

아르곤 셀 내 설비 유지보수용 캥거루백 제작을 위한 개념적 고찰

강희석*, 노선호, 장영국, 이원경, 조일제

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*hskang1@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원에서는 사용후핵연료의 평화적 재활용을 위한 파이로프로세싱 기술 실현을 목적으로 파이로프로세싱의 모든 공정을 공학 규모의 일관공정으로 모의할 수 있는 시험시설인 PRIDE (PyRoProcess Integrated inactive DEmonstration facility)를 운영하고 있다. PRIDE 시설에서 수행하는 시험공정은 시험 특성상 불활성 분위기를 유지하여야 하며, 이 조건에 부합시키기 위해 밀폐된 셀 안에 고순도의 아르곤 가스를 채워서 사용한다. 셀 내부에선 오염물질의 확산을 방지하기 위하여 항상 일정한 부압을 유지하여야 한다. 셀 내부의 설비 유지관리 또는 공정장치에 대한 물리적 취급 필요시 아르곤 가스 분위기의 셀 내부에 작업자가 직접 접근하는 것은 불가능하므로 이제까지 원격취급 기술을 도입하여 처리해오고 있다. 현재까지의 원격취급 기술은 노후 시설 해체, 사용 후 연료 및 방사성폐기물 관리, 원전 노심 유지보수 등 원자력 분야에 이용되는 기술로 인정받고 있는 게 사실이며, PRIDE 시설의 아르곤 셀 내 여러 형태의 작업도 역시 MSM(Master-Slave Manipulator) 또는 BDSM(Bridge transported Dual arm Servo Manipulator) 등의 원격조작기에 의존하고 있다. 하지만 이들 원격 조작기들은 거리 및 접근각도, 그리고 정밀한 조작성의 제한이 단점으로 존재한다. 본 연구에서는 이들 원격취급기술의 제한을 극복하기 위하여 Fig. 1에 보인 바와 같이 아르곤 분위기의 셀 내부에 작업자가 직접 접근할 수 있는 캥거루백의 제작을 구상하였다. 이의 제작 및 작업 환경에서 중요하게 고려되어야 할 몇 가지 항목을 도출하고 관련 자료를 조사하여 정리하였다.

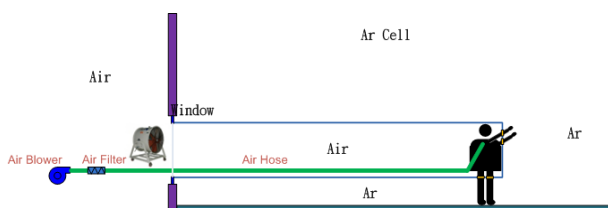


Fig. 1. Basic concept of the kangaroo bag.

2. 본론

2.1 캥거루백 제작 시 고려사항

다음의 재료들에 대한 재질 및 사용기구 사양이 결정되어야 한다. 캥거루백 본체, 작업 부츠, 작업용 장갑, 작업자의 호흡 및 김서림 방지를 위한 에어 블로어, 에어 블로어 후단에 설치될 에어 필터, 에어 호스 등이다. 캥거루백에 접합될 여러 부품들의 접합방식도 결정되어야 한다. 캥거루백 설치시 발생하는 접합 부위는 다음의 것들이 우선적으로 고려된다. 아르곤셀 윈도우-캥거루백, 캥거루백-부츠, 캥거루백-작업용 장갑 등이다.

2.1.1 캥거루백 재질

캥거루백의 재질 요건으로서는 비닐처럼 완전히 접힌 상태에서 완전히 펼친 상태로 취급하기에 용이한 특성을 지녀야 한다. 또한 작업자의 시야 확보를 위한 빛의 투과성이 좋아야 하고, 아르곤 분위기에서 작업자가 공기를 호흡할 수 있는 최소한의 구역이므로 열악한 상황에서도 잘 찢어지지 않아서 작업자가 아르곤 분위기에 절대로 노출되지 않도록 해야 한다. 작업환경에는 여러 가지 실험 장비 및 각종 부품, 공구 등이 산재해 있으므로 작업환경 내 날카로운 돌출부분에 접촉되어 손상될 위험이 매우 크다. 따라서 캥거루백의 물리적 강도는 상당히 중요한 요소로 고려되어야 한다. 단층 필름(mono layer film)의 강도를 강화시키기 위해 여러겹(multi layer film)으로 겹쳐 제조하는 방법을 흔히 사용하는데 Fig. 2에 다층으로 제조된 다중 필름과 단층 필름의 인장강도 비교시험 결과를 인용하였다.

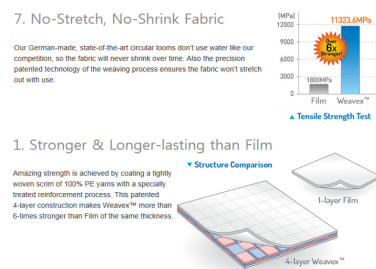


Fig. 2. Compared to the tensile strength of the mono layer and reinforced film.

Fig에서 보이는 결과는 제조방법에 따라 인장강도가 6배 이상으로 강화되는 효과를 보이고 있다. 따라서 켈거루백 제작 시 인장강도를 포함한 물리적 강도가 강한 재질의 구입이 가능함을 확인하였다. 다중필름의 제조 방법은 강도 증가라는 면에서 장점으로 작용되지만 빛의 투과성이 감소된다는 단점으로 작용될 수도 있다. 따라서 이의 단점을 보완한 직조방법이 요구된다. Fig. 3에 인용된 결과에선 상용화된 특정 제품의 다중필름 제조방법에서도 빛의 투과성이 그리 감소되지 않음을 보이고 있어 켈거루백 제작 시 재료 선정의 선택폭을 넓게 하고 있다.



Fig. 3. Compared to the light transmission rate of the mono layer and reinforced film.

2.1.2 작업용 장갑 및 부츠의 접합

Fig. 1의 개념도에서 보인 바와 같이 켈거루백 본체에 작업용 장갑 및 부츠를 접합해야 한다. 공기와 아르곤 분위기의 경계선상에 놓여져 있는 부위이므로 작업자의 안전을 위해서 접합 부위의 밀봉이 매우 중요하다. Fig. 4에 작업용 장갑 및 부츠의 여러 접합 방법 중 한 예를 나타내었다. Fig에서 보이는 바와 같이 견고한 관통을 켈거루백 본체에 고정된 상태에서 작업용 장갑과 부츠를 관통에 추가로 끼우고 그로밋으로 고정시키는 방법도 이미 여러 산업분야에서 사용되고 있는 유용한 접합 방법으로 고려되었다.



Fig. 4. Connection of the glove and the boot into the main body.

2.2 켈거루백 작업환경

최초 작업자가 아르곤셀 외부에서 내부로 진입 시 방법 또는 절차를 고려해야 한다. 프라이드 시설의

아르곤셀 윈도우 크기는 가로 109 x 세로 88 cm이며, 바닥에서 윈도우 하단까지 높이는 115 cm이다. 따라서 이 조건을 고려하여 최초 켈거루백이 아르곤셀 외부에 놓여져 있는 상태에서 셀 내부로 진입하는 과정이 정밀하게 설계되어야 한다. 또한 작업자가 켈거루백을 이용하여 셀 내부에서 작업 진행 시 작업자의 호흡, 작업자의 시야 확보를 위한 작업자 안면부의 김서림 방지 대책, 켈거루백의 shape이 유지되는 방법, 켈거루백/아르곤셀 압력유지 방법 등이 모색되어야 할 것이다. 그리고 마지막으로 작업자가 켈거루백을 이용하여 셀 내부에서 작업을 완료한 후 셀 밖으로 철수하는 과정에서 철수 방법과 더불어 켈거루백의 안전한 회수 방법도 함께 고민되어야 한다.

2.2.1 기타 고려 사항

위에서 열거한 고려 사항 외에도 아르곤셀 윈도우-켈거루백 간의 접합 방법이나 작업자의 안전을 도모하기 위한 공기 공급 시스템, 켈거루백의 터널 형태 유지를 위한 블로어 팬 등 여러 부품들에 대한 면밀한 고려가 포함되어져야 하지만 향후의 추가적인 검토와 실험에서 체계적으로 다루려 한다.

3. 결론

본 연구에서는 아르곤 분위기에서 운영되는 아르곤 셀 내부에서 원격조작기 단점을 극복할 수 있는 켈거루백의 제작을 고려하여 중요한 몇 가지 항목을 우선적으로 도출하고 관련자료를 정리하여 추진 방향을 개괄적으로 제시하였다. 향후에는 상용의 몇 가지 재료들을 사용하여 모의 제작된 켈거루백을 가상 운영환경에서 작업자의 안전을 고려한 여러 관점에서 충분히 시험함으로써 켈거루백의 제작 및 활용 가능성 확인, 그리고 개선사항 도출 등을 목적으로 수행할 예정이다. 향후 불활성가스 분위기에 사람이 직접 접근하여 셀 내 설비의 유지보수 작업에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

- [1] 홍동희, 유길성, 정원명, 이은표, 조일제, 권기찬, 이원경, 구정회, "아르곤셀 설계방안", 한국방사성폐기물학회 2008년도 추계학술대회, 316-317, 2008.
- [2] 유승남, 김성현, "파이로 공정장치의 원격 취급성에 관한 실험적 연구", 한국정밀공학회지, 제 29권 5호, 524-530, 2012.