

# 균열로 인한 사고를 방지하기 위한 선체 균열탐지 로봇 개발

박세연\*, 이한별\*, 송연주\*, 최훈\*, 김형훈\*\*  
\*중앙대학교 전자전기공학부  
\*\*삼성전자

seyeonppp@gmail.com, gksqufgkdms@naver.com, 97anika@naver.com,  
paul5530@naver.com, pastelom@naver.com

## Vessel detection robot development for preventing accidents caused by cracks

Se-Yeon Park\*, Han-Byeol Lee\*, Yeon-Ju Song\*, Hun Choi\*, Hyung-Hoon Kim\*\*

\*Department of Electronic and Electrical Engineering, Chung-ang University  
\*\*Samsung Electronics

### 요 약

노후 선박의 증가로 선체 검사의 필요성이 높아지고 있다. 하지만 선체 벽면의 균열을 찾고 보수하는 작업은 위험성이 높고 효율성이 낮다. 이에 본 논문에서는 선체의 벽면에 진공 흡착하여 장애물에 부딪히지 않고 선체 벽면을 이동하면서 균열을 탐지하는 로봇을 개발하였다. 선체 균열탐지 로봇은 선체 뿐만 아니라 사람이 직접 균열을 찾기 힘들거나 위험한 곳에 유용할 것이며 균열로 인한 선박 사고 발생을 줄여줄 것으로 기대된다.

### 1. 서론

최근 인도선박 스틸라데이지호가 불법적재로 인한 피로도 및 이로 인한 균열로 인해 침몰한 사건이 발생했다.[1] 균열을 방치하지 않고 정기적으로 선박 검사를 실시했다면 충분히 예방할 수 있는 사고였음에도 이를 방치했기에 사고를 예방하지 못했다. 또한 국내 노후 선박의 비율이 여객선은 22%, 화물선은 66%로 굉장히 높다. 노후 선박의 경우 사고가 발생할 위험성이 높아 잦은 수리와 검사가 필요하다. 하지만 선체의 크기는 상당히 커서 인간이 작업하기에 위험성이 높고 또, 선박검사는 여러 인원이 투입되어야 하므로 효율성이 낮아 많은 불편함이 있다고 판단된다.

또한, 코로나 사태로 ‘언택트’ 시대가 도래할 것이다. 이에 사람이 아닌 로봇으로 선박검사를 시행하는 일이 불가피할 것으로 보인다. 벽면의 균열을 탐지하는 기존 로봇의 흡착 기술에 대해 찾아본 결과, 드론을 이용한 균열검출 작업은 드론의 위험성, 벽면에 근접하게 다가가지 못하므로 미세균열 검출 불가 등의 문제가 있다. 그리고 지상로봇을 이용한 균열검출 작업은 지상을 기반으로 이동하기 때문에 지상에서만 구동이 가능하다는 점, 건물 높이에 따른 한계 등 한계점이 존재한다.

이에 본 논문에서는 드론과 지상로봇을 이용한 균열검출로 인한 한계를 선체탐지로봇을 이용해 보완해 더 높은 성능을 구현했다. 우선, 균열검출모델의 정확도를 증가시키는 방향으로 진행했다. 기존의 모델은 흰색, 회색 바탕의 두꺼운 균열이 선명하게 나타났을 때만 정확하게 탐지했다면 이번 프로젝트에서 구현한 모델은 균열의 크기와 폭이 작아서 탐지하기 어려운 균열도 탐지할 수 있다. 또, 기존 벽면주행로봇의 이동 알고리즘을 탈피하며 새로운 알고리즘을 구현했다. 기존 벽면주행로봇의 이동 알고리즘은 로봇의 본체부와 다리부에 진공패드를 달아 벽면을 이동하는 보행식이지만 본 논문에서는 임펠러의 회전을 통해 공기의 이동 흐름과 발생하는 기압차를 이용하여 벽면에 흡착하는 로봇을 구현했다.

### 2. 관련연구

#### 2.1 ResNet

2012년 인공지능 모델의 이미지 분류 우수성을 겨루는 ILSVR(ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition)에서 AlexNet이 top-5 오류 5.4%를 기록하여 우승하였다. 그 후 합성곱 신경망(Convolution Neural Network, CNN)을 이용하여 인공지능 모델이 발전하였으며, CNN 기반 모델은

이미지 분류뿐 아니라 다양한 컴퓨터 비전 작업에 적용돼 좋은 성과를 내고 있다. 합성곱 신경망을 기반으로 만들어진 인공지능 모델 중 하나인 ResNet(Residual neural network)은 마이크로소프트사에서 개발되었으며 2015년 ILSVRC에서 우승하였다. 이 대회에서 ResNet은 'top-5' 오류율이 3.6%로 사람이 분류하는 것보다 더 좋은 성능을 기록하였다. ResNet은 총 152개 층을 보유하고 있으나 'skip connections'라는 방법을 도입하여 계산 복잡도를 낮췄다.

## 2.2 진공흡착형 벽면 흡착

벽면흡착로봇의 흡착방식에는 자석형, 진공흡착형 [2],[3], 생물모방형의 3가지가 존재한다. 진공 펌프를 이용한 사례로는 공주대학교 기계자동차공학부 박수현 외 2인 팀의 로봇이 있고 [4] 임펠러를 이용한 진공흡착형을 이용한 사례로는 성균관대학교 연구팀의 LARVA가 있다. 본 연구에서는 LARVA와 동일한 방식의 흡착방식을 이용하였다.[5].[6]

임펠러를 이용한 방법은 단위 면적에 대한 흡착력이 강하지만 상대적으로 높은 전력이 요구된다는 문제가 있다. 하지만 소형 로봇의 경우에는 요구되는 전력이 비교적 적기 때문에 강한 흡착력을 얻기 위해 진공흡착방식을 택하였다.

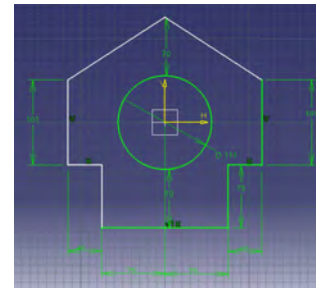
벽면 흡착은 기압차에 의하여 일어난다. 임펠러를 이용하여 임펠러 챔버 내부를 음압으로 만들면 챔버 외부 대기압과의 압력차이가 발생하여 벽면에 붙게 된다. 흡착이 일어날 정도의 음압을 발생시키려면 임펠러의 회전 속도가 매우 빨라야 하므로 일반 모터보다 마찰이 적어 출력이 높은 브러시리스 모터를 사용하였다.

## 2.3 3D printing 및 Laser cutting

3차원 인쇄(3D printing)는 필라멘트재료를 통해 연속적인 계층의 물질을 뿌리면서 3차원 물체를 만들어내는 제조 기술이다. 3차원 프린터는 밀링 또는 절삭이 아닌, 기존 잉크젯 프린터에서 쓰이는 것과 유사한 적층 방식으로 입체물로 제작하는 장치를 말하며, 컴퓨터로 제어되기 때문에 만들 수 있는 형태가 다양하고 다른 제조 기술에 비해 사용하기 쉽다. 본 논문에서는 Impeller chamber, Impeller case 등을 설계하고 제작할 때에 3D printing을 사용했다.

레이저 절단은 레이저를 사용하여 재료를 절단하는 기술이다. 일반적으로 광학을 통해 고출력 레

이저의 출력을 지시하는 방식으로 작동한다. 재료 절단을 위한 상업용 레이저는 모션 제어 시스템을 사용하여 재료에 절단 할 패턴의 CNC(컴퓨터 수치 제어) 또는 G 코드를 따른다. 집속된 레이저 빔은 재료를 향하여 녹거나 타거나 증발하거나 가스 분사에 의해 방사된다. 본 논문에서는 로봇의 전체 케이스의 겉면을 아크릴판을 이용했다. 따라서 이를 로봇의 크기로 제작하기 위해 (그림 1)과 같이 설계하여 Laser cutting을 이용했다.

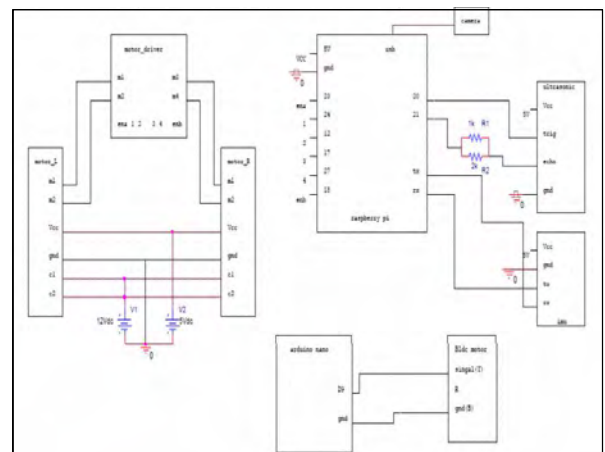


(그림 1) 레이저 커팅을 위한 설계

## 3. 설계 및 구현

### 3.1 구성 및 초기 회로도

로봇의 총 구성은 크게 2가지로, 라즈베리파이와 여러 알고리즘이 포함되어있는 S/W파트와 Impeller, BLDC모터, 바퀴, 모터, 모터드라이브와 Sensors로 이루어진 H/W파트이다. 다음 (그림 2)는 초기에 설계한 로봇의 회로도이다. 이를 통해 S/W와 H/W의 연결을 구상하고 제작에 착수했다.

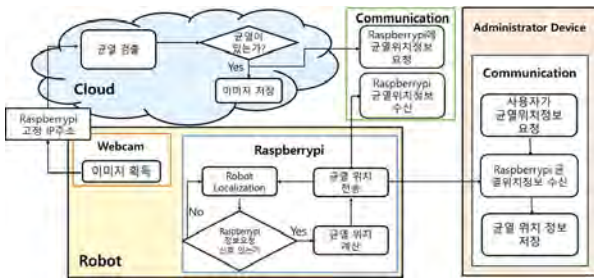


(그림 2) 로봇의 회로도 설계

### 3.2 기능 처리도

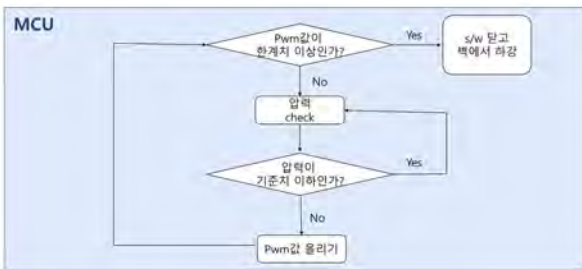
다음 (그림 3)는 로봇의 시스템 구조도이며, 어떻게 로봇과 서버(cloud)가 사용자의 기기와 통신하는지의 구상도를 나타낸 것이다. 카메라를 통해 촬영한 선체 벽면 이미지 중 균열이 검출된 이미지와 관련

정보를 DB에 저장하고, 관리자는 웹페이지를 통해 검출 내역을 간편하게 확인할 수 있다.



(그림 3) 시스템 개요

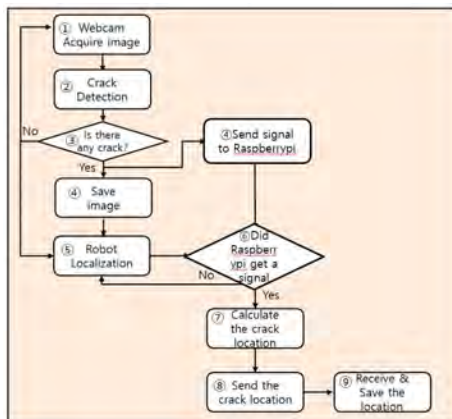
다음 (그림 4)는 Raspberry Pi를 이용해 PWM 제어 기능처리도이다. PWM의 값을 통해 로봇의 모터 속도를 제어하기 위해 Raspberry Pi에 PWM에 관한 기능처리도를 추가했다.



(그림 4) Raspberry Pi를 이용한 PWM 제어 기능처리도

### 3.3 알고리즘 설계

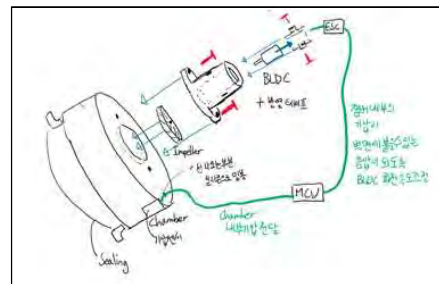
다음 (그림 5)는 균열 검출 알고리즘의 명세서이다. 카메라에서 균열을 탐지가 된다고 판단될 경우, Raspberry Pi로 신호를 보내고 균열의 이미지를 저장한다. 저장된 이미지는 robot localization을 통해 Raspberry Pi로 전달되고 만약, 신호를 못 받았다면 확인 신호를 robot에 다시 전송하며 이를 통해 robot localization을 하게 된다. 그 이후에 robot이 검출한 균열의 위치를 파악해 Raspberry Pi에 위치 정보를 전송한다.



(그림 5) 균열 검출 알고리즘

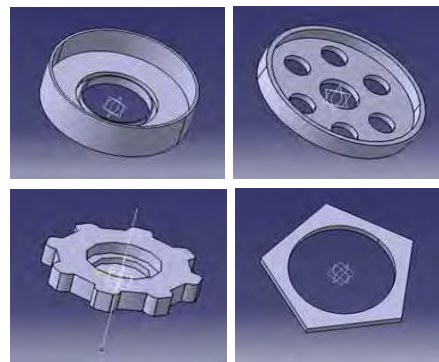
### 3.4 H/W 설계

본 논문에서는 Impeller와 bldc모터를 통해 벽면 흡착부를 설계했고 (그림 6)과 같이 구상했다. 흡착부의 설계는 [7]과 [8]을 참조하였다



(그림 6) H/W파트 구상도

그래서 Impeller와 bldc모터 외에 고정하기 위한 하드웨어파트로 3D printing을 이용했고 규격을 측정하며 설계했다. 이를 다음 (그림 7)에서 확인할 수 있고 이를 통해 흡착 실험을 설계했다.



(그림 7) 3D printing을 이용해 설계한 H/W파트

### 3.5 S/W 구현

본 논문에서는 pigpio library에 내장된 함수를 사용해 Raspberry Pi 및 모터, 센서의 작동을 구현하였다. pwm제어의 경우 hardware pwm보다 software pwm이 적합하다고 판단하였고 pwm의 range를 0~255(default)로 설정하여 모터의 rpm을 효율적으로 얻을 수 있도록 구현하였다. 또한 PID제어는 IMU센서를 활용해 현재 yaw값을 전송받고 PID feedback loop에 넣는 과정을 통해 본체의 직진성을 보정하였다.

자율 주행의 알고리즘은 다음과 같다.

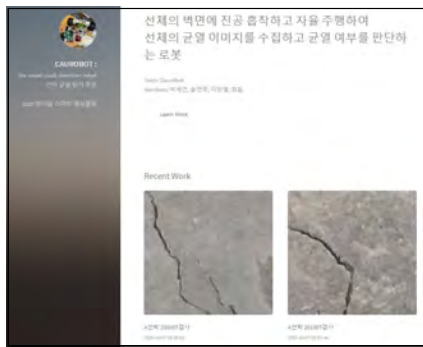
- 1) 초음파 센서로 20cm이내의 장애물을 확인한다.
- 2) 장애물을 발견하면 직진 후 temp(좌회전, 우회전 여부) 값에 따른 loop에 들어간다.
- 3) 해당 좌회전 혹은 우회전을 실행하는 루프를 두 번을 반복한다.
- 4) imu 센서로 매 루프마다 값을 읽어 와서 yaw 값

을 측정한다.

5) yaw 값을 pid제어 루프에 넣어서 알맞은 좌우 바퀴의 속도(pwm값)를 제공한다.

균열 이미지 데이터로는 “Concrete Crack Images for Classification”[9]를 이용하였으며, 균열을 탐지할 인공지능 모델로는 pretrained model인 ResNet50을 이용하여 학습시켰다. 그 결과로 정확도는 95.7%였으며, 잘못 탐지한 경우는 대부분 균열이 작거나 틈이 좁은 경우 잘 인식하지 못하는 경우였다. 하지만 선박의 경우 콘크리트보다 균열 틈이 좁은 경우가 많기 때문에 틈이 좁은 균열 이미지를 학습 데이터에 추가하였으며, 그 결과 정확도는 96.5%로 선박에 이용하기에 적합한 균열 탐지 모델을 마련했다.

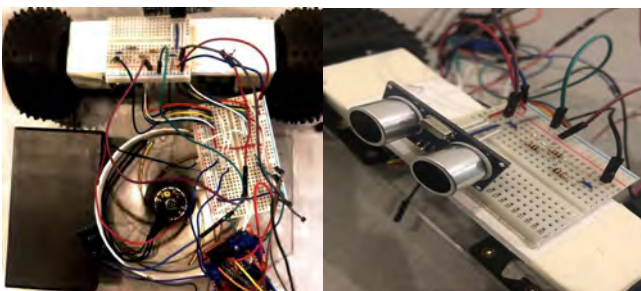
수집한 이미지 저장과 관리는 aws s3, rds를 사용하였다. aws rds를 이용하여 DB 관리, aws s3의 정적 웹호스팅 기능을 이용하여 (그림 8)과 같이 사용자가 균열 내역을 쉽게 확인할 수 있도록 했다.



(그림 8) 검출 내역을 확인할 수 있는 웹페이지

### 3.6 최종 모델

본 논문에서 개발한 로봇의 최종 모델은 (그림9), (그림10)과 같다.



(그림 9) 로봇의 본체(위) (그림10) 로봇의 본체(정면)

## 4. 결론

본 논문에서는 선박검사의 효율성과 안전성을 증가시키는 선체탐지로봇의 균열검출알고리즘과 로봇의 벽면 흡착을 구현했다. 본 논문에서 설계하고 구현한 선체탐지로봇의 일부로 앞으로의 선체탐지로봇의

완성가능성을 확인할 수 있었고, 이를 완성할 경우 선박검사를 실행하는 인원들의 감소와 안전을 기대한다. 또, 선박주에게 있어 위험하지만 의무적으로 실행해야하는 선박검사를 더 쉽고 빠르게 행할 수 있도록 도움이 될 것이라 예상한다.

### 참고문헌

- [1]이준영. “[스텔라 테이저호 침몰 원인] 벌크선 개조로 선체 약해졌을 수도”, 국제신문 (2017)
- [2]우용균. “진공 흡착을 이용한 중력보상 로봇 (Development of Gravity Compensation Robot By Using Vacuum Motor).” Ingenium(人材니움) 22.4 (2015): 62-65.
- [3]이동광,김명종,권순원,최문식,임영훈,공정식,장문석,권오상,이용혁. “진공흡착 기술을 사용한 건물외벽 유리창 청소 로봇의 구현.” 대한전기학회 학술대회 논문집 2007.10 (2007): 259-260.
- [4] 박수현,서경준,김성관. “진공 흡착과 보행형 이동에 의한 벽면이동 로봇의 개발.” 한국산학기술학회논문지 18.8 (2017): 344-349.
- [5]최혁렬,구익모,이창민,송영국. “벽면 이동 로봇의 메커니즘.” 기계저널 48.9 (2008): 39-43.
- [6]구익모,송영국,문형필,박선규,최혁렬. “임펠러를 이용한 벽면이동로봇의 설계 및 제어.” 로봇학회 논문지 5.3 (2010): 177-185.
- [7]Gautam Kumar Singh, Gopal Kumar Singh, Siddhant Singh, Pratishtha Shukla, Shivani Saxena, Design & Fabrication of Pneumatic Wall Climbing Robot, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, Apr 2019
- [8]Zhao Y ,Men G ,Yan G ,Wang Y . “The Study on the Sucking Principle of Wall-Climbing Robot with Single Suction Cup” ASIAN CONFERENCE ON ROBOTICS AND ITS APPLICATION : 370-374.
- [9]Özgenel, Ç.F., Gönenc Sorguç, A. “Performance Comparison of Pretrained Convolutional Neural Networks on Crack Detection in Buildings”, ISARC 2018, Berlin

**본 논문은 해양수산부 실무형 해상물류일자 리지원사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트의 결과물입니다.**