

비구면 내부구조의 마이크로렌즈

러시아 첨단기술을 국내에 소개하고 관심기술에 대한 상호 정보교환을 통해 국내 산업계 및 연구기관들과 러시아 과학자들 간의 파트너십 구축하고 ISTC 연구과제 기획 및 도출을 위한 기회로 활용하기 위해 올해 처음 기획된 '제1회 러시아 국제과학기술센터(ISTC) 한국워크숍'이 지난 5월 29일 삼성동 섬유센터 회의실에서 열렸다. 본 고에서는 이날 발표된 논문 중 '비구면 내부구조의 마이크로렌즈'에 관한 내용을 게재한다.

편집자 주

발표 : Andrey A. Vetrov(Vavilov State Optical Institute)

I. 서론

비구면 굴절표면은 레이저빔 등과 같은 일반적 웨이브프론트의 라이트빔을 스폿으로 변환하며 역으로 스폿을 라이트빔으로 변환한다. 적절한 비구면표면 렌즈를 통해 형성된 라이트 스폿의 최소 크기는 렌즈 고유의 굴절한계에 의해 달라진다.

렌즈굴절한계(밀리미터 단위의 구경 및 초점길이)는 일 미터에서 몇 미터에 이르기까지 다양하다. 따라서 비구면표면 렌즈는 기록저장분야(CD, DVD 라이터/리코더), 통신애플리케이션(레이저, 광섬유 커플리미터(사준기)) 등 대부분의 현대 광학분야에서 성공적으로 활용되고 있다.

오늘날 다양한 기술을 통해 비구면 렌즈를 만들고 있으며, 가장 저렴한 기술의 기반은 고분자물질의 몰딩이다. 우리는 화학, 열, 기계적 내구성 등을 비롯한 상당수의 장점을 지니고 있다. 그러나 유리로 된 비구면 렌즈의 몰딩은 고분자물질과 달리 그다지 간단하거나 저렴하지 않다. 유리의 연화온도가 상당히 높기 때문에 비구면 표면 몰딩에 사용되는 값비싼 정밀몰딩을 장기간 사용할 수 없기 때문이다. 제안된 리서치의 목적은 정밀기구나 값비싼 도구를 사용할 필요가 없는 비구면 내부구조 유리렌즈 기술의 개발이다.

본 기술의 개발이 완료되면 이를 손쉽게 고분자물질에 적용할 수 있을 것이다.

이러한 기술 개발이 아직은 매우 초기 단계에 머물고 있으나, 일차 예비 실험에서 제안된 접근 방법을 통해 본 기술을 실제로 구현할 수 있는 가능성이 나타났다.

II. 제안된 기술의 근거

비구면 내부표면을 만들기 위한 접근법은 압출과정에 기반을 두고 있으며, 실린더형 튜브를 흐르는 점도와 탄성을 지닌 액체의 유체역학법칙을 적용했다. (우리의 경우는 연질유리)

그 결과 두 개 이상의 굴절인덱스를 보이는 규화 비구면 렌즈로 구성된 원통형 유리본체를 얻을 수 있었다. 이러한 광학소재는 실린더형 채널을 통한 두 개 이상의 다층 규화 유리디스크(층)로 구성된 타블릿 압출을 통해 만들 수 있다. (온도에 따라 유리이전영역을 초과하기도 함) 여기서 사용된 유리는 서로 다른 굴절 인덱스를 지니고 있다. 압출과정은 그림1에 나타나 있다. 압출 과정이 끝나면 타블릿에서 나온 유리로 채널을 채우고, 그 결과 처음 타블릿의 각 층간의 경계표면이 평평해진다. 여기서 초기 타블릿은 만들어진 유리실린더 내에서 초점을 맞추는 소자 기능을 하는 비구면 표면으로 전환된다. 여기서 비구면 경계표면과 유리디스크의 인덱스가 적절한 형태와 값을 취할 경우, 실린더 벽의 끝 쪽을 다듬으면 구면수차가 0이 되는 초점렌즈가 만들어진다.

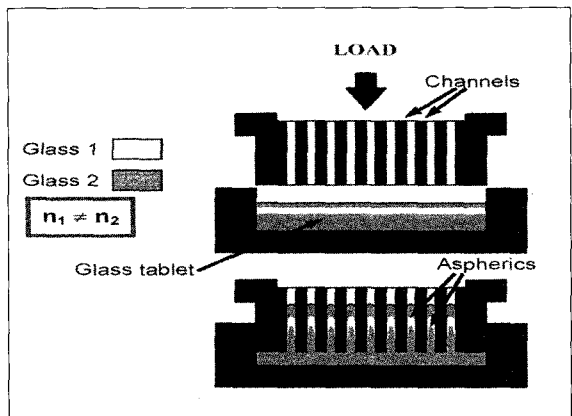


그림 1. 압출과정 설계. 실린더형 채널이 있는 몰드로 연질유리를 압출한 후, 타블릿에서 나온 유리로 채널을 채운다. 처음의 유리타블릿에 있는 인접 층면의 평평한 경계는 비구면화 된다. 여기서 얻은 비구면이 렌즈와 같은 작용을 하기 위해서는 유리 1,2(n_1 and n_2)의 인덱스가 반드시 달라야 한다.

압출한 후 타블릿을 구성하는 디스크의 두께를 적절히 조합하여, 상이한 인덱스를 지닌 인접층 간의 비구면 경계 모양을 조절할 수 있으며, 압출 과정에서 형성되는 실린더의 높이를 통해서도 조절할 수 있다.

예비 연구를 통해서 두 개의 인접 디스크간의 평면경계가 상이한 형태의 비구면 표면으로 바뀌는 것이 확인되었다. 그림2는 동일한 두께 및 유리로 만들어진 디스크로 구성된 타블릿의 압출 결과를 보여준다.

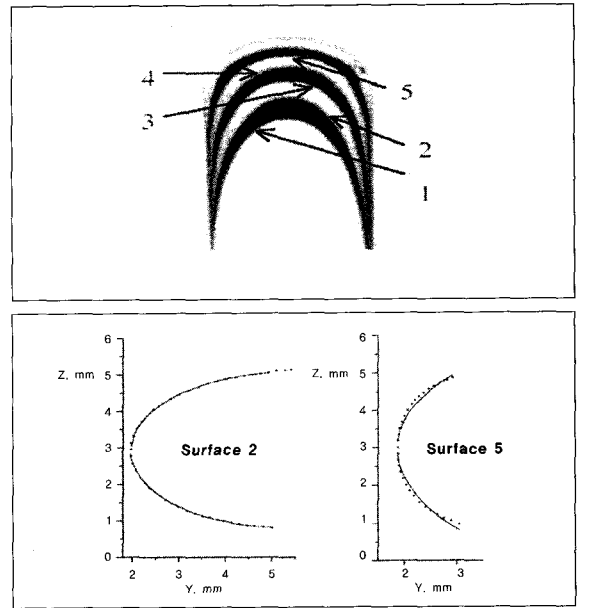


그림 2. (위쪽) 동일한 두께를 지닌 6장의 규화유리 디스크로 이루어진 타블릿압출 (실린더 채널을 통한)을 통해 얻은 실린더의 자오선 교차부분 (시각적으로 짙은 디스크 및 여기서 얻어진 홈을 잘 구별하기 위해 색상을 사용함). 실린더 지름은 4.5mm 이다. (아랫쪽) 함수 Z(y)를 이용한 제 2 표면(선) 및 5 표면(선). 제 2 표면은 함수 Z(y)에 적합하지만, 제5표면은 그렇지 않음을 알 수 있다.

형태가 전환된 표면을 분석하기 위해 그림 2에서 흰 부분과 검은 부분을 분할하는 선의 근사값을 계산했다. 근사값 계산에 사용된 함수는 대칭형 이차곡선과 부합한다. 이를 대칭축을 중심으로 회전시키면 비구면표면을 얻을 수 있으며 구면수차가 영(0)인 초점렌즈에만 사용된다. 이 함수는 $Z(y)=[2nf(n-n_1)y-(n^2-n_1^2)y^2]^{1/2}n^{-1}$ 로, f 는 이러한 굴절표면을 지닌 가상 비구면렌즈의 초점 길이이다. n 과 n_1 은 사용된 유리의 굴절인덱스이며, n은 n_1 보다 크다. 여기서 알 수 있는 것은 그림 2에서 나타난 다섯 개의 표면(선) 가운데 단 하나(표면 2)만이 함수 Z(y)에 나타난 그룹에 속하며 함수 Z(y)를 이용한 제 5, 제 2 적합표면(선) 결과를 통해 이를 잘 알 수 있다; 그림 2에서 알 수 있는 바와

같이(오른쪽), 제 5 표면과 달리 제 2 표면의 경우 함수 $Z(y)$ 를 사용해서 적절하게 근사값을 구할 수 있다. 여기서 적합매개변수 f, n, n_1 은 각각 5.6mm, 1.93mm, 1.57mm 이다. 즉 최초 타블릿의 가상평면 표면이 비구면 형태를 띠는 순간이 있음을 알 수 있으며 이는 비수차렌즈에 적합하다(그림 3). 그리고 실린더형 채널을 통한 유리 압출을 이용해서 통신용 비구면 렌즈를 제작하기 위한 정교한 기술을 확보할 수 있었다.

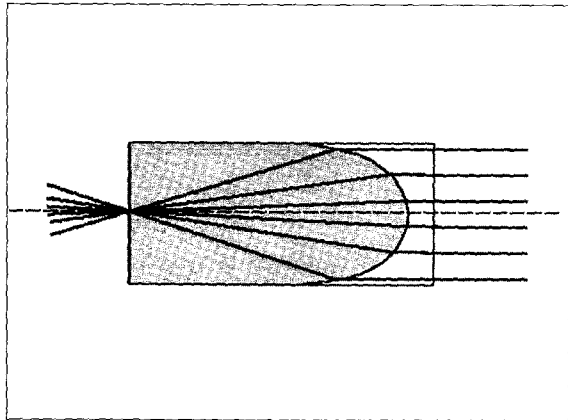


그림 3. 내부 굴곡 비수차 렌즈

1. 제안된 기술의 배경

기술을 적용한 측에서는 압출 접근법을 이용해 미세광학제품을 생산해 왔으며, 압출 기법을 개발해 평볼록구면 미세렌즈를 제작했다. 본 기술은 러시아에서 특허출원을 했으며(Patent RU 2039017 C1, Bulletin No.19 09.07.95). 최근 아리마(Arima Company, 대만)와 계약을 추진하고 기술개발을 진행하고 있다. 또한 파이버컬리메이터(사준기)에 사용되는 평볼록구형 마이크로렌즈 제작을 위한 원천 준산업용 압출 스테이션을 설계하고 제작해왔다(그림 4 참조). 그리고 압출 과정을 기반으로 해서 내부 포물형 굴절표면 생성 기술을 개발해 왔으며 이 기술 역시 러시아 특허를 획득했다 (Patent RU 2039018 C1, Bulletin No.19 09.07.95). 이러한 포물형 표면은 수차 수정을 위한 의학용 내시경법의 투컴포넌트 오브젝티브(2-component objectives)에 이용되었으며, 주어진 내부 포물형 굴절표면 및

광학적 성능을 사용해 컴포넌트를 제작했다(S. N. Ivashevskii, L. N. Arhipova, G. O. Karapetyan, V. V. Rusan, D. K. Tagantsev, New fabrication technology of microobjectives for endoscopy, Proc. SPIE, 1992 (1993) 258-263). 상기 기술의 목적은 제안된 접근방법의 타당성만을 검증하기 위한 것이며, 두 가지 기술개발에서 축적된 경험의 활용 여부에 따라 연구의 성공이 결정된다.

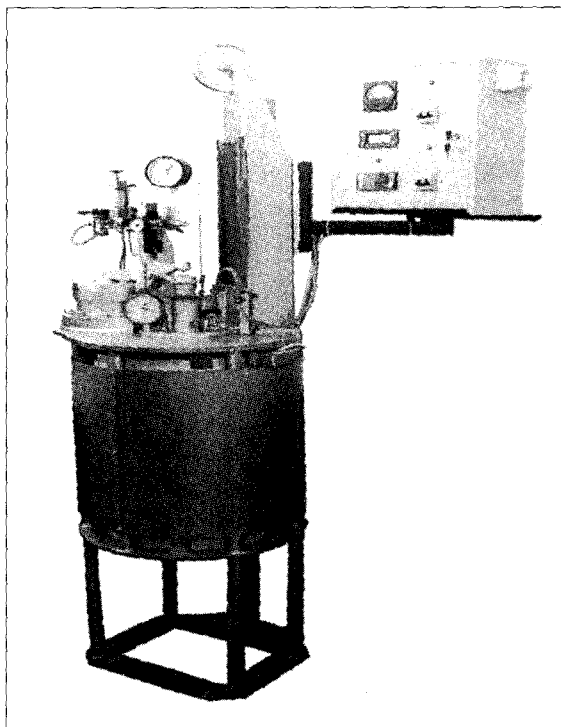


그림 4. 미세렌즈 생산을 위한 압출 스테이션

연구과제

- 압출 과정에서 나타나는 비구면 표면 형성의 규칙성 연구;
- 적절한 유리 개발(열을 가할 경우 팽창계수 및 점도가 상호 근접하며, Δn 의 값이 큼 ;
- 렌즈의 광학적 성능 최적화;
- 주어진 광학적 특징을 바탕으로 렌즈를 제작하는 조건을 최적화함;
- 렌즈 생산용 압출 스테이션 설계 및 건설;
- 비구면 렌즈 시험배치 형성 및 관련 광학성능 연구;
- * 구소련 국방부 산하의 바빌로프(Vavilov) 국립광학연구소 소속 과학자들이 상기의 연구를 수행하게 된다.