

CFD-ACE+에서의 MEMS 해석

이 글에서는 하나의 통합된 환경하에서 이러한 다양한 물리적 현상들을 구현하는 Multi-Physics Software로서 MEMS, 특히 마이크로 유동학(Microfluidics), BioMEMS 분야에서 아주 널리 사용되고 있는 CFD-ACE+의 대표적인 몇 가지 응용 예에 대해서 소개하고자 한다.

미소(Micro) 전기기계 (ElectroMechanical)

시스템(System)의 약자인 MEMS는 여러 전기적 현상과 기계적 현상을 개별적 혹은 종합적으로 이용하여 특정한 기능을 수행하는 소형화된 장치를 의미한다. 반도체공정기술을 이용해 기판 위에 입체적인 미세구조와 전자회로, 액추에이터 등을 집적화시킨 MEMS 기술은 거의 모든 분야에 응용이 가능해 현재는 기계, 전기-전자, 화학, 물리, 재료, 생명과학 등의 다양한 학문분야에 걸쳐 있어, 보는 시각에 따라 정의하는 방법이 다양할 수 있다. CFD-ACE+는 하나의 통합된

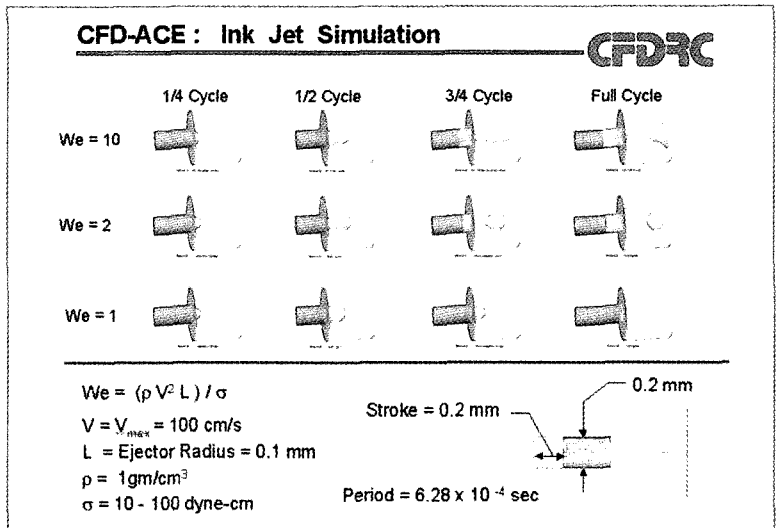


그림 1 웨버수에 따른 잉크 젯 해석

환경하에서 이러한 다양한 물리적 현상들을 구현하는 Multi-

Physics Software로서 MEMS, 특히 마이크로 유동학(Micro-

김진호 | (주)경원테크, 팀장
 서광원 | (주)경원테크, 대표이사
 최윤석 | (주)경원테크, 팀장

_e-mail : steeve@mail.kw-tech.co.kr

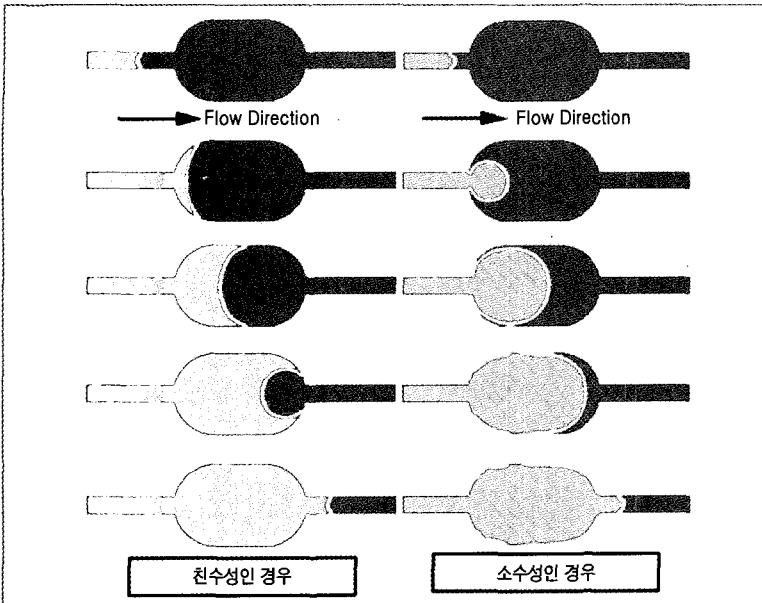


그림 2 표면 특성에 따른 미소밸브 충전

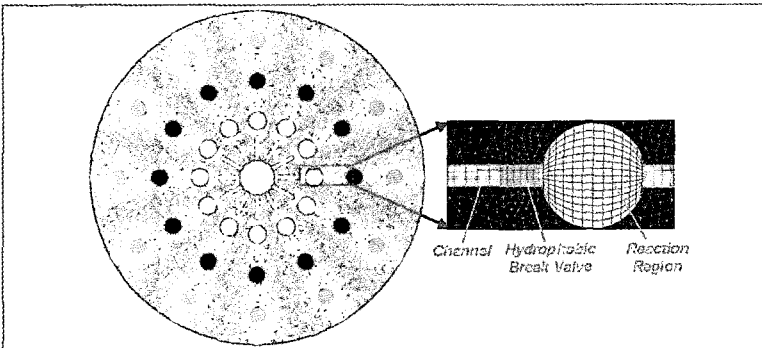


그림 3 수동형 밸브

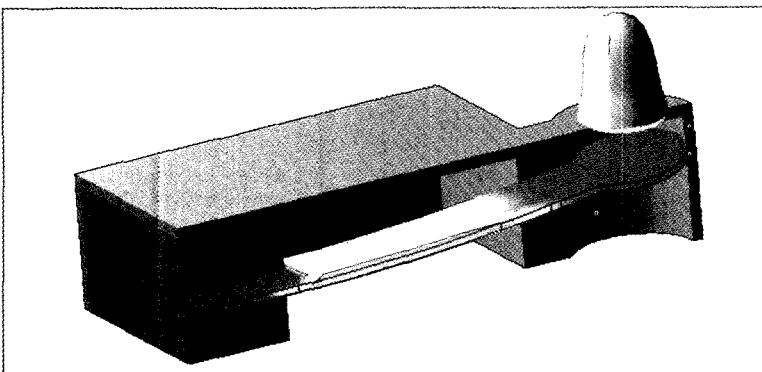


그림 4 다중 구조 열 구동소자를 이용한 잉크젯 헤드

fluidics), BioMEMS 분야에서 아주 널리 사용되어 왔으며, 그 중 대표적인 몇 가지 응용 예에 대해서 소개하고자 한다.

MEMS 기술이 이용되는 미세 세계에서는 거시적으로 보는 것과는 많은 다른 현상이 발생한다. 부피보다는 표면의 특성이 중요하며, 관성의 영향보다는 표면에서의 열, 마찰 등과 표면장력의 효과가 커지게 된다. 그림 1에서는 잉크젯에서 속도(모멘텀)과 표면장력의 비를 나타내는 무차원수인 We 수에 따른 액적의 거동을 보여주고 있다.

그림 2는 마이크로 채널에서 표면장력과 표면성질(친수성/소수성)에 따른 액체의 충전과정을 보여주고 있으며, 그림 3은 CD type Microfluidic system으로 CD의 회전속도에 따른 원심력과 표면장력에 의해 구동되는 수동형 밸브를 보여주고 있다.

잉크젯 프린터의 헤드는 우리가 주위에서 가장 쉽게 미세유체 현상에 대한 기술을 볼 수 있는 예로 구동방식에는 열 분사방식, 압전 분사 방식, bimetal 방식 등이 있는데 표면장력을 이겨내고 잉크를 토출하는 최적조건을 찾아낸다는 점에서는 같다고 할 수 있다. 그림 4는 다중구조의 thermal actuator를 이용한 방식인데, 이를 시뮬레이션 하기 위해서는 전류에 의한 Joule heating, bimetal의 열 변형문제, 표면장력의 계산이 필요해,

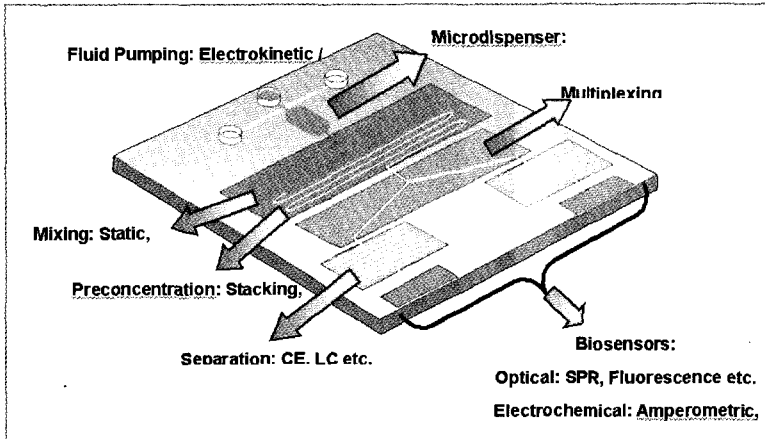


그림 5 마이크로 TAS

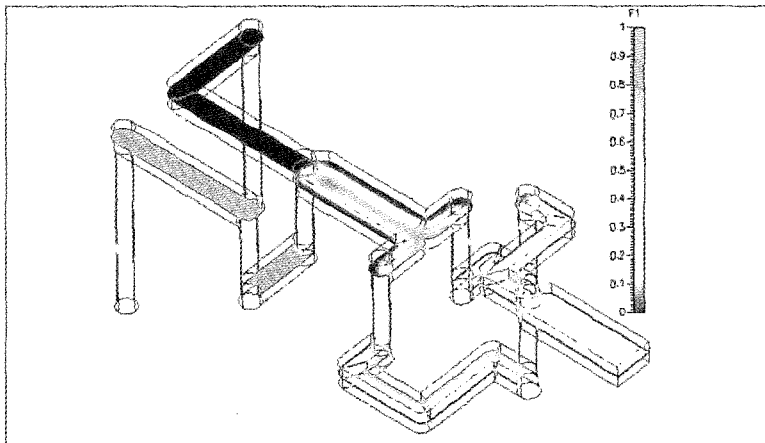


그림 6 수동형 혼합기

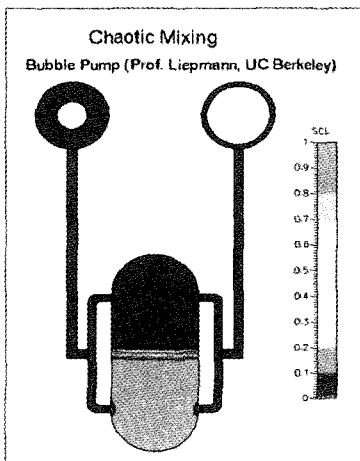


그림 7 능동형 혼합기

유체(free surface)-구조-전기장의 연동해석이 필요하며, CFD-ACE+로 해석한 결과를 보여주고 있다.

기존의 MEMS기술과 생물/화학적 현상을 종합적으로 이용하여 Bio 분야에 응용한 것을 BioMEMS라고 하며, 기존의 실험실에서 이루어지던 생화학실험을 하나의 칩에서 구현할 수 있도록 한 것을 LOC(Lab-On-a-Chip)이라 한다. LOC에는

micropump, dispenser, microvalve, interconnect, micromixer, multiplexer, separation device 등 여러 단위기술들이 집적되며, MEMS 기술을 이용해 모든 분석시스템을 하나의 칩에 집적화했다고 해서 microTAS(Micro Total Analysis System)라 하기도 한다. 이를 통해 실험실에서 사용되던 고가의 시료들에 대한 사용을 크게 감소시킬 수 있고, 훨씬 빠른 속도로 분석할 수 있으며, 실험자의 실수에 의한 오차를 최소화할 수 있다는 등의 장점을 가지고 있다.

BioMEMS 분야에서는 액체상태 시료의 반응을 이용하는 일이 많아, 위에서 언급한 미세유체의 특성뿐 아니라, 여러 가지 다른 특성도 중요하다. 특정한 목적을 위해 둘 이상의 액체 시료를 혼합해야 하며, 이를 위해 다양한 passive/active mixer들이 연구되고 있다. 그림 6은 각각 단순히 유로를 분리하는 passive 방식의 mixer와 버블의 수축/팽창을 이용하는 active mixer의 해석 예를 보여주며 모두 유체가 접촉하는 단면적을 늘리기 위한 대표적인 방법이다.

1980년대 말부터 시작된 인간 게놈프로젝트 이후 microarray의 기술로 대량의 병렬작업을 통해 수많은 유전자의 정보를 분석할 수 있도록 DNA chip이 개발되었다. 이는 기판 위에 유전자를

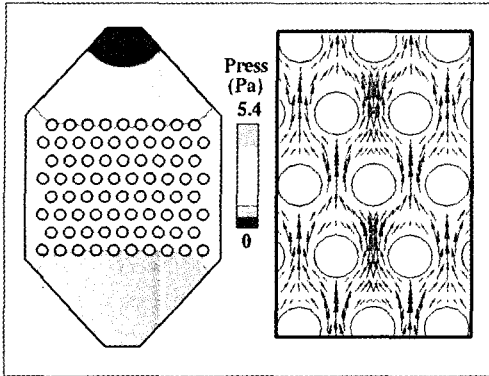


그림 8 DNA 칩

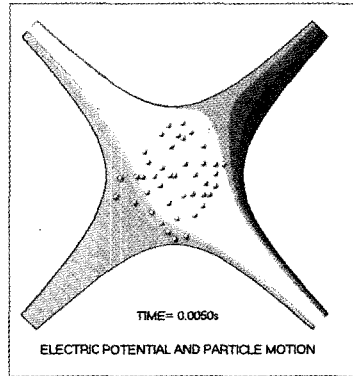


그림 9 Negative DEP

가할 때 발생하는 전기 이중 층 (electric double layer)의 현상을 이용해 유동을 제어하는 기술이다. Electro-phoresis는 전해질 용액이 전기장에 의해 움직이는 것을 말하며 CE(Capillary Electrophoresis)를 통해 전기장하에서 입자의 움직이는 속도가

고 집적으로 부착하고, 반도체 공정기술을 이용해 분석 장치 등을 고밀도로 집적한 후, 시료를 흘려 보내 시료 내에 있는 DNA를 분석할 수 있도록 한 것이다. DNA 칩 이후의 바이오칩 기술인 단백질 칩은 수많은 단백질을 칩 위에 고정시켜, 분석할 수 있도록 한 것이다. 그림 8은 binding kinetics를 고려하여 DNA chip 상의 현상을 계산한 해석결과로 압력과 속도벡터로 보여주고 있다.

오래 전에 발견된 현상이기는 하나 micro 단위의 미소크기에서 그 응용 분야가 확대된 기술 중하나가 electrokinetics이며, 크게 electroosmosis, electrophoresis, dielectrophoresis 등이 있다. 이 기술들은 mixing, pumping, 입자분리/응집 등 여러 분야에 응용되며 주로 BioMEMS 분야에서 사용되고 있다. Electroosmosis는 마이크로 채널의 양쪽에 전기장을

달라 원하는 물질을 분리할 수 있다.

DEP는 균일하지 않은 전기장을 만들어 생체입자들을 조작하는데 널리 사용되며 Positive DEP에서는 유전체 입자들이 전기장 밀도가 높은 쪽으로 움직이고, Negative DEP에서는 전기장 밀도가 낮은 쪽으로 움직이게 된다. 그림 9는 Negative DEP에 대한 CFD-ACE+의 해석결과를 보여준다.

기계용어해설

인간-로봇 협업(HRC : Human-Robot Cooperation)

인간의 뛰어난 지능과 로봇의 강력한 물리적 힘이 접목되어, 더욱 고차원적인 로봇 활용이 가능하다.

대형 건설자재(Heavy Construction Materials)

건물을 짓기 위해 필요한 건설 자재 중에서 커튼월과 같이 부피가 크고 무거운 자재를 말한다.

피로 균열 진전(Fatigue Crack Growth)

피로 반복하중에 의해 균열이 진전하는 현상을 말함.

되풀이 균열 선단 열(Cyclic Crack Tip Opening Displacement)

피로 현상에 따라 균열이 열렸을 때 균열 열림 변위를 말함.