비구면 렌즈 기술의 기초 지식 ①

비구면 렌즈의 진보와 효과

사진공업 6월호에 특집으로 실린 '비구면 렌즈의 진보와 효과'
(글:미놀타 광학 기기사업본부 카메라 개발 센터)를 번역해 2회에 나누어 소개한다.
필자는 앞으로 비구면 렌즈의 사용 범위가 대폭 신장할 것이라고 전망한다.
현재 줌 컴팩트 카메라에서 대부분 비구면 렌즈가 사용되고 있는 것처럼,
디지털 카메라에서도 화소수 경쟁이 일단락한 후에는
소형화를 위해서 비구면 몰드 렌즈가 제품화될 수 있다고 예측한다. - 편집자 주 -

비구면 렌즈의 역사는 오래 됐다. 그에 대한 광학 설계상의 효과가 알려진 것도 17세기까지 거슬러 올라간다. 통상의 사진 렌즈에 비구면 렌즈가 최초로 도입된 것은 1966년에 발표된 라이카 M용 50mm F1.2로 이것은 비구면 렌즈가 대구경 렌즈의 고성능화를 위해 유효한 역할을 끼친 것이다. 그 뒤 70년대 전반까지는 비구면 렌즈는 코스트가 높은 데 따라 주로 SLR용 고급 렌즈(대구경 렌즈와 초광각 렌즈)의 고성능화를 위해 채용된다. 그 사진 렌즈로서 대량 생산을 전제로 한 비구면 렌즈의 채용은 1977년에 발매된 코닥 110카메라용 25mm F1.9가 최초이다. 그 뒤로 80년대에 계속 이어져 대중적인 렌즈에도 채용됐다.

이 시대의 비구면은 주로 '렌즈의 소형화 기여'를 목적으로 채용됐다. 다만 이 사이에도 비구면은 구면렌즈를 주체로 한 광학계의 보완적인 역할에 그쳐 비구면이 주체적인 역할을 하기에는 다음 시대를 기다려야 했다.

비구면 렌즈가 주체적인 역할을 발휘한 것은 1992년에 발매된 미놀타 APEX 90 카메라용 38~90mm 렌즈가 최초이다. 양면비구면 렌즈를 포함한 두 장의 비구면 렌즈로, 줌 렌즈로서는 '이론적 최소 구성 매수'인 4매를 실현하고 '소형화와 저코스트화의 양립'을 달성했다.

이후 90년대에 비구면 전성시대를 맞이하여 고급에서 대중적인 렌즈에까지 폭넓게 비구면이 채용되었다.

21세기를 향해서 비구면 렌즈의 역할은 점점 중요하게 되었다. 더우기 비구면 렌즈의 새로운 역할을 기대하며 종래에는 쓰이지 않던 방법도 태어나게 되었다.

1. 비구면 렌즈

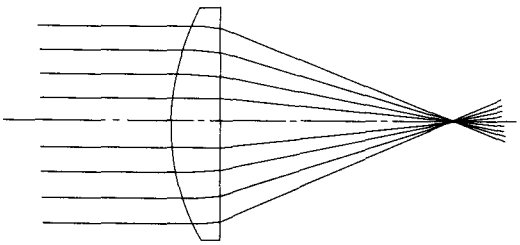
1-1. 비구면 렌즈

구면 렌즈는 렌즈의 중심에서 주변까지 일정

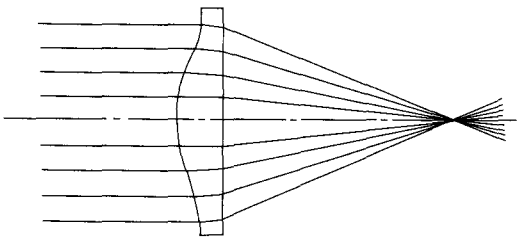
〈표 1〉 각종 비구면 가공 방법의 특징

◎ 유리 ○ 약간 유리 △ 약간 불리 ×불리

	글라스 몰드 (Glass Mold)	복합형 비구면	사 출 성형식	창성식(創成式) 비구면
면정도(面正度)	◎	◎	△	◎
편심정도	○	○	△	○
신뢰성(온도 특성)	◎	○	△	◎
양산성(코스트)	◎	◎	◎	×
글라스 재료의 자유도	○	○	△	◎
양면비구면의 가능성	◎	△	◎	○



(a) 구면 렌즈에 의한 수차 발생(구면 수차)



(b) 비구면 렌즈에 의한 이상 결상

〈그림 1〉 비구면 렌즈에 의한 수차 보정

한 곡률을 가지고 있으나 비구면 렌즈는 렌즈 중심으로부터 주변에 걸쳐 곡률이 연속적으로 변하게 한 렌즈라고도 한다.

촬영 렌즈에서는 광학 성능을 확보하기 위해 수많은 수차를 보정하지 않으면 안된다. 구면 렌즈만으로 보정하기 위해서는 렌즈 사용에 대응해서 많은 수의 렌즈를 조립할 필요가 있다. 게다가 특수한 고급렌즈에서는 구면렌즈만으로는 사용자를 만족시킬 수 있는 수준까지 수차를 보정할 수 없는 경우도 생긴다.

한편, 비구면 렌즈를 쓰면 복수의 구면 렌즈를 조립한 것과 동등 이상의 효과를 한 장의 렌즈로 얻을 수 있기 때문에 구면렌즈만으로 얻을 수 없는 사양의 렌즈가 가능하게 되는 것과 같이 렌즈의 구성 매수를 대폭적으로 줄일 수 있는 것도 가능하게 된다.

그림 1에는 비구면 렌즈에 의한 수차보정의 개념도를 나타냈다.

1-2. 비구면 렌즈의 효과

일반적으로 비구면 렌즈의 효과 및 사용 목적은 다음의 두 가지로 크게 나눠 진다.

① 사양(성능) 향상
I) 광학성능(수차 보정)의 향상
II) 사양의 확대
III) 컴팩트화(경량화)

② 경제성의 향상
렌즈 매수의 절감에 따른 코스트 다운

물론 이들은 독립한 것뿐만 아니라 복수의 효과 및 사용 목적을 가지고 채용된다. 그 가운데 역사적인 흐름으로서는 ①-I), II)의 목적에서 ①-III), ②로 변천. 더우기 최근에는 뒤에서 이야기하는 바와 같이 비구면 렌즈의 종류에 대한 사용 방법이 나눠지는 시대로 변하고 있다

1-3. 비구면 렌즈의 장점/단점

비구면 렌즈의 채용 역사는 '설계 면의 효과 추구(설계 기술)' 와 '제조 면의 코스트 다운 추구(제조 기술)' 그 자체이다. 내용은 1-2장에서

〈표 2〉 일안 리플렉스용 렌즈에서의 비구면 사용 매수

	A사		B사			C사			D사	E사	F사	G사
	몰드	복합	창성(創成)	몰드	복합	창성	몰드	복합	복합	복합	복합	몰드
표준 줌		3		2	2			3	1	3	3	
표준 고배율 줌								4		2	1	
표준 대구경 줌		2	1				1		1	4	1	
광각 줌	2	1	1			1				2	1	2
단초점	1		7	1	1	2			1		4	1
계	3	6	9	3	3	3	1	7	3	11	10	3

주 - 창성 : 창성식 구면, 몰드 : 글라스 몰드 비구면, 복합 : 복합형 비구면

기술했다.

효과에 적합한 비구면 렌즈, 자신의 코스트 달성이 비구면 렌즈 채용의 발전을 촉진시켰다.

비구면 렌즈의 장점은 설계 측면에서 1-1장의 비구면의 정의에서 기술한 것처럼 한 가지의 곡률만을 설계하는 자유도가 있는 데 대해 원리적으로는 무한의 설계 자유도를 가지고 있다는 점에 있다.

한편 비구면 렌즈의 단점도 이를 바꾸어 말해 제조 면에서는 연속적으로 변하는 곡률을 고정도로 가공하는 기술이 구면 렌즈에 비해서 어렵고 아무래도 코스트가 높아져 버린다. 더우기 비구면 렌즈 자신의 가공 · 유지를 위한 난이도가 높을 뿐만 아니라 비구면을 쓴 컴팩트화와 렌즈 매수의 절감에도 나타난다. 오차 감도 증대에 의한 경통의 조립 난이도도 높게 됨에 따라 비용이 높아지는 것에 대처할 필요도 나타난다.

따라서 비구면을 써서 설계하는 경우에는 가능한한 큰 효과를 올려야 된다. 어떻게 능숙하게 비구면 효과를 잘 활용하느냐가 관건인 것이다.

2. 비구면 렌즈의 종류와 특징

2-1. 비구면 렌즈의 종류와 특징

비구면 렌즈의 종류는 거의 아래의 네 가지 가공법으로 집약된다. 아래 네 가지 종류의 가공법과 특징을 정리한다.

① 창성식(다이렉트 가공식) 비구면 연마법

광학 유리를 직접 비구면 연삭 연마 또는 직접 창성 연마로 가공을 해서 끝내는 방법으로 렌즈를 한 개씩 비구면 가공해 나간다. 고정도화를 실현할 수 있으나 코스트가 상대적으로 높다. 대구경 렌즈, 광각 렌즈 등의 고성능 렌즈에 채용되고 있다.

② 플라스틱 몰드법(사출 성형식)

비구면 코아를 포함 금형 플라스틱(수지)를 주입해서 성형하는 방법으로 대량 생산의 저코스트화에 적합하다. 주로 컴팩트 카메라용에 채용되고 있다. 수지의 광학상수(굴절률과 분산)이 한정되는 것이 설계면에서 자유도를 제약하고 있다.

③ 글라스 몰드법

연화 상태의 글라스 블랭크 재료를 비구면 코아를 포함 금형으로 성형하는 방법으로 플라스틱 몰더법의 양산성과 창성식 비구면 연마법의 고정도화(高精度化)를 합친 것이다. 한편으로 성형 온도가 상대적으로 높아 코아 금형에 대한 부하가 과제이다. 컴팩트 카메라용에서 대중적인 SLR용까지 채용되어 장래에 발전성이 높은 가공방법이다.

④ 복합형 비구면 성형법

구면 글라스 렌즈에 비구면 코아를 포함 금형을 써서 비구면 수지를 중합 성형하는 방법으로 글라스 렌즈의 안정성에 플라스틱 몰드법의 양산성을 합친 가공법이다. 일안 리플렉스용 대량 생산 대중용 렌즈에 처음 채용되어 지금은 컴팩트 카메라용에도 일부 채용되고 있다.

〈표 1〉에는 각종 비구면 렌즈의 특징을 재정리하였다. 〈표 2〉에는 일안 리플렉스 렌즈에 비구면 렌즈의 여러 가지 상황을 각 사가 갖은 각 렌즈의 사양으로 정리했다. 각종 비구면 렌즈의 특징을 채용(採用) 상황에서 잘 알 수 있다.

2-2. 비구면 렌즈의 설계 수법

1-3장에 기술한 바와 같이 비구면은 원리적으로는 곡률에 대해서 무한의 설계 자유도를 가지고 있다. 따라서 이 설계 자유도를 어떻게 활용하는가가 비구면 렌즈 설계 수법의 키이다.

비구면 렌즈의 설계 수법은 비구면 렌즈 자신의 역사적인 경위와 밀접한 관계를 하고 있다. 초기 이 설계 수법은 수차론에서 용이하게 통찰할 수 있는 것이기 때문에 비구면에서 구해지는 수차 보정 효과, 예를 들면 왜곡, 구면 수차 등에 대응해서 구성 렌즈를 어떠한 위치에 어떠한 형상의 비구면 렌즈로 쓸 것인가가 해석적으로 구해지는 것이다.

그러나 90년대에 다수의 비구면을 써서 다양한 수차보정 효과를 구하게 되며 비구면 자신이 가진 설계 자유도의 크기가 거꾸로 비구면을 쓴 설계 수법을 어렵게 하는 것으로 돼 버렸다.

아래에 필자들이 쓴 설계 수법을 소개한다.

松居의 수차론을 기본으로 3차의 수차 계수를 썼다.

구면 렌즈에는 사양에서 오는 근축 파워와 색수차 보정만을 부담시켜 그 외의 수차 보정은 비구면 렌즈로 각 면의 3차 수차 개수를 독립으로 설계하는 것으로서 비구면을 많이 쓰는 렌즈의 초기 해석의 예측을 만들어 봤다. (9월호에 계속)

잠깐 정보

독일 10대 창업 아이디어 상품

○ 독일의 창업 아이디어 경연대회가 5월 11일 함부르크에서 개최되었는데, 총 1,684개사가 참가하였으며, 우수 아이디어로 10개사의 상품이 채택되었다.

• 1위 : 인조다이아몬드로 만든 眼科 수술용 칼. 단가가 낮고, 기존의 다이아몬드 칼보다 더 작고 날카롭게 제작되어 지금까지 할 수 없었던 안구 뒤쪽의 수술도 가능하게 한다.

• 2위 : 유전자 검사를 통한 부작용 진단법. 임상실험 대상자의 유전자 검사를 통하여 신규 개발 의약품의 부작용을 예견함으로써 제약업계의 신약개발 비용을 현저하게 줄일 수 있다.

• 3위 : 전자 열쇠. 고객의 희망에 따라 비밀번호 대신 특수 열쇠를 사용해도 되므로 열쇠를 분실해도 전혀 문제가 없다. 경보장치와도 연결하여 사용할 수 있게 되어 있으며, 기존의 것과 달리 설치할 때에도 전기선이 필요 없고 무선으로도 조작이 가능하다.

• 4위 : 목소리를 인식하는 인공지능 칩. 커피기기가 사람의 명령에 따라 커피와 에스프레소, 카푸치노를 각각 만들어낼 수 있고, 카폰에 장착하면 운전중에 목소리를 통하여 전화를 걸 수 있게 된다.

• 5위 : 콜레스테롤 없는 달걀가루. 달걀의 맛과 향을 유지하면서 식물성 기름을 이용하여 콜레스테롤을 완전히 제거

• 6위 : 한자표시 소프트웨어. 중국시장 개척을 위해 핸디 및 기계설비의 작동과정을 알려주는 표시창에 한자를 표시하는 소프트웨어. 먼저 보쉬사가 중국수출용 핸디에 사용할 예정이다.

• 7위 : 심야 전기 pool제. 업체들을 하나의 pool로 모아 시간대별로 가장 저렴하게 전기를 공급하는 업체와의 접속을 대행해준다. 수수료는 절감 비용의 25%이다.

• 8위 : 신제품 개발 대행업. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 신제품 개발을 대행하고 신제품 개발을 위한 최적의 개발과정 및 프로그램 조건 등에 대한 상담도 한다.

• 9위 : 기념물 관리 대행. 독일에는 100만 개의 기념물이 있는데, 이들 기념물에 대한 보험을 일괄 계약하고 관리를 대행하여 기념물 소유자의 비용부담을 절감시켜 준다.

• 10위 : 환경친화적 방한용 건축자재. 기존의 방한용 건축자재인 스티로폴판에 비해 가공이 편리하고 환경친화적인 방한용 건축자재를 개발하였다.

(자료 : 인터넷 Stern지, 99년 5월 17일)