

광학소자 가공 방법(변형가공 편)

인젝션 몰딩(上)

1. 머리말

광학 부품 중에 렌즈나 프리즘은 중요한 위치를 차지하고 있다. 최근 비구면 렌즈에 대한 요구 증가나 매우 저렴한 카메라의 보급에 따라 플라스틱제 렌즈가 널리 사용되고 있다. 또 CD-ROM에서 각종 DVD로의 발전이나 액정 디스플레이용 플라스틱 도광판은 현재 IT 업계에 보급되었고 생활 양식의 변모까지 불러오고 있다. 이러한 플라스틱 광학 부품을 제작하는 기법이 인젝션 몰딩(사출 성형)이다. 이 기법은 용융된 수지를 금형 안에 높은 압력으로 흘려 넣고 냉각한 후에 금형 안에서 꺼내 제품을 얻는 것이다. 이 때 사출 성형기를 사용해, 연속적으로 또한 자동으로 성형품을 얻을 수 있기 때문에 부품 양산화에 가장 적합한 기법이 되고 있다. 각종 플라스틱 제품이 사출 성형으로 제작돼 전자기기, 자동차 부품, 생활 일용품 등이 짝 가격으로 공급되고 있음은 널리 알려진 사실이다.

렌즈 등의 광부품은 일반 성형품에 비해 매우 높은 정밀도가 요구되는데, 투명 수지를 사용하기 때문에 일반적인 성형 재료처럼 수지에 섬유나 무기물을 첨가할 수 없다. 이 때문에 성형할 때 수지의 수축이나 변형이 일어나기 쉽고, 정밀도를 얻기 어렵다는 본질적인 문제를 가지고 있다. 최근의 성형 기술 진보가 이러한 문제를 해결해 플라스틱 광부품의 보급을 가져왔다. 여기에서는 성형 기술에 대해 개략적으로 설명한 뒤 투명 수지를 이용한 렌즈, 거울, 광 디스크의 작업 예에 대해 소개한다.

한편, 투명 광부품 외에 광 픽업이나 광 커넥터 부품을 성형으로 플라스틱화 하는 시도가 이루어지고 있다. 특히 싱글 모드 광 파이버의 연결이나 실장에는 1미크론 이하의 3차원 정밀도가 요구돼 이러한 플라스틱 부품을 개발하려면 완벽에 가까운 성형 정밀도를 목표로 해야 한다. 여기에서는 이러한 광기구 부품 제작의 시도에 대해서도 설명할 것이다.

2. 사출성형 프로세스

2.1 기본 프로세스¹⁾

사출 성형법은 성형기를 이용해 금형 안에 용융한 수지를 흘려 넣음으로써 이루어진다. 그림 1은 기본 프로세스를 나타낸 것이다.

금형은 성형막에 설치돼 자동적으로 개폐가 이루어진다. 형조임 공정에서 금형은 고압(보통 30-200 톤)으로 형이 죄여지고 수지는 성형기의 실린더 안에서 용융된 상태가 된다. 사출 공정에서 스크류를 전진시킴으로써 용융된 수지를 금형 안에 고압(500-2000kg/cm²)으로 주입한다. 고압 형 조임은 사출 압력에 의해 금형이 열리는 것을 방지하기 위한 것이다. 보압 공정에서는 수지에 압력을 가한 채 유지한다. 이것은 금형 안에서 수지가 고화됨에 따라 체적이 감소하기 때문에 이것에 맞는 양의 수지를 금형 안으로 보내기 위한 것이다. 냉각 공정에서는 수지의 고화가 진행되고, 주입구(게이트)가 폐쇄된 뒤에는 압

력을 빼고 성형품이 충분한 강도를 가질 때까지 금형 안에 방치한다. 이 냉각 시간을 이용해 스크류를 회전시켜 수지를 가열 용융(가소화)시킨다. 가소화된 수지는 앞쪽으로 보내지고 동시에 스크류는 후퇴해 다음 성형에 필요한 양의 수지가 스크류 선단부에 쌓인다(계량). 이형 공정에서 금형이 열리고 성형품이 돌출 기구(이젝터)에 의해 금형에서 빠진다. 이러한 일련의 동작에 따라 연속적으로 자동으로 성형품이 제작된다. 1 사이클의 시간은 일반 성형품일 경우 30초 이하이지만, 렌즈 등 광부품일 경우에는 성형 정밀도를 중시해 1~2분 걸리는 것도 있다.

금형 하나에서 1개의 성형품을 얻을 수 있는 경우 1개 취득 금형이라 하고, 2개 이상 얻을 수 있는 경우를 다수개 취득 금형이라 한다. 보통은 소요 정밀도에 좌우되지만 몇 개부터

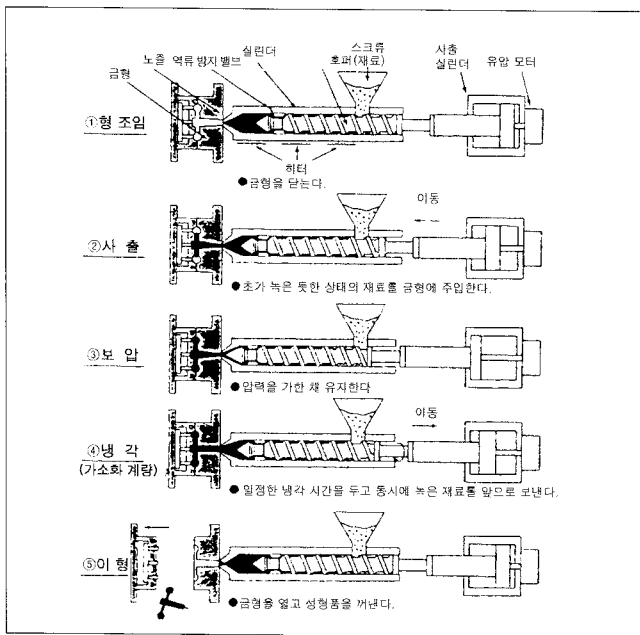


그림 1. 사출 성형의 순서

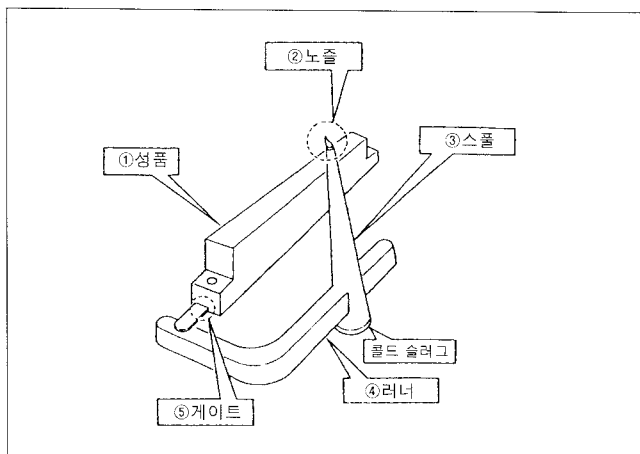


그림 2. 성형품의 명칭

수 십 개까지의 다수개 취득 금형으로 양산이 이루어진다. 수지의 유로(流路)는 노즐에서 금형 내부로 들어가는 스푼, 스푼에서 각 성형품에 이르는 러너, 성형품으로 들어가는 입구인 게이트로 나뉜다(그림 2). 스푼과 러너는 필요 없는 물건이기 때문에 최종적으로는 성형품과 분리돼 폐기 또는 재생재로 사용된다.

2.2 요소 기술

(1) 사출 성형기²⁾

사출 성형기는 수지를 가열 가소화 해 이것을 금형에 주입하는 사출 측과 금형을 설치해 개폐하는 형 조임 측으로 나뉜다. 이들은 가로로 배치돼 동일 직선 상에 놓인 횡형 성형기가 일반적이다(그림 3). 이것은 성형품의 취출을 낙하를 이용해 하는 것으로 수지의 취급이 쉽다. 또 스크류 1개로 수지의 가소화, 혼합 반죽, 사출을 하는 인라인 스크류 방식이 일반적이다. 수지의 가열은 실린더에서의 열전도 외 스크류의 회전에 의한 전단 발열로도 이루어지기 때문에 수지 온도가 균일화되기 쉽다. 형 조임 측은 사출압에 견디기 위해 견고한 것은 물론 형 조임, 형 열림도 빨리 이루어질 필요가 있다. 형 조임 기구에는 직접 유압 램 힘으로 금형을 단단히 조이는 직압식과 유압 실린더로 토글을 움직이는 토글식이 있다.

사출, 형 조임 모두 유압 실린더로 동작하는 유압식 성형기가 지금까지 일반적으로 많이 사용되었지만, 최근에는 전동 모터를 이용한 전동식 사출 성형기가 주류가 되고 있다. 특히, 광부품에 있어서는 다음과 같은 이점이 있기 때문이다.

- 1) 컴퓨터로 제어되면서 기온의 영향을 받지 않기 때문에 스크류 위치의 제어성이 좋아 정밀도가 높은 성형품을 제작하기 쉽다.
- 2) 필요할 때만 모터가 구동해 전력을 줄이기 때문에 에너지 절약 효과가 크다.
- 3) 기름 오염 없이 깨끗한 성형이 가능해 환경 오염 대책으로도 뛰어나다.

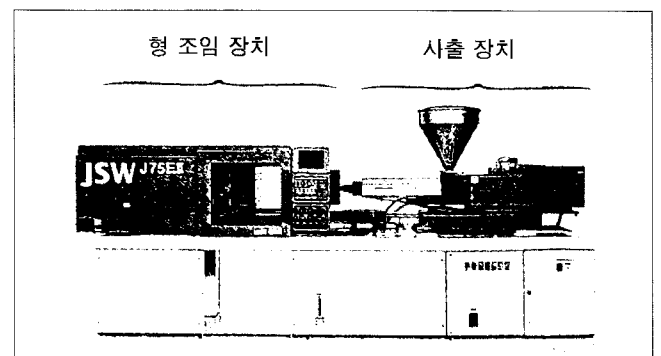


그림 3. 횡형 사출 성형기

▶▶▶ 지상 공개 강좌

(2) 금형³⁾

사출 성형 금형은 기본적으로 다음 5 가지 부분으로 구성되어 있다.

- 1) 성형기에 설치하기 위한 부분 (다이 세트)
- 2) 스푼, 러너 등의 수지 유로
- 3) 성형품을 만드는 캐비티부 / 코어부
- 4) 성형품을 냉각하는 온도 조절 부분
- 5) 성형품의 돌출부 (이젝터)

또 이것들은 수지가 유입하는 고정측 금형과 형 조임 기구에 따라 개폐하는 가동측 금형으로 나뉜다. (그림 4)

캐비티부는 성형 재료가 채워져 제품이 되는 부분으로 기본적으로는 캐비티(female형)와 코어(male형)로 이루어진다. 보통은 캐비티 블록, 코어 블록으로서 별도의 부품(캐비티 인서트 블록)을 형판에 끼워넣는 것이 보통이다. (그림 5)

렌즈 금형에서는 금형 표면 거칠기를 0.02 μm 이하로 할 필요가 있다. 정밀도를 실현하기 위해서는 단결정 다이아몬드 공구와 초정밀 CNC 선반을 이용한 가공법이 적당하다. 또 렌즈의 형상은 가동측, 고정측 양쪽의 캐비티로 형성되는데 여기에서 각각의 중심축이 일치선 상에 없으면 편심 오차에 의한 수차가

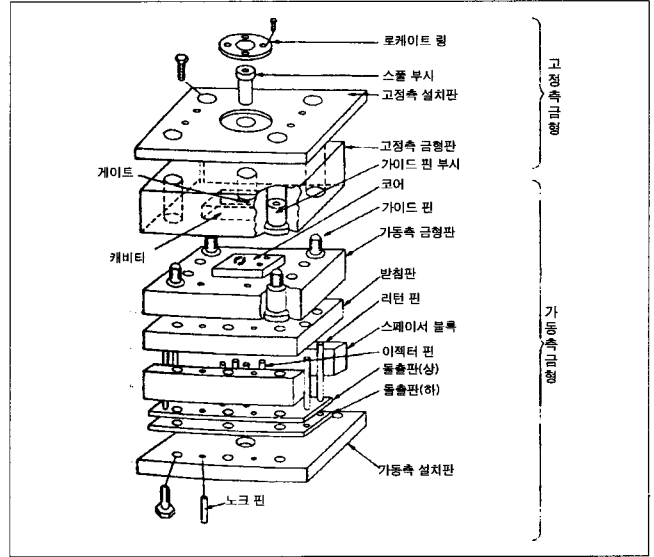


그림 4. 금형 구성도의 예

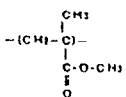
발생한다. 이러한 오차를 막기 위해 다음과 같은 항목에 대해 높은 정밀도가 요구된다.

- 1) 금형판의 평행도, 직각도
- 2) 캐비티 홀의 진원도, 원통도

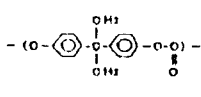
표1. 광학 재료의 특성 비교

특성	단위	무기 유리	PMMA	PC	OZ-1000	아펠	ZEONEX	ARTON
투과율	%	90~91	92~93	87~90	92	90	92	92
굴절률	nD	1.42~1.92	1.492	1.587	1.500	1.54	1.525	1.51
굴절률의 온도 의존성	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	2×10^{-4}	-1.1×10^{-4}	-1.2×10^{-4}	-1.2×10^{-4}	-1.0×10^{-4}	-1.2×10^{-4}	-1×10^{-4}
아베수		21~83	57~58	31	57~58	54	54	57
복굴절률	nm	<10	10~20	40~80	<10	<20	<20	<20
광탄성 계수	cm^2/dyne	-	-6.0×10^{-13}	90×10^{-13}	-1×10^{-13}	-8×10^{-13}	-6.5×10^{-13}	-4.1×10^{-13}
유리 전이 온도	$^{\circ}\text{C}$	-	105	140	115	140	138~140	171
아이조드충격 강도	$\text{kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^4$	-	2.2~2.8	80~100	1~2	3	2.4	3
록웰 경도	M 스케일	-	M80~100	M70	M90~100	M95	M55	M82
열변형 온도	$^{\circ}\text{C}$	500~720	100	138~140	105	125	123	164
포화 흡수율	%	-	2.0	0.4	1.0	<0.01	<0.01	0.4
선팽창 계수	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	1×10^{-5}	7×10^{-5}	7×10^{-5}	7×10^{-5}	$6 \sim 7 \times 10^{-5}$	6×10^{-5}	6.2×10^{-5}
성형 수축률 %	%	-	0.2~0.6	0.5~0.8	0.2~0.6	0.6	0.5~0.7	0.6~0.8
비중		2.4~5.2	1.19	1.20	1.16	1.04	1.01	1.08

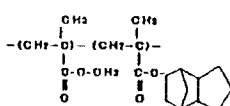
PMMA



PC



OZ-1000



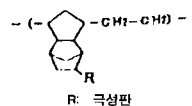
아펠

폴리오레핀계

ZEONEX

폴리오레핀계

ARTON



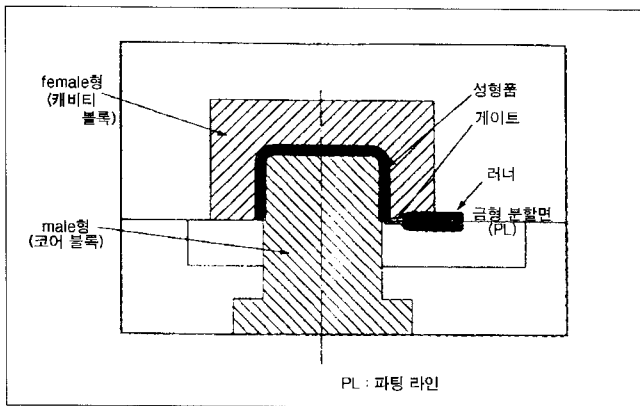


그림 5. 금형 캐비티부의 구조

- 3) 고정측, 가동측의 피치 어긋남의 오차
- 4) 고정측, 가동측 블레이드 위치 결정 허용 오차
- 5) 캐비티의 조립 회피면
- 6) 코어나 캐비티의 설치면에 대한 편심 정밀도

(3) 수지

투명 광학 재료에 요구되는 특성은 1)투명성 2)굴절률 3)분산 특성 4)복굴절률 5)가공성 6)흡수성 7)내열성 등이다. 플라스틱 재료는 무기 유리 재료에 비해 a)내충격성이 있다, b)성형 가공성이 좋다, c)가볍다는 이점이 있는데 내구성은 떨어지는 문제가 있다.

가장 많이 사용되고 있는 광학 재료는 PMMA(폴리 메틸 메타 아크릴레이트 : 아크릴 수지)와 PC(폴리 카보네이트)이다. 이들의 특성은 표1과 같다. PMMA는 광학 특성이 무기 유리 같지만 흡수성이 크고 내열성도 떨어진다. PC는 내열성은 높지만 복굴절이 크다는 문제가 있다. 복굴절이 일어나기 쉬운 것은 고분자 유닛의 주분극차 때문이고, 벤젠 고리가 크다. 이 때문에 분자 중에 벤젠 고리를 포함한 PC는 복굴절을 일으키기 쉽다. 한편 완전히 무정형인 폴리머일 경우 구조 단위가 무작위로 배열되기 때문에 매크로적으로는 등방적이고 복굴절은 나타나지 않는다. 그러나 광 디스크처럼 형성할 때의 유동 배향이나 고속 회전으로 발생하는 응력에 기인하는 복굴절이 발생한다. 렌즈계도 복굴절이 크면 초점이 어긋나 상 재생이나 SN 레벨 상 문제가 발생한다.

이러한 흡수성이나 복굴절의 문제를 해결하기 위해 새로운 광학 재료의 개발이 진행되었다.⁴⁾ 대표적인 재료로 지환식 아크릴 수지가 있으며 옵틀렛(OZ-1000; 히타치 케미칼), 비정질 포레오레핀인 아펠 (미쓰이 석유 화학), ZEONEX (일본 제온), ARTON (일본 합성 고무) 등의 종류가 있다. 이들의 특성을 그림1 안에 정리했다. 이들은 모두 PMMA를 능가하는 내열성과 PC보다 낮은 복굴절 특성을 자랑한다. 차량에 탑재되는 CD용 렌즈나 흡수를 기피하는 용도 등에서는 일부 사용이 진행되고 있지만 수지의 가격 문제도 있어 가장 사용량이 많은 PMMA나 PC에서 크게 바뀌지는 않고 있다.

비투명 재료를 사용할 수 있는 광기구 부품에는 고내열, 저열

표2. 대표적인 엔지니어링 플라스틱의 특성 비교

물성값	단위	시험	방법	PC 폴리	카보네이트	PAR폴리 아릴레이트	PPS 폴리 페닐렌	설파이트	PSF 폴리 술폰
추가물			GF 30%	GF 외	GF	GF 30%	GF 30%	GF 30%	GF 30%
비중		D792	1.44	1.51	1.66	1.49	1.60	1.51	1.62
흡수율	%	D570	0.12	<0.2	0.015	0.49	0.30	0.18	0.05
인장 강도	kgf/cm ²	D638	1230	645	2000	1100	1430	1630	2150
인장 신장	%	D638	2.5	16	2.2	2		3	2.2
구부림 강도	kgf/cm ²	D790	1700	1080	2600	1570	1940	2350	2590
구부림 탄성률	x104 kgf/cm ²	D790	7.5	4.4	13.5	7.7	8.57	8.47	15
아이조드충격 강도	kgf · cm/cm	D256	10	4.4	10.0	7.6	8.3	10	14
록웰경도		D786	M93	R116	M100	M85	M98	M125	M84
가중 변형 온도	℃	D648	149	100	270	181	216	210	230
선 팽창률	x10 ³ /℃	D696	2.0/5.6	2.3	1.0/6.2	1.9	2.3/4.3	2	0.7/6.8
성형 수축률 (%)	MD/TD	D955	0.2/0.5	0.3	0.3/0.8	0.2	0.2/0.4	0.2/0.4	0.1/0.4
연소성		UL94	V-0	HB	V-0	V-0	V-0	V-0	V0
절연 파괴 전압	kV/mm	D149	30	17	12	16.8	16	24.8	24
체적 저항률	Ω · cm	D257	1 × 10 ¹⁶	5 × 10 ¹⁵	8.0 × 10 ¹⁶	1 × 10 ¹⁶	1 × 10 ¹⁶	1 × 10 ¹⁶	3 × 10 ¹⁴
유전율		D150	3.41	-	4.6	3.7	-	3.7	4

MD : 유동 방향 TD : 유동 방향으로 직각인 방향

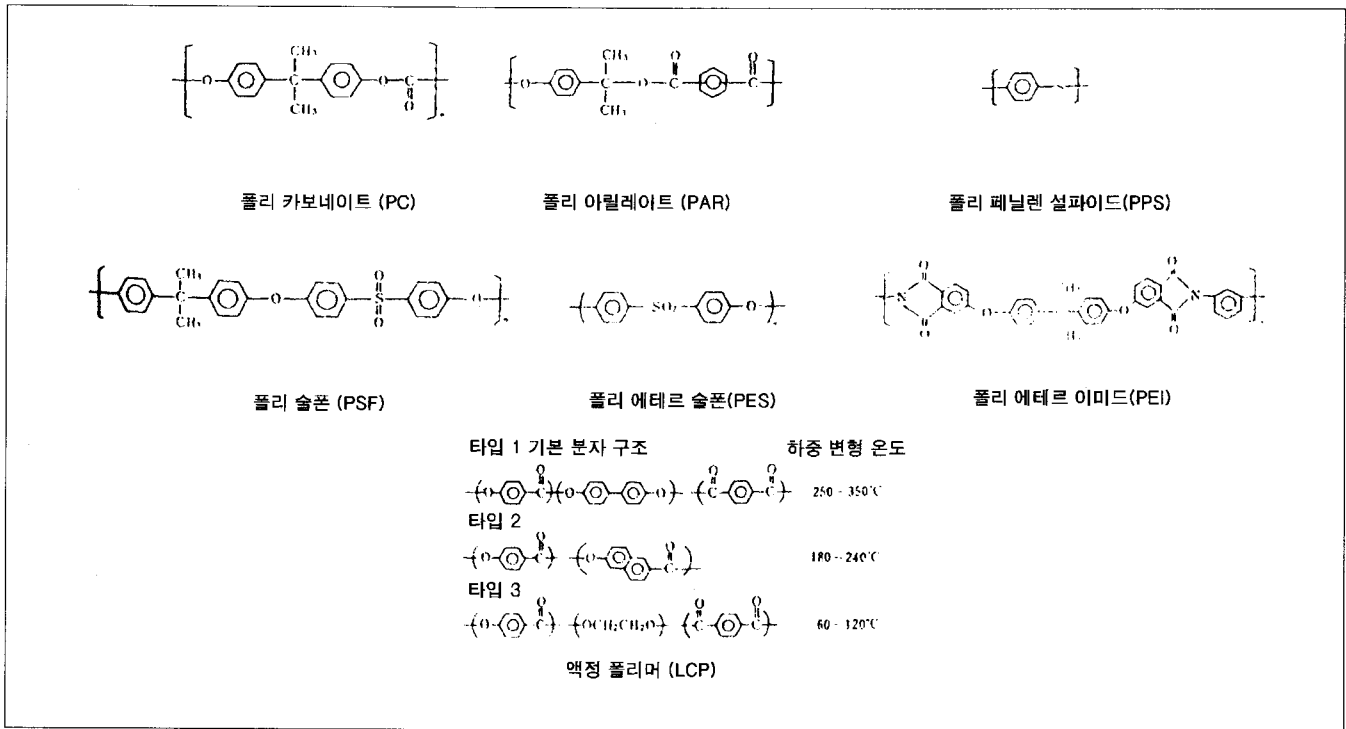


그림 6. 엔지니어링 플라스틱의 화학 구조

팽창 성질을 가진 고성능 엔지니어링 플라스틱이 사용된다. 대표적인 것으로 PC(폴리카보네이트)와 함께 PAR(폴리 아릴레이트), PPS(폴리 페닐렌 옥사이드), PSF(폴리술폰), PES(폴리에테르 술폰), PEI(폴리 에테르 이미드), LCP(액정 폴리머) 등을 들 수 있다. 이들의 특성은 표 2에, 화학 구조는 그림 6에 정

리했다. 일반적으로 유리 섬유, 탄소 섬유, 무기 위스커 등을 첨가해 사용하기 때문에 수지 등급은 다양하다.⁵⁾

목적으로 하는 성형품의 소요 특성이나 가격에 따라 수지를 선정하지만 적절한 수지, 첨가물을 선정하는 것이 중요한 검토 항목이 된다.

회원사들의 참여를 기다립니다.

한국광학기기협회에서 발행하는 정기 간행물 '광학세계'는 회원사 여러분들을 위한 정보지입니다. 광학세계의 회원사 동정 및 신상품 소개란은 회원사들의 홍보 및 정보교류 등을 위해 마련된 공간입니다.

인사 및 행사, 회사 업적 소개, 변경 사항, 신상품 출시 등 홍보 및 기사 게재를 원하시면 언제든지 연락 주시기 바랍니다.

회원사들의 적극적인 참여 속에 광학산업계 사랑방 구실을 하는 광학세계의 진정한 가치가 피어납니다.

- **연락처** : 광학세계 편집부
- **주 소** : (156-819) 서울시 동작구 사당3동 218번지 정보빌딩 4층
- **전 화** : (02)3481-8931
- **팩 스** : (02)3481-8669
- **이메일** : pjy@koia.or.kr