

## Force/Torque Sensor 를 이용한 PUMA Robot 의 지능 제어 PUMA Robot Intelligent Control using Force/Torque Sensor

° 최 성 락, 정 광 조

° Choy Sung Lark, Chung Kwang Jo

한국기계연구원, 자동제어그룹(Email: csl@kimm-sun.kimm.re.kr)  
Korea Institute of Machinery and Materials, Automatic Control Lab.

**Abstracts** In this paper, the method for controlling PUMA robot using F/T sensor is described. In the part of the setup automation, robot is used. The F/T sensor is located at robot end-effector and various experiments are executed such as peg in hole, gripping objects, tool changing, etc.

**Keywords** PUMA, force, torque, sensor, control

### 1. 서 론

현대 산업계에서 공장 자동화(Factory Automation)는 거의 모든 공장에서 이루어지고 있는 실정이다. 공장을 자동화 하는데 있어서, 아직까지 자동화가 이루어지지 않고 있는 분야가 바로 작업준비 자동화이다. 작업준비란 한 물체를 가공함에 있어서, 저장 창고에서 AGV 등을 이용하여 가공 대상물을 NC 선반에 위치시키기 위해서는 pallet 에 가공 대상물을 고정시켜야 하는데 이 부분을 자동화하는 것을 바로 작업준비 자동화라고 한다. 이 분야가 자동화되기 어려운 이유는 가공 대상물이 1-2 개가 아닌 다양한 종류로 산재해 있을 때, pallet 에 고정시켜야 하는 위치가 가공 대상물에 따라 모두 다르고, 또한 pallet 에 고정시키는 힘이 무척 커야 하기 때문이다. 본 논문에서는 이와 같이 자동화하기 힘든 작업준비 자동화 분야에 있어서 F/T sensor 가 장착되어 있는 로봇트를 사용할 때의 문제점과 해결 방안 등을 서술하고자 한다.

### 2. 작업준비 자동화

작업준비 자동화란, 서론에서도 언급했듯이, 한 물체를 가공함에 있어서, 저장 창고에서 AGV 등을 이용하여 가공 대상물을 NC 선반에 위치시키기 위해서는 pallet 에 가공 대상물을 고정시

켜야 하는데 이 부분을 자동화하는 것을 바로 작업준비 자동화라고 한다. 공장 자동화(FA)를 이루기 위해서는 아래 그림과 같은 요소가 필요하다.

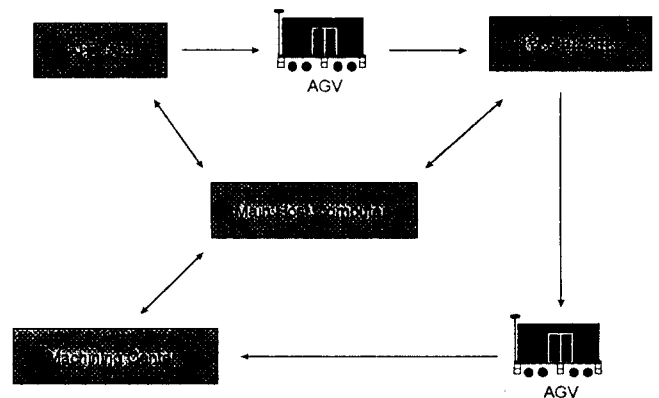


그림 1. 공장 자동화의 요소

Fig. 1. The Key-Issue of Factory Automation

각 cell에서는 그 cell을 관장하는 host computer가 있고 이들을 총괄 관리하는 main host computer가 있다. 각 cell의 host computer끼리는 network로 물려 서로 data를 주고 받으면서 작업을 수행하게 된다. 여러 cell 중에서 작업준비 cell은 자동화가 가장 힘든 분야로, 주로 사람이 전용 공구 등을 사용해서 작업하던 분야이다. 따라서 이곳을 자동화하려면, 사람을 대신할 수 있는 로봇트의 필요가 절대적이다. Robot는 가공 대상물을 집어 (pick) pallet에 놓을 수(place) 있어야 하며, 다양한 tool을 갖춰

가공 대상물을 pallet 에 고정시킬 수 있어야 한다. 가공 대상물은 범용으로 사용할 수 있으려면 가반중량이 20-30kg 정도 되어야 하므로 수평 다관절 로봇이 적당하다. 작업준비 자동화에 필요한 robot 에 대한 자세한 설명은 3 절에서 한다. 또한 가공 대상물의 형태를 알 수 있도록 vision system, 또는 CAD data 가 있어야 한다. Vision system 을 사용하면, 지능적인 제어가 가능하게 되어 좀 더 범용으로 사용할 수 있으나, 처리 속도 및 여러 가지 제한 때문에 CAD data 를 이용하는 편이 유리하다. CAD data 를 이용하려면, 우선 각 가공 대상물에 대한 CAD data 가 있어야 하며, 이에서 NC data 를 추출해 낼 수 있다. 따라서 가공 대상물을 pallet 에 고정시키기 위한 위치 data 는 CAD data 에서 구할 수 있는 것이다.

### 3. 작업준비 자동화의 요소

#### 3.1 로봇

2 절에서 서술한 것 같이, 작업준비 자동화에서 로봇의 역할은 절대적이다. 즉, 가공 대상물을 집어 pallet 에 놓고 고정하는 일을 하는데, 이러한 일을 하려면 로봇은 가반중량이 20-30kg 이상 되어야 하고, tool changer 등을 갖추어야 한다. 이를 만족시키기 위해서는 수평 다관절 로봇이 좋다. 본 논문에서는 자동제어 그룹에서 소유하고 있는 수직 다관절 로봇을 사용하기 위해 가공 대상물의 무게를 1kg 이하로 하였다. 즉, Stäubli 사의 RX-90 을 사용하였는데, 이 로봇은 가반중량이 6kg 이고 작업 범위가 900mm 이다. 로봇 제어기는 V+란 로봇 제어 전용 언어가 있어서 연구용으로 사용하기에는 적합한 형태를 갖추고 있다. V+는 PUMA 로봇의 Val II 언어를 개선한 것으로, 보다 다양한 함수와 I/O 처리를 할 수 있다.

#### 3.2 Pallet

작업준비 자동화에서 로봇 다음으로 중요한 요소가 바로 pallet 이다. 그 이유는 pallet 이 로봇이 작업하기에 맞게 설계되어야 다양한 작업이 가능해 지기 때문이다. 해외에서도 지능적인 pallet 에 대한 연구가 행해지고 있으나[1][2], 실용화 되지는 않은 상태이다. Pallet 이 갖추어야 할 조건은 우선, 로봇이 이용할 수 있는 형태이어야 한다. 즉, 로봇이 가공 대상물을 올려 놓고, 쉽게 고정시킬 수 있는 형태이어야 한다. 기존 pallet

은 가공 대상물을 올려 놓고 사람이 볼트, 너트 등으로 적당히 고정시킬 수 있는 형태를 갖추고 있으나, 로봇이 이를 만족하려면, 정도가 뛰어나서 나사 체결을 할 수 있어야 하고, 또한 나사 체결력도 커야 한다. 하지만 현재 상용으로 나와있는 나사 체결기는 보통 M1-M6 정도의 나사를 체결 할 수 있고, 나사 체결력도 작아 본 연구에 사용하기엔 부족하다. 따라서 본 논문에서는 air-vice 로 이루어진 새로운 pallet 을 제안하였다. 이 pallet 은 보통 pallet 위에 air-vice 가 올려진 형태로, air-vice 는 공압으로 체결되어진다. 본 논문에서 사용한 air-vice 는 체결력이 무척 강하나 이 air-vice 에 가공 대상물을 올려 놓을 때 사이 공간이 작아(0.4mm) 큰 정밀도가 요구된다는 단점이 있다. 이 문제는 force/torque sensor 를 사용하여 해결하기로 했다.

#### 3.3 Tools

로봇의 end-effector 에는 다양한 장비가 장착되는데, 먼저, RCC(Remote Compliance Center)를 부착하고, F/T sensor, master tool changer 가 부착된다. RCC 는 정밀도를 요구하는 assembly 작업등에서 어느 정도 정밀도를 떨어뜨려주는 역할과 end-effector 에 장착된 F/T sensor 등을 충격에서 보호하는 역할을 한다. F/T sensor 는 다음 절에서 설명하기로 한다. Tool changer 는 BL사의 QC-20 model 로, master/slave tool changer 로 두 부분으로 되어있다. Master tool changer 는 end-effector 에 장착되어 tool 의 착탈을 제어한다. 본 논문에서 사용한 tool changer 는 공압으로 착탈을 하게 되어있다. Slave tool changer 는 한 개 이상으로 구성될 수 있는데, 여기에 각종 tool 들이 장착된다. Slave tool changer 는 tool changer rack 에 mount 되어 언제든 master tool changer 와 착탈할 수 있는 구조로 되어있다. 또한 master/slave tool changer 에는 공압 및 전기 신호가 전달될 수 있도록 port 가 마련되어 있어 tool 에 필요하면 이를 전달할 수 있다. 본 논문에서는 gripper 와 air-gun 이 tool 로 사용되므로, 공압 라인이 필요하다. Gripper 는 가공 대상물을 집어 pallet 에 놓는 역할을 하며 binary style 로 구조가 이루어져 있다. Air-gun 은 pallet 에 고정되어 있는 air-vice 에 공압을 제공하여 가공 대상물을 고정시킬 때 사용된다. 이 tool 들이 사용될 때, F/T sensor 가 사용된다.

#### 3.4 Force/Torque Sensor

본 논문에서 사용한 F/T sensor 는 Assurance Technology 사의 것으로, 133N 의 force 와 11.3 Nm 의 torque 를 측정할 수 있다. 전

용 제어기가 있어서, PC를 host로 하여 RS-232C로 연결되어 PC에서 F/T data를 수신한다. PC는 Robot 제어기에서 data 요구 명령이 내려지면, F/T sensor 제어기에서 data를 받아 로봇트 제어기에 보내는 역할을 한다.

#### 4. 실험

본 논문에서 수행한 실험은 가공 대상물을 집어 pallet에 옮겨놓고, air-vise를 고정시키는 작업이다. 시나리오는,

- ① Tool을 gripper로 교환한다.
- ② 가공 대상물이 놓여있는 곳으로 이동하여 가공 대상물을 집는다.
- ③ Pallet에 이동하여 air-vise 위에 가공 대상물을 놓는다.
- ④ Tool을 air-gun으로 교환한다.
- ⑤ Pallet으로 이동하여 air-vise를 고정시킨다.
- ⑥ Host computer에 작업이 끝났음을 알린다.

위의 시나리오 중 맨 끝의 ⑥만이 F/T sensor를 사용하지 않고 나머지는 모두 F/T sensor를 사용한다.

다음 그림은 Host로 사용되는 PC의 program flow-chart이다. RS-232C로 로봇트 제어기에서 명령을 받아 수행하는 형식을 취하고 있으며, COM1, COM2 모두 사용한다.

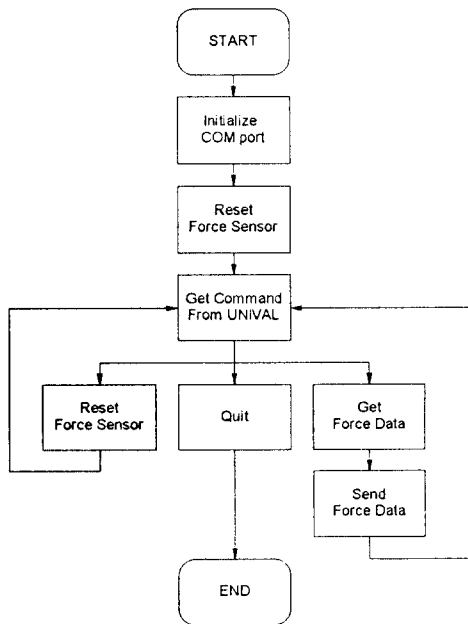


그림 2. Host PC의 Program Flowchart

Fig. 2. Program Flowchart in the Host PC

다음 그림은 tool을 변환할 때, 가공 대상물을 잡을 때, 가공 대상물을 air-vise에 올려 놓을 때의 flowchart이다. 모두 Z축 방향의 힘을 주로 check하며, 기준으로 하는 힘의 양은 모두 다르다. Force를 제어하는 알고리즘은 PID control 알고리즘을 사용하였다.[3]

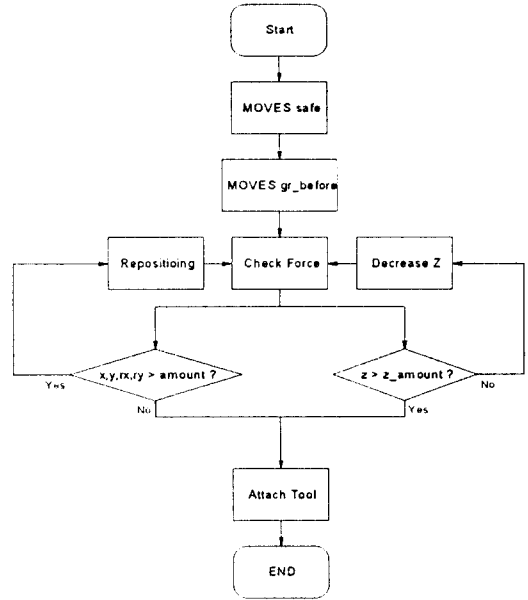


그림 3. Force Control의 Flowchart

Fig. 3. Force Control Flowchart

먼저, tool을 교환할 때를 고려해보면, tool은 보통 tool rack에 놓여있다. 두개의 tool이 각각 나란히 놓여 있는데, 기본적인 tool의 위치는 교시되어 있다. 따라서, 로봇트가 tool을 교환할 때에는 이미 교시되어 있는 위치까지 이동한 후에 force를 check하기 시작한다. Force를 check하면서, end-effector는 힘이 필요 이상으로 느껴질 때를 error로 간주하여 위치를 보정한다. 이러한 단계는 end-effector가 tool의 정확한 위치를 찾아갈 때와 찾은 후 master/slave tool changer가 서로 맞물릴 때로 두 단계로 나뉘어져 작업이 수행된다. 반대로 tool을 rack에 놓을 때에도 비슷한 routine을 사용하나, 기준으로 사용하는 force의 양이 다르다. 다음으로, 가공 대상물을 잡을 때를 고려해 보면, 가공 대상물도 part feeder에 의해서 part feeder 끝부분에 위치하고 있다. 마찬가지로 기본적인 위치는 교시되어 있으며, 교시된 위치로 end-effector가 이동 후, gripping 작업이 시작된다. 이 작업에는 정밀한 제어는 요구되지 않으나, F/T sensor 이외의 다른 sensor가 없어서 gripping 성공 여부는 check되지 않는다. Force는 Z축 방향이 주로 check되며, 기준치 이상의 force가 느껴질 때 gripper

를 ON 한다. 이 후, pallet 에 가공 대상물을 올려놓는 작업도 비슷한 일을 하는데, 이 작업에는 고정도의 작업이 요구되므로, 기준치의 허용값이 작아 위치를 찾는데 많은 시간이 요구된다. 그 외에는 가공 대상물을 잡을 때와 거의 같은 routine 으로 움직이게 된다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 로봇에 F/T sensor 를 장착하여 공장 자동화의 미개발 분야인 작업준비 자동화에 대해서 살펴보았다. 작업준비 분야에서 가장 필요한 것은 로봇이며, 로봇이 작업을 수행하려면 F/T sensor 등 지능 센서가 필수 요소임을 알아보았다. 또한 F/T sensor 를 사용하여 작업준비의 가장 중요한 작업인 pick & place 작업에 대한 실험을 하였다. 그리고, 일반적으로 사용되는 pallet 은 로봇이 작업하기에 부적절하기 때문에 새로운 pallet 을 설계하여 로봇이 직접 가공 대상물을 놓을 수 (place)할 수 있게 하였다. 그러나 본 논문에서 사용된 로봇은 6축 수직 다관절 로봇이기 때문에 가반중량이 6-9kg 에 불과하다. 보통 가공 대상물은 10-30kg 의 중량을 갖기 때문에 이를 만족시키려면 수평 다관절 로봇을 사용해야 한다.

## 참고 문헌

- [1] E.H.Hans-Peter Wiendahl, Zongbin Fu, "Computer-Aided Analysis and Planning of Setup Process", *Annals of the CIRP* Vol.41, 1992
- [2] R.Lim, L.B.Siong, H.N.Choon, "Development and Implementation of an Intelligent Flexible Manufacturing System", *Journal of Mechanical Working Technology*, 1989
- [3] 최성락, "F/T Sensor 를 이용한 PUMA 로봇의 제어", '95 한국 자동제어 학술회의 논문집, 1995
- [4] Stäubli Co., "*V+ Operating System Programmer's Guide*", 1994
- [5] Stäubli Co., "*RX-90 Installation Guide*", 1994
- [6] Assurance Technology, "*F/T Sensor User's Guide*", 1991