

이동로봇을 이용한 원자력발전소 Sump 내 슬러지 제거

김창희, 신호철, 서용철, 정경민
한국원자력연구원 원자력융합기술부

Sludge Cleaning in the Sump of Nuclear Power Plants Using a Mobile Robot

Kim Changhoi, Shin Hocheol, Seo Yongchil, Jeong Kyungmin
Korean Atomic Energy Research Institute Nuclear Technology Convergence Division

Abstract 원자력 발전소 운전과정에서 발생하는 각종 폐액은 저장/여과 과정을 거치게 된다. 이러한 폐액의 저장/여과 과정에서 탱크 내에 침적된 방사성 슬러지들은 농축 고화 처리가 요구되며 방사선량에 따라 작업자의 접근이 제한적이다. 본 논문에서는 탱크나 섬프(Sump)내의 방사성 슬러지를 제거하기 위하여 개발 중인 로봇의 기능과 이를 이용한 슬러지 제거 기초실험 결과를 제시한다.

1. 서 론

원자력발전소는 운전과정에서 불가피하게 발생하는 방사성 폐기물 중 액체방사성폐기물과 같은 각종 폐액은 저장/여과 과정을 통해 방사선량을 충분히 낮춘 후 주변 환경으로 배출되며 이중 액체방사성폐기물은 최종적으로 바다로 방출하게 된다. 이러한 방사성 폐기물의 저장/여과를 위한 탱크나 섬프 내의 고용존 물질이나 슬러지를 제거하면 방출할 액체폐기물의 방사능도를 충분히 낮게 유지할 수 있어 액체폐기물처리계통 운전시간과 방출하는 총방사능량을 크게 줄일 수 있다.

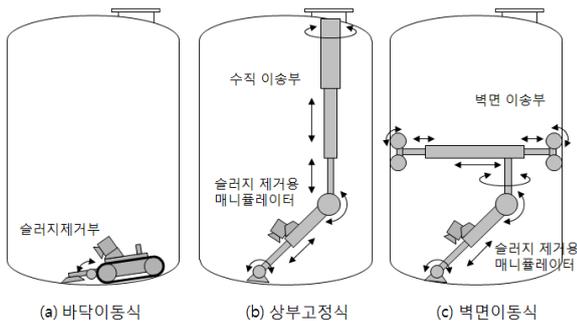
일반 저장조 내 슬러지 제거/검사 로봇은 유류 저장조, 화학약품 탱크 및 식수 탱크 등에 대부분 적용되고 있으며, 이들 제품은 원자력 시설 내의 고용존 물질이나 슬러지 제거에 직접 적용이 불가능한 경우가 대부분이다. 미국의 DOE에서는 핵무기 제조 시설내의 폐기물 탱크 청소를 위해 원격 조종 로봇을 활용하였으나 간단한 이물질 취급을 위해 간이 제작된 수준이며, 대형 폐기물 취급을 위해 사용된 HOUDINI의 경우 중량이 약 500kg 이기 때문에 취급이 어려움이 있다.

2. 본 론

2.1 슬러지 제거 로봇의 구조 선정

현재 국내 원전 내에는 다양한 크기와 형태의 방사성 슬러지 저장 용기가 존재하며 경우에 따라서는 내부에 파이프 등 다양한 구조물들이 존재할 수 있다.

원자력 발전소의 각종 탱크 및 섬프 내의 슬러지를 제거하기 위한 로봇은 그림 1에서 보여주는 것처럼 전 후진 및 좌우 회전이 가능한 이동부 및 상하회전이 가능한 슬러지 제거부로 구성된 바닥 이동 방식, 상부 또는 측면의 인입구측에 고정되어 슬러지 제거 위치에 따라 수직 이송을 시키는 수직이송부에 슬러지 제거용 매니퓰레이터가 장착된 형태의 인입구 방식, 벽면 양측을 지지하며 수직 이송이 가능한 벽면 이송부에 슬러지 제거용 매니퓰레이터가 장착된 형태의 벽면 이동 방식 등을 형태가 있다. 인입구 고정식의 경우 원하는 위치로 슬러지 제거장치를 이동시키는 조작성이 우수하며 바닥 조건과 관계없이 작업이 가능하나



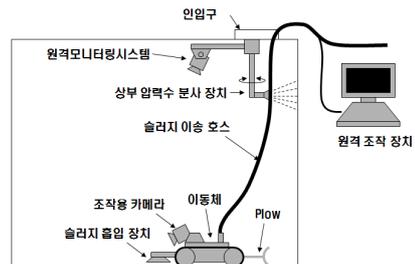
<그림 1> 슬러지 제거용 로봇 구조

중량이 무겁고 그 크기가 크기 때문에 설치가 어려울 수 있으며 내부에 구조물이 있을 경우 간섭이 발생하는 문제점이 예상된다. 특히 다양한 크기의 탱크에 적용하기 위해서는 여러 가지 크기의 링크 구조물을 구비해야하는 문제점이 있으며 또한 벽면 이동식의 경우 인입구 고정식과 마찬가지로 설치의 어려움, 내부 구조물 간섭 등의 문제점이 예상되며 수직방향으로의 안정된 이동 기구 및 제어 방법이 요구된다. 이에 반해 바닥 이동식은 바닥의 조건에 따라서 조작에 어려움이 예상되나 설치 용이성 및 다양한 탱크에 대한 대응성이 높다. 표 1은 각 형태의 장단점을 보여준다.

<표 2> 섬프 내 슬러지 제거용 로봇 형태 비교

	바닥 이동식	인입구고정식	벽면 이동식
최소 구동 자유도	3	5	6
설치 용이성	◎	△	△
조작성	○	◎	○
탱크 크기 대응성	◎	△	○
내부 구조물 대응	◎	△	△
급경사 작업	△	◎	◎
벽면 세정 능력	△	◎	○

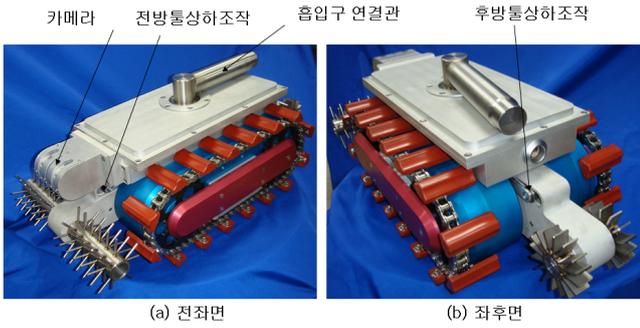
원자력발전소 환경 조사 결과 설치 주변 공간의 협소한 경우가 많으므로 슬러지 제거 로봇은 소형이어야 하고 설치/입퇴설시 작업자 피폭을 줄이기 위해서는 중량이 가벼워야 하며 또한 다양한 크기와 형태의 탱크에 대응하여야만 슬러지 제거 로봇의 활용도를 높일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 형태와 크기의 저장 용기에 적용 가능한 바닥 이동식 로봇을 선정하였다. 그림 2는 이러한 절차에 의하여 작업을 수행하기 위한 슬러지 제거 로봇 시스템의 구성을 보여준다.



<그림 2> 슬러지 제거 로봇의 구성

2.2 슬러지 제거 로봇 기구부 개발

슬러지 제거를 위한 로봇 기구부는 슬러지 내부에서 작업을 수행하게 되므로 10m 방수가 되도록 트랙 모듈의 방수를 위해 외부 노출되는 회전 축에는 실(Seal)을 장착하고 결합부에는 O링 또는 고무 가스켓을 부착할 수 있는 구조로 설계하였다. 또한 로봇에 연결된 흡입관을 통해 많은 양의 슬러지를 흡입하게 될 경우 연결된 흡입관에 의해 로봇의 이동성이 저해될 것으로 예상되므로 로봇의 중량은 작업자가 취급할 수 있는 한 최대한 무겁게 하였으며 트랙을 구성함에 있어서 체인/스프라킷 방식을 사용함으로써 내구성을 높이며 체인에 갈퀴형의 패드를 부착함으로써 트랙과 바닥면의 슬립을 이용하여 슬러지를 바닥으로부터 이탈시킬 수 있는 구조로 설계하였다. 그림 6은 제작된 로봇의 구조를 보여준다.



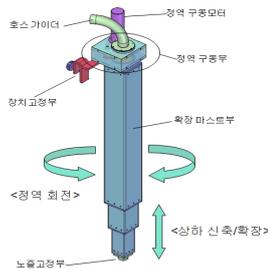
<그림 3> 슬러지 제거용 로봇

슬러지 제거 로봇을 구성함에 있어서 몸체에 좌우 트랙을 일체화하여 설계할 경우 설계 변경 및 기능 추가시 몸체를 새로 제작해야 하는 어려움이 있으므로 좌우 트랙을 모듈화하고 트랙 구동 기능뿐만 아니라 슬러지 제거 툴 구동 기능까지 일체화함으로써 설계 변경 시 대응을 용이하도록 하였으며 일체화된 트랙 모듈내에 고용량의 모터를 장착함으로써 이동 및 툴 제거시 충분한 구동력을 발생시키도록 하며 모터를 구동/제어하는 제어기를 모듈 내에 일체화시킴으로써 외부에서 전원 및 통신선만을 연결함으로써 동작할 수 있도록 하였다. 또한 탱크 바닥과 같은 비평탄면 이동시 전후방 툴 및 흡입구와 바닥면 간섭에 따른 이동성 저해문제 해결을 위해 전후방 툴 및 흡입구의 상하이송이 가능토록 하였으며 내부 환경 관측 및 운전을 위한 카메라 및 조명을 로봇 전면부에 설치하였다. 표 2는 로봇의 주요 제원을 보여준다.

<표 2> 로봇 주요 제원

항 목	제 원
로봇 폭	250 mm (최소 인입경 300mm기준)
중량	30 kgf
최대 이동속도	100 mm/sec
최대 등판 각	40 °
트랙	트랙 길이 300 mm 트랙폭 80 mm
평균 면압	0.125 kgf/cm ²

섬프 바닥에 고착되어 있는 슬러지를 액체 상태로 만들어 흡입하기 위한 세정수 분사 장치는 그림 4에서 보여주는 것처럼 섬프 인입구에 장치고정부에 의하여 간단하게 설치가 가능하도록 하였으며 수동 조작에 의하여 상하로 신축이 가능하여 바닥까지 세정수 분출 압력의 유지가 가능토록 하였고 몸체가 회전토록 하여 섬프 내 모든 방향으로 세정수 분출이 가능토록 하였다.



<그림 4> 세정수 분사 장치

2.3 슬러지 제거 로봇 제어부 개발

로봇 양쪽 트랙 구동 및 툴 회전을 위하여 상용의 DSP 기반 DC 모터 제어기를 선정하여 모듈 내에 일체화시킴으로써 외부에서 전원 및 통신선만을 연결함으로써 동작할 수 있도록 설계하였으며 트랙 모듈내에서 가장 고장 확률이 높은 제어기를 쉽게 장탈착할 수 있는 구조로 설계함으로써 고장 발생시 신속한 대응이 가능하게 하도록 하였다.

로봇 몸체에 장착되어 전후방 툴의 상하이송, 흡입구 높이 조절 및 로봇 전면부에 장착된 카메라 모듈의 틸트 동작을 위한 4개의 소형 모터를 구동하기 위한 제어기는 TI사의 TMS320F2811 DSP를 사용하여 제작하였다. 각 제어부의 통신은 CAN 통신 방식을 사용하여 향후 확장이 가능토록 하였다.



<그림 5> 트랙 모듈 내에 장착된 제어기

로봇의 원격제어를 위한 제어반은 원격에서 작업상황을 관측하기 위한 모니터와 작업상황을 녹화하기 위한 DVD 장치 및 로봇 조작을 위한 제어 패널로 구성된다. 제어반은 이동 및 설치가 용이하도록 경량화하여 제작하였으며 제어판넬의 I/O 신호 처리를 위한 프로세서는 상용 DSP 보드를 사용하였으며 로봇 제어기와는 CAN 통신방식으로 연결되도록 하였다.



<그림 6> 이동형 원격제어반

2.4 슬러지 제거 로봇 기초실험

성능확인을 위해 고화 슬러지의 분쇄시험, 액형 슬러지의 흡입 시험 및 탱크/섬프 목업에서의 슬러지 제거 로봇 운용시험을 수행하였다.



(a) 분쇄 (b) 흡입
<그림 6> 슬러지 제거 시험 광경

3. 결 론

원전 운전 시에 발생하는 슬러지를 원격에서 제거하기 위한 로봇을 개발하여 목업에서의 기초 성능 시험을 수행하였다. 원자력발전소의 1, 2차측 각종 탱크와 배수로, 섬프 내 고용존 물질이나 슬러지를 효율적으로 제거하여 처리할 수 있는 로봇 기술을 확보함으로써 방사선 준위가 높은 지역의 감시와 원격작업에 로봇 기술의 응용 및 활용이 가능할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 전력산업연구개발사업으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Research Needs for High-Level Waste Stored in Tanks and Bins at U.S. Department of Energy Sites: Environmental Management Science Program, National Academies Press, 2001.
- [2] Scarab III Remotely Operated Vehicle System, DOE, OST Reference #2086, 1999.
- [3] D.P. Vesco, B.L. Burks, S.D. Van Hoesen and D.J. Kington, "Lessons Learned and Final Report for the Houdini Vehicle Remote Operations Operations at the Oak Ridge National Laboratory," 2001 ANS, 2001.