

연구개발계획요구서(RFP)

과제명 : 화학작용제 검출 변색소재 및 섬유패치 개발

1. 개요

가. 기술의 개념 및 정의

- 화학작용제 및 산업독성화학물질(TIC)과 반응하여 색전이가 발생하는 소재를 개발하고 주야간 겸용 탐지가 가능한 변색 탐지 섬유패치를 개발하는 기술임
- 섬유 또는 종이에 안정적으로 흡착된 패치로 제작되어 운용 방법은 원하는 부위에 탈부착하여 사용하기 쉽고 휴대가 가능할 수 있다.
- 색전이 소재는 야간에는 노출이 되지 않게 광원을 사용하여 탐지가 가능하도록하며 탐지 후 중화가 되는 소재를 개발한다.



그림 1. 변색 섬유 패치를 활용한 화학작용제 및 TIC 탐지 개념도

나. 기술의 중요성/필요성 및 시급성

- 화학작용제 및 유해물질 탐지의 필요성
 - 최근 김정남 테러 사망이나 시리아 내전에서 살포된 화학작용제 공격에서

알 수 있듯 공공장소에서의 화학작용제에 의한 테러 위험성이 높아지고 있다. 특히 북한의 경우 화학무기금지조약에 가입하지 않았으며, 1987년에 가입한 생물무기금지협약의 경우 협약을 위반하여 화학전에 대한 대비가 시급한 상황이다.

- 현재 우리 군에서 사용하는 화학작용제 탐지지(KM9)의 경우 해외 전량 수입에 의존하고 있으며 가스 상태의 작용제는 탐지가 불가능하고 야간 탐지는 불가능한 상황이다. 화학작용제 키트의 경우 신경작용제 VX 검출 한계가 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 로 낮은 농도도 검출이 가능한 수준까지 도달했으나 동시탐지는 어려운 실정이다.

○ 화학작용제 선택적 색전이의 필요성

- 화학작용제 종류에 따라 식별탐지가 필요하며 변색 패치의 경우는 작용제 별 탐지가 중요하다. 이유는 화학작용제에 노출시 종류에 따라 해독 방법이 다르기 때문에 식별하여 탐지하는 것이 중요하다. (신경작용제는 아트로핀 주사, 혈액작용제는 아질산염으로 해독 하며 또한 혈액작용제와 신경작용제에 공통적으로 나타나는 현기증, 매스꺼움, 근육경련의 경우 증상에만 의존하여 화학작용제를 식별하고 합당한 조치를 취하기는 어려움이 존재한다) 따라서 동시에 여러 종류의 화학작용제 및 독성물질이 살포되는 경우 각각의 종류를 선택적으로 탐지할 수 있는 센서 개발이 필요 하다.

○ 화학작용제 주/야간 겸용 탐지의 필요성

- 화학작용제의 전략적 살상효과를 극대화하기 위해 실제 작전 시 대처가 어려운 야간에 살포가 되지만, 기존의 색전이를 이용한 탐지 시스템은 야간에 육안으로 확인이 불가능하며 야간에 사용가능한 기술은 개발된 바가 없다.
- 형광 소재를 이용한 화학작용제 탐지는 외부 환경에 안정적이지 못하고 가시광선을 이용하기 때문에 야간에는 위치가 노출되는 단점이 있다. 따라서 야간에도 적에게 위치를 노출 되지 않고 탐지 후 빠르게 중화할 수 있는 탐지 시스템 개발이 필요하다.

다. 연구개발 최종 목표

○ 민·군수용

항 목	목 표 성 능
시제품 형태	· 민·군수용 부착형 섬유패치
탐지 상	· 액체, 에어로졸 및 기체상
탐지물질	· 신경, 수포 및 혈액 작용제(GA, GB, VX, HD, Lewsite, AC) * 변색(감도) 평가시 유사작용제로 가능, 실작용제는 국내 취급기관 의뢰 후 검증 필요 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> 유사작용제 GA - DMMP (Dimethyl methylphosphonate) VX - DEPP(Diethyl phenylphosphonothiate) HD - CEES(Chloroethyl ethyl sulfide) AC - KCN (Potassium Cyanide) Lewsite - Phenylarsine oxide </div> · TIC - 불산, 황산, 염산 : 3ppm - 벤젠, 톨루엔, 다이클로로메탄, 클로로포름
최저 변색 기준	· 에어로졸 100 μ m drop
변색 시간	· ≤ 20 초
변색 수준	· 8색이하 HSB 모델(최고 비율 색의 합이 80%이 되는 색) Hue 25° 이상 혹은 Saturation(채도) 20%이상 이상의 변색
야간 변색 확인 거리	· 최소 3m
중화시간 및 효율	· 1분 이내 / 95% 이상
발수성	· 150° 이상
저장수명	· 3개월 이상
사용 온/습도	· -32 ~ 43℃ / RH 60 ~ 70%
야간 확인용 광원	· life time 5000 시간 이상 · 길이 : 15cm 이하, 두께: 2cm 이하, 무게 500g 이하

2. 국내외 기술현황 및 전망

가. 화학작용제 변색 센서의 기술 동향

- 변색 센서로 사용되는 저차원 구조 나노 소재들은 단분자를 탐지할 수 있을 정도로 연구가 진행되었지만 간섭물질에도 민감하여 목표 물질에 반응하는 선택도가 낮아서 오탐지 가능성이 많았으며 현재 군에서 사용되는 M8, M9 탐지지의 경우도 타 용액에 변색되는 간섭현상이 심하여 운용상

불편한 점이 다수 노출되고 있다

- 외부 자극에 의해 색 변이가 일어나는 고분자 기반의 기술은 현재 액상 형태로 신경가스를 ppb 단위까지 탐지가 가능하며 화학작용제 종류에 따라 색 변화를 다르게 구현할 수 있어 선택적인 탐지가 가능하다. 그러나 휴대성이 낮은 문제점이 있다.

나. 주/야간 겸용 탐지 센서의 기술 동향

- 기존 변색 화학탐지 센서들은 주간에 색 구별이 가능한 범위에서 국한되었다. 그러나 야간에는 변색 확인 방법으로 백색광원이나 손전등에 적색 필터를 장착한 장비를 사용하기 때문에 광원 빛이 적에게 노출 되기 쉽다.
- 현재 군에서 사용되는 M8, M9 탐지지는 야전에서 발생하는 입자물질의 간섭영향이 심하여 화생방 작전에 상당한 부작용을 준다. 이에 비해 변색 패치 탐지방식은 개인병사에게 보급이 가능하며 사용하기 쉽고 효과도 우수하다.

다. 화학작용제 응급 중화 시스템 개발 기술 동향

- 전통적인 화학작용제 중화 시스템은 물을 사용하여 화학작용제를 수산화나트륨 하에 가수 분해시키는 기법에 의존하였다. 이 방법은 화학작용제 전량을 중화시키기엔 어려움이 존재하여 일부 용액은 폐기를 따로 해야 한다.
- 미군에서는 고온 플라즈마 토치를 사용하여 유독한 화학물질을 변환시킨 후에 물로 잔여 미량의 오염물질을 포집하여 제거하는 기술을 군용으로 제작하였다. 또한 미국 국방고등연구기획국(DARPA)에서는 유독성 화학작용제를 중화시킬 때 물이 아닌 흡을 사용한 장비를 개발하였다. 그러나 이 장비들은 부피가 매우 커 보급화에 어려움이 있다.



그림 2. 토양 중화장비(좌)와 플라즈마 화학작용제 제거 체계 장비(우)

3. 연구개발계획

가. 단계별 연구개발 목표

○ 민·군수용

단계		연구개발 목표	연구개발 세부내용	예산 (억)
시험개발	1차 년도	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 화학작용제 선택적 변색 소재 개발 ◆ 변색소재 섬유/펄프 흡착성 연구 ◆ 변색소재 작용제별 반응성 및 안정성연구 	<ul style="list-style-type: none"> • 신경 작용제별 선택적 반응물질 합성 • 특성 기능기 도입 및 선택적 색전이 반응 고분자 합성 • 섬유 및 종이 흡착 및 안전성 연구 • 변색소재의 작용제 및 인자별 변색수준 연구 • 시험평가용 정량적 에어로졸 및 가스 발생 장치 설계/제작 	6
	2차 년도	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 야간 발광용 변색소재 개발 ◆ 변색소재 적용 섬유패치 시제품 제조 ◆ (야간)발광소재 섬유패치 시제품 제조 	<ul style="list-style-type: none"> • 적외선 반응 발광성 무기 나노입자 합성 • (야간)발광소재 섬유패치 적용 및 환경변화 (온도, 습도) 안정성 연구 • 섬유패치 친수성 억제(발수성 포함) 및 안정성 연구 • 화학작용제에 대한 발광성 정량적 평가 및 분석 (발광효율 및 농도 등) 	6
	3차 년도	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 변색/발광 통합 적용 시제품 제조 ◆ 시제품 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 변색/발광 수준 - 변색 확인거리 ◆ 환경성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 온/습도 내성 ◆ 간섭 영향 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 변색성/발광성 소재 통합적용 섬유패치 시제품 제조 • (야간)발광성 평가 장비 설계/제작 • 화학작용제에 대한 변색성 정량적 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 변색(감도) 평가시 유사작용제로 가능, 실작용제는 취급기관 의뢰하여 검증 필요 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> 유사작용제 GA - DMMP (Dimethyl methylphosphonate) VX - DEPP(Diethyl phenylphosphonothiate) HD - CEES(Chloroethyl ethyl sulfide) AC - KCN (Potassium Cyanide) Lewsisite - Phenylarsine oxide </div> • 변색 수준도 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 8색이하 HSB 모델(최고 비율 색의 합이 80%이 되는 색) Hue 25°이상 혹은 Saturation(채도) 20%이상 이상의 변색 • 발광성 평가 및 변색/발광성 통합 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 최소 시각적 확인 거리 • 시제품 보완 • 환경성 및 안정성 평가(온도, 습도 영향성 등) • 간섭물질 영향성 평가 	6

- * 단계별 목표의 달성을 위한 연차별 목표를 연구개발계획서에서 제시하고, 연차별 목표에 대한 평가항목 및 달성목표치를 정량적으로 제시
- * 연차 구분은 회계연도를 기준으로 설정 및 예산 배분
예시) 응용연구 2년, 시험개발 2년인 과제의 경우

연구단계	응용연구			시험개발			
연차	1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도	3차년도	
연차별 기간	7개월 (’18.6~12)	12개월 (’19.1~12)	5개월 (’20.1~5)	7개월 (’20.6~12)	12개월 (’21.1~12)	5개월 (’22.1~5)	
평가	▲ 진도평가		▲ 진도평가	▲ 단계평가	▲ 진도평가	▲ 진도평가	▲ 최종평가
예산 지급	▲	▲	▲	▲	▲	▲	

- * 개발단계(응용연구/시험개발)간 예산 이동 불가
- * 재료비, 장비비 등은 사업 초기에 집행하여 활용도 제고
- * 응용연구에서 개발된 시제품의 시험개발단계 재활용계획 제출

나. 연구기간 및 연구비

- 연구기간 : 3 년 (시험개발)
- 총 연구비(정부출연금) : 18억원

4. 적용 및 파급효과

가. 적용분야

- 민수 분야
 - 인체 유해한 물질 누출시 조기 감지 분야에 적용이 가능하며, 생활하수 배수 오염정도 감지 및 모니터링 분야 활용 가능하다.
 - 미세먼지의 종류 및 농도 파악 탐지 패치 성능평가 장비에 적용이 가능함
 - 식품 및 의료용 패키징기술에 응용, 유통과정의 온도/습도, 오염여부 진단이 가능케 할 수 있다.
 - 장기적으로 발색단을 이용하여 유해물질 탐지 분야 적용 가능하다. 실시간 가스분석의 경우 대기 중 오염물질 종류의 라이브러리를 제작하여 미세먼지 원인 및 억제 방법을 제공할 수 있다.
- 군수 분야
 - 북한의 화학작용제 공격 위험에 대하여 개안별 분대별 대응이 가능한 군복, 차량 등에 보급하여 화학작용제의 존재 유무를 즉시 탐지할 수 있다. 현재 군에서 사용되는 M9 탐지지는 전량 수입에 의존하고 있으며

수입대체 효과를 피할 수 있다.

- 무인 로봇 및 감시체계에 적용하고 IoT 기술과 접목한다면 화학작용제 공격 및 위치를 조기에 탐지하고 모니터링하여 피해를 최소화하는데 기여할 수 있다.

나. 파급효과

○ 기술적 측면

- 고분자를 이용한 색전이 센서에 대한 연구는 다양하게 진행되어 왔으나 이를 이용한 화학작용제 변색탐지 기술에 적용하는 연구는 비교적 최근에 진행되어 민수/군수분야에 응용 가능성이 크다.
- 특히, 본 연구의 핵심인 고분자/무기나노 복합소재를 융합하여 주야간 겸용 탐지 시스템 적용연구는 진행된 바가 없으며, 관련 특허도 전무하여 지적재산적 가치가 뛰어날 것으로 예상된다.
- 변색소재(고분자)에 특성 기능성을 부여하여 화학작용제의 탐지 뿐만 아니라 중화 기능도 가능하여 화학작용제 살포시 독성을 약화시킬 수 있다
- 개발 공정이 복잡하지 않고 생산비용도 낮아 상업화가 쉬우며 시장성이 클 것으로 추정된다.
- 화학작용제 변색탐지 정량적인 성능평가가 가능하여 개발 효율성을 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.
- 변색섬유 패치에 흡착된 화학작용제 양은 정량분석이 가능하여 화학작용제 살포량을 역추적 할 수 있다.

○ 경제적 · 산업적 측면

- 화학작용제 및 유독성학물질을 탐지/식별/중화 패치는 테러가 예상되는 공항, 터미널, 백화전 및 공공기관(학교, 기관 등) 등에 부착하여 탐지 및 오염 유무를 시각적으로 확인하고 모니터링 할 수 있다.
- 또한 변색 탐지시스템은 공단지역의 산업독성물질이 유출 될 가능성이 있는 지역에 부착하여 사고, 유해물질 배출 및 환경오염을 효과적으로 감시하고 모니터링이 가능하다.
- 섬유패치 성능평가 장치는 대기 중 미세먼지나 유해물질의 종류 및 양을 정량적 분석하는 수단을 제공해 줄 수 있다.

○ 군사적 측면

- 작전지역 화학작용제 살포 유무를 주야간으로 조기 탐지가 가능하며 인명피해를 최소화할 수 있다.

- 섬유패치는 유연성이 있어서 의복, 장비 등 원하는 부위에 부착이 용이하다.
- 변색탐지의 가시적인 효과와 동시에 화학작용제가 중화되어 화학작용제가 인체에 노출되더라도 응급상황을 면할 수 있다.
- 무인 탐기기술과 IoT를 접목할 경우 상황실에서 종합적으로 판단할 수 있는 기술로서 발전될 수 있다.
- 변색패치 성능평가 장치를 이용하여 화학작용제와 반응하는 색전이 정도를 정량적으로 알 수 있다.
- 수입에 의존되어 왔던 탐지지를 변색 섬유패치로 대체하여 외화 감소 및 수출 효과를 동시에 노릴 수 있다.

5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목

가. 연구개발 결과 최종 제시물

- 주야간 겸용 화학작용제 탐지 색전이/야간발광성/중화성 섬유패치 시제품
- 감도시험 data 자료
- 특허
- 군 규격화 자료(시험개발 종료 후)

나. 연구개발 결과 평가항목

항 목	목 표 성 능
시제품 형태	· 민·군수용 부착형 섬유패치
탐지 상	· 액체, 에어로졸 및 기체상
탐지물질	· 신경, 수포 및 혈액 작용제(GA, GB, VX, HD, Lewsite, AC) * 변색(감도) 평가시 유사작용제로 가능, 실작용제는 국내 취급기관 의뢰 후 검증 필요 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> 유사작용제 GA - DMMP (Dimethyl methylphosphonate) VX - DEPP(Diethyl phenylphosphonothiate) HD - CEES(Chloroethyl ethyl sulfide) AC - KCN (Potassium Cyanide) Lewsite - Phenylarsine oxide </div> · TIC - 불산, 황산, 염산: 3ppm - 벤젠, 톨루엔, 다이클로로메탄, 클로로포름
최저 변색 기준	· 에어로졸 100 μ m drop
변색 시간	· ≤ 20 초
변색 수준	· 8색이하 HSB 모델(최고 비율 색의 합이 80%이 되는 색) Hue 25° 이상 혹은 Saturation(채도) 20%이상 이상의 변색
야간 변색 확인 거리	· 최소 3m
중화시간 및 효율	· 1분 이내 / 95% 이상
발수성	· 150° 이상
저장수명	· 3개월 이상
사용 온/습도	· -32 ~ 43℃ / RH 60 ~ 70%
야간 확인용 광원	· life time 5000 시간 이상 · 길이 : 15cm 이하, 두께: 2cm 이하, 무게 500g 이하

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 연구자를 책임자로 선임하여 연구의 최종목표를 달성할 수 있도록 계획, 업무프로세스 정립, 원활한 추진 및 조정과 과제관리를 수행할 수 있어야 한다.
- 과제 신청요건 : 주관기관은 컨소시엄을 구성함에 있어서 제안한 연구개발 목표를 충분히 달성할 수 있는 연구팀을 구성하여야 하며 과제 참여기관은 각 분야의 연구 및 개발경험이 풍부하여야 한다.

다. 기타

- 주관 또는 세부 연구책임자로 색전이 고분자 합성을 이용한 탐지시스템 경험이 있는 전문가와 야간 확인용 발광 무기입자 합성 전문가 참여를 적극 권장함.
- 양자점(Quantum dot)을 이용한 연구개발은 제작방법의 어려움, 비용 및 안정성을 고려하여 지원에서 제외함.

7. 참고문헌

- 유준, 이동열. 화학작용제 탐지기술의 현주소, 국방과 기술 제419호, 2014.1, 104-119
- 국방기술품질원 방산정보팀. Global Defense News, 2017년 4월 24일 제1627호
- Nassar et al. Quantitative analysis of chemical warfare agent degradation products in reaction masses using capillary electrophoresis. Analytical chemistry. 1998. 70. 3598-3604.
- Helmut Baltruschat. Differential electrochemical mass spectrometry, Journal of the American Society for Mass spectrometry, 2004, 15, 1693-1706

8. 과제 문의사항 연락처

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