

# 선박배관 검사용 로봇시스템의 기능 및 구현에 대한 연구

윤석호\*, 이문식\*, 김문철\*, 윤금중\*, 김민섭\*, 손영득\*

\*한국기술교육대학교 기계설비제어공학과

e-mail: sukhoyun, chaos740, bluein999, goldbell7777, mskim021484, ydson@koreatech.ac.kr

## A Study on the Function and Implementation of Robot System for Ship Piping Inspection

Seok-Ho Yoon\*, Moon-Shik Lee\*, Moon-Chul Kim\*, Geum-Jong Youn\*, Min-sub Kim\*, Yung-Deug Son\*

\*Dept. of Mechanical Facility Control Engineering, KOREATECH

### 요 약

본 연구에서는 선박 배관 내부의 결함을 검사하기 위한 로봇 시스템의 기능 및 구현에 대하여 고찰 하였다. 선박에는 선박운항 및 화물적재를 위한 고온 고압 배관 시스템이 많이 설치되어 있으며, 이 배관들의 역할은 매우 중요하다. 선박 건조시 설치되는 배관은 향후 선박운항에 지대한 영향을 미치게 되므로 배관 설치 후 배관에 대한 안정성 검사를 수행하게 되는데, 선박 크기에 따른 배관 시스템은 복잡하고 밀폐의 어려움으로 검사원의 검사 자체를 매우 어렵게 만든다. 이를 해결하기 위하여 배관 검사용 로봇시스템을 적용하는 연구 개발이 지속되고 있는데 본 논문에서는 배관 검사용으로 개발된 여러 배관 검사용 로봇의 기능 및 구현에 대해 기술한다.

### 1. 서론

선박의 배관 시스템은 연료, 물, 오일 등 여러 유체를 운반하는 중요한 역할을 수행하며, 배관 설치 후 안정성 검사가 필수적이다. 기존의 검사 방법은 주로 인력에 의존하며, 시간과 비용이 많이 소요된다. 또한, 접근이 어려운 부위의 결함을 놓칠 가능성이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 형태의 로봇이 연구되고 있다. 로봇의 개발 형태는 배관 검사의 용도에 따라 구분 될 수 있다. 이미 국내외에서 이러한 수요에 따라 다양한 제품의 배관 검사용 로봇이 연구 개발 되어 시장에 출시되고 있지만, 선박의 배관 검사 전용으로 개발된 로봇은 소수에 불과하고 충분한 기능을 발휘할 수 있는 로봇은 아직 업무에 적합하지 못한 부분이 있는 것으로 보인다. 본 논문에서는 선박건조 현장에서 현재 사용중인 배관 검사용 로봇 시스템의 여러 가지 분석과 구성요소, 적정배관 크기, 배관의 적용재질 및 형상, 용도, 주행거리, 작동방식, 통신방식을 종합하여 기술하고 그에 따른 개발 사례와 제어기술, 원격조작 기술, 전원 등을 확인 할 수 있다.

### 2. 본론

표 1과 같이 ①육안검사를 위한 지그 형태로 개발된 로봇, ② 카메라 검사를 위한 원격조정형 로봇, ③배관내부 클리닝을 위한 원격조정용 로봇, ④국부퍼징을 위한 퍼징로봇, ⑤인소스 RT검사를 위한 RT(Radiographic Testing)검사 로봇으로 구분 할 수 있다.

[표 1] RT검사 로봇

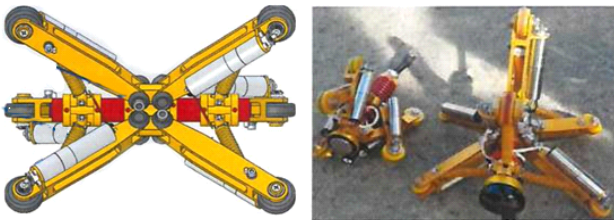
종류	배관크기 (inch)	적용재질 및 형상	용도
검사지그	1.5	SUS관(비자성) 수평/수직/Elbow/Tee	카메라검사
카메라검사 로봇	6~32	무관 수평/수직/Elbow	카메라검사
클리닝로봇	6~20	무관 수평/수직/Elbow	산화막제거 백비드 제거
퍼징로봇	10~32	무관 수평/수직/Elbow	카메라검사 국부퍼징
RT검사 로봇	12~48	무관 수평/수직/Elbow/Tee	인소스RT검사

검사 지그 카메라는 검사하고자 하는 배관에 작업자가 접근할 수 있는 환경이 되어야 하고, SUS 및 비철(비자성체) 배관에 적용이 가능하며, 외부 통신이 불가능 하여 USB캠코더 (SD CARD) 활용하여 그림 1과 같이 배관 내부 영상을 녹화하여 저장 할 수 있다.



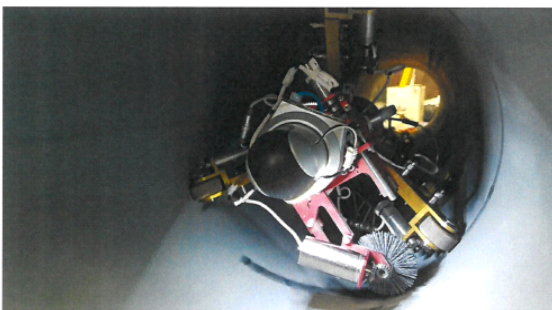
[그림 1] 카메라 검사지그

그림 2의 카메라 검사 로봇은 소형 배관에 카메라를 이용한 육안 검사에 적용이 가능하며, Motor 10w × 62:1(감속비), 수직관, 수평관, 엘보우관 내부의 수평 유지를 위한 Auto Centering 구조와 전방 충돌 방지용 Shock Absorber의 구성이며, 모든 재질의 배관에 적용이 가능하며, 7~10Kgf의 견인력을 가지며 스마트폰 기반의 연기로 조종이 가능하다.



[그림 2] 카메라 검사로봇

배관내 녹, 얼룩, 산화막, 용접비드, 부분 산화 및 발청 제거가 가능한 기능을 가지며 파이프의 재질에 상관없이 최대 9m/min 주행속도로 작업이 가능하고 31Kgf의 견인력을 가지며 12.1" 모니터로 원격으로 조종과 녹화가 가능하며 배관로봇(11Kg)과 케이블(13Kg), 조작반(9Kg), 컴퓨터(9Kg)의 무게로 그림 3과 같이 배관내에서 클리링을 자체 수행할 수 있다.



[그림 3] 카메라 검사로봇(클리링)

배관내 가스 및 공기주입을 위한 퍼징로봇의 구조는 다리 확장형으로 최대 32 inch의 배관에서 그림 4와 같이 PTZ (Pan-Tilt-Zoom)카메라를 활용하여 국부퍼징을 실시하는데 전체 배관을 풀 퍼징 했을 때 대비 퍼징로봇을 이용하여 국부 퍼징만 이루어지면 아래 [표 2]와같이 아르곤가스 주입량이 1/30 이하로 줄어 들고 퍼징시간 또한 5분 이하로 감소하여 작업 대기 시간을 줄여 공정단축 및 고품질을 확보할 수 있다. 적용가능한 파이프의 재질은 무관하며 4m/min의 속도와 62Kgf의 견인력과 배관로봇(8Kg)과 케이블(13Kg), 조작반(9Kg), 컴퓨터(9Kg), 관경별 퍼지캠(32"/8Kg), 추가 케이블(11Kg)으로 최대 100m까지 퍼징을 실시할 수 있다

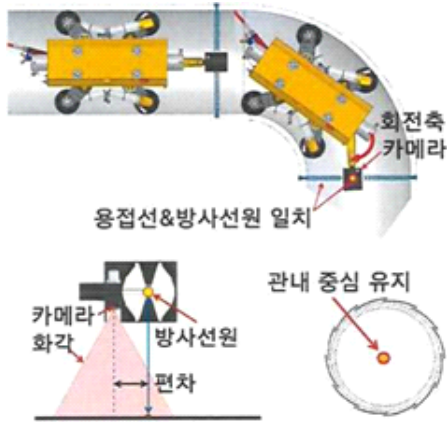


[그림 4] 퍼징로봇

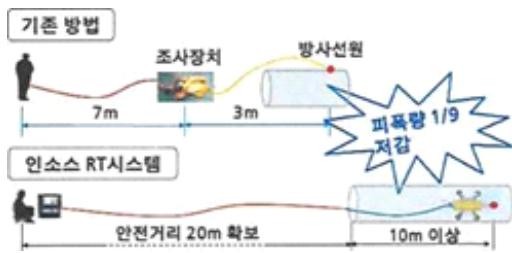
[표 2] 풀퍼징 vs 국부퍼징 비교

구분	풀 퍼징	국부 퍼징
비교대상	20" 60 m, 산소농도 20 ppm이하	
아르곤가스	30 m <sup>3</sup>	0.4 m <sup>3</sup>
퍼징 시간	약12~18시간	5분

인소스 RT로봇은 방사선비파괴 검사로 검사시간을 최대 1/300이 감소되는 RT로봇은 12.1" 모니터를 통해 녹화가 가능하며, 최대 9m/min의 주행속도로 원격조정이 가능하다. 배관의 크기에 따라 12~18" 과 20~42" 형으로 구분되며, 방사선 발생장치 (r-ray)는 QSA사의 880Delta 컨테이너이며 국가별 승인이 필요하다. RT 검사 로봇은 배관내 중심을 유지하면서 그림 5와 같이 회전축 카메라가 화각과 방사선원의 편차를 줄여 배관내 용접선과 방사선원이 일치하여 유지되도록 설계 되었다. 이로 인한 방사선원과 검사원의 안전거리가 그림 6와 같이 20m 확보로 피폭량이 1/9 저감되어 안전성을 확보하게 되었다. 배관 검사용 로봇의 구조는 로봇몸체부, 구동부, 지지부, 카메라부, 작업부로 나누어진다. 로봇몸체부는 로봇의 골격에 해당되며, 여기에 나머지 파트가 부착이 된다. 구동부는 배관의 형태에 따라 차륜형과 주행이 가능한 바퀴로 이루어지며, 로봇이 배관에 부착된 상태로 이동이 가능하도록 배관내부 지지력과 추진력을 제공한다. 그리고 다양한 직경에 대응 가능하도록 바퀴를 부착한 다리가 직경 방향으로 이동 가능한 구조이다. 그리고 장애물 회피를 위해 로봇몸체부를 따라 원주방향으로도 이동이 가능하다.



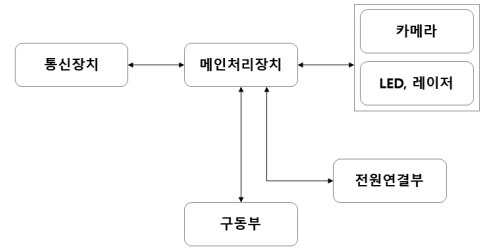
[그림 5] 인소스 RT로봇



[그림 6] RT시스템 피폭 안전거리

지지부는 로봇이 원주방향으로 이동이 가능하도록 구동부와 함께 로봇을 지지하는 장치이다. 그리고 카메라부는 배관검사를 위한 검사장치가 부착될 부위로 배관의 원주방향 과 축방향으로 이동이 가능하다. 본 연구에서는 배관의 검사뿐만 아니라 상황에 따라서는 배관내의 이물질질을 청소할 수 있는 기능을 고려하였다. 청소 모듈을 설계함에 있어서 청소 성능은 일반 가정용 청소기 정도의 성능으로 배관 내의 Tig용접봉, Sus Tip, 그라인딩 슛돌가루, 장 갑 실밥 정도의 이물질질을 제거할 수 있다. 청소모듈의 구성은 800W급의 AC 모터와 쓰레기 흡입구 및 공기 토출구, 그리고 필터로 이루어져 있다. 선박용 배관의 경우에는 벨루지 턱이 존재하게 된다. 그리고 대부분의 이물질은 배관의 아랫부분에 쌓이게 되므로 청소 모듈 흡입구를 로봇의 아랫면에 배치함으로써 이물질질을 효율적으로 제거할 수 있게 된다. 로봇의 하드웨어 구성은 그림 7과 같이 주처리장치, 컴퓨터와 통신장치, 카메라 및 레이저, LED, DC motor로 연결되는 주변기기 연결부로 구성되고 출력을 위한 전원연결부가 구성된다. 로봇의 원격제어기술은 로봇의 관절은 직렬로 연결된 Dynamixel 모터를 탑재하고 있다. 로봇에 탑재된 제어기는 무선 통신(WiFi)으로 원격제어 시스템의 주처리장치와 연동된다. 로봇의 링크에는 무선 카메라가 탑재되어 있어 영상을 원격제어 시스템으로 전송해 주며, 이는 로봇 이동 제어와 배관 자동 감지 및 파지에 사용된다. 컴퓨터통신 장치는 2.4GHz와 5.8GHz의 Wifi 통신 보드로 구성 되는데, 이는 각각 제어 명령과 영상 정보의 무선 송

수신 시 같은 주파수 대역의 중복으로 인한 문제를 피하기 위함이다.



[그림 7] 하드웨어 구성

#### 4.결론

본 논문에서는 선박내부에 설치된 복잡한 연결 구조의 배관을 타고 다니면서 비파괴 검사가 가능한 협소지역 장애물 극복형 배관 검사 로봇 시스템 개발에 관하여 기술하였다. 이 로봇들은 로봇에 장착된 케이블로 전원을 공급하고, 외부와의 통신은 무선 방식을 채택함으로써 로봇 이동에 장애가 되는 케이블들을 최소한의 방향으로 개발되어 있다. 선박 배관 검사를 위한 이동로봇을 사용 중이며, 직관 및 곡관의 수직 등반이 성공적으로 작업이 이루어지고 있다. 장애물 회피와 관련된 내용은 향후 진행될 예정이며, 이후 배관 검사 자동화를 위한 장치로 적극 활용될 것으로 기대된다

#### 참고문헌

[1] 이상현, 권기대, 신형섭, 장현영 “배관 검사용 이동로봇의 개발”, 2012년도 대한기계학회 재료 및 파괴부문 춘계학술대회 논문집, pp.19-19

[2] 최유락, 이재철, 최영수, 김재희, 이남호 “배관검사용 원격 제어 다관절 로봇 개발” 한국컴퓨터정보학회 하계학술대회 논문집 제22권 제2호(2014. 7), pp247-248

[3] 이재열, 홍성호, 이주환, 이종득, 정명수, 박정우, 서진호, 한경룡, 유호, 최일섭 “산업배관청소로봇을 위한 자동청소제어방법 개발” 한국정밀공학회 2014년도 추계학술대회논문집 pp59-60

[4] 최형식, 나원현, 강동완, 강형석, 전지광, 김현식 “배관 검사 및 청소 로봇의 개발” 한국마린엔지니어링학회지 제33권 제5호, pp. 662~671