



지속 가능한 에너지 개발 현황과 미래

이 익 환

한국과학기술정보연구원 전문연구위원



한양대 원자력공학과 학사, 석사

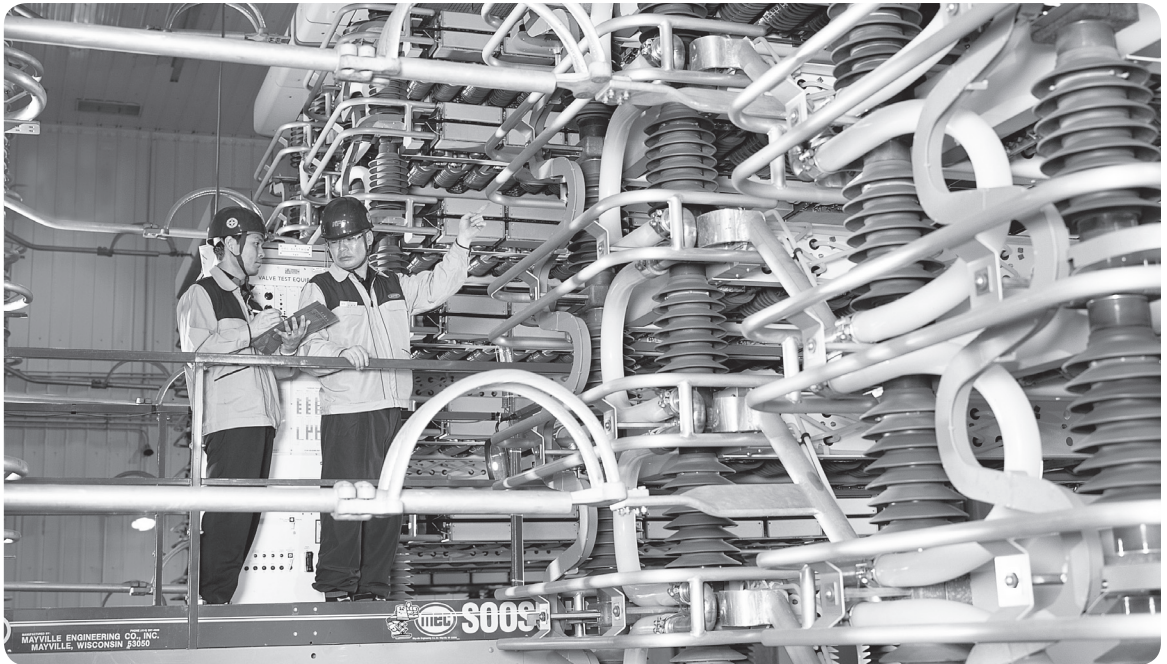
현대건설(주) 원자력부장
한국원자력연구소 본부장
한전, 한수원(주) 처장
한국원자력기술(주) 회장
한전원자력연료(주) 시장 역임

본고는 에너지 전문가인 Noam Lior 교수(미국 펜실베이니아대)가 에너지계의 세계적 전문지인 <Energy>(Vol 43, 2012)에 기고한 표제 내용을 요약한 것이다. 2011년 기준으로 세계의 에너지 자원 사용량, 에너지가 환경에 미치는 영향 및 그 진행 과정을 설명하고 있으며 미국 에너지부(DOE)의 연간 예산과 지속 가능한 개발 방안에 대해서도 일부 검토하였는데 핵심 영역을 중심으로, 첫째 피크 오일(peak oil)의 지연, 일본 원전 사고 이후의 원자력 미래, 세계 경제 침체 등이 검토되고 있으며, 둘째, 전기자동차의 잠재력과 영향, 셋째 아프리카의 에너지 현황과 잠재력 등에 초점을 맞추고 있다.

세계 에너지 현황 및 미래 전망

2010년 현재 세계의 1차 에너지 소비량은 502EJ(=1018joule 단위)이며 부문별로는 산업 30%, 수송 29%, 주거 22%, 상업 19%, 전력 44%이다. 2008년 기준의 발전 용량은 4.4TWe(=109kWe 단위)이며 2010년도 전력 생산량은 21.3PWh(=1012kWh 단위)이다. 세계는 전기 혜택을 받지 못하는 인구 14.4억 명, 식수 부족 인구 8.84억 명, 식수의 질이 나쁜 상태로 공급을 받는 인구는 25억 명, 식량 부족 인구는 9억 2500만 명으로 조사되었다.

에너지 자원과 소비량을 살펴보면, 2009년에 세계 에너지 소비량은 연간 1.1% 감소하였지만 2010년에는 5.6% 증가하여 1973년 이후에 가장 높은 증가율을 기록하였다. 이는 중국과 인도의 수요 증가에 큰 영향을 받은 결과이다. 2010년에 OECD 국가들의 에너지 수요는 3.5%, 비(OECD)국가들은 7.5% 증가하였으며 중국은 11.2%, 인도는 9.2% 증가하였다. 에너지 자원 대비 연간 생산량 비율(R/P)은 석유 40(실제로는 47), 가스 60, 석탄 120으로 금세기 말까지는 자원 공급에 문제가 없을 전망이다.



에너지 자원의 변화 상황에서 에너지의 지속 가능성을 위해서는 사용 효율을 높이는 것이 중요하다. 뿐만 아니라 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 노력도 필요하다. 온실가스를 적게 배출하는 기술 개발과 효율적인 에너지 공급 시스템을 구축해야 한다.

원자력은 세계 전력 생산량의 14%를 생산하고 있고 신규 원전 건설이 계획되었지만 일본의 원전 사고로 당분간 불확실한 상태가 되었다. 2009년에 미국 유카마운틴(Yucca Mountain) 방사성폐기물 저장 시설의 건설이 중단된 것도 또 다른 변수가 되었다. 재생 에너지 잠재력은 세계 에너지 수요의 2배를 충족시킬 수 있지만 아직까지는 세계 에너지 소비량의 1.8%를 공급하고 있을 뿐이다.

향후 20년간의 전력 수요는 20세기 동안 설치된 발전 용량만큼의 증설을 필요로 할 것이다. 즉 1,000MW급 발전 용량을 매 3일 반마다 하나씩 설치해야 한다. 2010년의 연간 전력 수요 증가율은 5.9%였다. 또한 이산화탄소 배출량을 감축하기 위해서는 액화석탄 발전과 가스화복합 발전(IGCC)을 보급하고 청정 석탄을 사용해야 할 것이다. 가스화복합 발전은 효율이 약 60%로 높기 때문에 많은 장점이 있다.

원전의 폐기물 저장 문제와 핵확산 위험성, 원전 사

고로 인한 재해, 원전의 안전성 문제 등의 여러 논란이 있지만 원전 이용은 계속 추진될 것으로 전망된다. 일본은 원전 사고로 원전 이용을 축소하고 신재생 에너지 및 가스화복합 발전 개발로 나아가고 있다. 풍력 발전은 대형 터빈이 보급되고 있지만 경제성과 송배전에 한계가 있으며 태양광 발전은 다른 전원 기술에 비해 3~5배 비싼 것이 문제이다.

또한 환경 여건을 살펴보면 지구 평균 기온은 지난 50년간 상승하고 있으며 이는 극지방의 만년설과 빙하 등이 녹아내리고 있는 것으로 증명되었다. 그러나 2006~2010년간의 기온은 2001~2005년 대비하여 0.04℃ 떨어졌는데 이는 라니냐의 영향으로 추정된다. 대기 중 CO2 농도는 2010년 말에 390ppm까지 증가하였다. 또한 세계 인구의 8명 중 1명은 물과 식량 공급이 부족하고 2명 중 1명은 위생 환경이 나쁘며 7명 중 1명은 영양 부족 상태이다.

가장 민감한 원유 가격은 2003년에 배럴당 28달러 수



준이었으나 이후 계속 상승하여 2006년 80달러, 2008년 147달러까지 상승하였고 2011년 현재 109달러이다. 가스와 석탄 가격도 원유가의 영향을 받고 있다. 이러한 환경은 신재생 에너지 및 원자력 개발로 이어질 전망이다. 2050년의 세계 인구는 인구 증가율 감소에도 불구하고 2010년 대비 35% 증가할 전망이다.

에너지 부문에 영향을 미치는 특별한 요인들

1970년대에 피크 오일 리스크와 석유 자원 고갈 문제가 제기되었다. 1990년대 후반에는 중국 등에서 에너지 수요와 온실가스 배출량이 급증함으로써 지구 온난화 문제가 제기되었다. 그러나 최근에는 화석연료 고갈 시기의 지연, 세계 경제 침체에 따른 에너지 수요 감소, 온실가스 배출량 감소, 일본의 원전 사고 및 재해, 전기자동차의 등장과 보급 등 에너지 분야에서 새로운 국면이 전개되고 있다.

최근에 화석 연료 자원은 새로운 유전 개발과 탐사 기술 개선 이외에 타르샌드(tar sand), 중유, 석탄층 가스, 셰일오일(shale oil) 등의 새로운 자원 개발과 메탄수화물 이용 기술의 발전으로 자원이 크게 증가하였다. 타르샌드는 약 70개국에서 발견되고 있다. 캐나다에서는 1일 150만 배럴이 생산되고 있고 그 매장량은 사우디아라비아의 석유 매장량 규모에 해당하는 것으로 평가되고 있다. 또한 캐나다에는 현재 기술로 채굴이 어려운 석유 매장량이 세계 매장량보다도 많다. 타르샌드 채굴비는 배럴당 30달러 정도이며 이용 가격은 60~75달러로 추산되는데 환경 영향을 줄이기 위해서는 추가 비용이 소요될 것이다.

셰일가스 자원의 대부분은 지표면 2,000~4,000m 아래에 존재하며 여러 국가에 분포되어 있다. 미국의 셰일가스 생산량은 2000년 11GM³에서 2010년에는 138GM³, 즉 12.3배로 증가하였는데 이는 전체 가스 생산량의 23%에 해당한다. 미국의 가스 매장량은 72~98TM³이며 셰일가스 매장량도 24~49TM³나 된다. 세계 가스 매장량은 187TM³로서 32개국에 분포해 있는데 여기에 셰일가스를 더하면 640TM³로 증가하며 2010년 소비량 기준으로 약 203년을 사용할 수 있는 양이다. 셰일오일은 케로젠 및 역청에 포함된 백운

석 계열이다. 세계 추정 매장량 3.3조 배럴 중 미국 서부에 2조 배럴이 매장되어 있다. 연간 소비량을 310억 배럴로 하면 약 104년간 사용할 수 있다.

피크 오일의 영향으로 석유 의존도를 줄이기 위해 전기자동차가 개발되고 있는데 그 중간 과정으로 신재생 에너지의 개발과 이용이 추진되고 있고 장기적으로는 핵융합 에너지 이용이 기대되고 있다.

2008~2009년의 세계적인 경제 불황은 에너지 소비와 온실가스 배출량에 큰 영향을 미친 것으로 나타나고 있다. 미국 등 선진국에서는 에너지 소비량과 온실가스 배출량이 감소하였으나 인구가 많은 중국, 인도 등에서는 에너지 소비량이 크게 증가하였다.

CO₂ 배출량 증가는 대부분 에너지 수요 증가가 원인으로 분석되고 있다. 원전은 온실가스 배출량 감소 및 대체 에너지로서의 장점이 있지만 방사성폐기물, 안전성, 핵확산 위험성 등의 문제점이 남아 있다. 일본의 원전 4기에서 발생한 원자로 핵연료 용융 사고는 원자로 건물을 손상시키고 방사선을 외부로 유출시켜 일본은 물론 세계 경제에 큰 타격을 주었다. 그 결과 선진국들은 모든 원전에 강도 높은 검사를 하고 있고 독일은 탈원전을 선언하였으며 원전의 폐로 절차를 밟고 있다.

일본은 전력 부족 해결책을 화석 연료와 신재생 에너지에서 찾고 있다. 세계는 체르노빌(Chernobyl) 원전, 후쿠시마 제1원전(Fukushima #1), 등의 원전 사고를 경험하면서 원전의 안전성 확보와 방사성폐기물 처분 및 핵확산 위험성 감소 등을 해결할 수 있는 원전 설계를 요구하고 있다.

미래 원전은 현재 추진되고 있는 제4세대 원전이 될 전망이다. 이의 보급까지는 50년이 걸릴 것이다. 전기자동차는 온실가스 배출량 및 화석연료 의존도를 줄이기 위한 대책이다. 전반적인 효율은 75% 정도로 높지만 장거리 운전을 위한 배터리 용량과 수명이 문제이다. 현재의 배터리 충전으로는 100~160km 정도를 달릴 수 있다. 미국은 2015년까지 100만 대의 판매를 목표로 하고 있고 정부가 대당 7,500달러를 지원하는 등 보급을 위해 노력하고 있다. 전기자동차용 전력 수요에는 약 30%의 발전용량 증설이 필요하다.

향후 세계 에너지 개발의 전선이 될 아프리카

아프리카는 에너지 보고이지만 인구의 절반이 하루에 1달러 이하로 살고 있어 세계 경제에서 소외되고 있다. 2015년까지 빈곤층을 반으로 줄인다는 목표를 달성하려면 정책적인 변화가 요구된다. 아프리카는 바이오매스를 비롯하여 화석연료, 핵연료, 수력, 태양 에너지, 풍력, 지열, 해양 에너지 등의 에너지자원이 매우 풍부하다.

아프리카는 인구가 9.8425억명이고 연간 에너지 생산량은 석유 환산 11.6억톤이며 5.92억톤을 수출하고 있다. 연간 전력 수요는 562TWh이고 CO2기준 온실가스 배출량은 8.89억 톤이다. 1인당 연간 에너지 사용량은 석유 환산 0.65톤이며 1인당 전력 사용량은 571kWh이다. 현재 에너지 소비량의 47%를 바이오매스가 공급하고 있는데 개발 잠재력은 소비량의 531배나 된다. 수력 발전 잠재력도 현재 발전 용량 대비 19배이다. 또한 연간 일사량이 2,000kWh/m2로 높으며 세계 태양광 발전 잠재력(연간 2,945,926TWh)의 절반을 차지하고 있다.

최근의 에너지 연구개발 예산 및 추세

미국 에너지부의 연구 개발 예산 중 대부분은 2035년까지 석유 의존도를 줄이고 전력 수요의 80%를 청정 에너지로 전환하기 위해 청정 에너지의 경쟁력 제고에 사용되고 있다. 여기에는 방사성폐기물 문제를 해결하기 위한 예산도 포함되어 있다. 세부적인 분야는 에너지 전환 기술, 빌딩 에너지, 수송, 신재생 에너지, 수소, 화력발전, 석유 및 가스, 석탄, 에너지 저장, 송배전, 지구 온난화, 연료전지, 원자력 등으로 구분된다.

분야별로 보면 청정 에너지 신기술 연구에 5.5억 달러, 기존 에너지 혁신/배터리/에너지 저장 기술의 신규 과제에 1.46억 달러, 계속 과제인 프론티어(Frontier) 연구센터 1억 달러 등이다.

한편 미국 정부는 2005년 기준으로 2020년까지 온실가스 배출량을 14% 줄이고 2050년까지 83% 감축할 계획이지만 이에 대한 회의의 생각은 다르다. 지난 26년간 13.5억 달러가 소모된 미국의 유카 마운틴(사용 후

핵연료 최종처분장) 프로젝트는 2009년에 오바마 대통령의 지시로 특별위원회(Blue Ribbon Commission)가 설치되어 원점에서 재검토되고 있으며 1차 보고서가 2011년 7월에 발표되었다. 2012년도 예산에는 국내 원자력산업 지원을 위한 3억 달러, 다양한 에너지 프로젝트 30~40억 달러, 원자력산업 지원을 위한 지급 보증 360억 달러 등이 포함되어 있다.

지속 가능한 미래 에너지 개발 방향

경제 불황과 온실가스 배출 문제 등에 따라 에너지 소비량이 감소하고 에너지 자원의 신규 발견으로 화석연료 고갈 시기가 지연되고 있고 일본의 원전 사고 영향으로 전기자동차의 개발 보급이 가까워지고 있다. 지속 가능한 미래 에너지 개발 방향은 에너지 자원의 효율적 이용, 방사성폐기물 제거, 에너지 변환 효율 제고, 저에너지 집약도의 에너지 기술 및 공정 개발, 재순환 사회, 저에너지 소비의 생활 방식 등으로 요약되고 있다.

온실가스 배출량과 환경 영향을 감소시키기 위해서는 국제 사회 및 국가 간 협력이 신속하게 이루어져야 한다. 개발도상국을 위한 신속한 전기 보급 사업과 효율적인 수송 방안을 위해 기술 원조가 필요하다. 건물은 온실가스를 많이 배출하고 있는 부문이며 이를 효과적으로 규제하기 위해서는 건물의 에너지 사용에 따른 비용과 온실가스 배출량을 시장적 방식으로 해결하는 것이다.

화석연료의 효율적인 사용과 온실가스를 덜 배출하게 하는 것이 매우 중요하다. 석탄은 미래에도 전력 생산을 위한 중요한 수단으로 남게 될 것이므로 청정 석탄 기술의 개발을 위한 노력을 가속화해야 한다. 또한 환경적인 측면에서 오일샌드, 셰일가스 및 세일오일 등의 대규모 이용에 앞서 기술적으로 수용 가능한 방안을 개발해야 한다.

방사성폐기물 문제를 해결하고 원전의 안전성을 충분히 확보하지 않으면 원자력 개발이 가능하지 않을 수 있다. 핵융합 발전은 장기적인 관점에서 해답을 찾아야 한다. 신재생 에너지의 연구 개발과 보급은 지속 되겠지만 바이오 에너지는 식품과 경쟁 관계가 되어서



우리나라는 온실가스 배출량 감축을 위해 적극 노력하고 있고 원전 및 신재생에너지 개발을 통해 변화된 여건을 극복해나갈 계획인데 이는 국제적 추세와도 일치한다고 하겠다.

는 안 된다. 아프리카의 에너지 자원은 지역 주민의 삶의 질 향상에 사용되어야 하며 이를 판매하기 위해서는 해당 정부와 국제 사회의 협력이 필요하다.

요약

이 자료는 세계 에너지 자원과 에너지 소비량, 환경에 미치는 영향 및 그 진행 과정 등을 요약하고 있고 이와 별도로 미국 에너지부의 2012년 예산 내용과 지속 가능한 미래 에너지 개발 방향에 대해 설명하고 있다.


또한 에너지 자원의 고갈 시기가 여러 가지 변화 요인으로 지연되고 있다는 점과 일본의 원전 사고 이후의 원자력 미래, 세계 경제 침체와 에너지 정세 변화 등으로 전기자동차 보급이 가속화되고 있는 상황 등을 설명하고 있으며 잘 알려지지 않았던 아프리카의 자원 잠재력에 대해서도 설명되어 있다.

중전의 여러 보고서에서 언급된 에너지의 생산 대비 자원 비율은 석유, 석탄 및 가스가 각각 40, 60 및 120년이었지만 이 자료의 내용에 따르면 탐사 기술의 개발과 세계 경기 침체 등으로 인해 자원 고갈 시기가 지연되고 있다. 특히 타르샌드 및 오일셰일의 대규모 자원 발견은 석유나 가스 사용량을 증가시키는 요인이 될 것으로 전망하고 있다.

타르샌드는 약 70개국에서 발견되고 있으며 캐나다에서는 하루에 150만 배럴이 생산되고 있고 그 매장량은 사우디아라비아의 석유 매장량과 맞먹을 정도이다. 이는 세계 원유 매장량의 13%에 해당한다. 셰일가스가 최근 미국에서 생산량이 급증하고 있는데 2010년에는 무려 1,380억 입방미터로 증가하였고 이는 총 가스 생산량의 23%를 차지하고 있다. 미국의 가스 매장량은 72~98조 입방미터인데 셰일가스 매장량은 24~49조 입방미터에 추정하고 있다. 세계 가스 매장량은 셰일가스를 더하면 640조 입방미터로 추정되며 2010년 소비량 기준으로 약 203년을 사용할 수 있다(중전 분석에서는 고갈 기간 60년으로 추정해 왔음).

이러한 에너지 자원의 변화 상황에서 에너지의 지속 가능성을 위해서는 사용 효율을 높이는 것이 중요하다. 뿐만 아니라 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 노력도 필요하다. 온실가스를 적게 배출하는 기술 개발과 효율적인 에너지 수급 시스템을 구축해야 한다.

우리나라는 온실가스 배출량 감축을 위해 적극 노력하고 있고 원전 및 신재생에너지 개발을 통해 변화된 여건을 극복해나갈 계획인데 이는 국제적 추세와도 일치한다고 하겠다. 다만 최근의 원전 비리로 원전 개발의 반대 의견도 만만치 않아 정부의 의지가 중요하다고 본다.

에너지 자원이 없는 한국으로서는 신재생 에너지의 개발로 본격적인 상용화가 될 때까지 수출 경쟁력을 유지하면서 국가 경제력을 발전시키기 위해 원자력의 역할에 기대를 해야 할 것으로 판단된다. 

<참고 자료>

Noam Lior, "Sustainable energy development: The present(2011) situation and possible paths to the future", Energy, 43, 2012, pp.174~191