

# 물류자동화를 위한 드럼원격 취급장치 개발에 관한 연구

## Development of remote drum grappling device for Automation

오승철 · 최경현 · 윤지섭 (한국원자력연구소)  
Seung-Chul Oh · Kyung-Hyun Choi · Ji-Sup Yoon(KAERI)

### ABSTRACT

A remote drum grappling device coupled to the anti-swing crane has been developed by KAERI to cope with problems involved in manually treating low level waste drums. In order for this grappling device to be operated effectively, multi-sensors including CCD camera were employed. As an activity representation scheme of the device, Extended State Machine (ESM) was used to describe its operation sequences. The performance testing of the device was conducted successfully, and consequently its application could be extendable to industrial operation environment.

**Key Words** : Remote operation(원격조작), Remote drum grappling device(원격 드럼취급장치), Multi-sensor(다중센서), Temporal logic.

### 1. 서론

드럼을 크레인 혹은 지게차 등으로 이송하기 위하여 널리 사용되고 있는 기존의 드럼 취급장치는 작업자가 근접 거리에서 드럼의 위치를 판별하고 장치를 매달고 있는 크레인을 수동으로 조작하여 드럼을 파지하는 수조작 방식으로 구동되도록 설계되어 있다. 이 경우, 저준위폐기물 드럼과 같이 방사선 준위가 낮은 드럼에 대해서는 작업자의 피폭 위험성이 크지 않으나, 비교적 방사선 준위가 높은 드럼의 경우에는 작업자의 피폭 위험성이 상존하고 작업 효율도 저하되며 또한 수동작업 자체가 불가능한 경우도 있다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 기술 선진국에서는 원격 조작 혹은 자동화 방식을 고려한 드럼 파지장치가 개발되었거나, 연구 개발 중이다. 예를 들면, 미국의 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)에서는 MRS(Monitored Retrievable Storage) 처분장에 중·저준위 폐기물드럼 처분을 위하여 무진동 크레인 및 중·저준위 폐기물드럼의 파지장치를 개발하여 이를 원격 조작식의 장치로 개조하는 연구를 진행 중에 있으며<sup>[1,2]</sup>, 또한

Niagara Mohawk Power Corp.에서 운영, 관리하는 Nine Mile Point Unit 1 원자력발전소에서는 드럼의 원격이송 및 시설의 제염을 위한 원격 취급 장치(TROD, Tethered Remote Operating Device)를 개발하였다<sup>[3]</sup>. 영국의 BNFL(British Nuclear Fuels plc.)에서는 폐기물 드럼 저장창고에서 드럼의 반입/반출작업을 위하여 저장창고의 천장에 드럼의 위치를 표시하는 표식을 붙여 놓고 드럼 취급용 크레인의 트롤리 상부에 카메라를 설치하여 작업자가 카메라의 전송 화상을 보면서 크레인의 위치를 조작하는 방식을 개발하여 사용 중에 있으며, 재처리 시설로부터 회수되는  $UO_3$  드럼의 취급장비(SGV, Computer Controlled Self Guided Vehicle)를 개발하였다<sup>[4]</sup>. 한편 일본의 JGC Co.에서는 유압으로 작동되는 폐기물 이송용 무인 운반차를 개발하여 중·저준위 폐기물드럼 이송작업에 적용하고 있다.

우리 나라의 경우에는 각 발전소별로 저준위 폐기물드럼 저장창고가 설치되어 있으나, 드럼내 폐기물의 방사선 준위가 그다지 높지 않기 때문에 작업자가 근접 거리에서 지게차나 크레인을 이용하여 이송 작업을 수행하고 있다. 최근에 한전에서는 드럼 반입/반출 작업 및 검사 작업의 자동화를 위하여

stacker crane과 드럼 이송장치를 개발한 바 있으나 이는 방사선 준위가 낮은 폐기물 드럼의 이송·검사 작업에만 적용이 가능하여 비교적 방사선 준위가 높은 중준위 폐기물 드럼의 이송을 위해서는 크레인을 이용한 원격조작 방식의 드럼 이송장치의 개발이 요구된다. 또한, 향후 중·저준위 폐기물 처분장이 건설되면 드럼의 이송, 검사, 하역 및 감시 작업의 수요 증대가 예상됨에 따라 일련의 작업을 자동화시켜야 할 것이다.

이를 위하여 본 논문에서는 한국원자력연구소에서 개발한 무진동 크레인에 부착되어 중·저준위 폐기물드럼의 위치를 정확히 인식하고 이를 파지하여 이동하고자 하는 위치로 이송/하역할 수 있는 파지장치를 개발하였다.

## 2. 중저준위 드럼 원격파지장치

중·저준위 폐기물드럼 원격 파지장치는 수직 방향의 모터축의 회전운동을 수평 방향의 lead screw(3 쌍)의 직선운동으로 변환하여 이에 부착된 pad를 수평 방향으로 개폐시킨다. 3 개의 pad는 드럼의 옆면을 3 점(각각 120° 떨어진 지점)에서 드럼을 눌러 파지한다. 이와 같은 구조는 pad의 개폐시 지면으로부터의 pad 높이 변화 및 pad의 개폐 속도를 항상 일정하게 유지시켜 줄 수 있다. 이와 같은 구조의 파지장치를 설계할 때의 문제점은 드럼을 파지하고 지면으로부터 상승시켰을 경우 pad의 드럼 파지 힘에 비례하는 마찰력이 pad를 여는 방향으로 작용함으로써 드럼이 낙하될 수 있다는 점이다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 나사산의 모양이 사각형인 lead screw를 사용하였다. 나사산의 pitch는 마찰력에 의한 나사산의 파손을 고려하면 큰 것이 유리하나 너무 클 경우에 pad의 개폐 속도가 지나치게 커질 수 있으므로 5 mm로 설정하였다. 이 장치는 최대 500 kg의 드럼을 취급할 수 있는 용량을 가진다.

중·저준위 폐기물드럼 원격 파지장치의 개발 목적은 중·저준위 폐기물드럼의 이송 작업을 원격 혹은 자동 작업으로 개선시키기 위한 것이다. 이를 위해서 드럼 파지장치는 3 차원 공간상에서 자동으로 파지하고자 하는 드럼과 크레인 사이의 상대 위치를 인식할 수 있어야 한다. 이를 위하여 CCD 카메라를 이용하여 카메라의 화상 정보로부터 드럼과 파지

장치 사이의 상대 위치를 인식하였으며, 초음파 센서를 드럼 파지장치의 중앙에 설치하여 파지장치가 크레인에 걸려 있는 상태에서 파지장치와 드럼 사이의 상대 위치를 찾아내는 역할을 수행하며, 광전 센서들은 3 개의 pad 옆면에 부착하여 pad와 드럼의 윗면 사이의 거리가 약 30~50 mm 되는 위치에서 드럼과 pad 사이의 상대 위치를 찾아냄으로서, 드럼과 파지장치의 위치가 동심원 상에 위치하도록 할 수 있는 정보를 제공한다. 또한 광전 센서 1 개를 clamp jaw와 드럼이 마주 보는 면에 설치하여 드럼 윗면과 clamp jaw 사이의 거리를 측정하여 드럼을 항상 일정한 높이에서 파지하도록 하였다.

## 3. 제어 시스템

Fig. 1에 보여지는 바와 같이 원격파지장치의 제어 시스템은 두 대의 컴퓨터가 각각 파지장치 제어기와 무진동 크레인 제어기로 사용되고 있다. 파지장치에 부착된 AC 모터를 인버터 드라이브(LG 산전 제조)를 통하여 속도 및 위치를 제어하고, 부착된 센서로부터 데이터 값을 받기 위해 데이터 획득용 보드를 장착하였다. 무진동 크레인도 역시 인버터를 이용하여 x, y, z축의 속도 및 위치(0.5 cm의 정확성)를 제어하고 있다.

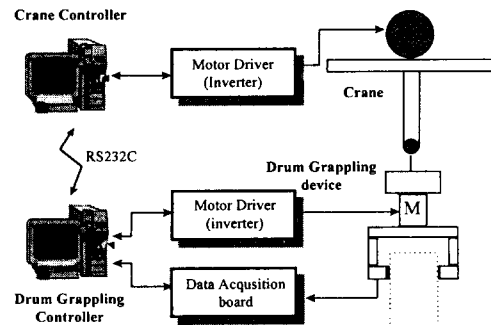


Fig. 1. Architecture of control system for remote drum handling system

이들 제어기 사이의 상호 명령어의 교환은 RS232C를 통하여 수행하고 있으며, 명령어의 포맷은 거의 타스크 레벨에 해당하기 때문에, 주고받는 명령어의 번역을 위해 각각의 제어기에 번역 모듈이 포함되어 있다.

#### 4. 원격 드럼파지장치의 동작 표현

Extended state machines(ESM)는 드럼 파지장치와 크레인과의 유기적으로 상호 동기화된(synchronized) 공정 및 커뮤니케이션을 가능하게 하며, 센서들의 감지에 의해 일어나는 event(혹은 action)는 드럼 파지장치의 동작을 상세하게 설명하는 등의 이점을 가지고 있다. ESM을 구성하는 기본적인 요소들은 5-tuple( $X, Y, C, L, A$ )로 나타내어지며, Fig. 2에 원격드럼 취급 시스템의 ESM그래프를 수록하였다. 원격 드럼 취급 공정은 파지장치와 크레인의 유기적인 조합 공정에 의해 이루어진다. 제어기는 파지장치와 크레인의 각 프로세스를 수행 전 상호 동기시키는 역할을 명확히 하기 위해 설계되어 졌다.

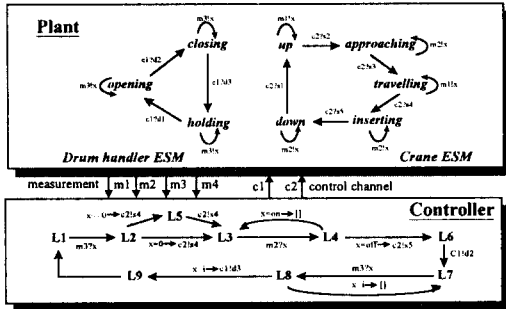


Fig. 2. ESM of remote drum handling system

파지장치는 closing, opening, holding의 세 가지 activity를 가지고 있으며, 크레인은 up, down, approaching, travelling, inserting의 다섯 개의 activity를 가지고 작업을 수행하고 있다. 또한, 이 작업에는 여러 개의 사건 레벨이 포함되어 있다. 즉, 파지 장치의 gripper가 드럼을 파지 하는 사건을 나타내는 사건 레벨 d3와, 크레인이 아래로 움직여서 파지장치가 드럼을 파지할 수 있을 때의 사건 s5이다. x1은 파지장치의 activity 변수이고 x2는 크레인의 activity 변수이다.

파지장치의 기본적인 ESM의 5-tuple로 표시하면,

$$(\{x_1\}, \emptyset, \{c1\}, \{d1, d2, d3\}, A)$$

여기서  $type\{x_1\} = \{closing, opening, holding\}$  이며,

$$A = \{ \{ (x_1, (opening, true, c1?d2, closing)) \}, \{ (x_1, (closing, true, c1?d3, holding)) \}, \{ (x_1, (holding, true, c1?d1, opening)) \} \}$$

이다.

$$\text{크레인의 기본적인 ESM의 5-tuple로 나타내면,} \\ (\{x_2\}, \emptyset, \{c2\}, \{s1, s2, s3, s4\}, A)$$

여기서,  $type\{x_2\} = \{up, down, approaching, travelling, inserting\}$

$$A = \{ \{ (x_2, (down, true, c2?s1, up)) \}, \{ (x_2, (up, true, c2?s2, approaching)) \}, \{ (x_2, (approaching, true, c2?s3, travelling)) \}, \{ (x_2, (travelling, true, c2?s2, inserting)) \}, \{ (x_2, (inserting, true, c2?s4, down)) \} \}$$

이다.

비슷한 방법으로 x3는 제어기의 activity 변수로 여기고, ESM 제어기의 할당 행위(action)를 나타내면,

$$A = \{ \{ (x_3, (L1, true, m3?x, L2)) \}, \{ (x_3, (L2, x=0, c2!s4, L3)) \}, \{ (x_3, (L3, true, m2?x, L4)) \}, \{ (x_3, (L4, x=off, c2!s5, L6)) \}, \{ (x_3, (L6, true, c1!d2, L7)) \}, \{ (x_3, (L7, true, m3?x, L8)) \}, \{ (x_3, (L8, x>i, c1!d3, L9)) \} \}$$

와 같다.

제어기에서의 각 action을 규칙 형태 (If--then--)로 저장하고 주어진 상태에 대하여 가장 적합한 행위를 결정해 내는 규칙 베이스 제어기로 사용할 수 있다. 각 operation의 실행에 있어서 요구되는 시간의 범위(low와 max)가 주어지며, 이 시간의 범위는 deadlock을 해결해 주는 중요한 역할을 한다. 이 시간의 범위 결정은 실험이나 이론적인 분석에 의해 정해질 수 있으며, 향후 시스템의 지능화에 의해 반복적인 수행에서 오는 학습에 의해 가장 최적의 시간 범위가 결정될 수 있다.

#### 5. 드럼 원격파지장치 성능시험

중·저준위 폐기물드럼 원격 파지장치는 본 연구에서 기존에 개발한 무진동 크레인과 함께 사용되며, 드럼은 지정된 장소에 적재되어 있어 개략적인 드럼의 위치는 알고 있다. 드럼을 인식하고 파지한 후 지정된 장소로 이동하여 하역하는 일련의 작업

순서를 수행한다.

드럼 파지장치(DGD, Drum grappling device)는 완전히 닫은 상태로 무진동크레인에 의해 이동하고자 하는 드럼의 상부에 위치시킨 후에 초음파센서로 드럼 파지장치와 드럼 사이의 거리를 측정함으로써 드럼 파지장치의 개략적인 하강 거리를 예측한다. 예측된 거리만큼 크레인에 의해 드럼 파지장치가 하강한다. 드럼 파지장치를 하강하는 중에 파지 팔의 pad 옆면에 부착된 3 개의 광전센서 중에서 어느 것이라도 1 개 이상의 센서에 신호가 입력되면 드럼 파지장치의 하강이 중단된다. 이는 파지장치와 드럼과의 거리가 5 cm 이내에 있다는 것을 의미하며 파지장치와 드럼과의 충돌을 방지하기 위함이다. 각각의 광전센서는 고유의 번호가 미리 설정되어 있어 PC 화면으로부터 신호가 입력된 센서 방향을 알 수 있으며 하강속도는 무진동크레인에 의해 제어된다.

1 개의 모터에 의해 120° 방향으로 개폐되는 3 개의 clamp jaw를 일정한 속도로 열어 각 광전센서의 신호 입력을 기본으로 한 알고리즘을 이용하여 드럼의 중심위치를 찾아내고 드럼 파지장치를 드럼의 중심점으로 이동시킨다. 이때 세 개의 광전센서가 off됨을 확인한다. 이는 파지장치가 정확히 드럼의 중심위치로 이동했음을 의미한다. 드럼 파지장치는 다시 파지를 위한 정확한 위치로 하강을 하는데 네 번째 광전센서의 입력이 감지되면 하강을 중지한 후, clamp jaw를 닫음으로서 드럼을 파지한다. 이때 드럼의 완전한 파지 여부는 인버터 드라이버 패널에 표시되는 전류의 세기에 의해 결정되며, 본 파지장치의 파지시 전류 세기는 1.5 A로 측정되었다. 본 드럼 파지장치와 함께 사용되는 무진동크레인은 x, y, z 방향으로 이동 거리의 추적이 가능하며, 이를 이용하여 파지된 드럼을 이동하고자 하는 위치로 이동하여 드럼을 적재한다.

실제 장치의 시험을 실시하기 전에 실리콘 그래픽스에서 IGRIP을 이용하여 그래픽적으로 작동 및 알고리즘을 검증하였다. 드럼파지장치는 kinematics적으로 4 DOF로 설정이 되고, 각 degree에서의 한계 거리 및 속도 등이 설정되었다. 4 DOF는 크레인이 x, y, z축으로 움직이고, 파지장치의 팔이 개폐하는 움직임으로 구성되어 있다. 시뮬레이션을 실행하는 가운데 파지장치와 드럼과의 충돌이 일어나면, 충돌 부위가 다른 컬러로 표시되며 수행을 중단하고 사용자의 명령을 기다리게 하였다.

크레인의 이동 속도 및 파지장치 팔의 개폐속도는 실제적인 속도로 설정하여 수행함으로써, 사용자가 느끼는 속도의 적정성을 감지해 볼 수 있다. 그래픽 시뮬레이션의 결과 개발된 장치는 최적의 조건으로 동작하고 있음을 보여 주었으며, 크레인과 유기적인 동기화도 원만히 이루어 졌음을 알 수 있었다.

## 6. 결론

중·저준위 폐기물 드럼의 위치를 자동으로 인식하여 파지할 수 있는 드럼 원격 파지장치를 개발하였다. 본 연구에서는 기존에 개발한 무진동크레인에 의해 이송하고자 하는 드럼의 위치로 이동된 중·저준위 폐기물 드럼의 원격 파지장치는 초음파센서 및 광전센서가 부착되어 있어 센서로부터 각종 정보는 PC에 의해 제어된다.

중·저준위 폐기물 드럼 원격 파지장치를 이용하여 드럼 파지시험을 한 결과 전반적인 구동시험에 있어 만족한 결과를 얻었으며, 중·저준위 폐기물 드럼 원격 파지장치의 구동 시험 결과 여러 가지 센서 정보를 이용한 드럼 파지장치는 드럼 이송 작업의 자동화에 가장 중요한 요소가 되며, 이송 작업의 신뢰도와 효율을 향상시킬 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. Jones, J.F., et al., "Swing Damped Movement of Suspended Objects", SAND-87-2189, 1987.
2. Ridout, A.J., "Variable Damped Swing Control of the Overhead Crane", IECON Proceedings, Vol.2, pp.263-269, 1989.
3. Torbitt, A.J., et al., "Development of Deployment Results of the Tethered Remote Operating Device", Proceedings of ANS 6th Topical Meeting on Robotics and Remote System, Vol.1, pp.62-69, 1995.
4. Case, D.R., et al., "Remote Viewing System Development in BNFL", Proceedings of the International Conference of Remote Techniques for Hazardous Environments, pp.29-30, 1996.