

사상 자동화를 위한 로봇의 Blind Force Control 기술 개발

이우원, 박찬호, 임계영
한국산업기술대학교 지식기반기술·에너지 대학원

A Development of Blind Force Control of Robot for Grind Automation

Woo Won Lee , Chan Ho Park , Kye Young Lim
Graduate School of Knowledge Based Technology and Energy,
Korea Polytechnic University

ABSTRACT

A lot of pieces of iron plate are used to build a ship. The states of cutting surface of iron are however bended or ununiformly cuttled by cutting machine. These may cause bad quality of painting, and shorter lifetime of iron by rust. In this paper, a new approach of grinding force control method which teaching of robot is not required is proposed to avoid long preparation time of robot and to improve the productivity. The way used in this paper is just like a blind man works through the road with stick only.

1. 서 론

대형 선박을 건조하기 위해서는 한척에 대하여 수만 개의 선각 부재가 소요되고 있으며, CAD와 연결된 가공 기계에 의하여 철판의 절단이 자동화 공정에서 이루어진다. 황삭 가공이나 레이저 절단에 의하여 절단면은 표면이 거칠거나 모서리에 원하지 않은 굴곡을 가지고 있으며, 이는 차후 선박을 조립하여 도장을 할 경우 도막의 불균일을 가져오고 염분에 노출되어 수명의 저하를 가져오는 원인을 제공하기도 한다.

모서리의 사상은 도막 수명을 유지하기 위하여 필요한 작업이므로 중요한 절단면에 대하여는 작업자의 수작업에 의존하고 있으며, 이 작업은 작업자가 사상 면에 대하여 일정한 힘을 주면서 작업을 해야 하기 때문에 근골격 계에 무리를 가져올 수 있으므로 작업자가 기피하는 공정이다. 로봇을 이용한 사상 자동화는 일반적으로 로봇에 사상해야 하는 경로를 정확히 입력한 후에 Compliance를 이용해야 하지만[1], 부재의 형상이 다양하기 때문에 적용이 용이하지 않은 상태이다.

본 논문은 로봇에게 제공되는 피가공 부재의 형상에 대한 자료를 입력하지 않고, 로봇의 움직임에 제한이 되는 Compliance를 사용하지 않은 상태에서 힘 센서만으로 절단면을 일정한 힘으로 누르면서 주행하는 방법을 개발하고 사용 가능성을 검증하기 위한 시험을 실시한다. 또한 이 제어 방식은 장님이 지팡이에서 감지되는 반응만으로 도로를 걷는 것과 유사하기 때문에 Blind Force Control이라는 이름으로 명명된다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

사상을 위한 로봇 시스템은 그림 1, 그림 2와 같이 3축 직교 로봇, Force Sensor, Grinder, Motion Controller, Servo Drive 3 Set, IO Board와 산업용 컴퓨터로 구성된다.

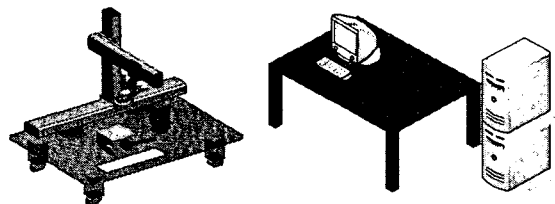


그림 1 사상 로봇 구성도

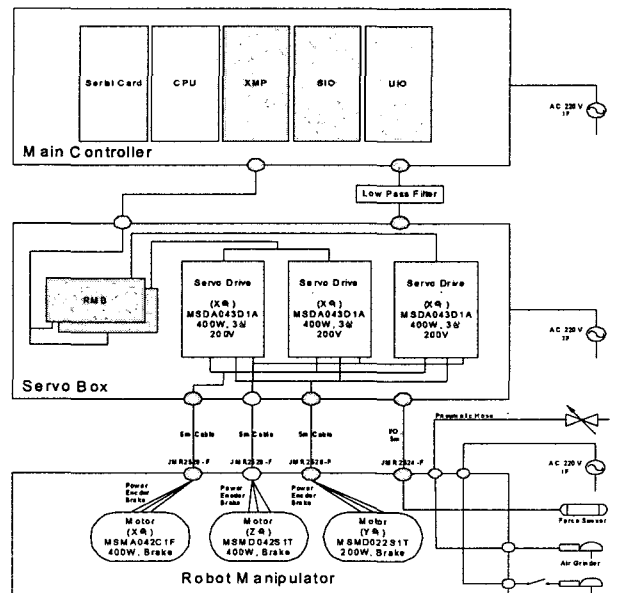


그림 2 제어기 구성도

2.2 Force Sensor 및 필터 설계

힘 센서는 Kistler의 3축 피에조 힘 센서 (그림3)를 사용 하

였다. 이 센서의 힘 측정 범위는 xy축에서 $\pm 250N$, z축에서 $\pm 5000N$ 이며 적절한 예압을 가해야 한다. Piezo Type이 갖는 특징에 의하여 본 센서는 빠른 반응 속도를 갖는 반면에 고주파 성분을 포함한 신호를 발생한다. 따라서 필터의 필요성이 강력하게 대두 되었으며 이를 위하여 Operational Amplifier를 이용한 하드웨어 필터와 D/A Converter에서 발생하는 잡음을 제거하고 시스템에서 2차 필터의 의미를 갖는 소프트웨어 필터를 채용 하였다.

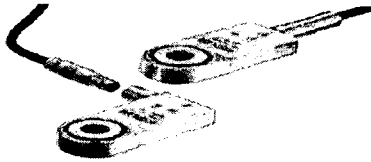


그림 3 3축 피에조 힘 센서

2.2.1 하드웨어 필터

하드웨어 필터는 Operational Amplifier를 이용한 Active type과 Passive Low Pass Filter 조합하여 그림 4와 같이 2단 구조로 구성 하였다.

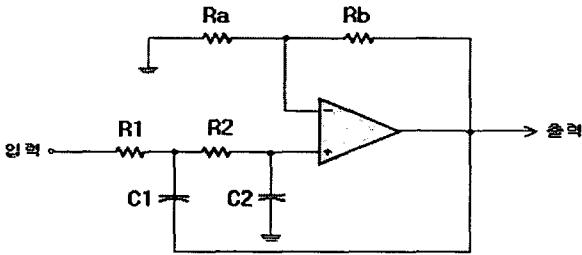


그림 4 Active Type Low Pass Filter

구성한 Low Pass Filter의 전달함수는 식 (1)과 같으며 차단 주파수 10Hz의 주파수와 고주파를 발생시켜 시뮬레이션을 실시하였다.

$$G(s) = \frac{R_4 + R_5}{R_4 R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + (R_4 R_2 C_2 + R_4 R_1 C_1 + R_1 C_2) s + R_5} \quad (1)$$

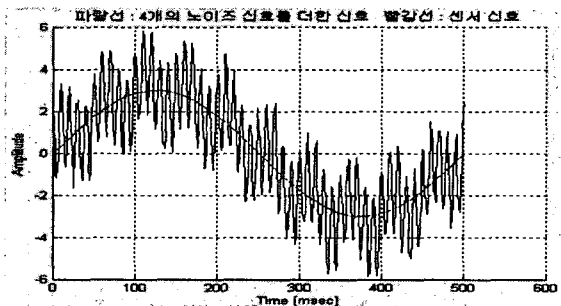


그림 5a 입력신호 (센서 신호 & 노이즈 신호)

그림 5a는 센서 신호와 가상 잡음 신호 20Hz, 100Hz 신호를 다 합성 신호를 보여준다. 식 (1)로 설계한 하드웨어 필터의 차단 주파수가 10Hz인데 반하여 20Hz의 잡음 신호가 완전히 필터링 되지 않은 모양이 그림 5b에서 관측 된다.

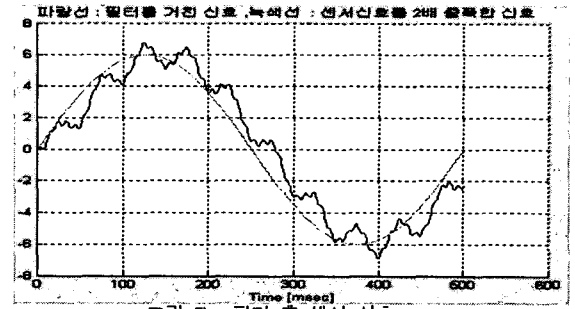


그림 5b 필터 후 센서 신호

2.2.2 소프트웨어 필터

버터워스의 저역 통과 필터의 주파수 이득 특성은 식 (2)와 같이 주어진다.

$$|H(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2N}} \quad (2)$$

여기에서, N: 필터 차수 ω_c : 차단 주파수.

또한 버터워스 필터의 전달함수는 식(3)과 같다

$$H(S) = \frac{1}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + 1} \quad (3)$$

2.3 경로 Searching

사상 로봇이 일반적인 로봇과 다른 점은 경로계획 없이 부재의 모양에 따라서 지능적으로 현재의 상태를 파악하고, 경로를 찾아 움직이는 것이 가장 큰 차이점이라 할 수 있다. 이러한 제어를 구현하기 위하여 3축 Force Sensor를 이용하여 부재에 대한 로봇의 상태를 파악하고 향후의 경로를 예측하여 로봇의 진행 방향과 각 축에 가해지는 힘의 크기를 결정한다.

2.3.1 경로 Searching 이론

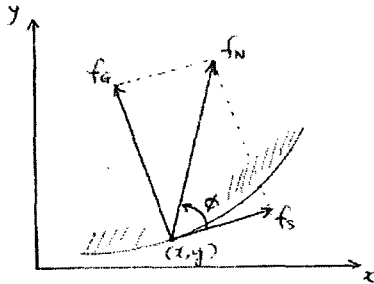
경로 Search에서 가장 중요한 것은 사상 작업 중에 너무 깊게 가공되거나 유연(사상 면과 접촉하지 않은 상태), 막힘(사상하는 면에 수직의 앞에 가로 막힌 상태)인 상황에서도 무사히 극복하여 피가공 부재 면을 일정한 힘으로 누르면서 부드럽게 따라 주행하는 것이다.

2.3.1.1 힘 벡터

힘 센서를 통해 측정된 힘 값을 이용하여 피가공 부재와의 접촉면에서의 접선 각도는 식(4)와 같다. 그림에서 절삭 방향에 수직인 힘은 실제로 절삭해야 하는 힘을 나타내며, 절삭 표면을 따라 진행하는 힘은 진행 속도와 유관하다. 여기에서 Φ 는 사용자가 미리 정한 값이기 때문에 센서에서 측정된 값에서 이 값을 빼주면 피가공 표면의 각도를 유추할 수 있다.

이 방법을 이용하여 일정한 가공 힘을 유지하녀 표면을 주행할 경우 직선 구간에서는 기본적인 제어 알고리즘에 의하여 주행을 원활히 할 수 있다 (2.4절 참조).

반면에 피가공 부재가 꺾어지거나 심하게 휘어지는 구간에서는 플랜트가 선형성을 상실하거나 그와 유사한 상태가 되기 때문에 기본적인 제어기로서 정상적인 주행을 기대하기는 어렵다.



F_G : Grinding Force(절삭 진행 방향에 수직인 힘)
 F_S : Surface Proceeding Force(절삭 표면을 따라 진행하는 힘)
 그림 6 힘 벡터

힘 센서를 이용하여 부재면 접선의 각도 계산식(5)은 다음과 같다.

$$\Phi = \text{atan}\left(\frac{f_G}{f_S}\right) \quad (4)$$

f_N 합성 Force Φ : Force 각도

2.3.1.2 유형, 막힘 상태의 제어 알고리즘

막힘의 상태는 Grinder가 더 이상 진행하지 못하는 막힘 상태, 즉 피가공 부재의 꺾임에 의해서 진행을 못하는 경우이거나 힘 센서에서 과도한 합력을 측정이 되는 경우이다 (그림 7). 이 경우는 막힘 상태로 간주하며 퍼지 제어를 적용하였다. 퍼지 제어 규칙은 막힘 상태가 측정되는 횟수만큼 비례하여 각도 지령치를 $15^\circ \sim 105^\circ$ 까지 증가하도록 설정하였다 (그림 9 참조).

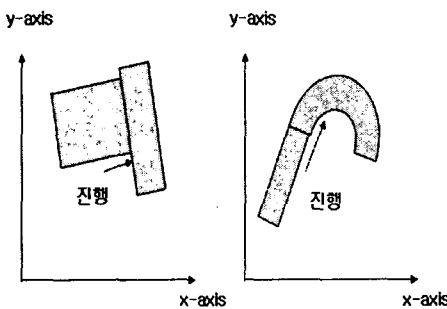


그림 7 Grinder 막힘 상태

유형 상태는 Grinder가 진행은 하고 있으나 힘 센서에 측정된 합력이 극히 작은 값일 때 피가공 부재에 일정한 힘을 가할 수 없는 상태이다 (그림 8). 세서의 측정값이 $0 \sim 10$ 인 경우에는 유형 상태일 가능성이 크므로 퍼지 제어를 적용하였다. 퍼지 제어 규칙은 막힘 상태가 측정되는 횟수만큼 비례하여 각도 지령치를 $10^\circ \sim 180^\circ$ 까지 누적하면서 Grinder를 회전시키도록 설정 하였다 (그림 9 참조).

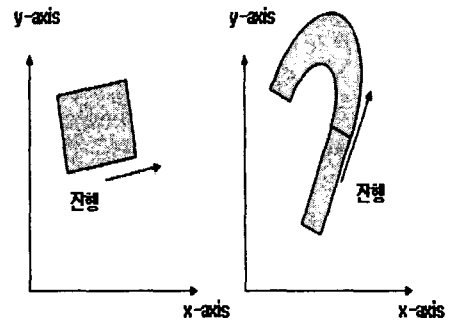


그림 8 Grinder 유연 상태

2.4 기본 제어 알고리즘

피가공 부재에서 현재의 점선의 각도를 측정하여 Grinder 이동 속도 및 절삭 깊이 고려하여 지령치 f_{xd}, f_{yd} 만든다. 여기에서 f_{xd}, f_{yd} 는 각각 x축과 y축 방향의 힘에 대한 reference input이다. 제어기는 각 축에 대한 힘의 오차 값을 PI 제어기를 통하여 이동하여야 할 경로(x,y)를 계산한다.

제어 중 F_N 의 상태를 검사하여 유형 상태인지, 또는 막힘 상태인지를 체크하여 유형이나 막힘 상태로 판단될 때는 퍼지 제어 알고리즘 적용한다. 그림 9는 전체 제어 블록도를 나타낸다.

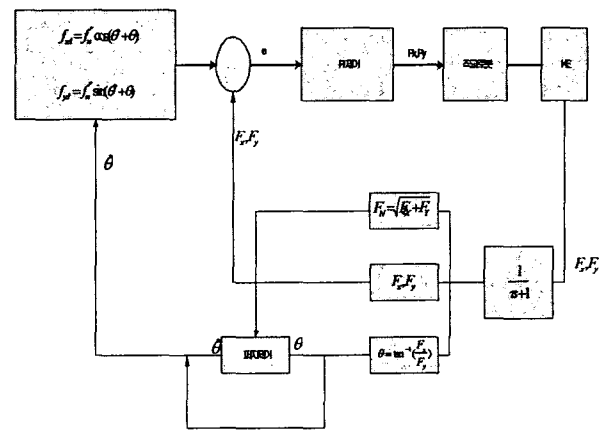
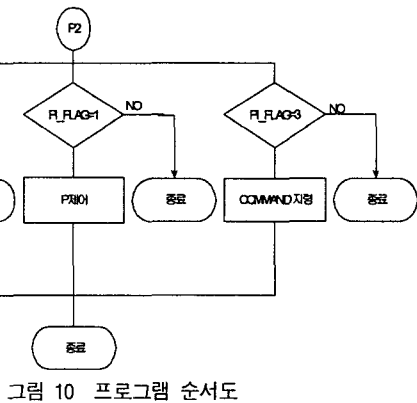
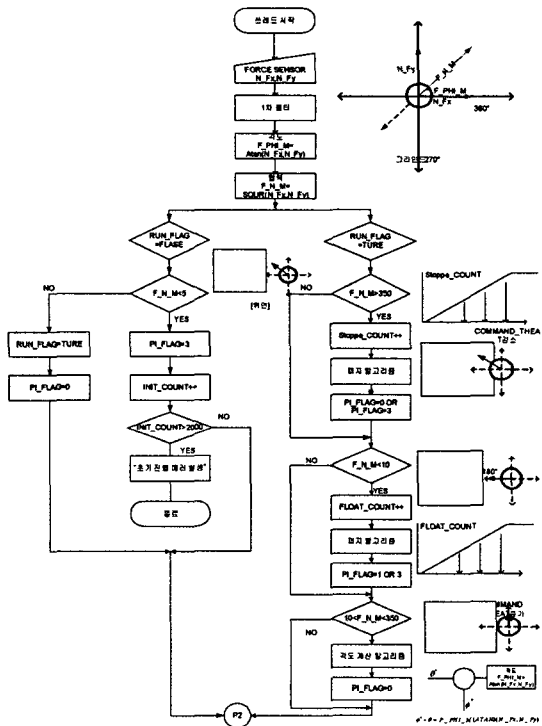


그림 9 전체 제어 블록도

2.5 제어 알고리즘 구현

프로그램 순서도(그림 10)는 크게 3가지로 구분되어 있다. 첫 번째 구간은 소프트웨어 필터로써 힘 센서 신호를 필터를 해주며, 두 번째는 초기 경로 알고리즘과 경로 Searching 알고리즘 구성 되어 있다. 이중 경로 Searching 알고리즘은 퍼지 알고리즘 구현 되어 있다. 마지막으로 초기 진행 일 때는 P제어, 경로 Searching 알고리즘 일 때는 PI 제어 알고리즘으로 구현하였고, 멀티 쓰레드를 이용하여 샘플링 시간을 매 2ms 마다 실행 하도록 하였다.



3. 실험 결과

그림 11은 실험을 위하여 제작한 하드웨어 필터이며, 그림 12는 힘 센서 출력과 하드웨어 필터 후의 결과이다. 그림 13a, 13b는 각각 x 축에서의 소프트웨어 필터링 전과 후의 결과를 나타내고 있다. 그림 14는 제어기를 구동하여 현상과 거칠기를 모르는 피가공 부재를 주행한 결과이다.

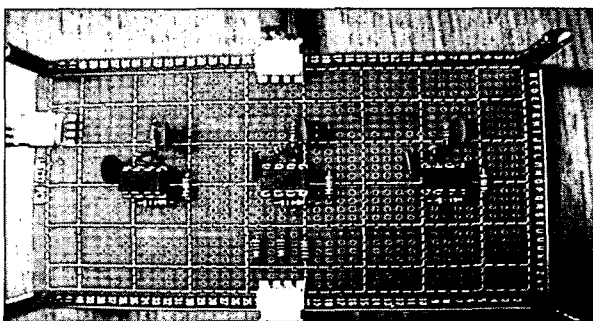


그림 11 제작한 하드웨어 필터

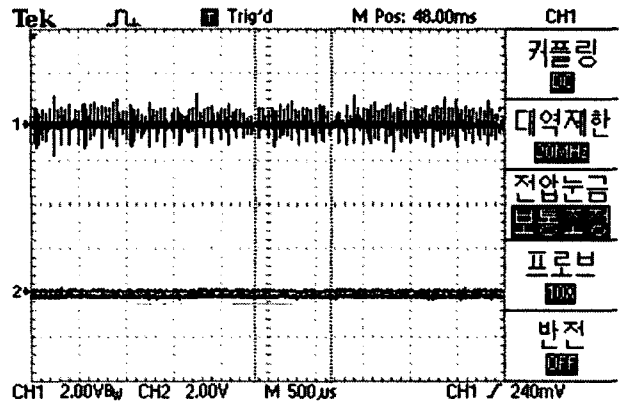


그림 12 하드웨어 필터 CH1: 필터링 전, CH2: 필터링 후

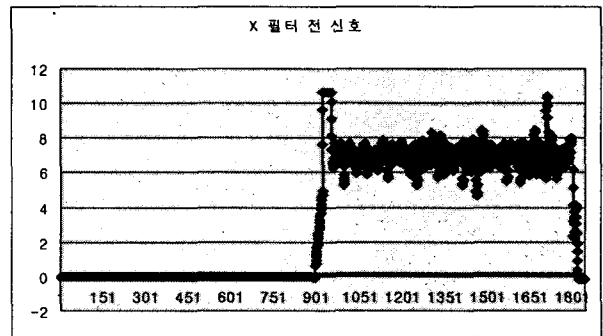


그림 13a 소프트웨어 필터링 전 X축 센서 신호

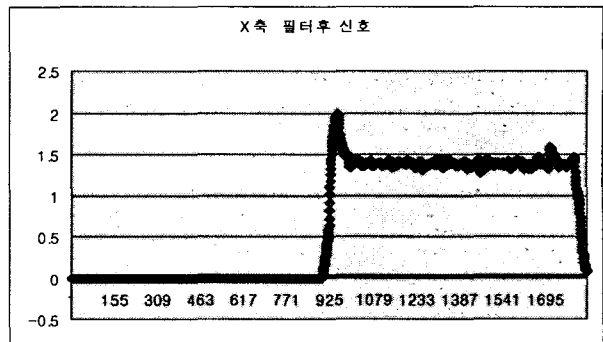


그림 13b 소프트웨어 필터링 후 X축 센서 신호

4. 결론

본 논문에서는 힘 센서를 이용한 자동 경로 Searching 알고리즘과 기본제어 방법을 제안 하였다. 선박에 사용하는 다양한 형태의 철판에 대하여 피가공 부재의 형상을 교시하는 것은 많은 준비 작업을 요한다. 또한 능동 또는 수동의 Compliance는 로봇에 장착하여 사용하기에 부피가 크거나 기타 이유에 의하여 사용이 용이하지 않다. 본 논문에서는 피가공 부재의 형상에 대한 로봇의 교시 없이 맨인이 지팡이 반으로 인도를 주행하는 것과 같이 단순히 힘 센서만으로 부재의 가공 면을 주행하는 로봇 시스템에 대한 연구와 실험 결과를 제시 하였다. 향후 사용자의 편의성과 기계의 견실성이 보완되면 현장에서 사용되어 생산성 향상과 품질의 향상에 기여할 것으로 기대한다.

이 논문은 대우조선해양(주) 로봇연구소의 지원에 의하여 연구되었습니다.

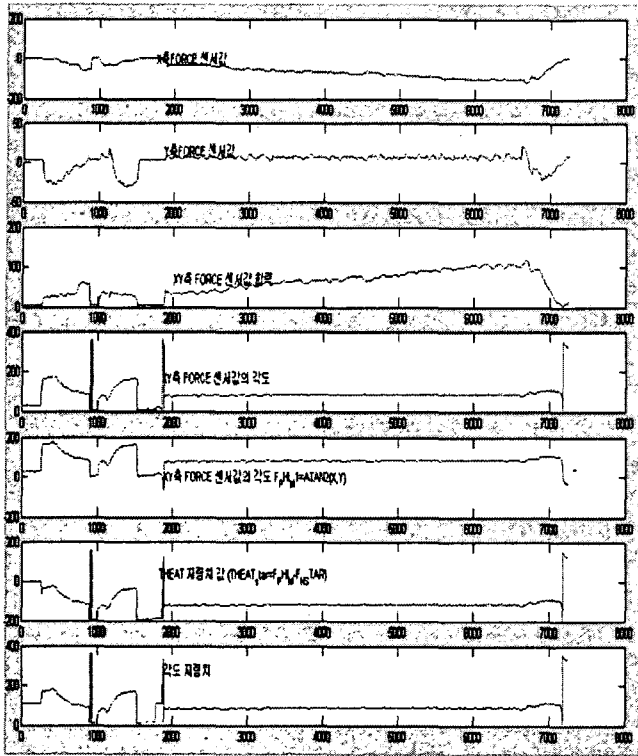


그림 14 직선 및 굴곡 경로 계획 작성

참 고 문 헌

- [1] Hyo-Sik Kang, Woo-he Lee, Jong-oh Park, Gwang-se Lee, Hyoun-oh Shin, "Grinding robot system for carBrazing Bead," Proc. of KACC pp160-163, 1993.
- [2] Byung Oh Choi, Min Ki Lee, " Position and Velocity Control of a Hybrid Robot Manipulator for Propeller Grinding," The Institute of Control Automation and Systems Engineers, Korea, March, pp29-34, 1999.
- [3] Eric Lengyel, "Mathematics for 3D Game Programming and Computer Graphics Second Edition.
- [4] MEI "MPI-XMP Software Reference"