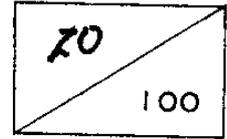


제 2 차 년 도
연 차 보 고 서



로봇를 이용한 금형의 연마작업 자동화 연구

A Study on the Automation Technology for Die
Polishing Using Robots

연구기관
한국과학기술연구원

과 학 기 술 처

제 출 문

과학기술처장관 귀하

본 보고서를 “CIM 기술에 의한 사출금형공장 자동화” 사업의 세부과제 “로봇을 이용한 금형의 연마작업 자동화 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1990. 9.

주관연구기관명:한 국 과 학 기 술 연 구 원

총괄연구책임자:강무진·김상국(KIST·CAD/CAM 연구실)

연구책임자:박종오(KIST·로봇응용 및 유공압 연구실)

연구원:이대엽(KIST·로봇응용 및 유공압 연구실)

이혁희(KIST·로봇응용 및 유공압 연구실)

현광익(KIST·로봇응용 및 유공압 연구실)

노덕문(KIST·CAD/CAM 연구실)

요 약 문

I. 제 목

로봇을 이용한 금형의 연마작업 자동화 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

금형 연마작업은 대부분 수작업으로 수행되고 있으며 전체 금형 생산공정과 유리되어 있다. 이 작업의 전체 금형생산 납기 및 경비 비율은 매우 높다. 본 과제는 금형 연마작업을 로봇 기술을 이용하여 고속 자동화 하는 것이며 전체 금형 생산라인의 자동화에 집적시키고자 한다. 위의 사항과 신기술의 국내 개발이라는 측면에서 그 중요성은 높다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1차년도에 이어 로봇용 고유연성 금형 연마공구 시스템이 개발되었다. 특징으로서 자동화 했을 때 최대 난점인 파상도의 해결을 위한 무방향성 자동연마 방식을 르사주 패턴에 의해 실현하였고, 연마 면적의 자유 프로그램 가능성 및 자유곡면에의 적응성과 정압기능을 들 수 있다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구개발의 목적은 금형 연마공정 자동화 기술의 산업체

이전에 있으며 이는 현재 본 프로젝트와 병렬로 진행중인 산업체 협의회와의 연계를 통해 국내 금형업체의 직접 활용을 거쳐 개선 및 산업체 이전을 촉진시킨다.

SUMMARY

I. Title

A Study on the Automation Technology for Die Polishing Using Robots

II. Purpose and Importance of this R & D

Die Polishing Process is being undertaken manually and is separated from total die & mould production processes. The portion of Die and Mould Polishing process in Total lead time and cost for die & mould production is very high. This work is to automate die & mould polishing process with help of robot technology very fast and to integrate this process into total processes. With the view of above point and development of new technology the importance is very high.

III. Contents and Range of this R & D

With the results at 1st project year the high flexible robotonic polishing tool system for die & mould is developed.

As several main characteristics nondirectional automatic polishing method through Lissajous pattern with the object of waviness improvement was realized Free programme ability for polishing area

profile and adaptability for sculptured surface and constant pressure function have been also integrated.

IV. Results of this R & D and Suggestions to Use

The purpose of this R & D is to transfer process automation of die polishing. This will be activated by use of KIST-Industry consortium through direct use in Korean manufacturing industries of Die and Mould.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	11
1. Purpose and Range of R & D	11
1.1 Purpose	11
1.2 Range	11
2. Necessity of R & D	12
Chapter 2. Theoretical Background	13
1. Analysis of polishing parameters	13
1.1 Relation between surface roughness	14
1.2 Relation between waviness and machining path	16
1.3 Stock removal rate and pressure	19
1.4 Adaptability for free formed surface	19
2. Realization of each polishing parameters	20
2.1 Machining path of mold stone	21
2.2 Pressure	23
2.3 Adaptability for free formed surface	24
2.4 Other functions	24
Chapter 3. Development of Automatic Die Polishing System	26
1. Required functions	26

2. Compoments and contents	27
2.1 Nondirectional movement function	27
2.2 Adaptability for sculptured surface	45
2.3 Constant pressure.....	48
2.4 Rotation of mold stone	50
2.5 Robot	52
2.6 Data In/Out part.....	52
3. Conclusion.....	55
Chapter 4. Analysis of Die Polishing Tool System	57
1. Analysis experiment of each functions	57
1.1 Nondirectional polishing function	57
1.2 Adaptability function	68
2. Conclusion.....	69
Chapter 5. Final Conclusion and Future Research	71
1. Final conclusion	71
2. Future research direction	71
References	73
Literature.....	75

목 차

제1장 서 론.....	11
제1절 연구개발의 목적과 범위.....	11
1. 연구개발의 목적	11
2. 연구개발의 범위	11
제2절 연구개발의 필요성.....	12
제2장 이론적 배경.....	13
제1절 연마 변수의 분석.....	13
1. 표면 조도와 슷돌입도의 관계	14
2. 파상도와 가공 경로의 관계	16
3. 연마량과 가압력	19
4. 자유 곡면의 적응	19
제2절 각 연마변수의 실현.....	20
1. 연마 슷돌의 가공 경로	21
2. 가압력	23
3. 자유 곡면 적응 기능	24
4. 기타 기능	24
제3장 금형 자동 연마 시스템의 개발.....	26
제1절 요구 기능.....	26

제2절 구성 요소 및 내용	27
1. 무방향성 운동 기능	27
2. 자유 곡면 적용 기능	45
3. 정압 기능	48
4. 연마 슷들 회전 기능	50
5. 로보트	52
6. 데이터 입출력 장치	52
제3절 결 론	55
제4장 금형 자동 연마 공구 시스템의 분석	57
제1절 각 기능별 분석 실험	57
1. 무방향성 연마 기능	57
2. 자유 곡면 적용 기능	68
제2절 결 론	69
제5장 최종 결론 및 추후 연구 방향	71
1. 최종 결론	71
2. 추후 연구 방향	71
참 고 문 헌	73
부 록	75

제1장 서 론

제1절 연구개발의 목적과 범위

1. 목 적

로봇을 이용한 금형 연마 자동화는 기존 수작업으로 수행되고 있는 금형 연마공정을 로봇 기술을 이용하여 자동화하는 기술로서 이제까지 이 공정의 문제점인 인력 및 작업시간을 단축시키고 금형생산 라인에서 유리되어 있는 이 공정을 전체라인 자동화에 집적시키고자 함에 있다. 이 과제의 최종 목표로서 금형 생산라인에서 가장 자동화도가 낮은 금형 연마공정을 자동화 및 고속화하여 금형 생산 납기를 대폭 단축시키고자 한다.

2. 범 위

로봇을 이용한 금형 연마 자동화의 구성요소로서 산업용 로봇, 금형 연마용 공구 시스템 및 셸 제어를 들 수 있다.

기존 수작업에 사용되는 금형 연마용 공구는 작업자 대신 로봇에 적합한 공구시스템으로 대체된다. 공구시스템의 구성요소로서 공구, 구동기구, 인식 장치, Compliance 및 공구제어를 들 수 있다.

본 과제의 연구개발 범위는 이러한 공구시스템의 개발과 금형 연마 시스템에의 집적화에 있다.

제2절 연구개발의 필요성

금형 생산 라인의 자동화에서 가장 뒤떨어진 분야는 금형 마무리 공정이고, 이 공정이 전체 금형 생산의 작업 시간(lead time)에서 많은 부분을 차지하고 있다.

금형은 일반적으로 복잡한 곡면으로 이루어져 있고, 높은 형상 정도와 경면의 마무리 작업이 요구되므로 금형의 연마 자동화에는 어려운 점이 많다. 작업자의 숙련된 연마 기술과 복잡한 곡면을 따라 연마 작업을 하는 자동 연마 시스템을 개발하는데는 교시(teaching)가 용이하고 높은 자유도를 갖는 로봇트를 사용하는 것이 적당하다. 그러나 공작기계에 비하여 일반적으로 강성과 정밀도가 떨어지는 로봇트의 결점을 보완하기 위하여 여러가지 기술의 집적이 필요하다.

금형 연마 자동화의 1차년도 과제로 금형 연마 시스템과 각 가공 단계에 따른 3가지 연마 공구가 개발되었다. 이 결과를 통해 보다 유연성이 향상되고 여러가지 연마 공정의 변수(parameter)를 고려한 로봇트용 연마 공구의 개발이 필요하게 되었고, 연마 효율을 높여줌으로써 자동 연마 작업의 고속화를 목표로 하고 있다.

제2장 이론적 배경

제1절 연마 변수의 분석

표면(surface)은 형상(form), 파상도(waviness), 조도(roughness)의 3가지로 구성되어 있고, 각각은 다음과 같이 정의된다[1].

- 1) 조도(roughness):실제의 표면 형성 도구에 의하여 표면에 남겨진 생산공정(production process)의 고유한 속성인 표면상에 존재하는 불규칙 성분들(irregularities)
- 2) 파상도(waviness):이 파상도위에 조도가 중첩(superimposed)되는 표면 형성 조직의 한 성분
- 3) 형상(form):조도와 파상도를 무시한 표면의 일반적인 형상(general shape)

연마공정은 공작물 표면을 따라(모방하여) 연마 숫돌이 이동하는 작업이므로 이때 연마량(stock removal rate)의 불규칙한 분포에 의하여 파상도 문제를 야기시키게 되므로 자동 연마 공구에는 이에 대한 대책이 필요하게 된다. 또한 3차원 형상의 자유 곡면에 적용하여 연마가 이루어지기 위해서는 공구에 충분한 유연성이 있어야 한다. 그동안의 여러 연구 결과에 의하면 연마공정에서의 공작물에 대한 숫돌의 가압력과 연마량(stock removal rate)에는 상관 관계가 있음이 알려졌다. 연마 목표 및 이와 관련된 연마 변

수의 관계를 그림2-1에 표시하였다.

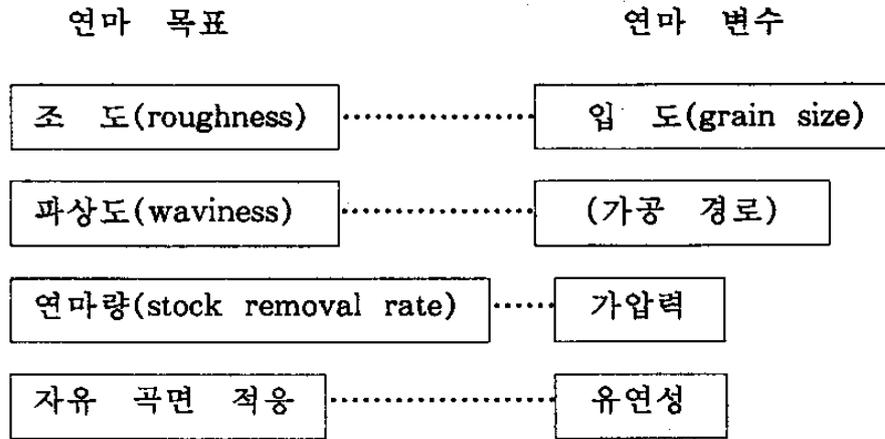


그림2-1. 연마 목표와 이와 관련된 연마 변수의 관계

1. 표면 조도와 슛들 입도의 관계

Kunieda 등[2]에 의하면 표면 조도와 슛들 입도(grain size)에는 반비례 관계, 즉 그림2-2와 같은 관계가 성립함을 알 수 있다.

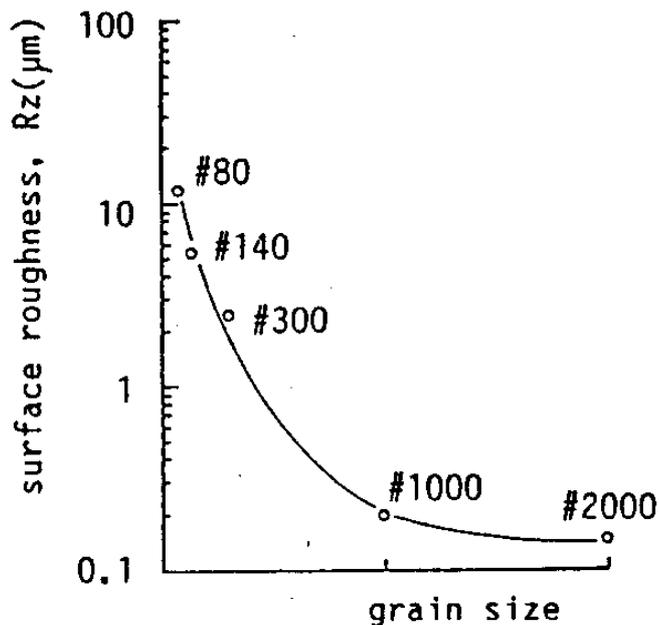


그림2-2. 표면 조도와 슛들 입도의 관계

숫돌에 의한 칩 생성기구는 불규칙하게 연속 입자가 분포하며, 또 입자의 날의 경사각이 모두 다르나 이를 통계적으로 생각하여 평균화하여 생각하면 밀링 절삭에서의 칩 생성 기구와 같이 생각할 수가 있다. 밀링 절삭에는 날 1개당의 절삭 깊이가 시시각각으로 변화하였다. 따라서 평균 절삭 깊이 또는 최대 절삭 깊이로 고찰하였다[3].

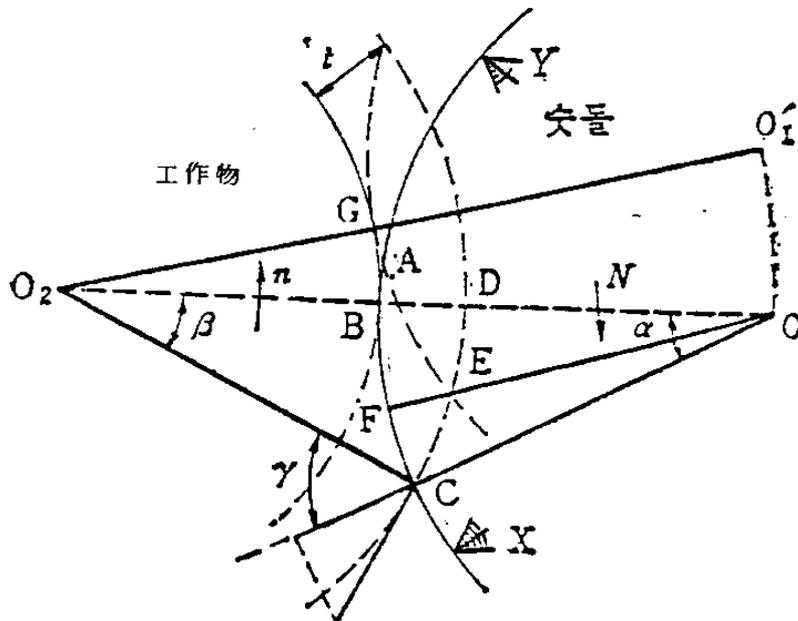


그림2-3. 연속칩의 생성

$$\delta = \frac{v}{V} a \sqrt{\frac{r+R}{rR}} \sqrt{2t}$$

- 여기서 v =공작물의 주속, V =숫돌의 주속
 a =숫돌의 한 단면내에서 입자날과 입자날 사이의 평균간격
 r =공작물의 반경, R =숫돌의 반경
 t =절삭 깊이
 δ =연속 입자 1개당의 절삭 깊이 (grain depth of cut)

이고, 이 결과로부터 칩의 최대 두께는 숫들의 날의 원주 방향의 평균 간격에 비례함을 알 수 있고, 따라서 입도가 굵은 것일수록 칩이 두꺼워짐을 알 수 있다. 즉, 입도와 표면 조도는 반비례 관계임을 알 수 있다.

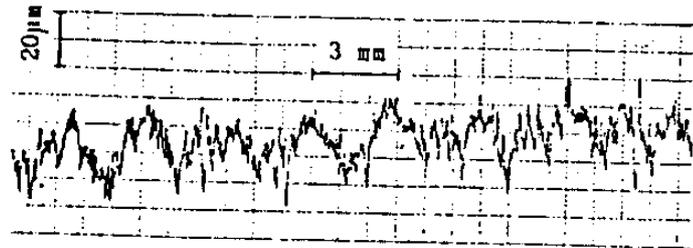
2. 파상도와 가공 경로의 관계

수작업에 의한 연마 공정에서는 숙련된 작업자의 감각에 의하여 파상도가 발생하지 않도록 여러방향으로 연마가 이루어지고 있다. 그러나 로봇 등을 이용한 자동 연마 공정에서 파상도가 발생하지 않도록 공구의 이동 경로를 결정하기는 쉽지 않다. 한 방법으로서 로봇의 각 관절에 임의(random)의 펄스를 가하여 공구를 임의의 궤적을 따라 이동시키는 것이 연구되었다[2]. 이 결과에 의하면 연마량의 불규칙한 분포가 절반정도로 감소가 됨을 나타내었다(그림2-4).

그러나 이러한 방법을 이용한 연마는 일정한 경계를 갖는 면적의 연마 작업에는 적용이 곤란하게 된다. 또한 로봇 관절 등에 무리한 부하가 작용하게 된다.



(a) travel without random walks



(b) travel with random walks

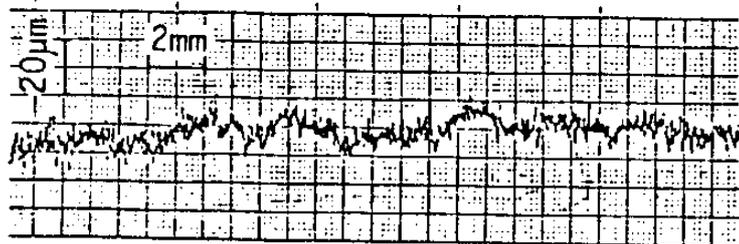


그림2-4. 공구에 임의의 궤적을 가함으로써 파상도를 감소시킨 예

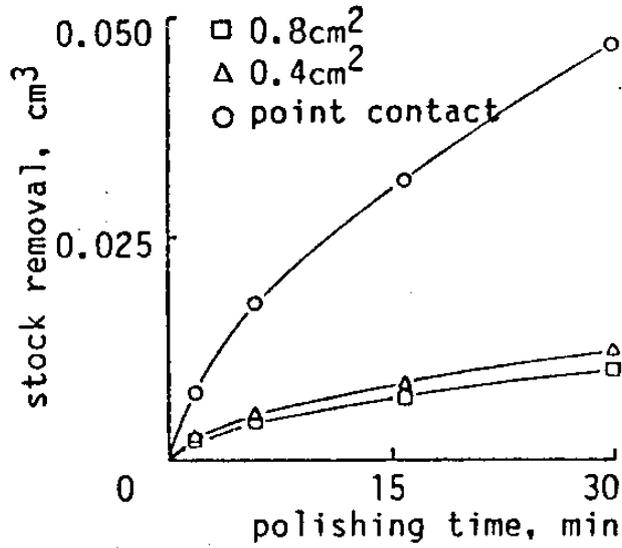


그림2-5. 가압력과 연마량의 관계

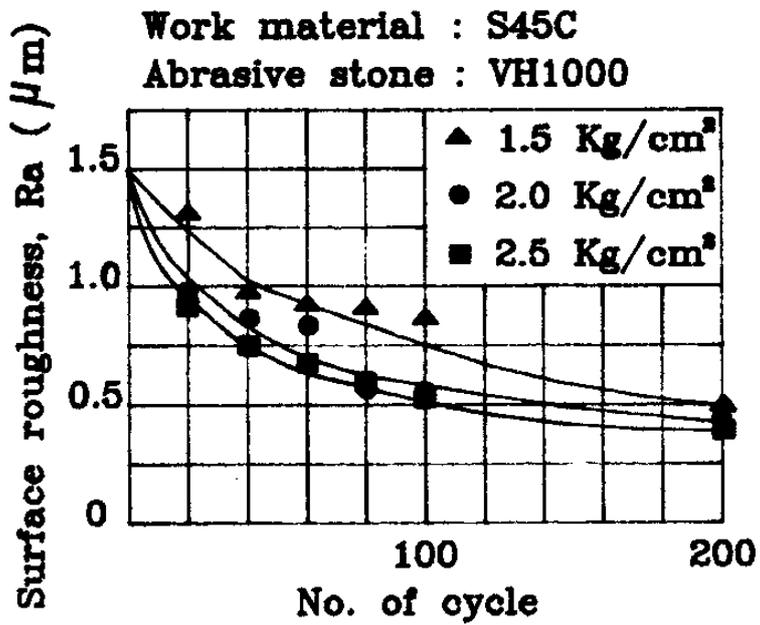


그림2-6. 가압력과 표면 조도의 관계

3. 연마량과 가압력

연마 작업이 연삭 작업과 다른 점 가운데 하나가 공작물의 표면을 모방하여 다듬질이 이루어진다는 것이다. 즉 연삭 공정은 공작기계의 강성과 위치 정밀도를 이용하여 주어진 가공 조건에 맞도록 공작물 표면을 미세하게 절삭하고 치수를 변화시키는 것이나, 연마에서는 공작물의 치수정도는 변화시킬 수 없고 조도와 같은 표면의 특성만을 가공 목표로 하고 있다. 따라서 연마 공정에서는 전 가공에 의한 표면 상태에 영향을 받게 되고, 공작물과 스톱들의 접촉면에 수직으로 가해지는 압력의 대소에 따라 다듬질량과 다듬질면의 조도가 변화하게 된다[3],[4].

4. 자유 곡면의 적응

금형은 일반적으로 복잡한 형상의 자유 곡면으로 이루어졌기 때문에 금형 연마의 자동화를 위해서는 이러한 자유 곡면에 쉽게 대처할 수 있는 구조의 연마 장치가 필요하다. 로봇을 이용하여 연마를 할 경우에는 일반적으로 교시(teaching)에 의하여 연마 공구의 이동 경로를 결정하게 된다. 그러나 이때 작업자의 숙련도에 따라 로봇의 교시에 소요되는 시간 및 정밀도에 차이가 나게 된다. 따라서 용이한 로봇의 교시를 위하여 자유 곡면에 대한 적응성이 높은 연마 공구의 개발이 요구된다. 일반적으로 3차원 형상의 자유 곡면에 대응하기 위해서는 3자유도의 적응성(compliance)을 갖는 구조가 필요하게 된다. 그림2-7에는 2자유도를 갖는 몇가지 구조의 연구 예를 나타내었다.

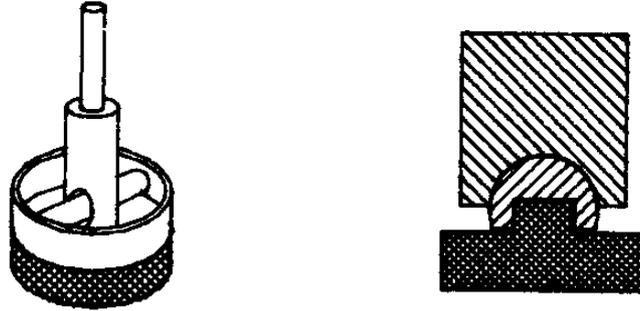


그림2-7. 2자유도의 적응성을 갖는 구조의 예

제2절 각 연마 변수의 실현

금형의 연마는 초기의 기계가공 흔적(cutting mark) 제거로부터 경면(mirror surface)의 최종 단계에까지 몇 단계로 나눌 수 있고 각 단계에는 주요 연마 목표가 있다.

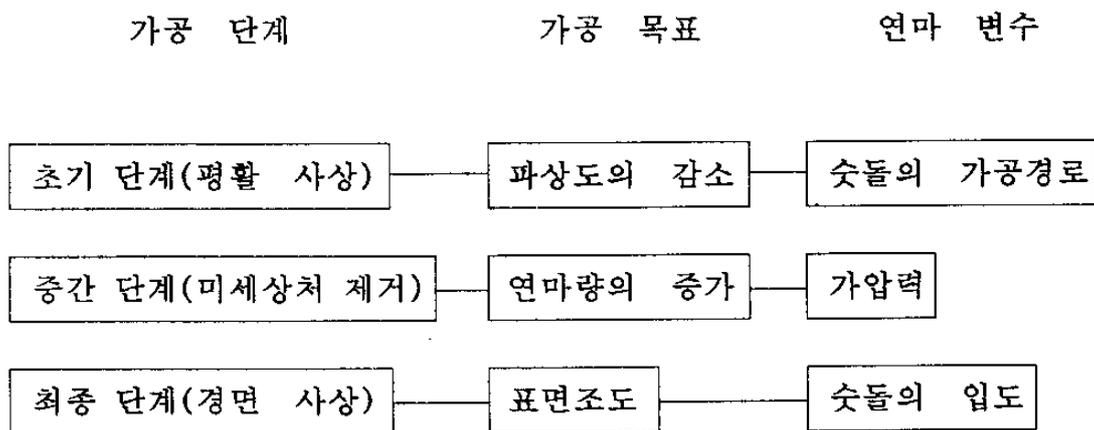


그림2-8. 연마 가공 순서와 연마 변수

초기단계에서는 금형 형상의 표면을 평활 다듬질하고, 중간 단계에서는 평활히 된 표면의 미세한 상처의 제거, 그리고 최종 단계에서는 경면의 마무리에 의해 다듬질이 이루어진다. 일반적인 표면 조도는 초기 단계에서는 $1\sim 0.5\ \mu\text{m R}_{\text{max}}$, 중간 단계에서는 $0.3\sim 0.1\ \mu\text{m R}_{\text{max}}$, 그리고 최종 단계에서는 $0.05\sim 0.01\ \mu\text{m R}_{\text{max}}$ 이다.

이상에서 언급한 연마 변수를 집적하여 자동 연마 공구를 개발하기 위한 내용은 다음과 같다.

1. 연마 슷들의 가공 경로

전술한 바와 같이 공작물의 표면에서 파상도를 줄여 주기 위해서는 슷들의 경로를 임의의 방향으로 유지하는 것이 하나의 해결책이 되고 있다. 즉 슷들의 이동 경로에 무방향성의 운동을 가하여 가공 궤적에 방향성이 남지 않도록 한다. 그러나 슷들에 임의 경로를 가하는 것은 실제 연마 작업에서 여러가지 단점이 발생하게 되므로 본 연구에서는 일정한 면적내에서 무방향성의 이동 경로를 갖는 구조를 개발하였다. 이러한 방식을 이용할 때의 장점은 다음과 같다.

- 1) 일정한 면적내로 슷들의 경로가 국한이 된다.
- 2) 로봇트에 임의의 운동을 가하는 방식에 비하여 로봇트의 부하를 줄여 줄 수 있다.
- 3) 연마 면적의 형태에 다양한 변화를 줄 수 있게 되어 금형 형상에 따라 복잡하고 많은 시간이 소요되는 로봇트의 교시

```

th := 0 ..360
wx := 2
wy := 3

```

$$x_{th} := \sin \left[wx \cdot th \cdot \frac{\pi}{180} \right]$$

$$y_{th} := \sin \left[wy \cdot th \cdot \frac{\pi}{180} \right]$$

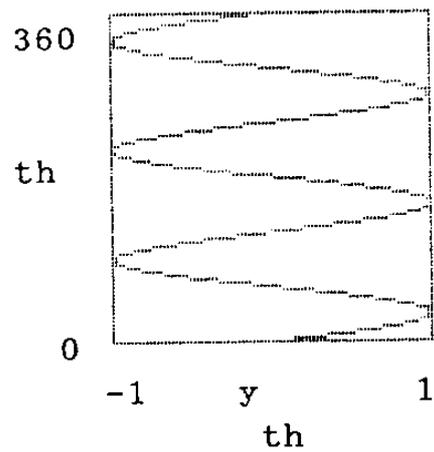
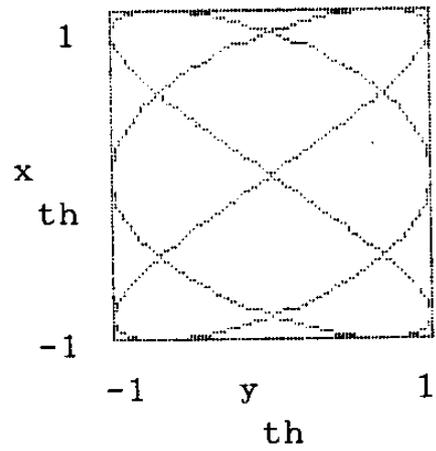
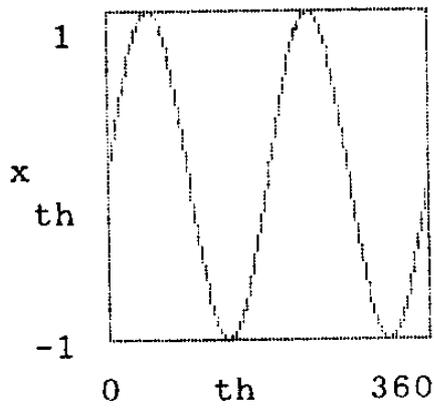


그림2-9. 리사쥬 패턴의 원리

에 유리한 점이 있다.

- 4) 슷들의 이동 속도(feed rate) 및 여러가지 연마 변수를 용이하게 변경시킬 수 있다.
- 5) 단순한 기능의 로봇트 또는 유연성이 없는 간단한 이동 기구에 부착하여도 사용이 가능하다.

이상의 기능을 실현하기 위해 본 연구에서는 연마 슷들에 리사쥬(Lissajous) 패턴의 이동 경로를 가하였다. 리사쥬 패턴은 다음 그림에서 같이 x, y축 방향에서 sin wave를 가하면 이때의 진동수와 위상차에 따라 만들어지는 여러 형태의 패턴을 말한다. 본래는 기준의 정현파를 이용하여 미지의 정현파의 주파수 또는 위상차를 알기 위하여 사용된다 (그림2-9).

이상과 같은 패턴을 슷들의 이동 경로로 사용하여 무방향성의 가공 궤적을 얻을 수 있고, 여러가지 리사쥬 패턴의 변수를 변화시키거나 여러 형태의 x, y방향의 함수를 사용하여 다양한 형태의 면적을 얻을 수 있게 된다.

2. 가압력

연마량(stock removal rate)과 가압력에는 상관 관계가 있고, 따라서 균일한 연마량을 유지하기 위해서는 가압력의 제어가 필요하게 된다. 즉 균일한 가압력을 가할 수 있는 정압 구조를 위해서는 설계시 요구되는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

- 1) 금형의 형상 변화에 따라 가압력의 변화가 없을 것

- 2) 자동 또는 수동으로 용이하게 가압력의 제어가 가능할 것
- 3) 정압 기구의 동적 특성이 우수할 것
- 4) 간단한 구조로 실현이 가능할 것

본 시스템에서는 용이한 구성 및 제어가 가능하도록 공기압을 이용한 구조를 채택하였다. 이때 가압력은 0~6 bar의 범위에서 제어가 가능하다.

3. 자유 곡면 적응 기능

본 연구에서는 3자유도의 적응성을 갖는 구조를 개발하기 위하여 1개의 병진축과 2개의 회전축으로 구성된 유연성있는 구조를 채택하였고 공작물의 표면 굴곡에 모방되어 적응이 가능하도록 하였다. 이러한 유연성을 통해 로봇의 교시 및 금형 형상에 따른 위치 오차를 극복할 수 있게 된다. 이때 고려하여야 할 요구 조건은 다음과 같다.

- 1) 곡면 형상에 적응하는 유연성으로 인해 교시된 이동경로에 대하여 발생하는 편차가 되도록 적게될 것
- 2) 항상 균일한 접촉 부위를 유지하도록 할 것
- 3) 동적 특성이 우수할 것
- 4) 중립 위치로 복원되는 기능

4. 기타 기능

이밖의 부수적인 기능으로는 연마 스틱들의 점착(stick-slip) 현

상을 방지하기 위한 구조와 용이한 숫들의 교환이 가능한 구조 등의 집적이 필요하다.

제3장 금형 자동 연마 시스템의 개발

제1절 요구 기능

이상에서 언급한 연마 변수를 실현하기 위하여 각 기능을 집적한 자동 연마 공구의 구성은 다음과 같다.

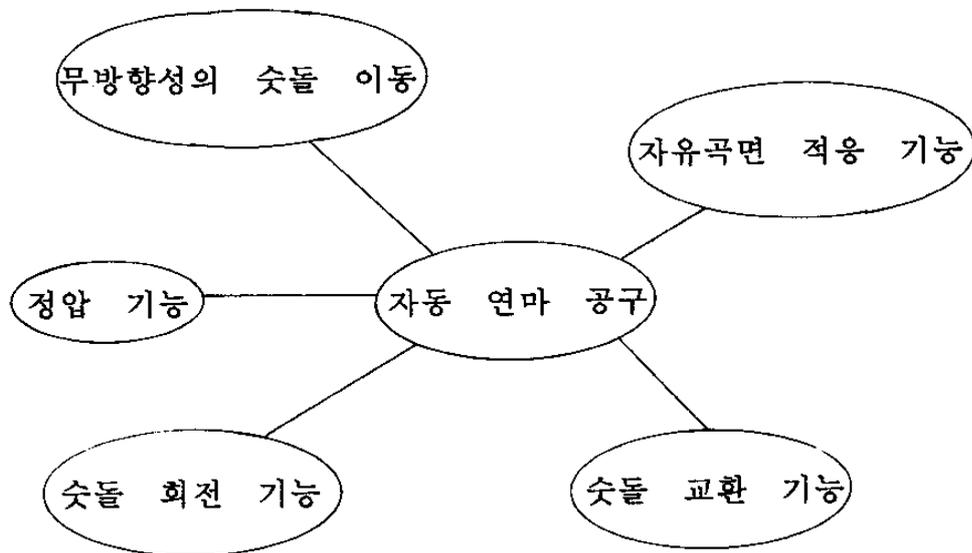


그림3-1. 금형 자동 연마 공구를 위한 요구 기능

이러한 공구의 제어 및 전체 시스템의 제어를 위하여 다음과 같은 기능이 집적되었다. 연마 공구의 이동을 위한 로봇, 전체 시스템의 제어를 위한 컴퓨터 그리고 슷들에 이동기능을 주기 위한 2축 구동 모터 및 제어기가 필요하게 된다. 또한 정압 기능을 실현하기 위한 공기압 제어기도 집적된다.

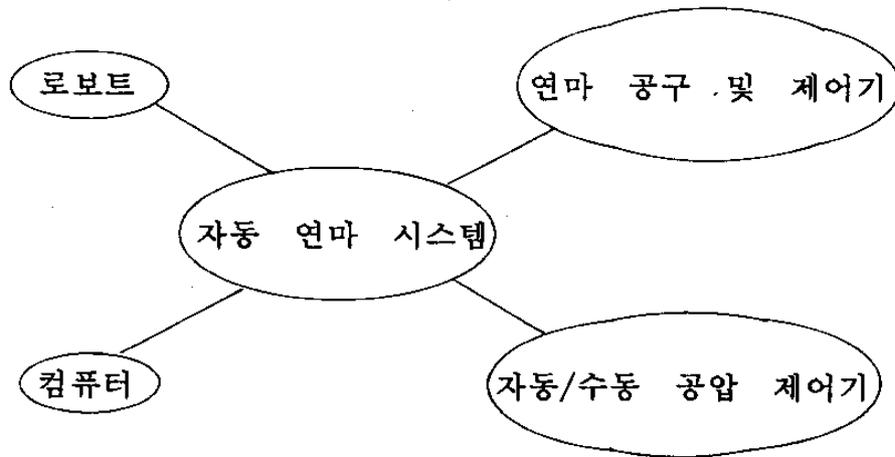


그림3-2. 금형 자동 연마 시스템의 구성 기능

제2절 구성 요소 및 내용

그림3-3에 전체 자동 연마 시스템의 구성도를 나타내었다. 각 기능별로 내용을 살펴보면 다음과 같다.

1. 무방향성 운동 기능

전술한 바와 같이 연마 표면의 파상도를 제거하기 위하여 연마 슷들에 무방향성의 운동을 가하는 방식을 개발하였고, 이를 위하여 다음과 같은 구조의 공구를 제작하였다.

1) 모터 및 구동부의 구성

리사쥬 패턴 등에 따른 구동을 위해서는 XY table의 구조로 이루어진 방식이 적합하고 이를 위해 ball screw를 사용하였고, 이에 따른 구동 모터의 정격 사양을 선정하였다.

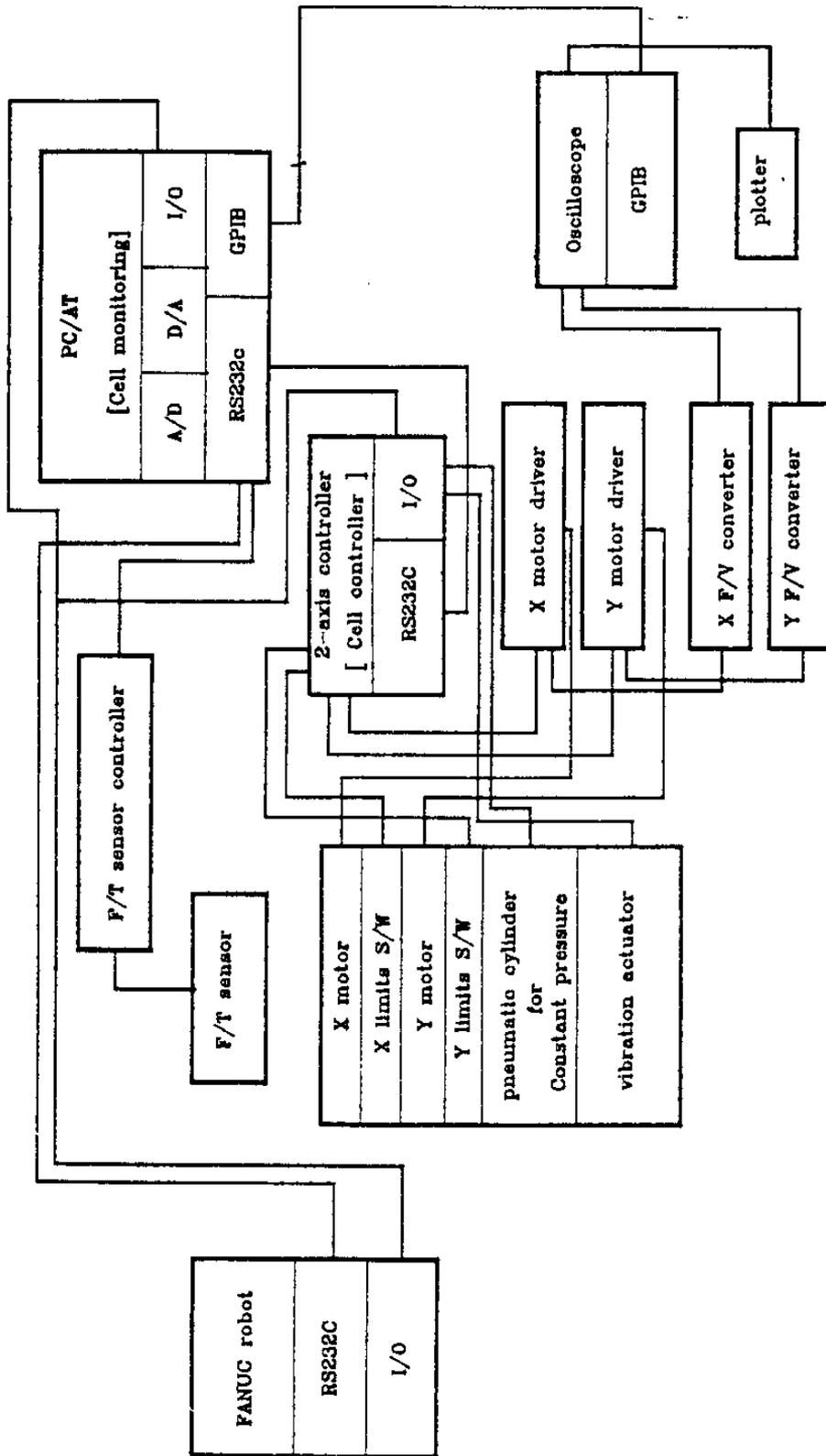


그림3-3. 자동 연마 공구 시스템의 구성도

a. 외부 하중에 대한 마찰 torque

$$T_p = \frac{F_a \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot \eta}$$

여기서 T_p : 외부 하중에 대한 마찰 torque kgf-cm

F_a : 축방향 하중 kgf

$$F_a = F + \mu W$$

F : 절삭력 kgf

W : 공작물의 중량 + table 중량 kgf

μ : 습동면의 마찰 계수

l : lead cm

η : 효율(0.9)

b. 예압에 의한 마찰 torque

$$T_d = k \times \frac{F_{a0} \cdot l}{2\pi}$$

여기서 T_d : 예압에 의한 마찰 torque kgf

F_{a0} : 예압 하중 kgf

l : lead cm

k : 예압 너트의 내부 마찰 계수(0.1~0.3)

c. 가속에 의한 부하 torque

$$T_j = J_m \omega = J_m \frac{2\pi n}{60t} = J_m \frac{\pi \theta}{180} \left(\frac{f_2 - f_1}{t} \right)$$

여기서 T_j : 가속에 의한 부하 torque	kgf-cm
J_m : 모터의 관성 모멘트	kgf · cm · sec ²
w : 모터축 각 가속도	rad/sec ²
n : 모터축 회전수	rpm
t : 가속시간	sec
θ : 1펄스당의 모터 회전각	도
f_n : 펄스 속도	pps

$$f_n = \frac{6n}{\theta}$$

여기서 모터 상당 관성 모멘트 J_m 은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$J_m = J_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2(J_1 + J_3) + J_4 + \frac{W}{g} \left(\frac{1}{2\pi} \times \frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$= J_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2(J_2 + J_3) + J_4 + \frac{W}{g} \left(\frac{180}{\pi\theta}\right)^2$$

J_1 : 기어 A의 관성 모멘트	kgf · cm · sec ²
J_2 : 기어 B의 관성 모멘트	kgf · cm · sec ²
J_3 : ball screw의 관성 모멘트	kgf · cm · sec ²
J_4 : 모터의 관성 모멘트	kgf · cm · sec ²
N_1 : 기어 A의 치수	
N_2 : 기어 B의 치수	
W : 공작물의 중량+table의 중량	

$$n = \frac{60V}{l}$$

여기서 n: 모터의 회전수 rpm

V: ball screw의 속도 mm/sec

l: lead mm

각 변수의 여러 값에 대한 상관 관계는 다음 그림과 같다.
이상의 관계에서 ball screw의 lead로는 4 mm를 선정하도록 한다.

구동 모터는 위 식에서 각 값을 대입하면

$$T_p = \frac{(3(3 \cdot 3) + 0.004 \cdot 5)0.4}{2 \pi \cdot 0.9} = 1.91 \text{ kgf-cm}$$

$$T_j = \left(\frac{\pi \cdot 7.85 \times 10^{-3} \cdot 10 \cdot 1.5^4}{32 \text{ g}} + 0.45 \times 10^{-3} \right) \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 3000}{60 \cdot 1} \right)$$

$$= 0.15 \text{ kgf-cm}$$

따라서 모터의 총 torque는

$$T_m = T_p + T_j = 2.06 \text{ kgf-cm}$$

이상의 결과로부터 선정된 모터의 사양은 다음과 같다.

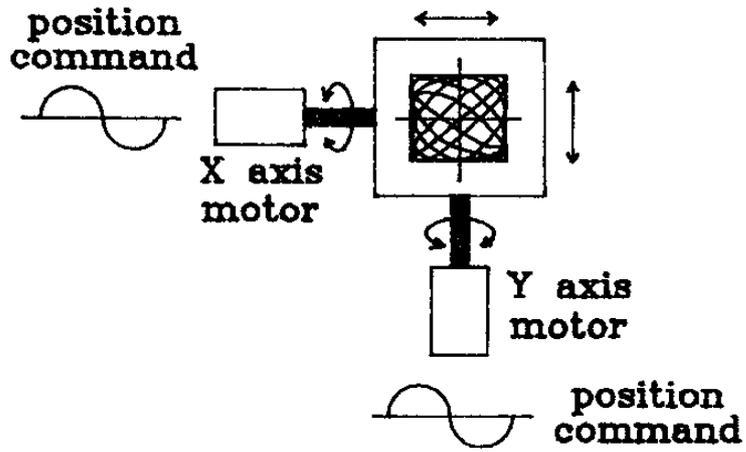


그림 3-4. 부방향성 운동기능의 구조

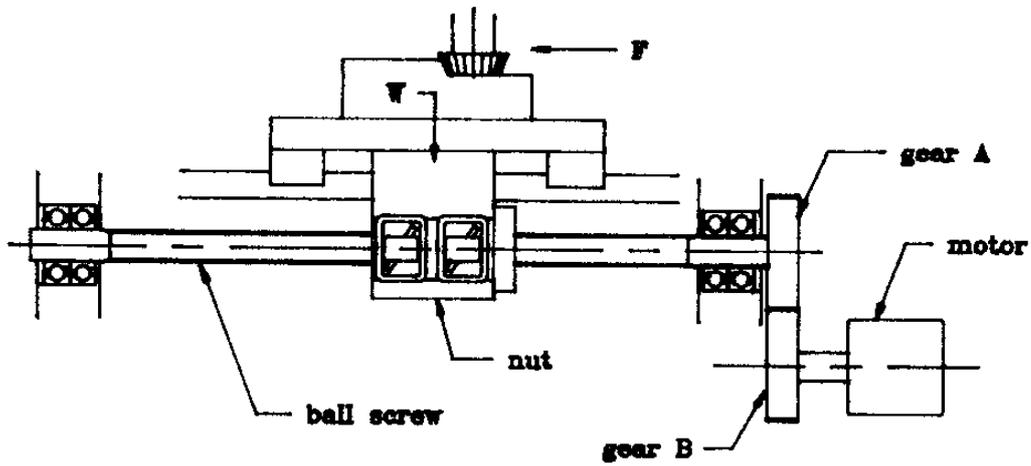


그림 3-5. 구동 모터 선정을 위한 구성 예

```

V1 := 100      mm/sec
V2 := 200
V3 := 300
V4 := 400

lead := 1 ..10 mm

n1 := (60 V1) / lead (rpm)

n2 := (60 V2) / lead   n3 := (60 V3) / lead
n4 := (60 V4) / lead

```

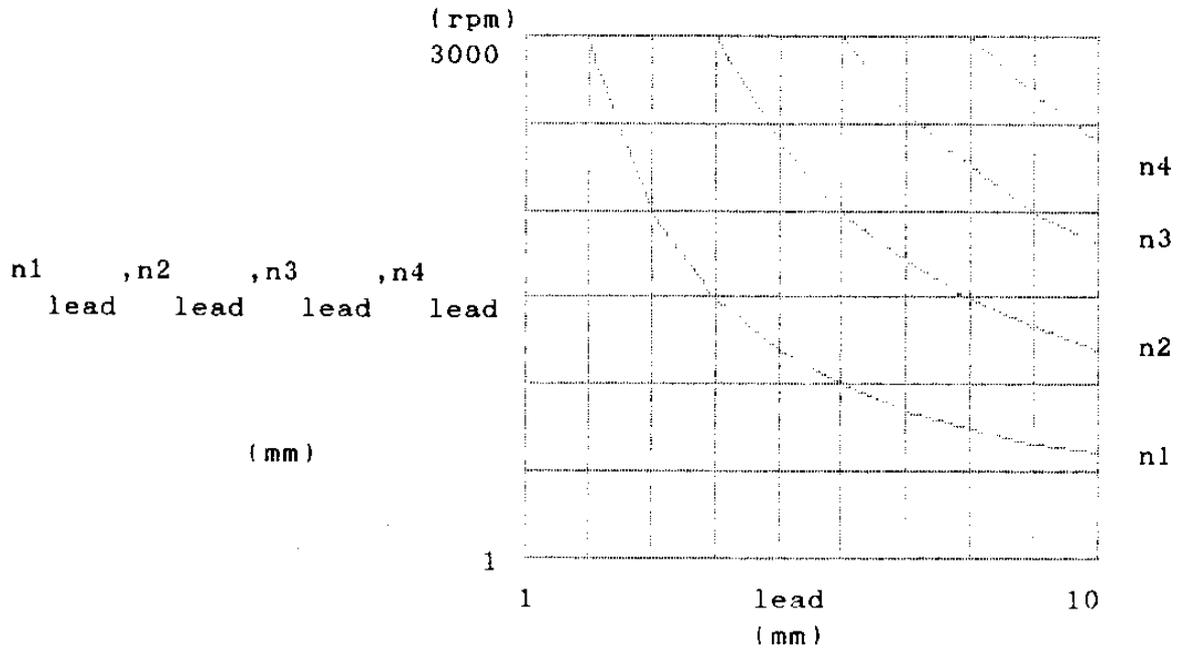


그림3-6. ball screw 선정을 위한 변수의 상관관계

표3.1.

정격 출력	80 W
정격 전압	75 V
정격 전류	1.7 A
정격 토크	2.5 kgf · cm
정격 회전속도	3100 rpm
토크 정수	1.9 kgf · cm/A
유기 전압 정수	19.5 V/krpm
전기자 저항	8.7 ohm
전기자 인덕턴스	5.5 mH
로터 inertia	0.29 kgf · cm · sec ²
전기적 시정수	0.63 ms
기계적 시정수	15 ms
절연 저항	DC500 V · 10 Mohmn
절연 내력	1000 V
주위 온도	0~40°C
중량	0.9 kg

그림3-7에는 ball screw와 모터의 조합에 의한 1축 구동부의 조립도를 나타내었다. xy table에 의한 최대 구동 진폭은 100 × 100 mm이고, 최대 속도는 200 mm/sec이다. 외관 치수를 작게하기 위하여 timing belt를 통하여 동력이 전달되도록 하였고, 사용된 timing belt의 공칭 번호는 94 XL로서 벨트 피치 길이는 238.76 mm 이고, synchro pulley와 조합할 경우의 양 회전 축간의 거리는 96.53 mm가 된다.

2) 모터 제어부의 구성

X 및 Y방향의 2개의 모터를 동시에 위치 제어를 하기 위해서는 2축 제어기가 필요하게 된다. 사용된 2축 제어기 및 모터 드라이버의 구조 및 사양은 다음과 같다.

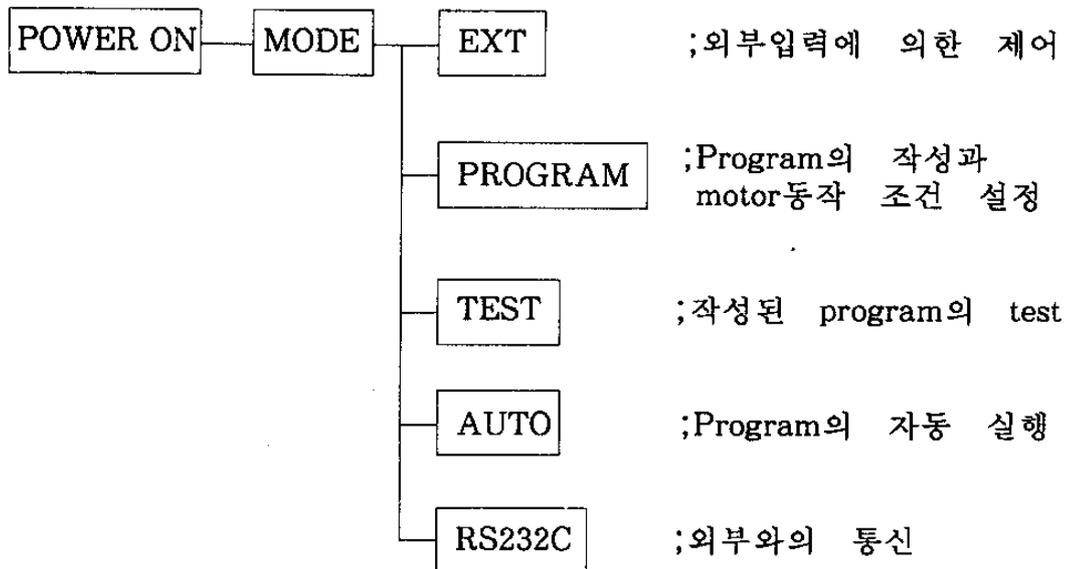


그림3-8. 2축 제어기의 조작 체계

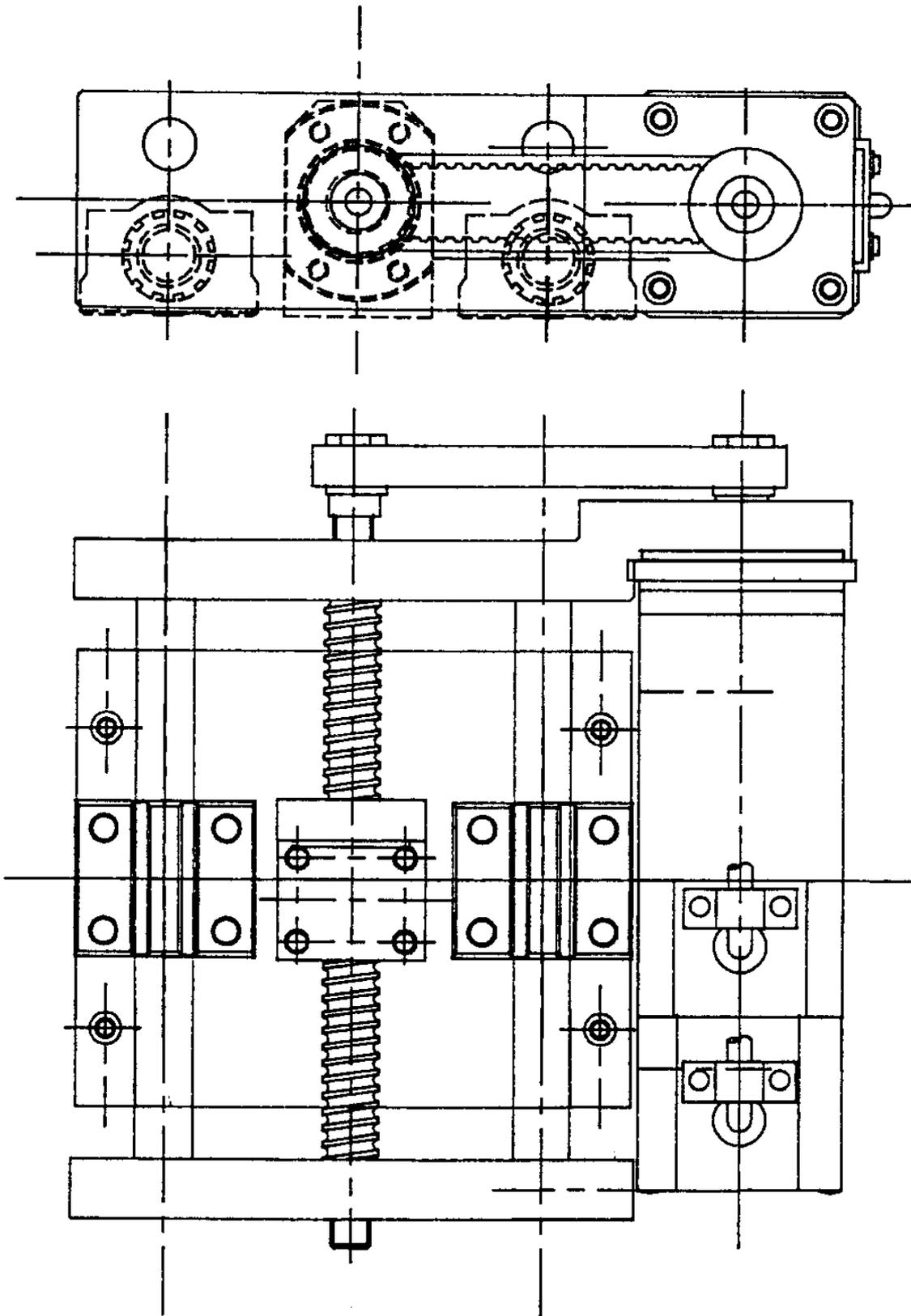


그림3-7. 1축 구동부의 조립도

표3-2.

전 원	AC 100 V±10% 80 VA
동작 온도	0°C~45°C
중 량	약 1 kg
제어축	2축 (동시 2축)
펄스 출력	최대 50 KPPS
조 작	function key 또는 ten key
표 시	액정 표시 16문자×4행
동작 범위	-999999~999999 펄스 또는 -9999.999~9999.999 mm
입출력	입력, 출력 각 8점
프로그램 용량	최대 500스텝 (channel수×step수) channel : 최대 99 CH (1 CH~99 CH) setp : 최대 99 step channel loop : 16중 가능
데이터 환산	펄스-미리 환산 볼 네지 피치 4, 5, 10, 20 mm 모타 펄스/회전 200, 250, 400, 500, 1000, 2000 (펄스/회전)
데이터 전송	RS-230C

표3-3. 모터 드라이버의 사양

적합 모터 용량	20 W~300 W DC servo motor
적합 모터 정격 전압	DC 12 V~DC 100 V
적합 모터 정격 전류	0.5 A~12 A
최대 출력 전류	±38 A
제어 전원 입력	AC 100V(0.1 A)
주 전원 입력	DC 12 V~DC 140 V 또는 AC 12 V~AC 100V
주 회로	POWER-MOS FET, PWM가역
PWM 주파수	16 KHz
정격 효율	95% 이상
지령 입력 방식	CW, CCW pulse 독립
최대 지령 펄스	최대 500 KHz
최대 지령 펄스 폭	1 μ sec
RESET 입력	편차 counter clear 내지 servo free
편차 counter	12 bit
속도 귀환	tachogenerator 또는 encoder
Encoder 입력	최대 500 KHz, A상, B상, Z상
위치 결정 정도	encoder pulse의 1/4 pulse
Encoder 출력	A상, B상, Z상 (open collector)
Error 출력	과전류 내지 편차 counter overflow 출력
Inposition 출력	위치 결정 완료시에 출력
Monitoring	servo ON lamp 또는 inposition ready lamp
전류 제한	2 A~12 A
주위 조건	0°C~4°C (85% RH 이하)
외형 치수	W59×D256×H155 mm

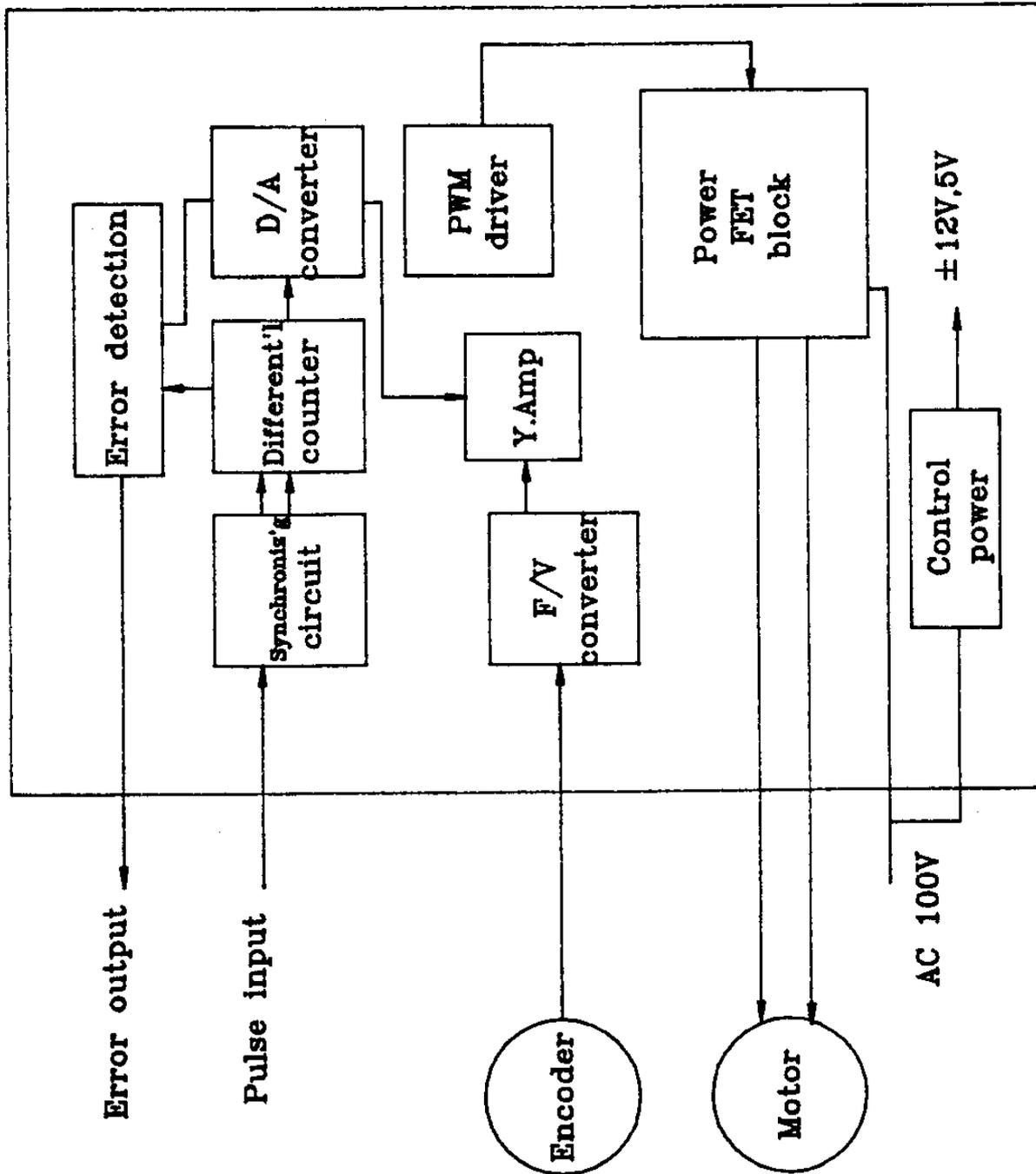


그림3-9. 모터 드라이버의 구조

2축 제어기는 RS 232C port를 통하여 computer와 연결되어 있고 이때 사용 가능한 기능은 다음과 같다.

a. off-line의 경우

2축 제어기로 프로그램의 전송

컴퓨터로 프로그램을 읽어들임

Parameter의 설정

Test 통신

b. On-line의 경우

원점 복귀

각 프로그램의 시작

프로그램 실행의 일시 정지

현재 위치를 읽어들임

프로그램 중간의 interrupt

각 기능의 monitoring

리사쥬 패턴 등과 같은 위치 data를 컴퓨터에서 작성 후 2축 제어기로 프로그램을 전송하는 방법은 다음과 같다.

먼저 컴퓨터에서 시뮬레이션 등을 통해 작성된 위치 데이터는 2축 제어기에 적합한 구조의 프로그램으로 작성한다. 이를 RS 232C port를 통하여 2축 제어기로 전송하게 된다. 다음 프로그램의 시작과 중지를 컴퓨터를 통해 수행하게 된다. 다음에 2축 제어기와 컴퓨터의 통신 알고리즘과 샘플 데이터를 나타내었다.

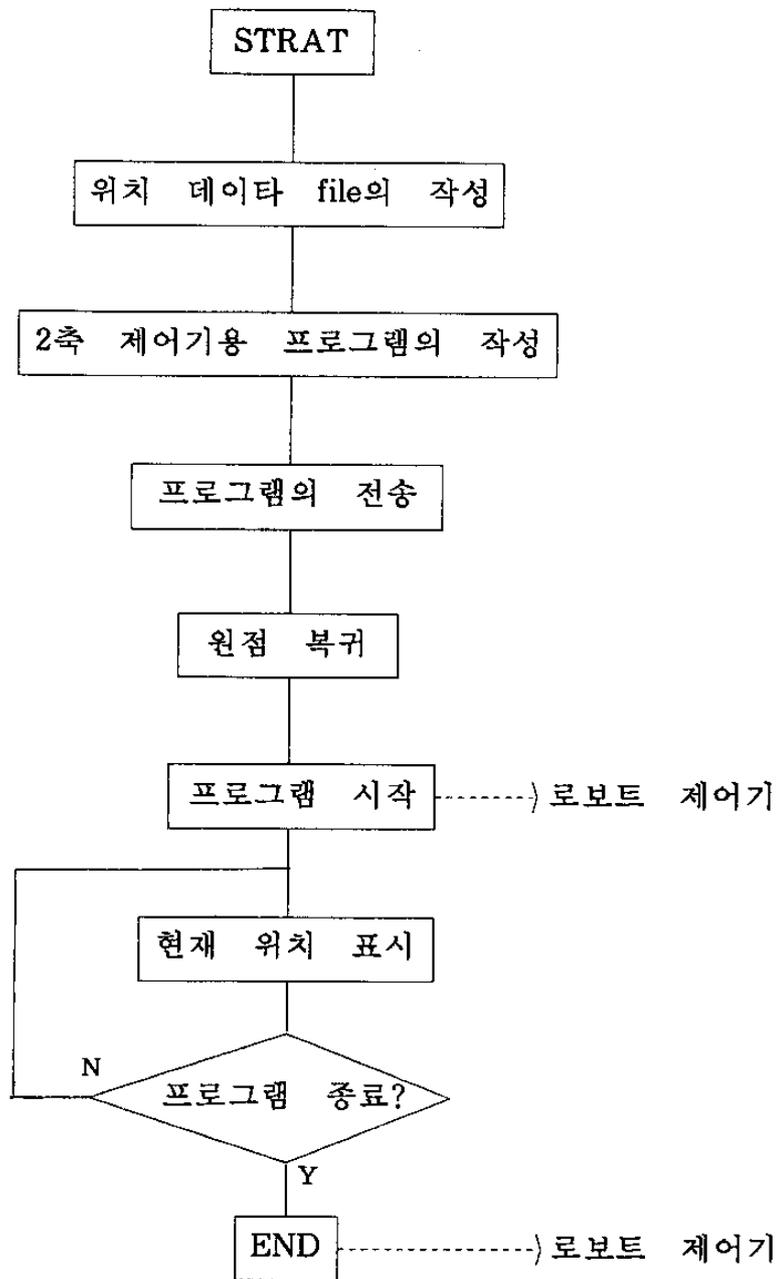


그림3-10. 2축 제어기와 컴퓨터간의 통신 알고리즘

0	0	
24.3282	40.67366	
56.75956	74.31448	
85.12708	95.10564	
97.7327	99.45219	
89.57577	86.60255	
64.95194	58.77856	
34.94055	20.79122	
11.25215	-20.79112	
9.194418E-06		-58.77848

(a) 위치 데이터

```

@01WC0400A+0000000+0000000303000;
00A+0024328+0040674303000;
00A+0056760+0074314303000;
00A+0085127+0095106303000;
00A+0097733+0099452303000;
00A+0089576+0086603303000;
00A+0064952+0058779303000;
00A+0034941+0020791303000;
00A+0011252-0020791303000;
00A+0000000-0058778303000;
03;*
E

```

(b) 2축 제어기용 프로그램의 작성예

그림3-11. 2축 제어기로 전송되는 프로그램의 작성예

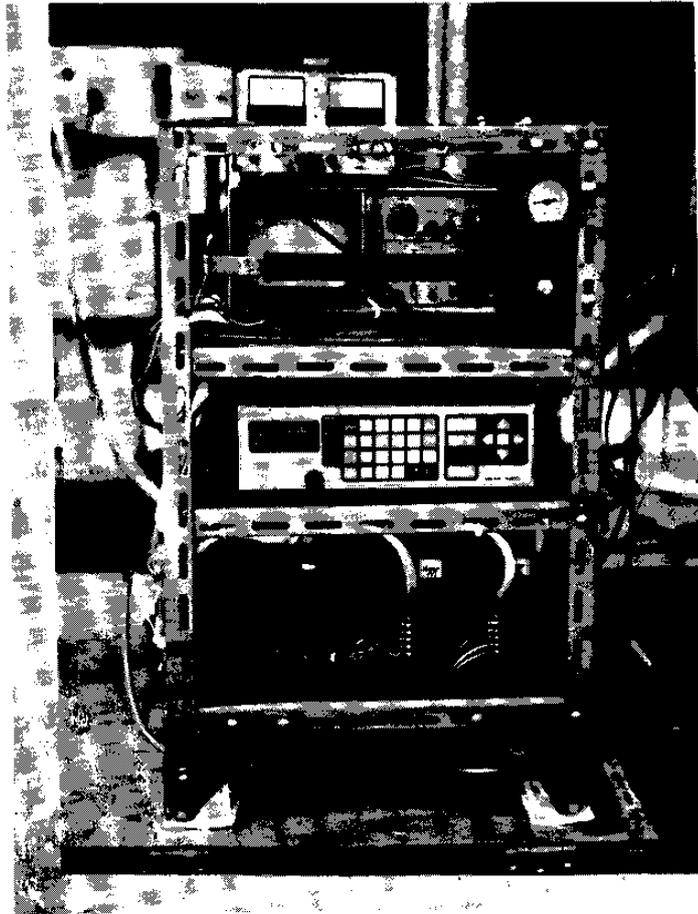


그림3-12. 모터 제어부의 외관도

2. 자유 곡면 적응 기능

최대 약 30 mm 정도의 표면 굴곡이 있는 자유 곡면에 적용하여 연마가 이루어지기 위해서는 연마 공구에 유연성이 필요하게 되고 이를 위하여 1개의 병진 축과 2개의 회전 운동으로 이루어진 3자유도를 갖는 구조를 개발하였다. 그 구조를 그림3-13에 나타내었다. 수직방향의 적응성은 30 mm이고, 수평면을 중심으로 상하 25도 정도의 경사에 대하여 적응이 가능하다. 내부에는 고무 밴드를 이용하여 중립위치로 복원력을 갖도록 하였다.

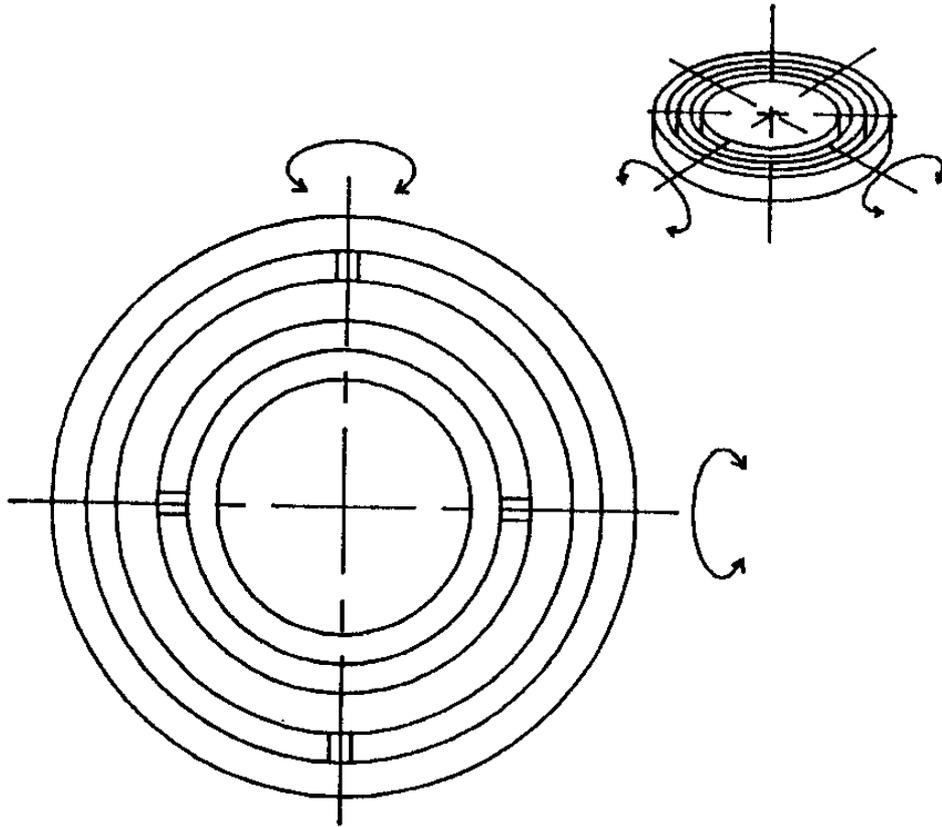


그림3-13. 자유 곡면 적응기능의 구조

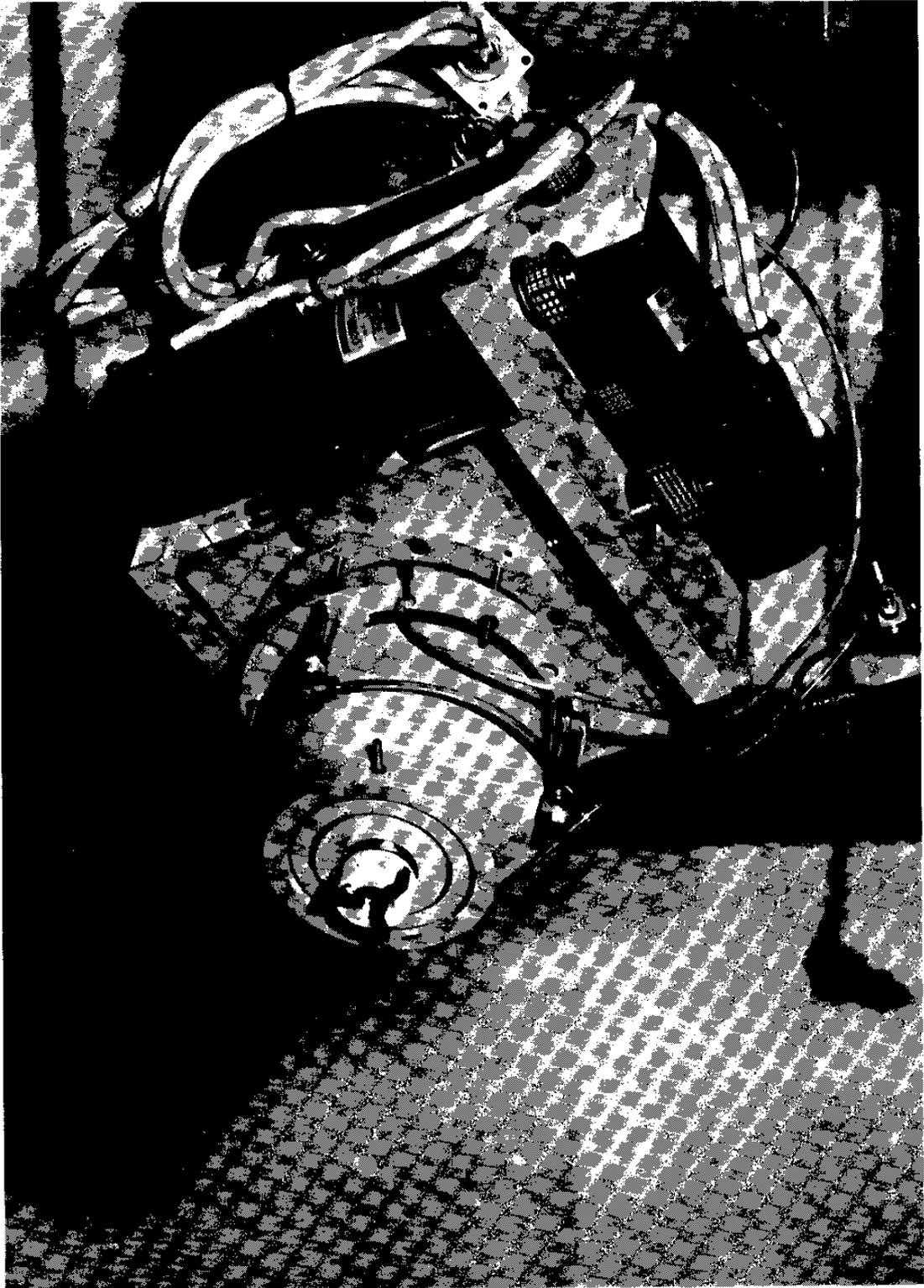


그림3-14. 자유 곡면 적응 기능의 외관도

이러한 유연성으로 인해 작업자가 교시한 가공 경로와 실제의 가공 경로에는 편차가 발생하게 된다. 즉 그림3-15에서와 같이 회전 중심에서 가공점까지의 거리가 크면 클수록 가공 경로에 대한 편차가 커지게 된다. 따라서 이 거리를 최대한 줄여주는 것이 중요하다. 정밀한 가공일 경우에는 이러한 편차가 발생하지 않도록 유의해야 하고 가공 경로에 대하여 수직(normal) 방향이 되도록 연마 공구를 위치시킴으로써 이러한 편차를 최소화 할 수 있다.

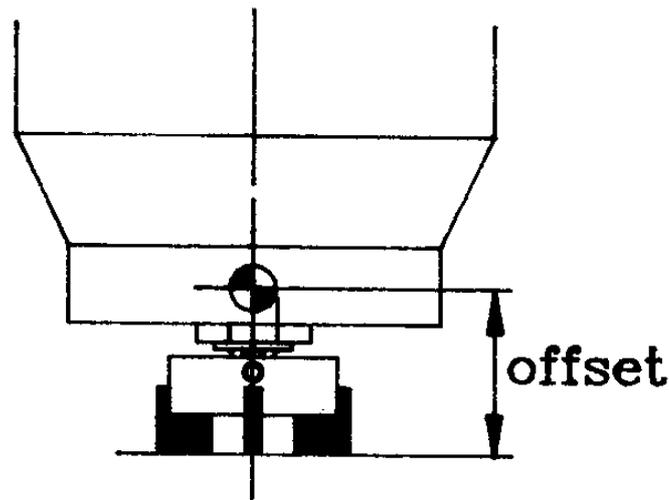


그림3-15. 회전 중심과 가공점까지의 Offset

3. 정압 기능

연마 스톨에 일정한 가압력을 유지하기 위하여 공기압을 이용한 정압 기능을 집적하였다. 그림3-16에는 자유 곡면 적용 구조와 결합된 정압 기능의 구조를 나타내었고, 그림으로부터 공작물과의 접촉면이 경사가 졌을 경우에 가공점에 작용하는 가압력과 공압 실린더에 작용하는 가압력에는 분력에 의한 차이가 발생하게 된다. 이에 대한 영향은 다음 장에서 언급하도록 한다. 공기의 압력은 0~6 bar의 범위내에서 자동 또는 수동으로 조정이 가능하다. 다음 그림에는 정압 기능의 3정도 공기압을 측정하기 위한 압력 센서의 사양을 나타내었다.

표3-4. 압력 센서의 사양

형 식	PA-500 352G
표시 방식	Gauge Pressure
적용 유체	Non-corrosive gases and liquid
정격 압력 범위	0~3.5 kg/cm ²
최대 압력	7 kgf/cm ²
출력 전압	1~5 V DC
직진성/히스테리시스	±0.5% FS max
온도 보상 범위	0~+50°C
동작 온도 범위	-20~80°C
인가 전원	12~24 regulated V DC

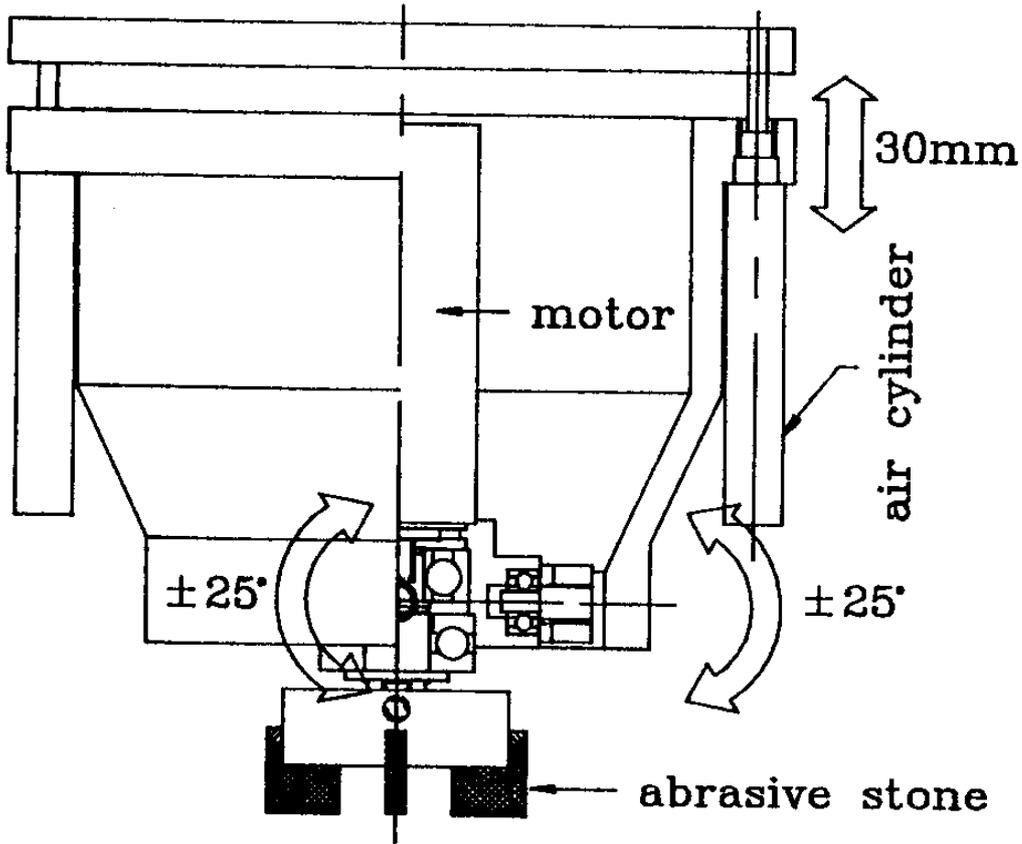


그림3-16. 자유 곡면 적응 구조와 결합된 정압 기능의 구조

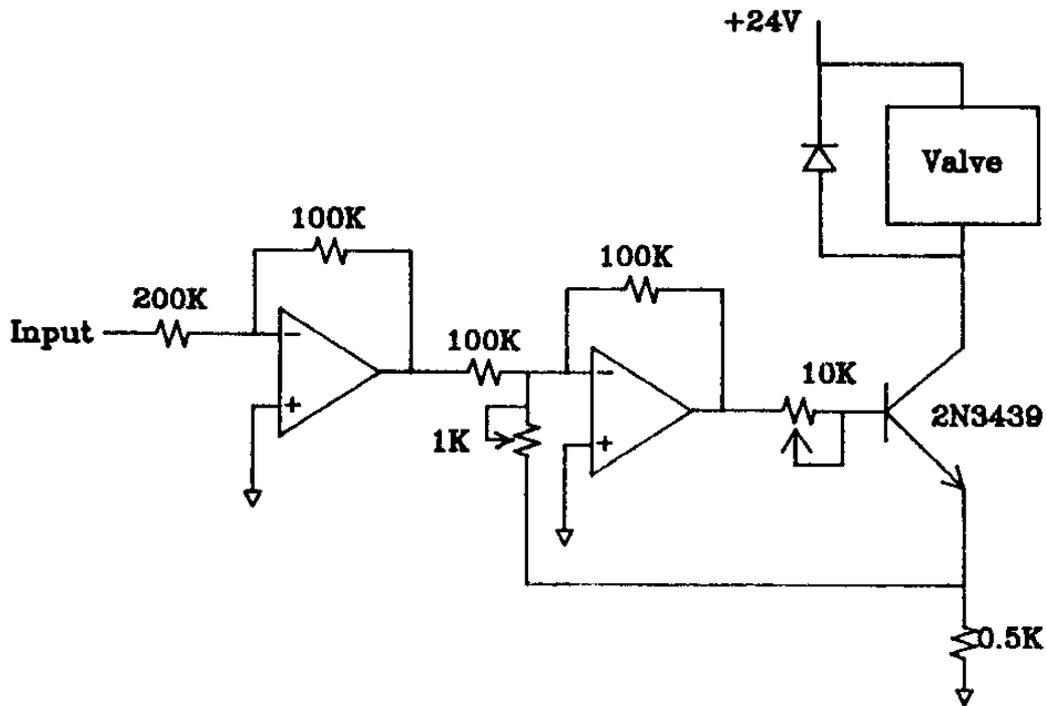


그림3-17. 공압 조절 밸브 드라이브 회로

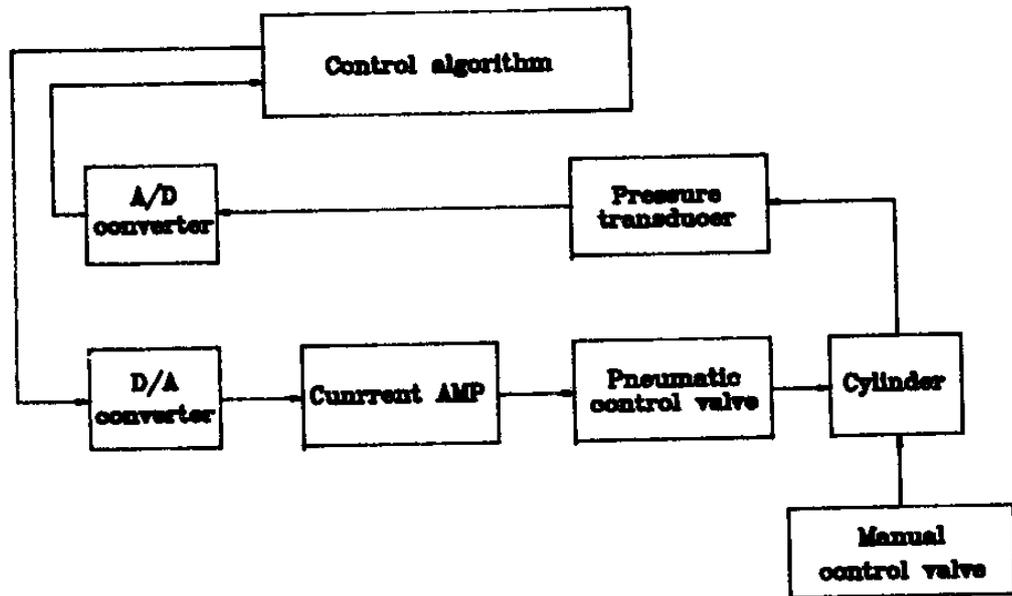


그림3-18. 정압 기능의 구성도

4. 연마 슷들 회전 기능

금형 표면과 연마 슷들간의 마찰력에 의해 stick-slip 현상이 일어나는 것을 방지하고 연마 효율을 높이기 위해 슷들에 회전 기능을 부여하였다. 이 경우에 슷들의 회전은 비교적 저속을 유지하여 곡면에 적용하여 이동하는데 무리가 없도록 하였다. 액츄에이터로는 30 rpm의 직류 모터를 사용하였다. 연마 슷들은 간편하게 교환이 가능하도록 되어 있고 연마 슷들 홀더의 구조는 그림3-20과 같은 구조로 되어 있다.

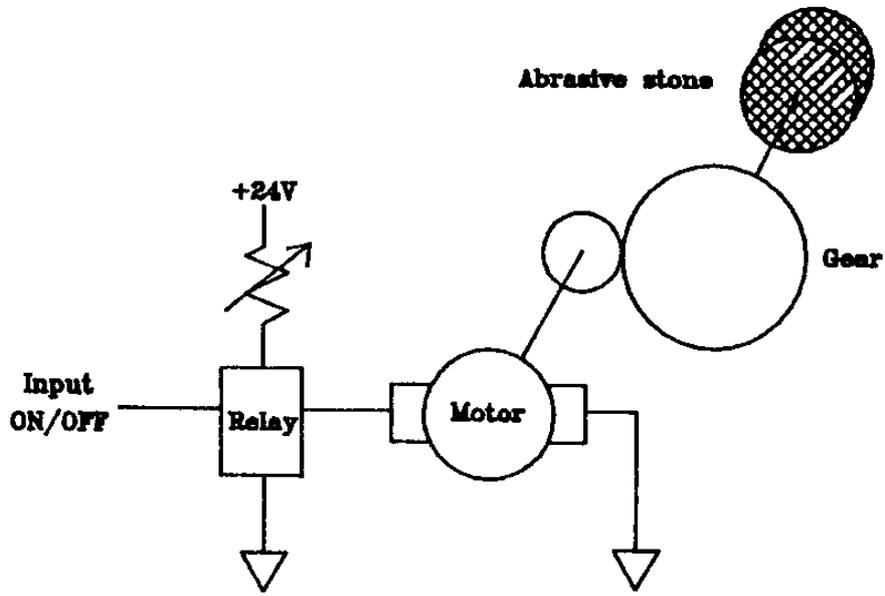


그림3-19. 연마 스톤 회전 기능의 구성도

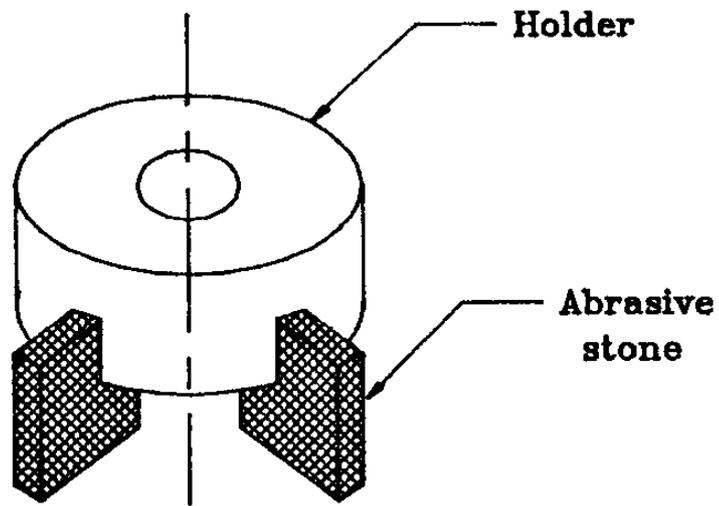


그림3-20. 연마 스톤 홀더의 구조도

5. 로봇트

본 연구에 사용된 로봇트는 FANUC ROBOT A-MODEL 1이다. 이 로봇트는 cylindrical 좌표계 로봇트로서 5축의 자유도를 갖고 있고 16 bit μ -processor로 구성되어 있다. 5축은 Z, θ , R, A, b축으로 구성되어 있고, Z축은 500 mm, θ 축은 300°, 그리고 R축은 500 mm의 작업 반경을 갖고 있다. 최대 가반 중량은 9 kg이고 반복 정밀도는 ± 0.05 mm이다.

6. 데이터 입출력 장치

본 연구에서 구성한 연마 시스템에서는 컴퓨터로부터 공압 제어 밸브를 구동하고 압력 센서의 신호를 받아들이는 등의 아날로그 신호의 입출력처리 장치가 필요하다. 사용된 A/D, D/A converter와 DIO 장치는 PC-Lab Card로서 그림3-21에 구성도를 나타내었고, 각 부분의 주요 사항은 다음과 같다.

a. Analog Input (A/D Converter)

Channels : 16 single-ended

Resolution : 12 bits

Input Range : Bipolar : $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 2V$, $\pm 1V$.

All input ranges are switch selectable.

Overvoltage : continous $\pm 30V$ max.

Conversion type : successive approximation

Converter : HADC 574Z

Conversion speed : 30 KHz max.

Accuracy : 0.015% of reading ± 1 bit.

Linearity : ± 1 bit.

Trigger mode : Software trigger, on-board programmable timer or
external trigger.

Data transfer : Program control, Interrupt control or DMA.

External trigger : (TTL compatible, load 0.4 mA max. at 0.5V
(low) or 0.05 mA max. at 2.7V (high))

b. Analog Output (D/A Converter)

Channels : 2 channels.

Resolution : 12 bits

Output Range : 0 to +5V with fixed -5V reference. $\pm 10V$
with external DC or AC reference.

Reference voltage : Internal : -5V ($\pm 5V$).

External : DC or AC, $\pm 10V$ max.

Conversion type : 12 bit monolithic multiplying.

Analog devices : AD7541AKN or equivalent

Linearity : $\pm 1/2$ bit.

Output drive : $\pm 5mA$ max.

Setting time : 30 microseconds.

c. Digital Input

Channel : 16 bit.

Level : TTL compatible

Input voltage : Low-0.8V max. High-2.0V min

Input load : Low-0.4mA max. at 0.5V

High-0.05mA max. at 2.7V

d. Digital Output

Channel : 16 bit.

Level : TTL compatible

Output voltage : Low-sink 8mA at 0.5V max.

High-source-0.4mA at 2.4V min.

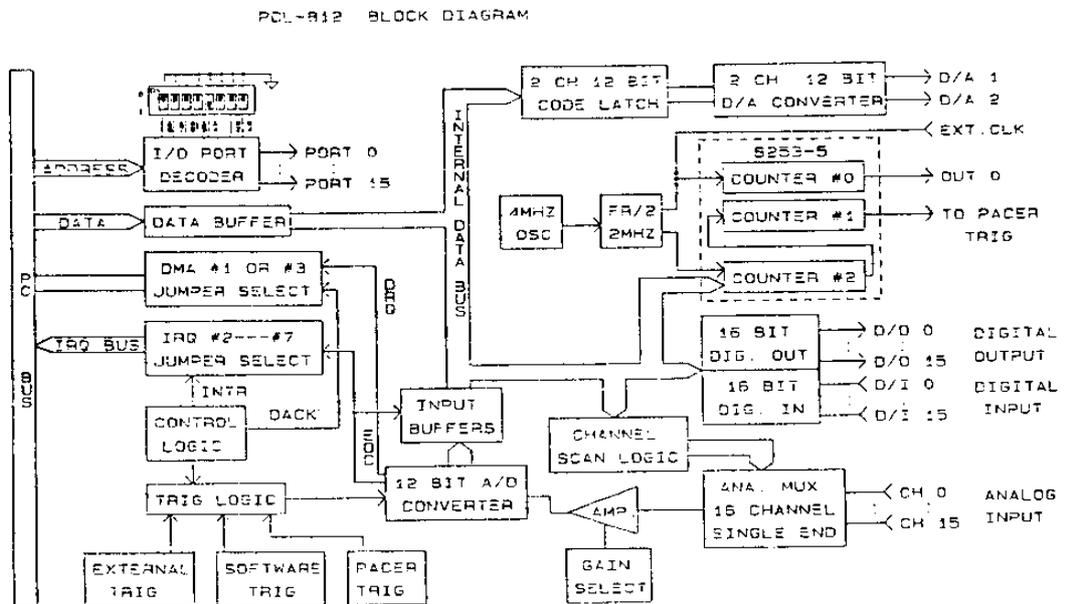


그림3-21. 데이터 입출력 장치의 구성도

제3절 결 론

연마 공정에 필요한 각 연마 변수를 실현하기 위한 자동 연마 공구 및 시스템을 구성하였다. 연마 공구에는 무방향성의 슷 들 이동 기능, 자유 곡면 적응 기능, 정압 기능, 그리고 슷들의 회전 및 교환이 가능한 구조가 집적되어 있고, 이러한 연마 공구를 제어는 2축 제어기와 전체 시스템을 제어하는 컴퓨터간에 serial port를 통한 interfacing이 구성되어 있다.

리사쥬 패턴과 같은 슷들의 이동 경로는 컴퓨터를 통해 시뮬레이션되고, 이를 2축 제어기에 적합한 프로그램으로 변환하여 전송하도록 되어 있다. 다음에는 연마 시스템의 외관을 나타내었다.

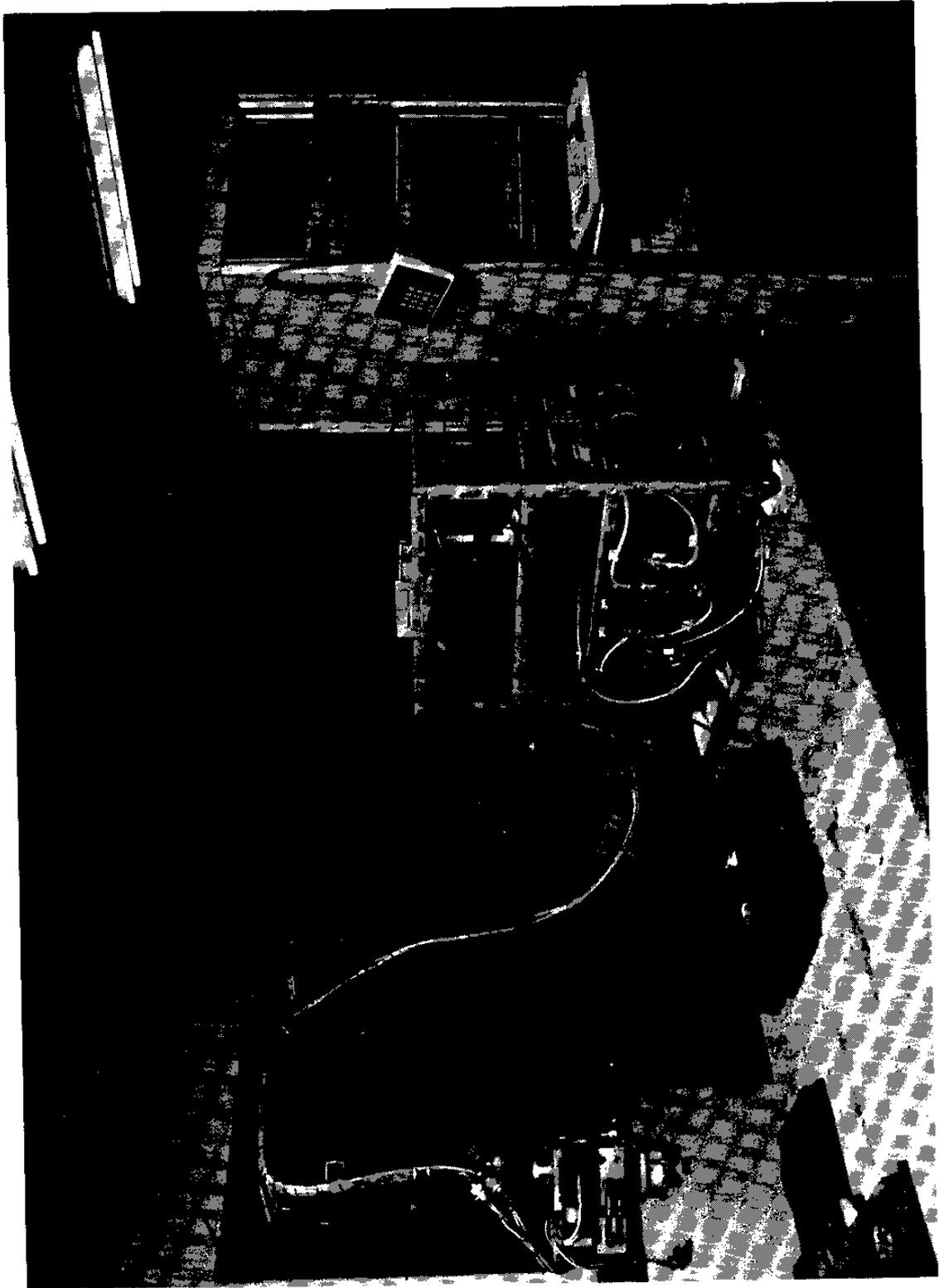


그림3-22. 자동 연마 시스템의 외관

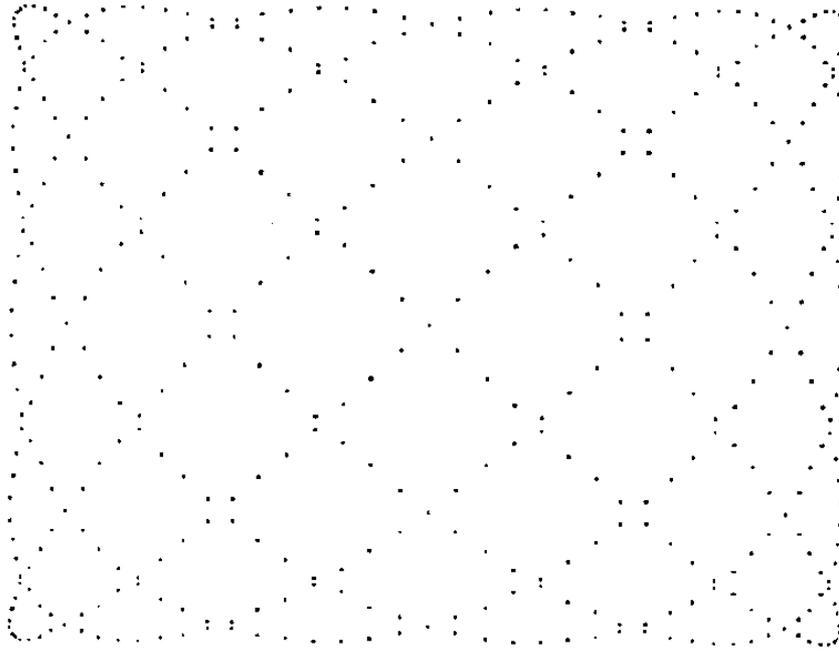
제4장 금형 자동 연마 공구 시스템의 분석

본 연구의 목표인 금형 마무리 공정의 자동화를 위하여 이 상에서 언급한 바와 같은 자동 연마 공구 시스템을 구성하였다. 본 시스템의 성능 분석을 위하여 여러가지 기능 분석 실험을 수행하였다. 즉 각 기능별로 컴퓨터 시뮬레이션과 실제 실험 결과를 비교 분석하여 최적의 연마 변수들을 규명하고 문제점을 파악한 후 연구를 위한 개선점을 제시하고자 한다.

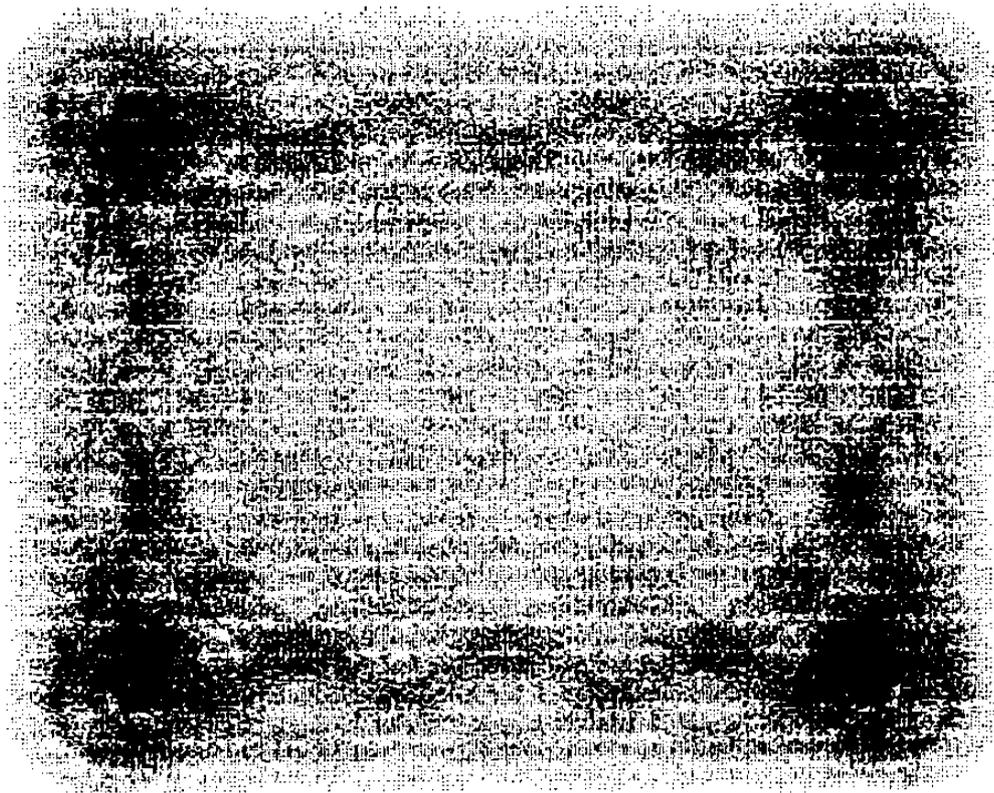
제1절 각 기능별 분석 실험

1. 무방향성 연마 기능

본 기능의 목표는 연마면의 파상도를 줄여 주고 다양한 연마 면적을 실현하는 것이다. 파상도를 최소화하는 것은 균일한 연마량이 발생하도록 연마하는 것과 밀접한 의미가 있으므로, 먼저 균일한 연마량으로 연마가 이루어지도록 연마 슷들의 이동 경로를 결정하여야 한다. 한 예로서 그림4-1(a)와 같은 리사쥬 패턴으로 연마를 하였을 경우에 리사쥬 패턴의 SIN wave의 속도를 균일하게 유지하면 그림4-1의 (b)와 같은 연마 결과가 나타난다. 즉 연마 빈도의 불균일로 인하여 모서리 부위 등에서는 연마 빈도가 높음을 나타내고 있다. 이때의 연마 속도의 표현식은 다음과 같다.



(a) 리사쥬 패턴의 위치 데이터



(b) SIN wave의 속도를 일정하게 유지할 경우의 연마 궤적의 시뮬레이션 결과

그림4-1. SIN wave의 속도가 일정할 경우의 리사쥬 패턴의 시뮬레이션 결과

리사쥬 패턴을 만들기 위한 식을

$$P_x = M_x \cdot \text{SIN}(w_x \cdot t)$$

$$P_y = M_y \cdot \text{SIN}(w_y \cdot t)$$

라고 하면

$$V_x = \frac{d}{dt}(P_x) = M_x \cdot w_x \cdot \text{COS}(w_x \cdot t)$$

$$V_y = \frac{d}{dt}(P_y) = M_y \cdot w_y \cdot \text{COS}(w_y \cdot t)$$

이상과 같은 문제점을 해결하기 위하여 리사쥬 패턴의 속도를 일정하게 유지하는 방법을 고려해 보도록 한다.

리사쥬 패턴의 속도는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$V = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

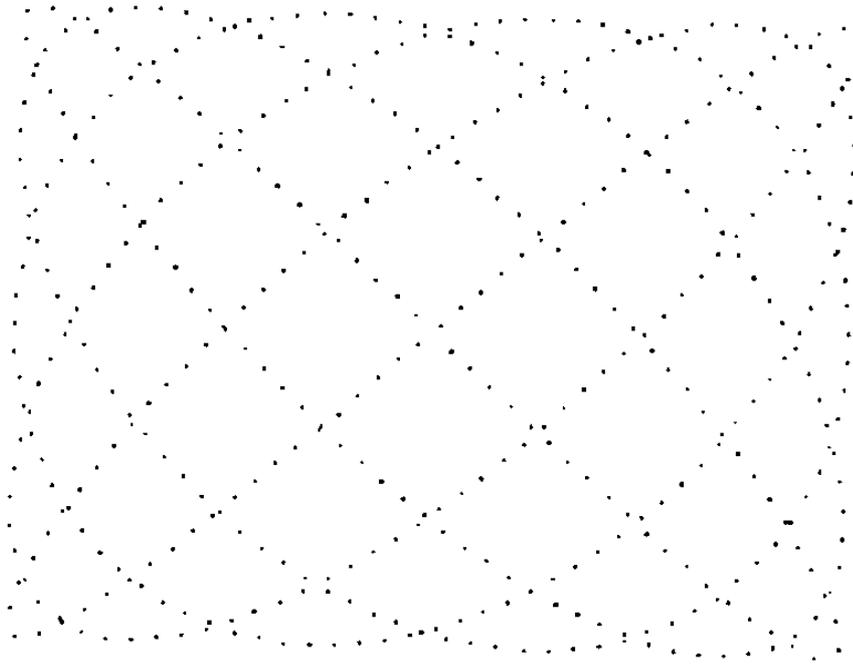
시간 Δt 동안 이동한 거리를 Δl 이라고 하면 Δl 은 근사적으로

$$\begin{aligned} \Delta l &= \sqrt{l_x^2 + l_y^2} \\ &= \sqrt{(P_{xt} - P_{xt + \Delta t})^2 + (P_{yt} - P_{yt + \Delta t})^2} \\ &= \sqrt{\{M_x \text{SIN}(w_x \cdot t) - M_x \text{SIN}(w_x(t + \Delta t))\}^2 + \\ &\quad \{M_y \cdot \text{SIN}(W_y \cdot t) - M_y \cdot \text{SIN}(W_y(t + \Delta t))\}^2} \end{aligned}$$

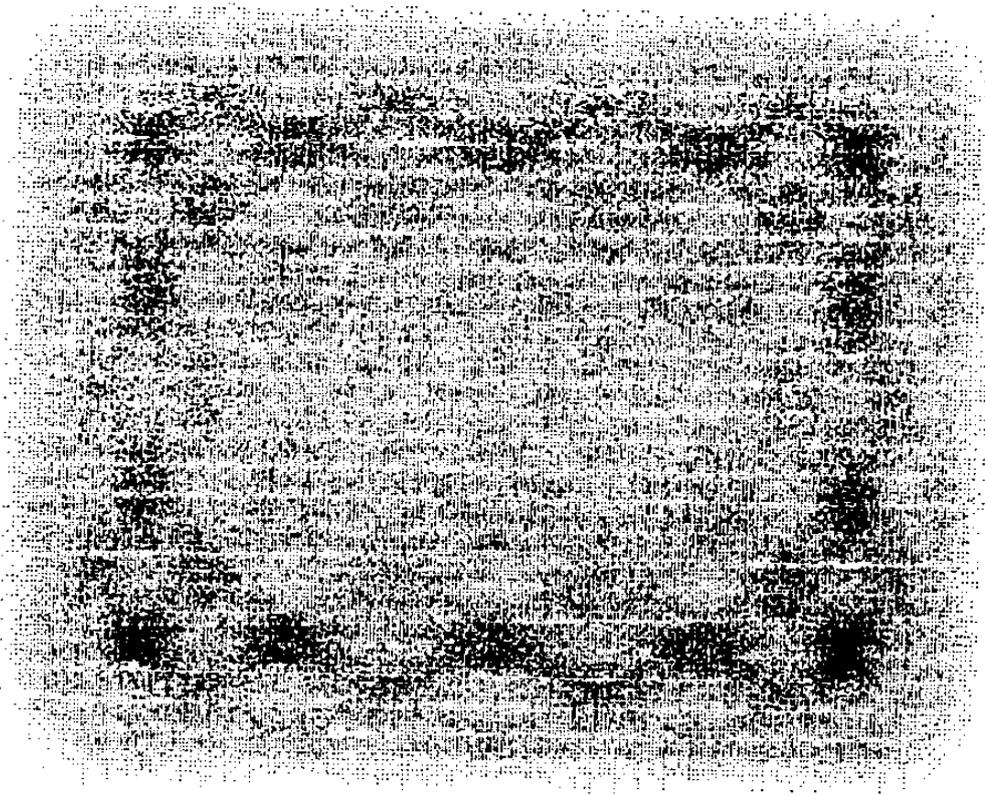
이 되고, 속도를 일정하게 유지하기 위해서는 시간 Δt 동안 이동 거리 Δl 을 일정하게 유지하도록 한다. 해석적으로 윗 식으로부터 시간 Δt 를 구하는 것은 곤란하므로 리사쥬 패턴의 위치 데이터로부터 이동 거리가 일정한 위치를 재구성하도록 하였다. 그림4-2의 (a)와 같이 위치 데이터를 재구성하였을 경우의 리사쥬 패턴에 따른 연마 궤적의 시뮬레이션 결과를 그림4-2의 (b)에 나타내었다.

다음에는 리사쥬 패턴의 형태를 변화시킴으로써 다양한 연마 궤적의 실현이 가능함을 본다. 다음에는 여러가지 형태의 리사쥬 패턴의 시뮬레이션 결과를 나타내었다 (그림4-3).

이상의 형태에 대한 실제 연마 결과를 그림4-4에 나타내었다. 실험에서는 흑색으로 도장된 스테인레스 철판을 사용하여 실험 결과를 쉽게 볼 수 있도록 하였다. 여기서는 몇가지 예만을 나타내었으나 연마 경로의 위치 데이터에 따라 여하한 형태의 머트적이라도 적용이 가능하다.



(a) 재구성된 리샤쥬 패턴의 위치 데이터



(b) 재구성된 위치 데이터에 의한 연마 궤적의 시뮬레이션 결과

그림4-2. 재구성된 리샤쥬 패턴의 예

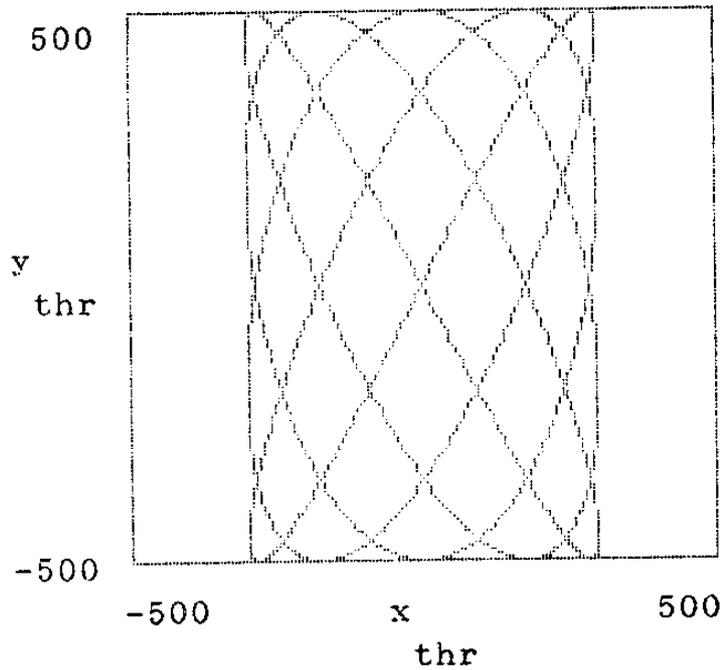
```

sy := 1.25
sx := 1
thr := 0 ..1440
k := 1.25
j := 0

```

$$x_{thr} := 300 \sin \left[thr \cdot \frac{\pi}{180} \cdot sx \right]$$

$$y_{thr} := 500 \sin \left[thr \cdot \frac{\pi}{180} \cdot sy \right]$$



(a) 직사각형 형태

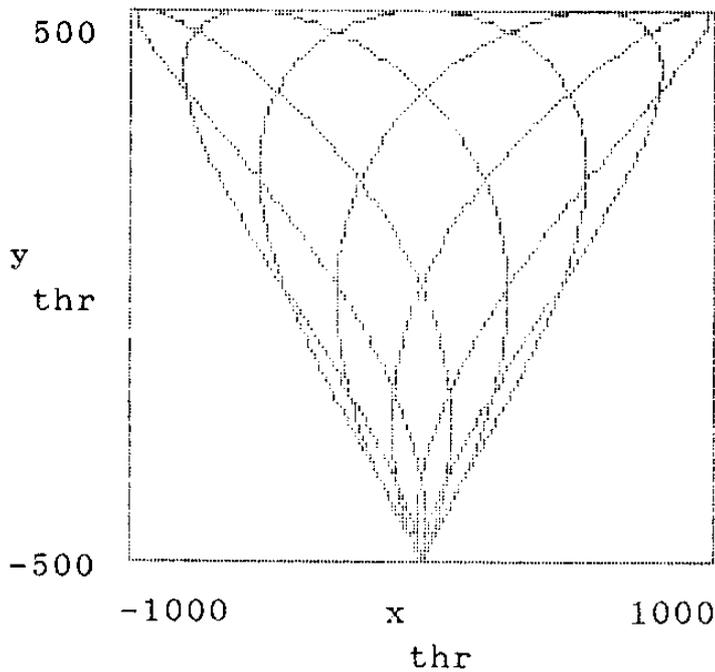
```

sy := 1.25
sx := 1
thr := 0 ..1440
k := 1.25
j := 0

```

$$x_{thr} := 50 \sin \left[thr \frac{\pi}{180} \cdot sx \right] \cdot \left[10 \sin \left[thr \frac{\pi}{180} \cdot k \right] + 10 \right]$$

$$y_{thr} := 500 \sin \left[thr \frac{\pi}{180} \cdot sy \right]$$



(b) 삼각형 형태

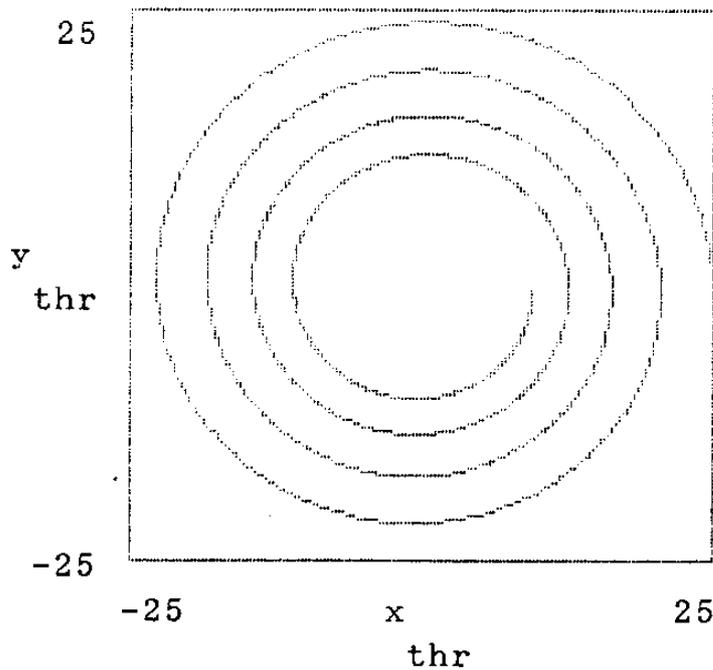
```

sy := 1
sx := 1
thr := 0 ..1440
k := 1.25
j := 1.25

```

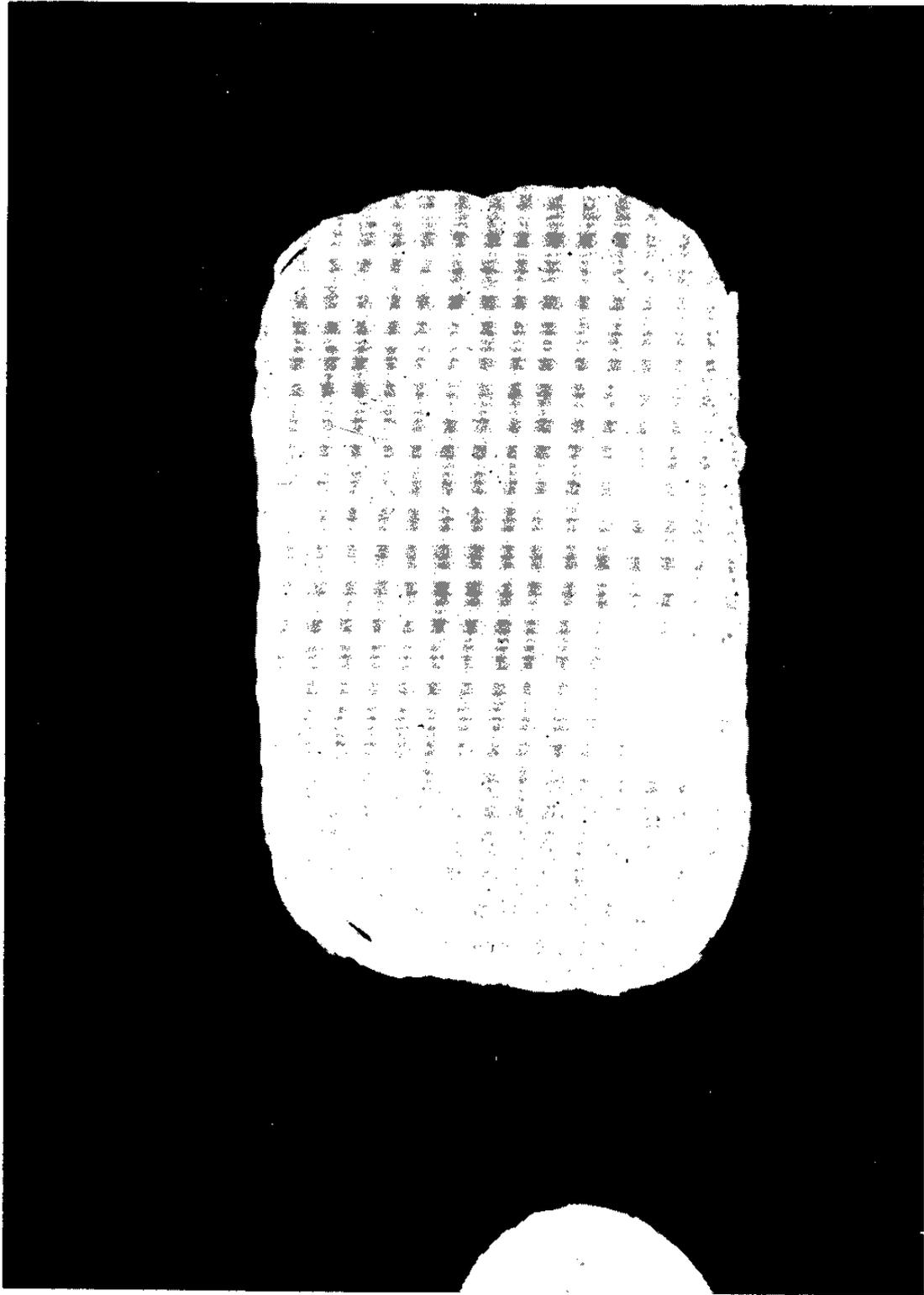
$$x_{thr} := 50 \sin \left[\frac{\pi}{180} \cdot sx + \frac{\pi}{2} \right] \cdot \frac{1}{\exp \left[\frac{thr}{1000} \right] + 1}$$

$$y_{thr} := 50 \sin \left[\frac{\pi}{180} \cdot sy \right] \cdot \frac{1}{\exp \left[\frac{thr}{1000} \right] + 1}$$

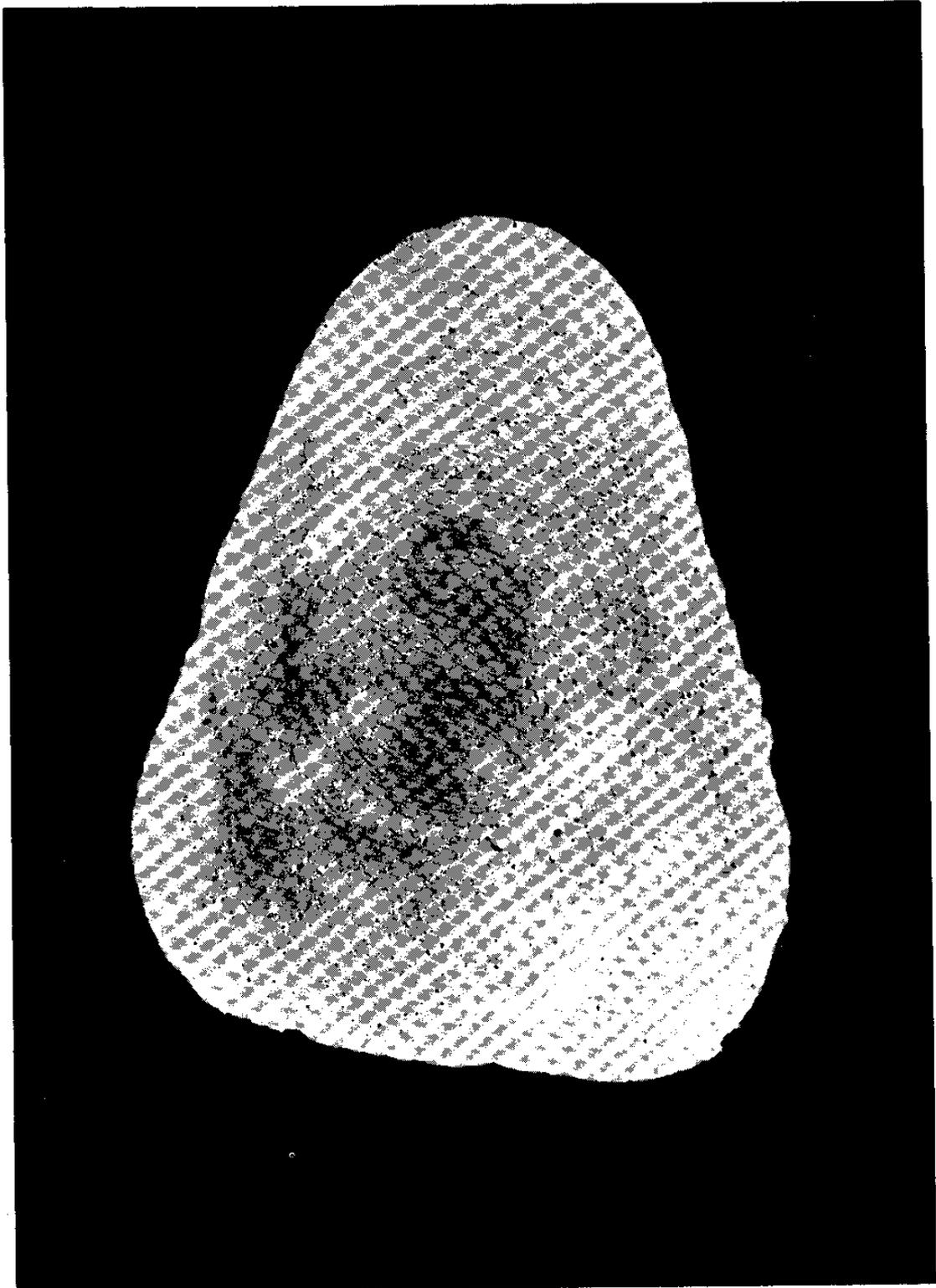


(c) 나선형 형태

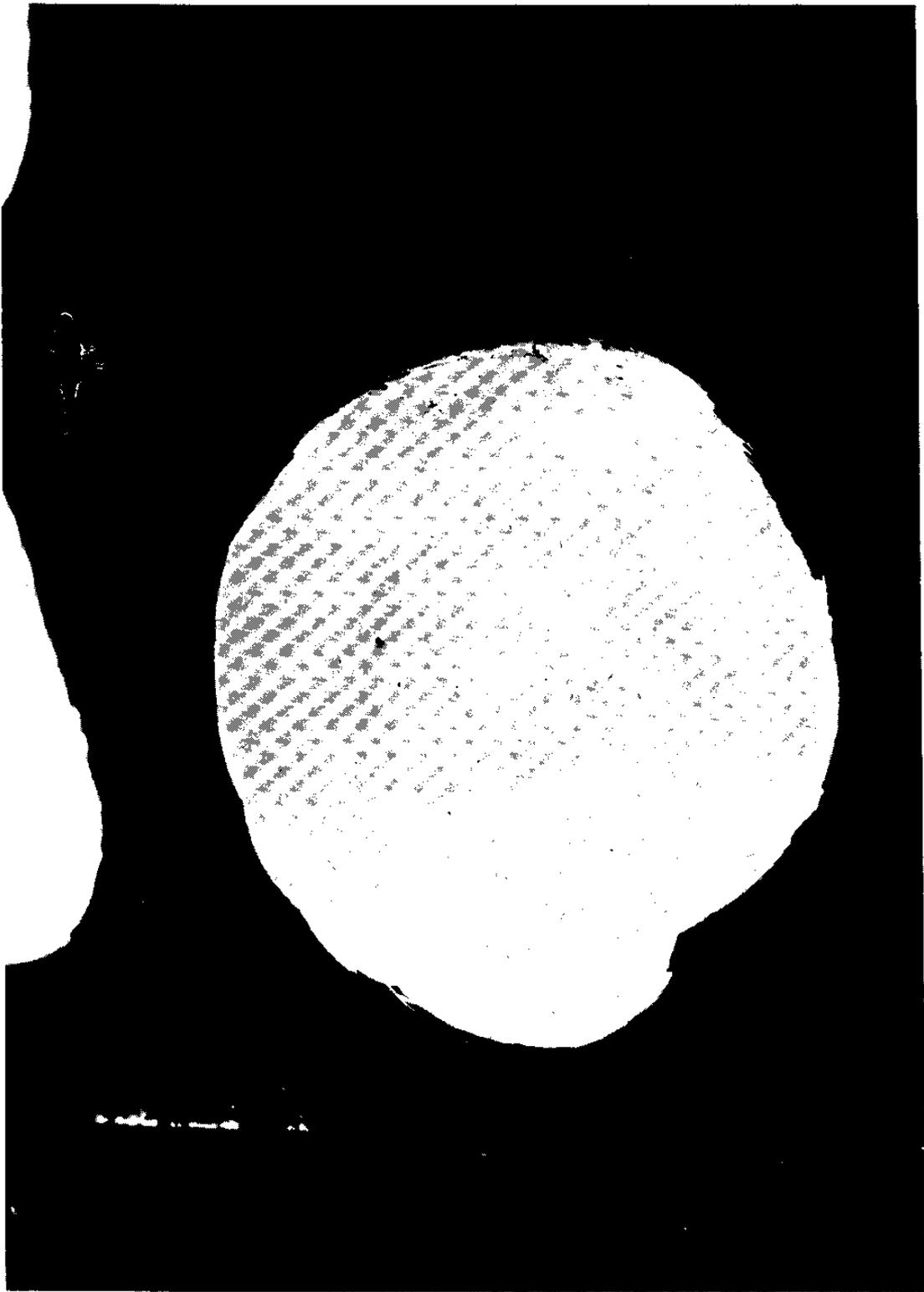
그림4-3. 여러가지 형태의 리사쥬 패턴



(a) 사각형 형태



(b) 삼각형 형태



(c) 원형(나선형) 형태

그림4-4. 여러가지 형태에 대한 실제 연마 실험 결과

2. 자유 곡면 적응 기능

본 연구에서 개발된 연마 공구는 다음 그림과 같이 수직 방향으로 약 30mm, 수평면에 대하여 상하 25도 정도의 경사진 면에 적용이 가능하도록 되어있다. 실제 곡면에 대한 적용 실험을 그림 4-5에 나타내었다. 실험 결과는 로봇트의 이동이 없이 연마 공구 자체의 곡면 적응 기능에 의한 결과를 보여 주고 있다.

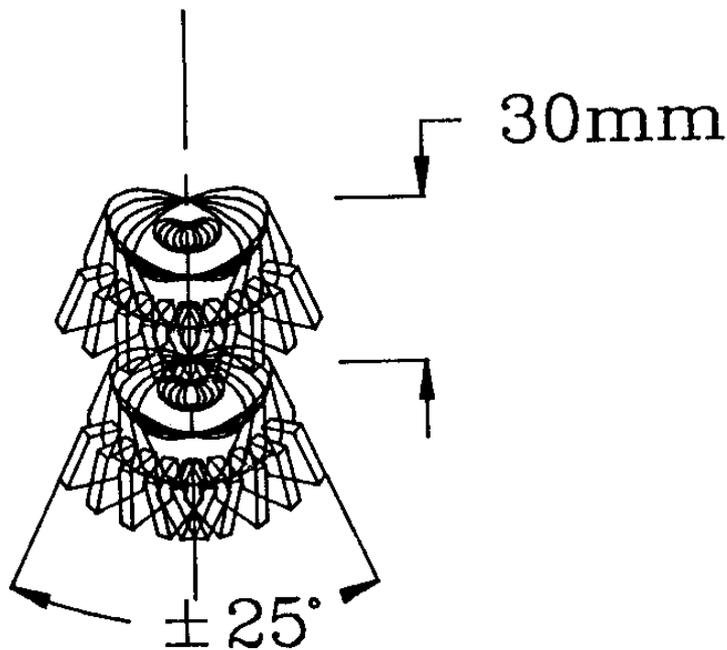


그림4-5. 연마 공구 적응 범위

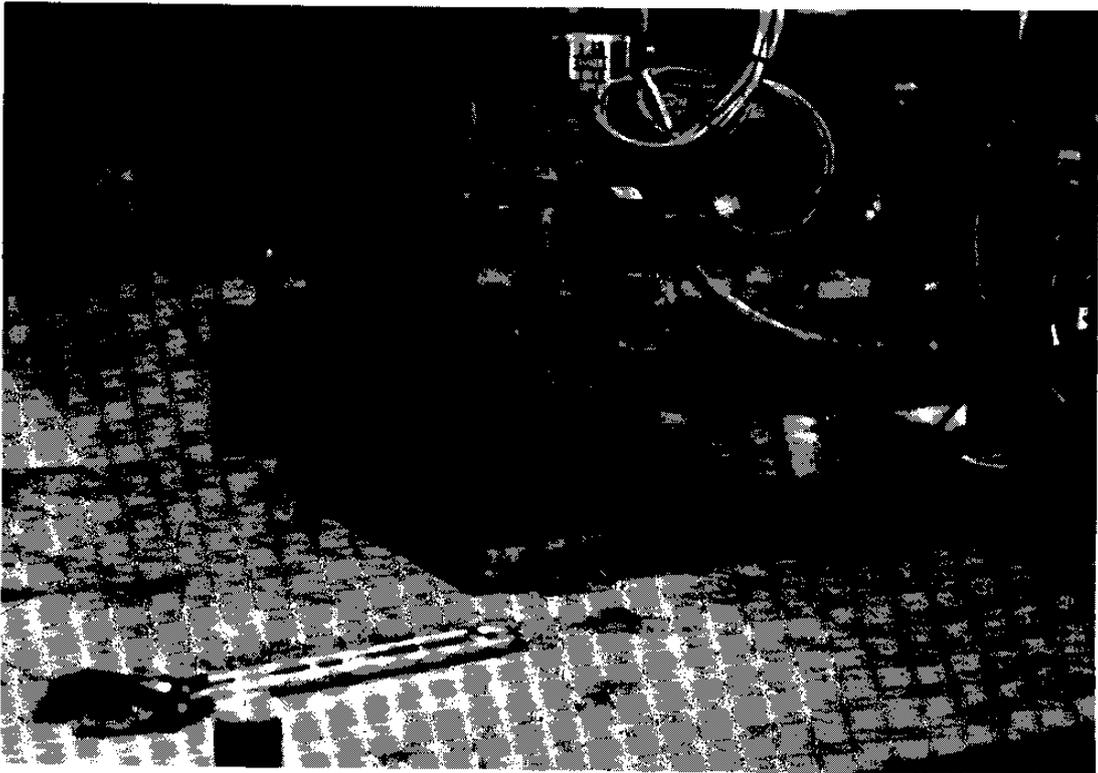


그림4-6. 자유 곡면 적응 실험 결과

제2절 결 론

파상도를 제거하기 위한 방법의 하나로써 연마 숫돌의 이동 경로에 무방향성의 운동을 가하는 구조의 기능이 자동 연마 공구에 집적되었다.

연구 결과 무방향 연마 기능외에 다양한 면적 형태의 연마가 가능함을 나타내었다. 파상도는 연마의 균일성과 관련이 있으므로 연마 빈도를 일정하게 유지 하기 위하여 숫돌의 이동시 속도 분포에 대한 재구성을 하였다.

자유 곡면으로 이루어진 금형의 연마를 위하여 3 자유도의 적응성을 갖는 유연성있는 연마 기능이 개발되어 자동 연마 공구에 집적되었다.

연마 공정 변수중의 하나인 연마 가압력의 제어를 위하여 일정한 가압력의 적용이 가능하도록 정압 기능을 구성하였다.

다음에 자동 연마 공구의 외관도를 나타내었다.

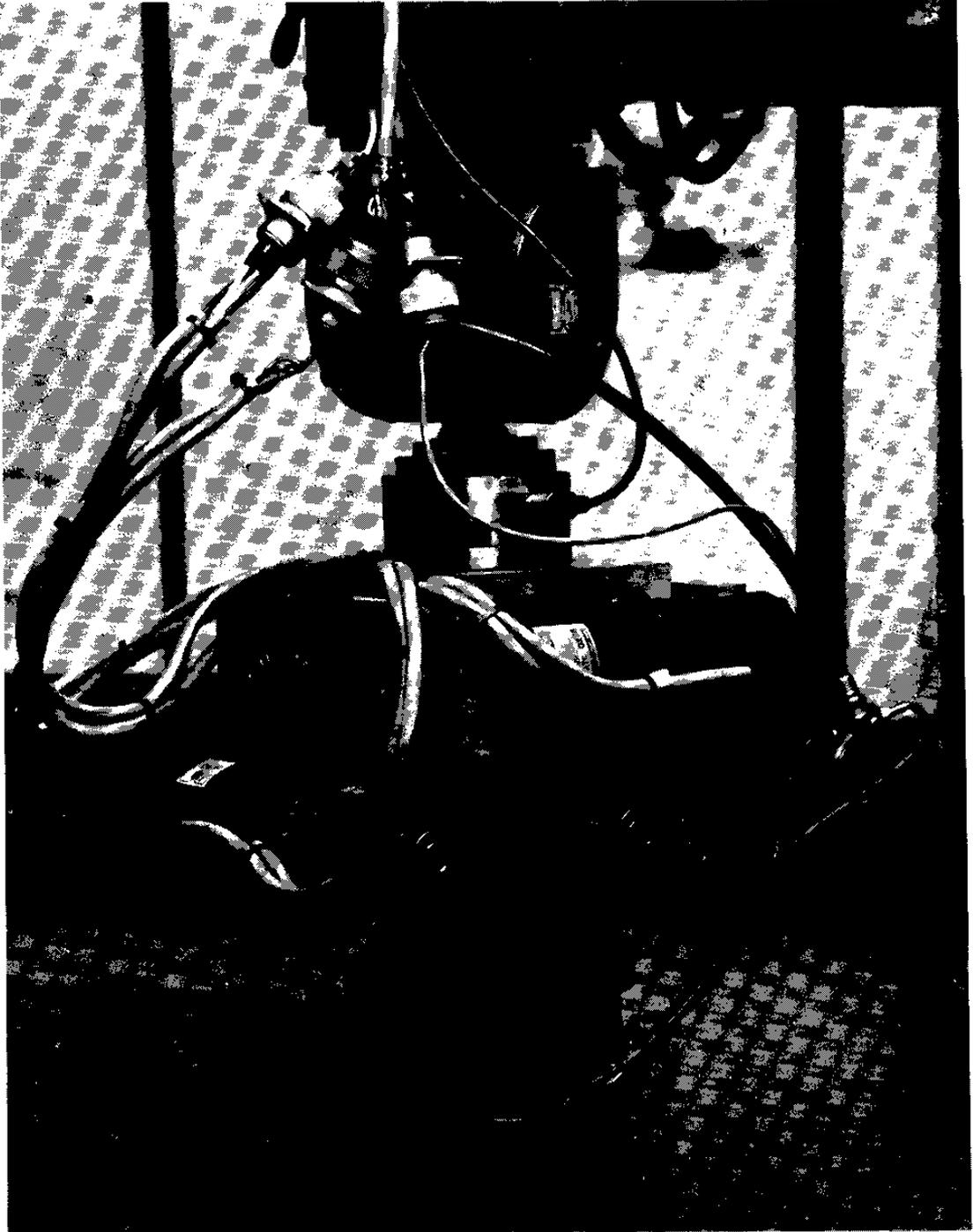


그림4-7. 자동 연마 공구의 외관도

제5장 최종 결론 및 추후 연구 방향

1. 최종 결론

자유 곡면으로 이루어진 금형의 연마를 위한 자동 연마 공구 시스템의 개발을 위하여 자동 연마 공구를 포함한 연마 시스템이 구성되었다. 자동 연마 공구에는 무방향성 운동 기능, 자유 곡면 연마 기능 그리고 정압 기능등이 집적되어 있다. 자동 연마 공구는 컴퓨터로 부터 각기능의 제어가 가능하도록 되어 있고, 컴퓨터에서 시뮬레이션을 통하여 연마 변수의 선정이 이루어진다.

본 연구에서 개발된 연마 시스템에서는 국부 면적의 연마는 연마 공구 자체의 기능에 의하여 수행되도록 되어 있고 로봇은 보다 큰 이동 경로를 담당하게 되어 로봇의 부담을 줄임으로써 단순한 기능의 로봇 사용이 가능하고 연마 속도의 향상도 이를 수 있다.

다양한 연마 조건에 따라 슷들의 입도, 가압력등의 연마 변수를 적용하는 것이 가능하므로 연마 공정의 최적화를 위한 공정 제어 및 관리 시스템과의 접속이 가능하다. 연마 시스템은 로봇 또는 컴퓨터를 중앙 제어부로 선택할 수 있는 구조로 이루어져 있다.

2. 추후 연구 방향

- 1) 여러 연마 변수의 최적화를 통하여 연마 공정의 고속화가 필요하고,

이를 데이터 베이스화하여 여러 금형의 가공 조건에 대처할 수 있도록 하는등의 연마 시스템의 지능화가 요구된다.

2) 금형의 깊은 홈, 구석진 부위등에 적합한 연마 공구의 개발을 통하여 연마 공정의 자동화 비율을 높이도록 한다.

3) 향후 금형 생산 자동화 시스템의 일부로써 금형 연마 공정이 집적되기 위하여 시스템 제어및 여러 정보 관리등의 체계가 표준화되어야 한다.

참 고 문 헌

- (1) 89 초정밀 가공 심포지움, 한국과학기술연구원, 1989
- (2) M. Kunieda, T. Nakagawa, T. Higuchi, "Development of polishing robot for free from surface", Proc. of 5th Int'l conference on Production Engineering, Tokyo, 1984
- (3) 김 동원, 기계공작법, 청문각, 1984
- (4) Jong-Oh Park, Daeyup Lee, "Development of Elexible Polishing Technology of Die and Mould Using Industrial Robots", Proc. Int'l Conference on Die and Mould Technology '90, Shanghai, China
- (5) Ralph J. Smith, "Electronics : Circuits and Devices", John Wiley & Sons, 1980
- (6) 이 명환, 정밀 다듬질과 특수 가공, 대광 서립, 1985

부 록

1. 리사쥬 패턴의 주기

어떤 함수 $f(x)$ 의 주기를 a 라고 하면 함수는 $f(x)=f(x+a)$ 를 만족시켜야 한다. 이를 리사쥬 패턴에 대입하여 본다.

리사쥬 패턴의 주기를 a 라고 하면

$$f(x, y)=f(x+a, y+a)$$

의 관계를 만족하여야 하고,

$$x=A \text{ SIN}(wx.t)$$

$$y=B \text{ SIN}(wy.t)$$

라고 하면

$$A \text{ SIN}(wx.t)=A \text{ SIN}(wx (t+a))$$

$$B \text{ SIN}(wy.t)=B \text{ SIN}(wy (t+a))$$

이 성립하여야 한다.

즉

$$\text{SIN}(wx.t)=\text{SIN}(wx (t+a))$$

$$\text{SIN}(wy.t)=\text{SIN}(wy (t+a))$$

이고, SIN 함수의 성질로 부터

$$wx.t=wx (t+a) + 2\pi n \dots\dots\dots (1)$$

$$wy.t=wx (t+a) + 2\pi m \dots\dots\dots (2)$$

이 된다. 여기서 n, m 은 정수를 의미한다.

따라서

(1)-(2)로 부터

$$(wx - wy)a = 2\pi \cdot (m - n)$$

이 되고, 우변은 역시 정수를 의미하므로 최소값을 선택하면

$$a = \frac{2\pi}{|wx - wy|}$$

의 관계를 구할 수 있다.

2. 리사쥬 패턴등의 위치 데이터 파일을 작성하는 프로그램의 예

```
,  
'Program for making position data file of Lissajous pattern  
,  
WX = 1           'Frequency of X axis  
WY = 1.25       'Frequency of Y axis  
MX = 100        'Magnitude of X axis  
MY = 100        'Magnitude of Y axis  
THD = 360 / ABS(WX - WY)  'Angle amount to one period  
PI = 3.141592  
,  
INPUT "FILE NAME :"; F$  
OPEN "O", #1, F$  
  FOR TH = 0 TO THD  
    THR = TH * PI / 180  
    PX = MA * SIN(WX * THR)      'X axis sine wave  
    PY = MY * SIN(WY * THR)      'Y axis sine wave  
    PRINT #1, PX, PY  
  NEXT TH  
CLOSE #1  
END
```

3. 위치 데이터 파일로부터 2축 제어기에 적합한 프로그램을 작성하는 프로그램의 예

```

,
'Program for making 2 AXIS CONTROLLER PROGRAM from position data file
,
SUB LISSA1
  PI = 3.141592
  SX$ = "30"           'X axis velocity
  SY$ = "30"           'Y axis velocity
  OUT$ = "00"
  ch$ = "04"           'program channel No.
  OPEN "I", 4, "FILE"  'position data file
  OPEN "O", 2, "PXY"   'output filename
  PRINT #2, "@01WC" + ch$;
  ' SCREEN 2

300 INPUT #4, px, py
  PRINT px, py
  IF px = 999 THEN 200
  IF px < 0 THEN SIGNX$ = "-" ELSE SIGNX$ = "+"
  IF py < 0 THEN SIGNY$ = "-" ELSE SIGNY$ = "+"
  PRINT #2, "00A" + SIGNX$;
  OPEN "O", 3, "PXYT"
  PRINT #3, USING "###.###"; ABS(px);
  CLOSE #3
  GOSUB ZRADD
  PRINT #2, VV$;
  PRINT #2, SIGNY$;
  OPEN "O", 3, "PXYT"
  PRINT #3, USING "###.###"; ABS(py);
  CLOSE #3
  GOSUB ZRADD
  PRINT #2, VV$;
  PRINT #2, SX$ + SY$ + OUT$ + ";" + CHR$(13)
  GOTO 300
200 PRINT #2, "03;*"
  PRINT #2, "E"
  CLOSE #2
  CLOSE #4
  END

ZRADD: OPEN "I", 3, "PXYT"
  INPUT #3, VV$
  CLOSE #3
  FOR N = 1 TO 5
    IF MIDS(VV$, N, 1) = "." THEN 100
  NEXT N
100 LVV = LEN(VV$)
  LVV1 = 5 - N: LVV2 = LVV - N - 3
  FOR M = 1 TO LVV1
    VV$ = "0" + VV$
  NEXT M
  FOR M = 1 TO LVV2
    VV$ = VV$ + "0"
  NEXT M
  VV1$ = LEFT$(VV$, 4): VV2$ = RIGHT$(VV$, 3)
  VV$ = VV1$ + VV2$
  RETURN
END SUB

```

4. 2축 제어기의 구동 및 현재 작업 위치를 읽어 들이는 프로그램의 예

```

,
'Program for starting 2 axis controller and for reading current position
,
  OPEN "COM1:300.N,8,1,CS,DS" FOR RANDOM AS #1
  BEEP
  CR$ = CHR$(13): TMS = "*" + CR$
  GOTO 60
,
COMM:   SS$ = "@01" + HD$ + SHD$ + TMS
        PRINT #1, SS$
        INPUT #1, RR$
        CHK$ = MID$(RR$, 6, 2): PRINT CHK$
        RETURN
'*****
60 PRINT #1, "@01GR*" + CR$
  INPUT #1, RR$: PRINT RR$
  INPUT "Channel No. :"; CN$
  PRINT #1, "@01GC" + CN$ + "*" + CR$
  INPUT #1, RR$: PRINT RR$
  SCREEN 9, 1
  PAINT (100, 100), 14
  LINE (50, 180)-(600, 180), 12
  LINE (300, 50)-(300, 400), 12
  LOCATE 13, 7: PRINT "-X"
  LOCATE 13, 74: PRINT "+X"
  LOCATE 2, 37: PRINT "+Y"
  LOCATE 23, 37: PRINT "-Y"
  LINE (300, 180)-(300, 180)
100 PRINT #1, "@01RD*" + CR$
  INPUT #1, RR$
  IF INKEY$ = "Q" OR INKEY$ = "q" THEN 1000
  XP = VAL(MID$(RR$, 8, 8)) / 1000: yP = VAL(MID$(RR$, 16, 8)) / 1000
  LINE -(XP + 300, -yP + 180), 0
  GOTO 100
1000 PRINT #1, "@01GS*" + CR$
END

```

5. A/D converter로 부터 값을 읽어 들이는 프로그램의 예

```
,
'Program for reading signal from A/D converter
,
DIM DAT%(4), ary1%(10), ary2%(10)
PORT% = &H220          'SET I/O PORT ADDRESS
DAT%(0) = PORT%        'GET I/O PORT ADDRESS
DAT%(1) = 3            'SELECT INTERRUPT LEVEL 3
DAT%(2) = 1            'SELECT D.M.A. LEVEL 1
ER% = 0                 'ERROR RETURN CODE
FUN% = 0                'FUNCTION 0
CALL PCL812(FUN%, SEG DAT%(0), SEG ary1%(0), SEG ary2%(0), ER%)
IF ER% <> 0 THEN PRINT "DRIVER INITIALIZATION FAILED !": STOP
,
INPUT "CHANNEL NUMBER <0 -- 15>"; START%
FUN% = 3                'FUNCTION 3
100 CALL PCL812(FUN%, SEG DAT%(0), SEG ary1%(0), SEG ary2%(0), ER%)
IF ER% <> 0 THEN PRINT "A/D CONVERSION FAILED!": STOP
PRINT
PRINT DAT%(0)
,
200 A$ = INKEY$: IF A$ = "" GOTO 200
IF A$ = CHR$(27) THEN END
PRINT : GOTO 100       'EXECUTE NEXT A/D COVERSION
END
```

6. D/A converter로 부터 값을 읽어 들이는 프로그램의 예

```
,
'Program for writing data to D/A converter
,
DIM DAT%(4), ary1%(10), ary2%(10)
PORT% = &H220          'SET I/O PORT ADDRESS
DAT%(0) = PORT%       'GET I/O PORT ADDRESS
DAT%(1) = 3           'SELECT INTERRUPT LEVEL 3
DAT%(2) = 1           'SELECT D.M.A. LEVEL 1
ER% = 0                'ERROR RETURN CODE
FUN% = 0               'FUNCTION 0
CALL PCL812(FUN%, SEG DAT%(0), SEG ary1%(0), SEG ary2%(0), ER%)
IF ER% <> 0 THEN PRINT "DRIVER INITIALIZATION FAILED!": STOP
,
200 PRINT : INPUT "ENTER D/A DATA (0-4095): ", DAT%(1)
    FUN% = 15
    CALL PCL812(FUN%, SEG DAT%(0), SEG ary1%(0), SEG ary2%(0), ER%)
    IF ER% <> 0 THEN PRINT "PERFORM SINGLE D/A FAILED!"
    PRINT : COLOR 0, 7: PRINT " OUTPUT ANOTHER DATA (Y/N)? :"; : COLOR 7, 0: PRINT "
300 A$ = INKEY$: IF A$ = "" GOTO 300
400 IF A$ = "Y" OR A$ = "y" THEN GOTO 200
END
```

주 의

1. 이 보고서는 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.