도로 유지/보수 작업의 자동화

홍 대 희
고려대학교 기계공학과 부교수
dhhong@korea.ac.kr

1. 들어가는 말

현대와 같은 산업화 시대에 있어서 물류 흐름의 원활화를 위해서 효과적인 도로 교통망의 구성은 필수적인 요소이다. 도로교통망의 이용 효율성은 여러 가지 요소에 의해 영향을 받게 되는데 그 중요성에 비해 지금까지 간과되어 왔던 부분이 도로의 관리, 보수 및 정비 작업이다. 현재 우리나라를 비롯한 세계 각국에서 행해지고 있는 도로 관리 및 보수 작업은 대체적으로 사람의 수작업에 의존하고 있다. 이에 따른 비효율성 때문에 전체 도로 이용효율성이 저하되고 있으며 작업자 자신의 안전이 매우 위협받고 있는 실정이다.

또한, 도로 보수관리 작업의 부실화로 인해 성수대교 붕괴와 같은 엄청난 인재를 초래하고 있는 것이 현실이다.

우리나라가 교통사고 발생률 부문에 있어서 거의 매년 1위를 차지하고 있는 사실은 잘 알려져 있지만, 선진 미국에서도 매년 교통사고로 숨지는 사람이 약 4만 명에 달하며 약 5백만이 부상당하고 있는 것으로 통계되고 있다. 이 사고들 중 많은 부분이 도로 보수관리 때문에 발생하는 교통정체에 기인한다고 할 수 있다. 따라서 도로의 보수관리 작업을 효율적으로 빠른 시간에 행함으로써 이러한 교통사고의 발생원인을 줄이고 더 나아가 차량의 흐름을 빠르게 하여 많은 경제적 이득을 기대할 수 있다. 교통정체에 따른 경제적 손실을 화폐로 환산한 통계의 예를 보면, 미국의 캘리포니아 교통국에서는 차량 한 대가 한 시간 당 약 7.25 불 손실하는 것으로 추정하고 있다. L.A.의 고속도로 최대 교통량은 한 차선에서 한 시간 당 약 1400대로 추정되며, 이는 동 지역에서 한 차선을 한 시간 동안 통제했을 경우 약 10,000 불에 해당한다.

이와 같은 교통통제를 최소화할 수 있다면 파생되는 많은 경제적 손실을 최소화할 수 있고, 나아가 작업자의 안전과 도로를 이용하는 운전자의 사고 발생률을 줄일 수 있다.

최근에 지능형교통시스템 (Intelligent Transportation System: ITS)이 많은 사람들의 주목을 받고 있다. 이 지능형교통시스템은 현대 제어기술과 센서기술들을 접합하여 기존의 교통시스템을 보다 빠르고 안전하게 만드는 것을 목표로 많은 연구 개발이 진행되고 있다. 그러나, 지능형교통시스템이 아

무리 잘 개발되어 있어도 도로의 관리보수가 기존의 비효율적인 수작업 방법에 의존한다면, 본래의 장점이 반감될 것이다. 현재 지능형교통시스템의 연구가 가장 활발한 미국 일본 등에서 그동안 인식의 부족으로 등한시 되어오던 도로 관리보수 자동화 문제가 중요한 부연구과제로 떠오르고 있다.

지금까지 도로보수 정비에 관한 제반 문제를 살펴본 결과 이 작업들을 자동화하여 효율을 극대화하는 것이 많은 경제적 이득과 인명피해를 줄이는 결과를 가져다 줄 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이 논문에서는 한국에서는 비교적 생소한 도로 보수관리 자동화에 관한 연구가 선진국에서는 얼마나 진행되어 있으며 각 연구들의 간략한 내용과 장점 단점 등을 살펴보고자 한다.

2. 자동화 기술

도로 보수관리의 자동화는 로봇공학, 메카트로닉스, 센서, 그리고 자동제어 등 제반 자동화 기술들을 활용하여 기존의 수작업에 의존하던 프로세스를 작업의 특성에 따라 완전무인자동화, 작업자의 부분적 참여가 요구되는 반자동화 등의 방향으로 추진된다. 또는 자동화의 정도는 약하더라도 작업자를 통행차량으로부터의 노출에 따른 위험을 최소화하기 위해 보수관리 장비를 재설계하는 것도 포함될 수 있다. 도로의 보수관리 자동화 분야는 각 작업의 성격에 따라 그림 1과 같이 크게 5가지로 나뉘어 질 수 있다: 도로노면 보수관리 자동화, 도로주변 보수관리 자동화, 도로구조물 보수관리 자동화, ITS 기반시설 보수관리 자동화, 작업자 안전을 위한 자동화.

각 보수관리 작업은 크게 검사와 보수로 구분될 수 있다. 보수관리 작업의 완전한 자동화는 도로의 손상정도를 자동화된 검사장비로 검사를 한 후에 이를 데이타베이스화 하여 주기적인 재검사 계획이나 보수계획에 활용될 수 있도록 설계된다. 예를 들면, 도로 표면 균열의 보수관리는 균열 검사장비로 각 도로의 균열 상태를 조사한 후에 이를 토대로 보수계획을 수립한 후에 자동화된 장비로 보수를 수행하는 단계로 자동화 할 수 있다.

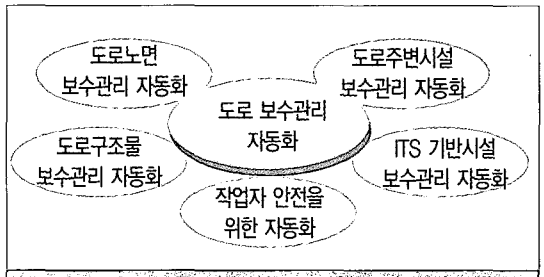

그림 1. 도로 보수작업 자동화의 분류

도로노면 보수관리의 자동화는 도로포장의 손상을 자동으로 점검하고 보수하는 것을 말한다. 또한 이 분야는 도로 포장의 손상 상태를 데이터베이스화하여 관리하고 이를 기초로 점검 및 보수 스케줄링 하는 것까지 포함한다. 도로노면의 보수관리는 노면균열의 검사 및 보수, 차선의 주기적 점검과 페인팅, 노면 싸인의 주기적 점검과 재 페인팅, 노면의 침하 검사와 보수, 차선 마커 (Marker or Reflector)의 설치 및 보수관리 등을 포함하고 있다. 관련 연구들은 다음과 같다: Automated Crack Sealing Machine, Development of a New Marker Adhesive System, Robotic System for Roadway Stenciling, Laser-Guided Lane Striping System, New Placement and Adhesive Methods for Raised Pavement Markers. 그림 2는 이동로봇을 이용한 노면균열 자동보수장비를 보여주고 있다. 차량 전면부에 부착된 카메라에 의해 균열이 감지되고 이 정보를 이용해 이동로봇이 보수작업을 수행하도록 설계되었다. 그림 3은 고려대학교 생산자동화연구실에서 개발되고 있는 노면사인 자동도색로봇을 보여주고 있다. 작업자가 컴퓨터 화면에서 필요한 노면사인을 선택하거나 입력하면 로봇이 자동

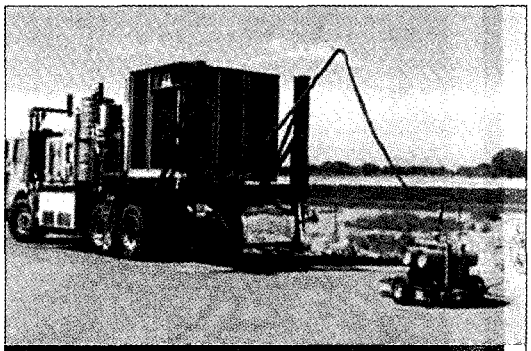

그림 2. 이동로봇이 도로균열을 자동으로 보수하고 있다.

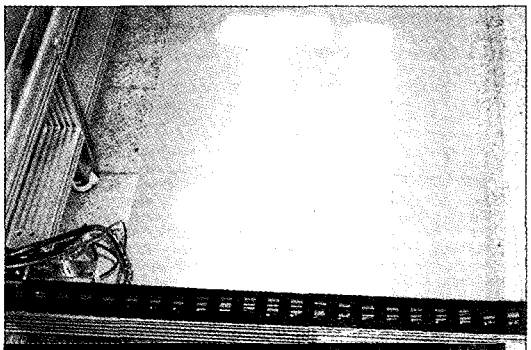

그림 3. Robot을 이용하여 노면사인을 자동도색하고 있다.

으로 노면에 도색해주게 된다.

도로 주변시설 보수관리 자동화는 로봇과 자동화 기술을 이용하여 도로 주변에서 행해져야하는 여러 작업들을 자동화하는 것을 말한다. 예를 들면, 도로 주변의 쓰레기 처리, 낙석 등 불필요한 물체의 제거, 도로 주변의 조경관리, 각종 표지판 관리 등이 이에 속한다. 다음과 같은 연구토픽들이 이에 해당 한다: Laser Removal of Graffiti, Automated Litter Bag/Debris Collection Vehicle, Regional Irrigation Management System, Smart Herbicide Applicator, Tele-operated and Automated Maintenance Equipment Robotics.

도로 구조물 보수관리 자동화는 구조물의 경년변화와 하중에 의한 파손, 응력 등을 검사하고 보수하는 것을 말한다. 도로 구조물의 대표적인 것은 교량이므로 이에 대한 검사 방법 등에 연구가 집중되고 있다. 대표적인 연구는 Aerial Bridge Inspection, Fiber Optics Sensor and Communication for Bridge Inspection, Use of Computerized Tomography in Structural Inspection, Image Enhancement for Video Inspection of Bridge Structures 등이 있으며 이 중 그림 4는 aerial robot을 이용한 교량 검사 장면을 보여주고 있다.

그림 4. Aerial robot을 이용하여 교량하부를 검사하고 있다.

작업자 안전을 위한 자동화는 작업환경 위험요소를 최대한으로 줄이도록 하는데 목적이 있다. 도로상의 가장 큰 위험요소는 지나는 차량에 작업자가 노출되어 있다는데 있다. 따라서, 기존의 보수장비를 개선하여 가능하면 작업자가 차량 내와 같은 보호된 환경 하에서 작업을 할 수 있도록 해야 한다. 또 다른 예는 도로 상에서 위험물질 취급차량이 사고를 일으켰을 때이다. 이 때, 위험물질의 성질에 따라 작업자가 접근 불가능한 경우가 발생하게 되는데, 이러한 경우 로봇을 이용해 시료를 원격 채취하거나 위험물질의 원격 처리 필요성이 생기게 된다. 이 분야의 연구 사례는 Autonomous Sensor-Based Shadow

Vehicle, Remote HazMat Laboratory, Remote HazMat Vehicle, Smart Cone and Workzone Warning System, Automated Machine for Cone Placement and Retrieval 등이 있으며, 그림 5는 임시 교통차단을 위해 콘을 자동으로 노면에 설치하고 철거하는 모습을 보여주고 있다.

그림 5. 교통차단용 콘을 자동으로 수거하고 있다.

지능형교통시스템을 위해서는 도로 상에 자석 못(Magnetic Nail) 이나 차량 감지센서인 Induction Loop와 같은 여러 가지 센서 등이 부착되어야 하는데 이를 유지 관리하기 위해서 자동화된 장비를 필요로 한다. 또 다른 예는 자동화된 도로 상에서 사고 등에 의해 예기치 않은 장애물이 발생했을 때 자동화된 도로의 효율을 떨어뜨리지 않기 위하여 이의 신속한 처리를 위한 장비가 요구된다. 이 분야는 ITS의 연구개발이 진행됨에 따라 최근에 부각되기 시작하였으며, The Automated Highway Systems Infrastructure Diagnostic Vehicle 이라는 연구가 있으며, 이의 개요를 다음에 소개한다.

3. 맺음말

이상으로 도로 보수관리 작업의 여러 연구 사례들을 살펴보았다. 모두 5개의 분야로 나누어 각각에 해당하는 연구들을 소개하였다. 이외에도, 도로 점검 상태의 데이터베이스화를 위한 체계적인 연구가 필요하다. 예를 들어, 도로 상태를 점검차량이 자동화 장비를 이용해 도로의 위치와 상태를 측정하여 Internet을 통해 중앙의 컴퓨터에 바로 전송하고, Geographic Information System (GIS)를 이용하여 데이터베이스화한 다음, 인공지능과 같은 방법으로 작성된 보수나 재점검 계획 프로그램을 통해 계획을 수립하도록 하는 총체적인 시스템을 생각할 수 있다. 또한, 대부분의 보수 자동화는 로봇을 이용해 개발하게 되는데, 각 보수 작업을 운동역학적인 측면과 시스템적인 측면을 고려하여 분류한 다음 공통적인 특징을 갖는 로봇이나 제어시스템을 개발하면, 하나의 개발된 시스템으로 여러 작업에 응용할 수 있는 모듈화가 가능하게 된다.

도로 보수관리 작업의 자동화는 비교적 최근에 시작된 연구 분야로 향후 무수히 많은 연구들이 진행될 것으로 예상된다. 현재 우리나라에서도 성수대교를 비롯한 일련의 대형사고 후에 이에 대한 관심이 고조된 상태이다. 도로 보수관리 작업은 대단히 많은 예산과 인력을 투입해야 함에 비해 그 성과가 가시적으로 드러나지 않는 특징이 있다. 우리나라와 같이 예산이 부족한 나라에서는 자동화를 통해 이를 극복하는 것이 바람직하다고 생각한다.

권혁성 편집위원 hskwon@horizonlaw.com