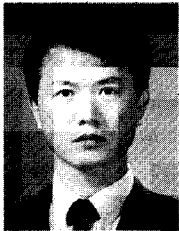


## 병렬기구의 연구 개발 현황



최 병 오

(KIMM 산업기술연구부)

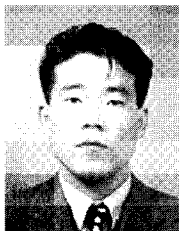
- '71 - '78 한양대학교 기계공학과(학사)
- '78 - '80 한국중공업 발전사업부 사원
- '80 - '83 한국에너지기술연구소 연구원
- '83 - '85 South Dakota 주립대 기계공학(석사)
- '85 - '91 Univ. of Missouri-Rolla 기계공학(박사)
- '92 - 현재 한국기계연구원 책임연구원



김 광 영

(KIMM 산업기술연구부)

- '74 - '78 동아대학교 기계공학과(학사)
- '80 - '81 제일정밀공업(주) 기술부사원
- '86 - '87 동아대학교 기계공학(석사)
- '88 - '92 동아대학교 기계공학(박사)
- '81 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



박 장 완

(KIMM 산업기술연구부)

- '93 - '97 부경대학교 기계설계공학과(학사)
- '98 - '99 부경대학교 기계공학(석사)
- '99 - 현재 한국기계연구원 인턴연구원

### 1. 서 론

오늘날 산업현장은 생산력의 증가와 제품의 품질 향상을 위하여 로봇을 이용한 공작기계의 활용이 날로 다양화 되고 있으며, 특히 최근 들어 병렬기구를 이용한 공작기계의 활용이 시도되고 있다. 이러한 병렬기구는 End-effector가 두 개 이상의 독립적인 Kinematic Chain에 의해 Base로 연결된 Closed Loop Mechanism의 구조로 Serial Mechanism에 비하여 높은 강성과 뛰어난 가속능력을 가지고 있으며 1965년 미국의 D. Stewart가 그림 1과 같은 병렬 기구를 제안하였다.

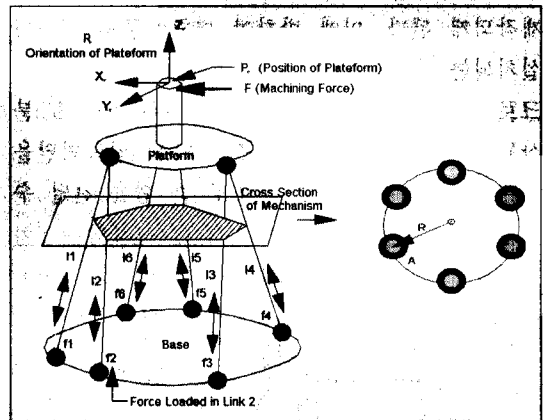


그림 1. Stewart Platform

스튜어트 플랫폼 방식은 1940년대 말 Gough가 타이어 테스트용 메카니즘으로써 처음 도입하였으며, 스튜어트가 항공기의 운동시물레이터의 메카니즘으로 제안하였다.<sup>[1]</sup> 이 때에 스튜어트는 이미 이 기구를 공작기계로서의 가능성을 지적하였으나 그 당시에는 다축 구동장치의 운동제

어를 위해서는 제어장치에 너무 많은 비용이 필요했고 대량생산체제를 위한 기계로서는 상당히 고가였기에 실현이 불가능하여 비행기의 운동 시뮬레이터 및 놀이공원의 운동 시뮬레이터로 주로 사용되어 왔다. 그러나 현재 컴퓨터 기술의 급속한 발전은 계산시간의 단축과 컴퓨터가격의 하락으로 이어져 다시 병렬기구에 대한 경제성을 따져 보게 되었고 구조 자체를 바꾼 새로운 개념으로서 공작기계에 병렬기구를 적용한 연구와 시제품등이 속속 선보이고 있다.

## 2. 특 징

### 2.1 고강성

기존의 공작기계는 그림 2와 같이 직렬구조로 이와 같은 구조는 외팔보 형태로 외력이 작용하면 각 부위는 인장압축력 뿐만 아니라 굽힘력의 하중이 걸리게 되어 변형하게 된다. 따라서 각 부위는 강성을 높이기 위해 매우 육중한 구조로 제작되게 된다. 이에 반하여 병렬기구는 공구가 설치되는 운동부와 기계 베이스가 복수개의 링크로 연결됨으로써 외력이 복수개의 링크로 분산될 뿐만 아니라 각 링크는 인장 압축력만을 받게 되어 가벼운 링크 구조로 큰 힘을 전달 수

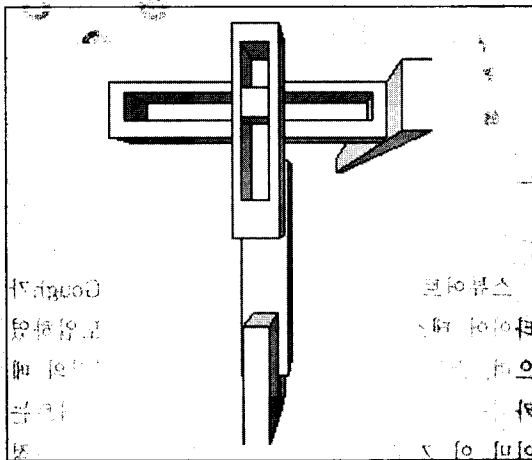


그림 2. Serial Mechanism

있는 구조적 장점을 지니고 있다.<sup>[2, 3]</sup>

### 2.2 고속이송

직렬기구의 각 부위는 강성을 고려하여 매우 육중할 뿐만 아니라 하위 이송부가 상위 이송부를 움직이는 구조로 되어 있으므로, 베이스에 가까운 이송부일수록 상위 이송부 질량을 감당하기 위하여 더욱 크게 제작되어야 하고 베드나 칼럼 등이 좋은 예이다. 특히 대형기계에서는 이 현상은 더욱 심각하며 이송시 높은 운동에너지를 필요로 하여 고속이송시 충격으로 기계전체가 흔들리는 경우가 빈번하다. 그러나, 병렬기구는 복수의 링크로 플랫폼이나 로봇그리퍼의 질량을 부담하므로 이송부의 질량을 줄여 작은 출력의 모터로서도 큰 속도 및 가속도를 얻을 수 있어 최근의 고속가공 추세에 적합한 구조이다.<sup>[2, 3]</sup>

### 2.3 고정밀도

병렬기구는 직렬기구와 달리 각 관절부의 오차에 따른 위치오차에 유리한 기구 구조를 갖는다. 즉 직렬기구의 경우 각 관절의 제작 오차나 각 관절에서의 센서 및 변위의 오차가 이송부 말단에서는 누적되어 나타나지만 병렬기구의 경우는 다수의 링크들이 폐회로를 구성하고 있으므로, 관절 끝단의 오차값이 각 관절이나 이송부의 오차들의 평균화된 개념으로 반영되기에 정밀도가 뛰어나다.<sup>[2, 3]</sup>

### 2.4 경제성

병렬기구의 각 링크부는 모두 동일한 모듈화 구조로 되어 있어 대량 생산시 기계의 가격을 크게 낮출 수 있다. 이는 각 링크에 동일한 기계 구조 및 서보시스템을 사용함으로써 가능한 것이다. 그러나 현재까지의 경우 외국에서 개발된 모든 병렬기구들이 Prototype(시제품)의 성격이

강하여 제작사 별로 한 두 대의 제작에 그치고 있는 상황이므로, 모든 요소부품들을 자체 제작하거나 소량 외주처리 하게 되어 제작비 절감 측면에선 큰 효과를 보지는 못하고 있다. 그러나, 이러한 병렬기구를 이용한 기계가 제조업 분야에서 한 영역을 차지하게 되고 생산량이 증가한다면 직선링크와 조인트 등의 각 요소 부품들을 표준화하고 대량생산하여 제작사별로 공유하는 형태를 취한다면 전체 기계제작 가격을 크게 낮출 수 있을 것이다. 이에 독일의 INA에서는 Hexapod형 병렬기구 동작기계를 위한 볼조인트 및 유니버설 조인트와 링크를 제품화하여 1998년도 미국 시카고에서 열린 국제 동작기계전시회인 IMTS '98에 선보인바 있다.

이러한 장점들에 반하여 병렬기구는 다음과 같은 단점을 가지고 있다. 우선 병렬기구는 같은 크기의 직렬기구에 비하여 상대적으로 작은 작업공간을 가지고 있다. 이는 각 링크부 및 주축부의 상호 간섭으로 인한 문제와 운동부와 연결되는 관절들의 작동 한계 때문이다. 또한 병렬기구는 기구학 및 동역학적 해석이 매우 복잡하다. 링크의 변위로부터 3차원 공간상에서 공구의 위치와 자세를 계산하는 과정이 순방향 기구학(Forward Kinematics)이라 하며, 공간상에서 원하는 공구의 위치와 자세를 얻기 위하여 취해야

할 링크의 변위를 구하는 문제는 역방향 기구학(Inverse Kinematics)이라 하는데 직렬기구의 경우 각 축의 이송으로부터 공구의 공간상의 위치를 계산하기 위한 과정이 매우 간략하고, 대부분의 경우 각 구동부의 이송량이 공구의 이송량과 일대일의 직접적인 관계로 표현된다. 그러나 병렬기구의 경우 다수의 링크 길이의 변화량과 공구의 공간상의 이송은 복잡한 수학적식으로 표현되며 그과정이 매우 복잡하다.

병렬구조와 직렬구조의 특징을 비교하면 표 1과 같다.

### 3. 외국의 개발현황

#### 3.1 미국

##### 3.1.1 Hexapod

그림 3은 Ingersoll사와 NIST와의 공동연구를 통하여 개발된 기계이다. 이것은 그림 1의 스톱어트 플랫폼을 기계 구조로 채택한 동작기계로써 병렬기구 동작기계를 대표한다고 할 수 있다. 이 기계의 주축은 공간상에서 6자유도 운동을 할 수 있으며 1000×1000×1000(mm)의 작업영역과 30°까지의 경사 운동이 가능하며 상하의 신축, 경사, 선회, 비틀림의 4가지 기본동작이 가능하

표 1. 병렬구조와 직렬구조의 특징 비교

비교항목	Parallel Mechanism	Serial Mechanism
Work space	small	large
Forward kinematics	difficult	easy
Inverse kinematics	easy	difficult
Forward statics	easy	difficult
Inverse statics	difficult	easy
Position error	mean	accumulative
Force error	accumulative	mean
Max. Force	E (actuator force)	max. actuator force
Inertia	small	large
Dynamics	very complex, large	complex, small
Stiffness	high	low

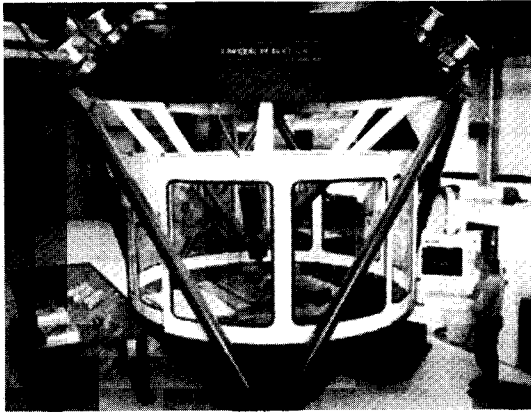


그림 3. Hexapod

다. 그리고 Link와 고정부의 연결은 회전운동시 중심편차를 제거하기 위하여 구면 베어링을 사용하였다. 이 구조에서는 이동판의 경량을 유지하며 기계 전체의 강성을 높이고자 8면체 Frame의 트러스구조로 만들었고, 8면체 Frame속에는 일정한 온도의 물을 순환시켜 냉각을 시켰다.<sup>[4, 5]</sup>

### 3.1.2 VARIX

Giddings & Lewis사에서 개발한 그림 4는 그림 3의 Hexapod를 뒤집어 놓은 구조로서 700×

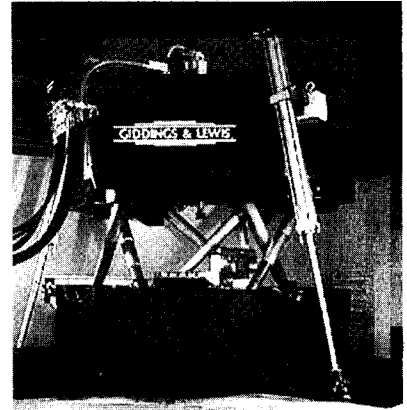


그림 4. VARIX

700×750(mm)의 작업공간을 가지고 있으며 Link의 길이를 변화시키는데는 Ball Screw를 사용하고 구동동력은 서보모터를 사용하였다. 일반 공작기계의 5배정도에 해당하는 175N/μm의 강성을 보유하고 최대 가공속도는 66m/min, 최대 가속도 1G로서 일반 공작기계에서는 Linear Motor를 사용해야만 얻을 수 있는 속도이지만 이 기계에서는 일반 서보모터를 이용해서 고속이송이 가능하며 10μm의 가공정도를 갖고 있다.<sup>[6]</sup>

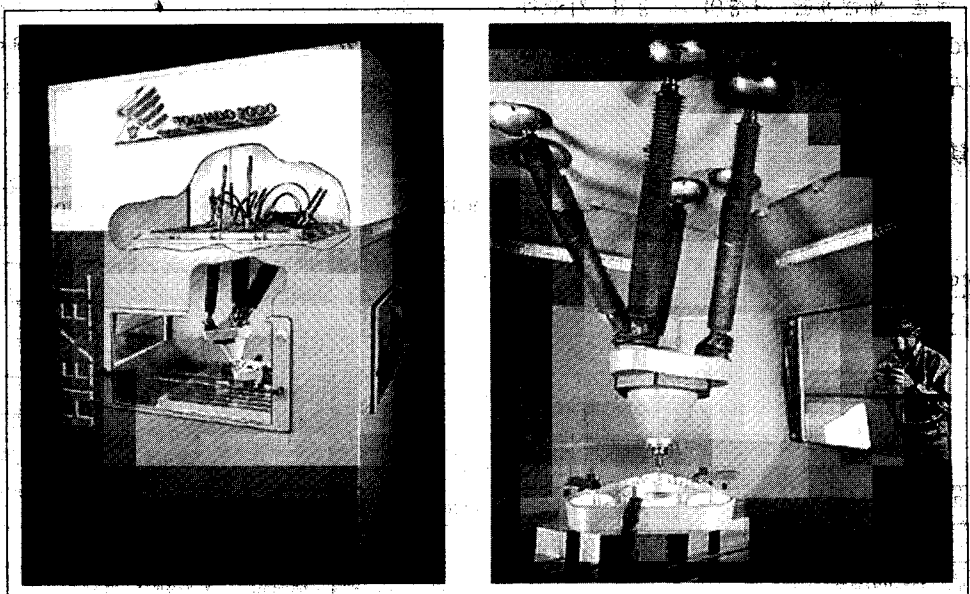


그림 5. Tornado 2000

### 3.1.3 Tornado 2000

그림 5는 Hexel사에서 스튜어트 플랫폼형 밀링 기계로 개발한 것으로 높이 3.8m, 중량 8ton으로서 400×400×400(mm)의 작업공간을 가지며 25 $\mu$ m의 위치이송정밀도, 그리고 최대 급속이송은 5 mm/min의 성능을 갖는다. 또한 다양한 속도 제어가 가능하며 최대 36개의 cutter를 교환하며 작업을 수행할 수 있고 feed rate는 300mm/sec이다.

### 3.1.4 Hexapod Testbed

미국의 국립 연구소인 Sandia Lab에서 Hexapod Testbed를 이용하여 관련 연구를 진행 중에 있다.

## 3.2 일본

세계 최대의 공작기계 및 로봇 생산국인 일본은 미국보다 조금 늦은 1995년 일본공작기계 제작회사인 히다찌세이끼(HITACHI SEIKI)는 식품, 의약품 화장품 제작 반송용도인 DELTA C1000 고속 로봇을 개발하였으며 일본공작기계 전시회(JIMTOF '96)에서 두 가지의 새로운 타입의 병렬기구를 선보였다. 미국이 스튜어트 플랫폼형태의 병렬기구 공작기계를 주로 개발하고 있는데 반하여, 후발 주자인 일본은 그의 변형 내지 다른 형태의 병렬기구를 개발하고 있다.

### 3.2.1 HexaM

TOYODA KOKI사가 선보인 그림 6의 HexaM은 스튜어트 플랫폼처럼 베이스와 스펀들 사이의 링크의 길이를 변화시키지 않고, 고정된 링크가 강성을 증가시키기 위해 경사면을 따라 이동하게 하는 구조로 이루어져 있다. 또한 HEXAM은 테이블에 1축 직선운동을 추가하여 이송량(X : 400, Y : 400, Z : 350 mm)을 크게 하였고 주축의 경사각은 30°, 이송속도는 100m/min, 가속도 1G, 반복정밀도를  $\pm 0.004$ mm

로 기존 공작기계 성능에 어느정도 근접한 병렬기구 공작기계라 할 수 있다.<sup>[7]</sup>

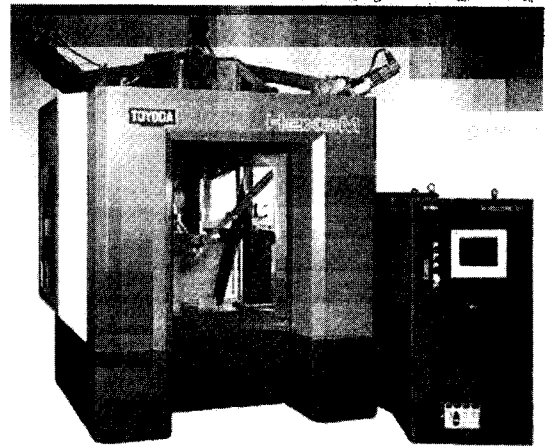


그림 6. HexaM

### 3.2.2 PXA

HITACHI SEIKI사는 기존의 스튜어트 플랫폼과 완전히 다른 구조의 3자유도의 병렬기구인 Delta를 이용한 드릴링 머신 PXA를 개발하였는데, 이 기계의 기초가 된 Delta<sup>[8]</sup>는 프랑스에서 고속의 조립공정에의 이용을 위해 개발된 3자유도 직각 좌표 운동 병렬기구로서 관성 질량이 감소함으로써 시스템의 속도를 증가시키기 위해 DD(Direct Drive)모터를 사용하였고 PXA는 스펀들을 제어함과 동시에 시스템의 강성을 증가시키기 위해 DD모터 대신에 추가적인 링크를 사용하였다. 또한 이 기계는 최대 이송속도 100m/min, 최대 가속도 1G, 반복 위치 정밀도 3 $\mu$ m의 성능을 보유하고 있는 것으로 알려졌다.<sup>[9]</sup>

## 3.3 독일

### 3.3.1 Hexact

그림 7은 INA사와 Siemens사가 Stuttgart대학교 공동으로 개발한 것으로 주축의 양 끝단을 각각 3개의 링크가 지지하게 함으로써 기계의 강성을 높이는 구조로 되어있다. 특히 INA사는 최근들어 병렬기구 전용 볼관절 및 링크를 판매

하기 시작하였다. 이는 기존의 병렬기구 제작업체에서 전용화하여 설계 및 제작하였던 요소 부품이 별도로 상품화 됨으로써, 병렬기구 동작기계의 시장 가능성을 간접적으로 예측할 수 있다는 점에서 의미가 있다고 할 수 있다.

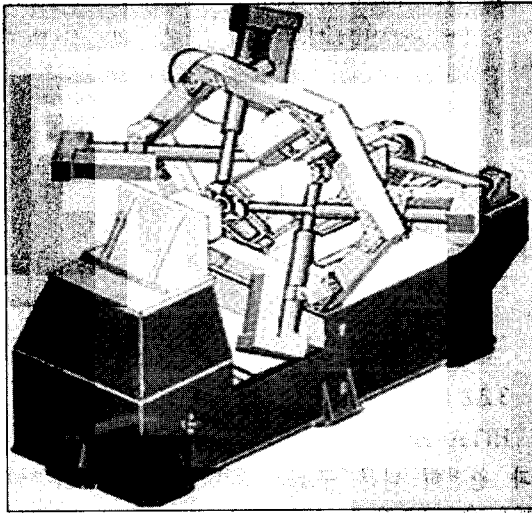


그림 7. Hexact

### 3.3.2 Dynamil

Achen대학은 Ingersoll사의 Hexapod를 이용하여 연구를 수행하고 있으며, 자체적으로 3자유도 병렬기구 동작기계인 Dynamil을 개발 중에 있다.

## 3.4 영국

### 3.4.1 GPM1000-04X

병렬기구 동작기계를 세계 최초로 개발한 소규모 벤처 회사인 Geodetics사의 스투어트 플랫폼 형태의 병렬기구 동작기계로서, 최대 이송속도 30m/min, 최대 가속도 6G의 성능을 보유하고 있다. Geodetics사는 기계의 볼관절 내부에 서보모터를 내장하는 방식을 사용하였고 Cambridge 대학에서 개발한 CNC부의 보간 알고리즘을 사용하였다.<sup>[10, 11]</sup>

## 3.5 스위스

### 3.5.1 Hexaglide

그림 8은 스위스의 연구소 ETHZ가 HexaM과 유사한 구조로 개발중인 병렬기구 동작기계로 여타 Hexapod와 다른점은 조인트 부분이 병렬 guideway에 설치 되어 가로 방향으로 긴 형태의 동작물을 가공하기에 적합하며 각 링크는 상판부의 리니어모터에 의해 고속이송이 가능하다. 또한 조인트 부분을 제외하고는 규격화된 부품을 사용하기에 제작이 용이하고 제작비용이 적게 든다고 알려져 있다.<sup>[12]</sup>

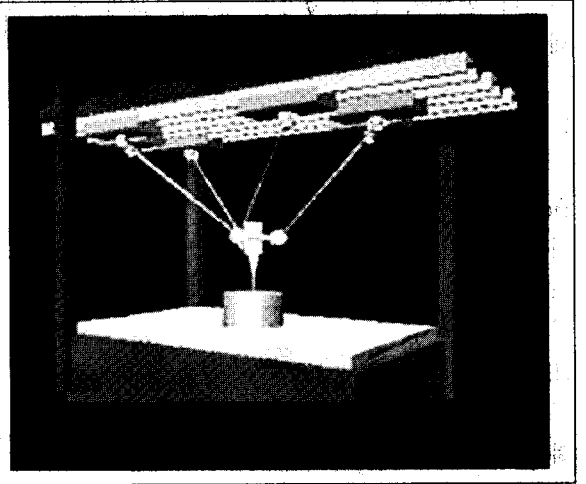
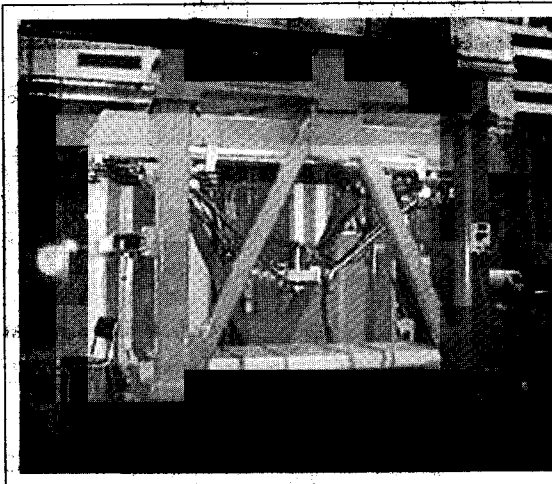


그림 8. Hexaglide

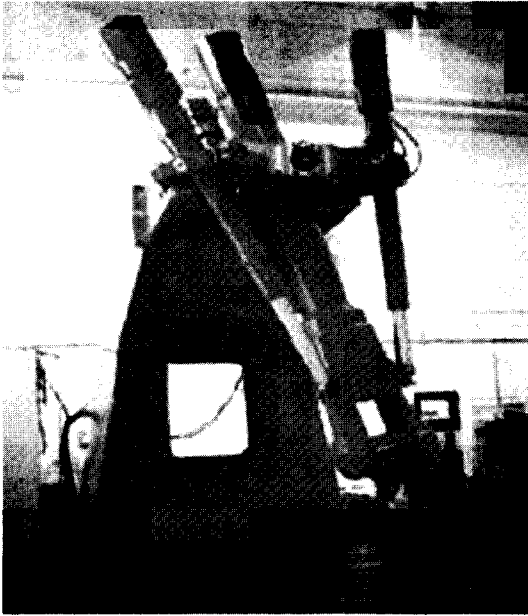


그림 9. TM805

### 3.6 스웨덴

#### 3.6.1 TM805

그림 9는 Neorobotics사가 98년 IMTS에서 선보인 Tricept 모델로 이 후에는 이 기계의 베이스 부분을 원형으로 제작한 TR600이라는 모델을 선보였다.

을 선보였다.

이외에도 일본의 OKUMA는 기존의 Hexapod와 동일한 형태의 병렬기구를 자체 CNC제어기에 탑재하여 선보였으며, 독일의 Micromat사, 프랑스의 CMW, 프랑스의 SoftMovent, 독일의 Stuttgart공대와 Siemens와 GE Fanuc 등이 병렬기구를 이용한 공작기계를 선보였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 1994년 미국에서 최초로 개발된 이래로 병렬기구를 이용한 공작기계는 미국, 일본, 유럽 선진국들에 의해 활발히 연구되고 있으며, 그 종류도 스튜어트 플랫폼에서 벗어나 여러 가지 새로운 형태가 개발되고 있는 실정이다. 특히 이 분야의 연구는 대학 및 연구소와 회사간에 유기적으로 활발한 공동연구를 통하여 진행되고 있다. 병렬기구를 기구 구조별로 분류하면 표 2와 같다.<sup>[13]</sup>

### 4. 국내의 개발현황

선진국의 병렬기구 관련 연구가 주로 국립연구소 및 업체 중심으로 이루어 지고 있는데 반하여, 국내의 관련 연구는 대학과 정부출연연구소 중심으로 추진되고 있다.

표 2. 병렬기구의 기구 구조별 분류

개발업체	장비명	기구구조	특징
Ingersoll	- Octahedral Hexapod - HOH-600 - VOH-600	Hexapod/ Stewart Platform	- 메인프레임에 Upper 플랫폼을 고정시키고 링크의 길이 변화에 의해 작업 플랫폼을 제어
Geodetic	- G1000		
Hexel	- Tornado2000		
Toyada	- Hexa M		
Mikromat	- Hexapod		
Pathfinder	- HexaVantage		
Gidding & Lewis	- Variâx Hexacenter		- Lower 플랫폼을 베이스에 고정시키고 링크의 길이 변화에 의해 작업 플랫폼을 제어
ETHZ/IWF	-Hexaglide	Slide 구조	- 작업 플랫폼에 연결된 강체 링크의 반대편을 Guideway에 고정시키고 Guideway의 위치변화에 의해 작업 플랫폼 제어

4.1 한국기계연구원

1994년부터 선박용 프로펠러의 Blade연삭 작업을 위해 직렬과 병렬구조를 조합한 복합 구조용 연삭기를 개발하였다. 그리고 현재에는 Hexapod와 유사한 형태의 병렬형 연삭기의 개발 연구를 진행중에 있다. 복합구조용 연삭기는 병렬구조에 직렬구조를 결합하여 서로 취약점을 보완하는 구조로 이루어져 있는데, 강성을 유지하기 위하여 상단은 3개의 리니어 액추에이터와 1개의 고정중양축으로 이루어진 병렬로 이루어져 있으며, Platform에서 연삭기까지의 하부구조는 직렬로 연결되어 있다. 따라서 프로펠러 연삭

기의 전체적인 기계구조는 직렬 병렬 복합형 구조이다. 작업공간은 2500×2500×600(mm)이며 연삭기의 Yaw와 Roll운동은 360°, Pitch운동은 270°회전이 가능하고 최대 가반중량은 300kg, 그리고 위치 반복 정밀도는 ±50μm, 최대 이송속도 10m/min이다. 또한 현재 개발중인 6축 복합형상 가공기의 작업공간은 X : 400, Y : 400, Z : 350mm이며 위치정밀도는 ±0.008mm이다.<sup>[2, 3]</sup>

4.2 서울대학교

1997년부터 세나테크놀리지와 함께 Eclipse라는 병렬형 쾌속 가공용 다목적 머시닝센터를

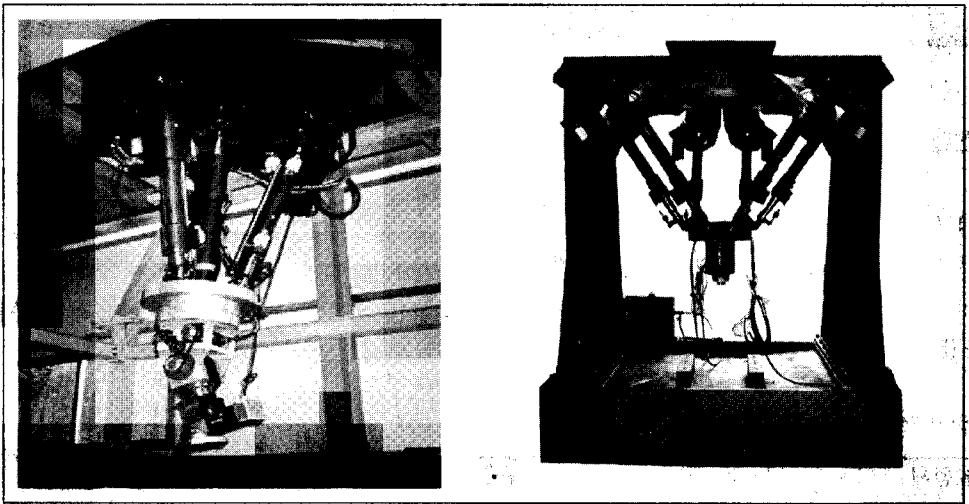


그림 10. Propeller Blade Grinding Machine and 6 Axis Complex Shape Machine

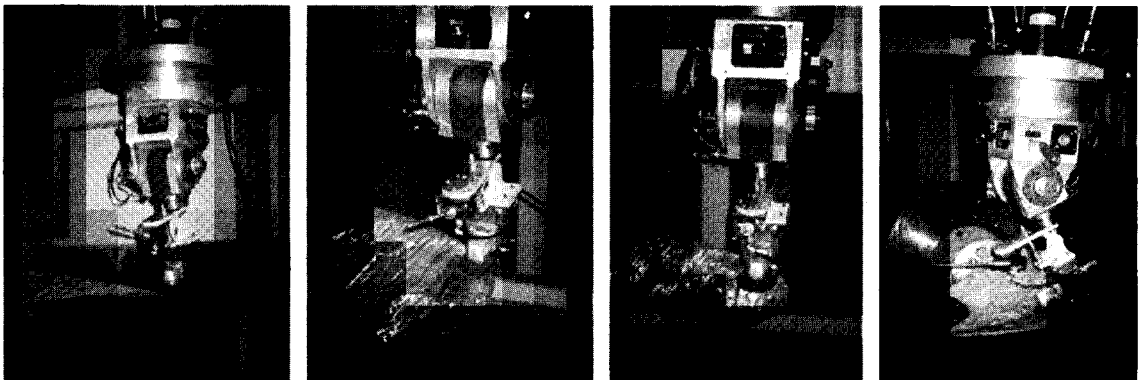


그림 11. Application to Grinding of Robot



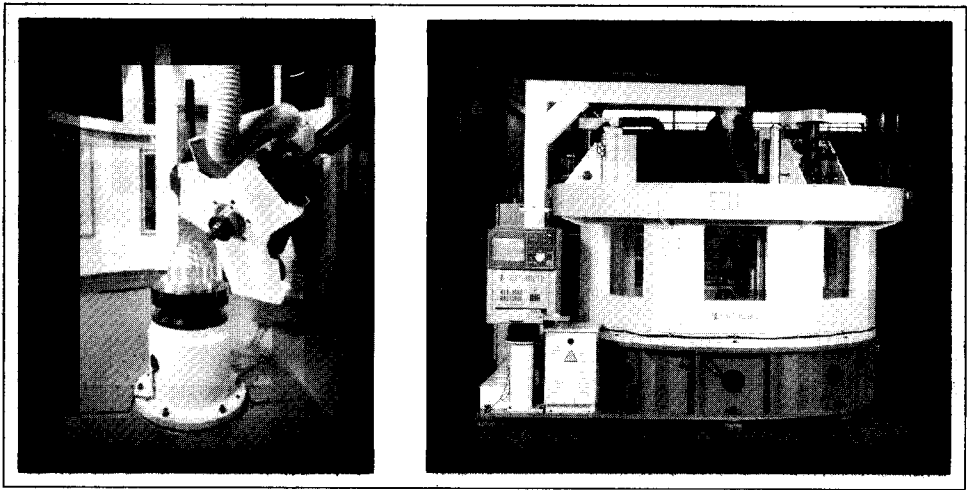


그림 12. Eclipse of SNU

연구 개발하여 1999년 프랑스 파리에서 개최된 유럽공작기계전시회(EMO '99)에 출품하였다. 기존의 병렬기구 공작기계의 주축이 최대 30°까지의 경사가 가능한데 비하여 이클립스는 주축은 90°까지 가능하며, 소재 주위를 360°선회할 수 있도록 되어 있어 한번의 공작물 세팅으로 소재의 5면을 모두 가공함으로써 작업시간을 줄일 수 있으나 정도나 강성면에서 좀더 보완하여야 상품화가 가능하리라 사료된다.

### 3.3 KAIST

1996년부터 연구에 착수, 3년만에 원거리에서 원격으로 수술이 가능한 미세 수술용 원격수술 로봇시스템을 개발했다. 이 기계에서 슬레이브 부분에 병렬기구를 부착하여 수술시 필요한 정밀도를 높이고 다양한 동작의 구현을 가능케 하였다.

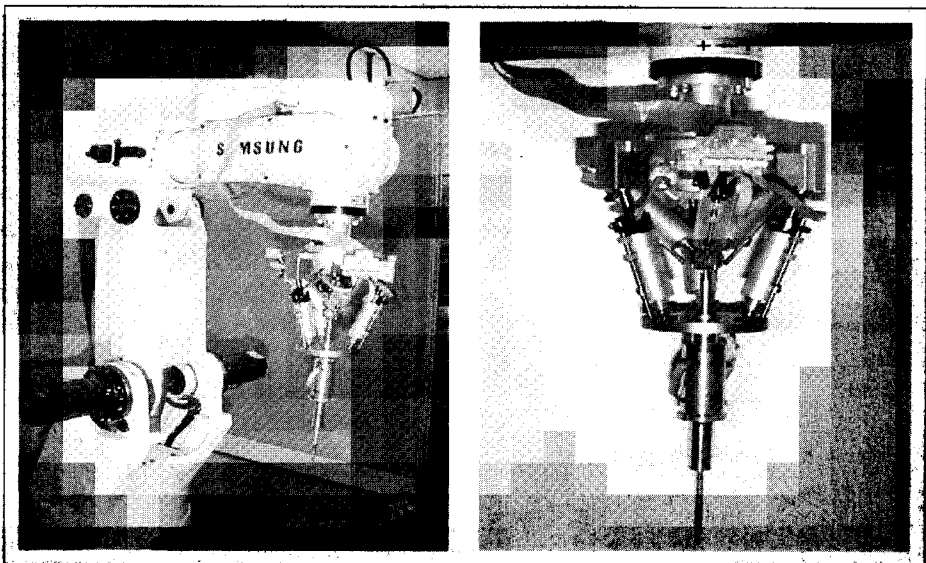


그림 13. TeleRobotic System for Micro-Surgery

3.4 연세대학교

1996년부터 한국과학재단의 특정 과제로서 차세대 6축 공작기계를 연구해 오고 있는데 이 기계의 형태는 Ingersoll사의 Hexapod와 비슷하다. 작업공간은 직경 200mm, 높이 200mm로서 원통형 작업공간을 가지고 있다. 최대 이송속도 6m/min, 주축대의 최대 경사각은  $\pm 20^\circ$

위치 반복 정밀도는  $\pm 50\mu\text{m}$ 가 되며, 병렬기구의 수학적 모델링과 제어 알고리즘의 고속화에 주된 초점을 맞추고 있다.

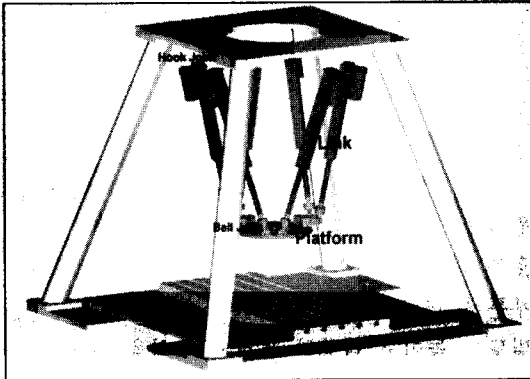


그림 14. Hexa Type Parallel Machine of Yonsei University

3.5 창원 대학교 및 광주과학 기술원

창원 대학교에서는 2단 병렬기구를 개발하여 로봇을 이용한 디버링 및 연삭작업 등에 활용화하는 활발한 연구가 진행중에 있으며 광주과학원에서도 HexaM과 유사한 병렬 기구 공작기계를 제작하였다.

4. 결 언

병렬기구는 최근의 기계관련 전시회(IMTS, EMO, JIMTOF)에서 가장 관심이 집중되고 있는 분야이며 세계적으로 아직 시작단계에 있다. 병렬기구의 특징에서 살펴본 바와 같이 병렬기구는 유연성, 고강성, 고속이송, 고정밀도 및 경제성 측면에서 직렬구조보다 많은 장점을 갖고 있다. 최근 컴퓨터의 발달과 더불어 시스템 제어가 용이해져 다시 주목받고 있으며 병렬기구를 공작기계로 활용하기 위해서는 다음과 같은 문제들이 연구되어야 할 것이다. 첫 번째로는 병렬기구는 일반적인 직렬형 공작기계와는 달리 순방향 기구학이 역방향 기구학보다 복잡하다.

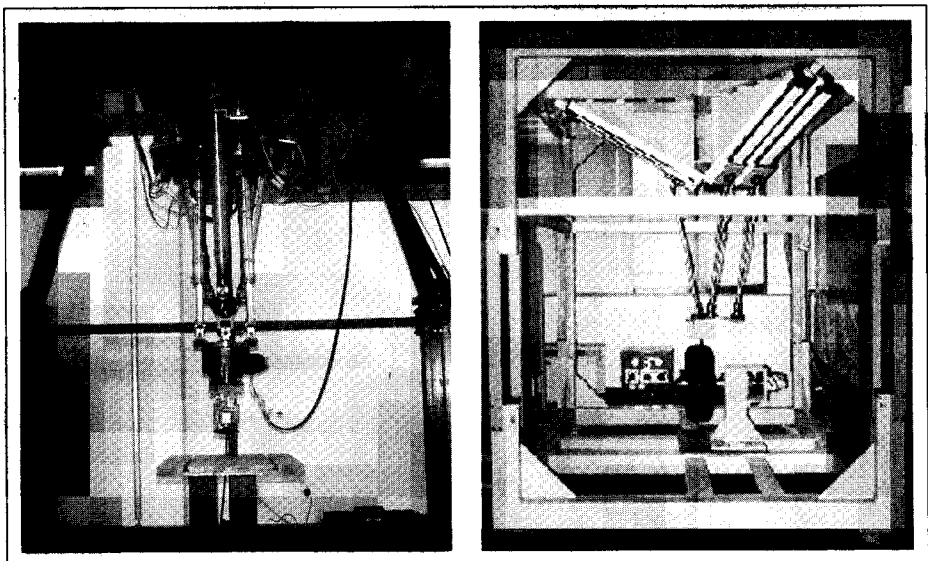


그림 15. Double Parallel Machine and Tire carving Hexapod Machine

특히, 특이 형상에 대한 Closed-form 해석 알고리즘은 개발되었으나 일반적인 구조에 대한 해석법은 존재하지 않으며 반복연산에 의한 수치 해석법이 널리 쓰인다. 따라서 병렬기구의 Kinematics에 대한 보다 효율적인 해석기법 개발을 필요로 한다. 두 번째로 고속이송형 병렬기구는 동역학적 특성 제어를 위해 완벽한 Closed-form model의 개발을 필요로 한다. 세 번째로는 작업공간에 대한 문제로 병렬기구는 직렬기구에 비하여 작업공간이 작기 때문에 기구학적 구조 설계에 대한 많은 연구가 필요하다. 또한 병렬기구의 위치추종오차를 최소화하는 다축 동시제어 기술 및 기구의 제작, 조립 오차를 보상 할 수 있는 캘리브레이션기술 등도 꾸준히 연구되어야 할 것이다. 이러한 연구개발과 더불어 병렬기구의 특성을 충분히 이해하고 활용하면 공작기계 뿐만 아니라 다른 분야에서도 널리 활용될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Stewart, "A Platform with Six Degrees of Freedom", Proc. of the Institute of Mechanical Engineers, vol.180, part2, no15, pp.371-386, 1965-66.
- [2] 최병오 외, "6축 복합형상 가공기 개발", KIMM 보고서
- [3] 최병오 외, "Propeller Blade 연삭작업의 자동화 시스템 개발", KIMM 보고서
- [4] Valenti, M., Machine tool gets smarter, Mechanical Engineering, Nov., 1995.
- [5] Octahedral machine with a hexapodal triangular servostruct section, US Patent 5401128, Mar. 28, 1995.
- [6] Gimbal assembly for 6 axis machine tool, US Patent 5466085, Nov. 14, 1995.
- [7] Toyota Catalog, 18th Japan International Machine Tool Fair, 1996.
- [8] Clavel R., DELTA, a fast robot with parallel geometry, 18th Int. Symp. on Industrial Robot, pp.91-100, 1988.
- [9] Hitachi Catalog, 18th Japan International Machine Tool Fair, 1996.
- [10] Mechanical manipulator, US Patent 5575597, Nov.19, 1996.
- [11] Geodetic Technology International Holdings N. V. Catalog, 18th Japan International Machine Tool Fair, 1996.
- [12] Honeger, M., Codourey, A., Burdet, E., Adaptive control of the hexaglide, a 6 dof parallel manipulator, Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque, USA, 1997.
- [13] 김일규 외 "Parallel Mechanism 공작기계 기구 및 제어기술 개발에 관한 연구", NC 공작기계 연구조합 보고서
- [14] 유중선, 외5명 "새로운 개념의 공작기계 : 이클립스" 한국정밀공학회지, '98 춘계학술대회 pp.834-839.