

극초정밀 다축 스테이지를 이용한 광소자 정렬 자동화에 관한 연구

정상화*, 김광호†

(논문접수일 2006. 3. 2, 심사완료일 2006. 8. 21)

A Study on the Optical Element Alignment Automation using Multi-Axis Ultra Precision Stage

Sanghwa Jeong*, Gwangho Kim†

Abstract

The optical element was usually used in optical devices and optical transfer devices, but it has been recently used in communication, computer and medical equipment. With the development of very high speed optical-communication, the development of the kernel parts of optical communication has also increased. Presently, the alignment of the optical element is time consuming, and an effective alignment algorithm has not yet to be developed. In this paper, the alignment automation of the optical element is studied. The ultra precision stage is applied to an optical element alignment to improve the accuracy of the alignment. The automation program of the optical element alignment is developed by LabVIEW programming to save the alignment time. The alignment algorithms of the optical element consist of field search and peak search algorithms.

Key Words : Optical Element Alignment(광소자 정렬), PZT Actuator(압전 액츄에이터), Flexure(플렉서), Capacitance Gauge(정전 용량형 센서), Field Search(영역 탐색), Peak Search(극점 탐색)

1. 서론

광소자란 외부에서 에너지를 흡수하여 광을 방출하거나,

광을 흡수하여 임의의 에너지 형태로 방출하는 소자를 말한다. 광소자는 보통 광학기기, 전송 장치에 사용되어 왔으나 최근 통신, 컴퓨터, 의학용 기기, 가전 기기 등에까지 널리 사용되

* 조선대학교 기계공학과
† 교신저자, 조선대 대학원 기계공학과 (mudol78@paran.com)
주소: 501-759 광주시 동구 서석동 375

베이스(Base)를 고정하고, Z축 플렉서, Y축 플렉서, X축 플렉서를 차례로 연결하여 각 플렉서에서 발생한 변위가 합성되어 이송단(Moving Plate)에서 최종 변위가 발생한다. 광소자는 이송단에 놓이게 된다. Table 1에 개발한 극초정밀 다축 스테이지의 사양을 나타내었다⁽⁷⁾.

2.3 광소자 정렬 알고리즘

Fig. 3과 같이 광소자 정렬 알고리즘은 영역 탐색과 극점 탐색 알고리즘으로 이루어진다. 이러한 알고리즘은 광소자의 최적 접합 위치를 찾는 과정이다. 광소자 정렬은 레이저 광원에서 빛을 광소자에 입력하여, 상대측에서 출력되는 빛을 광 멀티미터로 측정하며 광소자의 위치를 변화시킨다. 광소자 정렬 순서는 광소자간 이격 거리(Working Distance)인 약 10 μ m까지 광소자를 접근시킨 후 5 μ m 간격의 사각나선형 궤적(Rectangular Spiral Path)을 따라 2차원 정렬을 수행하여 2차원 좌표에 대응하는 광 파워 값(dBm)을 파악한다. 이 공정을 2차원 영역 탐색(Field Search)이라고 한다. 영역 탐색에서 검출된 최대 광 신호 출력 위치는 극점 탐색의 출발점이 된다. 이 위치를 기준으로 힐 클라임(Hill Climb) 방식으로 전·후진해서 움직이는 궤적을 따라 1차원 정렬을 수행하여 최적의 광소자 정렬 위치를 찾는다. 이 공정을 극점 탐색(Peak Search)이라고 한다. 극점 탐색은 4단계의 과정으로 이루어진다. 1단계 극점 탐색에서는 Y축에서 1 μ m 스텝으로 운동하여 프로파일을 측정하고 2단계에서는 Z축에서 1 μ m 스텝으로 이동하여 프로파일을 측정한다. 3단계와 4단계에서는 0.5 μ m 스텝으로 이동하면서 최종 광소자 접합 위치를 찾는다⁽⁸⁾.

3. 광소자 정렬 자동화

광소자 접합(Bonding) 공정에서 정렬 시간을 줄이고, 광정렬 요구 정밀도를 만족하기 위하여 극초정밀 다축 스테이지를 개발하여 광소자 정렬 장치에 사용하였고, 영역 탐색

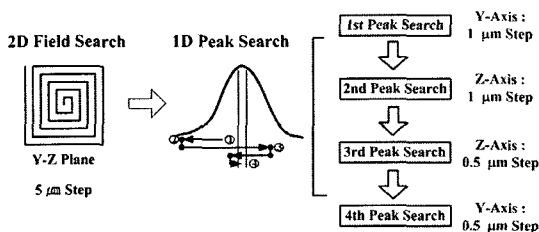


Fig. 3 Procedure of Optical Alignment Algorithms

알고리즘과 극점 탐색 알고리즘을 개발하여 적용하였다. 또한, 광소자 정렬 과정을 자동화하기 위하여 광소자 정렬 자동화 프로그램을 개발하였다.

3.1 광소자 정렬 자동화 프로그램

광소자 정렬 자동화 프로그램은 LabVIEW를 사용하여 프로그래밍하였다. 프로그램은 세 부분으로 구성하였다. 스테이지가 사각나선형 궤적을 따라 구동할 수 있도록 압전 액추에이터 앰프에 입력 신호를 내보내고 스테이지의 위치 정보와 광 신호를 검출하는 영역 탐색 탭(Field Search Tab)과, 영역 탐색 과정에서 측정된 데이터를 재배열하여 도식화하고 최대 광 신호 출력 좌표로 스테이지를 이동시키는 플로팅 탭(Plotting Tab), 그리고 힐 클라임 방식 및 전·후진하여 움직이는 궤적을 따라 최적 정렬 위치를 찾는 극점 탐색 탭(Peak Search Tab)으로 구성하였다. LabVIEW 함수인 이벤트 구문(Event Structure)을 사용하여 버튼을 누름으로써 각 공정이 수행되도록 하였다.

3.1.1 영역 탐색 탭

영역 탐색 탭은 개발한 영역 탐색 알고리즘을 구현하기

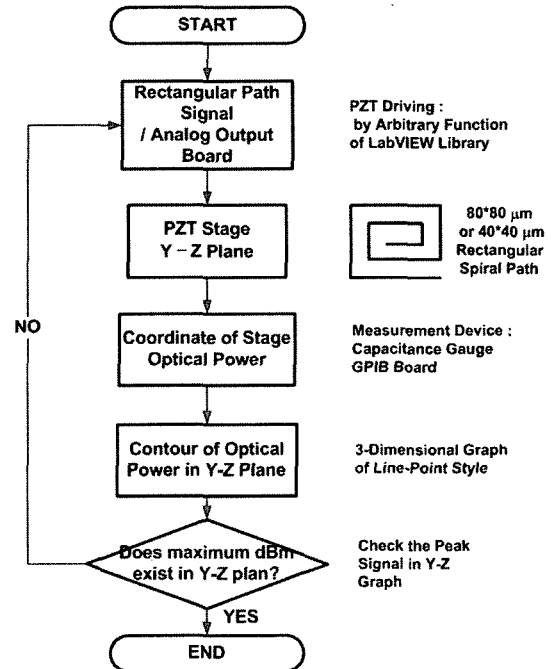


Fig. 4 Flow Chart of Field Search Algorithm

위한 신호를 출력하고 장치들의 파라미터를 설정할 수 있는 창과 정전용량형 센서와 광 멀티미터에서 측정된 데이터를 그래프로 확인할 수 있는 창으로 구성하였다. Fig. 4는 영역 탐색 과정을 보여주는 플로차트이다. 탐색 범위를 선택하고 스타트 버튼을 누르면 스테이지가 사각나선형 궤적을 따라 구동할 수 있도록 압전 액츄에이터에 스테이지 구동 신호가 출력되고, 극초정밀 다축 스테이지는 Y-Z 평면을 탐색하게 된다. 동시에 정전용량형 센서에서 검출되는 스테이지의 위치 정보를 측정하고, 광 멀티미터에서 검출되는 광 신호를 측정한다.

3.1.2 플로팅 탭

플로팅 탭에서는 영역 탐색에서 측정된 데이터를 재배열하여 그래프화하고, 이 데이터를 바탕으로 최대 광 신호가 출력되는 위치로 스테이지를 옮기는 역할을 수행한다. 영역 탐색의 결과와 스테이지를 최대 광 신호 출력 위치로 이동한 결과를 비교할 수 있도록 하였다. 또한, 스테이지가 실제 구동한 Y-Z평면을 그래프로 보여주는 창과 스테이지가 사각 나선형 궤적을 따라 구동하는 동안 측정된 광 신호를 볼 수 있도록 하였다. 최대 광 신호 출력 위치가 Y-Z평면상에 존재하지 않거나 가장자리에 치우친 경우에는 스테이지의 초기 위치를 수정하여 재탐색 과정을 거치게 된다.

3.1.3 극점 탐색 탭

개발한 극점 탐색 알고리즘을 구현하기 위해서 플로팅 탭에서 최대 광 신호 출력 위치로 스테이지를 옮긴 좌표를 기준으로 4단계의 극점 탐색 과정을 거치게 된다. 극점 탐색 탭에서는 각 단계에서 측정되어진 결과를 볼 수 있도록 하였고, 최종 정렬 위치와 광 파워 값을 디지털 수치로 확인할 수 있도록 하였다. 또한, 실험 데이터를 저장할 수 있도록 하였고, 광정렬 장치를 초기화할 수 있도록 하였다. Fig. 5는 극점 탐색 과정을 보여주는 플로차트이다. 스타트 버튼을 누르면 힐 클라임 방식으로 전·후진해서 움직이는 궤적을 따라 극초정밀 다축 스테이지가 구동을 하게 된다. 스테이지의 위치 정보는 정전용량형 센서에 의해 측정되고, 각 좌표에 대응하는 광 파워 값은 광 멀티미터에 의해 측정된다. 검출된 데이터를 바탕으로 최대 광 신호가 출력되는 위치를 찾고, 비교구문을 통하여 최적의 광소자 접합 위치에서 스테이지가 정지하게 된다.

3.2 광소자 정렬 실험

광소자를 정렬하기 위해서는 0.6 ~ 1 μ m의 정밀도가 요구된다. 또한 능동정렬(Active Alignment)의 경우 10분 이상의 시간이 소요되고 있다. 따라서 탐색 시간을 줄이기 위한 영역 탐색 알고리즘과 광소자 정렬 정밀도를 만족하기 위한 극점 탐색 알고리즘을 개발하고 이를 자동화할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 광소자 정렬 자동화 프로그램의 성능을

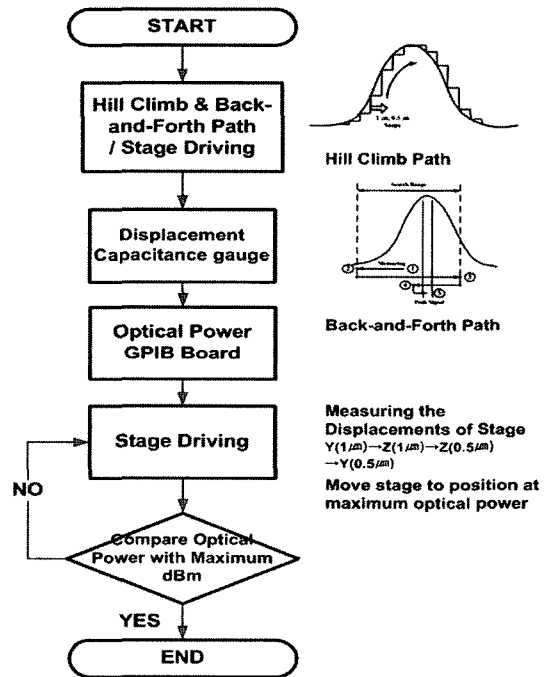


Fig. 5 Flow Chart of Peak Search Algorithm

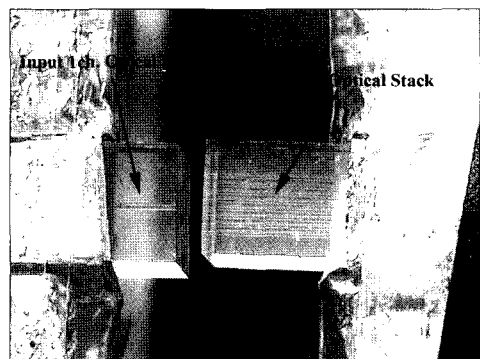


Fig. 6 Alignment between Input 1 Ch. Optical Stack and Output 8 Ch. Optical Stack

검증하기 위하여 탐색 범위를 $40 \times 40 \mu\text{m}$ 로 하여 Fig. 6에서와 같이 입력 측 1채널 광 스택과 출력 측 8채널 광 스택간의 정렬 실험을 하였다. 페롤과 달리 광 스택은 일정 각도로 기울어져 있어 넓은 영역을 탐색할 경우 간섭이 발생하여 파손의 우려가 있기 때문에 탐색 범위를 제한하였다. 측정범위 $\pm 250 \mu\text{m}$ 와 노이즈 레벨 10nm를 갖는 정전용량형 센서를 사용하여 극초정밀 다축 스테이지의 위치 정보를 검출하였다.

3.2.1 영역 탐색 알고리즘

사각나선형 궤적을 구현하기 위해 Fig. 7과 같은 스테이지 구동 신호를 압전 액추에이터에 내보낸다. 스테이지의 이동 속도를 일정하게 유지하기 위하여 출력 신호의 기울기를 동일하게 하였다. 정전용량형 센서에서 측정된 신호를 이용하여 Y-Z평면상에서 스테이지가 구동한 위치를 검출하고, 광 멀티미터에서 측정된 광 신호를 검출하여 최대 광 신호 출력 위치를 찾는다. Fig. 8에서와 같이 영역 탐색 탭에서 측정된 정전용량형 센서의 전압 값을 정전용량형 센서의 게인 값을 이용하여 극초정밀 다축 스테이지가 실제로 탐색한 Y-Z평면으로 환산하였다.

영역 탐색에서의 최대 광 신호 출력 위치와 광 파워 값을 확인하기 위하여 Fig. 9와 같은 3차원 그래프로 도식화하였다. 그 결과, 최대 광 신호 출력 위치와 광 파워 값은 (Y, Z)=($19.05 \mu\text{m}$, $12.85 \mu\text{m}$)에서 -4.132dBm 의 광 파워 값을 얻을 수 있었다. 영역 탐색 후, 스테이지는 Y-Z평면의 중앙부에 위치하게 된다. 따라서, 영역 탐색의 결과를 바탕으로 최대 광 신호가 출력되는 위치로 스테이지를 옮겨야 한다. 스테이지를 최대 광 신호 출력 지점으로 이동시킨 결과 (Y, Z)=($18.98 \mu\text{m}$, $12.81 \mu\text{m}$)에서 -4.293dBm 의 광 파워 값을 얻

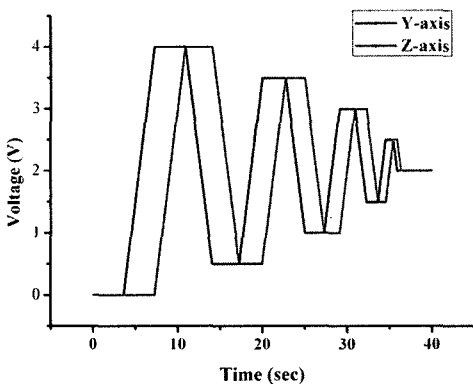
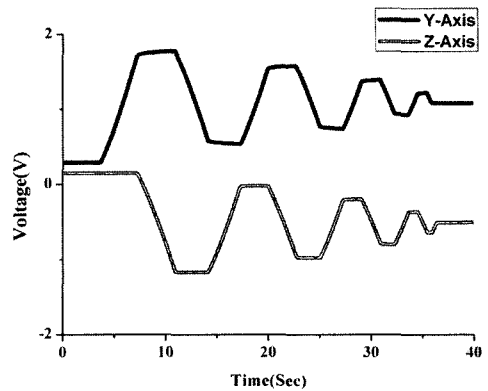
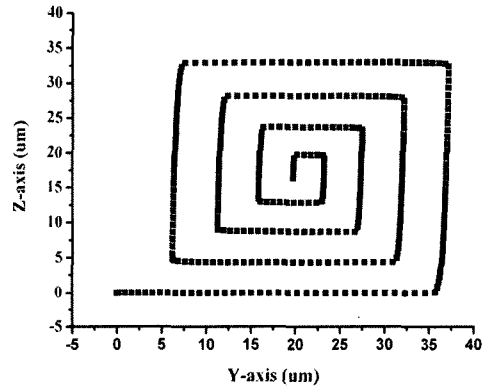


Fig. 7 Analog Output Signals for Rectangular Spiral Path



(a) Capacitance Gauge Acquisition Voltage in Field Search



(b) Y-Z Plane

Fig. 8 Rearrange Process of Capacitance Gauge Acquisition Data

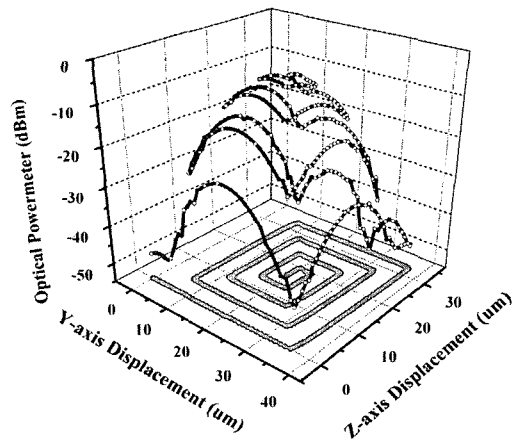


Fig. 9 Result of Field Search Algorithm

을 수 있었다. 이 값은 영역 탐색 결과와 비교하였을 때 (ΔY , ΔZ)= $(-0.07\mu\text{m}, -0.04\mu\text{m})$ 만큼의 위치 오차가 발생하였으며, 0.161dBm 낮은 광 파워 값에서 스테이지가 정지하였다. 이 오차는 프로그래밍 과정에서 허용한 오차이다. 영역 탐색 과정은 최대 광 신호가 출력되는 대략적인 위치를 찾아가는 과정인 점을 고려했을 때 정렬 과정에 소요되는 시간을 줄이고 극점 탐색을 통해 보상 가능한 범위인 $0.5\mu\text{m}$ 의 오차를 허용하였다.

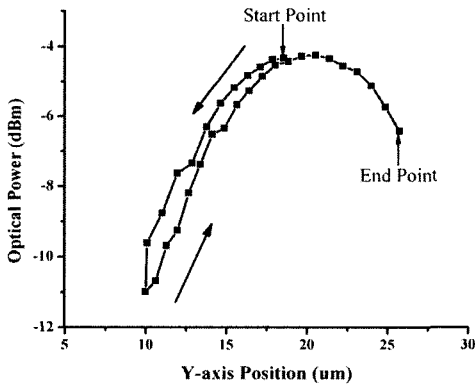
3.2.2 극점 탐색 알고리즘

스테이지의 위치 (Y, Z) = $(18.98\mu\text{m}, 12.81\mu\text{m})$ 를 기준으로 4단계의 극점 탐색을 하였다. 1단계 극점 탐색에서는 Y축에 $1\mu\text{m}$ 스텝 신호를 주어 전·후진하여 움직이는 궤적을 따라 스테이지의 위치 정보와 각 위치에 대응하는 광 신호를 측정하였다. 2단계 극점 탐색에서도 1단계와 동일한 방법으

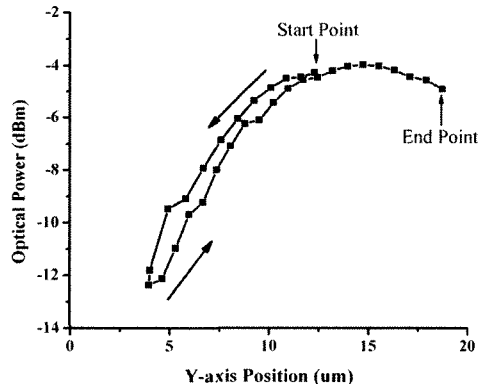
로 스테이지를 Z축 방향으로 구동하였다. 3·4단계 극점 탐색에서는 $0.5\mu\text{m}$ 스텝 신호를 주어 Z축과 Y축에 대하여 1차원 프로파일을 획득하였다. 그 결과 최대 광 신호는 (Y, Z) = $(19.79\mu\text{m}, 14.48\mu\text{m})$ 에서 -3.947dBm 으로 영역 탐색에서 구한 -4.132dBm 보다 0.185dBm 높은 값으로 보다 정밀한 정렬 위치임을 확인할 수 있었다. Fig. 10과 같이 측정된 데이터를 바탕으로 최대 광신호가 출력되는 위치로 스테이지가 이동하여 광소자의 집합 공정이 이루어진다. Fig. 10에 표기한 화살표는 스테이지의 탐색 방향을 나타낸다.

4. 결론

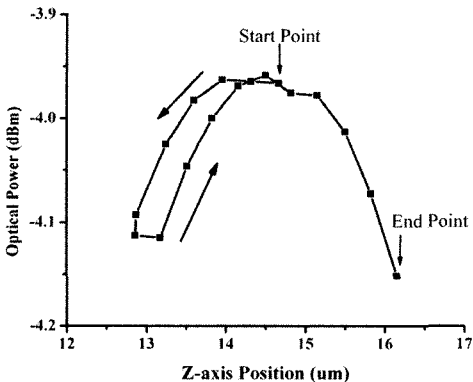
본 연구에서는 극초정밀 다축 스테이지를 이용한 광소자 정렬 장치의 자동화 프로그램을 개발하였다. 약 5nm의 분해능을 갖는 극초정밀 다축 스테이지를 이용하여 정렬 정밀도



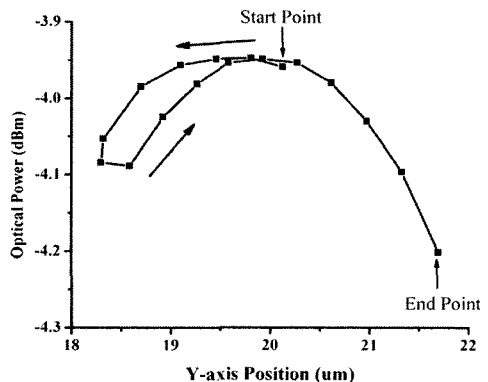
(a) 1st Peak Search with $1\mu\text{m}$ Step in Y-Axis



(b) 2nd Peak Search with $1\mu\text{m}$ Step in Z-Axis



(c) 3rd Peak Search with $0.5\mu\text{m}$ Step in Z-Axis



(d) 4th Peak Search with $0.5\mu\text{m}$ Step in Y-Axis

Fig. 10 Result of Peak Search Algorithm

를 향상하였다. 영역 탐색 알고리즘을 사용함으로써 정렬 시간을 효과적으로 줄일 수 있었고, 탐색 범위의 광 신호 분포를 파악할 수 있었다. 극점 탐색 알고리즘을 사용함으로써 영역 탐색에서 보다 정밀한 정렬 위치를 찾을 수 있었다. 기존의 광정렬 장치는 상당히 고가이며, 정렬 과정 또한 복잡하여 숙련된 기술자에 의해서도 정렬에만 10분 이상의 시간이 소요되고 있다.

본 연구에서는 극초정밀 다축 스테이지에 영역 탐색과 극점 탐색 알고리즘을 적용할 수 있도록 광소자 정렬 자동화 프로그램을 개발함으로써 복잡한 광소자 정렬 공정을 완전 자동화 하였고, 정렬에 소요되는 시간을 줄일 수 있었다. 영역 탐색에 소요된 시간은 40초이며, 스테이지를 최대 광 신호 출력 위치로 이동하는 데 약 40초가 소요되었다. 이 과정에서 소요되는 시간은 최대 광 신호 출력 위치가 Y-Z평면의 중앙에서 얼마나 떨어져 있는가에 따라 차이를 보였다. 극점 탐색에서는 약 2분 정도의 시간이 소요되어 광 정렬에 소요된 총 시간은 4분 미만이었다. 이는 10분 이상의 시간이 소요되는 기존의 광소자 정렬 시스템과 비교하여 5분 이상의 시간을 단축하였다.

후 기

본 연구는 2005년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Shin, B. S., Kim, J. G., Chang, W. S., Yang, S. B., Kim, J. M. and Jeon, B. H., 2002, "Development of Direct Writing Technology using UV Laser," *Development of Micro Optical and Tremofluidic Device Technical Functionality Workshop*, pp. 1~5.
- (2) Chung, Y., Jeong, J. and Chung, L., 1994, "Aging-induced wavelength shifts in 1.5- μ m DFB Lasers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 6, pp. 792~795.
- (3) Vodhanel, R. S., Krain, M., Wagner, R. E. and Sessa, W. B., 1994, *Long-term wavelength drift of the Order of 0.01nm/yr for 15 Free-Running DFB Laser modules*, pp. 258~265.
- (4) Mobarhan, K. S., Hagenbuechle, M. and Heyler, R., 2002, "Fiber to Waveguide Alignment Algorithm," *Application Note 7*, Newport.
- (5) EXFO Brochure : *Nanoalignment Software for FR-3000 NanoRobot System*.
- (6) Ragona, S., 2002, "Automated Pivot Point Location for Optical Component Manufacturing," *Burleigh Application Note*, No. 65.
- (7) Jeong, S. H., Kim, G. H., Cha, K. R. and Song, S., 2006, "A Study on the Motion Mechanism of Multi-Axis Ultra Precision Stage for Optical Element Alignment," *Trans. of KSMTE*, Vol. 15, No. 1, pp. 8~16.
- (8) Jeong, S. H., Cha, K. R. and Kim, G. H., 2005, "A Study on the Optical Device Alignment Characteristics Improvement using Multi-Axis Ultra Precision Stage," *Journal of KSPE*, Vol. 22, No. 12, pp. 175~183.