

오운지 섭, 이재설, 박현수  
한국 원자력 연구소

### Development of Multi-Functioned Remote Impact Wrench

Ji-Sup Yoon    Jae-Sol Lee    Hyun-Soo Park  
Korea Atomic Energy Research Institute

#### ABSTRACT

This paper presents technologies to improve the control of an impact wrench. Impact wrench is a tool which is held by the electro-mechanical manipulator and used to fasten and loosen the bolts for remote maintenance of equipment in hostile environment. Vision system was developed to measure the distance and improve the positioning of the impact wrench. The vision system used two laser beams with a CCTV camera. Also, a torque adjusting method was developed to limit the fastening torque.

접근이 어려워 모든 작업이 원격으로 이루어진다. 그러한 원격유지 보수작업(remote maintenance)시 모터나 그 밖의 부품을 교체하기위해 나사를 풀고 조이는 작업이 많은데, 그런 작업에 필요한 공구(tool)가 임팩트 렌치(impact wrench)이다. 일반적으로 사용되는 임팩트 렌치는 보통 공압으로 작동되나, 제어가 어렵고 또 공압라인이 비교적 복잡하기 때문에 여기서는 전기식으로 작동되는 상용의 임팩트 렌치를 사용하였다. 이 임팩트 렌치를 동력 매니퓰레이터 ( electro - mechanical manipulator )로 움직여 작업위치로 이동하게 된다.

이 임팩트 렌치를 사용하여 풀고 조일 대상물인 나사위치에 접근시켜 작업을 수행하기 위해서는 우선 시각장치가 필요하다. 시각장치로서 일반적인 비디오 카메라를 사용하는 경우 정확한 위치제어가 어렵다. 따라서 여러가지의 시각장치가 개발되어 사용되고 있으나 본 연구

#### 1. 서론

방사능환경인 사용후 핵연료 취급시설에서는 사람의

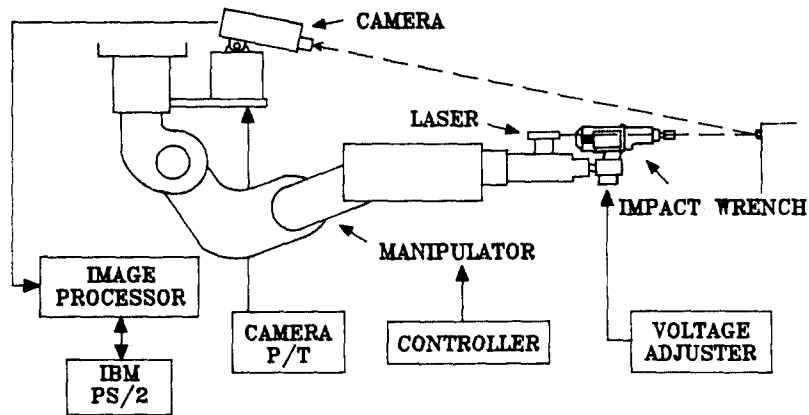


그림 1 임팩트 렌치 작업 시스템 구성도

Fig. 1 Diagram of Impact Wrench Operation System

에서는 레이저를 이용하여 임팩트 렌치와 나사와의 거리 측정을 하므로써 위치제어를 용이하게 하는 방법을 개발하고자 하였다. 또 나사조임 토크(torque)의 경우 나사 크기에 적합치 않은 과도한 토크를 가하면 파손 등의 문제가 발생하는데, 이를 극복하기 위한 연구도 아울러 행하였다.

본 연구에서 다른 시스템 전체가 그림 1에 나타나 있다. 전체적으로는 동력 매니플레이터가 임팩트 렌치를 잡아 오른쪽 끝부분에 있는 나사에 접근하고 있는 모습이다. 왼쪽 밑에 보이는 장치들은 거리측정을 위하여 컴퓨터(IBM PS/2)와 연결된 화상처리 장치(image processor)이다. 그리고, 카메라의 방향을 조절하기 위한 수평회전/경사(pan/tilt) 장치가 있고, 가운데에 보이는 콘트롤러(controller)는 매니플레이터의 움직임을 조작하기 위한 장치이다. 오른쪽의 전압조절기(voltage adjuster)는 토크 제어를 위한 장치로서 나중에 기술될 예정이다.

## 2. 시각 장치

레이저를 이용한 시각장치는 여러가지가 있으나 보통 두개의 레이저 빔을 사용하여 거리를 측정하는 경우가 많다. 이 때의 거리는 대개 카메라로부터 작업대상물까지의 거리를 측정하는 것이다. 즉, 레이저 빔을 작업대상물에 비추고 그 화상을 잡아 화상처리과정을 거치게 된다. 이 과정에서 화면상의 두 레이저빔간의 거리와 카메라로부터 실제의 작업대상물과의 거리 사이에 함수관계가 있는 것을 이용한다.[1] 그 함수관계는 그림 2에서 볼 수 있듯이 서로 비례관계가 있는 것을 알 수 있다. 그림 2에서 카메라의 자동 초점조절 렌즈로부터 작업대상물까지의 거리를  $X$ , 렌즈로부터 CCD 소자까지의 거리를  $X_1$ , 작업대상물의 크기를  $H$ , CCD 소자에 맺힌 상의 크기를  $h$  라고 하면, 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\frac{h}{H} = \frac{X_1}{X} \quad (1)$$

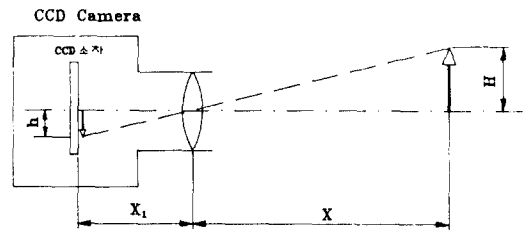


그림 2 거리측정 기본 원리

Fig. 2 Basic Principle for Distance Measurement

식 (1)을  $X$ 에 관해 정리 하면

$$X = \frac{H * X_1}{h} \quad (2)$$

여기서,  $H$  와  $X_1$  는 상수인데, 실험적으로 구할 수 있다. 실제로는 맺히는 상의 크기를 측정할 수 없으므로 화상처리장치의 모니터에 맺히는 상의 크기를 화상처리 과정을 통해 측정하여  $X$ 를 계산한다.

앞서 언급된 것처럼 레이저 광원이 실제 작업 공구인 임팩트 렌치에 부착되어 있지 않아 거리측정의 어려움이 있으므로 본 연구에서는 레이저 광원을 임팩트 렌치가 부착된 끝 관절(end effector)로 옮겨(그림 1) 작업대상물과 임팩트 렌치사이의 거리를 측정할 수 있도록 하였다. 이 경우의 레이저 빔과 작업대상물사이의 거리관계가 그림 3에 나타나 있다.  $L$  은 두 레이저 빔

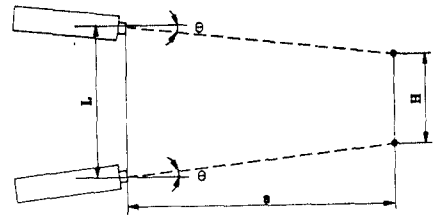


그림 3 두 레이저 빔을 이용한 거리측정 원리

Fig. 3 Principle for Distance Measurement Using Two Laser Beams

간의 거리,  $\theta$  는 레이저 빔의 작업대상물에 대한 수직선과의 각도,  $s$  는 실제 측정할 거리,  $H$  는 앞서와 마찬가지로 작업대상물의 크기(여기서는 두 레이저 빔간의 거리)이다. 따라서 거리 관계식은 다음과 같다.

$$H = L - 2 s \tan \theta \quad (3)$$

식 (2)에 식 (3)을 대입하면

$$X = \frac{L - 2 s \tan \theta}{h} X_1 \quad (4)$$

따라서 거리  $s$ 를 구하기 위한 식은 다음과 같이 된다.

$$s = \frac{L - h X / X_1}{2 \tan \theta} \quad (5)$$

여기서  $X / X_1$ 는 카메라를 이동하지 않는한 상수가 된다. 역시  $L$ 도 상수이므로 화상에 맺힌  $h$ 를 알면 거리  $s$ 를 계산할 수 있는 것이다.

위에서 언급한 과정을 화상처리와 연결시켜 하나의 흐름도로 나타낸 것이 그림 4이다. 화상처리의 첫 단계로서 원하는 화상을 샘플링(sampling)하여야 한다. 샘플링을 할때 A/D변환의 기준전압을 조정하므로써 상대적으로 레이저 빔만이 밝게 보이도록 하여 필요 없는 화상(noise)을 줄일 수 있다. 다음 단계로서 적당한 값을 이

치화(binary)하여야 한다. 이치화를 하면 레이저가 비쳐진 부분과 밝은 부분은 기준치보다 밝기 때문에 흰 색으로 나타나고, 기준치보다 상대적으로 어두운 부분은 검은 색으로 나타난다. 검은 색을 물체로 인식하기 때문에 두 색을 바꾸어 주는데, 이 과정이 반전(reverse)과정이다. 이렇게 처리된 화상으로 두 레이저 빔간의 거리를 측정하는 것이다.

다음으로 카메라가 하나인 점을 보완하기 위한 방안을 생각하였다. 즉, 모니터에 나타나는 화상은 3차원적이 아니기 때문에 임팩트 렌치의 정확한 위치조정이 다소 어렵다. 따라서, 두 레이저 빔을 직선으로 연결한 가상의 선을 설정하고, 그 선상에 작업대상물인 나사가 위치하도록 매니플레이터를 조정하면 수직선방향( $z$ 방향)의 위치는 쉽게 잡을 수 있게 된다. 이때 주의할 점은 레이저를 설치 할때 빔의 높이가 임팩트 렌치 끝에 있는 소켓(socket)의 높이와 똑같게 되도록 하는 것이다.

### 3. 토오크 조절장치

임팩트 렌치로 나사를 조일 경우, 나사에 적정 토오크 이상의 무리한 토오크를 가하면 나사가 손상되거나, 파손되어 작업에 많은 지장을 초래한다. 따라서, 나사 크기에 따른 적절한 토오크를 임팩트 렌치에 주어야 한다. 본 연구에서는 조절이 용이한 구동전압과 임팩트 렌치에 가해지는 토오크와의 상관관계를 조사한후 그것을 이용하고자 하였다. 사용된 임팩트 렌치는 미국 제품(Black & Decker)으로서 교류전동모터로 구동되고, 용량은 780 W이며, 정격전원은 100 V이다. 또 정격 소켓(socket)의 크기는 1/2"이다.

임팩트 렌치 구동모터의 토오크를 직접 조절하기 어렵기 때문에 전압으로 회전수를 조절할수 있도록 전압 조절기(voltage adjuster)를 제작하였다. 그 회로도가 그림 5에 보이고 있다. 공급전원은 교류 100 V로 주도록 되어 있고, 조절된 전압은 역시 교류로 전동 임팩트 렌치로 전달된다. 전압의 조절은 그림 5의 중앙부

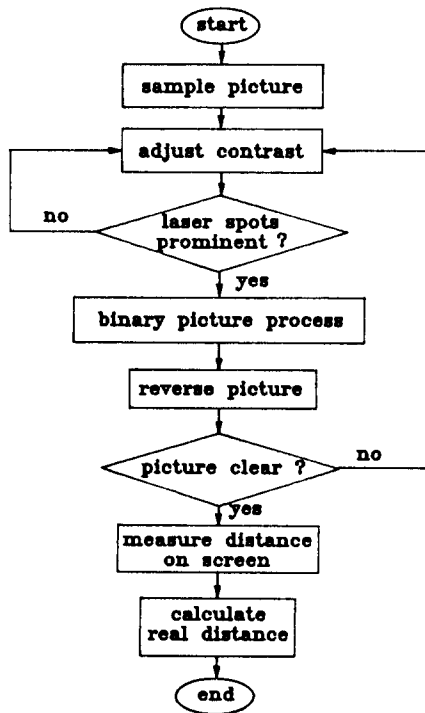


그림 4 시각장치 흐름도

Fig. 4 Flow Diagram of Vision System

근에 있는 100 K $\Omega$ 의 가변저항을 조절함으로써 이루어 지도록 되어 있다.

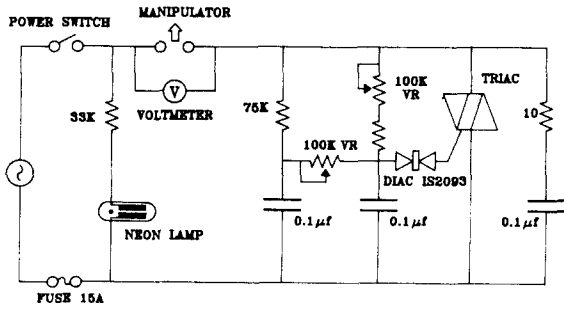


그림 5 전압조절기 회로도  
Fig. 5 Circuit Diagram of Voltage Adjuster

이 전압조절기를 사용하여 전압을 조절하여 임팩트 렌치에 가하면서, 토오르크 측정기를 사용하여 전압-토오르크의 그래프로 그린 것이 그림 6이다. 그림 6에서 볼

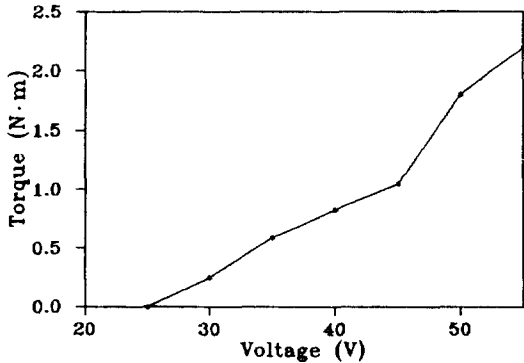


그림 6 전압-토오르크 관계  
Fig. 6 Voltage-Torque Relationship

수 있듯이 전압과 토오르크가 어느정도 비례함(비례상수 0.07236 N·m/V)을 알 수 있다. 즉 두 값의 상관관계가 비교적 뚜렷하기 때문에, 토오르크를 직접조절하지 못하더라도 전압을 조절함으로써 토오르크를 간접적으로 조절할 수 있는 것이다. 단, 그래프에서는 보이지 않으나 어느 정도 이상의 전압에서는 토오르크가 더 이상 증가 하지 않는데, 이는 임팩트 렌치에 내장된 과부하 방지장치때문이다. 따라서, 그래프의 비례구간에서의 작동이 바람직하다.

이 전압 조절기를 사용하는데 있어서 또 하나의 장

점은 느린 회전수도 얻을 수 있다는 것이다. 소켓을 육각볼트에 끼울때, 사람이 작업하는 경우라면 손으로 소켓을 돌려가면서 끼울수가 있으나 원격작업의 경우는 그것이 불가능하므로 다른 방법을 생각해야 한다. 작은 전압을 임팩트 렌치에 공급하면 회전수가 느려지는데, 이를 이용하여 작은 각도만큼 회전시켜 소켓을 나사부분에 끼울때에 정확한 위치를 잡을 수 있게 된다.

#### 4. 결 론

전동 임팩트 렌치를 사용하여 원격작업을 하는데 있어 그 작업을 용이하게 할 수 있는 기술을 개발하였다. 기존의 시각장치를 개선하여 임팩트 렌치와 작업 대상물과의 거리를 측정할 수 있도록 하였고, 또 전압 조절기를 제작하여 토오르크를 조절할 수 있도록 하였다. 앞으로는 시각장치를 더 개선하여 좀 더 정확한 거리 측정 및 물체 감지를 할 수 있는 장치를 개발하는 것이 필요하고, 토오르크도 직접 조절이 가능하도록 하는것도 연구 과제의 대상이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. S. Yoon and Lee, J. S., "Remote Handling Tele-operators in Hostile Environment", '88 KACC, Oct. 21-22, 1988
- [2] 이 재 설 외, "사용후 핵연료 저장 공정장치 개발", 한국원자력연구소 연구보고서 (KAERI/RR-868/89), pp. 41-47, 65-74, 1989
- [3] 이 재 설 외, "사용후 핵연료 원격취급장치 개발", 한국원자력연구소 연구보고서 (KAERI/RR-778/88), pp. 46-62, 1988
- [4] D. H. Ballard and Brown, C. M., Computer Vision, New Jersey : Prentice Hall, 1982
- [5] T. J. Um, W. T. Jung, and Lee, J. S., "Tele-operation R&D Activities in Korean Nuclear Waste Program", '89 KACC, Oct. 27-28, 1989