

역회전 편심 운동 방식에 의한 비구면 유리렌즈 금형의 공구마크 제거 방법에 관한 연구

이호철[#] · 김중억¹ · 강현형¹ · 김동식²

Tool Mark Removal Method of Aspherical Glass Lens Mold by Reverse-rotational Eccentric Motion

H. C. Lee, J. U. Kim, H. H. Kang, D. S. Kim

(Received March 2, 2009)

Abstract

In this paper, new aspherical surface polishing mechanism is suggested to polish aspherical glass lens mold by both airbag polishing tool and reverse-rotational eccentric motion. Up to now, conventional aspherical lens polishing method by the small tool polishing uses the aspherical surface profile and the trajectory of the polishing tool is also controlled. However, full contact concept by airbag polishing tool and no position control make the easy polishing setup and does not need aspherical design profile. An aspherical lens polishing machine was made for this study and a tool mark removal experiment for the fine-grounded lens mold was successfully performed.

Key Words : Polishing Machine, Aspherical Lens Mold, Airbag Tool, Eccentric Motion

1. 서 론

비구면 유리렌즈는 플라스틱 렌즈에 비해서 열적 안정성과 고해상도에 적합한 광학적 특성을 가지고 있어서 휴대폰 카메라, HD-DVD 등의 고화질화에 필수적인 광학부품이다. 광 전자기기에 사용되는 비구면 유리렌즈는 금형을 이용한 압축성형 방법에 의해서 렌즈를 양산하고 있어 초정밀 비구면 형상의 금형 가공기술이 필요하다. 고경도의 초경 금형은 초정밀 연삭 가공기에 의해 비구면 형상이 만들어지나 후속 연마 작업으로 잔류 스크래치나 나선형 공구 마크(mark)를 제거하는 것이 필요하다. 이를 위한 연마방법으로서 수작업에 의한 비구면 연마방법이 시도되고 있으나, 작업자 숙련도에 의존하고, 초정밀 가공된 형상이 과도하게 훼손될 수가 있다[1~3]. 본 논문에서는

개발된 에어백 공구방식의 자동화된 비구면 연마기를 이용하여 비구면 렌즈 금형을 연마하는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 비구면 연마 기계는 소형의 에어백 연마공구와 편심운동방식의 연마메카니즘(mechanism) 구조를 채택하였다[4]. 에어백 공구는 고무의 적응성 때문에 비구면 형상에 항상 밀착 가능하고 편심운동은 연마면 전체에 전면 접촉하여 공구마크를 제거할 수 있는 것으로 제안되었다. 검증 실험으로서 정삭 연삭된 비구면 렌즈 금형에 대해서 에어백 공구와 역회전 편심운동 연마 메카니즘으로 공구 마크를 제거하는 연구를 수행하였다.

2. 비구면 렌즈 금형 연마장치

편심운동에 의한 광학 연마 방법은 구면의 안

1. 한밭대학교 기계공학과

2. ㈜계영솔루텍

교신저자: 한밭대학교 기계공학과, E-mail: hclee@hanbat.ac.kr

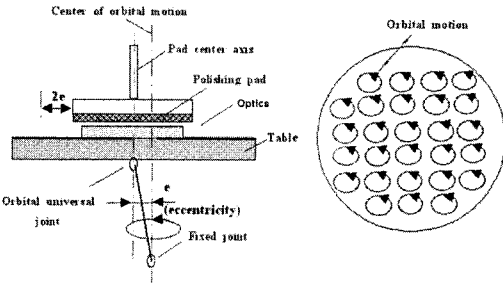


Fig. 1 Schematic diagram of polishing kinematics based on the eccentric motion

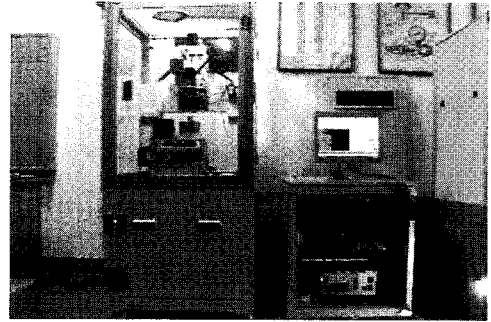


Fig. 2 Polishing machine with airbag tool

경 렌즈 금형 연마에 전통적으로 적용해왔던 방법으로서 오스카 방법에서의 왕복운동을 편심운동으로 대체한 것으로 Fig. 1 과 같이 편심운동 또는 궤도운동(orbital motion)에 의해 편심량 e 만큼 편심 회전하면 결과적으로 3 개의 방향성을 가지는 편심운동연마 방식이 이루어진다. 편심회전, 공구회전, 가공물 회전의 연마 메카니즘과 연마패드를 에어백 공구로 대체하여 직경 80 mm의 구면안경 렌즈 금형에 대해 연마한 결과 구면형상 개선과 균일한 표면거칠기를 확보하는 연마작업이 가능하였다[5]. 본 논문의 실험에 사용된 비구면 렌즈 연마 장치는 초정밀 연삭 후의 공구 마크를 제거하기 위하여 렌즈 금형과 연마 공구가 전면 접촉하는 소형의 에어백 공구와 편심 연마 운동하는 구조로 개발되었다.

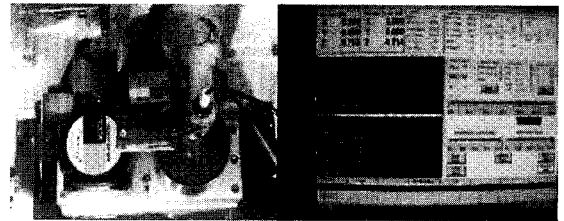


Fig. 3 G-coded PC-NC polishing process

소형의 비구면의 곡률에 적응하도록 에어백 연마 공구를 제작하였고, 에어백 연마 공구는 중공(through-hole)의 스피들을 이용하여 공구가 회전하면서도 공압에 의해 고무패드를 팽창 가능한 구조로 설계되었다. 고무 패드는 연마입자를 기공 내에 보유하는 역할을 하면서도 팽창 가능한 기공의 흡을 가지는 구조이다. 한편, 연마운동은 편심회전, 가공물 테이블 회전과 공구 회전이 부가되어 3 개 방향(3-way) 운동이 생성되어 연마가 이루어지도록 하는 장치를 제작하였다. 편심운동은 x-y 서보모터(servo motor)의 원호 보간 운동으로 구현되고, 수직 하중은 자중의 균형추 방식으로 설계되었다. 연마공구의 회전수는 10~100rpm, 하부 테이블 회전수는 10~200rpm 의 범위를 가지도록 Fig. 2 와 같이 설계 제작 되었다.

한 연마하중 확인을 위해서 가공물 하부에 로드셀(load cell)을 장착하였다. G-code 방식 명령어로 편심 연마 기능을 반복 수행 가능하며, 편심량 설정도 원호 보간의 크기로 쉽게 조절이 가능하였다. Fig. 3 은 에어백 공구와 G-code 방식의 운동제어로 연마실험 하는 모습이다.

또한 연마장치의 공구회전, 가공물회전, 편심회전의 운동 제어를 위해서는 모션컨트롤러(motion controller)를 사용하여 운동제어를 구현하였다. 또

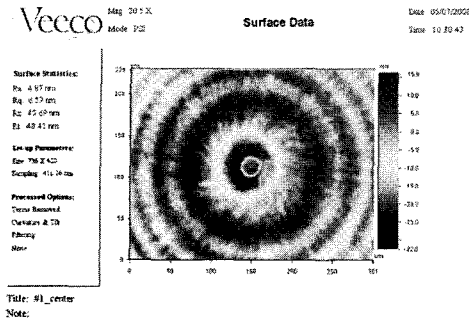
3. 역회전 편심운동에 의한 비구면 연마 실험

3.1 비구면 렌즈 금형의 연삭 표면

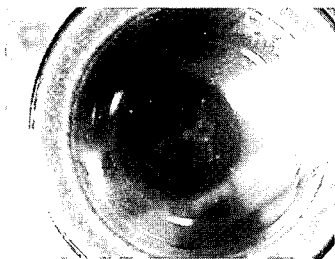
실험에 사용된 비구면 렌즈 금형은 초정밀 연삭 가공기에서 정밀 연삭 가공된 것이다. Fig. 4(a)의 렌즈 금형의 백색광 간섭계(white light interferometer)로 측정된 표면 상태는 환형 스크래치가 선명하게 남아 있고, Fig. 4(b)에는 공구현미경에서 측정된 공구마크가 보인다. 중심부 측정 영역에서는 표면거칠기는 Ra 5nm 수준이고 공구 마크는 주로 연삭 휠(wheel)의 나선형 공구 경로에 의해 주로 발생된다.

3.2 편심연마 운동 메카니즘

연삭 과정에서 발생한 공구마크를 제거하는 방법으로 에어백 공구를 이용한 공구와 가공물이 역회전하는 편심 연마 방법을 Fig. 5 와 같이 제안하였다.



(a)



(b)

Fig. 4 Tool mark from grinding process

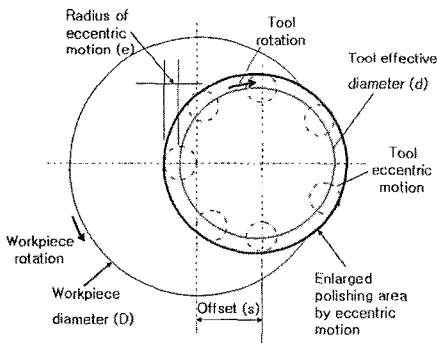


Fig. 5 A suggested tool mark removal method by reverse-rotational eccentric motion

연마시간에 따른 연마율은 일반적으로 프레스턴(Preston) 식에 의해 식 (1)과 같이 연마압력과 상대속도 분포의 곱으로 표현 된다[6]. 본 연구에서 제안된 편심회전 연마에서의 상대속도 분포는 식 (2)와 같이 연마 영역 내에서 에어백 공구의 회전수 (ω)와 렌즈 금형의 회전수(Ω)의 차이에 의해 주로 결정되며 편심연마운동에 의한 등가 회전수(f)도 포함된다.

$$\frac{dh}{dt} = kPV \quad (1)$$

Table 1 Experimental conditions to get a polishing pattern on the oxide wafer

Parameter	Offset position	
	1st	2nd
Polishing load	310gf	
Air pressure	0.1MPa	
Tool effective diameter	8mm	
Tool rotation speed(ω)	80rpm	
Workpiece rotation speed(Ω)	80rpm	
Abrasives	diamond 1 μ m	
Polishing time(t)	10 min	15 min
Tool eccentric motion(rotation)	radius(e)	1 mm
	Federate(f)	300mm/min
	offset(s)	0mm, 2mm

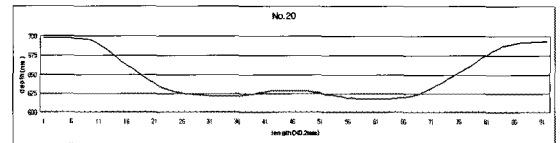


Fig. 6 The polishing pattern of the superposition of the two eccentric offset positions

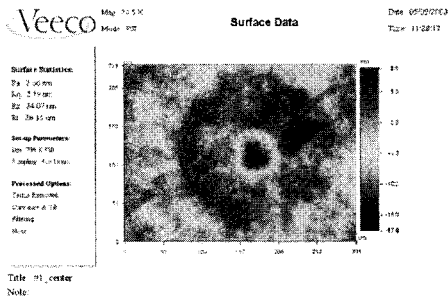
$$V = r\omega - (r - s)\Omega + ef \quad (2)$$

연마영역내의 연마입자는 두 개의 회전과 편심 운동에 의해 이동하여 일정 연마시간 후에는 특정 연마 패턴(pattern)이 나타나지 않는 것으로 기대된다. 에어백 공구가 연마 중에 지속적으로 금형에 밀착된다면 연마압력은 편심 이동 중에 전 영역에 걸쳐 동일할 것으로 추측된다.

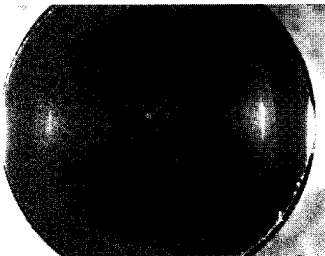
3.3 중첩 연마 패턴의 확보

편심운동에 따라 연마되는 연마패턴의 형상을 해석적이 아닌 실험에 의해 파악하는 연구를 수행하였다. 실리콘 웨이퍼에 옥사이드 박막을 700 nm 두께로 증착된 평면의 웨이퍼를 실험 시편으로 이용하였다. Table 1의 연마 조건으로 같은 기관상에 읍셋위치를 변경하여 연마를 중첩하여 연마패턴을 얻는 실험을 수행하였으며, 첫 번째 읍셋 위치 0 에서 10 분간 연마한 후 공구 위치를 읍셋 2mm 위치로 이동한 후 15분 연마하였다.

Fig. 6과 같이 두 편심 읍셋 위치의 중첩된 연마량을 반영하는 연마패턴은 외곽의 가장자리를 제외하고는 75nm 정도의 비교적 평탄한 연마량을 보이고 있다.

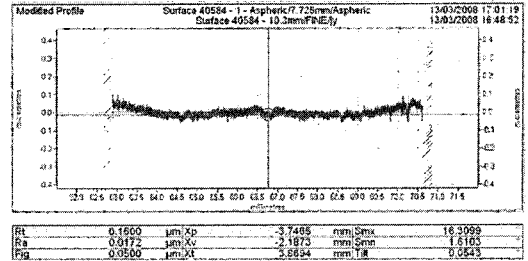


(a)

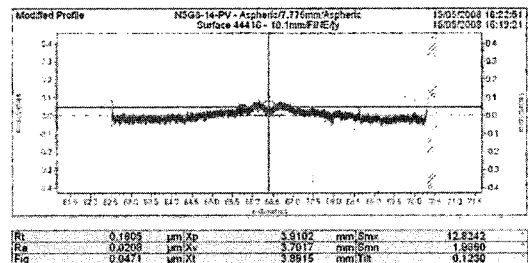


(b)

Fig. 7 Tool mark reduction by reverse-rotational eccentric polishing process



(a) Before polishing



(b) After polishing

Fig. 8 Form error profile by polishing process

Table 2 Surface roughness variation by polishing process

	Rt (peak-to-valley)	Ra (average)	Rrms (root-mean-square)
Before polishing(μm)	67.5	3.2	4.3
After polishing(μm)	36	3.6	4.6
Variation	31.5	-0.4	-0.3

Table 3 Form accuracy variation of aspherical lens mold

	Rt (peak-to-valley)	Ra (average)	Figure
Before polishing(μm)	0.16	0.017	0.050
After polishing(μm)	0.16	0.02	0.047
Variation	0	-0.003	+0.003

3.4 정상 비구면 금형의 공구마크 제거

초정밀 연삭 가공된 비구면 렌즈 금형을 Table 1의 연마 조건과 Fig. 6의 연마 패턴을 적용한 공구마크 제거 실험을 수행하였다. 실험 결과, 측정된 금형 표면의 공구마크는 연마 실험 후 Fig. 7과 같이 성공적으로 제거 되어졌고 백색광 표면 간섭계로 측정된 중심부 측정 영역의 표면거칠기는 Ra 2nm 수준으로 개선되었다.

또한 접촉식 측정기(Talyor hopson, Formtaly surf)로 평가한 표면거칠기도 peak-to-valley(Rt) 기준으로 67.5nm에서 36nm으로 대폭 개선되었다. 그러나 평균 표면거칠기의 변동량은 거의 없었다.

한편 비구면 형상의 변동성을 파악하기 위하여 접촉식 측정기로 연마 전후의 금형 형상을 측정 한 결과, Fig. 8 과 같이 형상오차 프로파일(profile)

을 구하였다.

측정된 연마 전후의 형상오차는 Rt(peak-to valley) 기준으로 0.16μm으로 변동이 없었으나 외곽 가장자리에서 연마량이 크게 나타났다.

4. 결론

본 논문에서는 소형의 초정밀 연삭 가공된 비구면 유리렌즈 금형의 공구마크를 제거하는 연마 방법으로 3 개의 연마운동으로서 공구와 가공물의 역회전과 편심 운동으로 공구마크를 제거하는 실험 연구를 수행하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 초정밀 연삭 가공된 비구면 렌즈 금형은 표면거칠기는 Ra 기준으로 3-5nm 수준으로 양호하지만 백색광 간섭계 및 공구현미경 사진에서는 공

구마크가 현저히 드러나고 있어서, 후속의 연마에 의한 공구마크 제거가 필요하였다

(2) 공구마크를 제거하는 연마 운동 방법으로 공구와 가공물의 역회전 및 편심 운동 방법을 제시하였고 옥사이드 박막의 평면 웨이퍼를 이용하여 증착된 연마패턴을 얻는 실험적 방법을 수행하였다.

(3) 렌즈 금형에 증착 연마 패턴을 적용한 결과 금형의 형상오차 프로파일은 변동하였지만, 형상 오차는 $0.16\mu\text{m}$ 으로 초정밀 연삭된 금형의 형상오차 수준을 유지하였고, 백색광 간섭계로 측정된 금형의 공구마크는 성공적으로 제거되어 Ra 2nm 수준을 확보하였다.

후 기

본 논문은 교육과학기술부의 특정기초연구지원 사업 지원에 의하여 수행되었습니다(과제번호: R01-2008-000-10757-0).

참 고 문 헌

- [1] H. Lee, M. Yang, 2001, Dwell time algorithm for computer controlled polishing of small axis-symmetrical aspherical lens mold, *Optical Engineering*, Vol. 40, No. 9, pp. 1936~1943.
- [2] H. Suzuki, T. Komiyama, 1999, Precision grinding of molding die and glass molding in micro optical components, *Proceedings of 9th International Conference for Production Engineering*, pp. 126~131.
- [3] H. Suzuki, R. Kawamori, 2005, Ultra-precision finishing of micro aspherical surface by ultrasonic vibration assisted polishing, *Key Engineering Materials*, Vols. 291-292, pp. 349~354.
- [4] H. Lee, J. Kim, 2008, Full Contact Polishing Method of Aspherical Glass Lens Mold by Airbag Polishing Tool, *Journal of Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 17, No. 5, pp. 82~88.
- [5] H. Lee, 2007, A study on optics polishing technology by adaptive tool and eccentric motion mechanism, *Transaction of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 16, No. 6, pp. 133~139.
- [6] M. Yang, H. Lee, 2001, Local material removal mechanism considering curvature effect in the polishing process of the small aspherical lens die, *Journal of Materials processing technology*, Vol. 116, pp. 298~304.