Micro Thermofluids와 Microsystems 산업

이 글에서는 21세기에 막대한 관심과 투자에 힘입어 발전할 것으로 예측되는 Micro Thermofluids 기술의 중요성, 기술 동향과 수준 그리고 시장과 전망에 대해 소개한다. **이 정 현**

21세기는 흔히 정보/바이오/환경의 시대라 한다. 하드웨어에서부터 소프트웨어까지 정보와 무관한 것이 없으며, 인간과 환경을 등한시한 제품은 냉혹한 세계 경제에서 살아남기 힘들다. 무엇보다도 산업이 발전함에 따라 제품은 편리하고 간편하며 휴대하기 적합하고 기능면에서 복합적이고 지능적이길 바란다. 이러한 많은 요구가 새로운 기술을 창출하고 있으며, 그중 하나의 기술이 초소형화 기술이다. 그러므로 21세기의 산업은 초소형화에 대한 막대한 관심과 투자와 함께 발전 할 것이라는 것을 조심스럽게 예측해 본다. 이 초소형 기술은 예전에 불가능했던 작업을 가능하게 하고 기존의 작업은 더욱 정밀하고 신뢰성 있게 수행할 수 있도록 한다. 앞으로 모든 분야에 걸쳐 사용될 이 초소형 도구들에 대한 제작과 설계를 위한 해석방법의 개발은 과학기술적 가치뿐만 아니라 산업적 가치도 크다고 볼 수 있다.

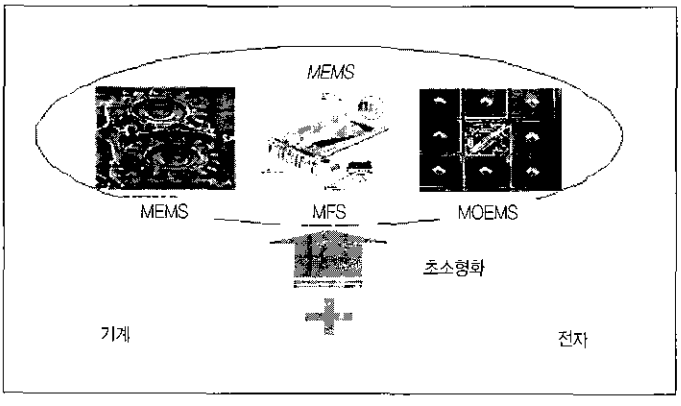

그림 1 Microsystems의 정의

새로운 기술의 등장

1980년대 반도체 공정 기술에서 파생된 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 혹은 Micromachining이라 일컬어지는 기술의 발명으로 여러 기구들의 초소형화 작업이 활발히 전개되어 왔다. 이 기술의 발달로 지난 10 여 년 동안 마이크로미터 단위의 초소형 부품 또는 시스템의 생산이 가능해졌으며, 이로 인하여 생물학, 의학, 우주공학, 광학, 기계 공작 및 전기/전자 공학 등 많은 분야에 큰 영향을 준 것은 사실이나, 10 여 년이 지난 지금 과거의 연구 결과들을 돌이켜 볼 때, 초소형 시스템의 응용은 당초 예상과는 달리 한계에 부딪쳐 있다. 대부분의 경우 우리가 흔히 접하고 이용하는 거시적 관점(>10 ~ 3 m)의 해석으로 접근하였기에 설계나 제작상의 문제가 없었는데도 불구하고 실제 제품의 성능은 설계상의 성능과는 큰 차이를 보였다. 최근에 와서야 초소형 구조물에서 일어나는 많은 현상들과 거시적 구조물에서 일어나는 현상들과의 차이를 이해하면서 초소형 시스템에 적합한 해석

이정현/ (주)아이큐리랩, 대표이사 / e-mail : jhlee@icurie-lab.com

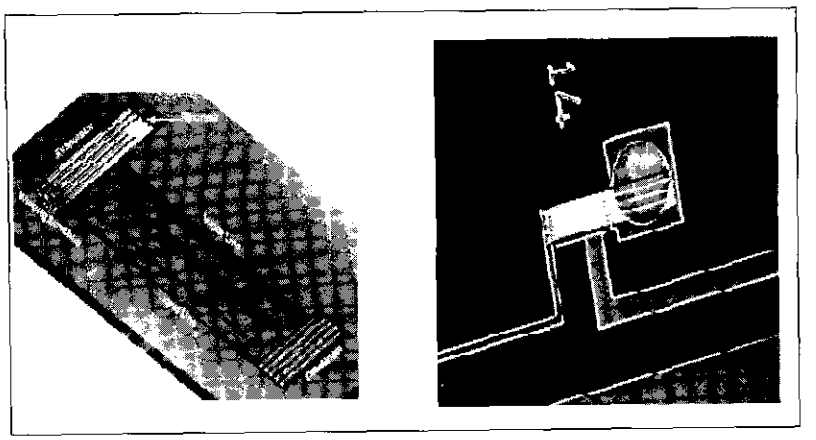

그림 2 UC Berkeley의 Micro Thermofluids 시스템

이 필요함을 느끼게 됐다.

한 예로 거시적 관점에서 기어를 설계할 때 기어의 표면과 공기의 저항을 계산하지는 않는다. 공기와의 상호 역학적 관계보다는 기어와 기어의 역학적 관계가 상대적으로 크기 때문에 통상 무시되어 설계된다. 그러나 초소형 구조물 제작시에는 공기와의 저항을 무시하고 설계를 할 수가 없다. 즉, 초소형 구조물에서는 Inertial Effect보다는 Surface Effect가 크기 때문에 유체와의 상호작용을 절대로 무시하지 못한다. 이러한 초소형 구조물에서 일어나는 열/유체학을 통칭 Micro Thermofluid Mechanics라 하며,이를 응용한 구조물을 Micro Thermofluidics라 한다.

Micro Thermofluidics 기술은 정보 통신, Bio System 및 환경 감시 분야에 해당하는 기술로 Microscale에서 발생하는 열 및 유체의 특성을 초 미세 구조에 적용하여 초소형 시스템의 실현을 가능하게 하는 기술이다. 이 기술은 2000년대에 고성능 집적회로(수 GHz 및 수 백 Watt급 CPU)의 Bottleneck으로 대두되는 열 냉각 문제부터 고 화질의 Inkjet 유로 설계, 초정밀 분사기, Micro Level의 환경 감시 장치 및 현재로서는 직접 제어가 불가능한 Nano Level의 Bio System 설계에 적용할 수 있다. 즉, Micro Thermofluidics 기술은 미세 구조에서 중요한 요소로 작용하는 열 유체 문제를 해석과 실험을 통하여 구체화하고 이를 근거로 초소형 시스템에 응용하여 기존의 시스템에서 불가능한 여러 문제를 해결할 수 있다.

Micro Thermofluids 기술의 중요성

Micro Thermofluids는 지금까지 주목하지 않았던, 그러나 매우 중요한, 초소형 시스템에서 열과 유체의 영향에 대하여 체계적으로 접근하므로 21세기의 정보통신 및 환경/자동/지능화/바이오 시대에 필요한 초소형 하드웨어 시스템과 관련된 요소기술 연구를 가능하게 한다. 이 기술은 정보화시대로 불리는 21세기에 보편화될 휴대용 통신기와 휴대용 컴퓨터에 내장된 CPU와 같은 고성능 직접회로에 응용할 수 있다. 예를 들면, CPU에서 발생되는 열을 효과적으로 냉각시킴으로써 CPU의 수명과 신뢰도를 높이고 신호처리 시간을 줄일 뿐만 아니라 에너지원의 사용 시간도 연장할 수 있다. 더욱이 냉각기를 별도로 부착하는 방식이 아닌 회로 설계에서부터 Substrate에 직접 접합하는 방식을 사용하면 새로운 반도체 설계의 장을 제공할 수 있다. 이를 이용하여 환경 친화적이며, 보다 성능이 향상된 제품을 생산한다면 시장 점유율을 획기적으로 극대화하고 새로운 시장을 개척할 수 있다. 기존의 Inkjet보다 더욱 미세하고 정밀한 Ultra High Definition Inkjet의 유로 설계로 연간 200억 달러가 넘는 시장을 넘볼 수 있다. 더욱 정밀하고 빠른 Inkjet, 자동차용 분사기의 제작, 유체를 더욱 정밀하게 조절할 수 있는 밸브와 노즐, 힘을 전달하는 펌프, 난류 제어에 적용할 수 있는 초소형 액추에이터의 설계 등에 적용될 수 있다. DNA Lab on a chip, Drug Delivery System, Chemical Lab on a Chip, micro factory와 같은 micro TAS 등 초소형 Bio System의 구현을 가능하게 하여 인체에 응용할 수 있는 초소형 의료장치의 출현을 앞당겨 많은 사람들의 고통을 줄여 줄 것이다. Active Environment Surveillance System과 같은 초소형 능동형 환경 감시 장치 등의 개발로 환경 친화에 적극적으로 대처할 수 있게 된다. 그러므로 Micro Thermofluids 기술은 초소형 시스템에 대한 열전달 및 유체역학을 근거로 응용화의 기회를 가장 앞서서 제시하여 21세기의 새로운 분야로서 활성화할 첨단 분야로 자리잡을 수 있다. 이러한 것이 실현될 때 우리나라는 구 기

술과 값 싼 제품의 생산국에서 최첨단 기술과 고부가가치의 제품 생산국으로 탈바꿈할 수 있다.

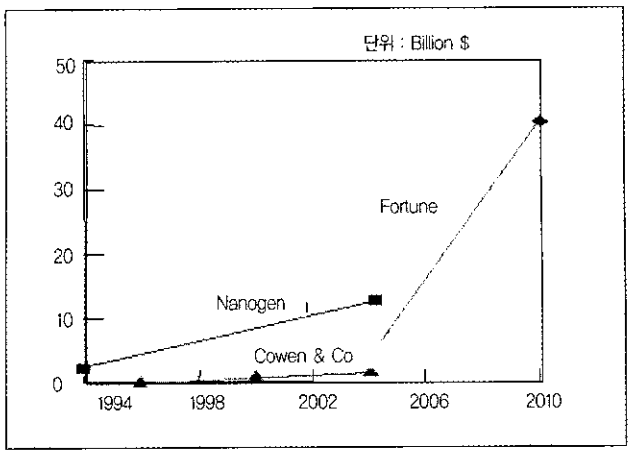

그림 3 Bio Chip 시장

기술동향과 수준

지금까지 초소형화 기술은 주로 device 제작에 집중되어 왔으며 비로서 최근에 와서야 물리적 현상에 관심을 가지게 됐다. 열 및 유체와 관련된 device 연구는 생의학(biomedical) 분야와 산업 분야로 구분할 수 있으나 많은 경우 양쪽에 다 응용이 가능하여 복합 연구를 한다.

Device 제작의 대부분을 차지하는 산업 관련 분야는 시장성으로 인하여 많은 기업 연구소에서 관심을 보이고 있다. 멀티미디어에 필수품인 inkjet 프린터 관련 인젝터 연구는 HP, Seiko, Canon, IBM과같은 대기업은 물론이고 Zaar, Spectra, Micro-Technology와 같은 소형 기술 회사까지 이 신종 인젝터 개발에 박차를 가하고 있으며, UCLA, Berlin 공대에서 최근에 최고 성능의 새로운 인젝터를 제작하였다. 고성능 CPU의 수명과 신뢰도를 높일 수 있으며, 처리속도를 늘릴 수 있는 초소형 냉각기의 개발은 IBM, HP, Motorola, Intel, Harris Aerospace와 같은 해외 선진사와 Sandia National Lab, Stanford 대, UCLA, UC Berkeley 등 연구 기관은 물론 국내의 몇 학교 및 기업 연구 기관에서도 많은 노력을 들이고 있다. 난류제어와 같은 초소형 액추에이터 연구는 UCLA/Caltech과 MIT에서는 수천만 달러의 미국 정부 연구비를 초소형 제트 엔진 개발에 집중 투입하고 있다. 특히 UC Berkeley에서는 반도체 및 미세 시스템의 열 문제 해석을 위하여 Motorola와 함께 Microscale Heat Transfer 랩을 운영 중에 있으며, Stanford 대학도 Intel, Sandia National Lab과 공동으로 차세대 메모리 반도체의 열 문제를 미세 유체를 통하여 냉각하는 방식을 국책 과제로 연구 중이다.

생의학 분야는 일본이 가장 활발히 연구하고 있다. 실시간으로 각종 화학반응을 분석하고 더 나아가서는 필요한 투약을 할 수 있는 초소형 화학 분석기(in-situ chemical analysis system) 및 투약장치(drug delivery system)는 Waseda 대, 동경대, NEC, Hitachi 외에도 다수의 기업과 연구소에서 개발을 하고 있으며, Seimens, Motorola, SRI, CSEM, Cincinnatti 대학 등의 연구소에서도 각각 독자적인 방식으로 제작 중에 있다. 혈관 내의 수술을 위한 Catheter의 경우 동북대, Hitachi 연구소, Olympus에서 공동으로 연구하고 있으며, 혈액량 조절을 위한 초소형 펌프 및 밸브 연구는 미시간대, 스웨덴의 로얄 아카데미 외에도 다수의 연구기관에서 개발 중이다.

국내에서의 초소형 시스템 연구는 '90년대 중반에 들어와서 상용화를 목표로 하는 상품개발에 치중한 여러 연구팀들에 의해 시작되었다. 이런 활발한 활동에도 불구하고 대부분의 연구는 초소형 구조물에서 일어나는 현상에 대한 이해 없이 단지 현존하는 구조물을 작게 만들어 작동시키겠다는 것에 그 목적을 두고 있다. 대표적으로서 울대에서 Micro Fluid Actuator와 Micro Pump를 작동시켰으며, 포항공대에서도 Magnetohydrodynamic Pump를 제작하였다. 아주대, 경북대에서도 활발한 활동을 하고 있다. 한국과학기술원과 ETRI, KIST, 삼성종합기술원도 Micro Channel과 초소형 Heat Pipe등의 Micro Thermofluids 구조물 제작에 박차를 가하고 있다. 이러한 구조물의 초소형화에는 국내의 기술진도 선진국과의 기술 차이가 2년 내외이나 선진국과 마찬가지로 대부분의 연구가 구조의 초소형화에 집착하므로 초소형 구조물의 특이점을 부각시키는 데는 한계가 있다. 그러나 최근에 와서는 물리적 현상에 대한 필요성이 국내에서도 대두되고 있다. 초소형 구조물의 상용화 지연 및 실패가 이러한 특이 현상의 이해부족으로 발생하였으므로 이

에 대한 필요성을 절실히 느끼고 있기 때문이다. 선진국에서는 이러한 문제를 수년 전부터 알아 현재 적극적으로 연구 중이다. 국내에서는 반도체 산업과의 중요성으로 인하여 최근 민간 기업에서 미세 스케일의 열 문제 해석에 관하여 집중적으로 연구중이나 아직은 미비한 단계에 있다.

국내의 Micro Thermofluidics에 관한 연구는 아직 시작이거나 미비한 단계로 구체적으로 언급을 할 수가 없다. 단, 반도체 공정을 응용하여 제작한 초소형 펌프나 밸브에 관한 연구가 조금 이뤄지고 있으며, 최근에는 Inkjet Head 개발이 활발히 진행 중이나 공정을 위주로 하고 있다. 그러므로 정부 출연의 투자는 극히 미비하다. Inkjet Head와 관련하여 민간 투자가 '95년부터 있었고 최근에는 G7 과제로 Inkjet Head 개발에 정부 출연이 이뤄지고 있다. 이와 관련된 연구비는 '98년에 약 10억 원이었다. 최근에는 차세대 반도체(비메모리) 냉각이 문제가 되어 이에 관한 연구가 산업계에서 진행 중이나 투자비는 '98년에 약 3억이었으며, '99년에는 학계에서 Micro Thermofluidics에 중요성을 인식하여 활발히 연구가 진행 중으로 이에 관련한 투자가 많이 증가할 것으로 예상된다. 특히, 반도체 냉각과 Bio 및 환경에 관련한 산업의 중요성으로 2000년대에는 기하 급수적으로 투자가 이뤄질 전망이다.

그러므로 Micro Thermofluidics 분야는 생소한 분야인 만큼 기술 수준을 비교하기가 힘들다. 현재 세계적으로 Micro Fluidic 분야를 전공한 연구원이 극소수인데도 불구하고 국내에도 소수의 연구원이 활동 중인 것으로 보아 활발한 투자가 이루어진다면 국내의 기술력도 향후 5년 안에 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

Micro Thermofluidics 시장과 전망

현재 Micro Thermofluidics와 관련된 시장을 형성하고 있는 제품은 없으나, 앞으로 Micro Fluidics를 이용한 제품으로 점유할 수 있는 시장을 근거로 하여 본다면 현재에 정보 통신 분야의 CPU용 냉각 시장과 기존의 Inkjet 시장이 있다. Fluidics 관련 분야의 1998년 매출액을 31~63억 달러로 예측하고 있다. 또한 냉각기 관련된 CPU 시장은 1998년에 1억 2,000만 대의 판매를 기록했다. 미국 Nanogen의 1995년 자료에 의하면 Bio 시장의 매출은 23억 달러로 나타난다.

21세기의 정보화시대에는 경박단소화된 전자제품이 유행할 전망이다. Portable Computing and Communication Device, High Definition Inkjet Printer와 같은 전자제품에는 Micro Thermo-fluidic 기술이 필수적인 요소로 요구되고 있다.

특히, 고성능 CPU용 냉각기의 개발은 비메모리 시장을 선점할 수 있는 계기가 된다. 초소형 냉각 시스템 장착시 같은 설계의 CPU보다 성능이 획기적으로 향상되므로 같은 성능의 컴퓨터에 비해 저렴한 가격으로 판매가 가능할 뿐만 아니라(예로 1 GHz로 디자인된 칩은 냉각기의 장착으로 1.3 GMHz 대의 성능을 갖추나 가격은 1 GHz를 구입하는 가격보다 -20% 추가) 냉각시스템을 Wafer Level에서 장착하여 새로운 칩 설계를 이룰 수 있어 현재의 시장과는 달리 새로운 고 부가가치의 시장을 창출할 수 있다. 우리나라에 있어서 전자산업이 필수 산업이라면 전자산업의 중추 역할은 반도체산업이므로 반도체산업의 시장 선점 및 창출은 국가산업의 기반이 된다.

또한, 2003년 이후에 나오는 칩의 열량(30 W/cm^2, 총 150 W 이상)은 기존의 냉각 방식으로는 냉각이 불가능하므로 새로운 냉각기의 개발은 당연히 고성능 CPU의 시장 진입을 선점할 수 있기 때문이다. 즉, 냉각기 기술이 CPU 시장을 선도할 수 있게 된다. 그러므로 이러한 경우 시장성을 예측하기란 매우 어렵다. 현재 반도체 칩 시장이 1,500억 달러인 점을 감안하면 향후의 시장은 이보다 클 것으로 예상된다.

또한 의료·환경산업의 확산으로 인해 사회의 고령화와 예방의학에 따른 의료 서비스가 가능해지며, 유전자진단기에서의 핵심적 DNA 제어기 제작이 현실화되고 환경, 법의학, 개인 약물 민감도 등을 위한 초소량 유체 제어 시스템이 가능해진다. 이와 관련된 시장을 보면 2005년에는 약 2,000억 달러로 예상된다. Nanogen의 1995년 자료에 의거하면 2004년에 Bio 시장의 매출액을 미국만을 기준으로 했을 때 122억 달러로 예상한다. 이러한 추세로 본다면 Micro Thermo-fluidics와 관련한 시장은 상당히 클 것으로 집계된다.