

◆특집◆ Micro Machining

X-선 사진 식각 공정(LIGA)의 현황 및 전망

박순섭*, 홍성제*, 정석원*, 조진우*, 조남규*

The Present State and Prospect of LIGA Technology

Soon Sup Park*, Sung Jae Hong*, Suk Won Jung*, Jin Woo Cho*, and Nam Kyu Cho*

Key Words : Deep X-ray lithograph(X-선 사진 식각), X-ray mask(X-선 마스크), LIGA technology(LIGA 가공 기술)

1. 서론

X-선 사진식각공정(이하 LIGA 기술이라 함)을 이용한 초소형, 초정밀 금형 및 3차원 구조물 제작 가공기술은, 생산기반 기술 중 금형기술 및 가공기술 분야에 해당하는 기술로 포항가속기와 같은 방사선 가속기에서 생성되는 수 Å대 파장의 X-선을 이용하는 기술이다. 짧은 파장을 사용하는 연유로, 일반 반도체 공정으로는 실현할 수 없는 높고, 광학적 용도까지 가능한 거울정도의 벽면 거칠기(수백 Å 이하)를, 그러면서도 서브 마이크론의 정밀도(1μm 이하)를 가지는 금형 및 3차원 구조물을 일괄 가공할 수 있는 기술이다. LIGA 가공기술은 X-선을 이용하여 레지스트 틀을 형성하는 X-선 사진식각공정, 형성된 레지스트 틀에 금속을 도금으로 채워 넣는(metalization) 전주도금공정, 금형을 이용하여 플라스틱제품을 제작하는 사출성형공정으로 이루어지며, 이중 레지스트 틀을 형성하는 X-선 사진식각공정과 여기에 사용되는 X-선 마스크 제조기술이 가공품의 정밀도를 결정하는 핵심기술이다. LIGA 가공기술은 구조물 제작에 빛(X-선)을 이용한다는 점에서 반도체 공정과 유사하지만 제작할

수 있는 구조물의 높이가 수백 μm~수 cm에 이르는 점에 차이가 있다. 달리 말하면 제작할 수 있는 구조물의 높이가 높을 뿐, LIGA 가공기술은 반도체 공정과 흡사하다. 따라서 LIGA 가공기술은 기계가공으로 구현하기 힘든 복잡하고 다양한 형태의 금형 및 3차원 구조물을 금속(Ni, NiFe, NiP, NiCo), 세라믹(glass, PZT), 폴리머(PMMA, MMA) 등의 다양한 재료로 반도체 공정과 마찬가지로 일괄 양산 방식에 의해 제품의 균일성, 공정 단순화, 성능 향상 및 가격 저렴화가 가능한 기술이다. 또한 LIGA 기술을 이용하여 제작된 정밀 금형은 100:1 정도의 높은 종횡비, 1μm(10⁻⁶m) 이하의 치수정밀도로 종래의 기계가공기술에 의해 제작된것보다 우수하다. 또한 LIGA 기술을 이용하여 제작된 정밀 금형은 수십 nm(10⁻⁹m) 정도의 뛰어난 표면 거칠기로 다른 가공기술에 비하여 10배 이상 정밀하여 초소형 사출 성형시 발생하는 form-locking 현상이나 이형시 발생하는 문제점을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

기존의 기계가공 및 타 정밀 미세구조물 제작 기술에 있어서의 최대 문제점으로 대두되는 것은 아무리 단순한 구조일지라도 개별적으로 가공해야만 하는 개별생산방식이어서 단위시간당 생산량이 적고, 또한 제품의 균일성 및 반복성의 확보가 어렵다는 것이다. 그래서 나온 것이 금형에 의한 사출성형방식이 있는데 여기서의 문제점은 금

* 전자부품연구원 마이크로머신 연구센터
Tel. 0333-6104-379, Fax. 0333-6104-084
e-mail parkss@nuri.keti.re.kr

형제작비용이 비싸서 소량다품종을 요구하는 현재의 산업에서는 제품수량이 많지 않는 한 생산제품의 가격경쟁력을 맞추기 어렵다는 점이다.

2. 국내외 연구 동향

2.1 국외 동향

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^[1]. 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 최대로 살릴 수 있는 광학 분야에서의 응용 확대를 위한 연구가 많이 진행되었고 주로 독일에서 이루어졌다^[2].

이때까지만 해도 LIGA 공정으로 제작되는 구조물의 높이 및 정밀도는 비록 그때까지 행해왔던 다른 공정과 비교할 수 없을 정도로 높아왔지만 photo lithography의 한계 때문에 완전한 3차원 구조라기보다는 개선된 2차원 구조에 가까운 문제점을 지니고 있었다. 이런 2차원 구조물이라는 단점을 극복하기 위한 본격적인 연구가 80년대 후반 들어 시작되었다. 특히 이 시기에는 독일 뿐 아니라 미국에서도 LIGA 공정에 대한 연구가 시작되었다. 이 중 대표적인 연구가 반도체 공정에서 사용되는 희생층 공정을 LIGA 공정에 도입한 것과 multi-layer 개념을 LIGA 공정에 도입한 것이다^[3-5]. 희생층 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^[6-9]. 독일에서의 활발한 연구와 함께 LIGA 공정을 전문적으로 대행해 주는 Microparts라는 회사가 1989년 설립되어 그때까지 개발된 기술을 실제 제품화하기 위한 연구도 본격적으로 시작되었다.

LIGA 공정 기술의 핵심인 X-ray 마스크 제작 기술도 연구 초기에 사용되어 오던 Ti 마스크에서 수명 및 특성을 개선한 Be 마스크 및 SiN, poly-Si

마스크 제작 기술이 발표되어 공정 개선에 중요한 역할을 하게 되었다^[10,11]. 1990년대로 들어서면서 LIGA 공정상 중요한 개선점이 이루어졌다. 미국 위스콘신 대학의 Guckel 교수 팀은 그 동안 multi-coating에 의해 제작되던 x-ray 레지스트 PMMA (Polymethylmethacrylate)를 기존의 아크릴계통 sheet를 사용하여 동일한 결과를 얻었다고 발표하였다^[12]. 그때까지 써오던 스핀 코팅법은 응고 후 내부 응력 발생 및 수축 등으로 많은 문제점을 가지고 있었으나 sheet를 사용함으로써 해서 이런 단점을 개선하고 공정 단순화를 이룬 것이다.

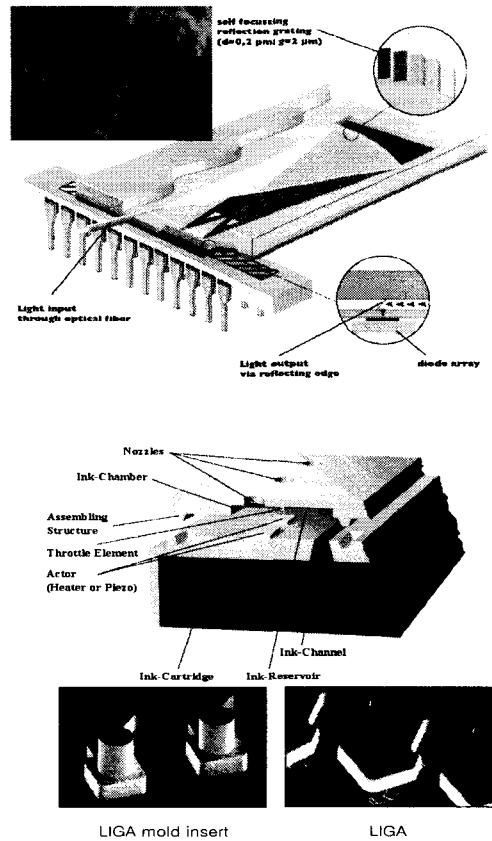


Fig. 1 LIGA applications fabricated by Microparts in Germany.(Upper : optical spectrometer, lower :ink-jet head nozzle)

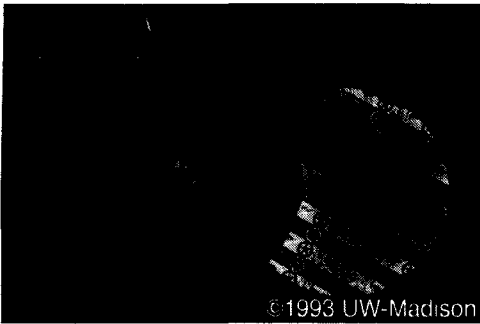


Fig. 2 X-ray mask (left:exposure area 1cm × 3cm, right : exposure area 4inch)

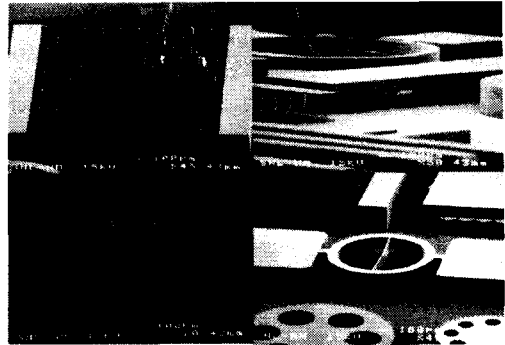
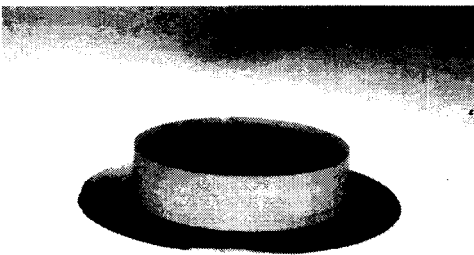


Fig. 4 SEM photographs of various multi-layer LIGA microstructures



©1993 UW-Madison

Fig. 3 1.15cm PMMA disk on a 4 inch Si wafer

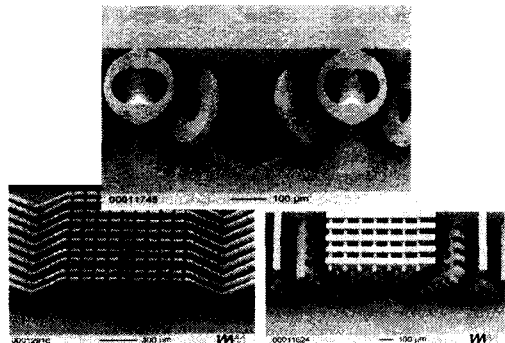


Fig. 5 Various LIGA microstructures fabricated by inclined X-ray exposure

1994년은 LIGA 공정 응용 상 일대 변화가 온 해로 소수 기관 위주로 이루어져 왔던 공정이 일반에게 공개되기 시작했다. 독일은 LEMA, 미국은 LIGAMUMP라고 명명하여 원하는 자에게 공정 서비스를 시작하였다. 이로 인해 보다 많은 기관이 이 연구를 시작하게 되었고 수많은 아이디어가 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-ray 식각 기술에도 변화가 와서 Si 마스크 개발로 공정 비용의 하락을 유도하였고 경사 노광 기술이 발표되어 수직 형태의 구조물에서 다양한 변화를 시도하기 시작하였다^[13].

LIGA 공정이 처음 제안되었을 때부터 이 공정의 최대 장점으로 부각될 수 있었던 복제 기술에 대한 기술 개발이 1995년 이후 활발하게 진행되기

시작하였다. 일반 폴리머를 이용하여 사출하는 공정에서부터 세라믹을 적용할 수 있는 공정 개발 결과도 계속 발표되어 그 응용 분야가 더욱 넓어지고 있다. 또한 기존의 Si 공정 기술과의 융합화 가능성에 대한 연구 결과도 발표되고 있다^[14-19]. 미국의 경우도 LIGA 공정 서비스를 통해 보다 많은 사용자를 확보함은 물론 1995년에는 LIGA 전문 회사인 LIGAtech가 설립됨으로서 본격적인 제품 개발이 시작되었다. 위와 같은 기술 개발 및 공정 개방에 힘입어 현재 LIGA 공정 개발 및 응용 분야 확대를 위해 세계적으로 매우 많은 기관이 독자적 또는 협력 관계를 유지하며 연구를 진행하고 있다.

유럽의 경우 LIGA 공정의 탄생지인 KfK 연구소 이외에도 Institute für Mikrotechnik GmbH Mainz, Physikalisches Karlsruhe, Institut der Universität

Bonn(독일), Laboratoire pour l'Utilisation du Rayonnement Electromagnetique, Orsay(프랑스), Daresbury Laboratory(영국), Sincrotron Trieste, Scientific Division Trieste (이탈리아), MAX Laboratory(스웨덴) 및 Paul Scherrer Institute Zurich(스위스) 등이 연구 결과를 내고 있다.

미국의 경우 위스콘신 대학 이외에도 CAMD(Center for Advanced Microstructures and Devices), Argonne Laboratory, Sandia National Laboratory, Lawrence Berkeley Laboratory, Jet Propulsion Laboratory, Stanford Synchrotron Radiation Laboratory, Louisiana State University 및 UC Berkeley 등이 연구 결과를 내고 있으며 이 외에도 IBM, IEP, TVJ등의 기업도 연구에 참여하고 있다.

아시아 지역에서는 일본, 대만 및 중국이 연구를 진행하고 있다. 일본의 경우 1991년 국가 프로젝트인 마이크로 머신 프로젝트의 일환으로 스미토모 연구소에서 처음 연구가 시작되었으며, 특히 스미토모의 경우 SR(Synchrotron Radiation) Machine 제작 업체로 자사 개발 SR를 이용한 LIGA 공정 연구를 진행하고 있다. 최근에는 도쿄 대학, 류메이칸 대학 등에서도 활발한 연구가 진행되고 있는 것으로 알려져 있으며 1998년부터는 LIGA-MICS라는 공정 서비스 프로그램 시작되어 더 많은 기관이 연구에 참여할 것으로 예상된다. 이 외에 중국의 경우 1993년 National Synchrotron Radiation Laboratory에서, 대만의 경우 1994년 Synchrotron Radiation Research Center에서 각각 연구를 시작하였다^[20,21].

2-2. 국내동향

한국의 경우도 현재 X-ray mask 제작, X-선 사진식각, 전기도금 등 LIGA 전 공정을 수행할 수 있으며 전자부품연구원(KETI)이 그 시작이 되었다. KETI에서는 1994년부터 LIGA 기반 기술 구축을 위한 연구를 시작하여 현재까지 체계적인 연구를 진행하고 있다. 연구는 기반 구축을 위한 단계(1995~1997)와 연구 기능 강화 단계(1998~현재)로 나눌 수 있다.

기반 구축 단계에서는 선진 각국의 기술을 배우고 접목시키는 일과 공정에 필수적인 장비 구축을

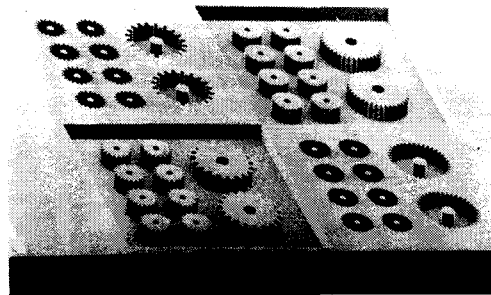


Fig. 6 Microgears fabricated by LIGA process

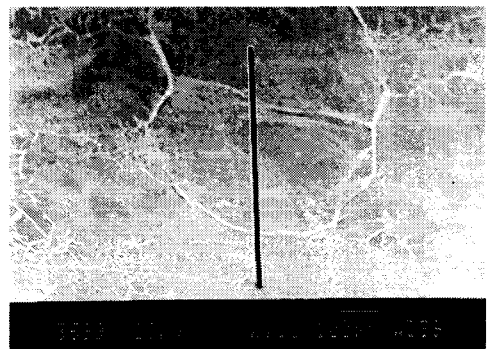


Fig. 7 Microstructure with small bar width of 15 μ m and height of 500 μ m

진행하였다^[22]. 이 기간 중 LIGA 기술의 핵심 기술인 마스크 제작 기술, X-ray 식각 기술 및 도금 기술에 대한 data를 축적하였다^[23-25]. 이 때까지 개발한 기술을 바탕으로 응용 분야의 하나인 두께 2mm 다심 광커넥터용 금형 제작에 성공하였다^[26, 27].

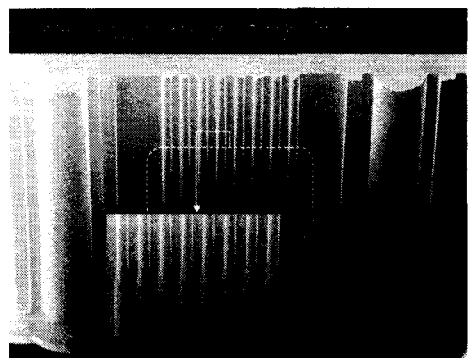


Fig. 8 Micromold of Multi-fiber optical connector. The thickness is 4mm

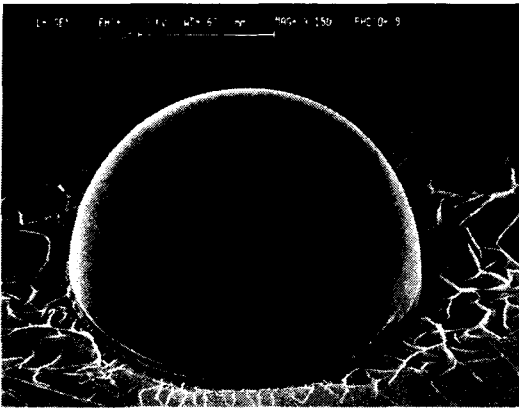


Fig. 9 Microlens fabricated by LIGA process
(radius : 600µm)

1단계에서 축적된 데이터를 바탕으로 1998년 포항 가속기에 6인치 공정이 가능한 LIGA 전용 빔라인이 구축되었고 이를 효율적으로 이용할 수 있는 공정 개발에 착수하였다. 그 결과 3인치 공정용 마스크 제작에 성공하여 LIGA 공정으로 일괄 공정이 가능함을 입증하였고, 구조물의 안정성에 획기적인 증대를 가져온 2차 전자 흡수층의 제작 기술을 확립하였다^[28-30]. 또한 LIGA 공정의 최대 장점을 살리기 위해 경사 노광법을 시도하여 4mm 두께를 가지면서도 경사층을 구현할 수 있는 기술을 발표하였다^[31]. 금형으로서의 응용 분야를 더욱 확대하기 위해 PZT 초음파 센서 제작용 금형 및 새롭게 고안된 지그를 사용한 비구면 렌즈 등도 제작 발표되었다^[32,33]. 2단계에 걸쳐 개발 확립된 기술을 바탕으로 국내에서도 2000년부터 더욱 많은 기관이 연구에 참여할 수 있도록 공정 지원 서비스를 실시할 계획으로 되어 있다.

3. 공정기술의 현안

LIGA 가공기술의 장점을 최대한 이용하기 위해서는 공정자체의 문제점을 살피고 이를 극복할 수 있는 기술이 개발되어야 한다.

X-ray에 의한 가공방식인 LIGA가공기술은 빛의 특성상 구조물의 형상이 수직구조에 한정된다는 점이다.

Table 1 The comparison of domestic and world LIGA technology

주요성능 (Spec.)		세계 수준	현 국내수준	수준 비교
		보유국/보유기술	성능수준	
X-선 마스크 제조 기술	재료	SiN, Si, Ti, Be, Graphite 등	SiN, Si, Graphite	중
	정밀도	≤ ± 0.2µm	≤ ± 0.3µm	상
	면적	3"	3	상
	내구성	≥ 50 hours	≥ 50 hours	상
X-ray 사진 식각 기술	정밀도 (높이)	≤ 0.4(≥ 1000µm)	≤ 0.6(≥ 1000µm)	상
	CD	≤ 2µm(with support)	≤ 2µm(with support)	중
		≤ 5µm(free standing)	≤ 10µm(free standing)	
	중형비	250 (with support)	150 (with support)	중
		40 (free standing)	35 (free standing)	
	면조도	30nm	30nm	상
정렬 정밀도	≤ ± 1.0µm	-	하	
전기 도금 기술	재료	Ni, Cu, Ni-Fe, NiCo, NiP, NiW, ...	Ni, Ni-Fe	하
	높이	≥ 1,000µm	≥ 1,000µm	상
	CD	≤ 3µm	≤ 10µm	중
	중형비	100	20	하
조도	40nm	50nm	상	

실용성을 높이기 위해서는 근본적으로 이 문제를 해결하여야하며 현 연구 추세는 노광 장치의 개발이나 타 가공 기술과의 융합화 연구로 가공형상에 대한 자유도가 확대되고 있는 추세이다.

마스크부분도 많이 연구가 수행되는 부분 중의 하나로 기존의 X-선 마스크는 SiN membrane의 취약성으로 노광 가능한 면적이 1cm× 4cm에 제한되어 있었고, Beryllium, Ti membrane을 이용한 마스크로도 2cm× 6cm 정도의 면적에 그치고 있어 제작비 저감 효과의 극대화를 위한 대면적화를 위해서는 X-선 마스크의 개발이 필수적이며 이에 대한 연구도 매우 활발히 이루어지고 있다.

LIGA 기술이 정밀 금형 제작에 이용될 경우 지금까지는 재료가 Ni, Cu, Au 등의 경도가 비교적 낮은 공정만이 확립되어 있어 NiW, NiP, NiCo 등의 경도가 큰 재료에 대한 연구가 수반되어야 하며 이에 대한 연구도 많이 이루어지고 있다. 이에 더불어 도금에 의해 실제 구조물을 만드는 공정에서 두께가 크고, 폭이 좁은 구조물 도금의 경우 도금의 균일성, 속도 및 잔류 응력 특성 등에 대한 조건이 확립되어야 하며 이에 대한 많은 연구가 수행되고 있다.

이외에 가장 중요한 부분으로 볼 수 있는 것으로 LIGA 기술에 의해 제작된 금속 및 플라스틱 구조물을 X-선 사진식각공정을 이용하지 않고 다시 제작하는 기술로 양산화로 이어지게 하는 중요한 기술인 hot embossing, pressing 등의 구조물 복제 기술에 대한 많은 연구가 수반되어야 한다.

4. 기술 전망

과거의 수공업 중심의 소량생산체제에서 현재의 대량생산체제로의 전환을 이끌었던 핵심기술은 금형과 판금기술이었다. 그 중 금형 기술이야말로 국가 산업의 제품 성능 및 가격 경쟁력을 좌우하는 결정요인으로 작용하고 있는 것은 어느 누구도 부인할 수 없는 사실이다.

현재의 산업 사회는 전자, 정보, 통신, 의료, 환경 분야의 급속한 발달로 종래의 금형 기술로서는 충족시키기 어려운 경·박·단·소, 고성능, 다기능화, 저가격화가 요구되고 있고, 이를 실현시킬 수 있는 초소형, 초정밀 금형 및 가공기술에 대한 요구가 급증하고 있다. 그러나 이러한 요구에도 불구하고 기계가공, 방전가공, 레이저 가공기술 등 종래의 가공기술은 점차 그 한계에 부딪히고 있는 것이 현실이다. LIGA 가공 기술은 바로 이런 점에서 초소형, 초정밀 금형 및 가공기술에 있어서 종래의 가공기술이 해결하기 어려운 부분을 충족, 대체할 수 있는 신기술이다. 현재 LIGA 가공 기술로 응용 가능한 산업분야는 정보통신분야(ink-jet print nozzle, WDM, 광스위치, 광도파로, 커플러, 광커넥터등 광부품류), 자동차분야(가속도, 유량, 로크, 위치, 각도 센서류), 정밀기계분야(마이크로 액츄에이터/모터, 마이크로밸브, 마이크로기어, 마이크로스위치), Microelectronics분야(microconnector, heat sink for chip, lead frame, microelectrode), 의학 및 생물학, 환경, 군사, 우주, 항공 분야 등 초소형, 초정밀 금형 및 3차원 구조물 가공기술이 필요한 거의 모든 산업 분야이다. 초소형, 초정밀 금형 및 제품 개발을 위한 LIGA 가공 기술에 대한 연구는 독일, 미국 등 선진국에서 활발한 연구가 진행되고 있고, 이미 LIGA 가공 기술을 이용한 초소형 기계구조물 및 광 관련 제품이 나오고 있는 실정이다. 우리 나라와 같이 독일, 미국, 일본 등 선진국에 비해 기계가공기술이 상대적으로 낙후되어 있고, 그 격차를 좁처럼 줄이기 어려운

상황에서, LIGA 가공기술은 미래 산업 경쟁력을 좌우할 새롭게 대두되는 신기술로서 단기간의 집중 투자로 기술 선점이 가능한 분야이므로 이에 대한 정부 차원의 지속적 지원, 육성책이 시급한 산업기술분야이다.

5. 앞으로의 전망

LIGA 공정으로 창출될 수 있는 유망 분야를 종합하면 아래표와 같다. LIGA 공정은 센서, 마이크로 액츄에이터/모터, 유체, 일렉트로닉스 및 광학 분야에 핵심 가공기술로 자리잡을 것으로 확신된다.

Table 2 Various Application fields of Products fabricated by LIGA process

제품 분야	응용 제품	시장	현재 수준	LIGA 기여도	
정보통신분야	정보 인식	가속도센서	○	S	◎
		위치센서	◎	S	◎
		마이크로 스펙트로미터	○	D	◎
		X-선 증배관	◎	D	◎
	정보 전송	Coupler	◎	S	○
		Electric micro connector	◎	S	◎
		Optical connector	◎	P	◎
		Transceiver	◎	S	○
		Lead frame	◎	S	◎
		광 도파로	◎	S	○
		광 스위치	◎	S	○
		광 변조 소자	◎	S	△
		마이크로 prism	○	S	◎
		Beam splitter prism	○	S	◎
		Micro lens	◎	S	◎
		Optical benches	◎	S	◎
		Microwave components	◎	P	○
		WDM	◎	S	○
		Fresnel Zone Plate & array	○	S	◎
		Inductor	◎	D	◎
Piezoelectric actuator	◎	D	◎		
자동차분야	가속도 센서 (Air bag, ABS)	◎	P	◎	
	연소압 센서 (연비, 배기가스)	◎	P	△	
	고집적 광부품	◎	D	○	
	연료 주입용 마이크로 노즐	◎	D	○	
	navigation 용 마이크로 기계부품	○	D	◎	
가스 혼합 분석용 센서	◎	D	△		

market : ◎(large), ○ (medium), △(small)

Present : P(Production), S(Small Production),

D(Development),

Contribution : ◎(large), ◯ (medium), △(small)

제품 분야	응용 제품	시 경	현재 수준	LIGA 기여도
공정 기술 분야	마이크로 노즐	◎	S	◎
	마이크로 spinneret nozzles	◎	D	◎
	Process parameter 측정용 질량/유속 센서	○	D	△
	초소형 열 교환기	○	D	○
	유기 고분자/세라믹/금속 다공질 필터	○	D	◎
의료 응용 분야	방사선진단용honeycomb구조	○	S	◎
	초음파 진단/신호 발생 용 PZT transducer	◎	D	◎
	마이크로 turbine	○	D	◎
	마이크로 펌프	◎	D	◎
	유체 스위치	◎	D	◎
	화학 분석 용 spectroscope	◎	D	◎
	Micro channel	◎	S	◎
	Micro scissor	○	D	◎
	Micro gripper	○	D	◎
	Micro valve	◎	D	◎
기타 분야	Fluidic Amplifier	○	D	△
	Electrostatic linear motor	○	D	◎
	Electrostatic motor	○	D	◎
	Electromagnetic motor	○	D	◎
	Precision motor	○	D	◎
	Precision mold	◎	S	◎
	Micro spring	○	S	◎
	Micro gearwheel	○	S	◎
	Micro joint	○	D	○
	Interlocking Gears	○	S	◎
	Thermal sensor	○	D	△
	mm-wave linear accelerator cavities	○	D	○
	Array electron multiplier	○	D	○
	Electrostatic comb-drives stage	◎	D	◎
	640 GHz wave guide	◎	D	○
	Reaction vessel	○	D	○
	Micro mixer	○	D	○
	Gas spectroscope	○	S	○
	Catalyst carrier PDP	◎	D	◎
	Ink jet head nozzle	◎	P	◎
Magnetic head	○	D	△	
Electrode for fuel cell	○	D	△	

Table 3 Marketability of microcomponent fabricated by LIGA process

Components 분야	센서	마이크로 액츄에이터/모터	유체	일렉트로닉스	광학
정보 통신	◎	△		◎	◎
자동차	◎	◎	◎	△	○
Process 기술	○	△	◎		
의료 응용	◎	◎	○		○
정밀 기계	◎	◎	○	△	○
환경	○				△
항공 우주	○	○	○	○	○

marketability : ◎(large), ○ (medium), △(promise)

6. 결론

지금까지 LIGA 가공기술의 현 기술 동향 및 앞으로의 전망에 대해 알아보았다. LIGA 기술은 크게 보아 그 자체 기술의 확보에 따른 장점도 갖추고 있지만 이를 이용한 응용분야에 적용됨으로써 제조 공정을 간단히 한다던가, 양산성을 높인다던가, 새로운 개념의 상품 개발조차 가능해진다는 장점과 함께 다양한 응용분야에서도 보았듯이 타 분야에의 기술적 파급효과가 매우 큼을 알 수 있다. 그러나 타 가공 기술도 동일하겠지만 LIGA 가공 기술도 한 분야의 기술로 이루어지는 것이 아니라, 학문적으로는 재료, 전자, 전기, 화학, 기계 및 시스템 등 복합적인 지원이 있어야 가능하며 이에 따라 이러한 분야의 발전도 함께 기대할 수 있다. 이 기술은 특히 응용부분이 매우 많을 것으로 기대되는 분야로 아이디어에 의한 격전장이 될 것으로 보여 우리에게는 한번 도전해 볼만한 분야임에는 틀림없을 것으로 생각된다.

후기

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 Milli-structure 생산기술개발사업 및 산업자원부와 과학기술부가 주관하는 초소형정밀기계 선도기술개발사업의 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사드리며 실험에 많은 도움을 주신 포항가속기 관계자

여러분께도 감사드립니다.

참고문헌

1. E.W. Becker, et al., "Fabrication of microstructures with high aspect ratios and great structural heights by synchrotron radiation lithography, galvanofarming, and plastic molding (LIGA process)," Micro-electronic Engineering, Vol. 4, pp.35-56, 1986.
2. B. Anderar, W. Ehrfeld, D. Munchmeyer, "Development of a 10-channel Wavelength division Multiplexer /Demultiplexer fabricated by an X-ray micromachining Process," SPIE, 1014 Micro-optics, pp. 17-24, 1988.
3. C. Burbaum, et al., "Fabrication of electrostatic microdevices by the LIGA technique," Sensor and Materials, Vol.3, No. 2 pp. 75-8, 1991.
4. H. Harmerning, et al., "Molding of Three dimensional microstructures by the LIGA process," Proceedings of Micro Electro Mechanical Systems, pp. 202-207, 1992.
5. H. Guckel, et al., "Fabrication of assembled micromechanical components via deep X-ray lithography," Proc. IEEE MEMS '91, pp.74-79, 1991.
6. J. Mohr, et al., "Application of the LIGA process in fabrication of three dimensional mechanical microstructures," Proc. Of 1991 International Microprocess conference, pp. 384-389.
7. J. Mohr, et al., "Fabrication of capacitive acceleration sensors by LIGA technique," Sensors and Actuators, A25-27, pp. 559-563, 1991.
8. W. Ehrefeld and H. Lehr, "Deep X-ray lithography for the production of three dimensional microstructures from metals, polymers and ceramics," Radiat. Phys. Chem., Vol 45, No. 3, pp. 349-365, 1995.
9. W. Menz, "LIGA and related technologies for industrial applications," Sensors and Actuators, A54, pp.785-789, 1996.
10. W. Ehrefeld, et al., "Mask making for synchrotron radiation lithography," Microelectronics Engineering, pp.463-470, 1986.
11. H. Guckel, et al., "Deep X-ray and UV lithographies for micromechanics," Proc. IEEE MEMS, pp.118-122, 1990.
12. H. Guckel, et al., Proc. of Quebec '93- SPIE International Symposium on Holography, Microstructures, and Laser Technologies, pp.15-21, 1993.
13. H. Guckel, et al., "Processing and Design considerations for High output-large throw Electrostatic, linear microactuator," 4th International conference on New actuators, Actuators, pp. 105-108, 1994.
14. Thomas Hanemann, et al., "Photopolymerization and micromolding," HARMST, 1994.
15. H. Becker, et al., "The fabrication of polymer high aspect ratio structures with hot embossing for microfluidic application," SPIE conference on microfluidic device and systems, vol.3877, pp.74-79, 1999
16. Y. Hirata, et al., "Piezoelectric composites for micro ultrasonic transducer realized with deep etch X-ray lithography," Proc. IEEE MEMS, pp.186-190, 1995.
17. T. R. Christenson, et al., "Micro-fabrication of fully dense Rare earth permanent magnets via deep x-ray lithography and hot forging," HARMST, pp.82-83, 1999.
18. D. Mass, et al., "Fabrication of microcomponents using adhesive bonding technique," Proc. IEEE MEMS, pp.331-336, 1996.
19. Li-Wei Pan, et al., "A flip-chip LIGA assembly technique via electroplating," HARMST, pp.108-109, 1999.
20. Tian Yangchao, et al., "Current status of LIGA technology at NSRL," HARMST, pp. 128-129, 1999.
21. Y. Cheng, "Status of HARMST in Taiwan," HARMST '99, pp.126-127, 1999.
22. 박순섭 외, "LIGA 기술 개발에 관한 연구," 산업자원부, 과학기술부, 초소형 정밀기계기술개발사업

- 발 과제 보고서, 1998.
23. 박순섭 외, "LIGA 프로세스에 의해 형성된 퍼멀로이 박막의 자기적 특성에 미치는 도금 및 열처리의 자장 효과에 관한 연구," 추계 금속학회 발표, 1997.
 24. 박순섭 외, "Ni electro & electroless plating for application to LIGA process," 제 4회 한국 반도체 학술 대회, 1997.2.20.
 25. 박순섭 외, "Research on the LIGA process using white beam," 제10차 방사광 이용자 발표회, 1998.2.11.
 26. 박순섭 외, "LIGA 공정으로 제작한 구조물의 정밀도에 관한 연구," 전기학회 학술회의, 1998.4.11.
 27. 박순섭 외, "초정밀 가공 기술을 이용한 초다심 광커넥터 개발," 산업자원부, 과학기술부, 초소형 정밀 기계 기술개발 과제 보고서, 1998.
 28. 박순섭 외, " Research on adhesion promotion of PMMA microstructure," 제11차 방사광 이용자 발표회, 1999.2.4.
 29. 박순섭 외, " X-ray 노광 조건이 PMMA 미세 구조물의 밀착력에 미치는 영향," 제 1회 MEMS symposium ,1999.4.17.
 30. 박순섭 외, "Graphite sheet를 이용한 X-ray 마스크 제작," '99 대한 전기학회 하계 학술대회, 1999.7.19.
 31. 박순섭 외, "LIGA 공정을 이용한 다심 광커넥터의 제작," 광자기학술회의, 1999.11.03.
 32. 박순섭 외, "PZT sheet를 이용한 초음파 Transducer Array 제작," '99 대한 전기학회 추계 학술대회, 1999.11.20.
 33. 박순섭 외, "X-ray 식각 공정을 이용한 마이크로렌즈의 제작," '99 대한 전기학회 추계 학술대회, 1999.11.20.