연구개발사업계획(안) 제안서

<table>
<tr><td>제안과제명</td><td colspan="3">충북지역 생활악취 수인기준 마련을 위한 연구</td></tr>
<tr><td>예상 연구비</td><td colspan="3">30,000천원 (참여기업체명: - ,부담금: - 천원)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업 구분</td><td colspan="3">연구분야 및 세부연구분야(해당사항 1군데 ■표)</td></tr>
<tr><td>하폐수 처리</td><td>상수도 및 정수</td><td>수질관리</td></tr>
<tr><td rowspan="6">■환경정책연구
□조사연구
□현안기술개발연구
□산학연협력연구
(해당사항 1군데 ■표)</td><td>□물리화학적 처리
□생물학적 처리
□막처리 및 재이용
□하수처리 시스템
□질소 및 인 제거
□하폐수 처리 기타
□축산폐수 처리
□기타</td><td>□막분리
□정수처리 및 수질관리
□고도정수처리
□상수관망
□기타</td><td>□수질오염
□수질모델
□수질관리기타
□기타</td></tr>
<tr><td>자연환경분야</td><td>폐기물관리</td><td>대기관리</td></tr>
<tr><td>□환경정책 ■생활환경
□건강위해성 □생태관리
□환경오염사고대비
□소음관리
□청정기술개발
□기타</td><td>□매립 및 침출수 처리
□슬러지 처리
□소각 및 열분해
□재활용 및 자원화
□음식물 쓰레기 처리
□폐기물 관리 기타</td><td>□대기오염측정 및 관리
□대기오염모델링,위해도
□대기오염 처리기술
□VOCs 및 악취 처리
□기타</td></tr>
<tr><td>토양지하수오염</td><td>기후변화대응분야</td><td>기타환경분야</td></tr>
<tr><td>□오염토양처리관리
□폐광토양오염지하수처리
□지하수 환경관리
□기타</td><td>□온실가스배출량산정
□온실가스배출량감축연구
□배출권거래 □기타</td><td>□기타</td></tr>
<tr><td>연구의 목적 및 필요성</td><td colspan="3">○ 연구의 배경 및 필요성
- (지역 악취관련 민원발생 多) 최근 3년간(2021~2023년) 충북지역에서 발생한 악취 관련 민원은 531건으로 생활환경 관련 민원 중 가장 많은 부분을 차지함.
- (민원해결 방안 및 대응성과 미흡) 지역악취 문제 해결을 위해 다양한 대책이 시도되었으나, 주민 체감효과는 크게 나타나지 않음.
- (관련법령 상 정책적 대응한계 존재) 배출원 관리중심의「악취관리법」, 축산농가 가축분뇨의 처리와 활용을 위한 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한법률」등 관련법령에서</td></tr>
</table>

- **(생활악취 관리 기준 마련 필요)** 생활 속 악취관리를 위한 표준화된 생활악취관리 기준을 마련하여 민원처리 및 관계기관의 적극적 행정 대응을 위한 지표로서 활용 필요

○ 연구의 목적

- 정책수단으로서 **생활악취의 수인한도(endurable limit) 기준을 마련**하여, **생활악취 민원대응 및 관리를 위한 표준화.정량화 기준을 제시**하고자 함.

구분	기 존		개 선(안)
관리기준	악취배출허용기준		수인한도 (악취관리 표준화 지표)
관리방법	배출원의 규제기준(악취배출허용기준) 초과시 배출시설 관리		감각공해의 수용체(지역주민 등)기준 수인한도 초과시 정책대응
대응결과	. 악취배출허용기준 미초과시 **지속민원 발생** . 민원대응을 위한 표준지표 부재로 **적극행정 추진 곤란** . 배출원 이전을 위한 **예산확보 기준모호**	➡	수인한도 초과시, **우선관리 대책(모니터링, 악취관리지역 지정, 주민보상, 주요 악취배출원 이전 등) 도입**으로 적극적 민원대응 가능

주요 연구내용

○ 연구의 목표

- 악취수용체 기준 악취 수인한도(endurable odor limit) 제시
- 수인한도 활용 악취민원대응 관계 행정기관 정책추진 방안 제시
- 수인한도 적용을 위한 관련법령 개정(안) 제시

○ 연구의 추진 전략 및 방법

(연구목표) 생활악취 수인기준 마련

추진전략 및 연구방법

악취수인기준 마련 기초조사	현장 악취측정	악취수인기준 마련	제도개선(안) 등 정책제언
• 선행연구, 문헌조사 • 국내외 관련법령 조사	• 주요민원발생 배출원 (축산분뇨/산업단지)	• 문헌, 현장측정자료 기반 악취수인기준 제시	• 수인기준 적용 방안제시 • 관련법령 개선(안) 검토

○ 주요 연구내용

1. 충북지역 주요 생활악취민원 현황조사

가. 최근 10년간 악취 배출원별 민원 발생현황

나. 생활악취관련 민원처리 및 관련법령에 따른 대응현황

2. 민원사례 분석 (축산악취 민원사례, 산업단지악취 민원사례)

가. 민원발생 및 처리절차, 해소여부 등 사례분석

나. 생활악취 민원처리를 위한 기술적.행정적 보완사항 도출

	3. 생활악취민원 발생지역 대상 현장 악취농도 측정 가. 현장측정 대상지역 선정 : 충북 2개 지역 - 대상지역 : 축산악취/산업단지 악취관련 민원발생 각1개 지역(총2개지역) - 측정지점 : 축산..산업단지 악취민원 발생 각 지역별 3개 지점(공동주택) - 측정시기 : 계절별 1회 (봄, 여름, 가을 3계절) - 측정방법 : 계절별 악취농도 현장측정(직접관능법, 공기희석관능법) - 오염원 조사 : 악취배출원 및 주요 발생원 현황 조사 나. 악취종류별 지정악취물질 농도 측정 - 축산/산업단지 배출 주요 지정악취물질 농도현황 분석(현장측정) - 지정악취물질 중 주요 악취물질 선별 후 분석 다. 대상지역 악취발생 및 수용성 관련 설문조사 실시 - 해당지역 주민대상(수용체 기준) 체감 악취수준에 대한 설문조사 실시 **4. 생활악취 수인한도(안) 마련** - 현장 측정결과* 및 설문조사 활용 축산/산업단지별 악취 수인한도 기준(안) 마련 *직접관능법 및 공기희석관능법을 이용한 악취체감농도, 기기분석법을 이용한 지정악취물질 농도 **5. 생활악취 수인한도(안) 활용방안 제시** 가. 정책적 활용방안 - 기존 배출원(Source) 중심 배출허용기준에서 수용체(Receptor) 기준 악취관리 기준을 계량화함으로서 충북지역 생활악취민원 발생을 위한 우선처리순위 도출 기준 등으로 활용 - 생활악취 민원 발생에 따른 정책 대응절차 제시 (예: 수인한도 초과의 경우 단계적 대응방안 [1단계] 배출원 확인 및 저감조치 실시➡[2단계] 엄격한 저감조치 실시➡[3단계] 배출원 폐쇄 및 이전) 나. 기술적 활용방안 - 생활악취민원 발생현장의 신속한 악취농도 현황파악을 위한 현장간이 악취농도 측정평가방법 등으로 활용 **6. 정책제안** 가. 수인한도 기준 적용을 위한 관련조례* (안) 제시 * (예시) 충청북도 생활악취 방지 조례 등 나. 생활악취 민원처리 대응 매뉴얼(안) 제정 - 관련 행정기관 및 이해관계자별 대응절차 및 기준 제시
주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황	○ 국내외 선행연구 동향 - **(연구현황 분석)** 지속적, 다발성 악취관련 민원 및 분쟁해결을 위한 국내외 연구 사례다수 - **(향후 연구방향 도출)** 배출원 중심 관리방식(악취방지법 배출구 및 부지경계선에서의 악취 규제기준 적용)에서 수용체 중심의 관리방식으로 생활환경 관리방식 전환

부문	연구제목	주요 연구내용	본 연구와의 차별성
분쟁조정기준	배출원을 기준으로 한 악취피해조사 및 배상액 추정방안에 관한 연구(울산대학교산학협력단, 2008)	. 악취피해의 판정과 배상금액 산정을 위한 기준으로서 악취피해 인정기준(수인한도) 제시 . 분쟁조정을 위한 피해기준으로서 수인한도 제시	수용체 측면에서 악취농도 실측 미실시(배출원 악취농도기준으로 수용체 지점의 농도예측을 위한 모델링 실시)
측정방법개선	현장후각측정법을 이용한 악취측정법 개선연구(국립환경과학원, 2018)	. 악취수용자의 피해를 반영하는 악취실태조사 방법과 악취배출시설의 농도 관리에서 악취 영향을 받는 피해주민 영향 정도가 고려될 수 있도록 수용점의 악취 빈도를 기준으로 하는 악취측정법의 도입 검토	현장 수용자 관점에서의 악취측정방법에 대한 방법론만을 제시함. 정책적 활용방안 및 현장민원해결방안 마련을 위한 연구결과 미포함
악취수용성	악취의 사회적 수용성 변동요인 연구(정지선, (2017))	. 피해인식 요인, 경험과 지식요인, 기관신뢰 요인, 잠재적 편익요인, 잠재적 위해요인, 현행제도에 대한 신뢰요인에 따른 사회적 수용성 변동경향 분석	감각공해의 수용자 인식 변동에 관한 요인을 설문조사를 통하여 분석, 현장측정 미실시
생활악취관리	악취관리 개선방안 적용을 위한 연구 (생활악취 현황파악 및 측정방법 조사) (국립환경과학원, 2016)	. 생활악취(음식점) 악취배출특성 조사, 발생원 관리 규제(안) 제시 . 수용체 기준 악취현황 파악을 위한 시뮬레이션,희석표 이용 악취지수방식을 제안함	생활악취 중 축산 및 산업단지 악취관리 미포함

연구성과 활용방안

○ 연구 성과 지표 및 목표

성과 지표	단위	성과 목표 (정량적 기재)
학술지 논문게제 (생활악취 수인한도 개발)	연구사업 완료시	한국냄새환경학회
학위논문 발표 (수용체 기준 축산 및 산업단지 악취 현황조사 및 수인한도 개발)	연구사업 완료시	-

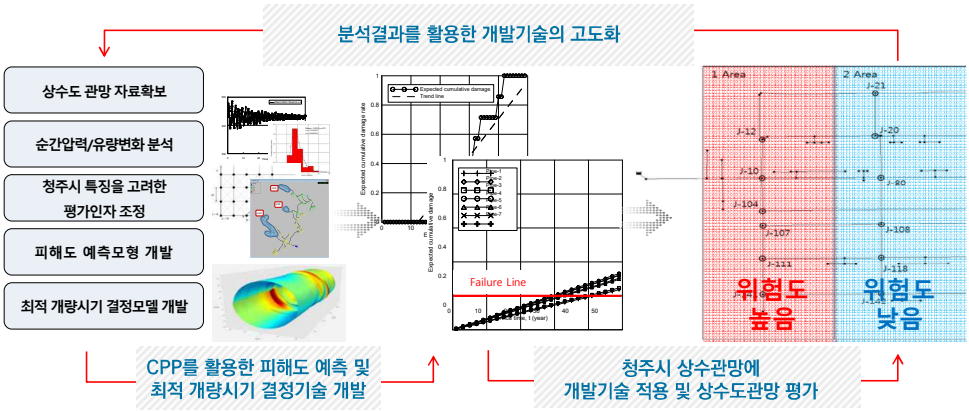
<table>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><td>생활악취 민원처리 매뉴얼 제정
(활용주체 : 충청북도)</td><td>연구사업
완료시</td><td>충북 생활악취(축산
및 산업단지 악취)
민원처리 매뉴얼</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>연구수행시
기대효과</td><td>○ 기대효과
- 배출원 규제중심의 생활악취 관리방식에서 수용체 중심의 관리방식으로 감각기반오염의 환경관리 방식의 전환 가능
- 감각오염으로서 악취에 대한 계량지표(수인한도) 활용으로 정량적 기반의 민원대응 가능

○ 파급효과
- 생활환경 악취관련 조례 제정으로 지역 내 악취관리를 위한 제도기반 마련
- 생활악취 민원대응 매뉴얼 활용으로 충북지역 내 신속한 악취민원대응 가능
- 정량적 악취수인기준 활용으로 악취관리구역 지정 및 상시 악취농도 관리를 위한 지표로 활용가능</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주요 키워드
(3개 이상)</td><td>한글</td><td>악취, 수인기준, 축산악취, 산업단지 악취</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>odor, endurable odor limit, livestock odor, industrial complex odor</td></tr>
</table>

연구개발사업계획(안) 제안서

<table>
<tr><td>제안과제명</td><td colspan="3">청주시 상수도의 매설 경과년도에 따른
피해도 예측 및 최적 개량시기 결정기술 개발</td></tr>
<tr><td>연구 기간</td><td colspan="3">2025. 2. ~ 2025. 11.</td></tr>
<tr><td>예상 연구비</td><td colspan="3">30,000 천원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업 구분</td><td colspan="3">연구분야 및 세부연구분야(해당사항 1군데 ■표)</td></tr>
<tr><td>하폐수 처리</td><td>상수도 및 정수</td><td>수질관리</td></tr>
<tr><td rowspan="6">□환경정책연구
□조사연구
■현안기술개발연구
□산학연협력연구
(해당사항 1군데 ■표)</td><td>□물리화학적 처리
□생물학적 처리
□막처리 및 재이용
□하수처리 시스템
□질소 및 인 제거
□하폐수 처리 기타
□축산폐수 처리
□기타</td><td>□막분리
□정수처리 및 수질관리
□고도정수처리
■상수관망
□기타</td><td>□수질오염
□수질모델
□수질관리기타
□기타</td></tr>
<tr><td>자연환경분야</td><td>폐기물관리</td><td>대기관리</td></tr>
<tr><td>□환경정책 □생활환경
□건강위해성 □생태관리
□환경오염사고대비
□소음관리
□청정기술개발
□기타</td><td>□매립 및 침출수 처리
□슬러지 처리
□소각 및 열분해
□재활용 및 자원화
□음식물 쓰레기 처리
□폐기물 관리 기타</td><td>□대기오염측정 및 관리
□대기오염모델링,위해도
□대기오염 처리기술
□VOCs 및 악취 처리
□기타</td></tr>
<tr><td>토양지하수오염</td><td>기후변화대응분야</td><td>기타환경분야</td></tr>
<tr><td>□오염토양처리관리
□폐광토양오염지하수처리
□지하수 환경관리
□기타</td><td>□온실가스배출량산정
□온실가스배출량감축연구
□배출권거래 □기타</td><td>□기타</td></tr>
<tr><td>연구의 목적 및 필요성</td><td colspan="3">○ 연구의 배경 및 필요성
- 현재 국내 전체 상수도관의 경우 21년 이상 경과된 노후관이 전체 상수도관의 36.9% 이상을 차지하고 있으며, 환경부는 2016년부터 상수도 현대화 사업을 통해 상수도관의 교체 및 개량 사업을 활발히 진행중
- 특히 청주시 상수도관망의 경우 전체 3,158km의 연장 중 매설된지 21년 이상경과된 상수도관이 1,496km로 약 47%인 것으로 확인됨(청주시 상수도사업본부, 2024)
- 청주시는 다양한 수도정비사업을 통해 2017년부터 2022년까지 유수율을</td></tr>
</table>

	높였지만 2022년과 2023년의 상반기 자료를 분석한 결과 유수율은 다시 감소하였고 누수율은 증가하고 있는 추세로 확인됨(청주시 상수도사업본부, 2024) - 이에 따라 청주시는 467억원을 들여 지역내 28개소 노후관로 27㎞를 대상으로 노후상수도 현대화사업을 2024년 말까지 완료할 예정이고 2020년부터 2027년도 까지 1,845억원을 들여 스마트 관망관리시스템 구축사업 및 노후 상수관망 정밀조사/개량사업을 진행하고 있음. 또한, 차년도인 2025년도부터 2027년까지 약 480억원을 들여 관 재질이 노후하여 사용에 부적합한 상수도관을 정비할 목적인 노후상수도 정비사업을 계획함(동양일보, 2024) - 이러한 상수도관의 교체 및 개량사업에는 노후도 평가가 동반되며 현재 노후관 평가 시 간접평가법과 직접평가법을 통해 수도관의 노후도를 판별하고 등급화하고 있으나 정확도가 떨어지거나 시간과 비용이 많이 발생함 - 따라서 현재 진행 중이거나 진행 계획에 있는 스마트 관망관리시스템 구축사업 및 노후상수도 정비사업에 즉시 적용 가능한 상수도관망의 수명예측 및 최적 개량시기 결정 방안이 필요함 ○ 연구의 목적 1. 정책적 측면 - 정부 및 지자체의 상수도 개량 및 보수사업 진행에 맞춘 청주시 상수도관망의 개량사업 추진 - 피해도 예측 및 최적 개량시기 결정기술을 상수도사업본부에 적용하여 효율적인 상수도 사업계획 수립에 기여 - 더 나아가 상수도관망의 수명 예측기술을 통해 최근들어 꾸준히 발생하고 있는 비정상상황에 대한 피해 방지대책 마련 - 실제 청주시 상수도관망의 노후 상수도 개량시기 결정을 통해 수도사업자의 용수 공급관로의 유지관리 기능을 강화하고, 비상 대응력 향상을 통한 스마트 관망관리시스템 구축 강화 2. 경제·사회적 측면 - 기존 사고사례, 민원등을 종합적으로 고려한 최적의 개량계획 수립을 통해 예산의 효율적인 집행을 도모하고 청주시의 상수도 개량 및 정비사업 진행 시 상수도관망의 정확한 평가에 따른 개량 최적시기 및 우선순위 선정 등 경제적이고 합리적인 의사결정에 의한 효율적 예산 활용 가능 - 용수공급관로의 최적 시기 개량추진으로 대규모 상수도피해 방지를 통한 청주시민의 물 복지 실현 - 적시 개량을 통한 시설 및 먹는 물 수질 안전성 강화를 통한 청주시민의 수돗물 신뢰성 증대

주요 연구내용	○ 연구의 목표 - 본 연구를 통해 개발될 최종 결과물인 청주시 상수도관망의 매설 경과년도에 따른 피해도 예측 및 최적 개량시기 결정기술은 기존 사용되고 있는 상수도관망 노후도 평가기법인 간접평가법 및 직접평가법을 보완 및 대체할 수 있으며 실제 정부 및 지자체에서 시행하고 있는 상수도 사업에 즉시 적용 가능한 기술임. 본 기술은 청주시 상수도관망의 특성을 반영할 수 있는 관망관리 기술이며 연구의 세부목표는 다음과 같음  <연구개발기술의 흐름도> 1. 상수도관망의 피해도 예측기술 개발 - 매설 경과년도 증가에 따른 상수도관망의 피해도를 정량적으로 산정하여 스마트 관망관리시스템 구축에 기여 - 상수도관망의 직접진단이 불가능하거나 직접진단 시 비용이 많이 투입되는 지역에 적용하여 직접 굴착작업 없이 상수도관의 피해도를 평가할 수 있음 => 상수관망 공사 및 주변 공사 진행 시 정확한 피해도 분석을 통해 불필요한 예산낭비 및 민원발생 감소 2. 상수도관망의 최적 개량시기 결정기술 개발 - 최적 개량시기 결정기술을 지자체 및 청주시 상수도계획에 정책적으로 활용 => 청주시에서 진행중 이거나 진행 예정인 노후상수관망 정밀조사 및 정비사업등의 기술진단 및 정밀조사에 핵심기술로 반영 3. 개발기술의 고도화 및 실제 적용성 확보 및 매뉴얼 제작 - 수자원공사에서 제안하고 있는 평가방법(2024년 수자원공사 개발)은 일부 지역에 국한된 분석방법 이라고 평가받고 있음

- 청주시 상수도관망 DB를 바탕으로 청주시 상수도관망 환경에 적용 가능한 매뉴얼 개발
  => 지역에 국한된 평가방법이라는 점 및 지역적 실정 측면의 한계점을 극복한 청주시 상수도관망에 적합하도록 기술의 고도화 및 매뉴얼 작성

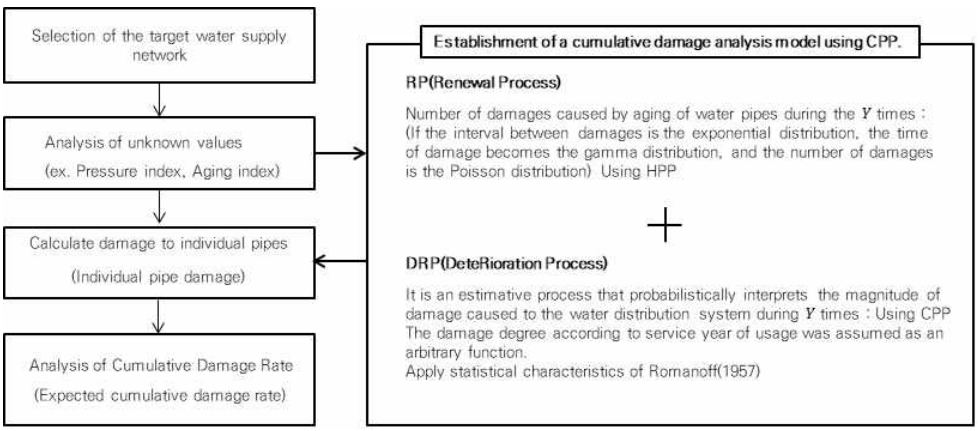
○ 연구의 추진 전략 및 방법

- 상수도관의 피해도 예측 및 최적 개량시기 결정기술을 기존 상수도관망 평가기술의 결과와 비교/분석하여 새로 개발될 기술의 신뢰성 확보 및 정확도를 평가할 것이며, 기술의 실용성 및 우수성을 검증할 것임
- 국내 굴지의 학회인 대한토목학회 및 한국수자원학회를 통해 본 연구개발의 성과물을 발표 및 논문게재 하여 기술개발 내용을 홍보 및 입증할 것임
- 상수도관망의 전문기관 및 전문가의 참여를 통해 기술개발의 효율적인 연구를 추진할 것임(청주시 상수도사업본부 협력 논의)
- 청주시 중 노후도가 심한 지역을 선별하여 정밀하게 연구 추진

○ 주요 연구내용

1. 청주시 상수도관망의 피해도 예측기술 개발

- 매설 경과년도 증가를 고려한 상수도관망의 피해도 예측기술 개발
- 상수도관망을 세분화하여 단일관로 및 블록별로 상수도의 수명을 예측할 수 있는 기술 개발
- 상수도관망의 구역별 특성을 적용하여 관망의 피해도를 산정하고 수명을 예측할 수 있는 정량적인 결정기준 마련
- 기존 사용되고 있던 상수도관망의 피해도 평가자료와 비교분석을 통해 모델의 신뢰성 확보 및 실제 적용성 검증 수행



<CPP를 활용한 피해도 예측기술 개발 흐름도>

	2. 청주시 상수도관망의 최적 개량시기 결정기술 개발 (1) 자료 확보 - 청주시 상수도관망의 구역별 수충격해석을 통한 압력 데이터 분석 - 기존 상수도관망 데이터를 통한 매설환경 및 특성 분석 - 최적 개량시기 결정기술 개발을 위한 청주시 상수도관망 DB의 정확도 분석 - (2) 평가인자 선정 - 기존 상수도관망의 평가인자에 더불어 청주시 상수도관망의 매설환경을 고려할 수 있는 인자 추가(기존 인자와 새로 추가된 인자간의 중요도를 고려하기 위한 가중치 산정방법 적용) - 인자선정 후 지역적 특성을 반영할 수 있도록 평가인자의 고도화 작업 진행 (ex. 관 두께 변화량, 수압변동량, 수압변동폭 등 지역별로 상이한 데이터에 따른 인자 및 계수 조정) (3) 모델 개발 - 매설년도 증가에 따른 평가인자의 불확실성을 고려하기 위해 추계학적 확률방법인 CPP(Compound Poisson Process)를 사용하여 최적 개량시기 결정모델 개발 - 정규분포를 따르지 않는 확률변수를 해석하기 위해 새로운 FORM(First-Order Reliability Method) 모형을 통한 신뢰함수 개발 3. 개발 기술의 고도화 및 매뉴얼 작성 - 청주시의 스마트 관망관리 시스템 구축사업에 적용 가능하도록 개발기술의 매뉴얼화 진행(구역별 해석방법의 상세화, 구역 특징에 따른 개발기술의 적용방안 마련등) - 개발기술을 노후상수도 정비사업에 적용하기 위한 활용방안 마련 및 지자체와 청주시 상수도사업본부와의 협조를 통해 상수도관망 운영사업 및 정책에 기술적용
주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황	○ 국내외 선행연구 분석 - 국내 상수도관망의 교체 및 개량 시 상수도관망에 대한 노후도를 평가하고 우선순위를 선정하여 사업에 반영함 - 현재 상수도관망의 노후도 및 피해상태를 평가하는 방법은 직/간접평가 및 점수평가법등이 시행되고 있음 - 간접평가법을 통해 노후 상수관을 선별하고, 이후 직접평가법을 통해 육안으로 수도관의 상태를 확인 후 노후도 등급을 결정하는 방식임 - 간접평가법의 경우 총 9가지 항목으로 평가가 진행되고 직접평가법의 경우 총 12개의 항목평가를 통해 상수도관망의 노후도 및 상태평가가

진행됨

- 하지만 현재 사용되고 있는 선행기술의 경우 관망 피해의 중요한 요소인 관 두께는 고려되지 않고 있음
- 과거부터 현재까지 노후 상수도관망 개량사업이 각 지자체 별로 시행되고 있으나, 매설년수와 경험적 기준에 의존하는 노후관 평가와 사고대응적 차원의 일회성 개량사업이 실시되어 중장기적 효율적 사업 추진의 근거를 마련하기 어려운 실정
- 상수관로의 교체 및 개량 시기 결정에 도움이 될 많은 선행연구가 진행되었지만 선행연구의 경우 단순히 통계적인 특징을 분석하거나 산정식을 제안하더라도 관종의 구분이 없이 진행되어 실제 상수도관망에 적용하기에 한계성이 존재함
- Caleyo *et al.,*(2002)는 노후화가 진행중인 상수도관망의 잔존수명을 예측할 수 있는 추계학적 방법을 제시하였고 시간경과에 따라 일정한 부식 형태를 갖는 정상상태 부식모델을 적용하였으며 부식으로 인한 파괴확률 산정을 위해 SORM(Second Order Reliability Method) 방법을 사용하였음. 하지만 확률변수들은 모두 정규분포 또는 로그-정규분포함수로 가정하여 분석함
- Kim *et al.,*(2007)은 국내 상수관망의 매설 경과년도에 따른 부식깊이 예측모델을 제시함. 선형모델을 이용하여 부식속도를 추정할 수 있는 모형을 제안하였고 부식속도를 토대로 Rajani(2000)등이 제안한 비선형 지수함수 형태의 부식깊이 예측모델을 개발하였지만 CIP와 DCIP를 동일 관종으로 간주하여 분석하였다는 한계성이 있음
- Teixeira. *et al.,*(2008)는 FORM(First Order Reliability Method)를 사용하여 부식으로 인한 상수도관망의 신뢰성 해석을 수행함. 한계상태는 소규모 실험결과를 사용하였고, 부식된 상수도관망의 파괴 압력에 대한 불확실성을 예측하기 위해 Monte Carlo Simulation을 사용하였지만, 가정된 값을 사용하여 부식모형을 적용함
- 이처럼 본 기술개발 내용에 대한 선행연구의 경우, 단순히 상수도관망 피해의 통계적 특성을 분석하거나 피해율 산정식을 제안하더라도 관종의 구분없이 통일하여 다양한 상황 적용에 한계성이 존재함

정부정책	- 수도정비기본계획(2025) 수도시설 안정화사업 등을 통한 안정적 수도시스템 구축하며 수질 및 수도시설사고 등 비상상황 발생시 대처능력 강화 및 피해 저감으로 목표로 함 - 환경부 수도법 시행령(시행 2024.08.17.) 지방자치단체는 상수도관망을 효율적이고 체계적으로 유지・관리하기 위하여 상수도관망정비계획의 수립 및 시행, 상수도관망의 목표 유수율 유지・관리계획의 수립 및 시행, 수탐사・복구 등 누수 관리, 상수도관망의

<table>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><td></td><td>점검・정비를 수행해야 함</td></tr>
<tr><td>지자체 정책</td><td>- 청주시 소규모수도시설 관리 조례(시행 2024.05.17.)
제3조(정비계획의 수립) 소규모수도시설을 적정하고 합리적으로 설치·관리하기위하여 5년마다 소규모수도시설에 대한 정비계획을 수립
- 청주시 수도급수 조례(시행 2023.09.01.)
제44조(급수설비의 관리책임 등)에서 급수설비의 상태와 수질 검사 결과 급수설비가 노후화되었거나 수돗물이 수질기준을 위반하였을 때 시장은 해당 급수설비의 소유자 또는 관리자에게 급수설비의 세척・갱생 또는 교체 등 필요한 조치를 권고</td></tr>
<tr><td>지역현안</td><td>- 청주시의 경우 다양한 수도 정비사업을 통해 상수도의 누수율 및 유수율 제고를 진행하여 2022년까지 좋은 성과를 거두었으나 2023년 유수율은 다시 감소하고 누수율을 증가하는 추세를 보임
- 청주시의 경우 매설년도 21년 이상 경과한 수도관이 전체의 47%로 전국 지자체 평균인 36%를 넘는 수치이며, 이를 뒷받침하듯 최근 3년간 관로 관련 민원 건수는 총 1만 6천여 건 발생
- 스마트 관망관리 시스템 구축사업 및 노후 상수관망 정밀조사 / 개량사업을 진행하고 있으며, 향후 노후상수도 정비사업을 수립하고 계획함</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>연구성과 활용방안</td><td>
○ 연구 성과 지표 및 목표
- 한국수자원학회 및 대한토목학회 등 전국 규모의 학회지를 통해 본 연구 개발 성과를 학술 논문으로 게재
- 스마트 관망관리시스템 구축사업 및 노후 상수관 정비사업 등 현재 진행 중이거나 진행 예정인 청주시 상수도 계획 및 정책에 반영
- 개발 기술의 매뉴얼화를 통해 지자체에서 보다 적극적이고 효율적으로 운영관리 및 정책에 반영할 수 있도록 기여

<table>
<tr><th>성과 지표</th><th>단위</th><th>성과 목표
(정량적 기재)</th></tr>
<tr><td>국제학회 및 전국규모 학술지 논문게재</td><td>ea</td><td>1건</td></tr>
<tr><td>청주시 상수도계획 정책반영</td><td>ea</td><td>1건</td></tr>
<tr><td>개발기술의 매뉴얼화</td><td>ea</td><td>1건</td></tr>
</table>

○ 연구 성과 활용방안
- 청주시는 2025년부터 2029년까지 4년간 8개 지구에서 관 재질이 노후화되어 사용이 부적합한 상수관을 대상으로 노후 상수도관망 정비사업을 추진중에 있음. 본 연구를 통해 개발된 상수도의 최적 개량시기 결정기술을 청주시 상수도관망에 적용하여 실제 노후관 정비사업 진
</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td>
행 시 노후 상수도관을 보다 합리적으로 결정할 수 있음
- 본 연구를 통해 개발될 기술은 상수도관망의 매설 경과년도에 따른 상수도관의 노후정도를 고려하여 개량시기를 판단할 수 있기 때문에 향후 진행될 지자체의 상수도관망 운영 및 관리 사업의 핵심기술로 활용 가능
- 상수도관망의 최적 개량시기 판단 및 결정기술은 현재 청주시에서 진행중인 스마트 관망관리시스템 구축에 활용 가능함. 분석결과를 DB화하여 청주시 각 구역별 상수도관망의 개량시기 판단에 활용 가능하며, 더 나아가 합리적이고 효율적인 계획수립 및 유지관리에 적극 활용
<table>
<tr><th>활용 방안(계획)</th><th>활용기관</th><th>활용가능 기간</th></tr>
<tr><td>스마트 관망관리 시스템 구축사업
(2020년~2027년)</td><td>청주시</td><td>3년</td></tr>
<tr><td>노후 상수관망 정밀조사 및 개량사업
(2020년~2027년)</td><td>청주시 상수도
사업본부</td><td>3년</td></tr>
<tr><td>노후상수도 정비사업
(2025년~2029년)</td><td>청주시</td><td>4년</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td>연구수행시
기대효과</td>
<td>
○ 기대효과
- 보다 명확하고 신뢰도 높은 개량 및 교체시기 결정이 가능하고 현재 진행 중 이거나 향후 진행 예정인 수도 정비사업 및 스마트 관망 구축사업에 즉시 적용할 수 있음
- 더 나아가 상수도관망의 개량 및 교체시기 예측이 가능하기 때문에 상수도관망 자료의 DB화를 통해 정부 및 지차체의 상수도 관리정책 및 유지관리 업무에 기여할 수 있음
(예: 청주시는 다양한 상수도관망 정비사업을 시행 및 계획하고 있음. 스마트 관망관리 시스템 구축사업(2020년~2027년), 노후 상수관망 정밀조사 및 개량사업(2020년~2027년), 노후상수도 정비사업(2025년)~2029년))
- 정책적으로 추진하고 있는 유수율 제고사업의 노후관 교체사업을 수행함에 있어 상수관로의 최적교체시기를 합리적으로 결정하는 것은 누수율 저감과 유수율 상승으로 생산비용 감소와 지자체의 비용절감은 물론, 교체사업 수행에 있어 불필요한 굴착 및 단수, 교통통제 등으로 인한 자원낭비와 사회.경제적 손실도 감소시켜 사업자체의 효율성을 높일 것임

○ 파급효과
1. 환경적 파급효과
- 다양한 인자를 고려한 상수도관망의 피해도 예측 및 개량시기 결정기술은 노후관의 적절한 교체로 안정된 상수도 수량을 확보하고 최근
</td>
</tr>
</table>

	빈번히 발생하는 상수도 피해를 최소화하여 시민들의 상수도 불신을 감소시킬 수 있음 - 상수도관망에서 발생되는 누수량을 최소화하고 유수율을 증대시켜 정수장에서 생산되는 정수량을 줄일 수 있으므로 정수 생산에 사용되는 에너지 사용 최소화로 탄소발생 저감효과가 있음 - 고도화된 상수도관망의 피해도 예측 및 개량시기 결정기술은 청주시 수자원 전체의 안정성을 제고하고 시민들의 거주 환경 개선을 도모할 수 있음 - 상수도관망의 최적 개량시기 결정으로 향후 발생 가능성이 높은 대규모 물재해재난 방지를 통한 물복지 실현 가능 2. 사회적 파급효과 - 상수도관망의 매설 경과년도에 따른 피해도 예측을 통해 효과적인 수도정비계획의 수립이 가능하며 최적 개량시기 결정기술을 통해 지속가능한 유수율 제고방안 수립이 가능함 - 노후관으로부터 야기될 수 있는 유수율 감소 및 누수율 증가 문제를 사전에 파악하여 대비할 수 있고 청주시 시민의 물 안전을 저해하는 문제점을 사전에 예방하여 수도서비스의 향상을 이룰 수 있음 - 상수도관망의 재해를 조기에 파악할 수 있으며, 국가적 및 지자체별로 진행하고 있는 지방상수도 현대화사업, 노후 상수관로 정밀조사, 상수도 관망 기술진단 등의 사업의 기반기술로 적용 가능 - 정부 및 지자체의 상수도 개량 및 보수사업에 맞춰 발 빠르게 대처 가능하며, 노후관로의 DB를 구축하여 스마트 관망관리 시스템 구축에 기여 3. 경제적 파급효과 - 상수도관망의 정확한 상태파악이 가능하며, 최적 개량시기 결정 및 매설 경과년도 증가에 따른 피해도 예측을 통해 향후 지자체에서 진행될 상수도관망의 보수계획을 경제적이고 효율적으로 수립할 수 있으며 체계적인 상수도 정비 및 운영 가능 - 지반 속에 묻혀있는 상수도관의 노후상태 및 피해 정도를 굴착 없이 파악 가능하며 굴착작업으로 인해 발생가능한 교통혼잡 등의 문제를 해소하여 시간과 사업비를 절약할 수 있음 (예: 율량천 제방도로 확장공사 중 상수관로 파열로 인한 3개 지구 9개 동의 단수사태 발생(2024.06.11.), 봉명동 도로확장 공사 중 상수관로 파손으로 인한 탁수사고 발생(2024.06.02.), 내수읍 터파기 공사 중 상수관로 파손(2024.03))

<table>
<tr><td></td><td colspan="2">

청주시 상수도의 매설 경과년도에 따른

피해도 예측 및 최적 개량시기 결정기술 개발

1 환경적 효과

- 안전한 공급체계 구축을 통한 거주환경 개선
- 대규모 물재해 방지 및 불복지 실현
- 청주시 수자원 안정성 제고
- 유수율 재고로 인한 탄소저감

2 사회적 효과

- 청주시 상수도 관리 및 진단 사업의 기반기술로 활용
- 지속가능한 유수율 제고방안 수립 가능
- 스마트 관망관리 시스템 구축

3 경제적 효과

- 체계적인 상수도 정비/운영 으로 효율적인 예산활용
- 상수도 피해 저감으로 인한 예산 절감
- 수도분야 첨단기술 시장 개척 및 경쟁력 강화

</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주요 키워드
(3개 이상)</td><td>한글</td><td>상수도관망, 피해도, 개량</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Water pipe network. damage rate, renovation</td></tr>
</table>

연구개발사업계획(안) 제안서

<table>
<tr><td>제안과제명</td><td colspan="3">청주시 대기질 및 배출원 분석을 통한 미세먼지 발생원인 연구</td></tr>
<tr><td>연구 기간</td><td colspan="3">2025. 2. ~ 2025. 11.</td></tr>
<tr><td>예상 연구비</td><td colspan="3">20,000 천원(참여기업체명: ,부담금: 천원)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업 구분</td><td colspan="3">연구분야 및 세부연구분야(해당사항 1군데 ■표)</td></tr>
<tr><td>하폐수 처리</td><td>상수도 및 정수</td><td>수질관리</td></tr>
<tr><td rowspan="6">□환경정책연구
■조사연구
□현안기술개발연구
□산학연협력연구
(해당사항 1군데 ■표)</td><td>□물리화학적 처리
□생물학적 처리
□막처리 및 재이용
□하수처리 시스템
□질소 및 인 제거
□하폐수 처리 기타
□축산폐수 처리
□기타</td><td>□막분리
□정수처리 및 수질관리
□고도정수처리
□상수관망
□기타</td><td>□수질오염
□수질모델
□수질관리기타
□기타</td></tr>
<tr><td>자연환경분야</td><td>폐기물관리</td><td>대기관리</td></tr>
<tr><td>□환경정책 □생활환경
□건강위해성 □생태관리
□환경오염사고대비
□소음관리
□청정기술개발
□기타</td><td>□매립 및 침출수 처리
□슬러지 처리
□소각 및 열분해
□재활용 및 자원화
□음식물 쓰레기 처리
□폐기물 관리 기타</td><td>□대기오염측정 및 관리
□대기오염모델링,위해도
□대기오염 처리기술
□VOCs 및 악취 처리
■기타</td></tr>
<tr><td>토양지하수오염</td><td>기후변화대응분야</td><td>기타환경분야</td></tr>
<tr><td>□오염토양처리관리
□폐광토양오염지하수처리
□지하수 환경관리
□기타</td><td>□온실가스배출량산정
□온실가스배출량감축연구
□배출권거래 □기타</td><td>□기타</td></tr>
<tr><td>연구의 목적 및 필요성</td><td colspan="3">○ 연구의 배경 및 필요성
- 충북지역 미세먼지 농도는 다른 시도에 비하여 높은 값을 보임
- 충북지역에서 고농도 미세먼지의 원인으로 외부 유입과 내부 발생 간 논의만 무성할 뿐 각각을 입증할 만한 객관적인 데이터는 존재하지 않음
- 기존의 접근 방식은 대기오염모델링을 통한 발생 원인 파악에 의존하여 발생 원인 추적에 한계를 보임</td></tr>
</table>

	- 청주지역에만 9곳의 미세먼지 측정소가 있으나, 측정결과에 대한 상관관계를 분석하지 않았고, 이 중 1곳에 대해서만 미세먼지 성분 분석이 이루어지고 있어, 미세먼지 발생 원인 도출에 한계가 있음 ○ 연구의 목적 - 청주시 미세먼지 발생원인 규명 - 청주시 미세먼지 저감 방안 제시
주요 연구내용	○ 연구의 목표 - 청주시 미세먼지 이동 경로 이해 - 청주시 미세먼지 영향 인자 분석 - 배출원 분석을 통한 미세먼지 발생원인 연구 - 청주시 미세먼지 저감 방안 제시 ○ 연구의 추진 전략 및 방법 - 청주시와 영향권에 있는 시도 (대전, 세종, 충청남도, 경기도 등)의 대기질 결과 분석 통한 영향 및 인과 관계 조사 - 미세먼지 입경별 (TM, PM10, PM2.5) 성분 분석을 통한 미세먼지 이동 경로 도출 - 미세먼지 성분 분석 결과 및 대기질 분석 결과를 바탕으로 배출원 분석 실시 - 청주시 미세먼지 발생 원인 및 저감 방안 제시 ○ 주요 연구내용 (1) 대기질 측정 결과에 대한 통계적 분석 - 미세먼지 영향인자 및 상관관계 분석 - 청주시 대기질 측정소 결과에 대한 상관관계 분석 - 청주시 대기질에 영향을 줄 수 있는 외부 지역 선정 (대전, 세종, 충청남도: 천안, 아산, 당진; 경기도: 수원, 안성, 평택 등) - 청주시 외부 지역 대기질에 대한 상관관계 분석 - 충청북도 대기질 측정소 결과에 대한 상관관계 분석 (2) 미세먼지 이동 경로 도출 - 청주시 대기질 측정소에서 여지를 이용한 미세먼지 입경별 채취 - 미세먼지 입경별 (TM, PM10, PM2.5) 성분 분석 - 미세먼지 상관관계 분석을 통한 이동 경로 도출

<table>
<tr><td></td><td>(3) 미세먼지 배출원 분석
- 미세먼지 성분 분석 결과 및 대기질 분석 결과를 바탕으로 배출원 분석 실시
- 청주시 미세먼지에 영향을 미치는 주요 배출원 도출

(4) 청주시 미세먼지 발생 원인 및 저감 방안 제시
- 청주시 미세먼지의 외부 유입과 내부 발생 비중 판별
- 청주시 미세먼지 발생 원인 파악을 통한 저감 방안 제시</td></tr>
<tr><td>주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황</td><td>○ 국내외 선행연구 동향 기술
<table><tr><td>정부정책</td><td>미세먼지 관리 종합계획</td></tr><tr><td>지자체 정책</td><td>청주시 미세먼지 관리 시행계획</td></tr><tr><td>지역현안</td><td>청주시 대기질 개선 방안
청주시 미세먼지 저감 방안</td></tr></table>- 미세먼지 연구 초기에는 대기오염모델링을 통하여 전구물질의 영향을 예측하고, 장기적인 오염도를 파악하는 연구에 집중되어 있었음
- 그러나 최근에는 미세먼지 측정결과와 성분분석 결과를 분석하여 배출원을 추적 조사하는 연구를 진행하고 있음</td></tr>
<tr><td>연구성과 활용방안</td><td>○ 연구 성과 지표 및 목표
<table><tr><td>성과 지표</td><td>단위</td><td>성과 목표
(정량적 기재)</td></tr><tr><td>논문</td><td>건</td><td>2</td></tr><tr><td>정책 제안 및 활용</td><td>건</td><td>1</td></tr></table>- 한국대기환경학회지 논문 게재 1건
- SCIE급 논문 게재 1건
- 청주시 미세먼지 관리 대책에 활용
- 충청북도 미세먼지 관리 대책에 활용</td></tr>
<tr><td>연구수행시 기대효과</td><td>○ 기대효과
- 청주시 미세먼지에 영향을 미치는 주요 배출원 도출
- 청주시 고농도 미세먼지 원인 규명
- 충청북도 및 청주시 미세먼지 관리 대책에 활용</td></tr>
</table>

	○ 파급효과 - 미세먼지 저감을 위한 연구방향 제시 - 청주시 미세먼지 저감	
주요 키워드 (3개 이상)	한글	청주, 대기질, 미세먼지
	영문	Cheongju, Air quality, Fine particulate matter

연구개발사업계획(안) 제안서

<table>
<tr><td>제안과제명</td><td colspan="3">대청호 취수지역 녹조 및 조류독소 발생 현황 조사</td></tr>
<tr><td>연구 기간</td><td colspan="3">2025. 2. ~ 2025. 11.</td></tr>
<tr><td>예상 연구비</td><td colspan="3">30,000 천원(참여기업체명: ,부담금: 천원)
※ 산학협력연구개발사업 과제는 참여기업체명 및 기업체 부담금(현금, 현물)을 기재 바람</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업 구분</td><td colspan="3">연구분야 및 세부연구분야(해당사항 1군데 ■표)</td></tr>
<tr><td>하폐수 처리</td><td>상수도 및 정수</td><td>수질관리</td></tr>
<tr><td rowspan="6">□환경정책연구
■조사연구
□현안기술개발연구
□산학연협력연구
(해당사항 1군데 ■표)</td><td>□물리화학적 처리
□생물학적 처리
□막처리 및 재이용
□하수처리 시스템
□질소 및 인 제거
□하폐수 처리 기타
□축산폐수 처리
□기타</td><td>□막분리
□정수처리 및 수질관리
□고도정수처리
□상수관망
□기타</td><td>■수질오염
□수질모델
□수질관리기타
□기타</td></tr>
<tr><td>자연환경분야</td><td>폐기물관리</td><td>대기관리</td></tr>
<tr><td>□환경정책 □생활환경
□건강위해성 □생태관리
□환경오염사고대비
□소음관리
□청정기술개발
□기타</td><td>□매립 및 침출수 처리
□슬러지 처리
□소각 및 열분해
□재활용 및 자원화
□음식물 쓰레기 처리
□폐기물 관리 기타</td><td>□대기오염측정 및 관리
□대기오염모델링,위해도
□대기오염 처리기술
□VOCs 및 악취 처리
□기타</td></tr>
<tr><td>토양지하수오염</td><td>기후변화대응분야</td><td>기타환경분야</td></tr>
<tr><td>□오염토양처리관리
□폐광토양오염지하수처리
□지하수 환경관리
□기타</td><td>□온실가스배출량산정
□온실가스배출량감축연구
□배출권거래 □기타</td><td>□기타</td></tr>
<tr><td>연구의 목적 및 필요성</td><td colspan="3">○ 연구의 배경 및 필요성
- 최근 낙동강을 원수로 하는 정수장에서 조류독소가 검출되었다는 시민단체의 발표로 인해 먹는물 안전성에 대한 국민적 우려가 고조되고 있는 실정임.
- 대청호의 취수지역인 문의와 추동수역에서는 해마다 반복적으로 녹조가 발생하고 있으며, 녹조의 주요 원인종은 Microcystis 속 남조류로 이들은 대표적인 조류독소인 마이크로시스틴을 생산하는 것으로 알려져 있음. 또한 일부 연구에 따르면 대청호 회남수역에서 조류독소 중 가장 강한</td></tr>
</table>

	독성을 지닌 삭시톡신이 검출되기도 하였음. - 마이크로시스틴은 총 279종이 있으며 각각의 독성 정도가 다른 것으로 알려져 있음. 시민단체의 연구결과에 따르면 정수장에서 모니터링하고 있는 마이크로시스틴 이외에 다른 종류의 마이크로시스틴이 정수에서 검출된다고 주장하고 있으나, 현재 국내의 상수원수에 존재하는 마이크로시스틴의 종류에 대한 선행 연구가 전무하여 이에 대한 대응 논리 개발이 어려운 실정임. - 최근의 조류독소 관련 이슈로 인해 환경부의 "먹는물수질감시항목 운영 등에 관한 고시"에서 기존의 4종의 마이크로시스틴에서 6종의 마이크로시스틴에 대한 모니터링을 하는 것으로 개정되었으나, 이들의 종류별 분포 및 6종 이외의 마이크로시스틴의 존재에 대한 모니터링이 요구되며, 이에 대한 선제적 대응전략의 수립이 필요함. ○ 연구의 목적 - 대청호 상수원에서 조류독소의 종류 및 농도 변화 모니터링 - 대청호 상수원에서 조류독소 생산 유전자의 분포 및 독소 생산 잠재력 분석
주요 연구내용	○ 연구의 목표 - 조류독소 유전자 분석을 위한 분자생물학적 지표 제안 : 4쌍 - 대청호 상수원 지역 조류독소 종류별 분포 자료 : 100건 이상 - 대청호 상수원 조류독소 분포에 따른 먹는물 수질 관리 전략 : 1건 ○ 연구의 추진 전략 및 방법 - 다수의 녹조 관련 연구 수행 경력이 있는 연구원이 과제를 수행함으로써 신뢰성 있는 자료의 확보 - 조류독소 유전자 및 독소량을 분석할 수 있는 고가의 분석 기기를 기 확보함으로써 분석 신뢰성 제고 및 분석 비용 절감 가능 - 대청호의 수면관리자인 한국수자원공사와 다양한 분야 연구의 협업을 진행하고 있으므로, 이를 활용하여 상수원수 시료의 확보가 용이 ○ 주요 연구내용 ▷ 대청호 상수원에서 조류독소의 종류 및 농도 변화 모니터링 - 대청호 조류경보제 지점에서 물리・화학・생물학적(조류) 요인 변화 모니터링 - 대청호 조류경보제 지점인 추동, 문의, 회남 수역에서 조류독소의 종류 및 농도 분석(계절별, 수심별) - 유해남조류, 조류독소의 발생에 영향을 미치는 환경요인 분석 ▷ 대청호 상수원에서 조류독소 생산 유전자의 분포 및 독소 생산 잠재력 분석

<table>
<tr><td></td><td>- 분자생물학적 기법을 이용한 조류독소 생산 유전자의 종류별 분포 분석(대상 독소: 마이크로시스틴, 아나톡신, 삭시톡신, 실린드로스퍼몹신)
- 조류독소 발생 원인종의 독소생산 잠재력 분석
- 세균군집구조 분석(차세대염기서열 분석법(NGS) 이용) 결과를 활용하여 녹조 원인종과 세균 군집의 상호 연관성 규명</td></tr>
<tr><td>주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황</td><td>○ 국내외 선행연구 동향 기술
<table><tr><td>정부정책</td><td>녹조 저감을 위한 오염원 관리와 녹조 제거 고도화 사업</td></tr><tr><td>지자체 정책</td><td>녹조 저감을 위한 오염원 관리
조류제거선, 녹조퇴치밭 등 녹조 저감 시설 확충</td></tr><tr><td>지역현안</td><td>조류독소 위해 관리를 위한 정수처리시설 고도화
시민단체의 조류독소로 인한 건강상 피해 우려 제기</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>연구성과 활용방안</td><td>○ 연구 성과 지표 및 목표
<table><tr><th>성과 지표</th><th>단위</th><th>성과 목표
(정량적 기재)</th></tr><tr><td>학술논문</td><td>건</td><td>2</td></tr><tr><td>특허 출원</td><td>건</td><td>1</td></tr><tr><td>학술대회 발표</td><td>건</td><td>3</td></tr><tr><td>정책 제안</td><td>건</td><td>1</td></tr></table>
학술논문
- 대청호 상수원에서 조류독소의 종류별 분포 현황
- 조류독소별 특이 유전자 검출을 위한 분자생물학적 지표의 개발

특허 출원
- 국내 상수원에서 발견되는 조류독소 유전자 증폭을 위한 분자생물학적 지표

학술대회 발표
- 대청호 상수원에서 조류독소의 종류별 분포 현황
- 조류독소별 특이 유전자 검출을 위한 분자생물학적 지표의 개발
- 대청호 상수원에서 조류독소 생산 유전자의 분포 및 독소 생산 잠재력 분석

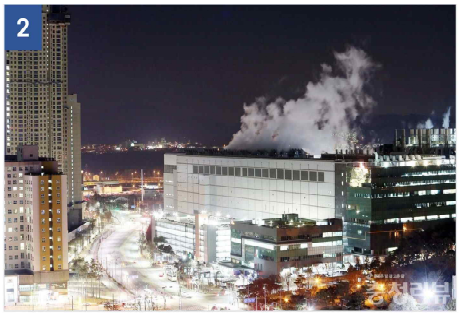
정책 제안
- 대청호 상수원에서 조류독소 종류별 발생 특성 분석을 통한 정수고도처리시설의 운영 매뉴얼 제안</td></tr>
<tr><td>연구수행시 기대효과</td><td>○ 기대효과
- 대청호 상수원수에서 조류독소 분포 모니터링을 통하여 조류독소 생산</td></tr>
</table>

	잠재성을 평가하고 이를 먹는물 위해성 검토에 활용 - 대청호의 녹조 관리를 통한 주민 불편 및 수질 민원 해소를 위한 정책 및 대책 수립에 활용 ○ 파급효과 ▷ **환경적 측면** - 환경시료에서 남조류 독소에 대한 표준 측정법이 개발 - 국내 수계에서 독성 남조류의 분포 및 조류독소 농도 분석을 통하여 조류대발생에 의한 상수원수의 오염 여부를 예측함으로써 상수원의 수질 관리 및 수돗물의 품질 향상에 기여 - 국내 상수원수에서 조류독소에 대한 합리적 규제 농도를 설정함으로써, 상수원의 수질 관리 및 수돗물의 품질 향상에 기여 ▷ **경제적·산업적 측면** - 조류독소생산 유해조류의 모니터링을 통하여 이의 대발생을 예측함으로써 이로 인한 산업/경제적 피해 최소화 - 조류독소에 의한 상수원수의 수질 저하 정도를 예측함으로써, 만족도 높은 물을 만들기 위한 상수원수 관리 시스템 개선 및 고도 정수 처리 시스템의 설치와 규모를 결정하는데 중요한 자료로 활용 - 본 연구의 결과는 보다 효율적인 수질관리에 활용될 수 있으며, 만족도 높은 물을 확보하는데 기여	
주요 키워드 (3개 이상)	한글	대청호, 조류독소, 상수원, 녹조
	영문	Daechung Reservoir, Cyanotoxin, Tapwater Source, Cyanobacterial Bloom

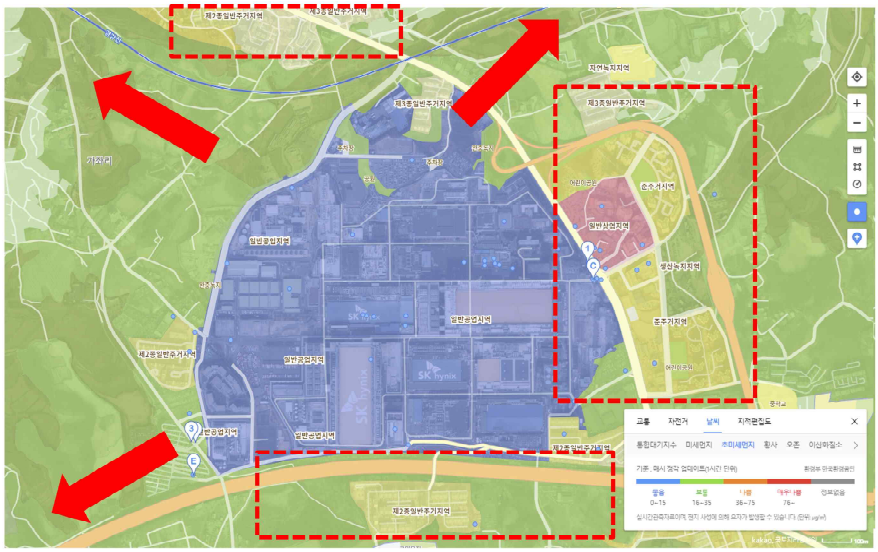
연구개발사업계획(안) 제안서

<table>
<tr><td>제안과제명</td><td colspan="3">청주 수증기발생지역 민원 감소를 위한 대기 3D 전산수치해석 및 예측 AI 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>연구 기간</td><td colspan="3">2025. 2. ~ 2025. 11.</td></tr>
<tr><td>예상 연구비</td><td colspan="3">총 56,500천원 (센터 지원금 : 30,000천원, 참여기업 26,500천원)</td></tr>
<tr><td rowspan="8">연구사업 구분

□환경정책연구
□조사연구
□현안기술개발연구
■산학연협력연구
(해당사항 1군데 ■표)</td><td colspan="3">연구분야 및 세부연구분야(해당사항 1군데 ■표)</td></tr>
<tr><td>하폐수 처리</td><td>상수도 및 정수</td><td>수질관리</td></tr>
<tr><td>□물리화학적 처리
□생물학적 처리
□막처리 및 재이용
□하수처리 시스템
□질소 및 인 제거
□하폐수 처리 기타
□축산폐수 처리
□기타</td><td>□막분리
□정수처리 및 수질관리
□고도정수처리
□상수관망
□기타</td><td>□수질오염
□수질모델
□수질관리기타
□기타</td></tr>
<tr><td>자연환경분야</td><td>폐기물관리</td><td>대기관리</td></tr>
<tr><td>□환경정책 □생활환경
□건강위해성 □생태관리
□환경오염사고대비
□소음관리
□청정기술개발
□기타</td><td>□매립 및 침출수 처리
□슬러지 처리
□소각 및 열분해
□재활용 및 자원화
□음식물 쓰레기 처리
□폐기물 관리 기타</td><td>□대기오염측정 및 관리
■대기오염모델링,위해도
□대기오염 처리기술
□VOCs 및 악취 처리
□기타</td></tr>
<tr><td>토양지하수오염</td><td>기후변화대응분야</td><td>기타환경분야</td></tr>
<tr><td>□오염토양처리관리
□폐광토양오염지하수처리
□지하수 환경관리
□기타</td><td>□온실가스배출량산정
□온실가스배출량감축연구
□배출권거래 □기타</td><td>□기타</td></tr>
<tr><td>연구의 목적 및 필요성</td><td colspan="3">○ 연구의 배경 및 필요성
- SK하이닉스 청주공장의 냉각탑에서 발생하는 수증기는 겨울철 기온 저하로 인해 백연 현상(白煙低減, white plume phenomenon)을 일으켜, 지역 주민들에게 매연이라는 오해와 함께 건강 및 환경에 대한 우려를 야기하고 있음
- 이는 지역 사회의 불안감을 증폭시키고 기업 이미지 실추 및 사회적 갈등을 심화시키는 원인이 되고 있음
- 현재 **사 수증기 발생 지역임을 알리는 표지판을 설치하는 등의 노</td></tr>
</table>

	력을 기울이고 있으나, 이는 근본적인 해결책이 되지 못하며, 과학적 데이터에 기반한 설득력 있는 정보 제공 및 신뢰 회복을 위한 방안 마련이 시급 청주시 수증기발생지역 민원발생지역  ○ 연구의 목적 - 본 연구는 3D 전산 수치 해석 및 AI 예측 시스템 개발을 통해 청주 공장의 냉각수 수증기지역에서 발생되는 오해문제를 해결하고 주민들의 민원을 감소시키는 것을 목표로 함. - 3D 전산 수치 해석을 활용하여 대기의 흐름이 있을 때, 냉각수 수증기의 발생량, 이동 경로, 확산 범위 등을 예측하고, AI 예측 시스템과 결합하여 냉각수 수증기가 주거지역으로 이동하는 것을 최소화할 수 있는 운영 방안을 제시하려고 함 - 이를 통해 지역 주민들의 불안감을 해소하고, 기업과 지역 사회의 지속 가능한 공존을 위한 효과적인 해결 방안을 제공하고자함.
주요 연구내용	○ 연구의 목표 - 3D 전산 수치 해석 및 AI 예측 시스템을 적용하여 청주 공장의 냉각수 수증기가 주거지역에 최소한으로 이동하게 하려고 함. - 냉각수 수증기 주변 주민 의견조사와 냉각수 수증기 관련 민원에 대한 조사를 실시하여 심리적 물리적 원인과 대응을 찾으려고 함. ○ 연구의 추진 전략 및 방법 - 3D 전산 수치 해석 기법을 활용하여 냉각수 수증기의 발생량, 이동 경로, 확산 범위 등을 예측하는 모델 개발 - AI 예측 시스템과 결합하여 냉각수 수증기 발생을 최소화할 수 있는 운영 방안 제시

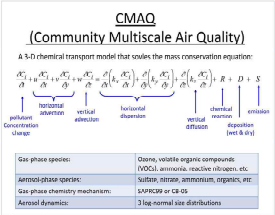
청주시 수증기발생지역 내 고려할 수 있는 비거주지역 풍향



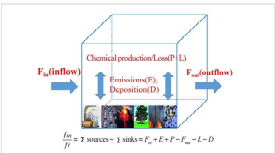
- 압축성 대기에 대해서 적용 가능한 난류 모멘텀에 적용하는 RANS 및 k-ε 모델 적용
- AI를 통한 바람 방향 예측 및 주거 지역 외 방향으로 수증기 배출 유도
- 예측된 대기 방향과 성분 변화에 대한 의사 결정 지원 시스템 구축

○ 주요 연구내용

- 대기질 모델: 미국 EPA의 CMAQ (Community Multiscale Air Quality) 모델, 대한민국 국립환경과학원의 박스 모델 KAB (Korean Air Quality), 하버드대학교의 GEOS-Chem (Goddard Earth Observing System - Chemistry), 압축성기체 난류모델의 RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) 모델 비교 분석
- 기존 모델의 한계점 극복: 국내 대기 특징 미반영, 전국 단위 적용 한계, KAB모델 경우 최소 격자가 30km x 30km인 관계로 국지적 제한과 공장, 빌딩 및 아파트와 3차원구조에서 영향을 줄 수 있는 인자에 대해서 반영하기가 제한이 있음
- 3D 전산 수치 해석 및 AI 예측 시스템 개발: 냉각수 수증기가 주거지역으로 이동하는 것을 최소화할 수 있는 운영 방안을 제시
- 주민 의견 수렴 및 정보 제공: 투명한 정보 공개를 통한 불안감 해소

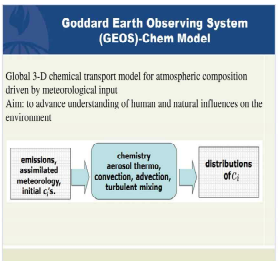
<table>
<tr>
<td></td>
<td>


CMAQ (Community Multiscale Air Quality)	미국 환경 보호청 (EPA)
다중 스케일	도시에서 대륙 스케일까지 다양한 규모의 대기질 시뮬레이션 가능
모듈식 구조	사용자 필요에 따라 물리, 화학, 배출 프로세스를 선택적으로 적용 가능
광범위한 검증	북미 지역을 중심으로 다양한 지역에서 검증되어 신뢰성 높음
오픈 소스	무료로 사용 가능하며 활발한 사용자 커뮤니티를 통해 지속적인 업데이트 제공



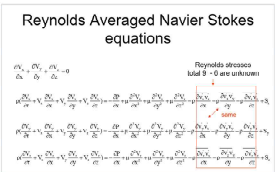
<박스모델 개념도>

KAB (Korean Air Quality)	국립환경과학원 (NIER)
한국 지형 최적화	한반도 지형 및 기상 조건을 고려하여 개발되어 국내 대기질 예측에 특화
한국 배출량 반영	국내 배출량 자료를 기반으로 하여 정확도 높은 국내 대기질 시뮬레이션 가능
예측 정확도	국내 대기질 예측에 높은 정확도를 보이며 예보 시스템에 활용



GEOS-Chem (Goddard Earth Observing System - Chemistry)	하버드 대학교
전 지구 규모	전 지구 대기 화학 및 기후 변화 연구에 적합
다양한 화학 메커니즘	다양한 화학 반응 메커니즘을 포함하여 복잡한 대기 화학 과정 시뮬레이션 가능
위성 자료 활용	위성 관측 자료를 통화하여 모델 정확도 향상
오픈 소스	무료로 사용 가능하며 활발한 연구 커뮤니티를 통해 지속적인 개발 진행

KPP-built mechanisms (carbon, fullchem, Hg)을 기본으로 하고 있음



RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes)	다양한 기관 및 연구자
계산 효율	난류 유동을 평균화하여 계산량을 줄이고 효율적인 시뮬레이션 가능
다양한 분야 응용	대기 과학, 해양학, 기계 공학 등 다양한 분야에서 난류 유동 해석에 활용
높은 정확도	난류 유동의 평균적인 특성을 정확하게 예측
</td>
</tr>
<tr>
<td>주요 연구내용에 대한 국내외 기술현황</td>
<td>
○ 국내외 선행연구 동향 기술

- 대기 오염 시뮬레이션 모델: EPA CMAQ 모델, 한국형 박스 모델 등 대기 오염 예측 모델 개발 및 활용 연구가 활발하게 이루어지고 있음
- 냉각탑 백연 저감 기술 동향: 냉각수 가열식, 냉각수 바이패스식, 외기 습구 온도 상승 방법 등 다양한 백연 저감 기술 연구가 진행 중임.
- AI 기반 예측 시스템: AI 기술을 활용하여 환경 문제 예측 및 해결 방안 제시 연구가 증가하고 있음.

<table>
<tr><td>정부정책</td><td>- 미세먼지 저감 정책 : 정부는 미세먼지 문제 해결을 위해 배출원 감축, 예보 정확도 향상, 국제 협력 등 다양한 정책을 추진하고 있음
- 대기 환경 관리 정책 : 대기 환경 개선을 위한 법적 규제 강화, 기술 개발 지원, 환경 교육 등을 지속적으로 추진하고 있음.</td></tr>
<tr><td>지자체 정책</td><td>- 지역 대기 환경 개선: 지자체는 지역 특성에 맞는 대기 환경 개선 정책을 수립하고 시행하고 있음
- 주민 참여: 주민 참여를 통한 환경 문제 해결 노력이 강조되고 있음</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><td>지역현안</td><td>- **사 냉각수 수증기 : 냉각수 수증기로 인한 주민 불안감 해소 및 민원 감소가 시급한 지역 현안임
- 대기 오염 : 산업 단지, 교통량 증가 등으로 인한 대기 오염 문제가 지속적으로 제기되고 있음</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>연구성과 활용방안</td><td>
○ 연구 성과 지표 및 목표
<table>
<tr><th>성과 지표</th><th>단위</th><th>성과 목표
(정량적 기재)</th></tr>
<tr><td>특허 출원</td><td>건</td><td>1건 이상</td></tr>
<tr><td>논문 게재</td><td>건</td><td>1건 이상(국내학술지)</td></tr>
<tr><td>수증기발생지역 3D 전산 수치 해석</td><td>건</td><td>1건 이상</td></tr>
<tr><td>AI 예측모델 정확도</td><td>%</td><td>85</td></tr>
<tr><td>기존 민원 원인분석</td><td>건</td><td>30 이상</td></tr>
<tr><td>주민의견 조사</td><td>건</td><td>30 이상</td></tr>
</table>
- 활용 주체 : 청주시청 환경 관리 부서, **사, 지역 주민 등
- 활용 대상 지역 : **사 청주 공장 인근 지역
- 활용 계획 :
**사 공장 운영 지침 반영 및 개선
냉각수 수증기 관련 데이터베이스 구축 및 공개
주민 대상 교육 자료 및 매뉴얼 작성 및 공고
냉각수 수증기 예측 및 관리 기술 사업화 방안 모색
</td></tr>
<tr><td>연구수행시
기대효과</td><td>
○ 기대 효과
- 환경 개선 : 냉각수 수증기가 주거지역으로 이동하는 것을 최소화를 통한 대기 환경 개선
- 민원 감소 : 주민 불안감 해소 및 민원 발생 빈도 감소
- 지역 사회 : 긍정적 이미지 제고 및 지역 경제 활성화
- 과학적 환경 관리 : 3D 전산 수치 해석 및 AI 예측 시스템 기반 과학적 환경 관리 시스템 구축

○ 파급 효과
- 사회적 : 기업과 지역 사회의 갈등 해결 및 상생 모델 구축
- 경제적 : 냉각수 수증기 저감 기술 사업화를 통한 경제적 이익 창출
- 환경적 : 냉각수 수증기 발생량 감소를 통한 환경 보호
- 기술적 : 3D 전산 수치 해석 및 AI 예측 시스템 기술 고도화
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주요 키워드
(3개 이상)</td><td>한글</td><td>냉각수 수증기, 백연 현상, 3D 전산 수치 해석, AI 예측 시스템, 민원 감소, 대기질</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Cooling tower plume, White plume phenomenon, 3D numerical analysis, AI prediction system, Air Quality</td></tr>
</table>