

무인 교량점검 시스템 U-BIROS 개발

Development of Ubiquitous Bridge Inspection RObot System(U-BIROS)



이 병 주*



이 원 태*



이 창 근**

*한국도로공사 도로교통기술원 구조연구그룹 책임연구원
**한국도로공사 도로교통기술원 구조연구그룹 수석연구원

이 내용은 한국도로공사 도로교통기술원에서 구조물 유지관리의 과학화와 체계화를 위한 목적으로 개발한 무인 교량점검 시스템(U-BIROS)을 소개한 것으로, 개발된 시스템의 개발과정과 진행된 연구내용 그리고 성과품의 현황에 대해서 간략히 정리하였다.

1. 서 론

구조물에 대한 유지관리의 목적은 도로의 기능을 보존시키고 이용객들의 안전과 편의를 도모하는데 있다. 이 유지관리 업무는 구조물의 안전성을 평가하기 위한 점검 및 진단작업과 내구성과 내하능력을 확보하기 위한 보수보강작업 그리고 성능향상 및 개량 공사 등으로 나뉘어진다. 각각은 상호 연관성을 갖고 있어서 일반적으로 작업이 연속적으로 진행된다. 이 중 점검작업은 가장 기초적이고 근원적인 문제점을 찾아내는 필수적인 과정으로 국내 각 유지관리 기관에서는 1993년 제정된 “시설물 안전에 관한 특별법”에 따라 정기점검, 정밀점검 등을 주기적으로 실시하고 있다.

하지만, 현재 수행되는 점검작업은 많은 문제점을 내포하고 있다. 먼저, 대부분의 점검은 육안조사에 의존하고 있을 뿐만 아니라 접근이 가능한 구간에만 한정적으로 수행되기 때문에 점검자의 주관적인 견해가 포함되어 있어 획득된 결과의 신뢰성이 떨어진다. 또한, 순환보직으로 인하여 인수인계가 미흡할 경우 누적되는 자료의 객관성이 떨어지게 된다. 한편, 현재 교량점검 시 편리하게 이용되

고 있는 교량점검차는 인력을 지원하는 구조로 교량상부에 정착하게 되는데 체적과 중량이 크고 교통차단이 요구되므로 고속도로 이용자들의 불편과 막대한 편익비용을 낭비하는 원인을 제공하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고 유지관리 담당자의 편의를 제공하며, 교량(바닥판)점검을 보다 효율적이고 합리적으로 수행할 수 있도록 새로운 점검시스템을 도입하는 데 목적이 있다. 이 시스템은 디지털 화상처리기술과 IT 및 로봇기술을 도입하여 과학적이고 체계적인 점검을 수행할 수 있도록 한 것이다. 개발을 위해 수행된 연구내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 디지털 화상처리 시스템을 개발하여 교량(바닥판)에서 발생하는 균열 및 파손과 백태 등의 손상을 디지털 이미지로 얻어내고 각각의 이미지를 조합하고 처리하여 실제 상태를 판별할 수 있도록 하였다.

2) 로봇시스템과 이송장치를 개발하여 교량 상부에서 원격제어로 교량 바닥판 하면의 화상을 용이하게 획득할 수 있도록 하였다.

3) 자료관리 통합 프로그램을 개발하여 최초 화상과 점검주기별로 획득되는 화상을 비교분석하고 구조물의 변화

양상을 분석할 수 있도록 하였다.

2. 구조물의 점검 현황

2.1 점검의 종류 및 방법

현행 구조물 점검작업은 ‘안전점검 및 정밀안전진단 세부지침’의 점검흐름에 따라 조사 시기, 빈도 및 점검수준 등을 결정하고 정기점검, 초기점검, 정밀점검 및 긴급점검으로 나누어서 시행하게 된다. 점검업무의 수행절차는 부재별 상태등급을 산정한 다음 각각의 부재에 대한 가중치를 고려하여 전체등급을 산정하고 구조물의 중요도와 안전성 등을 고려하여 보수 보강 등을 결정하게 된다. 이처럼 상태등급을 결정할 때 대부분의 작업이 육안조사에 의한 평가결과가 적용되기 때문에 점검자의 주관적인 판단이 구조물의 상태를 결정한다고 보아도 과언이 아니다.

2.2 점검 장비 및 시설

현재 교량 점검을 위해 사용되고 있는 장비는 빔리프트와 교량점검차가 대표적이다. 빔리프트는 교량하부에서 교대, 교각이나 교좌부 그리고 상부구조 하면을 점검하기 위해 사용되고 있다. 하지만, 교고가 높거나 교량하부가 하천 등으로 진입이 곤란한 경우는 사용할 수 없다. 교량 점검차는 교량상부에서 상부구조의 하면이나 교좌장치, 교각 코핑부 등을 점검하기 위해 사용하는 장비로써 점검자가 직접 탑승하여 근거리에서 외관조사와 비파괴시험을 할 수 있다. 하지만 거더형식 교량의 바닥판에 대한 점검이 어렵고 상부에 정착하게 되면 차량 지지대와 붐 이송장치 때문에 갓길뿐만 아니라 주행차선 일부를 차단해야 하는 문제점이 있다. 따라서, 집중점검대상 교량의 일부에 한해서 실시되고 있는 실정이다.

점검시설은 주로 교각이나 교대의 코핑부에 설치되는 점검로 형식과 상부구조의 하부에 설치되어 이동이 가능한 이동식 점검시설 등이 있다. 이 점검시설은 주요 구조부재를 교통제한 없이 상시 점검이 가능토록 출입시설과 함께 설치하여 구조물 각 부위의 기능상태, 노후도, 결함 등을 확인하기 위하여 설치된다. 점검시설은 유지보수 작업도 가능하도록 되어 있으며, 교량의 가설위치, 교차조건, 구조형식, 교폭, 하부지지 조건 등의 제조건을 감안하여 설치된다. 점검시설의 설치는 시특법 제35조 2항과 건설기술 관리법 시행령 제38조 6항에 제시되어 있다.

하지만, 이들 점검시설을 이용하기 위해서는 상부에서

하부로 이동을 해야 하고 고공에서 작업이 이루어져야 하기 때문에 작업자의 특별한 안전관리가 이루어져야 한다. 또한, 예를 들어 거더교의 바닥판 하면 등과 같이 접근할 수 있는 거리에 한계가 있을 경우는 점검결과를 얻더라도 신뢰성이 떨어질 수밖에 없는 단점이 있다.

2.3 점검관련 기술개발 현황

현재 적용되고 있거나 개발 중에 있는 구조물 점검 및 진단 기술은 디지털 광학기술을 적용하는 방법, 전파(傳播)성질을 이용하는 방법, 국부파괴에 의한 방법, 그리고 이들 기술들을 종합한 종합응용기술 적용방법 등이 대표적이다.

광학기술을 적용하는 방법은 디지털 광학기술을 이용하여 카메라나 CCD 등으로 부터 얻어진 화상을 해상도와 촬영범위의 관계로 환산하고 모니터나 프린트로 출력하여 분석하는 방법으로 획득한 여러 개의 화상에 대한 정보를 분석할 수 있으며, 각각의 화상을 연결하여 전체 구조물의 외관상태를 판별할 수 있으므로 객관성과 신뢰성이 뛰어난 장점을 가지고 있다.

전파의 성질을 이용하는 방법은 초음파 등을 이용하여 입사파와 반사파의 관계로부터 얻은 영상을 화상처리(초음파도모그래피법)하여 구조물의 내부공동 등의 손상을 판정하는 방법으로 기존에 사용되고 있는 콘크리트 비파괴시험에 사용되던 초음파탐상법을 한 단계 향상시킨 것으로써 수치로만 알 수 있었던 결과를 영상을 통해 쉽게 판별할 수 있는 장점이 있다.

또한, 대상매체에 대한 레이더의 비유전율을 분석하여 시뮬레이션 해석하는 기법과 X선 CT 촬영에 의한 3차원 해석기법 등이 있다. 이 밖에 종합응용기술은 앞에서 제시한 방법뿐만 아니라 IT기술과 정보통신 및 로봇기술 등을 종합하여 객관성과 신뢰성을 높인 방법으로 복합비파괴시험 기술과 디지털 이미지 합성 해석기술 등을 조합하여 적용하는 방법 등이 이에 속한다.

3. 개발 시스템의 개요

3.1 전체시스템

무인 교량점검 시스템은 디지털 화상처리 시스템, 원격 제어 로봇과 이송장치, 자료관리 통합 프로그램으로 구성되어 있다. 이 시스템은 그림 1과 같이 디지털 카메라 및 조명, 초음파거리 측정장치가 장착된 카메라모듈을 원격 제어 로봇에 탑재하여 이송장치에 의해 교량바닥판 하면

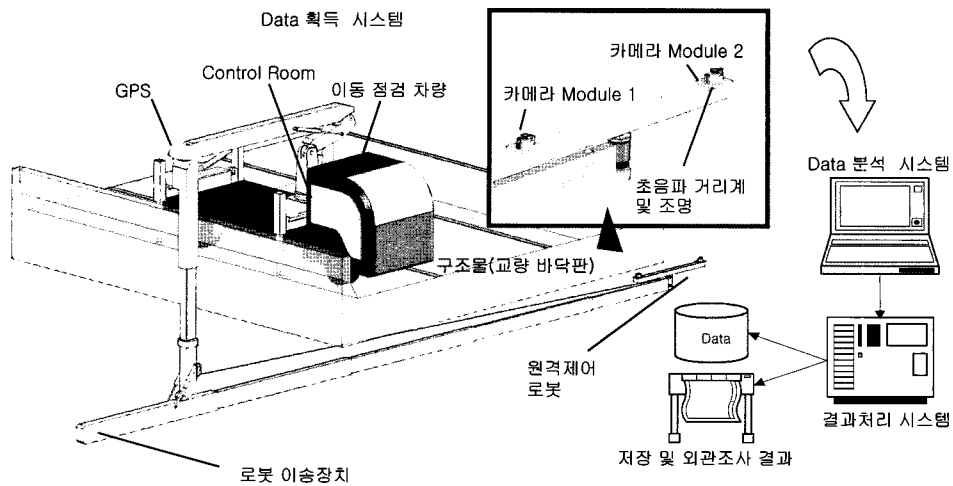


그림 1 전체시스템의 개요도

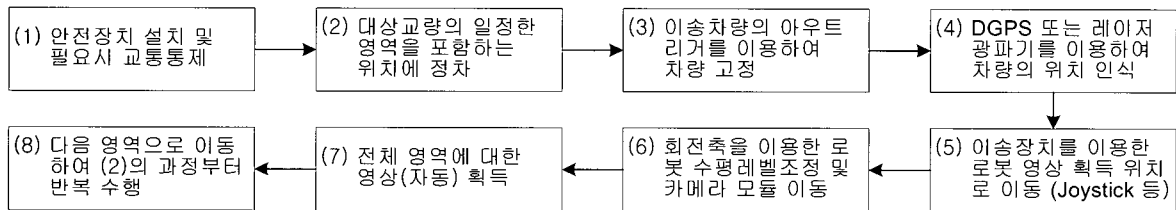


그림 2 원격제어 시스템의 작업과정

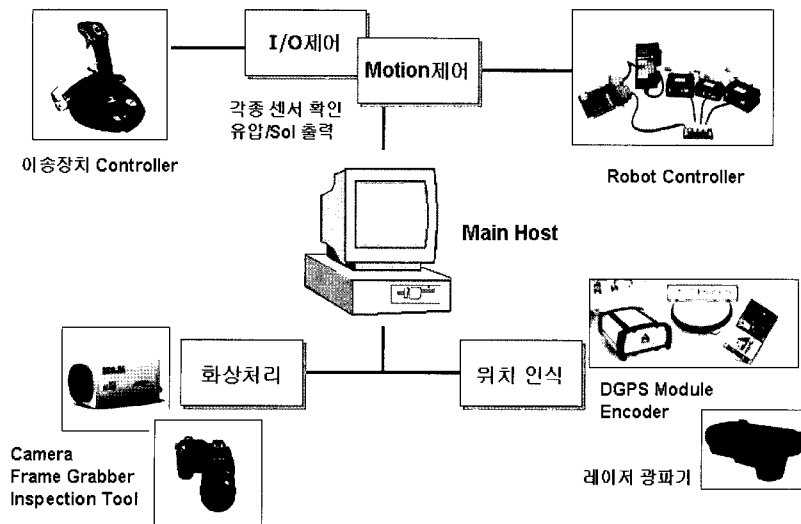


그림 3 제어 시스템의 구성도

의 원하는 위치에 도달할 수 있도록 한 것이다.

로봇은 붐으로 구성된 이송장치 끝단에 위치하며, 소규모의 차량에 탑재된다. 차량 내부의 컨트롤 룸에는 원격제어 로봇과 로봇 이송장치 붐을 조작할 수 있는 제어장치로 구성되어 있으며, 획득한 영상을 저장하고 실시간으로 분석할 수 있는 이미지 프로세싱 프로그램을 갖는다. 이 시스템은 점검 대상 교량의 갓길에 정차하여 작업을 수행하게 되는데, 작업과정은 그림 2와 같은 순서로 진행된다.

3.2 제어시스템

원격제어 로봇, 이송 붐, 카메라 모듈 및 위치인식 시스템 등의 제어는 그림 3과 같이 차량내부 컨트롤 룸에 있는 컴퓨터의 Main Host에서 일괄적으로 제어된다. 이 제어 시스템은 차량에 별도로 설치된 발전기로부터 전원을 공급받게 된다.

3.3 위치 인식 프로그램

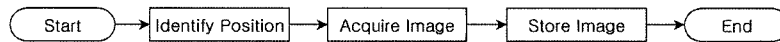
교량 위에서 획득하는 화상의 정확한 위치와 좌표를 구하는 것은 아주 어려운 작업이다. 일반적으로 Servo Motor를 장착한 정밀기계(로봇)의 경우에는 나노 단위의 제어가 가능하기 때문에 정확한 좌표를 산출할 수 있지만 동작 범위는 로봇을 중심으로 상당히 제한적이다. 따라서 교량에서 정밀한 위치인식을 수행하기 위해서는 이송 플랫폼단에 장착된 원격제어 로봇이 Grid 형태로 분할된 교량 바닥판의 정확한 위치로 이동하여야 하며, 이를 위해서는 정확한 위치정보를 제공할 수 있는 솔루션이 필요하게 된다. 하지만 기존의 Servo Motor기반의 제어기로는 교량의 크기와 로봇이동 반경이 너무 크기 때문에 실 환경에 적용

하기는 거의 불가능하다. 따라서 본 개발품에서는 정밀 위치인식을 위한 방법으로 여러 개의 인공위성으로 획득한 좌표들의 오차보정을 통하여 보다 정확한 좌표를 획득하는 DGPS(Differential Global Positioning System)를 사용하였다.

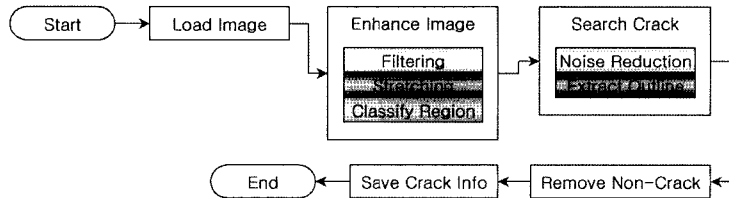
4. 디지털 화상처리 시스템

디지털 화상처리 시스템은 화상을 획득하고 획득한 화상으로부터 외관상태나 손상현황 등의 정보를 제공하며, 최종적으로 비교평가 및 분석, 데이터 관리까지 관련된 모든 과정을 통합한 것이다. 이 시스템은 데이터수집 시스템

□ 영상 획득부 (Image Acquisition)



□ 영상 해석부 (Image Analysis)



□ 사용자에 의한 수정 (User Interaction)

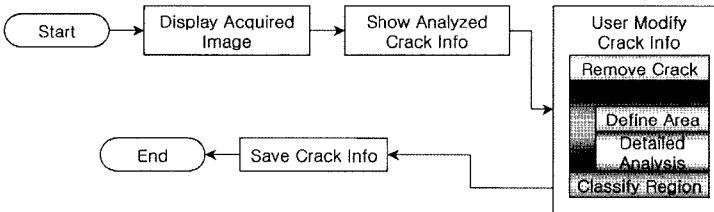


그림 4 화상처리 데이터 분석 시스템 구성도

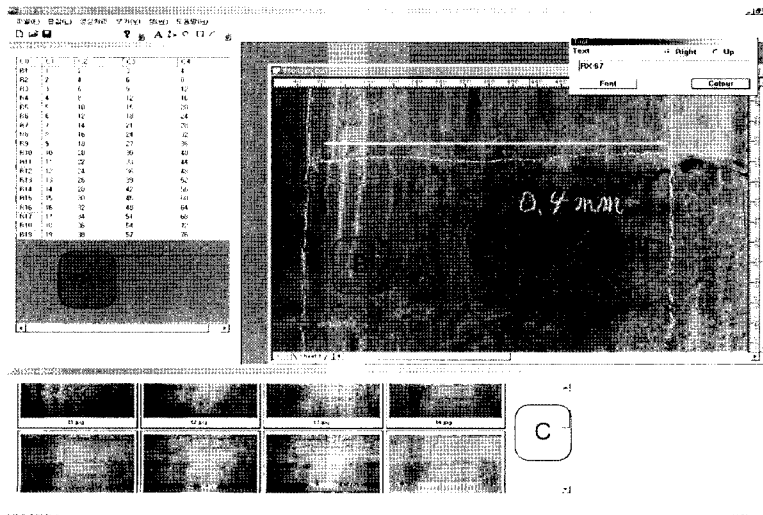


그림 5 데이터분석 시스템의 GUI

과 데이터분석 시스템으로 크게 나눌 수 있다. 데이터 수집 시스템은 카메라 및 로봇과 같은 하드웨어적인 모듈들을 직접 제어하여 필요로 하는 교량 바닥의 이미지를 획득하는 부분이며, 데이터 분석 시스템은 사용자가 데이터를 관리하고 분석할 수 있는 소프트웨어로 구성되어 있다. 그림 4는 데이터분석 시스템을 나타낸 것으로 화상획득부, 화상해석부 및 사용자 수정부로 구성되어 있다. 그림 5는 데이터분석 Software의 GUI를 나타내고 있다.

데이터 관리 시스템은 그림 1에 있는 2대의 카메라로부터 획득한 이미지를 특정 DB 포맷으로 변환시키고 사용자의 자료 검색 및 저장요구에 대응할 수 있게 설계한 관리 Tool이다. 그림 5의 A와 C에서 볼 수 있듯이 이 프로그램은 바닥판의 전체 상태와 부분적인 손상상태를 확인할 수 있다. 그리고 파노라마 알고리즘을 사용하여 데이터의 처리와 관리가 용이하도록 획득한 여러 개의 이미지를 전체 이미지로 통합시켜주는 기능을 가지고 있다.

5. 원격제어 로봇

그림 6의 전체시스템의 외관에서 이송장치 3단 붐의 끝단에 장착되는 원격제어 로봇은 그림 7과 같은 형상으로 교량바닥판의 이미지를 획득하는 카메라 모듈과 서보 모터 2축으로 구성되어 있다. 이 로봇은 이송장치 붐의 이송 거리를 단축시켜 빠른 이미지 획득을 할 수 있게 한다. 직선축 아래에 있는 원형의 회전 T축에는 교량의 진동 및 바람 등 외부조건과 로봇이송 시 발생하는 붐의 진동을 완화시킬 수 있는 Air 펌프가 설치되어 있다.



그림 6 전체시스템의 외관

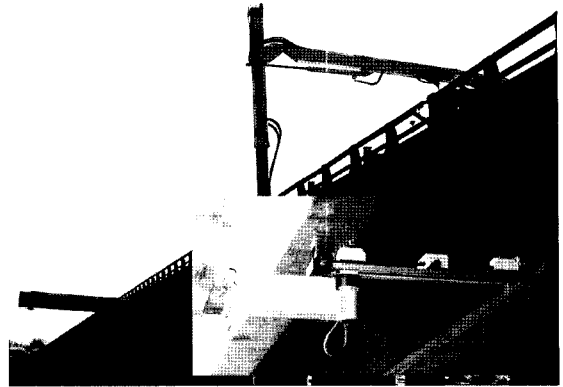


그림 7 원격제어 로봇

6. 결 론

구조물 점검은 유지관리 작업 중 가장 기초가 되는 작업으로써 정밀안전진단이나 보수보강작업이 이루어지기 전에 선행되며, 구조물의 상태를 올바르게 판단하여 후행 작업이 합당하게 진행될 수 있도록 한다. 현재 수행되고 있는 구조물 점검작업은 서론에서 언급했듯이 접근 가능한 구간에만 한정적으로 수행되고 있으며, 육안조사 위주로 수행되고 있기 때문에 점검자의 주관적인 판단이 포함되어 결과에 신뢰성이 부족하다. 또한, 장비사용 시 차단으로 인한 교통정체 유발 및 안전사고 발생 등 여러가지 문제점을 안고 있다.

본 연구개발은 점검작업 시 발생하는 여러가지 문제점을 해결하기 위하여 화상처리 기술과 IT 및 로봇기술을 이용한 무인 교량점검시스템을 개발하고 점검작업을 과학화, 체계화시키고자 하는 목적으로 수행되었다. 연구결과인 성과품 U-BIROS를 활용함으로써, 구조물 결함을 객관적으로 평가할 수 있고 점검자의 작업안전성을 확보할 수 있으며, 체계적이고 과학적인 점검작업의 수행이 가능할 것으로 판단된다.

앞으로 여러가지 현장적용 시험을 실시하여 실용화를 위한 타당성을 입증할 계획이며, 화상을 이용한 교량점검 기준 또는 지침을 작성한 후 실무에서 활용할 수 있는 방침을 마련할 계획이다. 그리고 현재 개발되어 보완중인 HBMS(Highway Bridge Management System)와 연계시키면 교량상태에 대한 데이터베이스를 보다 효과적으로 구축할 수 있을 것으로 판단된다. **ㄹ**