

## “원심분무에 의한 연구용 원자로 핵연료 분말 제조”

(Preparation of Fuel Powder by Centrifugal Atomizing Technology for Nuclear Research Reactors)

한국원자력연구소, 김 창규\* 김 기환 장 세정 김 용수 국 일현 손 동성

### 1. 서론

연구용 원자로에 우라늄이 90%이상 농축된 핵무기 급의 핵연료가 사용되었으나 1978년부터 핵비확산의 목적으로 농축도를 20%이하로 낮추는 대신 우라늄밀도를 높인 uranium silicide( $U_3Si_2$  or  $U_3Si$ )입자가 알루미늄에 분산된 핵연료를 개발하여 활용을 확산시키고 있다. 이 개발 핵연료로는 고성능 연구용 원자로에 충족시키지 못하여 uranium silicide보다 우라늄 밀도가 더 높은 핵연료재료를 개발하고 있다. 그 후보재료는 감마상(bcc 조직)이 준안정상으로 존재하는 U-Mo합금입자가 분산된 핵연료이다. 분산핵연료는 우라늄을 합금한 후 기계적으로 가공 또는 충격으로 분말을 제조한 다음 알루미늄 분말과 혼합한 후 압출 또는 압연하여 핵연료심재를 성형한다. 핵연료분말 입자의 비정형 형태를 구형화하면서 합금 용탕에서 바로 핵연료분말을 제조하는 원심분무기술을 개발하였다.

### 2. 핵연료분말 제조를 위한 원심분무 기술개발

원심분무 핵연료분말 제조방법은 uranium과 합금원소를 용융한 다음 용탕을 약 2mm정도의 orifice 통하여 약 30,000rpm으로 회전하는 disk에 공급하여 원심력으로 분말을 제조하는 방법이다. Uranium은 고온에서 공기중의 산소와 격렬하게 반응하기 때문에 진공분위기에서 용융하고 불활성 개스분위기에서 원심분무를 한다. 일반적으로 흑연도가니 내벽에 고온 안정성의 세라믹을 도포하여 사용한다.  $U_3Si_2$ 를 원심분무할 경우 융점이 1665℃이므로 용탕의 적당한 유동성을 갖도록 약 200℃정도 superheating을 시켜야 하므로 약 1900℃ 가깝게 승온한다. 이 온도조건에서 세라믹으로 도포한 흑연 도가니 및 노즐은 반응이 일어나 사용이 불가하므로 zirconia재질의 도가니와 노즐을 개발하여 사용하였다. Disk회전 motor를 고압의 기체를 사용하는 turbine motor를 사용하였으나 용탕주입 후 회전수가 크게 감소되는 문제를 해결하고자 pulse motor로 교체하였다.

### 3. 핵연료 분말 제조 및 공급

미국 BWXT와 프랑스 CERCA의 핵연료 제조회사에서 핵비확산 핵연료 개발용으로 U-10%Mo와  $U_3Si_2$ 의 핵연료분말을 원심분무방법으로 제조하여 공급을 요청받았다. 제조한 두 종류의 분말입자는 구형이었고 매끄러운 표면상태를 보였다. 분말입도분포는 약 106 $\mu$ m이하가 약 98%이상이고 45 $\mu$ m이하 크기 분말이 20~30%이며 평균 분말입자 크기는 약 70 $\mu$ m임을 나타냈다. 분말 분말의 화학분석 결과도 핵연료의 연구조건에 적합하였으며 특히 흑연 도가니를 zirconia재질로 대체 사용하여 carbon불순물 허용합량을 만족시켰다.