

강교량 재도장 로봇의 모니터링 모듈 시제품 개발

Development of a Prototype Monitoring Module for Steel Bridge Repainting Robots

서명국^{1*} · 이호연¹ · 박일환² · 장병하³

Myoung Kook Seo^{1*}, Ho Yeon Lee¹, Il Hwan Park² and Byoung Ha Chang³

Received: 29 Oct. 2020, Accepted: 09 Nov. 2020

Key Words : Steel Bridges(강교량), Repainting(재도장), Mobile Robot(이동 로봇), Monitoring(모니터링)

Abstract: With the need for efficient maintenance technology to reduce maintenance costs for steel bridges, repainting robots are being developed to automate the work in narrow and poor bridge spaces. The repainting robot is equipped with a blasting module to remove paint layers and contaminants. This study developed a prototype monitoring module to be mounted on the repainting robot. The monitoring module analyzes the condition of the painting surface through a camera installed in the front, guides the direction of movement of the robot, and provides the operator with a video to check the working status after blasting through a camera installed in the back. Various image visibility enhancement technologies were applied to the monitoring module to overcome worksite challenges where incomplete lighting and dust occurs.

1. 서 론

강교량(steel bridges)은 도막 파손, 금속재의 부식, 국부좌굴, 용접결함, 피로손상 등으로 열화 손상이 된다¹⁾. 이중 도막 파손에 의한 재도장(re-painting) 공정은 강교량 유지관리비에서 가장 많은 부분을 차지하는 작업으로 평균 15년마다 진행되지만, 최근 세설용 염화물계 사용 증가로 인하여 작업주기가 단축되고 있다.

강교 재도장 공정은 크게 4단계로, 작업 공간 확보 및 오염물 비산 방지를 위한 1 단계 비계 및 보양 설치, 2단계 도장층 및 오염물 제거를 위한 블라스팅(blasting) 작업, 3단계 도장 및 양생 처리, 4단계 비계

해체로 구성된다. 재도장 공정 중 1, 2단계 공정이 전체 비용 80% 이상을 차지한다.

Fig. 1에서와 같이 밀폐되고 협소한 강교량의 재도장 현장은 작업자의 건강과 안전을 위협하고 있다. 현재 국내 재도장 작업은 자동차가 주행 중인 현장에서도 시행되고, 강교 아래 도로가 있는 경우 차량 통행을 위해 가설 작업대의 높이가 60cm 이내로 제한되기도 한다. 또한 도장층 및 오염물 제거를 위한 블라스팅 작업이 진행되면 페인트를 포함한 많은 분진이 발생한다. Fig. 2는 블라스팅 작업 공간을 보여주며, 충분한 공간이 확보되는 강교 옆면과 달리 강교 아래는 공간이 협소하여 작업자가 누워서 작업을 해야 하는 어려움이 있다.

* Corresponding author: seomk@koceti.re.kr
 1 Smart Engineering Lab. Korea Constructions Equipment Technology Institute, Gunsan, Jeollabuk-do, 54004, Korea
 2 FM Global Corporation
 3 Jire High Tech E&CCopyright © 2020, KSFC
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

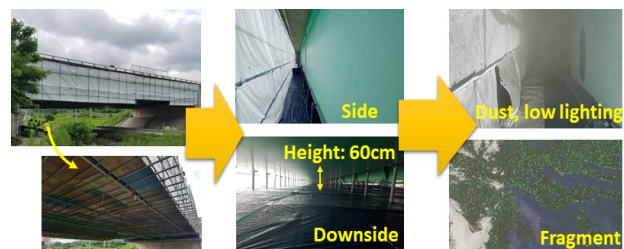


Fig. 1 Steel bridge and working environment



Fig. 2 Workspace of blasting operation

최근 작업 생산성과 안전성 향상을 위해 협소하고 열악한 교량 공간에서 진행되는 2단계 도장층과오염물 제거 블라스팅 작업을 원격으로 수행이 가능한 재도장 로봇이 개발되고 있다. 재도장 로봇은 강박스 거더(steelbox girder)의 연결부(단차 및 볼트 등이 존재)를 제외한 하부 평평한 부분(하부플랜지)을 약 100 mm/s 정속도로 왕복 주행하면서 순차적으로 도장층을 제거한다. 주행 방향은 강박스 거더 모서리 및 도장층과 금속면의 경계를 기준으로 하며, 일부 도장층 제거가 미흡한 영역이 존재하거나 비계의 단차로 인하여 주행 방향이 틀어진 경우에는 주행 방향을 보정한다.

본 연구에서는 재도장 로봇의 이동방향 가이드와 작업 상태 영상을 제공하는 모니터링 모듈 시제품을 개발하였다. 모니터링 모듈은 전면에 설치된 카메라를 통해 도장면의 상태를 분석하여 재도장 로봇의 주행 방향을 가이드하고, 후면에 설치된 카메라는 블라스팅 후 작업 상태를 확인할 수 있는 영상을 원격 작업자에게 제공한다.

본 연구에서는 개발 중인 재도장 로봇의 하부 이동체 대신에 주행원리가 비슷한 상용 이동체를 이용하여 실내 유사 현장과 실제 재도장 작업 현장에서 로봇의 이동 방향 가이드를 위해 필요한 주행 제어 기술을 개발하였다. 또한 재도장 환경의 열악한 조건을 극복하기 위해 필요한 다양한 영상 가시성 향상 기술의 성능을 검증하고 추가 연구가 필요한 요소를 검출하였다.

2. 기존연구의 고찰

2.1 실내측위 기술 연구 현황

차량이나 로봇의 이동 가이드를 위해서 일반적으로 GPS를 활용한 실외 측위 기술을 적용한다. 하지만 실내에서는 여러 가지 요인(신호 지연 및 장애물, 신호 굴절 등)으로 인해 큰 오차가 발생하여 다양한 실내용 측위기술이 제시되고 있다.

무선 통신기기를 이용한 측위기법으로 Cho²⁾는 와

이파이 RSSI 정보를 전파전달(radio propagation) 모델 기반으로 AP와 단말기 사이의 거리정보로 변환하고, 변환된 거리정보와 AP 위치정보를 사용하여 단말의 위치를 추정하는 기법을 제시하였다. Kang³⁾은 비콘과 스마트폰 센서를 이용하여 실내 위치 및 경로 추정을 위한 시스템을 구현하였다. 이러한 무선 통신기기를 이용한 측위 기술은 센서의 수와 설치 간극에 따라 측위 정확도가 영향을 받으며, 기반 시설이 없는 환경에서는 사용하기 어려운 측면이 있다⁴⁾.

비전센서를 이용한 실내측위 기술에서는 마커 또는 특징점을 이용하여 상대위치를 추정하고 있다. Hong⁵⁾과 Kim⁶⁾은 천장에 설치된 카메라를 통해 로봇에 부착된 마커 이미지를 인식하여 이동로봇의 위치를 추정하는 방법을 제안하였다. Bang⁷⁾은 실내에 40cm 간격으로 4x4의 형태로 배치한 LED 조명등을 이용하여 실내위치 인식이 가능한 시스템을 개발하였고 이동로봇은 최대 6cm의 오차를 보였다. 이러한 비전센서 기반의 실내측위 기술은 보통 10m 이내의 근거리 영역에서 활용 가능한 기술로 측위 오차는 평균 10cm 이내이다.

재도장 로봇은 통신기반 시설이 부족한 환경에서 국소 영역을 왕복 주행한다. 또한 절대적인 위치보다는 도장층 상태를 반영하여 과도한 중복 작업 및 이동 동선 이탈을 최소화하기 위한 주행 방향 가이드가 필요하다. 이러한 작업 특성을 고려하여 본 연구에서는 라인트레이서 기법⁸⁾을 적용하였다. 기존 라인트레이서 연구에서는 초음파 및 적외선 센서를 사용하지 않지만 본 연구에서는 이미지 센서를 활용하여 강박스 거더 모서리와 도장층 경계를 인식하여 주행방향을 추정하였다.

2.2 영상 가시성 향상 기술 연구 현황

열악 환경에서의 영상 가시성을 향상하기 위한 연구는 20년 이상 진행되어 왔으며 최근까지도 정확도와 속도 향상을 위한 기법이 꾸준히 제시되고 있다.

Kim⁹⁾은 주변 밝기 값에 따른 JND와 영상 히스토그램의 비대칭도를 이용하여 전체적인 대비를 유지하면서 영상 가시성을 향상시키는 방법에 대하여 연구하였다. He¹⁰⁾와 Yoon¹¹⁾은 대기 불순물(안개, 미세먼지 등)에 의해서 열화된 영상을 복원하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘에서는 영상의 RGB 채널의 최대값을 이용하여 생성한 정규화된 영상에서 참조용 대기값을 추정하였다. Tan¹²⁾은 대기 열화 요인이 존재하는 영상이 존재하지 않는 영상보다 낮은 대비를 가지는 특성을 이용하여 대비를 조정하는

방식을 통해 열화 요인을 제거하였다.

본 연구에서는 도장층의 구분과 작업 상태를 정확하게 인식하기 위해 기존의 저조도 및 열화 영상 복원과 관련한 선행 연구의 알고리즘을 이용한다. 특히 작업 현장의 특성을 고려하여 영상에서 밝기와 열화 상태를 실시간으로 분석하여 적응적으로 각 알고리즘이 적용되도록 하였다.

3. 모니터링 모듈 시제품 개발

3.1 모니터링 모듈의 구성

모니터링 모듈의 필요 요소기능 구현과 성능을 검증하기 위하여 Fig. 3과 같이 테스트용 재도장 로봇을 구성하였다. 테스트용 재도장 로봇은 하부 이동체와 전후방 카메라, 제어PC, 원격 모니터링 모듈, 무선 영상 송수신기로 구성된다.

하부 이동체로 오모로봇의 OMO-R1 제품을 사용하였다. OMO-R1는 120W급 DC 모터를 사용하고, 최대 적재 하중은 100kg 이며, 최고 속도 1.2m/s 이다. 전후방 카메라로는 1280x960 해상도의 로지텍 웹캠 C270을 사용하였다. 제어기로는 LG 노트북 15ND530을 사용하였고, 무선 영상 송수신기로 100m 가능한 강원전자 200m급 무선 HDMI 영상 리피터를 사용하였다.

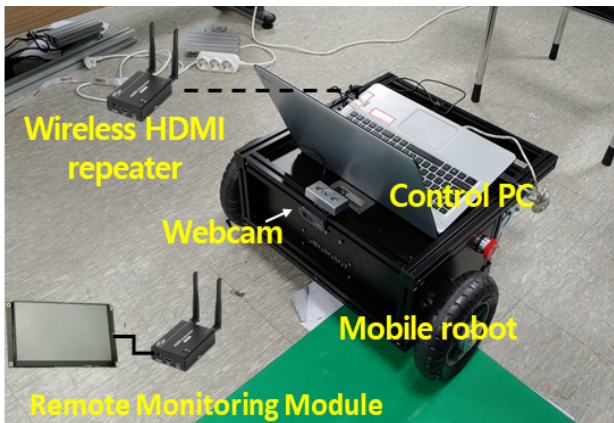


Fig. 3 Monitoring module for testing

3.1.1 영상 기반 주행 방향 가이드

재도장 로봇은 영상에서 도장면과 금속면을 구분하여 이동 방향을 결정하기 위해 카메라 영상을 버드뷰 시점으로 변환한다. 이를 위해 OpenCV에서 제공하는 4지점을 이용한 원근변환 기법을 이용하였다.

보정된 영상에 영상기반 라인트래킹 기법을 적용한다. Fig. 4는 가로로 균일한 간격으로 직사각 형태의 6지점을 배치한 것을 보여주며, 도장층 영역 여부를 기준으로 직진, 좌우 회전, 정지 기능을 적용하였다. 비록 지점 수가 많을수록 정밀한 이동 방향을 가이드 할 수 있지만 시험적으로 6지점을 지정하였다.

도장층 영역 여부를 판별하기 위해 우선 카메라 영상을 금속면과 이외 영역으로 이진 처리하였다. 이진 처리에서는 도장이 제거된 금속면이 무채색인 것을 고려하여 HSV 색상 공간에서 채도(S)채널의 30%를 기준으로 사용하였다. 채도 채널을 이용할 경우, 녹색 또는 파란색의 도장층과 Fig. 5처럼 페인트 도막 일부가 벗겨지거나 노후화된 영역이 도장층으로 인식된다.

이진 처리된 영상을 기반으로 직사각 형태의 6지점에서는 도장층(녹색)과 금속면(적색)을 구분한다. 이 과정에서 주변 환경요소(부분 빛 반사, 오염물 등)에 의한 색상 인식 오류를 고려하여 각 직사각 영역 내부에서 도장층이 60% 이상일 경우에만 도장층 영역으로 설정하였다. 단 앞서 언급한 채도 채널값 기준과 직사각 영역의 도장층 기준값은 현장 조건에 따라 조정이 필요하다. Table 1은 6지점의 상태에 따른 회전속도 설정을 보여주고 있다.

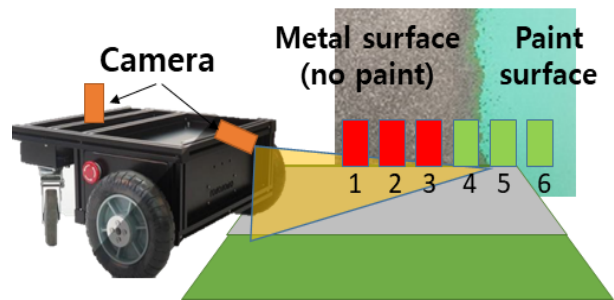


Fig. 4 Image-Based driving guide

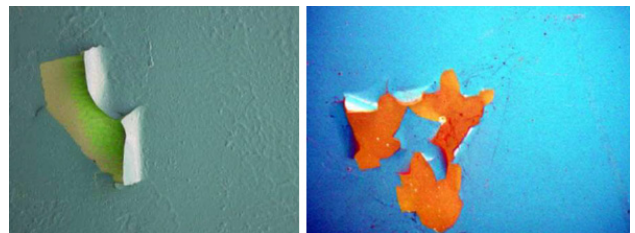


Fig. 5 Aging paint coating layer(the source of images: Google)

Table 1 Robot's turning speed setting

Turning speed (mrad/s)	Six area recognition (1th from the left)
Stop	All are painted layer or metal surface
Left turn(30)	2th-6th area are painted layer (4th or 5th area is metal surface), the rest is metal surface
Left turn(20)	3th-6th area are painted layer, the rest is metal surface
Right turn(20)	5th-6th area are painted layer, the rest is metal surface
Right turn(30)	6th area is painted layer (2th or 3th area is painted layer), the rest is metal surface
Go Straight	Other conditions

3.1.2 저조도 환경 극복 기술

사용한 영상 센서는 기본적인 영상 밝기 조정 기능을 제공하지만, 조도가 아주 부족하거나 햇빛이나 조명 등 영상에 고휘도 영역이 포함될 경우, 가시성이 급격하게 떨어지는 문제가 있다. 본 연구에서는 불안정한 조도 상황에서의 인식률 문제 해결을 위해 아래 식 (1)을 이용한 감마 보정¹³⁾을 수행하였다.

$$y = M \left(\frac{x}{M} \right)^g, M = 255 \quad (1)$$

감마 보정은 카메라 영상 HSV 컬러 채널 중에서 명도 채널(V)에 적용하였고, 영상에 고휘도 영역이 포함 될 경우 고휘도 영역(80% 이상)을 제외한 나머지 영역의 평균 명도값이 30%~70% 범위를 유지하도록 감마값을 적응적으로 조정되도록 하였다. 감마 보정을 통해 어두운 영역의 가시성이 향상된 것을 Fig. 6에서 확인할 수 있다.



Fig. 6 Improved visibility by gamma correction

3.1.3 빛 반사 극복 기술

강교량 하부의 옆면에서는 Fig. 7의 오른쪽 그림과

같이 확산된 햇빛에 의해서 지면과 상단에 반사광이 생성되며, 이러한 반사광 영역은 특히 도로 옆면에 인접한 영역에서 색상 감지를 어렵게 한다.

카메라의 각도 조정을 통해 반사광을 피할 수 있지만, 본 연구에서는 편광필름을 이용하여 반사광을 1차적으로 제거하였다. 편광 필름은 여러 방향으로 진동하는 빛을 일정 방향으로 진동하는 빛만을 필터링하여 편광을 만들어 Fig. 8처럼 반사광을 제거한다.

한편, 편광필름을 카메라에 장착하면 입사하는 빛이 손실되면서 영상 밝기가 줄어든다. 이러한 문제는 앞서 언급한 영상 감마 보정을 통해 보완하였다.



Fig. 7 Steel bridge and working environment



Fig. 8 Removal of reflected light by polarized film

3.1.4 연무 극복 기술

블라스팅 작업이 진행 될수록 벗겨진 페인트 가루와 연마재 등으로 인하여 Fig. 9와 같이 점차 시야가 약해진다. 본 연구에서는 약해진 시인성을 대응하기 위해 안개(haze) 제거 알고리즘¹⁰⁾을 적용하였다. 안개 제거 알고리즘은 식 (2)와 같이 카메라 영상을 I(x)는 대상에서 반사된 신호 J(x)가 대기를 통과하면서 일부 손실(t(x))되고, 이 신호에 대기 산란광 A가 섞여서 형성되는 것으로 표현한다. 안개 제거 알고리즘은 안개 농도가 높을수록 픽셀(dark pixel)값이 크게 나온다는 사실을 기반으로 영상에서 대기 투과율(t(x))을 계산하여 원 영상에서 안개를 분리한다.

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (2)$$

여기서, x는 각 픽셀의 위치, J(x)는 왜곡되기 이전

이미지, $I(x)$ 는 카메라 이미지, $t(x)$ 는 대기 투과율 (Medium Transmission), A 는 대기 산란광(Airlight)을 의미한다.

Fig. 9를 보듯이 안개 제거 알고리즘을 적용한 후, 도장층 영역(녹색 계열)의 채도가 향상되는 것을 확인할 수 있다.

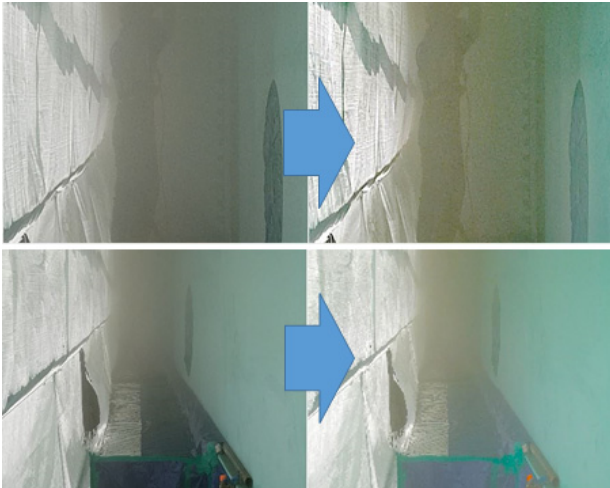


Fig. 9 Result of fog removal algorithm

한편, 안개 제거 알고리즘은 영상의 명도를 감소시키는 경향이 있다. 본 연구에서는 안개 제거 알고리즘 적용 후에 식 (1)을 이용한 감마 보정을 수행하여 명도 감소 문제를 해결하였다. Fig. 10은 전체적인 영상보정 처리 과정을 보여준다.

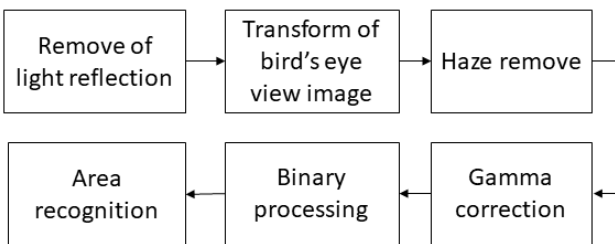


Fig. 10 Image correction process

4. 모의환경에서 성능 시험

4.1 영상기반 이동가이드 기술

로봇의 이동 속도는 블라스팅 작업 품질 뿐만 아니라 이동 방향 제어에도 영향을 미친다. 본 연구에서는 로봇 속도에 따른 영상 기반 로봇 이동가이드의 방향 제어 성능을 파악하기 위해 주행 성능 시험을 수행하였다.

모의 실내 환경에서 주행 시험을 위해 도장층 색

과 유사한 녹색 고무 매트를 설치하였다. 로봇의 속도는 100mm/s에서 200mm/s까지 20mm/s 간격으로 증가시켰으며, 각 속도에서 고무매트 간 사이 각도를 10도부터 5도 간격으로 증가시키면서 3회 반복 시험하였다. 성공 유무는 로봇의 방향 전환 후 경로 이탈 여부로 판단하였고, 3회 모두 경로이탈이 없는 경우에만 성공으로 간주하였다(Fig. 11). 시험 결과 Table 2와 같이 100mm/s 에서는 40도 까지, 200mm/s 속도에서는 20도까지 방향 전환이 가능하였다.

주행 로봇은 속도가 증가하고 회전 각도가 커질수록, 회전 시 불안정한 현상이 있었다. 본 연구에서는 회전 시점 이전에 주행 속도를 약 20%씩 줄이고 영상의 6지점에서 분석한 영역을 기반으로 각속도를 Table 1처럼 2단계로 조정하는 방식으로 불안정한 요소를 최소화하였다.

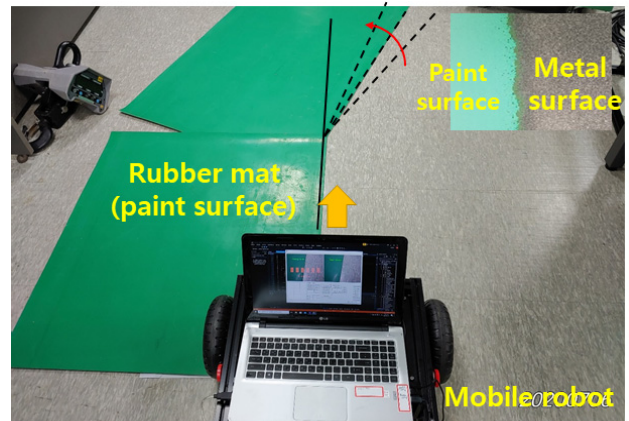


Fig. 11 Test-robot's turning performance

Table 2 Robot's turning performance

Robot speed (mm/s)	Turnable angle (degree)
100	40
120	35
140	30
160	30
180	20
200	20

4.2 저조도 환경에서의 영상 인식 성능

장소에 따른 밝기를 조도계(testo 540)를 이용하여 측정하였을 때, 밀폐된 재도장 현장의 하부의 조도는 평균 1 lux로 조명을 끈 실내(1~3 lux)와 유사하다 (Table 3).

Table 3 Brightness of various places

Measuring environment	Average illuminance(lux)
Clear outdoor (sunlight, shade)	78000, 4000
Cloudy outdoor	11000
Bright interior (multiple fluorescent lamps)	500
Dark interior (day)	3
Dark interior (night)	1
Repaint site (next to girder)	200
Repaint site (under girder)	1

본 연구에서는 저조도 환경에서의 도장층 영역 인식 여부 및 저조도 영상 보정 알고리즘 성능을 검증하기 위해서 조명이 꺼진 어두운 실내에서 다음과 같은 시험을 수행하였다.

도장층과 금속면을 각각 나타내는 녹색과 진회색을 50%씩 가진 패턴 이미지를 평균 조도가 각각 3 lux, 2 lux, 1 lux 인 실내의 바닥에 놓고 높이 40cm에서 카메라(편광 필터 부착)로 이미지를 촬영하였다.

Fig. 12에서 보듯이 평균 조도가 1~2 lux 인 환경에서는 도장층 영역(흰색)을 무채색의 금속면으로 인식하는 등 성능이 불안정하게 나타났다. 부분적으로 도장층을 인식하지만 대체적으로 도장층과 금속면을 구분하기에는 정확도가 부족하였다. 한편, 평균 조도가 3 lux 이상인 환경에서는 10초 이상 상태가 거의 변함없이 안정적으로 도장층을 인식하는 것을 확인하였다.

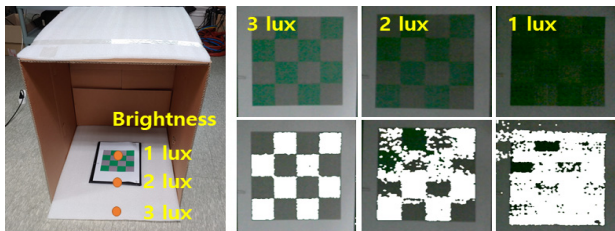


Fig. 12 Color recognition in low lighting Environments

5. 재도장 작업 환경에서 주행성능 시험

비계와 보양이 설치된 현장에서 작업 환경 요소(비계 단차(±3cm)와 조명환경 등)를 반영하여 영상기반 주행 방향 가이드 기술의 성능을 검증하였다.

Fig. 13 상단 왼쪽 그림에서 보이는 강거더 하부안쪽에서는 평균조도가 1~2 lux이하로 조명이 없을 때 어두운 상태이다. 그리고 일부 도장층 표면은 먼지 등 이물질이 부착되어 있어 도장층이 오염된 상

태이었다.

주행시험을 위해 도장층이 제거된 금속면 대신에 흰색의 종이를 C자 형태로 3m 정도 이어 붙여 무채색의 가상 금속면을 생성하였다. 로봇은 100 mm/s 속도로 종이와 도장층의 경계를 따라 주행하도록 하였다. 주행 시험은 작업용 LED 조명(100W)을 끈 상태와 켜 상태에서 각각 실행하였다.

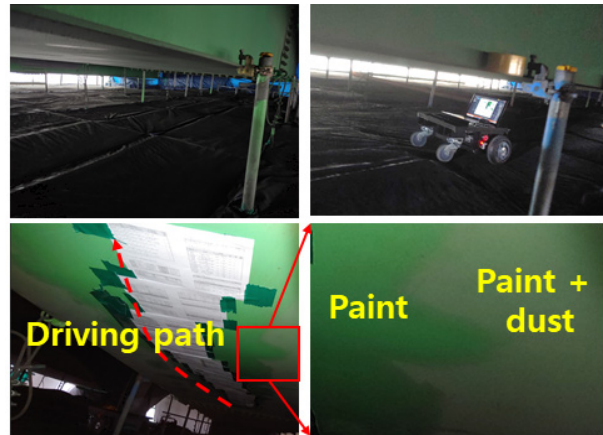


Fig. 13 Driving test of robot in real-world environment

작업용 조명 없이 자연광 상태에서 진행한 시험은 실내에서 수행한 저조도 환경시험처럼 도장층의 오인식 비율이 높게 나왔다(Fig. 14). 비록 육안으로는 금속면을 대신하는 흰색 종이는 구분할 수 있었지만, 조도 부족으로 인한 카메라 노이즈 발생으로 색상 인식이 어려웠고, 이로 인하여 로봇이 중간에 멈추거나 경로를 이탈하였다.

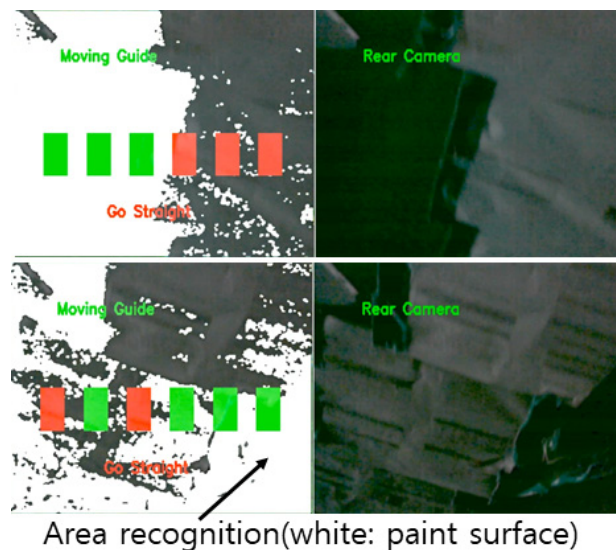


Fig. 14 Accuracy of lighting-free environmental recognition

한편, 작업용 조명을 작업표면에 향하도록 하고 주행 시험을 수행한 결과 직선과 곡선에서 금속면(중이)과 도장층 경계를 구분하여 주행 방향을 가이드 하였다. 비록 Fig. 15 왼쪽 그림 상단을 보여주듯이 일부 이물질이 두껍게 형성된 부분에서는 도장층을 무채색의 금속면으로 오인식 하였지만 6지점의 도장층 영역 인식에서 필터링되었다.

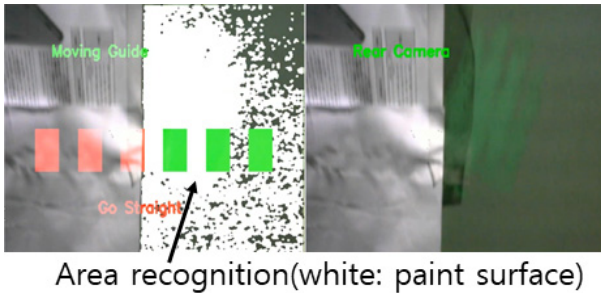


Fig. 15 Accuracy of illuminated environment recognition

실제 재도장 현장 시험을 통해 기존 영상 가시성 향상 기술의 한계를 확인할 수 있었으며, 안정적인 로봇 운영을 위해서는 알고리즘 보완 및 조명 설치가 필요하였다. 또한, 도장표면의 이물질 처리방안에 대한 추가 연구가 필요하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 재도장 로봇에 장착되어 로봇의 이동방향을 가이드하고 작업자에게 작업 상태 영상을 제공하는 모니터링 모듈 시제품을 개발하였다.

저조도, 빛반사, 부유먼지 등과 같은 문제에 대응하기 위해서 영상 가시성 향상 알고리즘을 적용하여 실내 환경 및 실제 작업환경에서 모니터링 모듈의 성능을 검증하였고, 추가로 필요한 보완 요소를 검출하였다.

우선 로봇의 방향 전환 뿐만 아니라 목표 이동 경로와 실제 이동 경로 사이의 오차를 최소화하기 위해 방향 전환 시 주행 속도에 따른 정밀한 회전 각속도 조정과 제어 시점에 관련한 연구가 필요하였다. 그리고 저조도 환경에서의 영역 인식 정확도를 향상시키기 위해 조명 모듈과 도장표면의 이물질 처리 기술 개발이 필요하였다.

한편, 작업이 진행되면서 비산 먼지가 증가하게 된다. 따라서 먼지 농도에 따른 기존 안개제거 알고리즘의 성능 검증과 보완이 필요하고, 센서 보호를 위한 모듈이 개발되어야 한다.

후 기

본 연구는 국토교통기술촉진연구사업 지원에 의해 수행됨(과제번호: 19CTAP-C15073-01)

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) D. H. Kim, H. Y. Jung and J. Y. Kim, "An Evaluation of Life for Corrosion and Damage of Steel Bridges," Journal of the Institute of Industrial Technology, Vol.14, pp.103-109, 2006.
- 2) S. Y. Cho, "A Modified Residual-based Extended Kalman Filter to Improve the Performance of WiFi RSSI-based Indoor Positioning," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.21, No.7, pp.684-690, 2015.
- 3) H. B. Kang et al., "Indoor Location and Movement Distance Measuring System using Beacon and Acceleration Sensor," The Korean Institute of Information Scientists and Engineers, pp.1334-1336, 2014.
- 4) I. Oksar, "A Bluetooth signal strength based indoor localization method," Systems, Signals and Image Processing(IWSSIP), pp.251-254, 2014.
- 5) Y. K. Hong et al., "Vision Tracking System for Mobile Robot Localization in Indoor Environment," The Korean Institute of Electrical Engineer, pp.1317-1318, 2012.
- 6) H. B. Kim, H. H. Jung and J. Yoo, "Indoor Navigation of a Mobile Robot Using Ceiling Images and Ultrasonic Sensors," Institute of Control, Robotics and Systems, pp.116-118, 2013.
- 7) J. H. Bang, S. M. Park and K. Y. Yi, "Direction detection and autonomous mobile robot using LED lighting-based indoor location recognition system," The Korean Institute of Electrical Engineers, pp.1298-1299, 2015.
- 8) S. W. Lee, W. H. Choi and I. K. Song, "A Study on the Driving Algorithm for Line-Tracer Robot,"

- Proceedings of the KIEE Conference, pp.2504-2506, 2003.
- 9) B. S. Kim and B. S. Kang, "Method for Improving the Visibility of Color Images Using JND According to the Surrounding Brightness and Skewness," The Institute of Electronics and Information Engineers, pp.582-584, 2015.
 - 10) K. He, J. Sun and X. Tang, "Single image haze removal using dark channel prior," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 33, pp.2341-2353, 2011.
 - 11) I. H. Yoon, D. G. Kim and J. K. Park, "Enhancement of Atmospherically Degraded Images Using Color Analysis," The Institute of Electronics Engineers of Korea Signal Processing, Vol.49, No.1, pp.67-72, 2012.
 - 12) R. T. Tan, "Visibility in bad weather from a single image," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1-8, 2008.
 - 13) S. K. Bhatia, "Advances in computer communication and computational sciences," Proceedings of IC4S, Springer, pp.301-302, 2017.
 - 14) J. B. Jeong and K. S. Kim, "A Study on Driving Algorithm and Communication Characteristics for Remote Control of Mini Excavator", Journal of Drive and Control, Vol.15, No.4, pp.81-90, 2018.
 - 15) T. J. Song, H. W. Lee, and K. S. Oh, "A Model Predictive Tracking Control Algorithm of Autonomous Truck Based on Object State Estimation Using Extended Kalman Filter", Journal of Drive and Control, Vol.16, No.2, pp.22-29, 2019.