

## 고기능 광콜리메이터 접속조립 시스템 설계 및 성능평가

최두선\* · 제태진\* · 황경현\* · 문재호\*\* · 박래영\* · 선화영\*

### Design and Evaluation of Automatic Joining-Assembly System of Optical Collimators with High Functionality

D. S. Choi, T. J. Je, K. H. Hwang, J. H. Moon, L. Y. Park and Y. H. Sun

#### Abstract

Up to now, Collimators have been generally produced by handwork and only a few companies have produced by semi-automatic system. Under this situation, automatic system for assembly of optical collimator has risen as a most essential technique in the development of optical communication components. In this study, it was constructed to develop optical collimators with high functionality and We manufactured optical collimators with a GRIN rod lens using automatic system. Therefore, we worked a performance test through a comparison of collimators made by automatic system and handwork with angle alignment, beam size. Also we compared common product with auto-manufactured sample. As a result, it brought a reduction of the tact time and an improvement of an efficiency and a productivity of optical collimators. therefore it was found that automatic system was indispensable for materialization of optical collimators with high functionality.

**Key Words** : Optical Collimator, Optical Communication Component, Angle Alignment, Transmitted Insertion Loss(TIL), Tact Time

#### 1. 서론

광통신에 있어 다중화 전송 시스템은 초고속 광대역 전송망을 실현하는데 있어 필수 불가결한 매우 중요한 기술이다. 하나의 광섬유에 여러 채널의 신호를 동시에 보낼 수 있는 다중화 전송 방법에는 OTDM(광시분할 다중방식), OCDM(광부호분할 다중방식), WDM(파장분

할 다중방식), OFDM(광주파수분할 다중방식) 등이 있으며, WDM 방식은 획기적인 전송량의 증대와 광 네트워크로의 발전 가능성 등 때문에 집중적인 연구개발의 대상이 되고 있다. 특히 point-to-point WDM 전송에서 add-drop 방식의 WDM 네트워크로 발전하면서 OADM (optical add-drop module)이 핵심부품으로 자리잡고 있다.

\* 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부

\*\* (주)포엿

ADM이란 여러 파장의 신호가 전송되어 가는 선로상에서 필터를 이용하여 원하는 파장의 신호를 뽑아내고 나머지 파장의 신호를 다시 올려줄 때 사용되는 모듈로, 이 모듈은 Fig. 1과 같이 두 개의 광콜리메이터와 선택적으로 파장을 통과시켜 주는 필터로 구성되어 있다.<sup>(1)</sup>

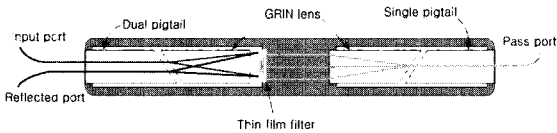


Fig. 1 Schematic diagram of 3-port ADM device

이 중 광콜리메이터는 정보전달의 중간 과정에서 광손실을 줄이거나 여러 가지 부가기능을 더하기 위하여 레이저 다이오드 또는 광파이버에서 나오는 빛을 평행광으로 만들어 주는 광통신 요소부품으로서 현재 광통신용 광콜리메이터의 생산은 대부분 수작업에 의존하고 있으며 일부 업체에서 수동과 자동이 복합된 반자동 라인화가 추진되고 있는 실정이다.

이러한 시점에서 광통신용 광콜리메이터의 자동화 시스템의 중요성은 고기능성 광통신 부품의 개발에 있어 가장 필요한 기술로 크게 대두되고 있으며 특히 광통신 부품의 대부분이 중국에서 값싼 노동력을 이용하여 생산되고 있는 바, 국내 기업으로서 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 광콜리메이터를 제작함으로써 수작업시의 문제점을 파악하고자 한다. 또한 기존 상용화된 제품과 성능을 비교/분석함으로써 자동화 시스템의 우수성을 입증해 보고자 한다.

## 2. 광콜리메이터 자동 조립 시스템

### 2.1 광콜리메이터의 기능 및 구조

광콜리메이터는 isolator, attenuator, circulator, LD module, WDM, ADM, optical switch 등 광연결을 필요로 하는 대부분의 광부품에 사용되고 있으며 Fig. 2와 같이 페룰(ferrule)에 광파이버가 삽입되어 있는 피그테일(pigtail)과 광콜리메이팅 렌즈 그리고 피그테일과 렌

즈를 고정해 주는 지그(jig) 부품으로 구성되어 있다. 광콜리메이터가 갖는 기본적인 기능으로는 평행광 유지(빛의 발산방지), 후방 반사(Back Reflection) 최소화, 정렬 용이 등이 있다.<sup>(2,3)</sup>

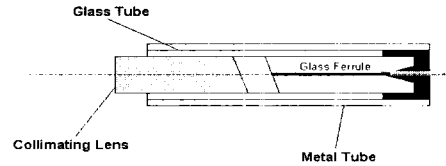


Fig. 2 Schematic diagram of the optical collimator

광콜리메이팅 렌즈는 콜리메이터의 가격과 성능을 좌우하는 요인으로서 이러한 렌즈에는 볼(ball) 렌즈, GRIN(gradient index) 렌즈, 구면/비구면 렌즈 등이 있다. 현재는 GRIN 렌즈가 콜리메이팅 렌즈 시장을 독점하고 있지만, 조만간에 구면/비구면 렌즈 등이 가격과 성능면에서 뒤지지 않으므로 기존의 GRIN 렌즈 시장을 대체할 것으로 추정되고 있고, 특히 비구면 렌즈는 콜리메이터의 고기능화에 가장 경쟁력있는 렌즈로 부각되고 있다. 아래의 Table 1에 대표적인 광콜리메이팅 렌즈의 장단점 및 현황을 비교하였다.

Table 1 Comparison of optical collimating lenses

Lenses	merits/demerits				Product stands
	Ab	C	E	As	
Ball lens	×	●	×	×	out of use (I.L.)
GRIN lens	▲	×	×	●	monopoly(NSG co.) toxic substance(Ti)
Spherical lens	×	●	×	●	higher productivity, environmental problem
Aspheric lens	●	●	●	●	cost reduction(GMP), friendly surrounding

Ab:Aberration, C:Cost, E:Environment, As:Assembly

본 연구에서는 직경 1.8mm의 GRIN 렌즈를 사용하였으며, 이것은 자동화 시스템을 이용하여 구면/비구면 렌즈의 회전 정렬 수행 및 비구면 렌즈 제작에 어려움이 있기 때문이다. 그 외 다른 구성품들의 특징으로는 렌즈와 피그테일의 환쪽 단면은 8°로 경사져 있고, 봉규산업 유리제질인 유리관(glass tube)은 내경 1.8mm, 외경 2.8mm이며 SUS 304로 만들어진 금속관(metal tube)은 내경

2.8mm, 외경 3.2mm, 길이 9.5mm이다.

현재는 직경 3.2mm의 콜리메이터가 가장 일반적이거나 향후 2~3년 후에는 대부분 광부품들의 소형화 추세에 따라 직경 1mm가 차기 표준이 될 것으로 예상되고 있다.

### 2.2 자동 조립시스템 설계 및 구축

고기능 광콜리메이터의 제작을 위하여 유리관 내에서 피그테일과 콜리메이팅 렌즈의 광 결합효율이 최대가 되도록 미세 정렬 작업을 수행하는 자동 정렬 시스템과 최적의 정렬 상태에서 에폭시 및 UV 조사를 사용하여 콜리메이터를 1차 접속하는 시스템을 구축하였다.

또한 1차 접속 및 2차 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. 3에 나타내었다.

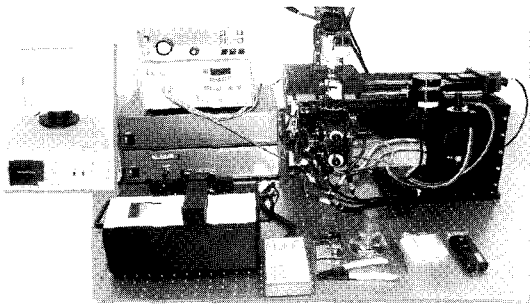


Fig. 3 Experimental setup for manufacturing of the optical collimator

### 2.3 자동 조립시스템의 특징

고기능 광콜리메이터 자동 조립 시스템이 갖는 특징으로는

- (1) 콜리메이터 평가에 소요되는 시간을 단축시킨 고속 검사장비
- (2) 콜리메이터 제조시 조립 반복 정밀도 향상
- (3) 고기능 신요소부품에 대응하는 제조시스템
- (4) 작업자의 경험 의존도 감소
- (5) 이미지 분석에 의한 렌즈와 피그테일의 회전정렬
- (6) 향후 고품질 광콜리메이터의 자동 양산 시스템 구축 가능

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

### 3. 광콜리메이터 제작 공정

자동화 시스템에 의한 광콜리메이터의 제작 공정은 Fig. 4와 같이 정렬, 집합, 평가의 순서로 진행되어진다.

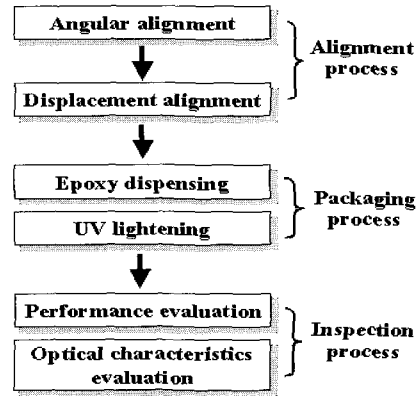


Fig. 4 Main process for manufacturing of optical collimator

### 3.1 사전 준비

광콜리메이터 제작을 위한 사전 준비로서 렌즈와 유리관의 조립이 필요하다. 이는 수작업으로 행해지며 그 공정은 Fig. 5와 같다.

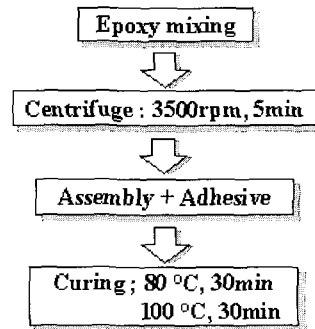


Fig. 5 Process for lens-glass tube assembly

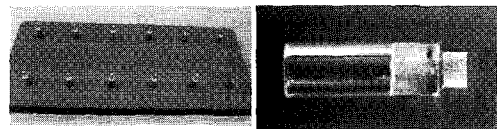


Fig. 6 Jig for assembly(left) and manufactured sample (right)

위 공정에서 렌즈와 유리관의 접합에 사용되는 에폭시는 EPO-TEK 353ND로서 접합제와 경화제를 10대 1의 비율로 혼합하고, 원심분리기에서 3500rpm의 속도로 5분동안 탈포공정을 거쳐 사용한다. 에폭시가 준비되면

Fig. 6의 왼쪽과 같은 지그에 렌즈와 유리관을 올리고 에폭시를 도포한 후, 오븐에서 80℃에서 30분, 110℃에서 30분 동안 경화시켜 조립을 완료한다. Fig. 6의 오른쪽은 렌즈와 유리관의 조립이 완료된 모습이다.

### 3.2 정렬 공정

유리관 내에서 렌즈와 피그테일간 정렬은 회전 정렬과 상호 간격 조정으로 나누어지는데, 조립된 렌즈와 유리관을 Fig. 7에 보이는 유리관 고정 지그에 장착한 후 자동으로 수행된다.

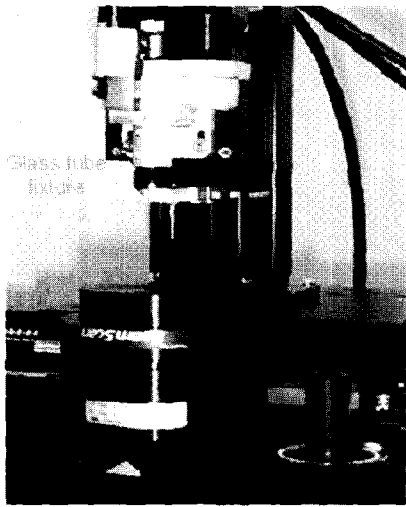


Fig. 7 Equipment for alignment of lens-pigtail

회전 정렬은 자동화 시스템을 이용하여 광학리미터를 제작하기 위한 첫번째 공정으로서 8°로 경사진 피그테일과 렌즈의 단면을 상호 평행이 되도록 정확하게 일치시키는 것이고, 상호 간격 조정은 빔 스캐너를 이용하여 원하는 빔 직경을 결정하는 공정이다. 이러한 미세 정렬 작업을 위하여 조립용 4축 스테이지를 구성하였는데 각 축은 기능에 따라 풀 스텝(full step)에서 Table 2와 같은 분해능을 가지며 하프 스텝(half step)까지 조절할 수 있다.

Table 2 Resolution of 4-axis stage(at full step)

Axis	X	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	θ
Res.	10μm	1μm	4μm	0.247°

### 3.3 접합 공정

렌즈와 피그테일간 회전 정렬과 상호 간격 조정이 완료되면 그 상태에서 1차 접합을 수행한다. 여기에 사용되는 에폭시는 ELC4481로서 에폭시 디스펜서(dispenser)를 통하여 정량/소량 토출된다. ELC4481은 자외선 경화 에폭시로서 320~400nm 대역의 자외선을 약 10mW/cm<sup>2</sup>의 세기로 조사하면 2~30초만에 경화된다. 위킹(wicking) 공정이라 부르는 2차 접합은 1차 가접된 상태에서 비어있는 유리관 내부를 에폭시 EPO TEK 353ND를 사용하여 채워주는 것으로서, 오븐에서 110℃에서 30분 동안 가열한 뒤 빼내어 에폭시를 도포하고 다시 80℃에서 30분 동안 경화시켜 완성된다.

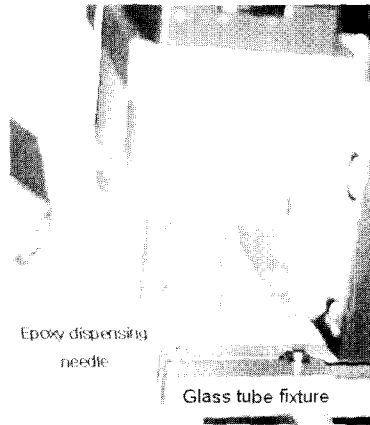


Fig. 8 Equipment for packaging of pigtail-glass tube

### 3.4 평가 공정

조립된 콜리메이터의 성능 및 특성을 평가하는 공정으로서 평가 가능한 항목은 Table 3과 같다. 본 시스템을 이용하여 콜리메이터 평가를 자동화함으로써 작업 소요 시간의 단축효과를 극대화할 수 있었다.

Table 3 Items of inspection

Inspection of Efficiency	Coupling loss
	Reflectance insertion loss
	Transmitted insertion loss
Estimation of Characteristic	- Return loss
	- Beam size
	- Focal length
	- Beam shape
	Beam divergence angle
	Optical working distance

위의 평가 항목 중 콜리메이터의 성능은 Fig. 9에서와 같이 마스터 콜리메이터와 제작된 샘플간 결합효율을 측정하여 나타내게 되는데, 이를 위하여 조정밀 6축 스테이지를 구성하였다. 성능 평가를 위한 스테이지의 분해능은 풀 스텝일때 Table 4와 같으며 1/20 스텝까지 조절이 가능하다.

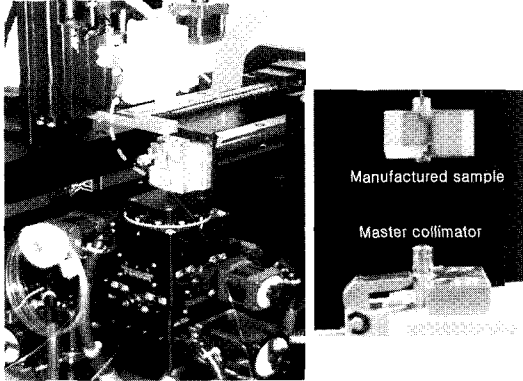


Fig. 9 Equipment for inspection of manufactured collimator

Table 4 Resolution of 6-axis stage(at full step)

Axis	Resolution
X, Y, Z	1 $\mu$ m (1/20step : 50nm)
Rotation	0.002°, 0.0025°, 0.004°

#### 4. 광콜리메이터의 제작 및 성능 비교/분석

##### 4.1 광콜리메이터 제작

자동 조립 시스템을 이용하여 Fig. 10의 아래와 같이 광콜리메이터를 제작하였다. 제작된 콜리메이터는 금속관은 사용하지 않았고, 직경은 가장 일반적인 크기인 2.8mm이며 길이는 10.7mm이다. 콜리메이팅 렌즈는 광축상의 굴절률( $N_0$ )이 1.5901이고, 직경이 1.8mm인 GRIN rod 렌즈를 사용하였다.

##### 4.2 회전 정렬

콜리메이터를 구성하는 렌즈와 피그테일은 반사에 의한 손실을 최소화시키기 위하여 한쪽 단면이 8°로 경사져 있다. 이렇게 경사진 두 단면을 상호 평행이 되도록 하기 위해 Fig. 11과 같이 CCD 카메라를 통한 이미지 프로세싱을 이용하여 타원으로 보이게 되는 두 단면의

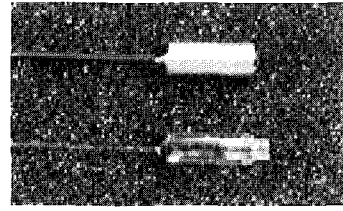


Fig. 10 Optical collimator  
(Top : Koncert co., Bottom : auto-manufactured sample)

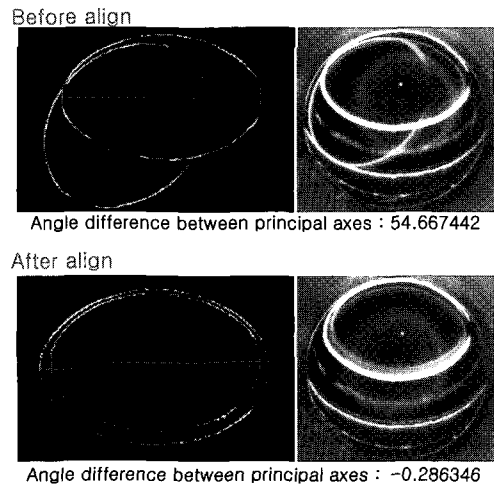


Fig. 11 Angle alignment between two ellipses

주축을 일치시키는 방법을 사용하였다.

본 연구에서는 허용 가능한 두 주축간 각을 1°이내로 정하고, 수동과 자동에 의하여 각각 10번씩 회전 정렬을 수행하여 두 주축 간 각의 변화를 관찰함으로써 수작업에 비해 자동 조립 시스템의 우수성을 입증해보고자 하였다.

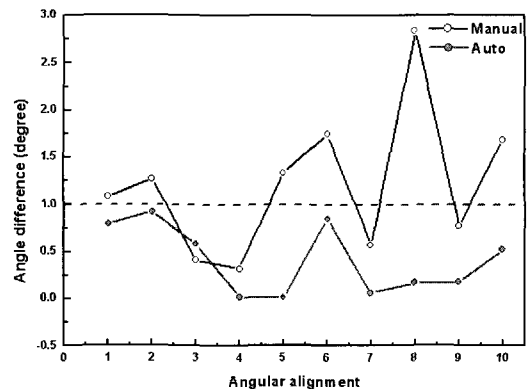


Fig. 12 Comparison of angle difference between principal axes

실험결과 Fig. 12에서 보는 바와 같이 자동으로 수행된 회전 정렬은 두 주축 간 각이 모두 허용오차 내에 들어온 반면, 수작업으로 두 주축을 일치시킬 때는 각의 변화가 심하고 대부분이 허용오차 범위를 벗어나므로 콜리메이터의 성능을 저하시키는 원인이 됨을 알 수 있었다.

### 4.3 빔 직경

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

본 연구에서는 빔 직경을 결정하기 위한 여러 가지 이론 중 slit method를 사용하였으며 클립 레벨(clip level)로는 Fig. 13과 같이 ISO에서 규정한 가장 전형적인 값인 13.5%를 사용하였다.

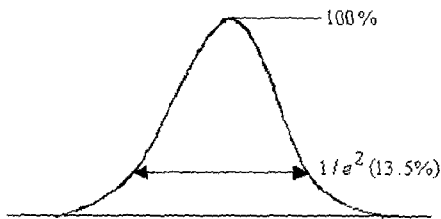


Fig. 13 Clip level beam width

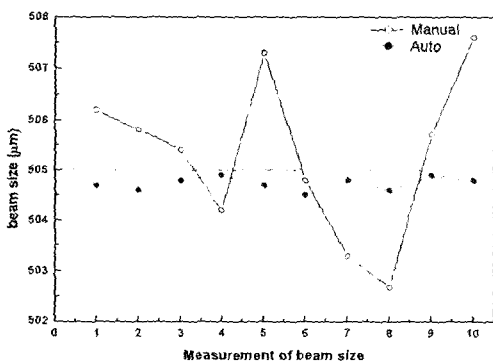


Fig. 14 Comparison of deviations of beam size

자동화 시스템에 의하여 설정된 빔 직경을 만드는 데는 평균 93초가 걸린 반면 수작업으로 이를 수행할 때는 10분 이상이 소요되었고, Fig. 14에서 보는 것처럼 자동

으로 제작된 콜리메이터는 설정된 빔 직경과 0.5 $\mu\text{m}$ 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.

### 4.4 투과삽입손실(TIL)

콜리메이터의 성능을 나타내는 중요한 인자들에는 CL(coupling loss), TIL(transmitted insertion loss), RIL(reflected insertion loss), RL(return loss) 등이 있으며 이중 투과삽입손실은 콜리메이터의 각종 광 모듈 적용시 매우 중요한 항목이 된다.

자동화 시스템에 의하여 만들어진 광콜리메이터의 투과삽입손실 측정은 Fig. 15와 같은 방법으로 수행하였으며 상용 제품과의 성능 비교를 시도하였다. 마스터 콜리메이터는 1550nm의 파장만을 통과시키는 박막 필터가 부착되어 있고, 상용제품으로는 콜리메이터와 렌즈 제작에 있어 오랜 경험과 노하우를 가지고 있는 Konkent사의 제품을 사용하였다.

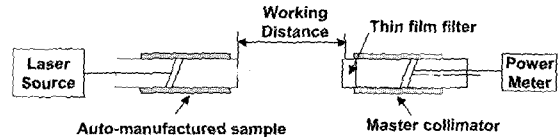


Fig. 15 Schematic diagram for measurement of TIL

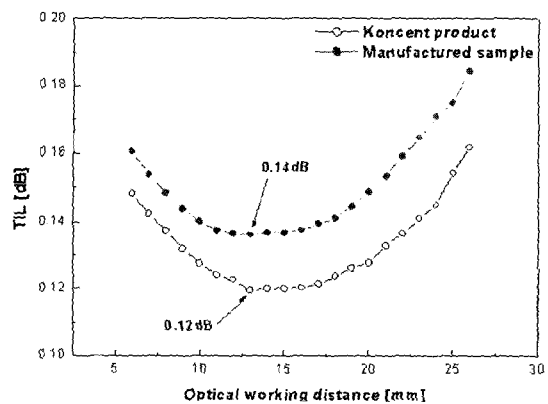


Fig. 16 Comparison of TIL via optical working distance

Konkent사의 콜리메이터는 GRIN rod 렌즈를 사용하였고, 회전 정렬을 측정해 본 결과 허용오차 내에 들어옴을 확인하였다. 또한 빔 직경은 장축이 465.3 $\mu\text{m}$ , 단축이 444.5 $\mu\text{m}$ 였다. 이 제품과의 투과삽입손실 값의 비교를

위해 같은 종류의 렌즈를 사용하고 빔 직경을 일치시켜 자동으로 콜리메이터를 제작하였고, 이렇게 만들어진 콜리메이터와 마스터 콜리메이터의 렌즈 간 거리를 6mm 부터 26mm까지 1mm씩 이동시키며 손실을 측정하였다.

투과삽입손실 값은 일반적으로 0.3dB 이하이면 문제시 되지 않는다. 실험 결과 Fig. 16과 같이 두 콜리메이터의 투과삽입손실 값은 0.14dB 이하로서 매우 우수하였고, 두 곡선이 평균 0.017dB씩 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. 결 론

광콜리메이터 자동 조립 시스템은 고기능성 광통신 부품의 개발에 있어 가장 필요한 기술로 대두되고 있다. 이러한 고기능 광콜리메이터를 개발하기 위해 본 연구에서 자동 조립 시스템을 설계하고 이를 구축하였다. 또한 구성된 자동화 시스템을 이용하여 광콜리메이터를 제작하였고, 이를 수작업에 의해 만들어진 것과 성능을 비교/분석하였다. 그 결과로서 콜리메이터의 제작 소요시간 단축, 회전정렬과 빔 직경 결정시 성능 및 수율 향상 등을 가져왔고, 기존 성능이 인정된 Koncent사의 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 고성

능, 저가격화를 달성함으로써 국내의 광부품 특히 광전 부품, 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 여러분께 감사의 말씀을 올립니다.

## 참 고 문 헌

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