

다채널 광정렬 장치에서의 다자유도 회전 스테이지 동작 특성에 관한 연구

정상화*, 차경래*, 최석봉**, 김광호***, 박준호****, 이경형****

A Study on the Mechanism of Rotational Stage with Multi Degree of Freedom for Multi-Channel Optical Alignment System

Sanghwa Jeong*, Kyoungrae Cha*, Sukbong Choi**, Kwangho Kim***, Junho Park****, Kyoungyoung Lee*****

Abstract

In recent years, as the demands of VBNS(Very high speed Backbone Network Service) and VDSL(Very high-data rate Digital Subscriber Line) increase, the development of kernel parts of optical communication such as PLC(Planar Light Circuit), Coupler, WDM elements increase. The alignment and the attachment technology are very important to fabricate the optical elements for communication. In this paper, the mechanism of rotational stage, the contact sensing unit, and integrated control circuit for the optical alignment system are studied.

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

1. 서론

초고속 광통신에 발전함에 따라 초고속 광통신 시스템의 핵심 부품인 평면도파로형 분배기(Splitter) 및 결합기(Coupler), 파장분할다중화소자(WDM) 소자, AWG(Arrayed Wave Guide) 필터 등 각종 광통신소자 부품들의 개발이 활발히 진행중이다¹. 광통신 시스템 및 소자부품 수요시장 확대 및 급격한 기술적 발전에 따라 관련 제조업체들은

제품의 성능향상 및 생산성 향상이라는 복합된 목표를 동시에 달성하여야만 하는 문제에 직면하였다. 특히 광통신 소자 제조과정상 신속한 작업이 어려운 소자(Devices)와 광섬유(Optical Fiber) 사이의 광학적인 정렬과 접합 공정은 부품 성능 및 생산성 향상, 그리고 비용절감을 위한 가장 핵심적인 문제로 대두되고 있다. 이에 따라 광관련 측정장비 또는 생산장비 제조업체에서는 자동생산과 측정장비를 하나의 일관된 시스템으로 통합해 활용하려는 기술 개발

* 발표자, 조선대학교 대학원 기계공학과 (orotham@empal.com)
주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 375
+ 조선대 기계공학과
.,*.,**** 조선대 대학원

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

2. 회전스테이지 링크해석

본 연구에서는 일반적인 광정렬 장치에서 각도조절을 위해 사용되었던 고니어 미터와 다른 메커니즘의 회전 스테이지를 제시하였다. 각변위를 발생시키기 위해 리니어 액츄에이터와 직선 변위를 각변위로 변화시키는 탄성레버 구조를 채택하였다. 탄성 레버구조를 채택함으로써 기존의 베어링에서 발생하는 베어링 공차를 줄일 수 있었으며 백래쉬 발생의 문제를 해결할 수 있었다. 본 연구에서는 링크의 길이를 설정하고 각각의 링크를 연결하는 조인트들의 각도변화 및 액츄에이터의 구동범위 등을 구하기 위하여 그래픽에 의한 해석(Graphical Method), 기구학적 해석(Kinematic Method) 그리고 ADAMS를 이용한 해석의 3가지 해석방법을 이용하여 링크를 해석하였다. 그리고 그 데이터들을 비교하여 회전 스테이지의 링크 설계의 적합성을 검증하였다. 그리고 해석된 결과를 회전 스테이지 설계에 반영하였다. Fig. 1은 회전스테이지의 링크구조를 나타낸 것이다. Fig. 2는 액츄에이터 변위에 따른 로터의 회전각을 나타낸 그래프인데 그래픽에 의한 링크 해석결과와 기구학적 해석 결과를 비교하였다. Fig. 3은 기구학적 해석에 의한 결과와 ADAMS를 이용한 해석 결과를 비교한 그래프이다.

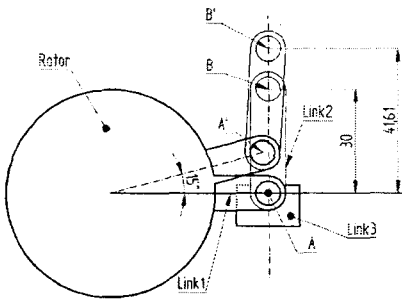


Fig. 1 Link Analysis for Rotational Stage

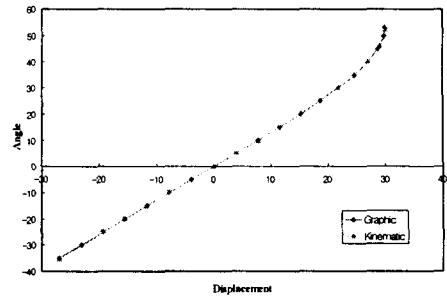


Fig. 2 Comparison between Graphical Analysis and Kinematic Analysis When the Link 2 is 30 mm

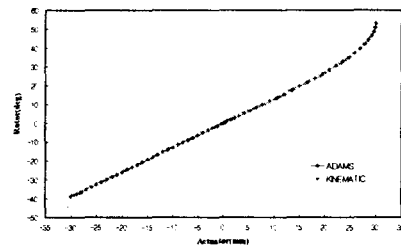


Fig. 3 Angular Displacement of Rotor for the Actuating Displacement in ADAMS Simulation

3. 회전스테이지 가상실험

본 연구에서는 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 설계된 데이터를 바탕으로 각 축별로 회전 스테이지를 모델링하고 실제와 같은 조건으로 가상실험을 하였다. 이 결과를 통하여 설계된 데이터의 적합성을 검증하였다. 또한 회전 스테이지의 이론적 위치정밀도, 전체이송범위, 진동특성, 백래쉬 특성 등을 파악할 수 있었고 회전스테이지의 각 파트별 동적 상태량을 파악하였다. 1축과 2, 3축은 정밀도와 분해능, 각 조인트별 각변위 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. Fig. 4는 가상실험을 위해 모델링한 6자유도 스테이지를 나타낸 것이다. Fig. 5는 가상실험결과 회전스테이지의 분해능을 나타낸 그림이다. Fig. 6은 6자유도 운동을 할 때 정렬되는 광소자의 끝단의 좌표를 나타낸 것으로 좌표가 변화가 없는 것으로 보아 축별 간섭은 없는 것으로 나타났다.

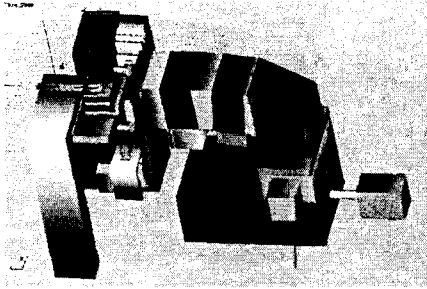


Fig. 4 Simulation of Rotational Stage Assembly

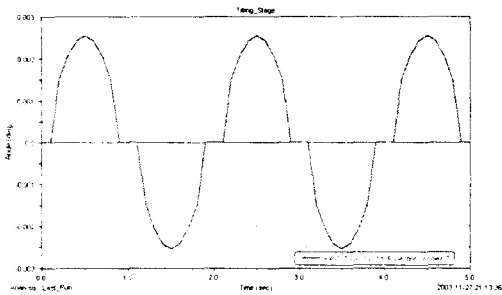


Fig. 5 Resolution of Rotor Revolution Angle in the 1st Axis Stage

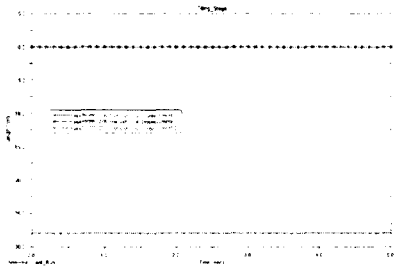


Fig. 6 Translational Displacement of Optical Fiber Stack

4. 회전스테이지 제작 및 성능평가

회전 스테이지를 설계하기 위해서 첫 번째로 회전 스테이지의 메커니즘을 결정하기 위해 그래픽에 의한 링크해석, 기구학적 링크해석 그리고 ADAMS에 의한 링크해석 이 세가지 링크해석을 수행하고 이 결과를 비교하여 설계에 적용하였다. 두 번째로 해석된 링크 및 설계 데이터의 타당성을 검증하고자 회전 스테이지를 컴퓨터 가상공간에서 모델

링하고 실제 조건과 같은 가상실험을 수행하여 동특성을 파악하였다. 가상실험은 제 1축 및 제 2, 3축 회전 스테이지, 회전 스테이지 어셈블리, 그리고 6자유도 광정렬 스테이지 순으로 점차 범위를 넓혀가면서 구동특성을 실험하였다. 세 번째로 링크해석 및 가상실험에서 얻어진 데이터를 실제 설계에 적용하여 회전 스테이지를 제작하였다.

회전 스테이지의 구성은 리니어 액츄에이터와, 리니어 액츄에이터에서 발생하는 직선변위를 각변위로 변환시키는 3개의 링크 및 링크를 연결시키는 플렉서 조인트, 그리고 각변위가 발생하는 로터와 로터 베이스로 구성된다. 로터의 회전 중심축은 크로스롤을 사용하여 회전변위 이외에 타방향의 변위공차를 줄였다. 로터 링크 및 상부, 하부 2개의 링크는 플렉서 조인트를 사용하였는데 이는 리니어 액츄에이터에 예압을 부가할 뿐만 아니라 베어링의 공차와 반복운동시 미소 운동구간에서 발생하는 백래쉬를 감소하기 위한 것이다. 제 1축이 Y 스테이지에 고정되며 제 1축 위에 2축 그리고 2축 위에 3축이 연결돼있는 직렬구조이다. 각각의 스테이지는 L자형 브래킷으로 연결된다. 제 3축에는 접촉 감지장치가 부착되며 그곳에 입·출력측 평면 도파로 소자가 부착된다. X, Y, Z 및 θ_x , θ_y , θ_z 의 복합적인 운동이 동시에 발생할 때 간섭효과로 인해 정렬하고자 하는 회전중심이 변화하지 않기 위해 평면 도파로 소자가 정렬되는 끝단에 위치하도록 설계하였다. Fig. 7은 회전스테이지를 광정렬 장치에 장착했을 때의 모습을 나타낸 것이다.

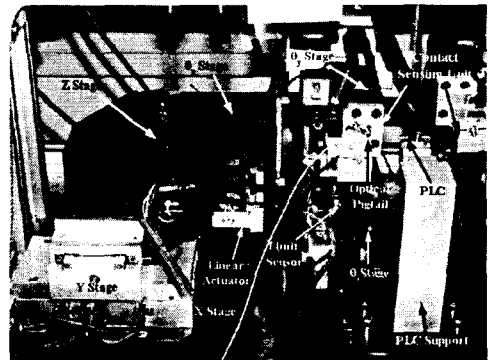


Fig. 7 Incident Channel Alignment Stage Assembly

회전 스테이지의 성능평가는 회전 스테이지가 실제 광소자 정렬시 요구되는 정밀도 및 이송범위를 만족할 수 있는지를 파악하기 위해 수행되었다. 회전 스테이지의 성능 평가를 위해 분해능 및 전 이송구간에서의 추종능력 및 선형

성을 측정하였다. 또한 성능 평가를 위해 구동프로그램을 작성하여 사용하였다. 분해능은 광소자 정렬시 정렬 정밀도와 직결되는 사양으로 분해능이 높을수록 높은 정렬 및 접합정밀도를 얻을 수 있으며 정렬시간도 단축시킬 수 있다. 광정렬 장치에서 요구하는 회전 스테이지 일반적인 이송능력은 약 $\pm 5^\circ$ 이다. 광도파로 소자 및 광섬유 스택을 장착할 때 장착의 편리성을 위한 공간확보를 위한 것이며 장착시 발생하는 오차각도를 수정하기 위한 것이다.

Fig. 8은 회전 스테이지의 분해능을 나타낸 것으로 5펄스를 입력하였을 때의 반응을 나타낸 것이다. Fig. 9는 ± 10 펄스의 삼각파를 입력하였을 때의 회전 스테이지의 응답을 나타낸 것이다. Fig. 10은 ± 25000 펄스의 삼각파 응답을 입력하였을 때의 응답성능을 나타낸 그래프이다. Fig. 11은 6개의 축의 응답성능을 그래프로 나타낸 것으로 해석결과와 비교한 것이다. 해석결과와 일치함을 볼 수 있었다.

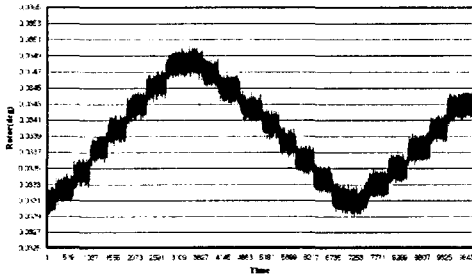


Fig. 8 Response of Rotational Stage to the 5 Pulse-Step Stair Input

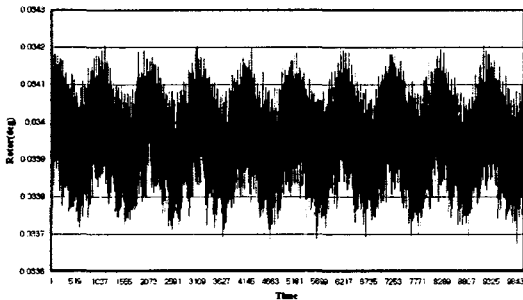


Fig. 9 Response of Rotational Stage to the ± 10 Pulse Triangle Function

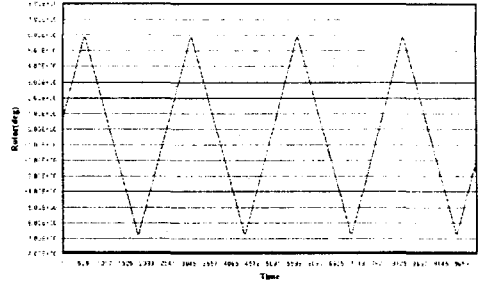


Fig. 10 Response of Rotational Stage to the ± 25000 Pulse Triangle Function

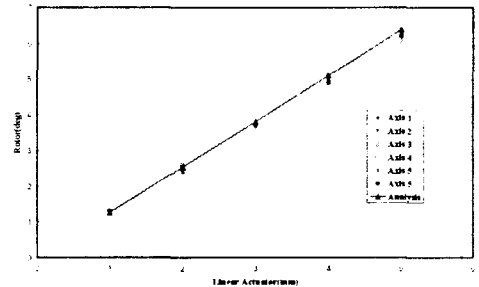


Fig. 11 Variance between Link Analysis and Measurement

5. 접촉 감지장치

접촉 감지장치는 광정렬 스테이지 마지막 단에 부착되어 광도파로 소자와 입력 또는 출력 축의 광섬유 스택과의 접촉을 감지하는 장치이다. 광정렬 시스템에서 접촉 감지장치의 역할은 크게 두 가지를 들 수 있는데 첫째 광도파로 소자에 광섬유 스택을 정렬하기 위해 6자유도 스테이지가 광도파로 소자로 접근할 때 석영계 유리소재로 된 광도파로 소자의 파손을 방지하고, 둘째 광도파로 소자와 광섬유 스택을 접합할 때 에폭시가 스며들어 확산 될 수 있는 간극인 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 를 유지한다. 가장 마지막 회전 스테이지 끝단에 접촉 감지장치가 장착 되었으며 접촉장치 위에 광섬유 스택이 고정된다. 제어 용이성을 위해 광섬유 스택의 중심이 광정렬 장치의 좌표 중심과 일치해야 한다. 광도파로 소자와 광섬유 스택은 광정렬 스테이지가 운동하여 정렬을 위한 광신호가 검출되는 가장 근접된 위치까지 접근하여 최대값이 검출될 까지 정렬알고리즘에 의해 정렬을 수행한다. 이때

접촉 감지장치를 이용하여 접촉을 시도하고 접촉된 위치로부터 정렬과 접합을 위한 근접위치를 계산한다.

1. 접촉 감지장치 제작

접촉 감지장치 설계 시 고려해야 할 인자들을 결정하기 위하여 가상실험을 수행하였다. 설계 시 고려해야 할 인자들은 광도파로 소자와 광섬유스택과의 접촉력, 완충 스프링력, 접촉전후의 광도파로 소자의 위치변화, 그리고 진동여부 등이다. 특히 접촉력은 플렉서 설계에 중요한 인자이다.

모델링에 포함시킨 주요 요소는 크로스롤 가이드, 완충스프링이며, X축 스테이지는 X축 병진운동으로 설정하였고, 그리고 광섬유 스택과 광도파로 소자의 접촉이 감지될 때 접촉력이 검출되도록 설정하였다. 가상 실험 및 유한요소 해석 결과를 기준으로 하여 접촉 감지장치를 설계하고 제작하였다. 접촉 감지장치의 주요 구성요소는 플렉서, 베이스, 압전액츄에이터, 압전액츄에이터 홀더, 그리고 상부 슬라이더이다. 각 구성요소의 재질은 일반구조용 알루미늄을 사용하였고 플렉서는 두랄루민을 사용하였다. Fig. 12는 광소자가 PLC소자와 접촉할 때 접촉력에 대한 가상실험 결과를 나타낸 것이다. Fig. 13은 접촉 감지장치를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 베이스 위에 플렉서가 고정되고 플렉서 사이로 압전 액츄에이터가 놓이고 베이스에서 볼트로 위치를 조정할 수 있도록 고정된다. 상부 슬라이더는 플렉서 위에 고정되어 탄성변형에 의해 운동할 수 있고 강구를 이용하여 액츄에이터와 점접촉 되도록 장착된다. 이 때 압전 액츄에이터 측의 볼트를 조정하여 Felxure에 예압을 걸도록 하였다. 또한 상부 슬라이더 위에는 광섬유 스택 지그와 광소자 등이 장착될 수 있도록 제작되었다.

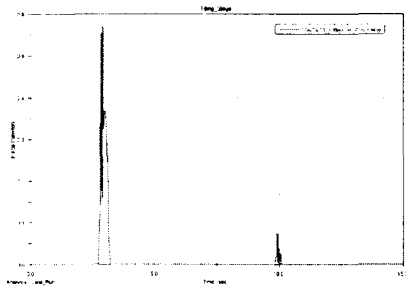


Fig. 12 Contact Force between PLC and Pigtail Stack

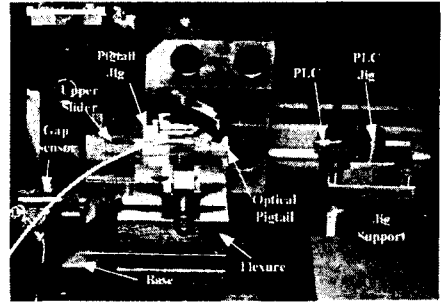


Fig. 13 Incident Contact Sensing Unit

2. 접촉 감지장치 성능 평가

접촉 감지장치의 성능을 평가하기 위해 접촉 감지 성능과 분해능을 검사하였다. 접촉 감지 성능의 평가방법은 접촉 감지장치 위에 장착된 광섬유 스택을 일정한 세기로 가진하여 그 때의 반응을 캡센서에서 측정하였다. Fig. 14는 접촉 감지 장치의 접촉민감성을 나타낸 것이고 Fig. 15는 접촉 감지장치의 위치 분해능을 나타낸 것이다.

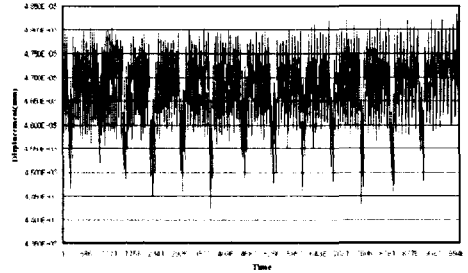


Fig. 14 Sensitivity of Contact Sensing Unit

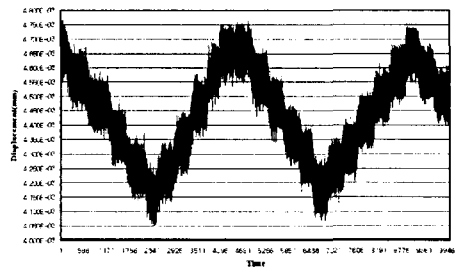


Fig. 15 Resolution of Contact Sensing Unit

4. 결론

본 논문에서는 다채널 광정렬 장치를 구성하는 회전 스테이지의 메커니즘에 대해 연구하였고 이를 구동하기 위한 독립 컨트롤러 유닛을 제작하였다. 또한 광도파로 소자와 입력 및 출력측의 광섬유 스택과의 접촉을 감지하고 접합을 위한 간극 위치를 제어하는 접촉 감지장치 메커니즘을 연구하였다.

1. 회전 스테이지 구동 메커니즘

회전 스테이지의 구동 메커니즘에 대해 연구하기 위하여 첫째 링크해석을 수행하였다. 링크해석은 그래픽에 의한 해석, 기구학적 해석, ADAMS에 의한 해석 세가지 방법으로 해석하고 그 해석 결과를 비교하여 링크 설계의 정확성을 검증하였다. 둘째 링크해석의 적합성을 검증하기 위해 설계된 데이터를 바탕으로 동역학 해석 프로그램을 이용하여 실제와 같은 조건으로 가상실험을 하였다. 셋째 가상실험을 통해 검증된 설계 데이터를 바탕으로 입, 출력측 회전 스테이지 2조를 제작하고 성능 평가를 수행하였다. 회전 스테이지의 성능 평가를 위해 분해능 및 전 이송구간에서의 추종능력 및 선형성을 측정하였다. 회전 스테이지 6개의 각축의 분해능을 측정값들을 축별로 정리한 결과 2.463719E-5°이하임을 확인하였다. 미소 각변위 영역에서 삼각과 함수에 대한 회전 스테이지의 응답에 대한 결과는 ± 10 pulse, ± 20 pulse, 그리고 ± 30 pulse의 삼각과 입력에 대해 6축 모두 우수한 추종 성능을 보였다. 회전 스테이지의 이송 추종 성능을 평가하기 위하여 포텐서미터로 회전각을 측정하였다. 회전 스테이지로 입력된 함수는 ± 5000 에서 ± 25000 pulse의 진폭을 갖는 삼각파로 ± 5000 pulse 단위로 증가시켰다. 측정결과 6개의 스테이지 모두 삼각파에 대한 추종능력이 우수함을 알 수 있었다. 또한 펄스 변화에 따른 각도변화관계도 6개의 스테이지 모두 선형적인 결과를 나타내었고 링크해석 결과와 실제 측정 결과를 비교할 때도 링크해석과 큰 차이가 없음을 확인하였다.

2. 접촉 감지장치 메커니즘

접촉 감지장치를 메커니즘을 연구하기 위하여 첫째 가상 실험을 수행하였고 가상실험 데이터를 토대로 접촉 감지장치의 완충작용 및 변위 가이드 작용을 하는 플렉서를 유한 요소 해석하였다. 유한요소 해석은 접촉력에 대한 플렉서의 응력분포 및 변형을 해석과 압전액츄에이터의 구동 변위에 대한 플렉서의 응력분포를 해석하였다. 둘째 가상 실험 및 유한요소 해석 결과를 기준으로 하여 접촉 감지장치를 제작

하고 성능평가를 수행하였다. 성능 평가 결과 접촉 감지장치의 반응 민감도는 약 80 nm로 나타났다. 가상실험 및 유한해석결과 0.5 N의 힘이 가해졌을 때 약 3.0263 μm 가 발생했음을 고려해볼 때 그 이하의 힘이나 변위에서도 반응할 수 있다. 그러므로 본 논문에서 제시된 접촉 감지장치는 광섬유 스택이나 광도파로 소자가 접촉으로 인한 파손을 방지할 수 있다. 분해능을 측정하기 위해 40 nm 분해능의 갭센서로 변위를 측정하였고 입력함수로 스텝 크기가 0.04 V인 계단함수를 입력하였다. 측정결과 분해능은 약 90 nm 임을 확인하였다. 이 결과로부터 접촉 및 접합 간극을 제어하기 위한 충분한 분해능임을 확인하였다.

참고 문헌

- (1) Goldenberg, A. A., and Bezzerghi, A., 1985, "A Preview Approach to Force Control of Robot Manipulators," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 20, No. 5, pp. 449~464.
- (2) White, F. M., 1974, *Viscous Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York, pp. 163~189.
- (1) 김정두, 광통신 소자 기술 현황, 2000, KISTI S&T Information Analysis.
- (2) H. Jang, K. Shin, H. Kim, K. Lee, K. Park, and Y. Chung, 1997, "A Cold-Start WDM System Using a Synchronized Etalon Filter", *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, VOL. 9, NO. 3, pp. 383-385.
- (3) K. Liu, B. Wilson, and J. Wei, 2000, "A Scheduling Application for WDM Networks", *IEEE JOURNAL* VOL. 18, NO. 10, pp. 425-437.
- (4) Y. Chung, L. Clark, and C. Fan, 1995, "Standardization of Optical Frequencies for WDM Networking Applications", *Proc. SPIE*, vol. 2378, pp. 230-235.
- (5) 심보성, 김재국, 장원석, 2002, "UV 레이저를 이용한 직접 묘화기술 개발" 제 1회 고기능 초미세 마이크로부품 기술개발 Workshop, pp. 1-5.
- (6) Y. Chung, J. Jeong, and L. Chung, "Aging-Induced Wavelength Shifts in 1.5- μm DFB Lasers", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 6, pp. 792-795, 1994.