

공명초음파분광법에 의한 광컨넥터용 Ferrule의 비파괴검사

백경윤*, 황재중, 양순호(조선대 대학원 기계설계공학과)
민헌기(성화대 항공자동차정비과), 양인영(조선대 기계정보공학과)

The Nondestructive Inspection of the Ferrule for the Optical Connector by Resonant Ultrasound Spectroscopy

K. Y. Baek*, J. J. Hwang, S. H. Yang(Mech. Desig. Eng. Dept., CSU)
H. K. Min(Air. Auto. Main., SWC), I. Y. Yang(Mech. Info. Eng. Dept., CSU)

ABSTRACT

The Ferrule for the Optical Communication Connector is the product to set the optical axes of an optical fiber very precisely. Therefore, it is required high expectations such as high dimensional precision and not including flaws. Up to now the optical instrument has been used for the defect and shape inspection of the ferrule, but in the paper we examined the detectable defect and expectation by using Resonant Ultrasound Spectroscopy (RUS). The RUS is the measurement which is to excite specimen and to inspect the difference of natural frequency pattern between acceptable specimen and specimen which has some defects. We analyzed the difference of natural frequency pattern in the experiment using Spectrum Analyzer. And we compared the results in the experiment with those in the simulation from the explicit finite elements code, Nastran.

Key Words : Nondestructive Inspection (비파괴검사), Resonant Ultrasound Spectroscopy (공명초음파분광법), Ferrule (페룰), natural frequency (고유주파수), acceptable specimen (양품)

1. 서론

광통신용 컨넥터용 페룰은 광섬유의 광축을 정확하게 정렬시키기 위하여 정밀도로 가공된 부품으로서 높은 치수 정밀도와 마이크로미터 수준의 결함이 포함되지 않아야 하는 등의 높은 신뢰성이 요구되는 부품이다.

이러한 페룰의 결함 및 형상결사에 대하여는 고전적 방법인 시각을 통해 확인하는 방법이 사용되고 있다. 따라서 빠르면서 간편하게 형상불량이나 결함을 검출하는 방법에 대한 연구가 활발히 이루어져야 한다.

본 논문에서는 결함 및 형상결사에 비파괴 검사 방법의 하나로 공명초음파분광법(Resonant Ultrasound Spectroscopy: RUS)¹⁾을 적용하여 열성취 처리된 컨넥터용 페룰 광케이블 컨넥터용 페룰의 고유진

동수를 측정하였으며, 그 결과로부터 형상결사 및 마이크로미터 수준의 결함 검출능력을 검증하였다.

그리고 실험의 각종 데이터로 활용하기 위해 유한요소 해석프로그램인 나스트란(Nastran V70.7)으로 공진주파수를 구해 실험의 결과와 비교 분석하였다.

2. 실험장치

2.1 측정시스템의 제작

Fig. 1의 보이는 것처럼 압전소자, Spectrum Analyzer 등을 상호 연결 시켜서 실험편의 결함 소결을 위한 측정 시스템을 제작하였다.

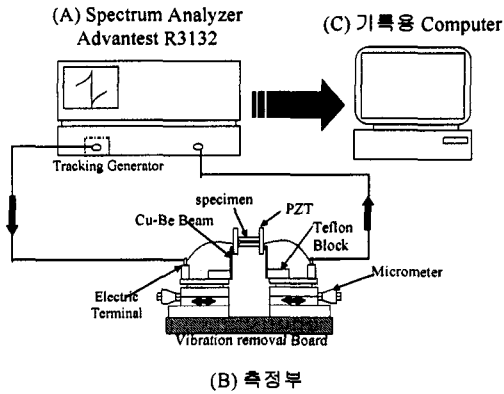


Fig. 1 The schematic of RUS system

실험에 사용한 Spectrum Analyzer(Advantest R3132)는 위상이나 주파수 특성을 측정하는 것으로, 측정 가능한 주파수 대역이 9kHz~3GHz, 최대분해능이 1Hz이다. 또한 Tracking Generator(TG)를 내장하고 있어서 이 TG로부터 출력된 sweep 신호를 시료에 가전하기 위한 입력신호로 사용하였다. 전기신호를 기계진동을 변환하는 Transducer 또는 Zircon-Titan 산화물(PZT)을 사용하였다. 사용된 PZT는 직경 10mm, 두께 1mm의 원반형이다. TG에서 출력된 sweep 신호는 입력측 PZT에 의해 기계진동으로 변환되어서 시험편을 진동시키고, 시험편의 응답은 출력측 PZT에 의해 검출되어 전기신호로 다시 변환된다. 이 전기신호를 Spectrum Analyzer의 CRT화면에 표시되고, 이로부터 시료의 공진 주파수를 측정하는 것이 가능하다. 측정부 전체는 외부로부터의 진동영향을 피하도록 방치 않도록 하기 위해서 고상형 하나를 방판위에 설치하였다.

2.2 측정시스템의 평가

2.2.1 Spectrum analyzer의 평가

제안한 측정 시스템의 특성을 파악하기 위해 Spectrum Analyzer의 주파수 특성을 조사하였다. 우선, Spectrum Analyzer에 내장된 TG로부터 출력된 전기신호를 직접 Spectrum Analyzer에 입력해서 Spectrum Analyzer의 주파수 특성을 조사했다. 이때의 TG의 출력 전압값은 -10dBm로 하고, 측정결과를 Fig. 2에 보았다. 실험에서 사용한 주파수 대역에서 거의 일정한 응답이 얻어지고 있음이 밝혀졌다. 출력값도의 Paus.오차 관찰된 공진 주파수가 거의 5dB이상의 정확도를 갖는 것때 비해서 Spectrum Analyzer에 내장된 TG의 출력값되는 동일하므로 본 논문부에 필요한 조건을 갖추고 있음을 알 수 있었다.

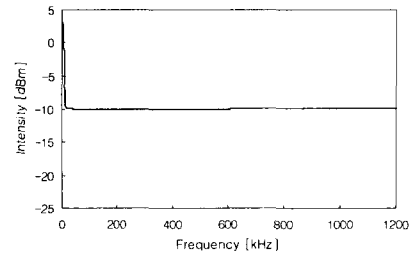


Fig. 2 The frequency characteristic of TG

2.2.2 측정장치의 공진주파수 평가

시험편의 공진주파수를 측정하기 위해 측정장치 자체의 공진주파수를 명확히 해둘 필요가 있다. 측정장부에 시험편을 끼우지 않고 입력측의 출력측의 PZT를 붙인 상태의 Spectrum을 측정하였다. 그 결과 Fig. 3처럼 110kHz, 300kHz, 480kHz, 650kHz부분에 공진 주파수가 존재해 이 주파수대역에서 측정되는 측정결과는 측정장치의 공진주파수로 평가하여 제거할 필요가 있음이 증명되었다.

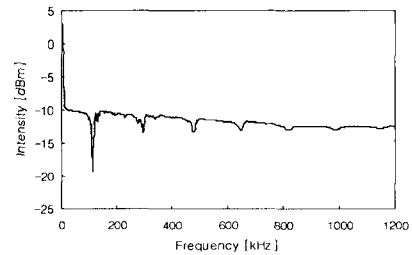


Fig. 3 The response of RUS system

3. 시험편

3.1 시험편의 형상

Zirconia-Ceramics계의 세진 의형기둥(Fig.4)에서 보는 것같이 2종류의요각 직각에 대해서 측정 및 해석을 하였다.

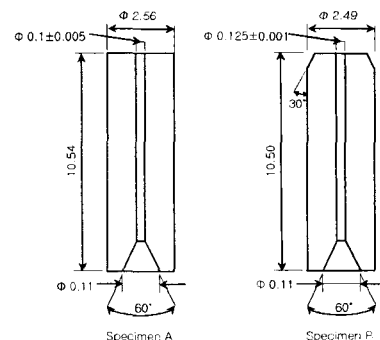


Fig. 4 The shape of Specimens

3.2 결함의 종류

공진주파수 측정은 결함의 종류별로 분류해서 각각의 결함별로 측정을 행하였다. 본 논문에서 측정 대상으로 한 결함의 종류는 원형불량(circular), 크랙(crack), 깨짐(chipping)이다. 각각의 시험편 종류 및 측정할 개수를 Table 1에 나타내었다.

이들의 분류는 크랙·깨짐에 대해서는 용안에 치한 검사로 확인을 했고, 원형불량을 광학적인 검사에 의해서 확인하였다.

크랙과 깨짐에 대한 광학현미경 사진을 Fig. 5, Fig. 6에 보였다.

Table 1. The kinds and numbers of specimen

A type	acceptable A	영종	20
	crack A	크랙	15
	chipping A	깨짐	15
B-type	acceptable B	영종	20
	circular B	원형불량	15
	chipping B	깨짐	15

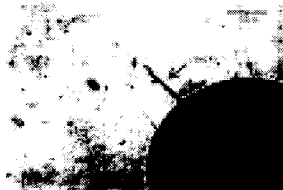


Fig. 5 The photo of crack

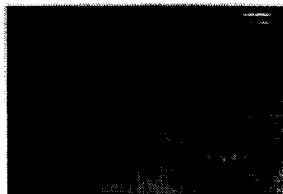


Fig. 6 The photo of chipping

3.3 유한 요소법 해석

RUS에 의해 이들 시험편의 공진주파수를 측정할 때 해석에 의해서 얻어진 고유진동수를 비교하는 것에 의해서 측정의 타당성을 검토하는 것이 가능하다. 이들 시험편의 고유진동수를 계산하기 위해 acceptable A 시험편 Fig. 7에 같이 8면체 6면체 요소로 모델링하여 유한요소 해석프로그램인 나스트란으로 해석을 수행하였다. 해석에 필요한 물성값은 Table 2의 같이 일반적인 원경괴 Zircania 재료의 값을 적용하였다. 해석모델의 크기는 시험편 A는 요소수 7920개이며 시험편 B는 8640개의 요소이다.



Fig. 7 acceptable A 해석모델

Table 2. The factor of Zircania

종단강성계수 E[GPa]	포아송비 ν	밀도 ρ [kg/m ³]
206	0.31	6.05x10 ³

3.4 공진 주파수 측정

본 논문에서 사용한 재료의 형상이 원주형이기 때문에 지지방법은 단면중 좌·우하단 2점지지로 하였다. 측정결과에 대해서, acceptable-A 1개의 시험편에 대해서 800kHz~900kHz의 주파수 영역에서 측정된 응답을 Fig. 8에 실린대로 나타냈다. 일반적으로 나타낸 응답은 측정장치 자체편의 응답이다. 이로부터 측정장치가 시험편의 응답에 영향을 미치지 않으므로 이 영역에서 나타나는 피크는 모두 공진주파수임을 알 수 있었다.

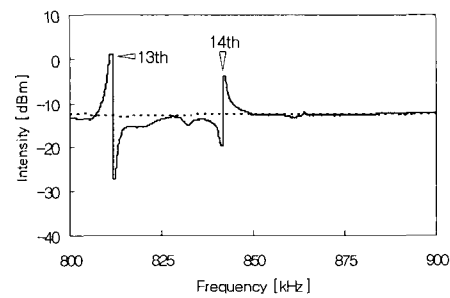


Fig. 8 The spectrum of acceptable-A

영종 A에 대해 측정된 공진주파수는 Table 4에 보였고, 영종 B에 대해서는 Table 5에 나타내었다. 여기서 f_{calc} 은 측정된 공진 주파수의 평균, σ 는 평균된 공진 주파수에 관한 표준편차, f_{test} 은 유한 요소법 해석에 의해서 계산된 고유진동수이다. $(f_{\text{test}} - f_{\text{calc}}) / \sigma$ 유한 요소법에 의한 고유진동수와 측정결과와의 비교이며 그 값이 $\pm 2\sigma$ 정도의 오차가 있는 것으로 나타났다. 이 결과는 시험편 크기의 불균일성이 진동계수의 불치간의 이유인 것으로 보인다.

비판, 시험편 A와 B에서 모두 12번째 모드를 측정하는 것이 불가능하였다. 이는 유한 요소법에 의한 고유값 계산으로부터 시험편 A와 B의 12번째 모드와 모두 PZT와 접촉하여 제작되는 상태에서 변형되는 모드로 나타난 결과 측정의 불가능하였다고 사료된다.

Table 4 The resonant frequency of acceptable-A [kHz]

mode	experiment		calculation	
	$f_{res,exp}$	σ	f_{res}	$f_{res,calc}/f_{res,exp}$
1	155.6	0.681	107.59	1.44
2	176.4	0.884	168.77	1.04
3	251.92	0.741	248.52	1.01
4	283.12	0.646	276.81	1.02
5	346.52	0.425	337.32	1.02
6	414.86	0.754	410.07	1.01
7	519.24	0.554	505.42	1.02
8	556.42	0.551	546.19	1.02
9	580.28	0.757	572.21	1.01
10	692.38	0.745	672.89	1.03
11	738.52	0.884	726.13	0.98
12	-	-	755.23	-
13	812.92	0.927	812.91	1.00
14	843.32	0.885	839.56	1.00
15	933.68	0.855	904.19	1.03
16	947.54	0.758	905.8	1.04
17	1034.68	0.954	918.81	1.13

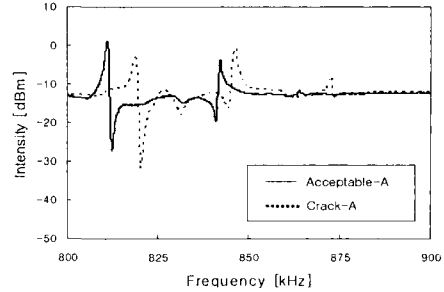


Fig. 9 The comparison of acceptable-A and crack-A

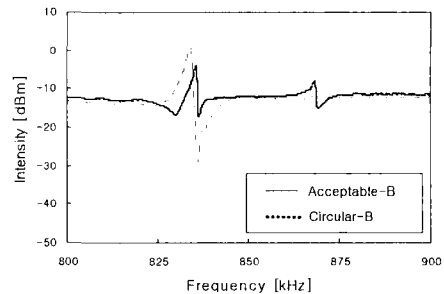


Fig. 10 The comparison of acceptable-B and circular-B

Table 5 The resonant frequency of acceptable-B [kHz]

mode	experiment		calculation	
	$f_{res,exp}$	σ	f_{res}	$f_{res,calc}/f_{res,exp}$
1	118.28	0.981	105.45	1.12
2	130.64	0.752	172.61	0.75
3	261.52	0.970	245.97	1.06
4	294.22	1.117	281.21	1.04
5	333.76	0.673	344.91	0.96
6	429.4	0.981	408.77	1.05
7	535.68	0.756	516.6	1.03
8	572.48	0.878	555.09	1.03
9	597.64	0.997	574.73	1.03
10	661.58	0.775	687.41	0.96
11	711.54	0.974	725.6	0.98
12	-	-	780.26	-
13	830.16	0.786	811.19	1.02
14	871.01	1.041	849.55	1.03

비판, 불완전성에 대한 공진주파수를 양쪽에 대한 공진주파수와 비교하였다. 시험편 A의 경우, 실험에 의해 13, 14번째 모드에 해당하는 800-900kHz의 주파수 영역을 Fig. 9에 나타내었고 시험편 B의 경우, 진원불완전성에 의해 14번째 모드에 해당하는 800-900kHz의 주파수 영역을 Fig. 10에 나타내었다.

4. 결론

본 연구로부터 비파괴 검사 방법의 하나인 공명 초음파분광법을 이용해 높은 신뢰성의 요구되는 상용 진동 전역적인 재료의 피로 crack, 재결 및 진원불완전성에 대해서 평가가 가능함을 알 수 있었다. 따라서, RUS는 재료와 같은 재료의 재료의 진원 평가에 널리 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후, 진원 평가에 있어서 시험편의 수는 더욱 증가하고 부정확적인 방법을 사용하여 진원성을 높여 나가는 연구를 주의한 계획이다.

참고문헌

1. 謝子衡(宣元), 陳瑞(明), "超音波(수초음파)의 기초 이론 - [基礎編]", 技報館, 1999
2. 謝子衡(宣元), 陳瑞(明), "超音波(수초음파)의 응용 이론 - [應用編]", 技報館, 1999
3. A. Migliori, J. L. K. S. Narayana, "Resonant Ultrasound Spectroscopy: Applications to Physics, Materials, Measurement, and Manufacturing (2nd Edition)", John Wiley & Sons, 1997
4. "金属材料疲劳力学", 科学出版社, 1987