

MEMS 기술과 광 통신 · 부품산업

이 종 현

광주과학기술원 기전공학과

I. 서 론

MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)가 post-electronics를 주도할 혁신적인 시스템 소형화 기술로서 소개된지 15년 정도가 지난 지금, 세계적으로 상용화된 제품으로는 가속도계, 압력 센서, ink jet head, hard disk용 head, projection display, scanner 및 micro fluidics 등이 있다. 마이크로 자이로스코프는 국내에서도 시제품 생산 및 양산화 준비에 돌입한 것으로 알려져 있으며, 향후에도 새로운 영역으로의 도전이 계속될 것으로 예측된다. 최근 MEMS 기술의 새로운 도전 분야로서 두드러진 것 중의 하나는 광 통신 기술의 발전과 더불어 더욱 고성능이 요구되는 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 광 통신용 부품 기술이다.

WDM 분야는 획기적인 기술 개발과 표준화로 현재는 2.5-10Gbps×16-32ch. 이상의 광 통신 시스템이 운용되고 있어서 전송속도는 많이 높아져 있는 상태이다. 이제는 network의 원활한 운영에 관한 연구가 필요한 시기이며, 구체적인 예로, provisioning과 restoring 기능이 핵심 물리계층인 optical layer에서 이루어지는 OXC(Optical Cross Connect) 시스템의 역할이 더욱 중요해지고 있다^[1]. 여기에 응용 가능한 대용량 광스위치 기술로서는 현재 MEMS actuator로 구동되는 미소 거울(micro mirror) 기술이 유일한 대안으로 제시되고 있다^[2]. 그 밖에 wavelength-selectable add/drop

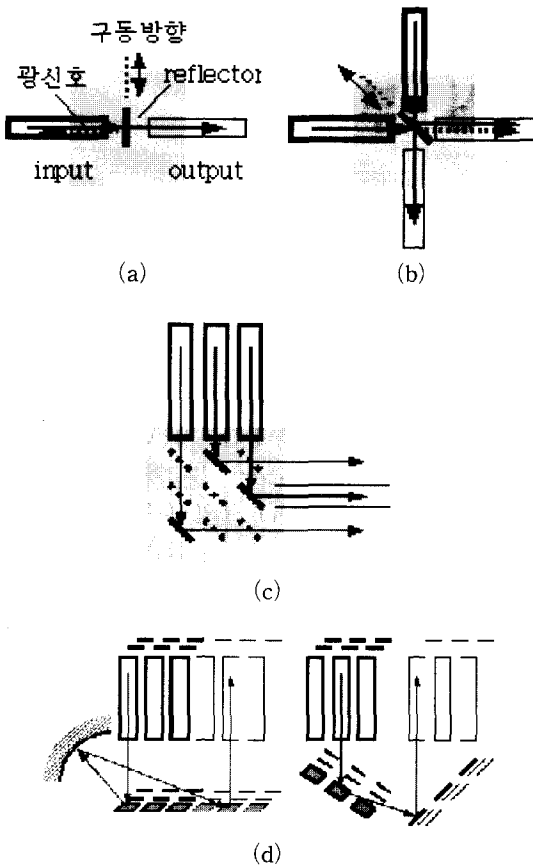
multiplexer^[3], gain-equalizer, 과장가변형 laser 등의 고성능화를 위하여 MEMS 기술을 이용한 광스위치, 가변 광감쇠기(VOA: Variable Optical Attenuator) 및 가변 광 필터(tunable optical filter) 등의 수동 소자가 많이 응용되고 있다.

본 고에서는 위와 같이 광 통신 분야의 시장 진입을 시도하고 있는 MEMS 부품의 기술 동향과 실제로 적용된 예를 살펴보고자 한다. 이와 함께 향후 연구 개발의 기본 자료로 활용할 수 있도록 관련 시장 및 산업계의 현황을 분석한다.

II. MEMS형 광스위칭 기술 분석

MEMS 기술을 이용한 광스위치의 구조는 <그림 1> (a)-(d)과 같이 pass/drop, bypass, N×N 2-dim digital, N×N 3-dim analog 스위치의 4가지로 나눌 수 있으며, 1×N는 N×N과 구조가 유사하므로 여기에 포함시켜 생각한다. 각 방법은 입력 및 출력 광 화이버(fiber)의 갯수에 따라 구조가 변화된 것으로, 응용 광모듈의 특성과의 밀접한 관계를 가지고 있다.

MEMS형 광스위치에서 빛의 방향을 변화시키는 스위칭의 원리는 대부분 미소 반사경의 구동 기술을 사용하며, 다중반사 현상을 응용한 MARS(Mechanical Anti-Reflection Switch) 기술을 사용하는 경우도 있다. 반사경의 정밀한 이동을 위한 구동체(actuator)는 같은 기판 위에 만들어지며, 구동력으로는 정전력, 전자력 및



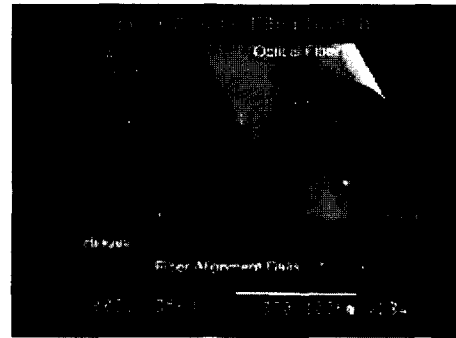
〈그림 1.1〉 MEMS 기술을 이용한 광스위치의 구조, (a) pass/drop, (b) 2×2 bypass, (c) N×N 2-dim digital, (d) N×N 3-dim analog의 2가지 형태.

열(thermal) 방식 등이 이용되고 있다. 먼저, 정 전력 방식은 구동력은 작으나 재현성 및 차폐효과가 우수하여 가장 많이 사용되고 있으며, 현재 angstrom 단위까지 제어가 가능하여 양산에서 제일 적합한 구동방법으로 고려되고 있다. 전자기력(electromagnetic force)을 이용하는 방법은 선형적으로 큰 힘을 낼 수 있는 반면, 제작이 어렵고 hysteresis 특성이 있다는 단점이 있으며, 특히 외부로부터의 차폐가 어려워 잘 이용되지 않는다. 열구동 방식은 bubble jet 또는 열탄성(thermoelastic)의 원리를 이용한 것으로 소모 전력이 크다는 문제점이 있으나, latch-up 구동을 통하여 어느 정도 이를 해소할 수 있다.^[4]

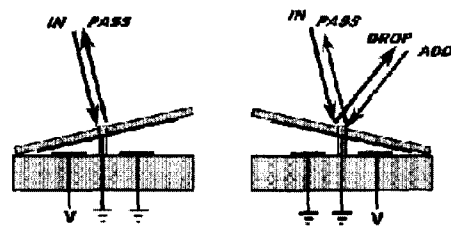
이하 본 장에서는 MEMS형 광스위치의 구조에 따른 기술 동향과 응용에 대하여 자세히 살펴 보도록 한다.

1. Pass/drop optical 스위치

이 스위치는 광신호를 다른 화이버로 그대로 전달하거나 또는 같은 화이버로 되돌리는 기능을 가지고 있으며, SONET과 metropolitan WDM 시스템에서 network reconfiguration이 가능한 파장선택형(wavelength-selectable) add/drop 모듈의 스위칭 소자로 사용될 수 있다. 작동 원리는 〈그림 2.1〉 (a)와 같이 미소 반사경을 평행 이동하거나 〈그림 2.1〉 (b)와 같이 기울임으로써 광신호의 방향을 변경할 수 있다. 이 경우에 16개 채널의 간격은 1.6nm였으며, pass 및 drop channel의 손실은 각각 7dB와 12dB, 그리고 pass/drop의 contrast는 15-20dB 정



(a)



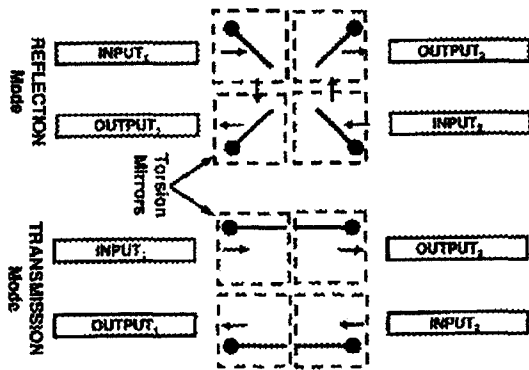
(b)

〈그림 2.1〉 미소 거울의 구동을 이용한 pass/drop 스위치, (a) 반사경을 평행 이동하는 경우(Bell lab.), (b) 16ch의 반사경을 기울이는 경우.^[3]

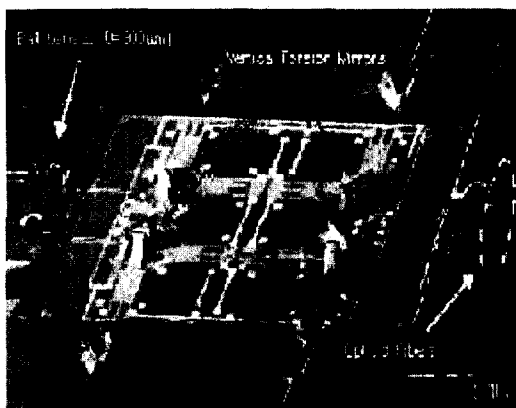
도였다^[3].

2. 2×2 optical bypass 스위치

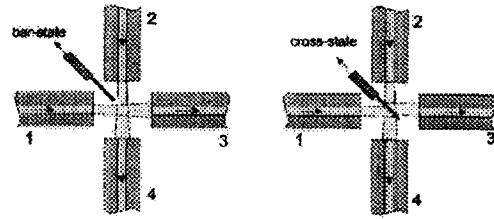
이 스위치에는 <그림 2.2>에 보인 바와 같이, 광신호를 서로 어긋나게 보내는 reflection(또는 bypass)와 그대로 진행하는 transmission mode의 2가지가 있다. 이 형태의 2×2 bypass 스위치는 dual ring으로 구성된 network의 FDDI(Fiber Distributed Data Interface)에서 configuration을 재구성할 때 사용되는 부품으로서, 4개의 마이크로 반사경을 사용하고 있다. <그림 2.3>에 실제 제작된 소자의 SEM 사진을 보였으며, 스위칭 속도는 1ms이고, collimation



<그림 2.2> 2×2 bypass 스위치의 reflection 및 transmission mode.



<그림 2.3> 수직 거울의 비틀림 회전을 이용한 2×2 FDDI용 광스위치^[6].



<그림 2.4> 수직 거울 1개의 수평이동을 이용한 2×2 bypass 광스위치의 원리.



<그림 2.5> 끝이 가늘게 가공된 광 화이버를 정렬하기 위한 groove와 수직 거울의 SEM 사진^[6].

lens를 사용하는 경우, 1mm의 거리에서 2.5dB의 손실을 보이고 있다^[5].

<그림 2.4>는 1개의 반사경을 이용한 2×2 bypass 스위치로서, <그림 2.3>의 bypass 광스위치와 동일한 기능을 수행할 수 있는 구조를 가지고 있다^[6]. 다만, cross state의 광스위칭에 있어서 반사경의 두께로 인하여 화이버 2, 3번 사이에 offset이 발생한다는 단점이 있다. 이로 인하여 추가적인 1dB의 손실이 발생하며 전체적으로는 최고 2.8dB의 손실 특성을 가진다. <그림 2.5>는 <그림 2.4>의 구조를 실리콘으로 구현한 소자의 SEM 사진을 보인 것으로, 화이버의 간격을 줄임으로써 손실을 최소화하기 위하여 화이버의 끝 부분을 가늘게 가공하였음을 보여주고 있다.

3. N×N scaleable 광스위치

21세기의 도래와 함께 인터넷과 IMT 2000 등 광대역 서비스를 위한 대용량 통신기술의 필

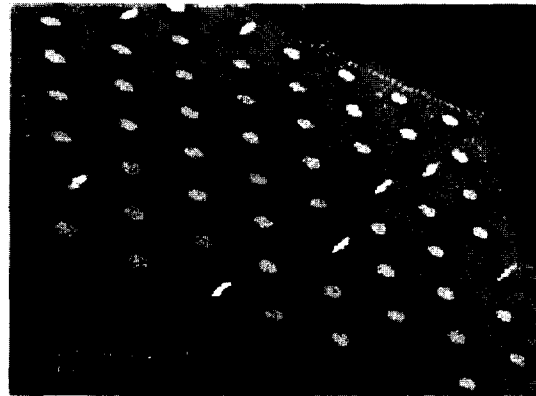
요성이 부각되면서, 이를 위한 물리계층의 WDM 광 통신 방식이 급속히 표준화의 자리를 잡아가고 있다. 이와 더불어 전광(all-optical) cross connect 기술이 실험실 수준의 기술로부터 long haul, metro 및 access network 등의 응용영역으로 발전되고 있다. 이에 대한 대표적인 것이 MEMS 기술을 이용한 OXC 스위치 기술로서, 파장, data rate 및 signal format에 의존하지 않아 “optically transparent”하다는 특성을 가지고 있다.

MEMS형 OXC 스위치의 핵심 요소는 실리콘으로 만들어진 미소 거울(micromachined mirror) 소자이며, CMOS 공정기술로 제작된 실리콘 구조층을 많이 사용하고 있다. OXC 스위치의 주요 기능은 입력 화이버에서 나온 광신호를 collimating lens와 미소 거울을 이용하여 임의의 다른 화이버로 회선을 분배하는 것이며, 전송을 위한 미소 거울의 구조 및 구동 원리에 따라 다음의 2가지 종류로 나뉜다. 첫번째는, 입력 및 출력 화이버의 갯수를 각각 N개라고 할 때, 2차원으로 배열된 N^2 개의 미소 거울을 on/off의 digital로 구동하여 임의의 입력 화이버로부터 임의의 출력 화이버로 광신호를 연결하는 방법이다^[2]. 다른 하나는 N개의 반사경 2set을 analog 방식으로 구동하여 N개의 2차원 위치를 맞춤으로써 3차원으로 광신호를 전달하는 과정을 이용하고 있다^[7].

이러한 기술을 연구하고 있는 기관으로는 AT&T, Lucent, Xros, HP 및 NTT 등이 있으며, 여기에서는 MEMS형 OXC 스위치 기술 분석과 함께 관련 기술동향을 파악하고자 한다.

1) 2-dim digital OXC 스위치

먼저, AT&T에서는 <그림 2.6>에 보인 바와 같이, 3-poly 이상의 실리콘 표면가공(surface micromachining) 기술로 제작된 미소 거울을 SDA(Scratched Drive Actuator)를 이용하여 수직으로 세움으로써 광 경로를 변환하는 방법을 사용하고 있다^[2]. 이와 같은 digital 구동 방식은 dynamic add/drop, $1 \times N$ 스위치 및

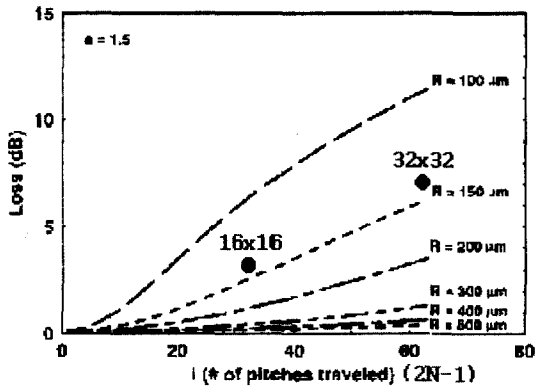


<그림 2.6> 8×8의 FS-MOS(Free Space Micromachined Optical Switch)^[2].

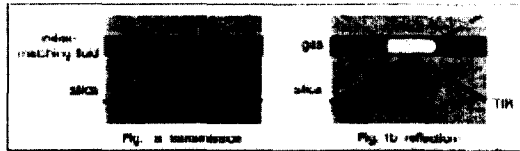
customized mirror configuration을 chip위에서 간단하게 구현할 수 있다는 장점이 있으나, scaling up에는 한계가 있다. 즉, port 수에 비례하여 광 경로가 커지므로 collimator와 반사경의 정렬 오차에 대한 규격이 매우 엄격해지며, <그림 2.7>에 보인 바와 같이, 6dB 정도의 삽입손실을 기준으로 할 때 단일 chip으로는 32port가 최대일 것으로 판단된다. 2차원 digital 구동 방식에서 발생하는 삽입손실의 주요 원인은 collimating lens의 coupling loss, Gaussian beam의 전파에 따른 발산, 반사경의 각도 오차 등에 기인하며, 현재까지 16×16 스위치에서 4dB 이하의 삽입 손실을 보이고 있다.

이 방법은 100볼트, 500MHz의 구동전압이 별도로 필요하며, 또한 거울의 위치 및 각도 오차가 광 경로에 큰 영향을 주기 때문에 정확한 위치 결정을 위한 피드백(feedback) 제어가 필요하다.

이와 함께, 2차원 반사경의 on/off 개념과 동일하나, 반사경의 구조 및 구동 방법이 전혀 다른 연구도 진행되고 있다. <그림 2.8>과 같이, HP(현재의 Agilent)와 NTT에서는 micro channel 안에 유체를 밀어 넣었을 때 굴절율이 정합되어 광이 투과하는 스위치를 구현하였다^[8]. 반대로 기포부분이 들어오면 전반사를 일으켜 광신호는 투과하지 못하고 다른 waveguide로 전달된다. HP의 스위치는 bubble inkjet와 같은



〈그림 2.7〉 반사경의 크기 및 갯수에 따른 삽입 손실 예측 (a는 반사경의 반경과 Gaussian beam waist의 비율이며, N은 입력 또는 출력 화이버의 갯수임) [8].

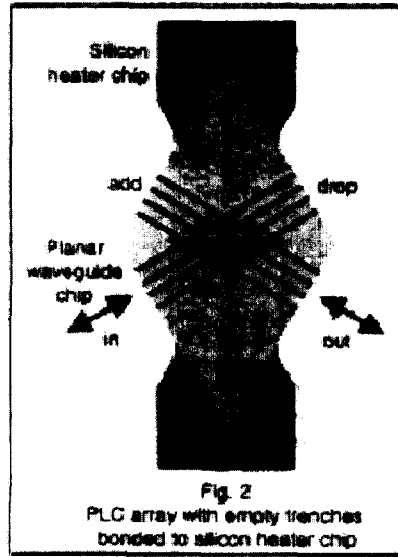


〈그림 2.8〉 Bubble 구동을 이용한 matrix 광스위치, (a) transmittance, (b) reflectance [8].

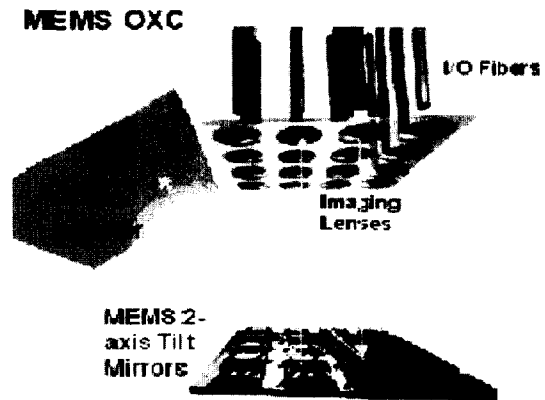
원리로 구동되며, trench당 0.1dB, 화이버간에는 3.2dB, 그리고 32×32에서는 6dB 이상의 삽입 손실이 예측되고 있다. 〈그림 2.9〉에 4×4의 matrix bubble 스위치의 구조를 보였으며, 이 방법은 마찰 구동이 아닌 유체의 이동이므로, 마모로 인한 성능의 열화는 적을 것이나 삽입 손실 증가 및 제작의 어려움이 예상된다.

2) 3-dim analog OXC 스위치

〈그림 2.10〉에 대용량 OXC 스위치로 사용하기 위하여 Lucent사(현재의 Agerel)에서 개발하고 있는 3차원 matrix 스위치의 전체적인 구조를 보였다 [9]. 이 소자의 작동 방법은 미소 반사경을 이용하여 광 경로를 변경시킨다는 면에서 2차원 digital 방식과 그 원리가 매우 유사하나, 필요한 거울수가 2N개로서 port 수가 많아질수록 제어해야 하는 반사경의 수가 현격하게 줄어든다는 것을 알 수 있다. 즉, 〈그림 2.11〉에 보인



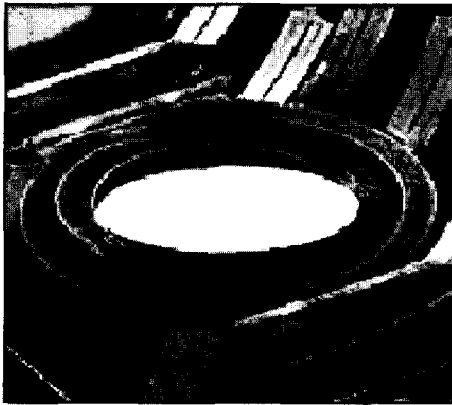
〈그림 2.9〉 실리콘 히터가 부착된 trench 구조를 갖는 PLC(Planar Lightwave Circuit)형 bubble 광스위치 [8].



〈그림 2.10〉 3차원 analog 구동을 이용한 Lucent OXC 스위치의 구조 [9].

바와 같이 이 방법은 2개의 gimbal에 연결된 N개의 반사경 array 2set으로 구성되어 있으며, 임의의 신호 전달을 위해서는 각 거울이 2차원으로 N개의 위치제어가 가능하여야 한다.

반면에 이 방식은 scale up에 따라 광 경로의 차이가 크지 않다는 장점이 있어서, 1000개 이상의 port를 가진 OXC 스위치의 경우에도 높은 uniformity로 인하여 6dB 이하의 삽입 손실이



〈그림 2.11〉 2axis 짐발 구조를 갖는 Lucent의 3차원 OXC용 미소거울의 구조^[9].

예상되고 있다. 그러나 long term의 안정한 구동을 위해서는 closed loop 제어의 analog 구동과 함께 3차원 alignment의 기술개발이 뒤따라야 한다.

한편, Xros에서도 2000년에 3차원 analog 방식의 OXC 스위치 기술을 개발중이라고 발표하였다^[10]. Lucent 기술과의 차이는, 〈그림 1〉(d)의 오른쪽에 보인 바와 같이, N개의 반사경으로 이루어진 2개의 반사경 set이 같은 평면 위에 있지 않다는 점이다. 따라서 별개의 reflector를 필요로 하지 않는 대신, 반사경의 정렬이 상대적으로 어려워진다는 단점이 있다. 〈표 2.1〉은 해당 OXC 스위치에 대한 목표 규격으로, 스위칭 용량에 비하여 삽입 손실이 상당히 작음을 특징으로 하고 있다.

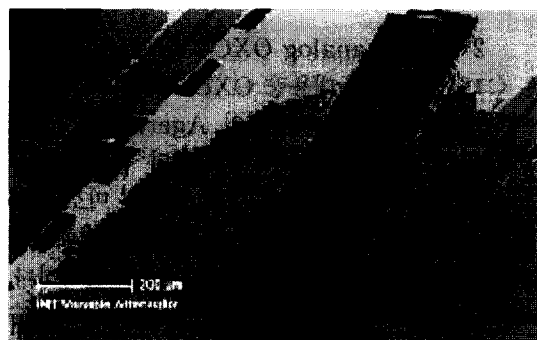
〈표 2.1〉 3차원 digital 구동을 이용한 Xros OXC의 목표규격^[10].

specifications	typical	max.
switching speed	<2.5 ms	<5 ms
insertion loss	<1.8 dB	<3.0 dB
crosstalk	<-60 dB	<-55 dB
uniformity	0.2 dB	0.5 dB
back reflections	<-55 dB	<-52 dB
polarization dependent loss	<0.1 dB	<0.15 dB
PDL uniformity	<0.05 dB	<0.1 dB

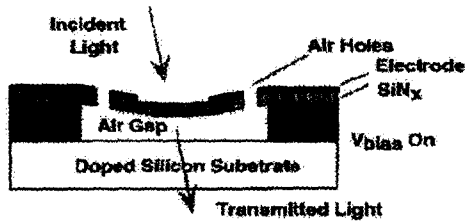
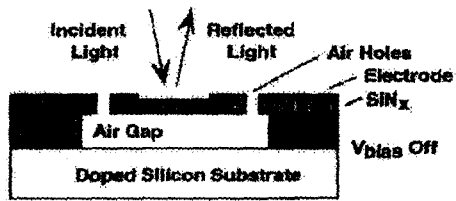
III. MEMS형 광감쇠기 기술 분석

Fiber-optic network에서 source power와 광증폭율의 불균일성으로 인하여 광신호의 크기가 일정하지 않을 경우, 검출기의 포화 또는 채널 사이의 crosstalk문제로 인한 전송신호의 오차가 발생할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 광감쇠기가 필요하며, MEMS 기술을 이용한 가변형 소자는 knife edge의 위치를 정밀하게 조절하여 광신호의 크기를 제어하는 방법을 이용하고 있다. 〈그림 3.1〉의 광감쇠기는 정전형(electrostatic) comb 구동기를 이용한 것으로, 광스위칭에서 많이 사용되는 미소 반사경 기술의 연장선상에 있는 기술을 사용하였다. 여기서 knife edge가 광축과 8° 기울어지게 하여 -37dB의 작은 backreflection을 얻었으며, 또한 삽입 손실과 최대 감쇠량은 각각 1.5dB와 -57dB의 특성을 보이고 있다^[11].

이와는 달리 MARS 개념을 이용한 VOA 기술들도 최근 보고되고 있다. 〈그림 3.2〉는 다중 반사를 응용한 VOA의 원리를 설명한 것으로, 평판형의 air gap 간격을 조절함으로써 최대 31 dB까지의 감쇠를 얻고 있다^[12]. 〈그림 3.3〉에는 X자 형태의 VOA 소자와 함께 세라믹 sleeve에 패키징된 외형을 보였다. 성능은 〈그림 3.4〉에 나타내었으며, 전체 삽입손실은 1550nm에서 3 dB, PDL(Polarization Dependent Loss)은



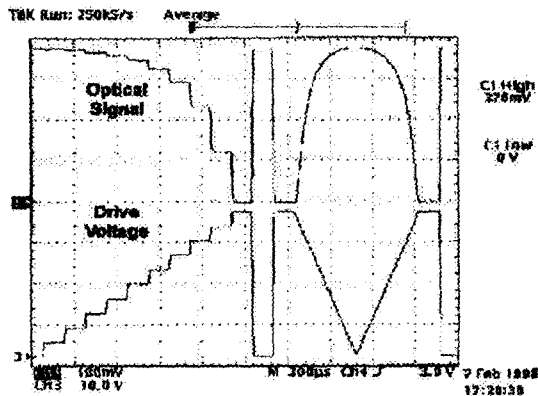
〈그림 3.1〉 MEMS 기술을 이용한 가변형 광감쇠기의 SEM 사진^[11].



〈그림 3.2〉 VOA에 이용된 MARS modulator 개념^[12].



〈그림 3.3〉 Modulator 개념을 이용한 X형 VOA의 SEM 사진과 세라믹 슬리브에 패키징된 모습



〈그림 3.4〉 구동전압(lower trace)에 대한 광감쇠기의 특성^[12].

0.06dB 이하이다. 반응속도는 1.1~2.8 us로서 비교적 빠른 편이지만, 파장에 따라 다른 입력 전압을 사용해야 한다는 단점이 있다. 다중반사의

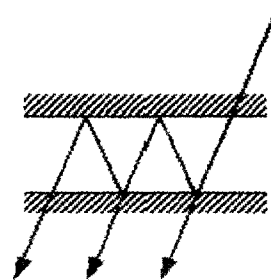
이와 같은 파장 선택성은 다음 장에서 설명할 예정인 광 필터의 작동 원리로도 이용될 수 있다.

그 밖에 여러개의 미소 반사경을 digital로 구동하는 광감쇠기에 대한 연구도 진행되고 있다.

IV. MEMS형 광 필터 기술 분석

파장가변형 필터 및 레이저 기술은 WDM 광 통신의 핵심 요소 기술이나, 기존의 방법에서는 5~8nm의 선폭에 머무르고 있는 실정이다. 최근 〈그림 4.1〉에 보인 FP(Fabry-Perot) 간섭을 응용한 MEMS형 광 필터가 개발되어, 보다 좁은 선폭과 넓은 파장의 가변특성을 보이고 있다.

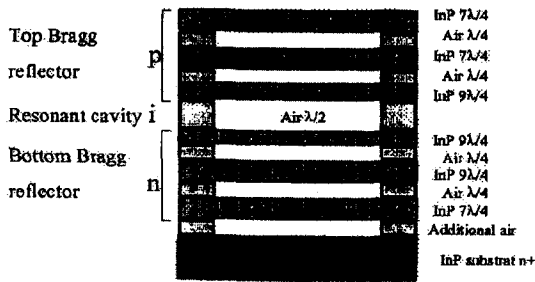
〈그림 4.2〉는 air bridge 형태의 파장가변형 광 필터의 구조를 보인 것으로, 높은 성능을 얻기 위하여 99.65% 이상의 반사율이 가능한 1/4 파장의 박막 stack으로 구성되어 있다^[13]. AIAs



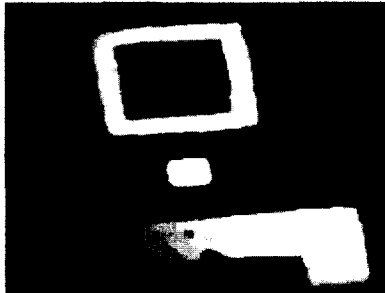
〈그림 4.1〉 Fabry-Perot 간섭계의 원리.



〈그림 4.2〉 Air bridge 형태의 광 필터 구조^[13].



〈그림 4.3〉 DBR 반사경을 이용한 광 필터의 구조^[14].



〈그림 4.4〉 30um 길이의 외팔보 2개로 지지되고 있는 DBR 광 필터의 SEM 사진.

(AlOx)-GaAlAs로 제작된 DBR(distributed Bragg Mirror) 구조를 가지고 있으며, 선폭 0.5nm에서 파장가변 범위가 59nm에 이르고 있다. 필터에서의 삽입 손실을 줄이기 위하여 half symmetry의 dome 구조를 사용하는 경우, 그 값을 1dB 이내로 유지할 수 있다.

보다 효율적인 광 필터 특성을 얻기 위한 구조로서, 2개의 DBR 반사경을 사용하고, 파장 가변을 위하여 그 간격을 조절하는 방법도 고려할 수 있다. 〈그림 4.3〉은 InP-air의 DBR 반사경을 이용한 광 필터의 구조를 보인 것으로, 박막의 stack 구조에 비하여 파장 가변에 대한 효율성이 많이 개선된다는 특징이 있다^[14]. 실제로 〈그림 4.2〉에서는 59nm의 파장 가변에 대하여 40V의 입력 전압이 필요한 반면, InP-air의 DBR의 경우에는 0.6nm 선폭과 62nm의 파장가변 범위에 있어서 14V의 입력 전압을 사용하고 있다.

이상의 2가지 방법은 광 화이버가 기판면에 수직으로 위치해야 하기 때문에 패키징이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 따라서 양산을 위해서는

DBR 반사경을 기판에 수직으로 만들거나 45° 반사경을 추가할 필요가 있다.

그 밖에 modulator, dispersion compensator, delay line, 파장가변형 laser, active alignment^[15] 등 MEMS 기술의 다른 응용예가 많이 있으나 지면관계상 본 고에서는 생략하도록 한다.

V. MEMS 광 산업 동향

1. 시장 분석

MEMS 시장은, NEXUS에서 1998년에 조사한 바에 의하면 폭넓은 분야에서 300억불 정도인 것으로 보고하고 있으며, enabling technology로서 관련시장을 확대할 경우, 훨씬 큰 시장 규모를 예상할 수 있다. 1999년의 SPC interview에서는 MEMS형 광스위치만의 시장이 1996년에 0.13억불에 불과하였지만, 2003년에는 8백만개의 수요가 발생하여 시장이 5.63억불에 이를 것으로 전망하고 있다. 한편, Electronic Cast는 일반적인 광스위치 시장에 대하여 2000년에 3.08억, 그리고 2010년에는 160억불을 예측하고 있으며, 다른 광 부품을 포함할 경우 훨씬 큰 시장을 예측할 수 있다.

이와 같이 MEMS 부품 전체로 볼 때는 air bag, ink jet, pressure sensor 및 read/write head 분야가 2/3 이상의 시장을 차지하지만, 광 통신 분야는 대부분 end user를 대상으로 하지 않기 때문에, 상대적으로 시장이 작다고 할 수 있다. 그러나 현재 광 통신 분야의 기술 발전 및 실제 시장은 낙관적인 예측보다도 항상 빠르게 성장하는 것이 확인되고 있다. 또한 시장의 성장률이 연 40-60%로서, 다른 분야에 비하여 상당히 높다는데 주의를 기울일 필요가 있다.

2. 국내외 연구개발 동향

먼저, 일반적인 MEMS 기술의 연구동향을 살펴보면, 미국의 경우, DARPA를 중심으로 연구

개발이 이루어지고 있으며, 정보통신 및 biomedical용 부품의 양산 연구에 집중되어 있다. 반면에, 유럽은 연구기관을 중심으로 중견 기업들의 consortium을 통한 연구개발이 대부분이며, 일본은 MITI, Micromachine center를 중심으로 한 대기업들이 기본 제작공정과 관련된 기술을 충실하게 개발해오고 있다.

MEMS 기술을 이용한 광 통신 부품의 경우에는, 99년 이후의 OFC(Optical Fiber Comm. Conference)에서 알 수 있듯이, 별도의 MEMS session은 물론, hot issue로서 tutorial을 제공하고 있다. 이는 기존의 광 통신 부품 분야에서 MEMS 기술의 중요성을 인식하고 있기 때문이며, AT&T 등 광 통신 관련 대기업에서도 많은 연구 개발이 진행되고 있다.

국내에서는 MEMS 기술에 대하여 G7 초소형 정밀 기계기술 개발사업과 New Frontier의 지능형 마이크로 시스템 사업이 진행되고 있지만, 광 통신과 관련해서는 G7 사업에서 광송수신 및 OXC 부품에 대한 연구가 진행되고 있을 뿐이다. ETRI에서도 일부 광 부품에 대한 연구를 수행하고 있지만, 소규모의 과제로 진행중이어서 전체적으로 광 부품에 대한 국내의 연구개발은 미약하다고 볼 수 있다. 반면에 현재까지는 광논리 소자가 충분히 개발되지 않았기 때문에, 광 부품의 특성이 광 통신 시스템의 성능에 영향을 준다는 것을 생각할 때, 향후, 국내의 광 통신 시스템 연구 및 이의 상업화에 필수적인 광 부품에 대해서는 보다 적극적인 연구개발이 요구된다.

3. 산업화 동향

MEMS 광 부품은 스위치, 감쇠기 및 필터 등 초기의 소자 연구단계에서, 이제는 OXC 스위치, add/drop, active equalizer 등과 같이 보다 상품가치가 높은 모듈 개념의 연구단계로 넘어가고 있다. 이와 같이 MEMS 기술의 가능성이 높아짐에 따라, 많은 업체들이 우후죽순으로 생겨나고 있다.

먼저, 미국을 살펴보면, Cronos는 MEMS 제작을 폴리실리콘 공정으로 표준화한 MCNC에서

분리된 회사로서, pop-up/rotation mirror를 이용한 3-dim fiber aligner를 개발하였다. 또한 OMM(Optical Micro Machine Inc.)에서는 2-dim 4×4, 8×8, 16×16의 2-dim 광스위치를 개발하여, 현재 NTONC의 network node에 현장시험을 진행중이며, Xros에서도 OXC용 대용량 광스위치 기술을 개발중이다. 이상의 기업들은 Nortel, JDS, Alcatel 등과 합병, 투자 또는 자회사의 관계를 유지하고 있으며, Corétek, ONIX, InLight, IMMI 및 Bandwidth9에서도 파장가변형 laser, 광스위치, 파장가변형 필터 등을 개발중이거나 시판을 하고 있다.

그 밖에, 스코트랜드의 Kymata에서는 OXC 스위치와 VOA를 silica로 구현하였고, 영국의 Ilustron은 petabit 광 통신용 MEMS 기술을 개발할 예정이며, 프랑스의 MEMSCAP과 TRONIC'S도 최근 투자를 받아 통신용 MEMS 기술을 개발중인 것으로 알려져 있다.

우리나라의 경우는, 지난 2월초에 전국 시·군·읍·면 단위까지 광 케이블로 연결하는 '정보고속도로'를 2년이나 앞당겨 완공하였으며, 전국 144개의 모든 통화권역에 155Mbps~5Gbps의 초고속 광케이블망과 초고속 교환기(ATM)를 설치하여, 21세기 지식정보 강국으로 도약할 수 있는 기반을 마련하였다. 또한 광주지역이 광산업 특화지역으로 선정되면서 집중적으로 광 부품 산업을 육성할 계획을 가지고 있다. 이와 함께 정보통신부에서는 16~32 채널의 1.3Tbps용 128×128 OXC 시스템 개발사업을 공모중이며, 여기에 필요한 MEMS형 광 통신 부품에 대해서는 추가적인 기획이 필요한 단계이다.

광 부품 생산에 대해서는 LD, PD 및 관련 모듈과 polymer AWG 소자를 일부 기업에서 생산중이거나 양산 준비단계에 있으며, 그 외에 고정형 광감쇠기, 분파기 및 connector 등을 제작하는 다수의 중소기업들이 있다. 현재 MEMS 기술을 연구하는 대기업은 많은 부분을 광 부품 개발에 할애하고 있으나, 아직은 MEMS형 광 부품 생산은 거의 없는 상태이다. 그러나, 선진국의 연구비 투자 및 기술 발전 속도를 살펴 볼 때,

이제는 광 통신 기술의 상용화에 따른 시장 형성과 부품 성격에 맞추어 대기업과 중소기업의 균형적인 산업화가 적극적으로 필요한 시기로 판단된다.

V. 결 론

결론을 대신해서, 광 통신 부품 분야에서 MEMS 기술의 상용화를 위하여 고려해야 할 몇 가지 사항을 검토하기로 한다.

먼저, MEMS 기술은 아직 개척 분야이므로, 창의성을 발휘하여, 소자의 구조는 물론 제작 방법에 있어서도 충분히 특허를 취득할 수 있다. 따라서 연구개발을 시작하기 전에 patent map 작성을 통하여 기존 기술에 대한 충분한 사전 검토를 거쳐야 할 것이다. 향후에는 지적재산권 보호 압력이 세계적으로 더욱 거세질 것으로 예상되며, 이에 따라 기술료의 법적 기준도 상향 조절될 가능성에 대비하여야 한다.

두번째로, 광 부품을 사용하는 시스템 개발자들이 가장 우려하는 점은 소자의 안정성이다. MEMS 연구자들은 기계적 구성요소의 일부가 움직이는데도 불구하고 본질적으로 성능과 안정성면에서 우수하다는 것을 인식하고 있지만, 현재까지 충분한 검증이 이루어지지 않은 상태이다^[7]. MEMS는 신기술인 반면, 시스템 개발자는 일반적으로 보수적이기 때문에, 진동, 열 등을 고려한 안정성 설계와 함께 충분한 실험 data를 제시할 수 있어야 한다.

세번째로는, MEMS 부품이 외부 환경에 민감한 특성이 있어 hermetic sealing의 패키징이 필요하며, 이로 인한 가격 상승이 상용화의 걸림돌이 될 수 있다. 전자소자에서도 많은 비용이 패키징에 사용되고 있지만, 광 부품에서는 그 이상 소요될 것으로 예상된다. 이 문제는 회로가 포함된 패키지 및 microassembly 기술 개발과 함께 광 부품의 종류에 따른 표준화가 이루어져야 해결될 것이다.

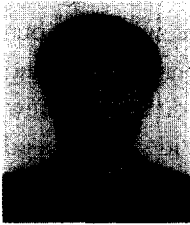
마지막으로 양산 기술면에서 보면, MEMS형 광 부품을 빠른 시간안에 안정적으로 제작하기 위해서는 표준 공정이 확립된 생산시설이 있어야 한다. 현재 국내에는 정부의 지원을 받아 관련 연구시설이 운영되고 있으며, 연구개발을 위한 MEMS 공정이 제공되고 있다. 그러나 양산의 준비단계에서 보면 더욱 체계적인 total solution이 제공되어야 하며, 특히 중소기업에서 요구하는 수만 개까지의 부품을 기술 보안이 유지된 상태에서 제작해 줄 수 있는 시설이 절대적으로 필요하다. 양산에 필요한 또 하나의 기술이 test 장비 기술이며, 특히 대용량 OXC 스위치의 경우는 이의 자동화를 통하여 수시간 이내로 시험을 완료할 수 있어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] E. L. Goldstein et al., IEEE/LEOS, 2000 Int. Conf. Optical MEMS, pp. 27-28 (Aug. 2000)
- [2] L. Y. Lin et al., IEEE J. Selected Topics Quantum Electronics, vol. 5, no. 1, pp. 4-9 (Jan. /Feb. 1999)
- [3] J. E. Ford et al., J. Lightwave Technology, vol. 17, no. 5, pp. 904-911 (May 1999)
- [4] J. H. Lee et al., SPIE, vol. 3876, pp. 274-279 (Sept. 1999)
- [5] L. S. Huang et al., SPIE, vol. 3513, pp. 135-143 (Sept. 1998)
- [6] C. Marxer et al., J. MEMS, vol. 6, no. 3, pp. 277-285 (Sept. 1997)
- [7] <http://www.omminc.com/technology>
- [8] J. E. Fouquet et al., Proc. IEEE LEOS, pp. 169-170 (Dec. 1998)
- [9] <http://www.lucnet-optical.com>, 1999
- [10] 25th OFC, Tutorial, p. 169 (March 2000)
- [11] C. Marxer et al., IEEE PTL, vol. 11,

- no. 2, pp. 233-235 (Feb. 1999)
- [12] E. Ford et al., *J. Lightwave Technol.*, vol. 60, no. 9, pp. 1663-1670 (Sept. 1998)
- [13] P. Tayebati et al., *IEEE PTL*, vol. 10, no. 3, pp. 394-396 (March 1998)
- [14] J. R. Le Dantec et al., *IEEE J. Selected Topics Quantum Electronics*, vol. 5, no. 1, pp. 111-114 (Jan. /Feb. 1999)
- [15] L. F. Ming et al., *Transducers*, pp. 319-322 (June 1997)

저자 소개



李 鐘 洙

1958년 3월 13일생, 1981년 2월 서울공과대학 기계설계학과 학사, 1983년 2월 한국과학기술원 기계공학과 석사, 1986년 8월 한국과학기술원 기계공학과 박사, 1986년 10월~1993년 12월 :

ETRI 공정장비연구실 선임연구원, 1994년 1월~1998년 12월 : ETRI 미세구조연구실 실장/책임연구원, 1999년 1월~2000년 5월 : ETRI 파장다중광소자팀 과제책임자/책임연구원, 2000년 6월~현재 : 광주과학기술원 기전공학과 부교수, <주관심 분야 : micromachining, optical MEMS, data storage device, micro fluidics etc.>