

## 전해환원용 구형 분말 제조를 위한 조립기술 분석

이재원, 이정원, 이영우, 박근일, 송기찬, 박장진  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
 niwlee@kaeri.re.kr

### 1. 서론

고도 휘발성 산화공정에서는 열처리분위기에 따라서 O/U가 다른 3종류의  $U_3O_8$ ,  $UO_{2-x}$ ,  $UO_2$  분말 제조가 가능하며 분말형태는 전해액의 침투가 용이하고 전해환원 반응속도를 증가시키기 위해서는 미소결정들이 화학적으로 결합하여 다공성을 갖는 응집체 형태가 바람직 할 것으로 예상된다. 또한 전해환원공정은 회분식이기 때문에 공정용량을 증대시키기 위해서는 충전율이 높은 산화우라늄 분말이 요구된다. 충전율을 높이기 위해 구형 응집체를 갖는 산화우라늄분말을 제조할 필요가 있다. 이러한 분말의 제조는 고체상 물질을 취급할 때 가장 편리한 형태인 작은 성형체를 만드는 조립(granulation)기술에 의해서 가능할 것으로 여겨진다. 따라서 본 연구에서는 다공성 구형 응집체를 제조하기 위해 적합한 조립기술을 분석하였다.

### 2. 조립기술 분석

조립기술은 크게 혼합조립, 강제조립, 열이용 용융·분무조립으로 구분된다. 열이용 조립은 분말을 용융액 및 슬러리 상태로 만들어 조립하는 방법으로 고온 및 냉각공정이 필요하기 때문에 적합하지 않다. 분말상태로 조립하는 방법인 혼합조립 및 강제조립의 형식과 특징을 표 1에 나타내었다. 혼합조립에 있어 분말간의 작용하는 결합력으로는 액체의 모세관(capillary) 흡입력, 점결제의 부착력, Van der Waals력, 국부적인 응착 또는 반응에 의한 결합력을 이용하는 것이 있다. 혼합조립형식으로는 전동형, 유동층형, 원심전동형, 원심전동유동층형, 교반형 등이 있다. 강제조립은 분말에 외력을 가하여 강제 조립하는 방법으로 압축성형, 압출조립, 파쇄조립형이 있다.

전동조립은 분말용기를 회전시켜 용기 중간에 분말과 점결제를 연속 또는 회분식으로 공급하여 중력 전동하는 분말의 표면을 적서 입자끼리 결합하여 조립체를 만든다. 전동형 조립장치에 의해서 수 mm ~ 수십 mm의 구형에 가까운 조립체를 얻을 수 있다. 조립기구는 점결제를 첨가하여 가습시켜 분말 응집체를 생성시켜, 이의 주변에 있는 분말이 부착하여 중력 전동의 압밀작용에 의해서 강도를 갖는 성형체가 형성된다. 유동층은 분말의 유동을 이용하여 조립하는 방법으로 유동층의 하부에서 공기를 공급하여 분말을 유동시키며 분말층에 점결제를 분무상으로 공급하여 조립한다. 유동층형 장치의 분말에 가하는 혼합작용은 전동형보다 강력하여 단위 용적당 처리능력이 큰 것이 특징이다. 그러나, 유동층형은 압밀작용이 강하지 않아 밀도가 낮고, 공극율이 큰 부정형의 과립이 얻어지므로 조립체의 강도도 약하다. 원심전동 및 원심전동유동층형은 유동층형의 연질·부정형의 과립조립과 같은 결합을 해결할 수 있는 중질 및 구형의 조립이 가능하다. 또한 처리능력이 큰 장치도 개발되어 있다. 이러한 형태의 장치로 대표적인 것은 하부에 회전 원판에 의해 분말에 원심 회전 작용을 가하여 여기에 점결제를 공급하여 조립을 하는 CF-GRANULATOR, 회전원판 및 공기류를 조합한 SPIR-A-MOTION (원심전동과 회전분류층의 복합작용)을 분말에 가하여 여기에 점결제를 분무하여 조립하는 SPIR-A-FLOW가 있다. 특히 CF-GRANULATOR는 진구 입자의 조립에 적합하며, SPIR-A-FLOW는 유동화 조건을 변화시켜 경질에서 중질 과립, 부정형에서 구형입자까지 넓은 범위의 조립이 가능하다. 조립속도가 빨라서 대량생산에 적합하나, 회분식 조립기술로 전동형의 연속식에 비해 생산속도가 낮다. 교반형은 가습된 분말에 기계력(혼합, 혼련 작용)을 가하여 조립하는 방법으로 조립체의 형상은 불규칙하고 입도분포가 넓으며 장치내부에 부착물이 잔류하는 등의 결함이 있다. 교반형의 조립장치는 건조기를 요하는 것이 많으며, 대형으로 조립된 습윤 조립체에 대한 취급상의 문제도 있다. 강제 조립형에 의한 조립체는 불규칙하고 유동성 낮아 분말의 충전율을 높일 수 없다.

조립기술의 특성을 분말처리 조건, 공정조건, 작용력의 종류, 조립체 특성에 따라서 구분하여 간략하게 표 2에 나타내었다. 혼합조립법중 유동층 및 교반혼합형식은 조립체의 유동성은 좋으나 불규칙하기 때문에 충전율이 낮게 된다. 원심전동유동층형식은 유동화를 위해 기체의 가열과 냉각의 보조장비가 필요

하며, 원심전동형은 회전식 공정으로 분말처리량이 낮다는 단점이 있다. 전동형식은 입도분포가 넓으나 처리량도 높기 때문에 전해환원공정의 구형 분말제조에 있어서 가장 적합한 조립법인 것으로 사료된다. 그러나, 점결체의 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O로의 완전연소 등 배기체 처리측면에서 검토를 수행할 예정이다.

3. 결론

조립기술 중에서 점결체 분무와 증력 전동의 압밀작용에 의해서 분말을 조립하는 전동형 조립기술이 조립체의 형상, 입도, 경도, 공극율, 충진을 측면에서 전해환용용 산화우라늄 구형 분말 제조기술에 적용가능성 가장 높음을 보였다.

사 사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

표 1 조립 형식 분류

조립법/형식	장치형식	조립법의 특징	
혼합조립	전동조립	회전팬	경사진 회전팬안의 공급분말에 액체 점결체를 산액하여 응집조립체를 생성하고, 또 회전팬의 분급효과를 이용하여 비교적 크게 성장한 조립체를 림(rim)에서 배출한다.
		회전드럼	경사진 회전 원통에 습윤 분말을 공급하여 이것이 원통 안에서 전동운동을 하는 동안에 응집 조립체가 된다.
		회전원추	회전 원통의 조작방식이 같으나, 머리를 절단한 원추형에 의한 응집 조립체의 분급효과를 이용하여 비교적 크게 성장한 조립체를 배출한다.
	유동층조립	유동층	열풍으로 분말을 유동화시켜 유동분말에 액체 점결체(수용액, 콜로이드액 등)를 산액하여 응집 조립한다.
		유동분류층	유동층의 경우와 같으나 층안의 분말에 순환류를 유지하고, 또 분급효과를 이용하여 비교적 크게 성장한 조립체를 배출한다.
		분류층	분류층의 장점을 이용하여 굵은 입자에 수용액, 콜로이드 액 등을 분무하여 부착시키고, 동시에 건조하면서 조립한다.
원심 유동층	원심전동	회전판의 원심전동작용과 점결체를 분무하여 조립한다.	
	원심유동	회전판의 원심전동작용과 통기에 의해 유동화작용을 가하여, 여기에 점결체를 분무하여 조립한다.	
	SPIR-A-Flow	회전판, 교반 날개 및 통기에 의해 spir-a-flow를 분말에 가하여, 여기에 점결체를 분무하여 조립 및 건조를 한다.	
교반조립	Back mill	분말과 액체 점결체를 혼합하여 flock 모양의 분말응집체를 출구의 파쇄기구에 의해서 분다.	
	Han-Cell	분말과 액체점결체를 고속으로 교반·혼합하여 세립상의 응집조립체를 만든다.	
	아이리히	회전용기 안의 분말에 액체 점결체를 첨가하면, 회전혼합자에 의해서 교반하여 응집조립체를 만든다.	
강제조립	압축형	압축 roll	분말을 적당한 점결체로 혼합한 것을 압축 롤에서 판상으로 성형하여 이것을 후공정에서 파쇄 처리한다.
		브리켓팅롤	회전롤 표면의 몰드에 분말을 넣고, 압축하여 브리켓을 만든다.
		타정	절구안에 정용량의 분말을 충전하여 이것을 상하 절구공 사이에서 압축 성형하여 정을 만든다.
	압출형	Screw	저온의 분말을 스크루로 수송하여 원통상 다이에서 압출한다.
		회전다공 dies	저습의 분말을 회전다이와 롤 사이에 투입하여 이것을 롤에 의해 다이에서 압출한다.
		회전 blade	저습의 분말을 원통상 다이 안에 투입하여 이것을 회전허들에 의해 다이에서 압출한다.
파쇄형	회전 knife(중)	회전 knife로 분말의 응집체를 파쇄하여 스크린에서 배출시킨다.	
	회전 knife(중)	고속 회전 knife로 분말의 응집체를 파쇄하여 원통상 스크린에서 배출시킨다.	
	회전 bar	각 주상 또는 원주상의 회전 바(bar)로 분말의 응집체를 파쇄하여 스크린에서 배출시킨다.	

표 2 조립장치 및 조립체 특성

분류	조립법	분말처리 조건			공정조건				작용력 종류						조립체 특성									
		원료	점결체	가열냉각	연속	회분	상*태	처리량	부착	응집	마찰	냉각	가열	결정화	표면장력	압축력	전단력	형상	입도 (mm)	입도분포	유동성	용해성	경도	공극율
혼합조립	전동형	분	O	X	◎	O	F	대	O	O								구	2~20	광	O	△	◎	소
	유동층형	분	O	O	O	◎	F	대	O	O		O	O					불규칙	0.1~2	광	O	◎	O	대
	원심전동형	분	O	X	X	O	F	중	O	O								진구	0.1~2	협	◎	O	◎	소
	원심전동 유동형	분	O	O	X	O	F	대	O	O		O	O				O	불규칙~구	0.05~2	협	◎	◎	◎	소~대
	교반혼합형	분	O	X	O	◎	F	중	O	O		O	O				O	불규칙	0.05~2	광	△	O	O	중
강제조립	압축형	분	OX	X	O	X	P/F	대	O	O	O	O			O			Flake	0.5~10	광	△	O	O	소
	압출형	분	O	X	O	X	P/F	중	O	O		O	O		O	O		원통	0.5~10	협	△	△	O	중
	파쇄형	분	X	X	O	X	P	중							O			불규칙	0.1~1	광	△	O	O	대

F : Fenicular, P : Pendular