

# 원자력시설 원격 해체를 위한 작업자-매니플레이터 인터페이스 설계 문제점 고찰

정관성, 최병선, 문제권, 현동준, 김근호

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

[ksjeong1@kaeri.re.kr](mailto:ksjeong1@kaeri.re.kr)

## 1. 서론

원자력시설 해체작업 수행시 해체대상물에 따라 작업 조건이 어렵거나 위험한 환경으로 해체 작업 시간을 지연시키는 요인이 발생한다[1, 2]. 원자력시설을 원격으로 유지보수 및 해체 활동은 매니플레이터의 암을 조작하여 작업하는 것이 일반적이다. 원격 매니플레이터는 취급하중, 관절 수, 조작성 등에 따라 여러 가지로 구분이 되며, 여러 가지 동작 형태의 매니플레이터 중 높은 자유도(degree of freedom)를 갖는 다관절 매니플레이터는 2차원 공간 내에서 자유로이 움직이기 때문에, 조작자가 근접하여 작업을 하는 경우에 동작경로의 예측이 어려워 작업자가 부주의하게 작업영역 안으로 침입할 가능성은 상존하게 된다. 매니플레이터 위험은 대개 유지보수와 같이 작업자가 매니플레이터에 접근할 때 발생하는데, 이러한 작업에 대해 안전을 확보할 수만 있다면 매니플레이터 관련 재해의 상당부분을 예방할 수 있을 것이다. 그러므로 매니플레이터 팔을 안전속도 이하로 제한하거나 매니플레이터의 작업 정보 및 개시, 작업영역을 설계하는 등의 요건 설정이 매우 중요하다[3]. 본 논문은 원자력시설 유지보수 및 해체작업을 하는 작업자의 안전 확보를 위해, 다관절 매니플레이터의 안전한 속도와 매니플레이터 이상동작 감지에 대한 인간의 반응시간 특성들을 실험적으로 파악하여, 작업자-매니플레이터 인터페이스 설계의 문제점들을 고찰하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

반응시간을 측정하기 위하여 매니플레이터 모의 이상동작 실험을 하였는데 본 실험에 사용된 기기와 기능은 다음과 같다.

- 산업용 매니플레이터
- A/D-D/A converter
- Digital clock

실험을 위한 각 기기 상호간의 연결을 개략적으로 나타내면 Fig. 1과 같다. Fig. 2는 매니플레

이터 상단과 측면의 작동 영역이고 Fig. 3은 매니플레이터 각 축 길이와 동작 각도를 나타낸 것이다.

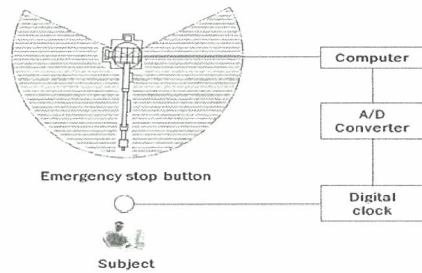
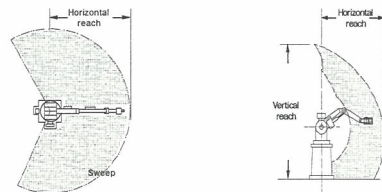
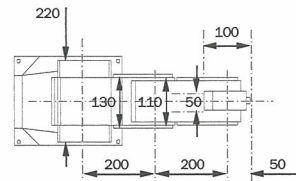


Fig. 1. Schematic diagram of experiment.

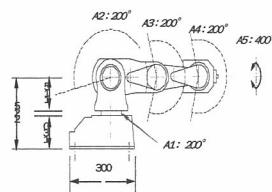


(a) top view of work envelope (b) side view of work envelope

Fig. 2. Work envelope of manipulator.



(a) Linear dimension



(b) Angular dimension

Fig. 3. Work dimension of manipulator.

## 2.2 실험 방법

실험대상 작업은 매니플레이터 팔이 준비 위치에서 대상 물체를 들어 올려 지정된 위치까지 이동시키는 단순한 물건 운반(material handling) 작업이었다. 매니플레이터가 정상작업을 하다가 갑자기 이상동작을 하는 순간에 피실험자가 비상정지 스위치를 누르도록 하였는데, 피실험자의 실험위치는 매니플레이터 정면의 엔드 이펙터(end effector)로부터 약 30 cm 되는 곳에 앉도록 하였다. 매니플레이터의 이상동작(failure)은 실험자가 정해진 속도와 위치에 따라 정상작업을 하다가 필요한 경우 난수(random number)에 의해 분기되도록 하였는데 이상동작 형태는 단일부품 이상동작과 다부품 이상동작의 두 가지로 분류하였다. 작업조건은 단일부품 이상동작과 다부품 이상동작의 각각에 대해 ① 매니플레이터 팔 속도 4 수준(14, 20, 40, 50 cm/sec), ② 이상동작 가능성(failure probability) 3 수준(0.1, 0.25, 0.5)의 12개 조합에 대해 각각 50회씩 무작위 순으로 반복 실행하였다. 피실험자의 반응특성은 정확히 이상동작에 반응한 정확한 응답 시간(correct response time)과 이상동작시 비상정지 버튼을 누리지 못한 실패(miss)의 횟수, 또한 이상동작을 하지 않았음에도 불구하고 이상동작으로 오인하여 버튼을 누르는 고장 경보(false alarm) 횟수의 세 가지로 파악하였다.

## 3. 결론

이상의 연구를 통하여 원자력시설 유지보수 및 해체시 매니플레이터의 이상동작에 대한 작업자의 반응특성과 안전속도 수준에 관해 얻은 결론은 다음과 같다.

매니플레이터 팔의 속도와 이상동작 형태는 반응시간에 영향을 주지만, 이상동작 가능성에 영향을 미치지 않았고, 두 요인 이상의 교호작용은 대체로 영향이 없었다. 매니플레이터 팔의 속도변화에 따른 반응시간 특성은 이상동작 형태에 따라 다르지만 대체로 약간 증가하는 추세를 보였다.

촉의 특성에 따른 반응시간도 다른데, 대상물 가까이에 근접하여 굴신(bending and stretching) 동작을 하는 촉에 대한 반응시간이 개인적 특성이나 이상동작 형태에 관계없이 가장 짧고 편차도 작았을 뿐만 아니라 miss도 적었다. 그러나 반응시간만으로 안전속도를 설정하는 데에는 다소

우리가 있어 기타 여러 가지 요인들이 고려되어야 한다고 판단된다.

이상의 결과에 근거하면 ‘안전영역’을 확보하기 위한 안전속도는 17 cm/sec 이하, ‘접촉가능영역’을 허용하는 매니플레이터 팔의 속도는 17 cm/sec~28 cm/sec 이었는데, 이 값이 소규모 매니플레이터에 대한 반응으로부터 얻은 수치임을 감안한다면 기존 15 cm/sec 나 25 cm/sec 등의 제안 수치들은 대체로 타당하였다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발 중장기 계획사업 일환으로 수행된 연구결과입니다.

## 5. 참고문헌

- [1] Study of Decommissioning Cost Estimation Framework for Nuclear Research Facilities, J. of the Korean Radioactive Waste Society, Vol. 4(2), pp. 171-141, 2006.
- [2] Calculating the Unit Cost Factors for Decommissioning Cost Estimation of the Nuclear Research Reactor, J. of the Korean Radioactive Waste Society, Vol. 4(4), pp. 385-391, 2006.
- [3] 원자력시설 유지보수 및 해체 작업시 다관절 매니플레이터 이상동작에 대한 작업자의 특성, 한국방사성폐기물학회지, Vol.10(2), pp. 87-96, 2012.