



일본의 원자력 정책과 핵연료 주기 동향

윤성원 · 정환삼

한국원자력연구소 정책연구팀 선임연구원

서론

일본은 환경 부하가 적고 안정성이 높으며, 경제성이 뛰어난 에너지 공급 구조를 확립하는 에너지 정책에 원자력 발전을 에너지 공급의 중심으로 하고 있다.

또한 원자력발전소의 연료인 우라늄을 전량 해외 수입에 의존하고 있으므로 사용후 핵연료에서 핵연료 물질을 회수하여 재이용하는 핵연료 재순환을 원자력 에너지의 장기적 안정 공급 확보, 우라늄 자원의 효율적 이용, 에너지의 해외 의존도 저하 관점에서 중점적으로 추진하고 있다.

그러나 96년 11월부터 시작된 중앙 부처의 전면적인 개편, 특수 법인의 민영화 및 통폐합 등 행정 개혁의 추진과 95년 동력로핵연료개발사업단(이하 PNC라 함) 산하 고속 증식 원형로 '몬주'에서의 나트륨 누출 사고와 97년 3월에 발생한 PNC 산하

도카이(東海) 재처리 시설 아스팔트 고화 시설의 화재·폭발 사고 등 계속된 고장 및 사고에 대한 대응 체제의 부족으로 인한 국민의 불신·불안감을 고조시킨 것에 대한 책임으로 원자력계의 전면적인 재검토가 요구되었으며, PNC의 근본적인 개혁이 요구되는 등 일본 원자력계는 큰 변혁을 맞이하고 있다.

또한 지구 온난화 방지 교토 회의(COP3)에서 제시된 온실 효과 가스 삭감을 위해 원자력의 역할이 더욱 증대되고 있다.

이러한 상황에서 핵연료 주기 확립을 원자력 이용 개발의 기본 방향으로 하고 있는 일본으로서 원자력의 안전성 확보와 방사성 폐기물의 관리 및 처분의 명확한 정책 제시가 무엇보다 중요한 과제로 대두되고 있다.

이를 위해 현재 사용후 핵연료의 관리 및 저장 방안에 대한 논의와 고준위 방사성 폐기물에 대한 처리 처분 방안에 대한 논의가 추진중에 있다.

그리고 사용후 핵연료를 재순환 연료로 정의하고 있는 일본에서는 재처리를 기본 정책으로 하고 있으며, 사용후 핵연료의 효율적 이용과 핵비확산의 관점에서 현재 경수로에서의 MOX 연료 이용(Pu-thermal)을 추진하고 있다.

이를 위해 현재 영국의 BNFL과 프랑스의 COGEMA에서 위탁 재처리하여 회수된 플루토늄을 MOX 연료로 가공하여 이를 일본으로 수송을 계획하고 있다.

이러한 수송은 수송 경로에 있는 국가들뿐만 아니라 환경 단체 및 전세계의 이목을 집중시키고 있다.

본고에서는 현재까지 추진되어 온 일본의 행정 개혁과 관련하여 원자력 관련 소관 부처의 변화에 대한 내용과 원자력 정책에 대한 최근 동향, 그리고 핵연료 주기 확립을 위해 추진되고 있는 일본의 사용후 핵연료 및 고준위 방사성 폐기물 관련 정책, 그리고 재처리 현황과 Pu-thermal에

대한 현황 등 원자력 관련 정책 변화에 대해 살펴보고자 한다.

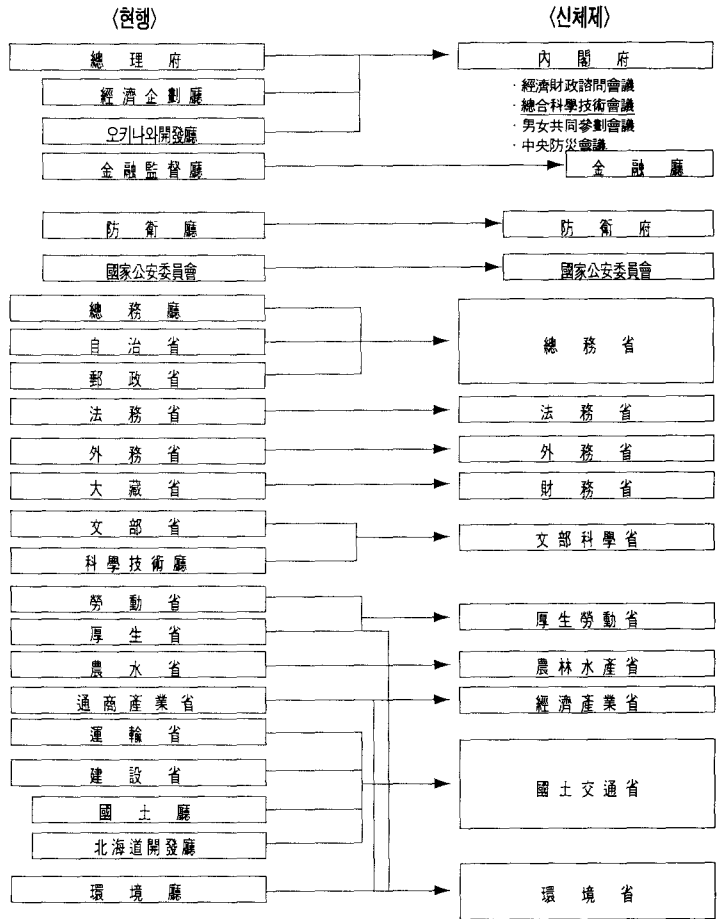
행정 개혁에 의한 원자력 관련 기관의 변화

현재의 일본의 행정 개혁은 현재 내포하고 있는 위기 상황을 타개하기 위한 6대 개혁(행정·재정 구조·사회 보장 구조·경제 구조·금융 시스템·교육)의 기치하에 사회 전반에 걸친 총체적인 개혁 추진을 96년 11월 하시모토(橋本) 수상을 중심으로 한 정부 주도로서 이루어지게 되었다.

98년 총선에서 오부치(小淵)가 수상으로 되었으나 행정 개혁을 중심으로 한 정부 개혁은 계속적으로 추진되어 2001년 출범을 목표로 추진중에 있다.

행정 개혁의 추진 경위는 97년 12월에 행정개혁회의에서의 최종 보고서가 발표되었으며, 98년 6월에 관련 중앙성청개혁기본법(中央省廳改革基本法)이 성립되어, 99년 1월에 중앙부처의 개혁에 대한 전체 골격이 발표되었으며, 현재 구체적인 세부 사항에 대한 심의가 진행중에 있다.

주요 내용을 보면 내각부(內閣府)의 기능 강화, 행정 조직의 감량 및 효율적인 정부를 목표로 한 현행의 1부(府) 21성청(省廳)을 1부 12성청 체제로 재편, 정책의 집행 부문을 정책의 기획·입안 부문과 분리하여 경영 합리화 및 효율화를 위해 현재의 국립연구소 등을 90개 기관으로 축소



(그림 1) 일본의 2001년 이후 중앙 부처 체제

한 독립 행정 법인 창설이다(그림 1).

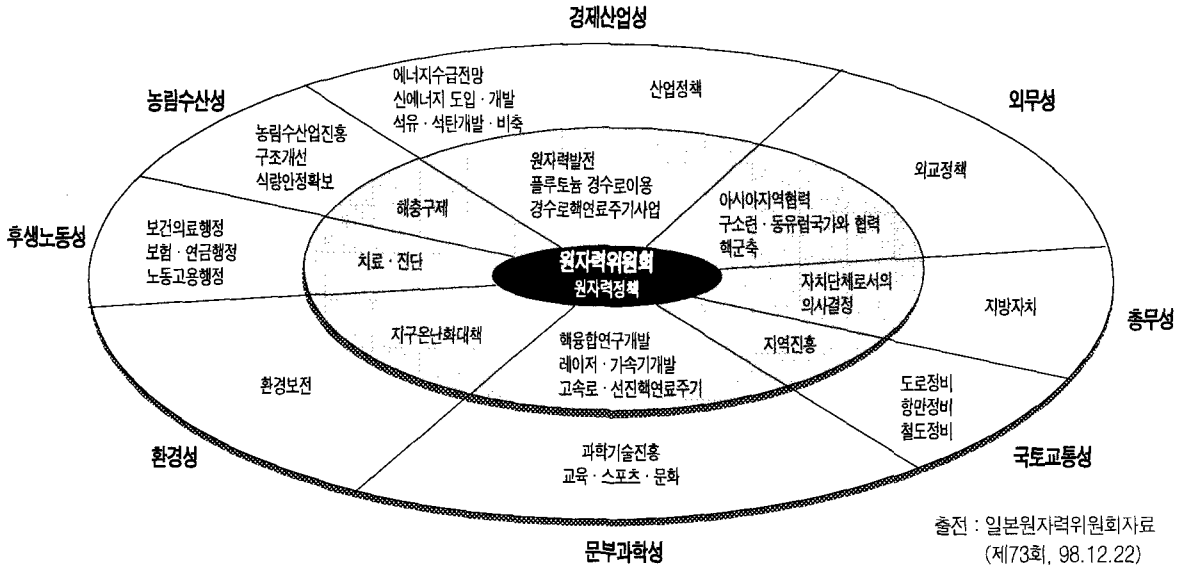
중앙 부처 개편에 따른 원자력 관련 부문의 변화를 살펴보면 다음과 같다.

내각부 산하 기구로서 종합과학기술회의(綜合科學技術會議)와 원자력위원회/원자력안전위원회를 두고 있다.

그 중 종합과학기술회의는 일본이 표방하고 있는 과학 기술의 강화를

위해 종합 과학 기술 정책에 대한 수상의 지도력과 전문가의 의견을 충분히 반영하기 위해 설치된 합의제 기구이다.

주요 임무로서는 인문·사회·자연 과학을 종합한 과학 기술의 기본 정책 수립과 과학 기술의 연구 개발에 있어서는 대학·연구 기관·산업계 등 기초부터 응용 분야에 이르는



출전 : 일본원자력위원회자료 (제73회, 98.12.22)

(그림 2) 일본의 원자력위원회 정책 영역(안)

폭넓은 분야에 대해 심의한다.

과학 기술에 관한 예산 및 인재의 자원 배분에 대한 기본 방침, 기타 정부 차원으로서 대처해야 할 과학 기술 정책에 관한 중요한 사항을 심의하며, 과학 기술에 관한 국가적 차원에서 추진해야 할 원자력 등 주요 프로젝트에 대해서는 국가적 차원에서 평가하는 임무를 담당하도록 하고 있다.

그리고 현재 원자로 개발 등 원자력 정책 전반에 대한 결정은 원자력위원회가 담당하며, 원자로 등 안전 심사는 원자력안전위원회가 담당하고, 이들 위원회의 사무국은 과학기술청 내의 원자력국·원자력안전국에서 담당하고 있다.

2001년 이후에도 이들 두 위원회는 현재의 업무와 기능을 계승하도록

하고 있으나, 성정보다 한 단계 높은 내각부에서 국가 차원의 원자력의 종합 전략과 국내외 정세 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 심의 기구로서 원자력 정책 전반에 대한 사항을 담당하도록 하며, 안전 규제의 중심적인 역할을 담당하도록 하고 있다.

따라서 원자력의 효율적인 추진을 위해 행정 개혁 이후 원자력위원회에 요구되는 기능으로서 원자력에 대한 정책의 기획·입안 기능을 강화하고, 각 부처간의 원자력 관련 업무의 종합 조정 기능과 원자력에 대한 평가 기능을 강화하며, 국민 각계 각층의 원자력에 대한 의견을 충분히 반영할 수 있는 공청 기능 등의 강화가 요구되고 있다(그림 2).

현재 일본의 원자력과 관련된 정부

부처로서는 현재 과학기술청과 통상산업성이 원자력의 이용·개발에 관련된 업무를 담당하고 있다.

상업용 원자로의 입지나 에너지 이용을 통상산업성에서 담당하며, 원자로 연구 개발이나 방사성 물질의 안전 규제 등을 과학기술청이 담당하여 왔다.

그러나 2001년의 새로운 행정 체제에서는 원자력 기술과 관련하여 국내외에서 실증된 원자력 기술과 상업적 이용 단계에 도달할 수 있는 기술에 대해 민간 기업 차원에서 수행할 수 있는 분야에 대해서는 경제산업성에서 담당하도록 하고 있다.

따라서 원자력 발전, 플루토늄의 경수로 이용, 경수로 핵연료 주기 사업, 고준위 방사성 폐기물의 처분 연

구 등이 경제산업성의 소관 업무에 포함될 가능성이 높은 것으로 전망되고 있다.

또한 핵연료의 상업 재처리나 우라늄 농축 등의 에너지 이용의 안전 규제가 경제산업성으로 이관될 가능성이 높은 것으로 보인다.

원자력 정책 동향

94년에 책정된 일본의 장기 계획에서 나타난 원자력 개발 이용에서는 원자력의 평화 이용 국가로서의 원자력 정책 전개, 합리적인 경수로 원자력 발전 체계 확립, 장래를 전망한 핵연료 재순환 전개, 원자력 과학 기술의 다양한 전개와 기초 연구 강화를 기본 방침으로 하고 있다.

이러한 기본 방침에 따라 일본의 원자력 정책은 핵연료 주기 정책을 중심으로 꾸준히 추진되고 있었지만, 95년 12월 당시 PNC 산하의 고속 증식 원형로 '몬주' 나트륨 누출 사고를 계기로 크게 변화되고 있다.

최근 원자력 정책에 있어서 급변하는 시대적 상황에 대응한 각종 회의와 그 결과 보고서가 발표되었고, 이들 보고서를 기초로 하여 원자력 정책에 반영하도록 하고 있다.

원자력 정책의 전개 과정과 논의된 내용을 살펴보면 다음과 같다.

몬주의 나트륨 누출 사고를 계기로 원자력에 대한 심층적인 분석과 향후 방향에 대한 논의를 위해 「원자력정책위원회」가 96년 3월에 원자력위원회 산하에 설치되었다.

96년 4월부터 동년 9월까지 11회에 걸친 논의를 통해 원자력위원회에 96년 6월에 원자력 정책의 결정 과정에서의 국민의 참여 및 원자력에 관한 정보 공개를 원자력위원회에 제언을 하였으며, 96년 10월에는 에너지 공급에서의 원자력에 대한 위상을 명확히 하고, 핵연료 주기에 대해서는 사용후 핵연료 관리, 플루토늄의 경수로 이용, 고속증식로 문제, 고준위 방사성 폐기물 대책, 원자력의 안전 확보와 방제 체제 확립, 입지 지역과의 교류·연계 체제 강화에 대한 제언을 하였다.

또한 (신)원자력정책위원회와 고속 증식로 간담회 설치의 필요성에 대해서도 언급하였다.

그리고 일본 통상산업성 장관의 자문 기관인 종합에너지조사회 원자력 부회에서 96년 6월부터 97년 1월까지 8회에 걸친 검토 회의를 통하여 원자력의 중요성과 원자력 정책 결정의 투명성 확보와 원자력 정보에 대한 공개, 원자력 입지에 대한 지역과의 공생, 핵연료 주기 정책에서의 핵연료 주기 사업의 추진 방향, Pu-

thermal의 추진 방향, 사용후 핵연료의 저장 방안, 후행 핵연료 주기 대책에 대한 중간 보고서를 발간하였다.¹⁾

이들 원자력정책위원회와 종합에너지조사회 원자력부회의 제언을 받아들여 원자력위원회는 97년 1월에 당면 핵연료 주기의 구체적 시책에 대해 결정하였으며, 동년 2월에 각료 회의에서 당면한 핵연료 주기의 추진에 대해 승인을 하였다.

이러한 원자력 정책을 받아들여 97년 2월에 일본 전력 회사의 연합기구인 전기사업연합회에서 Pu-thermal 계획 추진에 대한 구체적인 계획을 발표하였다. 이 발표 내용에 대해서는 뒤에 언급할 것이다.

그리고 원자력정책위원회의 제언을 받아들여 고속 증식로에 개발 방향에 대한 논의를 위해 97년 2월에 설치하여 동년 11월까지 총 12회에 걸친 회의를 통하여 고속증식로 개발 방향에 대한 보고서를 발간하였다.²⁾

이 보고서에서는 장래 비화석 에너지원의 유력한 선택 방안의 하나로 고속증식로 실용화 가능성을 추구하기 위해 관련된 연구 개발을 추진하는 것이 바람직하며, 유연한 계획하에서 추진할 필요가 있다.

또한 고속 증식 원형로 몬주에 대해서는 연구 개발 장(場)으로서 국내

주: 1) 일본 통상산업성 종합에너지조사회 원자력부회 중간보고서, KAERI/TS-23/97

2) 제75회 원자력위원회자료 「고속증식로 연구개발 방향」, 1997. 12. 1



의 연구자들에 대해 폭넓게 개방할 필요가 있다.

따라서 고속증식로 연구 개발에 대한 의의와 추진 방향에 대해 국민들과의 폭넓은 대화를 통하여 이해를 증진시키도록 해야 한다고 언급하고 있다.

또한 97년 3월에 발생한 PNC 산하 도카이 사무소 재처리 시설 아스팔트 고화 처리 시설의 화재 폭발 사고에서도 사고 대응 체제와 정보 공개에 대한 은폐 조작이 PNC에서 자체 개혁을 실시하였으나, 몬주에서의 교훈을 살리지 못하고 계속 불미한 사건이 발생됨에 따라 PNC 자체의 근본적인 개혁이 정부 주도로서 실시되었다.

이를 위해 97년 4월에 과학기술청 산하에 PNC 개혁검토위원회가 설립되어 동년 7월까지 6회에 걸친 회의를 통하여 PNC 개혁 기본 방향이 97년 8월에 발표되었다.³⁾

이 보고서에서는 PNC가 가지고 있는 문제점, 즉 안전 확보와 위기 관리, 폐쇄성, 사업의 비대화 등의 경영 부재에 대해 분석하고, 신법인으로서의 가져야 할 체제 방안에 대해 언급하고 있다. 또한 신법인 작업부회 설치를 제안하였다.

PNC 개혁검토위원회의 제안을 받아들여 97년 8월에 과학기술청 산하에 신법인 작업부회를 설치하여 97년

12월에 신법인의 기본 구상에 대한 보고서를 발표하였다.

이 보고서에서는 신법인이 중점적으로 추진해야 할 사업 및 정리 축소하는 사업에 대한 구상, 그리고 신법인에서의 경영과 조직 체제에 대해 언급하고 있다.

이 보고서를 기초로 하여 98년 5월에 동력으로·핵연료개발사업단법의 개정안이 성립되어, 신법인인 핵연료 사이클개발기구(이하 JNC라 함)가 98년 10월 1일에 설립하게 되었다.

97년 12월에 동경에서 개최된 기후변화협약 회의에서 CO₂ 배출 억제 및 에너지의 효율적 사용 등 전력에서의 새로운 환경 변화의 대응을 위해 통상산업성 장관 자문 기관인 종합에너지조사회 수급부회 중간 보고서가 98년 6월 4일에 발표되었으며, 핵연료 주기에서의 중간 저장 및 에너지 분야에서의 원자력의 위상에 대한 동 조사회 원자력부회의 중간보고서가 동년 6월 11일에 발표되었다.

이들 보고서에서는 원자력 발전을 경제 성장과 에너지 안보 확립 및 환경 보전을 하기 위한 중심적인 에너지 원으로 하여 2010년도에 다음과 같은 목표를 설정하고 2010년도 전력 공급 목표로서 원자력 발전은 4,800 억kWh로 점유율은 45%를 차지하고, 원자력 발전의 설비 용량은 10% 증가된 6,600~7,000만kW, 구성비

는 26~28%로 전망하고 있다.

앞서 언급한 96년 10월 원자력정책위원회는 원자력의 각종 측면에서 논의가 불충분하였기에 상기 원탁회의의 제언을 수용한 원자력위원회의 결정에 따라 구성 운영 등을 새롭게 변경하여 (신)원자력정책위원회를 98년 9월에 개최하게 되었다.

앞서 언급한 (구)원자력정책위원회는 '몬주' 사고를 계기로 국민 각계 각층의 원자력 개발에 대한 의견을 받아들이기 위해 원자력위원회 산하에 설치된 임시적 성격의 회의인 데 반하여, 신설되는 (신)원자력정책위원회는 원자력위원회와 대등한 상설 기관으로 설치하여, 독립성 부여를 위해 민간 기관을 사무국으로 위촉한 것이 특색이다.

이 (신)원탁회의에서 논의된 사항으로는 일본의 에너지 중에서의 원자력의 역할과 입지 지역에 대한 대응책, 그리고 원자력 행정 체제에 대해 논의하였다.

그리고 원자력에 대한 계속적인 논의의 필요성에 따라 99년에도 원탁회의가 진행중에 있다.

이러한 원자력의 변화에 대응하여 94년에 발표된 원자력 개발 이용 장기 계획의 개정 필요성에 따라 98년 11월부터 원자력 장기 계획 책정을 위한 예비 검토에 대한 조사를 실시하여 99년 3월에 조사보고서를 발표

주: 3) 일본 과학기술청 PNC개혁검토위원회, 1997. 8. 1

하였다.⁴⁾

조사보고서의 주요 내용을 보면 장기 계획 방향, 에너지 안정 공급을 위한 경수로 발전 체계, 고속증식로 및 관련 핵연료 사이클 기술의 연구 개발, 방사선 이용, 첨단 연구 개발 방향 등에 대해 언급하고 있다.

이번 장기 계획의 개정 작업에서는 지구 환경 문제와 앞서 언급한 전력 수급 문제, 원자력 관련 정책에서의 대두된 문제점 등 원자력 전반에 걸친 대폭적인 개정 작업이 추진될 것으로 보인다.

이 장기 계획 책정을 위해 각계 각층의 전문가로 구성된 「장기계획개정회의」를 설치하여, 장기 계획이 2000년 말에 발표될 것으로 예상된다.

핵연료 주기 동향

1. 원자력발전 현황 및 장기 전망

66년 일본 최초의 상용 원자력발전소인 도카이 원자력발전소가 운전을 개시한 이래 일본의 원자력 발전은 안전 확보를 최우선으로 하면서 민간 전력의 공급 의무를 담당한 주요 전원으로서 확실한 발전을 이룩하였다.

현재 일본에서는 98년 말 총 53기의 원자력 발전이 가동되고 있으며, 이들 원자력 발전 설비 용량은 4,553

〈표 1〉 일본의 2010년도 전원별 공급 목표

전원별	원자력	석탄	LNG	수력	지열	석유	신에너지	합 계
발전량(억kWh)	4,800	1,360	2,130	1,190	120	870	90	10,560
점유율	45%	13%	20%	11%	1%	8%	1%	

만kWe이다.

그 중 상업용 원자력발전소는 51기로 총발전 설비 용량은 4,500만 We이며, 총 원자력 발전량은 3,070 억kWh로 전체 발전량에서 차지하는 점유율은 35.8%를 차지하고 있다.

일본의 통상산업성 장관의 자문 기관인 전기사업심의회 수급부회는 환경 친화적인 전력 수급 구조를 목표로 한 일본의 장기 전력 수급 전망에 대한 중간 보고서를 98년 6월에 발표하였다.⁵⁾

이 보고서에서는 일본의 에너지 정책의 기본 원칙인 3E(Energy Security, Environmental Protection, Economic Growth)를 유지하면서 COP3에서 일본에 부과된 온실 가스 배출 삭감량(2008~2012년, 90년 대비 6% 삭감)을 달성하기 위해 '환경 조화형 에너지 수급 구조'로 하여, 에너지 절약, 석유 대체 에너지 개발, 에너지 산업의 효율화를 추진하도록 하고 있다.

이 보고서에 의하면 온실 효과 가스 배출량 삭감 목표 달성을 위한 석유 대체 에너지 종류 및 2010년까지

의 공급 목표에 있어서, 원자력을 비롯한 석탄·천연 가스·수력·지열·기타 등의 석유 대체 에너지가 거론되고 있으며, 합계 3.3억㎉(원유 환산) 공급을 목표로 하고 있다.

그 중에서 원자력에 대해서는 총출력 6,600만~7,000만kW, 연간 총발전 전력량 4,800억kWh로 석유 대체 에너지에서의 비율은 33%(1억700만㎉)를 목표로 설정하여 가장 높다.

일본은 수요 측면에서 대폭적인 에너지 절약 등에 의해 96~2010년까지의 전력 수요 연평균 전력 수요 성장률을 1.2%로 삭감하며, 총전력 수요 측면에서 1조 560억kWh로 가정하고, 이에 대한 전력 공급원으로서 원자력 개발을 적극적으로 추진하며, 화력 발전에 대해서는 공급 안정성과 환경 특성(환경에 대한 영향) 등 각 전원이 가지고 있는 특성을 이용하여 최적의 전원 구성을 구축하도록 하고 있다.

이러한 전력 수급 구조의 구축을 통하여 2010년도에는 발전에 따른 이산화탄소의 배출량을 90년에 비해 약

주: 4) (사)일본원자력산업회의, 98년도 원자력 연구개발이용 장기 계획의 예비적 검토에 관한 조사보고서, 99. 3.

5) <http://www.miti.go.jp/report-j/g98604aj.html>



90% 삭감될 것으로 전망하고 있다.

공급 측면에서는 에너지 안전 확보를 기본으로 한 최적의 전원 구성에 노력하며, 환경 조화형의 전원 설비를 만들 수 있는 관점에서, ① 원자력 개발을 목표로 하여 최대한 추진하도록 하며, ② 화력 발전원은 경제성, 연료의 안정 공급성에 배려하여 가능한 한 CO₂가 적은 연료를 선택하여 에너지 효율을 보다 더 향상시키는 것을 기본 방침으로 하고 있다.

일본의 2010년도 전원별 공급 목표를 보면, 원자력 4,800억kWh로 전체 공급 전원의 45%로 가장 큰 비중을 차지하고, 석탄과 LNG·수력·석유·지열·신에너지 순으로 전망하고 있다(표 1).

신장기 전력 전망 보고서의 원자력 분야를 살펴보면, 원자력 발전을 경제 성장과 에너지 안보 확립 및 환경 보전을 하기 위한 중심적인 에너지원으로 하여 2010년도에 다음과 같은 목표를 설정하고 있다.

① 2010년도 발전 전력량은 96년도 대비 약 60% 증가된 4,800억 kWh, 점유율은 96년도 대비 10% 증가된 45%

② 2010년 설비 용량은 6,600~7,000만kW, 구성비는 26~28% (96년도 실적은 설비 용량 4,255kW, 구성비는 20.5%)

이러한 목표를 달성했을 때에는 CO₂ 삭감 배출량은 약 2,600만톤(탄소 환산)으로 교토 회의에서 일본

에 부과된 CO₂ 배출량 삭감 목표인 6%에 크게 기여할 것으로 전망되고 있다.

화력 발전 전원에 대해서는 LNG나 석탄 화력의 효율 향상, 중간 피크 대응을 위해 석유 화력의 활용이 과제로 되고 있지만, 석유 등의 2010년 발전 전력량 및 점유율은 96년도에 비해 반으로 감소될 것으로 전망하고 있다.

LNG는 증가될 것으로 전망되고 있지만, 점유율에서는 96년에 비해 -3.3% 억제되는 방향으로 예상하고 있다.

폐기물을 이용한 발전을 포함한 신에너지에 대해서는 비용을 감안하여 도입 촉진을 추진하는 것이 필요하지만, 기상 조건 등의 영향을 받기 쉽다는 것과 에너지 밀도가 희박하기 때문에 전기 사업용의 공급력에 있어서는 계속하여 보완 전원으로서 2010년도 점유율은 1%에 그치고 있다.

2. 핵연료 재순환 정책

일본은 원자력에 의한 에너지의 장기적 안정 공급 확보 관점에서 사용후 핵연료는 재처리하여 회수된 플루토늄과 우라늄을 재이용하는 재처리(재순환 노선)를 기본으로 핵연료 재순환의 연구 개발을 추진하고 있다.

이를 위해 일본은 84년 입지 신청을 한 이후 아오모리(靑森)현 로카쇼 무라에 우라늄 농축·재처리·저준위 방사성 폐기물 매립에 대한 사업

이 추진되어 92년 3월, 12월에 우라늄 농축 시설, 저준위 방사성 폐기물 매립 시설이 각각 조업을 개시하였으며, 93년 4월부터 재처리공장의 건설이 추진되었다.

이와 같이 일본의 경수로에 관련된 핵연료 주기 사업은 민간 사업으로 구체화된 진척을 보이고 있다.

또한 원자력 발전에 대한 국민들의 이해를 얻기 위해서는 원자력 발전의 운전에 의해 발생하는 방사성 폐기물의 처분 대책이 무엇보다 중요하다.

이를 위해 일본에서는 사용후 핵연료 대책 및 고준위 방사성 폐기물 대책에 대해 정부 및 민간이 협력하여 추진하고 있다.

가. 사용후 핵연료의 재처리 및 저장·관리

일본에서는 사용후 핵연료는 재처리하여 회수된 플루토늄과 우라늄을 이용하는 것을 기본으로 하고 있으며, 핵연료 재순환의 자부성을 확립한다는 관점에서 재처리를 국내에서 실시하는 것을 원칙으로 하고 있다.

사용후 핵연료의 재처리는 직접 처분하는 경우에 비해 ① 최종적으로 처분되는 고준위 방사성 폐기물 체적을 감소하며, ② 고준위 방사성 폐기물이 안정한 형태인 유리 고화체로 변환되며, ③ 유리 고화체에는 반감기가 긴 플루토늄·우라늄 함유량이 사용후 핵연료에 비해 적기 때문에 유리 고화체 속의 방사성 물질의 감소에 필요한 기간이 단축되며, ④ 재

처리에 의해 발생하는 초우라늄 원소 (TRU) 핵종을 포함한 방사성 폐기물의 적절한 분류와 안정화에 의해 화학적·물리적으로 안정한 형태로 변환시킴으로써 구분리 등의 가능성을 가지고 있으므로 처분에 따른 환경 부하를 경감하여 처분을 쉽게 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

일본에서 최초로 사용후 핵연료를 재처리한 것은 PNC 산하의 도카이 재처리 공장이다.

77년 운전을 개시한 이래 최근에는 연간 처리량 90톤U으로 조업을 하여, 98년 3월 현재 935톤의 조업 실적을 가지고 있다.

도카이 재처리 공장은 일본의 재처리 기술의 실증 및 국내 정착, 기술 기반 육성에 기여하며, 고속증식로 연료 재처리 기술 개발, 폐기물 처분 기술 개발의 중심으로서의 역할을 하고 있다.

로카쇼무라 재처리 공장의 조업 개시까지 재처리 수요의 일부를 담당하도록 되어 있다.

그러나 97년 3월 발생한 아스팔트 고화 처리 시설의 화재 폭발 사고를 계기로 재처리 공장의 조업은 현재 정지중에 있으며, 운전 재개에 대한 전망은 아직 불투명하다.

일본은 재처리에 있어서 고속 증식로의 사용후 핵연료 재처리를 중심으로 한 핵연료 물질의 재처리에 관한 연구 개발을 실시하며, 경수로의 사용후 핵연료 재처리에 대해서는 민간

〈표 2〉 일본의 사용후 핵연료 저장 현황

사용후 연료 발생 누적량 (톤U)	약 12,940
PNC 도카이 재처리 공장에서의 반출량(누적량, 톤U)	약 940
해외 재처리 사업자의 반출량(누적량, 톤U)	약 5,600
발전소 내 저장량 (누적량, 톤U)	약 6,400

에 기술 이전을 추진하고 있고, 민간 사업을 지원과 협력하는 역할을 담당하며 필요한 연구 개발을 추진하고 있다.

일본 최초의 상업용 재처리 공장이 일본원연(주)에 의해 아오모리현 로 카쇼무라에 건설되고 있다. 재처리 능력은 연간 800톤이며, 사용후 핵연료 저장 능력은 3,000톤이다.

이 재처리 공장의 조업은 당초 2003년으로 계획되었으나, 99년 5월에 2005년 7월로 연기되었다.

그 이유로는 설계 변경에 따른 공사 기간 증가 및 평가·검토 작업 추가 발생, 안전을 중시한 충분한 시운전 실시 등이다.

또한 총공사비도 현재의 1조 8,800억엔에서 2조 1,400억엔으로 증가되었다.

이 중 직접 공사비는 1조 7,400억엔으로 86년도에 발표한 직접 공사비인 5,700억엔의 3배에 이르고 있다.

또한 제2 재처리 공장 건설도 2010년경에 재처리 능력, 이용 기술에 따라 방침을 결정하도록 되어 있다.

이와 같이 일본은 원자력발전소에서 발생하는 사용후 핵연료를 플루토늄과 미연소 우라늄을 포함하는 준국

산의 유용한 에너지 자원으로 규정하고 있으며, 국내의 재처리 능력을 초과하는 것에 대해서는 에너지 자원의 비축 측면에서 재처리하기까지의 기간 동안 적절하게 저장 관리하도록 하고 있다.

일본의 사용후 핵연료 저장 현황을 보면, 경수로 발전을 하고 있는 전력 회사 전체의 사용후 핵연료의 누계 발생량은 70년의 상업용 경수로 발전의 개시로부터 97년 말까지의 약 30년간 약 12,940톤U에 이르고 있으며, 그 중 940톤U이 PNC 도카이 재처리 공장(77년 재처리 개시)에서, 그리고 약 5,600톤U은 해외 재처리 사업자에 위탁으로 각각 재처리를 실시하고 있으며, 나머지 약 6,400톤U이 각 발전소 내에 저장되어 있다(표 2).

일본에서는 현재 원자력발전소에서 발생하는 사용후 핵연료의 발생량 합계는 연간 900톤U이지만, 2000년경에는 1,000톤U, 2010년경에는 1,300톤U로 증가될 것으로 추정된다.

또한 누적 발생량도 2000년에는 16,000톤U, 2010년에는 28,000톤U로 증가가 될 것으로 전망되고 있다(그림 3).

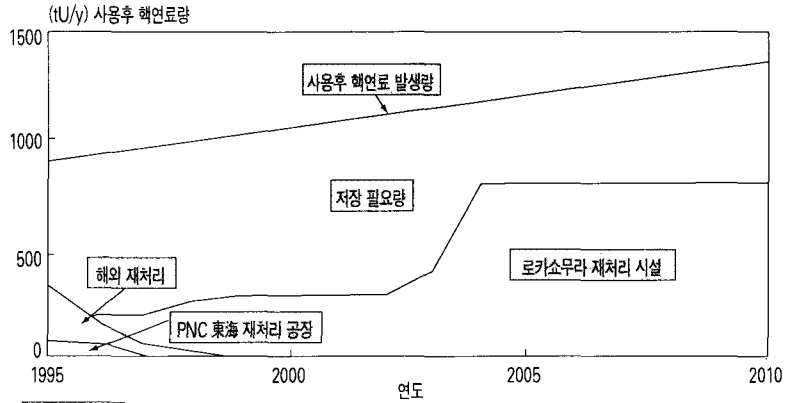


따라서 사용후 핵연료의 누적 발생량에 저장 시설의 건설 시기 등을 종합적으로 감안하면 2010년경에 6,000톤U, 2020년경에는 15,000톤U 정도 규모의 총저장 능력의 확보가 필요하며, 원자로의 폐지 조치에 따른 사용후 핵연료의 반출 필요성을 고려하면 이보다 더 늘어날 것을 예상된다.

해외 재처리도 계약량이 거의 달성되고 있으며, 아오모리현 로카쇼무라에 건설중인 일본원연(주)의 상업용 재처리 시설 규모는 사용후 핵연료 저장 용량이 3,000톤U로 사용후 핵연료의 반입 계획은 99년에 124톤, 2000년에 250톤, 2002년부터 2005년까지 약 1,600톤이며, 연간 재처리량이 800톤으로 되는 단계에서는 사용후 핵연료 저장량을 약 3,000톤으로 하는 계획이 되어 있다.

로카쇼무라의 사용후 핵연료의 반입 계획은 99년에 124톤, 2000년에 250톤, 2002년부터 2005년까지 약 1,600톤을 예상하고 있다.

이와 같은 상황에서 현재 건설중인 재처리 공장이 계획대로 운전 개시되더라도 사용후 핵연료 발생량은 그 처리 능력을 상회하므로, 전국 발전소의 저장 능력은 2010년경부터는 사용후 핵연료의 현재 발전소 내의 저장만으로는 저장 능력에 한계에 달할 것으로 예상되고 있다.



전제 조건 :

	1995년	2000년	2010년
원자력 발전 시설 용량	4,150MW	4,500MW	7,000MW
연간 사용후 핵연료 발생량	900~1300tU/y		
PNC 도카이(東海) 재처리 공장	반출은 96년까지로 가정		
로카쇼무라 재처리 공장	97년 6월 사용후 핵연료 반입 개시 예정 2003년 운전 개시 예정(재처리 능력 800tU/y)		

(그림 3) 일본의 사용후 핵연료 발생량과 재처리 공장에서의 반출량

따라서 사용후 핵연료는 재순환될 수 있는 귀중한 자원으로서 '재순환 연료 자원'이라고 불리고 있으며, 어떠한 방법으로 저장 관리를 하는가가 긴급한 과제로 되고 있다.

또한 플루토늄을 본격적으로 사용할 수 있는 고속 증식로의 실용화는 몬주 사고 등으로 인해 그 시기가 장시간 걸릴 것을 감안한다면 현상에서는 사용후 핵연료 저장이 더욱 시급하다.

사용후 핵연료 저장 대책 검토 회의 보고서에서 현재까지의 발전소 내의 저장 외에도 발전소 외에서의 중

간 저장도 실시해야 하며, 이 중간 저장 시설의 장소는 한 곳이 아닌 여러 곳에 두며, 사업 주체도 전력 회사에 한정하지 않도록 하는 보고서를 발표하였다.⁶⁾

또한 저장 방법, 경제성, 저장 사업 방향, 관련 법안 정비 등에 대한 검토 방향을 제시하고 있다.

현재 사용후 핵연료 저장 시설 입지 지역 확보 대책으로 추진중인 일본에서는 판서전력과 일본원자력발전(주)는 사용후 핵연료 중간 저장 시설의 계획 후보지를 2000년도에 확정하겠다고 밝혔다.⁷⁾

주: 6) 일본의 사용후핵연료 저장대책 검토회 보고서, KAERI/TS-50/98

이 중간 저장 시설에 대해서는 통상산업성이 새로운 형식의 원자력 관련 시설로서 차기 정기 국회에 법안을 제출할 준비를 추진하고 있다.

2000년도 말까지 계획 지점을 결정, 2001년에 사업 주체를 설립하여 지역 사회와 협정을 체결한 다음 2006년에 착공하여, 2010년까지 조업을 개시하도록 하고 있다.

나. 고준위 방사성 폐기물

98년 9월 시점에서 원자로 내에서 연소되고 있는 핵연료를 포함하면 합계 약 17,460MTU의 사용후 핵연료가 발생하고 있으며, 이는 유리 고화체로 약 12,600개에 해당한다.

이 중 약 7,100MTU(약 3,500개의 유리 고화체에 해당)이 프랑스와 영국의 재처리 공장에서 재처리되고 있으며, 재처리 결과로 발생된 유리 고화체 128개가 이미 반환되어 아오모리현 로카쇼무라의 시설에 저장되어 있다.

또한 JNC의 도카이 재처리 공장에서는 이제까지 약 940MTU(약 940개 유리 고화체에 해당함)의 사용후 핵연료가 반입되고 있으며, 동도카이 사무소의 유리 고화 기술 개발 시설에서 62개의 유리 고화체가 제조되어 동 시설에 저장되고 있다.

또한 향후 아오모리현 로카쇼무라 재처리 공장에서도 유리 고화체가 제작될 것이다. 이와 같이 일본에 저장

되고 있는 유리 고화체는 프랑스의 COGEMA, 영국의 BNFL, JNC, 일본원연(주)에서 제조되고 있다.

일본에서는 현재 유리 고화체는 아오모리현 로카쇼무라에 있는 저장 시설과 JNC 도카이 사무소 유리 고화 기술 개발 시설에서 안전하게 저장되고 있다.

또한 유리 고화체와 같은 높은 방사능을 가진 사용후 핵연료에 대해서도 재처리를 위해 프랑스와 영국에 이송된 것을 제외하고 발생 장소인 발전소 내에서 안전하게 저장되어 모니터 등에 의한 직접적인 안전성 확인이 실시되고 있으며, 주변 환경에 대한 영향이 없다는 것에 대해서도 항상 감시·확인하고 있다.

일본의 고준위 방사성 폐기물은 현재 인간의 생활 환경에서 격리된 장소에서 안전하게 관리되고 있으며, 향후에도 수년간에서 수백년 정도의 기간이 되어도 안전하게 관리되는 것은 제도적으로도 기술적으로 충분히 가능한 것으로 전망하고 있다

일본의 고준위 방사성 폐기물에 대해서는 76년에 원자력위원회에서 지층 처분에 중점을 두는 것을 국가 기본 방침으로 결정하였다.

이를 바탕으로 94년 원자력위원회에서는 '고준위 방사성 폐기물은 안정한 형태로(유리)고화한 후 30년에서 50년간 정도 냉각하기 위한 저장

을 실시하며, 그 후(다중 방호 시스템에 의해) 지하의 깊은(안정한) 지층에 처분한다'라는 기본 방침에 따라 JNC를 중심으로 하여 이에 대한 연구 개발이 추진되고 있다.

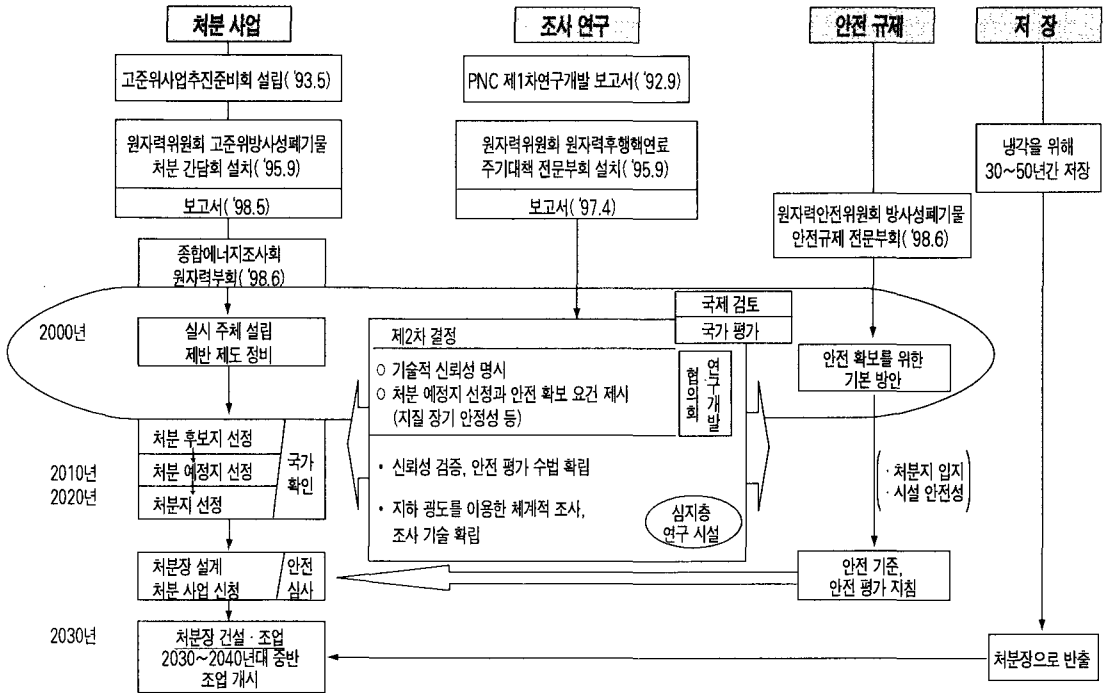
또한 근본적인 대책으로서 폐기물의 자원화와 폐기물량 저감이라는 관점에서 고준위 방사성 폐기물에 포함된 방사성 핵종을 화학적·물리적 특성에 따라 몇 개의 원호별로 분리하고, 원자로와 가속기에 의해 각각의 유효성과 특성에 따라 장반감기 핵종을 안정 또는 단반감기 핵종으로 핵변환하는 기술(균분리 소멸 처리)도 검토하고 있다.

그러나 이러한 처리를 함으로써 방사능 준위를 저감하는 것은 가능하지만 전체 양은 곤란하며, 어떠한 경우라도 처분이 필요하게 될 것이다.

또한 실용화까지는 새로운 기술 개발의 필요성이 있으며, 일본을 포함한 몇 개 국가에서 기초적인 연구가 수행되고 있는 단계에 있다.

94년 원자력위원회가 책정한 일본의 지층 처분 계획에 따르면, 2000년을 목표로 설치되는 처분 사업의 실시 주체가 입지 지역의 승인과 국가의 확인을 얻어 처분 예정지를 선정하고, 부지 특성 조사와 처분 기술의 실증을 실시한 후 국가에 의한 안전 심사 등을 거쳐 2030년부터 늦어도 2040년 중반까지 처분장 조업 개시

주: 7) 일본전기신문, 99. 7. 8



〈그림 4〉 일본의 고준위 방사성 폐기물 최종 처분 대책

를 목표로 하고 있다.

또한 국민의 이해와 지지를 얻어 지층 처분 사업을 전개하기 위한 필요한 법 제도의 정비와 자금 확보 등도 이것에 맞추어 추진해 나가도록 하고 있다(그림 4).

고준위 방사성 폐기물 처분 사업의 제도화에는 그 사업의 기술적·사회적 경제 특성을 배려한 법적 제도 구축이 요구되고 있다.

처분 사업이 몇 세대에 걸친 장기적 사업이라는 점을 고려하면 관련 부처에 의한 면밀하고 실무적인 정비

가 중요하다는 관점에서 통상산업성에서 처분 비용, 처분 사업에서 요구되는 요건, 실시 주체의 필요 사항, 사업 자금의 안정성 확보에 대해 검토가 현재 진행되고 있다.⁸⁾

지층 처분의 연구 개발에 대해서는 JNC를 중심으로 추진하고 있으며, 연구 개발의 방향과 추진 방향, 그리고 그것의 진척 상황과 성과에 대해서는 정보 공개를 대전제로 하여 적절한 시기에 그 결과를 공표하여 국내외의 평가를 받고 있다.

고준위 방사성 폐기물 처분에 대한

지층 처분 연구 개발에 대해서는 2000년 이후에 실시될 처분 예정지 선정, 안전 기준 설정을 위한 기술 근거를 마련한다는 목표하에 지층 처분 연구 개발 제2차 결정에 대한 2차 초안이 99년 4월에 발표되었다.

제2차 결정의 목표는 일본의 지층 처분의 기술적 신뢰성을 나타내는 것으로, JNC에서는 고준위 방사성 폐기물을 지층 처분하기 위해 실용 가능하며 합리성을 갖춘 기술의 존재를 명확히 하며 그 기술과 적합한 지질 환경에 의해 장기간에 걸쳐 지층 처

주: 8) 통상산업성 장관의 자문 기구인 종합에너지조사회 원자력부회에서 수행

분의 안전성이 확보되는 것을 과학적인 근거에 기초하여 제시하기 위해 다음 3가지 연구 개발을 목표로 하고 있다.⁹⁾

- ① 연구 개발 목표 1 : 지층 처분 시스템의 설치에 적합한 지질 환경이 일본에도 존재하고 있다는 것을 제시(처분 예정지 선정 가능성 제시).
- ② 연구 개발 목표 2 : 현시점에서 적용이 가능한 공학적 기술에 의해 인공 장벽 및 처분 시설이 합리적으로 구축될 수 있다는 것을 제시(지층 처분의 공학 기술 제시).
- ③ 연구 개발 목표 3 : near field 를 중심으로 한 지층 처분 시스템 성능을 충분한 신뢰성을 가지고 평가(지층 처분 시스템의 장기 안전성 제시).

또한 이 보고서에서는 일본에서는 적절한 지질 환경을 선정하여 그 지질 환경에 적합한 처분장을 설계·시공함으로써 고유한 성능을 가진 지층 처분 시스템을 구축할 수가 있으며, 이러한 지층 처분 시스템의 장기적 안전성은 최근 과학 기술적 지식에 근거하여 개발된 방법론에 의한 평가를 통해 확인되었다고 말하고 있다.

따라서 일본에서의 고준위 방사성 폐기물의 지층 처분을 안전하게 실시

하는 데 있어 기술적인 기반이 신뢰성을 가지고 있다고 결론을 내리고 있다.

2000년 이후의 연구 개발 방향에 대해서는 지질 환경 조건을 대상으로 하여 추진되어 온 연구 개발 성과에 대해 검증하여 구체적인 지질 환경 조건을 대상으로 한 사업화를 위한 기술로서 실용화해 나가며, 지질 처분 사업의 원활한 추진을 위한 사회와의 합의 형성을 얻는 데 주력하고 있다.

다. 경수로에서의 MOX연료 이용 (Pu-thermal 계획)

Pu-thermal 계획은 사용후 핵연료의 재처리에 의해 회수된 플루토늄을 우라늄과 혼합한 산화물 연료(MOX 연료)의 형태로 경수로 발전에 이용하는 것이다.

경수로에서의 MOX 연료 이용은 기존의 경수로에 대해 추가 설비 투자가 없으며, 수심 % 정도의 우라늄 이용 효율을 높일 수 있는 것으로 평가되고 있다.

또한 일본은 사용후 핵연료를 해외에서 위탁 재처리한 결과, 일본에 반환될 플루토늄 약 11톤(95년말 현재)이 해외에 있으며, 핵비확산의 관점에서 플루토늄의 투명한 이용을 국내외에 표명하고 있는 일본으로서 중요한 의미를 지니고 있다.

이와 같은 Pu-thermal 계획이 플루토늄 이용의 주체로서 되는 시대는 중장기적인 에너지 수급 동향, 고속 증식로의 개발 동향 등을 전망하면 장기간에 걸쳐 계속될 것으로 예상되며, 또 단기적인 시점에서도 일본로서는 ATR 실증로 건설 계획의 중저, '문주' 정지를 고려하면, 핵비확산에 대한 배려의 관점에서 플루토늄 이용에 유연하게 대응할 수 있는 Pu-thermal 계획의 중요성은 더욱 높아지고 있다.

또한 해외에서도 Pu-thermal 계획에 대한 같은 의의에서 MOX 연료를 60년대부터 경수로에 장전하고 있으며, 현재 프랑스·독일·스위스 등 20기 이상의 원자력발전소에서 지속적으로 사용되고 있으므로, 상업적인 목적으로의 이용은 향후에도 지속적으로 확대될 전망이다.

일본에서의 Pu-thermal 추진 경위를 보면, 94년 원자력 이용 장기 계획¹⁰⁾에서 90년대 후반에 경수로(PWR 및 BWR)에서 실시해야 하며, 97년 4월의 통상산업성 종합에너지사회 원자력부회의 중간보고서, 98년 1월의 당면한 핵연료주기의 구체적인 시책에 대한 원자력위원회의 결정 및 2월의 각료 위원들의 결정에서도 이 계획에 대한 추진의 필요성에 대해 언급하고 있다.

주: 9) 核燃料サイクル開発機構, "地層處分研究開発 第2次取りまとめ(第2ドラフト)", 1999. 4

10) 일본 원자력 포켓북(95년도) 부록



이 결정에 따라 97년 2월 전기사업연합회는 2010년까지 원자력발전소를 보유하고 있는 일본 전력 회사들의 Pu-thermal 도입 계획을 발표하였다.

이 도입 계획에서 일본원자력발전과 전원개발(주)를 포함한 11개 전력회사 중 도쿄(東京)전력, 간사이(關西)전력이 99년에 각각 1기씩 도입개시를 시작으로, 2010년까지 16~18기에서 MOX 연료를 사용하도록 계획하고 있다.

이 계획에 따라 일본에서는 원자력 안전위원회와 통상산업성의 승인을 얻어 타카하마(高浜) 원자력발전소 3·4호기(각각 PWR, 출력 870MWe)에 전체 연료 1/4을 MOX 연료로 사용하며, 4호기는 99년 11월, 3호기는 2000년에 실시할 계획이다. 그리고 동경전력은 2000년 2월에 후쿠시마(福島) 제1발전소 3호기(BWR, 출력 780MWe)에서 개시할 예정이다.

이를 위해 일본은 영국과 프랑스에서 가공된 MOX 연료는 해상을 통하여 99년 7월중에 일본으로 수송될 예정이며, 이에 대해 수송 경로 주변국 및 환경 단체와 국제 사회의 이목을 집중시키고 있으며, 이들로부터의 강한 반발이 예상되고 있다.

맺음말

일본의 원자력은 정부에서 추진하고 있는 행정 개혁이라는 큰 흐름과



도카이(東海) 재처리 공장. 사용후 핵연료를 재순환 연료로 정의하고 있는 일본에서는 재처리를 기본 정책으로 하고 있으며, 사용후 핵연료의 효율적 이용과 핵비확산의 관점에서 현재 경수로에서의 MOX 연료 이용(Pu-thermal)을 추진하고 있다.

PNC의 연이은 사고로 인한 국민들의 원자력 정책에 대한 불안감이 가중됨에 따라 이의 해소를 위한 정부 주도의 원자력 정책에 대한 재검토와 PNC의 근본 개혁을 통한 신법인 설립 등 원자력 분야에 있어서 큰 변화를 보이고 있다.

또한 원자력 정책에 있어서도 원자력 정책의 투명성을 위한 정보 공개를 대원칙으로 하고 있으며, 국민들의 합의 형성을 위해 현재 개최되고 있는 원자력정책원탁회의에서 원자력의 전반에 걸친 논의를 통하여 원자력 정책에서의 국민들과의 합의 형성을 추진하고 있으며, 이의 제언 내용을 2000년 후반에 제정될 원자력

연구·이용·개발 장기 계획에 반영시키도록 하고 있다.

이와 같이 일본에서는 원자력의 급격한 변화에도 불구하고 원자력을 지구 온난화 방지를 위한 유력한 에너지원으로 규정하고, 원자력 발전의 원활한 추진을 위해 사용후 핵연료 대책, 고준위 방사성 폐기물 처리 처분, Pu-thermal 계획 실시 등 정부 및 민간 기업과의 연계를 통해 원자력 관련 연구 개발을 착실히 추진하고 있으며, 국민들에게는 원자력의 정보 공개 등 투명성 확보에 노력하여 국민들과의 원자력에 대한 합의 형성을 위해 적극적으로 대처하고 있다. ☞