

韓國의 使用後核燃料 管理展望

한국은 현재 원전에 누적되고 있는 사용후핵연료에 대한 중간저장정책을 추구해 오고 있다. 정책당국에서 설정한 이 중간저장계획은 중간저장에 뒤따르는 장기적 관리정책대안(영구처분 또는 재사용)의 기초단계가 될 것이다. 그러나 최근 국내에서 중간저장계획과 나아가 장기정책상의 기술적 대안에까지 상당한 영향을 줄 수 있는 몇몇 주요 여건상의 변화가 발생하였다. 무엇보다도 NIMBY 현상으로 인해 한국 내에서도 타국에 서처럼 부지확보계획에 차질을 초래하고 있다. 또 하나의 장기정책상에 영향을 줄 수 있는 요소로는 최근 대통령이 선언한 「한반도 비핵화」이다. 이 논문에서는 한국의 여건에 입각한 사용후핵연료 관리현황 및 전망을 분석하고, 향후 잠재적 응용에 대한 준비로서 연구개발노력을 조명해 보았다. 또한 국내외적 경향에 비추어 본 기술추세를 전망하여 봄으로써 향후 방향제시에 참고하고자 한다.



이 재 설
원자력환경관리센터 사용후핵연료관리부 실장

약 20여년 전 국내에 원자력발전이 도입된 이래 우리나라의 원자력발전비율은 꾸준히 증가

되어, 이제는 7기의 가압형 경수로와 1기의 중수로로부터 공급되는 전력량이 국가 전체 전력공급량의

반을 상회하게 되었다. 현재 추가로 몇기가 건설중에 있으며, 금세기 내에 몇기가 더 추가될 계획이다.

배 경

1. 정책배경

원자력발전소의 운영으로부터 발생된 사용후핵연료는 각 발전소부지의 습식저장조에 임시 저장되어 오고 있다. 현재까지의 국내 원전의 운영에 의해 상당량의 사용후핵연료가 이미 누적되어 있고, 추가로 건설되어 조업에 들어갈 원전에 의해 사용후핵연료의 누적현상은 가속화될 것이다. 현재의 추산에 따르면, 조속한 조치가 없이는 2000년 전에 사용후핵연료 저장공간 부족현상이 전체 원전으로 확산될 것이다.

원자력위원회는 방사성폐기물관리라는 국가적 난제에 가장 적절히 대처할 수 있는 방안에 대한 여러 연구 및 제안을 수립하여, 제도적 및 재정적으로 적절한 해결책을 포함한 범국가적 정책을 수립하였다. 이 정책에 따라(국회비준을 거쳐 1989년 7월 대통령령으로 시행령 발효) 방사성폐기물처분의 영구처분을 위한 처분장과 아울러 여러 곳에 분산되어 있는 원전에서 발생하는 사용후핵연료를 중앙집중관리하기 위한 중간저장시설의 건설목표를 설정하여, 정책수행을 위한 여러 관련제도를 마련하였다. 이 국가적 정책에는 전반적인 정책수행의 지원을 위한 관련연구개발도 포함되어 있다.

2. 관련연구

70년대 후반의 INFCE 회의 이래로 국내의 원전으로부터 발생하는 사용후핵연료의 관리문제가 점점 심각하게 되었으며, 재처리가 가능할 것이란 초기전망이 사라짐에 따라 사용후핵연료관리의 장기적 대책을 위한 적절한 정책수립이 시급하게 되었다. 따라서 국가적 그리고 국제적으로 이와 관련된 여러 연구가 수행되었다.

사용후핵연료관리에 관한 80년대 초의 韓美 협력연구가 이 분야의 첫번째 노력이었다. 한국원자력연구소와 미국 PNL의 전문가들은 관련자료를 수집하여 사용후핵연료 관리에 대한 여러 방안에 관한 기술적, 경제적 비교연구를 수행하였다. 이 연구의 결과로 국내 에너지 수요 및 공급, 핵연료주기방안, 그리고 사용후핵연료관리에 관한 계획이 제시되었다. 그 이후의 연구와 함께 이 연구의 결론은 국가정책에 있어 후에 채택된 중간저장정책 결정에 참고가 되었다.

80년대 중반 한국원자력연구소는 ASEA-ATOM(스웨덴)과 습식중간저장기술에 관한 또다른 연구를 수행하였다. 그 당시 바로 운전을 시작한 대표적 중간저장시설로서의 CLAB 시설을 국내 폐기물관리정책의 참고자료로 삼았다.

또한 그 이후 몇몇 다른 연구를 독일, 영국과 같은 나라와 협력하여 수행하였으며, 이 연구에는 건식중간저장 및 영구처분에 관한 분석이 포함되어 있었다. 모든 이와 같은 연구로 하여 세계의 추세에 대한 보다 나은 이해를 도모할 수

있었으며, 중간저장정책에 관한 확신을 가질 수 있었다.

3. 부지문제

방사성폐기물 관리정책 개발의 초기단계에서부터 부지선정문제를 성공적 정책수행의 관건으로 인식하였다. 국내의 모든 원자력발전소가 해안에 세워졌으며 앞으로도 계속 그럴 것이라는 것을 생각하면 해상수송 가능성의 이점을 알고 있는 해안부지의 선택이 바람직하다. 부지문제와 관련된 또다른 고려사항은 사용후핵연료 중간저장시설과 동일부지에 방사성폐기물 영구처분 부지를 선정함으로써 수송, 유틸리티, 인력 등의 상당부분을 공유할 수 있다는 것이다. 가능한 여러 대상지역이 부정선정요건에 적합한가를 결정하는 부지물색작업을 수행하여 왔다.

그러나 1989년 11월 방사성폐기물 처분가능부지로서 안면도를 고려하는 정책당국의 움직임에 반대하는 거센 반발이 안면도 지역주민에 의해 발생하였다. 이는 한국에서 80년대 중반부터 일기 시작한 정치, 사회적 분위기변화와 더불어 지역이기적 NIMBY 현상의 출현으로 볼 수 있을 것이다. 이 사건의 충격은 증폭되어 전국 각 지역으로 퍼져나갔으며 부지선정노력에 심각한 장애요인으로 작용하였다.

현 황

국가적 정책에 그려져 있는 사용후핵연료 관리계획에는 두가지의 임무를 규정하고 있으며, 이 중 한

가지는 중간저장시설을 1998년까지 건설하는 것이고, 다른 하나는 중간저장과의 관련 및 향후 장기적 필요성에 입각한 연구개발활동이다.

1. 중간저장

사용후핵연료 관리정책의 중요한 사안은 중간저장이라는 성격의 저장시설을 건설하는 것이다. 「기다려 보자」라는 접근방법에 근거하여 중간저장을 하기로 결정한 것은 중간저장시설의 완충기능에 의해 임시저장조에서 발생하는 저장공간 부족현상을 해결해 줄 수 있기 때문이다. 따라서 각 원자력발전소에 임시 저장되고 있는 사용후핵연료를 수십년 정도의 적정용량을 지닌 중간저장시설에 중앙집중보관시킬 수 있을 것이다. 이와 같은 중간저장방식은 각 발전소부지에 임시저장하는 것보다 국가적 차원의 안전하고 효율적인 관리에 중점을 두기 위한 것이다. 이와 더불어 사용후핵연료관리를 위한 대안(재처리를 할 것인가 혹은 직접 처분할 것인가)에 관한 장기정책을 마련하기 위한 충분한 시간적 여유를 얻을 수 있을 것이다.

안면도사태가 발생하였을 당시 중간저장정책의 기본계획에 따라 중간저장시설의 개념설계를 거의 끝마친 상태였다. 이미 설명한 바와 같이 부지확보의 전망이 어두워짐에 따라 사업의 다음 단계인 기본설계가 예상대로 진행될 수 없었다. 따라서 그동안에는 개념설계에 관한 검토작업을 수행해 오고 있다.



2. 소내저장용량 확장

원자력위원회에서 중간저장에 관한 결정을 내릴 당시, 사용후핵연료 중간저장시설의 운영시점(1998년)까지의 사용후핵연료의 소내관리는 전력회사(KEPCO)의 책임으로 결정하였다.

몇몇 원자로의 임시저장조는 이미 저장능력의 한계에 이르게 되므로, 저장공간부족문제를 완화하기 위하여 한전에서는 저장조간 핵연료이송, 핵연료재배치, 그리고 콘크리트저장용기 등을 사용한 독자적인 방안을 실행하고 있다.

(1) 고리원자력발전소

고리에는 국내 최초의 원전인 1호기와 2호기가 쌍으로 건설되었으며, 고리 3호기와 4호기는 동일부지에 추가 건설될 것이다.

이 중에 고리 1호기는 중간저장시설로 핵연료를 이송저장하기 전에 해당 원자로의 전체 노심폐비공간이 모자라게 될 것이다. 고리 1

호기에서는 220개, 고리 3호기에서는 20개의 잉여사용후핵연료집합체가 발생될 것이므로 이 잉여분을 처리하기 위하여 한국전력공사는

고리 3호기의 임시저장조의 빈 공간에 고밀도저장구조물을 설치하여 고리 1호기로부터 발생된 잉여사용후핵연료를 이송하는 계획이 수립되었다. 1990년 9월부터 1991년 11월까지 4년간의 방출량에 해당되는 총 156개의 집합체를 고리 3호기로 이송하였다. 추가의 104개 집합체이송은 1994년과 1995년중으로 계획하고 있다.

이 작업에 사용된 수송용기는 한국원자력연구소 부설 원자력환경관리센터에서 개발완료된 KSC-4형 수송용기였다.

(2) 울진원자력발전소

울진 1호기와 2호기의 임시저장조의 건설용량은 각각 472개의 일반 저장구조물이었으나, 저장용량을 증가시켜야 할 필요성을 인식하고 울진 2호기의 1차 재장전 전에

<표 1> 국내 원자력발전소별 사용후핵연료 현황

단위: MTHM(집합체 개수)

발전소 부 지	호기	저장용량	연도별 발생량	누적량	한계에 상년도
고 리	1	225(562)	17(42)	144(361)	1991
	2	376(920)	17(42)	113(276)	2002
	3	316(746)	22(52)	99(220)	1997
	4	316(746)	22(52)	89(200)	1997
	합계	1,233(2,974)	78(188)	455(1,057)	1997
월 성	1	923(48,336)	95(4,996)	699(36,610)	1992
울 진	1	316(746)	22(52)	87(212)	1997
	2	316(746)	22(52)	61(144)	1998
	합계	632(1,492)	44(104)	148(356)	1997
영 광	1	200(472)	22(52)	24(52)	1995
	2	378(893)	22(52)	20(44)	2004
	합계	578(1,365)	44(104)	44(96)	1999
총합계(PWR)		3,666(5,831)	261(396)	1,336(1,509)	

고밀도배열이 가능한 독물질(Bor-aflex)로 저장구조물을 교체하였으며 이에 따라 저장용량을 거의 2배로 증가시켰다.

울진 1호기에서 발생된 잉여분(260개의 집합체)은 1994년에서 1995년 사이에 울진 2호기로 이송될 수 있을 것이다. 이와 같이 확장된 용량에 의해 1999년까지의 소내저장문제는 해소될 수 있을 것이다.

(3) 월성원자력발전소

월성원자력발전소의 부지내 저장조(중수로형, CANDU)는 거의 저장용량의 한계에 이르렀다. 한국전력공사는 저장용량의 확장을 위한 방법으로 AECL에서 개발된 콘크리트저장용기(Concrete Canisters)를 소내에 추가 건설하기로 하였다.

이 추가저장시설은 1992년 4월 운영을 시작하였으며, 각각 540개의 중수로형 사용후핵연료다발을 저장할 수 있는 60개의 콘크리트저장용기를 건설하였다.

3. 사용후핵연료 수송

발전소내 저장조로부터 중간저장시설로 사용후핵연료를 수송하기 위하여 고려할 수 있는 대안에는 철도수송, 도로수송 및 해상수송의 3가지가 있다.

철도수송의 주요 문제점은 원자력발전소까지 기존의 철도망을 추가로 연결하여야 한다는 것이다. 이는 막대한 양의 투자비용이 소요될 것이다. 한편 도로수송은 40톤 이하라는 법적 중량한계에 직면하게 된다. 이는 일정량의 사용후핵

연료를 더욱 자주 이송해야 하는 불편함을 야기한다. 따라서 한반도의 지형학적 조건을 고려할 때 해상수송이 이상적인 선택방안일 것이다. 물론 항만시설 및 특수선박이 필요할 것이므로 막대한 투자비용이 소요될 수 있으므로 신중한 평가를 요한다.

4. 연구개발활동

국가정책에 따라 착수된 연구개발활동에서는 중간저장시설에 대한 기술적 지원에 중점을 두고 있다. 장기적 성격의 연구도 저장용량확장, 시설개수, 또는 궁극적인 처분과 같은 분야의 향후 응용에 초점을 맞추고 있다.

(1) 안전관련 연구개발

중간저장시설의 기술용역을 위한 기본자료생산을 위한 사용후핵연료 특성과 저장요소의 구조특성분석에 관련된 여러 연구과제가 이 범주에 속한다. 결합핵연료의 지동은 저장시설운전에 있어 특별한 관심사로 고려하여야 하며, 특별한 주의를 요한다.

IAEA에 의해 조직된 BEFAST-II 프로그램의 일부로서 습식 저장조건에서의 가압형 경수로의 결합사용후핵연료거동에 관한 연구를 수행하였다. 이 연구의 주목적은 고리 1호기로부터 방출된 손상되지 않은 사용후핵연료봉 및 결합핵연료봉의 특성을 연구하는 것이다. 여러 형태의 인위적 결합을 사용후핵연료봉의 피복관에 만들어 제염수로 채워진 스테인리스강용기 속에 담귀 습식저장조건을 모사하였다.

사고환경에서 사용후핵연료의 방사성물질 방출거동을 예측하기 위하여 선원함모형화 및 분석에 대한 연구를 수행하였으며, 정상 및 비정상 운전조건하에서의 방사성핵종 분산에 관한 확률적 분석을 수행하였다. 또한 저장시설의 공기조화계통에 대한 화재사고를 모형화하고 그 결과를 분석하였다.

안전에 관련된 또다른 연구분야는 외부충격에 대한 저장용기의 구조적 건전성에 관한 연구이다. 핵연료를 3×3로 배열한 1/2 축소모형용기를 제작하여 1m 높이에서 낙하시험을 실시하였으며, 시험결과를 분석하고 이를 기술자료로서 참고하였다. 설정된 연구개발목표를 향한 안전성증진을 위하여 다른 여러 연구를 수행하고 있거나 계획 중에 있다.

(2) 사용후핵연료 취급기술 연구개발

연구개발을 위한 특정 항목을 밝혀내기 위하여 먼저 참조 중간저장시설에서의 사용후핵연료 취급절차를 조사하였다. 시설운전의 신뢰성과 효율은 사용장치계통의 성능에 기인한다는 결론을 얻고, 사용후핵연료저장의 안전성과 효율성을 증진하기 위한 장치개발로 연구의 방향을 설정하였다.

원격조작 크레인으로 사용후핵연료를 한 지점에서 다른 지점으로 안전하게 이송하기 위한 무진동크레인을 개발하여 실험실 규모로 시험하였다. 다른 곳에서 수행된 연구와 비교하여 알고리즘 및 시험결과를 분석하였으며, 원자력 및 비원자력분야에서의 향후 응용에 관

한 고무적인 결론을 도출하였다.

시설운전중 장치계통의 원격보수가 사용후핵연료와 같은 고방사성 물질을 취급하는 원자력시설에서 중요한 연구분야로 밝혀짐에 따라, 원격조작 및 감시기술에 대한 체계적인 기술개발노력을 기울여 왔다. 여러 형태의 매니플레이터를 설치하여 응용성연구를 위한 시험을 수행하였으며, 원격조작과 관련하여 첨단기술을 응용하는 원격시각장치를 연구하였다. 원격계통에 관한 연구로서 시설 운전자의 방사선피폭을 감소할 수 있으며 방사선안전에 기여할 수 있으리라 기대된다.

장기연구과제는 핵연료밀집포장 기술에 의한 저장 및 처분공간절감에 초점을 맞추고 있다. 이 기술은 소내 저장조의 저장용량을 증대할 수 있으나 아직은 실증단계에 있으며, 몇몇 국가에서는 대규모 건식 중간저장시설이나 영구처분을 위한 최종포장에서의 응용에 대한 실증계획을 수행중에 있다. 사용후핵연료 관리에 대한 장기대안 중 이 기술은 저장공간을 배가시킬 수 있으므로 우리나라의 실정에 비추어 볼 때 상당한 매력을 가지고 있다. 부지확보 및 심층굴착에 소요되는 많은 비용을 고려하면 우리나라의 입장에서 상당한 흥미를 끌 수 있는 기술이다. 이것이 이 분야의 연구의 주요배경이다.

사용후핵연료 밀집포장연구는 문헌조사 및 주요 기기에 대한 소규모의 기초적 실험으로 시작하였다. 또한 기계장치제작의 타당성을 분석하여 실물 크기의 장치시험을 위한 실증계획이 진행중에 있다. 주

요 시험장치가 제작, 설치되면 유지보수체계와 함께 실증시험을 수행할 것이다.

사용후핵연료 밀집포장에 관한 연구개발은 향후 실증시설에 적용 시험을 계획중에 있다(다음의 「연구개발시설」 참조).

(3) 용기개발

80년대 초부터 한국원자력연구소에서는 사용후핵연료 수송용기를 개발하기 위한 활동을 수행하여 왔다.

그 중의 최초모형(KSC-1)은 가압형경수로 집합체 1개를 취급할 수 있으며, 방사성핵연료시험을 위해 고리 1호기로부터 한국원자력연구소 대덕부지로 사용후핵연료를 수송하는데 사용되었다.

가압형경수로 핵연료집합체 4개를 담을 수 있는 좀 더 큰 모형(KSC-4)을 1990년에 개발하여 시험하였다. 이 수송용기를 사용하여 고리 1호기로부터 고리 3호기로 많은 양(156개의 집합체)의 사용후핵연료를 성공적으로 이송하였다(「발전소내 저장용량확장」 참조).

향후의 개발목표는 발전소저장소에서 건설될 중간저장시설로 사용후핵연료를 7개씩 수송할 수 있는 수송용기를 개발하는 것이며, 이 수송용기는 초기설계단계에 있다.

(4) 연구개발시설

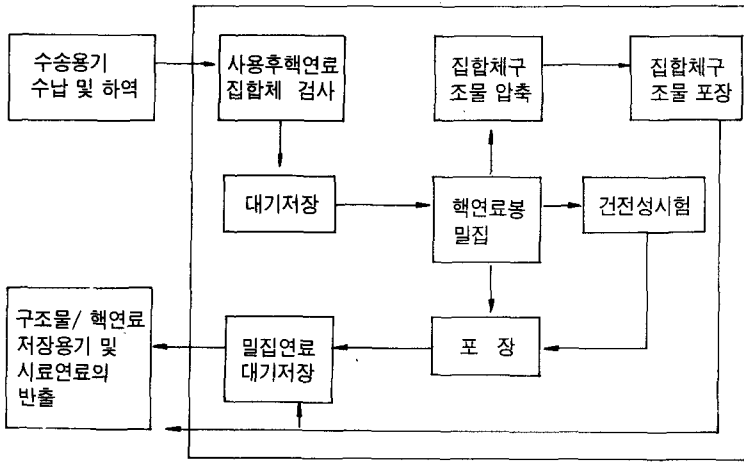
사용후핵연료관리를 위한 여러가지 기술을 종합시험 및 실증할 수 있는 연구시설건설을 계획하고 있다. 이에 따라 사용후핵연료 기술개발시설에 대한 개념설계가 1990년에 완료되었다. 이 시설의 주요 기능은 향후 사용후핵연료관리를

위한 핵심기술로서 수송용기취급, 사용후핵연료취급 및 대기저장, 사용후핵연료밀집 및 포장, 사용후핵연료봉 건전성시험, 장비보수 등을 포함하고 있다(표 2), <그림 1>. 이러한 기능을 모두 포함하는 시설 구성은 안전성, 경제성 및 기술적 유연성 등을 고려하여 설계요건을 결정하였으며 이 중 안전성에 가장 우선권을 부여하였다. 시설배치는 1층에 주요장비를 배치하였으며, 방사성폐기물 및 수송용기를 취급하는 보조기능을 갖는 시설은 지하에 배치하였다. 다른 일반적 기능은 차폐구조 밖에 배치하였다.

사용후핵연료 기술개발시설은 연간 48개의 사용후핵연료를 취급할 수 있도록 설계하였으며, 사용후핵연료집합체와 밀집핵연료집합체의 1년분 대기저장에 상당하는 건식저장시설을 갖추고 있다. 이 시설설계에 채택된 단일차폐설개념은 기존의 분할다중차폐설개념의 단점을

<표 2> 주요기술선정

항 목	기술적 기능	
수송용기	취급, 검사, 제염	
핵연료	핵연료 집합체	하역, 검사, 저장
	핵연료봉	연료봉추출, 밀집, 포장 (시료연료봉에 대한 건전성시험)
	집합체 구조물	압축, 포장
저장용기	밀봉, 제염, 검사, 수송용기에 장입	
차폐실내부장비	제염, 원격취급	
기 타	핵물질계량, 자동화	



〈그림 1〉 시설의 물질흐름기능

보완한 개념으로서 원격취급장비이용 및 운영의 효율성, 여러 관련기능의 통합을 통한 공간이용의 효율성증진, 운전자에 대한 방사선피폭을 최소화할 수 있는 장점을 가지고 있다.

향후 전망

1. 부지

원자력위원회에 의해 세워진 방사성폐기물관리계획을 수행할 수 있는지의 여부를 결정하는 중요한 사안인 부지확보에 대한 전망이 불투명하다는 것이 부지와 관련된 현재의 상황이다. 한국원자력연구소 부설 원자력환경관리센터는 이러한 국가계획의 실행기관으로서 부지확보를 위한 대민홍보에 주력하고 있다.

만일 가까운 장래에 부지를 확보할 수 있는 경우는 약간의 계획조정으로 국가계획을 수행하는데 큰 지장을 받지는 않겠지만, 부지확보가 장기화될 경우 차질을 빚게

기 위해서는 새로운 대안을 수립하여야 할 것이다.

2. 정책대안

한국의 원자력정책에 심각한 영향을 준 또다른 계기는 대통령의 「한반도 비핵화선언」으로서, 이는 한반도의 평화에 장애가 될 수 있는 어떤 재처리 혹은 농축시설도 갖지 않겠다는 것을 뜻한다. 이 선언을 따르면 한국이 채택할 수 있는 정책대안은 다음과 같이 요약된다.

(1) 저장용량의 장기적 확장

이는 중간저장기간 및 용량의 확장을 위하여 새로운 시설을 건설하거나 핵연료밀집에 의한 저장효율의 배가를 의미한다. 어쨌든 장기적으로 현재 계획된 중간저장용량 이상의 추가저장공간이 어느 시점에서부터는 필요하게 될 것이며 만일 다른 대안이 없다면 무한정의 저장을 고려할 수 밖에 없을 것이다.

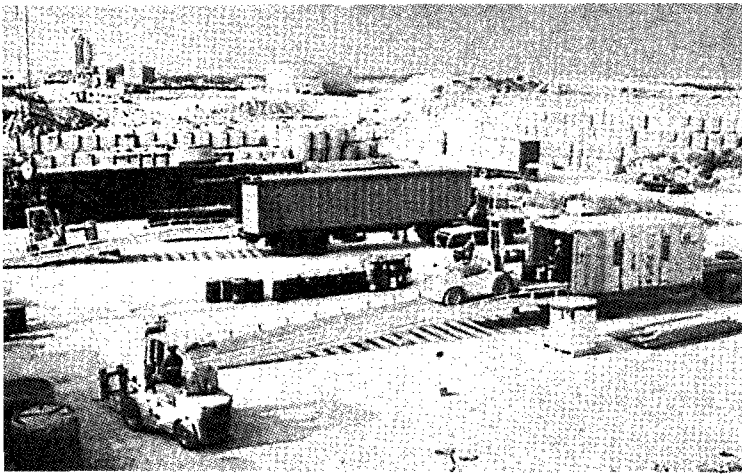
(2) 영구처분

몇몇 국가에서는 재순환방안과 직접적으로 상치되는 이 대안을 선택하고 있다. 이 「물어 버리기식 (Throw-Away)」대안은 길보기에 매우 단순할 것 같으나 주로 현재 일고 있는 주민의식문제 때문에 그리 단순한 것만은 아니라는 쟁점을 내포하고 있다. 일단 어느 한 지역이 선택되면 이 대안은 영구적인 성격을 갖는다는 점으로 해서 NIMBY 현상은 이 사실에 민감하게 반응할 것임이 이미 선진국에서 나타나고 있다. 미국 및 다른 여러 지역에서 볼 수 있는 것처럼 대상 지역의 주민들은 「방사성 공동묘지」라는 소름끼치는 생각에서 벗어나지 못하는 것 같다. 방사성폐기물의 매립에 대한 대중의 거부감은 한국에서 역시 지역주민의 반대입장에 그대로 반영될 수 있는 것이다.

사용후핵연료의 영구처분에 관한 안전성 및 대중인식에 관한 논쟁과 달리 아직까지 전세계에 사용후핵연료를 위한 처분장이 없기 때문에 처분장의 건설 및 운영비용 역시 심각히 고려해야 될 사항이다. 핵연료밀집에 의해 필요한 처분공간을 절약할 수 있는 적절한 기술이 개발 가능하다면 영구처분방안을 위한 경제적인 방안이 될 수 있을 것이다.

(3) 외국에의 위탁재처리

적극적인 원자력프로그램을 추진하고 있는 몇몇 국가에서는 재처리 방안을 선택하였으며, 상업적 규모의 목표를 달성하였다. 대표적인 예로 재처리는 현재 프랑스와 영국에서 자국의 사용후핵연료는 물론



외국의 사용후핵연료도 용역을 맡고 있다.

재처리방안에 대해 이제 한국이 채택할 수 있는 대안은 현재 많은 유럽국가들과 日本이 채택하고 있는 외국에의 위탁재처리에 의존하는 것이다. 이 독특한 대안은 채택에 앞서 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

① 회수된 연료(우라늄과 플루토늄)를 열중성자원자로나 고속중성자로 사용할 수 있는지의 타당성

② 한국으로 다시 반송될 방사성 폐기물에 대한 관리계획

③ 핵연료 및 폐기물의 국제적 수송과 관련된 문제

처음 두가지 문제점은 국내재처리대안과 공통되는 문제이나, 마지막 문제는 외국에의 위탁재처리에 고려되어야 할 독특한 문제이다. 이 대안에 대해 조장되는 또 하나 고려할 사항은 국제적인 핵물질보장조치 문제일 것이다.

상업용 고속로계획이 부진한 현재 이 대안이 심각히 고려될 수 있는 때가 언제일 것인가 하는 것은 예측하기가 힘들다. 그러나 프랑스와 독일 등에서는 가압형경수로에서 회수된 핵연료물질을 MOX 연료로 가압경수로에 재사용하는 계획은 활발히 추진하고 있으며, 이 가능성은 기술적, 경제적, 그리고

안전성면에서 타당성이 인정될 때 매력적인 재순환형태가 될 것이다. 향후의 정책고려시 이와 같은 전망도 고려하여야 할 것이다.

3. DUPIC 개념

한국, 캐나다, 미국의 지난 2년 동안의 공동연구로 비순환(Once Through)과 재순환(Recycle)의 중간적인 개념의 새로운 기술적 개념을 정립하였다. 최근 DUPIC (Direct Use of Spent PWR Fuel in CANDU Reactors)이라 명명된 이 개념은 핵연료물질취급을 위한 화학공정을 포함하지 않고 직접적인 방법으로 가압형경수로의 사용후핵연료를 중수로에 재사용하는 기술적 방법이라 정의할 수 있다. DUPIC 개념은 가압형경수로와 중수로를 모두 보유하고 있는 한국에 특유한 잠재력을 가지고 있다.

(1) 공동연구프로그램

DUPIC 개념은 중수로핵연료주기의 전반적인 타당성연구를 바탕으로 수년전에 캐나다에서 제안되었다. 한국은 이의 개념적 매력을 충분히 인식하여 관계당사자들 사이의 협력연구가 바람직하다는 것에 합의를 보았다. 마침내 1991년에 한국, 캐나다, 미국 사이의 삼자간 연구계획이 최종 합의되었다.

삼자의 기술적 전문성을 고려하여 삼자 각각의 임무를 다음과 같이 정의하였다.

① 한 국

가압형경수로특성 및 핵연료계통

② 캐나 다

중수로성능 및 핵연료계통

③ 미 국

핵물질보장조치계통

현재 이 공동연구의 제 1단계는 거의 완성되었으며, 뒤이어 제 2단계가 착수될 것이다.

(2) 장단점

핵연료이용측면에서의 DUPIC 계통의 이점은 제 1단계에서 분석되었다. 개략적으로 3기의 가압형경수로에서 나오는 사용후핵연료를 1기의 중수로에 공급하여 그만큼의 핵연료를 재사용할 수 있다. 이런 경중수로의 조합은 현재 국내에서 계획하고 있는 원자력발전추세에 잘 부합된다. 이 DUPIC 개념에 의해 연료를 재사용하게 함으로써 사용후핵연료의 저장량을 감소시킬 수 있고, 따라서 저장문제를 완화시켜주는 또다른 이점을 기대할 수 있을 것이다.

그러나 DUPIC 계통 전반에 걸쳐 방사성핵연료를 다룬다는 것은 커다란 기술적 도전이 될 것이며, 여기에는 많은 연구개발노력이 필요하게 될 것이다.

(3) 기술적 방안

DUPIC 개념의 실현을 위해서는 여러가지 기술적 방안이 가능하다. DUPIC 계통에 관한 삼자간 연구를 통하여 실질적으로 7개의 기술적 방안이 확인되었으며, 이를 <표 3>에 요약하였다.

표에 열거한 7개의 방안을 공정에 따라 2개의 그룹으로 분리할 수 있다. 하나는 기계적 재구성에 관한 것(방안 1~5)이고, 다른 한 그룹은 분말취급(방안 6과 7)에 관련된 것이다. 이들 중 방안 3에서는 CANDU 연료 다발길이가 약 4m 정도 되기 때문에 CANDU 연료채널에 대한 상당한 변경이 필요할

장조치성에 관한 방대한 조사가 수행되었다. 몇가지 공정은 좀더 세심한 분석이 요구될 것이나 여러 DUPIC 개념은 일반적으로 핵물질 보장조치상에 별 문제가 없다는 결론이 얻어졌다. 또한 DUPIC 개념과 관련하여 핵물질보장조치요건을 적용하기 위하여는 좀 더 많은 연구개발이 필요하다는 결론이 도출

되었다.

결론

중간저장계획을 수행하는데 직접적인 영향을 주는 부지확보문제가 불확실한 상황에서 하기 때문에 사용후핵연료관리는 한국의 원자력프로그램에 중요한 문제로 부각이 되고 있다. 대민홍보는 중간저장시설은 물론 다른 원자력시설을 위한 부지확보에 있어서도 중대한 요소가 되었다. 복잡한 사회환경과 결부되어 방사성폐기물을 위협한 것으로 인식하는 NIMBY 현상이 가장 주된 이유인 것 같다. 원자력의 실체에 대한 지식을 확산시킴으로써 이러한 인식은 시간에 따라 증진될 것이다.

부지확보가 불확실한 한국에 있어서의 사용후핵연료관리의 향후 전망방향에 따른 적절한 대안도 출되어야 할 것이다. 대통령의 한반도 비핵화선언을 고려하면 장기 정책으로서 3가지 대안이 존재하며, 이는 장기저장, 영구처분 및 외국의 위탁재처리에 의한 재순환 등이다. 많은 결정요소 속에는 상당한 불확실성이 존재하므로 향후 정책설정시에 각각에 대한 세심한 조사가 필요할 것이다.

이러한 상황을 반영하는 사용후핵연료관리의 향후전망에는 미래에 대비할 수 있는 기술의 연구개발의 방향이 조명되어야 한다. 이러한 맥락에서 현재 삼자간 공동연구로 수행되고 있는 DUPIC 개념을 일례로 들 수 있다. ▣

〈표 3〉 DUPIC 계통의 기술적 선택방안

부 문	선택방안	방 법
기계적 재구성	1	-PWR 사용후핵연료를 CANDU 크기로 절단 -끝단용접 및 CANDU 다발을 위한 부착물부착
	2	-PWR 사용후핵연료를 CANDU 크기로 절단 -이중피복관 및 부착물부착
	3	-전체 길이의 PWR 핵연료봉 -PWR 길이의 CANDU 다발조립
	4	-CANDU 길이의 PWR 핵연료봉, 이중피복관 -CANDU 다발조립
분말취급	5	-CANDU 길이의 PWR 핵연료에 박막내부피복 -내부피복제거후 CANDU 튜브에 밀봉
	6	-PWR 핵연료의 열적 산화/환원 -분말개소결후 CANDU 튜브에 밀봉
	7	-PWR Pellet의 기계적 분해 -진동에 의한 다짐으로 CANDU 튜브에 밀봉

것이다.

향후의 기술개발계획을 위한 가장 장래성 있는 기술적 선택방안을 선택하기 위하여 타당성요건을 〈표 4〉에 열거하였다. 일단 적절한 방안이 선택되면 특정 기술적 선택에 관한 연구 및 개발을 제2단계에서 수행할 것이다.

(4) 핵물질보장조치

핵물질보장조치문제는 사용후핵연료관리에 있어 주요 요건의 하나가 되어 왔으므로, 협력연구동안 DUPIC 개념에 대한 핵물질보

〈표 4〉 DUPIC 계통의 타당성요건

요 건	설 명
Neutronics / Physics	-CANDU 핵연료다발사양 -중성자속분포
핵연료성능	-열전달 -핵연료건전성
핵연료제조성	-핵연료취급 및 공정 -원격조작 및 보수
폐기물관리	-폐기물발생 및 처리 -PWR/CANDU 사용후핵연료 총량
핵물질보장조치성	-현 기술의 적용성 -검증 및 감시