작업영역을 고려한 원전 해체용 유압 매니퓰레이터 설계

신호철*, 김창회, 서용칠, 최병선, 문제권
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*smarthc@kaeri.re.kr

1. 서론

국내에 원자력 발전소를 도입하기 시작한지 40년이 가까이 되어가므로 일부 원전들은 수명이 다해 해체를 해야 한다. 원전 해체 시 고방사화로 작업자의 접근이 용이하지 않은 대상물의 해체에는 원격 작업이 필수적이다.

고방사화 해체 대상물의 절단, 이송 등을 고려할 때, 매니퓰레이터 고하중 취급이 가능해야 한다[1]. 따라서 선행 연구[2]에서 가반하중 250kg의 유압 매니퓰레이터-I을 설계하였다. 매니퓰레이터-I의 작업영역을 확장을 위하여 병진운동 관절을 포함하였으며, 가반하중을 고려하여 병진운동 관절을 어깨(2번)축으 로 설계하였다. 그러나 2번 축이 병진운동 관절이 됨으로써 상하의 작업공간은 좁아진다. 본 논문에서는 가반하중을 유지하면서 상하 작업영역을 확장하기 위하여 2번 축을 유압실린더를 이용한 회전관절로 수정/설계하였다.

2. 본론

2.1 고하중 매니퓰레이터-I의 작업영역

선행연구에서 설계된 고하중 매니퓰레이터-I은 작업영역 확장을 위하여 병진운동 관절을 포함하여 설계되었다. 2.6 m 이상의 길이에서 250 kg의 가반하중을 갖기 위하여 매니퓰레이터의 어깨관절이 상하로 움직이는 회전 관절인 경우 약 15000 Nm의 토크가 필요하며, 이에 해당하는 회전 작동기는 무게와 부피 등으로 인하여 실제 적용하는데 어려움이 있다. 따라서 병진운동 관절을 어깨(2번)축으로 하는 R-T-4R 구조의 매니퓰레이터를 설계하였다. Fig. 1은 설계된 고하중 매니퓰레이터-I의 모습을 보여준다.

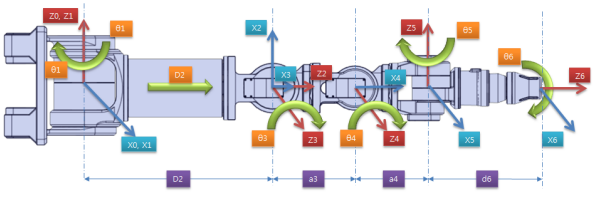

Fig. 1. High payload manipulator-I design.

Fig. 2는 설계된 고하중 매니퓰레이터-I의 작업영역을 나타낸다. 그림으로부터 작업영역의 상하 높이가 -2 ~ 2 m인 것을 알 수 있다.

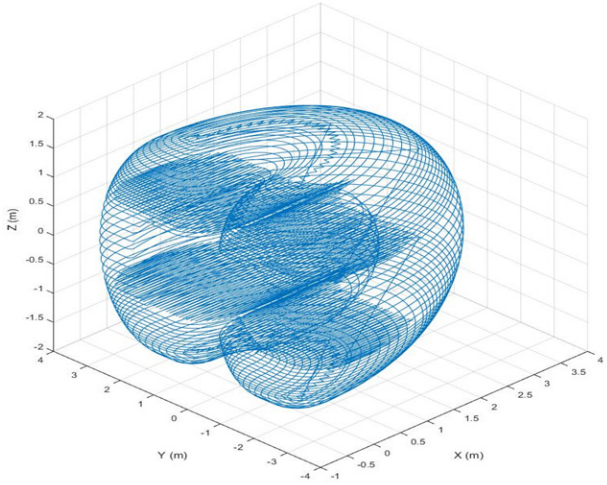

Fig. 2. Work space of manipulator-I.

2.2 유압실린더를 이용한 회전관절 설계

2번 축을 회전 관절로, 3번 축을 병진 관절로 교체하여 2R-T-3R 구조로 설계한 고하중 매니퓰레이터-II의 모습은 Fig. 3과 같다.

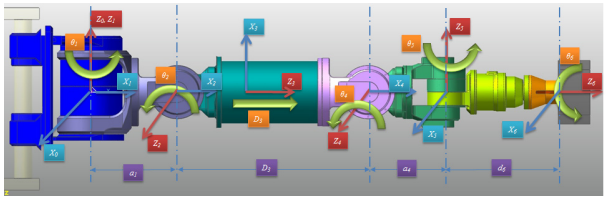

Fig. 3. Proposed manipulator-II design.

유압 실린더를 이용하여 회전관절을 만들면 무게와 부피를 작게 유지하면서 15000 Nm의 토크를 얻을 수 있다. 이 때, 실린더 링크의 설계에 따라 회전관절의 운동범위가 변하며, 회전관절 위치에 따라 동일한 토크를 내는데 필요한 실린더의 추력이 변한다. 실린더 링크의 개략도는 Fig. 4와 같다.

그림에서 r1은 좌표계의 회전 설정에 따라 변하므로 영(zero)으로 두고 설계 파라미터를 구한 후, 필요한 운동범위에 따라 좌표계의 회전을 설정하면 r1의 값을 구할 수 있다.

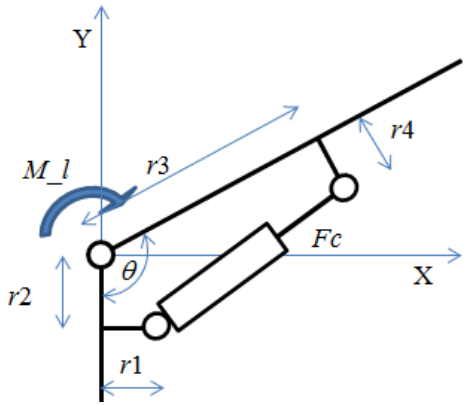

Fig. 4. Schematic diagram of the joint with hydraulic cylinder.

Fig. 4로부터 각도에 따른 요구토크 M_l을 만족하는 실린더의 추력 F_c은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$F_c = \frac{M_l}{r_3 \cos\alpha + r_4 \sin\alpha} \quad (1)$$

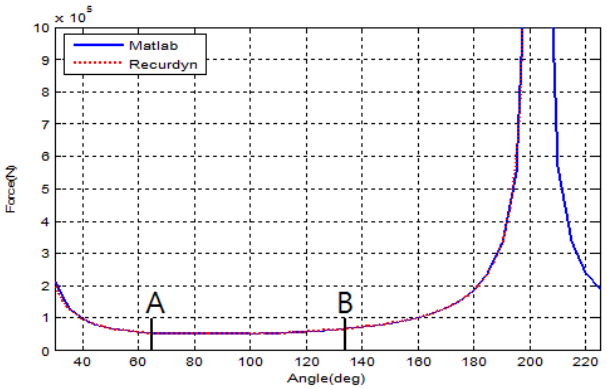

Fig. 5. Thrust force for the joint angle.

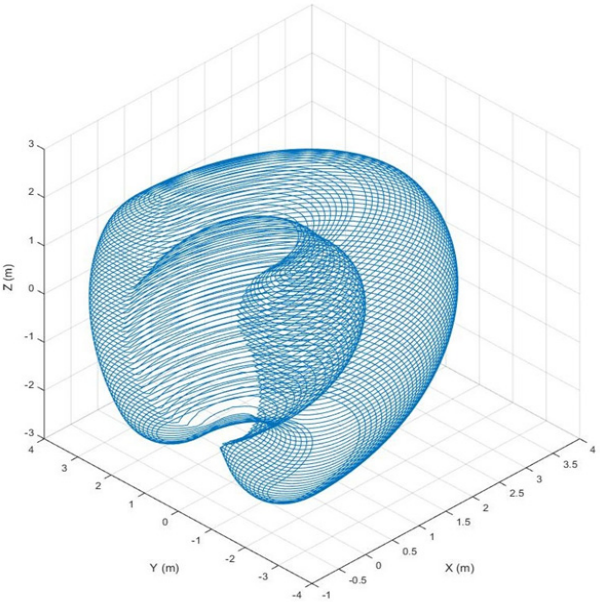

Fig. 6. Work space of manipulator-II.

여기서 α는 추력 F_c와 링크4 사이각을 나타낸다.

매니퓰레이터의 크기를 고려하여 r_1=0 m, r_2=0.3 m, r_3=0.6 m, r_4=0.25 m 로 설계하였을 때 각도에 따른 15,000 Nm의 토크를 발생하는 추력은 아래 Fig. 5와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 동역학 시뮬레이션을 통하여 수식으로부터 구한 추력이 타당함을 확인하였다.

이와 같이 매니퓰레이터를 2R-T-3R 구조로 설계하였을 때 작업영역은 Fig. 6과 같으며 Fig. 2와 비교했을 때 작업영역이 상하로 각각 약 0.5 m가 길어진 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 고방사화 해체 대상물용 고하중 매니퓰레이터의 크기나 무게증가 없이 가반하중을 유지하면서 작업영역을 확장시키기 위한 설계를 수행하였다. 이를 위하여 어깨관절을 유압실린더를 이용한 회전관절로 설계하였고, 어깨관절의 필요 토크를 만족하고 회전운동 범위 안에서 실린더의 요구추력의 변동이 크지 않도록 링크를 설계하였다. Matlab과 동역학 분석을 통하여 설계된 실린더의 요구추력이 타당함을 확인하였고, 작업영역 분석을 통하여 설계된 고하중 매니퓰레이터의 작업영역이 상하로 각각 약 0.5 m가 길어진 것을 확인하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 시행하는 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] Dongjun Hyun et al, “Seamless remote dismantling system for heavy and highly radioactive components of Korean nuclear power plants”, *Annals of Nuclear Energy*, vol. 73, 39-45, 2014.

[2] 김창회, 서용칠, 이성욱, 최병선, 문제권, “원자로 압력용기 해체 작업용 고하중 매니퓰레이터 설계” 한국방사성폐기물학회 2015 춘계학술발표회 논문요약집, 315-316, 5.27~29, 2015, 송도.