

Present Status and Future of Spent Fuel Management(1) - National Strategies and Their Implementations

Won-Jae Park and Tae-Won Suk

Korea Institute of Nuclear Safety

(Received 8 March 1996; Accepted 27 May 1996)

사용후핵연료관리의 현황 및 미래(1) - 국가별 관리전략과 그 이행 -

박원재, 석태원

한국원자력안전기술원

Abstract—The continuous expansions and development of nuclear power have led to generation of the significant volume of spent fuels and radioactive wastes. And so, safe and effective management of the spent fuel has been becoming internationally sensitive and significant issue since the early 1990s. Especially, more importance would be added in the view point of international politics, because of recent political changes in the countries of Eastern Europe including dissociation of the former Soviet Union and the difficulties faced by the nuclear industries worldwide. Accordingly, this paper is proposed to show an overview of national strategies and policies on the spent fuel management, that are being assessed and carried out worldwide at this time. The overview is based on recent developments of the national strategies, their implementations and some related experiences presented in IAEA international meetings and some technical papers.

Key words : spent fuel, spent fuel management, direct disposal, reprocessing, interim storage, MOX fuel

요약—원자력의 개발과 지속적인 이용은 방사성폐기물과 사용후핵연료의 발생을 야기시키며, 발생된 사용후핵연료의 안전하며 효율적인 관리는 1990년 초부터 중요하며 민감한 국제사회의 이슈가 되고 있다. 특히 구 소련의 해체를 포함한 최근 중부유럽의 정치적인 변화에 따른 안전한 사용후핵연료관리 문제와 현재 원자력산업이 직면하고 있는 어려움 등이 국제정치의 관점에서 그 의미를 더하고 있다.

따라서 국가별로 현재 검토 및 시행되고 있는 사용후핵연료 관리에 대한 현황을 정리하였다. 즉 국제원자력기구에서 개최하고 있는 사용후핵연료관리회의에서 발표된 나라별 관리정책에 대한 현황 및 기타 기술자료에서 발표된 최신의 사용후핵연료관리 실례에 대한 내용을 정리하였다.

중심단어 : 사용후핵연료, 사용후핵연료관리, 직접처분, 재처리, 중간저장, MOX 핵연료

서 론

1994년말을 기준으로 30여개 국에서 원자력발전소를 건설 혹은 운영 중에 있으며 이중 18개국은 원자력발전의 비율이 총 발전전력량의 25% 이상을 점유하고 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 시설용량의 측면에서는 전세계적으로 현재 가동 중에 있는 원자력발전소 432기의 전체 시설용량은 340 GWe에 이른다. 최근의 IAEA의 자료에 따르면 금세기 말까지 원자력발전은 10% 정도의 증가가 예상되어 총시설용량은 370-380 GWe에 이르며, 오는 2015년에는 최대 530 GWe까지의 시설용량의 증가가 예측되고 있다[1,2]. 이에따라 1994년말까지 발생되어 현재 저장되고 있는 사용후핵연료의량은 102,000 tonHM이며 2010년까지의 총 누적 저장량은 300,000 tonHM 이상으로까지 예상되고 있다. 물론 현재 유럽 및 일본에서 후행핵주기 정책으로 추진하고 있는 사용후핵연료의 재처리 및 Pu recycling이 순조롭게 진행된다면 2010년까지 저장되는 사용후핵연료 발생량의 약 1/3 정도가 재처리될 것으로 판단되어 이에 따라 순 저장량은 200,000 tonHM정도 될것으로 평가되고 있다[3,4].

앞서 언급한 것처럼 현재 전세계에서 약 3억 4000만 kW의 원자로가 운영되고 있으며 그 대부분은 경수로이다. 경수로에서 매년 배출되는 연간 사용후핵연료의 발생량은 약 8000 tonHM 정도이다. 일반적으로 경수로에서 방출되는 사용후핵연료에는 U-235 및 핵분열성 Pu이 각각 0.9%와 0.6% 정도가 포함되므로 이를 재처리과정을 거쳐 U 및 Pu을 회수하여 기존의 경수로에 다시 이용하면 사용후핵연료 1톤은 천연우라늄 약 2톤 이상의 가치를 가지는 에너지원이 된다. 현재 원자력선진국에서 추진하고있는 장주기 운전 (예를 들면 연소도 45~50 GWd/t 이상)에서 방출되는 핵연료의 경우에도 초기 농축도 대비 약 1/3 이상의 핵분열물질을 포함하고 있으며 그 농도는 1.3-1.5% 정도로써 연소도가 증가함에 따라 잔류되는 핵분열성 물질은 서서히 감소되어지는 경향을 보이고 있다[5,6]. 이러한 사용후핵연료의 재활용 가능한 에너지원이라는 관점과 재처리가 주는 국내외의 정치사회적 문제점과 더불어 Pu을 포함하는 핵연

료주기의 불분명한 경제성 때문에 원자력을 추진하고있는 국가에서는 사용후핵연료의 직접처분이라는 방식과 재처리방식의 적용에서 정책결정에 대한 최종판단을 유보하고 있는 나라가 많다[7].

본 기술보고를 통해 현재 원자력을 운영하고 있는 국가의 사용후핵연료 관리정책 및 이행현황을 파악하고자 하며, 방사선관리의 측면에서의 사용후핵연료의 의미와 각국의 원전정책과 사용후핵연료 관리전략을 비교함을 목적으로 하고 있다. 이후 다른 기술보고로써 현재 국제정치/경제적인 관점으로 심각하게 논의되고 있는 MOX 핵연료의 이용과 회수 U/Pu 재활용에 따르는 국제정치사회의 수용성 및 사용후핵연료 저장방식에 대한 장단점을 포함한 기술적인 측면등도 언급하고자 한다.

사용후핵연료의 특성[5,6]

사용후핵연료는 다양한 방사성 핵종들로 구성되어 있는데, 최초의 천연 및 핵분열성 우라늄에서, 중성자흡수에 의한 핵분열 과정을 통해 생성된 새로운 동위원소와 이들 생성된 방사성핵종으로부터 다른 핵종으로 천이되는 방사성 동위원소들까지를 포함하게 된다.

중성자 흡수에 의한 핵분열현상은 연료봉내에 존재하는 핵분열성 물질을 점차 소모하게되며 중성자와 핵연료물질의 상호반응에 의한 최적효율점을 벗어나게 되면 노심내 핵연료는 교체하게 된다. 일단 노심에서 방출된 핵연료 내에 포함되는 방사성동위원소들은 각각의 독자적인 반감기뿐만 아니라 방사능도의 차이와 용해도 같은 주요 화학적 특성의 차이를 보이게 된다. 원칙적으로 사용후핵연료에서 발생되어 중요하게 고려되어야 하는 방사성물질은 크게 4개의 범주로 나누어지는데, 일단 핵분열성물질로써 U과 그 밖의 다른 원소들, 즉 Pu, Am, Cm, Np 등이며, 그리고 그보다 중요성이 떨어지는 핵종으로 Cf 과 Pa 등의 원소들을 포함된다. 그 다음 범주로는 장기간의 반감기를 가지는 핵분열생성물질로써 Sr, Tc, I, 그리고 Cs 등이 고준위 방사능 방출체로 구성된다. 그 다음은 Kr과 Xe 등과 같은 방사능 측면에서의

위험도가 미약한 기체상의 동위원소들인데, 일반적으로 Kr-85를 제외하면 비교적 짧은 기간내에 자연 붕괴되는 불활성 기체들이다.

끝으로 원자로시설의 구성재질으로 포함되어 있는 금속원소가 냉각수내로 용해 및 침식되어 중성자와 반응하는 과정에서 Co-60, Ni-63 등과 같은 동위원소들이 발생되게 되는데 이러한 반응에 의하여 생성되는 사용후핵연료 내의 방사성핵종의 정확한 잔량은 연료의 유형, 구성물질, 그리고 연소도(Burn-up) 정도에 따라 조금씩 달라지게 된다.

표 1은 사용후핵연료에 포함되어 있는 방사성핵종의 방사능준위를 계산할 수 있는 ORIGEN 전산코드를 이용하여 얻은 방사능준위 결과로써, 33,000 MWD 연소도의 경우 노심방출시의 방사능준위(Ci/MTU)와 시간이 경과함에 따라 변화하는 준위를 시간대 별로 보여주고 있다.

전형적인 가압경수로 핵연료는 원자로심 주위의 저장조에서 일정한 저장기간이 경과한 후에는 주요 방출 방사선원으로 Cs-134, 137와 Pu-241 뿐만 아니라, 다음의 주요 4개 형태의 붕괴사슬, 즉 Sr-90에서 Y-90으로 ; Ru-106에서 Rh-106으로 ; Cs-137에서 Ba-137m로 ; Ce-144에서 Pr-144으로 붕괴와 같은 방사평형으로부터 나오게 된다. 또한, Pu-241과 Am-241 액티나이드간의 붕괴사슬들도 주요 방사선원 결정에 고려되게 된다. 수십년이 경과된 후에는 방사능을 방출하는 핵종이 표 1에서 제시된 핵종을 포함한 40여개 동위원소로 줄어든다. 즉 원자로에서 방출되는 사용후핵연료는 방출 초기에는 단반감기 핵종에 의하여 방사능 준위가 매우 높기 때문에 작업자에 미치는 위험이 현저하여 사용후핵연료의 관리 및 취급에 주의하여야 하며, 그리고 핵연료의 재처리와 같은 처리과정을 수행하기 전에 습식냉각수조 및 건식저장용기에서 충분할 정도로 냉각시켜야 한다.

100년 후면 사용후핵연료에서 방출되는 방사능이 약 80% 정도가 Cs-137, Ba-137m 그리고 Y-90으로 붕괴된 Sr-90으로부터 발생하게 된다. 1000년에서 10000년까지는 대부분의 방사능이 반감기가 긴 액티나이드 물질, 특히 Pu-239, Pu-240와 Pu-242, Am-241과 Am-243, 그리고 Pu-241과 Am-241

의 붕괴핵종인 Np-237로부터 비롯되어 진다. 나머지 미량의 방사능은 C-14, Ni-59, Zr-93, Nb-94 및 Tc-99m 에서 나오게 된다.

수십만 년이 경과된 후에는 Zr-93, Tc-99m, Pu-239 및 242, C-14, Np-237, I-129, Cs-135, 그리고 Ra-226과 Pa-231과 같은 우라늄 붕괴사슬에서 나오는 장반감기 동위원소 등만이 남아 있게되며 이러한 핵종들이 궁극적으로 사용후핵연료의 처분시 환경에 영향을 미치게되어 방사능측면에서 장기간 처분안전성을 검토하여야할 대상 핵종이 된다.

후행핵주기 : 재처리 혹은 직접처분

본질적으로 고준위방사능을 가지나, 재활용가능한 핵분열성 물질을 포함하는 사용후핵연료의 특성 때문에 원자력을 이용하는 국가에서 사용후핵연료의 관리정책은 원자력에너지의 안전한 이용이라는 목표를 얻기위하여 필수적으로 고려하여야 하는 사안이다. 그러나 모든 국가에 있어 사용후핵연료의 관리에서 반드시 고려하여야 하는 인자들, 즉 안전성, 장기간 신뢰성, P.A., Safeguards 확보 및 환경영향 등을 포함하는 평가결과는 큰 차이를 보이지않지만, 구체적인 사용후핵연료 관리정책 및 전략, 그리고 세부 이행방안 등은 다를 수 있다. 예를 들면 1990년 이래 처분대상이 되는 고준위 방사성폐기물 감용효과를 얻기위하여 후행핵주기의 적용타당성과 장반감기 핵종 및 액티나이드의 Partitioning/Transmutation[8] 가능성에 대한 연구가 활발하게 추진되고 있다. 사용후핵연료의 관리전략에 대한 원자력발전국가들의 이행 방향은 국가별 환경에 따라 크게 3가지 입장으로 분류될 수 있다.

- 가) 재처리 및 재활용
- 나) 직접처분
- 다) 최종 관리정책 확정시까지 결정 유보

이러한 3가지의 다른 접근방법에 대한 원자력 국가의 분류는 다음으로 나누어질 수 있다.

- 가) 재처리시설을 운영하고 있거나 건설계획을

Table 1. Radioactive Products in Spent Fuel (Ci/MTU).

Element	T1/2(y)	OYr	1Yr	10Yr	100Yr	1000Yr	10000Yr	100000Yr
H-3	12.33	709	670.2502	404.1604	2.568745	2.76E-22	5.7E-242	0
Se-79	6.50E+04	0.398	0.397996	0.397958	0.397576	0.393779	0.357751	9.32E-06
Kr-85	10.72	11300	10592.62	5920.065	17.60188	9.5E-25	2E-277	0
Sr-90	28.1	77600	75709.64	60639.6	6588.826	1.51E-06	6.1E-103	0
Zr-93	9.50E+05	1.89	1.889999	1.889986	1.888622	1.876263	0.911287	
Tc-99m	2.13E+05	14.3	14.29995	14.29953	14.29535	14.25355	13.84223	0.552522
Ru-106	1.01	545000	274416.5	570.8662	8.67E-25	5.6E-293	0	0
Pd-107	6.50E+06	0.11	0.11	0.11	0.109999	0.109988	0.109883	0.098876
Sb-125	2.73	8700	6749.557	687.1941	8.22E-08	5E-107	0	0
I-129	1.60E+07	0.371	0.371	0.371	0.370998	0.370984	0.370839	0.355274
Cs-134	2.06	246000	175725.6	8510.101	6.04E-10	2E-141	0	0
Cs-135	2.30E+06	0.286	0.286	0.285999	0.285991	0.285914	0.28514	0.211598
Cs-137	30	108000	105533.8	85723.86	10720.22	1E-05	5.15E-96	0
Ce-144	0.78	1110000	456529.7	153.7388	2.88E-33	0	0	0
Pm-147	2.62	102000	78293.85	7242.27	3.32E-07	1.4E-110	0	0
Sm-151	92.9	1250	1240.71	1160.148	592.8465	0.719834	5.01E-30	0
Eu-154	8.59	6990	6448.228	3119.674	2.191783	6.42E-32	0	0
Eu-155	4.8	7480	6474.412	1765.586	0.004016	1.49E-59	0	0
Mn-54	0.856	249	110.8163	0.0759	1.72E-33	0	0	0
Fe-55	2.7	2000	1547.252	153.5822	1.43E-08	6.8E-109	0	0
Co-60	5.27	6440	5646.464	1728.991	0.01253	5.01E-54	0	0
Ni-59	80000	3.85	3.849967	3.849667	3.846666	3.816793	3.530531	0.000666
Ni-63	92	565	560.7601	524.0042	266.0182	0.302467	1.09E-30	0
Sb-125	2.73	44.7	34.67876	3.530756	4.23E-10	2.5E-109	0	0
Np-237	2.14E+06	0.333	0.333055	0.335595	0.419552	0.905928	1.056923	1.056923
Pu-238	87.74	2720	2698.601	2513.43	1234.663	1.010102	1.36E-31	0
Pu-239	24100	318	317.9909	317.9086	317.0869	308.9861	238.5311	1.03E-10
Pu-240	6570	477	476.9497	476.4971	471.9951	429.2489	166.1219	7.4E-44
Pu-241	14.4	105000	100066.5	64891.09	853.3891	1.32E-16	1E-204	0
Pu-242	3.76E+05	18.1	18.09997	18.09967	18.09666	18.06667	17.76946	2.865741
Am-241	433	85.9	249.6993	1406.949	3121.674	746.2565	0.000414	0
Am-242m	152	9.16	9.118333	8.751753	5.806193	0.0965908	1.45E-19	0
Am-243	7370	18.1	18.0983	18.08299	17.9306	16.47563	7.068254	2.64E-40
Cm-242	0.446	33400	7062.113	0.005965	1.1E-63	0	0	0
Cm-243	28.5	3.71	3.620876	2.909188	0.326101	1.02E-10	9.3E-106	0
Cm-244	18.11	2440	2348.394	1664.187	53.15107	5.87E-14	1.6E-163	0

가지고 있는 국가 : 중국, 프랑스, 일본, 인도, 영국 및 러시아가 이 범주에 속하며, 자국의 핵연료를 외국에 위탁 처리하는 국가로는 벨지움, 독일, 일본, 네덜란드 및 스위스가 포함된다.

- 나) 비순환주기(once-through cycle)를 추진하며 중간저장후 직접처분을 하고자 하는 국가 : 캐나다, 핀란드, 스페인, 스웨덴 및 미국 등이 재처리에 대하여 부정적인 입장을 표시하며 사용후핵연료를 직접처분하는 계획을 가지고 있는 국가에 포함된다.
- 다) 후행핵주기에 대한 최종 입장을 유보한 국가 : 궁극적인 사용후핵연료 관리정책에 대한 방향에 대해 계속 검토 중에 있는 국가로 체코공화국, 헝가리, 우크라이나 및 한국이 이 범주에 포함된다.

어떠한 관리전략을 지향하더라도, 모든국가에서 사용후핵연료의 관리에서 요구되는 기본적인 요건으로써 사용후핵연료에 포함되어 있는 방사성 물질을 인간과 자연환경과의 효율적이며 완벽한 격리를 확보할 수 있는 방안을 고려하여야 하며, 이를 이행하는 방안으로 사용후핵연료의 저장 및 직접처분의 2가지 전략으로 입장차이를 보여주고 있다. 다시 말하자면 사용후핵연료의 관리방향에 대한 큰 줄기는 원자력 이용국가가 저장기준전략(Storage-based Strategies)과 처분기준전략(Disposal-based Strategies)을 택하는가에 대한 입장의 차이를 보여주고 있다[9,10].

저장기준 전략

사용후핵연료의 저장은 그 저장기간의 길고 짧음에 상관없이 궁극적으로 최종전략으로 간주되지 않는다. 전세계적으로 저장기간은 50년 이내가 일반적이며 저장수조를 이용한 습식저장 방식과 모듈방식의 건식저장 방식이 일반적인 접근방안으로 보여진다. 50년 이상의 장기간 저장을 위하여서는 지표층이나 지하층에 격납고 형식의 저장방식이 연구되고 있으며 미국의 MRS(Monitored Retrieval Storage)가 이러한 장기간의 감시 가능한

저장시설의 단적인 실패가 된다. 이러한 장기간의 저장에는 장기간의 핵연료의 거동 및 건전성 확보에 대한 기술적 대책이 매우 중요하며 이러한 장기간 안전성의 확보가 인허가에 있어 주요 고려사항이 된다. 장기간 저장방식의 적용은 사용후 핵연료 후행핵주기 전략을 결정하지 못한 국가에게 향후 예상되는 후행핵주기 관련 기술개발과 이에 따른 경제성 제고효과를 그대로 이용할 수 있다는 점에서 매력적인 방안이 될 수 있다. 또한 현재 유럽국가에서 지적되고 있는 Pu/U 핵주기의 논란에 따라 재처리사업의 속도를 조절할 수 있는 방안으로써 유럽의 일부국가에서 채택할 수 있는 방안이 되고 있다.

저장과 처분과의 연계를 위한 접근이 일부 국가에서 이루어지고 있는데 그림 1에서 보여주는 미국 DOE의 MPC(Multi-Purpose Canister)방식[11,27]은 저장, 운반 그리고 처분시 동시에 사용할 수 있는 Canister 형태의 건식저장 방식이며 미국에서 1998년말까지 인허가를 얻을 수 있도록 관련 연구가 추진되고 있으며 기타 유럽국가에서도 이에 대한 연구가 적극적으로 수행되고 있다. 그림 2는 현재 미국에서 인허가를 취득(95년 7월)한 운반 및 저장에만 적용되는 DPC(Dual-Purpose Cask)방식[12]의 NAC-STC 저장용기이며 VECTRA 및 Holtec의 MP-187와 HI-STAR 100 도 NRC에 인허가를 신청중에 있다.

처분기준 전략

캐나다, 스웨덴 및 미국 등의 국가에서는 사용후핵연료의 직접처분을 사용후핵연료의 기본정책 및 원칙으로 이미 결정하였으며, 스웨덴은 2008년을 목표로 심지층 처분시설의 건설 및 운영을 위한 계획을 이미 수행하고 있으며, 캐나다의 경우에도 Canadian Shield의 Plutonic Rock지역에 사용후핵연료를 처분하기 위한 계획에 대하여 국민이해를 얻기 위한 노력을 경주하고 있다. 계획대로 사업이 추진된다면 2025년에는 처분시설이 운영될 수 있을 것으로 보여지고 있다. 미국의 경우에는 1997년 네바다주의 Yucca Mountain을 사용후핵연료 처분 시설으로 지정하였으며, 현재 부지특성조사프로그램

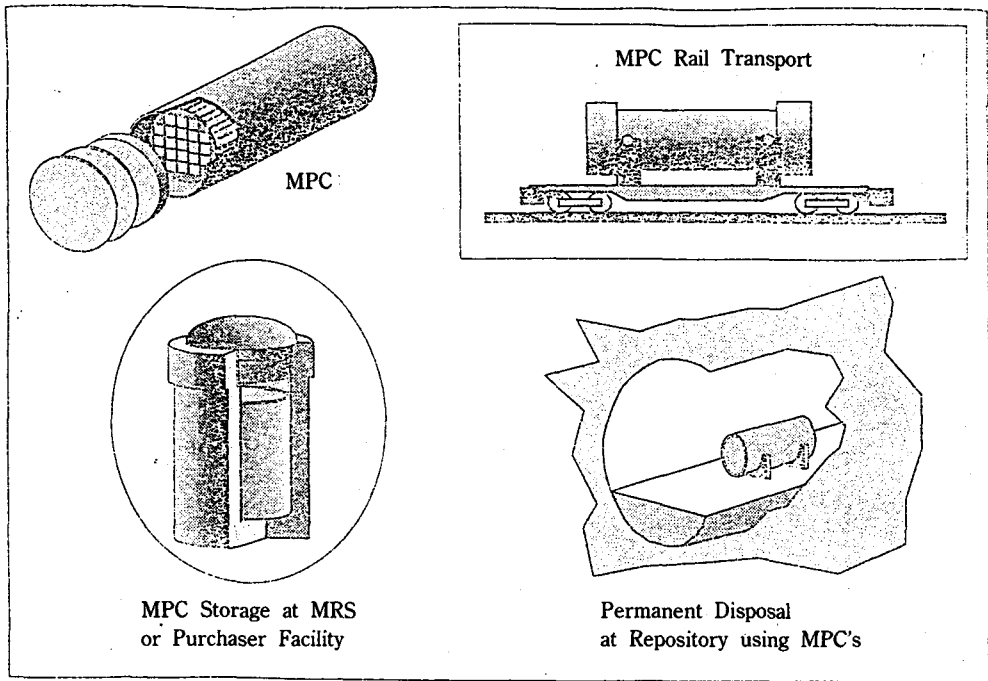


Fig. 1. MPC System [from ref.(27)]

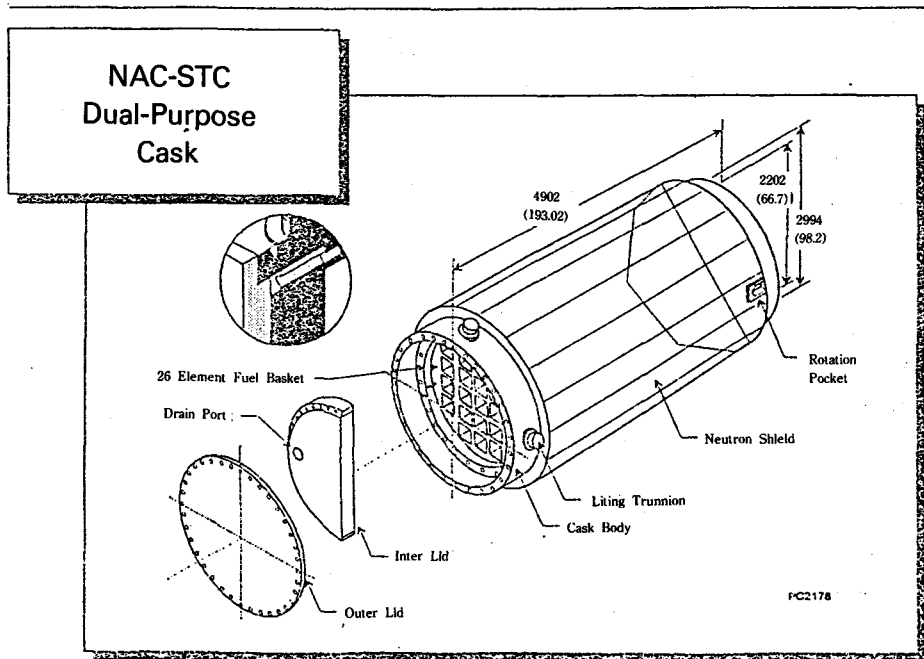


Fig. 2. NAC-STC Dual-Purpose Cask [from ref.(21)]

램을 추진하고 있으나 주정부 및 환경단체의 반대에 의해 추진 일정이 상당히 지연되고 있다.

사용후핵연료 관리에 대한 주요국가 현황[13,14]

실제로 사용후핵연료의 관리 전략 및 정책이 앞서 언급한 것처럼 크게 2~3 그룹으로 나눌 수 있지만 같은 추진전략을 가지는 국가라도 세부 추진 방향이나 일정은 큰 차이를 보여주고 있다. 일반적으로 사용후핵연료를 장기간 저장하는 전략을 채택하는 국가의 경우에도 사용후핵연료 자체를 영구히 저장할 수 없기 때문에 궁극적으로 재처리에 의해 발생하는 고준위 폐기물의 형태이거나 사용후핵연료 자체로써 처분할 수 밖에 없는 실정이다. 장기간 저장에 의해 사용후핵연료가 가지는 방사능과 붕괴열은 시간이 경과함에 따라 지수 함수적으로 감소되기 때문에 처분이나 처리시 예상되는 위험도는 훨씬 낮아지게 된다. 또다른 고려사항으로 핵연료의 재처리로 표현되는 후핵연료가 방사성폐기물의 발생에 미치는 영향에 대하여도 평가되어야 한다. 즉 사용후핵연료의 재처리에 의하여 발생하는 중저준위 방사성폐기물의 양이 증가하게되지만 영구처분에 궁극적인 부담을 주는 장반감기 고준위방사성폐기물의 부피는 수 % 이하로 감소되게된다. 이러한 복합적인 인자들에 의해 원자력을 이용하는 국가에 있어 사용후핵연료관리 전략 및 정책, 그리고 구체적 이행방안은 큰 차이를 보여주게 된다. 아래는 1994년 말 현재 원자력국가들의 사용후핵연료 관리현황을 정리한 것이다[15~25].

A. 아르헨티나

국가원자력위원회(CNEA)에서 관리프로그램을 담당하며 50~100년 기간의 건식 중간저장시설을 건설하고자 하는 계획을 수립하고 있으며, 최종처분에 대한 정책결정은 아직 결정되지 않은 상태이다. 현재 Embalse원전부지내에 5년간 용량의 건식 저장시설을 건설 완료하였으며 추가 5년간의 용량확대를 위한 건설 추진 중에 있다. Atucha부지에서의 건식저장시설의 건설도 검토하고 있다.

B. 벨기에

국립방사성폐기물 및 분열성농축물질기구(ON-DRAF/NIRAS)에서 담당하고 있으며 1994년 말 현재 연간 발생량은 120(tHM/y)으로 추정되고 있으며, 처분 방식으로 재처리, 고준위폐기물은 유리화시킨 후, 점토지역에 심층처분으로 처리하는 것을 장기전략으로 채택하였다. 한편 사용후핵연료의 직접처분도 고려하고 있으나, 아직 처분을 위한 최종부지가 선정되지 않은 상태이다.

고준위 방사성물질의 처분시 거동평가를 위하여 Mol의 지하연구소에서 지하연구 및 조사작업 실시하고 있으며 지난 10년간 수행된 R&D에 관한 진척보고서가 1997~98년에 발간할 계획되어 있다.

C. 캐나다

발생된 사용후핵연료의 저장은 원전 사업자 즉, 폐기물 발생자가 책임지고 있으며 이의 처분은 캐나다 원자력공사(AECL)가 수행하도록 되어 있다. 사용후핵연료의 연간 발생량은 1460(tHM/y) 정도로 추정되고 있으며 현재 가동중인 22기의 CANDU-PHWR이 40년간의 운전수명동안 5백만 다발(약 십만 tHM)의 사용후핵연료 번들의 발생이 예상된다. 이에 따라 핵연료의 특성상 장기간 습식 및 건식저장을 중간저장 방식으로 채택하고 있으며 궁극적으로 사용후핵연료의 직접처분을 추진 전략으로 채택하고 있다. 대상지역으로 중서부 지역의 Canadian Shield 화강암지역을 고려하고 있으며 500~100미터 심층처분장에서의 직접처분방식을 계획하고 있다. 이를 위하여 AECL이 Canadian Shield 내에서 심층처분을 연구하며 연방정부에 평가결과를 제시하도록 되어 있다. 1991년 AECL이 환경영향평가에서 다뤄야 할 문제를 고려하기 위한 공청회를 개최하였으며, 콘크리트 캐니스터가 수송 및 저장용기로 승인되어 사업이 추진되고 있다. 장기간의 임시저장을 위하여 Pickering과 Point Lepreau등의 원전 부지에서 건식 저장시설이 운영되고 있다. 사용후핵연료의 심층처분에 대한 환경영향평가서가 전문가 및 일반대중의 검토를 위해 1995년에 제시되었으며, 공청회 등 공개회의에서 심도있게 다뤄질 계획이다.

D. 중국

원자력의 상업적 이용으로 1994년말 현재 3기의 원자력발전소만이 운영되고 있으나 원자력 개발에 대한 중장기계획(2020년에는 50 GWe의 시설용량)은 매우 적극적으로 추진하고 있다. 사용후핵연료의 재처리를 국가정책으로 결정하였으며, 이를 위하여 Lanzhou 핵연료공단이 사용후핵연료의 후행핵주기 사업을 추진하고 있다. 10년간 발전소내 습식저장 시킨 후 Lanzhou에 위치하게 되며 현재 건설중인 550 tHM용량의 중앙집중식 습식저장시설(wet Centralized Storage Facility : CSF) 및 재처리 시설로 이송되어 후행핵주기 사업을 추진할 예정이다. 각각 550 tU, 500 tU, 1050 tU을 저장할 3단계 습식저장시설 건설계획에 대한 세부 추진계획 등 관련 연구가 시작되었으며 중앙집중시설내의 연결수로를 통해 저장수조에서 재처리 공장으로 연료 수송하는 방식을 적용할 예정이며 2015년에 운영하리라 예상되는 재처리시설의 시설용량은 400 내지 800 tHM/y로 계획되고 있다. 고준위폐기물을 유리화시키기 위한 시험시설이 독일로부터 도입되었으며 늦어도 2010년까지는 상업용 유리화시설의 운영을 계획하고 있다. Lanzhou지역에 위치하게되는 National Northwest Site에는 원자력주기에서 발생하는 방사성폐기물의 영구처분을 위하여 처분시설의 설계를 진행하고 있으며 1996년부터 건설하여 1997년말부터 폐기물의 인수를 개시할 예정이다. 두번째 저장고로 광둥지역의 Daya원전주변에 South Repository의 건설도 추진중에 있다.

E. 핀란드

현재 4기의 원전으로 총 2.3 GWe의 시설용량을 가지고 있으며 발생하는 사용후핵연료는 발생자가 저장 및 최종처분을 책임지도록 되어 있다. 각각 Olkiluoto원전 및 Loviisa원전에서 연간 발생량은 40(tHM/y) 및 25(tHM/y)으로 추정되고 있다. 각 원전에서의 사용후핵연료 관리방식으로 Olkiluoto 원전의 경우에는 수십 년간 중간저장후 직접처분 방식을 계획하고 있으나, Loviisa 원전의 경우에는 현재는 러시아와의 계약에 따라 원전 내의 사용

후핵연료 저장조에 2-3년 동안 냉각시킨 후 재처리 및 처분을 위하여 러시아 Chelyabinsk 부지로 수송하고 있다. 그러나, 러시아와의 관계, 즉 위탁 재처리비용의 인상요구 등에 따라 앞으로 자체 직접처분에 대한 관리정책을 검토하고 있다.

Olkiluoto 원전은 1987년부터 습식중간저장시설을 운영하고 있으며, 1987~1992년에 걸쳐 5개 후보 심층처분장에 대하여 예비조사를 수행하였으며 그중 3곳에서 세부 부지조사가 수행 중에 있으며 2000년까지 최종처분장 부지를 선정하고 2010년부터 건설을 시작할 예정이며 사용후핵연료의 건식저장을 위한 새로운 캐니스터(ACP 캐니스터) 설계도 연구하고 있다.

Loviisa원전은 운영후 1981년부터 11차례에 걸쳐 225t의 사용후핵연료를 러시아로 수송하였으며 1994년에도 사용후핵연료가 러시아로 선적되었지만 핀란드 정부는 "자국내 에서 발생한 폐기물은 자국이 처리할 것"이라고 발표하여 앞으로 자체 직접처분에 대한 관리대책을 수립하기 위한 기술 검토를 수행하고 있는 단계이다.

F. 프랑스

1974년부터 시작된 프랑스의 원자력발전은 현재 56기의 원전이 국내 전력수요의 75%를 넘는 320 TWh의 전력을 공급하며 전력요금 또한 유럽전체에서 가장 저렴한 수준이다. 프랑스의 사용후핵연료 관리는 RCR 정책, 즉 Reprocessing(사용후핵연료의 재처리), Conditioning(폐기물의 적절한 고화처리), Recycling(U 및 Pu의 재활용)으로 설명할 수 있다. 이에 따라 사용후핵연료관리에 있어서도 재처리와 순환핵연료주기에서의 선도적인 역할을 하고있으며, MOX 핵연료를 900 MWe PWR 16기에 장전할 수 있도록 하는 인허가도 이미 얻은 상태에 있다. 원칙적으로 사용후핵연료의 저장 및 재처리는 Cogema사가 수행하고 있으며, 재처리후 고준위 폐기물의 처분은 국립 방사성폐기물 관리기구(ANDRA)가 책임지고 있다. 현재 연간 사용후핵연료 발생량은 1,100(tHM/y)이며 후행핵주기 정책은 재처리를 원칙으로 하고 있으며 이에 따라 2006년까지 분리 및 변환, 지층처분을 포함한 사용후핵연료의 장기 저장방식에 관한 연구를 수

행하고 있다. 최종처분을 위하여 1993년 10월 고준위폐기물 처분을 위한 지하연구소에 대한 4곳의 후보부지를 발표하였으나 대상부지 주민의 반대로 사업 추진이 어려운 상태에 있으며 2006년 이전까지 처분방식의 최종 결정을 유보하고 있다. 이에 따라 대상 부지에 대한 지표조사 및 지질특성 파악을 위한 시추의 실사가 연기되고 있으며 계획으로는 1996년에 지하연구소 부지를 최종 선정할 예정이나 사업의 추진일정을 맞추기가 어려울 것으로 판단되고 있다.

G. 독일

독일의 경우에는 사용후핵연료의 재처리와 Pu의 재순환을 가장 현실적인 방안으로 결정하여 법적 체계를 구비하여 후행핵주기정책으로 사용후핵연료의 재처리 및 발생된 고준위방사성폐기물의 심층처분을 원칙으로 하였으나 1994년 7월 원자력법(Artikelgesetz)의 개정으로 LWR 사용후핵연료의 직접처분도 사용후핵연료 관리방안의 대안으로 고려할 수 있게 되었다. 현재 사용후핵연료의 최종처분에 대한 규제 및 책임은 연방방사선 방호기구가 가지고 있으며 연간 발생하는 사용후핵연료의 량은 500(tHM/y)정도로 평가되고 있다. 현재 2개의 건식 및 1개의 습식 중간저장시설이 가동중에 있으며, 방사성폐기물 처분시설의 부지로서 Gorleben 암염지역을 대상으로 하고 있으며 지상부지 조사가 거의 완료된 상태에 있다. 현재 진행/계획되고 있는 주요 내용으로 유리화폐기물에 대한 중간저장부지의 인허가, 고연소도(55 GWd/tHM) 사용후핵연료 및 고용량 저장캐스크에 대한 Gorleben 및 Ahaus의 중간저장시설 인허가, 폐지폐기물을 위한 Greifwald의 사용후핵연료 및 방사성폐기물 저장시설의 건설, Gorleben의 사용후핵연료 및 방사성폐기물 취급 시험시설 건설, 저준위폐기물을 위한 Konrad처분장의 인허가 및 Gorleben 처분장의 지하조사등이 수행되고 있다. MOX 핵연료의 이용에 대하여는 최근 독일의 원전 21기 중 10기의 PWR과 2기의 BWR이 MOX핵연료 사용허가를 받았으며 그중 일부는 실제 노심내 장전되어 연소되고 있다. 독일 Siemens AG는 Hannover공장에서 BWR과 PWR에 사용되는 연간 30

tHM용량의 MOX연료를 제조하였는데 1991년 조업을 정지하였으며, 동일지역에 시설용량 연간 120 tHM의 MOX핵연료 제조공장을 건설하여 완공을 눈앞에 두었으나, 최근 Hesse주정부로부터 운영허가의 취득이 어려운 관계와 환경보호단체의 격렬한 반대 등으로 거의 취소단계에 있다.

H. 인도

연간 사용후핵연료의 발생은 135(tHM/y)이며 Bhabha 원자력연구소의 연료재처리/폐기물 관리그룹에서 처리/처분에 대한 사업을 추진하고 있으며, 사용후핵연료의 재처리 및 분열성물질의 회수, 그리고 Th활용을 위한 후행핵주기 정책을 수행하고 있다. 현재 가압중수로형인 Tarapur 원전의 BWR과 PHWR핵연료를 재처리하기 위한 PREFRE 재처리시설과 트롬베이 연구로의 금속핵연료를 재처리하기 위한 BARC시설은 각각 150 tHM/y, 50 tHM/y의 시설능력을 보유하고 있다. 3번째 재처리시설로 Kalpakkam재처리 시설이 Madras원전의 핵연료를 재처리하기 위하여 1996년부터 운영할 예정으로 있다. 대용량 재처리시설의 건설을 위하여 Rawatbhat지역에 년 350 tHM/y 용량의 PREFRE III가 계획되고 있다. 따라서 오는 2000년 이후에는 전체 재처리시설용량이 600 tHM/y이상으로 증가를 계획하고 있다. 발생하는 액체폐기물의 고형화를 위하여 Tarapur에 pot glass 형태의 폐기물처리시설이 운영되고 있으며 Trombay와 Kalpakkam에는 각각 pot glass process와 ceramic melter 형태의 처리시설이 건설중에 있다.

I. 일본

1987년 발표된 “원자력개발이용 장기계획”과 1994년 6월의 수정계획에 따르면 일본에서는 사용후핵연료를 재활용 가능한 에너지자원으로 간주하고 있으며 재처리 되기까지 적절하게 저장, 관리되어야 한다고 기술되어 있다. 이에 따라 일본핵연료회사(JNFC)에서 사용후핵연료에 대한 사업을 수행하고 있으며, 연간 발생하는 750(tHM/y)의 사용후핵연료는 재처리를 하며 이때 발생하는 고준위 유리화폐기물은 최종 지층처분 전까지 50

년간 중간 저장될 예정이다. 재처리되기 전까지 저장관리를 위하여 금속캐스크 방식을 적용하고 있으며 저장시설의 임계도 설계에 Burn-up Credit를 적용하는 방안을 연구하고 있다. 현재 로카쇼무라 재처리공장(시설용량: 800 tHM/y)이 완공 단계로서 1997년에는 사용후핵연료의 인수가 가능할 것으로 판단되고 있다. 일본 PNC(동력로핵연료개발단)에 의해 고속로 핵연료 재처리시설로써 RETF(재순환시험시설)의 건설을 1995년 1월 개시하였으며 2000년부터 연간 최대 6톤의 연료를 재처리할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 영국과 프랑스에 위탁재처리와 MOX 연료로 가공하여 Fugen 등 실증로에서 연소를 시키고 있다.

J. 스페인

현재 9기의 원전이 7.1 GWe의 시설용량을 가지고 있으며 방사성폐기물 관리공사(ENRSA)가 사용후핵연료 관리를 전담하고 있으며 연간 발생하는 160(tHM/y)의 사용후핵연료는 재처리되는 Vandellos-1의 사용후핵연료를 제외하고는 중간저장후 직접 처분할 계획에 있다. 현재 사용후핵연료를 발전소내 저장수조에 보관하고 있으며 원전 4기에서 저장수조를 reracking하여 수명기간동안의 저장용량을 확보하였으며 최종처분을 위하여 화강암 또는 암염 심층처분장에 대한 개념설계 완료하였다. 또한 소내/소의 저장에 쓸 수 있는 다목적 금속캐스크의 설계 및 인허가를 진행하고 있으며 점토심층처분시설에 대한 개념설계도 진행중에 있다. 2000년대 초까지 정부에 제출할 대상부지의 확정을 위하여 부지선정작업이 진행중에 있다.

K. 스웨덴

전체 전력의 50% 이상을 12기의 원전으로 공급받고 있으며 시설용량은 10 GWe정도이다. 스웨덴핵연료/폐기물관리공사(SKB)가 방사성폐기물 사업 전반에 걸쳐 사업을 수행하고 있으며, 연간 발생하는 약 230(tHM/y)의 사용후핵연료는 1985년부터 운영을 시작한 CLAB시설에서 장기간, 즉 30-40년간, 중간저장후 500미터 지하에 구리용기로 직접 처분할 계획에 있다. 이를 위하여 CLAB

시설에 위치하게 될 사용후핵연료 Encapsulation Plant에 대한 설계를 시작하였으며 1996년에 개념설계가 완료될 예정이며 1998년에 예비안전성 분석보고서가 제출되며 2000년까지 건설이 시작될 예정이다. 심층처분을 위하여 지하암반연구소에 대한 타당성 연구를 완료하였으며 세부지질연구를 위해 후보부지를 모색하고 있다. 계획에 따르면 2008년에 심층처분장을 운영할 예정이며 대상부지로서 일단 2곳을 선정하여 세부 지질학적 검토를 수행할 계획으로 있다.

L. 스위스

현재 사용후핵연료관리정책으로 재처리를 원칙으로 추진하고 있으며 발생하는 사용후핵연료는 프랑스의 UP3 및 영국의 THORP에서 위탁 처리되고 있다. 이러한 위탁 재처리 계약의 종결 후에는 사용후핵연료를 일정기간동안 중간저장후 직접처분하는 방안의 적용이 신중하게 검토되어질 예정이다. 연간 발생하는 85(tHM/y)의 사용후핵연료는 방사성폐기물관리를 위한 민간 및 국가협력체(NA-GRA)에서 주체가 되어 관리사업을 수행하고 있다. 또한, 사용후핵연료의 관리정책으로 현재 재처리후 유리화시킨 고준위폐기물의 심층처분을 원칙으로 하고 있으며 사용후핵연료의 직접처분을 위한 중간저장도 고려하고 있다. 처분지역으로 적당한 암반 지역을 조사중에 있으며 Wurenlingen지역을 대상으로 중앙집중식 중간저장부지의 건설 및 관련된 인허가를 추진중에 있으며 1998년말에 운영이 가능하리라 예상되고 있다. MOX핵연료의 재장전 및 재순환도 일부 원전에서 수행되고있다.

M. 대만

대만의 경우에는 6기의 원자력발전소(BWR 4기, PWR 2기)가 5.1 GWe의 시설용량을 가지고 전 발전량의 1/3 정도를 담당하고 있다. 대만전력공사가 사용후핵연료 및 방사성폐기물 발생자로서 사업 전반에 대한 책임을 지고 있으며, 연간 발생하는 약 145(tHM/y)의 사용후핵연료는 중간저장후 직접처분 혹은 재처리후 처분방식으로 적용하기를 고려하고 있으나 최종 결정은 유보하고 있다. 원전에서 발생한 사용후핵연료의 중간저장시설의

건설을 1996년까지에는 개시하여 1998년의 가동을 계획하고 있다. 사업추진을 위한 부지선정 기준, 부지조사 방법, 설계개념에 대한 연구가 1988년에 완료되었으며, 1989~91년에 추진계획이 수립되어 예비지질조사가 실시되었다. 이후 1993년부터 지역별 조사를 위한 예비작업에 착수하고 있으나 대상지역 주민의 반대에 사업추진에 어려움이 많다. 사용후핵연료의 최종처분은 2016년까지는 처분장부지를 선정하고 2032년에는 처분시설의 운영을 목표로 하고 있다.

O. 영국

영국핵연료공사(BNFL)가 연간 발생되는 1,000(tHM/y) 정도의 사용후핵연료의 관리를 책임지고 있으며, 후행핵주기 관리정책으로 재처리후 고준위폐기물의 유리화 및 처분을 원칙으로 하고 있다. 그러나 재처리가 중간저장보다 경제성이 떨어질 수 있다는 관점과 Pu재활용에 대한 국민이해를 구하는 문제 때문에 사용후핵연료의 재처리 연기 및 계약에 대한 재협상이 추진되고 있다. 현재 스코틀랜드의 Torness AGR에서는 사용후핵연료에 대한 재처리 여부가 최종 결정될 때까지 Modular Vault Dry Store(MVDS) 형태의 건식중간저장 방식을 추진하고있다. 그러나 기존의 재처리 정책 아래에서 고준위폐기물의 유리화(Vitrification) 시설이 Sellafield에서 이미 가동되고 있으며 1994년 3월 27일부터 조사된 핵연료의 재처리가 THORP 시설에서 운영 개시되었다. 또한 Pu의 재활용을 위하여 1994년에 MOX연료 가공공장에 대한 인허가가 발급되었다.

P. 미국

사용후핵연료에 대한 사업은 에너지부(DOE)에서 주관하고 있으며, 연간 2200(tHM/y) 정도의 사용후핵연료가 발생되고 있다. 1995년말 현재 6개 주에서 7개 발전소에서 사용후핵연료를 소내 건식저장하고 있으며, 추이를 보면 건식저장에 대한 요구가 급속히 증가할 것으로 보여진다. 1987년 개정된 방사성폐기물정책에 의거하여 사용후핵연료의 저장방식의 일환으로 MRS(Monitored Retrieval Storage) 설비에서 장기간 중간저장후 2010

년부터 심층 지하처분을 추진할 예정이었으나, 대상 부지의 결정이 어렵기 때문에 1995년 MRS사업에 대한 추진계속 여부가 불투명한 상태이다. 그러나 현재 일부 지역에서 MRS 유치에 관심을 여전히 보이고 있으므로 1995년-1996년의 104차 의회에서 MRS관련법안에 대한 결정이 예상되고 있다. 최종처분 대상부지인 Yucca Mountain에서 예비 지질 조사작업 진행 중에 있다. Yucca Mountain의 부지특성화 작업도 병행되고 있으나 주정부의 반대가 매우 심각한 상태로서 사업의 계속 추진과 2010년으로 예상되는 처분시설의 운영에 어려움이 있다. 다른 대안으로 1998년 말에 NRC로부터 인허가를 얻을 것으로 예상되는 다목적 저장, 운반 및 처분용기(MPC : Multi-Purpose Canister)나 저장 및 운반을 위한 이중목적저장용기(DPC : Dual-Purpose Cask)가 현재 안전성에 대한 검토중에 있으며, 이에 따라 관련연구가 추진되고 있다.

Q. 러시아

소련의 경우에는 원자력산업 초기부터 순환핵주기를 국가 전략으로 채택하였으며 이에 따라 발전용 원자로에서 나온 사용후핵연료의 재처리후 U 및 Pu은 회수되어 재순환되었다. 이때 발생된 고준위 핵분열생성물은 폐기물저장시설에 장기간 저장되고 있다. 이러한 정책은 소련연방이 해체된 후에도 여전히 러시아 원자력부에서 채택하고 있으며 과거의 군사용으로 사용되었던 Pu 및 고농축 U 뿐만아니라 민간 원자로에서 나온 핵분열성 물질의 재활용이 적극 추진되고 있다. 이를 위하여 오는 2005년까지 신규 원자력발전소의 건설이 계획되고 있다. 현재 러시아에서는 원전에서 방출되는 사용후핵연료의 재처리를 위하여 연간 시설용량 400 tHM/y의 Chelyabinsk RT-1 재처리시설이 1976년부터 VVER-440 연료를 재처리하고 있으며 회수된 U는 RBMK형 원전의 연료로 재활용되고 있으며 Pu의 경우에도 현재 건설중인 MOX핵연료 가공시설(시설용량 : 5 tPu/y)의 운영 개시와 더불어 핵연료로 가공하기 위하여 중간저장시설로 수송된다. VVER-1000원전에서 발생하는 사용후핵연료의 재처리를 위하여 새로운 시설인 RT-2 재처

리시설이 1984년부터 시작되었으며 연간 1,500 tHM/y의 핵연료를 재처리할 예정이나 국내 사정상 건설 공정이 상당히 지연되고 있는 현실이다. RBMK원전 사용후핵연료는 현재 재처리의 경제성이 없는 것으로 판명되어 원자로 건물내 저장수조에 장기 저장되고 있으며 궁극적으로 건식저장시설을 이용하여 장기간 저장할 계획으로 보여진다. 고준위 액체폐기물의 처리, 처분을 위하여 1987년부터 Mayak지역에 유리화공정시설이 시험적으로 운영되고 있으며 40-50년간 냉각후 심지층 처분되어질 것이다. 이를 위하여 비록 대상부지가 결정되지 않았지만, 최종 처분시설에 대한 예비설계가 진행되고 있으며, 이를 위하여 방사성폐기물관리를 위한 규제법안을 준비하고 있다.

R. 동부 유럽

체코공화국은 4기의 VVER-440이 Dukovany에서 1985년부터 운영하고 있으며 VVER-1000 원전 2기가 Temelin에 건설중에 있으며 1996년부터 운영을 시작하도록 계획되어 있다. 구 소련과 맺은 핵연료공급계약에 따라 수행되었던 사용후핵연료 이송계획이 1988년부터 중지되었으며 이에 의해 1995년말 현재 460 tHM의 사용후핵연료가 발생되었다. 1993년부터 Dukovany원전에 Dual purpose CASTOR-440/84 형식으로 건식 ISFSF의 건설이 추진되었으며 1996년부터 운영을 개시하여 총 600 tHM의 저장능력을 확보하리라고 예상하고 있다. 또한 장기적으로 중앙집중형식의 건식저장시설의 운영을 2005년까지 계획하고 있다.

헝가리의 경우도 1982년 첫 원자력발전소가 운영을 개시한 이래 현재 VVER-440형의 원전 4기가 운영되고 있으며, 1989년부터 1995년까지 발생한 사용후핵연료를 러시아로 방출하였다. 그러나 동구의 해체와 더불어 장기전략의 일환으로 1990년부터 Paks원전부지내에 GEC-ALSTHOM MVDS형 건식 ISFSF의 건설을 계획하였으며 1995년부터 건설공사가 진행중에 있으며 1996년 10월말에 1350 핵연료다발을 저장할 수 있는 1단계 공사가 완료되며 2단계에 걸쳐 1800 다발의 저장능력의 증설을 계획하고 있다.

루마니아는 캐나다의 CANDU원전을 주종으로

현재 5기의 원전을 건설하고 있으며 전체 계획 시설용량은 3,250 MWe이다. 운영후 발생하는 사용후핵연료는 장기저장을 계획하고 있으며, 그 방안으로 CANSTOR, DSR, 습식저장 옵션들을 평가하고 있다. Cernavoda 원전내의 3곳과 기타 2곳을 대상부지로 분석하고 있으며 소내지역 중 1곳 최적지로 결정할 예정이다.

S. 기타

국가 멕시코는 SEMIP가 사용후핵연료 관리사업을 수행하고 있으며 연간 발생량은 16.8(tHM/y) 정도로 추정되고 있으며 사용후핵연료 관리정책으로 장기간(약 30~50년) 소내저장후 심층처분을 고려하고 있다. 사용후핵연료의 저장능력증대를 위해 Laguna Verde원전의 사용후핵연료 저장수조를 reracking사업을 수행하였다.

네덜란드의 경우에는 방사성폐기물 담당 중앙기구(COVRA)가 사용후핵연료의 관리를 책임지고 있으며, 연간 발생량은 15(tHM/y) 정도로 추정되고 있다. 사용후핵연료 및 재처리 폐기물의 장기 저장후 직접처분 방안을 고려하고 있으며 이를 위하여 중간저장시설의 건설을 계획하고 있으며 최종지하처분시설을 위한 처분장 예비/개념설계와 안전성연구를 수행하고 있다.

T. 한국

우리나라의 경우에는 현재 11기의 원자력발전소가 운영되고 있으며, 시설용량 9.6 GWe로서 전체 발전용량의 30% 정도를 점유하고 있다. 또한 오는 2006년까지 12기의 원전을 추가로 건설할 계획으로 원자력발전을 의욕적으로 추진하고 있다. 이에 따라 현재 사용후핵연료의 발생량은 1995년말 현재 225 MTU/y이며 전체 약 2,500 MTU가 소내 저장되어 있다. 이러한 사용후핵연료 발생량 추이를 보면 서기 2000년에는 연간 580 MTU/y의 발생이 예상되어 원전부지별 저장능력이 부족할 것으로 예상되며 모든 원전에서 저장능력확장을 위한 별도의 노력이 없다면 2000년 이전에 포화에도달할 것으로 예상되고 있다. 1988년 원자력위원회의 결정에 따라 사용후핵연료의 중간저장을 위한 중앙집중식 관리시설의 건설이 1997년까지 완

료되는 것으로 예상하였으며, 이에 따라 한국전력에서는 1997년까지의 저장대책으로 고리 3호기 및 울진 2호기의 조밀저장대의 설치와 월성에서의 건식저장소의 건설을 1994년까지 완료하였다. 그러나 중앙집중식 저장시설의 건설이 지연됨에 따라 제 2단계 대책으로 고리 4호기, 울진 1호기 및 영광 1, 2호기에 조밀저장대의 설치와 고리부지에 PWR연료 저장을 위한 건식저장시설의 건설을 계획하고 있어 포화년도를 적어도 2006년 이후로 연장할 계획에 있다. 또한 사업주체의 변경이 1995년 11월말 굴업도 부지의 선정취소에 따라 1996년 2월 27일 제 244차 원자력위원회에서 결정되었다. 방사성폐기물 관리사업의 조정에 따라 사용후핵연료 저장시설의 건설, 관리업무를 한국전력에서 책임지며 사용후핵연료의 처리, 처분등 기본정책은 과기처 주관으로 원자력위원회의 심의를 거쳐 향후 확정할 예정이다.

결 론

원자력을 이용하는 국가에서의 사용후핵연료의 관리 는 사용후핵연료가 갖는 에너지원의 측면과 정치 사회적 측면에서의 고려가 필수적이며, 각국의 고유한 환경은 사용후핵연료 관리정책이나 전략의 수립에 큰 영향을 미치게 된다. 물론 어떠한 전략이나 정책의 경우에도 사용후핵연료의 궁극적인 처리는 Pu의 재활용 및 궁극적으로 처분되어야 하는 고준위폐기물의 용량감소효과를 얻기 위한 재처리 전략의 추진과 재처리활동에 의한 핵확산 및 PA 문제와 현재 논란중에 있는 Pu cycle의 경제성문제에 따라 사용후핵연료를 직접 처분하는 전략의 2 방안으로 크게 나누어진다. 어떠한 산업활동에서와 마찬가지로 원자력산업, 특히 사용후핵연료와 같은 후행핵주기 활동에 있어서 이러한 활동이 자연환경, 인간환경, 사회환경, 정치환경 그리고 국제 정치환경에 미치는 영향을 고려하여야만 한다. 이러한 외부관련 인자와 여러 인자들의 상호연관성이 사용후핵연료 관리의 전략이나 정책의 수립과 추진에 큰 영향을 미치게 된다. 방사선의 측면에서도 1974년에 미국 NRC에 의해 제안된 방사능 피폭저감을 위한 ALARA(As

Low As Reasonably Achievable) 개념이 핵연료주기사업, 즉 후행핵주기전략의 실제 수행시에도 적용되어질 필요가 있으며, 이러한 입장에서 사용후핵연료의 재활용은 천연자원의 절약(MOX핵연료에 의한 재활용주기를 적용할 경우 매주기당 15%의 U 자원이 절약)과 처분 폐기물량의 감소(처분되어야 하는 폐기물의 부피가 1/3 수준이상까지도 감소되며 U의 Mill tailing 폐기물도 상당히 감소) 등의 경제적인 효과를 분명히 가져올 수 있으나, 재처리시설에서의 고방사선작업에 의한 작업자 피폭을 유발시킬 수 있다는 피폭의 증가 측면이 공존하고 있다 .

방사능과 원자력이 인류에게 의미하는 여러가지 면을 고려하여 볼 때, 원자력이 궁극적으로 우리 세대 및 후세대에게 계속 이용가능성을 보여주는 원자력발전의 기술발달 단계에서 위치하는 선진성 및 고유한 기술적 특성을 포함하는 발전방식에 대한 대국민차원의 이해의 깊이가 사용후핵연료 관리에 대한 우리나라의 선택에 도움을 줄 수 있는 것으로 판단된다. 즉 원자력발전이 우리세대에만 국한되는 발전방식이라면 Pu recycle과 같은 후행핵주기의 선택보다 사용후핵연료의 직접처분이 더 바람직한 대안으로 간주될 수 있으며, 또한 Pu의 분리와 재사용이 인류에 정치적인 측면이나 Pu자체의 생물학적 측면에서 돌이킬 수 없는 위험을 가져다준다면 사용후핵연료를 직접 인간이 손이 미치지 어려운 심지층에 처분하는 것외에는 다른 대안은 없을 것으로 판단할 수 없는 것이 그것이 된다. 그러나 앞서의 가정들에 대한 사실적 차원의 검증은 현재로서는 불가능하며 향후 후행핵주기 분야의 기술개발의 정도나 Pu관리 및 활용에 대한 국제사회의 합의[26] 등 국제정치상의 여러 변수들이 후행핵주기사업의 추진 전략이나 방향에 크게 영향을 미칠 것으로 판단되고 있다. 따라서 직접처분이나 재처리 방안의 조속한 결정에 대한 대안으로 사용후핵연료의 중간저장기간을 연장하는 것이 재처리 혹은 직접처분으로의 최종결정과 이러한 최종결정의 수행에 따르는 비용의 유예를 얻을 수 있는 것으로 판단되고 있다. 이러한 유예기간동안 2가지 방안에 대한 현실적인 실증과 이러한 실증의 바탕에서 우리나라가 향후 추진하

고자하는 사용후핵연료 관리전략 및 정책을 구체화 한다면 사용후 핵연료관리의 최적화에 보다 접근할 수 있는 방안이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. IAEA Annual Report, 1994
2. IAEA, "95 Highlights of Activities", 1995
3. IAEA, "Radioactive Waste Management—IAEA Source Book", IAEA, 1992
4. IAEA, 1995 Regular Advisory Group Meeting on Spent Fuel Management, 1995
5. A. A. Moghissi et. al. "Radioactive Waste Technology", ASME, 1986
6. D. C. Stewart, "Data for Radioactive Waste Management and Nuclear Applications", John Wiley & Sons, 1985
7. IAEA-TECDOC-732, "Spent Fuel Management: Current Status and Prospects 1993", IAEA, 1994
8. IAEA-TECDOC-783, "Safety and Environmental Aspects of Partitioning and Transmutation of Actinides and Fission Products", IAEA, 1994
9. S. J. Naqvi, "Used Fuel Management Strategies—An Evolving International Perspective" in Paper presented at the IAEA RAGSFM, 1993
10. IAEA-TECDOC-759, "Away-from-Reactor Storage Concepts and their Implementation", IAEA, 1994
11. Nuclear Engineering International, "MPC-Why USDOE is pursuing the Concept", Sept. 1994 pp.36—39
12. Nuclear Engineering International, "The First Licensed US Dual-Purpose Cask", March 1995 pp.26—27
13. Nuclear Engineering International, "Spent Fuel Management and Transport", 1994 pp.2—5
14. F. Takats, "International Status and Trends for Spent Fuel Management, JNMM, pp.38—44 April 1994
15. J. Vogt, "Swedish Spent Fuel Management; Systems, Facilities and Operating Experiences", IAEA RAGSFM, 1995
16. A. Chernyshev, "Spent fuel Management in Ukraine", IAEA RAGSFM, 1995
17. G. Ferenczi, "Spent Fuel Management in Hungary: Current Status And Prospects", IAEA RAGSFM, 1995
18. V. Fajman, "Spent Fuel Management in CR", IAEA RAGSFM, 1995
19. M. Peehs, "LWR Spent Fuel Management in Federal Republic of Germany", IAEA RAGSFM, 1995
20. Xiaoli Wang, "The China's Programs on Spent Fuel Management", IAEA RAGSFM, 199521. Jeff Williams, "Spent Fuel Management in the United States", IAEA RAGSFM, 199522. R. Dodds, "The Status of Spent Fuel Management in the UK", IAEA RAGSFM, 1995
23. M. P. Patil, M. K. Rao, and A. N. Prasad, "Programme on Spent Fuel Management In INDIA", IAEA RAGSFM, 1995
24. V. A. Kurnosov, T.F. Makarchuk, V.V.Morozov and N.S.Tikhonov, "Spent Fuel Management in Russian Federation: State of Art and Outlook for Future", IAEA RAGSFM, 1995
25. K.Shirahashi, M. Maeda, and T. Kakai, "Spent Fuel Management in JAPAN", IAEA RAGSFM, 1995
26. R. Kennedy, "The ANS Special Panel on the Protection and Management of Plutonium", in the 20th Annual Symposium of The Uranium Institute, The Uranium Institute, 1995
27. US DOE, "Multi-Purpose Canister System Evaluation", DOE/RW-0445, 1994