

고기능 광콜리메이터의 자동 생산 시스템 개발

박래영*, 최두선, 제태진, 최기봉(한국기계연구원), 강윤희(㈜포엠)

Development of automatic manufacturing system for optical collimators with high functionality

L. Y. Park*, D. S. Choi, T. J. Jae, K. B. Choi, (KIMM), Y. H. Kang (Biz4M Co., Ltd.)

ABSTRACT

Collimators were mostly produced by handwork and semi-automatic system in some companies. Under this situation, automatic manufacturing system for optical collimators is on the rise most essential technique in the development of optical communication components.

In this study, automatic manufacturing system was designed and constructed to develop optical collimators with high functionality. Also optical collimators were manufactured using a developed automatic system.

We have compared collimators made by automatic system and handwork for performance test with a measured values of angle alignment, beam size and TIL.

As a result, it brought a reduction of the tact time for manufacturing and improvement of an efficiency of optical collimators, and then it was found that automatic system was indispensable for materialization of optical collimators with high functionality.

Key Words : Optical collimator(광콜리메이터), Optical communication component(광통신 부품), Angle alignment(회전 정렬), TIL(투과삽입손실), Tact time(소요시간)

1. 서론

하나의 광섬유에 여러 채널의 신호를 동시에 보낼 수 있는 방법에는 TDM, WDM, OTDM 등이 있으며, WDM 방식은 획기적인 전송량의 증대와 광네트워크로의 발전 가능성 등 때문에 집중적인 연구개발의 대상이 되었다. 특히 point-to-point WDM 전송에서 add-drop 방식의 WDM 네트워크로 발전하면서 OADM 이 핵심부품으로 자리잡고 있다.

ADM 이란 여러 파장의 신호가 전송되어 가는 선로상에서 하나 또는 여러 파장의 신호를 뽑아내고 같은 파장의 신호를 다시 올려줄 때 사용되는 모듈로, 이 모듈은 Fig. 1 과 같이 두 개의 광콜리메이터와 선택적으로 파장을 통과시켜주는 필터로 구성되어 있다.

이 중 광콜리메이터는 정보전달의 중간 과정에서 광손실을 줄이거나 여러 가지 부가기능을 더하기 위하여 레이저 다이오드 또는 광파이버에서 나오는 빛을 평행광으로 만들어 주는 광통신 요소부품으로

서 현재 광통신용 광콜리메이터의 생산은 대부분 수작업에 의존하고 있으며 일부 업체에서 수동과 자동이 복합된 반자동 라인화가 추진되고 있는 실정이다.

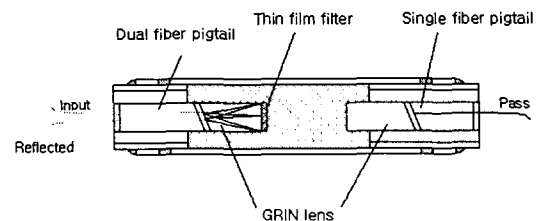


Fig. 1 Schematic diagram of 3-port ADM device

이러한 시점에서 광통신용 광콜리메이터의 자동화 시스템의 중요성은 고기능성 광통신 부품의 개발에 있어 가장 필요한 기술로 크게 대두되고 있다. 특히 광통신 부품의 대부분이 중국에서 값싼 노동력을 이용하여 생산되고 있는 바, 국내 기업으로서

는 생산 자동화 기술만이 이에 대응이 가능할 것으로 사료된다. 즉, 가격 경쟁력과 제품 성능의 균일성을 확보하기 위해서는 광콜리메이터 자동 접속조립 및 평가 시스템이 필수적이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 광접속조립 기술과 광패키징 기술을 이용하여 광모듈 가운데 가장 근본 요소가 되는 부품인 고기능 광콜리메이터를 개발하기 위한 자동 접속조립 및 평가 시스템을 설계/구축하고, 이를 이용하여 제작한 광콜리메이터를 기존의 수작업에 의해 만들어진 것과 성능을 비교/분석 하고자 한다.

2. 광콜리메이터 자동 생산 시스템

2.1 시스템 설계

광통신 핵심 부품인 고기능 광콜리메이터는 Fig. 2 와 같이 페룰에 광파이버가 삽입되어 있는 피그테일(pigtail)과 광콜리메이팅 렌즈 그리고 피그테일과 렌즈를 고정해 주는 지그(jig) 부품으로 구성되어 있으며, 광콜리메이터가 갖는 기본적인 기능으로는 평행광 유지(빛의 발산방지), 후방 반사(Back Reflection) 최소화, 정렬용이 등이 있다²⁾.

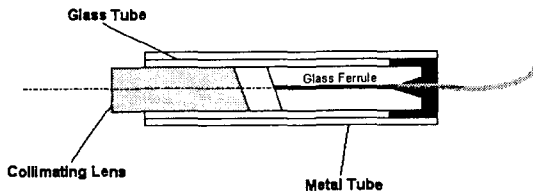


Fig. 2 Schematic diagram of the optical collimator

고기능 광콜리메이터의 성능을 구현하기 위하여 유리관(Glass Tube)내에서 피그테일과 콜리메이팅 렌즈의 회전정렬과 거리에 따른 빔 직경 (beam size)을 설정하여 광 결합효율이 최대가 되도록 미세 정렬 작업을 수행하는 자동 정렬 시스템과 최적의 정렬 상태에서 에폭시 및 UV 조사기를 사용하여 콜리메이터를 패키징하는 시스템을 설계하였다.

또한 1 차 패키징 및 2 차 최종 접속 작업이 완료되어 완성품의 상태로 되어진 광콜리메이터의 성능 및 기본 특성에 관련된 평가를 고속 마이크로 계측 시스템에 의하여 정확하게 수행할 수 있는 고기능 자동 평가시스템을 통합한 전체 시스템 구성을 Fig. 3 에 나타내었다.

평가시스템은 상호간격에 따른 반사/투과 삽입 손실과 반사 손실값을 측정하는 성능 자동검사 시스템과 아래의 항목에 대한 콜리메이터의 기본 특성을 정밀 측정하는 특성 자동평가 시스템으로 나눌 수 있다.

- 빔 직경

- 빔 형상 (beam shape)
- 빔 확산 각 (beam divergence angle)
- 콜리메이터간 거리 (optical working distance)

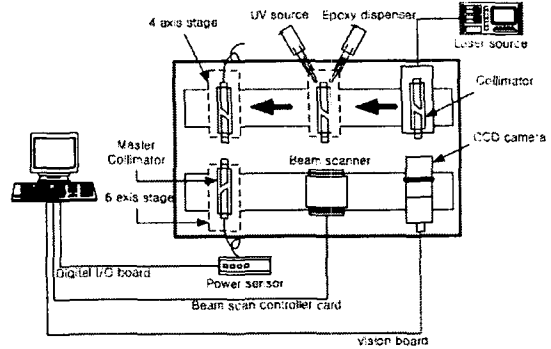


Fig. 3 Schematic diagram of automatic manufacturing system

2.2 자동화 시스템의 특징

고기능 광콜리메이터 자동 생산 시스템이 갖는 특징은

- 1) 콜리메이터 평가 (Insertion Loss 측정)에 소요되는 시간을 단축시키는 고속 검사장비 (10 분 → 3 분)
- 2) 콜리메이터 제조시 빔 직경 조립 반복 정밀도 향상 ($\pm 20 \mu\text{m} \rightarrow \pm 5 \mu\text{m}$)
- 3) 고기능 신요소부품에 대응하는 제조시스템
- 4) 숙련자가 필요 없는 자동 시스템
- 5) 이미지 분석에 의한 구면렌즈와 피그테일의 회전정렬 가능
- 6) 향후 고품질의 광콜리메이터의 자동 양산 시스템 구축 가능

등으로 향후 새로운 생산 시스템이 갖는 고기능성의 구현에 필요한 제조기술을 갖출 수 있는 시스템이다.

3. 광콜리메이터 제작 및 성능 비교/분석

3.1 자동화 시스템에 의한 광콜리메이터 제작 고품질, 고신뢰성의 광콜리메이터를 자동 생산하기 위하여 Fig. 4 와 같이 시스템을 구축하였다.

본 자동화 시스템 중 비전인식 시스템은 CCD 카메라와 이미지 분석 소프트웨어로 구성되며 피그테일과 렌즈의 경사각을 상호 평행이 되도록 회전정렬시키고, 빔 직경 측정 시스템은 빔 스캔 헤드 (beam scan head)에 의한 빔 직경의 자동 측정이 가능하다. 또한 조립용 4 축 스테이지는 X, Y, Z 축 1 μm , θ 축 0.247 의 분해능을 가지며 각종 계측 및 인식장치와 함께 미세 정렬 기능을 수행한다. 패키징

시스템은 크게 UV 경화기, 정량 토출기(dispenser)로 구성되어 있고, 초정밀 6 축 스테이지는 콜리메이터 간의 광축을 정밀하게 정렬하기 위하여 위치정확도 (positional accuracy) $5 \mu\text{m}$, 반복특성 (repeatability) $\pm 0.3 \mu\text{m}$, 분해능 $0.05 \mu\text{m}$ 의 기본 성능을 가지고 있다.

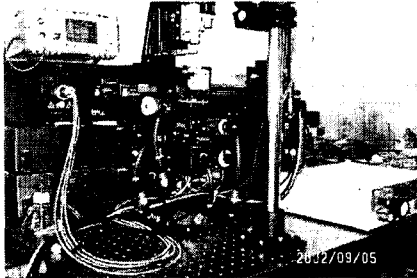


Fig. 4 Experimental setup for manufacture of optical collimator

위의 자동화 시스템을 이용하여 Fig. 5 와 같이 조립부터 성능 및 특성 평가까지 완료된 광콜리메이터를 제작하였다. 제작된 콜리메이터의 직경은 가장 일반적인 크기인 3.2mm 이고 길이는 9.5mm 이며, 콜리메이팅 렌즈는 광축상의 굴절률(n)이 1.5901 이고 직경이 1.8mm 인 GRIN-rod 렌즈를 사용하였다.

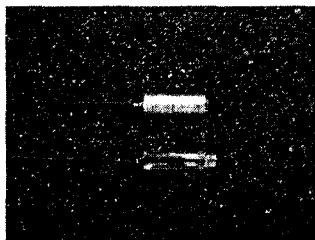


Fig. 5 Optical collimator
(Koncent co. : top, auto-manufacture : bottom)

3.2 광콜리메이터의 성능 비교/분석

3.2.1 회전 정렬

회전 정렬은 자동화 시스템을 이용하여 광콜리메이터를 제작하기 위한 첫번째 공정으로서 8° 로 경사진 피그테일과 렌즈의 단면을 상호 평행이 되도록 정확하게 일치시키는 것이 관건이 된다. 이를 위해 Fig. 6 과 같이 이미지 프로세싱을 통하여 타원으로 보이게 되는 두 단면의 장축을 일치시키는 방법을 사용하였고, 허용오차를 1° 이내로 정하였다. 실험은 수동과 자동에 의하여 각각 10 번씩 회전 정렬을 수행하여 두 장축 간 각의 변화를 관찰하였다.

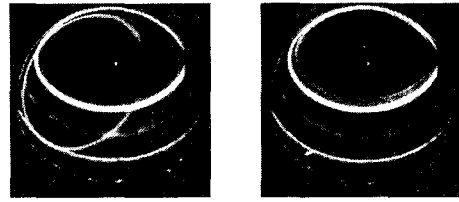


Fig. 6 Angle alignment between two ellipses

Fig. 7 Comparison of discrepancies of the angle

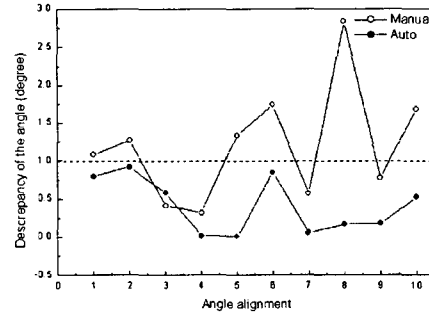


Fig. 7 에서 보는 바와 같이 자동으로 수행된 회전 정렬은 두 장축 간 각의 차이가 모두 허용오차 내에 들어온 반면, 수작업으로 두 장축을 일치시킬 때는 각의 변화가 심하고 대부분이 허용오차 범위를 벗어나므로 콜리메이터의 성능을 저하시키는 원인이 된다.

3.2.2 빔 직경

자동화 시스템의 가장 큰 장점 중의 하나는 콜리메이터 제조 시 조립 반복 정밀도가 수작업에 비해 월등하여 빔 직경의 편차가 매우 줄어든다는 것이다. 이러한 시스템의 장점을 확인하기 위하여 빔 직경을 $505 \mu\text{m}$ 로 설정하고, 이 값에 맞추어 자동과 수동으로 각각 10 개씩 콜리메이터를 제작하였다.

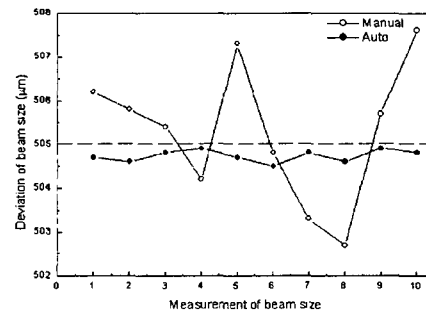


Fig. 8 Comparison of deviations of beam size

자동화 시스템에 의하여 설정된 빔 직경을 만드는 데는 평균 93 초가 걸린 반면, 수작업으로 이를

수행할 때는 10 분 이상이 소요되었고 Fig. 8 에서 보는 것처럼 자동으로 제작된 콜리메이터는 설정된 빔 직경과 0.5 μm 이내의 편차를 보이지만 수동에 의한 것은 그 편차가 매우 심한 것을 관찰할 수 있다. 이로써 기존의 수작업이나 반자동 시스템에 비하여 자동 생산 시스템에 의하여 제작된 콜리메이터의 고품질, 고신뢰성을 입증할 수 있다.

3.2.3 투과삽입손실(TIL)

콜리메이터의 성능을 나타내는 중요한 인자들에는 CL(coupling loss), TIL(transmission insertion loss), RIL(reflection insertion loss), RL(return loss) 등이 있으며 이 중 투과삽입손실은 콜리메이터의 각종 광 모듈 적용시 매우 중요한 항목이 된다.

자동화 시스템에 의해 제작된 콜리메이터의 성능 평가를 위해 콜리메이터와 렌즈 제작에 있어 오랜 경험과 노하우를 가지고 있는 Koncent 사의 제품과 투과삽입손실 값을 비교해보았다.

먼저 Koncent 사의 콜리메이터의 회전정렬을 측정해 본 결과 허용오차 내에 들어옴을 확인하였고, 빔 직경은 장축이 465.3 μm , 단축이 444.5 μm 였다. 이 제품과의 투과삽입손실 비교를 위해 Fig. 5 와 같이 같은 종류의 렌즈를 사용하여 빔 직경을 일치시켜 자동으로 콜리메이터를 제작하였다.

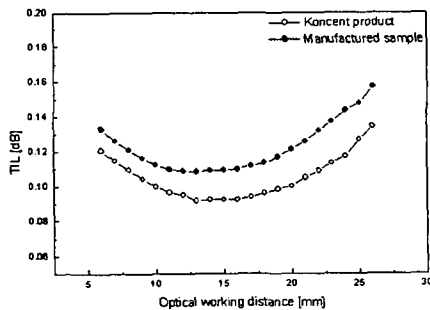


Fig. 9 Comparison of TIL via optical working distance

투과삽입손실 측정을 위해 박막 필터가 부착된 마스터 콜리메이터와 제작된 콜리메이터의 렌즈 간 거리를 6mm 부터 26mm 까지 1mm 씩 이동시키며 투과삽입손실을 측정하였다. 그 결과 Fig. 9 와 같이 두 콜리메이터의 투과삽입손실 곡선이 평균 0.017dB 씩 이격되어 매우 비슷한 형태를 나타냈다.

이러한 값은 충분히 무시할만한 오차로서 자동화 시스템에 의해 제작된 콜리메이터가 기존 성능이 인정된 상용 제품과 동일한 수준임을 확인할 수 있다.

5. 결론

광콜리메이터의 자동화 시스템은 고기능성 광통신 부품의 개발에 있어 가장 필요한 기술로 대두되고 있다. 이러한 고기능 광콜리메이터를 개발하기 위해 본 연구에서는 자동 생산 시스템을 설계하고 이를 구축하였다. 또한 구성된 자동화 시스템을 이용하여 광콜리메이터를 제작하였고, 이를 수작업에 의해 만들어진 콜리메이터와 성능을 비교/분석하였다. 그 결과로서 콜리메이터의 제작 소요시간 단축, 회전정렬과 빔 직경 결정시 성능 향상 등을 가져왔고, 기존 성능이 인정된 Koncent 사의 제품과 투과삽입손실을 비교하여 동일 수준의 성능임을 확인하였다.

이를 통해 고기능, 고신뢰성의 광콜리메이터를 구현하기 위해서는 자동화 시스템이 유리함을 알 수 있었고, 향후 자동 양산 시스템 구축을 통한 콜리메이터의 고성능, 저가격화를 달성함으로써 국내의 광부품 특히 광전부품, 복합수동광부품, 광전집적회로 등의 기반기술 구축 및 상품화 기술을 보유하게 될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광·열유체 마이크로부품 기술 개발 사업의 세부과제로서 수행중이며 이에 관계자 여러분들에게 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. H. K. Yoon, H. D. Lee, J. C. Kim, Y. J. Song, S. B. Kim, "Development of compact OADM with multi-port structure", 한국통신공학회 하계학술대회, 2002
2. "2000 광산업 예측편람", Fuji Chimera Research Institute, Inc., Japan
3. Huey-Daw Wu, Frank S. Barnes, "Micro Lenses", IEEE Press, 1991
4. Shifu Yuan and Nabeel A. Riza, "General formula for coupling-loss characterization of single-mode fiber collimators by use of gradient-index rod lenses", Applied Optics, Vol.38, May, 1999
5. A. Nicia "Lens coupling in fiber-optic devices ; efficiency limiys", Applied Optics, Vol.20, Sept, 1981