

## PRIDE 원격취급 서보조작기 기구부 성능 개선

이중광, 박병석, 이효직, 유승남, 김기호, 김호동  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
 leeik@kaeri.re.kr

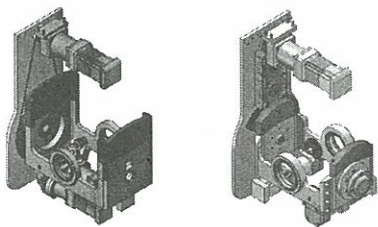
### 1. 서론

Pyroprocess 기술을 종합적으로 평가하기 위한 공학규모 파이프 일관공정 연구시설인 PRIDE 시설이 구축되고 있다. PRIDE 시설은 완전 기밀형 아르곤 셀로 작업자의 직접적인 접근이 불가능하므로 모든 공정운전 및 장치 유지보수 작업들을 마스터-슬레이브 원격조작에 의해 수행하여야 한다. PRIDE 시설의 개념설계 단계에서 공정장치의 유지보수를 위해 단위 모듈의 최대 중량을 25 kgf로 설정하고 복잡한 조작이 가능하도록 양팔형 서보조작기 프로토타입을 개발하였다[1]. 프로토타입 조작기의 운전시험 과정에서 도출된 문제점들을 해결하는 개량 설계를 통해 서보조작기의 완성도를 높였으며 시운전 검증을 거쳐 급전 말에 PRIDE 시설에 설치할 예정이다. 본 논문에서는 양팔 서보조작기의 개량 과정에서 수행한 기구 메커니즘 개량 및 내구성 개선에 대한 주요 내용들을 요약하였다.

### 2. 서보조작기 기구부 개량 설계

#### 2.1 상부팔 피치 구동부

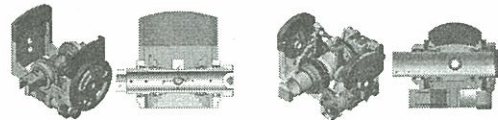
상부팔 피치(pitch) 운동(1축)시 최대 팔길이 약 1.6 m에서 25 kgf의 하중을 정적으로 받는 경우 약 400 Nm의 부하 토크가 발생되며 가속시 수배 더 증가하게 된다. 이러한 큰 부하가 작용하는 1축 동력전달 방식을 와이어-폴리 구조에서 기어(슬레이브)/벨트(마스터) 구조로 개선하여 와이어 탄성, 변형, 손상 등의 문제점을 근본적으로 차단하여 내구성을 크게 향상시켰다.



(a) prototype (b) improved design  
 Fig. 1. Shoulder pitch motion joint

#### 2.2 차동 구동부

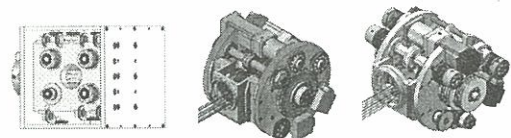
상부팔 롤(roll) 및 하부팔 피치 운동은 차동방식(differential)의 동력전달로 두 개의 모터로 동시에 두 축을 제어한다. 개량형에서는 일체형 설계/제작으로 결합부 조립시 발생하는 오차의 영향을 최소화하였으며, 축 취약부를 테이퍼 형으로 보강하였다. 또한 1축과 마찬가지로 프로토타입에 적용된 폴리-와이어 구조를 기어(슬레이브)/벨트(마스터) 구조로 개선하여 내고장성을 증대시켰다.



(a) prototype (b) improved design  
 Fig. 2. Differential drive joint

#### 2.3 구동부 모듈

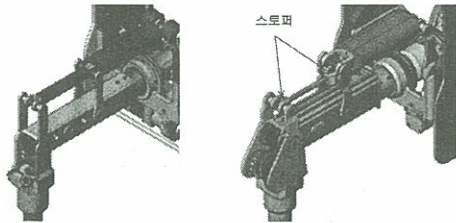
구동부 모듈은 그리퍼의 4자유도 운동(roll, pitch, yaw, grip)의 동력을 7줄의 와이어 케이블로 전달하는 4개의 서보모터가 모듈 형태로 구성된 것으로, 상부팔 피치 운동에 대한 균형질량의 역할도 담당한다. 설치 공간을 최소화하고 조립/분해성을 향상시키기 위해 곡률반경이 큰 폴리를 중앙에 배치하고 그 주위에 원주방향으로 구동부를 배치하되 이중 축 방식으로 폴리와 구동부를 연결하는 새로운 구조를 적용하였다. 또한 다수의 아이들 폴리를 사용하는 프로토타입의 경우 공간 제약으로 동력전달 케이블의 곡률반경을 크게 확보하지 못한 반면에 개량형에서는 중앙 폴리에서 큰 곡률반경을 확보할 수 있었다. 이에 따라 절단 강도를 90% 이상 추가 확보하고, 케이블 단면적에 비례하는 케이블 강성을 약 80% 증대시켰다.



(a) prototype (b) improved slave/master design  
 Fig. 3. Drive module

### 2.4 링크 암(link arm)

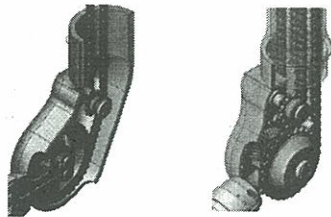
상부팔(upper arm)은 쇼울더 조인트와 엘보우 조인트를 연결하는 링크로 굽힘 저항성을 키우기 위해 rib로 보강하였으며, shoulder joint block에 부착되는 결합부 보강을 통해 강성 및 구조 안전성을 증대시켰다. 또한 하부팔 피치 운동을 위한 링크 구조를 기계적 스토퍼로 활용함으로써 동작 영역을 안정적으로 제한하였다. 또한 balancing weight를 프로토타입의 원형 대신에 타원 형상으로 변경하여 공간대비 무게 효율을 증대시켰으며, 동력전달 풀리와 베어링 용량을 키움으로써 와이어 내구성 및 설치 안정성을 향상시켰다.



(a) prototype (b) improved design  
Fig. 4. Upper arm link

### 2.5 손목 조인트

손목 조인트는 그리퍼의 2자유도 운동(roll 및 pitch)을 위한 차동방식 조인트로서 베벨기어 측면에 스프라켓을 설치하고 이를 구동풀리에서 출발하는 와이어와 연결된 체인을 통해 동작시키게 된다. 체인의 허용장력을 프로토타입 대비 약 3.4 배 증가시켜 내구 안전성을 추가 확보하였으며, 아이들 스프라켓 지지부를 기존 볼 베어링에서 니들베어링으로 변경하여 안정성을 증대시켰다.



(a) prototype (b) improved design  
Fig. 5. Wrist joint

### 3. 서보조작기 개량 제작

개량 설계된 3D 모델에 대해 취급물 하중, 장치와의 접촉 및 외부 충돌 등 다양한 상황에서 동력전달계 및 기구부의 충분한 내구성을 확보하기 위해 다물체 동역학 및 구조물 유연체 해석 모델을

개발하여 예상 가능한 운전 조건에서 구조 동해석을 수행하였다. 또한 조작기 링크 구조와 유사한 1축 실험장치를 구성하고 최대 시험 부하의 60%인 15 kgf의 관절 연속운동 내구시험을 통해 케이블 동력전달계의 운전 안전성을 확보하였다.

Fig. 6은 구조/동해석 및 내구성 검증 시험 결과를 반영하고, 무게 균형 분석 등을 추가로 수행하여 제작된 개량형 마스터-슬레이브 양팔 서보조작기를 보여준다. 현재 공정장치 원격취급성 검증 목업에 설치하여 제어시스템과 연결하여 시운전을 수행하면서 운전 성능평가를 진행하고 있다.

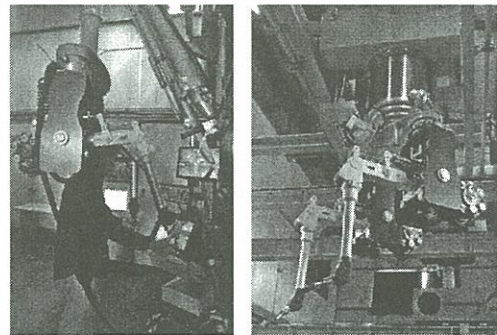


Fig. 6. Master-slave dual arm servo-manipulator

### 4. 결론

본 논문에서는 PRIDE 공정장치의 원격 운전 및 유지보수를 위해 제작된 마스터-슬레이브 양팔 서보조작기 프로토타입의 전반적인 개량 설계에 대해 다뤘다. 개량 설계, 구조동해석 및 축소 모델에 대한 내구성 검증 시험을 통해 개량된 양팔 서보조작기의 충분한 내구성을 확보하였으며 시운전 검증을 거쳐 금년도 말에 PRIDE 시설에 설치할 예정이다.

### 5. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

### 6. 참고문헌

- [1] 이종광, 박병석, 윤광호, 이효직, 김기호, PRIDE 시설 원격 운전/유지보수용 양팔 서보조작기 제작, 한국방사성폐기물학회 춘계 학술발표회 논문요약집, pp.261-262, 2009.