

최종보고서

과제번호 : 23-01-01-02-14

수 질

서울시 기후변화 적응을 위한  
상수도 productivity 영향인자의 종합적 분석

2024. 1. 17.

오희경



환경부지정  
서울녹색환경지원센터  
Seoul Green Environment Center

## 제 출 문

서울녹색환경지원센터장 귀하

본 보고서를 “서울시 기후변화 적응을 위한 상수도 productivity 영향인자의 종합적 분석”에 관한 연구보고서로 제출합니다.

연구기관명 : 서울시립대학교 산학협력단

연구책임자 : 오희경 교수 (도시과학대학 환경공학부)

연구원 : 최현우 (일반대학원 환경공학과)

이서준 (도시과학대학 환경공학부)

최재영 (도시과학대학 환경공학부)

최현수 (도시과학대학 환경공학부)

# 요 약 문

## I. 연구개발 개요

### [ 연구배경 및 필요성 ]

- 기후변화는 상수도시스템에서 수량, 수질 관리에 광범위한 영향을 주고 있음
- 기후변화의 영향 속도와 깊이가 증가하고 있고 예측이 어려움
- 기후변화가 상수도에 미치는 영향은 성능, 유지보수, 시설관리 근로자의 안전, 안정적인 서비스로 구분될 수 있으며, 지역마다 영향력이 다름
- 기후변화 관련 상수도 관련 데이터를 DB화하고 분석 및 진단을 통한 대책 마련과 잠재적 위험요소의 선제적 대응이 요구됨

### [ 연구개발 목적 및 내용 ]

- 상수도 생산성에 미치는 외적 기후변화 요인의 정성적·정량적 영향 분석
- 정수처리 단위 공정별 기후변화가 영향 미치는 설계 및 운영인자 검토
- 정수장 개량개선 사례 분석하여 기후대응을 위한 중장기적 운영방안 검토

### [ 연구개발 최종 목표 ]

- 기후 적응 능력 향상을 위한 설계와 운영기술 체계화에 기여
- 상수도시설에 대한 기후변화 적응 매뉴얼 및 가이드라인 구축 기반 마련

## II. 연구개발 추진전략 및 방법

- 뉴스 빅데이터 분석 통한 기후변화와 상수도 관련 이슈 수집 및 연관성 분석
- 관련 문헌 연구 통한 외적 기후변화 요인의 정성적 영향 분석
- 운영사례 보고서 분석을 통한 설계인자 변동 특성 분석
- 기후영향인자 분석 및 약품 투입, 공정운영 등 운영단계별 변동 인자 특성 분석
- 상수도 관련 기관 자문 통한 운영 개선 사례조사 및 기후변화 적응 연관성 검토

## III. 연구개발 결과

- 상수도의 외적 기후변화 요인 사례조사
  - 상수도의 외적 기후변화 요인에 대한 관련 뉴스, 특허, 논문조사 및 분석

- 상수도시설과 기후변화 관련 키워드 검색 및 분석한 결과 뉴스, 특허, 논문 빈도수가 2009년을 기준으로 급증함
- 기후변화가 상수도에 미치는 외적 요인의 정성적·정량적 영향 분석
  - 상수도시설 기후영향요소(폭염, 한파, 가뭄, 호우, 폭설, 강풍) 이슈 빈도분석
  - 가뭄이 전 지역, 전 기반시설에서 최대 빈도, 한파와 폭염이 2,3 순위의 빈도
  - 광역시별 기후 영향 요소 비교 분석 결과 가뭄이 가장 높은 비율을 차지함
- 정수처리 단위공정별 기후변화가 영향을 미치는 설계인자 검토
  - 수도정비기본계획 수립지침(환경부), 서울특별시 상수도사업본부 기후변화 적응 대책 분석
  - 이상 기후 현상(호우, 한파, 가뭄, 폭염, 폭설 등)에 따른 설계인자 영향 정리
  - 폭염 및 가뭄, 한파 및 폭설, 호우 등의 이상기후에 따른 별 상수도시설 적응 대책과 상수도시설 대상별 이상기후 영향 종합 분석
- 정수처리 단위공정별 기후변화가 영향을 미치는 운영인자 검토
  - 이상기후 현상(가뭄, 폭염, 호우, 한파 및 폭설)에 따른 운영인자 영향 정리
  - 운영인자 변동 분석을 위한 상수도시설 전문가 및 실무자 설문조사 실시
  - 운영인자 제어에 따른 기후변화 대응 운영 방안

#### IV. 연구개발 활용성

##### [ 기대성과 ]

- 기후대응 상수도 전문역량 강화 및 에너지 관리 기술 확보 기여
- 미래 세대 물 기본권 보장과 지속가능 물자원 확보 기여
- 관련 법제도 기반 구체화와 상호협력방안 구축 기여

##### [ 활용방안 ]

- 상수도 시설 운영매뉴얼 및 진단 가이드라인 등 기후변화 대응 위한 운영 자료 개선 및 구축 기반에 활용
- 기후변화 적응 상수도 운영 매뉴얼 초석마련 및 기후대응 기술 창출 기반 활용
- 설계 및 운전 DB구축 및 관련 교육자료 활용

# 목 차

<b>제1장 연구개발 개요</b> .....	<b>1</b>
1.1 연구개발 필요성 .....	3
1.1.1 기후변화 대응 상수도 정책 동향 .....	3
1.1.2 기후변화 대응 상수도 기술 동향 .....	5
1.2 연구개발 목적 및 내용 .....	6
1.2.1 연구개발 목적 .....	6
1.2.2 연구개발 최종 목표 .....	7
<b>제2장 연구개발 추진전략 및 방법</b> .....	<b>9</b>
2.1 연구개발 추진전략 및 세부 내용 .....	11
2.1.1 연구 내용 및 추진전략 .....	11
2.1.2 연구 추진 세부 내용 .....	11
2.1.3 연구 추진 달성도 및 성과 .....	12
2.2 연구개발 추진체계 .....	13
2.3 연구개발 내용 평가 착안점 및 척도 .....	14
<b>제3장 연구개발 결과</b> .....	<b>15</b>
3.1 상수도의 외적 기후변화 요인 사례조사 .....	17
3.1.1 뉴스 빅데이터를 통한 상수도 기반시설의 기후변화 이슈화 시점 분석 ..	17
3.1.2 상수도와 기후변화 관련 특허 출원 빈도 분석 .....	19
3.1.3 상수도와 기후변화 관련 국내 논문 발행 빈도 분석 .....	20
3.1.4 연구개발 사업 공익성 .....	21
3.2 기후변화가 상수도에 미치는 외적 요인의 정성적·정량적 영향 분석 ..	22
3.2.1 광역시별 기후영향요소와 상수도 기반시설의 뉴스 빅데이터 분석 ..	22
3.3 정수처리 단위공정별 기후변화가 영향을 미치는 설계인자 검토 ..	30

3.3.1	수도정비기본계획 수립지침(2018. 환경부)	30
3.3.2	서울특별시 상수도사업본부 기후변화 적응대책(2020 ~2024)	32
3.3.3	상수도시설 대상별 이상기후 영향 분석 종합	35
3.4	정수처리 단위공정별 기후변화가 영향을 미치는 운영인자 검토	37
3.4.1	가뭄에 따른 운영인자 변화	37
3.4.2	폭염에 따른 운영인자 변화	37
3.4.3	호우에 따른 운영인자 변화	38
3.4.4	한파에 따른 운영인자 변화	39
3.5	설문조사 결과 분석	41
3.5.1	상수도 시설에 대한 기후변화 영향	41
3.5.2	기후변화 취약 상수도 시설 순위	43
3.5.3	기후변화로 인한 취수원 수질 / 정수장 유입 수질의 변화	44
3.5.4	기후로 인한 정수장 생산 계통 영향 분석	49
3.5.5	기후로 인한 정수장 공급 계통 영향 분석	53
3.6	사례를 통한 기후변화와 정수장 운영 인자의 상관 분석	59
3.6.1	기후변화 인자와 운영 인자의 Pearson 상관계수 도출	59
3.6.2	기후변화 인자의 수질 및 정수장 운영 인자에 대한 영향 정도	63
3.6.3	기후변화에 영향을 받는 주요 인자 상관성 분석	66
3.6.4	기후 인자와 정수정 운영인자 간 상관관계	78
3.6.5	강우에 따른 고탁도 유지 기간	80

**제4장 결론 ..... 85**

4.1	사례조사 분석	87
4.2	기후, 취수원 수질 및 정수장 운영 인자의 정성적·정량적 분석	87
4.3	추후 연구 방향성 제안	88

<b>제5장 연구개발 활용성 .....</b>	<b>89</b>
5.1 기대성과 .....	91
5.2 활용방안 .....	92
5.2.1 정책적·사회적 활용방안 .....	92
5.2.2 기술적·교육적 활용방안 .....	92
5.2.3 교육 프로그램(안) .....	93
 <b>부록 .....</b>	 <b>99</b>
 <b>참고문헌 .....</b>	 <b>121</b>

## 표 목 차

<표 1> 연구개발 목표 및 내용 .....	8
<표 2> 연구 목표별 연구 내용 및 계획 .....	11
<표 3> 연구개발 내용과 평가의 착안점 .....	14
<표 4> 기술 분야별 상수도*기후변화 국내 특허 출원 건수 .....	20
<표 5> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (전국) .....	23
<표 6> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (서울특별시) .....	24
<표 7> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (대전광역시) .....	25
<표 8> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (광주광역시) .....	26
<표 9> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (부산광역시) .....	27
<표 10> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (인천광역시) .....	28
<표 11> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (대구광역시) .....	29
<표 12> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (울산광역시) .....	30
<표 13> 수도정비기본계획 수립지침 주요 내용 .....	31
<표 14> 폭염 및 가뭄 대비 서울 상수도시설의 적응 대책 .....	33
<표 15> 한파 및 폭설 대비 서울 상수도시설의 적응 대책 .....	34
<표 16> 호우 대비 서울 상수도시설의 적응 대책 .....	35
<표 17> 상수도시설 대상별 이상기후 영향 .....	36
<표 18> 정수처리 시설의 기후변화 요인별 고려 내용 .....	40
<표 19> 한파 및 폭설에 따른 상수도관과 수용가 변화 .....	40
<표 20> 설문조사 분석 내용 항목별 점수 구성 .....	41
<표 21> 상수도시설 운영 인자, 항목별 운영관리 세부 인자 .....	42
<표 22> 가뭄으로 인한 수질 인자 영향 점수 .....	44
<표 23> 폭염으로 인한 수질 인자 영향 점수 .....	45
<표 24> 한파, 폭설로 인한 수질 인자 영향 점수 .....	45
<표 25> 태풍, 호우로 인한 수질 인자 영향 점수 .....	46
<표 26> 기후 요인으로 인한 변화가 큰 수질 인자 .....	47
<표 27> 태풍, 호우로 인한 수질 인자 영향 점수 .....	48
<표 28> 가뭄에 의한 생산 계통 인자 영향 점수 .....	49
<표 29> 폭염에 의한 생산 계통 인자 영향 점수 .....	50

<표 30> 한파, 폭설에 의한 생산 계통 인자 영향 점수.....	51
<표 31> 한파, 폭설에 의한 생산 계통 인자 영향 점수.....	52
<표 32> 가뭄에 의한 공급 계통 인자 영향 점수.....	53
<표 33> 폭염에 의한 공급 계통 인자 영향 점수.....	54
<표 34> 한파, 폭설에 의한 공급 계통 인자 영향 점수.....	55
<표 35> 태풍, 호우에 의한 공급 계통 인자 영향 점수.....	56
<표 36> 기후로 인한 상수도 인자 영향 점수의 평균.....	57
<표 37> 상관성 분석 대상 기후인자 및 정수장 운영 인자.....	60
<표 38> 기후변화 인자, 취수원 수질 인자 간 Pearson 상관계수 .....	60
<표 39> 취수원 수질 인자, 정수장 운영 인자 간 Pearson 상관계수.....	61
<표 40> 기후변화 인자, 정수장 운영 인자 간 Pearson 상관계수.....	62
<표 41> 기후변화 및 운영 인자의 상관계수 절댓값의 합 비교.....	63
<표 42> 기후인자와 상수도시설의 영향 관계 분석 결과 비교.....	65
<표 43> 기후와 유입수 수질의 상관관계 .....	78
<표 44> 정수장 운영과 기후의 상관관계 .....	79
<표 45> 유입수 수질과 정수장 운영의 상관관계 .....	80
<표 46> '기후변화와 상수도 운영' 학생 교육 프로그램(안) .....	93
<표 47> '상수도시설에 대한 기후변화의 영향성' 시민 교육 프로그램(안) .....	94

## 그 림 목 차

<그림 1> 기후대응 상수도 분야별 기술 동향.....	6
<그림 2> 연구개발 최종 목표.....	7
<그림 3> 월별 추진계획 및 성과.....	12
<그림 4> 연구 수행조직.....	13
<그림 5> 연도별 상수도 관련 기후변화 이슈.....	18
<그림 6> 연도별 기후변화 관련 상수도 출원 건수.....	19
<그림 7> 연도별 기후변화 관련 국내 논문 발행 건수.....	21
<그림 8> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(전국).....	23
<그림 9> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(서울특별시).....	24
<그림 10> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(대전광역시).....	25
<그림 11> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(광주광역시).....	26
<그림 12> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(부산광역시).....	27
<그림 13> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(인천광역시).....	28
<그림 14> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(대구광역시).....	29
<그림 15> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(울산광역시).....	30
<그림 16> 수도정비기본계획 수립 지침 기후변화 키워드.....	32
<그림 17> 상수도시설 분야별 기후변화 영향 요인.....	36
<그림 18> 가뭄에 따른 정수처리 시설의 문제 및 대응 운영.....	37
<그림 19> 폭염에 따른 정수처리 시설의 문제 및 대응 운영.....	38
<그림 20> 호우에 따른 정수처리 시설의 문제 및 대응 운영.....	38
<그림 21> 한파 및 폭설에 따른 정수처리 시설의 문제 및 대응 운영.....	39
<그림 22> 상수도시설에 대한 기후변화 영향.....	43
<그림 23> 상수도시설 구성 요소에 대한 기후변화 취약 순위 점수.....	43
<그림 24> 기후에 의한 수질 변화 데이터 맵.....	47
<그림 25> 기후로 인한 상수도 영향 데이터 맵.....	58
<그림 26> 기후인자, 유입수 수질, 정수장 운영의 상관성.....	64
<그림 27> 호우 지표인 일 강수량과 취수원 탁도.....	66
<그림 28> 취수원 탁도와 정수장 응집제 주입률.....	67
<그림 29> 호우 지표인 일강우량과 정수장 응집제 주입률.....	67

<그림 30> 가뭄 지표인 6개월 누적 강수량과 취수원 암모니아 농도 .....	68
<그림 31> 폭염 지표인 일 최고기온과 취수원 수온의 상관관계 .....	69
<그림 32> 한파 지표인 일 최저기온과 취수원 수온의 상관관계 .....	69
<그림 33> 수온과 슬러지 콜렉터 가동시간 .....	70
<그림 34> 2022년 슬러지 콜렉터 가동시간 월별 추이 .....	71
<그림 35> 고탉도 시 수온과 슬러지콜렉터 가동시간 .....	72
<그림 36> 폭염 시 수온과 슬러지콜렉터 가동시간 .....	72
<그림 37> 폭염 및 고탉도 시 수온과 슬러지콜렉터 가동시간 .....	73
<그림 38> 폭염 지표인 일 최고기온과 슬러지 콜렉터 가동시간 .....	73
<그림 39> 한파 지표인 일 최저기온과 슬러지콜렉터 가동시간 .....	74
<그림 40> 취수원 수온과 정수지 생산량 .....	75
<그림 41> 최저기온 $-12^{\circ}\text{C}$ 이하, 최고기온 $33^{\circ}\text{C}$ 이상일 때 정수지 생산량 .....	75
<그림 42> 최저기온 $-5^{\circ}\text{C}$ 이하, 최고기온 $30^{\circ}\text{C}$ 이상일 때 정수지 생산량 .....	76
<그림 43> 한파 지표인 일 최저기온과 정수지 생산량 .....	77
<그림 44> 한파 지표인 일 최저기온과 정수지 생산량 .....	77
<그림 45> 취수원 탁도에 따른 응집제 주입량 .....	81
<그림 46> 강우량에 따른 탁도 .....	81
<그림 47> 강우 합과 취수원 탁도의 상관관계 .....	82
<그림 48> 강우 합과 응집제 주입량의 상관관계 .....	83
<그림 49> 2011~2016년 취수원 강우량 및 탁도와 응집제 주입량 .....	84
<그림 50> 2017~2022년 취수원 강우량 및 탁도와 응집제 주입량 .....	84
<그림 51> 연구개발 제도적, 기술적, 사회적, 환경적 측면 기대성과 .....	91
<그림 52> 연구개발 정책적, 사회적, 기술적, 교육적 활용방안 .....	93
<그림 53> 학생 교육자료(예시) .....	94
<그림 54> 시민 교육자료(예시1) .....	95
<그림 55> 시민 교육자료(예시2) .....	96
<그림 56> 시민 교육자료(예시3) .....	97
<그림 57> 시민 교육자료(예시4) .....	98



# 제1장 연구개발 개요

---

1.1 연구개발 필요성 .....	3
1.2 연구개발 목적 및 내용 .....	6

---



# 1. 연구개발 개요

## 1.1 연구개발 필요성

- 기후변화는 물 환경에 광범위한 영향을 미치고 그 영향의 속도와 깊이가 증대됨
- 상수도의 수량과 수질관리에도 기후변화는 장기적, 단편적, 잠재적 등 복합적 형태로 외적 및 내적 영향으로 작용하고 있기 때문에, 관련된 데이터 DB화, 분석, 예측 및 대책 마련이 요구되고 있음
- 아리수정수센터의 시설물 노후화, 기후변화로 인한 원수 수질 악화, 상수도 수질사고 등 잠재적 위험요소에 대한 선제적 대응이 강조되고 있음(2040 서울시수도정비 기본계획)
- 기후변화가 상수도에 미치는 영향은 성능, 유지보수, 시설관리 근로자의 안전, 안정적인 서비스로 구분될 수 있으며, 지역마다 영향력이 다름
- 기후변화와 상수도 수량, 수질, 운영조작 간 상호 관련기작을 과학적으로 탐구하고 영향, 대응 등 국·내외사례 조사를 통해 DB화하고 이를 기반으로 단위 정수처리 공정별 기후변화 적응과 대응과정을 분석함으로써 외적 및 내적 영향 요인에 따른 단위공정 운전인자, 약품 관리, 에너지 관리 등의 변화특성을 정리하며, 기존 상수도의 개량, 개선 및 신규 추가 전략 수립이 필요함

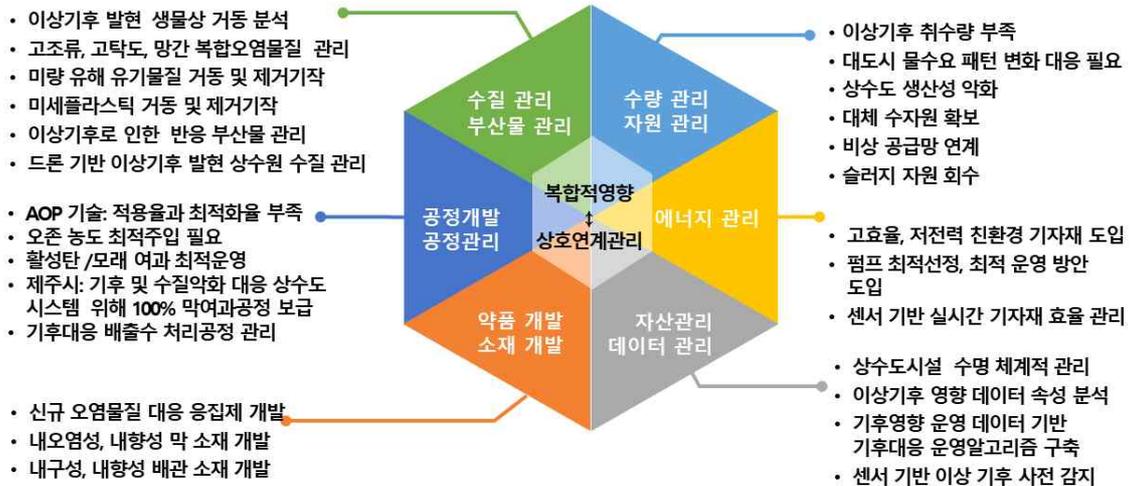
### 1.1.1 기후변화 대응 상수도 정책 동향

- 기후변화는 지속가능발전목표, SDG6(깨끗한 물과 위생)의 성취를 위협하고 있지만 식수의 양과 질에 미치는 정량적 영향 및 잠재적 대응책에 대한 조사 및 연구는 매우 부족한 현실임(UN, 세계 물 개발 보고서, 2021)
- 사회기반서비스 및 인프라를 담당하는 조직에 기후변화가 미치는 영향력을 분석하고 기후 변화에 적응하기 위한 계획을 수립해야 함(영국, 기후변화법, climate change Act, 2008)
- 물관리 유연성 향상, 기후적응 계획강화, 상수도 인프라 탄력성 개선 등 전략 수립을 통한 기후변화 대응 대책 수립 필요(미연방국토개발국, 기후 변화 적응 전략, Climate Change Adaptation Strategy, 2023)
- 기후변화를 고려하는 지속가능한 물관리가 필요하며 미래 물관리 정책의 수립이 요구됨(네덜란드, 국가물계획, National Water Plan 2016-2021, 2015)
- 기후변화가 취수원, 배수계획, 유역 물관리 등에 미치는 영향을 평가하는 기법을 개발하기 위한 대책 수립 필요(일본, 2018년도 물순환 백서, 2019)
- 이상기후와 미래 기후위험을 고려한 강화된 대책 마련을 통해 기후변화에 대비한 국가·지역의 물관리 대응력 강화와 지속적 물관리가 필요함(환경부, 제3차 국가 기후변화 적응대책 세부시행계획, 2021)
- “저탄소 녹색성장 기본법 제48조”에 따라 공공기관의 기후변화 영향 완화 및 적응대책 수립 시행 필요(환경부)

- “기후위기 대응을 위한 탄소중립 기본법”으로 우리나라는 세계 14번째로 탄소중립 법제화를 이루고, 기후위기 적응을 위한물관리 등 내용을 포함하며 온실가스 감축, 녹색산업, 녹색기술 및 순환경제 등은 물과 연관됨
- 환경부의 물관리 부문 기후변화 대응정책은 주로 홍수와 가뭄에서 안전한 물관리 체계 확보, 안정적 수자원 확보, 도시·유역의 물순환 건전성 확보 및 통합정보시스템 기반 통합물관리 정책으로 상수도의 외적 기후 영향을 최소화하는 것에 해당하여 상수도시설 내부 영향에 대한 세부적 대응책을 자체적으로 마련하는 것이 시급함(*관계부처합동, 기후변화대응 기본계획, 2019*)
- 서울특별시 기후변화 대응 위한 기후변화 리스크 평가를 진행하고 적응 대책을 수립해 미래 환경변화에 대응하고 있음(*서울시, 서울특별시 상수도사업본부 기후변화 적응대책 (2020~2024). 2020*)
- 부산광역시 기후변화에 대한 감시, 예측, 제공, 활용 능력 제고를 위한 부문별 적응대책 수립을 진행하고 있음(*부산시, 제 3차 부산광역시 기후변화 적응대책 세부시행계획, 2022*)
- 광주광역시는 저탄소녹색성장법에 따른 기후변화대응 수자원 확보 및 수질관리 강화를 목표로 녹색 공유 인프라 구축 사업 계획함(*광주광역시동구, 제 2차 광주광역시 동구 기후변화 적응대책 세부시행계획[2021~2025], 2021*)
- 낙동강유역환경청에서는 기후변화 적응을 위한 대책 수립 및 추진의 일환으로 기후변화 취약성 평가를 통한 수변구역 관리방안 검토하였음(*낙동강유역환경청, 제 3차 낙동강수계 수변구역 관리 기본계획(2019~2023) 보고서, 2018*)
- Kwater는 다목적댐 및 취정수장을 보유한 광역상수도를 대상으로 기후변화 리스크 및 취약성을 평가한 결과 수도시설물이 호우와 가뭄 영향이 큰 것으로 분석했고 특히 가뭄으로 인해 댐과 취수시설, 근로자 생산성, 가뭄대국민서비스의 위험수준이 높아 적극적 예방 및 대응 대책이 필요하다고 보고함(K water, 신기후체제 대응을 위한 수자원분야 전략 수립 연구, 2017)
- 100년의 역사를 지닌 상수도시설은 기후변화 이전의 수자원, 인구, 도시 및 산업 구조의 특성을 바탕으로 설계되었고 장기적 기후변화 영향권 안에서 신종 오염물질(병원균, 미소생물) 등 예측불허의 이벤트에 임기응변식 단기대응을 함
- 각 부처 및 지자체의 기후변화 적응대책 및 기본계획 등에 있어 중복성이 심하며 물관리 특히 상수도분야와의 연계성이 부족한 실정으로 상수도시설 현장에서 활용할 수 있는 전략적 기후대응 전략방안의 구체화가 필요함
- 기후변화로 지구 평균 온도 상승, pH 산성화가 기저 화학반응으로 응집, 침전, 여과 등의 반응속도에 영향을 미치면서 탁도, 유기물 및 신종 미량유해유기물질 및 미세 플라스틱 등을 포괄적 대응할 수 있는 반응기작을 검토하고 최적 주입조건(pH, 응집제, 보조제 등)과 같은 설계·운영인자에 대한 포괄적 검토가 필요

### 1.1.2 기후변화 대응 상수도 기술 동향

- 이상기후에 따른 가뭄, 장마, 홍수, 원수 수질의 악화 등 상수도에 수량적, 수질적 외적 요인으로 작용하여 상수도 생산성에 영향을 미침
- 수도 서비스 중단 등의 사태에 대처하는 등 기후변화 리스크를 평가하고 적응 대책을 수립이 요구됨
- 이상기후에 따른 상수원 수질 변화, 수계 전환, 물 수요 변동, 취수 방식의 전환 등에 대해 표준 공정의 변형 또는 고도정수처리 공정 도입 외에 적극적 대응기술 사례 부족
- 기후변화로 인한 수온 변동, 고탁도 유입, 조류 증식 패턴 변화에 대응한 응집제 개발 연구가 있음
- 조류 증식 기간 맛냄새 유발물질을 저감하기 위하여 오존농도 최적주입 및 활성탄 조합운영 방안이 현장에 적용되고 있음
- 복합수질이 유입될 경우 고도산화공정(오존-과수, 오존-UV)을 적용하여 유기물질에 대응하고 있음
- 정수장 내 유입되는 맛, 냄새 및 유해물질 등을 제어하기 위한 방법으로 기존 염소 및 오존 단독 투입제어 방식에서 고효율의 산화제가 적용되는 AOP 기술로 전환되는 양상이지만 이에 대한 관련 업체 기술은 미미하며, 현장적용에 있어 오존주입 및 관리, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 주입 및 관리, 운영기술이 최적화되어 있지 않음
- 이상기후에 따른 상수도의 미생물 등 생물상 거동 특성에 대한 연구가 요구됨
- 기온 상승으로 인해 정수장 모래여과 및 활성탄지 건물 내부로 유충이 번식한 사례 및 조사 결과 보고됨
- 기후변화와 외부 수질오염원에 의해 제주도 정수장은 기존 정수공정(소독만, 완속여과, 모래여과)을 막여과공정으로 대체할 계획으로 기존 정수처리공정 특성에 따라 막여과공정 결합방안에 대한 연구가 필요함
- 기후변화에 적응하면서 환경 영향을 최소화하기 위한 약품 최적관리, 부산물 최적관리에 관한 연구가 요구됨
- 기후변화에 따른 고조류, 고탁도 유입 시 대응 방안, 미량 유해물질 제거를 위한 공정 등이 개발되고 있으나 철, 망간 검출 시 이에 대한 적정 대응기술 수립 미흡
- 기후변화에 적응하면서 에너지 관리에 초점을 맞춘 연구가 진행되고 있으며 주로 펌프류의 최적설계, 운영 스케줄링 최적화 등이 연구되어 적용되고 있음
- 4차 산업기술과 관련하여 IT기술을 이용한 실시간 센싱, 운영 빅데이터 기반 운영 알고리즘 구축과 실시간 제어를 통해 양질의 운영데이터를 관리하여 상수도의 신뢰성과 효율성을 제고하고자 연구하고 현장 도입이 검토되고 있음
- 상수도시설의 과학적 자산관리기법 연구를 통해 자산의 수명을 체계적으로 관리하고 합리적인 의사결정을 통해 예산을 절감하고자 하며 정수장에서 자산관리 적용성이 검토되고 있음. 기존 자산관리기법에 이상기후 영향요소가 고려되어 개선될 필요가 있음



<그림 1> 기후대응 상수도 분야별 기술 동향

## 1.2 연구개발 목적 및 내용

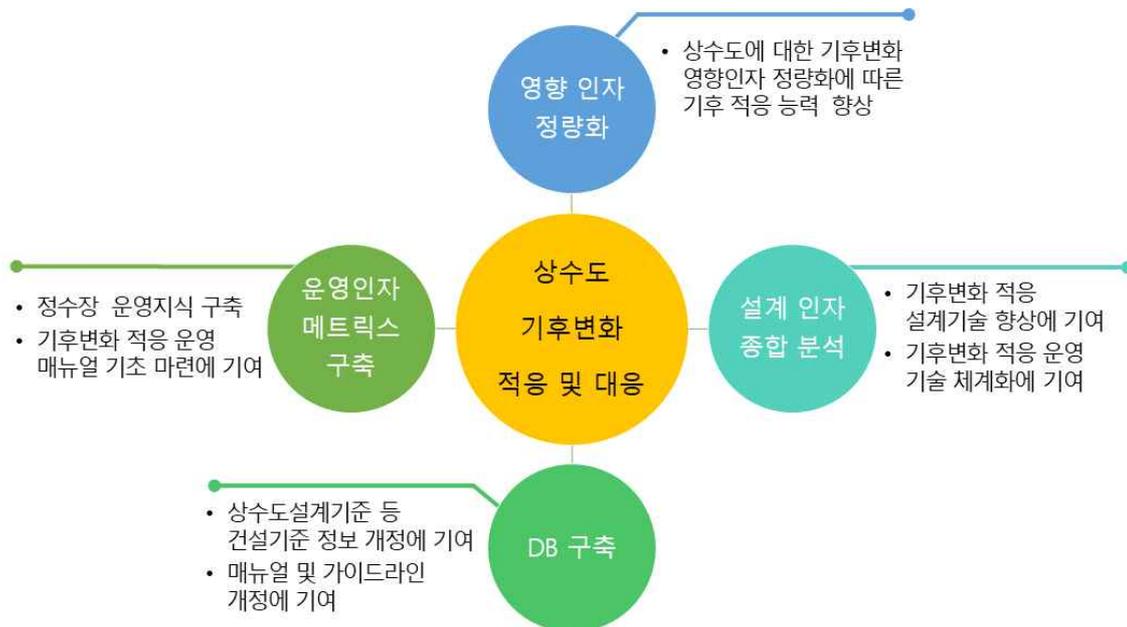
### 1.2.1 연구개발 목적

최근 기후변화로 인해 물 환경관리 측면에서 많은 영향을 받고 있으며, 특히 국민들이 먹고 사용하는 상수도에서는 그 영향의 속도와 깊이가 증대되고 있음. 이에 대처하기 위해, 저탄소 녹색성장 기본법, 환경부 수도정비기본계획 수립지침, 지자체별 수도정비기본계획 등의 내용을 살펴보면 기후변화에 대응하기 위한 여러 계획과 대책이 수립되고 있음. 또한, 이에 따라 관련 공공기관과 지자체에서는 기후변화 영향 완화 및 적응 대책을 수립하고 시행하는 것을 목표로 하고 있음. 그러나 기후변화 대응 상수도시설에 요구되는 대응전략을 수립하기 위해서는 기후변화인자가 상수도시설에 미치는 영향을 구체적으로 분석해야 할 필요가 있음.

- 본 연구에서는, 기후변화 요인에 따른 상수도 수량, 수질, 정수처리 공정의 운영인자와 설계인자 변동의 분석을 통해 각 요인이 상수도의 생산성에 어떤 영향을 미치는지 운영데이터와 보고서, 문헌 고찰을 통해 상관성 분석을 진행하고자 함.
- 단위 정수처리 공정별 기후변화 적응 및 대응을 위한 변동 인자를 분석하여 DB화 하며, 단위공정 운전인자, 약품 관리, 에너지 관리 등 변화 특성을 분석하고자 함.
- 분석을 통해 구축된 DB를 기반으로 서울시 상수도의 기후변화 대응 전략 수립에 기여하기 위한 설계, 운영의 가이드라인 기초를 마련하며 기후대응 상수도시설 매뉴얼 등의 개정에 기여하는 것을 목적으로 함.

### 1.2.2 연구개발 최종 목표

- 상수도 기후변화 영향인자 정량화에 따른 기후 적응능력 향상
- 정수처리공정 설계인자 변동특성의 종합적 분석에 따른 설계기술 향상
- 기후변화 적응 수처리공정 운영방안 종합적 분석을 통한 운영기술 체계화에 기여
- 기후변화 적응 설계 및 운영인자 매트릭스 구축을 통한 정수장 운영지식 구축 및 기후변화적응 운영 매뉴얼 기초 마련에 기여
- DB구축, 현장중심의 사례의 종합적 분석을 통한 상수도설계기준 등 건설기술 정보, 운영 및 진단 매뉴얼 및 가이드라인 등의 개정에 기여



<그림 2> 연구개발 최종 목표

<표 1> 연구개발 목표 및 내용

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용
1차연도 23.4~23.12	상수도에 미치는 외적 기후변화요인의 정성 적 및 정량적 영향 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외적 기후변화요인의 정성적 영향 분석 위 한 문헌, 연구 및 사례조사</li> <li>• 외적 기후변화요인의 정량적 영향 분석 위 한 문헌, 연구 및 사례조사</li> </ul>
	정수처리 단위공정별 기 후변화가 영향을 미치는 설계인자 검토	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아리수정수센터의 최근 설계인자 변동 특성 분석</li> <li>• 서울물연구원 연구보고서(현장 및 파일럿)분 석 및 설계인자 변동특성 분석</li> <li>• 수량적, 수질적 영향인자 분석</li> <li>• 표준공정, 고도처리공정, 소독공정에 미치는 설계인자 검토 및 분석</li> <li>• 약품 반응속도 변동 특성 분석</li> </ul>
	정수처리 단위공정별 기 후변화가 영향을 미치는 운영인자 검토	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수계별 대표 정수장 운영매뉴얼 분석 및 변 동 특성 분석</li> <li>• 원인별 각 단위공정 운전, 조합 운전, 운전 주기 등 변동 특성 분석</li> <li>• 정수장 사용 약품 및 핵심 기자재 변동 특 성 분석</li> </ul>
	기후변화에 적응하는 정 수장 개량 및 개선 사례 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 서울시 아리수정수센터 시설 개량 사례 분 석 및 기후적응 연관성 검토</li> <li>• 서울시 아리수정수센터 운영 개선 사례 분 석 및 기후적응 연관성 검토</li> </ul>
	기후변화 대응을 위한 중 장기적 신규 정수처리의 결합과 운영 방안 검토	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화 대응을 위한 기존 수처리 단위공정의 성능 확장성 검토</li> <li>• 기후변화 대응을 위한 기존 수처리 단위공정간 상호 협력 기능 강화</li> <li>• 기후변화 대응을 위한 신규 정수처리공정 결합 설계 및 운영방안 검토</li> </ul>

## 제2장 연구개발 추진전략 및 방법

---

2.1 연구개발 추진전략 및 세부 내용 .....	11
2.2 연구개발 추진체계 .....	13
2.3 연구개발 내용 평가 착안점 및 척도 .....	14

---



## 2. 연구개발 추진전략 및 방법

### 2.1 연구개발 추진전략 및 세부 내용

#### 2.1.1 연구 내용 및 추진전략

<표 2> 연구 목표별 연구 내용 및 계획

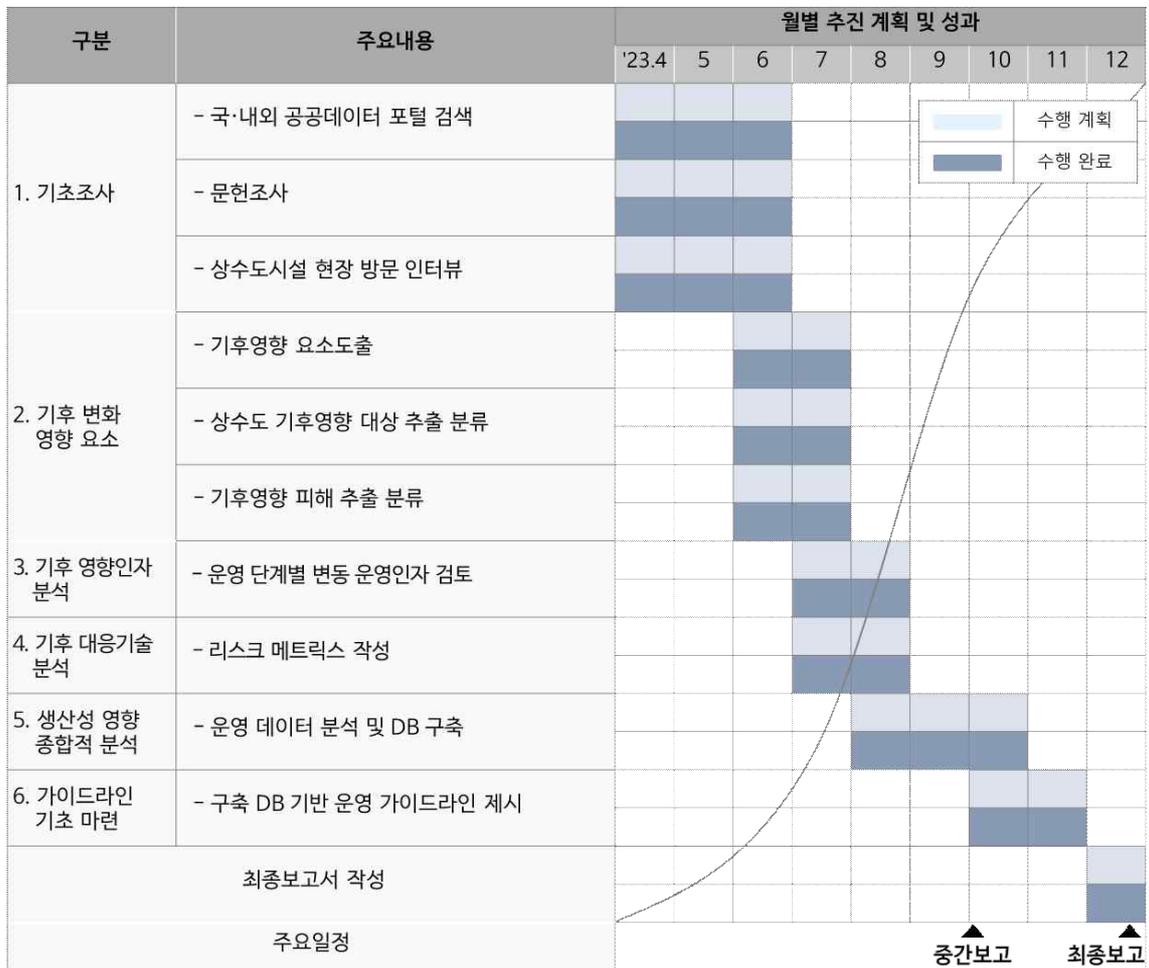
연구 목표	연구 내용에 따른 추진 전략
상수도에 미치는 외적 기후변화요인의 정성적·정량적 영향 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>서울시, 광역시 기후영향요소와 상수도 기반시설의 빅데이터 분석</li> </ul>
정수처리 단위공정별 기후변화가 영향을 미치는 설계인자 검토	<ul style="list-style-type: none"> <li>수도정비기본계획 수립지침(2018. 환경부.) 보고서 분석</li> <li>서울특별시 상수도사업본부 기후변화 적응대책(2020~2024) 보고서 분석</li> </ul>
정수처리 단위공정별 기후변화가 영향을 미치는 운영인자 검토	<ul style="list-style-type: none"> <li>기후변화 영향에 따른 취수, 정수, 배수 등 상수도 운영 단계별 변동인자 분석</li> <li>서울시 정수처리장 기후변화에 따른 운영데이터 확보</li> </ul>
기후변화에 적응하는 정수장 개량 및 개선 사례 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>기후변화의 상수도 영향성에 대한 실무자 설문조사</li> <li>설문조사를 통한 정수장 전문가의 기후변화 상수도 현장 운영 간 영향성 관련 의견 수집</li> <li>기후변화 취약 시설과 대응의 우선순위 결정</li> </ul>
기후변화에 대응을 위한 중장기적 신규 정수처리의 결합과 운영방안 검토	<ul style="list-style-type: none"> <li>운영데이터 기반 영향성 평가와 기후변화별 대응 방안 제시</li> <li>정수장의 운영데이터 기반 기후변화로 인한 운영의 변화 분석 및 DB 구축</li> <li>구축 DB 기반 기후변화 요인별 운영 인자의 변동 경향성 제시</li> </ul>

#### 2.1.2 연구 추진 세부 내용

- 뉴스 빅데이터 분석: 기후변화 요인에 따른 특별시, 광역시의 상수도 영향에 관한 이슈 수집 및 분석
- 문헌조사: 수도정비기본계획 수립지침, 서울시 상수도사업본부 기후변화 적응 대책 내용 분석 및 고찰을 통한 기후변화에 따른 변동 요인 파악 및 매트릭스 구축
- 운영 단계별 변동 인자: 취수, 정수, 배수 각 단위 공정별 약품주입량, 분말활성탄 주입, 이동식 약품설비 구비 등 기후변화에 따른 운영 인자 변동 내용 카테고리화
- 현장 방문 및 전문가 인터뷰: K-Water, 영등포 아리수 정수센터 방문 및 서울물연구원, 서울시 상수도사업본부 등 전문가 인터뷰를 통한 현의 운영 데이터 수집

### 2.1.3 연구 추진 달성도 및 성과

- 뉴스 빅데이터 분석, 문헌 조사를 통한 기후 영향 요소 도출, 운영 단계별 변동 인자 파악, 서울물연구원 등 방문 및 인터뷰 완료
- 운영데이터 분석 및 DB 구축, 가이드라인 제시, 신규 정수처리 공정 적용 검토, 최종 보고서 작성 예정
- 운영데이터 분석 및 DB 구축: 확보된 현장 운영데이터 분석을 통한 각 기후변화 요인에 따른 현장 변동 요인 DB 구축
- 구축 DB 기반 운영 가이드라인 제시: 구축 DB 기반 향후 기후변화 대응을 위한 취수, 정수, 배수 등 단위 공정의 운영 변동 가이드라인 제안 및 매뉴얼 기초 마련
- 최종보고서 작성: 구축된 DB와 가이드라인, 기초 매뉴얼을 기반으로 기후변화 대응을 위한 서울시 상수도 생산성 확보에 관한 내용 작성



<그림 3> 월별 추진계획 및 성과

## 2.2 연구개발 추진체계



<그림 4> 연구 수행조직

## 2.3 연구개발 내용 평가 착안점 및 척도

<표 3> 연구개발 내용과 평가의 착안점

세부 연구목표	세부 연구개발 내용	연구개발 내용 평가의 착안점(기준)	척도
상수도의 외적 기후변화요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>외적 기후변화요인 정성적 영향 분석 위한 문헌, 연구 및 사례조사</li> <li>외적 기후변화요인 정량적 영향 분석 위한 문헌, 연구 및 사례조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DB 축적</li> <li>정량적 영향 요소</li> <li>정성적 영향 요소</li> </ul>	30
정수처리 공정 별 기후변화 영향 설계인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>아리수정수센터 최근 설계인자 변동 특성 분석</li> <li>서울물연구원 연구보고서(현장 및 파일럿)분석 및 설계인자 변동특성 분석</li> <li>수량적, 수질적 영향인자 분석</li> <li>표준공정, 고도처리공정, 소독공정에 미치는 설계인자 검토 및 분석</li> <li>약품 반응속도 변동 특성 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>설계인자 DB</li> <li>설계인자 종합분석</li> <li>반응속도 영향인자 분석</li> </ul>	20
정수처리 공정 별 기후변화 영향 운영인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>수계별 대표 정수장 운영매뉴얼 분석 및 변동 특성 분석</li> <li>원인별 각 단위공정 운전, 조합 운전, 운전 주기 등 변동 특성 분석</li> <li>정수장 사용 약품 및 핵심 기자재 변동 특성 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>운영인자 DB</li> <li>운전인자 변동특성 분석</li> <li>약품 변동 특성 분석</li> <li>기자재 변동 특성 분석</li> </ul>	20
기후변화 적응 정수장 개량/개선 인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>서울시 아리수정수센터 시설 개량 사례 분석 및 기후적응 연관성 검토</li> <li>서울시 아리수정수센터 운영 개선 사례 분석 및 기후적응 연관성 검토</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>개량 사례 DB</li> <li>개선 사례 DB</li> </ul>	10
기후변화 대응 신규 정수처리 결합과 운영	<ul style="list-style-type: none"> <li>기후변화 대응을 위한 기존 수처리 단위공정의 성능 확장성 검토</li> <li>기후변화 대응을 위한 기존 수처리 단위공정간 상호 협력 기능 강화</li> <li>기후변화 대응을 위한 신규 정수처리 공정 결합 설계 및 운영방안 검토</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기후대응 신규 공정 제안</li> <li>기후대응 신규 결합방안 제안</li> </ul>	20

## 제3장 연구개발 결과

---

3.1 상수도의 외적 기후변화 요인 사례조사 .....	17
3.2 기후변화가 상수도에 미치는 외적 요인의 정성적·정량적 영향 분석 ..	22
3.3 정수처리 단위공정별 기후변화가 영향을 미치는 설계인자 검토 .....	30
3.4 정수처리 단위공정별 기후변화가 영향을 미치는 운영인자 검토 .....	37
3.5 설문조사 결과 분석 .....	41
3.6 사례를 통한 기후변화와 정수장 운영 인자의 상관 분석 .....	59

---



### 3. 연구개발 결과

#### 3.1 상수도의 외적 기후변화 요인 사례조사

##### 3.1.1 뉴스 빅데이터를 통한 상수도 기반시설의 기후변화 이슈화 시점 분석

- 조사방법 : 뉴스빅데이터 분석 (빅카인즈)
- 검색기간 : 1990.01.01 ~ 2022.12.31(최근 30년간)
- 검색내용 : 상수도에 대한 기후변화, 폭염, 가뭄, 호우, 강풍, 한파, 폭설에 대해 연도별 이슈화 빈도
- 분석 결과
  - 2009년부터 상수도 관련 기후변화 이슈가 부각되어 이상 기후를 기후변화의 요인으로 생각하는 시점으로 분석됨
  - 가뭄의 이슈화도 분석  
전체 30년 기간을 걸쳐 가뭄은 매년 높은 이슈화 빈도를 보이고 있고 매년 이상 기후 인자 중에서 이슈화 빈도가 50%이상을 차지하고 있음
    - (1994~1995년) 경상권, 전라권, 충북 등 넓은 지역에 걸쳐 예년에 비해 40~50% 강수량 부족 2년간의 강수량 부족 현상으로 인한 연속 가뭄으로 물부족 심화 (*한국수자원공사, 가뭄관리정보체계 수립 보고서, 2006*)
    - (2001년) 중국 내륙발 이동성 고기압의 영향을 받아 장기간 고온 건조 상태 지속, 2001년 3월 - 6월의 강수량이 예년 대비 20~40% 부족한 기상학적 가뭄, 극심한 전국적 가뭄 피해로 다목적댐 효율적 운영 및 저수지 건설 등 대비책 검토 (*한국기술연구원, 2001년 중부지방 대 가뭄, 2001*)
    - (2008년 후반 - 2009년 초) 가뭄피해 : 제한급수 및 운반급수 279,868 명 전국 평균 강수량 평년대비 46.4%, 전국 평균 저수율 58% (평년대비 25% 감소), 경남, 전남, 태백 등 가뭄 극심하여 정부에 수자원확보, 피해보상 등 대책 촉구 (*중앙재난대책안전본부, 2008~2009 가뭄극복추진 성과보고서, 2009*)
    - (2015년)4월부터 중부지방 중심 가뭄 시작, 전국적 가뭄, 전국 평균 강수량 평년대비 62% 수준, 중부지방은 45~54% 수준, 한강 유역 역대 1번째, 금강 유역 역대 2번째 최저 강수량 기록, 2015년 12월 기준 보령댐, 황성댐, 용담댐 역대 최저 저수율 기록(*국토교통부, 2015년 가뭄기록조사보고서, 2015*)
  - 폭염의 이슈화도 분석  
폭염 이슈가 2010년대부터 높은 빈도로 나타났으며, 1994년과 2018년에서 예년에 비해 폭염에서 높은 빈도
    - (1994년) 1994~1995년 가뭄과 동시에 발생, 1994년 7월 24일 서울 기온 38.4도로 당대 최고 온도를 기록함
    - (2018년) 1994년 폭염과 유사하나 북태평양고기압 세력이 더욱 강하고 보다 폭 넓게 발달, 서울 기온 39.6도로 1994년 기록을 뛰어넘으며 기상 관측 시작 이래 최고 기록, 전국 평균기온과 최고 기온은 1973년 통계작성 이후 가장 높았음,

일조시간도 611.3시간으로 평년(424.2시간)에 비해 가장 길게 나타났음 (기상청 기후예측과 보도자료, 2018년과 1994년 폭염 비교, 2018)

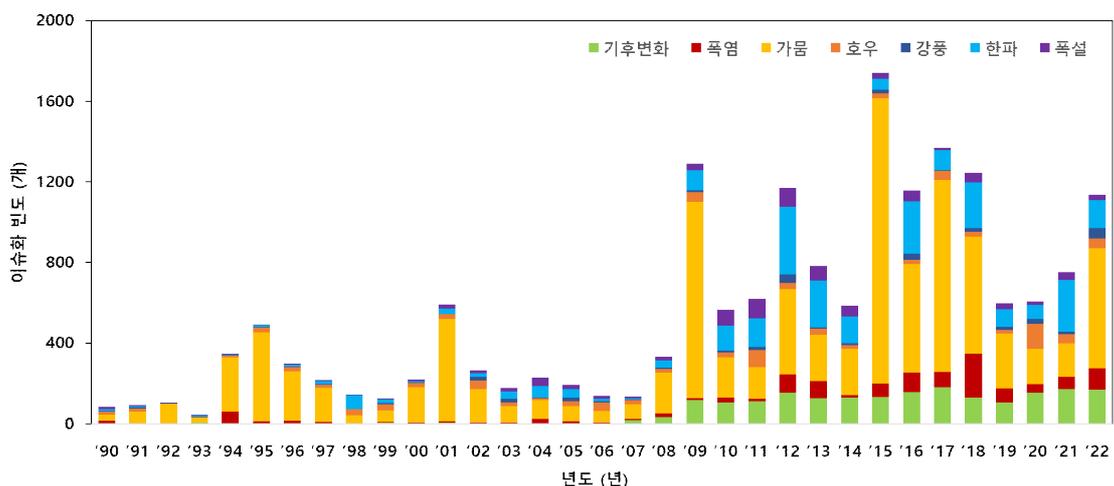
• 한파의 이슈화도 분석

2010년부터 한파 이슈 빈도가 상대적으로 높아졌으며, 한파 이슈가 2012년에 예년에 비해 높은 빈도로 나타남

- (2012년)1월 말부터 북극 찬공기 영향으로 2월 기록적 한파 발생, 비닐하우스, 벚꽃재배사, 시설작물 등에 12억원 피해, 저병원성 조류인플루엔자 바이러스는 1월 한파로 급증(관계부처합동, 2012 이상기후보고서, 2012)
- (2016년)1월에 강한 한파가 유지되었고, 2001년 이후 가장 낮은 서울 아침 최저기온 -18.0℃를 달성함, 제주는 아침 최저기온이 -5.8℃로, 1924년 이후 1월 최저값 기록(관계부처합동, 2016 이상기후보고서, 2016)
- (2018년)2017~2018년 동계 한랭질환자는 631명으로 2011년 이후 최다, 2018년 1월 말~2월 초 전국 평균 기온은 -4.8℃로, 1973년 이후 두 번째로 낮은 값을 기록함(관계부처합동, 2018 이상기후보고서, 2018)

□ 요약

- 2009년부터 이상기후가 기후변화와 연계가 있음을 인지
- 가뭄이 가장 큰 이슈화 빈도이며 폭염, 한파의 영향도 이슈화 빈도 높음
- 호우의 영향은 주로 상수도보다는 도시 침수나 수자원 관리에 있음
- 가뭄, 폭염, 한파 등이 상수도 성능, 유지관리, 근무자 환경 및 서비스에 영향을 미칠 것으로 판단되고 이에 대응할 수 있는 설계 및 운영 방안 마련이 요구됨



<그림 5> 연도별 상수도 관련 기후변화 이슈

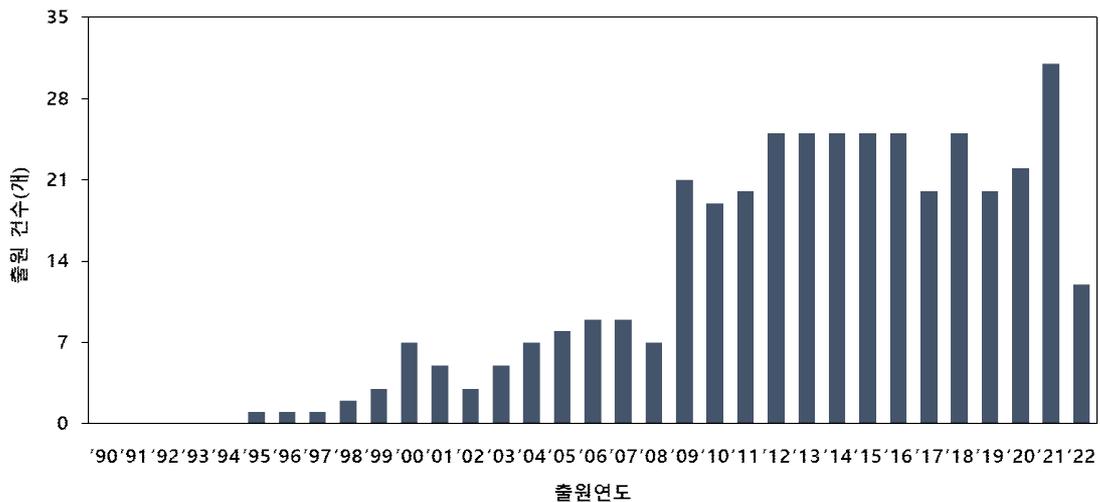
### 3.1.2 상수도과 기후변화 관련 특허 출원 빈도 분석

□ 조사방법 : 특허검색 (KIPRIS)

□ 검색방법 : 상수도\*기후변화

□ 분석결과

- 기후변화 관련 상수도 특허는 1995년부터 출원이 시작됨
- 2008년 이전의 기후변화 및 상수도 관련 특허는 출원 건수가 10회 미만
- 2009년부터 20건 이상의 출원 건수로 기후변화와 상수도 관련 출원 급증
- 2009년부터 상수도와 기후변화에 관련된 기술에 관심이 높아짐
- 수질 관련 기술, 관망·누수 관련 기술, 에너지·온실가스 관련 기술이 각각 30건 이상으로 가장 많이 출원됨
- 수요량·빗물 관련 기술, 미생물·독성 관련 기술, 스마트 기술 각각은 약 20건으로 출원됨
- 약품처리 기술 출원은 7건으로 적은 비중을 차지함
- 수질, 누수, 에너지가 기후변화에 따른 상수도의 기술 발전 분야 중 가장 많은 신기술이 개발됨
- 기후변화에 따라 상수도 기술은 수요량, 미생물, 독성, 약품처리 분야에서도 발전



<그림 6> 연도별 기후변화 관련 상수도 출원 건수

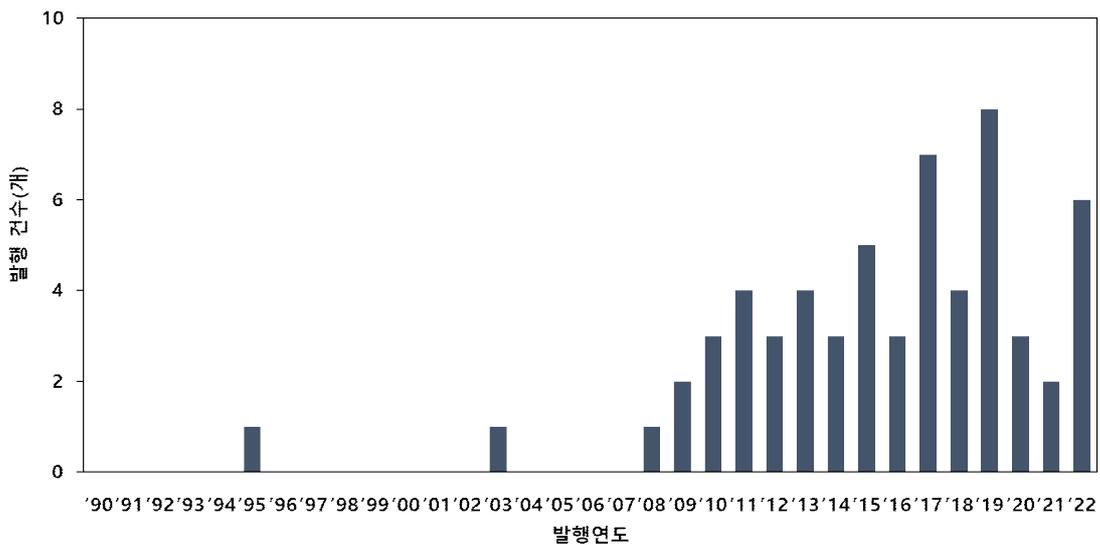
<표 4> 기술 분야별 상수도\*기후변화 국내 특허 출원 건수

기술 분야	출원 건수	비고
수요량·빗물	17 건	물 부족, 절수, 빗물, 물 수요
수질	34 건	수질, 정수, 정화
미생물·독성	17 건	독성, 조류, 살균
관망·누수	36 건	관망, 관로, 누수, 급수, 침수
에너지·온실가스	37 건	발전, 에너지, 전력, 온실가스, 저탄소
약품처리	7 건	소독약, 약품, 염소, 무기응집제, 고도처리
스마트 기술	22 건	ICT, AI, 센싱, IoT, 알고리즘, 온라인, 스마트

### 3.1.3 상수도와 기후변화 관련 국내 논문 발행 빈도 분석

- 조사방법 : 국내 논문 발행 수 분석 (RISS)
- 검색방법 : 상수도 AND 기후변화
  - 2000년대 이전에는 기후변화와 상수도 관련 국내논문 발행이 미미
  - 기후변화와 상수도 관련 국내 논문은 2009년부터 2건 이상으로 꾸준히 발행
  - 2009년부터 기후변화와 상수도 관련 국내 논문은 연간 평균 4건 발간
  - 2009년부터 상수도와 기후변화에 관련된 연구에 관심도가 높아짐
- 사례 조사
  - 기후변화 관련 발행논문 사례 조사
  - 검색방법: 구글스칼라(폭염 OR 가뭄 OR 호우 OR 강풍 OR 한파 OR 폭설 OR 기후변화 OR 전염병 OR 미생물) AND (취수원 OR 정수장 OR 배수지 OR 상수도) 3페이지 이내에서 기후변화에 대응하는 상수도 시설 관련 연구만 나열
  - 서울시 상수도 분야에 미치는 기후영향, 기상청 기후 데이터 분석, 기후변화 적응 시점에 관한 연구 진행(박은희, 기후변화 적응대책 수립을 위한 한강수계 지역 기후변화 동향 및 서울시 상수도 분야 현황 연구, 2019)
  - 제주특별자치도의 정수생산 및 공급체계에 대한 기후변화 취약성을 평가하고 기후변화 대응력 향상을 위한 개선방안 제시하는 연구 진행(김진근, 제주도 기후변화 관련 상수도시설 취약성 평가 및 적응대책, 2018)
  - 기후변화로 인해 증가하는 동파 피해를 감소시키기 위한 상수도관 변형 특성에 대한 연구가 진행되어 압력 변화를 통한 기후대응 기반 마련(신은철, 동결온도가 상수도관의 거동에 미치는 영향, 2014)

- 상수원의 이상기후 취약성에 대응하기 위해 가압장에 적용할 수 있는 소수력 및 태양광발전에 대해 연구가 진행됨(최홍열, 몽골 울란바타르시 상수도시설과 연계한 신재생에너지 개발방안 고찰, 2011)
- 아프리카의 기후변화로 인한 취수원 오염 문제에 대응 위한 상수도시설 인프라 연구 진행 및 기후 대응 위한 문제점 분석(윤영환, 안전한 먹는물 확보 기술 지원을 위한 아프리카 환경기초시설 및 오염 현황 분석 - 에티오피아 중심으로, 2021)
- 기후변화가 상수원 미생물 농도 및 수인성 질병균의 농도에 미치는 영향에 대한 연구를 통해 기후대응의 중요성을 강조(Walker, *The influence of climate change on waterborne disease and Legionella: a review*, 2018)
- 가뭄으로 인한 지하수위 감소와 토양 경질화로 인한 상수도관 손상에 관한 연구를 통해 기후변화가 배급수 문제에 주는 영향에 대해 고찰(Wols, *Effects of Climate Change on Drinking Water Distribution Network Integrity: Predicting Pipe Failure Resulting from Differential Soil Settlement*, 2014)
- 기후변화에 따른 한파, 폭설 빈도 증가에 대응하기 위한 신속한 상수도 관망시설 복구시스템에 관한 연구를 진행하여 기후대응성 제고(신홍철, 폭설 및 기온저하에 따른 상수도 관망시설 복구절차 구축, 2016)
- 이상기후에 의한 응집제 주입량 증가와 처리수질 영향에 대한 연구를 진행하여 정수처리시설 기후대응 능력 중요성 강조(Baiwen, *Impact of Climate Change on Drinking Water Safety*, 2022)



<그림 7> 연도별 기후변화 관련 국내 논문 발행 건수

### 3.1.4 연구개발 사업 공익성

- 기후변화는 물환경에 광범위한 영향을 미치고 그 영향의 속도와 깊이가 증대
- 제3차 국가 기후변화 적응대책: 지자체 기후변화 적응대책 세부시행 연동계획 5년 단위로 수립 및 시행

- 기후변화 적응 국제협약, 기후변화 감시, 예측, 제공, 활용 능력 향상
- 부문별, 지역별 기후변화 영향과 취약성 평가, 기후변화 적응대책 및 연계 추진에 관한 사항 포함
- 용수공급시설, 상수도시설에 대해 해당 공공기관이 적응 대책을 수립해야 함
- 환경부 수도정비기본계획 수립지침: 기후변화 대응 수자원 활용, 물부족 대응 용수 수급 계획, 상수도 수요관리 계획 수립
- 지자체별 수도정비계획(2040 서울시 등): 기후변화로 인한 원수 수질악화 등 잠재적 위험요소의 선제적 대응 강조
- 서울시 상수도 기후변화 적응대책: 6대 기후영향 요소별 리스크 분석 및 260개 기후변화대응 세부시행계획 수립
- 이상기후는 상수도 수량과 수질 관리에 단편적, 장기적, 잠재적 등 복합적 형태로 내 · 외적 영향으로 작용
- 2050 대한민국 미래보고서 : 대한민국 2050 기후는 전국 아열대권으로 진입하고 열대성 병해충이 확산되며 태풍, 가뭄 등 자연 재해가 증가하여 물 사용량 패턴 변화, 안정적 수자원 확보 악화 및 신종 소형 생물 등장 등 상수도에 외 · 내적 영향을 미칠 것으로 예상됨

## 3.2 기후변화가 상수도에 미치는 외적 요인의 정성적 · 정량적 영향 분석

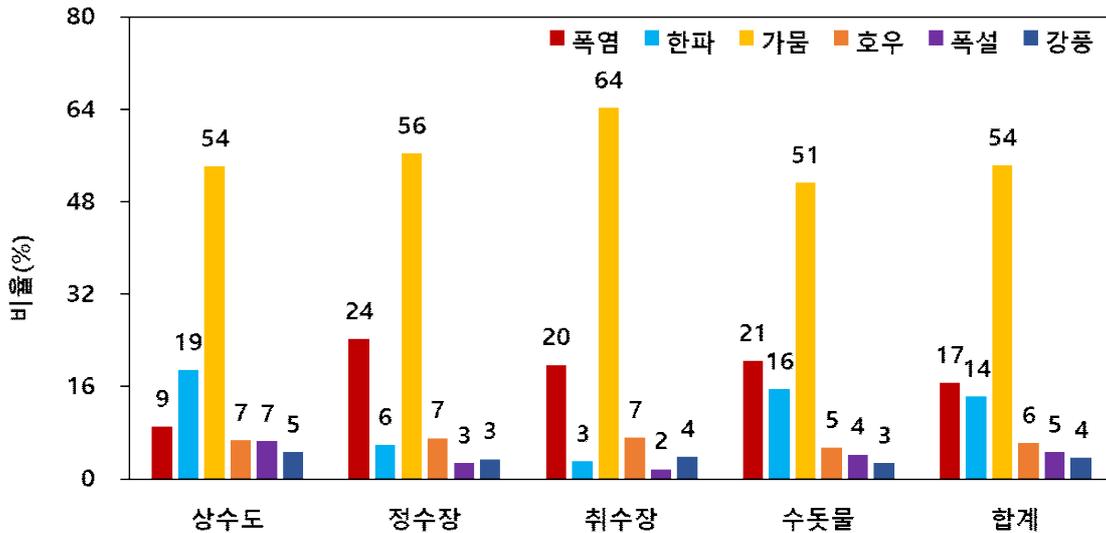
### 3.2.1 광역시별 기후영향요소와 상수도 기반시설의 뉴스 빅데이터 분석

- 조사방법 : 뉴스빅데이터 분석 (빅카인즈)
- 검색기간 : 1990.01.01 ~ 2022.12.31.
- 대상지역 : 서울특별시, 광역시 6개소(대전, 광주, 부산, 인천, 대구, 울산)
- 전국
  - 가뭄이 기후 영향 요소 중 54% 차지
  - 상수도와 수돗물 부분에서 기후변화에 따른 관심도가 높음
  - 상수도와 수돗물 관련 가뭄에 따른 이슈 대응 필요
  - 각 기후변화 항목별 서울시, 광역 상수도, 지방 상수도의 대응 방안 운영데이터 비교 검토 필요

<표 5> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (전국)

상수도 기반시설	기후영향요소						합계
	폭염	한파	가뭄	호우	폭설	강풍	
상수도	626	1,304	3,732	463	449	324	6,898
정수장	570	139	1,325	167	65	82	2,348
취수장	383	60	1,246	139	34	76	1,938
수돗물	1,567	1,192	3,918	418	327	213	7,635
합계	3,146	2,695	10,221	1,187	875	695	18,819

- 상수도에는 가뭄(54%), 한파(19%)가 높은 비중을 차지함
- 정수장에는 가뭄(56%), 폭염(24%)이 높은 비중을 차지함
- 취수장에는 가뭄(64%), 폭염(20%)이 높은 비중을 차지함
- 수돗물에는 가뭄(51%), 폭염(21%), 한파(16%)가 높은 비중을 차지함
- 상수도기반시설에 대하여 이슈화 비중은 가뭄(54%), 폭염(17%), 한파(14%), 호우(6%), 폭설(5%), 강풍(4%)



<그림 8> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(전국)

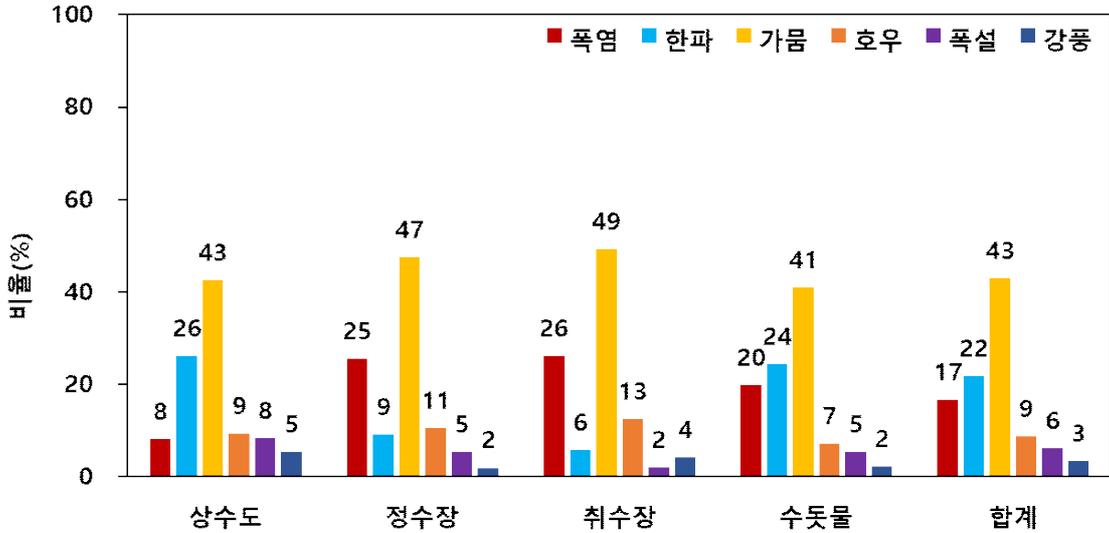
□ 서울특별시

- 서울특별시의 상수도 기반시설에 따른 기후 이슈는 수돗물, 상수도, 정수장, 취수장 순으로 관심
- 가뭄, 한파, 폭염, 호우, 폭설, 강풍 순으로 서울특별시 상수도 기반 시설과 연관된 이슈를 보임
- 서울특별시에서는 수돗물과 상수도에 대한 가뭄과 한파가 가장 큰 이슈화가 됨

<표 6> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (서울특별시)

상수도 기반시설	기후영향요소						합계
	폭염	한파	가뭄	호우	폭설	강풍	
상수도	143	460	750	164	147	95	1,759
정수장	131	47	244	54	28	10	514
취수장	100	22	188	48	8	16	382
수돗물	421	515	869	153	114	46	2,118
합계	795	1,044	2,051	419	297	167	4,773

- 상수도에는 가뭄(43%), 한파(26%)가 높은 비중을 차지함
- 정수장에는 가뭄(47%), 폭염(25%)이 높은 비중을 차지함
- 취수장에는 가뭄(49%), 폭염(26%)이 높은 비중을 차지함
- 수돗물에는 가뭄(41%), 한파(24%), 폭염(20%)가 높은 비중을 차지함
- 상수도기반시설에 대하여 이슈화 비중은 가뭄(43%), 한파(22%), 폭염(17%), 호우(9%), 폭설(6%), 강풍(3%)



<그림 9> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(서울특별시)

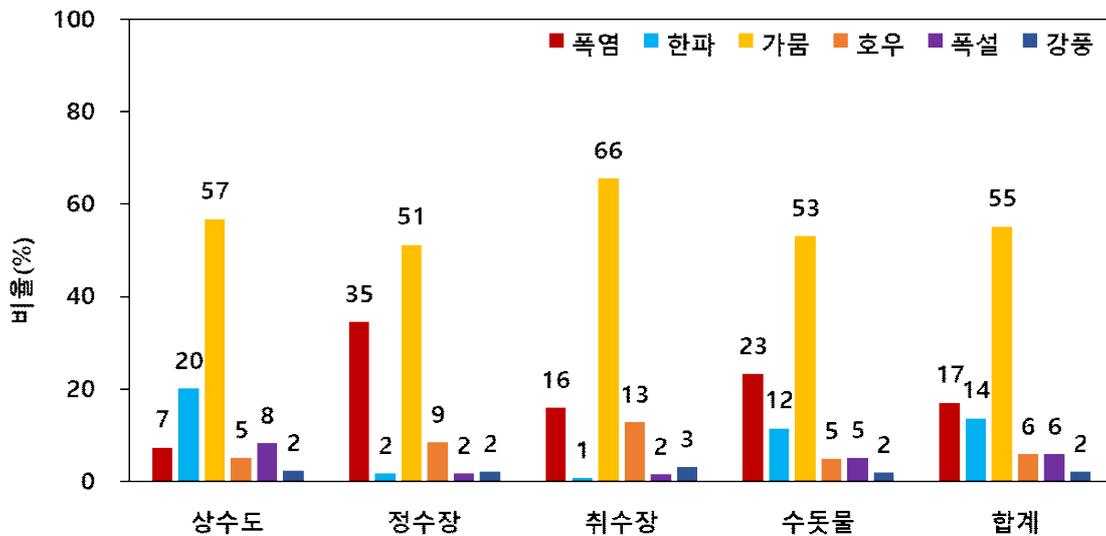
□ 대전광역시

- 대전광역시의 상수도 기반시설에 따른 기후 이슈는 수돗물, 상수도, 정수장, 취수장 순으로 관심
- 가뭄, 폭염, 한파, 폭설, 호우, 강풍 순으로 대전광역시 상수도 기반 시설과 연관된 이슈를 보임
- 대전광역시에서는 수돗물에 대한 가뭄과 폭염, 상수도에 대한 가뭄과 한파가 가장 큰 이슈화가 됨

<표 7> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (대전광역시)

상수도 기반시설	기후영향요소						합계
	폭염	한파	가뭄	호우	폭설	강풍	
상수도	77	211	593	53	86	24	1,044
정수장	97	5	144	24	5	6	281
취수장	20	1	82	16	2	4	125
수돗물	200	99	455	42	44	17	857
합계	394	316	1,274	135	137	51	2,307

- 상수도에는 가뭄(57%), 한파(20%)가 높은 비중을 차지함
- 정수장에는 가뭄(51%), 폭염(35%)이 높은 비중을 차지함
- 취수장에는 가뭄(66%), 폭염(16%)이 높은 비중을 차지함
- 수돗물에는 가뭄(53%), 폭염(23%), 한파(12%)가 높은 비중을 차지함
- 상수도기반시설에 대하여 이슈화 비중은 가뭄(55%), 폭염(17%), 한파(14%), 호우(6%), 폭설(6%), 강풍(2%)



<그림 10> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(대전광역시)

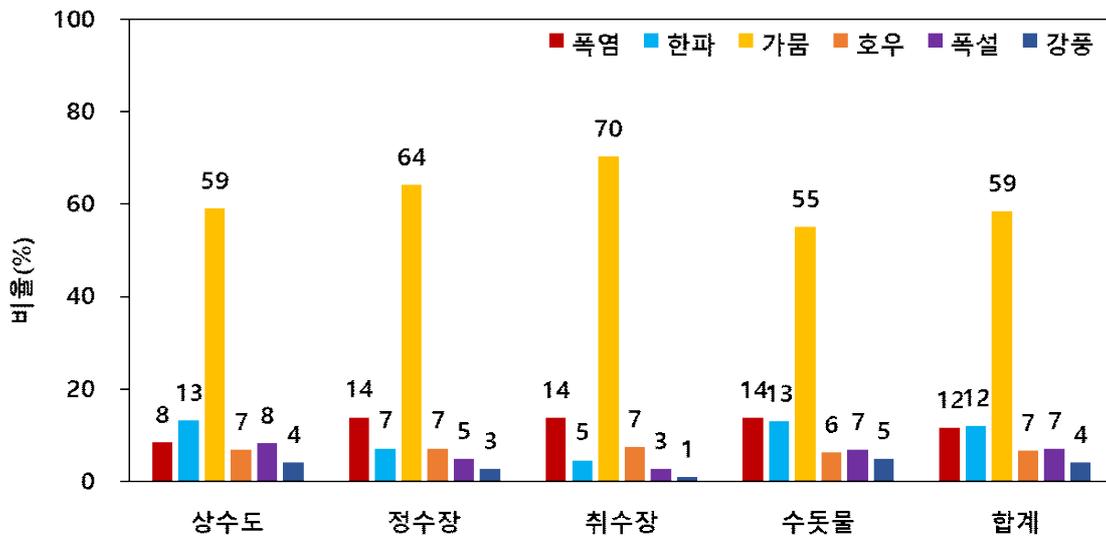
□ 광주광역시

- 광주광역시의 상수도 기반시설에 따른 기후 이슈는 수돗물, 상수도, 정수장, 취수장 순으로 관심
- 가뭄, 한파, 폭염, 폭설, 호우, 강풍 순으로 광주광역시 상수도 기반 시설과 연관된 이슈를 보임
- 광주광역시에서는 모든 기반 시설에 대한 가뭄과 수돗물의 폭염 및 한파, 상수도의 한파가 가장 큰 이슈화가 됨

<표 8> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (광주광역시)

상수도 기반시설	기후영향요소						합계
	폭염	한파	가뭄	호우	폭설	강풍	
상수도	70	109	490	57	69	34	829
정수장	31	16	143	16	11	6	223
취수장	15	5	76	8	3	1	108
수돗물	118	111	470	54	59	42	854
합계	234	241	1,179	135	142	83	2,014

- 상수도에는 가뭄(59%), 한파(13%)가 높은 비중을 차지함
- 정수장에는 가뭄(64%), 폭염(14%)이 높은 비중을 차지함
- 취수장에는 가뭄(70%), 폭염(14%)이 높은 비중을 차지함
- 수돗물에는 가뭄(55%), 폭염(14%), 한파(13%)가 높은 비중을 차지함
- 상수도기반시설에 대하여 이슈화 비중은 가뭄(59%), 한파(12%), 폭염(12%), 폭설(7%), 호우(7%), 강풍(4%)



<그림 11> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(광주광역시)

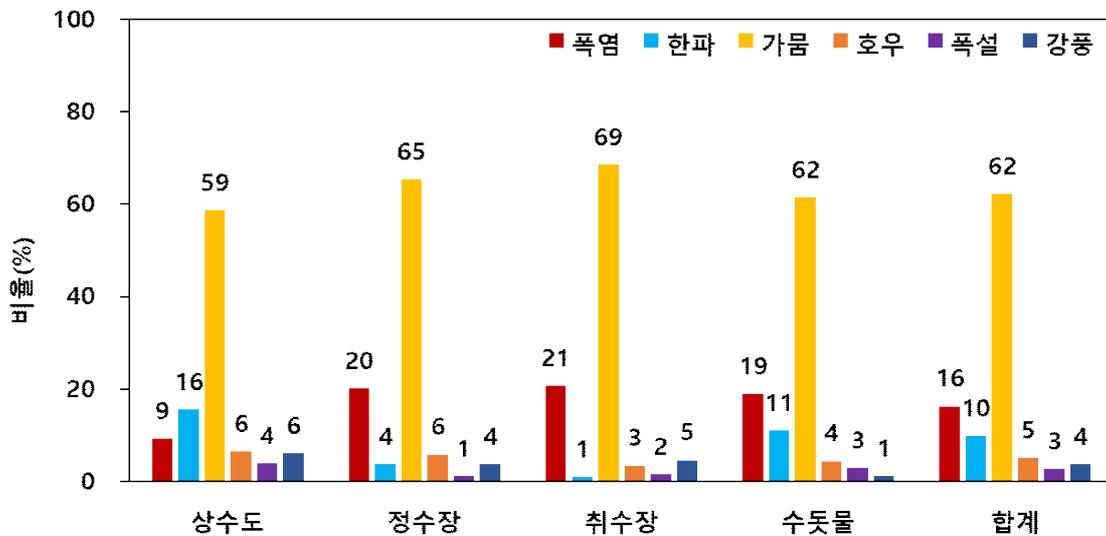
□ 부산광역시

- 부산광역시의 상수도 기반시설에 따른 기후 이슈는 수돗물, 상수도, 취수장, 정수장 순으로 관심
- 가뭄, 폭염, 한파, 호우, 폭설, 강풍 순으로 부산광역시 상수도 기반 시설과 연관된 이슈를 보임
- 부산광역시에서는 모든 기반 시설에 대한 가뭄과 수돗물의 폭염 및 한파, 상수도의 한파가 가장 큰 이슈화가 됨

<표 9> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (부산광역시)

상수도 기반시설	기후영향요소						합계
	폭염	한파	가뭄	호우	폭설	강풍	
상수도	93	156	588	65	40	61	1,003
정수장	90	17	292	26	5	17	447
취수장	103	5	341	17	8	23	497
수돗물	222	129	721	52	34	14	1,172
합계	508	307	1,942	160	87	115	3,119

- 상수도에는 가뭄(59%), 한파(16%)가 높은 비중을 차지함
- 정수장에는 가뭄(65%), 폭염(20%)이 높은 비중을 차지함
- 취수장에는 가뭄(69%), 폭염(21%)이 높은 비중을 차지함
- 수돗물에는 가뭄(62%), 폭염(19%), 한파(11%)가 높은 비중을 차지함
- 상수도기반시설에 대하여 이슈화 비중은 가뭄(62%), 폭염(16%), 한파(10%), 호우(5%), 강풍(4%), 폭설(3%)



<그림 12> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(부산광역시)

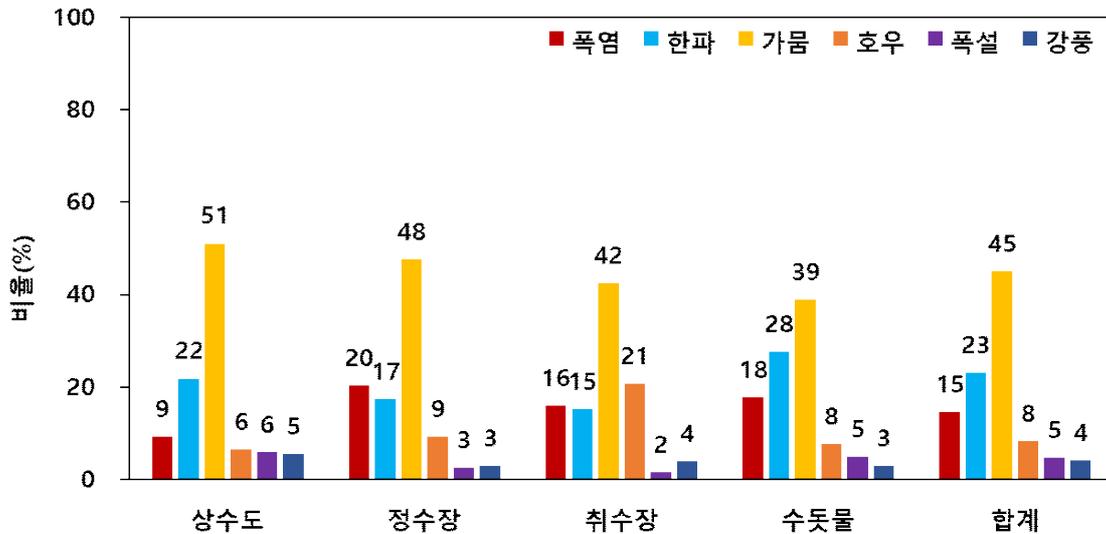
□ 인천광역시

- 인천광역시의 상수도 기반시설에 따른 기후 이슈는 수돗물, 상수도, 정수장, 취수장 순으로 관심
- 가뭄, 한파, 폭염, 호우, 폭설, 강풍 순으로 인천광역시 상수도 기반 시설과 연관된 이슈를 보임
- 인천광역시에서는 수돗물과 상수도에 대한 가뭄과 한파가 가장 큰 이슈화가 됨

<표 10> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (인천광역시)

상수도 기반시설	기후영향요소						합계
	폭염	한파	가뭄	호우	폭설	강풍	
상수도	66	155	363	46	42	39	711
정수장	48	41	113	22	6	7	237
취수장	20	19	53	26	2	5	125
수돗물	130	202	284	56	36	22	730
합계	264	417	813	150	86	73	1,803

- 상수도에는 가뭄(51%), 한파(22%)가 높은 비중을 차지함
- 정수장에는 가뭄(48%), 폭염(20%)이 높은 비중을 차지함
- 취수장에는 가뭄(42%), 호우(21%)가 높은 비중을 차지함
- 수돗물에는 가뭄(39%), 한파(28%), 폭염(18%)가 높은 비중을 차지함
- 상수도기반시설에 대하여 이슈화 비중은 가뭄(45%), 한파(23%), 폭염(15%), 호우(8%), 폭설(5%), 강풍(4%)



<그림 13> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(인천광역시)

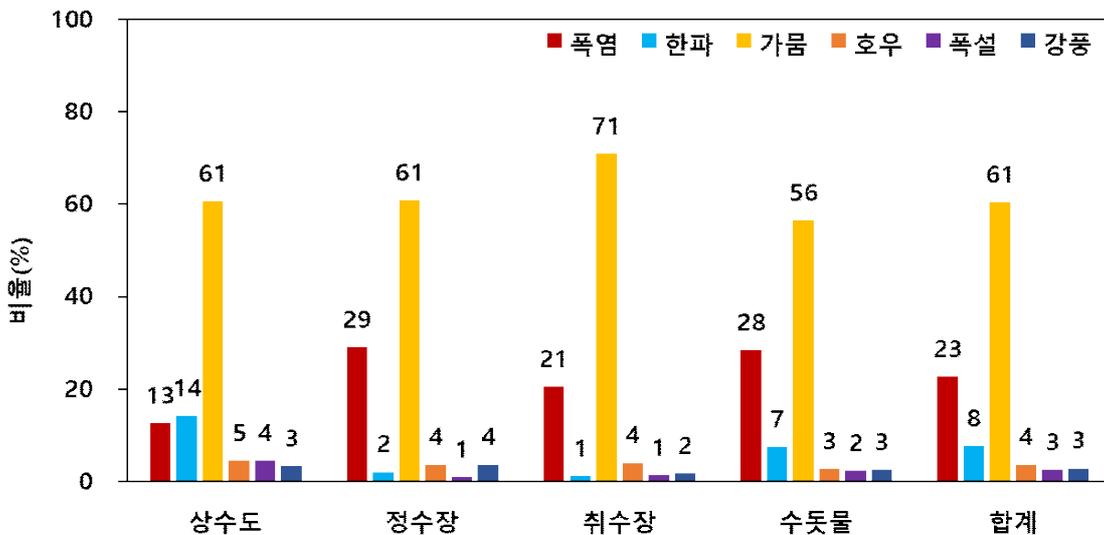
□ 대구광역시

- 대구광역시의 상수도 기반시설에 따른 기후 이슈는 수돗물, 상수도, 정수장, 취수장 순으로 관심
- 가뭄, 폭염, 한파, 호우, 강풍, 폭설 순으로 대구광역시 상수도 기반 시설과 연관된 이슈를 보임
- 대구광역시에서는 모든 상수도 기반시설 관련 가뭄과 폭염이 가장 큰 이슈화가 됨

<표 11> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (대구광역시)

상수도 기반시설	기후영향요소						합계
	폭염	한파	가뭄	호우	폭설	강풍	
상수도	116	130	555	42	41	31	915
정수장	128	9	268	16	4	16	441
취수장	102	6	351	20	7	9	495
수돗물	375	99	746	37	31	34	1,322
합계	721	244	1,920	115	83	90	3,173

- 상수도에는 가뭄(61%), 한파(14%)가 높은 비중을 차지함
- 정수장에는 가뭄(61%), 폭염(29%)이 높은 비중을 차지함
- 취수장에는 가뭄(71%), 폭염(21%)이 높은 비중을 차지함
- 수돗물에는 가뭄(56%), 폭염(28%), 한파(7%)가 높은 비중을 차지함
- 상수도기반시설에 대하여 이슈화 비중은 가뭄(61%), 폭염(23%), 한파(8%), 호우(4%), 폭설(3%), 강풍(3%)



<그림 14> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(대구광역시)

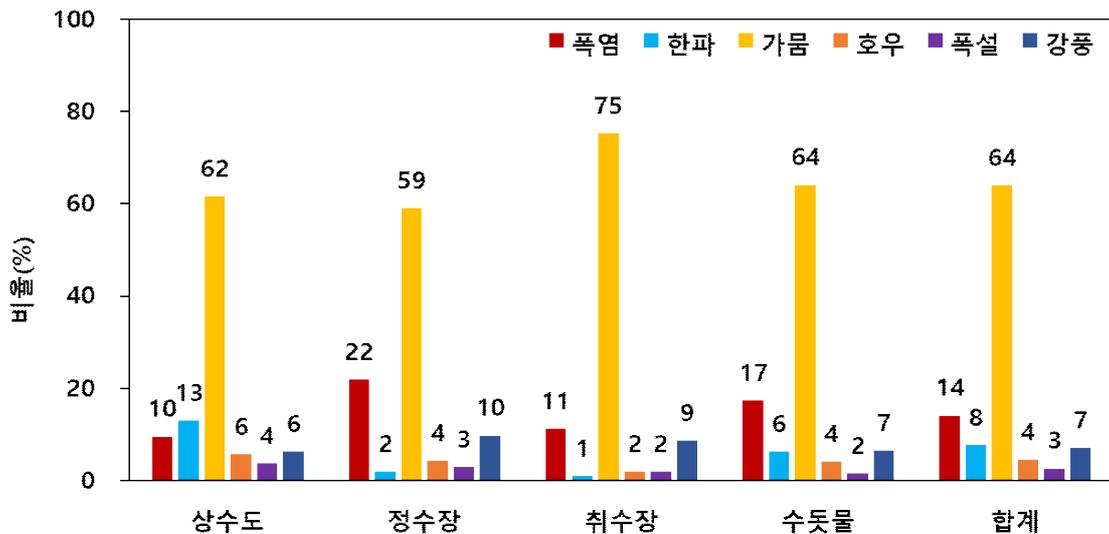
□ 울산광역시

- 울산광역시의 상수도 기반시설에 따른 기후 이슈는 상수도, 수돗물, 정수장, 취수장 순으로 관심
- 가뭄, 폭염, 한파, 강풍, 호우, 폭설 순으로 울산광역시 상수도 기반 시설과 연관된 이슈를 보임
- 울산광역시에서는 모든 상수도 기반시설에 대한 가뭄이 가장 큰 이슈화가 됨

<표 12> 상수도 기반시설 관련 기후영향요소의 이슈화 빈도 (울산광역시)

상수도 기반시설	기후영향요소						합계
	폭염	한파	가뭄	호우	폭설	강풍	
상수도	61	83	393	36	24	40	637
정수장	45	4	121	9	6	20	205
취수장	23	2	155	4	4	18	206
수돗물	101	37	373	24	9	38	582
합계	230	126	1,042	73	43	116	1,630

- 상수도에는 가뭄(62%), 한파(13%)가 높은 비중을 차지함
- 정수장에는 가뭄(59%), 폭염(22%)이 높은 비중을 차지함
- 취수장에는 가뭄(75%), 폭염(11%)이 높은 비중을 차지함
- 수돗물에는 가뭄(64%), 폭염(17%), 한파(6%)가 높은 비중을 차지함
- 상수도기반시설에 대하여 이슈화 비중은 가뭄(64%), 폭염(14%), 한파(8%), 강풍(7%), 호우(4%), 폭설(3%)



<그림 15> 대표 상수도 기반 시설별 기후영향요소 이슈화 비중(울산광역시)

### 3.3 정수처리 단위공정별 기후변화가 영향을 미치는 설계인자 검토

#### 3.3.1 수도정비기본계획 수립지침(2018. 환경부)

□ 수도정비기본계획 수립지침

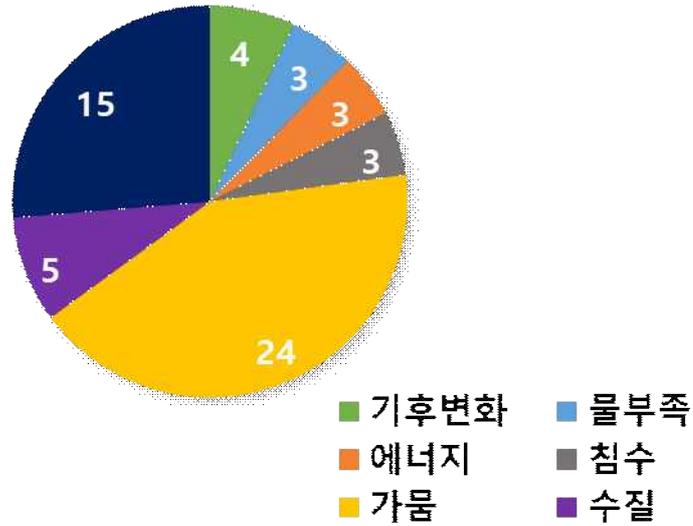
- 호우에 있어 가동중단기간, 계획홍수 빈도 등 데이터 활용
- 호우에 따른 침수 피해 예방 기대 시 빗물이용시설 설치 고려
- 한파에 따라 안정적 취수량 확보 및 동파 방지 대책 필요

- 가뭄에 따른 취수량 감소, 수질 악화, 침투부하 증가 등이 가장 크게 고려됨
- 장래 취수량 예측, 10년 빈도 갈수량 등 데이터 활용으로 용수 공급 방안 검토
- 에너지 소모 적은 친환경 수자원의 우선 활용
- 온실가스 배출량 및 재생에너지 이용률을 고려한 시설 개량

<표 13> 수도정비기본계획 수립지침 주요 내용

이상기후 현상	기후변화 대응 계획 방안
호우	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 녹조, 강우 관련 자료를 통한 가동중단기간 분석</li> <li>• 계획홍수 빈도에 따라 취수 위치 고려</li> <li>• 침수피해 예방 효과 기대 시 빗물이용시설 설치 검토</li> </ul>
한파	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동절기 안정적 취수량 확보</li> <li>• 정수 및 관로 시설의 동파 방지 대책 수립</li> </ul>
가뭄	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 취수원의 안정적 공급</li> <li>• 최악 수질 예측</li> <li>• 장래 취수량 부족 지역에 재이용수 활용 등 수요량 절감 계획</li> <li>• 장래 상수원 기능 상실 우려 지역에 대한 안정적 용수공급 방안 검토 및 안정화 계획 수립</li> <li>• 10년 빈도 갈수량, 용수배분계획, 취수시설 위치 고려하여 가뭄 시 취수가능량 산정</li> <li>• 10년간 취수량 분석으로 가뭄 시 취수량 확보 스트레스 분석</li> <li>• 가뭄으로 인한 취수장애를 경험한 시설에 수량 안정화 계획 수립</li> <li>• 가뭄 시 취수원 수질 개선 대책 수립</li> <li>• 기온과 가뭄에 따른 침투부하 설정</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 에너지가 적게 소요되는 친환경 수자원 우선 활용</li> <li>• 생산량 1m<sup>3</sup>당 CO<sub>2</sub> 배출량, 정수 전력의 재생에너지 이용률을 고려한 시설 개량</li> </ul>

- 가뭄과 기후변화가 각 24회, 15회 언급된 주요 키워드
- 물부족 및 수질 악화에 대비한 대응책 필요



<그림 16> 수도정비기본계획 수립 지침 기후변화 키워드

### 3.3.2 서울특별시 상수도사업본부 기후변화 적응대책(2020 ~2024)

#### □ 폭염 및 가뭄 대책

- 폭염 및 가뭄에 대비하여 배수지 건설 및 취약 상수관로 정비
- 폭염 및 가뭄에 대비하여 절수기기 의무 설치 건물 파악과 절수기기 설치 관리 강화 대책 마련
- 폭염 및 가뭄으로 인한 원수 수질 급변, 조류 발생에 대비한 약품 주입량, 분말 활성탄 품질 및 입상 활성탄 품질 변화에 대한 조사
- 폭염 및 가뭄에 대한 조류 발생 대비를 위한 조류 대책 상황실, 조류차단막 설치
- 병물 아리수 생산 및 비축과 비상 연계 관로 활용을 통한 폭염 및 가뭄 상황에서의 비상 급수 확보
- 폭염 및 가뭄에 대해 누수 탐지, 유량 감시, 전력 설비 수전 전압 등에 대한 모니터링 강화

<표 14> 폭염 및 가뭄 대비 서울 상수도시설의 적응 대책

상수도 시설	내용
정수장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 약품 시설 점검, 원수 수질 급변 시 대비 약품 주입량 조건표 정비 비치</li> <li>• 원수 수질 급변 대비 약품 주입량 조건표 정비</li> <li>• 조류 발생 시 사용되는 분말활성탄의 시간 경과에 따른 품질변화 조사</li> <li>• 시간 경과에 따른 입상활성탄 품질변화 조사</li> <li>• 전염소에서 중염소로 전환</li> </ul>
취수원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조류대책 상황실 설치 및 비상근무</li> <li>• 조류검사 강화 및 취수구 주변 조류차단막 설치 운영</li> </ul>
배급수관로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배수지 건설</li> <li>• 취약 상수관로 선제적 정비</li> <li>• 누수 취약지역 집중 누수 탐지 및 순찰 점검, 유수율 저조(90% 미만) 중블록 집중 관리, 유량 감시 시스템을 통한 공급량 관리</li> </ul>
수돗물	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폭염 발생 시 수돗물 비상 급수 공급 지원</li> <li>• 병물 아리수 생산 및 비축</li> <li>• 민방위 비상 시설 등 활용 가능 자원 사용, 잠실 수중보를 활용한 비상 급수 물량 생산</li> <li>• 비상 연계 관로 설치로 무단수 급수 체계 구축</li> <li>• 절수기기 의무 설치 건물 파악 및 설치 관리 강화 대책 마련</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폭염 대비 현장 매뉴얼 마련 및 이행</li> <li>• 위기대응 매뉴얼로 수질 사고 대책반 가동</li> <li>• 전력 설비 수전 전압 변경</li> </ul>

□ 한파 및 폭설 대책

- 한파 및 폭설에 대비하여 동파 취약 시설 사전 점검 및 보온 조치
- 한파 및 폭설에 대비하여 절수기기 의무 설치 건물 파악과 절수기기 설치 관리 강화 대책 마련
- 한파 및 폭설로 인한 수질 저하 시 pH 조절제 사용을 통한 응집 장애 예방
- 한파 및 폭설로 인한 침전지 등의 동파 예방을 위한 상황실 운영
- 병물 아리수 생산 및 비축을 통한 한파 및 폭설 상황에서의 비상 급수 확보
- 한파 및 폭설에 대해 맛냄새 물질, 누수 탐지, 유량 감시 등 모니터링 강화

<표 15> 한파 및 폭설 대비 서울 상수도시설의 적응 대책

상수도 시설	내용
정수장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH 상승과 원수 수질 저하로 인한 응집 장애 시 pH 조절제 사용 등 적정 약품 투입</li> <li>• 침전지 사용 배관 동파 및 지내 결빙 방지</li> <li>• 침전지 결빙 예방용 살수관 적기 가동</li> <li>• 동파 예고 단계별 상황실 운영</li> </ul>
취수원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 없음</li> </ul>
배급수관로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동파 취약 시설 사전 점검 및 보온 조치</li> <li>• 동파 및 누수 대비 24시간 복구체계 구축</li> </ul>
수돗물	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 절수기기 의무 설치 건물 파악 및 설치 관리 강화 대책 마련</li> <li>• 병물 아리수 생산 및 비축</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동파에 대비하여 분야별 점검반을 구성하고 시설물 일제 점검 실시</li> </ul>

□ 호우 대책

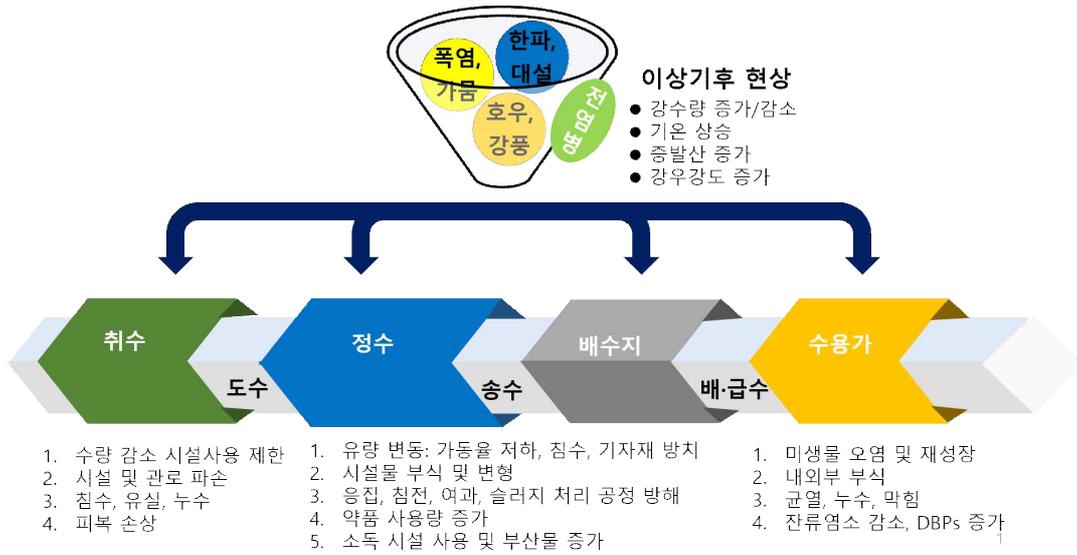
- 호우에 대비하여 우기 대비 안전 취약시설 안전 점검
- 호우에 대비하여 절수기기 의무 설치 건물 파악과 절수기기 설치 관리 강화 대책 마련
- 호우로 인한 고탁도 유입 발생 시 정수 약품 적정 투입
- 호우로 인한 염소 투입량 부족을 대비한 예비 염소 투입기 대기
- 호우, 태풍 대비 시설물 점검 강화
- 병물 아리수 생산 및 비축과 비상 연계 관로 활용을 통한 호우 상황에서의 비상 급수 확보
- 호우에 대해 비점오염원 유입, 암모니아성 질소, 전기전도도, 누수 탐지, 유량 감시, 침전지 밀도류, 침전슬러지 발생량 등에 대한 모니터링 강화

<표 16> 호우 대비 서울 상수도시설의 적응 대책

상수도 시설	내용
정수장	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기 강우 시 비점오염원 다량 유입에 따른 전*후 잔류염소 처리 강화</li> <li>침전지 밀도류 발생 방지</li> <li>침전슬러지발생량에 따라 슬러지콜렉터 가동횟수 가감 운영</li> <li>고탁도 발생징후 사전 동향 파악 및 처리조 정수약품 적정 투입</li> <li>Jar-test 등 수질시험 강화와약품 적정량 투입</li> <li>응집 30일, 알칼리제 및 소독제 10일분 확보</li> <li>염소주입량 부족을 대비한 예비 염소 투입기 점검 및 가동대기 상태 유지</li> </ul>
취수원	<ul style="list-style-type: none"> <li>강우 직후 취수장 도달시간을 감안한 암모니아성질소, 전기전도도 감시 강화</li> </ul>
배급수관로	<ul style="list-style-type: none"> <li>누수 취약지역 집중 누수 탐지 및 순찰 점검, 유수율 저조(90% 미만) 중블록 집중 관리, 유량 감시 시스템을 통한 공급량 관리</li> </ul>
수돗물	<ul style="list-style-type: none"> <li>절수기기 의무 설치 건물 파악 및 설치 관리 강화 대책 마련</li> <li>병물 아리수 생산 및 비축</li> <li>비상 연계 관로 설치로 무단수 급수 체계 구축</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>우기 대비 안전 취약시설 안전 점검 계획 이행</li> <li>태풍, 호우 대비 시설물 관리 점검반 편성</li> </ul>

### 3.3.3 상수도시설 대상별 이상기후 영향 분석 종합

- 취수 시설은 강우강도 변화에 따른 수량 감소 시설사용 제한, 누수 등 고려 필요
- 정수 시설은 기온 상승에 따른약품 사용량 증가 및 시설물 부식 관련 개선 필요
- 배수 시설은 미생물 오염 및 재성장, 소독부산물 증가에 대응 필요
- 이상기후에 따라 증발산 증가, 기온 상승, 강우강도 증가, 강우량 감소 등의 현상이 발생
- 취수 시설에서 관로 변형, 침수 및 유실, 피복 등의 문제 발생
- 정수 시설에서 유량 감소에 따른 가동률 저하, 시설물 부식, 응집 방해, 침전 방해, 여과지 지속 시간 단축, 소독 사용 증가에 따른 부산물 증가 등의 문제 발생
- 배수 시설에서 미생물 오염 및 재성장, 잔류염소 감소 등 문제 발생



<그림 17> 상수도시설 분야별 기후변화 영향 요인

<표 17> 상수도시설 대상별 이상기후 영향

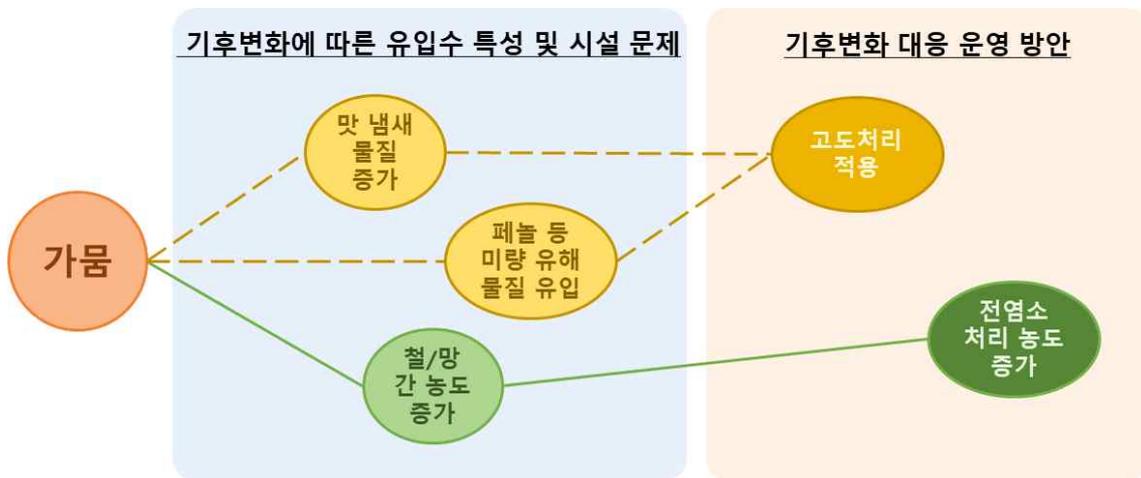
구분	내용		
이상기후	폭염, 가뭄, 한파, 폭설, 호우, 강풍, 감염병		
이상기후 현상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 증발산 증가</li> <li>• 기온 상승</li> <li>• 강우강도 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강우량 감소</li> <li>• 수질 악화</li> <li>• 기온 상승</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기온 상승</li> <li>• 강수량 감소</li> <li>• 증발산 증가</li> </ul>
영향 대상	취수	정수	배수
이상기후 영향	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 수량 감소 시설사용 제한</li> <li>2. 장기 노출 시설 부식 및 변형</li> <li>3. 관로 변형</li> <li>4. 침수 및 유실</li> <li>5. 시설 막힘</li> <li>6. 피복 손상</li> <li>7. 누수</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 유량 변화에 따른 가동률 저하</li> <li>2. 침수 및 유실</li> <li>3. 유량 감소로 기자재 사용 방치</li> <li>4. 시설물 부식 및 변형</li> <li>5. 응집 방해, 응집제, 알칼리제 추가</li> <li>6. 침전 방해, 슬러지 처리 증가</li> <li>7. 여과지/활성탄 지속 시간 단축</li> <li>8. 소독 사용 증가</li> <li>9. 부산물 증가</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 미생물 오염 및 재성장</li> <li>2. 내외부 부식</li> <li>3. 균열</li> <li>4. 누수</li> <li>5. 막힘</li> <li>6. 소독부산물 증가</li> <li>7. 잔류염소 감소</li> </ol>

### 3.4 정수처리 단위공정별 기후변화가 영향을 미치는 운영인자 검토

- 기후변화에 따라 철·망간 용출, 독소 물질 증가, 미량 유해 물질 유입, 단전 전력 수급의 어려움 등의 어려움 발생
- 고도처리 적용, 염소처리 농도 증가, 응집제 주입량 증가 등 대응 운영 필요
- 정수장에서 빈도가 높은 기후 영향은 가뭄, 폭염, 호우, 한파, 폭설로 나타남

#### 3.4.1 가뭄에 따른 운영인자 변화

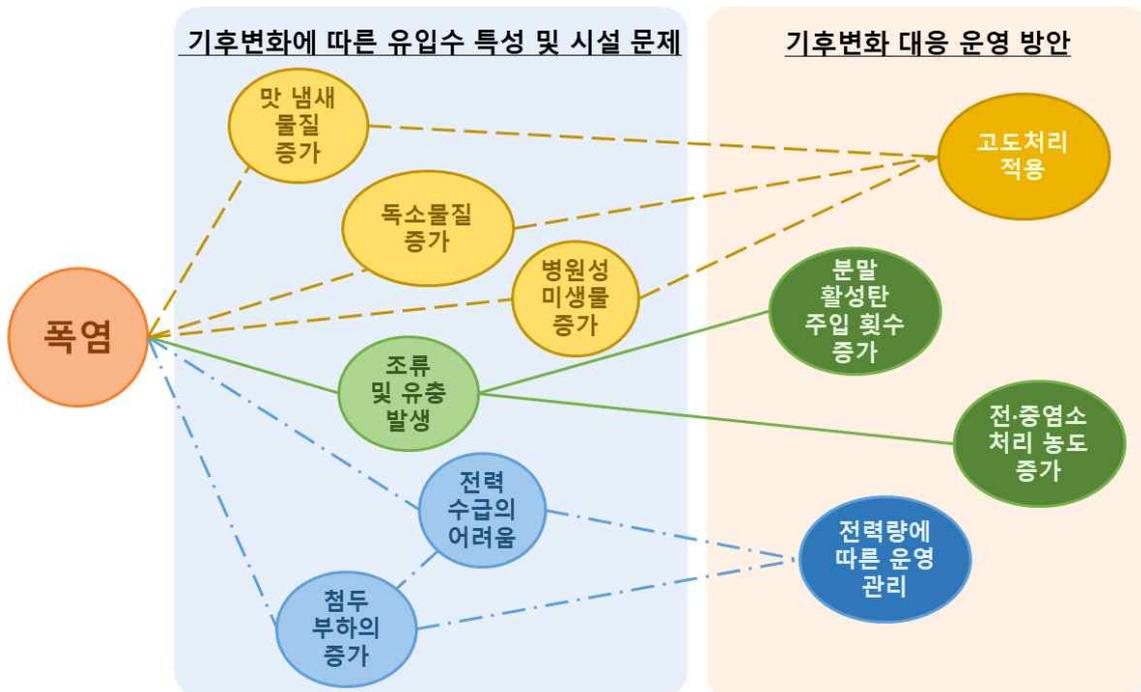
- 가뭄에 따라 맛 냄새 물질, 페놀 등 미량 유해 물질 유입 증가 시 고도 처리 적용을 통한 대응
- 가뭄에 따라 철·망간 농도 증가 시 전염소 처리 농도 증가로 대응



<그림 18> 가뭄에 따른 정수처리 시설의 문제 및 대응 운영

#### 3.4.2 폭염에 따른 운영인자 변화

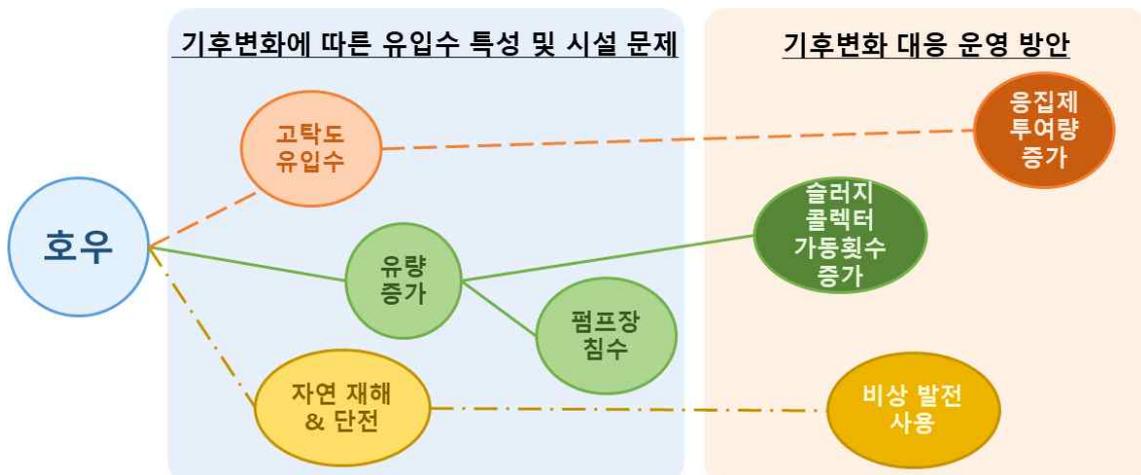
- 폭염에 따라 맛 냄새 물질, 독소물질, 병원성 미생물 증가 시 고도처리 적용을 통한 대응
- 폭염에 따라 조류 및 유충 발생 시 분말활성탄 주입 횟수 증가 및 전·중염소 처리 농도 증가로 대응
- 폭염에 따라 전력 수급의 어려움과 침투부하 증가의 위험이 발생할 시 전력량에 따른 운영 관리 진행



<그림 19> 폭염에 따른 정수처리 시설의 문제 및 대응 운영

### 3.4.3 호우에 따른 운영인자 변화

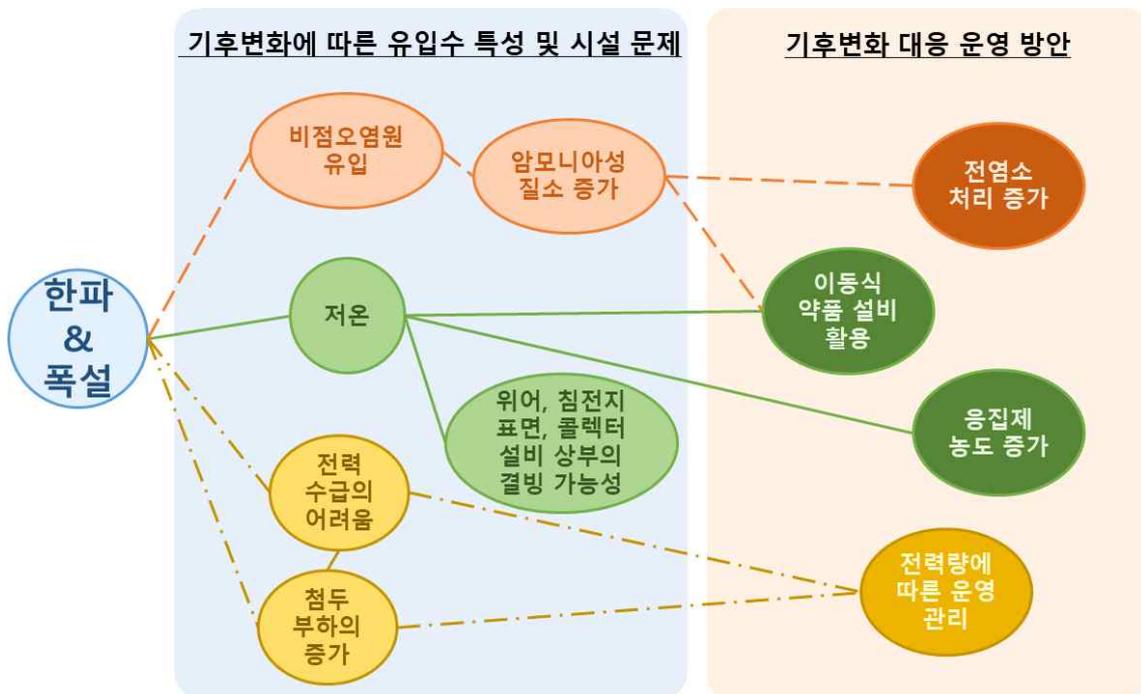
- 호우에 따라 고탁도 유입 발생 시 응집제 주입량 증가로 대응
- 호우에 따른 유량 증가로 펌프장 침수 발생 가능성
- 호우에 따라 유량 증가 시 슬러지 콜렉터 가동 횟수 증가
- 호우에 따른 단전 발생 시 비상 발전 사용



<그림 20> 호우에 따른 정수처리 시설의 문제 및 대응 운영

### 3.4.4 한파에 따른 운영인자 변화

- 한파 및 폭설에 따라 비점오염원 유입에 따른 암모니아성 질소 증가 시 전염소 처리 및 이동식 약품 설비 활용으로 대응
- 한파 및 폭설에 따라 저온이 발생해 약품의 성능 감소 시 이동식 약품 설비 활용과 응집제 농도 증가로 대응
- 한파 및 폭설에 따른 저온으로 위어, 침전지 표면, 콜렉터 설비 상부의 결빙 가능성
- 폭염에 따라 전력 공급의 어려움과 침투부하 증가의 위험이 발생할 시 전력량에 따른 운영 관리 진행



<그림 21> 한파 및 폭설에 따른 정수처리 시설의 문제 및 대응 운영

- 가뭄과 폭염에 의한 중복영향으로 정수장 운영인자 변화 및 운영 방안을 확인한 결과 각각 맛 냄새 물질 증가, 고도처리 적용이 고려됨
- 한파 및 폭설로 인한 상수도관 문제는 규모가 작은 지역 상수도에서 주로 발생
- 지방 상수도의 문제 해결을 위해 광역 상수도의 비상 연계 관로 활용
- 수용가의 수도 계량기 등 동파 발생

<표 18> 정수처리 시설의 기후변화 요인별 고려 내용

구분	기후변화에 따른 유입수 특성 및 시설 문제	기후변화 대응 운영 방안
폭염	독소 물질의 증가, 병원성 미생물 증가	고도처리 적용
	조류 및 유충 발생	전.중염소처리 농도 증가 및 분말활성탄 주입 횟수 증가
	전력 공급의 어려움, 첨두부하 증가	전력량에 따른 운영 관리
한파 및 폭설	비점오염원 유입에 따른 암모니아 농도 증가	전염소 처리 증가
	저온	응집제 농도 증가, 이동식 약품 설비 활용
	전력 공급의 어려움, 첨두부하 증가	전력량에 따른 운영 관리
가뭄	폐놀 등 미량 유해물질의 유입	고도처리 공정 적용
	철 및 망간 농도 증가	전염소 처리 증가
호우	고탁도 유입수	응집제 주입량 증가
	유량 증가 및 침수	슬러지 콜렉터 가동 횟수 증가
	자연재해에 따른 단전 발생	비상 발전 사용
중복 영향	맛 냄새 물질 증가	고도처리 적용

- 한파 및 폭설에 따른 상수도관 피해는 지방 상수도에서 주로 일어남
- 지방상수도는 해빙기에 대비한 누수 문제 해결 필요
- 지방상수도의 동파 방지 및 이에 따른 단수 대비책 필요
- 광역상수도는 지방상수도 문제 발생 시 비상 연계 관로 제공
- 수용가는 수도 계량기의 동파 방지 필요

<표 19> 한파 및 폭설에 따른 상수도관과 수용가 변화

구분	내용
광역 상수도	• 지방 상수도를 위한 비상 연계 관로의 사용
지방 상수도	• 해빙기 배수지의 배수량 증가에 따른 누수 문제 • 동파 방지를 위한 퇴수구 개방 등을 통한 유속 증가 • 동파로 인한 단수 대비 배수지 수위 유지 필요 • 해빙기 대비 누수 탐지 횟수 증가
수용가	• 수도 계량기 등의 동파

### 3.5 설문조사 결과 분석

- 설문 방법: 온라인 설문지(Google Form)
- 설문 기간: 23.07.31 - 23.09.01
- 설문 대상: 서울물연구원, 영등포 아리수정수센터, 광암 아리수정수센터, 부산수질 연구소, 부산상수도사업본부, 한국수자원공사 등 상수도 분야에서 근무 중인 수도 전문가를 대상으로 선정
- 설문 내용: 기후변화에 의한 상수도시설 영향 조사
- 조사방법
  - 각 기후변화 요인에 대응하는 상수도시설 운영 인자의 증감 파악
  - 수계별, 부서별, 경력 기간별 운영 데이터 추출 및 카테고리화
  - 과거 운영 데이터 및 기후변화로 인한 수질 사고 사례 자료 수집
- 질문지 구성
  - 기후변화 요인: 폭염, 한파&폭설, 가뭄, 호우&태풍, 강풍, 전염병&감염병, 낙뢰
  - 기후변화 요인별 상수도 운영 인자의 변화 정도에 대한 설문 구성\*
- \* 부록에 질문지 원본 수록
- 가중치 분석 방법 (영향 점수)
  - ‘매우 낮음’, ‘낮음’, ‘보통’, ‘높음’, ‘매우 높음’ 항목으로 구성하여 설문 진행
  - 모든 답변의 점수를 평균 혹은 최빈값을 구하여 분석 진행
- 수질 변화 추이 분석 방법
  - ‘매우 감소’, ‘감소’, ‘유지’, ‘증가’, ‘매우 증가’ 항목으로 구성하여 설문 진행
  - 모든 답변의 점수를 평균 혹은 최빈값을 구하여 분석 진행

<표 20> 설문조사 분석 내용 항목별 점수 구성

구분	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
가중치 영향 점수	0점	1점	2점	3점	4점
구분	매우 감소	감소	유지	증가	매우 증가
변화 추이 영향 점수	-2점	-1점	0점	1점	2점

#### 3.5.1 상수도 시설에 대한 기후변화 영향

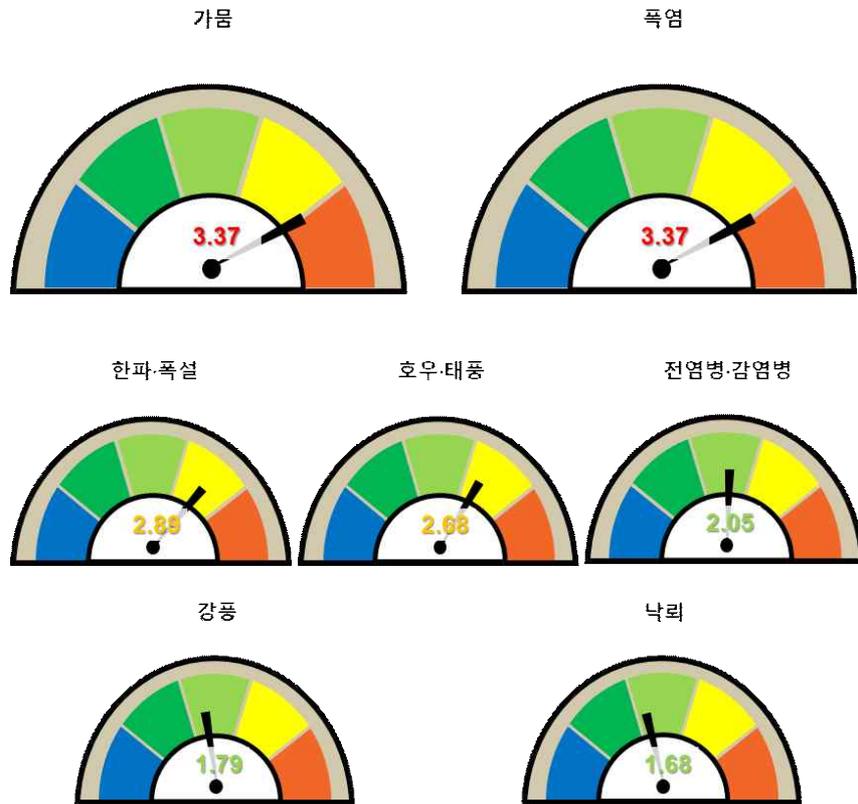
- 설문 표본 정보
  - 총 답변수 : 19 개
  - 수계 : 한강 (52.8%), 낙동강 (31.6%), 금강 (10.5%), 영산강 (5.3%)
  - 업무 분야 : 정수 (47.4%), 배수 및 관망 (31.6%), 연구 (5.3%), 기타 (15.8%)

<표 21> 상수도시설 운영 인자, 항목별 운영관리 세부 인자

상수도시설 운영 인자	운영관리 세부 인자
정수장 중점 수질관리 항목	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탁도, 탁수 발생 빈도 및 강도 증가, 영향 지속시간</li> <li>• TOC, 소독부산물, 철&amp;망간, 맛·냄새 물질</li> <li>• 조류 및 조류 독소 물질</li> <li>• 병원성 미생물, 유충 등 소형 생물</li> <li>• 페놀 등 미량 유해 물질</li> </ul>
생산 계통 운영관리 인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일 평균 생산량</li> <li>• 약품 주입량 조절 및 약품 배관 점검, 이동식 약품 설비 활용, 소독제 주입량</li> <li>• GT(혼합 강도), 여과속도</li> <li>• 여과지 역세척 주기, 슬러지 인발 주기</li> <li>• 분말활성탄 주입, 고도정수처리 도입</li> <li>• 생산 설비 동파, 민원 발생</li> <li>• 침투 전력 부하 발생, 전력 수급 불안정, 비상용 전원설비 가동</li> <li>• 전 오존, 후 오존 주입</li> </ul>
공급 계통 운영관리 인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 누수 탐지, 관망 유속 관리</li> <li>• 배수지 수위 조절</li> <li>• 관 세척 및 퇴수</li> <li>• 대체 급수 및 광역상수도 비상 연계</li> <li>• 절수시설 설치</li> <li>• 계량기 동파 방지, 민원 발생</li> <li>• 펌프장 전력 소비 침투 부하, 전력 수급 불안정, 비상용 전력 설비 가동</li> <li>• 펌프장 침수로 인한 상수도 생산 및 급수 중단</li> </ul>

□ 상수도 기반 시설에 대한 기후변화 영향 점수

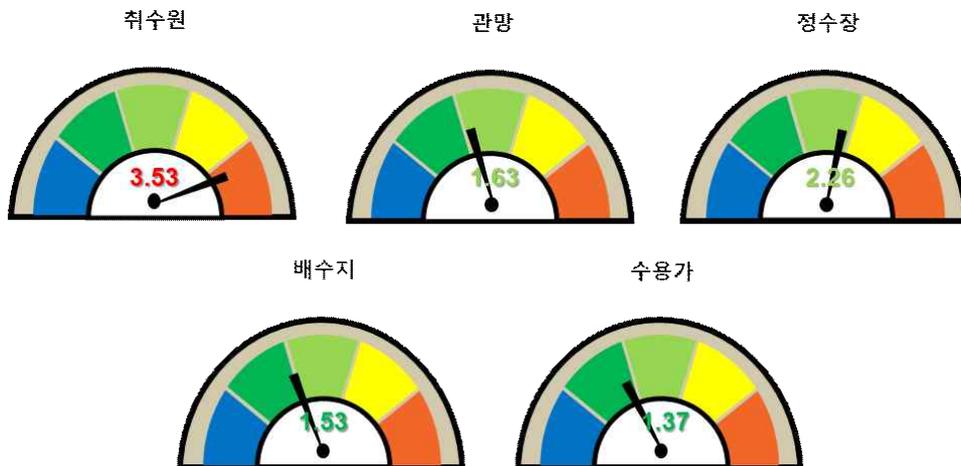
- 각 기후 인자별 답변 점수의 평균으로 영향 점수(0점~4점)를 계산
- ‘가뭄’ 과 ‘폭염’ 에서 영향 점수가 모두 3.37로 ‘높음’ ~ ‘매우 높음’ 점수로 환산됨.
- ‘한파·폭설’ 과 ‘호우’ 에서 영향 점수는 각각 2.89, 2.68로 ‘보통’ ~ ‘높음’ 점수로 환산됨.
- ‘전염병·감염병’ 에서 영향 점수가 2.05로 ‘보통’ 에 근접한 점수로 환산됨.
- ‘강풍’ 과 ‘낙뢰’ 에서 영향 점수는 각각 1.79, 1.68로 ‘낮음’ ~ ‘보통’ 점수로 환산됨.
- ‘상수도 기반 시설 관련 기후 영향 요소의 이슈화 빈도 (전국)’ 와 같이 ‘가뭄’, ‘폭염’, ‘한파’ 순으로 높았음



<그림 22> 상수도시설에 대한 기후변화 영향

### 3.5.2 기후변화 취약 상수도 시설 순위

- 각 상수도 시설별 답변 점수의 평균으로 영향 점수를 계산
- 취수원이 3.53 점으로 1위, 정수장이 2.26 점으로 2위로 가장 높아 기후변화의 영향에 가장 취약한 시설
- 관망, 배수지, 수용가는 각각 1.63점, 1.53점, 1.37점으로 기후변화의 영향에 취약하지 않은 시설



<그림 23> 상수도시설 구성 요소에 대한 기후변화 취약 순위 점수

### 3.5.3 기후변화로 인한 취수원 수질 / 정수장 유입 수질의 변화

#### □ 가뭄으로 인한 취수원 수질 / 정수장 유입 수질의 변화

- 가뭄으로 인한 수질 변화 추이의 영향 점수를 환산한 결과, 항목별 평균값이 0.37~1.32로 나타났으며, 값이 모두 0 이상이기 때문에 증가 추세를 보임
- 가뭄으로 인한 수질 인자 영향 점수 중 ‘조류 및 조류 독소 물질’ 과 ‘맛·냄새 물질’ 에서 ‘매우 증가’ 의 답변이 가장 많았고, 영향 점수의 평균이 각각 1.32, 1.16의 결과를 보임.
- 가뭄으로 인한 수질 인자 영향 점수 중 ‘TOC’ 에서 ‘증가’ 의 답변이 가장 많았고, 영향 점수의 평균이 1.11로 맛·냄새 물질에 이어 영향이 높았음.
- 페놀 등 미량 유해 물질에서 ‘유지’ 의 답변이 가장 많고, 가장 낮은 평균인 0.37로 가뭄으로 인한 수질 변화 영향이 가장 적음

<표 22> 가뭄으로 인한 수질 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	수질 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
가뭄	수질	조류 및 조류독소 물질	1.32	2.00
		맛·냄새 물질	1.16	2.00
		TOC	1.11	1.00
		탁도	0.79	1.00
		소독부산물	0.63	1.00
		철·망간	0.63	0.00
		병원성 미생물	0.58	1.00
		유충 등 소형 생물	0.58	1.00
		페놀 등 미량 유해 물질	0.37	0.00

#### □ 폭염으로 인한 취수원 수질 / 정수장 유입 수질의 변화

- 폭염으로 인한 수질 변화 추이의 영향 점수를 환산한 결과, 항목별 평균값이 0.11~0.89로 나타났으며, 값이 모두 0 이상이기 때문에 증가 추세를 보임
- 모든 수질 인자에서 평균과 최빈값이 1.00(증가) 이하인 것으로 보아 폭염으로 인한 변화가 가뭄에 비해 크지 않음
- 폭염으로 인한 수질 인자 영향 점수 중 ‘유충 등 소형 생물’, ‘맛·냄새 물질’, ‘조류 및 조류독소 물질’ 에서 영향 점수 평균값이 가장 높았고, 0.89, 0.84, 0.84의 결과를 보임.
- 페놀 등 미량 유해 물질, 철·망간, 탁도에서 ‘유지’ 의 답변이 가장 많고, 각각 평균 0.11, 0.26, 0.32으로 폭염의 영향이 적음

<표 23> 폭염으로 인한 수질 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	수질 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
폭염	수질	유충 등 소형 생물	0.89	1.00
		맛·냄새 물질	0.84	1.00
		조류 및 조류독소 물질	0.84	1.00
		소독부산물	0.68	1.00
		병원성 미생물	0.63	0.00
		TOC	0.58	1.00
		탁도	0.32	0.00
		철·망간	0.26	0.00
		페놀 등 미량 유해 물질	0.11	0.00

□ 한파, 폭설로 인한 취수원 수질 / 정수장 유입 수질의 변화

- 한파, 폭설로 인한 수질 변화 추이의 영향 점수를 환산한 결과, 항목별 평균값이 -0.53~0.05로 나타났으며, ‘철·망간’을 제외한 모든 인자에서 값이 모두 0 이하이기 때문에 감소 추세를 보임
- 모든 수질 인자에서 ‘유지’의 답변이 가장 많고, 평균의 절댓값이 1.00 미만으로 한파, 폭설의 영향이 높지 않음

<표 24> 한파, 폭설로 인한 수질 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	수질 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
한파, 폭설	수질	철·망간	0.05	0.00
		탁도	-0.16	0.00
		TOC	-0.16	0.00
		소독부산물	-0.16	0.00
		페놀 등 미량 유해 물질	-0.16	0.00
		맛·냄새 물질	-0.26	0.00
		병원성 미생물	-0.26	0.00
		조류 및 조류독소 물질	-0.37	0.00
		유충 등 소형 생물	-0.53	0.00

□ 태풍, 호우로 인한 취수원 수질 / 정수장 유입 수질의 변화

- ‘태풍, 호우’로 인한 수질 변화 추이의 영향 점수를 환산한 결과, 각 항목별 평

균값이 -0.21~1.26으로 나타났으며, ‘조류 및 조류독소 물질’ 항목은 음수로 ‘감소’ 추세, ‘페놀 등 미량 유해물질’, ‘유충 등 소형 생물’ 항목은 0으로 ‘유지’, 나머지 항목은 양수로 ‘증가’ 추세를 보임.

- ‘태풍, 호우’ 로 인한 수질 인자 영향 점수 중 ‘탁도’ 에서 영향 점수 평균값이 1.26으로 평균값이 가장 높았고, ‘매우 증가’ 의 답변이 가장 많았음.
- ‘태풍, 호우’ 로 인한 수질 인자 영향 점수 중 ‘탁수 발생 빈도 및 강도 증가, 영향 지속 시간’ 에서 영향 점수 평균값은 1.05로 나타났으며, ‘증가’ 의 답변이 가장 많았음.
- ‘태풍, 호우’ 로 인한 수질 인자 영향 점수 중 ‘조류 및 조류독소 물질’ 에서 영향 점수 평균값은 -0.21로 나타났으며, ‘태풍, 호우’ 인자에서 유일하게 음수 평균값을 가졌고, 최빈값은 ‘유지’ 의 답변이 가장 많았음.

<표 25> 태풍, 호우로 인한 수질 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	수질 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
태풍, 호우	수질	탁도	1.26	2.00
		탁수 발생 빈도 및 강도 증가, 영향 지속 시간	1.05	1.00
		TOC	0.47	0.00
		철·망간	0.42	0.00
		소독부산물	0.37	0.00
		맛·냄새 물질	0.05	0.00
		병원성 미생물	0.05	1.00
		페놀 등 미량 유해 물질	0.00	0.00
		유충 등 소형 생물	0.00	-1.00
		조류 및 조류독소 물질	-0.21	0.00

□ 기후 요인으로 인한 취수원 수질 / 정수장 유입 수질의 변화

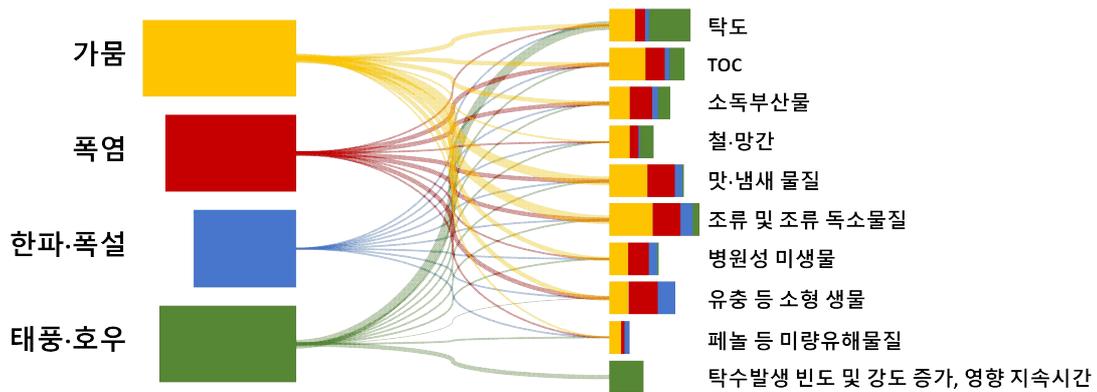
- 영향 점수의 평균값(또는 평균값의 절댓값)이 1.00 이상인 항목은 ‘증가’, ‘매우 증가’ 답변이 많았던 항목으로, 기후 요인으로 인해 변동이 큰 수질 인자로 해석할 수 있음.
- 기후 요인으로 인한 영향이 높은 수질에는 가뭄에 따른 ‘조류 및 조류독소 물질’, ‘맛·냄새 물질’, ‘TOC’ 가 있으며, 태풍과 호우에 따른 ‘탁도’, ‘탁수 발생 빈도 및 강도 증가, 영향 지속 시간’ 이 있음.

<표 26> 기후 요인으로 인한 변화가 큰 수질 인자

기후 인자	수질 인자
가뭄	조류 및 조류 독소 물질, 맛·냄새 물질, TOC
폭염	-
한파, 폭설	-
태풍, 호우	탁도, 탁수 발생 빈도 및 강도 증가, 영향 지속 시간

□ 기후 요인에 의한 수질 변화 데이터 종합분석

- 기후 요인에 따른 영향 점수의 총합은 ‘가뭄’, ‘태풍·호우’, ‘폭염’, ‘한파·폭설’ 순으로 높았음.
- ‘가뭄’은 ‘탁도’와 ‘탁수 발생 빈도 및 강도 증가, 영향 지속 시간’ 항목을 제외한 모든 항목에서의 영향 점수 평균값이 가장 높았음.
- ‘태풍·호우’는 ‘탁도’와 ‘탁수 발생 빈도 및 강도 증가, 영향 지속 시간’에서 영향 점수 평균값이 가장 높았음.
- 기후 요인에 가장 많은 영향을 받는 수질 인자는 ‘탁도’, ‘탁수 발생 빈도 및 강도 증가, 영향 지속 시간’으로 나타남.
- ‘맛·냄새 물질’, ‘조류 및 조류독소 물질’이 그 뒤를 이었으며, 다음으로 ‘TOC’ 항목이 영향을 많이 받음.
- <그림 24>에서 수질 인자 데이터 영향 점수는 절댓값을 활용하여 비율을 나타내었으며, 수질 인자 점수의 총합과 비율은 <표 28>과 같음.



<그림 24> 기후에 의한 수질 변화 데이터 맵

<표 27> 태풍, 호우로 인한 수질 인자 영향 점수

수질 인자	가뭄	폭염	한파·폭설	태풍·호우	합계
탁도	0.79	0.32	0.16	1.26	2.53
TOC	1.11	0.58	0.16	0.47	2.32
소독부산물	0.63	0.68	0.16	0.37	1.84
철·망간	0.63	0.26	0.05	0.42	1.36
맛·냄새 물질	1.16	0.84	0.26	0.05	2.31
조류 및 조류독소 물질	1.32	0.84	0.37	0.21	2.74
병원성 미생물	0.58	0.63	0.26	0.05	1.52
유충 등 소형 생물	0.58	0.89	0.53	0	2.00
페놀 등 미량유해물질	0.37	0.11	0.16	0	0.64
탁수 발생 빈도 및 강도 증가, 영향 지속 시간	0	0	0	1.05	1.05

### 3.5.4 기후로 인한 정수장 생산 계통 영향 분석

#### □ 가뭄으로 인한 생산 계통 영향

- 모든 생산 계통 인자에 대하여 2.00 이상의 평균과 최빈값을 보여 가뭄에 의한 영향이 보통 이상
- 고도정수처리 도입에서 ‘높음’의 답변이 가장 많고, 평균 2.74로 가뭄의 영향이 높으며, 전력 수급 불안정, 비상용 전원 설비 가동에서는 ‘보통’의 답변이 가장 많고, 평균 2.11로 가뭄의 영향이 가장 낮음
- 일 평균 생산량, 약품 주입량 조절 및 약품 배관 점검, 분말활성탄 주입, 민원 발생, 전 오존 투입, 후 오존 투입에서 ‘높음’의 응답이 가장 많음

<표 28> 가뭄에 의한 생산 계통 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	운영 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
가뭄	생산	고도정수처리 도입	2.74	3.00
		분말활성탄 주입	2.58	3.00
		일 평균 생산량	2.53	3.00
		약품 주입량 조절 및 약품 배관 점검	2.53	3.00
		후 오존 투입	2.53	3.00
		소독제 주입량	2.47	2.00
		침전슬러지 인발 주기	2.47	2.00
		민원 발생	2.47	3.00
		전 오존 투입	2.47	3.00
		여과지 역세척 주기	2.37	2.00
		첨두 전력 부하 발생	2.21	2.00
전력 수급 불안정, 비상용 전원 설비 가동	2.11	2.00		

□ 폭염으로 인한 생산 계통 영향

- 모든 생산 계통 인자에 대하여 2.00 이상의 평균과 최빈값을 보여 폭염에 의한 영향이 보통 이상
- 일 평균 생산량에서 ‘매우 높음’ 응답이 가장 높고, 평균 3.05로 폭염에 의한 영향이 가장 높음.

<표 29> 폭염에 의한 생산 계통 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	운영 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
폭염	생산	일 평균 생산량	3.05	4.00
		소독제 주입량	2.84	3.00
		약품 주입량 조절 및 약품 배관 점검	2.79	3.00
		분말활성탄 주입	2.74	3.00
		고도정수처리 도입	2.63	3.00
		여과지 역세척 주기	2.58	3.00
		후 오존 투입	2.53	3.00
		침전슬러지 인발 주기	2.42	3.00
		민원 발생	2.42	3.00
		전 오존 투입	2.37	3.00
		전력 공급 불안정, 비상용 전원 설비 가동	2.26	2.00
		첨두 전력 부하 발생	2.21	2.00

□ 한파, 폭설로 인한 생산 계통 영향

- 약품 주입량 조절 및 약품 배관 점검, 여과지 역세척 주기, 민원 발생, GT (혼화 강도), 여과속도, 생산 계통 설비 동파를 제외한 생산 계통 인자에 대하여 1.00 미만의 평균을 보여 한파, 폭설의 영향이 적음
- 생산 계통 설비 동파에서 ‘보통’의 답변이 가장 많고, 평균 2.79로 한파, 폭설의 영향이 가장 높음

<표 30> 한파, 폭설에 의한 생산 계통 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	운영 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
한파, 폭설	생산	생산 계통 설비 동파	2.79	2.00
		민원 발생	2.32	2.00
		GT (혼화 강도)	2.16	2.00
		여과속도	2.16	2.00
		약품 주입량 조절 및 약품 배관 점검	2.05	2.00
		여과지 역세척 주기	2.00	2.00
		이동식 약품 설비 활용	1.95	2.00
		침전슬러지 인발 주기	1.84	2.00
		침투 전력 부하 발생	1.84	2.00
		전력 공급 불안정, 비상용 전원 설비 가동	1.84	2.00
		일 평균 생산량	1.79	2.00
		소독제 주입량	1.79	2.00
		후 오존 투입	1.79	2.00
		전 오존 투입	1.74	2.00
		분말활성탄 주입	1.68	2.00
고도정수처리 도입	1.68	2.00		

□ 태풍, 호우로 인한 생산 계통 영향

- 침전슬러지 인발 주기가 평균 2.68, 최빈값 3.00으로 생산 계통 인자 중 태풍, 호우의 영향을 가장 많이 받음.
- 전 오존 투입은 평균 1.79, 최빈값 2.00으로 생산 계통 인자 중 태풍, 호우의 영향을 가장 적게 받음.
- 전 오존 투입 외에도 일간 생산량, 전력 소비 침두부하 발생, 후 오존 투입 인자가 평균 2.00 미만으로 태풍, 호우의 영향이 적음.

<표 31> 한파, 폭설에 의한 생산 계통 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	운영 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
태풍, 호우	생산	침전슬러지 인발 주기	2.68	3.00
		약품 주입량 조절 및 약품 배관 점검	2.68	2.00
		여과지 역세척 주기	2.58	3.00
		소독제 주입량	2.53	2.00
		GT (혼화 강도)	2.32	2.00
		여과속도	2.26	2.00
		민원 발생	2.21	2.00
		고도정수처리 도입	2.16	2.00
		분말활성탄 주입	2.11	2.00
		전력 공급 불안정, 비상용 전원 설비 가동	2.00	2.00
		침두 전력 부하 발생	1.95	2.00
		후 오존 투입	1.89	2.00
		일 평균 생산량	1.84	2.00
전 오존 투입	1.79	2.00		

### 3.5.5 기후로 인한 정수장 공급 계통 영향 분석

#### □ 가뭄으로 인한 공급 계통 영향

- 대체 급수 및 광역상수도 비상 연계에서 평균 2.63으로 가뭄의 영향이 가장 높음
- 절수시설 설치, 민원 발생에서 ‘높음’ 응답이 가장 많고, 평균이 각각 2.42와 2.37로 가뭄의 영향이 높음
- 누수 탐지, 계량기 동파 방지 홍보 강화, 펌프장 전력 소비 침두부하 발생, 전력 수급 불안정, 비상용 전원 설비 가동에서 평균 2.00 미만으로 가뭄의 영향이 적음
- 특히 계량기 동파 방지에서 ‘매우 낮음’ 응답이 가장 많고, 평균이 1.21로 가뭄의 영향이 가장 적음

<표 32> 가뭄에 의한 공급 계통 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	운영 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
가뭄	공급	대체 급수 및 광역상수도 비상 연계	2.63	2.00
		절수시설 설치	2.42	3.00
		민원 발생	2.37	3.00
		배수지 수위 조절	2.32	2.00
		관망 내 유속 관리	2.00	2.00
		관 세척, 퇴수	2.00	2.00
		펌프장 전력 소비 침두부하 발생	1.95	2.00
		누수 탐지	1.84	2.00
		전력 수급 불안정, 비상용 전원설비 가동	1.79	2.00
		계량기 동파 방지 홍보 강화	1.21	0.00

□ 폭염으로 인한 공급 계통 영향

- 계량기 동파 방지를 제외한 공급 계통 인자에서 평균 2.00 이상으로 폭염의 영향이 높음
- 배수지 수위 조절에서 ‘보통’의 답변이 가장 많고, 평균 2.47로 폭염에 의한 영향이 가장 높음
- 계량기 동파 방지 홍보 강화에서 ‘보통’의 답변이 가장 많고, 평균 1.32로 폭염에 의한 영향이 가장 낮음

<표 33> 폭염에 의한 공급 계통 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	운영 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
폭염	공급	배수지 수위 조절	2.47	3.00
		민원 발생	2.32	3.00
		관망 내 유속 관리	2.26	2.00
		대체 급수 및 광역상수도 비상 연계	2.21	2.00
		절수시설 설치	2.16	2.00
		펌프장 전력 소비 첨두부하 발생	2.16	2.00
		누수 탐지	2.11	2.00
		관 세척, 퇴수	2.11	2.00
		전력 수급 불안정, 비상용 전원설비 가동	2.05	2.00
		계량기 동파 방지 홍보 강화	1.32	2.00

□ 한파, 폭설로 인한 공급 계통 영향

- 계량기 동파 방지 홍보 강화에서 ‘매우 높음’의 답변이 가장 많고, 평균 3.21로 한파, 폭설의 영향이 가장 높음
- 관망 내 유속 관리에서 ‘높음’의 답변이 가장 많고, 평균이 2.53으로 한파, 폭설의 영향이 높음
- 관 세척 및 퇴수, 대체 급수 및 광역상수도 비상 연계, 절수시설 설치, 펌프장 전력 소비 침투부하 발생, 전력 수급 불안정, 비상용 전원설비 가동에서 평균 2.00 미만으로 한파, 폭설의 영향이 적음

<표 34> 한파, 폭설에 의한 공급 계통 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	운영 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
한파, 폭설	공급	계량기 동파 방지 홍보 강화	3.21	4.00
		누수 탐지	2.53	2.00
		관망 내 유속 관리	2.42	3.00
		민원 발생	2.32	2.00
		배수지 수위 조절	2.11	2.00
		대체 급수 및 광역상수도 비상 연계	1.95	2.00
		관 세척, 퇴수	1.79	2.00
		전력 수급 불안정, 비상용 전원설비 가동	1.79	2.00
		절수시설 설치	1.74	2.00
		펌프장 전력 소비 침투부하 발생	1.74	2.00

□ 태풍, 호우로 인한 공급 계통 영향

- 모든 공급 계통 인자에서 ‘보통’의 답변이 가장 많음
- 배수지 수위 조절, 펌프장 침수로 인한 상수도 생산 및 급수 중단, 관망 내 유속 관리, 민원 발생을 제외한 공급 계통 인자에서 평균 2.00 미만으로 태풍, 호우의 영향이 적음
- 펌프장 침수로 인한 상수도 생산 및 급수 중단에서 평균 2.58로 태풍, 호우의 영향이 가장 높음
- 계량기 동파 방지 홍보 강화에서 평균 1.16으로 태풍, 호우의 영향이 가장 적음

<표 35> 태풍, 호우에 의한 공급 계통 인자 영향 점수

기후 인자	상수도 인자	운영 인자	영향 점수 평균값	영향 점수 최빈값
태풍, 호우	공급	펌프장 침수로 인한 상수도 생산 및 급수 중단	2.58	2.00
		배수지 수위 조절	2.05	2.00
		관망 내 유속 관리	2.00	2.00
		대체 급수 및 광역상수도 비상 연계	2.00	2.00
		민원 발생	2.00	2.00
		관 세척, 퇴수	1.89	2.00
		누수 탐지	1.84	2.00
		펌프장 전력 소비 첨두부하 발생	1.74	2.00
		전력 수급 불안정, 비상용 전원설비 가동	1.74	2.00
		절수시설 설치	1.68	2.00
		계량기 동파 방지 홍보 강화	1.16	2.00

□ 기후로 인한 상수도 인자의 영향

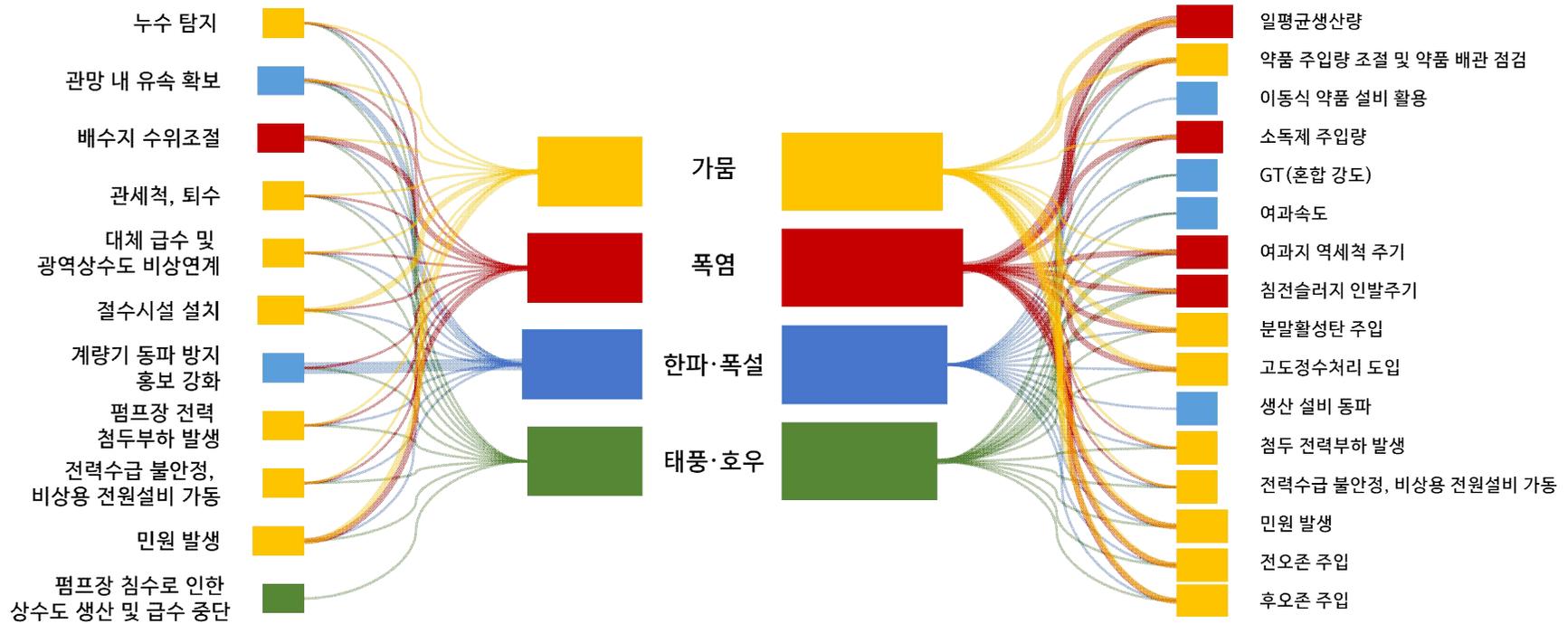
- 기후 인자와 상수도 생산/공급 영향 평균은 평균으로 구한 관련 영향 점수의 평균이며, 최빈값 평균은 최빈값들로 구한 관련 영향 점수의 평균으로 계산
- 폭염에서 평균 2.57, 최빈값 평균 2.92로 생산 계통에 영향이 가장 높으며, 가뭄에서 평균 2.46, 최빈값 평균 2.58로 폭염 다음으로 영향이 높음
- 한파, 폭설에서 평균 1.96, 최빈값 평균 2.00으로 생산 계통에 영향이 가장 낮음
- 반면 한파, 폭설에서 평균 2.16, 최빈값 평균 2.30으로 공급 계통에 영향이 가장 높음
- 태풍, 호우에서 평균 1.88, 최빈값 평균 2.00으로 공급 계통에 영향이 가장 적음

<표 36> 기후로 인한 상수도 인자 영향 점수의 평균

기후 인자	상수도 인자	평균	최빈값 평균
가뭄	생산	2.46	2.58
	공급	2.05	2.00
폭염	생산	2.57	2.92
	공급	2.12	2.20
한파, 폭설	생산	1.96	2.00
	공급	2.16	2.30
태풍, 호우	생산	2.21	2.14
	공급	1.88	2.00

□ 기후로 인한 상수도 생산 및 공급 계통의 영향

- 기후 요인별 상수도의 생산 및 공급 계통에 미치는 영향을 <그림 25>에 나타냄
- 영향 점수가 높은 상위 5개 그룹은 ‘한파, 폭설-계량기 동파 방지 홍보 강화(평균값 3.21)’, ‘폭염-일간생산량(평균값 3.05)’, ‘폭염-소독제 주입량(평균값 2.84)’, ‘한파, 폭설-생산계통 설비 동파(평균값 2.79)’, ‘폭염-약품 주입량 조절 및 약품 배관 점검(평균값 2.79)’ 으로 나타남
- 상수도의 공급 계통에 영향을 주는 기후 인자는 ‘한파, 폭설’, ‘폭염’, ‘가뭄’, ‘태풍, 호우’ 순으로 영향 점수가 높음
- 상수도의 생산 계통에 영향을 주는 기후 인자는 ‘폭염’, ‘가뭄’, ‘태풍, 호우’, ‘한파, 폭설’ 순으로 영향 점수가 높음



\*생산 및 공급 계통 영향 점수를 표현한 막대는 가장 영향을 많이 받은 기후 인자의 색깔로 표현됨.

\*\*기후 인자와 각 항목을 연결한 선의 굵기는 영향 점수를 나타냄.

<그림 25> 기후로 인한 상수도 영향 데이터 맵

### 3.6 사례를 통한 기후변화와 정수장 운영 인자의 상관 분석

#### 3.6.1 기후변화 인자와 운영 인자의 Pearson 상관계수 도출

□ 조사 방법 : 기상청 기후변화 인자와 영등포 아리수정수센터의 취수원 수질 및 운영 인자의 DB 구축 및 상관계수 도출(Python)

□ 분석자료 기간 : 2011.01.01 ~ 2022.12.31.(최근 12년간)

□ 분석 도구 : Python ver. 1.85

□ 피어슨 상관계수 (Pearson Correlation Coefficient)

- 상관계수 분석에 있어 피어슨 상관계수 활용
- 피어슨 상관계수는 두 변수 간의 선형 상관관계를 나타낸 -1과 1 사이의 수치로, 양의 상관관계가 강할수록 1에 가까운 값을 가지며, 음의 상관관계가 가까울수록 -1에 가까운 값을 가지게 됨.
- 피어슨 상관계수는 이하의 수식과 같이 계산. X, Y는 상관관계를 알고자 하는 변수들이고, X와 Y는 각 변수의 표본 평균.

$$r_{XY} = \frac{\sum_i^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_i^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_i^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

<수식 1> Equation of Pearson  
Correlation Coefficient

- 피어슨 상관계수의 절댓값이 0.7과 1.0 사이이면 ‘매우 강함’의 상관관계, 0.3과 0.7 사이이면 ‘강함’의 상관관계, 0.1과 0.3 사이이면 ‘약함’의 상관관계, 0.1 미만이면 ‘미미’한 상관관계로 정의. (정중문 외 3인, 피어슨 상관계수를 이용한 적외선 열화상 안전 진단 시스템 개발, 2019)
- 분석에 적용된 데이터는 일평균 데이터.

□ 분석인자 선정

- 호우는 일강우량 80mm 이상(안전보건공단. 풍수해 대비 안전·보건 매뉴얼 (2014-건설-405). 2014.), 가뭄은 6개월 누적 강우량을 기준으로 산정한 강우지수로 판단하므로 호우는 일강우량, 가뭄은 6개월 누적 강우량을 기후변화 인자로 선정
- 폭염은 일 최고기온, 한파는 일 최저기온을 기후변화 인자로 선정, 기상청에 따른 폭염 기준은 일 최고기온 33℃ 이상이며 한파 기준은 일 최저기온 -12℃ 이하
- 자문 및 설문조사 결과 바탕으로 기후변화 영향이 있는 취수원 수질 인자 항목 5개와 정수장 운영 인자 항목 6개를 선정

□ Pearson 상관관계 분석 결과

- 기후변화 인자-취수원 수질 인자, 취수원 수질 인자-정수장 운영 인자, 기후변화 인자-정수장 운영 인자 사이 Pearson 상관계수 산정
- 매우 강한 상관관계를 연두색, 강한 상관관계를 노란색으로 표기

<표 37> 상관성 분석 대상 기후인자 및 정수장 운영 인자

기후변화 인자	취수원 수질 인자	정수장 운영 인자
호우 (일 강우량, mm)	탁도(NTU)	정수장 생산량(m <sup>3</sup> /day)
가뭄 (6개월 누적 강우량, mm)	수온(°C)	응집제 주입량(kg/d)
폭염 (일 최고 기온, °C)	TOC(mg/L)	슬러지 콜렉터 가동시간(min)
한파 (일 최저 기온, °C)	암모니아(mg/L)	정수지 수위(m)
	pH	전염소처리 주입량(L/hr)
		실제 오존 주입률(mg/L)

□ 기후변화 인자, 취수원 수질 인자 간의 Pearson 상관관계 분석 결과

- ‘폭염-수온’, ‘한파-수온’ 에서의 상관계수는 각각 0.921, 0.933으로 ‘매우 강함’의 상관관계를 보임
- ‘호우-탁도’ 에서의 상관계수는 0.385로 ‘강함’의 상관관계를 보임
- ‘호우-TOC’, ‘호우-암모니아’, ‘폭염-TOC’, ‘한파-TOC’ 에서의 상관계수는 각각 0.039, 0.010, 0.003, 0.006으로 ‘미미’한 상관관계를 보임
- 그 외에 나머지 항목에서의 상관계수는 0.1~0.3 사이의 값으로 ‘약함’의 상관관계를 보임

<표 38> 기후변화 인자, 취수원 수질 인자 간 Pearson 상관계수

기후변화 인자	취수원 수질 인자	상관계수
호우	탁도	0.385
	수온	0.226
	TOC	0.039
	암모니아	0.010
	pH	0.123
가뭄	탁도	0.161
	수온	0.229
	TOC	0.206
	암모니아	0.123
	pH	0.193
폭염	탁도	0.213
	수온	0.921
	TOC	0.003
	암모니아	0.231
	pH	0.200
한파	탁도	0.259
	수온	0.933
	TOC	0.006
	암모니아	0.213
	pH	0.233

- 취수원 수질 인자, 정수장 운영 인자 간의 Pearson 상관관계 분석 결과
- ‘탁도-응집제’에서의 상관계수는 0.871로 ‘매우 강함’의 상관관계를 보임
  - ‘수온-생산량’, ‘수온-콜렉터 가동시간’, ‘수온-전염소’에서의 상관계수는 각각 0.351, 0.496, 0.340으로 ‘강함’의 상관관계를 보임
  - ‘탁도-생산량’, ‘TOC-생산량’, ‘수온-응집제’, ‘TOC-응집제’, ‘pH-응집제’에서의 상관계수는 각각 0.112, 0.133, 0.237, 0.209, 0.190으로 ‘약함’의 상관관계를 보임
  - 또한, ‘탁도-콜렉터 가동시간’, ‘pH-콜렉터 가동시간’, ‘암모니아-전염소’, ‘수온-오존’에서의 상관계수는 각각 0.268, 0.172, 0.106, 0.270으로 ‘약함’의 상관관계를 보임
  - 그 외에 나머지 항목에서의 상관계수는 0.1 미만 값으로 ‘미미’한 상관관계를 보임

<표 39> 취수원 수질 인자, 정수장 운영 인자 간 Pearson 상관계수

취수원 수질 인자	정수장 운영 인자	상관계수
탁도	생산량	0.112
수온		0.351
TOC		0.133
암모니아		0.096
pH		0.085
탁도	응집제	0.871
수온		0.237
TOC		0.209
암모니아		0.007
pH		0.190
탁도	콜렉터 가동시간	0.268
수온		0.496
TOC		0.007
암모니아		0.003
pH		0.172
탁도	수위	0.033
수온		0.093
TOC		0.013
암모니아		0.068
pH		0.014
탁도	전염소	0.110
수온		0.340
TOC		0.016
암모니아		0.106
pH		0.022
탁도	오존	0.049
수온		0.270
TOC		0.049
암모니아		0.007
pH		0.043

□ 기후변화 인자, 정수장 운영 인자 간의 Pearson 상관관계 분석 결과

- ‘폭염-생산량’, ‘폭염-콜렉터 가동시간’, ‘한파-생산량’, ‘한파-응집제’, ‘한파-콜렉터 가동시간’에서의 상관계수는 각각 0.404, 0.483, 0.398, 0.313, 0.521로 ‘강함’의 상관관계를 보임
- ‘호우-생산량’, ‘호우-수위’, ‘호우-오존’, ‘호우-응집제’, ‘폭염-수위’, ‘한파-수위’에서의 상관계수는 각각 0.022, 0.063, 0.077, 0.086, -0.108, -0.087로 ‘미미’한 상관관계를 보임
- 그 외에 나머지 항목에서의 상관계수는 0.1~0.3 사이의 값으로 ‘약함’의 상관관계를 보임

<표 40> 기후변화 인자, 정수장 운영 인자 간 Pearson 상관계수

기후변화 인자	정수장 운영 인자	상관계수
호우	생산량	<b>0.022</b>
	응집제	0.271
	콜렉터 가동시간	0.175
	수위	<b>0.063</b>
	전염소	0.102
	오존	<b>0.077</b>
가뭄	생산량	<b>0.086</b>
	응집제	0.158
	콜렉터 가동시간	0.189
	수위	0.118
	전염소	0.108
	오존	0.186
폭염	생산량	<b>0.404</b>
	응집제	0.267
	콜렉터 가동시간	<b>0.483</b>
	수위	<b>-0.108</b>
	전염소	0.263
	오존	0.220
한파	생산량	<b>0.398</b>
	응집제	<b>0.313</b>
	콜렉터 가동시간	<b>0.521</b>
	수위	<b>-0.087</b>
	전염소	0.283
	오존	0.249

### 3.6.2 기후변화 인자의 수질 및 정수장 운영 인자에 대한 영향 정도

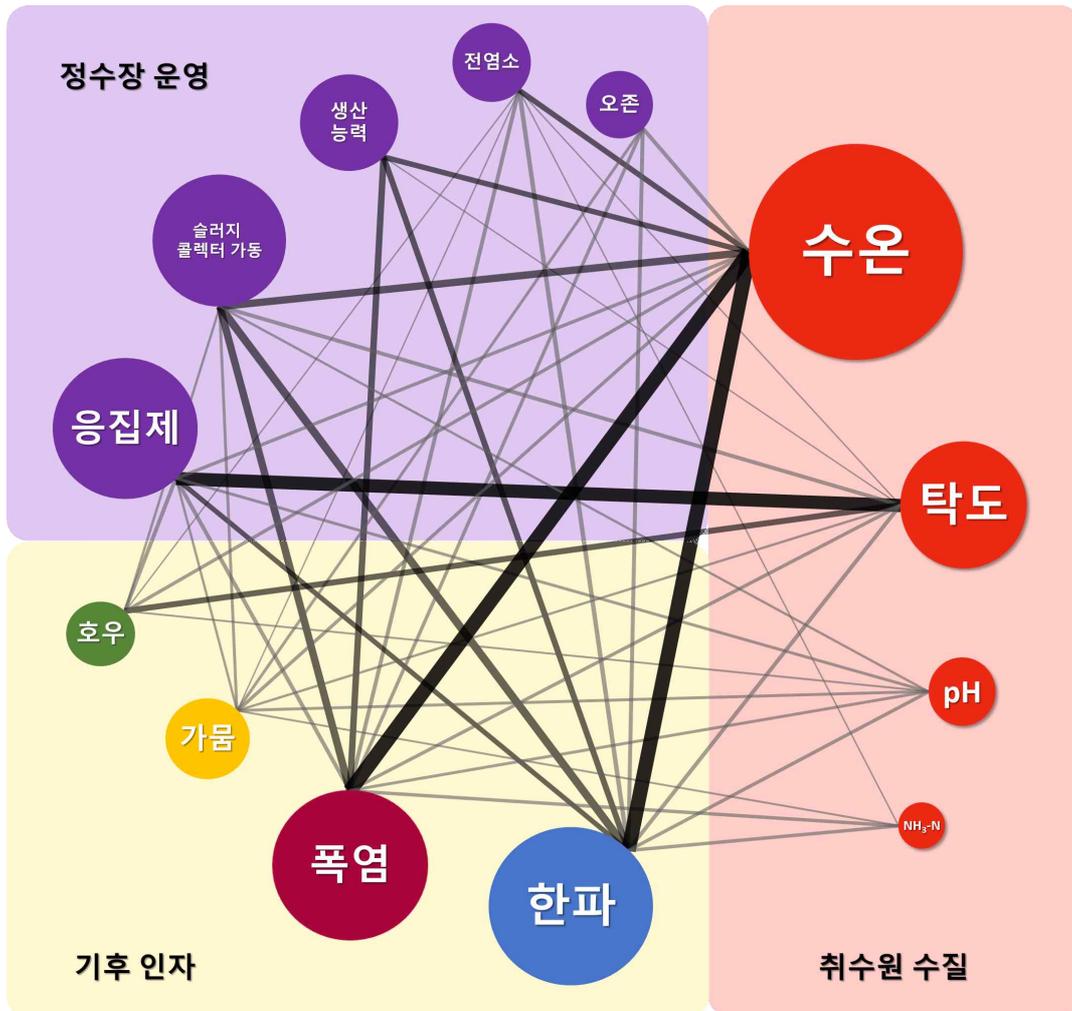
- 각 기후인자 및 운영 인자와 다른 14개의 인자와의 상관계수 절댓값의 합에 가중치를 부여하여 나타냄
- 기후인자의 경우 취수원 수질 및 정수장 운영 인자 11개와의 상관계수의 합, 취수원 수질은 기후인자 및 정수장 운영 인자 10개와의 상관계수의 합, 정수장 운영 인자는 기후인자 및 취수원 수질과의 상관계수 9개의 합을 활용
- 가중치는 상관계수의 합산된 개수와 시각화를 고려하여 임의로 산출

<표 41> 기후변화 및 운영 인자의 상관계수 절댓값의 합 비교

기후인자 및 운영 인자	가중치 부여된 상관계수 절댓값의 합	가중치 산정 방식
호우	20.342	$\sum  r  *15/11$
가뭄	23.946	
폭염	45.175	
한파	47.648	
취수원 탁도	36.931	$\sum  r  *15/10$
취수원 수온	61.419	
취수원 TOC	10.207	
취수원 암모니아	12.962	
취수원 pH	19.123	
정수장 생산량	28.109	$\sum  r  *15/9$
응집제 투입률	42.028	
슬러지컬렉터 가동시간	38.572	
정수지 수위	9.938	
전염소처리 투입률+주입량	22.487	
실제 오존 투입률	19.149	

- 원의 크기는 해당 인자에 대한 모든 상관계수 절댓값의 합, 각 인자 간의 상관계수를 선의 굵기로 표현
- 선이 굵을수록 인자 간의 상관성이 높은 것이며, 원의 크기가 클수록 다른 인자들의 영향을 더 많이 받거나 준 것
- 원에서 정수지 수위와 취수원 TOC는 기타 인자들과 낮은 상관성을 보여 표현되지 않았으며, 정수장 운영 인자 중 여과 지속 시간, 활성탄 역세주기, pH 조정제의 경우 분석 대상에서 제외

- 기후인자는 한파, 폭염, 가뭄, 호우 순으로 정수장 취수원 수질과 운영 인자에 영향을 주었음
- 취수원 수질은 수온, 탁도, pH, 암모니아 순으로 기후인자의 영향을 받거나 정수장 운영 인자에 영향을 주었음
- 정수장 운영 인자는 응집제, 슬러지 콜렉터 가동 시간, 생산량, 전염소 주입량, 오존 주입률 순으로 기후 인자와 유입수 수질에 영향을 받음



\*항목별 원의 크기가 클수록 연결된 모든 항목에 대한 영향성이 큼

\*\*항목 간 연결된 선의 굵기가 굵을수록 두 항목 사이의 상관성이 높음

<그림 26> 기후인자, 유입수 수질, 정수장 운영의 상관성

- 설문조사와 정수장 운영데이터를 기반으로 기후인자와 상수도시설의 영향 관계의 분석 결과를 <표 43>에 비교하여 나타냄.
- 각각의 분석 결과에서 ‘호우-탁도’ 항목은 모두 높은 영향 관계를 가지는 것으로 확인되었으나, 나머지 항목들은 차이를 보임.
- 설문조사 결과 가뭄에 의한 영향이 컸으나, 운영데이터에서는 폭염/한파의 발생 빈도에 비해 가뭄의 발생 빈도가 매우 적게 나타남
- 이는 상관계수 분석 시 활용된 데이터양의 차이로 상반된 결과를 보인 것으로 고려됨

<표 42> 기후인자와 상수도시설의 영향 관계 분석 결과 비교

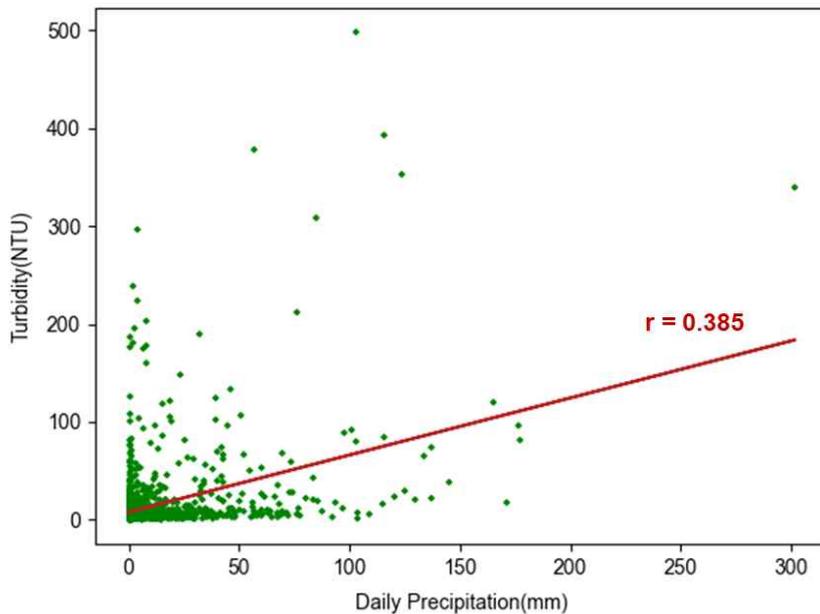
설문조사	정수장 운영데이터
가뭄-TOC	폭염/한파-수온-슬러지콜렉터가동
가뭄-맛-냄새 물질	폭염/한파-수온-생산 능력
가뭄-조류 및 조류독소 물질	폭염/한파-수온-전염소
태풍-호우-탁도	폭염/한파-수온-오존
폭염-유충 등 소형 생물	호우-탁도-응집제
한파-설비 동파	가뭄-암모니아-전염소

### 3.6.3 기후변화에 영향을 받는 주요 인자 상관성 분석

#### □ 호우 - 탁도 - 응집제 주입량의 상관성

##### 1) 호우 - 탁도

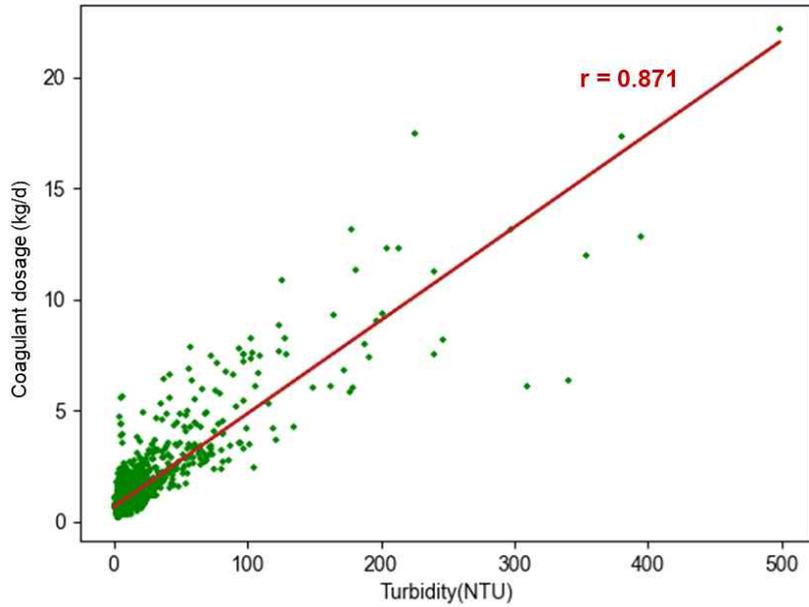
- 취수원 탁도와 호우는 매우 큰 상관성이 있는 지표이며, 취수원 탁도 증가 시에는 정수장에서의 응집제 주입량이 증가하기 때문에 해당 인자의 상관성을 분석함.
- 일 강수량과 취수원 탁도의 분석 결과, 상관계수 0.385로 ‘강함’의 상관관계를 가지며 일 강수량 증가 시 취수원 탁도가 증가하는 경향이지만 산점도 개형에서는 경향성을 보기 어려움.
- 강우가 탁도에 미치는 영향은 해당 정수장의 취수원이 위치하는 유역의 특성에 따라 달라지며, 일 강우는 당일 탁도에 바로 영향을 미치지 않고 지연시간을 가지기 때문에, (이진용, 2008, 소양강 탁수 현황과 저감에 대한 수리학적 분석) 일 강우량이 해당 일 취수원 탁도에 영향을 미치지 못할 수 있음.
- 영등포 아리수정수센터에서 강수가 취수원 탁도에 영향을 주는 데 걸리는 시간에 대한 분석은 3.6.5절에서 진행



<그림 27> 호우 지표인 일 강수량과 취수원 탁도

##### 2) 탁도 - 응집제

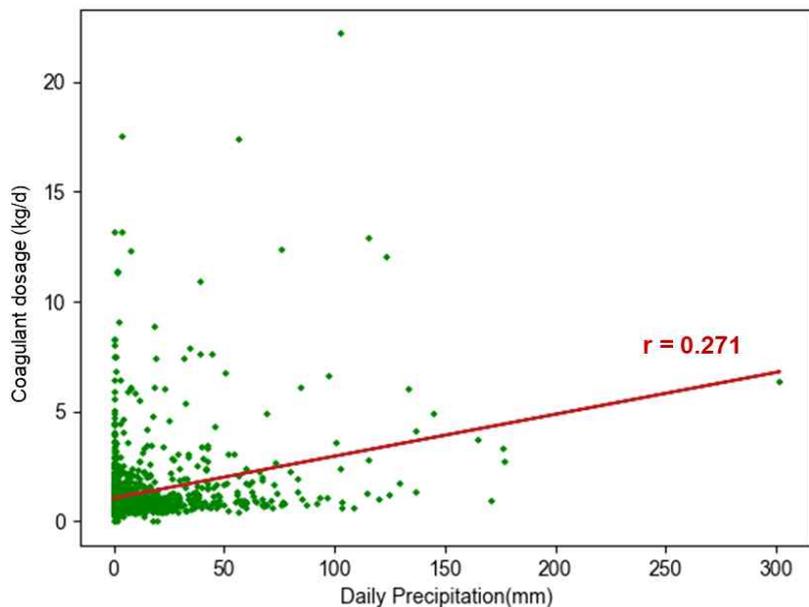
- 취수원 탁도와 정수장 응집제 주입량의 분석 결과, 상관계수 0.871로 ‘매우 강함’의 상관관계 결과를 보였으며, 탁도 증가 시 응집제 주입량이 증가하는 경향성을 보임



<그림 28> 취수원 탁도와 정수장 응집제 투입률

### 3) 호우 - 응집제

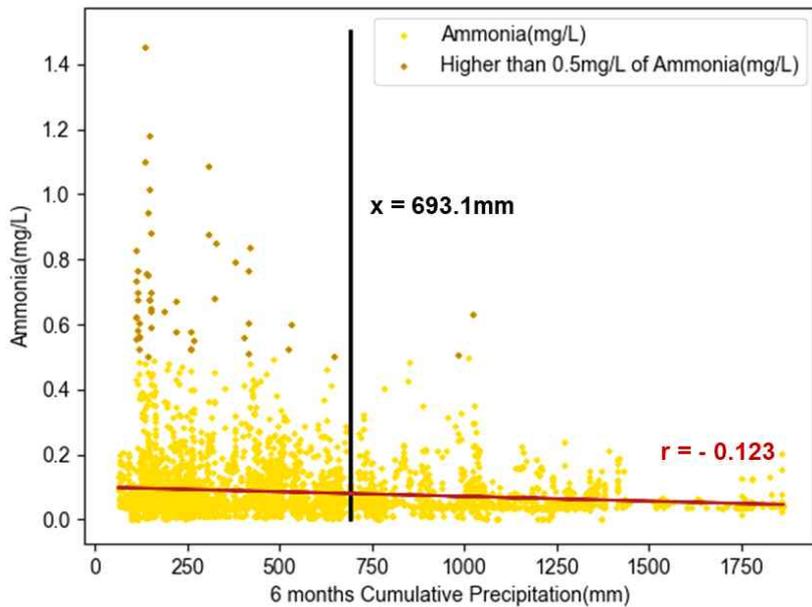
- 일 강우량과 정수장 응집제 투입률의 분석 결과, 상관계수 0.271로 ‘약함’의 상관관계를 보였으며 일 강우량에 따른 응집제 투입률 추이가 뚜렷하지 않음
- 당일 강우가 당일 취수원 탁도에 바로 영향을 미치지 않는 경향을 앞서 확인하였으며, 강우 당일 취수원에서 정수장까지 취수 관망을 통해 이동하는 기간이 있기 때문에, 당일 응집제 투입률에도 많은 영향을 주지 않는 것으로 보임



<그림 29> 호우 지표인 일강우량과 정수장 응집제 투입률

□ 가뭄 - 취수원 암모니아의 상관성

- 6개월 누적 강수량과 취수원 암모니아 농도 사이 상관관계가 뚜렷하지 않으며, 상관계수도 -0.123으로 크기가 작음
- 정수장 수질 항목 기준인 암모니아 농도 0.5 mg/L를 초과하는 경우 정수장에서 암모니아의 처리를 고려해야 함
- 취수원 암모니아 농도가 0.5 mg/L 이상인 경우의 96%는 6개월 누적 강수량이 평년 기준인 693.1 mm 이하인 구간에서 발생(약한 가뭄, 보통 가뭄, 심한 가뭄 참고문헌)
- 약한 가뭄의 기준인 평년 강수량의 55% 이상 65% 이하인 구간에는 취수원 암모니아 농도가 0.5 mg/L 이상인 경우의 10%가 포함됨
- 보통 가뭄의 기준인 평년 강수량의 45% 이상 55% 이하인 구간에는 취수원 암모니아 농도가 0.5 mg/L 이상인 경우의 6%가 포함됨
- 심한 가뭄의 기준인 평년 강수량의 45% 이하인 구간에는 취수원 암모니아 농도가 0.5 mg/L 이상인 경우의 74%가 포함되어 비율이 가장 높음
- 심한 가뭄일 때 취수원 암모니아 농도가 0.5 mg/L 이상인 경우의 빈도가 높으므로 6개월 누적 강수량 낮은 빈도 증가 시 취수원 암모니아 농도가 0.5 mg/L 이상인 경우가 증가

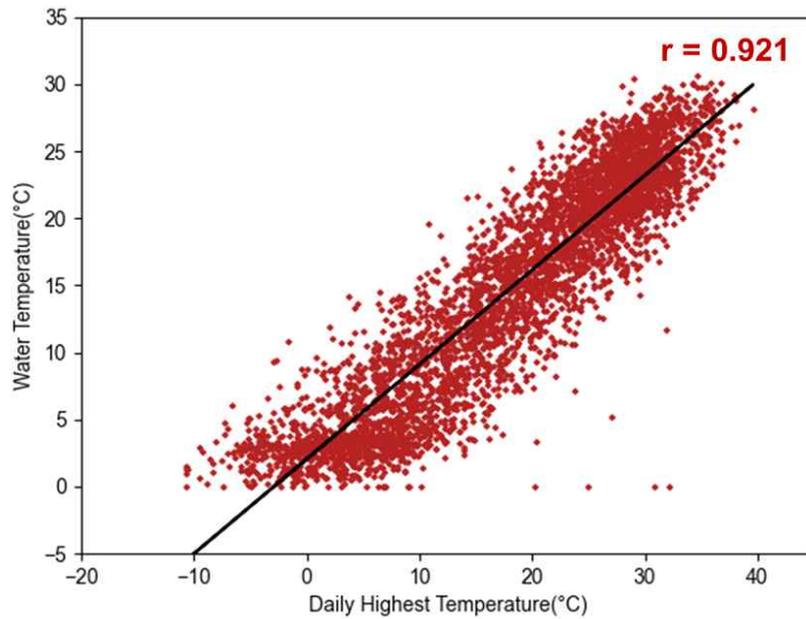


<그림 30> 가뭄 지표인 6개월 누적 강수량과 취수원 암모니아 농도

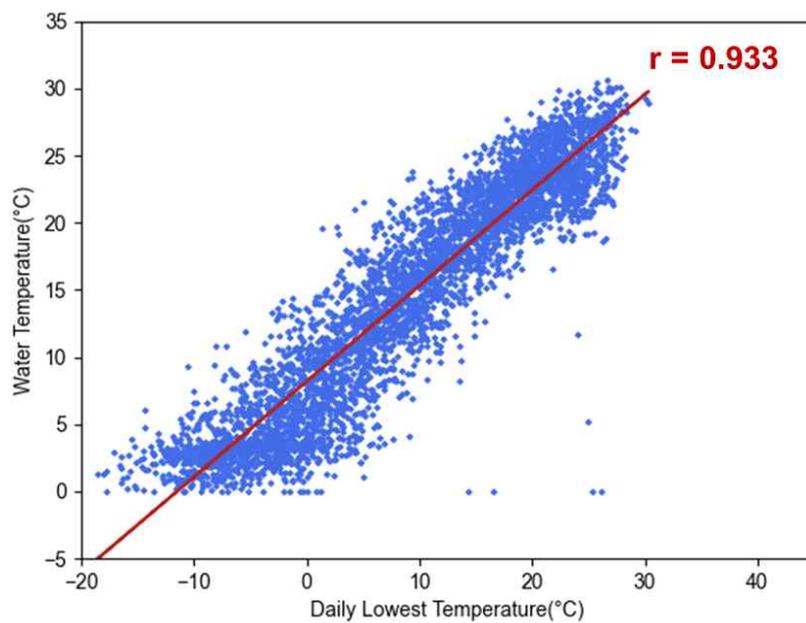
□ 폭염/한파 - 수온 - 슬러지 콜렉터 가동시간의 상관성

1) 폭염/한파 - 수온

- 일 최고기온과 일 최저기온은 수온의 분석 결과, 상관계수가 각각 0.921, 0.933으로 ‘매우 강함’의 상관관계를 가지며 최고/최저기온이 증가할 때 수온이 증가하는 경향성을 보임
- 일 최고기온-수온의 경향성과 일 최저기온-수온의 경향성은 유사함



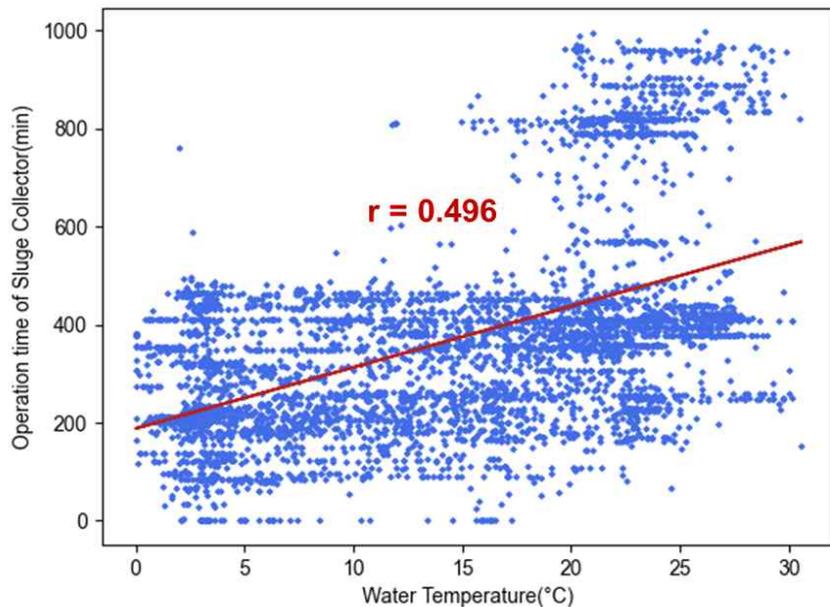
<그림 31> 폭염 지표인 일 최고기온과 취수원 수온의 상관관계



<그림 32> 한파 지표인 일 최저기온과 취수원 수온의 상관관계

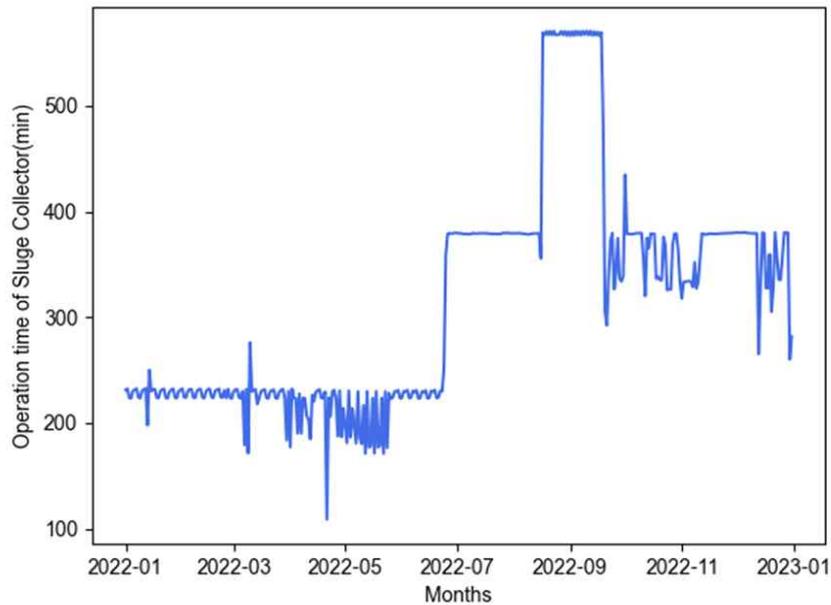
## 2) 수온 - 슬러지 콜렉터 가동시간

- 수온과 슬러지콜렉터 가동시간의 분석 결과, 상관계수 0.496으로 ‘강함’의 상관관계를 가지며 수온이 증가할 때 슬러지콜렉터 가동시간이 증가하는 경향성을 보임
- 슬러지콜렉터 가동시간 데이터의 85.9%는 0-500분 사이의 값의 범위를 가지며 14.1%의 데이터는 500-1,000분 사이의 값을 가짐
- 슬러지콜렉터 가동시간이 500-1,000분 사이의 데이터는 수온이 15℃ 이상일 때 주로 존재함(97.9%)
- 슬러지콜렉터 가동시간이 500-1,000분 사이인 값은 전체 수온 데이터 중에서는 14.1%를 차지하나 수온이 15℃ 이상인 데이터 중에서는 26.4%를 차지하여 비율이 증가함
- 수온이 높을 때 슬러지콜렉터가 500분 이상의 값으로 운영시간을 가질 가능성이 커짐



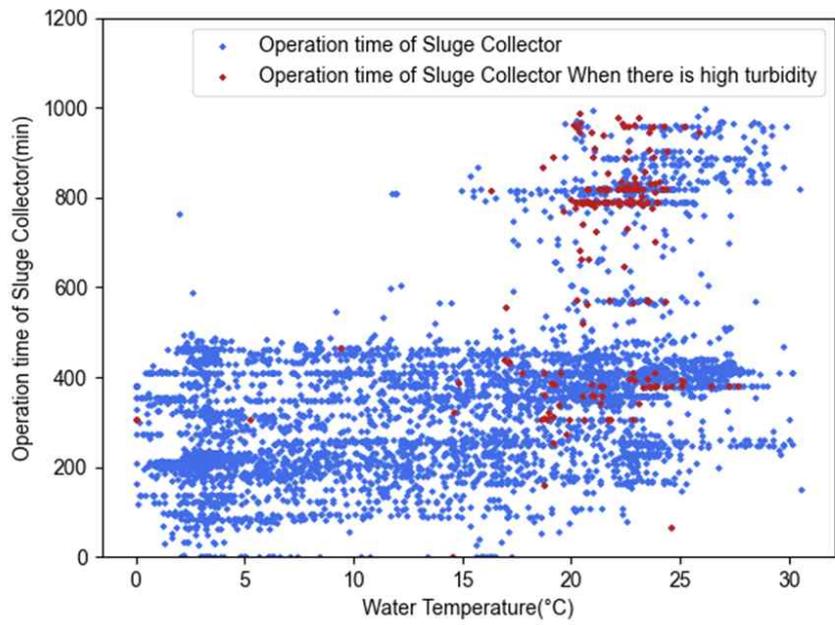
<그림 33> 수온과 슬러지 콜렉터 가동시간

- 2022년 슬러지콜렉터 가동시간은 불연속적인 데이터를 가지며 증가하거나 감소한 후 가동시간을 유지하는 경향을 보임, 이는 모든 연도에 대해 비슷한 경향임
- 대체로 7~9월에 슬러지콜렉터 가동시간이 높은 채로 유지됨
- 운전 시간을 특정 기간 유지하는 슬러지콜렉터 가동시간 데이터의 경향성으로 인해 상관 분석 시 상관계수가 낮아질 수 있음

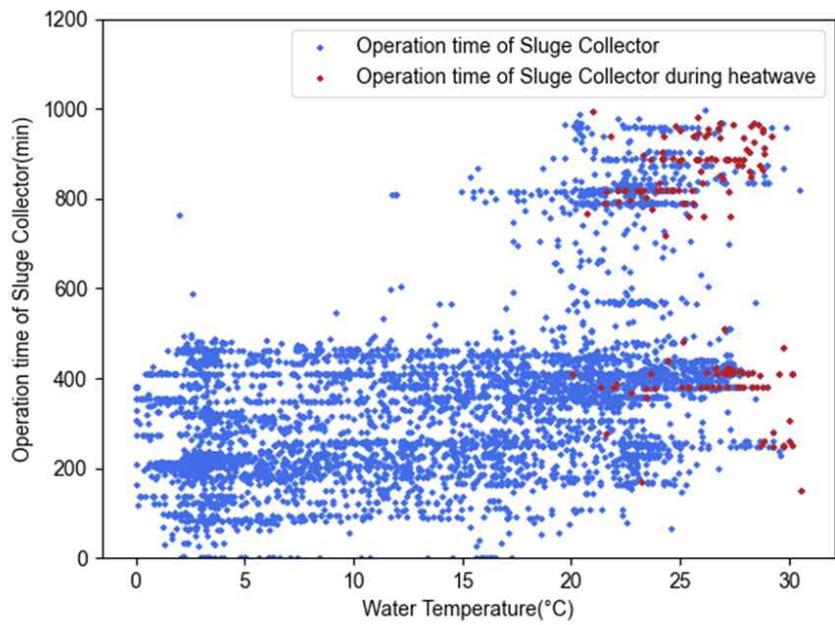


<그림 34> 2022년 슬러지 콜렉터 가동시간 월별 추이

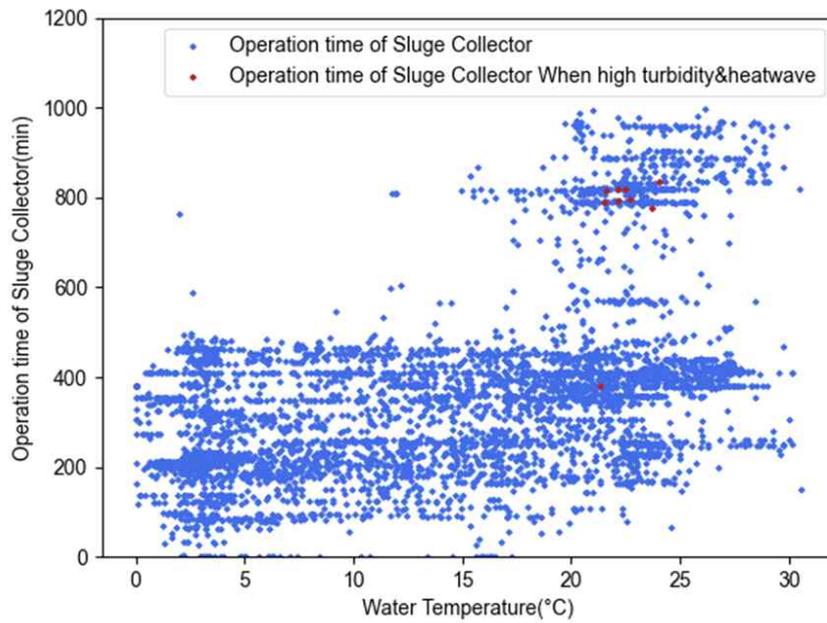
- <그림 35>에서 고탁도인 경우의 슬러지콜렉터 가동시간, <그림 36>에서 폭염인 경우의 슬러지콜렉터 가동시간을 각각 분석함
- 탁도가 30 NTU 이상인 고탁도 시 슬러지콜렉터 가동시간의 69.1%가 500-1,000분 사이의 구간에서 나타남
- 일 최고기온이 33℃ 이상인 폭염 시 슬러지콜렉터 가동시간의 59.2%가 500-1,000분 사이의 구간에서 나타남
- <그림 31>의 전체 슬러지콜렉터 가동시간 데이터에서 500-1,000분 사이의 값이 나타나는 경우는 전체의 14.1%, 고탁도 시와 폭염 시에 슬러지콜렉터 가동시간이 500-1,000분 사이로 나타나는 비율이 각각 69.1%와 59.2%로 높아짐
- <그림 34>에서 폭염 및 고탁도 시의 슬러지콜렉터 가동시간의 88.9%가 500-1,000분 사이의 구간에서 나타나 전체와 비교했을 때 비율이 높아짐
- 적은 경우의 수이기는 하나 슬러지콜렉터 가동시간은 폭염이면서 고탁도 조건일 때 500-1,000분 사이로 나타나는 비율이 높음
- 폭염 및 고탁도 조건에서 슬러지콜렉터 가동시간이 500-1,000분 사이의 값으로 나타나는 비율이 높아 가동시간이 높게 유지되는 경향이 있음



<그림 35> 고탁도 시 수온과 슬러지콜렉터 가동시간



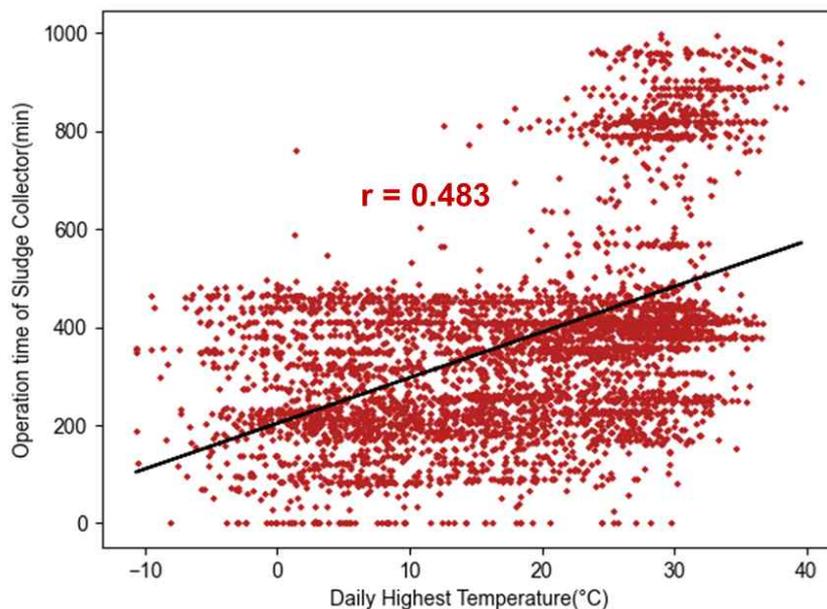
<그림 36> 폭염 시 수온과 슬러지콜렉터 가동시간



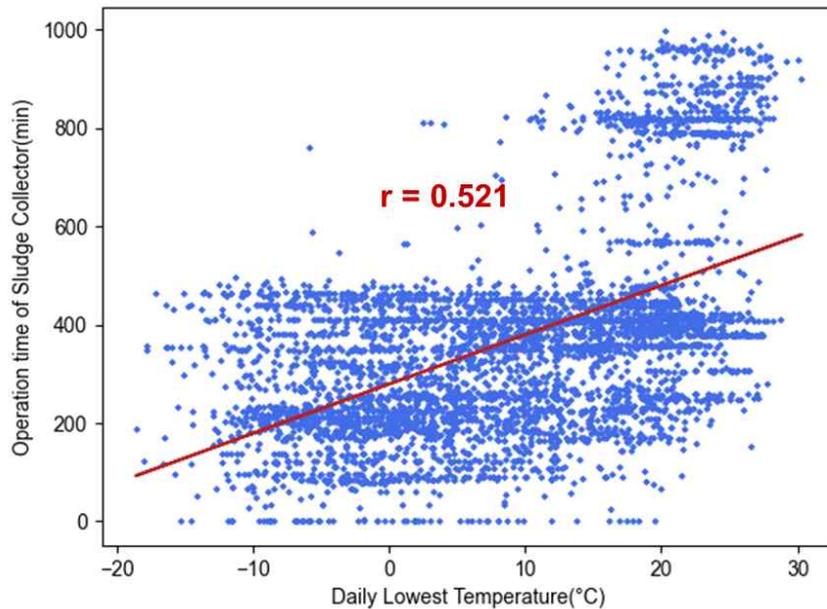
<그림 37> 폭염 및 고탁도 시 수온과 슬러지콜렉터 가동시간

### 3) 폭염/한파 - 슬러지 콜렉터 가동시간

- 일 최고/최저기온과 슬러지 콜렉터 가동시간의 분석 결과, 상관계수는 각각 0.483, 0.521로 ‘강함’의 상관관계를 가지며 수온이 증가할 때 슬러지 콜렉터 가동시간이 증가하는 경향성을 보임
- 수온과 슬러지 콜렉터 가동시간 사이 산점도와 비슷한 경향성을 보임
- 슬러지 콜렉터 가동시간이 500-1,000분 사이인 데이터의 경향성도 수온에서와 비슷함



<그림 38> 폭염 지표인 일 최고기온과 슬러지 콜렉터 가동시간



<그림 39> 한파 지표인 일 최저기온과 슬러지콜렉터 가동시간

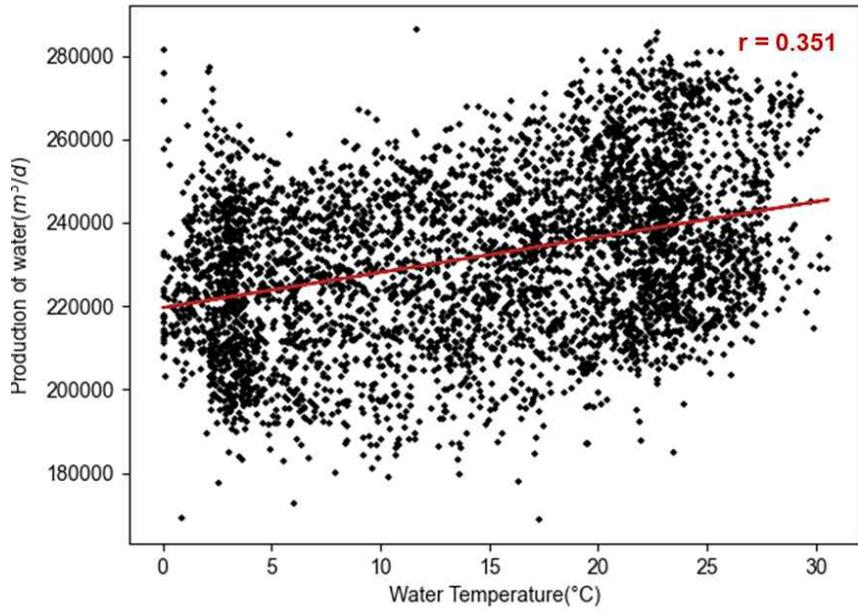
□ 폭염 및 한파 - 수온 - 정수지 생산량의 상관성

1) 폭염 및 한파 - 수온

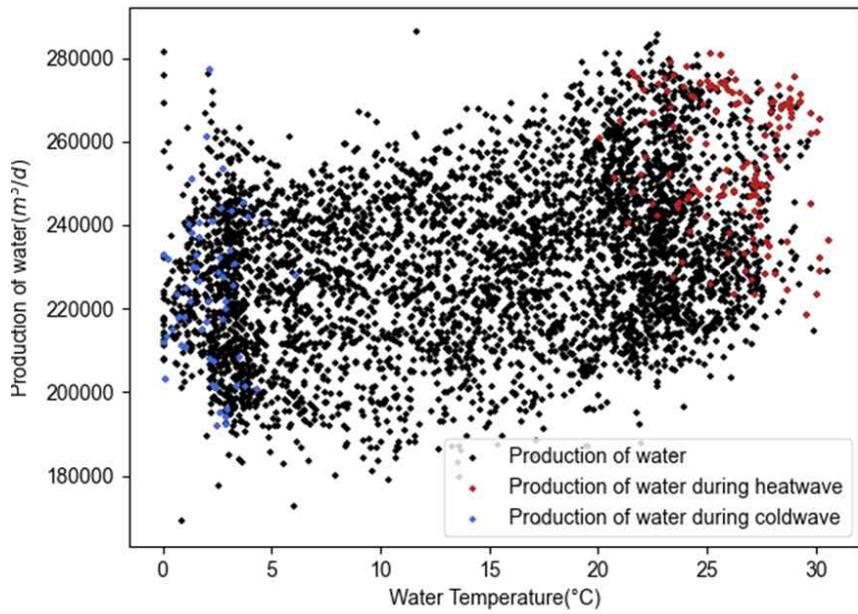
- <그림 31>, <그림 32>에서 보여주었듯이 매우 강한 선형 상관관계를 보이며 기온이 증가할 때 수온이 증가하는 경향성을 보임

2) 수온 - 정수지 생산량 상관성

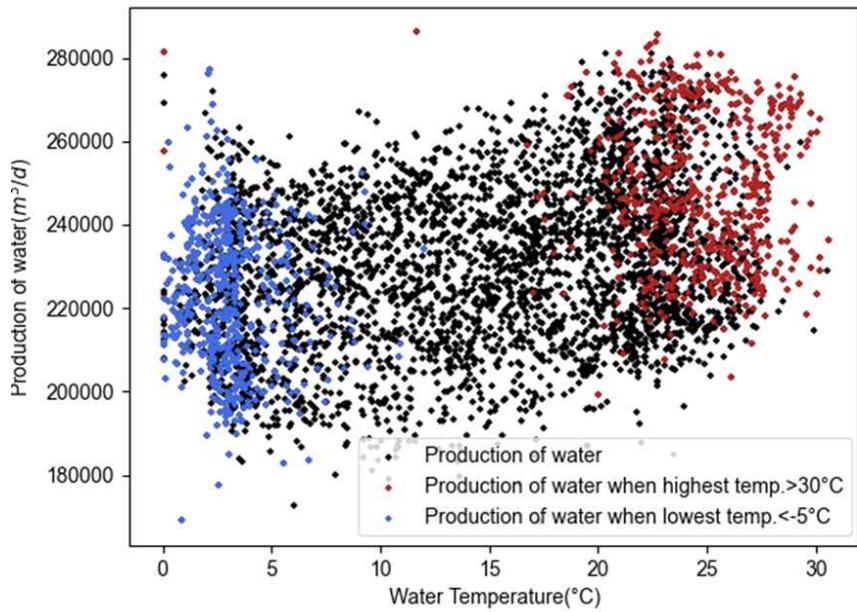
- 취수원 수온과 정수지 생산량 사이 강한 선형 상관관계이며 수온이 증가할 때 생산량이 증가하는 경향성을 보임
- <그림 40>의 수온 0~5℃ 범위 구간에서 정수지 생산량의 경향을 벗어난 정수지 생산량 데이터 존재하며 이는 겨울철 수돗물 누수량 증가와 수돗물 사용량 증가에서 기인한 것으로 사료됨
- <그림 41>은 최저기온이 -12℃ 이하인 수온을 푸른색 점으로 최고기온이 33℃ 이상인 수온을 붉은색 점으로 표기, <그림 42>는 최저기온이 -5℃ 이하인 수온을 푸른색 점으로 최고기온이 30℃ 이상인 수온을 붉은색 점으로 표기
- 최저 기온이 -12℃ 이하 한파일 때 정수지 생산량 데이터에서 경향을 벗어난 데이터 발생
- 최저 기온이 -5℃ 이하일 때의 정수지 생산량 데이터로 범위를 늘릴 때 경향을 벗어난 데이터 빈도 증가
- 수온 감소 시 정수지 생산량이 감소하는 경향을 보임
- 기후변화로 한파 일수 증가 시 정수지 생산량이 경향을 벗어난 큰 값이 나오는 빈도가 증가함



<그림 40> 취수원 수온과 정수지 생산량



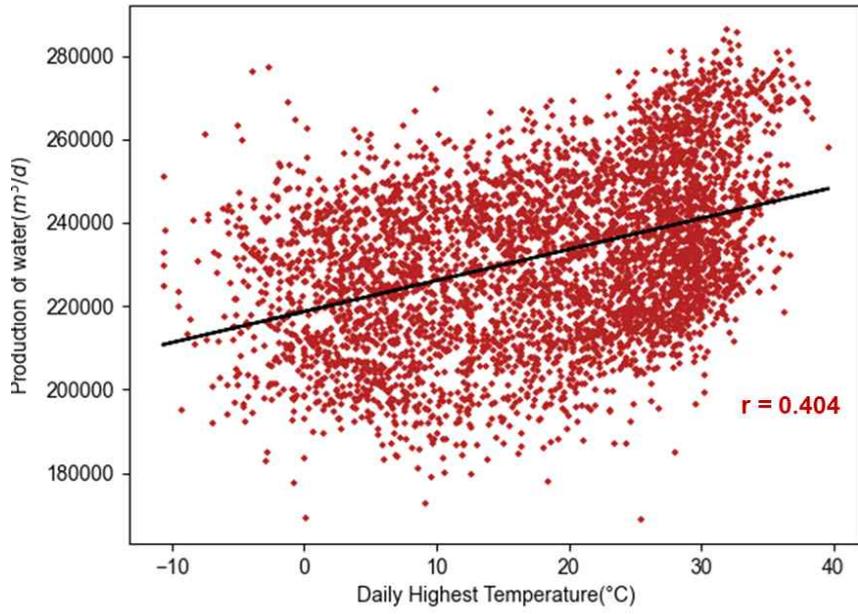
<그림 41> 최저기온  $-12^{\circ}\text{C}$  이하, 최고기온  $33^{\circ}\text{C}$  이상일 때 정수지 생산량



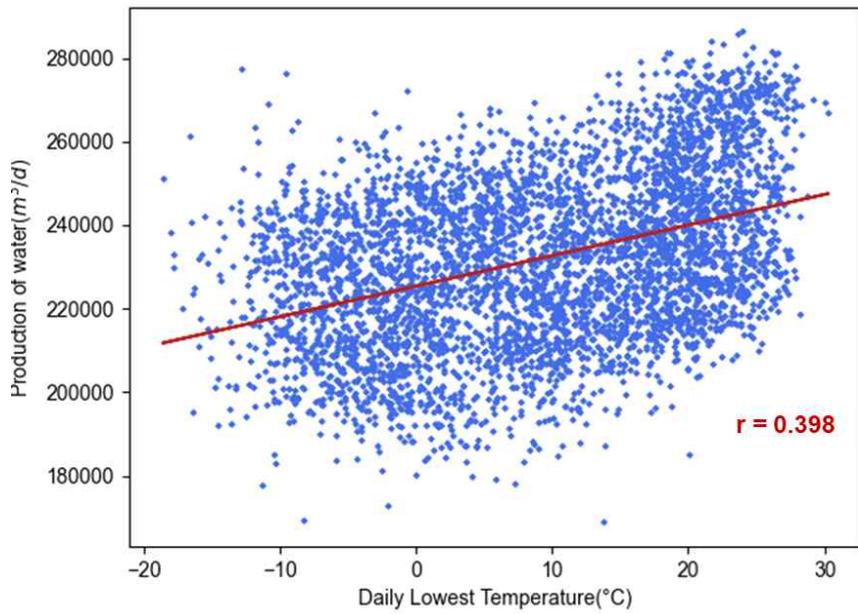
<그림 42> 최저기온  $-5^{\circ}\text{C}$  이하, 최고기온  $30^{\circ}\text{C}$  이상일 때 정수지 생산량

### 3) 폭염/한파 - 정수지 생산량

- 일 최고/최저기온과 정수지 생산량의 분석 결과, 상관계수는 각각 0.404, 0.398로 ‘강함’의 상관관계를 가지며, 기온이 증가할 때 정수지 생산량이 증가하는 경향성을 보임
- 일 최고기온과 정수지 생산량, 일 최저기온과 정수지 생산량 상관성은 비슷함
- 기온이 증가하면 정수지 생산량이 증가함
- 폭염 빈도가 증가하면 정수지 생산량의 값이 증가하는 경향성이 있음
- 한파 빈도가 증가하면 정수지 생산량이 대체로 감소하는 경향성이 있으나 경향성을 벗어나는 빈도 또한 증가함



<그림 43> 한파 지표인 일 최저기온과 정수지 생산량



<그림 44> 한파 지표인 일 최저기온과 정수지 생산량

### 3.6.4 기후 인자와 정수정 운영인자 간 상관관계

□ 기후 인자, 유입수 수질, 정수장 운영의 상관관계

- 폭염과 한파는 수온과 매우 강한 상관관계를 보였으나, 강우와 가뭄과는 약한 상관관계를 보임
- 탁도는 강우에만 강한 상관관계를 보였고, 기타 기후 인자에 의한 영향은 약한 경향성을 보임
- pH는 기후 인자와 약한 상관관계를 가짐
- TOC는 가뭄만 약한 상관관계를 보였고 기타 기후 인자는 미미한 영향을 보이면서, 기후에 큰 영향을 받지 않는 경향
- 암모니아는 기후 인자와 미미한 상관관계 혹은 약한 상관관계를 보임

<표 43> 기후와 유입수 수질의 상관관계

상관계수 범주	상관관계 설명	인자
$0.7 \leq  r  < 1.0$	매우 강함	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폭염~수온</li> <li>• 한파~수온</li> </ul>
$0.3 \leq  r  < 0.7$	강함	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강우~탁도</li> </ul>
$0.1 \leq  r  < 0.3$	약함	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강우~수온</li> <li>• 가뭄~탁도</li> <li>• 가뭄~수온</li> <li>• 폭염~탁도</li> <li>• 한파~탁도</li> <li>• 강우~pH</li> <li>• 가뭄~TOC</li> <li>• 가뭄~암모니아</li> <li>• 가뭄~pH</li> <li>• 폭염~암모니아</li> <li>• 폭염~pH</li> <li>• 한파~암모니아</li> <li>• 한파~pH</li> </ul>
$0 <  r  < 0.1$	미미	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강우~TOC</li> <li>• 강우~암모니아</li> <li>• 폭염~TOC</li> <li>• 한파~TOC</li> </ul>

- 기후 인자는 정수장 운영 인자와 매우 강한 상관관계를 보이지 않음
- 생산량은 폭염과 한파에 강한 상관성을 보였고, 기타 기후 인자는 미미한 영향을 보임
- 응집제는 한파에 강한 영향을 받았고, 기타 기후 인자는 약한 상관관계를 보임
- 콜렉터 가동 시간은 폭염과 한파에 강한 상관관계를 보였고, 강우와 가뭄과는 약한 상관관계를 보임
- 수위, 전염소, 오존은 기후 인자들과 약하거나 미미한 상관관계를 보이면서 큰 영

향을 받지 않는 경향을 보임

<표 44> 정수장 운영과 기후의 상관관계

상관계수 범주	상관관계 설명	인자
$0.7 \leq  r  < 1.0$	매우 강함	-
$0.3 \leq  r  < 0.7$	강함	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생산량~폭염</li> <li>• 생산량~한파</li> <li>• 응집제~한파</li> <li>• 콜렉터가동시간~폭염</li> <li>• 콜렉터가동시간~한파</li> </ul>
$0.1 \leq  r  < 0.3$	약함	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 응집제~강우</li> <li>• 응집제~가뭄</li> <li>• 응집제~폭염</li> <li>• 콜렉터가동시간~강우</li> <li>• 콜렉터가동시간~가뭄</li> <li>• 수위~가뭄</li> <li>• 전염소~강우</li> <li>• 전염소~가뭄</li> <li>• 전염소~폭염</li> <li>• 전염소~한파</li> <li>• 오존~가뭄</li> <li>• 오존~폭염</li> <li>• 오존~한파</li> <li>• 수위~폭염</li> </ul>
$0 <  r  < 0.1$	미미	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생산량~강우</li> <li>• 생산량~가뭄</li> <li>• 수위~강우</li> <li>• 수위~한파</li> <li>• 오존~강우</li> </ul>

- 탁도와 응집제는 매우 강한 상관관계를 보여주었으나 기타 운영 인자와는 약한 상관관계를 보임
- 수온은 생산량, 콜렉터 가동 시간, 전염소 주입량과 강한 상관관계를 보였고, 기타 인자와는 약하거나 미미한 영향을 주는 것으로 확인됨
- TOC, 암모니아, pH는 정수장 운영 인자와 약하거나 미미한 상관관계를 가짐
- 정수지 수위는 모든 유입수 수질 인자와 미미한 상관관계를 보임

<표 45> 유입수 수질과 정수장 운영의 상관관계

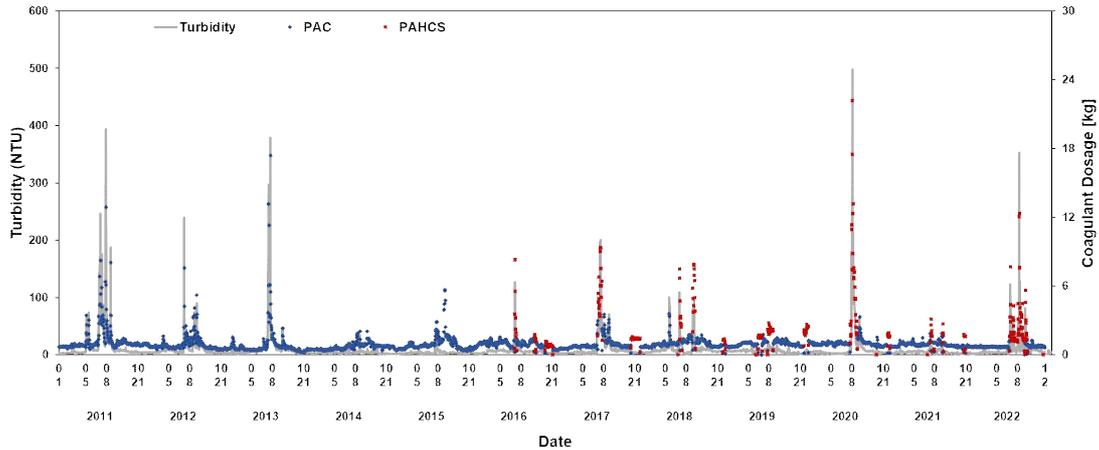
상관계수 범주	상관관계 설명	인자
$0.7 \leq  r  < 1.0$	매우 강함	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탁도~응집제</li> </ul>
$0.3 \leq  r  < 0.7$	강함	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수온~생산량</li> <li>• 수온~콜렉터가동시간</li> <li>• 수온~전염소</li> </ul>
$0.1 \leq  r  < 0.3$	약함	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탁도~생산량</li> <li>• TOC~생산량</li> <li>• TOC~응집제</li> <li>• 탁도~콜렉터가동시간</li> <li>• 탁도~전염소</li> <li>• 암모니아~전염소</li> <li>• 수온~응집제</li> <li>• 수온~오존</li> <li>• pH~응집제</li> <li>• pH~콜렉터가동시간</li> </ul>
$0 <  r  < 0.1$	미미	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 암모니아~생산량</li> <li>• pH~생산량</li> <li>• 암모니아~응집제</li> <li>• TOC~콜렉터가동시간</li> <li>• 암모니아~콜렉터가동시간</li> <li>• 탁도~수위</li> <li>• 수온~수위</li> <li>• TOC~수위</li> <li>• 암모니아~수위</li> <li>• pH~수위</li> <li>• TOC~전염소</li> <li>• pH~전염소</li> <li>• 탁도~오존</li> <li>• TOC~오존</li> <li>• 암모니아~오존</li> <li>• pH~오존</li> </ul>

### 3.6.5 강우에 따른 고탁도 유지 기간

□ 강우량, 탁도, 응집제 주입량의 관계

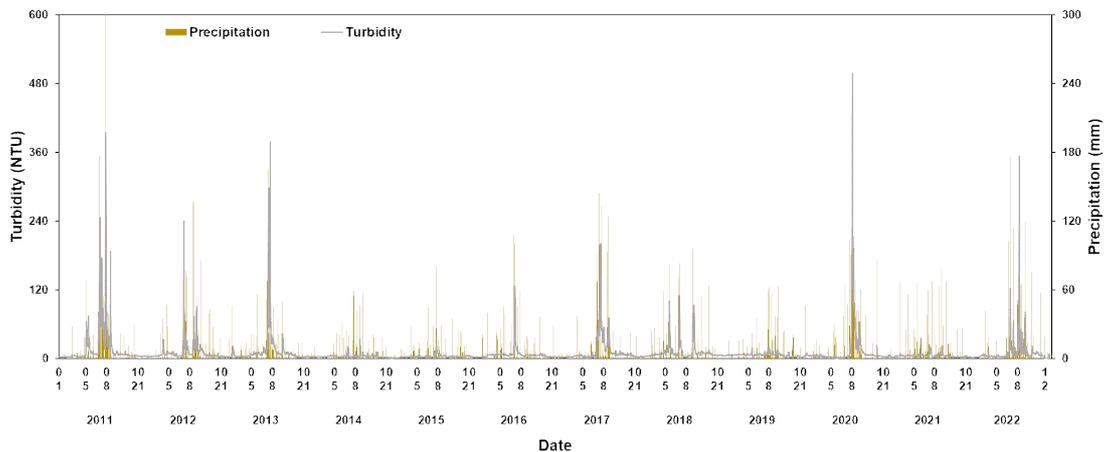
- 정수장과 취수원의 2011년 1월 1일 ~ 2022년 12월 31일의 일 평균 데이터를 분석에 활용
- 응집제 주입량은 응집제 주입률(mg/L)과 주입량(L/hr)을 통해 일평균 주입량으로 계산하며 총 응집제 주입량은 PAC(Poly Aluminum Chloride)와 PAHCS(Poly Aluminium Hydroxy Chloro Sulfate) 주입량을 합한 값

- 강우량은 취수원의 데이터, 탁도는 취수원 혹은 원수의 데이터 활용
- 취수원의 탁도가 증가할수록 PAC와 PAHCS 주입량이 증가하는 경향을 보임
- 2016년부터 고탁도 기간에는 주로 PAHCS가 주입되는 경향을 보임
- 하절기의 취수원 탁도가 높음
- 응집제 주입량은 최소 0.2 kg/d, 평균 1.1 kg/d, 최대 22.2 kg/d 주입됨
- 높은 탁도에 따라 높은 응집제 주입량 보였으며, 2020년 8월 498 NTU에서 최대 응집제 주입량을 보임



<그림 45> 취수원 탁도에 따른 응집제 주입량

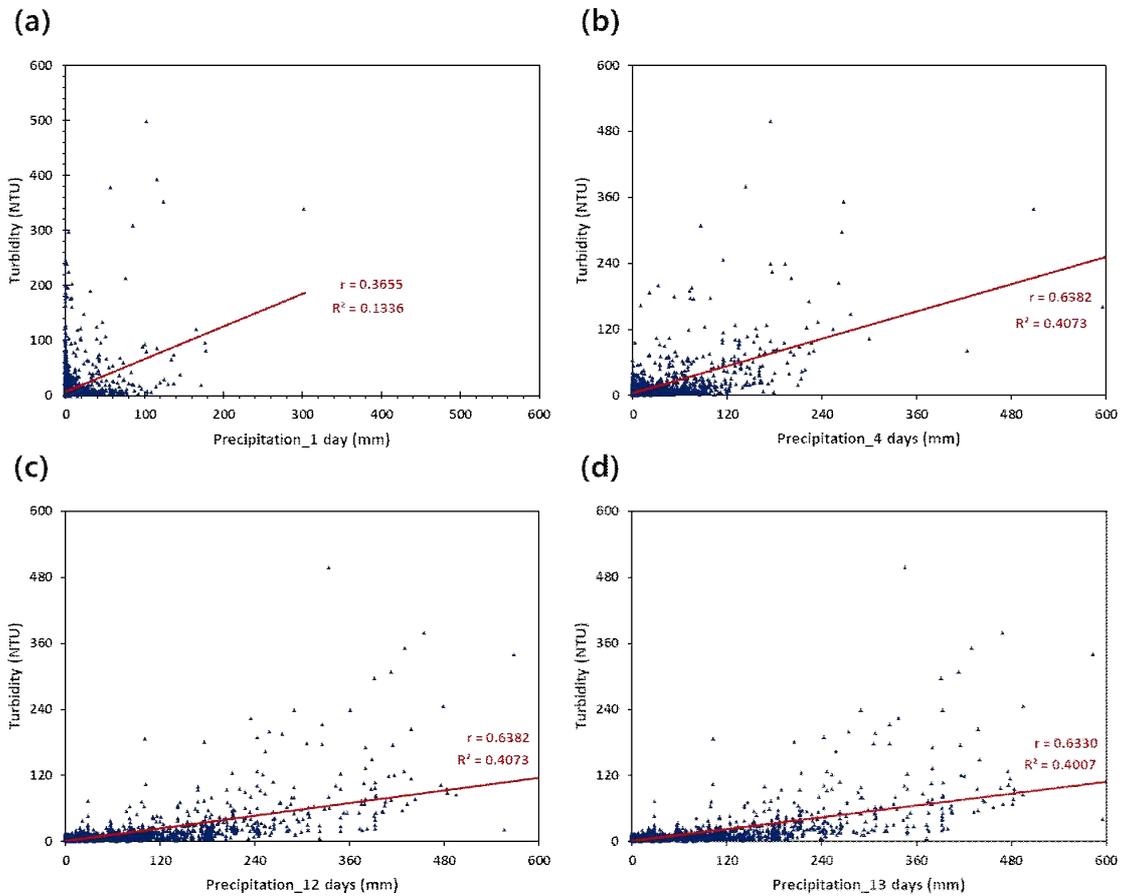
- 취수원의 강우와 취수원의 탁도는 비슷한 경향성을 보임
- 강우에 따른 당일 탁도는 선형성을 보이지 않음
- 탁도는 평균 9.6 NTU를 유지하였으나 최대 498 NTU를 가짐
- 높은 강우량에 따라 높은 탁도를 보였으며, 102.6 mm 일 강우량을 가진 일자에서 가장 높은 취수원 탁도를 보였으며 11일 전에 103.1 mm 만큼 내리는 등 전 11일 동안 평균 21 mm의 강우가 지속됨



<그림 46> 강우량에 따른 탁도

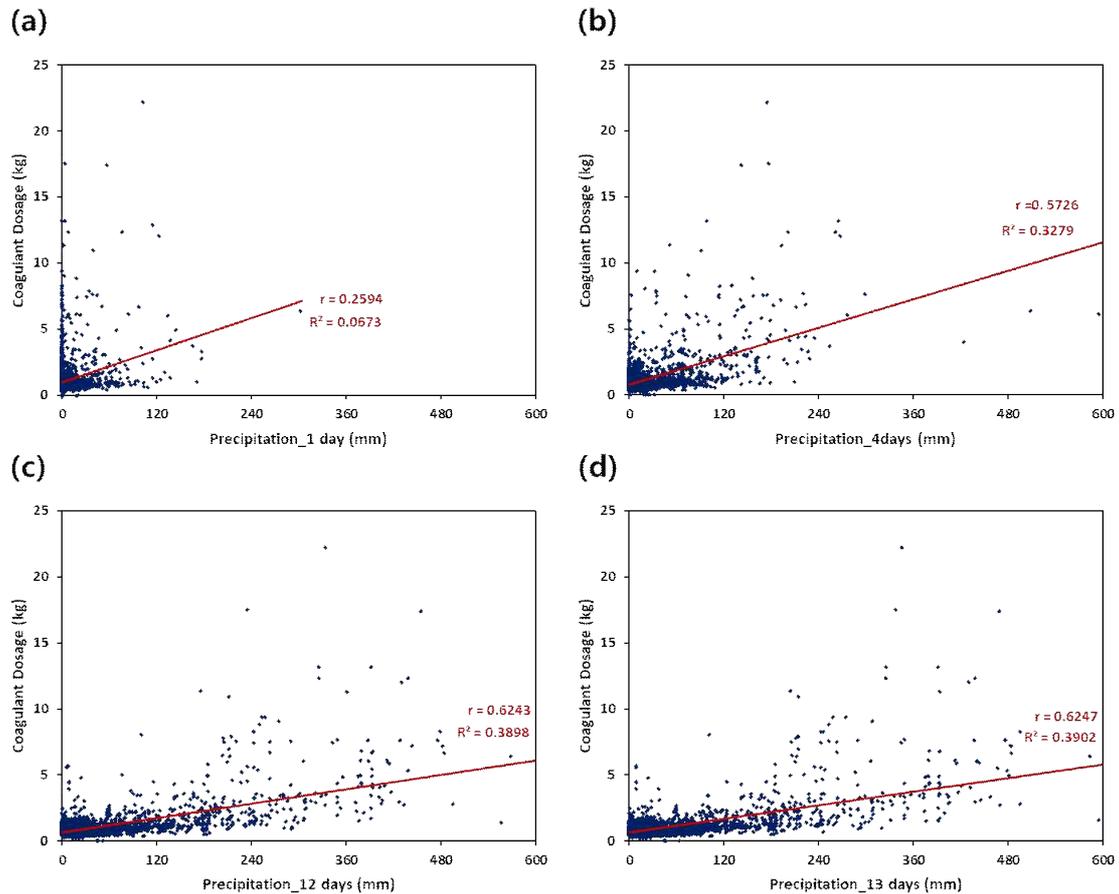
□ 탁도 및 강우 합과 응집제 주입량의 상관관계

- 강우의 합은 당일과 이전 일수의 mm 단위의 강우 합으로 계산, 예컨대 강우 3일합의 경우 당일과 이전 2일 동안의 강우량의 합을 의미함
- 응집제 주입량은 kg 단위로 PAC와 PAHCS의 일당 주입량을 시간당 주입량을 통해 계산함
- 취수원의 탁도와 강우 합이 가장 높은 상관계수는 강우 4일 합에서 0.638을 보임
- 강우는 4일간 취수원의 탁도에 영향을 미치는 것으로 확인됨



(a) 1일 강우 (b) 강우 4일 합 (c) 강우 12일 합 (d) 강우 13일 합  
 <그림 47> 강우 합과 취수원 탁도의 상관관계

- 응집제 주입량과 강우량의 합은 13일에서 0.625로 가장 높은 상관계수 값을 보임
- 강우는 13일 간 응집제 주입량에 영향을 미칠 것

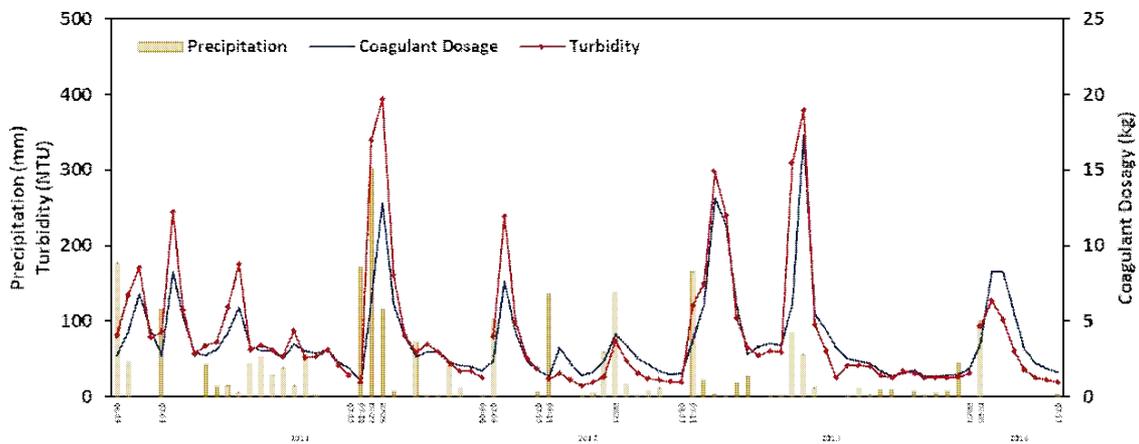


(a) 1일 강우 (b) 강우 4일 합 (c) 강우 12일 합 (d) 강우 13일 합  
 <그림 48> 강우 합과 응집제 주입량의 상관관계

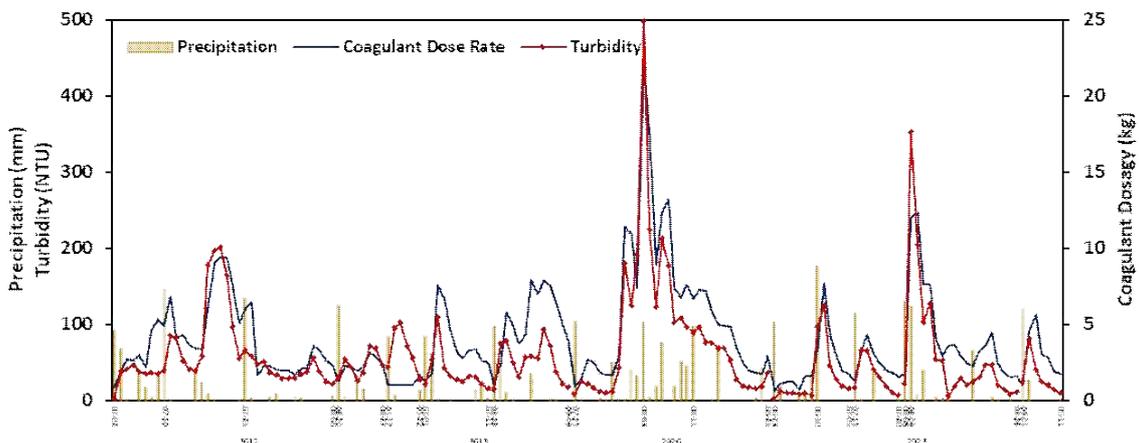
□ 고탁도 유지 기간의 제안

- 상수도설계기준에서 원수의 연간 최고 탁도가 30NTU의 초과 여부로 응집처리 시설 설치를 결정하는 것에 따라 30 NTU 이상을 고탁도, 30 NTU 미만을 저탁도로 설정
- 강수량 80 mm 이상을 호우의 기준으로 설정 (안전보건공단. 풍수해 대비 안전·보건 매뉴얼 (2014-건설-405). 2014.)
- 응집제 주입량의 상위 10% 값은 1.5 kg으로, 1.5 kg 이상으로 투입 시 과다 투입된 것으로 판단
- 장마와 같이 지속적인 강우의 경우 마지막 호우를 고탁도 지속 시간의 시작점으로 설정
- 취수원 탁도 30 NTU 미만 혹은 응집제 주입량 1.5 kg 미만이 되는 전날을 고탁도 지속 시간의 마지막 일자로 설정
- 2011~2016년 호우 이후 고탁도 유지는 총 5회 발생하였으며 최소 8일, 평균 13.2일, 최대 18일 지속됨

- 강우 후 고탁도가 끝나고 1~5일, 평균 3일 응집제가 과다 투입됨
- 2017~2022년 호우 이후 고탁도 유지는 총 10회 발생하였으며 최소 6일, 평균 11.3일, 최대 21일 지속됨
- 강우 후 고탁도가 끝나고 1~6일, 평균 3일 응집제가 과다 투입 됨
- 2011~2022년 동안 호우 이후 평균 11.9일의 고탁도 지속 시간을 유지하였으며, 고탁도 이후 평균 2.9일 동안 응집제가 과다 투여됨
- 고탁도 지속 시간이 약 12일인 것과 강우 13일 합이 응집제 주입량과 가장 높은 상관계수를 보이는 것은 밀접한 관련이 있다고 판단됨
- 호우 이후 고탁도 대응을 위한 응집제 주입량 결정이 고려되어야하는 기간으로 12일을 제안하며, 그 이후 저탁도 상태에서의 응집제 과다 투입이 필요한 기간으로 3일을 제안



<그림 49> 2011~2016년 취수원 강우량 및 탁도와 응집제 주입량



<그림 50> 2017~2022년 취수원 강우량 및 탁도와 응집제 주입량

## 제4장 결론

---

4.1 사례조사 분석 .....	87
4.2 기후, 취수원 수질 및 정수장 운영 인지의 정성적·정량적 분석	87
4.3 추후 연구 방향성 제안 .....	88

---



## 4. 결론 및 제언

### 4.1 사례조사 분석

- 뉴스 빅데이터 및 상수도 관련 특허 출원 빈도 기반 기후변화의 이슈화 시점은 2009년 이후이며, 가뭄, 한파, 폭염 순으로 이슈화 빈도가 높았음
- 전국을 대상으로 분석한 결과, 가뭄과 한파가 상수도시설에 가장 많은 영향을 주었음
- 특·광역시를 대상으로 분석한 결과, 서울 및 인천 지역은 가뭄과 한파의 영향이 높았으며, 충청권 이남 지역은 가뭄과 폭염의 영향이 높았음.
- 가뭄, 폭염, 호우, 한파 및 폭설이 취수원 수질과 생산 및 공급시설에 미치는 영향과 기후변화 대응 운영 방안 데이터를 상수도시설 근무 중인 전문가 자문을 통해 확보하였음  
⇒ 사례조사 데이터 및 전문가 자문 결과를 기반으로 정성적·정량적 분석에 필요한 항목을 도출하였으며, 이를 기반으로 상수도시설 종사자 대상 설문조사와 정수처리장 운영데이터의 Pearson 상관관계를 분석함.

### 4.2 기후, 취수원 수질 및 정수장 운영 인자의 정성적·정량적 분석

- 기후변화 요인별 상수도 운영 인자 변화에 관한 설문조사를 진행한 결과, 상수도 기반시설에 대한 기후변화 영향 점수가 가뭄과 폭염이 가장 높았으며, 한파·폭설, 호우·태풍, 전염병·감염병, 강풍, 낙뢰 순으로 점수 결과가 도출됨
- 기후변화에 취약한 상수도시설은 취수원, 정수장, 관망, 배수지, 수용가 순으로 점수 결과가 도출됨
- 기후변화로 인한 취수원 및 정수장 유입 수질의 변화는 가뭄에 의해 조류 및 조류독소, 맛·냄새 물질, TOC가 높았으며, 호우·태풍에 의해 탁도, 탁수 발생 빈도 및 강도 증가·영향 지속 시간이 높았음  
⇒ 설문조사 결과를 분석한 결과, 사례조사 데이터 및 전문가 자문 결과와 유사한 경향을 보였으며, 상수도 기반시설에는 가뭄 및 폭염, 수질에는 가뭄 및 호우·태풍, 공급 계통에는 한파·폭설, 생산 계통에는 가뭄 및 폭염이 가장 큰 영향을 줌
- 정수장 운영데이터 기반 Pearson 상관계수를 도출한 결과, ‘폭염-수온’, ‘한파-수온’, ‘탁도-응집제’ 항목이 ‘매우 강함’의 상관관계를 보였으며, ‘호우-탁도’, ‘수온-전염소’, ‘한파-응집제’, ‘생산량/콜렉터 가동 시간-폭염/한파-수온’ 항목이 ‘강함’의 상관관계를 보임
- ‘탁도-강우량-응집제’ 항목의 상관관계를 분석한 결과, 탁도와는 관계에서는 ‘강우 4일 합’ 이, 응집제와는 관계에서는 ‘강우 13일 합’ 이 가장 높은 상관계수를 보임  
⇒ 강우 시 12일간 고탁도가 유지될 수 있으며, 고탁도 기간 후 저탁도에도 응집제 주입량을 3일간 높게 주입할 것을 고려할 필요가 있음

### 4.3 추후 연구 방향성 제안

- 향후 수행과제로 본 연구의 운영자료 분석 파트를 참고하여 기후 중복영향과 계절적 연관성에 대한 분석을 통해 각 인자가 상수도 생산성에 동시에 미치는 영향에 관한 결과 도출이 필요할 것으로 판단됨
- 본 연구에서 정수장 운영데이터의 분석 결과를 기반으로 수온이 정수장 운영에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 이에 따라 수온 상승 예측 사례를 포함한 융복합 연구를 통해 추후 기후변화 예측과 그에 따른 대응 방안을 마련할 필요가 있을 것으로 판단됨
- 본 연구의 정수장 운영데이터 및 수계별 설문조사 데이터 샘플을 기반으로 수계별 상수도 사업본부, 정수장에서 운영데이터를 분석한다면, 수계에 따라 기후 인자에 대응하기 위한 운영인자 변동 특성을 파악하여 운영 매뉴얼 가이드라인 제작에 활용할 수 있을 것으로 판단됨

## 제5장 연구개발 활용성

---

5.1 기대성과	.....	91
5.2 활용방안	.....	92

---



## 5. 연구개발 활용성

### 5.1 기대성과

- 물분야 기후변화대응을 위한 제도 기반 구체화 및 상호협력방안 구축 기여
- DB구축과 종합적 분석을 통해 기후변화적응 매뉴얼을 마련하고 상수도분야의 전문역량강화에 기여
- 현장중심의 자료 분석을 통해 상수도시설기준 등 법과 제도의 신속한 개정
- 기후변화적응 신규기술, 설계 및 운영기술 분석을 통해 신규 시장 및 미래 대응기술 발굴로 공공 및 민간 섹터의 일자리 밸류체인 확장
- 기후변화적응 및 대응기술 기반 상수도의 안보와 먹는물 안전 확보 기여
- 도심 취약지역 상수도 재해 안정성 강화 기여
- 미래세대 물 기본권 보장, 지속 가능한 물자원 확보 기여
- DB구축과 종합적 분석을 통해 기후변화적응 매뉴얼 마련 기여
- 기후대응 상수도 전문역량 강화
- 기후 위기대응 에너지 관리 기술 확보 기여



<그림 51> 연구개발 제도적, 기술적, 사회적, 환경적 측면 기대성과

## 5.2 활용방안

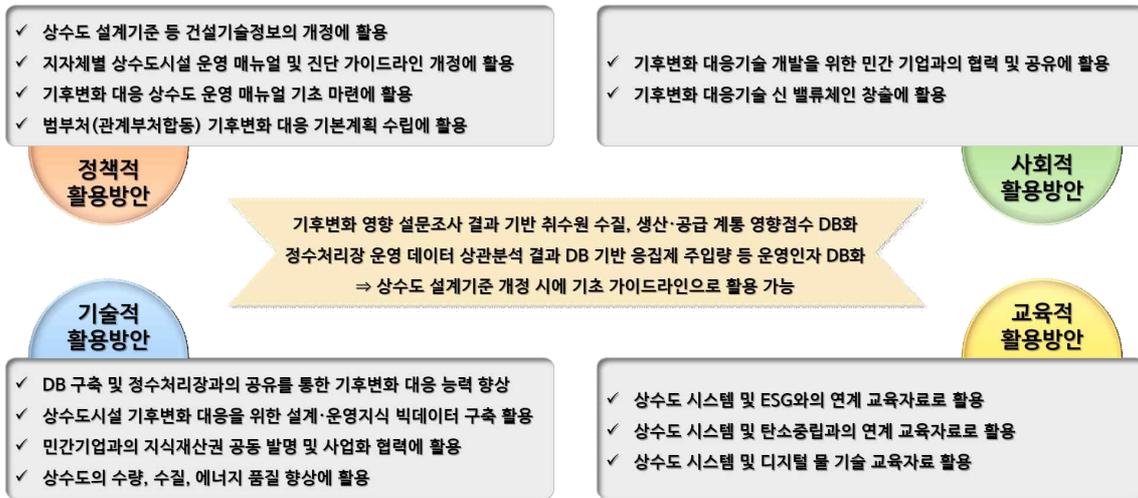
- 상수도시설에 대한 기후변화 영향 설문조사 결과를 기반으로 기후 인자별 취수원 수질, 생산 계통, 공급 계통에 주는 영향 점수를 DB화하고, 정수장 운영 결과와의 종합적인 분석을 통해 추후 진행될 연구 또는 상수도 설계기준 개정 시에 기초가 될 수 있는 가이드라인으로 활용이 가능함
- 본 연구의 결과를 기반으로, 상관계수가 높은 항목과 해당 항목의 분석 방법을 제시함으로써, 정수장별 운영데이터 추가 분석을 통해 해당 정수장에서의 운전인자 변동 매뉴얼 제작 및 활용 가능함
- 특히, 상수도 설계기준의 ‘4.2.2 응집제’ 항목에서 응집제 주입량을 결정하는 수단으로 탁도의 최고치와 시간적 변화 등을 고려하는데, 이에 본 연구결과를 기반으로 ‘강우 시 12일간 고탁도가 유지될 수 있으며, 고탁도 기간 후 저탁도에도 응집제 주입량을 3일 간 높게 주입함을 고려할 필요가 있음.’의 내용을 제안할 수 있을 것으로 판단됨

### 5.2.1 정책적·사회적 활용방안

- 상수도 설계기준 등 건설기술정보의 개정에 활용
- 지자체별 상수도시설 운영 매뉴얼 개정에 활용
- 지자체별 상수도시설 진단 가이드라인 개정에 활용
- 기후변화적응 상수도 운영 매뉴얼 기초 마련에 활용
- 범부처(관계부처합동) 기후변화대응 기본계획 수립에 활용
- 기후변화 대응기술 개발을 위한 민간 기업과의 협력 및 공유에 활용
- 기후변화 대응기술 신 벨류체인 창출에 활용

### 5.2.2 기술적·교육적 활용방안

- DB구축 및 정수처리장과의 공유를 통한 기후변화 대응 능력 향상
- 민간기업과 지식재산권 공동 발명 및 사업화 협력에 활용
- 상수도시설 기후변화 대응을 위한 설계·운영지식 빅데이터 구축 활용
- 상수도의 수량, 수질, 에너지 품질 향상 활용
- 상수도 시스템 및 ESG와의 연계 교육자료 활용
- 상수도 시스템 및 탄소중립과의 연계 교육자료 활용
- 상수도 시스템 및 디지털 물 기술 교육자료 활용



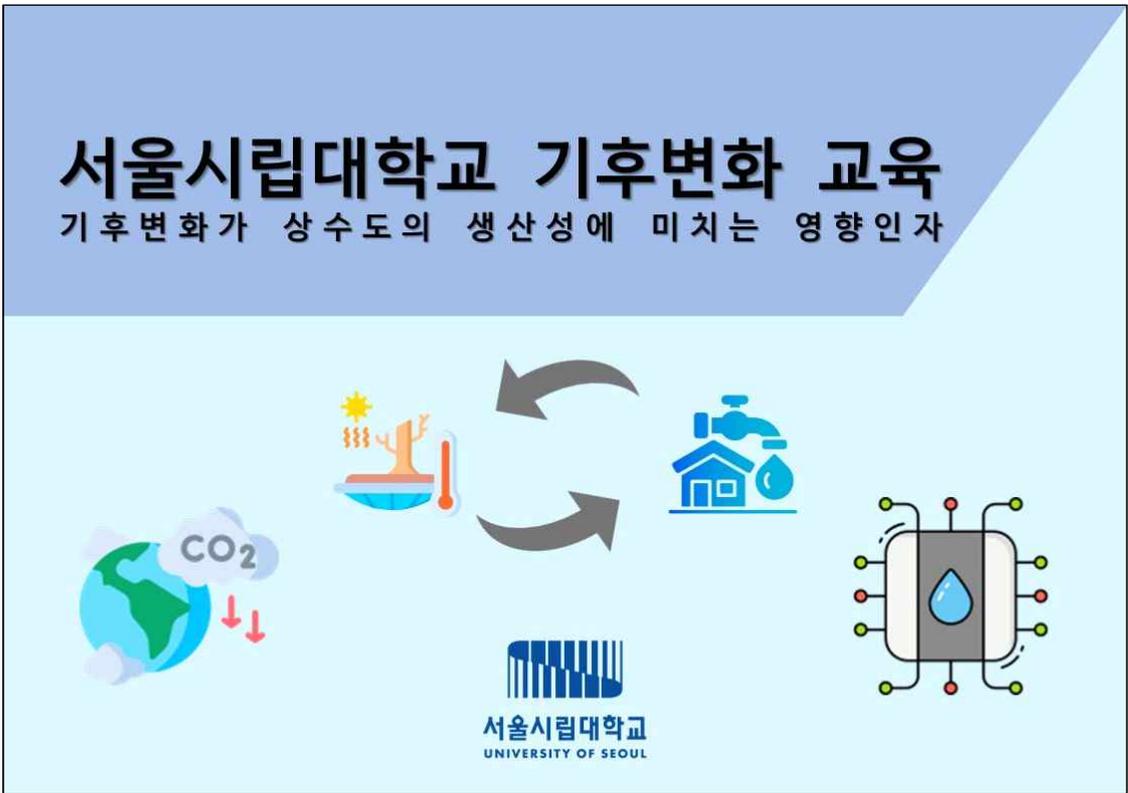
<그림 52> 연구개발 정책적, 사회적, 기술적, 교육적 활용방안

### 5.2.3 교육 프로그램(안)

- 관련 분야 전공 학생을 대상으로 진행하는 ‘기후변화로 인한 상수도시설 운영인자 변동 교육 내용’을 <표 47>에 나타냄
- 해당 교육을 통해 기후변화 인자의 영향으로 변동된 상수도시설 운영인자 등 상수도 분야의 현장 경험을 바탕으로 한 지식을 습득함으로써 실무에 활용할 수 있을 것으로 기대됨

<표 46> ‘기후변화와 상수도 운영’ 학생 교육 프로그램(안)

교육 대상	기후변화 인자	운영인자 변동
관련 분야 전공 학생	가뭄	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고도정수처리 도입</li> <li>• 분말활성탄 주입</li> <li>• 일 평균 생산량 영향</li> <li>• 대체 급수 및 광역상수도 비상 연계</li> <li>• 절수시설 설치</li> </ul>
	폭염	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일 평균 생산량 영향</li> <li>• 소독제 주입량 변화</li> <li>• 약품 주입량 조절</li> <li>• 분말활성탄 주입</li> <li>• 배수지 수위 조절</li> </ul>
	한파	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생산 계통 설비 동파</li> <li>• 민원 발생</li> <li>• 혼화 강도 및 여과속도</li> <li>• 계량기 동파 방지 홍보 강화</li> </ul>
	호우	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 침전슬러지 인발 주기</li> <li>• 약품 주입량 조절</li> <li>• 여과지 역세척 주기</li> <li>• 펌프장 침수로 인한 상수도 생산 및 급수 중단</li> </ul>



<그림 53> 학생 교육자료(예시)

- 시민을 대상으로 진행하는 ‘상수도시설에 대한 기후변화의 영향성’ 교육 내용을 <표 48>에 나타냄
- 다음의 내용을 통해 상수도시설의 변화로 인해 발생하는 문제점을 인지하고 발생할 수 있는 민원에 대하여 사전에 대처하며, 상수도에 대한 시민들의 신뢰도를 유지할 수 있을 것으로 기대됨

<표 47> ‘상수도시설에 대한 기후변화의 영향성’ 시민 교육 프로그램(안)

교육 대상	기후요인-상수도시설 영향	문제점 인지
시민	한파 - 동파 / 동파 방지 홍보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동파 예방을 위한 사전 대응 관련 내용 교육(ex. 미세한 수도꼭지 개방으로 동파 방지)</li> </ul>
	폭염/한파 - 생산 능력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지속되는 기후변화로 이상기후 빈도 증가</li> <li>• 폭염 및 한파로 인한 생산 능력 저하로 물 부족 현상 발생 가능 인지</li> </ul>
	수온 - 전염소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수온 상승으로 인해 발생하는 조류, 유충 등으로 인해 전염소처리 증가</li> <li>• 전염소 주입량 증가로 인한 수돗물 잔류염소 냄새 발생 가능</li> </ul>

# 기후변화 시민 교육

이상 기후가 상수도에 미치는 영향



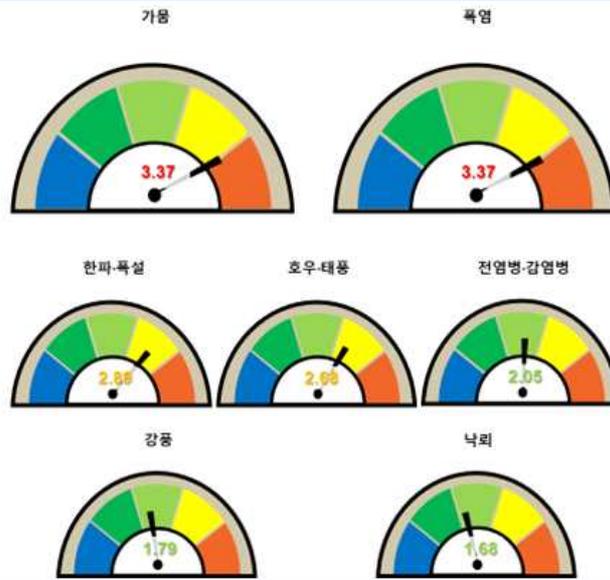
<그림 54> 시민 교육자료(예시1)

기후변화 영향

상수도 시설

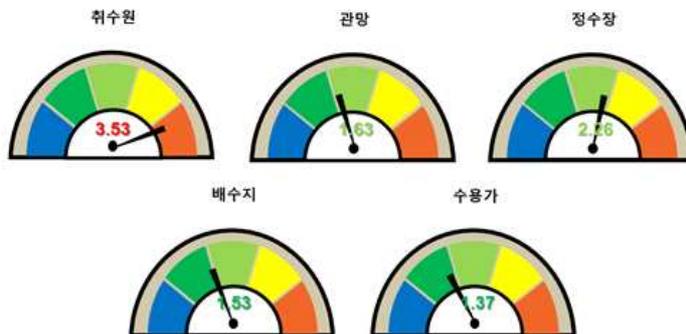
기후변화에 의한 상수도 시설 영향 조사

상수도시설에 대한  
기후변화 영향



상수도 시설에 영향을 미치는 기후변화 인자는 가뭄, 폭염, 한파·폭설, 호우·태풍, 전염병·감염병, 강풍, 낙뢰 등으로 확인 되었다. 영향의 크기는 가뭄, 폭염, 한파 순으로 높았다.

기후변화 취약  
상수도 시설 순위

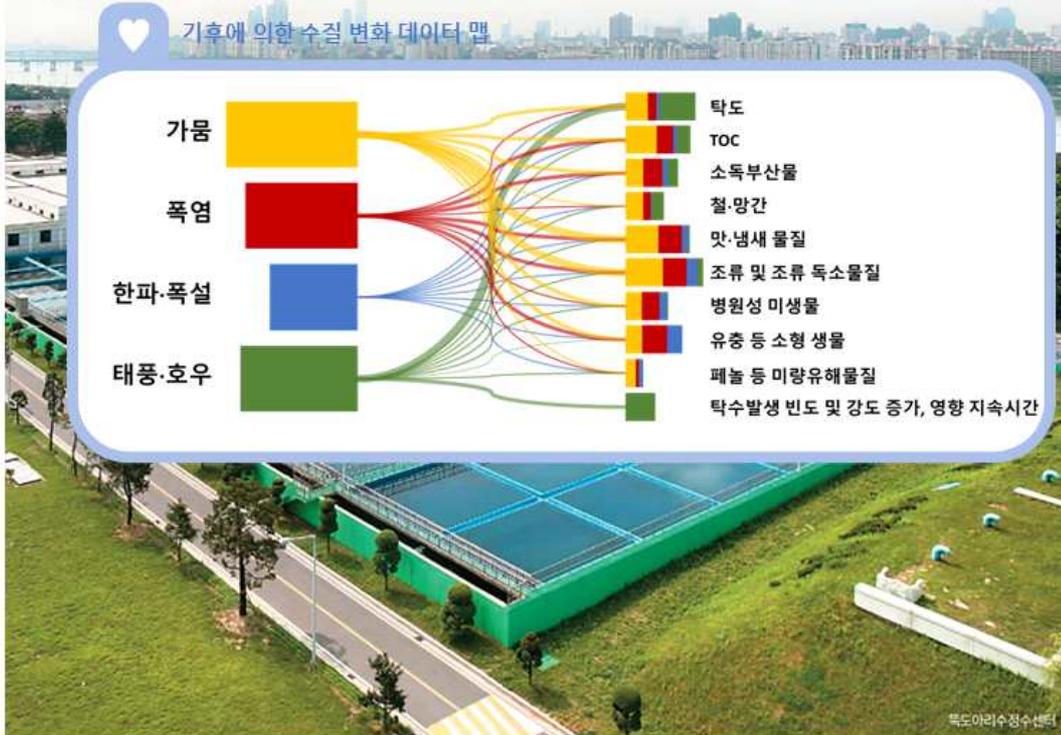


각 상수도 시설별 기후변화에 취약한 정도를 조사한 결과 취수원, 정수장, 관망, 배수지, 수용가 순으로 영향점수가 높았다.

<그림 55> 시민 교육자료(예시2)

기후변화 영향

수질 변화



기후 요인에 의한 취수원 수질/정수장 유입 수질의 변화 데이터를 종합 분석한 결과 가뭄, 폭염, 한파·폭설, 태풍·호우 순으로 수질변화에 높은 영향을 미쳤으며 이러한 기후 요인에 가장 많은 영향을 받는 수질 인자는 탁도, 탁수발생 빈도 및 강도 증가, 영향 지속시간으로 나타났다. 맛·냄새 물질과 조류 및 조류독소 물질 그리고 TOC 항목이 그 뒤를 이었다.

**가뭄**  
가뭄으로 인해 매우 큰 수질 변화의 영향을 받은 인자는 조류 및 조류 독소 물질과 맛·냄새 물질로 확인되었다.

**폭염**  
폭염으로 인해 수질 변화의 영향을 받은 인자는 유충 등 소형 생물, 맛·냄새 물질, 조류 및 조류독소 물질이 있다. 폭염으로 인한 변화는 가뭄에 비해 크지 않다.

**한파·폭설**  
한파·폭설로 인한 수질 변화는 크게 보이지 않는 것으로 확인되었다.

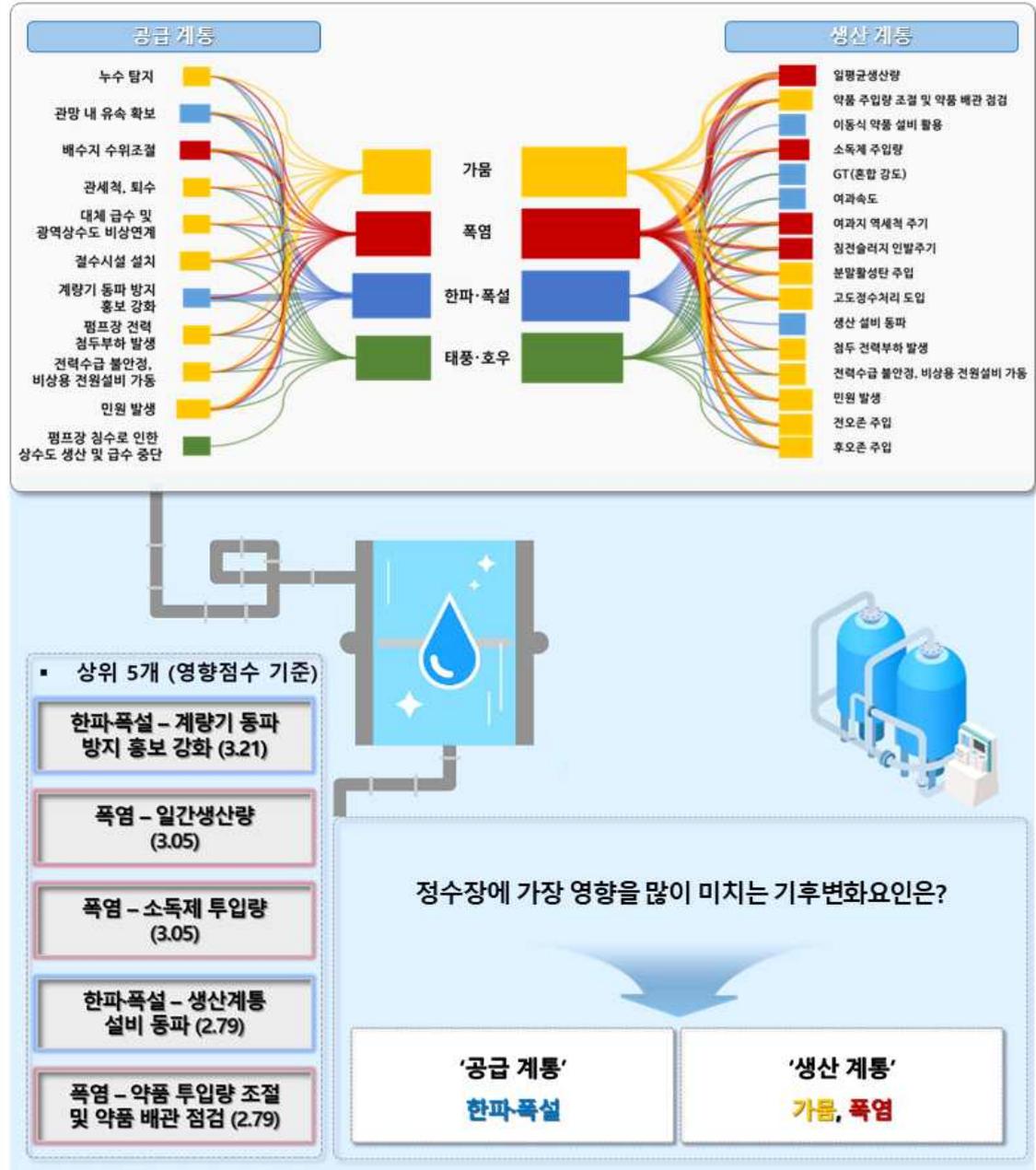
**태풍·호우**  
태풍·호우에서는 탁도와 관련된 수질 인자의 변화가 존재하는 것으로 확인되었다.

\* 기후에 의한 수질 변화 데이터 맵  
막대 그래프의 길이는 영향점수의 총합 크기, 기후 인자와 각 항목을 연결한 선의 굵기는 영향점수를 나타냄. 수질 인자 변화 정도를 나타낸 막대 그래프는 색상의 비율로 각 기후 인자가 미치는 영향의 크기를 알 수 있음.

<그림 56> 시민 교육자료(예시3)

기후변화 영향

정수장 생산 및 공급 계통



<그림 57> 시민 교육자료(예시4)

## 부록

### ■ 서울물연구원 협조공문

서울과 함께 세계로 도약하는 서울시립대학교



## 서울시립대학교산학협력단

수신자 서울특별시서울물연구원장(전략연구과장)

(경유)

제 목 **서울녹색환경지원센터 연구과제 관련 자문회의 참석 요청(서울시립대 오희경 교수)**

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 서울녹색환경지원센터 연구과제 수행과 관련하여 자문회의 참석을 요청드립니다.

가. 대상과제

연구책임자	연구과제명	연구기간
서울시립대학교 환경공학부 오희경 교수	서울시 기후변화 적응을 위한 상수도 productivity 영향인자의 종합적 분석	2023. 3. 1 ~ 2023. 12. 31

나. 자문내용

- 정수처리시설 기후변화 요인에 따른 대응방안
- 기후변화 요인에 따른 운영인자 변동 매뉴얼

다. 자문위원 : 서울물연구원 김효일 전략과장

라. 자문일시 : 2023. 6. 27(화) 16:00 ~ 18:00, 2시간

마. 자문장소 : 서울시립대학교 창공관 4층 환경공학부 세미나실

사. 당 당 자 : 최현우 연구원

(서울시립대학교 용폐수처리·물순환 연구실, 02-6490-5441, gusdh96@uos.ac.kr).



■ K-water 협조공문

서울과 함께 세계로 도약하는 서울시립대학교



서울시립대학교산학협력단

수신자 한국수자원공사사장  
 (경유) (수도부문 수도관리처)  
 제 목 **서울녹색환경지원센터 연구과제 관련 자문회의 참석 요청(서울시립대 오희경 교수)**

- 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
- 서울시립대학교산학협력단-12764(2023. 7. 4)호와 관련하여, 서울녹색환경지원센터 연구과제 수행과 관련하여 자문회의 참석을 요청드립니다.

가. 대상과제

연구책임자	연구과제명	연구기간
서울시립대학교 환경공학부 오희경 교수	서울시 기후변화 적응을 위한 상수도 productivity 영향인자의 종합적 분석	2023. 4. 1 ~ 2023. 12. 31

나. 자문내용

- 정수처리시설 기후변화 요인에 따른 대응방안
- 기후변화 요인에 따른 운영인자 변동 매뉴얼

- 다. 자문위원 : 한국수자원공사 수도부문 담당자  
 라. 자문일시 : 2023. 7. 12(수) 14:00 ~ 17:00, 3시간  
 마. 자문장소 : 한국수자원공사 본사(K-water 대전 본사)  
 바. 담당자 : 최현우 연구원

(서울시립대학교 용폐수처리·물순환 연구실, 02-6490-5441, gusdr96@uos.ac.kr).

끝.

## 서울시립대학교산학협력



주무관 김남정 주무관 민윤주 경영지원팀장 전결 07/21  
알수없

협조자

시행 서울시립대학교산학협력단 ( 2023. 7. 21. ) 접수 ( )  
-13917

우 02504 서울특별시 동대문구 서울시립대로 163(전농동) /https://www.uos.ac.kr

전화 02-6490-6383 /전송 02-6490-6399 / njkin89@uos.ac.kr / 비공개(5)

■ 서울물연구원 자문회의

<b>서울녹색환경지원센터 연구과제 관련 자문회의(서울물연구원)</b>	
<b>일 시</b>	23.06.27 16:00 - 17:00
<b>장 소</b>	서울시립대학교 시대융합관 세미나실
<b>주 제</b>	기후변화 인자 변화에 따른 상수도 생산성 영향에 관한 의견 자문 요청
<b>내 용</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화에 따른 상수도 운영 대응 방안</li> <li>• 기후 요인에 따른 정수장 운영 데이터 변화 추이</li> <li>• 기후변화로 인한 정수장 사고 사례</li> <li>• 기후사고 현장 매뉴얼 분석</li> </ul>



■ K-water 자문회의

<b>서울녹색환경지원센터 연구과제 관련 자문회의(K-Water)</b>	
<b>일 시</b>	23.07.12 15:00 - 17:00
<b>장 소</b>	한국수자원공사 대전 본사 상생관 회의실
<b>주 제</b>	기후변화 인자 변화에 따른 상수도 생산성 영향에 관한 의견 자문 요청
<b>내 용</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기계전기 분야 내 한파, 호우 등의 기후변화 요인으로 인한 운영 인자 변화</li> <li>• 공정 및 수질 분야 내 기후변화 요인으로 인한 약품 주입량 변화</li> <li>• 지방/광역 상수도 내 기후변화 요인으로 인한 관로 관리 및 사고 대응</li> <li>• 기후변화 요인으로 인한 수질 항목 변화</li> <li>• 미생물 및 유충의 영향으로 인한 각 시설 별 대응 방안</li> </ul>



■ 영등포정수장 자문회의

서울녹색환경지원센터 연구과제 관련 자문회의(영등포아리수정수센터)	
<b>일 시</b>	23.07.17 09:00 - 11:00
<b>장 소</b>	영등포아리수정수센터 본관 2층
<b>주 제</b>	기후변화 인자 변화에 따른 상수도 생산성 영향에 관한 의견 자문 요청
<b>내 용</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유충 등 수질 변화에 따른 전염소 및 후염소 주입량의 변화</li> <li>• 기후변화에 따른 정수지 및 배수지의 수위 변동</li> <li>• 수질에 따른 잔류염소 제어</li> <li>• 고탁도 지속시간에 따른 약품 주입량의 변화</li> </ul>
<b>운영 데이터 제공 목록</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2015년 - 2019년 가압식 막여과 공정 정수생산 운영일지&amp;월보 가압식 공정의 약품사용량, 전력사용량, 처리수질 등 운영자료</li> <li>• 2015년 - 2019년 침지식 막여과 공정 정수생산 운영일지&amp;월보 침지식 공정의 약품사용량, 전력사용량, 처리수질 등 운영자료</li> <li>• 2020년 - 2023년 월별 수질검사 통계 잔류염소, 조류, 총대장균군, 2-MIB, 지오스민 등 수질측정 자료</li> <li>• 2011년 - 2023년 중앙제어실 정수생산일지&amp;월보 처리장별 처리수질, 약품사용량, 잔류염소량 등 운영자료</li> </ul>

■ 서울물연구원 자문결과서

## 자 문 결 과 서

· 자문위원 : 서울물연구원 전략연구과장 김효일

· 자문내용

- 취약 시설 선제적 관리 대응 방안
- 기후변화 또는 노후화 시설에 대한 개선
- 약품 투입량 변화에 따른 기준 및 약품 시설 점검 매뉴얼
- 조류 발생 관리 매뉴얼과 종합 상황실 운영
- 동파 예방 계획 및 동파 대응 방안
- 비상 급수 확보 체계
- 모니터링 강화 및 누수 탐지 방법, 누수 해결방안

위 내용에 대한 자문회의를 진행함.

2023년 06월 28일

자 문 위 원 : 김 효 일

연구책임자 : 오 희 경



■ K-Water 자문결과서

## 자 문 결 과 서

·자문위원 : 한국수자원공사 수도관리처 공정수질관리담당 박준용

·자문내용

○ 기후변화 요인에 따른 분야별 대응 방안

- 기계·전기 분야(단전, 수송 펌프, 비상전력 등)
- 광역 상수도 분야(비상 시 연계관로 활용 등)
- 지방 상수도 분야(동파, 배수지 수량 유지 등)
- 수질 분석 분야(조류, 미량 오염물질 분석 등)
- 상수도 시설 관리 분야(용집계 등 약품 투입량 관련)

위 내용에 대한 자문회의를 진행함.

2023년 07월 12일

자 문 위 원 : 박 준 용



연구책임자 : 오 회 경



■ K-Water 자문결과서

## 자 문 결 과 서

·자문위원 : 한국수자원공사 수도관리처 전기설비담당 양동건

·자문내용

- 기후변화 요인에 따른 분야별 대응 방안
  - 기계·전기 분야(단전, 수송 펌프, 비상전력 등)
  - 광역 상수도 분야(비상 시 연계관로 활용 등)
  - 지방 상수도 분야(동파, 배수지 수량 유지 등)
  - 수질 분석 분야(조류, 미량 오염물질 분석 등)
  - 상수도 시설 관리 분야(응집제 등 약품 투입량 관련)

위 내용에 대한 자문회의를 진행함.

2023년 07월 12일

자 문 위 원 : 양 동 건



연구책임자 : 오 회 경



■ K-Water 자문결과서

## 자 문 결 과 서

·자문위원 : 한국수자원공사 물환경안전처 수질모니터링담당 윤미애

·자문내용

- 기후변화 요인에 따른 분야별 대응 방안
  - 기계·전기 분야(단전, 수송 펌프, 비상전력 등)
  - 광역 상수도 분야(비상 시 연계관로 활용 등)
  - 지방 상수도 분야(동파, 배수지 수량 유지 등)
  - 수질 분석 분야(조류, 미량 오염물질 분석 등)
  - 상수도 시설 관리 분야(용집계 등 약품 투입량 관련)

위 내용에 대한 자문회의를 진행함.

2023년 07월 12일

자 문 위 원 : 윤 미 애



연구책임자 : 오 회 경



■ K-Water 자문결과서

## 자 문 결 과 서

·자문위원 : 한국수자원공사 수도관리처 수도설비운영관리담당 임동현

·자문내용

○ 기후변화 요인에 따른 분야별 대응 방안

- 기계·전기 분야(단전, 수송 펌프, 비상전력 등)
- 광역 상수도 분야(비상 시 연계관로 활용 등)
- 지방 상수도 분야(동파, 배수지 수량 유지 등)
- 수질 분석 분야(조류, 미량 오염물질 분석 등)
- 상수도 시설 관리 분야(용접재 등 약품 투입량 관련)

위 내용에 대한 자문회의를 진행함.

2023년 07월 12일

자 문 위 원 : 임 동 현



연구책임자 : 오 회 경



■ 영등포아리수정수센터 자문결과서

## 자 문 결 과 서

· 자문위원 : 영등포 아리수정수센터 소장 전중원

· 자문내용

○ 기후변화에 따른 정수장 운영 및 대응의 변화

- 유출 등 수질 변화에 따른 전염소 및 후염소 투입량의 변화
- 기후변화에 따른 정수지 및 배수지의 수위 변동
- 수질에 따른 잔류염소 제어
- 고탁도 지속 시간에 따른 약품 투입량의 변화

위 내용에 대한 자문회의를 진행함.

2023년 07월 17일

자 문 위 원 : 전 중 원



연구책임자 : 오 회 경



■ Google Forms 설문지: “기후변화에 따른 상수도 시설 영향 조사”

\* 해당 질문지에 표기된 답변은 모두 임의의 답변

## 기후변화에 의한 상수도 시설 영향 조사

안녕하십니까

서울시립대학교 용폐수처리물순환연구실은 "서울시 기후변화 대응을 위한 상수도 생산성 영향 인자 분석 과제"를 수행하고 있습니다.

본 설문조사는 기후 영향 요소가 상수도 시설 내에 미치는 영향을 조사하고 분석하여 상수도 시설에서 기후 대응능력을 향상시킬 수 있는 가이드라인의 조석을 마련하기 위하여 상수도 현업에 근무하는 분들을 대상으로 현황 및 의견을 구하고자 계획되었습니다.

답변해주시는 모든 내용은 연구 목적으로 사용하고 통계법 제 33조에 의해 개인 신상에 대한 내용은 익명으로 처리되며 조사에 참여하신 분들의 인적 사항을 비롯한 모든 개인 정보는 조사 목적으로만 사용합니다. 관련 자료는 조사 완료 후 즉시 폐기합니다.

바쁘시더라도 잠시 시간을 내어 질문에 응해주시면 정말 감사하겠습니다. 성실히 설문 문항에 답해주시는 분들을 주춤하여 커피 쿠폰을 보내 드리도록 하겠습니다. 발송까지 시간이 걸리는 점 양해 부탁드립니다.

ch03040607@gmail.com [계정 전환](#) 

 비공개

[다음](#) [양식 지우기](#)

Google Forms를 통해 비밀번호를 제출하지 마세요.

이 콘텐츠는 Google이 만들거나 승인하지 않았습니니다. [악용사례 신고](#) - [서비스 약관](#) - [개인정보처리방침](#)

Google 설문지

# 기후변화에 의한 상수도 시설 영향 조사

ch03040607@gmail.com [계정 전환](#)



비공개

\* 표시는 필수 질문임

## 개인정보 제공 동의

1-1. 개인정보 제공 동의 여부를 선택해주세요 \*

1. 개인정보 수집근거 : 개인정보보호법 제 15조 및 제 24조
2. 개인정보 수집 및 이용 목적 : 기후변화가 상수도 시설에 미치는 영향성 파악 관련 연구에 활용
3. 개인정보 수집항목 : 전화번호
4. 개인정보 보호근거: 통계법 제 33조
4. 개인정보 보유 및 이용기간 : 2023.12.31.까지(용역사업의 종료시점에 즉시 폐기)

예

아니오

1-2. 아래에 휴대폰 번호를 남겨주시면 성실히 답변해 주신 분들 중 추첨을 통해 커피 쿠폰을 드리도록 하겠습니다. 발송까지 시간이 걸리는 점 양해 부탁드립니다.

내 답변

[뒤로](#)

[다음](#)

[양식 지우기](#)

1. 귀하의 상수도 시설에 대한 기후변화 연관성 관련 질문입니다

상수도시설에 종사하시는 전문가분들이 생각하실 때 기후변화가 상수도 시설과 연관성이 있다고 생각하시는 지에 대해 알기 위한 질문입니다

2-1. 귀하는 기후변화가 상수도 시설 운영과 얼마나 관련이 있다고 생각하십니까? \*

1            2            3            4            5

거의 관련 없다                        매우 관련 있다

2-2. 귀하는 상수도 시설 운영에 어떠한 기후변화 요인이 영향이 크다고 생각하십니까?

	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
폭염	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
한파, 대설	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
가뭄	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
호우, 태풍	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
강풍	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
전염병, 감염병	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
낙뢰	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. 기후변화가 상수도 시설에 영향을 준 시점은 언제부터라고 생각하십니까? \*

- 1990년대
- 2000년대
- 2010년대
- 2020년대
- 체감되지 않는다.
- 기타: \_\_\_\_\_

4. 기후변화에서 가장 취약한 상수도 관련 시설의 우선 순위를 정해주시기 바랍니다 \*

	1순위	2순위	3순위	4순위	5순위
취수원	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
관망	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
정수장	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
배수지	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
수용가	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

뒤로

다음

양식 지우기

## 2. 귀하가 종사하는 직종에 관한 질문입니다

귀하가 종사하는 직종에서 기후변화가 상수도 생산성에 미치는 영향을 알기 위한 질문입니다. 구체적으로 작성해주시면 서울시 상수도 시설 기후변화 대응 매뉴얼 제작 과제에 큰 도움이 됩니다.

### 5-1. 귀하의 종사(전문) 분야를 선택해주시요 \*

- 수도행정
- 수질 분석 및 연구
- 공정관리(화공, 환경)
- 시설관리(기계, 전기)
- 시설관리(토목)

### 5-2. 귀하가 현재 근무하는 지역의 수계를 선택해주시요 \*

- 한강 수계
- 낙동강 수계
- 금강 수계
- 영산강 수계

### 6. 귀하의 상수도 분야 업무 경력을 말씀해주시요 \*

- 0-5년
- 5-10년
- 10-15년
- 15-20년
- 20년 이상

- \* 기후영향요인 중 ‘가뭄’에 대한 운영관리 인자 변화 질문: 9-11번 질문
- \* ‘폭염’, ‘한파&폭설’, ‘태풍&호우’에 대해서 동일한 3개 질문 진행

**3-1. 가뭄에 의한 상수도 시설 및 운영 관리에 관한 영향**

'가뭄'으로 인해 상수도 시설의 운영 인자의 변화 정도를 파악하기 위한 질문입니다.

수질, 응집제 투여량과 같이 정량적으로 변화하는 운영 인자의 경우

'낮음, 보통, 높음'의 항목을 '감소, 유지, 증가'의 항목으로 간주해서 설문 부탁드립니다.

**8. 가뭄으로 인한 정수장 중점 수질 관리 항목의 변화 \***

	매우 감소	감소	유지	증가	매우 증가
탁도	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
TOC(총 유기탄소)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
소독부산물	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
철, 망간	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
맛냄새물질	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
조류 및 조류독소물질	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
병원성 미생물	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
유충 등 소형 생물	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
페놀 등 미량 유해 물질	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. 가뭄으로 인한 생산 계통 운영 관리 인자의 변화 \*

	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
일간 생산량	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
약품(응집제 등) 투입량 조절 및 약품배관 점검	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
소독제(염소, 오존) 투입량	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
여과지 역세척	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
침전슬러지 인발주기	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
분말활성탄 주입	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
고도정수처리 도입	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
전력소비 첨두부하 발생	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
전력수급 어려움, 단전 비상발전사용	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
민원 발생	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
전오존 투입	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
후오존 투입	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. 가뭄으로 인한 공급 계통 운영 관리 인자 변화 \*

	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
누수탐지 관리	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
관망 유속관리	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
배수지 수위 조절	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
관세척, 퇴수	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
대체급수 및 광역상수도 비상연계	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
절수시설 설치	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
계량기 동파 방지	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
펌프장 전력 소비 첨두부하 발생	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
전력수급 어려움, 단전 비상발전 사용	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
민원 발생 여부	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. 가뭄으로 인한 상수도 수질 및 시설 관리 대응 사례나 아이디어가 있다면 자유롭게 기술하여 주십시오

내 답변

---

#### 4. 기타 질문

24. 기후변화에 따라 분말활성탄 주입이 필요하다고 생각하시나요? (수도정비기본 계획 2040에서는 향후 수질에 대응해 분말활성탄 시설 활성화의 여부를 결정할 것으로 의견이 모였습니다)

- 네
- 아니요

25. 고도처리시설 적용 사례(원인과 시기)를 자유롭게 작성해 주세요.

내 답변

---

26. 기후변화와 상수도 운영변화와 관련된 아이디어가 있으면 자유롭게 작성해주시시오.

내 답변

---

27. 이상 기후로 인한 수자원 관리에 있어서 어려움이 있던 사례를 자유롭게 말씀해 주십시오.

내 답변

---

28. 기후변화 인자에 따라 운영인자가 변화한 데이터를 공유해주실 수 있다면 아래 이메일로 보내주시면 감사드리겠습니다. 그리고 데이터를 보내주실 이메일을 작성해주시면 감사드리겠습니다

## 참고문헌

1. 관계부처합동, 2012 이상기후보고서, 2012
2. 관계부처합동, 2016 이상기후보고서, 2016
3. 관계부처합동, 2018 이상기후보고서, 2018
4. 관계부처합동. 제2차 기후변화대응 기본계획. 2019.
5. 광주광역시동구, 제 2차 광주광역시 동구 기후변화 적응대책 세부시행계획 [2021~2025], 2021
6. 국토교통부, 2015년 가뭄기록조사보고서, 2015
7. 국회미래연구원, 오준호. 2050 대한민국 미래 보고서. 이학사. 2020.
8. 기상청 기후예측과 보도자료, 2018년과 1994년 폭염 비교, 2018
9. 기상청. 미래 기상기후재해 대응 융합형 예보기술개발 추진방안 연구. 2021.
10. 김진근.(2018).제주도 기후변화 관련 상수도시설 취약성 평가 및 적응대책.상하수도학회지,32(6),517-526.
11. 낙동강유역환경청, 제 3차 낙동강수계 수변구역 관리 기본계획(2019~2023) 보고서, 2018
12. 박은희, 장도일, 김세철. (2019). 기후변화 적응대책 수립을 위한 한강수계 지역 기후변화 동향 및 서울시 상수도 분야 현황 연구. 한국기후변화학회지, 10(3), 199-211.
13. 부산광역시, 제 3차 부산광역시 기후변화 적응대책 세부시행계획[2022-2026], 2022
14. 서울시. 서울특별시 기후변화 적응대책 세부시행계획 (2012~2016). 2011.
15. 서울특별시 상수도사업본부. 서울특별시 상수도사업본부 기후변화 적응대책 (2020~2024). 2020.
16. 서울특별시 상수도사업본부. 수도정비기본계획. 2021. (2021.12.30. 환경부 승인/ 목표년도:2040)
17. 신은철, 류병현, 강현희, 황순갑.(2014). 동결온도가 상수도관의 거동에 미치는 영향. 한국지반신소재학회 논문집, 13(4), 1-10.
18. 신홍철, 이현동, 곽필재.(2016). 폭설 및 기온저하에 따른 상수도 관망시설 복구 절차 구축. 한국물환경학회 대한상하수도학회 공동학술발표회, 52p
19. 안전보건공단. 풍수해 대비 안전·보건 매뉴얼 (2014-건설-405). 2014.
20. 윤영한. (2021). 안전한 먹는물 확보 기술 지원을 위한 아프리카 환경기초시설 및 오염 현황 분석 - 에티오피아 중심으로. 한국산화기술학회 논문지, 22(9), 415-423.
21. 저탄소녹색성장기본법 법률 제11965호 제 48조 4항
22. 정종문, 박성훈, 이용식, 김재현.(2019). 피어슨 상관계수를 이용한 적외선 열화상 안전 진단 시스템 개발. 한국태양에너지학회 논문지, 39(6), 55-65.

23. 중앙재난대책안전본부, 2008~2009 가뭄극복추진 성과보고서, 2009
24. 최홍열, 김영국, 강동형, 김종겸.(2011). 몽골 울란바타르시 상수도시설과 연계한 신재생에너지 개발방안 고찰. 대한전기학회 학술대회 논문집, 0, 1364-1365.
25. 한국기술연구원, 2001년 중부지방 대 가뭄, 2001
26. 한국수자원공사, 가뭄관리정보체계 수립 보고서, 2006
27. 한국수자원공사, 신기후체제 대응을 위한 수자원분야 전략수립 연구, 2017
28. 환경부. 가뭄대응 물관리 혁신 기술개발사업. 2021.
29. 환경부. 기후위기대응 홍수방어능력 혁신개발사업(R&D) 보고서. 2021.
30. 환경부. 상수도설계기준 (KDS 57 00 00). 2022.
31. 환경부. 수도정비기본계획 수립지침. 2018.
32. B.A. Wols, K. van Daal, P. van Thienen, Effects of Climate Change on Drinking Water Distribution Network Integrity: Predicting Pipe Failure Resulting from Differential Soil Settlement, Procedia Engineering, Volume 70, 2014, Pages 1726-1734
33. Baiwen Ma, Chengzhi Hu, Junya Zhang, Mathias Ulbricht, Stefan Panglisch. Impact of Climate Change on Drinking Water Safety. ACS ES&T Water. 2022. 2(2), 259-261
34. The Netherlands; Ministry of Infrastructure and the Environment, Ministry of Economic Affairs, National Water Plan 2016-2021, 2015
35. UNESCO. The United Nations World Water Development Report 2021(: VALUING WATER). 2021
36. United States Bureau of Reclamation, Climate Change Adaptation Strategy, 2023)
37. UK Public General Acts, Climate Change Act 2008, 2008)
38. Walker J. The influence of climate change on waterborne disease and Legionella: a review. Perspectives in Public Health. 2018;138(5):282-286. doi:10.1177/1757913918791198
39. 日本内閣官房水循環政策本部事務局, 平成30年度 水循環施策, 2019)

# 주 의

1. 이 보고서는 서울녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업의 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 서울녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.
4. 본 보고서 내용은 서울녹색환경지원센터에서 주지하는 내용과 다를 수 있습니다.



## 서울녹색환경지원센터

주소 : 서울시 동대문구 서울시립대로 163 서울시립대학교 제2공학관 215호

전화 : 02-6490-5400 팩스 : 02-6490-5407

홈페이지 : <http://sgec.uos.ac.kr>