

노면사인 도색로봇 시스템의 제어 알고리즘

신현호*, 이우창, 유지훈(고려대학교 대학원 기계공학과), 홍대희, 최우천(고려대학교 기계공학과),
김태형(한국건설기술연구원 건축설비 및 플랜트연구그룹)

Control System of Roadway Sign Painting Robot

Hyoun Ho Shin*, Woo Chang Lee, Ji Hoon Ryu, Daehie Hong, Woo Chun Choi (Dept. of Mech. Engr.), and Tae Hyung Kim (Building Facility and Plant R&D Group, Korea Institute of Construction Technology)

ABSTRACT

Clean and well maintained roadway signs are important for preserving driver's safety. The existing signs on the roadway must be periodically re-painted in order to maintain clean state. However, current sign painting operations are manually performed now. These are very slow and workers are exposed to very dangerous and hazard working environment. In this paper, we present the method for automating this job with gantry robot and spray system. In addition, we suggest two design concepts to resolve the problem that it is impractical to make the gantry system so big as to cover whole lane width. In order to show the validity of this system, the painting operation is simulated and experimentally executed.

Key Words : Roadway sign painting robot (노면사인 도색로봇), Workspace(작업공간), Gantry Robot (갠트리로봇), Rail System (레일 시스템), Path generating algorithm (경로생성 알고리즘)

1. 서론

노면 사인이란 이용자의 안전과 원활한 차량 소통을 위하여 도로면 위에 그려진 각종 기호 문자 또는 선을 의미하며 도로안전을 위하여 깨끗하고 선명하게 유지되어야 한다. 이를 위해서는 기존에 도색 된 사인이 주기적으로 다시 도색 되어야 한다.^[1] 그러나 현재 우리나라의 대부분의 도로에서는 상태가 불량한 사인이 방치되어 운전자에게 불편을 초래하고 사고발생의 한 원인이 되고 있다. 현재 노면사인 도색작업은 많은 작업자가 투입되어 수작업으로 진행되고 있으며 이는 장시간 교통통제를 유발하여 운전자의 불편과 많은 혼잡비용을 발생시키고 있다. 또한 작업자가 통행차량에 장시간 노출되는 안전의 문제점이 있으며, 페인트를 사용하는 공정이 인체에 유해하여 작업자의 건강을 해칠 수 있다. 로봇을 이용해 노면 사인 도색작업을 자동화한다면 전체작업시간을 획기적으로 감소시킬 수 있고, 작업자를 통행차량으로부터 노출을 최소화하여 안전을 확보할 수 있으며, 교통차단을 최소화하여 물류비용 절감과 교통사고 유발요인을 줄일 수 있

다. 이러한 자동화에 대한 연구는 미국의 AHMCT (Advanced Highway Maintenance & Construction Technology)연구센터에서 다년간 진행되었다.^[2,3] 그러나 제어의 어려움으로 인하여 상용화에는 실패하였다. 본 논문에서는 노면사인의 도색작업을 위하여 가장 적합하다고 판단된 갠트리로봇을 제안하였으며 이 로봇의 단점인 작업공간의 협소를 보완하기 위해 이동장치를 고안하였다. 그리고, 제작된 로봇과 소프트웨어를 통하여 제어 알고리즘의 타당성을 알아보려고 한다.

2. 도색로봇의 구조 설계

2.1 도색로봇 설계의 요구조건

로봇의 설계 시 구조 결정은 작업의 형태 및 속도, 로봇 말단부의 작업영역 등에 의해서 결정된다. 노면사인 도색을 위하여 로봇은 2 차원 평면에서 원활하게 움직일 수 있는 구조를 가져야 하며 도로의 한 차선을 커버할 수 있는 작업영역을 가져야 한다. 이러한 요구조건을 만족할 수 있는 노면사인 도색 로봇의 구조는 관절형(articulated robot), 스카라

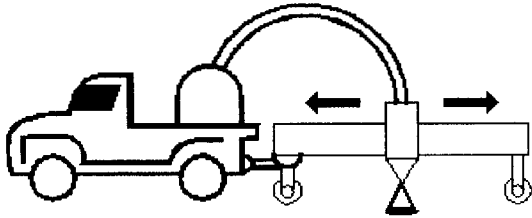


Fig. 1 The operational concept of gantry robot

형(SCARA robot), 갠트리(gantry robot)형을 생각할 수 있다.

2.2 도색로봇의 설계

본 논문에서는 갠트리 타입의 로봇(Fig. 1)을 선정하였다. 이는 구조가 간단하여 역 기구학적 해의 산출이 용이하여 실시간 제어가 가능하며 로봇의 강성이 비교적 높아 넓은 작업공간에 걸쳐 정밀한 제어가 가능하기 때문이다. 또한 갠트리의 구조상 X, Y 축이 상호간에 견고하게 결합되어 전체적인 작업공간 내에서 비선형성이 없고 작업공간 내로 로봇 말단부의 속도가 빠르다는 장점이 있기 때문이다.^[4] 이외에 도색 방식은 용착식과 스프레이 방식 중 자동화가 쉬운 스프레이 방식을 적용하였다. 완성된 로봇(Fig. 2)과 스프레이노즐(Fig. 3)의 모양은 아래와 같다.

3. 노면사인의 종류와 경로생성 알고리즘

3.1 경로생성의 방법

일반적인 경로생성의 방법에는 외곽선 추종방법과 중심선 추종방법이 있다. 외곽선 추종방법은 일반적으로 상용 폰트에서 사용되는데 이를 적용할 경우 상대적으로 이동경로가 길어지게 된다. 그러므로 빠른 도색을 위하여 효율이 보다 높은 중심선 추종방법이 더 바람직하다는 결론을 내릴 수 있다. 또한 숫자가 적은 알파벳과 숫자폰트의 경우에는 제작해야 할 폰트의 숫자가 많지 않으나 한글의 경우에는 모아 쓰기라는 독특한 방식으로 인하여 표현 방식에 따라 폰트의 개수가 크게 달라지게 된다.

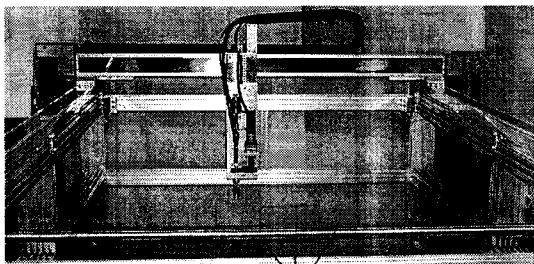


Fig. 2 Roadway sign robot body

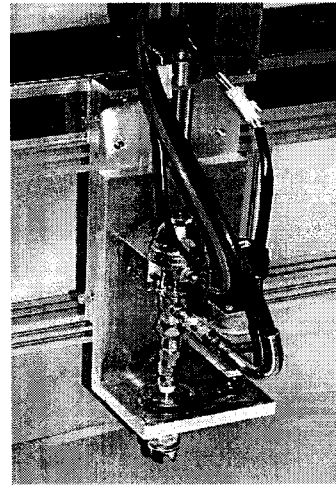


Fig. 3 Spray nozzle part

3.1.1 한글폰트의 경로생성 알고리즘

한글폰트에는 완성형과 조합형이 있는데 이중 완성형을 사용할 경우 11,172 개의 폰트를 제작해야 한다. 반면에 조합형은 이보다 적은 수의 폰트로 모든 한글을 큰 무리 없이 표현할 수 있다. 그런 이유로 한글 모델링은 조합형을 사용하였다. 여기에는 오토마타(automata)라는 한글조합 알고리즘이 사용되었으며 폰트데이터는 기존의 외곽선 추종방식에서 사용된 것처럼 헤더, 인덱스, 자료부분으로 제작하였다.^[5] 제작된 폰트의 결과(Fig. 4)는 아래 그림과 같이 나타낼 수 있으며 그 에 따라서 실행된 모습은 시뮬레이터(Fig. 4)를 이용하여 미리 알아볼 수 있다. 그리고 데이터를 이용하여 실제 시스템으로 도색 한 결과(Fig. 5)는 다음과 같이 시뮬레이터와 같게 나왔다

```

2 // header part
1101 3101 // index
24 15
5090001 0 1600
3090110 450 1525
2000010 375 1580
2000120 375 425
5000002 700 1600
2000110 625 0
5000110 725 700

```

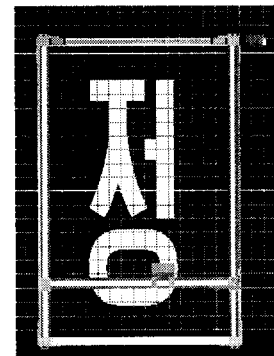


Fig. 4 Font and simulated sign

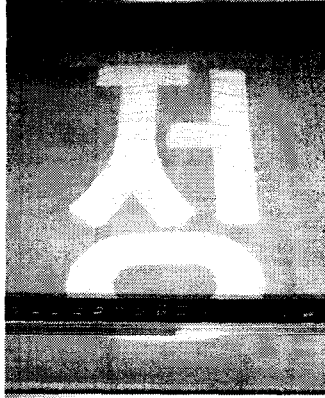


Fig. 5 Painted sign by robot

3.1.2 영문폰트 및 기호의 경로생성 알고리즘

영문이나 기호의 경우 폰트의 수가 많지 않고 또한 모아쓰기 방식이 아니므로 한가지 방식으로 경로를 생성할 수 있다. 그러나 영문자와 달리 기호는 그 길이나 크기가 작업공간을 벗어나는 경우가 많아 도색을 완료하기 위해서는 로봇의 몸체 자체의 이동이 필요하게 된다. 즉 이는 지금까지 사용된 경로생성 알고리즘에 추가로 로봇의 이동 알고리즘까지 필요하게 되는 것이다.

4. 이동이 필요한 경로생성 알고리즘

일반적인 차량의 폭은 2M 정도이다. 그에 반해 차선의 폭은 3M 정도이므로 로봇의 몸체 자체로 한 차선을 커버할 수는 없다. 따라서 몸체의 이동이 필요하게 된다. 현재 고려하고 있는 경로확장 알고리즘은 레일을 이용한 시스템과 전방향바퀴(omni-wheel)를 이용한 시스템이다.

4.1 레일 시스템

로봇의 몸체 전체를 레일에 장착 후 레일 자체를 트레일러 하부에 장착하는 개념(Fig. 6)이다. 이는 안정적으로 가로방향의 작업공간을 확장(Fig. 7)할 수 있는 장점이 있다. 즉 정확한 평행이동이 되므로 특별한 보정작업 없이 수평방향의 도색작업을 완료할 수 있다. 로봇의 몸체의 작업공간이 가로로 최대 1.5M 정도인데 레일을 이용하면 3M 에 가까워 지므로 한 차선을 완전히 커버할 수 있게 된다. 차선방향의 이동이 필요한 경우에는 트럭 자체를 전후로 이동시킨 후 트레일러의 바퀴에 장착된 엔코더의 값을 입력받는다. 그 후 이 값을 이용하여 이동거리를 구해낸 후 적절한 좌표 변환을 통하여 도색작업을 완료하게 된다.

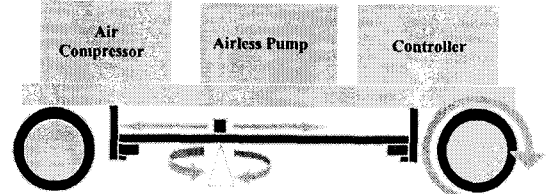


Fig. 6 Front side view of the robot system

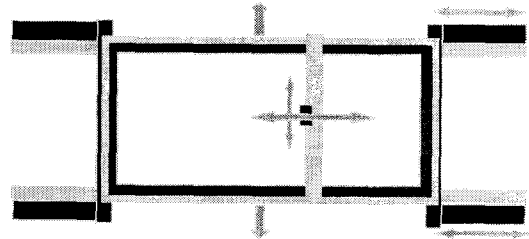


Fig. 7 Top view of the robot system

4.2 Omni-wheel System

앞서 제작된 몸체 하부에 레일대신 전방향바퀴(omni-wheel)를 장착하여 전후좌우 및 회전이 가능하도록 제작된 시스템이다. 바퀴가 장착된 로봇의 좌표계(Fig. 8)는 그림과 같다.^[6]

도색로봇의 무게중심에서 위치(position)벡터

$${}^I S = \{X_w, Y_w, \phi\}^T \quad (1)$$

도색로봇의 무게중심에서 힘(force)벡터

$${}^I F = \{F_x, F_y, M_G\}^T \quad (2)$$

고정좌표계에 대한 운동좌표계의 도색로봇 회전 행렬

$${}^m R = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

따라서 고정좌표계와 운동좌표계의 위치에 관계된 식은 다음과 같다.

$${}^I \dot{S} = {}^m R {}^m \dot{S} \quad (4)$$

운동좌표계에서 로봇의 무게중심에 대한 위치(position)벡터와 힘(force)벡터

$${}^m S = \{X_m, Y_m, \phi\}^T \quad (5)$$

$${}^I f = \{f_x, f_y, M_G\}^T \quad (6)$$

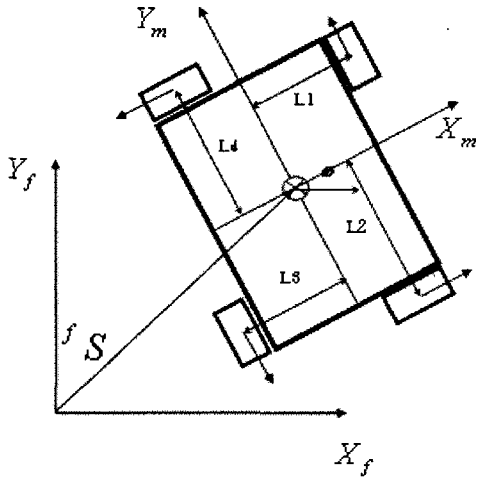


Fig. 8 Omni-wheel coordinates

전체 힘과 모멘트를 나타내는 식

$$\begin{Bmatrix} f_x \\ f_y \\ M_G \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ L_1 & L_2 & L_3 & L_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

wheel의 각속도는 다음과 같이 나타난다.^[6]

$$\begin{Bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{Bmatrix} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} 0 & 1 & L_1 \\ -1 & 0 & L_2 \\ 0 & -1 & L_3 \\ 1 & 1 & L_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \\ \dot{\phi}_m \end{Bmatrix} \quad (8)$$

여기서 r은 바퀴의 반지름이다.

4.3 이동이 포함된 경로생성 알고리즘

이제까지 논했던 이동장치를 이용하여 확장된 영역에서 도색을 하기 위한 알고리즘을 고안할 수 있다. 지금까지 방법에 이동 알고리즘의 적용으로 2차 이상의 문자도색(Fig. 9)과 작업공간을 넘는 크기의 기호(Fig. 10)도 도색이 가능해졌다.

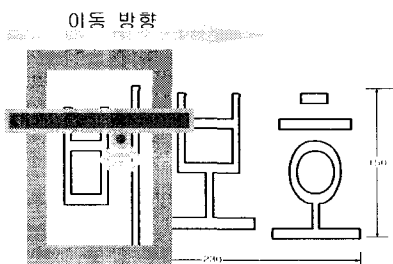


Fig. 9 Painting operation of characters

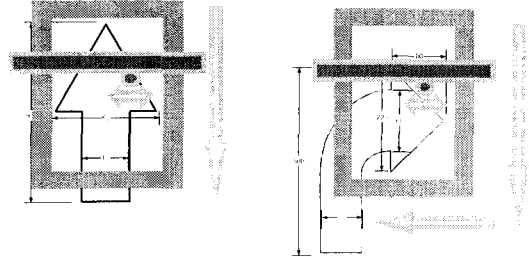


Fig. 10 Painting operation of arrow sign

4. 결론

본 논문에서는 기존의 수작업에 의존하던 노면도색작업을 자동화하기 위한 하드웨어를 설계하였고 이를 기반으로 한 경로생성 알고리즘을 고안하였다. 또한 선정된 갠트리형 로봇의 단점을 보완할 수 있는 이동 시스템을 구축하기 위해 두 가지의 하드웨어를 제안하였으며 이를 이용하여 두 개 이상의 한글, 영어의 도색 알고리즘과 작업공간 보다 더 크기가 큰 기호 등 종류별 경로생성 및 확장했을 때의 시스템의 제어알고리즘을 제안하였다.

후기

본 연구는 한국건설기술연구원의 산학연협동연구개발사업(과제번호: 제안 A-07)에 의해 지원을 받아 이루어 졌으며 이에 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

참고문헌

1. 홍대회, 홍석희, "도로 유지보수 작업의 자동화 기술," 토목학회지, Vol. 47, pp. 66-72, 1999.
2. Hong, D., Velinsky, S. A., and Yamazaki, K., "Tethered Mobile Robot for Automating Highway Maintenance Operations." Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 13, pp. 297-307, 1997.
3. Mueller, K. A., Hong, D., and Velinsky, S. A., A "Wheeled Mobile Robot for Automated Pavement Crack Sealing." Proceedings of Robotics for Challenging Environments, pp. 178-184, 1996.
4. Lee, W., Shin, J., Shin, H., and Hong, D., "Automation of Roadway Sign Painting Robot System," 2002 KSAE Conference, pp. 1461-1466, 2002.
5. 신재봉, "노면사인도색로봇을 위한 경로생성 알고리즘," 석사학위논문, 고려대학교 2002.
6. Lance Wilson, Graig Williams, Justin Yance, Jae Lew, Robert L. Williams II, and Paolo Gallina, "Design and Modeling of a Redundant Omni-directional RoboCup Goalie," In Proceedings RoboCup 2001 International Symposium, Seattle, WA, August 2001.