

자동 경면 다듬질 장치의 실험적 분석에 관한 연구

박 균 명,* 장 진 회,** 한 창 수***

A Study on the Experimental Analysis of the Automatic Fine Polishing System

Gyun Myoung Park,* Jin Hee Jang,** Chang Soo Han***

ABSTRACT

Now a days, securing skilled workers is very difficult due to the hardworking environment. This situation will be getting worse in the future and also that makes the dies/molds industries difficult. In this research, the automatic fine polishing system which can be directly attached to the spindle of CNC machine is proposed and analyzed. The system is also controlled by the NC program data created by CAD/CAM system. The usefulness and effectiveness of the developed system are verified more detail through some comparisons between automatic and manual polishing experiments. The experiments show that the automatic polishing is a more useful and effective process than manual one. For the application, this system can be easily used for the polishing process in the area of any fine surface.

Key words : Polishing process(다듬질 공정), CNC machine, CAD/CAM, Automatic fine polishing system(자동 경면 다듬질 장치)

1. 서 론

금형은 제품 생산을 위하여 필수적으로 이용되고 있는 일종의 도구로서 다품종 소량 생산 개념의 확대와 더불어 그 중요성이 더욱 증대되고 있다. 금형의 형상이 불특정하고 다양한 형태를 갖는 관계로 금형을 제작하기 위해서 각종의 공작기계를 사용하고 있으며 여기

에는 정밀 가공 기술, 측정 기술 및 기타 여러 제반 기술들을 필요로 하고 있다. 금형을 제작할 때는 기계 가공이 종료된 후 필연적으로 마무리 단계인 다듬질 작업이 이루어지게 된다. 그러나, 여러 연구 결과와 현장 숙련공들의 작업시간등을 분석해 보면 전체 금형 제작 공정중 약 30~40% 정도가 이러한 다듬질 작업에 소요되고 있음을 알 수 있다.^(1,2,4,4) 즉, 이 자료로부터 알 수

* 생산기술연구원 금형연구실

** 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

*** 한양대학교 정밀기계공학과

있는 사항은 다듬질 가공이 많은 시간과 경험이 요구되는 숙련 기술자에 의하여 작업이 이루어지는 특수한 분야라는 것이다. 이 가공은 제품외관의 거칠기 정도와 제품의 정밀도 등에 직접 영향을 미치는 부분이기 때문에 이에 관한 자동화 장치 개발 및 실험을 통한 분석은 필수적이라 할 수 있다.

금형 제작 공정의 마지막 부분인 다듬질 작업은 기계에 의하여 가공 형상면이 생성된 후 이루어지게 되며 지금까지 주로 이용되고 있는 방식에는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 손 다듬질에 의한 가공 방법
- ② CNC 기계에 장착할 수 있는 다듬질 전용 장치에 의한 방법
- ③ 다관절 로봇에 의한 다듬질 가공^{6,9)}

①은 주로 숙련된 기능인에 의하여 이루어지는 작업이다. 인간의 능력이 매우 탁월함에도 불구하고 인간에게는 각자의 능력 및 개성이 다르므로 객관적이고도 연속적인 정밀 작업을 수행한다는 것은 한계가 있다. 또한 사회가 발전함에 따라 상대적으로 열악한 이 분야에 대한 기술 인력이 줄어들고 있는 것도 하나의 문제점이라 할 수 있다. 이러한 이유로 다듬질 가공을 기계로 대체시키려는 의도가 계속적으로 시도되고 있다. 이러한 배경의 결과인 ②와 ③은 사람이 아닌 기계를 이용한다는 점에서는 유사한 면을 갖지만 시스템의 구성 자체가 다르다. ②는 다듬질을 위한 전용 장치를 새로이 고안하여 기존의 공작기계와는 별도로 다듬질을 하기 위한 방법이다. ③은 ②의 문제점을 더욱 더 개선하고자 하는 목표로 제시되었으며 많은 연구를 통하여 공간 형태의 물체도 비교적 용이하게 다듬질할 수 있게 되었다. 그러나 이 장치는 초기 상태의 대략적인 다듬질에 주안점을 맞추었으며 미세한 경면을 다듬질하는 데는 아직도 해결해야 할 문제가 남아 있다.

이와 같은 배경으로 기존의 장비에 비하여 보다 저렴하면서도 미세한 경면을 다듬질 할 수 있는 3차원 자유곡면 다듬질 장치가 개발되었다.^{17,8)} 이 장치는 CAD/CAM 시스템에 의하여 생성된 NC 프로그램 자료로 절삭가공을 할 뿐만 아니라 다듬질 작업도 가능하게 할 수 있는 것이 특징으로 다른 다듬질 장치와는 달리 미세한 경면 다듬질 작업을 수행하고자 하는 목표로 기능상 접근이 전혀 다른 성격을 갖고 있는 것이 특징이다. 이 다듬질 장치는 기존의 CNC에 바로 장착이 가능

하며 다른 추가의 장비가 필요치 않다는 장점이 있다.

본 논문에서는 앞서 발표된 미세한 경면 다듬질 장치의 효용성을 조사해 보기 위하여 수작업에 의한 다듬질 작업과 기계를 이용한 다듬질 작업 사이에 존재하는 관계를 실험을 통하여 분석하였다. 이는 이러한 비교가 다듬질 시간의 단축으로 금형 제작에 있어 원가 절감 및 단납기 실현을 이룰 수 있는 근거로 제시될 수 있을 것으로 사료되었기 때문이다. 또한 작업시간에 따라 다르게 나타나는 서로의 상태 변화를 객관적으로 살펴보았다.

2. 시스템의 구성

대다수 금형 공장에서는 CNC milling M/C이나 CNC 머시닝 센터를 보유하고 있으며 설치, 운영되고 있다. 그래서 본 논문을 통하여 제작된 자동 다듬질 장치 역시 기존 금형공장에서 쉽게 찾아볼 수 있는 CNC Milling M/C인 NTC 50 type을 설계의 기준으로 하였다. 기계에서의 X, Y, Z축의 이송은 CAD/CAM 시스템에서 생성한 NC 프로그램 자료에 의한 CNC 제어기의 서보 모터에 의하여 이루어진다. 여기서 NC 프로그램 자료에 의해 위치변화가 일어나는 X, Y, Z 방향을 공구 경로라 하는데, 본 논문에서 앞서 제작한 자동 다듬질 장치 역시 이 공구 경로를 따라 이동하면서 다듬질이 자동으로 수행되도록 하는데 설계의 주안점을 두었다.^{7,8)}

다듬질 장치의 구성은 Fig. 2.1과 같이 기계의 주축대 헤드부에 설치될 수 있는 MT50의 arber를 중심으로 공기의 공급부와 실린더 및 피스톤, 피스톤 로드(rod)와 피스톤 내부에 장치된 베인 모터(vane motor), 그리고 베인 모터에 연결된 스플라인 축으로 구성되도록 설계하였다. 또한 공압 실린더 내부에 장치된 피스톤의 상, 하 이동을 제어할 수 있는 공압 장치를 별도로 개발하였으며 단동식 공압 실린더 방식으로 구성된 실린더와 피스톤에 의해 항상 일정한 압력이 유지되도록 설계하였다.^{9,10,11)} 압축기(compressor)에서 공급된 공기는 두 방향으로 나누어지고 한쪽은 조절기(regulator)와 속도 제어기(speed controller)를 통하여 피스톤 압력을 일정하게 유지시킬 수 있도록 실린더에 공급되며 이미 설정된 압력을 초과하게 될 경우 공기를 자동으로 배출시켜 주는 드레인 부분으로 구성되어 있다. 다른 한쪽은 직접 베인 모터(vane motor)를

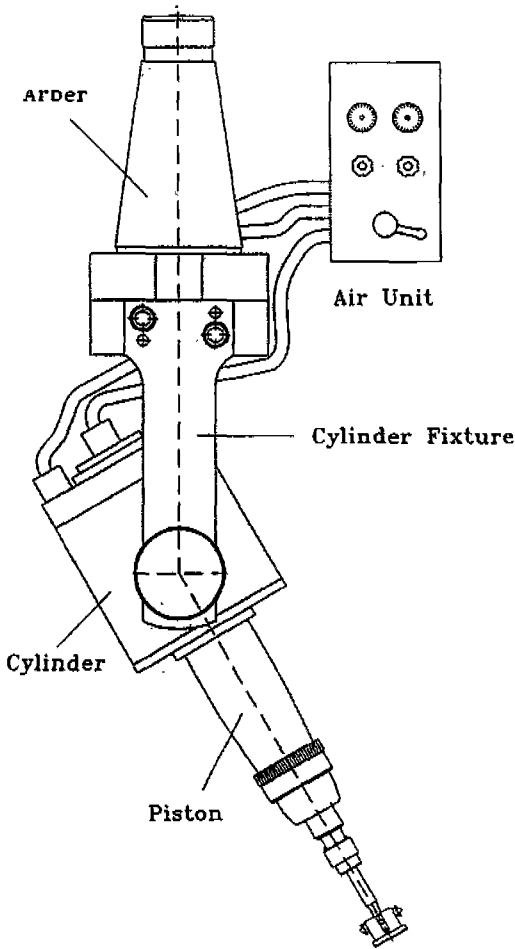


Fig. 2.1 Automatic fine polishing system

회전 시키기 위해 피스톤에 뚫려진 공기 유입구멍으로 연결되도록 설계되었으며 이때 베인 모터에 연결된 스플라인 축이 회전하면서 universal body에 접착된 diamond sheet⁽²⁾가 가공물의 표면을 누르며 다듬질 작업이 되도록 설계 되었다. 여기서 다듬질 장치가 해결해야 할 문제로는 수식 표현이 불가능한 자유곡면의 형상과 조도를 어떻게 실현시킬 수가 있겠느냐 하는 것이다. 따라서 본 다듬질 장치에서는 다음과 같은 요구 사항을 기준으로 설계를 하였다.

- ① 다듬질 대상은 R150~250 정도의 완만한 기울기의 자유곡면을 가진 사출 및 프레스, 다이캐스팅 금형으로 하였다.
- ② Milling M/C에 의해 발생된 커터 마크의 조도는

대량 $R_{max} 10\sim 100\mu m$ 이며, 최종 다듬질 작업 후에는 $R_{max} 0.2\mu m$ 를 목표로 한다.

- ③ 다듬질 공구의 착탈이 용이하도록 한다.
- ④ 자유곡면에 대한 법선 방향으로 항상 일정한 압력이 작용하도록 한다.
- ⑤ 다듬질 할 때 작용 압력이 $2\sim 12kg/cm^2$ 이나 작용 압력 조절이 용이하도록 한다.

3. 자동 다듬질 시스템의 실험

3.1 실험 재료 및 가공조건

실험재료는 다음에 Table 3.1에 준하여 준비하였으며 Cr 함유량이 13.6 %로 미려한 경면사상이 가능한 STAVAX를 선정하였다. 이재료는 정밀하고 경면 다듬질이 요구되는 금형에 주로 사용되고 있으며 내부 식성, 내마모성, 가공성, 경면성 등이 우수하고 열처리 시 치수변화가 거의 없는 특징을 가지고 있다.

Table 3.2에는 본 연구에서 기계에서의 시험편 가공을 위한 절삭 가공 조건을 보여주고 있으며 최종 기계 가공은 $\phi 10$ 볼 엔드밀을 사용하여 가공하였으며 공구이동을 위한 허용오차(tolerance)는 0.02 mm로 CAD/CAM 시스템에서 생성한 후 CNC 밀링 머신에서 가공 하였다. Fig. 3.1은 최종 기계 가공 하는 것을 보여주고 있다. Table 3.3에는 CNC 밀링 머신에 관한 필요한 사양을 나타내었으며 이 사양을 기준으로 자동 다듬질 작업에 대한 실험을 하였다.

Table 3.1 Specification of the test material

Parts Name	Quantity	Size	Material
7"TV Monitor core	2	50×105×145	STAVAX

Table 3.2 The conditions for cutting process of the test material

Direction	Spindle Speed (rpm)	Feed Rate (mm/min)	Tool	Material
Roughing	300	20	$\phi 16$ Flat End Mill	TIN Coating
Medium Rough Cutting	800	60	$\phi 16$ Ball End Mill	"
Finishing	1500	200	$\phi 10$ Ball End Mill	"

Table 3.3 Basic data of CNC Milling M/C

ITEM	Spec
Working Surface (LXW)	1600×1600mm
Max. Long	1050mm
Max. Cross	560mm
Max. Vertical	560mm
Cutting Feedrate	10~2000mm/min
Rapid Traverse	10,000mm/min
Spindle Taper	NST No. 50
Spindle Speed Range	30×3150 rpm
Spindle Vertical Travel	100mm
Head Swivel Angle	±30 deg.
Spindle Drive Motor	AC 15kw/11kw
Feed Motor (X, Y, Z)	DC 1.8 kw
Spindle Lubricate Motor	400 W
Slideways Lub. Motor	25 W
Machine Net Weight	8000 kg
NC Controller Model	FANUC 9A

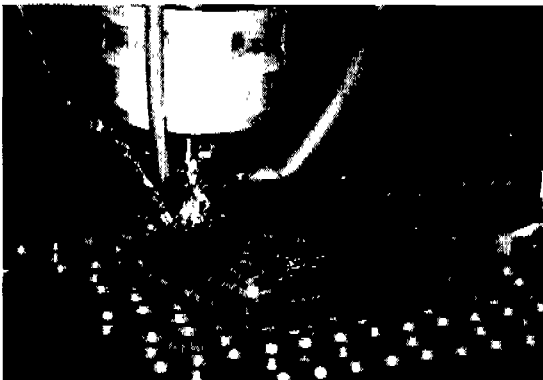


Fig. 3.1 Cutting process of the test material

3.2 CAD/CAM에 의한 경로 생성

CNC milling M/C을 구동시키기 위해서는 기계에서 인식할 수 있는 입력 자료가 있어야 한다. 입력 자료를 생성시켜 주는 장치는 CAD/CAM 시스템으로 현재 여러 소프트웨어들이 실용화되어 있지만 본 연구에 적용한 시스템은 현재 보유하고 있는 DUCT 시스템을 이용하여 NC 프로그램 자료를 생성하였으며 본 다듬질 가공장치의 실험을 위하여 금형 가공과 다듬질 가공 입

력 자료로 활용하였다. 본 다듬질 장치와의 관계에 있어서 특징은 금형가공을 하기 위한 황삭용 자료를 제외하고 중삭 및 정삭용 자료를 절삭 가공 뿐만 아니라 다듬질 가공용으로도 사용할 수 있다는데 그 특징이 있다.

DUCT로 부터 정의된 시편형상은 7" TV 모니터용 금형 코어(core)이다. 본 연구에서 다듬질 경로는 DUCT 시스템내에 있는 auto finishing module를 사용하여 생성하였다. 일명 Autofin이라고 하는데 이 autofin을 실행시키면 아래와 같이 공구의 직경, 가공 범위, 가공여유등 몇 가지 파라미터들을 지정해 주어야 하며 파라미터 입력순서를 Table 3.4로 표시하였다.

autofin을 이용하여 다듬질 가공 경로를 원(circle)형, 곡면상태의 다듬질 경로를 pick feed 방식으로 생성할 수 있다. 또한 평면상태의 다듬질 경로를 생성할 수 있다. 이 경로는 본 연구의 다듬질 장치에 설치된 공

Table 3.4 Input parameters for the DUCT

ITEM	Description
Tool Radius	Value
Names of DUCTs to be Finished	Surface Name
Machine DUCT with TRIM set(Y/N)	
Block Size	Machining Boundary
SAFZ Height	Maximum Height
Thickness Allowance	
Direction of Tool Path	
Use a Constant Step Over(Y/N)	Y-Step over N- Tolerance
Step Over	Pick Feed Amount
Machining Tolerance	Cusp Tolerance
Start Corner	Start Machining Point 1=Low X, Low Y 2=High X, Low Y 3=High X, High Y 4=Low X, High Y
Cut in One Direction Only(Cone)	
Mark Visually End of Each Pass(Mark)	
How Many Sub-Block Along X Axis	
How Many Sub-Block Along Y Axis	
Core Name to Keep Pictures on Disc	File Name

압 floating 기능에 의해 7" TV 모니터용 금형 코어를 다듬질함으로써 다듬질 장치의 floating 성능 시험을 비교 평가하기 위해 생성한 다듬질 경로들인 것이다.

3.3 실험방법

본 논문을 위한 실험방법은 사람에 의한 손다듬질과 CNC Milling M/C에 설치한 자동다듬질 장치에 의한 자동다듬질 방법으로 나누어 실시하였다. 시험편 준비는 Table 3.1에 나타난 바와 같이 동일한 재질과 크기로 3차원 자유곡면으로된 7" TV 모니터용 금형 코어를 손다듬질용과 기계에 의한 자동 다듬질용으로 각각 1개씩 준비하였다. 다듬질을 하기 앞서 시험편에 대한 3차원 형상가공은 Table 3.2에 나타난 절삭조건으로 CNC Milling M/C에서 가공하였으며 최종 기계가공은 직경 10mm인 볼엔드밀을 사용하여 다듬질 준비상태로 가공하였다. 공구 경로에 의해 지나간 볼 엔드밀의 자국인 커터 마크는 CAD/CAM 시스템의 입력변수인 허용 오차(tolerance)에 의하여 결정되며 최종 기계가공 상태의 거칠기와의 상관성이 있다. 이것은 허용 오차(tolerance)를 크게 함으로써 상대적으로 기계 가공시간이 단축되지만 표면의 커터 마크(cutter mark)가 심하게 되고 그만큼 다듬질 시간이 길어지게 되는 반면에 허용 오차(tolerance)를 작게 하면 기계 가공시간이 길어지며 표면의 커터 마크(cutter mark)가 곱게 되어 상대적으로 다듬질 시간이 적게 소요되는 원인이 된다. 따라서 본 실험에서는 금형제작 현장에서 일반적으로 적용되고 있는 허용 오차 0.02 mm를 변수값으로 입력하고 다듬질 실험을 위한 시험편을 가공하였다.

먼저 사람에 의한 손다듬질은 커터 마크가 매우 거칠은 상태이므로 샌드 페이퍼(sand paper) 다듬질 전에 줄 또는 디스크 그라인딩을 이용하여 일차적인 황삭 다듬질을 하고, 이어서 oil stone과 sand paper를 사용하여 사람의 손으로 다듬질을 하였다. 그리고 황, 중삭은 습식 다듬질을 하고 최종 경면 다듬질은 건식으로 이루어졌다. 이와 같은 작업공정은 손다듬질 분야에서 풍부한 경험을 갖고 12년 동안 금형 다듬질을 해온 숙련공에 의해 이루어졌으며 작업공정 및 공구선정, 종류, 작업시간 등은 통상적인 숙련공의 작업방법에 의해 이루어진 것이다.

기계에 의한 자동다듬질 작업을 하기 위해서는 기계 본체에 고정되어 있는 엔드밀 고정구인 콜렛 척을 CNC 밀링 머신의 주축 헤드부에서 분리시키고 실험장

치로 개발한 자동다듬질 장치를 고정시킨다. 기계에 설치된 자동다듬질 장치의 내부는 단동식 실린더 방식으로 되어 있어서 Z 방향으로 $\pm 20\text{mm}$ 의 stroke를 유지하도록 설계되어 있다. 상,하 스트로크의 이송은 특별히 고안된 피스톤에 의해 다듬질 경로가 평면상태에서 진행이 된다 하더라도 3차원 자유곡면을 따라 상,하로 원활하게 작동하도록 되어 있다. 다듬질작업이 일어나는 부분은 스플라인축에 지지되어 있는 diamond sheet가 부착된 universal body이며 이 스플라인축은 피스톤 내부에 설치된 회전력을 발생하는 베인 모터에 연결되어 있다. 실험을 위한 도구는 시중에 상용화되어 시판되고 있는 diamond sheet와 특수 다듬질 도구들인데 diamond sheet는 입도의 크기에 따라 #200, #400, #800 을 준비하였고 경면용으로 부직포로된 #1500의 soft lap과 3M에서 생산되는 특수필름 #2000을 갖추고 공정별 다듬질 작업을 진행하였다. 다듬질 방법은 공구의 이송방법에 따라 곡면에서의 원형 방식과 곡면에서의 pick feed방식, 평면에서의 pick

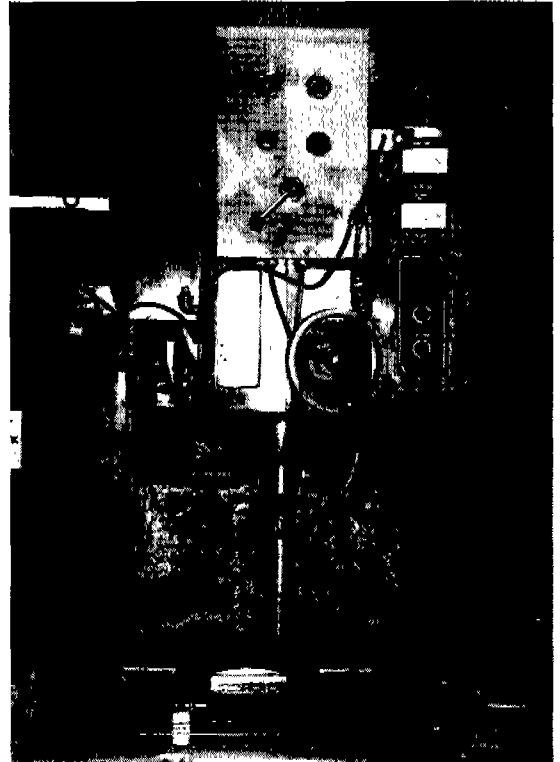


Photo 3.1 Installation of the automatic fine polishing system

feed방식이 있지만 본 논문에서는 평면상태에서의 pick feed방식의 다듬질경로를 이용하여 3차원 자유곡면 형상을 곡면을 따라 자동적으로 다듬질이 되도록 하는데 본 실험의 주안점을 두었다. 본 실험의 작업 흐름과 결과를 Photo 1, 2, 3, 4, 5에 나타내었다.

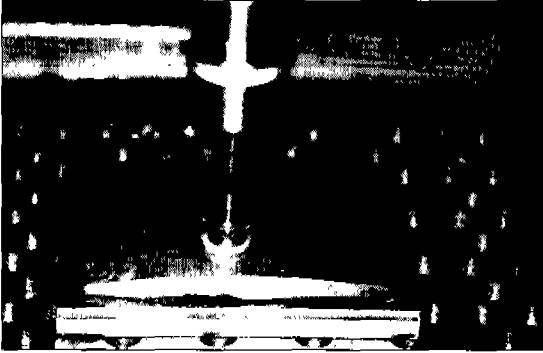


Photo 3.2 First roughing process

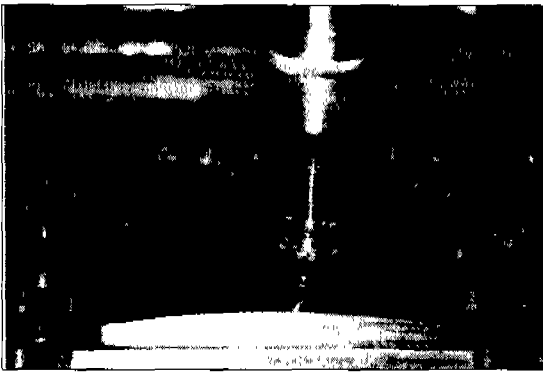


Photo 3.3 Fine polishing process



Photo 3.4 Surface state of manual polishing process

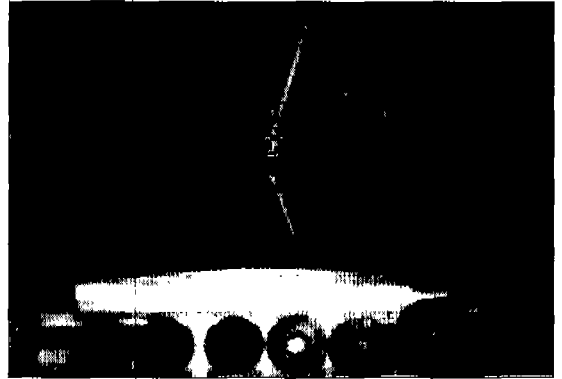


Photo 3.5 Surface state of automatic fine polishing process

4. 실험 결과 및 고찰

금형의 다듬질에 있어서 스크래치(scratch)는 다듬질 정도(精度)에 많은 영향을 미친다. 특히 아크릴이나 폴리 카보나이트를 이용한 투명한 제품들에게는 스크래치가 제품의 기능을 좌우 하기도 한다. 더우기 광학렌즈나 CD(compact disk) 금형등은 Ra 0.02 μ m 이내에 들 수 있도록 초 경면 다듬질을 요하는 경우가 있다. 본 연구를 위한 실험은 형상과 크기가 같은 시험편을 가지고 금형다듬질 경력 12년의 경험을 가진 숙련공의 손다듬질에 의한 다듬질 방법과 실험장치로 개발한 자동다듬질 장치를 CNC milling M/C에 설치하여 금형의 경면 다듬질을 자동으로 실험한 결과이다.

Table 4.1과 Table 4.2는 숙련공에 의한 다듬질 작업과 CNC 밀링 머신에 설치한 자동다듬질 장치를 활용한 자동다듬질 작업의 결과에 대하여 공정별로 나타내고 있으며 공정별 공구의 교환단계가 기계에 의한 자동다듬질이 5회, 사람에 의한 손다듬질이 10단계에 의해 이루어졌음을 알 수 있다. 전자에서 나타내는 회전수는 자동다듬질 장치에 부착된 고속 베인 모터에 의하여 출력되는 회전수이며 이송속도는 CNC 밀링 머신의 이송속도 제어부에서 지정한 이송속도이다. 평면상태에서의 pick feed의 크기는 허용 오차에 의하여 결정되며 주어진 값인 0.1mm에 의해 CAD/CAM 시스템에서 생성하였다. 커터 마크가 심한 초기 상태에서 universal body에 접촉된 diamond paper의 입도는 #200 을 사용하였으며 소요시간은 150분 걸렸다. 이것은 손다듬질을 처음 시작할 때 줄이나 디스크 그라인더

Table 4.1 The conditions for manual polishing

			Surface Roughness			Note
			Average Roughness (Ra)	Ten Point Median Height (Rz)	Maximum Height (Rmax)	
Final Machining Stage			2.0	10.8	13.4	
File 5	File Polishing	40	1.42	10.4	12.5	
#180	Oil Stone	30	1.35	9.5	11.5	Wet
#240	"	40	0.92	6.9	9.3	"
#400	"	30	0.77	5.8	7.2	"
#800	"	40	0.50	4.4	5.3	"
#600	Sand Paper	40	0.19	1.0	1.3	"
#800	"	40	0.17	0.9	1.1	"
#1000	"	30	0.16	0.8	1.0	"
#1200	"	30	0.154	0.7	0.9	Dry
#2400	"	40	0.15	0.66	0.8	"
Total Processing Time 360(6h)						

를 사용하여 거친 커터 마크를 빠른 시간내에 제거하는 방법과 같은 유사한 작업 방법으로 기계 가공한 상태를 가능한 빨리 제거하여 경면 다듬질을 쉽게 하기 위한 작업 수단이라 하겠다. 손다듬질 상태에서는 커터 마크를 제거하기 위한 초기 작업 수단은 5분 평줄에 의하여 이루어졌으며 약 40분 정도 소요되었다. 다듬질 초기 작업상태에서 기계다듬질과 손다듬질의 작업 시간의 차이는 사용공구의 거칠기 정도에 따라 다르게 나타나며 사람의 손놀림과 일정한 유형(pattern)을 갖고 있는

기계의 운전 방식에서도 차이가 있음을 알 수 있다. 그러나 결과적으로 같은 시간내에 최종 요구정밀도를 비교해 보면 Table 4.1과 Table 4.2에 나타난 바와 같이 최종 표면거칠기에 있어서 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 사람이 6시간 동안 계속 작업대에 앉아 다듬질 작업을 할 수가 없을 뿐만 아니라 사람 손에 의한 다듬질은 Ra 1.0 μ m 이하에서는 더 이상의 표면 거칠기 향상을 위해서는 시간과 노동을 해야 한다는 사실을 발견할 수가 있다.

Table 4.2 The conditions for automatic polishing

Steps	Revolutions per minute (rpm)	Feed Rate (mm/min)	Processing Time (min)	No. of Iteration	Surface Roughness			Note
					Average Roughness (Ra)	Ten Point Median Height (Rz)	Maximum Height (Rmax)	
Final Machining Stage					2.0	10.8	13.4	
#200	2000	200	150	4	0.37	2.60	3.12	Diamond paper
#400	2500	300	90	3	0.25	1.70	1.78	"
#800	2500	360	60	2	0.105	0.72	0.86	"
#1500	3000	360	30	1	0.05	0.31	0.37	Soft Lap
#2000	3000	360	30	1	0.027	0.16	0.20	Lapping Film
Total Processing Time			360(6h)					

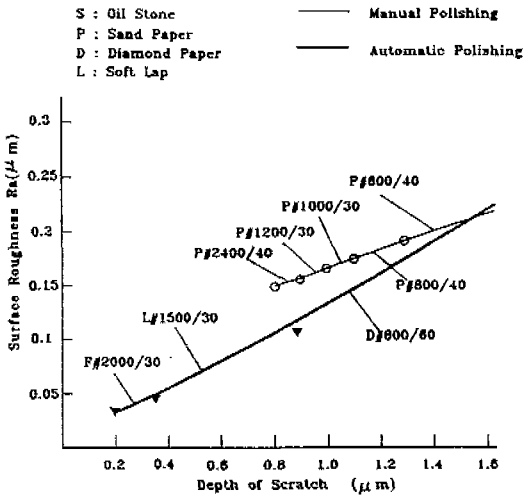


Fig. 4.1 Mean roughness of manual and automatic polishing

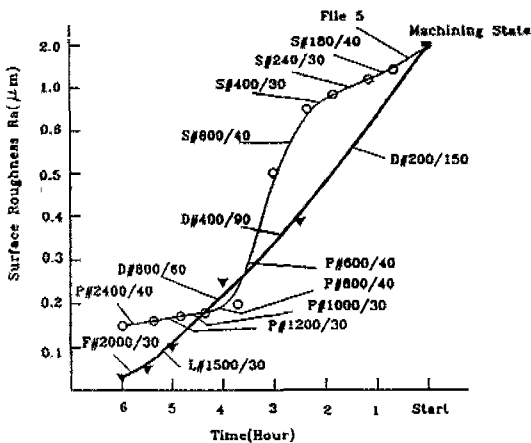


Fig. 4.2 Mean roughness according to processing time

상대적으로 기계에 의한 다듬질은 같은 시간에 요구하는 거칠기 목표치에 쉽게 도달하게 됨을 알 수 있다. Fig. 4.1에 나타난 바와 같이 scratch에 대한 평균 거칠기가 Ra 1.5 m인 위치에서 부터 손다듬질과 기계에 의한 다듬질의 차이가 발생함을 알 수 있다. Fig. 4.2를 통하여 표면 거칠기와 작업시간과의 상향을 보면 기계 다듬질일 경우에는 평균 거칠기의 구분점은 240분쯤 경과한 후 이며 손다듬질일 경우에는 약 220분쯤 지난 후 이다. 이것은 초기 다듬질 작업에 있어서 사람의 의

한 손다듬질이 생산적임을 나타내주고는 있으나 최종 목표치를 향한 다듬질 작업에 있어서는 기계에 의한 자동 다듬질작업이 역시 효과적이고 생산적임을 발견할 수가 있으며 기계에서 만이 가능한 연속적이고 지속적인 작업의 결과라 하겠다. Fig. 4.3과 Fig.4.4는 자동 다듬질과 손다듬질에 대한 표면조도와 tool marker micro scope 배율 40배로 확대한 표면의 경면 상태를 나타내고 있으며 Fig. 4.5, 4.6에서는 2.5μm범위에서 깊이와 길이방향으로 각각 20000배와 200배로 종방향과 횡방향을 측정 한 결과들을 그래프로 보여주고 있다. 본 실험을 통하여 얻은 결과는 현재 대부분 금형공장에서 사용하고 있는 CNC milling M/C을 효과적으로 활용할 수 있는 방안을 제시하였으며 기계에 의한 자동 다듬질 작업이 가능하다는 점과 요구 정밀도에 대한 목표치에 손다듬질에 비해 쉽게 접근할 수 있었다는 점이라 하겠다.

5. 결 론

금형제작에 있어서 다듬질 작업은 앞서 완성된 금형

Surface State	Surface Roughness		
	ITEM	Result Data	Dim.
	Range	2.5	μm
	λc	0.25×5	mm
	Ra	0.15	μm
	Rz [DIN]	0.66	μm
	Rmax[DIN]	0.8	μm

Fig. 4.3 Surface state and roughness of manual polishing (Tool Makers Micro Scope(×40))

Surface State	Surface Roughness		
	ITEM	Result Data	Dim.
	Range	2.5	μm
	λc	0.25×5	mm
	Ra	0.027	μm
	Rz [DIN]	0.16	μm
	Rmax[DIN]	0.2	μm

Fig. 4.4 Surface state and roughness of automatic polishing (Tool Makers Micro Scope(× 40))

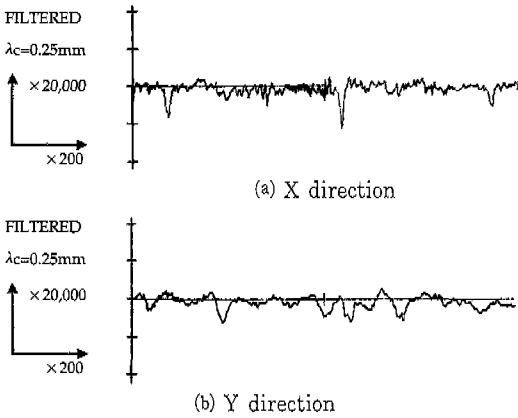


Fig. 4.5 The final surface roughness for manual polishing

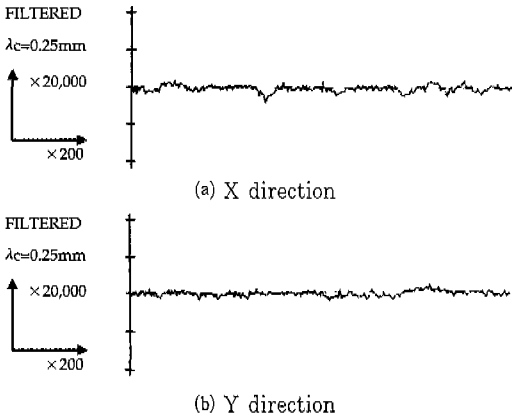


Fig. 4.6 The final surface roughness for automatic polishing

으로 완전한 역할을 하기 위해서는 반드시 요구되는 필수적인 작업공정이라 할 수 있다. 그러나 기계 가공후 커터 마크가 존재하는 표면을 매끈하게 다듬질 한다는 것은 결코 쉽지 않은 일이다. 또한 다듬질은 금형제작의 최종공정이며 경면상태와 제품의 정밀도와 관계가 있기 때문에 아무나 쉽게 취급할 수 없는 것이 현실이다. 과거에는 높은 임금의 숙련공만이 이 작업을 수행하였다. 시간이 지남에 따라 불행하게도 다듬질분야는 기술 기피 업종의 대표적인 분야로 인식되어 기술을 배우고자 하는 지망생이 갈수록 줄어들고 있는 실정이며 관련기술자 확보가 더욱 어려워지고 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에 앞서 기존 대다수 금형업계에

서 보유하고 있는 CNC milling M/C 또는 머시닝 센터를 이용하여 자동다듬질 장치의 가능성 여부를 확인하고자 기계에 간단히 장착할 수 있는 자동 다듬질 장치를 개발하였다. 이와 같은 장비를 효과적으로 활용하기 위한 방안을 제시하고 이 장치의 유용성을 검증하기 위하여 실험을 통해 사람에 의한 손다듬질과 기계에 의한 자동 다듬질작업의 공정과 거칠기를 실험적으로 비교 분석하였다. 실험을 통하여 기계에 의한 자동다듬질 방법이 우수함을 검증하고자 하였으며 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- ① 실험적으로 CNC 기계에서의 공작물의 절삭가공과 다듬질 작업이 연속적으로 가능하였다.
- ② 시스템 내의 공압 fine regulator의 작동으로 인하여 일정한 압력의 다듬질이 이루어지는 관계로 균일한 표면을 얻을 수 있어 정밀도를 향상시킬 수 있었다.
- ③ 평면상태에서의 pick feed 방식에 의한 다듬질에 있어서 자동다듬질 장치를 이용하면 실무에 종사하는 기계운전자가 기계에서도 쉽고 간단하게 X, Y 좌표에 대한 program을 작성하여 운전할 수 있다는 사실을 확인하였다.
- ④ 사람에 의한 지루하고도 힘든 손다듬질 작업을 기계에 의한 자동다듬질로 변환시켰으며, 본 연구의 유용성을 실험을 통하여 검증하였다.
- ⑤ 기존의 정밀도 보다는 향상된 정밀도를 얻음으로써 경면 다듬질을 이룰 수 있었다.

추후 연구과제로는 실험조건을 일정하게 유지시킨 후 시스템의 인자들을 조정하여 다양한 실험수행하는 것이 있을 수 있다. 이를 통하여 다듬질 공구의 회전력, 토오크, diamond paper의 입도크기, 최종 기계 가공 후 공작물의 표면 거칠기 상태등이 경면 다듬질 작업에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 더욱 더 연구해야 할 것이다. 또한 CNC 기계에서 더욱 효과적인 자동 다듬질을 하기 위해서는 유형(pattern) 방식에 의한 공구 경로를 제어할 수 있는 제어 방식에 관한 연구도 필수적이라 사료된다.

참고문헌

1. Suzuki, M., Ichiyasu, S., Kirii, K., Sunahara, S., Sakuta, T., and Asai, A.,

- "Development of Die-finishing Robotic System Controlled by CAD/CAM System", JSPE-58-08, pp.1309-1314, 1992.
2. 鈴木 基之, 一安 俊平, "プレス 金型 仕上げの自動化", 型技術, Vol.6, No.9, pp.44, 1991.
 3. Yuzo Sawada, Masanori Yamashita, "自由曲面に對應する 5軸制御金型自動磨装置の實際", 機械と工具, No.1, pp.49-55, 1990.
 4. 上條 恵石, "金型の自動磨きに關する 研究(形狀データに基づく自動磨きの試み)", 日本機械學會論文集 (C編), Vol.55, No.509, pp.193-196, 1989.
 5. Masanori Kunieda, Takeo Nakagawa, and Toshiro Higuchi, "Robot-Polishing of Curved Surface with Magnetically Pressed Polishing Tool", JSPE-54-01, pp.1-125, 1988.
 6. 정연규, "사상용 Robot 개발", 과학기술처, pp.13-15, 1989.
 7. 박균명 외, "3차원 자유곡면의 자동 다듬질 장치 개발", 생산기술연구원, 1993.
 8. 박균명, 장진희, 한창수, "경면 다듬질을 위한 자동화 장치 개발", 한국 정밀 공학회 추계 학술대회 논문집, 1994.
 9. 生産技術研究院 技術教育센터, "空壓 自動化技術 教材", pp.32-34, 1992.
 10. Tanhay-SMC Pneumatics Corp. "空氣壓 技術 教材", pp.60-100, pp.121-122, 1992.
 11. 佐藤 俊雄, "油壓裝置設計의 實際", pp.66-68, 1985
 12. 柳齊九, "成形研削工學", pp.69-72, 1991.