

# 다채널 광정렬 장치 로터리 스테이지 개발에 관한 연구

정상화\*, 차경래†

## A Study on the Development of the Rotary Stage for Multi-Channel Optical Alignment System

Sang Hwa Jeong\*, Kyoung Rae Cha†

### Abstract

In recent years, as the optical Communication systems are developed, the demands of essential parts such as splitter, coupler, WDM, and AWG filter are grow rapidly. The fabrication process for them is not, however, automatic. On that reason, the automation is needed for the grow of productivity. The optical alignment and attach ment is the core process in fabrication. In this paper, the 6-axis rotary stage for multi-channel optical alignment system is developed and the dynamic characteristic of this system is studied.

Key Words : Automatic Optical Alignment System(자동 광정렬장치), Rotary Stage(로터리 스테이지), Flexible Joint(탄성조인트), Linear Motion Actuator(선형운동액츄에이터), Virtual Prototype(가상시제품), Plane Light Connector(평면도파로형 분배기)

### 1. 서론

최근 초고속 광통신 시스템이 발달함에 따라, 광통신 시스템 및 초고속 광통신 시스템의 핵심 부품인 평면도파로형 분배기(Splitter) 및 결합기(Coupler), 파장분할 다중화 소자(WDM), AWG(Arrayed Wave Guide) 필터와 같은 소자부품 수요가 급격히 늘고 있다. 그러나 이러한 소자를 생산하는 공정은 수공적인 방법에 의존하여 생산성 향상을 위한 자동화에 대한 요구가 시급하다. 특히 소자(Devices)와 광섬유(Optical fiber) 사이의 광학적인 정렬(Alignment)과 접속(Attachment) 공정은 부품 성능 및 생산성 향상, 그리고 비용절감을 위한 가장 핵심적인 문제로 대두되고 있다.

광정렬 장치는 입, 출력측 정렬을 위한 두 유닛으로 나눌 수 있으며 각각의 유닛은 병진과 회전운동을 포함한 6자유도의 운동을 수행한다. 그러나 각변위를 발생시키는 고니어 미터는 국산화되지 않고 있어 이를 대체할 수 있는 새로운 로터리 스테이지의 개발이 시급하다.

본 연구에서는 평면도파로형 분배기(PLC), DWDM, AWG 등의 부품을 정렬하고 패키징하는 다채널 광정렬 장치에 사용되는 새로운 메커니즘의 로터리 스테이지를 개발하였고 이 시스템의 동특성에 대한 연구를 수행하였다.

\* 정상화, 조선대학교 기계공학과 (shjeong@chosun.ac.kr)  
주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 375  
+ 조선대 대학원 기계공학과  
++ 조선대 대학원 기계공학과

## 2. 가상시제품 개발

### 2.1 로터리 스테이지 가상시제품 개발

본 연구에서는 기존의 광정렬 장치에서 각도조절을 위해 사용되었던 고니어 미터를 대체 할 수 있는 로터리 스테이지를 개발하였다. 개발된 시스템은 광정렬 시스템의 입출력 축 각각에  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$ 의 각변위를 발생시키는데 각각의 회전축이 다른 회전축에 간섭을 하지 않도록 각 축의 회전 중심을 일치시키는 구조로 제작되었다. 그리고 각변위를 발생시키기 위해서 고니어 미터에서 사용되는 텀과 텀기어의 국내제작의 어려움 때문에 이를 해결하기 위해 리니어 액츄에이터와 그것의 직선 변위를 각변위로 변화시키는 Flexible 레버구조를 채택하였다. Flexible 레버구조를 채택함으로써 기존의 베어링에서 발생하는 베어링 공차를 줄일 수 있었으며 백래쉬 발생의 문제를 해결할 수 있었다. 각 축의 회전중심축은 가장 부하가 많이 걸리는 제 1축은 크로스롤을 채택하였고 제2축 및 제3축은 Flexure를 채택하였다. 또한 시스템 전체 설계 및 제작 이전에 설계된 인자들의 정확성 및 분해능을 검증하고 동특성을 파악하기 위하여 가상시제품을 개발하고 실제와 같은 조건으로 가상실험을 수행하였다. Fig. 1은 제 1축을 나타낸 것인데 시스템의 구성은 리니어 액츄에이터와, 리니어 액츄에이터에서 발생하는 직선변위를 각변위로 변환시키는 3개의 링크, 및 링크를 연결시키는 Flexure, 그리고 각변위가 발생되는 로터와 로터 베이스로 구성된다.

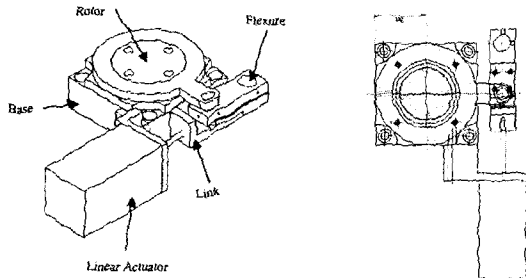


Fig. 1 1st Axis Layout

Fig. 2는 제 2축과 제 3축을 나타낸 것이다. 제 1축과 같이 리니어액츄에이터와 액츄에이터의 직선변위를 각변위로 변환시키는 Flexible 레버구조로 구성되었다. 1축과 다른점은 중심축이 1축이 크로스롤인 반면 2, 3축은 Flexure를 사용하였다.

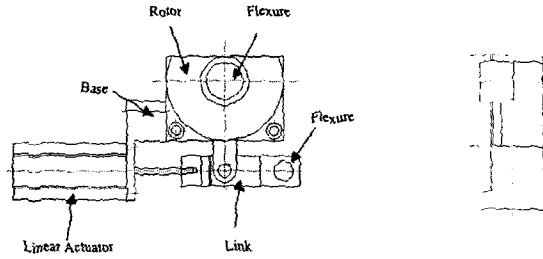


Fig. 2 2nd & 3rd Layout

### 2.2 가상실험

본 연구에서는 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 설계된 데이터를 바탕으로 각 축별로 로터리스테이지를 모델링하고 실제와 같은 조건으로 시뮬레이션하였다. 이 결과를 통하여 설계된 데이터의 적합성을 검증할 수 있었다. 또한 기기의 이론적 위치정밀도, 전체이송량, 진동특성, 백래쉬 특성 등을 파악할 수 있었고 각 파트별 동적상태량을 파악할 수 있었다. 1축과 2, 3축은 정밀도와 분해능 그리고 전체이송량을 파악하였고 전체 어셈블리에서는 3차원 공간에서의 위치 좌표를 파악하였다. 이들 데이터를 통하여 설계의 적합성을 검증할 수 있었고 실제 구동 시 필요한 입출력에 대한 정보를 얻을 수 있었다.

#### (1) 제 1축 로터리 스테이지

1축 모델링에서 실제 제품과 다른 사항은 리니어 액츄에이터의 직선운동을 회전운동으로 전환시키는 링크부의 회전 조인트 부분인데 실제 제품에서는 Flexure가 사용되었지만 이를 근사화하기 위해 일반 회전 조인트를 사용하여 모델링 하였다. Fig. 3은 제 1축을 ADAMS를 이용하여 모델링한 것이다.

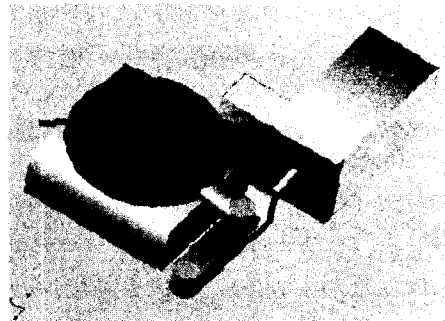


Fig. 3 1st Axis Modeling

Fig. 4는 제 1축 로터리 스테이지의 분해능을 시뮬레이션 한 것이다. 이 때의 입력 조건은 리니어 액츄에이터에  $\pm 0.002$  mm를 정현입력으로 주었고 그 때의 출력은 스테이지의 중심에서  $\pm 0.0025^\circ$  으로 출력되었다.

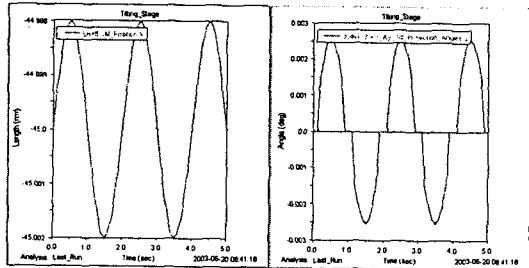


Fig. 4 Resolution of 1st Axis Stage

Fig. 5는 이송각도에 대한 시뮬레이션 결과이다. 입력은 리니어 액츄에이터에서 직선변위  $\pm 10$  mm와  $\pm 5$  mm로 정현입력으로 입력하였고 그 때의 스테이지의 회전변위 출력은 최대  $\pm 12.8^\circ$ ,  $\pm 6.38^\circ$ 의 정현파로 나타났다.

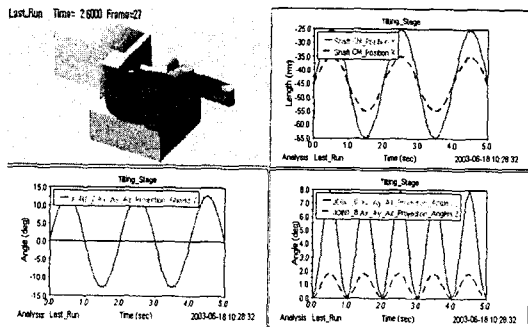


Fig. 5 Full Stroke of 1st Axis Stage

(2) 제 2축 및 제 3축 로터리 스테이지

Fig. 6은 제 2, 3축 스테이지를 모델링한 것이다. 제 1축과 다른점은 스테이지 로터 형상이 반월 모양으로 다른데, 입,출력축의 간섭부분이 있어 간섭부분을 피하기 위해 이러한 형상을 취한 것이다. 또한 중심축에 크로스롤을 쓰지 않고 Flexure를 사용하였다. Flexure의 운동 범위는  $\pm 3.5^\circ$ 로 설정하였다. Fig. 7은 제 1축 텀팅 스테이지의 분해능을 시뮬레이션 한 것이다. 이 때의 입력 조건은 리니어 액츄에이터에  $\pm 0.002$ 를 정현입력으로 주었고 그 때의 출력은 스테이지의 중심에서  $\pm 0.0025^\circ$ 으로 출력되었다.

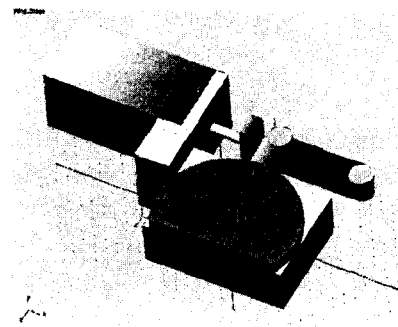


Fig. 6 2nd & 3rd Axis Rotary Stage

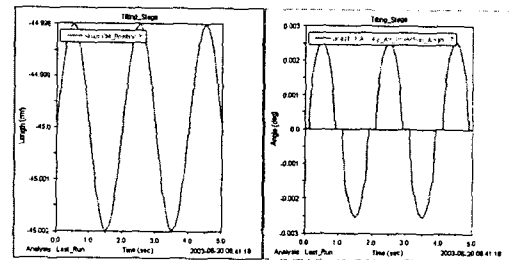


Fig. 7 Resolution of 2nd Axis Stage

Fig. 8은 이송각도에 대한 시뮬레이션 결과이다. 입력은 리니어 액츄에이터에서 직선변위  $\pm 3.5$  mm와  $\pm 2$  mm로 정현입력으로 입력하였고 그 때의 회전변위 출력은 최대  $\pm 4.46^\circ$ ,  $\pm 3.18^\circ$ 의 정현파로 나타났다.

이 결과로부터 실제시스템에 적용할 때 중심축의 Flexure가  $\pm 3.5^\circ$ 로 설정되었기 때문에 리니어 액츄에이터의 입출력 범위를  $\pm 2$  mm로 설정해야 함을 알 수 있었다.

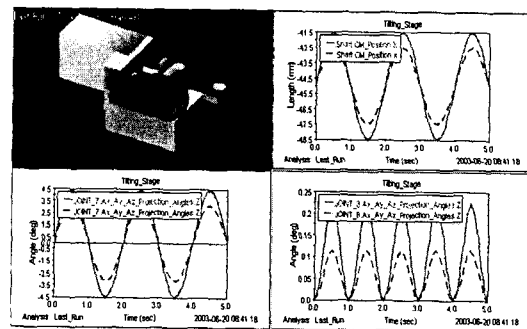


Fig. 8 Full Stroke of 2nd Axis Stage

### (3) 로터리 스테이지 어셈블리

Fig. 9는 로터리스테이지 어셈블리를 ADAMS를 이용하여 모델링한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 제 1축에 제 2축이 그리고 제 2축위에 제 3축이 장착된 직렬구조를 취하고 있다. 또한 제 3축에는 접촉센싱장치와 PLC지그가 장착되었다. 직렬구조와 회전중심을 일치시키기 위해 각각의 축을 L자형 브래킷으로 연결하였고 회전중심은 분배기와 접합되는 입, 출력측 PLC 끝단 중심에 오도록 하였다. 그 이유는 각각의 축이 운동할 때마다 다른 축의 변위에 영향을 미치는 간섭효과를 방지하기 위한 것이다. 각각의 축이 독립적으로 운동시킴으로써 모션 제어를 용이하게 하고 PLC정렬을 빠르게 할 수 있는 장점을 획득할 수 있다.

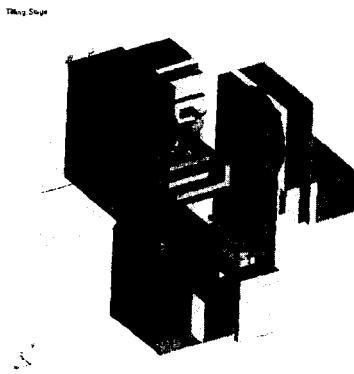


Fig. 9 Rotary Stage Assembly Model

각각의 축을  $\pm 6.8^\circ$  진폭으로 정현적으로 운동하였을 때 그때의 PLC 끝단 중심에서의 동특성을 살펴보았다. 그 지점에서의 변위, 속도, 가속도, 그리고 각속도 등을 X, Y, Z 좌표값으로 분리하여 그래프를 출력하였다. 시뮬레이션한 후 결과 그래프는 Fig. 10에 나타내었다. 결과에서 보는 것처럼 시간에 따른 변위는 X, Y, Z에서 거의 변화가 없음을 보였고 속도 및 가속도의 변화는 좌표별로 다소 차이를 보였다. 변위의 차이가 없으므로 미루어 볼 때 각각의 축별 간섭이 없다는 것과 로터리 스테이지를 운동할 때 오차를 보정하기 위해 X, Y, Z또는 로터리 스테이지를 다시 조정하지 않아도 됨을 알 수 있었다. 각가속도는 1, 2, 3축 모두 동일한 곡선을 보이고 있는데 이것은 각각의 축이 독립적으로 운동하여 간섭하지 않음을 보여주는 것이다.

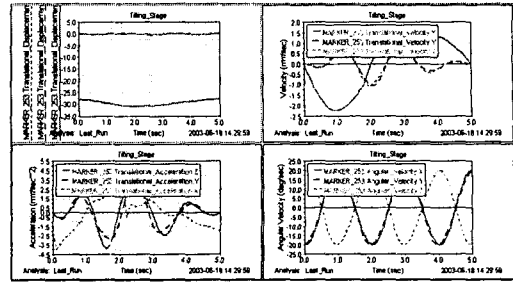


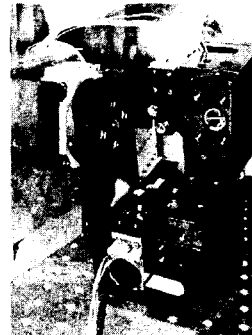
Fig. 10 Coordinate of PLC in 3D Space

## 3. 로터리 스테이지 개발

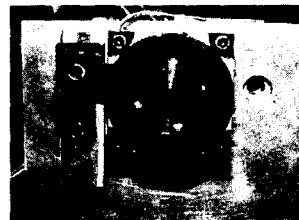
### 3.1 로터리 스테이지 제작

설계된 데이터를 가상실험을 통하여 검증한 후 이 데이터를 바탕으로 입, 출력측 로터리 스테이지를 2조를 제작하였다. 스테이지 재질은 모두 일반 구조용 알루미늄을 사용하였다. 제 1축에서는 중심축을 크로스롤을 사용한 반면 제 2축, 3축은 Flexure를 사용하여 간섭공간을 제거하였다. 각 축의 최대 이송각도는  $7.5^\circ$  로 설정하였다.

Fig. 11은 로터리 스테이지 입력측의 모습을 나타낸 것이다. Fig. 11(b)는 분리된 제 1축 로터리 스테이지의 사진이다.



(a) Assembly



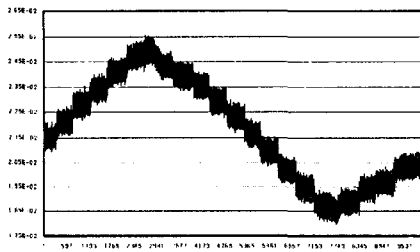
(b) 1st Axis

Fig. 11 Rotary Stage Assembly

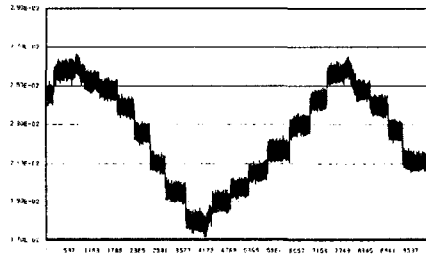
### 3.2 성능평가

#### 3.2.1 분해능

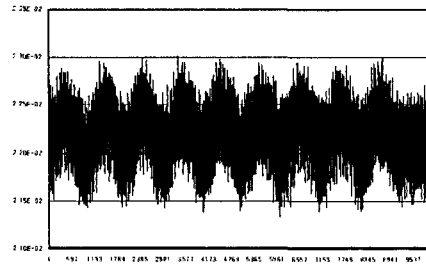
개발된 로터리 스테이지의 분해능을 평가하기 위해 리니어 액추에이터에 5 Pulse, 10 Pulse 단위의 계단함수와 10, 20, 그리고 30 Pulse의 삼각파를 입력하였다. 스테이지 회전중심에서 40mm 이격된 위치에서 40nm 분해능을 갖는 갭센서를 사용하여 측정하고 이를 환산하여 분해능을 산출하였다. 5 Pulse를 입력할 때 리니어 액추에이터는 1 $\mu$ m 이송되고 로터리 스테이지는 0.000218° 만큼 회전한다. Fig. 12 (a)는 5 Pulse 계단입력에 대한 로터리 스테이지의 반응을 나타낸 그래프이다. (b)는 10 Pulse 계단입력에 대한 로터리 스테이지의 반응을 나타낸 것이다. 그 때의 분해능은 0.000395° 이다. (c)는  $\pm 10$  Pulse, (d)는  $\pm 20$  Pulse의 진폭 갖는 삼각파를 입력했을 때의 반응을 나타낸 것이다.



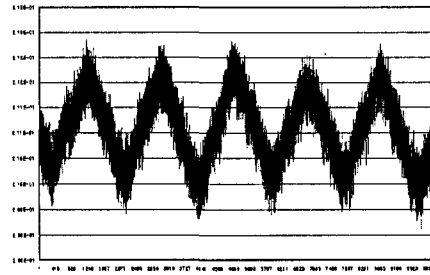
(a) Response at 5 Pulse Input



(b) Response at 10 Pulse Input



(c) Response at  $\pm 10$  Pulse-Width Triangle Input



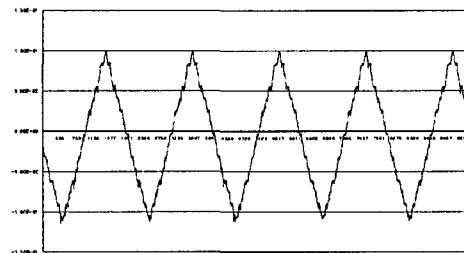
(d) Response at  $\pm 20$  Pulse-Width Triangle Input  
Fig. 12 Resolution of Rotary Stage

#### 3.2.2 전체이송영역 추종성능

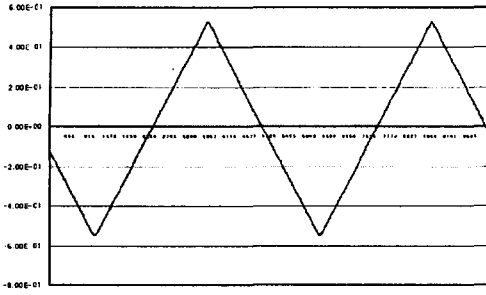
로터리 스테이지의 전체 이송영역의 추종성능을 평가하기 위해 삼각파의 진폭을  $\pm 5000$ 부터  $\pm 25000$  Pulse 까지 5000 Pulse 단위로 증가시키면서 그 때의 회전 변위를 포텐서미터로 측정하였다. Fig. 13 (a)는  $\pm 25000$  Pulse, (b)는  $\pm 25000$  Pulse의 진폭을 갖는 삼각파를 입력했을 때의 로터리 스테이지의 반응을 측정하는 것이다. 그때의 회전변위는  $\pm 6.27^\circ$  이다. Table. 1은 펄스 입력 변화에 대한 각축에서 발생하는 회전 변위를 나타낸 것이고 Fig. 14는 각축들의 반응을 그래프로 나타낸 것이다.

Table 1 Rotation of Each Axis according to Pulse

Pulse Axis	5000	10000	15000	20000	25000
1st	1.2256	2.4722	3.7724	4.9726	6.2691
2nd	1.2375	2.4201	3.6320	4.9472	6.0306
3rd	1.2695	2.4379	3.6515	4.8847	6.1168
4th	1.3409	2.6020	3.7718	5.1000	6.3297
5th	1.2479	2.4046	3.7052	4.9187	6.2047
6th	1.3094	2.5491	3.7107	4.9191	6.1886



(a)  $\pm 5000$  Pulse



(b) ±25000 Pulse

Fig. 13 Response Triangle Input

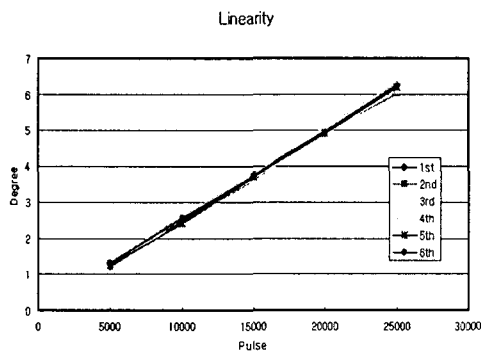


Fig. 14 Linearity of each axis

#### 4. 결론

다채널 광정렬 장치의 로터리 스테이지 개발을 위하여 여러 가지 시스템의 가능성을 검토하고 시제품 개발에 대한 시행착오를 줄이기 위해 가상시제품을 먼저 개발하였고 위치정밀도 및 운동특성 등 여러 가지 가상 실험을 통하여 동특성을 파악하고 그 결과로 얻어진 데이터를 실제 설계에 적용하였다. 개발된 로터리 스테이지는 입·출력축 각각 3

자유도( $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ )의 각운동을 발생시키는데 각각의 회전축이 다른 회전축에 기구학적으로 독립할 수 있도록 회전 중심을 일치시키는 구조로 개발되었다. 각변위 발생 메커니즘은 리니어 액츄에이터와 그것의 직선 변위를 각변위로 변화시키는 Flexible 레버구조를 채택하였다. Flexible 레버 구조를 채택함으로써 기존의 베어링에서 발생하는 베어링 공차를 줄일 수 있었으며 백래쉬 발생의 문제를 해결할 수 있었다. 또한 기존의 고니어미터보다 향상된 정밀도를 얻을 수 있었는데, 고니어 미터의 경우 분해능이  $0.004^\circ$  정도이나 개발된 시스템은  $0.0002^\circ$  의 분해능을 나타내었다. 또한 전 회전변위 영역에서의 우수한 선형능력을 나타내었다. 본 연구에서 개발된 6축 로터리 스테이지는 간단한 구조를 가지고 있어 기존의 광정렬 장치의 각변위 발생 유닛을 대체할 수 있으며, 향상된 정밀도로 평면도파로형 분배기 등의 부품 패키징 공정의 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. K. S. Mobarhan, et al "Automated Assembly of Planar Waveguide Devices," Application note, No. 9 pp. 1-11, 2001.
2. R. Clavel et al, "Ultra high precision parallel manipulator family with 3 to 6 degrees of Freedom", Top Nano 21 Project Report, 2000
3. 프라임포텍, "다채널 광통신소자 정렬 시스템 개발" 중기거점 보고서, 프라임포텍, 2002.
4. S. T. Smith, "Flexure, Elements of Elastic Mechanism" , pp. 151-219, GBS, 2000
5. S.T.Smith, D.G. Chetwynd, "Ultraprecision Mechanism Design", Vol.2, pp. 173-177, GBS, 2000
6. M. Eiklenborg, J. Scott, "Tool and Method for Obtaining Precision Fiber Alignments," IMAPS Advanced Technology Workshop, 2001