기준 OECD의 중간유분 재고는 전년동기대비 65.3백만 배럴 증가한 596.8백만

[그림 5] OECD 원유재고 변동추이



[그림 6] OECD 중간유분재고 변동추이



자료: IEA Monthly Oil Market Report, 2009년 9월호

배럴을 기록하였다.

한편 7월 기준 OECD의 원유비축 지속일수는 61.8일로 전월과 비교해 큰 변화는 없었으나 최근 5년 평균치인 약 54일에 비해 훨씬 높은 수준을 기록하고 있다.

3. 향후 시장전망

최근 유가는 \$70/bbl을 중심으로 등락을 반복하고 있으며, 여전히 미 증시 및 달러가치의 변동과 강한 상관관계를 나타내고 있지만 재고 변동 역시 유가 변동의 주요 요인으로 작용하고 있다. 현재의 원유 및 석유 제품의 재고 수준을 고려했을 때, 예상보다 빠른 경기회복 속도를 나타내더라도 향후 국제유가가 초과 수요로 인해 단기 급등세를 나타낼 가능성은 적어 보이며, 다만 동절기 계절적 수요 증가가 추가적인 유가 상승을

유발할 가능성이 있다.

상반기의 유가가 경기회복에 대한 기대에 따른 증시 상승세와 달러가치 하락에 의해 크게 좌우되었다면 하반기 유가는 펀더멘탈 요인이 부각될 것으로 전망된다. 이러한 측면에서 볼 때 현재의 이례적인 재고량 축적상황에 불구하고 유가는 크게 하락하고 있지 않다. 그러나 현재의 유가 수준이 고평가 혹은 저평가되었다는 논쟁에 대한 해답은 석유수급이 균형을 이룬 안정화 상태가 되어야 내릴 수 있을 것이다. IEA와 EIA 및 OPEC은 월간보고서를 통해 최근 2009년 석유수요 전망치를 상향 조정하고 있으며, 석유 시장 전문가들은 현재의 경기회복 속도를 고려하여 석유수요가 2010년 이후에 완전히 회복될 것으로 전망하고 있다. 실질적인 경기회복이 가시화되어 석유수요가 증가한다면 석유재고는 감소하고 수급이 균형을 이루는 안정화 상태에 점차 접어들 수 있을 것으로 전망된다.

〈표 6〉 주요기관별 유가전망

(단위: \$/bbl)

기관 (전망시기)	기준 유종	2009년					2010년		비고
		1/4	2/4	3/4	4/4	연평균	1/4	2/4	
에너지경제연구원 (09.8.)	Dubai	44.9	59.2	65.82	71.97	60.28	75.19	71.26	기준유가
		44.9	59.2	69.70	82.32	63.84	78.68	74.53	고유가
		44.9	59.2	62.74	67.89	58.49	66.69	60.43	저유가
CGES (09.8.17)	Brent	44.6	59.0	66.2	68.8	59.7	67.1	-	기준유가
		44.6	59.0	66.2	59.5	59.8	69.6	-	고유가
		44.6	59.0	57.3	49.2	52.5	41.9	-	저유가
CERA (09.8.6)	Dubai	44.9	59.2	66.1	69	59.8	61.8	60.8	기준유가
		44.9	59.2	75.0	80.0	64.8	86.4	87.4	고유가
		44.9	59.2	59.5	53.5	54.3	52.5	48.0	저유가
EIA (09.8.11)	WTI	42.9	59.5	67.4	70.0	59.9	71.0	71.7	기준유가



KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE
KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE
KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE



제6권 제3호
에너지 포커스 ENERGY FOCUS

발 행 2009년 9월

발 행 인 방 기 열

편 집 인 임 기 추

발 행 처 에너지경제연구원

우 437-082 경기도 의왕시 내손동 665-1

인 쇄 정인아이앤디

※파본은 교환해 드립니다.

정가 : 5,000원

ENERGY FOCUS



KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

