

# 원자로 압력용기 해체용 유압 매니플레이터 개발

신호철\*, 김창희, 서용철, 김명호, 최병선, 최종원  
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111  
\*smarthc@kaeri.re.kr

## 1. 서론

국내에 원자력 발전소를 해체를 위한 준비의 일환으로 원자로 압력용기 해체용 유압 매니플레이터가 개발되고 있다. 선행 연구[2]에서 고방사화 해체 대상물인 원자로 압력용기의 절단, 이송 등을 고려하여 고하중 취급이 가능한 고하중 매니플레이터를 설계하였다.

본 논문에서는 설계된 고하중 매니플레이터를 유압 모터와 정밀 감속기를 적용하여 제작하고 정밀 유압 제어가 가능하도록 유압 서보밸브를 사용하여 유압 제어 시스템을 구축하고 다축 유압 매니플레이터 제어기를 개발하였다.

## 2. 본론

### 2.1 유압 매니플레이터

선행연구에서 설계된 고하중 매니플레이터는 길이 2.984 m, 가반하중 250 kg, 자체중량 784 kg의 6자유도 로봇 팔이다. 매니플레이터는 5개의 회전관절과 1개의 병진관절로 이루어져 있고 수밀 구조로 설계되었다. 고하중을 취급하기 위하여 유압 모터를 적용하였으며, 정밀한 위치제어를 수행하기 위하여 각 회전관절에 감속비 100:1의 정밀 감속기를 사용하였다. 따라서 연속회전이 가능한 유압모터를 적용하였다. 1, 3, 4 축은 Danfoss OMP80 유압모터를 적용하고, 상대적으로 작은 파워가 요구되는 2, 5, 6 축은 Danfoss OMM 40 유압모터를 적용하였다. Fig. 1은 설계된 유압 매니플레이터의 모습을 보여준다.



Fig. 1. High payload manipulator.

무부하 상태에서 유압 배선 등을 고려하였을 때, 각축의 동작범위와 최고속도는 Table 1과 같다.

Table 1. Moving Range and Speed

Axis	Range(deg)	Speed(deg/sec)
1	-90~90	30
2	0~400(mm)	50(mm/sec)
3	-90~60	30
4	-90~60	30
5	-90~60	20
6	-170~170	20

### 2.2 매니플레이터 유압 시스템

매니플레이터 구동을 위한 유압 회로는 하나의 매니폴드 내에 서보밸브를 집합시킨 직구동 방식으로 개발하였으며, 서보밸브는 소형으로 유압시스템의 경량화가 가능하고 정밀 제어가 가능한 노즐 플리퍼 타입의 서보밸브를 적용하였다. 유압모터 OMM 40 및 OMP 80의 최대 유량과 압력강하는 각각 20 lpm/90 bar와 60 lpm/140 bar 이며, 따라서 서보 밸브는 각각 유량이 20 lpm과 60 lpm인 Star 454와 Star 456를 선정하였다. 서보 밸브에서 압력강하는 70 bar이다. 매니플레이터가 최대 토크 및 최대 속도로 작동할 때와 전체 시스템의 크기를 고려하여 210 bar에서 120 lpm을 토출할 수 있는 유압 공급 장치를 제작하였다.

### 2.3 제어 시스템

원자로 해체용 매니플레이터는 고방사선 환경에서 사용되기 때문에 매니플레이터 내부에 방사선에 강한 부품을 사용해야한다. 따라서 각 축의 위치 검출을 위해서 내방사선 특성이 뛰어난 레졸버를 사용하였다. 높은 위치 제어성능을 유지하면서 항상 관절의 절대 위치를 파악할 수 있도록 입력축과 출력축 모두에 레졸버를 장착하였다.

높은 정밀도의 위치를 검출할 수 있도록 16bit 레

졸버 보드를 개발하였으며, 제어 시스템을 소형화하기 위하여 축별 유압 서보밸브를 제어하는 제어기는 초소형 제어기를 사용하였다. 상위제어기(PC)와는 CAN통신으로 통신하며 6축을 제어한다. Fig. 2는 제어 신호 흐름도를 나타낸다.

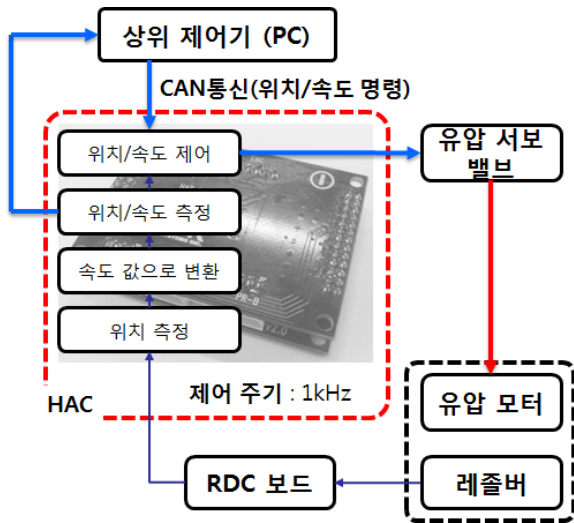


Fig. 2. Control signal flow.

매니플레이터를 제어하는 제어시스템은 주제어기, 원격제어기로 구성된다. 주제어기는 내진 기능의 산업용 컴퓨터와 고해상도의 대형 모니터로 구성되며 GUI 프로그램을 통하여 매니플레이터를 구동한다. 원격제어기는 6개의 서보밸브 제어기와 12개의 레졸버 보드, 출력축 위치 데이터 취합 보드 등을 포함하고 있으며 주제어기로부터 명령을 전달받아 서보밸브를 제어하고 관절위치 데이터를 주제어기로 전송한다. Fig. 3 개발된 고하중 유압 매니플레이터의 제어 시스템 구성도를 나타낸다.

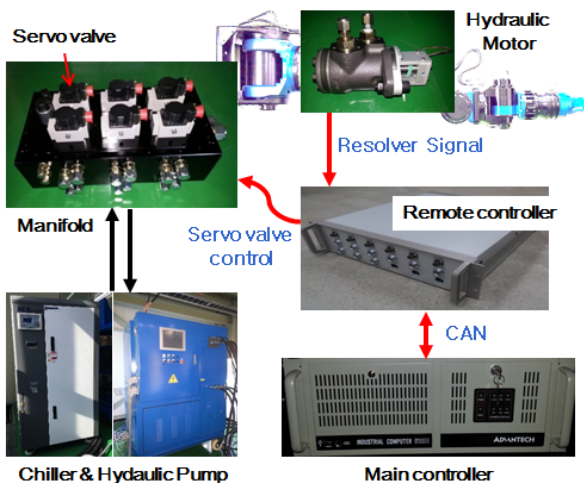


Fig. 3. Control system layout.

개발된 매니플레이터의 제어를 위해 로봇 모델링

과 유압 서보 시스템을 모델링하면 다음과 같이 서보밸브의 입력전류에 따른 매니플레이터의 상태 방정식을 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \dot{q} \\ P_L \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 0 & I & 0 \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C & 0 \\ 0 & -\frac{4\beta_e}{V_t}D_mN^{-1} & -\frac{4\beta_e}{V_t}K_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ \dot{q} \\ P_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \\ \frac{4\beta_e}{V_t}K_qK_v \end{bmatrix} i + \begin{bmatrix} 0 \\ -Q \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -d \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

상태 방정식 (1)을 기반으로 중력보상 제어를 포함하는 슬라이딩 모드 제어기를 개발하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 각 축별로 구동 실험을 수행하였다.

### 3. 결론

본 논문에서는 고방사화 해체 대상물용 고하중 매니플레이터의 제작과 유압 공급 시스템 및 유압 제어 시스템을 개발하였다. 방사선에 강건하고, 고하중 취급에도 위치 정밀도를 확보할 수 있도록 매니플레이터를 제작하였으며, 최대 토크와 최대 속도를 고려하여 유압 공급 시스템을 구축하였다. 소형 경량화를 위하여 소형 서보밸브와 제어 유닛을 사용하고, 레졸버 보드, 데이터 취합보드를 개발하여 주제어기와 함께 고하중 유압 매니플레이터 제어 시스템을 구성하였다. 개발된 유압 매니플레이터 시스템과 상태 모델을 기반으로 강건한 제어기를 개발하여 정밀 위치제어를 수행하고자한다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 시행하는 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

### 5. 참고문헌

- [1] 김창희, 서용칠, 이성욱, 최병선, 문제권, "원자로 압력용기 해체 작업용 고하중 매니플레이터 설계" 한국방사성폐기물학회 2015 춘계학술발표회 논문요약집, 315-316, 5.27~29, 2015, 송도.