

## 파이로 전처리공정 배기체처리장치의 필요 제염계수 예비 분석

박장진, 신진명, 김영자, 양재환, 박근일

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

[jjpark@kaeri.re.kr](mailto:jjpark@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

한국원자력연구원은 경수로 사용후핵연료 파이로공정에 대하여 연구하고 있다. 파이로 공정은 크게 전처리공정, 전해환원공정, 전해정련공정, 전해제련 공정 등으로 이루어져 있다. 이 중 전처리 공정에서는 전해환원공정에 사용될 원료 입자를 제조하기 위해 경수로 사용후핵연료 집합체를 해체, 인출, 절단, 탈피복, 분말화, 입자제조가 수행된다. 이 중 입자제조는 약 1,200°C의 고온에서 수행되므로 Cs-137, Tc-99, I-129 등 준휘발성 핵종과 H-3, C-14, Kr-85 등 휘발성 핵종이 방출된다[1, 2]. 방출되는 각종 핵종은 법으로 엄격히 통제되고 있다[3].

본 논문에서는 이러한 배출관리기준을 만족하기 위하여 전처리공정의 배기체처리장치에서 요구되는 제염계수(DF, Decontamination Factor) 값을 예비적으로 분석해 보았다.

### 2. 본론

본 논문에서 고려한 핵종은 파이로 전처리공정 중 발생하는 핵종중 Cs-137, Tc-99, I-129, H-3, C-14, Kr-85 등 6가지 핵종을 고려하였다. 이 중, Cs-137은 고방사성 고발열량 핵종이며, Tc-99, I-129는 장수명 핵종으로 특별한 관리가 요구된다. 이들 핵종의 배기중 배출관리기준을 Table 1에 나타내었다. 이 중 Kr-85의 경우가 가장 허용치가 높았으며, I-129의 경우가 가장 낮았다.

본 논문에서 기준으로 삼은 사용후핵연료는 초기능축도 4.5%, 연소도 55,000 MWD/tU, 10년 냉각한 경수로 사용후핵연료이다. 이 사용후핵연료 내 상기 핵종의 단위질량당 방사능(ORGEN-II 코드로 계산), 배기체 단위부피당 방사능량을 Table 1에 나타내었다. 세슘의 방사능량이 가장 크고, 요오드가 가장 낮다.

사용후핵연료 열처리과정은 산화탈피복 10시간, 산화 3시간, 응집 10시간, 환원 5시간 총 28시간 운전한다고 가정하였다. 처리용량은 50kg-HM

/batch로 평균 배기체 유량은 150 리터/min로 가정하였다. 따라서, batch 당 총 252 m<sup>3</sup> 기체가 방출되고, 톤당은 5,040 m<sup>3</sup> 기체가 방출된다. 단위질량당 방사능을 톤당 공정 기체량으로 나눈 값을 Table 1에 나타냈다.

단위부피당 방사능량을 배출관리기준치로 나눈 값은 공정 기체량만을 고려한 DF값으로 정의할 수 있는데, 이를 Table 2에 나타냈다. Cs-137 경우 1.03 x 10<sup>11</sup> 으로 가장 높고, C-14이 1.43 x 10<sup>-1</sup> 으로 가장 낮다. DFDF 핫셀을 근거로 핫셀 환기량을 공정 기체량의 1000배로 가정하면, 배기체처리장치에서 요구되는 DF 값은 더 낮아지게 된다. 더군다나, 시설 배기체처리계통에는 핫셀 내 HEPA 필터와 핫셀 밖의 HEPA filter, 활성탄 필터가 있다. 따라서, 첫 번째 HEPA filter는 입자 DF 값이 1000으로 두 번째 HEPA filter의 입자 DF값을 10으로 보았다. 활성탄 필터의 DF 값은 100으로 보았다. 6가지 핵종중 Tc-99과 Cs-137 핵종은 상온에서 에어로졸 입자 형태로 존재하여 시설내 배기체 필터에서 DF 10,000 으로 제거되며, 요오드의 경우 활성탄에서 DF 100 으로 제거된다고 보았다. 그 외 삼중수소, C-14, Kr-85는 시설 배기체처리 필터에서는 제거되지 않는다고 보았다. 이를 고려하여 구한 전처리공정 부차 배기체처리장치의 최소 요구 DF값을 Table 2에 나타냈다. 삼중수소의 경우 최소요구 DF가 1080정도, C-14의 경우 10<sup>-4</sup> 정도, Kr-85의 경우 530정도, Tc의 경우 0.8정도, 요오드의 경우 5.5정도, Cs-137의 경우 10300 정도가 나왔다. 이를 볼때 Cs의 경우가 10<sup>4</sup>로 가장 높은 값을 요구하고 있지만, 본 연구에서는 기본적으로 제로 방출을 목표로 하고 있기 때문에 문제가 없을 것으로 사료되며, Kr-85의 경우 통상 물리적흡착을 이용하기 때문에 DF 100으로 간주된다. 추후, DF 값을 높이는 연구가 요구된다고 본다. 그 외 현 기술개발 수준을 고려하면 H-3, C-14, Tc-99, I-129의 포집에는 큰 어려움이 없을 것으로 사료된다.

Table 1. 핵종별 배출관리 기준 및 단위부피당 방사능.

핵종	배기중의 배출관리기준1), Bq/m <sup>3</sup>	단위질량당 방사능2), Bq/MTHM	단위부피당 방사능3), Bq/m <sup>3</sup>
H-3	3.0E+03	1.64E+13	3.24E+09
C-14	1.0E+04	7.22E+06	1.43E+03
Kr-85	1.0E+05	2.66E+14	5.29E+10
Tc-99	2.0E+01	7.81E+11	1.55E+08
I-129	7.0E-01	1.94E+09	3.85E+05
Cs-137	1.0E+01	5.18E+15	1.03E+12

Table 2. 공정배기체처리장치의 필요 DF 값.

핵종	공정 기체량만을 고려한 DF	핫셀환기량을 고려한 DF	공정 배기체 처리 필요 DF (2차 시설 배기체 처리계통 고려)
H-3	1.08E+06	1.08E+03	1.08E+03
C-14	1.43E-01	1.43E-04	1.43E-04
Kr-85	5.29E+05	5.29E+02	5.29E+02
Tc-99	7.75E+06	7.75E+03	7.75E-01
I-129	5.50E+05	5.50E+02	5.50E+00
Cs-137	1.03E+11	1.03E+08	1.03E+04

### 3. 결론

본 논문에서는 사용후핵연료 파이로 전처리공정 배기체처리장치의 필요 제염계수를 예비 분석하였다. 분석결과 세슘의 경우 필요 제염계수 10<sup>4</sup>으로 가장 컷으며, 크립톤의 경우 530으로 예비 분석되었다. 두 핵종의 경우 필요 DF 값을 충족시키기 위한 노력이 필요하며, 그 외 핵종은 현 기술수준으로 충분히 만족시킬수 있을 것으로 사료된다.

### 4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는

한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

### 5. 참고문헌

- [1] J. J. Park, J. M. Shin, G. I. Park, J. W. Lee1, J.W. Lee2 and K.C. Song, "An Advanced Voloxidation Process at KAERI", Global 2009, Paris, 2009.
- [2] 박장진 등, "사용후핵연료 고도 휘발성 산화 공정 기술개발", KAERI/RR-3212/2009, 한국원자력연구원, 2010.
- [3] 교육과학기술부 고시 제 2008-31호.