



일본의 후행 핵연료 주기 정책과 고준위 폐기물 관리 체제

최 중 원

한국원자력연구소 책임연구원



서론

고준위 방사성 폐기물(이하 고준위 폐기물)에는 사용후 핵연료와 사용후 핵연료의 재처리 분리 공정에서 발생된 폐액이 포함된다. 사용후 핵연료에는 연소되고 남은 우라늄을 비롯하여 플루토늄·아메리슘 등 반감기가 긴 악티나이드 원소들과 연료의 핵분열시 생성된 세슘·스트론튬 등의 핵분열 생성물이 포함되어 있다. 재처리 공정으로부터 발생된 액체 폐기물에는 우라늄과 플루토늄을 제외하고는 거의 사용후 핵연료와 같은 방사성 물질들이

포함되어 있다.

이와 같이 고준위 폐기물에 포함되어 있는 악티나이드 물질과 핵분열 생성물들에 의해 평가되는 방사성 독성(radiotoxicity)은 자연 방사선원 수준으로 감소하기까지는 수십만년 이상이 걸리고 또한 장기간 동안 높은 붕괴열을 함께 방출하는 특성을 갖고 있다.

고준위 폐기물 처분 기술은 글자 그대로가 의미하듯이 방사선 준위가 높은 방사성 폐기물을 인간 생활권으로부터 안전하게 격리시키는 기술이다.

고준위 폐기물의 처분에 관심을 갖기 시작한 초기에는 심해, 우주 또는 극지방의 얼음층 등과 같은 인간의 접근이 어려운 곳에 처분하는 방안이 고려되기도 하였으나, 관련 환경에 대한 자료의 한계와 안전성 및 기술성의 이유로 지하 300~1,000미터의 심지층에 처분하는 방안이 가장 타당하다는 결론에 도달하였다.

현재 미국을 비롯하여 캐나다·

스웨덴·독일·스위스·일본·핀란드 등 여러 나라에서는 자국의 환경에 맞는 심지층 처분 시스템을 개발하고 있다.

장기간 동안 고준위 폐기물로부터 방출되는 고방사선과 붕괴열은 처분장 운영 효율성 및 안전성 확보에 매우 중요한 파라미터인데, 이들 나라에서는 이와 같은 주요 요소들과 심지층 처분 환경과의 장기적 양립성을 분석·예측할 수 있는 정보의 한계를 극복하기 위한 노력에 초점을 맞추고 있다.

현재 우리 나라에는 PWR 12기와 CANDU 4기가 운영중에 있고 PWR 4기가 건설중에 있다. 그리고 2010년 경에는 PWR 7기가 더 추가될 전망이다.

더 이상의 추가 원전 건설이 없다 하더라도 이들의 수명 기간 동안 발생되는 사용후 핵연료는 약 36,000톤(PWR 20,000톤 : ~46,000 집합체 ; CANDU 16,000톤 : ~850,000 다발)에 이를 것으로 추정된다. 이는 결코 간과할 수 없는 많

은 양이다.

중간 저장 이후 단계의 정부 정책이 추후 마련될 예정이지만 사용후 핵연료의 재활용으로 가든 직접 처분으로 가든 어떤 형태로든 고준위 폐기물 처분은 필수적인 것이다. 따라서 고준위 폐기물 처분 기술은 사용후 핵연료 관리 또는 후행 핵연료 주기 기술의 자립에 필요한 공통 필수 기술로 분류될 수 있다.

이상과 같은 고준위 폐기물 처분 기술의 완성도를 높이고, 특히 지하 환경에서의 신뢰도가 큰 자료를 확보하기 위해서는 제도적인 차원에서 20~30년 이상의 지속적이고도 안정적인 지원이 필요로 하며, 각 분야의 전문적 인력 지원도 요구된다.

실제적으로 외국의 예로 살펴보면, 미국은 1960년대 후반부터, 독일은 1970년대 초반, 스웨덴은 1970년대 중반, 그리고 일본과 캐나다는 1980년대 초반부터 자국의 안정적인 지원하에 고준위 폐기물 처분 기술 개발 프로그램을 체계적으로 수행해오고 있다.

미국은 에너지부가 직접 2010년 고준위 폐기물 처분장 운영 목표로 최종 부지 확보를 위한 대통령 보고 및 의회 승인을 위한 마무리 작업에 돌입하였으며, 스웨덴은 전담 기관인 SKB 주관으로 처분장 최종 부지 선정을 위하여 3개 후보 부지에 대한 정밀 조사 분석에 대한 정부

승인을 확보하였고, 2006년 최종 부지 선정과 함께 처분장 건설에 착수할 예정이다.

핀란드는 2001년 초반 정부와 의회의 동의를 얻어 올킬루오토 원전 인접지(헬싱키 서북방 200km 지점)를 사용후 핵연료 처분장 부지로 확정짓고 2020년부터 본격적으로 가동할 예정이다.

일본은 과거 10여년 간 추진해 오던 고준위 폐기물 처분 연구를 일단락 짓고 2000년 6월 최종 처분장 건설을 위해 관련 법령을 제정 공포하고 처분 전담 기관(원자력발전환경정비기구)을 설립하고 본격적인 처분장 건설 사업을 착수하였으며, 캐나다는 최근 수십년간의 AECL 연구 결과에 대한 정부·전문가 및 민간 단체 검토 의견을 수렴하여 사용후 핵연료 처분 전담 기관 설립과 처분 기금 확보를 위한 관련 법령(Bill C-27)을 의회에 제출하였다.

우리 나라의 고준위 폐기물 처분 연구는 다소 늦은 감은 있지만 1997년도부터 한국원자력연구소를 중심으로 추진되고 있다. 이 연구 목적은 2006년 3월까지 우리나라 환경에 맞는 기준 처분 개념(reference disposal concept)을 설정하는 것이다.

우리의 경우는 앞서 언급한 선진국의 기술 개발 사례 및 현황에 비추어 아직 초보 단계에 불과하지만

외국의 기술 개발 수행 과정 및 결과 등을 잘 살펴 우리 환경에 맞는 기술을 확보하기 위한 노력이 필요하다.

그러한 노력의 일환으로 본 글에서는 우선 우리와 지리적으로 가장 가깝게 있으면서도 정서적 환경이 유사한 일본의 원자력 이용 현황과 고준위 폐기물 관리 체제 및 기술 개발 방향 등을 고찰해 봄으로써 향후 우리의 고준위 폐기물 관리 및 관련 기술 개발 계획 수립에 도움을 주고자 하였다.

일본의 원자력 현황과 고준위 폐기물 관리

1. 원자력 일반 현황과 후행 핵연료 주기 전략

우리 나라와 유사하게 에너지 자원이 부족한 일본은 1966년 원자력 상용 발전을 시작한 이래 2000년 8월 말 현재까지 51기가 운전중이며, 4기가 건설중에 있다.

이들로부터 생산되는 발전량(총 4492만kW ; PWR 23기, BWR 28기)은 전체 발전량의 약 34.2%를 차지하고 있다. 이 이외에 전기 출력 16만kW인 신형전환로(ATR) 「후젠」이 운전중이다[1].

1995년 12월 몬주 나트륨 누출 사고, 1997년 3월 도카이무라 재처리 공장의 고화 처리 시설 화재 사고 및 1999년 9월 도카이무라 우라늄 가공 공장 임계 사고 등 일련의



사고로 원자력 안전에 대한 국민들로부터의 신뢰에 큰 타격을 입었지만 일본 원자력계는 기존의 운영중이거나 개발중인 원자력 시설의 안전 확보와 방재, 국민의 신뢰 회복 등을 최우선 과제로 추진하면 동시에 공급 안전성이 높고 환경 부하가 적은 원자력 발전을 지속적인 기반전원으로서 최대한 활용해 가는 데 중점을 두고 있다[2].

그리고 2000년 12월 책정된 「원자력 연구 개발 이용 장기 계획」은 여러 경로의 전문가와 국민의 의견을 폭넓게 수렴하는 과정을 거쳐 원자력의 장기적인 안정적 에너지 공급원으로서의 역할뿐만 아니라 원자력을 이용한 첨단 과학 기술의 발전 및 국민 생활의 질 향상과 같은 다양한 분야에도 최대한으로 활용할 수 있는 국민의 원자력 시대를 이어가는 데 노력하고 있다.

2. 사용후 핵연료 관리

가. 기본 방향

일본은 장기적인 원자력 에너지의 안정 공급 확보와 방사성 폐기물의 환경 영향을 줄이기 위한 관점에서 '사용후 핵연료를 재처리하여 회수된 플루토늄을 핵연료 물질로 재활용' 하는 핵연료 주기를 원자력 정책의 기본으로 삼고 이를 위한 기술 개발을 체계적으로 추진하고 있다.

1997년 1월 원자력위원회는 경

수로에서의 플루토늄 이용과 사용후 핵연료의 관리 등 당면한 핵연료 주기의 구체적인 정책을 결정하고 동년 2월에 정부가 이를 승인한 바 있다[3].

일본에서는 현재 연간 약 1,000톤의 사용후 핵연료가 발생하고 있으며, 2010년경에는 연간 약 1,400톤으로 원자력의 이용량 증가에 따라 계속 증가할 것으로 예상된다. 또한 누적 발생량도 2000년에는 16,000톤이며, 2010년에는 28,000톤으로 증가할 것으로 전망된다[1].

나. 재처리

일본의 사용후 핵연료 재처리는 지금까지 JNC의 도카이 재처리 공장과 영국 및 프랑스에 의해 실시해 왔지만 국내에서의 재처리 자립을 위해 일본원연(주)가 룩카쇼무라에 재처리 공장을 건설하고 있다. 또한 고속증식로 사용후 핵연료의 재처리 연구 시설을 JNC가 건설하고 있고 일본원자력연구소(JAERI)는 임계 안전성에 관한 연구를 실시하고 있다[3].

일본에서 최초로 사용후 핵연료를 재처리한 JNC의 도카이 재처리 공장은 1977년 운전 개시 이래 연간 처리량 90톤 규모까지 조업을 하였다. 1997년 3월 아스팔트 고화체 화재 폭발 사고를 계기로 3년간 운전 정지 후 2000년부터 소규모 조업을 재개하고 있다[4].

해외 위탁 재처리의 경우, 1998년 3월 말 현재 경수로 사용후 핵연료에 대해 BNFL 및 COGEMA와 함께 5,600톤의 재처리 계약을, 가스 사용후 핵연료에 대해서는 BNFL에 약 1,500톤의 재처리 계약을 맺었다[3].

현재 룩카쇼무라 재처리 공장은 2005년을 운전 개시 목표로 건설이 진행중이며, 제2 재처리 공장은 현재의 진척 상황을 고려하여 2010년경부터 검토할 예정이다[5].

다. 혼합핵연료(MOX) 이용 계획: 플루서멀

일본은 1997년부터 사용후 핵연료로부터 회수한 플루토늄을 경수로 핵연료(MOX 연료: U-Pu Mixed Oxide Fuel)로 이용하기 위한 플루서멀 계획을 진행하고 있다[3].

1999년부터 도쿄전력 및 간사이전력의 원전에서 플루서멀을 시작하여 2010년까지 원전 누계 16~18기에 순차적으로 이를 실시할 계획이며, 이미 MOX가 반입된 원전도 있으나 1999년에 발생한 영국의 MOX 핵연료 제조사의 검사 자료 위조 등과 같은 사건으로 국민의 신뢰를 잃어버린 문제가 발생하여 2001년 6월 말 현재 아직 실시되지는 않고 있다[6, 7].

동 계획의 기술 자립을 위하여 JNC를 중심으로 신형전환로·고속증식로 등의 MOX 연료 가공 연

구 개발을 수행하고 있으며, 가공 실적은 1998년 3월 말 현재 누적량으로 약 155톤에 달한다. 경수로에서의 MOX 연료 이용 계획 및 롯카쇼무라 재처리 공장의 준공을 고려하여 연간 100톤 정도의 MOX 연료 가공의 사업화를 추진중에 있다[3].

라. 사용후 핵연료의 중간 저장

일본은 발전소 내의 사용후 핵연료 저장 시설 용량 및 향후의 발생량을 고려할 때 현재 건설중인 재처리 시설이 계획대로 진행되더라도 별도의 사용후 핵연료 중간 저장 시설이 필요한 것으로 나타나고 있다.

사용후 핵연료 누적량과 저장 시설 건설 기간 등을 종합적으로 감안하면 2010년에는 6,000톤 규모, 2020년에는 15,000톤 규모의 저장 용량 확보가 필요하다. 또한 장기적으로 원자로 해체에 따른 사용후 핵연료 저장 용량도 고려해야 할 것이다.

일본은 발전소의 사용후 핵연료 저장 용량, 사용후 핵연료 발생량, 중간 저장 시설 건설 기간, 입지에 필요한 기간 등을 고려할 때 2010년까지는 원전 부지 이외에 중간 저장 시설의 운전을 개시한다는 계획 법안을 국회에 제출할 예정이다[8].

예비적으로 평가된 중간 저장 비용을 살펴보면, 40년간 운영할 저장 용량 5,000톤의 저장 시설 건설, 원전과 저장 시설간 수송, 저장

시설과 재처리 시설간 수송, 그리고 저장 시설의 해체 및 철거까지 고려할 때 1kWh당 습식 저장 방식의 경우 약 0.1엔 이상, 금속 캐스크 저장 방식의 경우 약 0.1엔 미만이 필요한 것으로 나타났다[8].

3. 방사성 폐기물 관리

가. 기본 방향

방사성 폐기물의 방사능 준위의 높낮이와 포함된 방사성 물질의 종류 등의 다양한 특성을 포괄적으로 고려할 수 있는 적절한 처리 처분, 자원의 유효 이용 관점에서의 재활용을 기본 원칙으로 삼고 있다[3].

나. 고준위 폐기물 발생

일본은 사용후 핵연료의 재처리로부터 우라늄·플루토늄을 분리하고 남은 고준위 폐기물에 대해서는 안정한 형태의 유리 고화체로 만든 후 30년에서 50년 정도의 저장 기간 동안 냉각시키고 그 이후 심지층에 처분하는 것(이하 지층 처분)을 기본 방침으로 하고 있다[9].

현재 일본은 사용후 핵연료 재처리를 후행 핵연료 주기의 기본 방침으로 삼고 있기 때문에 고려되는 고준위 폐기물은 사용후 핵연료 재처리로부터 발생된 고준위 유리 고화체이다. 현재 도카이 재처리공장에서 발생한 고준위 방사성 폐액은 유리 고화 기술 개발 시설(TVF: Tokai Vitrification Facility)에서 유리 고화체로 만들어져 62개가 저장

되고 있고, 프랑스와 영국의 해외 위탁 재처리로부터 반환된 유리 고화체 272개는 아오모리현 롯카쇼무라 시설에 저장되고 있다. 2015년 경 재처리 물량 전체가 반환되면 약 4만개에 달할 것으로 평가된다[3].

다. 고준위 폐기물 관리 대책

일본은 1991년 10월 효율적인 고준위 폐기물 관리와 관련 기관간의 협력 강화를 위해 정부·전기사업자·JNC가 참여하는 「고준위방사성폐기물대책추진협의회」를 조직하였다. 그리고 1993년 5월에는 고준위 폐기물 처분 사업 준비를 위해 동 협의회 산하에 「고준위 폐기물 사업추진 준비회(SHP: Steering committee on High-Level-Radioactive-Waste Project)」를 설치하여 2000년 심지층 처분 전담 기관을 설립한다는 목표로 필요한 사항에 대한 조사·연구를 수행하였다[3].

이와 같은 SHP의 활동과는 별도로 일본 원자력위원회는 1995년 5월 고준위 폐기물 처분에 대한 국민들의 개방된 논의가 충분히 이루어질 수 있도록 「원자력후행핵주기 대책 전문부회」와 「고준위폐기물 처분 간담회」라고 하는 두 조직을 설치하였다.

전문부회에서는 1997년 4월 「고준위 폐기물 지층 처분 연구 개발의 향후 추진 방향에 관하여」라는 보



고서에서 향후 필요한 고준위 폐기물 처분 연구의 기본 방안과 기술적 중점 과제 및 범위 등을 정리한 다음 이 결과를 2000년 전까지 국제적 검토를 거친 기술 보고서로 보고토록 권고하고 있다.

또한 동 보고서에는 지층 처분의 기술적 신뢰성과 처분 예정지 선정 및 안전 기준을 결정하는 데 필요한 기술적 근거 등을 제시하고 있다 [3].

한편 처분 간담회에서는 1996년 5월 고준위 폐기물 처분에 대한 국민의 이해와 신뢰를 얻기 위해 사회적·경제적인 면을 포함한 처분 제도와 체제에 대한 폭넓은 심의를 거쳐, 1997년 7월에 「고준위 폐기물 처분을 위한 기본 방안」에 관한 예비 보고서를 발표하였다.

이 보고서에는 처분 사업의 자금 확보 대책, 사업 실시 주체의 자세, 처분 부지 선정 과정, 입지 지역과의 공생, 사업의 사회적인 수용성 등에 대해 구체적으로 제시하고 있다.

원자력위원회는 본 보고서에 제시된 방침에 따라 연구 개발 및 2000년 처분 사업 주체 선정, 자금 확보 및 안전 규제에 관한 여러 제도의 정비, 심지층 연구 시설 실현을 위한 처분 사업 조기 구체화 등에 노력하였다.

한편 JNC는 1990년대 초반부터 수행되었던 처분 연구 결과들을 중

합 정리한 「일본 내 고준위 폐기물 지층 처분의 과학적 기술적 기반 설정 프로젝트」(H-12 보고서로 불림)를 2000년 4월에 발표하였다 [10].

이 보고서는 대외적으로는 경제협력개발기구/원자력기구(OECD/NEA)의 전문가의 검토와 대내적으로는 원자력위원회 산하 후행핵주기대책전문회의의 심의를 받아 대내외적으로 “일본은 지층 처분을 사업화 단계로 진행시키기 위한 신뢰성 있는 기술적 기초를 갖추고 있다”라는 결론을 인정받아 처분 사업화의 계기를 마련하였다.

한편 통상산업성 측에서는 고준위 방사성 폐기물 처분 사업의 제도화를 향한 자금 확보 전략을 포함한 다양한 검토를 진행해 2000년 5월 고준위 방사성 폐기물 최종 처분에 관한 「특정 방사성 폐기물의 최종 처분에 관한 법률」을 입안하여 2000년 3월 내각에서 결정하고 동년 5월 국회 본회의의 가결을 거쳐 6월에 최종 공포했다[11].

이 법안에서는 ① 정부가 기본 지침과 처분 시기·처분량을 포함한 10년간의 처분 계획 결정시 이러한 처분 계획을 5년마다 갱신할 것 ② 처분 주체인 「원자력발전환경정비 기구」는 민간 발의에 의해 설립되어 통상산업성 장관의 인가 감독을 받을 것 ③ 처분지는 개요 조사·정밀 조사·처분 시설 건설지 선정의

3단계를 거쳐 선정되어 개요 조사에 대해서는 지역의 지사 및 지역 자치 단체장의 의견을 충분히 존중할 것 ④ 실시 주체와는 별도로 자금 관리 주체를 설립하여 통상산업성 장관의 지정을 받을 것 ⑤ 필요한 비용 조달을 위해 원자력 발전 사업자는 정비 기구에 각출금을 납부하고 정비 기구는 각출금을 최종 처분 적립금으로서 자금 관리 주체에 적립 ⑥ 법 시행 10년 후 제도의 틀 전체를 재검토 등이 명시되어 있다.

본 법에 의거 최종 처분 업무의 실시 주체인 「원자력발전환경정비 기구(NUMO)」가 2000년 10월에 설립 인가를 받음으로써 발전 사업자는 통상산업성(구 경제산업성) 장관이 결정한 각출 금액을 NUMO에 납부하고 각출된 금액에 해당되는 고준위 폐기물 처분은 NUMO가 실시하도록 관련 주체 및 법체제가 정비되었다. 고준위 폐기물 1개당 각출금은 약 3,590만엔으로 추산되고 있다[10].

일본 정부는 2000년 9월 29일, 「특정(고준위) 방사성 폐기물 최종 처분에 관한 계획」을 각의에서 결정한 바 있는데[12], 그 내용은 다음과 같다.

사용후 연료 재처리로부터 발생되는 폐기물(유리 고화체) 양은 1999년 12월 31일 이전에 가동된 원전으로부터는 약 1만3천3백개,

향후 전력 공급 계획에 따라 2000~2009년 사이에 운전되는 원전으로부터 1만2천4백개, 그리고 그 이후 2020년경에는 약 4만개에 달할 것으로 평가되고 있다.

그리고 최종 처분 시설 규모는 '4만개 이상의 유리 고화체를 처분할 수 있는 규모'로 규정하고 연간 처리 능력은 현재 건설중인 룩타쇼 무라 재처리 시설 운영을 고려하여 약 1천개로 규정하였다.

또한 최종 처분 시작은 2028~2037년대 후반을 목표로 추진하되, 최종 처분 지역 선정은 전담 기관인 NUMO가 우선 부지 예비 조사를 실시하고 2008~2017년대 전반기까지는 정밀 조사 지구 선정, 그리고 2018~2027년대 후반기까지 최종 처분 시설 건설 부지를 선정하는 것으로 계획되어 있다.

4. 사용후 핵연료 및 방사성 폐기물 관리 체제

가. 일본의 원자력 행정 체제

1996년 11월 실시된 중앙 부처의 전면적인 행정 개혁을 통한 원자력 및 과학 기술 부문과 관련된 변화를 살펴보면, 내각부 산하의 과학기술회의 기능을 강화하여 인문·사회·자연과학의 종합적 과학 기술 추진을 위해 종합과학기술회의를 신설하였다. 그리고 총리부 산하의 원자력위원회와 원자력안전위원회는 내각부 산하의 심의 기구로 이관

하여 기존의 체제를 보다 강화하였다[13].

원자력 위원회는 원자력기본법에 따라 원자력의 연구 개발 및 이용에 관한 국가의 정책을 계획적으로 시행하기 위해 1956년 1월에 총리부에 설치된 기관으로서 원자력과 관련된 중요 사항을 기획하고 심의·결정하는 권한을 가지고 있으며 장기 계획 수립 등 다양한 활동을 하고 있다[14].

원자력안전위원회는 1978년 10월 원자력의 안전 확보 체제를 강화하기 위해 원자력위원회의 기능 중 안전 규제를 독립하여 담당하는 기관으로 총리부 산하에 설치되었으며, 원자력의 연구 개발 및 이용에 관한 사항 중 안전 확보와 관련된 사항에 대해 기획·심의·결정하는 권한을 가지고 있다[15].

문부과학성에는 원자력 안전과 관련된 업무를 담당하는 과학기술·학술정책국과 원자력의 연구 개발 및 핵연료 주기 관련 연구 개발 업무를 담당하는 연구개발국이 있다. 산하 기관에는 JAERI·이화학연구소(RIKEN)가 있으며 JNC에 대해서는 경제산업성과 공동으로 관리하고 있다.

경제산업성의 에너지 및 원자력 정책에 대해서는 산하 기구인 자원에너지청에서 담당하며 안전 규정에 대해서는 자원에너지청에 새로이 신설된 원자력안전보안원에서

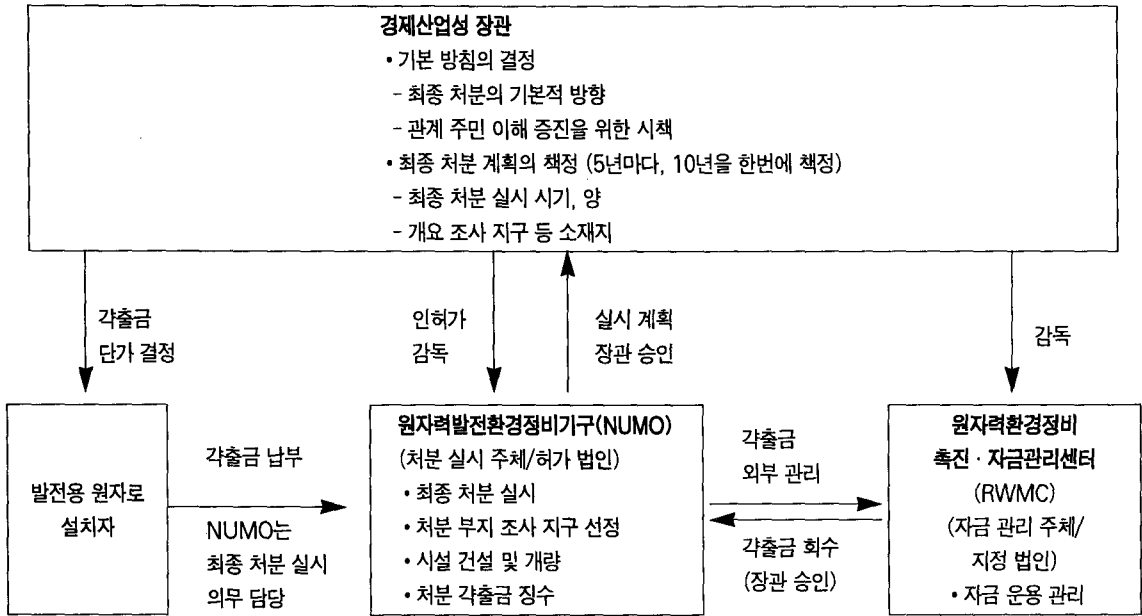
원자력 안전에 대한 심사 및 규제 업무를 담당하고 있다[13].

문부과학성의 원자력 관련 업무로는 과학 기술에 관한 원자력 정책, 과학 기술의 수준향상을 꾀하기 위한 원자력 기술 개발, 시험 연구용 원자로 시설, 핵연료 물질 및 핵연료 물질의 사용에 관한 규제, 방사선에 의한 장애 방지 등이 있으며 경제산업성의 원자력 관련 업무로는 에너지에 관한 원자력 정책, 에너지 이용에 관한 원자력 기술 개발, 원자력 관련 제련·가공·저장·재처리 및 폐기 사업 등과 발전용 원자력 시설에 관한 규제 등이 있다[16].

나. 방사성 폐기물 처분 관련 기관 ① 핵연료주기개발기구(Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC)

1995년 12월의 몬주 사고 이후 일련의 원자력 시설 사고 및 그에 대한 부적절한 대응으로 인해 원자력에 대한 일본 국민의 불안감·불신감을 고조시켰다. 그 결과 과학기술청(지금의 문부과학성)은 PNC(일본 동력로핵연료개발사업단)의 개혁안으로서 제출한 「원자력기본법 및 동력로핵연료개발사업단법의 일부를 개정하는 법률안」(98년 5월)을 근거하여 핵연료주기개발기구(JNC)가 발족되었다[3].

JNC의 중점 사업 분야로는 고속 증식으로 핵연료 주기 연구 개발, 고



〈그림 1〉 일본의 고준위 폐기물 처분 사업 및 자금 관리 체계

준위 폐기물 처리 처분 기술 연구 개발, 경수로 재처리 기술 개발, 환경 보존 대책 등이 있다[17].

고준위 폐기물 처분 기술 개발은 고준위 폐기물의 유리 고화 기술, 지층 처분 연구 개발, 지층 과학 연구 등 크게 3분야로 구분된다. 도카이사업소의 고준위 폐기물 유리 고화 기술 개발 시설은 유리 고화 기술의 실증을 목적으로 1995년부터 운전되어오고 있다.

지층 처분 연구 개발의 경우, 도카이사업소의 지층 처분 기반 연구 시설 및 건설중인 지층 처분 방사화학 연구 시설을 거점으로 다중벽 시스템의 유효성 확인, 인공벽 연구 개발 등을 수행하고 있다.

지층 과학 연구는 심지층 처분 기술 개발의 기반이 되는 것으로 심부 지질 환경 특성을 파악하는 연구와 지질 환경 특성의 장기적 예측에 관한 연구로 구성되어 있다[18].

② 원자력발전환경정비기구 (Nuclear Waste Management Organization of Japan, NUMO)[19]

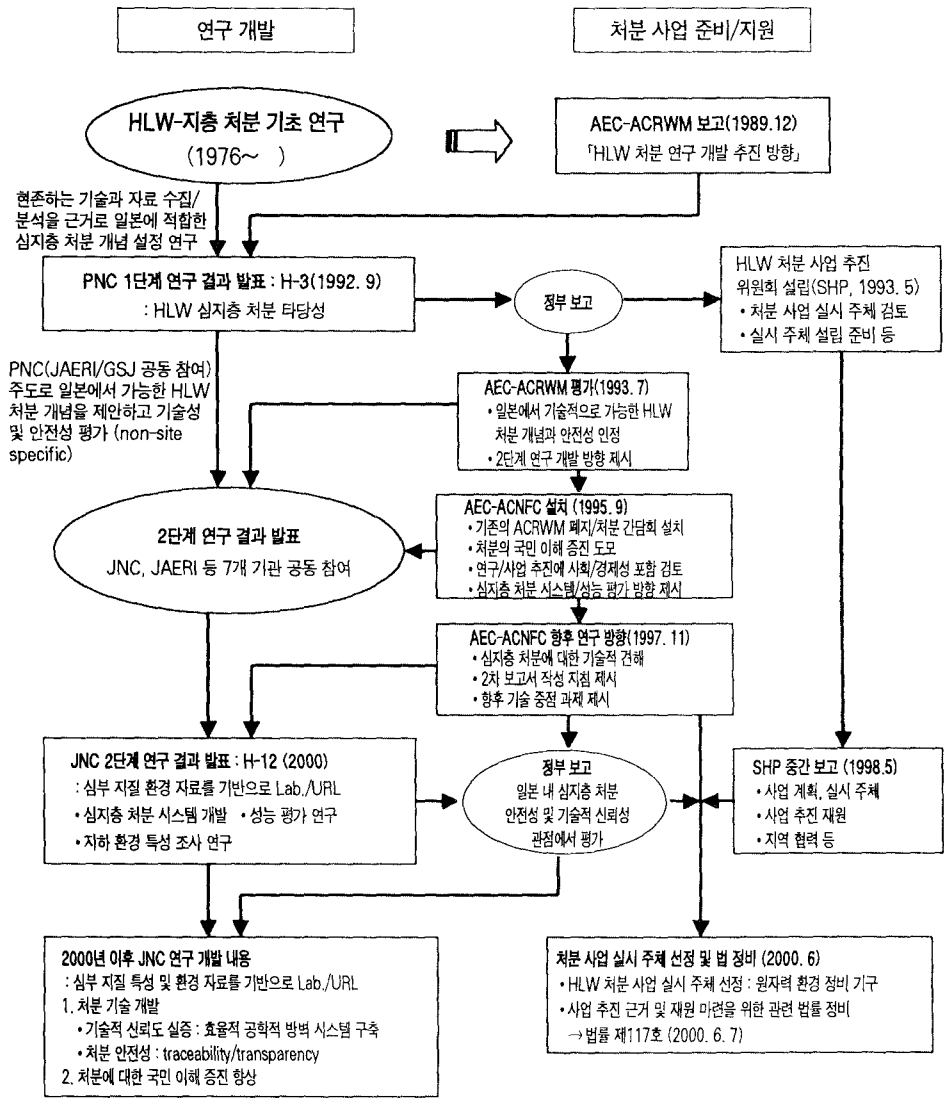
2000년 6월 「특정방사성폐기물의 최종처분에 관한 법률」이 공포됨으로써 1993년부터 처분 사업화 준비를 추진해 오던 SHP(고준위폐기물사업추진준비회)는 2000년 7월 해산되고 대신 동년 10월 18일 규슈전력과 일본원전사 등 9개 전력사가 포함된 핵연료 주기 관련 11

개 사업자가 발기인으로 등록된 원자력발전환경정비기구(NUMO)가 설립되었다.

고준위 폐기물의 처분 사업 실시 주체로서 이 기구의 주요 업무는 다음과 같다.

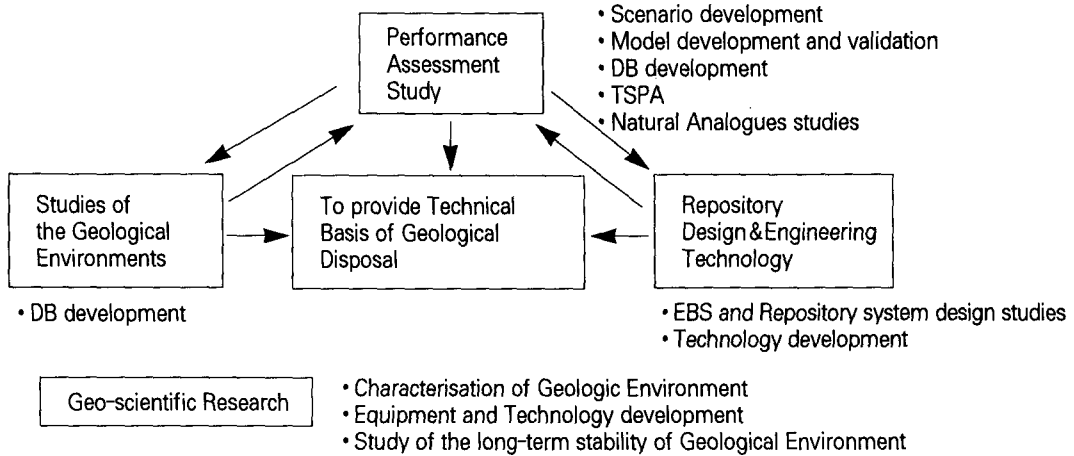
- 개요 조사 지구 등의 선정
- 최종 처분 시설의 건설·개량·유지·관리
- 특정 방사성 폐기물의 최종 처분 수행
- 최종 처분 종료 후 시설의 폐쇄 및 폐쇄 후 시설 지역의 관리
- 각출금 징수

각출 금액은 경제산업성 장관이 정한 특정 방사성 폐기물 1개당 금액(이하 단가)을 기초로 하여 산정



AEC-ACRWM : 원자력위원회 산하 방사성폐기물 대책 전문부회
 AEC-ACNFC : 원자력위원회 산하 후행핵주기 대책 전문부회(1995. 9 ACRWM과 대체)

<그림 2> 일본의 HLW 처분 연구/사업 추진 경위 및 현황



(그림 3) 일본의 HLW 지층 처분 연구 개발 프로그램 수행 체제

하는데, 현재 「특정방사성폐기물 최종처분에 관한 법률 제11조 제3항의 단위 수량당 최종 처분 업무에 필요한 금액을 정한 령」(평성 12년 통상산업성령 제398호)에 따라 평가된 고화체 1개당 각출 금액은 할인율을 2%로 가정했을 때 35,917,000 엔이 되고 발전 전력당 단가는 1kWh당 약 13센으로 평가되고 있다.

NUMO는 발전 사업자가 납부한 각출금을 경제산업성 장관이 지정한 지정 법인(원자력환경정비촉진·자금관리센터)에 최종 처분 적립금으로 적립하여 최종 처분 업무에 필요한 액수를 경제산업성 장관의 승인을 받아서 사용한다. <그림 1>은 일본 고준위 폐기물 처분 사업 추진을 위한 정부와 사업 실시 주체

그리고 자금 관리 주체의 역할 및 보고 체계를 도식화한 것이다.

③ 원자력환경정비촉진·자금관리센터(Radioactive Waste Management Funding and Research Center, RWMC) [20]

RWMC는 본래 1976년 저준위 폐기물의 시험적 해양 처분 및 육지 처분의 기초 연구를 주로 담당하는 기관으로서 설립되었으나 최근에는 저준위 폐기물에 대해서는 고베타·감마 폐기물의 처분 방안 확립을, 고준위 폐기물에 대해서는 관련 기술 및 제도 정비와 같은 심지층 처분 환경 정비를, 그리고 초우란(TRU) 폐기물에 대해서는 처분 사업화를 위한 기초 조사 연구를 수행하여 왔다.

이외에 RWMC는 2000년 6월 공포된 「특정방사성폐기물의 최종 처분에 관한 법률」에 근거하여 고준위 폐기물 처분 자금 관리 지정법인으로서 지정된 바 NUMO에서 적립된 최종 처분 적립금을 운용·관리하는 업무를 담당하고 있다.

5. 연구 개발

<그림 2>에는 약 25여년간 추진된 일본의 고준위 폐기물 처분 연구 추진 경위와 그러한 연구 결과를 바탕으로 지속적인 정부 지원하에서 본격적으로 처분 사업으로 전환된 과정이 잘 요약되어 있다.

이 그림에서와 같이 일본의 고준위 폐기물 지층 처분 연구 개발은 1976년경부터 추진되어 왔는데, 동력로/핵연료개발사업단(PNC)에서

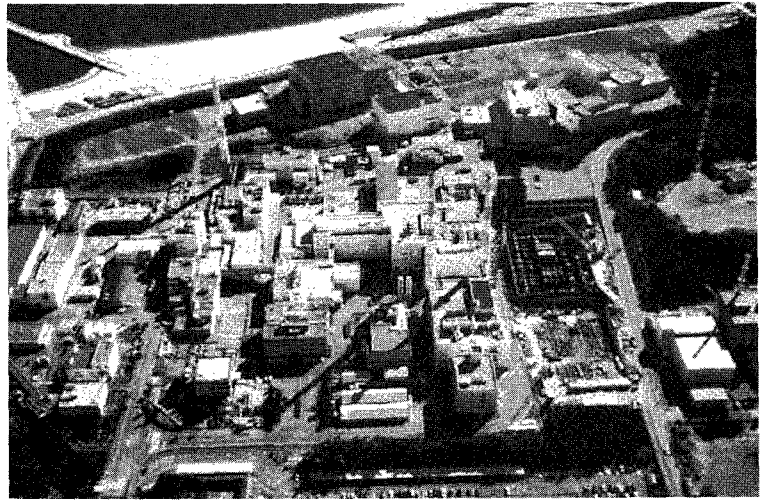
는 1992년 9월 그 동안의 연구 결과를 종합적으로 정리하여「고준위 방사성 폐기물 지층 처분 연구 개발에 관한 기술 보고서, "H3"」를 발표하였다.

1993년 7월 당시의 원자력위원회 산하 방사성폐기물대책전문위원회는 이 결과에 대해 “일본에서 고준위 폐기물을 안전하게 지층 처분할 수 있는 기술적 가능성이 밝혀지고 있다”고 평가하고, 그 이후의 연구 개발 추진 방향을 제시한 바 있다.

이에 따라 JNC는 처분에 관련된 연구 개발의 중심적 추진 기관으로서 관계 기관과 긴밀히 협력하여 지층 처분 연구 개발은 물론 심부 지질 환경의 과학적 연구를 병행하여 2000년에 그 성과를 2차 보고서(H12로 명명)로 발표하였다. 이 보고서에서는 지층 처분의 기술적인 신뢰성과 처분 부지 선정 및 안전 기준 책정에 이바지하는 기술적인 근거를 제시하였다.

2차 보고서 이후에는 처분 사업을 실시하는 실시 주체에 대한 지원 및 안전 평가와 신뢰성의 검증에 필요한 연구 개발 등이 수행될 예정이다[21].

〈그림 3〉에서 보여주는 바와 같이 JNC 주체로 수행된 고준위 폐기물 처분 연구 분야는 심부 지질 환경, 처분 기술 개발 및 성능 평가 등 3분야로 구분되어 수행되어 왔는데, 각 분야별 기술적 중점 사항



일본의 도카이 사용후 연료 재처리 시설 전경. 일본은 1990년대 후반에 들어 발생한 일련의 사고로 인해 원자력 안전에 대한 국민들의 신뢰에 큰 타격을 입었지만 일본 원자력계는 과거 이상으로 원자력 안전과 국민의 신뢰 회복 등에 전력 투구함은 물론, 환경 부담이 적은 원자력 발전을 지속적인 국가 에너지의 기반 전원으로 활용하는 전략을 추구하고 있다.

및 목적을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 지질 환경 조건의 조사 연구 : 「성능 평가 연구」와 「처분 기술 연구 개발」에 필요한 정보(지질 환경에 관한 정보)를 제공하기 위한 연구로서, 지층 처분에서 중요한 지질 환경 상 요건을 명확히 하여, 그것을 충족하는 지층이 일본에 존재할 가능성과 부지 특성의 조사 항목 규명.
 - 지질 환경 특성에 관한 정보 수집 및 정비 : 심부 지하의 지질 구조, 지층/암석의 분포, 암반 물성, 수리 지질 특성, 지하수의 지구 화학 특성 등(신뢰성 높은 관련 자료 확보를 위하여 필요한 조사/계측 기술 및 기기 개발/개선 포함)
 - 일본의 지질 특성을 고려하여 처분장 특성으로서 중요한 지질 구조, 지하수 유동, 지하수의 지구 화학, 암반 역학, 암반 내에서의 물질

이동, 갱도 굴삭 및 인공물 구축 등에 의해 이들 특성에 미치게 되는 영향 평가

- ② 처분 기술 연구 : 실용화/효율화를 위한 공학적 방벽 및 처분 시설의 기술적 신뢰도 향상 목적
 - 공학적 방벽의 설계/제작/시공 기술에 관한 연구
 - 처분 시설 설계 및 시공 기술 연구 : 일본의 지질 환경에 유연하게 대처할 수 있는 처분 시설 설계 요건을 제시
 - 입갱 및 처분 갱도의 설계 기술과 처분 터널 : 내 폐기물 거치(emplacement) 같은 조업 시스템에 관한 요소 기술 검토.
 - 폐쇄 기술에 대한 재료 개발, 설계 방법과 시공 기술 개발, 설계 요건 검토 및 공학 규모의 시험을 통한 성능 평가.



- 처분 시설의 설계/건설/조업/폐쇄 등의 전체 계획, 모니터링 기술 및 소요 자재 조달, 수송 평가를 포함한 경제적 합리성 평가.
- ③ 지층 처분 시스템 성능 평가 연구 :
 - 성능 평가 시나리오 연구
 - 공학적 방벽 및 근접 처분 환경 (Near Field, NF) 성능 평가 모델
 - D/B 구축 : NF 성능 평가의 신뢰성 향상을 위해서는 해석에 이용하는 데이터의 신뢰성 확보 목적
 - 시스템 성능 평가 해석
 - Natural Analog 연구의 적용 : 시스템 전체의 성능 평가 신뢰성을 높이기 위해서, 시나리오·모델 및 데이터에 대한 타당성을 보충적으로 제시하기 위하여 공학적 방벽을 구성하는 재료와 유사한 자연 물질을 이용한 연구(화산 유리의 용출 거동에 관한 연구, 금속의 고고학적 출토품 등에서 부식 경력 해석, 벤토나이트 강상을 이용한 연구 등)
- ④ 주요 연구 시설 : 심부 지질 환경의 과학적 연구를 위한 주요 시설
 - ENTRY : fundamental data 확보 및 성능 평가 모델 개선/검증을 위한 비방사성 동위원소 시험 시설로서, 다양한 처분 안전성 측면에 대한 대규모 실험을 종합적으로 실시
 - QUALITY : ENTRY 시설의

경험을 근간으로 방사성 동위원소를 이용하여 지중 핵종 이동 실험 수행

- Geoscientific 연구 시설
 - Tono Mine : 퇴적암 층에서의 In-situ 시험
 - MIU (Mizunami URL : 향후 20년 동안 결정질 암반층의 지하 1000m 까지 실질적인 다양한 범위의 지구 과학적 연구 수행

결론

오늘날 에너지 생산과 소비로 인한 환경 부하 증대는 국제적인 환경 오염 차원에서 벗어나 전지구촌을 보호하기 위한 국제적인 노력을 요구하고 있다. 최근 온실 가스 배출량 감축을 위하여 합의한 교토 의정서가 그러한 노력의 하나일 것이다.

이와 때를 같이하여 원자력의 이용은 미래의 환경 보전과 에너지 자원 절약 및 효율적 이용 관점에서 더욱 중요시될 전망이다. 앞에서 언급한 바와 같이 일본은 물론 우리나라도 이미 원자력이 국가 에너지의 중추적인 위치를 점하고 있다.

그러나 일상 생활에서 필연적으로 생활 폐기물이 발생하는 것과 마찬가지로 원자력의 이용에 따라 발생하는 방사성 폐기물은 역시 피할 수 없다. 그 중에서도 특히 고준위 폐기물은 장기간 동안 방사능을 띠

고 있어 수 천 수 만년 동안 인간 사회와 자연 환경에 어떠한 부담으로 남지 않도록 안전하고 확실하게 처리해야 함은 원자력 혜택을 받고 있는 우리의 당연한 의무라 하겠다.

일본은 1990년대 후반에 들어 발생된 일련의 사고로 인해 원자력 안전에 대한 국민들의 신뢰에 큰 타격을 입었지만 일본 원자력계는 과거 이상으로 원자력 안전과 국민의 신뢰 회복 등에 전력 투구함은 물론, 환경 부담이 적은 원자력 발전을 지속적인 국가 에너지의 기반 전원으로 활용하는 전략을 추구하고 있다.

이를 위하여 일본 정부는 우라늄 자원의 최대한 활용을 통한 장기적인 에너지의 안정 공급과 방사성 폐기물에 의한 환경 영향 감소 관점에서 사용후 핵연료를 재처리하여 회수된 플루토늄을 핵연료로 재활용하는 핵연료 주기를 원자력 정책의 기본으로 삼고 이를 위한 기술 개발을 착실히 진행하고 있다.

현재 추진중인 핵연료 주기 관련 연구 및 기술 개발과 처분 사업은 1994년 6월 원자력위원회의 「원자력 장기 계획」에 제시된 기본 방침(“재처리 시설에서 사용후 핵연료로부터 분리되는 고준위 폐기물은 유리 고화체로 만들어 30~50년 정도 저장한 후 심지층 처분한다.”)에 따라 추진되고 있다.

구체적으로 고준위 폐기물 처분의 경우, “2000년에 처분 사업의

위한 법안을 마련하고 전담 기관을 설립한 후, 처분 예정지 선정, 부지 특성 조사와 처분 기술 실증, 필요한 법 체제 정비와 안전 심사, 처분장 건설 등을 추진하여 2030년대 부터 늦어도 2040년대 중반까지 고준위 폐기물 처분을 개시한다”는 세부 사업 계획을 착실하게 추진하고 있다.

한편 심지층 처분에 대한 국민의 이해를 얻기 위해 연구 개발 진척 상황 및 성과를 정리하여 대내외에 발표함과 동시에 국가는 그 보고를 받아 일본에서 실시되는 지층 처분의 기술적 신뢰성 등에 대해 국내의 객관적인 평가를 실시하고 있다.

이상과 같이 일본 정부는 고준위 폐기물 처분 문제를 국민 개인이 폐기물 처분을 각자의 문제로 받아들일 수 있는 정도의 국민적 합의를 형성하면서 추진해 나가는 것을 제일 중요시하고 있다.

원자력 에너지를 개발하여 그로 인한 혜택을 받고 있는 우리는 그 혜택에 수반되는 대가를 현대대 내에서 최선을 다하여 치뤄내야 한다고 생각한다.

일본의 경우와 같이 정부의 구체적인 후행 핵연료 주기 정책과 함께 그러한 정책 추진 주체와 필요한 재원에 대한 논의를 이 시점에서 꺼내어 보는 것이 시기 상조라고 생각하지는 않는다.

정책 결정의 투명성과 대국민 공

개를 제일 중요한 정책 기조로 세우고 있는 현재 우리의 계획을 기반으로 후행 핵주기 부분에 대한 논의를 본격화하여 지금까지 우리들의 시행 착오들을 반성하는 기회가 되고, 흔들리지 않는 정책 및 사업 추진이 되기를 바라마지 않는다. ☞

〈참고 문헌〉

1. 일본원자력산업회의, 원자력 포켓북 2000년 판, 2000. 7.
2. 일본원자력위원회, 평성 13년도 원자력연구, 개발 및 이용에 관한 계획(안), 2001. 3.
3. 일본원자력위원회, 원자력백서 평성10년 판, 1998. 8.
4. <http://www.jnc.go.jp/ztokai/repro/week/now/weekly.htm>
5. 일본원자력위원회, 원자력연구, 개발 및 이용에 관한 장기계획, 2000. 11.
6. 일본원자력위원회, 에너지로서의 원자력이용, 2000. 6.
7. 마이니치신문, 〈MOX연료〉 일본 각사 신규계약 없음 영국 핵연료회사에 타격, 2001. 6. 30
8. 일본원자력위원회, 사용후연료 저장대책 검토회 보고서, 1998. 3.
9. JNC, 일본의 고준위 방사성 폐기물 지층처분의 기술적 신뢰성: 지층 처분연구개발 제2차 정리집, JNC TN1400 99-024, 1999. 11.
10. Second Progress Report on REsearch and Development

for Geological Disposal of HLW in Japan: H12, Project to Establish the Scientific and Technical Basis for HLW Disposal in Japan, JNC, TN 1410 2000-001~4

11. 통상산업성(구 경제산업성), 특정방사성폐기물의 최종처분에 관한 법률에 대해서, 2000. 12.
12. 일본내각, 특정방사성폐기물의 최종처분에 관한 계획, 2000. 9.
13. KAERI, 원자력기술정책연구, KAERI/RR-2101/2000, 2001. 1.
14. <http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/setu/setu1.htm>
15. <http://nsc.jst.go.jp/annai/annai2001.htm>
16. <http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/waste-manage/siryo/high16/siryo8.htm>
17. <http://www.jnc.go.jp/kikou/kihon/h13gyoumu.html>
18. http://www.jnc.go.jp/kikou/punf/2/jnc_j.pdf
19. <http://www.numo.or.jp/label/index.html>
20. <http://www.rwmc.or.jp/jigyou/j1.html>
21. 일본원자력위원회 후행핵연료주기 대책전문부회, “일본의 고준위폐기물 심지층 처분연구 개발에 관한 향후 추진방향”, 97. 11