

## 공작기계 기술의 현재와 미래(13)

강 철 희\*

### Machine Tool Technology: The Present and the Future(13)

C. H. Kahng\*

#### 강좌 시리즈 차례

- |                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| (1) 서론              | (11) EDM 가공, Laser 가공 공작기계       |
| (2) 공작기계의 고속화와 고성능화 | (12) CNC 컨트롤의 발전                 |
| (3) 고속MC의 Tooling   | (13) 공작기계의 새 개념(VARIAX, HEXAPOD) |
| (4) 공작기계의 정밀화       | (14) 측정, Sensing 기술              |
| (5) 공작기계의 동적 특성     | (15) CAD/CAM/CAE와 공작기계           |
| (6) 공작기계의 열적 특성     | (16) 공작기계의 성능 평가                 |
| (7) CNC-선반의 현재와 미래  | (17) Metal Forming 공작기계          |
| (8) 머시닝 센터의 현재와 미래  | (18) 생산시스템(FMC, FMS)             |
| (9) CNC 연삭 공작기계     | (19) 미래의 생산(CIM, IMS)            |
| (10) 초정밀 가공 공작기계    | (20) 한국 공작기계의 갈 길                |

### 13. 공작기계의 새 개념(VARIAX, HEXAPOD)

#### 13-1. 서론

1994년 9월 7일부터 15일까지 9일간 미국 Chicago에서 International Manufacturing Technology Show(IMTS 94)가 개최되어 수십만명이 Show를 보기 위해서 세계 각국으로부터 모여 들고 있었다. 필자도 그 중 한 사람이었으며 Giddings & Lewis사의 전시 Booth에 도착했을 때 어떤 기계의 Demo를 구경하기 위한 인파가 꽤 차 있는 것을 보았다. 먼 곳에서 보니

1969. 7. 20 미국에서 달에 쏘아 올려 Neil Armstrong이 조정한 Apollo II 우주선과 흡사한 모습의 기계가 보였다. 필자도 사람들을 헤치며 가까이 가서 이 괴물을 관찰하였다. 상하 두 Platform 사이를 6개의 다리로 지지되어 있고 상부 Platform의 하측에 공구의 Spindle이 부착되어 있었다. 이 기계를 VARIAX라고 부르고 미래의 공작기계가 이 모양이 될 것이라고 설명하고 있었다. 필자의 질문에 8명의 연구원이 3년 걸려 개발하였다고 하며 연구비는 말할 수 없다고 하였다. 이 VARIAX의 주위에는 사람들이 이 기계에 대해서 토론을 하며 오랫동안

\* 統一重工業(株) 전 무

그자리에서 뜨지 않고 있었다.

Giddings & Lewis가 탄생한 것은 1859년이니까 공화당 대통령 후보인 Abraham Lincoln이 각지를 돌아다니면서 노예해방을 주장하고 다닐 때이고, 남북전쟁이 발생할 조짐을 보일때이다. 철도선로가 Chicago로부터 Milwaukee를 거쳐 이 회사의 발상지인 Wisconsin주의 Fond Du Lac까지 개설되어 있었다. 그 회사는 이 곳에서 제재업, 제분업용기계의 제작, 수리공장으로서 창업되었다. 남북전쟁이 끝나고 최초의 사업이 포화점에 도달한 1800년대 말기에 경영자가 바뀌고 회사 이름도 Giddings & Lewis로 바뀌 각종 주조품을 공급하는 Maker로 변신하였다. 20세기 초기에 최초의 선반과 Gear cutting machine을 제작하고 공작기계 제조업으로 발전해 나갔다. 그 후 기업의 확대와 더불어 많은 기업을 매수, 합병하여 현재는 미국 최대, 세계 4번째 되는 공작기계 Maker로서 성장하고 있다. Giddings & Lewis사에서 1960년대에 Sheldon씨와 Kirkham씨는 장래의 공작기계는 주축을 공간에 부동시킬 수 있다라는 이야기를 나누고 있었다. 그 때 Sheldon은 Stewart platform을 구상하고 있었으나 1989년말 본격적으로 이 구상에 대한 연구 개발에 착수하여 현재는 개발담당 부사장으로 VARIAX의 개발 책임자로서 이 개발사업을 추진하여 이번에 발표하게 된 것이다.

Fig13-1에서 보는 바와 같은 Robot 분야 또는 항공기 조정 훈련에 사용되고 있는 Flight-Simulator에 사용되고 있는 Stewartplatform형을 이용하여 Parallel-link-manipulaor를 개발하기 위한 연구실험이 여러 곳에서

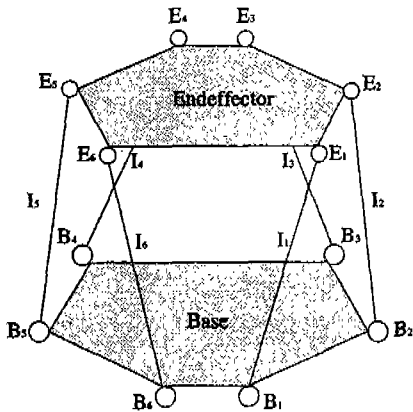


Fig. 13-1 Concept of the Stewart platform

성공하고 있다.

일본에서 인공위성운동 모의장치를 개발하는데 굴곡형 Parallel mechanism을 사용하고 있다.<sup>(1)(2)</sup> Robot manipulator의 개발에도 여러 연구가 진행되고 있다.<sup>(3)(4)(5)</sup> IMTS94에서 적어도 3사가 공작기계에 이 Idea를 적용한 상품을 발표한 바 있다. Giddings & Lewis사 외에 Ingersoll사, Swiss의 Geodetics사도 발표하였다. Ingersoll사는 OCTAHEDRAL HEXAPOD라고 부르고 6개의 다리가 Bed에 의해서 지지되고 있으며 상부의 Platform에 설치되고 있는 공구가 다리의 Ball lead screw의 구동에 의해서 상하와 경사 동작을 하게 되어있다. 거기에 비해서 Giddings & Lewis사의 VARIAX는 전술한 바와 같이 Truss 구조로 형성된 고강성의 8면체 Frame의 천장부(Platform)에서 6개의 다리가 내려오고 있다. HEXAPODS 방식은 공구는 조합된 다리로 지지되고 있으므로 가공할 때 역학적으로 각 다리에는 압축 또는 인장력이 작용하며 Bending stress는 전혀 작용하지 않는다.

Chicago에서 서쪽으로 약 120km 떨어진 곳에 조용하고 녹색으로 가득찬 Rockford시에 Ingersoll사가 있다. 이 회사는 100년전 Ingersoll씨에 의해서 창설되고 지금까지 단독 Owner 경영으로 해 왔으며 현재의 Edson Gayload씨는 장기적인 목표를 지닌 경영을 하고 있으며 주주 배당의 필요성에 따른 단기적 이익의 추구보다도 설비투자, 연구투자에 힘을 기울이고 있다. HEXAPOD의 개발을 Dr.Bray가 담당하고 있다.

IMTS 94가 지난 몇 달 후에 일본 전문잡지에서 다음과 같은 기사를 읽을 수 있었다. 공작기계와 산업용 Robot은 일본이 제품 개발의 최첨단을 달리고 있다고 믿고 있었는데 이 신화(神話)가 1994년에 부서지고 말았다. 공작기계와 Robot Manipulator는 Flexible한 작업 영역이 넓은 Cantilever의 구조가 최적이라고 하는 기존 개념으로부터 일본기술자들은 한치도 빠져 나오지 못하고 있었다. 새 개념으로 재빨리 공작기계를 제품화한 것은 미국과 구라파였으므로 일본은 무엇을 하고 있었는가라고 그들은 개탄하였다.<sup>(6)</sup> 과거 모든 중요한 생산관계 발명(NC공작기계, ROBOT, FMS, CIM등)은 일본이 아니었지만 일본은 타국에서 발명한 것을 빨리 자기 것으로 소화시키고 나아가서는 더욱 좋은 제품으로 상품화하여 세계를 리드하고 있지 않은가. 공작기계의 새로운 개념을 음미할 필요가 있어 이 장에서 그것을 취급하기로 하였다.

13-2. VARIAX의 구조

Flight-Simulator에 사용되어 왔던 Paralell mechanism이라고 하는 기구는 지금까지의 공작기계나 Robot manipulator의 기구로서 볼 때, 상식을 초월하는 동작을 한다.<sup>(6)</sup> 이 새로운 기구에 대한 용어는 일본 로봇 학회에서 명명한 것이다. VARIAX를 보면 알 수 있듯이 최대 6개의 다리를 가지고 있다(Fig13-2). 이 다리가 신축(伸縮)하므로써 상체가 유동하는 것이다. Endeffector를 간접적으로 움직이게 하는 것이다. 다리의 수가 많기 때문에 「오징어 다리 기계」라고 부르는 기술자도 있다. 이 기구는 동작이 새로운 것이다라는 것보다도 장래성을 무시 못하는 요소가 다분히 있기 때문이다. Robot manipulator는 고사하고 공작기계에 대해서 이 Paralell mechanism을 응용한다는 생각은 일본에서는 최근까지 상상도 못하였고 Flight simulator의 기구를 실제 공작기계에 사용한다는 것을 처음부터 무시한 태도이었다. 그러나, IMTS 94에 미국회사에서 이 기구에 의한 공작기계가 출품이 되어 수많은 사람들의 주목을 받게 되었으니 일본의 공작기계 기술자들의 자존심을 상하게 만들었다.

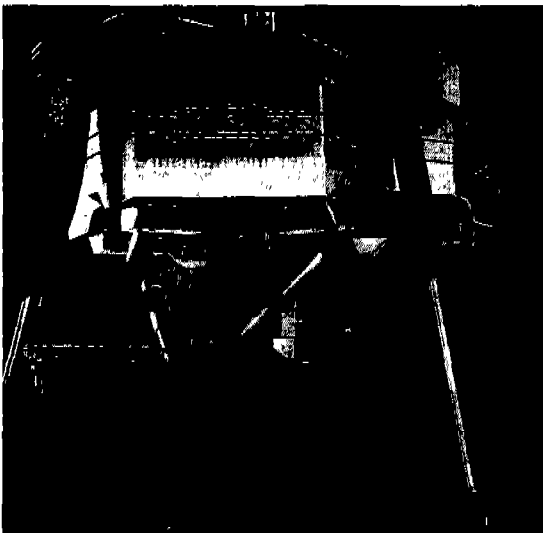


Fig. 13-2 Giddings & Lewis Co's, VARIAX

Parallel mechanism을 종래의 공작기계의 기구와 비교하면 다음과 같은 특징이 있다.<sup>(7)(8)(9)(10)</sup> 즉 종래의 공작기계는 공구와 Hand(이것을 Endeffector라고 부른다.)와 Base가 직렬(直列)로 연쇄(連鎖)되고 있는 Serial한 Mechanism으로 되어있다. 연쇄라고 하면 Link의 조합

을 말한다. 이 기구는 오랫동안 당연시 된 공작기계 구조이므로 적절한 이름이 없었으나 Parallel에 대응하여 Serial mechanism이라고 일본 로봇 학회에서 이름을 지었다. Serial mechanism은 Endeffector가 한개의 Link에 의해서조차 지지되고 있지 않기 때문에 필연적으로 Cantilever구조일 수 밖에 없다. 그러나, 여기에 반해서 Parallel mechanism을 Endeffector와 Base 사이에 복수의 Link를 병렬(並列)로 연결하고 있는 것이 특징이다. 이와 같은 구조 때문에 Parallel mechanism은 Serial mechanism에 비해서 일반적으로 고정도, 고강성, 고속으로 대응할 수 있게 된다. Parallel mechanism과 Serial mechanism을 비교해 보면 Fig13-3과 같으며 Parallel mechanism이 우수한 항목이 많이 보인다.<sup>(9)</sup> 공작기계 구조상 당연한 기구라고 믿어왔던 Serial mechanism을 Parallel mechanism과 비교하면 다음과 같은 결점과 장점을 가지고 있다.

比較項目	Parallel mechanism	Serial mechanism
作業領域	적다	크다
順運動學	困難	容易
逆運動學	容易	困難
順靜力學	容易	困難
逆靜力學	困難	容易
位置誤差	편근화한다	누적한다
力誤差	누적한다	편근화한다
最大力	全 Actuator의 출력을 加算한다	最小 Actuator에 의해서 制限된다.
剛性	크다	적다
動力學	매우 복잡	複雜
慣性	적다	크다

Fig. 13-3 Parallel mechanism compared with serial mechanism

1) 정도(精度)

Serial mechanism은 Link의 연결부위 각(角)변의 오차와 Play가 확대되어 축적된 Endeffector의 위치와 자세의 오차로 나타낸다. 그러나, Parallel mechanism은 각 Link의 오차의 평균치가 되므로 정도가 크게 향상된다.(Fig 13-4)

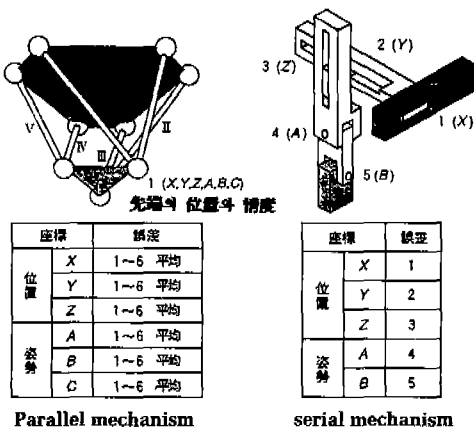


Fig. 13-4 Position and location errors by two mechanism

2) 강성

Fig 13-5 (a)(b)에서 비교할 수 있듯이 Cantilever 구조의 Endeffector에 힘이 작용하면 Link는 Bending moment를 얻어 변형하게 된다. 그러나, Fig13-5(a)에서는 두 개 이상의 다리로 공구 주축이 지지되고 있기 때문에 Bending은 일어나지 않고 Tension이나 Compression이 일어난다. 이 때의 강성은 월등히 커진다.

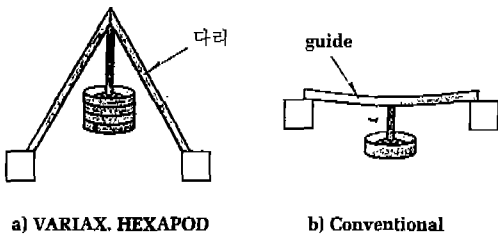


Fig. 13-5 Different stiffness caused by two different structure

3) 속도 가속도

Actuator와 감속기의 질량이 Link의 질량에 가산되어 관성부하(慣性負荷)가 된다. 그렇기 때문에 가속도가 떨어진다. 기구 전체의 고유 진동수가 적어지고 고속도로 구동할 때 공진할 염려가 있다. 제어도 비대칭(非對稱)이 되어 버린다. 예를 들면, 종래의 공작기계의 X축(공작물의 폭)방향과 Y축(공작물의 높이)방향에 있어서 이동질

량이 약 4배 가량의 차가 난다(Fig 13-6). X축 방향은 Bed와 Column, Saddle을 다 포함해서 이동시켜야 하지만 Y축 방향의 이동은 Head만 이동시키면 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 종래의 Serial mechanism에서는 Mechanism 전체의 구조보다도 요소기술에 눈을 돌리고 있었다. 가령, 질량을 적게하고 고강도, 고강성의 신소재, 소형이지만 출력이 큰 Actuator, 정밀한 위치 조정장치 기술 등에 선진국의 공작기계 연구 개발이 집중되어 있었으며 이와 같은 연구 방향은 마치 나무만 보고 숲(森)을 생각치 못한 것과 같은 것이었다.

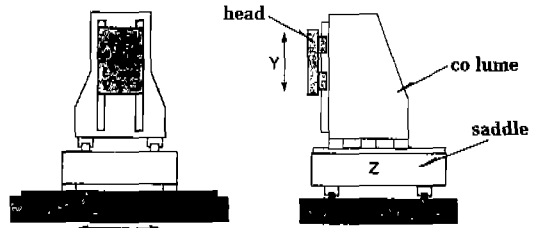


Fig. 13-6 Positions of endeffector by conventional machine tool

요소 기술의 성능을 극단적으로 높게 하는 대신 Serial mechanism이라고 하는 기구에 "수술칼"을 넣어서 특정 그 자체를 개선한 것이 Parallel mechanism이라고 생각할 수 있다. Parallel mechanism은 크게 3종류로 대별할 수 있다.(Fig 13-7)

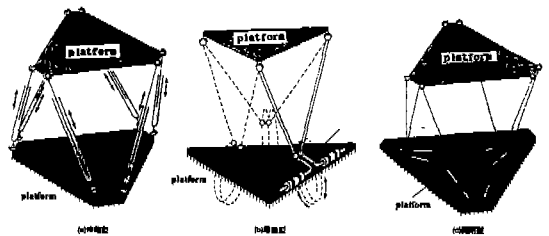


Fig. 13-7 Three different parallel mechanisms

- a) Expansion and contraction
- b) Winding
- c) Open and Shut

- ① Link가 신축하는 신축형(伸縮型)
- ② Link가 구부러지는 굴곡형(屈曲型)
- ③ Link가 개폐(開閉)하는 Slide형

실제의 제품을 동작기계에는 강성이 높은 신축형을 채용하는 경우가 많이 있다. 굴곡형은 Robot manipulator에 사용되는 경우가 많고 세번째인 Slide형은 현재 제품화되어 있지 않았다.

Giddings & Lewis의 VARIAX는 신축형 Parallel mechanism의 Vertical machining center(MC)이다. Fig13-8에서 보는 바와 같이 자동 Pallet 교환장치(APC)와 자동공구 교환장치(ATC)를 본체에 부착시킬 수 있다. Chip을 제거하는 Conveyer나 교환공구를 저장하는 Tool magazine도 설치 가능하고 제어장치와 조작반도 설치할 수 있으므로 종래의 MC와 그 Layout은 다

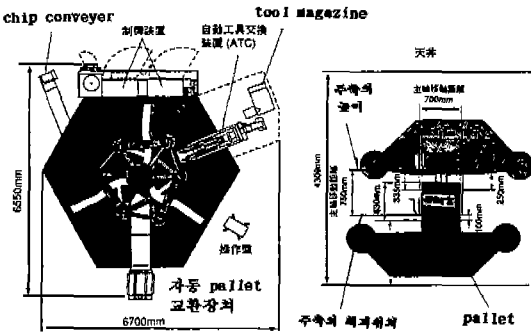


Fig. 13-8 Giddings & Lewis Co's machining center based on parallel mechanism

를바 없다. 여기 소개된 기계는 주축의 이동거리를 상하로 750mm, 좌우로 700mm로 정할 수 있으며 기계의 Volume은 최대 6550 6700 4000(높이)mm이다. 외관상으로 보면 Fig13-9와 같은 Steward platform의 모습으로 보인다. 이 대표적인 Parallel mechanism의 형태는 상하(上下) 두 개의 Platform과 그것을 연결 연쇄하는 6개의 Link로 구성되어 있다. 각 Link는 독립되어 있으며 동시에 신축이 가능하다. Platform의 고정부는 하부의 Base이고 이동부는 상부에 있는 Traveling plate인 Upper platform이며 이것을 6개의 자유도로 자유롭게 움직이게 할 수 있다. 고정부를 고정시키고 6개의 Link를 신축시키면 길이를 동시에 제어시키면서 Upper platform을 수평(X,Y), 수직(Z), 선회(C), 경사(A,B)의 운동을 시킬 수 있다. Fig 13-9에서 보는 Lower platform위에 공작물을 올려놓고 Upper platform의 하부에 공구를 부착시켜 상하의 Platform을 압축시키는 운동을 하게 하면 가공이 이루어지는 것이다.

### 13-3. VARIAX의 장점과 문제점

#### 1) 강성

VARIAX의 역학적 특성을 살펴보면 Upper platform을 지지하는 6개의 Link는 각각 Upper platform의 부하를 1/6로 분산하여 받고 있다. VARIAX는 Link를 신축하는데 Ball screw를 사용하고 있으며 이것의 회전 Actuator는 Servo-motor이고 연속 출력은 6.3kW이다.(Fig13-10) 6개를 사용하려면 Z축 방향의 연속 출력은 약 31kN 정도 필요하다. Flight simulator에 채용되고 있는 신축기구에서는 Actuator로서 유압 Cylinder를 사용하고 있었다. 유압 Cylinder는 강성은 높지만 응답성(應答性)과 정도가 뒤떨어지기 때문에 동작기계와 Robot manipulator에서 사용이 곤란하다. Link와

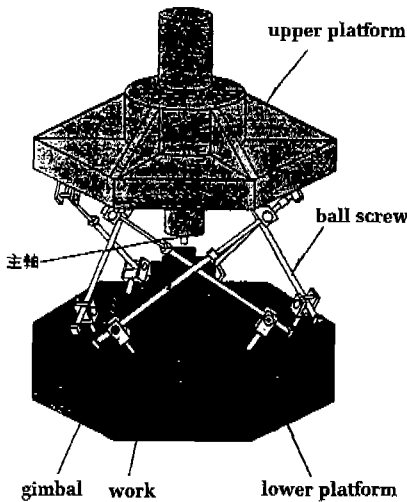


Fig. 13-9 Conceptual steward platform for machine tool design

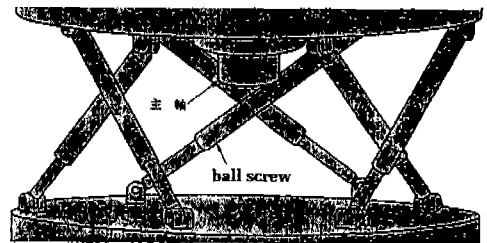


Fig. 13-10 Lower platform of VARIAX

Platform사이의 연결부에서 하측과 Link는 2자유도를 가지고 있는 회전대우(Couples)이다. Link를 경사지게 할 수 있으나 Link를 회전시킬 수 없다. 그리고 상측과는 구대우(球對偶)이다. 따라서 경사지게 할 수도 있고, 상측을 회전도 할 수 있다. VARIAX의 회전 대우(對偶)와 구대우(球對偶)는 Gimbal과 회전 Bearing으로 구성된다. 따라서 Link에는 Tension stress 또는 Compression stress만이 작용한다. Link에 Bending moment와 Twisting moment는 작용하지 않는다. 이것이 Steward Platform의 최대의 특징이다. Bending moment와 Twisting moment를 Link에 작용시키려고 하던 연결부의 지점에서 Link가 넘어질려고 하거나 회전하게 되어 결국 Tension과 Compression stress만이 발생하고 만다. VARIAX의 강성은  $175\text{N}/\mu\text{m}$ 이라고 말하고 있으니 종래의 MC의 강성이  $35\text{N}/\mu\text{m}$ 이므로 5배 이상의 강성을 가지고 있는 것이다.

## 2) 속도

Parallel mechanism의 고속 고가속도는 다음과 같이 설명할 수 있다. Link를 가늘게 할 수 있으므로 가동 부분 전체를 가볍게 할 수 있다. 그리고, Link인 Ball screw의 회전 Actuator를 Lower platform과 연결부가 가까이 설치한다. 그렇게하므로써 가동부에 불필요한 질량을 가볍게 할 수 있다. 따라서 같은 힘으로 큰 가속도를 낼 수 있고 기구 전체의 고유 진동수를 높이고 고속 운전 시에도 공진(共振)이 발생하지 않는다. VARIAX의 최대 가공속도는  $66\text{m}/\text{min}$ 이며 Giddings & Lewis사의 종래의 MC의 최대 가공속도가  $16.5\text{m}/\text{min}$ 이다.  $66\text{m}/\text{min}$ 이란 속도는 Linear motor를 사용하여 직선 방향으로 구동하는 MC로서는 고속이다. Parallel mechanism인 VARIAX가 Linear motor와 같은 고속도를 얻기인 범용 Motor로서 실현 가능하다는 것을 말해 주고 있다. VARIAX의 최대 가속도는  $1\text{G}$ ( $1\text{G}=9.8\%$ )이라고 한다. 이것도 Linear motor를 사용할 때 얻어지는 최대 가속도이며 종래의 MC는 최고 가속도가  $0.5\text{G}$ 이므로 잘 비교가 된다.

## 3) 정도

VARIAX의 가공 정도가  $\pm 10\mu\text{m}$  이내라고 Giddings & Lewis 회사는 말하고 있으며「3차원 측정기와 맞먹는 정도를 내고있으며 종래의 공작기계 정도의 2~10배 이상이다.」라고까지 정도가 높은 것으로 이야기하고 있다. Parallel mechanism이 정도가 높은 이유는 Fig13-4에서 설명한 바 있다. 일반 공구의 위치 정도와 자세 정도를

높이기 위해서는 Laser로 Link를 측정하여 Closed loop로서 Link를 측정하고 Link의 길이를 제어하고 있다. Laser를 이용하여 길이를 측정하는 방법은 명백하지 못하지만 Ball screw를 Hollow로 만들어 그 속에 Laser를 통하게 하는 방법을 생각할 수 있다. 그러나, Linear encoder를 사용하여도  $\pm 10\mu\text{m}$ 의 가공 정도는 얻을 수 있다.

## 4) 문제점

VARIAX의 결점은 Upper platform의 질량이 3ton이 된다는 것이다. Upper platform을 지지하기 위해서 Ball screw를 회전시키는 Motor에 큰 Torque가 필요하다. Upper platform 상하 방향 또는 수평 방향으로 고속으로 가속시킬려면 출력이 큰 Motor를 사용해야 한다. 적은 Motor로 대처하려면 Motor의 Torque를 외부로부터 보조하는 방법을 고안해야 한다. 즉, VARIAX의 중력을 3개의 Air spring으로 Upper platform을 지지케 하는 방법을 채택할 수 있다. Motor와 Ball screw는 Upper platform의 관성력만으로 부담케 하는 방법을 선택해야 될 것이다. Steward platform에는 또 한 가지 문제점이 있다. 즉 특이점(特異點)이 존재하는 것으로 3개의 Link만으로도 Upper platform을 지지하고 나머지 3개의 link의 위치나 자세를 한번에 정할 수 없다는 것이다. 이것을 과가동특이점(過可動特異點)이라고 말하며 이점에는 Actuator에 과대한 부하가 집중되고 경우에 따라서는 파괴될 위험이 있다. 또 한가지 특이점은 사점(死點) 또는 사안점(思案點)이라고 하여 이 점에 도달하면 기구가 움직이지 않게 된다는 것이다. 그러나, 이 점은 Steward platform에는 아직 그 존재가 증명되어 있지 않고 있다.

가동 범위가 매우 적은 것도 그 결점이라고 말할 수 있다.  $700 \times 700 \times 700\text{mm}$ 의 범위이며 주축 가동 범위의 제약이 크고 주축은  $15^\circ$ 의 경사가 가능하지만 선회는 불가능하다.

## 13-4. OCTAHEDRAL HEXAPOD Vertical machining center

통상 공작기계의 Spec에서 정해진 Size의 공작물 구석 구석까지 공구가 도달되어야 한다. 그리고 공구의 보정방법, 절삭저항등에 의해서 공작기계에 필연적으로 강성이 있게 설계해야 하며 이것이 큰 과제로 되어 있는 실정이다. 6개의 다리를 가지고 있는 공작기계의 특징은 종래의 공작기계에 비하여 이 기계의 강성이 월등히 높다는 것이

다. Platform을 소형화하고 주축의 관성질량을 적게 하는 Steward platform의 개념을 이용하여 Transfer machine으로 세계를 Lead하고 있는 공작기계 회사 Ingersoll이 Vertical Machining Center인 OCTAHEDRAL HEXAPOD를 개발하였다.<sup>(11)(12)(13)(14)</sup>(Fig13-11) 이 MC는 같은 개념으로 설계한 VARIAX를 뒤집어 놓은 것과 같다.

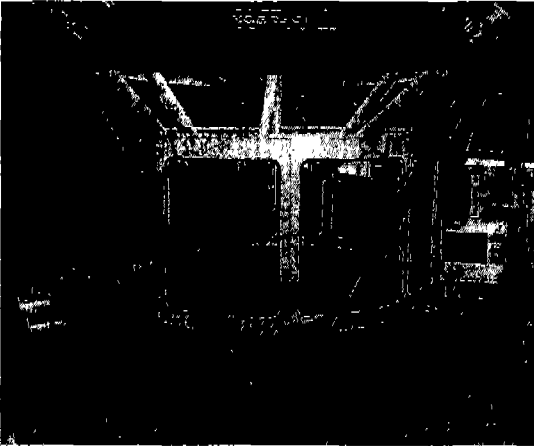


Fig. 13-11 Ingersoll's OCTAHEDRAL HEXAPOD(Verical machining center)

6개의 다리를 이용하고 있는 HEXAPOD 방식은 Fig13-12에서 볼 수 있다. 상하로 신축, 경사, 선회, Twisting의 4가지 기본동작을 하는 모습이다. Ball screw로 신축시켜 주축의 위치와 자세를 제어시키고 있다. VARIAX에 비해서 중절삭할 수 있게 큰 주축을 붙일 수 없게 보이지만 이 HEXAPOD는 주축의 위치와 그 자세의 가동 범위를 크게 잡을 수 있다. 주축 Motor의 출력은 40kW이고 최고 회전수는 15000rpm이다. 작업 영역은 1000×1000×1000mm이며 주축은 현재 30° 까지 경

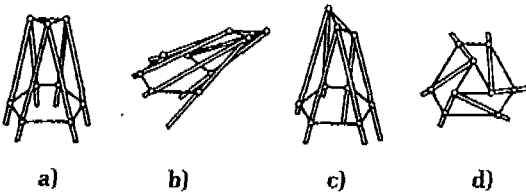


Fig. 13-12 HEXAPOD's movement  
 a) Up and Down      b) Slant  
 c) Turning            d) Twisting

사시킬 수 있으나 45° 까지 경사시킬 수 있게 계획중이다. HEXAPOD의 Link와 Platform의 연결부는 구면 Bearing을 채용하고 있다. 그 이유는 Ball socket와 구면 Bearing의 최대 유동 각을 높이고 30°~45°의 경사 각을 확대하는데 필요하기 때문이다. VARIAX는 Gimbal을 사용하고 있는데 대하여 HEXAPOD는 구면(球面) Bearing을 사용하는 것은 Off set을 적게 하기 위해서이다. Gimbal을 사용할 때 Link 연결부간의 길이는 Ball screw의 길이에 Gimbal 부분의 길이를 더해서 보정시켜야 한다. 구면 Bearing을 사용할 때는 Link의 회전 중심과 연결부와 완전일치하고 있으므로 Off set 부분을 보정할 필요가 없다. 또, Steward platform의 강성을 높이기 하는 것만으로 불충분하다고 생각하고 있는 Ingersoll사에서는 공작기계 전체의 강성을 더 높이기 위해 Steward platform과 Bed를 포함하는 전체를 8면체 Frame의 Truss로 구조로 만들었다. Truss 구조를 구성하는 3각형의 1면의 천장, 1면이 저면, 나머지 6면은 측면에 오게 8면체를 설치하였다. 천장을 Upper platform으로 하고 Bed는 저면(Lower platform)으로 한다. 8면체 Frame 속에 일정한 온도의 물을 순환시켜 공작기계 전체를 Cooling시킴으로서 일정 온도를 유지하게 하고 있다. 3차원 자유 곡면 가공의 자동화에 관심이 큰 금형업자들은 이 새로운 개념의 공작기계에 많은 기대를 하고 있다.<sup>(14)</sup> 높은 강성을 얻을 수 있다라는 점에서 새로운 개념의 공작기계에 문제가 없는 것이 아니다. 실용적으로 작업자의 접근성, ATC및 Work의 반출입 문제가 있다.

13-5. OCTAHEDRAL HEXAPOD의 구조

Fig13-13은 구조를 알기 쉽게 도해한 것이다.<sup>(13)</sup> 이 그림에서 동일하고 고정된 길이를 가지고 있는 12개의 Bar [AB], [AC], [BC], [AE], [BE], [AD], [BF], [DE], [EF], [DF], [DC], [CF]등에 의해서 [ABC], [ACD], [BCF], [CDF], [DEF], [ADE], [ABE], [ABF]등의 8개의 Face를 형성한다. 이것들은 고정된 길이를 가지고 있으며 6개의 구면관절(球面關節)[G1], [G2], [H1], [H2], [J1], [J2]등이 [ABC]면을 형성한다. Upper platform에 고정되어 있으며 또 구면관절에는 Ball screw의 Nut도 포함되어 있다. 또, Lower platform에는 구면관절[K1], [K2], [L1], [L2], [S1], [S2](여기서 보이지 않음) 등이 고정되어 있고 이것들과 상기 구면관절에는 Ball screw로 결합되어 있다. 이와 같이 8면체와 6개의 다리를 한 기구로 만든 것이

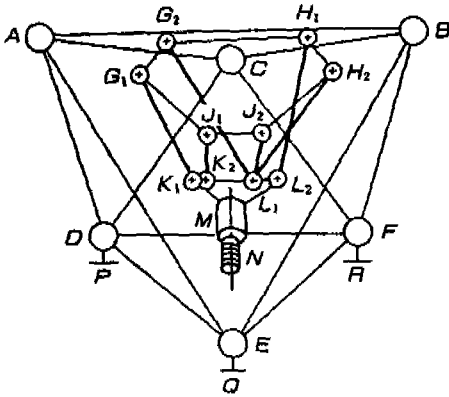


Fig. 13-13 Core structure of OCTAHEDRAL HEXAPOD

OCTAHEDRAL HEXAPOD가 된다.

구면관절을 부착한 Lower platform에는 주축 Head M이 아래쪽으로 부착되어 있으며 면(DEF)는 기계의 저면(Lower face)이 되며 각각 Shock absorber가 붙어있는 Pad [P], [Q], [R]을 통해서 위치가 정해지고 저면 위에 설치되어 있다. 6개의 Ball screw [K1G1], [L1G2], [L2H1], [S1H2](S1은 보이지 않음), [S2J2](S2는 보이지 않음), [K2J1]에는 각각 Head부에 Servo-motor를 설치하여 상부의 구면관절속에 있는 Nut와 결합하여 Ball screw의 구동에 의해서 Nut가 상하운동을 한다. 다시 말해서 Servo-motor의 구동에 의해서 Ball screw의 상하로 결합되어 있는 구면관절의 간격(예를들어 [G<sub>1</sub>]과 [K<sub>1</sub>]과의 간격)을 변화시킬 수 있다.

제어 Program의 지령이 각 Servo-motor에 주어지면 각각의 Servo-motor의 구동에 의해서 Tool head를 지지하는 Lower platform은 3차원 공간으로 이동하고 또 Tool head의 방향을 수직이외의 방향으로도 변화시킬 수 있다. Fig13-14는 HEXAPOD의 Center에 주축 Head M의 동작이 Right로(a)또 Left(b)로 이동하는 것을 보이고 있으며 Fig13-15는 M이 우측으로 Down(a)하는 것과 좌측으로 Down(b)하는 것을 보이고 있으며 Fig13-16은 Fig13-15(b)위치에서 우측으로 90°(a) 좌측으로 90°(b)방향으로 움직이는 동작상태를 표시하고 있다. 이와 같은 동작에 의해서 공구주축은 입방체(立方體)의 가공범위만큼 이동하고 Profiling 동작을 하는 것이다.

6개의 다리 또는 12개의 공간의 Beam에는 Bending

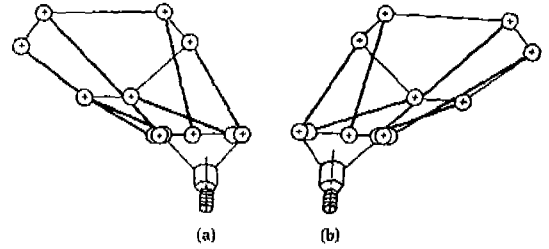


Fig. 13-14 Center moves right (a) and left (b)

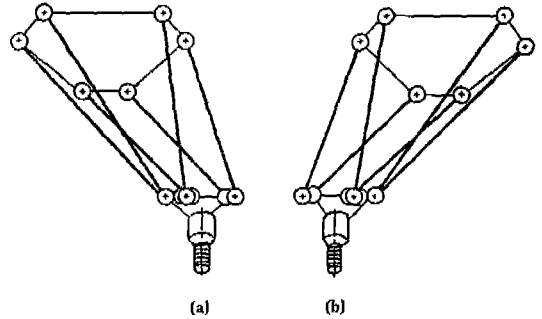


Fig. 13-15 Center moves down toward right (a) and left (b)

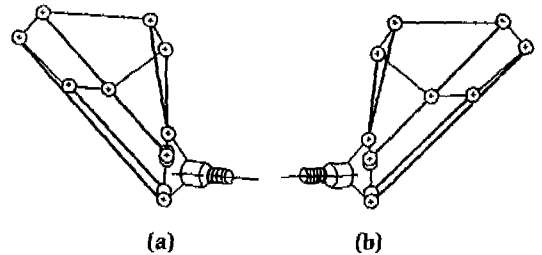


Fig. 13-16 From the position of Fig. 13-15(b)  
a) Turn 90° right b) Turn 90° left

이 작용되지 않기 때문에 System 전체가 높은 강성을 가지며 결국 정확한 위치를 정하는 정밀도를 얻게되는 것이다. 이와같이 얻어지는 강성 또는 정도는 보통기계에 비해서 약5배 정도의 높은 수준까지 올라가고 있다. 또 이 기계의 특징은 3차원적인 동작을 하는 기구이므로 이것을 가능하게 하는 Software가 문제이다. Spindle head의 이동에 6개의 다리 전부를 이동시킬 필요가 있으며 이 Software는 매우 큰 용량을 가져야 한다. 이 기계는 모



든 힘이 Frame에 집중되고 있기 때문에 지상에 설치할 때 Fig13-11에서 보는 3개의 Pad를 지면상에 올려 놓기만 하면 되기 때문에 지상에 설치하는 기술이 기계의 정도에 영향을 주는 일은 없다. 실제로 공중에 한개의 Pad를 Crane으로 올려서 지상에서 떨어져 있다 하더라도 절삭가공과 가공정도에 아무런 이상이 일어나지 않는다. 이와 같은 성능은 안내면을 가지고 있지 않는 새로운 설계 개념으로 동작기계를 출현시키고 있는 것이다.

이 OCTAHEDRAL HEXAPOD의 특성 중 또 하나는 설계상의 Size의 변화에 대한 단순한 대응과 용도변경에 쉽게 대응할 수 있는 순응성(順應性)이 양호하다는 것이다. Size와 작용하는 힘의 차이에 따라서 발생하는 여러 가지 응력과 Buckling 등의 수치적 계산과 예측을 용이하게 할 수 있다. 따라서 이 구조는 반도체 가공기의 Table에 극히 적은 Size로부터 큰 Building을 올려놓을 수 있는 큰 Size까지 취급할 수 있다. Ingersoll의 Dr.Bray는 보통 동작기계 분야로부터 석유 Plant의 Remote control 설비기계까지 광범위한 가능성을 이 기계가 가지고 있다라고 말하고 있다. 이 시작 기계는 Laser cutting, Laser welding, Water jet 가공 또는 안전도가 높기 때문에 3차원 측정기에도 사용이 가능하다. 또 자립(自立)할 수 있는 성격의 기계구조를 이용하여 달(Moon)의 지면상에서나 저중력(低重力)이 있는 장소에서도 사용이 가능할 것이다. 더욱 중요한 것은 보통 동작기계는 부품 접수가 약 1000개 이상이지만 이 기계는 100개이면 충분하다는 점이다. 동작기계에는 절삭 또

는 연삭가공 자체가 가진작용(加振作用)을 동반한다는 것은 다 아는 사실이지만 이 새로운 기계가 종래의 기계와 비교해서 어느 정도의 감쇠기능(減衰機能)을 가지고 있으며 장치는 어떻게 할 수 있는가가 매우 중요한 과제이다. 이 기계는 Steel제 임을 고려할 때 보통 주물로 되어 있는 동작기계를 단순히 Steel 재료로 대처하더라도 쉽게 성공하지 못한다는 것은 이미 인식되고 있으며 현재의 주물로 만들어져 있는 동작기계도 만족하지 못하고 각종의 감쇠장치를 더 얻을려고 하는 것이 현실이다. 또 각종공구, 피삭재에 대한 구체적인 Data가 얻어져야 한다.

그리고 ATC는 기존 동작기계보다도 주축 이동의 자유도가 높으므로 Unique한 설계가 필요하다. Work의 Clamp나 Pallet changer는 Table 위에 360°의 방향으로 자유롭게 사용할 수 있는 장점이 있다.

새로운 개념 즉 Parallel mechanism에 의한 동작기계는 이미 설명한 바와 같이 IMTS 94에서 처음 선을 보였고 Giddings & Lewis와 Ingersoll사에서 출품하였다. 최근 조사한 바에 의하면 미국회사 외에 구라파에서 여러 회사가 Parallel mechanism 동작기계와 Robot manipulator를 제작하고 있는 사실을 알게 되었다. Swiss에서는 Geodetics Technology International Holdings NV사에서는 이미 GPM 1000-04X로 생산하고 있으며 이 외에 4기종을 개발하고 있는 중이다. 이것들은 주로 Robot에 채용되고 있다. Swiss의 다른 Demaurex사에서도 Parallel mechanism 동작기계를 2 기종 출품하고 있다. Norway의 Multi Craft도 유사

Table 1 Comparison of Three products

Maker명	G&L	Ingersoll	Geodetics Int.H
기종명	Variax	Oct.Hexapod	GDM 1000-04X
Mechanism의 종류	Parallel mech	Parallel mech	Hybrid
Mech의 Type	Steward platform	Steward platform	Steward platform
자유도	6	6	6
동작범위 mm	700×700×750mm	1000×1000×1000mm	650×650×650mm
최대가속도	1G	1G	6G
최대속도/min	66m/min	20m/min	15~30m/min
강성	175N/μm	-	40Nm/μm
정도	±10μm	±10μm	±5μm
Z방향 추력	연속 30940N	-	6000N
주축 Motor 출력	22kW	40kW	4kW
주축 회전수 rpm	100~15,000rpm	15,000rpm	0~60,000rpm
자중	-	-	1000kg
가격	-	60만\$	45만\$

한 개념인 Hybrid mechanism으로 만든 Multi Craft 560을 개발하였고, Sweden의 Neos Robotics사에서는 Hybrid mechanism인 Tricept TR 600을 개발하였다.

일본에서는 미국, 구라파에서 활발히 세 개념을 기초로 한 공작기계, Robot이 개발되고 있는 것에 대한 자극을 받아 국제 Robot, FA 기술센터(IROFA), 고속 Parallel mechanism 개발 위원회가 조직되어 참가 기업이 증가하고 있으며 그 대표적인 것이 Toyota Koki, Hitachi, Toshiba 등이다. 여기에 IMTS'94에 출품하였던 대표적인 3사의 제품 성능을 비교해 보면 다음 Table 1과 같다.<sup>6)</sup>

### 13-6. 결론

- 1) 종래의 공작기계 개념인 Serial mechanism에 대하여 Parallel mechanism의 새로운 개념으로 설계 제작한 공작기계가 IMTS 94에 출현하여 비상한 주목을 얻게 되었다.
- 2) Parallel mechanism인 VARIAX와 OCTAHEDRAL HEXAPOD는 미국회사에서 선보이고 있으며 이런 개념의 기계는 미국, 구라파에서 시작되고 있다.
- 3) 이 새로운 개념의 공작기계는 여러 특징이 있으며 특히 강성, 정밀도, 속도, 가속도가 종래의 개념의 공작기계보다 약5배이상 우수한 것으로 보고 있다.
- 4) 그러나 문제점도 존재하지만 해결책이 없는 것은 아니다.
- 5) 앞으로 이 새로운 개념의 공작기계, Robot이 활발하게 산업계에 진출하게 될 것이며 여러 연구기관에서 연구를 활발히 시작하고 있다.
- 6) 우리 나라에서도 공작기계를 연구하는 기술자들도 나무(木)만 보지말고 숲(森)이 있다는 것을 인식해야 한다.

### 참고문헌

1. 三村宣治 “電動 パラレルマニピュレータとその應用” 第12回 ロボット學會學術講演予稿集, No.3(1994/11/22) PP.789-790
2. 安田國治, “技術試験衛星 VⅡ型におけるランデブドッキングシミュレーション” 日本航空 宇宙學會誌, Vol.42, No.491(1994.12) PP.39-45
3. 内山勝, “パラレルマニピュレータの機構と特性” 日本ロボット學會誌, vol.10, No.6 (1992.6) PP.21-26
4. 多羅尾進ほか, “6自由度高速 파라レル메카니즘” 研究専門委員會報告書 PP.75-84
5. 船橋宏明, “6自由度空間 マニプレータの開発” 日本ロボット學會誌, vol.10, No.6 (1992.10) PP.53-60
6. 特輯 “파라レル메카니즘가機械를變える” KIKKEI MECHANICAL 1995.3.20 PP.26-49
7. Giddings & Lewis Catalog, IMTS'94
8. Ronald Khol, “A machine tool built from mathematics”, American machinist, vol.138, No.10 (1994.10) PP.53-55
9. Charles J .Murray, “A Flating' Revolution for Automation” Design news, vol.49, No.15 (1994.8.14) PP.58-60
10. 武野伸勝, “6本足 で支える未來派 MCを 解剖する” ツールンジニア, 1995.1月號, PP.74-77
11. ASME NEWS, Vol.14 No.7 Nov.1994
12. 松岡甫篁, “速報/IMTS'94 にみる最新技術, 技術面で飛躍的な進歩”, 機械と工具, Vol.38, No.12 (1994.12) PP.31-41
13. 武野伸勝, “OCTAHEDRAL HEXAPOD” 機械技術, Vol.43, No.(1995.1) PP.71-75
14. 佐藤善治, 連載 “今様 金型經營講座[27]金型作りもニューイヤ-に入った”, 型技術, Vol.10, No.1 (1995.1) PP.106-111