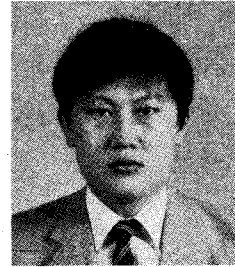


# 광학개론 (6)

## <광학재료>



삼양광학공업주식회사  
부설연구소 정 해빈

### 7. 광학유리

광학부품을 만드는 데 있어서 최근까지도 가장 많이 쓰이는 재료는 소위 광학유리라 불리는 유리이다. 유리는 화학적으로도 상당히 안정되어 있고, 가시영역에서 투명도가 높으며, 그 첨가물에 따라 광학적 성질을 손쉽게 변화시킬 수 있으므로 널리 사용되고 있다. 이 장에서는 이러한 광학유리의 명명법과 그 성질 등에 대해서 알아보자.

#### 7.1 명명법(命名法)

오늘날 광학유리에 적용되고 있는 분류법과 명명법은 독일의 광학유리 회사인 쇼트(Schott)사의 방법을 따르고 있다. 이 방식에 의하면 광학유리는 그 광학적 성질에 따라 크게 크라운유리와 플린트유리로 나뉜다. 크라운(독어로는 Kron, 영어로는 Crown)유리는 독어로는 K, 영어로는 C로 표시되며, 일반적으로 굴절률  $nd$ 의 값이 작

고 아베수  $vd$ 가 크다. 플린트(Flint, Flint)유리는 독어나 영어 모두 F로 표시되며, 일반적으로  $nd$ 값이 크고 아베수  $vd$ 가 작다.

크라운유리와 플린트유리를 굴절률  $nd$ 와 아베수  $vd$ 에 의해서 나뉘는 기준은 다음과 같다.

굴절률이 1.6 이상이면서,

아베수가 50이상이면 크라운유리,

아베수가 50미만이면 플린트유리라 한다.

또한,

굴절률이 1.6 미만이면서,

아베수가 55이상이면 크라운유리,

아베수가 55미만이면 플린트유리라 한다.

이와 같은 기준에 의해 크라운과 플린트로 나뉜 유리는 다시 그 유리 중에 포함되어 있는 특징적인 원소나 상대적인 비중에 의해서 더욱 세분되

며, 여기에 다시 숫자로 된 식별번호가 붙여진다. 이때 이 번호는 반드시 일련번호가 아님에 유의해야 한다. 이러한 세분된 명칭은 제조회사에 따라 다소 다르게 나타나며, 각 회사에서 사용하는 명칭은 표7-1과 같다. 쇼트사와 오히라사는 독어식 기호를 호야사와 찬스·필킹톤사는 영어식 기호를 사용하고 있다.

포함되어 있는 원소에 의한 분류는 불소(F), 인(P), 붕소(B), 아연(Z; Zn), 바륨(Ba), 란타늄(La) 등이 있는데, 이러한 원소는 전체 유리의 조성으로 보아서는 소량 함유되어 있지만 굴절률이나 아베수 등의 특징적인 광학적 성질이 이들 원소에 의해 나타나므로 이들 원소를 기준으로 나눠주게 된다. 이러한 함유원소를 나타내는 기호는 독어식이나 영어식 명명법 모두 맨 앞에 나오게 된다. 예를 들어 란타크라운의 경우 Lak 또는 Lac으로 표시되어 란타늄이 주요 성분으로서 함유되어 있음을 알 수 있다.

같은 원소가 포함되어 있는 경우라도 그 함유된 양에 따라 상대적 비중이 달라지게 되므로 이에 의해서 다시 세분된다. 비교적 비중이 큰 경우에는 “중(重)”이라는 접두어를 붙이며, 독어로는 “S”, 영어로는 “D”를 붙여서 나타낸다. 예를 들어 바륨 플린트유리로서 비교적 비중이 높은 경우 중바륨 플린트가 되면, 기호로는 BaSF 또는 BaFD로 표시된다. 반대로 비중이 비교적 작은 경우에는 “경(輕)”이라는 접두어를 붙여서 나타낸다. 이의 표시는 독어나 영어 모두 “L”로 나타낸다. 예를 들어 바륨 플린트유리로서 비교적 비중이 낮은 경우에는 경바륨 플린트가 되며, BaLF 또는 BaFL로 나타내어진다. 유리의 비중을 나타내는 기호는 독어식에서는 크라운이나 플린트를 나타내는 기호인 K나 F앞에 오게 되며, 영어식에서는 C나 F뒤에 오게 된다. 즉, 경바륨 플린트유리를 독어식으로 나타내면 “BaFL”이 된다. 이 이외에도 중크라운보다 더 비중이 큰 특경플린트(LLF; FEL; ELF) 등이 있다.

동일 기호를 갖는 유리들은 다시 번호를 붙여서

구분한다. 이때, “FK01”과 같이 그 번호에 “영(Zero)”이라는 숫자가 들어가는 경우가 있는데, 이때 이 영이라는 숫자는 의미를 갖고 있으므로 이영이 빠진 “FK1”와는 전혀 별개의 유리이므로 주의해야 한다.

영이라는 숫자가 붙거나 “N”이라는 문자가 붙는 것은 비교적 최근에 개발된 것으로 특정회사에서만 생산하는 품종이라 대체품이 없는 경우가 많다.

위와 같은 명명법은 초기 단계에서는 생산되고 있는 유리의 종류가 많고, 많은 회사들이 쇼트사와 동일한 조성의 광학유리를 만들고 있었으므로 문제가 없었으나 그 후 광학유리 제조회사의 수가 늘어나고, 새로운 광학유리들이 광학설계상 필요에 의해 속속 개발됨에 따라 모든 회사에서 일치된 명칭을 부여하기 어렵게 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 미국 군사용품에 관한 규격서인 Military Specification (흔히 밀스펙(MIL-SPEC)이라고 약해서 부른다)에서는 규격 MIL-G174A를 통해 다음과 같은 새로운 명명법을 제정하게 되었다. 실제 광학설계에서는 굴절률(nd)의 소수 세째자리까지와 아베수의 소수 첫째자리까지가 같으면 동일한 유리라 볼 수 있으므로 굴절률의 소수 첫째자리부터 세째자리까지의 3자리수(유리의 굴절률에 있어서 정수부분은 모두 1이므로 정수부를 생략해도 오해가 일어날 염려가 없다)와 아베수(vd)의 소수 첫째자리까지의 수 3자리를 조합한 6자리의 수로써 나타내는 방법을 사용하고 있다. 예를 들면  $nd=1.516$ ,  $vd=64.1$ 인 BK7 유리를 이 방식으로 나타낼 때 “516641”이 된다. 최근에는 흔히 쇼트사의 분류 방식에 의한 명칭과 MIL SPEC에 의한 방식 6자리수를 함께 써서 “BK7(516641)”과 같이 나타내는 일이 많아졌다.

서방세계에서 생산되는 유리의 경우는 동일한 명칭의 유리인 경우 제조회사에 상관없이 굴절률과 아베수가 동일하기 때문에 호환성을 가지나 공산국가인 소련에서 만들어지는 유리는 명명방식

표 7-1. 광학유리의 명칭과 그 기호

| 명 칭      | 쇼트(Schott)사 (서독) |               | 오하라 광학<br>(일본) | 호야초자<br>(일본) | 기호    | 찬스 필킹톤(영국)<br>명 칭       |
|----------|------------------|---------------|----------------|--------------|-------|-------------------------|
|          | 1956년이전          | 1966년이후       |                |              |       |                         |
| 불규 크라운   | FK               | FK            | FK             | FC           |       |                         |
| 인산 크라운   | PK               | PK            | PK             | PC           |       |                         |
| 중인산크라운   | PSK              | PSK           | PSK            | PCD          |       |                         |
| 붕규 크라운   | BK               | BK            | BK             | BSC          | BSC   | Boro Silicate Crown     |
| 크 라 운    | K                | K             | K              | C            | HC    | Hard Crown              |
| 아연 크라운   | ZK               | ZK            | ZK             | ZnC          | ZC    | Zinc Crown              |
| 경바륨크라운   | BaLK             | BaLK          | BaLK           | BaCL         |       |                         |
| 바륨 크라운   | BaK              | BaK           | BaK            | BaC          | MBG   | Medium Barium Crown     |
| 중(바륨)크라운 | SK               | SK            | SK             | BaCD         | DBG   | Dense Barium Crown      |
| 특중 크라운   | SSK              | SSK           | SSK            | BaCED        |       |                         |
| 란탄 크라운   | LaK              | LaK           | LaK            | LaCL         | SBC   | Special Barium Crown    |
|          |                  |               | LaSK           | LaC<br>TaC   |       |                         |
| 특수 크라운   | PKS              | PK에 통합시<br>킴  | PKS            | PCS          |       |                         |
|          | PSKS             | PSK에 통합시<br>킴 |                |              |       |                         |
|          |                  | TiK           |                |              |       |                         |
|          |                  | LgSK          |                |              |       |                         |
|          |                  |               |                | ADC          |       |                         |
| 크라운플린트   | KF               | KF            | KF             | CF           | TF    | Telescope Flint         |
| 특경플린트    | LLF              | LLF           | LLF            | FEL          | ELF   | Extra Light Flint       |
| 경플린트     | LF               | LF            | LF             | FL           | LF    | Light Flint             |
| 플린트      | F                | F             | F              | F            | DF    | Dense Flint             |
| 중플린트     | SF               | SF            | SF             | FD           | EDF   | Extra Dense Flint       |
|          |                  |               |                |              | DEDf  | Dense Extra Dense Flint |
| 경바륨플린트   | BaLF             | BaLF          | BaLF           | BaFL         |       |                         |
| 바륨플린트    | BaF              | BaF           | BaF            | BaF          | BF    | Barium Flint            |
| 중바륨플린트   | BaSF             | BaSF          | BaSF           | BaFD         |       |                         |
| 안티몬 플린트  | KzF              | KzF           | KzF            | SbF          |       |                         |
| 란탄 플린트   | LaF              | LaF           | LaF            | LaFL         | SBF   | Special Barium Flint    |
|          |                  |               | LaSF           | LaSF         |       |                         |
| 특수 플린트   | KzFS             | KzFS          | KzFS           | ADF          | Bor.F | Borate Flint            |
|          | SFS              | SF에 통합시<br>킴  | SFS            | FDS          |       |                         |

| 명칭 | 쇼트(Schott)사 (서독) |                | 오하라 광학<br>(일본)      | 호야초자<br>(일본) | 기호 | 찬스 필킹톤(영국) |
|----|------------------|----------------|---------------------|--------------|----|------------|
|    | 1956년이전          | 1966년이후        |                     |              |    | 명칭         |
|    | BaSF5            | BaSF에 통합<br>시킴 |                     |              |    |            |
|    |                  | TiF            | (KF8, LLF8,<br>F16) | FF           |    |            |
|    |                  | TiSF           |                     |              |    |            |

은 쇼트사와 유사하나 분류방법이 일치하지 않고, 우연히 명칭이 같더라도 굴절률과 아베수가 달라서 호환성이 없다.

## 7.2 광학적 성질

### 7.2.1. 굴절률과 분산식

우리가 어떤 광학유리의 굴절률을 지칭할 때에는 프라운호퍼선(Fraunhofer line)중에서 d선(파장 587.56nm)에 대한 굴절률인  $n_d$ 값을 의미한다. 그러나, 렌즈설계 등에는 색수차의 보정 등을

위하여 다른 프라운호퍼선에 대해서도 굴절률을 알아야 하므로 광학유리의 카다로그에는 다른 선들에 대한 굴절률도 수록되어 있다. 흔히 굴절률이 측정되어 표시되는 프라운호퍼선은 표 7-2와 같다. 여기에서 632.8nm는 헬륨-네온 기체 레이저의 출력과장으로 프라운호퍼선은 아니나 최근에 헬륨-네온 기체 레이저가 많이 쓰이게 됨에 이과장에서의 굴절률도 수록되어 있는 것이 보통이다.

단색의 빛(monochromatic light)을 순수하게, 또한, 손쉽게 얻을 수 있다는 장점때문에 이러한 프라운호퍼선들이 사용되기는 하지만 이렇

표 7-2. 굴절률 측정에 사용되는 프라운호퍼선

| 파장(nm)  | 스펙트럼선          |   |   |   |   | 광원       |    |
|---------|----------------|---|---|---|---|----------|----|
| 1013.98 | t              | 적 | 외 | 수 | 은 | Hg       |    |
| 852.11  | s              | 적 | 외 | 세 | 습 | Cs       |    |
| 768.19  | A              | 적 | 외 | 칼 | 륨 | K        |    |
| 706.52  | r              | 적 | 색 | 헬 | 륨 | He       |    |
| 656.27  | C              | 적 | 색 | 수 | 소 | H        |    |
| 643.85  | C'             | 적 | 색 | 카 | 드 | 뮴        | Cd |
| 632.8   | (헬륨 네온 가스레이저선) |   |   |   |   | 헬륨네온 레이저 |    |
| 589.29  | D              | 황 | 색 | 나 | 트 | 륨        | Na |
| 587.56  | d              | 황 | 색 | 헬 | 륨 | He       |    |
| 546.07  | e              | 녹 | 색 | 수 | 은 | Hg       |    |
| 486.13  | F              | 청 | 색 | 수 | 소 | H        |    |
| 479.99  | F'             | 청 | 색 | 카 | 드 | 뮴        | Cd |
| 435.84  | g              | 청 | 색 | 수 | 은 | Hg       |    |
| 404.66  | h              | 자 | 색 | 수 | 은 | Hg       |    |
| 365.01  | i              | 자 | 색 | 수 | 은 | Hg       |    |

게 측정된 값은 연속적이지 못하고 띄엄띄엄 존재하게 되므로 측정값과 측정값 사이에 있는 파장에서의 굴절률을 알 수는 없다. 따라서 측정값들을 바탕으로 하여 이들 측정값들을 매끄럽게 연결하는 곡선의 파장과 굴절률간의 관계를 나타낸 식이 필요하게 된다. 이러한 관계식을 분산식(分散式)이라 한다. 측정값은 단색을 얻을 수 있는 광원상의 제약과 측정시 소요되는 비용, 시간 등의 문제 때문에 몇몇 특정 파장에 대한 굴절률을 구하는 것이 고작이지만, 분산식을 이용하면 일정범위내에 있는 임의의 파장에서의 굴절률을 구하는 것이 가능하다. 이러한 분산식도 여러가지 종류가 존재하는데, 이 중에서 광학유리에 관한 분산식에서는 쇼트사에서 사용하고 있는 양자론(量子論)으로부터 유도된 다음의 식이 가장 잘 맞는다고 알려져 있다. 대부분의 광학유리회사에서는 이 분산식을 채택하고 있다.

$$n^2 = A_0 + A_1 \lambda^2 + A_2 \frac{1}{\lambda^2} + A_3 \frac{1}{\lambda^4} + A_4 \frac{1}{\lambda^6} + A_5 \frac{1}{\lambda^8}$$

이때,  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ 는 상수값으로서 측정치로부터 계산에 의해 구해지며, 유리의 종류에 따라서 제각기 다른 값을 갖게 된다.  $\lambda$ 는 굴절률을 알고자하는 파장으로 그 단위는  $\mu\text{m}$ 이다. 이 식에 의해 계산된 굴절률과 측정치 사이의 오차는  $1/100,000$ 이하인 것으로 알려져 있다. 하지만 광학유리의 경우 가시부에서는 잘 들어맞으나 자외부와 적외부에서는 흡수영역이 있기 때문에 굴절률에 이상변화(異常變化)가 일어나 분산식이 들어맞지 않으므로 세심한 주의를 요한다.

## 7.2.2. 아베수

아베수는 전호에서도 설명한 바와 같이  $nd$ 를 주파장(主波長)으로 하여 다음과 같이 계산된다.

$$Vd = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad (7-2)$$

이  $vd$ 값은  $nd$ 값과 함께 그 광학유리의 광학적 특성을 대표해주게 되는 주요한 값이 된다.

통상 광학기기의 설계는  $nd$ 와  $vd$ 를 이용하여 이뤄지지만, 사람의 육안으로 관찰이 이뤄지는 망원경, 쌍안경, 현미경 등의 설계에는  $e$ 선의 파장이 주파장으로 사용되므로(사람의 눈은 녹색에 대해서 가장 감도가 좋기 때문에 이와 가장 근접한  $e$ 선이 주파장으로 따라 사용된다) 이때에는  $n_e$ 값과 함께 다음과 같이 정의되는  $ve$ 값이 사용된다.

$$Ve = \frac{n_e - 1}{n_F - n_C} \quad (7-3)$$

이러한  $vd$  또는  $ve$ 는 색수차의 보정을 위한 몰색화에 이용되게 된다. 이외에도 2차 스펙트럼의 보정을 위하여 부분분산이 이용되기도 하는데, 이 부분분산은 다음과 같이 정의된다.

$$P_{xy} = \frac{n_x - n_y}{n_F - n_C} \quad (7-4)$$

$$P_{xy} = \frac{n_x - n_y}{n_F - n_C} \quad (7-5)$$

## 7.3 화학적 성질

렌즈연마 중에 생기는 백변색(白ヤケ), 청변색(靑ヤケ), 잠상 등의 표면열화(表面劣化)현상은 유리가 화학적 내구성이 없을 때 유리의 성분과 물 또는 세제 등과의 화학반응에 의해 발생한다. 이러한 표면열화 현상의 원인은 다음과 같다.

### 7.3.1 백변색

유리의 표면에 물방울이 묻거나, 온도, 습도의 급격한 변화에 의해서 공기 중의 수분이 유리표면에 노결(露結) 되었을 때 발생한다. 유리 중의 가용 성분과 물이 반응하여 유리표면이 거칠어지거나 물기가 증발한 후에 용출성분이나 용출성분과 공기 중의 기체(예를 들면 탄산가스)와의 반응 생성물이 석출하여 표면이 하얗게 보이는 것을 말한다.

일단 연마가 끝난 렌즈라 하더라도 공기 중에서

오래 보관할 때에는 이러한 현상이 생기기 쉬우므로 방습제를 사용하거나 렌즈표면을 코팅함으로써 백변색을 방지할 수 있다.

### 7.3.2 청변색

유리가 물과 접촉하면 유리 중의 양이온과 물속의 '하이드록실 이온과의 이온교환반응에 의해 유리표면에 모재(母材)인 유리보다 굴절률이 낮은 변성층이 생겨서 간섭색(마치 얇은 막을 유리표면에 코팅했을 때 생기는 간섭색과 같다)이 나타나게 된다. 이것을 청변색이라 한다.

### 7.3.3 잠상(潛像)

연마시 유리 표면에 생긴 눈에 보이지 않는 미소한 상처가 세척 공정에서 특히 세제용액 중의 성분에 의해서 표면침식이 일어나 눈에 보일 정도의 크기까지 상처가 커지는 것을 잠상이라 한다. 세제 중에서  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  등의 성분이 가수분해하여 수산이온을 만들어 이것이 유리를 침식하는 경우와 중합인산 염과 같이 중합인산염 이온이 유리를 침식하는 경우가 있다.

세척 공정에서 사용되는 초음파의 강도에 따라서 이러한 화학반응이 빨라지거나 느려지므로 잠상이 생기는 경우에는 초음파의 강도를 낮추고 세척시간을 짧게 하므로써 잠상의 발생을 피할 수 있다.

## 7.4 기계적 성질

### 7.4.1 누프 경도

평면으로 연마된 유리면에 모서리간의 각도가  $172^\circ 30'$ 과  $130^\circ$ 인 다이아몬드 사각뿔 압자(壓子)에 0.1kg중의 하중을 15초간 가하여 자국을 만든 후 다음 식에 의해서 누프 경도를 산출한다.

$$H_k = 14.23 \frac{D}{\ell^2} \text{ (kg중/mm}^2\text{)} \quad (7-6)$$

여기에서 오는 압자에 가해주는 하중(kg중),  $\ell$ 은 자국에 생긴 대각선중에서 긴 쪽의 길이(mm)이다.

다이아몬드 레진이나 펠릿에 의한 연마시에 경도가 연마속도에 영향을 미치게 되므로 이 누프 경도를 보고 연마속도를 추측할 수 있다. 즉, 경도가 높을수록 연마속도는 느려지게 된다.

### 7.4.2 마모도

측정면적이  $9\text{cm}^2$ 인 시료를 수평하게 매분 60회 회전하는 주철제 평면 연마반에서 중심으로부터 80mm의 정해진 위치를 유지하면서 평균 직경이  $20\mu\text{m}$ 인 알루미나 입자 10g을 물 20ml에 첨가하여 이것을 연마제로서 5분간 일정하게 공급하면서 1kg중의 하중을 걸어서 랩핑(lapping)해준다. 랩핑 전후에 있어 시료의 중량을 재서 마모된 중량을 구해낸다. 동일한 방법으로 BK7의 마모된 중량을 측정하여 다음 식에 의해서 마모도를 산출해낸다.

$$\text{마모도} = \frac{\text{시료의 마모중량} / \text{비중}}{\text{표준시료의 마모중량} / \text{비중}} \times 100 \quad (7-7)$$

이 마모도를 가지고 유리된 연마제에 의해 유리를 연마할 때의 연마속도를 추측할 수 있다.

## 8. 광학용 플라스틱

최근에는 플라스틱 재료의 발달로 플라스틱 중 투명한 것들이 광학재료로서 사용되게 되었다. 플라스틱은 사출 등의 방법에 의해서 대량생산이 가능하기 때문에 큰 관심을 끌고 있으나 아직은 유리와 같이 종류가 다양하지 못하고, 온도에 따른 길이의 변화가 크다는 등의 단점이 있기 때문에 특정한 용도로만 쓰이고 있다. 이러한 플라스틱

유리에 대한 특징은 다음과 같다.

- ① 비중이 유리에 비해서 작다.
- ② 열팽창률이 비교적 크다.
- ③ 내열성이 없다.
- ④ 기계적 강도가 낮다.
- ⑤ 표면경도가 낮다.
- ⑥ 전반적으로 굴절률이 낮다.
- ⑦ 굴절률의 불균일도가 크며, 온도변화에 따른 굴절률의 변화가 크다.
- ⑧ 충격에 강하며, 깨져도 완전하다.
- ⑨ 사출 등의 방법에 의해서 대량 생산이 쉽다.

가볍고 충격에 강하며 깨져도 안전한 성질은 안경용 렌즈에 적합한 성질이므로 최근에는 안경용 렌즈를 플라스틱으로 만드는 일이 많아졌다. 이때에 경도가 낮아 렌즈표면에 흠집이 생기기 쉬운 문제점은 렌즈표면에 내마모성 코팅을 행해주므로써 극복하고 있다.

대부분의 플라스틱 재료가 크라운 유리 같은 특성을 나타내므로 색수차의 보정을 위해 플린트 유리와 함께 쓰이는 경우가 많다. 이러한 점도 플라스틱을 광학재료로서 사용하는데 제약이 되고 있다.

광학계에 사용되는 플라스틱 렌즈는 비구면으로도 많이 사용되는데, 레이저 디스크 플레이어 픽업에 사용되는 비구면 렌즈는 매우 성공한 예라 할 수 있다. 사진기용 렌즈에도 일부 플라스틱 렌즈가 사용되고 있으나 보편적이라고는 할 수 없다.

플라스틱의 가공방법으로는 유리의 가공과 같이 연마가 이용되기도 하지만 대부분 사출성형에 의하고 있다.

플라스틱은 열을 가했을 때의 반응에 따라서 열가소성과 열경화성 수지로 크게 나눌 수 있다. 열가소성 수지는 열을 가하면 물렁물렁하게 되어 물과 같이 흐르게 되는 것으로서 염화비닐, 폴리스티롤, 아크릴수지 등이 이에 속한다. 열경화성 수지는 가열하면 반대로 딱딱해지는 특성을 가지고

있으며, 더욱 가열하여 온도를 올려주면 분해된다. 이에 는 베이크라이트, CR-39 등이 있다.

성형법에 의한 가공방법에는 주형법, 압축성형법, 사출성형법 등이 있다. 주형법은 렌즈의 금형을 만들고 여기에 모노머(monomer)를 넣은 후 가열하여 중합반응이 일어나게 함으로써 완성품을 얻는 방법으로 변형이 적고 정밀도가 높은 반면, 작업성은 그다지 좋지 않다. 또한, 중합반응이 일어날 때에 체적에 수축이 따르므로 이점을 주의해야 한다. 이방법은 CR-39 를 이용하여 안경용 렌즈를 제조하는 데에 사용된다. 금형으로서 는 유리로 된 것이 사용된다.

압축성형은 원래 열경화성 수지의 성형에 사용되는 방법으로 용융된 수지가 금형안에서 흐르지 않아 배향(配向)변형이 작기 때문에 광학제품을 만드는데 좋다. 성형정밀도는 비교적 양호하며, 대형 렌즈의 생산이나 고급 프레넬 렌즈(Fresnel lens)의 제조 등에 사용된다.

사출성형은 그 공정이 압축성형과 동일하나 이 경우에는 수지가 유동성을 가진다는 점이 압축성형과 다르다. 이 방법은 열가소성 수지에 대해서만 사용이 가능하며, 수지가 흐르기 때문에 배향 변형이 생기고 정밀도가 안 좋으나 대량 생산에는 적합하다. 플라스틱 렌즈의 대부분은 이 사출성형에 의해 만들어진다. 즉석 사진기용 촬영렌즈, 콘덴서 렌즈, 뷰우 파인더용 렌즈, 확대경 등이 이 방법에 의해서 만들어진다.

소프트 콘택트 렌즈의 경우에는 스피닝(spining)에 의한 원심력을 이용하여 만들어진다.

현재 보편적으로 사용되고 있는 광학용 플라스틱들의 특성은 표 8-1과 같다.

## 9. 광학 결정

우리는 구성원소들이 임의로 놓여 있어 어느 방향으로나 동일한 광학적 성질을 나타내는 등방체이지만 결정의 경우에는 결정 구조, 방향에 따라서 다른 광학적 성질을 나타내는 이방체인 경우

표 8-1. 광학용 플라스틱의 종류와 특성

| 종 류                | 굴절률(nd)     | 아베수(Vd) | 비중   | 일반적 특성  |
|--------------------|-------------|---------|------|---|
| 폴리메틸메탈아크릴레이트(PMMA) | 1.485~1.50  | 57      | 1.19 | 열가소성으로 투명성 및 내후성이 우수하다.                               |
| 폴리스티롤              | 1.591~1.592 | 31      | 1.05 | 열가소성으로 굴절률이 높고 투명성이 양호하다. 내열성 및 내후성이 안 좋아 균열이 생기기 쉽다. |
| 폴리카보네이트(PC)        | 1.584       | 34.8    | 1.20 | 열가소성으로 사출성형이 가능하다. 굴절률이 높고 내충격강도도 크나 내후성이 좋지 않다.      |
| 디에틸렌 글리콜 아크릴 카보네이트 | 1.504       | 57.8    | 1.32 | 열경화성이며, 내열성, 경도가 높다. 안경렌즈에 사용된다.                      |

가 많다. 이러한 이방성이 결정재료를 광학재료로서 사용하는 데에 이용되는 경우가 많다. 또한, 유리의 경우는 자외부와 적외부에서의 투명도가 좋지 않기 때문에 결정이 이용되기도 한다.

수정, 압연, 형석, 방해석 등의 천연결정이 예로부터 사용되어 왔으나 최근에는 결정을 기르는 기술이 발전함에 따라서 천연결정보다 우수한 광학 특성을 갖는 인공결정이 속속 개발되어 사용되기에 이르렀다. 실리콘이나 게르마늄 등의 단결정은 본디 반도체 재료로서 사용되던 것이지만 적외선 영역에서의 투과도가 우수하기 때문에 적외선용 광학부품의 재료로서 널리 쓰이게 되었다.

이 이외에도 루비, 사파이어 등의 보석류가 광학재료로서 사용되고 있으며, 드물게는 다이아몬드도 광학재료로서 사용된다. 또한, 불화마그네슘은 무반사 코팅용 재료로서 쓰이고 있다.

압연은 적외선 영역 분광기용 분산프리즘이나 일부 적외선 레이저용 창(Window) 등으로 사용된다. 하지만 수분에 쉽게 녹기 때문에 연마시에 많은 어려움이 따르며, 공기 중의 수분에 의해서도 파손이 일어나기 때문에 사용시 세심한 주의가 필요하다.

형석의 가장 보편적인 용도는 렌즈계에서 2차 스펙트럼에 의한 색수차를 제거하는 것이다. 형석

은 광학유리와는 전혀 다른 굴절률-분산 관계를 가지므로 광학유리와 함께 사용되어 2차 스펙트럼에 의한 색수차까지를 제거해 줄 수 있다. 이러한 렌즈를 아포크로매틱 렌즈(apochromatic lens)라 하는데, 현미경 대물렌즈에 사용된 것은 1870년 부터로 비교적 긴 역사를 갖고 있다. 형석은 경도가 낮아 흠집이 생기기 쉽기 때문에 렌즈계의 표면에 나오지 않고 렌즈계 내부에 존재하게 된다. 이 재료의 약점은 주위 온도에 따라서 치수가 크게 변하므로 렌즈의 초점거리 변화를 초래한다는 것이다. 각 렌즈 메이커에서는 이 형석을 이용하여 2차 스펙트럼까지 색수차를 제거한 렌즈계를 고급품으로서 공급하고 있다.

수정의 경우는 적외부와 자외부에서의 투과도가 좋으므로 창이나 렌즈의 재료로 사용된다. 또한 복굴절 현상을 이용하여 편광 필터 등의 제조에도 이용된다. 비디오 카메라의 촬상소자인 CCD 앞에 놓이는 공간 필터는 이 수정을 이용한 것이다. 수정은 결정축 중 어느 축에 수직하게 자르느냐에 따라서 광학적 성질이 달라지게 되므로 수정을 절단한 재료는 반드시 그 절단 방향을 표시하게 되어 있다.

방해석의 복굴절은 널리 알려진 것으로 이 성질을 이용하여 편광 필터 등에 사용된다.



실리콘이나 게르마늄의 경우에는 가시부에서는 불투명하여 광학재료로서 이용할 수 없으나 적외부에서는 투명하므로 적외선 레이저용 광학부품을 만드는데 널리 이용되고 있다. 이러한 재료는 굴절률이 높는데(파장 10 $\mu\text{m}$ 에서 게르마늄은 4,

실리콘은 3.4), 이 때문에 비교적 작은 곡률로도 짧은 초점거리를 얻을 수 있어서 그 제작이 쉬우나 반면에 반사로 인한 빛의 손실이 많이 일어나기 때문에 적절한 코팅에 의해서 표면에서의 반사도를 낮춰 주어야 한다.

표 9-1. 광학 결정의 종류

| 결 정                         | 성 질                              | 용 도                 |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|
| 암염 (NaCl)                   | 물에 녹기 쉬우며, 적외및 가시부에서 투명          | 적외분광기용 프리즘, 적외선용 창  |
| 형석 (CaF <sub>2</sub> )      | 광학유리와 다른 굴절률-분산 특성을 나타냄          | 아포크로마틱 렌즈           |
| 불화 마그네슘 (MgF <sub>2</sub> ) | 코팅시 안정하며, 가시, 적외부에서 투과도가 높다.     | 코팅약품                |
| 루비                          | 경도가 높다. 적색                       | 루비레이저 붐             |
| 사파이어                        | 경도가 높다. 청색, 근적외부와 가시부에서 투명       | 창                   |
| 수정 (석영)                     | 자외, 가시, 적외부에서 모두 투명·경도가 높다.      | 창, 프리즘, 렌즈, 필터등의 재료 |
| 다이아몬드                       | 가시부에서 굴절률이 높고, 경도가 높다.           | 우주 광학용 재료           |
| 실리콘 (Si)                    | 가시부에서 불투명하며 적외부에서 투명하다. 가공성이 좋다. | 적외선용 렌즈, 돔 (dome)   |
| 게르마늄 (Ge)                   | 가시부에서 불투명하며 적외부에서 투명하다. 가격이 비싸다. | 적외선용렌즈, 창           |
| 방해석 (CaCo <sub>3</sub> )    | 부서지기 쉽고, 상광선과 이상광선의 굴절률 차이가 크다.  | 선형편광기(니콜프리즘)        |