

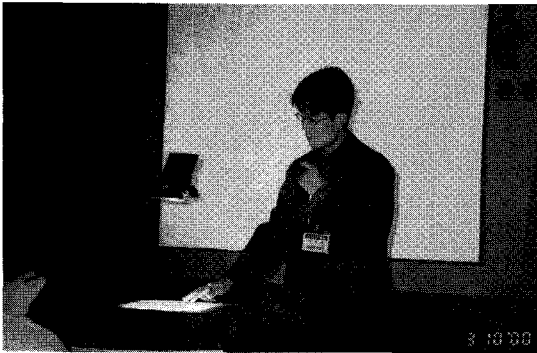
## 비구면 광학계의 제작과 응용

각종 비구면 렌즈를 개발해 첨단장비로 생산하고 있는 서울광학산업(주)이 진행하고 있는 비구면 광학계 제작에 대한 내용이다. 비구면렌즈의 개념과 제작 방법을 간략하게 정리하고 DOAS(Differential Optical Absorption Spectrometer)용 광학계, CTR노광계, 폴리메이션 방식 노광계와 같은 서울광학산업(주)의 비구면 응용제품에 대해서 설명했다.

직접 보유하고 있는 비구면렌즈 제작 관련 장비도 소개한다.

서울광학산업(주)연구소 정진호 소장과 전영세 연구원이 연구해 정리했으며, 이 논문은 2월에 열린 한국광학회 광기술분과 워크샵에서 발표됐다.

연구 : 정진호 소장, 전영세 연구원/서울광학산업(주) 연구소



▲ 한국광학회 워크샵에서 논문을 발표하는 전영세 연구원

비구면 광학소자의 제작방법과 응용범위는 무한히 넓으며 현대의 첨단 기술로 부각되어 있다. 비구면으로 구성된 광학계는 넓은 시야와 고성능의 제품을 얻을 수 있고, 또한 광학계를 소형, 경량화시킬 수 있는 많은 장점을 가지고 있다.

비구면렌즈의 개요에 대하여 간단하게 소개한 후 서울광학산업(주)에서 실제로 작업하고 있으며 향후 작업할 제품에 초점을 두어 설명을 하고자 한다.

### I. 서론

비구면 광학계는 1600년대에 구면수차를 제거한 원추곡면, 1700년대에 포물면과 타원이 결합된 망원경이 개발된 이후 1900년대 Carl Zeiss를 주축으로 비구면 생산에 대한 연구가 본격적으로 시작되었다. 1960년대에 들어서는 초정밀 가공이 가능한 단계에 이르렀으며 1980년대에 이르러 고정밀 비구면렌즈를 대량으로 생산하여 제품화하는 상황이 일어나고 종래의 구면렌즈를 주로 사용하는 광학계가 가진 단점이 제거되고 있다.

비구면렌즈를 사용하면 구면렌즈에 비하여 다음과 같은 장점을 가진다

1) 광학계의 성능 즉, 해상력을 증대시키며 왜곡수차를 최소화 시켜서 보다 넓은 시야의 영상을 얻을 수 있다.

2) 광학계를 소형, 경량화시킬 수 있다

예를 들어 pick up 대물렌즈의 경우 구면으로는 3장으로 성능이 구현되나 비구면 1장을 사용해서 무게를 대폭 축소하여 focusing, tracking을 하기 위한 actuator의 용량을 축소할 수 있게 되고 CD-ROM 등의 두께를 얇게 할 수 있다. 또한 카메라 교환렌즈( f 35~135mm )에 비구

면 1장을 사용하여 렌즈매수를 14매에서 12매로, 무게를 495g에서 290g으로, 길이를 87mm에서 59.5mm로 축소시켰다.

표 1에서는 비구면렌즈의 정도별 용도를 설명하고 있다.

## II. 제작방법

비구면을 제작하는 기존의 방법으로는 구면연마 후 열과 압력을 주어 변형(변형가공법)하거나 물질을 증착(부가가공법)시키는 방법, 또는 비구면을 직접 연마하거나 CAM을 사용하여 모방연

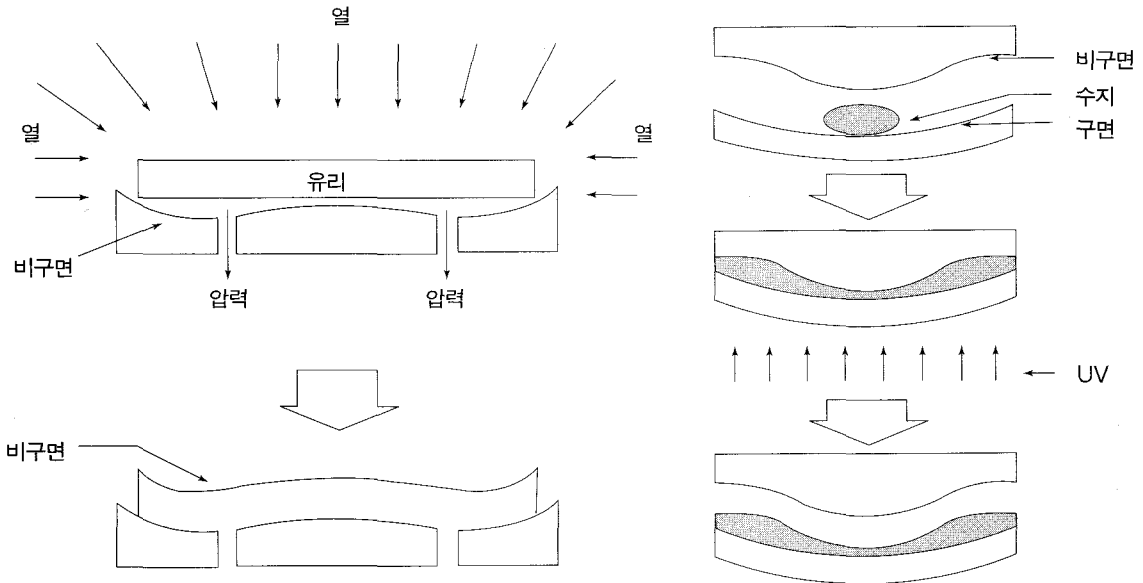
마를 하는 방법이 있다.

현재는 대량생산을 목적으로 직접 절삭을 하거나 사출, 성형하는 방법이 사용되고 있으며 구면 유리에 비구면 수지막을 입혀 카메라 렌즈나 DOE를 제작하기도 한다.

또한 DTM(Diamond Turning Machine)을 사용하여 플라스틱, 연강(AL, CU) 프레넬렌즈 등을 다이아몬드 바이트로 직접 절삭을 하거나, 유리, 경강(금형 코어) 등을 다이아몬드 휠로 연삭을 한다. DTM을 이용한 가공은 형상정도는 대단히 우수하나 표면조도가 만족할 만한 수준에 도달하지 못하기 때문에 연마를 통하여 최종 완

〈표 1〉 형상정도별로 분류한 비구면렌즈의 용도

	형상정도	재 질	용 도
초고정도	$< 0.1 \mu m$	Glass	- 광 disk용 대물렌즈 - Video disk용 - 광 disk용 memory read용 대물렌즈 - Writing용 대물렌즈
	$0.1 \sim 0.2 \mu m$	Plastic	- Compact disk용
고정도	$< 1 \mu m$ (Newton 3本)	Glass	- Video camera용 렌즈 - Disk용 camera 렌즈 - SLR용 교환렌즈 - Lens shutter용 camera 렌즈
	$1 \sim 2 \mu m$ (Newton 5本)	Plastic	- Camera용 finder - Instant camera용 렌즈 - Autofocusing용 측거렌즈
중정도	$\leq 2 \mu m$	Glass	- 쌍안경용 대물렌즈 - 접안렌즈 - Projection TV용 렌즈
	$2 \sim 5 \mu m$	Plastic	- 저가용 쌍안경 렌즈 - Projection TV용 광학계의 일부에 사용 - 일회용 카메라 렌즈
저정도	$1 \sim 10 \mu m$	Glass	- 안경렌즈 - 광원용 condenser lens - 조명용 렌즈 - 보정렌즈
	$6 \sim 100 \mu m$	Plastic	- 안경렌즈 - 장난감 렌즈



〈그림 1〉 비구면렌즈의 제작법

성시키게 된다.

금속 등의 절삭가공을 한 뒤에는 tool mark를 제거하는 수준의 약간의 연마를 하지만, 연삭가공을 한 뒤에는 형상정도 역시 그리 만족할 만한 수준에 도달하기가 어렵다. 이는 연삭을 할 때 가공품(유리, 초경)과 함께 연삭휠이 마모되기 때문이다. 또한 표면조도 역시 대단히 나쁘기 때문에 연마는 필수적이다. 축 비대칭인 비구면렌즈를 가공할 때에는 JIG Grinder(연삭)를 사용한다. 주로 토릭, 실린더, 축비대칭자유비구면, 비축포물면 등을 가공하며 형상정도는  $2\mu\text{m}$  정도이다.

### Ⅲ. 서울광학산업(주)이 보유한 비구면 제작관련 장비

1. Diamond Turning Machine : Moore M18

〈표 2〉 참조

2. CNC 연마기

〈표 3〉 참조

3. 접촉식형상측정기

〈표 4〉 참조

4. 기타

- 모방가공기 : 모방연삭

- 전기로 : 변형가공법 → 포물면, 자유비구면

- 가압성형기 : 플라스틱 비구면렌즈

- 축비대칭가공 M/C

### Ⅳ. 서울광학산업(주)의 비구면 응용제품

1. DOAS(Differential Optical Absorption Spectrometer)용 광학계

DOAS 광학계는 대기의 오염정도를 측정하는 장치로서 기본 원리는 광원(Xe-lamp 및 적외선 램프)에서 발광한 광을 집광시키고, 시준광학계를 통하여 평행한 광선을 송광한다. 송광된 광선

〈표 2〉 Diamond Turning Machine 소개

기능		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 초정밀 3축 CNC 제어</li> <li>- Air Bearing 장착의 고정도 주축 회전</li> <li>- 고정밀 B축 장착(Tool Normalcy, Polygon)</li> <li>- 절삭, 연삭 교체 작업</li> </ul>	
주요 spec.	가공용량	- 최대 가공물 경	∅ 700
		- Work Spindle 하중용량	90kg
		- Work Spindle 회전범위	50~2000
		- X축 Travel / 속도	410mm / 100mm/min
		- Z축 Travel / 속도	220mm / 100mm/min
		- B축 Slide / 선회각	Air Bearing / 360°
	연삭 head	- Feedback System/분해능	Laser, Encoder/10nm
		- 회전수	4만 / 7만 rpm
		- 가공유	Air mist / Coolant
	Utility 및 제어	- 공작물 고정	Magnetic / 진공Chuck
- 공구대		3축 미세조정 공구대 LVDT Tool Set System	
활용범위		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 비구면 곡면의 초정밀 절삭 / 연삭</li> <li>- 구면, 비구면 Lens, Mirror 등의 초정밀 절삭 / 연삭</li> <li>- Fresnel Lens, Polygon Mirror의 초정밀 응용가공</li> </ul>	
정밀도	X, Z 축 진직도	Full Travel 0.5 $\mu$ m 이하	
	X, Z 축 직각도	최대 1 arc sec 이하	
	대각선 진직도	중심부의 90% 포함 1 $\mu$ m 이하	
	X, Z 축 각 운동 정도	Full Travel 0.5 arc sec 이하	
	X, Z 축 위치 결정 정도	Full Travel 1.5 $\mu$ m 이하	
	B 축 위치 결정 정도	Full Travel $\pm$ 3 arc sec 이하	

이 대기중에 포함된 오염물질에 의하여 흡수되고 반사체에서 반사되어 되돌아올 때 흡수된 특정파장의 광선은 돌아오지 않게 된다. 되돌아온 빛의 스펙트럼을 측정하여 대기중 오염물질의 분포를 측정할 수 있게 된다.

시스템 구성은 그림 2와 같다. 시스템은 송광부와 수광부, 그리고 조준부로 구분된다.

내부구조는 위 3개 구성부가 각각 독립적인 칸막이로 구분될 수 있도록 하고 특히 광원부의 빛이 수광부로 새어들어가지 않는 구조를 가진다.

송광부는 적외선 광원부(①), Xe광원부(③), 시준부(⑤), Zero-calibration부(⑥)로 구성되어 있으며, 적외선 광원부와 Xe광원부에 의해 집광되는 광원을 시준부의 구경 70mm의 비축 포물거울로 반사해 전방을 향하여 평행광으로 시준시키는 역할을 담당한다. 광원의 교체를 위해 반사거울(④)을 수평으로 이동시켜 on/off 하며 on상태에 있을 때에는 적외선 광원, off상태에 있을 때에는 Xe램프의 광원이 시준부로 전달되도록 설계되었다. 적외선 광원부의 광원은 실린더봉 형태(구경 6, 길이100mm)의 선광원을 사용하

〈표 3〉 CNC 연마기 소개

기능		- Disc 금형, Lens, Mirror 등의 정밀가공 - 형상오차 수정 - 가공 Database 내장	
주요 spec.	기기본체	- Table 경, 최대 가공물 형태	300mm, $\varnothing$ 420×200
		- X방향 Table Traverse	400mm
		- X방향 Table Speed	2~1000m/min
		- Y방향 Table Traverse	200mm
		- Y방향 Table Speed	2~1000m/min
	미소 Head	- Z축 Head의 Stroke	100mm
		- Polisher Head의 Stroke	50mm
	Tilting Table	- 회전속도	0~1700rpm
		- 제어 가능한 Polishing 압력	50~400gf
		- 회전각도	$\pm 45^\circ$
- 회전속도		40~100rpm	
	- Tilting 각도	0.001~360°	
	- Chuck 반경	125mm	
활용범위		- Disc 금형, 비구면 Lens, Mirror 등의 정밀가공 - 자유곡면의 정밀가공	
정밀도	강재	SUS 계열	0.004~0.006 $\mu$ m Ra
	비철계	AL 합금	0.002~0.006 $\mu$ m Ra
		Nickel coating	0.003~0.004 $\mu$ m Ra
	Glass	BK7, Fused Quartz	0.006~0.009 $\mu$ m Ra

며 발산된 광은 1차 실린더 포물거울에 의해 평행광으로 시준되고 비축 포물면(②)에 의해 한 점에 모이게 된다. Xe램프는 타원 반사거울에 의하여 한 점에 집광되는데, Xe광원부의 집광점과 적외선 광원부의 집광점, 그리고 시준부의 초점은 서로 일치하게 된다. 장비의 calibration을 위해 시준렌즈 뒤에 시준렌즈와 동일한 설계값의 포물면을 두어 시준렌즈와 더불어 연동되도록 하였다. 즉 시준렌즈를 앞으로 이동시켰을 경우에는 광원부에서 올라오는 광선이 calibration용 시준렌즈로 향하게 되고 광선은 장치의 내부를 향하여 평행광으로 시준된다. 이 광선을 수광부에서 검출하여 시스템의 calibration을 위하여 사용하며 calibration부의 F/#는 11.78이다.

수광부는 대물부, 적외선 검출부(⑩), 분광계

(⑪)로 구성된다. 대물부의 구경은 250mm이고 초점거리는 711mm, F/#는 2.84이다. 형태는 반사망원경 형태를 갖고 있으며 3개의 반사거울로 이루어져 있고 제1반사거울(⑦), 제2반사거울(⑧)은 포물거울과 유사한 축대칭 비구면으로 구성된 각배율이 3.47배인 무초점광학계이고, 제3반사거울(⑨)은 비축초점거리가 205mm인 축비대칭 포물면으로 광축을 90도 회전시키며 집광시키는 구조로 되어 있다. 부품의 공용화를 위하여 대물 제3반사거울과 적외선 광원부의 비축포물면의 설계계수가 동일하게 즉, 비축초점거리가 205mm가 되도록 설계하였다. 적외선 검출부에서는 대물부에 의하여 집광되는 광원에 반사거울을 두어 적외선 검출다이오드에 집광되도록 하였다. 적외선 검출용 반사거울이 off된 상태

〈표 4〉 접촉식형상측정기의 소개

기능	- 비구면, 구면 Lens 등 광학 부품 형상 정도 및 조도 측정 - Lens 금형 Core 등 각종 가공물 형태 정도 및 조도 측정
주요 spec.	- Form Talysurf Laser 120mm System - Horizontal : 120mm - Vertical : Ball 12mm / Cone 6mm - Vertical resolution : 10 nm - Data resolution : 0.25 $\mu$ m (Horizontal) - Stylus에 의한 접촉식 측정. - 450mm Motorized Column. - Aspheric Conic Form S/W (곡면 측정용 S/W) - Laser Interferometric Pick-up
활용범위	- Pick-Up Lens, PJ-TV Lens, Fresnel Lens 등 광학부품 - 금형 Core, 광 disc Mirror Block 등 각종 가공물

에서는 대물부의 집광초점이 분광광도계의 slit에 집광되도록 하였다.

조준부는 원거리에 있는 반사체에 대하여 DOAS 광학계가 효율적으로 시준할 수 있도록 별도의 설계 없이 기성품으로 사용중인 3-9배 줌 사격용 조준경(㉔)을 사용하여 조준하도록 하였다.

## 2. CRT노광계

CRT노광계란 CRT화면의 스크린 패턴, 즉 화소를 만드는 장치로서 주로 광학렌즈로 구성된 다. 그림 3에서 보는 것과 같이 수은등 주위에 냉각수가 흐르고 냉각수 위에는 냉각수의 유출을 방지하면서 빛의 광로를 결정하여 주는 덮개렌즈가 있으며 그 위로 비구면 보정렌즈, 불연속 비구면, 보정필터 등이 있게 된다. 그러나 상기 구조는 일반적인 구조이고 각 회사별로 혹은 노광제품별로 다른 구조를 가지고 있다.

CRT 노광계의 구성품과 역할은 다음과 같다.

### \* 냉각수 덮개렌즈

냉각수의 누수를 방지하면서 광원에서 출사된 광선을 비구면렌즈를 향하여 집광시켜 주는 역할을 한다. 형상으로는 구면렌즈, 실린더렌즈, 타

원렌즈, 토릭렌즈 등 구면 및 다양한 형태의 비구면을 사용한다.

### \* 비구면 렌즈

새도 마스크를 향하여 전자빔의 경로와 유사한 경로로 광선을 진행시키는 비구면렌즈로 대부분 축비대칭 자유비구면렌즈가 사용된다.

### \* Block lens

각 화소의 위치에서 최종적으로 전자빔의 위치와 노광광로를 완전하게 일치되도록 하는 역할의 렌즈로서 300개 이상의 프리즘 block이 모여서 전체적인 비구면 형상을 유지한다.

### \* 보정필터

수은등에서 발산하는 광원이 불균일을 보정하여 노광면 전체에 균일한 조도를 얻기 위하여 사용되는 필터로서 넓은 평면유리에 각 부분마다 크롬막의 두께를 조절하여 투과율이 다르도록 제작된 필터이다.

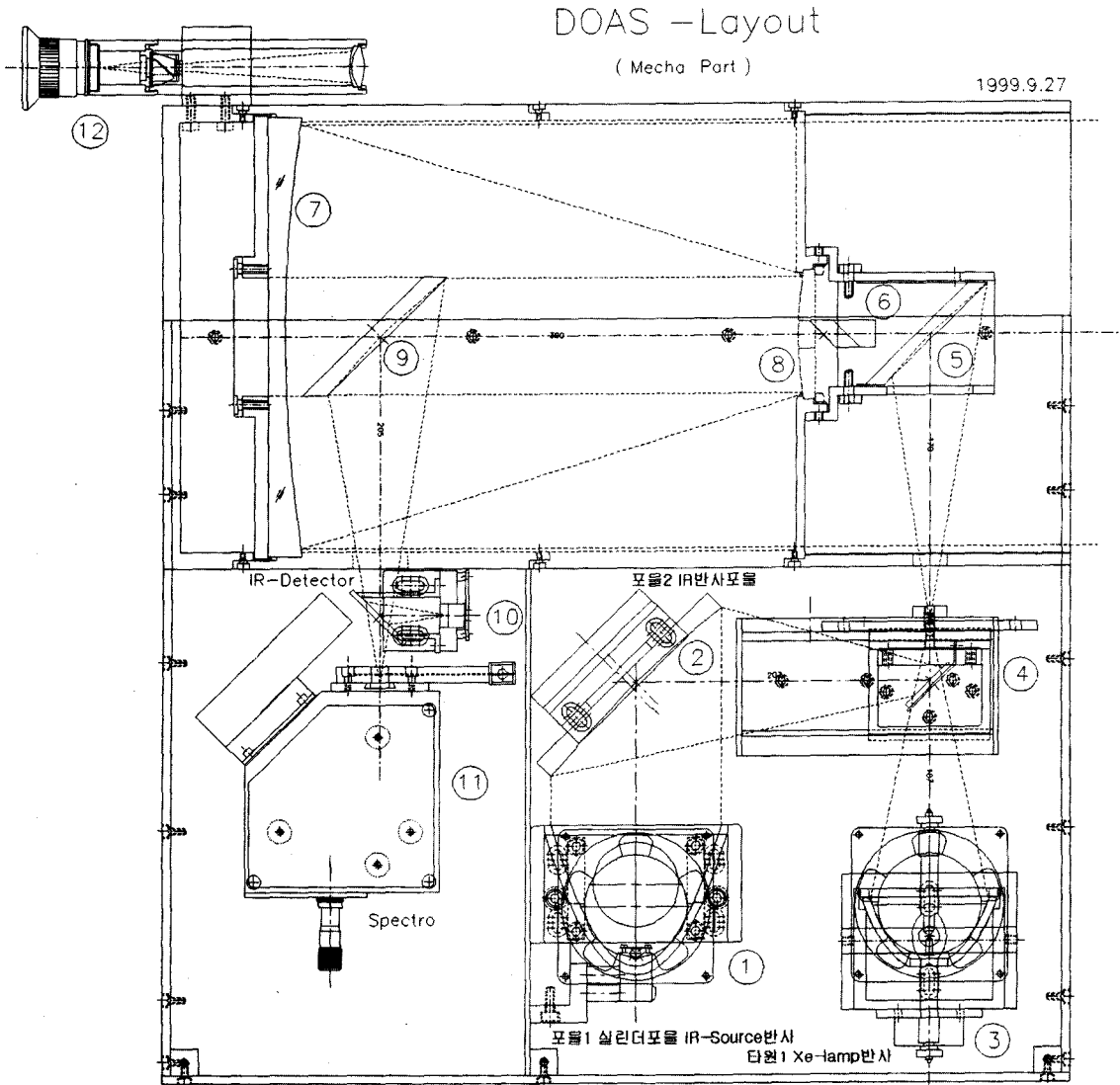
## 3. 콜리메이션 방식 노광계

디스플레이 산업이 발달하고 여러 종류의 디스플레이 소자가 개발되면서 1) 20" 이하는 LCD, 2) 20" - 40"는 CRT, 3) 40" - 60"는 PDP 4) 60" 이상은 projection 광학계를 이용한

디스플레이 형태로 변화되는 조짐이 보이고 있다.

이에 상기 CRT노광 광학계 이외에 LCD, PDP의 화소를 만드는 노광광학계 역시 비구면 광학부품을 이용하는 중요한 장치이다. 또한 PCB회로 기판이나 반도체 리드프레임용 미세 선폭을 노광하는 장치 역시 동일한 형태의 장치를

사용하게 된다. 이러한 노광계는 기존에는 산란광 방식의 노광계가 주로 사용되었으나 구경 300mm에서 1000mm에 이르는 노광면적에서 선폭 30 $\mu$ m의 분해능을 달성하기 위해, 또한 마스크 패턴과 노광면과의 일정한 간격을 확보하기 위해 평행광방식의 노광계에 대한 필요가 급증하고 있고 향후에는 리소그래피 방법을 적용한 리

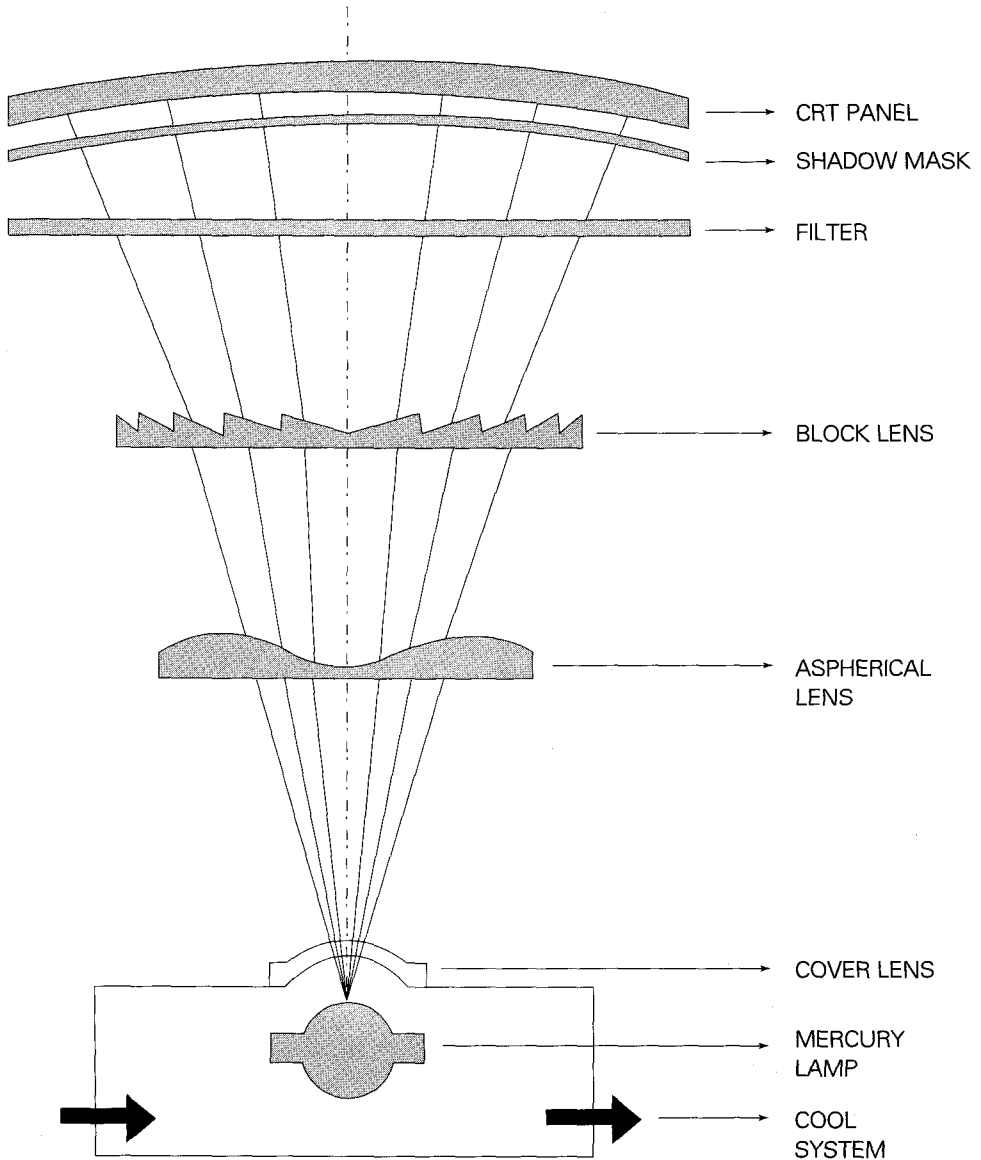


<그림 2> DOAS 광학계의 layout 도면(530mm×580mm×294mm)

드스플레이 노광계도 선보일 예정이다.

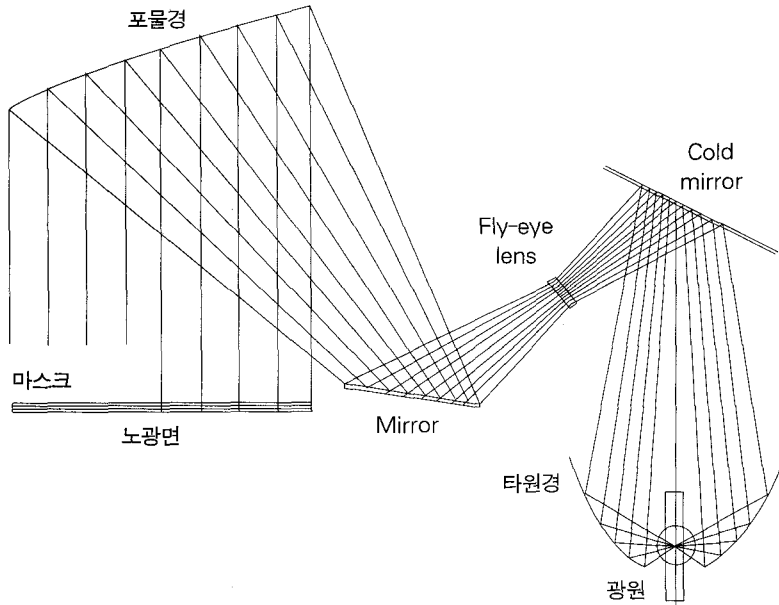
콜리메이션 방식 노광계의 구조는 그림 4와 같다. 수은등에서 발광된 광선은 타원반 사경과 cold mirror에서 반사하여 타원면의 제2초점에 위치한 fly eye lens로 집광한다. fly eye lens는 노광면에 균일한 조명을 하기 위하여 수십 개,

혹은 수백 개의 작은 렌즈 cell의 조합으로 이루어져 있다. fly eye lens를 통과한 광선은 반사거울에서 반사한 후 비축포물면에서 반사하여 평행광으로 되어서 노광면으로 수직하게 내려온다. 여기서 fly eye lens는 비축포물면의 초점에 위치한다. 노광면 바로 위에 거의 밀착된 상태로



〈그림 3〉 CRT 노광계 구조





〈그림 4〉 콜리메이션 방식 노광계의 구조

마스크 패턴이 있고 그 밑에 노광면이 위치한다. 마스크와 노광면은 밀착된 경우 마스크의 손상이 있으므로 약간의 간격을 두고 이격되어 있으나 이격이 심한 경우에는 회절 및 콜리메이션 오차에 의하여 원하는 분해능의 선폭을 얻을 수가 없게 된다.

- x, y, z 3축 제어에 의한 기본 형상 가공 및 연마 가능
- 컴퓨터에 의한 형상 가공 프로그램 부착
- 스피들 헤드의 각도 전환 가능
- 연삭휠의 회전 방향이 공작물에 대하여 수직/수평의 각도 유지

4. 기타

- TMA projector 용 field lens
- HMD용 비구면 유리렌즈 시제품
- Hologram 제작용 비구면
- Projection Lens용 Plastic 비구면
- CO<sub>2</sub> 레이저 용접용 무산소동 비축포물면

2. 제작 중에 3차원 측정이 가능할 것(분해능 1 $\mu$ m)

- 스피들에 3차원 측정 probe부착

3. 회전 테이블 부착(저속, rpm 100정도)

- 공작물이 수평/수직/임의 각도로 놓인 상태에서 회전
- 측정 및 가공시간, 형상가공정밀도 향상에 유리

V. 구경 2M 비구면 가공기의 SPEC.

1. 수직형 머신센타

- 가공물의 크기 : 축 대칭 : 2000mm, 축 비 대칭 : 2200mm X 1000mm

4. 연마용 간사시 축 부착(단순 왕복)