

# 광학제품을 위한 고속·고정밀 광정렬 제어 모듈 개발

김경범<sup>#</sup>, 김승철<sup>\*</sup>

## Development of an Optical Alignment Control Module with High Speed and Accuracy for Optics-Based Products

Gyung Bum Kim<sup>#</sup> and Seung Chul Kim<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

Automatic optical alignment modules are a key technology in optical communication system. However, the optic component assembly depends highly on manual or semi-automated alignment process. In this paper, a novel alignment mechanism with minimum degree-of-freedom has been designed and theoretical models are derived from geometric optical characteristics on collimators, optical filters and optical ray alignment. The automatic alignment control algorithm has been newly developed based on the mechanism and models, and then we make fast, precise and reliable alignment through the algorithm. The reliability of developed modules has been verified with various simulations and performance evaluations.

**Key Words** : Automatic optical alignment module(자동광정렬모듈), Alignment mechanism(정렬메커니즘)  
Collimator(콜리메이터), Geometric optical characteristics(기하학적광학특성), Optical filter(광필터)

### 1. 서론

최근 광통신 기술은 통신과 방송, 인터넷이 융합된 품질 보장형 멀티미디어 서비스를 언제 어디서나 끊임없이 이용할 수 있는 광대역통합망(Broadband Convergence Network; BcN)으로 발전되어 가고 있다. 이에 따라, 파장분할다중화(wavelength division multiplexing; WDM)기술이 중요하게 대두되고 있다. 이 기술을 실현하기 위해서는 초정밀 광장비가 반드시 요구되는데, 이와 관련한 국산 장비가 전무한 상태이며 외국에서 수입되고 있는 실정이다.<sup>1,2</sup>

광학제품에서 핵심 장비는 광정렬을 위한 장치로서 이를 위한 다자유도 자동정렬 스테이지가 개발되고 있다. 이에 따라 고속·고정밀 정렬 알고리즘이 시급히 요구되고 있는 현실이다.<sup>3</sup> Hill-Climbing 법<sup>4</sup>은 구현의 수월성으로 인해 광패키징 관련 산업 분야에 널리 적용되고 있다. 이 방법의 단점은 국부적 극대점(local peak)에 자주 접근하여 글로벌 극대점을 이르지 못하는 경향이 있다. 또한, 이 방법은 1 차원 정렬만을 수행할 수 있어, 다축의 정렬제어를 할 경우 많은 시간이 소요된다. Mizukami<sup>5</sup>는 Hamiltonian 알고리즘을 적용한 광정렬 알고리즘을 제안하였지만 복잡한 미분방정식의

접수일: 2005년 9월 8일; 게재승인일: 2006년 4월 14일

# 교신저자: 충주대학교 항공·기계설계학과

E-mail kimgb@chungju.ac.kr Tel (043)841-5378

\* 홈네스터㈜ R & D Center

해를 계산하는 과정을 포함하고 있다. Zhang<sup>6</sup>은 동시에 6 자유도의 정렬을 수행하였으며 그 결과 Hill-Climbing 법 보다 5 배 빠르게 시간 단축을 하는 방법을 제안한 바 있다. WDM 제조공정에서 광필터의 스펙트럼을 정확하고 일관된 측정 및 검사를 수행하기 위해서는 신뢰성 있는 정밀 제어 메커니즘과 알고리즘의 개발이 필수적인 요소이다.<sup>7</sup>

본 연구에서는 최소의 자유도를 갖는 정밀 자동 광로정렬 메커니즘을 새로 설계하여 정렬오차를 최소로 줄였으며, 콜리메이터와 광필터 그리고 광로정렬의 기하학적 광학특성으로부터 이론적 모델을 도출하였고 이를 기반으로 자동 광로정렬 알고리즘을 개발하여 고속·고정밀 자동 광로정렬을 실현하였다. 또한, 본 연구에 의해 개발된 장비를 이용하여 자체 모의 실험과 성능평가를 수행함으로써 개발장비의 신뢰성을 입증하였다.

## 2. 정밀 자동 광로정렬 메커니즘

광필터에 대한 스펙트럼 검사 공정은 광학분석기기(OSA)를 이용하여 기준 광원과 광필터를 통과한 광의 통과 및 반사 대역 등 과 같은 스펙트럼을 측정하고 평가한다. 이러한 검사시스템은 3 개의 광학 요소로 구성되며, 이것은 기준광원을 투사하는 능동콜리메이터(active collimator)와 광필터, 그리고 광필터를 통과한 광원이 입사되는 수동콜리메이터(passive collimator)이다. 정확하고 일관된 광학 스펙트럼을 검사하기 위해서는 세 개의 광학 요소의 자동 정렬이 매우 중요하다.

수직으로 코팅면에 입사된 광은 광필터를 투과할 때 광필터의 경사도 때문에 굴절되어 입사방향과 일치하지 않게 되며, 또한 그 굴절 방향은 광필터 단면의 절단방향에 대한 경사방향이 불규칙하므로 일정하지 않다. 따라서, 광필터의 스펙트럼 검사공정 중 통과대역폭 내에서의 최대 투과삽입손실, 반사대역폭 내에서의 차단 특성 등과 같은 입사광과 투과광과의 상대적인 광량 즉 투과율을 분석하는 문제에서 있어서는 수동콜리메이터를 투과광의 광로에 정확하게 정렬시켜야만 한다. 왜냐하면 콜리메이터의 기하광학적 특성으로 입사광의 위치 및 각도 오차(translation and angular error)에 따라 삽입손실 차이가 크게 나기 때문이다. 그러므로 오차범위 이내에 정확하게 정렬되어야 투과된 광이 손실 없이 수동콜리메이터에 입사되어 상대적

인 스펙트럼 특성을 측정할 수 있다.

자동 광로정렬은 Fig. 1 과 같이 기준광원이 통과하는 능동콜리메이터, 광필터 그리고 수동콜리메이터를 측정오차 범위 안으로 광로에 정렬시키는 메커니즘으로 구성되어 있다. 능동콜리메이터는 하부 스테이지에 장착하여 고정시키고, 수동콜리메이터는 2 개의 구동축을 가지는 상부 스테이지에 장착시키고, 광필터는 모터에 의해 회전되는 광필터스테이지(rotary-stage)에 올려지도록 한다. 본 연구의 광필터 검사시스템의 광로정렬은 X, Y, Z 축 병진오차( $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ ), 그리고 Yaw, Pitch 오차( $\theta_y, \theta_x$ )로 표현되는 5 자유도를 가진다. X, Y 축의 병진오차는 능동·수동 콜리메이터가 장착되어 있는 하·상부 스테이지상의 5 자유도 조정이 가능한 Fiber optic mounts 를 이용하여 초기에 수동으로 정렬하고, Z 축 병진오차와 Yaw, Pitch 오차는 3 개의 구동축으로 정렬 제어한다.

본 연구에서는 자동으로 고속 및 고정확 광로정렬을 수행하기 위해 Fig. 2 와 같이 각 축이 서로 독립적으로 구동하면서 각 정렬오차가 보정되도록 설계하였다. 즉, 수동콜리메이터를 광로에 정렬시키기 위해 Z 축 병진오차와 Yaw 오차를 보정하는 Z 이송축과 Y 틸트축을 구동축으로 사용하였고, 광필터를 회전시켜 Pitch 오차 없이 광이 투과되도록 하는 Z 회전 구동축을 적용하였다.

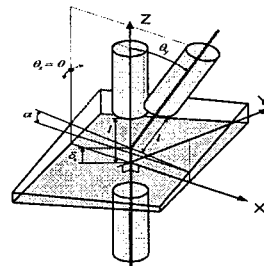


Fig. 1 A schematic for optical alignments

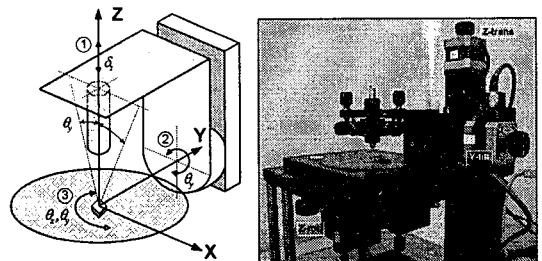


Fig. 2 A developed automatic alignment mechanism

본 연구에서 3 개의 구동축만 가지고 광로정렬 정도 및 측정정밀도를 높이기 위해서는 기준광로와 모터구동축의 초기 수동정렬 정도가 아주 중요하다. 광필터 스테이지의 회전지그 위에 올려지는 광필터는 Z 회전 모터 구동축에 의해 회전시 코팅면에 기준광원이 수직으로 입사되도록 초기 정렬되어 있어야만 한다. 그러면 광필터의 회전시 투과광의 광로 오차는 광필터 투사면의 경사도 및 두께 편차의 영향으로 투사면에서만 굴절이 일어나 Yaw, Pitch 오차와 Z 축 병진오차만 나타나게 된다. 상부 스테이지의 Z 이송축으로는 오직 Z 축 병진오차만 보정되도록 하기 위하여 수동콜리메이터를 Z 축과 일치하도록 초기 정렬하여야 한다. 또한 이 Z 축의 기준원점은 Y 틸트축의 회전중심축과 광필터 스테이지의 회전지그면 높이와 일치되도록 설정하여, 광필터의 두께에 따른 Z 축 병진오차만 보정되어질 수 있도록 한다. 또한 상부 스테이지 Y 틸트축의 회전중심축은 모든 축의 기준원점 상태에서 Y 축과 일치되도록 초기 정렬되어 있어야 한다. 이것은 자동 정렬시 광필터의 경사도에 따른 Yaw 오차만을 분리하여 보정할 수 있게 해준다. 이러한 초기 수동정렬은 광정렬 제어 정도의 기준이 되며, 손으로 미세 조정하는 작업으로 많은 시간과 숙련도를 필요로 한다.

### 3. 고속·고정밀 자동 광로정렬 제어 모듈

#### 3.1 정렬제어 시스템 응답특성

자동 광로정렬을 위한 피드백 제어시스템에서 광로정렬 오차 정도는 OSA 로 측정되는 투과광의 삽입손실로 알 수 있다. 정렬오차가 최소가 되도록

즉, 삽입손실이 최소가 되도록 각 축의 모터를 구동시키는 것이 제어시스템의 목적이다. 측정되는 삽입손실은 PC 내의 GPIB 를 통해 OSA 를 원격 제어하여 읽어 들이므로 시간지연의 특성을 가진다. 특히, OSA 의 광량 측정 주기는 매우 느리다. Table 1 을 보면 동일한 1 개의 파장에 대한 광량을 반복적으로 측정하기 위해서는 최소한 1 초 이상의 시간주기가 필요함을 알 수 있다. 그리고 이때의 GPIB 의 응답시간 지연은 12 ms 가 소요된다. 그러므로 일정한 1 개의 파장만을 측정하면서 광로정렬을 수행한다는 것은 측정의 응답 지연 특성 때문에 최적의 정렬위치를 찾는 데 많은 시간이 필요하다. 예를 들어, Z 회전축은 분해능 간격으로 측정한다면 약 180 개의 데이터를 측정해야 한다. 21 개의 파장을 측정할 때에는 동일파장에 대한 측정주기는 1.315 초 정도 되지만 연속적으로 21 개의 파장을 측정할 때에는 30 ms 간격으로 약 695 ms 동안 측정이 진행된다. 즉, 측정과 정지가 되풀이 된다. 따라서 광로정렬 제어는 실제 OSA 가 측정을 수행하고 있을 때만 광량을 판단하여 수행하여야 한다. 이때의 응답지연은 제어시스템 내에서 보상이 가능하다. 본 연구에서는 이처럼 OSA 의 응답특성은 느리지만 정렬시간을 최소화하기 위하여 일정한 파장대에서 연속적으로 측정되는 광량의 변화를 분석하여 정렬위치를 판단하는 방법을 적용하였다.

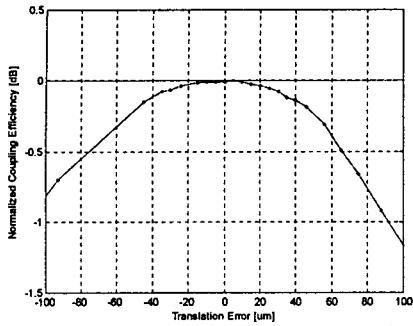
실제 검사자가 수동으로 정렬할 때에도 이러한 구간 내에서의 변화 형상을 보고 정렬 정도를 판단한다. 즉, 삽입손실의 변화와 최소값을 판단하여 최적의 광로정렬 상태를 판단하게 된다.

#### 3.2 콜리메이터의 기하학적 광학특성

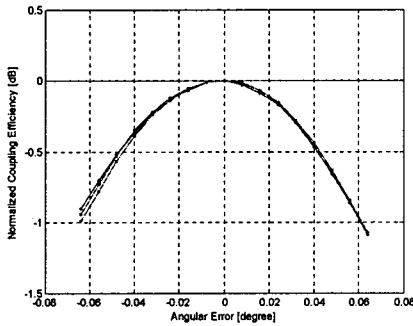
본 연구에서 사용하는 콜리메이터는 중심파장이 1310 nm 또는 1550 nm, 삽입손실은 0.2 dB 이하, 동작거리는 5 mm 로 최대 20 mm 이하이다. 그리고 이 콜리메이터에 입사되는 광은 유효지름이 0.5 mm 이하, 발산도(beam divergence)는 0.25° 이하, 입사각도(acceptance angle)는 0.15° 이하이어야 한다. 이러한 규격을 가지는 콜리메이터와 입사광을 허용 오차 이내에서 신속하고 정밀하게 정렬시키기 위해서는 OSA 의 측정 분해능 오차 범위 내에서 정렬오차의 분해능 정도가 평가되어야 한다.

Table 1 Response time of for OSA sweep

No. of wavelength for sweep	1	21	51
Repeat sweep time (ms)	1000	1325	2450
Sweep time (ms)	-	695	1738
Stop sweep time (ms)	-	630	712
Sweep time of one wavelength (ms)	-	30	34
Reading time of sweep data (ms)	12	30	57



(a) Translation error



(b) Angular error

Fig. 3 Effects on translation and angular misalignments

Table 2 Designed mechanism specifications

Axis	Range	Resolution
Z-trans	25 mm	2.5 μm
Y-tilt	± 10 degree	0.008 degree
Z-rot.	360 degree	0.12 degree

이것을 확인하기 위한 실험으로 위치 및 각도 오차량에 따라 측정된 삽입손실의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 최상의 정렬상태에서 삽입손실이 최소 0.01 dB 이상 변화하려면 위치 정렬오차는 최소 ± 10 μm 이상 어긋나야 하고, 각도 정렬오차는 최소 ± 0.008° 이상 분리되어야 한다. 위의 결과는 본 연구에서 각도 오차의 정렬이 매우 중요함을 알 수 있다. 이러한 결과를 기반으로 정렬제어장치는 Table 2와 같은 분해능을 갖도록 설계하였다.

### 3.3 광필터의 기하학적 광학특성

광필터의 제품 규격으로부터 발생하는 기하학적 광로정렬 오차를 분석하면 Fig. 4와 같이 나타난다. Fig. 4(a)에서 광필터의 경사도에 따른 Yaw 오

차는 식 (1)과 같이 계산된다.

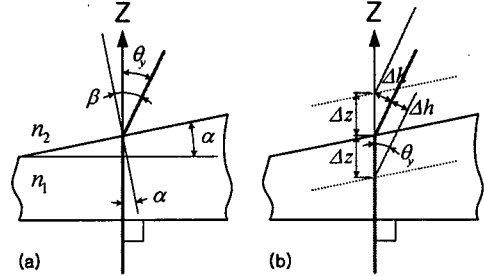


Fig. 4 An alignment tolerance by size errors

$$\theta_y = \beta - \alpha = \sin^{-1}\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \alpha\right) - \alpha \quad (1)$$

굴절률이 최대 1.7 일 때 경사도가 0.12° 에 편차가 ± 0.05° 라고 한다면, Yaw 오차는 0.084(± 0.035)° 가 된다. 따라서, 광필터의 경사도 오차로 야기되는 Yaw 오차는 3.2 절에서 확인한 각도 오차 분해능 0.008° 보다 매우 크므로 광로정렬을 위해서는 반드시 보정이 수행되어야 한다. 그리고, 광필터 폭이 1.4 mm일 때 광필터 경사도 0.17° 에 따른 두께 편차는 약 ± 2 μm이므로 광필터 두께의 편차 ± 30 μm 보다는 작은 값이므로 무시한다. 또한, Fig. 4(b)의 광필터 두께의 편차에 따른 굴절광의 위치오차는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\Delta h = \Delta z \sin \theta_y \quad (2)$$

Yaw 오차 0.2° 를 가지는 광에서는 두께 편차 ± 30 μm에 의해 야기되는 수평방향 위치오차가 약 ± 0.1 μm이다. 따라서, 광필터의 경사도와 두께 편차에 의한 발생하는 위치오차는 3.2 절의 위치오차 분해능 ± 10 μm보다 매우 작으므로 무시할 수 있다.

하부 스테이지에 고정된 능동콜리메이터에서 나오는 입사광과 광필터 스테이지의 회전지그면은 회전시에도 수직하게 초기 조정되어 있으므로 회전지그면에 올려진 광필터에 입사되는 광은 항상 수직하고, 투사되어 나오는 광은 투사면에서 굴절되므로 굴절지점 즉 투과광의 원점은 X, Y 축 상으로 위치오차는 발생하지 않는다. 단지 Z 축 위

치오차와 Pitch, Yaw 오차만 발생한다. 그러나 광필터의 입사면 불량이나 회전지그에 올릴 때 장착 이상이 생겨 경사지게 입사되면 X, Y 축 상 위치 오차가 발생하게 된다.

위의 결과로부터, 광필터와 콜리메이터의 광로 정렬에서 광필터의 기준 치수 두께에 대해서는 Z 이송축으로 두께 위치정렬만 수행하면 다른 위치 오차는 고려할 필요가 없어지며, 광필터의 경사도에 대해서는 Y 틸트축과 Z 회전축으로 각도 정렬만을 수행하면 원하는 정렬 정도를 얻을 수 있다.

**3.4 광로정렬의 기하학적 광학특성**

본 연구에서 제시한 광로정렬 메커니즘에서 Z 회전축의 분해능은 Y 틸트축의 각도가 커질수록 작아지는 기하학적 특성이 존재함을 Fig. 5 에서 알 수 있다. 이것은 각도 오차 분해능을 일정하게 유지시키면서 Z 회전축에서의 최적 정렬위치를 신속하고 정확하게 검색하기 위함이다. 즉, Y 틸트축의 위치에 따라 검색 간격인 Z 회전축의 스텝크기가 조절되어야 한다는 것을 의미한다.

$$\sin \frac{\Delta\phi}{2} \cdot \sin \theta = \sin \frac{\phi}{2} \tag{3}$$

식 (3)은 Fig. 5 에서 Y 틸트축 각도에 대한 Z 회전축 스텝크기와의 관계식이다. 그리고 각도분해능이 0.008° 일 때의 관계를 그래프로 도시하였다. 이 결과 Y 틸트 각도가 0.2° 이면 Z 회전축의 스텝크기는 약 2° 이어야 함을 알 수 있다.

본 연구에서는 Table 2 의 Z 회전축 분해능을 0.12° 로 하여 Y 틸트축의 각도에 따라 정밀하게 스텝크기를 조절할 수 있도록 하였다. 자동으로 신

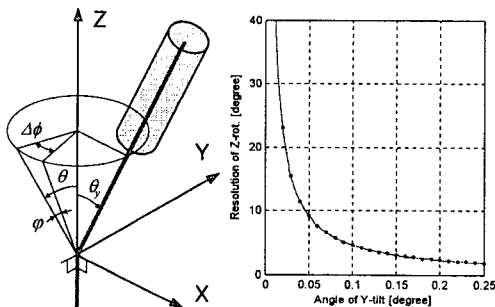


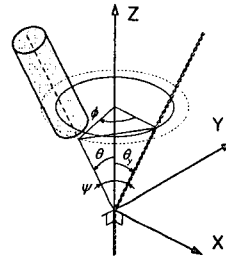
Fig. 5 Relations between Z-rotation and Y-tilt angle

속하고 정밀하게 광로정렬을 수행하는 알고리즘을 제시하기 위하여 먼저 광로정렬의 기하학적 특성의 분석을 수행하였다.

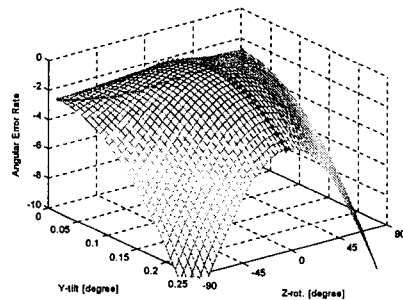
Fig. 6(a)에서 Z 회전 각도와 Y 틸트 각도의 변화에 따른 광로와 콜리메이터 사이의 각도 정렬오차 특성은 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\cos \psi = \cos \theta_y \cdot \cos \theta + \sin \theta_y \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi \tag{4}$$

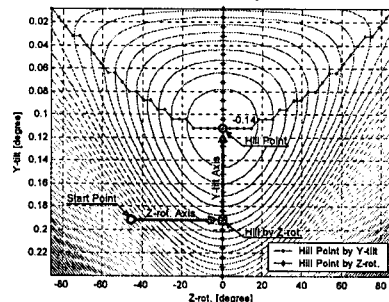
이 식으로부터 광필터의 Yaw 오차가 0.112° 일 때 각도 정렬오차 변화에 대한 3 차원 윤곽과 2 차원 등고선은 Fig. 6 (b,c)와 같이 계산되어 나타난다. 이 그래프는 식 (4)에서 계산된 각도 정렬오차의



(a) A schematic for angular misalignments



(b) Simulated 3D profiles



(c) Simulated 2D profiles

Fig. 6 Profiles of a transmission loss for misalignments

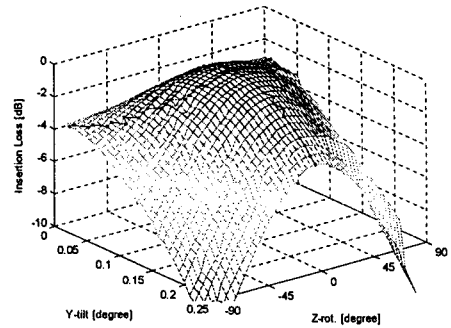
코사인값에 일정한 비율을 곱하여 얻어진다. 그리고 이와 동일한 조건으로 개발한 자동 광로정렬 시스템에서 구동축의 각도 변화에 따른 삽입손실을 Fig. 7 에 나타내었다. 두개의 그림을 비교할 경우, 각도 정렬오차에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 측정된 삽입손실이 매우 유사함을 확인할 수 있다. 즉, 최적의 광로정렬 위치는 삽입손실이 가장 작은 극대점이 된다는 것을 입증하는 것이다.

시뮬레이션 결과로부터 Z 회전축에 대한 정렬오차 분포는 극대점을 기준으로 좌우 대칭구조로 Y 틸트축에 상관없이 최적 정렬상태에서의 Z 회전 각도는 일정한 값을 가진다. 즉, 광로정렬에서 Yaw 오차만 존재하도록 광필터를 회전하여 Pitch 오차를 보정시키고 Z 회전축 각도는 항상 일정하며, 이 각도를 기준으로 정렬오차는 대칭구조임을 알 수 있다. 이것은 광로정렬 알고리즘의 정렬 순서를 결정하는 매우 중요한 면을 제공한다. 그러나 Y 틸트축 상에서의 최적 정렬위치는 Z 회전축의 각도에 따라 값이 변함을 할 수 있다. 이러한 기하학적 광로정렬의 특징은 콜리메이터의 각도를 조정하는 Y 틸트축과 Z 회전축이 중심이 일정한 구면상에서의 각각 위도와 경도를 조정하는 것과 동일하기 때문이다. 그러나 Fig. 7 과 같이 실제 측정에서의 비대칭성의 원인은 최적의 광로정렬 위치에서 멀어질수록 미소 이동시의 광로정렬 메커니즘과 측정 분해능의 오차가 크게 영향을 미치는 것으로 추정된다.

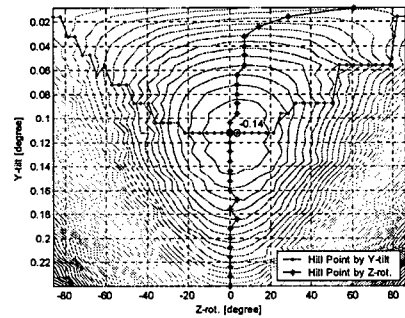
### 3.5 자동 광로정렬 제어 모듈

본 연구에서는 3.4 절에서 확인한 광로정렬의 기하학적 광학특성을 바탕으로, 제시된 자동 광로정렬 메커니즘을 이용하여, Fig. 1 과 같은 방식으로 수동콜리메이터를 투과 광로에 자동으로 신속하고 정밀하게 정렬시키는 제어 모듈을 개발하였다. Fig. 8 은 제안된 자동 광로정렬 알고리즘의 순서로 각 축의 모터 및 OSA 를 제어하여 제시된 고속·고정밀 광로정렬제어를 수행한다.

광로정렬의 목적은 Fig. 6 (c)의 2 차원 등고선상에서 최고 정점 위치를 가능한 빠르고 정확하게 찾는 것이다. 그러므로 이러한 목적을 효과적으로 달성하기 위해서는 무엇보다도 각 구동축이 정렬 오차를 각각 독립적으로 보정하도록 각 구동축의 정렬 순서를 정하는 것이 가장 중요하다. 우선, 광필터 두께에 대한 Z 축 병진오차를 Z 이송축으로 보정하여 Y 틸트축의 회전중심축이 광필터 투과면



(a) Measured 3D profiles



(b) Measured 2D profiles

Fig. 7 Profiles of measured transmission insertion loss for angular misalignments

에 위치하도록 하면 정렬오차 범위 내에서 Pitch 와 Yaw 오차만 남게 된다. 이 각도 오차들은 Z 이송축과 Y 틸트축으로 보정할 수 있다. 그리고 각도 오차들은 Fig. 6 의 시뮬레이션 결과로부터 먼저 Z 이송축을 구동하여 Pitch 오차를 보정하고, 마지막으로 Y 틸트축을 구동하여 Yaw 오차를 보정한다. 이 때의 각도 오차들의 보정 위치는 삽입손실이 최소가 되는 극대점이다. Fig. 6 (c)의 2 차원 등고선상에서 극대점을 빠르게 찾기 위하여 초기 Y 틸트축 시작위치를 설정하는 것이 중요하다.

등고선 분포에서 볼 수 있는 것과 같이 시작 위치는 광필터의 평균적인 Yaw 오차량보다는 크게 하여 Z 회전축 정렬이 빠르고 정확하게 되도록 한다. Z 회전축으로 광로의 Pitch 오차 보정은 광필터를 회전시켜 광로의 굴절방향이 ZX 평면상에 놓이게 즉, 광필터의 경사면이 ZX 평면에 수직하게 되도록 정렬시키는 것이다. 이 정렬에서는 주어진 분해능 간격으로 360 도 전국간의 삽입손실을 측정 하고 정점을 판단하는 것은 OSA 의 응답

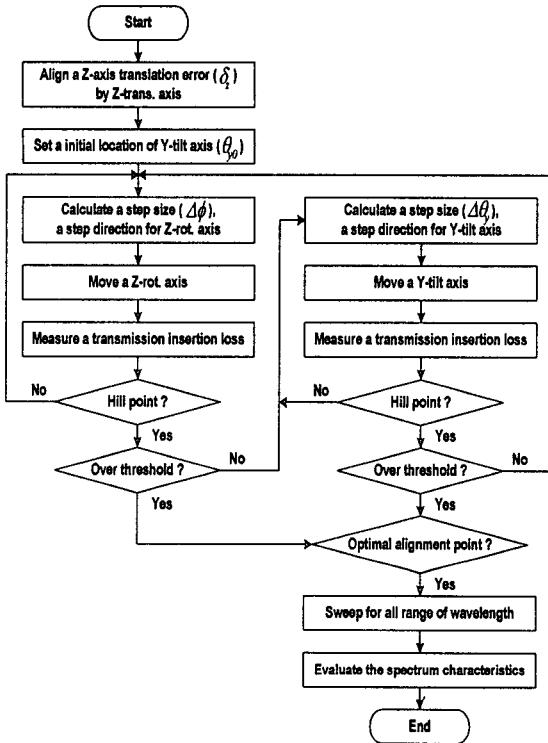


Fig. 8 A flowchart of developed alignment algorithm

성이 느리므로 매우 많은 시간이 요구된다. 그러므로 효율적인 빠른 검색을 위해서는 삽입손실의 크기와 변화로부터 최적의 정렬위치를 추정하여 적절한 스텝 크기와 방향을 가변적으로 제어하여야 한다. 이것은 식 (3)으로부터 Y 틸트 위치에 따른 Z 회전축의 분해능이 다르므로 극대점에서의 수렴 속도와 극대점의 위치 정밀도 등을 고려하여 결정해야 한다. 그리고 정렬위치에서 삽입손실이 한계값 이상이면 원하는 정렬이 수행된 것으로 본다.

Z 회전축 정렬 후 Y 틸트축을 구동하여 Yaw 오차를 보정하는 정렬도 Z 회전축 정렬과 동일한 방법으로 수행된다. 이 때 검색된 극대점 위치는 최적의 광로정렬 위치이다

일반적으로 삽입손실 분포는 각 최대 정렬위치에서 대칭인 구조를 보이므로 대부분 1 회의 Z 회전축 정렬과 Y 틸트축 정렬로 최적의 정렬위치를 찾을 수 있다. 위의 광로정렬 알고리즘을 적용하여 1 회의 자동 광로정렬을 수행한 예를 Fig. 9에 도시하였다. 최적 정렬위치를 판단하기 위한 삽입손실의 변화화, Z 회전축 각도 변화, Y 틸트축 각도

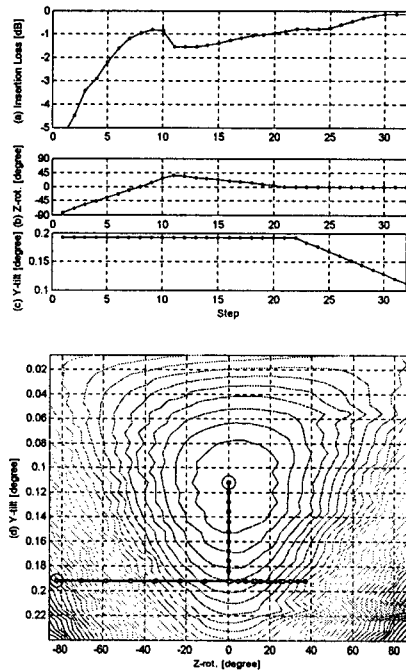


Fig. 9 One-time searching trajectory for hill point

변화, 그리고 삽입손실의 2 차원 등고선상에서의 각도 검색 궤적에 대한 것을 각각 순서대로 나타낸 것이다. Z 회전축은 검색속도를 빠르게 하기 위해 2 단계의 스텝 크기와 방향을 보이고 있다. 빠른 속도의 검색에서는 OSA의 응답 지연에 따른 오버슈트가 발생함을 알 수 있다.

#### 4. 자동 광로정렬 성능 평가

본 연구의 자동 광로정렬 메커니즘과 알고리즘을 적용하여 여러 개의 광필터에 대한 자동광로정렬 실험을 실시한 결과를 Fig. 10-11에 도시하였다. Fig. 10(a)로부터 광로정렬 시간은 표준편차 2.43 초, 평균 11.0 초의 결과를 얻을 수 있었으며, 최소한 7 초 이상이 소요되었다. 그리고 이때의 정렬위치에는 Fig. 10(b)와 같이 평가기준인 0.3 dB 이상으로 광필터의 스펙트럼 검사를 수행하기 위한 충분한 광로정렬이 완료되었음을 알 수 있다. 동일한 광필터를 최적의 정렬위치에서 5 회 반복으로 재정렬을 수행하고, 그 때의 최대 광로정렬 시간과 투과삽입손실의 최대 편차를 Fig. 11에 나타내었다.

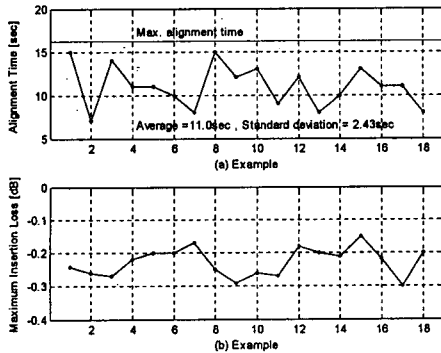


Fig. 10 Comparisons of automatic alignment time

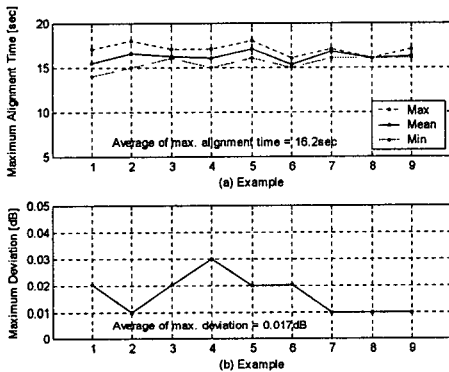


Fig. 11 Accuracy evaluations for the automatic alignment

9 가지의 광필터에 대한 5 회 반복 실험으로부터 Fig. 11(a)의 최대 광로정렬 시간은 평균 16.2 초로 최대 18 초 이하로 정렬할 수 있음을 확인하였다. 그리고 Fig. 11(a)와 동일한 실험에서 반복적으로 측정된 최대 투과삽입손실량의 최대 편차는 Fig. 11(b)로 평균이 0.017 dB이다. 이 결과는 OSA의 측정 분해능이 0.01 dB이므로 본 연구의 광로정렬에서 광로정렬 오차의 반복 정밀도가 시스템의 분해능 오차 범위 내에 있음을 의미한다.

위의 실험결과로부터 수동 광로정렬은 작업자의 숙련도에 따라 최소 30 초에서 최대 60 초까지 필요하지만 개발된 자동 광로정렬 제어모듈에서는 최대 18 초 이내, 평균 11 초에 원하는 정밀도의 광로정렬 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 광로정렬 시간을 50% 이상 단축할 수 있었다. 또한 광로정렬 수행시 보정되는 Yaw 오차 값으로부터 광필터의 각도 오차 특성을 확인함으로써 추가적으로 광필터의 치수 검사를 수행할 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 고속·고정밀 자동 광로정렬 제어 모듈을 개발하고, 그 성능을 평가하였다.

3 개의 독립 구동축을 가지는 정밀 광정렬 메커니즘을 설계하였고, 제어시스템 응답, 기하학적 광학특성을 분석을 기반으로 OSA의 저속 응답을 구간 측정으로 극복하는 자동 광정렬 제어 모듈을 제시하였다. 정렬 시간은 평균 11 초로 수동 정렬보다 50% 이상 시간을 단축시켰다. 광정렬 제어 모듈은 광학 제품의 광정렬 공정과 제품의 특성 및 평가에 핵심적인 역할을 할 것으로 사료된다.

## 후기

이 논문은 2005년도 교육인적자원부 학술연구 조성사업비로 학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음.(KRF-2005-003-D00099) 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. A network based on BcN, ubiquitous convergence, KETI Report, 2005.
2. Optical communication parts used in WDM/ DWDM, KETI Report, 2002.
3. Choi, D. S., "Development and characterization of active aligning system of optical fiber and film filter for micro optical communication module," J. of KSPE, Vol. 21, No. 9, pp. 111-118, 2004.
4. Tang, Z., Zhang, R. and Shi, F. G., "Effects of angular misalignment on fiber-optic alignment automation," Optic Communications, Vol. 196, pp. 173-180, 2001.
5. Mizukami, M., Hirano, M. and Shirano, K., "Simultaneous alignment of multiple optical axes in a multistage optical system using hamiltonian algorithm," Optical Engineering, Vol. 40, No. 3, pp. 448-454, 2001.
6. Zhang, R. and Shi, F. G., "A novel algorithm for fiber-optic alignment automation," IEEE Electronic Components and Technology Conference, pp. 256-260, 2003.
7. Kim, S. C. and Kim, G. B., "A new system development of the spectrum inspection of optical filters," J. of KSPE, Vol. 23, No. 2, pp. 57-64, 2006.