

교량유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇 시스템 개발

Development of Advanced Robot System for Bridge Inspection and Monitoring

이 종 세* · 황 인 호** · 김 동 우*** · 이 후 석****

Lee, Jong Seh · Hwang, Inho · Kim, Dong Woo · Lee, Hu Seok

ABSTRACT

Conventional bridge inspection involves the physical positioning of an inspector by the hydraulic telescoping boom of a "snooper truck" thereby providing visual access to bridge components. The process is time consuming, hazardous, and may be affected by lighting conditions. Therefore, it is of great interest that an automated and/or teleoperated inspection robot be developed to replace the manual inspection procedure. This paper describes the advanced bridge inspection robot system under development and other related activities currently undergoing at the Bridge Inspection Robot Development Interface (BIRDI). BIRDI is a research consortium with its home in the Department of Civil and Environmental System Engineering at Hanyang University at Ansan. Its primary goal is to develop advanced robot systems for bridge inspection and monitoring for immediate field application and commercialization. The research program includes research areas such as advanced inspection robot and motion control system, sensing technologies for monitoring and assessment, and integrated system for bridge maintenance. The center embraces 12 institutions, which consist of 7 universities, 2 research institutes, and 3 private enterprises. Research projects are cross-disciplinary and include experts from structural engineering, mechanical engineering, electronic and control engineering. This research project will contribute to advancement of infrastructure maintenance technology, enhancement of construction industry competitiveness, and promotion of national capacity for technology innovation.

Keywords: bridge, inspection, robot, automated, maintenance

1. 서 론

1994년 성수대교의 붕괴 이후 정부는 "시설물 안전에 대한 특별법"에 따라 교량, 터널, 댐 등과 같은 주요 시설물의 정기점검 및 정밀점검을 주기적으로 수행하고 있다. 그러나 현재 구조물 점검 작업은 조사원이 특수차량에 직접 탑승하여 육안으로 조사함에 따라 작업자의 안전성 확보 및 막대한 비용과 시간이 요구되고 있으며 점검결과와 신뢰성 및 객관성에서도 문제를 보이고 있다. 이를 위해 검사로봇을 이용한 자동화 시스템 개발에 대한 관심이 날로 증대되고 있다.

* 정회원·한양대학교 건설환경시스템공학과 교수 Email: jonglee@hanyang.ac.kr

** 정회원·한양대학교 건설환경시스템공학과 박사후연구원 Email: hinho@hanyang.ac.kr

*** 한양대학교 건설환경시스템공학과 연구교수 Email: kdw817@yahoo.co.kr

**** 한양대학교 건설환경시스템공학과 석사과정 Email: bznglay@hanyang.ac.kr

건설 분야의 자동화 검사로봇 시스템에 대한 연구는 1980년대 Skibniewski(1988) 등의 연구자에 의해 시작되었으며, 1996년 Vanderbilt대학교의 인공지능연구실(Intelligent Robotics Lab.)에서는 Robotic Inspector(ROBIN)를 개발하여 구조물의 유지관리에 이용하고자 하였으며(Pack et al., 1996), North Carolina 대학교의 건설자동화 및 로봇 연구실(Construction Automation and Robotics Lab.)에서는 4-자유도 로봇이 Peeper 크레인 트럭의 말단에 장착되어 교량의 보와 트러스의 페인트 제거 작업을 하는 Robotic Bridge Management System(RBMS)을 개발하였다(Lorenc et al., 2000). Huston 등(2001)은 구조물 조사를 위해 Addressable Sensor Modules(ASM's)을 이용하는 저 전력의 로봇 신호체계를 연구하였다.

본 교량조사로봇개발연구단(Bridge Inspection Robot Development Interface: BIRDI)은 건설교통부 첨단융합건설기술개발 사업의 일환으로 한양대학교 안산캠퍼스에 2005년에 설립되었다. BIRDI는 교량점검의 신뢰성과 시간적·재정적 비용의 절감이 가능한 로봇 시스템의 개발을 통해 교량의 유지관리 자동화를 현장에 적용하고 이를 사업화하는 것을 목표로 추진되고 있다. BIRDI의 연구주체는 1) 교량의 유지를 위한 통합 시스템, 2) 검사와 평가를 위한 말단기술, 3) 첨단검사로봇 및 동작조절시스템으로 구분되며, 12개 기관(7개 대학, 2개 기관연구소, 3개 회사)으로 구성되어 있다. 또한 구조 엔지니어, 기계엔지니어, 전기·제어 엔지니어 등의 각 분야 전문가들이 유기적으로 연계되어 연구를 수행하고 있다.

본 연구를 통하여 개발될 로봇시스템은 교량의 유지관리 기술 발전과 건설 산업의 국가 경쟁력에 기여하며 첨단기술의 융합을 통한 기술혁신으로 국가 역량 선진화에 기여할 것이다.

2. 교량검사로봇시스템

BIRDI의 연구목표는 자동화 로봇 시스템을 이용하여 교량의 정기점검 및 정밀점검을 수행함으로써 작업자의 안전성 확보와 유지관리를 위한 객관적이며 신뢰성이 높은 자료의 획득에 있다. 이를 위하여 교량검사로봇시스템은 1) 로봇 플랫폼 시스템, 2) 머신비전 시스템, 3) 데이터 관리 시스템의 세 가지 주요부분으로 구성되며, 시스템의 진행순서는 그림 1과 같다.

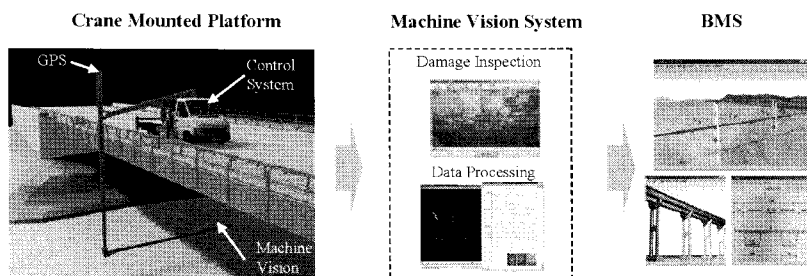


그림 1 교량조사로봇시스템의 진행과정

2.1 굴절로봇차

자동화 시스템을 구축한 첨단 굴절로봇차는 4관절 붐과 붐의 말단에 장착한 로봇 플랫폼을 쉽게 운영할 수 있는 원격조정 장치, 12m 까지 연장 가능한 이송장치와 굴절로봇차의 구동장치로 구성되어 보다 신속히 교량의 바닥판을 조사, 데이터의 전송을 할 수 있는 시스템을 구축하였다.(그림 1).

2.2 로봇플랫폼과 제어

굴절로봇차의 말단에 장착되어 머신비전장치의 이동을 담당하는 로봇플랫폼은 base 이송, 수직 이송 및 수평유지부로 구성되어 있으며, 유지관리의 편의를 위해 탈착이 가능하도록 설계되었다. 또한 조정자가 로봇의 상태를 알 수 있도록 force reflection을 해줄 수 있는 PHANTOM omni haptic 장치를 장착하였다. 또한 haptic으로부터 받은 신호를 확인 할 수 있도록 출력시켜주는 상태창과 feedback된 값을 3D로 구현하기 위한 OpenGL창을 구현하였으며, RTX는 UDP통신을 담당하도록 코딩하였다. Win32 process로부터 받은 haptic 신호를 이용하여 RTX process는 로봇과 UDP통신을 하게 되고, 로봇으로부터 되돌려 받은 feedback 신호를 shared memory에 공유하게 된다. 조정 스테이션의 PC와 로봇의 DSP2812간의 UDP 프로토콜을 이용하여 양방향 통신이 가능하도록 하였다.

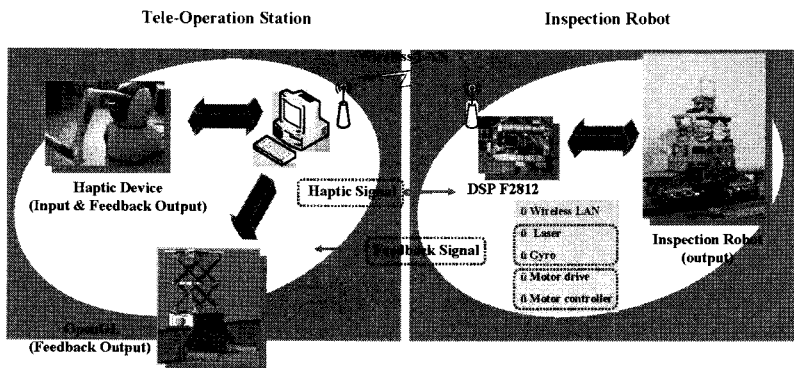


그림 2 로봇플랫폼의 원격조정 시스템 개략도

2.3 머신비전 시스템

작업자의 육안에 의한 주관적 조사를 대체하기 위해 머신비전 하드웨어 시스템과 이미지 생성 알고리즘을 구축하였다(그림3). 로봇플랫폼에 장착될 카메라는 원격조정에 의해 회전 및 줌이 가능하도록 설계하였으며, 균열의 탐지 및 획득한 영상을 사용자의 다양한 요구에 맞게 제공할 수 있도록 균열의 진행 방향과 진행 정도를 측정하기 위한 입력 영상들을 정합하여 전체적으로 통합하여 출력 할 수 있는 영상 정합 알고리즘을 개발하였다. 이러한 기술을 바탕으로 교량 바닥판의 균열, 백태, 누수, 부식 등을 탐사할 수 있는 반자동 비전 알고리즘을 개발하고자 한다.

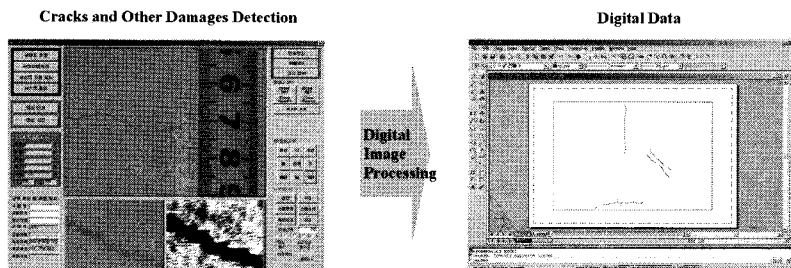


그림 3 머신비전시스템

2.4 Web 기반 모니터링 시스템

머신비전시스템에 의해 획득된 데이터 뿐 아니라 대상 교량의 기본 데이터, 조사로봇의 위치, 카메라와 같은 기본 장치에 대한 정보 등을 Web을 기반으로 TCP/IP 네트워크를 통해 실시간 전송이 가능하도록 추진하고 있으며, 정확한 위치 정보의 획득을 위해 GPS 및 가속도계 등의 센서 장치를 부착할 계획이다.

2.5 DB 구축 및 관리

Web을 통해 실시간으로 전송 받은 데이터는 그림 4와 같이 DB로 구축되며, DB를 기반으로 교량의 유지관리 전반에 걸쳐 분석 작업을 수행하여 KBMS와 같은 교량 관리시스템을 구축하고자 한다.

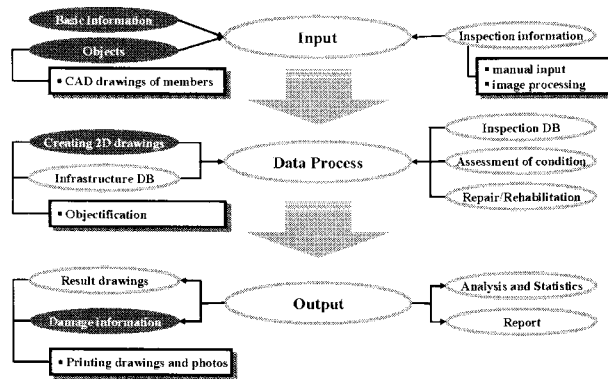


그림 4 DB 구축 및 관리

3. 교량검사로봇 플랫폼

BIRDI에서는 교량의 종류, 위치 및 특수 환경에 따라 굴절로봇차가 접근하기 힘든 위치에서도 점검이 가능한 로봇 플랫폼(레일이송로봇, 비행로봇, 벽면보행로봇)을 동시 개발 중에 있다. 현재 굴절로봇차에 비해 실용화하기 위해서는 보다 많은 연구와 노력이 필요하나 향후 기대효과는 클 것으로 예상된다.

3.1 레일 이송 로봇

신설교량의 경우 그림 5와 같이 교량의 바닥판에 레일이송장치를 부착하여 시공하고, 탈착이 가능한 이송로봇을 제작하여 교량 점검 시 원격조정에 의해 조사가 가능한 자동화시스템을 개발하고 있다.

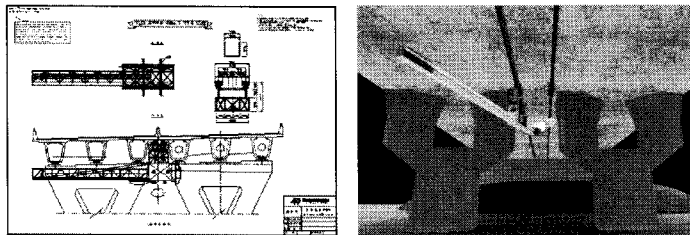


그림 5 레일이송로봇시스템

3.2 비행 로봇

굴절로봇차의 접근이 어려운 교량의 점검을 위해 비행 로봇은 그림 6과 같이 4개의 프로펠러로 이루어진 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)과 CCD 카메라를 탑재하고 교량의 바닥판에 붙어 이동이 가능하도록 4개의 바퀴로 구성 로봇시스템으로 개발 중에 있으며 시작품의 실험이 진행 중이다.

3.3 벽면 보행 로봇

비행 로봇과 같이 굴절로봇차의 접근이 어려운 교량의 점검을 위해 개발 중인 벽면 보행 로봇은 그림 7과 같은 진공패드 방식을 이용하여 벽면에 부착하고 바퀴타입의 구동장치를 이용하여 벽면을 이동하도록 개발 중에 있다.

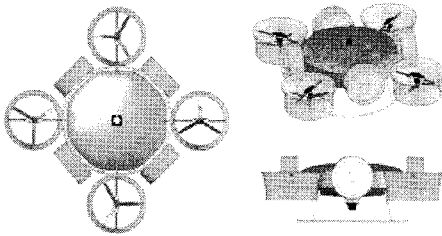


그림 6 비행 로봇

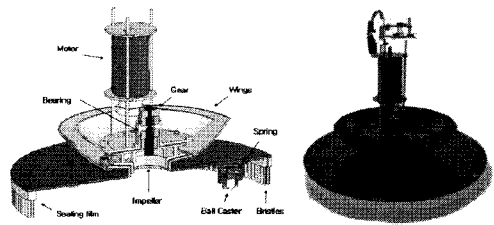


그림 7 벽면 보행 로봇

4. 보수 로봇 플랫폼 및 비파괴 검사 시스템

BIRDI에서는 교량조사로봇에 의해 탐색된 정보를 통해 즉시 보수작업을 할 수 있는 로봇 플랫폼과 카메라로 확인할 수 없는 구조체 내부 결함 탐사를 위한 비파괴 검사 시스템의 연구를 진행하고 있다.

4.1 보수 로봇 플랫폼

교량검사로봇과 더불어 콘크리트 바닥판의 균열을 보수할 수 있는 보수 로봇 플랫폼을 개발하고 있다(그림 8). 개발 중인 보수 로봇은 다수의 진공 패드를 사용하여 플랫폼의 진동과 반동력을 제어하고, Syqnet과 CAN의 데이터 통신을 통해 조정자가 servo모터들을 정확히 조정할 수 있도록 설계되었다.

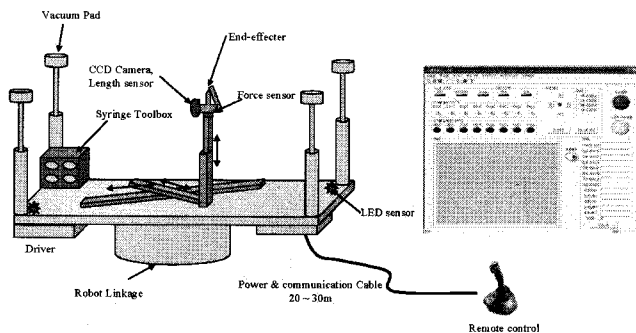


그림 8 보수 로봇 시스템

4.2 비파괴 검사 시스템

열화상 카메라를 이용한 비파괴 검사 시스템은 물질의 표면에 낸 적외선의 반사를 기록하여 평가하는 방식으로 다른 방법보다 안정적이며, 밤낮에 상관없이 점검이 가능하다. 현재 로봇 플랫폼 위에 설치할 수 있도록 모듈 개발을 진행 중에 있다(그림 9).

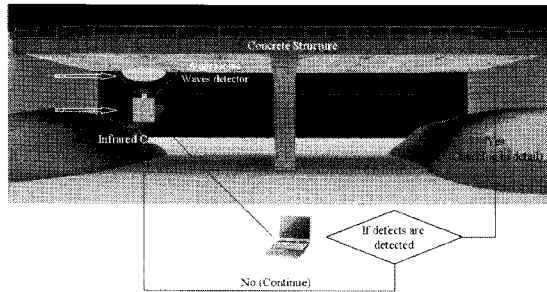


그림 9 열화상 카메라를 이용한 비파괴 검사 시스템

6. 결론

본 논문은 건설교통부 첨단융합기술개발사업의 일환으로 한양대학교에 설립된 BIRDI에서 수행하고 있는 “교량유지관리 자동화를 위한 첨단로봇시스템 개발” 사업의 개요 및 현 진행사항에 대해 설명하였다. BIRDI는 첨단기술의 융합을 통해 자동화된 교량검사로봇 시스템을 개발 중에 있으며, 본 연구를 통해 개발될 교량검사로봇시스템은 작업자의 안전과 능률을 향상시키고 데이터의 객관성과 신뢰성을 확보함으로써 혁신적인 교량 점검 및 유지관리 체계를 확립할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 기술융합을 통해 획득된 첨단기술을 바탕으로 댐과 터널과 같은 다양한 구조물의 점검 시스템 개발에 응용이 가능할 것이다.

감사의 말

이 연구는 건설교통부 첨단융합건설기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Huston D.R., Pelczarski N., Esser B., Gaida G., Arms S., and Townsend C. (2001) Wireless Inspection of Structures Aided by Robots, *SPIE Symposium on Smart for Bridges, Structures, and Highways*, Newport Beach, CA, Vol. 4330-09.
- Lorenz S.J., Handlon B.E., and Bernold L.E. (2000) Development of a Robotic Bridge Maintenance System, *Automation in Construction*, Vol. 9, 2000, pp. 251-258.
- Pack R.T., Iskarous M.Z., and Kawamura K. (1996) Climber Robot, *US Patent No. 5551525*.
- Skibniewski M.J. (1988) *Robotics in Civil Engineering*, Computational Mechanics Publications, Ashurst Lodge