Head Mounted Display 광학계 초정밀 가공특성에 관한 연구

양순철*, 김건희, 김효식, 신현수, 김명상(한국기초과학지원연구원), 원종호(충남대)

A Study on the Characteristics on Ultra Precision Machining of HMD Optical System.

S. C. Yang*, G. H. Kim (KBSI), J. H. Won(Mech. Eng. Dept., CNU)

ABSTRACT

This paper is described about the technique of ultra-precision machining for optical parts in HMD system. Machining technique for PMMA and BK7 with single point diamond turning machining is reported in this paper. The main factors influencing on the machined surface quality are discovered and regularities of machining process are drawn. The purpose of our research is to find the optimum machining conditions for cutting of PMMA and grinding of BK7. Also, apply the SPDTM technique to the manufacturing of ultra precision optical components of HMD system. Aspheric PMMA lens without a polishing process, the surface roughness of 5 ㎚ Ra, and the form error of λ/2 (λ=632.8 nm) for reference curved surface 30 ㎜ has been required.

Key Words : SPDTM (단결정 다이아몬드 선반), HMD (Head Mounted Display), aspheric lens (비구면 렌즈)

1. 서론

고정밀도를 요구하는 기계가공 산업에 있어서 과거에는 비교측정에 사용되는 블록게이지를 가공하는 정도의 수준이었으나, 최근에는 정밀기계, 전기, 전자, 반도체, 광학 관련 기기를 비롯한 영상, 정보 및 항공 우주 산업 등의 급속한 발달로 인하여 그 구성 부품들의 초정밀 가공에 대한 필요성이 확대되고 있다. 따라서 초정밀 가공기술은 제품의 고 부가가치 창출은 물론 기계가공 산업 전반에 막대한 파급효과를 나타내고 있다.[1~3)]

또한, 최근 급속히 진행되는 과학기술 발전 가운데 주요 역할을 연출하고 있는 것은 전자, 광학 부품의 진보라고 말할 수 있다. 이러한 고기능 소자를 제조하려면 각 취성재료의 초정밀가공에 대한 고도화가 요구된다. 이 같은 배경에서 유리와 같은 취성재료를 경면 가공하는데 연삭 후 폴리싱 (polishing) 공정기술의 개발에 있어 최근에 주목할 만한 많은 연구가 행하여져 오고 있다[4)].

본 논문에서 연구한 HMD(Head Mounted Display)는 머리에 장착하거나 안경처럼 사용하여 초대형 화면을 보는 듯한 효과를 낼 수 있는 휴대용 디스플레이 장치로서 구현할 수 있는 화면의 크기는 점차 확대되어 2m 앞에서 60 인치 정도의 대화면을 볼 수 있으며, 또한 양안의 시차를 이용하여 고화질의 3 차원 입체 영상을 표현하는 개인용 디스플레이 장치로 발전하고 있다.

HMD 의 역사는 1960 년대에 Ivan Sutherland 가 고안한 최초의 HMD 를 시작으로 1970 년에 군사용으로 개발하였으며, 1980 년대 말 이후부터 의학용, 게임용, 산업용, 통신용으로 개발되고, 1990 년대부터 마이크로디스플레이의 발달로 인해 HMD 의 크기, 형태, 용도, 기술에 있어 많은 발전이 있었다. 초기에는 CRT, 광학계, head orientation 하드웨어와 초기 이미지 발생기를 결합시켜 만들어졌으나 현재는 TFT-LCD, 유기 EL 과 같은 마이크로디스플레이 장치와 비구면 플라스틱 렌즈를 이용한 컴팩트한 광학계, 안경타입의 소형화된 head mount, 멀티포맷방식의 디지털 영상신호의 재생, VGA, SVGA, XGA, SXGA 의 해상도를 지원하는 등 지금까지 각각의 분야에서 현저한 발전을 해 왔다. 비구면 플라스틱 렌즈의 재질로는 수지 중 가장 뛰어난 광투과성과 내후성이 우수한 PMMA(Polymethyl Meth acrylate)를 HMD 광학계에 사용 된다.

본 연구에서는 HMD 광학계에 사용되는 PMMA 의 절삭조건의 변화에 따라 표면 거칠기를

비교하여 최적절삭조건을 얻었으며, 반사경으로 사용되어지는 glass 소재인 BK7 의 최적 연삭 조건으로 초정밀 연삭 후 형상정밀도 향상을 위해 일본 KURODA 사 KRP-2200F 를 이용하여 폴리싱을 수행하였다. 이렇게 초정밀가공기를 이용하여 HMD 시스템에 사용되는 광학 렌즈에 적용하여 가공 정밀도 및 표면 거칠기 향상을 통한 시스템의 문제 해결과 제품의 소형화, 고정도, 고성능 및 고해상도의 효과를 기대하여 이를 통한 HMD 광학 기술의 국산화로 인한 국제적 경쟁력 확보가 기대된다.

2 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에 사용된 초정밀 가공기는 RTH 사의 Nanoform 600 다이아몬드 터닝머신(DTM)이다.

다이아몬드 터닝머신은 두 개의 유정압 안내면과 공작물을 고정시키는 공기정압 베어링 스핀들로 구성되어 있다. 두 안내면은 각각 X축과 Z축으로 T 형태의 직교를 이루며 구동한다. X축의 중심부에 해당하는 안내면에 주축 스핀들이 고정되어 회전하며, 안내면의 구동방향과 평행을 이루며 회전한다. Z축 구동안내면 위에는 공구대가 고정되어 다이아몬드 바이트를 설치 할 수 있으며, 스핀들 구동 방향과 수직방향으로 구동한다.[3~5)]

안내면의 위치결정정도는 0.25 ㎛/300 ㎜, 분해능은 1.25 ㎚의 성능을 가지고 있으며, 선삭의 경우 최대 Ø600 ㎜(125 ㎏), 연삭의 경우 Ø300 ㎜까지 가공이 가능하다. Fig.1 은 초정밀 가공 시스템을 나타낸다.

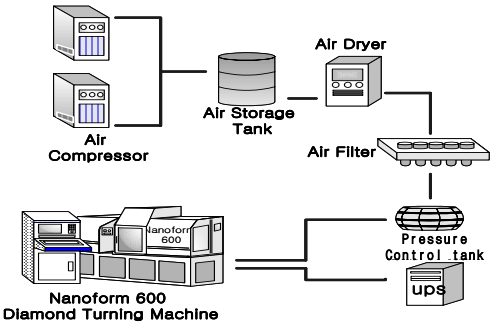


Fig. 1 The system of ultra precision lathe

초정밀 가공실은 온도 20±1℃, 습도 40±5%, Clean Room class 10,000 인 항온항습의 크린룸이며, 장비의 진동방지를 위한 독립지반구조로써 장비 하부는 3Point Air Bag 으로 지지된다.

표면 거칠기 측정 장비로는 비 접촉식 표면형상측정기 WYKO 사의 NT 2000 을 사용하였다. 측정기의 측정범위는 가로 × 세로 최대 100 ㎜×100 ㎜ 이며, 높이방향의 측정범위로는 0.1 ㎚~150 ㎛이며, 분해능은 0.1 ㎚이고 자동 포커싱 타입이다.

2.2 실험방법

광학소자 PMMA 의 최적의 절삭 조건을 찾기 위해 Ø40 ㎜, 두께 40 ㎜의 시편을 제작하여 공구 노우즈 반경에 변화에 대한 절삭속도와 절삭깊이, 이송속도, 절삭유 급유방식의 변화에 따른 표면 거칠기를 측정하였다. 이때 절삭유의 급유 방식은 압축공기만을 사용하는 건식(DRY)방식과 압축공기와 절삭유인 방전유를 혼합하여 분사하는 극미량(MQL)분사방식을 사용하였으며 절삭 후 측정 방법은 시편의 Ø30 ㎜되는 부분을 선정하여 항상 부위에서 4 번을 측정하여 매번 총 16 회 이상 측정을 통하여 오차 범위가 큰 값을 제외하고 나머지 10 개의 값을 평균 산출하여 측정값의 오차를 줄이고자 했다. 실험을 통하여 광학 수지 PMMA 의 최적의 가공조건을 구할 수 있었으며 구해진 가공조건을 이용하여 HMD 광학계를 제작하였다. Fig. 3 은비접촉식 표면형상측정기 NT2000 을 이용하여 PMMA 의 표면거칠기를 측정하는 모습이다

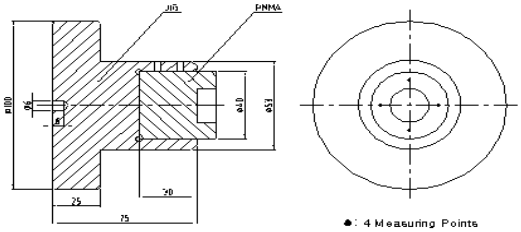


Fig.2 Test Workpiece

Fig. 3 Measurement of workpiece

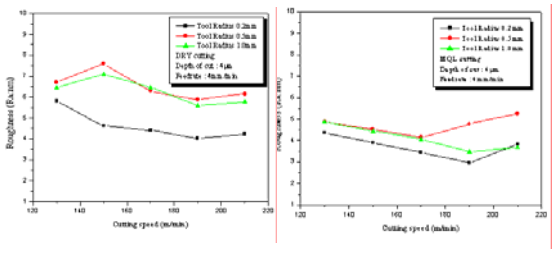
Glass 소재인 BK7 의 초정밀 조건으로 초정밀 연삭후 KRP-2200F 폴리싱머신을 이용하여 표면형상정밀도를 향상시켰다.

3 실험결과 및 고찰

3.1 PMMA 절삭특성에 관한 평가

3.1.1 표면 거칠기 특성

Fig. 4 는 절삭깊이 0.4 ㎛, 이송속도 4 ㎜/min 로 하여 각각의 노우즈 반경 0.2 ㎜, 0.5 ㎜, 1.0 ㎜ 에 대한 절삭유 급유 방식인 DRY 와 MQL 방식에 따른 표면 거칠기를 측정한 결과이다. Fig. 4(a)는 방전유를 제거하고 Air 만 공급해주는 건식(DRY)방식을 사용하여 공구의 노우즈 반경에 대하여 절삭속도를 단계적으로 130~210 m/min 까지의 변화에 대한 측정결과이다. Fig. 3(b)는 Air 와 방전유를 혼합하여 분사하는 극미량(MQL)방식 이용하여 130~210 m/min 까지의 절삭속도 변화에 대한 측정결과를 나타낸다. 절삭 속도 변화에 대한 실험 결과로 PMMA 의 초정밀 절삭에서 절삭속도는 170 m/min 이상으로 공작물을 가공하는 것이 제품의 정밀도 향상에 도움을 주며, Fig 5 에서 보여 주듯이 MQL cutting 방식으로 노우즈 반경 R0.2 ㎜, 절삭속도 190 m/min, 이송속도 4 ㎜/min, 절삭깊이 4 ㎛일 때 2.39 ㎚ Ra 로 가장 양호한 결과를 얻을 수 있었다.



a) DRY cutting b) MQL cutting

Fig. 4 Surface roughness versus cutting speed

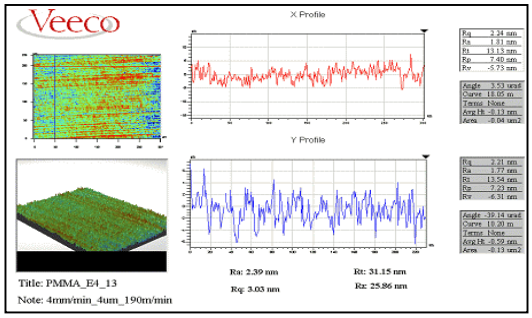
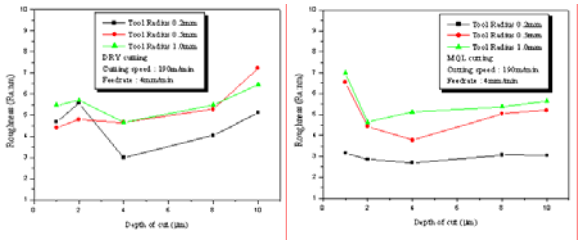


Fig. 5 Measurement of surface roughness by NT2000

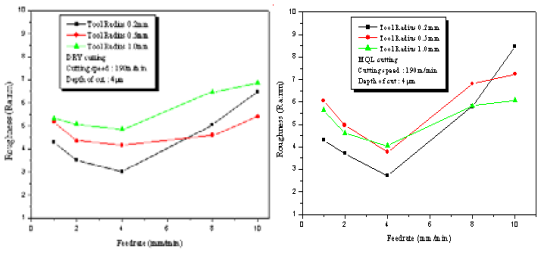
절삭깊이 변화에 따른 실험은 Fig. 6(a)와 같이 공구 반경 R0.2 ㎜, R0.5 ㎜, R1.0 ㎜에 대한 절삭유 DRY 방식, 절삭속도 170 m/min, 이송속도 4 ㎜/min 에서, Fig. 6(b)는 노우즈 반경 R0.2 ㎜, R0.5 ㎜, R1.0 ㎜에 대한 절삭유 MQL 방식, 절삭속도 170 m/min, 이송속도 4 ㎜/min 에서 각각의 절삭 깊이 1~10 ㎛ 에 따른 표면 거칠기를 측정한 결과이며, 미소절삭에서는 절삭깊이가 작을 경우 표면 거칠기가 떨어지는 경향을 볼 수 있다.



a) DRY cutting b) MQL cutting

Fig. 6 Measurement roughness versus depth of cut

이송속도 변화에 따른 실험은 Fig. 7(a)와 같이 DRY cutting 에서의 공구 노우즈 반경 R0.2 ㎜, R0.5 ㎜, R1.0 ㎜, 절삭속도 170 m/min, 절삭깊이 4 ㎛에서, Fig. 7(b)는 MQL cutting 에서의 공구 노우즈 반경 R0.2 ㎜, R0.5 ㎜, R1.0 ㎜, 절삭속도 170 m/min, 절삭깊이 4 ㎛에서 각각 이송속도 1~10 ㎜/min 에 따른 표면 거칠기를 측정한 결과이다. 평균적으로 이송속도가 일정속도를 증가하면서 표면 거칠기가 나빠지는 경향을 볼 수 있으며, 이러한 실험 결과는 이송방향의 표면 거칠기는 인선반경과 공작물의 1 분당 이송량의 관계에 의하여 기하학적으로 결정되는 이론적 표면 거칠기와 유사한 경향을 나타내고 있다.



a) DRY cutting b) MQL cutting

Fig. 7 Surface roughness versus feed rate

본 실험을 통해 얻어진 최적절삭조건으로 HMD system 의 PMMA 비구면 접안렌즈와 비구면 프리즘을 가공하였다. Fig. 8 에서는 비구면 접안렌즈와 프리즘을 초정밀 가공하는 모습을 보여준다.

Fig.8 Machining of PMMA lens and prism by SPDTM

Fig.9 에서는 접촉식 표면형상측정기 Form Talysurf Series2 를 이용하여 측정한 결과 Rt 0.5755 ㎛, Ra 0.0934 ㎛를 얻을 수 있었다.

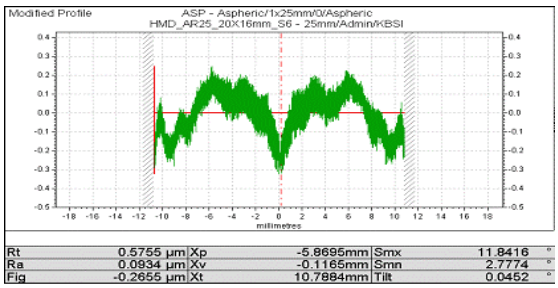


Fig.9 Measurement of PMMA lens by Form Talysurf series2

HMD system 에서 반사경으로 사용될 BK7 은 직경 90 ㎜와 30 ㎜이며 연삭 휠 숫돌입자가 #300 인 Ø90 ㎜ 연삭 휠로 연삭깊이 10 ㎛, 이송속도 15 ㎜/min 으로 황삭 가공을 하였으며 휠 숫돌입자가 #2000 연삭 휠로 연삭깊이 0.2 ㎛, 이송속도 2 ㎜/min 으로 정삭가공을 하였다. 초정밀 연삭공정을 거친 후 Form Talysurf Series2 를 이용하여 공작물의 표면을 측정 하였다. 측정방법으로는 먼저 측정기의 stylus 가 공작물의 중심부에 정확히 올수 있도록 하며 8 번의 반복측정을 거쳐서 평균값이 나오는 측정결과를 최종 결과값으로 사용하였다.

(a)Machining of BK7 by SPDTM (b) Polishing of aspheric lens by KRP-2200F

Fig.11 Process of manufacturing BK7 aspheric lens

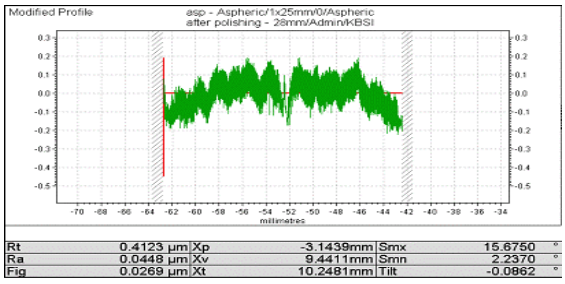


Fig.11 Measurement of BK7 lens by Form Talysur series2

Fig. 12 Assembly of HMD system

Fig.10 은 초정밀 연삭 하고있는 사진과 연삭 공정 후 폴리싱보정가공을 하고 있는 사진이다. 초정밀 연삭 후 BK7 렌즈의 형상정밀도를 향상시키기 위하여 폴리싱 과정을 하여 Fig. 11 과 같이 Rt 0.4123 ㎛와 Ra 0.0448 ㎛를 얻을 수 있었다. Fig. 12 는 모든 공정을 거친 후 조립된 system 이며 실제로 보이는 영상을 나타내고 있다.

4. 결론

1. PMMA 의 표면 거칠기에 대한 최적 가공 조건은 노우즈 반경 R0.2 ㎜, 절삭속도는 190 m/min, 이송속도는 4 ㎜/min, 절삭깊이는 4 ㎛, 절삭유 급유 방식은 MQL cutting 일 때 가장 양호한 표면 거칠기 2.39 ㎚ Ra 를 얻을 수 있었다

2. PMMA 최적절삭조건을 이용하여 접안렌즈와 비구면 프리즘을 가공하였으며 접안렌즈 측정결과로 Rt 0.5755 ㎛, Ra 0.0934 ㎛의 결과를 얻을 수 있었다

3.초정밀 연삭과 보상가공이 가능한 폴리싱 공정을 통하여 BK7 렌즈의 형상정밀도 Rt 0.412 ㎛, Ra 0.0448 ㎛를 얻었다.

참고문헌

1. 이후상 외, “Nanotechnology 를 위한 가공시스템 연구”, 과학기술부, 한국기계연구원 연구보고서, 1998-1999
2. 이종찬, 유인석, "초연마재를 이용한 연삭, 절삭가공“, 문운당, 1998
3. 특허청 일반기계과, “2003 신기술동향조사 보고서 (정밀절삭 가공기술)”, 특허청, 2003
4. C. S. West, H. M. Martin, R. H. Nagel, R. S. Young, W. B. Davison, T. J. Trebisky, S. T. Derigne and B. B. Hille, "Practical design and performance of the stressed-lap polishing tool", Applied Optics, vol. 33, pp. 8094-8100, 1994.