

**GNEP 동향 파악 및 예측을 통한  
대응전략 수립에 관한 연구**

A Study on the Establishment of the Corresponding Strategy  
by the Analysis of the Trends and Prospects of the GNEP

한국원자력통제기술원

과 학 기 술 부

## 제 출 문

과학기술부 장관 귀하

본 보고서를 “GNEP 동향 파악 및 예측을 통한 대응전략 수립에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007. 4.

주관연구기관명 : 한국원자력통제기술원

주관연구책임자 : 최 영 명

연 구 원 : 윤 완 기

안 진 수

김 종 숙

유 호 식

조 성 연

박 재 범

이 호 진

김 민 수 A

김 민 수 B

## 보고서 초록

과제관리번호		해당단계 연구기간	2006.5.1~ 2007.4.30	단계구분	개념정립단계
연구사업명	중사업명	원자력연구개발사업			
	세부사업명	2006년도 원자력국제협력기반조성사업			
연구과제명	대과제명	(해당사항 없음)			
	세부과제명	GNEP 동향파악 및 예측을 통한 대응전략 수립에 관한 연구			
연구책임자	조성연	해당단계 참여연구원 수	총 : 10 명 내부 : 10 명 외부 : 0 명	해당단계 연구비	정부 : 40,000천원 기업 : 천원 계 : 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국원자력통제기술원 통제정책부		참여기업명	(해당사항 없음)	
국제공동연구	(해당사항 없음)				
위탁연구	(해당사항 없음)				
요 약				보고서 면수	109
<p>미국의 신에너지구상에 따른 세계원자력에너지파트너쉽(Global Nuclear Energy Partnership : GNEP) 추진에 따라 GNEP의 목적 및 전략을 분석하고, 주요 원자력선진국의 대응전략 및 국내 원자력산업에 미치는 영향을 파악함으로써 GNEP에 대한 국가차원의 종합대책 및 대응전략을 수립함.</p>					
색인어 (각 5개이상)	한글	세계원자력에너지파트너쉽, 핵비확산, 핵연료주기, 재처리, 농축			
	영어	GNEP, Nonproliferation, Nuclear Fuel Cycle, Reprocessing, Enrichment			

## 요 약 문

### I. 제목

“GNEP 동향 파악 및 예측을 통한 대응전략 수립에 관한 연구”

### II. 연구개발의 목적 및 필요성

미국은 2006년 2월 핵확산 위험성의 감소, 고준위방사성폐기물의 감소 등을 위하여 핵비확산성 사용후핵연료 재순환 기술에 바탕을 둔 GNEP 구상을 발표한 바 있다. 이는 향후 핵연료 주기 시장 뿐 아니라 핵비확산과 관련한 원자력정책에 큰 영향을 미칠 수 있는 사안으로서 이에 대한 국가 차원의 대책 마련이 필요하다. 특히, GNEP에서 제안하고 있는 핵비확산성 사용후핵연료 재순환 기술, 사용후핵연료 소멸로, 신형 소형 원자로 개발 등 국내에서 추진 중인 R&D에 대한 영향 분석 및 향후 정책 방향 설정이 필요하다.

### III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 GNEP의 목적, 7대 전략 및 이에 대한 영향의 분석을 통해 국 핵비확산체제에 대한 향후 동향을 분석하고, 우리나라 핵주기 관련 연구 및 기술개발에 미치는 영향, GNEP에 대한 주요 국가별 대응방안 및 전략 분석, 그리고 우리나라의 이익을 최대화할 수 있는 입장 및 대응 전략 수립 방향을 모색하였다.

### IV. 연구개발 결과

본 연구에서는 GNEP 구상 발표에 따른 국제 핵비확산체제 변화에 대한 예측을 위해 미국의 GNEP 추진 배경, 목적 및 7대 전략에 대한 분석을 수행하였으며, GNEP과 연계성이 높은 IAEA 엘바라데이 사무총장의 MNA 제안 및 러시아 핵연료주기서비스센터 등과의 차이점 및 영향 분석을 통해 향후 기존 핵비확산체제의 변화 동향을 분석하였다. GNEP에서 제안하는 기술요소가 핵주기 관련 연구 및 기

술개발에 미치는 영향을 분석하였으며, 향후 원자력 선진국 및 개도국의 기술개발 등 대응 추이와 국내 원자력 관련 기술 개발 및 산업 현황을 파악하여 GNEP 이행 시 국내에 미치는 영향을 분석하였다.

향후 우리나라의 대응 방향 수립에 참고하기 위해 핵보유국, 재처리/농축기술 보유국, 원자력기술 보유국들에 대한 GNEP 대응 현황을 분석하고 GNEP 이행시 예상되는 공급국-사용국 별 GNEP에 대한 전략을 분석하였으며, GNEP 이행에 따른 국내 에너지안보, 원자력산업 및 핵비확산에 미치는 영향을 분석하고 이익극대화를 위한 대응전략을 수립하여 제시하였다.

#### IV. 연구개발 결과의 활용 계획

연구결과는 우리나라 핵비확산 및 핵주기 관련 정책 입안 시 참고자료로 활용할 것이며, 아울러 GNEP 및 기타 연료공급보장 구상과 관련한 우리나라 대응 방안 수립 및 후행핵주기 관련 연구기술에 대한 정책 수립에 활용토록 할 계획이다.

## SUMMARY

### I. Title

“A Study on the establishment of the corresponding strategy by the analysis of the trends and prospects of the GNEP”

### II. Objectives

In February, 2006 US released a new initiative which is called GNEP, Global Nuclear Energy Partnership, which is intended for minimizing risk of proliferation of nuclear material and effective reduction of high level radioactive waste as well. Since this initiative may have a great effect on the future nuclear fuel market and national policy for nuclear energy specially related with nuclear nonproliferation, countermeasures are needed to be prepared by the Government. Especially, spent fuel recycling technology, Advanced Burner Reactor for burning out transuranic elements, and small reactor for developing countries among GNEP's technological elements should be reviewed intensively with consideration of domestic fuel cycle R&D situation.

### III. Research Scope

In this study, the objectives and seven strategies of the GNEP are analyzed and its effects on the international nuclear nonproliferation regime are foreseen. Major countries' countermeasures and strategy against the GNEP are reviewed and the analysis of effects on the fuel cycle R&D in the ROK are made in order to prepare and decide the national position and strategy to protect nuclear R&D and industrial environment.

#### IV. Results

In this study, the background, purpose and seven strategies of the GNEP are analyzed to anticipate the future movement of international nuclear non-proliferation regime. The MNA suggestion by the IAEA and INFCC by Russia are compared with the GNEP and reviewed in view of close interrelationship among fuel supply assurance initiatives. The effects of the GNEP's technological elements on the nuclear fuel cycle related R&D are analyzed. Major stakeholders' positions to the GNEP are reviewed including leading group of international nuclear industry and developing countries with plans of owning nuclear power plants. The effect of GNEP on our country was analyzed by investigating the domestic nuclear related R&D activities and industries. Status of those countries that have nuclear weapon or reprocessing/enrichment technology or other nuclear technology related to the GNEP were analyzed, and the supplier and user group's expected strategy when the GNEP is actually activated was also examined. Based on information collected and analyzed, positions and response strategies that can maximize our interests are presented.

#### V. Application of Research Results

The result of this study will be used as references for preparing national policy for nuclear nonproliferation and nuclear fuel cycle, and will be applied to the establishing national position and strategy for the GNEP and other nuclear fuel supply assurance, and fuel cycle R&D policy.

## CONTENTS

1. Introduction .....	1
2. Background and Overviews of the GNEP .....	3
3. Fuel Supply Assurance Initiatives .....	17
4. Major Countries' Activities and Countermeasures .....	35
5. Effects on the ROK and Response Measures .....	47
6. Conclusion .....	63
References .....	67
Appendices	
1. GNEP Overview Fact Sheet .....	69
2. Nuclear Fuel Supply Assurance Special Event – IAEA DG's Keynote Address ....	73
3. CFTC, ABR EOI Industry Briefing .....	81
4. GNEP Strategic Plan .....	87
List of Tables .....	101
List of Figures .....	101



여백

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 2 장 GNEP의 추진배경 및 주요내용 .....	3
제 1 절 GNEP 추진배경 .....	3
제 2 절 GNEP의 목표 .....	5
제 3 절 GNEP의 전략 .....	6
제 3 장 GNEP 및 기타 연료공급보장 제안에 대한 분석 .....	17
제 1 절 개요 .....	17
제 2 절 IAEA 다자간 공급보장(MNA) .....	19
제 3 절 6개국 다자간 공급 메커니즘 제안(MM) .....	26
제 4 절 러시아 핵연료 주기 센터 .....	28
제 5 절 GNEP .....	29
제 6 절 각 제안별 주요 내용 비교 .....	32
제 4 장 주요국 동향 및 대응 방안 분석 .....	35
제 1 절 주요 공급국 후보 그룹 .....	35
제 2 절 비동맹권 .....	43
제 3 절 중간 그룹 .....	44
제 5 장 우리나라에의 영향 및 대응 방안 .....	47
제 1 절 국내 핵연료 주기산업 .....	47
제 2 절 원자력 연구개발 분야 .....	52
제 3 절 대응전략 및 대처방안 .....	61
제 6 장 결론 .....	63
제 1 절 민감시설 확산방지를 통한 국제 핵비확산 체제 강화 .....	63

제 2 절 원자력 부흥의 기회로서의 GNEP의 활용 .....	65
참고 문헌 .....	67
부 록	
1. GNEP Overview Fact Sheet .....	69
2. 핵연료 공급보장 특별 세미나 사무총장 기조 연설문 .....	73
3. CFTC, ABR 의향업체 대상 브리핑자료 .....	81
4. GNEP 전략 계획 .....	87
표 목차 .....	101
그림 목차 .....	101

## 제 1 장 서 론

최근 온실가스 감축을 위한 화석연료의 대안으로서 원자력 발전이 급부상하고 있고, 이란과 북한의 핵 프로그램에 대한 국제 사회의 대응과 맞물려 원자력발전이 국제사회의 집중적인 조명을 받고 있는 상황이다. 원자력발전이 시작된 이래, 원자력의 평화적 이용에 대한 권리 주장과 핵물질의 전용 방지를 위한 핵물질 통제 강화에 대한 논란은 끊임없이 계속되어 왔고, 현재 국제 원자력기구를 중심으로 한 국제 핵비확산 체제 동향은 이와 같은 현실을 반영하고 있다고 보인다. 2006년 2월 미국이 제안한 GNEP 구상은 현 상황에 대해 원자력산업의 부흥과 핵비확산체제의 주도권을 회복하기 위한 시도로 파악할 수 있으며, 미국의 입장을 반영한 포괄적인 해결책으로 이해된다.

GNEP 구상은 부시 행정부의 선진에너지 구상의 일환으로서, 에너지 안보의 증진, 핵확산 위험성 감소 및 친환경 에너지 개발이라는 가치를 내세우고 있으며 원자력 발전 확대에 대한 강력한 의지를 표명하고 있다. 그러나 그 이행 방안의 저변에는 미 행정부의 핵확산 방지를 위한 일관적인 정책 기조를 담고 있으며, 사용후 핵연료 재처리시설이나 우라늄 농축시설에 대한 보유 제한을 통해 핵무기 생산에 필요한 민감시설의 확산 방지를 실현하고자 하는 의도가 강하게 나타난다. 또한, 사용후 핵연료의 처리를 위한 새로운 핵연료 재순환 방법으로서 Pu를 별도로 추출하지 않는 핵연료 재순환 주기의 실증과 초우라늄 계열 연소 전용 고속로, 개도국용 소형로 등 새로운 원자로 개발 등을 제안하고 있다. 이와 같이 GNEP의 제안 사항들은 많은 시간의 소요가 예상되는 신규 기술 개발 및 구체적 실현을 위해 기술적 타당성 검증을 필요로 하는 것들이 대부분이다. 또한, 민감시설의 보유 포기에 따른 핵연료 리스 및 반환 등 원자력발전의 도입이나 확대를 계획하고 있는 개도국 입장에서 선뜻 받아들이기 어려운 부분을 담고 있다.

미국 내에서도 GNEP 프로그램의 비현실성을 지적하며, 협력프로그램이 아니라 사실상의 핵 강국들의 카르텔이라는 비판이 제기되는 등 반대여론도 만만치 않은 현실이다. 따라서 GNEP 프로그램은 기술적, 정치적으로 해결해야 할 난관이 결코 적지 않으며, 근 시일 내에 실현이 되기는 어렵다고 판단된다. 그러나 그 논의 과정

에서 각 국의 원자력산업 규모 및 성격에 따라 GNEP 프로그램에서의 역할들이 결정될 것이며, 이의 영향이 결코 작지 않다고 보인다. 특히 우리나라는 대규모의 원자력 산업 및 독자적 기술을 보유하고 있지만, 핵연료 농축 및 재처리에 대한 설비가 없는 국가로서, GNEP 에 참여할 시 향후 핵주기 기술 개발 및 원자력 이용의 평화적 이용 주권에 대해 심각한 제약을 가져올 우려가 있다.

미국은 인도와의 원자력협정을 논의하는 과정에서 GNEP에 참여할 것을 공식적으로 요청한 바 있고, 우리나라의 참여도 바라고 있는 상황이다. GNEP의 참여는 각국의 판단에 따른 자발적인 것이며, 기존 시장에 영향을 미치지 않을 것임을 미국은 누차 주장하고 있지만, 세계 경제를 좌지우지 하는 제안국(P5+1, 미국, 영국, 프랑스, 러시아, 중국 및 일본)들의 영향력을 결코 무시할 수는 없는 것이 현실이다. 그러나 현재 우리나라가 진행하고 있는 연구 개발 및 그간의 기술 개발 능력을 고려할 때, GNEP에서 필요로 하는 새로운 설비 개발에 주도적으로 참여할 수 있는 기회로 활용할 수 있는 계기가 될 수 있다고 판단된다. 그러나 GNEP의 현 구도에 따라 참여할 경우 사용후 핵연료의 처리 문제 등 독자적인 원자력 정책 판단 및 이행에 있어 많은 어려움이 예상되는 것 또한 사실이다. 따라서 향후 진행될 GNEP의 참여 논의 과정에서 가능한 한 국가의 이익을 극대화하기 위해서는 먼저 GNEP 프로그램과 국제 동향을 면밀히 분석, 관찰하고 우리나라의 입장을 반영한 대응책을 수립하는 것이 필요하다.

## 제 2 장 GNEP 추진 배경 및 주요 내용

### 제 1 절 GNEP 추진 배경

1993년 1월, 12년 만에 미국 민주당 정권이 발족함에 따라 클린턴 정부는 에너지 효율의 개선, 에너지 절약의 촉진, 천연가스 및 재생 가능 에너지의 이용 등을 에너지·환경 정책의 기본방향으로 제시한다. 원자력의 경우 장래의 에너지 수급 대안으로서 유지한다는 방침을 제시하였으나 에너지 정책의 기본방향에 있어 원자력에 우선순위를 부여하지는 않았다.

그러나 2001년 1월 공화당의 부시 행정부가 출범과 함께, 당시 원유·천연가스 가격의 높은 상승에의 대응을 포함하여 클린턴 민주당 정부의 포괄적 에너지 계획 정책이 실패하였다고 비판하였다. 동시에 원자력 발전이 미국 내 전력수요의 약 20%를 차지하고 있으며, 자국의 지속가능하고 안정적인 에너지 수급을 위해서는 원자력 발전을 확대하는 것이 필수적이라고 강조하였다. 원자력 발전이 가지는 우수한 가격 안정성과 미국의 공기 정화 목표치 달성에 매우 중요한 역할을 할 것임을 강조하면서, 2001년 5월 국가에너지 정책 보고서를 통해 원자력의 이용이 미국의 에너지 정책에서 필수 불가결한 것으로 평가하였다. 동시에 자국 내 원자력이용 확대 지원, 신형 핵연료주기 및 차세대 원자력기술의 개발, 신형 재처리 및 핵연료 처분 기술개발을 권고하였다. 이의 이행을 위한 구체적인 계획으로서 Nuclear Power 2010, Generation IV, Nuclear Hydrogen Initiative 및 Advanced Fuel Cycle Initiative(AFCI) 등이 마련되었다.

이러한 원자력 진흥 정책과 함께 미국 부시 대통령은 2004년 2월 11일 미 국방대학원 연설을 통해 대량살상무기의 개발과 확산에 대응하기 위한 조치로서 다양한 핵확산 방지 정책을 제안하였다. 주요 제안으로는 대량 살상무기와 이들의 운반수단, 또는 관련 물질들의 선적을 해상, 공중 및 육상에서 차단하기 위한 목적으로 대량살상무기확산방지구상 (PSI : Proliferation Security Initiative), 각국의 WMD 확산방지 관련 법령을 신설하고 강화하는 WMD 확산방지법령, 냉전시대의 부산물인

대량살상무기, 발사장치, 관련 장비들의 폐기작업에 요구되는 장비와 기술, 그리고 용역 일체를 제공함으로써 보유무기의 폐기를 유도하는 Global Partnership 등이 있다.

이러한 미국 부시행정부의 일련의 원자력에너지 진흥 정책과 핵비확산 강화 정책의 일환으로 미국 부시대통령은 2006년 1월 31일 연두교서에서 중동에서 수입하는 석유의 75% 이상을 2025년 까지 새로운 에너지원으로 대체하는 내용을 골자로 하는 신에너지 구상을 발표하였다. 곧 이어, 미국 에너지부(Department of Energy) 새뮤얼 보드먼 장관은 2006년 2월 6일 부시 행정부의 선진 에너지 구상의 일환으로 Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) 구상을 발표하였다.

미국은 GNEP이 미국과 전 세계의 에너지 안보를 증진하고, 핵확산 위험을 줄이면서, 전 세계적으로 친환경 개발을 촉진하고, 환경을 개선하기 위한 포괄적인 전략임을 강조하고 있다. GNEP 프로그램은 원자력을 통한 에너지 생산 확대 및 폐기물 감소, 핵확산 우려를 최소화하기 위한 새로운 핵확산저항성 사용후 핵연료 재순환 기술 개발, 농축·재처리를 포기한 국가들에 대한 핵연료공급서비스 제공 및 핵확산 저항성을 강화하기 위한 안전조치 개선 등을 주요 내용으로 하고 있다. 이를 위해 부시 대통령은 GNEP 관련 기술 개발을 촉진시키기 위한 첫 단계로서 미국의 산업계, 연구기관, 그리고 외국과의 협력을 위한 체계의 지속적발전을 목표로 하여 2007년 미 에너지부에 2.5억달러의 예산을 할당할 것을 의회에 요구하였다.

## 제 2 절 GNEP의 목표

미국은 GNEP 구상을 통해 다음과 같은 5가지 목표를 지향하고 있다.

- 새로운 핵확산 저항성 기술을 이용하여 핵연료를 재순환함으로써 더 많은 자원을 확보하고 폐기물 양을 감축
- 최신 기술을 활용함으로써 전 세계적으로 핵확산 위험성을 감소
- 세계적으로 번영의 확대와 지속가능한 발전을 장려
- 화석 연료의 사용을 감소
- 환경을 개선

핵확산 저항성 기술을 이용한 핵연료의 재순환과 관련하여 미국은 핵확산 저항성, 연료자원의 재생과 재사용을 증진시키고 영구적인 처분장을 필요로 하는 폐기물의 양을 줄이기 위하여 신기술을 이용하여 사용후 핵연료를 재활용하기 위한 새로운 접근법을 고려하고 있다. 이 작업은 2000년부터 혁신적인 재활용 개념을 연구하고 있는 미 에너지부의 AFCI를 발판으로 하고 있다. 전 세계적인 핵확산 위험을 감소시키기 위해 핵확산 저항성 기술 개발을 촉진하고 개도국에 대해서 신뢰성 있는 연료공급 서비스를 제공함으로써, 모든 나라들이 완성된 핵연료 주기를 가지지 않고서도 원자력에너지의 장점을 안전하고 안정적으로 제공받을 수 있도록 하는 것을 GNEP의 궁극적인 목적으로 삼고 있다. 원자력에너지를 통해 전력 공급이 증가됨으로써 많은 사람들이 지속가능하고 개선된 삶의 질을 경험할 수 있도록 세계적으로 원자력발전을 장려함과 아울러 비용 상승, 가격 불안, 공기오염 및 수요 증가 등 많은 문제점들을 드러내고 있는 화석연료 사용의 감소를 목적으로 하고 있다. 마지막으로 공기를 오염시키지 않으면서 대용량의 전력을 공급할 수 있는 유일한 기술로서 원자력 발전을 통한 환경개선을 목적으로 하고 있다. 참고적으로, 미국은 2005년 원자력발전소 운영으로 화석연료를 사용하였을 경우와 대비하여 총 6억 8천 톤에 이르는 탄소배출을 대체한 것으로 평가한 바 있다.



### 제 3 절 GNEP의 전략

GNEP의 핵확산 위험성 감소, 원자력발전의 확대, 그리고 환경 보호 라는 목적을 달성하기 위한 방법으로 GNEP 에서는 다음의 7대 기술적 전략요소를 제안하고 있다.

- 미국 내에 차세대 신규 원자력발전소의 건설
- 새로운 사용후 핵연료 재순환 기술 개발 및 도입
- 재순환 핵연료를 이용한 소형 소멸로의 개발
- 유카산 영구처분장을 포함한 미국 내 사용후 핵연료의 효율적 관리
- 신뢰성있는 핵연료 공급 프로그램
- 개도국 수요에 부합하는 원자로의 설계 및 공급
- 핵확산 저항성 및 확대된 원자력발전의 안전성 증진을 위한 핵물질 안전조치의 개선

#### 1. 미국 내 차세대 신규 원자력발전소의 건설

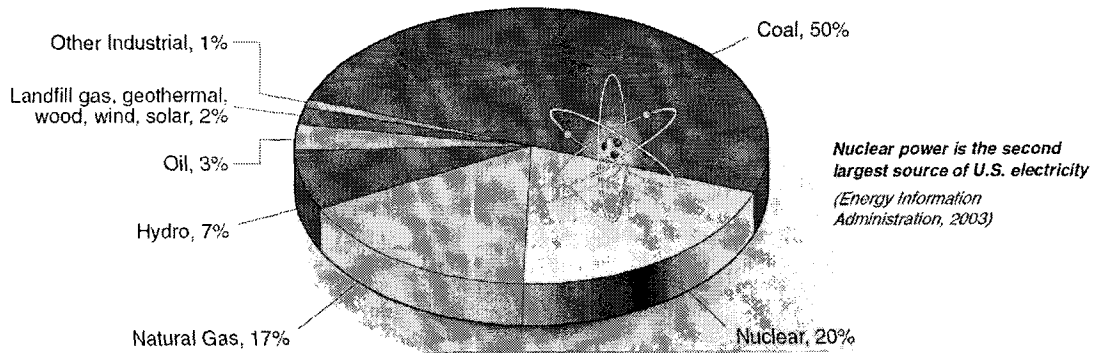


그림 1. 미국 에너지원별 비율

GNEP의 이 전략은 Nuclear Power 2010 프로그램을 통한 새로운 원자력발전의 건설 및 운영을 위한 규제의 간소화, 그리고 2005년 Energy Policy Act 제정을 통한 유인책의 이행을 주요 내용으로 하고 있다. Energy Policy Act는 첫 번째 포괄적인 에너지 법령으로서 Nuclear Power 2010 프로그램의 이행과 Standby Support

프로그램 수립을 위한 자금의 제공을 승인하는 법령이다. 미국은 2001년 국가에너지 정책을 발표하면서 에너지의 안정적 확보를 위한 핵심 에너지원으로서 원자력을 선정하였다. 그리고 이 정책을 실현하기 위한 구체적인 시책으로서 Nuclear Power 2010을 제시하였다. Nuclear Power 2010은 새로운 원자력발전소 건설을 위한 부지 선정과 신규 원자력 발전소 표준 설계를 개발하고 상업화하며, 규제절차를 간소화하기 위해 마련한 정부와 산업체 간의 협력 프로그램이다. Standby Support 프로그램은 원자력발전 운영을 지연시키는 규제 또는 소송 등으로부터 업체를 보호함으로써 신규 원전 채택을 권장하는 일종의 보험 성격을 지닌 프로그램으로 평가된다. 새로운 규제 시스템은 잠재적 원자력발전소 부지에 대한 조기 부지 승인 및 건설·운영 동시허가(COLs)를 신청하도록 하고 있다. 신규 원자력발전을 채택하는 업체를 보호하기 위해, 그 업체가 통제할 수 있는 범위를 벗어나는 공기 지연에 대해서 보험 정책이 제공되나, 1993년 12월 31일 이후 승인된 원자력 발전 설계에 한하는 것으로 되어있다. COL을 받고 건설을 시작한 첫 번째 2개 원자로에 대해서는 최고 5억 달러까지 지연 보호를 받을 수 있고 다음 4개 원자로에 대해서는 50%인 2.5억 달러의 지연 보호를 받을 수 있다. 현재 NRC는 향후 15년간 29기의 신규 원자력발전이 건설될 것으로 추정하고 있다.

## 2. 새로운 사용후 핵연료 재순환 기술 개발 및 도입

미국은 Once-through 핵연료 주기에서 순수한 플루토늄을 분리하지 않는 사용후 핵연료의 재활용을 포함하는 핵연료 주기로의 변화를 모색하고 있다. 이는 핵확산 저항성 및 자원 재활용을 증진시키고 영구처분장에 저장해야 할 폐기물 양을 줄일 수 있는 새로운 기술을 필요로 하는 데, AFCI가 그 근간이 된다. AFCI는 미국의 원자력 이용개발 진흥을 위한 주요 시책의 하나이다. 미 정부가 일찍이 에너지 안보 측면에서 원자력의 중요성을 인식하였으나 사용후 핵연료 처리가 큰 문제로 제시됨에 따라 미 에너지부로 하여금 사용후 핵연료의 처리를 위한 기술연구에 착수하도록 하면서 현재의 AFCI 프로그램으로 발전하게 되었다. AFCI의 목적은 사용후 핵연료의 처분 비용을 줄이고 제 4 세대 원전 시스템(Gen IV)에 부합하는 연료 및 핵주기 기술을 개발하는 것이다. 분리기술과 관련하여 사용후 핵연료의 부피와 방사성독성을 줄이고 에너지 자원을 회수하여 재활용하는 것을 목표로 하고 있다.

AFCI는 핵연료 주기에 관한 포괄적인 정책이며, GNEP이 제시한 재순환 기술인 UREX+ 및 Pyroprocessing은 AFCI의 한 부분으로 간주될 수 있다. GNEP에서 대표적인 재순환 기술로 제시된 UREX+ 는 사용후 핵연료에서 순도 높은 우라늄을 분리한 후 재차 농축을 통해 우라늄을 연료로 재순환하는 공정이며, 부산물은 저준위 폐기물로서 단순히 폐기 또는 저장하게 된다. 또 장주기 핵분열 생성물을 분리하여 영구처분장에 처분하고 세슘(Cs)이나 스트론튬(Sr)과 같이 방사성 독성이 강한 핵분열 생성물을 분리하여 저준위폐기물로서의 기준에 부합할 때까지 임시저장 시설에서 냉각시킨 후 처분토록 한다. 그리고 핵분열 생성물로부터 분리된 초우라늄 계열 원소(Transuranic elements)는 고속 소멸로의 연료로 가공된다.

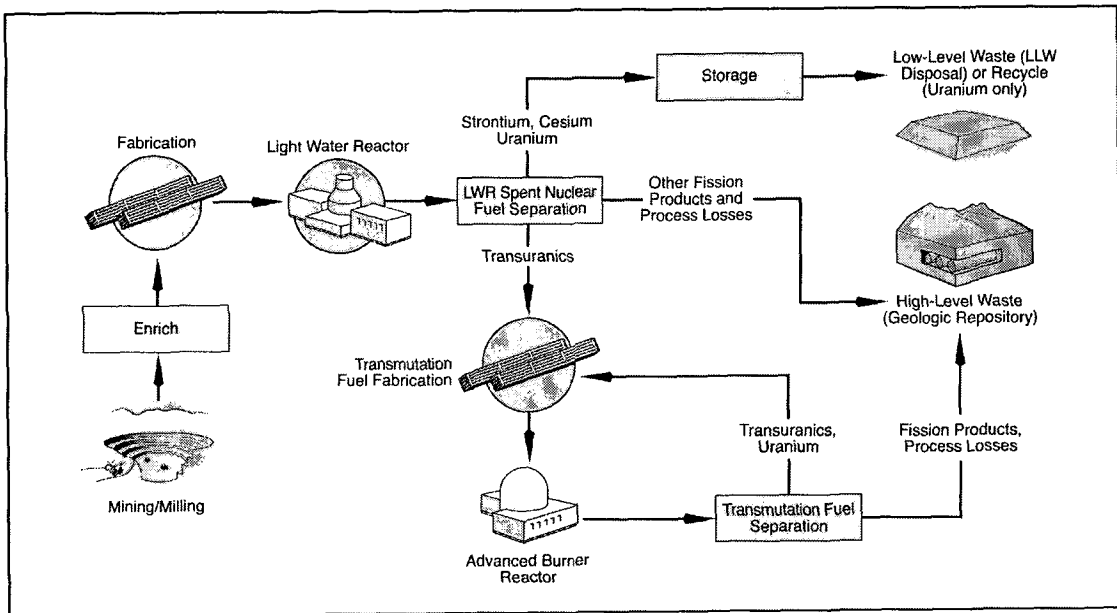


그림 2. GNEP의 핵연료 순환 과정

GNEP에서는 TRU의 소멸과정에서 생성되는 에너지를 활용할 계획을 가지고 있는데 이를 위해서는 우라늄과 핵분열 생성물로부터 TRU를 분리하여 고속소멸로에 사용될 수 있는 연료로 가공되는 과정을 거쳐야 한다. 이렇게 될 경우 처분해야 할 사용후 핵연료의 양이 대폭 감소함에 따라 영구처분장의 필요를 줄일 수 있게 되어 당초의 50분의 1 또는 100분의 1 수준으로 처분장의 이용성을 증대시킬 수 있게 된다. 당초 개념으로는 단기적으로 UREX+ 공정을 통해서 Pu/Np을 분리하여 기존 경수로에 재활용하되 궁극적으로는 TRU를 함께 고속로에 재순환 시켜 소멸시키는

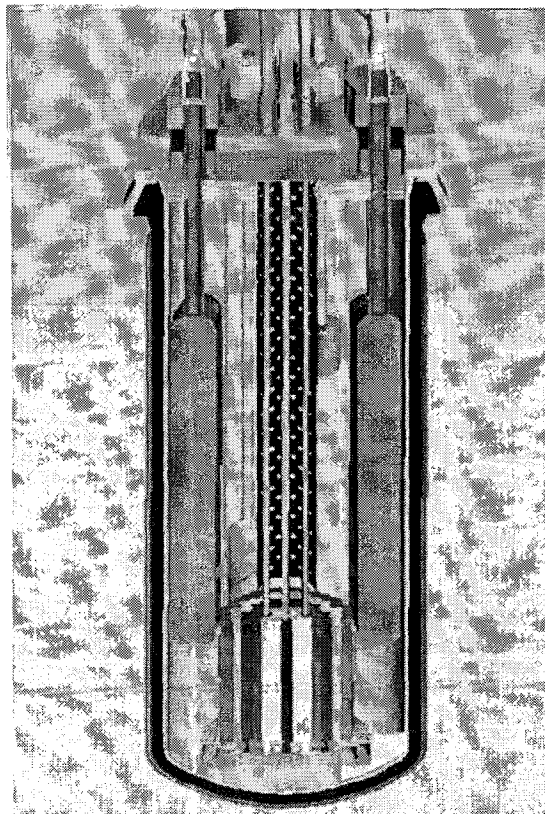
개념을 채택하고자 하였다. 그러나 미국 내에서도 UREX+ 공정에 대한 핵확산 위험성 지적이 있었으며, 이에 따라 UREX+ 공정의 중간단계에 있는 Pu/Np의 분리를 배제하고 핵확산 저항성을 증대시키기 위해 TRU를 함께 회수하여 고속소멸로에서 연소시키는 개념으로 변경하였다. 미 에너지부는 사용후 핵연료 재순환을 위한 통합적인 능력 시연을 위해 두 종류의 시설을 구성할 계획이며, 이에 대한 산업계의 기술력과 관심을 조사한 바 있다. 두 시설은 종합연료처리센터(CFTC, Consolidated Fuel Treatment Center)와 고속소멸로(ABR, Advanced Burner Reactor)로서 CFTC는 경수로 사용후 핵연료로부터 재활용 가능한 성분을 분리하는 시설이며 ABR은 사용후 핵연료로부터 생산된 재활용 연료를 전력을 생산하면서 소비하는 시설을 말한다.

### 3. 재순환 핵연료를 이용한 신형 소멸로의 개발

미국은 사용후 핵연료 재순환을 위한 주요 요소로서 신형 소멸로 또는 고속로 개발을 계획하고 있다. 신형 소멸로를 통해 전력을 생산함과 동시에 TRU를 소멸시키게 되면 잠재적으로 영구처분장에 고준위 폐기물의 처분 수요가 줄어들게 된다. 즉, 소멸로에서의 연소를 통해 폐기물의 양을 획기적으로 경감할 수 있을 뿐 아니라, 처분에 따른 환경친화성이 증대되며, 재순환을 통해 자원 활용을 극대화할 수 있다. 이와 같은 일련의 과정은 지속가능한 발전을 위한 기본 전략에 매우 잘 부합된다. 이를 위해 미국은 개방형(Once-through) 핵연료 주기에서 고속로를 채용하여 사용후 핵연료의 재순환을 이용하는 폐쇄형 핵연료 주기로 전환할 것을 계획하고 있으며, 이를 위한 새로운 사용후 핵연료 재순환 기술을 개발하고 있다. UREX+를 통해 핵분열 생성물로부터 분리된 TRU를 연료로 가공하여 재순환 및 소멸시키는 것이 가장 바람직하다고 보고 있으며, 고 에너지 중성자를 핵분열에 이용하는 고속로를 현실적으로 유일한 대안으로 평가하고 있다. 이 과정을 통해 TRU는 전력을 생산하면서 영구 처분 필요성이 없는 방사성 핵종으로 변화된다.

현재 경수로와 신형 소멸로는 미국이 구상하는 핵연료주기에 가장 적합한 원자로로서 경수로는 TRU를 생산하는 원자로인 반면 신형소멸로는 경수로에서 생산된 TRU만을 소멸시키는 원자로가 된다. 미국은 고속로 개발에 많은 연구경험을 가지

고 있으며 현재 소형 소멸로 개발에 기술적 배경을 제공해 줄 것으로 기대하고 있다. 소형 소멸로는 경제성 향상을 위해 모듈로 개발하고 기가 와트 이상의 전력을 생산하도록 하며, 사용후 핵연료 재순환 시설과 단일 부지에 건설될 것으로 예상된다. 당초 계획은 2014년까지 고속로의 노형을 결정할 예정이었으나 GNEP의 발표와 적극적인 추진으로 2014년까지 ABTR(Advanced Burner Test Reactor) 건설 및 운영으로 개발 일정을 대폭적으로 앞당긴 상태이다.



*A concept diagram of an Advanced Burner Reactor*

그림 3. 고속 연소로의 개념도

#### 4. 유카산 영구처분장을 포함한 미국 내 사용후 핵연료의 효율적 관리

2002년 사용후 핵연료의 처분장 부지로 확정된 Yucca Mountain은 현재 법적인 용량을 감안하였을 때 2011년경이면 그 용량이 한계에 도달할 것으로 예측되었으나, 미국이 원자력발전을 확대할 경우 2100년까지 유카산 처분장과 동일한 용량의 처분장이 많게는 20개까지 필요하다는 분석이 나온 바 있다. 이에 따라 2002년 미

에너지부는 AFCI 프로그램을 착수하여 처분장의 처분능력을 늘리고 추가처분장의 필요성을 줄이기 위한 연구를 수행하였다. 이 연구는 사용후 핵연료의 부피와 방사성 독성을 줄이고 에너지 자원을 회수하여 재활용하는데 초점을 맞추고 있다. 현재 NWPA(Nuclear Waste Policy Act)에 의하면 미 에너지부 장관은 2007년부터 2010년 기간 내에 대통령 및 의회에 제 2처분장 확보방안에 대한 보고를 할 예정이다.



Aerial view of Yucca Mountain, Nevada ([www.ocrwm.doe.gov/ymfp](http://www.ocrwm.doe.gov/ymfp))

그림 4. 유카산 전경

이러한 처분장 문제 해결을 위해서는 앞서 언급한 두 개 전략의 성공적인 추진이 필요하다. UREX+ 공정을 통해 분리된 장주기 방사성 핵종을 유카산의 처분장에 처분하고 세슘, 스트론튬과 같은 단주기 방사성 핵종은 저준위 폐기물의 기준에 부합할 때까지 임시저장을 통해 방사선을 낮춘 후 처리하며, TRU는 소형 소멸로에서 연소를 통해 소멸시켜야 한다. 이러한 전략이 실현되면 현재 유카산 처분장의 처분 능력이 적게는 50 배 많게는 100배 이상 증가시킬 수 있을 것으로 예상하고 있다.

## 5. 신뢰성있는 핵연료 공급 프로그램

핵연료 공급 프로그램은 미국이 기존의 재처리 금지정책으로부터 재처리를 재개하는 것으로 방향을 전환함에 따라 재처리가 세계적으로 확산되는 것을 우려하여 사전에 이를 방지하기 위한 조치로 볼 수 있다. 핵연료 공급 프로그램은 완성된 핵주기 기술을 가진 국가들이 미국과 연합하여 GNEP에 참여 하고, 농축과 재처리를 포기한 국가들에게 안정적으로 원자로에서 발전을 위해서 사용될 신연료를 공급한다는 것이 주요 골자이다. 이를 통해서 추가적으로 농축과 재처리 기술을 보유하려는 국가가 생기는 것을 근원적으로 방지하겠다는 것이다.

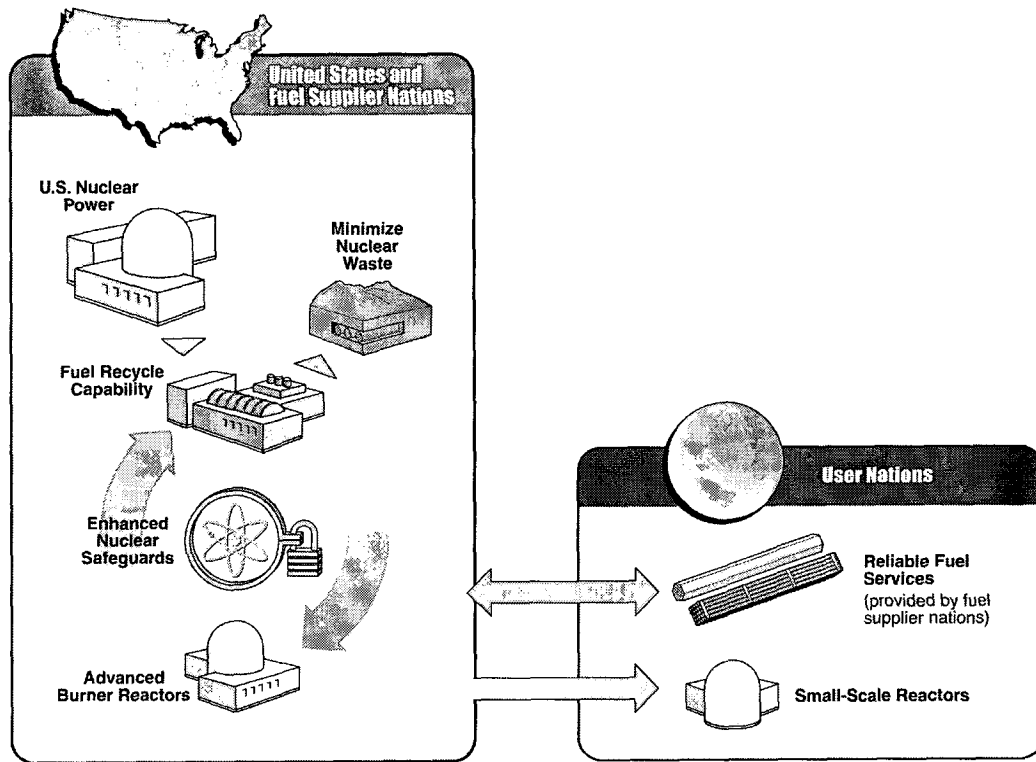


그림 5. 핵연료 공급 프로그램 개요

이러한 전략은 신연료를 생산하기 위한 농축기술과 재순환을 하기 위한 플루토늄 분리기술이 핵무기 제조를 위한 핵물질 생산에 전용될 수 있다는 사실로부터 착안된 것으로 볼 수 있다. 현재 국제 핵비확산 체제는 원자력발전을 추구하는 나라들이 농축과 재처리 능력을 보유할 동기를 유발시키지 않으려는 방향으로 나아가고 있다. 즉 원자로에 들어갈 신연료 생산을 위해 막대한 투자가 필요한 농축과 재처

리 시설을 보유하지 않고서도 핵연료 공급국으로부터 안정적으로 핵연료를 공급받을 수 있게 함으로써 농축, 재처리 개발의 동기 부여를 차단하겠다는 것이다. 이 프로그램의 구체적인 이행 방법은 핵주기 기술을 보유한 나라들의 연합체인 핵연료 공급국이 GNEP에 참여하는 핵연료 이용국에게 그 나라의 기존 원자력발전소 또는 차세대 원자로에 맞는 신연료를 공급하는 것으로서, 핵연료 공급국이 사용후 핵연료의 최종 처분의 책임을 지는 국제 핵연료 임대(leasing) 협약을 통해 연료 공급을 보장하도록 한다. 사용후 핵연료는 공급국에게 반드시 반환할 필요는 없으나, 공급국은 사용후 핵연료가 국제 핵비확산 정책에 부합하는 수준으로 처분될 것과 안전조치의 적용 및 안전한 유지에 대한 책임을 지니게 된다.

이러한 핵연료 공급프로그램에 핵연료 이용국들의 참여를 독려하기 위해서 핵연료 공급국들은 공급국 정부와 공급업체의 보장을 받는 신뢰할 만한 국제 신연료 공급체계를 갖추는 것이 필요하다. 미국은 이를 위해 이미 17.4톤의 고농축 우라늄을 희석하여 저농축 우라늄으로 전환하는 등, 공급 보장을 지원하기 위한 준비를 하고 있음을 표명하였다. 그러나 GNEP하에서의 핵연료 공급프로그램을 위한 기술개발에 상당히 많은 시간이 소요될 것으로 예측되고 있으며, 이에 따라 GNEP의 목적에 부합하는 중간단계의 핵연료 공급 구상을 수립하기 위해 국제사회와 협력을 모색하고 있는 상황이다.

## 6. 개도국 수요에 부합하는 원자로의 설계 및 공급

많은 개도국들은 현재 증가하는 에너지 수요로 인하여 원자력발전의 도입을 고려하고 있다. 하지만 많은 나라들이 현재 보편적으로 보급되어 있는 대용량(~1000MW급)의 원자력발전소를 수용할 만한 배전망 등 사회적 인프라가 부족한 상황이다. 따라서 이러한 개도국의 인프라 여건을 고려하고 안전성과 핵확산 저항성을 획기적으로 높인 중소형 원자로를 개발하여 개도국에 공급하는 것이 이 전략의 초점이다. 미국은 이와 같은 중소형 원자로 설계에 부합하는 안전성, 핵확산 저항성, 안전조치 기준 등에 대한 국제사회의 합의를 요청하고 있다. 미국이 구상하고 있는 중소형 원자로의 특성은 다음과 같다.



- 장주기의 핵연료 재장전 주기
- 원격감시 활용 등 효과적이고 효율적인 IAEA 안전조치 적용
- 사보타주 및 테러 등에 대한 물리적 방호
- 50 ~ 350MW 용량의 표준화 모듈 설계
- 지역난방 및 산업, 식 용수 생산 능력
- 피동형 안전 설계
- 운영 인프라 최소화
- 기존 허가 및 인증 기술의 사용
- 신 제조기술 사용

이상의 요건을 충족시키는 원자로는 현재까지 개발이 되지 않은 상태이며, 완전한 개발을 위해서는 더 많은 평가와 연구가 필요할 것으로 보인다. 현재 많은 나라들이 다양한 중소형 원자로를 개발하고 있으며 GNEP은 파일럿 원자로의 설치와 인증을 가속화하기 위한 국제 협력에 주력하고 있다. 그러나 이 전략은 미국이 개도국에 중소형 원자로를 보급함으로써 개도국들이 원자력 핵심 기술에 접근하는 것을 원천적으로 봉쇄시켜 핵확산의 방지하려는 의도가 함께 있는 것으로 분석된다.

7. 핵확산 저항성 및 확대된 원자력발전의 안전성 증진을 위한 핵물질 안전조치의 개선

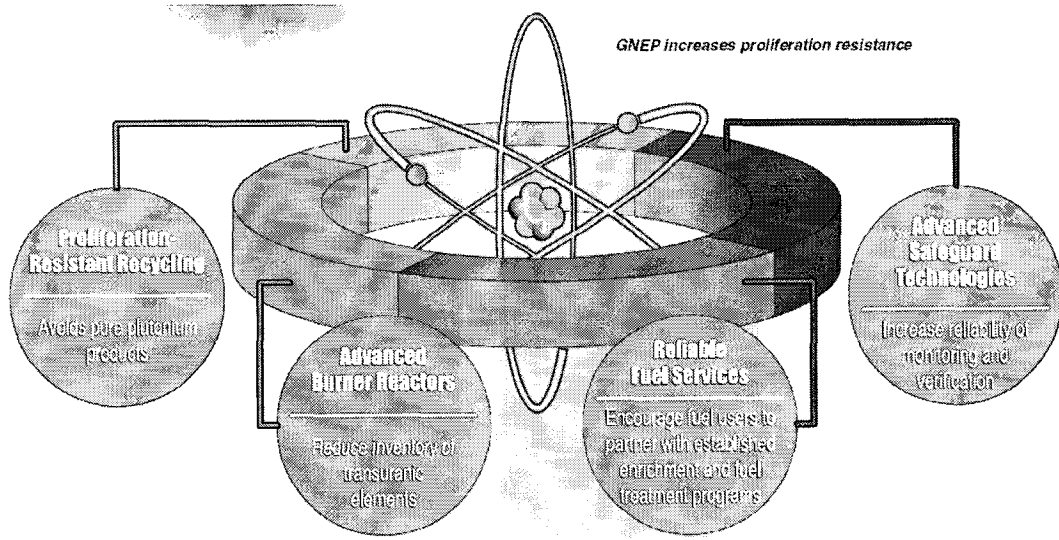


그림 6. GNEP 의 핵확산 저항성

IAEA를 통한 국제 안전조치 체계는 민감 원자력기술과 핵물질의 확산을 효과적으로 방지해 온 것으로 평가된다. 이러한 안전조치는 핵물질의 계량관리, 민감 기술의 이전 통제, 국제 조약의 이행 검증 등을 통해 이루어진다. GNEP에서 말하는 안전조치의 개선은 새로운 원자력 발전 시설 및 핵주기 시설의 설계 및 건설 단계에서부터 안전조치를 고려하도록 하여 핵물질 전용 등을 근원적으로 배제시키겠다는 것이다. 설계단계부터의 안전조치 고려는 IAEA가 더 효과적이고 효율적으로 핵물질을 검증하고 감시할 수 있도록 해준다. 즉 이 전략의 목적은 즉각적인 탐지 없이는 핵물질을 전용하고 시설을 오용하는 것이 불가능하게 만드는 것이다. 이러한 안전조치 개선 전략은 앞서 언급한 원자력발전의 확대와 보급으로 인해 핵확산 가능성이 높아질 것을 대비하여 만든 전략으로 볼 수 있다. 미국은 안전조치 개선을 위해 다음과 같은 분야에 국제협력을 추구하고 있다.

- 재순환 시설, 신형 고속로 및 관련 핵물질 저장시설과 이송에 있어 핵확산 저항성을 높이도록 설계에 안전조치 기술을 접목
- 신형 격납/감시 장치, 인공지능 정보수집 장치, 분석시스템, 차세대 비파괴 분석 및 공정 감시 센서 등 신뢰도 높은 원격, 무인 감시 기술의 개발

- 핵물질 추적 방법론, 공정 통제기술 등의 연구 및 개발
- 원격탐사, 환경시료분석, 검증방법
- 시험 및 실증을 위한 국제 시설
- 안전과 계량관리 이행을 위한 지속적 지원

미국은 이미 IAEA 사찰관들에 대상으로 핵물질 추적 안전조치 기법 활용에 대한 교육을 제공하고 있고, GNEP 하에서 유사한 안전조치 기술을 사용할 수 있도록 하기 위해 IAEA를 지원하고 있으며 동 분야에 회원국의 투자 확대를 권고하고 있다.

## 제 3 장 GNEP 및 기타 연료공급보장 제안에 대한 분석

### 제 1 절 개요

GNEP의 제안 중 가장 주요 쟁점이 되는 사안은 역시 ‘신뢰성 있는 핵연료 공급 프로그램’이라 할 수 있다. 민감시설의 보유를 포기한 국가에 대해 경쟁력 있는 가격으로 핵연료 공급을 보장하되, 사용후 핵연료를 회수하여 재처리, 재순환함으로써 핵확산 위험을 줄임과 동시에 자원의 이용성을 높이고자 하는 목적을 가지고 있다. 그러나 이와 같은 연료 공급 체계가 오히려 핵확산 위험성을 증가시킬 수 있다는 지적과 함께 기존 시장에 교란을 줄 수 있다는 우려, 그리고 동 체계 내에서 정의 되는 공급국(Supplier Nations) 및 수요국(User Nations) 지위에 대한 논란 등, 이 역시 해결해야 할 난관이 많아 관련국 간 합의 도출까지는 상당히 긴 시간이 필요할 것으로 예상된다.

핵연료 공급 프로그램의 목적은 사실상 핵연료 유통 체계를 장악하여 핵물질의 전용 가능성을 원천적으로 차단하고자 하는 의도에서 비롯하였다고 볼 수 있다. GNEP 프로그램에 수요국의 지위로 참여하게 되는 개도국은 발전용 소형 원자로와 신연료까지 공급받게 되어 대규모의 특별한 투자 없이 원자력의 이점을 누릴 수 있다는 평가가 가능하지만, 다른 측면에서 볼 때 원자력에 대한 평화적 이용 권리의 포기로 비추어질 수 있고, 이는 NPT의 기본 정신에 위배된다는 지적 또한 무시할 수 없는 사항이다. 그럼에도 불구하고 민감시설의 보유에 따른 핵확산 위험성이 결코 낮게 평가될 수 없기에 GNEP에서 제시하는 것과 유사한 핵연료 공급 보장책들이 계속적으로 제기되어 논의되어 온 바 있다. 특히 2006년도 제 50차 IAEA 정기 총회에서는 특별 세미나를 개최하여 GNEP을 비롯하여 그동안 제기되었던 다양한 핵연료공급보장책에 대한 공개적인 논의가 이루어진 바 있다. 대표적인 것으로 IAEA의 MNA(Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle : 핵연료주기 다자간 접근방법), 러시아의 핵연료주기센터, 최근 6개국의 MM(Multilateral Mechanism : 다자간 공급 메카니즘) 제안 등을 들 수 있다. 이들 제안은 민감 시설의 보유를 제한하되 안정적 핵연료 공급을 보장하는 데 공통점을 가지고 있으나,

제안 당사국들의 입장에 따라 그 이행 방법에 있어 차이를 나타내고 있다. GNEP의 신뢰성 있는 핵연료 공급 프로그램에 대한 이해를 높이고 효과적인 대응 전략 수립을 위해서는 제 50 차 IAEA 정기총회 특별 세미나에서 발표된 각 제안 별 주요 내용과 그들의 특징과 차이점, 상호 관련성 등을 살펴보는 것이 매우 중요하다고 생각된다.

## 제 2 절 IAEA 다자간 공급보장 (MNA)

### 1. 개요

엘바라데이 IAEA 사무총장은 2004년 6월 28명의 핵연료주기 전문가로 전문가 그룹을 구성, 민감 핵연료주기에 대한 다자간 통제방안 연구를 착수하도록 지시하였으며, 2005년 2월에 동 연구에 대한 최종 보고서가 제출되었다. 전문가그룹은 보고서를 통해 핵연료주기 및 기술 이전에 대한 전반적인 통제강화 조치의 필요성을 강조하였다. 특히 추가의정서의 보편적 적용 및 엄격한 지침에 따른 수출 통제의 필요성과 함께 국제적인 수출통제 체제를 강화하는 과정에서 모든 국가가 참여할 것을 권고하였다. 아울러, IAEA와 회원국, 원자력산업계 및 원자력관련 단체들이 민감 핵연료주기 문제에 대해 관심을 기울일 것을 촉구하였으며, 다음 5가지 단계의 다자적 접근 방안을 제안하였다.

- ① 각 국 정부 지원 하에 사안별 장기 계약 및 공급자 협정 체결을 통한 현존 시장 체제의 강화로서, 핵연료 임대(Fuel Leasing) 및 반환(Fuel Take-back) 방식, 상거래에 의한 사용후 핵연료의 처분 및 보관, 핵연료은행(Commercial fuel bank) 등의 법을 적용
- ② 국제 핵연료 공급보장 체제의 개발과 이행으로서 IAEA가 핵연료 공급 서비스 과정의 보장자로서 참여(핵연료은행 관리자 역할)
- ③ 기존 핵연료 주기 시설을 자발적으로 다자간 접근방식(MNA)으로 전환을 추진할 것과 핵보유국, 핵비보유국, 그리고 NPT 미가입국들의 전체적인 참여를 통한 신뢰 구축
- ④ 자발적 협정 및 계약 체결을 통해 다자간, 특히 지역 차원의 핵주기 신규 시설에 대해 공동 소유권을 갖도록 하는 MNAs(Multinational Approaches) 창설
- ⑤ 범세계적인 원자력 발전의 확산 시나리오에 필요한 강화된 다자 협정에 의거하여 핵연료주기를 개발하고 IAEA와 국제사회의 참여를 통한 협력을 확대
  - 참여국간 우라늄 농축, 핵연료 재처리, 사용후연료의 처분 및 보관 등 선행 및 후행 핵주기 시설에 대해 공동 관리권을 소유하는 방안

- MNAs의 이행목적에 부합하는 개념으로 종합 원자력 단지(Integrated Nuclear Power Parks) 구축 제안

## 2. 주요 내용

### 가) 연구 추진 배경

최근 핵비확산 체제는 지역 내 군비경쟁, 핵무기 비 보유국의 안전조치 위반 및 불이행, NPT 수출통제 체제의 불완전한 적용 및 이행, 은밀하고 조직적인 핵 공급 네트워크 태동, 테러리스트 및 비 국가 단체에 의한 핵 및 방사능 물질 획득 위험 증가 등으로 수십 년간 지속되어 온 핵비확산에 대한 제반 노력이 위협에 직면하고 있다고 분석하고 있다. 또 다른 고려 요인으로 민간 원자력산업의 범세계적 확대 현상으로서, 향후 대규모 신규 원자력발전소 건설이 추진될 전망이다. 이에 따라 보다 많은 국가들이 핵연료주기 시설 및 핵기술 개발을 고려하게 되어, 핵물질 서비스 및 기술 공급 확보를 추구하고 될 것으로 예상된다. 이와 같은 환경변화에 따라 핵비확산 및 원자력 안전에 대한 국제협력의 중요성이 강조되고 있음을 감안하여 엘바라데이 사무총장은 2004년 6월 민간 핵연료주기에 대한 다자적 접근 방안을 연구하기 위한 전문가그룹 구성하였다.

### 나) 전문가그룹에 대한 위임 사안

전문가그룹에 위임된 사항으로는 선행 및 후행 핵연료주기의 다자적 통제방안과 관련한 현안과 이에 대해 가능한 통제 방안을 분류하고 분석하는 작업이 포함되었다. 전문가 그룹은 선행 및 후행 핵연료주기 다자 협정(Multilateral Arrangement)을 통한 협력문제에 대해, 관련 정책 및 정책 별 법적, 경제적, 기술적, 그리고 안전성 측면에서의 장·단점을 분석하였다.

### 다) 다자 접근 방안 연구시 고려 요인

핵주기에 대한 다자접근 방안 도출을 위해서는 두 가지 고려사항이 전제되어야 하는 바, 첫째, 핵비확산에 대한 확신이며 둘째, 핵연료 및 관련 서비스의 안정적 공급의 보장으로서, MNAs를 통해 이 두 가지 목표가 동시에 달성 가능할 것으로 보았다. 우라늄 농축, 사용후 핵연료 재처리, 사용후 핵연료 처분 및 보관 등 핵연료주기 전 과정에 대한 다자접근 방안의 고려 시, 기존 핵연료공급시장 체제에 대한 고려와 함께 핵주기 시설에 대한 공동 소유를 가정하여 각 주기별 장·단점 검토하였고, 다음과 같은 세 가지의 다자 접근 유형도 동시에 고려하였다.

- ① 참여국들이 핵주기 시설을 소유하지 않고, 공급보장을 받는 유형
  - a. 공급자들이 추가적 핵연료 공급 보장
  - b. 관련국 정부가 국제 컨소시엄을 구성, 핵연료 공급 보장 확대
  - c. IAEA가 관여하는 협정 체결을 통해 좀 더 확대된 핵연료 공급 보장
- ② 기존의 개별 국가 핵연료주기 소유 시설을 다자 시설로 전환하는 유형
- ③ 신규 핵연료주기 시설을 공동으로 건설하는 유형

#### 라) 핵연료주기별 구체적인 MNAs

##### ① 우라늄 농축

우라늄 공급에 대해서는 현재 선행 및 후행 핵주기 모두 건전하게 작동하는 시장이 형성되어 있다. 공급자들이 추가적인 농축 우라늄 공급을 보장하는 방안은 관련 기술 확산을 방지하고 효과적으로 기능하고 있는 시장에 의존할 수 있다는 장점이 있으나, 핵물질 보관에 따른 유지비용 부담 및 공급자 측면에서의 다변화 부족 현상이 초래될 수 있다는 단점이 있다. 관련국 정부 간 국제 컨소시엄을 구성하여 핵물질 공급보장을 확대하는 방안은 일종의 정부 간 핵연료은행(Intergovernmental fuel bank)을 구축하는 방식으로서, 공급자들이 추가적인 공급을 보장하는 방안 채택 시 발생하는 장단점을 그대로 유지할 수 있다. IAEA가 관여하는 협정 체결을 통해 좀 더 확대된 핵연료 공급을 보장하는 방안은 IAEA를 핵연료 공급 보장자로 활용할 수 있는 방안으로



서, 상업적 문제 이외의 이유로 핵물질 공급이 이행 되지 않는 경우에, IAEA가 개입하게 되는 체제이다. 동 방안은 국제적 보장이 가지는 장·단점을 가지고 있다. 그러나 동 방안은 회원국의 통제를 받는 국제기구로서 IAEA의 특별 지위 규명에 대한 문제가 제기될 수 있으며 이사회의 승인 여부를 검토하여야 한다.

## ② 사용후 핵연료 재처리

현재의 사용후 핵연료 재처리 능력의 충분하다는 점을 고려할 때, 개별국가가 소유한 핵주기 시설을 다자 공동 소유로 전환하는 유형이나 신규 시설의 공동 건설 등을 채택하지 않아도 핵연료 공급 보장이 대부분 가능할 것으로 보인다. 또한 핵물질 공급 국가들은 수요국 정부와 계약을 체결하거나 IAEA가 중재하는 협정 체결 통해 IAEA로 하여금 재처리 서비스 공급 과정에서 감시 역할을 수행토록 위임할 수 있다. 개별 국가의 재처리 시설을 국제 소유로 전환하는 방법은 국제적 전문성을 통합할 수 있다는 장점이 있으나, 민감 기술의 확산 가능성이 있으며, 재처리 시설이 일본을 제외하고 모두 핵보유국 및 NPT 비당사국에 소재함을 감안할 때, 적절한 안전조치가 적용되어야 한다는 문제가 있다.

## ③ 사용후 핵연료 처분 및 보관

현재 사용후 핵연료 처분과 관련한 서비스를 제공하는 국제시장이 형성되어 있지 않고, 엄격하게 개별 국가가 관리하므로 동 사안은 다자접근 방법을 적용하는 분야가 될 수 있을 것으로 보인다. 다만, 동 방안은 경제적 측면 및 비확산 측면에서 실질적 혜택이 있으나, 개별 국가 내 법적, 정치적 도전 및 대중 수용여부가 문제가 될 수 있다. 러시아는 러시아 측이 공급한 연료 및 기타 연료의 사용후 핵연료를 보관하는 문제를 제외할 수 있다는 입장을 가지고 있다. 사용후 핵연료 보관 문제도 MNA가 적용 가능한 분야로 판단되며, 동 방안은 안전조치 및 핵물질 방호효과 제고에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

#### ④ 핵연료 임대 및 연료 반환

핵연료 임대 국가는 특정 공급자(vendor)와 협정을 체결하고, 수출허가서를 발부하여 동 공급자를 통해 최초 연료를 원자로 보유 수요자에게 공급하단. 동 연료는 사용후 원산지 국가 또는 IAEA가 중개한 제3국, 다자 또는 지역 차원의 연료주기센터로 이전하게 된다. 이 방안은 핵연료 임대국가가 실제 핵연료 사용을 통한 전력생산 혜택도 없이 연료를 이전받는 국가에게만 혜택을 주고 사용후 핵연료를 다시 회수(반환)받는다는 측면에서 대여 국가의 수용 의지가 관건이 된다는 단점이 있다. 그러나 대여 국가가 제공한 연료를 사용한 후 IAEA가 중개하여 건립한 다자 또는 지역 차원의 사용후 핵연료 보관 시설로 이전할 경우, 어느 정도 실현 가능한 방안이 될 수 있을 것으로 보인다.

#### 마) 다자 접근 방안 실현을 위한 제반 정치적 문제 해결

##### ① NPT 관련 조항

핵무기 비 보유국들은 NPT 제4조에서 규정한 원자력의 평화적 이용 권리와 관련하여, 핵보유국과 함께 원자력 선진국이면서 동시에 핵무기 비 보유국들에 의한 핵물질 및 핵주기 시설에 대한 공급 통제 등에 대한 불만을 표명한다. 아울러 NPT 제6조가 규정한 핵무기보유국의 핵군비 경쟁 중지 및 핵군축 노력의무도 충실히 이행되지 않는데 대해서도 불만을 나타내고 있다.

##### ② 안전조치 및 수출통제

일부 국가들은 핵주기에 대한 다자 통제가 단순히 핵비확산 강화를 목적으로 하는 것이라면 다자 통제체제 창설보다는 안전조치협정, 추가의정서 및 수출 통제 체제를 보편화 하는 등 기존 체제를 강화하는 방안이 더욱 효과적이라는 견해를 표명하고 있다. 결국 핵주기에 대한 다자 접근 방안은 기존의 핵비확산 체제의 강화를 위한 보완적 체제가 될 것으로 전망된다. 특히, 추가의정

서는 특정 국가 내 미신고 물질 및 활동 여부를 확인할 수 있는 유용한 틀로서 사실상 안전조치의 기준이 되어야 한다고 분석한다. 안전조치 강화와 관련하여 IAEA는 계속되는 핵기술 발전 추세를 감안하여 추가의정서 Annex를 정기적으로 개정할 필요가 있으며, 대규모 핵물질 사용 국가보다는 문제점이 드러난 지역에 대하여 추가의정서를 적용하도록 자원을 활용하며, 다양한 수준의 안전조치 위반에 대처하는 방안을 강구할 필요가 있다고 지적한다. 또한, 수출통제 강화 및 이행에 대한 참여가 확대되어야 하며, 다자 차원에서 합의된 수출통제 체제가 투명한 방식으로 모든 국가가 참여하는 형태로 발전되어야 함을 주장하고 있다.

### ③ 다자 접근 방안에 대한 자발적 참여 또는 구속적 규범화 문제

현재의 법체계상 핵주기에 대한 다자적 통제의 가능성은 참여국들의 자발적 참여로 실현 가능할 것으로 생각되나, 실제 참여국들이 각 국별로 경제적, 정치적 이해득실을 고려하여 참여여부를 결정할 것인 만큼 참여국간 합의된 핵비확산 의무 이행을 위한 상호 신뢰가 전제되어야 한다. 민감 핵주기 활동에 대해 구속력 있는 국제규범을 창설하는 경우 이는 핵보유국의 평화적 핵 활동을 보장한 NPT 제4조의 개정이 필요함을 의미하지만, 각 당사국이 규범화 창설을 위한 큰 협상 틀에 합의하는 경우, 동 방안이 불가능하지 않은 것으로 판단된다.

### ④ 이행

핵비확산 노력의 성공 여부는 효과적인 참여국의 준수(compliance) 및 이행(enforcement) 체제에 달려있으므로 심각한 안전조치 불이행 사안에 대해 국제사회가 단호히 대응하지 않을 경우 강화된 안전조치, 핵주기 다자접근, 각 국가의 제반 노력은 결실을 맺을 수 없다고 지적한다.

바) 다자간 핵물질 관리 방안 구축 관련 미래 환경 전망

과거 시도된 바 있는 핵물질 관리를 위한 협력 방안은 결실을 맺지 못하였으나, 향후 수십 년간 핵시설이 증가할 것이며 핵확산 위험에 직면하고 있는 21세기는 다자 접근 방안 실현을 위한 정치적 환경을 조성할 것이다. 이런 맥락에서 비확산을 위한 다자 접근 방안은 상징적으로 실제적인 혜택을 제공할 수 있을 것으로 보인다. 즉, 민감 핵주기를 악용할 위험성이 감소되고 다자 체제에 포함된 다양한 국적의 참여자들 간 상호 감시가 가능해 지며, 실제 민감 시설 소재지가 감소됨으로써 핵확산 위험이 감소함에 따라, 원자력 사용에 대한 수용성을 확대시킬 것이다. 또한, 다자 접근 방안은 핵물질 공급 측면에서 볼 때, 전체 지역, 소규모 국가 및 제한된 자원을 보유하고 있는 국가들에게 있어 비용 절감 및 규모의 경제(economy of scale)를 실현하는 데도 효과적이다. 그러나 일부 국가들은 개별국간 기술 수준, 경제발전, 자원 보유 등 수준이 상이하고 정치적 고려 사항이 상호 경쟁적임을 감안할 때 다자 접근방안의 혜택 수준 및 편리성, 필요성에 대해 동일한 결론을 도출할 수 없다는 견해도 제시하고 있다. 다자 접근 방법이 오히려 민감 핵기술을 확산 시키고 통제를 불가능하게 하여 핵확산 위험을 초래할 지도 모른다는 견해도 고려되어야 할 것이다.

### 제 3 절 6개국 다자간 공급 메커니즘 제안(MM)

#### 1. 개요

민수용 핵연료공급국인 6개국(미국, 러시아, 영국, 프랑스, 독일, 네덜란드)은 민감 핵연료 주기 통제를 위한 선결과제로서 핵연료의 안정적 공급방안과 핵연료공급국에 의해 핵연료 공급이 중단될 경우 IAEA가 이를 보장하는 방안에 대해 논의하였다. 주요 내용은 비확산 의무를 준수해 온 핵연료 수요국이 시장 상황이 아닌 이유로 핵연료 구입을 거절당할 경우, IAEA 중재로 여타 공급국이 핵연료를 공급하는 메커니즘을 구축하기 위한 것이다. 즉, 농축·재처리 시설을 보유하고 있지 않은 국가가 일반 핵연료시장에서 핵연료 구입과정에서 공급국이 “비상업적 (non-commercial) 이유 (정치적 이유)”에서 이를 거부할 경우, IAEA의 중재로 여타 공급국이 핵연료 공급을 보장한다는 메커니즘을 창설하자는 것이다. 이 메커니즘에 사전 동의를 표명하는 수요국에게는 핵연료공급을 보장을 제공하고 비동의국에는 이 메커니즘에서 제공하는 공급보장을 제공하지 않는 것으로서, 여기서의 보장은 핵비확산을 목적으로 하므로 비확산 의무를 불이행한 국가에 대해서도 적용되지 않는다. MM의 추진 배경은 여러 가지를 상정할 수 있다. 2004년 2월 부시 미대통령이 농축·재처리 시설 미보유 국가에 대한 민감 장비·기술의 이전을 금지하자는 제안을 한 바 있는데, MM이 동 제안의 실행을 위한 하나의 방안으로 추정된다. 또한, 2004년부터 IAEA의 MNAs 구상과 러시아가 제안한 국제핵연료주기센터 구축 등의 제안에 대한 대응의 차원으로 이해될 수 있다. 또 다른 측면은 미국의 GNEP 프로그램에서 제안하는 민수용 핵확산 저항성 핵연료생산은 기술적 문제 등 해결해야 할 난제가 많은 상황으로서, 향후 상당한 기간이 소요될 것으로 예상된다. 그리고, GNEP에서 제시하는 핵연료 주기 체제는 후행 쪽에 중점을 두고 있다. 따라서, GNEP 프로그램의 보완 방안으로서, 이의 구체적 이행 전에 MM 구축을 시도하는 것으로 판단된다.

#### 2. 주요 내용

MM은 민감 핵연료기술의 확산을 핵비확산 체제에 대한 심각한 도전으로 생각

하고, 이의 통제 필요성과 안정적 핵연료 공급보장 메커니즘 방안을 기술하고 있다. 현재, 농축우라늄 핵연료 시장은 원활히 기능하고 있으므로 핵연료 수요국은 공급국과의 장기계약 등을 통해 안정적 공급보장을 확보할 수 있다. 공급국의 핵연료 공급 거부 등의 문제 발생 시 해결 방안으로서 첫째, 시장 차원에서 일반적으로 해결, 둘째 시장 내 해결이 불가능할 경우 수요국이 핵비확산 의무를 성실히 이행하였음을 전제로 IAEA가 개입된 다자 체제가 발동한다. 이를 위해서는 IAEA 이사회의 채택, 총회의 승인 및 우라늄 농축서비스 또는 농축우라늄 제공국의 동의가 필요하다.

즉, 공급 거부 등의 문제가 발생하면 수요국 또는 공급국은 IAEA에게 이를 알리고 IAEA는 수요국이 전면안전조치 및 추가의정서 발효여부, 안전조치 이행과 관련한 예외적인 미결현안 여부, 핵안전기준 준수 및 CCPNM 가입 여부, 민감핵연료주기 관련 활동 여부 등 동 메커니즘의 적용을 받을 자격이 있는지 심사한다. 동 메커니즘은 필요시 IAEA의 지원으로 새로운 공급국과의 새로운 협약을 촉진한다. 핵연료공급국은 문제 해결을 위해 다자체제에서의 협회에 적극적으로 참여하며, 국내법에 따라 자국의 핵연료 공급을 허용하도록 노력하고 여타 공급국의 핵연료 수출에 반대하지 않는다. 수요국이 동 메커니즘의 혜택을 받기 위해서는 계속해서 핵연료를 시장에서 구입해야 하며 국내적 민감 핵연료주기 관련 활동을 하지 않아야 한다.

한편, 공급국들은 필요시 IAEA의 협조로 농축우라늄 공급자의 상호 지원시스템 (mutual back-up system) 설립을 환영하고 촉진하며, 농축우라늄 공급자는 동 메커니즘의 발동 시 IAEA와 협조한다. 상기 방안의 이행시 대체 공급자 물색에 실패할 경우, 동 메커니즘은 기 비축된 저농축우라늄 공급 지원을 받을 수 있다. 미국은 MM에서의 핵연료공급 보장을 위해 17톤의 고농축우라늄을 저농축우라늄으로 전환할 것을 발표한 바 있다(2005. 9 28, INFCIRC/659). 동 문건에서, 미국은 개별 국가가 우라늄을 보관하거나 또는 해당 국가가 희망할 경우 IAEA에게 사용권을 양도할 수도 있다고 언급하고 있다. 다른 여타 연료공급 보장책과 마찬가지로 동 메커니즘은 이에 불참하는 핵연료 수요국의 시장 접근을 방해하지 않음을 명시하고 있다.

## 제 4 절 러시아 핵연료주기센터

### 1. 개요

러시아는 독자적인 핵연료 공급 보장안으로서 국제핵연료주기센터(INFCC)를 제안하였으며, 주기센터 네트워크의 수립을 통해 우라늄 농축, 재처리, 선진기술의 연구 개발 및 원자력 개발 국가에 대한 원자력 인력의 훈련 및 양성 등을 제시하고 있다. 이를 위한 첫 단계로 IAEA 통제 즉, IAEA의 안전조치를 적용한다는 전제 하에 러시아 자국 내에 국제우라늄농축센터(International Uranium Enrichment Center)를 건설할 것을 제안하였다.

### 2. 국제우라늄농축센터(IUEC)

러시아는 IUEC의 기본 원칙으로서 다음과 같은 사항을 제시하였다. IUEC 회원국이 동 센터의 생산물에 대한 접근은 (a) 국제 현장(IAEA 포함) (b) 정부간 협정(개발예정), (이는 러시아 정부와 참여국 정부 간의 약속을 말함) (c) 정부간 협정의 시행기구로서 IUEC 회원국 기업의 특별 지위 (d) 러시아 농축 플랜트의 신뢰성 (e) 시장공급의 중단 시 국제 공동 관리 하에 있는 농축우라늄 비축분 등에 의해 보증된다. 러시아가 제안하는 IUEC의 이점은 자국의 경쟁력 있는 농축 기술을 활용한다는 것과 참여국들이 민감 원자력 기술을 개발하거나 보유하고자 하는 의도를 감소시키게 된다는 것이다. 이에 따라 국제 핵비확산 체제가 강화될 것이며, IUEC에 대한 IAEA 사찰의 투명성과 함께 러시아의 농축 기술이 참여국으로 이전되지 않을 것이라는 점을 강조하고 있다. 또한, 모든 참여국은 평등한 회원 자격을 갖게 된다는 점을 장점으로 제시하고 있다. 즉, IUEC 운영에 회원국이 참여하게 되며, 현재의 계약관행을 포함하여 기존 농축시장으로의 자연스러운 편입 및 통합을 기대하고 있다.

## 제 5 절 GNEP

### 1. 개요

미국의 공급보장 목표를 단적으로 표현하면 에너지와 안보 차원에서의 동시 접근이라 할 수 있다. 즉, 비확산 규범을 철저히 준수하는 국가들은 원자력 에너지 및 기술의 교환을 완벽히 누릴 수 있도록 보장하는 것이다. 국제 핵비확산 체제는 그동안 확산 위험을 제한하는 역할을 잘 수행해 왔으나, 이란과 북한의 예를 볼 때 보다 더 강력하고 효과적인 핵비확산 체제가 필요함을 주장하고 있다. 미국의 공급보장 제안은 2004년 부시 대통령이 제안한 대로 “핵무기확산의 위험 없이 민수용 원자력발전 분야가 안전하고 질서있는 시스템으로 창조되기 위하여” 새로운 기본틀이 필요하다는 주장을 뒷받침하고 있다.

### 2. 주요 내용

미국은 이러한 맥락에서 GNEP 구상 내에 공급보장 프로그램을 제안하고 있다. GNEP 이행을 통해 원자력이용에 대한 국가의 자주적인 의사 결정권을 침해하는 것이 아니라, 에너지 공급을 보장하는 대안을 제공하고 핵비확산 목표를 공유하도록 고무시키고자 하는 것임을 밝히고 있다. 즉, 향후 25년간 전 세계의 전력수요의 급격한 증가가 예상되며, 공급국과 수요국의 역할 및 전 세계의 사용후 핵연료 중간저장, 처분 및 관리를 위한 체제를 갖추어야 할 것을 주장한다. 미국은 자국의 농축 능력과 잉여 고농축우라늄을 사용하여 미국 법령과 국제규범에 부합되는 핵연료 공급 보장에 참여할 준비가 되어 있고, 또한 러시아나 다른 나라들의 제안에 협력할 예정이다.

첫 번째 우선순위는 6개국 제안(Multilateral Mechanism)의 개념과 같이 핵연료의 안정적 접근 메커니즘(Reliable Access to Nuclear Fuel)과 그것을 지원할 수 있는 연료를 비축하는 것이다. 연료 비축 분을 위해 미국은 2005년 17톤의 고농축우라늄을 저농축우라늄으로 전환할 것을 발표한 바 있다 (INFCIRC/659). 미국은 또한 다른 국가들에게 핵물질 기여를 촉구하고 있으며, 미국은 제안국의 일원으로



서 6개국 제안을 강력히 지지하고 있음을 표명하고 있다. 공급보장 메커니즘의 원활히 수립되어 가려면 후행핵연료주기 서비스를 위한 준비가 필요하며 이에 대한 인식이 중요하다는 점을 지적하고 있다. 사용후 핵연료가 공급 국가로 반환되지 않을 수도 있으며, 이 경우 공급국은 그 물질이 안전조치 하에서 안전하게 방호조치가 취해지는지 입증할 책임이 있다. 연료 공급 및 처분을 위한 포괄적인 체제의 수립은 국제적인 참여와 지원, 공급국과 산업계의 협력 및 기술개발 등이 선행되어야 하므로 단계적 접근이 필요하다는 것을 언급하며 다음의 다섯 가지 주요 방안을 제시하였다.

첫째, IAEA 사무국은 6개국이 제안한 RANF(Reliable access to nuclear fuel)과 러시아의 국제핵연료주기센터(INFCIRC/667)의 이행에 관하여 회원국들과 즉시 협의를 시작한다. 이들 보조적 구상들은 즉시 실행에 옮길 수 있는 것들로서 이사회가 조기에 행동을 취할 수 있도록 IAEA와의 협의가 조속히 완료되어야 할 것이다.

둘째, 핵연료 비축 분으로 고농축우라늄을 제공하겠다는 미국의 결정을 실행에 옮길 수 있도록 DOE는 2007년부터 저농축 우라늄 변환 사업에 참여할 기업을 선정하기 위한 의향서(EOI)를 제출하도록 공고 중이다. 아울러 우라늄의 방출을 위한 준비 및 절차도 수립될 예정이다.

셋째, 미국은 IAEA가 관리하는 국제 핵연료은행에 관한 논의를 환영한다. 이와 함께, IAEA 사무국이 핵연료공급의 최후 보장책으로서 기능할 수 있는 핵연료은행의 수립가능성에 관해 이사회에 핵연료 은행의 관리, 구조, 핵연료에의 접근 기준 및 재정 등 포괄적인 사항을 다룬 보고서를 제출하도록 권고하고 있다.

넷째, 정상적인 상업 메커니즘으로 조정될 수 없는 연료 중단에 대비하여 산업계가 적극 공급보장 메커니즘에 참여하기를 권고한다. 산업계는 연료 대여 방식, GNEP의 장기 목표 등을 결정할 수 있는 업계 자체의 관행을 보다 자세히 고찰하여 이 관행들이 핵연료 공급을 위한 표준으로서 차용될 수 있게 해주길 바라고 있다.

다섯째, 후행 핵연료주기와 관련하여 공식적인 검토가 필요하다고 보며, IAEA는 관련 국가들과 2007년에 검토를 완료하도록 요청하고 있다. 검토 시에는 사용후 핵연료의 저장과 처리에 관한 법적, 정치적, 기술적 문제가 모두 다루어져야 할 것이다.

## 제 6 절 각 제안 별 주요 내용 비교

각 핵연료 공급보장의 내용은 민감기술의 확산 및 추가적인 보유를 억제하는 대신 원자력발전을 위한 핵연료를 안정적으로 공급한다는 기본 취지는 동일하나, 그 이행 방안은 제안 당사국의 입장에 따라 미묘한 차이를 보이고 있다. 각 제안 별로 주요한 사항을 비교해 보면 다음과 같다.

	MNA	INFCC	GNEP	MM
주요 문제점	국가 시설을 지역 핵주기 센터의 시설로 대체	국가소유의 민감핵주기 시설포기	국가소유의 민감핵주기 시설포기	농축계약 파기
보장 사항	사용후핵연료저장, 선행핵주기 공급	선행핵주기, 가능할 경우 후행핵주기 서비스	선생핵주기 공급, 사용후핵연료의 적극적 회수	농축서비스 (재처리)
보장 방법	다자적 핵연료주기 센터	러시아의 농축시설	미국 제공 down-blended HEU연료뱅크	상업계약을 보완
참여 자격	지역센터에의 참여에 합의한 지역 국가들	공식 핵무기 보유국	공식 핵무기 보유국	NPT 의무사항을 충족 및 IAEA 승인
주요 현안	기능 역할 및 사용 시설 정의	시범케이스로서 이란 문제 해결	미국차기 행정부, 기술개발 프로그램	상업계약을 체결 의사가 있는 타농축국으로 전환
IAEA 역할	지역핵연료주기센터 협정 주선 및 안전조치 적용	관리, 승인, 안전조치 적용	승인, 안전조치 적용	다른 농축국들에 대한 상업계약의 이전 승인
산업계 역할	센터 관리 운영	연료센터를 통한 연료서비스	미정부의 방침에 따른 연료 공급	농축계약

표 1. 핵연료 공급보장 안 비교

각 핵연료 공급보장 제안 들은 제안 당사자의 입장에 따라 그 특성이 달라지는 데, 이는 핵비확산이라는 측면과 경제적 이해 관계에 대한 비중의 정도에 따라 그 차이가 나타나는 것으로 생각된다. 각 제안별 특성을 구분해보면 다음과 같다.

제안	특성
IAEA MNA	혁신적, 국제적
러시아의 핵연료주기 센터	혁신적, 국가적
미국 GNEP 구상	혁신적, 국가적
6개국 MM 제안	방어적, 상업적

표 2. 핵연료 공급보장안 특징

여백

## 제 4 장 주요국 동향 및 대응 방안 분석

미국은 GNEP 제안을 실현을 위하여, 국제기구 및 정상회담에서 참여를 촉구해 나가고 있으며, 협력 대상 국가의 공감을 이끌어 내기 위해 지속적으로 논의를 진행하며 적극적으로 나서고 있다. 특히, 일본을 포함한 P5+1을 중심으로 GNEP 프로그램에 대한 보편적 합의를 이끌어내기 위한 노력을 지속 중이며, 인도와의 원자력 협정 논의 과정에서 GNEP 참여 초청, 우리나라에 대한 참여 권유 등 지지 층을 넓히기 위한 다각도의 접근을 시도하고 있다.

2006년 3월 IAEA이사회 및 4월 OECD/NEA 운영위원회에서 공식적으로 설명회를 가진 바 있고, 7월 G-8 정상회의에서 원자력관련 민감기술의 확산 금지 및 국제 핵비확산 체제 규범내에서의 수출 통제의 중요성을 강조한 바 있다. 그러나 러시아, 중국 등 주요 당사자국들도 GNEP 제안에 전적으로 동조하는 입장이 아니며, 중간 그룹으로 분류되는 캐나다, 호주 등의 국가들로부터의 문제제기, 그리고 차후 예상되는 비동맹권으로부터의 반발 등 원만한 합의가 조만간 이루어지기는 어려울 전망이다. 본격적으로 GNEP 참여 협의가 시작되면, 각 당사자국의 입장에 따라 그에 대한 대가의 요구가 있을 것으로 예상되며, 이는 향후 전체적인 프로그램의 전체적인 골격에 영향을 줄 가능성이 있다. 우리나라 또한 주요 참여 대상국이기 때문에, 프로그램 참여 조건 및 대응 전략 수립에 매우 중요한 기본 전제로서 각 국별 입장에 대한 동향 파악 및 분석이 필요하다.

### 제 1 절 주요 공급국 후보 그룹

#### 1. 미국

GNEP 구상 발표 이전인 1, 2월경 미국은 주요 공급국 후보 군인 영국, 프랑스, 중국, 러시아, 그리고 일본을 사전 방문하여 동 프로그램에 대한 설명과 함께 적극적인 지지를 요청한 바 있다. 2006년 2월 모스크바에서 개최된 G-8 회담에서도 러시아 측의 배려로 GNEP을 소개할 기회를 가졌으며, 이후 학회, 세미나 및 IAEA

등 국제기구 회의석상에서 기회가 닿는 대로 미국은 GNEP 구상의 기본 취지와 목적을 알리고 이를 통해 지지층을 넓히려는 노력을 계속해 왔다. 이에 주요 공급국 후보들은 원자력의 평화적 이용 확대와 핵비확산이라는 GNEP의 총론적인 측면에서 동의를 표명한 바 있으나, 프로그램의 구체적 이행을 위한 각론 측면에서 확실한 입장을 나타내지 않고 있다. 이는 각 국 보유 기술 및 자원의 활용 범위 등 GNEP 참여 시 이해득실 관계에 대한 정리가 어렵기 때문이며, 당초 공급국 후보에 속하지 않는 국가들의 경우에 지지 입장 표명은 더욱 더 어려울 것으로 보인다. 그러나 미국이 GNEP 프로그램을 성공적으로 착수하기 위해서는 공급국 후보로부터의 지지 뿐만 아니라, 이용국으로 분류될 국가로부터의 보편적인 지지 또한 필수적이다. 특히, 독자적인 원자력 기술능력을 보유하고 대규모의 원자력 산업을 평화적으로 활용하고 있는 우리나라나 풍부한 우라늄 자원을 보유한 호주나 캐나다의 경우, 반드시 GNEP 프로그램에 참여시킬 필요가 있기 때문에 지지 표명 및 참여를 계속적으로 촉구할 것으로 보인다.

GNEP 구상 발표 직후인 2006년 3월 우리나라도 대표단을 파견하여 GNEP 프로그램에 대해 미 정부의 설명을 청취하고, 양국간 협력 방향에 대해 논의한 바 있다. 당시 우리나라, 캐나다 및 호주 등을 포함하여 이용국과 공급국정의에 해당하지 않는 중간그룹의 필요성에 대해 언급한 적이 있는 바, 이는 참여국 확대를 위해 당초 양분화된 참여 구도의 변경이 가능함을 시사한 것으로 보인다. 2006년 5월 하워드 호주 수상의 캐나다 방문 시, 양국 정상은 양국의 우라늄 자원의 수출산업의 보호를 위해 협력할 것을 합의한 바 있다. 하워드 수상은 GNEP 구상에 참여하는 것이 그들의 우라늄 자원을 합법적으로 개발하는 것을 저해하지 않아야 하며, 이를 위해 협력할 것을 제의하였고, 이에 하퍼 캐나다 수상도 동의한 바 있다. 이와 같은 양국의 움직임에 대해 2006년 8월, 데니스 스퍼전 미 에너지부 차관보는 우라늄 자원을 다량 보유한 캐나다와 호주가 공급국 그룹에서 중추적인 역할을 할 수 있기 때문에 양국에 대해서는 'special rules'이 적용될 수 있다고 공개적으로 밝힌 바 있다. 미국이 많은 국가의 GNEP 참여 확대를 유도하기 위해서는 향후 협상과정에서 캐나다와 호주의 사례와 같이 예외를 인정하게 되는 경우가 발생할 것으로 보이며, 따라서 미국이 구상 발표 시 의도했던 당초의 공급국 - 이용국의 이중 구도는 변질될 가능성이 크다고 판단된다.

미국은 국제 사회의 동의와 지지 확보를 위한 노력과 함께 GNEP 프로그램의 이행을 위한 필수 기술요소의 조기 확보를 위한 노력을 기울이고 있다. GNEP의 이행에는 사용후 핵연료 재순환 주기 기술, ABR 등 필수 기술의 개발 및 상업규모 설비 시연, 검증이 선행되어야 하는 바, 미국은 민간 부문의 기술 및 정보를 바탕으로 이를 해결하려 하고 있다. 미 의회는 후보부지 평가를 위한 예산으로 2006년도에 총 2천만\$를 책정하였으며, 한 개 부지에 최대 5백만\$를 할당할 수 있도록 하였다. GNEP 이행에 가장 먼저 필요한 기술요소가 핵연료 재순환 기술이라는 인식 아래, 미국 에너지 부는 2006년 3월 의향서 요청 의사 표명 이후, 8월에 국제 원자력 산업계를 대상으로 핵연료 재순환 설비 부지 평가에 대한 의향서 제출을 공개 요청하였다. 에너지부는 의향서 요청을 위한 공개 브리핑에서 향후 GNEP의 기술개발이 이중 트랙 동시 접근(Two-track concurrent approach)방법으로 진행될 계획임을 공개하였다. 1차 트랙은 근시일 내에 적용 가능한 기술로서 상업 규모의 시설을 시연하는 것이며, 2차 트랙은 초우라늄 변환 연료에 대한 연구 개발에 중점을 두고 있다. 기본적인 접근 원칙은 연구 기술 개발을 응용하여, 시연 검증 설비를 건설하고, 상업 규모 시설 건설까지 순차적으로 진행한다는 것으로서, 1차 트랙에서 CFTC(Consolidated Fuel Treatment Center)를 건립하고 여기에서 경수로 사용후 핵연료를 사용하여 시연을 하는 것으로서, ABR 초기 구동을 위한 연료를 가공하는 것과 아울러 ABR 건설 및 운영이 포함된다. 2차 트랙은 1차 트랙과 동시에 진행되며, ABR 용 변환 연료 개발, 가공 및 검증을 주목적으로 한다. 이와 같은 동시 접근을 통해 중간 규모의 검증 시연 설비 없이 상업화를 가속화할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 총 18개의 의향서가 접수되었으며, 에너지부는 2006년 11월 천육백만\$ 규모로 11개 후보 부지가 다음과 같이 최종 확정되었음을 발표하였다. 이중 6개 부지는 에너지부가 소유, 운영하는 곳이다.



No	위 치	제 안 사
1	Atomic City, Idaho	Energy Solutions, LLC
2	Barnwell, South Carolina	Energy Solutions, LLC
3	Hanford Site, Washington	Tri-city Industrial Development Council/Columbia Basin Consulting Group
4	Hobbs, New Mexico	Eddy Lea Energy Alliance
5	Idaho National Laboratory, Idaho	Regional Development Alliance, Inc.
6	Morris, Illinois	General Electric Company
7	Oak Ridge National Laboratory, Tennessee	Community Reuse Organization of East Tennessee
8	Paducah Gaseous Diffusion Plant, Kentucky	Paducah Uranium Plant Asset Utilization, Inc.
9	Portmaout Gaseous Diffusion Plant, Oklahoma	Piketon Initiative for Nuclear Independence, LLC
10	Roswell, New Mexico	Energy Solutions, LLC
11	Savannah River National Laboratory, South Carolina	Economic Development Partnership of Aiken and Edgefield Counties

표 3. CFTC 후보지

## 2. 러시아

공급국 후보 그룹의 국가들이 기본적으로 공통적으로 가지고 있는 자세로서, 러시아는 미국의 GNEP 구상에 대한 지지를 표명 및 핵연료 공급국으로서 참여를 계획하고 있다. 그러나 러시아는 GNEP과 유사한 핵연료 공급보장안으로서 국제핵연료주기센터(INFCC)를 독립적으로 제안한 바 있고, 경우에 따라 GNEP 과 보완관계 또는 경쟁관계가 될 수 있을 것으로 보인다.

러시아는 핵주기센터 제안에서 우라늄 농축, 재처리, 선진 기술의 연구 개발, 그리고 원자력 개발 계획을 가진 개도국에 훈련 및 인력 양성 등을 제시하고 있다. 이를 위한 첫 단계로 우선 동 센터에 IAEA의 통제 즉, IAEA의 안전조치를 적용한다는 전제하에 러시아 자국 내에 국제우라늄농축센터(International Uranium Enrichment Center)를 건설할 것을 제안 중이다. 러시아는 GNEP 구상과 미국을 중심으로 한 6개국의 다자간 공급메카니즘(Multilateral Mechanism)을 다루는 협의체로서 RANF (Reliable Access to Nuclear Fuel) 회의에 참여하고 있다. 그러나 러시아로서는 자국의 핵주기센터 건립 구상에 대해서도 현재까지 법적, 제도적인 준비가 이루어지지 않은 상태이며 실행 방안도 구체화되지 않은 상황이다.

러시아는 GNEP과 핵주기 센터, 두 제안 공히 핵비확산체제를 강화하면서, 민감 시설을 갖추지 못한 국가들에게 안정적으로 핵연료를 공급하는 것을 목적으로 하고 있다는 인식을 가지고 있다. 그러나 현재까지 GNEP의 구체적인 사안에 대한 대안 제시나 전망을 제시하고 있지 않은 상황으로서, 향후 GNEP의 이행 추이에 따라 자신들의 제안과 맞물려 그에 대한 대응책을 강구할 것으로 예상된다.

### 3. 프랑스

프랑스의 GNEP 에 대한 기본 입장은 원자력공급국으로서 GNEP에 대해 적극적인 지지 의사를 표명하고 있다. 프랑스의 원자력정책은 원자력의 평화적 이용에 있어서 원자력공급국과 수요국의 입장을 조화롭게 반영하여 미래의 에너지 수요 증가에 부응하기 위한 측면을 강조하고 있는 바, GNEP 제안 이후 미국과의 협의에서 이러한 프랑스의 입장이 반영될 수 있도록 노력하고 있다. GNEP이 핵비확산 측면에서 종전 미국 정부의 경직된 입장에서 탈피하여 재처리와 재순환(Recycling)의 허용이라는 긍정적인 측면을 가지고 있을 뿐만 아니라, 한국, 캐나다, 인도, 브라질 등 기술수준이 근접해 있는 국가들에게도 이익이 될 것이라고 분석하고 있다. 그러나 GNEP의 일부 요소, 즉 컨소시엄 구성 및 핵연료 공급·회수의 방법과 내용 등의 구체성이 결여되어 있다는 점을 지적하고 있으며, 정식으로 출범하려면 2020년, 빨라야 2015년경이나 가능할 것으로 관측하고 있다.

프랑스는 미래 에너지 개발 차원에서 플루토늄을 축적하지 않는 경우에는 재처리나 재순환을 전면적으로 허용할 수 있다는 적극적인 입장을 가지고 있다. 현재 GNEP에서 제시하고 있는 플루토늄의 별도 분리없이 우라늄과 함께 고속로에서 소멸하는 방안·에 대해, 프랑스는 장기적으로 핵종 분리 없이도 재처리가 가능하다는 기술적 견해를 가지고 있지만, 프랑스 원자력에너지청(CEA)은 노형에 관계치 않고 GNEP에 협력할 용의를 표명한 바 있다. 프랑스는 국제 컨소시움 구성방안, 공급국의 연료공급 및 회수방안 등 실질적 측면에서의 이행 방안에 대한 방법 모색을 요구하고 있으며, 재처리 잔여물의 국내 반입을 금지하고 있는 현행법과의 저촉문제 등이 GNEP 참여를 위해 해결해야 할 문제임을 언급한 바 있다.

프랑스는 GNEP이 핵보유국들의 기득권 유지를 위한 제안으로 인식하고 이를 적극적으로 지지하고 있는 것으로 관찰되나 실제 운용에 있어 사실상 미국이 이를 독점하여 자국에 불리한 영향이 초래되지 않도록 노력하고 있는 것으로 관찰되고 있다. 원자력에너지가 주요 산업에너지원인 프랑스로서는 현 국제 원자력시장의 변화 동향이 매우 중요한 바, GNEP 제안이 현 원자력 공급시장 구도를 새롭게 재편할 가능성에 대비, 미국과 사전 협의를 통해 교두보를 구축하려 하고 있는 것으로 관찰되며, 주어진 범위에서 최대한 기술 수출이 용이하도록 노력하고 있는 것으로 보인다. 이는 미국의 핵비확산 정책에도 불구하고 프랑스가 지속적으로 원자력 수출국 입장에서 상업적 이용을 강조해왔던 과거의 행동과 같은 맥락인 것으로 판단된다.

#### 4. 중국, 영국

중국과 영국은 공급국 그룹에 속하게 되나, 현재까지 GNEP 프로그램에 대한 평가나 지지 표명 등 공식적인 언급을 거의 하지 않고 있다. 기본적으로는 지지하는 입장을 가질 것으로 생각되나, 경우에 따라서는 미국과 이해가 상충되는 부분이 발생할 수도 있기 때문에 조심스런 검토과정을 거쳐 최종적인 입장이 결정될 것으로 보인다. 중국은 미국이 GNEP 프로그램을 발표하기 이전인 2006년 1월에 비공개 접촉을 통해 설명을 청취한 바 있으나, 내부적으로 검토 중이라는 공식적인 언급은 현재까지 하지 않고 있다. 영국 또한 GNEP 프로그램과 관련하여 구체적인 사안에

대해서는 공식적인 언급이 없었으나, 공급국 그룹의 일원으로서 지지하는 입장을 가지고 있는 것으로 보여진다.

영국은 GNEP에서 제안하고 있는 ABR 등이 장기의 연구개발이 필요한 사항으로서 국제적인 합의 도출에 많은 시간이 소요될 것으로 예상하고 있으며, 기존 GEN IV 사업과 유사점이 있어, 병행 추진 등 이와 관련한 구체적인 협의가 필요하다는 입장을 가지고 있다. GNEP 프로그램 자체에 대해서는 개발도상국이 대규모 투자 없이 원자력에너지를 활용할 수 있다는 측면에서 긍정적이라는 의견을 가지고 있다. 원자력은 영국의 미래 주요 에너지원의 하나로 중요한 위치를 차지하고 있으며, 자국의 재처리, 농축, 고속증식로 기술 등을 GNEP에 적용하고자 할 가능성이 매우 높을 것으로 전망된다.

## 5. 일본

2006년 2월 미국의 GNEP 발표 이후 문무과학성, 외무성, 경제산업성 등 일본 내각은 즉시 환영을 표하고, GNEP 이 원자력에너지의 이용 확대와 동시에 핵비확산에 기여할 수 있다는 점을 강조하며, 향후 GNEP 구상에 일본의 기여 방법에 관한 검토의사 표명 등 적극적 관심을 나타내었다. 일본정부는 내부적으로 관련부처 간 협의를 통고 GNEP에 적극적으로 참여할 계획으로 있다. GNEP의 핵연료 공급 프로그램과 관련하여 일본이 공급국에 포함되어 있으나 미국이 GNEP의 핵연료 공급프로그램을 완성시키기 위한 중간단계로서 제시한 핵연료공급 다자메커니즘(미, 영, 불, 러, 독, 네덜란드) 구상안에 일본이 공급국으로 포함되지 않아, 동 메커니즘으로 인해 일본의 농축·재처리 활동에 부정적인 영향이 미칠 가능성을 우려하고 있다.

미국의 GNEP 발표 이후 일본은 이후 곧바로 미국 정부와 적극적으로 GNEP 협력을 추진하였으며, 일본의 GNEP 사용후 핵연료 재처리 신기술 개발 참여와 기타 협력 가능 분야에 대한 협의를 한 바 있다. 2006년 5월 미국과 일본 간의 GNEP 협력을 위한 기본적인 합의가 도출되었으며, 주요분야는 ① 미국의 핵연료사이클시설 공동 설계 ② '몬주'와 고속증식실험로 '조요'를 활용한 공동 연료개발 ③ 원자로

의 소형화를 위한 구조 및 재료 개발 ④ 나트륨 냉각로용 증기발생기의 공동 개발  
⑤ 핵확산금지를 위한 기술적인 안전조치의 확립 등이다.

8월에는 미·일 양국 정부의 도쿄 회합에서 각 개별항목별로 자국의 검토상황, 합의사항, 제안 내용 등에 설명하고 동시에 미·일간 향후 협력을 진행시켜 나가는데 있어서의 법적 요건에 대한 논의를 가진 바 있다. 최근 도시바의 웨스팅하우스의 인수, 미쓰비시 중공업의 프랑스 아레바와 신형 원전 공동 개발 제휴 등은 산업계에서도 GNEP에 적극적으로 대응하려는 움직임으로 평가될 수 있다. 미국 에너지부(DOE)가 제시한 핵연료사이클시설(CFTC)과 나트륨냉각고속로 설계를 위한 '기술제안 의향서(EOI)' 요청에 대해 원자력연구개발기구를 비롯 일본원자력연구소와 설비제조업체 등 11개 회사가 연명으로 참여의사를 표명하였다.

일본은 미국의 GNEP이 NPT하에서 비핵국가로서는 처음으로 완전한 핵연료주기를 갖추게 하는 특수한 지위를 용인 받을 수 있는 절호의 기회로 여기고 있다. 현재 일본은 핵무기 비보유국으로서 유일하게 산업용 우라늄 농축과 사용후 핵연료 재처리 시설을 가지고 있는 나라이다. 일본은 원자력정책에 따라 경수로에서 FBR로 이행하기 위한 연구개발의 일환으로 GNEP정책에 대해 전략적으로 대응한다는 것이 기본자세로 보인다. 미국과의 협력에 가장 적극적으로 추진하고 있는 분야가 FBR이며 이를 계기로 침체기의 일본 원자력산업이 활성화되기를 희망하고 있다.

## 제 2 절 비동맹권

NAM(비동맹그룹), 이란, 브라질, 남아공 등 비동맹권 국가들이 구체적으로 GNEP과 관련한 구체적인 입장 표명은 없었으나, 미국을 중심으로 한 핵비확산 체제의 강화 노력에 대해 지속적으로 반대 기조를 유지해왔음을 비추어 볼 때, 강력한 반대 의사를 나타낼 것으로 생각된다. IAEA MNA, GNEP, MM 등 제50차 IAEA 정기 총회 시 개최된 핵연료 공급 보장 관련 특별 세미나에서 남아공 등 비동맹권은 이와 관련한 제안에 대해 수용 불가의 의견을 제시한 바 있다. 따라서, GNEP 이행 시 특별한 대가 제공없이 비동맹권을 GNEP프로그램 내에 끌어들이는 것은 매우 어려울 것으로 전망된다.

특별 세미나에서 남아공을 비롯한 비동맹권 국가들은 핵연료 공급보장과 관련하여 원자력의 평화적 이용 권리를 포기하도록 하는 어떠한 전제조건도 있어서는 안 된다는 점을 강조하였으며, 핵연료공급메커니즘 구상 자체가 민감핵연료 시설 보유 금지 등 수용 불가능한 전제조건을 포함하고 있음을 지적하였다. 또한 핵연료 공급 보장 제안은 정치적, 법적, 기술적, 제도적, 안보적 측면 등이 관련된 매우 복잡한 사안으로서 아직 구체적인 논의 시기가 되지 않았다는 입장을 피력하였다. 비동맹권의 GNEP을 포함한 핵연료 공급 보장 제안에 대한 인식은 미국을 비롯한 서방 진영이 핵비확산 체제를 강화하기 위해 도입한 책략이라고 보는 성격이 강하며, 이는 향후 GNEP 이행과정에서 합의 도출에 장애물이 될 가능성이 크다고 여겨진다.

### 제 3 절 중간그룹

#### 1. 호주, 캐나다

호주와 캐나다는 주요 우라늄수출국으로서 동 문제에 관해 공통적이며 직접적인 이해관계를 갖고 있다. 양국은 우방국으로서 미국의 정책 방향에 대부분 찬성 및 지지를 해 온 입장이었으나, GNEP과 관련해서 기존의 태도와는 다른 기류가 감지되고 있다. 이는 GNEP 프로그램으로 인해 자국의 우라늄 자원 활용의 제한 및 수출에 영향을 줄 수 있다는 우려 때문인 것으로 보인다.

2006년 5월 하워드 호주 수상의 캐나다 방문 시, 양국 정상은 양국의 우라늄 자원의 수출산업의 보호를 위해 협력할 것을 합의한 바 있다. 하워드 수상은 GNEP 구상에 참여하는 것이 그들의 우라늄 자원을 합법적으로 개발하는 것을 저해하지 않아야 하며, 이를 위해 협력할 것을 제의하였고, 이에 하퍼 캐나다 수상은 호주 수상의 발언에 지지를 표명하면서도 GNEP에 상당한 관심이 있음을 언급하였다. 원자로 설비 건조와 핵연료 제조 능력을 가지고 있는 캐나다 입장에서는 GNEP 구상에 대해 호주와 일부 의견이 같지 않을 수 있음을 시사하고 있으나, 양국이 전세계 우라늄 자원의 50% 이상을 보유하고 있는 현실을 감안할 때 어떤 형태로든 공동보조를 취하는 것이 상호 이익이 될 것으로 판단하고 있는 것으로 보인다.

호주는 원자력기술의 사용자이자 공급자임을 강조하면서, 핵비확산 측면 등 GNEP에 대해 많은 관심을 가지고 있지만, 법적, 제도적 측면 등 동 구상이 갖는 의미에 대한 분석이 선행되어야 한다는 입장을 가지고 있다. 특히, GNEP을 통한 연료대여(fuel leasing)가 현실화되기까지는 상당한 시일이 걸릴 것으로 판단하고 있으며, 향후 자국의 원자력 정책에 큰 영향을 미칠 수 있음을 감안하여 신중한 검토의 필요성을 주장하고 있다. 호주는 사용후 핵연료의 저장, 관리의 역할은 미국만이 아니라 러시아(구소련)에서도 할 수 있다는 의견을 가지고 있는 데, 이는 미국의 독주에 대한 견제 의미로 해석된다. 또한, 핵비확산체제의 강화를 지지하는 입장으로서는 핵연료 공급 서비스와 관련하여 핵확산 저항성에 많은 관심을 보이고 있으나, 우라늄을 완품 형태(연료집합체)로 수출하는 것에는 자국 법규나 보유 시설

측면에서 비현실적이라고 판단하고 있다.

캐나다는 기본적으로 GNEP 구상에 대해 우호적이나 호주와 마찬가지로 농축, 재처리 등 자국의 권리를 포기할 수는 없다는 입장을 가지고 있다. 우선적으로 우라늄 공급자를 포함한 핵연료주기 모든 이해당사자간의 지속적인 대화를 희망하고 있으며, GNEP의 ABR 연료 개발 분야에 대한 관심을 가지고 있다. 캐나다가 원자력산업에서 차지하는 영향력에 비해 초기 공급국 그룹에 포함되지 않았기 때문에 호주와 마찬가지로 신중한 입장이며, 우라늄 자원 개발 및 수출과 관련하여 호주와 공동 대응하려는 움직임을 보이고 있다. 핵연료 공급국 지위를 현재의 농축, 재처리 기술 보유국여부만으로 판단하는 것은 불합리하다는 의견을 가지고 있으며, 우라늄 세계최대 산출국 및 최대 수출국으로서 장래의 국내 우라늄 농축권리 자체를 포기하는 것 역시 반대 입장이다. 따라서, ABR 용 연료 시험 등 GNEP에 제한적으로 참여하되, 농축, 재처리에 대한 권리를 주장, 유지하려는 노력을 계속할 것으로 보인다.



여백

## 제 5 장 우리나라에의 영향 및 대응 방안

### 제 1 절 국내 핵연료 주기산업

#### 1. 우리나라의 핵연료주기 정책 및 산업현황

우리나라는 핵연료주기에 대한 정책결정을 유보한 상태로 순환 또는 비순환 핵연료 주기 모두의 가능성을 열어두고 있다. 핵연료주기는 우라늄 광석의 채굴, 정련, 변환, 농축, 재변환, 성형가공 및 재처리의 단계로 나눌 수 있으며 이중 농축 및 재처리공정은 국제 핵비확산에 밀접한 관련이 있기 때문에 기존 핵보유국 및 일본을 비롯한 몇몇 나라만이 관련산업 시설을 보유하고 있다. 우리나라는 현재 경수로 16기, 중수로 4기의 원자력발전소를 운영하고 있으며 이에 소요되는 핵연료의 전량을 국내에서 제조 공급하고 있다. 핵연료 주기 단계별 국내 산업현황은 다음과 같다.

##### ① 우라늄 채광에서 농축

현재 국내에는 매장되어 있는 우라늄은 있으나 품위가 낮기 때문에 아직 채굴하지 못하고 있다. 따라서 국내 원자력발전소에 소요되는 모든 우라늄은 수입에 의존하고 있다. 국내 우라늄의 안정적 공급을 위해 한국 수력원자력(주)에서 외국의 우라늄 광산을 직접 개발하여 우라늄 광석을 채굴하고, 채굴된 우라늄을 변환 및 농축업체에 위탁, 국내에 농축 UF6를 공급하고 있다.

##### ② 핵연료 제조 및 공급

한국원자력연료(주)는 한국수력원자력(주)로부터 농축된 UF6를 공급받아 재변환 및 성형가공 공정을 거쳐 핵연료를 제조하고 있다. 재변환 공정은 농축 UF6를 UO2 분말로 제조하는 공정으로 한국원자력연료(주)는 년 400 톤의 생산시설을 보유하고 있다. 제조된 UO2 분말은 성형가공 되어 최종적으로 핵

연료 집합체의 형태로 원자력발전소에 공급된다.

### ③ 사용후 핵연료 관리

원자력발전소에 공급된 핵연료는 3년 이상 노심에 장전되어 연소하게 된다. 연소된 핵연료는 사용후 연료 저장조에 일정기간 보관시켜 방사성 준위를 낮춘뒤 발전소 내의 사용후 연료 저장조에 임시 보관하게 된다. 국내에는 아직 사용후 핵연료에 대한 처리방안이 확정되지 않아 처리방안이 확정될 때까지 모든 사용후 핵연료를 발전소내에 임시 보관하고 있다.

## 2. 현행 핵연료 공급 체제

현재 국내에는 경수로형 16기와 중수로형 4기를 합쳐 총 20기의 원자력발전소가 가동되고 있다. 원자력발전소에 장전되는 핵연료는 노형에 따라 우라늄의 농축도 및 형태가 많은 차이를 보인다. 경수로에는 3.8 ~ 4.5% U235의 농축도를 갖는 소결체를 약 4m의 봉에 장전한 집합체형태의 핵연료를 사용하고 중수로에는 천연우라늄(0.71%U235) 소결체를 약 0.5 m 길이의 다발에 장전해 사용한다. 현재 국내 원자력발전소에 장전하는 핵연료는 전량 한전원자력연료(주)(KNFC)에서 제조공급하고 있다. 핵연료 제조에 필요한 경수로형 농축 UF6와 중수로형 UO2 분말은 한국수력원자력(주)(KHNP)에서 구매하여 제조사인 KNFC에 공급한다.

### ① 우라늄 채광부터 농축까지의 공급

핵연료는 우라늄 광석의 채광으로부터 시작하여 우라늄 함량을 높이는 정광(U3O8 형태) 및 변환(UF6 및 UO2형태)을 거쳐 농축, 재변환, 성형공정을 통해 제조된다. 우리나라는 농축 UF6에서 농축 UO2 분말을 제조하는 재변환 공정부터 시설을 갖추고 있기 때문에 농축 UF6는 외국 공급사로부터 전량 수입해야 한다. 중수로용 핵연료는 천연 UO2 분말을 사용하기 때문에 UO2 분말형태로 수입하고 있다. 현재 핵연료 제조는 농축 UF6 및 천연 UO2 분말을 KHNP에서 KNFC로 공급하고 KNFC에서 성형가공하는 형태로 되어있다.

KHNP는 우라늄 연료 공급의 안정성과 경제성을 극대화 하기 위해 우라늄 광산부터 농축공정까지 각 공정마다 구매선을 확보하고 장기계약을 통해 농축 UF6 및 천연 UO2 분말을 확보하고 있다.

## ② 성형체 제조 및 공급

경수로형 연료의 경우 농축 UF6를 재변환시켜 농축 UO2 분말로 제조한 뒤 약 1cm 직경의 압분체를 성형, 소결하여 소결체를 제조한다. 제조된 소결체는 약 4m의 봉에 장입하여 발전소 형태별로 집합체를 제조, 발전소에 공급된다. 중수로형 연료는 수입된 천연 UO2 분말로 약 50cm 길이의 집합체를 제조하여 발전소에 공급한다.

### 3. GNEP이 국내 핵연료 주기산업에 미치는 영향

원자력발전은 다른 전원과 달리 국내에서 대부분의 공정을 통해 생산되는 핵연료를 연료로 사용하고 있기 때문에 에너지 안보성이 가장 뛰어난 발전 형태로 생각되고 있다. 핵연료의 원료로 사용되는 우라늄 자원은 비록 국내에서 생산되지 않지만 원자력발전을 책임지고 있는 한전이 우라늄 광산에서 농축까지 장기계약을 통해 국내에 안정적으로 공급하고 있기 때문에 국제상황 등 외부요인에 비교적 영향을 덜 받는다. GNEP의 가장 큰 핵심중의 하나는 전 세계 핵연료 공급체계를 공급국(Supplier Nations)과 이용국(User Nations)으로 나누고 공급국이 이용국의 핵연료를 대여(leasing), 사용 후에 회수하여 공급국이 재처리하도록 하는 것이다. GNEP 프로그램에서 분류한 공급국은 핵연료 농축 및 재처리시설을 갖는 나라로 기존의 핵무기 보유국과 일본, 인도 등이 해당될 것으로 전망되고 있다. 현재 기준에 따르면 우리나라의 경우 농축 및 재처리 시설을 보유하고 있지 않아 이용국에 포함된다. 물론 미국이 제안한 GNEP 구상은 현재 개념정립 단계로 어떤 방향으로 진행될지 예측하기 힘들지만 공급국으로 분류되어 핵연료를 대여 받아야 할 경우도 예상할 수 있기 때문에 이에 대한 대비가 필요할 것으로 판단된다.

미국이 제안한 GNEP에서의 핵연료 공급은 공급국이 사용국에 대여하는 형태로,

사용핵연료는 공급국이 회수하여 재처리하게 된다. 그러나 공급국이 핵연료를 대여한다고만 되어있지 구체적으로 어떤 형태의 핵연료를 공급하는 것인지에 대해서는 알려진 바가 없다. GNEP이 현실화 되고 우리나라가 공급국이 아닌 사용국으로 분류된다면 공급국이 대여하는 핵연료의 형태에 따라 국내 원자력산업에 미치는 영향은 크게 차이가 나리라 판단된다. 따라서 공급국이 대여하는 핵연료의 형태에 따라 국내에 미치는 영향 분석을 위해 핵연료 공급형태를 분류하고 공급형태에 따른 국내 핵연료 수급전망 및 국가에너지 안보에 미치는 영향을 살펴보는 것이 필요하다.

GNEP하에서의 핵연료 공급체계를 예측하기 위해서는 현재 국제 핵연료 공급체계를 이해할 필요가 있다. 다음 그림 7. 은 우라늄 광석으로부터 핵연료성형까지 각 단계별로 공급이 가능한 국가를 정리한 것이다. 그림 7. 에서 볼 수 있듯이 우라늄 자원을 보유하고 있는 나라와 실제 핵연료로 사용하기 위해 필요한 변환 및 농축시설을 보유한 나라가 상당히 다른 것을 알 수 있다. 실제 우라늄 자원이 풍부한 나라의 우라늄 광산 대부분이 GNEP에서 공급국으로 고려하고 있는 일부 국가에서 지분을 갖고 있기 때문에 이들 국가만이 핵연료를 공급할 수 있을 것으로 판단된다.

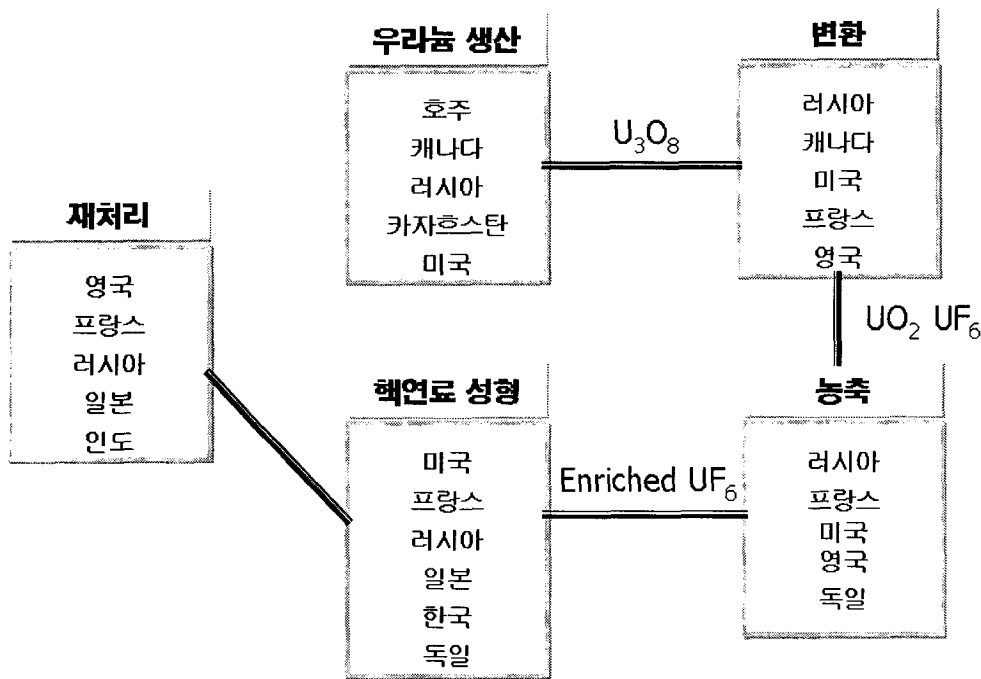


그림 7. 세계 핵연료 주기 단계별 공급가능 국가

가장 먼저 생각해 볼 수 있는 것이 핵연료 최종형태인 집합체(경수로) 및 다발(중수로)을 공급받는 것으로 국내에 미치는 영향이 가장 클 것으로 예상된다. 우선 국내 핵연료 제조시설은 사용이 불가능하고 원자력발전소에서 필요한 핵연료를 전량 외부로부터 공급받기 때문에 에너지 안보성이 위협받을 수 있다. 지금까지 국내에서 전량 생산했기 때문에 가능했던 가격 경쟁력도 상실된다. 그러나 완성품 형태의 핵연료 공급은 가능성이 희박할 것으로 판단된다. 최근 원유 값의 급등과 기후 협약 등의 문제로 원자력에 대한 세계 각국의 관심이 높아지고 중국, 인도 등 신흥에너지 소비 대국 등은 대규모의 원자력발전소 건설계획을 잇달아 발표하고 있어 일부 공급국으로 분류된 국가에서 사용국의 핵연료 수요를 모두 감당하기가 현실적으로 불가능하기 때문이다. 또한 핵연료 제조시설을 보유하고 있으나 사용국으로 분류될 가능성이 큰 한국, 캐나다, 브라질 등의 반발도 클 것이기 때문에 실제 GNEP하에서 공급국이 핵연료집합체를 제조하여 공급하기는 어려울 전망이다.

농축 UO<sub>2</sub> 분말은 농축 UF<sub>6</sub>에서 재변환 공정을 통해 생산되는데 우리나라의 경우 건식 재변환 시설을 보유하고 있다. 따라서 농축 UO<sub>2</sub> 분말을 공급국으로부터 대어 받는다는 것은 현재 KNFC에 설치된 재변환 시설의 운영중단을 의미한다. 재변환을 국내에서 하지 못하게 되면 핵연료의 가격상승은 물론 핵연료 수급에 영향을 미쳐 에너지 안보에도 좋지 않은 영향을 끼치게 된다. 그러나 재변환 시설은 GNEP에서 목표로 하는 핵확산시설과는 큰 관련성이 없어 공급국만이 운영해야할 당위성이 없기 때문에 농축 UF<sub>6</sub> 대신 UO<sub>2</sub> 분말을 공급하는 것은 현실성이 없어 보인다.

마지막으로 고려할 수 있는 것이 농축 UF<sub>6</sub>를 공급하는 것으로 가장 현실성이 있는 공급형태이다. 현재도 농축 UF<sub>6</sub>를 공급받아 핵연료를 제조하고 있기 때문에 국내 핵연료 수급 및 공급에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단되나 지금까지 국내 업체에서 수행해온 우라늄 광산으로부터 농축공정까지의 업체 선정은 외국 업체에 일임하게 되어 이에 따른 경제적 불이익 및 수급 불안정이 있을 것으로 판단된다. 현재 핵연료 공급체제에서도 공급국으로 거론되는 일부 국가가 농축공정을 독점하고 있기 때문에 공급국에 의해서만 농축 UF<sub>6</sub>가 공급되더라도 현행 체제에 미치는 영향은 크지 않을 것이다.

## 제 2 절 원자력 연구개발 분야

### 1. 원자로개발 분야

#### 가) 개요

현재 우리나라는 설비 제작, 시공 등 원자력발전소 건설에 필요한 기술 자립을 이룬 것으로 평가된다. 특히 원자로개발 분야에서는 기술개발을 선도하는 위치로서 안전성 제고 및 적용성 확대를 위한 다양한 개념을 적용하여 새로운 노형 개발을 시도하고 있다. 현재 새로운 노형 개발은 한국원자력연구소의 신형원자로개발단이 주도하고 있으며, 주요 개발 노형은 다음과 같다.

- 1) SMART
- 2) KALIMER
- 3) AP-1400

기존의 표준/개량형 3세대 원자로 이후, 에너지자원의 최적 활용, 안전성 및 핵확산저항성 개선 등을 목표로 한 제4세대 원자로 개념이 제안되었고, 이에 따라 2001년도 7월 GIF(Generation IV International Forum)가 발족된 바 있다. 우리나라는 미국, 일본, 프랑스 등과 함께 창설국으로 참여를 시작하였고, SFR(소듐냉각고속로)와 SCWR(초임계압수냉각원자로) 분야에서 주도적 역할을 수행해 오고 있다. 이에 앞선 2001년 5월에 과기부와 미국 에너지부는 4세대 원자로 개발을 위한 '국제원자력에너지개발계획(I-NERI)' 프로그램을 공동 추진하기로 협력약정을 체결하는 등 원자로 개발 분야에 있어서는 미국과의 긴밀한 협력관계를 유지해오고 있다고 볼 수 있다.

GNEP에서 제안한 새로운 노형인 ABR과 개도국형 소형원자로는 현재 원자력연구소에서 개발하고 있는 노형들과 개념적으로 매우 유사하다. 핵주기 분야와는 달리, 오히려 우리의 기술을 GNEP 프로그램에 반영할 수 있는 기회로 해석할 수 있으므로, 연구 현황의 파악 및 향후 우리 기술의 적용 가능

성을 면밀히 분석하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

## 나) 노형별 주요연구내용

### ① SMART

SMART(System-integrated Modular Advanced Reactor)는 원자력 중장기 사업의 일환으로 한국원자력연구소에서 주도적으로 연구개발하고 있는 노형으로 신형 일체형 모듈식을 채택하고 있다. SMART를 개발하게 된 배경은 원자력기술의 활용 증대 및 이용 다변화에는 다목적으로 활용할 수 있는 중소형 규모의 원자로가 적절하다는 판단 아래, 기술 선점이 가능한 원자로기술을 확보하여 개발도상국 및 원자력활용 관심국가 등에 기술수출의 기회를 확대하고자 하는 의도가 있었다. SMART는 낮은 출력(330MWt)의 중소형 규모로 계획되어, 기존의 1000MW 급 경수로보다 전력망 규모가 작은 개도국에는 전원 공급의 안정성 측면에서 바람직하며, 아울러 담수 생산 등 다목적으로 활용할 수 있다는 장점이 있다. 현재 기본적인 설계가 마무리된 단계로서, 기술 검증을 위한 65 MWt 규모의 파일럿 플랜트(SMART-P) 건설을 계획 중에 있다. 향후 2013년 까지 최초 발전소를 건설하여, 2014년에는 상업화 완성을 목표로 하고 있다.

### ② KALIMER

KALIMER(Korea Advanced Liquid Metal Reactor)는 소듐 냉각 핵변환로(Converter)로서 원자력 국제협력 기반조성 사업의 일환으로 2005년 10월 개념연구가 착수된 바 있다. 핵확산저항성과 환경 친화성을 갖는 액체 금속로로서 안전성과 경제성을 획기적으로 향상하는 것을 개발 목표로 하고 있다. KALIMER 등 액체 금속로의 궁극적인 개발 목적은 경수로에서는 거의 활용되지 않는 U238과 Th232를 유용한 핵분열 물질로 변환하여, 핵연료의 이용성을 제고하여 가용 자원의 획기적인 증가를 도모하려는 데 있다. 현재 노심, 냉각계통, 계측제어계통, 핵연료 장전계통 등의 주요 개념 설계가 완료되었으



며, UTOP(Unprotected Transient Overpower)과 ULOF( Unprotected Loss of Flow) 및 ULOHS(Unprotected Loss Of Heat Sink) 등 예상되는 모든 사고에 대해 첨두 핵연료 온도 및 피복재온도 등 노심안전허용 기준에 대한 안전해석결과 모두 설계조건을 만족함을 확인한 바 있다.

### ③ APR-1400

APR-1400은 개량형 3세대(Gen III+) 노형으로서 경수로 설계에서 간과되었던 중대사고(Severe Accidents)에 대한 대처능력 확보 및 안전성과 경제성의 획기적 향상을 개발 목표로 하고 있다. 60년을 설계 수명으로 하여 일일 부하 추종 운전 능력 강화, 피동형 안전 주입 계통, 1,400 MW 출력 규모 등 기존 경수로보다 안전 및 운용 능력을 강화한 설계 개념을 채택하고 있다. 원자로 개발은 분야별로 참여 기관별 특성을 고려하여 이루어지고 있다. 핵심 기술 연구는 한국원자력연구소가 수행하고 있고, 설계개발은 한기(주), 한중(중) 등이 담당하고 있으며, 한국원자력안전기술원이 안전규제기술개발을 담당하고 있다.

#### 다) 현행 원자로개발 연구과제에 대한 영향

GNEP에서 제안한 ABR과 개도국용 소형원자로는 민감 기술의 확산 방지 및 Pu 확산 위험성 제거라는 목적 달성을 돕기 위해 준비된 도구로 판단된다. 현재 연구소에서 개발하고 있는 액체금속로 KALIMER의 경우 일부 설계 변경을 통해 연소로로 개발이 가능할 것으로 판단되며, SMART는 GNEP에서 제시한 소형원자로 개념에 현재까지 가장 잘 부합하는 노형으로 보여진다. 미국은 2006년 5월 27차 JSCNEC에서 ABR에 대한 공동연구를 제안하였고, 이에 따라 원자력연구소의 전문가가 ANL에 파견되어 공동 설계를 추진하고 있다. 새로운 노형의 개발부터 인증, 최초 제작, 설치까지 소요되는 시간을 고려해 볼 때, 미국 독자적으로 수행하는 것은 비현실적인 것으로 판단되며, 우리나라를 비롯한 원자로 설계능력을 보유한 국가들과 협력을 강화하고 그 경험을 활용하는 방향으로 진행될 것으로 예측된다. 이는 우리나라가 GNEP 참여

시, 그 위상이 단순 이용국으로 한정되지 않을 수 있음을 시사하며, GNEP의 새로운 노형에 우리나라의 KALIMER와 SMART가 활용될 수 있는 새로운 기회를 가지게 된 것으로 평가할 수 있다.

## 2. 핵연료주기 분야

### 가) 개요

현행 핵연료 주기 분야의 연구는 한국원자력연구소의 핵연료 주기 기술단의 주도로 이루어지고 있으며, 현재 수행 중인 핵심 연구 과제 다음과 같다.

- 1) 사용후 핵연료 이용관리기술개발
- 2) 건식공정핵연료기술개발
- 3) 장수명 핵종 처리 기술개발
- 4) 방사성폐기물처리기술개발
- 5) 제염해체 기술연구
- 6) 핵연료주기시험
- 7) 원자력연구시설 제염해체기술개발

위의 과제 중 사용후 핵연료의 재사용이라는 측면에서 주목을 받을 만한 과제는 건식공정핵연료기술의 하나로 핵비확산 특성을 가지는 건식공정을 이용하여 사용후 경수로핵연료를 중수로에 재활용하는 DUPIC 핵연료주기기술 개발과 소위 Pyroprocessing 으로 알려진 고온용융염 전해분리기술개발로서 이 역시 핵비확산성 핵연료주기의 하나로 평가되고 있으며, GNEP에서 핵연료 재순환 기술의 대안으로 포함되어 있다. 현재 핵연료주기 연구분야는 향후 우리나라의 핵주기 완성 수준과 밀접하게 관련되어 있기 때문에, 유용 자원의 재활용 및 평화적 목적의 이용 권리, 그리고 핵비확산 측면에서 다각도로 평가되어야 하는 민감한 분야이다.

최근까지 미국 등 핵보유국을 중심으로 하여 제기된 GNEP, IAEA MNA, 핵연료 공급 보장 등의 제안은 사실상 민감 핵주기 시설 확산 방지를 위한 것으로서 이에 참여하게 될 경우 민감 시설의 보유뿐 만아니라 관련연구에도 많은 영향을 미치게 될 우려가 있다. 특히, GNEP의 경우와 같이 핵연료 공급 체계를 공급국과 이용국으로 양분하는 체제가 적용될 경우는 관련 연구의 지

속 여부까지 검토해야 할 상황이 발생할 수 있기 때문에, 우리의 핵주기 관련 연구 현황을 파악하고, GNEP 요구사항에 따른 적절한 대응방안을 마련하는 것이 필요하다고 판단된다.

## 나) 핵주기 과제별 연구 내용

### ① 사용후 핵연료 이용관리기술개발

본 과제는 사용후 핵연료의 전반적인 이용관리에 대한 기술개발을 목적으로 하고 있으며, 세부과제로서 ‘사용후핵연료차세대관리공정개발’, ‘차세대관리 종합공정실증시설개발’, ‘사용후핵연료원격취급실증장치개발’, 그리고 ‘사용후 핵연료이용관리기술개발’을 수행하고 있다. 경수로 사용후 핵연료의 금속전환을 통한 체적 감소 및 핵종의 선택적 제거에 의한 사용후 핵연료의 저장성 및 안전성 향상을 꾀할 수 있는 차세대 관리기술 및 관리공정에 대한 연구를 수행 중이며, 재료 특성, 용융염 취급 기술 등의 기초 연구과 함께 모형 공정에 대한 장치연구를 병행하고 있다.

### ② 건식공정핵연료기술개발

본 과제는 사용후 핵연료의 재활용을 위한 건식공정과 관련한 기술 및 장치개발을 목적으로 하고 있으며, 세부과제로서 ‘핵연료원격제조기술개발’, ‘건식재가공핵연료성능평가기술개발’, ‘건식공정핵연료노심특성평가기술개발’, ‘핵물질안전조치기술개발’, 그리고 ‘건식공정고방사성핵물질처리기술개발’을 수행하고 있다. 사용후 핵연료 재활용을 위한 원격제조기술 및 장치 개발, 건식 재가공 핵연료 소결체 및 연료봉 제조, 초정밀 용접 기술 등을 개발한 바 있으며, 본 공정에 적용될 안전조치 기술도 병행하여 개발하여 NDA 핵물질 측정 장치를 DUPIC 시설에 설치하여 사용하고 있다.

### ③ 장수명 핵종 처리 기술개발

본 과제는 사용후 핵연료를 용융시킨 후에 전기화학적인 분리방법을 이용하여 악티나이드 계열 원소들을 회수하여 변환로에서 단수명으로 변환하기 위한 기술 개발을 목적으로 하고 있다. 세부과제로서 ‘고온용융전해분리기술 개발’, ‘핵종변환기반기술개발’, ‘염폐기물처리기술개발’을 수행하고 있으며, 현재 실험실 규모의 실증설비 및 1kgU/batch 규모의 전해정련 및 전착물 처리 공정을 위한 모형설비가 구축되어 있으며, 핵물질 계량관리를 위한 안전조치 기술을 미국과 공동으로 개발하고 있다.

#### ④ 방사성폐기물처리기술개발

본 과제는 사용후 핵연료 등 고준위 폐기물의 암반 처분을 위한 고준위 폐기물 처분기술개발을 위주로 진행되고 있으며, 현재 주요 연구 내용은 처분장 성능 및 안전성 평가 흐름, 안전성 평가를 위한 전산코드 체계, 핵종 이동 모사를 위한 가시화, 핵종이동 실험적 연구 등이 포함된다. 과제 1단계('97~'99)로서 심지층 처분 개념 설정 및 안전성 평가 방안 구축, 2단계('00~'02)에서는 기준 처분 시스템의 구축 및 성능 종합 평가, 3단계('03~'06)에서는 한국형 기준처분 시스템에 대한 안전성 및 부지특성 평가 등이 수행되었다.

#### ⑤ 제염해체 기술연구

본 과제는 서울 공릉동 소재 연구로 TRIGA 1, 2호에 대한 해체 및 방사성물질의 완전 제염 및 부지 복원을 목적으로 한다. ‘연구로폐로기술관리’, ‘연구로폐로사업관리’, ‘환경복원기술관리’, ‘폐기물관리’ 등이 포함되며, 1999년도에 해체계획서 심사가 완료되었으며, 2000년 원자력안전위원회의 심의 완료 후, 2001년부터 해체 일정에 따른 공사를 착수한 바 있다.

#### ⑥ 핵연료주기시험

원자력연구소에 소재한 고방사능 물질을 취급하는 핵연료 주기시험시설

(조사재시험시설, 조사후시험시설, 화학분석시험시설, 방사성폐기물처리시설, 고화폐기물시험시설)의 안전한 운영관리를 기본 목표로 하여, 조사핵연료 및 원자력재료에 대한 각종 시험 평가, 방사성 폐기물의 안전저장관리 및 고화폐기물 특성 시험 등을 수행하고 있다.

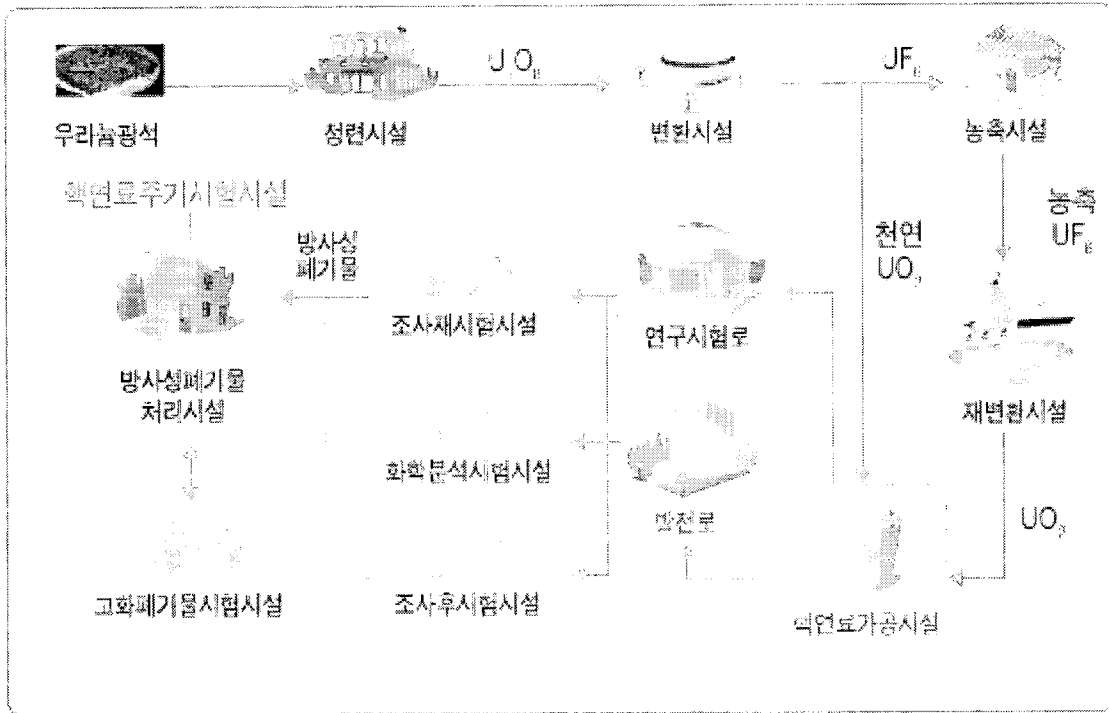


그림 8. 핵연료 주기 시험시설 개요

⑦ 원자력연구시설 제염해체기술개발

본 과제는 우리나라가 당면한 제염해체사업 및 국가 후행핵연료주기에 요구되는 제염해체기술을 적기에 개발하는 것을 목표로 하고 있으며, 원자력시설에 공통적으로 적용가능하고, 파급효과가 큰 핵심요소를 개발하는 것과 원자력시설 해체 기반기술을 구축하고 해체기술 수출산업 육성을 목적으로 하고 있다. 주요 연구성과로는 우라늄 변환시설 내부계통 배관 제염공정, 오양토염 폐기물 제염기술, 우라늄 슬러지 액체폐기물 처리기술 개발, 설비 해체 데이터베이스 구축, 전산모사, 수중 분해장비 개발 등을 들 수 있다.

#### 다) 현행 핵주기 연구과제에 대한 영향

GNEP은 향후 우리나라 원자력 산업의 방향을 결정지을 주요 요인이 될 가능성이 있으며, 이중 핵주기 분야가 GNEP 이행에 따라 가장 많은 영향을 받게 되는 분야가 될 것으로 보인다. 현재의 핵주기 관련 연구과제 중 사용후 핵연료 재사용과 직접적으로 관련이 있는 분야는 DUPIC 및 Pyroprocessing으로 파악할 수 있다. DUPIC에 대해서는 국내에서도 경제성 및 그 효율성에 대한 문제제기가 있는 만큼 GNEP에 따른 영향이 그다지 크게 미칠것으로는 생각하기 어렵다. 그러나 Pyroprocessing은 GNEP에서 제안하고 있는 재순환 공정으로 UREX+ 와 함께 또 하나의 대안으로 제시하고 있는 점에 주목할 필요가 있다. 현재 Pyroprocessing 기술을 적극적으로 개발하여, 기술을 실증할 수 있는 단계에 이른 것은 현재 우리나라가 유일하다. Pyro 기술은 미국과의 적극적인 협력을 통해 모든 프로그램이 이행되어 왔으며, 2006년 2월 GNEP 프로그램 발표 이후 한-미 정부 간 이 분야의 기술협력을 확대하기로 합의한 바 있다. 이는 GNEP 발표 시 초기 예상과는 달리 오히려 우리의 사용후 핵연료 재순환과 관련된 기존 연구 활동을 확대할 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 판단된다.

### 제 3 절 대응전략 및 대처 방안

GNEP을 비롯하여 최근의 핵연료 공급과 관련한 제안은 기본적으로 민감시설에의 접근을 통제하자는 성격이 강하다. 따라서, 이에 대해 기존 국제 핵비확산체제의 근간인 NPT에서 규정하고 있는 원자력의 평화적 이용이라는 기본 정신에 위배된다는 지적이 비동맹권을 중심으로 제기되고 있다. 반면, 미국을 비롯한 서방측 제안국들은 동 제안들이 기존 시장 질서에 영향을 주지 않을 것임과 각 나라의 자발적인 참여를 전제로 함을 강조하고 있다. 한편, 기본적으로 동조하는 입장인 러시아의 경우는 핵연료주기센터 등 GNEP과 유사한 독자적인 핵연료 공급 제안을 하고 있으며, IAEA 의 MNA 및 최근 논의가 시작된 다자간 공급보장 메커니즘 등 향후 핵연료 시장의 주도권을 잡기 위한 움직임이 치열하게 전개되고 있다고 판단된다. 앞서 지적한 바와 같이 각 제안들 사이에서 각 당사자국의 이해와 입장을 모두 반영한 합의에 이르는 것은 어려울 것으로 전망되지만, 우리나라의 경우 중간자적 입장에서 대응 방안을 결정해야 하는 매우 어려운 입장에 처해있다고 보여진다.

미국은 2006년 6월 IAEA 이사회에서 이란의 농축 시설 보유 시도가 평화적 목적이 아니라는 우려와 함께 민감시설의 보유 필요성이 없음을 주장하였다. 이 발언 중 우리나라를 스웨덴과 더불어 민감시설을 보유하지 않고 대규모 원자력 발전을 영유하는 모범국가로 지칭하며, 핵연료공급보장책이 현실적으로 적용이 가능함을 증명할 수 있는 사례로 강조한 바 있다. 미국 입장에서 우리나라의 GNEP 참여는 동 프로그램의 이행을 위해 매우 강력한 지지자를 확보하게 되는 것으로서 지속적인 참여요구를 해울 것으로 예상된다. 그러나 GNEP의 참여는 핵주기 연구 등 사실상 원자력의 평화적 이용 권리에 대한 자발적 포기로 이어질 수 있어, 국제 동향의 분석을 토대로 한 세심한 대응 전략 수립이 필요하다.

#### 1. 대응 전략

기본적으로 GNEP의 취지 및 목적에 대해서는 지지 입장을 유지하는 것이 바람직하다고 생각된다. 그러나, NPT 가입국으로서 안전조치를 성실히 수행하고 있고 핵비확산 의무를 준수하고 있는 우리나라와 같은 경우에 대해 평화적 이용권리 원



칙이 훼손되어서는 안 된다는 것을 강조할 필요가 있다. 따라서 GNEP에 참여하게 될 경우, 세계 원자력 계에서의 우리나라의 위상을 고려한 대가 및 지위를 요청하는 것이 반드시 필요하다. 특히, 캐나다, 호주 등 우리나라와 입장이 비슷한 중간 그룹의 국가와 공조체제를 유지하는 것이 발언권을 강화하는 데 큰 도움이 될 것으로 보인다.

## 2. 대처 방안

구체적인 대처 방안으로서 먼저 핵비확산 체제의 강화 노력을 천명할 필요가 있다. IAEA 안전조치 강화 노력에 부응하여 최근 안전조치 검증위원회의 안전조치 강화 권고 사항에 대한 자발적 이행을 검토해 보는 것도 필요하리라 생각된다. 아울러 북핵 문제 등 우리나라의 지정학적 위치를 고려한 새로운 지역 협의체 구성도 바람직한 방향이 될 것이다. 동북아, 환태평양 지역을 포괄하는 국가들로 새로운 비핵화 지대 제안 등, 우리나라가 핵비확산 체제 강화 노력을 선도하는 입장을 취함으로써 핵투명성에 대한 대외 신뢰성 제고 및 발언권 강화를 도모할 필요가 있다고 보여진다.

현재 우리나라의 주요 원자력 연구 방향은 미래 원자력기술로서 신형 원자로 개발, 핵연료 주기기술 등 GNEP의 주요 관심사와 많은 부분에서 공통점을 가지고 있다. 특히, 원자력연구소에서 핵비확산성 핵연료주기기술 개발을 위해 심혈을 기울이고 있는 Pyro-processing은 GNEP에서 UREX+ 재순환 공정의 대안으로 채택된 만큼 이에 대한 지원 및 투자 확대가 필요하다고 생각된다. 아울러 연구 공정의 원활한 진행을 위해 현재 보관 중인 사용후 핵연료를 활용할 수 있도록 미국과 Joint Determination 개정을 서두를 필요가 있다. GNEP의 연소용 고속로와 개도국용 소형 원자로의 대안으로서 연구소의 KALIMER와 SMART가 채택될 수 있도록 미국과의 긴밀한 협력관계 구축과 함께 기술 투자를 확대하여 파일럿이나 검증시설이 조기 완성될 수 있도록 하는 것이 필요할 것이다. 종합적인 측면에서 GNEP의 7대 전략에 부합하는 방향으로 추진하여야 하며, 기존의 연구 과제가 지속적으로 진행될 수 있도록 하는 것과 핵연료 재순환 주기기술 투자 확대 및 경제성 확보를 위한 방안 모색 또한 필요하리라 생각된다.

## 제 6 장 결론

### 제 1 절 민감시설 확산 방지를 통한 국제 핵비확산 체제 강화

IAEA가 추가의정서를 채택한 이후, 안전조치 체제의 강화와 함께 핵물질 통제를 위한 다양한 국제 핵비확산체제의 강화 노력이 계속되어 왔다. GNEP 또한 이러한 맥락에서 이해되어야 하는 구상으로서, IAEA의 MNA, 러시아의 핵주기센터 등 유사한 제안들과 함께 핵물질 자체의 통제를 넘어 핵물질 생산 기술의 확산을 차단하려는 노력이 구체화된 것으로 평가할 수 있다. 물론 GNEP에는 원자력 발전의 확대, 사실상의 재처리인 재순환 기술의 제안, ABR, 소형원자로 등 매우 포괄적인 제안들을 함께 담고 있어, 주목적을 민감시설의 보유제한이나 핵비확산으로 단정하기에는 무리가 있는 것도 사실이다. 그러나, 미국이 그간 핵비확산 체제 강화를 위해 기울인 노력과 PSI, CSI, MI 등 각종 위협 감소 구상을 비추어 볼 때, GNEP이 같은 선상에 있다고 판단된다. GNEP 프로그램 이행에 필수적인 ABR이나 개도국용 소형 원자로의 개발 가능성 및 완료 시점을 고려해 볼 때, 근 시일 내에 GNEP의 이행은 그 현실성이 매우 희박한 것이 사실이다.

이런 관점에서 볼 때, GNEP은 민감시설의 확산방지를 기본 목적으로 하여 미국이 현재 해결해야 할 고민거리인 사용후 핵연료 처리문제, 온실가스 감축 문제, 석유 값 급등에 따른 에너지 대안 모색 등을 일괄 타결할 수 있는 방법으로서 GNEP을 고안하고 제안한 것으로 판단된다. 따라서 종합적 대책이기는 하지만, 구체성이 결여되어 있을 뿐 아니라, 향후 논의 과정에서 많은 반발과 논란이 예상되어 쉽게 결론이 내려지지 못할 것이다. 그러나 GNEP이 아니더라도 미국의 핵비확산체제 강화노력으로서 민감시설과 기술의 보유를 제한하려는 시도가 중단되지는 않을 것으로 예상된다.

그러나 현재 인도와의 원자력 협정 등 미국의 이중 잣대를 비판하는 목소리가 높은 만큼, 이와 같은 제안을 미국이 다시 들고 나온다면 국제 원자력기구 내에서 부터 논의를 시작할 것으로 예측된다. IAEA가 현재 지향하고 있는 바도 추가의정

서의 보편적 적용을 통한 안전조치체제의 강화로서 미국의 정책 방향과 큰 흐름에서 현재로서는 차이를 발견하기 어렵다. 따라서, GNEP 을 포함한 다양한 핵연료 공급 보장책의 논의과정에서의 발언권을 강화 및 실제 참여시 입지 강화를 위해서는 IAEA 안전조치 체제 강화 노력에 부응하는 것이 일차적으로 필요하며, 우리 정부의 핵비확산 정책의지를 다양한 외교 채널을 통해 알리는 것이 요구된다 하겠다.

## 제 2 절 원자력의 부흥의 기회로서의 GNEP의 활용

GNEP 참여에 따른 민감기술의 보유 제한은 원자력 활동의 직접적인 제약으로 이어질 수 있다. 그러나 현재의 GNEP 프로그램은 오히려 우리나라 원자력 산업의 부흥 기회를 제공하고 있다고 보여진다. 그간 많은 연구개발 노력이 투입된 Pyro 재순환 기술, 액체 금속로, SMART 원자로 등은 GNEP의 개념과 많은 부분 일치하며, 이는 우리에게 새로운 가능성을 열어주고 있다. 현재 핵연료 공급국과 수요국의 구분에 대한 논란이 마무리된 것은 아니지만, 이와 같은 구도가 결정되고 실질적 이행에 이르기까지는 많은 시간을 필요로 할 것이며 해결해야 할 문제도 적지 않은 상황이다. 따라서, 이 문제에 집착하는 것 보다는 논의에 적극적으로 참여하여 그 과정 중에 표출될 기회를 잘 활용하여 참여시 유리한 지위와 역할을 선점해 가는 것이 바람직할 것으로 보인다. 이를 위해서는 현재 우리가 가지고 있는 기술과 능력을 정확히 평가하여 GNEP 프로그램에 반영될 수 있도록 하는 것이 최우선이 되어야 할 것이다.

여백

## 참 고 문 헌

- DOE, “GNEP Overview Fact Sheets,” 06-GA-50506-1, Feb. 2006
- DOE, “A New Generation of Nuclear Power Plants in the U.S.,” 06-GA-50506-2, Feb. 2006
- DOE, “Integrated Spent Fuel Recycling Capability,” 06-GA-50506-3, Feb. 2006
- DOE, “Minimize Nuclear Waste,” 06-GA-50506-4, Feb. 2006
- DOE, “Advanced Burner Reactors,” 06-GA-50506-5, Feb. 2006
- DOE, “Reliable Fuel Services Program,” 06-GA-50506-6, Feb. 2006
- DOE, “Grid-appropriate Reactors,” 06-GA-50506-7, Feb. 2006
- DOE, “Improved Nuclear Safeguards,” 06-GA-50506-8, Feb. 2006
- DOE, “Congress Report – Spent Fuel Recycling Program Plan,” May 2006
- DOE, “Expression of Interest Industry Briefing – Consolidated Fuel Treatment Center, Advanced Burner Reactor,” Aug. 2006
- DOE, “The Nuclear Power Partnership: Building on Past Success for the Challenge of Tomorrow,” Presented at the Metal Trades Department Annual Education Conference, Oct. 2006
- DOE, “Global Nuclear Energy Partnership Strategic Plan,” GNEP-167312, Jan. 2007
- IAEA, “Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle: Expert Group Report submitted to the Director General of the International Atomic Energy Agency (INFCIRC/640),” Feb. 2005
- IAEA, “Communication dated 28 September 2005 from the Permanent Mission of the United States of America to the Agency (INFCIRC/659),” Sep. 2005
- IAEA, “Communication received from the Resident Representative of the Russian Federation to the Agency transmitting the text of the Statement of the President of the Russian Federation on the Peaceful Use of Nuclear Energy (INFCIRC/667),” Feb. 2006

여백

## 부록 1. GNEP Overview Fact Sheets

WWW.GNEP.ENERGY.GOV

*The Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) seeks to expand the use of clean, affordable nuclear energy to meet the growing worldwide demand for energy.*



### The Global Nuclear Energy Partnership

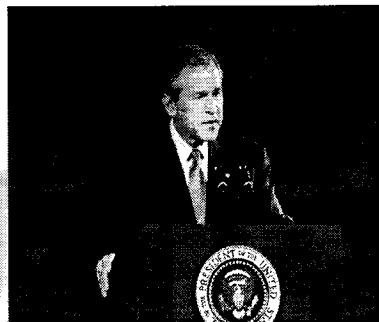
The Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) is a comprehensive strategy to increase U.S. and global energy security, reduce the risk of nuclear proliferation, encourage clean development around the world, and improve the environment.

A plentiful, reliable supply of energy is the cornerstone of sustained economic growth and prosperity. Nuclear power is the only proven technology that can provide abundant supplies of base-load electricity reliably and without air pollution or emissions of greenhouse gasses.

GNEP provides for the safe expansion of clean, affordable nuclear power to meet the growing worldwide demand for energy and encourage the growth of prosperity around the globe.

GNEP is both a major research and technology development initiative and a major international policy partnership initiative. It addresses the two key barriers to full development of nuclear power in the later half of the twentieth century: how to use sensitive technologies responsibly in

*Continued next page*



"The world must create a safe, orderly system to field civilian nuclear plants without adding to the danger of weapons proliferation."

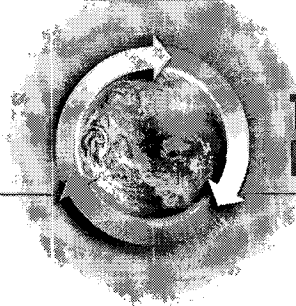
**President George W. Bush**  
*National Defense University  
February 11, 2004*

"To build a secure energy future for America, we need to expand production of clean, safe nuclear power."

**President George W. Bush**  
*Ronald Reagan Building  
June 15, 2005*







## The Global Nuclear Energy Partnership (GNEP)

*Continued from previous page*

a way that protects global security and how to dispose of the waste safely. GNEP focuses on overcoming these barriers, and doing so in cooperation with other advanced nuclear nations, to bring the benefits of nuclear energy to the world safely and securely.

President Bush has requested \$250 million in the Department of Energy's 2007 budget as the initial step to accelerate technology development as part of GNEP. The Department has requested funding from Congress to continue developing the structure for a collaboration among industry, the U.S. national laboratories, and other nations to meet the goals of GNEP. Such a collaboration would build on the existing, proven capabilities

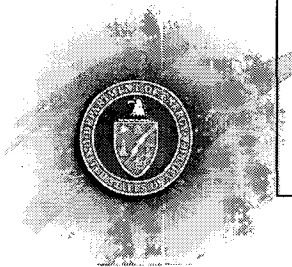
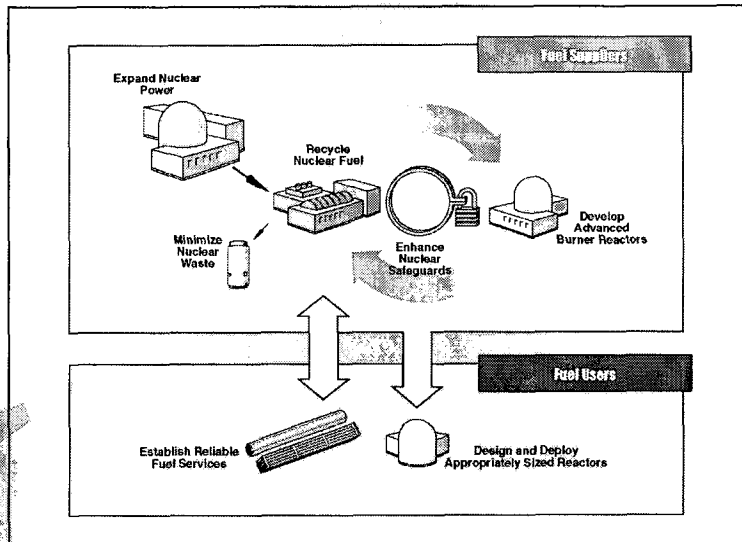
of industry and the fuel cycle nations to bring commercial-scale, advanced fuel cycle technologies into operation in the U.S. as quickly as possible.

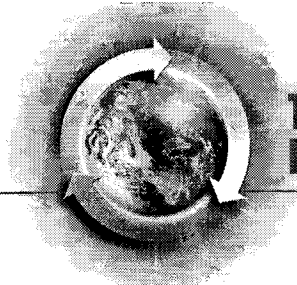
### **The Global Nuclear Energy Partnership aims to:**

- **Recycle nuclear fuel using new proliferation-resistant technologies to recover more energy and reduce waste**  
The U.S. is considering a new approach to recycling of spent nuclear fuel with advanced technologies to increase proliferation resistance, recover and reuse fuel resources, and reduce the amount of wastes requiring

*Continued next page*

**The Global Nuclear Energy Partnership focuses on expanding nuclear power and establishing partnerships between fuel suppliers and fuel users.**





## The Global Nuclear Energy Partnership (GNEP)

*Continued from previous page*

permanent geological disposal. This work builds on the Department's Advanced Fuel Cycle Initiative, which has been researching innovative recycle concepts since 2000.

- **Utilize the latest technologies to reduce the risk of nuclear proliferation worldwide**  
By promoting proliferation resistant technologies and providing fuel services to developing nations, GNEP will bring the benefits of nuclear energy to the world safely and securely without all countries having to invest in the complete fuel cycle – that is, enrichment and reprocessing.
- **Encourage the growth of prosperity and sustainable development around the world**  
By increasing the availability of electricity through nuclear power, millions of people will experience an improved and sustainable quality of life.
- **Reduce use of fossil fuels**  
Nuclear power addresses concerns associated with the use of fossil fuels: rising costs, price volatility, increasing worldwide demand and air pollution.
- **Improve the environment**  
Nuclear power is the only currently available technology capable of delivering large amounts of power without polluting the air. Last year, the operation of U.S. nuclear power plants displaced 681.9 million metric tons of carbon emissions.

### **The Global Nuclear Energy Partnership includes a broad implementation strategy:**

- **A new generation of nuclear power plants in the U.S.**  
GNEP will build on recent Administration accomplishments to encourage more nuclear power in the U.S. These include the Nuclear Power 2010 program, a public-private

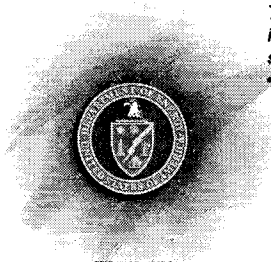
partnership aimed at demonstrating the streamlined regulatory processes associated with licensing new plants, and the Energy Policy Act of 2005, which includes federal risk insurance for the first new nuclear power plants to be built.

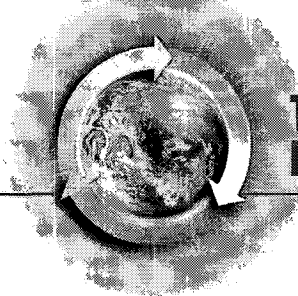
- **An integrated U.S. recycling capability**  
The U.S. is pursuing the transition from a once-through fuel cycle to a new approach that includes recycling of spent nuclear fuel without separating out pure plutonium. Specifically, recycling would comprise uranium extraction plus (UREX+).

Research has shown that UREX+ can separate uranium from the spent fuel at a very high level of purification that would allow it to be recycled for re-enrichment, stored in an unshielded facility, or simply buried as a low-level waste. In addition, long-lived fission products, technetium and iodine, could be separated and immobilized for disposal in Yucca Mountain. Short-lived fission products, cesium and strontium, could be extracted and prepared for decay storage until they meet the requirements for disposal as low-level waste. Finally, transuranic elements (plutonium, neptunium, americium and curium) separated from the remaining fission products could be fabricated into fuel for an Advanced Burner Reactor, a fast reactor. Fast reactors would consume or destroy the transuranics, reducing the need for disposal in Yucca Mountain. This approach would increase the effective capacity of the geologic repository by an estimated factor of 50 to 100.

The Department is investigating the interest and ability of industry to deploy an integrated recycling capability consisting of two facilities:

*Continued next page*





## The Global Nuclear Energy Partnership (GNEP)

*Continued from previous page*

- A Consolidated Fuel Treatment Center, capable of separating the usable components contained in light water spent fuel from the waste products.
- An Advanced Burner Reactor, capable of consuming those usable products from the spent fuel while generating electricity.

U.S. national laboratories would design and direct a third component, the Advanced Fuel Cycle Facility, a modern state-of-the-art laboratory designed to serve fuels research needs for the next 50 years.

- **An aggressive plan to manage spent nuclear fuel and nuclear waste in the U.S., including permanent geologic disposal at Yucca Mountain**

Successful demonstration of GNEP technologies will change the characteristics and, potentially, significantly reduce the toxicity of spent fuel and nuclear waste to be disposed of in Yucca Mountain. This will make disposal less complex and potentially extend the capacity of Yucca Mountain for generations to come.

- **A reliable fuel services program**

Under GNEP, a consortium of nations with advanced nuclear technologies would provide fuel and reactors that are appropriately sized for the grid and the industry needs of other countries that agree to refrain from fuel cycle activities. By participating in GNEP, developing nations can enjoy the benefits of clean, safe nuclear power while minimizing proliferation concerns and eliminating the need for expensive infrastructure

investments. In cooperation with the International Atomic Energy Agency, participating nations would develop international agreements to ensure reliable access to nuclear fuel.

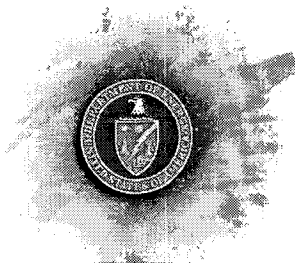
- **Grid-appropriate reactors**  
GNEP would call for a program to design, build and export nuclear reactors that are cost effective, well suited to conditions in developing nations and scaled for small electricity grids. The U.S. is cosponsoring with the International Atomic Energy Agency (IAEA) and several IAEA member states a workshop in Vienna, Austria, Dec. 4-6, 2006.

- **Improved nuclear safeguards to enhance the proliferation-resistance and safety of expanded nuclear power**

A basic goal of GNEP is to make it nearly impossible to divert nuclear materials or modify systems without immediate detection; thus, an international safeguards program is key to every element of its implementation. The U.S. will continue to work closely with the IAEA and our international partners to ensure that civilian nuclear facilities are used only for peaceful purposes.

### **Issues for the introduction of nuclear power:**

The U.S. has heard from a number of countries expressing interest in adding nuclear power to their energy mix to meet energy demands and increase energy security. There are a few experienced countries with developed nuclear power programs that have a responsibility to share their expertise on legal, regulatory, safety and security cultures pertaining to the incorporation of nuclear power.



06-GA50506-01

## Global Nuclear Energy Partnership



**Consolidated Fuel Treatment Center  
Advanced Burner Reactor**

**Expressions of Interest  
Industry Briefing**

Timothy A. Frazier  
Deputy Director (Acting) for  
Advanced Nuclear Energy Systems  
Office of Nuclear Energy

August 14, 2006



## Deployment Approach

- **Baseline Approach**
  - Sequential: applied research & technology development; demonstration-scale facilities; commercial-scale facilities
- **Proposed Two-track Approach**
  - First track
    - Demonstrate light-water reactor (LWR) spent nuclear fuel (SNF) recycle in a Consolidated Fuel Treatment Center (CFTC)
    - Fabrication of Advanced Burner Reactor (ABR) driver fuel
    - Construct and operate ABR, initially using driver fuel
  - Second track (concurrent w/first track)
    - Transmutation fuel development, fabrication, qualification
    - Transmutation fuel in ABR
  - No intermediate demonstration-scale as identified in baseline approach
  - Potentially faster commercial deployment

Global Nuclear



Energy Partnership

# Expressions of Interest

▪ Purpose

- Solicit input from industry's base of developed and established technology
- Early participation with and buy-in from industry
- Produce a more informed design process with industry participation

645641-P  
 DEPARTMENT OF ENERGY  
 Notice of Request for Expressions of Interest in a Consolidated Fuel Treatment Center to Support the Global Nuclear Energy Partnership

AGENCY: Office of Nuclear Energy, Department of Energy  
 ACTION: Notice of request for expressions of interest

SUMMARY: Based upon feedback since the President of the United States announced the Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) in February 2006, the U.S. Department of Energy (DOE) is seeking Expressions of Interest (EOI) from domestic and international industry as well as academia and non-profit organizations to participate in the design and construction of a consolidated fuel treatment center (CFTC) to support the GNEP program. The CFTC will be used to process spent nuclear fuel (SNF) from commercial nuclear reactors and to recycle the SNF into new fuel for use in advanced reactors. The CFTC will be used to process spent nuclear fuel (SNF) from commercial nuclear reactors and to recycle the SNF into new fuel for use in advanced reactors. The CFTC will be used to process spent nuclear fuel (SNF) from commercial nuclear reactors and to recycle the SNF into new fuel for use in advanced reactors.

645641-P  
 DEPARTMENT OF ENERGY  
 Notice of Request for Expressions of Interest in an Advanced Reactor Reactor to Support the Global Nuclear Energy Partnership

AGENCY: Office of Nuclear Energy, Department of Energy  
 ACTION: Notice of request for expressions of interest

SUMMARY: Based upon feedback since the President of the United States announced the Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) in February 2006, the U.S. Department of Energy (DOE) is seeking Expressions of Interest (EOI) from domestic and international industry as well as academia and non-profit organizations to participate in the design and construction of an advanced reactor. The advanced reactor will be used to produce electricity and to produce plutonium for use in advanced reactors. The advanced reactor will be used to produce electricity and to produce plutonium for use in advanced reactors.



# Expressions of Interest

▪ What DOE Wants to Receive

- Industry's thoughts on best path forward
- Potential solutions to accomplish GNEP's objectives
  - Reduce American dependence on fossil fuels and encourage economic growth
  - Improve the environment
  - Recycle nuclear fuel to recover energy and reduce waste
  - Encourage prosperity and clean development worldwide
  - Integrate latest technology for advanced safeguards to further reduce risk of nuclear proliferation
- EOI examples are only guidance
  - Provide some insight to DOE's thoughts
  - Intended to indicate general expectations
  - Not a committed path forward



# Global Nuclear Energy Partnership



## Consolidated Fuel Treatment Center Expression of Interest



## Fuel Separation Background

- **Support overall GNEP objectives**
  - Integral component of a closed fuel cycle
  - Separate spent LWR fuel into fast fuel material for transmutation
  - Improved management of waste streams
- **Initial Focus: Demonstrate Engineering-Scale Spent Fuel Separations**
  - Based on National Laboratory Demonstration Program
  - Completed pre-conceptual design documents
    - Demonstration design basis document
    - Scoped three generic concept alternatives
    - Focused technology development program on demonstration project



## Consolidated Fuel Treatment Center Concept

### ▪ Capabilities

- Separate the constituents of spent light-water reactor fuel into reusable material and waste products [track one]
- Fabricate fast reactor driver fuel, i.e., all non-transmutation fuel [track one]
- Augment as more advanced technologies become available through R&D
- Separate spent fast reactor fuel and fabricate fast reactor transmutation fuel [track two]

### ▪ Requirements

- No separated pure stream of Pu
- Separate transuranics for consumption in an ABR to effectively reduce the burden on geologic repository
- Comply with National Environmental Policy Act



7

## Seeking Industry's Input

### ▪ Technology Selection

- Separate fuel into isotopes for transmutation and waste streams/forms for better management and cost effectiveness
- Driver and transmutation fuel fabrication capabilities
- System scale, e.g., min/max throughput
- Technology development needs: reduce risk; promote commercialization
- Features to improve reliability and cost effectiveness, e.g., reduced security requirements (Category II or lower); minimize waste generation

### ▪ Provide Details of Participation

- Key features of Government and Industry relationship
- Funding approaches

### ▪ Siting and Regulation

- Regulatory framework or requirements
- Commercial vs. DOE siting considerations; co-location with the ABR; driver fuel capability
- Appropriate SNF process storage capacity



8

# Global Nuclear Energy Partnership



## Advanced Burner Reactor Expression of Interest



### Advanced Burner Reactor Background

- **Support overall GNEP objectives**
  - Integral component of a closed fuel cycle
  - Expand the use of clean safe nuclear power
  - Produce less spent nuclear fuel
  
- **Initial Focus: Small-scale test reactor**
  - Reasonable balance between flux level, conversion ratio and cost
  - Nearly completed pre-conceptual design documents



## **Advanced Burner Reactor Concept**

### ▪ **Capabilities**

- Initial startup and operation using conventional driver fuel pending core conversion to transmutation fuel
- Supports commercial deployment of ABRs as part of a closed fuel cycle
- Demonstrate transmutation
- Qualify transmutation fuels and materials
- Demonstrate fast reactor safety
- Demonstrate cost reduction design features

### ▪ **Requirements**

- Provide fast neutrons to consume transuranic elements
- Generates electricity through the net consumption of transuranic material
- Complies with environmental and nuclear regulatory requirements

Global Nuclear  Energy Partnership

11

## **Seeking Industry's Input**

### ▪ **Technology Selection**

- Reactor type (sodium cooled, etc.)
- Reactor size
- Driver fuel qualification approach and schedule
- Technology development and R&D needs
  - Reduce risk; promote commercialization

### ▪ **Provide Details of Participation**

- Key features of Government and Industry relationship
- Funding approaches

### ▪ **Siting and Regulation**

- Regulatory framework or requirements
- Commercial vs. DOE siting considerations; co-location with the CFTC; source of driver fuel

Global Nuclear  Energy Partnership

12

# Global Nuclear Energy Partnership



## Next Steps



## Key Challenges

- Domestic nuclear infrastructure
- Aggressive deployment timeline
- Substantial resource commitment
- Integration with existing facilities



## Path Forward

- **Seek Industry's participation for commercial-scale CFTC and ABR with EOI**
  - Early engagement with industry in a collaborative role to expedite a larger-scale separations, fuel fabrication, and fast reactor
  - Industry perspective on implementation differs from government's
    - Investment risk
    - Schedule
    - Waste management
    - Enhanced and Advanced safeguards
    - Proven technology with balanced innovation
- **Evaluate Expressions of Interest and incorporate into planning**
- **Make decision regarding issuance of Request for Proposals**
- **Work with NRC to develop potential license pathways**
- **Provide information to Secretary of Energy for June 2008 decision on GNEP path forward**



15

## Conclusion

- **Critical Success Factors**
  - **Broad collaboration and support**
  - **Adequate resources**
  - **Technically sound approach**
  - **Effective project management**
  
- **Questions & Answers**



16

### 부록 3. 핵연료 공급보장 특별 세미나 사무총장 기조 연설문

<A New Framework for the Nuclear Fuel Cycle>

Statement at Special Event by IAEA Director General Dr. Mohamed ElBaradei

I am pleased to welcome you all to this Special Event.

I would like to begin by quoting another speech, made some time ago: "To hasten the day when fear of the atom will begin to disappear from the minds of people, and the governments of the East and West, there are certain steps that can be taken now."

The speech continues:

"I therefore make the following proposals: The governments principally involved, to the extent permitted by elementary prudence, should begin now and continue to make joint contributions from their stockpiles of normal uranium and fissionable materials to an international atomic energy agency... The atomic energy agency could be made responsible for the impounding, storage, and protection of the contributed fissionable and other materials... The more important responsibility of this atomic energy agency would be to devise methods whereby this fissionable material would be allocated to serve the peaceful pursuits of mankind... A special purpose would be to provide abundant electrical energy in the power-starved areas of the world."

That speech was made on 8 December, 1953, by US President Dwight D. Eisenhower. I find it interesting that the first concrete articulation of the "Atoms for Peace" concept proposed a model for assuring the supply of nuclear material to all countries for peaceful purposes.

This concept also found ample expression in the IAEA Statute, where Article IX talks about Member States "[making] available to the Agency such quantities of special fissionable materials as they deem advisable and on such terms as shall be agreed

with the Agency" – materials which could then be used as determined by the Board of Governors.

As you might expect from these references, our current discussion is not the first time such a scheme for assurance of supply has been suggested or discussed. But the urgent need for such a scheme today may help us to succeed.

Given the dual nature of nuclear science – its potential to bring great benefit or great destruction to humanity – it should not surprise us that, as times change, our frameworks for dealing with nuclear technology and nuclear material must adapt accordingly. As we work with the benefits and risks of nuclear technology, we continue to learn more about how to maximize the benefits and minimize the risks. So it is natural that we continue to evolve our systems for managing those risks and benefits.

In the 1960s, with an increasing number of countries pursuing nuclear weapons programmes, we developed the Nuclear Non-Proliferation Treaty.

After the Chernobyl accident, in the late 1980s, we developed an international safety regime, with conventions, safety standards and a broad array of peer review and assistance missions.

In the mid-1990s, after our experience with Iraq's clandestine nuclear weapons programme, we said we needed more authority to implement safeguards effectively, and we developed the additional protocol.

Five years ago, in the wake of the September 2001 terrorist attacks, we realized the vulnerability of nuclear and radiological materials as a tool for terrorists, and we re-engineered our nuclear security programme.

Today we are faced with two additional challenges. The increase in global energy demand is driving a potential expansion in the use of nuclear energy. And concern is mounting regarding the proliferation risks created by the ongoing spread of sensitive

nuclear technology, such as that used in uranium enrichment and nuclear fuel reprocessing.

The convergence of these challenges clearly points to the need for the development of a new, multilateral framework for the nuclear fuel cycle.

To develop and establish this framework will certainly be a complex endeavour. As I mentioned yesterday, I believe it could best be achieved through a series of progressive phases:

First, by establishing mechanisms that would assure the supply of fuel for nuclear power plants.

Second, by developing, as needed, similar assurances for the acquisition of nuclear power reactors.

And third, by facilitating the conversion of enrichment and reprocessing facilities from national to multilateral operations, and by encouraging countries to limit future enrichment and reprocessing to multilateral operations.

Regarding an assurance of supply mechanism, I should point out two aspects. The first is that it acts like an insurance policy to make sure that all countries that fulfil their non-proliferation obligations are able to get the fuel and the technology they need, without being subject to extraneous political considerations. Such considerations have been applied in the past.

The second aspect – and perhaps the most important to emphasize – is that this is not an attempt to divide the nuclear community into suppliers and recipients. Rather, the aim of the assurance of supply concept is to establish a mutually supportive international project, in which everyone should work together to ensure that whichever country needs nuclear fuel or reactor technology will get it, provided that certain non-proliferation criteria have been met.

From this perspective, the intent of an assurance of supply mechanism is to enable

countries to make full use of nuclear energy with confidence, and without the need to develop their own capacity for sensitive fuel cycle operations, until the time – I hope soon – when we move to an exclusively international approach to the fuel cycle. It should also be noted that it is intended to be a mechanism of last resort, and is not meant to interfere with the competitive nuclear fuel supply market.

A broad range of ideas, studies and proposals have been put forward on this topic. An important point to note is that none of the sponsors of these proposals for an assurance of supply have suggested that such a mechanism should impact on the inalienable rights of countries to make full use of nuclear energy for peaceful purposes. It should be emphasized that the existence of this mechanism should not alter the right of any State to take its own decision regarding its nuclear fuel cycle.

I would urge you all to remember that, while different countries approach these discussions with different priorities, we will all share in the benefits if we succeed, and we will share the risks if we fail. I trust we all share with Eisenhower his "deep belief that if a danger exists in the world, it is a danger shared by all; and equally, that if hope exists in the mind of one nation, that hope should be shared by all."

Nevertheless, the complexity of the issue raises obvious questions with technical, political and legal dimensions: Who is going to provide the fuel? Who is going to pay for it? Is the fuel going to be under Agency custody?

Where are we going to store the material if the Agency takes custody of it? What will govern liability concerns? Should the assurance only cover the supply of low enriched or natural uranium, or should it also cover the fabrication of uranium into fuel assemblies for reactor use?

What criteria will we use to release the fuel? Who is going to decide in each case? Is it going to be the Director General, or the Board?

These are all questions we need to deal with, working together in close consultation.

The purpose of this Special Event is to consider these and other questions. We will hear presentations on the proposals that have already been developed. But in no sense are we here to choose the best proposal. I doubt that we will even cover all the questions, much less develop all the answers. What I do hope is that the discussions this week will enable the Secretariat to develop a roadmap for consideration by the Board of Governors on the way to move forward.

## The Roadmap

What do I mean by a roadmap?

I would expect, first of all, that the results of these discussions could produce a list and categorization of the important legal, policy and technical issues that require further study.

Second, in some areas, the insights arising from these discussions might serve as guidance to the Secretariat's work. For example, participants might agree to recommend that assurance of supply mechanisms are needed for both the nuclear material itself – low enriched or natural uranium – and for the conversion and fabrication of that material into the fuel assemblies that can be used in nuclear reactors.

Third, I would expect that these discussions would highlight areas of divergent priorities or differing views, in which greater consultation will be required to develop the needed consensus for moving forward. Mahatma Gandhi once remarked that, "Honest disagreement is often a sign of progress." If so, we should not hesitate to clarify those differences of view, the better to work on solutions.

Once ideas stemming from the road map have been further developed, the Secretariat will report to the Board. The goal would be for the Secretariat, with the active involvement of Member States, to develop an assurance of supply proposal for consideration by the Board of Governors as early as possible.



## Conclusion

We are privileged to have with us this year Mr. Charles B. Curtis, the President and Chief Operating Officer of the Nuclear Threat Initiative (NTI) – to serve both as a keynote speaker and as the overall chairman of this Special Event. Previously, Mr. Curtis served as Deputy Secretary of the US Department of Energy from 1994 to 1997. I feel confident that – together with the other participating experts, nuclear industry representatives, and distinguished guests – he will work to make this a constructive and meaningful dialogue. I look forward to your conclusions and recommendations, which will be conveyed later this week to the plenary of the General Conference.

I am pleased to say that last week I received a letter from the Co-Chairmen of the Nuclear Threat Initiative – Mr. Ted Turner and former Senator Sam Nunn, regarding the readiness of NTI to contribute a significant sum to the Agency as seed money to set up an IAEA fuel reserve. Senator Nunn, who is with us today, will be giving you more details, and I do not wish to steal his thunder – but I do wish to express my gratitude for their generosity. I welcome this important initiative by NTI, and I appreciate the spirit behind it, coming on the heels of other initiatives by NTI in the last few years in support of Agency activities. In particular, I find it encouraging to note that civil society is taking a direct interest in these issues so critical to international security.

With these remarks I hereby open the Special Event, and turn the podium over to Mr. Curtis. I wish you well in your deliberations.

## 부록 4. GNEP 전략 계획 (2007년 1월)

### 미국 DOE GNEP 전략계획(Strategic Plan) 개요

- 미국 에너지부(DOE)의 데니스 스퍼전(Dennis Spurgeon) 원자력에너지 차관보는 1월 10일 GNEP 전략계획을 발표.
  - 동 계획은 GNEP의 목적, 원칙 및 이행전략을 구체화하고 있음.
  - 방사성폐기물 문제를 책임 있게 다룸으로서 핵무기 확산의 위험을 차단하면서, 안전하고 배출가스 없는 원자력에너지의 사용을 전 세계적으로 확대하기 위한 방향의 개요를 설명하고 있음.
  
- 스퍼전 차관보는 “미국의 입장에서 GNEP는 훌륭한 정책이며 산업계에도 매우 훌륭한 사업기회를 제공할 것으로 언급.
  - 동 전략계획의 발표는 DOE가 GNEP의 추진에 역점을 두고 있음을 보여주는 것과 동시에 미국이 안전하고 배출가스 없는 원자력발전을 국가 에너지 구성 (energy mix)에 포함시켜야 한다는 필요성을 반증하는 것으로 설명.
  - DOE 산하 국립연구소는 GNEP 관련 연구자를 영입하고 연구시설을 건립하고 있으며, 이번 전략계획은 이들 연구자와 산업계에 GNEP의 비전을 이해하는데 기여할 것”으로 언급
  
- 전략계획은 GNEP 계획 이행을 위한 지침서 성격
  - 미국 정부, 참여국 혹은 산업체의 상황에 따라 필요하다면 수정, 보완 가능
  - 핵연료재처리센터 및 선진 재순환 원자로의 건설과 운영에 관한 DOE의 계획, 선진 핵연료주기 기술개발을 위한 연구개발 프로그램 등을 개괄
  - GNEP의 목표를 안전하고 성공적으로 이행하기 위해 고려해야 할 구체화된 성공기준 제시
  
- 전략계획은 다음을 달성하기 위해 미국이 추구해야 할 방향을 제시
  - 에너지 수요 증가에 대처하기 위한 원자력발전의 확대
  - 플루토늄의 분리 없이 사용후 핵연료 재활용을 위한 선진 핵주기 기술의 개

발, 시험 및 이용

- 초우라늄 방사성물질을 연소하는데 사용할 선진 재순환 원자로의 개발, 시험 및 이용
- 전 세계 안정적 핵연료공급을 위한 서비스 체계 구축
- 전력생산에 적합한 핵확산 저항성 원자로의 개발, 시험 및 이용
- 원자력에너지가 평화적 목적으로만 사용됨을 보장하기 위한 안전조치 체계의 개선

- 전략계획에서 제시되는 기술, 경제성 및 환경영향에 관한 정보는 DOE 장관이 향후 GNEP의 추진과 관련된 재활용 시설의 설계, 건설과 관련된 의사결정 시 활용

GNEP-167312, Rev. 0

**Global Nuclear Energy Partnership Strategic Plan**

---



U.S. Department of Energy  
Office of Nuclear Energy  
Office of Fuel Cycle Management

January 2007

**Table of Contents**

**1.0 Policy** ..... 1

    1.1 Purpose ..... 1

    1.2 Principles ..... 1

**2.0 Implementation** ..... 2

    2.1 Criteria ..... 2

        2.1.1 Proliferation/Safeguards Risk ..... 2

        2.1.2 Proliferation Prevention ..... 3

        2.1.3 Terrorist Threat Reduction ..... 3

        2.1.4 Reduce Repository Burden ..... 4

        2.1.5 Assured Fuel Supply ..... 4

        2.1.6 Capability & Leverage ..... 5

**2.2 Nuclear Technology: Government & Industry Roles** ..... 6

        2.2.1 Required Technology and Facilities ..... 6

        2.2.2 Risks/Benefits ..... 7

**2.3 GNEP Program Technology Action Plan** ..... 7

**3.0 Conclusion** ..... 9

## **GNEP Strategic Plan**

### **1.0 Policy**

#### **1.1 Purpose**

The United States “will build the Global Nuclear Energy Partnership to work with other nations to develop and deploy advanced nuclear recycling and reactor technologies. This initiative will help provide reliable, emission-free energy with less of the waste burden of older technologies and without making available separated plutonium that could be used by rogue states or terrorists for nuclear weapons. These new technologies will make possible a dramatic expansion of safe, clean nuclear energy to help meet the growing global energy demand.”<sup>1</sup>

GNEP seeks to bring about a significant, wide-scale use of nuclear energy, and to take actions now that will allow that vision to be achieved while decreasing the risk of nuclear weapons proliferation and effectively addressing the challenge of nuclear waste disposal. GNEP will advance the nonproliferation and national security interests of the United States by reinforcing its nonproliferation policies and reducing the spread of enrichment and reprocessing technologies, and eventually eliminating excess civilian plutonium stocks that have accumulated.

#### **1.2 Principles**

To enable the expansion of nuclear energy for peaceful purposes and make a major contribution to global development into the 21<sup>st</sup> century, the United States seeks to pursue and accelerate cooperation to:

- Expand nuclear power to help meet growing energy demand in an environmentally sustainable manner.
- Develop, demonstrate, and deploy advanced technologies for recycling spent nuclear fuel that do not separate plutonium, with the goal over time of ceasing separation of plutonium and eventually eliminating excess stocks of civilian plutonium and drawing down existing stocks of civilian spent fuel. Such advanced fuel cycle technologies would substantially reduce nuclear waste, simplify its disposition, and help to ensure the need for only one geologic repository in the United States through the end of this century.
- Develop, demonstrate, and deploy advanced reactors that consume transuranic elements from recycled spent fuel.
- Establish supply arrangements among nations to provide reliable fuel services worldwide for generating nuclear energy, by providing nuclear fuel and taking back spent fuel for recycling, without spreading enrichment and reprocessing technologies.

---

<sup>1</sup> *The National Security Strategy of the United States of America* (March, 16, 2006): 29.

- Develop, demonstrate, and deploy advanced, proliferation resistant nuclear power reactors appropriate for the power grids of developing countries and regions.
- In cooperation with the IAEA, develop enhanced nuclear safeguards to effectively and efficiently monitor nuclear materials and facilities, to ensure commercial nuclear energy systems are used only for peaceful purposes.

## 2.0 Implementation

The need for nuclear energy to play a major role in meeting base load electrical energy requirements is now recognized by most of the world's industrialized nations. Similarly, in the United States there is growing recognition of the need to start building new nuclear power plants as soon as possible and to rebuild our national nuclear infrastructure -- needs supported by both the Energy Policy Act of 2005 and DOE's Nuclear Power 2010 program. This paper outlines an implementation strategy to enable a world-wide increase in the use of nuclear energy safely, without contributing to the spread of nuclear weapons capabilities, and in a manner that responsibly disposes of the waste products of nuclear power generation. First, some key evaluative criteria any GNEP fuel cycle must address are outlined. Second, the GNEP technology requirements for government and industry are discussed, with a focus on those facilities of GNEP to be built and proven in the U.S. Third, a two year GNEP Program Technology Action Plan is outlined.

### 2.1 Criteria

#### 2.1.1 Proliferation/Safeguards Risk

Two parts of the nuclear fuel cycle that have the greatest potential of misuse for the purpose of developing nuclear weapons are the enrichment process and the spent fuel reprocessing/refabrication process. Enrichment facilities typically separate uranium with a U235 content of 2.5% to 5% for use in a nuclear power plant, which is not weapons- useable. However, the same enrichment technology could be used to produce highly enriched uranium that would be weapons useable. Similarly, a reprocessing plant using solvent extraction technology takes used fuel from a reactor and separates the remaining useable nuclear fuel (plutonium and uranium) from other waste products. As long as the fissile materials remain combined with sufficient quantities of non-fissile materials the product is not directly useable as a nuclear weapon. However, the same technology can separate plutonium and could be used for weapons purposes. Safeguarded nuclear power plants do not by themselves present a significant proliferation risk.

The risk of non-peaceful use of the civilian nuclear fuel cycle comes from two principal sources: (1) a nation wanting to advance toward the capability to build nuclear weapons in a shorter period of time and (2) a terrorist group wanting to divert nuclear materials to quickly fabricate and explode an improvised nuclear device or a dirty bomb. GNEP aims to address both of these issues by providing incentives to forego enrichment and reprocessing facilities, and by eliminating over time excess stockpiles of civil plutonium.

### 2.1.2 Proliferation Prevention

Preventing the spread of commercial nuclear technology does not by itself prevent the spread of weapons capability. Several countries that have no commercial nuclear reactors have either developed or sought to develop nuclear weapons; e.g., North Korea or Libya. The plutonium contained in spent fuel discharged from a Light Water Reactor is not considered “weapons grade.” However, plutonium separated from spent nuclear fuel could be fashioned into a weapon and achieve a nuclear yield of some magnitude. Further, both centrifuge enrichment plants and chemical reprocessing plants can be readily adapted from commercial use to weapons use.

For the past 30 years the United States has conducted research to develop advanced methods of reprocessing spent commercial nuclear fuel that might make reprocessing easier to safeguard and more proliferation-resistant. While safeguarding bulk-handling facilities will continue to pose significant technical challenges, advances have been made in developing processes that are easier to safeguard, allow improved materials accountability, are more resistant to terrorist threat, and offer the possibility of placing a much reduced burden on our waste disposal facilities.

However, *there is no technology “silver bullet” that can be built into an enrichment plant or reprocessing plant that can prevent a country from diverting these commercial fuel cycle facilities to non-peaceful use.* From the standpoint of resistance to rogue-state proliferation there are limits to the nonproliferation benefits offered by any of the advanced chemical separations technologies, which generally can be modified to produce plutonium if a nation is willing to withdraw from its Non-Proliferation Treaty (NPT) or violate its NPT or safeguards obligations.

One challenge we face is that all nations that have signed the NPT retain the right to pursue enrichment and reprocessing for peaceful purposes in conformity with article I and II of the Treaty. GNEP seeks to develop advanced fuel cycle technology for civil purposes, centered in existing fuel cycle states that would allow them to provide fuel services more cheaply and reliably than other states could provide indigenously.

### 2.1.3 Terrorist Threat Reduction

In the most general terms, GNEP seeks to eliminate over time excess stocks of separated plutonium and reduce stocks of spent fuel worldwide, thereby strengthening nuclear security worldwide.

In more specific terms, a key objective with respect to any GNEP recycling facility is to deny access to fissile nuclear materials of critical mass that could be readily made into a nuclear device. Supportive policies can be implemented in this regard: (1) minimize transportation; keep fissile materials inside one integrated facility from the time used fuel enters until recycled material leaves; (2) maintain a mixture of fissile material with non-fissile material in a ratio that is not easily useable as a weapon; (3) use advanced safeguards and security techniques; and (4) maintain a goal of minimizing the buildup of, and eventually eliminating, stockpiles of separated civilian plutonium or its near equivalent.



#### **2.1.4 Reduce Repository Burden**

Commercial spent nuclear fuel can either be disposed of directly into a repository (e.g., Yucca Mountain in the U.S.) or reprocessed/recycled and the byproduct high level waste sent to a repository.

The PUREX reprocessing technology currently in use in France and the U.K., for example, has three basic product streams: uranium, plutonium, and vitrified high level waste that includes fission products and minor actinides. Other residues include the cladding hulls, process wastes and some noble gases. (Japan mixes some uranium with the plutonium at the end of their process so no pure plutonium exits in the final reprocessing stage. Both France and a U.S. company have proposed a variant of their process that does not result in a pure plutonium product stream.) The vitrified waste product can be uniform, well characterized and robust. Repository capacity would also be increased through this recycling method (because of the change in the waste form) and the amount of spent fuel to be disposed of would decrease, thus resulting in a double benefit to our waste disposal obligations. The actual volume of that benefit could vary substantially depending on factors such as the length of time the spent fuel is cooled prior to reprocessing. Reprocessing using this proven and currently available technology (light water reactor with a mixed oxide fuel) would offer some minor benefit to the repository but would not meet the GNEP objectives.

The full benefit envisioned for the separations process in GNEP anticipates substantial repository benefits (by separating out all the actinides) and a reduction in liquid process waste. The most significant repository benefits can be achieved by removing the very long-lived minor actinides and recycling them as part of the fuel for fast reactors. To obtain a repository capacity increase ranging from one to two orders of magnitude and allow Yucca Mountain to satisfy our repository needs for the remainder of the 21<sup>st</sup> century it will be necessary to remove and fission through recycle the very long-lived minor actinides. Further repository benefit can be achieved by removing the fission products cesium and strontium from the high level waste stream and allowing them to decay separately. These elements have a relatively short half life and after decay could be disposed of as low level waste. Additionally, removing the technetium and fixing it in a matrix with the cladding hulls could reduce the possibility of this fission product migrating away from the repository area. DOE has been conducting work on processes to achieve all of these additional advanced partitioning objectives as well as work on how to recycle and consume these materials in a fast spectrum reactor. To date these efforts have been carried out as part of the Advanced Fuel Cycle Initiative, and it is proposed to continue this work as part of the broader GNEP initiative. Similar work is being carried out in Japan, France and Russia with promising results.

#### **2.1.5 Assured Fuel Supply**

The U.S. seeks to encourage the world's leading nuclear exporters to create a safe, orderly system that spreads nuclear energy without proliferation. States that refrain from enrichment and reprocessing would have reliable access at reasonable cost to fuel for civil nuclear power reactors.

The implementation of a regime by which nations wanting to enjoy the benefits of nuclear energy without needing to develop the expensive indigenous capability to enrich or reprocess spent nuclear fuel was the subject of an IAEA Special Event on *Assurances of Nuclear Supply and Nonproliferation* on September 19-22, 2006. This event attracted 300 international participants from 61 countries and organizations. A number of proposals were put forward, all having in common that a country choosing to obtain enrichment and reprocessing on the international market should be able to have international assurance that its nuclear fuel cycle requirements will be met. The six-country concept for reliable access to nuclear fuel, the U.S. commitments to support an enriched uranium reserve, and President Putin's initiative on international nuclear fuel service centers are all paths to a common objective of assuring that all nations should be able to enjoy the benefits of nuclear energy without the burden of investing in expensive enrichment and reprocessing facilities.

The implication for the U. S. is that if we are going to participate in assuring access to nuclear fuel, and in the longer term, spent fuel services, to these countries as they enter the nuclear arena, the U.S. must have the capability to provide the needed fuel cycle services – capability that we do not currently possess. Our fuel cycle technology should also build our ability, and those of our partners, to establish and sustain “cradle to grave” fuel service or leasing arrangements over time and at a scale commensurate with the anticipated expansion of nuclear energy by helping in a major way to solve the nuclear waste challenge.

#### **2.1.6 Capability & Leverage**

The GNEP vision has been well received by the international nuclear community, particularly among the leading fuel cycle states. Sustaining and building on that enthusiasm depends upon the U.S. ability to get back in the commercial nuclear business and assume an active role. Participating fully in that business is essential in order to shape the rules that apply to it. The nuclear capability of the U.S. has atrophied over the past 30 years since the last nuclear plant construction permit was issued. We no longer have the capability to forge the ingots needed to fabricate major nuclear reactor components. Whereas, the U.S. was once the unquestioned leader in enrichment technology we currently meet only a portion of our domestic demand with outdated technology, and we depend on foreign sources for more than 80% of our enriched uranium requirements. We have no domestic commercial fuel recycling facilities, no operating fast- or gas-cooled reactors and no operating high level nuclear waste repository. Further, each year less and less of the nuclear material in international commerce is of U.S. origin and therefore subject to U.S. consent over its transfer and use.

However, we still have more operating nuclear reactors than any other nation; we have a vision of a future world that can universally enjoy the benefits of safe, economical, emission-free energy; and we have programs and plans to put the U.S. back in the nuclear energy game in a leadership role. Access to our market is itself a form of leverage. However, much international interest in GNEP and the resurgence of U.S. leadership is predicated on the assumption and belief that the United States will follow its words with concrete actions. Prospective partners await congressional action on the GNEP budget and will in part gauge the responsiveness of their actions by it.

Funding for GNEP is absolutely essential; how we spend those funds and how we leverage them to achieve the greatest effect is an equally important issue. In one sense, GNEP must be more than an R&D program. No matter how successful our laboratories and universities may be in solving the remaining fuel cycle technology issues, GNEP must build facilities that have true *commercial* value in order to succeed. If GNEP ends 15 or so years from now with nothing but test facilities in use at our national laboratories, then how do we make international “cradle to grave” fuel cycle services envisioned by the preceding section of this paper? In another sense, it is the responsibility of *government* to demonstrate for industry the feasibility of closing the fuel cycle in a time frame and manner that can achieve the GNEP vision. The challenge is to design the *incentives and controls* to implement our technology pathway that can reconcile these competing imperatives.

## 2.2 Nuclear Technology: Government & Industry Roles

### 2.2.1 Required Technology and Facilities

There are three facilities<sup>2</sup> required to implement and thus affirm our commitment to GNEP: (1) a nuclear fuel recycling center to separate the components of spent fuel required by GNEP; (2) an advanced recycling reactor to burn the actinide based fuel to transform the actinides in a way that makes them easier to store as waste and produces electricity; and (3) an advanced fuel cycle research facility to serve as an R&D center of excellence for developing transmutation fuels and improving fuel cycle technology.

The pursuit of these three facilities constitutes a pathway with two complementary components. The first component, the nuclear fuel recycling center and the advanced recycling reactor, would be led by industry with technology support from laboratories, international partners, and universities. The second component, research and development led by the national laboratories, would include the advanced fuel cycle research facility funded by the Department and located at a government site. The two components would work closely together to move GNEP forward by integrating the national laboratories’ capabilities with the needs of industry.

Sodium-cooled fast reactors suitable for adaptation as advanced recycling reactors already exist and there are proven separations processes. But there is a great deal of new technology that is needed to fully implement GNEP, and much of that technology can and must be developed at our national laboratories and universities in cooperation with *similar international institutions*. However, to effectively bring GNEP into the commercial application we need to engage industry now. Through submittal of Expressions of Interest, industry has indicated not only its support for GNEP, but a potential willingness to invest very substantial sums of private money to build and operate GNEP fuel cycle facilities. At this early point, it should be recognized that potential industry participants have expressed interest, but certainly have made no commitments or fully explained what strings they might wish to attach to their participation. Nonetheless, a *GNEP goal is to develop and implement fuel cycle facilities in a way that will not require a large amount of government construction and operating funding to sustain it*. However, GNEP will

---

<sup>2</sup> These facilities are referred to in other project documentation as the Consolidated Fuel Treatment Center (CFTC), the Advanced Burner Reactor (ABR), and the Advanced Fuel Cycle Facility (AFCF), respectively.

also require a significant federal investment in supporting R&D and incentives to ensure that the long-term goals are sustainable

### **2.2.2 Risks/Benefits**

GNEP will have lasting benefits at home and abroad and also presents both technological and political risks. However, there are greater risks without GNEP.

The magnitude of this effort is large and involves significant domestic political challenges, as well as a substantial international effort. In the United States, difficulties in effectively dealing with spent fuel will plague the government from a liability standpoint, and impede growth in both the nuclear-generated electricity industry and energy security. Abroad, the anticipated nuclear growth will likely be widespread and allow the continued accumulation of separated plutonium for decades that could be misused by rogue-states.

Technical challenges remain for the implementation of the closed-fuel cycle as envisioned under GNEP. Many of the technologies essential for the successful implementation of GNEP have been demonstrated at laboratory and bench scale. But uncertainties – such as scaling up the chemical separations for the recycle process, or fabricating and qualifying the transmutation fuel for the advanced burner reactor – exist and require consideration. These technical risks warrant continued R&D and technology development for GNEP.

A government-industry partnership is required to implement GNEP. The approach outlined here requires expanded involvement of industry in the design of facilities in preparation for expansion to commercial scale. The approach is to define a technology roadmap to resolve those uncertainties in conjunction with assets available to the government (i.e., National Laboratories, universities, and international partners), but does so in a way that obviates the need to build engineering scale facilities. The government would necessarily define its requirements through contractual means to ensure commercial operation sustains policy goals. The ability of industry to execute the requirements set forth by the government and to demonstrate progress will require careful monitoring and control. This would ensure additional risks are identified in a timely fashion.

Thus, if successful, the approach could reduce overall costs, and increase the speed of arriving at a commercially operated system of prototype GNEP facilities, without significantly increasing programmatic risk.

### **2.3 GNEP Program Technology Action Plan**

The objective of this GNEP technology and facilities implementation plan is to harness and coordinate the strengths, capabilities and resources of industry, national laboratories, universities, and international partners with the clear objective of getting commercial scale facilities that accomplish our GNEP vision into use as quickly and economically as possible. At the core of this effort will be the development of a sound, achievable business plan. The task for the next two years is to assemble the requisite technology, economic and environmental information that can present a convincing case for a path forward to commercial scale facilities that can be approved by the Secretary of Energy in a Record of Decision. Specific programmatic actions

planned (subject to funding, risk and project management processes specified in DOE Orders<sup>3</sup>) to reach this decision-point include:

- **Obtain input from U.S. and international industries and governments on how best to bring the needed GNEP facilities into being, what technology and policy issues must be resolved, and what business obstacles must be overcome.** (In the U.S., the line between government and industry is quite clear, but internationally there may be little or no distinction.) This process has already begun with the receipt of responses to DOE's request for Expressions of Interest in commercial scale fuel treatment and fast reactor facilities. These initial responses suggest that there is substantial industry interest in building and operating such facilities, and in doing so with private money and at their own risk under the proper circumstances. Separately, there appears to be genuine interest in an international fast reactor construction program.
- **Develop a detailed GNEP technology roadmap for demonstrating solutions to the remaining technical issues in order to support commercial GNEP facilities. Inform and adjust this roadmap with input received from industry, international partners, and the policy community.** Carry out the technology development work principally in existing U.S. national laboratory facilities, universities, in a advanced fuel cycle research facility and in the facilities of our international partners. Internationally, we will use existing Generation IV International Forum agreements, I-NERI agreements and new bilateral or multilateral agreements as appropriate.
- **Pursue industry participation in the development of conceptual design and other engineering studies that support both a nuclear fuel recycling center and an advanced recycling reactor.** For the nuclear fuel recycling center, the designs would be expected to show, for example, not only what can be built with proven technology (no pure plutonium) but also how the facility would be designed to operate, incorporate and expand using advanced separations modules as they are proven (i.e., minor actinide recycle, Cs and Sr separation, Tc stabilization, etc.). Further, the designs would be expected to meet proliferation resistance, security, waste management, and other important requirements.
  - A majority of the construction cost and schedule (site preparation, fuel receipt and storage, shearing, dissolution, waste treatment, effluent control, etc.) of the nuclear fuel recycling center is associated with known technology. The processes yet-to-be-proven involve small volumes of material but also define the components of programmatic risk. Further, in a chemical separations plant it is possible to make provision to insert new or modified separations modules.
- **Prepare a programmatic GNEP Environmental Impact Statement.** Fund several siting studies at locations that submit proposals to host nuclear fuel recycling center and/or advanced recycling reactor facilities and develop environmental data for these sites.

---

<sup>3</sup> e.g., DOE Order 413.3 on Program and Project Management for the Acquisition of Capital Assets.

- *No later than June of 2008, prepare a decision package for the Secretary of Energy to proceed with a government-industry partnership to build a nuclear fuel recycling center and a prototype advanced recycling reactor, assuming that:*
  - A credible technology pathway has been developed and satisfactory progress has been made in its implementation;
  - a credible business plan exists;
  - there is reason to believe that a government-private partnership can be formed to build the GNEP facilities that is in the best interests of all parties;
  - relevant NEPA requirements are satisfied; and
  - nonproliferation criteria are defined and met.

In addition, an advanced fuel cycle research facility would be built on a government site to serve as a long-term center of excellence for developing transmutation fuels and improving fuel recycle technology. Further, in parallel with the design and construction of this facility, we should be well along in the development of a program of advanced simulation and modeling for the nuclear fuel cycle and reactor design that has the potential to revolutionize the way the next generation of facilities, beyond GNEP, are designed, built and regulated.

### 3.0 Conclusion

In sum, we propose to proceed in parallel to: (1) build and operate nuclear fuel recycling center and advanced recycling reactor facilities using the latest commercial technology available after final designs are validated (as soon as possible after the Secretary of Energy's decision in 2008), and (2) continue an aggressive R&D program to complete development of advanced spent fuel separations techniques and transmutation fuel fabrication and recycle technologies and develop validated simulation and computation techniques to advance the development and approval of fuel cycle technology. The parallel activities will have strong cross-connections with industry-requested technical information provided by R&D according to the technology roadmap.

A nuclear fuel recycling center would be designed to incorporate the advanced separations and fuel fabrication modules, with construction scale paced by success in the R&D validating these modules and the prospect for use of separated product as fuel in fast reactors. The output of a nuclear fuel recycling center would be fuel including transuranics for fast spectrum reactors. It would not produce MOX for Light Water Reactors. Once the nuclear fuel recycling center is approved to accept spent fuel, shipments of fuel could begin from utilities, which would be a significant step in providing confidence in our nation's ability to meet its nuclear waste management responsibilities.

A prototypical advanced recycling reactor would aim to reduce capital and operating costs in order to economically produce electricity while consuming plutonium and other transuranics. R&D would continue on technology for recycling used transmutation fuel for further burning in

an advanced recycling reactor, with one goal being to minimize the risk that such facilities would be abused to produce pure plutonium.

It is reasonable to expect that in the decade or more that design, approval and construction of these “base technology” facilities would take place, we can successfully prove and incorporate the vital actinide separations steps and develop and qualify a minor actinide bearing fast reactor fuel. Even if the advanced R&D effort was not fully successful or is delayed, we will still have made proven advancements over facilities in operation elsewhere in the world and could make a policy judgment at that time how best to proceed. Our current focus is on making the integrated GNEP system work.

The advantage of the parallel approach is that the U.S. could save nearly a decade in time and a substantial amount of money, while still engaging and reinvigorating the nuclear community with new facilities and continued long-term R&D. Development by the U.S. of a credible program for construction of commercial fuel cycle facilities is a critical element of a strategy to convince any other nation considering beginning a nuclear energy program that they can rely on the U.S. for any of their fuel cycle needs. Making the U.S. a player in fuel cycle technology is vital to fulfilling the GNEP vision.

## 표 목차

1. 표 1. 핵연료 공급보장안 비교 .....	32
2. 표 2. 핵연료 공급보장안 특징 .....	33
3. 표 3. CFTC 후보지 .....	38

## 그림 목차

1. 미국 에너지원별 비율 .....	6
2. GNEP의 핵연료 순환 과정 .....	8
3. 고속 연소로의 개념도 .....	10
4. 유카산 전경 .....	11
5. 핵연료 공급 프로그램 개요 .....	12
6. GNEP 의 핵확산 저항성 .....	15
7. 세계 핵연료 주기 단계별 공급가능 국가 .....	50
8. 핵연료 주기 시험시설 개요 .....	59