

방사성폐기물 수송



노 성 기

한국원자력연구소 부설
원자력환경관리센터
저장수송연구부장

1. 서 론

방사성폐기물의 수송은 일반적으로 원자력 발전소에서 발생하는 저준위폐기물, 사용후 핵연료 그리고 병원, 산업체 및 연구소등에서 나오는 동위원소 고체폐기물등을 운반(이하 수송이라는 용어와 같은뜻으로 쓸것임)하는 것을 말한다. 방사성폐기물은 계속적으로 방사선과 열(고준위폐기물인 경우)을 방출하기 때문에 이것을 주민들의 거주지역을 통하여 안전하게 수송하기 위해 방사선차폐, 열전달 그리고 오염방지등이 고려된 특수한 수송용기에 담아 밀봉하여야 한다. 따라서 이러한 수송용기는 내용물의 방사능준위에 따라 저준위, 중준위 그리고 고준위 방사성물질 수송용기로 분류되고 있으며, 저준위 방사성물질을 운반하는 포장기준은 L형, 중준위 방사성물질은 A형 그리고 고준위방사성물질의 운반기준은 B형으로 구분하고 있다. 이러한 기술기준은 국내의 원자력법에서 방사성동위원소의 종류에 따라 기준치를 설정하여 기준치 A1 및 A2값보다 적으면 L, A 기준값보다 크면 B형으로 구분하고 있다.

수송은 수송용기뿐만 아니라 수송용기와 내용물을 취급하는 취급장비, 수송용기를 차량에 고정 및 지지시키는 결속장치 그리고 운반도구 즉, 차량, 기차 그리고 선박등으로

구성된다. 그밖에도 사고시 비상계획, 방사선 안전관리, 수송기술관리등을 포함할 수송시스템을 갖추어야 하는 데 그림 1은 방사성폐기물의 수송시스템을 보여준다. 국제원자력기구(IAEA)에서도 수송법규를 만들어 국제적으로 널리 사용하도록 권장하고 있으며, 국내에서도 B형 운반물은 법으로 신고하여 검사를 받도록 규정하고 있고, L형 및 A형 운반물도 법에서 정한 규정을 지키면서 운반하도록 명시하고 있다.

본 고에서는 주로 우리나라에서의 방사성폐기물 수송현황과 수송기술을 개관해 보려고 한다.

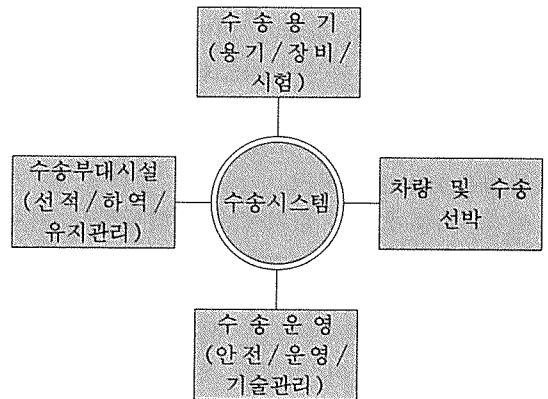


그림 1. 방사성폐기물 수송시스템

2. 수송현황

방사성폐기물의 수송계통은 그림 2에서 나타낸 것처럼 여러가지 수송모드로 분류되며 대부분의 수송물량은 원자력발전소에서 방출되는 사용후핵연료와 저준위폐기물이다. 여기서 사용후 핵연료는 중간저장시설로 수송용기를 사용하여 수송되고 저준위폐기물은 여러가지 형태의 포장용기를 사용하여 영구 처분시설로 수송된다. 중간저장시설 및 영구처분시설의 부지위치에 따라 사용후핵연료와 저준위폐기물을 차량 또는 수송선박을 이용하여 운반하게 된다. 그러나 방사성 동위원소 폐기물은 소량이므로 주로 차량을 이용하여 이를 임시저장고에 보관한 후 영구처분시설로 도로 혹은 선박으로 운반하게 된다. 원자력 발전소의 일부 사용후핵연료는 시험 목적으로 조사후 시험시설까지 도로수송하는 경우도 있다.

원자력발전소에 발생된 저준위폐기물은 그 부지내 임시저장고(200리터 드럼에 봉합된 상태로)에 보관되어 있으며 이의 영구처분시

설이 확보되지 않아 지금까지의 수송실적은 없는 상태다. 사용후 핵연료인 경우, 고리 1호기와 같이 오래된 발전소에서는 소내저장용량이 초과하여 인접발전소로 1990년도와 1991년도에 156개를 소내수송한 바 있다. 이때 사용된 수송용기와 취급장비는 국내에서 개발한 KSC-4 수송용기였으며 1994년도에도 120개의 고리1호기 사용후 핵연료를 소내수송 하였다. 그리고 조사후 시험을 목적으로 국내에서 개발한 KSC-1 수송용기를 이용하여 사용후핵연료집합체 8개를 고리에서 한국 원자력연구소까지 도로수송한 바 있다. 그리고 국내 병원 및 연구소 등에서 발생된 동위원소 고체폐기물은 방사성동위원소협회의 주관으로 100리터 드럼에 봉합된 형태로 수집하여 년평균 700내지 800드럼정도를 1990년도부터 한국원자력연구소내 임시저장고로 수송되고 있다. 그밖에 산업용 동위원소, 연구용 핵연료, 신핵연료 및 기타 방사성물질등을 국내에서 수송한 바 있으며 년차별 수송물량도 계속 증가 추세에 있다.

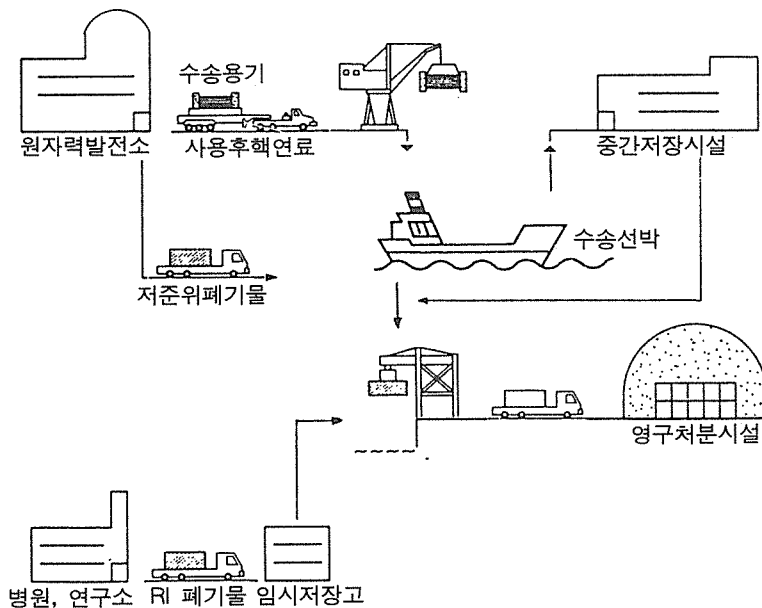


그림 2 방사성 폐기물 수송계통 구성도

3. 수송기술

방사성폐기물을 안전하게 운반하기 위한 1차적인 안전성확보는 수송용기에 달려 있다. 수송용기는 그 내부에 운반될 방사성물질의 종류와 방사능준위에 따라 적용되는 기준이 다르다. 일반적으로 수송법규에서 규정된 L형 운반물은 일반폐기물과 다른 없는 극저준위폐기물이 대상이며, A형 운반물은 원자력 발전소에 나오는 저준위와 중준위폐기물 그리고 동위원소중에 특수형 방사성물질인 경우, 기준치 A1값(예, I-131 40 Ci) 및 특수형 방사성물질이 아닌 경우 A2값(예, I-131 10 Ci) 이하인 운반물이고 B형 운반물은 사용후핵연료, 고준위폐기물 그리고 방사능이 높은 동위원소등이 대상이 된다.

B형 운반물에 속하는 B형 수송용기는 IAEA 수송법규 및 국내 원자력법에서 정상수송조건 즉, 차량진동, 섭씨 38도 및 -40도 저온, 0.3m 자유낙하등의 조건에서도 안전하도록 요구하고 있다. 그리고 이 B형 수송용기는 정상수송뿐만 아니라 가상사고 조건, 즉 9m 자유낙하, 1m 파열(puncture), 섭씨 800도 화재 그리고 200m 침수조건등에서도 안전성이 입증되어야 한다고 규정하고 있다. 이러한 정상 및 사고조건하에서 수송용기가 안전하도록 설계제작하는 기술이

수송기술중 주요항목이 된다. 수송용기 설계 기술은 방사선차폐해석, 열해석, 핵임계해석, 구조해석, 기계설계 등 기술과 수송용기의 낙하, 화재, 침수, 파열, 열환경, 진동 시험등이 포함되는 안전성 시험기술로 구분된다. 이러한 설계기술 및 안전성 시험기술을 확립하여 표 1에서 보여준 것처럼 PWR 사용후 핵연료 집합체 1개를 운반할 수 있는 KSC-1수송용기, 4개를 운반할 수 있는 KSC-4 수송용기를 자력으로 개발한 후 현재 사용중에 있으며, 그림 3에는 KSC-4 수송용기의 차폐체, 내부구조 및 제원이 주어졌다. 여기서 납 차폐체는 사용후핵연료에서 방출되는 감마선을 주로 차폐하기 위한 것이고 레진(resin)은 중성자를 차폐하기 위한 것이다.

한편 PWR핵연료 7다발을 동시에 운반할 수 있는 KSC-7 수송용기를 현재 개발중에 있다. 이밖에도 동위원소 수송용기 및 하나로(KMRR)핵연료 수송용기도 현재 개발중에 있으며 이들 용기들도 조만간에 실용화될 것이다.

방사성폐기물의 수송에는 수송도중 정상 및 가상사고조건에서의 방사선 환경영향 분석 및 평가도 수행하지 않으면 안된다. 따라서 이에 대한 기술의 연구 개발도 현재 수행되고 있다.

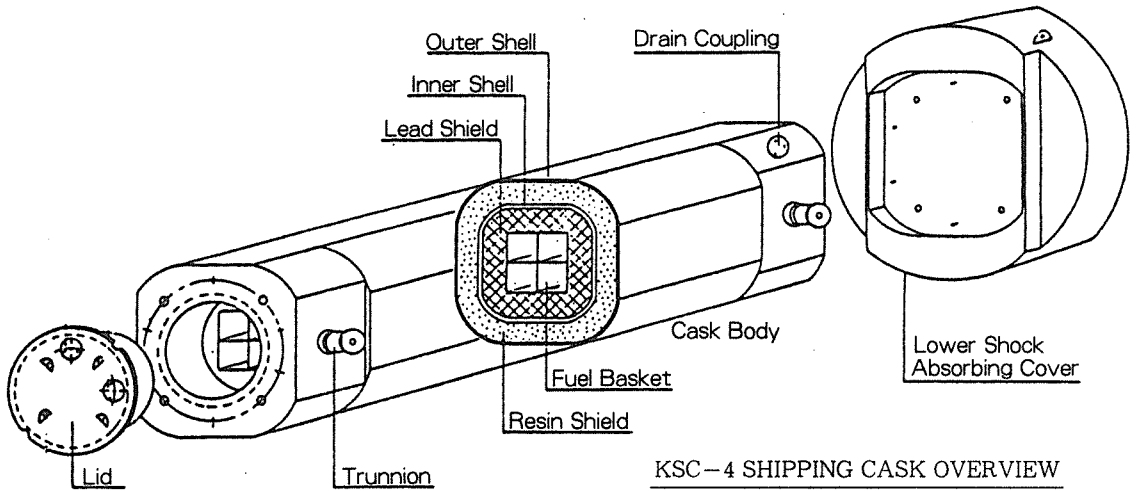
표 1. 국내 PWR 사용후핵연료 수송용기 현황

항 목	수 송 용 기 제 원 및 개 요		
	KSC-1	KSC-4	KSC-7
1. 운반용량	PWR핵연료 1다발	PWR핵연료 4다발	PWR핵연료 7다발
2. 개발기간	1983~1986년	1987~1991년	1992~1996년
3. 중 량	28톤(핵연료 장전시)	37톤(핵연료 장전시)	70톤(핵연료 장전시)
4. 직경/높이	O.D 1.1m/H 5.2m	O.D 1.4m/H 4.8m	O.D 1.9m/H 5.2m
5. 차폐재료	납(lead), 물(water)	납, 고체레진	납, 실리콘 복합재
6. 구 조 재	Stainless Steel	Stainless Steel	Stainless Steel
7. 기준 핵연료	냉각기간 : 1년 연소도 : 40,000(MWD/MTU)	냉각기간 : 3년 연소도 : 38,000(MWD/MTU)	냉각기간 : 1.5년 연소도 : 50,000(MWD/MTU)
8. 현 황	인허가(사용중)	인허가(사용중)	개발중

4. 결 론

우리나라 원자력산업의 활성화에 따라 수송대상 방사성폐기물의 물량도 점증하고 있다. 이에 효과적으로 대처하기 위하여 수송용기, 취급장비, 수송차량, 수송선박 및 부대시

설등에 관련된 기술의 연구개발이 활발히 추진되어 왔다. 그 결과 우리의 수송기술이 자립단계에 이르게 되었다. 그러나 선진국에 비하여 아직 미진한 부분이 남아 있어(국제간 사용후 핵연료 물질의 수송을 위한 특수용기 개발 등)꾸준한 연구개발이 요청된다.



KSC-4 SHIPPING CASK OVERVIEW

Total Loaded Weight	: 37 Ton
Total Length	: 5.6 M
Cask Body Length	: 4.8 M
Width	: 1.2 M
Transport Capacity	: 4 PWR Fuel Assembly
Cavity Cooling Type	: Water and Air

그림 3 KSC-4 PWR 사용후 핵연료 수송용기