

# 하이브리드 병렬기구형 머시닝센터의 설계 Design for Hybrid Parallel Kinematics Mechanism Machining Center

\*#나승표<sup>1</sup>, 김기태<sup>1</sup>, 최재우<sup>1</sup>

\*#S. P. Na(nsp@hwacheon.co.kr)<sup>1</sup>, K. K. Kim<sup>1</sup>, J. W. Choi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>화천기공(주) 기술개발연구소

Key words : Hybrid parallel kinematics, Ball joint, Shaft joint, PKM Machining Center

## 1. 서론

최근 IT 부품 가공을 위한 고유연성 머시닝센터는 초고속, 다기능, 복합화, 고생산성화가 필수적으로 요구되고 있다. 병렬기구 구조(parallel kinematics structure)는 1980년대 초기부터 로봇 작업에 성공적으로 사용되었고, 그 후 14년 후인 1994년에 병렬기구 기계(PKM, parallel kinematics machine)인 병렬기구 공작기계가 처음 선보였다. 이 병렬기구 구조의 동역학은 직렬기구의 가속 잠재력보다 훨씬 크다. 직렬기구의 밀링 기계는 고속 밀링에서 제한된 동적 특성 때문에 한계점을 보이고 있다. 직렬 구조의 주된 단점은 구동 관절의 축적으로 이루어진다는 점이다. 그러므로 아래쪽에 있는 축이 감당해야 하는 질량은 더욱 커지게 된다. 이것이 병렬 구조가 밀링에서 초고속, 다기능, 고생산성 운전을 하기 위해 관심이 가는 주된 이유이다.

초기 병렬기구 머시닝 센터는 스텐드 플랫폼을 기반으로 하는 Hexapod 형태가 주류였으나 지속적으로 개발이 진행되면서 Parallelogram, Tricepts 그리고 Hexaglide 구조 등과 같이 다양한 형태의 병렬기구 공작기계가 출시되고 있다. 이러한 장점들로 인해 미국의 Ingersol, Hexel, Pathfinder, 일본의 Toyoda Kogi, Okuma, 스웨덴의 SMT Tricept, 그리고 독일의 Dekel maho 등 세계 유수의 업체들이 각기 다른 구조의 병렬기구 머시닝 센터를 개발하여 판매하고 있다. 국내에서는 1990년대 중반부터 대학교와 정부출연 연구소를 중심으로 병렬기구 공작기계 개발이 계속 추진되어 왔지만, 사업화에 대한 진행은 거의 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 본 연구의 목표는 IT 부품 가공을 위한 병렬기구 고유연 머시닝 센터를 개발하고 사업화를 이루는데 있다.

## 2. 병렬기구 구조의 정의

병렬기구는 말단장치(End-effector)가 최소 2개 이상의 독립 기구학적 연쇄에 의해 기저판(Base)에 연결되는 폐기구학적 연쇄(Close-loop chain)를 이루며, 이러한 병렬기구는 2가지로 분류하고 있다.

- 완전 병렬기구(Fully parallel mechanism):  $n$  자유도를 갖는 말단 장치와 기저판 사이에  $n$ 개의 독립적인 기구학 링크가 존재하는 것으로 각 링크는 하나의 작동 가능한 조인트 연결부를 가진다. (Fig. 1(a)).
- 복합 병렬기구(Hybrid parallel mechanism):  $n$  자유도를 갖는 말단 장치와 기저판 사이에  $m(m < n)$ 개의 독립적인 기구학 링크가 존재하는 것으로 각 링크는 하나 또는 그 이상의 작동 가능한 조인트 연결부를 가진다. (Fig. 1(b)).

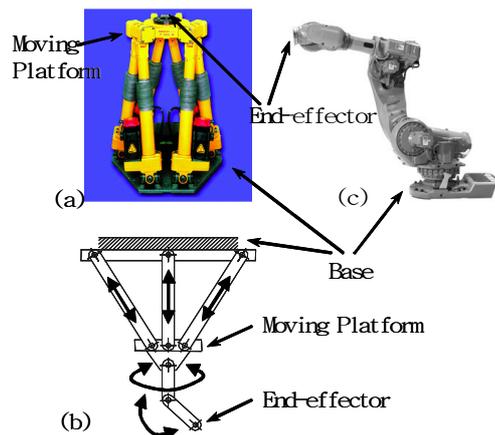


Fig. 1. Examples of (a) fully parallel, (b) hybrid parallel and (c) serial mechanisms.

Fig. 1 (c)는 병렬 매니플레이터와 대조를 이루는 직렬 매니플레이터로 구동관절들을 단순히 쌓아 올린 형태이다.

### 3. 설계 목표와 제작

병렬기구 구조의 연결부위는 다양한 자유도를 갖는 관절(Joint)을 필요로 하게 되며, 병렬기구의 연결 링크 수는 디자인, 특히에 따라 달라지며, 3개에서 8개까지 구성되지만, 가장 큰 설계 지표는 유연성과 강성의 확보가 관건이므로, 병렬기구 고유연 머시닝센터 개발은 하이브리드 병렬기구(Hybrid Parallel Mechanism)를 기본모델로 선택하였다. IT부품을 가공하기 위한 적정 개발목표는 주축 최고 회전수 20,000 rpm, 최대 이송속도 80 m/min, 직선 Strut의 Stroke 700 mm, 가속도 1.2 G 이상의 성능특성이 적절할 것으로 보였다.

그러나 대부분의 병렬기구에서 많이 채용하고 있는 볼 조인트<Fig. 2>(a)는 구조가 복잡하면서 가격이 매우 높은 단점을 가지고 있고, 일정 사용 시간이 지나고 Ball joint 내부의 마모가 진행되면 강성이 급격히 낮아지고, 백래쉬가 커지게 된다. 이것은 가공을 할 때 절삭력에 의한 뒤틀림 발생, 가공부하 발열에 의한 열변형, 센터튜브(Tricept형의 경우)의 휨 등에 의한 위치오차가 발생하게 되고 이로 인해 정밀도 저하, 가공 진동 등의 발생 원인이 되는 것으로 보고 있다.

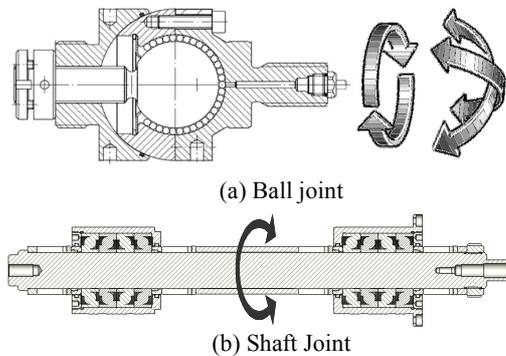
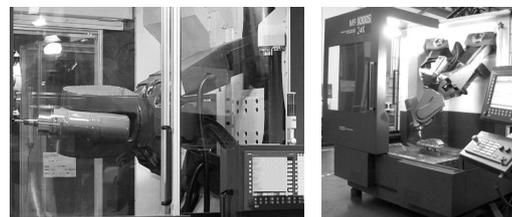


Fig. 2. Joints for kinematics chains.

본 과제에의 가장 큰 특징은 이런 단점을 보완하기 위해 볼 조인트가 아닌 샤프트 축의 개념을 활용한 샤프트조인트<Fig. 2>(b)의 개념을 적용하여 병렬기구 머시닝센터를 제작한 것이다. <Fig. 3>(a). 샤프트 조인트는 강성이나 내마모성이 볼조인트에 비해 뛰어나며, 특히 마모나 손상에 따른 유지보수 비용도 저렴하게 할 수 있다.

본 연구개발에서는 샤프트 조인트를 사용하여 1차년도 초기설계 모델을 개발하였고 <Fig3>(a), 강

성이나 자유도 특성을 유지하면서 공간상을 움직이는 Moving platform의 이동특성을 보다 좋게 하기 위해 보다 경량화 한 2차년도 개선설계 모델을 제작하였다 <Fig. 3>(b). 위탁연구기관을 통해서 병렬메커니즘 설계 모델에 대한 구조특성 및 열특성 해석을 기초로 개선설계 아이디어와 솔루션을 도출하였고, 병렬메커니즘에 대한 기하학적 오차 보정 및 거동 시뮬레이션을 구현하고, 기구학적 이론을 정립함으로써 병렬기구 고유연 머시닝센터 개발의 완성도를 높였다.



(a) First design model (b) Improvement design model

Fig. 3. (a) Exhibition at SIMTOS2010 (Seoul) (b) Exhibition at IMTS2010 (Chicago)

### 4. 결론

본 연구에서는 볼 조인트가 아닌 샤프트 조인트를 사용하여 병렬기구 고유연 머시닝 센터를 1차년도에는 초기설계 모델을, 2차 년도에는 초기설계 모델의 하중에 따른 이동특성과 열특성을 향상시킨 개선설계 모델을 각각 제작하였다. 향후에는 DBB 등을 이용하여 병렬기구의 기하학적 오차의 최소화, 최적화를 위한 측정기법 및 교정법에 대해 연구할 계획이다.

### 후기

본 연구는 지식경제부의 전략기술개발사업인 “병렬기구 고유연 머시닝센터 개발” 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (10031942)

### 참고문헌

1. Myriam Terrier, Arnaud Dugas, Jean-Yves Hascoet, "Qualification of parallel kinematics machines in high-speed milling on free formsurfaces", International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004) 865-77, November 2003.