

광통신 응용 MEMS의 기술 동향

이 글에서는 광통신 응용을 중심으로 기술의 동향을 소개함으로써 이 분야에의 국내 연구자들의 관심을 높이고 참여를 유도하고자 한다.

부종욱

MEMS(Micro Electro Mechanical System) 분야를 소형화와 저가격화라는 대치 개념을 뛰어넘어 새로운 시스템의 창출 및 실현이라는 관점에서 볼 때, 가장 가능성이 크게 열릴 수 있는 응용 분야 중 하나로 광학기술과 접목된 광응용 MEMS 분야를 꼽을 수 있다. 광응용을 위한 MEMS의 연구는 MEMS 기술의 발아기인 '70년대 Peterston¹⁾ 등에 의해 처음 보고된 이후 미미한 상태에 머물렀으나, '90년대 이르러 본격적으로 활발한 연구가 진행되고

있다. TI의 디스플레이 관련 마이크로가 상품화를 달성하였고, 최근에는 광통신 분야를 중심으로 시스템 업체와 부품 업체 업체간의 활발한 기업 인수나 합병이 이루어지는 등, 가장 기술 개발이

치열한 분야 중 하나로 부상하고 있다.

광응용 MEMS는 광의의 범위에서 표 1과 같이 광신호를 제어하는 수단과 감지하는 수단, 또한 광을 이용하여 구조물을 제작하

거나 가공하는 방법을 모두 포함하여 생각할 수 있다. MEMS 기술을 이용한 광응용 시스템의 이점은 낮은 구동력으로 광을 제어할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이다. 또한 정전기력이나 전자기

표 1 광 응용 MEMS의 연구 예

광응용광신호 제어용 MEMS	파장 가변 필터	Fabry-Perot형 filter, waveguide 형 등(WDM용)
	Tunable LD	VCSEL 형, Edge emitting 형
	광 모듈레이터	Local LAN급 스위치(MARS)/10 MHz
	디스플레이	가동미러 어레이(DMD, GLV, TMA)
	광스위치	저 삽입손실, 낮은 파장/편파 의존성, 확장성
	스캐너	Printer, Display, Hologram storage 등
	Chopper & Shutter	초전형 적외선 센서, beam 제어용
	Connector & Coupler	V-groove, SFF용 SiOB, LIGA 정밀 금형
	Micro lens	Resist reflow, Silicon mold, LIGA/SU-8 등
	Interferometer	회절 격자를 이용한 화학 분석기
광신호 감지용 MEMS	Variable focusing mirror/lens	Thin membrane을 이용한 deformable mirror
	NSOM	Probe tip 가공, Tracking
	Encoder, 변위 센서	LD, lens, waveguide의 집적화
	Optical Data Storage	NFR 기록용 SIL/Tracking/slider등
	Waveguide sensor	간섭계에 의한 물리량/화학량 검지
광을 이용한 MEMS 제작/구동	Fiber Sensor	물리량/화학량 원격 검지
	LASER manipulator	미세 물질(세포, 분자) 조작
	LASER 가공	곡면, 정밀 3차원 가공
	광 조형법	3차원 구조물 제작

• 부종욱 | LG전자 기술원, 연구위원 / e-mail : jbu@LGElite.com

력들을 이용하여 AOM 등보다도 큰 편향각을 얻을 수 있고, 부피의 감소로 인해 공진 주파수가 증가하므로 고속 응답 특성을 갖는 소자를 제작할 수 있다. 가격적인 측면에서도 기본적으로 반도체 일괄 공정 및 이방성 에칭 등에 의해 저가의 고정밀 부품을 얻을 수 있으며, 기계적 구동에 의한 삽입 손실의 최소화를 꾀할 수 있다. 이밖에도 소형화에 의해 공진 주파수가 증가함으로써 저주파 노이즈의 영향이 적어지며, 열팽창에 의한 노이즈 역시 저감된다. 이 글에서는 광통신 응용을 중심으로 기술의 동향을 소개함으로써 이 분야에의 국내 연구자들의 관심을 높이고 참여를 유도하고자 한다.

광통신 응용 MEMS

대용량 광스위치

MEMS 기술은 파장분할다중화(DWDM : dense wavelength division multiplexing) 광통신 시스템에 응용되는 핵심부품인 광 스위치나 광 송수신 모듈 등을 저가화, 고기능화, 소형화로 구현할 수 있는 핵심 요소 기술이다. 이 기술로 제작될 수 있는 광 스위치의 경우, WDM 네트워크 간의 회선을 효율적으로 분배, 교환, 복구하는 데 이용될 수 있으며, 고가의 광스위치나 감쇠기 등의 핵심부품을 저가 및 소형화로 구현함으로써 광 통신망의 보급에 커다란 기여가 기대된다고 할 수 있다. 최근 폭발적으로 증가하는 전자상거래 및 정보검색 등으

로 인한 인터넷 트래픽, 대용량 데이터 서비스, 멀티미디어 서비스 등의 수요를 충족시키기 위해 Tera bps급의 대용량 광통신시스템이 필수적이다. 현재 통신량의 증가로 인터넷통신의 시간 지연이 사회적으로 큰 문제가 되어 정부에서도 초고속 통신망을 구축하기 위하여 막대한 예산을 투자하고자 계획하고 있다. WDM 방식은 기존에 포설된 광섬유를 그대로 이용하여 통신 속도를 수백 배 이상 증가시킬 수 있는 가장 경제적인 방안으로 각광 받고 있다. 대용량 WDM시스템의 실용화를 위해서는 망운용 효율의 극대화를 위한 회선 분배(cross-connect) 스위칭 시스템이 필수적이다. 예를 들어, WDM네트워크의 일부 채널이 단절될 경우 우회 선로를 찾아주지 못한다면 전체 시스템이 마비되는 통신대란이 일어날 수 있다. 확장성(scalability), 신뢰성, 저소비전력 등의 요건을 만족하는 대용량 배열 광스witch는 WDM용 회선 분배 시스템의 핵심 소자이다. 이 소자는 또한 임의의 장소에서 광신호를 추가하거나 분배할 수 있는 add/drop 다중화기의 핵심소자이기도 하다. 현재는 전화국의 절반의 공간을 차지할 정도의 대규모 전자식 스위칭 시스템이 일부 이용되고 있지만 실리콘 미세공을 이용하여 집적화된 소형 광스witch로 이를 대체할 경우, Central office의 부동산 비용 절감, 소비전력의 감소, 전화국간의 연결수 감소, 필요한 네트워크 요소들의 감소, 회선 복구 시간 단

축 (10~100배) 등의 장점을 얻을 수 있으며, 이로 인해 25% 이상의 비용 절감이 예상될 수 있다. 특히, 회선분배용 미소 광스위치 소자는 WDM시스템의 핵심 기술로서 선진국에서는 부품 기술의 이전은 물론 부품 자체의 판매를 꺼리고 있을 뿐만 아니라, 고가의 장비 전체를 구매하도록 강요하고 있는 실정이다. 지금까지 연구되어 온 미소 광스위치는 평면 광도파로 구조(PLC : Planar lightwave circuit)를 이용하는 소자가 주류를 이루고 있다. 그러나 이러한 평면 도파로형 광소자는 포트 수가 증가함에 따라 소자의 내부 구조가 복잡해져서 삽입손실, 누화, 편광의존성 등이 매우 나빠지게 된다. 이로 인하여 16x16 이상의 광스witch를 구현하기에는 현실적으로 거의 불가능하다. 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 소자로 기존의 실리콘 반도체 공정과 광기술을 접목함으로써 32x32 이상의 고성능의 배열형 광스witch를 용이하게 구현한 기술들이 최근 연이어 발표되고 있다.

이러한 cross-connect 스위치에 대한 접근 방법으로는 NxN개의 매트릭스 배열의 미러 어레이를 이용한 어드레싱 방법(AT&T, OMM 등), index matching 유체를 이용하거나 유체내 버블의 전반사를 이용하는 방법(NTT, Agilent), 2N 개의 미러를 이용하여 3차원적인 배열 구성을 이용하는 방법(Lucent, Xros, Tellium, LG, Onix, 등) 등이 지금까지 발표되어 왔다.

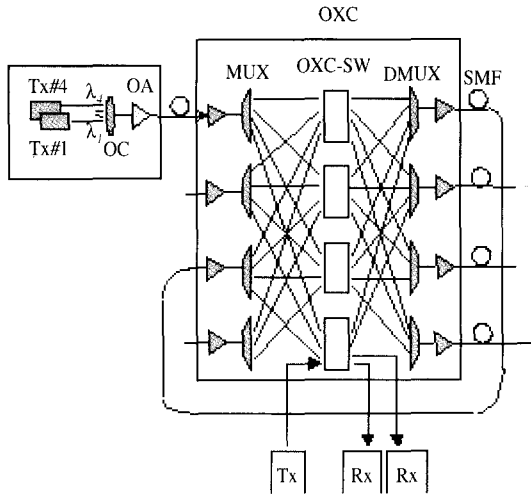


그림 1 DWDM network

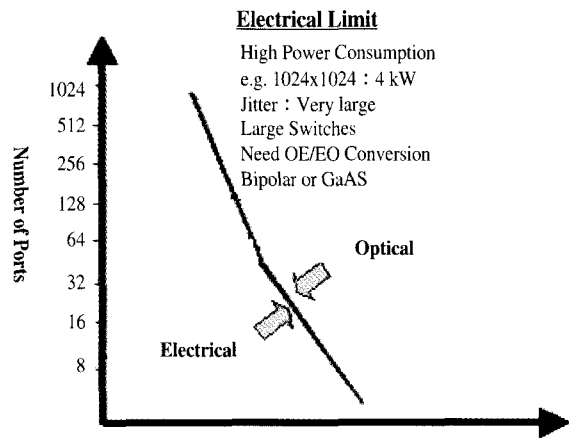


그림 2 All optical switch/Electrical Switch 비교

그림 3은 2000년 Lucent에서 보고되었던 256x256 광라우터용 미러 어레이와 모듈의 Architecture를 나타낸 그림으로서 512 개의 미러 어레이를 이용하는 non-blocking 형 cross-connect 스위치이다. 이 미러는 2축 자유도를 갖는 gimbal 구조를 갖고 있고, 아날로그 제어에 의해 구동된다. 이 경우 미러에서 충분한 tilting 각도를 얻기 위해 두 개의 구동기가 사용되는데, 미러 자체를 부상시키기 위한 bimorph

형의 구동기와 실제 미러를 미세하게 움직일 수 있는 정전기력 구동기가 설치되어 있다. 그림 4는 LG 전자 기술원에서 개발한 16 개의 미러 어레이와 단일 미러의 SEM 사진이다. 이 미러는 압전 박막에 의해 2 축 자유도를 갖고 미세 구동을 할 수 있도록 제작되었다. 그림 3은 마이크로 미러 fabric에 의해 스위칭 동작을 디지털로 행하는 AT&T가 보고한 16 x 16 미러 어레이와 그 구성도를 나타낸 그림이다. 이들의 장

단점을 비교하면, 먼저 광도파로와 유체를 구동하여 광을 전 반사 시키는 구동방식을 이용하는 경우 유체의 패키징이 복잡하고, 일정 유체의 주입 등에 제조상의 문제가 있다. 미러 형태의 문제점으로 는 첫째, 입출력으로 이용되는 광섬유들을 정밀하게 거울과 정렬하는 것, 둘째로 서로 다른 광섬유 간의 광경로 차이로 인하여 유발되는 삽입손실의 불균일, 셋째로 반복적으로 거울을 구동하고 난 후에 정확하게 제 자리를 찾아가지 못하는 문제로 인한 손실 및 누화 등의 문제가 예상된다. 그러나 미러의 동을 디지털로 행할 수 있다는 점에서 제어가 쉽다는 장점이 있다. 일반적으로 3 차원 2N 형은 NxN 형에 비해 확장성이 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나 3 차원 광정렬에 따른 조립공정의 난이도가 NxN 형에 비해 높고, 정확한 위치 제어를 위해 피드백 제어 등의 문제를 해결해야 하는 어려움이 있다.

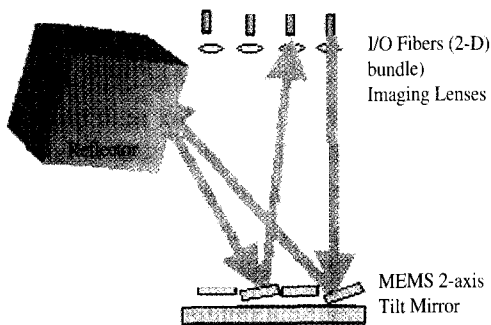


그림 3 2축 자유도 미러 어레이를 이용한 라우팅 구조 architecture(Lucent)

단점을 비교하면, 먼저 광도파로와 유체를 구동하여 광을 전 반사 시키는 구동방식을 이용하는 경우 유체의 패키징이 복잡하고, 일정 유체의 주입 등에 제조상의 문제가 있다. 미러 형태의 문제점으로 는 첫째, 입출력으로 이용되는 광섬유들을 정밀하게 거울과

2x2 광스위치

상술한 대용량 스위치 외에도 2x2 스위치의 개발에도 많은 개발이 이루어져 왔고, 그 중 일부는 기존 폴리머 스위치를 저가로 대체하기 위해 이미 시장에 나와 있는 실정이다. 프랑스 LETI 연구소는 광도파로를 정전력을 이

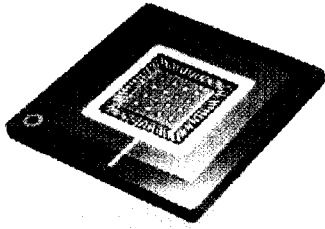


그림 4 2축 자유도 미러 어레이(LG)

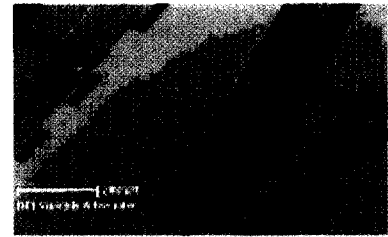
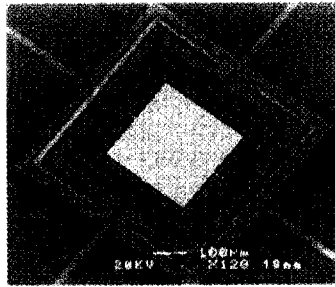


그림 6 2x2 광스위치(Neochatel Univ.)

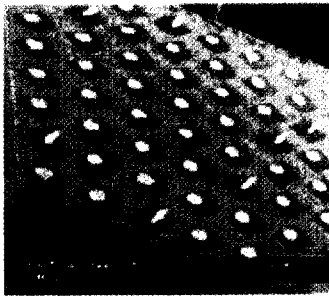
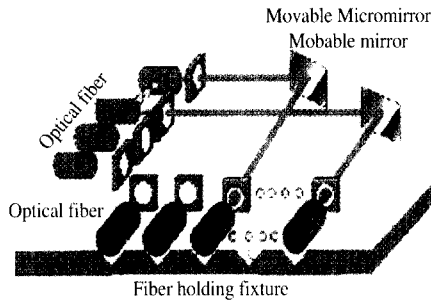


그림 5 Cross-connect switch fabric(AT&T)



용하여 구동시킨 스위치를 보고 하였던 데⁽⁴⁾ 구동 전압과 insertion loss를 그들의 이전의 연구⁽³⁾에 비해 크게 저감시켰다는 데에 의미가 있다. 그림 6은 C. Marxer⁽⁵⁾ 등이 보고한 2 x 2 광 스위치로서 comb drive로 구동되는 미러에 의해 구동되는 소자이다. 이는 fiber groove가 같이 집적화된 것으로 스위칭 시간은 0.2 ms 이하이다. 이 소자는 현재 상용화가 되어 있다. 동경 대학에서 보고된 hinge mirror를 이용한 2 x 2 matrix switch는⁽⁶⁾ matrix size를 더 넓힐 수 있다는 점에서 optical multiplexer나 demultiplexer에 응용이 가능하다는 이점을 갖고 있다. AT & T Bell lab.에서는 3.5 Mbit/sec.의 MARS (Mechanical Anti -

Reflection Switch)를 보고하였는데⁽⁷⁾. 이는 air gap이 Fabry-Perot 구조를 갖도록 설계되었다. 전자기력을 이용한 광 스위치는 voice coil 형의 actuator를 소형화시키는 개념에서 출발하였는데 최근 그 연구는 보다 커다란 변위를 얻을 수 있고, 정전력형에서 요구되는 holding voltage가 필요하지 않다는 점에서 커다란 장점을 갖고 있다. Hitachi에서 보고한 prototype의 광 스위치⁽⁸⁾는 광도파로가 집적화되어 있는 silicon 기판이나 석영 기판을 소자라는 점에서 매우 흥미 있는 시도라 할 수 있다. 보다 간단한 구조로 이미 시장에 나와 있는 것은 NTT에서 연구했던 single-mode fiber switch⁽⁹⁾이다. 이는 non-silicon micromachining 기술을

이용한 것으로서 어느 정도의 내구성 시험 결과까지 보고된 상태이며, 이를 확장하여 -30 dB 이하의 polarization crosstalk을 갖는, 1 x N PANDA (Polarization Maintaining and Absorption Reducing) switch를 연구 중이다. 또한 MicroJoinery라는 자기력으로 구동되는 switch⁽¹⁰⁾는 비교적 그 제작 과정이 간단하며, n x m switch로 확장이 용이하다는 점에서 매우 흥미로운 소자라 할 수 있다. 이 외에도 도금 Ni를 구조체로 이용하여 열적으로 actuating 시키는 방법⁽¹¹⁾ 등 다양하고 독특한 여러 가지 방법들이 제안, 보고되고 있다.

가변 광 감쇠기(VOA)

VOA는 광 통신망의 여러 시스템에 응용될 수 있다. 광증폭기, add/drop multiplexer, cross-connect, 광 출력 조정기 등에서의 응용이 대표적 예이며 여기에 요구되는 가장 중요한 사양은 낮은 삽입손실을 가져야 한다는 것이다. 전형적으로 생각할 수 있는 아키텍처는 fiber와 fiber 사이에 셔터를 설치하고 이를 미소하게 구동 시키는 것이 기본 개념이다⁽¹²⁾. 또한 앞서 기술했던 MARS 구조⁽⁷⁾를 이용한 스위치를 아날로그 제어에 의해 감쇠기로 응용

할 수 있다.

광 Connector

광의 주파수는 전기와 비교하여 상당히 높으므로 광의 전송 능력은 압도적으로 우수하나 어느 시점에서는 전기로 변환시켜야 한다. 이러한 광과 전기의 상호 변환 과정을 어느 정도 손조롭게 진행시키나라는 문제는 조립의 간편성, 또한 조립의 정확성과 연계되어 명확하게 규정되어야 한다. 이 모든 것은 cost와 밀접하게 관련되는 것으로서 광통신의 경쟁력을 강화시킬 수 있는 중요한 요소로 대두되고 있다. 예를 들어 single mode fiber의 core부의 직경이 약 10 μ m라 할 때 alignment의 정확도는 약 1 μ m 이내가 되어야 하므로 전기 배선의 입장에서 보면 생각할 수도 없을 정도의 높은 정확도가 요구되며, 이것이 광의 assembly 및 connection에 있어 비용을 크게 증가시키는 요인으로 작용하게 된다. 이러한 점에서 종래 사용되는 광량을 모니터하면서 조립하는 active alignment 방법은 조립 시간의 지연으로 cost의 발생 원인이 된다. 이에 비해 실리콘의 이방성 에칭 특성을 이용한 V groove의 형성에 의한 passive alignment 방법은 열전도 특성이 비교적 우수한 heat sink를 직접 이용할 수도 있고, 빠른 시간에 조립을 완성시킬 수 있다는 이점 때문에 광접속 기술에서의 장래 가장 중요한 요소가 되리라 생각된다. 초기의 이에 대한 연구는 단순한 V-groove의 형성이

주가 되었지만⁽¹²⁾, 미소 위치 조정 기능을 갖는 optical coupling machine⁽¹³⁾ LIGA 기술을 이용한 connector⁽¹⁴⁾ 등 수많은 연구들이 보고되고 있는 실정이다. 이러한 제품은 이미 많은 회사들이 사용하고 있으며, 국내에서도 LG 등에서 custom design based optical bench를 제작 시판 중이다(misob.lgelite.com).

맺음말

지금까지 설명한 바와 같이 초고속 인터넷시대의 대용량 정보의 고속 전송을 위해서는 초고속 광통신망의 구축이 필수적이며, 이를 달성하기 위해 현재 상존하고 있는 기술적 난점을 극복해야 하는 것이 선결 과제이다. 필자는 문제 해결 방법들 중 하나가 MEMS 기술에 기반하여 접근하는 것이라 믿고 있으며, MEMS 기술과 광학 기술의 접목을 통해 새로운 시스템의 창출을 기대하고 있다. 결국 MEMS 소자는 그 자체로서의 부가가치를 기대하는 것보다는 구현되는 시스템을 통해 사회 전체에 커다란 변화를 가져 오게 할 수 있는 수단이라 생각한다.

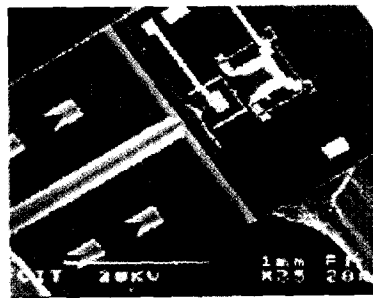
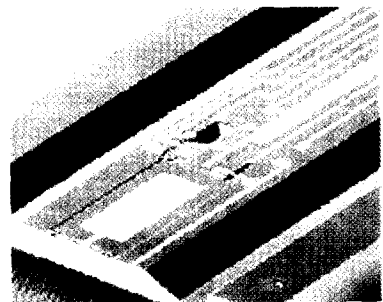


그림 7 SFF용 silicon optical bench(LG)

참고 문헌

- [1] K.E Peterson, "Micromechanical light modulator array fabricated on silicon", Appl. Phys. Letter, Vol 31, 8, p 521, 1977.
- [2] L.J. Hornbeck, "Current status of the digital micromirror device(DMD) for projection television applications," International Electron Devices Technical Digest, p 381, 1993
- [3] E. Ollier, P. Labeye, F. Revol, "Micro-opto mechanical switch integrated on silicon", Electronics Letter, Vol. 31, No. 23, p 1297, November 1995.
- [4] E. Ollier, P. Labeye, F. Revol, "Micro-opto mechanical switch integrated on silicon for optical fiber network", Digest IEEE/LEOS 1996 Summer Topical Meetings, Keystone, Colorado, Aug. 5-9, 1996, FB2.
- [5] C. Marxer, M.-A. Gretillat, N.F. de Rooij, R. Battig, O. Anthamatten, B. Valk, P. Vogel, "Vertical mirrors fabricated by RIE for fiber optical switching applications." Proc. of The 10th IEEE Micro Electro Mechanical



Systems Workshop, Nagoya, Japan, p 49, Jan. 26-30, 1997

[6] H. Toshiyoshi, Hiroyuki Fujita, "Electrostatic micro torsion mirrors for an optical switch matrix" Jr. of Micromechanical Systems, Vol. 5, No. 4, p 231, Dec. 1996

[7] J.A. walker, P.P Iannone, W.M. McDonald, R. Ruel, R. Boie, S.C.Arney, N.J. Frigo, D.J. Bishop, "3.5Mbit/sec. MARS modulator system performance for FTTH applications", Late-news poster session supplemental digest of Solid-State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head Island, South Carolina, June 3-6, 1996, p 35

[8] K. Sato, M. Horino, T. Akashi, Y. Aida, "Prototype of optical switch by micro machine technologies" 電子情報通信學

會技術研究報告 EMD 97-30~44, p7, Aug. 1997

[9] Shinji Nagaoka, Yoshio Suzuki, "Compact optomechanical switches and their applications in optical communication and testing system", Proc. of The 10th IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, Nagoya, Japan, p 366, Jan. 26-30, 1997

[10] C. Gonzalez, S.D. Collins, "MicroJoinery: Micromachined translational stage for optomechanical devices and systems", Digest of Technical Papers Volume 1, p 273, Transducers 97, Chicago, June 16-19, 1997

[11] L.A. Field, D.L. Burriesci, P.R. Robrish, R.C. Rubby, "Micromachined 1 x 2 optical-fiber switch", Sensors and Actuators A53, p 311, 1996

[12] J. V. Collins, et. al. "Passive alignment of a tapered laser with more than 50% coupling efficiency" Electron Letter., Vol 31, No.9, p 730-1

[13] Y. Kikuya, et. al., "Micro alignment machine for optical coupling", Proc. of IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, Fort Lauderdale, Fl, p 36, Feb. 7-10, 1993

[14] M. Gerner et. al." Micro-optical components for fiber and integrated optics realized by the LIGA technique" Proc. of IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, Amsterdam, the Netherlands, p 328, Feb. 2, 1995

[15] R. Wood, et.al., "A MEMS variable optical attenuator" Proc. IEEE/LEOS Int' l Optical MEMS, Kauai, Hi, Aug. 2000

기계용어 해설

▶ 박판보(Thin-walled Beam)

단면이 박판으로 이루어진 보 구조물의 일종. 길이에 비해서 단면의 폭과 높이가 작으며, 폭과 높이에 비해서 단면의 박판 두께가 얇은 구조물로서 중량에 비해 굽힘 강성과 비틀림 강성이 높으며, 생산성이 높으므로 건축물과 자동차, 항공기, 선박 등의 하중부재로 널리 사용되고 있다.

▶ 찌그러짐(Distortion)

폐단면 박판보 등이 비틀림이나 굽힘 하중을 받을 때 발생하는 단면 변형 중의 하나로서 횡방향 쌍모멘트에 의해 단면 평면 내에서 단면의 형상이

바뀌는 현상.

▶ 최적점화시기(MBT : Minimum Spark Advance for Best Torque)

가솔린 엔진의 출력성능은 점화시기의 영향을 받으며, 엔진의 운전조건에 따라 최고 토크를 발생시키는 점화시기가 변하게 된다. 이 점화시기를 그 운전조건에서 최적점화시기라고 한다. 일반적으로 최고압력 발생위치가 상사점후 15도 부근일 경우의 점화시기가 최적점화시기이다. 점화시기가 최적점화시기에 비해 진각되거나, 퇴각되면 엔진 출력손실이 발생하게 된다.