



2050년을 향한 에너지 -환경 및 원자력 에너지 이용 개발 시나리오

이 태 준

한국원자력연구소 정책연구부 선임연구원

미래 사회에서 원자력 에너지의 수요 및 역할에 대한 합리적 예견을 하기 위하여, 21세기 중반까지 미래 사회의 전반적인 상황과 에너지-환경 시나리오를 예측하고 이를 바탕으로 원자력 이용 개발 시나리오를 전망하였다.



서론

시나리오는 미래 세계가 어떻게 발전할 것인가에 대한 대안들을 전망하는 것으로, 미래 세계의 상황에 대한 신뢰 범위를 설정하고 미래 시점에 해당 지역/공간의 대표적인 사회상을 묘사하는 미래 예측 기법이다(Shell International, 2001;

Watson, 2002).

시나리오 개발 과정과 결과는 미래 사회의 불확실성 및 예상치 못한 불연속성과 그 주요 특징에 대한 단서를 제공하고, 이를 바탕으로 해당 계획과 관련된 요소들의 다양한 환경 변화 메커니즘과 경로를 예측하는데 유용한 자료를 제공한다.

시나리오는 인간의 '지적 예측 능력'의 한계를 이해하고 생각할 수 없는 것을 생각하게 해주며 알 수 없는 것을 기대하게 하면서, 결과적으로 새로운 생각과 깨달음을 효과적으로 사용해서 보다 낫은 정책과 전략을 수립하게 한다(Shell International, 2001).

시나리오를 탐색할 경우에는 우선 미래 대상 시점까지 미래 사회를 특징 지을 주요한 결정 인자를 규명하고 이들 결정 인자를 중심으로 출

현 가능한 미래상의 유형을 구분한다. 그 후에 각각의 대안적인 미래상에 대해서 주요 결정 인자들에 의한 정치·경제·과학 기술 및 산업, 그리고 최근에는 생태 환경 부문의 변화를 전망하게 된다.

본고에서는 세계적 관점에서 21세기 중반까지 출현 가능한 미래 사회상을 바탕으로 원자력 이용 개발 환경을 살펴보고자 한다. 다시 말해서 미래 사회에서 원자력 이용 개발을 증진시킬 수 있는 전략 탐색의 일환으로, 21세기 중반까지 미래 사회의 주요 결정 인자와 전반적인 정치·경제·사회 상황 및 에너지-환경 시나리오를 예측하고 이를 바탕으로 원자력 이용 개발 시나리오를 전망하고자 한다.

이를 위하여 본고에서는 영국 Sussex 대학의 과학기술정책대학

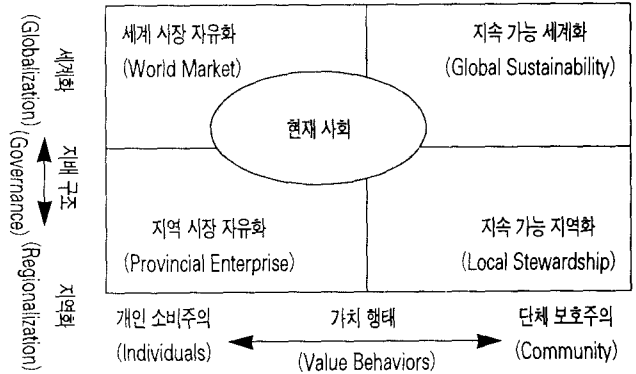
원(Science and Technology Policy Research Unit, SPRU)이 개발한 2020~2050년까지의 미래 사회 시나리오를 중심으로 영국 통상산업성에서 실시한 미래 환경(Foresight: Environmental Future)과 에너지(Foresight: Energy Future) 변화를 예견한 결과를 주로 검토·정리하였다.¹⁾

**2050년을 향한
미래 사회 총괄 시나리오**

SPRU 시나리오에서 21세기 중반까지의 미래 사회는 사회의 가치 추구 형태와 지배 구조에 의해서 대표적으로 영향을 받을 것으로 예견되었다.²⁾

가치 추구 형태는 개인 소비주의(individuals)와 단체 보호주의(community)의 양 극단을 가지게 될 것이며, 지배 구조는 지역화(regionalisation)와 세계화(globalisation)로 대표될 것으로 전망되었다.

이들 두 가지 차원을 중심으로 미래 사회에 대해서 <그림 1>과 같이 네 가지 시나리오, 즉 「세계 시장 자유화(World Market)」, 「지역 시장 자유화(Provincial Enterprise)」, 「지속 가능 세계화(Global Sustainability)」 그리고 「지속 가능 지역화(Local Stewardship)」 시나리오가 설정되었다(OST, 1999; EFTF; 2000; Berkhout & Hertin, 2002; Watson, 2002).



(그림 1) 미래 사회의 네 가지 시나리오

1. 「세계 시장 자유화(World Market, WP)」 시나리오

세계적으로 매우 상호 의존적인 지배 구조 - 매우 발전된 통합 무역 체제 등 - 하에서 개인의 소비 행태가 미래 사회를 주도한다. 시장이 효율적으로 기능을 발휘하면서 높은 경제 성장(high economic growth)과 기술 혁신(high innovation)이 이루어지고 자본 생산성(capital productivity)이

경제 발전의 핵심 요인이 된다. 연간 세계 총생산(Growth World Product, GWP)은 5% 정도가 증가할 전망이다.

국제적인 기후/환경 레짐은 무역보다 낮은 우선권을 가지며 교토 협정은 이행되지 않는다. 기후 변화 영향이 증대될 것으로 평가되지 않으면서, 국제 규범적으로 환경 문제가 세계 경제 활동을 구속하기는 어렵다.

몇몇 국가들간에 자발적으로 유해 가스 배출을 억제하는 협정을 체결할 수도 있으나, 환경 개선이 중요하게 인식되지 않는다. 특정한 부유층을 중심으로 지역적으로 공기·주거·소음 환경 개선 요구가 일어날 수 있다.

1) SPRU의 시나리오는 영국 통상산업성의 미래 환경과 에너지 예견(Foresight) 작업에 직접적으로 활용되었음(OST, 1999; EFTF; 2000).
2) 이러한 차원은 IAEA의 SRES에서 사용했던 시나리오 개발 차원과 유사함. IAEA의 SRES 시나리오는 원자력의 진흥을 전제로 시나리오별 차이를 전망하였음(IAEA, 2003).



2. 「지역 시장 자유화(Provincial Enterprise, PE)」 시나리오

개인의 소비 행태가 보다 분산된 지배 구조하에서, 즉 지방 - 국가 - 지역 - 수준의 다양한 의사 결정 체제하에서 사회를 주도한다.

자본 부족에 따라 비교적 경제 성장이 보통 또는 낮아져서(medium to low growth) 장기 GWP가 연간 4%의 증가율을 보일 것으로 전망된다. 기술 혁신도 활발하지 않고(low innovation), 자본과 자원의 부족이 경제 성장의 제약 요인으로 작용한다. 현 상태를 유지하려는 경제 정책(maintenance economy)이 추진될 가능성이 높다.

이러한 상황에서 경제 정책의 핵심은 다양한 관세 정책을 통해서 무한 세계 경쟁에서 우위를 확보할 수 있는 국가 대표 제품(national champions)을 보호·육성하는 데 있을 수 있다. 의약·국방·전자·미디어 등 전략 산업 부문에 대한 선택과 집중 전략이 이행되며, 경우에 따라서는 이들 부문에서 국가 독점 체제가 형성될 수도 있다. 재생/재활용 기술과 소규모 상품 생산(화학·종이·철) 기술이 확산된다.

이 시나리오에서는 기후 변화에 대처하기 위해서 국제적인 제도를 구축하기는 어렵다. 국가적 이익이 우선하면서 현재의 협상 과정이 무산될 수 있다.

3. 「지속 가능 세계화(Global Sustainability, GS)」 시나리오

전 세계적으로 상호 의존적이고 단체적인 지배 구조하에서 사회적·생태학적 가치가 미래 사회를 주도한다. 환경 문제를 다룰 강력한 세계적 레짐이 구축된다.

지속 가능한 개념하에서 높은 경제 성장(medium to high growth)이 이루어진다. GWP는 연간 4.5% 정도 증가하며 높은 기술 혁신(high innovation) 성과가 이루어진다. 자원 생산성(resource productivity)이 경제 발전의 핵심 요인이 된다. 배출권 거래 등의 국제적인 메커니즘이 형성되면서 지역간·국가간에 일인당 유해 가스 배출량의 균등화가 국제적으로 추구된다.

국제적으로 강력하고 강제적인 환경 레짐의 규제·조정을 받으면서도 국제 무역은 증가한다. 소비 증가와 함께 또한 경제 활동에서 환경 효율성이 증가된다. 생태 효율적(eco-efficient) 제품과 서비스와 관련된 환경 산업이 급속히 성장한다. 열·물·세탁과 냉장 기능을 통합한 가정 서비스 산업과 정보 통신 기술 발전에 따른 정보-집적 사업이 새로운 성장 산업으로 급속히 성장한다.

세계 시장에서 노동과 교육 훈련의 유동성이 높아지고 또한 세계적으로 관광 여행이 증가하면서 문화

와 정치 시스템간의 간격을 좁히게 된다. 근무 시간은 감소하고 레저 활동이 증가한다.

4. 「지속 가능 지역화(Local Stewardship, LS)」 시나리오

다양한 의사 결정 체제를 가지는 분산된 지배 구조하에서 사회적·생태학적 공동체적 가치가 미래 사회의 활동을 주도한다.

이 시나리오에서는 GWP가 연간 3% 정도 증가하는 낮은 경제 성장(low economic growth)과 기술 혁신(low innovation)이 일어날 것으로 전망된다. 모듈형 지속 가능 방식이 경제 활동의 지배적인 해결 방식이 된다.

세계는 국가 또는 지역 단위로 네트워킹된 지역 공동체들로 분산화 된다. 국가 또는 지역 차원에서 지속 가능한 발전에 관심을 가지기는 하지만 반드시 환경적 목표가 지역 고용 상태 등의 경제 행태보다 높은 우선 순위를 가지는 것은 아니다.

강력한 풀뿌리 민주주의(grass-roots democracy)가 지방의 환경 관리를 강화시킨다. 자원과 국가 발전 능력의 자립을 통한 국가의 경제·사회·정치 안보(national security)가 크게 강조된다. 그러나 국제적인 합의가 약해지면서 초국경·지구 환경 문제, 즉 산성비·지구 온난화 등의 문제 해결이 어렵다.

〈표 1〉 2050년을 향한 미래 사회 총괄 시나리오

경제 구조가 지방의 특성에 영향을 받으면서 국제 무역의 역할이 감소되고, 그 결과 세계적으로 경제 성장은 낮아진다. 핵심산업에서 국가 챔피언이 재등장한다. 정부의 경제 정책은 삶의 질, 지속 가능성, 제품/서비스 공급에 대한 지역적 욕구를 조정하는 역할을 한다. 소규모 제품/서비스 생산을 위한 중소기업이 활성화된다.

〈표 1〉은 미래사회의 총괄적인 특성을 시나리오별로 정리한 것이다.³⁾

미래 사회 에너지 - 환경 사회 시나리오

1. 「세계 시장 자유화 (World Market, WP)」 시나리오

에너지 정책은 경쟁 정책의 부분 집합(a subset of competition policy)으로 정의된다. 공급 안정성 (supply security)이 에너지 정책 상에서 중요한 문제가 되지 않으며, 정책의 초점은 낮은 가격으로 소비자들에게 에너지를 공급하는 것이 된다.

그 대신 국가 간에 에너지 무역이 늘어나며 새로운 전기와 가스 연결 공급 체계가 건설된다. 전기 생산의 효율성이 최우선적으로 강조되면서

		세계 시장 자유화 (WP)	지역 시장 자유화 (PE)	지속 가능 세계화 (GS)	지속 가능 지역화 (LS)
가치 행태		개별 소비주의		공동 지구 환경 보호	
		단기 복지 강조 개인 소비 중시	단기 개인 수요 강조	장기 단체 욕구 강조	
지배 구조		세계화 -무역 등에 관한 국제 제도 강화	국가/지역 차원의 이익 위한 국가/ 지역 제도 추구	세계화	국가/지역 차원
경제 발전		<ul style="list-style-type: none"> 고성장 -장기GWP 5%/y 고혁신 자본 생산성 세계화 시장 개방 및 자유화 확대 금융 시장 통합 다국적 기업의 지배 강화 	<ul style="list-style-type: none"> 중·저성장 -장기GWP 4%/y 저혁신 자본/자원 부족이 경제 성장 제약 현상 유지 경제 국가 대표 제품 보호·육성 전략 부문에 대한 선택 집중과 국가 독점 형성 	<ul style="list-style-type: none"> 지속 가능한 수준 (중·고) 성장 -GWP 4.5%/y 고혁신 자원 생산성 국제 환경 레짐 조정에 국제 무역 증가 환경효율성 강조 생태효율적 제품/서비스 산업 성장 	<ul style="list-style-type: none"> 저성장 -GWP 4.5%/y 저혁신 모듈형·지속가능 경제 환경 문제 보다 지역 경제 우선 국가 안보 강조 초국경 문제 해결 능력 약함 소규모 중소기업 역할 증대
핵심 기술		<ul style="list-style-type: none"> BT의 농업·보건 응용 IT의 운송·작업·가사 응용 	<ul style="list-style-type: none"> R&D 투자 적고 혁신 성과 낮음 재생/재활용 기술 소규모 상품 생산 (화학·종이·철) 	<ul style="list-style-type: none"> 저자원/저방출 생산 소비 기술 정보 통신 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 재생 에너지 풍력·광전지·바이오매스
산업 부문	성장	민간 보건/교육, 위락/레저, 유통, 금융	민간 보건/교육, 민간 사회 사업 유지 보수/부품, 국방	생태 효율적 산업 재생 에너지, 수소 기반 동력, 원자력 발전, 통합 가정 서비스, 정보-집적 사업	소규모 제조업, 소규모 농업, 지역 기반 금융 및 서비스,
	쇠퇴	전통 제조업, 농업	전문화된 제품 서비스/금융	화석 연료 발전, 자원 집적 소비형 농업과 제조업	소매업, 레저/관광
생태 환경	현황	비교적 악화	악화	호전	악화 또는 호전
	대기질	일반적 악화	악화	호전	악화 또는 호전
	수질	악화 또는 호전	악화	호전	일반적 호전
	생물 다양성	위협	악영향	안정	향상
기후 변화	배출 거래	관리 실패	엄격 관리	관리 미약	

3) 이 표는 OST(1999), EFTF(2000), Berkhout & Hertin(2002)과 Watson(2002)의 자료를 종합한 것임; OST(1999)와 EFTF(2000)에서는 2040년까지 고려하였음 (p. 2).



〈표 2〉 2050년을 향한 미래 사회 에너지-환경 시나리오

영향 요인	세계 시장 자유화 (WP)	지역 시장 자유화 (PE)	지속 가능 세계화 (GS)	지속 가능 지역화 (LS)	
경제 성장	중화학산업 퇴조 불구 전기 수요 증가	신규 발전 도입 저조	지속 가능 성장 추구 재생 에너지/ 수소 기반산업 급성장	부의 장기적 부의 균등 분배와 사회 참여가 중요 가치	
산업 구조	소수 대형 utility 와 다수 소규모 발전 사업자 혼재	대형 utility 중심	초기(천연 가스) 소규모 발전소 이후 연료 전지 도입	국가/지역 구조 소규모 사업자 공급망 이용 가능	
시장 규제	시장 규제 약함 대규모 시설에 대한 투자 감소	현존 utility 보호 정책	• 장기 투자 장려 • 재생/수소 에너지 생산 지원 정책	• 청정 에너지세 도입 • 재생 의무 부과 • 토착 자원 개발 지원	
기술 변화	경제성/자원 가용성 의존하면서 급속히 혁신적 모델형	발전 설비의 수명 연장 기술 개발	청정하고 자원 효율적 생산 소비 기술 발전	국가/지역 자원/ 능력이 기술 발전 결정 요인	
환경 현안	환경 인식	발전에 대한 영향없음	작동	에너지 시스템 개발의 결정 인자	지속 가능성 필수
	지역 환경 정책	폐기물 처리 기술 개발	• 정치적 의지 결여 • 노후 발전소 환경 문제 거론 안됨	탄소 배출에 대한 개발 책임 부과	토착 자원 이용
	국제 환경 정책	유해 가스 배출 대처 보다 개도국으로 발전 기술 수출 증대	국제 환경 협정 약화	탄소 배출 저감 의무가 동력 기술 선택에 영향	국제 조정 기능 결여
에너지 현안	소비	증가 초기-천연 가스 이후-청정 석탄 기술이 지배	증가 에너지 효율 경시 빈곤 국가에서 바이오-연료 이용	청정 에너지를 기반 으로 소비 증가	감소 높은 에너지 이용 비용 때문
	안보	화력 발전 중심 비경제적인 재생 에너지 발전 기피	화석 연료 대량 공급 기존 발전소 유지 및 수명 연장	가용성 때문에 재생 에너지 성장 한계 도달 가능	토착 자원 개발 초점
	비용	낮음. 경쟁력 우선	• 높음 • 석탄 화력 지배 • 수명 연장 원전 증가	• 높음 • 경제적 경쟁력 보다 환경 현안 우선시됨	• 높음 • 환경 비용 내재화
	유통	모델형·분산 시스템 도입/성장 대형 발전(초임계석탄) 재출현	기존 체제 유지	• 초기 가스 기반 소규모 분산 체계 • 이후 재생(태양)용 대규모 공급	국가/지역 단위 체제
연구 과제	• 발전/이용 효율성 • 청정 석탄 기술 • 탄소 처리 기술 • 배출 거래 시스템 • 연료 전지와 인프라 유통 (배전) 네트워크	• 대규모 에너지 저장 • 유통(배전)네트워크 • 바이오매스와 폐기물 재활용	• 발전/이용 효율성 • 저장 기술 • 풍력,파력,조력 • 청정 석탄 기술 • 연료 전지와 인프라 • 수소와 인프라 유통(배전)네트워크	• 소규모 에너지 체계 • 에너지 저장 능력 • 발전/이용 효율성 • 청정 석탄 기술	

2020년까지 가스 화력 발전이 지배적인 에너지 공급 기술이 될 것이다. 전기와 수송 연료에 대한 수요는 증가한다.

높은 할인율과 지구 차원의 환경 문제에 대한 낮은 관심으로 재생 에너지와 원자력의 역할이 제한된다. 에너지 가격이 낮게 유지되며 비록 크지는 않지만 에너지 변환 효율에 대해서도 다소나마 관심을 가진다.

모듈형·분산형 전력 공급 시스템에 대한 투자가 활발해진다. 이들 공급 유연성을 가진 시스템이 도입된다.

중앙 집중형에서 지역 분산형으로 전력의 생산-유통 체계가 바뀌는 과정에서 새로운 규제 체제 및 인프라 시설 구축을 위한 상당한 규모의 비용 지출이 요구된다.

이러한 시나리오에서 재생 에너지나 열병합 발전의 역할은 현재보다 크게 달라지지 않는다.

2. 「지역 시장 자유화(Provincial Enterprise, PE)」 시나리오

국가적 차원의 관심이 증가되면서 에너지 공급 비용보다 에너지 안보가 강조된다. 이러한 맥락에서 에너지 안보를 증진시키기 위해서 에너지 효율성과 열병합 및 토착 재생 에너지의 사용이 정책적으로 장려될 수도 있다.

화석 연료가 에너지 공급상에서 높은 점유율을 차지한다. 또한 가용

자본의 부족과 환경 투자에 대한 사회의 낮은 관심으로 재생 에너지의 개발은 장려되지 않는다.

에너지 변환 효율성 향상을 위한 투자도 위축된다. 토착에너지와 원자력을 포함한 기존의 에너지 관리 체계가 유지되며 기존 발전소의 수명 연장이 장려된다.

3. 「지속 가능 세계화(Global Sustainability, GS)」 시나리오

환경 비용이 가격에 내재화되면 서 정책적으로 에너지 가격을 낮추기는 어렵다. 정책의 최우선 목표에 경제의 탈이산화탄소화(decarbonisation of the economy)가 포함되고 이산화탄소 배출 경감 수단이 크게 주목을 받을 것이다.

지속 가능하게 탄소 배출을 줄일 수 있는 에너지 시스템이 강조된다. 탈탄소 장치 사용이 크게 늘어난다. 재생 에너지와 수소 기반 동력 시스템이 원자력 발전과 함께 핵심 에너지 공급 체계를 구성한다. 원전의 부활이 일어날 수 있으며 재생 에너지의 공급 목표가 야심차게 법제화 될 수 있다.

관련 규제가 강화되면서, 에너지 효율을 높이기 위한 노력이 증대하며 에너지의 최종 소비자 가격은 올라 간다 (OST, 1999; EFTF;

2000). 증가하는 전력 수요를 충당 하기 위해서는 수명이 종료되는 원전들을 대체해야 하는데, 이때 새로 도입되는 원전은 여러 가지 다른 발전원들과 경쟁하게 될 것이다.

가스 공급이 가능한 지역에서는 천연 가스 발전소(복합 가스 터빈)가 향후 20~30년 간은 가장 경쟁력을 갖춘 기술로 보여진다. 그 외에 많은 개발 도상국에서는 석탄이 원자력의 가장 강력한 경쟁 상대가 될 것이다(NEA, 2000).

4. 「지속 가능 지역화(Local Stewardship, LS)」 시나리오

토착 에너지 자원의 사용이 강조 된다. 정책적으로 재생 에너지의 사용과 자원이 없는 곳에서는 폐기물로부터 에너지 생산이 장려된다. 화석과 비화석에 상관없이 토착 에너지 이용 개발이 늘어난다.

풍력, 바이오매스, 광전지, 중·소 수력 등 재생 에너지가 규모는 작지만 광범위하게 개발된다. 지역 기반 열병합 발전이 크게 확산된다.

에너지 가격이 높아지면서 에너지 생산(공정) 및 변환(제품) 효율을 증대시키기 위한 기술 혁신이 강조 된다. 에너지 자립 수단으로서 중·소형 원전의 도입이 이루어진다.

〈표 2〉는 미래 사회의 에너지-환

경과 관련된 주요 변화와 특징을 요약하였다.⁴⁾

미래 사회 원자력 이용 개발 시나리오

미래 사회 시나리오 중에서 원자력의 역할은 「지속 가능 세계화」 시나리오에서 가장 클 것으로 전망되었다.

「세계 시장 자유화」에서는 시장의 자유화와 경쟁이 가열되고 에너지 시스템의 효율성이 강조되면서, 원전은 기존의 현안이 크게 개선되지 않는 한 축소 또는 식퇴될 전망이다.⁵⁾

「지역 시장 자유화」에서는 국가/지역별 에너지 안보와 생산의 효율성에 초점을 두고 기존 원전 시스템의 수명 연장이 주로 장려될 것이다.

「지속 가능 지역화」에서는 토착 에너지의 사용과 에너지 효율 개선 수단으로서 중소형 에너지의 도입 환경이 조성될 전망이다.

이에 비하여 「지속 가능 세계화」 시나리오에서는 탄소 배출 저감 수단이 국제적으로 제도화되면서 2015년 경부터 원자력이 희생할 것으로 전망되고 있다. 〈표 3〉에서 볼 수 있는 것처럼, 예상되는 시나리오는 다음과 같다.

2010년까지는 천연 가스가 에너

4) 이 표는 EFTF(2000)과 OST (1999)를 종합한 것임.

5) 원자력의 기존 현안에 대해서는 이태준(2003)을 참조하기 바람.



지 공급 체계를 지배하고 2010년 이후에는 재생 에너지의 시장 점유율이 크게 확대된다.

2020~25경에는 태양 에너지의 시장이 크게 형성될 것이며, 2030년까지 수소 인프라 구축이 정비되고 수소의 사용이 크게 늘어난다.

원전의 경우에는 이산화탄소 배출을 감소하려는 노력에 힘입어 2015년부터 원전이 부분적으로 회생한다. 또한 원자력 시스템의 기술 혁신이 이루어지면서 화석 연료와 재생 에너지에 대하여 경쟁력을 확보할 전망이다.

특히 전력 외에 수소 생산에도 원자력이 활발히 이용될 전망이다. 2050년까지 수소 생산 에너지원의 약 40%를 원자력이 점유할 것으로 추정되고 있다.⁶⁾

본고에서는 현재부터 21세기 중반까지 미래 사회 시나리오로서 「지역 시장 자유화」와 「지속 가능 지역화」 시나리오도 무시할 수는 없지만, 「세계 시장 자유화」와 「지속 가능 세계화」의 출현 가능성을 보다 높게 전망한다.

이들 시나리오에서는 포괄적으로 지속 가능성, 디지털 경제 및 과학 기술 발전 가속화 그리고 글로벌화 및 자유 시장 경쟁 확산이 주요 특징이 될 것이다.

또한 이들 시나리오에서 원자력

〈표 3〉 2050년을 향한 미래 사회 원자력 이용 개발 시나리오

	세계 시장 자유화 (WP)	지역 시장 자유화 (PE)	지속가능 세계화 (GS)	지속가능 지역화 (LS)
지배 에너지	<ul style="list-style-type: none"> • 화석 연료, 특히 천연 가스 • 2020 가스 발전 지배 • 높은 할인율과 낮은 환경 관심 • 재생 에너지와 원자력 확산 억제 • 모듈형·분산형 공급 체제 	<ul style="list-style-type: none"> • 화석 연료 가용 자본 부족 • 환경 관심 저조 • 재생 에너지 개발 위축 • 원자력 포함 기준 에너지 체계 유지 • 기존 발전소 수명 연장 장려 	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 천연 가스 이후 재생 에너지 시장 점유율 확대 • 2015부터 원전 부분 회생 • 2020~25 태양 에너지 큰 시장 • 2030까지 수소 인프라 구축 및 사용 증대 	<ul style="list-style-type: none"> • 토착에너지원 이용·개발 증대 • 중·소형 재생/원자력/열병합
원자력 역할	<ul style="list-style-type: none"> • 축소/쇠퇴 • 폐쇄 원전은 보다 경제적인 옵션으로 대체됨 	<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 감소 • 수명 연장된 원자력은 경쟁력 확보 • 전력 외에 원자력 수소 생산 10% 	<ul style="list-style-type: none"> • 회생 • 탄소 배출 저감 수단으로 2015부터 회생 가능 • 전력 외에 원자력 수소 생산 40% 	<ul style="list-style-type: none"> • 부분 회생 • 중소형 원전 도입 가능
원자력 R&D 과제	<ul style="list-style-type: none"> • 폐로, 폐기물 처리 • 원전 효율 개선 	<ul style="list-style-type: none"> • 수명 연장 • 원전 효율 개선 	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 현안 총개선 - 안전성/경제성 - 방사성 폐기물 - 핵확산성 	<ul style="list-style-type: none"> • 중소형 원전 • 원전 효율 개선
주 경쟁자	<ul style="list-style-type: none"> • 화력 - 천연가스/석탄 	<ul style="list-style-type: none"> • 화력 - 석탄 	<ul style="list-style-type: none"> • 가스/청정 석탄 • 재생(태양) 에너지 	<ul style="list-style-type: none"> • 토착 에너지원 • 중·소형 재생/열병합 발전

의 이용 개발을 증진시키기 위해서는 안전하고 환경 친화적인 측면에서 경제적인 가격으로 안정적으로 공급되고, 다양한 수요 (내용, 질과 양) 변화에 효율적으로 대처 가능한 원자력 에너지 생산-유통 시스템이 요구될 전망이다. ☞

(tilee@kaeri.re.kr)

〈참 고 문 헌〉

Berkhout, F. and Hertin, J.

(2002) ' Foresight Futures Scenarios: Developing and Appluing a Participative Strategic Planning Tool,' GMI, 37 (Spring).

Energy Future Task Force (EFTF) (2000), Fuelling the Future: A consultation document, UK.

Nuclear Energy Agency (NEA) (2000), Nuclear Energy in a Sustainable Development

6) 〈표 3.1〉은 EFTF(2000)과 OST(1999)를 종합한 것임.

Perspective, Paris: OECD/NEA.

Office of Science and Technology (OST) (1999), Foresight: Environmental futures, DTI, UK

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2003), Energy System Expectations for Nuclear Energy in the 21st Century: A plausible Range, Draft.

Shell International (2001), Energy Needs Choices and Possibilities : Scenarios to 2050, Global Business Environment, London.

Watson, J. (2002), Renewables and CHP Deployment in the UK to 2020, SPRU (Science and Technology Policy Research), University of Sussex, UK.

이태준 (2003) '미래사회의 원자력 에너지 이용개발 전략환경 (SWOT) 분석,' 원자력산업, 23(9), 29-41

*** (편집자 주)**

〈원자력산업〉 9월호에 게재된 「미래 사회의 원자력 에너지 이용 개발 전략 환경(SWOT) 분석」-이태준(한국원자력연구소 정책연구부 선임연구원)의 「결론 및 시사점」부분이 일부 누락되어 누락분을 게재합니다.

결론 및 시사점

미국 에너지부는 상용 원전 산업이 미래에 자생력을 갖추고 발전하는 데에는 다른 요인들이 영향을 줄 수 있다고 보고하였다.

다시 말해서 전력 수요 증가, 화석 연료의 가용성과 비용, 온실 가스 방출에 대한 국제 조약에 대한 대응 등의 외부 환경이 원자력에 유리하게 조성되고, 원자력계 내부적으로는 대체 에너지 자원의 개발에 비하여 안전성과 핵비확산 문제 해결을 포함한 세계 차원의 기술 혁신이 이루어져야 한다고 지적하였다(Christensen et al., 2000).

본고에서는 이들 요인 외에, 미래 사회 변화, 즉 정보 통신 사회 확산, 과학 기술 발전 가속화, 도시화 증가, 소비 행태 변화 및 시장 경쟁 심화 등을 포함시켜서 21세기 전반의 원자력 이용개발을 위한 전략 환경을 전망하고 이를 <표 8>과 같이 정리하였다.

외부 환경 요인 중에서 전력화, 정보 통신 사회, 지구 환경 규제 및 화석 연료 가용성의 한계는 기회 요인으로 분석되었고, 소비 행태 변화 및 시장 자유화는 위협 요인으로 분류되었다.

그러나 도시화와 과학 기술 발전 가속화 및 환경에 대한 관심 증가 등은 원자력의 기술 혁신에 의존하면서 기회 요인이 되거나 위협 요인이 될 수도 있을 것으로 전망되었다.

내부 요인으로서 연료의 재활용성과 고에너지 밀도, 지구 환경 친화적 특성은 원자력의 강점이 되는 반면, 방사성 폐기물 관리, 안전성, 그리고 핵확산성 등의 원자력의 사회적 현안과 원자력 시스템의 고자본 비용 구조는 미래 사회에서 원자력의 역할을 증진시키는 데 약점으로 작용할 것으로 분석되었다.

미래에 원자력 이용 개발을 증진시키기 위해서는 특히 약점을 해결하는 것이 중요하다. 왜냐하면, 원자력의 장점과 국제 경제에 대한 기여도에도 불구하고 지난 50년간 원자력의 부정적인 3대 유산-핵무기 전용 가능성, 폐기물, 안전성 문제-에 대한 근본적인 기술 혁신을 이루지 못하면서 대중의 원자력에 대한 태도의 변화는 선진국에서 원자력 R&D에 대한 투자를 축소시켜 왔다(Christensen et al., 2000).

경수로의 안전을 자신했음에도 몇 번의 사고가 있었으며 또한 원자력



(표 8) 원자력 이용 개발의 미래 외부 환경과 내부 능력

	요소	특징	강점	약점	대책
기 회	전력화	총전력 수요 증대	전기 전용 대량 생산 기저 부하 안정 공급	전반적인 원자력 현안에 대한 사회 수용성 낮음	원자력 현안 개선 사회 수용성 증진 안전성, 폐기물 관리, 핵비확산성, 경제성 -생산 비용 구조 -전기 생산 효율
	정보 통신 사회	총전력 수요 증대; IT 도입 성과 (운전성, 안전성 개선)	전기 전용 대량 생산 기저 부하 안정 공급		
	지구 환경 규제	온실 가스 배출 감축 의무화; 환경 외부성 내재화	온실 가스 배출 극소; 폐기물/ 폐로 비용 기포함	안전성/폐기물 관리 :원자력 보전/ 환경 부담	
	화석 자원 공급 불안	에너지 공급 및 관리 안정성	에너지 재순환; 고에너지 밀도	농축/재순환 핵확산성 :재순환 폐기물 관리	
기 회 또 는 위 협	도시화	• 총에너지/전력 수요 증대 • 대형·집중 • 전력 수요 증대 • 저토지 점유 요구 • 혐오 위험 시설 기피	전기 전용 대량 생산 기저 부하 안정 공급; 토지 점유율	안전성, 폐기물 관리에 대한 부정적 인식	안전성, 폐기물 문제 해결
	과학 기술 발전	• 원자력 현안 개선 • 타기술/신에너지 기술 혁신	과학 기술 집약적	장주기 기술 수명; 기술 복잡성	기술 혁신 성과 제고 노력
	환경 인식	• 지구 환경 보호 • 원자력 보전 및 환경 부담 경감 요구	지구 환경 친화성	안전성, 폐기물에 대한 부정적 인식	안전성, 폐기물 문제 해결
위 협	소비 형태	분산 생산 공급 니즈 증대		대형 중앙 집중 시스템	중소형로 개발
	시장 자유화	• 저투자 위험 선호 • 빠른 자본 회수 • 소규모 투자 • 경제성 우선		• 대형 중앙 집중 시스템 • 고자본 비용	• 생산 비용 구조 개선 • 전기 생산 효율 개선 • 중소형로 개발 • 다목적 시스템 개발(전기, 열)

원자력의 미래 역할 증진에 있어서 선결되어야 할 약점으로 지적된다 (Chris tensen et al., 2000).

예를 들어, 지구 환경 규제 강화는 대기 오염과 기후 변화에 대한 대중의 염려가 커지고 국제적으로 환경 보호를 위한 규칙이 마련되면서 기회 요인이 된다.

그러나 동시에 원자력의 보전/환경 부담에 대한 관심이 증대할 경우, 방사성 폐기물과 안전성 문제를 사회가 수용 가능한 수준까지 해결하지 못하면, 지구 환경 규제 강화라는 원자력 이용 개발 기회 요인을 현실적으로 이용하는 데 한계가 있을 수 있다.

아울러 지속 가능한 발전 동력으로서 원자력 에너지가 핵무기 확산의 원인이 되어서는 안 된다. 미래의 다양한 에너지 소비 행태에 대응하기 위해서는 중앙 집중식 대형 원자력 시스템 이외에 분산형 에너지 생산을 위한 중·소형 원전 시스템의 개발이 요구된다.

그러나 중·소형 원전 시스템 또한 경제성은 물론이고 최종 소비자와의 근접성으로 고려할 때, 원자력 안전성, 방사선 방호, 그리고 폐기물 관리에 대한 획기적인 개선이 이루어져야 한다.

시장의 자유화가 원자력 개발에 위협 요인이 되는 것은 원자력 시스템의 고자본 비용 구조와 관련된다. 지난 10여년 동안 미국과 유럽에서는 시장 자유화에 대응하면서 이용률 향

발전의 대기 환경 친화적인 이점에도 불구하고 방사성 폐기물 처리 문제는 여전히 사회적으로 해결되지 않고 있다 (신중섭, 2000).

핵무기 확산을 방지하기 위한 국제

적인 노력에도 불구하고 핵확산의 문제는 국제 정치적으로 가장 민감한 문제로 남아 있다.

이들 안전성, 방사성 폐기물, 핵확산성과 함께 경제적 투자 위험성은

상과 수명 연장 등이 원전의 발전 원가를 절감시켜왔다.

그러나 원전의 운영 능력 향상을 통해서 경쟁력을 높이는 데에는 한계가 있다. 자유화된 시장에서 민간 기업이 현재의 고자본 비용 구조의 원자력 시스템을 가지고 타에너지원과 경쟁하면서 거래되기는 어려운 전망이다. 보다 근본적으로 자본 비용 많은 원전의 비용 구조 개선을 위한 기술적 돌파가 이루어질 필요가 있다.

기술 개발의 전략 환경을 전망하는 이유는 연구 개발 및 기술 혁신 활동의 성과를 증진시키기 위함이다. 즉 전략 환경 분석은 기술 개발 성과와 관련된 외부 환경의 기회 요인을 더욱 잘 활용하고 위협 요인은 가능한 줄이거나 회피하면서 시스템 내부의 강점을 증대시키고 약점을 보완하기 위한 기술적·경영적 전략을 마련하는 데 사용된다.

본고에서 전망한 원자력 이용 개발의 미래 전략 환경은, 원자력 기술 개발 과정에서는 그 효율성을 높이고 개발이 완료된 기술에 대해서는 그 이용 효과를 제고하며 궁극적으로 원자력 기술 개발 활동의 사회 경제적 가치를 증대하기 위한 전략적 기술 경로와 경영·정책적 방안을 모색하는 데 사용되기를 기대한다. ☞

〈참 고 문 헌〉

신의순 (2001), 한국경제와 에너지정책, 도서출판따남: 서울.
신형기 (2002) '프랑스 원자력 발전의

경제성 분석,' 원자력산업, 22(6), 한국원자력산업회의.

최양우 (2002) 에너지, 원자력-지속 가능한 개발,' 원자력산업, 22(11), 한국원자력산업회의.

우찌야마 요오지 (内山洋司) 등 (1994) 발전소의 온실효과 분석,' 일본전력중앙연구소, 일본핵융합학회지, 8월.

International Atomic Energy Agency (IAEA)/ 한국원자력연구소 (KAERI) 譯 (1998), 지속가능한 성장과 원자력, 한국원자력연구소.

International Nuclear Societies Council (INSC)/이창건 譯 (1996), 향후 50년간의 원자력 전망과 추진전략 (A Vision for the Second Fifty Years of Nuclear Energy: Vision and Strategies), 한국원자력학회 - 한국원자력연구소.

Klare, Michael/김태유 · 허은녕 譯 (2002), 자원의 지배, 세종연구원.

Williams, L. G. (2001) '21세기 원자력 안전의 과제,' 원자력산업, 21(8), 한국원자력산업회의 (한글).

Wolfe, B. (2001) '원자력 : 세계 에너지 재앙 예방,' 원자력산업, 21(8), 한국원자력산업회의 (한글).

Anton, P. S., Silbergliitt, R. and Schneider, J. (2001), The Global Technology Revolution: Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015, RAND National Defense Research Institute.

Blumenthal, A. and Lindeman, E. (1995), Handbook: The International Nuclear Fuel Cycle, New York Nuclear Corporation, USA

Christensen, D.C. et al.(2000), Managing the National's Nuclear Materials: The 2025 Vision for the Department of Energy, LA-UR-00-3489.

Holdren, J. P. (1989), "Civilian Nuclear Technologies and Nuclear Weapons Proliferation," in C. Schaerf, B. H. Reid and D. Carlton (ed), New Technologies and Arms Race, MacMillan Press, pp. 161-198.

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2002), Nuclear Technology Review 2002, Vienna: IAEA.

Nuclear Energy Agency (NEA) (2002a), Society and Nuclear Energy; Towards a Better Understanding, Paris: OECD/NEA.

Nuclear Energy Agency (NEA) (2000b), Nuclear Energy in a Sustainable Development Perspective, Paris: OECD/NEA.

Shell International (2001), Energy Needs Choices and Possibilities: Scenarios to 2050, Global Business Environment, London.