중수로 사용후핵연료 파이로공정 도입 효과 분석 - 공정 시나리오별 폐기물 특성 분석

김인영*, 최희주, 이종열, 이민수, 이연명
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*iykim@kaeri.re.kr

1. 서론

중수로형 원전이 국내 원전에서 차지하는 비중이 낮음에도 중수로 사용후핵연료가 전체 사용후핵연료 발생량(전체의 53%, 2014년 기준) 및 예상량(전체의 25%)의 상당부분을 차지하고 있다. 중수로 핵연료의 장기 관리방안과 관련하여, 현재까지 중수로 사용후핵연료는 재활용하지 않는 것으로 간주되어 왔으나, 일각에서는 미량의 핵분열성 물질 및 다량의 핵원료성 물질을 포함하고 있으므로 재활용을 고려해야 한다는 주장이 제기되고 있다. 따라서 본 논문에서는 중수로 사용후핵연료를 파이로 처리할 경우 효과를 분석하기 위해 세 가지 파이로 공정 시나리오 도입에 따른 파이로 공정 폐기물 및 산물의 특성을 분석하였다.

2. 본론

2.1 주요 가정 및 해석조건

본 논문에서는 파이로 공정폐기물의 특성을 평가하기 위해 방출연소도 8100 MWd/MtU의 CANDU37 핵연료를 기준핵연료로 선정하고 Origen-arp를 이용해 해석을 수행하였다. 중수로 대상의 파이로 공정 물질수지가 부재하므로, 경수로 물질수지와 동일한 물질수지가 적용되는 것으로 가정하였다. 원자로 방출 후 10 년 냉각된 사용후핵연료를 파이로 처리하는 것으로 가정하였으며, 20 년 냉각 후 처분하는 것으로 가정해 처분시점에서 폐기물의 특성을 분석하였다.

2.2 물질수지 2.6.0

물질수지 2.6.0[1]에 따르면 총 5종(Metal, LiCl-KCl, 기체폐기물 - Cs, Tc&I)의 폐기물과 2종(TRU, U)의 공정산물이 발생되는 것으로 확인되었다. 처분시점에서 폐기물의 특성은 Table 1과 같고, 시간에 따른 폐기물의 붕괴열, 방사능, 독성도 변화는 Fig. 1, 2, 3과 같다.

Table 1. Characteristics of waste from MB 2.6.0 - CANDU SNF

(30년 냉각)	Metal	LiCl-KCl	Cs	TcI	LiCl	TRU	U
핵종량 [g]	1.24E+05	1.71E+03	6.96E+02	1.37E+03	5.00E+02	9.21E+03	9.81E+05
붕괴열 [W]	1.07E-02	5.56E+00	6.42E+01	2.04E-03	5.09E+01	3.90E+01	2.07E-02
방사능 [Ci]	5.17E+00	1.66E+03	2.59E+04	4.28E+00	1.53E+04	7.76E+03	1.36E+00
독성도 [m^3water]	1.08E+06	2.54E+09	6.66E+08	1.66E+05	2.51E+10	3.05E+08	3.73E+04

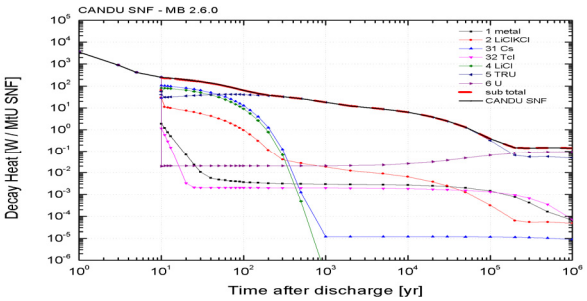

Fig. 1. Decay heat of waste from MB 2.6.0MB - CANDU SNF.

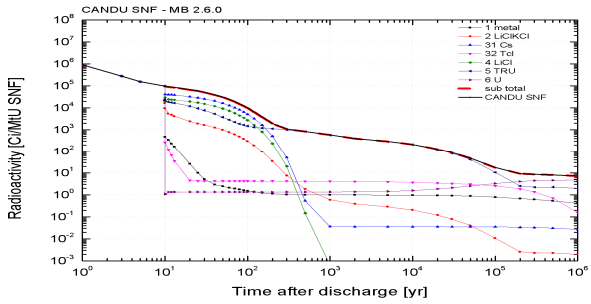

Fig. 2. Radioactivity of waste from MB2.6.0 - CANDU SNF.

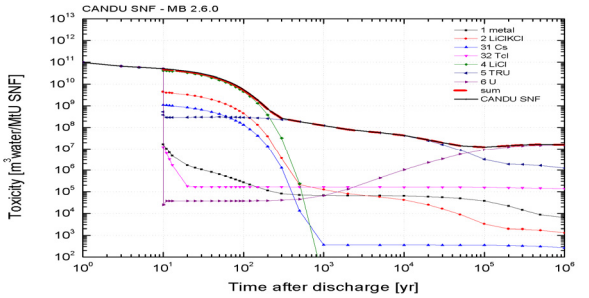

Fig. 3. Toxicity of waste from MB2.6.0 - CANDU SNF.

2.3 물질흐름 v4.0(2012)

물질흐름 v4.0[2]에 따르면 총 9종의 폐기물과 2종(TRU, U)의 공정산물이 발생되는 것으로 확인되었다. 처분시점에서 폐기물의 특성은 Table 2와 같고, 시간에 따른 폐기물의 붕괴열, 방사능, 독성도 변화는 Fig. 4, 5, 6과 같다.

Table 2. Characteristics of waste from FS v4.0 - CANDU SNF

(30년 냉각)	Hull	LiCl	U	Anode	LiCl-KCl	SFR fuel	Cs	Tc	I	H	C
핵종량 [g]	2.00 E+02	6.94 E+02	9.53 E+05	3.09 E+03	2.00 E+03	8.71 E+03	6.68 E+02	1.87 E+02	6.53 E+01	3.07 E-01	7.0 4E+01
붕괴열 [W]	3.29 E-02	5.88 E+01	3.20 E-02	7.14 E-03	1.06 E+00	3.90 E+01	6.50 E+01	1.33 E-04	3.95 E-06	1.89 E-03	1.12 E-04
방사능 [Ci]	1.05 E+01	1.77 E+04	3.69 E+00	8.09 E+00	3.00 E+02	7.77 E+03	2.62 E+04	2.65 E-01	8.44 E-03	5.59 E+01	3.83 E-01
독성도 [m^3water]	6.81 E+08	6.14 E+06	2.94 E+10	1.29 E+05	1.06 E+06	3.00 E+08	3.05 E+08	6.74 E+08	1.33 E+03	1.41 E+05	1.87 E+04

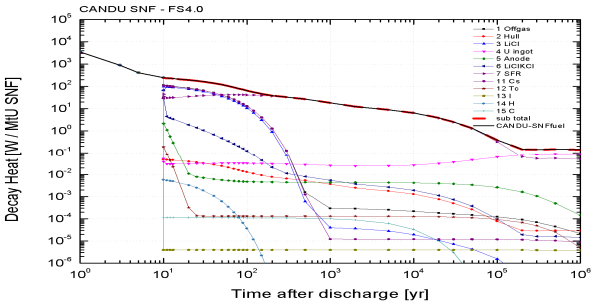

Fig. 4. Decay heat of waste from FS v4.0 - CANDU SNF.

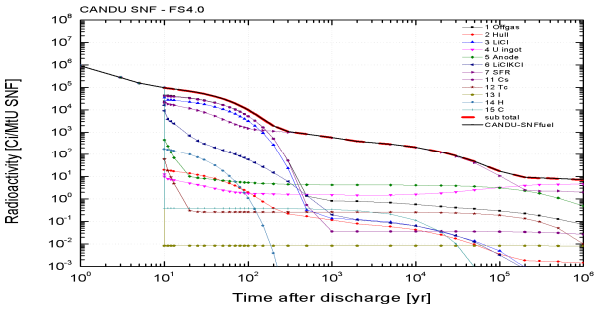

Fig. 5. Radioactivity of waste from FS v4.0 - CANDU SNF.

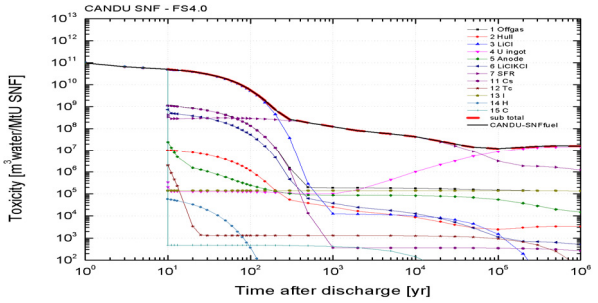

Fig. 6. Toxicity of waste from FS v4.0 - CANDU SNF.

2.4 금속전환공정

금속전환공정에서는 총 7종의 폐기물과 1종(U+TRU 잉곳)의 공정산물이 발생되는 것으로 확인되었다. 처분시점에서 폐기물의 특성은 Table 3과 같고, 시간에 따른 폐기물의 붕괴열, 방사능, 독성도 변화는 Fig. 7, 8, 9와 같다.

Table 3. Characteristics of waste from reducing - CANDU SNF

(30년 냉각)	U ingot	LiCl	HC	KrXe	Accum	Hull	Cs	Tc	I
핵종량 [g]	9.97E+05	5.82E+02	9.03E+01	1.46E+03	8.54E+01	2.00E+02	7.26E+02	2.50E+02	6.52E+01
붕괴열 [W]	3.96E+01	5.30E+01	2.58E-03	4.86E-01	6.38E+00	3.29E-02	6.50E+01	4.80E-03	3.95E-06
방사능 [Ci]	8.01E+03	1.59E+04	7.26E+01	3.24E+02	1.09E+00	1.05E+01	2.62E+04	2.45E+00	8.44E-03
독성도 [m^3water]	6.03E+08	2.65E+10	2.47E+04	3.24E+02	2.94E+09	6.14E+06	6.75E+08	4.81E+04	1.41E+05

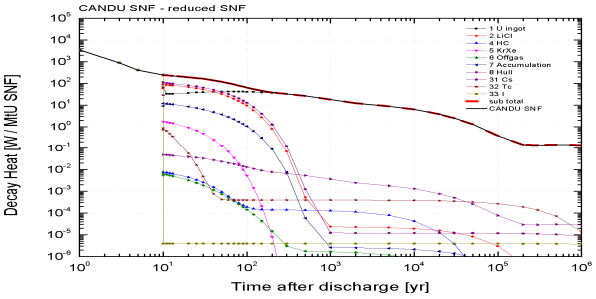

Fig. 7. Decay heat of waste from reducing - CANDU SNF.

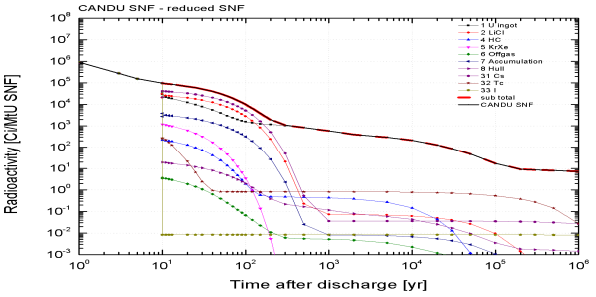

Fig. 8. Radioactivity of waste from reducing - CANDU SNF.

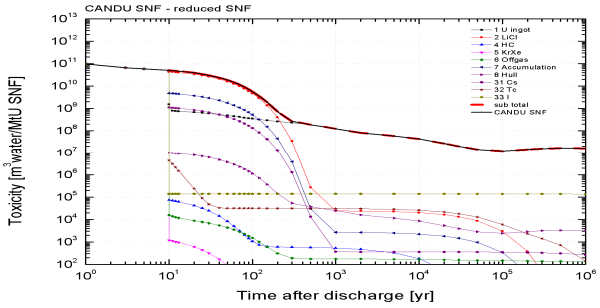

Fig. 9. Toxicity of waste from reducing - CANDU SNF.

3. 결론

본 논문에서는 세 가지 파이로 공정 도입 시나리오에서 발생되는 CANDU 파이로 공정폐기물 및 공정산물의 처분시점에서의 붕괴열, 방사능, 독성도와 시간에 따른 변화를 분석하였다. 본 연구결과는 파이로 공정폐기물 처분시스템을 설계하고 직접처분시스템과 비교해 파이로 공정도입 효과를 분석하고 향후 정책수립에 필요한 과학기술적 근거를 제공하는데 활용될 계획이다.

4. 참고문헌

[1] JW Choi et. al., "Geological Disposal of Pyroprocesses Waste from PWR SNF in Korea", KAERI/TR-4525/2011.

[2] 이효직 외, "파이로공정 기준 물질흐름 v4.0의 개발", 한국방사성폐기물 2013 학술논문요약집, 11(1), pp. 33-34.