

· 제18회 KAIF/KNS 연차대회 패널 세션 ·

일본의 고준위 방사성 폐기물 처분 프로그램

마수다 수미오

일본 원자력발전환경정비기구(NUMO) 이사



장 유치 공모 및 건설, 처분장의 운영 및 폐쇄 등이다.

NUMO는 부지 선정 착수 업무로 2002년 12월 19일 사전 조사 지역(PIAs) 선정을 위해 공개적으로 모든 자치 단체에 후보지 공모를 발표하였다.

이 발표 자료는 NUMO의 활동을 중심으로 일본의 HLW 처분프로그램의 현황에 대해 설명하는 데 목적이 있다.

의 원자력 에너지 사용은 꾸준히 증가하였다. 2001년 말 현재 53기의 원자로가 운전중이며, 규모로는 46GWe가 된다.

일본은 2000년 원자력 에너지가 총전력 생산의 35%를 차지하였으며, 1966년 이후 총발전량의 누계는 약 4×10^{12} kWh 정도가 된다.

사용후 연료의 양은 2001년 말까지 유리화시킨 HLW가 대략 15,500 드럼 정도가 발생되었다. 2020년까지 유리화시켜야 할 HLW의 양은 40,000 드럼 정도로 추산된다.

1976년 AEC는 지층 처분을 가장 가능성 높은 방식으로 선정하였고 이를 위한 R&D 추진을 주문하였다. 포괄적인 R&D 단계에서는 원자력연료주기개발연구소(JNC)가 R&D 활동의 추진 기관으로 선정되었다.

당시 R&D 활동의 목표는 HLW의 지층 처분에 대한 과학적 기술적

개요

일본원자력위원회(AEC)가 규정한 HLW의 종합 관리 프로그램에 기술되어 있는 바와 같이 사용후 연료를 재처리한 뒤 남은 HLW는 유리화시켜 30~50년간 서늘한 곳에 보관하다가 심지층의 안전한 곳에 최종 처분하게 된다.

1966년 일본 최초의 원자력발전소가 상업 운전을 시작한 이후 일본

일본의 고준위 방사성 폐기물(HLW) 지층 처분 프로그램은 2000년 포괄적 연구 개발 단계에서 실행 단계로 전환되었다.

「특정방사성폐기물 최종처분에 관한 법률」(이하 방폐법)이 제정되고 그 추진 기관으로 원자력발전환경정비기구(NUMO)가 설립되었다.

NUMO의 주요 업무는 처분장 부지 선정, 처분 기술의 실증, 처분

토대를 제공하고,

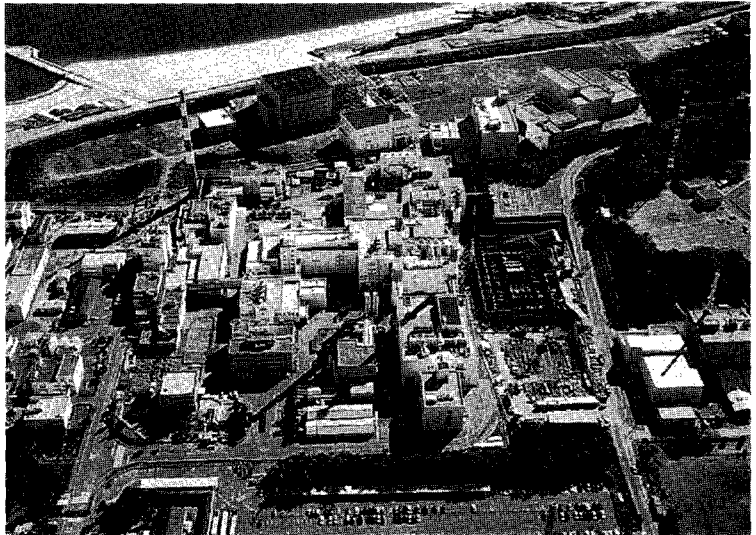
과학 기술계뿐만 아니라 일반 국민들에게 HLW의 안전 관리에 대한 개념을 이해시키는 데 있었다.

이 R&D 프로그램의 특징 중 하나는 프로그램의 성과 수준을 명확히 분석하고, 추가 R&D 이슈를 찾아내기 위해서 일정 주기별로 진전 상황을 문서화하는 것이었다.

주요 전환점이 된 것은 JNC가 1992년 9월 H3로 명명한 HLW 지층 처분에 대한 연구 개발 제1차 보고서였다. H3보고서는 1992년 3월까지의 R&D 활동 결과를 요약하였으며 추가 연구에 대한 우선 순위를 제시했다.

JNC는 1999년 11월 제2차 보고서 H12를 AEC에 제출하였다. AEC의 연료주기재처리 정책자문위원회가 발간한 자료 「HLW 지층 처분 관련 연구 개발에 대한 가이드 라인」(AEC Guidelines)에 구체적으로 명시된 것처럼 H12 보고서의 주목적은 특정 처분 개념의 기술적 타당성과 신뢰성을 보다 엄격하고 투명하게 입증시키고, 미래의 부지 선정 및 규제 프로세스를 위한 정보를 제공하기 위해서였다.

AEC는 H12 보고서가 접수되자 자체 가이드 라인에 따라 검토 팀을 구성하였다. 2000년 10월 검토를 마친 AEC는 H12 보고서에 포함되어 있는 기술적 토대가 가이드 라인에 명시되어 있는 기술적 요구사항



일본의 도카이 재처리 시설. 일본 원전에서 나온 사용후 연료의 양은 2001년 말까지 유리화시킨 HLW가 대략 15,500 드럼 정도가 발생되었다. 2020년까지 유리화시켜야 할 HLW의 양은 40,000 드럼 정도로 추산된다.

을 만족시키고 있는 것으로 결론을 내렸다.

H12 보고서에서는 엄격한 수행 평가 방식으로 처분장 시스템의 장기 안전성을 분석하고 있으며, 이 방법에는 내재된 불확실성의 광범위한 분석도 포함하고 있다.

R&D 프로그램의 포괄적 연구 단계에서 아직 남아있는 불확실성에도 불구하고, 지층 처분 방식은 방사능 조사량의 수준이 외국이나 국제 기구에 의해 마련된 안전 기준을 충족시키는 미미한 수준이 될 것으로 입증되었다.

일본의 지층 처분 프로그램은 2000년 포괄적 R&D 단계에서 지금까지 이룬 성과를 바탕으로 실증 단계로 전환되었다.

H12 보고서의 기술적 성과를 참조하여 2000년 6월에 「방폐법」이 제정되었다. 이 법에 의해 2000년

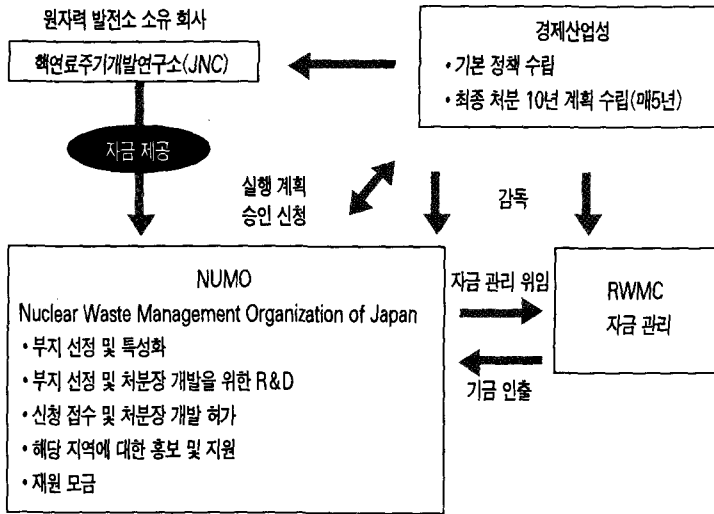
10월 HLW 지층 처분 추진을 위한 책임기관으로 원자력발전환경정비기구(NUMO)가 설립되었다.

제도적 배경

1. 조직 체계

「방폐법」에는 시행에 필요한 전반적인 체계를 명시하고 있는데, 정부 즉 경제산업성(METI)과 NUMO, 자금 관리 기관인 원자력 환경 정비 촉진·자금관리센터(RWMC) 및 원자력 발전 회사 등 관련 기관의 역할과 책임에 대해 기술하고 있다. 이 법에 의해 METI는 기본 정책을 수립하고 최종 처분 10개년 계획을 작성하며 5년마다 이 계획을 재수립한다.

NUMO의 임무는 처분장 부지 선정, 유치 공모, 건설, 운영 및 폐쇄와 재원 모금 등이다. 현재의 계



(그림 1) 처분장 건설 수행 조직 체계

획에 의하면, 처분장 운영은 빠르면 2030년대에 시작될 것으로 보인다.

METI는 NUMO가 수행하는 업무 전 과정을 감독하게 된다. NUMO는 단계마다 지역 주민들의 의견을 듣게 될 것이며, METI는 도시사나 시장 등 자치 단체장들의 의견을 수렴할 것이다.

HLW 생산자인 원자력 발전 회사들은 처분장 개발 프로그램의 비용 부담 책임을 맡게 되어 발전량에 비례하여 처분 기금을 납부해야 한다. NUMO는 그 기금 관리 업무를 RWMC에 맡기고 있다.

NUMO 프로그램 수행을 위한 예산은 이 기금에서 배분되며, METI가 그 권한을 가지고 있다.

RWMC가 담당하는 자금 관리 업무도 역시 METI가 감독한다.

현재 처분장의 총비용은 한개의 처분장에 약 3조푼의 예산이 필요한 것으로 추정되며, 처분장 하나의 규모는 유리화시킨 HLW 40,000드럼이 저장될 수 있다. 이것은 현재의 환율로 250억 달러 또는 0.13푼/kWh에 해당된다.

2. 부지 선정 프로세스

「방폐법」은 부지 선정이 단계적으로 진행되도록 다음과 같이 명시하고 있다.

- 먼저 지질 환경의 장기적인 안정성에 초점을 맞추어 전국적인 문헌 조사로 사전 조사 지역(PIAs)을 선정한다.

- 다음으로 PIAs 중에서 정밀 조사 지역(DIAs)을 선정하며, 처분장 유치에 적합한 지질 환경을 갖췄는지 판별하기 위해 표층 조사를 수행한다.

- 마지막으로 의사 결정을 위한 지질 환경의 중요 정보를 얻기 위해 지층의 적합성을 확인함으로써 DIAs 중에서 최종 처분장 부지를 선정된다.

이 법률에 따라 METI는 다음과 같이 최종 처분장 건설 일정을 제시하였다.

- PIAs 선정에 이어 2008~2013년경 DIAs를 선정하고,

- 최종 처분장 부지는 2023~2028년경 선정되어야 한다.

3. 규제 사항

「방폐법」에 의하면 최종 처분의 안전 관련 규제는 별도로 제정하도록 되어 있다. 원자력안전위원회(NSC)의 방사성폐기물안전규제 자문위원회는 H12 보고서에 언급된 지층 처분 시스템의 안전규제에 대해서 논의를 해왔다.

HLW처분 안전 기준 기초에 대한 제1차 보고서가 2000년 11월에 발표되었다. 이 보고서는 주로 안전 원칙, 부지 선정 지침, 안전성 평가의 기본 요건 및 처분장 부지의 관리에 대해 기술하고 있다.

안전 원칙은 처분장의 적절한 선정과 설계로 시스템의 안전 특성이

내재화되어야 하며, 장기적 안전성을 보여주기 위해 적절한 안전성 평가가 있어야 한다.

부지 선정 지침서는 유리한 지질 조건을 명시하고 있는데, 그 조건이란 안정적 지질 환경을 갖춰야 하고, 현재로서는 천연 자원 부존의 흔적이 없어야 한다.

안전성 평가를 위해서 두 가지 형태의 시나리오가 개발되어야 하는데, 하나는 정상적인 전개 시나리오로 지하수 시나리오가 있고, 다른 하나는 '만일(what if)'의 시나리오로서 차단 실패 시나리오이다.

처분장 부지의 관리와 관련해서는 처분장의 설계 및 건설에 대한 품질 보증 시스템이 구축되어야 한다는 것이 강조되고 있다.

또한 이 보고서는 처분장 폐쇄 이후의 안전성 평가를 위한 기초 조건을 확인하기 위해 지질 조건의 변화를 모니터링할 필요성과 모니터링 기간 동안의 변경 가능성에 대한 필요성을 강조하고 있다.

NSC의 「고준위방사성폐기물 처리안전에 관한 특별자문위원회」는 2002년 9월 30일 일반 국민들의 의견을 참조하여 「HLW 처분 PIAs 선정을 위한 지질 환경 요건」을 만들어 발표했다.

이 요건은 두 가지 형태의 요소로 구성되어 있는데, 하나는 법률에 명시된 법적 요건과 일치하는 것이고, 다른 하나는 지층 처분에 유리한 조

건과 관련된 것이다. 전자는 법적 요건을 확대한 것이며, 후자는 그 다음 단계에서 고려되어야 할 요소들이다.

4. R&D 활동

AEC는 시행 단계에서의 R&D를 위해 국가 프로그램의 기본틀을 제시했다. 일본은 현재 R&D 프로그램을 새로 마련된 시행 계획에 맞추기 위해 조정 작업을 하고 있다. 이 프로그램에 명시된 METI의 기본 정책은 다음과 같다.

- NUMO는 경제적 실용적 관점에서 처분장의 안전한 추진을 위해 R&D를 첨단 기술로 수행할 것.

- 정부와 JNC를 포함한 모든 관련 기관들은 안전 규제 체계, 안전성 평가와 관련된 기본적 이슈, 지질 연구 및 신뢰도를 높인다는 차원에서 처분 기술 향상을 위해 R&D를 추진할 것.

이 분야에서 상당한 경험과 전문 기술을 가진 JNC는 처분 기술의 신뢰도를 향상시키고 안전성 평가 방법론과 관련 데이터 베이스를 구축하기 위한 목적으로 R&D 활동의 책임을 맡고 있다.

이 중에서 현재 부지 특성화 방법론 실증 연구를 하고 있는 두 곳의 URL(지하 연구) 프로젝트(미즈나미와 호로노베)는 초기 단계에서 NUMO 프로그램의 지원을 위해 중요하다.

실험 시설 ENTRY와 QUALITY 두 곳에서 수행될 기초 연구와 실험은 두 곳의 URL 프로젝트에서 관찰된 현상을 보다 잘 이해하는 데 도움이 될 것이다.

국민 신뢰의 충분한 수준이 될 확고한 기초를 마련하기 위해서는 기술계가 공학적 타당성뿐만 아니라 지층 처분 시스템의 장기적 안전성에 대한 확신을 갖는 것이 중요하다.

이것은 훌륭한 기획과 품질 관리에 의한 R&D를 수행하고, 기술계 전체적으로 그 결과를 통합시킴으로써 가능하게 된다.

이러한 목적을 위해서는 시행 기관인 NUMO뿐만 아니라 기술적 능력을 갖춘 규제 기관 개별 전문가들의 능력을 유지하고 강화시키는 것이 아주 중요하다.

NUMO의 부지 선정 활동

1. 단계적 부지 선정 프로세스

「방폐법」에 의해 NUMO가 수행하는 부지 선정 프로세스는 METI에 의해 감독된다. 이 법률에 명시된 바와 같이 NUMO는 다음 단계로 넘어가기 전에 조사 결과를 기술하는 보고서를 제출해야 한다. 이 보고서는 발간되어 지역 주민들에게 열람되며 코멘트할 수 있도록 개방된다.

METI는 최종 결정 이전에 해당

지역 자치 단체장들로부터 의견을 수렴해야 한다. 이러한 의견들은 최종 처분 계획에 명시된 의사 결정 차원에서 존중된다.

2. PIAs 선정을 위한 지자체의 자발적 유치 신청

NUMO는 부진 선정의 의사 결정 과정에 공개적인 참여를 권장하는데, 기본 원칙은 단계적 접근 방식의 채택, 자치 단체의 자발적 지원제 존중, 투명성 확보가 그것이다.

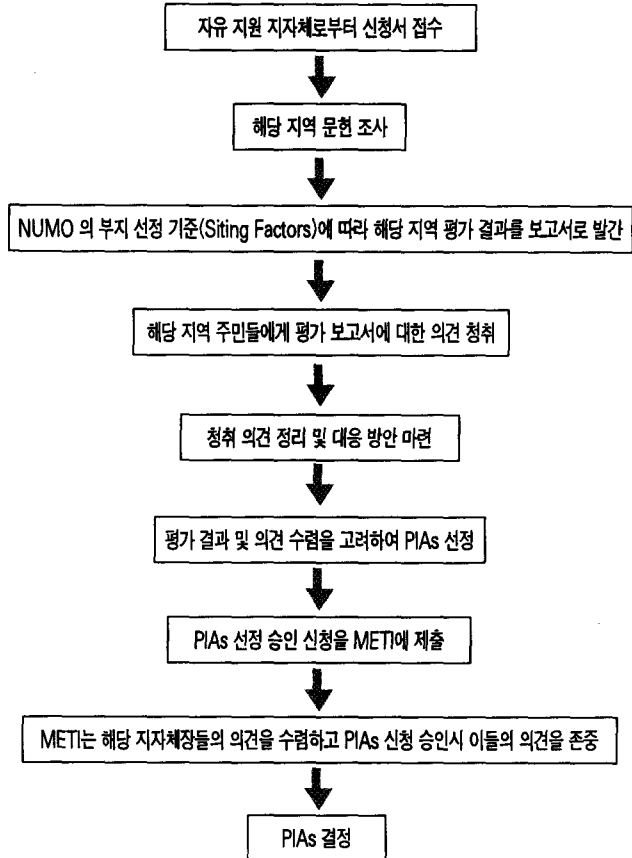
이같은 기초 위에서 NUMO는 PIAs 선정을 위한 자치 단체의 자발적 지원 신청을 유치기로 결정했으며, 2002년 12월 19일 개방적인 유치 프로그램의 시행을 공표했다. 동시에 NUMO는 3,239 개의 모든 지자체에 정보 패키지를 보냈다.

이 패키지에는 4종류의 자료가 들어 있는데, 옹모 요강, 처분장 개요, PIA 선정 기준, 지역 지원 사업이 그것이다.

• 옹모 요강 : 신청서, 신청 지역의 범위와 지리 조건의 사전 확인 등 일반 사항, 신청서 접수 이후의 대응 방식에 대한 정보 제공함.

• 처분장 개요 : 부지 선정 기준(Siting Factors)에 의해 선정된 후보 지역의 처분장 계획과 개발방식에 대한 정보 제공. 다른 형태의 처분장 특징에 대한 정보도 제공함.

• PIAs 선정 기준 : PIAs 선정



〈그림 2〉 PIAs 선정 절차

을 위한 해당 지역 문헌 조사를 위해 참조할 사항을 기록. 예를 들어, 심각한 지층 변동이 있었는지, 퇴적 지층은 아닌지, 광물 자원이 부족되어 있지는 않는지와 같은 특정 방사성 폐기물 최종 처분에 관한 법률, NSC 제1차 보고서 및 NSC 환경 기준 요건에 명시된 사항들을 기록하고 있음.

• 지역 지원 사업 : 자발적으로 지원 신청한 지자체에 재정적 지원

뿐만 아니라 각종 사회적 지원 혜택을 제공하기 위한. NUMO는 지역 조건에 적합한 지원 내용에 대해 지역 주민들과 협의의 수행하고 이같은 조치를 실행하기 위해 부단한 노력을 할 것임.

옹모 요강 자료에는 PIAs 선정을 위한 절차를 다음과 같이 정하고 있다.

• 자치 단체의 자발적 신청 접수 후 NUMO는 해당 지역의 지진과

화산 활동, 용기나 침식 작용 같은 지질 구조의 변동 기록에 대한 문헌 조사를 진행한다. 이 조사는 전문 지식과 기술을 가진 전문가들의 도움을 받아 수행된다. 각 지역의 평가는 NUMO의 부지 선정 기준 (Siting Factors)에 따라 이루어진다.

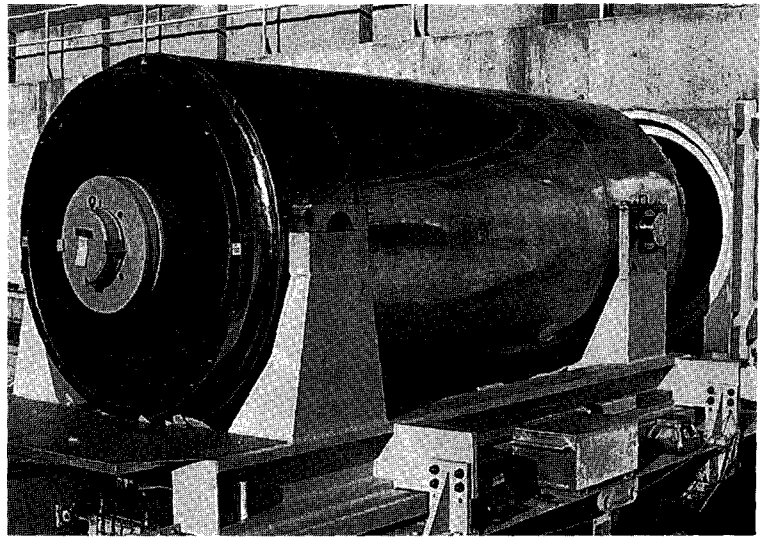
• 문헌 조사에 기초하여 조사한 결과는 보고 자료로 문서화 되고 해당 지역 자치 단체장에게 제출된다. NUMO는 해당 지역 주민들의 의견 수렴을 위해 보고서를 공표한다.

• NUMO는 보고서에 대한 모든 의견을 존중하고 검토할 것이다. 그리고 수렴된 모든 내용을 리스트화 하여 의견 제시에 대한 NUMO의 대책을 준비하여 지자체장들에게 제출한다.

• 법률에 따라 METI는 관련 지자체장들의 의견을 수렴해야 하고, PIAs 선정 승인시 이들의 의견을 존중하고 고려해야 한다. METI는 '최종 처분 계획'을 재검사함으로써 PIAs를 인가하게 된다.

3. 국민 홍보 및 참여 활동

일반적으로 국민들은 판단에 필요한 균형 있는 기초 정보의 부족으로 지층 처분에 대한 모호한 불안감에 싸여있다는 것이다. 또한 지층 처분과 관련된 위험의 인지는 문외한인 일반 국민들이 이해하기에는 쉽지 않다.



사용후 연료 저장 캐스크. 일본의 부지 선정 과정은 자치 단체의 논의와 결정에 많이 좌우된다. 따라서 지층 처분에 대한 국민 이해를 촉진하고 국민 신뢰를 획득하고 유지하는 것은 특히 중요하다.

가장 어려운 것은 오랜 기간 동안 진행되는 지층 처분 시스템의 자동 안전 개념(passive safety)을 이해하고 확신을 가지는 것이다.

원자로나 폐기물의 천층(지표)저장과 같은 전통적인 공학 시스템에 적용되는 인위적 안전 개념(active safety)과는 달리 지층 처분 시스템은 시간적으로나 규모 면에서 일반 국민들이 쉽게 이해하기 어려운 초대규모가 된다.

변경이나 모니터링 기간의 연장 에 의해 처분장 프로그램의 수정 가능성을 확보하는 것은 인위적 안전 기간을 확장시키는 제도적 장치가 되어 의사 결정에 참여하는 이해 관계자들에게는 하나의 기회 제공이 될 것이다.

그러나 지층 처분 개념은 자동 안전 개념에 기초해서 만들어진다는 것을 알아야 하며, 장기적 안전 확

보를 위해 제도적 장치를 필요로 하지 않는다.

자동 안전 시스템에 대한 국민들의 이해도를 높이기 위해서 NUMO는 다양한 홍보 활동을 수행했다. NUMO는 PIAs에 대한 제 1차 자발적 신청을 이 프로세스의 중요한 이정표로 본다.

응모를 권장하기 위해 HLW의 이슈 특히, 이 문제의 특징과 처분 방식에 대한 충분한 이해를 위한 전국적인 논의를 활성화하고 전개하는 것이 중요하다. 첫 번째 일이 잘 풀리면, 그 다음의 논의는 보다 원만하고 건설적으로 나아갈 수 있다.

NUMO는 2001년 12월~2002년 11월 기간 동안 총 47개 현 중 31개 현에서 누계 5,000여명의 국민들이 참여하는 포럼을 개최하였다. 포럼의 목적은 국민들과의 대화를 지속하고 자발적인 신청을 권장하

기 위한 것이다. 포럼을 공동 주최한 지방 언론들은 이 문제를 특집기사로 보도했다. 이 포럼을 통하여 일반 시민들이 HLW 이슈를 어떻게 생각하고 느끼고 있는지에 대해 더욱 잘 이해할 수 있는 계기가 되었다.

2001년 봄 NUMO는 47개 현 모두를 방문하여 HLW 처분 국가 프로젝트를 알렸다. 그리고 NUMO는 부지 선정 절차에 대한 자체 활동과 기본 정책을 알리는 브로슈어를 모든 지자체에 송부하였다.

2002년 봄 NUMO는 계속해서 47개 현을 방문하여 추진 활동의 현황과 공개 유치의 착수를 위한 프로그램에 대해서 설명하였다.

국민 이해를 촉진하기 위해 NUMO는 주요 일간지·TV·잡지 등에 홍보 캠페인을 벌였다. TV 홍보는 2002년 10월 이후 시작되었으며, NUMO의 프로그램은 잡지, 40여 개의 지방지를 포함하여 주요 일간지에 게재되었으며, 독자 규모로는 일간지 구독자의 80% 이상에 해당된다. 포스터 홍보는 2002년 10월 주요 기차역에서 실시되었다. 현재 NUMO는 국민들과의 대화를 위해 대화식 웹 사이트를 준비하고 있다.

결론 및 전망

2000년에 HLW 지층 처분 프로

그램은 포괄적인 R&D 단계에서 시행 단계로 전환되었다. 지난 25년간 일본의 HLW 처분 프로그램 대부분은 포괄적인 R&D 연구에 집중하였기 때문에 부지 선정이나 제도적 장치에 대한 논의는 없었다. 이 같은 접근 방식은 일본 특유의 지질 특성을 고려하고 기술적 해답을 얻어야 할 필요성 때문이었다.

그러나 처분장 프로그램의 초기 단계에서 수행하는 포괄적인 R&D의 중요성도 인정되어야 하는데, 그 이유는 프로그램의 다음 단계를 위한 기초를 제공하기 때문이다.

앞에서 언급한 바와 같이 일본의 부지 선정 과정은 자치 단체의 논의와 결정에 많이 좌우된다. 따라서 지층 처분에 대한 국민 이해를 촉진하고 국민 신뢰를 획득하고 유지하는 것은 특히 중요하다.

의사 결정 과정을 투명하게 하기 위해서 NUMO는 자료의 발간과 웹사이트의 개설을 통해 부지 선정 활동과 관계되는 다양한 정보를 이용 가능하게 만들고 PIAs 주변 지역 주민들에게 그들의 의견을 밝힐 수 있는 기회를 제공할 것이다. 이러한 의사 소통을 촉진하기 위해 NUMO는 다양한 형태의 홍보 활동을 지금까지 벌여왔다.

NUMO가 전국적으로 기업 이미지를 개발하고 공개 유치를 위해 기업 이미지를 홍보하는 것은 중요한데 주요 내용은 방사성 폐기물 관리

분야에서 지식과 신뢰를 구축하고 전국적인 지도력을 쌓는 것이다.

다수 지역의 유치 신청에 대응하고 지자체와 긴밀히 협력하기 위해서 그리고 PIAs 중 처분장 부지 구체화에 필요한 조사 작업을 적절히 수행하기 위해 조직 내부의 능력, 수단 및 기술적 신뢰성을 개발해야 한다.

NUMO의 종합적인 R&D 계획을 관련 기관과 통합시키기 위해 일본은 양자간 및 다자간 협력 체제로 R&D 프로그램 관련 국제협력 추진에 적극적이었다.

지금까지 NUMO는 Posvia(2001), Nagra(2001), SKB(2001), ANDRA(2001), USDOE(2002)와 협력 협정을 체결하였다. 협력 협정의 체결로 얻게 되는 이익은 해당 지역의 장단점을 밝혀내고 확고한 기술적 기초를 보장함으로써 NUMO의 처분장 프로그램 개선에 아주 소중하다.

또한 처분장 개발 프로그램은 장기간에 걸쳐 진행되기 때문에 HLW 지층 처분의 시행을 위한 자신감 배양에도 도움이 될 것이다. 이 같은 사실을 염두에 두고 한 국가의 프로그램 성공은 다른 국가로 이어질 것이라는 점을 인식하면서 NUMO는 국제 협력을 더욱 촉진하여 최종 목표 달성을 위해 경험을 공유하고자 한다.