

## RUS법에 의한 광학기용 렌즈의 주파수 특성평가

### The Evaluation on the Frequency Characteristics of the Optical Glass Lens by Resonant Ultrasound Spectroscopy

양인영\*†, 김성훈\*\*

In Young Yang\*† and Seung Hoon Kim\*\*

**초 록** 광학기용 렌즈는 결함이 없는 높은 형상정밀도가 요구되어지는 제품으로써 본 논문에서는 공명초음파 분광법을 이용하여 결함을 검출하는 시험을 하였다. RUS는 시험편을 가진 시켜 양품시험편과 결함을 갖는 시험편 사이의 공진주파수 차를 검사하는 측정시스템이다. RUS를 이용한 비파괴 평가를 위하여 우리는 구면렌즈와 비구면 렌즈의 공진주파수를 측정하였다. 그 결과, 우리는 측정된 공진주파수에 의해 구면렌즈의 연마·가공정도를 알 수 있었으며, 결함을 갖는 비구면 렌즈의 특성평가를 할 수 있었다.

**주요용어:** 공명초음파분광법(RUS), 공진주파수, 비파괴 평가, 구면 렌즈, 비구면 렌즈, 연마·가공정도, 결함

**Abstract** The optical glass lens is required high dimensional precision such as the lack of defect . In this paper, we examined the detectable defect by using the resonant ultrasound spectroscopy (RUS). The RUS is the measurement system which is to excite the specimen and to inspect the differences of resonant frequency pattern between acceptable specimen and specimen which has some defects. In this paper, for nondestructive evaluation by using RUS, we measured the resonant frequency of each specimen which is spherical and aspherical glass lens. With the results, we knew the polishing processing degree of spherical glass lens by the measured resonant frequency and could evaluate the characteristic of aspherical glass lens about some flaws.

**Keywords:** resonant ultrasound spectroscopy(RUS), resonant frequency, nondestructive evaluation, spherical glass Lens, aspherical glass lens, polishing processing degree, flaw

#### 1. 서 론

현재 초고속 정보화 사회에 따른 광통신 분야의 급속한 발전과 함께 광부품의 양산화가 진전됨에 따라 광 제품들의 사용이 증대되고 있으며 광 부품 소자인 광학렌즈의 결함 판별을 위한 높은 신뢰성을 갖는 검사기법 및 평가 시스템이 요구되고 있다.

기존에 사용되고 있는 진원도 측정법이나 레이저 간섭계 시스템에 의한 광학적 평가는 많은 노동력과 검사 시간을 필요로 하므로 경제적이지 못하다. 따라서 본 논문에서는 새로운 비파괴 평가 방법으로 알려진 공명초음파분광법(Resonant Ultrasound Spectroscopy)을 이용한 측정시스템을 제작하였으며, 이 측정시스템을 이용하여 광전송기와 광 전

송매체에 사용되고 있는 구면렌즈와 비구면 렌즈의 결합에 대해 공명초음파분광법을 사용한 비파괴 평가를 수행하고, 그 결과를 고찰하였다. 공명초음파분광법인 RUS는 고체재료의 기계적인 공진주파수가 그 재료의 밀도, 형상 및 탄성상수에 의존하는 것을 이용하여 측정하려는 시험편을 발진기에 의해 가진 하고 그 주파수 응답을 수신기에서 측정하는 방법으로서 종래에 측정할 수 없었던 다양한 형상 및 이방성의 재료에 대해서도 측정 가능하다는 장점이 있다[1].

Paul Heyliger와 Hassel Ledbette[2]는 RUS를 사용하여 표면균열이 있는 시험편에 대한 공진주파수 해석 값으로부터 균열의 크기를 분류하였고, Jay G. Saxton[3]은 RUS를 이용하여 chops, cracks, voids 등을 검출한다. 본 연구에 사용된 광학렌즈는 광통신용 송수신 모듈(LD, PD Module)로부터 광(빛)을 일정하게 보내주고 받는 역할을 하는 Coupling Lens나 Fiber에 집광(빛을 모아주는)시키는 역할을 하는 Collimator Lens에 사용되고 있는 광소자로서 그 형상에 오차가 없어야 한다.

이러한 광소자의 비파괴 평가를 위해서 RUS를 이용한 측정시스템을 제작하였고, 측정시스템을 사용하여 측정된 시험편의 공진 주파수에 대한 고찰을 통하여 양품 시험편과 결함 시험편을 구분할 수 있으며, 구면렌즈의 공정 단계별 공진주파수를 측정함으로써 특정 사이즈를 갖는 구면렌즈의 완성을 위한 연마시간 추정 등에 활용 가능한 기본 데이터를 확립할 수 있다. 따라서 본 연구를 통하여 측정된 데이터를 바탕으로 더 많은 연구가 이뤄진다면 급격히 변화하고 있는 광통신 부품 시장의 대량 수요에 따른 제품의 수율과 원가에 크게 이바지 할 것으로 기대된다.

## 2. 실험

### 2.1. 시험편

Optical Glass Lens의 시험편은 BK-7 glass 재질의 block을 2.4 mm로 자른 후 1차, 2차 연삭과정을 통하여 50 nm의 표면 거칠기를 갖도록 정밀한 공정 과정을 통하여 완성되어진다. 광커넥터용 결합 부품으로 사용되는 구면렌즈의 표준사이즈는 직경 0.15~10 mm이다. 그 중 본 연구에서는 직경 2 mm와 5 mm를 갖는 구면렌즈를 선택하였으며, 구면렌즈의 공정과정 중 1차 연삭과정을 마친 시험

편과 2차 연삭과정 후의 완성품인 시험편을 Fig. 1 (a), (b)에 나타내었다. (c)에 aspherical Glass Lens의 시험편을 나타내었으며, 비구면 렌즈의 초정밀 자유 곡면을 가공하면서 생기는 결함 중 대표적인 결함을 Fig. 2에 나타내었다. 비구면 렌즈의 대표적인 결함으로는 (a)얼룩, (b)스크래치, (c)찍힘, (d)기포가 있으며, 5  $\mu$ m~10  $\mu$ m이내의 크기를 갖고 있다. 또한 렌즈의 가공 완성도를 고찰하고자, Table 1에 직경 2 mm와 5 mm 구면렌즈를 위한 1, 2차 연삭되어진 시험편의 종류와, 비구면 렌즈의 결합 판별을 위한 시험편의 종류를 나타내었다. 비구면 렌즈의 결함을 갖는 시험편은 광학현미경을 사용한 조도검사를 통하여 선별되어졌다. Table 2에 본 연구에서 사용된 광학렌즈 재질인 BK-7의 기계적 물성치를 나타내었다.

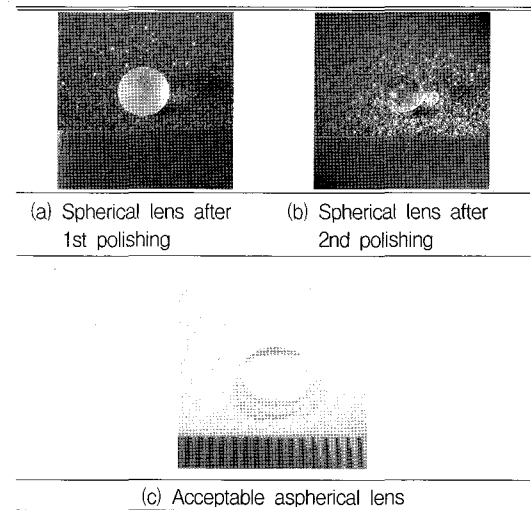


Fig. 1 The shapes of spherical and aspherical lens

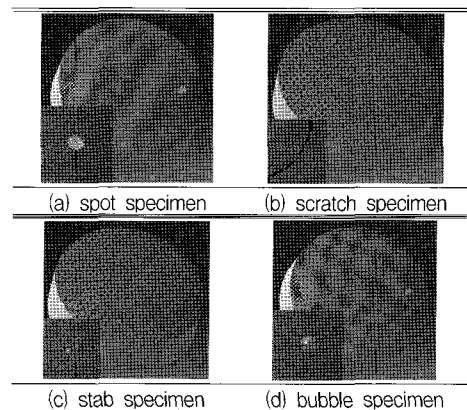


Fig. 2 The types of aspherical lens which has some flaws

Table 1 Optical glass lens specimens

Spherical glass lens	Process	Size[mm]
φ2mm	After 1st polishing	φ2.1
	After 2nd polishing	φ2.0
φ5mm	After 1st polishing	φ6.7
	After 2nd polishing	φ5.0
Aspherical glass lens	Process	Size[mm]
	Acceptable specimens The specimens which has some defect	d=7, t=3.4

Table 2 The mechanical properties of optical glass lens

Spec.	Elastic modulus E [Gpa]	Poisson's ratio	Density [kg/m <sup>3</sup> ]
Optical glass lens (BK-7)	82.1	0.21	2.51×10 <sup>3</sup>

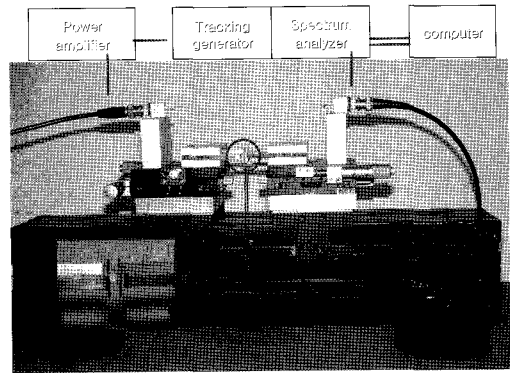


Fig. 3 The configuration of measuring part

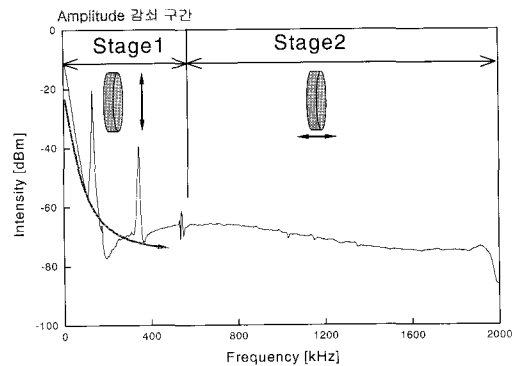


Fig. 4 The resonant frequency of measuring part

2.2. 시험편 측정시스템 및 평가

본 연구를 통해 제작된 RUS 비파괴 측정시스템은 Fig. 3과 같으며, 스펙트럼 해석기와 PZT, 신호를 증폭시키는 파워증폭기, PZT를 미소 이동시키는 마이크로미터와 기타 지지구조로 구성되어 있다.

사용된 PZT는 기계진동과 전기 진동을 변환하는 transducer로서 전기기계 결합계수가 0.5를 넘는 압전진동자이고 직경 15 mm 두께 1 mm의 원반형이다. PZT는 폭 5 mm 두께 0.3 mm의 양단지지 형태의 Cu-Be Beam에 의해 지지되고, Cu-Be Beam은 전기절연체인 Teflon Block에 고정되어있다. 광학렌즈는 Fig. 3과 같이 두 개의 PZT사이에 놓이게 되며, 스펙트럼 분석기에 의해서 공진주파수를 측정한다.

공명 초음파 분광법을 활용한 비파괴검사 시스템의 공진주파수 측정 시 시험편의 순수 공진 주파수만 측정되어지는 것이 아니라, 비파괴검사 시스템의 공진 주파수 대역 또한 측정되어지므로 광학렌즈의 공진주파수를 측정하기에 앞서 시험편을 제외한 측정 장치만의 공진주파수를 측정한 결과를 Fig. 4에 나타냈다.

그 결과 134 kHz, 348 kHz, 546 kHz 부근의 저주파 측에 해당되는 Stage 1에서 PZT의 종방향 진동모드특성들이 나타났고 600 kHz~2 MHz사이인 Stage 2에서 PZT의 두께 방향의 진동모드 특성이 나타났다. 감쇠폭이 크고 장치의 공진주파수 특성을 보이는 Stage 1에 비해 Stage 2는 매우 안정적이므로 Stage 2의 주파수 대역에서 비파괴 결합 평가를 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. Spherical Glass Lens의 공진주파수 측정

측정되어진 공진주파수에 의해 연마되어진 φ2 mm 구면 렌즈의 시험편의 첫 번째 모드는 1444 kHz이며, 완전히 연마되어지지 않은 φ 2.1 mm 시험편의 첫 번째 모드는 1357.6 kHz로 확실하게 구분되었으며, 측정되어진 공진주파수 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 흑점으로 표시하였다.

Fig. 5에 직경 2 mm를 갖는 구면렌즈의 1차 연삭가공만을 행한 시험편(after 1st polishing)과 2차 연삭가공을 행한 시험편(after 2nd polishing)에 대한 공진주파수 측정결과를 나타냈다. Fig. 5를 살펴보면, 1차 연삭만을 행한 시험편의 공진주파수보다 2차 연삭을 행한 시험편의 공진주파수가 고주파 대역으로 이동됨을 알 수 있었다. 공진주파수는 질량의 제곱근에 반비례하며, 1차 연삭만을 행한 시험편 보다 2차 연삭후의 시험편 질량이 더 작기 때문에 고주파 대역으로 이동된다고 생각된다. 또한, 이러한 경향은 Fig. 6의 직경 5 mm를 갖는 구면렌즈의 경우에도 동일한 결과를 보였다.

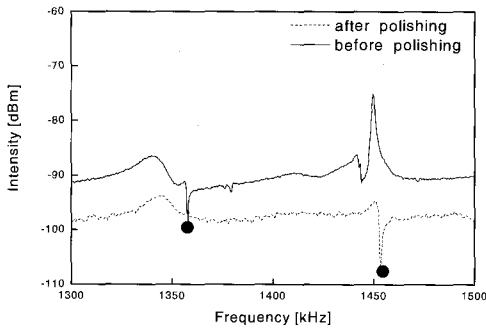


Fig. 5 Frequency for spherical glass lens with Ø2 mm

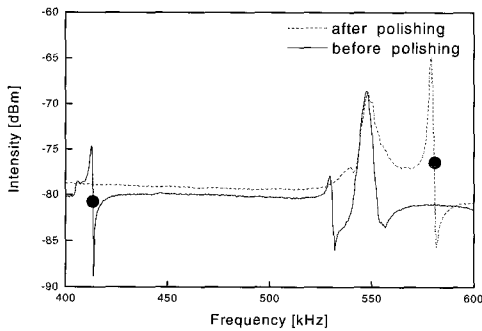


Fig. 6 Frequency for spherical glass lens with Ø5 mm

3.2. Spherical Glass Lens 형상변화에 따른 공진 주파수

Table 3에 렌즈의 각 시험편에 대한 직경과 질량, 측정된 시험편의 첫 번째 모드에 해당하는 공진주파수를 나타냈으며, 광학렌즈의 형상과 주파수의 관계를 보다 명확하게 규명하기 위하여 다음과 같이 각 형상에 대한 측정되어진 공진주파수 모드 중 가장 정확한 첫 번째 모드에 대해서 고찰을 하였다.

Table 3 Comparison of resonant frequency for optical lens

Spec	spherical Ø2 mm		spherical Ø5 mm	
	2nd	1st	2nd	1st
Diameter [mm]	Ø2	Ø2.1	Ø5	Ø6.7
Mass[g]	0.0104	0.0119	0.1646	0.4075
Resonant frequency [kHz]	1444	1357.6	578.7	416

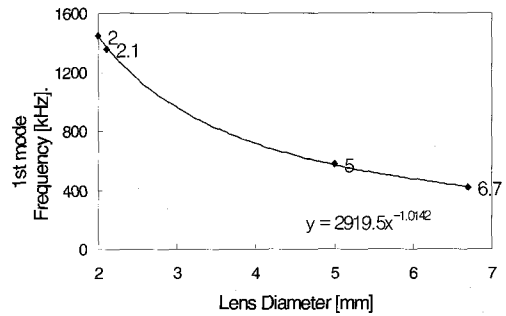


Fig. 7 The relation of the first resonant frequency and Lens diameter

Fig. 7은 형상크기에 따른 측정되어진 공진주파수 첫 번째 모드와의 관계를 나타낸 것이다.

커브 피팅(gauss curve fitting)을 통하여 임의의 질량과 형상 크기에 대한 측정가능한 공진주파수 대역을 알 수 있다.

위의 결과를 활용함으로써 공명초음파분광법을 활용한 비파괴검사시스템의 이용을 통하여 렌즈의 완성가공정도를 파악가능하리라 사료된다.

3.3. Aspherical Glass Lens의 비구면 렌즈 결함평가

비구면 렌즈의 결함평가에 대한 공진주파수 실험결과를 Figs. 8~11에 나타내었다. 양품 시험편과 결함을 갖는 시험편의 공진 주파수를 비교하였을 때 특정 대역에서 주파수가 이동함을 알 수 있었다. 이 외의 주파수대역에서는 공진주파수 peak가 노이즈 성분과 유사하게 나타나거나 각 시험편의 공진 주파수 대역이 겹치기 때문에 결함을 평가하기 어려웠다. Fig. 8은 완성된 양품시험편과 기포를 갖는 불량시험편과의 공진주파수, Fig. 9은 양품시험편과

스크래치를 갖는 불량시험편의 공진주파수, Fig. 10 은 양품시험편과 얼룩을 갖는 불량시험편의 공진주파수, Fig. 11는 양품시험편과 찍힘을 갖는 불량시험편의 공진주파수를 나타내었다. Fig. 12~15에 모드 따른 비구면 렌즈의 공진주파수를 나타내었으며, 4~6모드 사이인 1800 kHz 대역 부근에서의 비구면 렌즈의 양품시험편과 불량 시험편의 공진주파수차는 4 kHz 이상이며, 편차는 0.3~0.8 이내로 측정된 공진 주파수의 편차 범위 내에서 판별 가능함을 알 수 있었다.

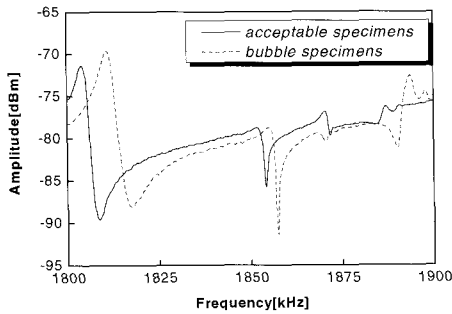


Fig. 8 Frequency for aspherical glass lens which has bubble

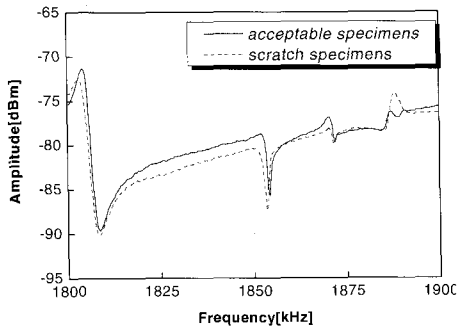


Fig. 9 Frequency for aspherical glass lens which has scratch

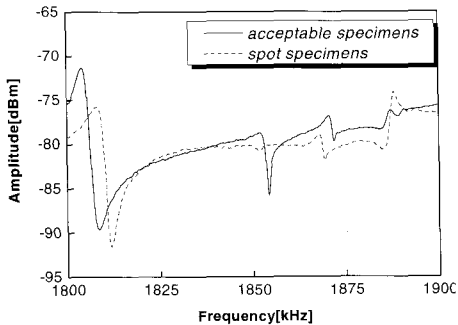


Fig. 10 Frequency for aspherical glass lens which has spot

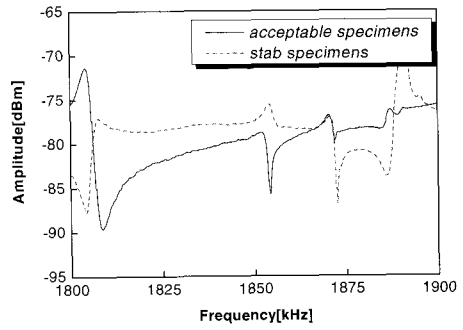


Fig. 11 Frequency for aspherical glass lens which has stab

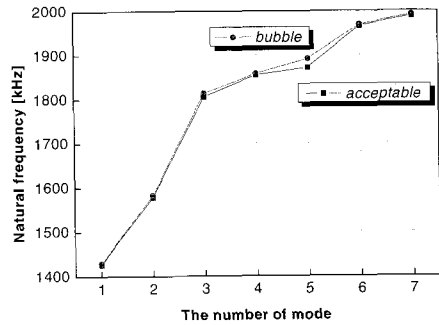


Fig. 12 Frequency for aspherical glass lens which has bubble

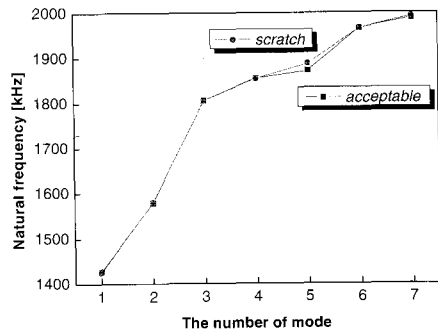


Fig. 13 Frequency for aspherical glass lens which has scratch

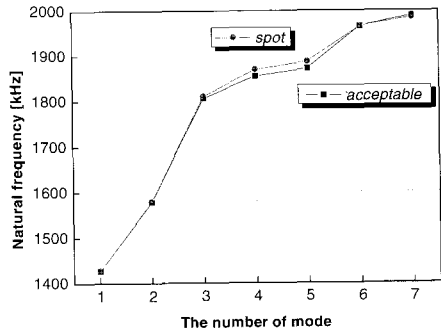


Fig. 14 Frequency for aspherical glass lens which has spot

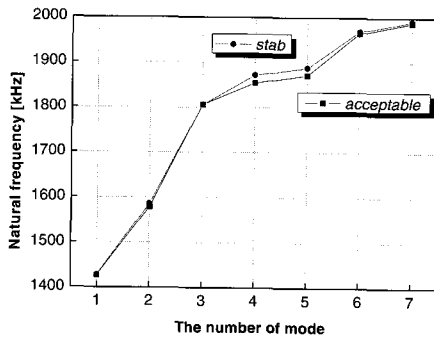


Fig. 15 Frequency for aspherical glass lens which has stab

#### 4. 결 론

공명초음파 분광법을 이용한 Optical glass Lens의 비파괴검사를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) RUS시스템에 의한 측정 가능한 주파수 대역은 0 kHz~2 MHz 중 PZT 모드 특성의 영향을 받는 134, 348, 546 kHz를 제외한 대역이다.
- 2) 구면렌즈에 있어서 질량과 형상이 작을수록 고주파수 대역에 공진 주파수가 존재하였고 커브피팅을 사용하여 질량에 대한 측정가능한 공진주파수 대역을 알 수 있었다.
- 3) 비구면 렌즈의 결합 유·무는 4~6모드 사이의 1800 kHz대역에서 판별가능하다.
- 4) 광학렌즈의 마이크로 결합에 대한 더욱 정도 높은 결합검사를 하기 위해서는 PZT 및 크랙의 유·무와 형상오차에 대한 더 많은 연구가 수행되어야 한다.

#### 후 기

이 논문은 산업자원부·한국산업기술평가원지정 지역협력연구센터인 레이저응용 신기술개발 연구센터의 2005년도 연구비 지원에 의해 연구되었음.

#### 참고문헌

- [1] Seung-Hoon Kim, Kyung-Yun Baek, Young-Nam Kim and In-Young Yang, "Nondestructive Evaluation of the Flaw in a Ceramic Ferrule by Resonant Ultrasound Spectroscopy," Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 5, pp. 108-117, (2004)
- [2] P. Heyliger and H. Ledbetter, "Detection of Surface and Subsurface Flaws in Homogeneous and Composite Solids by Resonant Ultrasound," Journal of Nondestructive Evaluation, Vol. 17, No. 2, pp. 79-87, (1998)
- [3] J. G. Saxton, "Resonant Inspection of Production Parts," The American Ceramic Society Bulletin, Vol. 75, No. 10, pp. 48-50, (1996)
- [4] A. Migliori and T. W. Darling, "Resonant ultrasound spectroscopy for materials studies and non-destructive testing," Ultrasonics, Vol. 34, pp. 473-476, (1996)