

로봇을 이용한 프로펠러 블레이드 연삭작업의 자동화 시스템 개발

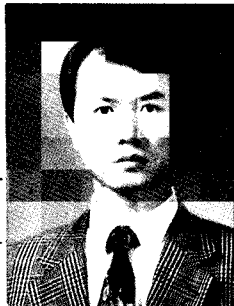
(Development of Automatic System for Propeller Blade Grinding using a Robot)



이 민 기

(창원대학교)

- '81 인하대학교 기계공학(학사)
- '88 미국 West Virginia Univ. 기계공학(박사)
- '88-'90 금성산전 연구소 선임연구원
- '90-현재 창원대학교 제어계측과 조교수



최 병 오

(KIMM 기계부품연구부)

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

1. 서 론

프로펠러 블레이드 연삭작업은 생산 현장중에서 산재가 가장 많이 일어나고 작업시 생성되는 분진, 소음, 진동등으로 근로자들이 작업을 기피하는 전형적인 3D 작업중 하나이다. 향후 인건비가 상승되고 인력확보가 어려운 상황에서 이 분야의 자동화는 절실히 요구되고 있다. 일부 대기업에서는 고가의 외제 전용기를 사용하고 있으나 블레이드 면의 가공자국을 없애는 마무리 작업은 아직도 인력에 의존하고 있으며 이 작업 또한 많은 인력투입이 요구된다. 그러므로, 유연성이 높은 시스템을 개발하여 자동화를 이룩함으로써 인건비를 절감하고 수입 대체 효과를 얻기 위해 개발이 필수적인 시스템이다.

또한, 연삭작업에 이용될 로봇트는 일반 공작기계로 작업이 어려운 형상의 가공을 가능하게 하므로써 기계가공의 자동화 기술에 응용될 것이며, 특히 각종 주물생산품(자동차 및 농기계 부품)의 사상작업(Fettling)과 터빈 블레이드 연삭작업에 직접 적용할 수 있어 주물 생산업체, 기계 가공업체, 기계부품 생산업체 등에도 절실히 필요한 시스템이다.

2. 관련기술 현황

대기업은 대형 프로펠러(직경 5000mm이상)를 생산하고 있으며 전용기를 구입하여 자동으로 작

업하고 일부업체는 전용기를 외국회사(Westing House, G.E)와 기술제휴로 개발하여 사용하고 있으나 가공자국을 없애는 마무리작업은 아직도 인력에 의존하고 있는데 작업시간은 개당 15일 이상이 걸리는 경우도 있다. 전용기 가격이 고가여서 중소기업이 투자하기에는 불가능한 실정이다.

중소기업은 중형 프로펠러 (직경 5000 mm이하)를 주로 제작하고 있으며 설계, 주조기술은 많이 향상되어 있으나 주물 프로펠러의 연삭작업 기술은 낙후성을 면치 못하고 있어 작업능률의 저하, 위험한 작업 환경등이 방치되어 있는 실정이다. 조선업계의 호황에 따라 중·대형 프로펠러 수요는 증대되고 있으나 고임금화 시대에 인력투입이 많은 작업으로 개발 도상국에 경쟁력을 잃고있다. 이를 대처하기 위해서 자동화를 절실히 필요로 하고 있으나 연삭전용 로봇의 미개발, 연삭기술, 시스템 구성기술 등의 부족으로 답보상태에 있는 실정이다. 프로펠러 제조업체 뿐만 아니라 3D 작업현장인 주물 생산업체, 기계가공업체 등에도 본 시스템과 같이 유연성과 생산성이 높은 자동화를 요구하고 있다.

유럽에서는 연삭작업의 열악한 작업환경을 개선하고자 유럽 공동체 차원에서 EUREKA 프로젝트를 공동으로 수행하고 있다. 노르웨이의 Multiraft사는 기계 가공 로봇을 개발하여 프로펠러 연삭작업에 사용하고 있으며 독일의 Grief사 등도 자동화를 위한 연삭기, 주변기기 기술을 개발하여 활발하게 사용하고 있다. 미국의 Westing House, G.E. 등과 같이 블레이드 가공 전용기를 개발하여 자동화를 이루고 있는 업체도 있으나 작업의 유연성 증대를 위해 로봇을 이용한 자동화에 관해 많은 연구를 하고있다. 일본도 Koyama사 등은 주물연삭 작업을 자동으로 처리하는 전용기를 개발했고 로봇 전문 업체인 Yamaha사 등이 로봇을 이용한 기계 가공 자동화를 실용화한 단계이다.

현재까지 연삭을 비롯한 기계 가공작업을 자동화하고자 하는 노력은 일반 다관절(직렬) 로봇의 적용범주를 벗어나지 못하고 있다.^[1] 그러나

이 로봇의 구조는 링크와 링크가 베이스에서 그리퍼까지 직렬로 연결된 외팔보 형태이므로 그리퍼에 작용하는 가공부하에 의해서 로봇의 베이스 부분에 큰 굽힘 모멘트가 발생되고 강성이 약하므로 진동에 취약하다. 강성을 높이는 구조에 관한 연구로 가장 획기적인 것으로는 Stewart가 제안한 Stewart Platform이다.^[2] 이것은 베이스와 플랫폼 사이에 6개의 리니어 액추에이터가 설치되어 있어 플랫폼을 밀고, 당겨주므로써 운동을 만들어 내는 병렬구조로 항공기 시뮬레이터에 사용되었다. 병렬구조는 강성을 높이는 획기적인 구조이나 구조해석이 어려워 실용화에 많은 제한이 있다. 그러므로 연구결과들도 주로 기구학적 해석에 집중되어 있다. 순방향 구조해석(Forward Kinematics),^[3,4] 병렬구조를 변형한 구조해석,^[5] 직렬구조와 조합한 구조해석^[6] 등이 연구되었다. 병렬구조의 실용화를 위한 연구로 Fichter가 병렬구조를 이용한 6 자유도의 로봇 매니플레이터를 제작했다.^[7] 그러나 이 로봇은 1단 평행구조로 되어있어 작업공간이 작고 설치공간이 넓다는 단점을 가지고 있다.

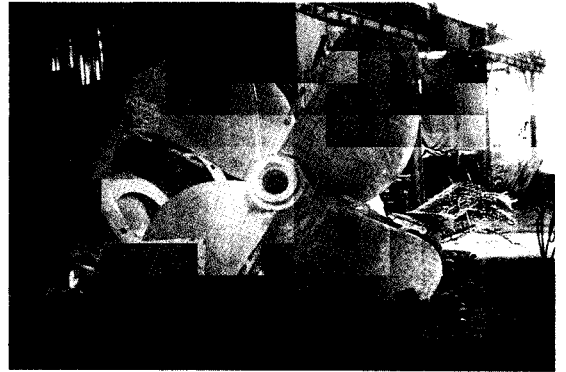
이상에서 밝혔듯이 병렬구조를 이용한 로봇의 개발은 1단 평행구조를 사용하고 있는 단계이며 마이크로 매니플레이터와 같이 소형 로봇으로 학교나 연구기관에서 작업공간이 작은 정밀작업에 적용되는 수준으로 아직 실용화 단계에는 이르지 못하고 있다. 본 시스템에서는 프로펠러 연삭작업을 위해 2단 평행구조를 이용한 강성이 큰 로봇을 개발하므로써 로봇의 적용확대를 이루고자 한다.

본 논문에서는 시스템의 구성 및 작업방법이 제시되며 연삭 로봇의 조건과 이를 만족 시킬 로봇 암이 소개된다. 제안된 자동화 시스템은 propeller 연삭작업 뿐만 아니라 향후 기계가공 자동화에도 기여할 것이다.

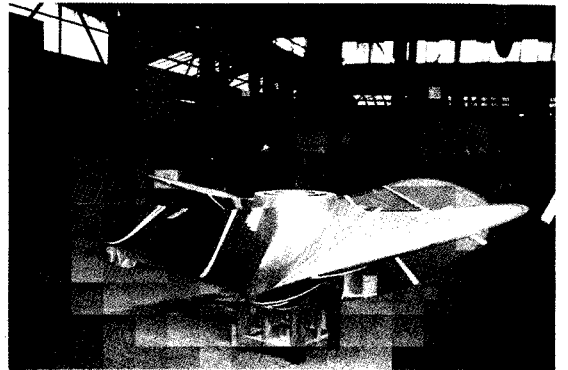
3. 프로펠러 블레이드 연삭작업

프로펠러 블레이드의 주조 공정으로는 형상의

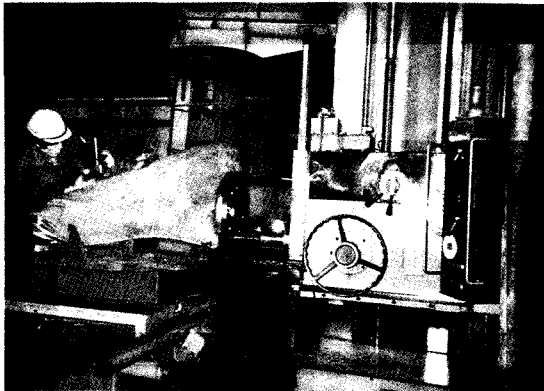
정밀도를 맞출 수 없으므로 공정이 끝난 블레이드 주물을 설계도면과 비교하면서 표면을 연삭하는 작업이다. 프로펠러의 종류는 그림 1과 2에서 보듯이 CPP(Controllable Pitch Propeller)와 FPP(Fixed Pitch Propeller)가 있다. CPP 블레이드는 날이 하나씩 분리되어 4개를 조립하므로써 프로펠러를 형성하는 타입으로 연삭작업이 용이하나 FPP는 일체형으로 4개의 날이 붙어있어 날간의 간섭에 의해서 연삭작업이 어렵다. FPP 프로펠러인 경우 주탕구를 제거한 후 순수 블레이드 표면만 제거하는 양은 약 1톤으로 일반 중형 선박용인 직경 4000mm FPP의 작업시간은 2명이 15일 이상 걸리는 인력투입이 많이 필요한 작업이다.



(a) 연삭작업전 FPP



(b) 작업완료된 FPP



(a) 연삭작업전 CPP



(b) 작업완료된 CPP

그림 1. CPP 블레이드

그림 2. FPP 블레이드

작업 방법은 그림 3과 4에서 보듯이 작업자가 주물 블레이드의 두께를 일정한 간격으로 측정하여 제거할 만큼의 두께를 드릴로 뚫어 표시한 후 Disk Grinder를 사용하여 표시된 두께까지 표면을 제거하는 작업이다. 블레이드의 곡면이 다양하므로 각 곡면 모양대로 제작된 틀을 작업도중에 맞추어 보면서 숙련된 작업자가 제거량을 판정하여 곡면 형상을 만들어 낸다. 대형 프로펠러의 경우 수작업이 불가능하므로 전용기를 사용하고 있으나 유연성이 낮으므로 가공자국을 없애는 마무리 작업은 사람이 연삭기로 직접해야 한다.

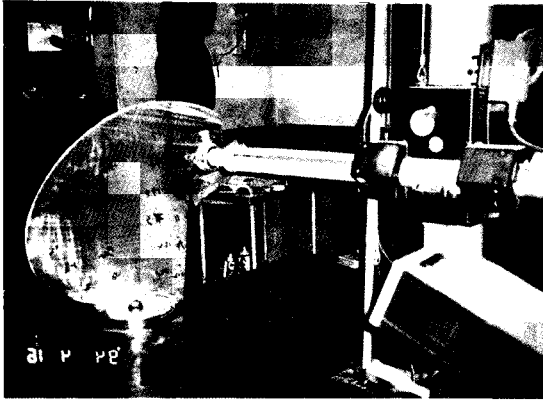


그림 3. 블레이드의 두께 측정



그림 4. 수작업에 의한 프로펠러 연삭

위 작업의 특성상 아래와 같은 열악한 작업조건을 가지고 있다.

- 가) 열악한 작업 환경:-연삭작업시 분진, 소음으로 작업자의 호흡, 청각 장애를 유발하며 연삭부하에 의해서 전달되는 진동으로 관절염등을 유발 시킨다.
- 나) 산업재해가 자주 일어나는 작업:-작업자가 연삭기를 잡고 연삭대상물에 직접부하를 주어 작업하므로 고속, 고부하의 연삭기에 의해서 산업재해가 많이 일어난다.
- 다) 안정적인 인력확보가 어려운 작업:-대표적인 3D 작업이므로 안정적인 인력확보가 어렵고 생산비중 인건비가 차지하는 부분이 커서 요즘 개발도상국에 경쟁력을 잃고 있다.

라) 유연한 공정이 요구되는 작업:-프로펠러는 다품종 소량 생산이므로 제품마다 작업방법이 다른 유연성이 높은 시스템을 요구한다.

4. 자동화 시스템의 구성

블레이드의 연삭작업은 로봇과 주변기들이 설치되어 있는 Workcell 안에서 실시하며 작업시 생성되는 소음과 분진은 방음과 집진장치로 자동으로 처리된다. 시스템의 구성은 그림 5와 같이 연삭 로봇, 연삭기, blade 표면 측정기, 자동 tool 교환기, 연동 Positioner 등으로 되어있다.

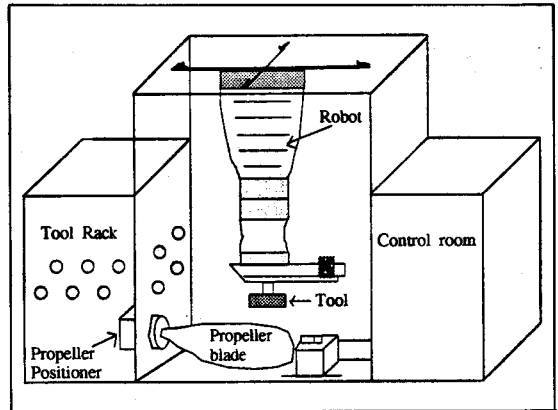


그림 5. 프로펠러 블레이드 연삭작업의 자동화 시스템

4.1 연삭 로봇

블레이드의 다양한 형상과 크기에 따라 연삭경로와 각도를 조절할 수 있는 기계로 그림 6과 같이 유연성이 높은 로봇이 필요하다. 연삭작업은 일반 로봇 응용분야와 달리 특수한 사양의 로봇을 요구한다.

- 가) 가반중량이 커야 한다. 연삭 로봇의 가반중량은 연삭부하, 연삭기의 무게, 연삭기를 잡기 위한 Fixture의 중량까지 포함한다. Fixture는 연삭기를 운반할 수 있을 뿐아니

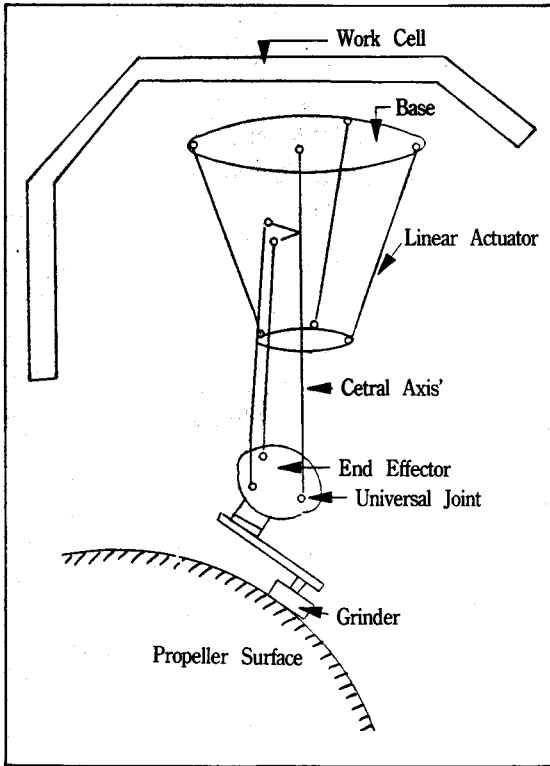


그림 6. 로봇을 이용한 프로펠러 블레이드 연삭작업

라 연삭부하도 견딜 수 있도록 견고하게 제작 되어야한다. 가반중량이 작을 경우 Fixture의 중량에 제한을 받으므로 제작에 많은 제한을 받게된다.

- 나) 암 구조가 큰 강성을 가지고 있어야 한다. 가반중량과 연삭부하에 의해서 로봇암의 변형이 일어나지 않고 진동을 막기 위해서는 암 구조가 큰 관성 모우멘트를 가지고 있어야 한다. 이는 일반 다관절 로봇의 취약점으로 본 시스템에서는 특수한 암 구조 즉 연삭기를 하나의 링크로 지지하지 않고 여러개의 링크로 지지하며 링크와 링크연결도 직열보다 병열식 연결을 고려한 2단 평행구조 로봇 암을 개발하고자 한다.
- 다) 경로제어가 정확하게 되어야 한다. 연삭부

하와 이송 속도는 제거량의 크기에 따라 달라지며 이는 로봇의 운동을 주어진 경로에서 벗어나게 한다. 조립용 로봇도 경로제어기능은 있지만 시작과 마지막 위치 정밀도만 중요시하고 중간 경로는 충돌을 피하는 정도로 제어하는 경우가 대부분이다. 그러나 연삭 작업은 프로펠러의 형상에 따라 정확한 경로를 따라 가면서 작업을 해야하므로 속도와 부하의 변화에도 불구하고 주어진 경로를 벗어나지 않는 동적 반복정밀도(Dynamic Repeatability)가 좋아야한다. 실험 결과 연삭 로봇은 일반 로봇과 비교해서 동적 반복 정밀도가 100 배정도 높아야 한다.

- 라) 부하제어가 가능해야 한다. 연삭 로봇의 제어기는 위치와 힘을 동시에 제어해야한다. 지금까지 사용된 방법은 하이브리드(Hybrid) 제어방식으로 이는 위치와 힘의 제어 방향이 서로 직각이라는 성질을 이용하여 위치가 제약을 받는 방향으로는 힘 제어를, 힘이 제약을 받는 방향으로는 위치 제어를 독립적으로 실시하여 연삭작업을 행했다. 그러나 힘을 측정하는 센서의 가격이 고가이고 피이드 백 계인에 따른 제어기 안정성 때문에 실용화 단계에 이르지 못하고 있다.^[8] 본 시스템에서는 연삭기의 전류량을 측정하여 연삭기에 부과되는 부하량을 산출한다. 이 부하제어기는 이송속도를 적절히 조절하므로써 연삭기를 보호하고 작업속도를 빠르게 하는 역할을 한다.
- 마) 연삭숫들의 마모를 측정하고 보상할 수 있어야 한다. 연삭 작업에서 연삭 숫들의 마모량을 측정해서 마모량 만큼 로봇의 경로를 변경하지 않으면 원하는 형상대로 가공작업을 할 수 없다. 연마적인 경우 Light Beam 등을 이용하여 연마석의 두께나 지름을 측정하여 마모량 만큼 자동적으로 경로를 변경 시켜주는 기능을 보유하고 있어야 한다.

4.2 연삭기

연삭기는 작업순서, 연삭깊이, 면적, 속도, 시간 등에 따라 선택되어 사용되는데 자동 교환기에 의해서 로봇의 End-effector에 장착된다. 가반 중량을 줄이기 위해 무게에 비해 부하가 큰 유압 구동식 연삭기를 사용하는 경우도 있다. 연삭부하는 10kw이상으로 사람이 낼 수 있는 부하의 5배 이상으로 작업을 해야 시스템의 생산성이 높다고 볼 수 있다. 부하는 연삭기가 설치되어 있는 실린더의 공기압을 조절하므로써 제어하고 이 공기압은 강성을 조절하는 스프링의 역할도 한다.

4.3 블레이드 표면 측정기

수 작업 때와 마찬가지로 Blade의 높이를 측정하여 연삭 깊이를 판정할 수 있는 측정기가 필요하다. 이 측정기는 연삭작업 도중 Tool changer로 로봇 End-effector에 자동으로 설치되며 로봇은 측정기의 접촉부가 블레이드 면에 닿을 때까지 수직방향으로 이동시키고 센서가 접촉을 감지했을때 로봇의 액추에이터의 이동량을 산출하므로써 블레이드의 높이를 측정한다. 일정한 간격으로 높이를 측정하여 블레이드의 실제 표면형상을 콘트롤러가 모델링할 수 있게 된다.

4.4 자동 Tool 교환기

연삭작업시 로봇은 작업조건에 따라 여러종류의 연삭기를 사용하고, 블레이드의 두께를 측정하기 위해서는 표면 측정기도 필요에 따라 End-effector에 장착해야 하므로 자동 Tool 교환기가 필요하다. 교환기는 일반 공작기계의 Tool 교환방식과 동일하다.

4.5 연동 Positioner

블레이드는 Fixture에 설치되는데 다양한 형상을 작업하기 위해 연동 Positioner가 로봇의 운

동과 동기를 이루면서 블레이드를 회전시켜준다. 특히, 연동 Positioner는 로봇의 연삭각도의 범위를 확대하는데 유효하다. Positioner는 로봇의 운동과 동시 제어되므로 시스템의 자유도는 Positioner의 자유도 만큼 증가되므로 콘트롤러는 로봇 이외의 여유 자유도를 확보하고 있어야 한다.

5. 시스템의 작업방법

연삭작업은 그림 7과 같은 흐름도에 의해서 행해진다. 프로펠러 블레이드의 형상 데이터와 주물 블레이드를 비교하여 제거량을 산정하고 각 작업 조건에 따라 작업공정을 정의해서 작업을 실시한다. 작업은 완성도 판정에서 만족할 때까지 계속되어 마치게 된다.

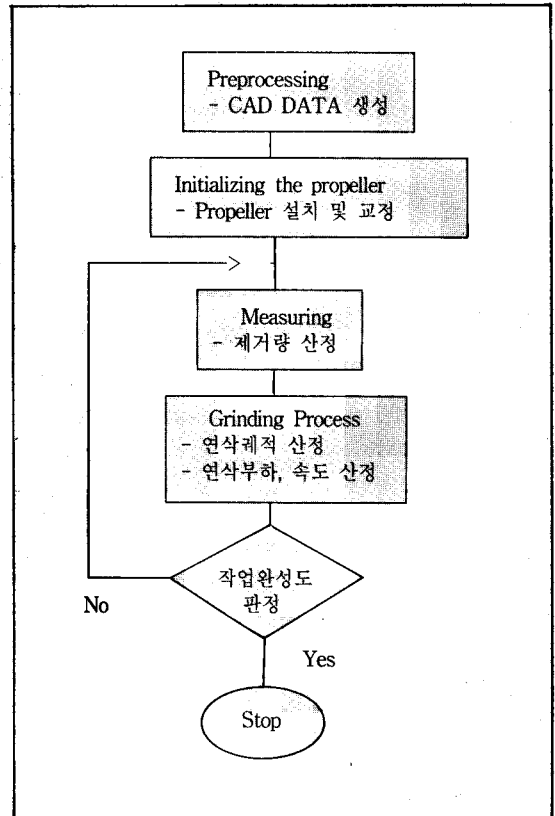


그림 7. 프로펠러 연삭작업의 공정도

5.1 Preprocessing

5.1.1 블레이드 곡면의 형상 데이터 생성

프로펠러 형상 데이터는 주로 프로펠러 축을 기준으로 하는 원통 좌표로 각 점을 나타낸다. 이를 직각 좌표로 변환시켜 프로펠러의 면을 나타내는 곡선을 찾아내고 이 곡선들이 Grid를 이루면서 블레이드 면을 나타내는 기하학적 모델링을 만든다. 면의 각 점에서 수직 벡터가 계산되고 이 벡터의 방향으로 연삭기가 접근하여 연삭작업이 이루어 진다.

5.1.2 로봇의 운동공간의 조절

로봇의 운동공간을 감안해서 연삭계적마다 프로펠러 연동 Positioner가 Fixture를 회전시킬 량을 결정한다. 연삭숫들의 마모가 큰 경우 마모량을 측정하여 보상하는 작업도 Preprocessing에서 행해진다.

5.2 연삭작업의 초기화

프로펠러를 Fixture에 설치하고 기준점까지 Fixture를 회전시켜 프로펠러의 위치를 초기화 한다. 주조공정에서 생성된 모래등 이물질을 블레이드의 표면에서 제거하고 표면을 검사한다. 콘트롤러도 초기화 시켜주는데 연삭공정을 하면서 추정될 미지수 (accumulated uncertainty)를 0으로 한다. 이 미지수는 공정마다 추정되어 연삭제어의 중요한 파라미터가 된다.

5.3 블레이드 표면측정

일정한 간격으로 블레이드의 표면 높이를 측정하는데 최소한 100 points 이상 측정하게 된다. 측정 방법은 표면 측정기를 로봇 End-effector에 장착하고 측정기를 수직방향으로 이동시켜 접촉 센서가 접촉을 알릴 때 각 링크의 길이를 읽고 이 데이터를 환산하여 그 점의 위치를 측정한다. 각 점마다 Preprocessing에서 생성된 블레이드 면

의 데이터와 비교하여 제거될 량을 계산한다.

5.4 연삭작업

연삭작업은 여러공정으로 이루어 지는데 한 공정은 연삭 숫들의 종류, 궤적, 속도, 부하, 평균 제거량, 최대 제거량 등으로 정의된다. 최적공정은 실제 작업을 실시하기 전에 시뮬레이션을 실시하여 제거될 부피, 면적, 깊이, 공정시간, 작업 완성도의 중요도를 최적으로 만족할 수 있도록 결정한다. 최적의 조건으로 선택된 공정에 따라 실제 작업을 실시하며 한 공정이 끝났을 때 작업의 완성도를 새로 산출하고 다음 공정을 실시한다. 이러한 공정이 계속되어 완성도가 만족할 수치에 도달했을 때 모든 작업은 완료된다.

6. 연삭 로봇

로봇의 구조는 일반적으로 강성에 약한 다관절 구조이다. 강성을 높이기 위해 페루프 구조를 제안 했으나 가공작업을 할 만한 구조는 못된다^[9] 또한, 일반 다관절 로봇을 사용하는 방법으로 부하를 줄이고 이송속도를 느리게 하므로써 연삭작업을 실시할 수 있으나^[1,10] 작업성이 떨어지므로 투자 가치가 없다. 시스템의 효율성을 높이기 위해서는 연삭부하가 사람의 10배 이상으로 작업성이 좋아야한다. 이를 위해 본 시스템에서는 평행구조를 이용한 강성이 큰 로봇 암을 개발하고자 한다.

6.1 1단 평행구조(병렬) 로봇 암

연삭 로봇의 고려사항인 강성을 높이기 위해서 로봇의 그리퍼를 여러개의 링크가 지지해주는 구조를 생각할 수 있다. 이런 구조는 Stewart^[2]가 처음 제안한 것으로 그림 8과 같이 베이스에서 6개의 링크가 병렬연결로 플랫폼을 직접 지지하는 방법이다.

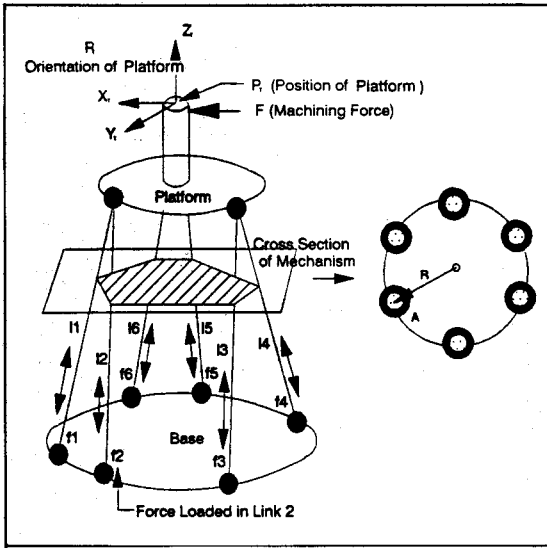


그림 8. 1단 평행구조의 Stewart Mechanism

이 구조의 가장 큰 특징은 가공 부하가 분산되고 강성이 크다는 것이다. 다관절 로봇의 강성은 링크의 단면적에 의해서 결정되나 이 병렬구조는 링크가 이루고 있는 공간이 또 하나의 인자가 된다. 따라서 링크설치 공간을 조절함으로써 강성을 충분히 높일 수 있다. 그러나 병렬구조는 높은 강성에도 불구하고 실용화 되기에는 구조해석이 난해하며 작업공간이 작다는 문제점을 가지고 있다.

병렬구조의 구동방식은 플랫폼의 위치와 자세를 6개의 리니어 액추에이터의 길이조절을 통하여 간접적으로 제어하는 방식이다. 즉, 링크의 길이를 늘이고 줄이므로써 원하는 플랫폼의 위치와 오리엔테이션을 만들어낸다. 이 운동에 6개의 링크들이 모두 관여하여 각 관절의 운동이 분리되는 다관절보다 구조해석이 어려워진다.

또한, 플랫폼의 운동을 제어하기 위해서는 플랫폼과 베이스에 6개의 링크가 집중 설치되어 간섭운동을 피하기 위해 링크의 운동을 제한해야 하므로 작업공간이 작아진다. 그러므로 강성을 높이기 위해 병렬구조를 사용하되 작업공간을 넓히며, 구조해석이 간단한 로봇 암 설계가 필요하다.

6.2 2단 평행구조 로봇 암

위에서 언급한 연삭 로봇 암의 조건을 만족시키기 위해 그림 9과 같은 2단 평행구조 로봇 암을 제안한다. 이 로봇 암은 2개의 플랫폼과 중앙축으로 되어있다. 첫 단계에는 3개의 리니어 액추에이터, (A1, A2, A3)로 이루어져 있으며 각 리니어 액추에이터의 양단에는 유니버설 조인트가 설치되어 첫단의 베이스 (Base-1)와 플랫폼 (Platform-1)에 각각 연결되어 있다. 리니어 액추에이터는 그림 10과 같이 구동원인 서보모터, 볼 스크루(Ball Screw), 실린더로 이루어져 있으며 모터의 회전방향과 회전량에 따라서 실린더를 밀고 당겨주므로써 길이를 조절한다.

중앙축은 암의 중앙에 있으며 한 몸체로 되어 있는 Platform-1과 두번째단의 베이스(Base-2)를 축을 따라 이동하게 하는 가이드 역할을 한다. 두번째단은 2개의 리니어 액추에이터(A4, A5)로 이루어져 있으며 첫단과 같이 양단에 설치된 유니버설 조인트가 베이스(Base-2)와 플랫폼(Platform-2)에 각각 연결되어 있다. 마지막 회전 액추에이터 (A6)는 Platform-2에 설치되어 그리퍼의 회전운동을 담당한다.

이 구조는 각단의 운동이 서로 독립적으로 행해지므로 다관절 로봇과 같이 위치와 오리엔테이션 운동이 분리된다. 즉, 첫단은 두번째단을 공간상에 위치시키는 기능을 하며 두번째단은 Platform-2의 각도를 조절하므로써 그리퍼의 Yaw와 Pitch 운동을 생성한다. Roll운동은 Platform-2에 설치되어 있는 A6의 회전운동으로 행해지는데 이 운동만이 유일하게 회전 액추에이터에 의한 직접구동이고 나머지 운동은 리니어 액추에이터의 길이조절에 의한 간접 구동이다. 이와 같이 2단의 평행구조를 사용하므로써 강성이 크고, 구조상으로 각단의 운동이 분리되어 운동해석이 간단하며, 플랫폼과 베이스에 설치되는 조인트의 수가 3개 또는 2개 밖에 되지 않아 설치공간이 작은 로봇가 개발될 예정이다.

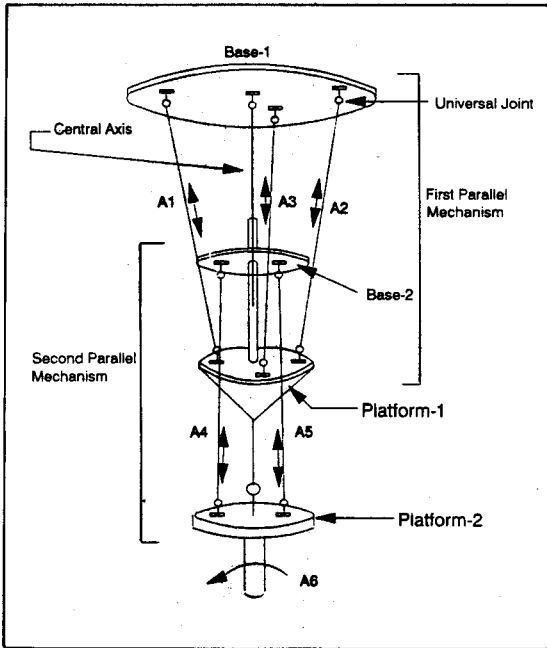


그림 9. 2단 평행구조의 연속 로봇 암

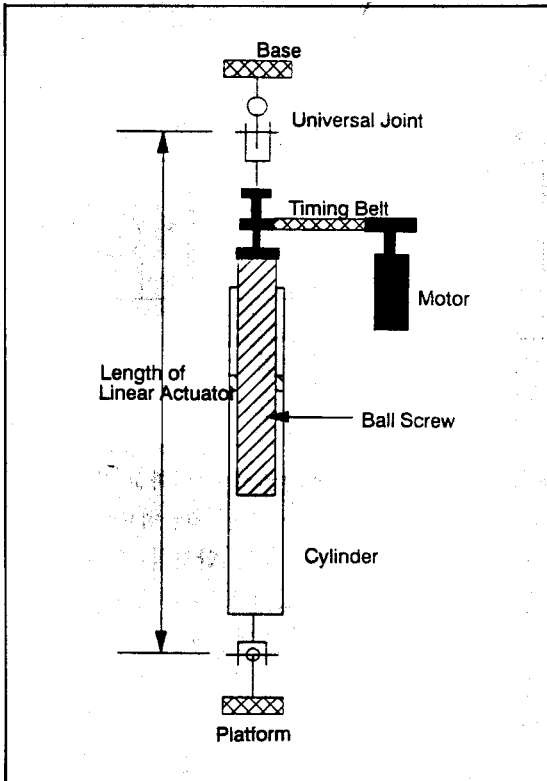


그림 10. 서어보 리니어 액추에이터

6.3 로봇 암의 작업공간

본 시스템에서 제안한 2단 평행구조의 설계 및 제작은 일반 다관절 로봇 암보다 간단하다. 일반 다관절 로봇은 모터, 감속기, 베어링 등 다 종류의 부품이 각 링크마다 필요하나 본 시스템에서 제안하는 로봇 암은 동일한 규격의 리니어 액추에이터를 모든 링크에 사용할 수 있으므로 리니어 액추에이터의 설계가 모든 링크에 적용된다. 또한, 구성하는 부품도 간단해서 마지막 회전 액추에이터를 제외하고는 리니어 액추에이터, 베이스, 플랫폼으로 되어 있으므로 설계 및 제작이 용이하다. 그러나 설계시 고려할 사항은 평행구조 로봇의 취약점인 작업공간을 극대화하는 것이다. 즉, 베이스와 플랫폼의 적절한 크기 선택과 리니어 액추에이터의 양단에 설치된 유니버설 조인트의 적절한 배치로 작업공간을 넓혀야 한다. 본 시스템에서는 2000mm CPP Blade를 연삭할 수 있도록 작업공간을 설정한다.

상하 600mm 운동이 가능하고, 운동반경은 1200mm인 것으로 한다. 평행구조의 특성상 운동공간은 그림 11과 같이 원뿔 모양이 되는데 윗 부분은 링크 길이의 제약 때문에 작업반경이 커지고 아랫 부분은 작아지게 된다. 그림 11에서 설정한 작업공간으로 로봇 주위반경 1200mm 이내에 프로펠러를 설치하고 로봇이 연삭기를 잡아 상하 600mm 이내로 운동하면서 연삭작업할 수 있게 된다. 설치공간은 폭과 길이가 3000-3500mm 이내 높이가 3000mm로 일반 수직 다관절 로봇의 설치 공간과 동일하다. 설치공간에 따른 작업공간은 수직 다관절 로봇보다 작으나 작업공간의 효율성을 고려할 때 결코 뒤지지 않는다. 위의 작업공간으로 만족시킬 수 없는 작업은 그림 5와 같이 로봇 베이스를 Guide Rail에 정착시키는 방법도 고려할 수 있다.

7. 시스템의 활용도

본 시스템은 프로펠러 연삭작업 이외에도 기계

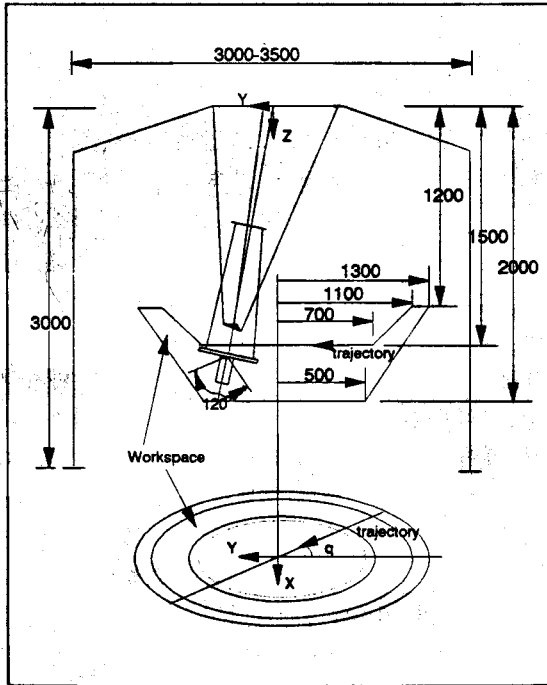


그림 11. 연삭 로봇의 작업공간

가공작업 자동화에 널리 활용될 수 있다. 기계가공 작업의 자동화란 가공대상물의 이송, 가공, 후처리 작업을 자동으로 행하는 것을 말한다. 그 방법은 그림 12와 같은 가공물을 로봇의 그리퍼가 잡아 그림 13과 같이 주위에 설치되어 있는 가공기계를 찾아가면서 작업을 하는 경우를 말한다. 이 경우 가공작업의 종류에 따라 로봇 주위에 절단, 연삭, 밀링기계를 설치하므로써 다양한 작업을 한작업대에서 수행할 수 있다. 또한, 로봇의 구조적 장점으로 디버링, 폴리싱, 파일링 등과 무거운 물건의 조립 및 핸들링 등에도 사용될 수 있다. 이와같이 가공 로봇 사용시 유연한 자유도, 넓은 작업공간 등으로 공작 기계에서 할 수 없는 작업을 쉽게 할 수 있다.

8. 결 론

본 시스템은 프로펠러 연삭작업을 로봇을 이용하여 자동화하므로써 지금까지 자동화 인식부

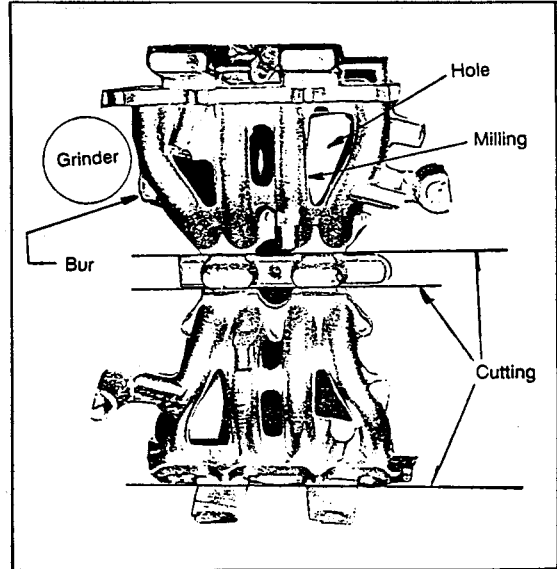


그림 12. 절단, 연삭, 밀링 작업을 행하는 가공물

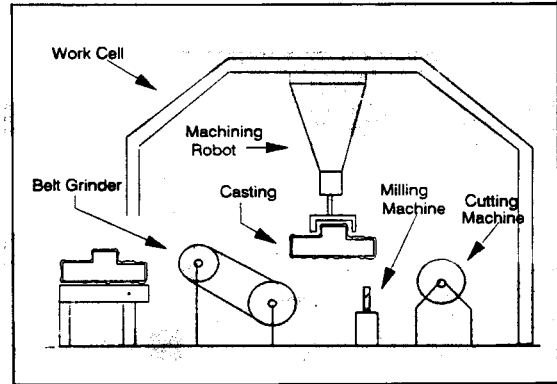


그림 13. 로봇을 이용한 기계가공 작업의 자동화 시스템

족으로 열악한 작업환경에서 작업하고 있는 근로자들에게 쾌적한 작업환경을 제공하며 관련업체에게는 생산성 향상, 노동력 안정적 확보 등으로 경쟁력을 증가시켜줄 것이다. 국내에서 로봇의 적용범위가 조립, 용접 등에 치중되고 있는 여건에서 연삭 로봇을 개발하므로써 로봇의 응용범위 확대에 큰 기여를 할 것이다. 지금까지 연삭작업이 다관절 로봇을 이용한 제어부의 제어 알고리즘 구현으로 해결하려던 방법에서 신뢰성

이 높은 2단 평행구조 암 설계로 해결하는 것은 학문적으로 큰 기여가 있을 것이다. 또한, 가공 로봇의 개발기술이 초보단계인 점을 감안할 때 국내외적으로 경쟁력이 있는 기술을 확보하게 될 것이다.

본 시스템은 프로펠러 생산업체인 신라금속, 기계가공 전용기 생산업체인 금천기계, 전기전장 생산업체인 신성사와 함께 공업기반 기술과제로 추진 중이며 창원 공단내 업체들이 추진하고 있는 기계가공 자동화 시스템 개발에도 사용될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Whitney, D.E., and Tung, E.D., 1992, "Robot Grinding and Finishing of Cast Iron Stamping Dies," ASME J. of Dynamic System, Measurement, and Control, Vol. 114, No. 1, pp. 132-140.
- [2] Stewart, D., 1965, "A Platform with Six Degrees of Freedom," Proc. Instn. Mech. Engrs, London, Vol. 180, Pt. 1, No. 15, pp. 371-386.
- [3] Griffis, M., and Duffy, J., 1989, "A Forward Displacement Analysis of a Class of Stewart Platforms," Journal of Robotic Systems, John Wiley, 6(6) pp. 703-720.
- [4] Lin, W., Duffy, J., and Griffis, M., 1990, "Forward Displacement Analysis of the 4-4 Stewart Platforms," ASME Mechanisms Conference, pp. 263-269.
- [5] Earl, E.F. and Rooney, J., 1983, "Some Kinematic Structures for Robot Manipulator Designs", ASME J. Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol 105, PP. 15-22.
- [6] Hunt, K.H., 1983, "Structural Kinematics of In-Parallel-Actuated Robot-Arms", ASME J. of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol 105, PP. 705-712.
- [7] Ficher, E.F., 1986, "A Stewart Platform-Based Manipulator: General Theory and Practical Construction", Int. J. of Robotics Research, Vol. 5, PP. 157-182.
- [8] Kazerooni, H. and Waibel, B.J., 1990, "On the Stability of Robot Compliant Motion Control: Theory and Experiments", ASME J. of Dyn. Sys., Meas., and Contr., Vol. 112, PP. 417-426.
- [9] Orin, D.E., and Oh, S.Y., 1981, "Control of Force Distribution in Robotic Mechanisms Containing Closed Kinematic Chains", ASME J. of Dynamic System, Measurement, and Control, Vol. 102, pp. 134-141.
- [10] Her, M.G. and Kazerooni, 1991, "Automated Robotic Deburring of Parts Using Compliance Control," ASME J. of Dynamic System, Measurement, and Control, Vol. 113, PP. 60-66.