

극초정밀 위치제어장치를 이용한 광소자 정렬 자동화에 관한 연구

정상화(조선대 기계공학과), 김현욱(조선대 대학원), 최석봉(조선대 대학원),
김광호*(조선대 대학원), 박준호(조선대 대학원)

A Study on Optical Element Alignment Automation using Ultra Precision Positioning Stage

S. H. Jeong(Mech. Eng. Dept., CSU), H. U. Kim(Grad. CSU), S. B. Choi(Grad. CSU),
G. H. Kim*(Grad. CSU), J. H. Park(Grad. CSU)

ABSTRACT

As demands of VBNS and VDSL increase, the development of kernel parts of optical communication such as PLC(Planar Light Circuit), Coupler, and WDM elements increases. The alignment and the attachment technology are very important in the fabrication of optical elements. The ultra precision stage wasn't yet applied in the optical alignment and the optical element alignment was taken too many times. In this paper, the optical element alignment of ultra precision positioning stage was studied. The alignment algorithm is comprised of field search and peak search algorithms. The procedure of the alignment algorithms applied to the ultra precision positioning stage are developed by LabView programming.

Key Words : Optical Element Alignment (광소자 정렬), PZT Actuator (압전 액츄에이터), Flexure (탄성힌지), Capacitance gauge (정전용량형 센서), Field Search (영역 탐색), Peak Search (극점 탐색)

1. 서론

광통신은 구리선보다 훨씬 양호한 상태의 정보내용을 수 만 배까지 동시에 처리할 수 있어 통신망 확대에 결정적인 변화를 초래하였다. 광통신 시스템은 광섬유의 저손실성과 광대역성을 충분히 활용할 수 있는 기간 전송망으로부터 도입되기 시작하여 현재는 기간 중계의 대부분이 광통신화 되어 있고 국내에서도 현재 2.5Gbps 까지의 전송 방식이 상용화되어 있다. 초고속 광통신이 발전함에 따라 초고속 광통신 시스템의 핵심 부품인 평면도파로형 분배기(Splitter) 및 결합기(Coupler), 파장분할다중화(WDM) 소자, AWG(Arrayed Wave Guide) 필터 등 각종 광통신소자 부품들의 개발이 활발히 진행 중이다.^{1,2} 광통신 시스템 및 소자부품 수요시장의 확대와 급격한 기술적 발전에 따라 관련 제조업체들은 제품의 성능 향상 및 생산성 향상이라는 복합된 목표를 동시에 달성하여야만 하는 문제에 직면하였다. 이에 따라 기존의 장치보다 정밀한 정렬을 필요로 하게 되었고 정확한 성능평가를 위한 측정과 생산 자동화가 요구

되었다. 특히 광통신소자 제조과정상 소자(Devices)와 광섬유(Optical Fiber) 사이의 광학적인 정렬과 접합 공정은 부품 성능 및 생산성 향상, 그리고 비용 절감을 위한 가장 핵심적인 문제로 대두되고 있다.^{3,4} 정렬방식을 보면 현재의 시스템들은 다중 도파로 소자 출력 측의 몇 개의 단자출력을 기준으로 최적의 정렬위치를 찾아가는 방식으로 되어 있고, 극대 신호 구간을 탐색하는데 있어서 일정 구간을 계단상으로 전·후진해서 움직이는 케직(Back-and-Forth Path)이 사용된 결과, 정렬시간이 오래 걸리는 단점이 있었다. 이를 개선하기 위하여 NI사에서는 사각나선 케직(Rectangular-Spiral Path) 알고리즘을 개발하여 케직오차를 줄이는 기법을 발표하였다.^{5,6,7}

본 연구에서는 극초정밀 위치제어장치를 광소자 정렬 분야에 적용하여 정밀도를 높이고, 정렬 공정에 소요되는 시간을 줄이기 위하여 광소자 정렬 자동화에 대해 연구하였다. 광소자 정렬 알고리즘은 영역 탐색과 극점 탐색 알고리즘으로 구성된다. 광정렬시 광신호의 2 차원 분포도를 파악하기 위해 영

역 탐색 알고리즘을 적용하였고, 영역 탐색에서 얻은 최대 광신호 검출위치를 기준으로 보다 높은 신호가 검출되는 정밀한 좌표를 찾기 위해 극점 탐색 알고리즘을 적용하였다. 정렬 공정을 자동화하기 위하여 LabView를 사용하여 프로그래밍하였고, 정렬 성능을 검증하였다.

2. 광소자 정렬 알고리즘

2.1 시스템 구성

극초정밀 위치제어장치를 이용한 광소자 정렬 장치는 Fig. 1에서와 같이 극초정밀 스테이지부와 센서부 그리고 제어부로 구성된다. 극초정밀 스테이지부는 압전 액추에이터로 구동되고 변위 확대 구조를 갖는 플렉서로 가이드 되는 메카니즘으로 3자유도 (X-Y-Z) 병진운동을 수행한다. 센서부는 스테이지에서 발생하는 변위를 측정하는 정전용량형 센서와 광소자에서 검출되는 신호를 측정하는 광 파워미터로 구성된다. 제어부는 압전 액추에이터 앰프에 제어 신호를 입력하고 정전용량형 센서와 광 파워미터의 출력 신호를 나타내는 역할을 수행한다. Table 1은 극초정밀 다축 스테이지의 사양을 나타낸 것이다.

Table 1 Specification Ultra Precision Multi-Axis Stage

	Specification
Degree of Freedom	X-Y-Z Translation
Travel	100 × 100 × 100 μm
Accuracy	X, Y, Z : 10 nm
Resolution	X, Y, Z : 약 5 nm

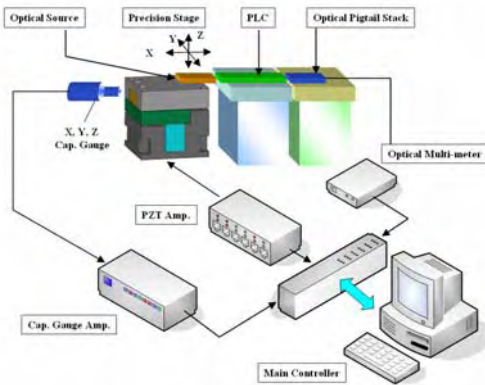


Fig. 1 Schematic Diagram of Optical Element Alignment System

2.2 광소자 정렬 알고리즘

광소자 정렬은 레이저 광원에서 빛을 광소자에 입력하여, 상대측에서 출력되는 빛을 광 파워미터로 측정하여 가장 큰 광파워(dBm) 값을 찾을 때까지 위치를 변화시킨다. 광소자 정렬 순서는 광소자를 접

합 거리에 위치시킨 후 2 차원 정렬을 수행하여 2차원 좌표에 대응하는 광파워 값을 파악한다. 이 공정을 2 차원 영역 탐색(Field Search)이라고 한다. 영역 탐색이 끝나면 가장 큰 광신호가 출력되는 지점으로 이동하여 전·후진해서 움직이는 궤적과 힐 클라임(Hill Climb) 방식으로 가장 큰 신호가 출력될 때까지 정렬한다. 이 공정을 극점 탐색(Peak Search)이라고 한다. Fig. 2는 광소자 정렬 알고리즘의 순서를 나타낸 것이다.

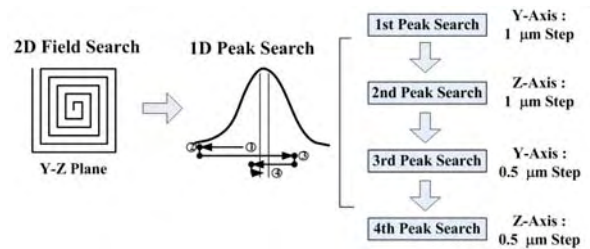


Fig. 2 Process of Optical Element Alignment Algorithm

3. 광소자 정렬 자동화

3.1 광소자 정렬 자동화 프로그래밍

영역 탐색 알고리즘과 극점 탐색 알고리즘을 이용한 광소자 정렬 자동화 프로그램을 개발하기 위하여 LabView 프로그램을 사용하였다. 프로그램의 구성은 스테이지가 사각나선형 궤적을 따라 구동할 수 있도록 압전 액추에이터 앰프에 입력신호를 내보내고 이때의 위치 정보와 광신호를 검출하는 영역 탐색 탭(Tab)과 영역 탐색에서 측정된 데이터를 재배열하여 도식화하고 최대 광신호 출력 좌표로 스테이지를 이동시키는 플로팅 탭(Tab), 그리고 힐 클라임 방식으로 전·후진하여 최적 정렬 위치를 찾는 극점 탐색 탭(Tab)으로 나누어 프로그래밍하였다.

3.1.1 영역 탐색

탐색 범위를 5 μm 간격으로 사각나선형 궤적을 따라 탐색할 수 있도록 AO 보드(Analog Output Board)를 통해 압전 액추에이터에 구동 신호를 내보낸다. 동시에 AI 보드(Analog Input Board)와 GPIB 보드를 통해 극초정밀 다축 스테이지가 구동하는 동안의 위치 좌표와 광신호를 측정한다. 최대 광신호가 출력된 영역이 Y-Z 평면의 가장자리에 치우쳐 있을 경우에는 초기위치를 수정하여 재탐색한다. Fig. 3은 영역 탐색 과정을 나타낸 플로차트이다. 탐색 후 측정된 데이터를 재배열하여 도식화하고 최대 광신호 출력 위치로 스테이지를 이동시킨다.

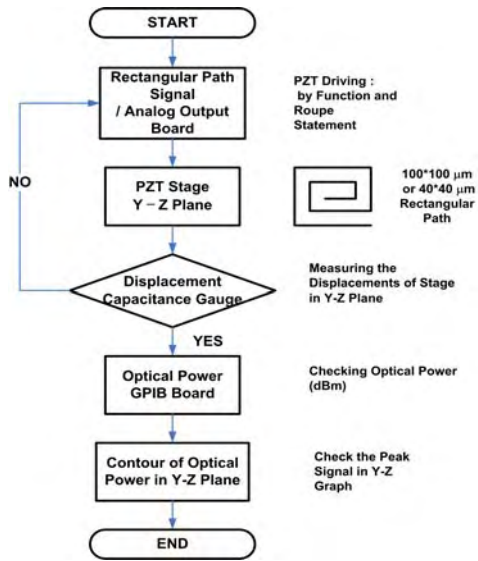


Fig. 3 Flow Chart of Field Search Programming

3.1.2 극점 탐색

극점 탐색은 힐 클라임 방식과 전·후진해서 움직이는 궤적을 이용하여 4 단계로 수행된다. 1 단계 극점 탐색에서는 Y 축에서 1 μm 스텝으로 이동하여 프로파일을 측정하고 2 단계에서는 Z 축에서 1 μm 단위로 이동하여 프로파일을 측정한다. 3 단계 극점 탐색에서는 Z 축의 최대 광파워 값 좌표 부근에서 0.5 μm 스텝으로 전·후진하여 보다 정밀한 최대 광파워 값을 찾게 된다. 4 단계는 Y 축에서 0.5 μm 스텝으로 이동하면서 측정하여 최종 좌표를 찾는다. Fig. 4는 극점 탐색 과정을 나타낸 플로차트이다.

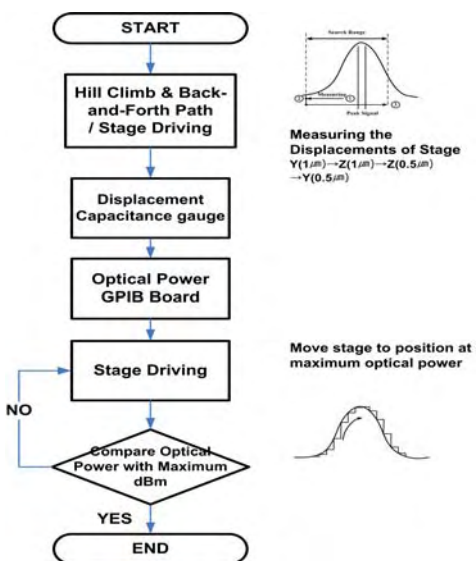


Fig. 4 Flow Chart of Peak Search Programming

3.2 광소자 정렬 특성

극초정밀 위치제어장치를 이용한 광소자 정렬 자동화 프로그램의 성능을 검증하기 위해 1 채널의 신호를 8 채널로 분기하는 스플리터와 광스택의 정렬 실험을 하였다. 정렬 알고리즘에 따라 2 차원 영역 탐색을 수행하여 최대 광신호를 찾은 후 4 단계의 극점 탐색을 수행하여 보다 정밀한 최대 광신호 출력 위치를 구하는 실험을 하였다.

3.2.1 영역 탐색

입력 1 채널 광소자와 출력 8 채널 광소자의 정렬에서 영역 탐색을 할 때 사각나선 궤적 40 μm × 40 μm 의 영역에서 5 μm 단위 격자로 구성된 2 차원 광신호 프로파일을 측정하였다. Fig. 5에서와 같이 영역 탐색에서 (Y, Z) = (19.0582 μm, 12.8555 μm)에서 -4.1322 dBm 의 광파워 값을 얻을 수 있었다. 스테이지를 최대 광신호 출력지점으로 이동시킨 결과 (Y, Z) = (18.9896 μm, 12.8174 μm)에서 -4.293 dBm 의 광파워 값을 얻을 수 있었다.

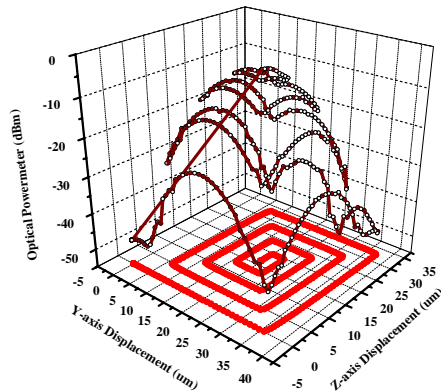


Fig. 5 Field Search Alignment

3.2.2 극점 탐색

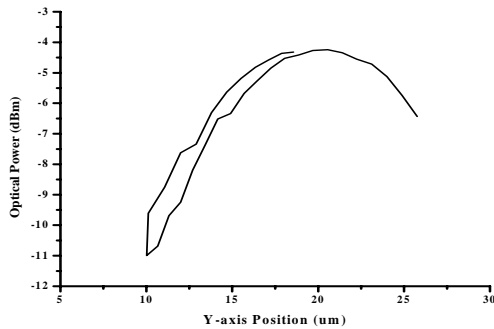
스테이지의 위치 (Y, Z) = (18.9896 μm, 12.8174 μm) 를 기준으로 4단계의 극점 탐색을 하였다. 광소자를 수동으로 정렬할 경우에는 이 과정에서 최대 광신호 출력 지점을 기준으로 전·후진 과정을 4회 하였으나 실제 프로그램을 실행한 결과 압전 액츄에이터가 갖는 히스테리시스 특성에 의해 최대 광신호 출력 지점을 기준으로 전·후진 횟수가 증가함에 따라 광파워 값에 변화가 생겼다. 그래서 프로그래밍 과정에서 전·후진 궤적을 최소 횟수로 제한하였다. Fig. 6에서와 같이 최대 광신호는 (Y, Z) = (19.7906 μm, 14.4806 μm)에서 -3.9478 dBm 으로 영역 탐색에서 구한 -4.1322 dBm 보다 0.1844 dBm 높은 값으로 보다 정밀한 정렬 위치임을 확인할 수 있었다. Fig. 6 은 극점 탐색 순서와 결과를 나타낸 것이다.

4. 결론

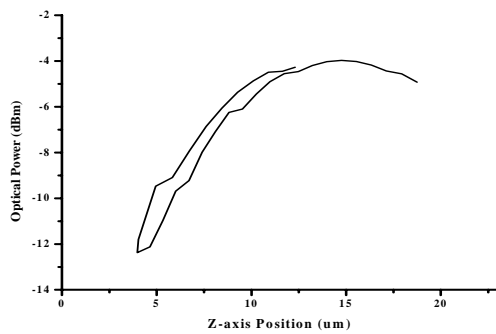
본 논문에서는 평면도파로형 분배기, WDM소자, AWG 필터 등의 광부품을 신속하고 정밀하게 정렬하기 위하여 극초정밀 위치제어장치의 광소자 정렬 자동화에 대해 연구하였다. 광소자를 정렬하기 위하여 영역 탐색과 극점 탐색을 수행하였다. 영역 탐색은 사각나선 궤적을 이용하여 정렬범위의 평면좌표와 대응하는 광신호를 측정하였다. 극점 탐색에서는 영역 탐색에서 측정된 최대 광신호가 검출되는 좌표로 이동하여 전·후진해서 움직이는 궤적과 힐 클라임 방식을 이용하여 영역 탐색에서 보다 정밀한 위치로 정렬하였다. 그 결과 영역 탐색에서 구한 최대 광신호 출력 위치로 스테이지를 이동하면서 측정되어진 광파워 값보다 다소 낮은 광파워 값에서 정렬되었지만 극점 탐색을 통해 이 차이를 보상했을 뿐만 아니라 보다 정밀한 위치로 정렬이 가능하였다. 정렬에 소요되는 시간은 최대 광신호가 Y-Z 평면의 중앙에서 얼마나 먼 곳에서 형성되는가에 따라 약간의 차이가 있지만 영역 탐색에서 40초, 영역 탐색에서의 최대 광신호 출력지점으로 스테이지를 옮기는데 약 20 ~ 60초, 그리고 극점 탐색에서 약 2분미만으로 총 4분 정도의 시간이 소요되었다.

참고문헌

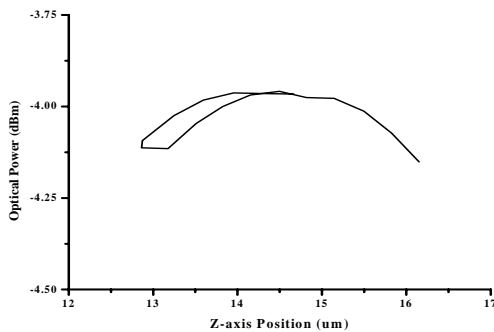
1. 김재국, 장원석, "UV 레이저를 이용한 직접 묘화 기술 개발," 제 1회 고기능 초미세 마이크로부품 기술개발 Workshop, pp. 1-5, 2002.
2. Chung, Y. C. and Chung, L. S., "Aging-induced wavelength shifts in 1.5- μm DFB lasers," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, pp. 792-795, 1994.
3. Vodhanel, R. S., Krain, M., Wagner, R. E. and Sessa, W. B., "Long-term wavelength drift of the order of 0.01nm/yr for 15 free-running DFB laser modules," OFC94, 1994.
4. 양순호, "다채널 광통신소자 정렬 시스템 개발," 중기거점 중간보고서, 산업자원부, 2002.
5. Mobarhan, K. S., Hagenbuechle, M., Heyler, R., "Fiber to Waveguide Alignment Algorithm," Application Note 7, Newport, 2002
6. EXFO Brochure : Nanoalignment Software for FR-3000 NanoRobot System.
7. Ragona, S., "Automated Pivot Point Location for Optical Component Manufacturing," Burleigh Application Note No. 65, 2002.



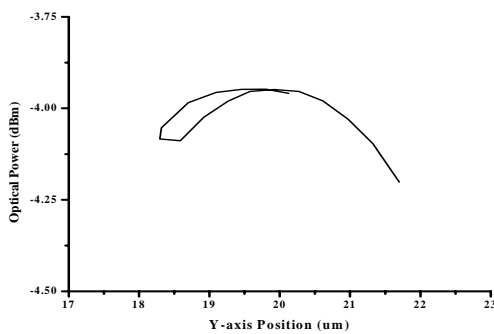
(a) 1st Peak Search with 1 μm Step in Y-Axis



(b) 2nd Peak Search with 1 μm Step in Z-Axis



(c) 3rd Peak Search with 0.5 μm Step in Z-Axis



(d) 4th Peak Search with 0.5 μm Step in Y-Axis

Fig. 6 Peak Search Alignment