'00 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

핵변환기술의 환경위해도평가를 위한 예비연구

Preliminary Study on the Assessment of Environmental Risk for Transmutation Technology

유동한, 박원석

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

국문요약

방사성폐기물처분에 있어 핵변환기술을 활용할 경우 심지층처분장으로 보내지는 전체 방사성물질의 양을 줄일수 있어서 심지층처분장의 여유도를 증가시킬 수 있고 환경에 문제가 되는 방사성 장수명핵종들를 변환할수 있어 환경친화력에서 우수하다는 주장이 대두되고 있다. 따라서 현재 개발중인 핵변환기술이 실제로 방사성폐기물에 관련된 환경 및 인체위험도를 상당히 줄일 수 있는가를 평가하는 것은 원자력발전의 앞날을 위해서 매우 필요한 일이다. 본 연구에서는 이러한 핵변환기술의 환경위해도를 보다 정량적으로 평가하기 위해서 가장 기초적인 방사성물질의 재고량을 먼저 평가하였다. 기존 심지층처분을 기초로 한 핵주기와 비교하여 핵변환로가 포함된 새로운 핵주기에서의 달라진 방사성폐기물의 재고량및 조성등를 정량적으로 평가하여 보았다. 이러한 결과에 추후 심지층처분장에서의 거동분석이 추가되면 보다 정량적인 환경위해도를 평가하는데 도움이 되리라고 판단된다.

abstract

Partitioning and Transmutation (P & T) technology was proposed as a means of reducing the long-term environmental risks from the radioactive wastes that require disposal and thus making it easier to site and license. Hence, it is very important to examine and evaluate P & T technology whether it can reduce such risks or environment and human health to employ nuclear energy for national energy program in Korea. This study evaluates the reduction of radioactive wastes inventory using P & T technology. New fuel cycle including reprocessing, transmutation and partitioning is assumed and calculated radiowaste inventories by detailed mass-flow analysis. Our prelimary results can highlight the facts that tend to increase or limit the desirability of P & T technology with respect to the national radiowaste disposal program.

1. 서론

기존의 원자력 발전이 가지고 있는 가장 심각한 문제중의 하나가 사용후 핵연료에서 발생하는 방사성폐기물 처리문제이다. 이를 위해 현재까지는 수동적인 방안으로서 지하 깊은 곳에 방사성폐기물을 장시간 저장하는 이른바 심지층처분법을 고려하여 왔다. 심지층처분법은 최근 현재 공학적 기술로는 예측할 수 없는 오랜 기간 (백만년이상)의 관리를 요구한다는 점과 사용후 핵연료속에는 다시 사용가능한 에너지자원이 존재한다는 점이 부각되면서, 이러한 처리방안에 대해 새로운 발상이 필요하게 되었다. 최근 미국 및 유럽연합, 일본등에서는 보다 적극적인 방법으로서 사용후 핵연료에서 문제가 되는 장수명 방사성핵종을 모두 소각시키자는 핵변환 방법을 최근 제안하고 있다. 이러한 방안은 중성자를 핵연료내 존재하는 핵종와 반응시켜 포획 또는 분열반응을

유도 함으로서 핵폐기물에 존재하는 장수명 방사성핵종을 소멸시켜 방사성물질의 절대량을 감소시키고, 이러한 과정에서 발생하는 막대한 에너지를 활용하자는 것이다[1]. 그림 1은 이러한 핵변환 기술이 포함된 새로운 핵연료주기에 대한 개략도를 보여주고 있다.

방사성폐기물처분에 있어 제안된 핵변환기술이 활용하면 기존 심지층처분장으로 보내지는 방사성물질의 양을 줄일수 있으며 건설되는 심지층처분장의 여유도를 증가시킬 수 있다는 점등 환경친화력에서 우수하다고 주장하고 있다. 그러나 이런 논리는 상당히 정성적인 예측결과에 바탕을 두고 있다는 점에서 실제적인 이점은 정량적인 환경위해도평가가 끝난 후에야 논의할 수 있으리라 판단된다. 본 연구는 이런 점을 고려하여 현재 제안되고 있는 핵변환기술이 심지층처분장에 미치는 영향중에서 방사성폐기물에 관련된 환경 및 인체위험도를 실제 정량적으로 줄일 수 있는가를 평가하는데 중점을 두고자 한다.

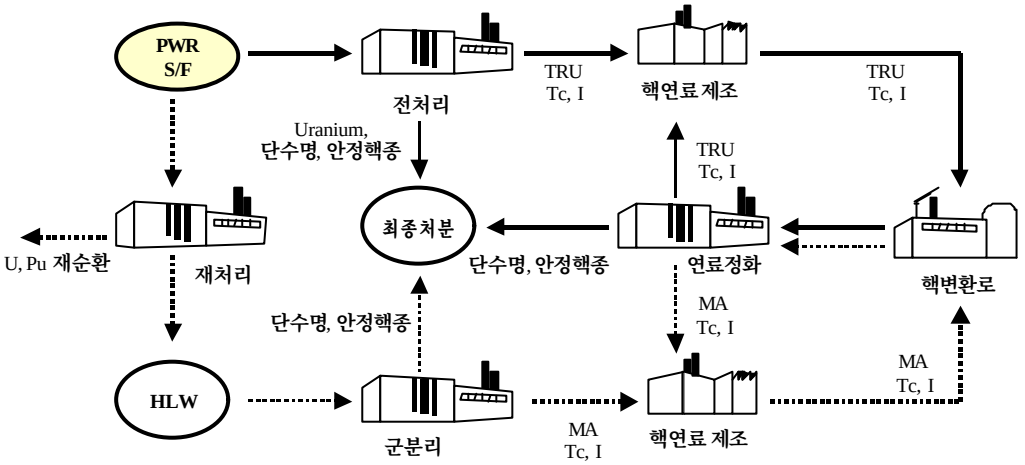

그림 1. 핵변환 기술이 포함된 새로운 핵연료주기

그림 2은 핵변환기술이 포함된 새로운 방사성폐기물관리방식의 환경위해도 평가를 위한 과정을 표시하였다. 그림 2는 심지층처분을 바탕으로 한 기존방식에서의 환경위해도평가 과정을 보여주고 있다. 이런 두 관리방식에서 평가된 환경위해도를 비교, 검토하면 핵변환기술이 포함된 새로운 방사성폐기물관리방식이 보다 환경친화적이라는 보여줄 수 있으리라 기대된다. 그러나 이와 같은 일은 상당히 방대한 일들이 서로 연결되어 있고 여러 분야의 기술이 집대성되어야 평가될 수 있다.

본 연구에서는 이러한 핵변환기술의 환경친화성을 평가하기 위해 보다 정량적인 환경위해도 평가에 앞서 우선 가장 기초적인 자료인 방사성물질의 재고량에서의 이점을 평가하려고 한다. 이는 핵변환로가 포함된 새로운 핵주기에서의 방사성폐기물의 재고량및 조성비를 평가하여 기존 방사성폐기물관리정책에서 수행하는 방식과 방사성물질의 재고량측면에서 어떠한 변화가 있는지를 알아보고 이러한 면이 실제 핵변환기술을 개발하는데 어떠한 영향을 미치는지 평가하여 보기로 한다.

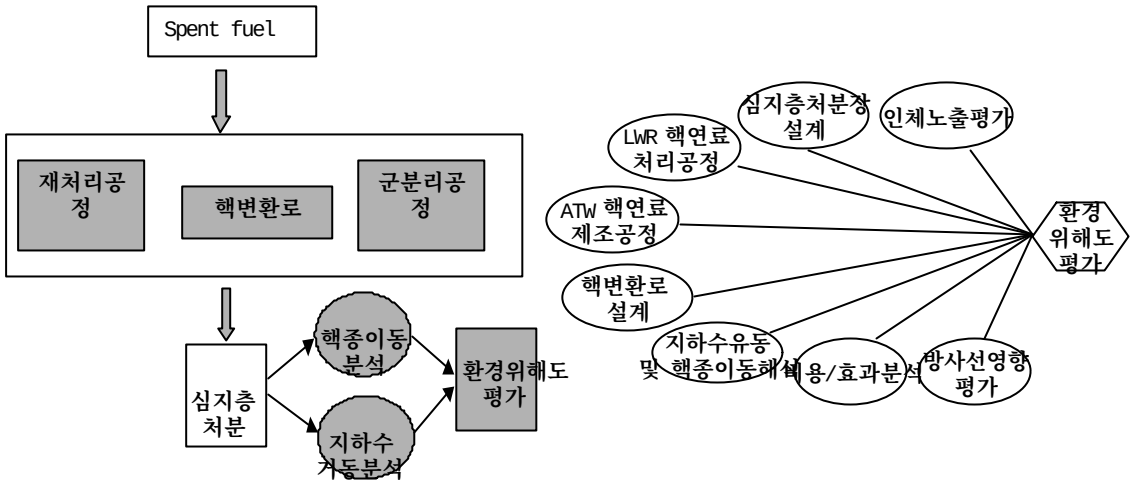

그림 2. 환경위해도 평가절차 및 연구분야

2. 연구수행방법

현재 국내에서는 부분적으로만 연구되어진 재처리, Partitioning 및 Transmutation이 고려된 새로운 핵주기에서 생성되는 방사성 폐기물의 양과 조성비를 평가하기 위해서는 전반적인 공정및 이에 대한 모델을 살펴보아야 한다. 그러나, 국내에서는 이에 대한 세부공정및 해석모델이 정립되지 않은 관계로 본 연구에서는 미국의 경우를 고려하기로 한다. 물론 외국에서도 전체적인 기준공정은 어느 정도 확립을 할수 있으나 각 세부공정에서의 방법은 아직 구체적으로 확립되지 않은 상태이다. 따라서 각 세부공정이 확정되면 보다 자세한 계산이 이루어 지리라고 본다.

2.1 전체적인 핵변환기술을 포함한 폐기물관리 공정 파악

현재 고려하는 P&T 시스템은 미국의 경우를 가정하여 그림 3에 나타낸 것과 같이 LWR 사용후핵연료의 재처리, P&T 핵종변환 표적집합체(Target Assembly)의 제조, 소멸노심, 사용후 TA 군분리 등의 네 가지 공정으로 구분된다[2]. 방사성 폐기물은 이러한 각 단계마다 발생된다.

P&T폐기물에서 발생되는 각 방사성 핵종의 질량은 P&T 시스템을 위한 처분장 성능평가에 활용되며, 질량흐름 분석을 통하여 얻을 수 있다. P&T 개념에서, LWR 사용후핵연료는 일차적으로 재처리된다. 재처리 부분에서, 우라늄과 Iodine과 Technetium을 제외한 핵분열생성물이 사용후핵연료로부터 제거된다. 사용후핵연료는 절단된 후, 산화핵연료가 지르칼로이 피복관에서 제거된다. 산화핵연료는 환원공정으로 보내지며, 여기에서 산화핵연료는 금속으로 전환된다. 실질적으로 모든 우라늄과 초우라늄 원소, 핵분열생성핵종을 포함한 금속은 electro-refining 공정에서 양극이 된다. 분리된 피폭관 물질은 P&T TA를 위한 base matrix물질인 지르코늄의

원료로서 사용된다. 피폭관 제거 공정에서 발생된 off-gas는 metal container에서 수집, 저장된 후 최종적으로 처분장으로 보낸진다.

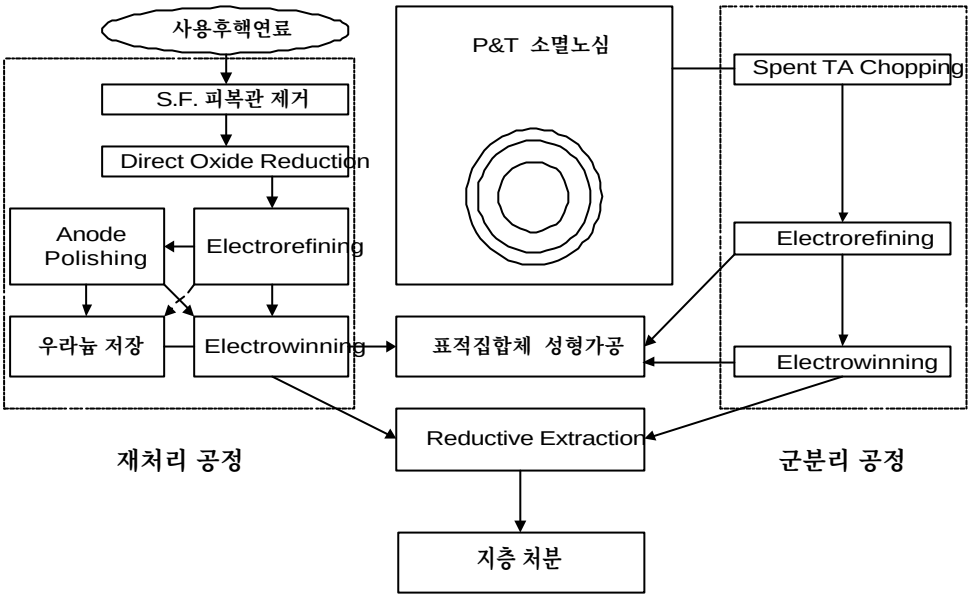

그림 3. P& T 기준 공정

재처리 중 electro-refining 공정에서, direct reduction 공정으로부터의 금속은 양극이 된다. 실질적으로 순수한 우라늄은 음극에 모이게 된다. 용융염에서, 대부분의 악티나이드와 매우 작은 양의 우라늄, 희토류원소가 포함된다. 이 용융염은 electro-winning 공정으로 보내진다. A batch electro-refining 공정은 일정 시간 동안 정지된다. 여전히 작은 양의 우라늄, 악티나이드, 희토류 원소를 포함한 양극은 폐기물로서 악티나이드와 희토류 금속의 방출을 줄이기 위하여 polishing 된다. Anode polishing을 통하여 회수된 악티나이드와 희토류 원소는 electro-refining 공정으로 되돌아 가게 된다. Elector-refining의 양극에서 우라늄은 회수되며 anode polishing단계에서 저장된다. 현재의 P&T 개념에서, 회수된 우라늄은 저준위 폐기물 처분장으로 보내진다. Polishing 후 양극은 LANL의 P&T 시스템에서는 방사성 폐기물로 처리된다. Electro-winning 공정에서, electro-refining 공정에서 보내진 용융염은 향후 세 부분으로 분리된다. 음극에서, 우라늄이 농축된다. 회수된 우라늄은 또한 우라늄 저장조로 보내진다. 양극에서, 악티나이드 원소는 미량의 우라늄과 희토류 원소에서 추출된다. 이것은 P&T TA 제조를 위한 원료물질로서 사용된다. 용융염에서, 대부분의 희토류 원소가 포함된다. 용융염은 핵분열생성핵종이 제거되는 reductive extraction공정으로 보내진다. 제거된 핵분열생성핵종은 고화되어 저장되며 궁극적으로 처분장에서 처분된다. Electro-winning으로부터 발생한 물질은 합금 연료로 성형된다. 소수의 핵연료 펠렛이 제조되며, 연료봉에서 집합체에 사용된다. Grinding이나 cutting같은 폐기물을 발생시키는 기계적인 공정은 펠렛과 연료봉의 정밀성을 유지하기 위하여 필요할 것이다. 소멸노심에서, TA는 중성자에 노출된다. 일부 악티나이드는

핵분열을 할 것이며, 핵분열생성핵종을 발생시키는 반면, 나머지는 중성자 흡수에 의하여 더 무거운 핵종이 된다. 소멸노심에서의 일정 기간 동안 체류 후, TA는 배출되어 냉각을 위하여 저장된다. 배출된 TA에는 여전히 핵분열되지 않은 악티나이드들이 존재한다. 그러므로 사용 후 TA는 군분리 공정으로 보내지며 잔류하는 악티나이드는 핵분열 생성핵종으로부터 분리된다.

군분리는 일부분 조사된 TA의 절단으로부터 시작한다. 사용된 피복관은 저장된다. 절단과정에서 발생하는 off-gas는 수집된 후 저장된다. Alloy fuel은 핵분열생성핵종을 제거하기 위하여 electro-refining공정에서 처리된다. 음극에서, 대부분의 악티나이드는 소량의 우라늄 및 핵분열생성핵종과 함께 수집된다. 이것은 TA 제조 공정으로 보내진다. 용융염에는 여전히 상당량의 우라늄, 악티나이드, 희토류 원소가 포함된다. 따라서, 용융염은 악티나이드, 희토류 원소, 우라늄의 회수를 위하여 electro-winning 공정으로 보내진다. 양극은 대부분의 우라늄과 미량의 악티나이드와 희토류를 포함하고 있다. 이것은 P&T 공정에서는 폐기물로 간주된다. 군분리의 Electro-winning 공정에서, 용융염내에 잔류하는 희토류 원소는 reductive extraction 공정으로 보내진다. 정화된 용융염은 electro-refining공정에서 재활용된다. 희토류 원소는 고화 된 후 저장되며, 궁극적으로 처분장으로 보내진다. 소량의 우라늄, 희토류 금속과 함께 음극에서 회수된 악티나이드는 TA 제공공정으로 보내진다.

군분리공정에서 핵분열생성핵종이 제거되었기 때문에, 군분리공정에서 TA 제조공정으로 보내진 전체 물질의 질량은 소멸노심에서 소멸처리이전의 질량보다 작게 된다. 또한, 일부 악티나이드는 군분리공정의 처리과정에서 폐기물로서 소모된다. 이러한 질량의 부족분은 재처리공정 중 electro-winning으로부터 들어오는 공급물질에서 채워진다.

2.2 각 공정에서의 방사성물질의 질량흐름을 모델링하는 Box Flow Model 적용

전술한 개략적인 P&T 시스템의 물질흐름에 기초하여, P&T 시스템에서 궁극적으로 처분장에서 처분될 폐기물로 빠져나가는 각 핵종의 질량을 결정할 수 있다. 그림 3에 표시한 질량 흐름을 단순화 시켜 그림 4에 나타내었다. 그림 4는 현재 고려되는 모든 방사성 핵종에 대하여 적용된다.

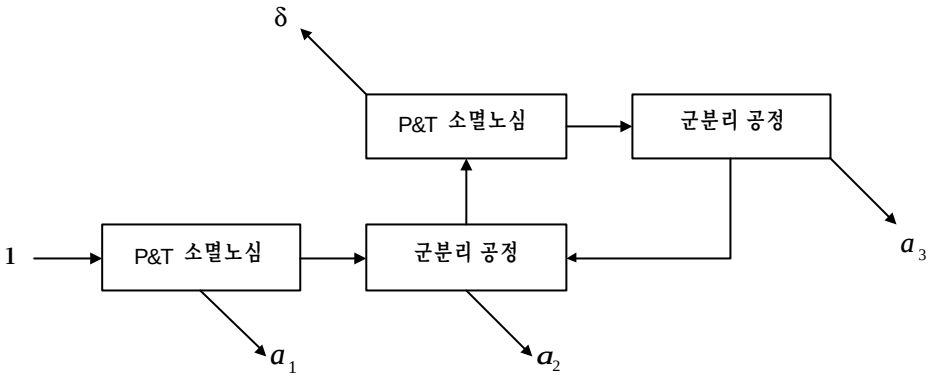

그림 4. 방사성물질의 질량흐름을 모델링하는 Box Flow Model

전체적인 기준공정은 어느 정도 확립을 할수 있으나 각 세부공정에서의 방법은 아직 구체적으로 확립되지 않은 상태이다. 따라서 각 세부공정이 확정되거나 가상적인 시나리오를 확정하는 경우 각 공정에서 회수되거나 버려지는 양을 각 핵종별로 계산할 수 있으리라 본다. 그림 5와 6에서 미국에서 고려하는 재처리공정에서 건식공정을 사용하는 경우와 군분리공정를 가정한 세부공정에 대해 각 핵종별 회수되거나 또는 버려지는 양을 도식화하여 보여주고 있다.

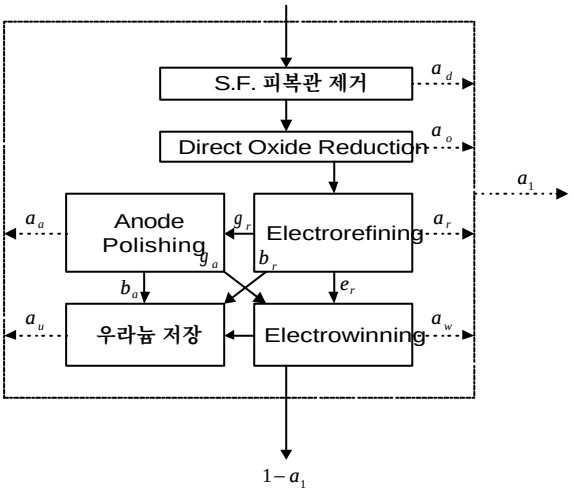

그림 5. 건식공정 (재처리공정)에 대한 box model

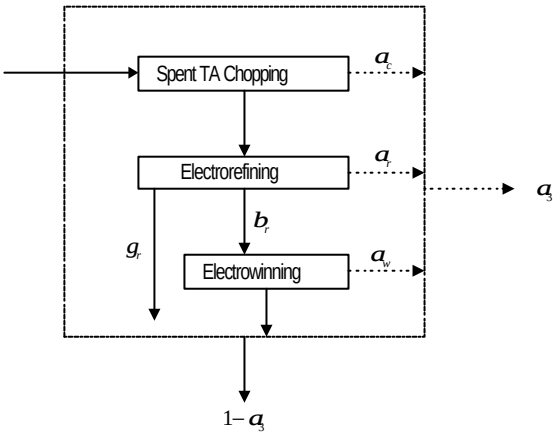

그림 6. 군분리공정에 대한 box model

이러한 Mass Flow Model에서 사용되는 각 세부공정에서의 방사성폐기물의 입출력비에 대한 최소값과 실제적인 값은 표 1에서 보여주고 있다. 또한 표 2는 LANL에서 소멸노심설계자료를 바탕으로 한 소멸노심의 핵종 전환율을 보여주고 있다. 그러나 이러한 핵종전환율은 소멸노심의 neutronics 설계와 밀접한 연관을 가지기 때문에 실제적인 수치들의 결정은 핵변환로의 설계 연구의 주요한 업무가 될 것이다.

표 1. 전체 P&T 순환공정에서의 단위공정당 폐기물 손실률

P&T 폐기물 처리공정			기호	폐기물 손실률	
				최소	실제
사용후핵연료 재처리 공정	Spent fuel decladding		a_d	0	0.003
	Direct oxide reduction		a_o	0	0.003
	Electro-refining	Waste	a_r	0	0.003
		Impurity in U storage	b_r	0	0.003
		To anode polishing	g_r	3.30E-03	3.70E-03
		To electrowinning	e_r	0.996	0.99
	Anode polishing	Waste	a_a	0.003	0.003
		Impurity in U storage	b_a	0	0
		To electrowinning	r_a	0.997	0.994
	Electrowinning	Waste	a_w	0	0.003
		Impurity in U storage	b_w	0	0.003
	Total		a_1	1.10E-05	0.018
핵연료집합체 성형가공	Total		a_2	0	0.003
군분리공정	Chopping		a_c	0	3.00E-03
	Electrorefining	Waste	a_r	9.47E-06	9.47E-06
		To electrowinning	b_r	0.0707	0.0707
		Electrowinning	a_w	0	0.003
	Total		a_3	9.47E-06	0.00322

표 2. 소멸노심에 의한 단위 처리당 핵종 변환율

원소	변환율	원소	변환율	원소	변환율
Pu238	0.01	Cm244	0.0	Am242	0.0
Pu239	0.47	Cm245	0.0	Am243	0.077
Pu240	0.138	Cm247	0.0	Am241	0.4
Pu241	0.19	Cm248	0.0	Tc99	0.168
Pu242	0.0174	Cm242	0.0	U238	0.06
		Cm243	0.0	Np237	0.385

2.3 설정 시나리오에 대한 최종 방사성물질의 재고량 계산

다음과 같은 두가지 주요 시나리오에 대해 방사성폐기물의 재고량을 산출하여 보았다.

가) 시나리오 #1: spent fuel에서부터 재처리 (건식), 핵변환, 군분리공정 포함

나) 시나리오 #2: HLW (High Level Waste)에서 시작하여 핵변환, 군분리공정 포함

두번째 시나리오에서 고려하는 HLW 조성비는 일본이나 불란서에서 고려한 것처럼 재처리과정 (현재 국내에서는 이부분에 대한 공정은 확정되어 있지 않다) 을 통해 우라늄 및 Pu 이 spent fuel에서부터 각각 99 % 제거된 것으로 가정하였다.

우선 Spent Fuel 에서의 핵종구성 및 비율 계산을 위해 ORIGEN2코드를 사용하였는데 현재 고리 원자로에 공급되는 fresh fuel내에 존재하는 각 핵종 장전량은 표 3와 같다. 이러한 핵연료는 3 년간 원자로내에서 표 4과 같이 burnup시키는 것으로 가정하였다.

표 3. 3.2% 농축 산화핵연료의 초기 장전시 핵종구성

핵종	장전량(g/MTHM)	핵종	장전량(g/MTHM)
U-234	290.0	Co	1.0
U-235	3200.0	Ni	24.0
U-238	967710.0	Cu	1.0
Li	1.0	Zn	40.3
B	1.0	Mo	10.0
C	89.4	Ag	0.1
N	25.0	Cd	25.0
O	134454.0	In	2.0
F	10.7	Sn	4.0
Na	15.0	Gd	2.5
Cl	5.3	W	2.0
Ca	2.0	Pb	1.0
Fe	18.0	Bi	0.4

표 4. 사용후핵연료 재고량 계산을 위한 핵연료연소 조건

시간(일)	출력	연소도
0-293.3	37.5MW/MTHM	11,000MWD/MTHM
293.3-399.3		
399.3-692.7	37.5MW/MTHM	22,000MWD/MTHM
692.7-798.7		
798.7-1092.0	37.5MW/MTHM	33,000MWD/MTHM
핵연료 discharge 후 10년	냉각기간	

표 5. LWR사용후핵연료내 주요 방사성 핵종 재고량

Nuclides	Inventory (g/MTU)	Half Life (year)	Nuclides	Inventory (g/MTU)	Half Life (year)

Cm246	1.018E-01	4.731E+03	Am241	3.254E+01	4.322E+02
Pu242	4.509E+02	3.869E+05	Np237	4.311E+02	2.140E+06
Am242m	7.460E-01	1.520E+02	U233	1.393E-03	1.585E+05
Pu238	1.314E+02	8.774E+01	Th229	6.173E-07	7.339E+03
U238	9.441E+05	4.468E+09	Cm244	2.390E+01	1.811E+01
U234	1.798E+02	2.445E+05	Pu240	2.307E+03	6.357E+03
Th230	1.419E-03	7.700E+04	U236	3.959E+03	2.341E+07
Ra226	2.169E-08	1.600E+03	Cs135	2.989E+02	2.300E+06
Cm243	4.090E-01	2.850E+01	I129	1.768E+02	1.570E+07
Am243	8.556E+01	7.380E+03	Sn126	2.735E+01	1.000E+05
Pu239	4.938E+03	2.406E+04	Pd107	2.176E+02	6.496E+06
U235	7.972E+03	7.038E+08	Tc 99	7.657E+02	2.130E+05
Pa231	3.281E-04	3.277E+04	Nb 94	7.486E-04	2.030E+04
Ac227	5.749E-09	2.177E+01	Zr 93	7.174E+02	1.530E+06
Cm245	8.539E-01	8.499E+03	Se 79	5.864E+00	6.496E+04
Pu241	1.218E+03	1.440E+01	C 14	2.625E-05	5.729E+03

3. 결과분석

시나리오 #1의 경우, 표 5에 나타난 사용후핵연료내의 방사성핵종의 재고량을 바탕으로 앞서 언급한 재처리공정, 힉변환및 군분리공정등을 포함한 전체 핵주기를 고려할 때 전체 P&T 처리시스템으로부터 방출되어 심지층처분장에 묻히게 되는 방사성폐기물의 양을 계산하였다. 표 6에서는 이러한 과정후 주요 방사성핵종에 대한 재고량을 보여주고 있다.

표 6. 방사성 재고량 결과 (시나리오 #1)

방사성핵종	재고량 (g/MTU)	
	최소	실제
Pu238	1.29E-01	5.21E+01
Pu239	5.37E-02	5.00E+01
Pu240	1.40E-01	9.51E+01
Pu241	3.04E-02	2.16E+01
Pu242	2.41E-01	1.18E+02
Cm244	4.94E+02	4.94E+02
Cm245	8.53E-06	8.53E-06
Cm247	8.56E+01	8.56E+01
Cm248	1.73E-03	1.73E-03
Cm242	3.21E-01	3.21E-01
Cm243	1.63E+01	1.63E+01
Am242	8.53E-01	8.53E-01
Am243	1.03E-07	6.54E-05
Am241	6.30E-10	5.41E-07
Tc99	3.61E-02	2.52E+01
U238	1.40E+00	8.63E+02
Np237	6.76E-03	5.71E+00

시나리오 #2의 경우는, 표 5에 나타난 사용후 핵연료에서의 방사성핵종의 재고량중에서 재처리과정에서 U과 Pu를 99% 제거한다고 가정하고 핵변환및 군분리공정등 나머지 공정만을 고려하였을때 심지층처분장에 묻히게 되는 방사성폐기물의 양을 계산하였다. 표 7은 이러한 과정후 주요 방사성핵종에 대한 재고량을 보여주고 있다.

표 7. 방사성 재고량 결과 (시나리오 #2)

방사성핵종	재고량 (g/MTU)	
	최소	실제
Pu238	1.28E-03	5.21E-01
Pu239	5.37E-04	5.00E-01
Pu240	1.40E-03	9.51E-01
Pu241	3.04E-04	2.16E-01
Pu242	2.41E-03	1.18E+00
Cm244	4.94E+02	4.94E+02
Cm245	8.53E-06	8.53E-06
Cm247	8.56E+01	8.56E+01
Cm248	1.73E-03	1.73E-03
Cm242	3.21E-01	3.21E-01
Cm243	1.63E+01	1.63E+01
Am242	8.53E-01	8.53E-01
Am243	1.03E-07	6.54E-05
Am241	6.30E-10	5.41E-07
Tc99	3.61E-02	2.52E+01
U238	1.40E+00	8.63E+02
Np237	6.76E-03	5.71E+00

그림 7 과 8은 앞서 언급한 시나리오 #1 과 #2에 대한 주요 방사성폐기물 핵종의 양을 각 방법별로 비교하여 보여주고 있다.

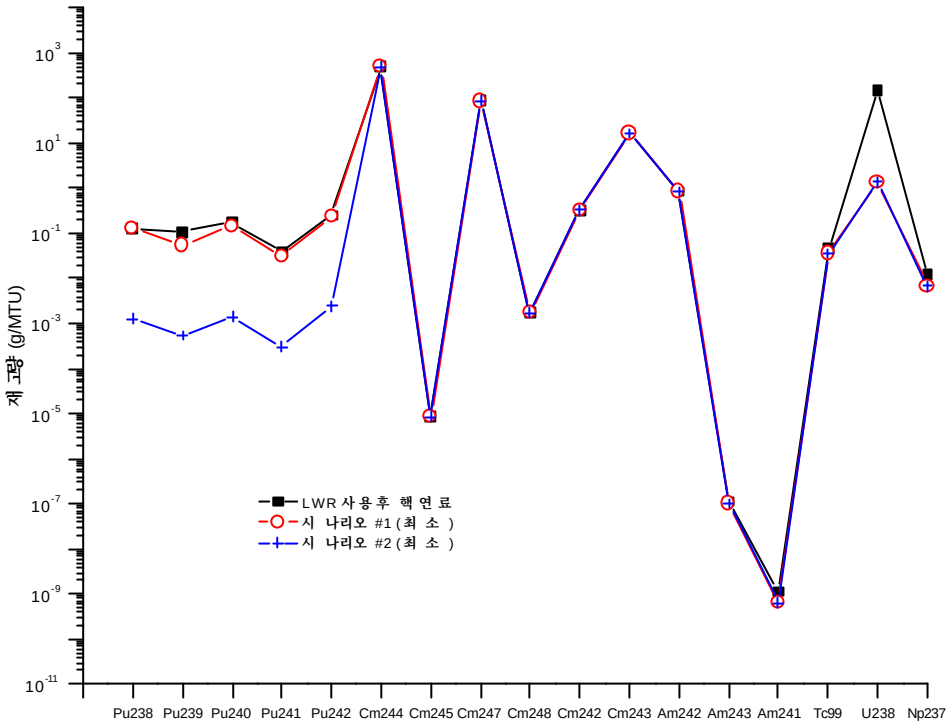

그림 7. 처리방식별 발생한 주요방사성 폐기물의 양 비교

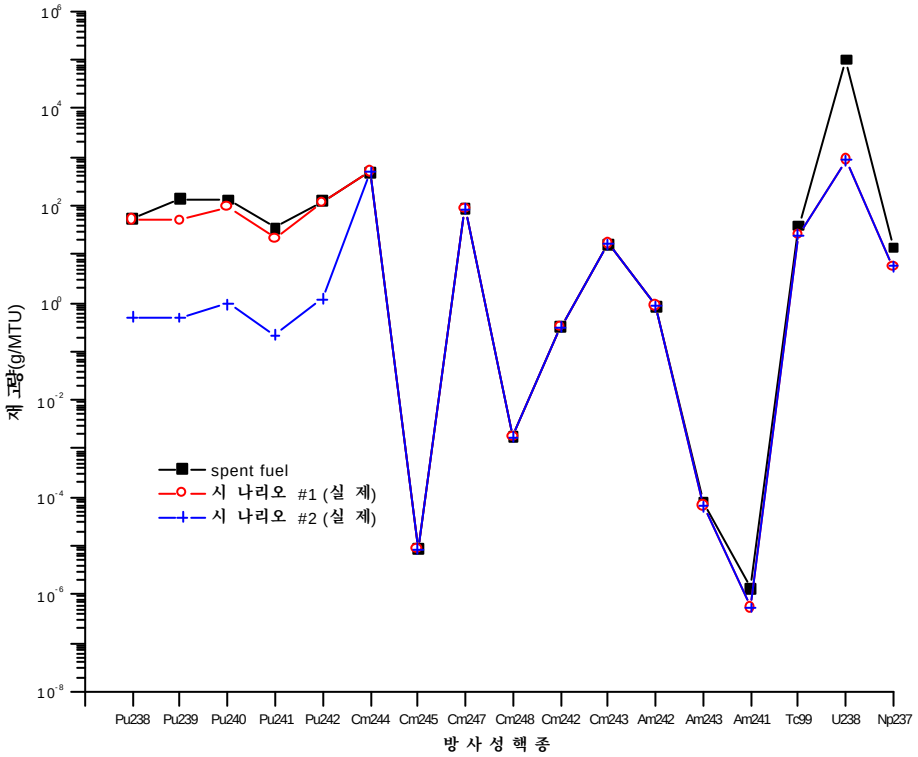

그림 8. 처리방식별 발생한 주요방사성 폐기물의 양 비교

P&T 주기의 질량흐름분석 및 발생 폐기물 재고량을 통하여, P&T 주기의 방사성 핵종 재고량이 LWR 사용후핵연료에 비하여 그다지 줄어들지 않음을 볼수 있다. 다만 소멸노심에서 핵종 전환비율이 높은 핵종의 경우에만 일부 재고량의 감소를 보이고 있음을 알 수 있다. 물론 이러한

결과는 추후 핵변환로의 설계나 운영등에 많은 영향을 받기 때문에 향상의 여유는 있다. 또한 각 화학공정에서 보다 발전된 공정기술을 쓰면 이러한 재고량의 감소를 기대할 수 있으리라 판단된다. 그러나 본 연구의 결과만을 볼때, 실제 기대했던 방사성물질의 현저한 재고량 감소에는 다소 미흡한다고 할 수 있다.

현재, 재처리 시설을 보유하지 못한 국내의 사항을 반영한 LWR 사용후핵연료를 재처리한 HLW의 P&T 주기에 대한 평가 (시나리오 #2)는 일반적인 사용후핵연료의 전체 P&T 기술을 포함한 경우 (시나리오 #1)보다 일반적으로 낮은 재고량을 보였다. 이는 HLW의 P&T 주기에서는 P&T의 전처리 과정인 재처리 공정에 따른 폐기물 발생을 포함하지 않았기 때문에 발생한다.

보다 객관적인 평가를 위해서는 국내 고준위 방사성 폐기물 관리정책이 확정된 후 재처리를 포함한 전체 공정에 대한 파악 및 평가를 바탕으로 하여야 할 것이다.

본 연구는 예비 평가로서 P&T 주기의 폐기물 발생량과 처분장에서의 재고량 변화 추이를 비교하였다. 그러나 앞서 언급하였듯이 정량적인 환경위해도 평가를 위해서는 심지층처분장에서의 방사성폐기물의 격납용기의 파손으로 인하여 방출된 방사성 핵종이 처분장 지하매질 내에서 수송되는 과정과 이렇게 수송된 핵종을 환경내에서 섭취하는 경우를 포함한 종합적인 환경영향 평가가 필요하며 이를 통해 공공대중에게 미치는 전제적인 방사선적 영향에 대한 평가역시 수행되어야 핵변환기술이 환경적으로 친화력을 가졌다고 이야기 할 수 있으리라 판단된다.

4. 결론 및 추후 연구분야

앞서 평가한 심지층처분장에 들어갈 고준위방사성폐기물내의 각 핵종별 재고량및 조성비를 구하면 이를 바탕으로 심지층처분장에서 환경으로 방출될 경우 환경위해도를 구할 수 있다. 그러나 이러한 연구중 중요한 성능분석은 다양한 전문가적 판단, 모델링, 계산, 정량화 및 정성화를 통하여, 전체 처분 시설이나 처분시설의 한 부분에 대한 미래의 성능을 예측하고자 하는 것이다. 궁극적으로 성능분석은 처분장이 안전할 것이며, 성능목표를 충족시킨다는 것을 확인하기위한 작업이다. 방법에 따라, 성능분석은 설계 과정, 시험 및 상세설계, 개발 및 최적화, 민감도 분석, 개발 절차 확립 등을 지원 및 보조하는 역할을 한다. P-T 개념에 있어서, 이러한 성능분석은 사용후핵연료를 직접 처분과 비교하여 방사성 핵종의 장기간에 걸친 격리에 있어서의 악티나이드 제거의 영향을 평가하는 것이 목적이다.

위험도는 발생 확률과 결과의 크기의 곱으로 표현된다. 처분장에 있어서 확률과 결과를 통한 성능에 영향을 비치는 많은 사건(event)과 과정(process)들이 전개된다. 이러한 처분장 예상 성능은 이러한 가능한 시나리오들의 합으로 표현된다. 따라서 처분장의 위험도는 다음과 같은 복잡한 함수로 표현된다.

$$R = f(I, F, D, T, E, D)$$

R : 처분장 위험도
I : 방사성 핵종의 재고량
F : 격납용기의 실패 비율
D : 폐기물 침출율
T : 방사성핵종 수송
E : 피폭 경로
D : 피폭환산

이러한 변수들은 처분환경인자(Repository environment factor)나 처분장 사고시나리오 등과 같은 개개 시나리오의 사건(event)들에 따라 달라진다. 이러한 처분장 위험도는 복잡한 결정론적 또는 확률론적 함수로 기술되며, 위험도는 이러한 변수들의 시간에 종속적인 함수이다. 최근 미국의 고준위 방사성폐기물 처분장 후보 부지인 Y.M.의 성능분석 상황은 시나리오와 위험도와 관계된 다양한 인자들에 대한 개발 중이며, 전체 시스템에 대한 이러한 평가가 현재 완료되었다. 그러나 현재 국내에서는 각 공정에 대한 협조 체제및 공조 미비로 인해 이런 종합적인 평가를 못하고 있는 실정이다. 핵변환기술의 환경 친화력을 보다 정량적으로 평가하기 위해서는 이러한 종합적인 평가를 필요하므로 이에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] L. D. Ramspott et al., Impacts of new developments in partitioning and transmutation on the disposal in a mined geological respository, Feb. 1992

[2] J. Ahn et al., Impacts of waste Transmutation on Resository Performance, UCBNE-4225, june 1999