

# 아르곤셀 기반 원격조작 시스템의 방호를 위한 부팅 모듈 설계에 관한 연구

## Design of Booting for the Remote Handling System of an Ar Cell Facility

\*#유승남<sup>1</sup>, 김상희<sup>2</sup>, 안일<sup>3</sup>, 윤주영<sup>3</sup>, 김기호<sup>1</sup>, 조일제<sup>1</sup>

\*S. N. Yu(snyu@kaeri.re.kr)<sup>1</sup>, S. H. Kim<sup>2</sup>, I. Ahn<sup>3</sup>, J.Y.Yoon<sup>3</sup>, K.H.Kim<sup>1</sup>, I.J.Cho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국원자력연구원, <sup>2</sup>어울림이엔지(주), <sup>3</sup>우양신소재(주)

Key words : Booting, Remote Handling System, Telescopic Tube Mechanism, Bellows, Poly Urethane

### 1. 서론

원격취급 기술은 노후 시설 해체, 사용후 연료 및 방사성폐기물 관리, 원전 노심 유지보수 등 원자력 분야뿐만 아니라 극한 환경 (해양, 우주, 국방 등) 다양한 분야에 크게 기여할 수 있는 기술로 인정받고 있으며, 그 중에서도 핵심기술은 조작기의 원격 운전 및 유지 보수와 밀접하게 연관되어 있다. 본 연구에서는 사용후 연료의 처리방식의 일종인 파이로 프로세스의 공학규모 일관공정 시설로 구성된 PRIDE (PyRoprocess Integrated Inactive Demonstration) 셀 공간 내에서 다양한 공정장치의 운전 보조 및 시스템 유지 보수를 수행할 수 있는 원격조작기 시스템[1]의 방호용 부팅의 설계사례를 소개하고자 한다. 방호용 부팅은 PRIDE 시설 아르곤셀 (Ar Cell)에서 운용되는 천정이동 양팔서보조작기의 외관을 염증기(Fume)로부터 보호하기 위한 커버로서 세부 설계 범위는 천정이동장치의 텔레스코픽 튜브와 양팔 서보조작기에 체결되는 방호용 커버를 포함한다.

### 2. 방호용 부팅의 설계 및 제작

#### 2.1 설계 주안점

PRIDE 실증용 천정이동 장치의 텔레스코픽 튜브용 부팅은 지면과 수직방향으로 신장 및 수축하는 텔레스코픽 튜브 모듈의 전체를 차폐할 수 있는 신축성 합성수지로 구성하였으며, 튜브와의 연결 및 결합성을 고려한 어댑터가 일정간격으로 적용되었다. 양팔 서보조작기용 부팅은 6자유도를 가지는 서보조작기에 대해서 텔레스코픽 튜브의 최하단과 연결되는 회전면 연결부(Shoulder부)로부터 서보조작기 끝단의 그리퍼와 연결되는 손목 부까지를 일체형으로 차폐할 수 있는 신축성 합성수지로 구성하였으며, 텔레스코픽 튜브와 동일하

게 조작기와의 연결 및 결합성을 고려한 어댑터가 일정간격으로 적용되었다.

#### 2.2 소재선정 및 용착

부팅의 소재는 신축성 및 외부의 fume에 대한 방호성능을 고려하여 폴리우레탄(PU) 계열의 TPU (Thermal Polyurethane)을 사용하여 제작하였으며 TPU를 통한 벨로우즈 형상 조형 및 파트 간 결합을 위하여 열 용착 방식으로 제작하였다. TPU를 이용하여 부팅을 제작하기 위하여 본 연구에서는 3D 모델링으로부터 변환된 2D 도면을 이용하여 각각의 벨로우즈 형상을 레이저로 절단하여 제작하였다. 절단된 PU sheet를 초음파 용착 장비 혹은 고주파 용착 장비를 이용하여 절단면 내측, 외측 가장자리를 용착시킨 후, 벨로우즈 경계면의 접착도 및 기밀성, 단면방향의 접착 균질도 등을 최종 점검하였다. 한편, 방호커버의 두께는 외부로부터의 날카로운 물질로 인한 손상을 최소화할 수 있도록 양팔서보조작기 상에서, 외부 작업 대상물과의 빈번한 물리적 접촉이 예상되는 지점에 대해서 보강재를 적용하였다. 보강재는 폴리에스터 직물(PET)에 가소제를 첨가한 폴리염화비닐(PVC)로 코팅한 타포린 소재를 사용하며, 고주파 압착방식으로 접합하였다. PE와 PU 간의 접합 시에는 Seam sealing 방식을 이용하였다.

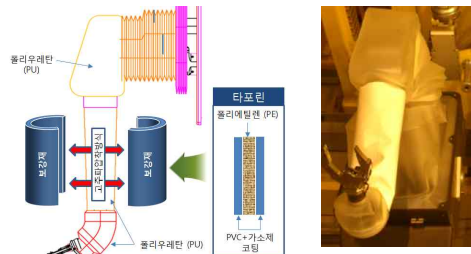


Fig. 1 Material Types of the Developed Booting Module

### 2.3 양팔 서보조작기용 부팅의 설계 및 제작

조작기용 부팅의 경우에는 Arm의 고자유도를 고려하여 다축 관절부에는 벨로우즈 형상을 적용하였다. 전체적인 형상은 일체형으로 설계되어 그리퍼 모듈 및 카메라모듈의 분리만으로 손목관절로 부팅을 통과시켜 전체 Arm에 대한 체결이 가능하도록 하였다(Fig. 2 좌측). 한편, 시스템과 결합되는 부팅의 말단부인 결합 프레임은 별도의 차폐체를 적용하여 방호성을 유지하였으며, 결합부에 볼플런저(Ball Plunger)를 적용하여 부팅 모듈의 탈부착 편의성을 향상시켰다(Fig. 2 우측).

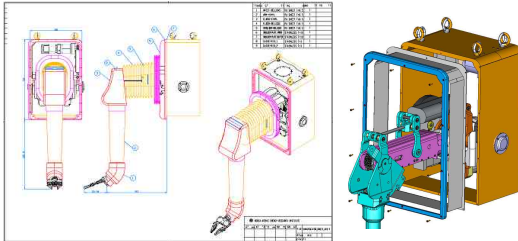


Fig. 2 A Designed Booting and Frame Modules for Manipulators

또한 손목관절의 경우에도 높은 관절자유도를 가지므로, 기존의 벨로우즈 형상을 개선하여 벨로우즈 및 플랫 형상을 조합한 손목관절용 부팅을 고안하였다. 이러한 부팅은 손목관절의 회전 운동시 일부 부팅 지점에 응력이 집중되는 현상을 방지하여 부팅의 내구성을 향상시킬 수 있었다(Fig. 4 좌측).

### 2.4 텔레스코픽 튜브용 부팅의 설계 및 제작

텔레스코픽 튜브용 부팅의 경우, 2 m이상의 스트로크를 가지는 대구경 텔레스코픽 튜브를 커버하여야 하므로, 다단의 벨로우즈를 적용함과 동시에 벨로우즈 내부에 형상기억 스프링을 적용하여 부팅의 최대 신장 및 최소 수축 시에 벨로우즈의 형상왜곡 및 처짐을 방지하였다. (Fig. 3)



Fig. 3 Developed Booting Modules for a Telescopic System and an Integrated System

## 3. 시스템 적용 및 동작 시험

전술한 과정을 통해 설계 및 제작된 부팅 모듈을 실제 시스템에 결합하여, 각 시스템의 동작영역 내에서 적정 성능을 발휘하는지의 여부를 테스트하였다. Fig. 4는 제작된 손목관절용 부팅의 비틀림 실험을 도시하고 있으며, 그림에서와 같이 다양한 손목 자세 및 과도한 비틀림 이후에도 부팅 본래의 형상을 복원하는 것을 확인하였다.

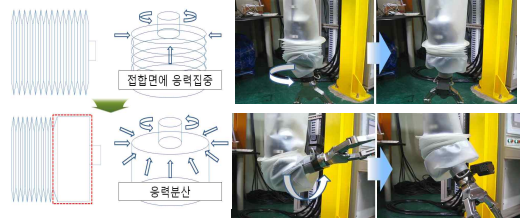


Fig. 4 Modification of Bellows Shape for Wrist Joints

Fig. 5의 좌측 'A'는 과 조작기 간의 간섭을 방지하기 위한 부팅의 형상유지 모듈 중 하나를 도시한 것이며, 관절동작범위가 큰 Elbow 관절 상단 및 Shoulder 관절 인접부의 벨로우즈에 각각 적용하였다. Fig. 5의 우측은 이러한 부팅형상유지 모듈을 적용하여 조작기 Shoulder부의 과도한 동작을 취한 모습을 도시하고 있으며, 그림에서와 같이 부팅의 자중에 의한 벨로우즈 처짐 및 조작기와 벨로우즈 간의 간섭현상을 해소할 수 있음을 확인하였다.



Fig. 5 A Booting Support Module for Shoulder Joints

## 4. 결론

본 논문에서는 극한 환경에서 운영되는 원격조작기 시스템을 위한 방호 모듈의 제작사례를 개괄적으로 제시하였다. 향후에는 제작된 모듈을 실제 시설 운영환경에서 장시간 테스트함으로써 신뢰성 평가 및 개선사항 도출을 수행할 예정이다.

### 참고문헌

1. 조일제, 홍동희, 이원경, 한종희, 이한수, "공학규모 파이프라인공정 시험시설 구축," 한국방사성폐기물학회 춘계학술대회, 65-66, 2012.