

광학소자의 가공

# 렌즈 가공 기술의 동향

앞으로도 공정 혁신을 목적으로, 한층 더 새로운 기술 개발이 진행되어 렌즈 가공 공정은 변해 갈 것이다. 연마는 어차피 고정 지립 방식이 중심을 이루겠지만 CG가공의 초정밀화로 인해 스무딩 공정이 생략될 가능성도 있다. 또한 경면 창성 연삭이나 열 프레스 성형도 현재 특수한 상황에서만 이점이 있지만, 이러한 기술이 어떠한 형태로든 일반 렌즈 공정에 영향을 줄 지도 모른다. 생산 자동화에 대한 요구는 앞으로도 강화될 것이며, 그러한 공정을 구성하기 위해서 한층 더 새로운 가공 기술이 나타나게 될 것이다.

편집자 주

## 1. 공정 개선의 효과

일찍이 렌즈 가공에 있어서 공정의 복잡성, 기능성, 비능률성, 쉽게 더러워짐 등의 문제가 제시 되었지만, 최근 들어 특히 양산 공정에서는 CG가공, D펠릿 가공, 피치 대신에 폴리우레탄 폴리셔, 벵가라를 대체하는 새로운 연마제가 완전히 정착하면서 이전의 문제는 대부분 줄어들었다. 예를 들면, 표 1은 25년 전과 현재의 공정을 비교해서 개선된 효과를 보여주고 있다. 그동안 가공 시간이 단축되었을 뿐만 아니라, 수가공의 기계화나 장시간 동일한 가공 상태(동일한 면 정도)를 유지할 수 있는 공구나 기계가 도입되면서 숙련자의 필요성도 줄어들었다.

## 2. 렌즈 가공의 자동화

렌즈 가공에 있어서 향후 최대의 과제는 공정의 완전 자동화일 것이다. 러핑에서 연마까지 일관 자동화는 이미 25년 전에 독일

의 Dama사에서 선구적으로 개발되어, 판매 활동도 이루어졌다. 자동화가 성립하기 위해서 필요한 기본적 조건은 첫째, 가공의 재현성이 오래 유지될 수 있어야 한다는 것이다. 다시 말해 공구, 슬러리, 기타 조건이 장시간 변화하지 않아야 한다. 둘째, 렌즈라고 하는 흠집이 생기기 쉬운 부품을 문제없이 핸들링 할 수 있어야 한다.

이미 언급한 새로운 공구나 개선된 가공법은 첫째 조건에 부합되는 것이고, 최근 많이 도입되고 있는 각 공정의 단독형(stand alone) 자동 가공기는 둘째 조건을 어느 정도 만족시키고 있다. 하지만 가공 대상이 렌즈라고 하는 유형적으로 상당히 단순한 형태의 부품임에도 불구하고, 아직 완전 무인화 생산 시스템은 일반적이지 않다.

그 이유로는 렌즈 가공이 동화가 곤란한 몇 가지 이종 공정의 조합으로 성립되어 있다는 것, 작업물마다 전용 공구가 정해져 있다는 것, 공정 내 계측과 결과의 제어가 어렵다는 것, 그리고 앞에서 말한 두 가지 조건이 완전하게 확립되어 있지 않다는 것을 들 수 있을 것이다.

표 1 렌즈 가공의 공정 개선 효과

공정명	25년 전			현재			왼쪽 표에 대응하는 가공 시간의 단축 (25년 전 → 현재)
	가공 방법	사용 공구 등	사용 기계	가공 방법	사용 공구 등	사용 기계	
러핑	러핑	철 공구 (+연마제)	반	CG 가공	컵 계열 지석	커브 제너 레이터	5분 → 1분
스무딩	1차 연마	철 공구 (+연마제)	횡진 연마기	정연삭	지석 펠릿	정연삭기 (종류별)	10분 → 0.2분
폴리싱	2차 연마	피치 공구 (+벵가라)	횡진 연마기	2차 연마	폴리우레탄 공구 (+산화 세륨)	고속 연마기 (종류별)	40분 → 2~5분
가공면 검사 및 공구 정도 수정 등의 필요 빈도	렌즈 1개마다			렌즈 100개 이상마다			합계 가공 시간 55분 → 3~6분

### 3. 새로운 가공 기술

렌즈 가공의 효율을 한층 더 개선하기 위하여, 현재 여러가지 신 가공 기술 개발이 진행되고 있으며, 일부에서는 실용되고 있다. 이러한 가공법 중에는 공정 자동화에 기여하는 것들이 많다. 다음에 그 몇 가지에 대해서 설명하겠다.

#### a) 초정밀 CG가공

러핑 CG가공의 정도가 높아져 가공면의 거칠기가 미세해지면, 다음 공정인 스무딩을 생략할 수 있다. 그렇게 되었을 경우의 최대 효과는 렌즈 공정의 큰 난관 중 하나인 곡률형 공구가 필요 없어, 그 공구 때문에 야기되었던 공정의 번거로움과 불안정함을 제거할 수 있다는 것이다. 때문에 최근에는 유체 베어링을 사용한 초정밀 커브 제너레이터나 미립 다이아몬드 CG지석, ELID(전해 인프로세스 드레싱)연삭 등의 개발이 진행되고 있다.

#### b) P펠릿 (연마 펠릿) 가공

연마에 있어서 폴리셔에 지립(연마제)을 첨가하면 연마제 슬러리를 사용하지 않고 물만으로도 연마를 낼 수 있기 때문에 슬러리 관리도 필요 없으며, 공정은 간단, 청결해져서 한층 더 공정이 고속화될 수 있게 될 것이다.

연마 원리를 생각해 보면, 지립이 고정되어 있어도 폴리셔면의 돌출량이 미세화 및 평균화되어 어느 정도 완충적으로 유지되고, 자생적으로 다수의 지립이 가공면에 공급되면 떠있는 지립의 경우와 마찬가지로 경면 창성 기능을 가지게 될 것이기 때문이라고 할 수 있을 것이다.

이러한 원리에서, 산화 세륨 등의 연마제를 열경화성 수지계 본드재로 펠릿 금형에 결합한 것(이것을 'P펠릿'이라고 부른다.)을 공구에 접착시켜 곡률 성형하여 폴리셔한 후, 여기에 물을 공급하면서 렌즈에 연마를 내는 이른바 P펠릿 가공법이 개발되어,

일부에서는 실용화되고 있다. 하지만 아직 문제가 많이 남아 있고 가공 형상의 정도, 가공 능률, 공구 수명이라는 3가지 조건을 동시에 만족시킬 수 있는 펠릿은 아직 존재하지 않는 듯하다.

#### c) 유리의 경면 연삭

이것은 양산형 가공법은 아니지만 하나의 새로운 렌즈 경면 창성 방식이라고 볼 수 있다.

종래, 유리 연삭 가공은 지립 압입으로 인해서 생긴 취성 파괴로 재료를 제거하는 것이었는데, 지석과 가공 조건의 선택에 따라 미세 절삭 내지는 소성 유동형 가공을 실시할 수도 있다. 현재 테스트중인 것은 원판 회전 지석의 바깥 둘레 또는 정면(원판면)을 사용하여, 공구/작업물 궤적을 제어하면서 임의 형상의 렌즈면의 경면을 다듬질하는 것이다. 이 방식으로 표면 거칠기 0.008 $\mu$ m Rmax의 가공면을 얻을 수 있는데, 이것은 폴리우레탄 폴리셔와 산화 세륨에 의한 통상 가공 결과와 동등하다. 단, 거칠기 형상에 나타난 물결에 주목해보면, 연삭하는 경우가 고주파의 경향을 나타내는데 용도에 따라서는 그런 광학적 성능에 미치는 영향이 문제가 될 것이다.

유리 등 경취재의 지석 연삭에서 이러한 가공면 성상을 얻어내기 위한 조건으로는 날카로운 칼끝의 미세 지립(앞에서 설명한 5 $\mu$ m 다이아몬드), 적절한 탄성 특성의 지석 본드재, 지석 절입량의 미세 제어, 가공계의 완전 진동 방지 등을 들 수 있다.

이러한 가공법이 이상적으로 완성된다면, 지석 연삭만으로도 유리 렌즈의 광학 경면을 다듬질할 수가 있어 비구면 등 특수한 렌즈 가공에서 효과를 발휘할 수 있을 것이다.

#### d) 유리 렌즈의 열 프레스 성형

재료 제거 가공 없이, 유리 소재를 직접 프레스 성형해서 렌즈를 만드는 열 프레스 성형법도 개발이 진행되어 실용화되기 시작했다.

이것은 렌즈 가공의 복잡한 공정을 전부 생략하여, 가열한 유리

## ▶▶▶ 지상 공개 강좌

표 2 유리 렌즈 및 원리를 통해 본 가공 방법의 추이

공정		400년전	25년전	현재	이후	미래
구분	목적					
러핑	형상 내기	} 랩핑	랩핑 (러핑)	연삭 (CG 가공)	연삭 (CG 가공, 초정밀, CG가공)	열프레스 성형  ↑ ↓ 표의 세로 길이는 개념적인 공정이다. ↑ ↓ 기판의 길이를 나타낸다.
스무딩	표면 상태 (거칠기 정도 개선)		랩핑 (1차 연마)	H연삭 (D펠릿 가공)	최후과 동일 연삭 경면상성	
폴리싱	광학 경면 형성		(랩핑형) 폴리싱 (피치 연마)	(H연삭형) 폴리싱 (P펠릿 가공)		

[ ] 안 : 가공 방식 명칭. H연삭 : 호닝식 연삭을 의미

소재를 직접 성형 금형으로 프레스하는, 이른바 원숫 방식으로 프레스를 완성시키는 것이므로 그 효과는 현저히 크다.

코닥은 1940년대부터 이러한 기술 연구를 지속해 왔는데, 1982년 발매된 디스크 카메라 렌즈(비구면)에 이것이 처음으로 실용화되었고, 그 후 일본에서도 동일한 기술의 개발 보고가 있기 시작하여 카메라 렌즈에 본격적으로 사용되기 시작했다.

이러한 기술 실용화에 있어서 제일 큰 과제는 성형 금형의 재질이다. 금형 재료는 충분한 내열성을 가져야 하며(일반적인 광학 렌즈의 전이 온도-유리 유동성의 하한점은 500~600℃), 광학 경면이 되기 위해서는 피가공성, 이형성 등이 중요하다. 더욱이 렌즈를 양산하는데 사용하기 위해서는 내마모성이나 주변 환경(분위기)에 대한 불활성 안정성도 중요하다.

이것에 관해서 최근까지 내열합금에 티탄 질화물이나 세라믹을 피막한 것, 금형 그 자체를 폴리브렌 또는 텅스텐계 화합물이나 사파이어 등의 세라믹으로 만든 것 등이 제안되고 있다. 또한 성형 금형의 변질을 막기 위해서 성형시 주변을 진공 상태로 만들거나 질소 분위기로 만드는 방법 등이 고안되고 있다.

또한 유리 재료 자체도 문제가 된다. 열성형 프레스가 가능해졌다고 해도 유리의 전이점이 높을 경우에는 이형 온도까지 강하시키는데 시간이 걸려서, 사이클 타임이 길어지고 사이클 중의 최고 금형 온도 또한 높아지는 등 생산성, 금형 수명 등의 문제가 발생한다. 때문에 현재, 광학 유리의 성능이나 종류의 다양성을 가지면서 전이 온도가 낮고, 고속으로 성형 가능한 열 프레스 성형에 적합한 광학 유리 재료를 개발해 내는 것도 중요한 과제이다.

이러한 성형 기술은 일반적인 렌즈 가공 기술로는 양산이 곤란한 비구면 렌즈 등의 제조법으로써 개발이 진행되고 있다.

### e) 앞으로의 방향

지금까지 설명한 렌즈 공정을 가공 원리에 적용해 보면 표 2와 같이 된다.

여기서는 폴리싱을 포함하여, 유리 지립을 사용 공구에 문질러서 하는 가공을 전부 랩핑, 랩핑형이라고 칭한다.

이 표를 대충 살펴보면, 당초 기술을 터득한 이래 장시간동안 유리 지립을 사용하는 랩핑적 방법으로 진행되어 왔던 렌즈 가공이 최근에 이르러 고정 지립에 의한 연삭적 가공으로 변화하였음을 알 수 있다.

이유는 랩핑 방식에 의해 높은 가공 정도를 비교적 쉽게 얻을 수 있기 때문이지만, 최근에는 기계 기술, 지식 기술이 진보하면서 연삭 가공으로도 정도가 나쁘게 나오는 일이 줄어들면서 보다 효율적인 가공 수단으로 이용할 수 있게 되었기 때문이라고 생각된다.

앞으로도 공정 혁신을 목적으로, 한층 더 새로운 기술 개발이 진행되어 렌즈 가공 공정은 변해 갈 것이다. 연마는 어차피 고정 지립 방식이 중심을 이루겠지만 CG가공의 초정밀화로 인해 스무딩 공정이 생략될 가능성도 있다. 또한 경면 창성 연삭이나 열 프레스 성형도 현재 특수한 상황에서만 이점이 있지만, 이러한 기술이 어떠한 형태로든 일반 렌즈 공정에 영향을 줄지도 모른다. 생산 자동화에 대한 요구는 앞으로도 강화될 것이며, 그러한 공정을 구성하기 위해서 한층 더 새로운 가공 기술이 나타나게 될 것이다.

〈다음 호에는 광학 평면의 연마에 대해 소개하겠다.〉