

Nuclear Development



번역서

# 지속 가능한 개발을 위한 원자력 에너지

Nuclear Energy in a Sustainable Development Perspective

NUCLEAR · ENERGY · AGENCY

한국 원자력 연구소

Nuclear Development

## 번역서

# 지속 가능한 개발을 위한 원자력 에너지

Nuclear Energy in a Sustainable Development Perspective

NUCLEAR ENERGY AGENCY  
ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT

한국원자력연구소

**Copyright OECD, 2000.**

This document is translated under the responsibility of the Korea Atomic Energy Research Institute from the original English and French editions published under the titles: *Nuclear Energy in a Sustainable Development Perspective/ L'Energie Nucléaire dans une perspective de développement durable.*

The OECD is not responsible for the quality of the Korean translation and its coherence with the original text.

본 책자는 OECD의 정식허가를 받아 한국원자력연구소에서 번역한 것입니다.

본 책자의 저작권과 관련된 제반 권리는 OECD에 있으며, 본 책자의 번역과정에서 발생한 오류는 한국원자력연구소의 책임임을 밝혀둡니다.

## 번역서를 출간하며

현재 에너지 문제와 관련하여 세계적으로 가장 큰 쟁점은 에너지의 사용이 환경에 미치는 영향을 줄이는 것이다. 이러한 세계적인 노력은 기후변화협약을 발효시켰으며, 교토 의정서에 따라 선진국들의 이산화탄소 감축을 의무화시키기에 이르렀다.

이러한 과정에서 부각된 개념이 ‘지속 가능한 개발(Sustainable Development)’이다. 현재 진행중인 기후변화협약 당사국회의에서도 여러 가지 에너지들이 지속 가능한 개발의 목표에 부합되는가 하는 점이 최대의 쟁점으로 떠오르고 있다.

1980년대 후반에 정립된 지속 가능한 개발의 개념은 ‘미래 우리 후손의 욕구를 충족시킬 수 있는 능력과 여건을 저해하지 않으면서 현세대의 욕구를 충족시키는 개발’이라고 정의하고 있다.

이는 본인이 기회 있을 때마다 주장해 온 ‘원자력 에너지는 후손을 위한 미래의 에너지’라는 개념과 일치하고 있다. 물론 원자력 에너지가 지속 가능한 개발의 목표에 완전히 부합되기 위해서는 폐기물 등과 같이 해결해야 할 과제가 남아 있는 것은 사실이나, 이는 기술적으로나 경제적으로 가능하다고 확신한다.

그 동안 지속 가능한 개발의 개념과 원자력 에너지의 관계에 대해 구체적인 설명을 제공하는 문헌이 부족하였었는데, 다행히 OECD/NEA에서 ‘Nuclear Energy in a Sustainable Development Perspective’라는 보고서를 발행하였다.

이 번역서가 에너지와 환경에 관심을 가지고 있는 많은 독자들에게 원자력이 지속 가능한 개발에 얼마나 기여할 수 있는가에 대한 의문과 관심을 해소시켜 줄 수 있을 것으로 기대한다.

2001년 3월

한국원자력연구소장

## 머 리 말

본 보고서는 원자력 에너지가 지속 가능한 개발이라는 목표에 얼마나 부합될 수 있으며 어떻게 해야 여기에 가장 크게 기여할 수 있는가를 정부가 평가하는데 도움을 주기 위해 작성되었다. 또한 지속 가능한 개발과 관련하여 경제적, 환경적, 사회적 측면에서 원자력 에너지의 고유한 특성을 살펴보고 있으며, 특히 정책 결정자들이 관심을 갖을 만한 주요 쟁점들을 다루고 있다.

본 보고서는 원자력 에너지와 관련된 각 회원국들의 정책을 평가하지는 않는다. 여기에서는 주로 원자력 에너지에 관한 자료 및 분석을 제공하고 있으며, 제공된 자료 및 분석의 결과는 다른 에너지에 대한 정보와 함께 정책 결정자들이 그들의 특수한 상황이나 우선 순위를 고려하여 에너지 분야의 정책을 결정할 때 도움을 줄 수 있을 것이다.

본 보고서는 OECD가 수행 중인 지속 가능한 개발 연구를 돕기 위해 원자력 에너지기구(Nuclear Energy Agency : NEA)가 원자력 정책, 경제, 환경 및 지속 가능한 개발 분야에 대한 전문가들의 도움을 받아 NEA 사무국에서 작성하였다. 본문은 NEA 상설기술위원회(NEA Standing Technical Committee) 뿐만 아니라 OECD 사무국 관련 부서 및 국제에너지기구(International Energy Agency) 전문가들의 조언을 참고하였다.

# 목 차

## 머리말

요 약 .....	7
<b>1. 서론 .....</b>	<b>13</b>
OECD 프로젝트 .....	13
독자, 목적, 범위 .....	14
지속 가능한 개발과 에너지 .....	16
<b>2. 지속 가능한 개발의 개념 .....</b>	<b>21</b>
자본적 자산 .....	21
위험과 불확실성 .....	22
형평성과 참여 .....	23
천연자원 .....	24
비재생자원 .....	25
재생자원 .....	25
연구, 개발, 기술혁신 .....	26
가치 판단과 비교 - 지표의 조사 .....	27
시간적 가치 - 할인율 .....	30
정책과 경제적 수단 .....	31
기후변화 .....	33
<b>3. 지속 가능한 개발과 원자력 에너지 .....</b>	<b>35</b>
지표 .....	35

경제적 측면 .....	37
경쟁 .....	38
보조금 .....	41
외부비용과 편익 .....	43
환경적 측면 .....	45
천연자원 관리 .....	46
방사선 방호 .....	47
안전 .....	50
제3자 손해보상 .....	53
방사성 폐기물 관리 .....	55
사회적 측면 .....	58
인적 자본 .....	58
관련 기관 .....	59
핵비확산 .....	61
일반 대중의 참여와 정치적 관점 .....	63
국제 협력 .....	66
<b>4. 주요 쟁점 및 정부의 역할 .....</b>	<b>68</b>
<b>부록 1 : 경수로 핵연료주기 흐름도 .....</b>	<b>73</b>
<b>참고 문헌 .....</b>	<b>74</b>

## 요 약

본 보고서는 OECD가 수행 중인 지속 가능한 개발 연구를 돕기 위해 Nuclear Energy Agency(NEA)가 작성한 보고서이다. 여기에서는 지속 가능한 개발 체제 내에서 정책 결정을 위해 필요한 원자력 에너지에 관한 정보를 제공하고 있다. 이러한 관점에서 원자력 에너지의 특성을 지속 가능한 개발의 경제적, 환경적, 사회적 측면에서 검토하고 있다. 본 보고서는 원자력 에너지를 다루고 있으며, 정책 결정자들이 그들의 특수한 상황이나 우선 순위를 고려하여 정책을 결정할 때 필요할 지도 모를 원자력에 관한 자료 및 분석을 제공하고 있을 뿐만 아니라 원자력 이외의 다른 에너지에 관한 정보도 제공하고 있다.

본 보고서는 원자력 에너지가 지속 가능한 개발에 부합되는가에 대한 판단을 제공하지는 않는다. 왜냐하면 이러한 판단은 각 국가가 처한 특수한 상황에 따라 여러 가지 요인에 의해 달라질 수 있기 때문이다. 또한 원자력 에너지에 대한 회원국들의 개별적 정책 결정에 대해서도 논하지 않았다.

본 보고서의 목적은 지속 가능한 개발이라는 관점에서 원자력 에너지가 가져다 주는 주요 영향을 파악하고, 원자력 에너지가 지속 가능한 개발 목표 달성에 기여할 수 있는가를 판단하기 위해 고려되어야만 하는 요인들을 찾아내며, 원자력 에너지가 긍정적인 기여를 하기 위해 극복해야만 할 과제들을 규명하는데 있다. 본 보고서의 자료 및 분석은 NEA 상설기술위원회(NEA Standing Technical Committee) 및 많은 전문가들이 지원하고 NEA 사무국이 주관하여 이루어 낸 공동 노력의 결과이다. 또한 지속 가능한 개발 체제 내에서 원자력 에너지의 특성을 분석하여 얻어진 결과는 특수한 가치에 대한 선호도나 여러 가지 상황에 따라 상당히 달라질 수 있다는 점을 지적하고자 한다. 따라서 본 보고서에 포함된 일부 내용은 모든 회원국에 적용되지 않을 수도 있다.

지속 가능한 개발의 개념은 1980년대 후반에 정립되었으며 Brundtland 보고서에서 ‘다음 세대들이 그들 자신의 필요를 충족시키기 위한 능력을 저해시키지 않으면서 현재의 필요를 충족시키는 개발’이라고 정의하고 있다. 넓은 의미에서, 지속 가능한 개발은 세대들 간의 형평성뿐만 아니라 국가간의 형평성도 포함하며 또한 경제 성장, 환경 보호, 사회 복지 등 세 가지 측면을 포괄적으로 통합하고 있다. 지속 가능한 개발 정책이 극복해야 할 가장 중요한 과제는 위의 세 가지 측면을 이들의 상

관 관계 및 이해 관계를 균형있게 설명하는 것이다.

지속 가능한 개발의 가장 핵심적인 목표는 다음 세대들이 활용 가능한 전체적인 자산 규모(자연 자산, 인공 자산, 인적 및 사회적 자산)를 유지 내지는 증가시키는 것이다. 원자력 에너지의 개발은 에너지 생산을 위해 사용 가능한 천연자원의 기반을 확충시키며 인적 및 인공적 자원을 증가시킨다. OECD 회원국 내에 이미 적용되고 있는 규제, 제도, 기술과 관련된 수행 체제는 원자력 에너지의 사용이 자연 자산을 크게 감소시키지 않는다는 확신을 주고 있다. 이러한 수행 체제의 유지는 사회적 및 환경적 우려를 해소시키기 위해서는 필수적이다. 이러한 우려들이 성공적으로 해소된다면, 원자력 산업과 이를 지원하는 과학적 지식 및 제도적 기반은 현재와 미래 세대를 위한 자산이 될 수 있다.

기술은 경제 개발을 지원하는데 결정적 역할을 하지만, 지속 가능한 개발의 사회적 및 환경적 목표에 부합되는가에 대한 조심스런 통제와 감시를 필요로 한다. 경제 개발을 지원하고 사회 복지를 증가시키기 위해서 에너지의 이용은 필수적이지만, 어떤 기술을 사용하던지 간에 모든 에너지의 생산 및 이용은 인류 보건 및 환경에 부정적인 영향을 줄 수 있는 가능성을 갖고 있다. 지속 가능한 개발 목표의 달성을 위해서는 환경적 및 사회적 부담을 최소화해야 한다.

경제성은 기술이 지속 가능한 개발에 공헌할 수 있는 기본적 전제 조건이다. 경쟁력의 평가는 사회적 및 환경적 비용을 포함하여 사회 전체가 부담하는 모든 비용을 비교하여 이루어지는 것이며, 대부분의 기존 원자력발전소는 현재의 기준으로 볼 때 전력 생산의 한계비용이 다른 화석연료 발전소와 비교하여 낮기 때문에 경쟁력이 있다. 원자력 에너지에서 발생하는 대부분의 보건 및 환경비용이 이미 내부화되어 있기 때문에, 지속 가능한 개발의 관점에서 볼 때에도 원자력 에너지의 경쟁력은 충분하다. 예를 들어, 전력 소비자들은 원자력 안전, 원자력 사고에 대한 비용, 원자력 시설의 해체, 방사성 폐기물처분과 같은 비용들을 지불하고 있다.

신규 원자력발전소는 화석연료, 재생에너지, 수요관리를 포함하는 여러 가지의 대안들과 전력 생산비용(자본비, 운전비, 보수비, 연료비 등) 측면에서 경쟁해야 할 것이다. 원자력발전소의 높은 자본비용은 투자의 위험성을 초래하는데 민영화된 전력시장에서는 특히 더욱 심하며, 또한 이의 경쟁력이 투자 결정에 적용하는 할인율에 매우 민감하게 작용하는 원인이 된다. 원자력발전소의 자본비를 낮추기 위해

현재 수행중인 연구개발이 어느 정도의 성과를 거둘 수 있도록 노력해야 한다. 낮은 할인율은 원자력 에너지 시설과 같은 자본집약적인 프로젝트에 유리하며, 또한 이는 지속 가능한 개발의 목표가 추구하고 있는 미래에 대한 선호도를 중요시한다는 의미이기도 하다. 원자력 에너지의 미래의 경쟁력은 지구 기온 및 지역적 대기의 질과 같은 환경자원과 에너지 공급의 다변화 및 안정성과 같은 사회적 목표에 대해 각 국가가 부여하는 가치에 따라 영향을 받게 될 것이다. 그러나 에너지 분야에서의 기술 선택은 시장에서의 경쟁력에 크게 의존하게 될 것이며, 또한 지속 가능한 개발에 대한 여러 가지 에너지원들의 가치는 충분한 정책적 검토를 통해 결정되어야 할 것이다.

원자력 에너지자원은 풍부하다. 현재의 매장량은 향후 수십년 동안 필요한 핵연료를 생산하는데 충분하다. 원자력 발전비용 중 핵연료비가 차지하는 비중이 낮기 때문에, 연료비의 상승은 원자력발전의 경쟁력에 크게 영향을 주지 않으면서도 활용 가능한 우라늄 자원을 훨씬 증가시킬 수 있다. 더욱이 핵분열 물질을 재순환시키거나 비분열성 우라늄 및 토륨을 핵분열 물질로 전환시키는 개량 핵연료주기를 통해 원자력 에너지자원의 활용을 증가시킬 수 있다. 천연자원의 활용을 확충한다는 측면에서, 원자력 에너지는 천연 자산의 창조 및 효율적 이용과 미래 세대를 위한 자원 보존을 추구하는 지속 가능한 개발의 목표에 부합된다.

기후변화에 대응하기 위한 효율적인 정책을 찾아내는 것은 지속 가능한 개발을 달성하기 위해 극복해야 할 여러 가지 과제들 중 하나다. 원자력 에너지는 확실하게 이산화탄소를 배출하지 않으며 지구 온난화와 지역적 대기 오염을 야기하는 온실가스의 대기 배출을 감소시키는데 공헌한다. 비록 지구 기후변화의 위험을 완화시키거나 감소시킬 수 있는 몇 가지 기술 및 정책 대안이 있기는 하지만, 대기중의 이산화탄소량을 안정화시키기 위해서는 기술적, 경제적, 규제적 방안을 폭넓게 종합적으로 고려하는 정책들을 필요로 한다. 원자력 에너지를 기후변화 문제 해결을 위한 수단 중 하나에 포함시키는 것은 예방의 원칙 및 지속 가능한 개발의 목표에 부합된다.

OECD 회원국들의 수십년간 원자력 에너지의 상업적 이용 기록을 보면, 독립적이고 효율적인 규제하에서 정상적으로 운전할 경우 원자력발전소 및 핵연료주기 시설들은 상대적으로 보건 및 환경영향을 적게 주는 것으로 나타나고 있다. ‘합리적으로 가능한 낮은 수준(ALARA)’의 원칙을 기반으로 하는 방사선 방호 체계는 원자

력 시설 종사자나 일반 대중에게 미치는 방사선의 영향을 규제 수준이하로 효율적으로 제한하여 왔으며, 적용되는 규제 수준도 상당히 보수적으로 설정되어 있다.

정상적인 운전하에서 원자력 시설로부터 유출되는 방사능 매우 작으며, 종사자나 일반 대중의 보건에 대한 심각한 위험은 사고시에만 발생할 수 있다. 중대사고는 원자력 안전 규제 및 규제 방안들이 다루고 있는 가장 중요한 관심사이다. 예방의 원칙에 근거하는 원자력 안전의 목표는 지속적으로 강화되어 왔으며, 1979년의 Three Mile Island 및 1986년의 Chernobyl 원자로에서 발생한 두 번의 중대사고 경험은 원자력 안전에 큰 진전의 계기가 되었다. 원자력 사고로부터 오는 잠재적 위험이나 이러한 사고의 발생 확률은 기술적 보완, 인력 양성 및 훈련, 사고 관리 및 규제 효율 향상을 통해 더욱 작아질 수 있다.

원자력 에너지 분야에서 발생하는 방사성 폐기물은 적절한 비용으로 생활권으로부터 격리시킬 수 있을 정도로 양이 적지만 일반 대중이 가장 우려하고 있는 사항이다. 단수명 방사성 폐기물 처분장은 많은 국가에서 운영 중에 있다. 장수명 방사성 폐기물에 대해서는, 위험이 사라질 때까지 충분한 기간동안 안전하게 보관하는 목표 달성을 위해 원자력 산업계는 항상 노력하여 왔다. 지속 가능한 개발과도 부합되는 이러한 야심적인 목표는 전문가들 사이에서는 기술적으로나 경제적으로 달성 가능한 것으로 인식되고 있다. 중간저장 시설은 수십년 동안 충분히 안전하게 운영되어 왔다. 장기적으로는 몇 가지 가능한 처분 방법이 고려될 수 있지만, 몇몇 OECD 회원국에서는 지표 상에 처분하는 방법이 윤리적 및 환경적 측면에서 가장 적합한 방법으로 인식되고 있다. 일반 대중과의 대화를 통해 이들이 수용하는 처분장의 건설은 지속 가능한 개발의 목표 달성을 위한 중요한 진전이 될 것이다.

비록 국제 핵비확산 및 안전조치 체제가 지금까지 상당히 효율적이었다는 것이 증명되었다 하더라도, 핵무기 확산의 위험성은 원자력 에너지의 평화적 이용과 관련하여 가장 큰 걸림돌이 되고 있다. 더욱이 핵무기 확산이 주로 정치적 동기나 관심에서 이루어지기 때문에, 핵비확산의 목표도 주로 정치적 수단을 통해 해결되어야만 한다. 핵무기의 보유를 시도한 대부분의 국가들은 국제 안전조치 체제에 노출되어 있는 민간 원자력발전 개발 계획을 이용하기보다는 비밀스런 군사 전용시설을 통해 추진했다. 그럼에도 불구하고, 민간 원자력 개발 계획의 전용은 핵분열 물질을 확보할 수 있는 경로 중 하나일 뿐만 아니라 핵무기 제조 기술 개발로 악용될 수도 있다. 따라서 이러한 전용의 가능성을 찾아내서 확실하게 중지시킬 수 있도록 강화

되어야 한다. 핵비확산 체제는 원자력 개발 계획이 새로운 지역 및 국가로 확산될수록 더욱 중요하다.

원자력 에너지는 다음 세대가 활용 가능한 인공적, 인적, 사회적 자원을 확충시킨 20세기의 중요한 과학적 진보중 하나이다. 원자력 시설의 대부분의 비용은 자원의 소모보다는 과학 및 기술과 관련되어 있기 때문에, 원자력 에너지는 연구개발 뿐만 아니라 정보, 기술, 효율적 훈련의 진보를 통해 성능 및 안전을 향상시킬 수 있는 여지가 많다. 과학적 및 기술적 지식, 설계의 우수성을 보장하는 산업적 경험 및 규제 제도, 원자력 활동의 운영 및 규제 등은 가치 있는 인적 및 사회적 자원을 형성한다. 원자력 에너지를 이용하고 있는 국가에서는, 수준 높은 인력의 고용기회를 제공하고 에너지 공급의 다변화 및 안정성을 향상시키고 있다.

지속 가능한 개발의 사회적 목표를 달성하기 위해서는 일반 대중의 관심이 필수적이다. 이를 위해서는 원자력 위험에 관한 일반 대중의 폭넓은 우려를 감안하여, 민주적 의사 결정 과정에 일반 대중을 참여시켜 자신들의 관심사를 직접 듣고 파악하고 있다는 자신감을 심어주는 것이 바람직하다. 원자력 에너지 프로젝트의 추진을 위해서는 국가 및 지역 수준에서의 일반 대중의 참여뿐만 아니라 과학적, 기술적, 경제적, 사회적 측면에서의 정보 및 인식의 폭넓은 교류를 필요로 한다. 일반 대중이 원자력 에너지와 관련된 사회적, 윤리적, 정치적 문제들을 다른 에너지에 의해 야기되는 문제들과 균형 있게 생각할 수 있도록 유도하는 것이 필요한데, 예를 들면 미래 세대에 전가될 장수명 방사성 폐기물, 기후변화 또는 자원고갈과 같은 여러 가지 다른 책임들을 전체적으로 생각하도록 유도해야 한다. 지속 가능한 개발의 세대 간 형평, 사회적 목표, 환경 보호 목표에 부합되는 의사결정 과정의 조건들을 결정하는 것은 정부의 책임이다.

원자력 에너지는 OECD 회원국에서 소비하는 전력의 거의 1/4을 공급하고 있으며, 수십년 간의 산업적 경험을 통해서 상업적 성숙기에 이르렀다. OECD 회원국의 전력 계통에 연결된 원자력발전소는 350여기에 이르며, 대부분의 발전소들은 향후에도 10년 이상 가동될 전망이다. 중기적으로는, 에너지 및 전력 수요는 주로 비회원 국가에서 증가할 것이며 원자력 에너지 개발도 이들 국가에서 추진될 것이다. OECD 회원국 정부들은 지속 가능한 개발의 목표 달성을 위해 원자력 에너지 분야의 기술이전, 기술지원 및 협력과 관련하여 중요한 역할을 수행하게 될 것이다.

에너지 분야의 지속 가능한 개발 정책은 지역적 또는 전지구적 차원에서 미치는 경제적, 보건적, 환경적, 사회적 영향을 고려하여 선택 가능한 에너지들을 비교·평가하여 결정해야 한다. NEA가 지속 가능한 개발이라는 관점에서 원자력 에너지에 적용될 수 있는 지표개발에 대해 체계적이고 깊이 있는 연구를 통해 회원국들을 지원하고 있지만, 여러 가지 에너지들을 비교·평가하는 종합적인 체계를 구축하기 위해서는 각 회원국들의 수평적 연구가 필요하다. 이러한 체계의 구축은 외부비용을 내부화하는 일관성 있는 지침을 제공함으로써 지속 가능한 개발에 부합되는 시장 기능이 가능하도록 할 것이다.

국가 정책 결정은 위에서 언급한 지속 가능한 개발의 세가지 측면 내의 또는 이들 상호간 이해관계 분석을 통해 결정된다. 이해관계는 실제의 자료에 근거하지만 각국의 특수한 사회·경제적 및 정치적 상황을 반영한다. 전체적인 에너지 상황, 환경에 대한 민감성, 역사적 및 문화적 배경, 정치적 접근 등이 각 국가마다 다르며 이러한 차이가 이해관계 및 의사결정에 영향을 준다.

## 제 1 장 서 론

본 보고서는 지속 가능한 개발에 관한 OECD의 3개년간의 프로젝트를 위해 OECD Nuclear Energy Agency(NEA)에서 작성한 것이다. 주요 목적으로는 첫째, 원자력 에너지가 어느 정도까지 지속 가능한 개발의 목적에 부합될 수 있으며 어떻게 그 목적에 최대한 기여할 수 있는가를 평가하는 것이며 둘째, 지속 가능한 개발에 보다 효율적으로 기여하기 위해 원자력 에너지가 극복해야 하는 분야나 수단 등을 규명하는 것이다. 본 보고서는 전반적인 정책 결정 과정에서 원자력 에너지와 관련된 쟁점들을 찾아내고 원자력 에너지와 지속 가능한 개발과의 연관 관계를 정립하는데 도움을 주고자 한다.

제1장에서는 세계의 전력 및 에너지의 공급 능력과 성장의 틀 속에서 현재 원자력 에너지의 위치를 설명하고 있다. 제2장에서는 OECD 분석 보고서에서 상세히 설명하고 있는 지속 가능한 개발의 주요 개념에 대해 간략히 설명한다. 제3장에서는 원자력 에너지의 특성과 이 특성이 경제적, 환경적, 사회적 측면에서 지속 가능한 개발 목표와 어떻게 연계되어 있는가를 설명하고 있다. 제4장에서는 주요 쟁점과 결과를 정리하였다.

### OECD 프로젝트

지속 가능한 개발에 관한 OECD의 3개년간의 프로젝트는 1998년 4월 OECD 각료들이 제안하여 시작되었으며, 그들은 ‘기후변화, 기술개발, 지속 가능성의 지표, 보조금의 환경적 영향 등의 분야’에 있어서 OECD의 전략을 정립할 것을 요청하였다. 그들은 또한 OECD가 ‘비회원국들과의 대화를 증진하고 그들을 더욱 적극적으로 참여시킬 것’을 요청하였다[1]. OECD 프로젝트는 산업체 및 비회원국들과의 상호교류를 포함하여 회원국 정부들이 관심을 갖고 있는 정치적 쟁점들을 다루는 종합적인 체제로 구성되어 있다. 이 프로젝트는 2001년에 OECD 각료회의를 위한 실질적인 결과의 산출을 목표로 하고 있다. 프로젝트의 결과물로는 각료들을 위한 정책보고서, 분석보고서, OECD 여러 부서 및 협력기관의 연구에 근거하여 작성된 일련의 지원보고서 등을 포함하고 있다.

OECD 프로젝트는 지속가능개발의 개념을 공공정책에도 적용하고, 회원국들이 지속 가능한 개발과 관련된 근본적인 쟁점들을 파악하는데 도움을 주는 것을 목표로 하고 있다[2]. OECD 프로젝트에서 언급되는 지속 가능한 개발 체제는 경제적,

사회적, 환경적 요인들을 결합시키는 것으로서 최소의 비용으로 사회적 관심을 해결하고 이들 분야간의 연관성 및 이해관계를 부각시킬 것이다. 이러한 체제는 세대간의 형평성뿐만 아니라 국내에서 혹은 국가간의 형평성에 대한 필요성을 반영하고 있다.

전통적으로 경제성장을 강조해왔던 과거의 견해는 사회적, 환경적 요인들에 대한 관심과의 균형을 고려해야 할 것이다. OECD 프로젝트는 산업부문과 학문분야의 범위를 초월하여 수평적으로 정책을 통합할 필요성을 강조하고 있다. 또한 사회적, 경제적 발전에 있어서 에너지부문의 주요 역할뿐만 아니라 지속 가능한 개발의 목표를 달성하는데 기여하는 에너지 공급전략에 있어서 국민보건과 환경적 관심 등을 조사할 것이다. 위에 언급한 것처럼 본 보고서는 이러한 노력에 대해 NEA가 도움을 주고자 발간한 것이다.

## 독자, 목적, 범위

본 보고서의 1차적인 독자층은 OECD 및 회원국 정부내의 정책 결정자들이다. 전세계적으로 시장경제에의 의존이 증대됨에 따라 정부부문의 역할이 감소하는 추세이기는 하지만 아직도 정부부문은 전반적인 정책을 수립하고 건강 및 환경관련 규제를 설정하며 현재의 결정과 조치에 대한 장기적인 결과를 전망하는 데에 있어서 중요한 역할을 하고 있다. 본 보고서는 관심이 있거나 직접적인 영향을 받는 광범위한 일반 대중뿐만 아니라 원자력, 에너지, 환경정책과 관련된 전문가들에게도 관심을 불러일으킬 것이다. 원자력 에너지분야에 비전문가나 지속 가능한 개발의 개념에 익숙하지 않은 사람들을 포함한 독자들에게 균형 있는 보고서를 제공하기 위하여 광범위한 정보수집이 이루어졌으며 정치적인 문제에 대해 강조하면서 기술적, 경제적 측면을 고려하는 방식을 적용하였다.

본 보고서는 지속 가능한 개발 목표의 관점에서 원자력 에너지를 검토하는 것을 목표로 하였다. 본 보고서는 미래의 에너지 공급원으로서 원자력 에너지를 고려하고 있는 국가에 가장 필요할 것이다. 그러나 원자력 문제가 국제간에 경계를 초월한 많은 시사점을 갖고 있기 때문에 다른 회원국들도 많은 관심이 있을 것이다.

본 보고서는 지속 가능한 기술은 지역적 특성을 포함하는 광범위한 요인들에 의해 결정되기 때문에 원자력 에너지가 특정 상황이나 국가에서 지속 가능한 기술로 고려될 수 있는지에 대한 판단을 목적으로 하지 않는다. 더욱이 본 보고서는 각 회

원국의 정책이 친원자력이라는 것을 전제로 하지 않았다.

본 보고서에서는 지속 가능한 개발의 관점에서 원자력 에너지의 주요 영향을 규명하고, 지속 가능한 개발 목표의 달성을 위한 원자력 에너지의 기여도를 평가하는데 있어서 고려되어야 할 요인들을 정리하였으며, 긍정적으로 기여하기 위해 극복해야 할 과제들을 지적하였다. 여러 가지 자료 및 분석들은 NEA 상설기술위원회 및 여러 전문가들의 협력 하에 NEA 사무국이 주관하여 작성되었다. 지속가능 개발 체제 내에서 원자력 에너지 특성 분석의 결과는 특정한 가치선호도나 환경의 변화에 의해 상당히 다르게 나타날 수 있다는 점을 미리 지적한다. 그러므로 본 보고서에 있는 일부 정보는 모든 회원국들에게 동일하게 적용되지 않을 수도 있다.

본 보고서에 기술되어 있는 지속 가능한 개발의 개념은 OECD에서의 접근방식을 반영하려고 하였다. 이 개념은 주로 OECD 발간물, 진행중인 작업, 보고서 초안들에 대한 토론과 수정과정을 거쳐 제공되었던 OECD 부서 및 산하기관들로부터의 협조 등을 바탕으로 하였다. 이 보고서를 완성하기 위해 다른 권위 있는 발간물 및 전문가의 검토를 거쳤다. 이러한 개념을 도입하는 것은 지속가능 개발 목표와 기준의 측면에서 경제적, 환경적, 사회적 요인들과 관련된 원자력 에너지의 주요 특성들을 평가하기 위한 초석이 될 수 있다.

원자력 에너지의 주요 특성 및 지속 가능한 개발과의 연계성 등도 간략히 검토되었다. 원자력 에너지에 대한 분석은 기본적으로 NEA에서 수행하는 연구를 참조하였지만 관련된 다른 정보들도 이용하였다. 본 보고서에 포함되어 있는 정보는 참고 문헌에 인용되어 있다. 본 보고서의 분석 결과는 직접적인 연구를 수행하여 도출된 것은 아니고, 이용 가능한 정보 및 회원국 전문가와 정책 결정자들의 자문을 통해 얻어진 것이다.

지속 가능한 개발 지표에 관한 작업이 진행 중에 있으며 최종적으로는 모든 활동과 산업부문에 적용할 수 있는 종합적인 지표를 산출할 수 있을 것이다. OECD를 포함한 몇 개의 기관은 균형 있는 지표의 개발과 다양한 부문에서 분석 및 평가를 위한 기초로 활용될 수 있는 체제를 구축하는 데에 적극적으로 참여하고 있다. 지속 가능한 개발의 관점에서, 원자력 에너지에 대한 평가는 궁극적으로 원자력부문에 적용할 수 있는 전체적으로 균형 있고 합의된 일련의 지표들을 통해 이루어져야 할 것이다. 본 보고서에서는 지속 가능한 개발에 대한 동향을 파악하기 위해 원자력

부문에서 적용 가능한 일부 지표를 예로 들었다.

지속 가능한 개발의 관점에서 여러 가지 선택 가능한 에너지 대안들이 비교·평가되어야 하지만, 광범위한 에너지 기술 및 정책에 있어서 NEA의 한정된 전문 지식의 제약으로 인해 비교·평가를 수행하지 않았다. 만약 OECD와 IEA가 이러한 비용편익, 위험, 영향 분석 등을 수행한다면 NEA는 원자력과 관련된 쟁점들에 대해 기여할 수 있으며 본 보고서는 이에 대한 예비적인 결과물이 될 수 있다.

## 지속 가능한 개발과 에너지

에너지는 지속 가능한 개발의 세 가지 측면인 경제적, 환경적, 사회적 측면에서 서로 연계되어 있다. 에너지 서비스는 경제 및 사회발전에 있어서 필수적이다. 에너지 사용은 지속적으로 증가할 것이기 때문에, 지속 가능한 개발의 목표에 부합되도록 하기 위해서는 이들이 보건 및 환경에 미치는 영향을 통제, 완화, 감소시켜야 한다. 에너지부문에 있어서 지속 가능한 개발과 관련하여 극복해야 할 주요 과제는 필수적인 인간 생활 체계 및 환경을 악화시키지 않으면서 전세계 및 미래 세대에 대한 에너지 서비스의 편익을 확대시키는 것이다. 이러한 관점에서 원자력 에너지 같은 에너지 공급기술은 지속 가능한 개발에 기여할 수 있는 역할을 가지고 있다.

에너지는 현대생활에 있어서 추진력이며 생명력이다. 에너지 서비스는 인류 복지를 위해 필수적인 것이며 향상된 생활수준을 통해 사회적 안정을 증진시키는데 기여하고 있다. 에너지는 경제발전과 번영의 핵심적인 요소이다. 비록 현대 경제에 있어서 에너지 밀도가 점차 감소하고는 있지만 개발도상국의 생활수준을 향상시키는데 있어서는 대규모의 에너지를 필요로 할 것이다. 에너지부문은 그 자체로도 직업, 소득, 무역의 관점에서 세계 경제의 중요 부분을 차지하고 있다.

OECD 회원국의 1차 에너지 소비량은 세계 전체소비량의 절반 이상을 차지하고 있으며 전력에너지의 경우는 전체의 60% 이상을 소비하고 있다. 반면에, 비회원국의 20여억명은 전기를 사용하지 못하고 있으며 또 다른 20여억명은 냉온수 등의 편리함을 향유하고 있지 못하고 있다[4, 5].

그림 1.1에 나타난 바와 같이 전세계 1차 에너지 소비에 있어서 원자력이 전체의 약 7%를 차지하는 반면 화석연료는 전체의 약 80%를 차지하고 있다. 전세계적으로 매년 1인당 1.3 TOE의 화석연료를 소비하고 있으며 전체적으로는 76억 TOE에

달하고 있다. OECD 회원국에 있어서 화석연료와 원자력의 비율은 각각 83%와 11%로 나타나고 있다. 1차 에너지 공급에 있어서 화석연료 비중은 현재의 경제성장 시나리오 하에서는 향후 몇십년 동안 크게 증가할 것으로 예상되고 있다[6].

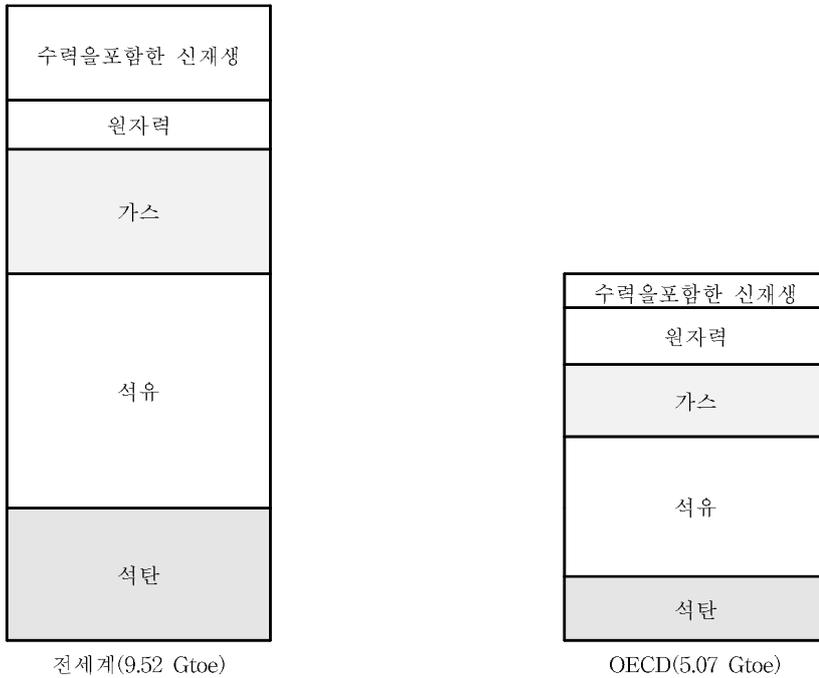


그림 1.1 원별 1차 에너지 소비 (1997)

자료원 : OECD/NEA Energy Balances of non-OECD countries - 1999년 인쇄본[7]

전세계적으로 전력생산에 1차 에너지의 약 37%를 사용하고 있으며, 이를 OECD 회원국에 한정하면 그 비율이 39%에 이르고 있다. OECD 회원국에서의 평균 에너지소비는 1인당 7,500 kWh이며 전세계로 볼 때는 단지 2,200 kWh에 그치고 있고, 비회원국의 경우는 1,200 kWh 이하에 머물고 있다. 그림 1.2에 나타난 바처럼 전세계적으로 화석연료를 통해 전력의 약 63%(석탄 38%, 가스 16%, 석유 9%)가 공급되고 있으며 원자력이 17%, 수력과 기타 재생에너지가 약 18%를 차지하고 있다. OECD 회원국에 있어서는 원자력의 기여도가 높고 화석연료가 점유율이 약간 더 낮게 나타나고 있지만 위의 점유율 수치와 크게 다르지는 않다.

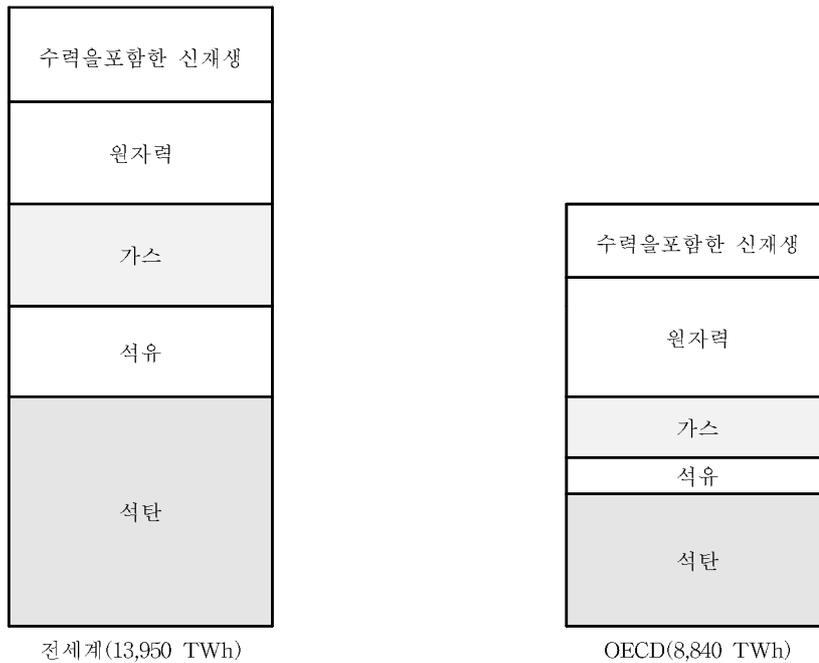


그림 1.2 전세계의 전력생산량 (1997)

자료원 : OECD/NEA Energy Balances of non-OECD countries - 1999년 인쇄본[7]

전세계적으로는 1999년을 기준으로 할 때 430기의 원자로가 운영 중에 있고 350 GWe의 설비용량에서 2,400 TWh의 전력을 생산했다(표 1.1 참조). OECD 회원국에서는 16개국이 원자력발전소를 운영하고 있으며 총 전력생산량 중 원자력의 비중은 4%에서 75%에 이르기까지 다양하고 평균적으로 약 1/4에 이르고 있다. 전세계적으로 볼 때, 핵연료소비량은 OECD 회원국에서 연간 약 5만톤을 그리고 비회원국에서 약 1만톤의 우라늄을 소비하고 있다.

OECD 회원국에서는 인구의 정체성, 효율성 향상, 에너지 집약도가 낮은 경제로의 전환 등을 통해 에너지 수요의 증가를 제한할 수 있을 것이다. 향후 50년 내에, 대부분의 에너지 수요 증가는 비회원국에서 발생할 것으로 예상된다. 즉, 현재는 에너지 수요가 낮은 상태에 있지만 인구증가 및 경제성장으로 인해 촉발되어지는 에너지 수요는 비회원국에서 급속히 증가할 것이며 이로 인해 전세계 1차 에너지 소비량을 지속적으로 증가시킬 것이다[10].

표 1.1 원자력에너지(1999)

	전세계	OECD
원자력발전 국가의 수	31	16
운전중인 원자로의 수	434	348
원자력 시설용량(GWe)	349	296
원자력발전량(TWh)	2,401	2,075
발전량중 원자력의 점유율(%)	17	24
우라늄 소요량(톤)	60,000	50,000
사용후핵연료 발생량(톤)	9,600	8,260
이산화탄소 발생량 감소분(CO2 백만톤) * (1990년도에 발생한 총량중에서의 비율)	1,920 9%	1,660 16%

\* 화석연료발전에서 800g CO<sub>2</sub>/kWh의 수치를 가정하여 추정된 것임.  
 자료원 : NEA, Nuclear Energy Data 2000[8] & IAEA, PRIS 2000[9]

전력사용의 효율성 증가에도 불구하고 현재의 경제상황이 지속된다는 가정 하에서는 향후 20년에 걸쳐 전력수요는 전세계적으로 연간 3%, 개발도상국에서는 5%이상의 높은 증가율을 나타낼 것이다[6]. 이런 상황하에서는 2020년까지 3,000 GWe의 현재 시설용량이 두배 정도로 증가되어야 하는데, 이것은 이 기간동안 폐지되는 600 GWe의 용량이 정상적으로 대체된다는 것을 이미 가정하고 있다. 대부분의 증가는 개발도상국에서 발생할 것이다. 현재의 경제상황 시나리오 하에서 1차 에너지, 전력소비, 에너지소비 등에서 차지하는 OECD 회원국의 점유율은 2020년에 각각 42%, 47%, 72%로 감소할 것이다.

에너지생산과 사용은 보건과 환경에 심각한 영향을 주게 된다. 에너지의 생산은 대량의 물질이동과 연료자원의 채광, 처리, 저장, 수송 및 사용을 위한 대규모의 기반시설 등을 필요로 한다. 전세계적으로 큰 강의 상당수는 댐을 설치하거나 수력발전을 위한 용도로 전환되었다. 상업적인 에너지자원이외에도 나무와 기타의 바이오매스가 에너지공급을 위해 다량으로 연소되어지고 있는데, 이는 특히 비회원국의 경우에 더욱 심하다. 화석연료로부터 발생하는 산성가스와 분진 등은 지역적인 대기환경을 악화시킨다. 어떤 방사성물질들은 천연 혹은 인공 유해물질과 같이 반감기가 매우 길다. 지구 전체적으로 볼 때, 화석연료의 연소로 인해 이산화탄소와 같은 온실가스 배출이 야기하는 심각한 기후변화의 가능성은 지속 가능한 개발의 목표와

인류의 미래를 위해 극복해야 할 과제이다.

에너지 공급 방식은 해당 부분에 대한 보건 및 환경영향을 결정하는데 중요한 작용을 한다. 에너지 형태의 효율성과 품질 또한 그 에너지의 수요증가를 결정하는 중요한 요인이 될 것이다. 점증하는 전세계의 1차 에너지 소비 중에서 전력 생산 부문이 차지하는 비율은 증가할 것으로 예상된다. 전력은 정보화 경제에서의 역할이 외에도 편리성과 다양성 및 깨끗함으로 인해 미래에도 수요가 증가할 것으로 전망된다. 다양한 에너지로부터 생산될 수 있다는 특성은 지속 가능한 개발을 위해 서로 다른 특징을 가진 일련의 에너지 공급기술의 사용을 가능케 하고 있다. 예를 들어, 이산화탄소 배출을 줄이는 데에 있어서 원자력 에너지의 역할은 표 1.1에 분명하게 나타나 있다.

전세계 인류가 기본적인 생활수준을 영위할 수 있기 위해서는 상당한 전력수요의 증가를 필요로 할 것이다. 이러한 증가의 대부분은 OECD 비회원국에서 발생할 것이다. 향후 20년에 걸쳐 예상되는 급속한 수요 증가에 따라 OECD 비회원국에서 건설될 에너지 기반시설은 그 이후의 에너지 공급과 사용에 대한 지구차원의 지속가능성을 결정할 것이다. 많은 기술과 자본을 보유하고 있는 OECD 회원국들은 이러한 점에 있어서 중요한 역할을 할 것이다. 회원국과 비회원국들은 지속 가능한 개발에 관한 한 정책, 규제, 경제적 수단의 사용 등과 같은 제도적인 분야에서 협력을 통해 상호 혜택을 얻을 수 있다.

## 제 2 장 지속 가능한 개발의 개념

Brundtland 보고서에서는 지속 가능한 개발을 ‘다음 세대들이 그들 자신의 필요를 충족시키기 위한 능력을 저해시키지 않으면서 현재의 필요를 충족시키는 개발’이라고 정의하고 있다[11]. 본 보고서는 지속 가능한 개발의 정의가 다음의 두 가지 주요 개념에 의존하고 있다고 지적하였다. 첫 번째는 욕구로서, 특히 최우선적으로 해결해야 될 세계적인 빈곤층의 욕구를 들고 있다. 두 번째는 현재와 미래의 욕구를 충족시키는 환경능력에 대하여 현재의 기술수준과 사회조직에 의해 발생하는 한계이다.

욕구의 정의는 동태적인 개념이다. 욕구는 시기, 집단, 문화 등과 같은 다양한 요인들에 의해 그 정의를 달리하게 된다. 확실히 우리의 선조들은 소득을 증가시키는 개발로 현재의 욕구를 어느 정도 충족시키는 놀랄만한 성과를 이루었지만 또 한편으로는 기본적인 욕구를 충족시키지 못하여 실망감을 주기도 하였다. 하지만 현재 세대는 미래 세대의 욕구 특히 기본적인 욕구를 충족시키는데 도움을 주기 위해 일정 범위의 선택권을 그들에게 남겨 주어야 할 의무가 있다.

지속 가능한 개발은 여행의 목적지라기보다는 여행을 위한 방향이라고 할 수 있다. 지속 가능한 개발의 당면한 목표는 이용 가능한 선택들의 범위를 제한하기보다는 확장시키는 올바른 방향으로 나아가는 것이다. 또한 올바른 길을 따라가며 계속적인 선택 및 이해 관계의 조정이 요구되는 것이다.

### 자본적 자산

지속 가능한 개발 개념의 중요한 정립은 개인의 복지는 감소하지 않는다는 것이다. 인간은 인공, 자연, 인간 및 사회와 같은 자본적 자산을 미래세대가 이용할 수 있도록 물려주는 것을 생각할 수 있다. 인공자산에는 건물, 기계류, 도로, 항만, 공항, 물 공급, 수송관, 전력네트워크와 같은 기반시설이 있다. 천연자원에는 재생가능 자원과 비재생가능 자원이 있다. 인간 및 사회자산에는 교육, 보건, 과학에 대한 지식 및 이해, 기술, 문화, 인간행동, 창조와 혁신 능력, 지식 저장과 전달능력, 제도 및 사회적 조직 등이 포함된다.

인간은 자산을 한가지 형태로 소모할 수도 있지만 그 자산이 전적으로 지속 가능 하다면 여러 가지 형태로 물려줄 수도 있다. 자산간의 대체와 교환을 허용하는

이 개념은 ‘약한 지속 가능성(weak sustainability)’으로 알려져 있다. 이 개념에서는, 적절한 부와 그것을 다루기 위한 능력을 물려줌으로써 이와 같은 부정적인 효과가 보상된다면 자산은 이용되고 얼마간의 환경부담을 후손들에게 물려주게 된다. 역사적으로 인간은 숲이나 초목지를 농경지로 또는 광물과 에너지를 인공자산으로 만든 것처럼 많은 천연자원을 이용하거나 변형시켜 왔다. 그렇게 함으로써 인간은 지식을 쌓아나갔고, 과학과 기술은 물론 예술과 시민생활의 진보를 이루게 되었는데 이는 백년 전에는 전혀 상상치 못할 만족을 얻게 하였다. 대체로 OECD 회원국들에서는 복지는 물론 개인과 사회에서 이용 가능한 선택들의 범위에 있어서 괄목할만한 성장을 이루었다. 대부분의 비회원국들 또한 최근 수십년간 상당한 복지증진을 이루었으며, 많은 국가들은 전례 없는 성장과 사회적 변화를 겪었다. 하지만 여러 가지 문제에 직면하게 되었으며 현재에도 마찬가지다.

인구증가와 경제성장은 지속될 수 있을까? 환경자산의 손실이 자산을 감소시키는데 한계가 있을까? 깨끗한 물과 공기가 세계 도처에서 공급부족 상태에 있다. 대기 중의 지구 온실가스 농도가 증가하였기 때문에 기후변화를 필연적으로 초래하게 된다. 생물다양성과 여러 가지 생물의 서식지가 위협받고 있다. ‘강한 지속 가능성(strong sustainability)’으로 알려진 개념은 어느 정도의 환경의 쾌적함은 필수적이며 대체할 수 없다고 인식하는 것이다. 왜냐하면 환경의 쾌적함이 상실되는 것은 영원할 수 있기 때문에 이를 보상하거나 대체하는 것은 불가능하다고 인식하기 때문이다. 이 개념은 기본적인 생활 지원체제를 약화시키는 것을 피하기 위해 환경자원을 이용하거나 손상시키는데 대한 한계를 설정하는 개념이다. 또한 이 개념은 인간생활에 필수적이며 대체될 수 없는 대기, 물, 기타 환경재 등을 주요하게 여기고 생태계를 보존하는 것을 필요로 한다.

## 위험과 불확실성

지속 가능한 개발은 광범위한 인간의 활동과 관련된 의사결정과 조치들을 수반하게 되는데 이들은 미래와 관련된 것이기 때문에 본질적으로 위험성과 불확실성을 내포하고 있다. 위험도를 평가하고 관리하는 방법은 부정적인 효과를 줄여주거나 완화시켜주고, 재앙을 피하게 하기도 하며, 생활지원 체제의 연속성을 유지시켜주는 물론, 모든 자원을 유지 또는 증가시키는 것을 목적으로 하는 정책 결정자에게 기본적인 수단이 될 것이다.

연구개발 투자는 자연체제 및 인공체제의 개선과 이해를 용이하게 해 불확실

성을 줄여준다. 에너지부문과 그 밖의 부문에 있어서 다양한 대안을 유지하는 것은 하나의 대안이 한계에 직면함으로써 야기되는 위험을 피할 수 있게 해준다. 제품과 공정에 있어서의 혁신들은 지속 가능한 개발을 추진하는 과정에서 나타나는 단계로 표현할 수 있다. 현재까지 혁신은 일반적으로 인류에 공헌하여 왔지만 몇몇 경우에 있어서는 너무 광범위하여 혁신에 의한 전반적인 미래의 혜택을 평가하기가 어렵다. 또한 어떤 혁신의 경우는 결과를 알 수 없는 실험이 될 수도 있다. 그렇기 때문에 중요하고도 돌이킬 수 없는 결과를 초래할 수 있으며 불이익을 가져다 줄 수도 있는 개발을 수행할 경우에는 어느 정도 예방적인 조치를 취하는 것이 현명해 보인다. 이것이 예방의 원칙의 기본원리인데, 이는 중대 위험이 가능할 경우, 아무런 예방 또는 완화 조치 없이 과학적으로 안전하다는 것이 확실히 입증될 때까지 기다려서는 안된다는 원칙이다.

## 형평성과 참여

형평성은 지속 가능한 개발의 주요 목적이다. 지속 가능한 개발의 원리를 존중하는 사회에서는 현재의 일반적인 수준의 형평성보다도 더 공평한 것을 요구한다 [12]. 세계적으로 사람들은 최소한의 기본적인 욕구를 충족시킬 수 있는 생활수준을 갈망한다. 인간다운 생활을 할 수 있도록 미래세대와 환경을 배려하기 위해서는 현재 살아가고 있는 사람들이 그만큼의 기여를 해야한다는 것을 의미한다.

지속 가능한 개발을 위해서는 OECD 회원국 내에서뿐만 아니라 회원국과 비회원국간에 형평성도 필수적이다. 약 10억의 인구가 있는 OECD 회원국은 세계인구의 20% 미만을 차지하지만 부의 80%를 차지하고 있다. 앞으로 수십년에 걸쳐서 대부분의 인구증가와 높은 경제성장은 비회원국에서 이루어질 전망이다, 이는 지속 가능한 개발과 관련하여 지구에 영향을 미칠 것이다. 아직까지도 OECD 회원국들은 이런 성장의 열쇠가 되는 자금, 과학, 기술, 지식, 기능, 제도 등과 같은 주요 자원을 대부분 보유하고 있다. 그러므로 OECD 회원국들은 자신들의 관심과 지구차원의 책임의 관점에서, 비회원국들이 취할 의사결정에 대해 보다 많은 관심을 갖게 될 것이다 [13]. 하지만 이를 위해서는 OECD 회원국과 비회원국 사이의 긴밀한 협조, 형평성의 제고를 이루기 위한 중요한 자원 이전, 보건 및 환경 목표를 충족시키기 위한 협력사업 등을 필요로 한다. 효과적인 규제와 같은 제도적인 전문지식의 이전도 중요한 요소가 될 것이다.

지속 가능한 개발의 개념은 다양한 의견을 가진 사람들에게 공통의 비전을

갖게 하기 때문에 심오한 반응을 일으키게 한다. 지속 가능한 개발은 질적이고 양적인 성장을 동등하게 강조하기 때문에 경제개발, 사회복지, 환경보호 모두를 만족시킬 수 있는 개념으로 인식되고 있다. 지속 가능한 개발에 대한 이들 세 가지를 연계시키면 시너지효과를 얻을 수 있고 win-win 수단을 강구할 수 있다. 그러나 동시에 지속 가능한 개발의 모든 목표를 충족시키기는 어렵다. 현재 세대, 환경, 미래 세대를 고려하려면 이해관계의 조정이 필요하기 때문이다.

사회적 측면에서 지속 가능한 개발은 지역적이고 지구적인 사회적 유대관계는 물론 모든 사회조직에서의 협력활동이 요구된다. 정치적으로 이러한 상황은 쉽지가 않다. 일부 주도자들은 모든 참여자들에게서 이익을 얻을 수 있지만 그 밖의 사람들은 다른 사람을 위해 어느 정도의 희생을 필요로 한다. 또한 지속 가능한 개발 문제는 본질적으로 지구차원에서 해결해야 하며 장기적인 문제이기 때문에 단기적이고 지역적인 활동에 대해서는 강한 동기를 유발시키지 않는다. 대부분의 사람들은 그들 자신의 복지가 당장 위협받기 전까지는, 여러 가지 자원들의 이전이 공평하였는가, 이러한 이전이 전체 목적에 실제로 기여했는가, 또한 자기 국가에는 어느 정도의 혜택을 주었는가 등과 같은 원론적인 문제를 재확인하고 싶어한다. 어렵지만 꼭 해야 하는 선택이기 때문에, 개인과 단체들은 스스로의 의사결정이 지속 가능한 개발의 장기 목표와 지역사회와 단기 변화에 미치는 영향을 잘 이해하는 것이 필요하다. 그러므로 교육과 참여는 지속 가능한 개발 정책의 성공여부에 대한 핵심이다.

## 천연자원

천연자원은 지속 가능한 개발을 위해 필요한 필수적인 자산이다. 이것들은 깨끗한 공기와 물, 광물과 에너지, 농경지와 토양, 다양한 조경과 황무지 등과 같이 매우 여러 가지 형태로 존재한다. 자연세계는 사용하지 않는 상태에서 그 자체로도 가치가 있을지 모르지만, 일반적으로 해당자원을 이용하고자 하는 수요가 발생하는 경우에 의해서만 광의의 경제적 자원이 된다. 또한 천연자원의 이용은 기술과 기호에 달려있다. 세계의 해변과 강, 눈 덮인 산의 경사면 등은 비행기, 기차, 자동차 등과 같은 교통시설을 갖추어 놓고 사람들이 그곳에서 휴일을 보내기를 원하기 전까지는 그렇게 가치를 갖지는 않는다. 우라늄은 1939년에 핵분열을 발견한 후에야 에너지자원이 되었다. 재사용 될 수 있는 폐기물도 이제는 자원으로 인식되고 있다. 그러므로 자원은 항상 동적이며, 변화가능성이 있는 것으로 생각해야 한다.

## 비재생자원

비신재생자원은 한정적이기는 하지만 선형주기인 제품의 제조 과정에서 이를 이용하는 데는 문제가 없어 보인다. 많은 비재생자원의 확인된 경제적 매장량은 현재의 소비율로는 수십년 밖에 사용할 수 없는데 이것은 현재의 탐사를 통해 발견된 자원을 기준으로 한 것이다. 수십년간 개발될 필요가 없는 자원을 탐사하기 위해 많은 돈을 소비하는 것은 비경제적이다. 그래서 단기적인 관점에서의 매장량 수치는 그렇게 놀랄 일이 아니다. 자원이 더 많이 필요할수록 더 많은 탐사와 개발을 위한 비용이 소요될 것이며, 확인 매장량은 증가하게 될 것이다. 저품위 자원과 심층광물을 개발하거나 발견할 뿐만 아니라 좀더 효과적으로 자원을 이용하기 위해 계속해서 기술이 개발되고 있다. 자원 부족현상이 절박하지 않은 상황에서, 석유와 같은 몇몇 자원들의 가격과 이용가능성이 지정학적 분포와 정치에 의해 영향을 받고 있음에도 불구하고, 이들의 가격은 거의 최저점에 있다고 볼 수 있다. 단기 및 중기 관점에서 비재생자원이 갖고 있는 문제점은 자원의 후행주기에 해당하는 폐기물을 수용하는 환경용량에 관계된 것이다.

자원의 비용과 이용가능성은 현재에는 문제가 아닐 수 있지만, 한정된 세계에서 소비가 증가하게 되면 이에 따른 대가를 지불해야 한다. 심층지역에서 저품위 자원을 추출하는 것은 에너지비용을 증가시키고 더 많은 폐기물을 발생시키지만 개발의 현대화에 박차를 가하게 하기도 한다. 1차 연료자원을 최종사용자가 고품질의 제품으로 사용하도록 하기 위한 에너지 변환이 많아질 수록 수송 과정이 증가하여 전체 연료주기 측면에서의 효율을 떨어뜨릴 수 있다. 소비를 줄이거나 효율을 증가시킴으로써 에너지와 자원의 사용량을 줄이는 것이 환경에 기여하는 방법이다. 그러므로 자원의 효율과 생산성은 지속 가능성의 중요한 요소이다.

## 재생자원

재생자원의 지속 가능성은 여러 방법으로 정의될 수 있다. 상업적으로 활용 가능한 산림과 같이 생태계의 경제적 생산을 지속적으로 유지하는 것으로 정의할 수도 있고, 고목들과 같이 전체 생태계를 본래의 모습으로 유지하는 것으로 정의할 수도 있다. 생태계는 경제적 생산과 관련된 단기적인 가치를 가질 수 있다. 또한 자원의 흐름을 유지시켜 주는 생태계는 미래의 이용 가능성에 대한 선택가치를 갖으며, 인류가 생태계의 지속적 존재 자체에 의미를 둔다면 존재가치를 갖기도 한다. 또한 생태계는 아직도 모두 알려지지 않은 복잡한 생존 체제의 상호작용을 밝혀줄 연구현장으로서의 정보가치도 가진다. 선택가치와 존재가치는 덜 가시적이며, 단기의 경

제적 생산보다 측정하기가 어렵지만 특히 장기적인 측면에서는 중요할 수 있다.

재생자원은 비재생자원보다 더 강력하고 다양한 어려움에 처하게 된다. 재생자원은 지속적으로 재생될 수 있다는 의미에서 소진되지 않지만, 자원량이 무한하다 것을 뜻하지도 않으며, 손상되지 않는다는 의미도 아니다. 공기, 물, 토지를 포함하는 재생자원은 동시에 사용이 불가능한 여러 가지 용도로의 사용압력을 받기 쉽다. 특히 공기와 물은 폐기물을 수용하고 확산시키기 쉬운 자원이기 때문에 오염원 등에 쉽게 노출된다. 식물과 동물의 종에 대한 서식지는 환경영향에 매우 민감할 수 있으며 쉽게 파괴될 수 있다. 그러므로 재생자원은 한정적이며 어려움에 쉽게 노출되는 자원으로 인식해야 한다.

예를 들어 강과 같은 수자원은 다양한 목적으로 이용될 수 있다. 이들 목적에는 발전, 음료수, 관개, 산업적 이용, 스포츠와 상업용 낚시, 호수와 저수지에서의 래프팅, 카누, 수영, 항해, 모터보트 등과 같은 여러 형태의 레크리에이션, 도보여행자와 캠프여행자를 위한 경관, 휴양지와 별장 부지, 순수한 황무지 등이 있다. 일단 수자원이 하나의 목적으로 이용되면, 이를 이용하는 이용객들에게 피해를 주지 않고는 다른 용도로 이용할 수 없으며 수자원의 재산 가치는 바로 이용객들에 의해서 결정된다. 이러한 수자원의 이용은 수질을 악화시킬 수 있으며, 때로는 다른 용도로의 이용을 위해 수자원을 손상시킬 수도 있다. 어떤 경우에는 바다나 대양에 미치기도 훨씬 전에 이미 많은 강물이 다양한 용도로 사용되어 없어지는데, 이와 같은 상황은 나일강과 콜로라도 강에서 볼 수 있다. 결국 이것은 해류, 수질, 삼각주에 있는 물의 염도 등에 영향을 끼칠 수 있다. 가격정책을 포함한 재생자원의 정책은 희소성의 가치, 다양한 용도, 수질 악화, 회생 불가능한 손실 가능성 등을 반영해야 한다.

## 연구, 개발, 기술혁신

지난 수세기에 걸쳐 인간이 개발해온 인적 자본과 사회적 자본의 가장 활동적인 부분은 과학과 기술이다. 혁신은 지속 가능한 개발을 가능하게 하는 원동력이 될 것이다. 연구개발은 지속 가능한 개발의 목표를 충족시키기 위해 필수적인 과학적인 이해와 기술혁신에 기여할 것이다. 또한 이것은 기존 자원을 확대시키고 원료를 이용하는 보다 효율적인 방법과 새로운 방법의 발견을 가능하게 함으로써 새로운 범주의 자원을 창출할 수 있게 해준다. 그리고 연구개발은 기술 및 기술이 끼치는 영향에 대한 과학적인 이해를 증진시켜주기 때문에 불확실성을 감소시키는 역할을 한다. 지속 가능한 개발에 포함된 문제들은 본질적으로 복잡하고 포괄적이기 때문에

수행해야 할 대부분의 연구개발은 종합적이며 전세계를 그 대상으로 한다.

정부는 산업에의 응용과 상업목적의 연구개발이 아닌 공공재로서의 연구개발을 수행하거나 지원해야 한다는 논리에는 전통적으로 동감을 해오고 있다. 그러나 재정 압박에 의해 정부는 장기 연구에 대한 지원을 줄이고 있는데, 이는 장기 연구는 즉각적인 효과를 얻을 수 없고 다른 나라에 비밀이 누설될 수 있기 때문이다. 그리하여 정부는 단기적으로 국가 정책 목표에 직접적으로 기여할 수 있는 단기의 연구개발에 투자하게 되며, 산업체와의 제휴도 하게 된다. 지속 가능한 개발은 현재 추진되는 정책의 변화를 가져오게 할 수 있는 장기 목표에 대한 지속적인 연구개발의 지원을 필요로 한다.

연구개발 이외에 정부는 성공적인 혁신을 위한 체제와 하부구조를 조성하는데 훨씬 많은 노력을 기울일 수 있다. 예를 들어 정부는 환경보호를 위한 기술혁신 유인책을 쓸 수 있다. 정부가 안전성, 보건, 환경 보호에 대한 높은 기준치를 설정하여 처음부터 제품, 공정, 운영 체제 등 전과정을 새롭게 설계하도록 하는 것이 지속 가능한 개발의 목표를 달성할 수 있는 최상의 방법 중의 하나이다. 이것은 특히 대규모의 잠재적 영향력을 가지고 있고 초장수명주기를 가진 에너지 시스템의 경우에 해당된다.

지속 가능한 개발을 위해서는 에너지가 중요한 역할을 하기 때문에 에너지 서비스 수요는 증가하게 되는데 반해 전체 환경영향은 줄여야 하는 문제가 있다. 이 때문에 연구개발은 에너지 분야에서 필수적이다. 앞으로 수십년 아니 그 이상의 기간에 걸쳐 경제적, 환경적, 사회적 목표에 대한 에너지의 영향은 전적으로 혁신적인 개발이 결정하게 될 것이다. 최근의 보고서인 “기후변화와 원자력 에너지”에서 왕립 협회(the Royal Society)는 기후변화의 영향을 줄이며 에너지 수요를 충족시킬 수 있는 원자력 에너지를 포함한 모든 대안들을 개발하기 위해 연간 250억 달러에 해당하는 국제 공동연구가 필요하다고 지적하였다[14].

## 가치 판단과 비교 - 지표의 조사

인간활동의 다양한 영향을 비교하기 위해서는, 시장에서 거래되는 재화에 화폐적 가치를 부여하는 것과 마찬가지로 각각의 영향들에 가치를 매기는 것이 유용한 방법이다. 동일한 측정기준이나 지표를 사용하는 것이 영향 비교를 위해서는 바람직하지만 시장이 형성되지 않은 것에 대해 가치를 부여하는 것은 어려운 일이다. 여기

에는 맑은 공기나 물 또는 습지, 해변, 열대 우림, 산, 사막 등의 생태계와 같은 자연 자산이나, 제도나 민주적 토론에의 참여, 정보의 접근성 등과 같은 사회적 자산 등이 포함된다. 이들에게 가치를 부여하기 위한 공통의 지표를 찾아내는 일은 쉽지 않으며, 경제학적인 방법은 현재 시장이 형성되어 있지 않은 이러한 재화들이 지속 가능한 개발이라는 측면에서 사회에 얼마나 중요한가를 알아내지 못할 수도 있다.

공통 지표를 찾아내는 것은 다양한 경제적, 사회적, 환경적 측면에서의 영향을 고려하여야 하기 때문에 매우 복잡한 일이다. 또한 이러한 영향들은 국지적, 지역적, 전지구적일 수 있으며 또한 인구, 생태계, 거시경제 제도에 영향을 미칠 수도 있을 뿐만 아니라 장·단기적인 결과를 가져올 수 있다. 또한 영향을 받는 대상이 작업종사자이거나 일반 대중일 수도 있으며 일상적인 상황에서 일어나는 경우도 있고 사고시 발생하는 경우도 있다. 원자력발전소의 중대사고와 같이 발생확률은 작지만 발생 시 미치는 결과가 큰 경우는, 비록 사망률과 질병 발생률을 증가시킨다는 측면에서는 같지만, 공해물질의 일상적인 방출과 같이 발생확률은 높은 반면 결과가 작은 경우와 다르게 취급되어야 할 수도 있다. 각각의 사회계층들은 그들의 사회적, 문화적 배경이나 감수성에 따라 이러한 영향들에 다른 가치를 부여할 수 있다.

발전의 경우를 살펴보면, 각각의 에너지원들은 동일한 기준으로 비교하기 어려운 서로 다른 보건영향 및 환경영향을 유발한다. 화석연료는 지구 온실효과나 산성비를 유발하는 가스, 분진들을 대기에 배출한다. 원자력은 방사선과 방사성폐기물을 발생한다. 댐을 이용하는 수력은 물의 흐름을 변화시키며 많은 경우 저수지로 사용되는 넓은 면적이 물에 잠기게 된다. 다른 재생 에너지의 경우 에너지를 모으기 위해 사용되는 넓은 면적이 문제가 될 수 있다. 이러한 광범위한 영향을 계측하기 위한 단위들은 매우 다양하다.

비록 이러한 다양한 영향들을 하나의 단위로 환산하거나 그것들의 가치를 단일 지표로 표현하는 것이 어렵다 하더라도, 이미 개인이나 기업, 정부에서는 어떠한 방식이든 간에 내재적인 가치판단을 통해 의사결정을 내리고 있다. 비록 이러한 가치판단이 단순화되었든 직관적이든 간에 명시적인 가치판단의 목적은 의사결정에 요구되는 요인들을 보다 투명하게 하자는 것이다. 공통의 단위나 지표를 사용하는 것은 서로 다른 영향들을 공통의 틀 안에서 검토하게 하며, 이에 따라 보다 나은 결과에 도달할 수 있을 것으로 기대되는 논리적이며 체계적인 의사결정이 이루어질 수 있기 때문이다.

화폐적 단위는 잘 알려져 있으며 이미 시장이 존재하는 재화에 대해 사용되고 있다. 이것에는 실제 선호도를 반영하는 장점이 있는데 이러한 장점은 화폐적 단위를 비시장적 재화에도 확대할 수 있는 유용한 기초가 된다. 화폐적 단위는 시간적 선호도, 위험, 불확실성을 고려할 수 있다. 영향을 평가하는 것은 궁극적으로 그 비용을 내부화하여 지속 가능한 개발을 도와주는 시장기능의 효율을 개선하는 수단이라 할 수 있다.

여러 가지 지표를 사용하는 데에도 장점은 있다. 그것들은 영향의 특성이나 영향을 받는 대상에 보다 정확하게 부합된다. 최근 IEA의 연구는 에너지 사슬에 따라 나누어진 지표들을 살펴보는 것이 탄소 배출에 관한 정책에 어떻게 정보를 제공하는가를 잘 보여주고 있다[15]. 예를 들어 각각의 활동분야에 적용되는 지표들은 지속 가능한 개발의 진전이나 특정 산업분야의 동향을 파악할 수 있도록 변형될 수 있다.

OECD와 다른 국제기구들은 지표들의 피라미드를 구축하는 접근법을 연구하고 있다[2. 제6장]. 피라미드의 가장 아래에는 예를 들어, 에너지, 농업, 수송 등의 분야별 정책이나 개발의 영향을 기술하는 지표들이 있다. 이러한 지표들은 물리적 혹은 화폐적인 단위로 표현되어진다. 그 위에는 다양한 형태의 자본 축적이나 감소를 설명하는 자원에 관한 지표들이 있다. 이들은 녹색 국민계정을 개발하는데 사용될 수 있는데 녹색 국민계정이란 순수 저축에 대해 보다 광범위하게 살펴보기 위해 기존의 전통적인 경제 지표 외에 환경, 그리고 가능하다면 인적 지표, 사회적 지표를 포함시킨 것이다. 이것은 전체 자본의 변화를 측정하는 한 방법이며 결국 지속 가능한 개발을 향해 진일보한 개념이라 할 수 있다. 비록 인적 인자 및 사회적 인자들을 정확하게 측정하기는 힘들지만 현재까지의 연구를 살펴보면, 이러한 인자들이 대다수의 국가에서 국부의 가장 큰 부분을 차지하고 있으며 투자효과가 가장 큰 분야라는 것을 알 수 있다[16]. 그 위에는 경제적, 사회적, 환경적 측면에서의 생산 지표들이 있다. 피라미드의 최상부에는 지속 가능한 개발을 향한 현재의 경로에 대한 개괄적인 그림을 보여주는 요약 지표들이 있다.

NEA 또는 보다 일반적으로 원자력계에서 사용하는 지표들은 주로 에너지, 전력, 원자력발전과 관련되어 있다. 이들 지표중 어떤 경제지표는 전지구적 차원에서 모든 활동분야를 비교·통합할 수 있도록 화폐단위로 표시되어 있다. 반면에, 예를

들어 종합적인 피폭선량, 폐기물의 양, 방사선량과 같이 보건과 환경영향에 관련된 다른 지표들은 너무 전문화되어 있어서, 다양한 에너지원들과 비교·평가하기 위해서는 보다 많은 연구가 필요하다. 보다 종합적인 지표 개발에 대한 노력이 진전됨에 따라, 원자력 에너지부문에서 사용되는 지표들이 앞으로의 통합작업에 유용한 기반을 조성하게 될 것이다. 종합적 지표 개발이 완성될 때까지는, 주요 전략적 쟁점을 파악하고 자원의 분배 및 이를 위해 적절한 조치를 취하기 위해서는 다기준분석법을 활용할 수도 있을 것이다.

## 시간적 가치 - 할인율

지속 가능한 개발의 목표는 미래세대의 필요에 대한 고려 및 장기적인 관점에서 미래의 활동과 자산에 대한 명시적인 가치부여를 포함하고 있다. 미래와 비교해서 얼마나 현재에 가치를 주는가를 측정할 수 있는 할인율은 지속 가능한 개발의 체제에서 중요한 정책 수단이다[17]. 할인율이 0이라 것은 현재와 미래에 동일한 가치를 부여한다는 의미이다. 기본적으로 지속 가능한 개발은 우리의 모든 행위는 장기적인 영향을 가지며 따라서 모든 행위는 장기적인 시각에서 관리되어야 한다는 것을 의미한다. 현재 세대와 미래세대에 동등한 우선 순위를 두기 위해서는 시장기능에서 도출된 할인율보다 낮은 할인율을 사용해야 할 것이다.

현재의 의사결정에 따르는 사회적 및 환경적 장기 영향을 책임져야 하는 정부나 공공기관의 경우 미래 세대의 복지에 대한 선호를 반영하기 위해 낮은 할인율을 사용할 수 있다. 그러나 특정한 정치적인 쟁점이나 경제 발전의 수준이 이러한 선택에 영향을 줄 수 있기 때문에, 각국의 선택은 국가에 따라 매우 다르게 나타날 것이다. 자본 회수에 장기간이 소요되는 투자에 대한 평가의 경우, 정부는 이러한 투자가 이익을 낼 수 있도록 낮은 할인율을 적용하거나 또는 정상적으로 할인하되 투자 이익을 과대 계상할 수도 있다.

높은 할인율은 현재에 대한 강한 선호를 내포하고 있다. 높은 할인율을 적용할 경우 수십년 후에 발생하는 비용과 편익은 현재의 의사결정에 거의 영향을 주지 않는다. 생존을 위해 싸우는 가난한 사람들은 매우 단기간에 이루어지는 개선이 중요하므로 높은 할인율을 사용할 것이다. 또한 단기간에 원금회수를 바라는 민간 투자자들도 높은 할인율을 사용할 것이다.

현재 전세계적으로 이루어지고 있는 바와 같이, 전력부문에도 다른 부문처럼

상업적인 경쟁을 도입하는 것은 프로젝트의 평가에 있어서 보다 높은 할인율을 적용하도록 하는 압력이 증가하는 것을 의미한다. 이러한 상황에서 개발 기간이 길고 많은 자본비가 요구되는 원자력발전과 같은 프로젝트는 점점 흥미를 잃게된다. 지속 가능한 개발의 체제에서, 자본집약적인 프로젝트들이 광범위한 공공의 정책 목표를 달성하기 위한 대안으로 고려되기 위해서는 그들이 가지고 있는 잠재적인 미래의 이익을 평가하기 위한 수단이나 방안을 강구해야 한다.

## 정책과 경제적 수단

OECD는 지속 가능한 개발을 달성하기 위한 수단으로 정책적 수단과 경제적 수단을 강조한다. 정책적 수단에는 연구개발, 보건, 안전, 환경영향에 대한 전통적인 명령·통제방식의 규제가 있으며 보다 넓은 의미의 수단으로는 환경평가, 교육, 정보, 참여 과정 등이 있다. 또한 제품에 등급표를 붙이거나 상품을 주는 프로그램을 통해 자발적인 참여를 유도하는 방법도 있다. 경제적인 수단으로는 기존의 경제적 규제뿐만 아니라 세금, 보조금, 허가권 거래제가 있으며 또한 보건영향이나 환경영향과 같은 외부비용을 내부화하는 방법들이 있다.

규제는 대중의 보건과 안전뿐만 아니라 시장기능의 형평성과 효율성을 지키기 위한 정부의 핵심기능 가운데 하나이다. 문제는 이러한 목표를 경제에 부담을 주지 않고 혁신의 긍정적인 효과를 가로막지도 않으면서 어떻게 달성하느냐 하는 것이다. 안전과 환경영향에 관련한 규제의 경우도 일련의 규제행위에 따르는 위험과 편익의 균형을 이루는 것이 어려운 점이다. 유독성 화학물질, 방사선, 자연 재해의 위험, 범죄, 질병 등 각기 다른 위험요소들에 대한 규제가 서로 분리된 기관과 규정의 의해 이루어지기 때문에 규제는 종종 단편적으로 이루어지는 경향이 있다. 각각의 규제자는 위험에 대한 자신의 고유한 책임에만 초점을 맞추기 쉽지만, 이를 종합한다면 규제의 전체적인 효과를 높일 수 있을 것이다. 예를 들어, 원자력 안전규제는 에너지정책의 필수적인 측면이다. 사회 전반의 위험에 대한 일관성 있는 접근을 통해 자원의 배분을 가장 효율적으로 이룰 수 있으며 보건, 안전, 환경에 관한 추가적 지출에 따른 한계편익을 균등하게 할 수 있다.

지속 가능한 개발 정책에서 교육, 정보, 참여는 필수적인 구성 요소이며 이들은 종종 비용 효과적인 정책방안을 위한 기회를 제공하기도 한다. 지속 가능한 개발을 보다 잘 이해하고 이와 관련된 핵심적인 의사결정에 보다 넓은 참여가 이루어진다면, 이를 달성하기 위한 보다 많은 사회구성원의 참여의지를 이끌어 낼 수 있을

것이다. 아마도 국가별로 사용 가능한 모든 에너지에 대한 쟁점을 보다 공개적으로 활발하게 토론하는 것이 도움이 될 것이다. 의사결정에 따라 영향을 받거나 또는 관심을 가지고 있는 모든 당사자들이 의사결정에 참여하는 것은, 지속 가능한 개발 전략에서 원자력을 포함한 다른 에너지 대안들의 가능한 역할에 대한 합의를 촉진시킬 수 있을 것이다.

정부는 행위주체에게 어떻게 목표에 도달할 수 있는지를 반드시 설명하지 않고도 그것을 향해 움직이도록 동기를 제공하는 일련의 경제적인 수단을 사용할 수 있는데. 예를 들면 세금, 보조금, 배출권 거래와 같은 수단들이다. 규제자에 의해 강요된 방법에 비해, 이러한 수단들은 행위주체가 혁신적이고 비용 효과적일 수 있는 방법을 스스로 자유롭게 선택할 수 있는 여지를 남겨준다. 경제적 수단들은 가격이 올바르게 형성되도록 도와주는데, 여기서 올바른 가격이란 오랜 시간에 걸쳐 발생하는 모든 종류의 영향에 대해 사회적으로 부여하는 가치를 반영한 가격을 의미한다. 또한 이러한 수단들은 과거에는 존재하지 않았던 시장의 형성을 통해 올바른 가치를 부여할 수 있는 기회를 제공하도록 돕는다.

보조금이 비효율적인 산업이나 잘못된 지역개발계획을 지원하기 위해 사용되는 경우 종종 부정적인 영향을 끼쳐왔다. 보조금으로 인해 자원산업이 시장수요나 환경수용력을 초과하는 설비용량을 가지게 되는 경우도 있었다. 일부 지역에서의 전통적인 활동을 지원하는 것은 그 지역에서의 다양화와 현대화에 대한 필요성을 감소시켜 결국 경제 개발을 방해하게 되었다. 다른 분야와 마찬가지로 원자력을 포함한 에너지부문의 보조금이 개선되어야 한다는 것은 일반적으로 공감하고 있다. 그러나 더 깨끗한 에너지의 개발, 보다 효율적인 공정, 대중교통 수단의 개발과 같은 공공 정책목표를 지원하기 위해 그 목적에 맞게 제공된 투명한 보조금은 경쟁시장에 쉽게 진입할 수 없었을 기술들의 시장진입을 촉진함으로써 지속 가능한 개발에 기여할 수 있다.

세금이나 배출권 거래는 보조금을 보완할 수 있으며 직접적으로 자금을 지원하지는 않는다. 공해처럼 손해를 끼치는 활동에 대해 경제적 불이익을 주는 방법은 환경 및 사회의 보호를 위해서 사용될 수 있다. 예를 들어, 배출자 부담 원칙에 따라 녹색세금을 부과하는 것은 특정한 공해 유발을 중지하도록 유도할 수 있다. 세금은 가격에 직접적인 영향을 미치지만 간접적으로는 오염물질의 배출량에 영향을 미친다. 이와는 대조적으로 배출권 거래는 배출량에 직접적인 한계를 설정할 수 있으나

가격에 대한 영향은 간접적으로 나타날 것이다. 두 가지 수단 모두 오염물질에 효과적으로 가격을 부여하여 이로 인한 보건 및 환경영향을 내부화하는 것을 도와준다. 이처럼 비용에 가격을 부여하고 내부화하는 것은 가격의 형성, 정책 시행, 권리 확보에 있어서 매우 중요한 인자이다. 보조금과 마찬가지로, 어떻게 최소한의 사회적 비용으로 정책목표를 달성하느냐가 극복해야 할 과제이다.

## 기후변화

기후변화는 지속 가능한 개발 정책에서 거론되어야 할 가장 힘든 쟁점 가운데 하나이다. 인간에 의한 지구 온실가스의 배출과 이들 가스의 대기 중 농도는 증가하고 있다. 비록 이러한 배출의 본질과 이러한 배출이 미치는 영향의 정도에 대해서는 약간의 통계적 불확실성이 남아있지만 정책 결정자들은 점점 더 많이 기후변화를 우려하고 있으며 예방의 원칙을 적용하기로 결정하였다.

기후변화의 과학적 측면을 이해하고 이를 완화시키거나 적응하기 위한 방법들에 대해 국제적으로 많은 노력이 진행중이다. UN 기후변화협약은 지구 온실가스 배출을 통제하고 제한하는 데 있어 중요한 진전이라 할 수 있다. 기후변화협약 체제 내에서 1997년 12월에 채택된 교토의정서는 선진국들에게 2008-2012년 기간의 온실가스 배출량을 1990년 배출량 이하로 줄이는 의무를 부과하였다. 비록 많은 국가들이 교토의정서의 목표치를 맞추기가 힘든 문제라는 것은 알고있지만, 대기중의 지구 온실가스 농도를 수용 가능한 수준으로 안정화시키기 위해서는 2012년 이후에도 추가 감축이 필요하다.

지구 온실가스 중 이산화탄소와 메탄이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 1998년의 경우 64억 탄소톤의 이산화탄소가 화석연료 연소에 의해 발생하였는데, 이는 세계인구 1인당 약 1톤에 해당하는 양이다. 한편, 산림의 연소에 인해 추가로 약 10억톤 이상의 탄소가 발생하였다. 현재는 화석연료 연소에 의한 이산화탄소 배출량 가운데 절반 이상이 OECD 회원국으로부터 발생하고 있다. 그러나 향후 수십년 내의 에너지소비 성장과 이에 따른 이산화탄소 배출 증가는 대부분 비회원국에서 발생할 것이다. 효율 증가에도 불구하고 특히 전력과 수송 에너지수요가 급격히 증가할 것이다. 수송은 지속적으로 주로 석유에 의존하겠지만 전력은 석탄, 천연가스, 원자력, 수력, 바이오매스, 태양력, 풍력 등 다양한 에너지원에 의해 공급될 것이다.

산업과 수송을 위한 화석연료 사용과 이에 따른 각종 가스 배출이 증가하는

대도시에서는 청정 전력원이 중요하게 될 것이다. 전력은 지구 환경변화의 위험을 감소시키는 기여할 것이다. 필요한 규모만큼의 발전설비를 건설하는 것이 문제가 될 것으로 예상되는데, 그 이유는 에너지자원의 문제라기보다는 오히려 자금조달, 제도, 하부구조의 문제와 경제적, 환경적 요구사항을 충족시키는 기술 등에서 비롯될 수 있다.

지속 가능한 개발의 관점에서, 기후변화뿐만 아니라 다른 환경영향들을 유발하는 모든 활동들을 비용으로 최대한 내생화시키는 것이 필수적일 것이다. 탄소 배출 부담금이 없거나 혹은 있더라도 극히 작은 규모인 현재의 상황은 시장에 잘못된 신호를 보내서 탄소 배출을 조장하고 이를 배출하지 않거나 작게 배출하는 대안들의 활용을 방해한다, 실제적으로 탄소 배출에 가격을 부여하지 않는 것은 화석연료에 큰 비용절감 효과를 주는 것이다. 탄소 배출을 다루는 적절한 방법을 찾아내는 것은 에너지원의 가격을 바로잡고 교토의정서의 목표치를 달성하는 한편 이후의 추가적인 감축을 이루는데 중요한 부분이다.

향후 탄소 배출에 대해 세금이나 허가권의 형태를 통해 약간의 가격이 부여될 것은 확실하지만, 높은 가격을 부여하는 것은 빠른 경제 성장을 바라는 정부나 에너지 생산자 및 소비자의 저항을 받게될 것이다. 화석연료가 모든 국가의 경제에서 차지하는 중요성에 비추어볼 때 화석연료가 전력시장에서 팔리지 않을 만큼 높은 가격을 부여할 것 같지는 않으며 또한 화석연료 기술은 지속적으로 개선될 것이다. 원자력이나 재생 에너지와 같이 이산화탄소를 배출하지 않는 에너지원은 배출을 줄이는데 매우 중요하게 기여할 수 있다. 그러나 이러한 에너지원은 화석연료의 양이 풍부하며 상대적으로 가격이 낮은 시장에서 경쟁할 수 있어야 할 것이다. 배출에 있어서의 장점 이전에, 원자력과 재생 에너지는 배출비용이 고려되지 않는 현재의 시장 조건에서도 경쟁력이 있어야 할 것이며 아울러 원자력의 경우 안전하고 일반 대중이 수용할 수 있어야 할 것이다.

### 제 3 장 지속 가능한 개발과 원자력 에너지<sup>1)</sup>

원자력 에너지의 현재 상황은 제1장에서 다루고 있다. 현재 32개국에 400기 이상의 원자력발전소가 가동중에 있으며 이들의 용량은 약 350GWe에 이른다. 원자력산업은 대규모의 자본투자가 이루어져 있는데, 원자력발전소들의 규모를 대체가치로 환산할 경우 7000억 달러에 이른다. 원자력 에너지의 평화적 이용 기술은 이미 입증되어 있으며, 또한 원자로 및 핵연료주기 시설의 설계 및 운영에 대한 다양한 경험으로부터 오는 편익뿐만 아니라 민간 원자력 활동의 규제가 가능하다는 것이 증명되어 있다. 원전의 운영과 관련된 누적 경험은 약 9000 원자로-년(reactor-year)에 이른다.

원자력발전 설비용량의 80% 이상을 OECD 회원국이 보유하고 있다. OECD 비회원국들 중에서도 특히 대도시가 형성되어 있으며 또한 산업부문이 발달한 국가들은 높은 전력수요 증가율을 경험하고 있으며, 원자력 에너지의 개발은 주로 이런 국가들에서 이루어진다. 원자력발전의 증가가 지속 가능한 개발이라는 목표에 부합된다는 것을 확실히 보여 주기 위해서는, OECD 회원국들이 기술이전, 교육 훈련, 경험 교환, 제도 수립 등에 대해 서로 협력해야 한다.

지속 가능한 개발이라는 관점에서 원자력 에너지를 평가하기 위해서는 경제적, 환경적, 사회적 영향 측면에서 장단점들을 분석하여야 한다. 즉 원자력 에너지가 지속 가능한 개발이라는 목표를 달성하는데 어느 정도 또한 어떤 조건에서 기여할 수 있는가를 분석하여야 한다. 여기서는 상기 세 가지 측면에서, 원자력 에너지를 다른 에너지와 비교·평가할 수 있는 인자들을 정책 입안자들에게 제공하기 위해 다음의 분석을 수행하였다.

#### 지 표

에너지 분야에서의 지속 가능한 개발에 관한 지표들의 설정은 현재 OECD 및 IEA에서 관심을 갖고 수행하고 있는 과제이다. 이 지표들은 부문별 또는 자원별

---

1) '원자력 에너지'라는 용어는 원자로 설계, 건설, 운영뿐만 아니라 핵연료주기 서비스 공급(부록 1 참조)과 같은 포괄적인 활동을 포함하는 광의의 개념이다. 이러한 활동들은 많은 국가에서 여러 가지 기술 및 제도적 기반을 통해 다양한 수준으로 수행되고 있다. 본 보고서에서는 단순히 편리함을 위해 이 용어를 사용하지만, 원자력 에너지의 분야 또는 각국이 원자력 에너지에 접근하는 방법은 매우 다양하다는 것을 지적한다.

지표일 수도 있으며, 지속 가능한 개발의 진척도를 측정할 결과 또는 요약 지표일 수도 있다[2, 6장]. 에너지 분야와 관련하여 지표로서 나타낼 수 있는 항목들은 다음과 같다.

- 공급 가능한 자원 및 지역적 편재(여기에서 자원의 정의는 동태적 자원임)
- 환경(예 : 탄소 배출)에 대한 영향을 포함한 에너지 사용 밀도 및 물질 흐름(일인당, GDP 한 단위당, 또는 최종 생산물 한 단위당(예 : 전기 kWh 당), 승객당 수송 거리)
- 각각의 여러 집단들에 대한 보건영향(예 : 피폭 및 반응 기능을 통해 평가되어지는 보건영향)
- 어떤 물질에 대해 환경이 받아들일 수 있는 한계
- 토지 사용 및 자연 서식지에 대한 영향
- 주요 환경영향을 야기하거나 또는 회복 불가능한 환경영향을 야기할 가능성

지표들은 여러 가지 종류의 환경영향에 대해서 설정될 수 있는데, 예를 들면 생물 다양성, 기후변화, 겨울 및 여름 스모그, 호수 및 강의 생물들의 산소 수요, 유해 화학물질 등이 있다. 지속 가능성의 판단을 위해서는 비록 구체적이지는 않지만, 다음과 같은 항목들도 중요하다. 예를 들면, 교육, 훈련, 재정지원 및 연구개발에 대한 정부의 정책, 마케팅 및 소비자 가치, 보건 및 환경의 가치 측정, 보건이나 안전의 질적인 측면뿐만 아니라 환경 및 경제적 규제, 질, 제도의 효율성 등이 있다.

현재의 과학적 지식 수준에서 볼 때, 각각의 활동 및 영향에 적합한 지표부터 개발하기 시작하여 이들을 하나의 단위로 통합해 나가는 것이 옳은 방향인 것으로 판단된다. 가장 중요한 인자들을 찾아내어 여기에 집중하는 것이 이를 해결하기 위한 과제이다.

지속 가능한 개발의 진척도를 평가하여 여러 가지 에너지원간에 비교한다는 것은 어려운 작업이다. 그러나 원자력 에너지 분야의 지표들이 하나의 지표로 통합되었을 때 그 자체로써 어떤 의미를 갖는지는 명확하지 않다. 일단 지속 가능한 개발이라는 관점에서 에너지 및 전력의 필요성이 인정된다면, 지표들은 최적 전원 구성을 선택하는데 더 의미가 있을 것이다. 이는 지표들은 궁극적으로 서로 비교가 가능하도록 개발되어야 한다는 것을 의미한다.

OECD는 경제적, 사회적, 환경적 관점을 고려하여, 원자력 에너지와 관련한 몇 개의 지표들을 도출하였다(표 3.1). 표 3.1은 원자력 에너지와 관련한 지표들의 예를 보여주고 있는데, 이 중 방사능 피폭이나 폐기물의 방사선량과 같은 몇 가지 지표들은 다른 에너지원에는 적용이 불가능하다. 반면에 토지 사용과 같은 지표는 원자력발전이나 화석연료발전의 경우 수력발전, 태양열발전, 조력발전에 비해 큰 영향을 미치지 못한다. 또한 여러 가지 오염원들에 의한 보건 및 환경 지표 결정 인자들은(예 : SOx, NOx, 온실가스, 방사능 배출) 정량적으로 비교하기가 쉽지 않다.

**표 3.1 지속 가능한 개발 지표  
(원자력 에너지에 적용 가능한 예)**

경제 지표	사회 지표	환경 지표
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자본비용 (\$/kWh)</li> <li>- 한계비용 (\$/kWh)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반 대중에 대한 피폭 (Sv/kWh)*</li> <li>- 고용 (인/kWh)</li> <li>- 교육 (대학의 과목 갯수)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고체 폐기물량 (m<sup>3</sup>/kWh)</li> <li>- 고체 폐기물의 방사능 (Bq/kWh)**</li> <li>- 연료 사용량 (tU/kWh)</li> <li>- 액체 및 가스 배출물의 방사능 (Bq/kWh)</li> </ul>

\* Sievert (Sv)는 이온화된 방사능의 생태학적 효과를 측정하기 위해 방사선 방호에서 사용되는 방사능 피폭 단위임.

\*\* Becquerel (Bq)는 방사능 물질의 1초당 방사선 붕괴를 측정하기 위해 사용되는 활동 단위임.

국제적으로 통용될 수 있는 에너지 분야의 일반적인 지표들을 개발하는데는 시간이 걸릴 것이기 때문에, 원자력 분야에서는 핵심적인 지표들을 도출하고 지속 가능한 개발과 관련된 추세를 계량화할 수 있도록 노력해 나가는 것이 바람직할 것이다. 국가 수준 또는 전세계적 수준의 이러한 노력은 이미 시작되어서, 지속적인 자료의 수집, 분석, 발간이 정기적으로 이루어지고 있다.

### 경제적 측면

경제적 효율성은 지속 가능한 개발과 관련된 하나의 구성 요소이며, 어떤 상품이나 활동의 모든 사회비용을 시장가격이 반영한다면 경쟁력은 아주 적합한 지표

가 된다. 이러한 관점에서 원자력 에너지의 경제적 측면을 시장 경쟁, 외부성, 보조금에 적용 가능한 기준들을 고려하여 검토하고 제시한다.

원자력 에너지를 한 국가의 전력계통에 포함시킬 경우 기술적 다양성 및 에너지원 다변화가 활성화되고 전력시장에서 다른 발전원과의 경쟁을 유도한다. 이는 에너지 계통의 전반적인 효율성을 향상시켜서 소비자에게 이익을 줄 수 있는 가능성을 갖게 해준다.

### 경쟁

새로운 화석발전소와의 경쟁이라는 관점에서 볼 때, 기존의 원자력발전소들은 전력생산 원가에 따라 다음의 세 개의 경우로 분류될 수 있다[18, 19].

- 첫 번째 부류는 원자력발전소의 모든 자본 비용을 포함해도 새로운 화석연료발전소들과 경쟁할 수 있는 발전소들이다. 이들 발전소들은 수명연장의 일차적 대상일 것이다.
- 두 번째 부류는 한계비용(연료비 및 운전유지비)만을 고려하면 경쟁이 가능하나, 모든 자본비용을 포함하면 새로운 화석연료발전소들에 비해 경쟁력이 떨어지는 발전소들이다. 그럼에도 불구하고, 자본비용은 이미 투자가 이루어진 것이기 때문에 이들 발전소들은 계속 가동할 가치가 있으며 적어도 어느 정도의 투자비 회수는 가능하다. 만일 온실가스 배출, 원자력 인력의 유지, 미래의 선택 등의 이유로 이들 원자력발전소를 계속 가동하려고 한다면, 이를 위한 보조적인 방안들이 강구되어야 할 것이다.
- 세 번째 부류는 한계비용만으로도 경쟁할 수 없는 발전소들인데, 이들은 운전실적이 개선되지 않는 한 폐지될 발전소들이다. 그러나 미국의[20] 예에서 볼 수 있듯이 최근의 원전의 한계비용 상승의 주요 원인이 호기별 독립적 운영에 기인하기 때문에 한계비용을 낮출 수 있는 여지는 남아 있다.

대부분의 기존의 원자력발전소들은 설계수명이 다할 때까지 가동될 것으로 예상된다. 또한 많은 원자력발전소들은 수명을 연장하는 것이 비용 측면에서 효율적일 것으로 예상된다. 수명연장을 위한 발전소 보수는 운전 실적을 향상시키고, 점점 까다로워지고 있는 안전 규제를 만족시키고, 발전소의 성능을 향상시킬 수 있는 기회를 제공하게 될 것이다. 이를 통해 다른 발전원과 비교하여 보다 작은 투자비용으로 추가적인 발전 설비를 확보하는 효과를 갖게 될 것이다.

많은 원자력발전소들이 1970 및 1980년대에 상업운전을 시작했다. 40년의 설계수명을 가정할 때, 2030년경에는 이들 발전소들이 교체되어야 한다. 비록 10년 내지 그 이상의 수명연장이 이루어진다고 해도, 궁극적으로는 새로운 개념의 원자로 설계가 필요하게 될 것이다. 이들은 결국 자본비를 포함하는 총비용 측면에서 다른 발전원들과 경쟁해야 하며 안전 기준은 오히려 강화될 것이다. 따라서 새로운 개념의 원자력발전소들은 기존의 발전소에 비해 비용은 낮고, 건설기간은 짧고, 운전하기는 쉬워야 한다. 이러한 것들이 어려운 도전이기는 하지만, 원자력발전이 미래에 살아 남기 위해서는 반드시 극복해야 할 전제조건이다.

증가하는 전력수요를 충당하기 위해서는 수명이 종료되는 발전소들을 대체해야 하는데, 이를 위한 새로운 원자력발전소들은 여러 가지 다른 발전원들과 경쟁하게 될 것이다. 가스 공급이 가능한 지역에서는 천연가스발전소(복합 가스 터어빈)가 향후 20-30년간은 가장 경쟁력을 갖춘 기술로 보여진다. 많은 비 OECD 회원국들에서는 석탄이 원자력의 가장 강력한 경쟁 상대일 것 같다.

향후 도입될 새로운 원전의 평균화발전 비용은 5%의 할인율 하에서는 2.5-6 cent/kWh, 10% 하에서는 4-8 cent/kWh일 것으로 추정된다[21].

의사결정의 기초로 사용될 비용 추정은 적용하는 할인율에 크게 좌우된다. 미래의 가치를 높게 평가하는 낮은 할인율 하에서는 원자력 에너지와 같이 자본집약적인 기술의 경쟁력이 높아지는데, 이렇게 미래의 가치를 높이 평가하는 개념은 지속 가능한 개발이라는 목표에도 부합된다.

많은 OECD 회원국 및 비회원국들에서는 기존의 원자력발전소가 5%의 할인율 하에서는 다른 발전원에 비해 상당히 경쟁력이 있다. 그러나 전력시장이 경쟁체제에 있거나 민영화되었을 경우 10%의 할인율을 적용하는 것이 타당할 것 같다.

원자력 에너지는 높은 자본비용과 낮은 한계생산비용으로 특징지어진다. 원자력발전소는 일반적으로 대규모 발전원이며 비용도 수십억 달러에 이른다. IEA/NEA의 발전비용 추정에 관한 연구에서[21] 발췌한 표 3.2에 따르면, 5%의 할인율 하에서 건설중 이자를 포함하는 자본비용이 총 원자력발전 비용에서 차지하는 비율은 약 60%이며, 운전유지비용이 25%, 연료비용이 약 15%를 차지한다.

표 3.2 원자력발전 비용

국가	할인율	자본비용 (%)	운전유지비용 (%)	연료비용 (%)	총 비용 (cent/kWh)
캐나다	5%	67	24	9	2.5
	10%	79	15	6	4.0
핀란드	5%	59	21	20	3.7
	10%	73	14	13	5.6
프랑스	5%	54	21	25	3.2
	10%	70	14	16	4.9
일본	5%	43	29	27	5.7
	10%	60	21	19	8.0
한국	5%	55	31	14	3.1
	10%	71	20	9	4.8
스페인	5%	54	20	26	4.1
	10%	70	13	17	6.4
터키	5%	61	26	14	3.3
	10%	75	17	9	5.2
미국	5%	55	27	19	3.3
	10%	68	19	13	4.6

원자력발전소의 자본비용은 설계, 기자재 공급회사, 건설 방법, 노동력 및 경영능력, 품질 보증, 규제 및 승인 절차에 따라 달라진다. 현재의 기술로 설계되는 원자력발전소의 경우, 해체비용 및 건설 중 이자를 포함하는 투자비용은 2000-2500 달러/kWe으로 추정된다. 이는 1GWe 규모의 원전 건설에 소요되는 총 투자가 20억 달러를 초과한다는 것을 의미한다. 차세대 원전의 설계 및 공급회사들의 목표는 기존의 원전 비용보다 25% 이상을 절감시키는 것이다[21].

원전의 안전 및 해체관련 비용은 자본비용에 포함되어 있으며, 수명기간 동안 원전의 운영자에 의해 회수된다. 소비자가 지불하는 전기료에는 해체비용이 포함되므로 후손에 재정적인 짐을 지우는 부분은 거의 없다. 원전의 운영자들은 상기 비용을 충당하기 위해 적립해 나가고 있다[23]. 해체비용은 연구용 원자로나 소규모 원자로로부터 얻어진 경험으로부터 추정되기는 하지만, 이에 대한 경험이 증가함에 따라 불확실성이 점차 감소하고 있다. 할인되지 않은 해체비용은 초기 자본비용의 10%-20%에 해당되지만, 해체비용은 발전소를 폐쇄하고도 수십년 후에도 발생하므로 이를 할인할 경우 총 투자비용의 몇 퍼센트에 지나지 않는다[24].

전력생산에 소요되는 전체 비용 중 자본비용이 차지하는 비중은 각 발전소 별로 차이가 크게 날 뿐만 아니라 또한 할인율에 따라서도 상당히 차이가 나며, 높은 할인율에서는 자본비의 비중이 커진다. 지금까지는 원전의 자본비가 다른 화석연료 발전원에 비해 항상 높게 나타났다. 석탄발전소의 경우 자본비는 일반적으로 1000-2000 달러/kWe이며, 가스발전소의 경우 이보다도 더욱 낮아서 500-900 달러/kWe이다. 또한 가스발전소의 경우 건설기간도 5-7년이 소요되는 원자력발전소에 비해 짧아서 2-3년이며, 석탄발전소는 약 5년 정도이다. 석탄발전소의 발전단가는 자본비 약 35%, 운전유지비용 20%, 연료비 45%로 구성된다. 또한 가스발전소는 자본비 약 20%, 운전유지비용 10%, 연료비 70%로 구성된다(표 3.3 참조, [21]).

원자력발전소는 일단 가동되기 시작하면 비용 측면에서는 안정적이다. 우라늄 원광 자체가 전체 비용에서 차지하는 비중이 미미하기 때문에 원광 가격이 변한다 하더라도 전체 비용에 미치는 영향은 거의 없다. 반면에 화석연료 발전소들은 연료가격이 차지하는 비중이 크며 특히 가스발전소의 경우 약 70%에 이른다. 우리가 경험해온 바와 같이 화석연료의 가격은 변동폭이 심하며, 이러한 연료가격의 변화는 화석연료 발전소의 경쟁력에 큰 영향을 준다.

전력시장이 민영화될 경우, 표준화를 통해 대규모 원전 개발계획을 갖고 있거나 원전을 효율적으로 운영하고 있는 국가들에서 원자력발전은 다른 발전원에 비해 경쟁력이 있다. 만일 원전의 이용률이 예상보다 높거나 비용을 크게 들이지 않고 수명연장이 가능하다면, 원전은 큰 이윤을 낼 수 있다. 영국과 같이 전력시장이 민영화된 국가들의 경우를 보면 원전이 매우 잘 운영되어 전력가격의 안정화에 큰 역할을 하고 있다.

### 보조금

부적절한 보조금의 폐지는 민영화된 시장에서 지속 가능한 성장의 목표 달성을 위해 필수적이다. 원자력 분야에서의 보조금은 기초·기반연구 이외의 연구개발 지원, 수출지원 금융, 채무에 대한 정부 보증, 대형 사고에 대한 제3자 손해 보상 등이다. 원자력산업이 점진적으로 자생력을 갖게 되면 수출지원 금융 및 채무에 대한 정부 보증은 눈에 띄게 줄어들어 왔다. 특정 기술에 대한 연구개발 지원은 안정적 에너지 공급 및 환경 보호와 같은 전반적인 국가 정책 목표 측면에서 평가되어야 한다.

주로 비 OECD 회원국에서 추진되는 원자력 프로젝트와 관련하여 지원되는 정부 수출개발 기관으로부터의 재정적 지원은 원자력 프로젝트에만 국한되는 것은 아니다. 원자력을 수출하는 OECD 회원국들 사이에는 훈련, 기술이전, 보증 등 일부 분야를 제외하고는 정부가 지원하는 재원의 이자율은 민간기업에 대한 은행 이자율 수준으로 한다는데 동의하고 있다. 비록 민간 수준의 이자율이라고 해도 정부가 지원하는 재원을 보조금이라고 본다면, 지구차원에서 환경오염물질 배출 저감 등과 같은 공공부문의 정책 목표 또는 다른 재화나 서비스의 교역 증진이라는 측면도 고려해야 한다.

지속 가능한 개발의 핵심적인 목표는 커다란 재정적 부담을 후손들에게 전가시키지 않는다는 것이다. 원자력산업체가 관련 시설의 해체나 방사성 폐기물의 처분과 관련하여 충분한 비용을 적립시키지 못한다면, 이에 대한 미래의 재정적 부담이 보조금을 필요로 할 수도 있다. 해체나 폐기물 처분은 원자력발전소 건설에 의한 전력생산 시점보다는 훨씬 후에 발생하기 때문에, 실제 이러한 프로젝트를 수행할 때는 현재의 원자력시설 및 폐기물을 관리하는 경제 주체가 이미 이 세상 사람이 아닐 수도 있다. OECD 회원국들에서 산정하는 발전원가에는 원자력발전소의 해체비 및 방사성 폐기물의 처분비용이 포함되어 있으며[21, 부록 7] 현재의 전력 소비자에게 부과된다. 향후 발생하게 될 원자력과 관련된 재정적 부담을 충당하기 위해 OECD 회원국들이 수립하고 있는 계획에 따르면, 해체비용을 충당하기 위한 적립금은 충분한 것으로 나타나고 있다[23].

원자력 손해배상 제도는 원자력산업이나 사고로 희생될지도 모르는 사람들 모두에게 많은 보장을 해준다. 원전 운전자들에 대한 피해 보상의 정도도 계속 확대되고 있다. 원자력 에너지가 손해배상 제도를 구축하여 장기적인 준비를 마련한 최초의 분야이다. 다른 산업에서도 원자력산업과 같이 외부비용 및 미래의 책임에 대비해야 한다는 압력이 거세지고 있다. 원자력시설의 운영회사의 제한된 책임을 보조금으로 간주한다면, 다른 산업의 손해배상 제도도 마찬가지로 여야 한다.

과거에도 그래 왔던 것처럼, 연구용 원자로와 같은 시설의 건설 및 운영을 포함한 정부 지원의 연구개발이 원자력 에너지와 관련된 가장 중요한 보조금일 것이다. 보다 엄격한 안전 기준을 충족시키고, 기술적 능력을 향상시키고, 다른 발전원과의 경쟁에서 이길 수 있는 원전의 설계를 구상하고 개발하기 위해서는 많은 연구개발 노력이 필요하다. 연구개발에 대한 정부의 지원은 그 결과가 사회 복지, 환경 보

호, 지속 가능한 개발 등과 같은 공공 정책 목표에 얼마나 기여할 수 있는가에 따라 정당화 될 수 있다. 정부의 연구개발 지원은 이로부터 얻어지는 결과가 한 국가의 공통의 목표 달성에 얼마나 기여할 수 있는가에 따라 배분되어야 하며, 이러한 과정은 아주 투명해야 한다. 이러한 관점에서 원자력 연구개발이 전체 기술 및 에너지 연구개발 예산에서 차지하는 비중은 국가 정책에 있어서 예상되는 원자력 에너지의 역할에 따라 결정되어야 한다.

### 외부 비용과 편익

전력생산으로부터 배출되는 부산물로 인한 보건 및 환경 비용은 부정적인 외부효과이다. 표준, 기준, 규제 등은 전력생산 과정에서 배출되는 부산물의 양을 줄여 주며, 환경 보존 및 건강 보호에 따르는 비용을 내부화한다. 나머지 외부 비용은 세금, 보건 및 환경 파괴, 후손에게 부담 전가 등을 통해 사회 전체가 부담한다. 내부화되지 못한 비용들은 이러한 영향을 야기하는 기술들의 생산 및 사용자에게 대한 보조금으로써 간주되어 진다. 이러한 비용들이 시장 가격에 반영되지 않는 한, 시장 기능이 지속 가능한 개발을 촉진하는 역할을 수행할 수 없다.

원자력산업은 대기오염물질의 배출 및 액체 폐기물 유출에 대해 엄격히 규제하고 있을 뿐만 아니라 발생하는 폐기물이 인류 보건 및 환경에 해로운 한 이 폐기물들을 잘 포장하여 대기로부터 격리시키고 있다. 따라서 원자력산업은 배출, 유출, 폐기물 등과 관련하여 장기간에 걸친 모든 책임을 지고 있으며, 전력 소비자에게 관련된 모든 비용을 부과시킴으로서 이들 비용을 내부화하고 있다. 이러한 내부화는 폐기물 관리, 폐기물 처분, 발전소 해체에도 동일하게 적용되고 있다. 비록 정부가 위험을 지기는 하지만 대형 사고의 경우에도 동일하게 적용된다.

여러 가지 다른 연료주기가 인류의 보건 및 환경에 미치는 영향에 대해서 많은 연구가 수행되어 외부 비용의 인식, 가치 평가, 내부화를 위한 과정에 대한 많은 진전이 이루어졌다. 가장 의욕적인 연구는 여러 가지 다른 영향들에 대한 지표들을 하나의 단위로 통합하려는 것이다. 이 경우 보통 화폐단위로 단일화하고 있다. 이러한 연구들은 시장 가치에 의해 현시된 선호도를 이용한다. 시장 가격이 존재하지 않는 경우에는 선호도를 찾아내는 다른 방법을 통해 가치를 평가한다.

가치 평가는 논쟁을 야기하는 분야로 인류 생활은 말할 것도 없이 각각의 물품, 상품, 서비스에 화폐가치를 부여하는데 대한 타당성 및 적합성에 대한 의견 수렴

이 이루어져 있지 않다. 또한 다양한 환경영향을 하나의 단위로 줄인다는 것과 어떤 자산들의 금전적 가치에 대해 합의를 끌어내는 것은 어려운 일이다. 그러나 이러한 접근 방식은 다음 몇 가지 장점들을 갖고 있는데, 이는 선호도를 가능한 한 투명하게 정하게 할 뿐만 아니라 이들을 제도적으로 평가하여 각각의 영향들의 우선 순위를 정하고 또한 비교할 수 있게 한다.

EC는 특정 기술과 부지를 사용하여 전력생산을 위한 여러 가지 연료주기의 조건 및 환경영향에 대한 심도 있는 연구를[25] 수행하였다. 이 방법과 결과는 후에 보완되었지만 1995년 당시의 결론은 여전히 유효하다. 이외의 다른 연구들도 일부 수치에서 차이를 보이지만 결론의 상당부분은 유사하다.

정상적인 운전하에서 원자력 에너지는 천연가스 및 재생에너지원들과 비교하여 낮은 영향을 보여 준다. ExternE 연구의 추정에 의하면, 할인율을 적용하지 않을 경우 1 mECU/kWh 이하로 나타났으며, 여기에는 재처리할 경우 발생하는 장기적인 지구에의 영향인 2 mECU는 제외되어 있다. 2 mECU란 가치 평가는 향후 100,000년 동안 아주 많은 사람들과 극히 작은 노출량을 곱하여 계산되었다. 작은 영향을 오랜 기간에 걸쳐 계산하는 방법에는 논란의 여지가 있을 수 있다. 이 방법은 짧은 기간 동안 특정 집단에 대해 적용할 때 가장 유용하다.

ExternE 연구에 따르면, 1년에  $5 \times 10^5$  확률로 발생할 노심 손상을 야기하는 치명적인 원자력 사고의 외부비용은 약 0.1 mECU로 추정하였다. 중대 사고의 외부비용에 대한 다른 연구들과는 상당히 큰 차이를 보이고 있어서 논란을 야기할 수 있다. OECD 회원국에서 높은 원전 안전 기준에 따라 운영되는 원전에서 얻어진 결과들은 원자력 발전의 외부 비용에 대한 중대 사고가 주는 비중은 낮다는 것을 보여준다[26]. 그러나 이러한 경제적인 추정치들이 관심을 끌기는 하지만, 비록 발생 확률이 상당히 낮은 수준이라고 하더라도 많은 사람들에게 영향을 미칠 수 있는 사고에 대한 일반 대중의 강한 혐오가 여기에는 적절히 반영되지 못하고 있다. 낮은 발생 확률을 갖는 중대한 사건의 영향의 가치 평가는 개인들이 이들 사건들로 원인을 돌리고자하는 추가적인 부담 문제를 야기한다. 완벽한 평가는 발생 확률, 결과들, 개인들이 이들 사건들 탓으로 돌리려는 심리적 부담, 그리고 현재 그들이 혜택을 누리는 반면에 부정적 결과를 회피하거나 감소하려는 가능성에 대한 그들의 믿음 등을 포함하여야 한다. 이와 같은 회피는 작은 사건들에 대한 정부의 대응과는 다르게 대형 사고들에 대한 정부의 특별한 접근 방식에서 나타나는데, 이와 같은 사례로 비상 대

책 기구나 원자력 손해배상과 같은 특별한 제도를 구축하는 것이라 할 수 있다.

화석 연료주기를 정상 운영함에 따라 발생하는 가장 큰 영향은, 기후 변화와 분진 및 기타 오염인자들로 인해 발생되어 주로 호흡기 질환을 야기하는 대중에 대한 보건영향을 들 수 있다. ExternE 연구에 따르면, 이들은 10 mECU/kWh 정도이다. 천연가스 연료주기의 대중 보건영향은 더욱 낮은 수준이다. 화석연료주기로 인해 발생하는 직업상 보건영향은 상당한 수준인데, 이는 주로 지하 광산에서 발생하는 오염(먼지 및 라돈)에 기인하지만 대부분 임금을 통해 내부화된다. 노천 광산의 경우에는 이러한 영향은 상당 부분 감소된다.

외부 비용에 있어서 보다 중요한 개념은 전력공급계통 내의 다양성에 대한 가치를 포함하는 에너지 안보이다. 원자력은 세계의 에너지자원의 기반을 확충하였고 원자력의 독특한 특성을 통하여 더 높은 안보 및 다양성을 제공함으로써 다른 자원에서 볼 수 없었던 새롭고 풍부한 에너지원을 만들어냈다. 비록 대부분의 국가들은 공급의 안보를 주요 현안으로 인식하지는 않지만, 비록 현재 시장이 잘 운영되고 있다 하더라도 원유 저장량과 대부분의 화석연료자원이 중동지역에 집중되어 있어서 정치 상황이 불안정해지는 경우에는 문제를 야기할 수 있다. IEA 회원국의 공통 목표에서 언급한 바와 같이, 몇몇 국가들은 에너지 공급의 다양성과 안보를 정책의 최우선 과제로 삼고 있다.

## 환경적 측면

지속 가능한 개발의 환경 측면에서의 핵심 지표들에 대한 판단 근거로는 천연자원 관리, 기후변화, 대기 및 수질, 생물다양성 및 토지개발 등을 들 수 있다. 원자력 에너지로부터 발생하는 환경 측면의 위험은 주로 방사능 배출과 방사성 폐기물에 기인한다. OECD 회원국의 원자력산업은 원자력 에너지에서 발생한 환경 위험이 독립적인 규제기관에 의해 정해진 사회적 허용 수준 내에서 관리되도록 많은 노력을 기울이고 있다.

원자력발전 자체로는 산성비, 도시 스모그 및 오존층 파괴를 야기하는 가스 또는 분진을 방출하지 않는다. 핵연료주기 전체로부터 발생하는 탄소화합물은 무시할 만하다. 1GWe 원전 1기가 생산하는 발전량을 석탄발전소로 대체하였을 경우 발생하는 탄소는 1.75 백만톤이며, 석유발전소로 대체하였을 경우 1.2 백만톤, 천연가스 발전소로 대체할 경우 0.7 백만톤이 발생하므로 이를 상쇄하는 효과를 갖는다. 실제

수치는 발전 용량, 화석연료 발전소의 효율, 연료 특성 등에 따라 달라질 수 있다. 원자력발전소는 SOx, NOx 그리고 분진 등을 방출하지 않기 때문에 결국에 국지적인 대기 질 향상에 상당히 기여한다.

### 천연자원 관리

자원의 효율적 이용은 에너지 부문에서 지속 가능한 개발의 핵심 지표이다. 비순환자기를 채택하는 현세대 원전의 경우에도, 우라늄으로부터 얻을 수 있는 질량당 에너지는 화석 혹은 재생 연료로부터 얻을 수 있는 질량당 에너지보다 10,000배 이상이다. 이와 같이 높은 에너지밀도는 자원 효율성의 주요 척도이다. 다른 에너지 자원보다 kWh당 전력을 생산하는 데에 필요한 채광, 처리, 저장 및 운송 등에 사용되는 물자가 적으면 이에 따라서 발생하는 폐기물의 양도 비례적으로 작아질 것이다.

우라늄은 에너지 생산 이외에는 별로 사용되는 데가 없다. 우라늄을 이용한 전력 생산은 인류를 위해 가능한 에너지자원의 기반을 확충하였고, 선택의 다양성을 제공하였으며, 이를 통하여 수송 및 석유화학 분야에서 유용한 탄화수소를 이용할 수 있게 하였다.

세계의 원자력발전소는 매년 천연 우라늄 60,000톤 정도를 소비한다. 현재 밝혀진 우라늄 매장량은 현재 소비 추세로 약 70년 정도 사용이 가능할 것으로 예상된다 [27]. 그러나 현재 경제적 타당성이 입증된 우라늄 매장량은 현재 소비 추세로 볼 때 약 40년 정도 유지가 가능할 것이다. 우라늄과 석유는 매장량/소비량의 비율이 비슷하다 [28]. 일반적으로 광물 자원의 매장량은 단기적인 경제적 관점에서 이미 밝혀진 것만을 추정한다. 앞으로 수십 년이 지나야 경제성이 있는 우라늄까지 지금 찾아내야 할 이유는 많지 않다. 그러나 우라늄은 지표면에 충분히 매장되어 있는 것으로 알려져 있으며, 재래식 자원들도 현재 소비 추세로 약 250년 정도는 사용이 가능할 것으로 추정된다. 또한 해양 인산염 및 바다 속에 매장된 비재래식 자원들도 재래식 자원의 2배 이상일 것으로 추정된다.

연료공급의 다양성과 에너지 안보를 제공하는 우라늄자원은 세계의 여러 지역들에 매장되어 있다. 우라늄은 화석 연료와는 달리 암석 형태이기 때문에 지역적으로 비교적 고르게 분포되어 있다. 에너지가 고농축 되어 있는 연료이며, 세라믹형태로써 안정적이며, 또한 총 원자력발전 원가 중 연료비 비중이 낮다는 연료의 특성

상 효율적인 비용으로 핵연료를 원전 부지에 전략적으로 비축하는 것이 가능하다. 원자력은 어떠한 사태로 인해 공급이 중단되었을 때 이를 해결할 수 있는 충분한 시간을 제공함으로써 에너지 안보를 높인다.

더욱이 원전 연료는 새로 채광되는 우라늄 이외에 재순환가능 핵물질이나 토륨 등과 같은 다양한 자원으로도 제조가 가능하다. 원전 연료의 재순환은 일회 연소 후 기체나 분진의 형태로 대부분 사라져버리는 화석연료와는 구별되는 독특한 특징이다. 비순환주기에서 나온 사용후핵연료는 적절히 설계된 원자로에서 핵분열성 플루토늄으로 전환이 가능한 핵연료 원료물질을 포함하고 있다. 현재의 비순환핵연료주기는 천연 우라늄에는 1%도 안 되는 핵분열성 물질인 U-235를 주로 사용한다. 여기서 발생한 사용후핵연료는 재처리를 통해 MOX 핵연료로 경수로에서의 사용이 가능하며, 이 경우 천연 우라늄의 이용률은 약 30%정도 증가한다. 이러한 기술은 이미 개발 완료되어 유럽에서 상당부분이 사용되고 있으며 일본에서도 사용되고 있다.

우라늄 자원을 고속증식로 혹은 다른 신형원자로에서 핵분열성 물질로의 전환을 통해, 현재 운영중인 비순환주기 원전이 같은 양의 우라늄으로 생산하는 것보다 약 60배 이상의 에너지 생산이 가능하다. 이러한 상황이 되면, 사용후핵연료 중간 저장시설은 핵연료 광산으로 전환되는 효과를 가져올 것이다. 이처럼 사용후핵연료를 폐기물로 보기보다는 잠재적인 자원으로 볼 수 있다는 점이 사용후핵연료의 회수 능력을 유지하는데 관심을 갖는 이유이기도 하다. 이러한 핵연료주기들은 천연우라늄 혹은 토륨의 단위질량당 생산 가능한 가치를 높일 수 있기 때문에, 낮은 등급의 천연 우라늄과 토륨 원광에 대한 경제성을 향상시킬 것이다. 이는 원자력을 급증하는 전세계 에너지 수요를 충족시킬 수 있는 장기적 에너지원으로 만들 것이다. 이와 같은 재순환 능력은 전체 자원의 효율성 및 생산성을 더 높은 수준으로 끌어올리고 지속 가능한 개발 목표에도 기여할 것이다.

### 방사선 방호

방사선 방호는 원자력 에너지가 지속 가능한 개발에 부합되기 위해서 필수적인 사항이다. 비록 방사선과 관련한 위험이 인류에게 영향을 미치는 수많은 위험 요소들 중에 하나이지만, 몇 가지 요인들이 방사선에 대한 국민의 우려를 증가시키고 있다. 방사능은 눈에 보이지 않으며, 친숙하지 않고, 이해하기 힘들고, 그 영향이 확률적 특성을 갖기 때문에 일반 대중에게는 불확실한 것으로 느껴진다. 방사선을 배출하는 핵주기시설에서는 복잡한 기술을 사용하고 있으며 지역 공동체와 멀리 떨어

진 기관들에 의해 통제되고 규제 받는다. 그러나 원자력 에너지만이 이러한 상황에 있는 것은 아니다.

원자력산업과 관련하여서, OECD 회원국들은 처음부터 방사선의 안전의 법제화, 전문화, 규정 및 인식 등을 포함하는 방사선 방호와 관련한 기반을 구축하여왔다 [29]. 방사선 방호의 접근 방식 및 체계를 지탱하는 원칙들은 지속 가능한 개발의 사회적 목표와 일치한다. 상기 체계의 효율성은 원자력시설로부터 배출되는 방사선의 현황 및 추세 그리고 일반 대중 및 작업자들의 노출에 따라 계산된다.

비정부 전문가기구인 국제 방사선 방호위원회(International Commission on Radiological Protection)는 전리방사선의 위험으로부터 일반 대중을 보호하기 위해 권고안을 제정하고 이를 회원국 법에 반영토록 하고 있다. 방사선 방호체계에 대한 위원회의 가장 최근 권고안은 지난 1991년에 발표된 'ICRP Publication 60'이다[30].

국제방사선방호위원회가 언급한 바에 따르면, 방사선 방호의 기본 목적은 방사선 노출을 수반하는 활동들을 지나치게 제한하지 않으면서도 인류를 보호할 수 있는 적정 기준을 제시하는 것이다. 기준 및 권고안은 사전에 주의하는 접근 방식에 따라서 보전에 미치는 영향을 적정 수준으로 제한하는 것이지 모든 위험을 제거하는 것은 아니다. 실제의 방사선 노출과 관련한 방사선 방호 개념의 세 가지 원칙은 행위의 정당화, 선량의 제한(즉, 규정 내에서 개인 선량의 유지), 그리고 방호의 최적화(즉, 경제적 사회적 요인을 고려하여 합리적으로 가능한 낮은 수준의 개인 선량 유지 [ALARA])이다.

방사선 방호기준은 일반 대중 및 작업자에게 노출될 수 있는 인간 활동에 적용된다. 각 활동들에 대해 권고되는 선량 제한치는 일반 대중에게는 연간 1 mSv<sup>2)</sup>이고, 작업자는 연간 20 mSv이다. 자연상태의 방사선 선량의 실제 수치는 장소에 따라 크게 달라질 수 있지만, 평균 선량이 대략적으로 연간 3 mSv인 것과 비교할 수 있다. 자연상태에서 방사선 노출이 특정지역에서는 연간 10 mSv에 이르며, 심지어는 이 보다도 높은 자연상태의 선량에 노출되는 지역도 있지만 어느 경우에도 이로 인한 문제가 제기된 곳은 없다.

---

2) Sievert는 큰 단위이기 때문에 피폭량은 주로 밀리 Sievert (mSv) 또는 마이크로 Sievert ( $\mu$  Sv)로 측정된다.

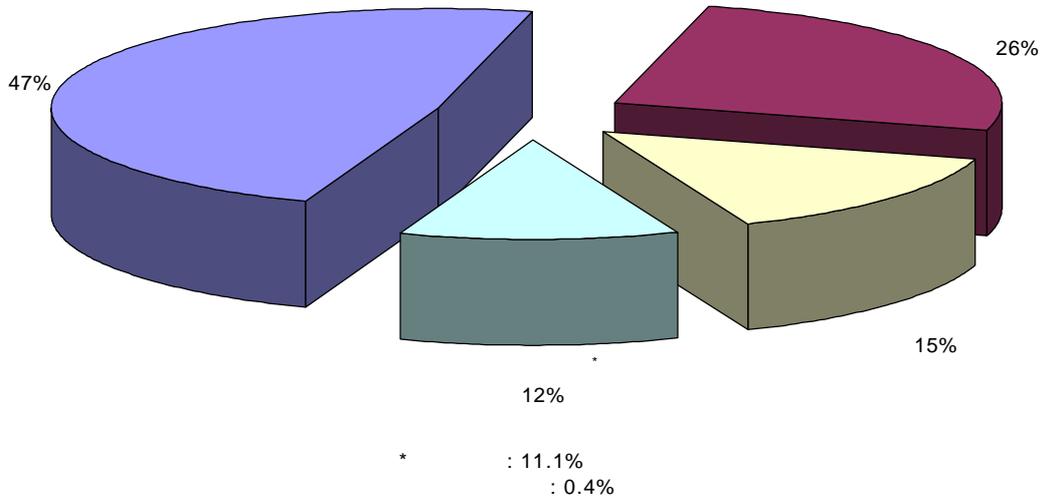


그림 3.1 연평균 자연 및 인공 방사능 노출 비중

자료원 : UNSCEAR, Ionising radiation sources and biological effects, 1994[31]

방사선 방호를 ALARA 원칙에 따라 수행할 경우, 원자력 분야에서 수행되는 활동의 결과에 따라 일반 대중 및 대부분의 작업자들이 일반적으로 받는 노출은 규정 한도의 극히 일부에 지나지 않는다. 일반적으로 원전 주변의 주민이 가장 높게 받는 연간 피폭 선량은 1에서 20  $\mu\text{Sv}$ 로[31, § 146] 이는 자연상태보다 50배 혹은 1,000배 이상으로 낮은 수치이다. 핵연료 재처리시설 주변에서 가장 최고로 피폭된 사람의 피폭 선량은 보수적으로 추정해도 200에서 500  $\mu\text{Sv}$ 이며[31, § 146], 이는 일반 대중의 연간 한계량보다 절반 이하이다. 핵주기시설의 작업자들의 연간 평균 선량은 3 mSv로서[31, 표 3] 이는 자연상태의 방사선 선량과 비교될 수 있으며 또한 높은 고도로 인한 우주 방사선의 노출 시에 항공승무원이 받는 연간 선량인 2-3 mSv와[31, § 163] 비교할 만하다.

원전 및 핵연료주기시설 내의 직업적인 노출은 지난 10여년 동안 감소하여 왔으며, 따라서 1999년의 원전당 연간 총선량은 1987년 수준의 절반 이하이다[32]. 현재 전체 원자력산업으로부터 발생하는 선량은 자연상태의 선량보다 약 300배 낮은

수준이며, kwh당 방사선 배출은 감소하고 있는 추세이다[31]. 운전 절차, 발전소 설계 변경, 핵연료주기 개발 등을 통하여 더욱 낮춰 나갈 수 있을 것으로 예상된다.

방사선 방호는 지속적인 연구개발을 통해 계속 발전해 나가는 분야이다. 방사선에 대한 생물의 민감성에 관한 연구는 방호 기준을 정하는데 기여할 수 있을 것이다. 이외에 중요한 분야로는 지속되는 전염병학 연구, 여러 종류의 방사선, 선량 및 선량율의 효과에 대한 연구, 보전에 영향을 미치는 다른 요인들과 방사선의 복합 효과, 암을 유발하는 여러 단계에 대한 방사선의 역할 등이 있다[33]. 방사선 방호는 기자재 개발 및 작업장내의 방사선 관리기술 개발 등을 통해 더욱 발전될 것이다.

방사선 방호에 있어서는, 다른 에너지원이나 산업활동과 비교할 때 일반 대중의 우려는 위험정보보다는 제도나 과정들과 더욱 관련이 큰 것으로 보인다. 따라서 이러한 우려에 대한 사회적 측면들이 설명되어야 한다. 일반 대중의 우려에 영향을 미치는 요인들로는 추가적 피폭과 관련된 활동으로부터 얻어질 수 있는 이득, 이러한 활동의 필요성, 다른 대안들과 비교할 때 이러한 활동의 장점, 결정에 대한 통제 수준 등이다[34]. 이러한 관점에서 정책 및 과정이 중요한 인자이며 방사능의 위험, 방사선 방호체제, 일반적인 위험 등에 대한 교육 및 정보도 중요한 역할을 할 것이다. 이 중에서 과정은 다음의 2개의 기준을 동등하게 만족시켜야 한다는 특별한 상황을 갖고 있다. 즉 과학에 본질적으로 내포된 위험과 스스로에게 영향을 미치는 사안의 결정에 참여하여 여러 가지 우려 사항들을 합법적으로 충분히 고려할 수 있는 대중들의 민주적 권리라는 2개의 기준에 대해 어느 쪽의 중요성도 손상하지 않고 동등한 중요도를 갖게 함이 필요하다.

## 안전

만일 원자력이 지속 가능한 개발 정책에서 중요한 역할을 담당하기 위해서는, 원자력 시설 및 핵물질 수송에서 발생하는 보건 및 환경영향들이(정상운전 시에는 그 영향이 매우 작음) 사고시에도 사회적으로 받아들일만한 수준을 유지해야만 한다. 이를 위해서는 외부로의 유출을 야기할 수 있는 심각한 사고의 확률을 아주 낮추어야 하며, 설령 발생한다 하더라도 유출의 결과가 심각하지 않아야 한다. OECD 회원국들에서 원전과 핵주기 시설들은 독립적이고도 유능한 규제기관들이 강력한 법제, 규정, 기준에 따라서 운영하고 있으며 또한 상당히 높은 안전 운전 실적을 보이고 있다.

핵물질의 높은 에너지 밀도 덕분에 원전으로 수송되는 연료의 양은 적다. 그러나 원전으로 또는 원전 밖으로 핵연료를 수송하는 것은 방사선 누출의 위험을 막기 위하여 적절하게 포장하고 규제하여야만 한다. 또한 민감물질에 대한 물리적 방호는 반드시 보증되어야만 한다. IAEA는 지난 1961년 방사성 물질의 수송안전을 위한 규정을 처음으로 발표하였고 지속적으로 개정 및 수정하고 있다. 지난 30년 동안 방사성물질의 수송시 방사선에 의한 심각한 사고가 한번도 알려진 바가 없다는 사실은 이들 규정이 효과적이었다는 것을 입증한다.

원자력 시설 특히 원자로들은 다량의 방사성물질을 갖고 있는 복잡한 시스템이기 때문에 심각한 피해를 야기할 수 있는 잠재성을 갖고며 포괄적인 안전체제를 요구한다. 원자로 안전에 대한 기본적인 기술적 접근 방식은 5중 방어체제로 대표되는 심층방호체제이다. 원전 설계에서 이들 개념을 도입함에 따라 다중 중복 대비, 능동 및 수동형 안전개념 등 많은 통제, 제한, 방호체제들이 구축되었다. 또한 사고 발생의 여러 단계들에서 원전 방호체제는 연쇄반응을 저지하도록 작동하고 또한 작업자의 대응 활동들이 사고 방지를 보완한다.

노심 손상에 이르는 사고의 위험 확률은 OECD 회원국에서 가동되는 원자로의 경우 가동연간  $10^{-4}$  이하로 알려져 왔다. 중대사고시 외부로의 유출을 억제하는 안전 장치들을 감안하면, 방사능이 심각하게 외부로 유출될 확률은 이보다 적어도 10배는 줄어들게 된다. 이는 기존의 발전소 주변에 거주하는 각 개인이 방사능 유출에 심각하게 노출될 위험 확률은 연간  $10^{-5}$  이하라는 것을 의미한다. 1980년대 중반 이후로, 설계 및 운전 절차의 개선은 사고의 위험을 눈에 띄게 줄여 왔으며, 또한 원자력 안전 및 방사선 방호에 관한 지표들은 지속적으로 향상되고 있다.

새로운 설계의 목표는 기존 설계와 비교하여 위험도를 10배 낮추는 것이다 [35]. 사고방지와 사고완화가 동시에 향상될 것이다. 개선된 인간-기계 연계 정보기술의 추가 이용 및 자력 테스트 방지장치 등을 통한 장비 고장 빈도와 인간 오류를 줄임으로써 사고방지는 향상된다. 실제적으로, 대규모 방사능 누출을 없애고 부지 밖 결과를 제한 할 수 있는 중대사고에 대한 특별설계 특징을 도입하여 사고완화를 향상시키는데, 노심 손상 사고의 경우라도 일반 대중의 대피를 포함한 부지 밖 비상계획이 필요 없게 된다.

원자로 설계와 건설 수준만이 안전성을 확보하는 수단은 아니다. 1979년 미

국의 TMI사고와 1986년 우크라이나 체르노빌 원전 사고 등 두 사고의 원인과 결과의 분석은 원자로 안전에 중대한 개선을 가져올 수 있다. 특히, 이 두 사고는 운전원의 훈련과 절차를 포함한 인간 인자에 더 많은 주의 필요성을 각인 시켰으며 안전문화의 중요성을 강조하게 하였다.

안전 문화는 위로는 국가 차원의 입법에서부터, 규제를 거쳐, 운전기관의 경영진 뿐만 아니라 안전에 영향을 줄 수 있는 개개인이 이르기까지도 안전 문제에 최고의 우선 순위를 둔다는 의미이다. 이는 또한 아래로부터 위로의 피드백, 전세계 원자력 산업의 경험을 통한 학습, 사고를 유발할 수 있는 근본 원인에 대한 이해 등도 포함한다. 이러한 관점에서 규제기관의 독립은 매우 중요하다. 규제기관들은 운전기관의 안전문화를 평가하는 방법론 및 결함을 조기에 바로 잡을 수 있는 방안들을 개발하고 있다[36].

규제감독은 원자로가 안전 방벽의 건전성에 어떠한 위험 상황이 발생하지 않도록 하는데 초점을 둔다. 규제자가 아니라고 믿을 어떠한 근거를 가지면, 원자로는 운영이 허가되지 않는다. 정부는 효과적인 법령이 존재하는지, 규제기관이 독립적이고, 유능하고 그 책임을 완수 할 모든 자원을 가지고 있는지 보증할 책임이 있다. 안전에 대한 1차 책임이 시설 운영자에 있는 동안에도, 규제기관은 허가된 기준에 대하여 운영자 이행을 감시하는 것이 필수적이다. 규제기관은 원전을 정지시키는 최종 권한을 포함하여 안전 규제 조치를 이행할 수 있는 권한과 수단을 가져야만 한다. 규제기관, 운영자 및 정부는 안전 우선을 경시할 수 있는 자기 도취적 태도에 대하여 경각심을 가져야 한다.

또 한가지의 노력은 여러 가지 인간 활동으로부터 오는 위험 및 이득의 비교 평가의 과정에 인간을 끌어 들여서 지속 가능한 개발에 부합되는 자원의 최적 분배를 달성하는 것이다. 대개 사람들은, 일어날 확률은 크더라도 이로 인해 미치는 영향이 작은 사건보다는 확률은 작지만 그 영향이 큰 사건에 더 관심을 가지는 경향이 있다[37]. 예를 들어, 비행기 추락사고는 전체 사고로 인한 총 사망자 수에서가 훨씬 많은 자동차 사고보다 더 주목을 끈다. 참여와 통제 정도, 이득, 사건의 결과에 대한 불확실성, 관련기관의 신뢰도, 위험에 대한 친숙도, 결과의 공포 등 위험성 수용 인지도는 다음과 같은 인자에 따라 크게 변화한다[38]. 위험관리에 대한 포괄적이고 일관된 접근은 원자력 안전성을 포함한, 체계와 방법의 효과적 통제와 완화를 향상시키는데 기여한다.

경쟁과 민영화의 증가함에 따라, 정부들은 원자력 연구개발을 지원하던 재래식 역할을 그만두고 있다. 식품, 의약 및 공기정화 등과 같은 다른 규제 분야에서의 안전 연구들이 일반 대중을 위한 재화의 성격을 갖는다고 본다면, 원자력 안전 연구 개발에도 정부들이 어느 정도 지원하는 것을 고려해야 한다. 운영, 규제 및 안전연구의 국제 협력은 비용과 시설을 공유하는 것이 효과적인 방법이다. 특히, 원자력이 더 많은 국가에서 이용된다면, 안전 관련 국제 협력은 고도의 안전 기준을 확보하는데 필수적이다.

### 제3자 손해 배상

제 3자 손해배상 체제는 원자력에만 적용되는 독특한 것이며, 지속 가능한 개발이라는 관점에서 시사하는 바가 크다. 전통적 보험은 높은 가능성 및 작은 영향의 사건에 적용되는데 반해 원자력 손해배상체제는 낮은 가능성 및 큰 영향의 사건에 적용된다. 실질적인 자연 및 환경 재앙으로부터 오는 대규모의 사고에 대비할 수 있는 보험 체계에 대한 압력은 거세어지고 있으며, 최근에는 그 비용도 크게 증가하고 있다.

원자력 산업의 고도의 안전 기준으로 인해 사고발생의 위험성이 낮다 하더라도, 그러한 사고로 제 3자가 입을 잠재적 피해의 규모는 엄청나다. 그래서 원자력 사고의 피해자 보상을 위한 특별법 체계가 필요하다는 것이 원자력 산업계로부터 발달된 것으로 인식되어 지는데, 일상의 민사법과 계약법은 그러한 상황에 효율적이고 효과적인 방법이 되지 못한다.

만일 일반법이 적용된다면, 원자력 사고와 직·간접적으로 관련된 여러 기관들 중 누가 실제적으로 책임이 있는가를 결정하는데 큰 어려움을 갖게 될 것이다. 어느 한 기관에 부과되는 책임에 대한 제한이 없다면, 그 기관은 사고로부터 오는 보험료와 같은 재정적 부담을 예측할 수가 없다. 더욱이 중대사고의 확률이 아무리 낮다고 해도 이와는 상관없이, 회계법 상으로 원자력시설 및 서비스의 운전자나 공급자들이 원자력 사고로부터 오는 막대한 잠재적 부담을 처리할 수 있는 방법이 없다.

원자력 손해보상체제는 다음과 같은 몇 가지 목표의 조화로부터 나온다. 그 목표들은 일반 대중에 대해 미칠 수 있는 위험 가능성으로부터의 충분한 보호 제공, 사고에 따른 과중한 부담으로부터 원자력산업의 보호 및 성장 보장, 잠재적인 대규

모 보험금 지불 요청에 대해 충분히 대비할 수 있도록 국제 보험 시장의 재원 확보 유도, 원자력 사고 피해가 본질적으로 갖는 경계의 초월이라는 개념을 원자력 책임 및 보상 제도가 포함한다는 것에 대한 보장 등이다. 그 결과로서 원자력 시설 운전자들의 제한적인 책임, 원자력 시설 운전자들의 책임에 대한 시간적, 금전적 제한, 원자력 시설 운전자들의 책임에 대한 재정적 보상 의무 등의 개념을 반영한 국·내외적 제도가 구축되었다.

대부분의 OECD 회원국의 국내 제도들은 법제화를 통해 정착되어 있으며 OECD 비회원국들에서도 이러한 제도가 마련 중에 있다. 또한 이와 관련하여 현재의 국제적인 체제는 다음의 2개의 국제 협약으로 대표되고 있다. 첫 번째는 OECD 주도로 1960년 결성된 원자력 에너지 분야의 제 3자 손해배상에 관한 파리 협약(Paris Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy)이며 서유럽의 14개 회원국들이 참여하고 있다. 두 번째는 IAEA 주도로 1963년 결성된 원자력 피해의 민간 책임에 관한 비엔나 협약(Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage)으로서 이는 전세계의 모든 나라들을 대상으로 하고 있으며 4개의 OECD 회원국<sup>3)</sup>이 참여하고 있다. 이 두 개의 협약들은 공동 의정서를 통해 서로 연계되어 있다.

체르노빌 사고 이래로, 국제 원자력 사회는 희생자에 대한 보상을 확대하고 전세계의 모든 국가들이 자발적으로 참여할 수 있도록 국제적인 체제를 광범위하게 재정비해야 할 필요성을 인식하여 왔다. 이러한 노력의 일환으로 1997년에 외교관 회의가 개최되어 원자력 피해의 추가보상 협약(Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage)과 비엔나 협약 의정서를 체결하였다. 또한 파리 협약의 보완도 2001년에는 마무리될 것으로 예상된다. 이러한 장치들의 폭넓은 접목을 통해 원자력 사고의 비용을 내부화시키고 지속 가능한 개발의 목표에도 부합되는 방향으로 나아갈 수 있을 것이다.

OECD 내의 회원국들에 있어서 원자력 운전자가 부담해야 하는 책임의 한계는 국가별로 국내법에 따라 상당히 차이가 난다. 이러한 차이는 2개의 국제 협약에서 규정하고 있는 책임 한계가 다르고, 국가별로 원자력 발전을 이용하는 정도가 다르고, 정치적 경제적 변수가 다르다는 데 기인하고 있다. 또한 몇몇 회원국에서는 비

---

3) 체코 공화국, 헝가리, 멕시코, 폴란드 등은 OECD 회원국에 가입하기 전에 비엔나 협약에 조인하였다.

록 사고에 따른 금전적 보상 규모는 한계를 두더라도, 원자력 사고의 운전자들에 대해서는 무한 책임을 부담시키는 국내법을 이미 채택하고 있다.

운전자의 책임에 한계를 두자는 의견에 반대하는 이유들은 운전자들이 이미 사고로 인한 모든 금전적 보상을 하지 않아도 되며, 안전을 보장해야할 동기가 줄어들며, 따라서 사고의 발생 확률이 높아질 수 있다는 것이다. 안전성 문제와 관련하여, 운전자들은 발전소의 안전에 대해 스스로 이미 충분한 관심을 갖고 있으며 또한 운전자들은 적절한 독립 기관에 의해 철저히 규제되고 있다고 정부는 주장해 왔다.

### 방사성 폐기물 관리

지속 가능한 개발이라는 관점에서 볼 때, 폐기물의 차폐 및 처분을 통해 인간과 환경에 유해한 영향이 항상 최소화될 수 있도록 폐기물 관리가 이루어져야 한다. 방사성 폐기물은 반감기에 따라 단기간에 또는 장기간에 소멸될 수 있다. 오랫동안 위험한 상태로 남아 있는 장수명 폐기물이 원자력 에너지가 극복해야 할 주된 과제이다. 그러나 이러한 특성이 방사성 폐기물에만 국한된 것은 아니다. 중금속과 같은 다른 종류의 유해 폐기물도 생태계 내에 영원히 존재하거나 또는 그 영향이 아주 오래갈 수 있다. 원자력 에너지의 사용으로부터 발생하는 폐기물은 양이 매우 적다는 특징을 갖고 있는데, 일반적으로 원자력 에너지 산업을 보유하고 있는 나라의 경우 발생하는 총 유해 폐기물의 1% 미만을 차지하고 있다. 또한 방사성 폐기물은 현재의 기술과 적당한 비용으로 생태계와 격리시킬 수 있다.

폐기물 관리와 처분에 소요되는 비용은 총 원자력발전 비용의 몇 %에 불과한 것으로 추정된다[21]. 이러한 비용은 원자력발전 사업자들에 의해 부담되며 소비자가 지불하는 전기사용료에 반영되는데, 이는 방사성 폐기물 관리비용이 내부화되었다는 것을 의미한다. 대부분의 OECD 회원국에서는 폐기물 처분장에 필요한 재원은 전력의 충당금으로서 소비자에게 부과된다. 충당금은 분리 적립되어 폐기물 처분 시설 건설 시 사용된다. 폐기물 관리 및 처분에 소요되는 비용이 절대값 측면에서는 다소 클지도 모르지만, 원자력발전에 의해 생산된 대규모 전력량으로 나누어 보면 원자력발전 비용에 큰 영향을 미치지 못한다.

방사성 폐기물의 대부분을 차지하는 저준위 폐기물 또는 단수명 폐기물들은 위험성이 상대적으로 작다. 모든 OECD 회원국들은 이러한 폐기물들은 일상적으로

처리, 수송, 저장하고 있으며, 이들을 관리하고 처분하는 방법은 이미 충분히 개발되어 있다. 이들 폐기물의 방사능은 수 백년이면 거의 소멸되며 중대한 보건 및 환경 문제를 유발하지 않는다. 이들은 얇은 지하 또는 지상 처분장에 처분되며, 많은 OECD 회원국 및 비회원국에서 이미 운영되고 있다. 비용을 낮추고 환경 부담을 줄이기 위해 이러한 폐기물의 단위 전력 생산량당 발생량을 줄이는 노력이 계속되고 있다[39].

우라늄 채광 및 정광 활동은 매우 낮은 수준의 방사능을 오랜 기간 동안 방출하는 광산 폐기물질을 발생시키며, 이들은 아주 넓은 지역에 퍼져 있게 된다. 원광의 품위에 따라 차이는 있지만 다른 광산들과 마찬가지로 우라늄 광산도 비슷한 폐기물질을 발생시킨다. 현재 OECD 회원국에서 인가받아 운영되고 있는 우라늄 광산의 폐기물질을 관리 상태로 미루어 볼 때, 보건 및 환경영향을 최소화시키면서 이들을 효율적으로 관리하는 것은 얼마든지 가능하다. 향후 OECD 회원국에서 우라늄 광산 개발은 면밀한 환경영향 평가를 거쳐 허가를 받게 될 것이다[40].

장수명 방사성 폐기물들이(재처리 후 발생하는 고화 폐기물이나 재처리를 않을 경우에는 주로 사용후핵연료) 전체 폐기물 발생량에서 차지하는 비율은 매우 낮다. 전세계에서 발생하는 사용후핵연료의 양은 연간 약 10,000톤이다. 고준위 폐기물은 그 위험성이 수 천년간 지속되며, 이에 비례하여 장기간 환경으로부터 격리되어야 할 필요성이 있다. 그러나 사실 방사능 및 열 방출의 가장 큰 위험성은 단수명 폐기물에 있다. 이들은 초기에는 빠르게 반감하므로 시간이 지남에 따라 다루고, 처리하고, 처분하기가 쉬워진다. 원자력발전 계획을 갖고 있는 OECD 회원국들에서는 사용후핵연료 또는 인허가를 받고 발생하는 장수명 폐기물들은 안전하고 믿을 만한 수조 또는 건식저장 밀봉용기 속에 저장된다. 수십년 동안 중간저장을 통해 안전하고 경제적으로 관리될 수 있다.

비록 폐기물을 조속히 처분해야 할 환경적, 기술적, 경제적 동기가 없다고 하더라도 중간 저장은 영구적인 해결책이 아니며, 지속 가능한 개발이라는 측면에서 다음 세대에게 부담을 전가할 수 있다는 우려가 결국 최종 처분으로 가도록 유도하고 있다. 장기적으로 격리시킬 수 있는 최적의 방법은 안정적 지반을 갖춘 지역에 심층 처분하는 것이라고 일반적으로 알려져 있는데 이러한 개념은 이미 40여년 전에 제시된 것이다. 처분장의 설계는 해로운 폐기물을 대기로부터 완벽하게 격리시킬 수 있도록 다중방어 개념을 채택하고 있다.

처분장의 안전성을 평가하기 위해 사용되는 가정들은 자연계에서 이미 시험되어 왔다. 수십억년전 가봉에서는 매장된 우라늄 원광 사이를 흐르는 자연상태의 물이 감속재의 역할을 함으로써 자연이 만든 원자로가 수백만년 동안 가동되었다가 정지되었다. 이러한 자연의 원자로에서 나온 핵분열 물질들은 원래의 위치로부터 불과 몇 센티미터 밖에 움직이지 않았다[41]. 또한 금속 부식, 점토 성분의 진화, 서로 다른 매개체 사이의 용해 물질의 이동, 화학적 흡수 및 흡착, 장기적인 기상 변화 등과 같이 다양한 다른 주요 현상들도 자연적으로 형성된 처분장과 유사한 상황에서 연구되었다. 이러한 연구를 통해 연구실이나 현장에서 직접 측정하기에는 너무 규모가 크거나 너무 느리게 진행되는 현상을 규명할 수 있었다.

과학자들과 전문가들은 원자력 폐기물들이 안전하게 다루어지고 그것들이 더 이상 유해하지 않을 때까지 수천년 또는 그 이상 환경으로부터 격리시킬 수 있다고 생각한다. 지하 연구실이나 몇몇 국가에서 운영되는 장수명 폐기물의 지하 처분시설에서 얻어진 전세계적 경험으로 미루어 볼 때, 처분장의 건설 및 운영 기술은 이미 실용화 단계에 와 있다. 1999년 3월 미국에서 가동을 시작한 첫 번째의 장수명 폐기물 전용 처분장은 또 다른 산업적 경험을 제공하게 될 것이다.

원자력산업은 방사성 폐기물의 위험성이 완전히 소멸될 때까지 이들을 차폐시켜야 할 장기적 책임을 받아들이고 있다. 또한 원자력산업은 유해한 물질들을 배출하는 다른 분야들보다 일찍 장기적인 폐기물 관리 기준들을 설정하였다. 그러나 방사성 폐기물은 이에 못지 않게 정책적으로 관리되고 처분되어야 하는 대부분의 다른 유해 폐기물에 비해 더욱 일반 대중의 우려의 대상이었다[42]. 일반 대중은 과학기술계가 가지고 있는 폐기물 관리의 장기적인 안전성에 대한 자신감에 대해 동의하지 않을 수도 있다. 수천년 후를 예측하는 데는 불확실성이 불가피하게 존재하며, 따라서 이처럼 결과를 정확히 예측할 수 없는 어떤 일련의 활동들의 실행을 보류하도록 이끌었다.

고준위 폐기물 처분을 위한 부지를 선정하고, 처분장을 건설하고, 폐기물을 저장하고, 이를 폐쇄하는 모든 과정에는 거의 일세기가 소요된다. 현재 계획되고 있는 처분장에 2020년 이전에 폐기물을 처분하기를 기대할 수 없으며, 처분장이 완성된 후에도 수십년 간은 개방 상태로 있을 것이다. 폐기물들은 적어도 처분장 운영의 초기단계에서는 필요하면 언제든지 재활용할 수 있는 상태로 남아 있게 되며, 비용

을 증가시킨다면 더 오랫동안 이러한 상태를 유지할 수도 있다. 관찰 및 감시는 처분장이 폐쇄된 후에도 계속될 수 있다. 여러 가지의 단계가 있으며, 각 단계별로 규제 할 수 있는 기회 및 일반 대중이 의사결정 과정에 참여할 수 있는 기회들이 있다. 특히 부지 선정 단계 등과 같이 미래의 단계들을 결정하는 종합적인 의사결정 과정에 참여할 수 있는 시간이 충분히 있다. 또한 방향을 수정하거나 새로운 기술로부터 혜택을 받을 수 있는 기회도 있을 것이다. 이러한 접근 방식은 미래의 세대들이 스스로 결정할 수 있는 기회를 갖는 것을 보장해 줄 것이다.

의사결정 과정에 있어서, 일반 대중의 대화와 참여가 가능하도록 하는 일관된 정책 및 엄격한 규제 제도가 필요하다. 논쟁이 되고 있는 프로젝트에 대해서 전폭적인 지지를 바라는 것은 현실적이지 못하다. 반면에, 이루어진 모든 의사결정이 충분히 심사숙고하여 결정되었단 것을 사회가 확신할 수 있어야만 한다. 단계별 의사결정 과정은 자신들이 선택할 수 있는 사항에 대해 모든 관련 집단들의 의견이 반영될 수 있는 기회가 제공되어야 하며 심도 있는 기술적 검토도 이루어져야 한다. 기술적 정보는 토론을 위해 필수적인 것이지만 유일한 것은 아니다. 정치적 관점에서 볼 때, 폐기물 장기 관리에 관한 의사결정 과정에서 일반 대중의 우려는 과학자들의 확신만큼이나 중요하다. 최종적으로는 정부가 적절한 수준의 대중적 지지와 받아들일 만한 수준의 안전성 두 가지 모두를 성취하기 위한 의사결정에 대한 책임을 져야한다. 만일 방사성 폐기물 관리의 문제가 사회적이고 정치적인 것이라면, 해답 또한 확실한 과학과 기술에 근거하여 사회적, 정치적 측면에서 찾아야 한다. 지속 가능한 개발은 과학 및 기술과 관련된 사안이지만 그에 못지 않게 형평 및 참여와도 관련되어 있다.

## 사회적 측면

지속 가능한 개발의 인간적, 사회적 측면은 지식, 교육, 고용 기회, 인류 복지, 형평 및 참여 형태 등의 인적 자본과 효율적 제도 및 자발적 협력, 법률의 공정성, 사회적 응집력 등의 사회적 자본으로 구성된다. 이러한 관점에서, 일련의 다른 진보된 기술과 마찬가지로 원자력 에너지도 인적 및 사회적 자본에 대한 기여, 국민 이해의 확보, 위험 및 편익에 대한 다양한 인식 등으로 특징지어 진다.

### 인적 자본

원자력 에너지는 20세기의 위대한 과학적 발견들 중 하나이며 다음 세대에 물려줄 지적 자본의 한 부분이다. 원자력 에너지는 탄탄한 과학과 기술의 토대 위에

이루어졌다. 원자력 에너지는 다른 에너지원에 비해 보다 더 지식 지향적이고 보다 덜 물질적이기 때문에, 정보의 수집, 분석, 교류를 통해서 큰 발전을 이룩할 수 있다. 원자력 에너지는 첨단 기술직과 고도의 창의성을 발휘할 수 있는 장을 제공한다. 원자력 과학기술은 제약, 로봇, 계측제어 시스템, 재료과학, 정보기술 등의 다른 분야와 조화를 이루고 있다.

원자력 에너지의 인적 자원은 최고급 인력을 포함하고 있는데, 이러한 인력들은 우라늄의 채광에서부터 방사성 폐기물 관리까지에 이르는 모든 핵주기 내에서의 복합 설비의 디자인, 건설, 운영뿐만 아니라 규제 활동과 연구개발에도 필수적이다. 이러한 기술들은 현대 사회의 전체 과학기술자원의 한 분야이다. 이러한 인적 자원과 원자력 연구개발 역량의 재건을 통해 원자력 에너지는 핵연료주기나 혹은 그 이상의 분야에서 과학지식과 기술활용에 계속적으로 기여할 수 있을 것이다.

기초 과학의 비약적 발전을 통해 경쟁력 있는 발전원을 개발하기 위해서는 심도있는 연구개발 프로그램이 필수적이다. IEA에 의해 발표된 통계자료에 의하면, 1974-1995 기간 동안 IEA 회원국내에서 핵분열 관련 연구개발을 위해 지출한 정부의 총 예산은 연간 약 40-90억 달러였다[43]. 이제 원자력 에너지는 산업적 원숙기에 도달해 있어서 기존 원자로의 상업적 이용을 지원하기 위한 연구개발은 산업체에 의해서 이루어질 수 있으며, 또한 어느 정도 그 규모를 줄여도 문제가 없을 것이다. 그러나, 원자력 에너지가 지속 가능한 개발 목표에 효과적으로 기여하기 위해서는, 장기적인 연구개발이 요구될 것이다. 정부는 특히, 안전성, 규제, 그리고 폐기물 처리를 포함하는 환경영향 등과 같은 공공 정책적 목표를 지원하는 분야의 연구개발에 기여할 수 있다. 이러한 영역에 대한 국제적 협력은 인적 자원, 기금, 그리고 설비를 효과적으로 활용하는 데 도움을 줄 것이다.

### 관련 기관

평화적 원자력 활동을 위해 설립된 관련 기관들은 여러 면에서 독특하다. 핵분열 현상은 1939년에 발견된 것으로, 최초의 주요 활용은 핵무기 개발이었다. 평화적 목적으로 원자력 에너지를 개발했던 국가들에서도, 국가 안보를 염두에 두고 정치적 최고위층수준에서 의사 결정이 이루어졌을 뿐만 아니라 또한 이에 맞는 기관들을 설립하여 추진하였다. 핵무기 보유국내에의 이러한 기관들은 주로 군사적인 그리고 비군사적인 두 가지 목적을 동시에 지니고 있었다. 일반적으로 국가 원자력 관련 기관들은 일반적인 에너지 관련 기관들에 비해 먼저 설립되었다. 그것은 국제적 차

원에서도 마찬가지인데, IAEA 와 NEA는, 좀 더 포괄적인 맥락에서 에너지를 바라보는 IEA와 다른 기구들 보다 몇 년 더 먼저 생겼다. 현재에도 대부분의 국가들에서 원자력 에너지는 일반적으로 정부의 가장 중요한 사항으로 간주된다.

별도의 재원을 가지고 또한 대부분 국립 연구소의 형태를 가지고 있었던 원자력 전문기관들의 존재는 초기에는 정부의 정책 목표와 일관된 원자력 에너지 개발에 도움을 줄 수 있었다. 그러나 되돌아보면, 원자력 관련 기관의 이러한 고립은 일반적인 에너지 정책 토론 과정에서 고려되었던 여러 가지 에너지원들에서 제외되었다는 측면에서는 불리했던 것으로 판단된다. 또한 원자력 산업을 보호했던 상황이 오히려 시장 경쟁에 적절히 대응하지 못하는 결과를 초래했다. 더욱이, 원자력 기관들이 다른 정부 기관과 분리되어 있음으로 해서 생겨난 비밀주의적 인상은 원자력 에너지에 대한 일반 대중의 인식에 부정적인 영향을 주었다.

당시에는 국가 안보가 안전성이나 환경 보호보다 우선이었기 때문에, 일반적으로 초기의 원자력 기관들은 독립적으로 규제되지 않았었다. 독립적이지도 그리고 충분히 규제되지도 않았던 원자력 활동은 원자력 산업이 야기시키는 안전성과 환경에 관련된 많은 심각한 문제들의 원인이 되었다. 안전성에 대한 책임은 운전자에게 있다고 하더라도, 강력한 입법에 의해 뒷받침된 효과적이고도 독립적인 규제는 원자력 안전성과 안전 문화에 중요한 기여를 한다. 이것은 또한 원자력 에너지에 대한 신뢰를 확립시키는 것이다.

이제 자리를 잡은 독립적인 규제 기관들은, 원자력 에너지 활동이 높은 안전성과 방사선 방호 규범에 따라 수행되고 있다는 것을 보장하는 중요한 역할을 수행한다. OECD 회원국들에서 원자력 규제 기관들은 전문적 기술에 대한 높은 기준과 독립성을 확립하였으며 또한 원자로의 안전성, 폐기물 관리, 방사선 방호에 있어서 매우 만족할 만한 수준의 실적을 보여주는데 기여해 왔다. 효율적인 규제를 위한 핵심 사항들은 민주적 제도하에서 달성되기가 더욱 쉬울 것이다. 민주적 제도하에서는, 일반 대중들이 받아들일 수 있는 안전 기준들이 선출된 의원들에 의해 제정된 법령을 통해서 설정되며, 규제 기관들 또한 더욱 신뢰할만 하고 실제로 신뢰되어 지고 있는 것 같다. 효과적이고 독립적인 규제 기관들에 대한 계속된 지원은 원자력 에너지가 지속 가능한 개발 정책에 기여하는 데 필수적이며, OECD 비회원국들에서도 효율적 규제를 적극적으로 장려해야 한다.

대부분의 국가들에서는 원자력 활동에 관계된 근로자와 일반 대중의 보건, 안전, 방호뿐만 아니라 환경보호에 대한 엄격한 법률이 존재한다. 그러나 모든 국가들이 포괄적인 원자력법을 보유하고 있는 것은 아니며, 또한 지속 가능한 개발이라는 목표에 부합될 수 있을 만큼 광범위하고 명확한 법률을 보유하고 있다고 하더라도 원자력법의 운영 방식에는 차이가 있을 수 있다. 원자력 규제 당국이 그들의 판단하에 규제를 시행하기 위해서는 충분한 자원, 법적 권한, 법의 준수를 유도할 수 있는 유인책이 필요하다. 원자력 폐기물을 장기적으로 관리하는 기관들은 설계, 규제, 재원 확보에 주의 깊은 관심을 가져야 할 것이다.

### 핵비확산

지속 가능한 개발의 목표에 부합되기 위해서는, 원자력 에너지가 핵무기 확산의 원인이 되어서는 안 된다. 정책 결정자들이나 일반 대중의 가장 큰 우려는 비군사 활동에 쓰여지고 개발되는 기술 및 장비뿐만 아니라, 특히 고농축 우라늄과 플루토늄 같은 민감한 물질들이 군사적 혹은 테러 목적으로 전용될 수 있는 것이다. 그렇지만 핵무기의 잠재적 확산 가능성은 원자력 에너지의 평화적인 이용에만 기인하는 것이 아니므로 원자력 에너지의 포기가 핵무기 확산의 위협을 완전히 해소시키지는 않을 것이다.

핵확산 위협은 국제 안보, 그리고 핵무기의 전략적인 역할과 같은 정치적 맥락 안에서 생각되어야만 한다. 국제 관계를 개선하고 핵무기를 국방이나 외교의 합법적 도구로 사용할 수 없다는 선까지 핵전쟁의 결과에 대한 이해를 높이는 것이 정치가 기본적으로 해결해야 할 과제이다. 냉전 종식과 함께 초강대국들 사이의 핵전쟁에 대한 위협이 줄어들고 있다. 강력한 적대국들에 둘러 쌓여 고립된 국가들 및 극심한 분쟁 지역에 위치한 국가들이 핵무기에 매력을 느끼기 쉽다. 따라서 이러한 국가들의 안보 문제를 위한 또 다른 해결방안을 찾는 일이 핵무기를 보유하려는 그들의 동기를 감소시킬 수 있을 것이다.

핵무기급 물질의 생산 혹은 전용을 억제하기 위해 가장 중요한 제도는 1970년에 체결된 영구적인 핵비확산 조약이다(Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapon : NPT). 이 조약을 통해 185개 국가들은 핵무기 개발을 중지하는 대가로 평화적 원자력 기술의 혜택을 받기로 동의하였다. 핵무기 개발을 중지에 대한 약속 이행은 국제원자력기구가 주관하는 국제 안전조치 체제에 의해 감시되고 있다. 이 안전조치 제도를 통해서 국제원자력기구는 핵비확산 조약에 가입한 핵무기 비보유국

내에서의 원자력 활동이 평화적 목적에만 국한되어 있는가를 감시할 수 있다. 대부분의 국가들은 핵비확산 조약의 가입국이며, 원자력 개발 계획에 대한 국제 안전조치를 수용하고 있다. 최근에는 신고된 핵물질의 비전용 및 신고되지 않은 핵물질이나 원자력 활동의 존재 여부에 대해 국제원자력기구의 보다 신뢰할 수 있는 확인이 가능하도록 안전조치 통제가 강화되고 있다.

비록 핵분열 물질과 무기 생산에 관련된 많은 사항들이 여전히 근접감시되고 있기는 하지만, 핵무기 기술의 기본 지식은 이미 널리 알려져 있다. 정치적 의지나 충분한 재원이 투입된다면, 일정 수준의 과학적 산업적 기술 축적을 갖고 있는 국가는 핵무기를 개발할 수 있을 것이다. 만약 정치적 결정이 내려지면, 어떠한 민간 원자력발전 개발 계획과는 독립적으로 핵무기를 취득할 수 있을 것이다. 사실상 역사적으로 볼 때 핵무기를 보유한 대부분의 국가들은 그들이 원자력 에너지의 평화적 이용을 위한 개발 이전에 핵무기를 취득하였다. 그들은 민간 원자력발전 개발 계획보다는, 무기로 쓰기에 적합한 핵분열 물질의 생산을 포함하는 군사적 활동을 위한 전용 시설과 인력을 이용했다.

원자력발전 개발계획을 핵무기를 위한 물질의 제조원으로 이용하기 위해서는 극복해야 할 많은 기술적 어려움이 있다. 특히, 전력 생산을 목적으로 하는 정상적인 운전에서 생산된 원자로급 핵연료로부터 나온 플루토늄은 저연소도 핵연료를 사용하는 전용시설에서 나오는 플루토늄 보다 무기로 사용하기에 훨씬 덜 적합하다. 더욱이 포괄적 안전조치에 동의한 국가들에서는, 모든 원자력 시설은 국제적인 통제에 따라 평화적으로 이용되어야 한다. 국제 안전조치 하에서 핵물질의 전용은 발각될 가능성이 매우 높기 때문에, 민간 원자력발전 개발계획으로 위장하여 비밀스런 핵무기 개발계획을 추진하는 방법은 별로 매력적이지 못하다. 군사적 개발계획을 금지하는 정치적 결정을 내린 일부 국가에서는 비밀스런 전용시설들을 별도의 군사적 통제하에서 사용하고 있는 것으로 보인다.

고농축 우라늄이나 분리된 플루토늄은 핵무기 개발에 쓰일지도 모르기 때문에, 이러한 물질을 연구하거나 다루는 사람들에 대한 통제가 완벽하게 이루어져야 한다. 우라늄을 농축하거나 플루토늄을 분리하는 기술은 그것이 무기 제조에 쓰일 수 있기 때문에 매우 민감한 것으로 간주된다. 그러한 기술들은 제한된 몇몇 국가들에서 사용되고 있다. 우라늄 농축은 동일한 화학적 성질의 상이한 핵종을 분리해내는 복잡한 물리적 과정을 필요로 한다. 마찬가지로 기술적인 문제들과 위험이 따르

는 방법이긴 하지만, 원자로에서 생산되는 플루토늄은 이미 사용된 핵연료로부터 더 쉽게 화학적으로 분리될 수 있다. 일반적으로, 군사적인 목적과 비군사적인 목적 양쪽 모두에 쓰일 수 있는 복합기술도 또한 주의 깊게 관리되어야만 한다. 복합기술은 국제 안전조치 체제 내에서 중요한 사항이 되어야 하며 또한 되고 있다. 복합기술 활동에 대한 관리는 국가적 기술 수단을 통해서도 수행되고 있다.

전세계의 모든 원자력발전 개발계획은 안전성을 확보해야만 하는 것과 마찬가지로 또한 동시에 핵확산의 위협을 제공하지 말아야만 한다. 비록 상당히 개선되었지만, 일부 국가에서의 핵무기 물질에 대한 불충분한 통제, 핵분열 물질의 불법적 거래, 몇몇 국가의 핵비확산 조약에 위배되는 비밀스런 활동의 가능성, 그리고 아직도 핵비확산 조약에 가입하지 않은 나라들의 활동 등에 대한 우려는 여전히 남아 있다. 따라서 민감한 물질의 전용을 금지시키기 위한 지속적인 국제적 노력이 필수적이다. 이는 지속 가능한 개발이라는 관점에서 핵심적인 사항이며, 또한 이는 정책적 조치 및 기술 진보(예를 들어, 안전조치 요건을 포함하여 핵비확산 기준을 만족시키는 원자로 설계나 핵연료주기 등)를 통해서 확실히 이루어져야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 불법적 거래를 방지하기 위한 핵물질의 물리적 방호에 관한 협약(Convention on the Physical Protection of Nuclear Materials) 및 국제원자력기구의 감시가 이미 시행되고 있다.

### *일반 대중의 참여와 정치적 관점*

정책 결정에 대한 일반 대중의 참여와 이러한 과정에 대한 국민 이해는, 형평성과 투명성을 통해서 지속 가능한 개발이라는 사회적 목표를 달성하는 데 가장 중요한 문제이다. 민주주의에서는, 일반 대중의 관심과 정치 쟁점은 정책 결정자에 의해서 검토되고 해결되어야 한다. 수많은 다른 기술들과 마찬가지로 원자력 에너지에 있어서도 대부분의 우려는 원자력과 관련된 위협에 대한 일반 대중의 인식으로부터 나온다. 일반 대중의 이해를 얻기 위해서는, 위험 인식에 대한 이해 및 대화 그리고 일반 대중이 보다 적극적으로 참여하는 의사 결정 과정 및 제도의 개발을 필요로 한다. 그러한 대중의 참여가 원자력 에너지의 이용을 잠시 지연시킬 수도 있으나, 어떤 특정 기술이 지속 가능한 개발에 효과적으로 기여하기 위해서는 사회적 이해를 얻어내는 것이 가장 중요하다.

계속 발전해 가는 시기에 있어서는, 위험성 평가, 의사교류, 그리고 관리는 항상 새롭게 정립돼 나가야 한다. 초기에는 위험성에 대한 전문가와 일반 대중 인식

사이의 빈번한 의견 차이가 위험성에 관한 교육과 정보의 부족으로 인해 전문가들이 옳고 일반 대중이 틀렸기 때문에 생겨난 것이라고 믿어졌다. 따라서 우리의 과제는 대중을 교육시키는 것이었고 이를 통해 전문가들의 의견에 동의하게 만드는 것이었다. 최근에는, 일반 대중이 틀리지 않았으며 그들의 우려는 그들의 방식으로 해결되어야 한다는 논의가 이루어지고 있다 [44]. 즉 우리에게 필요한 것은 대중을 향한 일방적인 정보의 전달이 아니라, 오히려 보다 많은 대화와 참여라 할 수 있다.

정확한 정보의 보급은 필수적이기는 하지만, 그 자체만으로 충분하지는 않다. 의사교류라는 것은 상호간에 주고받는 것이며, 의사교류 과정에서의 신뢰가 기술에 대한 특정한 정보보다는 더욱 중요한 것으로 판단된다. 명령적인 정보는 공격적이 될 수가 있는데, 특히 정보를 전달받은 사람들이 무조건 이에 따라야 하거나 또는 그들이 잘 모르는 분야의 정보를 받았을 때 더욱 그렇다. 여러 가지 가능한 선택에 대한 비교는 현명한 정책 결정을 위해 필수적이기는 하나, 보다 큰 피해를 유발하는 다른 활동들을 빈번히 지적하는 것은 확신을 고취시키는데는 도움이 되지 않는다. 상반된 상황에 대한 위험성 비교는 열정을 무력화시키고 문제점을 감추는 수단이 될 수도 있다. 결과가 신뢰를 얻기 위해서는 비교를 위한 상황이나 기준이 잘 설정되어야 한다. 이처럼 매우 민감한 문제에 대해서는 정부의 역할이 필수적이다.

위험을 어떻게 인식하는가 즉, 위험을 인식하는 방법에 대해 영향을 주는 많은 요인들이 있다. 가장 중요한 요인은 위험들이 자발적인 것이냐 아니면 강제로 발생된 것이냐 하는 점이다. 마치 자동차를 운전하는 것에 의해서 야기되는 것과 같은 자발적 위험은 원자력 에너지와 관련된 위험처럼 강제로 발생된 것으로 인식된 위험보다는 훨씬 더 쉽게 수용된다[45]. 또 다른 중요한 요인은 위험의 반대급부로 얻어지는 편익에 대한 인식이다. 원자력 에너지의 경우에 있어서, 그 편익은 매우 광범위하며, 다른 수단에 의해서도 얻을 수 있는 것으로 인식되었다. 원자력 에너지는, 자동차처럼 상표가 있는 것도 아니며 또는 일반에게 참여의식을 주는 소비 상품이나 소비 활동이 아니다. 원자력 에너지는 단지 눈에 보이지 않으며 전력을 공급하는 전원 구성을 통해 나타난다. 필요와 편익이 분명할 때 또한 원자력 시설이 친숙하고 적절하게 관리된다고 여겨질 때 원자력의 위험성이 보다 잘 수용되는 경향이 있다.

또한 원자력의 위험성은 다른 에너지원이 야기시키는 기후 변화나 지역적 공기 오염과 같은 위험성보다도 훨씬 극심한 것처럼 보여진다. 원자력 발전소에서의 잠재적 사고가 지구의 장기적 미래에 영향 끼치지 않을 지도 모르나, 발전소 근처

거주민들의 삶에 매우 직접적인 충격을 주는 것으로 보여질 것이다. 만약 어떤 프로젝트가 지역사회에 위험을 가져다주는 것으로 처음부터 비춰진다면, 이에 대한 올바른 판단이 이루어지지 않는 경향이 있다. 비밀스러운 결정을 통해 원자력 시설부지를 제안하는 것은 원자력 문제에 대해 지역 주민을 교육시키는데 호의적 방법은 아니다. 정보는 진행상태에서 제공되고 또한 의사 결정 과정은 면밀한 토의를 거칠 수 있도록 충분한 시간과 기회를 갖는 것이 중요하다. 신용을 쌓는 데는 오랜 시간이 걸리며, 한번 신용을 잃으면 다시 그것을 회복하기 힘들다.

위험성에 대한 인식에 영향을 끼치는 다른 요인들에는 다음과 같은 것들이 있다. 규제 정도, 기술 친숙도, 어떤 문제를 둘러싼 불확실성 혹은 논쟁의 정도, 결과에 대한 두려움, 인식된 관심 및 참여자의 영향력, 제도내의 신뢰도, 자문 혹은 의사 결정 과정, 그리고 사람이 거주하는 인근 지역의 아이디어 및 가치 등이다. 참여자들을 둘러싼 보다 폭넓은 사회적 및 정치적 현상 뿐 아니라, 과거의 경험과 동일한 또는 유사한 사건들에 대한 보도 내용 등 모든 것들이 대중의 인식에 영향을 미치고 어떤 문제에 대한 그들의 입장이나 반응을 결정할 수 있다. 의사교류 및 추진을 위한 계획은 관련자들의 사고방식 및 태도를 고려해야 한다.

원자력 에너지에 대한 수용은 부분적으로는 안전성과 같은 원자력과 관련된 문제들에 대한 일반 대중의 보다 나은 이해에 달려 있다. 이것은 신기술 및 기술 개발에 대한 일반 대중의 태도와 관련된 광범위한 문제들 중의 일부이다. 이미 언급한 바와 같이 많은 경우에 있어서, 위험성과 관련된 문제의 이해에는 과학자들 및 전문가들과 그리고 전문가가 아닌 일반 대중 사이에 상당한 차이가 존재한다. 이러한 차이는 주로 미디어 혹은 특정 이익 집단에 의해서 메워진다. 만약 정부가 정확한 정보를 숨김없이 제공하지 않거나 또는 대중의 관심에 대응하지 않는 것으로 보여진다면, 그들은 신뢰를 잃게 될 것이고 다른 정보원들이 그 차이를 메울 것이다. 따라서, 정부가 정확하고 시의 적절한 정보를 제공하고 대중의 관심에 대응하는 것이 중요하다. 원자력 에너지 문제에 대한 대중 교육은 모든 사회적 범주와 모든 연령층에 대하여 수행되어야 한다.

원자력 에너지를 지속 가능한 개발에 기여할 수 있는 에너지원으로 선택할 수 있는 여지를 남겨놓기를 원하는 정부는 일반 대중들이 원자력 관련 의사 결정에 보다 의미 있게 참여할 수 있는 방안들을 강구하기를 원할지도 모른다. 공청회와 토론은 원자력 에너지의 지속적 사용에 관련된 의사 결정에 대한 자신감을 향상시킬

수 있다. 비록 일부 토론자가 자기 입장을 더 굳히는 기회로 이용할지도 모르지만, 특정 문제의 의사 결정과 관련된 그들의 관심사가 심도 있게 토론되고 있다는 사실을 일반 대중이 인식하는 것이 중요하다. 신뢰의 구축이 일반 대중의 수용에 있어서 가장 중요한 요인중 하나인 것 같다. 신뢰는 대중의 의견에 귀를 기울이고 그들의 입장에 서서 행동하는 것을 필요로 한다. 이는 의사 결정이 과학이 아니라 인식에 근거해야한다는 의미가 아니다. 과학과 신뢰가 병행되어야 한다. 일단 신뢰가 형성되면 과정은 쉬워진다.

사회는 인간 활동 전체에 걸친 위험 관리에 대한 일관성 있고 포괄적으로 수용 가능한 접근 방식을 개발해야 하며 이를 위한 과정을 시행해야 한다. 지속 가능한 개발은 전 세계적으로 심도 있는 장기적 접근을 요구한다. 또한 이는 많은 단기적 활동과 지역적 차원의 의사 결정에도 의존할 것이다. 원자력 에너지는 장·단기 모든 측면에서 효율적이라는 것을 증명해야만 한다. 대중의 관심을 다루고 수용 가능한 결론들을 찾아내는 것이 우리의 과제이다. 정부는 이러한 목적을 위한 적절한 재원을 제공해야만 할 것이다.

### 국제 협력

한 국가에서의 원자력 활동은 다른 국가의 원자력 프로그램에 영향을 준다. 다른 오염물질과 마찬가지로 방사능 누출은 국경을 초월해서 영향을 끼칠 수 있다. 연구개발, 규제, 원자력 법규, 정보 교환, 기술 이전 그리고 물자 교역 등을 포함하는 원자력 에너지 분야에서의 국제 협력 체제는 이미 매우 잘 구축되어 있다. 지속 가능한 개발의 목표에 부합되는 원자력 에너지 정책은 국제 협력이 증가함에 따라 더욱 효율적으로 실행될 것이다.

현재 세계 원자력발전의 대부분이 OECD 회원국 내에서 이루어지고 있는 반면, 향후 수십년 동안은 원자력발전 증가의 대부분이 개도국 및 시장경제로 전환되는 국가들에서 이루어질 것으로 예상된다. 이 국가들은 원자력발전의 안전성 및 효과적 운용을 위하여 훈련을 통한 협력 및 지원, 제도 수립, 법제화 및 규제뿐만 아니라 운전 경험에 대한 포괄적인 정보 교환을 필요로 할 것이다. 원자력 에너지는 OECD 내의 회원국들 간에 정보와 경험을 공유할 수 있는 강력한 제도적 기반을 가지고 있다.

국제 원자력 안전협약은 보다 효율적인 국제 협력을 제도화하려는 추세를 보

여주는 좋은 예이다. 이 협약은 약 50개국에 의해서 비준되었으며 최근 효력을 발생하기 시작했다. 이 협약은 원자력 사고 조기 통보협약 및 방사능 사고 상호 지원협약 등 다른 두 개의 협약들과 더불어 현재의 국제 원자력 안전 체제의 근간을 이루고 있다. 원자력 안전협약 당사국들은 상호 평가를 위해 국가 보고서를 정기적으로 제출하는데 동의했다. 본 보고서에는 협약에 기술된 모든 의무 조항들의 이행 상황을 포함하도록 하였다. 첫 번째 상호 평가회의가 1999년 4월에 열렸다. 이러한 시도는 관련 제도 및 안전 문화를 발전시키고 강화하기 위하여 각 국가들을 고무시키는 또 다른 수단이 될 것이다.

원자력의 안정성에 대한 상당한 진전이 동유럽과 구 소련에서 이루어지고 있으나, 체르노빌 유형의 RBMK 및 노후화 된 소련식 가압경수로와 같이 러시아가 설계한 일부 원자로 대한 안전 전문가들의 우려는 여전하다. 설계 변경과 시스템 개선이 이루어져 왔다. 가동 중 검사 및 보수를 비롯하여 원자로 운전 능력도 향상되어 왔지만, 안전 문화의 보급을 고무시키기 위해서는 더욱 많은 개선이 필요하다. 대부분의 이들 국가에서 법제화가 이루어지고 있으며 규제 기관은 필요한 독립성과 권한 확보하고 있으나, 대부분 아직도 재원이 부족한 실정이다. OECD/NEA를 포함하는 서방 국제 기구들은 안전 기준을 향상시키고 또한 현대적 법령 체제 및 규제 체제를 촉진시키기 위해 이들 정부와 협력하고 있다. 이러한 문제들에 대한 만족스러운 대응은 지속 가능한 개발이라는 관점에서 필수적이다.

원자력 연구개발에 있어서의 국제 협력은 국가적 노력의 전체적인 효율성을 높이고 기술 개발을 촉진시키는데 특히 중요하다. 정부와 산업체들은 재원을 통합하고 개별적으로보다는 공동으로 연구함으로써 이점을 볼 수 있다. 국가 원자력 연구개발의 예산이 줄어들음에 따라서, 자본 집약적 연구개발 장비에의 투자에 대한 공동 전략은 기술 진보와 안전성 강화를 용이하게 한다. 협력과 공동 연구의 기회가 주어지면 NEA같은 국제 기구들이 중요한 역할을 담당할 수 있다. 다른 첨단 기술들과 마찬가지로 원자력 에너지에 대해서도 국제 협력의 과제 중 하나는 경쟁이 요구되는 환경 하에서 민간 기업들의 업무를 정부 차원의 노력으로 승화시키는 것이다.

## 제 4 장 주요 쟁점 및 정부의 역할

원자력 에너지의 평화적 이용에 관한 축적된 경험에 근거한 제3장의 자료와 분석은 원자력 에너지가 지속 가능한 성장에 기여할 수 있는 가능성에 대한 이해를 제공하고 있다. 원자력 에너지는 에너지 공급원 중의 하나이다. 원자력 에너지의 편익, 비용, 그리고 위험에 대한 분석이 수행되어야 하며, 그 결과를 수요관리 방안을 포함한 다른 에너지 공급 방안과 비교해야 한다. 본 보고서에서 제공하고 있는 정보는 원자력 에너지에 관한 것이므로 정책 수립의 확고한 기초를 마련하기 위해서는 원자력 에너지 이외의 대안에 대한 유사한 분석과 자료의 참고가 필요하다. 또한 다른 기술들과 마찬가지로 국가 에너지정책 수단으로서의 원자력 에너지의 활용은 판단기준과 이해관계의 조정에 의해 결정되어야 하는데, 이 판단기준과 이해관계는 각국의 고유한 국내상황과 우선 순위에 좌우되므로 국가마다 다르다.

경제적 규제완화를 통하여 시장 기능의 활성화를 도모하면서도, 기술개발을 위한 기틀을 마련하는데 있어서 정부가 중심 역할을 수행해야 할 것이다. 정부는 에너지 공급, 환경, 지속 가능한 개발에 관한 전반적인 정책의 테두리 안에서 원자력 에너지를 평가할 것이다. 정부의 원자력 에너지에 대한 평가 결과는 일반 대중의 수용이나 정치적인 측면뿐만 아니라 국내의 에너지자원이나 원자력 에너지에 관한 현재 및 과거의 신뢰도에 따라 달라질 것이다. 원자력 시설은 국경을 초월하여 영향을 미칠 수 있으므로, 모든 정부들은 방사선 방호, 안전, 제3자 손해배상, 그리고 핵비확산의 분야에서 관심과 책임을 가지게 될 것이다. 또 다른 정부의 역할은 원자력 안전에 관하여 국경을 초월한 투명성을 확보하는 것이다.

지속 가능한 개발 체제 내에서 수행한 원자력 에너지의 특성 분석 결과, 원자력 분야에서 채택한 접근 방법이 미래 세대에게 돌아갈 환경영향 및 부담을 최소화하면서 이들에게 여러 가지의 자산을 물려준다는 지속 가능한 개발의 목표와 상당히 일치함을 알 수 있었다. 이러한 관점에서, 정기적으로 작성되어지는 원자력 분야의 일련의 통계자료는 지속 가능한 개발의 추이를 파악할 수 있는 지표개발의 완성을 위한 방향을 제시하고 있다. 정부 및 정부 기구들은 지속 가능한 개발의 진전을 파악하기 위한 일관성 있는 체제를 유지하도록 노력해야 한다.

원자력이 지속 가능한 개발 정책에 기여하기 위해서는 원자력 에너지가 가지고 있는 특성들로 인한 문제들을 해결해야 한다. 비록 더욱 객관적인 비교기준이 설

정된다고 하더라도, 신규 원자력 발전소의 경쟁력은 하나의 쟁점으로 남아 있을 것이며 또한 원자력의 위험과 관리에 대한 우려가 원자력 에너지의 활용을 제한할 것이다. 이러한 관점에서 정부의 역할은 중요하다. 왜냐하면 정부는 여러 기술들을 적재적소에 활용하여 올바른 가격구조가 형성되도록 유도할 책임을 지고 있을 뿐만 아니라 기술과 관련된 위험을 관리하고 통제하는 능력에 대한 일반 대중의 신뢰를 제고시킬 수 있는 규제 체계를 제공할 책임을 지고있기 때문이다.

민영화된 전력시장에서 기존의 원자력 발전소는 대부분의 경우 경제성이 있으며 잘 운영되고 있다. 특히 지구 기후변화에 대응하기 위한 정책과 관련하여, 이들 기존의 원전들은 전력회사와 정부의 입장에서 매우 유용한 자산이다. 그러나, 신규 원전은 현재의 시장에서 가장 경제적인 발전원이라고 말할 수는 없다. 또한 신규 원전의 건설에는 막대한 투자비가 요구되며 이 투자비의 회수에는 20년 이상이 소요된다. 원자력 발전소의 자본비를 획기적으로 줄일 필요가 있으며, 미국에서 주도하고 있는 4세대 원전연구(Generation IV)와 같은 자본비를 줄이기 위한 연구개발 노력이 지속되어야 한다.

그러나, 지속 가능한 개발의 관점에서 보면, 다양한 공급원간의 경쟁력은 사회적 비용을 고려하여 평가되어야 한다. 사회적 비용이란 외부비용을 포함하고 부적절한 보조금을 제거하여 산출된다. 또한 사회적 비용에서는 각 공급원이 지구 기후변화의 위험을 완화하는데 기여하는 바를 고려해야하며, 주로 화석연료에 의존하고 있는 세계 에너지 시스템 하에서 에너지 공급의 안정성 및 다양성에 기여하는 바도 고려해야 한다. 선택 가능한 에너지 공급원들의 보건 및 환경에 미치는 영향분석에 관한 포괄적인 비교연구가 국내적, 국제적 차원에서 수행된다면 많은 도움이 될 것이다. OECD, IEA, NEA와 같은 국제기구들이 이러한 분야에서 각 국의 정부에 도움을 줄 수 있을 것이다. 궁극적으로, 정부는 여러 가지 공공정책의 목표를 달성하기 위해 투자재원을 효율적으로 사용할 수 있는 정책 방안을 수립하고 추진할 책임이 있다.

원자력 에너지의 연구개발과 기반 조성에 대한 정부의 지원은 원자력 에너지가 충족시킬 수 있는 공공정책의 목표에 초점을 맞춰 평가되어야 할 뿐만 아니라 유사한 결과를 제공하는 다른 에너지원에 대한 지원과 연계하여 평가되어야 한다. 정부출연 연구개발비는 산업체가 지원하는 연구개발비를 대체해서는 안되며 보완해야 한다. 정부출연 부문은 장기개발을 위한 혁신적 개념뿐만 아니라 기초과학, 안전성

및 환경보호 등의 분야가 대상이 되어야 한다. 이들 연구개발 분야에서의 국제 협력이 강화되면 협력과 시너지효과를 통하여 각 국가들의 노력이 더욱 효율적이 될 것이다.

OECD 회원국에서는, 원자력 에너지의 일상적인 이용으로부터 오는 보건 및 환경영향은 아주 작다. 이들 국가에서는 방사선 방호 및 원자로 안전에 대한 기준이 엄격하므로, 보건 및 환경에 중대한 영향을 미칠만한 사고나 방사능 유출의 확률이 작다. 방사선 방호, 원자로 안전, 그리고 환경영향에 관한 지표들을 보면 이들 대부분이 개선되고 있음을 알 수 있다. 비록 전력분야에서의 경쟁이 심화되고 원자료가 노후화 된다고 하더라도, 원자력이 지속 가능한 개발에 계속 기여하기 위해서는 원자력의 안전성에 관한 엄격한 기준을 유지해야 한다. 그래야만 원자력 산업이 새로운 국가와 지역으로 이용이 확대될 것이다. 필요할 때는 언제든지 국제협약과 통제를 통해 개선할 수 있는 국제적인 체제가 효율적으로 운영되도록 해야한다.

적절한 방사성 폐기물 관리정책은 방사성 폐기물이 환경에 위험을 끼치는 기간동안에 발생하는 유해한 물질을 모두 포함해야 한다. 장수명 방사성 폐기물은 현재 안전하게 중간 저장되고 있다. 궁극적으로는 최종 처분되어야 할 이들 장수명 방사성 폐기물은 현재 안전한 중간 저장시설에 시험적으로 저장되어 있다. 지층처분은 기술적으로 안전한 해결책으로 확인되었으며 원자력 에너지의 경제성에 영향을 주지 않을 것이다. 장수명 폐기물을 최종처분하는데 대한 기술적 시급성은 없지만, 이러한 최종처분 시설을 건설하여 운영함으로써, 원자력의 사회적 수용을 포함한 지속 가능한 개발의 목표를 달성하는 것은 중요한 일이다.

원자력 설비의 해체와 방사성 폐기물의 최종처분이 철저하게 진행되도록 일관적인 규제 정책 체제를 수립하는데 있어서 정부의 역할은 필수적이다. 정부는 원자력 에너지의 사용자들로부터 일정 금액을 징수하여 기금을 설립하고 이 기금으로 원자력 설비의 해체 및 폐기물 처분에 소요되는 비용을 감당하도록 하는 장수명 폐기물 처분 전략 및 방안을 책임지고 마련해야 한다.

원자력 에너지분야에서는 효율적인 규제와 엄격한 안전기준이 지속적으로 적용되어야 하지만 이들 안전기준이나 규범은 전체적인 시각에서 균형 있게 설정되어야 한다. 정부는 활용 가능한 자원, 개선의 가능성, 그리고 위험에 대한 인식을 고려하여 사회 전반에 걸친 활동에 따른 위험 관리 및 규제를 일관성 있는 방식으로 지

원하는 것이 중요하다. 최선의 결과를 얻을 수 있는 방법으로 위험을 관리함으로써 사회의 한정된 자원을 효율적으로 배분해야 한다.

원자력 에너지의 평화적 이용과 핵무기 확산의 연결 가능성에 대하여 특별한 주의를 배려해야 한다. 비록 가능성은 거의 없지만, 핵무기 보유를 추구하는 국가나 집단이 원자력 에너지의 평화적 이용 계획을 전용함으로써 핵무기의 제조와 관련된 기초 기술을 확보할 수 있을 지도 모른다. 핵확산은 근본적으로 정치적인 문제이므로, 정부는 정치적 해결방안을 모색해야 한다. 정치적 해결방안으로는 국가간의 신뢰감 구축 및 지역안보 강화 등을 들 수 있다.

국제적인 핵비확산 및 안전조치 체제가 적절히 마련되어 이러한 위험에 대처하고 있다. 이러한 체제는 전세계에서 원자력 기술에 폭 넓게 접근할 수 있도록 정기적으로 검토되며 보완되고 있다. 국가 수출통제는 이 분야의 국제적 협약의 목적에 부합되도록 운영되어야 한다. 핵비확산에 대한 관심은 새로운 원자력 시설과 공정의 개발로 이어져야 한다.

원자력 에너지를 지원하는 국내적 및 국제적인 제도는 잘 구축되어 있다. 특히 원자력 에너지 시설을 운영하고 있는 OECD 회원국에서는 더욱 그러하다. 원자력 에너지는 IAEA 및 NEA와 같은 국제적인 정부기구를 통하여, 원활하게 정보 및 경험을 교환하고 국제 협력을 진행시켜 왔으며 또한 큰 효과를 보아 왔다. 원자력 법규, 안전규제, 안전조치 체제 그리고 손해 배상 체제는 포괄적인 제도적 기반을 구축하고 있다. OECD 회원국의 정부들은 이러한 제도적 기반을 지속적으로 유지해야 하며, 원자력 에너지 계획을 추진하고 있는 비회원국의 정부들은 이러한 제도적 기반을 구축하는데 노력을 기울여야 한다.

형평과 참여 측면에서 지속 가능한 개발 목표를 달성하기 위해서, 원자력 에너지는 현재 여러 국가가 유지하고 있는 것보다는 더 높은 수준의 사회적 수용성을 확보해야 한다. 새로운 절차를 개발하여 전반적인 원자력 쟁점에 대해 일반 대중이 참여할 수 있도록 해야 한다. 이 경우, 이용 가능한 최고의 과학적 정보에 근거를 두어야 하지만, 의사소통이 양방향으로 이루어져서 일반 대중이 느끼는 것과 우려하는 것이 무엇인가를 알아야 한다. 이러한 절차의 마련과 수행에 소요되는 자원의 배분에 있어서 정부가 중요한 역할을 수행해야 한다. 정확한 정보와 신뢰할 수 있는 과학에 근거한 교육의 중요성 못지 않게, 형평과 참여도 매우 중요하다. 방사성 폐기물

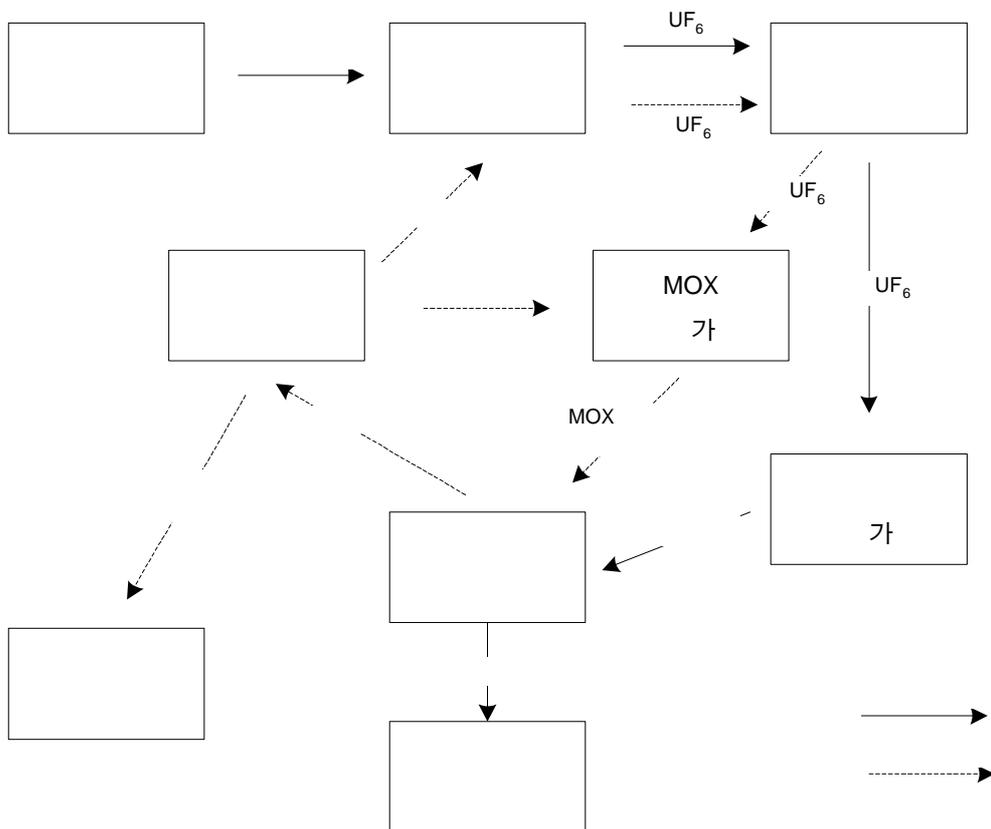
의 지층처분이 야기하는 도덕적인 쟁점들에 대하여는 반드시 토론이 있어야하며, 이러한 원자력의 도덕적 쟁점들은 온실가스 또는 다른 오염물질의 배출이 미치는 영향 및 천연자원의 고갈 등이 미래 세대에게 전가하게 될 여러 가지 부담들과 함께 균형 있게 다루어져야 한다. 다른 사회적, 정치적인 쟁점들에 대하여는 관련된 모든 비용, 편익 그리고 이해관계 등을 고려하여 종합적으로 다루어져야 한다.

비회원국에서 에너지 수요가 증가하고 있다는 측면에서, 이들 국가에 대한 기술이전, 기술지원 그리고 협력은 매우 중요한 일이다. 중기적으로 보면, 대부분의 신규 원자력 에너지 시설은 이들 비회원국에 건설될 것으로 예상된다. 비회원국들이 법규 체제, 보건 및 환경 보호, 안전 및 폐기물 관리분야에서 주요 쟁점들을 파악할 수 있도록 정보 및 자료를 제공하는 것도 OECD 회원국 정부들의 중요한 역할이 될 것이다.

## 부록 1

### 경수로 핵연료주기 흐름도

다음의 그림은 경수로의 핵연료주기에 대한 주요 단계를 요약한 것이다. 이 그림은 원자력 에너지분야를 구성하는 프로젝트 단위를 나타낸다. 핵연료주기의 세부적인 단계와 수준은 원자로 유형에 따라 다르지만, 현재의 원자력발전소에 있어서 주요 구성은 유사하다. 원자력발전소의 핵연료주기는 3개의 주요 단계로 나눌 수 있다. 우리나라 채광에서부터 성형가공된 핵연료의 원자로 공급까지의 선행핵연료주기, 원자로 내에서의 핵연료 연소, 원자로에서 핵연료의 인출로부터 사용후핵연료의 최종처분 또는 재처리에서 나오는 방사성폐기물의 최종처분까지의 후행핵연료주기 등이다.



## 참고 문헌

- [1] OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (1999), OECD Policy Brief No. 8, OECD, Paris, France.
- [2] OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), (1999), *The OECD Three-Year Project on Sustainable Development: A Progress Report*, OECD, Paris, France.
- [3] IEA (International Energy Agency), (1998), *Key World Energy Statistics from the IEA - Data for 1996*, IEA, Paris, France.
- [4] RHODS , R., and BELLER, D., (2000), *The need for Nuclear Power*, in Foreign Affairs, January/February 2000, Vol. 79, No. 1, Washington, United States.
- [5] Worldwatch Institute, (1999), *state of the world 1999*, W.W. Norton & Company - 1999 Edition, OECD, Paris, France.
- [6] IEA (International Energy Agency), (1998), *World Energy Outlook*, OECD, Paris, France.
- [7] IEA (International Energy Agency). (1999) *Energy Balances of Non - OECD Countries 1999 Edition*, OECD, Paris, France.
- [8] NEA (OECD Nuclear Energy Agency),(2000), *Nuclear Energy Data*, Paris, France.
- [9] IAEA (International Atomic Energy Agency), 2000. Nuclear Power Reactors in the world, Vienna, Austria.
- [10] IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) and WEC (World Energy Council), (1995), *Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond*, WEC, London, United Kingdom.

- [11] BRUNDTLAND, G., Chairman, World Commission on environment and Development, (1987), *Our Common Future (The Brundtland report)*, Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.
- [12] BANUFI, T. et al.,(1996), *Equity and Social Consideration*, in climate Change 1995 - Economic and Social Dimensions of Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York, United States, pp.79-124.
- [13] OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), (1997), *The World in 2010: Towards a New Global Age*, OECD, Paris, France.
- [14] The Royal Society, (1999), *Nuclear Energy: The future Climate*, The Royal Society and Royal Academy of Engineering, London, United Kingdom.
- [15] SCHIPPER, L. et al., (1999), *The IEA Energy Indicators Effort: Extension to Carbon Emissions as a Tool of the conference of the Parties*, OECD, Paris, France.
- [16] HAMILTON, K., *Genuine Saving as a Sustainability Indicator*, (1999), Second OECD Expert Workshop, Frameworks to Measure Sustainable Development, OECD, Paris, France.
- [17] ARROW, K.J. et al., (1996), *International Equity, Discounting and Economic Efficiency*, in Climate Change 1995 - Economic and Social dimensions of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York, United States, pp. 125-144.
- [18] GONZALEZ DE UBIETA, A., (1999), *Economic Sustainability of Nuclear Power*, in Nuclear in a Changing world, Proceedings (Vol. II), European Commission, Brussels, Belgium, pp. 33-50.
- [19] FERTEL, M., (1998), *The Outlook for US Nuclear Plants in a Competitive Electricity Market*, in Proceedings from the Uranium Institute symposium 1998, London, United Kingdom.

- [20] GALE, W. et al., (1998), *A New Nuclear Consensus*, in Proceedings of a Seminar held in connection with ENC'98, Nice, France.
- [21] OECD/NEA-IEA (Nuclear Energy Agency - International Energy Agency), (1998), *Projected Costs of Generating Electricity: Update 1998*, OECD, Paris, France.
- [22] NEA(OECD Nuclear Energy Agency), (2000), *Reduction of Capital Costs of Nuclear Power Plants*, OECD. Paris, France.
- [23] NEA (OECD Nuclear Energy Agency), (1996), *Future Financial Liabilities of Nuclear Activities*, OECD, Paris, France.
- [24] NEA (OECD Nuclear Energy Agency), (1991), *Decommissioning of Nuclear Facilities: Analysis of the Variability of Decommissioning Cost Estimates*, OECD, Paris, France.
- [25] European Commission, Directorate-General XII, Science, Research and Development,(1995), *ExternE, Externalities of Energy, Vol.5, Nuclear*, European Commission, Brussels, Belgium.
- [26] NEA (OECD Nuclear Energy Agency), (2000), *Methodologies for Assessing the Economic Consequences of Nuclear Reactor Accidents*, OECD, Paris, France.
- [27] NEA (OECD Nuclear Energy Agency) and IAEA (International Atomic Energy Agency), (2000), *Uranium 1999 - Uranium Resources, Production and Demand*, OECD, Paris, France.
- [28] BP AMOCO, (2000), *Statistical Review of World Energy June 2000*, Pillans & Wilson Greenaway, London, United Kingdom.
- [29] NEA (OECD Nuclear Energy Agency), (1994), *Radiation Protection Today and Tomorrow, A Collective Opinion of the Committee on Radiation Protection and Public Health of the OECD Nuclear Energy Agency*, OECD, Paris, France.

- [30] ICRP (International Commission on Radiological Protection), (1990), *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60*, Pergamon Press, Oxford and New York, United States.
- [31] UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), (1994), *Ionising Radiation: Sources and Biological Effects*, UNSCEAR, New York, United States.
- [32] NEA (OECD Nuclear Energy Agency), (2000), *Occupational Exposures at Nuclear Power Plants: Ninth Annual Report of the ISOE Programme*, OECD, Paris, France.
- [33] NEA (OECD Nuclear Energy Agency), (1998), *Developments in Radiation Health Science and their Impact on Radiation Protection*, OECD, Paris, France.
- [34] NEA (OECD Nuclear Energy Agency), (1998), *The societal Aspects of Decision-making in Complex Radiological Situations*, Proceedings of a Workshop held in Villigen, Switzerland, 13-15 January 1998, OECD, Paris, France.
- [35] HOGBERG, L., (1998), *Reactor Safety*, in *Nuclear in a Changing World*, Proceedings (Vol. II), European Commission, Brussels, Belgium, pp. 75-93.
- [36] NEA (OECD Nuclear Energy Agency), (1999), *The Role of the Nuclear Regulator in Promoting and Evaluating Safety Culture*, OECD, Paris, France.
- [37] SLOVIC, P. et al.,(1979), *Rating the Risks*, Environment, Vol. 21, No.3.
- [38] American Chemical Society and Resources for the Future, (1998), *Understanding Risk Analysis: A Short Guide for Health, Safety and Environmental Policy Making*, Washington, United States.
- [39] NEA (OECD Nuclear Energy Agency), (1999), *Low-level Radioactive Waste Repositories: An Analysis of Costs*, OECD, Paris, France.

- [40] NEA (OECD Nuclear Energy Agency) and IAEA (International Atomic Energy Agency), (1999), *Environmental Aspects of Uranium Mining and Milling Activities*, OECD, Paris, France.
- [41] SMELLIE, J., (1995), *The Fossil Nuclear Reactors of Oklo*, Radwaste Magazine, Special Series on Natural Analogs.
- [42] NEA (OECD Nuclear Energy Agency), (1996), *Radioactive Waste Management in Perspective*, OECD, Paris, France.
- [43] IEA(International Energy Agency), (1997), *IEA Energy Technology R&D Statistic 1974-1995*.
- [44] SLOVIC, P.,(1999), *Rating the Risks*, Resources for the future, Washington, United States.
- [45] STARR, C.,(1999), *Social Benefit Versus Technological Risk*, Science, Vol. 165, pp. 1232-38, 1969; Twenty-year Retrospective on 1969, Science Paper of C. STARR, Risk Analysis, Plenum Press, New York, United States.

**지속가능한 개발을 위한 원자력에너지**

2001년 3월 일

발행인    장인순  
역    자    원자력 정책연구팀  
발행처    한국원자력연구소  
              대전시 유성구 덕진동 150  
              전화 (042) 868-2141