

## 영상기반 볼팅로봇의 볼트 구멍 인식 시스템

최윤근\*, 김영중\*, 홍대희\*\*, 박신석\*\*, 임요택\*  
\*고려대학교 전기전자전파공학부, \*\*고려대학교 기계공학과

### The cognition system of clearance hole for a vision based bolting robot

Yun-Geun Choe\*, Young-Joong Kim\*, Dae-Hie Hong\*\*, Sin-Suk Park\*\*, Myo-Taeg Lim\*

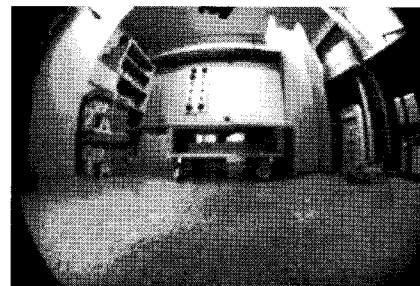
\*School of Electrical Engineering, Korea University, \*\*Department of Mechanical Engineering, Korea University

**Abstract** - 본 논문에서는 고층건물의 철골 구조물의 자동화된 볼트 체결을 위해 볼팅로봇에 장착된 카메라에 의한 영상정보를 처리하여 볼트 구멍을 인식하고 제어시스템에게 볼트 구멍의 위치를 알려주는 시스템을 제안한다. 볼팅로봇 전면에 설치된 광각 카메라를 이용하여 목표물까지 이동하고 로봇의 팔에 장착된 소형 카메라로 볼트 구멍을 인식하는 알고리즘을 제안하고 실제 볼팅로봇에 적용하여 그 성능을 평가하였으며 이는 볼팅로봇의 성능향상에 기여할 것이다.

본 시스템은 철골 구조 건물의 볼트 체결을 위해 볼팅로봇이 이동을 할 때에 영상 정보를 처리하여 볼트의 위치를 인식하고 조종자에게 구멍의 위치를 알려주는 시스템이다. 시스템은 <그림 1>과 같이 구동부, 볼트 구멍 인식 시스템 그리고 로봇 팔로 구성된다. 구동부는 철골 구조의 프레임까지 바퀴로 이동하는 역할을 수행한다. 볼트 구멍 인식 시스템은 영상처리를 통하여 볼트 구멍의 위치를 인식하는 역할을 수행한다. 로봇 팔은 볼트 구멍 인식 시스템에서 얻어진 볼트 구멍의 위치정보를 바탕으로 해당 위치까지 세부적인 이동을 수행한다.

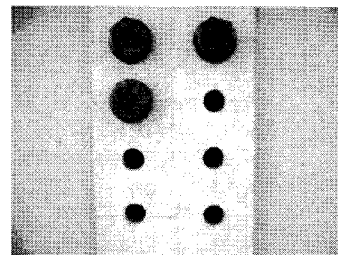
### 1. 서 론

일반적으로 건축물을 시공할 때 대부분 인력에 의해 작업이 이루어지므로 건설 자재 운송 및 시공에 작업 인력의 소모가 많고 작업 시간이 오래 걸리는 문제점이 있어서 최근엔 건설 현장에 건설용 로봇을 활용하는 방안이 다각도로 연구되고 있다. 시공 과정에서 건물의 철골 구조물을 이루는 기둥과 보(Post and beam)의 볼트 체결 작업은 현재 인력에만 의존하고 있다. 볼트 체결 공정을 자동화하면 인력의 의존도를 낮출 수 있고, 공사기간이 단축되어 공사비가 절감되는 효과가 있다. 볼트 체결을 위한 볼팅로봇을 개발 할 때에 문제는 자동 볼트 체결 공구가 로봇 팔에 장착되어 있어도 볼트 구멍의 위치를 알지 못하여 자동으로 볼트 체결을 못한다는 것이다. 본 논문에서는 기둥과 보를 자동으로 볼트 체결하기 위해 볼팅로봇을 작업 지점까지 이동시키고 체결할 볼트 구멍을 영상 인식하여 볼트 체결 시스템에게 볼트 구멍의 위치를 알려주는 시스템을 제안한다.



<그림 2> 영상기반 볼팅로봇 전면에 설치된 광각 카메라 영상

개발하는 볼팅로봇 시스템은 로봇 전면에 설치된 광각 카메라를 이용하여 목표물까지 이동하고 로봇의 팔에 장착된 소형 카메라로 볼팅 구멍 인식을 위한 영상을 획득한다. 작업자가 볼트 체결하고자 하는 구멍을 지정하면 영상처리를 수행하여 구멍의 위치를 구하고 로봇 팔을 해당 구멍까지 이동시키는 시스템이다. 영상기반 볼트 구멍 위치 인식 시스템은 구동부와 볼트 구멍 인식 시스템 그리고 로봇 팔로 구성된다. 구동부는 철골 구조의 프레임까지 바퀴로 이동하는 역할을 수행하고, 볼트 구멍 인식 시스템은 영상처리를 통하여 볼트 구멍의 위치를 인식하는 역할을 수행한다. 로봇 팔은 볼트 구멍 인식 시스템에서 얻어진 볼트 구멍의 위치정보로 해당 위치까지 세부 이동하는 역할을 수행한다. 영상정보를 가지고 볼트 구멍의 위치를 찾아내는 알고리즘에 관한 순서는 다음의 단계로 이루어진다. 먼저 근접 촬영하여 얻어진 볼트 구멍의 컬러 영상으로부터 그레이 영상을 생성한다. 그레이 이미지의 각 픽셀값을 모두 더하여 평균값을 구하고, 이 평균값을 기준으로 이진 영상을 생성한다. 이진 영상에서 영역이 작은 오브젝트를 제거하고, 영역이 작은 오브젝트를 제거한 이미지로부터 각 오브젝트를 구분하여 영상 정보를 재생성한다. 오브젝트를 구분한 영상 정보로부터 각 오브젝트의 원형도를 평가함으로써 일정 기준이상이면 원으로 간주하고 해당 오브젝트의 중심을 구해서 영상 정보를 재생성한다. 이를 기반으로 하여 실제 볼팅로봇에 적용하여 그 성능을 평가하였으며 이는 볼팅로봇의 성능향상에 기여할 것이다.

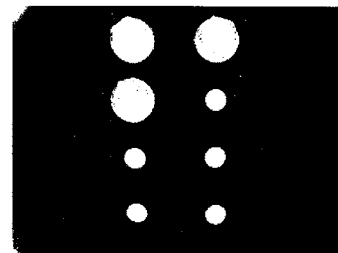


<그림 3> 로봇 팔에 설치된 소형 카메라로 획득한 볼트 구멍 영상

### 2.2 영상기반 볼트 구멍 인식 알고리즘

볼트 구멍 인식을 위한 영상<그림 3>을 가지고 볼트 구멍의 위치를 찾아내는 알고리즘 순서는 다음과 같다.

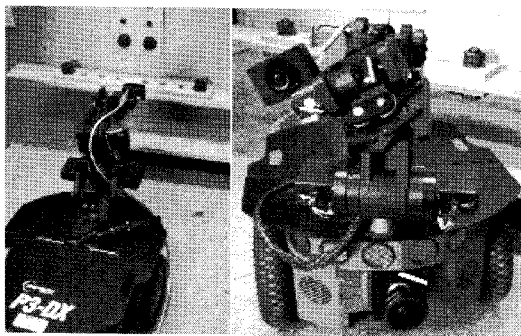
[1단계] 근접 촬영하여 얻어진 볼트 구멍의 컬러 영상<그림 3>으로부터 그레이 영상을 생성하고, 영상의 전체 그레이 평균값을 기준으로 이진 영상<그림 4>을 생성한다.



<그림 4> 볼트 구멍 컬러 영상으로부터 얻어진 이진 영상

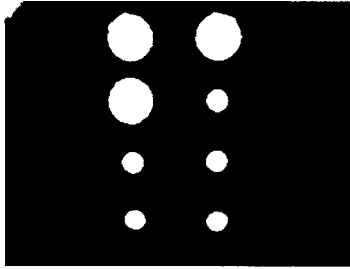
### 2. 본 론

#### 2.1 영상기반 볼트 구멍 인식 시스템의 구성



<그림 1> 영상기반 볼팅로봇의 후면(좌)과 정면(우)사진

**[2단계]** 흰색 픽셀들이 서로 연결되어 이루는 영역을 하나의 오브젝트 간주하고, 각 오브젝트가 볼트 구멍인지의 여부를 평가한다. 오브젝트의 개수를 줄이면 알고리즘 수행 시간이 단축되기 때문에, Grass-fire 알고리즘을 사용하여 볼트 구멍의 크기라고 간주 될 수 없는 영역이 작은 오브젝트들을 제거하고 이진 영상<그림 5>을 재생성한다[1].

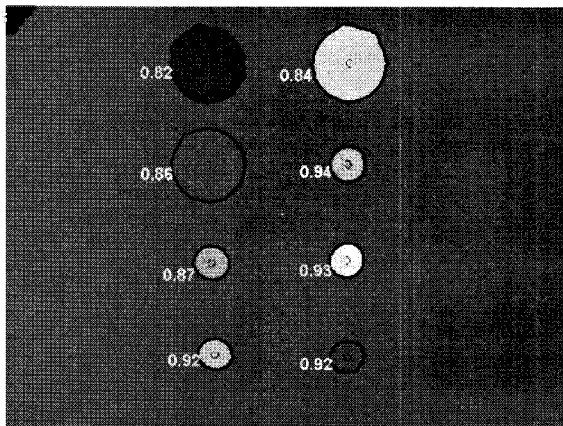


**<그림 5> 영역이 작은 흰색 오브젝트를 제거한 이진 영상**

**[3단계]** 영역이 작은 오브젝트를 제거한 이진 영상으로부터 오브젝트를 레이블링(Labeling)하여 각각의 오브젝트를 구분한다. 식 (1)로부터 오브젝트의 원형도를 구하고, 중심 픽셀을 구하여 영상 정보를 재생성한다. 원형도가 1에 가까울수록 원모양에 가까운 것이다. 아래 <그림 6>은 각 오브젝트의 원형도와 원의 중심을 기입한 영상이다.

$$c = 4\pi \frac{A}{l^2} \quad (1)$$

( c : 원형도, A : 오브젝트의 면적[pixel], l : 오브젝트의 둘레길이[pixel] )

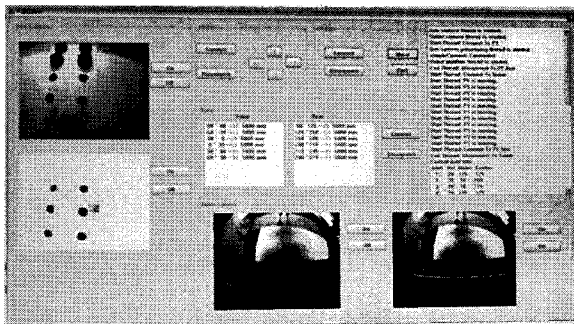


**<그림 6> 각 오브젝트의 원형도를 평가하여 기입한 영상**

**[4단계]** 각 오브젝트의 원형도와 면적이 일정 범위안에 포함되면 볼트 구멍으로 간주한다. 작업자가 체결하고자 하는 볼트 구멍을 지정하면 가장 가까운 볼트 구멍의 중심 픽셀을 볼트 체결 시스템에 알려준다.

### 2.3 영상기반 볼트 구멍 인식 시스템의 구현 및 실험

<그림 7>과 같이 작업자와 볼팅로봇간의 인터페이스를 위해 윈도우기반 프로그램을 제작하였다[2]. 앞서 제시한 영상기반 볼트 구멍 인식 알고리즘을 볼팅로봇 인터페이스 프로그램에 탑재하여 구현하고 실험하였다.



**<그림 7> 윈도우기반 볼팅로봇 인터페이스 프로그램**

볼팅로봇 인터페이스 프로그램은 작업자에게 광각카메라 영상, 로봇팔에 장착된 소형카메라 영상 그리고 영상처리된 소형카메라 영상을 제공한다. 영상처리된 소형카메라 영상은 볼트 구멍 인식 알고리즘을 이용하여 입력된 영상 중 볼트 구멍만을 빨간색으로 표시하여 작업자에게 제공한다. 작업자는 이 정보를 바탕으로 볼팅로봇에게 프로그램의 커맨드 창을 통하여 명령을 내릴 수 있다. 인터페이스 프로그램을 이용하여 모의 볼트 체결작업을 진행해본 결과, 영상처리된 소형카메라 영상을 이용하여 볼트 구멍의 정보를 쉽게 확인할 수 있었다. 작업자는 원거리에서 볼팅로봇에게 영상 정보만으로 볼트 체결 구멍의 위치를 지정할 수 있었고, 볼팅로봇은 인식 알고리즘으로부터 계산된 볼트 구멍의 위치를 입력받아 로봇팔을 해당 볼트 체결 위치까지 이동할 수 있었다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 고층건물의 철골 구조물의 자동화된 볼트 체결을 위해 볼팅로봇에 장착된 카메라에 의한 영상 정보를 처리하여 볼트 구멍을 인식하고 제어시스템에게 볼트 구멍의 위치를 알려주는 시스템을 제안하였다. 볼팅로봇의 구성요소들을 정의 하였고, 영상기반 볼트 구멍 인식 알고리즘을 제안 하였다. 제안된 시스템과 알고리즘을 바탕으로 구현하고 실험한 결과 작업자가 원거리에서도 볼트 체결 작업을 볼팅로봇에게 지시할 수 있었다. 다만, 아직까지 구체적인 성능평가를 위한 평가지표가 없으므로 본 시스템의 성능을 수치적으로 평가하지 못했다. 볼트 구멍 인식에 대한 평가방법 및 평가지표가 다음 연구에서 필요하다. 본 논문에서 제시된 볼트 체결 로봇 시스템 및 알고리즘은 건설현장의 볼트 체결 작업을 인력의 도움 없이 빠르고 안전하게 진행하여, 공사비와 공사기간 단축에 기여할 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 지원한 “로봇틱 크레인 기반 고층 건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발(과제번호:06 첨단융합 D01)”사업의 지원으로 수행되었음

### [참 고 문 헌]

- [1] 강동중, “(Visual C++을 이용한) 디지털 영상처리”, 2003
- [2] 이흥규, “디지털 영상처리 이론 및 구현 : Visual C++ 접근방법”, 2007
- [3] S. Hutchinson, G.D. Hager, and P.I. Corke, “A tutorial on visual servo control”, IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol.12, pp. 651-670, Oct. 1996.
- [4] Saeed B. Niku, “Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications”, Prentice Hall, pp. 61, 2001.
- [5] John Q. Gan, Eimei Oyama, Eric M. Rosales and Huosheng Hu, “A complete analytical solution to the inverse kinematics of the Pioneer 2 robotic arm”, Robotica, volume 23, pp. 123-29. May. 2005
- [6] Eric M. Rosales, John Q. Gan, Huosheng Hu, Eimei Oyama, “A Hybrid Approach to Inverse Kinematics Modeling and Control of Pioneer 2 Robotic Arms”, Technical Report No CSM-414. 2004
- [7] R. E. Kalman, “A new approach to linear filtering and prediction problem”, Trans. ASME, J. Basic Engrg., Vol.82 pp. 34-45, 1960
- [8] 심귀보, “동적 물체에 대한 로봇 매니퓰레이터의 Visual Servoing”, 대한 전자공학회 논문지, Vol. 4, No. 2, pp. 15-24, 1996
- [9] I.B. Rhodes, “A tutorial introduction to estimation and filtering”, IEEE Trans. Automat. Contr. Vol. AC-16, No.6, pp.688-706, 1971