

다이아몬드 터닝 머신을 이용한 광학렌즈 적용 사례

글 : 김부태 과장/삼성전자 생산기술센터

본 자료는 지난해 8월 19일부터 24일까지 대전 유성 리베라 호텔에서 열린 제17차 국제광학회의 총회 및 학술발표회(ICO-17)때 발표된 자료를 필자가 재구성한 것이니, 관심있는 독자들의 많은 참고 바란다.

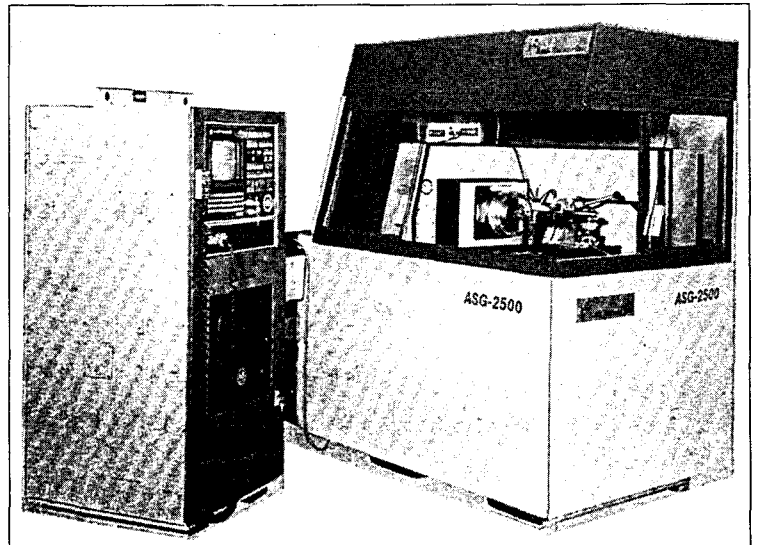
-편집자 주-

1. Diamond Turning Machine 의 구조

- *Slider : 정압 Oil Bearing
 - Feeding Accuracy : 0.1 μm / 250mm
- *Spindle : 정압 Air Bearing type.
 - Spindle Accuracy : 0.1 μm (Run-Out)
 - rpm : 2,400
- *Control System
 - Allen Bradley : CNC 8200
 - Resolution : 0.01 μm
- *Feed Back System : HP Laser Interferometer System
 - 0.01 μm 제어
- *공작물 고정 : Vacuum Chuck

이용
*사용 Tools : Single Crystal

Natural Diamond Bite.
*환경조건



Rank Pneumo 초정밀 Lathe

- 설치 Room : $20 \pm 1^\circ\text{C}$
- Clean Room : Class 10,000
- 진동방지 : 기계하부 3 Point Air Bag 설치

2. Diamond Tools

1) Diamond Bit

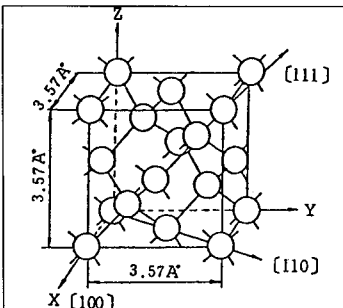
· 천연 Diamond Bite의 특성

천연 Diamond Bite는 지상 최고의 경도(Knoop 8,000 kgf/mm^2)와 광물중 최고의 열전도율(Ag의 5배, 석영의 100배)을 가지고 있으며 적색, 청색, 황색, 무색 등의 색상이 있는데 이중 질소 함유량이 적은 (0.3% 이하) 황색이 강도도 크고 내마모성이 높아 Bite로 많이 사용된다.

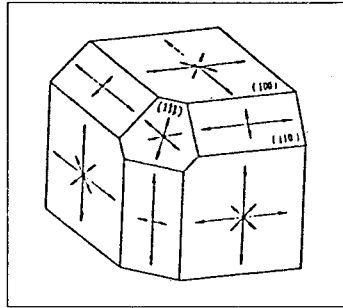
그림(a)는 Diamond의 단위 격자를 나타낸 것으로 4개의 탄소 원자와 각각 109.5° 의 각도로 1.54 \AA 간격으로 배열되어 있다.

그림(b)는 격자면의 이방성을 나타낸 것으로 화살표의 길이가 짧을수록 내마모성이 크다.

공구 제작시 111면은 내마



(a) Diamond 기본형상



(b) Diamond 격자면의 이방성

모성은 크나 제조상 어렵고 인선에 Chipping이 생기기 쉬우며 벽개성이 있어 인선으로 사용하지 않고 마찰계수가 작은 110면을 사용한다.

· 초정밀 Diamond Bite의 형상

평 Bite VCR 및 DAT Drum이나 광학용 Mirror의 가공에 사용함.

RⁿBite는 블록이나 오목렌즈, 비구면 렌즈 가공에 사용한다.

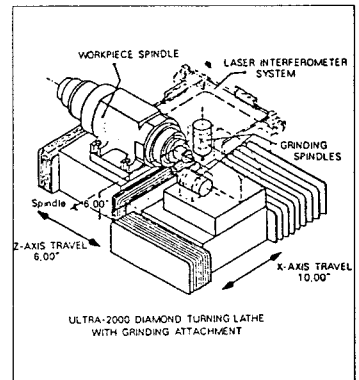
Bite의 구비조건

- * 절삭 날끝의 결손(Chipping)이 없을 것.
 - * 절삭 날끝이 가능한 예리할 것.
 - * 날부 형상 정밀도가 높을 것.(Form error $0.2 \mu\text{m}$ 이하)
- ### 2) Diamond Wheels
- Glass, Ceramic, 초경 등 취

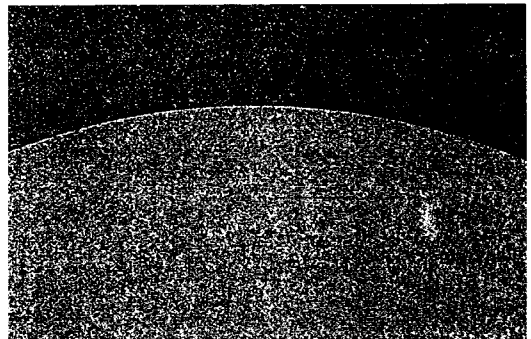
성이 있는 재료의 가공을 하기 위해서 Diamond Wheel을 사용함.

Glass Lens 가공을 위한 Diamond Wheels

- * Rough grinding : Grit size # 320, Resin bond.
- * Medium grinding : Grit size # 800, Resin bond.
- * Fine grinding : Grit size # 1,800 Resin bond.



초정밀 Lathe의 구조



Single point natural Diamond bite
- Form accuracy : $0.1 \mu\text{m}$
- X 400

3. 다이아몬드 터닝 머신을 이용한 초정밀 가공의 실예

1) Diamond turning

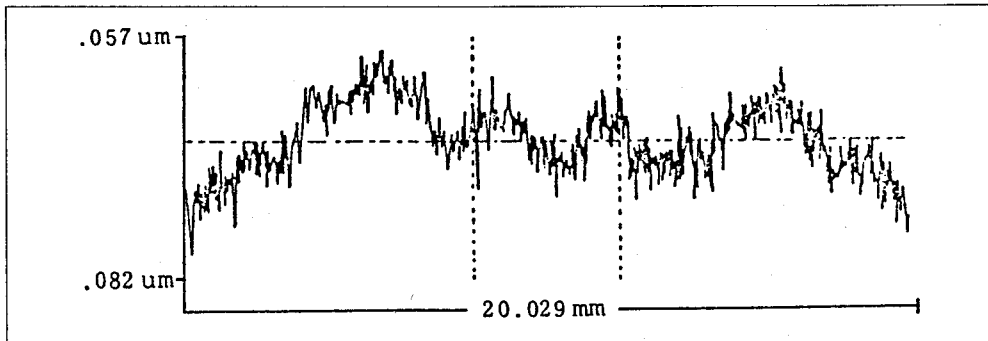
· Hard Disc의 가공

제 품	재 질 : Aluminum	공 구	천연 Diamond Bite : Radius 0.5mm
	조 도 : 0.1 μ m Ra		Form accuracy : 0.2 μ m

절삭조건		
회전수	1,200rpm	- Spindle rpm
Feed	5mm / min	- Fine cutting
Cutting depth	5 μ m	- Rough cutting
Cutting depth	2 μ m	- Medium cutting
Cutting depth	1 μ m (2Times)	- Fine cutting
Cutting Oil	odorless Mineral spirits	- Spray type

FI-Analysis

Mode	Cut off	Filter	Reference	Ignore
ROUGHNESS	0.25mm	ISO	STRAIGHT	
AL 6061 DIA 60 MM PLATE				



Peak To Valley = .140 μ m

Form error

Rtm = .051 μ m	Lo = 1.971 μ m	Ra = .009 μ m
Rpm = .023 μ m	Rp = .032 μ m	Rq = .013 μ m
Ry = .087 μ m	Rv = .066 μ m	Rsk = -.8 μ m
Rtl = .061 μ m	Rt = .098 μ m	Rku = 7.4 μ m

Roughness

- Flat Mirror의 가공

*재질 : 순수 Al, Al 합금 (2024, 7075), Copper, 무 산소동(OFHC)

*적용 : Laser Mirror, X-ray Mirror.

*가공정밀도 : Flatness - Less than $\lambda/4$

Roughness - Less than $0.01 \mu\text{m Ra}$

*가공

외주 부분에서 시작하여 중심에서 끝낸다.

절삭깊이 : 최대 $100\mu\text{m}$ 에서 $1\mu\text{m}$ 까지로 한다.

Bite의 이송

· 황삭가공 : $50\text{mm}/\text{min}$.

· 정삭가공 : $5\text{mm}/\text{min}$.

주축속도 : $\varnothing 100\text{mm}$ 인 경우 $1,200\text{rpm}$ 이 적합하며 경이 작을수록 빠르게 한다.

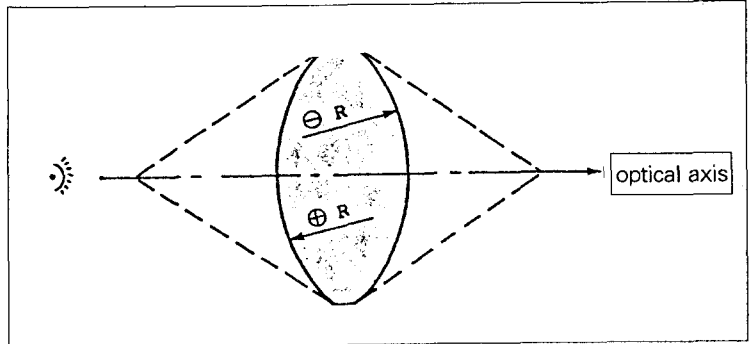
* 절삭 가공 방법은 Constant rpm과 Feeding이 되는 방법을 선택한다.

* 간혹 중심(Center)에 점이 나타나는 경우가 있는데 이것은 절삭속도가 Zero가 되면서 나타나는 것으로 이때는 rpm을 바꾸거나 Feed를 조절하면 없어진다.

- 비구면 렌즈의 가공

비구면 렌즈의 개요

· 비구면 렌즈 가공을 위해서는 비구면 설계 데이터가 필요하다.

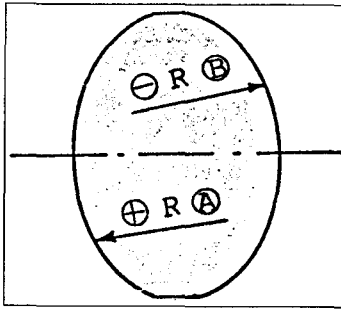


ASPHERIC FORMULA

$$Z = \left\{ \frac{x^2}{R + \sqrt{R^2 - (k+1) \times X^2}} \right\} (A1 \times |x| + A2 \times X^2 + \dots + A12 \times X^{12})$$

F1	-A1	=	.000000E	00
F2	-A2	=	.000000E	00
F3	-A3	=	.000000E	00
F4	-A4	=	.298672E	-03
F5	-A5	=	.000000E	00
E				
F6	-A6	=	.123620E	-05
F7	-A7	=	.000000E	00
F8	-A8	=	-.522797E	-07
F9	-A9	=	.000000E	00
F10	-A10	=	.173699E	-08
F11	-A11	=	.000000E	00
F12	-A12	=	.000000E	00
F13	-R	=	-.920550E	01mm
F14	-K	=	.756129E	00
F15	-Return			

Taylor -Hobson



Aspheric Lens Design

"A" Side	"B" Side
Base R = 52.465	Base R = -48.159
K = -0.1657	k = -0.2735
A4 = 0.7568513 E-04	A4 = 0.3245813 E-03
A6 = 0.4533192 E-06	A6 = 0.5428160 E-05
A8 = 0.1678205 E-07	A8 = 0.2874210 E-07
A10 = 0.3713890 E-09	A10 = 0.2628312 E-09

이때 비구면 계수값의 부호는 매우 중요하다.

(렌즈 디자인시 기준은 왼쪽이 되므로 초점이 오른쪽에 맺히는 볼록렌즈면의 R 값 부호는 플러스(+)가 되고 왼쪽에 맺히는 면의 부호는 마이너스(-)가 됨)

기계가공의 데이터 입력 방법

- 먼저 "C"의 값을 입력한다. ($C = 1/R$)
- K(원추정수값)를 입력한다.
- A1~A14까지의 비구면 계수값을 입력한다. (부호의 ±에 유의)
- 데이터를 입력한 다음 Computing 하면 NC 데이터가 생성된다.

생성된 NC 데이터를 DNC로 연결하여 기계가공하면 된다.

- 가공전에 P/G에서 비구면 렌즈 두께를 설계치와 같은지 확인해 보고 Plotting해서 공구 경로를 확인한다.
- 가공후 측정결과 Radius가 맞지 않으면, Tool

Radius를 조정해서 재가공 한다.

- 위와 같이 디자인 된 렌즈를 가공하기 위해서는 "B"면의 경우 가공할 때 디자인 데이터와 동일한 부호 및 수치를 입력해 가공하나 "A"의 경우 R값의 부호를 마이너스(-)로 바꾸어 주어야 하고 비구면 계수의 부호도 각각 플러스는 마이너스로 마이너스는 플러스로 바꾸어 입력해야 한다. (단, K값은 그대로 사용)

(이것은 Diamond turning machine의 Spindle이 좌측에 위치해 있기 때문이다)

- Camcorder view finder Lens의 가공

- 줌렌즈계에서 View finder는 5배 이상의 배율을 요구하

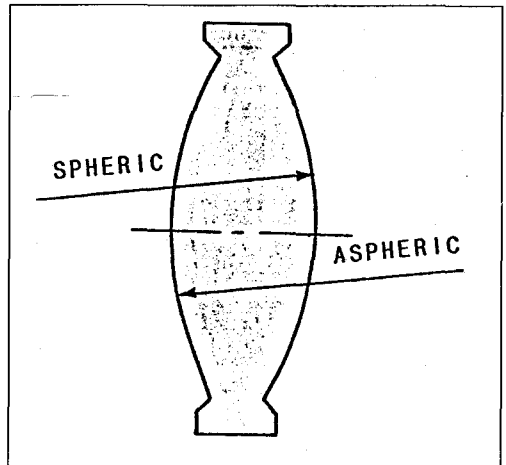
게 되는데 이 경우 2배 이상의 구면 렌즈를 사용해야 하나 비구면 렌즈 사용할 시 1개로 대체 가능하다.

*요구정밀도

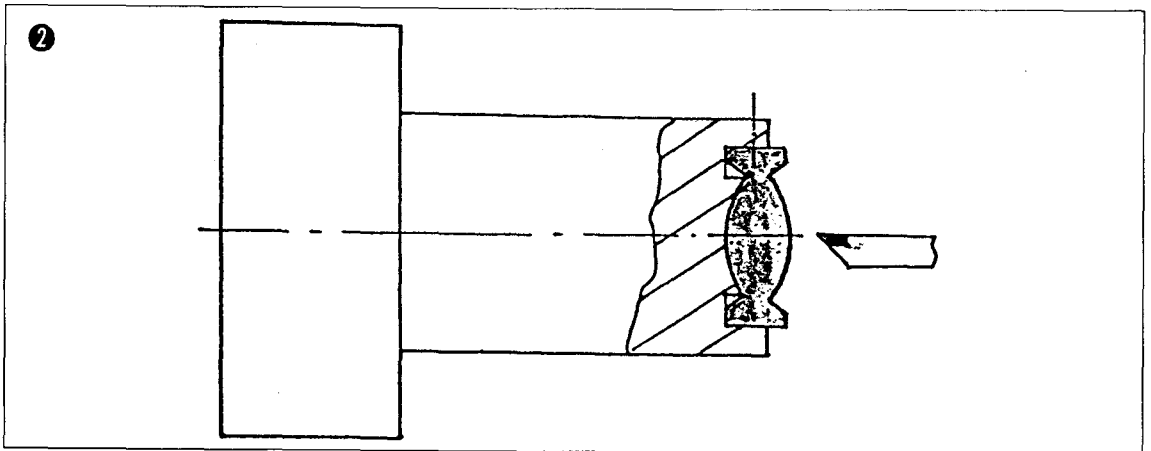
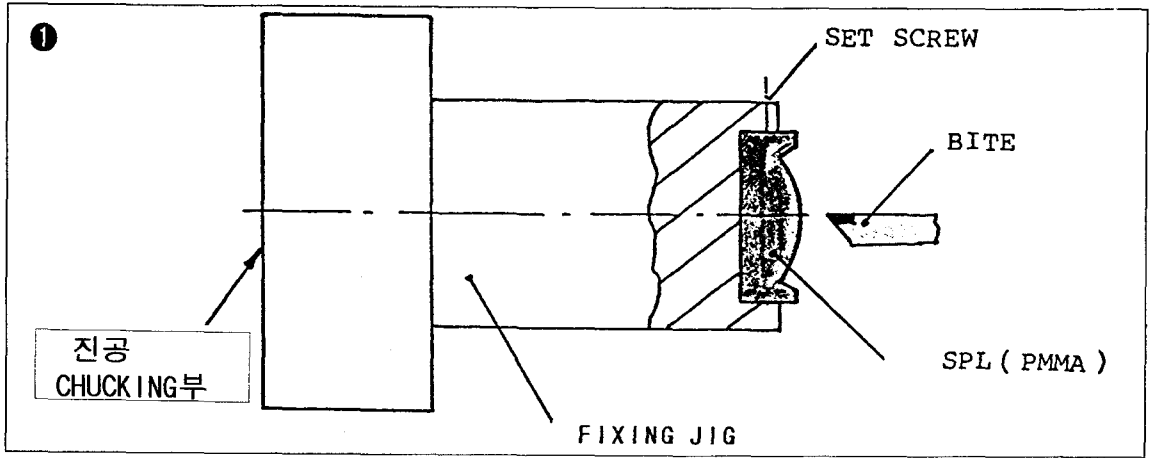
- Form error : 0.5um
- Roughness : 0.01um Ra
- 동심도 : 10um 이하
- 두께 : ±0.02mm
- R 값 : ± 1% 이내

*Proto용 Sample 렌즈의 가공 방법

일반적으로 Proto용 샘플은 광학용 PMMA(Poly methyl meth acrylate) 재료를 이용해



Camcorder View Finder Lens의 면구성



가공 JIG

직접 절삭한다. 이 경우 개당 가공단가는 좀 비싸게 되나 실제 금형을 제작해 사출하는 것에 비하면 1/10정도의 코스트에 납기면에서도 1/5 이하로 단축되어 연구개발에 적합하다. 실제 가공에 있어서는 가공 렌즈를 고정할 JIG가 필요하다.

*가공 FLOW

Bite setting (Bite 높이와 X축의 Zero를 setting : 5 μ m 이내)

Jig에 Sample을 고정한다
 음 Jig를 Vacuum chuck에 Chucking한다.

Spindle과의 동심을 1 μ m 이내로 맞춘다.

1면을 Cutting 한다.

Form error, R값 및 조도를 측정한다.

Jig를 바꿔 반대면을 절삭한다.
 가공후 양면을 재 측정한다.(변형이 생기면 보정)

*PMMA 가공조건

제 품	재 질 : PMMA
	조 도 : 0.02 μ m Ra

공 구	단결정 Diamond Bite : Radius 0.5mm
	Form err : 0.2 μ m

- CDP Detect Lens Core
의 가공

*가공순서

Bite (Tungsten carbide or CBN Bite) setting.

Set Screw를 이용하여 Core를 Jig에 고정시킨다.

진공 Chucking (Spindle과의 동심도 Check).

R 면을 절삭한다.

R 값과 Core 길이를 측정한다. (길이는 - 0.05mm시킴 : Coating 여유)

무전해 Nickel 도금 (두께 : 100 μ m)

Bite setting (Diamond Bite 정도 : Form error 0.2 μ m 이하)

Jig에 고정된 후 R 면을 절삭한다. (50 μ m)

측정 확인. (R값, rms, Form error)

*가공조건

레이저 간섭계를 이용하여 렌즈코너면의 정밀도를 측정한다.

Core의 R 값은 Form Talysurf를 이용해 측정한다.

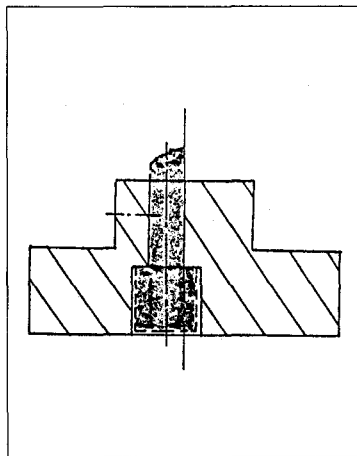
- Projection TV Lens의
가공

*가공 process

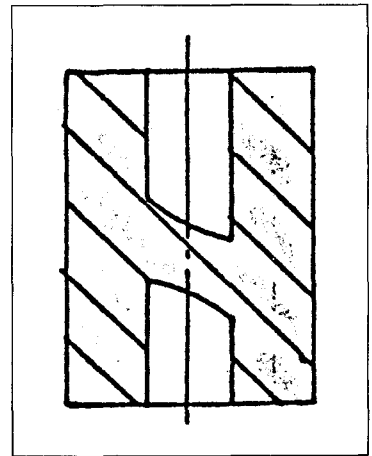
제품 두께보다 1mm 정도 플러스되게 소재를 준비한다.

평면인 상태에서 "B"면 부위를 먼저 가공한다. Jig ①을 가공한다. Jig ①에 "B"면이

가공조건		
회전속도	2,000rpm	- Spindle rpm
Feed	5mm / min	- Fine cutting
절삭깊이(황삭)	10 μ m	- Rough cutting
절삭깊이(중삭)	3 μ m	- Medium cutting
절삭깊이(정삭)	1 μ m	- Fine cutting
절삭유	-	- 건삭



DETECT LENS



가공 JIG에 고정된 상태

제 품	
재 질	무전해 Nickel 도금 (모재 : StaVax)
조 도	0.03RMS
R 값	6 \pm 0.02

공 구
단결정 천연 Didiamond Bite
Bite R : 0.2mm
형상정밀도 : 0.2mm

Spindle 회전수	1,200 rpm	Spindle rpm
이 송	2.5~5mm	Fine Cutting
절삭깊이	5 μ m	Rough Cutting
절삭깊이	2 μ m	Medium Cutting
절삭깊이	1 μ m	Fine Cutting
Cutting Oil	odorless Mineral Spirits	Spray 방식

가공된 Lens SPL을 진공으로 흡착한 다음 "A"면을 가공한다.

완성 두께보다 0.5mm 남은 상태에서 형상을 측정해 본다.

"B"면을 Jig ②를 이용해 재가공하면서 변형된 것을 바로 잡는다.

다시 Jig ①을 이용해 "A"면을 가공하면서 제품 두께를 완성한다.

최종적으로 Polishing으로 Tool mark를 제거한다.

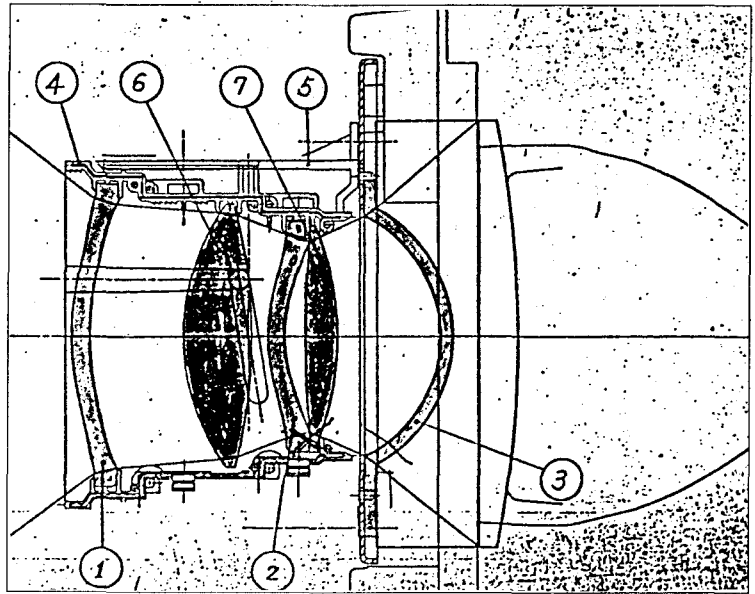
- 액정 Projection TV용 Fresnel Lens의 가공

*가공방법

렌즈의 최소 각도보다 작은 각 Bite를 준비한다.

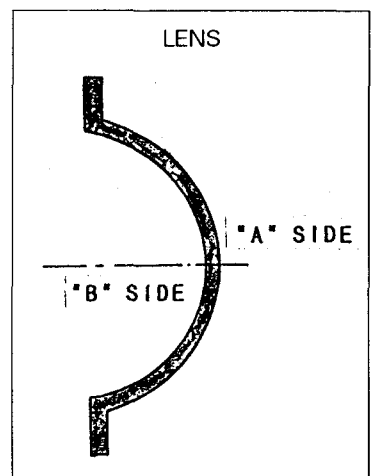
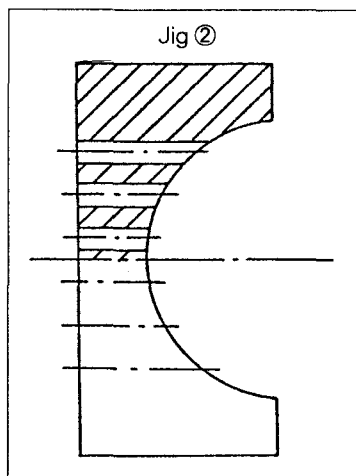
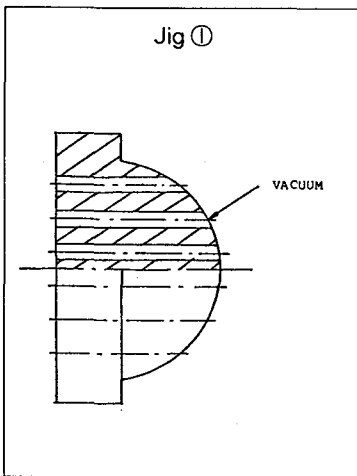
"X" 방향은 Pitch만큼 일정하게 하고 "Z"의 높이를 바꾸어 가면서 P/G을 작성한다.

먼저 한 면을 평면으로 가공한다.

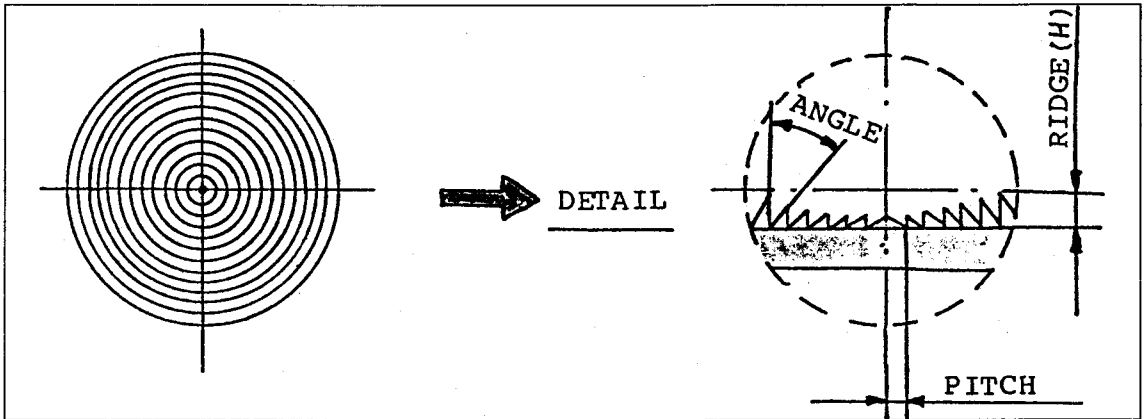


P/J TV LENS ASSY

No	품 명	제 질	정밀도	형 상	제작 공정
1	Lens - A	PMMA	8 μ m	Aspheric	Injection & Coating
2	Lens - B	PMMA	5 μ m	Aspheric	Injection & Coating
3	Lens - C	PMMA	10 μ m	Aspheric	Injection & Coating
4	Barrel	PC	20 μ m	Cylinder	Injection
5	Housing	PC	20 μ m	Cylinder	Injection
6	Glass Lens - A	BK7	10 μ m	Spheric	Polishing
7	Glass Lens - B	BK7	10 μ m	Spheric	Polishing



액정 Projection TV용 Fresnel Lens의 가공



반대면을 각 Bite로 완성 가공한다.

2) Grinding

CDP 대물 렌즈 코아의 가공

*가공전 준비사항

고정 Jig를 제작한다. (동심도와 진직도가 1 μ m 이내가 되도록 정밀하게 제작)

초경 재료이므로 렌즈 부위의 R은 방전으로 황삭 가공한다.

용도에 따른 황삭, 중삭, 정삭용 Wheel을 준비한다.

절삭유의 Filtering 정도가 가공면의 정밀도를 좌우하므로 0.5 μ m 이하의 Filter를 사용해 Filtering한다.

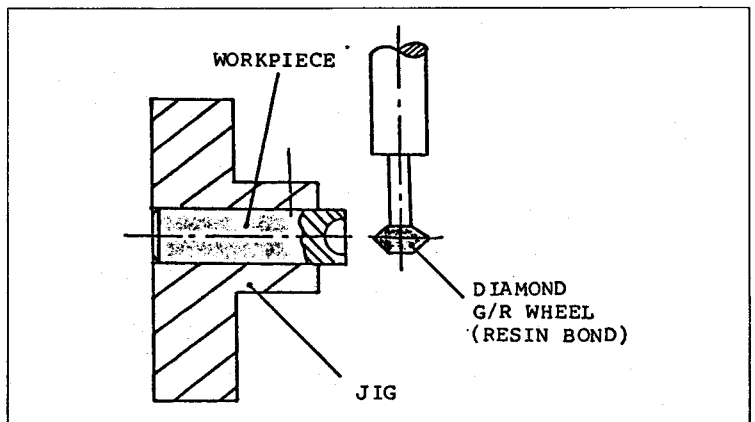
Balance Vector를 이용, 축 흔들림을 0.05 μ m 이하로 조정한다.

Wheel은 R 0.5mm로 Dressing 한다.

*가공 Process

Wheel의 직경을 측정한다.
가공 프로그램을 작성한다.
가공 데이터를 전송한다.

CDP 대물렌즈 코아의 가공



제 품	공 구		
재 질	Tungsten Carbide	Diamond wheel	#320(Resin bond)
형상정밀도	0.2 μ m	Diamond Wheel	#800 (Resin bond)
조 도	0.025 μ m Rmax	Diamond Wheel	#1800 (Resin bond)
동 심 도	1 μ m	Wheel Dia	ϕ 6

Grinding 조건		
회전수(Wheel)	60,000rpm	-G/R Spindle
회전수(Workpiece)	600rpm	-Work spindle
이송	2~5mm/min	-Fine grinding
Grinding 깊이	2 μ m	-Rough grinding
Grinding 깊이	1 μ m	-Medium grinding
Grinding 깊이	0.5 μ m (2회)	-Find grinding
냉각수	Antifreeze + Water	-Rotio(1:20)

가공 샘플을 Jig에 고정하고 Chucking한다.

동심도를 $1\mu\text{m}$ 이하로 Setting 한다.

렌즈 면을 가공한다.

4. 비구면 렌즈의 양산 및 측정평가

1) 렌즈 금형의 제작 Flow

* 렌즈코아 정밀도

형상 정밀도 : $0.2\mu\text{m}$

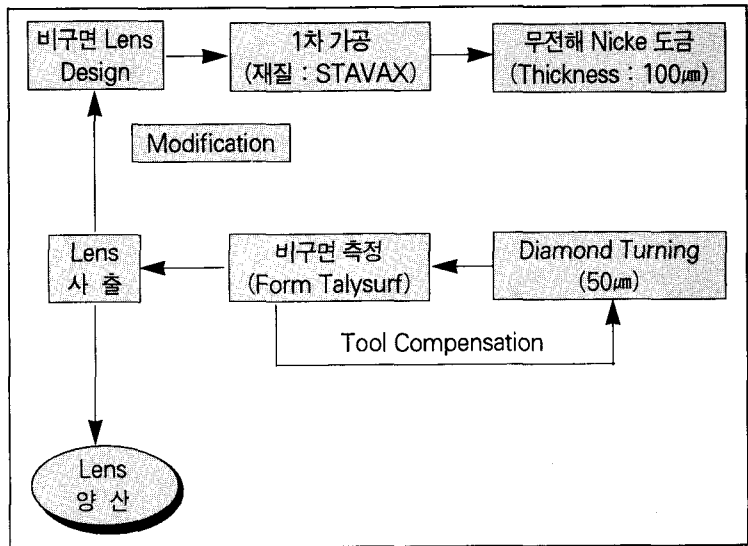
조 도 : $0.01\mu\text{m Ra}$

동 심 도 : $1\mu\text{m}$

외경 공차 : $0 \sim -2\mu\text{m}$

위치 정밀도 : $\pm 5\mu\text{m}$

렌즈금형의 제작 Flow



2) 렌즈 사출

* 렌즈 사출을 위한 필요설비

렌즈 전용 사출기

Clean room

레진 건조기

Oil heater

레이저 간섭계

Form Talysurf (비구면 측정)

* 렌즈 사출 조건

레진 : 85°C 에서 3시간 이상 건조

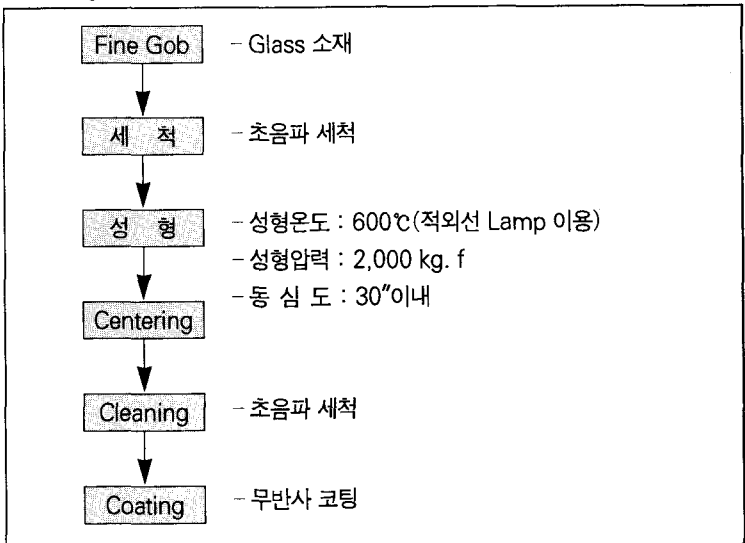
실린더 온도 : $230^{\circ}\text{C} \sim 210^{\circ}\text{C}$

노즐 : $230^{\circ}\text{C} \sim 235^{\circ}\text{C}$

사출속도 : $3 \sim 10\text{mm/sec}$

보 압 : $850 \sim 1,200\text{bar}$

* Molding Process

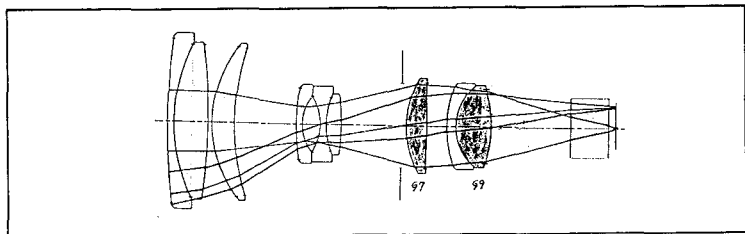


3) 비구면 글래스 렌즈 양산

* Molding process

4) 측정 평가

* 접촉식 측정방법(Form Talysurf 이용)



Zoom lens ass'y 구성도

측정범위 : 8 mm(Height)
 120mm(Length)
 분해능 : 0.001 μ m
 변환기 : Laser 간섭식
 측정형상 : Flat Convex,
 Concave, Aspheric
 측정항목 : Form error,
 Roughness, Angle
 Stylus radius : 2 μ m
 측정압력 : 80mg.f
 *비접촉식 측정방법(Laser 간섭계
 이용)
 사용파장 : 6328 Angstrom
 (He-ne)
 측정형상 : Flat, Convex,
 Concave
 측정항목 : Form error(P-
 V), RMS, Radius value
 1 Frange : 0.3164 μ m
 *측정시 유의사항
 측정 결과의 비교는 항상 동
 일 조건에서 해야 한다.
 측정 샘플을 직접 손으로 잡
 지 말 것. (오염 및 온도상승에
 의한 치수변화 발생)
 공기의 흐름이 빠르지 않은
 곳에서 측정해야 한다.
 (0.5m/sec 이하)
 실내 온도 변화는 0.5 $^{\circ}$ C 이
 내로 관리 되어야 한다.

5. 활용

- 1) 가공가능 재질 및 형상
- 2) 제품 적용
 - CDP Objective lens
 - DVD Objective lens
 - CDP Detect lens

가공가능재질 및 형상

재 질	형 상
◆ Metals <ul style="list-style-type: none"> ● Aluminum ● Alloys ● 1100 ● 2024 ● 6061 ● 7075 ● Copper ● Brass ● Tin ● Silver ● Gold ● Nickel(Electroless plate) ● Zinc 	◆ Flats <ul style="list-style-type: none"> ● Polygon Scanners ● Flat laser Mirrors ● Pism ● Discs
◆ Polymers <ul style="list-style-type: none"> ● Acryl ● Nylon ● Polycarbonate ● Acetal 	◆ Cylindrical <ul style="list-style-type: none"> ● Photocopy drums ● Cones ● Linear axicons
◆ Crystals <ul style="list-style-type: none"> ● Germanium ● Zinc Selenide ● Zinc Sulfide ● Phosphats Silicon 	◆ Contours <ul style="list-style-type: none"> ● Spheric lens ● Aspheric lens ● Spheric lens Molds ● Aspheric lens Molds ● Prototype Plastic lens ● Fresnel lens

- Camcorder View finder lens
- Camcorder Aspheric Glass lens
- Projection TV lens
- Liquid crystal P/J TV Fresnel lens
- Laser printer Polygon mirrior

- Hard disc
- Photocopy Drum
- Camera lens
- Contact lens
- Door phone lens