

렌즈 가공 기술 현황

The Current Trends of Lens Making

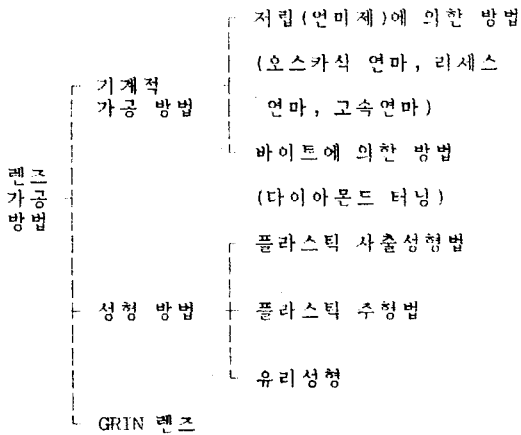
계종욱 박종영 정해빈
삼양광학공업주식회사

최근 새로운 렌즈 가공기술들이 개발됨에 따라 종전에는 가공 자체가 불가능하거나 생산에 많은 비용이 들던 광학 소자들이 저렴한 가격으로 생산이 가능하게 되었다. 이 논문에서는 실제 생산에 사용되고 있는 렌즈 가공기술들을 분류하고 그 특징과 실제 사용하고 있는 분야에 대해서 논하였다. 또한 장래의 전망에 대해서도 예측해 보았다.

1. 서론

현재 널리 사용되고 있는 렌즈 가공방식은 대략적으로 아래의 <그림 1>과 같이 나눌 수 있다. 기계적 가공방식은 연마제나 화이트등을 기계적으로

으로 주로 저급의 렌즈나 비구면 렌즈 제조에 이용되고 있다. 또한 최근에는 렌즈를 만드는 재료 자체에 공간적으로 굴절률 분포의 변화를 준 이른바 GRIN 재질도 렌즈 제조에 이용되고 있다.



<그림 1> 렌즈 가공 방법의 분류

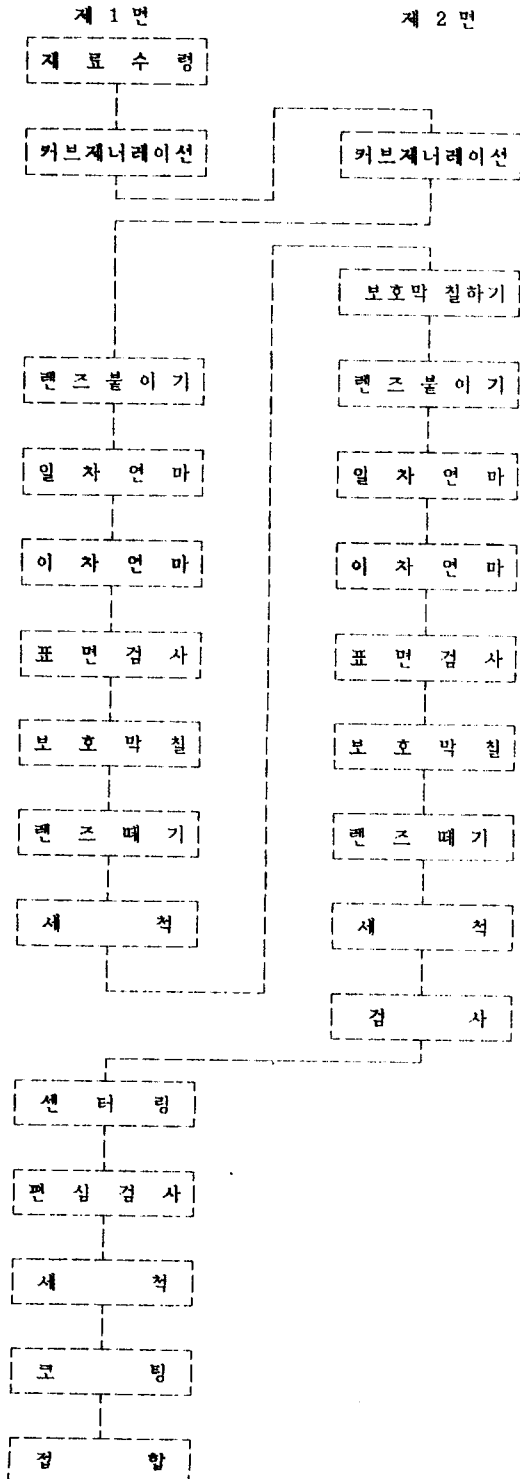
접촉시켜서 피가공물을 마모시키거나 깎아내어 가공하는 방식이며 대체로 높은 정밀도를 갖는 렌즈 제작에 이용되고 있다. 한편 성형방법은 유리 또는 플라스틱 재료에 열을 가하여 만들거나 하는 렌즈 형상과 같은 공동(空洞)을 갖는 금형 내부에 주입하여 원하는 형상의 렌즈를 만들어내는 방식

2. 기계적 가공방법

기계적 가공은 크게 2가지로 나뉜다. 첫째는 저립을 사용하는 방법으로 렌즈 제작의 가장 전통적인 방법이다. 만들거나 하는 유리의 표면형상과 반대되는 연마공구와 연마제를 써서 기계적 접촉에 의해 유리 표면을 마모시키면서 원하는 표면형상을 만들어낸다. 주로 구면렌즈의 제작에 사용되는 이 방식은 다시 연마공구에 연마제가 고정되어 있는 방식과 연마제가 연마공구와 작업물 사이를 옮겨다니면서 연마되는 2가지로 나뉜다. 둘째는 다이아몬드 입자를 박은 화이트를 써서 일종의 고정밀도 선반에 의해 렌즈를 가공하는 방법으로 비교적 최근에 실용화된 방법이다. 이 방식은 회전 대칭성을 갖는 비구면 가공이 가능하다는 장점을 갖는다.

2.1 저립에 의한 방법[1]

저립을 사용하여 렌즈를 가공하는 가장 일반적



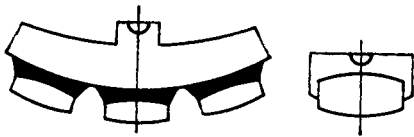
<그림 2> 렌즈연마 공정의 흐름[2]

인 공정순서는 다음의 <그림2>와 같다. 이러한 제
 래식연마 방법에서는 작업물을 고정시키는 방법에
 따라서 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 흔히 오스
 카식이라 불리는 방식으로 피지, 송진, 파라핀
 등의 접착제를 이용하여 고정시키는 방법과 둘째
 는 고속연마라 불리는 방식으로 단순히 캡에 의
 해서 일시적으로 고정시키는 방법이 있다. 접착제
 를 이용하여 고정시키는 방법은 설비 투자가 적게
 들기 때문에 많이 사용되는 방법의 하나이다. 이
 러한 방법도 다시 접착제(주로 아스팔트) 블록을
 이용하여 고정시키는 일반적인 방법과 렌즈의 부
 착될 부분과 일치하는 홈을 작업공구에 파서 고정
 시키는 리세스식이 있다. 접착제 블록방식과 리세
 스틱의 차이점은 리세스식의 경우는 커브제너레이
 션에서 세척에 이르는 모든 공정을 하나의 작업공
 구에 여러개의 렌즈를 붙인 상태에서 일괄적으로
 작업한다는 데에 특징이 있다. 따라서 작업의 효
 율과 작업성이 높지만 반면에 공구의 제작이 어렵
 고 제작 비용이 많이 들기 때문에 제작 수량이 많
 고 전용공구를 가공할 수 있을 정도의 높은 기계
 가공 수준을 갖고 있어야만 이 방법을 사용할 수
 있다. 이러한 이유 때문에 실제로 이 방법을 사
 용하는 회사는 많지 않다.

고속연마 방식에서는 하나하나의 렌즈를 캡이라
 부르는 지지구에 의해서 지지한 상태에서 작업이
 이뤄지므로 접착제로 렌즈를 지지구에 붙이고 떼
 는 작업이 필요없어 사람의 손이 덜가고 접착제로
 렌즈를 붙이는 공정 자체가 갖는 고열, 냄새, 접
 착제에 의한 손이나 의복의 더럽혀짐 등의 문제가
 없기 때문에 작업자들이 이 방식을 선호하고 있다.
 또한 작업자는 단순히 캡안에 렌즈를 넣고 빼는
 작업만 하면 되므로 생산성이 높고 특별한 기술을
 필요로하지 않으므로 비교적 미숙련자에 의해서도
 작업이 가능하다. 또한 이 방식은 자동화내지는 공
 장 무인화의 연장선상에 있기 때문에 많은 회사들

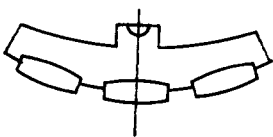
이 방법을 선택하고 있다.[3]

이 방식에서는 하나의 연마축에 대해서 한 번에 한 개의 렌즈만을 가공하기 때문에 재래의 오스카 연마기가 한 번에 여러개의 렌즈를 붙여서 작업할 수 있는 것에 비해서는 약점이 되므로 스펀들의 회전수를 크게하여 이 점을 극복하고 있다. 고속 연마라는 이름은 이 방식에 사용되는 연마기의 연마축 회전속도가 오스카식 연마기에 비해 상당히 빠르기 때문에 붙여진 이름이다. 이들 방식에서 렌즈를 고정하는 방식은 <그림3>에 나타난 바와 같다.



오스카 방식

고속 연마



리세스 방식

<그림3> 렌즈의 고정 방식

접착제 블록을 이용한 오스카 방식은 작업속도가 느린 대신 높은 정밀도를 얻을 수 있고, 곡률이 작은 면의 경우에는 하나의 작업 공구에 많은 수의 렌즈를 붙일 수 있기 때문에 프리즘, 평면경, 구면경 등의 비교적 곡률이 작은 것과 고정밀도를 요하는 렌즈등에 사용되고 있다. 또한 렌즈의 구경이 큰 경우(ϕ 100mm 이상)에는 고속연마 방식으로 작업에 의해서 공작물을 지지하기 어려우므로 오스카 방식이 사용된다.

리세스식의 경우에는 작업 공구의 제작에 많은 비용이 들고 몇가지 전용 가공기가 필요하므로 수량이 많고 비교적 곡률과 직경이 작은 렌즈의 생

산에만 이용된다. 이러한 예의 대표적인 것으로는 컴팩트 카메라용의 렌즈가 있다.

고속 연마방식은 오스카식에 비해 연마시 흠집이 많이 나고 정밀도가 낮은 것이 단점으로 지적되고 있으나 이러한 단점에 대한 많은 개선 노력이 이루어지고 있고 무엇보다 생산성이 높다는 장점과 자동화의 가능성 때문에 현재에도 많이 쓰이고 있고 자동화가 보편화 될 경우 더욱 많이 쓰이게 될 것이다. 이 방식으로는 카메라나 쌍안경 등의 거의 모든 렌즈가 생산되고 있으며 계속해서 활용 범위가 넓어지고 있다. 정밀도에 있어서도 숙련된 작업자의 경우 $\lambda/10$ 정도의 평면도를 갖는 평면의 생산이 가능하므로 실제로는 오스카식에 비하여 크게 뒤떨어지지 않는다. 고속 연마기는 제작 회사마다 약간씩 다른 구조를 가지며 그에 따른 특징이 다르다.

저립에 의한 연마 방법은 또한 연마제가 연마 공구에 연마제가 고정되어 있는 고정 저립 방식과 연마제가 연마 공구와 분리되어 있는 유리 저립 방식으로 나눌 수 있다.

연마공구에 연마제가 고정되어 있는 방식에서는 연마제로서 천연산 또는 인공의 다이아몬드 가루가 이용되는데, 이러한 다이아몬드 가루는 소결이나 본드에 의해서 연마공구에 부착되게 되며, 작업물의 연마는 연마공구에 붙어 있는 다이아몬드 가루에 의해서 이뤄지게 된다. 이 방식에서의 연마 원리는 저립을 써서 작업물을 굽어내는 것이다. 따라서 이 상태에서는 연마 과정에서 발생하는 유리의 가루는 연마에 관여하지 않으며 다이아몬드를 고정시키기 위한 매탈 본드는 가공물인 유리보다 경도가 낮기 때문에 유리에 의해 갈리게 되어 자동으로 드레싱이 되는 효과가 얻어진다.[4] 이 방법의 장점으로서는 가공 시간이 단축되며, 작업환경이 깨끗하고 같은 매쉬넘버의 유리저립을 사용한 경우보다 매끄러운 표면이 얻어져 이 이후의

작업시간이 짧아진다는 장점이 있어서 대량생산에 적합한 방법이다. 반면에 단점으로는 연마공구의 제작과 수정이 간단하지 않고 대량 생산시에는 코스트가 높아진다는 단점이 있다. 고정저립을 이용한 다른 응용 방법으로는 작은 연마공구를 컴퓨터로 수치제어를 해가면서 작업물을 부분적으로 연마하는 방법이 있다. 이 방법으로는 회전대칭성을 갖지 않는 비구면도 연마가 가능하다.[5-6]

유리 저립에 의한 방식은 연마 원리가 연마제에 의해 피가공물에 마이크로 크랙이 생긴 후 이 조각들이 떨어져 나가면서 이뤄지는 것이다. 따라서 연마제뿐만 아니라 연마제에 의해서 깎여나온 유리 가부도 연마에 참여하게 된다. 이 방식에서는 연마 과정에서 작업물 뿐만 아니라 연마 공구에도 마모가 일어나므로 연마공구의 잦은 수정이 불가피하다. 주로 샘플 제작이나 소량 생산에 주로 이용된다.

2. 2 바이트에 의한 방법 [7-8]

흔히 다이아몬드 터닝(Diamond Turning)이라 불리는 이 방식은 끝에 구형(球形)의 다이아몬드 알갱이를 박은 바이트를 사용하여 마치 일반 선반과 같은 방식으로 평면, 구면 또는 회전 대칭성을 갖는 비구면을 가공하는 방법이다. 회전축의 진동을 없애기 위해서는 공기 배어링이 사용되며, 정확한 위치제어를 위해서 간섭계가 이용되고 있다. 또한 컴퓨터에 의해서 제어되므로 임의의 회전 대칭성을 갖는 비구면 렌즈를 제작할 수 있다. 이 방법에 의한 제품의 상업화된 대표적인 예로는 필립스의 콤팩트 디스크 플레이어 픽업용 비구면 렌즈를 들 수 있다. 이 방법의 장점은 회전 대칭성을 갖는 거의 모든 형상의 광학면을 높은 정밀도를 갖는 경면(鏡面)으로 가공할 수 있다는 것이다. 반면에 단점으로는 장비가 매우 고가이고, 가공속도가 느리다는 것이다. 따라서 주로 양산용으

로 사용되기보다는 샘플 제작용이나 성형 가공을 위한 금형제작등에 이용된다. 또한 레이저용 공진기 미러의 제작, 레이저 프린터용 스캐너에 사용되는 다면경 (polygon mirror) 등의 제작에 사용된다.

3. 성형

광학소자의 성형에는 플라스틱의 사출성형, 주형법과 유리의 성형이 사용되고 있다. 이들 각각에 대해 살펴보면 다음과 같다.

3.1 사출성형 [9]

플라스틱 재료는 열을 가해짐에 따라 물렁물렁해지는 열가소성 수지와 반대로 열을 가해짐에 따라서 딱딱해지는 열경화성 수지로 나뉘진다. 사출성형은 가열하여 유동 상태로 만들어준 수지 재료를 달려진 금형의 공동부(空洞部; cavity)에 압력을 가하면서 주입한 후 금형내에서 고화시켜서 금형의 공동부에 해당하는 성형품을 만드는 방법이다. 따라서 이 방법은 열가소성 수지의 가공에 이용될 수 있다. 이 방법에 의한 가공에는 PMMA, poly-carbonate[10] 등이 많이 이용되고 있다. 작업성은 매우 좋으나 표면 경도가 낮고, 성형시에 수축이 크므로 주로 저급의 렌즈에 사용되며 플라스틱 표면의 경도를 높이기 위해서 anti-abrassive coating이 적용된다. 이 방식으로 제작되는 렌즈계에는 프레넬(Fresnel) 렌즈, 실린드리컬 렌즈 형태의 확대경, 주로 저가의 확대경, 안경렌즈, 저가의 쌍안경, 뷰우 파인더 렌즈등과 카메라의 AF 기구부에 쓰이는 적외선용 콜리메이터 렌즈등이 있다. 또한 현재에는 레이저 디스크 픽업용 렌즈가 플라스틱으로 많이 만들어지고 있으나 점차 유리성형 렌즈로 대체되고 있다.

3.2 주형법 [11]

액체 상태의 수지를 금형에 흘려 넣어 굳혀서

현하는 성형물을 만드는 방법이다. 이 방법은 열경화성 수지인 CR-39를 이용하여 안경용 렌즈를 만들때에 널리 쓰이는 방법으로 통상적으로 금형에서 렌즈면은 통상적인 언마 방법으로 가공된 유리재의 금형이 사용되며 두 면 사이의 간격을 유지하기 위하여 플라스틱재의 링이 끼워진다. 링에 수지 주입을 위한 구멍이 있어 이를 통하여 CR-39를 주입한 후 온도를 올려주면 CR-39의 모노머가 화학 반응을 일으켜 폴리머가 되면서 고화된다. 열경화성 수지는 일반적으로 열가소성 수지보다 경도가 높으므로 CR-39로 만든 안경 렌즈는 열가소성 수지로 만든 안경 렌즈보다 인기가 높다. 이 방식은 플라스틱 안경 렌즈의 제작에 주로 사용된다.

3.3 유리 성형 [12-13]

광학유리를 몰딩하여 완성된 렌즈를 만들어내는 방법이 실험실 단계를 지나 상업화 단계에 이르렀다. 하지만 유리의 연화점이 높아 몰딩 작업시 발생하는 고온과 유리 자체의 높은 경도로 인해 금형에 흠집이 발생하는 등의 문제점 때문에 금형의 수명이 짧으므로 통상적인 구면으로 구성된 렌즈에서는 가격 경쟁이 어렵고 주로 비구면렌즈 또는 이형렌즈 분야에서 실용화되고 있다.

현재의 주된 용도로서는 스틸 카메라(still camera)나 VTR 카메라용의 렌즈에서 전체 구성 렌

즈의 장수를 줄이기 위한 비구면 렌즈, 콤팩트 디스크 플레이어의 적입용 렌즈, 바코드 리더용의 대물렌즈, 레이저 프린터용의 소형 콜리메이터 렌즈 등에 사용되고 있다.

메이커측의 자료에 의하면 이 방식으로 만들 수 있는 제품의 정확도는 다음의 <표1> 과 같다.

4. GRIN 렌즈 [15-17]

종래의 렌즈들이 공간적으로 균일한 굴절률을 갖는 재료를 사용하여 광학면의 형상을 구면 혹은 비구면으로 하여 광선의 경로를 꺾어주게 되는데, GRIN 렌즈는 공간적으로 굴절률의 차이를 갖는 재료를 사용하여 렌즈의 역할을 하게 한다. 이러한 렌즈의 경우는 광학면이 평면이 되므로 형상 가공은 단순하지만 재료 자체에 굴절률 분포를 갖게 하는 것이 어렵다. 이 기술은 광학 IC의 제작에 이용이 기대되는 기술이며 광학 IC의 제조 기술은 근본적으로 전자 IC의 제조기술과 동일하다. 따라서 이에 대한 연구는 주로 광학회사 보다는 반도체 제조 회사에서 이루어지고 있다. 이러한 GRIN 소재를 일반적인 광학계에 응용하는 방안도 모색되고 있으나 실용화 될런지는 의문이다. 비교적 큰 크기의 GRIN 소재를 손쉽게 만들 수 있는 방법이 아직 확립되어 있지 않기 때문에 일반광학제품과 같이 어느 정도의 구경을 갖는 렌즈에는 적용이 힘들기 때문이다.

<표1> 유리 성형 렌즈의 가공 공차 [14]

외경 (mm)	외경공차 (mm)	중심두께공차 (mm)	구면형상공차 (개)	비구면형상공차 (um)	편심 (초)	표면조도 (A)
10 이하	0.01	0.01	뉴턴 2 아스 0.5	형상 <0.4 공차 0.025	< 60	< 100
10-20	0.01	0.02	뉴턴 3 아스 1	형상 <1.0 공차 0.05	< 60	< 100
20-30	0.01	0.02	뉴턴 4 아스 1	형상 <1.5 공차 0.05	< 60	< 100

5. 장래의 전망

스틸 카메라, 비디오 카메라 쌍안경등에 쓰이는 광학부품의 생산은 앞으로도 저립에 의한 연마 방식이 주종을 이루리라 생각된다. 이 중에서 오스카식은 고정밀도의 구면렌즈, 프리즘등의 평면 연마등으로 그 용도가 제한될 것이다. 반면 고속 연마기의 보급은 더욱 확대되어 마침내는 로보트 화에 의한 무인공장의 시대가 올 것이다.

제품을 작고 가볍게 만들기 위한 가장 합리적인 방법은 비구면 렌즈를 사용하는 것인데, 플라스틱 비구면 렌즈의 경우는 소재 자체가 갖는 여러 가지 결점 때문에 응용 범위가 현재 정도에 머무를 것이며, 이 중 일부는 유리 비구면 렌즈에 그 자리를 빼앗기리라 여겨진다. 유리 비구면 렌즈의 성형이 보편화 되면 스틸카메라, 비디오 카메라 등에 널리 사용되어 제품들을 작고 가볍게 하는데 크게 이바지할 것이다. 성형된 플라스틱 구면렌즈는 가볍고 잘 깨지지 않는다는 점에서 안경용 렌즈에 더 많이 사용될 것이며, 이중 초점 렌즈나 누진 초점렌즈에의 응용이 늘어날 것이다.

성형된 유리 구면 렌즈는 기술적으로는 제작이 가능하지만 가공 온도가 높고, 유리의 경도가 높아서 금형의 수명이 짧게 되므로 경제적인 생산수단이 되기 어렵기 때문에 일반적인 생산 방식은 되지 못할 것이다. 다만, 저립에 의한 연마 방식으로는 제조가 어려운 소형 렌즈의 경우는 가격 경쟁력을 가지리라 예상된다.

다이아몬드 터닝은 성형용 금형의 제작에 주로 이용될 것이며, 시작품 제작에 일부 사용될 수 있을 것이다. 다만 평면경의 제작이나 레이저용 미러 등의 제작에는 양산용 기계가 계속해서 사용될 것이다.

GRIN 렌즈는 광학 IC의 제작 방향으로는 기술이 발전하고 응용범위가 넓어지리라 여겨지지만 카메라와 같은 일반광학 제품의 경우에는 그다지 많이 사용될 것 같지는 않다. 다만 군수용품등의 일부 특수한 분야에서는 응용될 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

- [1] 浮田祐吉 외 編集, "光學技術ハンドブック" 朝倉書店(1968) pp.580-674
- [2] 泉谷徹郎, "光學素子加工技術'84 I-1 光學材料と加工", 光學工業技術協會(1984), Ch.2
- [3] KYORITSU SEIKI CO., Lens Curve Generators Catalogue.
- [4] 今中治, 光學技術 III-9, 1 (1984).
- [5] K.Tanaka, Minolta Techno Report, 7, 12, (1990)
- [6] 光學産業新聞, 光學産業新聞社, 1991.4.26
- [7] R.R.Donaldspon, S.R.Patterson, SPIE 433,62 (1983)
- [8] H.K.McCue, SPIE 433, 68 (1983)
- [9] 小倉磐夫 외, "精密プラスチック光學レンズの設計, 成形技術とその問題点", トリケップス (1984)
- [10] Y.Kudo, K.Yoshida, Minolta Techno Report, 5 20 (1988)
- [11] 浮田祐吉 외 編集, "光學技術ハンドブック" 朝倉書店(1968) pp.692-693
- [12] 光學産業新聞, 光學産業新聞社, 1991.5.16
- [13] 野島高治 외, 非球面光學系の設計と利用技術, 第4章, トリケップス (1985)
- [14] HOYA, HOYA Molded Optics Catalogue
- [15] 광소자 기술 WORKSHOP, 생산기술 연구원 (1991)
- [16] M.P.Rimmer, SPIE 399, 339 (1983)
- [17] G.M.Sanger, SPIE 433, 2 (1983)