

# 다관절 매니플레이터 원격 제어 기술 개발

최유락\*, 이재철\*, 김재희\*

\*한국원자력연구원

e-mail:yrchoi@kaeri.re.kr

## Development of a Tele-operating Method for Multi-Linked Manipulator

You-Rak Choi\*, Jae-Cheol Lee\*, Jae-Hee Kim\*

\*Korea Atomic Energy Research Institute

### 요 약

원자력발전소를 비롯한 여러 산업플랜트들은 복잡한 파이프 시스템들이 필수적으로 필요한데, 이러한 파이프들 중 일부 파이프들은 안전성과 중요성을 고려하여 Over-haul 기간이나 가동 중에도 반드시 안전성 검사를 수행해야한다. 이 검사에는 검사자의 작업 공간 확보 어려움과 고위험 지역에 따른 작업환경으로 인하여 로봇을 이용한 검사 방안이 요구되고 있다. 본 논문에서는 파이프 등반 로봇을 개발함에 있어 영상을 이용한 파이프 자동 파지 기술과 로봇 원격제어 기술개발에 대하여 기술한다.

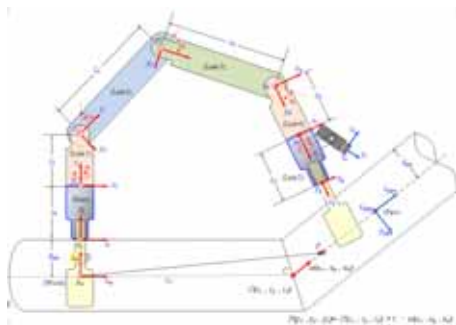
### 1. 서론

원자력발전소 격납건물에는 사고 시에 격납건물의 건전성을 확보하기 위하여 살수 계통이 갖추어져 있다. 살수 계통의 주목적은 격납건물 내의 열을 격납건물 밖으로 배출함으로써 격납건물 내의 대기 압력을 낮추어 격납건물의 구조적 건전성을 유지하는 것이다. 원자력 안전 1등급 배관인 가압기 유입 안전주입계통의 배관은 사람이 접근하기에는 비좁고 고소 작업의 위험이 많은 지역으로 로봇을 이용한 원격 검사 방안이 요구되고 있다[1].

본 논문에서는 파이프 검사를 위한 매니플레이터 형태의 모바일 로봇이 파이프를 잡고 이동함에 있어 필요한 파이프 자동 파지를 위한 알고리즘과 원격제어 기술개발에 대하여 기술한다.

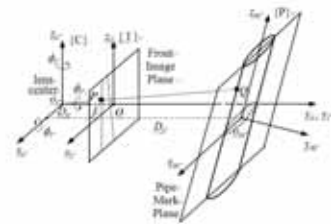
### 2. 영상처리 기반 매니플레이터 관절각 계산

비전을 이용한 파이프 자동 파지 기능을 구현하기 위하여 로봇 매니플레이터의 양끝 핸드에는 각각 카메라가 장착되어 있다.



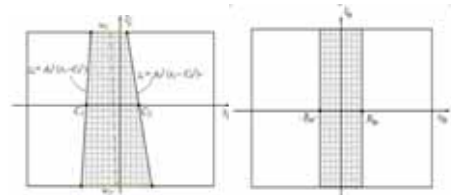
(그림 1) 매니플레이터 구조

로봇 핸드의 카메라가 로봇이 옮겨갈 파이프에 관한 영상을 원격제어 시스템에 전송하면 그림 2와 같은 실린더 형태의 파이프 형상이 나타난다.



(그림 2) 카메라 영상에서의 파이프 및 도식화 모습

이 파이프의 외곽경계선의 기하학적 특징으로부터 현재 옮겨갈 파이프의 위치와 로봇 핸드를 일직선상에 맞추기 위해 파이프 영상으로부터 파이프 영상 기울기와 절편값을 사용하여 카메라와 파이프간의 좌표 변환값을 도출한 뒤, 역기구학을 통하여 로봇 관절의 관절각을 구한다.



(그림 3) 로봇 핸드 이동전(좌)과 이동후(우)

네 개의 미지수인  $D_x, D_y, \phi_x, \phi_y$ 가 투영된 사진의 기울기와 절편들( $A_0^1, A_0^2, C_0^1, C_0^2$ )과 강한 연관성이 있으므로

$$D_x \propto \frac{C_0^1 + C_0^2}{2}$$

$$D_y \propto |C_0^2 - C_0^1|$$

$$\phi_x \propto \frac{w_1}{w_2} = 1 + \frac{H}{C_0^2 - C_0^1} \left\{ \frac{1}{A_0^2} - \frac{1}{A_0^1} \right\}$$

$$\phi_y \propto \frac{1}{2} \{A_0^1 + A_0^2\} \text{ 이 된다.}$$

따라서 visual feedback에서 4 변수를 제공하여 역-기구학을 계산할 수 있다.

$$D_x(k) = D_x(k-1) + K_{Dx} \frac{C_0^1 + C_0^2}{2}$$

$$D_y(k) = D_y(k-1) + K_{Dy} |C_0^2 - C_0^1|$$

$$\phi_x(k) = \phi_x(k-1) + K_{\phi x} \left[ 1 + \frac{H}{C_0^2 - C_0^1} \left\{ \frac{1}{A_0^2} - \frac{1}{A_0^1} \right\} \right]$$

$$\phi_y(k) = \phi_y(k-1) + K_{\phi y} \{A_0^1 + A_0^2\}$$

여기서 k는 샘플링 시간이고,  $K_{Dx}$ 는 실험으로 결정되는 gain 이다. 따라서 이 방법으로 미지수  $D_x, D_y, \phi_x, \phi_y$ 를 정하고, 이 값을

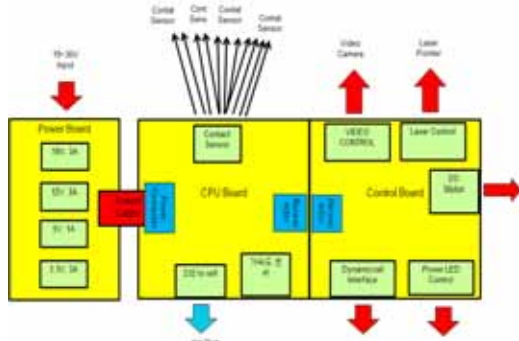
$${}^{ROBOT}_{PIPE} T = {}^{R0}_{M1} T(\theta_1) {}^{M1}_{M2} T(\theta_2) {}^{M2}_{M3} T(\theta_3) {}^{M3}_{M4} T(\theta_4) {}^{M4}_{M5} T(\theta_5) {}^{M5}_{C} T \text{ Pipe } C(D_x, D_y, D_z, \phi_x, \phi_y, \phi_z)$$

식에 대입하여 파이프의 위치·자세 변환식을 구한 후, 역기구학을 통하여 로봇의 관절각을 구할 수 있다[2].

### 3. 로봇 원격 제어기술 개발

로봇의 5개 관절은 직렬로 연결된 Dynamixel 모터를 사용하고 있다. 자체 개발하여 로봇에 탑재된 제어기는 RS-485 통신으로 모터 제어를 수행하며, 무선 통신으로 원격제어 시스템의 제어부와 연동된다. 로봇의 양끝 링크에는 무선 카메라가 탑재되어 있어 영상을 원격제어 시스템으로 전송해주며, 이는 로봇 이동 제어와 파이프 자동 감지 및 파지에 사용된다.

매니플레이터 제어를 위해 원격제어 시스템에서는 햅틱 마스터 인터페이스인 Phantom Omni를 사용하고 있으며, x, y, z, yaw, pitch, 그리고 roll 정보를 원격지 로봇에 장착된 로봇 제어기에 전송한다. 로봇 제어기의 제어 모듈에는 기구학 및 역기구학을 이용하여 햅틱 인터페이스로부터 20ms 주기로 전송 받는 데이터를 로봇 모터의 구동값으로 변환하여 모터를 제어한다[3].



(그림 4) 로봇 제어기 HW 다이어그램

로봇 제어기 하드웨어는 4장의 회로(Power Board 2장, Main CPU Board, Control Board)로 구성된다. Power Board는 12V/18V/3.3V 3A 출력을 담당하며, CPU Board는 Main MCU를 포함하면서 주요 제어 기능을 제공한다. Control Board는 Main CPU Board의 명령을 받아 모터 제어, LED 조명 제어, 그리고 카메라 제어 등의 기능을 수행한다.

원격 제어 장치는 파이프 등반 로봇 매니플레이터 제어용 햅틱 마스터 제어기와 제어 컴퓨터로 구성되어 있다.



(그림 5) 원격제어 GUI

원격 제어 시스템의 주 제어 GUI는 왼쪽에서부터 로봇 관절용 모터 개별 수동 제어 및 상태 확인 기능, 로봇 그리퍼에 부착된 거리 센서의 거리 확인 기능, 카메라 및 조명 제어 기능, 그리고 회전용 모터 개별 수동 제어 기능, 마스터 제어 장치의 상태 확인 기능, 그리고 카메라 영상 디스플레이 기능으로 구성되어 있다.

그리고 안쪽에 장착되는 거리 센서가 일정 거리내 물체(파이프)를 인식하면 센서 버튼이 반전되도록 구현함으로써 그리퍼가 파이프를 정확하게 파지하는지를 GUI에서 확인할 수 있도록 하였다.

카메라 영상의 경우 로봇 이동 제어를 위한 운전 영상 제공과 그리퍼의 파이프 자동 파지를 위한 파이프 양측면 기울기를 추출에 이용된다. 원격 제어 인터페이스의 SW 주기 제어 모듈을 통해 영상은 초당 25 프레임을 처리하도록 구현하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 원전 격납건물 내부에 설치된 복잡한 연결 구조의 배관을 타고 다니면서 비파괴 검사가 가능한 고소지역 장애물 극복형 배관 검사 로봇 시스템의 파이프 자동 파지와 원격제어 기술 개발에 관하여 기술하였다.

이 로봇은 로봇에 장착된 배터리로 전원을 공급하고, 외부와의 통신은 무선 방식을 채택함으로써 로봇 이동에 장애가 되는 케이블들을 모두 없애는 방향으로 개발되고 있다. 현재는 외부 전원을 이용한 로봇 이동 실험이 성공적으로 수행되고 있으며, 향후 배터리를 이용한 로봇 구동의 효율성 증진을 위한 연구를 추가적으로 수행할 것이다. 또한 현장 영상과 햅틱 마스터 인터페이스를 이용하여 현장감을 실감하면서 로봇을 원격 제어하는 기술을 적용하기 위해 영상과 촉각 데이터의 시간지연에 따른 제어의

어려움을 감소시키는 연구를 추가할 것이다[4][5].

### 참고문헌

- [1] 박병석, 이종광, 이효직, 최창환, 윤광호, 윤지섭, “ 사 용후핵연료 차세대관리공정 원격 운전/유지보수용 천정이 동 서보 매니플레이터 시스템 개발 ,” 제어로봇시스템학 회지, 제13권, 제10호(2007), pp.940 - 948.
- [2] Jae-Hee Kim, Jae-Cheol Lee, and You-Rak Choi. “Vision-based pipe grasping scheme for a pole climbing robot ,” *ISOT 2012 International Symposium*, Vol.1(2012), pp.1-2.
- [3] 이태희, 조상, “ 실시간 운영체제를 탑재한 원격 제어 로봇 시스템,” 제어로봇시스템학회지, 제10권, 제8호(2004), pp.689-695.
- [4] 배영걸, 최호진, 정슬, “ 원격제어 시스템의 종로봇인 이동 로봇의 제작과 힘 추종 제어 구현,” 『제어로봇시스템 학회지』, 제16권, 제7호(2010), pp.681 - 687.
- [5] 김혁, 유지환, “ 비 동기화된 촉각과 영상 시간지연이 원격조종로봇에 미치는 영향과 성능 향상을 위한 조언,” 제어로봇시스템학회지』, 제18권, 제2호(2012), pp.156 - 160.