



원자력 : 세계 에너지 재앙 예방

Dr. Bertram Wolfe*

이 글은 21세기에 원자력이 주요 에너지원이 되는 이유를 설명하기 위해 작성되었다. 1973년 이후로 미국에서는 단 한 기의 신규 원자력발전소도 발주되거나 건설되지 않은 상황에서 어떻게 가능하냐고 질문한다면 그 대답은 아주 간단하다. "필요하기 때문에!"

원전 건설의 이면

1973년 이전에는 Sierra Club (미국 환경 단체)이 원자력을 지지했었다는 것을 얼마나 많은 독자들이 알거나 기억하고 있을까?

1973년 이전, 미국의 에너지 성장률은 연간 약 7%였으며, 매 10년마다 에너지 소비량은 두 배로 증가했다. Sierra Club은 캘리포니아의 PG&E사가 발주한 Diablo Canyon 원전 건설에 대한 주요 지

지자였는데 그렇지 않으면 대기를 오염시키는 석탄 발전소가 세워질 것을 우려했기 때문이다.

마찬가지로 Florida Power and Light사의 회장이었던 McChesney Martin은 1961년 신형 석탄 발전소에서 방출된 배출물에 대한 혹독한 비평을 들은 후 FP&L사는 다시는 석탄 발전소를 건설하지 않겠다고 약속을 했다. 결과적으로 그들의 다음 발전소로 Turkey Point 부지에 원자력발전소 2기가 건설되었다.

여기서 짚고 넘어가야 할 점은 에너지 수요의 증가와 더불어 가장 해가 적으면서도 깨끗하며, 가용한 에너지를 선택하도록 공감대가 형성되었으며, 환경 단체들도 원자력을 선택 가능한 수단으로 생각하고 있었다는 것이다.

1973년 석유 파동으로 인해 석유 가격이 배럴당 2달러에서 12달러로

폭등했으며, 미국 에너지 성장률도 매 10년마다 2배 증가(연간 7%)에서 매 35년마다 2배 증가 수준(연간 2%)으로 감소하였다. 그 결과 전력이 공급 과잉 상태가 되었다. 이전에 발주된 약 110기의 원자력 발전소와 50기의 화석 연료 발전소 건설이 취소되었으며 최근 몇 년 전까지만 해도 전력 설비 용량은 공급 과잉 상태였다.

전력 수요의 부족

새로운 에너지 수요의 부족과 더불어 환경 단체도 그들의 입장을 바꾸고 모든 새로운 에너지원을 반대하였다. 1973년 이래 Sierra Club은 원자력 에너지·석탄·가스·석유·지열·댐에 대해 반대하고, 대규모 에너지원으로서 상용화되지 않은 '재생' 에너지만을 지지하였다. 이러한 것은 최근까지는 적절한

* 미국원자력학회(ANS) 회장(1986~1987), GE 원자력에너지사업부 부사장 역임

잉여 설비 용량으로 인하여 문제가 되지 않았다.

실제로 1973년 이전에 발주된 약 60기의 원자력발전소가 1973년 이후 가동되어 원자력은 현재 미국 전력의 20%를 공급하고 있다. 이것은 아이젠하워 대통령의 원자력의 평화적 이용 프로그램이 시작되었던 1954년의 전체 발전량보다 많은 양이다. 1973년 이전에 발주되어 추가된 석탄 발전소로 인하여 현재 전력 공급량의 약 55%를 석탄이 공급하고 있다. 의심할 여지없이 새로운 전력 생산을 위한 발전소를 발주할 필요가 없었기 때문에 환경 단체의 입장에서는 신규 발전소 건설에 반대할 수 있었다.

그러나 지금은 전력 설비에 여유가 없다. 최근 몇 년간의 이상 기온으로 에너지 부족과 전력난을 겪고 있으며 이제야 명백하게 새로운 전력 설비의 공급이 필요하다.

새로운 에너지 수요 충족

언급한 것처럼 지금 미국 내에서는 에너지 공급을 확대할 필요가 있다. 그러나 더 심각한 상황이 세계 곳곳에서 발생되고 있다.

지금부터 50년 후 세계 인구는 현재 60억명에서 약 100억명으로 증가할 것이다. 이것은 첫째로 미개발국의 높은 출생률 때문이다. 이들 국가의 에너지 사용량은 산업화된

국가의 1인당 사용량의 1/10 이하이고, 이들 국민들은 빈곤 속에서 살고 있다.

에너지는 삶의 질을 높이고, 출생률을 낮출 뿐만 아니라 세계 인구를 안정화시키기 위한 중요한 열쇠이다. 만약 2050년쯤 세계 인구가 100억명 정도가 된다고 가정하고, 자연 보호 등의 영향으로 세계 평균 1인당 에너지 소비량이 현재 미국의 1인당 소비량의 1/3 정도가 된다면 세계 에너지 소비량은 현재의 3배가 될 것이다. 이러한 에너지 수요를 어떻게 충족시킬 수 있겠는가?

화석 연료는 오늘날 미국과 세계의 주요 에너지원이다. 그러나 세계 에너지 소비량이 세 배로 증가된다면 석유나 가스가 이번 세기의 나머지 부분 동안, 그리고 석탄이 다음 세기 동안에 경제적으로 이용 가능하게 될 것인지는 의문스럽다.

이용 가능한 에너지의 부족은 에너지 요구에 대한 분쟁을 일으킬 수 있다. 일본이 제2차 세계 대전을 일으킨 이유 중 하나가 에너지 공급에 대한 우려였다는 것을 고려해 보라. 그리고 미국이 석유가 풍부한 아랍 지역에 수많은 희생을 감수하면서 군대를 파병시킨 이유를 물어 보라.

더불어 미래의 지구 온난화로 인한 재앙은 화석 연료에서 배출되는 이산화탄소에 의해 야기될 것이다. 실제로 어떤 과학자들은 현재의 이

상 기온 현상은 대기중의 이산화탄소의 증가 때문이라고 믿고 있다.

환경 단체도 그들의 주요 목표중의 하나로 지구 온난화를 완화시키는 것에 두고 있다. 그러나 그 해결책인 재생 에너지는 충분할 정도로 실용화되지 않았다. 1000MWe급 석탄 또는 원자력발전소(단지 몇 에이커를 차지하고 있음) 용량을 가진 태양열 발전소는 100평방 마일 또는 그 이상의 부지가 필요하다.

이것은 환경 문제를 일으킬 수 있으며 이것이 경제적일 수 있느냐는 것은 의심스럽다. 더 많은 부지를 요구하는 풍력에 대해서도 같은 상황이다. 특별한 소규모의 태양열과 풍력 발전은 국부적인 이점이 있으나, 세계 에너지 수요의 3배에 달하는 양을 현저하게 완화시키거나 만족시킬 수는 없다. 핵융합 발전이 실현 가능하고 경제적이 될 때에는 가능하겠으나 수십년 내에는 불가능할 뿐 아니라 요원할 것이다.

그러므로 예상되는 지구 온난화 재난과 세계 에너지 부족에 대한 실현 가능한 해결책은 오직 전세계적으로 원자력을 확대하는 것이다.

원자력 에너지의 개발

평화적인 원자력 에너지 사용은 미국에서 시작되었으며, 1953년 아이젠하워 대통령의 원자력의 평화적 이용 선언 이후에 다른 나라로



퍼져나갔다. 이것은 미국의 평화적인 원자력 기술들을 모든 핵무기 개발을 취소하겠다는 동의를 받은 나라들과 공유하는 것을 허용하기 위해 시작되었는데 당시 약 20여 개 국가에서 원자력 기술을 개발하고 있었으며, 아이젠하워 대통령의 "지금 일부 국가에서 소유하고 있는 지식이 궁극적으로는 다른 나라 또는 가능한 모든 국가와 공유하게 될 것이다."라는 발표와 함께 본격화되기 시작했다. 1998년 인도와 파키스탄이 핵폭탄을 실험했지만 아이젠하워 대통령은 핵무기 확산을 최소화했다고 생각하며 뿌듯하게 우리를 내려다보고 있을 것이다.

평화적인 원자력 프로그램이 미국에서 시작된 이래 약 10여 가지의 원자로 형이 개발되었다. 1959년 에너지성은 저압 유기물 냉각형 원자로(Low Pressure Organic Cooled Reactor)가 가장 실용적일 것이라고 발표하였다. 그러나 유기물 원자로의 시험에서는 방사선 영향에 따른 유기물 냉각재에 대한 문제점이 제기되었고 동 프로젝트는 취소되었다.

그 후 비등수형 원자로와 가압수형 원자로가 가장 신뢰적이고 경제적인 원자력발전소로서 개발되게 되었으며, 과거 몇 십년 동안 건설 및 운전을 해오면서 노출된 문제점들이 있지만 이런 문제점은 해결 또는 완화되어 지금은 경수로가 가장

신뢰할 수 있고 안전한 에너지원으로 자리잡았다.

미국에서 원자력 에너지를 개발하면서 가장 중요한 핵심 요소는 안전성이었다. 평화적 프로그램의 시작과 더불어 주요 설계 요건은 '최대 가상 사고'를 정의하고 이런 사고로 인해 일반 대중에게 피해를 주지 않도록 발전소를 설계하는 것이었다.

경수로의 최대 가상 사고는 원자로 노심이 용융되고 원자로 냉각재 배관이 양단 파단되는 것으로 정의되었다. 최대 가상 사고 기간 중에는 용융된 연료가 냉각재를 오염시키고, 원자로 냉각재 배관이 양단 파열 됨에 따라 냉각수와 방사성 오염 물질이 개방된 배관을 통해 누출되는 것을 가정하였다.

일반 대중에 대한 피해를 막기 위해 미국 원자력발전소는 사고로 인한 물질을 격리할 뿐만 아니라 사고로 인한 방사성 물질이 일반 대중에게 도달되는 것을 막을 수 있는 격납 건물을 갖도록 설계되었다.

1978년 소련 원자력발전소 설계에 대해 논의하기 위해 소련 대표단이 GGE를 방문하였다. 이틀간의 회의가 끝나갈 무렵 소련 대표단 단장과 같이 커피를 마시게 되었는데 이 자리에서 그는 미국의 안전성 확보를 위한 접근법은 불필요하고 너무 비용이 많이 든다는 의견을 나타냈다. 그는 소련 정부가 원자력이 대

단히 위험하다고 생각했다면 원자력발전소는 건설되지 않았을 것이라고 말하였다.

1986년 체르노빌(격납 건물이 없었던 발전소) 사고는 그가 잘못 생각했었다는 것을 증명하는 것이다. 그리고 소련 연방 국가들은 지금 미국의 안전 기준을 채택하고 있다.

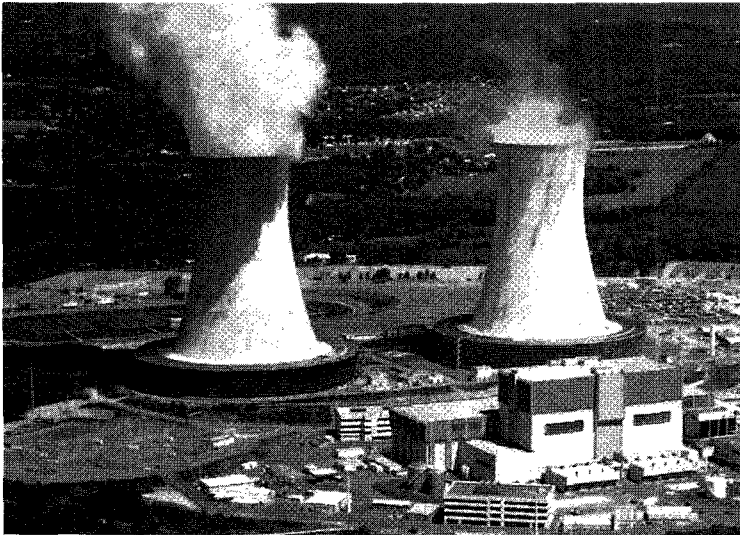
그러나 TMI 사고의 경우에는 어떠한가? 일반 대중을 경악시킨 환경 및 언론 단체의 보도에도 불구하고 TMI는 성공적인 것으로 보여지고 있다. TMI 사고는 미국 및 서방 국가를 포함하여 유일한 원자력발전소의 노심 용융 사고였다.

격납 건물이 제 기능을 잘 수행함에 따라 발전소 부지 내에 앉아 있던 사람의 방사선량이 덴버에서 2주간 휴가를 갔다온 사람의 선량이 하였다. 덴버는 자연 방사선량 수준이 높은 지역이고 그 지역 주민들은 나머지 대부분의 미국 주의 주민보다 수명이 더 길다.

미국 원자력 산업계는 운영중인 원자로가 일반 대중에게 어떠한 한 부분이라도 물리적으로 해를 끼치고 있지 않다는 것에 자부심을 가질 수 있다. 그 반면에 반원자력 단체들은 일반 대중을 놀라게 하는 데 성공했다고 즐거워할 수 있을 것이다.

방사성 폐기물

일반 대중을 놀라게 하는 또 하나



미국의 Rimerick 원전. 예상되는 지구 온난화 재난과 세계 에너지 부족에 대한 실현 가능한 해결책은 오직 전세계적으로 원자력을 확대하는 것이다.

의 요소는 방사성 폐기물이다. 이 폐기물에는 기본적으로 고준위 폐기물과 저준위 폐기물, 두 가지 요소가 있다. 고준위 폐기물은 핵분열된 우라늄을 포함한 사용후 핵연료와 핵분열로 인해 생성된 방사성 동위원소로 구성되어 있다.

이 방사능은 수천 년 동안 방출되지만, 체적을 기준으로 사용후 연료에서 나오는 양은 석탄 발전소에서 나오는 폐기물 양의 십만 분의 일 이하이다.

실제로 미국 원전의 사용후 연료의 전체 체적은 축구장 면적에 15ft 정도의 높이이다. 현재는 사용후 연료와 고준위 폐기물의 영구 지하 처분장으로 제안된 Nevada 주의 Yucca Mountain(Nevada 주 시험 부지에 인접)을 평가하고 있는 중이다.

반원자력 단체의 압력으로 인해

Nevada주는 수년 동안 Yucca Mountain에 대한 탐사 개시를 연기하고 있으며, 급기야 의회에서 네바다주의 연기 결정을 무효화시키는 법안을 통과시키겠다고 위협하는 지경에 이르렀다. 지금 반원자력 단체는 일반 대중에게 폐기물을 처리할 방법이 없다고 주장하고 있다.

미국 에너지성은 Yucca Mountain 처분장에 대한 초기 연구를 수행했으며 긍정적인 결론에 도달했다. 내년까지 시험 및 안전성 분석을 완료하고, 인허가 신청 및 지하 시설 건설을 완료하여 2010년경에는 사용후 연료를 처리할 예정이다. 그 때까지 사용후 연료는 원자로 부지 내, 또는 원자로 부지 내에 새로 건설된 특별 저장 지역에 저장될 것이다.

이러한 조치는 Yucca Mountain에 임시 지상 저장소를 설치하

는 법안에 대해 반원자력 단체와 클린턴 대통령이 거부권을 행사함에 따라 에너지성이 1998년 1월31일부터 사용후 연료를 접수하기로 한 핵폐기물 정책 법안(NWPA : Nuclear Waste Policy Act) 요구 사항을 만족할 수 없게 되었기 때문에 취해졌다. 동 계획은 사용후 연료를 Yucca Mountain의 지상 처분장에 저장하고 지하 영구 저장고 건설이 완료되면 그곳으로 이동시킨다는 계획이었다.

실질적으로 Yucca Mountain 저장소를 건설하기 위한 기술적 장애는 없으나 반원자력 단체들은 계속해서 폐기물 처리에는 방법이 없다고 일반 대중들에게 말하고 있다.

저준위 폐기물은 운전중인 원자로로부터 나온 방사선에 의해 방사화된 물질들이다. 아울러 연간 약 10,000회 정도의 인명 구조를 위한 방사선 의학 처리와 조사(照射)와 같은 산업용 방사능 이용 등 많은 용도를 통해 방사화된 폐기물들이다.

사용후 연료가 소멸되는 데는 수천년이 걸리지만 이와 같은 저준위 폐기물들은 약 300년이 지나면 소멸된다.

1982년 방사성 폐기물 정책 법령이 채택된 이후, 처음으로 저준위 방사성 폐기물을 처분하기 위해 계획된 상용화된 부지는 캘리포니아의 Ward Valley이다(남부 캘리포

니아에 있는 Barnwell은 방사성 폐기물 정책 법령 이전임), 캘리포니아 보건청과 여러 연방 기구에서는 Ward Valley를 몇 년 동안 연구하고 검토하여 그곳이 안전한 저장소가 될 것이라는 결론을 내렸다. 저장소와 관련한 작업에 착수하기 위해 그 지역은 연방 정부에 의해 캘리포니아로 양도되어야 했다.

내무 장관인 Bruce Babbitt은 양도하기 전에 공인된 국립과학아카데미에서 독립적으로 조사할 것을 결정했다. 13개월에 걸친 조사를 통해 Ward Valley가 안전한 저장소가 될 것이라는 결론이 내려졌으며, 1995년 5월에 보고서가 발표되었다. Babbitt 장관은 일주일 내로 그 부지를 양도할 것이라고 발표하였다.

그러나 반원자력 단체들이 확실하게 성공하였다. 그 부지는 아직까지 양도되지 않았으며 그들은 여전히 저준위 폐기물이 위험해서 그것들을 처리할 방법이 없다고 주장하고 있다.

다행히 원자력 산업계는 Yucca Mountain과 저준위 폐기물 저장고 건설 지연을 감당할 수 있었다. 그러나 머지않아 비참한 결과를 가져올 것이다. 그러므로 국가적인 이익을 위해 폐기물 저장고 사업을 진전시키는 것이 중요하고, 이것은 원자력발전소처럼 아무런 해도 발생시키지 않을 것이다.

증식로

정상 우라늄은 0.7%의 핵분열 가능 U-235와 99.3%의 비핵분열성 U-238로 구성되어 있다. 운전중 고속 증식로는 U-238을 핵분열성 플루토늄으로 변환시키므로, 증식로를 이용하여 우라늄으로부터 나오는 에너지를 현재의 열중성자를 이용한 경수로보다 약 60에서 100배 정도 증가시킬 수 있다.

이것은 수천년 이상 무한정의 에너지를 공급할 수 있고, 더욱이 증식형 원자로에서 나오는 폐기물은 몇 백년 내에 저준위 폐기물과 같이 소멸된다.

이와 같이 증식로는 여러 가지 이점을 가지고 있다. 첫째, 근본적으로 무한정의 에너지를 공급할 수 있으며, 두 번째, 방사성 폐기물이 빨리 소멸되며, 세 번째, 특수한 재처리 계통을 가지고 있어 플루토늄 전용을 방지할 수 있다는 것이다. 실제로 경수로에서 나온 플루토늄을 다 써버리기 때문에 무기 재료로 전용할 수 없게 된다.

금세기 중반에 이르면 경제적으로 공급할 수 있는 우라늄이 고갈될 것으로 예측되어진다. 새 유형의 문제점을 도출하고 해결하기 위해서는 몇십 년이 걸리기 때문에 지금 증식로를 개발하고 있어야 한다.

새로운 원자로 노형

미국 정부는 이에 대한 필요성에 대한 상급 기관의 검토 후에 예전의 지원에 비하면 상대적으로 낮은 수준이지만 원자력발전소 개발을 지원하는 방향으로 선회하였다. 검토되고 있는 주요 영역은 남아프리카에서 개발되고 있는 소규모 가스냉각형 원자로인 PBMR(Pebble Bed Modular Reactor)이다. 동 설계에 대한 검토 결과는 우호적이며, 일부 논문에서는 이 원자로형이 경수로형을 대체할 수 있을 것이라고 시사하고 있다.

이것이 사실일 수 있지만 과거 경험으로 볼 때 불확실한 것이다. 왜냐하면 평화적인 원자력 에너지 사용을 시작한 이래로 모든 새로운 형식의 원자로에서 문제점이 도출되었기 때문이다.

실제 Fort. St. Vrain의 대규모의 가스냉각형 원자로 설계 시험중에 발견된 문제점으로 인하여 1989년 발전소를 정지하고 이런 개념의 개발을 포기하였다.

그러므로 가까운 장래에 개발이 예상되는 소규모 가스냉각형 원자로나 다른 새로운 원자로형을 근거로 하여 경수로형에 대한 필요성을 등한시해서는 안된다.

주목한 바와 같이 지금 고속증식형 원자로 개발을 시작해야 하는 이



원자력은 다가올 다음 세기의 주요 필수 에너지원이 될 것이다. 오히려 문제가 될 때까지 기다리다 미국이나 그 외 세계에서 피해가 발생이 된 이후에야 문제들을 완화하기 위해 노력하기보다는 이러한 주요 문제점들을 막기 위해 지금부터 원자력을 확대해 나가야 할 것이다.

유는 그것이 필요하게 될 때 그 노형의 이용 가능성을 수십 년 동안 보장하기 위해서이다.

미국의 경수로

주목한 것처럼 수십 년에 걸쳐 수많은 문제점들을 보완한 이후 경수로로는 성공한 원자력발전소가 되었다. 그런 발전소들은 해외에서 4년에서 6년 내에 건설되어진다.

GE 원자력에너지사의 성공적인 새로운 개량형 비등수형 원자로(ABWR)의 상업 운전이 4년간의 건설을 통해 1996년 일본(동경전력의 가시와자키가리와 6호기)에서 개시되었다(두번째 ABWR인 7호기는 1997년에 상업 운전을 시작하였음).

미국의 경우, 1973년 이전의 신규 발전소들도 4년에서 6년 내에 건설되어졌다. 그러나 새로운 발전

소에 대한 수요가 사라진 1973년 이후로 발전소를 건설하기 위해서는 불필요한 행정 절차와 법적 장애로 인하여 10년에서 20년이 걸린다. 이러한 것으로 인해 수십 억 달러의 불필요한 추가 비용을 발생시키게 된다.

석탄 발전소와 더불어 원자력발전소는 가장 낮은 운영 비용을 가지고 있으나, 원자력발전소의 불필요하게 높은 자본 비용으로 인해 미국 내에서는 경쟁력을 잃고 있다.

최근 가스 비용의 증가와 더불어 미국에서 4~6년 내에 건설되는 원자력발전소는 가스 발전소에 대해 경쟁할 수 있게 되었다.

에너지성 산하 에너지정보국의 계획에 따라 교토 의정서의 지구 온난화 목표를 만족시키기 위해 이산화탄소 배출량 1톤당 250달러의 벌금을 부가하게 된다면 가스 발전소

에서 생산되는 전력은 원자력발전소보다 2배나 비싸지게 될 것이다.

그러므로 자국 및 세계의 이익을 위해 미국은 외국만큼 효율적인 발전소 건설을 위해 새로운 인허가 절차를 마련해야 한다.

원자력으로 세계를 구하자

예상되는 지구 온난화와 전세계적인 에너지 수요의 증가, 화석 연료비의 증가 등으로 인해 향후 원자력의 기여도가 상당히 증가될 것이라는 데는 의심의 여지가 없다. 주요 문제점은 어느 시점에서 확실하게 증가될 것이냐 하는 것이다. 뚜렷한 지구 온난화 현상이 나타날 동안 기다리거나 화석연료의 부족으로 분쟁이 일어나기를 기다려야 할 것인가?

미국이 이러한 문제가 발생하기 전에 잠재된 세계적인 문제점들에 대처하기 위해서는 원자력을 확대해 나갈에 있어 세계를 주도해 나가는 것이 합리적일 것이다.

원자력은 다가올 다음 세기의 주요 필수 에너지원이 될 것이다. 오히려 문제가 될 때까지 기다리다 미국이나 그 외 세계에서 피해가 발생이 된 이후에야 문제들을 완화하기 위해 노력하기보다는 이러한 주요 문제점들을 막기 위해 지금부터 원자력을 확대해 나가야 할 것이다. ☼