

# 연구개발계획요구서(RFP)

과제명 : 화학/생물작용제 분해/살균성 Nanocomposite 비독성 제독분말 및 코팅제 개발

## 1. 개요

### 가. 기술의 개념 및 정의



그림 1. 오염상황시 제독 상황 및 개인/장비제독

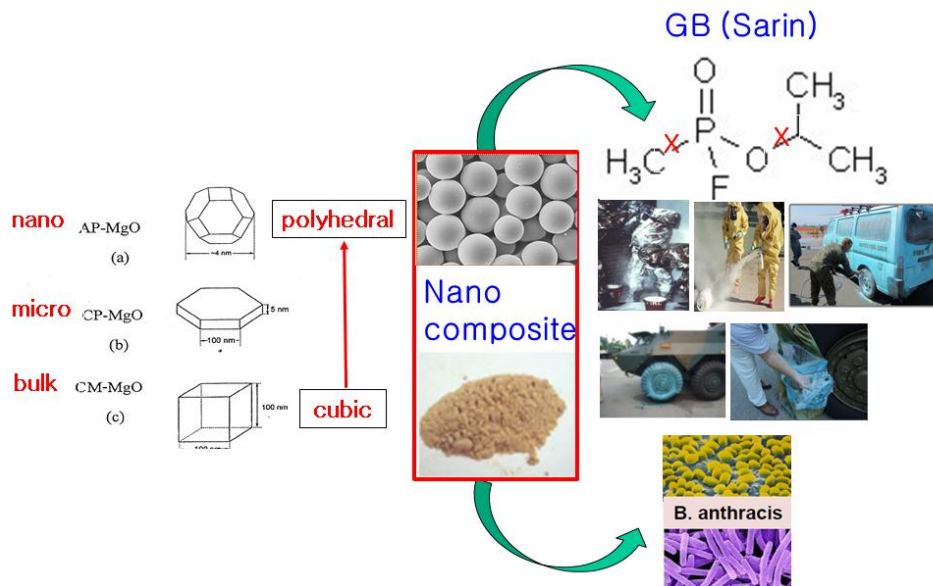


그림 2. Nanocomposite 제독분말의 화학작용제 분해 및 생물학작용제 살균 개념도

- 제독(화학/생물작용제 제거)은 대상에 따라 인체/개인제독, 장비제독, 지역/시설제독으로 분류되며 제독 수준에 따라 급속제독과 정밀제독으로 분류되며

경우에 따라 적절한 제독제를 선택하여 사용한다. 급속제독과 정밀제독 모두 만족시키는 제독제는 현재까지 개발되지 못하고 있으며, 일반적으로 급속제독은 제독효율이 높으면서 신속한 제독을 요구하며 정밀제독은 시간이 소요되며 완전한 제독을 목표로 하고 있다.

- 화학/생물작용제 제독은 흡착 원리를 이용한 물리적인 방식이 시간적 측면에서 유리하여 종래 대부분의 제독분말은 대부분 흡착 방식에 기초를 두고 있다. 그러나 이 기술은 오염상황에서 1차적으로 오염물질을 쉽게 제거할 수 있으나 오염물질이 흡착된 제독분말이 공기중에 노출되면 2차 오염을 유발하는 위험성과 사용 후 안전하게 소각/폐기 처리를 해야 하는 문제점을 갖고 있다.
- 현재 주로 운용되는 흡착 위주의 제독분말 보다 흡착과 동시 분해/살균하는 자가 제독제는 공기중 노출시 2차적인 오염발생과 폐기처리의 문제점을 유발하지 않고 제독분말이 자체적으로 흡착된 오염물질을 안전하게 제독(화학분해 및 생물살균)하는 제제가 개발되어야 한다. 결국 재래식 제독제보다 우수한 제독제는 무엇보다도 흡착 속도 및 흡착용량이 큰 지지체를 기반으로 고성능 분해/살균제가 혼합된 제제로서 오염물질이 일단 흡착되면 제독분말이 자체적으로 화학적 분해 및 생물학적 살균 능력을 발휘하여 2차 오염의 문제점을 해소할 수 있는 고성능 제독분말로 기술이 설계되어야 한다.
- 흡착력과 분해/살균력을 동시에 고성능으로 발휘하고 친환경적인 측면을 고려한 첨단 기술로는 물리흡착이 우수한 흡착제를 기반으로 분해/살균력이 우수한 금속산화물 나노입자가 하이브리드된 고기능성 “Nanocomposite”를 개발하여야 한다. 결국 Nanocomposite는 세계적으로 첨단 기술이며 화학/생물작용제와 반응성이 우수하여 2차 오염을 피할 수 있는 유일한 기술이다.
  - 금속산화물이 나노입자화 되면 물리적/화학적/전기적 특성이 변한다. 물리적으로 모세관력이 커져서 강한 흡착력을 발생하고, 화학적으로 분자의 입체구조가 변하고 표면적이 커지면서 촉매활성 및 반응성이 우수하게 나타난다. 전기적으로는 전자이동성이 증대되어 밴드갭 에너지를 작게하여 반응력을 증대시킨다. 이러한 나노 입자의 우수한 특성을 이용하여 흡착 및 분해성이 우수한 제독제를 개발할 수 있다

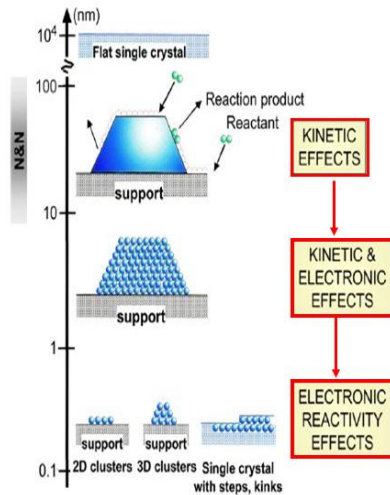


그림 3. 나노입자화시 반응성 및 전기적 특성 증대

- 고성능 제독분말 개발과 동시에 개발된 “나노 composite” 제독분말을 용매에 분산시켜 오염이 예상되는 작전 지역에서 전차, 차량, 비행기 표면 등에 용액을 분산/살포/코팅하면 용매는 휘발되고 필름이 형성되는 기술을 구현할 수도 있다. 이 제독용 필름은 오염이 의심될 경우 단지 필름을 벗겨내면 쉽게 오염물을 제거할 수 있는 장점이 있다. 따라서 기동성 차량 및 비행기 등이 화학/생물작용제에 오염될 경우 오염회피를 효과적으로 달성할 수 있으며 사후 제독절차를 생략할 수 있는 장점이 큰 기술로 평가 된다.

## 나. 기술의 중요성/필요성 및 시급성

### 1) 기술의 중요성/필요성

- 현재 군에서 사용되는 오염지역 제독제로 DS-2, KM-11/13(장비제독) 및 KD-1(개인제독) 등이 사용되고 있으나 급속제독에는 한계가 따른다. 특히 DS-2는 강염기성 액체로 장비부식성, 인체 유해성 및 부산물 생성으로 친환경적이지 못하고 또한 반응시간과 세척시간이 수십분 이상 소요되어 실전에서 대응이 어렵다. 이런 단점으로 미국에서는 DS-2와 XE-555(Ambergard) 제제와 함께 사용하기도 한다. 따라서 급속 제독용 친환경성 고성능 제독제 개발이 중요하며 요구되는 시점이다.

KM256	KM291	제독기	제독차
			

그림 4. 현 군운용 제독장비

- 제독의 개념은 흡착과 제독을 수반하지만, 현재 개발된 제독분말의 대부분은 흡착제를 주성분으로 한 제독제가 대부분이며 분해제가 일부 혼합되어 있어서 오염물의 분해효과는 미미한 실정이다. 따라서 흡착제를 기반으로한 제독제는 오염물을 제거하는 응급조치는 가능하지만 오염물(화학/생물작용제)의 대부분이 흡착제에 잔류되어 공기중에 작용제가 서서히 노출되어 2차 오염을 유발할 수 있는 위험성이 존재한다. 결국 2차 오염을 방지하기 위하여 화학/생물작용제가 흡착된 제독제를 완전히 제거하기 위해서는 화학적 분해 또는 소각 처리를 해야 하는 문제점이 있다.
- 흡착성 제독제의 단점인 2차 오염을 방지 및 후처리의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 흡착에 의존한 기술보다 흡착과 동시에 오염물에 대한 분해/살균력이 빠른 고성능 반응 및 분해성 기반 제독제를 개발해야 할 시점이며 필요성이 강력히 대두된다.
- 결국 종래의 흡착 의존성 제독제보다 흡착을 기반으로 하며 분해력이 고성능으로 발휘되는 하이브리드 Nanocomposite 제제 개발이 강구되어야 한다. 더불어 중요한 것은 제제가 친환경적이며 인체에 비독성적이어야 한다. 이를 만족하는 기술은 선진국에서도 금속산화물을 기반으로 한 제독분말 개발에 박차를 가해오고 있으며 많은 예산을 투입하고 있다. 미국 NRL(미 해군연구소)에서는 2000년 초반부터 MgO 나노분말 기반 분말 제독제를 연구해오고 있다.
- 흡착과 동시 오염물을 신속히 분해하는 제독제 개발은 흡착제와 고성능 분해제를 혼합/분산하는 방법이 있으나, 이는 분말의 밀도, 재료의 물성 특성으로 인하여 제품의 균일한 혼합상을 형성하기 어려운 점이 많다. 이보다도 더욱 선진화된 기술은 분해능 높은 나노 금속산화물을 도입하여 흡착제 기공 내부표면에 고기능성 분해제를 구조적으로 안착시킨 즉 하이브리드화한 Nanocomposite 제조 기술이 강구되어야 한다. 이 기술은 오염물이 신속하게

흡착되면 동시에 분해/살균 기능을 발휘하여 제독효율을 극대화하는 방법으로 세계 최고의 기술이며 반드시 국내에서 개발되어야 한다.

- 또한 화생방전하에서는 항공기, 전차, 전투차량 및 공용화기 등은 항상 화학/생물작용제의 오염상황에 노출되어 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 오염상황에 노출되기 전 차량, 전차 및 항공기 표면에 제독분말이 함유된 성분제를 표면에 용액분산/코팅/건조/필름화하여 화학/생물작용제에 노출시 상황종료시나 부대 복귀 후 오염필름을 벗겨내면 처리할 수 있는 제독필름 개발이 강구되어야 한다.

## 2) 기술 개발의 시급성

- 중요성과 필요성에서 살펴본 바와 같이 현 운용 제독제의 부식성 및 흡착성 분말 제독제의 2차 오염 및 후처리 문제점을 보완할 수 있는 반응성/분해성을 중심으로 한 화학/생물작용제 분말 고성능 제독제가 반드시 개발 되어야 한다. 이에 대안 기술로 금속산화물 기반의 Nanocomposite 는 친환경적이고 인체 무독성적인 제제 개발이 시급하다. 아울러 개발된 고성능 분말 제독제를 기반으로 차량 등에 용액발포 및 코팅되어 필름화된 후 상황종료시에 벗겨내어 처리할 수 있는 제독필름(peelable decontamination film)의 기술개발도 필요하다.
- 현재 군에서 화학작용제 오염 장비를 급속제독하기 위하여 수용성 제독제인 DS-2를 사용하고 있다. DS-2는 화학작용제에 대한 분해능력은 우수하나 강염기성으로 인한 장비부식성, 인체 유해성, 환경오염 등의 문제점과 특히 시한성 물자로 인한 폐기문제가 대두되고 있다. 또한 반응시간과 세척시간이 30분 이상 소요되어 급속 제독에 효과적이지 못하다. 이를 대체하기 위한 고성능 친환경 분말 제독제 개발이 시급하다.

## 다. 연구개발 최종 목표

### ○ 민·군수용

항 목	목 표 성 능
1. Nanocomposite 분말 제독제	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 다공성 지지체 기반 Nanocomposite형 반응성 화학분해/생물살균 분말제제               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지지체 기공내부 금속산화물(Mg, Al, Ca, Ti 등 나노입자) 결합구조형</li> <li>- 흡착 동시 반응성(화학분해/생물살균) 제독제</li> </ul> </li> <li>○ 비표면적(700~1200m<sup>2</sup>/g) 확보</li> </ul>
2. Nanocomposite 분말 화학적, 생물학적 제독성능	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 화학작용제 제독율(흡착 및 분해) ≥ 90%/10분               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신경작용제 및 수포성작용제(시험평가는 유사작용제로 대체)</li> <li>- 조건: CARC표면 유사작용제 10g/m<sup>2</sup> 오염, 제독분말 80g투입</li> </ul> </li> <li>○ 생물작용제 살균제독               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 북한보유 생물작용제 11종 및 일반균(MERS, Ebola, SARS, 2019-nCoV)<sup>1)</sup> (북한보유 생물작용제 13종 중 독소 2종 제외)</li> <li>- 3 log reduction(99.9%)이상 살균(1시간 내)</li> <li>- 5 log reduction(99.999%)이상 살균(24시간 내)</li> </ul> </li> </ul>
3. 제독 필름 성능	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nanocomposite 분산 수지형 코팅 및 Peelable 필름형성               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 타입: 수용성 수지형</li> <li>- 도막 유연성: 140%</li> <li>- 코팅 건조시간: 100min</li> <li>- Peelable 인장강도 및 박리강도: 7 MPa, 20N/dm</li> </ul> </li> </ul>
4. 제독 대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 분말형: 인체, 개인 장구류, 장비 등</li> <li>○ 코팅형: 차량표면/타이어, 장구류 등(화학/생물학전 대비)</li> </ul>
5. 저장 수명	○ 10년 이상(Arrhenius 모델)
6. 운용온도	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 분말형: -32~43℃</li> <li>○ 코팅형: 결과 도출 후 제시</li> </ul>
7. 기타	○ 친환경성, 인체비독성, 비부식성, 폐기 안정성

1) 북한보유 생물학 11종(13종 중 독소 2종 제외)

- 박테리아 및 리켓차 8종: 탄저균(*anthrax*), 장티푸스(*typhoid fever*), 이질(*shigellosis*), 콜레라균(*cholera*), 페스트(*plague*), 브루셀라(*brucellosis*), 야토균(*Tularemia*), 발진티푸스(*typhus fever*)
- 바이러스 3종: 천연두, 유행성출혈열, 황열병

## 2. 국내외 기술현황 및 전망

### 가. 국내 기술동향 및 전망

- 급속 제독제로 활성 백토를 소재로한 제독제가 최근 개발되었으며 이는 흡착성에 초점이 맞추어져 있으며 반응성 물질이 일부 포함되어 있으나 반응성 분해제 위주의 제독제는 아니다. 단가가 낮은 것이 장점이다. 현재 군에서 운용중인 M291 개인제독키트는 흡착과 분해성이 동시에 있으나 오염물 분해는 다소 시간이 소요된다.

- 화학작용제에 오염된 장비/지역을 제독하기 위하여 개발한 수용성 제독제 KDA-1(고성능 활성탄과 분해제로 구성)을 사용하고 있으나, 화학작용제 분해 능력이 제한되고 있다.

#### 나. 국외 기술동향 및 전망

- 세계적으로 실리카겔, 제올라이트 등의 흡착제를 기반으로 반응성 금속산화물 또는  $Zr(OH)_4$  등의 다양한 반응제제를 기반으로 한 제독제 개발에 박차를 가하고 있다. 그러나 제독제에 나노입자 도입은 입자 크기별로 또한 반응성 금속산화물별로 제독 효과(화학/생물작용제 분해/살균)가 크게 달라 고기능성을 구현하기 위하여 NRL(미 해군연구소)과 ECBC(미 화생방연구소) 등에서 나노기술이 대두된 2000년 초부터 지속적으로 연구를 해오고 있다.
- 최근 ECBC(미국 화생방연구소)에서는 M100-SDS(Sorbent Decontamination System)이란 반응성 흡착제로 값이 싸고, 부식성이 낮으며 세척시간과 폐기가 필요없는 장점이 있다.
- 반응성 흡착제의 예로서 산화알루미늄 또는 monoperoxyphthalate와 산화알루미늄 혼합제가 있으며 제올라이트에 금속(Ag, Na, Ti 등)을 함침시켜 반응성 제제, 실리카겔에  $TiO_2$  탑재형, UiO-66-XX를 도입한 제독제 개발 등이 보고되고 있다.
- 제독제는 대부분 군 사용을 중심으로 개발되어 왔다. 오염지역 급속제독으로 장비제독제로 DS-2, KM-11, KM-13, 인체제독으로 KD-1이 개발되어 있으며, 정밀제독으로 장비제독은 KDA-1, K-10, 인체제독으로 KD-1이 개발되어 있다.
- 개인 피부제독제는 이온교환수지 탄화형인 분말제독제인 M291 Skin Decontamination Kit이 개발되어 있으며 로션 형태로 RSDL(REACTIVE SKIN DECONTAMINATION LOTION)이 개발되어 있다.
- 미국은 DS-2(장비제독) 대체 제독제로 M100 Sorbent Decontamination System(SDS) 분말형 제독제를 개발하여 사용하고 있으며 개인 장비 제독도 M100 SDS와 동일한 분말을 사용하는 M295 Decontamination Kit, Individual Equipment를 사용하고 있다.
- 미국의 TIMILON Technology Acquisitions사에서 개발한 FAST-ACT® 제품은 산화금속 나노입자(MO-NPs)를 이용한 제독제 및 제독장비에 미국내 및 세계 각국에서 사용되고 있다.
- 차량표면에 코팅하는 사용하는 코팅 제독제는 운용성의 편리함을 보완하는 기술로서, 미국에서는 사용하고 있는 실정이며, 폴리비닐알코올(PVA)의 수용

액을 기반으로 제조되어 건조시 필름을 형성하여 상황 종료 후 처리하기 편리한 화생방전하에서 상당히 유용한 시스템으로 고려되고 있다.

### 3. 연구개발계획

- 본 과제의 핵심연구는 친환경적이며(environmental friendly), bulk단위로 사용이 가능하며(large-scale spray) 화학/생물작용제 분해/살균 능력을 동시에 갖는(dual use for chemical and biological agents) 흡착제 기반 금속산화물 Nanocomposite”을 합성하여 고성능 화학/생물작용제 제독 분말 및 필름 개발에 목적을 두고 있다. 단계별, 연도별 연구내용은 다음과 같다.

#### 가. 단계별 연구개발 목표

- 민·군수용(응용/시험개발)

구분		연구개발 목표	연구개발 내용	주요결과물	예산 (억)
응용 연구	1년 차	반응성 금속 산화물 설계 및 합성 연구	○ 반응성 금속산화물 나노입자 설계/합성법 연구 - 금속(Mg, Ti, Al, Ca등)산화물 선정/설계 - 금속산화물 나노입자 합성법 설계	금속산화물 설계	8.0 억
		금속산화물 나노입자 합성 및 크기별 분리연구	○ 금속산화물 나노입자 합성 ○ 나노입자 입도분석 및 크기별 분리법 확립 ○ 나노입자 크기별 화학분해/생물살균력 조사	나노입자 합성	
		다공성 지지체 설계 및 공정 연구	○ 금속산화물 다공성 지지체 선정/공정 연구 - 지지체 선정 및 다공성화/기능화 설계 - 기공성, 비표면적 및 흡착성 최대화 공정/기능화 방법 연구 - 다공성 지지체 제조	다공성 지지체 공정법	
		Nanocomposite 설계/하이브리드화 연구	○ Nanocomposite 설계/구현 - 다공성 지지체 기공내 금속산화물 하이브리드화 설계/구현 ○ Nanocomposite 형성/구조 동정분석 ○ Nanocomposite의 화학분해/생물살균력 분석	Nano composite 구현	
		활성 조촉매 설계/합성	○ 조촉매(예: Zr(OH) <sub>4</sub> , UiO-66등) 투입 설계/합성법 구현 ○ 조촉매 함침 방법/공정 연구 ○ 조촉매 조성비별 화학분해/생물살균력 연구 ○ 조촉매 함침 최적 조성비 도출	조촉매 합성법	
		Nanocomposite 및 조촉매 반응 메커니즘 연구	○ Nanocomposite 화학적 분해 메커니즘 연구 ○ Nanocomposite 생물학 살균 메커니즘 연구 ○ 조촉매의 화학적 분해력 및 메커니즘 연구 ○ 조촉매의 생물학적 살균력 및 메커니즘 연구	메커니즘 연구	
		Nanocomposite 및 조촉매 함침 (공정)연구	○ Nanocomposite 및 조촉매 함침 공정 설계/구현 ○ 화학적/물리적 최적 조성비 연구 ○ 화학분해/생물살균력 분석	조촉매 함침방법 연구	

		화학분해 및 생물살균 시험환경구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 화학적분해 성능시험장치 설계/구성 및 분석방법 확립</li> <li>○ 생물학살균 효능시험장치 설계/구성 및 시험방법 확립</li> <li>○ 생물 균주류 확보/보관방법 확립</li> </ul>	화학/생물 시험장치 구축	
		Nanocomposite 코팅제 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nanocomposite 코팅제 설계               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 분말 용제/용해 설계</li> <li>- 용매, 수지, 분산, 유화제, 발포성, 조성비 연구</li> </ul> </li> <li>○ 발포/건조 코팅화 및 벗김성 설계</li> </ul>	코팅제 설계	
	2년 차	시험시제 제조	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nanocomposite 및 조촉매 혼합공정 설계/구현               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조성비별 몇 가지 시험시제 제조</li> <li>- 제독율 연계 최적 조성비 및 최적 수분율 도출</li> </ul> </li> <li>○ 제독율(화학/생물) 연계시험 결과분석 및 최적(조성, 수분율) 시험시제품 선정</li> <li>○ 시험시제 최적 공정법 확립</li> <li>○ 시험시제 용액화 가능성 연구</li> </ul>	시험시제 제조	9.0 억
		시험시제 조성비별 화학작용제 제독성능 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시험시제 종류별(Nanocomposite+조촉매 조성비, 및 수분함량별) 유사작용제 제독(흡착/분해)효율               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유사 작용제(DMMP, CEES) 흡착 및 분해효율</li> <li>- 온습도, 수분함량별 흡착 및 분해효율</li> </ul> </li> <li>○ 화학제독 최적 조성(조성비별, 수분함량별) 시험시제 도출</li> </ul>		
		시험시제 조성비별 생물작용제 제독성능 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시험시제 종류별(Nanocomposite+조촉매 조성비, 및 수분함량별) 유사 생물학작용제 살균효능               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유사 생물학작용제 살균효능</li> <li>- 온습도, 수분함량별 살균효능</li> </ul> </li> <li>○ 생물살균 최적 조성(조성비별, 수분함량별) 시험시제 도출</li> </ul>		
		시험시제 코팅화 구현	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시험시제 코팅화 구현/공정법 확립               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 분말의 최적 분산/용해 농도도출</li> </ul> </li> <li>○ 발포성/건조성/필름형성/벗김성 구현 및 최적 조건 도출</li> </ul>	코팅화 구현	
	3년 차	시험시제 표면상 제독성능	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ CARC 페인트 표면상 화학제독력(흡착/분해율)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- G, H 유사작용제 대한 제독효율(효율%/시간)</li> </ul> </li> <li>○ CARC 페인트 표면상 생물제독력(살균효율)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유사 생물학작용제 대한 제독효율</li> <li>- CARC 페인트 처리 표면상의 제독력 시험</li> </ul> </li> </ul>	시험시제 표면상 제독능	7.0 억
		코팅상 제독성능 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 면적 대비 화학작용제 제독력 분석</li> <li>○ 면적 대비 생물학작용제 살균력 분석</li> <li>○ 계면 특성별(친수/친유성) 코팅 및 벗김성 분석</li> </ul>	코팅 제독 시험	
		안전성 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 인체 안전성(비독성) 연구</li> <li>○ 친환경성 연구</li> </ul>		
		환경성 및 저장성 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 노화시험용 시험시제 제조 및 저장               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 저장 기간에 따른 제독성능(화학분해/생물살균) 시험용 (제조 이후 시험개발 기간 중 정기 분석용)</li> </ul> </li> </ul>	저장성 data	
		시험시제	○ Nanocomposite 및 조촉매 조성비 수정/보완	수정/보완	

		수정/보완	○ 코팅제 성분조성, 도막조건, 점착/벗김성 등 수정/보완		
		응용연구 종결보고서 작성, 논문 및 특허 출원	○ 응용연구 종결보고서 작성, ○ 학술발표/논문 2건 이상, 특허 출원 1건 이상	결과물	
시험 개발	4년 차	금속산화물 나노입자 합성 재현성 및 안정성 확립	○ 금속산화물 나노입자 합성공정 재현성 및 안정성 확립 - 금속산화물 나노입자 합성 재현성(90% 이상) 확립 - 정제법 확립 및 수율 증대(90% 이상) ○ 지지체 내부 하이브리드화 재현성 확립(90% 이상)	재현성/안 정성 확립	8.0 억
		Nanocomposite 공정 재현성 및 안정성 확립	○ Nanocomposite 안정성 분석 및 공정 재현성 확립 - 합성 로트별 구조분석 및 안정화 기법 확립 - 온습도 안정성 분석 ○ 파일럿 규모 Nanocomposite 제조 공정법 확립	재현성/안 정성 확립	
		조촉매 함침공정 재현성 및 안정성 확립	○ 조촉매 함침공정 재현성 및 안정화 기법 확립 - 지지체내 분산성 및 안정화 상태 분석 - 온도 안정성 분석 ○ 파일럿 규모 조촉매 분산 및 함침공정 확립	재현성/안 정성 확립	
		혼합작용제 제독효능 분석	○ 유사작용제 2종 이상 혼합시 제독효능 시험/분석	혼합제 분석	
		시험시제 시효성 분석(1차년)	○ 응용시 제조품(시험시제) 주기적 제독효능 시험 - 최소 3개월 단위 제독효능 분석 ○ Arrhenius 모델에 의한 저장수명 산출	시효성	
		코팅화 공정법 확립	○ 코팅화 제조공정법 확립 - 분산도, 농도, 밀도 및 온도 조건 확립 ○ 표면 특성별(친유/친수, 다공성) 점착특성 및 벗 김성 최적 조건 확립 ○ 표면 제독성(화학분해, 상균조건) 분석	코팅제	
	5년 차	시험시제 환경성 및 저장성 시험	○ 저온/고온 저장성 분석 - 저온, 고온 저장 후 제독성능 및 제제 안정성 ○ 노화시험 및 수명 분석 ○ 응용시 시험시제 제조분량 주기적 제독효능 시험 - 최소 3개월 단위 제독효능 분석 ○ Arrhenius 모델에 의한 저장수명 산출	환경성/저 장성	7.0 억
		코팅제 야전 적용성 시험	○ 일반 및 군용 차량 코팅 적용성 시험	적용성	
		시험시제 실작용제 효능 시험	○ 실작용제(G, V, H) 제독 및 살균 효능 시험 - 공인시험기관 의뢰(국군화방사 예정) - 흡착/분해율 및 살균율 측정	공인시험	
		최종 결과물 및 규격 작성	○ 시험개발 최종보고서 작성 ○ 논문 및 학술발표 2편 이상, 특허 출원 1건 이상 ○ 제품 규격서 작성	산출물	
단계		응용/시험		총액	39억

\* 연차별 내용은 연구목표 달성을 위한 항목으로서 제안시 제안기관이 수정 가능

※ 연차 구분은 회계연도를 기준으로 설정 및 예산 배분

연구단계	응 용 연 구				시 험 개 발		
연차	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	1차년도	2차년도	3차년도
연차별 기간	7개월 (20.6~20.12)	12개월 (21.1~21.12)	12개월 (22.1~22.12)	5개월 (23.1~23.5)	7개월 (23.6~23.12)	12개월 (24.1~24.12)	5개월 (25.1~25.5)
평 가	진도평가 ▲	진도평가 ▲	진도평가 ▲	단계평가 ▲	진도평가 ▲	진도평가 ▲	최종평가 ▲
예산지급	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲

\*재료비, 장비비 등은 사업 초기에 집행하여 활용도 제고

#### 나. 사업기간 및 연구개발비

- 사업기간 : 5년(응용연구 3년, 시험개발 2년)
- 총 연구개발비 중 정부출연금 : 39억원 이내(응용연구 24억원, 시험개발 15억원)

### 4. 적용 및 파급효과

#### 가. 적용분야

- 민수: 산업독성화학물질(TICs / TIMs)) 오염 시설, 건물 등 제독
  - 화학물질 생산공장 및 시설의 산업독성화학물질(TICs/TIMs)에 오염시 제독 및 살균
  - 산업독성화학물질(TICs/TIMs)에 오염된 개인 인체 제독 및 살균
  - 종이 기록물 산화 또는 생물균 손상 방지용 소재
- 군수: 화학 및 생물학작용제 오염된 상황시 차량, 장비, 건물 및 개인 오염 제독
  - 화학 및 생물학작용제에 오염 차량, 장비, 개인화기 및 개인장구류(방독면, 보호 두건, 장갑, 전투화, 헬멧 등) 피부 제독 및 살균

#### 나. 파급효과

- 기술적 측면 :
  - 금속산화물질 나노입자(NPs) 기반 Nanocomposite 제제 개발시 부식성의 친환경 경적이지 못한 DS-2 제독제를 대체할 수 있다. 반응성(분해, 살균) 위주의 제독제 기술을 국내 확보할 수 있다..
  - Nanocomposite 제독제는 흡착 위주 제독제에 반해 반응성(분해, 살균) 위주의 제독 기술을 적용한 것으로서 흡착된 유독성물질을 자체적으로 분해/살균할 수 있는 자가제독의 첨단 기술로서 국내외 파급 효과가 클 것으로 판단된다. 이러한 장점은 흡착성 제독제의 가장 큰 문제점인 2차 오염을 탈피할 수 있는

유일한 기술이며 세계적으로 우수한 기술로 판단된다.

- Nanocomposite 합성기술의 구현은 화학/생물작용제와 반응성이 있는 물질로서 화학/생물작용제 탐지 센서기술에의 응용분야의 파급효과가 있다.

○ 경제·산업적 측면 :

- 화학산업 분야 산업독성화학물질(TICs/TIMs) 생산 및 취급시설이 상당히 많이 있으며 사고시(노출, 폭발 및 화재 등) 대응할 수 있는 제독제로 산업 안전에 기여하는 바가 크다.
- 최근 환경오염 문제가 심각함에 따라 친환경적인 저독성, 비부식성, 불연성이 상당히 대두되고 있으며 오염방지를 위해서도 파급 효과가 크다.

○ 군사적 측면 :

- 화생방전하에서 오염된 장비 등의 제독 수단으로 현재 운용 중인 DS-2 제독제의 단점을 해결하고 제독(흡착 동시 분해/살균) 성능이 우수한 저독성 친환경적인 분말 Nanoconposite 개발은 군 전투력 향상에 크게 기여할 수 있다.
- 최근 산업독성화학물질(TICs/TIMs)을 이용한 테러의 위협이 증대되고 있어 이에 대응할 수 있는 제독기술로도 활용 가능성이 높다.

## 5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목

### 가. 연구개발 결과 최종 제시물

- 제독분말 시험시제품
- 연구개발 결과보고서
- 학술지 연구결과 논문 2편 이상
- 지적재산권 확보 2건 이상

### 나. 연구개발 결과 평가항목

항 목	목 표 성 능
1. Nanocomposite 분말 제독제	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 다공성 지지체 기반 Nanocomposite형 반응성 화학분해/생물살균 분말제제               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지지체 기공내부 금속산화물(Mg, Al, Ca, Ti 등 나노입자) 결합구조형</li> <li>- 흡착 동시 반응성(화학분해/생물살균) 제독제</li> </ul> </li> <li>○ 비표면적(700~1200m<sup>2</sup>/g) 확보</li> </ul>
2. Nanocomposite 분말 화학적, 생물학적 제독성능	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 화학작용제 제독율(흡착 및 분해) ≥ 90%/10분               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신경작용제 및 수포성작용제(시험평가는 유사작용제로 대체)</li> <li>- 조건: CARC표면 유사작용제 10g/m<sup>2</sup> 오염, 제독분말 80g투입</li> </ul> </li> <li>○ 생물작용제 살균제독               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 북한보유 생물작용제 11종 및 일반균(MERS, Ebola, SARS, 2019-nCoV)<sup>1)</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 시험 및 평가는 유사생물작용제로 대체 가능<sup>2)</sup></li> </ul> </li> <li>- 3 log reduction(99.9%)이상 살균(1시간 내)</li> <li>- 5 log reduction(99.999%)이상 살균(24시간 내)</li> </ul> </li> </ul>
3. 제독 코팅제 성능	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nanocomposite 분산 수지형 코팅 및 Peelable 필름형성               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 타입: 수용성 수지형</li> <li>- 도막 유연성: 140%</li> <li>- 코팅 건조시간: 100min</li> <li>- Peelable 인장강도 및 박리강도: 7 MPa, 20N/dm</li> </ul> </li> </ul>
4. 제독 대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 분말형: 인체, 개인 장구류, 장비 등</li> <li>○ 코팅형: 차량표면/타이어, 장구류 등(화학/생물학전 대비)</li> </ul>
5. 저장 수명	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 10년 이상(Arrhenius 모델)</li> </ul>
6. 운용온도	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 분말형: -32~43℃</li> <li>○ 코팅형: 결과 도출 후 제시</li> </ul>
7. 기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 친환경성, 인체비독성, 비부식성, 폐기 안정성</li> </ul>

#### 2) 유사 생물작용제

- 군수: *B. atrophaeus*(미 국방부 표준 탄저균), *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella Enterica*, *Yersinia enterocolitica*, *Shigella flexneri*
- 민수: *Norovirus*, *Influenza virus H1N1*

## 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

- Nizar I. Alrabadi<sup>1</sup>, Karkaz M. Thalij<sup>2</sup>, Emad I. Hussein<sup>3</sup>, Bahaa M. Al-Trad, “Antibacterial Activity of Ag and MgO Nanoparticles Synthesized” , J. Appl. Environ. Biol. Sci., 7(8)94-101, 2017
- Chiara Bisio, Fabio Carniato, Chiara Palumbo, Sergey L. Safronyuk, Mykola F. Starodub, Andrew M. Katsev, Leonardo Marchese, Matteo Guidotti, “Nanosized inorganic metal oxides as heterogeneous catalysts for the degradation of chemical warfare agents”, Catalysis Today, 277, 2016, pp. 192~199
- Arsheen Tabassum, Sunita D\*, and M Shailaja Raj, “Antibacterial Effect of Magnesium Oxide Nanoparticle on Water Contaminated with E.coli “, RRJMB, Volume 3, Issue 3, July-September, 2014
- M.V. Grishin et al, “Adsorption properties of nanoparticles” , Russian Chemical Bulletin, Vol.62, No.7, pp. 1525~1532, July, 2013
- D.J. Woo and S.K. Obendorf, “MgO-embedded fibre-based substrate as an effective sorbent for toxic organophosphates” , RSC Adv., 2014, 15727~15735
- A. Michalkova, M. Ilchenko, L. Gorb, and J. Leszczynski, “Theoretical Study

of the Adsorption and Decomposition of Sarin on Magnesium Oxide” , J. Phys. Chem. B 2004, 108, 5294-5303

- 박평구 외, “나노분말 소재 및 합성” . J. Korean Powder Metallurgy Institute, Vol. 9, No. 1, 2002
- R.C. Garvie, “The Occurrence of Metastable Tetragonal Zirconia as a Crystallite Size Effect” , J. Phys. Chem., 69 (1965) 1238

#### 8. 과제 문의사항 연락처

소속	성명	연락처
민군협력진흥원	서병일	042-607-6048