2011년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2011. 7. 20 - 22

카메라와 다중 레이저를 이용한 배관 탐사 로봇 기구의 적용성 평가

남문호*, 박성욱*, 백승해**, 박순용**, 김창회***, 김승호***
(주)삼영검사엔지니어링*, 경북대학교**, 한국원자력연구원***

Evaluation on the Application of In-Pipe Inspection Robot with Multiple Lasers and Cameras.

Mun-Ho Nam*, Seong-Wook Park*, Seung-Hae Baek**, Soon-Yong Park**, Chang-Hoi Kim***, Seungho Kim***
Sam Yong Inspection Engneering Co.,Ltd*, Kyungbook National University**, Korea Atomic Energy Research Institute***

Abstract - There have been numerous studies on application of robots to in-pipe inspection system.
In this thesis, a mobile robot that can move through elbows and vertical pipes having diameter 100mm is developed. Defect detection technology for locating wall-thinnings, corrosions and foreign materials is developed for high temperature and pressure pipings in thermal power plants, utilizing laser sensors installed on the robot.
Actual defect detection performance is evaluated with application of the developed robot system to a mock-up pipings.

1. 서 론

발전설비의 사용연수가 경과함에 따라 노후화로 인한 부식, 피로, 경년열화 등이 발생함은 물론, 배관 모재 내에 미세 크랙(Crack)이 존재할 수도 있으며, 만약 배관이 파손되어 문제가 발생할 경우 커다란 인적, 경제적 손실이 발생되므로 정기적 또는 부정기적으로 배관의 안전성을 검사하여야 한다.

발전설비의 정밀진단 및 최적 관리에 필요한 절차와 단계별 요소 기술은 매우 복잡하고 다양하다. 이러한 복잡한 환경에서 첨단 검사기술을 효율적으로 적용하기 위해서는 소형 배관 내에서도 이동이 가능한 로봇이 개발되어야 한다.

이러한 배관을 검사하기위한 비파괴 검사방법으로는 방사선투과검사(Radiographic Testing: RT), 초음파탐상검사(Ultrasonic Tdsting: UT), 와전류검사(Eddy Current Testing: ECT), 경도시험법(Hardness Test) 등 많은 검사 방법이 있으며, 최근에는 레이저(Laser)와 카메라 영상을 이용한 배관 내부 표면의 결함 검사 방법도 사용되고 있다.[1]

본 논문에서는 모바일 로봇을 개발하여 소형 배관(직경 100mm)의 곡관부 및 수직배관 이동이 가능하도록 하였으며 로봇에 탑재된 레이저 센서를 이용하여 배관 내부 감육, 부식, 이물질 등의 결함 탐지하여 화력발전소의 고온고압 배관 내부 결함탐지 기술을 개발하여, 배관 목업에서 가능성 여부를 평가하여 보았다.

2. 기술현황 분석

2.1 국외 기술현황

미국 Envirosight사는 차륜타입의 배관 내부 육안검사용 로봇인 ROVER시리즈를 개발하여 판매하고 있고, 브뤼셀 대학(Universite Libre de Bruxelles)에서는 바퀴의 나선형 회전으로 배관 내부를 이동하는 HELI-PIPE 메커니즘을 개발하여 배관직경이 다양한 배관에 맞는 4가지 형태의 배관 검사 로봇을 개발하였다.

캐나다의 Inuktun사에서는 무한궤도를 이용하여 다양한 형태의 배관 검사 로봇을 제작 판매하고 있으나 이 로봇들은 모두 수직 배관 검사에는 적합하지 않다.

2.2 국내 기술현황

한국원자력연구원은 삼성중공업(주)의 의뢰로 LNG선박의 배관을 검사할 수 있는 배관검사 로봇을 2005년 개발하였다. 이 배관 검사로봇은 LNG 배관내의 이물질 검사를 위한 영상장치, 이물질을 흡일할 수 있는 진공청소장치, 배관 내 오염부위를 브러싱(Brushing)하기 위한 장치 등이 장착되어 있으며, 직경 250mm~500mm 배관의 곡관부 검사할 수 있다.

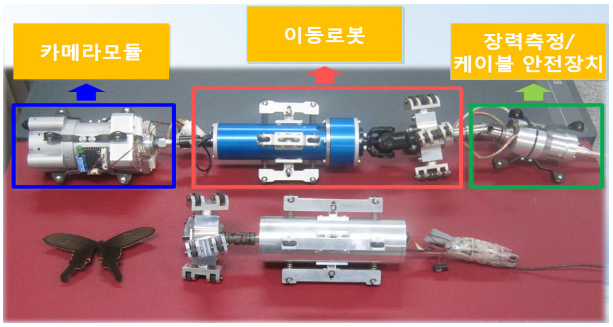
성균관대학교 메카트로닉스 연구실에서는 지하에 매설된 도시가스 배관을 검사하기 위해 지하매설 가스배관 비파괴검사 로봇을 개발하였다. 이 로봇은 자율적인 배관 내 주행, 배관내의 비파괴검사, 원격 조작자와의 실시간 제어 등의 특징을 가지고 있다.

한양대학교와 표준과학연구원은 공동으로 지하에 매설된 송유관 및 가스관의 검사를 위하여 지능형 PIG 메커니즘을 개발하였다. 개발된 지능형 PIG는 배관 내부의 형상결함 감지, 주행거리 계산, 비젼인식, 그리고 외벽의 부식을 탐지하는 비파괴검사를 수행할 수 있는 기능과 데이터 저장부 그리고 전원부로 구성되어 있다.

3. 시스템 구성

3.1 로봇의 구성

전체 로봇 시스템의 구성은 그림 1과 같이 카메라 모듈부, 이동로봇부, 장력측정/케이블 안전장치부로 이루어져있다.[2][3]



<그림 1> 로봇 구성

3.1.1 카메라 모듈 부

카메라 모듈 부는 직경 110mm, 길이 222mm의 원통형 구조로 배관 내부의 지지 및 이동의 안전성을 고려하여 판형 스프링구조로 4점 지지하였다. 이동로봇과 연결은 볼 관절을 적용하여 곡관부 기동시 곡관의 형상에 따라 자연스럽게 조향이 이루어지는 구조로 되어 있으며, 판형 스프링의 작용점간 중심점이 카메라의 초점위치와 동일한 선상에 위치하도록 하여 모듈의 곡관이동 시 비틀림 현상 발생 시 카메라 초점위치가 배관내부의 중심점에 위치하도록 하였다.

고해상도 CCD카메라는 차동입출력방식의 라인드라이버를 통하여 변조된 비디오 신호가 전송되고 통합제어기에서는 변조된 신호를 복조하여 비디오 캡쳐보드에 입력되게 되었고, 육안검사용 카메라 4채널은 동일한 변복조 과정을 수행하지만 전송 채널수를 줄이기 위해 시분할 다중방식의 비디오신호를 통합제어기에 전송하게 된다. 이외에 육안검사를 위한 LED조명을 장착하였다.

카메라 모듈의 자세 및 위치 추적을 위해서 기울기 센서와 가속도 센서를 이용한 위치 추적기능을 수행하고, 신호처리를 위한 32Bit의 고성능 연산제어기인 TMS320F2812의 소형 DSP를 내장하였다. 이동로봇 구동을 위한 모터 드라이버 L298을 사용하여 채널당 최대 2A로 구성되어 1개의 모듈을 이용하여 최대 2개의 구동부를 사용할 수 있도록 설계되었고, 전원라인통신 방법을 채택하여 별도의 통신선로가 없이도 통합제어기와의 통신이 가능하다.

또한, 회로을 구동하기 위한 전원회로가 내장되어 있다. 입력전압은 48VDC의 입력을 가지며, 구동부 구동하기 위한 모터 전압 24V 및 센서와 기타 회로들에 필요한 ±12VDC, 3.3VDC을 변환하여 사용된다.

3.1.2 이동로봇 부

배관내 이동성 및 안전성을 고려하여 4점 지지방식을 채택하였으며, 구동바퀴 유닛 및 구동 유닛 몸체 스프링 구조로 배관내부에 발생되는 불규칙적인 형태변화에 적응하도록 하였다.

직경 100mm, 길이 306mm 의 원통구조 이며, 구동바퀴 유닛과 구동 유닛 중공형 유니버설 조인트 연결로 곡관 이동시 유연성 확보, 동력전달 및 배선 통과가 가능하다.

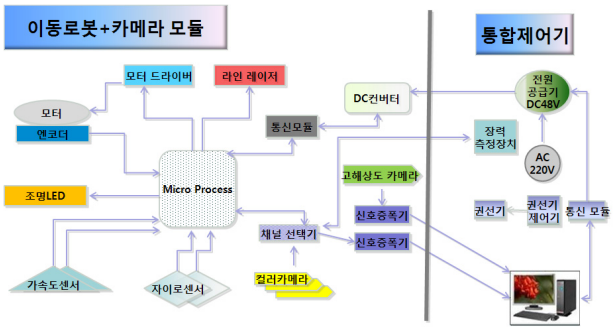
구동유닛에 사용된 모터는 3257024C이고, 1차감속기 32/2(66:1) 및 2차감속기(2.2:1)로 구동력 발생된다. 2차감속기는 소형화된 내치차형 구조로 설계하여 이동로봇의 전체적으로 중공형 구조를 가지고, 이동로봇의 구동바퀴 회전으로 발생되는 배선관통 문제를 해결하였다.

3.1.3 장력측정/케이블 안전장치 부

로봇 기동 시 케이블 장력 유지를 위하여 장착 하였다. 장력측정 범위는 0~10 Kg측정이 가능하며, 케이블 꼬임방지 장치 내장 되었고, 동작전원 직류 ±15V이다.

3.2 시스템 구성

전체 시스템의 구성은 이동로봇부와 카메라 모듈부, 통합제어기부로 나눌 수 있으며, 그림 2와 같다.



<그림 2> 시스템 구성

전원선 통신을 이용하여 통합 제어기 상호 통신망 구성하였으며, 고성능 제어기 및 상시전원 공급장치를 탑재한 차량으로 이동 제어기 활용한다.

4. 배관 결함 해석 알고리즘

배관 복원 및 결함 검출 과정은 다음과 같다.[4][5]

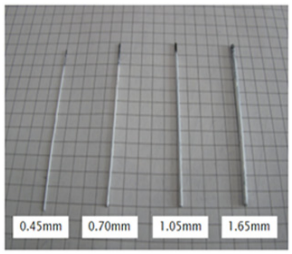
1. 배관 내부에 4개의 선형 레이저를 방출한 후 그 영상을 획득한다.(그림 5)
2. 획득된 영상과 카메라의 내부 변수(intrinsic parameter), 레이저 보정 정보 등을 정보를 활용하여 삼각법(triangulation)으로 단일 영상에 대한 배관 모델을 생성한다.
3. 생성된 단일복원모델 들의 배관 축을 계산한 후 그 축을 정렬하여 전체적인 배관 모델을 복원한다. (그림 6)
4. 복원된 배관 모델을 배관축 방향으로 투영하면 그림 7과 같은 결과를 얻을 수 있다. (복원된 모델이 원형으로 잘 복원된 것을 알 수 있다.)
5. 복원된 모델의 각 점이 배관 축으로 부터의 거리가 배관의 직경 보다 크거나 작은 경우 결함으로 판정한다.
6. 결함으로 판정된 부분은 붉은 색으로 표시한다.(그림 6, 그림 8)
7. 배관축을 중심으로 한 극좌표를 생성하여 펼친 그림을 생성, 가로축은 중심 각, 세로축은 축방향의 거리를 나타낸다.

5. 실험 및 결과

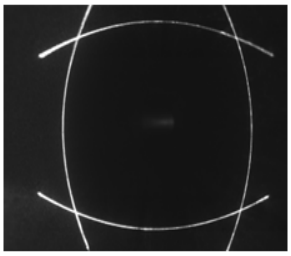
배관 목업 장치를 그림 3과 같이 구성하여 개발된 로봇 시스템을 실험하여 보았다. 목업은 크롬 몰리브덴강(Chrome-Molybdenum Steel)으로 화력발전소에서 이용되는 배관과 같은 재질로 총 길이 50m, 내경 100mm, 90도 곡관부 10 구간, 수직/하강 1 구간으로 구성되어 있다.

사용 시험편은 스틸(Steel)재질로 비파괴검사에서 사용되는 투과도계(Penetrameter)를 분리하여 그림 4와 같이 사용하였다.

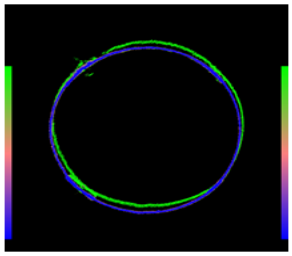
<그림 3> 배관 목업 장치



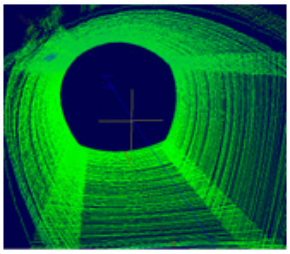
<그림 4> 사용 시험편



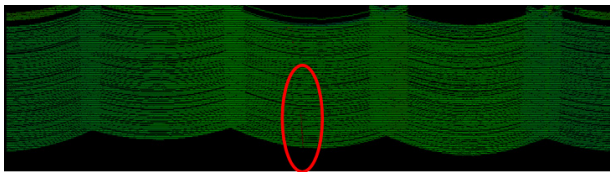
<그림 5> 배관 내부에 반사된 레이저 영상 획득



<그림 6> 복원된 배관 모델을 배관축 방향으로 투영



<그림 7> 배관 내부 복원



<그림 8> 축을 중심으로 한 극좌표로 펼친 영상

실험 결과 50m 배관 목업을 로봇이 수직/하강 및 주행을 하는데 걸린 시간은 2m/sec의 속도로 이동시 30분이 걸렸다.

결함 검출은 0.45mm의 철심까지 가능하였으며, 결함을 검출하기 위해 27mm/sec로 이동 하였다. 결함을 검출한 결과는 그림 8과 같다.

6. 결 론

국내 화력 발전의 노후화에 따라 배관의 건전성 유무가 대두되고 있는 실정이나 대부분의 배관이 보온재로 덮여 있어 배관 전장의 결함유무 검사는 현실적으로 어려운 실정이다. 따라서 배관의 새로운 비파괴 검사 방법이 절실하다.

본 논문에서 개발된 배관 로봇 탐사 기구를 이용하면, 배관의 전장을 모두를 검사 하고, 0.45mm의 결함 까지 검출할 수 있는 가능성을 확인해 보았다.

그러나, 결함 검출을 위해 레이저 스캔을 하며 로봇이 주행 할 경우 매우 느린 속도로 주행해야 하므로 검사 시간이 오래 걸린다. 이를 보완하기 위하여 배관 결함 해석 알고리즘을 좀 더 수정 보와 해야 할 것이다. 하지만, 본 시스템의 개발은 비파괴 검사 분야의 새로운 방법을 제시하였다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업연구개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] 박은수, 박익근, “비파괴검사개론”, 도서출판 골드, 2008
[2] Kim, Yun Jong, Yoon, Kyung Hyun, Park, Young-Woo, “Simulation and Experimental Comparison of Magnetic Wheels with Controllable Magnetic Force”, IEEE Transactions on Magnetics - Conferences, 2011
[3] 박영우, 김윤종, 윤경현, “다양한 배관크기에 적용가능한 배관탐사로봇의 개발”, 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, 2009
[4] 백승해, 박순용, “배관축 정렬 방법을 이용한 개선된 3차원 배관복원 방법”, 제어로봇시스템학회 논문지, 2011
[5] 백승해, 박순용, “카메라와 다중 레이저를 이용한 배관결함검사 시스템”, ICROS, 2010