

연구개발계획요구서(RFP)

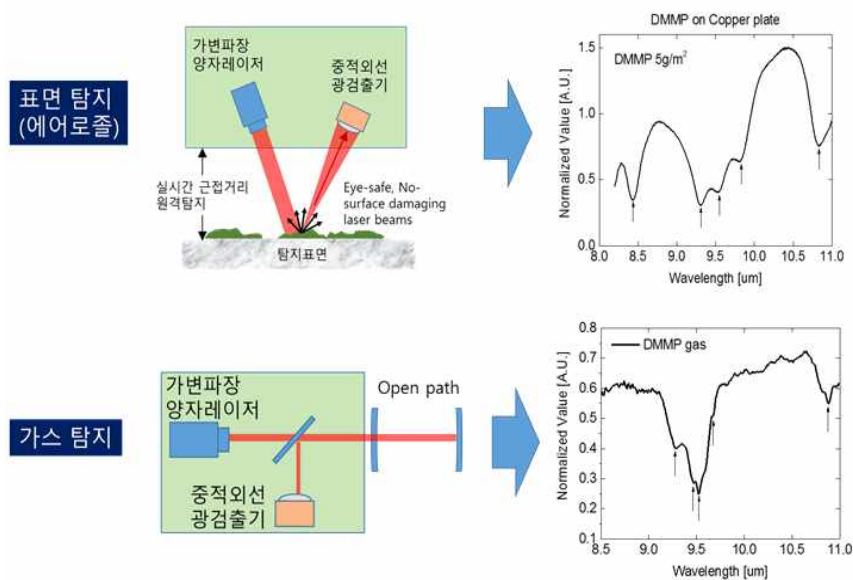
과제명 : 반도체 레이저 기반 비접촉식 화학작용제 탐지기 개발

1. 개요

가. 기술의 개념 및 정의

- 중적외선(8~12 μm) 영역의 가변파장 반도체 레이저를 이용하여 비접촉식으로 근접거리에서 화학작용제를 탐지할 수 있는 소형 탐지기의 설계/광학계 구성, 탐지물질 데이터베이스 구축, 탐지 알고리즘 개발, 시스템 제작에 관한 기술
- 기존의 탐지기들의 탐지방식인 공기중의 가스상을 흡입하여 탐지하는 접촉식 방식과는 달리 근접거리에서 용액성 유독화학물질의 에어로졸 존재시 이들의 지문 영역인 중적외선 범위의 광을 조사하고 흡수하는 특성을 이용하여 목표물질을 탐지하는 기술을 개발

<비접촉식 소형 화학작용제 탐지기>





Pendar Technology (U.S.)
QCL based standoff detection system



BlockEngineering (U.S.)
QCL based standoff detection system

나. 기술의 중요성/필요성 및 시급성

1) 기술의 중요성/필요성

- 화학작용제 탐지장비는 세계적으로 많이 개발되었으나 대부분 시료를 흡입하여 분석하는 접촉식 탐지방식으로서 화학작용제가 존재하는 부위에 접촉시켜 흡입하여 탐지하는 방식이다 따라서 접촉성 탐지기는 일정 탐지 시간이 필요하며 탐지 후 재탐지를 위하여 탐지기 내부 오염원을 깨끗이 제거(공기세척 등 복구시간이 필요)해야 하는 운용적인 불편한 문제점들이 대두되고 있다.
- 접촉식 탐지기는 기술적인 측면에서 감도는 좋으나 일련의 시료흡입/탐지/식별/복구 절차가 있어서 실시간 및 연속 탐지 측면에서 단점들이 지적되어 왔다. 반면 원격 탐지방식은 비접촉으로 복구시간 필요 없이 실시간 탐지가 가능한 장점들이 있다.
- 현재까지 개발된 접촉식 탐지기류들은 탐지방식이 이온이동도, 전기화학, 가스이온화 및 반도체 방식들이 주류를 이루며 대부분 탐지능력은 우수하나 식별능력은 낮다. 식별능력이 낮은 경우 오염물질에 대한 정보 파악이 늦어 인체 오염시 제독 및 해독 조치를 적절히 취할 수 없다. 따라서 이러한 단점들을 없애고 비접촉식으로 근접거리에서 유독물질을 탐지 및 식별하는 새로운 탐지방식이 요구되고 있으며 현재 군에서도 화생방 정찰차를 운용함에 있어서 지표면에 오염된 화학작용제를 기동간에 탐지하기 위한 방법 연구에 심혈을 기울이고 있다. 이러한 문제점들을 보완하고 인체 노출 위험을 최소화하는 최적의 탐지방식은 비접촉식으로 탐지/식별하는 반도체 레이저 기술을 이용하는 방법이 최선의 대안이다.
- 원격 탐지방식인 반도체 중적외선 발진 레이저 탐지방식은 선진국에서도 환경오염 및 유독가스 모니터링을 위한 디바이스 개발에 많은 투자를 하고 있다. 우리나라에서도 반도체 레이저 제조 원천 기술은 없으나 레이저 원을 장착한 탐지기 개발에 박차를 가해야할 것으로 사료된다.

- 반도체 레이저를 이용한 탐지방식은 유독가스의 오염이 의심되는 근접영역에 에어로졸 또는 증기 존재시 방출 적외선 레이저광을 조사하여 흡수파장을 분석하는 탐지방식이다. 주요 구성품은 광원, 광학계 렌즈 배열 및 광검출기로 되어 있으며 이격 거리에서도 목표가스를 탐지할 수 있는 장점이 있다. 탐지거리는 레이저 강도, 광학계 구성 및 광검출기의 성능에 좌우되지만 현재 기술 수준으로는 탐지거리가 수 십 cm 까지 유효하다. 또한 대부분의 유독성 물질은 중적외선(8~12 μ m) 파장 범위에 지문영역이 있다. 따라서 양자레이저를 이용한 탐지기는 탐지 및 식별능력이 상당히 우수하다.
- 1994년 중적외선 양자레이저 광원이 최초로 개발된 후 최근 들어 양자레이저 및 이를 활용한 중적외선 광원 기술이 성숙기에 접어들고 있으며, 미국 및 유럽을 중심으로 양자레이저를 이용한 유해가스 및 유해물질 검출 기술 및 제품개발이 이루어지고 있으며 이를 이용한 유독물질 및 자동차 배기가스 탐지기를 출시하고 있는 실정이다. 현 시점에서 선진국과의 기술격차를 해소하고 중적외선 반도체 레이저 탐지기 개발기술을 국내 적용하기 위하여 관련 기술 개발이 필요하다.

2) 기술개발의 시급성

- 양자레이저 기반 중적외선 탐지기술은 레이저 발생원이 반도체이므로 소형, 경량화 및 저전력으로 사용이 가능하며 현재 부대(대대/중대)에 보급된 접촉식 탐지기를 대체할 유일한 기술로 간주된다.
- 또한 양자레이저 탐지기는 현재 화생방정찰차 탑재용으로 운용 중인 부피가 큰 질량 분석 탐지기를 대체한다면 정찰차 내부 공간이 상당히 확보되어 많은 공간을 확보할 수 있으며 잠재력이 큰 기술로 판단된다.
- 결론적으로 반도체 레이저 탐지기는 비접촉식 근접 탐지능력 및 화학작용제 식별능력이 우수하기 때문에 현재 군에 보급된 접촉식 화학작용제 탐지기를 세대 교체할 유일한 대안으로 대두되고 있으며 개발이 시급하다.

다. 연구개발 최종 목표

- 민·군수용

| 항 목 | 목 표 성 능 |
|----------|--|
| 양자레이저 출력 | $\geq 100 \text{ mW}$ |
| 스펙트럼 분해능 | $\leq 2 \text{ cm}^{-1}$ |
| 가변파장 범위 | $\geq \lambda = 8 \sim 12 \mu\text{m}$ |

| 항 목 | 목 표 성 능 |
|---------------------|---|
| 탐지물질(가스, 에어로졸) | 신경작용제(GA, GB, VX) 수포성 작용제(HD), TIC(암모니아 외 2종) |
| 탐지거리 | ≥ 50 cm |
| 감도 (표면탐지 및 증기탐지) | 표면 탐지: $\leq 1\text{g/m}^2$ (조건: 50cm이격 동판표면 실작용제 및 DMMP 확산오염) 증기 탐지: $\leq 300\text{mg/m}^3$ (실작용제 및 DMMP) |
| 탐지시간 | ≤ 5 sec |
| 복구시간 | ≤ 30 sec |
| 동작전압 | 24 VDC |
| 작동온도 | $-32 \sim 43$ °C |
| 탐지기 부피 | $\leq 30 \times 20 \times 15$ cm |
| 탐지기 무게 | ≤ 4.5 kg |

* 단, 화학작용제 시험평가(표면탐지, 증기탐지)는 해외 연구기관과 공동 추진 조건임

2. 국내외 기술현황 및 전망

가. 국내 기술동향 및 전망

- 2001년부터 2003년까지 KIST를 중심으로 가스센서용 양자레이저 공정개발 연구가 수행되었고, 상온 및 77K 온도에서 레이저 L-I-V 특성을 측정하였으나 발진 특성을 얻지 못함. 현재 KIST를 중심으로 2015년 한국산업기술 평가관리원 (KEIT) 주관 휴대용 고감도 가스검출용 7.7 및 10.3 μm 중심파장의 중적외선 양자레이저 개발연구가 진행되고 있으나, 연구목표가 메탄 및 암모니아 탐지용으로 기초 단계 원천기술 연구이며 Distributed Feedback (DFB) 방식으로 넓은 범위의 파장 가변성 확보가 불가능하여 화학작용제 탐지용으로 활용이 어렵다.

나. 국외 기술동향 및 전망

- 1994년 미국 Bell 연구소에서 중적외선 양자레이저 발진이 처음으로 보고된 후, 현재는 100mW 이상의 높은 광세기 및 External Cavity를 이용하여 400 cm^{-1} 이상의 파장가변성을 갖는 양자레이저가 제품으로 개발되어 판매되고 있다. 중적외선 레이저광원의 지속적인 수요증가로 인해 광원의 가격이 낮아지고 있는 추세이며, 저가의 소형 중적외선 레이저 분광시스템 개발로 이어지고 있어 관련기술 국산화가 시급하다.
- 스위스의 Alpes Laser 사는 DFB 양자레이저를 이용하여 4.3 ~ 12.5 μm 파장범위의 single mode 레이저광원, EC 방식의 가변파장 양자레이저, THz

양자레이저 광원 등을 개발, 판매하고 있으며, 최근 20W 이상의 고출력 양자레이저 개발에 성공함.

- 미국 Aerodyne Research 사는 DFB 양자레이저 광원을 이용한 흡수분광기를 판매하고 있으며, 주로 환경오염 가스 모니터링에 활용되고 있음.
- 미국 Daylight solutions 사는 EC 방식의 가변파장 양자레이저를 이용하여 $4 \sim 12\mu\text{m}$ 범위에서 100mW 이상의 광세기 및 $80 \sim 300\text{cm}^{-1}$ 의 파장가변범위를 갖는 다양한 레이저광원을 개발 및 판매하고 있으며, 이를 이용한 가스검출 시스템을 개발하고 있음.
- 미국 Block Engineering 사 또한 EC 방식의 가변파장 양자레이저 관련 다양한 광원을 개발 판매하고 있으며, 연구용 및 제품개발에 이용 가능한 EC 양자레이저 기반 소형 OEM 레이저 모듈 ($4.6 \times 3.3 \times 2.9\text{cm}^3$)을 개발 판매하고 있음. Block Engineering 사는 현재 EC 양자레이저 기반의 흡수분광기를 개발하여 군용 및 민수용 유해가스 검출, 화학작용제 탐지, 폭발물 탐지에 활용 가능한 시스템을 개발하고 있음.

3. 연구개발계획

가. 연도별 연구개발 목표

- 민·군수용

ALPES LASERS
(스위스) :



DFB 양자레이저



고출력 양자레이저 (광출력>20W)

Daylight solutions
(미국) :



고출력 양자레이저 (광출력>1W)



가변파장 양자레이저



양자레이저 가스검출 시스템

Aerodyne research
(미국) :

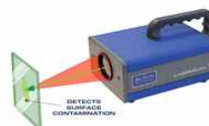


DFB 양자레이저 기반 N_2O 가스센서

Block Engineering
(미국) :



소형 EC 양자레이저 모듈



근거리 유해물질 검출기



Open-path 기반 가스검출기

| 구분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 | 주요결과물 | 예산(억) |
|--------------|--|--|--|-------|
| 시험개발 (3년) | <ul style="list-style-type: none"> ■ 광원 및 광학계 설계/구성 | <ul style="list-style-type: none"> - 중적외선(8~12μm) 레이저 발진모듈 설계(DFB 또는 external cavity) - 구동/제어기 회로 및 모듈 설계 - 광학계 설계/배열 및 성능확인(광원, 렌즈배열, 광검출기 모듈 구성 및 성능확인) - 레이저 방출/흡수 탐지회로 구현 | <ul style="list-style-type: none"> - 광학 설계/제작 성능 확인 결과물 | 20.7 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ■ 중적외선 탐지 성능시험 ■ 1차 시제품 제작 ■ 탐지 알고리즘 개발 ■ 화학작용제 및 유사작용제 탐지 감도시험 | <ul style="list-style-type: none"> - 중적외선 범위 목표물질 탐지성능 구현 - 구성품 통합(패키지) 설계 및 1차 시제품 개발 (국내/국외 각 1조씩) - 신호 안정성 - 유독물질(화학작용제, TIC) 스펙트럼 데이터베이스 구축 - 탐지/식별 및 검출 알고리즘 개발 - 화학작용제 탐지성능 시험 [이격표면 탐지 및 증기상 탐지 (최저 탐지농도 및 탐지거리 등)] * 해외 연구기관 공동 추진 | <ul style="list-style-type: none"> - 1차 시제품 - 작용제 스펙트럼 정보구축 - 탐지 알고리즘 및 SW 1식 | |
| | <ul style="list-style-type: none"> ■ 2차 시제품 제작 ■ 화학작용제 및 유사작용제 탐지 감도시험 ■ 환경성 및 간섭성시험 | <ul style="list-style-type: none"> - 2차시제품 (1차 시제품 수정/보완, 성능 최적화, 국내/국외 각 1조씩) - 탐지성능 재현성 및 안정성 평가 - 환경성 및 간섭성 시험 - 지표면 형태별 탐지성능 시험 - 혼합가스상 식별 시험 * 해외 연구기관 공동 추진 | <ul style="list-style-type: none"> - 2차 시제품 - 대상물질 성능평가 보고서 - 논문 - 지적재산권 | |

* 단계별 목표의 달성을 위한 연차별 목표를 연구개발계획서에서 제시하고, 연차별 목표에 대한 평가항목 및 달성목표치를 정량적으로 제시

예시) 시험개발 3년 과제의 경우

| 연구단계 | 시험개발 | | |
|--------|--|------------------------|----------------------|
| 연차 | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 |
| 연차별 기간 | 15개월 (‘18.10~‘19.12) | 12개월 (‘20.1~‘21.12) | 9개월 (‘21.1~‘22.9) |
| 평가 | <div>▲</div> <div>진도평가</div> <div>▲</div> <div>진도평가</div> <div>▲</div> <div>최종평가</div> | | |
| 예산 지급 | ▲ ▲ | ▲ | ▲ |

* 재료비, 장비비 등은 사업 초기에 집행하여 활용도 제고

나. 사업기간 및 연구개발비

- 사업기간 : 시험개발 3년
- 총 연구개발비 중 정부출연금
: 20.7억원 이내 (국내 연구비 19.6억+해외 공동연구 추진비 1.1억)

다. 시제품 해외 공동연구(시험평가) 수행 범위 및 조건

- 시제품은 실 화학작용제에 대한 탐지감도 시험평가를 실시하여야 한다. 시험평가 공동연구는 해외 연구기관을 대상으로 하며(민군센터 협조 예정) 수행범위는 다음과 같다.
 - 화학작용제 감도시험으로서 두가지 나누어 실시하여야 하며 첫째 에어로졸이 확산된 화학작용제 표면 탐지시험, 둘째 용기 내 화학작용제 증기상 탐지시험으로 구분하여 실시한다.
 - 표면 탐지는 50cm 떨어진 거리에 있는 동판표면 위 화학작용제 에어로졸로 확산된 시편으로 실시하며, 증기상 탐지는 화학작용제가 증기상으로 채워진 용기를 시편으로 한다.
 - 시험 대상 화학작용제의 종류 및 농도는 연구목표에 명시된 농도를 기준으로 과제 수행기관 선정 후 민군센터와 협의하여 결정한다.
 - 화학작용제 감도 시험평가 횟수는 '19년 1차 시제품, '20년 2차 시제품을 대상으로 2회 이상 실시하여야 한다. (국내, 국외용 각 1조씩 시제품 제작 필요)
- 시험평가 중 화학작용제 감도시험에 대한 해외 대상 인증기관과의 계약 및 시험장치 관련 부분은 주관기관 또는 참여기관이 대상 기관과 협약하여 추진하여야 하며(민군센터 협력 예정), 소요되는 비용은 일체 주관 또는 참여기관이 지불하여야 한다.

4. 적용 및 파급효과

가. 적용분야

- 민수 분야
 - 산업현장 유해가스 실시간 모니터링
 - 공항, 항만, 원전, 유류저장고 등 주요 공공시설 및 인구 밀집 지역 유해물질 탐지 및 테러대비 탐지기
- 군수 분야
 - 화생방정찰차 탑재용 및 비접촉식 화학탐지기 개발 기술
 - 드론, 무인기 및 로봇 장착형 화학작용제 탐지기

군수



손휴대용 화학작용제 탐지기



화생방정찰차 탑재 탐지기



구축진지 화학작용제 탐지기

민수



검색대 유해물질 탐지



산업현장 유해물질 탐지



화학 테러 감지 및 경보

나. 파급효과

○ 기술적 측면 :

- 중적외선 양자레이저를 이용한 광학계 설계기술 및 하드웨어 통합기술 확보
- 화학작용제, 산업독성물질(TIC) 중적외선 데이터베이스 및 탐지 알고리즘 기술 축적

○ 경제·산업적 측면 :

- 중적외선 양자레이저 기반 탐지기 기술 국산화
- 가스탐지 및 모니터링, 유해물질 원격 탐지기 신제품 개발에 따른 시장 창출
- 관련 기술 이전에 따른 군수 및 민수산업 발전 기대

○ 군사적 측면 :

- 신개념 탐지장비인 양자레이저 기반 비접촉식 탐지기 체계개발
- 화생방 정찰차 탑재용 경량 및 소형 화학탐지기 적용 가능
- 미래병사체계의 화학탐지센서 기술 축적

5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목

가. 연구개발 결과 최종 제시물

- 100 mW 광세기 및 8~12 μ m 가변파장 양자레이저 기반 탐지기 시제품 2조
- 연구개발 결과보고서 (전산파일 포함)
- 국내외 학술지 연구결과 논문 2편 이상 게재
- 지적재산권 확보

나. 연구개발 결과 평가항목

| 항 목 | 목 표 성 능 |
|---------------------|--|
| 양자레이저 출력 | $\geq 100 \text{ mW}$ |
| 스펙트럼 분해능 | $\leq 2 \text{ cm}^{-1}$ |
| 가변파장 범위 | $\geq \lambda = 8 \sim 12 \text{ }\mu\text{m}$ |
| 탐지물질(가스, 에어로졸) | 신경작용제(GA, GB, VX) 수포성 작용제(HD), TIC(암모니아 외 2종) |
| 탐지거리 | $\geq 50 \text{ cm}$ |
| 감도 (표면탐지 및 증기탐지) | 표면 탐지: $\leq 1\text{g/m}^2$ (조건: 50cm이격 동판표면 위 실작용제 및 DMMP 에 어로졸 확산) 증기 탐지: $\leq 300\text{mg/m}^3$ (실작용제 및 DMMP) |
| 탐지시간 | $\leq 5 \text{ sec}$ |
| 복구시간 | $\leq 30 \text{ sec}$ |
| 동작전압 | 24 VDC |
| 작동온도 | $-32 \sim 43 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| 탐지기 부피 | $\leq 30 \times 20 \times 15 \text{ cm}$ |
| 탐지기 무게 | $\leq 4.5 \text{ kg}$ |

* 단, 화학작용제 시험평가(표면탐지, 증기탐지)는 해외 연구기관과 공동 추진 조건임

6. 참여 요건

가. 추진 체계 요건

- 주관연구기관 및 참여기관 : 민·군기술협력사업 촉진법 제7조 제2항 및 동법 시행령 제14조 제2항 각호에 해당하는 기관 또는 단체(고등교육법 제2조 각호에 따른 학교 포함)

나. 연구책임자의 자격 및 과제 신청요건

- 연구책임자의 자격 : 관련분야의 연구 경험이 풍부한 중견 연구자를 책임자로 선임하여 연구의 최종목표를 달성할 수 있도록 계획, 업무프로세스 정립, 원활한 추진 및 조정과 과제관리를 수행할 수 있어야 한다.
- 과제 신청요건 : 주관연구기관은 제안한 연구개발 목표를 충분히 달성할 수 있는 연구팀을 구성하여야 하며, 필요시 컨소시엄을 구성할 수 있다.

다. 기타

해당 없음

7. 참고문헌

- P. Kotidis et. al. "Standoff detection of chemical and biological threats using miniature widely tunable QCLs" Proc. of SPIE Vol. 9467, 94672S, (2015).
- P. Kotidis et. al. "QCL spectroscopy system and applications therefor" US patent No. 8780347B2, (2014).
- A. C. Padilla-Jimenez et. al. "Microorganisms Detection on Substrates using QCL Spectroscopy" Proc. of SPIE Vol. 8710, 871019, (2013).

8. 과제 문의사항 연락처

| 소속 | 성 명/직급 | 연락처 |
|---------------------|------------|--------------|
| 국방과학연구소 민군기술협력센터 | 서병일 / 전문위원 | 042-607-6048 |