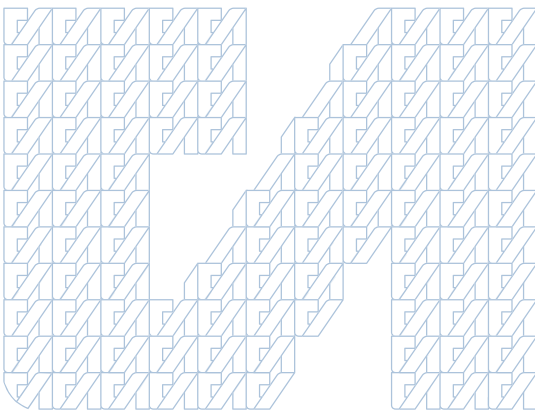


추동 취수터널 붕괴에 따른 지역의 피해에 대한 연구

이 재 근



정책연구 2021-09

추동 취수터널 붕괴에 따른 지역의 피해에 대한 연구

이 재 근

연구책임

• 이재근 / 지속가능연구실 책임연구위원

공동연구

• 양준석 / 성장동력연구실 연구위원

• 이윤희 / 세종연구실 책임연구위원

정책연구 2021-09

추동취수터널 붕괴에 따른 지역의 피해에 대한 연구

발행인 정 재 근

발행일 2021년 09월

발행처 대전세종연구원

34863 대전광역시 유성구 전민로 37(문지동)

전화: 042-530-3500 팩스: 042-530-3528

홈페이지 : <http://www.dsi.re.kr>

인쇄: (주)믹스위즈 TEL 070-8279-3343

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시와 세종특별자치시의 정책적 입장
과는 다를 수 있습니다.

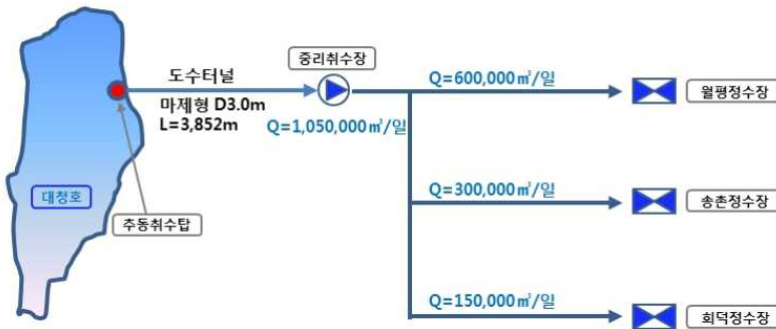
출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.

요약 및 정책건의

■ 연구배경 및 필요성

○ 대전광역시 추동 도수터널

- 현재 운영되고 있는 추동의 단일 도수터널(1980년 준공)은 대전광역시와 세종, 계룡까지 수돗물을 공급하는 원수 터널로 노후화된 상태임
- 수돗물은 전기와 더불어 도시의 기능을 유지하기 위하여 필수적인 인프라임. 특히 대체재가 한정된 수돗물은 단수 3일이 한계점으로 인정되며, 그 이후에는 가정, 업무, 영업 등에서 정상적인 활동이 어려워 짐



○ 추동 취수터널 붕괴사고 발생에 따른 비용의 산정으로 타당성 평가 필요

- 노후화 등으로 취수터널의 붕괴사고가 발생하면 수돗물 원수의 공급이 차단됨으로써 단수 상황이 발생하여, 전체 원수 공급량의 82%가 중단되어 경제·사회적 피해가 심각할 것으로 판단됨
- 더불어 대전광역시에서 생산하는 수돗물은 인근에 위치한 세종시 및 계룡시에 공급하는 상황으로, 안정적인 상수원수 공급이 필수적임
- 이에 취수터널 붕괴에 따른 생활불편 해소, 물 확보를 위한 노동력의 활

용 및 영업손실 보상 등과 같은 정량화 가능 부문에 대한 경제타당성 분석을 제안하여 취수터널의 복선화에 대한 논의를 제기할 필요가 있음

■ 연구방법

- 선행연구 현황 및 차별성 수립
 - 대전광역시 도수시설은 1980년 완공된 이후 보수 및 복선화 등의 연구가 없었으며, 본 연구에서 제2도수터널 건설 타당성을 제시하고자 함
 - 대전광역시 및 인근의 세종시, 계룡시의 안정적인 수돗물 공급을 위한 제2도수터널 신설 사업 추진에 활용하고자 함

- 기존 자료의 활용
 - 상수도사업본부의 수도정비기본계획 등의 기본계획 활용
 - 상수도사업본부의 현장 조사자료 활용
 - 추동 취수터널의 사고 가능성을 고려한 대전광역시, 계룡시 및 세종시의 수돗물 공급 예상

- 피해비용(편익)을 고려함에 따른 도수터널 복선화의 추진
 - 수돗물 공급의 중단에 따른 피해를 정상화하기 위한 방안의 마련
 - 붕괴 등의 단수 사고 발생 시 피해지역 등의 검토, 피해 지역 내 시민, 사업자 등에게 끼치는 손해배상 비용 등의 산정

■ 연구결과

- 제2도수터널 신설계획
 - 기존 취수시설을 대체할 수 있는 제2취수탑 및 도수터널 복선화를 계획하여 안정적인 취수가 가능하도록 대안을 선정하여 비교 검토함

- ① 원 안 : 기수립 수도정비기본계획(변경) 반영 → 정체수역 내 위치
- ② 대안1 : 정체수역 외 위치 → 만 중앙지점
- ③ 대안2 : 정체수역 외 위치 → 댐 본류, 오동 앞 지점
- ④ 대안3 : 정체수역 외 위치 → 댐 본류, 신탄진 부근

○ 상수도 피해원인별 단수시간 및 피해규모 관계

- 단수사례를 관리하여 비상연계가 필수적으로 필요한 대상을 확인하는 작업을 수행
- 연구 수행을 위해서 사고 이력을 분류하여 수계전환 대상이 되는 시설 물 및 원인파악을 위한 분류항목을 제시하고 대표 취수시설의 중요성을 제시함
- 수집된 단수자료들을 분류기준에 따라 설비사고 중 취수장에서 발생한 단수시간은 평균 41 hr로 나타남
- 단, 도수터널과 같이 복구가 까다로운 사고에서는 평균 41 hr 이상의 단수가 있을 것으로 판단됨

대분류	소분류	단수시간 (hr)			단수범위 (세대)			사례 (개)	점유율 (%)
		최소	최대	평균	최소	최대	평균		
설비 사고	취수장	8	120	41	30,000	500,000	164,000	4	1.21
	정수장	1	60	24.48	20	623,000	83,474	33	9.97
	배수지	4	11.5	7.7	70	282,864	41,495	10	3.02
	가압장	2	72	12	50	471,000	34,328	18	5.44

○ 비용의 산정

- 대전광역시 수도정비기본계획의 취수탑 이전 및 제2도수터널 신설의 요구 공사비(대안1, 정체수역 외 만 중앙)는 108,400백만원으로 산정됨

○ 편익의 산정 (진술선택법)

- 대청호 제2도수터널 신설사업에 따른 총 편익은 생활용수 64,273백만원, 공업용수 555,225백만원을 합산한 619,498백만원으로 집계됨

구분		내용
생활용수	대전, 세종, 계룡가구 753,152가구	64,273백만원
공업용수	41시간 단수 시 평균 단수방지 편익 ①	275백만원
	공업용수 취수업체 (취수지역 가동업체수) ②	2,019개
	단수방지 편익 ①×②	555,225백만원

○ 편익의 산정 (대체비용법)

- 첫 번째로 단수에 따른 생수, 도시락 등의 구입에 따른 물품서비스 구매 비용을 적용함
- 두 번째로 수도물을 대체하기 위한 노동투입비용을 적용함
- 세 번째로는 수도물의 미공급으로 업무, 영업에서 도출될 수 있는 피해를 적용함
- 세 가지 편익을 모두 합하면 제2 도수터널의 건설로 얻을 수 있는 경제적 가치는 280,515백만원으로 나타남

구분	비용단가 (원/1인·1시간)	단수발생 시간 (시간)	인구 (명)	편익 (백만원)
1. 물품서비스 구매비용	1,965	41	1,869,886	150,647
2. 노동투입비용	175	41	1,869,886	13,416
구분	단수발생 시간		금액(백만원)	
3. 영업장 업무·영업용수 피해	41		급수제한 50%	116,451

○ 비용편익분석 결과

- 진술선호법 $B/C = 619,498/108,400 = 5.71$
- 대체분석법 $B/C = 280,515/108,400 = 2.59$

○ 결과

- 제2도수터널을 설치하기 위한 경제성의 검토를 수행한 결과 B/C 5.71 및 2.59로 산정되어 타당성이 있는 것으로 나타남
- 또한, 제2도수터널 설치 후 기존 도수터널 정밀안전진단을 수행하여 안정적인 복선화 운영이 요구되어 짐

■ 향후 지류하천 관리를 위한 정책건의

○ 예비 도수관로의 조속한 신설

- 중리취수장과 삼정취수장이 분리되어 있어 대청댐과 대청댐 역조정지의 원수수질 악화 등 비상시에는 안정적인 대처가 어려움
- 도수터널에 대해서 제2 도수터널 계획으로 도수터널 사고에 대응하는 계획을 추진하고 있지만, 삼정취수장은 예비 취수터널이 없어 도수관로 사고 등 비상시에는 세종시 2단계, 국제과학비즈니스벨트 등 국가 중요 시설에 대한 용수공급에 차질을 빚을 수 있어 관로 복선화를 위한 신설 도수관로를 계획하여야 함

○ 비상시 용수공급계획 수립

- 신탄진정수장의 용수공급 확대 계획 등 여건 변화에 따라 중리취수장 ~ 삼정취수장 예비도수관로에 대한 연계 이용방안을 수립함
- 수원수질 악화 및 도수관로 사고를 대비하여 중리취수장 ~ 삼정취수장 간 상수원수를 연계하는 방안의 시행이 고려되어야 함

차 례

1장 연구의 개요	1
1절. 연구의 배경 및 필요성	3
2절. 연구방법 및 주요내용	6
2장 대전광역시 상수도 시설의 인프라 검토	9
1절. 대전광역시 수도정비기본계획	11
1. 상수도 현황	11
2. 취수·도수시설 현황	22
3. 정수·급수시설 현황	31
2절. 상수도 시설 관련계획	43
1. 관련 계획	43
2. 상수도 시설기준	50
3장 취·도수시설의 문제점 및 개선안 검토	53
1절. 취·도수시설의 문제점 및 이슈	55
2절. 상수원수 공급의 안정화 계획	60
1. 개요	60
2. 제2취수탑 및 도수터널 복선화 추진	62

3. 도수터널 장래 운영계획	69
3절. 추동 취수터널 건설의 경제성 평가	70
1. 분석의 배경 및 목적	70
2. 연구의 방법	72
3. 상수도 피해원인별 단수시간 및 피해규모 관계	79
4. 취수터널 건설의 편익분석	89
4장 결론 및 정책제언	111
1절. 결론	113
2절. 정책제언	118
참고문헌	119

표 차례

[표 2-1] 상수원보호구역 지정현황	11
[표 2-2] 호소수질 환경기준	12
[표 2-3] 대청호 원수 수질현황	13
[표 2-4] 대전광역시 인접의 대청호 주요 수질 측정망	14
[표 2-5] 수질측정망의 수질인자 비교(COD, TOC)	16
[표 2-6] 수질측정망의 수질인자 비교(T-P, T-N)	17
[표 2-7] 수질측정망의 수질인자 비교(클로로필-a, 분원성 대장균수)	18
[표 2-8] 조류예보 발령기준	19
[표 2-9] 예보발령 단계별 관계기관 대응요령	21
[표 2-10] 대청댐 계통 취수시설 현황	23
[표 2-11] 도수시설 현황	24
[표 2-12] 취수탑 및 도수터널 시설 개요	25
[표 2-13] 타 지역 도수터널 운영사례	28
[표 2-14] 타 지역 도수터널 운영사례	29
[표 2-15] 송촌정수장 시설물 개요	31
[표 2-16] 월평정수장 시설물 개요	32
[표 2-17] 신탄진정수장 시설물 개요	33
[표 2-18] 송촌정수장 시설물 개요	34
[표 2-19] 대전광역시 단계별 급수계획	38
[표 2-20] 총괄 용수수요량 (일평균)	39

[표 2-21] 정수장별 용수공급 전망	40
[표 2-22] 광역공급시설 중 용수공급시설 추진계획	47
[표 3-1] 제2취수탑 및 도수터널 시설계획 개요	63
[표 3-2] 추동 도수관로 운영방안	69
[표 3-3] 속성별 한계지불 의사액	76
[표 3-4] 편익계상 항목별 세부내용	78
[표 3-5] 수도사고이력 코드화 자료 (관로사고)	81
[표 3-6] 수도사고이력 코드화 자료 (관로사고, 수질사고)	82
[표 3-7] 수질사고 단수시간-범위 검토	85
[표 3-8] 핵심 선행연구의 편익산정 사례	89
[표 3-9] 속성별 한계지불의사액	92
[표 3-10] 공업용수 단수방지 편익	93
[표 3-11] 대전, 세종, 계룡시 산업 농공단지 현황	94
[표 3-12] 41시간 단수 시나리오 가정시 공업용 단수방지 편익	95
[표 3-13] 분석 대상지역 가정용수 1인1일당 평균사용량	97
[표 3-14] 분석 대상지역 가정용수 1인1일당 평균사용량	97
[표 3-15] 분석 대상지역 대체물품 구입비용	98
[표 3-16] 용도별 절수에 따른 시간비용	99
[표 3-17] 업종별 영향율	101
[표 3-18] 업종별 영향율	102
[표 3-19] 업종별 영향율 분석결과 (급수제한율 20% 가정)	103
[표 3-20] 업종별 영향율 분석결과 (급수제한율 50% 가정)	104
[표 3-21] 편익분석 기본값	105

[표 3-22] 분석결과 (일반가정, 41시간 단수발생)	105
[표 3-23] 분석결과 (영업장, 41시간 단수발생)	106
[표 3-24] 분석결과 요약	107

그림 차례

[그림 1-1] 대청호 도수터널을 이용하는 계통	3
[그림 2-1] 대청호 원수 수질 측정지점	14
[그림 2-2] 대전광역시 인접 대청호의 주요 수질 측정지점	15
[그림 2-3] 대청호 조류예보제 대상 유역도	20
[그림 2-4] 대전광역시 취수시설 현황 및 용수공급 계통	22
[그림 2-5] 대전광역시 취·도수시설 위치도	24
[그림 2-6] 준공도면 상 노선 주요지점 위치 및 좌표	26
[그림 2-7] 상대변위 활용 도수터널 노선 분석	26
[그림 2-8] 도수터널 건설 당시 도수터널의 형상	27
[그림 2-9] 송촌정수장 처리계통도	31
[그림 2-10] 월평정수장 처리계통도	32
[그림 2-11] 신탄진정수장 처리계통도	33
[그림 2-12] 회덕정수장(공업용수) 처리계통도	34
[그림 2-13] 회덕정수장(생활용수) 처리계통도	34
[그림 2-14] 대전광역시 급수구역도	36
[그림 2-15] 대전광역시 용수공급계통도	37
[그림 2-16] 대전광역시 블록구축 현황	41
[그림 2-17] 제4차 국토종합계획 비전 및 목표	43
[그림 2-18] 수자원장기종합계획 비전 및 목표	45

[그림 2-19] 수자원장기종합계획 추진전략	45
[그림 2-20] 전국수도종합계획 계획의 기초	46
[그림 2-21] 전국수도종합계획의 목표 및 추진전략	46
[그림 2-22] 세종시 2단계 용수공급 노선	49
[그림 3-1] 광주광역시 동북 도수터널 건설현장	58
[그림 3-2] 대청호 상수원수를 사용하는 중리취수장 현황	62
[그림 3-3] 대안별 취수원 위치 및 도수터널 계획노선	63
[그림 3-4] 수자원공사 30년간 수도사고 발생 특성	83
[그림 3-5] 수도사고 복구비용 추산(안)	83
[그림 3-6] 수도시설의 경과연수별 사고발생 현황	84
[그림 3-7] 상수도 사고유형별 세부현황	84
[그림 3-8] 최소피해 기준 결과	86
[그림 3-9] 최대피해 기준 결과	87
[그림 3-10] 평균피해 기준 결과	87
[그림 3-11] C-M-D-S Graph (옥수연, 2019)	88
[그림 3-12] 수돗물이 없다면 (서울시 상수도사업본부)	110

연구의 개요

- 1절. 연구의 배경 및 필요성
- 2절. 연구방법 및 주요내용

1장

1장 연구의 개요

1절. 연구의 배경 및 필요성

1) 배경

○ 추동 도수터널의 현황

- 현재 운영되고 있는 추동의 단일 도수터널(1980년 준공)은 대전광역시와 세종, 계룡까지 수돗물을 공급하는 원수 터널임
- 추동 도수터널은 현재와 더불어 미래의 계획(수도정비기본계획 등)에서 대전광역시 대부분의 지역과 더불어 세종시, 계룡시, 청주시, 천안시 등에 수돗물을 공급하고 있음
- 도수터널을 이용해서 총 1,050,000 m³/일을 이송할 수 있으며, 역조정 지점의 삼정취수장에서는 300,000 m³/일을 이송할 수 있음. 하지만 삼정취수장은 신탄진정수장 급수구역인 대덕구 및 서구 일부에만 공급이 되어 대전광역시 대부분의 지역 및 세종시, 계룡시, 청주시, 천안시 등은 추동 도수터널의 영향을 받게 됨



[그림 1-1] 대청호 도수터널을 이용하는 계통

○ 안정적 수돗물 공급의 중요성

- 수돗물은 전기와 더불어 도시의 기능을 유지하기 위하여 필수불가결한 인프라라고 할 수 있음
- 특히 대체 인프라가 존재하지 않는 수돗물의 경우 단수 3일은 수인한도¹⁾로 인정되며 가정, 업무, 영업 등에서 정상적인 활동이 어려워 짐
- 수돗물의 안정적인 공급은 반드시 필요하며, 이를 위한 지속적인 확인 및 대응방안이 이루어져야 함

2) 필요성

○ 추동 도수터널의 노후화에 의한 사고발생 및 단수기간의 파악

- 현재 이용하고 있는 추동 취수터널은 1980년에 설치되어 40년이 넘는 기간을 사용하여 왔음
- 하지만 산을 통과하여 설치되어 있어 도수터널의 현황 및 안전성을 파악하기 어려움
- 더불어 사고 발생 시에는 어디에서 문제가 나타났는지의 파악이 어려워 단수 기간이 다른 어느 사고보다 길어질 것으로 판단됨
- 이에, 사고 발생 시 예상되는 단수기간을 파악할 필요가 있음

○ 노후화된 추동 도수터널의 대체가능 인프라 확보

- 추동 도수터널의 원수 이송을 대체할 수 있는 방법은 없는 상황으로, 사고 발생 시에는 다양한 지역에서 오랜 기간의 피해가 발생할 수 있음
- 이에 노후시설을 대체할 수 있는 인프라의 설치방안을 검토할 필요가 있음

○ 추동 취수터널 붕괴(사고) 발생에 따른 비용의 산정으로 타당성 평가

- 노후화 등으로 붕괴사고 등이 발생하면 수돗물 원수의 공급이 차단됨으

1) 수인한도(受忍限度): 환경권의 침해나 공해, 소음 따위가 발생하여 타인에게 생활의 방해와 해를 끼칠 때 피해의 정도가 서로 참을 수 있는 한도 (표준국어대사전)

- 로써, 단수 사고 발생 시 전체 원수 공급량의 82%가 중단되어 경제·사회적 피해가 심각할 것으로 판단됨
- 더불어 대전광역시에서 생산하는 수돗물은 인근에 위치한 세종시 및 계룡시에 공급하는 상황으로, 안정적인 상수원수 공급이 필수적임
 - 이에 취수터널 붕괴에 의한 생활불편 해소, 물 확보를 위한 노동력의 활용, 영업손실 보상 등과 같은 정량화 가능 부문에 대한 경제타당성 분석을 제안할 필요가 있음

3) 목적

- 제2 도수터널 복선화의 필요성 제안
 - 현재 노후화된 1개의 원수 이송체계만을 가지고 있는 상황에서 도수터널 붕괴 시에 발생할 수 있는 위험성을 인식을 제안
 - 기존 취수시설을 대체할 수 있는 제2취수탑 및 도수터널 복선화 계획을 미리 수립함으로써, 사고발생에 의한 위험성을 대체할 수 있는 방안을 마련함
- 제2 도수터널 건설의 타당성 제시
 - 막대한 피해 추정보다 가시적인 피해 상황 및 규모 등을 파악하여 “제2 도수터널 신설사업” 추진의 타당성·명분을 객관적으로 추가할 수 있는 방안을 마련
 - 노후된 도수터널의 붕괴에 따른 피해를 경제적 타당성을 검토하여, 그에 따른 피해를 객관화하는 동시에 대응방안을 제시

2절. 연구방법 및 주요내용

1) 연구방법

- 선행연구 현황 및 차별성 수립
 - 대전광역시 도수시설은 1980년 완공된 이래 보수 및 복선화 등의 연구 및 계획이 없었으며, 본 연구에서 제2도수터널의 신설사업의 타당성을 객관적으로 제시하고자 함
 - 대전광역시 및 인근의 세종시, 계룡시의 안정적인 수돗물 공급을 위한 제2도수터널 신설사업 추진에 활용하고자 함
- 기존 자료의 활용
 - 상수도사업본부의 수도정비기본계획 등의 기본계획 활용
 - 상수도사업본부의 현장 조사자료 활용
 - 추동 취수터널의 사고 가능성을 고려한 대전광역시, 계룡시 및 세종시의 수돗물 공급 예상
- 피해비용(편익)을 고려함에 따른 도수터널 복선화의 추진
 - 수돗물 공급의 중단에 따른 피해를 정상화하기 위한 방안의 마련
 - 붕괴 등의 단수 사고 발생 시 피해지역 등의 검토, 피해지역 내 시민, 사업자 등에게 끼치는 손해배상 비용 등의 산정

2) 주요내용

- 대전광역시 급수체계의 안전성 검토
 - 대전광역시에서 생산되는 수돗물의 급수체계
 - 도수관로 등 대전광역시 하수도 인프라의 안전성
- 도수터널의 복선화 계획 검토
 - 기존 취수터널을 대체할 수 있는 제2취수탑 및 도수터널 복선화를 계획

하여 안정적인 취수가 가능하도록 대안을 선정하여 검토

- 대안1 : 정체수역 외 위치 → 만 중앙지점
- 대안2 : 정체수역 외 위치 → 댐 본류, 오동 앞 지점
- 대안3 : 정체수역 외 위치 → 댐 본류, 신탄진 부근

○ 도수터널 붕괴 및 단수에 따른 편익의 산정

- 단수에 따른 피해의 사례 조사
- 취수시설 및 도수터널 붕괴에 따른 단수시간의 검토
- 단수피해에 따른 보상비용의 분석
- 도수터널의 복구를 위해 필요한 비용 분석

○ 안정적 원수공급을 위한 방안의 제안

- 원수수질 향상 가능성, 경제성, 시공성, 사업기간 등을 종합적으로 검토하여 본 계획에서는 대안별 비교·평가를 통해 우선순위로 제시
- 기본설계 시 상세한 수질조사, 지반조사 등의 수행 결과와 기존시설과의 연계성 (중리취수장 유입 도수관로와 취수펌프 흡입측 배관과의 By-pass 등)을 고려하여 최종 대안노선 선정
- 제2도수터널 설치 후 기존 추동취수탑 및 도수터널은 시설보수를 통해 재가동 하는 방안의 검토

대전광역시 상수도 시설의 인프라 검토

1절. 대전광역시 수도정비기본계획

2절. 상수도 시설 관련계획

2장

2장 대전광역시 상수도 시설의 인프라 검토

1절. 대전광역시 수도정비기본계획

1. 상수도 현황

1) 수원현황

○ 상수원보호구역 지정

- 환경부에서는 상수원의 합리적인 관리와 보존을 위하여 상수원 보호구역을 지정하여 수원관리를 실시하고 있음
- 2015년말 기준 112개 시군 291개소의 상수원 보호구역이 지정되어 있으며, 이 중 대전광역시는 2개의 취수원에 대하여 상수원 보호구역(대청호 보호구역, 지정면적 77,708 km²)으로 지정하여 수원을 관리하고 있으며 지정현황은 다음 [표 2-1]과 같음

[표 2-1] 상수원보호구역 지정현황

구 분	보호 구역명	지정면적 (천km ²)	행정구역명	거주인구 (인)	취수장명	취수능력 (천m ³ /일)	수 계	지정일자
중리	대청호	61,258	대전 동구 대청동	3,051	중리 취수장	1,050	금 강	1980. 11.24.
삼정	대청호	16,450	대전 동구 대청동	599	삼정 취수장	330	금 강	1980. 11.24.

2) 대청호 수질현황

○ 호소수질 환경기준

- 호소에 대한 수질환경기준은 COD가 포함되어 있으며 세부 사항은 다음의 [표 2-2]와 같이 나타냄

[표 2-2] 호소수질 환경기준

등 급	상태 (캐릭터)	기 준									
		수소 이온 농도 (pH)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L)	총유기 탄소량 (TOC) (mg/L)	부유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총인 (T-P) (mg/L)	총질소 (T-N) (mg/L)	클로로필-a (Chl-a) (mg/m ³)	대장균군 (군수/100mL)	
										총 대장균군	분원성 대장균군
매우 좋음	la 	6.5~8.5	2 이하	2 이하	1 이하	7.5 이상	0.01 이하	0.2 이하	5 이하	50 이하	10 이하
좋음	lb 	6.5~8.5	3 이하	3 이하	5 이하	5.0 이상	0.02 이하	0.3 이하	9 이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	ll 	6.5~8.5	4 이하	4 이하	5 이하	5.0 이상	0.03 이하	0.4 이하	14 이하	1,000 이하	200 이하
보통	lll 	6.5~8.5	5 이하	5 이하	15 이하	5.0 이상	0.05 이하	0.6 이하	20 이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	iv 	6.0~8.5	8 이하	6 이하	15 이하	2.0 이상	0.10 이하	1.0 이하	35 이하		
나쁨	v 	6.0~8.5	10 이하	8 이하	쓰레기 등이 떠있지 않을 것	2.0 이상	0.15 이하	1.5 이하	70 이하		
매우 나쁨	vi 		10 초과	8 초과		2.0 미만	0.15 초과	1.5 초과	70 초과		

- 비고) 1. 총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7 미만일 경우에는 총인의 기준을 적용하지 않으며, 그 비율이 16 이상일 경우에는 총질소의 기준을 적용하지 않는다.
 2. 등급별 수질 및 수생태계 상태는 가목2) 비고 제1호와 같다.
 3. 상태(캐릭터) 도안 모형 및 도안 요령은 가목2) 비고 제2호와 같다.
 4. 화학적 산소요구량(COD) 기준은 2015년 12월 31일까지 적용한다.

○ 대청호 원수 수질현황

- 대전광역시 지방상수도 원수 수질검사 기록을 수집하여 상수원별 수질 현황을 분석하고 있음
- 과거 3년간(2014~2016년)의 대청호 주요 지점에 대한 수질을 검토하였으며, 추동취수탑 지점, 만 형성 중앙지점, 본류 오동 앞 지점 등 총 3곳의 수질 검사 결과를 다음 표에 나타냄²⁾
- 현 취수탑이 위치한 A지점에 비하여 B 및 C지점의 수질이 양호한 상황임. A지점은 만의 입지적 특성으로 물의 순환이 잘 되지 않는 정체지역이라 할 수 있으며, 특히 총인(T-P)에 많은 영향을 줄 수 있으며 녹조류 성장으로 인한 상수원수의 적합성에 의문이 있는 지역일 수 있음

[표 2-3] 대청호 원수 수질현황

항 목		하천수질기준 보통(III)등급	추동 취수탑 지점(A)	만 형성 중앙지점(B)	본류 오동 앞 지점(C)
생 활 환 경 기 준	pH	6.5~8.5	7.9	7.8	7.8
	COD(mg/L)	7 이하	3.8	3.8	3.7
	BOD(mg/L)	5 이하	1.1	1.0	0.8
	SS(mg/L)	25 이하	2.5	1.7	1.2
	DO(mg/L)	5.0 이상	9.5	9.3	9.5
	TOC(mg/L)	5 이하	2.4	2.4	2.4
	총인(T-P)(mg/L)	0.2 이하	0.018	0.015	0.013
암모니아성질소(mg/L)		-	-	0.03	0.03
총질소(T-N)(mg/L)		-	1.298	1.310	1.482
Chl.-a(mg/m ³)		-	10.0	9.6	7.7
탁도(NTU)		-	2.0	1.6	1.0

2) 대전광역시(2016), 상수도사업본부 상하수도사업소 자료



[그림 2-1] 대청호 원수 수질 측정지점

○ 수질측정망의 수질현황

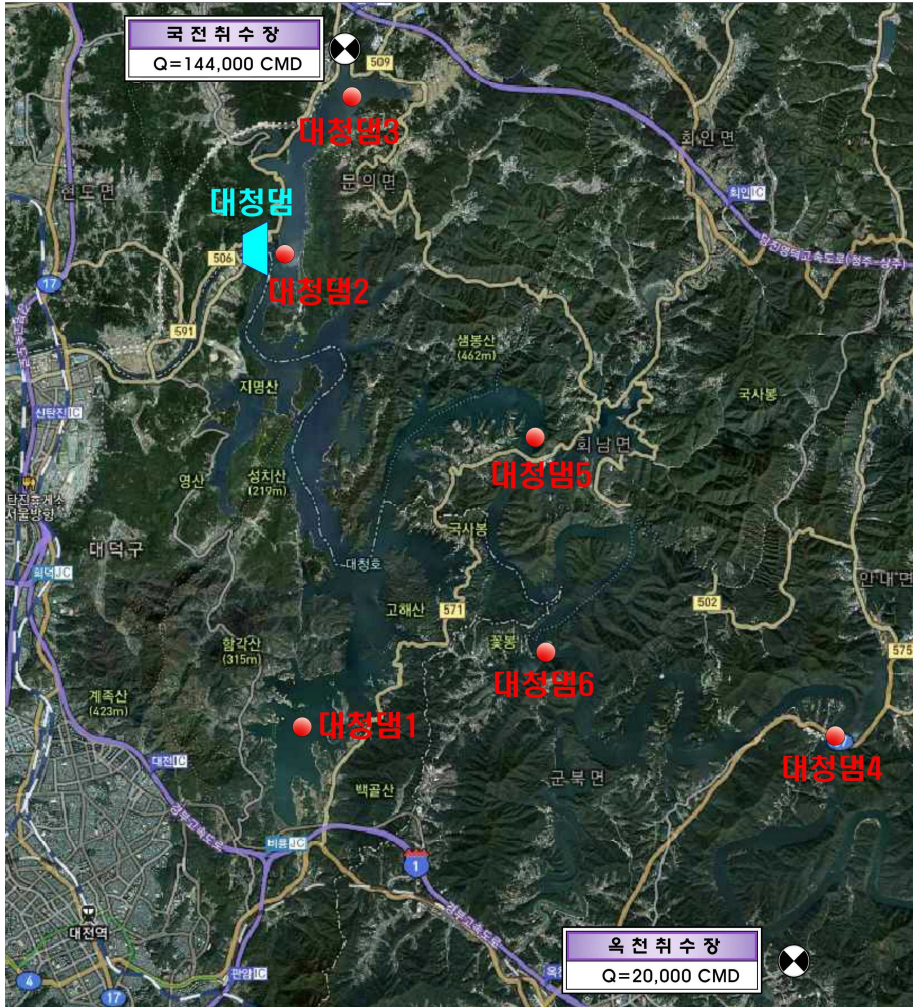
- 대청호 주요 수질측정망인 5개소에 대한 측정소별 위치 및 조사기관은 다음 (표 2-4)와 같으며, 수질측정망에 대한 주요 수질항목을 분석함³⁾

[표 2-4] 대전광역시 인접의 대청호의 주요 수질 측정망

측정소명	소재지	조사기관
대청댐1	대전광역시 동구 추동	금강물환경연구소
대청댐2	충북 청주시 문의면 덕유리(댐앞)	한국수자원공사
대청댐3	충북 청주시 문의면 상장리(청주취수장앞)	한국수자원공사
대청댐4	충청북도 옥천군 안내면 장계리	한국수자원공사
대청댐5	충청북도 보은군 회남면 회남로 1530(신곡리 산42-6)	한국수자원공사

3) 환경부(2020), 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr>)

- 대청댐1 지점이 대전광역시에서 주로 상수원수 취수원이 있는 지점이며, 대청댐 바로 앞에 위치한 대청댐2, 청주 취수장 앞인 대청댐3이 있음. 그 외에 보다 상류로 옥천군 장계리의 대청댐4, 보은군 산곡리의 대청댐5를 정기적으로 수질측정하고 있음



[그림 2-2] 대전광역시 인접의 대청호의 주요 수질 측정지점

- COD는 추동취수탑 인근의 대청댐1지점이 다른 지역에 비하여 높은 수질을 보임
- TOC는 COD와 같이 대청댐1 지점이 다른 지역에 비하여 높은 수질을 보임

[표 2-5] 수질측정망의 수질인자 비교(COD, TOC)

연도	COD (mg/L)					TOC (mg/L)				
	대청댐1	대청댐2	대청댐3	대청댐4	대청댐5	대청댐1	대청댐2	대청댐3	대청댐4	대청댐5
2007	3.1	2.7	2.8	3.0	3.0	-	-	-	-	-
2008	3.5	2.7	2.9	3.2	2.9	2.5	-	-	-	-
2009	3.8	3.0	3.1	3.2	3.1	2.5	-	-	-	-
2010	3.8	2.9	3.3	3.3	3.1	2.2	-	-	-	-
2011	3.9	3.0	3.2	3.6	3.2	2.8	-	-	-	-
2012	4.7	2.8	3.1	3.2	3.1	3.0	2.0	2.3	2.3	2.2
2013	4.1	3.0	3.3	3.5	3.0	2.7	1.8	1.8	1.7	1.7
2014	4.0	3.0	3.0	3.4	3.2	2.4	1.6	1.7	1.9	1.7
2015	3.8	2.9	3.5	3.4	3.3	2.2	1.6	1.8	1.6	1.7
2016	4.2	3.4	3.8	3.5	3.4	2.8	1.8	1.9	2.1	2.1
2017	4.3	2.5	2.4	3.0	2.7	3.0	2.3	2.4	2.5	2.2
2018	4.8	2.7	2.9	3.3	2.8	3.2	2.1	2.3	2.5	2.2
2019	4.7	2.2	2.2	2.5	2.3	2.8	2.2	2.4	2.2	2.3
2020	4.9	2.2	2.4	2.3	2.3	2.9	2.1	2.3	2.1	2.1
평균	4.1	2.8	3.0	3.2	3.0	2.7	1.9	2.1	2.1	2.0
평균 수질등급	III (보통)	Ib (좋음)	II (약간좋음)	II (약간좋음)	II (약간좋음)	Ib (좋음)	Ia (매우좋음)	Ia (매우좋음)	Ia (매우좋음)	Ib (좋음)

- T-P는 추동취수탑 인근의 대청댐1지점에서 COD와는 달리 다른 지역에 비하여 비슷한 수질을 보임
- T-N은 대청댐의 다른 지점이 다른 모든 지역에 비하여 양호한 수질을 보임

[표 2-6] 수질측정망의 수질인자 비교(T-P, T-N)

연도	T-P (mg/L)					T-N (mg/L)				
	대청댐1	대청댐2	대청댐3	대청댐4	대청댐5	대청댐1	대청댐2	대청댐3	대청댐4	대청댐5
2007	0.023	0.018	0.017	0.033	0.023	1.576	1.462	1.35	1.928	1.704
2008	0.015	0.010	0.016	0.026	0.016	1.625	1.528	1.412	1.619	1.516
2009	0.023	0.015	0.016	0.027	0.019	1.658	1.434	1.326	1.600	1.584
2010	0.021	0.012	0.016	0.029	0.017	1.664	1.484	1.321	1.841	1.649
2011	0.022	0.023	0.017	0.048	0.034	1.610	1.610	1.596	1.972	1.859
2012	0.019	0.016	0.023	0.025	0.019	1.599	1.700	1.586	1.867	1.859
2013	0.015	0.015	0.020	0.030	0.019	1.491	1.730	1.608	1.85	1.753
2014	0.014	0.014	0.015	0.024	0.018	1.307	1.494	1.361	1.851	1.626
2015	0.013	0.009	0.015	0.024	0.014	1.137	2.165	1.930	2.294	2.168
2016	0.017	0.018	0.018	0.040	0.025	1.109	2.324	2.126	2.848	2.599
2017	0.014	0.020	0.020	0.031	0.024	1.288	2.433	2.224	2.673	2.476
2018	0.024	0.026	0.028	0.043	0.035	1.625	2.278	2.219	2.764	2.545
2019	0.026	0.020	0.019	0.023	0.020	1.363	2.108	1.994	2.265	2.14
2020	0.025	0.015	0.016	0.019	0.017	1.454	2.023	2.090	2.257	2.027
평균	0.019	0.017	0.018	0.030	0.021	1.465	1.841	1.725	2.116	1.965
평균 수질등급	I b (좋음)	I b (좋음)	I b (좋음)	III (보통)	I b (좋음)	V (나쁨)	VI (매우나쁨)	VI (매우나쁨)	VI (매우나쁨)	VI (매우나쁨)

- 클로로필-a는 대청댐1지점에서 다른 지역과 비슷한 수질을 보이며 Ib (중음)의 등급을 보임
- 분원성대장균수는 대청댐의 다른 지점이 다른 모든 지점에 비하여 매우 양호한 Ia 등급을 보임

[표 2-7] 수질측정망의 수질인자 비교(클로로필-a, 분원성 대장균수)

연도	클로로필-a (mg/m ³)					분원성 대장균수 (균수/100 mL)				
	대청댐1	대청댐2	대청댐3	대청댐4	대청댐5	대청댐1	대청댐2	대청댐3	대청댐4	대청댐5
2007	4.1	4.7	5.8	10.2	7.9	6	0	0	0	0
2008	6.0	3.8	5.4	13.5	4.7	13	0	0	18	0
2009	7.5	5.0	7.2	12.7	7.1	16	0	0	2	0
2010	8.3	5.6	9.3	16.2	9.9	6	0	2	25	0
2011	7.3	8.1	15.9	20.2	11.7	14	74	85	272	160
2012	7.2	5.2	7.0	11.7	7.9	5	329	594	661	334
2013	8.4	5.9	6.4	12.1	7.5	5	71	175	253	395
2014	5.7	3.4	6.4	14.9	6.1	6	32	50	9	4
2015	9.0	3.9	6.3	8.5	5.6	2	0	8	51	36
2016	7.7	4.0	5.9	7.1	4.6	2	0	0	2	15
2017	6.2	2.3	4.4	6.6	3.2	2	0	0	0	0
2018	10.4	1.9	2.9	3.7	2.8	7	0	5	36	6
2019	7.9	2.1	2.5	3.1	2.6	5	0	7	10	8
2020	7.2	1.9	2.5	2.3	2.3	9	27	40	22	32
평균	7.4	4.1	6.3	10.2	6.0	7	38	69	97	71
평균 수질등급	Ib (중음)	Ia (매우중음)	Ib (중음)	II (약간중음)	Ib (중음)	Ia (매우중음)	Ib (중음)	Ib (중음)	II (약간중음)	Ib (중음)

3) 대청호 조류발생현황

○ 조류예보제

- 대청호의 경우 조류발생빈도가 정수처리에 매우 중요한 문제이기 때문에 여름철 남조류 대량발생에 따른 용수이용 상의 장애 및 남조류 독소에 의한 건강상 피해 등에 대한 초기 대응책이 필요하여 도입

○ 목적

- 호수의 부영양화에 따른 조류증식 정도를 관계기관에 신속히 전파
- 조류 대량발생에 따른 피해의 최소화 및 수돗물의 안전성확보

○ 측정방법

- 측정주기 및 채수수심 : 주1회 이상 표층수
- 측정항목 : 수온, pH, DO, 클로로필-a, 남조류세포수
: 남조류세포수 측정시 가능하면, 출현조류종을 남조류, 규조류, 녹조류, 기타조류로 구분하고, 우점종을 명시
- 시험방법 : 수질오염공정시험법에 의함

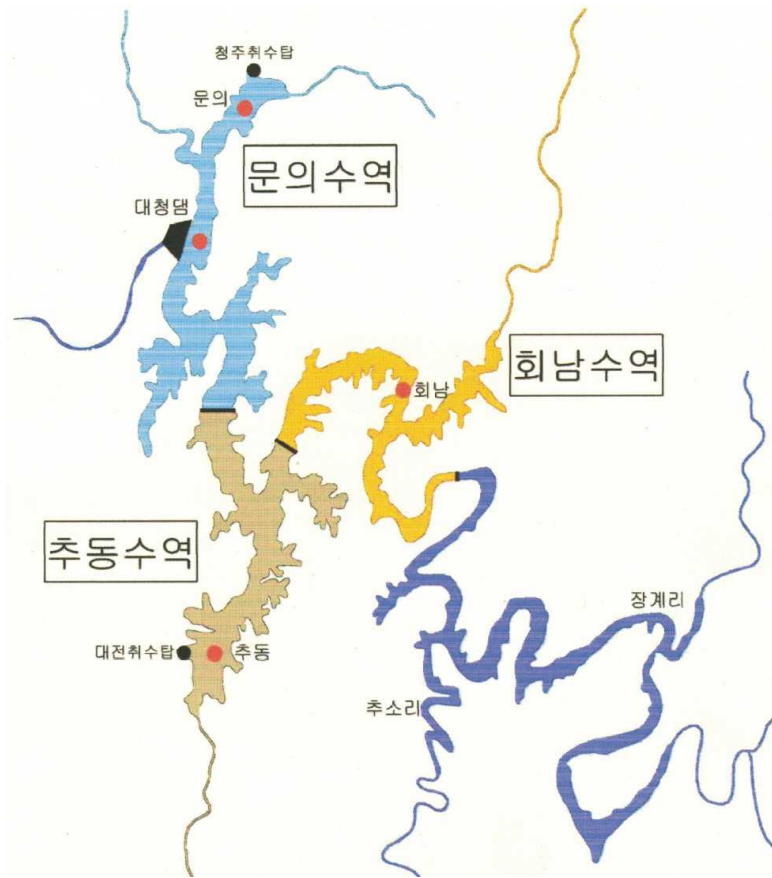
[표 2-8] 조류예보 발령기준

구 분	조류주의보	조류경보	조류대발생
클로로필-a 농도(mg/m ³)	15 이상	25 이상	100 이상
남조류세포수(세포/mL)	500 이상	5,000 이상	10 ⁶ 이상

기준) 2회 연속 측정하여 chl-a 농도와 남조류세포수 모두가 기준에 해당될 때 발령

○ 해제기준

- 2회 연속 측정하여 클로로필-a 농도 혹은 남조류세포수가 기준에 미달될 때



[그림 2-3] 대청호 조류예보제 대상 유역도

○ 대응요령

- 대응은 [표 2-9]와 같이 조류주의보, 조류경보 및 조류대발생의 3가지 단계로 나누어 대응하고 있음
- 관계기관은 수질검사 기관, 수면 관리자, 취정수장 및 환경청/자자체로 구분되어 대응을 하게 됨

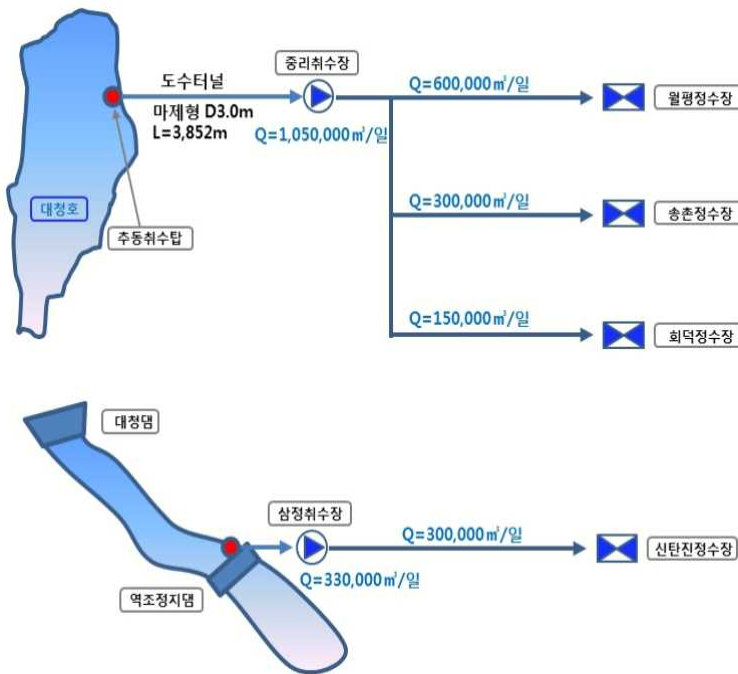
[표 2-9] 예보발령 단계별 관계기관 대응요령

단계	관계기관	대 응 내 용
조류 주의 보	수질검사 기관	<ul style="list-style-type: none"> • 주 1회 이상 시료채취 및 분석 • 시험분석결과를 관계기관에 신속히 통보
	수면 관리자	<ul style="list-style-type: none"> • 취수구 및 조류 우심지역에 펜스설치 등 조류제거 조치 ※ 수온상승 등으로 인한 조류발생 가능성이 증가할 경우 일정기간 방류량 증가 및 조류로 인한 피해 최소화 방안을 사전에 마련·추진
	취정수장	<ul style="list-style-type: none"> • 정수처리강화(활성탄처리, 오존처리)
	환경청, 지자체	<ul style="list-style-type: none"> • 주변 오염원에 대한 단속, 환경기초시설 운영·관리 철저
조류 경 보	수질검사 기관	<ul style="list-style-type: none"> • 대상호소에서 주 2회이상 시료채취 및 분석 • 시험분석결과를 관계기관에 신속히 통보
	수면 관리자	<ul style="list-style-type: none"> • 취수구 및 조류 우심지역에 펜스설치 등 조류제거 조치
	취정수장	<ul style="list-style-type: none"> • 조류증식 수심 이하로 취수구 이동 • 정수처리 강화(활성탄처리, 오존처리) • 정수의 독소 분석 실시
	환경청, 지자체	<ul style="list-style-type: none"> • 주변 오염원에 대한 단속강화 • 수상스키, 수영, 낚시, 취사 등의 활동 자제 권고 • 어패류 어획 및 식용 자제, 가축방양 자제 권고
조류 대 발 생	수질검사 기관	<ul style="list-style-type: none"> • 주2회 이상 수질검사 및 분석 실시, 원수의 취기(관능검사) 및 독소분석 • 시험분석결과를 관계기관에 신속히 통보
	수면 관리자	<ul style="list-style-type: none"> • 차광흡착제 살포, 조류제거선 및 마이크로스트레이너를 이용한 스크제거 등 조류제거 조치
	취정수장	<ul style="list-style-type: none"> • 조류증식 수심 이하로 취수구 이동 • 정수처리 강화 (활성탄처리, 오존) 강화 • 정수의 독소분석
	환경청, 지자체	<ul style="list-style-type: none"> • 주변 오염원에 대한 지속적인 단속강화 • 수상스키, 낚시, 수영, 취사 등의 활동 금지, 어패류 어획 및 식용금지, 가축방양 금지

2. 취수·도수시설 현황

1) 취수시설 현황

- 중리취수장 (대청호 추동취수탑)
 - 취수가능 용량 : 1,050,000 m³/일
 - 원수가격 : 2031년까지 6.6원/톤, 2032년부터 무대로 공급
- 삼정취수장 (금강 역조정지댐)
 - 취수가능 용량 : 330,000 m³/일
 - 원수가격 : 47.9원/톤



[그림 2-4] 대전광역시 취수시설 현황 및 용수공급 계통

○ 대청댐 계통 취수시설 현황

[표 2-10] 대청댐 계통 취수시설 현황

취수시설				정수시설		급수인구	급수지역
취수장	수계	취수원	취수능력 (m ³ /일)	정수장	급수량 (m ³ /일)		
27개 취수장			2,675,650	28개 정수장	1,158,569	3,239,907	
대전 종리	대청호	호소수	1,050,000	월평	323,163	923,237	서구·유성구, 중구 일원
				송촌	133,358	381,023	동구, 대덕·중구 일원
				회덕 (공업)	26,763 (26,894)	52,033	대덕구 일부, 대화동 · 신탄진공업단지
청주 국전	대청호	호소수	114,000	지북	72,237	281,996	청주 상당구 11동, 청원군 남일면
대청광역 I	대청호	호소수	250,000	청주	506,734	1,330,730	청주, 천안 등 5시·군
대청광역 II	대청호	호소수	980,000				
보은 교사	보청천	하천복류수	6,000	교사	4,076	11,789	보은읍
보은 원남	보청천	하천복류수	600	원남	363	991	삼승면
옥천	금강	하천복류수	20,000	옥천	12,652	39,340	옥천읍 외 4면
옥천 청산	보청천	하천복류수	1,000	청산	537	2,466	청산면
영동	금강	하천복류수	9,000	영동	9,810	22,253	영동읍, 양강, 심천면
영동 용산		지하수	1,300	용산	594	1,802	용산면
영동 궁촌	궁촌제	호소수	4,500	궁촌	3,239	9,029	황간, 상촌동 4면
영동 학산		지하수	1,350	학산	1,196	2,535	학산, 양산면
금산 1	봉황천	하천복류수	12,000	금산1	9,405	22,720	금산읍 외 2면
금산 2	금강	하천복류수	6,500	금산2	1,842	3,248	추부 복수면
진암 삼락	금강	하천복류수	600	삼락	3,800	9,131	진안읍
지안 수동	금강	하천복류수	5,000	수동	130	408	안천면
무주	남대천	하천복류수	6,000	무주	2,800	8,579	무주읍
무주 무풍	백학천	하천복류수	600	무풍	147	752	무풍면
무주 설천	벌한천	하천복류수	1,400	설천	494	2,338	설천면
무주 구천	구천천	복류수	2,000	구천	821	1,463	설천면
무주 안성	구랑천	복류수	2,000	안성	591	2,219	안성면
장수	장수천	복류수	2,000	장수	885	4,014	장수읍
장수 장계	장계천	복류수	2,000	장계	875	3,786	장계면
상주 이동	반계천	복류수	1,400	모동	666	3,117	덕곡외25리
상주 이소	이소천	복류수	600	화동	447	1,443	이소외 9리
상주 신봉		지하수	800	상현	227	1,131	상현외11리

2) 도수시설 현황

[표 2-11] 도수시설 현황

중리취수장	삼정취수장	비고
<ul style="list-style-type: none"> 취수탑 ~ 중리취수장 <ul style="list-style-type: none"> - 터널 : 마제형 D3.0m, L=3,852m - 관로 : D=2,200mm, L=95m 중리취수장 ~ 송촌정수장 <ul style="list-style-type: none"> - 관로 : D=1,000mm, 1,200mm, L=1,800m 중리취수장 ~ 회덕정수장 <ul style="list-style-type: none"> - 관로 : D=900mm, 1,000mm, L=8,400m 중리취수장 ~ 월평정수장 <ul style="list-style-type: none"> - 관로 : D=2,400mm, L=7,500m 	D=2,200mm, L=1,008m	



[그림 2-5] 대전광역시 취·도수시설 위치도

3) 추동취수탑 및 도수터널 현황

○ 검토의 목적

- 대청댐 추동취수시설(취수탑 및 도수터널)은 1980년에 준공
- 40년 가까이 사용되고 있으며 대전광역시 원수공급의 82%를 담당
- 최근 가뭄 등 예년보다 적은 강수량으로 인한 대청호 저수량의 감소는 추동취수탑 부근 정체수역의 원수수질에 영향을 미치고 있으며 수위 하강 시 수문 하부의 고탁도 원수 유입 등에 대한 대책이 필요
- 추동취수시설(취수탑 및 도수터널)에 대한 시설 및 운영 현황(수위·수질)에 대해 검토

○ 취·도수시설 현황

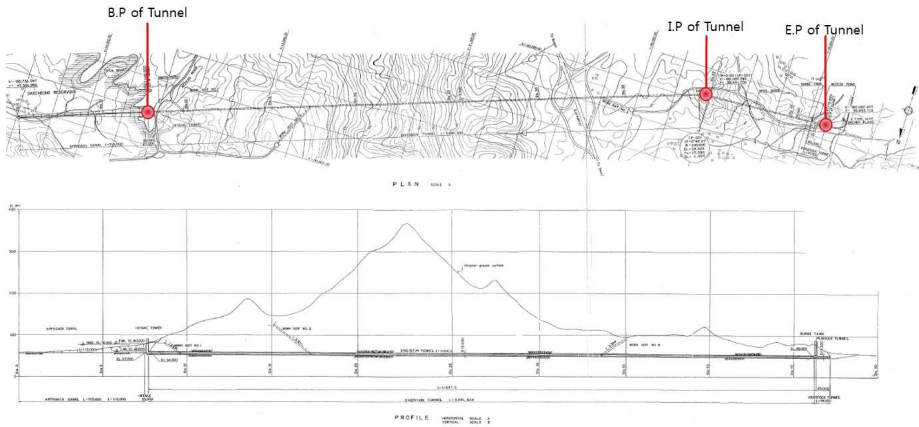
- 대청댐 추동취수탑은 대청 본댐 남방 12 km 지점에 위치하고 있으며 대청호 가장자리의 오목한 지점인 정체수역에 자리함
- 추동취수탑은 시설에 대한 정기 안전점검 등 지속적인 유지관리가 시행되고 있음
- 반면에 별도 유지관리 점검구가 없는 도수터널은 정기적인 안전점검이 이루어지고 있지 않아 시설의 정확한 상태를 파악할 수 없음

[표 2-12] 취수탑 및 도수터널 시설 개요

구 분	시설개요
준공일	• 1980년 7월 31일
위 치	• 대전광역시 중구 추동 ~ 대덕구 중리동
시설개요	<ul style="list-style-type: none"> • 시설용량 : $Q = 1,050,000 \text{ m}^3/\text{일}$ • 취수탑 : $13.5 \text{ m} \times 6.5 \text{ m} \times 26.0 \text{ m}$ <ul style="list-style-type: none"> - F.W.L 80.0 m, L.W.L 60.0 m - 취수구 표고 E.L 57.0 m • 도수터널 : 마제형 D3.0 m, L= 3,882 m

○ 도수관로의 위치 추정

- 추동취수탑에서 증리취수장까지의 도수관로의 정확한 노선 위치를 분석하기 위해 준공도면을 참고하여 대청댐 건설 당시의 좌표를 현재의 절대좌표 체계로 전환이 어려워 상대변위를 이용하여 노선 위치를 추정함
- [그림 2-6]에서 나타난 바와 같이, 도심으로 진입하기까지 대부분의 구간에서 도수관로가 깊이 매설되어 있어 관리에 어려운 상황임을 알 수 있음





[그림 2-6] 준공도면 상 노선 주요지점 위치 및 좌표



[그림 2-7] 상대변위 활용 도수터널 노선 분석

[표 2-13] 타 지역 도수터널 운영사례

구분	국내 사례 [주암댐 도수터널]	해외 사례 [핀란드 페이안(Paijanne) 도수터널]
시설 개요		
	<ul style="list-style-type: none"> • 건설기간 : 1984 ~ 1992년 • 건설목적 : 광주전남지역 용수공급(Q= 540천 m³/일), 보성강 하류 홍수조절 및 수력발전 • 시설규모 : D3.2~4.9 m, L= 11.5 km 	<ul style="list-style-type: none"> • 건설기간 : 1972 ~ 1982년 • 건설목적 : 수도 헬싱키(Helsinki) 외 수도권 용수공급(Q= 270천 m³/일) 및 수력발전 • 시설규모 : W4.0 m × H4.5 m, L= 120.0 km
운영 현황	<ul style="list-style-type: none"> • 준공 이후 낙반사고 2회 발생, 보수공사 3회 실시(1994년 이전) • 1994년 이후 정밀안전진단 없이 운영 → 정확한 시설 노후도 및 구조적 취약성 판단 어려움 • 정밀안전진단을 위한 단수 시 수압변화로 터널 붕괴 및 여수국가산업단지 용수공급중단으로 막대한 피해 우려 	<ul style="list-style-type: none"> • 1998년 낙반사고가 최초 보고되었으나 정확한 위치 파악 불가 • 1999년 ROV(무인잠수정, Remotely Operated Vehicle)를 이용하여 정확한 사고지점 확인 • 단수 시 수도 헬싱키 외 수도권 지역에 대한 용수공급중단으로 막대한 피해 우려
대응 사례	<ul style="list-style-type: none"> • 2013년부터 주암댐 도수터널 시설안정화 사업 추진 → 제2도수터널(D3.2m, L= 11.2km) 신설 및 취수탑(2개소) 신설 예정(2016년 2월 착공) → 기존 도수터널에 대해서는 정밀안전진단 이후 개량계획 수립 예정 	<ul style="list-style-type: none"> • 2008년 페이안 도수터널 개량공사 실시 → 1960년도에 설치했던 비상 취수원 및 용수공급시설을 활용하여 수도 헬싱키에 대한 별도 용수공급 계획 수립 및 도수터널 개량공사 실시. 이후 페이안 도수터널 재사용 및 주기적인 점검 실시

○ 도수터널 정밀안전진단 방안 검토

- 국내·외 사례 검토 및 조사, 정밀안전진단 등 검토사항을 종합하여 중 리 도수터널 정밀안전진단 수행 방안을 검토
- 도수터널 운영의 검토결과로 제2도수터널 설치 후 기존 도수터널 정밀 안전진단을 수행하는 제1안이 추천되었지만, 제2도수터널을 설치하기 위한 경제성의 검토가 우선적으로 이루어져야 할 필요가 있음

[표 2-14] 타 지역 도수터널 운영사례

구 분	제1안 (제2도수터널 설치 후 정밀안전진단 시행)	제2안 (정밀안전진단 선 시행)
개 요	<ul style="list-style-type: none"> • 제2도수터널 설치 후 정밀안전진단 실시 및 시설 개·보수계획 수립 	<ul style="list-style-type: none"> • 정밀안전진단 실시 후 개·보수계획 수립
정밀 안전 진단 방안	<ul style="list-style-type: none"> • 제2도수터널 설치를 통한 안정적 용수 공급방안 확립 이후 터널 라이닝에 대한 상세조사 등 터널 안정성 검토 및 구조적 위험성 판단 - 물리적·기능적 조사 수행 및 보수·보강 방안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 해외 조사업체를 통한 외관조사 <ul style="list-style-type: none"> - 음파 및 영상조사 실시를 통해 도수터널 외관 현황 및 균열부, 침전상태 등 외관 파악 가능 • 구조적 위험성 판단을 위해서는 운영중지 필요
검토 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 구조적 위험성 판단을 위해서는 도수터널의 운영중지가 필요하나 경제적 피해로 현실성 결여 • 해외 조사업체를 통한 외관조사만으로는 구조적 위험성 및 수리지질학적 위험성 판단 어려움 • 정밀안전진단을 위해서는 주암댐 및 핀란드 도수터널 사례와 같이 안정적 용수공급 방안 수립 우선 → 제2도수터널 설치 후 기존 도수터널 정밀안전진단을 수행하는 제1안 추천 	

5) 제2취수탑 및 도수터널 복선화 계획

○ 기본방향

- 추동취수탑은 대청호의 가장자리에 접해 있고 오목한 곳이어서 원수가

정체되어 원수수질 저하가 우려됨

- 도수터널은 점검구 등의 유지관리 시설이 없어 도수터널 내부 상황이나 시설물 정밀안전진단 등의 정기점검이 어려워 노후도 등 정확한 도수터널의 상태를 알 수가 없는 실정임
- 이에, 기존 취수시설을 대체할 수 있는 제2취수탑 및 도수터널 건설을 계획하여 안정적인 취수를 할 수 있는 계획이 필요함

3. 정수·급수시설 현황

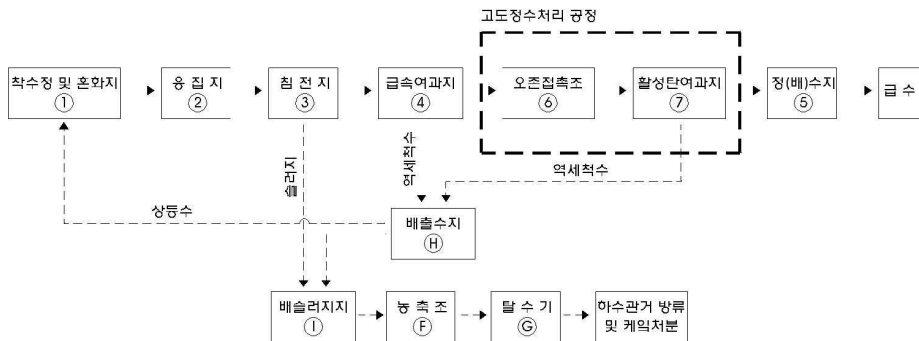
1) 정수시설

○ 송촌정수장

- 1980년 시설용량 100,000 m³/일로 급속여과시설을 준공하여 용수 공급을 시작하였으며, 1987년에 200,000 m³/일을 증설함
- 1, 2단계 정수시설을 가동하여 동구 전역, 중구·대덕구 일원에 용수를 공급하고 있음

[표 2-15] 송촌정수장 시설물 개요

구 분	현 황
정수장 위치	대전광역시 대덕구 송촌로 50(송촌동)
수 원	대청댐 (추동 취수터널 통과)
정수처리방식	1단계(고도정수처리방식), 2단계(급속여과방식)
시설용량	300,000 m ³ /일(1단계 : 100천 m ³ /일, 2단계 : 200천 m ³ /일)
준공년도	1단계 : 1980년, 2단계 : 1987년



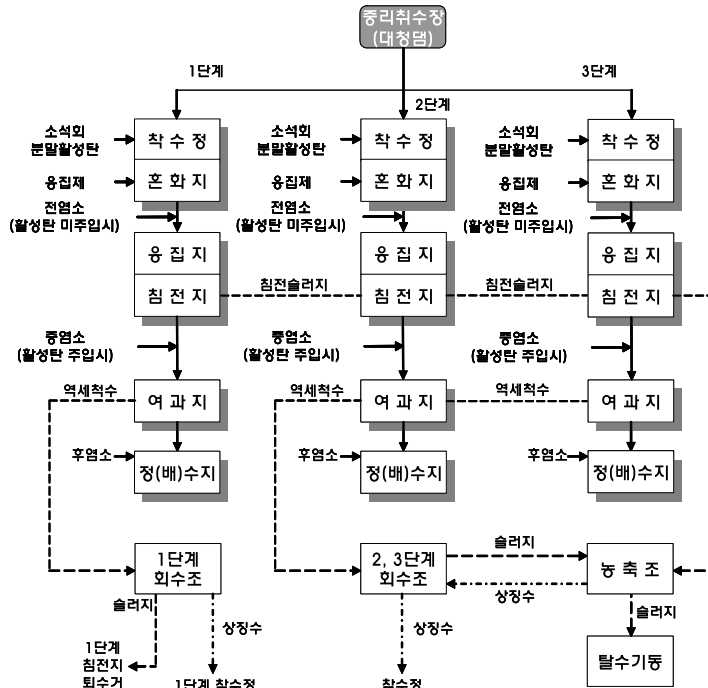
[그림 2-9] 송촌정수장 처리계통도

○ 월평정수장

- 월평정수장은 1992년 시설용량 200,000 m³/일로 급속여과시설을 준공하여 용수 공급을 시작하여 현재 시설용량 600,000 m³/일을 확보함

[표 2-16] 월평정수장 시설물 개요

구 분	현 황
위 치	대전광역시 서구 신갈마로 141번길 82
수 원	대청댐 (추동 취수터널 통과)
정수처리방식	급속여과방식
시설용량	600,000 m ³ /일(1단계 : 200천, 2단계 : 200천, 3단계 : 200천 m ³ /일)
준공년도	1단계 : 1992년, 2단계 : 1995년, 3단계 : 1998년



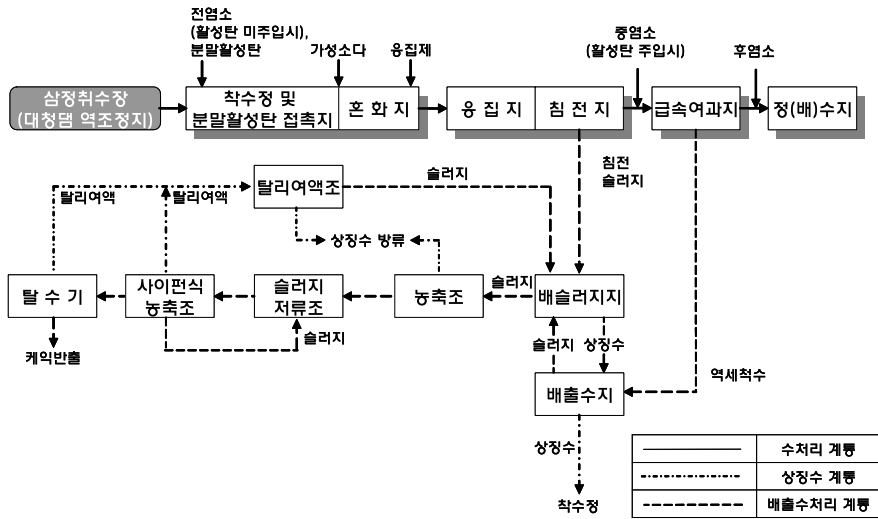
[그림 2-10] 월평정수장 처리계통도

○ 신탄진정수장

- 2005년 시설용량 300,000 m³/일로 급속여과시설을 준공하여 용수 공급을 시작하였으며, 대덕구와 유성구지역에 용수를 공급하고 있음

[표 2-17] 신탄진정수장 시설물 개요

구 분	현 황
위 치	대전광역시 대덕구 신탄진로756번안길 223
수 원	대청댐 역조정지
정수처리방식	급속여과방식
시설용량	300,000 m ³ /일
준공년도	2005년



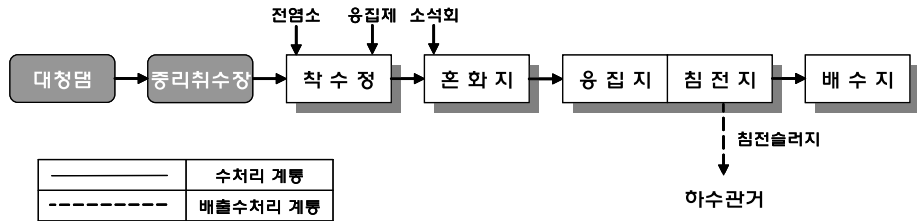
[그림 2-11] 신탄진정수장 처리계통도

○ 회덕정수장

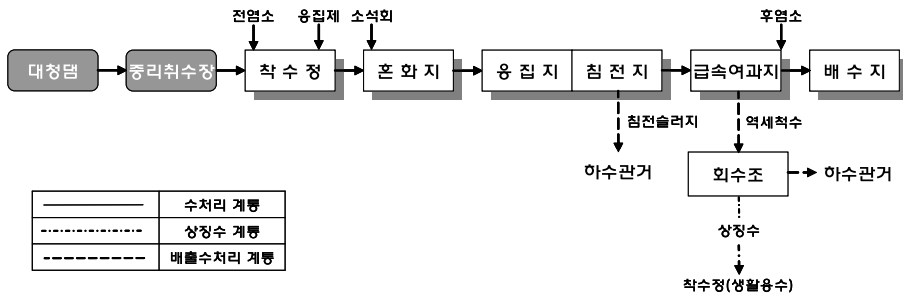
- 1992년 시설용량 90,000 m³/일로 준공하여 공업용수 공급하였으며, 대전산업단지, 대덕산업단지, 대덕테크노밸리에 공업용수를 공급하였으나 2008년 이후 운휴 중에 있고 노후에 의한 재건설계획이 있음

[표 2-18] 송촌정수장 시설물 개요

구분	회덕정수사업소(공업용수)	회덕정수사업소(생활용수)
위치	대전광역시 대덕구 신탄진로 36번길 58 (연축동)	대전광역시 대덕구 신탄진로 36번길 58 (연축동)
수원	대청댐 (추동 취수터널 통과)	대청댐 (추동 취수터널 통과)
정수처리방식	응집침전방식	급속여과방식
시설용량	90,000 m ³ /일	60,000 m ³ /일
준공년도	1992년	1969년



[그림 2-12] 회덕정수장(공업용수) 처리계통도



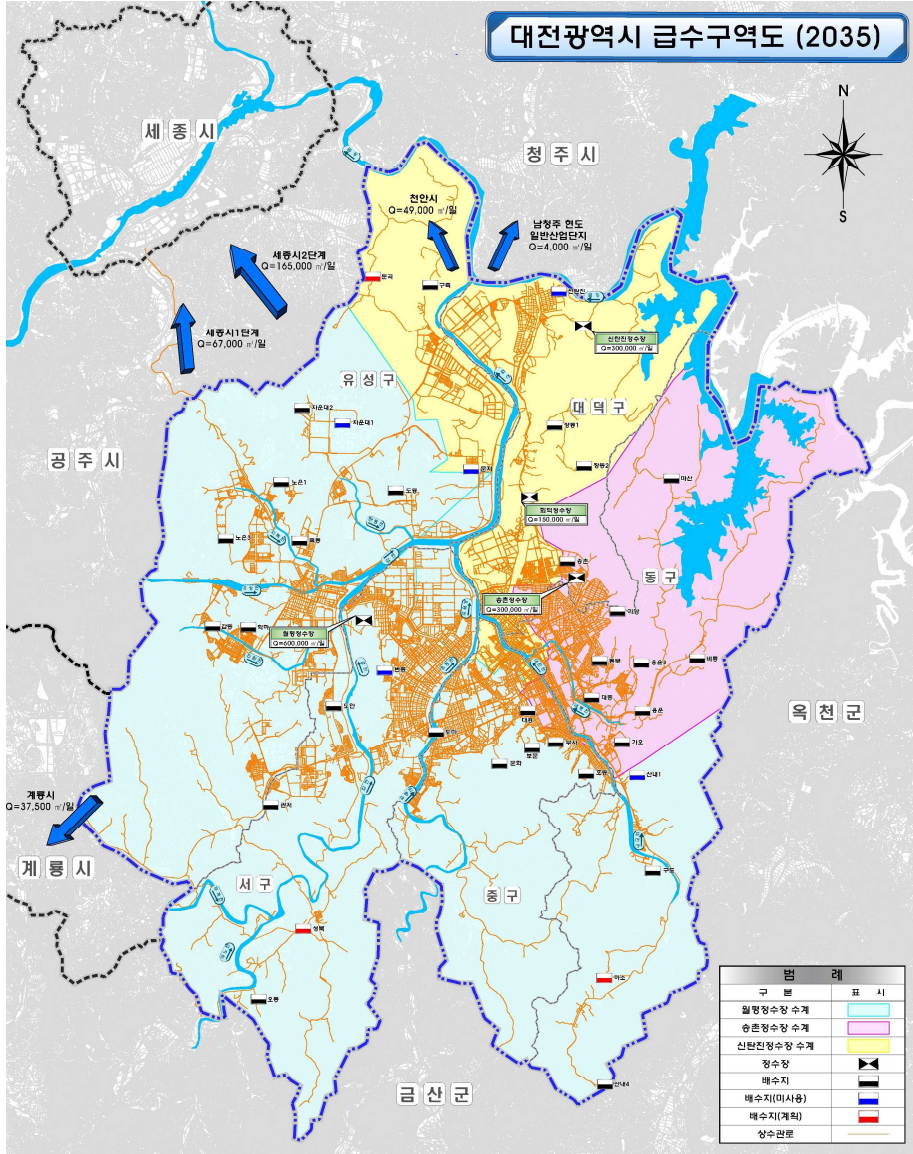
[그림 2-13] 회덕정수장(생활용수) 처리계통도

2) 단계별 계획 급수구역

- 급수구역⁴⁾
 - 2035년까지의 대전광역시 급수구역은 다음의 [그림 2-1]과 같이 나타냄
- 정수장별 · 단계별 급수계획⁵⁾
 - 각 정수장에서 생산된 수돗물이 공급되는 급수계획을 다음의 [표 2-?]와 같이 나타냄
 - 대청호 추동취수탑의 상수원수는 송촌정수장, 월평정수장, 회덕정수장으로 공급되며, 생산된 수돗물은 동구, 중구, 서구, 유성구, 계룡시, 세종시 1단계로 공급이 됨
 - 역조정지댐 삼정취수장의 상수원수는 신탄진정수장으로 공급되며, 생산된 수돗물은 동구, 중구, 서구, 유성구, 대덕구 및 세종시2단계, 남청주에 공급이 됨
- 취수원을 기준으로 한 정수장 분류
 - 대청댐 추동취수탑의 상수원수를 활용하는 정수장은 송촌정수장, 월평정수장, 회덕정수장이 있음
 - 역조정지의 상수원을 활용하는 정수장은 신탄진정수장임
- 정수장별 수돗물 계획급수구역 및 급수구역간의 수돗물 공유
 - 대전광역시 4개 정수장별로 생산된 수돗물을 급수하는 구역을 [그림 2-14], [그림 2-15] 및 [표 2-19]와 같이 나타냄
 - 계획급수구역의 수돗물을 타 급수구역에 보낼 수는 있지만 대부분 해당 급수구역에서 소비하게 되므로 취수원(취수)의 문제는 발생한 문제를 해결하기 어려울 것으로 판단됨

4) 대전광역시(2020), 대전광역시 수도정비기본계획

5) 대전광역시(2020), 대전광역시 수도정비기본계획



[그림 2-14] 대전광역시 급수구역도

[표 2-19] 대전광역시 단계별 급수계획

급수구분	기존 급수구역 (2015년 기준)		계획급수구역			
			1단계 (2020년)	2단계 (2025년)	3단계 (2030년)	4단계 (2035년)
송촌정수장 (대청댐)	동구	중앙동, 신인동, 효동, 판암동, 용운동, 대동, 자양동, 가양동, 용전동, 성남동, 홍도동, 삼성동 일부, 대청동	좌동	좌동	좌동	좌동
	중구	대흥동 일부, 문창동, 석교동 일부, 부사동 일부	좌동	좌동	좌동	좌동
	대덕구	오정동 일부, 비래동, 송촌동, 중리동 일부	좌동	좌동	좌동	좌동
월평정수장 (대청댐)	동구	산내동	좌동	좌동	좌동	좌동
	중구	은행선화동 일부, 목동 일부, 대흥동 일부, 석교동 일부, 대사동, 부사동 일부, 용두동, 오류동, 태평동, 유천동, 문화동, 산성동	좌동	좌동	좌동	좌동
	서구	복수동, 도마동, 정림동, 변동, 용문동 일부, 탄방동 일부, 둔산동 일부, 괴정동, 가장동, 내동, 갈마동, 월평동, 가수원동, 관저동, 기성동	좌동	좌동	좌동	좌동
	유성구	진잠동, 원신흥동, 운천동, 노은동, 신성동 일부	좌동	좌동	좌동	좌동
	계룡시 및 세종시 1단계 급수구역		좌동	좌동	좌동	좌동
			좌동	좌동	좌동	좌동
신탄진정수장 (역조정지)	동구	삼성동 일부	좌동	좌동	좌동	좌동
	중구	은행선화동 일부, 목동 일부, 중촌동	좌동	좌동	좌동	좌동
	서구	용문동 일부, 탄방동 일부, 둔산동 일부, 만년동	좌동	좌동	좌동	좌동
	유성구	신성동 일부, 전민동, 구죽동, 관평동	좌동	좌동	좌동	좌동
	대덕구	오정동 일부, 대화동, 회덕동, 중리동 일부, 법동, 신탄진동, 석봉동, 덕암동, 목상동	좌동	좌동	좌동	좌동
			세종시 2단계, 남청주 현도(생활)	좌동	좌동	좌동
회덕정수장 (대청댐)	대전1,2공단/대덕3,4공단/테크노밸리 공업용수 공급		남청주 현도(공업)	좌동	좌동	좌동

3) 단계별 용수수요량

○ 총괄 용수수요량

- 2020년을 기준으로 보면 대전광역시에서 519,420 m³/일, 세종시 115,000 m³/일, 계룡시 27,600 m³/일, 청주시 4,000 m³/일로 총 690,820 m³/일이 요구됨
- 대전광역시 용수수요권은 세종시를 비롯하여 성장 가능한 지역으로 향후 2035년에는 842,227 m³/일이 예측됨

[표 2-20] 총괄 용수수요량 (일평균)

구 분		용수수요량					비고
		2015년 현재	2020년 (1단계)	2025년 (2단계)	2030년 (3단계)	2035년 (4단계)	
총 계		592,390	690,820	790,210	837,607	842,337	
총괄	생활용수	544,190	598,620	692,510	739,907	744,637	
	공업용수	48,200	67,400	72,900	72,900	72,900	
	기타용수	-	24,800	24,800	24,800	24,800	
대전광역시	소 계	518,390	519,420	533,810	541,370	546,100	
	생활용수	470,190	454,020	462,910	470,470	475,200	
	공업용수	48,200	65,400	70,900	70,900	70,900	
	기타용수	-	24,800	24,800	24,800	24,800	
세종시	소 계	60,000	115,000	200,000	200,000	200,000	
	생활용수(1단계)	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	협약기준
	생활용수(2단계)	-	55,000	140,000	140,000	140,000	협약기준
계룡시	생활용수	14,000	27,600	27,600	27,600	27,600	
남청주 현도일반 산업단지	소 계	-	4,000	4,000	4,000	4,000	
	생활용수	-	2,000	2,000	2,000	2,000	
	공업용수	-	2,000	2,000	2,000	2,000	
천안시	생활용수	-	-	-	39,837	39,837	

4) 정수장별 용수수량

○ 정수장별 용수수급

- 2020년 기준 일최대 용수량 기준으로 추동 도수터널을 사용하는 송촌정수장은 121,675 m³/일, 월평정수장은 436,082 m³/일 및 회덕정수장 67,400 m³/일로 대부분을 차지하고 있음

[표 2-21] 정수장별 용수수급 전망

구 분		용수수량					비고	
		2015년 현재	2020년 (1단계)	2025년 (2단계)	2030년 (3단계)	2035년 (4단계)		
시설 용량	총 계	1,350,000	1,350,000	1,350,000	1,350,000	1,350,000		
	생활 및 기타 용수 (정수)	소 계	1,260,000	1,260,000	1,260,000	1,260,000	1,260,000	
		송촌정수장	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	
		월평정수장	600,000	600,000	600,000	600,000	600,000	
		신탄진정수장	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	
		회덕정수장	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	휴지중
	공업용 (침전수)	소 계	90,000	90,000	90,000	90,000	90,000	
회덕정수장	90,000	90,000	90,000	90,000	90,000			
일 최대	총 계	690,010	874,310	931,570	990,640	996,400		
	생활 및 기타 용수 (정수)	소 계	641,810	806,910	858,670	917,740	923,500	
		송촌정수장	118,952	121,675	123,858	125,646	126,833	
		월평정수장	404,915	436,082	443,381	448,529	451,885	
		신탄진정수장	117,903	249,153	291,431	343,565	344,782	조정전
		회덕정수장	-	-	-	-	-	
	공업용 (침전수)	소 계	48,200	67,400	72,900	72,900	72,900	
회덕정수장	48,200	67,400	72,900	72,900	72,900			
물수요절감량		-	3,400	8,200	8,200	8,200		
과 부족량	총 계	599,900	419,090	366,630	307,560	301,800		
	생활 및 기타 용수 (정수)	소 계	558,190	396,490	349,530	290,460	284,700	정수
		송촌정수장	181,008	178,325	176,142	174,354	173,167	
		월평정수장	195,085	167,318	164,819	159,671	156,315	
		신탄진정수장	182,097	50,847	8,569	43,565	43,565	
		회덕정수장	-	-	-	-	-	휴지제외
	공업용 (침전수)	소 계	41,800	22,600	17,100	17,100	17,100	침전수
회덕정수장	41,800	22,600	17,100	17,100	17,100			

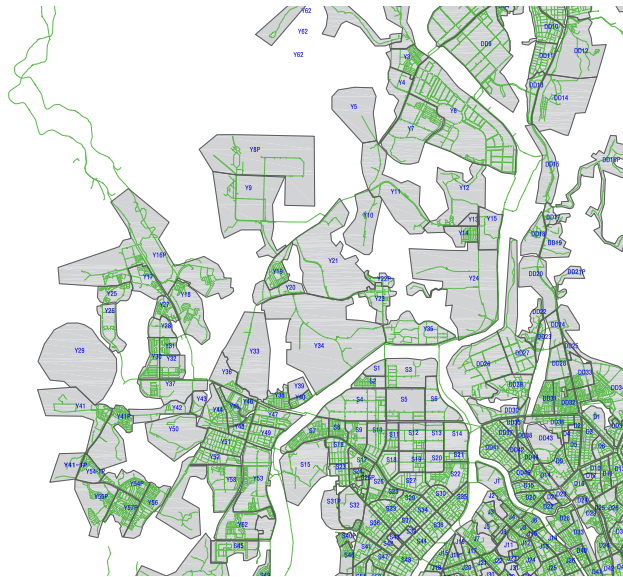
5) 급·배수구역의 조정

○ 급·배수구역의 현황 및 문제점

- 대전광역시의 상수관망의 블록구축 현황은 전체 335개로 분할되어 있으며, 2017년 말 현재 221개 블록은 구축이 완료되어 운영관리하고 있음
- 관리블록을 제외한 289개 블록 중 현재 190개 블록(65.7%)은 블록시스템 구축공사를 완료하여 연속유량측정으로 유지관리를 하고 있음
- 일부 관망이 급·배수구역 내에 고립화되어 있지 않고 비상관로 형식으로 연결되기 때문에 특정 배수지에서 공급된 용수가 해당 배수구역 이외의 지역에까지 흘러가고 있으며, 몇 군데 밸브제어를 통하여 수압분포에 많은 차이가 있는 등의 문제가 발생함

○ 급·배수구역의 조정방안

- 효율적인 급·배수시설의 운영 및 유지관리를 위해서 대전광역시의 향후 급수구역은 독립적인 운영이 이루어질 수 있도록 블록구축 계획이 반영된 급수관망 체제로 전환되어야 할 것임



[그림 2-16] 대전광역시 블록구축 현황

○ 급수구역의 조정계획

- 대전광역시 내 정수장별 용수 과부족량을 단계별로 분석한 결과 관내 급수구역 확대, 세종시 2단계, 국제과학비즈니스벨트 거점지구, 남청주 현도 일반산업단지 및 천안시 용수공급 계획(2030년)에 따라 신탄진정수장에서 2030년 $Q=43,565 \text{ m}^3/\text{일}$, 2035년 $Q=44,782 \text{ m}^3/\text{일}$ 의 용수 부족이 발생하는 것으로 나타남
- 이에 따라 천안시 용수공급이 이루어지는 2030년부터 관내 급수구역의 용수공급체계 조정 필요함
- 본 계획의 급·배수구역 조정계획은 기존 급수구역 체계를 중심으로 각 정수장 공급용량 범위 내에서 행정구역(동)별 수요량을 기초로 한 블록별 급수구역의 조정을 통해 정수장 수계별 분담 급수구역을 조정하였으며 아래와 같은 조건을 기준으로 정수장 수계별 분담 급수구역 분할함
 - ① 급수구역별 수평형을 최우선으로 함
 - ② 지형적 조건 및 기존시설 활용 측면에 중점을 둠
 - ③ 용수수요량 증가에 따른 정수장별 급수체계 조정이 용이하도록 함
 - ④ 현실적으로 신탄진급수구역의 고립화된 블록을 체계 조정하도록 함

2절. 상수도 시설 관련계획

1. 관련 계획

1) 제4차 국토종합계획 수정계획 2011~2020⁶⁾



[그림 2-17] 제4차 국토종합계획 비전 및 목표

- 가뭄 및 물 부족 지역 종합대책을 수립·추진
- 물 절약 및 수요관리 정책의 지속적 추진
 - 물 절약 목표 달성 지자체에 대한 인센티브를 부여하기 위해 평가·보상체계 마련
 - 적정한 용수가격 및 구간별 누진요금제 적용의 검토, 중수도 및 절수형 기기 보급확대 및 지원 등의 물 절약 및 재이용을 유도·확산

6) 국토교통부(2011), 제4차 국토종합계획 수정계획 2011~2020

- 기존시설 이용 극대화 및 신규 수원확보
 - 기존의 댐 및 저수지를 재개발하여 용수확보능력을 증대
 - 신규 댐 건설, 지하수·지하댐개발, 해수담수화, 빗물관리, 인공강우, 하폐수처리수 재이용 등 다양한 방법으로 신규 수원을 확보
- 물 분쟁의 해소를 위한 법적, 제도적 개선방안 마련
 - 수리권에 대한 법적인 개념을 정립하고, 단계적으로는 관행수리권을 허가수리권으로 전환하는 등의 수자원권 개념을 정착화
 - 용수확보, 용수요금, 수질오염, 지역발전, 유역변경 등 다양화 된 물의 분쟁 원인을 분석하여 합리적인 해결원칙과 해결방안을 마련
 - 남북공유하천인 임진강, 북한강의 공동개발·관리·이용과 한강 하구의 보전 및 개발과 관련된 남북간의 분쟁 방지 방안강구
- 목표수질의 달성을 위한 종합적인 수질개선 대책추진
 - 수원함양 및 상수원관리, 오염물질의 유입차단 및 처리방안 등과 같이 발원지에서 하구까지의 수질개선 방안마련
 - 목표수질을 달성한 지자체에 인센티브 부여 방안을 마련
- 맑고 풍부한 하천 유지용수 확보
 - 갈수기의 수량확보 및 수질개선을 위해 분산식 빗물관리, 타 하천과의 연계·도수, 처리수 재활용 등 각각의 하천별로 충분한 하천 유지용수 확보방안을 마련
 - 도시별·용도별 환경용수의 수요추정방법을 개발하고, 적절한 환경용수 확보방안을 마련

2) 수자원장기종합계획(2011~2020) 및 제3차 수정계획(2016)7)



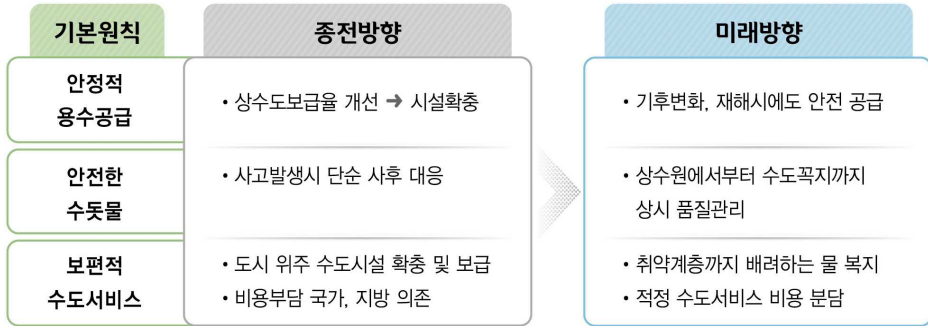
[그림 2-18] 수자원장기종합계획 비전 및 목표



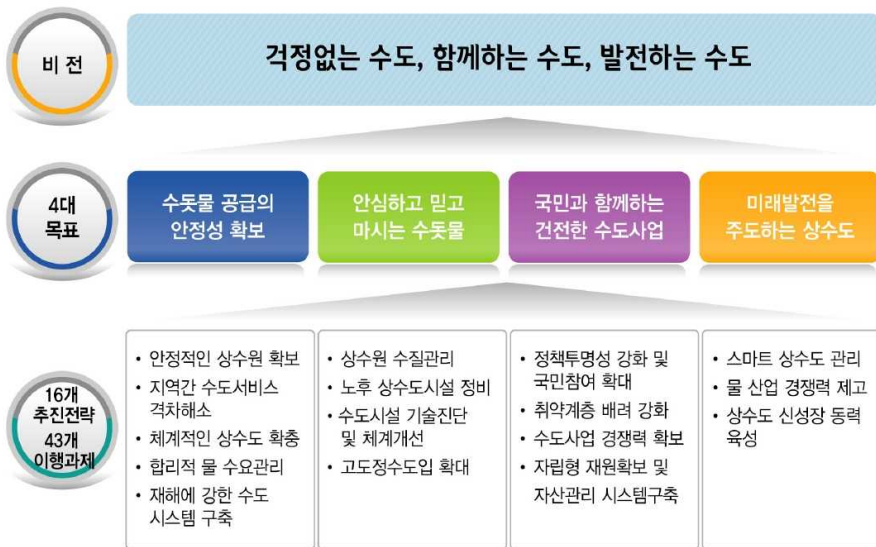
[그림 2-19] 수자원장기종합계획 추진전략

7) 환경부(2016), 수자원장기종합계획(2011~2020)

3) 2025년 전국수도종합계획⁸⁾



[그림 2-20] 전국수도종합계획 계획의 기초



[그림 2-21] 전국수도종합계획의 목표 및 추진전략

8) 환경부(2016), 2025년 전국수도종합계획

4) 2020년 대전권 광역도시계획(변경)⁹⁾

- 계획의 목적
 - 대전광역시, 충청북도 및 충청남도 일부 지역을 포함하는 대도시권의 광역도시계획 수립과 개발제한구역의 합리적 조정방안 제시
- 계획의 위상
 - 광역도시계획은 도시기본계획, 도시계획에 대한 지침계획
 - 광역도시권의 미래상 실현을 위하여 제시하는 정책계획
 - 광역도시권의 장기적인 이용·개발·보전을 위한 전략계획
- 광역공급 및 이용시설
 - 용수공급시설 : 안정적 용수공급을 위한 시설개량 및 현대화로 우수율 제고, 관망 정비 추진
 - 하수처리시설 : 시설확충 및 우수, 오수 분류하수관거 보급 확대 등
 - 폐기물 처리시설 : 폐기물 감량화 등 원칙의 폐기물통합 관리방안 수립

[표 2-22] 광역공급시설 중 용수공급시설 추진계획

구 분	시설명		입 지	사업기간
용수 공급 시설	대전	월평정수장 3단계 확장 및 제2취수원 확보	월평정수장, 금강	2007~2016
	충남	중규모댐 건설	금산, 공주	2005~2020
		가동댐 건설	금강	2005~2010
		대청댐 광역상수도	-	2000~2004
	충북	대청댐Ⅱ단계 광역상수도	-	2000~2002
		대청댐Ⅲ단계 광역상수도	-	2002~2013
		상수도시설 확장	-	2000~2020

9) 대전광역시(2010), 2020년 대전권 광역도시계획(변경)

5) 2030년 대전도시기본계획¹⁰⁾

○ 상하수도 현황 및 문제점

- 대전광역시시는 중부권의 주요 광역상수원인 대청호와 인접하고 있어 타 도시에 비해 비교적 안정적인 급수원을 보유하고 있음
- 반면, 급수원수 모두를 대청호에 의존함으로써 각종 수질오염사고와 가뭄 등에 근본적으로 취약하므로 급수원의 다변화가 요구되며 물수요 관리 정책이 필요
- 노후관은 적합한 조치가 취해져야 하며 노후도, 경제성 등을 고려하여 교체와 갱생방법을 선택하는 것이 중요
- 인구 및 개발면적 증가 등과 같은 도시의 성장으로 인해 하수발생량 증가가 예상되며, 기존의 하수처리시설이 주거지역에 인접하게 됨으로써 부정적 영향이 증가하게 되므로 내구연한 및 경제성을 고려하여 이전계획 수립 필요
- 실제적이고 효율적인 수질의 개선을 위해서는 BOD 등 수질기준 이외의 오염발생량의 총량에 대한 관리도 필요

○ 효율적이고 경제적인 상수도 공급 및 운영 필요

- 유수율 제고를 통한 경제성 증대
- 노후 배수관 및 급수관의 교체 및 개량, 급수장치의 구조개선
- 소규모의 수도시설이 원활하게 작동할 수 있도록 낙후 시설을 개선
- 효율적인 상수도 관리대책 수립
- 누수율의 저감 및 유수율 증대를 위하여 노후관 교체 및 상시유지관리 시스템 마련
- 시민들이 물 사용 습관을 개선하여 물 절약을 실천할 수 있도록 지속적인 홍보 및 안내 프로그램을 개발

10) 대전광역시(2013), 2030년 대전도시기본계획

6) 세종시 2단계 용수공급 시설공사 및 기본 실시설계¹¹⁾

○ 배경 및 목적

- 세종시는 2010년부터 대전광역시 월평정수장에서 60천 톤/일을 공급하고 있으며, 2018년 이후 2단계 140천 톤/일의 추가용수 공급이 필요함
- 또한, 국제과학비즈니스벨트거점지구가 2019년 12월 31일까지 개발계획을 승인함에 따라 필요 용수량 12,572 톤/일의 확보 방안 요구
- 따라서, 대전광역시 정수장의 시설용량 중 여유용량을 세종시 2단계 공급지역과 국제과학비즈니스벨트거점지구 개발계획 등에 공급하여 물 부족 현실에 능동적인 대처와 생활환경의 개선을 도모함



[그림 2-22] 세종시 2단계 용수공급 노선

11) 대전광역시(2016), 세종시 2단계 용수공급 시설공사 기본 및 실시설계

2. 상수도 시설기준

1) 총칙

○ 도수거

- 취수지점으로부터 정수시설까지 원수를 개수로 방식으로 도수하는 시설
- 수리학적으로 자유수면을 갖고 중력의 작용으로 경사진 수로를 흐르는 시설

○ 도수거 형식의 결정 인자

- 필요수량을 확실하게 보낼 수 있어야 함
- 형상 및 구조는 지형, 지세를 고려하고 용지취득비, 건설비의 대소, 유지관리의 용이성, 재해에 대한 안전성을 종합적으로 판단하여 결정

○ 도수거 설치의 적정 입지

- 비교적 지반이 평탄하고 양호하며 성토나 절토의 필요성이 없는 곳에서
는 개거 또는 개거에 덮개를 한 구조의 암거를 이용
- 하천이나 계곡 등을 횡단할 경우에는 수로교나 역사이편이 적합함
- 산이나 구릉횡단으로 절토량이 많게 될 때에는 터널이 적합
- 터널의 시공은 지질조건 및 터널 내 작용하는 각 수압조건에 적합하도록 각각의 경우마다 필요한 제반검토를 실시하여야 함

2) 노선

○ 노선의 선정

- 노선의 선정에 대해서는 비탈 하부 성토 등 불안정한 장소는 되도록 피하여야 함

3) 접합정과 맨홀

- 설치 필요성
 - 도수거에는 분기점, 합류점, 기타 필요한 장소에 접합정 또는 맨홀을 설치하여야 함
- 재료 및 용량
 - 원형과 각형의 콘크리트 또는 철근콘크리트로 만들어야 하며, 구조상 안전한 것으로 충분한 수밀성, 내구성을 지니고 용량은 계획수량의 유하를 저해하지 않는 용량으로 하여야 함
- 부속 장치
 - 필요에 따라 유량측정장치, 이토관과 월류장치를 설치하고 이토관 유출구에는 제수밸브를 설치하여야 함

4) 터널

- 터널의 구조
 - 콘크리트라이닝을 하는 것을 원칙으로 하며, 필요에 따라 그라우팅을 하고 입·출구는 충분히 보호해야 함
- 청소 및 점검
 - 터널 내부의 청소 및 점검 등이 가능하도록 터널 내부에 바이패스 설비를 두어야 함

5) 관로노선

- 도수관거의 관로노선 선정방법
 - 원칙적으로 공공도로 또는 수도용지로 하여야 함
 - 수평이나 수직방향의 급격한 굴곡을 피하고, 언 때고 최소 동수경사선

이하가 되게 선정함

- 펌프 양수 시 관로연장이 길 경우 필요에 따라 안전밸브 또는 조압수조를 설치하는 등 수격작용에 대처하여야 함
- 사고가 발생할 경우를 고려하여 관을 2계열로 부설하고, 중요한 장소에는 연결관을 설치하여야 함
- 몇 개 노선에 대하여 건설비 등의 경제성 및 유지관리 난이도 등을 비교·검토하고 종합적으로 판단하여 결정하여야 함

취·도수시설의 문제점 및 개선안 검토

- 1절. 취·도수시설의 문제점 및 이슈
- 2절. 상수원수 공급의 안정화 계획
- 3절. 추동 취수터널 건설의 경제성 평가

3장

3장 취·도수시설의 현황 및 개선안 검토

1절. 취·도수시설의 문제점 및 이슈

1) 취수시설 운영의 문제

- 대청호 녹조 갈수록 악화¹²⁾
 - 대전광역시 취수탑이 있는 추동수역 남조류는 순식간에 14,422 cells/mL 까지 상승
 - 대전광역시와 청주시 취수장은 조류 영향을 덜 받는 심층수 취수에 나서면서 분말활성탄을 투입하여 조류로 인해 발생할 수 있는 맛과 냄새를 없애는데 주력
- 문의취수탑의 취수탑 이전 고민¹³⁾
 - 수돗물과 관련된 취수원에 대한 상대적 피해의식
 - 문의 취수탑의 수질이 다른 곳에 비해 오염되었다 할 수 없지만 냄새를 발생시키는 조류에 문제가 있음
 - 대전 추동에 위치한 대전 취수탑은 유역이 더 안으로 들어가 있어 조류가 먼저, 더 오랫동안 발생함
 - 취수탑의 위치가 어디이든 대청댐 물을 수원으로 하는 이상 전체적으로 대청호 수질관리를 위한 노력이 우선시 되어야 함
- 제주 수돗물 유출 사태는¹⁴⁾
 - 제주 강정정수장 수돗물 유출사고의 원인은 집중 호우에 따른 취수원 오염, 시설 노후화, 운영관리의 미비 때문
 - 증장기 대책으로 취수탑 이전, 취수원 재분류를 통한 관리체계 개선, 상수도 관리인력 전문화를 제안

12) SBS 뉴스(2017), 16년만에 최악 대청호 녹조 갈수록 악화

13) 충북인뉴스(2001), 여름철 수질문제 조류발생이 주범

14) 국민일보(2021), 제주 수돗물 유출 사태는 취수원 오염, 운영비 절감 탓

- 서울 구의·자양 취수장, 남양주로 이전 통합¹⁵⁾
 - 서울시가 수질오염 우려가 있는 왕숙천의 영향을 받던 구의·자양 취수장을 잠실 수중보 상류에서 한강 상류인 남양주로 150 km 이전 통합
 - 이에 따라 종로구 등 강북지역 114만 가구에 깨끗한 원수로 만든 아리수 공급이 가능
- 폭염으로 충청권 식수원 대청호 녹조 확산¹⁶⁾
 - 대청호 추소리 지역은 녹조 발생에 취약한 곳
 - 취수탑이 있는 대청호 추동 수역과 문의 수역은 아직 양호한 상태이지만, 더 심해질 경우 취수탑 부근도 위협받을 수 있음
- 대청호 조류경보... 충청권 취수 비상¹⁷⁾
 - 대청호에 올해 첫 조류경보가 발령돼 취수에 비상
 - 추동취수탑 인근 수역도 조류주의보 기준치에 미달하고 있지만 물 빛깔이 푸르게 변하는 등 조류가 급속히 확산
 - 시민들에게 안전한 식수를 제공하기 위해 취수구를 조류가 분포하지 않는 수심 8 m 이하로 이동해 심층수를 취수

2) 도수관로 운영의 문제

- 여수 도수관로 파손¹⁸⁾
 - 2017년 9월 21일 전라남도 여수시 울촌면 취적리 지하의 한국수자원공사 복선 도수관로 공사 중 파손
 - 둔덕정수장에서 수돗물을 공급받는 구 여수권과 돌산읍 지역의 단수
 - 파손 도수관로는 여수시와 여수산업단지에 하루 56만 톤의 생활·공업용수를 공급하고 있으며, 단수 장기화의 경우를 대비하여 400 mL 물병

15) 이데일리(2021), 서울 구의·자양 취수장, 남양주로 이전 통합

16) YTN(2018), 폭염으로 충청권 식수원 대청호 녹조 확산

17) 세계일보(2009), 대청호 조류경보... 충청권 취수 비상

18) 뉴스원(2017), 여수시 도수관로 파손... 구 여수권·돌산읍 단수

6만병 공급의 계획 수립

- 청주시의 빈번한 단수사태¹⁹⁾
 - 상당구 등 11개 동 2만여 곳 단수 피해 (2015년)
 - 도수관로 연결 신축관에 휩이 발생하여 고무링 압착의 불균형해진 것이 주원인
 - 대형관로의 시공 시에는 기존 상수도시스템 사전점검은 필수이며 만일의 사태를 대비하는 시공계획 수립단계가 중요
 - 개선사항으로 효율적 도수관로 연결 및 단수사고 대체관로 정비, 대형관로 연차적 교체 또는 보수, 체계적인 대처시스템 구축, 상수도관리 시스템의 정기적 갱신, 근무인력의 전문성 확대 및 근무평가 등을 제안
- 충남 중부권 광역상수관로 파손²⁰⁾
 - 공주, 논산, 부여 수돗물 공급의 일시 중단
 - 매설된 지 8년된 GRP(유리섬유복합관)이 심한 일교차로 수축과 이완을 반복하다가 이음새가 벌어지는 문제 발생
 - 상수도관의 교체시기는 매설 후 20~30년이지만 파손 GRP관은 밭에 매설되어 외부압력보다 일교차의 영향을 더 받은 것으로 추정함

3) 도수관로 복선화 및 신설, 개량 사례

- 광주시민 식수원 새물길 ‘동북 도수터널’ 준공²¹⁾
 - 2009년 10월 착공 후 6년 9개월 만에 완공 (845억원 비용)
 - 광주시민 식수원인 전남 화순 동북호에서 광주 동구 용연정수장을 연결하는 동북 도수터널
 - 동북댐과 용연정수장의 고도차를 이용, 수압과 중력만으로 물을 흘러 보내는 자연유하식으로 설치

19) 노컷뉴스(2017), 청주 한여름 대규모 단수사태, 청주시 과실

20) 충청투데이(2016), 충남중부권 광역상수관로 파손... 공주·논산·부여 수돗물 공급 오후 8시부터

21) 연합뉴스(2016), 광주시민 식수원 새물길 ‘동북 도수터널’ 준공

- 기존에 1971년 및 1985년에 완공된 기존 도수관로는 높낮이가 없는 도로를 따라 매설되었으며, 가압장치의 운영에 30억원/년의 동력비 소요
- 도수터널과 함께 47 m 높이의 취수탑도 저수율에 따라 취수구를 자유 자재로 옮길 수 있는 시설로 새롭게 건설



[그림 3-1] 광주광역시 동북 도수터널 건설현장

- 금호강 물 대구 공급²²⁾
 - 운문댐 가뭄 장기화 대비 금호강 물로 상수도 원수 대체
 - 신설 도수관로는 운문댐과 고산정수장 사이 기존 광역도수관로에 연결하며, 가뭄 등 비상 상황에서만 일시적으로 운영(277억원 비용)
- 청주시 옛 영운정수장 도수관로 2500 m 개량²³⁾
 - 청주 방서지구, 동남지구 등의 안정적인 급수에 대비
 - 노후관 갱생공법으로 진행하며 도로를 굴착하여 신규로 매설하는 대신 기존 수도과 내부 세척 → 이물질 제거 → 표면처리 → 튜브삽입 등 특수처리를 거쳐 새 수도관과 같이 깨끗한 상태를 만들어 계속 사용

22) 뉴스1(2018), 금호강물, 대구 가정에 첫 공급... “흄냄새 날 수 있어”

23) 중부매일(2018), 옛 영운정수장 도수관로 2천500m 개량

- 인천 부평정수장 고도정수처리 산화시설 공사 및 도수관로 정비공사
 - 1985년에 설치된 노후 도수관로를 부평정수장~부천시 구간 3.1 km를 전면 교체하여 풍납정수장의 원수를 안정적으로 공급(89억원 비용)
- 김해시 안정적 상수도 공급 대책 수립
 - 상수도 현대화와 도수관로 복선화, 송수관로 네트워크 연결 등 다양한 사업을 동시에 추진
 - 2022년 말 완공 목표로 창암정수장~생림가압장 간 6.89 km의 구간에 도수관로 복선화 사업을 추진 (385억원 비용)
- 남양주시 화도정수장 도수관로 복선화사업 구축²⁴⁾
 - 금남취수장에서 화도정수장으로 원수 공급하는 도수관로 복선화로 365일 중단없는 용수급수 체계 구현
 - 기존 도수관이 2000년 이전에 부설된 관로로 노후화 진행에 따른 파손 및 교체공사 시 대체시설이 없어 시행
 - 도수관로 복선화사업은 금남취수장~화동정수장의 7.54 km 구간에 설치 (87.5억원 비용)

24) 환경일보(2016), 남양주시, 화도정수장 도수관로 복선화사업 완공

2절. 상수원수 공급의 안정화 계획

1. 개요

1) 목적

- 현 도수시설의 내구연한 도래
 - 상수도 급수 초기에 건설된 도·송수시설은 내구연수가 도래하고 있어 시설물 고장, 노후화로 인한 사고위험성이 높아지고 있음
 - 도수시설에 사고가 발생 시 급수장애 지역이 방대하고 용수 공급중단이 장기화될 경우 지역경제 전반에 매우 큰 영향을 미침
 - 반면에, 기존의 시설뿐 아니라 현재 건설 중인 시설도 용수공급의 안정성 확보를 위한 대책이 매우 미흡한 실정임
 - 특히, 내구연수가 도래한 관로의 교체 및 갱생을 위해서는 대체 공급을 위한 시설이 필요하나 이러한 시설이 거의 전무한 실정
- 외적인 요인의 발생
 - 기후변화로 다양한 재해가 발생할 뿐만 아니라 발생빈도도 증가하고 있어 시설에 대한 안정성 확보가 더욱 요구되고 있음
- 단일계통인 도수관로
 - 이러한 상황에서 향후의 안정적인 용수공급, 경제적인 시설 운영과 원활한 시설관리를 위해서는 안정성, 경제성 및 기존시설 개량 등을 위한 보완시설의 도입이 필요
 - 또한, 이에 대한 체계적인 계획수립이 필요함
 - 특히 단일관로로 대전광역시 대부분의 수돗물을 책임지는 추동 취수터널의 경우는 사고 발생 시 평가하기 어려운 다양한 문제가 발생하게 됨

2) 필요성

○ 도수시설의 안정성 향상

- 재해 및 사고 시에 안정된 급수를 확보할 수 있도록 공급경로를 복선화하는 등 상호 보완적이고 비상시에도 유연하게 대체할 수 있는 수도시스템을 구축하여야 함
- 대전광역시와 같이 비상시 인접 지역에서의 대체 공급이 불가능한 지역 중에서 기존에 단열로 건설된 도수관로 구간은 복선화를 도입할 필요가 높음

○ 도수시설의 교체 및 갱생을 위한 안정적인 대체 급수

- 대전광역시 도수관로는 내구연한이 도래하고 있고 점진적으로 노후화가 진행되고 있으나 터널로 건설된 도수관로는 교체 이외에 갱생에는 어려움이 있음
- 특히, 추동 도수터널이 파손될 경우 복구시간을 예상치 못할 정도로 긴 시간이 소요될 수 있는 어려움이 있음
- 이러한 여건을 감안하여 관로 복선화의 검토와 도입이 필요하며, 현 도수터널은 갱생하여 도수터널을 이원화하는 방안의 마련이 필요함

3) 계획의 방향

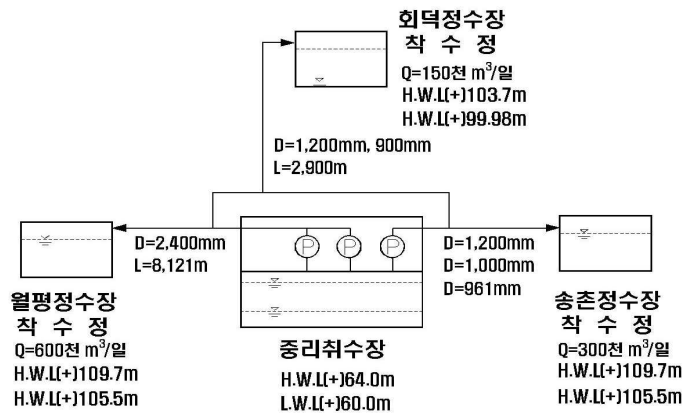
- 비상시에도 지속적인 공급을 할 수 있는 수도시스템 구축이 우선시되어야 함
- 이에, 공급시설에 대한 안정화계획을 수립하여야 하며 계획시설뿐만이 아닌 운영 중인 기존시설에 대한 안정성도 함께 검토되어야 함
- 공급시설의 안정화 방향으로 관로의 복선화, 지하 수도터널 및 사고 및 재해 위험요소 해소 대책에 대한 검토가 진행되어야 함

2. 제2취수탑 및 도수터널 복선화 추진

1) 시설계획의 개요 및 대안

○ 목적

- 1980년 준공된 추동취수탑 ~ 중리취수장 도수관로는 노후화(40년 이상)된 단일관로로 사고 발생시 용수공급 등 상수도 공급 안정화에 차질이 우려됨. 또한 점검구 등의 유지관리 시설이 없어 도수터널 내부 상황이나 시설물 정밀안전진단 등의 정기점검이 불가능하여 노후도 등 정확한 도수터널의 상황을 알 수가 없는 실정임



[그림 3-2] 대청호 상수원수를 사용하는 중리취수장 현황

○ 시설계획 개요

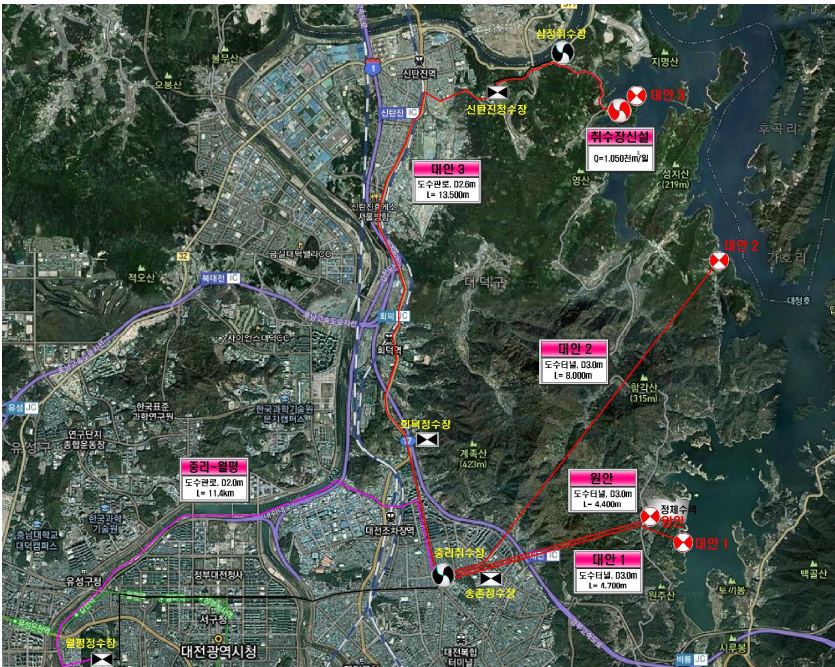
- 붕괴 등의 단수 사고 발생 시 피해지역 등의 검토, 피해지역 내 시민, 사업자 등에게 끼치는 손해배상 비용 산정 등
- 원안과 더불어 3가지 대안을 대상으로 사업의 적정성을 검토하고자 함
- 기존 취수터널을 대체할 수 있는 제2취수탑 및 도수터널 복선화를 계획하여 안정적인 취수가 가능하도록 대안을 선정하여 검토

[표 3-1] 제2취수탑 및 도수터널 시설계획 개요

구 분	목표년도	시설용량	취수탑	도수터널
도수터널	2025년	Q=1,050천 m ³ /일	1개소 신설	1개소 신설

○ 대안의 선정

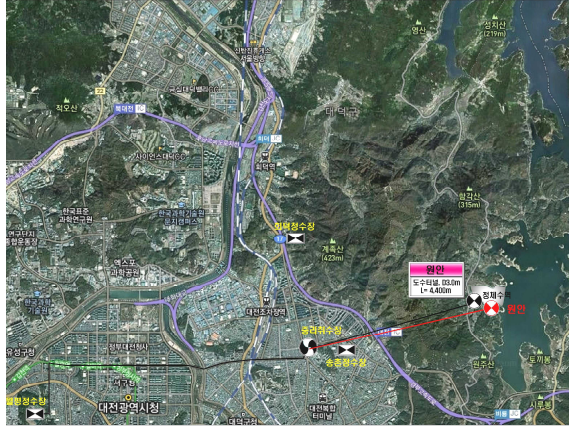
- 기존 취수시설을 대체할 수 있는 제2취수탑 및 도수터널 복선화를 계획하여 안정적인 취수가 가능하도록 대안을 선정하여 비교 검토함
- ① 원 안 : 기수립 수도정비기본계획(변경) 반영 → 정체수역 내 위치
- ② 대안1 : 정체수역 외 위치 → 만 중앙지점
- ③ 대안2 : 정체수역 외 위치 → 댐 본류, 오동 앞 지점
- ④ 대안3 : 정체수역 외 위치 → 댐 본류, 신탄진 부근



[그림 3-3] 대안별 취수원 위치 및 도수터널 계획노선

2) 원안 검토 : 정체수역 내

- 개요
 - 취수탑 신설과 중리취수장까지 도수터널 계획
- 취수탑 위치 및 도수터널 노선도



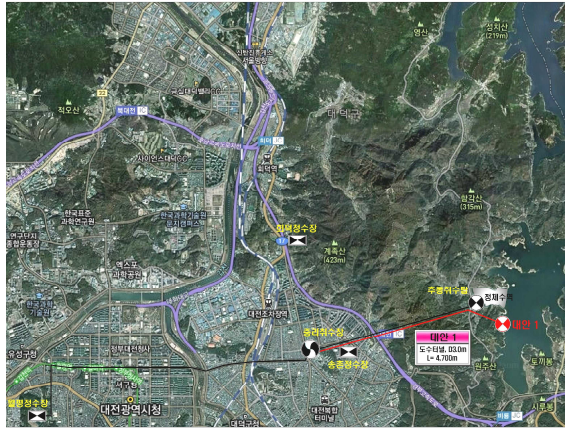
- 시설개요
 - 취수탑 1개소 : $Q = 1,050$ 천 m^3 /일
 - 도수터널(TBM 공법) : D 3.0 m, L 4,400 m
- 장점
 - 전구간 도수터널 설치로 시공성 양호,
 - 대안2에 비해 터널구간 감소로 경제성 양호
- 단점
 - 정체수역 내 위치로 원수수질 향상 불리
 - 기존 구조물 및 용전근린공원 개발행위에 대한 세밀한 영향검토 필요
- 소요기간
 - 총 5년(발주준비 1년 + 설계 1년 + 공사 3년)
- 총 사업비 1,038억원 (설계비 등 공사비의 10%) 포함
 - 개략공사비 944억원 (취수탑 454억원, 도수터널 490억원)
- 대안검토순위 : 2순위

3) 대안1 검토 : 정체수역 외 만 중앙

○ 개요

- 취수탑 신설과 증리취수장까지 도수터널 계획

○ 취수탑 위치 및 도수터널 노선도



○ 시설개요

- 취수탑 1개소 : $Q = 1,050$ 천 m^3 /일
- 도수터널(TBM 공법) : D 3.0 m, L 4,700 m

○ 장점

- 정체수역 외 위치로 원수수질 향상 기대
- 전구간 도수터널 설치로 시공성 양호
- 대안2에 비해 터널구간 감소로 경제성 양호

○ 단점

- 기존 구조물 및 용전근린공원 개발행위에 대한 세밀한 영향검토 필요

○ 소요기간

- 총 5년(발주준비 1년 + 설계 1년 + 공사 3년)

○ 총 사업비 1,084억원 (설계비 등 공사비의 10%) 포함

- 계약공사비 985억원 (취수탑/가물막이 454억원, 도수터널 531억원),

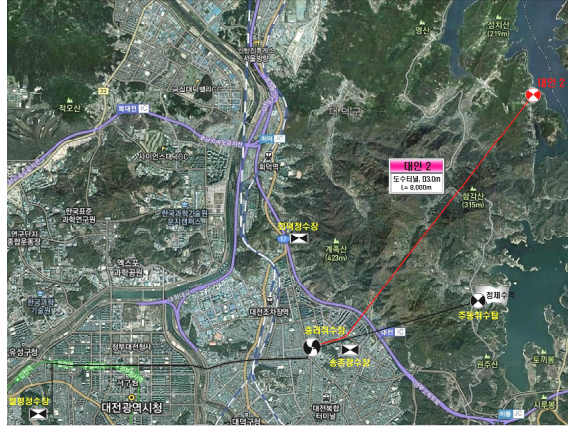
○ 대안검토순위 : 1순위

4) 대안2 검토 : 정체수역 외 만 중앙

○ 개요

- 취수탑 신설과 중리취수장까지 도수터널 계획

○ 취수탑 위치 및 도수터널 노선도



○ 시설개요

- 취수탑 1개소 : $Q = 1,050$ 천 m^3 /일
- 도수터널(TBM 공법) : D 3.0 m, L 8,000 m

○ 장점

- 댐 본류에 근접 설치로 원수수질 향상 기대
- 전구간 도수터널 설치로 시공성 양호 (일부 시가지 구간 통과)

○ 단점

- 원거리 취수에 따른 도수터널 연장 증가로 경제성 불리, 중리취수장 앞 시가지구간 통과로 교통체증 및 민원 예상, 기존 도수터널 및 지장물(상수관 등) 간섭 최소화 필요, 원안 및 대안1에 비해 공사기간 증가

○ 소요기간

- 총 7년(발주준비 1년 + 설계 1년 + 공사 5년)

○ 총 사업비 1,486억원 (설계비 등 공사비의 10%) 포함

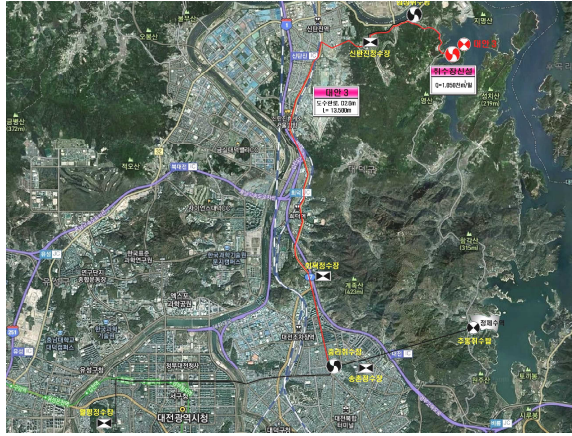
○ 대안검토순위 : 3순위

5) 대안3 검토 : 취수탑의 잦 분류, 신탄진

○ 개요

- 취수탑 신설과 신탄진정수장, 중리취수장까지 관로 계획

○ 취수탑 위치 및 도수터널 노선도



○ 시설개요

- 취수탑 1개소 : $Q = 1,050$ 천 m^3 /일, 취수펌프장 1개소($H=80$ m)
- 도수관로 : D 2.6 m, L 13,500 m

○ 장점

- 댐 분류에 근접 설치로 원수수질 향상 기대, 중리 및 삼정취수장 동시 도수관로 복선화 가능 (중리~신탄진 도수관로 사업 대체 : 517억원)

○ 단점

- 대부분 시가지구간 통과로 시공성 불리, 원거리 취수에 따른 도수관로 증가로 경제성 불리, 취수장~정수장 구간 2단 가압으로 유지비용 증가

○ 소요기간

- 총 7년(발주준비 1년 + 설계 1년 + 공사 5년)

○ 총 사업비 2,176억원 (설계비 등 공사비의 10%) 포함

- 계약공사비 1,978억원 (취수탑/가물막이 454억원, 도수관로 1,274억원 등)

○ 대안검토순위 : 4순위

6) 수도정비기본계획 총괄 검토의견

- 원수수질의 향상 가능성, 경제성, 시공성, 사업기간 등을 종합적으로 검토하여 본 계획에서는 대안별 비교·평가를 통해 우선순위로 제시
- 기본설계시 상세한 수질조사, 지반조사 등의 수행 결과와 기존시설과의 연계성(중리취수장 유입 도수관로(D2,300 mm)와 취수펌프 흡입측 배관과의 By-pass 등을 고려하여 최종 대안노선 선정
- 제2도수터널 설치 후 기존 추동취수탑 및 도수터널은 시설보수(준설 및 보수보강, 15,669백만원)를 통해 재가동 하는 것으로 계획 : 제2도수터널 설치 → 운영중지 → 정밀안전진단 → 시설개량 및 보수 → 재가동

3. 도수터널 장래 운영계획

○ 운영계획의 기본 방향

- 중리취수장 제2취수탑 및 신설 도수터널은 도수터널 복선화를 위한 시설로 완공 이후 신설 도수터널을 중심으로 운영하여야 함
- 기존 도수터널은 정밀안전진단 시행 및 보수·보강 이후에는 신설 도수터널의 정밀안전점검 또는 사고 시 교차운영이 가능토록 하여 용수공급의 안정성 확보계획을 실시하여야 함

○ 운영방안 검토

- CASE 1 : 신설 도수터널 완공 이후 기존 도수관로 보수 완료 시까지
- CASE 2 : 기존 도수터널 보수 이후

[표 3-2] 추동 도수관로 운영방안

구 분	CASE 1	CASE 2	비 고
기존 도수터널	정밀안전진단 및 보수	신설 도수터널 점검 시(또는 사고 시) 도수터널 운영	
신설 도수터널	도수터널 운영	도수터널 운영	

3절. 추동 취수터널 건설의 경제성 평가

1. 분석의 배경 및 목적

1) 배경 및 필요성

- 대청호 제2도수터널 신설사업의 타당성을 객관적으로 제시할 필요
 - 추동 도수터널은 1980년에 준공되어 노후화가 진행됨에 따라 붕괴사고 등의 우려가 있음
 - 제1도수터널은 단선으로 붕괴사고 발생시 수돗물 공급지역인 대전광역시와 세종시, 계룡시까지 광범위한 단수 발생 우려
 - 이에 따라 기존 취수시설을 대체할 수 있는 제2취수탑 및 도수터널 복선화 계획을 수립함으로써, 사고발생에 의한 위험성을 억제할 수 있는 방안을 마련 중
 - 제2취수탑 및 도수터널 복선화는 대규모 예산이 투입되는 공사로 비용/편익분석(benefit-cost analysis) 등을 통해 사업의 타당성을 객관적으로 제시할 필요가 있음

2) 목적

- 본 연구의 목적은 제2도수터널 신설사업에 따른 사회적 편익을 추정하는데 있음
 - 비용/편익분석의 비용 항목은 제2도수터널 신설사업에 투입되는 예산으로 상수도사업본부의 도움으로 적용함
 - 제2도수터널 건설의 편익은 노후화 등으로 붕괴사고 등이 발생하여 수돗물 원수의 공급이 차단되는 것을 예방하는 데 있음
 - 따라서 동 사업을 통해 단수상황을 해소하는 데 따른 경제적 편익을 추정하는 것이 적절하며, 구체적으로 단수가 발생했을 경우 초래되는 피해

와 불편의 정도를 금전적 가치로 환산할 필요

- 그러나 수도물 사용자가 단수상황을 회피하는 데 따른 효용은 시장에서 쉽게 관찰되지 않기 때문에 이에 대한 경제적 가치를 추정하는 데는 어려움이 있음(채수복, 강기래, 2011)

○ 분석방법

- 수도공급은 공공재화의 성격을 가지기 때문에 상수도가 제공하는 편익에 근거한 사회적 가치를 추정하기 위해서는 비시장가치를 추정하는 방법론을 활용

2. 연구의 방법

1) 방법론

- 본 연구에서는 진술선호법과 대체비용법 두 가지 방법론을 활용하여 제2도수터널 신설사업의 편익을 추정
 - 노후된 관로를 복선화하는 사업은 예기치 않은 관로사고로 인해 실제 단수 사태가 발생하지 않도록 상수도관을 하나 더 추가하여 관로노선을 이중화하는 사업임(박선영 외, 2015)
 - 즉, 동 사업의 효과로 단수 사태가 발생하는 것을 미연에 방지하는 것을 편익으로 볼 수 있으나, 단수에 따른 불편은 시장에서 거래되는 재화가 아니므로 금전적 가치를 측정하기 어려움.
 - 경제학에서는 단수방지에 따른 소비자의 편익을 금전적 가치로 나타내기 위해 소비자에게 직접 단수 방지를 위해 얼마만큼을 비용으로 지불할 의사가 있는지를 파악하는 진술선호법이 통상적으로 사용됨
 - 따라서 제2도수터널의 편익을 계산하기 위해서는 사업 수혜대상인 대전광역시, 세종시 및 계룡시 시민을 대상으로 진술선호법을 위한 설문조사를 진행하는 것이 가장 이상적인 방법이라 할 수 있음.
 - 다만 본 연구에서는 연구기간 등 여러 제약사항으로 설문조사는 시행하지 못하며, 대신 유사 연구인 박선영 외(2015)의 추정결과를 차용하여 제2도수터널 신설사업의 편익을 추정
 - 이와 함께 비경제학적 또는 공학적 접근법으로 분류되는(K-water (2016)에서 제시한 대체비용법을 이용하여 편익을 추정

2) 진술선호법(stated preference method)

(1) 정의

- 공공사업의 경제적 가치 또는 사회적 편익을 평가하는 방법론은 진술선호법(stated preference method), 시장적 방법(market methods) 및 현시선호방법(revealed preference method)으로 구분(김일중 외, 2003)
- 여기서 진술선호법은 공공사업을 통해 재화나 서비스를 개선하기 위해 소비자가 지출하고자 하는 금액을 소비자에게 직접 질문하는 방식
- 수도사업의 단수방지 편익을 분석한 대다수 기존 문헌들은 주로 진술선호법을 활용하여 단수회피의 사회적 편익을 도출
- 진술선호법은 질문 방식에 따라 다시 조건부가치측정법(contingent valuation methods: CVM)과 선택실험법(choice experiment: CE)으로 구분할 수 있음
 - 조건부가치측정법은 설문 응답자에게 비시장재화에 대한 가상의 상황을 제시한 후 이에 대한 화폐적인 지불의사액을 설문함으로써 비시장재화에 대한 경제적 가치를 추정하는 기법임(김강수 외, 2011)
 - 선택실험법은 가치평가 대상 재화·서비스의 가격을 포함한 속성들의 조합으로 이루어진 가상적인 대안을 제시하고, 응답자가 가장 선호하는 대안을 선택하도록 하는 방식임(이종선, 2015)

(2) 진술선호법을 활용한 주요 문헌

- 박두호, 박윤신(2007)
 - 동 연구는 광역상수도가 공급되는 7대 특·광역시와 지방상수도 또는 간이상수도가 공급되는 32개 가뭄상습지역에 거주하는 794명을 대상으로 제한급수 시의 지불의사액을 추정
 - 면접 설문조사를 통해 가뭄으로 인한 가정용수 25% 제한, 50% 제한 두 가지 시나리오에서 일인당 지불의사액을 조사하고 토빗모형(tobit

- model)을 통해 분석
- 분석결과, 가뭄으로 인해 가정용수 25% 제한 시 1인, 1 m³ 당 534원을 추가 지출할 용의가 있는 것으로 조사됨

○ 채수복, 강기래(2011)

- 동 연구는 조건부 가치측정법을 활용하여 경기남부지역 시민의 단수상황 회피의 경제적 편익을 도출
- 수도물을 원활하게 공급하기 위한 급수체계조정사업에 대한 지불의사액을 측정하기 위해 화성시, 오산시, 평택시, 안성시 4개 시의 수도물 사용 가구 803가구를 대상으로 설문조사를 진행

설문조사 내용: ... (중략)... “귀하가 거주하시는 지역의 수도요금은 대략 (ex. 화성시 749원/m³)입니다. 본 조사에서 수도물 공급시설이 제대로 확충되지 못해 수도물이 제대로 공급되지 않는 상황을 막기 위해 귀하의 가구가 현재 수도요금 외에 추가적으로 부담하시고자 하는 금액에 대해 알고자 합니다. 귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실을 감안하여 주십시오.”

- 우선 응답자에게 해당 지역의 단수발생 가능성을 인지시키고 단수상황 회피를 위해 현재 수도요금 이외에 얼마의 비용을 추가적으로 지불할 의사 여부를 설문
- 분석 결과, 경기 남부권 지역의 수도 사용가구는 단수상황을 회피하기 위해 1톤(1,000리터)당 약 175.6원의 지불의사가 있는 것으로 추정

○ 박선영 외(2015)

- 본 연구와 가장 관련성이 높은 연구로써 구미권 광역상수도 관로복선화 사업의 경제적 편익으로 수도물 공급신뢰도 개선 및 단수회피에 대한 편익을 선택실험법과 조건부가치측정법을 사용하여 추정
- 보통 수도관의 내구연한은 통상 매설 후 30년으로 구미권 광역상수도

- 수도관은 1980년대 초반에 매설되어 노후화가 상당 부분 진행
- 노후 관로를 복선화하는 사업은 예상하지 않은 관로사고로 인해 실제 단수 사태가 발생하지 않도록 상수도관을 하나 더 추가하여 관로노선을 이중화하는 사업임. 이는 대청호 제2도수터널 신설사업의 목적과 거의 동일
 - 이 연구에서는 복선화 사업의 편익항목으로 공급신뢰도 개선과 및 단수 방지 편익 두 가지로 정의
 - : 공급신뢰도 개선은 관로사고 등으로 인한 평상시 단수위험을 줄여주는 편익, 단수방지 편익은 수도관 공사시의 단수를 피하는 편익으로 정의
 - : 두 가지 편익은 개념적으로 구분이 어려운데, 본 연구에서는 단수방지 편익의 추정결과만을 차용하여 편익을 산정
 - 구미권 생활용수 공급신뢰도 개선 편익은 연간 42억 8,832만 원 (=93.04원 × 126,277m³/일 × 365일)으로 추정
 - : 가구별 1톤당 연 지불의사액은 약 93.04원으로 추정되었고, 2011년 생활용수 일평균 수요량 (126,277m³/일)을 반영하면 연간 편익은 42억 8,832만 원으로 계산
 - 생활용수 단수방지 편익은 단수 빈도 및 지속시간에 따른 한계 편익 (marginal benefit)을 산출
 - : 1년 중 제한급수 발생기간의 경우, 1일 증가를 막기 위한 매월 수도요금 추가 부담의사액이 38.11원으로 추정(단수 빈도)
 - : 또한, 제한급수 기간 동안 하루 24시간 중 수돗물이 나오지 않는 시간의 1시간 증가를 막기 위한 매월 수도요금 추가 부담의사액은 146.10원으로 나타남 (단수 지속 기간)

[표 3-3] 속성별 한계지불 의사액

속성	단위	한계지불의사액
1년 중 제한급수 발생기간	1일	38.11원
제한급수 기간 동안 하루 24시간 중 수돗물이 나오지 않는 시간	1시간	146.10원

- 만약 단수 빈도를 1년 중 하루 단수 지속 기간을 6시간으로 가정하면 생활용수 단수방지 편익은 연간 15억 2,797만원으로 추정

- 월평균 수도요금 추가 지불의사액 = (1년 중 제한급수 발생일 × 1일 단수를 막기 위한 매월 추가적인 수도요금 부담의사액) + (제한급수 기간 동안 하루 24시간 중 수돗물이 나오지 않는 시간 × 1시간 단수를 막기 위한 매월 추가적인 수도요금 부담 의사액)
 = (1일 × 38.11원) + (6시간 × 146.10원) = 914.71원
- 단수 방지편익 = 월평균 수도요금 추가 지출 의사액 × 구미시가구수 × 12개월
 = 917.71원 × 139,204가구 × 12개월 = 15억 2,797만원

- 한편 동 연구는 취수권에 입지한 400개 업체를 대상으로도 공업용수 공급신뢰도 개선과 단수방지에 따른 편익을 추정함
 : 공업용수 공급신뢰도 개선 편익은 11억 646만원, 단수방지 편익은 16억 4,439만원으로 공업용수 총편익은 27억 5,075만원으로 추정

○ 김선영, 류문현(2017)

- 동 연구는 광역상수도의 사회적 편익을 비시장재화의 가치추정법 중 하나인 조건부 가치측정법을 이용하여 추정
- 서울시를 포함한 전국 7대 광역시 지역의 630가구를 대상으로 일대일 개인 면접 방식을 통한 설문을 실시

설문조사 내용: ... (중략) ... “많은 사람들이 그 비용을 지불하지 않는다면 이러한 정책은 실시되지 못하며 현재의 지역별로 다른 수도요금가격을 계속하여 지불하셔야 하며 심각한 가뭄시에는 단수나 제한급수도 발생할 수 있습니다. 반면 많은 사람들이 그 비용을 지불하는데 동의하면 이러한 문제는 해결될 수 있습니다. 이제 이를 위해 귀하 가구의 수도요금을 통해 얼마나 추가적으로 비용을 부담하실 수 있는지를 알고자 합니다. 귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실과 오직 수도물 문제 해결 및 개선만이 조사대상이라는 사실을 고려하신 후 다음 질문에 신중히 대답하여 주시기 바랍니다.”

- 안정적인 물공급을 위한 광역상수도에 대한 월 추가 지불의사액은 음의 효용을 허용하였을 경우, 가구당 1,584원이었으며 음의 효용을 허용하지 않았을 경우, 가구당 2,319원으로 추정
- 상수도 요금은 격월로 고지된다는 점을 고려하여 이를 연간으로 환산하면 가구당 9,504원에서 13,914원으로 추정

3) 대체비용법(replacement cost approach)을 활용한 연구

○ K-water(2016)

- 일본 후생노동성에서 제시한 대체비용법에 기반하여 단수피해추정기법을 우리나라 상황에 맞게 수정하여 공급지장비용을 추정
 - : 대체비용법은 실제 통계자료에 기반하므로 주관적 진술에 의존하는 조건부가치측정법에 비해 장점을 가지지만, 이론적 기반이 약하고 대체 항목의 선택이 연구자의 자의에 의해 이루어질 수 있다는 한계점 있음
- K-water(2016)는 가뭄으로 인한 영향평가를 위해 동 추정기법을 통해 2015~2016년 기간 중 극심한 가뭄을 겪었던 충남서부권 지역을 대상으로 시범지역을 선정하여 분석을 진행함
 - : 편익항목은 물품·서비스·구매비용(대체비용), 노동 투입비용(시간비용), 설비 투자비용(급수용품 구입비용), 지역총생산 감소액 4개 항목을 계상
 - : 물품·서비스·구매비용 및 설비투자비용은 필요품목에 대한 가격조사를

- 통해, 노동 투입비용과 지역총생산 감소액은 일본 사례의 추정값을 활용
- 급수제한을별 구매비용, 노동투입비용, 설비투자비용 등을 산출한 후, 2015~2016년 충남서부권의 실제 급수제한을별 급수제한 발생일수에 적용하여 생활용수 공급 지장비용을 산출
 - 분석결과, 가뭄이 발생하지 않았더라면 가정용수 공급지장비용 341억 원, 업무 영업용수 공급 비장비용 508억원 등 총 849억 원의 편익이 발생할 수 있었던 것으로 나타남

[표 3-4] 편익계상 항목별 세부내용

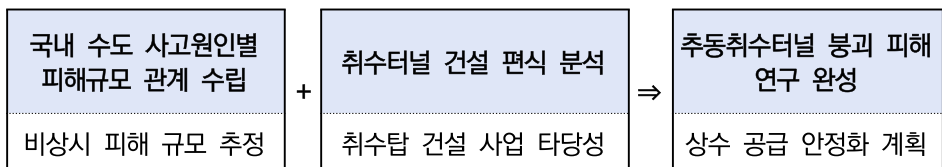
편익 항목	세부내용
물품·서비스·구매비용 (대체비용)	생활용수를 대체하는 물품, 서비스(생수, 목욕탕)를 구입하여 손상을 방지하는 비용
노동 투입비용 (시간비용)	단수로 인하여 평소보다 물 절약을 위해 추가로 소요되는 시간
설비 투자비용 (급수용품 구입비용)	단수에 따른 물공급, 절수 등의 목적으로 시설, 물품을 일시적으로 구입하여 피해를 줄이기 위해 소요되는 비용
지역총생산 감소액	생산활동의 위축으로 지역 내 총생산이 감소하는 금액 - 용수가 생산에 기여하는 정도에 따라 영향률이 변화

3. 상수도 피해원인별 단수시간 및 피해규모 관계

1) 개요 및 검토방법

○ 개요

- 상수도시스템에 문제가 발생 시 시설물의 규모, 특성, 역할 및 복구시간에 따라 특정 범위에 대하여 일정한 시간 동안 단수 피해를 야기함
 - * 수원→취수시설→도수시설→정수시설→송수시설→배수시설→급수시설
- 단수의 피해를 줄이기 위해서는 사고 원인이 되는 요소, 시설물 그리고 사고유형을 사전에 파악하여 대비해야 할 필요가 있음
- 단수의 사고 사례분석을 함으로써 사고발생 횟수가 빈번하고 큰 피해를 야기하는 시설물과 원인을 파악하여 중점적으로 관리할 필요 있음
- 사고 발생 시에는 단수 피해 가능성을 최소화할 위한 시설물의 증설, 기존의 관로 복선화 및 노선 추가는 높은 비용을 요구하며, 추가 시공에 대한 어려움이 있음
- 하지만 모든 단수사고에 대하여 수계전환 운영을 하는 것은 다른 문제를 가지고 있음. 대표적인 예로, 평상시에 사용되지 않는 관로의 개폐로 인하여 유향이 변화할 수 있으며, 이에 따른 적수 및 탁수와 같은 수질 사고가 발생할 수도 있음
- 단수규모와 시간을 고려하여, 수계전환 시에는 전체적으로 큰 운영상의 이익을 가져올 수 있는 대상을 선정하여 상수관망의 안정적인 운영에 도움이 될 수 있음



○ 검토방법

- 단수사례를 관리함으로써 비상연계가 필수적으로 필요한 대상을 확인하는 작업이 필요함. 하지만, 현재 단수사고 사례를 자료화 및 시각화할 수 있는 기준이 명확히 제시되어 있지 않은 상황임
- 대다수의 지자체 상수관망에서 발생한 사고에 대해서 개별적인 사고 대장이나 테이블 형태로 보유하고 있으며, 기존 사고사례를 자료화하기 위한 정형화된 기준이 미흡
- 비상 시 수계전환 시나리오 작성을 위하여 단수사고 이력을 수집할 때에는 필수적으로 필요한 필요자료를 제시하고, 상수관망에서의 단수자료의 시간과 규모를 시각적으로 파악하기 위한 사례를 제시할 경우 타당
- 결과를 활용하여 원인별 영향범위 및 단수시간을 확인함으로써, 비상시 수계전환을 위한 대상여부를 검토

2) 피해이력 조사방향 설정 및 검토결과

○ 피해이력 조사

- 상수관망 시스템에서의 사고를 분류하기 위한 기준표는 다수 제안되었으며 수자원공사에서 발간한 “수도사고이력(1980-2010)”에서 사용되는 분류 기준은 다음의 [표 3-5]와 같음
- 이는 대분류로 관로사고, 수질사고, 설비사고 및 기타로 분류, 세분화된 사유를 제시하고 그에 따른 대문자 알파벳을 할당하였음
- 또한 세분화된 종류에 따라 보다 구체적인 케이스를 제시하였고, 알파벳 및 숫자로 표기하도록 하였음
- 수자원공사의 “최근 수도사고 현황(2011)” 및 “광역상수도 수도사고 사례집”에서 사용한 수도사고 분류체계의 경우 관로사고, 설비사고 및 수질사고로 대분류를 제안하고, 각각 A, B, C를 할당
- 제안된 사고 기준들의 경우 사고분류 및 유형이 세분화되어 있어 사고가 빈번하게 발생하는 사유 및 위치를 간략하게 파악하기 힘들다는 단

점이 있음

- 본 연구 수행을 위해서는 사고이력을 분류하여 수계전환의 대상이 되는 시설물 및 원인을 파악하기 위한 분류항목을 제시하고 대표 취수시설의 중요성을 부각할 필요가 있음

[표 3-5] 수도사고이력 코드화 자료 (관로사고)

	종 류	구 분	코드화
관로 사고	시설의 노후 (A)	관부식	A1
	시설의 노후 (A)	변류플랜지 접합부 패킹부식	A2
	시설의 노후 (A)	밸브류,볼트,너트 기타 부속물부식	A3
	전식및토양 (B)	전식 및 토양에 의한 핀홀등 국부적 부식	B
	수충압에 의한 원인 (C)	관파열	C1
	수충압에 의한 원인 (C)	접합부 이탈, 파열	C2
	수충압에 의한 원인 (C)	밸브류 파손	C3
	재질불량 (D)	관재질 불량	D1
	재질불량 (D)	밸브류재질 불량	D2
	외적요인에 의한 원인 (E)	중차량 통행에 의한 관파열	E1
	외적요인에 의한 원인 (E)	온도변화에 의한 신축작용 불량	E2
	외적요인에 의한 원인 (E)	연약지반 침하에 의한 접합부 이격	E3
	외적요인에 의한 원인 (E)	동파에 의한 파열	E4
	일상보수, 시설개량(계획보수) (F)	누수보수	F1
	일상보수, 시설개량(계획보수) (F)	노후시설 교체개량	F2
	일상보수, 시설개량(계획보수) (F)	타공사에 지장되는 수도시설의 이설등 변경	F3
	타공사등 (G)	타공사등 외적요인에 의한 관 파손	G
	시공불량에 의한 사고 (H)	관로 시공불량에 의한사고	H1
	시공불량에 의한 사고 (H)	밸브류 시공불량에 의한 사고	H2
	태풍, 홍수 (I)	태풍 또는 홍수등에 의한재해	I
기타원인에 의한사고,단수 (J)	관원인에 의한 사고,단수	J1	
기타원인에 의한사고,단수 (J)	밸브류원인에 의한 사고,단수	J2	

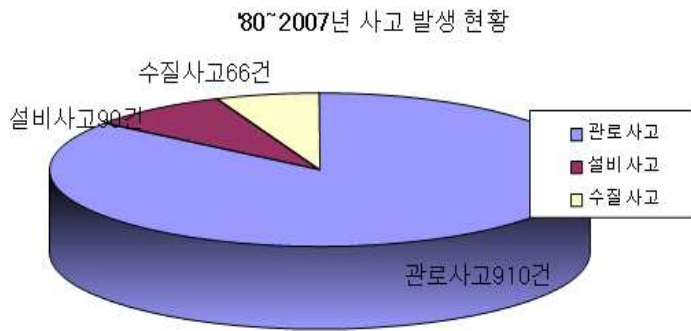
O: 용접부위 이음부 균열, J: 접합부 연결부 이탈 이격, P:핀홀, M:몸통파괴 균열, G: 곡관, N:기타 사고

[표 3-6] 수도사고이력 코드화 자료 (관로사고, 수질사고)

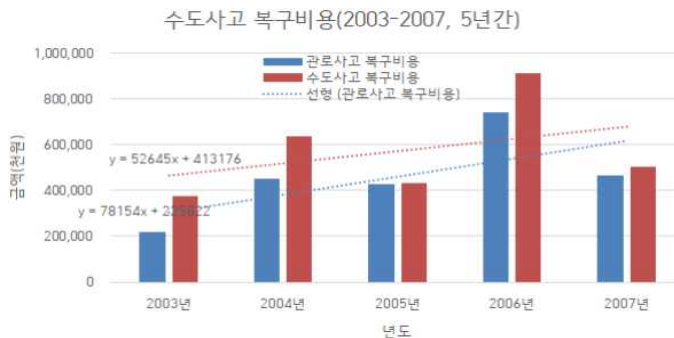
종 류		구 분	코드화
설비 사고	취수장 (K)	기계	K1
		전기	K2
		계측제어	K3
		기타	K4
	정수장 (L)	기계	L1
		전기	L2
		계측제어	L3
		기타	L4
	가압장 (M)	기계	M1
		전기	M2
		계측제어	M3
		기타	M4
	기타(관로상..) (N)	기계	N1
		전기	N2
		계측제어	N3
		기타	N4
수질 사고	물고기 부상 및 폐사 (O)	물고기 부상 및 폐사	O
	기름유출 (P)	기름유출	P
	맛,냄새 (Q)	맛,냄새	Q
	페놀류 (R)	페놀류	R
	거품 (S)	거품	S
	고탁도 (T)	고탁도	T
	색도 (U)	색도	U
	수인성전염병 (V)	수인성전염병	V
	기타 (W)	기타	W

○ 피해이력 검토결과

- 수자원공사의 수도사고이력(1980-2010) 자료에 기록된 전체 상수도 관련 사고는 961건이며 이들 중 단수가 발생한 건수는 144건으로 약 15%의 단수사고 발생율을 기록하였음
- 수자원공사의 “최근 수도사고 현황(2011)”자료를 기준으로 기록된 전체 상수도 관련 사고는 453건이며 이들 중 단수가 발생한 건수는 191건으로 약 42%의 단수사고 발생율을 기록하였음
- 특히 “최근 수도사고 현황(2011)”자료에서 단수사고가 발생한 191건의 평균 단수시간은 13.4시간이며 취수원 및 선상계통과 같은 수원·취수탑 관련 사고의 경우 최대 103시간의 단수로 인한 피해가 기록되었음

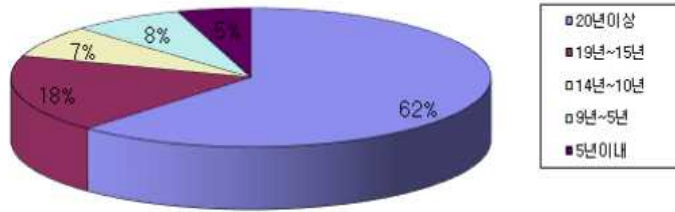


[그림 3-4] 수자원공사 30년간 수도사고 발생 특성



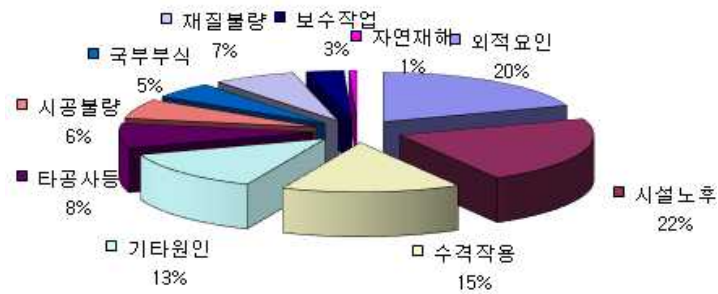
[그림 3-5] 수도사고 복구비용 추산(안)

경과년수별 사고현황



[그림 3-6] 수도시설의 경과년수별 사고발생 현황

사고유형별 현황 (1980~2009)



[그림 3-7] 상수도 사고유형별 세부현황

- 사고사례 자료화를 위해 제안한 수집 필요자료 리스트와 시각화 방법들을 적용하기 위하여, 전국의 다양한 단수의 사례를 약 2,100건 정도 수집
- 수집을 위하여 활용된 자료로는 서울시 상수도사업본부가 발간한 상수도 사고 사례집(2010), 수자원공사에서 발간한 광역상수도 사고 사례집(2015)과 수도사고 이력(1980-2010)이 있으며, 추가적으로 2008-2018년의 인터넷에 게재된 기사들을 발취

3) 단수시간 시나리오 도출을 위한 고찰

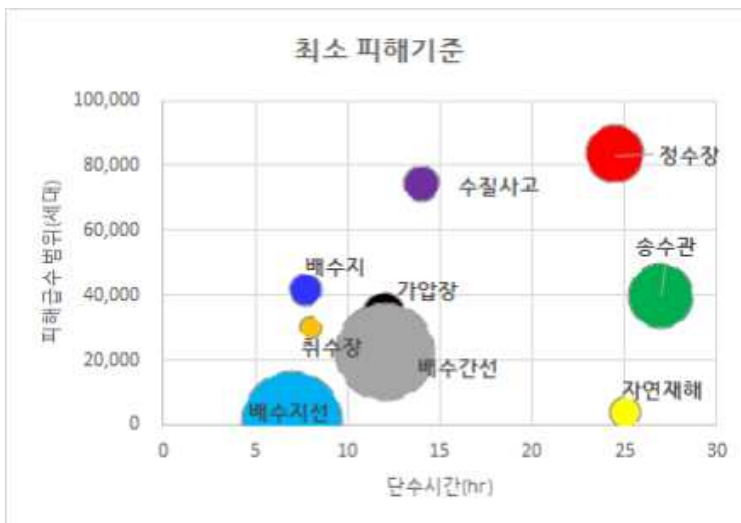
○ 사고유형별 단수기간의 파악

- 비상시 수계전환을 포함한 시나리오 수립을 위해서는 사고 원인별 단수시간 혹은 피해규모 파악이 필수적임
- 하지만, 수집대상의 양식이나 정보에 따라 해당 정보들이 누락된 사례가 대다수였으며, 이에 수집된 단수사고 사례 중, 331개의 사례만이 실질적인 분석에 활용될 수 있었음
- 수집된 단수자료들을 제시한 분류 기준에 따라 나타낸 것은 아래의 표와 같음

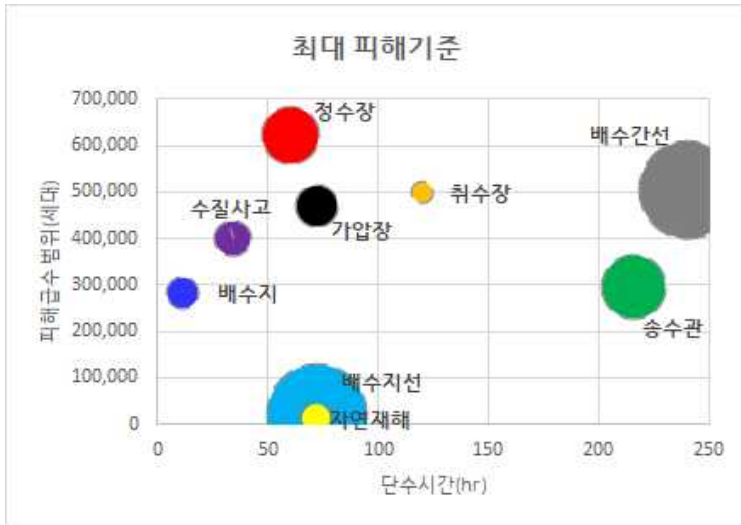
[표 3-7] 수질사고 단수시간-범위 검토

대분류	소분류	단수시간 (hr)			단수범위 (세대)			사례수 (개)	점유율 (%)
		최소	최대	평균	최소	최대	평균		
설비 사고	취수장	8	120	41	30,000	500,000	164,000	4	1.21
	정수장	1	60	24.48	20	623,000	83,474	33	9.97
	배수지	4	11.5	7.7	70	282,864	41,495	10	3.02
	가압장	2	72	12	50	471,000	34,328	18	5.44
관로 사고	송수관	3	216	27	69	295,000	39,965	42	12.69
	배수간선	1	240	12	300	505,000	22,521	98	29.61
	배수지선	1	72	7	2	20,000	1,001	104	31.42
외부 요인	자연재해	10	72	25	8	12,000	3,664	9	2.72
	수질사고	4	34	14	200	400,000	74,273	13	3.93
합 계								331	100

- 위 결과를 살펴보면 취수탑의 문제로 인한 사례는 발생하지 않았으나, 취수의 경우 수원에서 상수원에서 물을 끌어올리는 최초 단계임에 따라 사고 발생시 평균적인 단수시간 및 단수범위가 크게 나타났음
- 추동취수탑의 경우 대전광역시 대다수 지역과 함께 월평정수장 공급 불능에 따른 세종시 일원에 대한 상수원 공급이 불가능한 상황을 초래함
- 아래의 그림은 수질사고 분류별 단수시간-단수범위 간의 관계를 토대로 운영중단 상황 발생에 대한 피해를 시각화하였음
- [그림 3-8] 경우 피해원인(Cause), 피해규모(Magnitude), 단수시간(Duration) 및 해당 원인이 차지하는 점유율(Share)의 관계를 토대로 C-M-D-S Graph로 정의할 수 있음
- 사고의 단계별 사례 수를 점유율(원의 크기)로 발생의 빈도를 표현하였으며, 가장자리의 값을 중심으로 적용되는 단수시간 및 범위를 대략적으로 추정이 가능함



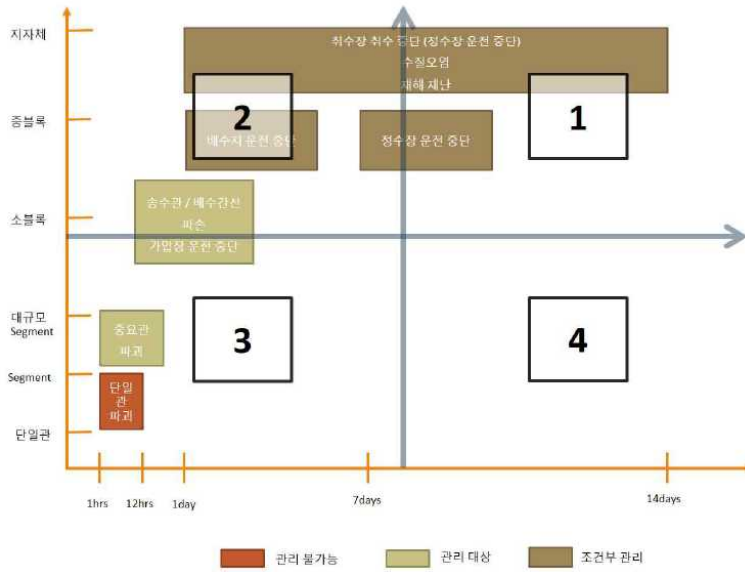
[그림 3-8] 최소피해 기준 결과



[그림 3-9] 최대피해 기준 결과



[그림 3-10] 평균피해 기준 결과



[그림 3-11] C-M-D-S Graph (옥수연, 2019)

○ 문제점

- 취수탑 단일 시설에 대한 피해이력이 존재하지 않음
- 수도관련 시설 과거 피해이력 최신자료 확보의 어려움
- 서울시 상수도시설 및 K-water 자료 신청 이후 개별 사건별 단수 기간 및 피해 세대수의 경우 개별 조사 필요(오랜 기간 작업이 필요)

○ 향후 세부 검토사항

- 현재 확보된 자료를 기반으로 취수시설 노후화에 따른 문제 발생 시 위험성 부각
- 지역여건을 취수탑 시설의 필요성 피력(대전, 세종지역 인구 포함)

4. 취수터널 건설의 편익분석

1) 편익분석 수립의 근거 및 가정

- 박선영 외(2015)와 K-water(2016)의 방법론을 차용하여 대청호 제2도수 터널 신설사업의 편익을 분석

[표 3-8] 핵심 선행연구의 편익산정 사례

구분	박선영 외(2016)	K-water(2016)
대상지역	구미시	보령시
측정대상	취수관로 손상에 따른 용수부족	가뭄에 따른 용수부족
편익측정방법	선택실험법(CE), 조건부가치측정법(CVM)	대체비용법
편익의 범위	단수 방지를 위한 지불의사금액 (생활용수, 공업용수)	용수 대체 물품 및 서비스 구입 비용, 노동투입비용(불편비용) 총생산 감소액
편익산정 결과	58.2억원	849억원
편익인정 인자	139,204세대	393,732명

- 직관적으로 취수터널 신설의 편익은 기존 취수터널이 붕괴하는 경우 발생하는 사회적·경제적 피해액으로 간주하기 쉬운데, 이 경우 필연적으로 붕괴사고 발생확률의 개념이 포함되어야 함
- 그러나 취수터널의 붕괴사고는 매우 드문 사건으로 확률을 계산하기 위한 모수 자체가 적어 객관적 수치를 제시하는 것이 불가능
- 이러한 이유로 박선영 외(2015)는 확률적 요소를 배제하기 위해 즉 공

급 신뢰도라는 개념을 제시하여 관수사고 등 평상시 단수 위험을 줄여 주는 편익을 계산했으며 K-water(2016)는 과거 실제 발생했던 가뭄 사례를 분석 대상으로 하고 있음.

- 이에 따라 본 연구에서 의미하는 편익은 두 가지 의미로 정의
- 첫째, 박선영 외(2015)의 방법론을 차용하는 분석에서는 도수터널의 붕괴사고의 피해액이 아니라 안정적으로 용수를 공급받기 위해 (또는 단수 위험을 회피하기 위해) 지불할 수 있는 비용으로 가정
- 둘째, K-water(2016)를 따른 분석에서는 단수 발생 시 용수를 대체하기 위해 소요되는 비용을 편익으로 가정

2) 진술선호법(선택실험법)을 적용한 추정

(1) 분석 방법

- 본 연구와 분석대상이 가장 유사한 박선영 외(2015)의 연구에서 선택실험법으로 추정한 광역상수도 관로복선화 사업의 경제적 편익 추정치를 활용
- 동 연구는 속성별 가치평가에 자주 활용되는 선택실험법(CE)을 통해 생활용수 단수방지 편익은 단수 빈도와 지속시간에 따른 한계(marginal) 편익을 각각 추정
- 한편, 박선영 외(2015)는 분석 대상 사업의 편익을 수도물 공급 신뢰도 개선과 단수회피에 대한 편익으로 이원화하였으나, 두 편익은 상당 부분 중첩되는 것으로 판단됨
- 이에 본 연구에서 단수방지 편익은 수도관 공사 시의 단수를 피할 수 있는 편익으로, 공급신뢰도 개선은 관로 사고 등으로 인한 평상시 단수 위험을 줄여주는 편익으로 정의
- 그런데 수도관 보수 및 교체 공사가 노후화로 인한 관로사고를 방지하

- 기 위한 목적이라는 점에 비추어볼 때 두 편익은 중첩되는 것으로 판단
 됨
- 따라서 본 연구에서는 편익 과대계상 우려를 피하기 위해 단수회피 편
 익에 대한 결과값만을 분석에 활용
 - 박선영 외(2015)가 설문조사를 진행한 시점이 2011년이라는 점을 감안
 하여 2011년, 2020년 소비자물가지수 차이를 이용하여 보정함

(2) 분석 방법

- 생활용수 : 다항로짓모형(multinomial logit model)
 - 박선영 외(2015)는 다항로짓모형을 이용하여 선택실험법에 의한 편익
 추정을 설계
 - 우선, 가격속성을 포함한 4개의 속성 조합으로 이루어진 가상의 대안 3
 개를 제시하고 응답자는 가장 선호하는 대안을 선택함.
 - 다음으로 3개의 선택대안 중 하나의 대안을 선택할 확률을 이용하여 각
 속성별 계수 및 한계 지불의사액(marginal willingness to pay)을 도
 출함.
 - 여기서 응답자 i 의 간접 효용함수(indirect utility function) u_{ij} 는
 선택대안의 속성(z_{ij})의 함수인 V_{ij} 와 오차항(e_{ij})로 구성됨.
 - 만약 응답자 i 가 j 번째 대안에 대해 $u_{ij} > u_{ik}$ 가장 선호한다고 하
 면(k 는 j 를 제외한 다른 모든 대안), 응답자는 j 번째 대안을 선택할
 것이며 이를 확률로 표시하면 $P_i(j|c_i)$ 임.
 - V_{ij} 는 가격속성(z_p)과 나머지 4개 속성($z_1 \sim z_4$)을 포함한 다음의 선
 형 결합으로 다음과 같이 표시할 수 있음

$$V_{ij} = \beta_1 Z_{1,ij} + \beta_2 Z_{2,ij} + \beta_3 Z_{3,ij} + \beta_4 Z_{4,ij} + \beta_p Z_{p,ij} \quad (1)$$
 - 위 식을 전미분하면 단수 상황이 현재 상황(status quo)에서 한 단위
 개선될 때마다의 한계 지불의사액(MWTP)을 다음과 같이 구할 수 있음

$$\begin{aligned}
 MWTP_{Z_1} &= dZ_p / dZ_1 = -\beta_1 / \beta_p & * Z_1 \sim Z_4 : \text{개별속성 벡터} \\
 MWTP_{Z_2} &= dZ_p / dZ_2 = -\beta_2 / \beta_p & * Z_p : \text{가격속성 벡터} \\
 MWTP_{Z_3} &= dZ_p / dZ_3 = -\beta_3 / \beta_p & * \beta : \text{개별속성들에 대한 계수 벡터} \\
 MWTP_{Z_4} &= dZ_p / dZ_4 = -\beta_4 / \beta_p
 \end{aligned}$$

○ 공업용수

- 관료복선화 구간 기업 중 400개 기업을 대상으로 사전에 단수 예고를 한 후 1시간, 6시간, 12시간, 24시간, 48시간 단수가 발생할 경우 사업체들의 피해금액을 설문조사하여 평균 피해금액을 추정

(3) 편익분석 기본값

○ 생활용수

- 생활용수에 대한 속성별 한계지불의사액에 대한 추정결과는 [표 3-9]와 같음
- 1년 중 제한급수 발생기간 1일 증가를 막기 위한 한계지불의사액은 44.09원으로 나타남
- 제한급수 기간 중 하루 24시간 중 수돗물이 나오지 않는 시간 1시간 증가를 막기 위한 한계지불의사액은 169.03원으로 나타남

[표 3-9] 속성별 한계지불의사액

속성	단위	한계지불의사액
1년 중 제한급수 발생기간	1일	44.09원
제한급수 기간 동안 하루 24시간 중 수돗물이 나오지 않는 시간	1시간	169.03원

자료: 박선영 외(2015)의 추정값을 소비자 물가지수 차이를 이용하여 보정. 한계지불의사액 = 박선영 외(2015)의 추정값 × 2020년 소비자물가 총지수(105.4)/2011년 소비자물가 총지수(91.1)

○ 공업용수

- 공업용수에 대한 속성별 한계지불의사액에 대한 추정결과는 [표 3-10]과 같음
- 박선영 외(2015)의 조사가 진행된 2011년과 2020년 현재 소비자물가지수 차이를 반영하여 추정값을 보정함
- 평균 공업용수 단수방지 편익은 1시간 단수 시 평균 176만원에서 48시간 단수 시 평균 32,167만원으로 나타남

[표 3-10] 공업용수 단수방지 편익

구분	평균 공업용수 단수방지 편익 (만원)
1시간 동안 예고 단수	176
6시간 동안 예고 단수	1,260
12시간 동안 예고 단수	3,787
24시간 동안 예고 단수	10,105
48시간 동안 예고 단수	32,167

자료: 박선영 외(2015)의 추정값을 소비자 물가지수 차이를 이용하여 보정. 한계지불의사액 = 박선영 외(2015)의 추정값 × 2020년 소비자물가 총지수(105.4)/2011년 소비자물가 총지수(91.1)

(4) 단수방지 편익 계산 (단수 41시간 가정)

○ 생활용수

- 통계청 「인구총조사」에 따르면 2019년 기준 취수권에 포함되는 대전광역시, 세종특별자치시, 충청남도의 가구 수는 616,363가구, 131,679가구, 15,110가구이며 세 지역 합계는 763,152가구로 나타남
- 제한급수 중 물이 나오지 않는 시간이 41시간이라는 시나리오 상황에서 가구당 월평균 수도요금 추가 지불의사액은 7,018.41원으로 계산

· 월평균 수도요금 추가 지불의사액 = (1년 중 제한급수 발생일 × 1일 단수를 막기 위한 매월 추가적인 수도요금 부담의사액) + (제한급수 기간 동안 하루 24시간 중 수도돛물이 나오지 않는 시간×1시간 단수를 막기 위한 매월 추가적인 수도요금 부담의사액)

$$= (2일 \times 44.09\text{원}) + (41\text{시간} \times 169.03\text{원}) = 7,018.41\text{원}$$

- 분석결과, 생활용수 단수방지 편익은 연간 64,273백만 원으로 나타남

· 단수 방지편익 = 월평균 수도요금 추가 지출 의사액×구미시가구수 × 12개월

$$= 7,018.41\text{원} \times 763,152\text{가구} \times 12\text{개월} = 64,273\text{백만 원}$$

○ 공업용수

- 2020년 4분기 기준 취수권에 포함되는 대전광역시, 세종특별자치시, 충청남도 계룡시의 산업·농공단지 입주업체 중 가동 중인 업체는 약 2,019개로 파악됨

[표 3-11] 대전, 세종, 계룡시 산업·농공단지 현황

지역	산업단지	가동업체수(개)
대전광역시	대전산단, 대덕산단, DTV, 대덕특구, 하소산단	1,824
세종시	소정, 월산, 전의 1,2 등 17개	161
계룡시	계룡산단, 농공단지	34
합계		2,019

자료: 한국산업단지공단, 전국산업단지현황통계(20.4분기)

- 산업단지와 농공단지는 공업용수를 제공받으나 개별입지 공장 중 공업용수를 제공받는 업체는 파악되지 않음
- 따라서 산업단지와 농공단지에 입주해 있는 업체만을 분석대상으로 함

- 생활용수와 마찬가지로 단수기간 중 물이 나오지 않는 시간이 41시간이라는 시나리오 상황을 가정
- 업체당 평균 41시간 단수방지 편익은 27,476만원으로 계산
- [표 3-10]의 업체당 48시간 예고 단수 시 편익값에 비례식을 적용하여 41시간 단수 시나리오의 편익을 계산
- 분석결과, 41시간 단수 시나리오 가정 시 공업용 단수방지 편익은 555,225백만 원으로 나타남

[표 3-12] 41시간 단수 시나리오 가정 시 공업용 단수방지 편익

구분	내용
41시간 단수 시 평균 단수방지 편익 (a)	275백만원
공업용수 취수업체 (취수지역 가동업체수) ②	2,019개
단수방지 편익 ①×②	555,225백만원

○ 전체 편익

- 대청호 제2도수터널 신설사업에 따른 총 편익은 생활용수 64,273백만원, 공업용수 555,225백만원을 합산한 619,498백만원으로 집계됨

3) 대체비용법을 적용한 추정

(1) 분석 방법

○ 대체비용법을 통해 다음과 같이 분석을 진행

- 생활용수 단수에 따른 물품서비스 구매비용, 시간비용(노동투입비용), 업

- 무·영업용수 피해영향을 추정
- 물품·서비스·구매비용 : 화장실, 세면, 목욕, 취사, 세탁 등을 위한 병물, 도시락 등 구입비 (최근 시장가격 반영)
- 노동투입비용: 일본 후생노동성과 K-water(2016)에서 사용한 단수상황에서의 노동투입량에 대한 실험값 추정치에 2021년 최저임금을 반영하여 시간당 노동투입비용을 계산
- 급수용품 구매비용: 생수통, 플라스틱 양동이, PE 대형 물통 등이 해당하나, 본 연구는 가뭄 등 장기간 단수상황이 아닌 취수관로 보수 등에 따른 급수제한이라는 짧은 단수상황을 대상으로 하므로 급수용품 구매비용은 발생하지 않는다고 가정
- 지역총생산 감소액: 일본 후생노동성의 매뉴얼 자료에서 제시하는 급수제한율별 영향률 결과와 한국은행 「산업연관표」, 통계청의 「지역 소득」 자료를 활용하여 산출

(2) 비용항목별 추정

○ 물품서비스 구매비용 추정

- 급수이용이 필요한 화장실, 세면/양치, 목욕, 취사에서 단수 회피 행동이 발생하며, 취사를 제외한 물 사용은 모두 병물로 대체한다고 가정하여 비용을 계산
- 상수도 통계에 따르면 대전광역시, 세종특별자치시, 충청남도 계룡시의 1인1일 평균 물 사용량은 188.4 리터로 나타남[표 3-13].
- K-water(2016)의 분석과 같이 급수일 하루 동안 이틀분의 물을 받아두는 등의 행동을 통해 1인1일당 40%를 비축할 수 있다고 가정하면 1인1일당 113리터의 물이 필요함
: 이를 가정용수 구분별로 기타를 제외한 40% 비축시 가정용수 사용량은 [표 3-14]와 같음.

: 구체적으로 변기 사용량이 47.1 L(25%)로 가장 많았고, 그 다음으로 싱크대(39.6 L, 21%), 세탁기(37.7 L, 20%), 목욕(30.1 L, 16%), 세면기(20.7 L, 11%) 순으로 나타남.

[표 3-13] 분석 대상지역 가정용수 1인1일당 평균사용량

지역	급수인구 (명)	1인1일 물사용량 (Lpcd)
대전광역시	1,492,844	195.2
세종특별자치시	335,194	179.9
충청남도 계룡시	41,848	190.0
평균		188.4

주 : 1인당 일평균 물사용량 = {(유수량 - 분수량) ÷ 급수인구} ÷ 365.

자료: 환경부(2020), “2019년 상수도 통계”

[표 3-14] 분석 대상지역 가정용수 1인1일당 평균사용량

구분	비율	평균사용량 (가정용/리터)	40% 비축시 추가 필요량 (Lpcd)
변기	25%	47.1	28.3
싱크대	21%	39.6	23.7
세탁기	20%	37.7	22.6
목욕	16%	30.1	18.1
세면기	11%	20.7	12.4
기타	7%	13.2	7.9
합계	100.0	188.4	113.0
기타제외	-	175.2	105.1

자료: 환경부(2020), “2019년 상수도 통계”

물환경정보시스템(http://water.nier.go.kr/front/waterEasy/knowledge02_02.jsp)

- 한국소비자원 ‘참가격’에 조회한 결과, 생수 2 L(삼다수 기준) 대전광역시 평균가격은 980원이며 이를 1 L로 환산하면 490원임
- 취사를 대체할 도시락 구입은 편의점 도시락을 기준으로 하였으며, 주요 편의점 5개사 평균가격 4,153원을 사용
 - : 편의점 도시락 평균가격은 2017년 4,118원으로 조사됨.(소비자신문, 2017.8) 이 가격에 2017~2020년 소비자 물가상승률을 반영함. 즉, $4,118\text{원} \times [2020\text{년 물가지수}(105.4) / 2017\text{년 물가지수}(104.5)]$ 로 계산
- 가정용수 용도별 구매비용 추정결과, 단수회피를 위한 1인당 1일 구입비용은 1일 24시간 단수를 가정할 경우 1인당 1일 47,151원으로 파악되며 이를 시간 단위로 환산하면 1,965원/시간임

[표 3-15] 분석 대상지역 대체물품 구입비용

구분	대체물품/서비스	단위	단가 (병물: 원/리터) (도시락: 원)	1인당 1일 구입비용
화장실	병물	28.3리터	490	13,867
세면/양치	병물	12.4리터	490	6,076
목욕	병물	30.1리터	490	14,749
취사	도시락	3	4,153	12,459
합계	-	-		47,151

○ 시간비용(노동투입비용) 추정

- 단수 상황 발생 시 평상시와 같이 물을 사용하기 위해서는 일정량의 노동투입이 필요함
- 예를 들어, 구입한 병물을 슈퍼마켓에서 구입한 물을 집까지 운반하는 시간이 소요되며 화장실 사용 시에도 병물을 변기에 투입하는 등의 노동력이 소요됨

- 이러한 노동투입비용 산출을 위해서는 단수 회피행동에 소요되는 노동 투입량에 대한 실험값이 필요하나, 국내에서는 관련 연구가 진행된 바가 없음
- 일본 후생노동성은 국토교통성 하천국에서 1991년 진행한 실험값을 기초로 절수 시 물 사용수량에 따른 가구당 노동투입비용을 추정한 바가 있음

[표 3-16] 용도별 절수에 따른 시간비용

	구분	화장실	세면/양치	목욕	취사	합계
일본의 실험값	절수 시 사용수량 (리터/1인 1일당)	13.5	5.2	35.8	20	74.5
	절수 시 증가 노동시간 (분/1가구 1일당)	12	8	7	21	48
본 연구	절수 시 물 필요 수량 (리터/1인 1일당) ①	28.3	20.7	18.1	39.6	106.7
	절수 1시간당 증가 노동시간 (분/1가구 1일당*24)	1.0	1.3	0.2	1.8	2.9
	가구당 1시간당 추가 노동투입비용 (원/시간) ②= ① × 8,720 ¹⁾ ÷ 60	145	189	29	262	421
	1인당 1시간당 노동투입비용 (원/시간) ③ = ② ÷ 2.4 ²⁾	60	79	12	109	175

1) 일본사례는 일본 국토교통성(1991)의 실험값이며 K-water(2016)에서 재인용

2) 2020년 최저임금 8,720원

3) 통계청 인구총조사 2019년 기준 가구당 평균 가구원수

- 본 연구에서는 일본사례의 실험값을 이용하여 위에서 계산한 물 필요 수량(화장실, 세면/양치, 목욕, 취사 106.7리터)에 따른 물 사용 용도별 노동투입비용을 추산함

- 74.5리터당 48분의 추가 노동시간이 필요하다는 일본의 실험값에 비례식을 적용하면 106.7 L당 하루 69분의 추가 노동이 필요하다고 볼 수 있으며 이를 시간 단위로 환산하면 1시간당 2.9분의 추가 노동시간이 필요함
- 여기에 2020년 최저임금 8,720원을 기준으로 도출된 분당 노동비용(134원)을 곱하고 가구당 평균 가구원 수(2.4명)으로 나눠주면 단수 상황 발생시 평상시와 같이 물을 사용하기 위해서는 1인당 1시간당 175원의 노동투입비용이 발생하는 것으로 계산됨.

○ 업무·영업용수 피해

- 일본 후생노동성 매뉴얼에서는 [표 3-17]와 같이 급수제한률에 따른 업종별 영향률을 추정한 바 있으며 K-water(2016)도 가뭄에 따른 피해 산정시 일본의 추정치를 이용한 바 있음
- 수에 따른 산업의 피해를 분석한 별도의 국내 문헌이 없기 때문에 본 연구에서도 일본의 업종별 영향률 추정치를 활용
- 일본과 K-water(2016)의 분석에서는 산업연관표 투입산출표의 수도분야 중간투입비율이 0.074%인 업종을 영업정지 손실이 큰 업종으로, 0.074%보다 작은 업종을 영업정지 손실이 작은 업종으로 구분함
- 또한, K-water(2016)에서와 같이 공업용수와의 중복을 고려하여 농림어업, 광업, 제조업은 분석대상에서 제외함
- 산업연관표 대분류 기준 수도업 중간투입률을 살펴보면, 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업, 숙박 및 음식점업, 금융 및 보험업, 전문, 과학 및 기술관련 서비스업, 예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업, 기타 서비스업이 수도분야 중간투입비율이 0.074% 이상인 고영향 업종으로 나타남

[표 3-17] 업종별 영향율

급수제한률 S(%)	영업정지 손실이 큰 업종		영업정지 손실이 작은 업종	
	피해단위 P(엔/m)	피해영향률 R(%)	피해단위 P(엔/m)	피해영향률 R(%)
10	P=3S ² +10S	1%	P=-0.75S ² +122.5S	4%
20		5%		7%
30		10%		10%
40		17%		12%
50		26%		14%
60		37%		15%
70		50%		16%
80		65%		16%
90		81%		16%
100		100%		15%

자료: K-water(2016), 윤성훈(2017)에서 재인용

- 산업연관표 대분류 기준 수도업 중간투입률을 살펴보면, 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업, 숙박 및 음식점업, 금융 및 보험업, 전문, 과학 및 기술관련 서비스업, 예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업, 기타 서비스업이 수도분야 중간투입비율이 0.074% 이상인 고영향 업종으로 나타남

[표 3-18] 업종별 영향율

업종	수도업 중간투입률 (%)	중간투입계 (%)	부가가치계 (%)	총투입계 (%)	영향정도
전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업	0.016	42.2	57.8	100.0	저영향
수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업	0.296	42.2	57.8	100.0	고영향
건설업	0.010	55.8	44.2	100.0	저영향
도소매업	0.023	46.2	53.8	100.0	저영향
운수업	0.032	67.0	33.0	100.0	저영향
숙박 및 음식점업	0.266	66.2	33.8	100.0	고영향
정보통신업	0.049	53.1	46.9	100.0	저영향
금융 및 보험업	0.097	42.4	57.6	100.0	고영향
부동산업	0.024	26.5	73.5	100.0	저영향
전문, 과학 및 기술관련 서비스업	0.156	48.4	51.6	100.0	고영향
사업 지원 서비스업	0.138	32.4	67.6	100.0	고영향
예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업	0.179	45.9	54.1	100.0	고영향
기타 서비스업	0.169	70.2	29.8	100.0	고영향

자료: 한국은행, 산업연관표, 2018년 기준 연장표

- 통계청 「2019년 지역소득」의 2019년 대전·세종 연간 지역내 총생산 자료를 연간 영업일수(21년 기준 252시간) 및 일 영업시간(8시간)으로 나누어 시간당 산업별 지역 내 총생산을 산출
- : 수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업, 전문, 과학 및 기술관련 서비스업은 통계청 지역소득 산업분류상 누락되어 있어 분석에서 제외

- 급수제한률 20% 가정 시 시간당 업무·영업용수 피해는 838.63백만원, 급수제한률 50% 가정 시 시간당 피해는 2,840.26백만원으로 추정

[표 3-19] 업종별 영향을 분석결과 (급수제한률 20% 가정)

업종	대전세종 연간 GRDP (백만원) ①	대전세종 시간당 GRDP (백만원) ②=①÷ (252÷8 ¹⁾)	급수제한률 20% 가정시 피해영향률	시간당 영업손실액 (백만원)
전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업(고)	425,346	211	7%	14.77
건설업(저)	3,471,039	1,722	5%	86.1
도소매업(저)	3,024,196	1,500	5%	75
운수업(저)	1,117,034	554	5%	27.7
숙박 및 음식점업(고)	1,345,081	667	7%	46.69
정보통신업(고)	1,536,901	762	7%	53.34
금융 및 보험업(고)	2,653,033	1,316	7%	92.12
부동산업(저)	4,500,613	2,232	5%	111.6
사업 지원 서비스업(고)	7,898,849	3,918	7%	274.26
예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업, 기타 서비스업(고)	1,643,099	815	7%	57.05
합 계				838.63

1) 2021년 영업일수 252시간, 하루 영업시간 8시간
자료: 통계청, 2019년 지역소득

[표 3-20] 업종별 영향을 분석결과 (급수제한율 50% 가정)

업종	대전세종 연간 GRDP (백만원) ①	대전세종 시간당 GRDP (백만원) ②=①÷ (252÷8 ¹⁾)	급수제한율 20% 가정시 피해영향률	시간당 영업손실액 (백만원)
전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업(고)	425,346	211	26%	54.86
건설업(저)	3,471,039	1,722	14%	241.08
도소매업(저)	3,024,196	1,500	14%	210
운수업(저)	1,117,034	554	14%	77.56
숙박 및 음식점업(고)	1,345,081	667	26%	173.42
정보통신업(고)	1,536,901	762	26%	198.12
금융 및 보험업(고)	2,653,033	1,316	26%	342.16
부동산업(저)	4,500,613	2,232	14%	312.48
사업 지원 서비스업(고)	7,898,849	3,918	26%	1018.68
예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업, 기타 서비스업(고)	1,643,099	815	26%	211.9
합 계				2,840.26

1) 2021년 영업일수 252시간, 하루 영업시간 8시간, 자료: 통계청, 2019년 지역소득

○ 편익분석 기본값

- 단수회피를 위한 1인당 1일 구입비용은 1일 24시간 단수를 가정할 경우 1인당 1일 47,151원으로 파악되며 이를 시간단위로 환산하면 1,965 원/1인·시간임
- 단수 시 추가 노동력 투입비용은 1인당 175원/1인·1시간으로 계산됨

- 단수상황 발생 시 업무·영업용수 피해는 급수제한율 20% 가정 시 시간 당 업무·영업용수 피해는 838.63백만원, 급수제한율 50% 가정 시 시간 당 피해는 2,840.26백만원으로 나타남

[표 3-21] 편익분석 기본값

구분	금액	
물품·서비스 구매비용(원/1인·1시간)	1,965	
노동투입비용(원/1인·1시간)	175	
업무·영업용수 피해(백만원/1시간)	급수제한 20%	838.63
	급수제한 50%	2,840.26

(3) 편익분석 결과

- 분석결과, 일반가정은 약 164,064백만원, 영업장은 급수제한율에 따라 약 34,384백만원에서 116,451백만원의 편익이 발생하는 것으로 나타남
- 영업장의 급수제한율을 50%로 가정할 경우 대청호 제2도수터널 신설사업에 따른 총 편익은 280,515백만원으로 나타남

[표 3-22] 분석결과 (일반가정, 41시간 단수발생)

구분	비용단가 (원/1인·1시간)	단수발생 시간 (시간)	인구 (명)	편익 (백만원)
물품·서비스 구매비용	1,965	41	1,869,886	150,647
노동투입비용	175	41	1,869,886	13,416
합계				164,064

[표 3-23] 분석결과 (영업장, 41시간 단수발생)

구분		단수발생 시간	금액(백만원)	
영업장	업무· 영업용수 피해	41	급수제한 20%	34,384
			급수제한 50%	116,451

4) 대청호 제2도수터널 신설사업의 편익분석 결과

- 본 분석결과를 바탕으로 제한급수가 발생하는 시나리오를 가정하여 대청호 제2도수터널 신설사업의 편익을 분석하면 다음과 같음
- 진술선호법(선택실험법)을 활용한 추정 결과
 - : 총 편익은 생활용수 64,273백만원, 공업용수 555,225백만원을 합산한 619,498백만원으로 집계됨
- 대체비용법을 활용한 추정 결과
 - : 총 편익은 일반가정 164,064백만원, 영업장 약 116,451백만원을 합산한 280,515백만원으로 집계됨

[표 3-24] 분석결과 요약

구분		진술번호법(선택실험법)	대체비용법																					
추정 기본값		- 생활용수: 속성별 한계지불의사액 <table border="1"> <thead> <tr> <th>속성</th> <th>단위</th> <th>한계지불의사액</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1년 중 제한급수 발생기간</td> <td>1일</td> <td>44.09원</td> </tr> <tr> <td>단수시간</td> <td>1시간</td> <td>169.03원</td> </tr> </tbody> </table>	속성	단위	한계지불의사액	1년 중 제한급수 발생기간	1일	44.09원	단수시간	1시간	169.03원	- 1인·1시간당 단수회피비용(생활용수) + 급수제한율별 1시간당 업무 영업용수 피해 <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>금액</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>물품·서비스 구매비용 (원/1인·1시간)</td> <td>1,965</td> </tr> <tr> <td>노동투입비용 (원/1인·1시간)</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">업무·영업용수 피해(백만원/1시간)</td> <td>급수 제한 20 %</td> <td>838.63</td> </tr> <tr> <td>급수 제한 50 %</td> <td>2,840.26</td> </tr> </tbody> </table>		구분	금액	물품·서비스 구매비용 (원/1인·1시간)	1,965	노동투입비용 (원/1인·1시간)	175	업무·영업용수 피해(백만원/1시간)	급수 제한 20 %	838.63	급수 제한 50 %	2,840.26
	속성	단위	한계지불의사액																					
1년 중 제한급수 발생기간	1일	44.09원																						
단수시간	1시간	169.03원																						
구분	금액																							
물품·서비스 구매비용 (원/1인·1시간)	1,965																							
노동투입비용 (원/1인·1시간)	175																							
업무·영업용수 피해(백만원/1시간)	급수 제한 20 %	838.63																						
	급수 제한 50 %	2,840.26																						
		- 41시간 평균 공업용수 단수방지 편익: 275백만원																						
단수 시나리오	연 1회, 41시간 (대체비용법의 업무·영업용수 피해 산정시 급수제한 50% 가정)																							
편익산정 인자		- 생활용수: 대전, 세종, 계룡 가구 수 (753,152가구) - 공업용수: 대전, 세종, 계룡 산업농공단지 가동업체(2,019개)	- 생활용수: 대전, 세종, 계룡 가구 수(1,869,886명) - 업무·영업용수: 대전·세종 시간당 지역내 총생산 및 산업연관표를 통한 피해영향률																					
추정 결과 (백만원)	생활용수	64,273	164,064																					
	공업용수 (업무·영업용수)	555,225	116,451																					
	총 편익	619,498	280,515																					

5) 소결

○ 문제점

- 대전광역시는 대부분의 지역이 추동 도수터널을 이용한 상수원수를 공급받으므로 대체 방안이 없는 문제점이 있음. 또한 세종시, 계룡시, 청주시 및 천안시까지 문제가 확대됨
- 추동 도수터널의 붕괴와 같은 문제에 대한 사례가 없어 피해를 도출하기 어려웠으며, 대부분은 유사시설의 사례는 복선화되어 있어 문제점을 해결할 수 있는 상황이었음

○ 편익분석을 위한 사례의 부족

- 현재까지 도수터널의 문제로 인한 단수의 문제점 및 편익분석을 도출한 사례가 없음
- 본 편익분석에 적용한 단수시간은 취수탑 사고를 기준으로 적용한 41hr을 기준으로 산정하였지만, 취수터널로 붕괴에 의한 단수시간을 적용할 경우 이보다 커질 가능성이 큰 것으로 판단됨

○ 관련 사례 (청주시 단수피해 배상)

- 일반가정 1인당 하루 2만원 (2011년 경북 구미 단수사고 배상 참조)
- 배상일수 3일로 피해자 1인당 최대 6만원 지급. 4인가구 기준으로 최대 24만원 배상
- 수돗물 관련하여 3일이 수인한도로, 3일 초과 시에는 보다 큰 비용이 발생하게 됨
- 상수도관 정비공사 노후관 폐쇄작업 중 급수사고나 단수사고는 국가배상신청서를 작성하여 제출하면 국가배상심의회에서 판결

○ 비용편익분석 결과 (비용의 적용)

- 대전광역시 수도정비기본계획의 취수탑 이전 및 제2도수터널 신설에 요구되는 공사비(대안1, 정체수역 외 만 중앙)는 108,400백만원으로 산정됨(미공급으로 업무, 영업에서 도출될 수 있는 피해를 적용함)

- 비용편익분석 결과 (편익의 적용)
 - 진술선호법(선택실험법): 619,498백만원
: 단수방지를 위한 생활용수 이용자의 지불의사, 단수에 따른 사업체 피해 예상액
 - 대체비용법: 280,515백만원
: 단수 상황 회피를 위한 물품·서비스 구매비용, 노동투입비용, 영업장 예상 피해액
- 비용편익분석 결과 (타당성 평가)
 - 진술선호법(선택실험법) 결과 활용
: $B/C = 619,498/108,400 = 5.71$
 - 대체비용법 결과 활용
: $B/C = 280,515/108,400 = 2.59$
- 수치화할 수 없는 불편의 존재
 - 단수시간이 길어질수록 송수관, 배수탑, 배수관 등의 사용량이 고갈되어 피해가 커질 것으로 보임
 - 편익에는 단수의 장기화에 따른 화장실의 사용, 음식의 조리 및 설거지, 빨래, 세면 등 생활의 유지에 대한 내용은 포함되어 있지 않으며, 단수가 장기화 될 경우 도시의 기능이 마비될 수 있음
 - 공장의 가동 등 영업을 중단될 경우 기업운영 및 도시의 이미지에 대한 편익을 적용할 수도 있음
- 수치화할 수 없는 불편의 존재
 - 단수시간이 길어질수록 송수관, 배수탑, 배수관 등의 사용량이 고갈되어 피해가 커질 것으로 보임
 - 편익에는 단수의 장기화에 따른 화장실의 사용, 음식의 조리 및 설거지, 빨래, 세면 등 생활의 유지에 대한 내용은 포함되어 있지 않으며, 단수가 장기화 될 경우 도시의 기능이 마비될 수 있음
 - 공장의 가동 등 영업을 중단될 경우 기업운영 및 도시의 이미지에 대한 편익을 적용할 수도 있음



[그림 3-12] 수돗물이 없다면 (서울시 상수도사업본부)

결론 및 정책제언

1절. 결론

2절. 정책제언

4장 결론 및 정책제언

1절. 결론

1) 제2도수터널 관련 현황 검토

○ 대전광역시 취수시설 현황

- 중리취수장(대청호 추동취수탑)

: 취수가능 용량 1,050,000 m³/일

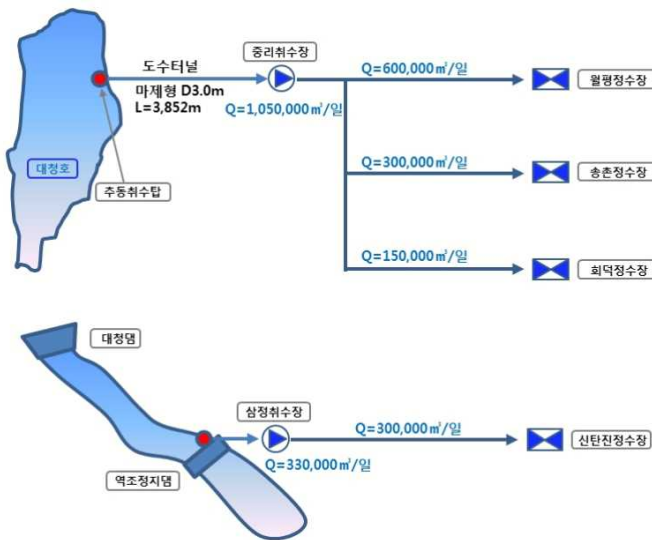
: 원수가격은 2031년까지 6.6원/톤, 2032년부터 무대로 공급

- 삼정취수장(금강 역조정지댐)

: 취수가능 용량 330,000 m³/일

: 원수가격은 47.9원/톤

- 추동 취수터널은 1980년에 준공되어 40년 이상 사용되고 있으며 대전광역시 원수공급의 82%를 담당



○ 문제점

- 별도 유지관리 점검구가 없는 도수터널은 정기적인 안전점검이 이루어지고 있지 않아 시설의 정확한 상태를 파악할 수 없음
- 도수터널이 붕괴할 경우 대전광역시에서의 수돗물 공급가능 시설은 신탄진정수장밖에 없어 대부분의 시민 및 영업장의 활동에 지장을 초래하게 됨

2) 제2 도수터널의 신설 (복선화계획) 및 비용

○ 필요성

- 대전광역시 및 인근의 세종시, 계룡시에의 안정적 수돗물 공급을 위하여 제2도수터널 신설 사업이 필요함
- 현 도수터널의 붕괴에 따른 피해가 매우 클 것으로 예상되므로, 신설의 시기는 최대한 빠르게 실시하는 것이 바람직함

○ 추진 방법

- 현 취수탑 위치의 원수 수질 및 안정적인 공급을 고려하여 취수탑의 신설과 동시에 제2 도수터널을 신설하는 것이 바람직함

○ 제2 도수터널 신설 대안의 선정

- 기존 취수시설을 대체할 수 있는 제2취수탑 및 도수터널 복선화를 계획하여 안정적인 취수가 가능하도록 대안을 선정하여 비교 검토함
 - ① 원 안 : 기수립 수도정비기본계획(변경) 반영 → 정체수역 내 위치
 - ② 대안1 : 정체수역 외 위치 → 만 중앙지점
 - ③ 대안2 : 정체수역 외 위치 → 댐 본류, 오동 앞 지점
 - ④ 대안3 : 정체수역 외 위치 → 댐 본류, 신탄진 부근

○ 대안검토 결과

- 제2도수터널 설치 후 기존 추동취수탑 및 도수터널은 시설보수(준설 및 보수보강)을 통해 재가동 하는 것으로 계획 : 제2도수터널 설치 → 운영중지 → 정밀안전진단 → 시설개량 및 보수 → 재가동

3) 현 도수터널 붕괴 시 예상되는 문제점 및 단수시간

○ 문제점, 필요성 및 목적

- 추동 도수터널은 1980년에 준공되어 노후화가 진행됨에 따라 붕괴사고 등의 우려가 있음
- 제2취수탑 및 도수터널 복선화는 대규모 예산이 투입되는 공사로 비용/편익분석(benefit-cost analysis) 등을 통해 사업의 타당성을 객관적으로 제시할 필요가 있음
- 이에 제2 도수터널 신설사업에 대한 사회적 편익을 추정하여 사업의 타당성을 제시하고자 함

○ 상수도 피해원인별 단수시간 및 피해규모 관계

- 단수사례를 관리하여 비상연계가 필수적으로 필요한 대상을 확인하는 작업을 수행
- 연구 수행을 위해서 사고이력을 분류하여 수계전환의 대상이 되는 시설물 및 원인을 파악하기 위한 분류항목을 제시하고 대표 취수시설의 중요성을 제시함
- 수집된 단수자료들을 분류기준에 따라 설비사고 중 취수장에서 발생한 단수시간은 평균 41 hr로 나타남
- 단, 도수터널과 같이 복구가 까다로운 사고에서는 평균 41 hr 이상의 단수가 있을 것으로 판단됨

대분류	소분류	단수시간 (hr)			단수범위 (세대)			사례 (개)	점유율 (%)
		최소	최대	평균	최소	최대	평균		
설비 사고	취수장	8	120	41	30,000	500,000	164,000	4	1.21
	정수장	1	60	24.48	20	623,000	83,474	33	9.97
	배수지	4	11.5	7.7	70	282,864	41,495	10	3.02
	가압장	2	72	12	50	471,000	34,328	18	5.44

4) 경제성 평가

○ 편익의 산정 (진술선호법)

- 대청호 제2도수터널 신설사업에 따른 총 편익은 생활용수 64,273백만원, 공업용수 555,225백만원을 합산한 619,498백만원으로 집계됨

구분		내용
생활용수	대전, 세종, 계룡가구 753,152가구	64,273백만원
공업용수	41시간 단수 시 평균 단수방지 편익 ①	275백만원
	공업용수 취수업체 (취수지역 가동업체수) ②	2,019개
	단수방지 편익 ①×②	555,225백만원

○ 편익의 산정 (대체비용법)

- 첫 번째로 단수에 따른 생수, 도시락 등의 구입에 따른 물품서비스 구매 비용을 적용함
- 두 번째로 수도물을 대체하기 위한 노동투입비용을 적용함
- 세 번째로는 수도물의 미공급으로 업무, 영업에서 도출될 수 있는 피해를 적용함
- 세 가지 편익을 모두 합하면 제2 도수터널의 건설로 얻을 수 있는 경제적 가치는 280,515백만원으로 나타남

구분	비용단가 (원/1인·1시간)	단수발생 시간 (시간)	인구 (명)	편익 (백만원)
1. 물품서비스 구매비용	1,965	41	1,869,886	150,647
2. 노동투입비용	175	41	1,869,886	13,416
구분	단수발생 시간		금액(백만원)	
3. 영업장 업무·영업용수 피해	41		급수제한 50%	116,451

○ 비용의 산정

- 대전광역시 수도정비기본계획의 취수탑 이전 및 제2도수터널의 신설 공사비(대안1, 정체수역 외 만 중앙)는 108,400백만원으로 산정됨

○ 비용편익분석 결과

- 진술선호법 B/C = 619,498/108,400 = 5.71
- 대체분석법 B/C = 280,515/108,400 = 2.59

○ 결과

- 제2도수터널을 설치하기 위한 경제성의 검토를 수행한 결과 B/C 5.71 및 2.59로 산정되어 타당성이 있는 것으로 나타남
- 또한 제2도수터널 설치 후 기존 도수터널 정밀안전진단을 수행하여 안정적인 복선화 운영이 요구되어 짐

2절. 정책제언

- 예비 도수관로 신설 필요성
 - 중리취수장과 삼정취수장이 분리되어 있어 대청댐과 대청댐 역조정지의 원수수질 악화 등 비상시에는 안정적인 대처가 어려움
 - 도수터널에 대해서 제2 도수터널 계획으로 도수터널 사고에 대응하는 계획을 추진하고 있지만, 삼정취수장은 예비 취수터널이 없어 도수관로 사고 등 비상시에는 세종시 2단계, 국제과학비즈니스벨트 등 국가 중요 시설에 대한 용수공급에 차질을 빚을 수 있어 관로 복선화를 위한 신설 도수관로를 계획하여야 할 것임
- 비상시 용수공급계획
 - 신탄진정수장의 용수공급 확대 계획 등 여건 변화에 따라 중리취수장 ~ 삼정취수장 예비도수관로에 대한 연계 이용방안을 수립함
 - 원수수질 악화를 대비한 중리취수장 ~ 삼정취수장 간 연계방안은 두 취수장의 관로복선화를 우선 시행할 수 있도록 고려하여 추진하여야 할 것임

구 분	중리취수장 비상시	삼정취수장
용수공급계획	<ul style="list-style-type: none"> • 추동취수탑 ~ 중리취수장 제2도수터널 완료 시 원수수질 악화시를 제외한 비상대응 가능 • 중리취수장 원수수질 악화시 삼정취수장에서 취수하여 송촌 및 월평정수장으로 최소한의 원수공급 <ul style="list-style-type: none"> - 비상 공급량: Q=250,000 m³/일 <ul style="list-style-type: none"> → 삼정취수장 증설 및 도수관로 신설 필요 → 회덕가압장 신설 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 삼정취수장 비상시 중리취수장에서 신탄진정수장 착수정으로 중요 국가 시설 공급에 대비한 최소한의 원수공급 <ul style="list-style-type: none"> - 비상 공급량: Q=250,000m³/일 <ul style="list-style-type: none"> → 회덕가압장 및 도수관로 신설 필요

참고문헌

- 대전광역시(2016), 상수도사업본부 상하수도사업소 자료
- 환경부(2020), 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr>)
- 대전광역시(2020), 대전광역시 수도정비기본계획
- 국토교통부, 2011, 제4차 국토종합계획 수정계획 2011~2020
- 환경부(2016), 수자원장기종합계획(2011~2020)
- 환경부(2016), 2025년 전국수도종합계획
- 대전광역시(2010), 2020년 대전권 광역도시계획(변경)
- 대전광역시(2013), 2030년 대전도시기본계획
- 대전광역시(2016), 세종시 2단계 용수공급 시설공사 기본 및 실시설계
- 김강수, 오형나(2011), 양분선택형 조건부 가치측정모형에 있어서 지불거부응답 자료 처리에 관한 연구, 한국개발연구원.
- 김일중, 홍종호, 유승직, 권오상(2003), 환경정책의 비용/편익분석 지침서, 환경부
- 박두호, 박윤신(2007). 가뭄시 가정용수에 대한 소비자 지불의사. 한국수자원학회 논문집, 40(11), 861-867.
- 박선영, 류문현, 유승훈(2015), 구미권 광역상수도 관로 복선화의 경제적 편익 분석, 재정정책논집, 제17권 제4호, 한국재정정책학회
- 이종연(2015), 삶의 만족도 접근법을 이용한 공공재의 가치평가, 한국개발연구원
- 윤성훈(2017), 재해예방사업의 경제적 가치 산정모형 비교연구, 서울대학교 행정대학원, 2017.
- 채수복, 강기래(2011), 조건부 가치추정법을 이용한 단수상황 회피의 경제적가

치 추정 연구, 서울도시연구, 제12권 제2호, 서울연구원
K-water(2016), 가뭄 영향평가 기법 개발: 생·공용수 공급지장비용 추정기법
한국은행, 산업연관표, 2018년 기준 연장표
통계청, 인구총조사
통계청, 지역소득



34051 대전광역시 유성구 전민로 37(문지동)
TEL. 042-530-3500 FAX. 042-530-3508
www.dsi.re.kr