

# 저온분사코팅 설비의 대형화 및 중규모 구리처분용기의 제작

이민수<sup>1\*</sup>, 최희주<sup>1</sup>, 박동용<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

<sup>2</sup>(주)태광테크, 경북 경주시 천북면 오야리 10-1번지

\*minm@kaeri.re.kr

## 1. 서론

KAERI에서는 우리나라의 수포화 심부환경을 고려하여, 구리-주철 이중구조의 처분용기를 제작 중에 있다. 내부 주철용기는 외부 압력을 견디는 역할을 하고, 외부 구리용기는 장기간에도 견딜 수 있는 내부식 보호막 역할을 한다. 스웨덴과 핀란드에서는 사용후핵연료를 담을 수 있는 대형 구리용기 제작을 위해 대형 구리 잉곳을 천공-연신-단조 등의 복합공정으로 제작하고 있으나, 그 제작 설비가 거대하고, 단단계 공정이라는 단점이 있다. 이에 KAERI에서는 RIST 벤처기업인 태광테크의 협조를 얻어 2007년부터 저온분사코팅을 이용하여, 주철용기 표면에 구리를 코팅하는 공정이 간결하고 큰 장치가 필요 없는 방법을 개발해 오고 있다[1]. 초기 연구에서는 저온분사코팅을 이용한 주철표면의 구리코팅으로 이중구조를 용이하게 이룰 수 있음을 확인하였으며, 또한 후속 연구를 통해 Cu 10 mm 두께의 소형 구리-주철 이중구조 용기[ $\varnothing 12$  cm x 길이 42 cm]를 제작하기도 하였다[2]. 이러한 소형 용기 제작의 성공을 바탕으로 KAERI에서는 중규모 처분용기를 저온분사코팅으로 제작을 계획하였다. 이를 위하여 기존의 저온분사코팅 설비의 대형화를 꾀하였으며, 이를 통해 최종적으로 중규모 저온분사코팅 구리-주철 용기를 제작하고자 하였다.

## 2. 본론

### 2.1 시험

#### 2.1.1 저온분사코팅 장치 대형화

저온분사코팅 공정을 대형화 하기 위해 저온분사 요소장치인 메인가스히터 및 구리 분말송급장치를 양산 시스템에 맞게 수정 및 제작하였다. 이를 통해 고속적층 시스템 개발을 진행하였고, 추가적인 제반 설비부분도 이에 맞게 다시 구축하였다. 분사노즐은 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 노즐 형상에 따른 분말 소재의 속도를 이론적으로 산출하였으며, 이게 맞게 신규노즐을 제작하고, 분사시스템에 적용하였다.

그리고 중규모 처분용기를 일정 속도로 균일하게 회전시키기 위해서 하중 1.0 ton, 직경  $\varnothing 450$  mm 및 길이 약 2 m의 용기를 회전시킬 수 있는 회전지그를 구축하였다(Fig. 1). 선반형 회전지그는 회전 최대 속도는 300 rpm으로 용기의 외경대비 선속도를 조정할 수 있었다. Fig. 1에 중규모 처분용기 제작을 위해 구축한 저온분사시스템이 설치된 사진을 나타내었다. 주철용기를 회전지그로 회전시키고, 6축 로봇에 장착된 분사 노즐을 좌우로 이동하며, 균일한 속도로 처분용기의 표면을 구리 분말로 코팅하며, 적층되지 않고 산란되는 구리 분말은 집진 덕트를 통해 공장외부에 설치된 집진기로 회수되도록 하였다. 그리고 저온분사코팅에 필요한 다량의 고압 질소 가스는 건물 외부에 설치된 액체 질소 기화설비를 설치하여 공급하였다(Fig. 2).

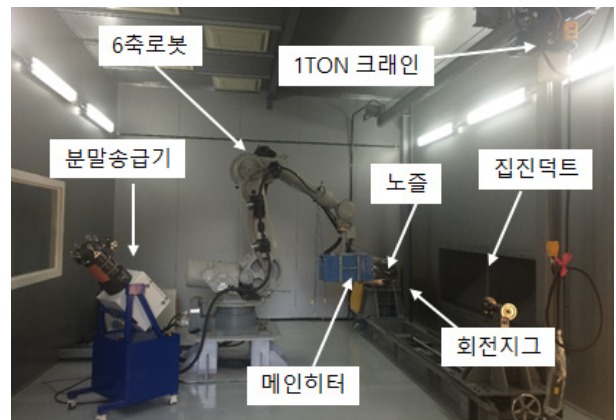


Fig. 1. Scale-up of cold spray coating system for the production of Cu-cast iron container.



Fig. 2. Copper dust collector(left) and N2 carrier gas supply system(right).

설치된 대형화 장치에 대해서 분말의 송급속도에 따른 코팅 공정특성을 평가한 결과, 시간당 14.5 kg/hr의 송급량 조건에서 코팅층의 적층 속도가 가장 우수하였으며, 단위시간으로 환산하여 11.8 kg/hr의 적층속도를 달성할 수 있었다.

### 2.1.2 대형화 분사기를 이용한 중규모 용기 제작1

길이가 600 mm 이고, 직경  $\varnothing 367$  mm인 STS 재질의 내부용기를 제작하였으며, 용기 상하부는 동판으로 제작하였다. 저온분사 코팅을 위해 고하중용 수직형 회전지그에 올려놓고 저온분사 장비를 설치하여 시험하였다. 이 실험은 중규모 저온분사 코팅 설비가 완전히 갖추어지기 전에 한 것으로서, 기존 분사시설에 대형화 분사 장비들을 적용하여 시험을 실시하였다. 저온분사 코팅시험은 편축으로 약 5 mm 두께의 구리코팅까지 진행하였다. Cu분말을 코팅한 STS 용기의 외경 사이즈는 초기  $\varnothing 367$  mm에서  $\varnothing 378$  mm로 측정되었다(Fig. 3).

그런데 이렇게 제작된 용기는 몇 가지 문제가 발생되었다. 마개 접합부의 불완전 밀착에 의한 접합부 적층 불량과 연속 공정 중단에 의한 후속 코팅층의 이탈이 발견되었다. 그리고 더욱 큰 문제는 내부 STS 용기가 얇아서(두께 4.0 mm), 코팅 용기가 시간이 지나면서, 하단부 구리층의 균열이 발생하였다. 이러한 문제는 내부용기의 정밀가공과 내부용기를 두터운 주철로 대체하면서 자연스럽게 해결되었다. 또한 연속 코팅 공정을 위해 대용량 액화질소 설비를 갖추어 코팅이 중간에 중단되지 않도록 하였다.

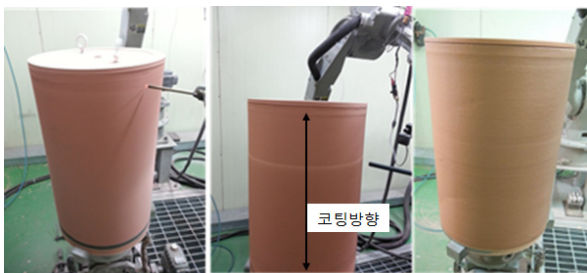


Fig. 3. Vertical type cold spray coating of Cu on mid-scale STS container.

### 2.1.3 대형화 설비를 이용한 중규모 용기 제작2

실제 처분용기 후보재료로 검토되고 있는 주철재 내부용기( $\varnothing 355$  mm x 길이 1,200 mm)를 먼저 제작하고, 구축된 저온분사코팅 대형화 설비를 이용하여 주철용기 외부표면에 구리를 저온분사코팅 하고자 하였다. 먼저 주철 용기표면을 #60 크기의 SiC 분말을 이용하여 표면처리를 하고, 회전지그를 180 rpm의 회전속도에서 저온분사코팅 하였다. 이렇게 SiC로 샌드블라스트 처리된 주철용기는 코팅층의 박리 및 기공현상 등이 나타나지 않았

으며, 연속 코팅 공정을 통해 Fig. 4와 같이 10mm 구리 두께의 중규모 처분용기의 제작이 가능하였다.



Fig. 4. Cold spray coating of Mid-scale cast iron container in the scale-up facility.

## 3. 결론

중규모 저온분사코팅 처분용기 개발을 위해 실시한 연구 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 3.1 저온분사코팅 설비의 대형화를 위해 메인가스 히터, 구리 분말송급장치, 및 분사노즐을 개선하였다. 그리고 중규모 용기의 장착이 가능한 대형 회전 지그를 설치하였다.
- 3.2 설치된 대형화 코팅장비는 예비 코팅시험을 통해 회전속도, 송급속도 및 공정 온도 등과 같은 최적 공정 변수들을 확립하였다.
- 3.3 규모를 확장한 대형화 저온분사코팅 설비를 이용하여 직경  $\varnothing 355$  mm, 길이 1.2 m의 주철용기 표면에 두께 10 mm 구리코팅 시제품을 제작하였다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 5. 참고문헌

- [1] M.S. Lee, et. al., KAERI/TR-3498/2007, "Development of Copper Canister through Cold Sprayed Coating Method", Kaeri Technical Report, 2007.
- [2] M.S. Lee, et. al., KAERI/TR-4458/2011, "Technical Analysis of Design & Manufacturing of a Disposal Canister for Deep Geologic Disposal", Kaeri Technical Report, 2011.