

## 대형 산업설비 안전성 진단용 이동로봇 시스템 설계

### Design of a Mobile Robot System for Integrity Evaluation of Large Sized Industrial Facilities

박상덕\*, 이호길, 류영선, 손웅희, 정희돈

(Sangdeok Park, Ho-Gil Lee, Young-Sun Ryuh, Woong-Hee Son, and Hee-Don Jeong)

**Abstract :** A mobile robot system utilizing NDT (Non-Destructive Testing) method is designed and fabricated for automatic integrity evaluation of large sized industrial reservoirs and pipelines. The developed mobile robot can crawl over the outer surface of the industrial facilities even though the shape of the structures is various and unsymmetric. The robot detects defects such as pinholes, cracks and thickness reduction at the wall of the facilities using EMAT (Electro-Magnetic Acoustic Transducer). Image processing technology for weld line detection at the surface of the target and host programs including defect detecting algorithms are also developed. Automation of defect detection for these kinds of large facilities using mobile robots is helpful to prevent significant troubles of the structures without danger of human beings under harmful environment.

**Keywords :** mobile robot, integrity evaluation, NDT(Non-Destructive Testing), EMAT(Electro-Magnetic Acoustic Transducer)

#### I. 서론

최근 산업현장에서 유체수송관 혹은 고압 저장용기 등의 산업설비의 파손사고가 잦아지고 있다. 산업설비 부재의 균열 및 감육 등에 의해 발생하는 이러한 사고는 많은 인적, 물적 손실을 유발한다. 따라서 이러한 대형 산업설비의 예기치 않은 파손사고를 예방하기 위해서는 설비의 안전성을 주기적이고 지속적으로 점검할 필요가 있다. 대형 산업설비의 안전성 진단을 인력에 의한 수작업으로 수행할 경우 설비 주변에 작업용 발판을 쌓는데 비용이 많이 들고, 고소작업에 따른 위험성도 수반된다. 그러나 비파괴탐상 센서를 장착한 이동로봇 시스템을 이용하여 이러한 작업을 자동으로 수행하면 안전하고 비용이 절감될 뿐 아니라 짧은 시간에 넓은 면적을 검사할 수 있다. 따라서 비파괴탐상 센서를 장착한 이동로봇 시스템은 이러한 대형 산업설비의 안전성 진단 자동화에 가장 유용한 수단이 될 수 있다.

현재 각종 탐상 센서를 장착한 이동로봇은 항공기 구조물 진단[1,2], 대형 철구조물[3,4] 및 파이프[5,6] 등의 자동 검사 및 진단 등에 사용되고 있고, 그 적용 목적에 따라 다양한 형태의 이동로봇이 개발되었다. 파이프 검사용 이동로봇은 그 이동형태에 따라 내부이동형[6] 및 외부이동형[5]으로 구분된다. 대형 배관이나 저장용기 등의 검사를 위한 이동체의 형태는 하나의 대형 흡착컵을 가진 형태[7], 여러 개의 소형 흡착컵을 가진 형태[1,2,8], 자석바퀴[3,9] 및 자석케도[7]를 가진 형태로 분류할 수 있다.

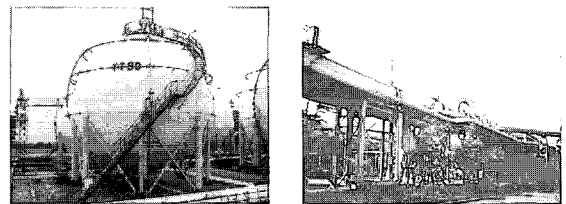
본 연구에서는 다양한 형상을 가지는 대형 산업용 배관과 저장용기의 안전성을 자동으로 진단하기 위한 이동로봇

시스템을 개발하였다. 이동로봇 개발을 위해 세 개의 영구 자석 바퀴와 EMAT (Electro-Magnetic Acoustic Transducer, 전자기유도 초음파 탐촉자) 구동기구부 및 제어시스템을 설계하였다. 설비 표면의 용접선 검출을 위한 영상처리 기법과 결함검출 알고리즘을 포함하는 호스트 프로그램도 개발되었다.

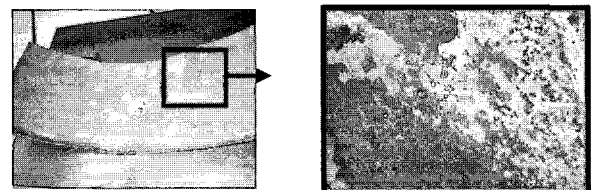
#### II. 이동로봇 설계

##### 1. 대상설비 및 그 결함

본 연구에서 개발되는 안전성 진단용 이동로봇의 적용대상 설비는 그림 1에서 보는 바와 같은 대형 산업용 저장용기 및 배관이다. 이러한 산업설비의 주요 결함은 마모와 부식에 의한 설비부재의 감육과 침식에 의한 균열 및 핀홀(pin hole)성 결함 등이다.



(a) Ball type reservoirs and pipelines in industrial fields



(b) Thickness reduction of pipe wall due to corrosion and erosion

그림 1. 대상설비 및 주요 결함의 예.

Fig. 1. Examples of the targets and their main defects.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 4. 22., 채택확정 : 2005. 4. 7.

박상덕, 이호길, 류영선, 손웅희 : 한국생산기술연구원 로봇기술개발본부(sdpark@kitech.re.kr/hglee@kitech.re.kr/ysryuh@kitech.re.kr/shon@kitech.re.kr)

정희돈 : 포항산업과학연구원 기전연구팀(hdjeong@rist.re.kr)

2. EMAT을 이용한 결함검출 방법

대형 산업용 배관 및 저장용기의 신속한 검사를 위한 결함검출용 센서로는 EMAT을 사용하였다. 그림 2에 보인 EMAT의 개략적인 원리와 같이 영구자석과 시편 사이에 놓인 전선에 전류가 흐르면 유도전류와 영구자석의 자기장에 의해 시편에는 플레밍의 왼손법칙에 따른 로렌츠힘(Lorentz force)이 발생된다. 만약 전선에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 힘의 방향이 바뀌고, 주기적인 전류의 방향 변화에 따라 방향이 변하는 로렌츠힘은 시편 내부에 유도초음파를 발생한다. 역으로, 시편 내부에 발생된 유도초음파의 변화에 따른 로렌츠힘의 변화에 따라 전선에 유도되는 전류가 바뀌기도 한다.

이러한 원리를 이용하여 유도초음파를 발생하는 송신기(transmitter)와 송신기로부터 전달된 유도초음파를 전류신호로 바꾸는 수신기(receiver)로 구성된 EMAT을 시편 위에서 스캔하여 송신기와 수신기 사이의 신호변화를 분석하면 둘 사이의 시편에 존재하는 결함의 유무를 판단할 수 있다. EMAT의 가장 큰 장점은 기존의 PZT를 이용한 초음파 탐촉자와는 달리 EMAT과 시편 사이에 매질이 필요 없으므로 넓은 면적의 신속한 스캐닝에 유리하다.

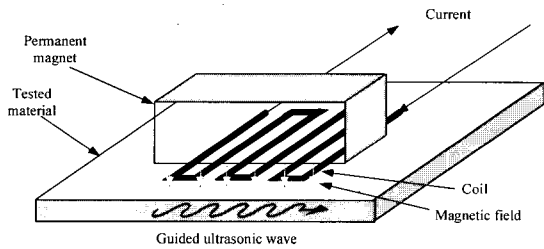


그림 2. EMAT의 원리.

Fig. 2. The principle of the EMAT.

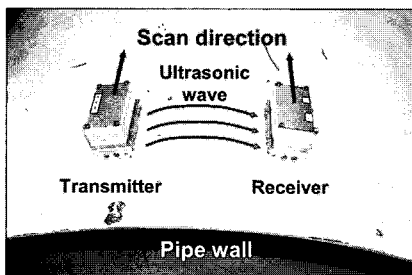
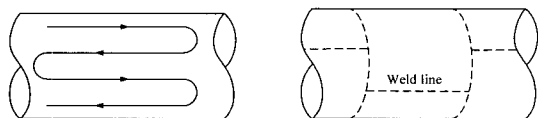


그림 3. EMAT을 이용한 대형배관의 결함검출 방법.

Fig. 3. Defect detecting on a large sized pipeline using EMAT.



(a) Inspection along longitudinal direction (b) Inspection along weld line

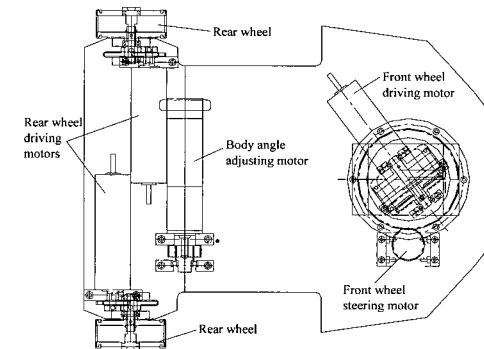
그림 4. 대형배관 검사용 이동로봇의 주행방법.

Fig. 4. Traveling method of the large size pipeline inspection mobile robot.

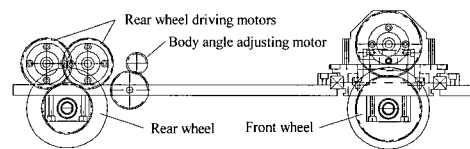
배관 혹은 저장용기의 바깥면에 부착된 EMAT은 그림 3과 같이 송신기와 수신기 사이의 설비부재에 존재하는 결함을 검출하는 유용한 수단이 될 수 있다. 따라서 대형 산업설비의 자동검사를 위해 EMAT을 장착한 이동로봇은 설비의 외면을 주행할 수 있도록 설계되어야 한다. 만약 점검 대상 설비가 배관일 경우, 이동로봇은 그림 4와 같이 배관의 길이방향 혹은 용접선을 따라 주행할 수 있어야 한다.

3. 이동로봇 설계

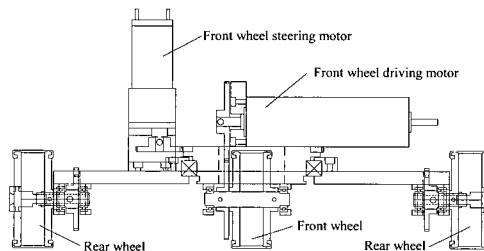
산업설비 안전성 진단용 이동로봇의 형태는 대상설비의 형태 및 검사방법에 따라 달라진다. 만약 검사대상물이 구형 저장용기이면 네 개의 자석바퀴를 가진 이동로봇은 설비로부터의 바퀴의 이탈 없이 임의의 방향으로 설비 표면을 주행할 수 있다. 그러나 설비의 형상이 배관과 같은 실린더 형상이면 네 개의 바퀴를 가진 자동차형 이동로봇은 길이방향 혹은 원주방향으로 주행할 때 외에는 최소한 한 바퀴가 설비 표면에서 떨어지게 된다. 이 경우, 세 개의 자석바퀴를 가지는 이동로봇은 이동로봇의 방향에 무관하게 모든 바퀴가 설비 표면에 부착된 상태에서 임의의 방향으로 이동할 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 그림 5와 같은 두개의 독립구동 후륜과 한 개의 조향전륜을 가진 이동로봇이 설계되었다.



(a) Top view



(b) Side view



(c) Front view

그림 5. 설계된 이동로봇 몸체부 구조.

Fig. 5. The mechanism of the designed crawler.

조향이 가능한 전륜은 자석바퀴를 가진 이동로봇의 구동력 증가를 위해 DC 모터로 별도로 구동되게 하였다. 그러나 이러한 차동구조의 이동로봇의 전륜이 별도의 조향장치와 구동장치를 가져서 두개의 여유자유도가 발생되므로 기구학적 구속조건을 이용하여 전륜의 구동을 제어할 필요가 있다. 세 개의 바퀴를 가지는 이동로봇이 배관의 길이방향으로 이동할 때 그림 6에서와 같이 배관의 직경에 따라 앞바퀴와 뒷바퀴 사이에 다음과 같은 높이 차이가 발생한다.

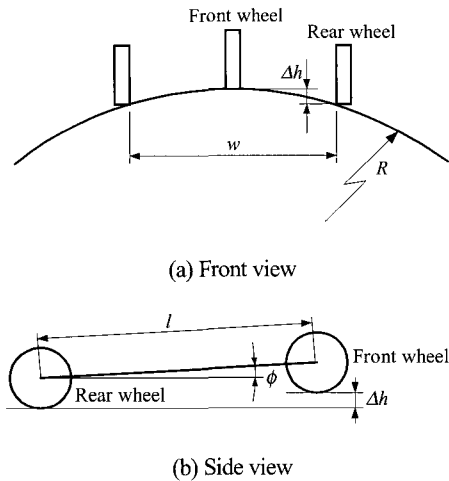


그림 6. 파이프 직경에 따른 이동로봇 몸체부 각도 변화  
 Fig. 6. Body angle of the mobile robot with respect to the diameter of the pipe

$$\Delta h = R(1 - \cos \phi), \tag{1}$$

여기서  $\phi = \sin^{-1}(w/2R)$ ,  $w$  는 두 뒷바퀴 사이의 거리,  $R$  은 배관의 반경이다. 따라서, 앞바퀴와 뒷바퀴 사이의 높이 차이에 의해 이동로봇 몸체는 그림 6(b)에서 보는 바와 같이 다음의 각도만큼 기울어진다.

$$\phi = \sin^{-1}(\Delta h/l), \tag{2}$$

여기서,  $l$  은 앞바퀴와 뒷바퀴 중심 사이의 거리이다. 그림 6(b)와 같이 이동로봇 몸체가 기울어지면 검사대상물을 스캐닝하기 위해 이동로봇 몸체에 탑재된 EMAT을 검사대상물에 정확하게 부착하는 것이 곤란하다. 이 문제를 해결하기 위해서는 이동로봇 몸체부나 EMAT을 구동하는 기구에 각도를 조절하는 기구가 필요하다. 본 연구에서는 이동로봇 몸체부에 몸체부 각도를 조절하는 기능을 부여하였으며, 그림 7에서 보는 바와 같이 이동로봇의 뒷부분을 C점을 중심으로  $\theta$ 만큼 회전시켜 이동로봇 몸체부의 기울기를 조절한다. EMAT을 들어올리고 내리는 기능을 하는 EMAT 구동기구는 이동로봇 몸체부의 앞부분에 부착된다.

EMAT을 검사대상물의 접촉면에 평행하게 부착하기 위한 이동로봇 몸체부의 각도  $\theta$ 는 검사대상물의 형상과 직경에 따라 달라진다. 예를 들어, 이동로봇이 그림 7과 같이 파이프의 길이방향으로 움직일 때 이동로봇에 부착된 EMAT이 파이프와 평행하도록 하는 각도  $\theta$ 는 다음과 같다.

$$\theta = \sin^{-1}(\Delta h/l_2) \tag{3}$$

이동로봇 몸체부 각도가 조절되는 동안 그림 7에서 뒷바퀴의 중심 O 역시 O'로 이동되어야 한다. 이 때의 이동거리  $\overline{OO'}$ 은 기구학적 조건으로부터 다음과 같이 쉽게 구해진다.

$$\overline{OO'} = l_2(\cos \phi - \cos \theta) - l_1(1 - \cos \phi) \tag{4}$$

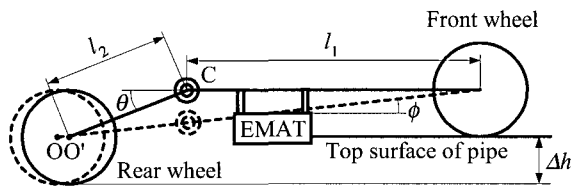


그림 7. 이동로봇이 파이프의 길이방향으로 이동할 때의 몸체부 각도 조절.  
 Fig. 7. Body angle adjustment when the crawler moves to the longitudinal direction on a pipe.

이상과 같이 검사대상물의 형상이 일정한 직경을 가진 파이프나 구형일 경우 직경에 따라 EMAT을 검사표면에 정확하게 부착할 수 있는 몸체부 각도와 뒷바퀴의 이동거리를 쉽게 계산할 수 있다. EMAT을 이용하여 검사대상물의 표면을 스캐닝할 때 이동로봇 몸체부의 각도를 (3)과 같이 조절하여도 이동로봇에 대한 EMAT의 높이는 파이프의 직경에 따라 달라져야한다. 이를 위해서는 다음 절에서 설명하는 EMAT 구동기구부가 필요하다.

4. EMAT 구동기구부 설계

검사대상물의 형상에 따라 EMAT의 송신기와 수신기의 접촉각이 서로 대칭일 때는 EMAT 구동기구부를 2개의 자유도를 가진 간단한 구조로 설계할 수 있다[9]. 그러나, 그림 8에서 보인 바와 같이 EMAT의 송신기와 수신기의 검사대상물에 대한 접촉각이 서로 대칭이 아닐 경우도 있다. 따라서, 이러한 조건에 대응하기 위해서 이동로봇에 부착되는 EMAT의 송신기와 수신기의 구동기구부는 각각 최소한 2자유도를 가져야 한다.

본 연구에서 개발된 EMAT 구동기구부는 그림 9에서 보

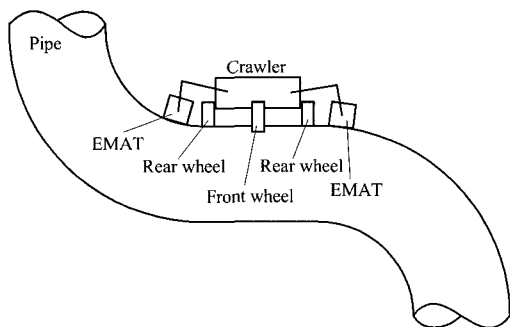


그림 8. EMAT을 이용한 파이프 원주방향 스캐닝의 개략도.  
 Fig. 8. Schematics of circumferential scanning of a pipe using EMAT.

는 바와 같이 양쪽에 각각 하나씩의 EMAT 상승 및 각도조절용 모터를 가진다. EMAT의 송신기와 수신기에는 강력한 영구자석이 내장되어 있으므로, EMAT을 이용하여 산업설비의 안전성을 검사할 때 송신기와 수신기는 설비의 벽면에 강하게 부착된다. 따라서, EMAT 구동기구부는 스캐닝을 위해 센서를 검사대상물에 놓을 때 검사대상물 근처에서의 급작스런 접촉에 의한 충격을 방지하고, 작은 힘으로도 센서를 검사대상물에서 떼어 낼 수 있도록 설계되어야 한다. 설계된 EMAT 구동기구부는 그림 10에서 보는 바와 같이 작은 구동력으로 큰 힘을 내는 소형 X-테이블을 양쪽에 구비하였다. 그림 10은 대형 산업용 저장용기 및 배관의 안전성 자동검사를 위해 설계된 이동로봇이다.

이동로봇의 앞부분에는 검사대상물의 육안검사를 위한 줌 CCD 카메라가 2자유도 구동부 위에 설치되어 있고, 검사대상물의 용접선 검출을 위한 카메라가 한 대 고정되어 있다. 이동로봇 몸체부에는 EMAT가 검출한 결함 근처에 페인트를 뿌려서 결함부를 표시하는 기구가 장착되어 있다. 표 1은 설계된 이동로봇의 성능과 사양이다. 그림 11은 개발된 이동로봇의 기구부의 모습이다.

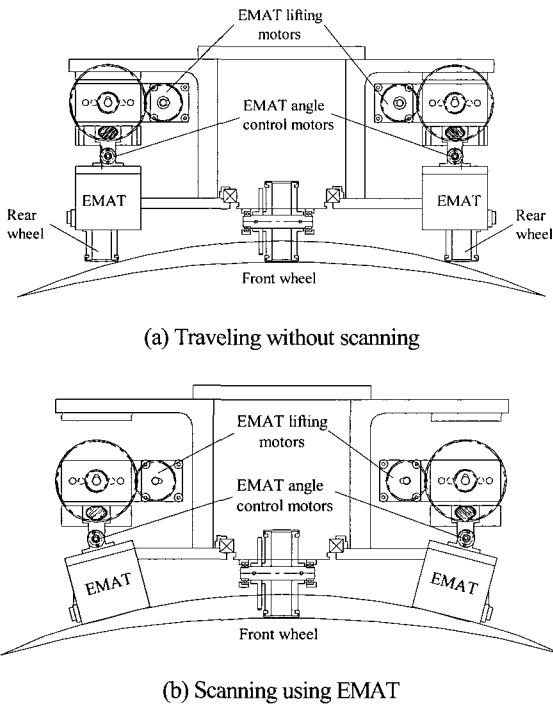


그림 9. 설계된 EMAT 구동기구부.  
Fig. 9. The designed EMAT lifting mechanism.

표 1. 설계된 이동로봇의 사양.

Table 1. Specification of the designed mobile robot.

Item	Performance and Specification
Size	450(L) × 350(W) × 245(H) mm
Weight	About 13kg with EMAT
Speed	Max. 12m/min

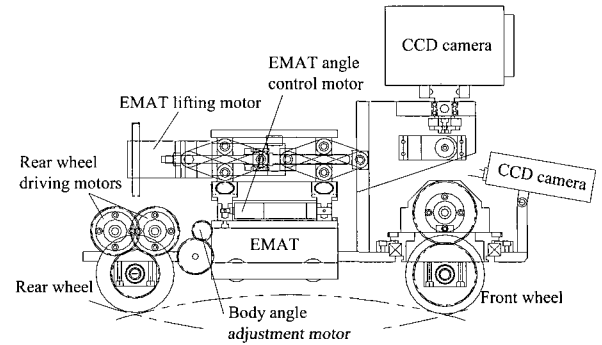
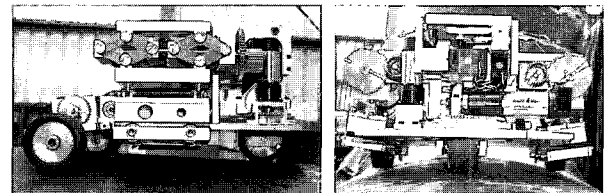


그림 10. 산업현장에서의 대형 저장용기 및 배관 안전성 자동진단을 위해 설계된 이동로봇.

Fig. 10. The designed mobile robot for automatic integrity evaluation of large sized reservoirs and pipelines in industrial fields.



(a) Side view (b) Front view

그림 11. 개발된 이동로봇의 기구부.

Fig. 11. The mechanical part of the developed mobile robot.

### III. 제어시스템 설계

#### 1. 제어기 설계

그림 12는 개발된 이동로봇 제어시스템의 기본 구조이다. 호스트컴퓨터는 이동로봇에 탑재된 CCD 카메라의 영상신호를 처리하여 모니터에 표시한다. 이동로봇에 탑재된 CCD 카메라와 호스트컴퓨터 사이의 영상전송에는 2.4GHz 무선송수신기가 사용되었다. 호스트컴퓨터의 RS-232C는 무선모뎀을 통해 이동로봇에 탑재된 제어기의 RS-232C와 통신하여 이동로봇의 현재 상태를 확인하고 명령신호를 이동로봇 CPU에 전달한다. 호스트컴퓨터에는 조이스틱이 연결되어 있어서 수동으로 이동로봇을 조작할 때 사용한다.

EMAT 신호는 유선으로 EMAT 신호처리기에 전달되며, 처리된 결과는 시리얼통신으로 호스트컴퓨터에 전해진다. EMAT 신호처리 결과에 따라 검사대상물에 결함이 판독되면 호스트컴퓨터는 결함 주위에 페인트 마킹을 하도록 이동로봇에 명령을 내린다. 이동로봇에 탑재된 제어기의 CPU인 VC833 DSP 마이크로프로세서는 그림 13에서 보는 바와 같이 A/D, DIO, counter, PWM 발생기 및 RS-232C를 포함하여 이동로봇에 탑재된 모든 하드웨어를 제어한다.

#### 2. 제어알고리즘 설계

그림 14는 이동로봇 제어알고리즘의 흐름도이다. 제어알고리즘은 자동조작모드와 수동조작모드로 나누어진다. 수동조작모드 상태에서는 이동로봇 조작을 위한 조이스틱이나 HMI 화면의 아이콘에 의한 명령이 호스트컴퓨터로부터 무

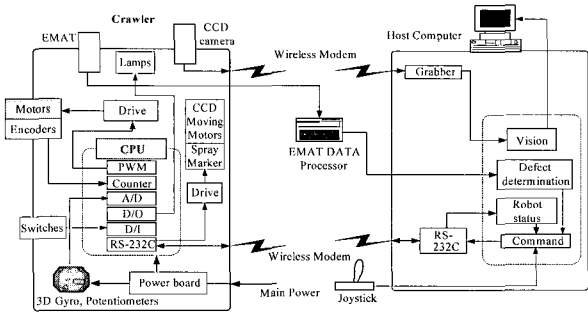


그림 12. 이동로봇 제어시스템의 기본 구조.  
Fig. 12. The basic structure of the control system for the designed mobile robot.

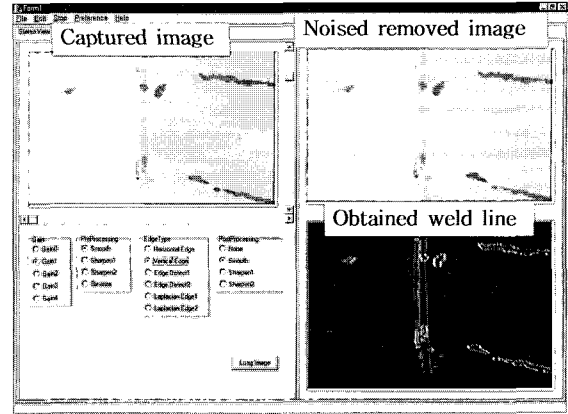


그림 15. 검사대상물의 용접선 검출을 위한 영상.  
Fig. 15. Images for detecting weld lines on the target.

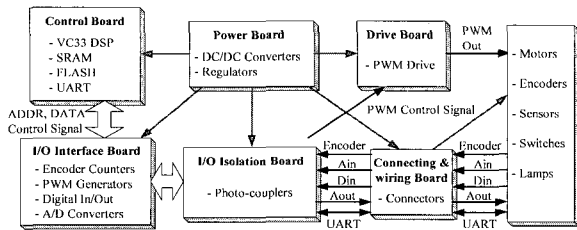


그림 13. 이동로봇에 탑재된 제어기의 구조.  
Fig. 13. The structure of the controller embedded on the mobile robot.

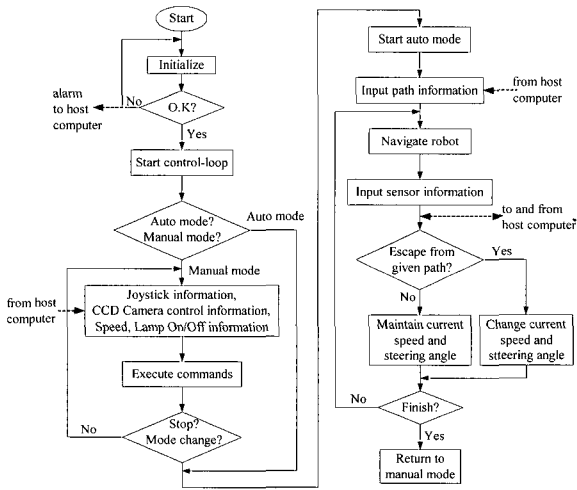


그림 14. 제어알고리즘의 개략적인 흐름도.  
Fig. 14. Schematic flowchart of control algorithm.

선모형을 통해 이동로봇으로 전송된다. 자동조작모드에서는 이동로봇의 경로가 호스트컴퓨터에서 생성되어 무선모형을 통해 이동로봇으로 전송된다. 모든 경우에 이동로봇은 탑재된 제어기에 내장된 알고리즘에 의해 이동로봇의 기구학적 구속조건을 고려하여 작동된다.

IV. 영상처리 시스템

이동로봇의 앞부분에는 서로 다른 목적을 가진 두 대의 CCD 카메라가 설치되어 있다. 한 대는 검사대상물의 육안

검사를 위한 것으로, 그림 10에서와 같이 2자유도 테이블 위에 설치된 25배 광학축 CCD 카메라이다. 다른 한 대는 이동로봇에 경로정보를 주기 위해 용접선을 검출하기 위한 카메라이다. 그림 15는 각각 용접선 검출용 CCD 카메라에서 잡은 영상, 노이즈가 제거된 영상 및 영상처리를 통해 용접선을 추출한 결과를 보여준다. 이렇게 얻은 용접선 정보는 이동로봇의 이동경로를 생성하는 중요한 정보로 사용된다.

V. 소프트웨어 설계

1. 호스트 프로그램

호스트프로그램의 주된 기능은 그림 16에서 보는 바와 같이 이동로봇에 탑재된 제어기와 통신프로세스 및 HRI(Human-Robot Interface) 프로세스이다. 통신프로세스는 제어명령을 정의하고 그 명령을 보내고 받는 기능을 수행한다. HRI 프로세스는 로봇 상태정보와 CCD 카메라 영상을 표시할 뿐만 아니라, 조이스틱과 HRI 화면의 아이콘 조작에 따라 CCD 카메라, EMAT 및 주변장치를 제어하기도 한다.

2. 결함검출

검사대상물의 결함을 검출하는 알고리즘은 호스트컴퓨터에서 작동된다. EMAT 수신기의 신호는 EMAT 신호처리기

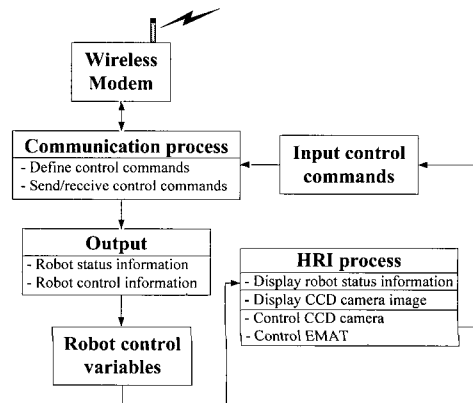
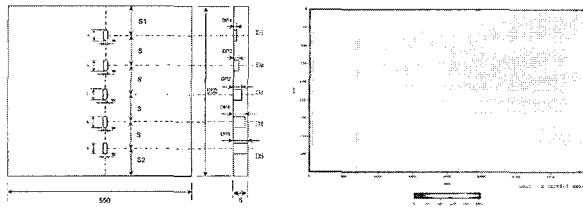
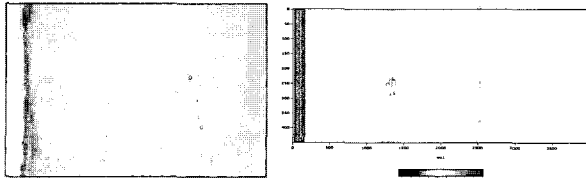


그림 16. 호스트 프로그램의 주된 기능.  
Fig. 16. Main function of the host program.



(a) An artificial specimen and its flaw image detected by EMAT



(b) Flaw images for a part of pipeline

그림 17. 결함을 가진 시편과 검출된 결함영상.

Fig. 17. Examples of specimen and their flaw images.

로 보내지며, 이 처리기에서 EMAT의 RF 파형은 A/D 보드를 통해 취득된다. 그림 17은 시간대개 RF 파형을 스캐닝 방향에 대해 2차원 그래픽으로 처리한 것이다. 적절한 결함 검출 알고리즘은 현재 연구가 진행 중이며, 향후 별도의 논문으로 발표될 예정이다. 현재까지 유도초음파를 이용한 결함 크기의 정량적인 해석은 수행된 바가 없다. 따라서, 현재 시스템의 주된 목적은 대형 구조물의 신속한 스캐닝과 결함 유무의 판단이며, 기대되는 파형모드의 간단한 처리를 통해 결함의 유무를 신속하게 판단할 수 있다. 결함이 검출되면 호스트컴퓨터는 결함주위에 페인트를 분사하여 표시하도록 이동로봇에 명령을 내린다.

## VI. 결론

본 연구에서는 EMAT을 사용하여 대형 산업용 배관 및 저장용기의 안전성을 자동으로 진단하는 이동로봇 시스템을 설계하였다. 개발된 이동로봇과 EMAT 구동기구부는 다양한 형상을 가진 산업설비의 표면을 자율적으로 주행하면서 산업설비 부재에 존재하는 결함을 검출할 수 있다. 이동로봇의 제어를 위한 제어기 및 검사대상물의 결함검출을 위한 알고리즘과 용접선 검출을 위한 영상처리 기술을 포함한 호스트 프로그램도 개발되었다. 향후 연구내용은 개발된 이동로봇이 고르지 못한 일반적인 표면상의 주어진 경로를 추적하도록 제어하는 것이다.

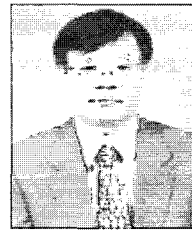
## 참고문헌

- [1] Y. Bar-Cohen and P. G. Backes, "Scanning aircraft structures using open-architecture robotic crawlers as platforms with NDT boards and sensor," *ASNT Materials Evaluation*, pp. 361-366, 1999.
- [2] M. Siegel, P. Gunatilake, and G. Podnar, "Robotic assistants for aircraft inspector," *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, pp. 1-22, 1997.
- [3] T. Taniguchi, K. Ohira, T. Sato, K. Yamada, T. Kimura, and T. Hattori, "Development of large structure inspection robot," *NKK Technical Review*, vol. 79, pp. 54-61, 1998.
- [4] Y. Bar-Cohen, "Mother-crawler and modular NDE-boards for robotics scanning and testing," *Proceedings of ASNT '98 Fall Conference, NDT Technology Track, Robotics and Miniaturization in NDT I*, Nashville, TN, Oct. 19-23, pp. 1-4, 1998.
- [5] H. Hosokai, F. Hara, Y. Uchida, Y. Abe, K. Tanaka, and Y. Tanaka, "Mechanism and control of mobile pipeline maintenance robot with lazy tongs mechanism," *Proceedings of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 851-856, 1995.
- [6] S. Ryew and H. Choi, "Development of a inpipe inspection robot," *Journal of Korean Society of Mechanical Engineers*, vol. 23, no. 12, pp. 2216-2225, 1999.
- [7] W. Yan, L. Shuliang, X. Dianguo, Z. Yanzheng, S. Hao, and G. Xueshan, "Development of wall-climbing robots," *Proceedings of the 1999 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Detroit, Michigan, pp. 1207-1212, 1999.
- [8] T. Yano, T. Suwa, K. Sakurada, and M. Murakami, "Development of a wall climbing robot II with scanning type suction cups," *Proceedings of 2nd ECPD Int. Conf. On Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active Systems*, Vienna, Sep. 26-28, pp. 368-373, 1996.
- [9] S. Park, H. D. Jeong, and Z. S. Lim. "Development of mobile robot systems for automatic diagnosis of boiler tubes in fossil power plants and large size pipelines," *proceedings of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Lausanne, Switzerland, pp. 1880-1885, 2002.



**박 상 덕**

1963년 2월 7일생. 1988년 영남대학교 기계설계과 졸업. 1990년 포항공과대학교 기계공학 석사. 2000년 포항공과대학교 기계공학 박사. 1989년~2003년 (재)포항산업과학연구원 기전 연구팀 책임연구원. 2004년~현재 한국생산기술연구원 로봇기술개발본부 수석연구원. 관심분야는 비행로봇 설계 및 제어, 설비진단용 이동로봇 시스템 설계, 유연 구조물 및 유연 조작기 진동해석 및 제어.



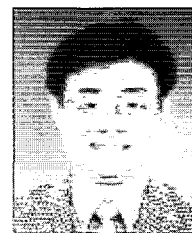
**이 호 길**

1953년 1월 5일생. 1980년 한양대학교 기계공학과 졸업. 1986년 오사카대 제어공학 석사. 1989년 동 대학 로봇공학 박사, 일본고도기술연구소 근무. 1991년~현재 한국생산기술연구원 수석연구원, 현 차세대성장동력 지능형로봇사업 단장. 관심분야는 로봇제어 및 응용기술, 산업용통신, VR.



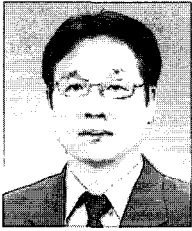
**류 영 선**

1962년 7월 20일생. 1984년 서울대학교 농공학과 졸업. 1986년 동 대학원 농기계공학과 석사. 1997년 동 대학원 공학박사. 1992년~2000년 (주)삼주기계 연구소장/이사. 2000년~2003년 로보랜드(주) 대표이사. 2003년~현재 한국생산기술연구원 주관 로봇종합지원센터 사업본부장. 관심분야는 자동화시스템 설계/제작, 지능형로봇 개발.



**손 응 희**

1963년 2월 10일생. 1988년 서울산업대 기계설계학과 졸업. 1993년 한양대학교 기계설계학과 석사. 1997년 기계(차량)기술사. 1987년~1990년 한국과학기술원 기계공학과 생체역학연구실 연구원. 1990년~현재 한국생산기술연구원 로봇기술개발본부 수석연구원. 관심분야는 이동로봇, 수송기계, MMI.



**정 희 돈**

1956년 2월 29일생. 1980년 전북대학교 기계공학과 졸업. 1983년 전북대학교 기계공학과 공학석사. 1987년 일본 도호쿠대학 공학부 공학박사. 1987년~1989년 일본 동북대학 공학부 조수. 1989년~1999년 포항과학연구원 연구원. 2000년~현재 포항산업과학연구원 기전자동화 연구팀장. 1997년 미국 펜실바니아 주립대학 방문연구원. 관심분야는 비파괴진단에 의한 구조물 건전성 및 수명평가, 비파괴진단의 자동화.