

수중용 선체외판 결함 검사용 장치 개발

김영진* · 조영준* · 이강원* · 손웅희**

*한국생산기술연구원 생산시스템본부

**한국생산기술연구원 로봇기술개발본부

An Underwater Inspection System to Detect Hull Defects of a Ship

YOUNG-JIN KIM*, YOUNG-JUNE CHO*, KANG-WON LEE* AND WOONH-HEE SHON**

*Division of Manufacturing System, KITECH, Cheonan, Korea

**Division of Applied Robot Technology, KITECH, Cheonan, Korea

KEY WORDS: inspection, defects of hull, ultrasonic inspection, detect.

ABSTRACT: After building a ship in a shipyard, there are so many repeated inspection of welding seam defects and painting status before delivering to the ship's owner. An inspection on the bottom part of a ship in commercial service should be done in every two years for the purpose of safety and for the prevention of ship speed deterioration. conventional welding seam inspection systems are rely on the visual inspection by human or the ultrasonic inspection for the selective part of a ship. This paper suggests a remote controlled inspection system for the examination of large ships or steel structures. The proposed system moves in contact with the ship under inspection and have a CCD camera to provide visual-guidance information to a remotely located human worker. Additionally this system utilizes a weld line tracking algorithm for an optimal position control. We verified the effectiveness of the inspection system by experimental data.

1. 서 론

국내 5개 조선소에서는 연간 200여척의 대형선박을 건조하여 수출하고 있으며 전 세계 조선시장의 약 55%를 점유하고 있다. 선주에게 인도를 앞둔 선박은 물론 운항중인 선박도 안전 및 선속의 저하를 방지하기 위하여 선체외판과 선저에 대한 용접부 결함, 도막상태를 검사하게 된다. 선박 건조 중 단위블럭에 대한 용접은 용접로봇 또는 용접사에 의해 수행되며 검사 과정도 일부 자동화 되어 있으나 선박전체 조립 후 검사는 자동화 되어 있지 않은 상태이다. 이로 인하여 선주에 대한 불신감이 증가하면 조선 산업의 경쟁력에 장애요인으로 작용할 수 있다. 기 적용중인 선체외판 결함 검사 방법은 레이저를 이용한 방법 [1]과 검사 인력에 의존하는 목지검사 방법 등을 사용하고 있다. 이는 대형선박의 경우 일부구간을 국지적으로 검사하고, 레이저는 주간환경에서 일사에 의한 영향을 받고 [2] 수중에서는 전달 손실의 영향으로 두 방법 모두 검사 신뢰성이 저하되고 있다. [3] 따라서 본 논문에서는 대형선박 및 철구조물의 선체외판 결함을 일사량에 의한 영향이 없고 검사 인력으로 검사가 곤란한 고소 및 선저부위까지 원격제어방식으로 구동할 수 있는 수중용 선체외판 결함 검사시스템을 제안하려 한다.

제안하는 시스템은 영전자 시스템을 이용하여 선체 접촉방식으로 이동하며 초음파 탐촉자 및 CCD 카메라와 조명장치를 장착하여 탐촉 기능 [4]과 검사장치 이동을 위한 주, 야간 시인성을 확보하였다. 또한 최적의 위치제어를 위한 용접선 추종알고리즘을 적용시켰다. 이의 신뢰성을 실험을 통하여 확인하였다.

2. 수중용 선체외판 검사시스템

2.1 시스템 구성

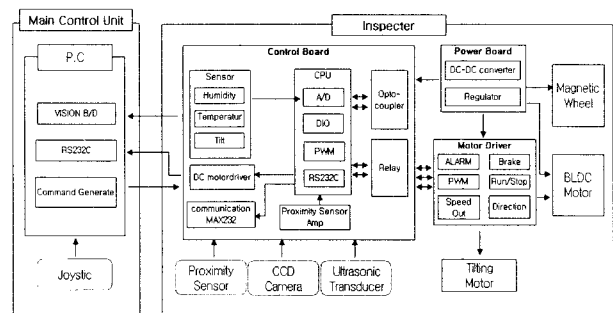


그림 1 선체외판 검사시스템 구성

Fig. 1 Configuration of Detector to hull defects

수중용 선체외판 결함 검사 시스템의 구성은 그림 1과 같이 크게 두 개의 장치로 구성 되는데 선체 외판에 부착되어 용접

김영진 : 충남천안시입장면흥천리35-3 한국생산기술연구원
041-589-8455 yjk574@kitech.re.kr

결합부위를 검사하는 검사 장치와 이를 원격제어하기 위한 주 제어 장치로 구성되어 있다. 검사 장치는 카메라와 조명을 이용하여 시인성을 확보하였으며, 자동검사 모드에서 용접선을 추종할 수 있는 위치정보를 획득하기 위하여 지그재그 형태로 조합된 근접센서와 검사장치 침수여부 및 과도한 부하에 의한 과열 현상을 판단하기 위한 습도 및 온도센서를 탑재하였다. 그리고 경로이탈 보정제어를 위한 경사센서, 용접선의 결합여부를 검사하는 초음파 탐촉자로 구성되어 있다. 또한 주 제어장치로부터 입력된 커맨드에 의해 검사장치 구동을 위한 제어신호를 생성하고 검사 장치에 부착된 센서 및 자석바퀴로부터 피드백 되어진 상태정보를 기준하여 보정제어를 위한 요구 신호를 주 제어부로 전송하는 역할을 담당하는 컨트롤 보드가 내장되어 있다. 주 제어 장치는 용접선 결합여부를 검사하기 위하여 초음파 탐촉 결과를 획득하여 분석하기 위한 초음파 분석 시스템부와 검사 장치에서 입력된 정보를 바탕으로 검사장치 구동을 위한 커맨드를 생성하여 전송하는 주 조정부로 구성하였다.

2.2 용접선 경로 추종

용접선 경로 추종을 위하여 무 접촉식 검출센서를 사용[5]하여 검출코일로부터 고주파자계가 발생하고 이 자계에 검출물체가 접근하면 유도전류에 의해 열손실이 발생하게 되며 검출코일의 임피던스가 변화하여 발진 진폭이 감소 또는 정지하는 원리를 이용하여 용접선의 경로를 추종하였다. 센서간 간섭을 피하기 위한 최소 간격을 유지하면서 각 센서간의 거리가 동일하게 유지될 수 있도록 그림 2와 같이 지그재그 형태로 배치하였다. 결과적으로 검출정밀도가 두 배가 되는 효과를 누릴 수 있게 된다.

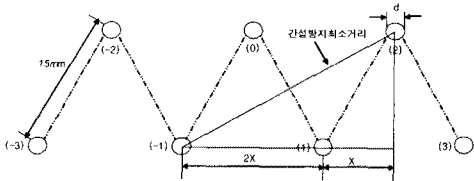


그림. 2 근접센서 배치도

Fig. 2 A positioning diagram of proximity sensor

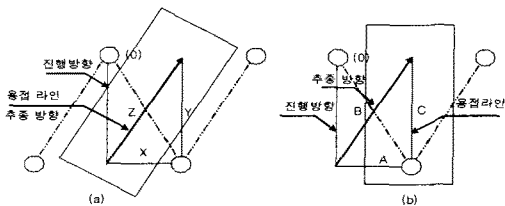


그림. 3 용접선 경로추종

Fig. 3 A tracking of weld-line

세 개의 센서(좌표 -1, 0, 1)가 동작되었을 경우 검사장치의 중심(좌표 0)이 용접선의 중앙으로 진행하고 있으며 이 상태를 기준으로 하여 경로추종 제어를 수행한다. 그리고 인접한 3개

센서 동작 시 검사 장치는 직진방향으로 진행하고 있으며 용접선 센터 좌표의 절대값은 검사장치 중심까지의 거리(A)이며 부호는 방향 정보가 된다. 용접선의 추종은 식 (1)에 해당하는 거리(B)만큼 보정하며, 회전각은 30°로 고정하였다.

$$B = (|\text{좌표}| \times D) \times 2 \quad (1)$$

여기서 |좌표|는 센서의 위치이며, D는 이웃하는 두 센서간의 거리이며 계산 시 기준거리로 활용된다. 그림 3의 (a)와 같이 진행방향 기준 시계 방향으로 회전(30°)하고, 추종 방향으로 식 (1)의 거리(B)만큼 진행하며, 다시 반시계 방향으로 회전(30°)하여 용접선과 진행방향의 중심점을 일치시킨다. 또한 그림 3의 (b)와 같이 용접선이 검사장치의 진행방향과 사선을 이루는 경우는 4개의 센서가 동작 되고 진행방향의 중심점과 용접선의 중심점이 일치하므로 시계방향으로 회전(30°)하여 동작만으로 진행방향과 회전방향을 일치시킨다.

2.3 경로이탈 보정제어

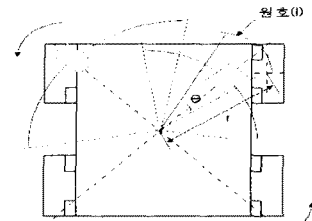


그림. 4 검사장치 위치보정

Fig. 4 Compensation of inspection device

검사 장치는 이동 중에 슬립현상 등의 이유로 경로에서 이탈하는 현상을 방지하기 위하여 경로이탈 보정제어를 수행한다. 전도성 유체의 레벨 변화에 따라 저장값이 달라져서 전위의 차이가 발생하는 경사센서를 사용하여 검사장치의 제어목표치에 대한 이탈 정보를 획득하여 경로이탈 보정제어를 위한 비교정보로 활용하였다. 센서의 검출각이 ±60°이므로 검사장치의 원점을 기준으로 하여 45°, 135° 각도에 위치시켜 360°를 모두 인식할 수 있도록 그림 4와 같이 부착하였다. 검사장치가 이동을 시작하면 센서에서 획득한 결과를 기준으로 사용하며, 이동 중에 획득한 경사센서의 값과 상대비교 하여 동일시에는 현재의 이동 상태를 유지하고, 상이할 경우 보정을 위한 차이각이 원호 길이와 같으므로 원호 길이만큼 보정하면 제어목표치에 대한 경로이탈 차이각을 보정할 수 있게 된다. 원호의 길이는 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$l = 2\pi r \times \frac{\theta}{360^\circ} \quad (2)$$

여기서 r은 검사장치의 중심점과 바퀴의 중심을 연결한 선분이고, θ는 검사장치가 보정하게 될 회전각이다. 식 (2)에서 구한 길이 l 만큼 보정하기 위해서는 식(3)의 θ_m 만큼 모터를 보정제어 하게 된다. 여기서 r_m은 휠의 반지름이며, θ_m는 휠의 회전각이다.

$$\theta_{cr} = 180^\circ \times \frac{l}{\pi r_{cr}} \quad (3)$$

각종 센서의 상태값을 LED와 DVM으로 표시하는 주 제어부가 있으며, 우측에는 각종 센서들을 장착하여 자동 모드로 용접선을 추종하며 초음파 탐측을 수행하는 검사장치가 있다.

2.4 Graphic User Interface

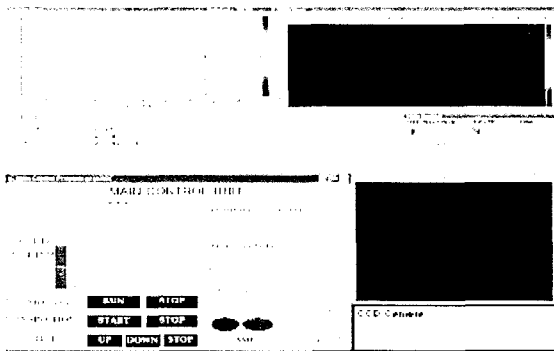


그림 5 사용자 인터페이스

Fig. 5 User interface

그림 5는 검사장치 구동을 위한 제어 커맨드를 생성하는 주 제어부의 사용자 인터페이스이다. 검사장치의 속도는 단계적으로 변속되며 현재의 진행 속도가 표시바를 통해서 나타나고, 방향 표시기는 검사장치의 진행 방향을 제어한다. 추종 모드는 용접라인 결함을 탐측하기 위한 “자동모드설정” 기능이며, 모터 전원 모드는 검사장치 이상 시 메뉴얼로 모터의 전원을 on/off 할 수 있고, 커맨드는 주 제어부와 검사장치 간의 시리얼 통신으로 전송되는 커맨드 내용을 확인할 수 있다. 상태표시등은 모터의 속도, 방향을 표시한다.

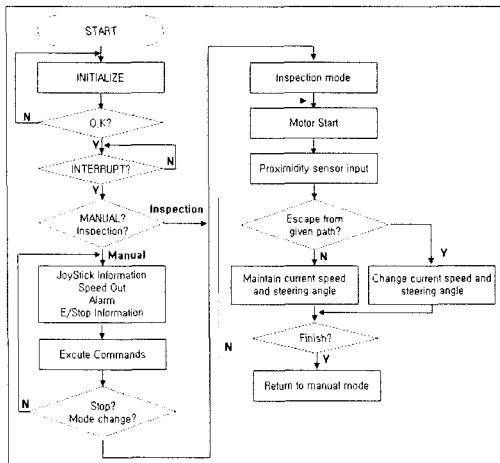


그림 6 선체외판 검사 알고리즘

Fig. 6 Algorithm of inspection to detect hull defects

3. 실험 및 고찰

3.1 실험장치 구성

수중 선체외판 결함 검사용 실험 장치를 그림 7과 같이 구성하였다. 검사장치의 시인성을 확보할 수 있는 모니터와 제어용 프로그램, 조이스틱을 장착하였으며 근접센서, 온도센서 등

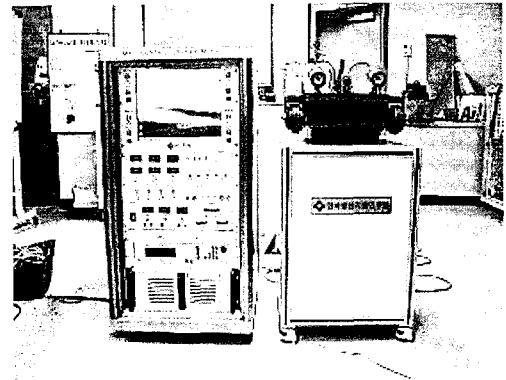


그림 7 실험 장치 구성

Fig. 7 A composition of test equipment

3.2 용접선 경로 추종 실험

근접센서를 이용한 용접선 경로 추종 성능을 평가하기 위하여 그림 8과 같이 철판(20t)에 선체 외판 용접선(25.4mm)과 동일한 선폭으로 경로를 제작하여 검사장치의 용접선 경로 추종 여부를 평가하였다. 실험 결과 진행 방향이 변화하거나 교차하는 지점에서 경로추종을 위한 시간지연이 발생하였으나 이동 속도가 중요시되지 않는 환경이고 초음파 탐측자의 탐측 성능이 검사장치의 성능을 대변하므로 경로의 이탈 없이 용접선을 추종하는가 여부가 중요하고, 경로의 이탈 현상 없이 용접선을 추종하는 것을 확인할 수 있었다.

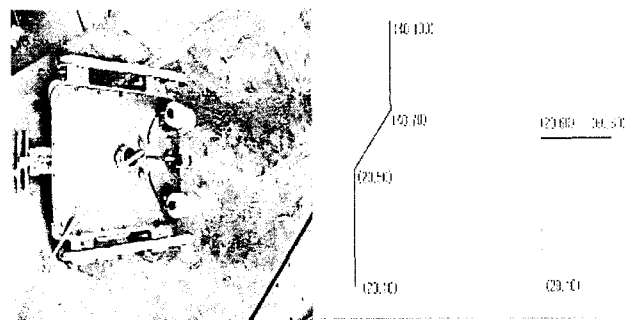


그림 8 용접선 경로추종 실험

Fig. 8 A tracking test of weld-line

3.3 부착 및 등판능력 실험

검사장치내 영전자석 마그네틱 휠의 부착력과 부착상태에서의 모터 구동 능력을 평가하기 위하여 그림 9와 같이 실험 장치를 구성하였다. 철판을 수평으로 설치하고 검사 장치를 부착한 후 각각 30°, 45°, 60°, 90°의 경사를 준 결과 60°까지는 강하게 부착된 상태로 구동 되었으나 90°(수직벽)에서는 슬립현상이 발생하여 보조배터리를 사용 전류 용량을 증대시키는 방법으로 슬립현상을 제거하였다.

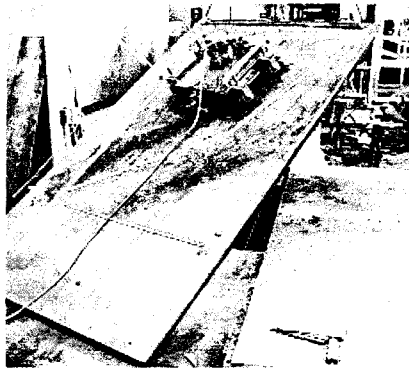


그림 9 부착 및 등판능력 시험
Fig. 9 Test of adhesive power and climb

3.4 위치제어 반복성 실험

검사장치의 자동제어 모드는 초음파 탐촉 결과의 신뢰성 향상을 위하여 검사 구간에서 일정한 속도로 정밀하게 이동하여야 한다. 이를 위해서 100cm, 200cm 거리를 수차례 왕복하여 발생하는 오차를 측정하여 그림 10과 같이 100cm는 약 1.5cm, 200cm에서는 약 2cm의 오차를 나타내는 결과를 얻을 수 있었다. 오차는 자동검사 모드에서는 경로보정 알고리즘을 통하여 보정되며 선체의외판의 거리가 수십 미터 정도인 것을 고려하면 오차가 미치는 영향은 없다고 할 수 있다.

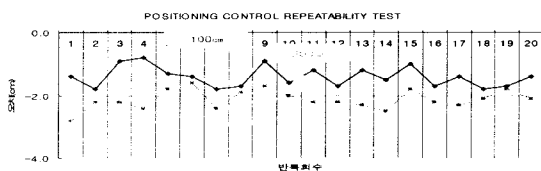


그림 10. 위치제어 반복성 실험
Fig. 10 Positioning control repeatability test

3.5 초음파 탐촉성능 실험

초음파 탐촉성능 확인을 위하여 관통형 측면공 결함 시편을 상단에서 각각 14/12/14mm 깊이에 2/6/4mm 직경의 원통 홀을 그림 11과 같이 제작하여 평가하였다. 수직형태의 결함에서보다 오차가 커지는 것을 알 수 있는데 이는 측면공 시험편을 가공할 때 측면공의 하단이 시험편의 하단에 너무 가깝게 가공되어 시험편 하단에서 반사한 신호를 측면공 하단 신호로 간주하여 계산하기 때문이다. 그러나 측면공에 대해서 검사한 결과가 그림 12에 보인바와 같이 이미지와 RF 신호 상에서 충분한 결함 분해능을 가짐을 알 수 있었다.



그림 11 측면공 결함시험용 시편
Fig. 11 Test sample of side hole defect

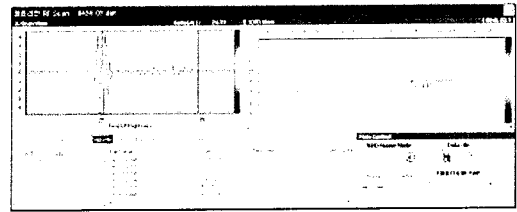


그림 12 측면공 결함 TOFD 검사결과
Fig. 12 TOFD test result of side hole defect

4. 결 론

본 논문에서는 선박을 건조하여 인도하는 과정 또는 운행 중에 주기적으로 반복되는 선박의 결함 검사를 보다 효과적으로 수행할 수 있는 검사시스템을 제안하였다. 고주파 자계를 이용한 무 접촉식의 용접선 검출방법을 사용하여 중간에 일사에 의한 영향을 피할 수 있었으며, CCD 및 조명 장치를 사용하여 주, 야간 및 수중 환경에서 시인성을 확보 하였다. 그리고 용접선 및 선체의외판 결함여부는 검사 장치에 부착된 초음파 탐촉자를 이용하여 검사정보를 획득하고 분석하여 이상 개소를 확인 하였고, 검사자가 접근하기 곤란한 고소 및 선저 부위의 결함 여부를 원격제어방식으로 검사를 수행할 수 있어 향후 응용분야가 많을 것으로 기대된다. 따라서 본 논문에서 제안하는 수중 선체의외판 결함 검사시스템은 보다 효율적인 검사시스템이라고 할 수 있다.

후 기

본 연구는 “산업자원부 직무기피요인해소지원사업”으로 수행된 연구결과 임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 조현중, 류현, 오세영, “레이저 카메라를 이용한 용접선의 추적”, Proceedings of the 11th KACC, pp. 593-596, 1996.
- [2] 김재희, 이재철, “수중 로봇을 이용한 원자로 노즐 용접부 초음파 검사”, Proceedings of the 13th KACC, pp. 1528-1531, 1998.
- [3] 배재욱, “레이저 용접을 위한 고속 용접선 추적 알고리즘”, Proceedings of the 12th KACC, pp. 52-55, 1997.
- [4] 조현, 송선진, 이강원, 김영진, 우종식, “용접선 추종로봇을 이용한 초음파 TOFD 검사시스템 개발”, 한국비파괴 검사학회 KSNT 춘계학술대회, 2006.
- [5] 김영선, 조형석, “자기장 센서를 이용한 갭간격이 없는 박판 맞대기 용접부의 용접선 추적장치”, Proceedings of the 12th KACC, pp. 836-839, 1997.