

## 연구개발사업계획(안) 제안서

<b>제안과제명</b>	도금 폐수 시안화물 유출 방지를 위한 이산화염소 현장 적용 기술 개발		
<b>연구기간</b>	2025. 02. 03. ~ 2025. 11. 30.		
<b>예산 연구비</b>	총연구비 50,000 천원 (센터지원금 : 50,000 천원, 외부기관 부담금 : (현금)      천원,(현물)      천원)		
<b>연구사업 구분</b>	<b>연구분야 및 세부연구분야</b>		
	<b>하폐수 처리</b>	<b>상수도 및 정수</b>	<b>수질관리</b>
<input type="checkbox"/> 환경정책연구 <input type="checkbox"/> 조사연구 <input checked="" type="checkbox"/> 현안기술개발연구 <input type="checkbox"/> 산학협력연구 (해당사항에 v표)	<input checked="" type="checkbox"/> 물리화학적 처리 <input type="checkbox"/> 생물학적 처리 <input type="checkbox"/> 막처리 및 재이용 <input type="checkbox"/> 하수처리 시스템 <input type="checkbox"/> 질소 및 인 제거 <input checked="" type="checkbox"/> 하폐수 처리 기타 <input type="checkbox"/> 축산폐수 처리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 막분리 <input type="checkbox"/> 정수처리 및 수질관리 <input type="checkbox"/> 고도정수처리 <input type="checkbox"/> 상수관망 <input type="checkbox"/> 기타	<input checked="" type="checkbox"/> 수질오염 <input type="checkbox"/> 수질모델 <input type="checkbox"/> 수질관리기타 <input type="checkbox"/> 기타
	<b>자연환경분야</b>	<b>폐기물관리</b>	<b>대기관리</b>
	<input type="checkbox"/> 환경정책 <input type="checkbox"/> 생활환경 <input type="checkbox"/> 건강위해성 <input type="checkbox"/> 생태관리 <input type="checkbox"/> 환경오염사고대비 <input type="checkbox"/> 소음관리 <input type="checkbox"/> 청정기술개발 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 매립 및 침출수 처리 <input type="checkbox"/> 슬러지 처리 <input type="checkbox"/> 소각 및 열분해 <input type="checkbox"/> 재활용 및 자원화 <input type="checkbox"/> 음식물 쓰레기 처리 <input type="checkbox"/> 폐기물 관리 기타	<input type="checkbox"/> 대기오염측정 및 관리 <input type="checkbox"/> 대기오염모델링,위해도 <input type="checkbox"/> 대기오염 처리기술 <input type="checkbox"/> VOCs 및 악취 처리 <input type="checkbox"/> 기타
	<b>토양지하수오염</b>	<b>기후변화대응분야</b>	<b>기타환경분야</b>
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타
<b>연구의 목적 및 필요성</b>	<p>○ 연구의 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>안산시 도금 조합(△△중앙도금조합) 폐수처리장 처리수 내 잔존 시안화물 유출 방지를 위한 이산화염소수 적용 방안을 현장 폐수 특성에 맞게 마련하여 폐수처리장 운영자의 고충을 해결하고 지역 환경 보존에 이바지하고자 함.</li> </ul> <p>○ 연구의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>도금 기술의 지속적인 발전은 안정적이고 효과적인 도금 제품의 생산에 이바지하였으나 새로운 도금 기술에 사용되는 다양한 화학물질들의 처리에 관한 어려움 또한 증가되고 있음.</li> <li>그럼에도 불구하고 안산시 소재 도금조합 폐수처리장들의 기존 처리 공정은 산업단지 추가 조성으로 인해 갈수록 복잡해지고 있는 유입 폐수</li> </ul>		

	<p>의 성상에 능동적으로 대처하기 어려운 실정임.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 또한 중금속과 같이 폐수 내 공존하는 오염물질과 시안이 결합하여 시안화물 복합체를 형성할 수 있으며, 기존 처리 공정만으로는 시안화물 복합체를 효율적으로 처리하는데 한계가 있음.</li> <li>• 따라서 폐수처리장 유출수에서 허용농도를 벗어나는 시안화물이 검출되고 있으며, 이는 고스란히 도금조합 폐수처리장 운영자 및 조합원들에게 추가 처리 비용 및 벌금 부담으로 돌아가게 됨.</li> <li>• 이와 관련하여 기존의 처리 시설의 변경 없이 추가로 시안화물을 처리하기 위한 방안으로 이산화염소수를 적용하는 방안을 안산시 도금조합 실무자와 함께 검토한 바 있으나 실제 적용에 앞서 현장 실험을 통한 과학적 검증이 필요한 상황임.</li> </ul>
주요 연구내용	<p>○ 연구목표</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 안산시 도금 폐수처리장에서 발생하는 시안화물을 허용농도 (1mg/L) 이하로 유지하기 위한 이산화염소수 적용 기술을 개발하고자 함.</li> <li>• 실제 현장 조건을 기반으로 이산화염소 융합 공정 기술을 개발하고, 이때 인공지능 학습 기법을 활용하여 기술의 효율성 및 실용성을 증진시키고자 함.</li> </ul> <p>○ 주요 연구내용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 안산시 소재 도금조합 폐수처리장의 유입수 및 공정수, 그리고 유출수의 성상을 시안화물 중심으로 시계열로 분석하고 데이터베이스(DB) 구축</li> <li>• 인공지능망(AI) 학습 기법을 활용하여 잔존 시안화물 유출 우려 시간, 요일, 범위를 특정하고 이산화염소수 처리 적용 방안을 각 시나리오에 따라 제시</li> <li>• 공정별 이산화염소수 처리기술의 잔존 시안화물 처리 성능 비교 검토</li> <li>• 확률 기반 통계 기법을 활용하여 적용 기술의 신뢰성 검토</li> </ul> <p>○ 예상 성과물</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도금폐수 처리수 내 잔존 시안화물 허용농도 (1 mg/L) 이하 준수 (신뢰도 99% 수준)</li> <li>• 유입수 공정수 유출수 성상 시계열 데이터베이스(DB) 1건</li> <li>• 이산화염소수 처리기법 운전 매뉴얼 1건</li> <li>• 국제학술지(SCI) 논문 2편</li> <li>• 국내 특허출원 1건</li> </ul>
주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (국내) 현재 국내에서는 이산화염소를 기존 염소 소독 공정에서 대체 소독제로 사용하고 있으며, 정화수의 미량 오염물질을 제거하는 고도처리 기술에도 이산화염소가 사용되고 있음. 또한 산업 폐수처리 후 슬러지 발생을 줄이고 악취를 제거하는 기술로도 사용되고 있음.</li> <li>• (국내) 흡착, 공침법, 응집제, 전기분해 등의 공법을 적용하여 폐수 중 시안화물을 제거하는 기술들이 개발되었음.</li> <li>• (국외) 미국, 영국, 일본 등 해외 기업에서는 정수뿐만 아니라 산업 폐수 내 오염물질 제거를 위한 고도처리 기술로 이산화염소를 활용하고 있음. 이산화염소 기술의 높은 산화 용량과 낮은 산화 강도 특성을 이용하여 열 전달 효율을 증진시키고 산업 폐수처리 공정의 유지보수 비용을 절감함.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (국외) 강화되고 있는 광산업의 환경규제 대응하여, 광업 폐수 및 폐기물에 함유된 금속 시안화물의 이산화염소 GSH(Gas Sparged Hydrocyclone)를 통한 처리 방안이 연구되었으며, 최대 78%의 제거율을 달성하였음. (Parga et al., 2003)</li> <li>• (국외) 높은 안정성을 나타내는 페로시안화물의 효과적인 처리를 위해 트리폴리인산나트륨 킬레이트제를 동시에 투입한 이산화염소수 처리가 연구되었으며, 페로시안화물에 의한 오염을 모사한 폐수를 대상으로 90%이상의 처리 효율 달성하고 최적 조건을 도출하였음. (Chang et al., 2006)</li> <li>• (국외) UV/염소 공정 전 이산화염소를 전처리로 사용하였을 경우, 수 중 미량오염물질 제거 및 소독부산물의 생성을 줄일 수 있음 (Fan et al., 2022).</li> <li>• (국외) UV와 이산화염소를 사용하여 미량오염물질을 처리한 경우, 소독부산물과 수질 독성을 감소시킬 수 있음 (Tian et al., 2022).</li> </ul>	
연구성과 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연구가 완료될 경우 현장을 제공한 도금조합 폐수처리장에서 운전 매뉴얼이 즉시 활용될 수 있으며, 안산시 내 다른 유사 폐수처리장에서도 활용 및 적용 가능함.</li> <li>• 향후 특허권 획득을 통해 개발 기술의 다른 지자체 기술이전 및 국가 공적개발원조(ODA) 사업에 널리 활용될 수 있음.</li> <li>• 본 연구의 결과는 최근 다양한 폐수처리장에서 문제시되는 난분해성 물질의 화학적 분해에 관한 기술적 파급효과를 가져올 수 있음.</li> <li>• 본 연구를 통해 도금사업 폐수처리장 유출수의 수질 환경개선 및 이에 따른 사회적 비용을 효과적으로 절감할 수 있음.</li> <li>• 특허권 등록 이후에는 국내 기술이전 및 사업화가 가능할 것으로 기대되며, ODA 사업 등 국제간 기술이전 사업에 활용될 수 있음.</li> </ul>	
주요 키워드 (3개 이상)	한글	· 수질사고대응 · 폐수처리장 에너지소비절감 · 도금폐수 · 폐수처리 · 시안화물 · 이산화염소수
	영문	· Water quality incident prevention · Energy consumption reduction in wastewater treatment plants · Plating wastewater · Wastewater treatment · Cyanide · Chlorine dioxide

## 연구개발사업계획(안) 제안서

<b>제안과제명</b>	안산시 공공체육시설의 실내 공기질 모니터링 및 유해성 평가																																															
<b>연구기간</b>	2025.03 ~ 2025.11																																															
<b>예산 연구비</b>	40,000,천원																																															
<b>연구사업 구분</b>	<b>연구분야 및 세부연구분야</b>																																															
	<b>하폐수 처리</b>	<b>상수도 및 정수</b>	<b>수질관리</b>																																													
<input type="checkbox"/> 환경정책연구 <input checked="" type="checkbox"/> 조사연구 <input type="checkbox"/> 현안기술개발연구 <input type="checkbox"/> 산학협력연구 (해당사항에√표)	<input type="checkbox"/> 물리화학적 처리 <input type="checkbox"/> 생물학적 처리 <input type="checkbox"/> 막처리 및 재이용 <input type="checkbox"/> 하수처리 시스템 <input type="checkbox"/> 질소 및 인 제거 <input type="checkbox"/> 하폐수 처리 기타 <input type="checkbox"/> 축산폐수 처리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 막분리 <input type="checkbox"/> 정수처리 및 수질관리 <input type="checkbox"/> 고도정수처리 <input type="checkbox"/> 상수관망 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 수질오염 <input type="checkbox"/> 수질모델 <input type="checkbox"/> 수질관리기타 <input type="checkbox"/> 기타																																													
	<b>자연환경분야</b>	<b>폐기물관리</b>	<b>대기관리</b>																																													
	<input type="checkbox"/> 환경정책 <input checked="" type="checkbox"/> 생활환경 <input type="checkbox"/> 건강위해성 <input type="checkbox"/> 생태관리 <input type="checkbox"/> 환경오염사고대비 <input type="checkbox"/> 소음관리 <input type="checkbox"/> 청정기술개발 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 매립 및 침출수 처리 <input type="checkbox"/> 슬러지 처리 <input type="checkbox"/> 소각 및 열분해 <input type="checkbox"/> 재활용 및 자원화 <input type="checkbox"/> 음식물 쓰레기 처리 <input type="checkbox"/> 폐기물 관리 기타	<input checked="" type="checkbox"/> 대기오염측정 및 관리 <input type="checkbox"/> 대기오염모델링,위해도 <input type="checkbox"/> 대기오염 처리기술 <input type="checkbox"/> VOCs 및 악취 처리 <input checked="" type="checkbox"/> 기타																																													
	<b>토양지하수오염</b>	<b>기후변화대응분야</b>	<b>기타환경분야</b>																																													
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타																																													
<b>연구의 목적 및 필요성</b>	• 24년 9월 안산시에서 운영 중인 공공체육시설은 95개소로 실외 시설이 67개소, 실내 시설은 28개소로 구분된다. <div style="text-align: center;">[안산시 체육시설 현황]</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>시설명</th><th>소재지</th><th>실내</th><th>실외</th><th>개소</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>종합운동장</td><td>초지동</td><td></td><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr> <td>천연구장</td><td>초지동, 사동</td><td></td><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">4</td></tr> <tr> <td>인조잔디구장</td><td>부곡동, 초지동, 사동 등</td><td></td><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">11</td></tr> <tr> <td>상록구 운동장</td><td>본오동, 사동 등</td><td></td><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">9</td></tr> <tr> <td>단원구 운동장</td><td>원곡동, 고잔동 등</td><td></td><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">8</td></tr> <tr> <td>실내 체육관</td><td>본오동, 고잔동, 대부도 등</td><td style="text-align: center;">○</td><td></td><td style="text-align: center;">19</td></tr> <tr> <td>수영장</td><td>고잔동, 신길동, 사동 등</td><td style="text-align: center;">○</td><td></td><td style="text-align: center;">5</td></tr> <tr> <td>국궁장</td><td>초지동, 본오동</td><td></td><td style="text-align: center;">○</td><td style="text-align: center;">2</td></tr> </tbody> </table>			시설명	소재지	실내	실외	개소	종합운동장	초지동		○	1	천연구장	초지동, 사동		○	4	인조잔디구장	부곡동, 초지동, 사동 등		○	11	상록구 운동장	본오동, 사동 등		○	9	단원구 운동장	원곡동, 고잔동 등		○	8	실내 체육관	본오동, 고잔동, 대부도 등	○		19	수영장	고잔동, 신길동, 사동 등	○		5	국궁장	초지동, 본오동		○	2
시설명	소재지	실내	실외	개소																																												
종합운동장	초지동		○	1																																												
천연구장	초지동, 사동		○	4																																												
인조잔디구장	부곡동, 초지동, 사동 등		○	11																																												
상록구 운동장	본오동, 사동 등		○	9																																												
단원구 운동장	원곡동, 고잔동 등		○	8																																												
실내 체육관	본오동, 고잔동, 대부도 등	○		19																																												
수영장	고잔동, 신길동, 사동 등	○		5																																												
국궁장	초지동, 본오동		○	2																																												

테니스장	고잔동		○	1
게이트볼장	성포동	○		1
야구장	목내동, 신길동, 성곡동 등		○	6
실내 배드민턴장	와동, 원곡동, 고잔동	○		3
족구장	초지동		○	1
배수지	이동, 일동, 사동, 선부동		○	4
기타 체육시설	장상동, 수암동 등		○	20
합 계		28 개소	67 개소	95 개소

- 이외에도 월피동 체육문화센터 건립, 선부동 다목적체육관 재개장 등 안산 시민의 여가활동을 위한 공간을 제공하며 운영을 확대하고 있는 추세이다.
- 지역 주민 다수가 이용하는 해당 시설들은 “다중이용시설”로써 관람석 수 1천 석 이상의 실내 체육시설은 “실내공기질 관리법” 제3조(적용대상)에 따라 지정되어 공간 내 공기오염물질로 부터 환경상의 위해를 예방하기 위해 환기 설비 또는 공기정화 설비를 설치하여 실내 공기를 관리할 의무가 있으나 안산시는 1천 석 이상 규모의 실내 체육 시설이 없어 별도의 관리계획을 수립하지 않고 있다.
- 지정된 오염물질 17종 중 “실내공기질 관리법 시행규칙” 제3조(실내공기질 유지기준)는 다중이용시설 내 오염물질 6종의 농도 기준과 초과 우려 시 관리 방안을 규정하고 있으나, 현재 실내 체육시설 기준은 미세먼지(PM-10)만 해당된다.

#### [오염물질(제2조 관련)]

- |                            |                         |                        |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1. 미세먼지(PM-10)             | 7. 라돈(Rn)               | 13. 벤젠(Benzene)        |
| 2. 이산화탄소(CO <sub>2</sub> ) | 8. 휘발성유기화합물(VOCs)       | 14. 톨루엔(Toluene)       |
| 3. 폼알데하이드                  | 9. 석면(Asbestos)         | 15. 에틸벤젠(Ethylbenzene) |
| 4. 총부유세균(TAB)              | 10. 오존(O <sub>3</sub> ) | 16. 자일렌(Xylene)        |
| 5. 일산화탄소(CO)               | 11. 초미세먼지(PM2.5)        | 17. 스티렌(Styrene)       |
| 6. 이산화질소(NO <sub>2</sub> ) | 12. 곰팡이(Mold)           |                        |

#### [실내공기질 유지기준(제3조 관련)]

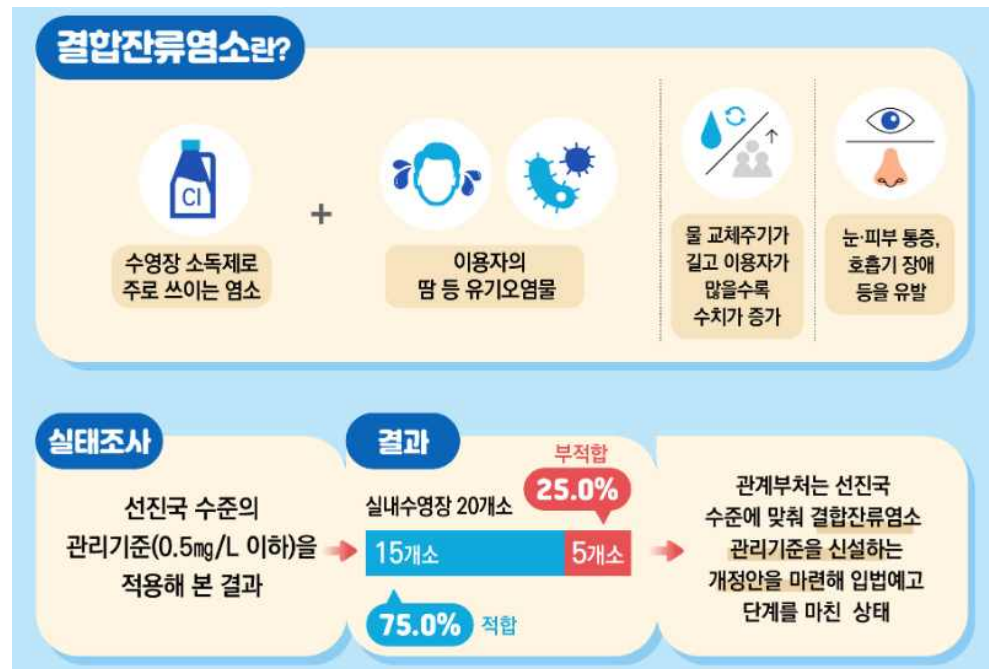
오염물질 항목 다중이용시설	미세먼지 (PM-10)	초미세먼지 (PM-2.5)	이산화탄소	폼알데하이드	총부유세균	일산화탄소
라. 실내 체육시설, 실내 공연장, 업무시설, 둘 이상의 용도에 사용되는 건축물	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	-	-	-	-	-

#### 연구의 목적 및 필요성

- 실내 체육시설은 건축 시기에 따라 준공 시 배출 기준을 통과해도 건축 자재에서 분진 및 라돈(Rn)과 같은 오염물질이 지속적으로 발생할 수 있으나 관리 기준이 없기 때문에 설치된 환기, 정화 설비에 의해 오염물질들이 효과적으로 배출되고 있는지 측정을 통한 객관적 평가가 필요하다.
- 실내 공기 오염물질로 지정된 기체들 중 이산화탄소는 활동이 많은 체육시설에서 많이 발생하며, 공기의 밀도(1.29  $\text{kg}/\text{m}^3$ (STP))보다 높아(1.97

kg/m<sup>3</sup>(STP) 시설이 지하에 있거나 환기, 정화 설비의 설치 위치에 따라 공기질에 영향을 줄 수 있다.

- 사람들이 수영장에서 느끼는 냄새 속 성분 중에는 수질 정화를 위해 넣는 염소와 침, 땀, 소변에 포함된 질소 성분이 반응하여 생성되는 휘발성 독성 물질인 잔류 염소가 포함되어 있으며, 면역력이 약한 영·유아는 호흡기 손상, 흡인성 폐렴과 같은 질환의 원인이 될 수 있다.
- “체육시설 설치·이용에 관한 법률 시행규칙” 제23조(안전·위생 기준)는 수영장 수질 기준 항목으로 유리 잔류 염소(0.4 mg/L ~ 1.0 mg/L 내), 결합 잔류 염소(0.5 mg/L 이하)를 정하여 관리하고 있지만, 해당 성분의 실내 공기 중 농도는 관리 기준이 없어 측정 및 유해성 평가가 이뤄지지 않고 있다.



[이미지 출처 : 한국소비자원]

- 대부분의 실내 체육시설은 봄-가을 미세먼지와 황사에 대한 영향과 여름-겨울철 온도 유지를 위해 외부 유입공기를 차단하고 실내 공기를 순환시켜 필터를 통해 정화하는 공조 장치를 주로 사용하기 때문에 계절, 이용자 수, 외부 기상 상황에 따른 실내 공기 중 이산화탄소, 부유분진 등 오염물질, 결합 잔류 염소 등 유해 성분에 대한 측정과 모니터링을 진행함으로써 시설 내 정화 설비 능력과 시설을 이용하는 주민 건강 보호를 위한 관리 방안 도출이 필요하다.

<p><b>주요 연구내용</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내·외 실내공기질 관리 법령 및 정책에 대한 조사, 분석</li> <li>• 안산시 공공 실내 체육시설(수영장, 체육관 등)의 실내 공기질 측정 및 모니터링               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 분석 대상 : 미세먼지, 이산화탄소, 휘발성 유기화합물, 염소 화합물 등 공기 오염 물질</li> </ul> </li> <li>• 종목, 계절, 이용자 수, 시설 위치 등 환경변수를 고려한 실내 공기 유해성 평가</li> <li>• 시설 내 설치된 환기/정화 설비 현황 파악 및 공기질 개선 능력 평가</li> <li>• 시설별 모니터링 결과에 대한 실내 공기질 유해성 평가 및 관리방안 제언</li> </ul>	
<p><b>주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 경기도 다중이용시설 실내 공기질 오염도 검사               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 안산시 어린이 보육시설, 점포, 상가 실내 공기질 측정</li> </ul> </li> <li>• 안산시 제5차 미세먼지 계절관리제 실행(2023~24)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다중 이용시설 실내 공기질 특별점검</li> </ul> </li> <li>• 다중이용시설 법적 의무사항               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실내 공기질 자가 측정 및 보고 : 유지기준 1년 1회, 권고기준 2년 1회</li> <li>- 관리자 법정교육 : 신규교육 1년 이내, 보수교육 3년마다 1회</li> </ul> </li> </ul>	
<p><b>연구성과 활용방안</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 체육시설의 공기질 모니터링을 통한 효율적인 공공시설 관리계획 마련</li> <li>• 시설 별 실내 공기질 정보 공개를 통한 시민의 불안 해소 및 시설 활용 독려</li> <li>• 실내 체육시설 공기질 유지 기준 규정 및 관리법 개정을 위한 자료로 활용</li> <li>• 지자체 다중이용시설 실내 공기질 오염도 의무 검사 기초 자료로 활용</li> </ul>	
<p><b>주요 키워드 (3개 이상)</b></p>	<p>한글</p>	<p>실내 공기질, 오염물질, 잔류염소</p>
	<p>영문</p>	<p>indoor air quality(IAQ), contaminants, residual chlorine</p>

## 연구개발사업계획(안) 제안서

<b>제안과제명</b>	청정 수역 조성을 위한 생분해성 플라스틱 소재 및 분해 기술 개발		
<b>연구기간</b>	2025.02.01. ~ 2025.11.30		
<b>예산 연구비</b>	60,000 천원		
<b>연구사업 구분</b>	<b>연구분야 및 세부연구분야</b>		
	<b>하폐수 처리</b>	<b>상수도 및 정수</b>	<b>수질관리</b>
<input type="checkbox"/> 환경정책연구 <input type="checkbox"/> 조사연구 <input checked="" type="checkbox"/> 현안기술개발연구 <input type="checkbox"/> 산학연협력연구 (해당사항에 v표)	<input type="checkbox"/> 물리화학적 처리 <input type="checkbox"/> 생물학적 처리 <input type="checkbox"/> 막처리 및 재이용 <input type="checkbox"/> 하수처리 시스템 <input type="checkbox"/> 질소 및 인 제거 <input type="checkbox"/> 하폐수 처리 기타 <input type="checkbox"/> 축산폐수 처리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 막분리 <input type="checkbox"/> 정수처리 및 수질관리 <input type="checkbox"/> 고도정수처리 <input type="checkbox"/> 상수관망 <input type="checkbox"/> 기타	<input checked="" type="checkbox"/> 수질오염 <input type="checkbox"/> 수질모델 <input type="checkbox"/> 수질관리기타 <input type="checkbox"/> 기타
	<b>자연환경분야</b>	<b>폐기물관리</b>	<b>대기관리</b>
	<input type="checkbox"/> 환경정책 <input checked="" type="checkbox"/> 생활환경 <input type="checkbox"/> 건강위해성 <input type="checkbox"/> 생태관리 <input type="checkbox"/> 환경오염사고대비 <input type="checkbox"/> 소음관리 <input type="checkbox"/> 청정기술개발 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 매립 및 침출수 처리 <input type="checkbox"/> 슬러지 처리 <input type="checkbox"/> 소각 및 열분해 <input type="checkbox"/> 재활용 및 자원화 <input type="checkbox"/> 음식물 쓰레기 처리 <input type="checkbox"/> 폐기물 관리 기타	<input type="checkbox"/> 대기오염측정 및 관리 <input type="checkbox"/> 대기오염모델링,위해도 <input type="checkbox"/> 대기오염 처리기술 <input type="checkbox"/> VOCs 및 악취 처리 <input type="checkbox"/> 기타
	<b>토양지하수오염</b>	<b>기후변화대응분야</b>	<b>기타환경분야</b>
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타
<b>연구의 목적 및 필요성</b>	<b>1. 연구 목적</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• '현대 사회의 편리함과 환경 오염을 동시에 초래하는 양날의 검' 플라스틱으로 인한 자연환경 오염은 반드시 해결해야 할 전 지구적 난제로 꼽히며, 국내외적으로도 이를 해결하기 위한 정책적 규제와 기술적 연구가 활발히 진행되고 있다. 지난 2021년 12월 안산녹색환경지원센터에서 확인한 안산시 수계에서의 미세플라스틱 오염 조사 결과, 대형 산업단지에서 유입된 미세플라스틱이 간선수로에 집중적으로 축적되어 해양 유입 및 생태계 오염을 유발하고 있다. 이러한 문제는 지역 환경의 지속 가능한 관리와 생태계 보존을 위협하고 있으며, 특히 안산시의 수계는 안산·시흥 스마트허브와 인접하고 있어 미세플라스틱과 그 외 오염물질들의 물리·화학적</li> </ul>		



	<p>반응으로 인한 환경위해성이 우려되는 지역으로 효율적인 대응책을 마련하는 것이 시급한 상황이다. 따라서 본 연구는 생분해성 플라스틱 대체 소재 제조와 난분해성 플라스틱 소재의 분해 기술 개발을 통해 수계 환경 오염을 최소화하는 방향으로 연구를 진행하여, 지역 환경 문제를 개선하고 지속 가능한 플라스틱 사용을 촉진함으로써 지역 생태계 보호와 환경 건강 회복에 기여하고자 한다.</p> <p><b>2. 연구개발의 필요성</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> <b>• 플라스틱의 사용량 증가에 따른 환경 오염</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전 세계에서 광범위하게 많이 사용되고 있는 플라스틱은, 대부분 분해가 잘 이루어지지 않는다는 단점을 가지고 있으며, 이로 인해 세계 플라스틱 폐기물 발생량은 점차 증가하고 있음.</li> <li>- 특히, 그 크기가 마이크로미터인 미세플라스틱은 해양 환경오염의 주요 원인 중 하나로 손꼽히고 있음. 특히 미세플라스틱의 각 입자는 제조, 사용 및 분해 과정에서 가소제나 중금속, PFOS 등 굉장히 해로운 미세 오염물이 부착될 수 있음. 이는 해양생물에 의한 먹이사슬의 순환으로 이어져 유기체 및 생태계의 파괴 문제로 이어질 수 있음.</li> </ul> </li> <li> <b>• 강화되는 환경규제 및 생분해성 플라스틱의 한계</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생성되는 플라스틱 폐기물을 줄이기 위해 세계 여러 나라에서 일회용 플라스틱에 대한 규제를 강화하고 있으며, 플라스틱을 대체할 수 있는 소재 개발 연구들이 많이 진행되고 있음. 그 중에서도 자연에서 생분해가 일어나는 생분해성 플라스틱이 각광받고 있어 전세계 생분해성 플라스틱 시장 규모는 계속 성장하는 추세를 보임. 그러나, 생분해성 플라스틱은 각 종류마다의 분해속도 차이로 인해 자연에서의 분해가 원활하지 않고 오히려 미세한 크기로 부서지게 됨. 또한, 대부분의 생분해 플라스틱은 높은 수입 의존성을 가지기 때문에 탄소 발생량 측면에서 불리하다는 단점이 있음.</li> </ul> </li> <li> <b>• 플라스틱 폐기물 처리 기술의 필요성</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 점차 증가하는 플라스틱 폐기물 발생량을 줄이기 위해 전 세계적인 노력 및 규제들이 진행되고 있지만, 현재까지 만들어진 플라스틱 폐기물은 매년 약 800만 톤에 이를 정도로 많음. 이를 해결하기 위한 방안으로 생분해성 플라스틱이 주목을 받고 있으나, 아직 이를 선별하여 수거하는 시스템과 퇴비화 체계의 사회적인 인프라가 부족한 실정임. 더욱이, 현재 진행되고 있는 단순 매립 조건은 생분해 소재에 오히려 불리한 여건을 갖추고 있어 플라스틱 폐기물 처리에 대한 시급성이 대두되고 있으며, 더 효과적인 플라스틱 폐기물 처리 기술이 필요한 상황임.</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>주요 연구내용</b></p>	<p><b>1. 난분해성 플라스틱 분해 기술 개발</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> <b>• 혐기 환경 내 생분해를 위한 시스템 최적화</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 플라스틱 폐기물이 처리되는 과정에서 호기성 또는 혐기성 환경에 노출되는데, 그 중에서도 혐기성 환경의 경우에는 산소가 부족하기 때문에 일반적인 미생물의 활성이 떨어지게 됨. 이는 소재의 생분해 기능 저하로 이어질 수 있어 혐기성 환경에서도 생분해를 촉진시킬 수 있는 혐기성 미생물을 활용하여 분해 시스템을 최적화할 예정임. 특히, 플라스틱 폐기물들을 매립하거나 하수 처리를 거쳐 해양으로 배출되면 대부분 혐기성 환경이 조성되기 때문에 해당 연구는 플라스틱의</li> </ul> </li> </ul>

	<p>생분해에 있어 중요한 밑거름이 될 것으로 판단됨.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>합성한 생분해성 플라스틱 소재의 분해 평가 수행</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생분해성 플라스틱을 활용한 생활용품은 상용화를 위해 OECD 공인 시험법 기반의 생분해도 측정 실험에서 60% 이상의 생분해성을 나타내어야 함. 따라서, NMR, BOD, HPLC 및 FT-IR 등 고분자의 분해 및 열화 정도를 분자적 수준으로 확인할 수 있는 분석 장비들을 활용하여 합성한 소재의 생분해도를 측정하고 분해 거동을 규명하고자 함. 아울러, 혐기성 환경에서의 생분해성 플라스틱의 분해 양상을 모니터링하여 호기성 및 혐기성 환경에서의 생분해 조건을 확인하고 이를 기반으로 데이터베이스를 구축하여 더 효과적인 친환경 플라스틱 분해기술 등의 관련 연구에 효과적으로 활용될 수 있을 것임.</li> </ul> </li> <li>2. <b>플라스틱을 대체할 수 있는 생분해성 소재 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>효소를 내포한 생분해성 플라스틱 소재 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 생분해성 플라스틱 중 가장 각광받고 있는 효소/포자 내포형 생분해성 플라스틱은 '낮은 기계적 물성으로 인한 적용 분야의 제한'이라는 기존 생분해성 플라스틱의 단점을 보완하고, 특정 환경 조건을 만족했을 때 생분해를 유도하게 됨. 이처럼 플라스틱을 분해하는 기능을 가진 효소를 플라스틱에 내포하여 선택적 생분해성을 가지는 소재를 개발하고자 함. 특히, 플라스틱을 사용 중에는 높은 안정성을 유지하다가 폐기되어 해양으로 흘러갔을 때 효소가 발현되어 플라스틱 분해가 진행되도록 설계함으로써, 기존 생분해성 플라스틱의 한계를 극복하고 생활용품에서 사용되고 있는 미세플라스틱 소재를 대체할 수 있는 소재를 합성하는 것임.</li> </ul> </li> <li>• <b>해양 환경 속 생분해 촉매 안정화를 위한 복합화 수행</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 플라스틱 소재의 생분해를 촉진시키는 효소는 생체 물질이기 때문에 소재 합성 조건에서 활성을 잃어 제 기능을 못할 가능성이 있음. 따라서, 효소를 활용하기 위해 추가적인 안정화 과정을 진행할 예정임. 특히, 본 연구팀은 이전에 진행했던 천연 고분자 기반의 캡슐 소재 합성법을 수행한 경험이 있음. 이를 기반으로, 천연 고분자를 활용하여 효소를 캡슐화함으로써 높은 안정성을 가지는 기술을 연구하는 것임.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<p><b>주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>해양 생분해 친환경 플라스틱 소재 PHA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• PHA(Poly hydroxy alkanoate)는 미생물이 식물 유래 성분을 섭취하여 세포 내에 저장하는 고분자 물질로, 뛰어난 생분해성을 가진 미생물 기반 플라스틱이다. CJ제일제당은 고분자 물질 PHA(Poly hydroxy alkanoate) 제조 연구를 진행하며, 2022년 국제 공인기관으로부터 뛰어난 생분해성을 인증받았다. 추가적으로 한국건설생활환경시험연구원(KCL)과의 실험 결과, PHA는 해양 생분해 능력이 우수해 무게가 57% 감소한 반면, PLA 필름은 1.2%만 감소했다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 2022년 인도네시아 파수루안에서 PHA 대량 양산을 시작했고, 분해도는 52%에 달하는 것을 확인하였다. CJ는 세계 최초로 연간 톤 규모의 비결정형 aPHA를 생산하며, 반결정형 scPHA 생산설비 착공 및 미국 메타볼릭스의 PHA 관련 자산 인수를 통해 상용화 연구를 진행 중이다.</li> </ul> </li> </ol>

	<b>2. 폴리비닐알코올(PVA)을 사용한 해양 생분해성 종이 코팅제</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>연구팀은 PVA에 봉산을 이용해 종이 코팅제를 제작하고, 이를 종이 포장재에 적용하여 생분해성, 생체 적합성, 고차단성, 고강도를 갖춘 포장재를 구현했다. 코팅제를 사용한 종이 포장재는 산소와 수증기에 대한 우수한 차단성을 보이며, 다습한 환경에서도 높은 강도를 유지하여 종이의 단점을 극복했다. 연구팀은 해양 환경에서의 생분해도를 111일 동안 측정한 결과, 59~82%가 생분해됨을 확인했다. 추가적으로 전자현미경으로 해양 미생물이 코팅제를 분해하는 모습을 관찰했으며, 쥐 생체 반응 실험을 통해 코팅 종이의 높은 생체적합성을 검증하였다.</li> </ul>	
연구성과 활용방안	<b>1. 안산시 수질 환경 개선에 기여</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>본 연구 개발을 통해 개발되는 생분해성 플라스틱 대체 소재를 이용하여 기존의 난분해성 플라스틱 사용을 줄임으로써, 수계로의 플라스틱 유입을 예방하여 미세플라스틱 발생의 근본적인 원인을 축소할 수 있다. 또한 개발된 난분해성 플라스틱 분해 기술을 이용하여, 수계에 존재하는 난분해성 플라스틱을 효율적으로 분해하여 수질 오염을 감소시키고 안산시 수생 생태계에 미치는 부정적인 영향을 최소화함으로써 안산시 수질 환경 개선에 활용할 수 있다.</li> </ul> <b>2. 높은 미래가치인 생분해성 플라스틱의 지속적인 개발로, 새로운 생분해성 개발을 위한 요소기술에 활용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>해당 연구 개발 기술에서 사용될 플라스틱의 구조에 따른 생분해 메커니즘 연구는 향후 새로운 생분해성 플라스틱 소재 개발을 위한 이론적 토대로 반영될 뿐만 아니라 분해 효소/미생물 종류에 따른 생분해거동 데이터베이스는 향후 생분해 공정의 효율성을 높이는 기초 자료로 활용될 수 있다. 이와 같은 학문적인 기여를 통해 플라스틱 폐기물의 분해 과정을 최적화하여, 미세플라스틱이 환경과 인체에 미치는 피해를 최소화하는 데 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.</li> </ul>	
주요 키워드 (3개 이상)	한글	해양 생분해성 플라스틱, 효소/미생물 분해, 수질오염 개선
	영문	Marine Biodegradable Plastics, Enzymatic/Microbial Degradation, Water Quality Improvement

## 연구개발사업계획(안) 제안서

<b>제안과제명</b>	안산지역 유해대기오염물질(Hazardous Air Pollutions; HAPs) 관리를 위한 배출량 데이터베이스 구축 및 모델링 시스템 개발		
<b>연구기간</b>	2025. 03. 01. ~ 2025. 11. 30.		
<b>예산 연구비</b>	총연구비 : 40,000 천원		
<b>연구사업 구분</b>	<b>연구분야 및 세부연구분야</b>		
	<b>하폐수 처리</b>	<b>상수도 및 정수</b>	<b>수질관리</b>
<input type="checkbox"/> 환경정책연구 <input type="checkbox"/> 조사연구 <input type="checkbox"/> 현안기술개발연구 <input type="checkbox"/> 산학연협력연구 (해당사항에√표)	<input type="checkbox"/> 물리화학적 처리 <input type="checkbox"/> 생물학적 처리 <input type="checkbox"/> 막처리 및 재이용 <input type="checkbox"/> 하수처리 시스템 <input type="checkbox"/> 질소 및 인 제거 <input type="checkbox"/> 하폐수 처리 기타 <input type="checkbox"/> 축산폐수 처리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 막분리 <input type="checkbox"/> 정수처리 및 수질관리 <input type="checkbox"/> 고도정수처리 <input type="checkbox"/> 상수관망 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 수질오염 <input type="checkbox"/> 수질모델 <input type="checkbox"/> 수질관리기타 <input type="checkbox"/> 기타
	<b>자연환경분야</b>	<b>폐기물관리</b>	<b>대기관리</b>
	<input type="checkbox"/> 환경정책 <input type="checkbox"/> 생활환경 <input type="checkbox"/> 건강위해성 <input type="checkbox"/> 생태관리 <input type="checkbox"/> 환경오염사고대비 <input type="checkbox"/> 소음관리 <input type="checkbox"/> 청정기술개발 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 매립 및 침출수 처리 <input type="checkbox"/> 슬러지 처리 <input type="checkbox"/> 소각 및 열분해 <input type="checkbox"/> 재활용 및 자원화 <input type="checkbox"/> 음식물 쓰레기 처리 <input type="checkbox"/> 폐기물 관리 기타	<input type="checkbox"/> 대기오염측정 및 관리 <input checked="" type="checkbox"/> 대기오염모델링,위해도 <input type="checkbox"/> 대기오염 처리기술 <input type="checkbox"/> VOCs 및 악취 처리 <input type="checkbox"/> 기타
	<b>토양지하수오염</b>	<b>기후변화대응분야</b>	<b>기타환경분야</b>
	<input type="checkbox"/> 오염토양처리관리 <input type="checkbox"/> 폐광토양오염지하수처리 <input type="checkbox"/> 지하수 환경관리 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 온실가스배출량산정 <input type="checkbox"/> 온실가스배출량감축연구 <input type="checkbox"/> 배출권거래 <input type="checkbox"/> 기타	<input type="checkbox"/> 기타
<b>연구의 목적 및 필요성</b>	1. 연구배경 대기오염은 전 세계적으로 심각한 환경 문제로 대두되고 있으며, 한국도 예외는 아닙니다. 특히 경기도 안산 지역은 대규모 산업단지와 주거 지역이 공존하는 도시로서, 다양한 산업 활동에서 발생하는 유해대기오염물질(Hazardous Air Pollutants, HAPs)의 배출이 문제로 지적되고 있습니다. HAPs는 인체에 해로운 독성 물질로, 호흡기계 질환, 암, 신경계 문제 등을		

유발할 수 있습니다. 이러한 물질에는 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족 탄화수소(PAHs), 중금속 등이 포함되며, 안산과 같은 산업 밀집 지역에서는 이들의 배출 및 확산이 매우 중요한 환경 현안입니다.

안산은 국가산업단지를 포함한 4개의 대규모 산업단지가 위치한 지역으로, 철강, 화학, 제조업 등의 다양한 산업 활동이 이뤄지고 있습니다. 이러한 산업활동은 대기오염의 주된 원인이며, 배출된 오염물질은 대기 중에서 장거리로 이동해 주변 주거 지역에도 영향을 미치고 있습니다. 특히, PM2.5와 같은 미세먼지는 지역 대기질 악화의 주요 원인으로 작용하며, 장기적인 노출은 지역 주민들의 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있습니다.

대기과학에서는 오염물질의 발생 및 확산 메커니즘을 이해하고, 이를 기반으로 대기질을 예측 및 관리하는 데 중점을 두고 있습니다. 그러나 안산 지역과 같은 복잡한 산업 및 도시 혼합 지역에서는 배출원들이 매우 다양하고 복잡해, 기존의 단순한 배출 인벤토리나 확산 모델링으로는 이러한 문제를 효과적으로 관리하기 어렵습니다. 이에 따라, 정밀한 배출량 산정과 대기질 모델링 시스템을 통해 다양한 배출원의 기여도를 분석하고, 이를 기반으로 한 맞춤형 대기질 관리 전략이 필요합니다.

특히, 안산 지역은 기상 조건에 따라 대기오염의 영향을 크게 받습니다. 서풍이 우세한 시기에는 서해안에서 유입되는 오염물질과 산업단지에서 배출된 오염물질이 복합적으로 작용하여 대기질이 더욱 악화됩니다. 따라서 지역 특성을 반영한 기상-배출 연계 모델링을 통해 대기오염 확산 경로를 정밀하게 예측하는 것이 필수적입니다.

또한, 현행 대기오염 관리 정책은 주로 기준성 대기오염물질(SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> 등)에 중점을 두고 있으며, HAPs와 같은 독성 물질에 대한 규제와 모니터링은 상대적으로 부족한 상황입니다. 이로 인해, HAPs의 장기적인 건강 영향에 대한 연구와 관리 전략이 부족하며, 지역 주민들의 건강 보호를 위한 체계적인 대응이 필요한 시점입니다.

따라서, 본 연구는 안산 지역의 대기오염 문제를 보다 체계적으로 이해하고, 이를 바탕으로 지역 맞춤형 대기질 관리 방안을 마련하기 위해 유해대기오염물질의 배출 특성과 확산 경로를 정밀하게 분석하고자 합니다.

연구의 필요성 및 목적에 대해 아래에 자세히 설명하겠습니다.

## 2. 연구 필요성

- 정확한 유해대기오염물질 관리의 필요성: 현행 대기오염 관리 정책은 주로 기준성 오염물질(SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> 등)에 집중되어 있으며, HAPs에 대한 모니터링과 배출량 산정은 상대적으로 미비한 상황입니다. 그러나 HAPs는 소량으로도 장기적인 건강 피해를 유발할 수 있어, 체계적인 배출량 산정과 관리 방안이 시급히 필요합니다
- 유해대기오염물질 배출 인벤토리와 모델링 시스템 구축의 필요성: 안산

지역의 경우 다양한 산업 배출원이 존재하며, 이들 배출원에서 나오는 유해대기 오염물질이 대기 중에서 어떻게 확산되고 이동하는지에 대한 예측이 부족합니다. 배출량을 정밀하게 산정하고 이를 기반으로 대기 확산 모델을 구축함으로써, 고농도 오염 지역을 파악하고 효과적인 관리 대책을 수립할 수 있습니다.

- 주민 건강 보호와 정책적 대응: 안산 지역은 높은 대기오염 농도로 인해 주민들의 건강 위험이 높아지고 있으며, 특히 어린이, 노인 등 민감계층의 피해가 클 수 있습니다. 따라서 과학적 근거를 바탕으로 한 정책적 대응이 필요하며, 이는 대기질 개선뿐만 아니라 주민들의 건강 보호에도 중요한 역할을 할 것입니다.

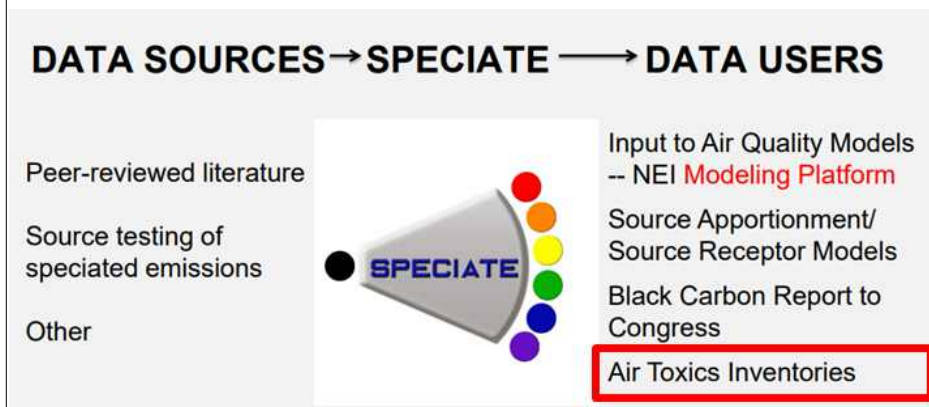
### 3. 연구 목적

본 연구의 주된 목적은 안산 지역에서 발생하는 유해대기오염물질의 배출량을 정밀하게 산정하고, 이를 바탕으로 대기질 모델링 시스템을 개발하여 지역 맞춤형 유해대기오염 물질 관리 방안을 제시하고자 합니다. 이를 통해 산업단지 및 주요 오염원에서 발생하는 HAPs의 배출 특성과 확산 경로를 파악하고, 고농도 오염 지역을 식별하여 구체적인 관리 전략을 마련하고자 합니다.

- 유해대기오염물질 배출량 산정: 안산 지역 내 산업단지 및 주요 배출원을 대상으로 HAPs의 종류별, 산업별, 지역별 배출량을 산정합니다. 이를 위해 국가 대기오염물질 배출량 통계(CAPSS)를 EPA-SPECIATE를 적용하여 안산지역의 유해대기오염물질 배출량을 산정하고자 합니다.
- 대기질 모델링 시스템 구축: 최신 대기 모델링 기술과 알고리즘을 활용하여, HAPs 농도 분포를 정밀하게 예측할 수 있는 모델링 시스템을 개발합니다. 이는 산업단지 내 배출원에서 발생하는 HAPs가 시간과 공간에 따라 어떻게 확산되고, 주변 환경에 어떤 영향을 미치는지를 예측하는 데 중요한 도구로 활용될 것입니다. 특히, 기상 데이터와 배출 데이터를 연계하여 지역 내 오염물질 농도를 상세히 시뮬레이션함으로써 고농도 발생 구역 및 시기를 파악하고, 정책적 대응 방안을 제시할 수 있을 것입니다.
- 유해대기오염물질 배출량 데이터베이스 구축: 안산 지역 내 HAPs 배출량 및 농도 데이터를 체계적으로 수집하고, 이를 공간적, 시간적 차원에서 종합하여 데이터베이스화합니다. 이 데이터베이스는 지역 특성에 맞춘 맞춤형 대기질 관리 전략을 수립하는 데 중요한 기초 자료로 활용될 것이며, 장기적으로는 대기질 모니터링 시스템과 연계하여 실시간 모니터링 및 예측 시스템의 기반이 될 수 있을 것입니다.
- 관리 전략 및 저감 방안 수립: 본 연구에서 도출된 배출량 분석 결과와 모델링 시스템을 바탕으로, 안산 지역 내 유해대기오염물질의 고농도 발생 구역을 파악하고, 해당 지역에서의 배출량 감소를 위한 구체적인 저감

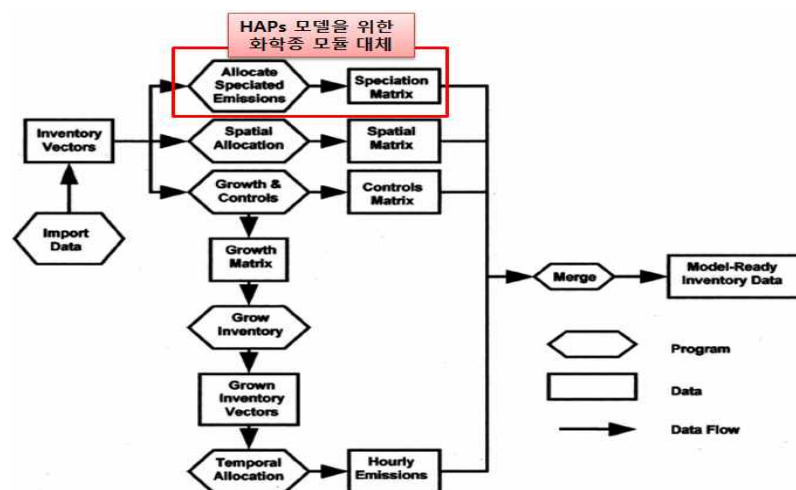
	<p>전략을 제시합니다. 배출원의 기여도를 세부적으로 분석하여 저감이 시급한 배출원을 우선적으로 식별하고, 다양한 배출원에 맞는 맞춤형 관리 전략을 제시함으로써, 실질적이고 효과적인 대기질 개선 방안을 마련할 것입니다. 특히, 소분류 단계까지의 배출원 분류 체계를 통해 개별 사업장 및 오염원의 특성에 맞는 저감 기술을 도입하고, 정책적 대응 방안을 세부적으로 제안할 계획입니다.</p>
<p><b>주요 연구내용</b></p>	<p>○ 연구목표를 달성하기 위한 주요 연구내용은 유해대기오염물질 배출량 산정, 오염물질 농도 산정, 고농도 발생지역 파악 및 관리방안 제시입니다. 각 세부 연구는 순차적으로 진행됩니다.</p> <div data-bbox="678 701 1181 1137" data-label="Diagram"> <pre> graph TD     A[유해대기오염물질 배출량 산정] --&gt; B[유해대기오염물질 농도 산정]     B --&gt; C[유해대기오염물질 고농도지역 파악]     C --&gt; D[유해대기오염물질 관리방안 제시] </pre> </div> <p>그림 2 세부연구 흐름도</p> <p>○ 세부 연구를 진행하기 위한 자세한 연구 내용 및 범위는 아래에 설명하고자 합니다.</p> <p>1. 유해대기오염물질 배출량 산정</p> <p>1.1 연구내용</p> <p>○ CAPSS 배출량을 활용하여 EPA SPECIATE v5.1을 통해 안산지역 배출원별 HAPs 배출량을 산정합니다. 산출된 배출량을 SMOKE HAPs 모델을 통해 CMAQ HAPs 모델의 입력 배출량을 산정한다. 이때 산정된 배출량은 시간/공간별 배출량이 산출됩니다.</p> <div data-bbox="419 1680 1396 1926" data-label="Diagram"> <pre> graph LR     A[CAPSS 배출량] --&gt; B[EPA SPECIATE v5.1]     B --&gt; C[SMOKE 모델]     C --&gt; D1["(a) Benzene"]     C --&gt; D2["(a) Benzene"] </pre> </div> <p>&lt;그림 3&gt; 유해대기오염물질 배출량 산정 흐름도</p>

- HAPs 배출량에 활용되는 EPA SPECIATE v5.1은 VOCs, PM2.5등과 같이 다양한 성분의 배출량이 존재하지만 화학종이 분류되지 않은 물질에 대해 배출원의 특성에 맞도록 화학종을 분류할 수 있는 프로파일을 제공하는 프로그램입니다. 여기서 CAPSS 배출원별 배출량일 입력받아 SPECIATE를 활용하여 Air Toxics Inventories를 구축합니다.



<그림 4> HAPs 배출량 산정을 위한 SPECIATE v5.1  
흐름도([www.cmascenter.org](http://www.cmascenter.org))

- 산출된 HAPs 배출량은 SMOKE HAPs 모델을 통해 시간/공간별 배출량이 산정된다. SMOKE HAPs 모델은 기존 SMOKE 모델과 유사하나 speciation allocation에서 HAPs 물질 배출량을 산정하도록 수정되어 집니다.



<그림 5> HAPs 화학종 모듈이 포함된 SMOKE 배출량 모델  
흐름도 예시

## 1.2 연구범위

- 대상지역 : 안산지역(시,군,구)
- 기간 : 1년 (12개월)
- HAPs 오염물질 배출량 성분 : 가스상(22개), 에어로졸(16개)



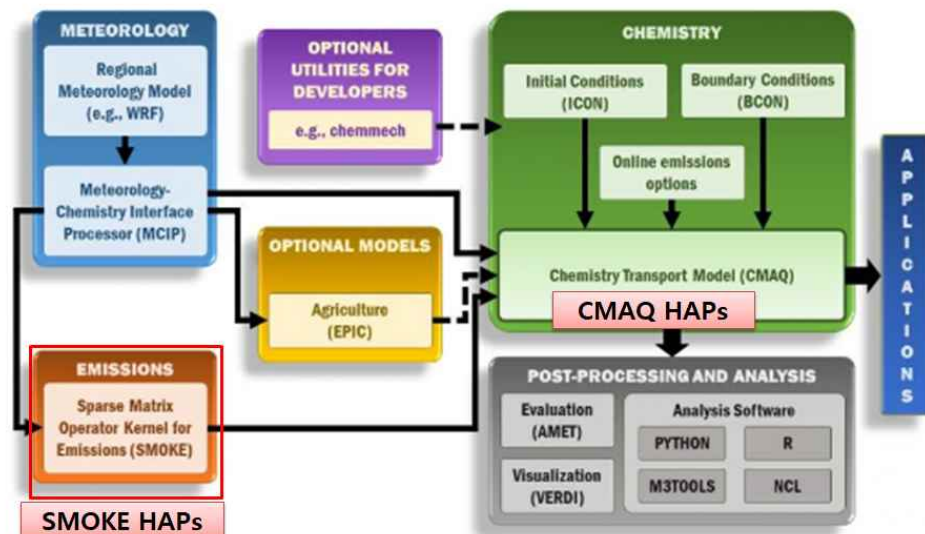
### 1.3 연구결과

- 시간자료 : 1시간/일/월/년 평균 배출량
- 공간자료 : 모델링 범위내 모든 격자
- HAPs 오염물질 배출량 성분 : 가스상(22개), 에어로졸(16개)

## 2. 유해대기오염물질 노출 농도 산정

### 2.1 연구내용

- 유해대기오염물질 노출 농도 산정은 CMAQ HAPs 모델을 활용하여 산정합니다. CMAQ HAPs 모델의 전체 시스템 흐름도는 기상 모델, 배출량 모델(SMOKE HAPs 모델)의 입력자료를 통해 CMAQ HAPs 모델이 수행됩니다.



<그림 6> CMAQ HAPs 모델링 시스템 흐름도 예시

- CMAQ HAPs 모델에서 모사할 수 있는 HAPs 물질은 가스상(22개), 에어로졸(16개)입니다. 산정 가능한 HAPs 물질의 목록은 아래와 같습니다.

<표 8> CMAQ HAPs 모델에서 고려되는 HAPs 물질(cmaq user guide)

AEROSOL PHASE(16)	GAS PHASE(22)
arsenic - fine and coarse modes	acetaldehyde - total and emitted
benzo(a)pyrene-finemodes	acetonitrile
beryllium - fine and coarse modes	acrolein - total and emitted
cadmium - fine and coarse modes	acrylic acid
chromium 3 - fine and coarse modes	acrylonitrile (propenenitrile)
chromium 6 - fine and coarse modes	benzene
diesel PM elemental carbon - fine modes	benzo(a)pyrene

diesel PM organic carbon - fine modes	1,3-butadiene
diesel PM sulfate - accumulation mode	carbon tetrachloride
diesel PM nitrate - accumulation mode	carbonyl sulfide
diesel PM other components - fine modes	chlorine
diesel PM - coarse mode	chloroethene (vinyl chloride)
lead - fine and coarse modes	chloroform
manganese - fine and coarse modes	chloroprene
mercury - fine and coarse modes	1,2-dibromoethane
nickel - fine and coarse modes	p-dichlorobenzene
	1,2-dichloroethane
	dichloromethane
	1,2-dichloropropane
	1,3-dichloropropene
	ethylbenzene
	ethylene oxide

## 2.2 연구범위

- 대상지역 : 안산지역(시,군,구)
- 기간 : 1년 (12개월)
- HAPs 오염물질 농도 성분 : 가스상(22개), 에어로졸(16개)

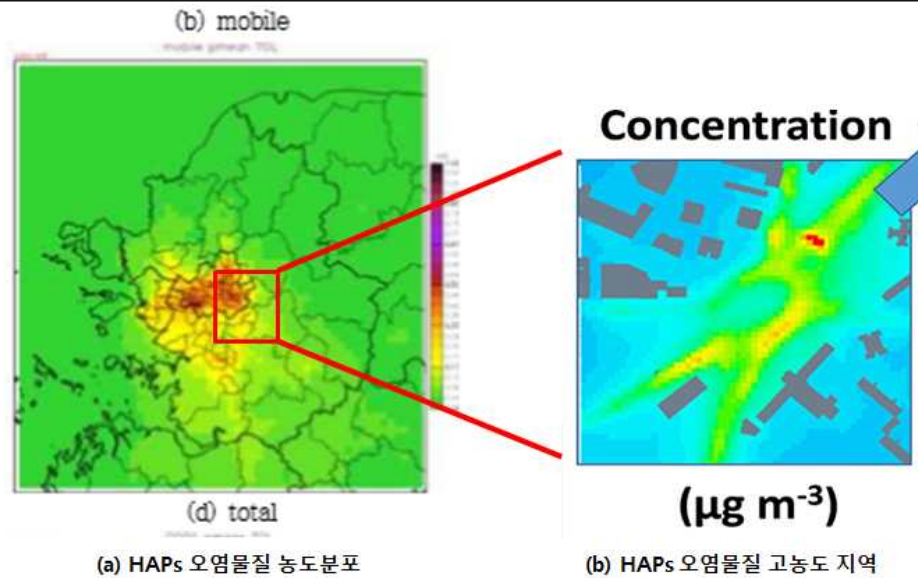
## 2.3 연구결과

- 시간자료 : 1시간/일/월/년 평균 농도
- 공간자료 : 모델링 범위내 모든 격자
- HAPs 오염물질 농도 성분 : 가스상(22개), 에어로졸(16개)

## 3. 유해대기오염물질 고농도 지역 파악

### 3.1 연구내용

- 산출된 HAPs 오염물질 농도를 활용하여 연/월/일/1시간 최대 농도 지역 파악하고, 관리대상지역을 선정합니다. 최대 농도, 관리 및 고농도 지역의 농도분포를 확인하고 그 위치에 사업장 또는 배출원 지역을 파악합니다.



<그림 7> CMAQ HAPs 모델링 농도 및 고농도 지역 산정 예시

### 3.2 연구범위

- 대상지역 : 고농도 지역
- 기간 : 1년 (12개월)
- HAPs 오염물질 농도 성분 : 가스상(22개), 에어로졸(16개)

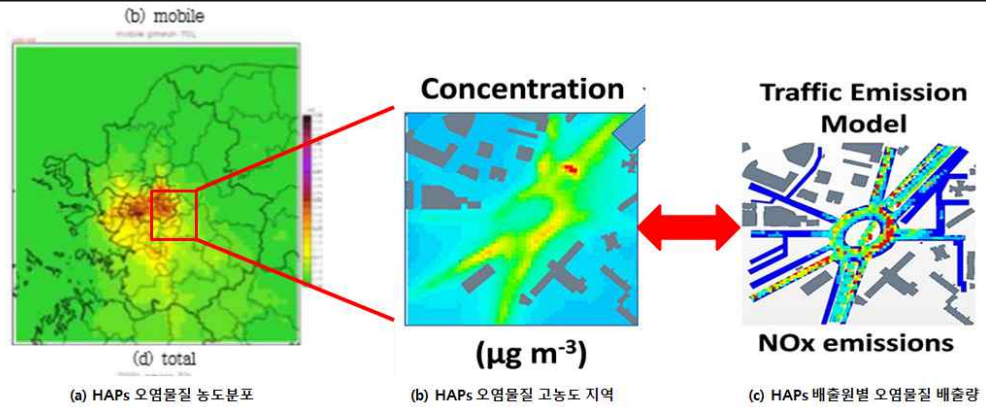
### 3.3 연구결과

- 시간자료 : 1시간/일/월/년 최대 농도
- 고농도 지역 : 연/월/일/1시간 최대 농도 지역 파악
- HAPs 오염물질 농도 성분 : 가스상(22개), 에어로졸(16개)

## 4. 유해대기오염물질 관리방안 제시

### 4.1 연구내용

- 유해대기오염물질 고농도 지역과 그 지역의 배출량 분포를 비교 합니다. 뿐만 아니라 해당지역에 배출원별(소분류, 중분류, 대분류)의 배출량의 우선순위를 파악하여 관리 및 저감해야하는 배출원을 제시합니다.



<그림 8> 유해대기오염물질 관리방안을 위한 예시

#### 4.2 연구범위

- 대상지역 : 고농도 지역
- 기간 : 1년 (12개월)
- HAPs 오염물질 농도 성분 : 가스상(22개), 에어로졸(16개)

#### 4.3 연구결과

- 고농도 지역 배출원별 순위 : 1시간/일/월/년 배출원별 배출량 순위
- HAPs 오염물질 배출량 : 가스상(22개), 에어로졸(16개)

#### 주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황

- 유해대기오염물질 배출량 산정 및 모델링 등에 대한 연구는 대부분 측정과 관련된 연구가 주를 이루고 있습니다.
- 측정과 관련된 국내외 연구는 다음과 같습니다.
- Baek et al. (2023, Atmospheric Pollution Research)은 포항에서 4개의 주거지(도심 3곳, 교외 1곳)를 대상으로 유해대기오염물질(HAPs)에 대한 종합적인 대기 모니터링이 수행되었습니다. 연구의 목적은 HAPs의 발생 및 시공간적 분포를 평가하고, 건강 위험 평가를 바탕으로 중요한 HAPs를 식별하는 것이었습니다. 연구에서 동시에 측정된 130개의 HAPs에는 휘발성유기화합물(VOCs), 카보닐화합물, 다환방향족탄화수소(PAHs), 프탈레이트, 그리고 중금속이 포함되었습니다. 산업단지의 배출 영향이 주거 지역의 HAPs 농도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특히 산업단지 인근 주거지의 HAPs 농도가 교외 지역보다 훨씬 높았습니다. VOCs(포름알데히드 제외)와 중금속은 계절에 따른 뚜렷한 패턴을 보이지 않았으나, PAH 농도는 겨울철에 여름보다 4~5배 높았습니다. 결과는 포항에서 PAHs, VOCs, 중금속의 배출에 대한 엄격한 규제가 필요함을 시사합니다. 특히 철강 산업단지에서의 배출원에 대한 관리가 중요하다는 결과를 나타내었습니다.
- Lee et al. (2024, Atmosphere) 2022년 1월부터 12월까지 반월국가산업단지에서 다환방향족탄화수소(PAHs)의 입자상 및 기체상 농도가 측정되

었습니다. 상관 분석 결과, 입자상 PAHs는 PM10 및 PM2.5와 양의 상관관계를 보였으며, 온도 및 \*\*오존(O<sub>3</sub>)\*\*과는 음의 상관관계를 보였습니다. 진단 비율 및 PAHs 성분 기율기를 분석한 결과, 반월산업단지의 배출원은 4계절 동안 바이오매스와 석탄 연소가 주요 요인이었으며, 석유 연소(자동차 배출)의 영향도 무시할 수 없었습니다. 특히 역청탄이 가장 큰 영향을 미쳤으며, 여름과 가을에는 갈탄의 영향도 관찰되었습니다.

- EPRI(2018)은 2012년 수은 및 대기 유독물질 기준(MATS) 규정 이후, 석탄 화력 발전소에서 배출되는 유해 대기오염물질(HAPs)과 관련된 최신 배출량 및 인체 건강 영향을 평가했습니다. 2017년을 기준으로, 석탄 사용 데이터, 설치된 제어 장치, 2010년 MATS 정보 수집 요청에 따른 새로운 배출 측정 데이터를 기반으로 평가가 이루어졌습니다. 이 연구는 EPA의 대기질 모델과 데이터베이스를 사용하여 각 발전소의 HAPs 배출에 따른 인체 건강 위험을 평가한 결과, 발암 위험은 모두 백만 분의 1 이하로 나타났고, 비발암성 위험도 장기 및 단기 노출 모두에서 위험 지수 1 이하로 확인되었습니다. 따라서, 이 연구는 석탄 화력 발전소에서 배출되는 HAPs에 대한 흡입 위험이 EPA의 허용 가능한 범위 내에 있음을 시사하였습니다.
- 배출량과 모델링 관련된 국내외 연구는 다음과 같습니다.
- KEI(2018)은 현재 운영 중인 유해대기오염물질 측정망의 공간 해상도는 낮아, 산업시설과 주거시설이 공존하는 지역에서 실효성 있는 입지 평가를 위해서는 고해상도 자료를 이용한 정량적 평가가 필요하여 연구를 진행했습니다. 화학반응을 고려할 수 있는 CMAQ 모델과 고해상도 확산 예측이 가능한 AERMOD 모델을 혼합하여 고해상도 유해대기오염물질 평가 방법론을 개발했습니다. 남한 전역을 대상으로 CMAQ 모델을, 광양 지역을 대상으로 AERMOD 모델을 적용했으며, 두 모델을 혼합한 CMAQ-AERMOD Hybrid-modeling을 수행해 고해상도 예측을 가능하게 했습니다. 벤젠 농도 예측 결과, 산업단지 지역에서 점오염원 기여도가 높게 나타났으며, 관측 자료와 비교할 때 급격한 농도 변화는 예측 모델에서 정확히 반영되지 않았습니다. 따라서 더 많은 측정 자료와 국지적 배출원의 영향을 고려한 관측 방법이 필요하며, 향후 도심 지역에도 이 방법론을 적용해 지속적인 개선이 요구되었습니다.
- 미국 환경보호청(EPA)은 National Air Toxics Assessment(NATA)를 통해 HAPs의 건강 영향을 평가하는 연구를 진행하고 있습니다. 벤젠, 디젤 입자물질, 폼알데하이드 등 다양한 HAPs에 대한 연구가 활발히 이루어졌으며, 배출량 산정과 확산 모델링을 통해 각 지역에서 발생하는 HAPs의 건강 영향을 분석하고 있습니다. EPA는 또한 SMOKE 모델과 CMAQ 모델을 사용하여 대기오염물질의 확산 및 배출량을 산정하고 있습니다.
- 본 연구는 여전히 불확실성이 큰 분야이므로 도전적인 주제입니다. 따라서 기존 연구들의 사례가 많지 않습니다.

<p><b>연구성과 활용방안</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 활용주체 : 지자체 보건환경연구소 대기환경관련 부서</li> <li>○ 활용 대상 지역 : 안산, 시흥 및 그 외 산단지역, 항만 및 유해대기오염 물질 관리가 필요한 지역</li> <li>○ 유해대기오염물질 배출량 데이터베이스 구축 및 활용 : 초기 구축된 유해대기오염물질 배출량 데이터베이스는 안산시 기초 유해대기오염물질 배출량으로서 활용 가능</li> <li>○ 유해대기오염물질 농도 데이터베이스 구축 및 활용 : 안산지역 및 기타 관리가 필요한 지역의 일/월/년 평균 유해대기오염물질의 농도 분포 파악 가능 뿐만 아니라 유해대기오염물질의 우심지역관리 가능</li> <li>○ 유해대기오염물질 배출량 및 모델링 시스템 매뉴얼 작성 및 보급</li> <li>○ 국가 유해대기오염물질 배출량과 연계 : 국가미세먼지정보센터에서 계획중인 유해대기오염물질 배출량과 연계하여 초기 구축된 배출량 대체 가능 뿐만 아니라 지속적인 개선(업데이트) 가능</li> <li>○ 대기환경개선 종합계획 활용 : 「제3차 대기환경개선 종합계획」 중 HAPs 관리체계 확충과 관련된 내용 중 위해성평가와 측정망 지점 확충의 근거자료로 활용이 가능합니다. 먼저 유해대기오염물질 노출농도를 제공함으로써 건강 위해성 평가와 경제적 분석의 기초자료로 활용이 가능하며, 유해대기오염물질의 배출특성, 주변영향을 분석하여 모니터링 시스템 구축에 정보를 제공할 수 있습니다.</li> </ul>	
<p><b>주요 키워드 (3개 이상)</b></p>	<p>한글</p>	<p>안산 지역, 유해대기오염물질 농도, 화학수송모델, 유해대기오염물질 배출량</p>
	<p>영문</p>	<p>Ansan, HAPs, CMAQ-HAP, HAP Emissions</p>