

극초정밀 다축 스테이지를 이용한 광소자 정렬 특성 향상에 관한 연구

정상화*, 차경래*, 김광호#

A Study on the Optical Device Alignment Characteristics Improvement using Multi-Axis Ultra Precision Stage

Sanghwa Jeong*, Kyoungrae Cha*, Gwangho Kim#

ABSTRACT

In recent years, as the 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. In this paper, the optical alignment characteristic of multi-axis ultra precision stage is studied. The alignment algorithms are studied for applying to the ultra precision multi-axis stage. The alignment algorithm is comprised of field search and peak search algorithms. The contour of optical power signals can be obtained by field search and the precise coordinate can be found out by peak search. Three kinds of alignments, such as 1 ch. input vs. 1 ch. output optical stack, 1 ch. input vs. 8 ch. output PLC stacks, and ferrule vs. ferrule, are performed for investigating the alignment characteristics.

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

1. 서론

광통신이 발전함에 따라 고속 광통신 시스템의 핵심 부품인 평면도파로형 분배기 및 결합기, WDM 소자, AWG 필터 등 각종 광통신소자 부품들의 개발이 활발히 진행 중이다.^{1,2} 광통신 시스템 및 소자부품 수요시장 확대 및 급격한 기술적 발전에 따라 관련 제조업체들은 제품의 성능 향상 및 생산성 향상이라는 복합된 목표를 동시에 달성

하여야만 하는 문제에 직면하였다. 광통신 소자 제조과정상 소자와 광섬유 사이의 광학적인 정렬과 접합 공정은 부품 성능 및 생산성 향상, 그리고 비용절감을 위한 가장 핵심적인 문제로 대두되고 있다.³ 특히 광소자가 다채널화 됨에 따라 기존의 장치보다 정밀한 정렬을 필요로 하게 되었기에 따라 광 관련 측정장비 또는 생산장비 제조업체에서는 품질 및 생산성 향상을 위해 정밀도와 분해능이 우수한 장치에 대해 연구하고 있다.⁴

접수일: 2005년 4월 6일; 게재승인일: 2005년 10월 7일
* 조선대학교 기계공학과
교신저자: 조선대학교 광응용공학과
E-mail mudol78@paran.com Tel. (062) 230-7951

정렬방식을 보면 현재의 시스템들은 다중 도파로 소자 출력 축의 몇 개의 단자출력을 기준으로 최적의 정렬위치를 찾아가는 방식으로 되어 있고, 극대 신호 구간 탐색하는데 있어서 일정구간을 계단상으로 전·후진해서 움직이는 궤적(Back-and-Forth Path)이 사용된 결과, 정렬시간이 오래 걸리는 단점이 있었다. 이를 개선하기 위하여 NI 사에서는 사각나선궤적(Rectangular-Spiral Path) 알고리즘을 개발하여 궤적오차를 줄이는 기법을 발표하였다.^{5,6,7}

본 연구에서는 평면도파로형 분배기, WDM 소자, AWG 필터 및 평면도파로소자 등의 부품을 신속하고 정밀하게 정렬하기 위하여 광소자 정렬 알고리즘에 대해 연구하였다. 광소자 정렬 알고리즘은 영역 탐색과 극점 탐색 알고리즘으로 구성된다. 광정렬시 광신호의 2 차원 분포도를 파악하기 위해 영역 탐색 알고리즘을 적용하였고, 영역 탐색에서 얻은 최대 광신호 검출위치를 기준으로 보다 높은 신호가 검출되는 정밀한 좌표를 찾기 위해 극점 탐색 알고리즘을 적용하였다. 또한 세가지 종류의 광소자의 정렬실험에 의해 광소자 정렬 알고리즘의 성능을 검증하였다.

2. 광소자 정렬 알고리즘

광소자의 정렬은 레이저 광원에서 빛을 광소자에 입력하여, 상대측에서 출력되는 빛을 광파워미터로 측정하여 최고의 광파워(dBm) 값을 찾을 때까지 위치를 변화시키면서 운동한다. 광소자 정렬 순서는 광소자를 접합 거리에 위치시킨 후 2 차원 정렬을 수행하여 2 차원 좌표에 대응하는 광파워 값을 파악한다. 이 공정을 2 차원 영역 탐색이라고 한다. 영역 탐색이 끝나면 가장 큰 광신호가 출력되는 지점으로 이동하여 다시 힐 클라임 방식으로 가장 큰 신호가 출력될 때까지 정렬한다. 이 공정을 극점 탐색이라고 한다. Fig. 1 은 광정렬 알고리즘의 순서를 나타낸 것이다.

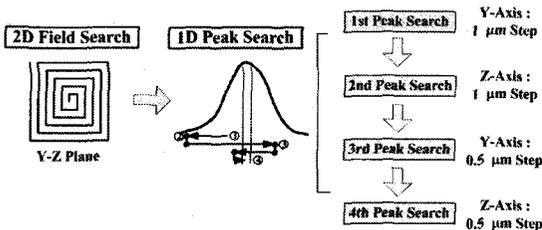


Fig. 1 Process of Optical Fiber Alignment Algorithm

2.1 2차원 영역 탐색 알고리즘

두 개의 광소자가 정렬간극인 약 10 μm에 위치하게 되면 Fig. 2 와 같은 형식으로 바깥쪽에서 안쪽으로 5 μm간격으로 사각 나선궤적을 그리면서 이동하여 2 차원 좌표를 획득한다. 이때 각각의 좌표에 대응하는 광파워 값을 측정하고 저장하여 광신호에 대한 2 차원 프로파일을 얻고 가장 큰 광파워 값이 검출되는 영역을 파악할 수 있다.

본 논문에서는 1 채널 - 1 채널 정렬과 1 채널 - 8 채널 정렬에서는 40 μm × 40 μm의 영역을 탐색하였고 페룰 - 페룰 정렬에서는 100 μm × 100 μm 영역을 탐색하였다. 이와 같이 탐색 영역을 달리한 이유는 광스택의 경우 접촉면이 일정 각도로 기울어져 있기 때문에 Z 축 방향으로 운동할 때, 소자 간 간섭이 발생하여 파손의 우려가 있기 때문이다.

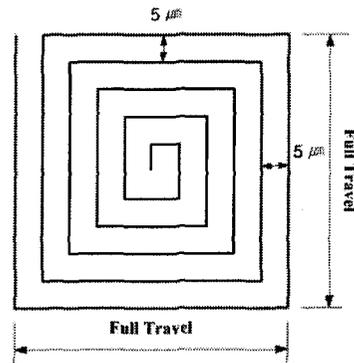


Fig. 2 2-Dimensional Field Search Algorithm

2.2 극점 탐색 알고리즘

2 차원 영역 탐색을 마치고 나면 가장 큰 광신호가 검출되는 영역으로 광소자를 이동시키고 다시 Fig. 3 과 같은 방식으로 광소자를 전·후진 운동시킨다. Fig. 3 에서 보는 것처럼 초기 위치 ①에서 어느 한 방향 ②로 이동하면서 광신호 프로파일을 측정하고 ①값과 ②값을 비교한 후 ②값이 작으면 다시 ③방향으로 이동하면서 프로파일을 측정한다. 프로파일 측정 도중 변곡점이 발생하면 다시 후진하면서 변곡점 근처 ④까지 운동한다. 그리고 다시 전진하면서 광신호를 측정하여 최대 광신호가 출력되는 점 ⑤에 도달한다.

극점 탐색은 힐 클라임 방식으로 4 단계로 수행되는데, 1 단계 극점 탐색에서는 Y 축에서 1 μm

스텝으로 운동하여 프로파일을 측정하고 2 단계에서는 Z 축에서 1 μm 단위로 이동하여 프로파일을 측정한다. 2 단계 극점 탐색을 마치고 나면 각 축에서 최대의 광신호가 출력되는 새로운 위치가 파악된다. 3 단계 극점 탐색에서는 Z 축의 최대값 좌표 부근에서 0.5 μm 스텝으로 전·후진하여 보다 정밀한 최대값을 찾게 된다. 4 단계는 Y 축에서 0.5 μm 스텝으로 이동하면서 측정하여 최종 좌표를 찾는다. Fig. 4 는 1 차원 광신호 프로파일을 측정하는 알고리즘을 나타낸 것으로 (a)는 1 μm 스텝으로 1 단계 및 2 단계 극점 탐색에 적용되며 (b)는 3 단계 4 단계에 적용되며 0.5 μm 으로 이동하면서 광신호 프로파일을 측정하는 방식이다.

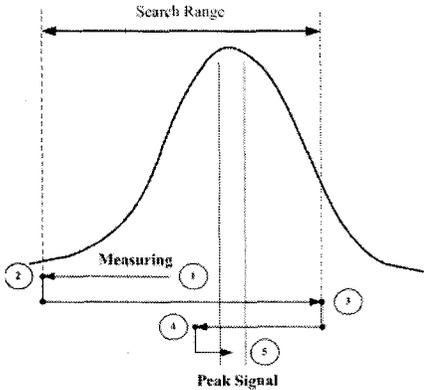
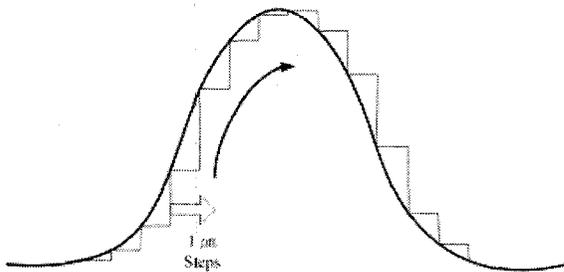
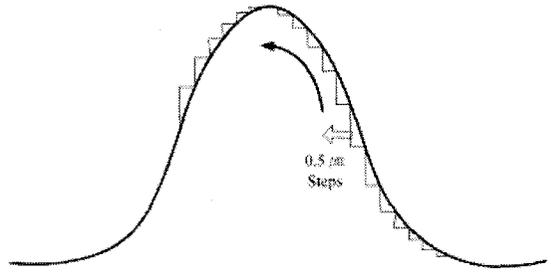


Fig. 3 Peak Search Process



(a) 1st and 2nd Peak Search with 1 μm Step



(b) 3rd and 4th Peak Search with 0.5 μm Step

Fig. 4 Hill Climb Peak Search Algorithm

3. 광소자 정렬 특성

극초정밀 다축 위치 제어 장치의 광소자 정렬 특성을 평가하기 위하여 세 가지 유형의 광소자를 정렬하였다. 정렬 실험에서는 1 채널 신호만을 전달하는 광스택과 다른 1 채널 광스택의 정렬, 1 채널의 신호를 8 채널로 분기하는 스플리터와 광스택의 정렬 그리고 페룰과 베를을 연결하기 위한 정렬을 수행하였다. 정렬 알고리즘에 따라 메인 컨트롤러에서 스테이지로 신호를 입력하여 3 차원 변위를 발생시키고 정전센서를 통해 3 차원 위치 정보를 검출하고 그 때의 위치를 메인 컨트롤러에 저장한다. 각각의 위치에 대응하는 광신호는 광파워미터에 의해 측정된다. 검출된 광출력 신호는 dBm 으로 표시되며 위치신호와 함께 메인 컨트롤러에 저장된다.

3.1 시스템 구성

광소자 정렬용 극초정밀 다축 위치 제어 장치는 Fig. 5 에서와 같이 극초정밀 스테이지부와 센서부 그리고 제어부로 구성된다. 극초정밀 스테이지는 압전 액츄에이터로 구동되고 플렉서로 가이드 되는 메커니즘이고 각각의 축이 직렬로 연결되어 3 자유도(X-Y-Z) 병진운동을 수행한다.⁸ Table 1 에 개발된 스테이지의 사양을 나타내었다. 스테이지는 독립적으로 초정밀 광정렬에 사용될 수 있으며 기존의 조동기구에 장착되어 미세 광정렬에 사용된다. 센서부는 스테이지에서 발생하는 변위를 측정하는 정전용량형 센서와 정렬이 되었을 때 광소자에서 검출되는 신호를 측정하는 광파워미터로 구성된다. 제어부는 압전 액츄에이터 앰프에

제어신호를 입력하고 정전용량형 센서와 광파워미터의 광신호 출력을 나타내는 역할을 수행한다.

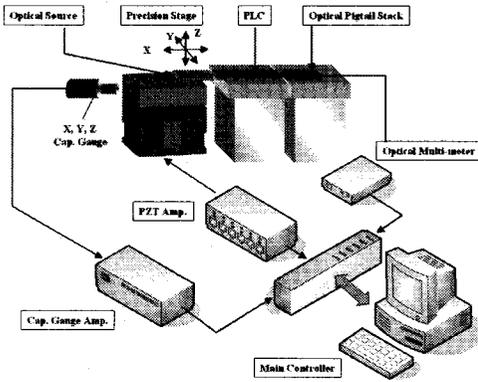


Fig. 5 Schematic Diagram of Ultra-Precision Optical Alignment System

Table 1 Specification of Precision Positioning 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

3.2 1 채널 광소자 정렬

광소자의 입력 1 채널과 출력 1 채널을 정렬하는 방식은 광소자 스택과 광도파로소자(Planar Light Circuit)의 입력측을 정렬할 때 적용된다. 정렬순서는 사각 나선형 운동형태로 2 차원 영역 탐색을 하여 최대 광신호 영역을 찾은 후 다시 4 단계의 극점 탐색을 수행하여 최대의 광신호 출력 위치를 찾았다. 영역 탐색에서는 5 μm 스텝의 2 차원 광신호 프로파일을 측정하였고, 극점 탐색에서는 0.5 μm 스텝의 1 차원 프로파일을 측정하였다. Fig. 6 은 입력 부분 1 채널 광소자 스택과 광도파로소자의 정렬 형태를 나타낸 것이다.

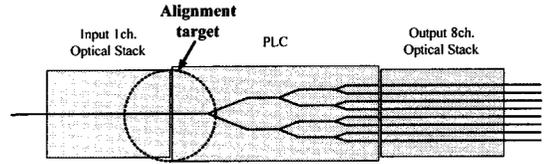
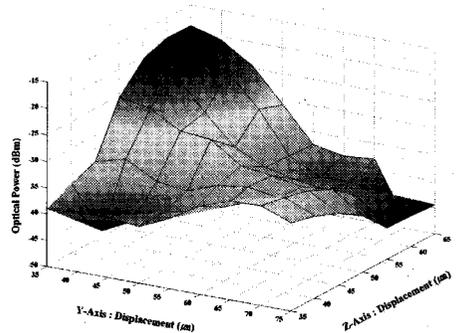


Fig. 6 Alignment between 1 Ch. Pigtail and 1 Ch. Input Part of PLC

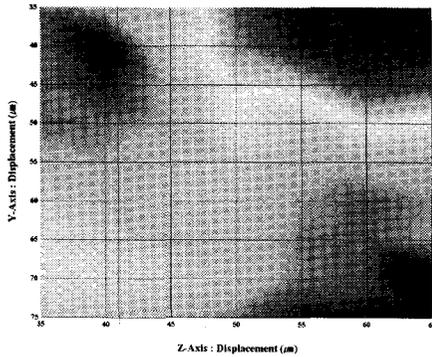
3.2.1 영역 탐색

영역 탐색을 할 때 얻어지는 광신호 프로파일은 크게 세가지 경우로 분류할 수 있다. Fig. 7의 Case I 경우는 최대값을 갖는 광신호 검출 영역이 탐색 영역의 가장자리에 치우쳐 위치해 있는 경우이다. Case II 는 Fig. 8 에 나타내었는데 최대 신호 영역이 탐색 영역에서 나타나지 않을 때이다. 마지막으로 Fig. 9 에 나타나 있는 Case III 의 경우는 최대 광신호 영역이 탐색한 2 차원 프로파일의 중심부근에 위치한 경우이다. Case I 과 Case II 의 경우는 극점 탐색이 불가능한 경우이고 Case III 의 경우에만 극점 탐색이 가능하다.

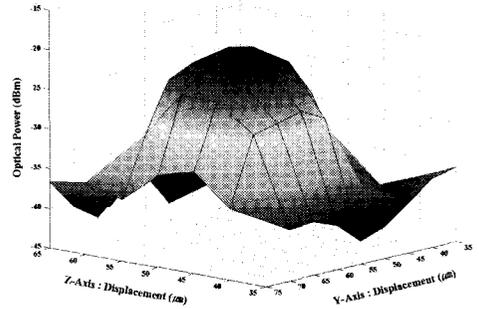
Case III 의 경우에서 영역 탐색을 하여 2 차원 좌표에 대한 광신호 프로파일을 구한 결과 최대 광파워 값은 좌표 $(y, z) = (60 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m})$ 에서 -19.387 dBm 이 검출되었다. Fig. 9(b) 에서 보는 것처럼 이 좌표를 중심으로 높은 광신호들이 분포되어 있음을 알 수 있다. 이 좌표는 극점 탐색을 수행할 때 출발 좌표가 된다.



(a) 3D View

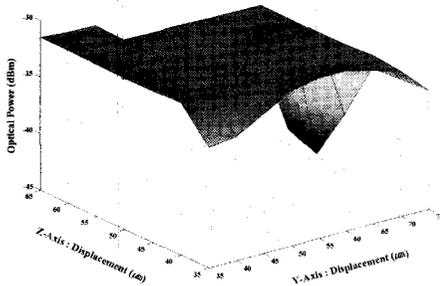


(b) 2D View

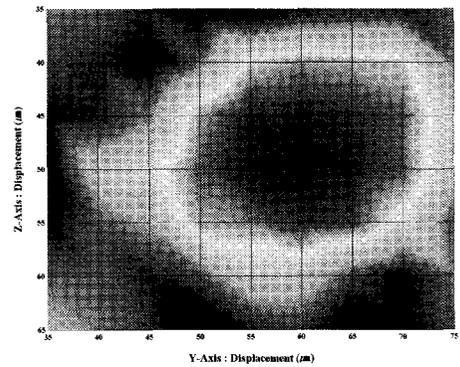


(a) 3D View

Fig. 7 Field Search Alignment for Optical Fiber Stack in Misalignment Case I

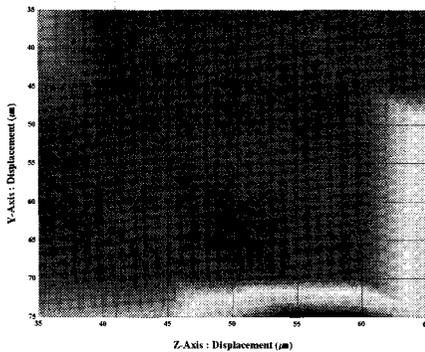


(a) 3D View



(b) 2D View

Fig. 9 Field Search Alignment for Optical Fiber Stack in Alignment

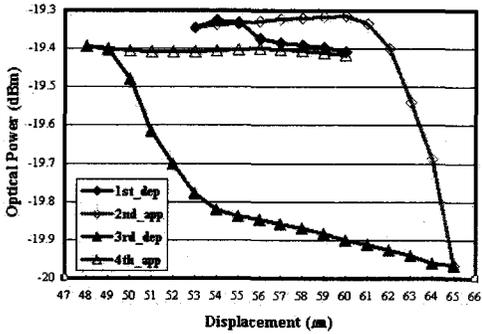


(b) 2D View

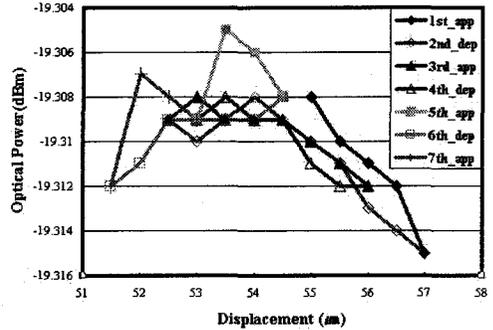
Fig. 8 Field Search Alignment for Optical Fiber Stack in Misalignment Case II

3.2.2 극점 탐색

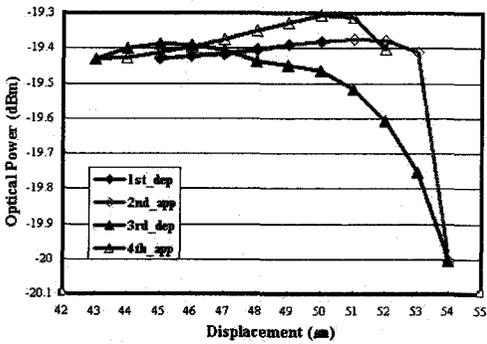
최대 광신호가 검출되는 보다 정밀한 좌표를 찾고자 영역 탐색을 한 결과 얻어진 좌표 $(y, z) = (60 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m})$ 를 중심으로 극점 탐색을 하였다. 극점 탐색은 4 단계로 이루어지는데 $(60 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m})$ 를 출발점으로 하여 Y 축과 Z 축 1 차원 광신호 프로파일을 측정하였다. Fig. 10 에서와 같이 4 단계의 극점 탐색을 마친 후에 얻은 최종 정렬위치 좌표는 $(y, z) = (53.5 \mu\text{m}, 50.5 \mu\text{m})$ 으로 판명되었고 광파워 출력은 -19.305 dBm 이었다. 이는 영역 탐색에서 얻은 -19.387 dBm 보다 0.082 dBm 이 높은 값으로 보다 더 정밀한 정렬위치임을 확인하였다.



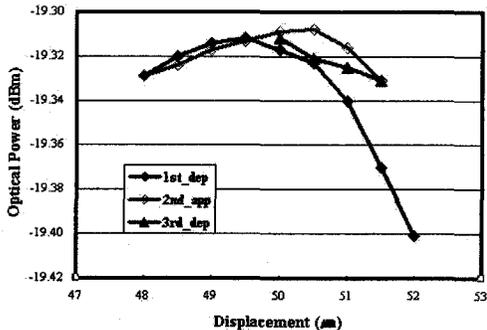
(a) 1st Peak Search with 1 μm Step in Y-Axis



(d) 4th Peak Search with 0.5 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

Fig. 10 Peak Search Alignment between 1ch. Optical Fiber Stacks

3.3 8 채널 광소자 정렬

입력 1 채널 광소자와 출력 8 채널 광소자를 정렬하는 방식은 Fig. 11 에서와 같이 광소자 스택과 출력측 광도파로소자를 정렬할 때 적용된다. 광소자 정렬을 위해 2 차원 영역 탐색을 수행하여 최대 광신호를 찾은 후 다시 4 단계의 극점 탐색을 수행하여 보다 정밀한 최대 광신호 출력 위치를 구하였다.

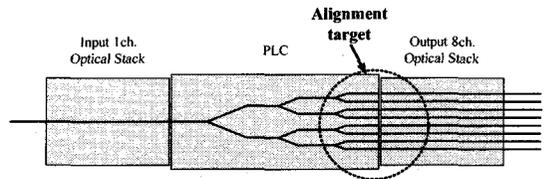


Fig. 11 Alignment between 1 Ch. Pigtail and 8 Ch. Output Part of PLC

3.3.1 영역 탐색

입력 1 채널 광소자와 출력 8 채널 광소자의 정렬에서 영역 탐색을 할 때 사각 나선 방식으로 $40\ \mu\text{m} \times 40\ \mu\text{m}$ 의 영역에서 $5\ \mu\text{m}$ 단위격자로 구성된 2 차원 광신호 프로파일을 측정하였다.

영역 탐색을 하여 2 차원좌표에 대한 광신호 프로파일을 구한 결과 최대 광파워 값은 좌표 $(y, z) = (45\ \mu\text{m}, 50\ \mu\text{m})$ 에서 $-5.77\ \text{dBm}$ 이 검출되었다. Fig. 12 에서 보는 것처럼 이 좌표를 중심으로 높은 광신호들이 분포되어 있음을 알 수 있다.

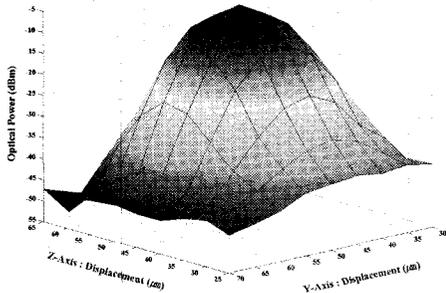
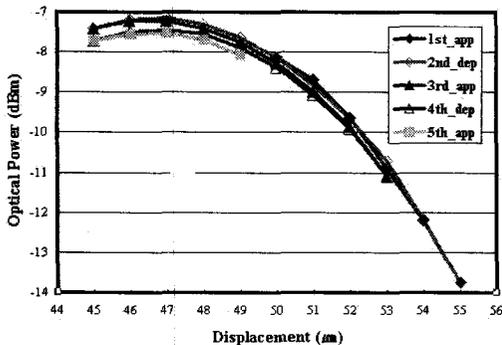


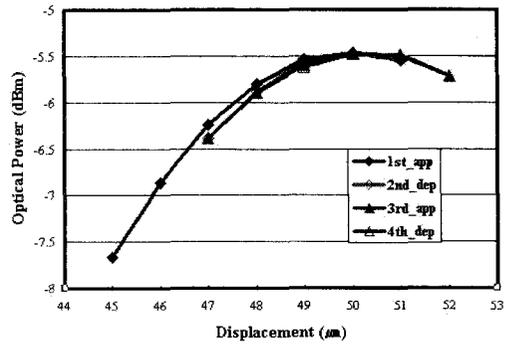
Fig. 12 Field Search Alignment between 1 Ch. and 8 Ch. Optical Fiber Stack

3.3.2 극점 탐색

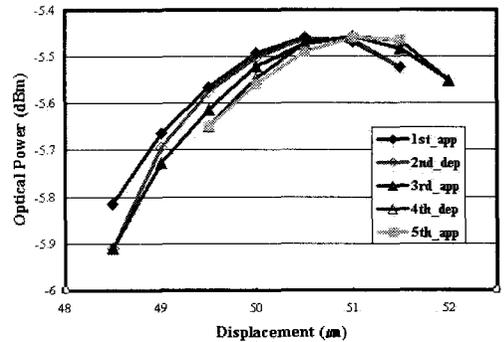
최대 광신호가 검출되는 보다 정밀한 좌표를 찾고자 영역 탐색을 한 결과 얻어진 좌표 $(y, z) = (45 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m})$ 를 중심으로 극점을 탐색 하였다. Fig. 13 에서와 같이 극점 탐색은 4 단계로 이루어 지는데 좌표 $(45 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m})$ 를 출발점으로 하여 Y 축과 Z 축 1 차원 광신호 프로파일을 측정하였다. 4 단계의 극점 탐색을 마친 후에 얻은 최종 정렬 위치 좌표는 $(y, z) = (47 \mu\text{m}, 51 \mu\text{m})$ 으로 판명되었고, 그 때의 광파워 출력은 -5.469 dBm 이었다. 이는 영역 탐색에서 얻은 -5.77 dBm 보다 0.301 dBm 이 높은 값으로 보다 더 정밀한 정렬위치임을 확인하였다.



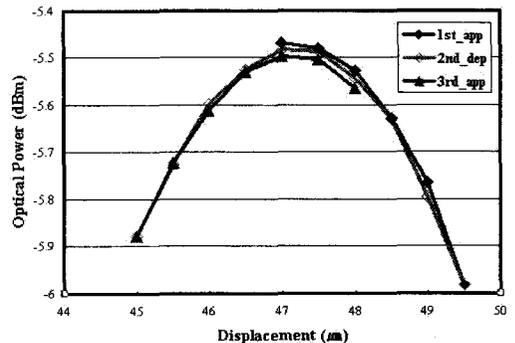
(a) 1st Peak Search with 1 μm Step in Y Axis



(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. 13 Peak Search Alignment between 1 Ch. and 8 Ch. Optical Stack

3.4 페룰(Ferrule) 정렬

서로 다른 두 개의 페룰을 정렬하기 위하여 영역 탐색과 극점 탐색을 수행하였다. 페룰간의

동심도 허용범위는 약 $1 \mu\text{m}$ 이다. 영역 탐색에서는 $100 \mu\text{m} \times 90 \mu\text{m}$ 영역에서 $5 \mu\text{m}$ 스텝의 2 차원 광파위의 프로파일을 구하였다. 2 차원 광프로파일을 파악한 후 그 영역에서 최대신호가 출력되는 부근을 중심으로 극점 탐색을 수행하였다. 그 결과 $0.5 \mu\text{m}$ 스텝의 1 차원 프로파일을 측정하였고 페룰간의 최적 정렬 위치를 구하였다. Fig. 14는 페룰간의 정렬 형태를 나타낸 것이다. 페룰 중심에는 광통로 홀이 있는데 홀 직경은 $125+0.01 \mu\text{m}$ 에서 $128+0.03 \mu\text{m}$ 정도이다.

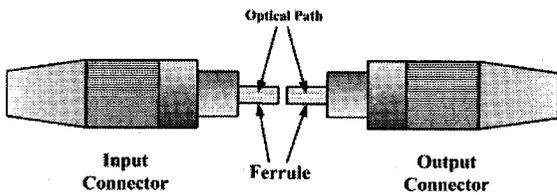


Fig. 14 Alignment of 2 Ferrule

3.4.1 $100 \mu\text{m} \times 90 \mu\text{m}$ 영역 탐색

페룰을 정렬하기 위해 초정밀 스테이지의 Y-Z 평면 최대 운동범위인 $100 \mu\text{m} \times 90 \mu\text{m}$ 의 영역에서 영역 탐색하여 $5 \mu\text{m}$ 단위격자의 2 차원 광신호 프로파일을 측정하였다. 2 차원좌표에 대한 광신호 프로파일을 구한 결과 최대 광파워 값은 좌표 $(y, z) = (45 \mu\text{m}, 10 \mu\text{m})$ 에서 -4.93 dBm 이었다. Fig. 15는 2 차원 좌표에 대한 광신호 프로파일을 측정한 결과이다. Fig. 15에서 보는 것처럼 좌표 $(45 \mu\text{m}, 10 \mu\text{m})$ 를 중심으로 높은 광신호들이 분포되어 있음을 볼 수 있는데 이 좌표를 중심으로 극점을 탐색하였다.

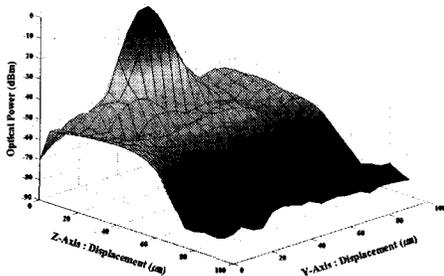
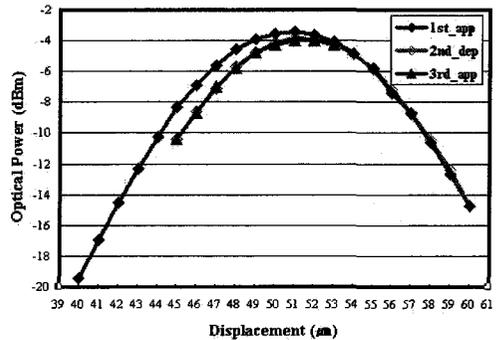


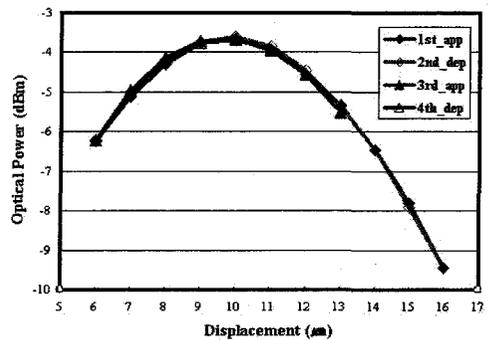
Fig. 15 Field Search Alignment between 2 Ferrules in $100 \mu\text{m} \times 90 \mu\text{m}$ Area

3.4.2 극점 탐색

최대 광신호가 검출되는 보다 정밀한 위치를 찾고자 좌표 $(y, z) = (45 \mu\text{m}, 10 \mu\text{m})$ 를 중심으로 극점 탐색을 하였다. Fig. 16에서와 같이 극점 탐색은 2 단계로 이루어지는데 Y 축과 Z 축에서 $1 \mu\text{m}$ 스텝의 1 차원 광신호 프로파일을 구하였다. 극점 탐색한 결과 가장 큰 광신호가 출력되는 2 차원 위치는 $(y, z) = (51 \mu\text{m}, 10 \mu\text{m})$ 로 판명되었다. 그 때의 광출력 신호는 -3.61 dBm 이다.



(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

Fig. 16 Peak Search Alignment between 2 Ferrules

4. 결론

본 논문에서는 평면도파로형 분배기, WDM 소자, AWG 필터 등의 광부품을 신속하고 정밀하게 정렬하기 위하여 극초정밀 다축 위치 제어 장치의 광정렬 특성에 대해 연구하였다. 광소자를 정렬하기 위하여 영역 탐색과 극점 탐색을 수행하였다.

영역 탐색은 사각나선방식을 이용하여 정렬범위의 평면좌표와 대응하는 광신호를 측정하였다. 극점 탐색에서는 영역 탐색에서 측정된 최대 광과워가 출력되는 위치에서 전·후진방식 및 힐클라임 방식을 이용하여 영역 탐색에서 보다 정밀한 위치로 정렬하였다. 정렬실험에서는 1 채널 신호만을 전달하는 광스택과 다른 1 채널 광스택의 정렬, 1 채널의 신호를 8 채널로 분기하는 스플리터와 광스택의 정렬 그리고 페룰과 페룰을 연결하기 위한 정렬을 수행하였다. 실험 결과 영역 탐색에서는 5 μm 스텝의 2 차원 광신호 프로파일을 얻을 수 있었고 극점 탐색에서는 0.5 μm 스텝의 1 차원 프로파일을 측정하여 최대 광과워 출력 위치를 찾을 수 있었다.

후 기

본 연구는 광주지역 첨단부품·소재산업육성사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. Shin, B. S., Kim, J. G., Chang, W. S., Yang, S. B., Kim, J. M. and Jeon, B. H., "Development of Direct Writing Technology using UV Laser, " Development of Micro Optical and Thermo-fluidic Device Technical Functionality 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. Jeong, S. H., "A Study on the Development and Compensation of Precision Multi-Axis Positioning System," Proc. of kspe, pp. 455-458, October, 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.
8. Jeong, S. H., Cha, K. R., Kim, H. U., Choi, S. B., Kim, G. H. and Park, J. H., "A Study on the Motion Characteristics of Ultra Precision Multi-Axis Stage for Optical Element Alignment, " Proc. of kspe, pp. 1219-1222, June, 2005.