

# Maintenance Robot of Bridge

Kyoung Tae Kim, Cho. Cheol Joo, Kye Young Lim

Graduate School of Knowledge Based Technology and Energy,  
Korea Polytechnic University

## Abstract

Currently workmen take charge of the maintenance work of bridges. But the process of sealing cracks in damage bridge is dangerous, costly, and labor-intensive operation Labor turnover and training are increasing problems related to crack sealing crews, and as traffic volumes increase, crack sealing operations become increasingly disruptive to the general public. Automation crack sealing can reduce labor and road user costs, improve work quality and decrease worker exposure to bridge hazards. This research aims to develop an automated damage bridge crack sealing system and developing of algorithms for hybrid controlling.

Keyword : DSP, Suction, 3axis- robot, Injection, Sealing

## 1. 서 론

건축 및 토목 기술의 발전에 따라 현대의 건축물들은 대형화 되어 가고 있다. 그로 인해 크고 작은 붕괴 사고가 심심치 않게 발생하고 있으며, 각 건축물들의 정기적인 검사와 유지 보수가 중요시 되고 있다. 특히 우리나라는 94년 10월에 일어난 성수대교의 경우 붕괴의 원인 중 하나가 유지관리를 위한 제·규정이나 구조물의 가동 등을 관리할 수 있는 과학적 유지 방법, 점검지침이 없었다는 이유로 나오면서 건축물에 대한 유지 관리 보수의 중요성을 인식하기 시작하였다.

이 논문은 많은 종류의 대교들 중 콘크리트 상판 다리들의 유지 보수를 중점으로 하는 로봇에 대한 연구이다. 지금까지의 유지 보수 작업은 노무자가 굴절차를 타고 천정을 보며 일하는 열악한 작업환경 내에서 작업을 수행해야 하므로 안전성 확보가 어렵고, 유지 보수작업의 특성상 잦은 이직 및 3D 업종의 기피로 인한 숙련공의 부족 현상은 현 교량 보수 작업의 생산성 및 품질 저하를 가져 오고 있다. 그러므로, 본 논문은 교량 유지 보수용 자동화 로봇을 제안하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 균열(Crack)

어떠한 콘크리트 구조물이든 균열은 항상 존재한다. 콘크리트 균열의 종류는 소성수축 균열, 소성침하 균열, 건조 수축 균열, 동결 융해에 의한 균열이 있다.

균열만으로는 교량에 큰 영향을 미치지 못하지만, 균열의 사이로 빗물이 침투하면 철근을 부식시켜 부재의 강성 강도를 약화시켜 대형 사고의 원인이 된다. 이러한 균열에 대한 검사 및 보수에 의하여 내구성, 방수성을 유지함으로써 철근의 부식을 방지하여 대형 사고를 사전에 방지 시킬 수 있다.

### 2.2 보수공법

이 논문에서 접근한 공법은 일반적 유지 보수 공법인 표면 피복 후 주입공법이다. Fig.1을 보면 균열 폭 0.2mm를 기준으로 그 이하일 경우 실리콘으로 표면 피복을 하고 0.2mm 이상일 때는 주입공법을 사용한다. 주입 공법의 경우 보통 주사기에 고무줄을 연결하여 주입하는 저압 주입 공법을 사용하는데 이는 모세관 현상과 표면장력현상을 이용한 것으로 매우 미세한 균열이라도 저점도의 특수 약품(epoxy)을 장시간 저압저속으로 100% 주입 시켜준다.

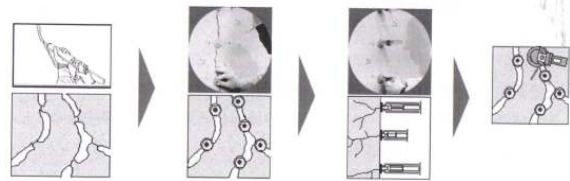


Fig.1 보수공법 순서

이 공법의 실현은 로드셀을 이용한 힘(force)제어로 일정한 힘으로 상판에 실링을 할 수 있었다. 또한 주사기 역시 실링 후 로봇의 힘을 이용해 단단히 밀착시킬 수 있었다.(Fig.2)



Fig.2 실링 후 주사기 부착 실험

### 2.3 로봇 설계 및 고정 메커니즘 설계

다리의 상판에 매달려 작업을 해야 하는 로봇은 3축 직교로봇을 이용하였다. Fig.3은 직교로봇의 설계와 실제 제작된 모습이다. 작업의 시작부터 끝까지 상판에 매달려 있어야 하므로, 알미늄 소재를 사용하여 무게를 줄였으며, 정확한 위치제어를 위하여 서보모터와 볼스크류로 되어있다. 로봇의 사양은 표1과 같다.

Item	Specification	Remarks
Degree of Freedom	3	-
Axis Combination	X+Y+Z	응용 조합형
Driving Method	AC Servo Motor 3Axis + Ball Screw	-
Play Load	7kg	-
Stroke	300mm(X,Y), 200mm(Z)	-
Repeatability	0.02mm	-

표1. 로봇 사양

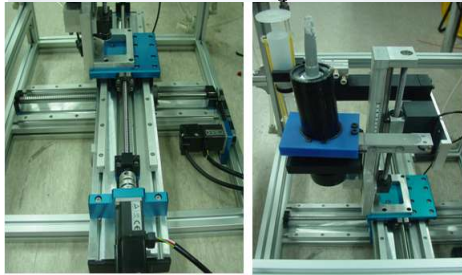
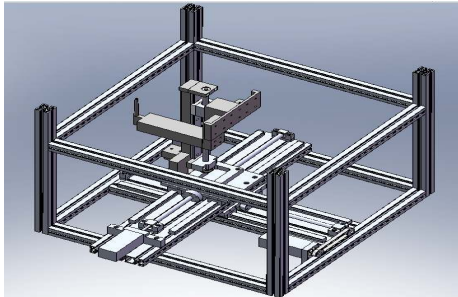


Fig.3 3축 로봇설계와 실제 XYZ축

작업의 시작부터 끝까지 상판에 매달려 있어야 하므로, 알미늄 소재를 사용하여 무게를 줄였으며 정확한 위치제어를 위하여 서보모터와 볼 스크류로 구성되어있다. Fig 4 와 같이 Z 축에는 실링작업을 위한 실리콘 홀더와 주입 작업을 위한 주사기를 잡을 수 있는 그리퍼가 있다. 또한 실링 경로 좌표를 지정하기 위해 카메라를 설치하였다.

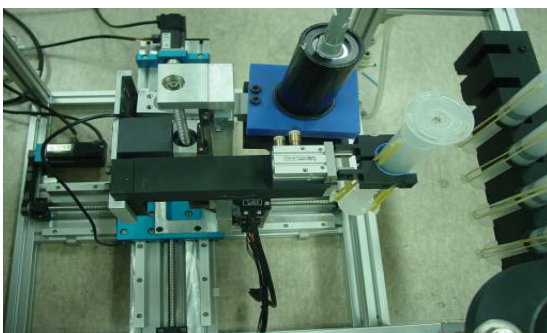


Fig.4 Z축의 홀더·그리퍼

흡착 시스템은 교량의 콘크리트에 붙어 있도록 진공압을 이용한 장치이다. 진공펌프, 솔레노이드밸브, 흡착패드, 진공센서, 스프링 플렌저, 프리조인트로 구성되어있다.

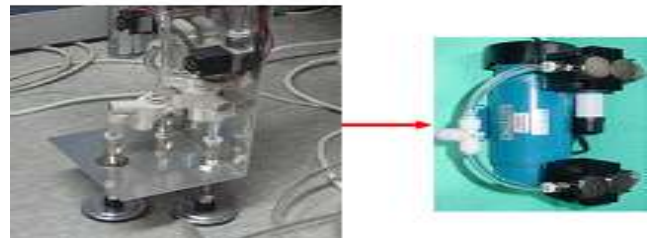
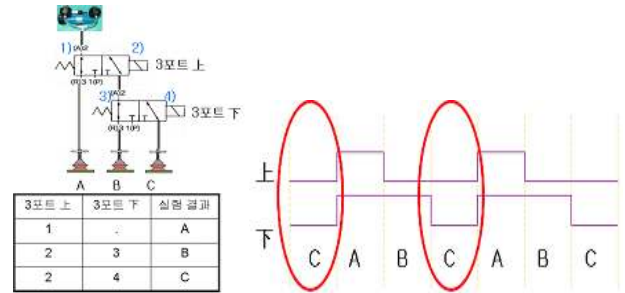


Fig5. 석션 시스템 구성도와 파형

진공펌프는 교량 유지 보수를 마칠 때까지 진공을 형성하고 있어야 하므로 무겁긴 하지만, 공기저장용이 큰 펌프를 사용했다. 솔레노이드 밸브는 진공을 파기·발생시키는 스위치 역할을 하며 불규칙한 표면과 스펀지 형태의 고무 진공 패드가 밀착하여 실링을 할 수 있도록 로봇을 고정 시켜 준다. 이때 진공도는 흡착패드의 진공센서로 볼 수 있으며, 패드의 스프링 플렌저는 유지 보수 시스템을 진공 패드와 이송 물체 사이의 흡착 높낮이를 완충 시켜주는 역할을 하며, 프리 조인트는 흡착면의 강사에 대비한다.

Fig.6 처럼 로봇의 각 다리 당 패드를 3 개씩 장착한 이유는 작업중에 혹시 모를 진공의 결손 발생을 미연에 방지하기 위한 구조이다. Ø60 패드의 선택은 이유는 표 2 와 같이 시스템에 가장 적합하였기 때문이다.

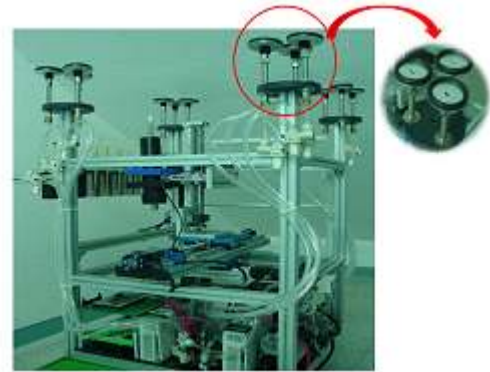


Fig.6 3축 로봇과 흡착 진공패드

	Model	Dimension	Volume(cc)	Lifting Force(kg)		
				-20kPa	-60kPa	-90kPa
	MP 35	Ø 35	6	2.04	5.10	7.14
	MP 60	Ø 60	20	6.12	15.3	22.44
	MP 100	Ø 100	55	18.36	45.9	67.34

표 2. 패드 크기와 진공도에 따른 흡입력

## 2.4 제어시스템

본 연구의 원활한 수행을 위하여 상위 제어 시스템은 원격제어, 호환성, 유연성, 데이터베이스, 신뢰성 등을 고려하여 구성 한다. 또한 제어프로그램은 4개로 구분되어



있다., 모션보드, 원격제어보드, CAN보드 그리고 영상보드로 구성하였다.(Fig7)

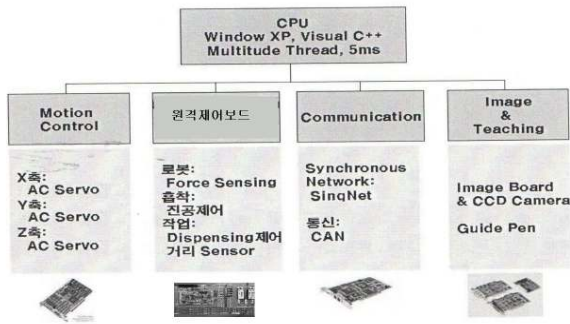


Fig.7 제어시스템 구성도

Fig8은 MEI사의 Synqnet 모션 컨트롤러는 PCI 버스용 초고속 싱크로너스 커넥션 모션 컨트롤러이다. 64bit 플로팅 초 정밀 프로세싱과 최대 32축까지 제어가 가능하다. 4축 사용시 48kHz, 12축 사용시 16kHz의 서보 업데이트 레이트가 가능한 고성능 모션 컨트롤러이다.



Fig8. 모션 제어 보드

본 논문에서 원격 제어 보드는 크게 마이크로 센서부, 센서 인터페이스부, 통신부로 나눌 수 있다. 마이크로 센서는 트랜지스터와 릴레이를 이용한 Digital I/O와 로드 셀, 압력센서, 거리센서, 레이저 센서등 주변 온도 및 외란에 취약한 센서들은 Analog I/O에 인터페이스에 증폭기를 달아 차단 주파수 10Hz 하드웨어 필터를 설계 하였다.(Fig.9)

CAN통신은 산업현장에서 폭넓게 쓰이며 신뢰성, 유연성을 검증받은 필드버스 통신이다. 네트워크 통신이 가능하며 노이즈에 강하여 안정된 통신을 가능케 한다. 이를 이용하여 본 연구에서는 PC제어와 통신하고있다.

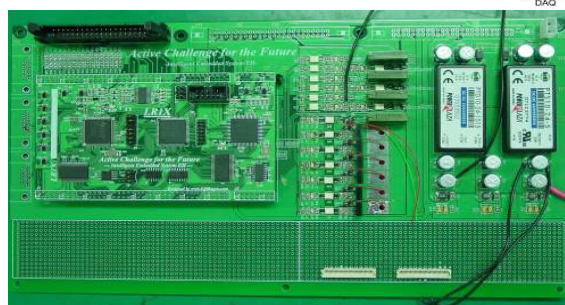
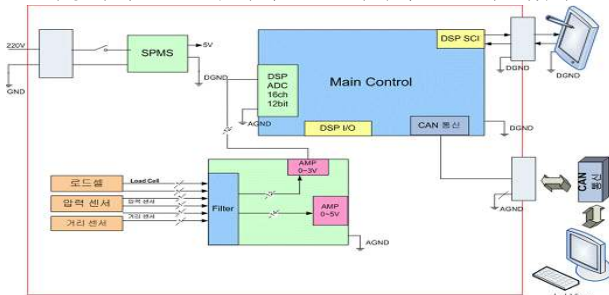


Fig.9 임베디드 시스템 원격 제어 블록도와 제작보드

머신비전은 육안으로는 볼 수 없는 미세한 부분까지 검사해 내는 뛰어난 능력을 가지고 있어 다양한 산업현장에서 사용하고 있다. Fig.10은 본 논문에 사용되는 보드로써 사용자가 원격으로 로봇을 제어 하므로 균열의 보수 방법을 선정할 수 있고, 교량의 균열을 타블러 펜으로 마스킹 하여 보수의 말단부 잡업 경로를 교시하는 목적으로 사용한다.

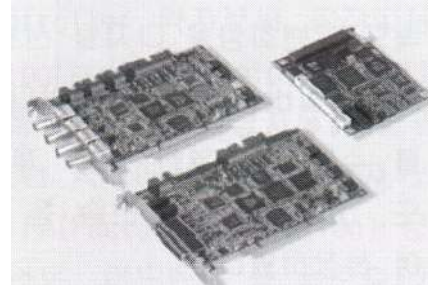


Fig.10 머신비전

## 2.5 적용 알고리즘

Force 제어는 실링 작업시 작업자가 일정한 힘을 유지하면서 크랙을 마스킹 하는 작업으로써 로봇에 적용 가능한 알고리즘이다. Fig11는 Force 제어 블록도이며 로봇에서 발생하는 Force 센서 신호가 매우 미세하여 약150배정도 증폭하였으나, 노이즈 신호도 같이 증폭되어 제어에 악영향을 주므로 하드웨어 및 소프트웨어필터를 구현하였다. .

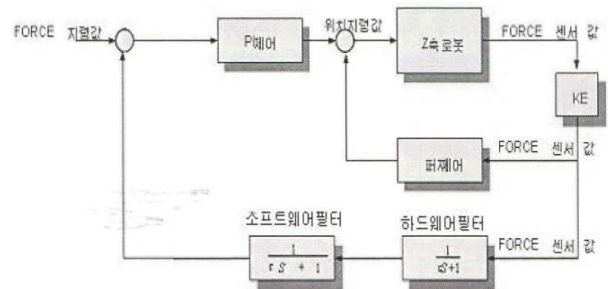


Fig11. Force 제어 블록도

Fig12은 Force 지령치를 0[N]로 설정한 실험 결과이다. 외부에서 Force센서에 일정한 힘을 가하면 지령치0[N]을 유지하기 위하여 힘을 가하는 방향으로 (Z축) 이동할 것이다. 이 현상을 그래프로 볼 수 있으므로 위치 제어를 이용한 Force 제어 알고리즘으로 증명하였다.

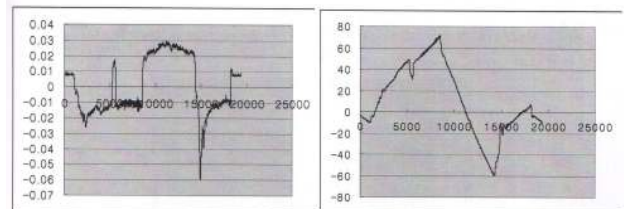


Fig12. Force 측정값 및 Z축 위치 값

보수 작업을 위해서 적용한 제어 알고리즘은 크게 이진화와 라벨 작업을 이용하여 보수 작업교시가 가능하다. 제어 알고리즘 동작 방법은 두 개의 레이저 포인트로 이진화 하여 영상 정보에서 레이저 포인트의 두 점 만 추출 후 레벨화 작업을 거쳐 픽셀정보를 이용하여 점 간의 실제 거리를 구한 후 작업자가 교시한 좌표 값으로 설정한다.(Fig.13)

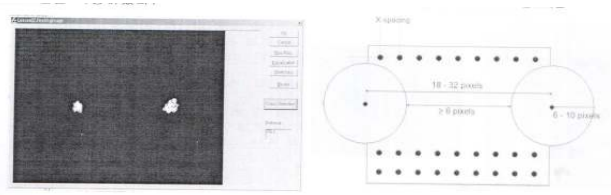


Fig. 13 영상의 두 점을 이용한 실제 거리 측정과 원리

### 3. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 대표적 3D업종인 교량 유지 보수 작업을 3축 로봇과 각종 센서들을 통해 실현할 수 있음을 제안하였다. 앞으로 성능 검증을 위해 실제 다리에 부착하여 작업을 하는 실험을 통해 다리의 진동 날씨 기후 등에 어떻게 반응 하는지 실험할 예정이다.

능동적인 작업을 위해 콘크리트 상판에서뿐만이 아니라 다른 형태의 다리에서도 작업이 용이하도록 발전 시켜야 할 것이다. 향후 사용자의 편의성과 기계의 견실성이 좀 더 보완되면 현장에서 사용되어 생산성 향상과 품질의 향상에 기여 할 것으로 기대 한다

[본 논문은 '건설교통부'의 연구 지원에 의하여 연구되었습니다.]

### Reference

- [1] choi, j.j., Crack of Concrete and Preventing Methods.
- [2] Lee,W.W., Lim,K.Y., Park, C.H(2006),”A Development of Blind Control of Robot for Grind Automation,” Summer Power Electronics Conference
- [3] 예제로 배우는 DSP 2812, 김철호
- [4] Lee,W.W., Lim,K.Y., Hwang,S.Y “ Development of Torque Controller and Its Application of Linear Motor with Digital Signal Processor
- [5] “Robotic Acoustic Seam Tracking:Ststem Development and Application” Chalses Umeagukwu, Benigno Maqueira and Russell lambert, IEEE Transactions on Industrial Electronics VOL., 36 NO.3 AUGUST 1989
- [6] 임계영 이우원 조철주 “교량 붓의 자동화를 위한 메커니즘 설계 및 제어 알고리즘 개발” 2006추계 전력전자학회
- [7] 임계영(Kye Young Lim)”원전 증기 발생기 세관 검사용정밀 원격조정 로봇 시스템 개발” 한국전력공사 기술연구소 1991.05
- [8] AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials),documents : Manual for Maintenance Inspection of Bridges 1990
- [9] AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials),,Guide for Bridge Maintencance Management 1980
- [10] Robot Force Control by Siciliano, Bruno/Villani,Luigi
- [11] Force control of Robotics Systems by Goinevsky,Dimitry M./Formalsky, Alexander M./ Schneider, Anatoly Yu
- [12] 정풍우, 정슬 제어자동화 시스템공학회논문지 2005 Implementation and Control of Crack Tracking Robot Using Force control :Part2 ,Force Contol