

Pyro 건식처리시설의 비용평가

고원일, 권은하, 이호희, 윤지섭

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

nwiko@kaeri.re.kr

- 개요

원자로에서 배출된 사용후핵연료는 높은 방사선과 열을 방출하는 고준위 방사성물질인 반면에, 재사용이 가능한 우라늄과 플루토늄을 함유하고 있는 미래의 에너지자원이기도 하다. 이러한 자원의 재사용을 위하여 현재 몇몇 국가에서는 습식재처리공정을 이용하여 플루토늄을 회수, 원자로에 재순환시키고 있으나, 이에는 환경친화성·경제성 및 핵확산저항성 등의 측면에서 많은 문제점이 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 문제점을 모두 해결할 수 있는 방안이 “Dirty Fuel, Clean Waste”란 개념이며, 이를 실현할 수 있는 기술이 Pyroprocess (이하 Pyro) 건식처리이다.

우리나라는 1997년부터 사용후핵연료의 누적문제와 자원재활용을 위하여 원자력중장기연구계획사업의 일환으로 Pyro 연구개발을 추진 중이다. 일부 기술분야에서는 이미 세계적인 수준에 도달한 것으로 평가받고 있으며, 또한 미국과의 공동연구(I-NERI)를 통하여 실제 사용후핵연료를 다루는 실증연구를 수행하고 있다.

본 연구에서는 이처럼 우리나라 핵연료주기의 핵심공정으로 도입가능성이 높은 Pyro 건식처리시설에 대한 건설비용·운영비용 등을 평가하여 처리단가(\$/kgHM)를 계산해 보았다. 이를 위하여 두 가지 방법을 사용하였는데, 첫째 문헌에 나와 있는 Pyro 처리단가를 처리용량 등 우리나라 상황에 맞게 재구성하여 처리단가를 도출하는 Parametric 방법과, 둘째 Pyro 시설에 대한 설계요건을 도출하고 주요공정에 대한 예비개념설계를 통하여 물량을 산출한 후 건설비·운영비 등을 직접 계산한 비용산출방법이 그것이다.

- Parametric 방법을 이용한 Pyro 건식처리시설의 비용

1991년에 미국의 전력연구소(EPRI: Electric Power Research Institute)는 당시에 알곤 국립연구소(ANL: Argonne National Laboratory)에서 진행 중이던 Pyro 연구에 대하여 Pyro 시설의 비용평가를 수행하여, 미국의 사용후핵연료 처리규모인 1,500톤/연 용량의 습식처리시설과 건식처리시설에 대한 건설비·운영비 및 처리단가를 평가한 바 있다[1]. 본 연구에서는 위의 자료를 이용하여 우리나라의 적정처리규모로 판단되는 400톤/연(PWR 약 20기에서 연간 생산되는 사용후핵연료의 양)으로 규모를 축소하여 처리단가를 산출하였다. 이를 위하여 먼저 1990년의 가격기준으로 되어 있는 동 보고서의 비용자료를 물가상승률을 반영하여 2006년 말 기준으로 수정한 후, 적절한 Scale Factor를 적용하여 평가하였다. EPRI 보고서에 기술된 시설에서는 PWR 원전에서 배출된 사용후핵연료를 수납하여 이를 해체한 후 전해환원을 통하여 금속전환체로 전환하고, 이 후 전해정련을 통하여 잉여우라늄을 회수한 후 일부 잔존우라늄과 TRU를 전해제련을 통하여 잉곳상태로 회수한다.

EPRI 보고서에 따르면, 투자비용에 대한 연간 환수비용은 607 백만 달러, Pyro 처리단가는 405\$/kgHM이다. 이를 1990년부터 2006년까지의 소비자 물가상승률 54%를 반영하여 2006년 가격인 623\$/kgHM로 변환하였다. 여기에 Scale Factor (SF) 방법을 적용하여 400톤/연 규모일 때의 처리단가를 다음 표 1과 같이 계산하였다.

표 1 용량별 Pyro 처리단가

용량(tHM)	처리단가(\$/kgHM) (SF: 0.5)	처리단가(\$/kgHM) (SF: 0.6)	처리단가(\$/kgHM) (SF : 0.7)
1,500	623	623	623
1,200	696	712	728
900	804	846	890
600	985	1,079	1,183
500	1,079	1,204	1,344
400	1,206	1,376	1,571
300	1,392	1,636	1,921
200	1,705	2,086	2,552
100	2,412	3,162	4,145

- 예비개념설계에 의한 Pyro 건식처리시설의 비용

EPRI 보고서에 다루고 있는 시설과 유사한 KAPF(Korea Advanced Pyroprocess Facility)에 대한 비용평가를 위하여 예비개념설계를 수행하였다. 물질흐름을 통하여 계통분석이 이루어졌으며, 건설비·운영비 등의 비용흐름을 도출하여 처리단가를 산출하였다. 비용평가 결과 5% 할인율을 적용할 경우에 2006년 기준으로 총 할인된 비용은 69,270 억원으로 계산되었다. 이 비용을 이용한 연산 400톤 용량의 시설에 대한 처리단가는 다음 표 2와 같이 도출되었다.

표 2 할인율별 Pyro 처리단가

할인율	처리단가 (\$/kgHM)
3%	914
5%	1,028
8%	1,242
10%	1,412

- 결론

EPRI 보고서에 나와 있는 Pyro 처리비용을 이용하여 우리나라 상황에 맞게 재구성한 결과, 400톤 규모의 Pyro 건식처리시설에 대한 처리단가는 약 1,200 ~ 1,600\$/kgHM으로 계산되었다. 또한, Pyro 시설에 대한 설계요건을 도출한 후 주요공정에 대한 예비개념설계를 통하여 얻은 400톤 규모의 Pyro 건식처리시설에 대한 처리단가는 914 ~ 1,412\$/kgHM이었다. 그러나, 현재 Pyro 시설의 경우 소규모 실증시설밖에 없으며, 대규모 상용시설의 건설 및 운전경험이 없기 때문에 위의 비용에는 여전히 많은 불확실성이 내포되어 있다고 볼 수 있다. 이러한 점을 감안했을 때, 현 단계에서 위 비용의 불확실성은 50% 이상이 될 것으로 추측된다.

참고자료

[1] EPRI NP-7264, The Cost of Processing Irradiated Fuel From Light Water Reactors: An Independent Assessment, 1991.