

광학소자의 가공

형상 전사에 의한 형상 창성(3)

비구면 모형을 한개만 가공한 후, 그것을 이용하여 성형해서 다량의 물품을 만들어 내는 것이 형상 전사, 즉 금형 성형의 원리이다. 비구면 렌즈를 대량으로 만들 경우, 이 방법을 이용하면 한 개, 한 개를 일일이 가공해서 만드는 방법과 비교해 볼 때, 비용이 적게 들고 균일화되고 안정화된 품질을 얻을 수 있다. 현재 일반 카메라 및 핸드폰 카메라용 비구면 렌즈로 크게 활용되고 있다. 본 고에서는 이러한 형상 전사에 의한 형상 창성 가공법에 대해서 설명하겠다.

편집자 주

이 방법은 이미 비구면 형상을 갖추고 있는 금형을 본 떠서 형상을 얻는 것이기 때문에 정확히 말한다면 형상의 '창성'이라고는 할 수 없다. 그러나 재료에 있어서는 이 단계에서 처음으로 비구면 형상이 창출되기 때문에 '창성'이라고 하였다.

비구면 모형을 1개만 가공한 후, 그것을 이용하여 성형해서 다량의 물품을 만들어 내는 것이 형상 전사, 즉 금형 성형의 원리이다. 비구면 렌즈를 대량으로 만들 경우, 이 방법을 이용하면 한 개, 한 개를 일일이 가공해서 만드는 방법과 비교해 볼 때, 비용이 적게 들고 품질면에 있어서도 균일화되고 안정화된 제품을 얻을 수 있다.

이런 목적에서 보면 광학 부품의 주요 재료인 광학 유리를 직접 렌즈로 성형하는 것이 가장 바람직하다. 그러나 이전에는 유리를 대기중에서 금형 성형한 후 완전한 경면을 얻어 내기에는 어려움이 있었다. 또 그러한 성형에 사용할 수 있고, 고온과 고압에도 견딜 수 있는 금형을 제작하기에는 어려움이 있었다. 더욱

이 종래의 유리 프레스의 경험을 통해, 렌즈가 필요로 하는 정도를 성형을 통해서 얻기에는 무리가 있었다라는 견해도 만만치 않다.

다시 말해, 일반적으로 금형 성형에서 문제시 되고 있는 기본적인 사항은 ① 성형할 광학 재료의 선정, ② 성형용 금형의 재료 선정 및 가공 ③ 성형 조건과 도달 정도 등의 3가지 항목이다. 다시 말해 형상 전사 방식을 사용하기 위해서는 단순히 비구면 형상을 부여하는 것만이 아니라 관련된 수많은 기술 항목들을 전부 동시에 성립시킬 필요가 있다고 할 수 있다.

현재, 카메라용 비구면 렌즈 등으로 사용하기 위해 형상전사가 공 방식이 실용화 단계에 있는 것에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) 플라스틱 성형 비구면
- 2) 유리, 플라스틱 복합 성형 비구면
- 3) 유리 성형 비구면

각 항목에 대해 간단히 설명하겠다.

1. 플라스틱 성형 비구면

플라스틱은 온도나 습도로 인한 굴절률 변화가 크고, 반사 방지막을 부착하는 것이 어려운 광학 재료로서 치명적인 결점을 가지고 있지만, 지금까지는 렌즈로 성형할 수 있는 유일한 재료이기 때문에 최근에는 설계를 통해 결점을 커버하고, 카메라 중급기의 렌즈나 CD픽업 렌즈로서 상당히 많이 사용되기 시작했다. 단, 일반적으로 양산을 전제로 하는 사출 성형법을 적용할 수 있는 것은 현재 PMMA (아크릴), 폴리스티렌, 폴리 카보네이트 등 몇 가지에 불과하다.

아크릴 렌즈 성형용 금형 형상면의 표준적인 가공법은 스테인리스계 강철 표면에 무전해 Ni를 성층시킨 후, 그 부분을 다이아몬드로 초정밀 절삭하는 것이다. 단, 이 상태에서는 대부분 표면이 덜 매끄럽기 때문에, 그 후에 폴리싱을 추가하는 경우가 많다. 이 금형으로 아크릴을 사출 성형할 경우, 내구성이 충분히 높고 부주의로 인해 별다른 흠집이 생기지 않는 한, 반영구적으로 사용할 수 있다고 한다.

렌즈를 성형하는데 있어서 중요한 것은 형상 정도와 함께 재료 내부의 광학적인 균질성이다. 이들은 금형 구조와 함께 성형시의 금형 온도, 사출 압력, 형체 압력 등의 영향을 많이 받는다(성형 조건 이외에 재료의 수분 함유의 영향도 중요하다.). 고도의 형상 정도를 얻기 위해서 금형 조임 압력은 높게 설정하고, 성형 중의 온도 압력도 미리 정해 둔 범위 내에서만 변화하도록 제어한다. 그렇게 하기 위해서 NC제어식 성형기가 사용되고 있다.

더욱이 성형 중 압력 등을 계측하여 그것을 최적치로 조절하는 인 프로세스 제어를 하는 경우도 있다.

플라스틱의 경우 중합경화 할 때의 수축률이 크고(아크릴의 경우 0.2~0.6%), 성형을 통해 금형 형상을 그대로 충실하게 전사하기란 상당히 어렵다. 일반적으로 수축이 형상에 미치는 영향을 될 수 있는 한 적게 하기 위해 성형 조건에 대한 연구를 하고는 있지만, 소형 렌즈 등의 경우에는 그 형상차를 계통적인 것으로 보아 이것을 시험 성형을 통해서 측정한 후, 금형 수정을 하는 경우가 많다. 어떠한 경우이든 성형별로 형상에서 편차가 생기면 그 원인을 철저히 찾아 개선하여, 형상의 안전성을 확보하는 것이 가장 중요하다.

비구면 금형의 성형은 비용이 저렴한 제법으로 여겨지고 있으나, 비용은 성형 사이클에 따라 좌우된다. 특히 성형기나 금형도 이들 자체가 지극히 비싸기 때문에 그 상각비의 많고 적음, 다시 말해 가공 시간의 길고 짧음이 비용에 비례적으로 영향을 미친다. 따라서 사이클 시간은 설정한 후, 그것을 실현 시키기 위한 기술이 중요한 과제가 된다. 사이클을 단축시키는 수단으로서 금형의 예열, 급속 가열, 강제 냉각 등의 방식이 도입되고 있다. 비구면 렌즈 등의 생산에 금형 성형을 이용하는 경우에는, 이러한 생산 기술면의 기술 확립과 아울러 광학 설계면에서도 성형

상의 문제를 충분히 이해하여, 성형시 가능한 한 유리한 형상으로 렌즈를 설계하는 것이 중요하다.

카메라용 비구면 부품으로 일반적인 축대칭 형상의 렌즈 이외에 일반적인 가공법으로는 양산이 전혀 불가능한 형상도 아크릴의 경우 성형 양산되고 있다.

플라스틱 렌즈 성형법에는 사출 방식 이외에 캐스팅 및 컴프레션이 있지만 여기서는 설명을 생략하겠다.

2. 유리 및 플라스틱 복합 성형 비구면

앞에서 언급했듯이 플라스틱을 렌즈로 성형하는 것은 가능하지만 광학 재료로서는 결점을 가지고 있으며 또한 성형시의 수축도 큰 문제가 되었다. 그래서 렌즈의 기본적인 부분은 이전과 마찬가지로 유리로 하여, 구면(또는 평면)을 만든 후 그 면위에 접합하는 형상에 얇은 플라스틱 비구면 부분을 추가시켜 위의 문제를 해결할 수 있었다. 이 방식은 일찍이 자이스 디스타곤 35mm F1.2(1970년)와 아사히 광학 SMC 타쿠마 15mm F3.5(1973년)에서 실시된 적이 있었지만, 최근 미놀타에 의해 보다 세련된 형식으로 제품(미놀타 35-70 mm F4)에 이용되고 있다.

그림 1은 미놀타 복합 렌즈의 구조를 나타낸 것으로, 플라스틱 부분이 2층으로 이루어져 있다. 제 1층이 비구면을 구성하고(두께는 약 30~180 μ m), 그 위의 제 2층은 두께가 균일(약 20 μ m)해서 보호막의 역할을 한다고 한다. 양 층의 재료는 모두 자외선 경화형이다. 성형에는 경면 절삭과 연마를 통해서 만들어진 스테인리스/무전해 Ni금형을 사용하고, 이것과 렌즈 사이에 끼여 넣은 수지 재료에 자외선을 조사하여 수지가 렌즈쪽으로 성형 접합되게 한다.

한편 앞서 제품에 이용된 자이스의 경우는 열경화형 에폭시계

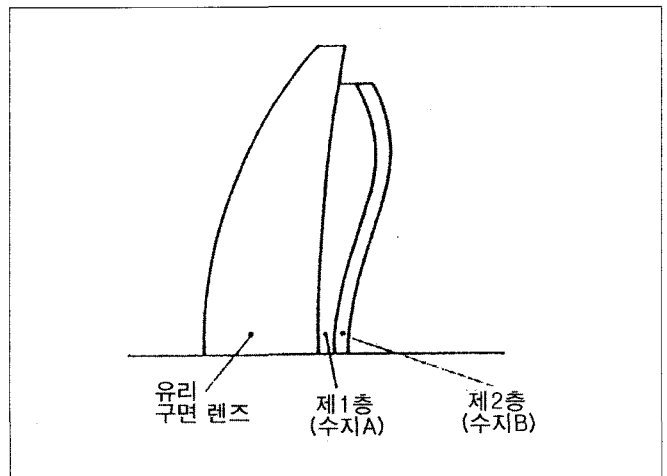


그림 1. 유리 및 플라스틱 복합 성형 비구면 렌즈의 구조(미놀타)

▶▶▶ 지상 공개 강좌

수지가 사용되며, 유리 위 적층 부분의 두께는 약 500 μ m였다. 유리 및 플라스틱 복합 성형 렌즈는 플라스틱의 비구면 성형의 용이함을 살림과 동시에 그 재질적인 결점의 영향을 최소화하는 매우 합리적인 방법이다. 향후 비구면 렌즈 제작법에 있어 하나의 주류가 될 수 있을 것이다. 단 그 구조, 치수(수지부 두께)를 생각하면 사출 성형을 이용하는 것은 어렵고, 생산 면에서는 경화 시간의 단축이 큰 문제가 될 것이다.

3. 유리 성형 렌즈

유리를 가열, 연화시킨 상태에서 금형을 통해 가압 성형하여 렌즈 등을 직접 만드는 방법이 있다. 공정 명칭은 ‘열 프레스 성형’이라고 하는 것이 적당하리라 생각한다.

코닥은 1945년에 이미 이 기술의 개발을 시작했었지만 제품으로는 1982년 발매한 디스크 카메라 렌즈에 처음 사용했다. 그 후 일본에서도 이것을 개발하는 데 성공하는 기업들이 나타나기 시작했고, 일안 리플렉스 카메라용 렌즈(1985년 캐논 FD 35 - 105mm F3.5 - 4.5)와 CD픽업 렌즈에 이용되기 시작하였다.

열 프레스 성형법을 사용하기 위한 유리 재료로서 일반적인 광학 유리(성형 온도 500 ~ 700 $^{\circ}$ C)를 사용하는 것과 연화 온도가 낮은 유리를 특별히 개발해서 사용하는 등의 두 가지 방법이 있다. 모든 성형용 금형재료는 고온에서의 단단한 정도, 유리에 대한 불활성, 내산화성 그리고 그 외에 광학 경면 가공이 가능할 것, 이형성이 좋을 것 등이 요구된다. 금속 금형으로는 이러한 조건을 만족시키기 어려워 WC, Mo, 세라믹 형재, TiN, Al₂O₃ 피막 등이 시범적인 재료로 선정되는 듯 하다.

금형 구조에 대해서도 여러 가지 연구가 진행되고 있다. 그림 2는 캐논의 유리 성형 금형을 나타낸 것이며, 여기에서는 구면측(한쪽 면)의 금형이 몸통 금형의 상부 구면과 접촉해서 자동 중심 작용에 의해 양면의 축이 합치된다고 한다. 또한 고온, 고압에서 사용하는 금형의 구성 부품은 여러 번 교환해야 하므로, 이와 같은 조립식 금형 구조가 역시 유리하다.

유리 열 프레스 성형에서도 플라스틱 경우와 마찬가지로 성형품이 렌즈로서 만족스러운 품질을 얻기 위해서는 성형 조건이 중요하다. 이즈타니 등은 열 프레스 성형을 통해 정도를 얻기 위한 기본 조건으로 「유리의 전이점 이상, 연화점 이하의 일정한 온도로 유지되고 있는 금형 내에 유동 상태의 유리를 넣어 가압한 후, 그 상태에서 유리내의 온도 분포가 일정해질 때까지 20초 이상 유지한다(유지 시간은 렌즈 두께로 정한다)」는 점을 밝히고 있다.

이러한 열 프레스 성형법이 합리적으로 확립되면 재질면에서는 종래와 마찬가지로 여러 종류의 광학 유리를 사용할 수 있고 형상은 구면·비구면을 자유롭게 선택할 수 있게 되어, 설계상에

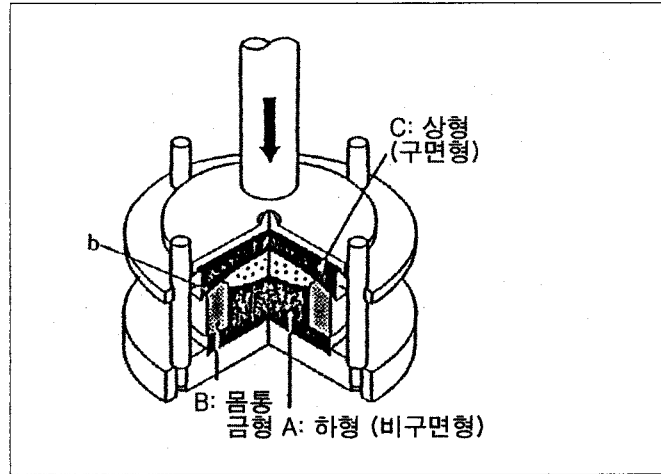


그림 2. 유리 비구면 렌즈 성형 금형의 구조(캐논)

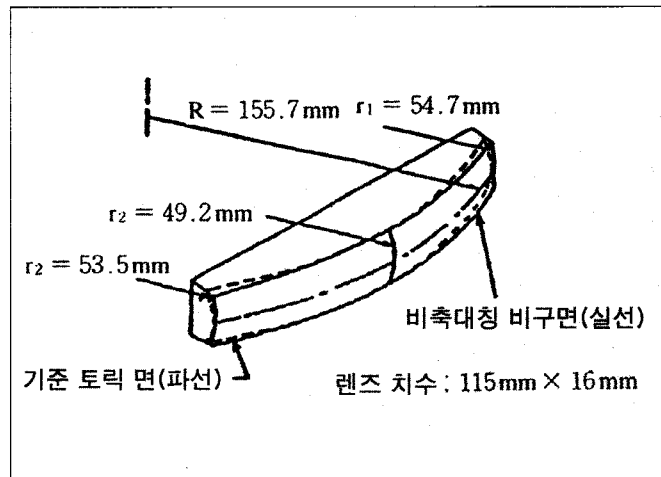


그림 3. 비축대칭 비구면 렌즈의 형상에

큰 효과를 가져올 것이다. 그러나 현재로서는 금형의 수명, 성형 시간 그리고 비용 등 아직도 상당한 문제가 남아 있으며, 이를 해결하는 것이 앞으로의 큰 과제라고 생각한다.

4. 토릭 (toric) 렌즈의 가공

광축에 대해 회전 비대칭인 광학계를 애너포픽 광학계라고 하고, 자주 사용되는 광학 소자로는 그림 3과 같이 직교하는 2방향의 곡률이 서로 다른 토릭 렌즈가 있다. 용도로는 레이저 빔 프린터의 다면 미러 스캐너에서 반사된 광 빔의 기울기를 보정하기 위한 렌즈와 난시 보정용 안경 렌즈가 있다.

최대 곡률 반경 방향의 표면 원호를 모선, 최소 반경 방향을 자선이라고 하며, 운동 기하학적인 형상 창성법으로 가공된다. 그림 4와 같이 렌즈 블랭크가 여러 개 부착된 지그를 회전시켜 바깥 둘레에서 모선을 창성한 후 직교 방향으로 선회시켜서 자선

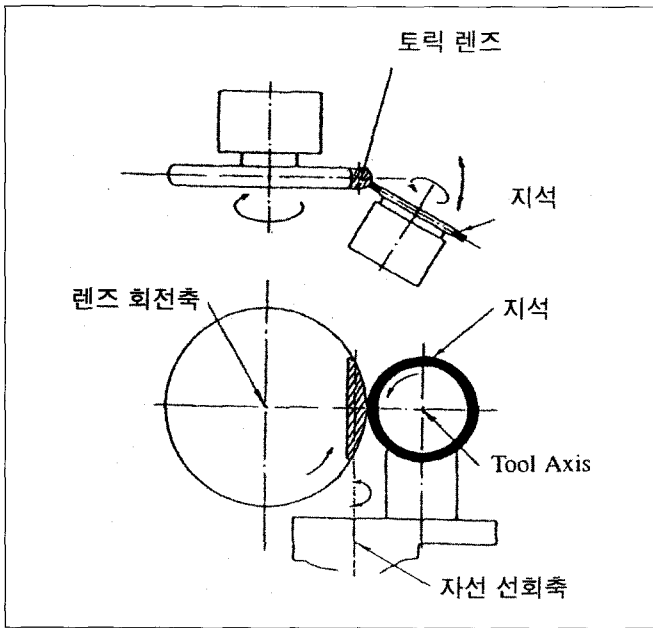


그림 4. 창성 원리

을 형성한다. 운동 궤적으로 형상을 만들기 위해 고정도 회전, 고강도의 연삭 가공 장치를 이용한다.

연마는 주로 발포 우레탄 수지 등의 탄성 시트를 부착한 구형 또는 원형의 연마 공구를 렌즈에 압착시켜, 산화 세럼 미립자를 물에 녹인 연마액을 뿌리면서 여러 개의 렌즈를 회전시켜 표면을 매끄럽게 한다.

연마 공구의 자선 방향 형상의 불완전함을 제거하기 위해, 자선 방향에 요동 운동을 부가해서 공구 전체가 빠짐 없이 렌즈와 접촉하도록 한다. 자선 방향의 공구 곡률의 오차가 커서, 연마한 렌즈에 곡률 오차가 발생하기 쉽기 때문에 공구 형상 수정용 드레서로 문질러서 공구의 형상 정도를 항상 유지할 필요가 있다. 모선 방향의 곡률은 회전 운동의 정도로 정해지기 때문에 자선과 비교하면 공구 형상 이상의 정도가 나오기 쉽다.

최근에는 비구면 토릭 렌즈도 이용되고 있고, 모선이나 자선 중 하나가 비구면인 것과 양쪽 모두 비구면인 것까지 등장하고 있다.

5. 결론

광학용 비구면 가공 기술은 일본에서는 1960년대 말경부터 연구 개발 활동이 서서히 진행되어 왔지만, 최근 이것이 실용화되어 광학이나 전자기기의 제품 분야에서 비구면 렌즈를 이용한 예가 많이 나타나기 시작했다. 그러한 실용화에 큰 역할을 했던 것은 역시 최근의 초정밀 가공과 계측 기술의 도입 및 정착에 있었다고 본다. 지금까지의 구면을 기본 형상으로 한 광학 부품의 가공에서는 소위 광학 연마가 렌즈에 요구되는 파장 오더의 가공 정도를 만족시켰지만, 이번 비구면 형상의 경우에도 초정밀 가공을 통해 비로소 동등한 정도를(때로는 광학 연마보다 나은 정도를) 달성했다고 할 수 있다.

그러나 실제로는 본문에서 서술했던 다양한 렌즈 가공법을 통해서도 알 수 있듯이 현 단계에서는 아직 비구면 기술의 확립이나 보편화가 이루어지지 않은 상태이기 때문에 한정된 메이커와 한정된 경우에만 그것을 제품으로 사용하고 있다. 또 비구면 형상을 창성하는 기술 그 자체의 상황을 보더라도 새로운 초정밀 가공 기술과 기존의 광학 연마법이 비구면 가공을 보완 및 지원하고 있는 상태이기 때문에 공정이 복잡하거나 경험이 부족한 아마추어의 참여를 어렵게 하고 있다.

오래 전부터 사용되어 온 광학가공기술은 종래의 특수한 렌즈 프리즘의 범위를 넘어 현저하게 발전한 전자 산업으로까지 영역이 확대되어, 앞으로 더욱 더 필요한 기본 가공 기술이 될 것이다. 이와 더불어 능률적이고 안정적인 어디서나 사용할 수 있는 보편 기술로서의 경면 가공 기술의 확립이 기대되고 있다.

● 알 립 니 다 ●

회원사들의 적극적인 참여를 기다립니다.

'광학세계'의 회원사 동정 및 신상품 소개란은 회원사들의 홍보 및 정보교류 등을 위해 마련된 공간입니다. 인사 및 행사, 회사 업적 소개, 변경 사항, 신상품 출시 등 홍보를 원할 때는 언제든지 연락 주시기 바랍니다. 회원사들의 적극적인 참여를 기다립니다.

- 연락처 : 「광학세계」편집부
- 주소 : (137-842) 서울시 서초구 방배동 912-5 백산커뮤니티빌딩 4층 한국광학기기협회
- 전화 : (02)581-2321 • 팩스 : (02)588-7869 • 이메일 : pjy@koia.or.kr

※11월 15일 이후 연락처 변경 • TEL: (02)3481-8931 • FAX: (02)3481-8669