



기·조·강·연

원자력의 지속 가능한 개발

- NEA의 견해 및 역할 -

루이스 에차베리 *

경제협력개발기구/원자력기구(OECD/NEA) 사무총장



이 자리를 빌어 원자력 에너지와 지속 가능 개발에 관한 몇 가지 견해에 대해 여러분과 논의할 수 있게 되어 기쁘다. 1980년대 말 Brundtland 보고서가 처음 도입한 지속 가능 개발의 개념은, 특히 OECD 국가의 정책 결정에서 그 중요성이 높아지고 있다. 에너지 분야, 그 중에서도 원자력과 관련, 지

속 가능 개발은 전반적인 정책 결정의 틀을 변화시키고 새로운 도전 과제를 안겨줄 뿐만 아니라 새로운 기회도 제공한다.

지속 가능 개발의 틀 속에서는 기존 에너지 시스템상의 비용/편익 분석보다도 훨씬 포괄적인 측면에서 원자력과 타에너지간의 평가를 요구하고 있다. 이제 원자력 에너지의 특성은 사회적·환경적·경제적 관점에서 지속 가능 개발과 관련시켜 검토되어야 한다.

이러한 새로운 형태의 평가 방법은 다양한 에너지 옵션간의 선택이라는 균형(trade-offs)에 초점을 맞추어야 하며, 현재와 미래 세대의 필요를 충족시키는 에너지 정책을 기획하고 추진하는 정부의 활동에도 도움이 되어야 한다.

NEA의 지속 가능 개발에 대한 연구 조사는 OECD의 '지속 가능

개발' 태스크포스 활동 지원의 일환으로 착수되었으며, OECD는 1997년 종합 보고서 「Sustainable Development: OECD Policy Approaches for the 21st Century」를 발표하였다.

NEA는 1990년대 말 이후 OECD의 방식으로 지속 가능 개발 관점에서 원자력의 경제적·환경적·사회적 양상에 대한 연구를 계속하였으며, 주 목적은 회원국 정부 정책 결정자들을 지원하는 데 있었다.

지속 가능 개발에 대한 NEA의 가장 중요한 자료는 「Nuclear Energy in a Sustainable Development Perspective」로서 2000년 OECD 장관급 회의를 위해 작성되었다.

오늘 본인의 발표 내용은 이 보고서에서 주로 인용한 것이며, 원자력

* Luis E. Echavarrí



의 현재와 미래의 역할 등 포괄적인 영역을 다루고, 보고서의 결론 부분과 회원국의 공동 의견도 들어 있다. 먼저 원자력 에너지가 왜 다수 국가에서 지속 가능 개발 정책의 핵심 요소가 되며, 원자력의 에너지 공급에 대한 기여가 지속 가능 개발 목표를 어떤 식으로 충족시키는지 를 검토하겠다.

그리고 세계적으로 추진되는 연구 개발 프로그램의 결과로 얻게 되는 기술 진보에 대해서 언급하겠다. 여기서는 차세대 원자력 시스템의 구체적 목표와 지속 가능 개발의 전 지구적 목표간의 연계에 중점을 두고자 한다. 결론에 가서는 NEA와 같은 정부간 기구가 국제 협력을 통하여 공동 연구 촉진과 성공 가능성을 높이는 데 어떠한 역할을 하는지에 초점을 맞춰 설명하려 한다.

지속 가능 개발의 실용 자산

경제 및 사회 개발을 지원하는 에너지의 필요성은 공통적으로 인식되고 있는 사항이며, 충분한 에너지 공급이 지속 가능 개발의 필수 요소가 되고 있다.

OECD 국가에서는 원자력 발전이 평균적으로 총전력 소비의 1/4 정도를 차지하여 에너지 공급에서 중요한 역할을 하고 있다. 한국의 경우 원자력 발전이 총전력 생산의 40% 이상을 차지하여 이 부문에서

는 선도적 국가 중의 하나이다.

안전하며 신뢰할 수 있고 경제적인 발전원으로서 원자력 에너지의 중요성은 OECD 회원국 15개국 이상에서 입증되었다.

기존의 원자력발전소—OECD 국가의 350여기를 포함, 세계 전체적으로는 400여기—는 잘 운영되고 있으며, 지속 가능한 개발의 관점에서 보면 확실한 실용 자산이다.

전력 시장의 자유화 과정에서 대부분의 원자력발전소는 우수한 이용률과 낮은 한계 생산비 덕분에 경쟁에 성공하고 있다.

원자력발전소는 자본 집약적이지만, 연료비에 운영·보수비까지 포함한 생산비는 대부분의 타에너지원에 비해 낮다. 더욱이 시장 경쟁이 발전소 운전자들에게 기술적·경제적 성과를 개선시키는 강력한 인센티브로 작용하였으며, 그 결과 여러 나라에서 상당한 효율 향상이 이루어졌다.

수명 관리는 운전중인 원자력발전소라는 실용 자산을 유지하고 재산 가치를 높이는 다양한 수단을 제공한다. 수명 연장을 위한 투자는 많은 경우 비용 효과적이다.

이 같은 쇄신 작업은 운전 수명을 연장시킬 뿐만 아니라 성능도 개선하고, 점차 엄격해지는 안전 기준을 충족시키는 데도 도움이 되며, 시설 업그레이드를 위한 기회를 제공한다. 이것은 대부분의 다른 대안보다도 낮은 투

자 비용으로 발전 설비를 공급하는 결과가 되며, 지속 가능한 개발이라는 관점에서 보면 재원의 보다 합리적인 배분에 기여하게 된다.

신규 원자로를 가지고 있는 한국의 경우는 앞으로 수 십년간 수명 연장을 활용하여 경제적 성과를 이끌어낼 수 있다.

사회적인 측면에서 보면, 원자력 과학과 기술은 지적 자원을 미래 세대에게 넘겨주는 것이다. 에너지 분야에서는 고등 인적 자원을 필요로 하기 때문에 여기서 훈련된 고급 인력이 전반적인 사회 복지를 높이게 된다.

원자력 R&D 연구소나 산업체 및 규제 기관의 직원 고용은 고급 기술 일자리의 원천이 되며, 그 다음에는 과학·기술에 대한 재교육과 훈련이 필요하다.

더 나아가 의약, 오염 제어 및 정보 기술 등 타분야에서의 원자력 연구의 파급 효과는 인적 자원을 증가시켜 기여도의 범위를 확대시킨다.

원자력 발전 프로그램의 추진을 위해 개발된 제도는 경제 개발의 사회적 인프라로서 역할을 한다. 국내 법과 규제 기관뿐만 아니라 국제 협정이나 담당 국제 기관들은 규제 방식과 국제간 협력에서 사회적 결속과 일관성을 촉진시킨다.

원자력 사업을 하는 대부분의 국가에서 시행중인 법률은 미래의 금융 채무에 대한 책임, 핵무기의 비

확산, 건강 보호 및 장주기 방사성 폐기물 처리와 같은 이슈까지 다루는 범위가 넓다.

지속 가능 개발의 환경 측면과 관련된 천연 자원의 이용에서 효율성은 하나의 중요한 지표가 된다. 여기에는 원자재·토지 및 수자원·대기 오염 및 고체 폐기물이 포함된다.

에너지 부문에서 고려될 핵심 천연 자원은 난방·전등 또는 이동성과 같은 사람들이 필요로 하는 서비스를 생산하기 위해 사용되는 석유·가스·우라늄 같은 연료이다.

현세대의 원자력발전소는 화석 연료나 바이오매스 관련 기술에 비해 한 번에 추출해내는(once-through extract) 질량 단위당 에너지량이 1만배는 넘는다. 우라늄 연료 주기의 이 같은 초고에너지 농도는 채광에 필요한 사항뿐만 아니라 수송 및 저장의 부피를 줄이고 발전 단위당 폐기물의 양도 감소시킨다.

대기 오염에 대한 우려는 모든 곳에서 일어날 수 있지만 개도국과 아시아 신흥 공업국의 인구 밀집 지역에서 특히 심하다. 국지적·지역적 오염 문제 이외에 온실 가스, 특히 이산화탄소 배출은 그 영향이 장기적이고 글로벌한 성격을 가지기 때문에 지속 가능개발의 측면에서 특별한 관심의 대상이 된다.

온실 가스 배출로 인한 지구 기후 변화의 위험은 윤리적인 문제도 제기하는데, 그 이유는 이것이 지구

전반에 대한 위협이 되고 미래 세대에 유산으로 남기 때문이다.

원자력 에너지의 생산 과정에서 발생하는 이산화탄소 및 기타 온실 가스 배출량은 무시해도 될만한 수준이다. 1GWe급 대용량 원전 1기로 석탄 발전을 대체하면 연간 1.75백만톤의 탄소 배출을 줄이고, 석유 발전을 대체하면 1.2백만톤, 천연 가스 발전을 대체하면 0.7백만톤을 감소시킬 수 있다.

원자력은 에너지 부문에서 탄소 배출 감축에 상당한 기여를 하고 있으며, 일부 국가의 수력을 제외한다면, 교토 의정서의 목표 실현을 위해 제한된 시간 범위 내에 대규모로 이용 가능한 유일한 '탄소 배출제'의 상업용 에너지원이다.

원자력이 교토 의정서상 3개의 유연성 체계 중 2개에서 제외되었지만, 각국의 공약 이행을 위한 국내 프로그램 수행에는 도움이 될 수 있다.

원자력에 대한 교토 의정서의 합의(含意)에 대한 분석은 2002년 8월 요하네스버그에서 개최된 「지속 가능한 발전을 위한 세계 정상 회의」(WSSD)에서 NEA가 발표한 「Nuclear Energy and the Kyoto Protocol」에 반영되어 있다.

교토 의정서 공약 기간 이후 지구 기후 변화의 위험을 완화시키기 위한 정책에서는 대기 중의 탄소 농도와 지구 온도를 안정화시키기 위해

훨씬 더 엄격한 GHG 배출 저감 이행이 필요할 것이다.

한국처럼 원자력에 대한 의존도가 높은 나라는 온실 가스 배출량을 줄이는 비용 효과적인 수단으로 원자력과 같은 탄소 배출제로의 발전 원으로부터 이득을 얻게 될 것이다.

방사성 폐기물은 흔히 원자력 에너지의 주요 부담이라고 언급된다. 폐기물 관리와 처리 문제가 시의적절하게 다루어져야 하는 것은 분명하지만, 그 중요성이 너무 과대하게 부풀려져서도 안된다.

1GWe급 원전은 연간 약 30톤의 고준위 폐기물과 80톤의 중·저준위 폐기물을 생산하는 반면, 같은 용량의 석탄 발전은 약 28만톤의 고체 폐기물을 생산하며, 이 중에는 약 400톤의 독성 중금속이 들어 있다.

분량이 적은 방사성 폐기물은 적절한 비용으로 생물계에서 격리가 가능하고 전기 소비자들에게 현재 지지를 받고 있는 반면, 석탄 발전에서 나오는 고체 폐기물은 지표면에 그대로 쌓여지고 있다.

차세대 원자력 시스템의 목표

이제 원자력의 미래로 화두를 돌려, 과학자·엔지니어 및 정책결정자들이 정해놓은 차세대 원자력 시스템의 목표에 대해 간단히 검토하겠다.



앞으로의 원자력 개발은 총 1만여 원자로 운전·년 동안 광범위한 기술적 또는 사업상의 경험으로부터 얻은 피드백에 기초해서 이루어질 것이다.

지속 가능한 에너지 믹스에서 원자력 에너지의 역할을 향상시키기 위해 과학자와 기술자들은 21세기의 경제적 환경적 사회적 관심사를 다루는 차세대 원자력 시스템의 설계와 개발에 열중하고 있다.

차세대 원자력 시스템의 개발 목적은 경제 부문, 천연 자원의 효율적, 이용 즉 연료 소비 및 환경 부담의 최소화, 안전성 및 신뢰도, 핵 확산 방지 및 신체 보호 등 다양한 분야를 다룬다.

이러한 목적들은 제4세대 원자력 시스템 국제포럼(GIF)의 목표에서도 잘 설명되어 있는데 아주 야심찬 계획이다.

경제적 경쟁력이 발전 사업자나 투자자들이 찾는 신행 원자력 발전 후보의 선행 조건임을 인식할 때, 높은 수준의 안전도와 신뢰도를 유지하면서 원자력 시스템의 투자 및 생산비를 줄이는 기술과 프로세스를 찾아내는 데 높은 우선 순위가 두어져야 한다.

자유화된 에너지 시장에서 자본 비용이 높거나 수요에 대한 확신도 없는 상태에서 건설 기간의 장기화로 인한 리스크는 발전 기술의 다양한 선택이 가능한 상황에서 투자자

들의 시각에 중요한 마이너스 요인이 될 것이다. 자본 비용 및 금융 위험 감소는 불필요한 비용을 줄이고 건설 공기를 단축시켜 건설 기간 중의 리스크를 감소시킨다.

원자력발전소의 자본 비용을 줄이기 위해 다양한 접근 방식이 이미 적용되고 있는데, 최근 가동에 들어갔거나 건설중인 한국의 울진 및 영광 원자력발전소에서 이 중 몇 가지 방식을 시험하거나 응용하고 있다.

연구팀들이 미래 원자력발전소의 자본 비용을 낮추기 위해 찾아낸 주요 수단은 향상된 공학 기법·설계 기술 및 건설 공정 등이다.

원자력계의 공인 자재와 부속품의 수량을 줄이고 타산업에서의 학습도 차세대 원자력 시스템의 경제적 성과를 높이는 데 도움이 될 것으로 예상된다.

수동형 안전 시스템에 대한 의존도 증가와 위험 고지형 및 성과 배이스형의 규제로 나아가는 움직임은 미래 원자력발전소의 투자 비용 뿐만 아니라 운영 및 유지 비용을 낮추는 핵심 요소이다. 그러나 이 같은 목표의 달성을 위해서는 과학적 기술적 진보뿐만 아니라 인적 부분에 대한 고려도 있어야 한다.

지난 수십년간 안전성 및 신뢰도 개선을 위한 지속적인 노력이 있었으며, 앞으로 차세대 원자력 시스템은 진보를 위해 다음과 같은 더욱 커다란 도전에 직면할 것이다.

즉 신뢰도를 더욱 높이고 발전소의 손상 가능성을 줄여 시장 경쟁력을 더욱 높이고, 발전소 외부로의 방사성 물질 방출 빈도를 줄이고 발전소 외부에 대한 비상 대응의 필요성을 없애 지속 가능 개발의 사회적·환경적 목표를 충족시키는 것 등이 그 도전 과제가 된다.

지속 가능 개발의 관점에서 방사성 폐기물의 관리 및 처리와 관계된 이슈를 성공적으로 다루는 것은 원자력 시스템의 보급 촉진을 위한 전제 조건이다.

원자력으로부터 나오는 방사성 폐기물의 양이 수용 가능한 비용으로 안전하게 관리될 수 있는 적은 양이라고 할지라도 수명이 매우 긴 방사성 핵종의 건강과 환경에 미치는 잠재적 영향을 없애야 한다는 장기적인 책무에 의해 윤리적인 문제가 제기된다. 기술적인 관점에서 사용후 연료 및 고준위 폐기물을 안전하게 지하 속 깊이 저장하는 데 필요한 기술은 이미 존재한다. 그러나 이행을 위해서는 국민 참여라는 사회적 이해와 지원이 필요하다.

최근 폐기물 저장소 건설과 관련 편란드나 미국 등 일부 OECD 회원국에서 보여준 진전은 매우 고무적이며, 원자력의 르네상스를 앞당기기 위해 많은 역할이 있어야 한다.

연료 주기 관련 최신 기술은 원자력 에너지의 생산으로부터 나오는 방사성 폐기물의 장기적인 위험 요인을

상당 부분 낮추는 데 도움이 된다.

공정 손실이 매우 낮게 유지된다 는 전제하에서 보면, 중요도가 떨어 지는 악티늄 원소의 분할과 변환 (P&T) 등 복잡한 리사이클링을 하 는 연료 주기는 100년 정도의 시간 이라면 폐기물의 부피와 방사성 독 성을 급격히 감소시키는 것이 가능 할 수 있다.

그러나 분할 및 변환 옵션의 기술 적·경제적 타당성을 입증시키기 위해서는 종합적인 R&D 프로그램 이 요구된다.

지속 가능 개발에 원자력의 기여 도를 높이기 위해 중요한 또 하나의 방법은 전력 이외에 원자력 제품을 공급하는 것이다.

현재 원자력발전소가 세계 전력 소비의 약 16%를 공급하며, OECD 국가에서는 그 비율이 거의 25%가 된다. 그런데도 전력은 1차 에너지 사용의 약 1/3정도 밖에 안되기 때 문에, 원자력 에너지는 세계 전체 에너지 소비에서 약 6% 정도에 지 나지 않는다.

원자력이 발전 이외의 용도로 사 용된다면, 글로벌 에너지 공급에서 보다 중요한 역할도 가능할 것이다.

기술적으로 열의 형태로 에너지를 생산하는 원자로는 전기 이외의 다른 에너지 제품을 생산할 수 있는 데, 여기에는 지역 난방 및 공정열, 휴대용 식수, 선박용 동력 및 수소 등이 있다.

원자력 개발의 초기 단계부터 비 전력용 응용이 고려되어 오기는 했지만, 어떤 국가에서도 산업용이라 는 상당한 규모로까지 보급되지는 못했다. 차세대 원자력 시스템에서 는 선택적 응용에 적합하거나 여기에 맞게 설계된 원자로가 포함될 것 이다.

과학적 기술적 진보 이외에도 타 에너지와 비교하여 원자력에 대한 시민 사회의 이해가 지속 가능 개발 의 사회적 경제적 목표를 달성하는 추진력이 된다.

이러한 맥락에서 원자력에 관한 국민의 우려를 다루고, 원자력의 중 합적인 정보에 대한 국민들의 접근 성을 높이고, 국가적이든 지역적 차 원이든 원자력 프로젝트 관련 의사 결정 과정에 모든 이해 당사자들의 광범위한 참여를 위한 여건을 조성 하는 것이 중요하다.

원자력 국제 협력

결론적으로 인구 증가에 따라 에 너지의 공급 증가가 필요하고 자연 과 사회적 환경의 보존이 필요한 상 황에서 원자력의 잠재력이 크다는 점을 다시 한번 강조하고자 한다. 이미 원자력은 수용 가능한 가격에 서 그리고 천연 자원과 환경을 위기 로 몰아넣지 않고 사람들이 필요로 하는 서비스를 공급할 수 있다는 것 이 입증되었다.

그러나 글로벌 에너지 공급에서 원자력의 구성비 증가를 통해 잠재 력을 실현하기 위해서는 기술 등 여 러 분야를 망라하는 지속적인 R&D 의 노력이 필요할 것이다.

국제 협력은 상당한 R&D 모멘텀 의 유지를 위한 기회를 제공하며, 점차 경쟁적으로 변해가는 경제적 맥락에서 지출 비용을 모니터링 하 는 데 도움이 된다.

국제적인 노력의 주요 부가 가치 중의 하나는 시너지 효과를 낼 수 있고 국가별 프로그램의 효율을 높 일 수 있다는 것이다.

자원을 공동 출자하여 자본이나 노동 집약적인 R&D 프로그램을 공 동으로 수행하는 것은 참가 각국의 비용을 줄일 뿐만 아니라 여러 문화 적 여건에서 보다 역동적인 과학연 구팀을 만들 수 있는 계기도 된다.

NEA는 공동 프로젝트에 대한 경 험이 많고 국제 협력에 적합한 구조 를 가지고 있기 때문에 예를 들어 GIF와 같은 원자력 에너지의 성공 적인 미래를 위한 야심찬 R&D 노 력의 지원을 위한 매개체로서 중요 한 역할을 할 수 있다.

NEA 사무국이 가지고 있는 노하 우 및 관리 기술은 관심있는 회원국 들에게 확실하고 유연한 틀을 제공 하여 다양한 국가별 연구팀과 연구 소들이 담당하는 기초 연구를 효율 적으로 수행하고 연구 프로젝트를 조정할 수 있다. ☞