

환경 감시용 미생물 검출 세라믹 칩 제조기술 개발

글 _ 윤영준, 이진형
한국세라믹기술원 미래융합세라믹본부

1. 서론

WHO 보고서에 의하면 약 11억명의 사람들이 안전하지 않은 식수를 음용하고 있으며, 이 중 상당수가 미생물에 의해 오염된 식수에 기인하는 것으로 알려져 있다. 또한 대장균 오염에 의해 연간 170만 명의 사망자가 발생하고 5,420만 명이 장애를 겪게 되며, 이중 90%는 성장기에 있는 어린이들인 것으로 보고되고 있다. 한편 국내에서도 매년 수질 부적합 판정이 늘어나고 있으며, 특히 약수터에서 대장균 검출이 마스크를 통해 종종 보고되고

있는 실정이다.

이렇듯 수계가 차지하는 다양한 영역에서 발생하는 오염 문제들을 해결할 수 있는 방안에 대한 기술적인 요구가 발생하고 있다. 특히 주요 상수원이나 하천 등의 수질 상태를 자동 측정하고 감시함으로써, 수질오염사고에 신속히 대처하기 위한 시스템 및 측정장비 개발에 대한 필요성이 증가하고 있다. 하지만 관련 측정장비 및 센서는 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다. 그리고 현재는 현지에서 직접 검사원이 시료를 채취한 뒤, 분석장비가 있는 실험실에서 분석을 하여 오염에 대한 결과를 알게

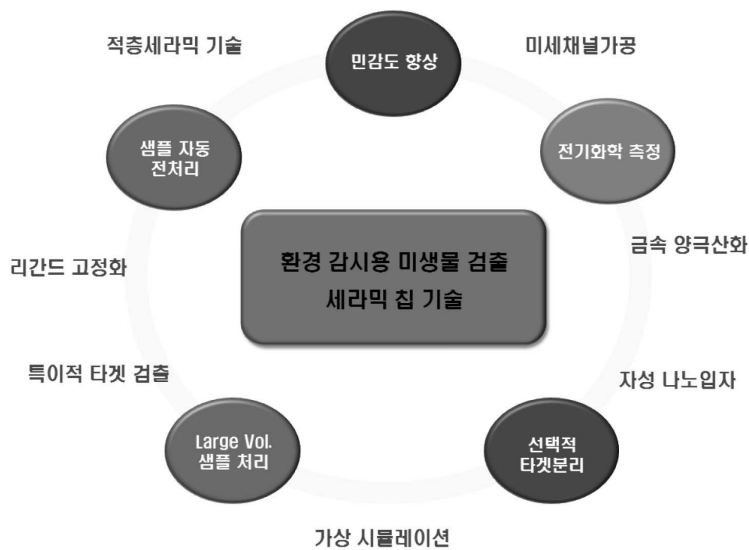


Fig. 1. 환경 바이오칩 기술 구성요소

되므로 즉각적인 대응이 어려운 현실적인 문제점이 존재한다.

본 연구에서는 수질 검사가 필요한 각종 검사 사이트에서 수질 샘플 주입만으로 on-site에서 샘플 전처리부터 타겟 미생물 측정, 민감도 향상, 데이터 정량화가 이루어지는 미래형 환경 분석 tool 장비를 개발하고자 한다. 특히 미래형 첨단 유비쿼터스 환경을 대비할 수 있는 휴대용 환경 미생물 검출 칩을 세라믹 기반의 소재 및 공정으로 구현하는 새로운 기술을 제시하고자 한다. 상기 기능을 수행하기 위해 세라믹 적층기술, 미세채널 가공기술, 리간드 고정화, 자성나노입자, 특이적 타겟 검출, 가상 시뮬레이션, 금속 양극산화, 전기화학센서 등 다양한 기술이 융합해야 한다. 환경샘플 (하천수, 상수, 저수 등)에 존재하는 미생물은 매우 미량이 존재한다는 특징이 있기 때문에 대량 부피 내에 존재하는 미량의 타겟을 민감하게 검출하기 위해서는 대량 샘플 처리 기술과 샘플의 분리/농축이 핵심 기술이 된다. Fig. 1에 환경 바이오 칩을 개발하는데 필요한 요소기술들을 기술하였다.

2. 본론

2.1. 환경 감시용 미생물 검출 세라믹 칩 설계

기 나열한 기술을 통해 개발될 미생물 검출용 세라믹 칩은 개념적으로는 각각의 개별적인 기능을 갖는 미세유체소자를 포함한 기관이 세라믹 적층 기술에 의해서 결합된 적층형 칩 형태를 갖게 된다. Fig. 2에 기술구성 개념도를 나타내었으며, 환경 샘플 주입과 타겟 미생물 분리를 위한 자성입자 주입구, 혼합 영역, 분리 영역과 배출구로 구성된다.

상단에는 분리된 타겟 미생물을 농축하는 영역과 측정을 위한 시료 주입부, 측정부, 배출부가 존재하며 측정부와 연계하여 데이터 전송이 가능한 통신부가 존재하게 된다. 샘플의 분리는 자성입자에 고정화 된 리간드의 특이적인 결합에 의해서 타겟 미생물과 자성입자의 결합이 일어나게 되고 자기력을 통해 타겟 미생물을 효과적으로 분리하게 된다. 분리된 타겟 미생물은 전기화학적인 신호를 낼 수 있도록 2차 리간드를 부착하여 저항 혹은 전류값의 변화를 일으킬 수 있도록 측정 부위에 결합하게 되며, 전기적인 신호는 무선통신 기술을 이용하여 중앙 통제소로 전송되어 각 지역의 측정 값을 유기적으로 분석할 수도 있으며, 상기 나열한 모든 과정은 샘플을 획득한 지역 (on-site)에서 수행되어지며 샘플 채취부터 데이터 전송까지 30분 이내에 이루어지는 것을 목표로 삼는다. 이러한 일련의 과정을 3D 구조로 적층된 세라믹 칩

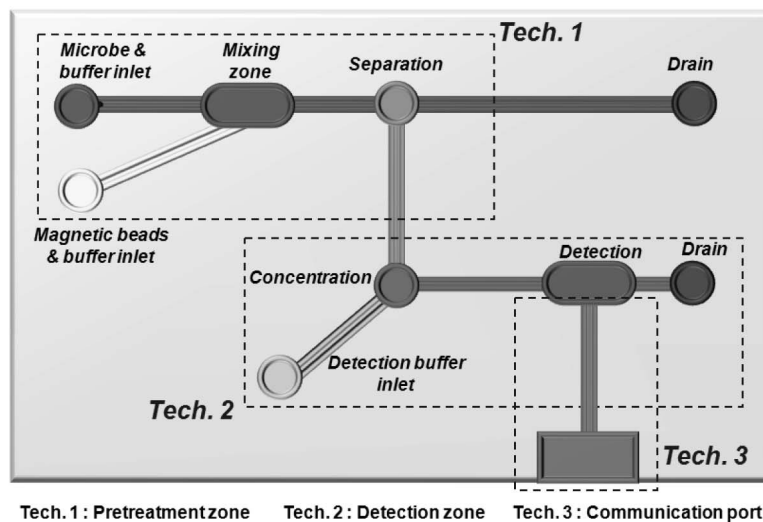


Fig. 2. 환경바이오칩 기술구성 개념도.

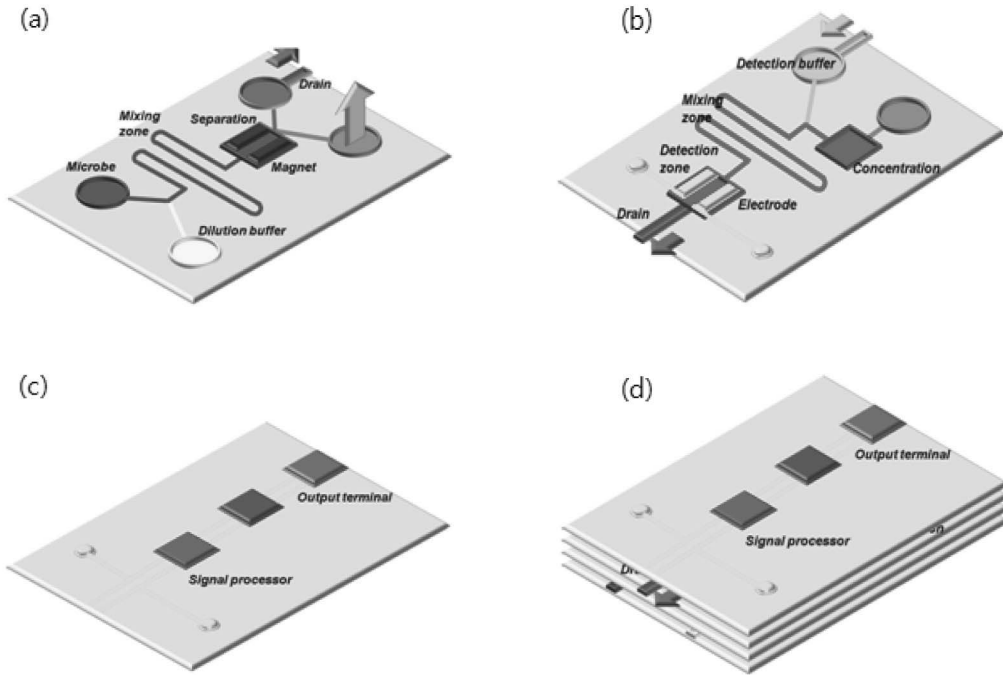


Fig. 3. 세라믹 기반 환경 바이오칩 세부 핵심요소 기술 개념도

(a) Microfluidics를 이용한 시료 전처리 기술, (b) Microfluidics를 이용한 타겟 검출 기술, (c) 신호 전송 모듈과의 연결을 위한 회로구성 및 설계 기술, and (d) 3차원 적층을 통한 LiP (Lab-in-a-Package) 구현 기술.

으로 구현하는 내용을 Fig. 3에 도식적으로 나타내었다.

LTCC (low temperature co-fired ceramic)는 세라믹 후막기술과 금속 전극 배선의 프린팅 공정의 조합으로 다양한 회로가 적층된 전자 디바이스 소자를 제조하는데 활용되고 있는 소재 및 공정기술이다. 이러한 LTCC 기

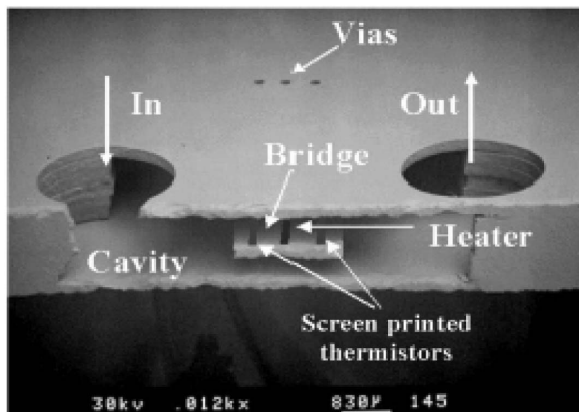


Fig. 4. LTCC로 제조된 flow sensor의 microchannel 및 cavity 단면 사진(Ref.3).

술이 지속적으로 발전됨에 따라서 복잡한 구조의 모듈 제조도 가능하게 되어 센서 소재(gas, flow, pressure, temperature)나 actuator(micropump & valve)도 내장이 가능하다. LTCC 기술이 적용되고 있는 새로운 분야들로는 micro-Total Analysis System(μ TAS), polymerase chain reactors(PCR), chemical microreactors, photonic devices, MEMS packaging 등이 있다.

최근에는 microheater와 온도 sensor, intergrated optical fiber, electronics, package를 포함하여 일체화하는 LTCC microfluidic system에 대한 연구가 진행되고 있다. Fig. 4에 LTCC 기술을 활용한 3D 구조의 소자는 meso-scale의 gas flow sensor에도 활용한 예를 제시하였다. 즉, 후막형의 resistive heater와 thermistor가 cavity내에 형성되며, inlet과 outlet 통로를 형성하여 microfluidity를 고려한 sensor로서 응용될 수 있도록 하였다. 이처럼 LTCC는 전자 디바이스로의 응용 이외에 다양한 microfluidic chip 개발을 위한 플랫폼 기술로 활용될 수 있는 유망한

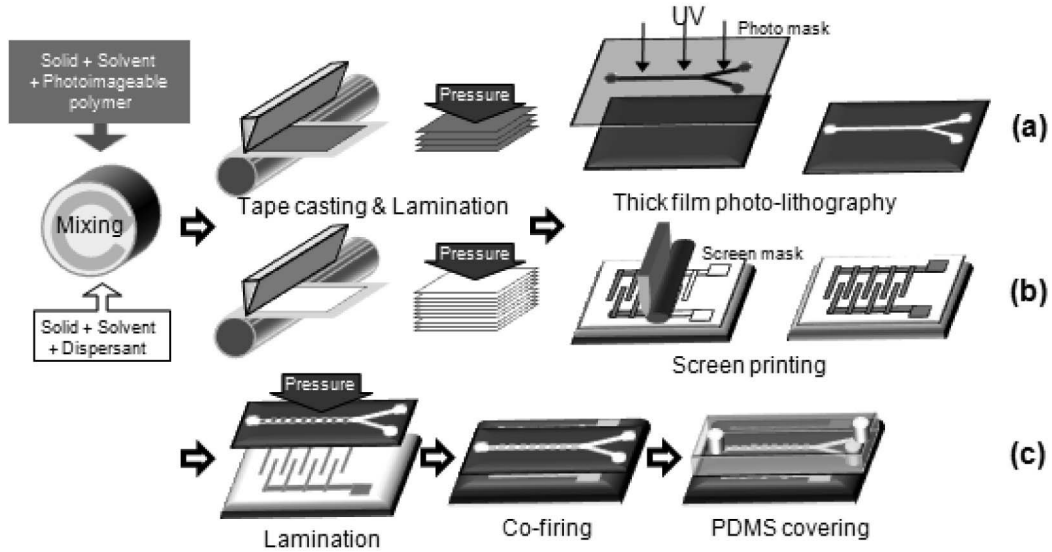


Fig. 5. LTCC와 포토리소그래피 공정을 이용한 세라믹 칩 제작 모식도.

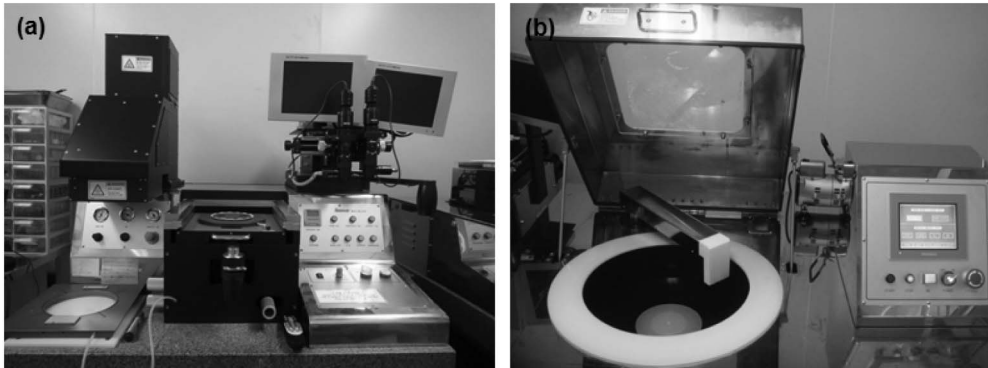


Fig. 6. (a) UV 노광공정 장비 및 (b) Spin developer.

세라믹 공정기술로 판단된다.

2.2. 감광성 세라믹 시트와 포토리소그래피 공정을 이용한 세라믹 칩 제조기술

앞서 제시된 세라믹 기반의 환경 바이오 칩을 제조하는 공정으로써, 본 연구에서는 LTCC 기술에 포토리소그래피 기술을 접목시켜서 소자를 제조하는 공정을 개발, 제시하고자 한다. 이는 LTCC 시트의 원료인 세라믹 기반 슬러리 제조시 감광성 유기물 성분을 첨가함으로써 포토마스크 및 UV 노광과정을 거쳐 microchannel 및 cavity 제조를 가능케 한다.

본 연구에서 사용된 세라믹 소재는 $(Mg, Ca)_2Al_4Si_5O_{18}$ 조성을 갖는 비정질 코디어라이트 분말로써 평균입도 2~3 μm 를 보이고 있으며, 800°C 정도의 비교적 낮은 소결온도를 갖는 LTCC 소재이다. 굴절율 1.54를 보이는 본 재료를 원료로 하여 비감광성의 기관용 슬러리와 감광성의 미세채널 소자용 슬러리를 제조하였고, 후막 casting 공정을 거쳐서 40~70 μm 의 두께를 갖는 시트로 제조 되었다.

감광성 슬러리는 비정질 코디어라이트 분말과 감광성 유기물이 혼합된 상태로써, 자외선 광반응을 발생시키는 광개시제, 형성된 후막의 소결 전 강도와 광반응 후 소자

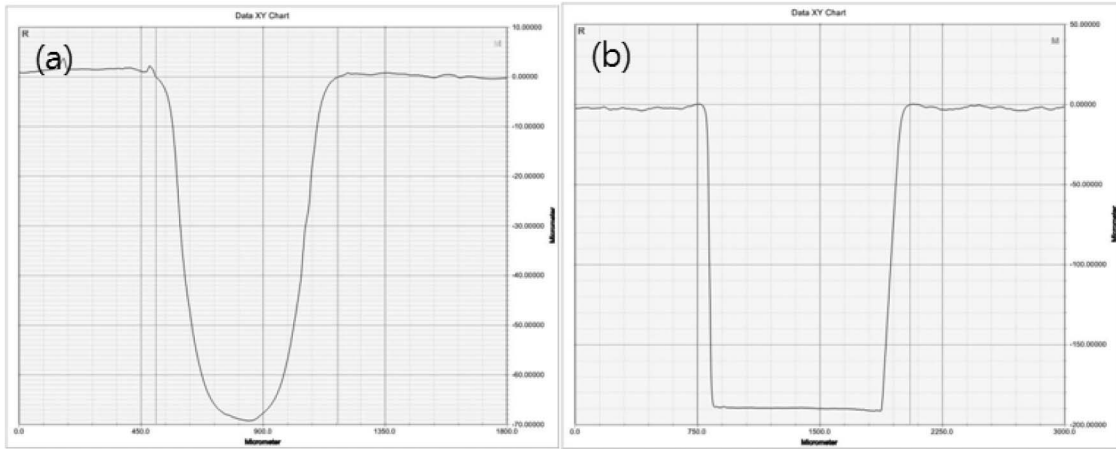


Fig. 7. 미세채널 단면의 surface profile 평가 결과, (a) Dipping에 의한 현상과정 후의 미세채널 단면, (b) Spin developer를 이용한 현상과정 후의 미세채널 단면.

의 형태를 유지시킬 수 있는 바인더폴리머, 광반응에 의하여 폴리머화 되어 현상간 소자의 식각을 방지하는 모노머, 광반응성을 촉진시키는 광증감제, 자외선흡수를 돕는 적색의 색소 등이 감광성 물질로 첨가되어 제조되었다.

건조된 시료는 자외선 노광기 (CA-60TS, shinu MST)를 이용하여 노광을 실시하였고, diethanolamine을 0.75mol%로 희석한 현상액을 이용하여 자외선이 조사되지 않는 부분을 식각함으로써 미세 채널을 갖는 시료의 층을 형성하였다. 이 때, 채널 선포이 1 mm, 200 μm를 갖는 두가지 종류의 수동형 혼합기 제작을 위하여 두 종류의 UV 마스크가 이용되었다. 식각을 마친 시료는 800°C, 1시간의 소결과정을 거쳐서 최종적인 세라믹 칩의 형태가 완성된다. 이러한 일련의 과정을 Fig. 5에 도식화하여 나타내었다.

Fig. 6은 세라믹 칩의 미세채널을 가공하는데 있어서 핵심인 광식각(포토리소그라피) 공정 장비인 UV노광기와 spin developer의 실제 형상이다. 본 연구에서는 감광성 세라믹 시트를 이용한 세라믹 칩의 미세채널을 가공하는데 있어서 UV 노광공정과 현상공정을 거치게 된다. 즉, 후막의 형태로 준비된 감광성 세라믹 시트에 미세채널과 같은 구조물을 제조하기 위하여 감광성 시트와 비감광성 시트를 적층한 시료를 준비하고, photo-mask를 직접 접촉하는 contact형 방법을 이용한 UV 노광과정을

먼저 거친다. 이러한 UV 노광과정을 통하여 시트 내부의 감광성 유기물 성분은 경화가 일어나게 되고, 경화되지 않은 photo-mask의 패턴 부분은 미세채널의 형태로 현상공정을 통하여 식각해내는 negative 방식의 포토리소그라피 공정이 적용되었다.

이 때, 세라믹 칩에 존재하는 미세채널의 형상 및 식각 정도를 좌우하게 되는 가장 주요한 공정이 현상과정이다. 기존에 널리 사용되는 현상방법은 현상액에 노광을 거친 소자를 immersion하는 방식인 dipping으로 자연식각을 유도하는 방식이었으나, 이는 isotropic etching으로서 해상도가 다소 떨어진다. 이러한 단점을 보완하여 식각된 채널의 형상과 식각 깊이 등을 최적화하기 위한 방법으로, 본 연구에서는 spin developer를 이용하여 현상을 진행하였다. Spin developer는 UV 노광을 거친 시료를 홀더에 놓고 350 rpm 정도로 회전시키면서 현상액을 위에서 방사형으로 뿌려주는 방식으로, dipping 방식에 비하여 anisotropic etching에 의한 현상 균일성이 보다 우수한 장점이 있으며, 본 연구에서 구현하고자 하는 미세채널 가공을 보다 효율적으로 진행할 수 있었다. Fig 7은 일반적인 방식의 현상을 거친 시료와 (b)는 spin developer를 사용한 시료의 채널 단면구조를 surface profiler로 평가한 결과로써, 채널모서리 및 형태가 보다 더 선명하게 식각된 것을 확인할 수 있다.

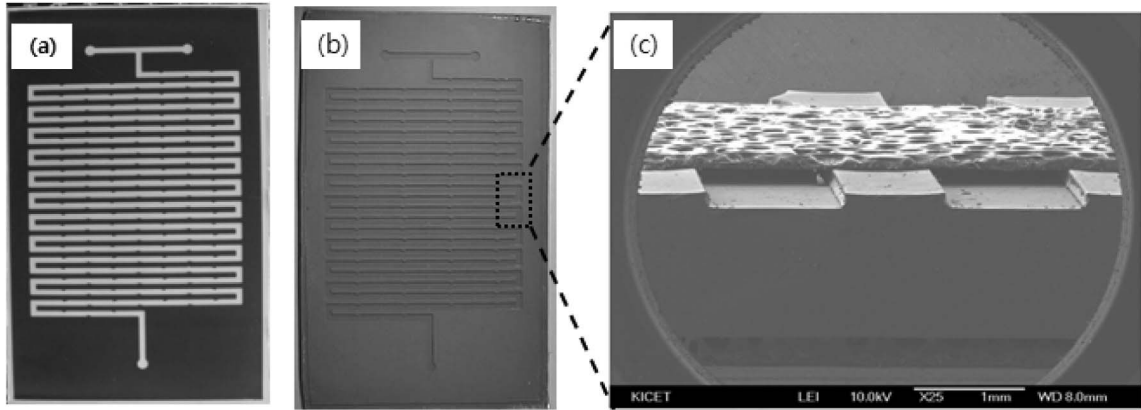


Fig. 8. 광식각 공정법으로 제조된 LTCC 세라믹 칩의 미세채널 패턴 (a) 소결 전의 세라믹 칩, (b) 800°C 소결 후의 세라믹 칩, and (c) 소결 후의 미세채널 단면 형상.

앞선 제조공정을 통하여 환경용 바이오 칩의 전처리 기능에 필요한 미세유체 혼합기(microfluidic mixer)를 제조한 결과를 소결과정 전, 후로 나누어 Fig. 8에 나타내었다. LTCC 소재의 특성상 800°C의 소결과정을 거치면서 세라믹 칩의 수축이 일어나는 것을 확인할 수 있었으며, 수축율은 대략적으로 20% 정도인 것이 확인되었다. 하지만 수축과정 중에 sheet간 들뜸이나 변형은 발생하지 않고 포토리소그래피 공정을 통하여 형성된 미세채널 또한 그 형상을 잘 유지하고 있는 것을 확인할 수 있다.

2.3. 믹서구조를 갖는 세라믹 칩의 혼합효율 평가

소결과정을 거쳐서 얻어진 최종적인 형태의 세라믹 칩을 가지고 시료의 전처리과정 중에 필수적으로 필요한 이중 유체간의 혼합효율에 대한 평가가 이루어졌다. 혼합특성 평가는 형광색의 유체와 무색 투명한 유체를 주입하여 형광의 세기가 감소하는 정도를 측정하는 방법으로 이루어졌다. 본 실험에서 사용된 형광유체는 1N% Na₂CO₃ 용액에 형광색소(fluorescein, Aldrich, F2456)를

첨가하여 제조되었으며, 무색 유체로는 DI water가 이용되었다. 이러한 유체는 마이크로펌프를 통하여 서로 다른 주입구를 통하여 일정속도로 장입되었으며, 유체의 흐름을 유지하기 위하여 상판으로 PDMS를 세라믹 칩과 접합함으로써 밀봉성을 갖추었다. 유체 도입부에서부터 배출부까지 채널 폭을 기준으로 하여 유체 혼합에 따른 형광의 세기 변화를 형광현미경을 사용하여 관찰하였다. 또한 얻어진 이미지는 Image J라는 소프트웨어를 사용하여 그 혼합효율을 구하기 위한 수치화가 진행되었다. 즉, 특정 위치의 채널 폭에서 획득된 형광상태의 이미지를 gray scale로 변환한 뒤, 채널의 폭을 단위픽셀로 이루어진 집합체로 가정하고 단위 픽셀에서 수치화된 형광세기를 도식화하는 작업을 수행하였다. 이와 같은 과정을 500 μm의 채널 폭을 갖는 Y-type, U-type 믹서 구조를 Fig 9에 나타내었고, U-type 믹서 구조에서의 혼합현상을 Fig. 10에 제시하였다.

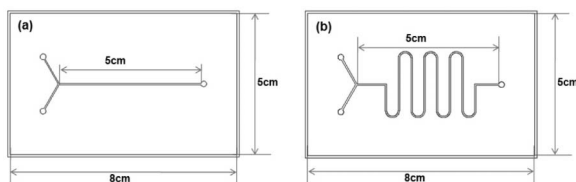


Fig. 9. 500 μm 채널 폭을 갖는 (a) Y-type 및 (b) U-type mixer의 도안.

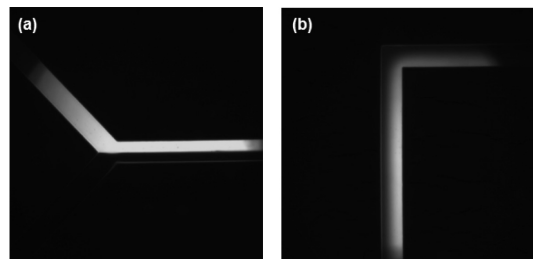


Fig. 10. U-type 믹서에서의 비형광 유체 및 형광유체의 혼합현상에 대한 형광이미지 (a) 유체 도입 부분, (b) 유체 혼합 후 배출구 부분.

Table 1. Y-type 및 U-type 믹서에서의 유속에 따른 미세유체 혼합효율 결과

	Mixing Efficiency		
	1,000 $\mu\text{m}/\text{s}$	5,000 $\mu\text{m}/\text{s}$	10,000 $\mu\text{m}/\text{s}$
Y-type	49.6%	43.1%	32.1%
U-type	93.6%	56.6%	51.5%

앞서 얻어진 Fig 8에서의 결과를 가지고 최종 배출부에서의 혼합효율은 다음과 같은 수식을 통하여 계산이 이루어진다.

$$\eta = \left(1 - \frac{\int_0^A |c - c_\infty| dA}{\int_0^A |c_0 - c_\infty| dA} \right) \times 100\%$$

C_∞ : Perfect mixing (=0.5)
 C_0 : Initial concentration(=0)

위의 수식에서 C 는 측정된 형광의 세기, C_0 는 초기 형광의 세기인 0, C_∞ 는 완벽한 혼합이 이루어진 상태인 0.5를 의미한다. 각 위치별 혼합 정도를 판단한 후 각 값의 평균을 구하여 혼합효율을 결정하게 된다. 위의 수식을 통해 계산된 혼합효율을 Table 1에 정리하여 나타내었다.

앞서 언급된 것처럼 본 연구에서 제조된 믹서는 채널의 길이가 증가하고, 장입되는 유체의 유속이 느려짐으로써 그 효율이 증가하는 것으로부터 확산에 의하여 혼합이 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

2.4. 광식각 공정의 응용에 의한 magnetic separation 구조의 세라믹 제조

본 연구 내용에 있어서 또 다른 주요기능인 분리기능에 대한 세라믹 칩의 성능을 검증하기 위하여 자성입자에 대한 분리현상 이미지를

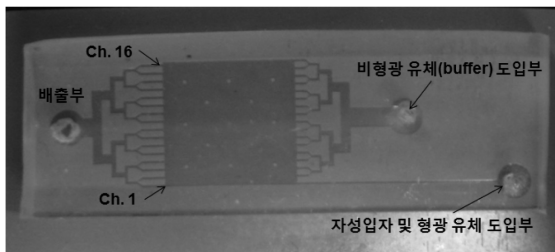


Fig. 11. 자성입자 분리를 위한 세라믹 칩의 구조

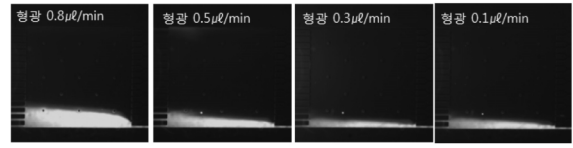


Fig. 12. 동일한 비형광 유체 유속(3 $\mu\text{l}/\text{min}$)에서의 형광 유체 유속 변화에 따른 유체 거동.

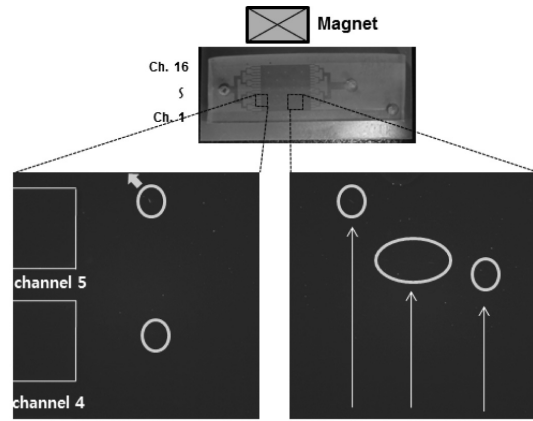


Fig. 13. 분리채널 내에서 Magnetic force에 의한 자성입자의 분리 현상 이미지.

가 분산된 형광 유체와 비형광유체를 도입한 상태에서 영구자석에 의해 원하는 영역으로 분리해 내는 특성에 대한 평가가 이루어졌다. Fig. 11은 영구자석을 이용한 분리 기능의 세라믹 칩 형상이며, 자성입자들이 영구자석에 의해 흐름의 변화가 생기는 분리 채널의 폭은 1 cm × 1 cm에서 이루어지며, 세라믹 칩의 전체 길이는 4.5 cm의 크기로 제작이 이루어졌다.

분리 채널 내에서 원활한 유체 이동현상을 관측하기 위하여 비형광 유체를 3 $\mu\text{l}/\text{min}$ 의 유속으로 주입시키고 형광 유체의 유속 변화에 따른 유체의 흐름 이미지를 분석하여 Fig. 12에 제시하였다. 형광유체의 흐름이 강해질수록 배출부의 1번부터 16번까지의 채널 중에서 배출되는 채널의 수가 상위채널로 증가하는 것을 알 수 있다. 형광유체의 유속이 0.3 $\mu\text{l}/\text{min}$ 조건에서는 최대 배출되는 채널이 3번까지인 것을 확인할 수 있었으며, 자성입자 또한 형광유체와 동일하게 1~3번 채널까지만 배출되는 것을 확인하였다.

자성입자가 포함된 유체의 유속을 0.3 $\mu\text{l}/\text{min}$ 로 하여

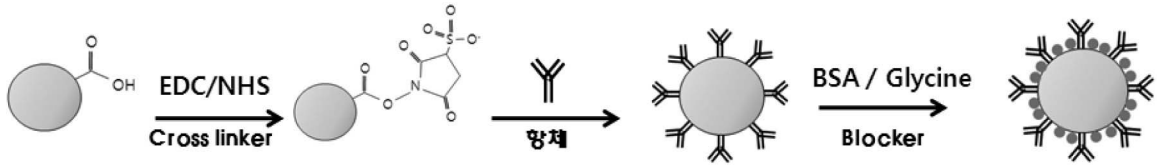


Fig. 14. 대장균 분리를 위한 항체 결합 자성입자의 제작 모식도.

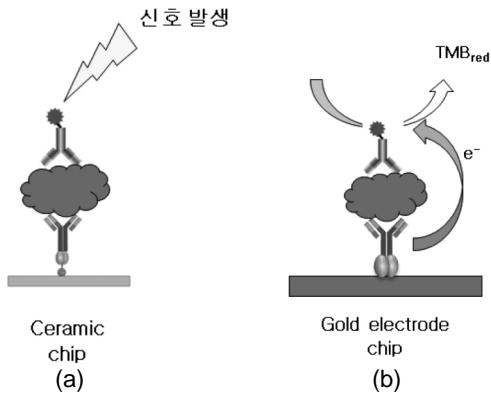


Fig. 15. 샌드위치 방법을 사용한 대장균 검출 모식도. 신호 발생이 가능한 물질이 표지된 항체를 이용한 형광, 광학적 탐지 방법 (a)과 전기화학적 방법 (b).

주입시키고 Fig. 13과 같이 영구자석을 통해 자성입자의 거동 변화를 관찰하였다. 자기력이 인가되지 않았을 경우 1~3 채널까지만 자성입자의 배출이 확인되었으나, 영구자석을 통한 자기력이 인가되면서 자성입자의 배출이 5~6 채널까지 확대되는 것을 확인할 수 있었다. 자기력에 의한 자성입자 분리 현상 이미지 결과에서 알 수 있듯이, 자기력이 인가됨으로써 자성 입자가 메인 유체로부터 이탈하여 자성 방향으로 이동하는 것을 알 수 있었으며, 이를 통하여 자기력 통한 분리기능을 구현하는 세라믹 칩의 성능이 잘 발현되는 것을 확인할 수 있었다.

2.5. 세라믹 칩을 이용한 대장균의 검출

개발된 세라믹 칩을 이용한 대장균의 검출은 기존 바이오센서 분야에서 사용되던 면역진단 방법을 통해 검출하게 된다. 특히 대장균의 분리를 위해서 자성입자를 사용한 분리를 실시하게 되는데 대장균에 특이적인 항체의 결합을 통해 대장균과 결합하여 자력을 통해 분리할 수 있도록 항체 결합 실리카 자성입자를 준비한다. 항체는 Fc 영역에 많이 존재하는 아미노 그룹을 이용하여 실리카 자성입자에 결합하게 되는데 이를 위해 실리카 자성입자 표면을 카르복실기로 치환하고 EDC/NHS chemistry 방법을 사용하여 항체를 결합하게 된다. 특히 항체가 결합되지 않은 부위가 소수성을 띄고 있기 때문에 비특이적 결합이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 Bovine serum albumin을 사용하여 표면을 blocking시키고 glycine을 사용하여 quenching 시킨다.(Fig.14)

이렇게 만들어진 대장균 특이적 자성입자를 통해 대장균을 칩상에서 분리하게 되는데 분리되어진 대장균은 이전에 사용되어진 항체와 결합부위가 다른 대장균 특이 항체를 세라믹 칩 표면에 고정화하여 샌드위치 방식 (sandwich method)으로 검출하게 된다. 대장균의 크기가 1~3 μm 가량되기 때문에 항체가 결합할 수 있는 부위가 다양하며 최대한 세라믹 칩 표면의 항체와 자성입자에

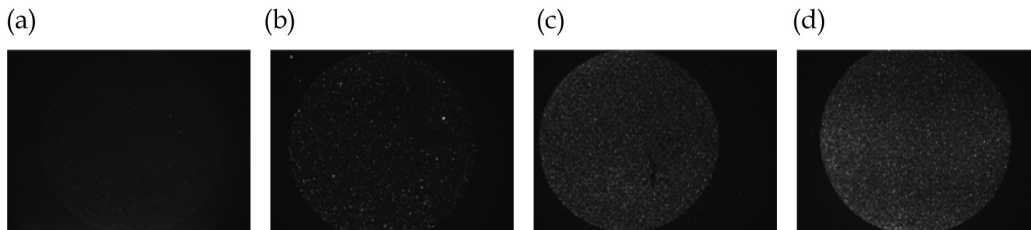


Fig. 16. 타겟 농도에 따른 칩상의 형광 증가. (a) control, (b)-(d) 타겟 농도 증가, (d)에서는 형광 값이 saturation되어서 더 이상 증가하지 않음.

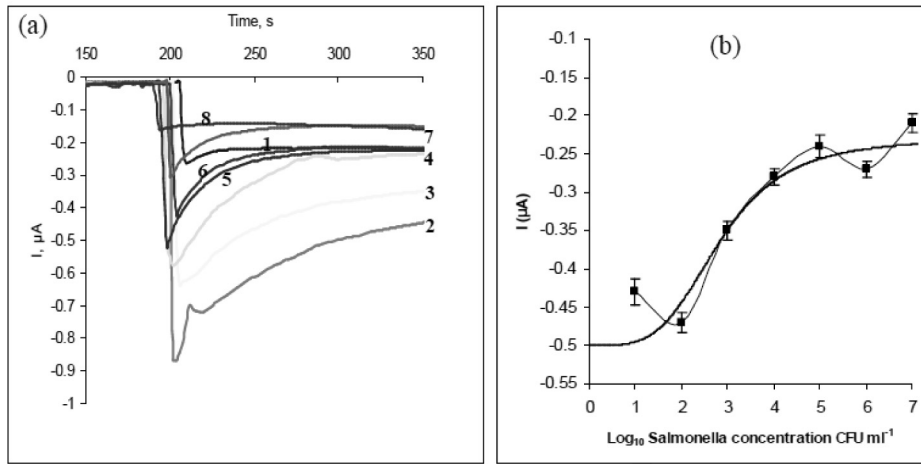


Fig. 17. 전기화학적 검출 방법에 의한 Salmonella의 검출 (Salam & Tothill, 2009). (a) Chronoamperometry 측정법에 의한 검출, 1= 0 CFU/ml, 2=10¹ CFU/ml, 3= 10² CFU/ml, 4=10³ CFU/ml, 5=10⁴ CFU/ml, 6=10⁵ CFU/ml, 7=10⁶ CFU/ml, 8=10⁷ CFU/ml,, CFU=Colony Forming Unit. (b) Salmonella 농도에 따른 전류값 변화.

고정화된 항체가 잡는 영역이 많이 떨어져 있는 항체를 선정하는 것이 중요하다.

대장균의 검출은 세라믹 칩 표면에 붙어 있는 포획항체 (capture antibody)에 의해서 대장균을 검출하게 되고 포획항체에 의해 검출된 대장균에 후속적으로 공급되는 탐지항체 (detection antibody)가 결합하면서 신호를 발생하게 된다.

형광 검출 방법의 경우 탐지항체에 형광 물질이 표지되어 있어서 세라믹 칩상에서 발생하는 형광 신호를 통해서 대장균을 검출할 수 있게 되며 광학적인 방법의 경우 탐지항체에 효소 등이 결합하여 후속적인 기질의 공급에 의해서 특정 파장의 흡광도가 있는 생성물을 발생하여 흡광도의 강도에 따른 대장균의 양을 계산할 수 있다.

전기화학적 측정법의 경우 세라믹 칩에 내장되어 있는 전극에 고정되어 있는 항체에 대장균이 결합하고 후속적으로 전기적 신호를 방출할 수 있는 물질이 표지된 탐지항체가 결합하여서 전류값의 변화를 통해서 대장균을 검출하게 된다. Fig. 17에서 보는 바와 같이 대장균의 농도가 증가함에 따라 전류값의 변화가 차이가 생겨서 이 변화값을 통해 대장균을 정량할 수 있게 된다.

3. 결론

기술의 융합화 요구가 높아지고 있는 상황에서 본 연구는 IT분야의 공정 기술과 NT분야의 나노소재 기술, 그리고 BT분야의 센서 기술을 접목한 융복합 기술을 바탕으로 이루어졌다. IT 디바이스 제조에 널리 활용되고 있는 LTCC 공정과 후막 리소그래피 공정을 이용하여 환경용 세라믹 칩을 제조하는 공정을 새롭게 제시하였다. LTCC 소재에 대하여 리소그래피 기술을 접목하기 위하여 다양한 감광성 유기물 성분을 첨가한 슬러리를 제조하였으며, 이를 통해 다양한 형태의 채널 및 구조물 등을 세라믹 소결체에 형성할 수 있는 기술을 확립할 수 있었다. 이러한 LTCC 공정과의 호환은 다양한 기능성 소자의 적층을 통해 3D 형태의 고집적 소자 제작이 가능함을 의미하는 것으로 향후 다양한 융합소자 개발에 활용가능할 것으로 판단된다. 이는 기존 상용화된 Si 기반의 MEMS 기술에서의 높은 공정 비용과 고분자소재 기반의 미세유체소자에서 구현하기 어려운 집적화의 문제를 해결 할 수 있는 소재 및 공정기술이라는 점에서 의미가 있다고 하겠다. 또한 세라믹 소재를 이용한 미세유체소자는 세라믹이 가지는 우수한 내열성과 내식성, 내화학

성을 바탕으로 사용 환경에 따른 응용 분야를 확대 할 수 있을 것으로 판단된다.

본 기술을 통해 수중 내에 존재하는 소량의 대장균 검출 기법에 대한 가능성을 확인할 수 있었으며 무엇보다도 BT-IT-NT 융합 기술을 활용하여 현재의 한계기술을 뛰어넘은 고품질 다기능의 센서 개발 가능성을 제시하였다.

참고문헌

1. "Annual report 2003", World Health Organization

(WHO)

2. "수질센서/환경칩 기술동향 보고서", 박필주, 한국환경산업기술원 (2011)
 3. L.J.Golonka, "Technology and Applications of Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC) based Sensors and Microsystems," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Science*, **54** [2] 221-231 (2006).
 4. P. Abgrall and A. M. Gue, "Lab-on-chip Technologies: Making a Microfluidic Network and Coupling It into a Complete Microsystem a Review", *J. Micromech. Microeng.*, **17** 15-49 (2007).
 5. F. Salam, I.E. Tothill, "Detection of *Salmonella Typhimurium* Using an Electrochemical Immunosensor", *Biosens. Bioelectron.*, **24** 2630-2636 (2009).

●● 윤영준



- 1992년~1996년 연세대학교 금속공학과 학사
- 1996년~1998년 연세대학교 금속공학과 석사
- 1998년~2003년 연세대학교 금속공학과 박사
- 2003년~2007년 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
- 2007년~현재 한국세라믹기술원 선임연구원

●● 이진형



- 1994년~2001년 중앙대학교 화학공학과 학사
- 2002년~2003년 광주과학기술원 환경공학과 석사
- 2003년~2007년 광주과학기술원 환경공학과 박사
- 2007년~2008년 디지털바이오테크놀로지 과장
- 2009년~현재 한국세라믹기술원 선임연구원