창의적 공학설계에 근거한 교량 조사용 탐사로봇 시제품 개발

Development of Inspection Robotic System for a Bridge Structure Based on Capstone Design

양 경 택*, 정 석 원**

Kyung-Taek Yang*, Suk-Won Jeong**

요 약

본 연구에서는 도로를 통과하는 차량하중 및 통행량의 증가로 인해 발생하는 교량구조물의 균열 및 누수와 같은 교량의 손상을 측정하고 이를 DB화하기 위한 교량유지 자동화 시스템 개발의 일환으로 해외에서 개발중인 탐사로봇에 대한 아이디어를 기반으로 학생들 스스로 창의적 공학설계에 근거하여 자체적인 탐사로봇을 설계하고 제작하였으며 이의 현장시험을 수행하여 그 적용성을 평가하였다. 탐사로봇의 설계와 제작 시에는 학부과정에서 배우는 단위교과목의 내용과의 연계에 주안점을 두었으며 시제품 개발과 관련하여서는 산학협동 참여업체의 지원으로 현장적용이 가능하도록 하였다. 또한 참여한 학생들에 대한 설문조사를 통하여 본 개발 과정에 참여한 학생들의 실무능력 향상을 확인할 수 있었다.

Key Words : Image Processing, Inspection Robot, Monitoring System, Bridge Management System

ABSTRACT

In this study, the damage to the bridge structure such as the crack and water leakage was assessed due to the increase of the vehicle load and traffic on the roads. In order to make this into the database, as a part of the automation system development for the bridge maintenance, the students themselves designed and developed their own inspection robotic system based on the idea of robots currently being developed overseas. Its field testing was conducted and its applicability assessed. During the design and fabrication, its connection to the details of the unit course taken in the undergraduate level was focused. In terms of new product development, the field application was possible due to the support of the academic-industrial cooperation firms. Furthermore, through the survey of the students, the improvements in the practical skills of the students who participated in this development process was affirmed.

* 대림대학 메카트로닉스과 (ktyang@daelim.ac.kr)
** 대림대학 메카트로닉스과 (swjeong@daelim.ac.kr)
제1저자 (First Author) : 양경택
교신저자 : 양경택
접수일자 : 2011년 5월 09일
수정일자 : 2011년 5월 27일
확정일자 : 2011년 6월 05일

Ⅰ. 서 론

본 연구에서는 도로를 통과하는 차량하중 및 통행량의 증가로 인해 발생하는 균열 및 누수와 같은 교량의 손상을 측정하고 이를 DB화 하기위한 교량유지 자동화 시스템 개발의 일환으로 교량하부 조사용 탐사로봇과 이의 현장시험을 수행하여 그 적용성을 평가하였다. 교통량에 의한 하중 효과는 교량에 급격한 손상을 유발시키기 때문에 교량의 유지관리측면에서 심각한 문제로 대두되고 있어서 준공 단계부터 구조물의 유지관리에 대하여 관심을 기울이지 않으면 공용기간 중 만족할 만 한 기능의 유지/확보는 불가능하다. 또한, 공용 중에 균열이나 변형 등과 같은 열화손상을 조기에 발견하여 기능상의 장애나 사고를 미연에 방지하기 위해서는 정기적인 점검을 통하여 유지관리를 실시해야한다[1]. 그러나 기존의 인력에 의한 육안검사는 대부분의 교량들이 해상 또는 도로 위를 지나고 있어 그 접근성에 문제가 발생하며 유지관리에 많은 어려움을 격고 있는 실정이다[2], [3].

본 연구에서는 지금까지 현장작업자의 육안 및 경험에 의해 수행되던 교량의 균열 및 외관조사를 머신 비전 시스템을 장착한 로봇과 이를 이송시키기 위한 기구부를 사용하여 조사 작업을 자동화하도록 하였으며 또한 조사결과의 DB를 구축하여 주기적인 조사 결과를 비교분석 함으로써 교량의 균열이나 과대변형과 같은 손상을 사전에 감지할 수 있는 자동화된 시스템을 개발하여 현장시험을 수행하였다[4]. 또한 본 연구개발 작업에는 산업체 인력과 더불어 캡스턴 디자인 교과목의 일환으로 전공동아리 학생들이 참여하여 개발의 과정과 현장시험을 수행하였으며 학생들이 단위교과목에서 배우는 내용과 개발과제의 기술적 내용의 연계에 주안점을 두었다.

Ⅱ. 본 문

본 동아리에서는 Capstone Design 기법을 적용하여 그림.1과 표.1의 과정을 거쳐 탐사로봇에 대한 최소 요구조건을 학생들 스스로 도출하였다. 덕트 내부나 교량 하부의 검사를 위하여 덕트 내부를 따라 이동이 가능한 2축 스카라 로봇이 기본이 되었다. 이 로봇의 회전축에 소형 검사용 로봇이 주행할 수 있는 바를 설치하고 그 위에서 구동될 수 있는 소형로봇을 부가하여 교량 하부 상하 및 좌우 회전제어가 가능하도록 기구학적 아이디어를 도출하였으며 또한 이 로봇은 원격에서 LAN을 통하여 pan과 tilt 및 focus를 디지털로 제어할 수 있어 덕트나 교량하부에 대한 균열을 정량적으로 산출 할 수 있도록 구성하였다.

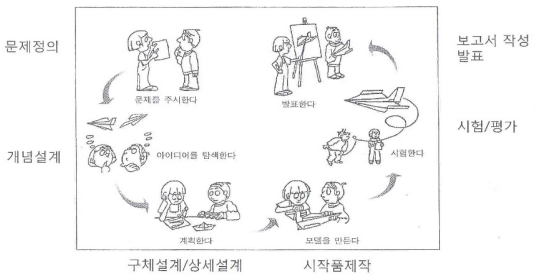
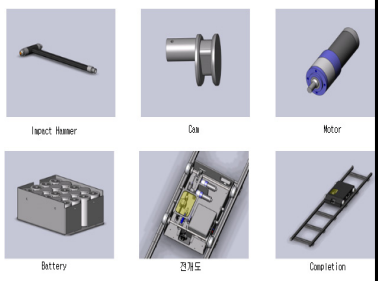
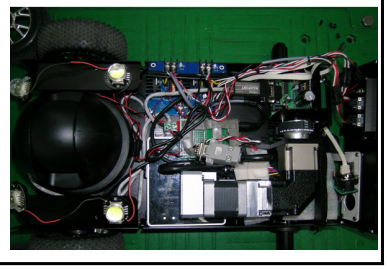


그림 1. 캡스턴 디자인의 개요
Fig. 1. Schematic diagram of Capstone Design

표 1. 제품의 설계 및 제작단계.
Table 1. Design and mockup procedures.

단계	설계 단계	세부 설계과정
1	문제 정의	작업자의 안정성과 검사의 정확성을 확보하기 위한 아이디어 도출
2	개념 설계	Brainstorming을 통한 결함유무 판정 방법 및 영상처리를 기반으로 한 프로그램 개발
3	구체 설계	Solid Works를 이용하여 설계
4	상세 설계	
5	시제품 제작	

1. 시스템의 구성

본 로봇시스템은 크게 다음의 2가지 구성으로 조합하였다.

① 외관조사용 웹 카메라 시스템: 조사용 카메라는 focus와 zoom lens 및 pan tilt 등을 디지털 방식으로 제어할 수 있어서 정확한 조절을 통하여 균열을 정량적으로 산출할 수 있으며, 또한 무선 랜을 통하여 화상정보를 원격지에서 모니터링 및 분석을 할 수 있는 기능을 수행한다.

② 교량 외관조사 시스템: 조사대상 경간 양단의 교각부위에 레일 또는 강선을 교축 방향으로 설치하고, Motion Control System을 설치하며, 그 위에 위치제어가 가능한 카메라를 부착한 후 원하는 지점의 영상을 무선으로 전송하여 이를 수신 장치인 컴퓨터로 판독하는 기능을 수행한다.

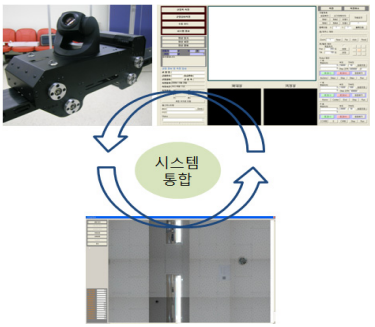


그림 2. 검사시스템의 개요
Fig. 2. Schematic diagram of inspection system

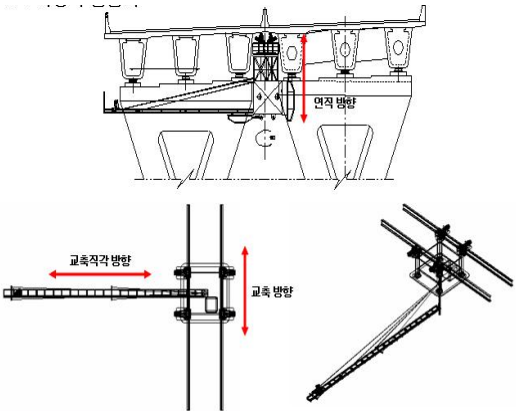


그림 3. 레일이송 검사 시스템
Fig. 3. Rail driven bridge inspection system

2. 시스템의 구동원리

교량과 평행한 방향으로 이동을 하기 위하여 교량 하부에 경량레일을 설치하고, 이것을 따라 이동이 가능한 2축 스카라 로봇을 구성하였다. 이 로봇의 회전축에 소형 검사용 로봇이 주행할 수 있는 바를 설치하고 그 위에서 구동될 수 있는 외관조사용 소형로봇을 부가하여 교량 하부 상하 및 좌우 회전제어가 가능하도록 한다. 이 로봇은 원격에서 LAN을 통하여 pan과 tilt 및 zoom, focus를 디지털로 제어할 수 있어 기울어진 벽면에 대한 균열을 정량적으로 산출할 수 있다. 또한 실시간으로 벽면에 대한 영상을 압축 후 무선전송을 수행하게 하여 원격지에서 선명한 화상을 이용할 수 있게 하였으며 전송된 영상은 Fig.2과 같이 비전 프로그램을 이용하여 영상 처리하는 방식으로 균열폭, 균열 길이 및 전체 화상 병합과 같은 외관검사를 수행하게 된다. 2축 스칼라 로봇은 Fig.3와 같이 직선이송용의 1축 모터와 회전이송용의 2축 모터로 구동하는 것을 기본으로 하며 외관조사용 소형로봇은 내부에 기울기 센서, 거리센서, LED 조명, 팬/틸트 카메라 및 레일 위를 전후로 움직일 수 있는 1축 모터를 장착한다. 제어방식은 무선방식을 택하여 작업자는 교량상부에서 조이스틱 또는 컴퓨터를 이용해 원하는 정확한 위치로 신속하게 카메라를 이동시키며 작업시간 단축 및 접근이 어려운 장소에서 작업을 가능하게 하였다.

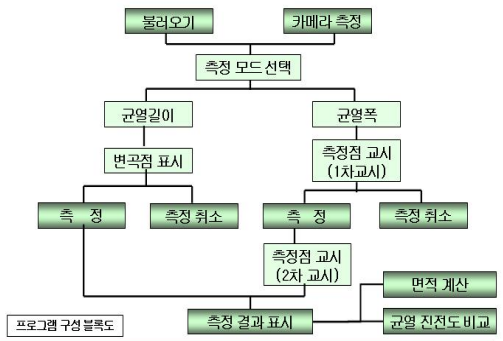


그림 4. 영상해석 프로그램의 플로우 차트
Fig. 4. Flowchart of vision program

균열부의 길이와 폭을 산정하기 위해서 화상 데이터의 1개의 픽셀 크기를 결정해야 하는데 이는 카메라의 줌과 포커스관련 렌즈를 구동하는 디지털 제어에 의해서 얻어진 표준영상을 이용해서 사전에 보정한 데이터를 이용하여 프로그램 상에서 자동으로 단위 픽셀의 크기를 결정하고 Fig.4과 같이 균열의 폭과 길이를 산정하게 하였다.

3. 시스템의 특징

본 연구에서 개발된 머신 비전 시스템은 교량하부 외관조사 자동화시스템의 핵심 부분으로서 다음과 같은 특징이 있다.

① Computer Vision System에 의하여 균열의 폭 및 길이를 객관적으로 산정할 수 있다(균열폭 0.1㎜ /2m이격거리).

② 조이스틱 및 컴퓨터를 이용하여 조작함으로써 최대접근율 실현.

③ 측정된 결함 위치를 영상파일로 저장함으로써 결함정보의 객관적인 자료화가 가능.

④작업자는 안전한 위치에서 카메라부를 이송시킴으로써 작업의 안전성을 최대한 확보.

⑤ 현장작업 인력을 최소화하여 경제성 제고.

Ⅲ. 현장시험용 Prototype 개발

1. Prototype 개요

기존에 수행된 모형실험을 통하여 파악된 문제점 및 현장 적용성을 고려하여 Fig.5와 같이 실제 교량에서 동작될 수 있는 시스템을 개발, 제작하여 교량하부에 장착하여 현장시험을 수행하였다. 시스템의 전원은 미끄러짐 접촉형 파워레일을 이용하여 공급하였으며, 그 외 영상, 제어신호, 센서 신호 등은 무선 LAN을 이용하여 실시간으로 제어가 될 수 있도록 구성하였다. 회전 바의 처짐을 고려하여 계측용 로봇을 초 소형화 하였으며, 처짐에 따른 view point가 바뀜을 고려하여 팬 틸트를 조절하게 하였다. 그리고 교량하부의 조명상태를 균일하게 유지하게 하기위하여 파워 LED를 사용하여 인공조명 시스템을 구성하였다. 제작된 시스템은 카메라를 임의의 위치에 이송시키기 위한 로봇암과 로봇 암 제어 시스템, 그리고 소형 로봇, 영상 획득을 위한 카메라, 원격지에서 시스템을 제어하기 위한 원격지 제어 시스템으로 Fig.5와 같이 구성하였다. 그리고 제어 신호 및 영상 신호는 무선을 통하여 원격지에 송/수신 할 수 있도록 구성 하였으며, 운전 패턴 및 시스템 조작을 위한 MMI (Multi-media interface)를 실제 시스템에 적용시킬 수 있도록 하였다 [5], [6].

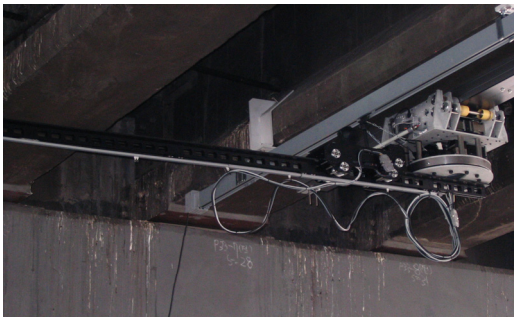


그림 5. 교량검사 시스템
Fig. 5. Bridge inspection system

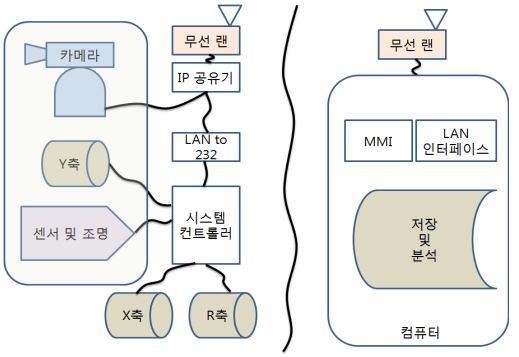


그림 6. 통신시스템의 다이어그램
Fig. 6. Diagram of a communication system

2. 탐사용 말단 로봇

자체 개발한 외관조사용 소형로봇은 Fig.7과 같이 LAN을 이용한 팬·틸트 제어, zoom, focus 제어, CCD (charge coupled device) 카메라, 1축 직선주행 유닛 및 콘트롤러, 그리고 균열 폭 및 길이 측정 프로그램으로 구성되어 있으며, 현장 적용을 위한 성능 개선을 위해 바의 흔들림을 보정하기 위한 기울기 센서, 거리센서 및 조명장치를 부가하였다. 적용한 네트워크 카메라는 18배 광학 줌과 auto focus 및 pan/tilt가 디지털 신호로 제어가 가능하며, 전송영상은 motion-jpeg 또는 MPEG-4 포맷으로 선택할 수 있다. 또한 웹상에서 원격으로 모니터링 및 제어가 가능하며, 오디오 출력 또한 가능하다.

장착한 기울기 센서는 전자식 액형 방식으로 ±10° 범위에서 <0.002°의 정밀도를 지니며 거리센서는 적외선 방식으로 400(mm)~3000(mm)의 범위에서 사용할 수 있다.

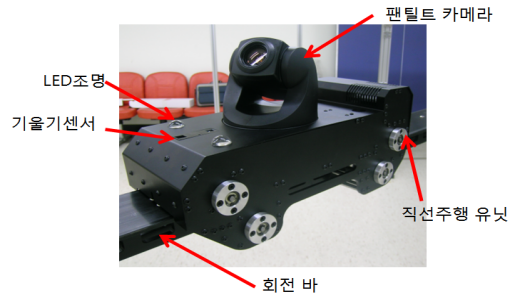


그림 7. 교량검사 로봇
Fig. 7. Bridge inspection robot

3. 이송 기구부

본 시험에서는 왕복 2차로 규모의 콘크리트 교량을 점검할 수 있도록 현장 적용성을 고려하여 개발하였으며 사용자의 사전 프로그램 설정치 입력에 의해 자동으로 구동되도록 하였다.

이송기구는 크게 이송 레일과 이송로봇으로 나누어 진다. 이송레일은 8mm 두께의 경량 알루미늄판을 교량하부 중앙에 영구 설치하며, Fig. 7과 같이 이송로봇이 장착되어 이것을 따라 교량과 평행되게 이송된다.

이송 로봇은 직선운동을 위한 X축 구동부와 회전운동을 하기 위한 R축으로 구성되며 구동 모터는 컨트롤러 및 드라이버와 통합된 구조를 갖는 모델을 선정하여 시스템의 경량화를 추구하였다. 사용된 모터는 200W급 DC 서보모터로 회전 분해능을 1/10000°로 설정하였다. X 축은 전체 로봇을 이송해야 하므로 30:1의 감속기를 사용하였다. 그리고 R축은 회전 정밀도 향상과 빠른 구동 안정성을 위해 60:1 감속기를 사용하였으며, 회전 바를 Fig. 8과 같이 최대한 경량화 하였다.

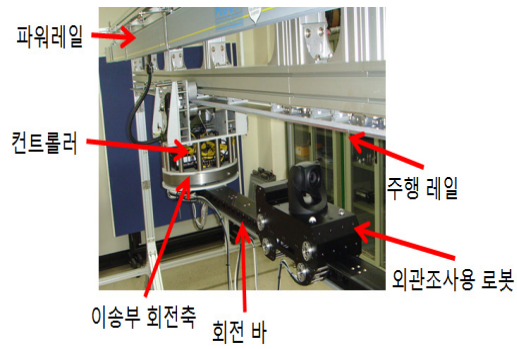


그림 8. 레일이송 메카니즘
Fig. 8. Rail driven mechanism

4. 모션제어반 및 무선통신부

로봇을 교축 및 교축직각 방향의 원하는 위치로 이동시킴은 물론 scanning을 원하는 영역을 교량의 기준점으로부터 좌표 설정하고, 각 방향의 증분치(Dx, Dy)를 입력하면 기구부가 자동으로 이동하면서, 카메라 비전 시스템이 작동하여 교량 하부 이미지를 획득 및 저장할 수 있도록 하였으며 실시간으로 원격지에서 영상을 모니터링 및 시스템을 제어하고자 무선 LAN을 이용하여 고속 통신을 수행하였다. 영상 데이터와 제어용 데이터를 통합하여 송, 수신하게 하여 시스템을 간단하게 구성할 수 있도록 하였으며, 구동 모터 또한 내부에 모션제어기가 장착된 서보 시스템을 사용하여 전체적인 시스템의 경량화를 꾀하였다[7], [8].

Ⅳ. 참여학생들의 교육적 효과

본 연구과제는 우리대학의 Capstone Design 관련 교과목의 하나인 시스템 프로젝트에 참여하는 학생들 중 MAS (Mechanism & Sensor) 전공동아리 소속 학생들을 대상으로 약 4년간에 걸쳐 수행되었으며 이들의 상당수는 현재 산업체에서 자동화 분야에 근무하고 있다. 당시 본 과제에 참여했던 학생들의 만족도 조사 및 졸업생들의 업무연관성의 조사 결과는 표 2와 같으며 현장실무능력 제고 및 단위 교과목의 연계를 통한 학습효과를 기대할 수 있었다.

표 2. 참여 학생들의 만족도 조사결과
Table 2. Contentment survey of the involved students.

대 상	항 목	긍정	보통	부정
재학생 (22명)	과제참여 만족도	17	2	3
	단위 교과목의 연계를 통한 학습 시너지 효과	12	8	2
	실무능력 배양 측면	16	4	2
	산업체와 협업을 통한 만족도	9	12	1
졸업생 (13명)	현업에서의 만족도	8	5	0
	과제와 현업의 관계	5	5	3
	본 과제참여를 통한 실무능력 제고 여부	10	3	0
	후배들에게 추천여부	10	2	1

V. 결 론

본 논문에서는 우리대학의 시스템 프로젝트의 일환으로 학생들의 공학적 실무능력을 배양하기 위하여 산업체에서 필요로 하는 현실적인 문제에 대한 해결방안을 학생들 스스로 창의적 공학설계 기법에 근거하여 도출하였으며 지도교수의 지도하여 구체적인 탐사로봇의 개념과 적용방안을 연구하였다. 특히 시제품을 제작할 단계에서는 산학협동업체와의 협업으로 본 과제 참여 학생들의 실무능력 향상에 많은 도움이 되었으며 향후에도 본 과제와 연관된 주제로 지속적인 연구 및 교육이 수행될 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 이종세외 22인, *교량유지 자동화를 위한 첨단 로봇시스템 개발*, 건설교통부, pp.12-72, 2009.

[2] K. T. Yang, "Robotic Diagonis System for Detection of Bridge Structures", *The 3rd International Conference on Structural Health Monitoring*, Seoul KOREA, pp.11-16, 2008, 7.

[3] S. S. Nam, "Development of Robotic Inspection System over Bridge Structure", *IABMAS*, Vancouver CANADA, pp.6-11, 2007, 11.

[4] 양경택, "비젼 시스템을 이용한 교량의 결함조사 방법 및 장치", 대한민국 특허등록 제0359386호.

[5] 한국도로공사 기술연구소, *교량계측 모니터링 시스템의 중앙통합운영 체계 구축*, 한국도로공사, 제2장, 1999.

[6] 아경산업 자동화연구소, *서보모터 제어이론과 실습*, 도서출판 성안당, pp.76-98, 2001.

[7] Smith, J. I., *Modern Operational Circuit Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York, chapter 3, 1971.

[8] 한백전자 기술연구소, *마이크로 컨트롤러 제어*, (주)한백전자, pp.277-283, 2009.

양 경 택 (Kyung-Taek Yang) 종신회원

1983년 2월 : 한양대학교 기계공학과(공학사)
1985년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(공학석사)
1985년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(공학박사)
1996년 3월 ~ 현재 : 대림대학 메카트로닉스과
<관심분야> 센서 및 신호처리, 탐사 로봇개발, 소음/진동 모니터링 시스템

정 석 원 (Seok-Won Jeong)

2001년 2월 : 한세대학교 정보통신공학과(공학사)
2003년 2월 : 성균관대학교 정보통신공학부(공학석사)
2007년 2월 : 성균관대학교 정보통신공학부(공학박사)
1995년 3월 ~ 현재 : 대림대학 메카트로닉스과
<관심분야> MOSFET게이트산화막 공정분석, 산화물 TFT제작 공정 설계, RF 수동소자 설계제작