

자동 광섬유 정렬 장치의 설계 및 제작에 관한 연구

A Study on the Design and Development of Automatic Optical Fiber Aligner

김 병 희* 엄 철** 최 영 석***
Kim, Byung-Hee Uhm, Chul Choi, Young-Suk

Abstract

Optical fiber is indispensable for optical communication systems that transmit large volumes of data at high speed, but super-precision technology in sub-micron units is required for optical axis adjustment. We developed the automatic optical fiber by image processing and automatic loading system. we have developed 6-axis micro stage system for I/O optical fiber arrays, the initial automatic aligning system software for a input optical array by the image processing technique, fast I/O-synchronous aligning strategy, the automatic loading/unloading system and the automatic UV bonding mechanism.

In order to adjust the alignment it used on PC based motion controller, a 10 μ m repeat-detailed drawing of automatic loading system is developed by a primary line up for high detailed drawing. Also, at this researches used the image processing system and algorithm instead of the existing a primary hand-line up and fiber input array and waveguide chip formed in line by automatic.

키워드 : 이미지 프로세싱, 광섬유정렬장치, 광정렬, 자동로딩장치

Keywords : *image processing, optical fiber aligner, optical arrays, automatic loading system*

1. 서론

최근 들어 급격하게 발달하고 있는 초정밀 가공 기술은 현재 전자, 기계, 광, 생물 산업 등 넓은 분야에서 이용되고 있다. 특히 우리나라 광 반도체 시장의 경우 현재 태동기에서 급속 성장기로 진입하는 시기로 2001년 약 81억불의 시장이 형성되어 있는 것으로 예측되며, 향후 5~6년간 연평균 30%

의 고성장이 예상되고 있다.[1] 광통신이라 함은 광범위한 의미로 말 그대로 빛을 매개 수단으로 이용한 모든 통신을 일컫는 말로 현재 미국을 비롯하여 여타 국가들이 초고속 정보통신망 구축을 목적으로 중계망등 기간 통신망의 광통신화를 급속히 추진 중에 있다. 또한 국내의 광 관련 업체나 연구소에서도 광소자에 관한 많은 연구가 진행 중에 있다. 광소자는 유무선 광통신 기간망의 중요한 매개체 역할을 하며 실리카 또는 폴리머 베이스에 광 반도체 웨이퍼를 반도체 공정으로 가공한 후, 날개 사이즈로 슬라이싱하여 분리하고, 분리된 각 광 반도체의 광섬유 연결 측면을 소요각도인 약 8°로 폴리싱 하여 만든다. 광통신 기술이란 이러한 광소자를 제작, 초고속 광 송수신 기술을 실현하는데 필수적인 기반 기술 중의 하나이며, 광 반도체 생산을 위해서는 초정밀 광 장비가 반드시 필요하

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 부교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학부

*** 인덕대학교 메카트로닉스공학과 교수, 공학박사

다. 하지만 현재로는 국산화 장비가 전무한 상태로, 제조업체 및 연구소의 개발용으로 외국에서 전량 수입하고 있는 실정이다. 광 반도체 생산의 주 장비인 광 정렬 장치는 광소자의 핵심 매개체인 광섬유와 광도파로간의 정렬을 맞추는 장비로 광 제조기술에 중요한 매개체 역할을 한다. 광섬유 장치는 6축의 자유도를 가지고 있으며, 측면(x축과 y축)과, 세로축(z축), 그리고 요(yaw-y축으로의 회전)와 롤(roll-z축으로의 회전), 피치(pitch-x축으로의 회전)로 이루어져 있다. 자동 광 정렬 장치의 핵심은 이 6축의 정렬오차를 최소로 줄이는데 있으며, x, y, z축의 정렬은 현재까지 많은 연구가 되어 쉽게 자동정렬 할 수 있으나[2], 각도의 자동정렬은 여전히 해결해야할 문제로 남아있다. Henderson[3]과 Regens[4]등은 나노미터로 구동되는 모터를 이용하여 광 정렬하는 알고리즘을 소개하였다. 본 연구에서는 롤링 정렬의 알고리즘을 새로 개발함으로써 정렬오차를 최소로 줄이려는 노력에 좀 더 접근 할 수 있었다. 또한 기존 광 정렬 장치의 초기 수동정렬 기능을 이미지프로세싱 기술과 추종 알고리즘을 이용하여 자동화하였으며, 웨이브가이드 홀더에 광도파로 칩을 안착시키는데 발생하는 오차를 줄이기 위해 자동로딩장치를 부가적으로 개발, 장착시킴으로써 정렬 시간을 획기적으로 단축시켰다. 또한 광섬유 정렬장치에 사용되는 소프트웨어를 GUI 프로그램으로 자체 개발하였으며 광 정렬을 하기 위한 모터 구동 알고리즘을 독자적으로 개발, 기존 장비와의 차별화를 추구하였다.

기존의 광 정렬 장치는 외장형 모션컨트롤러 방식을 이용하여 PC와의 통신으로 모터를 제어하였다. 그러나 본 연구에서 개발한 시스템에서는 이런 방식을 탈피, PC내장형 컨트롤러를 사용하여 직접적인 전송방식으로 모터를 구동할 수 있게 하였으며, IR카메라 또한 모터구동으로 이동토록 하여 시간절감을 가져오게 하였다.

이 결과로 국내 광통신용 핵심 광소자 생산 자가화 촉진과 광소자 개발 및 생산핵심장비의 수입 대체 효과와 수출증대, 광전자기술의 국내 저변 확대가 이루어 질 것으로 예상하고 있다.

2. 이론적 배경

자동 광섬유 정렬은 효율적인 광섬유 요소의 제조 기술 중 가장 중요한 부분을 차지하고 있다. 하지만 x, y, z축의 자동 정렬에 비해 각도의 자동 정렬은 피할 수 없는 비효율적 정렬에 의해 아직까지 제대로 사용되어지지 않고 있거나, 제한적으로 사용되어지고 있다.

또한 각도의 정렬은 광섬유 결합에서 정렬방식을 평가하거나 확인하는데 중요한 역할을 하고 있

다.

본 연구에서는 단일 광섬유(SMF)와 레이저 다이오드의 최초 각도의 부정렬에 대한 중요성을 세부적으로 분석하여 나타내었다.

또한 최초로 레이저-단일광섬유의 결합을 위한 전체적인 광섬유 정렬 오차와 효율적인 결합에 대하여 설명하였으며, 피치, 요 그리고 롤의 각도 부정렬의 존재에 대하여 조사하였다.

일반적인 레이저-단일광섬유의 결합 형태는 Fig. 1과 같다.

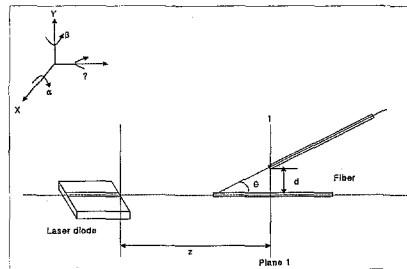


Fig. 1 Schematic butt coupling in the presence of misalignment

단일광섬유의 파장은 대칭성을 가지고 있으며, 빔 웨이스트 ω_{0y} 는 가우시안 분포로 나타낼 수 있다. 또한 레이저 다이오드의 파장은 원형의 형태로 나타나며, 각각 수평 방향과 수직방향으로 서로 다른 빔 웨이스트 ω_{0x} 와 ω_{0y} 인 가우시안 분포로 표현될 수 있다. 웨이스트 공간 평면상에서의 빔은 그 웨이스트 크기인 ω_0 (ω_{0x} 와 ω_{0y} 또는 ω_{0y})와 웨이스트로부터의 중요 관점인 z평면에서의 거리 z로 표현된다.

만약 ω_0 와 z를 알고 있다면 반지름 R과 웨이스트 ω 는 방정식 (1)과 (2)로 알 수 있다.

$$R = z[1 + (K\omega_0^2/2Z)^2]^{1/2} \tag{1}$$

$$\omega = \omega_0[1 + 2Z/K\omega_0^2]^{1/2} \tag{2}$$

여기서 K는 파동수를 의미하며, $K = 2\pi/\lambda$ 이다. λ 는 자유공간에서의 파장을 뜻한다.

Fig. 1의 그림처럼 시스템의 효율적인 결합형태는 광섬유와 레이저, 두 끝단 사이의 파장이 서로 완전하게 겹쳐지는 것을 의미한다. Fig. 1에 표시된 평면 1은 아래 방정식에 의해 전체적인 결합효율을 얻을 수 있다.

$$\eta = \eta_x \eta_y \tag{3}$$

여기서

$$\eta_x = \eta_z^{(x)} \eta_d^{(x)} \eta_\theta^{(x)} \eta_{d,\theta}^{(x)} \quad (4)$$

$$\eta_y = \eta_z^{(y)} \eta_d^{(y)} \eta_\theta^{(y)} \eta_{d,\theta}^{(y)} \quad (5)$$

$$\eta_z^{(x)} = \frac{2}{\omega_f \omega_x} ((1/\omega_f^2 + 1/\omega_x^2)^2 + K^2/4(1/R_x - 1/R_f)^2)^{-1/2} \quad (6)$$

$$\eta_d^{(x)} = \exp\{-2d_x^2 \times [\frac{1/\omega_x^2 \omega_f^2 (1/\omega_x^2 + 1/\omega_f^2) + K^2/4(1/\omega_x^2 R_f^2 + 1/\omega_f^2 R_x^2)}{(1/\omega_x^2 + 1/\omega_f^2)^2 + K^2/4(1/R_x - 1/R_f)^2}]\} \quad (7)$$

$$\eta_\theta^{(x)} = \exp\{-K^2 \theta^2 / 2 \times [\frac{1/\omega_x^2 + 1/\omega_f^2}{(1/\omega_x^2 + 1/\omega_f^2)^2 + K^2/4(1/R_x - 1/R_f)^2}]\} \quad (8)$$

$$\eta_{d,\theta}^{(x)} = \exp\{-K^2 \theta d_x \times [\frac{1/\omega_x^2 + 1/\omega_f^2}{(1/\omega_x^2 + 1/\omega_f^2)^2 + K^2/4(1/R_x - 1/R_f)^2}]\} \quad (9)$$

마찬가지로, η_y 의 표현은 (7) ~ (9)식의 x 대신 y 를 대입시킴으로써 얻을 수 있다.

여기서 ω_x , ω_y 와 ω_f 는 빔의 각도이며, R_x , R_y 그리고 R_f 는 평면 1에서의 레이저와 섬유 빔의 곡률 각도를 말한다.

η_x 와 η_y 는 각각 η 의 x 와 y 방향으로의 분포도를 나타내며, $\eta_z^{(x)}$ 는 어떤 부정렬도 포함되지 않는 x 축으로부터의 결합효율을 나타낸다.

$\eta_{d,\theta}^{(x)}$ 는 음셀과 피치의 결합효과를 나타내는 것으로 각각 $\eta_d^{(x)}$ 와 $\eta_\theta^{(x)}$ 는 음셀 d_x 와 피치 θ (x 축 방향으로의 기울기)의 결합 영향에 의해 발생된 부정렬을 포함한 결합효율을 나타낸다.

그와 마찬가지로 $\eta_{d,\theta}^{(y)}$ 는 음셀과 요의 결합효과를 뜻하는 것이며, 각각 $\eta_d^{(y)}$ 와 $\eta_\theta^{(y)}$ 는 음셀 d_y 와 요 ϕ (y 축 방향의 기울기)로부터 얻어진 결합 효율

을 나타낸다.

두 빔의 웨이스트사이의 거리가 영이 되었을 때 결합효율이 최대가 되는 것을 식(3) ~ (9)로 알 수 있다. 이 경우에 롤링(z 축으로의 회전)의 각도 부정렬은 광 코어의 대칭 축 구조로 인하여 결합효율에는 많은 영향을 주지 못한다[7].

하지만 이것 또한 단일 광섬유와 레이저 다이오드간에 조건하에서만 가능한 것이며, 만약 단일 광섬유와 다축 도파로 칩 사이의 조건하에서는 롤링의 정렬도 중요한 역할을 하게 된다.

이에 본 연구에서는 새로운 롤링 정렬 알고리즘을 독창적으로 개발, 시스템에 접목하였다.

3. 시스템 구축 및 제작

3.1 6축 스테이지 유닛 개발

기존의 광 정렬 장치가 외부 컨트롤러를 이용함으로써 두 대의 모션 제어가 필요했던 것을 본 연구의 시스템은 PC 내장형 컨트롤러를 사용함으로써 하나의 모터 컨트롤러로 통합하였다. Fig. 2는 본 연구에서 개발된 모터 컨트롤러 센터의 구성도를 보여주고 있다. 모터 컨트롤러 센터 내부에는 기존의 두 대의 컨트롤러에 포함된 8축의 모터 드라이버를 하나로 모았으며, 모터에서 모션 컨트롤러로의 센서 입력을 받기 위한 제어 회로와 직류 전원 공급 장치로 구성되어 있다.

또한 광 정렬 시 시간 절감을 위하여 또 하나의 모션 컨트롤러 센터를 부가적으로 제작하였다. 본 모터 컨트롤러 센터는 시스템의 양산 시 시간절감을 목적으로 만들었으며 기존의 시스템이 IR카메라 측정 후 수광 모터스테이지를 IR카메라 위치로 이동시 수동으로 이동시킴으로써 발생하는 위치오차를 최대한으로 줄이기 위해 자동구동으로 제작하였으며, 광 정렬 후 광섬유와 광도파로의 본딩 시 사용되는 UV조사기도 함께 자동 구동으로 제작하여 최초 광 정렬시 미리 위치를 정해놓으면 다음 공정부터는 재조정 없이 그 위치로 이동할 수 있게 하였다.

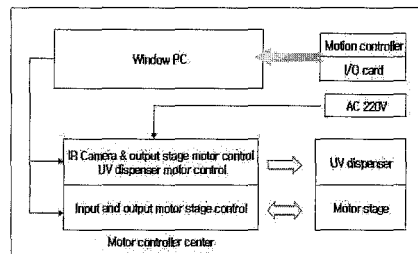


Fig. 2 Block diagram of controller center

6축 스테이지 유닛의 센서 제어는 모터가 리미트 광센서에 근접하였을 경우 active high로 센서가 작동하여 5V의 전압이 발생하였으나 컨트롤러의 센서 입력은 active low의 반대 입력 값으로 받아들여 센서의 제어를 원활하게 할 수가 없었다.

또한 4축 모터 중 두개의 축은 5V일 때와 0V일 때 센서가 작동되어야 하는데 리미트 광센서에 근접 시 1V에서 0.5V의 낮은 전압으로 변환되어 발생하였다. 해결방안으로 전압 반전기와 Op amp를 이용한 전압비교기를 제작하였다. 전압 비교기의 식은 다음과 같다.

$$V_0 = A(V_i - V_{ref}) \quad (10)$$

여기서 V_i 는 입력전압이며, V_{ref} 은 기준전압을 말한다. 이상적인 Op amp의 경우 $A = \infty$ 이어야 하므로, $V_i > V_{ref}$ 일 때 V_o 는 $+V_{cc}$ 로 접근하며 $V_i < V_{ref}$ 일 때는 V_o 가 $-V_{cc}$ 로 접근한다.

모터 스테이지의 광센서에서 출력되는 전압 값은 1V에서 0.5V사이에서 출력되므로 다른 출력에는 그 중간 값인 0.75V의 기준전압을 입력하였다.

그 결과로 모터 스테이지의 광센서에서 들어오는 입력전압이 기준전압 0.75V와 비교하여 그 보다 높은 경우에는 $-V_{cc}$ 값인 0V의 출력 값을 내며, 모터가 다시 센서에서 멀어질 경우에는 출력 값이 5V가 나오도록 제어하였다. 이로써 6축 스테이지 유닛과 컨트롤러 간의 센서 제어를 원활하게 제어할 수 있게 되었다.

또한 광 정렬을 위해서는 50nm로 모터를 구동 시켜야 하는데 이럴 경우 모터의 스텝각을 작게 하여야 한다. 하지만 모터의 스텝각을 작게 할 경우 스텝각이 클 때 보다 현저하게 모터의 속도가 떨어지는 단점이 있다. 아래의 식은 모터의 속도를 나타내는 식이다

$$V = \frac{A}{360^\circ} \times f \times 60 \text{ sec} \quad (11)$$

여기서 V 는 모터의 속도(rpm)를 말하며, A 는 모터의 분해능, 그리고 f 는 모터의 펄스 속도를 나타낸다. 따라서 모터의 속도를 높이기 위해서는 식 (11)과 같이 모터에 펄스 속도를 높여 주어야한다. 하지만 그럴 경우 f 를 너무 높게 해놓으면 모터가 어느 한계점을 넘어서서 펄스 속도가 너무 높아 정현과 상의 모터 발생 토크의 최대치에 도달하지 않은 각도에서 역자가 절환 되어 발생토크가 작아져 모터의 탈조를 유발시키게 된다[5,6].

따라서 이를 방지하기 위해서 본 연구에서는 DSP 보드를 사용하여 모터의 분해능을 조절할 수

있게 하였다. 사용된 DSP 보드는 PC슬롯에 장착할 수 있는 DSP 보드로 AXIOM사의 5425P 카드를 사용하였으며 16개의 릴레이 액츄레이터를 통하여 입출력 제어를 할 수 있게 되어있다.

DSP 보드를 이용하여 마이크로 스텝 모터 드라이버의 분주비를 간단하게 소프트웨어 상으로도 제어가 가능하도록 하였으며 그 결과로 모터가 원점복귀나 긴 거리를 이동시에는 빠른 속도로 이동할 수 있게 되어 시간의 절감을 유도하였고, 반면에 최적 정렬을 위해 미세한 움직임이 요구될 때는 다시 분주비를 재조정하여 정밀하게 이동할 수 있게 하였다. 또한 마이크로 스텝 모터 드라이버의 전류차단 기능을 소프트웨어 상에서 간단하게 제어, 모터의 수동이동 및 자동 동을 간단하게 바꾸어가며 처리할 수 있게 하였다.

3.2 자동로딩장치 개발

기존의 광섬유 정렬장치의 전체 공정은 약 30분의 시간이 소요되며 이중 20분가량은 초기 세팅작업에서의 수동 작업, 즉 사람의 눈으로 직접 모니터의 초점을 맞추므로써 이루어지고 있다. 따라서 시스템의 양산을 위해서는 전체공정의 시간을 최대한으로 줄이는 것이 필수적이며 이에 기존의 수동 작업은 자동으로 대체되어야만 한다. 본 연구는 이에 수동 작업을 자동으로 대체시키기 위한 이미지프로세싱 작업과 더불어 자동로딩장치의 개발이 절실히 요구되었으며, 이 두 부분을 접목시킴으로써 20분 가량 소요되는 초기 수동 작업을 단축시킬 수가 있었다.

자동로딩장치는 웨이브가이드 홀더에 직접 사람의 손으로 반도체 칩을 올리는 방식으로 정밀도가 현저하게 떨어지는 것을 보완, 올려질 칩을 미리 준비된 거치대에 올려놓고 직각좌표 로봇과 흡입 장치를 이용하여 흡입, 이동시키는 방식을 사용하였다.

본 연구에 의해 개발된 자동로딩장치는 x, y, z의 세 축이며 전체 시스템의 앞부분에 위치시키기 위하여 공간을 최대한 적게 활용할 수 있는 폭 60mm와 80mm의 LM 가이드로 선정하였다. 또한 컨트롤러는 외장형을 사용하였으며 테이블 컨트롤러로 suction tool의 기능도 제어 할 수 있게 하였다.

Table 1은 본 연구에 사용된 자동로딩장치의 사양이다.

또한 자동로딩장치 앞에 부착된 흡입장치는 기존의 시스템에서 웨이브가이드 홀더의 반도체 칩을 안정적으로 고정시키기 위해 사용되었던 진공 펌프를 이용하였으며 슬레노이드 밸브를 이용하여 반도체 칩을 흡입하는 기능만이 아닌 자동로딩장치 앞에 부착된 흡입 장치에 진공을 유발시켜 칩

이동을 원활하게 하였다.

흡입장치의 선정은 반도체 칩의 폭이 3mm 정도로 좁기 때문에 가장 작은 직경 2mm의 진공패드 2개를 사용하였으며 리프트트럭의 계산식은 다음과 같다.

$$W = \frac{P}{760} \times S \times T \times (1.033) \quad (12)$$

P 는 시스템에 이용된 진공펌프의 진공압력(mmHg)으로 250mmHg이며, S 는 흡입장치의 패드 면적(cm²), T 는 안전율이며 수평 패드를 사용하므로 1/2를 대입하였다. 진공패드의 직경이 2mm이므로 진공패드 한 개의 면적은 $2\pi R^2 = 6.14$ 가 되며 따라서 진공패드의 면적은 총 0.1356cm²이 된다.

흡입하고자 하는 반도체의 무게가 10gf 이하이므로 식에서 얻어진 리프트트럭 $W(kgf)$ 는 반도체 칩을 흡입하는데 충분한 값을 만족하였다.

최초 칩이 올려질 거치대 부분은 정밀 가공하여 칩이 고정되도록 하였으며 거치대 부분과 웨이브가이드 홀더에도 솔레노이드를 이용한 흡입장치를 부착, 최초 거치대에 칩을 올려놓으면 흡입장치가 작동하여 칩을 고정시키고, 자동로딩장치의 흡입 장치가 작동되어 칩을 흡입하게 되면 자동으로 거치대의 흡입장치가 정지하게 되어 있다. 그 후 자동로딩장치가 웨이브가이드 홀더로 이동하여 칩을 올려놓게 되면 웨이브가이드 홀더의 흡입장치가 작동하게 되고, 직각좌표 로봇의 흡입장치는 작동하지 않게 되어 안전하게 칩이 고정되게 되어 있다.

흡입 장치의 제어는 자동로딩장치의 컨트롤러를 이용하여 제어하였다.

이로써 사람의 손으로 올려질 때마다 틀러지는 정밀도를 정밀테이블과 흡입장치를 이용하여 10 μ m의 반복정밀도로 시간의 절감을 가져올 수가 있었다. Fig. 3은 흡입장치가 부착된 자동로딩장치의 모습이다.

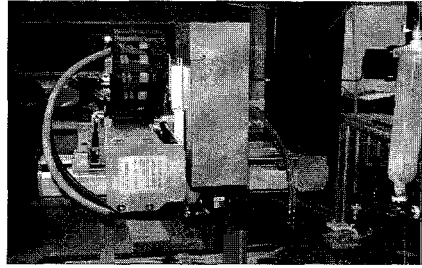


Fig. 3 Automatic loading system

3.3 이미지프로세싱 장치 개발

기존의 시스템은 광 반도체의 초기 정렬시 측면과 윗면의 CCD 카메라를 통하여 광섬유와 광도파로를 정렬시킨 후 다시 IR카메라를 통하여 사람의 눈으로 직접 모니터에 나타나는 광원의 초점을 확인하면서 수동으로 모터 스테이지를 구동시키는 방식을 이용하였다. 따라서 광 반도체 정렬의 전체 공정 중 대부분의 많은 시간이 이 수동 방식에 의해 지연되었으며 정밀도 또한 저하되는 문제점이 있었다.

이미지프로세싱 장치 개발은 직접 모니터 화면을 확인하면서 모터스테이지를 수동 구동하지 않고 간단하게 PC화면상으로 모니터링 할 수 있게 하였다. 또한 프로그램 상에서 스캔 거리(scan length)와 스텝 사이즈(step size)를 정해 주면 모터가 스캔 거리만큼 구동하면서 광원의 초점을 자동으로 찾게 되며, 모터가 구동하여 정확한 위치를 찾게 되면 자동적으로 모터가 정지하게 된다.

스텝 사이즈란 모터가 그 수치만큼 이동한 후 캡처보드에서 받아들이는 신호의 간격을 말한다.

본 연구에 의해 개발된 프로그램은 Visual C++로 코딩되었으며 GUI(Graphic User Interface) 프로그램으로 자체 개발하였다.

Fig. 4는 이미지프로세싱을 위한 알고리즘의 순서도를 나타내고 있다.

이미지프로세싱은 IR카메라와 직접 제작한 PC 캡처보드를 이용하였으며 거의 대부분의 작업 관리가 PC로 처리되므로 작업의 편리성과 효율성 또한 높일 수가 있었다. PC 캡처보드는 Fusion 878 칩을 이용하여 자체 개발하였으며 3채널의 입력 단자와 캡처 기능을 할 수 있게 되어 있다.

본 연구에 사용된 이미지프로세싱 장치는 초당 10프레임으로 광 이미지를 볼 수 있으며 미리 세팅해놓은 RGB(255, 255, 255)모드로 광원의 초점을 찾게 된다.

Table 1. Specification of automatic loader

specification		(DRM60 series)	(DRM80 series)
classify	unit	DRM60-NSA	DRM80-NSA
width	mm	60	80
structure		parallel	parallel
stroke	mm	100~400	200~800
velocity	mm/s	500	500
loads	kgf	10	15
motor	W	100	100
repeatability	mm	0.01	0.01
stroke	mm	200	200
weight	kgf	2.8	3.9

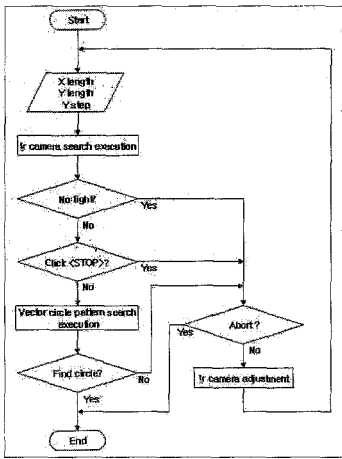


Fig. 4 Algorithm of image processing

3.4 모터구동 알고리즘

광 정렬 장치의 공정순서는 2D 힐클라임(hill climb) → 2D 프로파일(profile) → 3D 얼라이먼트(alignment) → 3D 프로파일(profile) → 롤링 얼라이먼트(rolling alignment)의 순서로 진행된다. 입광부 모터 스테이지와 수광부 모터 스테이지간에 정확한 정렬을 위해서 서로의 6 자유도가 정확하게 일치하여야 하며 최초 2D 힐 클라임과 2D 프로파일을 수행하게 된다. 두 공정의 역할은 서로 동일하나 2D 힐 클라임은 최초 넓은 범위에서부터 광원을 찾는 일을 하며, 그 후 2D 프로파일의 공정을 수행함으로써 서로 모터 스테이지간의 X축과 Y축을 최대한 일치시킨다.

3D 얼라이먼트는 2D 프로파일에서 일치시킨 X축과 Y축 정렬에 Z축을 포함시킴으로써 좀 더 세부적인 광 정렬을 만들어간다. 3D 얼라이먼트는 2D 힐 클라임과 동일한 목적으로 넓은 범위부터 광원을 찾아가는 일을 수행한다.

3D 프로파일 공정은 지금까지 정렬해 온 상태에서 좀 더 세부적으로 X축과 Y축, 그리고 Z축의 세축을 미세하게 구동시킴으로써 최적의 정렬을 찾아낸다. 이 공정은 몇 번의 반복이 필요하다.

최종 정렬 공정으로 롤링 정렬이 있다. 이것은 지금까지 X축과 Y축, 그리고 Z축으로 정렬 한 상태에서 다시 입광부의 모터 스테이지와 수광부의 모터 스테이지를 롤링을 하면서 최적의 정렬을 맞추어 가는 것이다. 예를 들어 광 반도체가 1 * 8 채널이나 1 * 2 채널일 때 또는 그 외 채널이 동일하게 수광부 광섬유 양 끝단의 롤링을 정확하게 맞추어 주어야만 최적정렬을 할 수 있게 된다.

따라서 본 시스템은 독자적인 모터 구동 알고리

즘을 자체 개발함으로써 최적 광정렬의 독창성을 추구하였다.

2D 힐 클라임과 2D 프로파일은 프로그램에서 X축과 Y축의 스캔 거리와 스텝 사이즈를 각각 정해 주면 주어진 거리만큼 왕복 이동하면서 스텝 사이즈의 간격마다 광 파워미터의 광량을 받아들여지게 된다. 예를 들어 X축과 Y축의 스캔 거리에 100 μ m를 넣고, 스텝 사이즈에 5 μ m를 넣게 되면 모터는 먼저 X축으로 50 μ m 이동하게 되며, 다시 뒤로 -100 μ m만큼 이동하게 된다. 모터가 앞으로 이동할지 뒤부터 이동할지는 프로그램 상에서 정해줄 수 있다.

이동하는 동안에는 5 μ m의 간격으로 광 파워미터의 광량 값을 측정하여 받아드리게 되며, 그 후 모터가 최종 위치까지 왕복 이동 수행을 마치게 되면, 100 μ m의 이동거리 중 광 파워미터의 광량 값이 가장 높은 곳으로 피크값을 찾아 다시 그 자리로 이동하게 된다. 그 후 Y축도 동일한 방식으로 이동하게 된다. 이런 방식으로 반복 이동하여 입광부 광섬유와 수광부 광섬유간의 정렬을 맞추게 된다. Fig. 20은 2D 프로파일을 수행할 때의 프로그램을 도시한 것이며 그림상의 그래프는 스캔 거리만큼 모터가 이동하면서 광 파워미터의 광량 값의 피크값을 그래프로 보여주고 있다. 광 파워미터의 광량 값은 실시간으로 프로그램 상에서 볼 수 있게 하였다.

3D 얼라이먼트와 3D 프로파일도 위의 2D 방식과 비슷하나 단지 2D에 Z축을 포함하여 수행하게 된다. 이동방향과 이동지정은 2D와 동일하며 Z축을 이용하여 입광부 광섬유와 수광부 광섬유를 좀 더 근접하게 광정렬함으로써 광 파워미터의 광량 값을 높일 수가 있다.

최종 광 정렬의 공정으로 롤링 정렬이 있다. 이것은 1 * 다중채널일 때 이용되는 공정으로 수광부의 모터 스테이지를 롤링함으로써 양 끝단의 광섬유 정렬을 맞추는 역할을 한다.

이 공정은 먼저 0.3° 롤링 한 상태에서 2D 프로파일의 공정처럼 X축과 Y축으로 모터 스테이지가 구동하게 된다. 그 후 두 채널의 기울기를 비교하고 다시 0.3° 롤링 한 상태에서 현재의 광량을 비교하여 가장 높은 피크 값으로 재 이동하게 된다. 이를 반복 수행함으로써 최적 광 정렬을 맞출 수 있게 된다.

3.5 최종 시스템 구축

기존의 광 정렬 장치는 초기 입광섬유의 정렬방식과 광도파로 로딩기술이 수동방식으로 되어 있어 광 정렬 작업 시 많은 시간이 소요되었으며, 정밀도 또한 저하되는 문제점이 있었다. 하지만 본 연구에서는 이미지프로세싱과 자동로딩장치를 개발하여 시간의 절감을 유도하였으며, 대부분의 작업 환경을 PC상에서 처리함으로써 작업의 효율성

과 편리성을 추구하였다.

광 파워미터에서 나오는 광량의 측정은 GPIB 통신을 통하여 수치값을 PC로 전달하였으며, 입광부와 수광부의 모터 스테이지 제어 또한 PC에 내장된 모션 컨트롤러와 DSP 보드로 제어 할 수 있게 하였다. 뿐만 아니라 IR카메라와 수광부 모터 스테이지간의 이동 시 발생하는 오차를 최소로 줄이기 위하여 이 부분 또한 자동으로 대체하였으며, 자체적으로 개발한 모터구동 알고리즘과 이미지프로세싱을 이용한 GUI 프로그램 개발로 독창성과 편리성을 동시에 얻을 수 있었다

Fig. 5에서 광 정렬 장치의 초기 정렬시 자동로딩장치를 이용하여 광 반도체를 10 μ m의 반복정렬도로 웨이브 가이드 홀더에 이동시킨다. 그 후 광 파워미터에서 나오는 광원은 IR카메라를 통하여 모니터링 되며, 모니터링 된 화면은 다시 PC 캡처 보드를 통해 PC로 들어오게 된다. 그 후 모터를 구동시키면서 적외선 카메라의 초점이 맞추어지면 자동으로 모터의 구동이 정지하도록 되어 있다. PC 캡처보드에는 3개의 입력채널로 IR카메라의 광 이미지뿐만 아니라 CCD카메라의 측면과 윗면의 정렬 위치도 함께 비교하여 볼 수 있게 하였다.

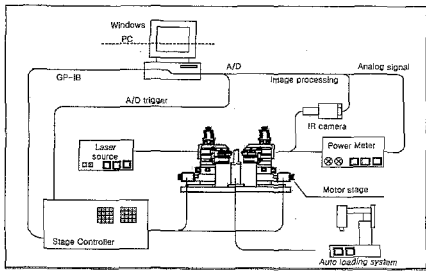


Fig 5. Schematic of the developed optical aligner

4. 실험평가

본 평가 실험에서는 일반적인 광 정렬 장비에 사용되는 도파로 칩과 동일한 샘플 칩을 사용하였으며, 본 연구를 통해 개발한 자동로딩장치와 이미지프로세싱 기술을 이용하여 기존의 타사 장비가 수동 방식인데 비해 자동으로 전환하여 실험을 수행하였다.

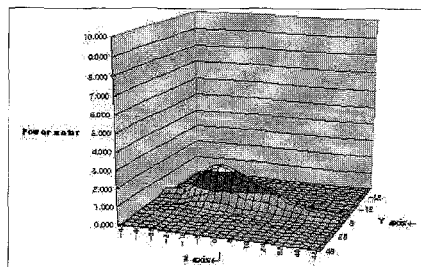
4.1 정렬 성능 평가

정렬 성능 평가 실험은 자동로딩장치와 이미지프로세싱 기술을 이용하여 수행하였다. 기존의 수동 방식을 흡입 장치가 부착된 자동로딩장치를 이용하여 광 반도체를 옮겨 놓음으로써 반복 정렬

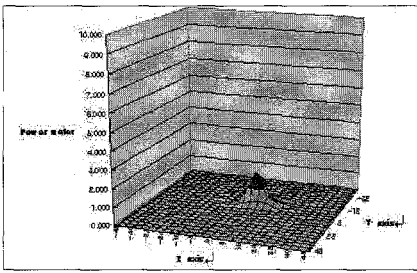
도가 향상되어 4~5분 정도의 시간을 감축시킬 수 있었으며, 이미지프로세싱 작업으로 사람의 손으로 모터 스테이지를 구동시키는 것보다 시간 면에서 약 4~5분의 시간을 더 절감시킬 수가 있었다. 또한 이미지프로세싱으로 인한 정밀도 향상으로 인하여 2D 블라인드 서치 공정을 생략할 수 있었으며, 이로써 전체 공정의 작업 시간을 좀 더 단축시킬 수가 있었다. Fig.6의 그래프는 2D 프로파일의 공정을 나타낸 것으로 Z축이 주어지지 않은 상태에서 X축과 Y축 값만을 지정해주어 광 정렬을 수행하였으며, X축과 Y축의 값은 각각 96 μ m의 스캔 거리와 4 μ m의 스텝 사이즈로 지정해주었다. Fig. 6(a)는 입광부 광섬유의 광량을, Fig. 6(b)는 수광부 광섬유의 광량을 나타낸 것으로, Fig. 6(a)에서 알 수 있듯이 Y축으로 이동시에는 수직이동으로 인하여 광량의 변화가 거의 없으나 광도파로와 광섬유간의 수평 이동을 하는 X축에서는 옆 채널에서의 영향을 받아 광량의 분포가 골고루 퍼져있는 것을 볼 수 있다. Fig. 6(b)에서의 X축과 Y축은 입광부 광섬유를 통과한 광원이 다시 광도파로를 통과하여 나타나므로 별 차이가 없는 것을 안수 있다.

입광부와 수광부의 X축과 Y축의 정렬을 맞춘 후에는 Fig 7의 3D 프로파일 공정을 수행하였다. X축과 Y축의 조건은 두 축 동일하게 12 μ m의 스캔 거리와 0.5 μ m의 스텝 사이즈로 지정해 주었으며, Z축은 초기 10 μ m의 거리로 지정해 놓고 실험하였다. 이미 이미지프로세싱 작업과 Fig. 7의 2D 프로파일에 의해 X축과 Y축의 광량은 어느 정도 일정한 값을 얻을 수 있었으므로 3D 프로파일 공정에서는 X축과 Z축 이동거리만을 재지정하여 작업을 수행하였다.

3D 프로파일 공정 후에는 2D 프로파일에서의 광량 값이 최고 5 μ W이었던 것을 최고 60 μ W까지 얻을 수 있었으며, 그 후 다시 Y축은 고정된 상태에서 X축은 0.1 μ m, Z축의 거리는 5 μ m로 제한하고 재수행함으로써 80~90 μ W의 높은 광량 값을 얻을 수 있었다.최초 광 파워미터의 광량이 200 μ W이었던 것을 보면 어느 정도 계측손실을 감안하고는 좋은 광량 값을 얻었다고 볼 수 있다.

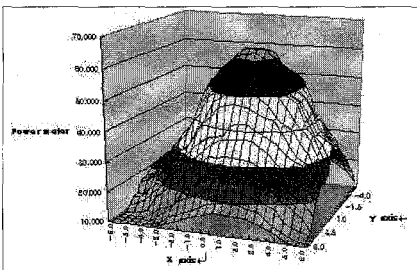


(a) input

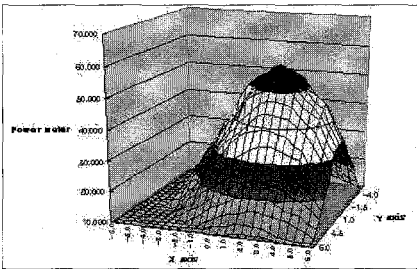


(b) output

Fig. 6 2D profile search test



(a) input



(b) output

Fig. 7 3D profile search test

4.2 기존 장비와의 실험 비교

본 실험에 사용된 기존 장비는 Newport사의 장비로, 엔코더가 부착된 DC 서보 모터를 이용, 수동으로 반도체 칩을 웨이브 가이드 홀더에 올려놓고 사람의 눈으로 모니터를 직접 확인하면서 광정렬을 하는 방식으로 진행하였다.

그와는 대조적으로 본 연구의 시스템에서는 자체 개발한 자동로딩장치와 이미지프로세싱 기술을 이용하여 수행하였다.

Fig. 8은 기존의 수입 장비와 자체 개발한 광

정렬 장치의 광량을 비교한 그래프이다. 실험 결과 본 연구에서 개발된 광 정렬 장비가 자동으로 공정을 수행하면서 얻은 광량이 기존의 수입 장비와 비교하여 별 차이가 없음을 알 수 있다.

Fig. 9는 기존 수입 장비와 자체 개발 장비와의 정렬하는데 소요되는 시간을 비교한 그래프이다. 기존의 수입 장비가 초기 수동 정렬하는데 걸리는 시간이 대략 70 ~ 80초 걸리는 반면 본 연구에서 개발한 광 정렬 장치는 초기 이미지프로세싱 프로그램과 자동로딩장치를 이용하여 약 35 ~ 40초 걸리는 것으로 나타났다.

최종 정렬에 소요되는 시간 또한 수입 장비가 20 ~ 25분 걸리는 시간을 이미지프로세싱 프로그램과 자동 로딩장치를 이용하여 최적 절감하였으며, IR카메라와 수광 모터스테이지의 수동 이동시 발생하는 오차를 줄이기 위해 선택한 모터 구동으로 많은 오차가 감소해 시간을 절감시킬 수가 있었다.

특히 이미지프로세싱 작업으로 인하여 기존의 수동 작업과 비교하여 평원을 찾는 시간이 최대한 단축되었으며, 정밀도 또한 현저하게 높아져 2D 블라인드 서치 공정을 하지 않고도 충분히 좋은 광량을 찾을 수가 있어 더 많은 시간을 감축시킬 수가 있었다.

이로써 본 장비가 기존 수입 장비의 소요시간과 비교하여 약 50% 이상의 절감 효과를 가져 왔다고 할 수 있다.

또한 Fig. 9의 그래프에서와 같이 수동 정렬 시 사용하는 사람의 개인적 자질에 따라 정렬하는데 소요되는 시간의 변동이 커지게 됨을 예측할 수 있다. 그에 반해 본 연구에 의해 개발된 광 정렬 장치는 PC를 기반으로 하여 모든 작업을 자동으로 하였으며, 그에 따라 광 정렬하는데 소요되는 시간을 일정하게 유지 할 수 있게 하였다.

결과적으로 기존의 장비가 단계적 수동 공정 방식인데 비해 본 시스템은 자체 개발한 자동로딩장치와 이미지프로세싱 기술로 공정 방식을 자동으로 변환하여 정밀도 향상과 시간 절감을 동시에 얻을 수 있었다.

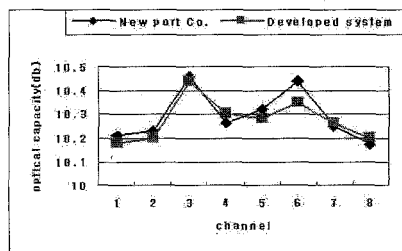
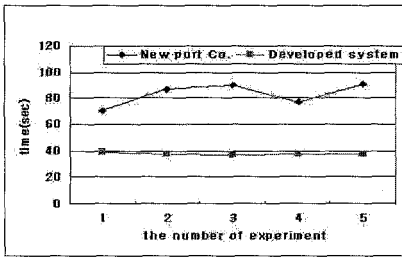
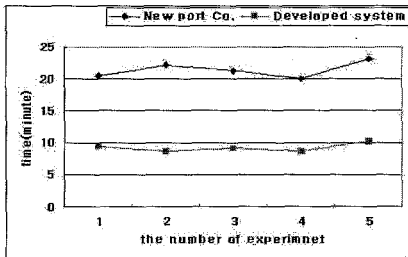


Fig. 8 Comparison of optical capacity



(a) Primary alignment time



(b) total alignment time

Fig. 9 Comparison of alignment time

5. 결론

본 연구를 통해 기존 고가의 수동 장비 대비, 저가의 자동 광 정렬 장비를 개발할 수 있었으며, 현재 하나의 광 반도체를 정렬하는데 소요되는 시간은 약 10분 내외로 기존 수입 장비 대비 약 50%의 시간이 절감되고 있다.

흡입장치가 부착된 자동로딩장치를 자체 개발하여 반도체 칩을 웨이브 가이드 홀더에 자동이동 시킴으로써 기존의 수동으로 칩을 올려놓을 때 보다 반복 정렬도를 현저하게 높일 수 있었으며, 이로 인해 많은 시간의 감소를 가져올 수 있었다.

또한 이미지프로세싱 기술을 도입, 자동 정렬을 시도하였으며 많은 시간의 절약과 정렬도가 향상되어 2D 블라인드 서치 공정을 수행하지 않아도, 그 후의 공정만으로 최적의 광 정렬을 수행할 수 있게 되었다.

그 외에도 대부분의 작업 환경을 PC에서 제어할 수 있게 하였으며, 모터 구동 알고리즘을 독창적으로 개발, 수입제품과의 차별화를 추구하였다..

앞으로 진행될 연구 분야는 양산용 광 정렬 장치를 제작하는 것으로 이는 국내 광 분야에 많은 영향을 줄 것으로 보이며, 정밀 기계 메커니즘 가공 및 조립 기술에도 많은 영향을 끼칠 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 이 승호 “초고속 정보 통신망 구축에 관련된 광 통신 기술” 서울산업대학교 논문집. 41호 pp. 319-336, 1995
- [2] Z. Tang, R. Zhang, S.K. Modal, F.G.Shi "Optimization of fiber-optic coupling and alignment tolerance for coupling between a laser diode and a wedged single-mode fiber" Optics Communications Vol 199. pp 95-101, 2001
- [3] David Henderson, Sid Ragona, "Nanometer precision robot for active photonics alignment using INCHWORM Motors", Proceedings of SPIE Vol 4290, pp 136-144, 2001
- [4] Rebens, W. Trimmer and J. Walker "Microactuators for aligning optical fiber" Sensors and Actuators, Vol 20, pp. 65-73, 1989
- [5] 예병대, 성광수 "마이크로 스텝핑을 위한 스텝모터 제어기 설계" Journal of the Institute of Industrial Technology Vo.27, pp 111-115, 1999
- [6] 이광운, 장원식, 박정배, 여형기, 유지운 "고성능 미세스텝 구동 회로의 개발" 전력전자학회 논문집 제 2권 제 3호, 1997
- [7] Z.Tang, R.Zhang, F.G. Shi "effects of angular misalignments on fiber-optic alignment automation" Optics Communications Vol 196, pp 173-180, 2001