

# 기능성 액체의 액적 디스펜싱 기술과 동향 Technologies and Trends in Functional Fluid Droplet Dispensing

함영복 · 오성진 · 서우석 · 박중호 · 윤소남

Y. B. Ham, S. J. Oh, W. S. Seo, J. H. Park and S. N. Yun

## 1. 서론

최근, 정밀기계 및 IT 산업의 발달에 따라 디스플레이, 반도체 시장은 국가경쟁력 제고를 위한 전략상품으로 많은 투자가 이루어지고 있으며, 이를 위한 제조공정에는 잉크젯 프린팅 또는 디스펜싱 기술이 사용되고 있다. 또한, 소비자들의 다양한 제품에 대한 수요가 증가함에 따라 소량 다품종 생산 전략이 요구되고 있으며, 제품의 개발기간 단축과 비용절감이 중요한 문제로 대두됨으로써 미소 액적 디스펜싱 시장이 급속도로 성장하고 있다. 칼라 용융수지와 같은 미소 액적을 정량 분사하는 젯팅 노즐의 설계기술은 미세 패턴 형성을 위한 산업용 잉크젯 헤드, 디스펜서, 3차원 프린터 등의 고정밀도 확보 및 젯팅 성능 향상을 위한 핵심 요소 기술이다.

현재, 같은 미소 액적의 극미세, 정량 젯팅을 위하여 잉크젯 기술을 적용하는 방안이 시도되고 있으나, 토출 가능한 점도범위의 제한(수 cPs 이하의 저점도), 액적 크기의 좁은 변조 범위(pL 스케일) 및 잦은 노즐 막힘으로 인한 유지/보수비용의 증가로 인하여 비교적 높은 점도범위를 가지는 용융수지를 액적 형태로 젯팅 하는데 한계가 있다.

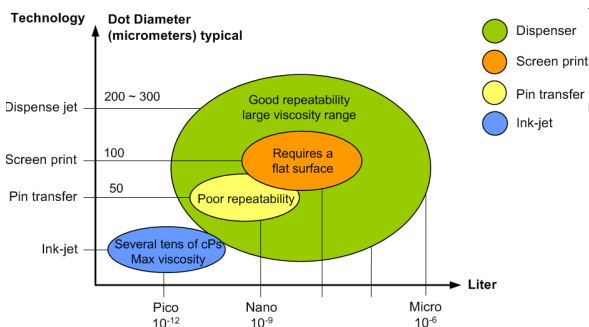


그림 1.1 다양한 종류의 미소 액적 젯팅 기술의 한계

탄소나노튜브, 아크릴 수지, 세라믹 입자 등 함유된 기능성 액체는 다양한 점도범위(수십~수백 cPs)를 가지며, 적용 분야에 따라 다양한 종류의 기능성

액체를 극미세와 동시에 정량 디스펜싱 하기 위해서는 기존의 잉크젯 기술의 한계를 극복하는 디스펜서 헤드의 개발이 요구되고 있다.

최근, 소형이면서 제어가 용이하고, 고속 응답성 및 높은 발생력(blocking force)을 가지는 압전 액추에이터(piezoelectric actuator)를 구동원으로 이용한 압전구동 젯팅 노즐의 개발이 가속화 되고 있다. 또한, 미소 유체의 정밀, 정량 분사를 위한 젯팅 노즐의 설계 및 양산기술은 일본의 Canon, 미국의 HP, 3D Systems, MicroFab 등 해외 선진 업체가 주도하고 있으며, 국내의 경우, 젯팅 노즐을 포함한 장비의 대부분을 수입에 의존하고 있는 현실로부터, 젯팅 노즐 설계기술의 확보를 통한 국산화가 시급한 실정이다.

## 2. 압전구동 젯팅 노즐 기술

### 2.1 압전구동 젯팅 노즐

기능성 액체와 같은 미소 액적을 정량 토출하기 위한 압전구동 젯팅노즐의 구조는 유체가 저장되어 있는 챔버, 챔버 내부를 가압하는 압전 액추에이터 및 가압된 챔버 내부의 유체가 토출하는 노즐 팁으로 구성되어 있으며, 압전 액추에이터의 구동방식에 따라 굽힘모드(bend mode), 누름모드(push mode) 및 짜내기모드(squeeze mode)로 구분된다.

압전구동 젯팅노즐 개발을 위한 핵심 기술은 균일한 크기의 액적을 분사하기 위한 노즐 팁 설계 및 제작 기술, 챔버 내부에 일정한 압력을 형성하기 위한 압전 액추에이터 제작 및 구동기술, 압전 액추에이터와 노즐의 조립, 접합 및 씰링(sealing) 등의 패키징 기술 등이 요구되고 있다. 특히, 다양한 산·알카리성 용제에 대응 가능하고 침전물이 함유된 용제 및 넓은 점도 범위에서도 일정한 분사 성능을 유지하기 위해서는 노즐 팁의 치수, 형상 및 재질에 관한 검토가 이루어져야 하고, 챔버를 가압하는 압전 액추에이터의 구동 전압에 대한 변위특성 및 힘 특성에 관한 검토가 요구된다.

## 2.2 압전 디스펜서의 분류

압전 세라믹을 이용한 디스펜서의 구동방식은 적층형 압전소자의 측면위를 이용한 누름모드 방식, 압전 박막의 굽힘변위를 이용한 굽힘모드 방식 및 캐필러리 주위를 둘러싼 중공형 압전소자의 반경방향 변위를 이용한 짜내기모드 방식으로 구분된다.

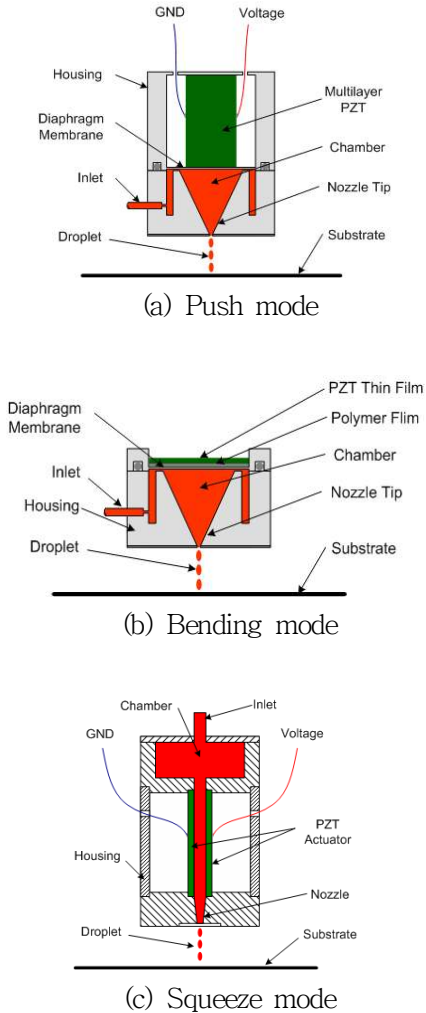
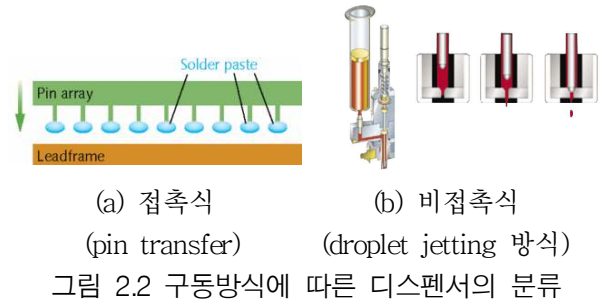


그림 2.1 압전 세라믹을 이용한 디스펜서 구동방식

미소 액적을 젯팅하기 위한 디스펜서의 구동방식에 따른 분류는 디스펜서가 대상물과 접촉하는 접촉식과 물리적 접촉이 없는 비접촉식으로 구분된다. 접촉식 디스펜싱 기술의 대표적인 방법인 핀전달(pin transfer) 방식은 액체 용기에 핀을 담근 뒤 핀의 이송을 통해 목적 표면에 디스펜싱 하는 방법이기 때문에, 초정밀 얼라이언트에 어려움이 있으며, 소량 다품종 생산에 적용하기 곤란하다. 비접촉식 디스펜싱 방법은 액적 분사방식(droplet jetting)을 채용한 생산 지향적 디스펜싱 기술로써, 디스펜싱 헤드와 대상물 간의 물리적 접촉을 없애 선택적 디스펜싱의

효율을 높인 방식으로 고속정량 토출이 가능하여 대부분의 디스펜싱 시스템에 채용되고 있다.



(a) 접촉식 (pin transfer) (b) 비접촉식 (droplet jetting 방식)  
그림 2.2 구동방식에 따른 디스펜서의 분류

특히, 최근의 고성능 전자기기나 모바일 장치의 고집적화 및 소량 다품종 개발 추세에 따라 이들 제품에 장착되는 회로기판 또는 플립칩(flip chip) 등은 다양한 패턴과 극도로 미세한 패턴을 요구하고 있으므로, 나노 수준의 액적을 정밀하게 토출할 수 있는 Drop-on-Demand 방식의 디스펜서 개발이 요구되고 있다.

현재까지 액적 젯팅 방식의 디스펜서의 구동 방법은 대부분 공기압을 이용한 시린지(syringe) 펌프로부터 가압된 유체를 고속 솔레노이드 제어밸브를 이용하여 액적을 형성·토출하고 있다.



그림 2.3 공기압 시린지(syringe) 방식 디스펜서

그러나, 공기압을 이용하는 기존 디스펜싱 방식은 미세 노즐의 이물질 침전 및 막힘 방지를 위한 공기의 필터링 문제, 고속 솔레노이드 밸브의 동특성 및 소형화 한계, 공기압 부품들의 집적화 및 신뢰성 확보 측면에서 다양한 점도 범위를 갖는 기능성 액적을 나노리터 수준에서 고속정량 디스펜싱하기 어려운 실정이다. 최근, 기존의 공기압 디스펜싱 방법의 단점을 극복하는 대안으로, 빠른 응답성, 높은 작동력(blocking force), 낮은 구동전압 특성을 가지는 압전 세라믹을 이용하여 극미세 액적의 초정밀 고속토출을 위한 압전 디스펜서의 개발이 해외 기술 선진

국을 중심으로 시도되고 있다. 또한, Flip Chip, OLED, 유기 태양전지, 의료[바이오 공정 등에서 사용되고 있는 접착제, 용제, 전도성 유체, 유기 고분자 등과 같은 다양한 점도범위(~200cPs)의 기능성 액적을 나노리터 수준으로 정량 토출하기 위해서는 압전소자를 이용한 디스펜서의 개발이 절실히 요구된다.

표 2.1 압전구동 젯팅 노즐과 공기압 구동 (시린지-솔레노이드) 노즐의 비교

구 분	공기압구동 젯팅 노즐	압전구동 젯팅 노즐
액적 정밀도	수백 nL ~ mL급	pL ~ nL급
핵심부품	공기압축기, 솔레노이드밸브등	압전 액추에이터

### 3. 기술 개발 동향

#### 3.1 국외 기술 동향

독일 Freibug 대학에서는 적층형 PZT 액추에이터와 반도체 가공으로 제작된 실리콘 노즐 칩을 이용하여 나노리터급 액적을 젯팅할 수 있는 Push mode형 압전 디스펜서 헤드에 관한 연구를 수행하였다.

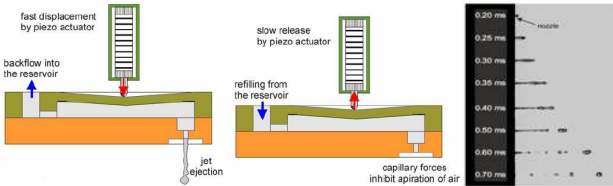


그림 3.1 독일 Freibug 대학의 Push mode형 압전 디스펜서

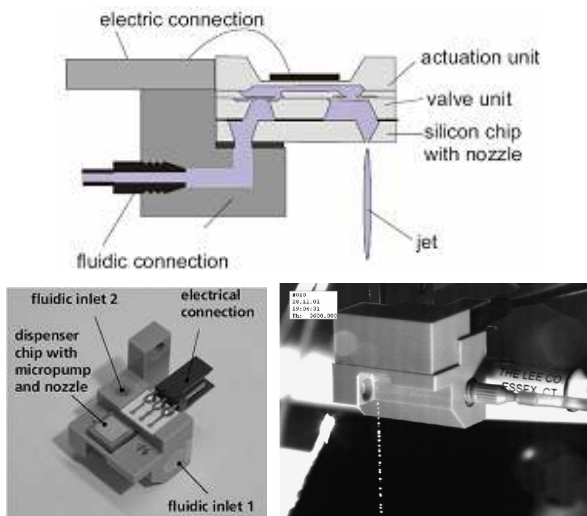


그림 3.2 독일 Fraunhofer 연구소의 Bending mode형 압전 디스펜서

독일 Fraunhofer 연구소는 압전 박막을 이용하여 약 500Hz 구동 주파수 영역의 Bending mode형 압전 디스펜서에 관하여 바이오 응용 목적으로 연구를 수행중이다.

미국 BioDot社は 바이오 의료물질 토출을 위하여 중공형 압전 액추에이터를 캐필러리 주위에 장착한 Squeeze mode형 압전 디스펜서 개발에 관한 연구를 수행하였다.

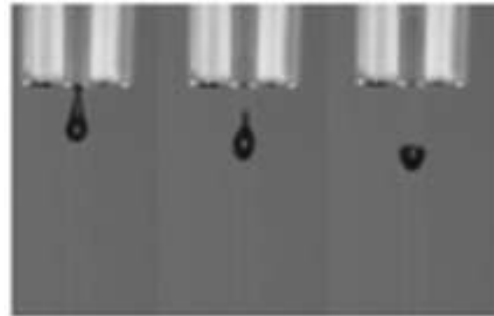
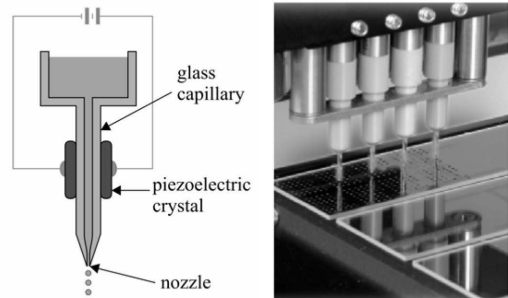


그림 3.3 미국 BioDot社의 Squeeze mode형 압전 디스펜서

독일 Rostock 대학에서도 바이오, 화학공정 등에 적용하기 위하여 10nL급의 액적 토출이 가능한 Squeeze mode형 압전 디스펜서 개발에 성공하였다.

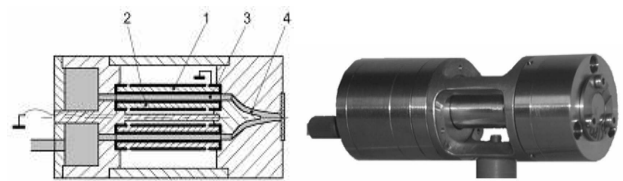


그림 3.4 독일 Rostock 대학의 Squeeze mode형 압전 디스펜서

한편, 독일의 Biofluidix GmbH에서는 PZT 액추에이터와 Elastomer 탄성체를 구동원으로 하고 실리콘 기판상에 MEMS 기술을 이용한 노즐 칩을 제작하여 멀티노즐 압전구동 디스펜서를 개발하여 생산 중에 있다.

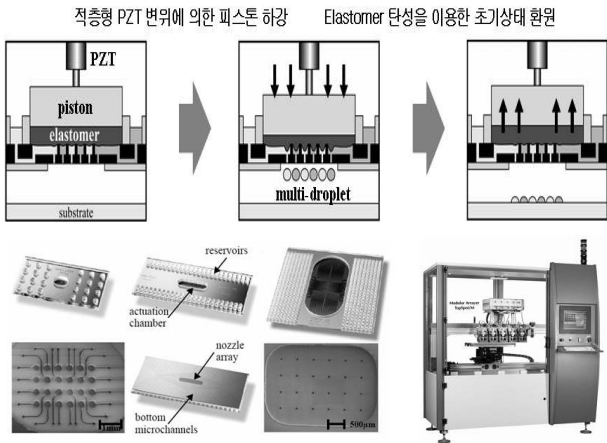
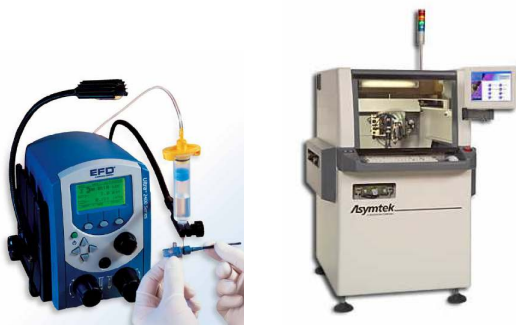
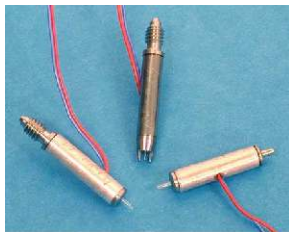


그림 3.5 Biofluidix GmbH의 멀티노즐 압전구동 디스펜서 장비



(a) EFD사의 Ultra 2400 (b) Asymtek 사의 X-1020



(c) MicroFab사의 단일 분사 노즐 (d) Context사의 DESINmate

그림 3.6 국외의 기술보유 업체 및 제품군

미국의 EFD사는 산업용 액체 토출 장비로써 저점도 액체 토출이 가능한 "Ultra 1400"를 개발하여 공급하고 있고, 미국의 Asymtek사는 디스펜서 모델인 X-1020을 개발하였으며, 이 장비는 디스펜싱 작업중 발생 될 수 있는 도그-본 현상이나 니트 현상을 없앨 수 있는 소프트웨어 시스템을 갖추고 있어 디스펜싱 품질을 향상시켰다. 미국의 MicroFab사는 사용 온도에 따른 고/저온용 프린터 헤드의 분사 노즐 및 디스펜서 등을 개발하고 있으며, 개발된 단일노즐 헤

드는 중공형 압전 액추에이터를 이용하여 젯팅을 수행한다. Context사의 쾌속조형장비인 DESINmate Cx는 고해상도의 RP 제작이 가능하고, 고성능 복합재료의 이용이 가능하고, 3D Systems사와 Solidscape사는 각각 "Jetted Photopolymer" 방식과 "Single jetting" 방식의 쾌속조형시스템을 개발하여 판매중이다.

### 3.2 국내 기술 동향

압전구동 펌프, 밸브 및 노즐과 관련해서는 일부 부품의 요소기술은 보유하고 있으나, 우선적으로 미소 액적의 정량분사가 가능한 노즐 설계기술의 확보가 시급한 실정이다.

삼성테크윈에서는 전자제품 제조장비의 핵심인 칩마운터, SMT 인라인 장비 등에 적용 가능한 고속·고정밀 SMT용 도트 디스펜서 장비를 생산하고 있으며, 디스펜싱 신뢰성 향상을 위하여 LSO(Line Scan Optics) 비전시스템을 채용하고 있다.

반석정밀공업(주)에서는 고정도 정량토출 디스펜서 시스템, 고정도 고액형 토출시스템, 자동 Sealing 시스템 등 2액형 디스펜서 장비를 제조·공급하고 있으며, 기어펌프를 이용하여 가압하고 니들밸브를 통하여 토출하는 디스펜싱 시스템을 채용하고 있다.

유진테크 사에서는 UV 접착제 도포, Under Fill 공정, Die Attach 공정 등 전자장비 Packaging 공정에 사용 가능한 디스펜서 장비를 생산중이며, 압축공기와 니들밸브를 이용한 압력 보정형 공기압 구동방식을 적용하고 있다.

노드슨 상산(주)은 미국의 Nordson사와 기술 제휴를 통하여 Hot Melt 접착제, 수용성 접착제, Sealant, Epoxy류 등 다양한 종류의 접착제, 코팅제, 실링제 도포용 디스펜서 장비를 생산·공급하고 있으며, 점도범위가 높은 접착제류의 도포를 위하여 디스펜서 헤드 내부에 히팅장치를 내장하고 있다.

퀵맥스 사는 SMT, Under Fill 공정용 디스펜서 장비 제조업체로, 이액형 디스펜서, 고속 칩마운터 등의 제품에 Probe를 이용한 공기압 구동방식 디스펜서 헤드를 적용하고 있다.

(주)프로텍 사는 반도체 제조공정에 사용되는 Mold 공정장비를 생산하는 업체로서, Flip chip, BGA, u-BGA, CPS, PBGA 공정 등에 적용 가능한 디스펜서 장비를 제조·공급하고 있다.

#### 4. 적용분야

디스펜서 기술이 적용되는 산업분야는 크게 정밀기기·반도체 산업분야, 화학 공정장비 산업분야 및 의료·바이오 산업분야로 분류할 수 있다.

여러 산업분야의 근간이 되는 기술인 디스펜서 기술은 표 4.2와 같은 제품 생산을 위한 공정장비 핵심요소 기술로 활용된다.

표 4.1 디스펜서 기술이 적용되는 대표적인 산업분야의 분류

적용분야	적용 제품 또는 공정
정밀기기·반도체 산업분야	반도체 Packaging, 3차원 성형기, Flip chip 본딩, 고휘도 LED chip Packaging, OLED/TFT 디스플레이 칼라 패터닝, RFID, 유기박막 트랜지스터(OTFT), 유기 태양전지 등
화학 공정장비 산업분야	정밀 화학 분석장비, 2액형 디스펜싱 장비 등
의료·바이오 산업분야	바이오 센서, 바이오 칩, 마이크로 어레이, BIO-MEMS, Micro dosing, 약물전달 시스템, 바이오 일렉트로닉스 소자 등

표 4.2 디스펜서 기술이 적용되는 제품

적용분야	적용 제품
반도체	LSI, IC, 일반논리회로 IC, Hybrid IC, CSP, BGA, Transistor, Diode
광학	Camera, Telescope
전자/기기 부품	PCB, 소형Switch, 전해 콘덴서, 수정진동자, Sensor, 고휘도 LED, LCD, Magnetic Head, Relay, Connector, Micromotor, Bearing meter, Transformer, Coil
일반 가전	휴대전화, DVD, Audio, Navigator, TV Game기, TV, Radio, 세탁기, 청소기
정밀기기/전기제품	VTR, Video, Camera, 시계, 노트북, Computer, Printer, 복사기, 액정 TV, 의료기기, Calculator
사무 용품/일반 소비재	만년필, Typewriter, 완구, 낚시도구, 악기, Cassette Tape, 스포츠 용품, 가구, Pipe, Battery
대형 기계	자동차, Motorcycle, 자전거, 선박, 항공기, 인공위성
의료/바이오	이오칩, 마이크로어레이, Bio-MEMS/NEMS, DPN, 미세투여(micro dosing) 장치, 시약 디스펜서, 약물전달 시스템, 바이오 랙트로닉 소자
기타	식품, 화장품 등의 정량주입

현재까지 정밀기기·반도체 산업분야, 화학 공정장비 산업분야 및 의료·바이오 산업분야 등에 적용되는 디스펜서 기술은 대부분 압축공기와 니들 밸브 및 고속 솔레노이드 밸브를 이용한 공기압 구동방식 디스펜서가 주종을 이루고 있다. 최근에는 제품의 소량·다품종화, 초소형·초경량화 개발 경향에 따라 나노리터 수준의 초정밀 정량토출이 가능한 디스펜서의 개발이 요구되고 있으며, 공기압 구동방식에서 토출량의 초정밀 제어가 가능한 압전구동방식 디스펜서 헤드의 개발이 가속화 되고 있다. 또한, 탄소나노튜브, 은나노 입자 등을 함유한 전도성 액체 및 나노 세라믹 등의 유·무기 고분자 기반 하이브리드 액체 등, 고가의 기능성 액체를 초미세, 초정량 토출하기 위하여 압전 액추에이터를 이용한 압전 디스펜서 헤드의 개발에 박차를 가하고 있다.

#### 5. 국내외 디스펜서 시장 동향 및 전망

국외 반도체 공정용 디스펜서의 시장 동향은 2003년 816억원 규모에서 2006년 940억원 규모로 약 12%의 성장률을 기록하고 있으며, 2010년에는 1,500억원 규모로 대폭 성장될 것으로 전망되고, 국내 시장 동향은 2003년 90억원 규모에서 2006년 97억원 규모로 소폭 상승하였으나, 2010년에는 전통적인 국내 반도체 산업의 강세에 힘입어 250억원 규모로 대폭 성장될 것으로 전망된다.

표 5.1 국내외 반도체 공정용 디스펜서 시장규모 (단위 : 억원)

구분	2001년	2003년	2006년	2010년
국외	740	816	940	1,500
국내	82	90	97	250
계	822	906	1,037	1,750

※ 출처 : 표면실장기술, 2004

표 5.2 SMT 및 Bonding용 디스펜서의 세계시장규모 (단위 : 백만불)

구분		2005년	2012년
세계 시장 규모	SMT용 디스펜서	190.2	366.4
	Bonding용 디스펜서	26.3	42.1

※ 출처 : Frost & Sullivan <http://www.fastcursor.com>

Frost & Sullivan은 SMT용 디스펜서와 Bonding 용 디스펜서의 세계시장에 대한 분석 결과, SMT용 디스펜서 시장은 2005년 190.2백만불 규모에서 2012년 366.4백만불 규모로, Bonding용 디스펜서 시장은 2005년 26.3백만불 규모에서 2012년 42.1백만불 규모로 성장할 것으로 예측하였다.

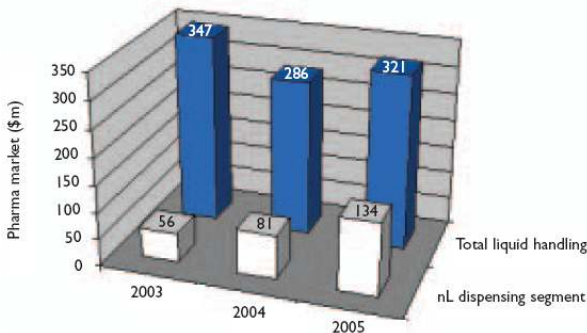
Frost & Sullivan의 리서치 애널리스트인 Lavanya Ram Mohan은 중국을 중심으로 한 아시아 EMS(Electronics Manufacturing Service) 프로바이더의 폭발적인 성장으로 인해 SMT용 디스펜서 시장은 급격한 상승세를 보일 것으로 예측하였으며, Bonding용 디스펜서 시장은 완만한 상승세를 보일 것으로 예측하고 있다. 의료·바이오 산업분야의 국외 디스펜서 시장규모는 2003년 717백만불 규모에서 2008년 1,123백만불 규모를 나타내고 있으며, 미국이 주도하는 의료·바이오 산업 활성화 정책에 따라 2012년에는 1,700백만불 규모로 45% 이상 성장할 것으로 전망하였다.

국내 의료·바이오 산업분야용 디스펜서 시장규모는 2004년도 약 20억원 규모를 나타내고 있으나, 의료·바이오 응용기술 PM보고서에 따르면 2012년 이후 약 10배 이상 성장이 예측된다.

표 5.3 의료·바이오용 디스펜서 시장규모  
(단위 : 백만불)

년도	2002년	2003년	2007년	2012년
국외	611	717	1,123	1,700
국내	2004년 국내 시장규모 : 약 20억원 2012년 이후 10배 이상 성장 예상 (의료·바이오 응용기술 PM보고서, 특허청, 2004)			

※ 출처 : BCC, 2003



※ 출처 : Drug Discovery World Summer 2004

그림 5.1 제약분야 나노리터급 디스펜싱 장비의 시장 증가율

Drug Discovery World Summer 2004에 따르면, 제약 분야의 전체 액체 핸들링 시장 규모는 2003년도 347백만불 규모에서 2004년도 286백만불 규모로 소폭 위축된 것으로 보고하고 있으나, 나노리터급 디스펜싱 분야는 2004년 81백만불 규모에서 2005년 134백만불 규모로 급격한 성장세를 유지하였으며, 지속적인 증가를 예측하고 있다.

2003년 16%의 성장률로 56백만 달러의 시장규모를 형성하고, 2004년에는 45%의 성장율로 81백만 달러, 2005년에는 65%의 성장율로 134백만 달러의 시장규모를 형성할 것으로 예측하고 있다.

## 6. 결 론

IT, BT, NT 등 신기술과의 융·복합화, 초정밀화, 환경친화 기술개발이 강화됨에 따라 미래 첨단기술로써 기능성 액체의 고속, 초정밀 디스펜싱 기술개발이 요구되는 분야가 증가하고 있다. 액적 디스펜서용 압전구동 헤드 기술은 요소부품 기술이며, 산업 경쟁력 강화 및 시장창출을 통하여 국가경쟁력 향상을 목적으로 하는 기술이다.



그림 6.1 NTRM에 따른 국가 R&D 사업의 개념

특히, 차세대 초정밀 기계·반도체 산업, 나노급 소재공정·소자 기술 산업, 의료·바이오 기술 산업 분야 등에서의 핵심요소기술임은 물론, 국가 R&D사업 토털로드맵(NTRM)의 특성화 기술군 및 특성화 후보기술군에 속함으로서 국가 연구개발 측면에서도 매우 중요한 기술이다.

또한, 국내 기능성 액적의 초정밀·정량투출을 통한 극미세 패턴 형성, 초정밀·고집적 반도체 Packaging 공정 및 바이오센서·약물주입 등에서 핵심부품 및 요소기술로 사용 중인 디스펜서 헤드는

대부분 수입에 의존하고 있는 현실로부터 해외 무역 역조 개선을 통한 국가 경제력 향상을 위해서도 조속히 국산화가 필요한 핵심 기술이다.

표 6.1 기능성 액적 디스펜서용 압전구동 헤드 기술의 국가 기술개발 로드맵에서의 위치

로드맵	구분	해당기술명
국가 R&D사업 Total Roadmap	국가중점 육성기술 특성화기술 (33개중)	13. 초정밀 가공공정 및 장비기술
		20. 나노급 소재공정 기술
		14. 지능형 생산시스템 기술
		9. 약물 전달 기술
	특성화 후보기술 (57개중)	4. 차세대 반도체장비 기술
		22. 차세대 디스플레이 기술
		19. IT 나노소자 기술
		20. 차세대 메모리 반도체 기술
		25. 바이오 칩·센서기술
		21. 비메모리 반도체 기술

- 11) M. Moreau et. al., "A micro-droplet dispenser based on a shock principle", *Actuator*, 2006.
- 12) M. Wackerle et al., "A novel device for high frequency ejection of nanoliter jets", *Actuators*, 2002.
- 13) P. Bingger et. al., "A microdispenser based on the piezo-polymer-composite technology", *Actuator*, 2006.
- 14) R. Steger et al., "Two-dimensional array of piezostack actuated nanoliter dispensers", *Actuators*, 2002.
- 15) T. Laurell et. al., "Design and development of a silicon micro-fabricated flow-through dispenser for on-line picoliter sample handling", *J. Micromech. Microeng.* vol. 9, 1999.
- 16) Th. Muller et. al., "Generation of nanoliter droplets with a piezoelectric drop-on-demand pump", *Actuators*, 2002.
- 17) W. Streule et. al., "Pipejet: A simple dispensable dispenser for the nano-and microliter range", *JALA*, 2004.

참고 문헌

- 1) 안동훈, "잉크젯 기술이 디스플레이 응용", 한국정보디스플레이학회, 제4권, 제1호, 2003.
- 2) 안동훈, 권효택, "잉크젯 프린팅 기술의 현황과 전개", 한국정보디스플레이학회, 제5권, 제3호, 2004.
- 3) 의료·바이오용 디스펜서 시장동향, BCC, 2003.
- 4) 이제형, "유기 EL 장비 발전 전략", LG전자 생산기술연구원, 2005.
- 5) 제약분야 디스펜싱 장비 시장동향", *Drug Discovery World Summer*, 2004.
- 6) 조용호, "반도체 장비 동향(Dispenser 자비를 중심으로)", 전자부품연구원 전자정보센터, 2003.
- 7) 특허법인 L&K, "합전 디스펜서 특허동향조사 보고서", 2008.
- 8) 표면실장기술, "반도체 공정용 디스펜서 시장동향", 2004.
- 9) 홍성제, 한정인, "IT 부품용 나노 입자 및 잉크 소개", 주간기술동향, 통권 1313호, 2007.
- 10) Frost & Sullivan 기술동향 보고서, <http://www.fastcursor.com>, 2008.

[저자 소개]



함영복

E-mail : hyb665@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7157

1965년 10월 23일생

1987년 금오공과대학교 기계공학과 학사,

1990년 동 대학원 석사, 2003년 동 대학원

박사, 2004년 동경공업대학 정밀공학연구

소, 1990년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 관심 연구분야는 유압 피스톤 펌프 및 모터, 수압 피스톤 펌프, 압전소자 응용 펌프 및 노즐. 대한기계학회, 한국정밀공학회, 유공압시스템학회 회원, 공학박사

[저자 소개]



오성진

E-mail : ttackji1@hanmail.net

Tel : 042-868-7057

1978년 5월 16일생

2005년 한남대학교 고분자공학과 졸업,

2008년 11월 (주)하이블루텍 입사, 2009년

2월~현재 한국기계연구원 에너지기계연구실 파견근무

[저자 소개]



서우석

E-mail : woosseo@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7168

1974년 8월 25일생.

2000년 울산대학교 자동차공학 전공 석사 과정 졸업, 2002년~2003년 동경공업대학 정밀공학연구소 연구생, 2003년~2006년 메카노마이크로공학전공 박사과정 졸업, 2006년~2009년 5월 한국기계연구원 에너지기계연구실 선임연구원, 스마트 재료 및 기능성유체 응용기술 연구에 종사. 한국정밀공학회, 대한 기계학회 등의 회원, 공학박사

[저자 소개]



윤소남

E-mail : ysn688@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7155

1963년 7월 29일생

1990년 부경대학교 기계공학부 석사, 1994년 동 대학원 박사과정 졸업, 2005년 어빈대 마이크로나노시스템/재료연구실 객원연구원, 1994년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 스마트 액추에이터, 유공압밸브 및 에너지 수확기 개발 연구에 종사, 유공압시스템학회, 대한기계학회, 동력기계공학회, 한국정밀공학회, 일본유공압시스템학회 등 회원, 공학박사

[저자 소개]



박중호

E-mail : jhpark@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7607

1968년 6월 19일생

1999년 Tokyo Institute of Technology 정밀기계시스템 전공 박사과정 졸업, 1999년 Tokyo Institute of Technology 정밀공학연구소 Assistant Prof., 2004년 한국기계연구원 입사, 2009년~현재 한국기계연구원 선임연구원, 마이크로 유체제어 시스템, 스마트 액추에이터 및 센서 응용 연구에 종사, 대한기계학회, 한국정밀공학회, 유공압시스템학회 회원, 공학박사