

파이로시설의 화학/독성물질 안전성 분석

전홍래, 조우진, 서석준, 임현숙, 이효직, 구정희*

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*a10years@kaeri.re.kr

1. 서론

우리나라는 현재 25기의 원전을 가동하고 있으며, 2029년 까지 약 35기의 원전을 운영할 것으로 전망하고 있다. 원자력발전은 필연적으로 방사성물질을 포함하는 사용후핵연료를 발생한다. 현재의 원전이 계속 운영될 경우 2100년 경에는 약 9만톤의 사용후핵연료가 발생할 것으로 예상된다. 따라서 핵폐기물의 안전한 관리에 대한 중요성이 증가하고 있다. 국토가 협소한 우리나라 환경에서 처분장의 확보는 매우 어렵다. 대안으로 지속적인 원자력에너지를 이용하기 위해서 고속로와 파이로기술에 대한 연구를 하고 있다. 파이로기술은 전기화학적으로 핵물질을 분리하는 방법으로, 핵폐기물의 부피 감용 뿐만 아니라 폐기물 내 주요 자원의 재활용이라는 장점이 있다. 파이로시설은 원전과는 다른 특징들이 있다. 파이로시설에서는 화학적 혹은 전기화학적 분리가 핫셀에서 이루어지고, 위험물질이 다양한 위치에 분산되어 있다. 따라서 화학/독성물질에 대한 안전성 또한 평가되어야 한다.

본 연구에서는 파이로시설의 화학/독성 물질에 대해 안전성 분석을 수행하였다[1,2]. 파이로시설에서 주요 화학적 위해요소는 염소, 카드뮴과 같은 화학/독성물질의 사용이다. 안전성 분석을 통해 화학적 위험도가 높은 사고들을 선정하고 발생가능성 및 결말을 평가하였다. 미완화사고해석을 통해 안전기능과 안전성관련품목(IROFS, Items Relied on for Safety)을 선정하고, 파이로시설의 화학적 안전 특성을 알아보았다.

2. 본론

2.1 화학/독성물질에 대한 위해도 분석

파이로시설이 가지는 고유의 기능과 특성들을 고려한 위해도 기준사건을 정하였다. 선정된 기준사건들을 발생가능성 (likelihood)과 결말 (consequence)을 평가하여, 높은 위험도를 가지는 네 가지 사고를 선정하고, Table 1에 나타내었다.

Table 1. Non-radioactive Hazardous Material Release Accidents at Pyro-facility

No	Session
1	장치과열로 인한 전해환원조 내 LiCl 용융염 휘발
2	전해제련 장치의 배관 파단으로 인한 Cl ₂ 가스 누출
3	전해제련 공정 후 액체 Cd 음극 도가니 전도 및 낙하로 인한 Cd 누출
4	UCl ₃ 제조 장치의 배관파단에 의한 Cl ₂ 가스 누출

2.2 화학/독성물질의 영향 계산

선정된 네 가지 사고들이 제한구역경계에 위치한 개인에 미치는 영향에 대해 평가하였다. 선원항은 5인자 공식을 통해 계산하였고, 대기확산인자를 고려하여 제한구역경계에서 화학/독성물질의 농도를 계산하였다[3]. 화학물질의 종류에 따라 기준 농도가 달라지기 때문에 각 화학물질에 대한 AEG, ERPG, PAC 값을 선택적으로 사용하였다.

2.2.1 장치과열로 인한 전해환원조 LiCl 용융염 휘발

전해환원조 내에는 고온의 LiCl 용융염이 다량 존재한다. 순수한 LiCl의 끓는점은 1382 °C이며, 용융염 내 방사성물질 때문에 실제 끓는점은 더욱 높은 것으로 예상된다. 따라서 공정장치의 과열이 발생하더라도 용융염의 끓는점 이상 온도가 올라가지 않을 것이다. 휘발된 LiCl은 누출되어 고체 미립자인 흙(hume) 형태로 존재하는 것으로 가정하였다.

2.2.2 전해제련장치의 배관 파단으로 인한 염소가스 누출

전해제련 공정 중 양극에서 전해질의 산화로 인해 염소가스가 발생한다. 생성된 염소가스가 배관을 통해 중화장치(scrubber)로 이동하는 중 배관 파단에 의해 누출되는 사고이다.

2.2.3 전해제련 공정 후 액체 Cd 음극 도가니 전도 및 낙하로 인한 Cd 누출

전해제련 공정 후 액체 Cd 음극 도가니 이송 중 낙하로 인한 Cd의 누출 사고이다. 낙하 시에 누출되는 경우와 액체 Cd이 고화되는 과정 중에 발생

하는 증기량을 고려하여 선원항을 계산하였다.

2.2.4 UCl₃제조 장치의 배관파단에 의한 염소가스 누출
UCl₃ 제조장치의 염소공급 배관 파단으로 인해 염소가스가 누출되는 사고이다.

3. 결론

본 연구에서는 파이로시설의 화학/독성 물질에 대한 안전성 분석을 수행하였다. 대표되는 네 가지 사고들에 대해 대중의 개인에 대한 영향을 평가하고, 이를 방지 및 완화할 수 있는 안전성관련품목을 도출하였다. 이를 통해 파이로시설의 화학/독성 물질에 대한 위험도와 안전특성을 알아보았다.

4. 참고문헌

- [1] NUREG-1520, Standard Review Plan for Fuel Cycle Facilities License Applications.
- [2] ANSI/ANS-58.16-2016, Safety Categorization and Design Criteria for Nonreactor Nuclear Facilities.
- [3] C.W. Solbrig and C.L. Pope, "Cadmium Release from a Reprocessing Electrorefiner Falling Over", Nuclear Engineering and Desing, 255, 226-239 (2013).