

자성 비드 기반 순환형 미세유로를 활용한 표적물질 분리·검출 미세유체장치

기술보유기관: 충남대학교 산학협력단

연구자 정보: 충남대학교 응용화학공학과 이창수

기술이전 상담 및 문의: 충남대학교 기술사업팀 박완우 / 042-821-8724 / qwerty1217@cnu.ac.kr

Key Word: 자성 비드, 미세유체장치, 순환형 미세유로, 표적물질 검출, 랩온어칩

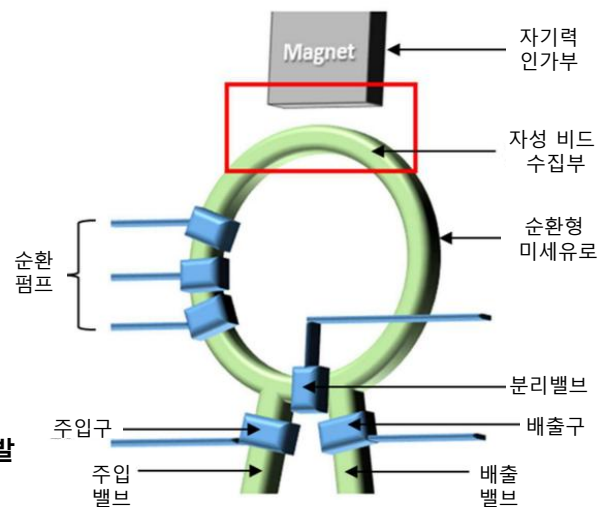
순환형 미세유로와 자기력 인가부를 결합해 자성 비드 손실 없이 미량 검체만으로
반응·세정·검출을 단일 장치에서 연속 수행하는 미세유체 플랫폼 기술

기술개발 배경

[단일 칩 내 다단계 반응 구현 수요 충족]

- 벌크 시스템의 자성 비드 세정은 수차례 피펫 조작이 필요해 시간·노력 소모가 크고, 미량 시료에서 세정 완결도가 저하됨
- 기존 선형 유로 기반 미세유체장치는 비드-표적물질 반응 시간 부족 및 고정되지 않은 비드의 배출구 유실 문제가 상존
- 기존 V자형 유로 구조 등은 비드 추출 단계에만 특화되어 다단계 반응·세정 연속 구현이 불가

→ 극미량·고가 시료를 손실 없이 처리할 수 있는 폐쇄형 순환 구조 장치 개발



〈본 미세유체장치 모식도〉

기술개발 내용 및 차별성

[순환형 유로·자성 비드 수집 구조의 핵심 효과]

· 반응·세정·검출을 단일 칩 내에서 자동화 연속 수행, 비드 손실 제로 달성

- "순환형 유로 + 폐쇄 밸브 구조"

- 내장 연동 펌프가 유체를 순환형 미세유로 안에서 반복 순환시켜 비드-표적물질 충분한 접촉 시간 확보
- 주입·배출 밸브를 닫은 상태로 순환해 반응 중 시료 외부 유출 차단 → 미량 검체에도 적용 가능

- "자기력 기반 비드 수집"

- 반응·세정 완료 후 자기력 인가부 작동으로 비드를 수집부에 집중 고정
- 항원 포획→세정→탈착 단계를 단일 장치 내 연속 수행

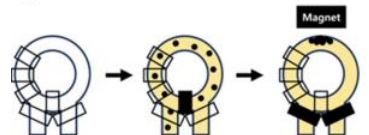
- "분리 밸브 채용"

- 분리 밸브를 닫은 상태에서 유체 주입 시 순환 유로 충전·세정 속도 향상
- 주입 압력 증가에 따라 충전·세정 속도가 함께 증가해 더 적은 유체량으로 반응·세정 완료

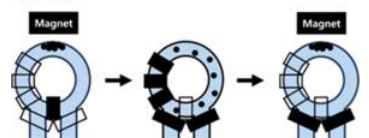
- "수집부 구조 최적화"

- 수집부 유로 폭을 순환 유로보다 넓게 설계해 자기력 인가 시 비드 집중 수집
- 수집 밸브 추가로 비드를 수집부에 격리한 채 유로 내 유체만 교환 가능 → 세정 단계 정밀 제어

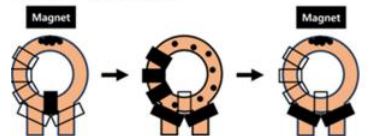
(1) 자성 비드 주입



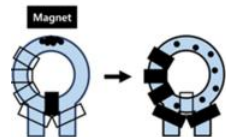
(2) 세정



(3) 검체 주입 및 반응



(4) 세정 및 검출



〈자성 비드 기반 반응 방법〉

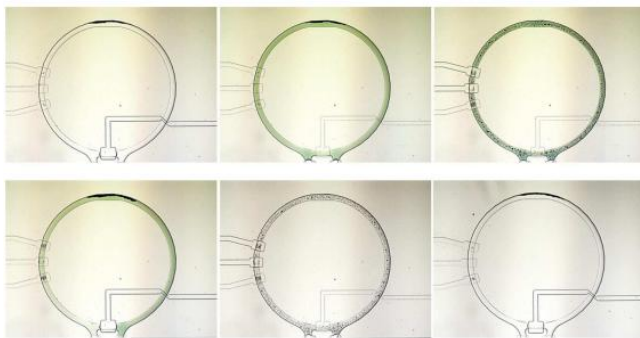
기술 완성도(TRL)

TRL1	TRL2	TRL3	TRL4	TRL5	TRL6	TRL7	TRL8	TRL9
기초이론 / 아이디어	기초연구 / 개념정립	실험실 규모의 기본성능 검증 / 기준규격 설정	연구실 규모의 시작품 test / 세포주 실험 in-vitro	유사환경 검증 / 실험동물모델 효능 검증 in-vivo	Pilot 규모 시제품 제작 / 인체적용시험	실제 환경에서 성능 검증 / 개별인정 진행	표준화 / 인허가 취득	사업화

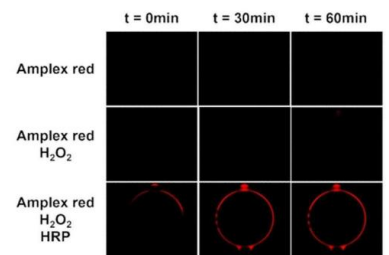
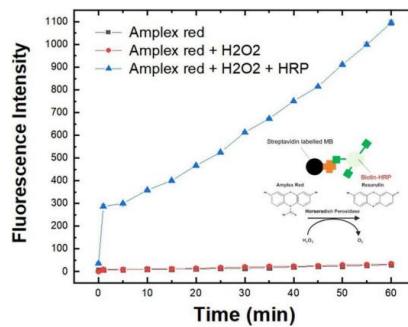
기술 구현 내용

구현 내용 핵심 요약

- (핵심구성) 곡선형 순환 유로, 내장 연동 펌프(공압 밸브 3개 이상 순차 작동), 주입구·배출구(주입·배출 밸브 구비), 자기력 인가부(영구자석 또는 전자석)로 구성
- (작동원리) 시료 주입 시 밸브 개방으로 유체 충전 → 반응·세정 단계에서 밸브 폐쇄 후 순환 유로 내 반복 순환 → 반응 완료 후 자기력 인가로 비드 수집부 고정 → 배출 밸브 개방으로 미반응 유체 제거 → 세정액 순차 도입
- (다단계 주입 구조) 선형 미세유로에서 분지되는 복수의 분지 미세유로로 구성된 주입 미세유로 추가; 각 분지 말단·교차 위치에 밸브 배치로 도입 순서 제어 → 서로 다른 유체의 교차오염 없이 순환 유로로 유입
- (자동화 제어) 펌프 작동·밸브 개폐·자기력 인가를 통합 제어하는 제어부를 통해 시료 주입부터 표적물질 검출·정제까지 자동화된 다단계 분석 수행
- (소재) PDMS 다공성 재질 칩 적용 시 배출 밸브 폐쇄 상태에서도 기체 자동 배출 방식으로 유로 충전 가능



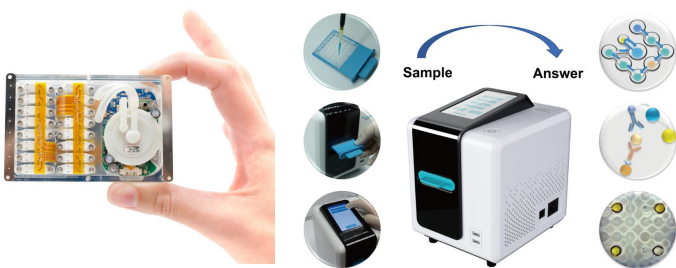
〈자성 비드 수집 현미경 이미지〉



〈예시적 효소반응의 모니터링 결과〉

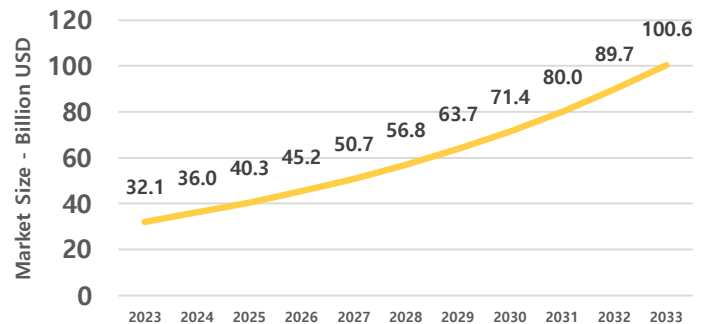
비즈니스 아이디어

- 현장 진단용 카트리지
- 소형 자동화 정제 모듈
- 효소 반응 모니터링·항원-항체 결합 분석 등 다단계 생화학 분석 플랫폼



시장동향

〈글로벌 미세유체 칩 시장 규모 및 전망〉



- 글로벌 미세유체 칩 시장은 2023년 32.1 Billion USD에서 연평균 약 12.1%로 성장하여 2033년 100.6 Billion USD에 달할 전망

특허/권리현황

No.	특허명	등록현황	특허번호
1	자성 비드 기반 반응을 위한 미세유체장치	등록	10-2923668 (2026.02.02)
2	미세유체 시스템	등록	10-2711038 (2024.09.24)
3	외곽 말단에 절첩부를 갖는 종이칩	등록	10-2681236 (2024.06.27)
4	미세액적 내 세포 계수 방법	등록	10-2655391 (2024.04.02)
5	자율반응형 다공성 소프트 액추에이터 및 이를 이용한 소프트 로봇	등록	10-2600310 (2023.11.06)
6	효소반응을 이용한 유체 유량 조절 방법 및 이를 이용한 진단키트 이용	등록	10-2544040 (2023.06.12)
7	경시적 시료획득이 용이한 새로운 구조의 미세유체장치	등록	10-1882868 (2018.07.23)
8	세포 표면의 당사슬 분석 방법	등록	10-1480927 (2015.01.05)