

저농축 우라늄 핵연료분말 생산용 원심분무장치 설계 (Design of Centrifugal Atomizer for Production of LEU Fuel Powders)

한국원자력(연) 김기환*, 장세정, 김응수, 서일홍, 이운상, 오석진, 김창규

1. 서론

한국원자력연구소에서는 하나로 핵연료의 국산화 개발과정에서 기존의 파쇄방법을 개량하여 원심분무에 의한 구형 핵연료분말을 제조하는 연구로용 개량핵연료 기술을 창안, 개발하여, 1990년대 초에 한국, 미국, 독일 및 캐나다에 상기 기술에 대한 특허를 등록하였다. 이 원심분무기술은 우라늄합금을 주조후 균질화 열처리, 파쇄 및 분쇄공정을 거치지 않고 원심분무를 통해 미세한 구형 핵연료분말이 합금용탕으로부터 직접 제조되는 기술을 개발해 왔다[1-4]. 특히 원심분무 핵연료 제조기술은 고밀도 핵연료재료로 사용될 U-Mo 계 핵연료분말을 제조하는데 있어서 기존의 파쇄공정에 비해 매우 우수한 생산성, 분말 회수율 그리고 핵연료 성능을 가지고 있기 때문에, 세계의 연구로 핵연료 그룹에서 주목을 받아 1992년부터 핵연료 분말시료를 외국에 공급해 왔다. 이와 같은 원심분무 핵연료에 대한 본격적인 수출, 기술이전 그리고 국산화를 대비하여 저농축 우라늄 핵연료분말 생산용 원심분무장치 제작을 위한 설계가 요구되고 있다.

2. 연구방법

본 연구에서는 U-235 농축도 20% 이하의 저농축 우라늄을 사용하기 때문에 핵입계관리, 방사선 안전관리 및 핵물질 보장조치 사항 등을 검토하면서, 그 동안의 연구결과를 토대로 핵연료분말제조 생산성, 경제성 및 품질을 향상시키기 위해 저농축 우라늄 핵연료분말 생산용 원심분무장치 제작을 위한 설계를 수행하였다.

3. 결과 및 검토

본 원심분무장치를 통해 진공 chamber에서 도가니에 batch당 4kg 이하의 우라늄과 합금 원소(Mo, Si 등)를 장입하여 진공 상태에서 고주파유도 용해하고, 불활성 분위기에서 고속으로 회전하는 disk 위에 용탕을 공급하여 125 μ m 이하 (45 μ m이하 : 20~50%)의 미세한 구형 핵연료분말을 생산하도록 설계하였다. 주요사양은 1) 최대 용해량: 우라늄 기준 .4 kg/batch, 2) Chamber 직경: \varnothing 2,500mm, 3) 용탕가열 최고온도: 1920 $^{\circ}$ C 이상, 4) 고주파 전원: 최대전력 50KW (사용전압 440V), 진공용해용, 승온속도 자동/수동조절, 5) Tundish 최대가열온도: 1300 $^{\circ}$ C 이상, 저항가열(유도가열로 전환 가능), 6) 유도코일 냉각재: 냉각가스, 7) 도달 진공도: 5 x 10⁻⁶ torr 이상, 8) Total leak rate: 10⁻⁴ torr · l/sec 이하, 9) 출탕방법 및 잔탕비율: 경동식, 장입량 대비 1% 이하, 10) 분말방출율: 0.01% 이하로 하였다.

원심분무장치는 크게 1) 진공 chamber 부, 2) 진공 배기계, 3) 고주파 전원장치, 4) Tundish 장치, 5) 고속모터 회전장치, 6) 제어장치, 7) 분말회수장치, 8) 냉매냉각장치, 9) 가스공급장치 등으로 분류되었다. 진공 chamber 부는 우라늄은 산화성이 강한 금속이므로 진공 배기 후 불활성 가스 분위기에서 용해 및 출탕을 하여야 하므로 완벽한 밀폐구조가 되도록 설계하였다. 입계안전관리와 핵물질보장조치 차원에서 생산된 저농축 핵연료분말은 chamber로부터 전량 회수되도록 하였다. 그래서 제조된 원심분무분말이 회전원반 상부의 gas nozzle plate 부위, motor 및 그 지지대 부위, 진공펌프 연결라인, chamber 벽 등에 집적되지 않고 전량 회수되도록 하였다. 진공 배기계는 rotary pump 및 booster pump를 이용하여 대기압부터 1 x 10⁻⁴

torr까지 배기한 후 oil diffusion pump를 사용하여 5×10^{-6} torr 까지 배기할 수 있게 구성하였다. 고주파 전원 장치중 유도코일은 고순도의 구리 파이프를 제작하며 내부에 냉매가 흐르므로 두께를 t3mm 이상으로 하며 분해 조립이 쉽도록 하였다. 진공상태에서의 가열이므로 내장형 유도코일에 방전이 발생할 수 있으므로, 방전 방지를 위해 충분히 낮은 전압이 유도코일에 부과되도록 고주파 발생장치를 설계하였다. 유도용해로를 보호하기 위해 유도코일을 냉각시키는 냉매는 임계안전을 고려하여 flour 등 냉매를 사용하도록 하였으며, 냉각수를 사용하지 않도록 하였다. 유도코일 치수, 형상, 냉매종류, 유속, 냉각방법 등을 설계시에 유도코일부위에 있어서 손상이나 변형이 발생하여 안전에 영향이 없도록 하였다.

고속모터 및 모타 회전장치는 고속회전 하는 회전판 위에 우라늄을 분사하여 원심력에 한 미세 분말을 얻기 위한 장치로서, motor 수리 및 보수가 chamber 밖에서 이루어질 수 있도록 제작하되, 이동장치 직경을 최소화시켜 그 위로 제조된 분말이 거의 집적되지 않도록 하며, 그 이동도 최대한 편리하게 하였다. Motor는 He, Ar 등 불활성가스로 냉각하도록 하였다. 고속모터 회전장치는 용탕공급 노즐과 회전원반간 거리가 고정위치에서 상하로 30mm 이상 이동이 가능하도록 하였다. 전기모터는 2HP으로 40,000 rpm 이상으로 선정하였으며, 모터 고정장치는 구동모터는 0.5HP 이상, 행정 1700mm이상 동작할 수 있게 하며, 특히 분해 조립시 분말 확산에 의한 오염을 방지할 수 있는 구조로 설계하였다. 제어장치는 각종 측정장치 및 제어받은 한 곳에 설치하여 조작이 쉽고 보수 관리가 용이한 구조로 하며 작업 진행과정을 확인할 수 있게 하였으며, 모든 제조공정을 컴퓨터로 자동 운전하는 system으로 구성하였다. 분말회수장치는 그 chamber 내부를 싸우처리 하여 분말이 쉽게 모이도록 하며 상부에 버터플라이 밸브를 설치하여 분위기 파괴 없이 분말을 회수하도록 하였다. 제조된 chamber 내의 분말은 gas 분사, 진공 흡인력 등을 이용하여 편리하면서도 전량 회수되도록 분말청소 장치 또는 방안을 강구하도록 하였다. 집진장치는 고속회전 disk로 분무시켜 제조된 분진을 Cyclone 및 Hepa-Filer로 통하여 vacuum pump를 흡입하여 chamber 내에 분진을 포집하여 사용한다. 제조된 원심분무분말은 cyclone에서 거의 완전히 포집되어 장입량 대비 0.01% 이하로 hepa filter에 방출되도록 하였다. Chamber로부터 hepa filter에 이르는 연결배관은 경사지게 하여 제조된 분말이 배관위에 적층되지 않도록 한다. He gas 공급장치는 He gas container에 있는 gas를 입력조정기(regulator)를 통하여 1차 설정된 압력으로 receiving tank로 보낸 다음, 2차로 설정된 압력을 chamber 내에 되도록 정상상태로 균일하게 laminar flow로 공급하여 불활성 가스 분위기를 형성하도록 하였으며, He gas 보충을 위해서 환형으로 냉각가스 노즐를 설치하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력중장기 연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- 1) C. K. Kim et al., Proc. 14th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Jakarta, Indonesia, November 4-7, 1991.
- 2) W. S. Ryu, J. M. Park, C. K. Kim, I. H. Kuk, Proc. of the 17th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Williamsburg, Virginia, USA, September 18-23, 1994.
- 3) K.H. Kim, D.B. Lee, C.K. Kim, G. Hofmam, K.W. Paik, J. Nucl. Mater. 245 (1997) 179.
- 4) W. Hwang et al., J. the Korean Nuclear Society, vol. 24, No.1 (1992).