

병렬기구의 개발 현황

병렬기구는 조립, 포장, 기계가공, 크레인, 수중공학, 항공 및 해양구조, 비행 및 3D 시뮬레이션, 위성 접시안테나 위치제어, 망원경 자세제어, 그리고 정형외과 수술 등 여러 분야에 사용되고 있다.

■ 차영엽

(원광대학교 기계자동차공학부)

1. 서론

로봇에서 매니퓰레이터(manipulator)로 사용되는 기계기구는 크게 직렬형(serial)과 병렬형(parallel)으로 나뉜다. 대부분의 산업용 로봇에 적용되는 직렬형 매니퓰레이터는 작업영역이 넓고 운동성이 좋은 장점이 있으나 관절과 링크가 반복적으로 연결되는 외팔보의 구조를 가지고 있어 낮은 강성과 상대적으로 낮은 적재하중용량을 가지게 되고, 또한 각 관절에서의 오차누적으로 인해 단말 효과기에서 정밀도가 저하되는 단점을 가지고 있다.

이에 대하여 병렬형 매니퓰레이터는 구동기가 병렬로 연결되어 여러 개의 링크에 부하가 분담되고 각 구동기에는 매니퓰레이터 자체의 부하와 외부 부하에 의하여 발생하는 모멘트가 아닌 축방향 하중만이 작용하므로 큰 부하를 구동시킬 수 있다. 따라서 직렬형 보다 높은 강성을 가지며, 각 조인트의 오차가 단말 효과기에 계속 누적되지 않고 서로 상쇄되므로 정밀도가 높은 장점이 있다. 그러나 병렬 구조로 인한 제한된 작업 영역을 가지게 되며 운동성이 나쁜 단점을 가진다.

이러한 병렬기구는 조립, 포장, 기계가공, 크레인, 수중공학, 항공 및 해양구조, 비행 및 3D 시뮬레이션, 위성 접시안테나 위

치제어, 망원경 자세제어, 그리고 정형외과 수술 등 여러 분야에 사용되고 있다.

현재까지 병렬기구에 관한 개별적인 자료나 문헌들은 많이 나와 있다[1-14]. 여기서는 병렬기구에 관한 다수의 정보가 있는 인터넷 사이트와 병렬기구 제조회사의 홈페이지 내용을 바탕으로 개발된 병렬기구들의 종류와 역사 그리고 특징들을 종합적으로 살펴보고 그들의 산업화 전략에 대하여 알아본다.

지금까지 연구자들은 병렬기구의 유래가 Stewart[2]의 논문에서 시작된 것으로 알고 있지만, 역사는 우리 모두가 알고 있는 것과는 다르다. 병렬기구에 관련한 이론은 약 1세기 전으로 거슬러 올라가는데, 영국과 프랑스 기하학자들은 다면체 연구에 몰두하였다. 초기에 운동 베이스로 알려진 운동 플랫폼을 오락 산업에 처음으로 도입하는 것은 공상이라고 생각했다. 1931년에 James Gwinnett[3]는 구형병렬기구 놀이시설을 처음으로 특허등록 하였다.

1940년에 새로운 병렬기구가 Willard Pollard[4]에 의해서 자동 분무 스프레이에 사용되었다. 병렬기구 연구자들에게는 Pollard의 병렬로봇이 산업용 병렬로봇의 효시로 알려져 있다. 이 독창적인 발명은 그림 1과 같이 3개의 가지를 갖는 5자유도 병렬로봇이다. 이 병렬로봇에서 3개의 인접한 팔들은 베이스에 고정

된 회전모터들에 의해서 선회할 수 있고, 3개의 멀리 있는 팔들은 유니버설 조인트에 의하여 3개의 인접한 팔들에 연결되어 있다. 2개의 멀리 있는 팔들은 볼 조인트로 세 번째와 연결되고, 기구 맨 끝에 있는 공구단은 3번째 멀리 있는 팔과 유니버설 조인트를 거쳐서 연결되어 있다. 이리하여 3개의 모터들은 공구단의 위치를 결정하고, 공구단의 자세는 베이스에 고정된 2개의 다른 모터에 의해서 공구단에 유연한 회전 케이블로 연결되어 운동이 전달된다. 이러한 Pollard의 병렬로봇은 페인트 분무를 위하여 고안되었다.

2. Hexapod

1947년에 병렬기구 분야에서 가장 유명한, 길이가 변화하는 지주를 갖는 8면체의 새로운 병렬기구인 Hexapod가 개발되었다. 이 8면체 Hexapod를 만든 Eric Gough[5]는 Dunlop Rubber사의 자동차 기술자였다. 그가 개발한 Hexapod는 그림 2와 같이 범용 타이어 시험기에 적용되었고, 비행기 착륙하중의 문제를 해결하기 위하여 고안 하였다. 이 범용기계는 복잡한 하중 하에서 타이어의 특성을 결정하는데 사용되었다. Gough 플랫폼의 새로운 점은 6개 지주의 배열에 있다. 그는 상대적으로 넓은 영역의 운동을 위하여 8면체를 형성하는 대칭 배열을 선택하였다. 이 기구는 1950년도 초반에 만들어지고 1954년에 완벽하게 작동되었다. 비록 그 원래의 설계는 베이스와 운동 플랫폼에 일반적인 유니버설 조인트가 사용되었지만, 지주는 독립적으로 부착되었다. 초기에 연장할 수 있는 지주는 수동 조절 나사 잭이었다.

1962년에 미국 프랭클린 연구소의 Klaus Cappel[6]에게 Hexapod에 기초한 기존의 6자유도 진동 시스템을 개선하는 일

이 주어졌다. 여기서 Cappel은 Gough에 의해서 제안된 것과 같은 팔면체 배열을 생각하였다. 그것을 새로운 고안으로 보기는 어려우나, Cappel은 이때 Gough의 발명을 인식하지 못하였다. 실제로 그 특허 적용과 운동 시뮬레이터 개념은 그림 3(a)와 같이 United Technologies의 시콜스키 비행기 부문에서 8면체 Hexapod에 기초한 6자유도 헬리콥터 비행 시뮬레이터의 설계와 제작을 위하여 사용되었다. 이러한 Hexapod의 구동에는 두 가지 방법이 사용되는데, 베이스와 플랫폼 사이를 연결하는 지주의 길이가 변화하는 것과 고정되어 있어서 링크를 이용하여 각도를 변화시키는 것이 있다.

2.1 가변 지주길이 Hexapod

대개의 전통적인 Hexapod처럼 지주길이를 가변하는 설계에서는 운동하는 동안에 지주 내부의 구동기에 의하여 길이가 변한다. 베이스와 플랫폼을 연결하는 지주와의 사이에는 유니버설 조인트, 볼 조인트, 또는 flexures가 사용된다. 천문학 분야 응용을 위하여, 지주길이를 가변하는 설계에서는 flexures가 고정도인 반면에 이동범위가 제한되므로 유니버설 조인트가 선택된다. 이는 각 지주 6개가 실질적으로 길이 변화에 따라서 한 개의 자유도를 부여하므로 서로 다른 6자유도 운동이 가능하다. 한 지주 당 두 개의 유니버설 조인트는 4개의 자유도를 준다. 다섯 번째 자유도는 스크류와 너트사이의 회전에 의해서 제공된다. 이 경우에 추가적인 회전베어링이 필요 없게 된다.

이것의 장점은 강건하고 마찰과 이력현상을 보다 감소시키는 시스템을 얻을 수 있다는 것이다. 다른 설계로서 각 지주에 선형 엔코더를 사용하는 경우에, 지주의 위와 아래 끝 부분이 다른 것들에 대하여 회전을 할 수 없으므로 추가적인 회전베어

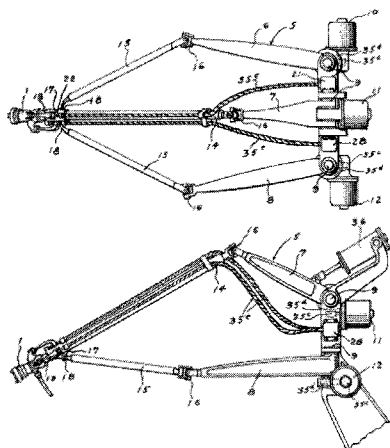


그림 1. 첫 번째 산업용 병렬로봇 (US Patent No. 2,286,571).

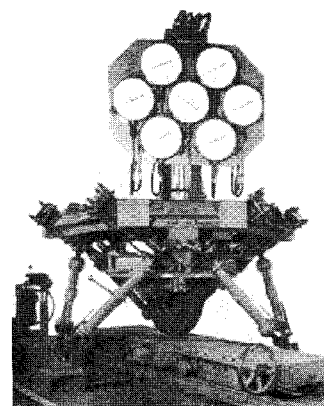
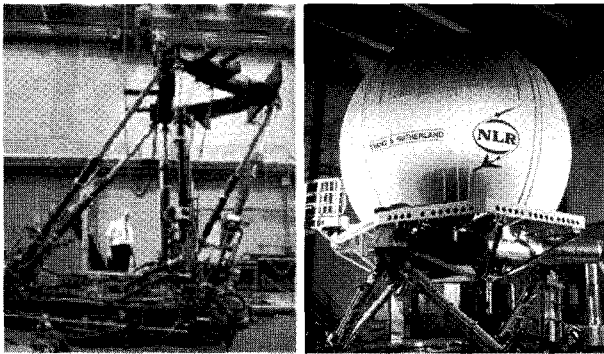


그림 2. 최초의 Hexapod인 Gough 플랫폼 (courtesy of Mike Beeson, Dunlop Tyres).



(a) (b)

그림 3. Hexapod에 기초한 (a) 최초의 비행기 시물레이터 (courtesy of Klaus Cappel)와 (b) 최근의 시물레이터 (courtesy of Evans & Sutherland Computer Corporation)

링이 필요하고, 지주에 설치된 직접적인 엔코더의 장점이 이 추가적인 오차원인에 의하여 절충된다. 선형 엔코더가 유니버설 조인트와 회전베어링에 의해서 제공되는 어떠한 오차도 허용하므로, 그 시스템의 정확도와 반복분해능은 이들 요소의 특성과 허용오차 그리고 특수한 형상의 제어 알고리즘에 크게 의존한다. 위에서 거론한 이유 때문에 매우 강건하고 백래쉬가 없는 나사와 정밀 레이저 어용 회전 엔코더가 지주 길이를 제어하는데 사용된다[7].

2.2 고정 지주길이 Hexapod

위에서 거론한 대부분의 Hexapod 응용이 수백 킬로그램 이상의 적재 하중 뿐만 아니라 상대적으로 큰 힘을 요구하는 분야인 반면에, MEMS와 광학요소들의 정렬에는 보다 높은 정밀도의 Hexapod가 요구된다. 1980년대에는 직렬기구를 이용한 광섬유 정렬시스템이 개발된 후로, PI에서는 Hexapod를 이용한 100mm의 반복분해능을 가진 다축 Hexapod를 개발하였다. 광학 정렬 위치결정에서의 이동범위는 매우 작고, 광섬유, 도파관, 정렬부품, 레이저 다이오드 등의 정렬되는 부품들도 매우 가볍다. 기존의 직렬 정렬시스템들이 선형 또는 회전 스테이지들을 연속적으로 적층한 것이기 때문에 모터들이 베이스로 갈수록 더욱 더 커진다. 또한 이러한 적층 시스템은 안내오차가 축적되고, 매우 높은 관성이 긴 정정시간을 야기하며, 다섯 개의 이동케이블에 의한 마찰의 야기와 정확도와 반복분해능이 감소되고, 무거운 시스템의 감속속에 따른 대량의 전기구동 에너지에 따른 열적 안정문제를 야기한다.

이러한 적층설계의 한계를 극복하는 해를 Hexapod에서 찾았

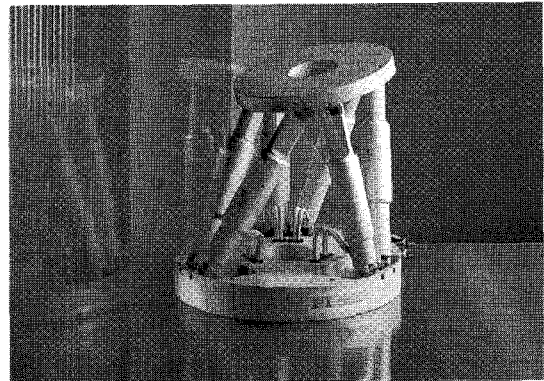


그림 4. 가변 지주길이 Hexapod인 PI의 M-850

다. Hexapod 설계의 낮은 관성 접근은 광학정렬의 이상적인 대안이다. 제곱 미크론으로 측정되는 정렬영역의 특성상 기본적으로 선형운동이 존재하지 않기 때문에 직선속도는 크게 중요치 않고, 빠른 응답과 짧은 정정시간이 더 중요하다. 이것은 고강성의 낮은 관성을 가진 위치결정 시스템에서 최대로 얻어진다. 더구나 조준렌즈 또는 광학섬유 정렬과 같은 많은 적용에서 사용자가 정의한 선회점을 중심으로 회전이 필요하다. 직렬기구시스템은 고정반경 스테이지 또는 고니오미터에서 이런 동작이 가능하다. Hexapod에서는 병렬기구설계와 제어 알고리즘의 결과로 선회점을 완전히 가상적으로 할 수 있다. 더구나 이동 케이블이 없기 때문에 마찰과 복잡성 그리고 연결실패의 가능성을 확실히 감소시킨다. 간결한 크기는 정렬기구를 자동 장비에 쉽게 통합할 수 있는 또 다른 장점이 있다. 이러한 모든 요구는 새로운 일직길이 지주를 갖는 Hexapod와 일치한다. PI 설계의 실제 구조가 그림 5에서 보여준다.

3. Delta 로봇

1980년대 초에 스위스 EPFL (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne)의 Reymond Clavel[8]은 3개의 병진자유도와 1개의 회전 자유도를 갖는 병렬로봇을 만드는데 평행사변형을 이용하는 생각을 하였고, 후에 그 창작물은 Delta 로봇으로 불렸는데, 수백 개의 로봇들 중에서 가장 성공적인 병렬로봇 중의 하나가 되었다.

Delta 로봇 설계의 기본개념은 평행사변형의 이용이다. 한 개의 평행사변형은 하나의 출력링크가 하나의 입력 링크에 대해 고정된 자세로 남아 있다는 것이다. 이러한 3개의 평행사변형들의 이용은 오직 3개의 순수한 변위자유도를 갖도록 이동 플랫폼의 자세를 완전히 제한한다. 3개 평행사변형들의 입력링크

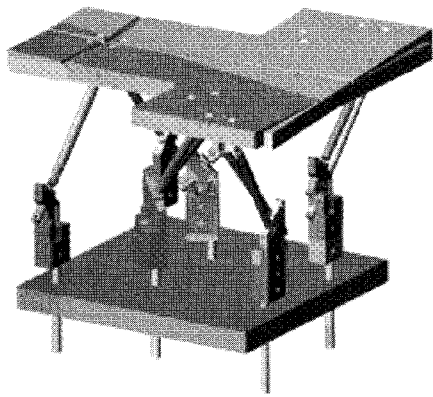


그림 5. 고정 지지길이 Hexapod인 PI의 F-206의 구조

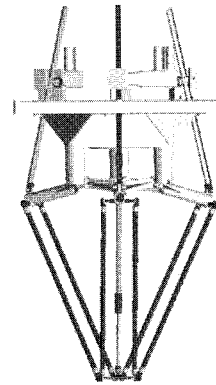


그림 6. Delta robot 구성도

들은 회전 조인트를 통하여 회전레버들에 장착되어있다. 이러한 회전 조인트들은 회전 모터들이나 그림 6의 선형 구동기와 같은 두 가지 다른 방법으로 구동된다. 마지막으로 한 개의 네 번째 링크는 베이스에서부터 이동 플랫폼에 장착된 말단 효과기까지 회전운동을 전달하는데 이용된다.

베이스에 장착된 구동기들과 가벼운 질량을 갖는 링크의 사용은 이동 플랫폼의 가속도를 실험실 환경에서 50G까지 그리고 고 산업 환경에서 12G까지 가능하게 한다. 이것은 Delta 로봇을 가벼운 작업물의 pick and place 작업에 하나의 완벽한 대안이 되게 한다. 이상적으로 이들의 작업영역은 3개 원의 겹쳐지는 부분이 되고, 이러한 Delta 로봇들은 대략 직경 1m와 높이가 0.2m 인 실린더형 작업영역을 갖는 곳에서 유용하다.

이러한 Delta 로봇 시장의 역사는 길고 복잡하며 흥미가 있다. 그것은 1983년 스위스의 Marc-Olivier Demaurex[9]가 Demaurex사를 만들면서 시작되었는데, 1988년에 EPFL로부터 면허를 얻은 후에 Delta 로봇의 개발을 시작하였다. 1992년에 첫 번째 Delta 로봇을 Roland에 팔았고, 그 첫 번째 적용은 기념비적인 설치로 6개 로봇을 프릿젤의 생산라인에 투입하는 것이었다. 1996년에 첫 번째 시각안내 Delta 로봇 설비를 Nestle의 초콜릿 구분 포장 라인에 7대를 배치하였다. 1997년에는 포장산업에서 새로운 Delta 로봇기술의 장점을 확인하고 이 분야에 초점을 맞추었다. 1998년에 Demaurex는 이 새로운 시장을 석권하는데 성공하였고, 총 300여대의 Delta 로봇을 팔았다.

1988년에 EPFL은 Delta 로봇 면허를 Demaurex에게 허가하였는데, 이때 EPFL은 두 개의 면허로 나누어 허가하였다. 그 첫 번째는 암과 평행사변형을 합쳐서 800mm 이하의 작은 치수를 갖는 로봇에 대한 것으로, 이는 1988년에 Demaurex에게 독점을 인정하였다. 그 두 번째는 큰 치수를 갖는 로봇에 대한 것으로, 이는

AID에 독점을 인정하였는데, 그 후로 DeeMed에 다시 양도되었다. 후에 Electa가 인수한 이 회사는 외과수술분야로 응용범위를 한정하고, 20Kg의 무거운 SurgiScope[10]라는 현미경을 이동시키는 Delta 로봇을 생산하였다. 그러나 결국 그 기술은 1999년 말에 Medtronic에서 인수하였고, 지금은 Intelligent Surgical Instruments & Systems (ISIS)에서 그림 8과 같은 SurgiScope 시스템을 만들고 있다. Elekta IGS는 Delta 로봇에 대한 SurgiScope와의 거래 전에 세계적인 기술 그룹인 ABB[11]를 Delta 로봇 면허에 포함하였다. 결과적으로 ABB는 대형 Delta 로봇 생산허가를 얻었다.

15년 뒤에 시장의 단독 공급자인 Demaurex는 유리한 시장진입과 장기간 안정을 확보하기 위한 시도로 단순 Delta 로봇에서 완벽한 로봇 셀 생산으로 그들의 생산라인을 바꾸었다. 그러나 세계시장을 확보하기 위하여, 소형 Demaurex는 파트너를 찾았는데 1999년 말에 스위스의 SIG가 그 대상이었다. SIG 그룹은 3개의 부문으로 나누어져 있는데, 그 중에서 SIG Pack 부문은 Delta 로봇이 세계시장에 접근하는데 필요한 많은 것들을 제공하는데 충분하였다.

2002년에 Demaurex는 Dobby Inc.의 도움으로 북아메리카에 이들 생산품을 판매하기 위한 거점을 마련하고, 현재까지 판매와 서비스를 담당하고 있다. 2004년에 Bosch 그룹은 SIG 그룹의 SIG Pack Systems을 인수하여, Demaurex를 Bosch[12]의 Packing Technology 부서의 일원으로 만들었다. Demaurex는 2008년까지의 세계적으로 1000여대의 Delta 로봇을 판매하였다.

4. Deltapod

ABB는 유연 장착작업을 위하여 FlexPLP (Flexible Principle Locator Points)라고 부르는 새로운 형태의 병렬운동기구를 내놓

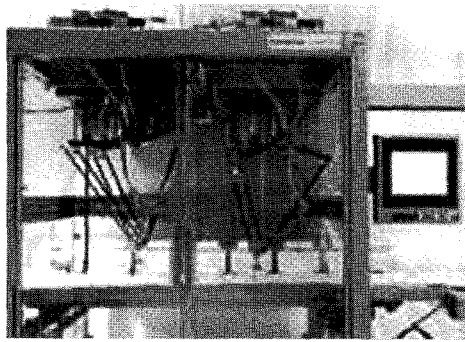


그림 7. Demaurex의 Delta 로봇 (courtesy of Demaurex)

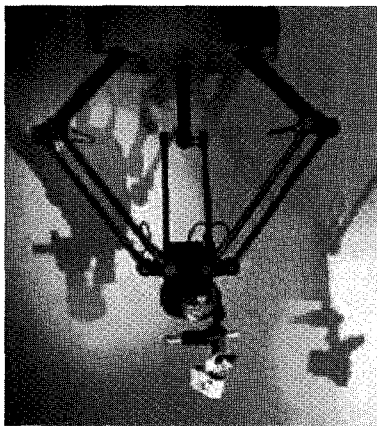


그림 8. SurgiScope에 사용되는 Delta 로봇 (courtesy of ISIS)

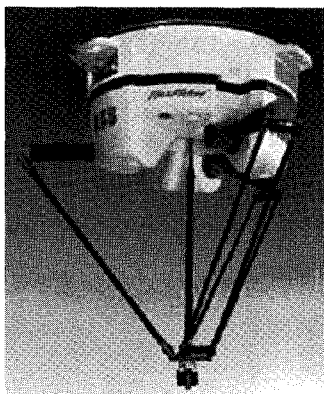


그림 9. ABB의 Delta 로봇 (courtesy of ABB Flexible Automation)

있다. FlexPLP는 자동차 조립과 용접 시 차체의 형태를 정의하는데 사용하는 고정된 위치결정기구들을 대신하여 수치적으로 제어되는 위치결정점으로 의도되었다. Deltapod로 불리는 이 병렬운동기구는 공간에서 위치결정 핀들의 위치를 자유로이 결

정할 수 있다. Deltapod라는 이름은 잘 알려진 Delta 로봇과 Hexapod 원리를 결합한 것을 의미한다.

그것은 기구의 다리들을 형성하는 병렬로 정렬된 전기실린더 3쌍으로 구성된다. 경사진 형태의 다리 쌍들을 정렬하여, 다른 중요한 기구 변수들이 고정되고 기구의 바닥면이 최소화된다. 그 결과는 매우 간결하나 자체 질량의 4배를 초과하는 부하를 운반할 수 있는 강력한 기구가 된다. 이 새로운 기구의 첫 번째 응용은 유연 자동차 차체공장의 부품 고정물이다. 4개 또는 그 이상의 FlexPLP가 선형 진로에 배열되고, 각 자동차 모델에 적합한 유연한 차체고정 왕복기구가 되어 차체 하부 고정과 용접부로 이동한다.

이러한 새로운 원리는 ABB의 FlexLean 개념의 일부로서 오늘날 공장에서 차체 운반을 위하여 사용되는 많은 수의 고정 팔레트를 제거할 수 있고 다종 모델의 생산을 가능케 한다. 이러한 적용이 각 기구 당 오직 3자유도를 필요로 하여, 6개의 모터가 있는 Hexapod로는 목표원가에 이를 수 없었다. 따라서 ABB는 한 개의 모터로 한 쌍의 실린더를 구동할 수 있는 실린더들 사이의 기구 결합을 발명하여 특허를 냈다. 한 개의 Deltapod는 마치 Delta 로봇처럼 오직 3개의 모터를 필요로 한다. 이는 증폭기와 컨트롤러의 가격을 낮추는데, ABB의 로봇 컨트롤러인 IRC5는 이러한 3축 기구를 12대나 제어할 수 있다.

5. Rotopod

Parallel Robotic Systems Corporation (PRSCO)[13]은 병렬링크 기구의 설계, 생산과 응용을 목적으로 하는 회사이다. 2002년에 설립되어 Hexel Corporation으로부터의 독점 인가를 사용하여 6자유도 기구인 Hexapod 형태의 새로운 로봇을 개발하였다. Rotopod가 그것인데 고정 지지걸이 Hexapod의 한 종류로 각 지지주의 아래쪽이 베이스에 고정된 대신에 원형 레일에서 독립적으로 위치를 정할 수 있어서 기존의 Hexapod와는 차별화된 운동이 가능하다. 360도 또는 그 이상의 회전이 필요한 경우에 PRSCO의 R 시리즈인 R2000은 병렬기구 고유의 강성과 정밀도를 유지하면서 회전까지 할 수 있다. 이 기구는 프로그램이 간편하고 설치도 쉽다. 간단한 사용자 인터페이스는 단순하고 편리한 프로그래밍과 조작을 가능케 한다. 이들 로봇들은 동일한 핵심 소프트웨어를 가지고 그들과 어떻게 통신할 것인지는 사용자가 걱정할 필요가 없도록 되어있다.

이들 기구들은 자동화된 용접라인에서 오차를 최소화하고, 보다 새롭고 더 나은 신발 설계 방법을 제시하고, 그리고 흥미

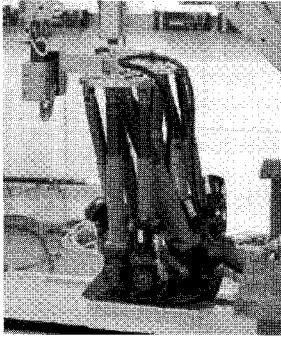


그림 10. ABB의 Deltapod, FlexPLP (courtesy of ABB)

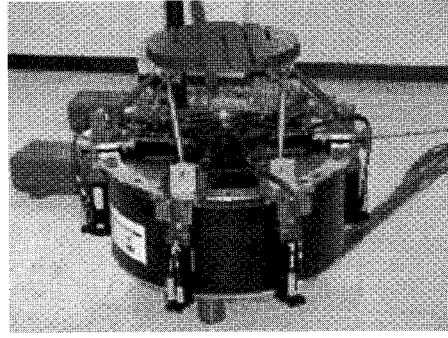


그림 11. PRSCO의 Rotopod, R2000 (courtesy of Parallel Robotic Systems)

로운 분야인 생체기계 연구의 시험장비로 사용되었다. Rotopod의 이러한 모든 특징들은 최종 사용자의 특별한 요구를 만족시키기 위하여 개발되었고, 그 최종 목표는 전통적인 Hexapod로는 해결하기 어려운 운동 문제를 효과적으로 수행하는 기구를 개발하는 것이다.

6. RoboCrane

National Institute of Standards and Technology(NIST)[14]의 James Albus는 스튜어트 플랫폼 기술을 적용한 RoboCrane으로 알려진 크레인 기구를 개발하였다. 매니플레이터의 한 종류인 이것은 스튜어트 플랫폼을 닮았으나 지주 대신에 케이블의 팔각형 구조를 가지고, 스튜어트 플랫폼과 같이 6자유도를 가진다. 이것은 계층적 제어시스템인 실시간 제어 시스템을 사용하여 구동한다. 작업영역 주위로 날아다니는 특수한 공구를 부착하여 석재조각, 조선, 교량 건설, 검사, 파이프 또는 빔 조립과 용접 등의 많은 가능한 응용분야를 가진다.

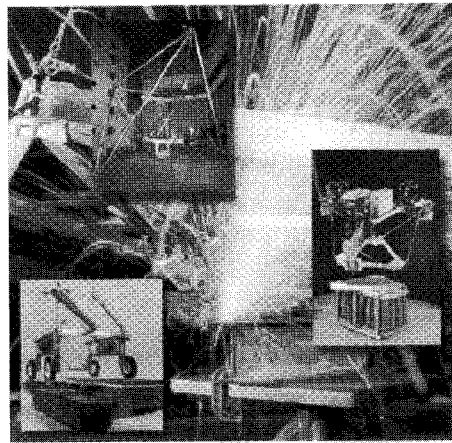


그림 12. NIST의 RoboCrane (courtesy of National Institute of Standards and Technology)

7. 집적(Monolithic)병렬기구

Physik Instrumente (PI)[7]는 10여 년 전부터 미크론 이하의 정밀 Hexapod 설계를 시작하였는데, PI 설계자들은 나노미터 이하의 정밀도 적용을 위하여 여러 가지의 병렬 기구 구조의 경험을 하나로 모았다. 그림 13은 PZT 구동기와 wire-EDM-cut flexures로 구성된 한단위의 3자유도 병렬운동 나노포지셔닝 스테이지의 원리를 보여주고 있다. 이러한 집적 병렬기구 한단위의 설계는 그림 14에서 보여주는 전통적인 직렬기구설계와는 대조적이다.

고속 나노포지셔닝의 응용에서 적층 또는 한 벌의 직렬 운동

시스템들에 비하여 병렬운동기구의 장점은 매우 낮은 관성 때문에 더 높은 공명주파수, 빠른 계단응답, 그리고 높은 스캐닝 속도를 얻을 수 있다는 것이다. 또 다른 장점은 나노미터 이하 스케일의 능동케이블제어가 가능하다는 것인데, 이것은 직접 출력을 측정하는 전기용량 위치센서들과의 통합이 이루어질 때 가능하다. 각각의 위치센서가 공통의 플랫폼을 모니터링하기 때문에 가장 작은 축 혼선효과만 있고 그것도 실시간으로 보상될 수 있어서 높은 직선성과 정확한 스캐닝을 가능하게 한다. 이와 같은 시스템은 나노미터 이하의 분해능과 밀리초 이하의 응답이 요구되는 매우 높은 분해능의 주사현미경, 반도체 마스크 정렬, 그리고 측정 등에 응용된다.

8. 결론

병렬기구는 운동 플랫폼의 말단 효과기가 적어도 두 개의 독

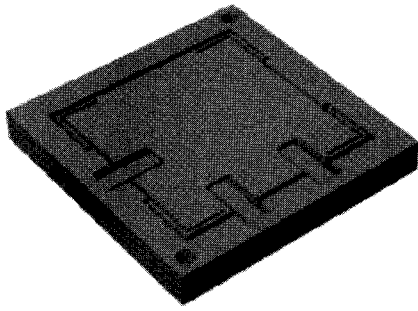


그림 13. PI의 집적 3자유도 평면 병렬기구인 나노 포지셔닝 스테이지 원리

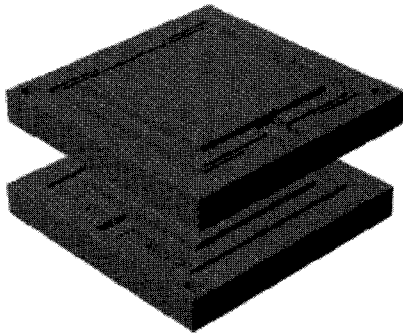


그림 14. PI의 적층된 직렬기구인 2축 나노 포지셔닝 스테이지 원리

립적인 운동학적 연쇄들에 의해서 베이스에 연결된 페루프 기구이다. 지금까지 병렬기구에 관한 개별적인 자료나 문헌들은 많이 나와 있다. 여기서는 개발된 병렬기구들의 역사와 종류 그리고 특징들을 종합적으로 살펴보고 그들의 산업화 전략에 대하여 알아보았다.

참고문헌

- [1] <http://www.parallelic.org>
- [2] D. Stewart, "A platform with six degree of freedom," *Proc. of the Institute of Mechanical Engineers(Part I)*, vol. 180, no. 15, pp. 371-386, 1965-1966.
- [3] J. E. Gwinnett, "Amusement devices," US Patent No. 1,789,680, January 20, 1931.
- [4] W. L. G.Pollard, "Spray painting machine," US Patent No. 2,213,108, August 26, 1940.
- [5] V. E. Gough, and S .G. Whitehall, "Universal tyre test machine," *Proceedings of the FISITA Ninth International Technical Congress*, pp. 117-137, May, 1962.
- [6] K. L. Cappel, "Motion simulator," US Patent No. 3,295,224, January 3, 1967.
- [7] <http://www.physikinstrumente.com/>
- [8] R. Clavel, "Device for the Movement and Positioning of an Element in Space," US Patent No. 4,976,582, December 11, 1990.
- [9] J.-P. Merlet, *Parallel Robots*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [10] <http://www.isis-robotics.com/eng/ surgiscope.html>
- [11] <http://www.abb.com>
- [12] <http://www.demaurex.com/>
- [13] <http://prSCO.com/uofalberta.html>
- [14] <http://www.isd.cme.nist.gov/projects/ robocrane/>

◎ 저자약력



차 영 열

- 1984년 부산대 기계공학과 졸업.
- 1987년 한국과학기술원 생산공학과 석사.
- 1995년 한국과학기술원 정밀공학과 박사.
- 1995년~현재 원광대학교 기계자동차공학부 교수.
- 관심분야 : 로봇과 영상처리.