

마이크로렌즈제조방법

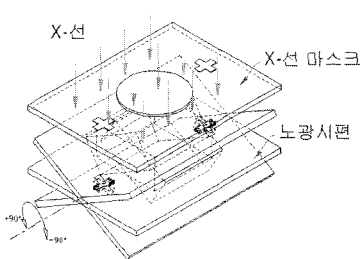
전자부품연구원
박孝德 수석연구원

- 발명의 요약 -

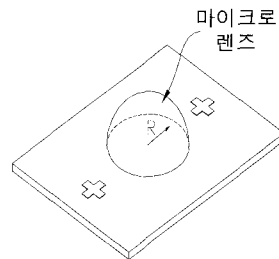
◆ 마이크로렌즈 제조 방법(Microlens Manufacturing Method) ◆

본 발명은 광통신 산업의 여러 가지 광부품, optical pick-up head, micro-display 등의 정보가전 분야에 폭 넓게 사용되는 마이크로렌즈의 제조방법에 관한 것이다. 기존의 렌즈 제조기술은 기계가공방법과 반도체 공정을 이용하는 thermal reflow법이 있으나 두 방법에서는 제조하고자 하는 렌즈의 형상 및 정밀도 구현에 있어 많은 어려움이 있어 제품의 제조 단가를 낮추기가 어렵다.

본 발명에서는 방사광 가속기에서 발생되는 높은 에너지를 가진 빛(X-선)을 사진식각공정에 이용하여 마이크로렌즈를 제조하는 방법을 제시하였다. 본 방법은 제조하고자 하는 렌즈의 형상이 패터닝된 X-선 마스크는 고정시키고 X-선 감광체가 형성된 시편을 회전시키면서 노광함으로써 렌즈와 같이 원형의 곡면을 가진 3차원 미소구조물 제작을 가능하게 한다. 따라서 X-선 마스크의 형상을 바꾸기만 하면 구면 렌즈 뿐만 아니라 비구면 렌즈도 손쉽게 제작할 수 있다. 이렇게 제작된 마이크로 렌즈 시편에 전기도금으로 렌즈 시출용 금형을 제작할 수도 있다. 본 발명은 X-선과 같은 빛을 렌즈 가공에 이용함으로써 기존의 가공기법에 비해 고정밀화, 고품질화를 이룰 수 있고 반도체 공정과 같은 일괄생산공정(batch process)이 가능하여 제품의 저가격화를 이룰 수 있는 획기적인 방법이다.



(a) X-선 노광공정



(b) 제작된 마이크로렌즈

<대표도면 : X-선 사진식각공정에 의한 마이크로렌즈 제조>

1. 개발 과정

가. 개발동기

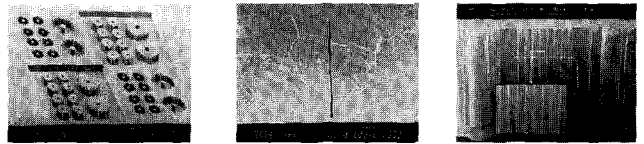
최근 광통신 분야, IMT2000 등의 통신용 단말기, 가상현실을 위한 Micro display 등에 마이크로 렌즈에 대한 사용범위가 광범위하고 그 수요도 급속히 증가하고 있는 추세이다. 종래의 렌즈 제조기술은 주로 기계가공에 의존하고 있으며 선진국에서는 반도체 공정을 접목시킨 MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) 기술을 이용한 마이크로 렌즈 제작을 위한 많은 연구들이 수행되고 있다. 우리나라의 일부 대학에서도 MEMS 기술을 이용한 마이크로 렌즈의 제작에 관한 연구가 수행되고 있다. 그러나 국내 기계가공 수준은 일본이나 독일 등 선진국에 10년 이상의 뒤떨어져 있어 고액의 렌즈 사출용 금형을 거의 수입에 의존하고 있다.

본 연구실에서는 기 확보한 기술로 MEMS 기술의 하나인 LIGA 기술(X-선 가공기술이라고도 함)을 이용하여 양산성 있는 마이크로 렌즈 제작에 관한 연구에 착수하게 되었고, LIGA 기술 선진국에서도 아직 시도해 보지 않은 회전노광기법을 개발하여 다양한 3차원 회전체를 제작할 수 있는 기술을 개발하였고 이를 이용하여 구면, 비구면 등의 마이크로 렌즈를 제작할 수 있었다.

나. 발명자 및 해당연구실의 공헌도

본 연구실에서는 1994년부터 산자부와 과기부에서 시행하고 있는 G7 project인 “초소형 정밀 기계기술 개발사업”의 세부과제인 LIGA 기술 개발 과제를 수행하면서 국내의 방사광 가속기인 포항가속기를 이용하여 LIGA 기술의 핵심기술

인 X-선 사진식각기술, 정밀도금기술, 플라스틱 사출기술 등을 개발해왔다. 국내의 X-선 가공공정을 수행하기 위한 기반 구축을 위해 본 연구실은 포항가속기의 LIGA 빔라인(1998년 완공) 건설에 중추적인 역할을 하였으며 건설된 빔라인에 LIGA 공정을 위한 정밀 스캐너를 제작, 설치하였다. 5년여의 기술개발결과로 현재 3인치 LIGA 공정을 수행할 수 있는 기반이 마련되어 2000년부터 국내의 많은 기관이 LIGA 연구에 참여할 수 있도록 공정지원서비스를 실시하고 있다(<http://www.keti.re.kr/liga>).



〈본 연구실에서 LIGA 공정으로 제작한 다양한 미세구조물〉

다. 기술동향파악

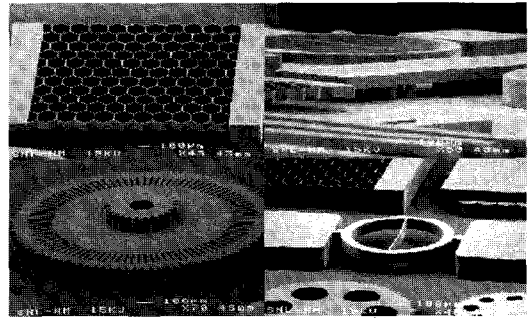
- 렌즈 제작에 관한 기존의 기술은 너무 다양하여 LIGA 기술을 이용한 3차원 미세구조물 제작에 관한 기술동향을 기술함 -

LIGA 공정의 시작은 1982년 독일의 칼스루에 핵 연구센터(KfK)에서 처음으로 방사성 동위원소를 분리하기 위해 수백 μm ($1\mu\text{m}=0.001\text{mm}$)의 두께를 가지면서도 $1\mu\text{m}$ 이하의 정밀도를 나타내는 초소형 노즐을 제작 발표하면서부터이다. 이것은 그때까지 행해왔던 전통적인 기계가공 등에 의해서는 도저히 만들어 낼 방법이 없는 구조물의 특징을 가지고 있었다. 그 후 1980년대 중반까지 정밀도를 높이는 연구 및 LIGA 공정의 정밀도를 최대도로 살릴 수 있는 광학 분야에서의 응용 확대를 위한 연구가 많이 진행되었고 주로

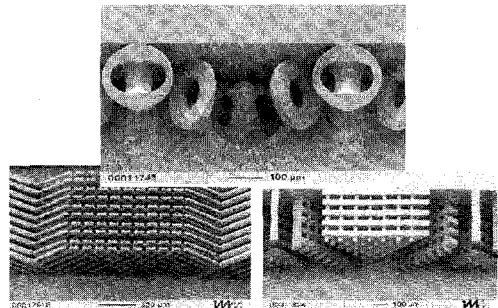
독일에서 이루어졌다. 이때까지만 해도 LIGA 공정으로 제작되는 구조물의 높이 및 정밀도는 그때까지 행해왔던 다른 공정과 비교할 수 없을 정도로 높아왔지만 photo lithography의 한계 때문에 완전한 3차원 구조라기보다는 개선된 2차원 구조에 가까웠다. 이런 2차원 구조물이라는 단점을 극복하기 위한 본격적인 연구가 80년대 후반 들어 독일, 미국 등에서 시작되었고 이중 대표적인 연구가 반도체 공정에서 사용되는 회생층 공정을 LIGA 공정에 도입한 것과 multi-layer 개념을 LIGA 공정에 도입한 것이다. 회생층 공정을 도입함으로써 micro turbine 및 accelerator 등 움직이는 구조물 제작이 가능하게 되었으며 multi-layer 개념을 도입함으로써 단순 소자 제작에서 벗어나 마이크로 부품의 집적화 등 좀 더 진정한 3차원 구조물 제작에 접근하게 되었다.

1994년은 LIGA 공정 응용상 일대 변화가 온 해로 소수 기관 위주로 이루어져 왔던 공정이 일반에게 공개되기 시작했다. 독일은 LEMA program , 미국은 LIGAMUMP라고 명명하여 원하는 자에게 공정 서비스를 시작하였다. 이로 인해 보다 많은 기관이 이 연구를 시작하게 되었고 수많은 idea가 실제 구현될 수 있는 토대가 마련되었다. 공정 개발 분야에서는 다층(multi-layer)공정 및 mm order의 LIGA 공정이 발표되어 명실상부한 3-D 공정의 모양새를 갖추게 된다. 이와 함께 X-선 사진식각기술에도 변화가 와서 Si 마스크 개발로 공정 비용의 하락을 유도하였고 경사 노광 기술이 발표되어 수직 형태의 구조물에서 다양한 변화를 시도하기 시작하였다. 그러나 지금까지의 LIGA 기술로 제작된 구조물의 특징은 아래 그림에서도 보는 바와 같이 주로 수직적인 구조물에 국한되었고 경사노광으로 약간의 변화를 주긴 했지만 마이크로 렌즈와 같은 완전한 구면을 가진 구조물을 제작할 수 있는 기

술은 지금까지도 확립되지 못했다. 따라서 본 연구실에서는 X-선 사진식각기술을 이용하여 마이크로 렌즈와 같이 곡면을 가진 구조물을 제작하기 위한 연구에 착수하게 되었다.



〈Multi-layer LIGA 구조물〉



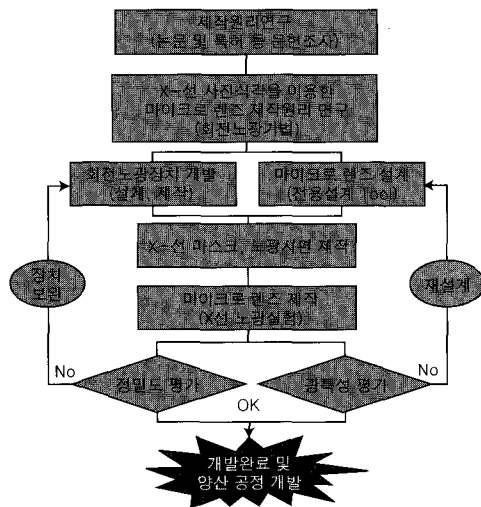
〈경사노광에 의한 LIGA 구조물〉

라. 개발계획 및 연구개발 과정

마이크로 렌즈 제조기술 개발을 위해 먼저 논문 및 특허, 인터넷을 통하여 기존의 마이크로 렌즈 제작 기술을 분석하였다. 한편 X-선 사진식각 공정을 이용하여 마이크로 렌즈를 제작하기 위한 방안을 연구하던중 X-선 노광공정 과정에서 기관을 회전시킬 경우 곡면을 가진 형태의 구조물 제작이 가능함을 발견하였고 이를 마이크로 렌즈 제작에 적용하기 위한 아이디어를 구체화하였다. 구체화된 아이디어를 구현하기 위한 노광장치를 고안, 주문제작하였으며 포항가속기의 LIGA 빔

라인을 이용한 마이크로 렌즈 제작실험을 수행하였다.

마이크로 렌즈의 설계는 computer simulation tool을 이용하였고, 제작된 마이크로 렌즈의 구조적, 광학적 특성을 평가하여 노광장치 및 마이크로 렌즈의 설계를 보완하는 등의 과정을 통하여 마이크로 렌즈 제조기술 개발을 추진하였다.



〈연구개발 추진 체계〉

2. 권리화 과정

가. 국내외 특허출원

출원국	내 용	출원시기	등록여부
한국	회전노광기법을 이용한 3차원 구조물 제조방법	1999. 12	-
한국	회전노광기법을 이용한 비구면 렌즈 제조 및 사출용 금형 제조방법	1999. 12	-
미국	회전노광기법을 이용한 (구면, 비구면)마이크로 렌즈 제조 방법, 회전노광장치	2000. 6	-
한국	X-선 사진식각공정을 이용한 마이크로 빔 스플릿터 제조방법	1999. 12	-

나. 분쟁의 유무

마이크로 렌즈 제작에 관해 현재까지 조사된 특허에는 본 특허 내용에 해당하는 사항이 없었고, 다만 미국에서 LIGA 기술을 개발해 온 위스콘신 대학에서 제출한 미국특허(US5679502)에 노광공정중에 시편을 회전할 경우 회전체 구조물을 제작할 수 있다는 내용이 수록되어 있다. 그러나 마이크로 렌즈 제작에 관한 구체적인 방법은 제시되지 않고 있다.

본 특허에서는 회전노광기법을 이용한 마이크로 렌즈 제작에 관한 구체적인 방법이 제시되고 있기 때문에 단순한 원리에만 국한된(구체적인 제조 방법의 제시가 없는) 선행 특허의 내용과는 본질적으로 다르다고 볼 수 있다.

따라서 본 기술과 관련된 분쟁의 소지는 없을 것으로 판단된다.

다. 권리화 진척도

현재 출원중에 있어 심사가 진행중에 있고 발명의 내용 자체가 마이크로 렌즈 제작 원리에 관한 것이므로 원리를 수정하거나 보완할 사항은 크게 없어 보인다.

다만 실제 제작 과정에서 나타난 노광장치의 설계상 또는 제작 정밀도 문제, X-선 노광공정의 불안정화 등의 여러 가지 요인으로 인해 제작된 마이크로 렌즈의 성능이 약간 수준에 미달하는 상태에 있어 노광장치 및 공정조건의 안정화를 위한 연구가 진행중에 있으며, X-선 노광장치 및 공정 등에 관한 특허의 내용을 계속 보완해 나가고 있다.

3. 기술성

가. 독창성

○ 종래의 마이크로 렌즈 제조 방법

기존의 렌즈 제조 방법은 크게 두 가지로 나뉜다. 하나는 전통적인 기계가공법으로 정밀한 금형을 제작하고 이를 이용하여 렌즈를 사출 성형하여 제작하는 방법이다. 이 경우 정밀한 금형을 제조하기 위해서는 고도의 기계가공기술이 필요하다. 또한 렌즈 사출용 금형을 개별 생산해야 하고 수율 또한 높지 못하기 때문에 금형의 제조비용이 상당히 높은 편이다. 또한 기계가공법에 의존하므로 렌즈의 크기를 μ -scale로 작게 제작하는데 한계가 있다.

또 하나의 제조 방법으로는 thermal reflow법을 들 수 있다. 이 방법은 UV 및 X-선 사진식각 공정으로 제작된 원통형의 레지스트 구조물에 열을 가하면 레지스트가 녹아 흐르면서 곡률을 형성하는 특성을 이용하여 렌즈를 제작하는 방법이다. 빛을 이용한 가공법(사진 식각 공정)이므로 μ -scale로 제작이 용이하고, 2차원 배열의 마이크로 렌즈 array를 제작할 수 있으며 일괄공정(batch process)이 가능하여 렌즈의 제조비용이 싸다. 그러나 이 방법의 경우 μ -scale의 렌즈 제작은 용이한 반면 크기가 수 mm 이상의 비교적 큰 렌즈를 제작하기 어려우며, 열처리 공정에 의한 방법이므로 렌즈의 형상이 구면으로 제한되어 비구면 렌즈는 제작할 수 없다.

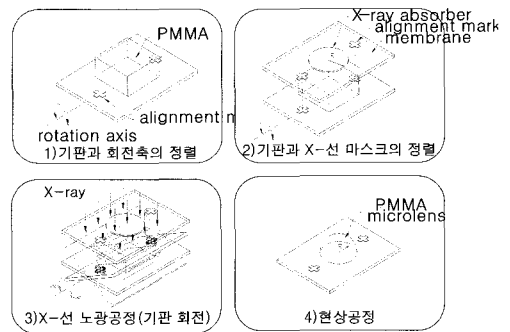
○ 본 발명이 제안하는 마이크로 렌즈 제조 방법

본 발명은 방사광 가속기(synchrotron radiation source)에서 발생하는 높은 에너지의 빛(X-선)을 이용하므로 종래의 thermal reflow에 의한 마이크로렌즈 제조방법과 같이 사진 식각 공정을 이용한다는 점에서는 같지만 X-선 마스크는 고정시킨 채 시편을 회전시키면서 노광하므로써 렌즈의 형상을 레지스트 상에 직접 구현한다는 점에 차이가 있다.

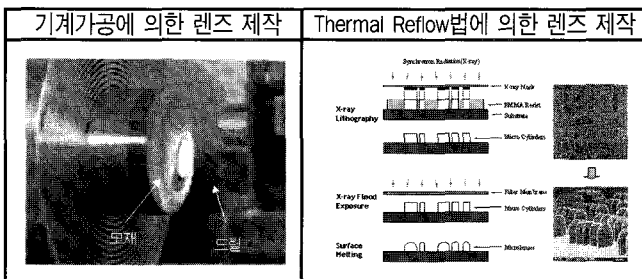
본 발명에 의한 마이크로렌즈 제조원리 및 제작의 예를 아래 그림에 나타내었다. 제조원리에서 볼 수 있듯이 제작되는 마이크로렌즈의 형상은 X-선 마스크에 의존한다.

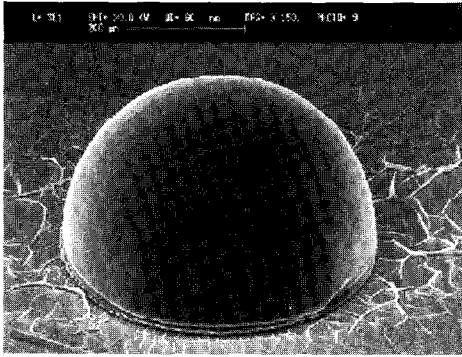
또한 파장이 짧은(5 \AA 이하) X-선을 이용하므로 노광공정에서 빛의 회절(diffraction)에 의한 패턴의 퍼짐 현상이 적어 고정밀도의 렌즈 구현이 용이하고 일괄공정(batch process)이 가능하므로 제조비용을 낮출 수 있다. 본 발명의 가장 큰 특징은 X-선 마스크의 패턴에 따라 임의의 형상을 가진 마이크로 렌즈 제작이 가능하다는 점이다.

따라서 thermal reflow법에서 구현할 수 없는 비구면 렌즈의 제작이 가능하다.

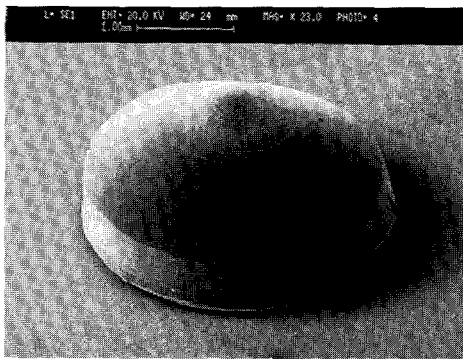


<본 발명에 의한 X-선 사진식각공정에 의한 마이크로렌즈 제조 원리>





(a) 구면렌즈(크기 R : 300 μ m)



(b) 비구면 렌즈(크기 R : 1.5mm)
 <본 발명에 의한 마이크로렌즈 제작 예>

아래 표에 종래의 렌즈 제조 방법과 본 발명에 의한 제조 방법의 특징을 비교, 요약하였다.

<기존의 렌즈 제조 방법과 본 발명에 의한 제조 방법의 비교>

구분	종래의 제조 방법		본 발명에 의한 제조방법
	기계가공법	Thermal Reflow법	
렌즈형상/유도	구면, 비구면 모두 가능	구면만 가능	구면, 비구면 모두 가능
렌즈크기	수mm~수cm μ -scale의 렌즈 가공 어려움	μ -scale에만 한정됨	μ -scale~수cm
표면조도	0.3 μ m~1 μ m	수십 nm	0.02~0.06 μ m
정밀도	수 μ m	< 1 μ m	< 0.2 μ m
생산방식/제조단가	개별생산/고	일괄생산/저	일괄생산/저

나. 독점력

기존의 렌즈 제조기술은 기계가공에 의한 금형 생산, 사출공정에 의한 렌즈 제작이 주류를 이루고 있다. 고정밀, 고효율을 필요로 하는 렌즈일수록 이에 사용되는 금형의 제조가격이 적게는 수천만원, 많게는 수십억원에 이르고 있다. 본 발명에 의한 제조 방법으로 금형을 제조할 경우 저가의 비용으로도 고품질의 마이크로 렌즈 사출용 금형을 용이하게 제조할 수 있다. 따라서 타 기술에 대하여 확실한 경쟁우위를 점할 수 있다.

다. 지속력(수명, 라이프 사이클)

지금까지의 렌즈는 카메라, 망원경 등에 사용되는 크기가 수mm~수cm에 해당하는 비교적 큰 렌즈의 수요가 많았다고 볼 수 있다. 그러나 시대가 발전할수록 제품이 경박단소화, 고성능화의 양상을 띠면서 점차 크기가 수백 μ m 이하의 초소형 마이크로 렌즈에 대한 수요가 증가하고 있다. 크기가 작아질수록 기존의 기계가공방식에 의한 렌즈 사출용 금형의 제작에 한계가 올 수밖에 없고 본 발명과 같은 MEMS 기술에 의한 금형 제작기술이 각광을 받기 시작할 것이다. X-선 가공 기술은 근래에 태동한 신개념의 가공기술로서 앞으로 그 발전가능성은 무궁무진하며 기술개발에 따른 제품의 고성능화는 점차 가속화될 것으로 판단된다.

라. 첨단분야

X-선 가공기술은 본 연구실에서 국내에 처음으로 도입하여 그 동안 많은 기술개발 성과를 이루었고 선진국에서도 독일, 미국, 스위스, 일본 등 방사광 가속기를 보유하고 있는 나라에서만

기술개발이 이루어지고 있는 첨단분야이다. 선진국에서도 본 기술을 광통신, 의료, 자동차, 항공 우주 등의 첨단산업의 핵심부품을 개발하는데 이용하고 있다. 본 연구실에서도 이미 이 기술을 이용하여 마이크로 렌즈 이외에 초다심 광커넥터, 마이크로 냉각기, 반도체 검사용 probe card, 초음파 진단기 등의 첨단 부품을 개발하기 위한 연구를 수행중이다.

4. 실용성

가. 상업적 생산의 가능여부

현재까지는 주로 원리적인 연구에 치중하였기 때문에 상품화를 위한 연구가 충분히 이루어지지 않은 상태이다. 상품화를 위해서는 X-선 노광장치의 고품질화, 생산공정의 안정화가 필요하다. 이러한 사항은 단시일에 해결될 수 있기 때문에 이에 관련된 산업체의 적절한 투자가 따른다면 충분히 상품화가 이루어질 수 있을 것이라 판단된다.

나. 국내기술 수준으로 실시가능 여부

앞의 기술소개과정에서 실제로 제작된 마이크로 렌즈를 사진으로 소개한 바와 같이 순수한 국내기술만으로 충분히 실시 가능하다.

다. 파급효과 및 활용방안

본 특허기술을 이용한 마이크로렌즈 등 마이크로 광학부품 제조기술은 광통신 산업의 micro switch, 광 회선 분배기(OXC), Optical Add/drop 멀티플렉서, attenuator, tunable filter 등에 다양하게 적용될 수 있으며, DVD

optical pick-up head, 가상현실(VR)을 위한 HMD(Head Mounted Display) 및 IMT-2000용 Micro display의 정보가전 분야에도 폭 넓게 응용될 수 있는 매우 중요한 SEEDS가 되는 기술이다.

NEXUS '98자료를 통해 조사된 2002년의 MEMS(MicroElectroMechanical System) 기술 관련 시장은 총 \$380억으로 추정되며 그중 micro optics 부품 기술 관련 시장은 \$143억불로 37% 이상이 될 것으로 예측된다. 본 특허 기술을 응용하면 micro optical switch 등 고부가가치 제품의 개발 및 생산이 가능하므로 그 시장성과 파급효과가 매우 크다고 할 수 있다.

5. 경제성

가. 생산성 향상, 생산비 절감 및 수입대체 효과

기존의 마이크로 렌즈 생산방식에서는 사출용 금형의 제작에 많은 비용이 지출되고 있다. 그리로 국내의 기술로 불가능한 부분에 대해서는 수입에 의존하고 있는 실정이다. 본 발명의 X-선 사진식각 공정으로 마이크로 렌즈 사출용 금형을 제작할 경우 일괄생산에 의한 저비용화, 고정밀화, 고품질화를 실현할 수 있으므로 이에 따른 생산성 향상, 생산비 절감을 기대할 수 있을 뿐만 아니라 지금까지 선진국 등으로부터 수입에 의존하던 것에서 탈피하여 반대로 렌즈 사출용 금형 및 제품을 수출할 수 있는 여건이 마련될 것으로 기대된다.

나. 시장규모

본 특허의 제조공정에 따라 제작한 마이크로렌즈 등의 마이크로 광학 부품은 광통신 산업의 광

스위치, 광회선 분배기(OXC), Optical Add/drop 멀티플렉서, attenuator, tunable filter 등과 DVD optical pick-up head, 가상현실(VR)을 위한 HMD(Head Mounted Display) 및 IMT-2000용 Micro display의 정보가전 분야에도 폭넓게 응용될 수 있는 기술이다. 이와 같은 Micro optics 부품 관련 세계 시장 자료를 아래 표1에 나타내었다. 이와 같은 자료로부터 NEXUS '98 자료를 통해 조사된 2002년의 MEMS기술 관련 시장은 총 \$380억으로 추정되며 그중 micro optics 부품 기술 관련 시장은 \$143억불로 37% 이상이 될 것으로 예측된다.

〈Micro 광학부품 관련 세계 시장 자료〉

(단위 : millions \$)

Item	년도	1996	2002
Optical Switches		50	1,000
Magneto Optical Head		1	500
Read/Write Heads		4500	12,000
IR Imagers		220	800
총계		4,771	14,300

주) Market analysis for microsystems, NEXUS, 98.10

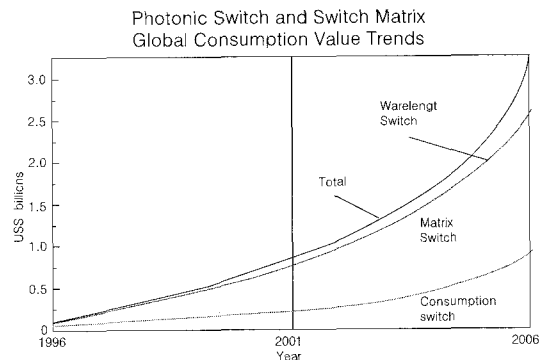
〈마이크로 광학부품(렌즈)예상 시장 규모〉

구분	현재의 시장규모	예상되는 시장규모
세계시장규모	5조7000억원	(2002년)약 17조1000억원
한국시장규모	5700억원	(2002년)약 1조7100억원

* 산출근거 : Market analysis for microsystems, NEXUS, '98. 10 (아래표)

현재시장은 2002년의 1/3추정치, 국내시장은 세계시장의 1/10추정치임

마이크로 렌즈가 사용될 Optical switch 및 Switch Matrix 시장은 1997년 0.13B US\$에서 2006년 3.2B US\$로 연평균 30% 이상 증가가 예상된다. 따라서 광 스위치 및 스위치 매트릭스에 채용될 마이크로 렌즈의 시장을 광스위치 및 스위치 매트릭스 시장의 1/5로 추정하면 2006년에는 8천억원에 이를 것으로 전망된다. 아래 그림에 ElectroniCast Corp.의 Optical switch 및 switch Matrix 시장자료를 나타내었다.



〈Optical switch 시장, ElectroniCast 자료〉

발특2002/4