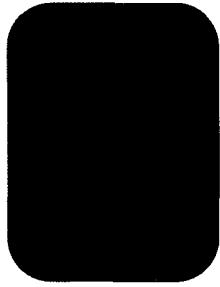


에너지수요와 원자력의 역할



J. 머레이 WEC 사무차장

이 자료는 지난 6. 23-26 오스트리아 Vienna에서 개최된 IAEA의 '원자력연료 주기와 원자력발전의 혁신 기술'에 대한 국제회의에서 WEC 사무차장이 발표한 원고를 번역 게재한 것이다. —편집자주

2001. 5월 2년 전 역시 IAEA가 개최한 '중소 규모 원자로' 주제의 국제회의에 본인이 발표자로 참석하였었는데, 그 당시 조직위원회 측에 회의 개최 택일이 잘 되었다고 칭찬을 드린 바가 있다. 그 당시는 부시 행정정부의 '에너지정책보고서'가 발표된 직후였고, 보고서는 원자력발전 역할 증대로의 변화를 느끼게 하였다. 또한 캘리포니아 전력사태의 영향으로 미국민들의 원자력에너지에 대한 지지가 상당히 상승했다. 영국의 경제·시사 주간지 '이코노미스트' 조차도 제1면에 "원자력발전의 새 아침이 오는가?" 라는 제목으로 특집 기사를 낼 정도였다.

그러나 "그 후 2년간이 사실 원자력에너지에 대해 특별히 좋은 시간은 아니었다"고 하는 것이 훨씬 솔직한 표현이 될 것이다. 첫째, 일본 동경전력

원자력발전소의 안전기록 왜곡 사실이 발각되었다. 이 사건은 실질적 안전 문제보다는 찰차상의 문제가 더 컸으며, 일시적이긴 했지만 원자로 17기의 가동 중단이 원자력에너지의 안전성에 대한 신뢰를 손상시켰다. 가동을 중단시킨 결과 일본의 석탄 수입이 전년도에 비해 50%나 증가했으며, 석유 수입의 상당한 증가가 2003년 초 국제유가를 상승시키는 하나의 원인이 되기도 했다.

이 무렵 영국은 새로운 전력거래시스템을 도입하여 발전부문의 경쟁을 강화시키자 British Energy가 파산직전까지 가기도 했다. 어떤 면에서 이 회사는 "자유화된 전력시장"에서 견실한 운전실적으로 주식시장의 총아였다. 새로운 거래시스템 하에서 다른 발전회사들도 나름대로의 어려움이 있었고, British Energy의 파산 문제가 일부는 독단적인 비용부담과 경영오만에 의해 악화되었다 하더라도 자유화된 전력시장에서 원자력에너지는 자립할 수 없다는 인식을 강화시키게 만들었다.

또 하나는 당시 IAEA의 우량 회원국인 이란이 IAEA에 신고도 없이 우라늄 농축 기술을 개발했다는 사실이 발표되었다. 핵확산금지조약이 이란으로 하여금 연구 자체를 못하도록 막을 수는 없다 하더라도 한 국가가 핵확산금지체제를 위반하지도 않고 조사팀에 발견되지도 않으면서 핵무기의 핵심기술 개발에 그렇게 가깝게 접근할 수 있다는 사실에 일반시민들은 마음이 편할 수가 없었다. 아마도 이것은 북한이 핵확산금지조약에서 탈퇴하는 것 이상으로 우려되는 일이며, 이것이 처음 있었던 일이긴 하지만 이론적으로는 항상 이러한 가능성을 내포하고 있었다. 조약의 근본 내용을 위반하는 일이 아니

라면, IAEA 회원국 자격 유지를 위한 요건으로 강제사찰에 대한 추가 규정을 만들기 위한 지침이 있어야 한다.

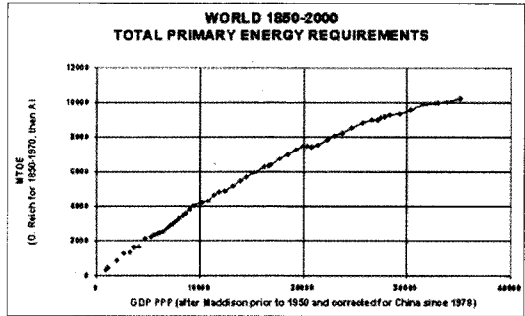
핀란드에서는 의회가 최근 제5호기의 원전을 승인하는 등 원자력에너지에 대한 긍정적인 진전이 있었지만, 부정적 영향을 미친 사건과 언론보도도 아주 많았다. 무엇인가 변해야 한다! 그래서 오늘 원자력발전의 혁신 기술에 대한 회의를 개최하는 것이라고 본다.

회의기간 중 토론을 위한 시발점으로서 혁신이 반드시 성공해야 한다는 상황을 설정하기 위해 향후 에너지추세에 대한 몇 가지 아이디어를 제시하고자 한다. 여기에는 본인이 서두에서 발표한 내용보다 긍정적인 요소들이 많이 포함되어 있다는 사실을 알게 되면 다행으로 생각할 것이다.

WEC는 현재 “에너지시장의 변화요인”(Drivers of the Energy Scene)에 관한 연구를 거의 마무리하고 있는 중인데, 그 내용을 일부 인용하겠다. 이 연구는 또 하나의 에너지수급 전망이나 에너지 시나리오를 만들겠다는 것이 아니다. 물론 전망이나 시나리오 개발에서 단절현상(discontinuities)이나 쇼크(shocks)를 예상하는 것보다는 추세를 외삽(外補)하는 방식이 더 쉽다는 것을 모르는 바가 아니다. 그런데 과거의 경험으로부터 우리가 분명히 말할 수 있는 하나는 미래라는 것은 현재 추세의 단순한 연장은 아니라는 것이다. 이 연구에서 중점

을 둔 것은 과거의 단절현상과 쇼크를 이해하려고 노력하는 것인데, 그 이유는 앞으로 언제 어떤 식으로 이러한 일들이 일어날 것인가에 대한 통찰력을 얻기 위함이었다. 그래서 에너지의 역사에 대해 간단히 짚고 넘어가고자 한다.

첫째, 역사적으로 에너지수요의 변화요인은 무엇이었는가? 이 연구에서는 GDP와 에너지가격을 에너지수요의 기본적인 변화요인으로 보고 있는데, GDP는 구매력지수로서 가격은 에너지수요 성장을 움직이는 연계 메커니즘으로서 변화요인으로 작용했다고 보고 있다.



(그림 1) 세계 1차 에너지 소요량 (1850-2000)

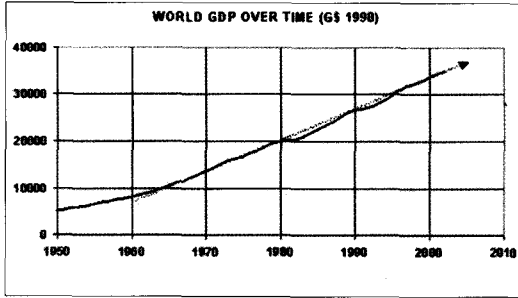
그러나 GDP 성장은 수십년간 서서히 둔화되어 세계 연평균 성장률이 1960-74 기간 5.0%, 1974-88 기간 3.3%, 1988-2002 기간 2.8% 였다.

실지로 GDP 성장은 기본적으로 선형적인 모습을 보이면서 성장률 자체는 감소되어 왔다.

(그림 2) 선후진국별 GDP와 성장률 (1960-2002)

(단위: 10¹²달러, 1995 불변가격)

구 분	GDP 1960	평균성장률 (1960-74)	GDP 1974	평균성장률 (1974-88)	GDP 1988	평균성장률 (1988-02)	GDP 2002
선진국	5.72	4.8%	11.05	2.9%	16.49	2.3%	22.78
개도국	2.35	5.6%	5.05	3.5%	8.15	3.6%	13.30
시장경제전환국	1.57	5.0%	3.11	4.3%	5.61	2.9%	8.35
세계전체	9.64	5.0%	19.21	3.3%	30.25	2.8%	44.43

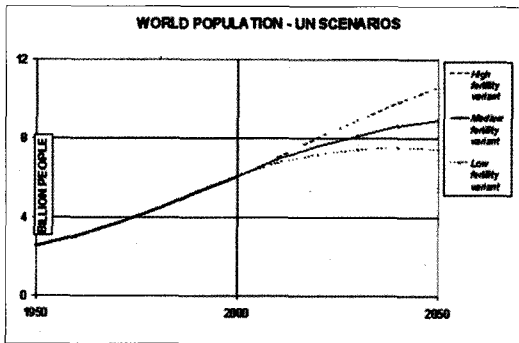


(그림 3) 연도별 GDP 성장률 추이

그러나 GDP가 에너지수요를 움직인다면 GDP 성장률의 변화요인은 무엇인가? 다음 세 가지로 대별할 수 있다.

1. 인구증가

20세기 후반기의 인구증가율은 높았다. 그러나 UN 통계를 보면, 증가율은 실질적으로 1990년경 정점에 달했으며, 그 이후는 예상했던 것 이상으로 증가율이 하락하고 있다. 세계 인구가 최대 110-120억이 될 것이라는 예측이 유력했으나, 현재로서는 UN의 중간치 인구증가 시나리오를 보면 2050년경 약 90억으로 정점에 달할 것으로 보고 있고, 이정도 까지도 증가하지 않을 것이라는 견해도 있다.



(그림 4) UN의 인구증가율 시나리오

2. 기술

기술은 인구와 생산성 간의 연결고리이다. 기술 주도에 의한 생산성 증가는 논의의 여지는 있지만 세계화의 초기였던 19세기말에 아주 중요했으며, 역시 20세기 후반부에서도 중요한 역할을 했다. 현재 우리는 정보기술시대에 살고 있다. 정보기술 또한 생산성 증가에 많은 도움을 주었지만 인구증가를 하락에 의한 GDP 성장률 감소를 어느 정도 상쇄할 수 있을 지를 말하기는 쉽지 않다. 이것은 다음 세 번째 요인에 의해서 더욱 크게 영향을 받는다.

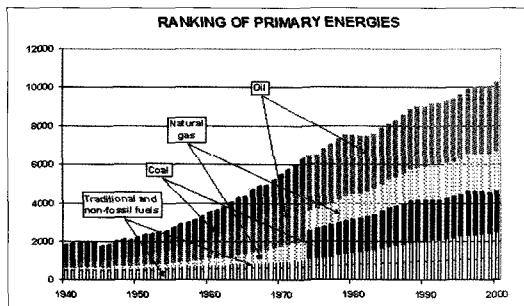
3. "d"변수

“개발능력”에 해당되는 요소들의 조합, 즉 교육수준, 기업가정신, 지배구조, 제도 및 인프라가 여기에 포함되며, 이러한 요소들이 모두 사람들의 기술 선택을 결정하고 GDP 성장을 만들어낸다. “d”변수는 외양으로 보아 매우 불공평하게 분포되어 있고, “d”변수의 불리한 입장은 GDP 성장에 핵심적인 제약요인이 될 수도 있다.

위의 여러 가지 사실을 종합해볼 때 GDP 성장은 장기적으로는 서서히 하락하게 되어 선후진국간의 격차를 좁히는 일이 보다 장기화될 것이 분명하다는 것이다. 하지만 GDP와 에너지수요 성장의 둔화가 에너지수요에 비해 상대적으로 충분한 에너지공급이 이루어지도록 만드는가? 다시 과거의 경험을 살펴보자.

과거를 돌이켜 보면 1973년에 에너지공급 측면에 매우 근본적인 변화가 있었음을 알 수 있다. 1973년의 오일쇼크 자체는 잘 인식하고 있지만, 그 결과로 나타난 연료전환 관련 사항은 잘 모르고 있다.

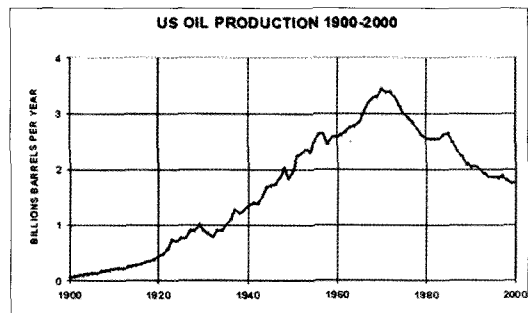
1973년까지 에너지공급의 주요 변동은 석탄 공급 상황에 의해서 결정되었다. 석유는 상대적으로



(그림 5) 연도별 1차 에너지원별 공급 순위

값이 저렴하고 시장은 생산변동을 비교적 잘 흡수했다. 1973년에 모든 것이 변화했으며 석유가 캐스팅보트 역할을 쥐게 되었다. 어떻게 해서 이런 식으로 변화되었는가?

완전한 답도 아니고 논쟁의 여지는 있지만 핵심은 미국에 있다고 본다. 미국의 석유생산은 20세기 시작부터 지속적으로 증가하다가 1970년 급격하게 떨어졌다. 이것이 석유시장에 쇼크로 연결되었고 OPEC이 세력을 결집시키고 가격을 인상시키는 계기로 작용했다.

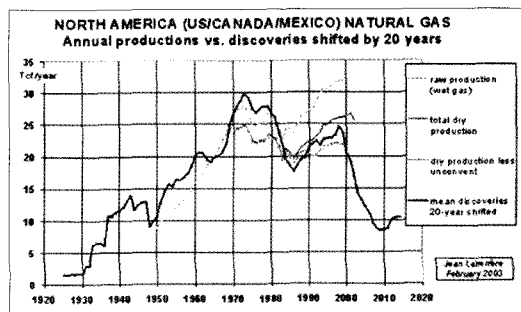


(그림 6) 100년간 미국의 석유생산 추이(1900-2000)

하나의 주요 시장에서 생산이 정점에 이르고 이것이 쇼크로까지 연결될 수 있다면, 이러한 현상이 되풀이 될 수 있는 영역이 어떤 것인지를 검토해볼 가치가 있다. 하나의 기폭제가 될 수 있는 후보로 북미지역의 천연가스 생산이 있다.

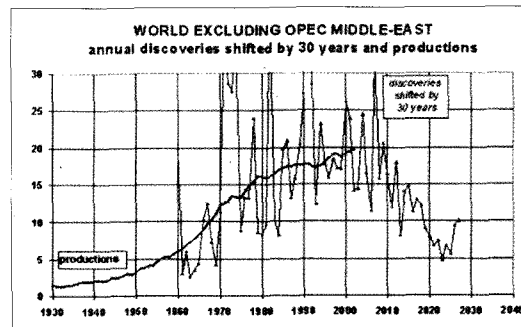
미국 석유생산의 정점을 알려준 선행지수는 석유

발견과 생산이 30년의 시차를 두고 발생하는 것으로 판명되었으며, 이것이 소위 Huppert 커브이다. 북미지역의 천연가스 발견과 생산 그래프를 겹쳐놓으면 역시 상당한 상관관계를 보여주는데, 그 시차는 20년이다. 이 곡선이 불안하게 만드는 것은 1978년부터 1990년까지 천연가스 발견이 급격히 하락했다는 사실이다.



(그림 7) 북미지역 3국의 천연가스 발견과 생산 추이

이와 유사한 분석이 유럽의 가스 생산에도 적용될 수 있으며 아마 더욱 심각한 것은 중동 이외 지역에서의 석유부문이다. 중동지역을 제외한 연간 세계 전체 석유발견을 보여주는 그래프를 보면 1960년 이후 발견율이 상당히 하락하고 있다. 미국에서의 석유생산처럼 30년의 시차를 적용해 보면 非중동지역의 석유생산이 조만간 피크에 이를 것이라는 점이다.



(그림 8) 세계 전체 석유발견과 생산 추이 (중동지역 OPEC 제외)

그러나 미국이 아닌 세계 전체를 대상으로 Huppert 커브 분석방법을 확대 적용하는 것은 세심한 주의가 필요하다. 세계는 미국에 비해 훨씬 더 광대하고, 다양하며, 개발이 변화무쌍하다. 현대식 탐사 방식을 거의 적용해보지 않은 지역도 다수가 있으며 새로운 탐사 방식은 계속해서 브라질과 아프리카 쪽의 대서양 심해와 같은 미개척지역의 개발을 가능케 하고 있다. 중동지역이 非중동지역에 의해 석유시장 지분을 잠식당하면서 중동지역의末가동 생산시설이 증가해왔다.

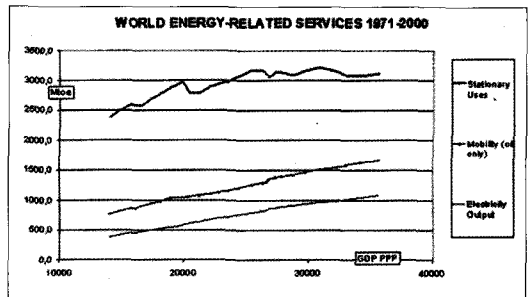
석유와 천연가스의 발견을 감소가 문제되고 있으며, 이것은 석유 및 가스 가격의 “쇼크”로 연결될 수 있는 충분한 가능성을 의미한다. 더욱이 석유의 경우 쇼크의 영향이 그 어느 때보다도 심각할 것으로 예상되는데, 이유는 신속히 대체연료를 마련할 수 없는 수송부문에 석유 이용이 집중되고 있기 때문이다.

따라서 에너지자원의 절대적 부족보다는 에너지 원별 공급량의 변화에 의해 1차 에너지 가격이 폭등하고 그로 인해 에너지시장이 더욱 취약하게 될 전망이다. 논쟁의 여지는 있지만 가격 폭등은 과거보다 훨씬 더 크고 오랫동안 지속될 것이다.

이러한 현상이 개별 에너지원, 특히 전기에 미치는 영향은 무엇인가? WEC는 定置기관(stationary)의 화석연료 이용, 화석연료를 사용하는 수송부문(mobility) 및 전력부문 등 3개 부문으로 에너지사용을 대별하여 분석했다. 이 방식은 산업 상업 가정 및 농업 부문이라는 전통적인 구분보다는 에너지서비스 방식에 따라 분류한 것이다. 이러한 방식으로 분류하면 에너지이용에 대한 1차 에너지 가격 상승의 영향을 식별할 수 있다.

1차 에너지 가격 상승이 최종 공급에너지 가격에 미치는 영향은 고정자본 비용과 “정치적 비용”(조세나 환경부과금 등)의 비율과 역비례 한다. 그래서 1

차 에너지 가격의 상승은 화석연료를 사용하는 수송부문이나 전기부문보다는 정치기관의 화석연료 사용에 더욱 큰 영향을 미치는데, 화석연료를 사용하는 수송부문이나 전기부문은 고정비용과 정치적 비용이 훨씬 높기 때문이다. 이것이 바로 제1차 오일쇼크 이후 정치기관(stationary)의 화석연료 이용을 에너지원단위 감소의 최우선 대상으로 삼은 이유가 아닌가 생각된다. 전기부문과 화석연료로 움직이는 수송부문은 GDP 수준과 상당한 연관관계가 있으며 그래서 시장지분이 높아졌다.



(그림 9) 산업 부문별 에너지이용 (1971-2000)

따라서 화석연료의 외부성이 가격에 반영되면서 환경비용은 높아지게 되어 원자력발전의 역할은 더욱 커질 것으로 보인다. 그렇다면 원자력발전이 과거의 급속한 성장을 재개할 정도로 충분한 시장여건을 갖췄는가? 그 정도는 아니라고 본다.

전력시장개혁의 초기 경험에 대한 평가가 다수 진행되고 있지만 중앙계획방식의 과거로 돌아가지는 않을 것으로 본다. 시장개혁 단계별로 서로 다른 접근방식이 필요하다는 것은 누구나 분명히 이해하고 있으며, 원자력발전의 경우도 자유시장에서 경쟁해야 한다. 그렇다고 다른 부문이 쉬고 있는 것은 아니고 아래와 같이 경쟁력을 기르고 있다.

- 많은 노력 특히, 연구자금이 배출제로의 화석연료시스템 개발로 투입되고 있다. 부시 美대통령의 'FutureGen Initiative' (탄소통합처

리 및 수소연구계획)과 같은 프로젝트는 다수의 새로운 아이디어를 검토할 수 있는 자금공급원이 될 수 있다. 여전히 여러 가지 해결되어야 할 사항도 많고 화석연료자원도 유한하지만, 석탄가스화 및 온실가스(carbon) 포집(capture) 및 처리(sequestration)는 미래 청정화석연료 이용 전망을 밝게 만들 것이다.

- 일부 재생에너지가 현재 급성장하고 있다. 분명한 것은 아직 매우 낮은 수준이며, 수력을 제외한다면 세계 1차 에너지 총공급의 2%에도 미치지 못하고 있다. 그러나 이용 경험이 축적되고 있으며 핵심기술(특히 풍력 및 태양에너지)이 비용커브를 낮추고 있다.

- 분산형 전원 시스템의 역할이 확대될 것으로 예상되는데, 일부는 재생에너지 덕택이며 일부는 연료전지의 도움이다. 연료전지의 경우 수소를 어떻게 획득하느냐에 따라 재생에너지에 포함되기도 하고 그렇지 않은 경우도 있다. 여전히 선결되어야 할 문제가 다수가 있으며, 본인이 생각하기에는 분산형 전원이 망을 통한 전력을 대체할 것으로는 보지 않는다. 그러나 분산형 전원의 시장 지분은 점차 증가할 것이다.

따라서 원자력발전과 관련하여 지반을 할 수 있는 여지는 없으며, 원자력연료주기와 원자력발전에서 혁신 기술의 중요성을 다시 강조하고자 한다. 특히 혁신을 위해서는 다음 사항을 실현해야 한다.

- 다양한 제품의 시장 출시

이제는 전기라는 제품을 최대한 생산하는 것만으로는 충분치 않다. 특히, 원자력발전은 개도국에서 극히 일부의 필요라도 충족시킬 수 있는 능력을 갖춰야 한다. 그렇지 못하면 원자력발전은 21세기 에너지 역사에서 비주류로 머물게 될 것이다.

- 비용절감

에너지가격이 다소 높아질 것이라는 가능성을 믿고 원자력발전이 비용을 절감하려는 노력을 멈추어서는 안 된다. 경쟁시장에서 확실하게 살아남는 방법은 비용절감이다. 물론 비용절감이 안전을 무시해도 좋다는 뜻은 아니다.

- 원자로의 단순화 및 안전성 향상

전력 수요 상황의 보다 다양한 상황에 유연하게 대응하기 위해서는 노형의 단순화와 안전시스템이 지극히 유익할 것이라는 필요성 때문이다. 보다 단순하고 안전하며 값싼 원자로를 설계하기 위해 지금까지 수년간 근본적인 부분부터 다시 바꾸기 위한 노력이 있었고, 오랜 기간의 원자력 발전소 운전경험이 축적되어 있다.

- 폐기물의 안전 관리

본인 개인적으로는 폐기물 관리 기술을 보유하고 있어 고준위 폐기물을 장기적으로 보관할 수 있다고 생각하지만, 다수의 국민들과 정치인들은 확신을 못하고 있다. 기술적 안전성 향상을 위한 혁신뿐만 아니라 이것을 제대로 홍보하기 위한 혁신도 역시 필요하다.

- 핵비확산문제의 개선

북한과 이란에 의해 제기된 우려가 의미하는 바와 같이 평화적 원자력 프로그램을 군사적 목적으로 이용할 가능성에 대한 기술적 제도적 장치를 만드는 데 보다 많은 진전이 있어야 한다.

이번 회의의 프로그램으로 보아 이러한 문제들이 잘 다루어질 것으로 본다. 원자력에너지가 탄소배출 중심의 즉, 화석연료 중심의 지속가능한 에너지 미래에 중요한 공헌을 하기 위해 이 부분의 혁신이 어떠한 도움을 줄 수 있는지를 기대한다.

(자료정리 : 한국에너지협의회 이성룡 차장)