

Multilateral Approaches to the Back-end of the Nuclear Fuel Cycle: Challenges and Possibilities

후행 핵연료주기의 다자 방안 분석

Ho Jin Ryu¹⁾

Korea Atomic Energy Research Institute, 1045 Daedeokdaero, Yuseong-gu, Daejeon

류호진¹⁾

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

(Received April 26, 2010 / Revised August 10, 2010 / Approved December 07, 2010)

Abstract

Various multilateral approaches to the nuclear fuel cycle have been proposed in order to suppress the expansion of sensitive fuel cycle technology. In order to prepare for the future multilateralization of the nuclear fuel cycle, existing multilateral spent fuel management programs are analyzed. A trial multilateralization of a domestic R&D facility for the back end of the nuclear fuel cycle is proposed and its challenges, possibilities and implementation strategy are discussed.

Key words : Multilateral approach, nuclear fuel cycle, spent fuel, non-proliferation

요 약

원자력의 중흥기를 맞이하여 민감한 핵연료주기 기술의 무분별한 확장을 억제하고자 다양한 핵연료주기 다자 방안이 제시되고 있다. 현재 원자력 공급국 위주의 핵연료주기 다자화가 추진되고 있는 실정에서 후행 핵연료주기 기술의 다자화 추진 추이를 파악하고자 사용후핵연료 공동 관리 시설에 대한 분석 결과를 검토하였다. 또한 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화를 제안하고 기대효과와 문제점을 검토한 후 이를 실현하기 위한 추진방안을 도출하였다.

중심단어 : 다자 방안, 핵연료주기, 사용후핵연료, 핵비확산

I. 서론

핵확산을 억제하고 원자력의 평화적 이용을 보장하기 위한 핵연료주기 다자 방안(multilateral approach)은 국제원자력

기구(IAEA)의 태동기부터 논의되어 온 주제이며 현재까지도 핵연료주기 분야에서 주요한 논의 대상이 되고 있다. IAEA는 1970년대부터 지역 공동 핵연료주기 센터(Regional Nuclear Fuel Cycle Centers)를 설립하면 핵확산을 억제하고 재처리

1) Corresponding Author. E-mail : hjryu@kaeri.re.kr

시설 보유 필요성을 저감시키며 소규모의 원자력 프로그램을 시작하려는 국가들에게 경제적 이익을 줄 수 있다는 연구 결과를 발표한 바 있다[1].

또한 IAEA는 민간 재처리와 플루토늄 활용을 억제할 수 있는 방안을 도출하기 위해 국제 핵연료주기 평가(International Fuel Cycle Evaluation, INFCE) 프로젝트를 착수하고 국제 플루토늄 저장(International Plutonium Storage) 전문가 그룹과 국제 사용후핵연료 관리(International Spent Fuel Management) 전문가 그룹을 구성하여 연구를 수행하였다. 플루토늄 저장 전문가 그룹에서는 원자로에서 사용하기 위한 필요량 이상의 초과 플루토늄은 국제적 관리 아래에 두고 요청 국가가 특정 조건에 부합할 때만 방출해 주는 방안을 도출한 바 있다[2]. 한편 사용후핵연료 관리 전문가 그룹에서는 사용후핵연료를 한 장소에 공동 저장하는 방안을 활용하면 소량의 사용후핵연료를 방출하는 국가들이 저장 비용을 절감할 수 있을 것이라고 분석하였다[3].

최근 IAEA는 핵연료주기의 다자 방안 전문가 보고서를 통해 다음 5단계의 점진적 접근방안을 제시하여 관련 논의를 다시 활성화시킨 바 있다[4].

1. 기존의 핵연료주기 시장의 안정성 및 투명성 강화
2. IAEA의 참여 하에 국제적 공급 보장 수행
3. 기존 시설을 다자 관리체제로 전환하도록 장려
4. 신규 시설에 대해 공동 소유, 공동 운영을 기반으로 하는 다자 방안 개발
5. 지역 또는 대륙별 강화된 다자 관리체제의 개발

IAEA의 제안에 이어 다양한 다자 방안들이 제안되고 있으나, UN 군축연구소의 최근 분석에 의하면 대부분의 제안이 공급국 위주의 제안이기 때문에 수요국은 이를 불공평한 기술 진입 차단이라고 인식할 수 있다는 점이 지적된다[5]. 국제 핵비확산 군축 위원회 역시 핵연료주기 다자화의 중요성을 인정하고 있으나 이를 실행에 옮기는데 다음과 같은 세가지 주요 장애물이 있음을 분석하였다[6]. 첫째는 대부분의 제안이 공급국과 수요국 간의 차별을 영속화할 수 있다는 것이다. 따라서 수요국의 입장을 적극적으로 반영할 필요성을 역설하였다. 둘째는 대부분의 제안이 IAEA의 안전조치를 수용하지 않거나 NPT에 가입하지 않고 있는 국가들을 배제하고 있기 때문에 현재 문제가 되고 있는 이란과 같은 국가들에게 영향을 줄 수 없다는 점이다. 세번째는 공급 보장이나 핵연료 은행과 같은 제안들은 원자력 프로그램을 확대하고자 하는 국가들에게 고유 핵연료주기 기술개발을 포기할 정도로 충분한 장려책이 되지 못한다는 점이다. 따라서 다자 방안과 수요국

의 권리 포기를 결부시키기 보다는 자체 기술 개발에 필요한 수고와 비용을 감소시켜주는 방향으로 접근하고, 수요국들이 소유 및 운영, 의사결정, 이익배분에 동참할 수 있도록 하며, 사용후핵연료의 반환 및 저장, 처리, 처분 서비스와 같은 후행 핵연료주기를 다자 방안에 포함시키는 것이 바람직하다는 공감대가 형성되고 있다.

선행 핵연료주기의 다자 방안은 최근 러시아의 국제 우라늄 농축센터에 유치된 핵연료 은행 형태로 가시적인 진전이 나타나고 있다[7]. 그러나 후행 핵연료주기에 대해서는 아직 뚜렷한 성과가 나타나지 않고 있다. 지금까지 제시된 많은 다자 방안이 선행 핵연료주기에만 머물러 있는 것은 신규 원전 도입국가들에게는 선행 핵연료주기가 후행 핵연료주기보다는 시급한 문제이기에 선행 핵연료주기부터 단계적으로 접근하려는 경향때문이며, 또한 일부 국가에서 핵연료 공급 보장 또는 자체 우라늄 자원 활용을 빌미로 자체 농축을 시도하는 것 때문이라고 분석되고 있다[8]. 미국의 GNEP (Global Nuclear Energy Partnership)이나 러시아의 GNPI (Global Nuclear Power Infrastructure) 등과 같은 제안에 포함되어 있는 사용후핵연료의 반환(take back)은 해외 방사성폐기물의 반입에 대한 정치적인 반감으로 인해 추가 논의에 뚜렷한 진전이 없는 상황이다[9]. 미국의 오바마 정부는 오히려 Yucca Mountain 처분장 건설과 재처리 시설 도입을 재검토하고 있는 실정이다. 러시아 역시 과거에는 구 소련 국가들의 사용후핵연료를 받아준 바 있으나 현재는 국제 처분장을 제공하려는 정부의 제안을 의회에서 반대하고 있다. 프랑스와 같이 상용 재처리 서비스를 제공하는 국가들은 재처리 후 발생하는 고준위폐기물을 원래 국가로 반송하는 것을 원칙으로 하고 있다. 따라서 소규모 원자력 국가들이 연합하여 지역 공동 처분장을 설립하는 방안을 고려해야 할 필요성이 대두되고 있다[10].

핵연료주기의 다자 방안에 주도적인 일부 공급국을 제외한 대부분의 국가들은 원칙적으로는 다자 방안에 찬성하지만 그로 인하여 평화적인 원자력 이용 기술 개발까지 제한받을 것을 염려하고 있다. 핵연료주기의 다자 방안에 대한 한국의 공식적인 견해는 2009년 6월 IAEA에 제출된 제안에 반영되어 있다[11]. 한국은 핵연료주기의 다자 방안이 성공하기 위하여 다음과 같은 기준을 고려하는 것이 중요하다고 제안하였다.

- 다자 방안이 기존 핵연료 공급 시장 시스템을 방해하거나 왜곡시켜서는 안되며 공급과 수요의 시장 원리를 고려해야 함
- 경제적 타당성을 가진 국가에 대한 기술 개발 제한은 현

재 공급국 체계를 영속화할 수 있다는 점을 지적하고 핵
비확산 및 안전조치 의무를 준수할 경우 평화적으로 원자
력을 활용할 수 있는 권리를 누릴 수 있음을 강조함

- 사용후핵연료 누적 문제와 민감성을 고려할 때 후행 핵연
료주기의 다자 방안도 강조되어야 하며 국제 재처리/재
활용 센터의 개념을 지지함
- 민감 핵연료주기 시설을 추구하지 않는 것에 대하여 경제
적인 가격에 핵연료를 공급할 것을 보장하고, 사용후핵연
료 재활용을 포함한 전 핵연료주기에 걸친 서비스를 제공
하는 것과 같은 장려책을 기반으로 접근하는 것이 바람직
함
- 핵무기 보유 국가들과 원자력 공급국들이 보다 많은 노력
과 재정적 책임을 부담하고 핵무기 보유국가들이 핵무기
감축을 통해 확보되는 고농축 우라늄을 국제 핵연료 은행
에 기부할 것을 제안함

향후 실현 가능성이 있는 핵연료주기의 다자 방안에 대
비하기 위해서는 원자력 주도국들이 추진하는 관련 활동
들을 면밀히 추적하고 적절한 대응책을 준비하는 것이 바
람직하다. 그러기 위해서는 핵연료주기 분야 별로 다자 방
안을 도입할 경우의 장, 단점을 파악하고 국내 실정에 부합
하는 대안을 도출하는 것이 필수적이다. 또한 일부 분야에
서 시험적으로 초기 단계의 다자 방안을 도입하여 그 영향
을 평가하고 경험을 비추하는 것도 대비책이 될 수 있다.
그러나 상업화된 핵연료주기 분야에서 다자 방안을 수행
하는 것은 단기간 내에 성사되기 어려울 것으로 보이므로
먼저 연구개발 분야에서부터 단계적으로 도입하여 향후에
발생할 수 있는 문제점을 파악하는 것이 바람직하다고 판
단된다.

본 연구에서는 후행 핵연료주기 연구개발의 다자화에
대한 분석을 위해 후행 핵연료주기 분야에서 심층 연구를
수행한 IAEA 및 유럽처분장개발기구의 공동 처분장 연구
결과를 분석하여, 한국의 후행 핵연료주기 연구개발 분야
에서 다자 방안을 도입할 경우의 기대 효과와 문제점을 분
석해 보았다.

II. 사용후핵연료 공동 관리 시설 연구 결과

가. IAEA의 사용후핵연료 공동 관리시설 연구

IAEA는 사용후핵연료 공동 저장 시설 및 공동 처분 시설에
대한 전문가 분석을 수행한 바 있다[12,13]. IAEA보고서는 후
행 핵연료주기를 다자화할 경우에 기대되는 효과에 대해 비
교적 긍정적인 결론을 내리고 있다. Fig. 1은 사용후핵연료

공동 저장시설의 개념도를 나타내고 있다. 이 개념도에서는
사용후핵연료 저장시설을 유치하는 국가와 저장을 의뢰하는
국가 간의 사용후핵연료 및 고준위폐기물의 이동 경로에 따
라 3가지 방안을 가정하고 있다. 이와 같은 사용후핵연료 공
동 저장시설에 대한 검토 결과 기술적, 경제적, 제도적으로는
실행에 문제가 없으며 기대되는 유익이 많은 것으로 분석하
였다. 기술적으로는 설계를 최적화하고 품질 및 안전 수준을
향상시킬 수 있을 것으로 보였고, 경제적으로는 다수의 저장
시설 대신 집중된 저장 시설을 건설할 경우 건설 및 관리 비
용을 절감할 수 있을 것으로 보았다. 또한 민감 핵물질 관리
면에서 투명성을 제고할 수 있으며 핵확산저항성 및 물리적
방호 수준을 향상시킬 수 있을 것으로 기대하였다. 그러나 가
장 극복하기 어려운 장애물은 공동 저장 시설을 유치하는 국
가가 극복해야 할 정치적, 사회적 저항이 될 것으로 예상하였
다.

공동 처분장의 경우 처분장 건설 계획이 없는 국가들이 안
전하게 사용후핵연료를 처분할 수 있도록 하여 사용후핵연료
관리면에서 안전성과 보안성을 향상시킬 것으로 기대하였다.
그러나 공동 처분장을 실행에 옮기기 위해서는 보안, 환경,
기술, 법과 제도, 정치 사회적 요구조건들이 충분히 준비되어
야 함을 언급하였다.

나. 유럽처분장개발기구의 공동 처분장 연구

후행 핵연료주기의 다자 방안 중 심도있게 연구된 예로는
제6차 유라툼 연구 프로그램(FP6)의 일환으로 진행된
Strategic Action Plan for Implementing European Regional
Repositories (SAPIERR) 프로젝트를 들 수 있다[14].
SAPIERR는 2008년까지의 연구결과를 통해 유럽 처분장 개
발기구(European Repository Development Organization,
ERDO)의 설립에 대하여 논의하였고 현재는 ERDO 설립을

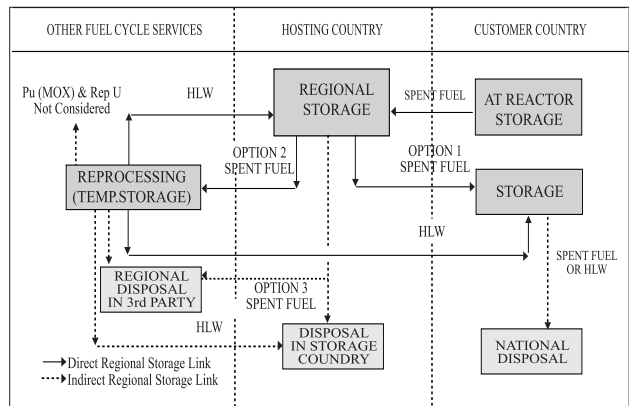


Fig. 1. A spent fuel flow chart in a regional spent fuel management system[13].

위한 실무그룹을 구성하여 운영하고 있다. SAPIERR 프로젝트를 통하여 사용후핵연료 공동 처분장의 장단점이 보안성, 환경영향, 경제성, 기술성 측면에서 표 1과 같이 분석되었다.

위와 같은 사용후핵연료 공동 관리 방안에 대한 상세 검토 결과 다음과 같은 사항을 고려해야 함을 알 수 있었다. 법적으로는 참여국가 간 법적인 책임한도에 대한 협상이 필요하며 장기간 동안 다자 제도를 유지할 수 있는 방안을 마련해야 한다. 재정적으로는 시설 건설을 위한 재정 확보 및 비용 분배, 적절한 재정 집행과 감독, 사후처리 충당금 마련 방안, 운영 비용 및 수익을 분배하는 방안에 대한 합의가 필요하다. 대중 수용성에서는 유치 지역 및 유치 국가의 정치적, 사회적 반감을 극복할 수 있도록 유치 지역과 국가에 혜택을 제공할 수 있는 방안을 마련해야 한다. 사용후핵연료 관련 다자 방안에서 사용후핵연료를 폐기물로 간주하느냐 자원으로 간주하느냐에 따라 경제성 평가의 불확실성이 많이 나타난다는 점은 지속적인 논의가 필요한 과제가 되고 있다[15].

IAEA의 연구결과는 개념 검토에 그치고 있는 반면에 SAPIERR 프로그램의 결과로 형성된 실무 그룹은 유럽처분장개발기구(ERDO)를 설립하고자 하는 구체적인 노력을 수행하고 있으므로 관련 활동의 추이를 면밀히 추적, 관찰할 필요성이 있다고 판단된다. 또한 SAPIERR의 접근 방안은 다자 방안을 적용하기 위해서는 실무 그룹을 먼저 구성하는 것이 바람직함을 제시해 주는 예가 될 수 있다.

다. 아시아 지역 핵연료주기 다자화 연구

IAEA의 분석 결과와 SAPIERR의 분석 결과를 통하여 핵연료주기 시설을 다자화하려면 다방면의 분석과 협의를 통한 복잡한 절차가 요구됨을 알 수 있으며 그로 인하여 단기간 내에는 실현되기가 힘들다는 것을 알 수 있다. 핵연료주기 시설의 다자화는 유럽과 같이 지역내 협력에 의해서 구현될 수도 있다. 이미 일본의 일부 학자들은 동아시아 지역에 국제 사용후핵연료 저장시설, 국제 처분장 연구 센터 등을 설립하자고 제안한 바 있다[16]. 이들은 아시아-태평양 지역에서 다자 핵연료주기의 중심 국가로서의 역할을 기대하며 일본을 중심으로 EURATOM과 유사한 지역내 원자력 협력 체제인 ASIATOM 또는 PACATOM을 아시아 지역에도 설립자는 제안을 발표한 바 있다. 최근에는 Kuno와 Choi 등이 Nuclear Fuel Cycle Network for Asia-Pacific 개념을 개발하고 있다[17]. Choi 등은 한국의 경우 지역간 협력 체제로 인하여 다른 국가들에게 원자력 기술, 재정 지원, 안전 훈련, 연구개발 등의 제공할 수 있으며, 국제적 투명성을 제고하여 한국 내에서 개발되고 있는 핵연료주기 기술에 대한 우려를

불식시킬 수 있을 것으로 보았다. 또한 핵연료 공급의 보장이 더욱 확대되며, 사용후핵연료 저장 및 처분 문제 해소에도 기여할 것이라 예상하였다[18].

동아시아 지역에서의 다자간 원자력 협력체제를 실행하기 위해 단계적인 접근 방법은 Whang 등에 의해 제안된 바 있다[19]. Whang 등은 지금까지 제안된 국제 활동들이 참여국간의 상호 신뢰의 기반 없이 획일적인 핵비확산 체제를 도입하려고 하고 장려책이 없는 의무만을 강요했기 때문에 실패하였다고 지적하고, 상호 신뢰 증진과 장려책을 통한 자발적 참여가 중요함을 강조하였다. 이 연구에서 제안된 3단계 접근방안은 지역내 원자력 현안을 해결할 수 있는 원자력 단지를 설립하고 상호 협력 확대를 위한 동아시아 전문가 협의체를 구성하는 단기적 방안, 원전 신규 도입 국가들에게 원자력 시스템 및 핵연료주기 관리체제를 제공하기 위한 지역내 협력 시스템을 구축하는 중기적 방안, 제4세대 원전 기술의 상용화를 위해 협력체제를 구축하는 장기적 방안으로 구성되었다. 여기서 제안된 개념을 활용하여 아시아 지역내 원자력 단지를 핵연료주기 연구개발 시설을 중심으로도 설립할 수도 있을 것이다. Goldschmidt는 한국이 국제 투명성을 제고하기 위해 후행 핵연료주기 관련 시설을 다자 관리 하에 건설하고 운영하는 것을 고려하겠다는 의사를 비공식적으로 밝힌 바 있다고 보고한 바 있다[20].

III. 후행 핵연료주기 연구개발 분야의 다자화 사례 및 추진방안

가. 관련 사례 분석

① DUPIC (Direct Use of Spent PWR Fuel in CANDU Reactors)

한국의 후행 핵연료주기 연구 중 여러 국가가 참여한 공동 연구 사례로는 한국원자력연구원에서 수행한 DUPIC 핵연료 개발 연구를 들 수 있다[21]. DUPIC은 경수로 사용후핵연료를 건식 재가공하여 중수로에 재활용하는 핵연료주기 개념으로 현재로서는 국내에서 실제 사용후핵연료를 사용하여 핫셀 내 실험을 수행할 수 있는 유일한 연구이다. 캐나다, 미국, IAEA가 공동으로 연구에 참여한 바 있으나 각자 연구를 개별적으로 수행하고 정기적으로 과제 기획 및 결과 발표로서 정보교환을 수행하고 계획에 대한 의견 교환을 하는 것으로 느슨한 형태의 다자 협력을 경험한 것이라고 할 수 있다. 이를 통하여 참여국의 정책 변화에 따른 참여도 변화 시 대응방안, 공동 개발 기술에 대한 지적 재산권의 소유 및 실시 문제, 연구개발 자금의 지속적인 분담 방안 등이 다자 연구개발의 효과적인

운영에 필요함을 경험할 수 있었다.

② 유럽

유럽에서는 EURATOM의 공동연구개발 프로그램이 지속적으로 진행되어 후행 핵연료주기에 대한 다국가 간 공동연구가 활성화되어 있다. 핵연료주기 관련 연구기관 간의 네트워크로는 악티나이드 관련 연구를 협력하는 ACTINET이 운영되고 있다[22]. 또한 유라툼 7차 연구개발체계(FP7)에 의해 진행되고 있는 ACSEPT (Actinide reCycling by SEparation and Transmutation)는 후행 핵연료주기 중 핵종 분리에 대해 공동연구과제를 수행하기 위한 공동 연구 조직이다[23]. 또한 EC는 핵연료주기 관련 연구 시설을 공유하는 별도 조직으로 EC Joint Research Center 소속의 Institute for Transuranium Elements (ITU)와 같은 공동 연구소를 운영하고 있어 후행 핵연료주기 연구개발의 다자화에 있어서 앞서나가고 있으며 동아시아 지역에 있어서도 모델로 삼을 수 있는 좋은 선례를 가지고 있는 것으로 판단된다.

나. 구체적 추진방안

① 연구개발 시설 다자화 방안

본 논문에서는 지금까지 논의된 바를 바탕으로 향후 국제 규범으로 도입될 가능성이 있는 핵연료주기 다자화에 대비하기 위하여 국내 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화를 추진할 것을 제안하고자 한다. 교육, 훈련이나 안전, 규제 분야도 다자화를 추진할 수 있는 영역이지만 지금까지 국제 공동 네트워크를 통해 진행된 이 분야의 협력 결과는 소프트웨어의 공유와 인적 교류에 중점을 두고 있어 핵연료주기의 다자화와는 약간 거리가 있는 것으로 판단된다. 하지만 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화는 핵물질 관리와 시설 및 장비 운영 등 하드웨어 공유와 관련된 실무를 경험할 수 있는 기회가 될 것이다. 또한 GEN-IV International Forum (GIF)나 IAEA의 INPRO와 같은 국제 포럼들은 차세대 원자력 시스템에 대한 참여국의 각국의 연구 결과를 공유하고자 노력하고 있으나 핵주기 시설 공동 운영과 같은 다자화 분야는 논의 대상에서 빠져있는 실정이다. 그러나 핵연료주기 연구개발 분야 중에서 산업체가 주도하고 있는 분야는 민감한 상업적 이해관계로 인해 여러 국가의 원만한 참여를 기대하기 어려우므로 장기적인 국제 공동 연구개발이 필요한 분야를 다자화 추진 대상으로 하는 것이 바람직할 것이다. 국내에 설립된 후행 핵연료주기 연구개발 시설은 대부분 장기적이고 국제적인 공동연구가 필요한 특성을 가지고 있으며 그 예로서는 한국원자력연구원에 구축된 건식공정 연구개발 시설 (DUPIC 핵연료 제조 시설 및 전해 환

원 연구시설), 재순환 핵연료 연구개발 시설 (고속로용 금속 핵연료 제조시설), 고준위폐기물 지하처분 연구시설 등을 들 수 있다.

② 기존 개념과의 차별성 및 기대 효과

현재 후행 핵연료주기 분야의 연구는 한 국가에서 단독으로 해결할 수 없는 장기적이고 전지구적인 과제로서 구체적인 국제 협력이 필수적이라는 공감대가 형성되어 있다. 그러나 후행 핵연료주기의 다자화는 아직 구체적으로 논의되지 않고 있어 다자 개념이 일부 실현되고 있는 선행 핵연료주기 분야에 비해서 접근이 단순하지 않다는 사실을 반영하고 있다. 하지만 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화 개념은 기존 개념에 비해 우리나라가 주도권을 가지고 추진할 수 있으며 비교적 이른 시기 내에 실현 가능한 방안으로 판단된다. 핵연료주기 연구개발 시설은 국가의 지원을 받는 연구기관이 주관하고 있기 때문에 다자화 추진 시 관리와 운영의 책임을 명확히 할 수 있으며 다자화를 위하여 새로운 조직을 구성할 필요가 없다. 또한 연구기관 간의 협력에 의한 다자화는 외교적 절차가 복잡한 정부 간 협정보다는 유연한 공동 과제 형태로 실시될 수 있다. 현재 원자력 연구개발 분야는 국제 포럼과 양자간 협력의 활성화로 연구기관 간 인적 네트워크가 충분히 확보되어 있으며, 국제 협력에 대해 우호적인 분위기가 형성되어 있다. 각자 기관이 시설 운용을 위해 배정된 연구비를 활용한다면 비교적 적은 예산 규모로도 가시적인 성과를 도출할 수 있다. 유럽과 달리 다국적 핵연료주기 시설 운영의 경험이 부족한 우리나라의 경우 일부 연구개발 시설의 다자화를 통하여 실질적인 국제 공동연구로 선진국의 핵연료주기 관련 기술을 공유할 수 있고, 해외 연구인력을 국내에 유치하는 효과도 누릴 수 있다. 또한 국내에서 개발하는 후행 핵연료주기 기술의 국제적 투명성을 제고할 수 있고 대중 수용성도 향상시킬 수 있는 모델이 될 것으로 기대된다.

또한 핵연료주기 시설이 다국적 관리 하에 운영될 때의 핵비확산 측면에서 부각되는 장점은 다음과 같이 제시될 수 있다[24].

- 한 국가가 관리하는 것보다는 민감한 원자력 시설이 확산되는 것을 억제할 수 있다.
- 여러 국가의 참여는 투명성을 제고하여 핵물질의 전용을 막을 수 있는 추가적인 장벽을 제공하게 되며 안전조치와 물리적 방호를 보완하게 된다.
- 여러 국가의 직원이 상주하게 되면 더욱 상세한 감시가 가능하며 한 국가가 핵물질을 전용하는 데 장애가 된다.
- 대부분의 국가들에게는 민감 기술을 습득하는 것을 막는 현 체제보다는 덜 차별적인 방안이 될 수 있다.

③ 문제점과 실현 가능성

본 연구에서 제안된 다자 방안이 실현되기 위해서는 다음과 같은 문제점을 극복해야 하며, 그에 대한 대비책을 미리 고려해야 할 것이다. 첫째, 국내 연구개발 시설의 다자방안에 참여하고자 하는 국가가 없을 가능성이 있다. 따라서 협력이 유망한 국가를 발굴하여 공통의 관심사를 사전 조율할 필요가 있으며 해당 국가의 적극적인 참여를 이끌어낼 수 있는 장려책을 고안해야 할 것이다. 둘째, 타국의 참여가 각국의 정책 변화나 경제적 사정으로 인하여 중도 철회될 가능성이 있다. 따라서 지속적인 다자 운영이 예측 가능하도록 3-5년간의 목표 기간을 정하여 기간제로 운영하는 것이 바람직할 것이다. 또한 지속적인 참여가 가장 확실할 것으로 예상되는 국제기구를 옵서버(observer)로 참여시키면 다자 운영의 안정성이 높아질 수 있다. 셋째, 다자 방안이 피상적이고 원론적인 연구결과 공유로 그칠 가능성이 있다. 이를 방지하기 위해 다자 협약 시 연구개발 시설의 공동 운영이 최우선 목표인 점을 명시해야 할 것이다. 넷째, 다자 운영에서 발굴된 지적 재산권 확보를 둘러싼 분쟁 가능성이 있다. 다자 운영을 통해 얻어진 결과가 공동의 이익이 되도록 지적 재산권 공동 소유에 원칙적으로 합의하는 것이 바람직하지만, 혁신적 제안자가 손해보지 않도록 국제적으로 우선 발명이 공인될 수 있는 연구 기록 품질 보증 시스템을 도입해야 할 것이다. 그 외에도 민감 기술 유출 방지, 핵물질 소유 및 관리 주체, 운영 방안 합의 및 의사소통 문제, 운영 비용 및 책임 분담 문제 등이 대비해야 할 문제점이 될 것으로 판단된다.

또한 다자 방안의 실현가능성을 높이기 위해서는 다음과 같은 노력이 필요하다. 첫째, 연구개발 시설의 다자화 추진 과정에서 국내외 전문가 실무그룹을 구성하여 선행연구를 통한 장기 계획을 수립하여야 할 것이다. 둘째, IAEA와 같은 국제기구에서도 핵연료주기 기술 개발 및 시설 운영에서의 다자 협력이 강조되고 있으므로 국제기구를 충분히 활용하여 국내 시설의 다자방안이 국제사회에도 기여할 수 있는 모델이 될 수 있도록 발전시킨다. 셋째, 국내외에 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자방안에 대한 공감대 형성이 필요하며 영향력 있는 국제 정책 토론회 및 저널 등에 발표와 기고를 통한 홍보가 필요하다. 넷째, 정부의 제도적 지원을 도출하여 다자 시설 운영에 대한 장기과제를 국제적으로 공모하여 일정 기간 동안 지속적으로 운영될 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 다섯째, 초기 단계에서는 연구개발 성과의 창출보다는 테스트 베드(test bed) 역할에 충실할 수 있도록 문제점까지 투명하게 공개하여 세계적인 이목을 끄는 모범 사례로 발전시켜야 할 것이다.

④ 추진 전략

지금까지 제시된 여러 다자 방안은 대부분 개념으로 그친 상태이며 구체적으로 실행된 사례는 부족하다. 이는 개념 수립에서부터 한 국가가 일방적인 제안을 도출하기 때문에 참여 대상 국가의 호응을 불러일으키지 못하는 것에도 기인한다고 할 수 있다. 따라서 초기 개념 수립에서부터 국제 공동 연구를 통한 타당성 평가를 수행하는 것이 바람직할 것이다. 우리나라가 다자화 관련 연구경험이 풍부한 IAEA와 같은 국제기구에 기여금을 제공하여 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화를 위한 특별 프로그램을 개설하고, 국제 자문 연구를 주도적으로 추진한다면 국내 현실에 부합하면서도 국제적인 참여를 이끌어 낼 수 있는 방안을 도출할 수 있을 것으로 기대된다. 개념 타당성 평가와 더불어 다음과 같은 항목에 대한 공동 연구가 필요할 것으로 판단된다.

- 국내 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화 방안
- 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화가 핵확산에 미치는 영향
- 다자화에 의한 민감 핵물질 분리 방지 및 접근 차단 방안
- 참여국 간 비용 분담 및 지적 재산권 관리 방안
- 연구개발 시설 다자화에 있어서 IAEA 등 국제기구 역할

국제 기구를 통하여 개념 타당성 평가 연구를 수행한 후에는 국내외 전문가들로 구성된 실무 그룹을 형성하여 국내 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화에 대한 국제 공동 과제를 기획하고 공모하여야 할 것이다. 참여 관심국과 다자 시설 운영 방안, 공동 연구 주제, 기술 인력 파견 및 예산 분담 방안 등을 논의하여 최적안을 도출한다. 그러나 다른 국가의 참여는 해당국과 우리나라와의 원자력 협력 정책이 매우 중요한 영향을 끼칠 것으로 판단되므로 각국과의 양자간 원자력 협력 회의 시 적극적인 의제화를 통해 협상을 진행한다면 다자화 협약 체결을 실현할 수 있을 것이다. 우리나라가 후행 핵연료주기 기술을 개발해야 하는 타당성을 제시함과 함께 관련 연구개발 시설의 다자화가 핵확산저항성을 높일 수 있는 방안을 설득하여 협력을 이끌어내는 것이 필요하다. 또한 IAEA나 OECD/NEA와 같은 국제 기구에 우리가 주도적으로 제안하여 국내 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화가 국제적인 프로그램으로 발전되도록 추진할 수도 있다.

핵연료주기 연구개발 시설의 다자 운영이 수행되는 기간 동안 분기별 또는 연도별로 공동 연구 결과에 대한 공개 발표회를 통해 성과와 문제점을 분석해 나가면 다자 운영 체제를 더욱 발전시켜 나갈 수 있으며 동시에 참여국 간 또는 일반 대중과의 상호 신뢰를 증진하게 될 것이다. 다자 운영 단계가 종료되면 수행 결과를 분석하여 파악된 문제점들의 보완 방안을 모색할

필요가 있으며, 국제적으로 공인될 수 있도록 다자 운영 체제에 대한 표준화안을 제시하고, 대규모 상용 시설에도 적용 가능한지 분석해야 할 것이다. Fig. 2는 본 연구에서 수립된 추진 전략에 대한 개념적인 흐름도를 나타내고 있으며 표 2는 제안된 연구 단계별 목표를 요약하고 있다.

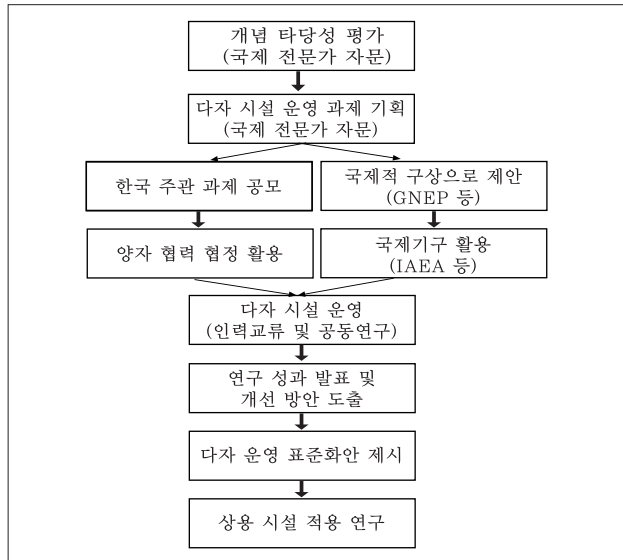


Fig. 2. A flow chart showing the proposed strategy to implement the multilateralization of R&D facilities.

Table 1. Advantages and Drawbacks of the Regional Repository[14]

특성	장점	단점
보안성	시설 수가 감소하므로 보안성 증가, 집중적으로 방호되고 안정한 국가에 설치되어 보안성 증가	보관량이 증가로 테러리스트의 표적이 될 수 있음, 수송 거리가 증가함
환경영향	환경 보호성 증가, 처분장 수 감소, 불완전한 처분장 감소로 환경 위험 감소, 수입의 일부를 환경개선에 사용가능	대규모 시설 건설, 유치국가는 대량 취급으로 다량 노출, 국가간 수송으로 환경위험, 수송용 도로, 철도 등 건설 필요
경제성	규모면에서 비용감소, 유치 국가의 경제적이, 고용 창출, 기반 시설 개선	장거리 수송비용, 부가 행정 비용, 사업지연, 물가상승, 규제 변화로 인한 경제적 위험
기술성	전문성 증가, 기술개발 자금 증가, 보다 적합한 부지선정 가능	다양한 폐기물 종류, 보관처리상태 및 포장상태 다양

Table 2. Research topics and objectives for each phase

연구단계	단계명	단계별 목표
1단계	국제 기구 자문 연구	해외 다자 방안 수행 경험 습득 연구시설 다자 방안 국제 자문 국제 전문가 네트워크 형성
2단계	시설 대상 예비 연구	연구 시설 다자 운영 방안 예비 설계 모의 운영 결과 분석 및 평가 다자 방안이 연구개발에 미치는 영향 분석
3단계	관심 국가 공동 연구	관심 국가 참여 협의 연구 시설 다자 운영 방안 공동 개발 연구 시설 다자 운영 방안 공동 평가

한국도 대규모 원자력 이용 국가이자 원전 수출국으로서 국제적 및 지역적 핵비확산에 더욱더 주도적으로 앞장서야 할 시점을 맞이하였다. 지금까지는 국제기구 및 해외 국가들의 의혹과 감시에 대응하여 우리의 결백함을 증명하기 위해 핵비확산 분야의 규제를 모범적으로 준수하였다면 이제는 아시아 지역에서 민감 핵연료주기 기술 및 핵원료 물질의 무분별한 확산을 억제하기 위해 주도적으로 활동하여야 하며 후행 핵연료주기 기술의 국내 개발이 한반도 및 동아시아 지역의 핵비확산에 어떠한 영향을 미칠 것인지에 대한 면밀한 분석과 대응방안 수립이 필요하다고 할 수 있다. 본 연구에서 제시된 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화는 실행 가능한 국제적 모델이 될 수 있으며 한국의 확고한 핵비확산 정책을 대내외에 천명하는 계기가 될 것이라 기대된다.

V. 결 론

후행 핵연료주기의 다자 방안을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 원자력 주도국들에 의해 핵연료주기의 다자화가 적극적으로 추진되고 있기 때문에 국내 원자력 기술 실정을 반영할 수 있는 방안을 준비하는 것이 필요하다.
2. 핵연료주기 분야의 다자화는 복잡한 법적, 사회적 문제와 결부되어 있으므로 유럽 등지에서 진행 중인 다자화 추진 추이 및 결과를 분석하여 교훈을 얻는 것이 바람직하다.
3. 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화는 비교적 용이하게 실행할 수 있으며 주도적으로 민감 핵연료주기의 다자화를 경험하고 대비할 수 있는 기회가 될 수 있다.
4. 후행 핵연료주기 연구개발 시설의 다자화는 국제 투명성을 제고할 수 있으며 경험있는 국제 인력의 유입을 가능케 하고 국제적인 관심을 이끌어내어 관련 시설의 세계적 수준으로의 도약을 앞당길 수 있다.
5. 성공적인 다자화를 위하여 다자화 연구 경험이 풍부한 국제기구를 활용하는 것이 바람직하며, 기여금 제공을 통한 국제 자문 프로그램을 운영하여 국내 실정에 부합하는 추진 방안을 도출할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국원자력연구원의 국제원자력기구 파견 활동

의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] V. Meckoni, R.J. Catlin and L.L. Bennett, Regional Nuclear Fuel Cycle Centres: IAEA Study Project, IAEA-CN-36/487 (1977).
- [2] IAEA, Expert Group on International Plutonium Storage: Report to the Director General, IAEA-IPS/EG/140, Rev.2 (1982).
- [3] IAEA, Final Report of the Expert Group on International Spent Fuel Management, IAEA-ISFM/EG/26, Rev.1 (1982).
- [4] IAEA, Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle, Vienna (2005).
- [5] Y. Yudin, Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle, United Nations Institute for Disarmament Research (2009).
- [6] International Commission on Nuclear Non-proliferation and Disarmament Report, Eliminating Nuclear Threats: A Practical Agenda for Global Policymakers, pp.132-145, ICNND, Canberra/Tokyo (2009).
- [7] IAEA, Request by the Russian Federation regarding its Initiative to Establish a Reserve of Low Enriched Uranium (LEU) for the Supply of LEU to the IAEA for its Member States, IAEA GOV/2009/81 (2009).
- [8] H. S. Kwon, "Multilateral Cooperation for the Back?end Nuclear Fuel Cycle", The 8th UN-ROK Joint Conference on Disarmament and Nonproliferation Issues, Nov. 16-18, 2009, Jeju.
- [9] Pacific Northwest National Laboratory, Cradle-to-Grave Nuclear Fuel Supply Assurance Workshop: Industry's Potential Role, PNNL-16863 (2007).
- [10] C. McCombie, "Evaluating Solutions to the Nuclear Waste Problem," Bulletin of the Atomic Scientists, Nov/Dec, pp.42 (2009).
- [11] IAEA, The Republic of Korea's Suggestion on Possible Criteria for Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle, INFCIRC/760 (2009).
- [12] IAEA, Developing Multinational Radioactive Waste Repositories: Infrastructural Framework and Scenarios of Cooperation, IAEA-TECDOC-1413 (2004).
- [13] IAEA, Technical, Economical and Institutional Aspects of Regional Spent Fuel Storage Facilities, IAEA-TECDOC-1482 (2005).
- [14] <http://www.sapierr.net>
- [15] H. J. Kim, C. H. Cho, and K. K. Lee, "Uncertainty Cases in Economic Evaluation of Back-End Nuclear Fuel Cycle," J. of the Korean Radioactive Waste Society, 6 (2), pp.141-145 (2008).
- [16] T. Katsuta and T. Suzuki, "A Multilateral Nuclear Fuel Cycle Approach in East Asia: Analysis of Past Proposals and Possible New Approaches including Japan," Proc. 15th Pacific Basin Nuclear Conference, Oct. 15-20, 2006, Sydney.
- [17] Yusuke Kuno and Jor-Shan Choi, "Study on International Nuclear Fuel Cycle Framework from Nuclear Non-Proliferation Viewpoint", Proc. 50th INMM Annual Meeting, Jul. 12-16, 2009, Arizona.
- [18] Jor-Shan Choi, "A Regional Compact Approach for the Peaceful Use of Nuclear Energy," CISAC (1997).
- [19] Y. S. Whang, E. H. Kwon, E. J. Seo and J. H. Whang, "Multilateral Nuclear Cooperation in East Asia: The First Step Toward the Formation of a New Cooperation," J. of the Korean Radioactive Waste Society, Vol. 3, pp. 167-176 (2005).
- [20] P. Goldschmidt, "Multilateral Nuclear Fuel Supply Guarantees and Spent Fuel Management: What Are the Priorities?" Daedalus, 139 (1), pp.7-19 (2010).
- [21] M.S. Yang, H. Choi, C.J. Jeong and K.C. Song, "The Status and Prospect of DUPIC Fuel Technology," Nuclear Engineering and Technology, 38, p.359 (2006).
- [22] <http://www.actinet-i3.eu>
- [23] Stephane Bourg, Emmanuel Touron, Concha Caravaca, Christian Ekberg, Emmanuel Gaubert and Clement Hill, "ACSEPT: a new FP7-Euratom Collaborative Project in the field of partitioning processes for advanced fuel cycles," ATALANTE 2008, May 19-

22, 2008, Montpellier.

- [24] F. McGoldrick, *New US-ROK Peaceful Nuclear Cooperation Agreement: A Precedent for a New Global Nuclear Architecture*, Center for US-Korea Policy (2009).