# 해체 매니퓰레이터 조작 난이도 저감을 위한 동작 제어 기술

**현동준***, 김익준, 이종환, 정관성, 최병선, 문제권
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*dongjunn@kaeri.re.kr

## 1. 서론

해체 매니퓰레이터는 다양한 활용 가능성으로 인해 원자력 시설 해체 관련하여 원격절단 기술이 연구되던 초기부터 꾸준히 연구되어 왔으나 연구용 실증 사업을 제외하고는 산업화된 해체 기술로 아직 정착되지 않고 있다. 그 이유는 매니퓰레이터의 하드웨어 성능은 상당 수준에 이르렀음에도 불구하고 원격 조작 관련된 기술이 충분히 성숙되지 못했기 때문이다. 조작자가 원격의 해체 작업장에 대해 제한된 2차원 또는 3차원 화면 정보를 이용하여 정밀함을 요하는 해체작업을 순수하게 작업자의 인지 능력만으로 수행하기엔 지나치게 조작 난이도가 높기 때문에 작업 자체가 불가능하거나 효율이 지나치게 낮다는 문제점이 있어왔다. 최근에는 해외 여러 연구기관에서 이러한 조작 난이도를 낮추기 위하여 가상현실 또는 증강현실 기술을 도입하기 시작하였다.

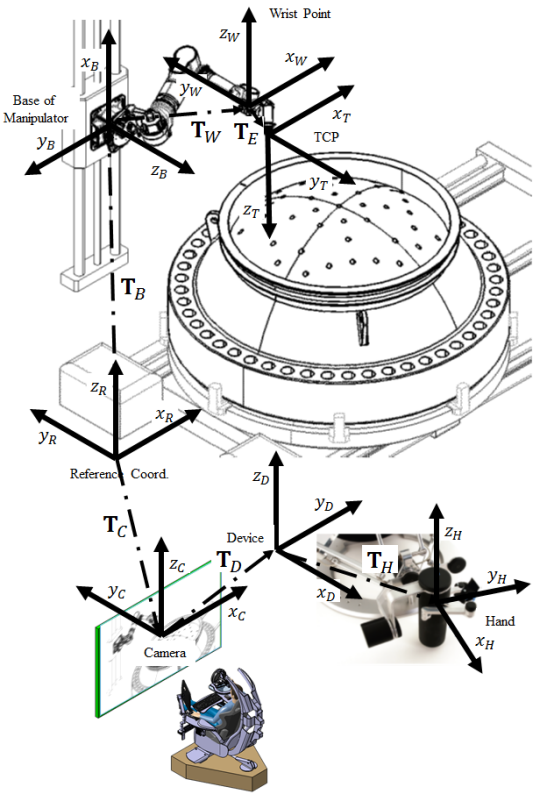


Fig. 1. Configuration of coordinate systems.

본 연구에서는 해체 매니퓰레이터의 조작 난이도를 저감하기 위해 가상의 공간에 구속조건을 구현하여 조작자의 동작을 제어하는 기술을 제안하고자 한다. 이 기술은 해체 작업 조건에 맞는 구속조건을 가진 가상 구속구를 가상의 공간에 배치하여 원격 작업자가 해체 작업을 수행할 때 작업자가 제어해야 하는 6 개의 공간 자유도 중 적정 수량의 자유도를 구속함으로써 작업자의 조작난이도를 저감하는 기술이다. 결과적으로 원격 작업자가 제어해야하는 6 자유도 중 일부를 동작 제어 알고리즘이 대신 수행하고 작업자는 나머지 몇 개의 자유도만 제어하면 되므로 조작 난이도가 저감된다.

본 논문에서는 가상 구속구를 통한 동작 제어 기술에 대해 소개하고 한국원자력연구원에서 개발한 실감형 원격절단 시뮬레이터를 통해서 이 기술을 구현하고 원격절단 시나리오를 시뮬레이션하는 과정에서 작업자의 조작 난이도가 저감된 결과에 대해 기술하고 결론에서는 연구 결과와 향후 연구 방향에 대해 기술하도록 한다.

## 2. 본론

### 2.1 동작제어 기술

본 연구에서 동작제어 기술은 가상의 공간에 절단 대상물과 해체 매니퓰레이터와 원격 조작용 디스플레이와 힘-반향 조작장치로 구성된다. Fig. 1 은 각 구성요소 간 배치와 좌표 변환 관계에 대해 설명한다. 본 기술에서는 조작자가 관찰하는 시점인 camera 좌표계에 대한 좌표 변환을 정의함으로써 조작자의 시점이 어떤 방향으로 변하더라도 조작자는 화면 좌표계에 따라 원격 조작이 가능하도록 하였다. 기존에는 매니퓰레이터의 좌표계를 조작장치로 좌표변환함으로써 조작자는 화면정보를 매니퓰레이터의 좌표계로 재해석하여 조작해야 하므로 조작난이도가 높아지는 문제점이 있었으나 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하였다.

동작 제어 기술은 매니퓰레이터 엔드 이펙터의 작동점이 가상 구속구에 접촉하였을 때 가상 구속구의 깊이 방향으로 진행하지 못하도록 구속하는 기술과 엔드 이펙터의 z 방향 축을 가상 구속구의 수

직 벡터와 일치하도록 구속하는 기술로 구성되어 있다. 이를 통해 가상 구속구의 깊이 방향 1 자유도와 가상 구속구의 면 방향 2 자유도를 구속함으로써 작업자가 제어해야 할 매니퓰레이터의 6 자유도를 3 자유도로 저감할 수 있다.

### 2.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제시된 동작 제어 기술을 초고압 연마 워터젯 노즐을 매니퓰레이터에 장착하여 반구형의 원자로 압력용기 헤드를 절단하는 원격 절단 시나리오에 적용하는 시뮬레이션을 수행하였다. 워터젯 공법으로 원자로 압력용기 헤드를 원격 절단하는 시나리오는 작업자가 워터젯 노즐을 반구형 곡면에 일정한 간격을 유지하면서 수직한 방향을 유지해야 하므로 동작 제어 기술의 도움 없이는 사실상 불가능한 고난이도 원격 절단 공정이다.

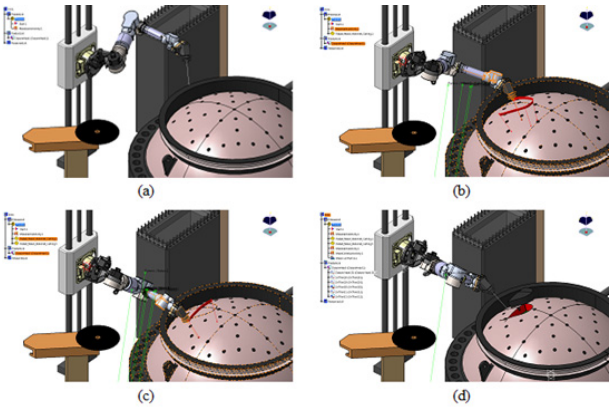


Fig. 2. Simulation result (a) initial condition of segmentation process, (b) first cut along curved path on hemispherical surface, (c) second cut cross over curved path, (d) final condition of segmentation process.

시뮬레이션 과정은 Fig. 2와 같다. 실감형 원격 절단 시뮬레이터 조작자는 큰 어려움 없이 2차원 평면에서 작업하듯이 절단 경로를 생성하였으며 생성된 절단경로를 따라 절단 공정이 성공적으로 시뮬레이션 되었다.

Fig. 2와 같이 워터젯 노즐과 매니퓰레이터의 움직임과 원자로 압력용기 헤드의 곡면의 시인성이 좋은 시야에서 작업자는 매니퓰레이터의 좌표계를 고려하지 않고 시야에 보이는 대로 원격 절단 작업을 수행할 수 있으므로 작업 난이도가 더 저감되는 결과를 얻을 수 있었다.

## 3. 결론

본 논문에서 제시된 조작 난이도 저감을 위한 동작 제어 기술은 원격 작업자의 작업난이도를 성공적으로 저감시켰다. 본 논문에서는 실감형 원격 절단 시뮬레이터를 통해 기술의 작업 난이도 저감 성능을 보였으나 향후에는 실제 해체 매니퓰레이터의 원격 제어 기술에 적용하여 기술을 실증할 예정이다. 본 기술은 유연하고 정밀한 해체 작업을 수행할 수 있는 매니퓰레이터를 통해 원전 핵심설비 해체 작업을 기존 보다 월등히 안전하고 경제적으로 수행할 수 있을 것으로 예상된다.

## 4. 감사의 글

The research was supported by the Nuclear R&D Program through the Ministry of Science, ICT & Future Planning.

## 5. 참고문헌

[1] Radioactive Waste Management Committee, “Remote Handling Techniques in Decommissioning”, NEA/RWM/R, Nuclear Energy Agency, 2011.

[2] Shepard, R.N. and Metzler, J., “Mental rotation of three-dimensional objects”, Science, Vol. 171, pp.701-703, 1971.

[3] DeJong, B. P., Faulring, E. L., Colgate, J. E., Peshkin, M. A., Kang, H., Park, Y. S., and Ewing, T. F., “Lessons learned from a novel teleoperation testbed”, Industrial Robot: An International Journal, 33(3), pp. 187-193, 2006.

[4] D. Hyun, S. Lee, Y. Seo, G. Kim, J. Lee, K. Jeong, B. Choi, J. Moon. “Seamless remote dismantling system for heavy and highly radioactive components of Korean nuclear power plants”, Ann. Nucl. Energy, Vol. 73, pp. 39-45, 2014.