

기본연구 2017-??

유량 및 수질의 왜곡요인 분석과 개선에 관한 연구

이재근

연구책임

- 이재근 / 도시기반연구실 책임연구위원

기본연구 2017-??

유량 및 수질의 왜곡요인 분석과 개선에 관한 연구

발행인 박재묵

발행일 2017년 11월

발행처 대전세종연구원

34863 대전광역시 중구 중앙로 85(신화동 287-2)

전화: 042-530-3524 팩스: 042-530-3575

홈페이지 : <http://www.dsi.re.kr>

인쇄: 〇〇〇〇〇 TEL 042-〇-〇 FAX 042-〇-〇

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시와 세종자치특별시의
정책적 입장과는 다를 수 있습니다.

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

차 례

1장 서론	1
1절 연구의 배경 및 필요성	3
1. 도시에서 하천의 중요성	3
2. 대전시의 하천환경 변화	4
2절 연구의 목적 및 방법	5
2장 연구방법의 수립	7
1절 하천유량의 감소요인 검토	9
1. 도심 유량관리의 중요성	9
2. 갑천의 유량변화 모니터링의 계획	12
2절 미흡, 미처리로 인한 하천오염의 가능성 검토	25
1. 대전시 하천수질의 중요성 및 주요지점의 수질	25
2. 하천수질 개선이 어려운 원인의 파악	33
3절 도심하천을 유지하기 위한 사례 연구	37
1. 국내 사례	37
2. 국외 사례	50
3장 도시의 유량 및 수질 왜곡을 일으키는 현장분석 및 개선방안	63

1절 하천의 물수지 모니터링	65
1. 모니터링 결과	65
2. 유량 물질수지 분석	72
2절 미흡, 미처리 지역의 분석	73
1. 미흡처리 지역	73
2. 미처리 지역	75
3절 하천 유지유량 및 수질 개선을 위한 방안	78
1. 하천 유지유량 개선	78
2. 수질 개선	81
3. 새로운 도심 물 관리 지표의 제시	87
4장 결론 및 정책제언	91
1절 결론	93
2절 정책제언	95
참고문헌	97

표 차례

[표 2-1] 갑천의 유량 수지 분석을 위한 모니터링 지점의 선정	12
[표 2-2] 모니터링 지점 답사 - 갑천 잠수교, 매노천	15
[표 2-3] 모니터링 지점 답사 - 두계천, 금곡천	16
[표 2-4] 모니터링 지점 답사 - 갑천 물안길, 구봉천	17
[표 2-5] 모니터링 지점 답사 - 진잠천, 갑천 보행교	18
[표 2-6] 모니터링 지점 답사 - 반석천1, 반석천2	20
[표 2-7] 모니터링 지점 답사 - 반석천3, 반석천4	21
[표 2-8] 모니터링 지점 답사 - 반석천5, 반석천6	22
[표 2-9] 수질 및 수생태계 하천 생활환경 기준	25
[표 2-10] 대전하수처리장 사업기간	26
[표 2-11] 생활계 배출원 개별삭감비	34
[표 2-12] 도심 물 관리의 비전과 목표	61
[표 3-1] 1차 모니터링 이전의 강수패턴	67
[표 3-2] 갑천(풍수기) 유량 모니터링 결과	67
[표 3-3] 2차 모니터링 이전의 강수패턴	68
[표 3-4] 반석천(풍수기) 유량 모니터링 결과	69
[표 3-5] 3차 모니터링 이전의 강수패턴	70
[표 3-6] 반석천(저수기) 유량 모니터링 결과	71
[표 3-7] 대전시 오수처리 인구의 분류 (2015년)	73
[표 3-8] 대전하수처리장 유출수의 NBOD 모니터링	74
[표 3-9] 구봉천 수질측정 결과	76
[표 3-10] 대전시 투수능력 증대를 위한 사업	83

[표 3-11] 비점오염저감시설에 의한 삭감부하량 산정	83
[표 3-12] 한국도로공사에서 시행하는 대청호구역 비점오염저감시설	84
[표 3-13] 대청호구역 비점오염저감시설에 의한 삭감부하량 산정	84
[표 3-14] 비점오염 관리지역의 관리대책 적용방안	86
[표 3-15] 도심의 물 관리 비전/지표의 제안	88

그림 차례

[그림 2-1] 1977년 대전천변에서 물놀이 하는 아이들	9
[그림 2-2] 갑천가동보를 열었을 때 및 닫았을 때의 모습 비교	10
[그림 2-3] 갑천가동보에 의하여 낮아진 용존산소로 수표면에 몰려든 잉어들 11	
[그림 2-4] 대전시 구역의 구분	13
[그림 2-5] 갑천 모니터링 선정지점	14
[그림 2-6] 반석천 모니터링 선정지점	19
[그림 2-7] 유속-면적법에 의한 유량측정방법	24
[그림 2-8] 갑천2 지점의 BOD 수질 변화	27
[그림 2-9] 갑천2 지점의 T-N 수질 변화	28
[그림 2-10] 갑천2 지점의 T-P 수질 변화	28
[그림 2-11] 대전천2 지점의 BOD 수질 변화	29
[그림 2-12] 대전천2 지점의 T-N 수질 변화	30
[그림 2-13] 대전천2 지점의 T-P 수질 변화	30
[그림 2-14] 유등천5 지점의 BOD 수질 변화	31
[그림 2-15] 유등천5 지점의 T-N 수질 변화	32
[그림 2-16] 유등천5 지점의 T-P 수질 변화	32
[그림 2-17] 오점에 기인한 것으로 판단되는 오염물질의 배출	35
[그림 2-18] 토지오염의 다양한 형태	36
[그림 2-19] 서구 비선마을의 ‘우리마을 도랑살리기 운동’	37
[그림 2-20] 물 자족을 위해 선택된 방법	52
[그림 2-21] 물사용을 위한 방법별 에너지사용량	55
[그림 2-22] 도시 급수자원의 특성	56
[그림 2-23] 확장된 도심 물수지	60

[그림 3-1] 갑천의 하천유지유량(풍수기)	66
[그림 3-2] 반석천의 하천유지유량(풍수기)	69
[그림 3-3] 반석천의 하천유지유량(저수기)	71
[그림 3-4] 구봉천의 미처리 오염물질 유입에 의한 하천오염	75
[그림 3-5] 대전시 주요 도로망	77

1장

서론

1. 연구의 배경 및 필요성
2. 연구의 목적 및 방법

1장 서론

1절 연구의 배경 및 필요성

1. 도시에서 하천의 중요성

- 세계에서 문명이 시작된 지역들은 공통적으로 강이 중요한 역할을 하고 있음. 황하 유역의 문명, 인더스강 유역의 문명, 나일강 유역의 이집트 문명 및 티그리스·유프라테스강 유역의 메소포타미아 문명이 이에 해당함
- 사람들의 생활에 있어서 필수적으로 물이 있어야 하며, 도시 규모가 커지기 위해서는 그에 해당하는 크기의 강이 필요했기 때문임
- 산업혁명 이후로 도시규모의 확대되는 동시에 새로운 산업에 의한 오염물질의 양이 폭발적으로 증가하여 이의 부담이 도시의 하천에 집중되는 문제가 시작되었음
- 최근에는 물을 이용하는 관개기술이 발달하여 수자원이 멀리 떨어져 있어도 도시의 생명이 가능하지만 상하수도의 효율적 관리, 다양한 생태계의 보급, 자연환경과의 조화 등을 위해서는 충분한 유량과 깨끗한 수질이 있는 하천의 구성이 필요함
- 과거 고도 성장기에 하천은 사용한 물을 배제하여 흘러보내는 역할을 하였음
 - 하천의 자정용량 한계를 벗어난 공장폐수 및 생활하수의 배출은 우리나라를 비롯한 세계 각국에서 중금속 중독 및 수인성전염병을 일으켜 거주민들의 건강을 심각하게 위협함

2. 대전시의 하천환경 변화

- 1950년대 이후, 대전역의 건설과 함께 도시가 성장한 대전시 또한 도시에서 발생하는 오염물질을 제대로 처리하지 못하고 하천으로 배출
- 이러한 하수의 관리로 인하여 원도심 하천의 수질 악화
 - 1992년에도 BOD 47.1 mg/L(대전천2, 선화동 영교), 34.5 mg/L(유등천5, 오정동 한밭대교), 14.1 mg/L(갑천2, 월평동 만년교)¹⁾에 달하는 등 하천관리에 많은 문제가 있었음
- 유량 또한 물놀이를 위해 충분한 양이었지만 도로포장, 건물의 건축 등으로 하천유지유량을 결정하는 지하수위가 낮아짐에 따라, 대부분의 하천이 건천으로 변화됨
- 1980년대 후반 아시안게임, 올림픽 등의 국제행사에 맞추어 환경기초시설의 대대적인 환경 인프라 구축이 시작됨
 - 즉, 환경을 공공의 인프라, 살기 좋은 도시에 필요한 자연자원으로 인식하게 됨
- 대전시는 이러한 하천의 문제를 해결하고자 다음과 같은 수질개선 프로젝트를 진행한 바 있음
 - 식수원이 되는 대청호 수질개선
 - 대전하수처리장의 고도처리, 총인처리
 - 대덕산단환경사업소 고도처리, 총인처리
 - 하수처리구역 증대를 위한 흑석하수처리장 설치
 - 비점오염원 배출 저감을 위한 분류식화 등의 하수관거정비사업
 - 비점오염원 배출저감을 위한 저류조 설치
 - 하수관거의 CSOs 배출 저감을 위한 빗물이용 지원사업
 - 빗물침투조, 침투포장 등 물순환선도도시 사업

1) 물환경정보시스템

2절 연구의 목적 및 방법

- 대전의 하천에 영향을 미치는 인자들을 조사하고 검토함으로써 대전시 하천환경을 개선하고자 함
 - 대전시 하천의 유량에 하천의 유량 및 시기별 차이를 현장 조사를 통하여 검토
 - 대전시 하천의 수질에 영향을 주는 다양한 인자들에 대하여 현장조사를 진행
 - 근래에 국내외에서 이루어지고 있는 사업을 검토하여 적정 하천관리방안을 제시하고자 함

1) 하천유량의 감소요인 조사

- 도심의 불투수층 증가에 따른 지하수위의 감소 및 가뭄이 도심하천을 건천화시키는 원인으로 알려지고 있음
 - 대전시 하천유량의 실측에 의한 물질수지를 검토함

2) 미흡, 미처리로 인한 하천 오염의 가능성

- 도심하천을 오염시키는 다양한 원인을 모두 조사하기는 어려움
 - 대전시 하천을 답사함으로써 오염된 하천 및 원인을 추적함

3) 도심하천을 유지하기 위한 사례 검토

- 지금까지 하천수질 개선을 위하여 하·폐수처리장의 설치, 오염물질 불법유출의 단속, 비점오염물질 배출의 저감 등이 있었음
 - 일반적인 오염물질 배출 개선방법 외에 추가적인 개선방법을 검토

6 / 갑천의 유량 및 수질의 왜곡 요인 분석과 개선에 관한 연구

2장

연구방법의 수립

1. 하천유량의 감소요인 검토
2. 미흡, 미처리로 인한 하천오염의
가능성 검토
3. 도심하천을 유지하기 위한 사례
연구

2장 연구방법의 수립

1절 하천유량의 감소요인 검토

1. 도심 유량관리의 중요성



[그림 2-1] 1977년 대전천변에서 물놀이 하는 아이들

○ 하천의 물관리에 있어서 중요한 것은 이수, 치수 및 수질

■ 이수(利水) : 물을 이용하는 것. 도심하천은 상수원으로서의 기능은 어렵지만 유량이 많을수록 경관 및 생태이용 등에 도움이 됨

2) 연합뉴스, 2009, 30여년전 대전천에서 물놀이 하는 모습

- 치수(治水) : 물을 다스리는 것. 홍수 등을 피할 수 있도록 하천수를 도심과 분리하거나, 하천 및 강으로 쉽게 유출되도록 계획함
 - 수질(水質) : 하천유량이 적을수록 수질이 악화되는 경우가 많음
- 하천유지유량이 부족해서 생기는 문제점
- 대전시는 갑천의 둔산대교(유등천 합류전) 유량이 2 CMS(172,800 m³/일)에도 미치지 못하자 라바보를 설치하게 됨
 - [그림 2-2]의 (위)에 나타난 바와 같이, 하천수를 보로 가두지 않고 자연적 흐름에 맡기게 되면 넓은 폭의 하천특성으로 인하여 건천화 되는 문제가 발생하였음



[그림 2-2] 갑천가동보를 열었을 때 (위) 및 닫았을 때 (아래)의 모습 비교

- 갑천의 건천화 문제로 갑천가동보로 2.3 m의 수심을 유지하였지만, 체류시간이 10일 이상으로 증가하면서 퇴적물에 의한 용존산소 소모로 용존산소 농도가 매우 낮아짐. [그림 2-3]에 나타나듯이 갑천에 서식하는 잉어가 산소 섭취를 위해 수표면에 주둥이를 내밀고, 산소결핍으로 죽는 상황이 발생함
- 이와 같이, 하천의 건천화는 하천 기능의 상실, 하천 생태계 교란, 하천에 대한 주민들의 혐오감 증대 등 많은 문제를 유발



[그림 2-3] 갑천가동보에 의하여 낮아진 용존산소로 수표면에 물려든 잉어들

2. 갑천의 유량변화 모니터링의 계획

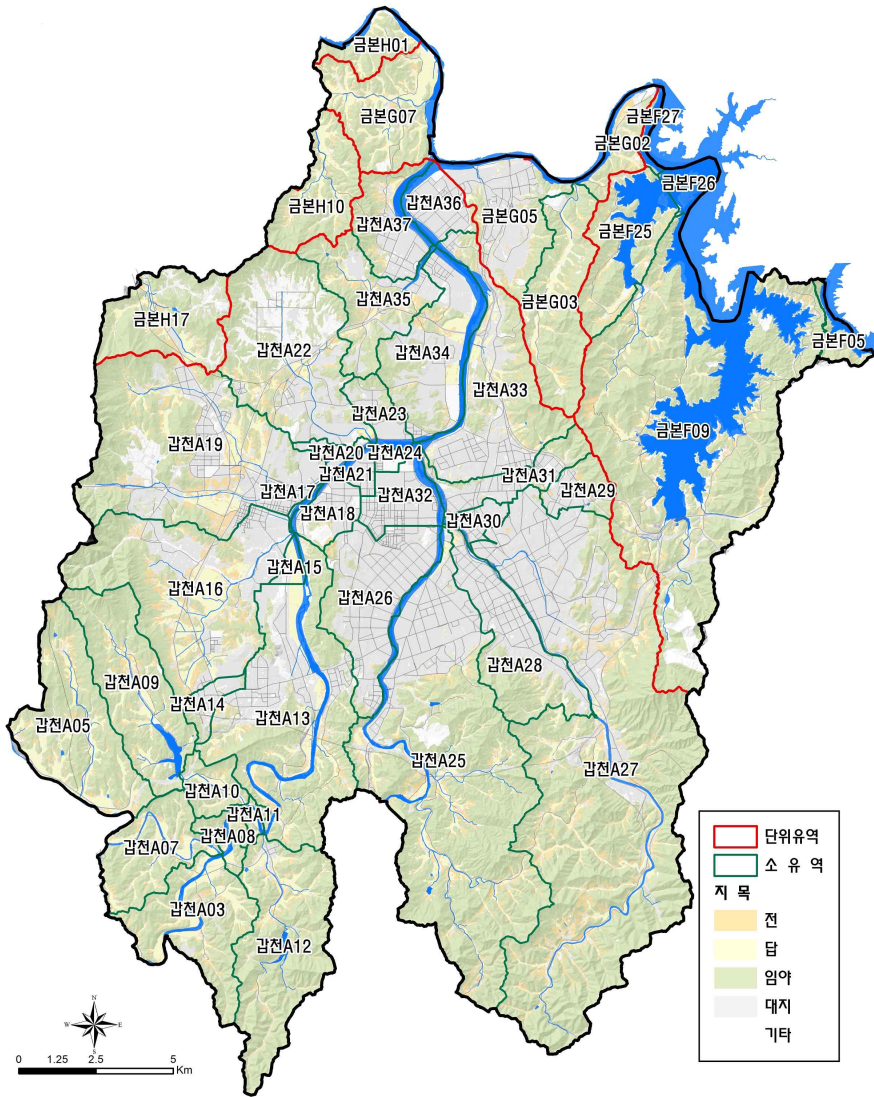
1) 갑천 모니터링 지점의 선정

- 모니터링 지점의 선정은 갑천에 유입되는 하천의 유량을 고려하여 상류와 하류의 물질수지가 일치하는지를 알아보고자 하였음. 이에 [그림 2-4]와 같이 수질오염총량관리 기본계획³⁾에서 구분한 소유역을 기본으로 하여 하천의 유출입 여부를 확인하였음
- 갑천의 자연형 하천을 확인할 수 있는 지점으로 갑천 잠수교를 선정하였으며, 도심을 통과한 후의 유량변화를 살펴보기 위하여 갑천 보행교를 선정하였음. 또한, 두 지점 사이에 유입하는 하천으로 매노천, 두계천, 금곡천, 구봉천 및 진잠천을 선정하여 물질수지를 확인할 수 있도록 하였음

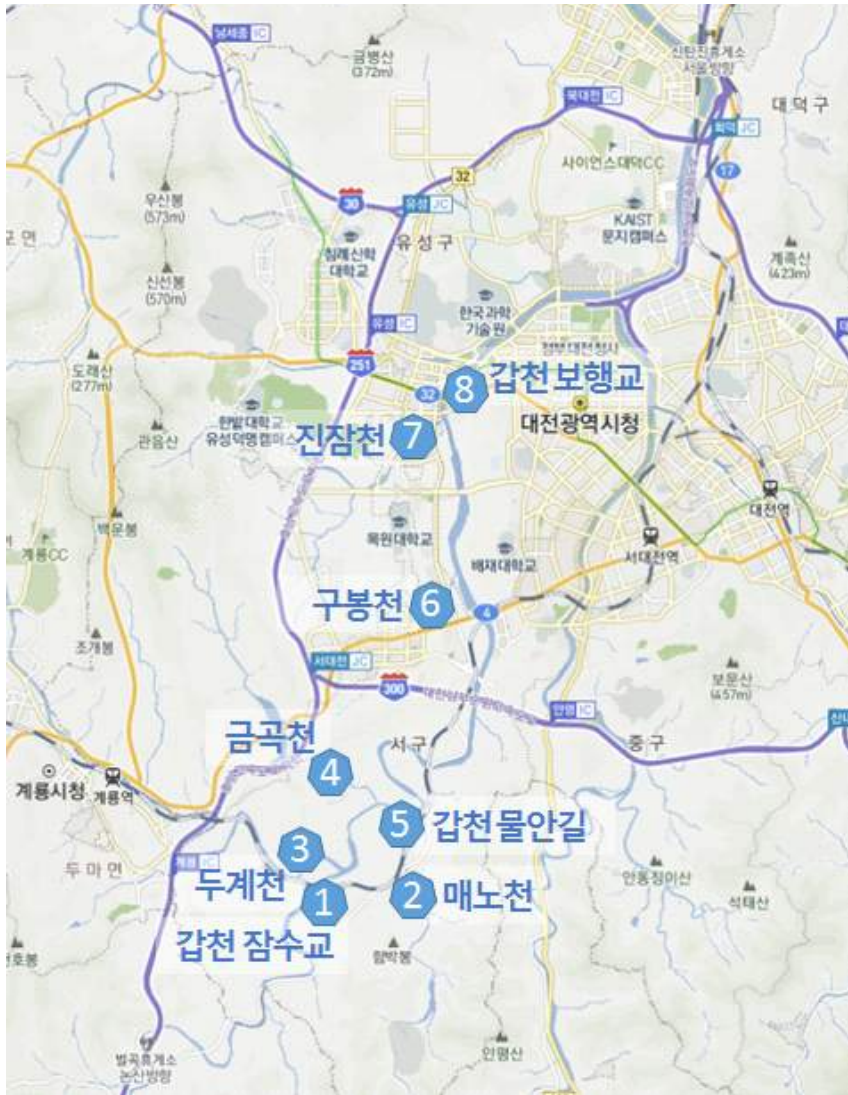
[표 2-1] 갑천의 유량 수지 분석을 위한 모니터링 지점의 선정

순번	하천명	위치	소유역	도면상 특성
1	갑천	잠수교		대전시 갑천 상류 (도심특성 없음)
2	매노천			
3	두계천	두계보		계룡하수처리장 유입
4	금곡천			
5	갑천	물안길		
6	구봉천			미처리 오수의 유출이 감지됨
7	진잠천			
8	갑천	보행교		유성천 유입 전 (도심특성 추가)

3) 대전광역시, 대전광역시 수질오염총량관리 제3단계 기본계획, 2015



[그림 2-4] 대전시 구역의 구분



[그림 2-5] 갑천 모니터링 선정지점

[표 2-2] 모니터링 지점 답사 - 갑천 잠수교, 매노천

	갑천 잠수교	매노천 매노1구소교
조사 지점	서구 용촌동 493-1번지 일원	서구 매노동 592-41번지 일원
현장 사진 1		
현장 사진 2		
현황	<ul style="list-style-type: none"> - 인근의 주거형태는 전형적인 농촌의 주거형태를 가짐. 가정오수는 단독정화 후 유출됨 - 인근에 논, 비닐하우스 등의 농경지가 다수 존재함 - 농경지에서 물을 사용함으로써 하천의 유지유량이 감소할 가능성이 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 전형적인 농촌의 주거형태를 가짐. 대부분 하수관거로 유출되지만 일부 가정오수는 단독정화 후 유출됨 - 인근에 논 등의 농경지가 다수 존재함 - 농경지에서 물을 사용함으로써 하천의 유지유량이 감소할 가능성이 있음

[표 2-3] 모니터링 지점 답사 - 두계천, 금곡천

	두계천	금곡천 금곡교
조사 지점	서구 용촌동 566번지 일원	서구 봉곡동 499-1번지 일원
현장 사진 1		
현장 사진 2		
현황	<ul style="list-style-type: none"> - 전형적인 농촌의 주거형태를 가짐. 두계천 상류로 계룡시 유역의 자연수 및 계룡하수처리장 유출수가 합류되어 유출됨. 유역면적에 비하여 많은 유량을 가짐 - 인근에 논, 비닐하우스 등의 농경지가 다수 존재함 - 농경지에서 물을 사용함으로써 하천의 유지유량이 감소할 가능성이 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 전형적인 농촌의 주거형태를 가짐. 민가가 별로 없어 생활오수의 영향이 크게 없음 - 인근에 논, 비닐하우스 등의 농경지가 다수 존재함 - 농경지에서 물을 사용함으로써 하천의 유지유량이 감소할 가능성이 있음

[표 2-4] 모니터링 지점 답사 - 갑천 물안길, 구봉천

	갑천 물안길	구봉천 하류
조사 지점	서구 흑석동 752번지 일원	서구 도안동 51번지 일원
현장 사진 1		
현장 사진 2		
현황	<ul style="list-style-type: none"> - 갑천 잠수교, 매노천, 진잠천이 합해진 위치임 - 지하수의 사용 및 유출로 하천유량의 변화가 있을 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 갑천 인근 도안지구를 관통하는 하천임 - 택지개발 등으로 단독정화지역이 없어야 하지만, 수질을 시각 및 후각으로 확인한 결과 생활오수가 포함되어 흐르는 것으로 판단됨

[표 2-5] 모니터링 지점 답사 - 진잠천, 갑천 보행교

	진잠천 고려교	갑천 보행교
조사 지점	유성구 원신흥동 490번지 일원	서구 월평동 1619번지 일원
현장 사진 1		
현장 사진 2		
현황	<ul style="list-style-type: none"> - 갑천 인근 도안지구를 관통하는 하천임 - 택지개발 등으로 단독정화지역이 없음 - 도안지구 개발에 따라 인위적인 도심하천 모습이 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 갑천 물안길, 구봉천, 진잠천 합해진 위치임 - 지하수의 사용 및 유출로 하천유량의 변화가 있을 수 있음

2) 독립 지천 모니터링 지점의 선정

- 갑천에 유입되는 지류하천 중 더 이상 분지하지 않는 하천의 모니터링을 수행하여, 하천유지유량과 지하수와의 관계를 설명하고자 함
- 반석천(금강<갑천<유성천<반석천)을 대상으로 진입이 가능한 최상류인 반석천1(유성구 지족동 752번지 일원) 지점에서 반석천2(유성구 노은동 10-2번지 일원) 지점의 외부유량의 유출입이 없는 구간을 선정하였음
- ▮ 일부 농경지 구간에서 농업용수의 유입이 있을 수 있지만, 유량 모니터링 시에는 하천 외에 다른 유량의 증가요인이 없음을 확인하고 시행



[그림 2-6] 반석천 모니터링 선정지점





[표 2-6] 모니터링 지점 답사 - 반석천1, 반석천2

	반석천1	반석천2
조사 지점	유성구 반석동 521-4번지 일원	유성구 반석동 707번지 일원
현장 사진 1		
현장 사진 2		
현황	<ul style="list-style-type: none"> - 반석천에 접근 가능한 최상류 - 상류에는 접근이 불가능한 국가 보안시설에 포함된 약 1400 m의 구간이 있음 - 노은4도시개발구역이 시작하는 지점임 	<ul style="list-style-type: none"> - 반석천 시점에서 2020 m의 지점 - 좌안으로 단독주택 및 상가가 있으나, 하수관로가 연결되어 있어 미처리 오수의 유입은 없음 - 아파트단지 및 도로의 불투수층으로 일부 도시특성을 보임

[표 2-7] 모니터링 지점 답사 - 반석천3, 반석천4

	반석천3	반석천4
조사 지점	유성구 반석동 607-1번지 일원	유성구 북유성대로 228 일원
현장 사진 1		
현장 사진 2		
현황	<ul style="list-style-type: none"> - 반석천 시점에서 2660 m의 지점 - 좌안으로 단독주택 및 상가가 있으나, 하수관로가 연결되어 있어 미처리 오수의 유입은 없음 - 아파트단지 및 도로의 불투수층으로 일부 도시특성을 보임 	<ul style="list-style-type: none"> - 반석천 시점에서 3500 m의 지점 - 좌안 및 우안으로 아파트단지 및 상가가 입지하며, 하수관로가 연결되어 있어 미처리 오수의 유입은 없음 - 아파트단지 및 도로의 불투수층으로 도시특성을 보임

[표 2-8] 모니터링 지점 답사 - 반석천5, 반석천6

	반석천5	반석천6
조사 지점	유성구 죽동 636번지 일원	유성구노은동 5-1 일원
현장 사진 1		
현장 사진 2		
현황	<ul style="list-style-type: none"> - 반석천 시점에서 4370 m의 지점 - 좌안 및 우안으로 아파트단지 및 상가가 입지하며, 하수관로가 연결되어 있어 미처리 오수의 유입은 없음 - 아파트단지 및 도로의 불투수층으로 도시특성을 보임 	<ul style="list-style-type: none"> - 반석천 시점에서 5870 m의 지점 - 좌안 및 우안에 농업용지 및 나대지가 입지하고 있으며, 하수관로가 연결되어 있어 미처리 오수의 유입은 없음 - 불투수층이 거의 없어 농촌 특성을 보임

3) 모니터링 방법의 수립

○ 수질오염공정시험기준⁴⁾

- 유량 모니터링을 위해 환경부의 수질오염공정시험기준의 시험기준을 준용함(하천유량-유속 면적법)

○ 하천유량-유속 면적법 : (ES 04140.3b)

■ 적용범위

- ① 균일한 유속분포를 확보하기 위한 충분한 길이(약 100 m 이상)의 직선 하도(河道)의 확보가 가능하고 횡단면상의 수심이 균일한 지점
- ② 모든 유량 규모에서 하나의 하도로 형성되는 지점
- ③ 가능하면 하상이 안정되어있고, 식생의 성장이 없는 지점
- ④ 유속계나 부자가 어디에서나 유효하게 잠길 수 있을 정도의 충분한 수심이 확보되는 지점
- ⑤ 합류나 분류가 없는 지점
- ⑥ 교량 등 구조물 근처에서 측정할 경우 교량의 상류지점
- ⑦ 대규모 하천을 제외하고 가능하면 도섭으로 측정할 수 있는 지점
- ⑧ 선정된 유량측정 지점에서 말뚝을 박아 동일 단면에서 유량측정을 수행할 수 있는 지점

■ 측정장비 : 유속계, 초음파 유속계, 도섭봉

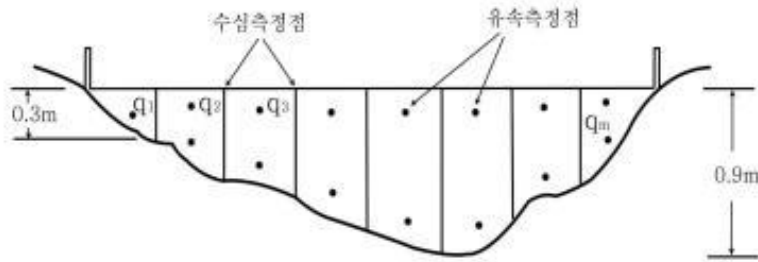
- 결과보고 : 유황(流況)이 일정하고 하상의 상태가 고른 지점을 선정하여 물이 흐르는 방향과 직각이 되도록 하천의 양끝을 로프로 고정하고 등 간격으로 측정 점을 정함. [그림 2-7]과 같이 통수단면을 여러 개로 소 구간 단면으로 나누어 각 소 구간 마다 수심 및 유속계로 1~2개의 점 유속을 측정하고 소 구간 단면의 평균유속 및 단면적을 구함. 이 평균 유속에 소 구간 단면적을 곱하여 소 구간 유량(q_m)으로 함. 소구간 단면에 있어서 평균유속 V_m 은 수심

4) 환경부, 2014, 수질오염공정시험기준

0.4 m를 기준으로 다음과 같이 구함⁵⁾⁶⁾⁷⁾

- ① 수심이 0.4 m 미만일 때 $V_m = V_{0.6}$
- ② 수심이 0.4 m 이상일 때 $V_m = (V_{0.2} + V_{0.8}) \times 1/2$

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_m$$



[그림 2-7] 유속-면적법에 의한 유량측정방법

5) Fetter, C. W., 2001, "Applied Hydrogeology" 4th ed., New Jersey : Prentice Hall, p 598
 6) KS F 2010, 2003, "개수로의 유량측정방법(유속-면적법)" 한국표준협회
 7) US EPA/620/R-94/004F, 1998, Environmental monitoring and assessment program-surface waters, EPA

2절 미흡, 미처리로 인한 하천오염의 가능성 검토

1. 대전시 하천수질의 중요성 및 주요지점의 수질

1) 하천수질의 중요성

○ 하천수질이 악화된 주요 원인

- 하천수질은 인구와 밀접한 연관성이 있음. 1960년에 대전시 인구는 229,393인이었으나, 이후 급격한 인구증가로 2016년 1,535,191인으로 증가
- 하수를 적절하게 처리하지 못하였던 1980년대에는 도심에서 발생하는 오수를 정화조에서 처리하여 하천에 방류하였고, 그 당시의 하천 BOD는 30~70 mg/L 정도로 매우 높은 상태를 보였음

[표 2-9] 수질 및 수생태계 하천 생활환경 기준

등급		상태	pH	BOD	COD	TOC	SS	DO	T-P
매우 좋음	Ia		6.5~8.5	1 이하	2 이하	2 이하	25 이하	7.5 이상	0.02 이하
좋음	Ib		6.5~8.5	2 이하	4 이하	3 이하	25 이하	5.0 이상	0.04 이하
약간 좋음	II		6.5~8.5	3 이하	5 이하	4 이하	25 이하	5.0 이상	0.1 이하
보통	III		6.5~8.5	5 이하	7 이하	5 이하	25 이하	5.0 이상	0.2 이하
약간 나쁨	IV		6.0~8.5	8 이하	9 이하	6 이하	100 이하	2.0 이상	0.3 이하
나쁨	V		6.0~8.5	10 이하	11 이하	8 이하	떠있지 않을것	2.0 이상	0.5 이하
매우 나쁨	VI			10 초과	11 초과	8 초과		2.0 미만	0.5 초과

■ [표 2-9]의 기준으로 대전시에서 하수처리장이 완전히 가동하기 전 까지 대전시 주요하천의 생활환경기준⁸⁾은 매우나쁨(VI등급)에도 훨씬 초과하는 오염도를 나타내었음


■ 수질의 악화가 진행되던 시기에는 수질악화로 인하여 생태계의 다양성이 많이 부족하였음

○ 도심하천의 수질악화에 따른 대응

■ 대전하수처리장은 [표 2-10]과 같이 1~4단계에 걸쳐 900천 m³/일 용량의 시설을 갖추어 대전시 전역의 하수를 처리할 수 있게 됨

■ 더불어 1,2,3처리장의 질소처리를 위한 고도개선사업 및 총인처리시설의 진행으로 갑천 최하류인 갑천A 지점의 수질은 2016년 기준으로 BOD 3.1 mg/L, T-P 0.119 mg/L로 목표수질인 5.2 및 0.200 mg/L를 여유 있게 준수하고 있음

[표 2-10] 대전하수처리장 사업기간

순번	사업명	기간	대전하수처리장 전경
1	1처리장 건설	1983.08.~ 1989.12.	
2	2처리장 건설	1990.12.~ 1994.07.	
3	3처리장 건설	1993.12.~ 1997.12.	
4	4처리장 건설	1996.06.~ 2000.12.	
5	1,2,3처리장 고도개선	2005.03. ~2008.05.	
6	총인처리시설 건설	2010.12.~ 2012.10.	

8) 대통령령, 환경정책기본법 시행령, [별표] 환경기준(제2조 관련)

2) 주요지점의 수질

○ 수질악화에 따른 모니터링의 시작

■ 대전시는 1992년부터 대전광역시 보건환경연구원에서 대전천, 유등천, 갑천 등의 수질을 측정하게 됨

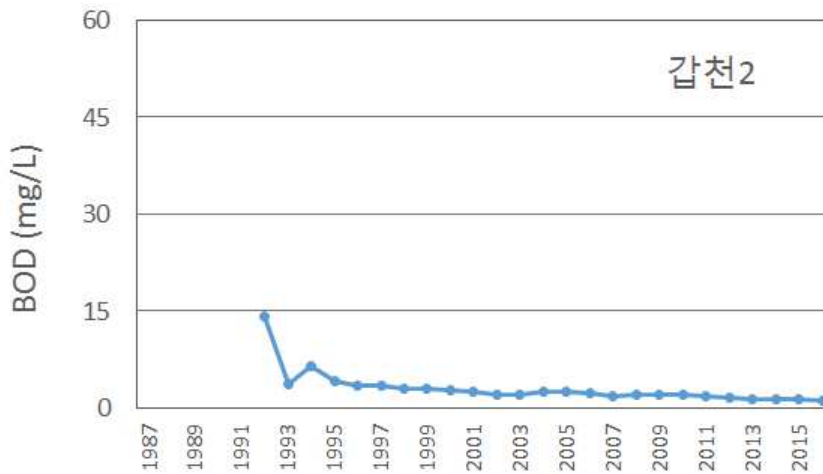
○ 갑천2 지점 (서구 월평동 만년교)

■ 갑천2지점은 도안신도시와 같은 신도심과 가수원동, 정림동과 같은 도심 및 기성동과 같은 농촌지역의 생활오염을 반영함

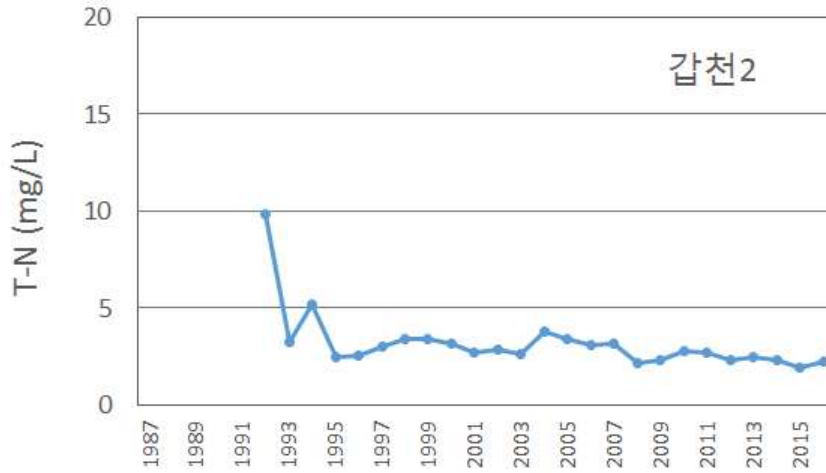
■ 도솔산, 식장산, 구봉산, 장태산 등의 산림의 영향도 받음

■ 1990년대 초반에도 미처리 오수의 영향을 받았을 것으로 추정되지만, 오염배출을 일으키는 인구가 많지 않아 대전천 및 유등천에 비하여 수질이 크게 나쁘지 않음

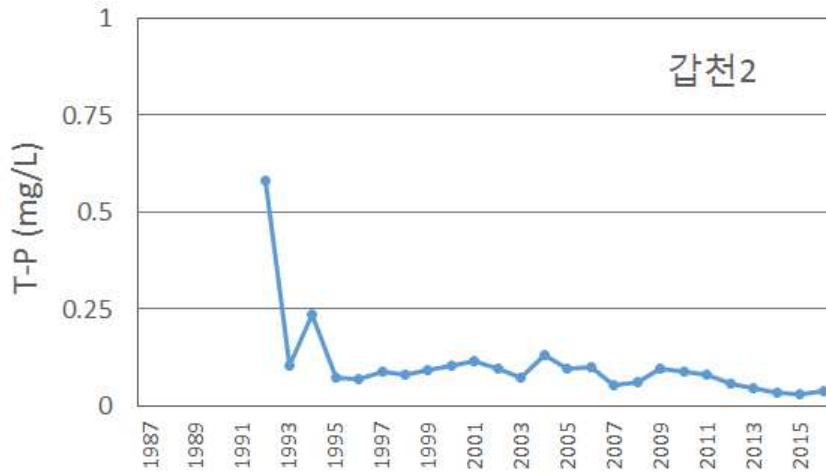
■ 1992년에는 BOD를 기준으로 하여 최하등급인 VI등급을 나타냈지만, 1993~1997년에는 III~V등급을, 2011년 이후에는 좋음이라 할 수 있는 Ib등급으로 개선되었음



[그림 2-8] 갑천2 지점의 BOD 수질 변화



[그림 2-9] 갑천2 지점의 T-N 수질 변화



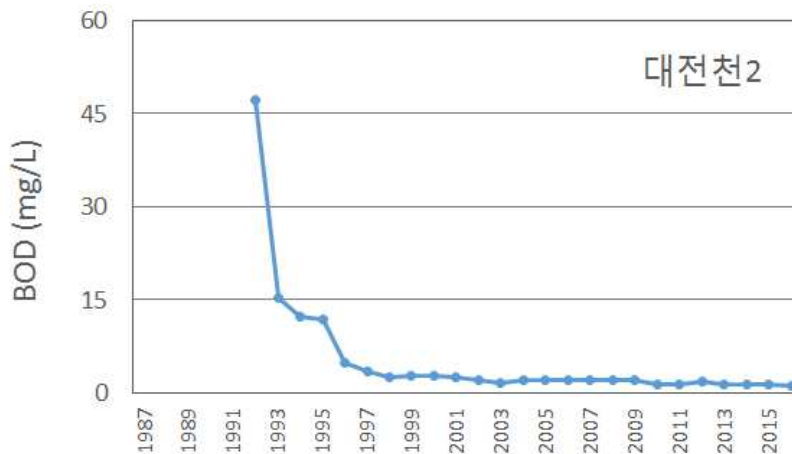
[그림 2-10] 갑천2 지점의 T-P 수질 변화

○ 현재 수질의 평가

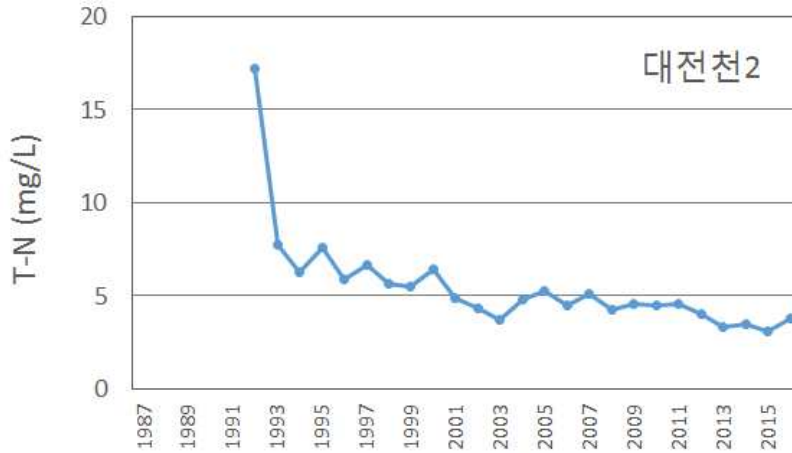
- 2016년을 기준으로 BOD 1.1 mg/L, T-P 0.038 mg/L로 Ib등급에 해당하는데, T-P의 관리가 더 요구됨

○ 대전천2 지점 (중구 선화동 영교)

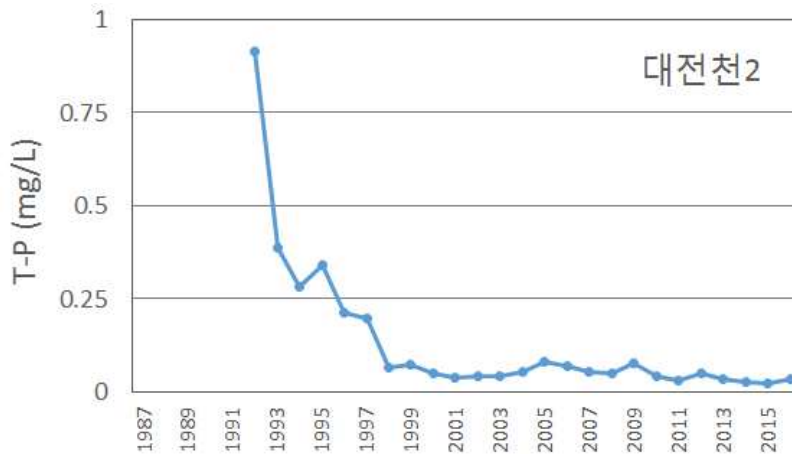
- 대전천2지점은 대전역을 중심으로 형성되어 있는 원도심의 생활오염을 반영함
- 보문산, 황학산, 식장산, 만인산 등의 산림의 영향도 받음
- 1990년대 초중반까지 하천이 미흡 처리된 오수의 영향을 많이 받았다고 볼 수 있음. 갑천은 물론이고 유등천과 비교하여도 대전시 하천의 수질 중에 가장 수질이 좋지 않았던 곳으로 볼 수 있음
- 대전하수처리장 3처리장이 완공되는 1997년을 기준으로 비교적 양호한 수질로 돌아왔다고 볼 수 있음. 3처리장까지 완공하였을 때 60만 m³/일을 처리가 가능해 하수관거에 연결된 대전시 발생오수 대부분을 대전하수처리장으로 이송하여 처리할 수 있었음
- 1992년에는 BOD 47.1 mg/L로 시작하여 1995년까지 최하등급인 VI 등급을 나타냈으며, 1996~1997년에는 III~V등급을, 1998년 이후에는 보통의 II등급, 그리고 2010년 이후에 Ib등급으로 개선되었음



[그림 2-11] 대전천2 지점의 BOD 수질 변화



[그림 2-12] 대전천2 지점의 T-N 수질 변화



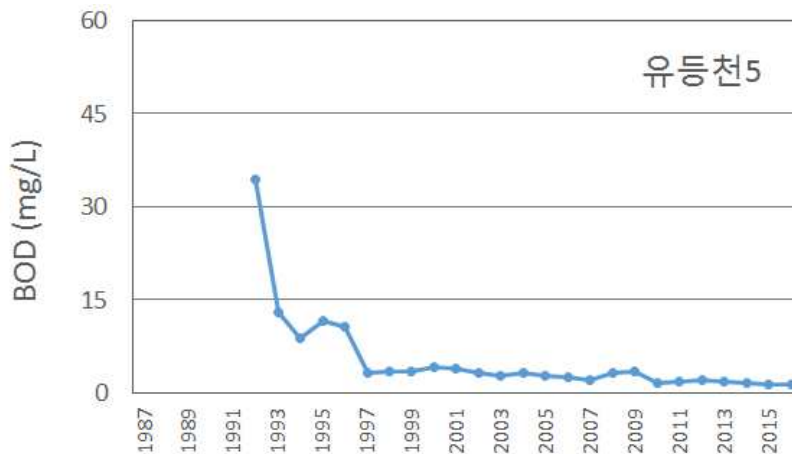
[그림 2-13] 대전천2 지점의 T-P 수질 변화

○ 현재 수질의 평가

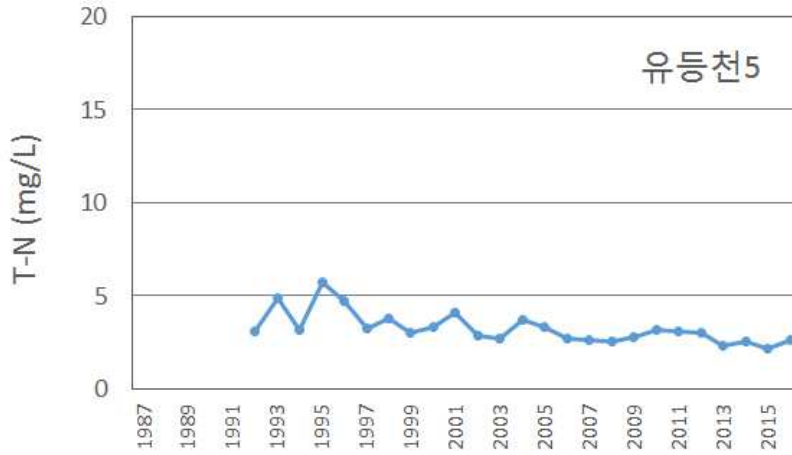
- 2016년을 기준으로 BOD 1.2 mg/L, T-P 0.033 mg/L로 Ib등급에 해당하며, 갑천과 비슷한 수질로 향상되었음

○ 유등천5 지점 (대덕구 오정동 한밭대교)

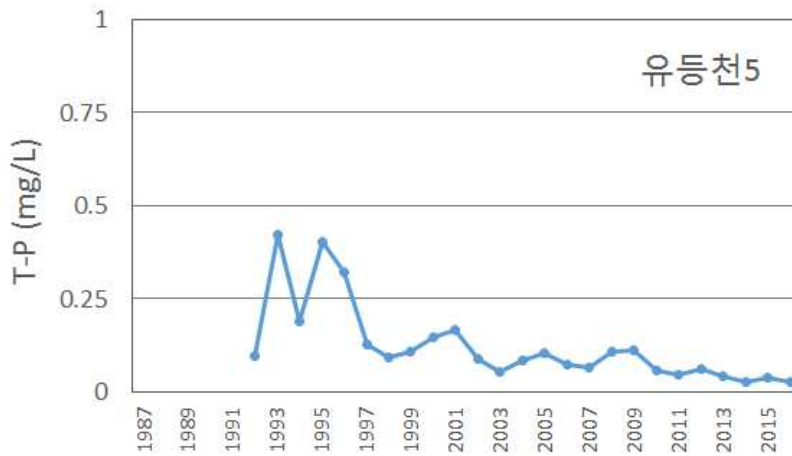
- 유등천5지점은 대전천 전체를 포함하며, 행정기관이 밀집한 둔산동, 월평동 등의 신도심 그리고 서대전역을 중심으로 한 원도심의 생활 오염을 반영함
- 대전천에 포함된 산림과 더불어 만성산, 안산, 천비산 영향도 받음
- 대전천과 마찬가지로 1990년대 초중반까지 미흡 처리된 오수의 영향을 많이 받았으며, 수질은 갑천과 대전천의 중간을 나타냄
- 대전하수처리장 3처리장이 완공된 1997년 이후에 비교적 양호한 수질을 보임. 3처리장까지 완공하였을 때 60만 m³/일을 처리가 가능해 하수관거에 연결된 대전시 발생오수 대부분을 대전하수처리장으로 이송하여 처리할 수 있었음
- 1992년에는 BOD 34.51 mg/L로 시작하여 1996년까지 최하등급인 VI 등급을 주로 나타냈음. 1997~2009년에는 주로 III등급을, 그리고 2010년 이후에는 대부분 Ib등급으로 개선되었음



[그림 2-14] 유등천5 지점의 BOD 수질 변화



[그림 2-15] 유등천5 지점의 T-N 수질 변화



[그림 2-16] 유등천5 지점의 T-P 수질 변화

○ 현재 수질의 평가

- 2016년 기준으로 BOD 1.5 mg/L, T-P 0.029 mg/L로 Ib등급에 해당하며, 타 지점에 비하여 BOD는 높고 T-P는 양호한 것으로 나타남

2. 하천수질 개선이 어려운 원인의 파악

1) 강수에 따라 변화하는 수질

- 강수가 없는 시기에는 하천과 같은 공공유역에 유입되는 오염물질은 하수처리장과 같은 점배출시설에 한정되어 있음
- 하지만 강수는 배출원을 다양화시켜 지역특성에 따라 하천수질을 악화시키는 원인이 되기도 함

○ 대지 등 토지에서의 배출

- 빗물은 도심을 비롯한 모든 곳에서 지표면에 축적되어 있던 미세물질을 하천으로 이동시킴
- 지표면 미세물질은 사람들이 이용하는 지목의 종류 및 빈도에 따라 오염물질의 양이 변화하게 됨
- 특히, 사람들이 많이 이용하는 대지, 도로 등이 집중되어 있는 도심에는 지표면에 오염물질이 많이 축적되어 있어 강수시에 하천에의 수질에 많은 영향을 주게 됨

○ CSOs 배출

- 하수관거정비가 오래전에 구축된 도심에서 많이 배출되는 오염의 형태임. 빗물이 미처리 오수가 이송되는 합류식관거에 유입되어 관거용량을 초과하는 오염물질이 하천에 미처리 배출됨
- 강수량에 따라 하천에 미치는 수질적인 영향이 달라지지만 전체적인 오염배출부하량을 고려하면 도심지역의 대표적인 오염물질이라 볼 수 있음
- 또한, 배출 CSOs가 낮은 유속 혹은 보와 같은 구조물에 막혀 흘러가지 못하고 침전된 경우 시간이 흐르면서 혐기분해, 오염물질 용출, 수질악화 등의 문제를 야기할 수 있음

2) 삭감이 어려운 오염원의 존재

○ 오염물질 제거효율이 낮은 정화조, 오수처리

- 하수미처리구역 오수처리 및 정화조는 삭감비나 매우 낮아 공공구역에 수질적 영향을 줄 수 있음
- 수질오염 총량관리 기술지침에서는 오수처리 및 정화조에서의 삭감부하비를 정리하였는데, 특히 정화조에서의 삭감은 거의 이루어지지 않는 것으로 나타남⁹⁾
- 이러한 오수처리 및 정화조시설은 시 외곽에 산재하여 분포하고 있으며, SS 및 BOD가 일부 제거되어 배출됨. 이러한 시설이 뭉쳐 한 지점에 집중되어 배출될 경우 수질환경에 영향을 주게 됨

[표 2-11] 생활계 배출원 개별삭감비

항목	하수처리구역		하수미처리구역		
	합류식	분류식	오수처리	정화조	수거식
개별삭감유량비	0	0	0	0	0
개별삭감부하비	BOD	0.25	0	식c	식a
	T-N	0	0	식d	식b
	T-P	0	0	식e	0

$$\text{식a} : \text{BOD 삭감부하비} = 1 - \frac{\text{환경기초시설 BOD 직접이송부하비}}{\text{환경기초시설 총인 직접이송부하비}}$$

$$\text{식b} : \text{총질소 삭감부하비} = 1 - \frac{\text{환경기초시설 총질소 직접이송부하비}}{\text{환경기초시설 총인 직접이송부하비}}$$

$$\text{식c} : \text{BOD삭감부하비} = 1 - 0.45 \times \text{BOD직접이송부하비} - \text{BOD방류부하비}$$

$$\text{식d} : \text{T-N삭감부하비} = 1 - 0.8 \times \text{T-N직접이송부하비} - \text{T-N방류부하비}$$

$$\text{식e} : \text{T-P삭감부하비} = 1 - 0.8 \times \text{T-P직접이송부하비} - \text{T-P방류부하비}$$

9) 국립환경과학원, 수질오염총량관리기술지침, 2014

○ 오염물질 제어가 힘든 가축분뇨

- 대전시는 506 가구에서 83,785두의 가축(한우 4,065두, 말 25두, 돼지 1,035두, 양/사슴 91두, 개 3,921두 가금 75,178두)가 사육되고 있으며, 도시의 특성으로 대부분 소규모임¹⁰⁾
- 가축분뇨 대부분은 자원화 되어 농지로 유출됨. 하지만 자원화 과정이 충분하지 않고 농지에 과다살포 되는 경우가 많아 일부 하천에서는 가축분뇨에 의한 오염 문제가 나타날 수 있음
- 다만, 대전시는 전체 오염배출부하량 대비 축산계 배출부하량의 비율이 적은 편임

○ 오점 등으로 인한 불명오염원의 존재

- 분류식지역의 가정 및 공장에서 배출되는 오폐수는 분류식관거를 통해 환경기초시설로 이송되어야 하지만, 위치/원인을 알 수 없는 오점으로 미처리된 오폐수가 배출되기도 함
- 특히, 오염배출이 지하의 암거에서 주로 발생해 확인이 어려움



[그림 2-17] 오점에 기인한 것으로 판단되는 오염물질의 배출

10) 국립환경과학원, 전국오염원조사, 2015

○ 강수시에 발생하는 비점오염물질

- 합류식 하수관거에서의 우수토실 유출(CSOs)은 우수토실 후단에 대형 저류조 등을 설치하여 오염물질 배출을 줄일 수 있지만, 아직까지는 비용대비 효율면에서 점오염물질 삭감보다 낮은 편임
- 토지계 오염물질의 유출은 주로 사람들이 많이 활동하는 도심에서 발생이 됨. 하지만 강수시에 다양한 형태로 공공유역에 오염이 배출되는 특성 때문에 토지계 오염물질을 취합하여 처리하기는 거의 불가능한 상황임



[그림 2-18] 토지오염의 다양한 형태

○ 탄동천 등 하수관거가 미흡한 하천유역

- 대덕연구단지를 흐르는 하천이지만 하수처리구역에 포함되지 않은 지역이 많았으며, 하수관거용량이 적어 오수를 이송하기에 한계가 있음
- 탄동천 최말단부에 보가 있어, 긴 체류시간으로 인한 수질악화(특히 DO)가 발생
- 탄동천 외에도 하천을 정밀조사하는 경우, 하천별로 다양한 비정상적인 오염배출이 나타남

3절 도심하천을 유지하기 위한 사례 연구

1. 국내 사례

1) 대전시 서구 도량살리기

○ 주요성과

- ‘2014년 우리마을 도량살리기 우수사례 발표회’ : 환경부, 장관상
- ‘2013년 물환경대상’ : 환경부-SBS 공동주관, SBS 물환경대상
- ‘2012년 도량살리기 운동 전국 콘테스트’ : 환경부, 우수상



[그림 2-19] 서구 비선마을의 ‘우리마을 도량살리기 운동’

○ 주요내용

- 민·관·기업이 참여하는 거버넌스 체계를 구축하고, 도량 정화활동, 수질정화 식물 식재, 퇴적물 제거 작업, 수생식물 서식용 여울 조성 등을 지속적으로 추진

- 주민 휴식공간 마련, 협약업체 생산제품 보조라벨과 옥외전광판 활용 등 주민 홍보활동도 전개
- 특히 마을별 간이하수처리 생태습지와 생태수로 조성 등 수질개선 사업과 접목해 하수처리 외 지역의 생활하수 오염원 줄이기 등에 성과 거둠

2) 물 재이용을 통한 도시하천 물순환개선 정책방안¹¹⁾

○ 목적 및 필요성

- 도심하천은 도시공간과 같이 생태공원 및 휴식공간으로 활용되어야 하는 녹색자원이지만 수질악화, 유량부족으로 서식환경 악화되고 환경기능 상실됨
- 도시하천 복원사업의 현황조사로 물순환이 회복될 수 있도록 하천 유지유량 확보방안을 검토함

○ 연구방법

- 도시하천 복개, 건천화 현황 및 관리를 위한 법령 검토
- 도시하천 물순환개선 사업 현황조사 및 분석, 다양한 방법에서의 도시하천 유지유량 확보방안 검토, 도시하천 물순환개선 계획수립 방향 및 절차를 제시

○ 도시하천 건천화 현황

- 건천의 정의 : “조금만 가물어도 이내 물이 마르는 내”, “하천의 바닥이 보일 정도로 거의 메말라 있는 현상”, “자연적인 기능을 유지할 수 없도록 악화되고 있거나 이미 악화된 하천으로서, 수문학적 기준으로 갈수량 기준 이하이거나 하천기능을 유지하기 위해

11) 안종호, 2011, 물 재이용을 통한 도시하천 물순환개선 정책방안, 한국환경정책평가연구원

필요한 수량을 지속적으로 제공할 수 없는 하천”, “총 유량변동에서 자연환경 변화에 따른 변동을 구분하여 인위적 요인에 의한 유량감소”

○ 도시하천 유지유량 확보 방안

- 기존수원의 활용 : 인근 대하천의 풍부한 유량을 활용하는 것으로 국가하천 인근의 도시지역에서 사용함. 청계천, 성북천, 불광천 등에서 한강의 용수를 취수하여 유지용수로 활용하고 있음. 다만 인근 하천에서 용수를 취수할 경우 하천법에 의거 물관리에 지장이 없는 범위 안에서 기득수리권자에게 피해가 가지 않도록 해야 함
- 지하철 유출지하수 이용 : 지하철 굴착시 지하수의 유출이 불가피하여 시공 후에도 지하수가 유출됨. 잘 활용한다면 건전화 방지 및 하천유지유량 확보의 좋은 예가 될 수 있음. 일본은 별도의 수질을 만족할 경우 공공구역으로 직접 또는 전처리 후 하천으로 방류할 수 있음
- 하수처리수 재활용 : 도심발생 하수처리수는 수량적으로 안정된 수자원으로 생활용수, 공업용수, 농업용수 등 여러 가지 용도로 재이용할 수 있음. 물 부족이 매우 심각한 이집트, 이란, 요르단, 모로코, 아랍에미리트 등의 국가들은 80% 이상의 매우 높은 재이용률을 보임. 하수처리수 재이용 용도는 대부분 농업용수로 많이 사용하고 있음. 일본, 미국 플로리다, 호주는 도시 관개용수로의 활용이 높음
- 빗물 저류시설 활용 : 빗물저류 및 침투 관리시설을 설치하여 하천 유지용수를 활용할 수 있음. 빗물을 저류하는 것은 일차적으로 홍수예방에 목적이 있으며, 우수를 발생지역에서부터 저류하거나 침투시켜 우수유출량을 감소시킴으로써 하천과 하수도의 처리부담을 줄이고 하천으로의 지속적인 유지용수공급이 가능토록 함

○ 결과 및 결론

- 하류지역에서 주로 유출되는 하수처리수를 재처리한 후 물순환이

왜곡된 지역에 분산 방류해야 함

- 지표수 중심의 취수 및 유역을 벗어난 물 이동을 최소화 하고, 하수처리수 재이용 및 빗물을 연계한 건전한 물순환체계를 구축
- 정책방안으로 정부주도의 정책으로 주관부처 단일화를 통해 도시하천 복원사업을 체계적으로 추진하고 재정의 지원을 요구함

3) 도시하천의 유지유량 확보에 따른 수질개선 효과¹²⁾

○ 목적 및 필요성

- 광주천의 본류구간을 대상으로 QUAL2E로 수질을 예측함으로써 광주천의 유지유량확보에 따른 광주천의 수질개선 효과를 분석
- 1960~80년대의 도시유역 인구밀도 증가는 자정능력 이상의 오염부하량 유입으로 도시하천 수질을 악화시켰고, 하수도 보급율의 증대로, 지류는 도시하천의 건천화를 주도하게 되었음
- 1980년대 이후, 녹색 숲과 푸른 물에 대한 시민들의 요구가 증대함으로써 하천관리가 주요 과제로 부각됨

○ 연구대상

- 광주천 : 광주광역시 남동쪽. 북동쪽으로 광주광역시 북구, 동구. 남서쪽으로 광주광역시 서구, 전라남도 화순군이 위치. 지식천 유역에 접하며 영산강 본류 좌안으로 유입되는 제 1지류(지방1급)하천
- 유로연장 22.8 km, 유역면적 106.47 km²으로 영산강 전 유역의 3%를 점유하고 평균 폭은 4.3 km, 유역의 형상계수는 0.179 정도

○ 분석방법

- 광주천의 중심사천 합류 후를 Head water로 유덕수위관측소 1 km

12) 박성천, 이진원, 최계운, 오종민, 김용구, 2003, 도시하천의 유지유량확보에 따른 수질개선 효과, 대한토목학회

상류로 7개 Reach와 35개의 Element로 7 km 구간에 QUAL2E 모형을 적용. 모형의 반응계수 보정과 검증을 실시하고, 보정과 검증에 의한 QUAL2E 모형에 반응계수를 적용하여 유지유량의 변화에 따른 수질개선효과 분석함

○ 결과 및 결론

- 유지유량 확보에 대한 수질개선 효과 분석을 위하여 유입유량을 0.5, 0.8, 1.0 CMS, 유입수질 BOD농도를 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 mg/L로 가정하여 각 구간의 수질을 예측
- Element로 차이는 있으나, 유입유량의 증가에 약 0.1~0.8 mg/L의 BOD 농도저감 효과가 있었음.
- 광주천은 BOD 3.0 mg/L 수질과 1.0 CMS 이상의 유지유량이 확보 되면 모든 구간에서 2등급의 수질을 만족할 수 있을 것으로 판단됨

4) 우수유출수의 도시하천 유지유량 활용을 위한 지하저류시스템 개발¹³⁾

○ 목적 및 필요성

- 우수유출수를 도시하천 유지유량으로 활용하기 위한 지하저류시스템을 개발하는 것을 목적으로 함. 실험으로 유출수의 오염저감 효과 및 저류효과를 분석하였으며, 일정유량 방류장치로 지하저류시스템 내 우수를 도시하천의 유지유량으로 활용하는 적용성을 검토
- 1990년대 이후 도시화에 따른 인구 집중으로 유출특성이 크게 변화하였으며 특히 지표면이 불투수층화 됨으로써 지하 침투량의 감소와 지중 유출의 감소를 유발하여 도시하천이 건천화 됨. 이러한 건

13) 최계운, 최종영, 김석봉, 2004, 우수유출수의 도시하천 유지유량 활용을 위한 지하저류시스템 개발, 한국수자원학회, 37(2)

천화는 하천 기능의 상실, 하천 생태계 교란, 하천에 대한 주민들의 혐오감 증대 등 많은 문제를 유발

- 유출저감 시설은 홍수 시에 직접 유출을 억제하기 위해 사용이 시작됨. 최근에는 도심하천의 건천화가 지하수위 저감, 도시 내 불투수층 증가로 인한 침투능력 부족 등에 기인하므로, 침투시설을 통한 지하침투를 증가시켜 지하수위를 조절하고 갈수 시에는 용출수 등을 통한 유지유량을 원활하게 공급하는 방안이 도출되고 있음

○ 연구대상 및 방법

- 강우시에 여과조로 유입되는 유출수 및 여과조를 통과한 여과수 농도를 측정하여 지하저류시설의 여과효율을 산정함
- 3회 실제 강우사상에 있어 유출수의 특성을 비교하여 지하저류시설의 효과를 분석
- 조사항목은 생화학적산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유 물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P), 수온 및 수소이온농도(pH)

○ 결과 및 결론

- 우수의 도심하천 유지유량 적용을 위하여 우수유출수를 오염부하가 큰 초기유출량과 오염부하가 감소된 활용 가능량으로 구분하고, 활용가능량을 정화하여 도심하천 유지유량으로 활용하기 위한 지하저류시스템을 개발함
- 유출수는 초기 SS 농도에 비하여 초기유출분리조로 분리된 이후의 SS농도는 평균 37.5%가 감소함. 초기유출분리조를 활용은 오염부하량을 크게 감소시킬 수 있음을 확인하게 됨
- 강우강도를 20, 30, 40, 50 mm/hr로 조절하여 인공강우 실험을 수행한 결과, 지하저류시스템에 통과 유출수의 SS농도 저감은 평균 68%로 비점오염의 저감에 큰 효과가 있었음
- 총 3회의 실제 강우 실험에서는 BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P의 평균 여과율은 각각 30%, 42%, 68%, 39%, 26%로 나타남. 이에, 실험과

같은 토양 조건에서 지하저류시설을 통해 저류되는 저류수는 도시 하천 유지유량으로 사용 가능할 것으로 판단됨

5) 대전 3대하천 상류 저수지 운영에 의한 유지유량 증대효과¹⁴⁾

○ 목적 및 필요성

- 대전시 3대하천 유역에 저수지를 계획·운영함으로써 나타나는 하천 유량의 증대효과를 분석하여 근본적인 유량확보 계획 자료로 제시
- 대전시 도심하천은 평갈수기에 유량이 매우 적은데, 대전 3대하천의 생태하천조성에 있어서 유량확보가 가장 어려운 문제로 나타남. 유량확보 없이는 이러한 사업의 취지가 크게 훼손될 우려가 있음
- 대전시가 3대하천 살리기의 일환으로 2008년에 한밭대교 상류지역에 취수여울을 설치로 대전천 상류에 하천유지유량을 공급하고 있으나, 저류된 물의 체류시간이 길어짐에 따라 오염이 심해지는 현상이 나타나 근본적인 유지유량을 확보하는 대책이 요구되고 있음

○ 연구방법

- 한국건설기술연구원의 HyGIS로 하천망을 구성하고, 갑천의 유등천 합류전, 유등천, 대전천, 회덕 지점에서 목표유량을 설정하고, 현재 상태와 신규저수지 운영 상태의 유황을 분석하여 유지유량 증대효과를 분석함

○ 결과 및 결론

- 수심과 유량과의 관계 : 수심이 20 cm인 경우 5.665 CMS, 10 cm인 경우 1.788 CMS, 5 cm인 경우 0.563 CMS
- 일본 하천유지유량의 2/3 수준인 0.4 mm/d/km²를 유지하려면 유량

14) 노재경, 2009, 대전 3대 하천 상류 저수지 운영에 의한 유지유량 증대 효과, 한국수자원학회

은 0.405 CMS가 필요함. 이때 수심은 4.1 cm, 유속은 0.137 m/s임

- 일관된 목표설정으로 대전천과 같은 방법으로 계산하면 갑천은 1.468 CMS, 유등천은 1.310 CMS, 회덕지점은 2.791 CMS이 필요함
- 수치고도자료를 이용하여 신규 저수지의 위치를 구하였고, 소유역별로 논의 회귀수를 반영하고 저수지의 방류량과 지류유입량을 더해 하천 유량을 분석한 결과 회덕 지점에서 하천유지유량을 1.396 CMS에서 2.928 CMS로 증대시킬 수 있었음. 또한 대전천, 유등천, 갑천의 3대 하천 모든 지점에서 목표유량을 달성하는 것으로 나타남
- 신규 조성해야 하는 저수지는 4개소로 총 유효저수량은 31,440,000 m³, 이로부터 총 74,090,000 m³/년의 유량을 공급하는 것으로 분석됨. 유지유량/유효저수량 비율은 2.35로 효과가 매우 크게 나타남
- 계획된 수원(저수지)는 토지이용을 고려하여 수몰을 최소로 하고 효과를 최대로 하는 위치와 규모를 제시하였으며, 대전의 3대하천은 하천유지유량의 확보가 가능한 자연 여건을 가지고 있는 것으로 확인할 수 있었음

6) 도심 하천 복원에 따른 기온 저감 효과 연구¹⁵⁾

○ 목적 및 필요성

- 자연형 하천복원 사업에 따라 도심 토지피복 변화가 기상조건에 미치는 영향을 살펴봄. 또한, 수질개선과 더불어 열섬현상과 같은 대기질의 개선에 효과가 있음을 파악하고자 함

○ 연구방법

15) 도우곤, 조정구, 유평종, 2010, 도심 하천 복원에 따른 기온 저감 효과 연구, 보건환경연구원보 20(1)

- 도심지역 복개하천 7개소를 연구대상으로 하였으며, 이들 지점은 수질조사 결과 열악한 수질을 보이는 곳으로, 다른 하천에 비하여 하천복원의 필요성이 높은 곳임
- 이러한 복개하천 7개소에 대하여 환경부 토지 피복도를 활용하여 하천복원 전·후의 토지피복 상태를 구성하였으며, 기상모델인 MM5의 상세 기상장 계산결과와 함께 CALMET에 입력하였음

○ 결과 및 결론

- MM5모델 결과는 전반적인 변화를 잘 반영하는 것으로 나타남. 특히 낮 시간대에 도심내부가 주변보다 온도가 높아지는 도심열섬 효과를 확인할 수 있었음
- 시가화 된 비교적 넓은 지역에 최대 약 2°C 정도의 기온감소 효과가 나타남. 기온은 고도 500 m까지 급격히 감소하여 750 m에서는 약 4°C 까지 감소함. 영향지역은 하천이 위치한 지역으로 좁음
- 자연형 하천복원은 도심내부 아스팔트 등의 면적을 감소시켜 도시 기온감소 효과로 도시열섬을 완화시키는 효과가 있음이 나타남
- 더불어 도심열섬의 완화는 도시내부로 오염물질 축적되는 현상등 대기질 개선에 도움이 될 것으로 예상됨

7) 도심하천 복원에 따른 하천유지유량 산정 연구¹⁶⁾

○ 목적 및 필요성

- 지금까지 연구된 하천유지유량 산정방법을 검토함
- 도심하천을 자연형 하천으로 복원시 생태계, 하천경관, 친수활동에 필요한 하천유지유량을 효율적으로 산정할 수 있는 방법을 도출

16) 장연구, 최계운, 2005, 도심하천 복원에 따른 하천유지유량 산정 연구, 한국환경기술학회지, 제6권, 제1호, pp.56-61

○ 연구방법

■ 도심하천의 하천유지유량 산정방법

- ▶ 생태계 : 생태계를 고려한 하천유지유량 산정방법은 수생어류의 보호에 중점을 둬. 이를 위해 대표어종을 선정하고 어류서식에 필요한 수리조건과 하천현황을 고려하게 됨
- ▶ 친수환경 : 하천에서의 위락기능을 의미함. 물놀이, 낚시 등과 같이 물과 접촉하며 이루어지는 놀이기능을 요구함
- ▶ 하천경관 : 하천경관을 고려한 하천유지유량의 산정 방법. 산정지점에서의 경관에 대한 설문조사를 사용하는 등 주관적인 느낌에 의존하여 정량적인 값을 도출하기 어려움. 수심과 유속 및 하폭과 수면폭의 비가 가장 큰 요인으로 작용함
- ▶ 생태계, 친수활동, 하천경관의 종합 : 위의 3가지 하천의 환경기능을 중심으로 산정기준을 결정함

■ 기준지점의 설정 : 인천광역시 승기천

○ 결과 및 결론

- 하천유지유량 산정 방법은 정량적인 값을 구할 수 있는 생태계 보전, 친수환경, 하천경관의 항목은 종합적으로 고려할 수 있음. 갈수량과 수질보전 항목은 대상하천에 따라 독립적인 산정을 적용함
- 도심하천은 심각한 건천화로 하천유지유량 산정에 유지유량 공급방안이 마련되어야 함. 자연형하천으로 복원시 하도계획 및 복원공법에 의한 하상경사와 조도계수의 조절을 통해 최소의 하천유지유량을 산정할 수 있게 하는 것이 경제적임

8) 지속가능한 물 관리를 위한 환경유량의 기능정립에 관한 연구¹⁷⁾

○ 목적 및 필요성

- 환경생태의 중요성에 대한 인식과 환경에 대한 안정된 생활을 바라는 국민들의 요구가 증가하고 있음
- 우리나라와 외국에서의 환경유량의 개념을 검토하여 지금의 우리 상황에 맞는 환경유량을 정의하고 기능을 제시

○ 연구방법

- 환경유량 개념에 대한 국내실태, 국외실태를 조사하여 정리
- 환경유량 산정, 환경유량 배분 및 공급, 환경유량 관리에 대한 국내외 실태 정리
- 환경유량 기능정립과 발전방안을 환경유량에 관한 국내 인식 등을 통하여 정립

○ 결과 및 결론

- 우리나라 소하천은 갈수기에 대부분이 건천화되므로, 이러한 특성도 환경유량의 산정과 공급에 반영하여야 함
- 환경유량의 기능으로 생태계의 건전성 유지, 하천 자체의 기능(오염물질 희석, 여가활동의 장) 유지, 생태가치 유지 및 제고기능을 고려하여야 함
- 또한 경제활동 유지를 위한 공급, 위락, 심미성 등을 위한 동일가치 또는 그 이상에서 고려해야 함
- 환경유량의 발전을 위해서는 환경유량 산정, 환경유량 공급, 환경유량 관리가 복합적으로 이루어져야 함

17) 최지용, 2007, 지속가능한 물 관리를 위한 환경유량의 기능정립에 관한 연구, 환경정책연구, 제6권, 제2호

9) 하천 유지유량 증대에 따른 수질개선 효과 분석¹⁸⁾

○ 목적 및 필요성

- 영산강은 줄곧 수질이 나쁜 상황으로, 영산강사업으로 구축된 보로 인하여 조류발생 증가 등의 수질관리에 어려움이 있음
- 영산강 상류를 대상으로 다양한 수질개선 시나리오로 구축된 수질 모델링에 적용하여 수계의 수질개선을 위한 방안을 마련

○ 연구방법

- 영산강의 상류에 입지한 농업용댐의 여유수량을 하천유지유량으로 하는 시나리오를 구성하고 적합한 수질모델링을 이용하여, 시나리오에 대한 수질을 예측함
- 수질을 예측하기 위하여 수질오염총량제에서 수계의 수질예측에 사용된 QUALKO를 사용함

○ 결과 및 결론

- 저수지 증고로 여유유량 1.19 CMS, 환경용수 전용댐 건설로 0.96 CMS, 섬진강 여유유량을 도수하여 1.16. CMS, 황룡취수장 취수중단에 따른 0.29 CMS를 하천유지용수로 확보
- 여러 가지 하천유지용수 확보방안에 대하여 6가지 시나리오를 구성함. 모든 하천유지용수 확보방안이 종합된 시나리오6에서 BOD 10.7~50.4%, T-P 13.4~63.2%의 수질개선 효과가 나타남

18) 고광규, 김석규, 2015, 하천유지유량 증대에 따른 수질개선 효과 분석, 한국환경기술학회지, 제16권, 제1호, pp.18.25

10) 인공습지에 의한 농공단지 폐수처리¹⁹⁾

○ 목적 및 필요성

- 농어촌의 점오염원으로 배출되는 오폐수에 농공단지 폐수가 증가하면서 농촌환경 보전측면에서 소홀히 할 수 없는 인자가 됨
- 농공단지 특성과 폐수의 성분에 맞는 폐수처리의 여러 가지 대체방법에 관한 연구가 필요함
- 습지처리란 갈대 등의 수생식물이 자라고, 지표면에 가까운 곳에 지표수가 존재하는 토지의 자정작용을 이용하여 오폐수를 처리하는 방법으로서, 자연습지를 이용하는 방법과 인공습지를 이용하는 방법이 있음

○ 연구방법

- 저장탱크에 저류했다가 저류조 하단에 설치되어 있는 밸브를 이용하여 처리조로 유입
- 60 cm의 깊이로 모래를 채운 후 저수식물을 심고 폐수원액을 유입시키면 식물의 뿌리와 모래로 구성된 처리층을 수평으로 통과하며 이 과정에서 흡착, 여과, 생분해 등의 처리가 이루어짐

○ 결과 및 결론

- BOD의 경우 평균처리율은 약 56%정도였으며, 유입농도가 높아지면서 방류수 기준치인 30 mg/L를 넘어서는 경우도 발생함
- 공장에서 방출되는 폐수 중에 난분해성 오염물질이 함유되어 처리율이 낮을 수 있음
- 인공습지방법을 폐수처리에 적용하기 위해서는 전처리 또는 부하량 조절 등의 추가적인 보완이 필요할 것으로 보임
- 온도가 떨어지는 10월 이후의 보온대책에 대한 문제점도 보완 필요

19) 윤춘경, 임용호, 김형중, 인공습지에 의한 농공단지 폐수처리, 1997, 제16권 제2호, pp.170-174

2. 국외 사례

1) 일본 도쿄도(東京都) 청류부활사업²⁰⁾

○ 노비도메(野火止) 용수

- 쾌적한 수공간의 창출을 위해 타마가와(玉川) 상수, 노비도메(野火止) 용수 등의 청류부활 사업을 시작함. 타마가와(多摩川) 상류 물재생센터의 처리수가 활용되고 있음
- 청류부활사업은 타마가와(多摩川) 상류 물재생센터의 “표준활성슬러지법 + 급속모래여과 + 오존산화” 고도처리수를 송수하는 것으로, 계획최대송수량은 43,200 m³/일로 함
- 물재생센터의 계획 처리 면적은 9,899 ha, 시설용량은 273,000 m³/일이고, 처리수는 타마가와(多摩川)로 방류됨. 이 중 24,800 m³/일은 질소·인을 제거하기 위한 A2O 고도처리공법을 도입하여 생물학적 처리 후 PAC를 첨가하고 모래여과+오존소독을 거침. 이러한 과정을 거친 9,800 m³/일은 노비도메(野火止) 용수에, 15,000 m³/일은 타마가와(玉川)상수에 공급하고 있음
- 타마가와(玉川) 상수 방류지점으로부터 약 10 km 유하된 후 지류인 센카와(千川)의 하천유지용수로 공급함. 방류수는 조례의 수질 기준을 충분히 만족하여 물고기가 살 수 있을 정도임
- 노비도메(野火止) 용수의 유지관리는 하천을 따라 위치한 각 시가 맡으며, 타마가와(玉川) 상수는 수도권에서 담당하고 있으며 민간단체도 매월 청소를 하고 있음

○ 센다이(仙台)시 하천청류부활사업

- 센다이시 5개 하수처리시설 중 2개소는 표준활성슬러지법이며,

20) 김갑수, 이승민, 고도재생수를 이용한 서울시 지천의 유지수량 확보방안, 서울연구원, 2009

1993년에 완공된 히로세가와 정화센터, 1998년부터 가동되고 있는 조우기(定義) 정화센터, 그리고 2003년부터 가동되고 있는 카미야가리 정화센터 등 3개소에서 고도처리를 하고 있음

- 히로세가와 정화센터의 방류처인 히로세가와는 센다이시 중심부를 흐르는 하천으로 자연환경을 보호하고 다음 세대에 넘겨주기 위해서 1974년에 히로세가와와의 청류를 지키는 조례를 제정. 조례에 BOD와 1:1 대응을 나타내는 TOC를 제시함. 제정 당시 히로세가와 수질이 TOC 3 mg/L 이하였음. 이는 은어의 서식에 필요한 수질로 “은어가 서식할 수 있는 수질조건” 이 수질관리기준으로 되어 정해진 것임
- 수질기준은 하천유량에 따라 방류수 농도를 규제하는 “총량규제방식” 을 채택함. 하천유량이 적고 정화센터 배출수량이 많을수록 방류수의 농도규제가 엄격하도록 함
- 히로세가와 정화센터의 방류수기준은 BOD 3 mg/L이며, 이를 만족하기 위해 혐기/호기법과 급속모래여과시설 공정을 도입하였음. 소독의 경우 건설비 및 유지관리비가 높지만 생물상에 영향이 적고 색도, COD 제거효과가 뛰어나며 냄새가 나지 않은 오존소독을 채택함

2) Increasing urban water self-sufficiency: New era, new challenges²¹⁾

○ 목적 및 필요성

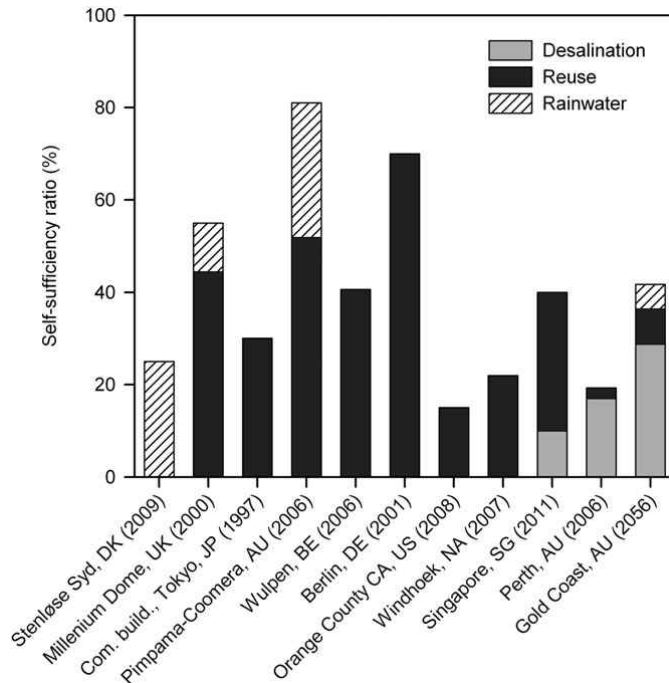
- 도시의 물 공급은 전통적으로 도시 외 지역으로부터의 제한된 담수 자원을 기반으로 함

21) Martin Rygaard, Philip J. Binning, Hans-Jørgen Albrechtsen, 2011, Increasing urban water self-sufficiency: New era, new challenges, *Journal of Environmental Management*, 92, pp.185-194

- 그러나 물 수요가 도시에서 사용 가능한 담수를 초과하기 시작함에 따라 대체 수자원을 개발하기 위한 다양한 개념과 기술이 제안됨
- 증가 된 자급자족을 위한 주요 동력은 직접적이고 간접적인 물 부족, 제약된 인프라, 높은 물 수요 및 상업적, 제도적 압력으로 확인됨
- 본 연구 목적은 변화하는 상황을 확인하고 주요 내용에 대하여 과학적 조사를 위해, 도시자체의 물 자족에 대한 필요성 증가를 조사하는 것임

○ 연구방법

- 본 연구에서는 113 건의 사례와 15 건의 전 세계적으로 분포된 심층 사례 연구를 토대로 도시 지역에서 수자원 자급률을 높이는 데 사용되는 솔루션을 분석



[그림 2-20] 물 자족을 위해 선택된 방법 (조사된 지역 및 건물에 한함)

○ 결과 및 결론

- 사례 연구에 따르면 재활용수, 해수담수화 및 빗물수집을 통해 자급률이 80 %까지 증가하는 것으로 나타남
- 대안적인 수자원의 도입은 몇 가지 과제를 제기하게 됨. 대안적인 기술들을 비교하면 에너지 요구량이 10배 이상 차이가 남. 폐수사용은 식수에 미량 오염물질이 나타날 수 있고, 식수 시스템의 변화는 대중으로부터 저항을 받게 됨

○ 직접적인 물 부족

- 공급이 각 가정과 관개에 필요한 인위적 수요를 충족시킬 수 없을 때 발생하는 직접적인 물 부족을 말함. 가뭄으로 인한 공급감소 또는 인구증가에 의한 내용도 이에 포함됨
- 가뭄 및 인구증가는 대체 수자원을 마련하기 위한 근본적 원인임

○ 간접적인 물 부족

- 수자원이 인위적 요구를 충족시키지만, 사용가능한 수자원이 다른 용도로 할당되거나 정치적 이유로 사용되지 않는 경우에 적용됨
- 이러한 부족은 물이 생태계를 유지하는 데 필요하거나, 정치적으로 바람직하지 않은 수립을 기반으로 할 때 발생함. 이는 물의 자급자족을 위한 요인이 됨
- 유럽 물 기준 지침 : “수질악화를 방지하고 수생생태계의 상태를 강화하며 수생생태계에 직접적으로 의존하는 육지생태계와 습지”를 충족시켜야 함
- 싱가포르 : 물이 절대적으로 부족해 이웃 말레이시아로부터 의존함
- 간접적인 물 부족은 환경에 물을 배분하려는 의지나 정치적 갈등을 피하기 위하여 발생함

○ 제한된 인프라

- 제한된 인프라에 의한 상황의 발생을 말함

- 오래 전에 설계된 급수시스템은 공급 및 처리를 위하여 인프라시설을 새로 디자인하고 업그레이드 해야 할 필요가 있음
- 이는 일본을 비롯해 지방 하수처리시설 등의 환경의 질을 업그레이드하는 곳에서 제기되고 있음²²⁾

○ 매우 높은 수질의 요구

- 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 멤브레인 프로세스를 포함하는 환경기초시설의 적용이 증가하고 있음
- 특히 간접적인 물 부족이 있을 경우 이러한 기술의 적용이 예상됨

○ 부문별 시스템

- 혁신과 개발은 기업, 대학, 권위자와 같은 시스템에서 발생하게 됨. 또한, 이런 시스템이 경험을 구축할 때 나타나는 패러다임은 각종 규정, 표준, 노동시장 등에 반영이 됨
- 이러한 시스템은 자급자족을 위한 필수요소는 아니지만 개발을 위한 틀을 정의함
- Sing Spring 담수화플랜트, Changi 물재생플랜트 등은 이러한 네트워크가 잘 조합된 결과임

○ 자급자족을 위한 기술 및 개념

- 하폐수처리(Wastewater reclamation) : 일반적인 처리
- 간이처리, 중수도(Non-porable reclamation)) : 화장실용수, 관개용수, 공업용수
- 간접 계획된 간이처리(Indirect planned potable reclamation) : 대수층에서 사용된 물을 재충전. 수질악화를 막기 위하여 정밀여과 처리 등을 거침
- 간접 계획되지 않은 간이처리(Indirect unplanned potable

22) Ogosi, M., Suzuki, Y., Asano, T., 2001. Water reuse in Japan, Water Science and Technology, 43(10), pp.17-23

reclamation) : 예상치 못했던 상황에서 이루어짐.

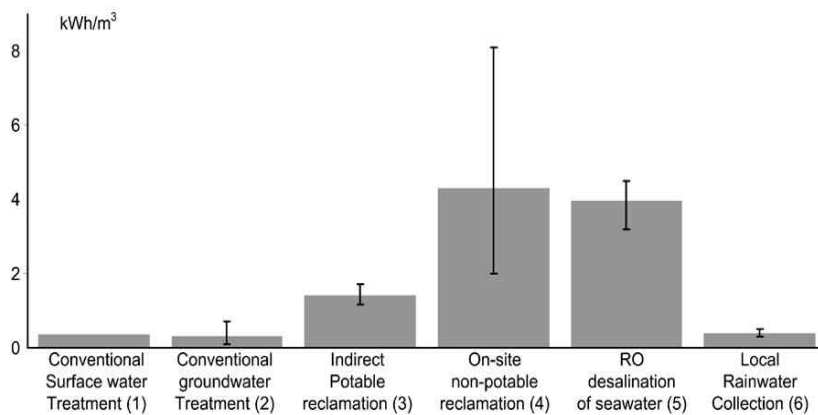
■ 직접 계획된 처리(Direct planned reclamation) : 가정 오수를 폐수와 분리하여 도시의 상수원 재료로 사용하기 전에 응집, 여과, 오존, 활성탄, UF와 같은 공정으로 처리하며, 이는 물 공급량의 34%를 대체

■ 담수화(Desalination) : 식염수의 담수화

■ 빗물수집(Rainwater collection) : 빗물탱크와 재활용수로 화장실, 정원 등에서 사용

○ 자급자족을 위한 물재생의 도전

■ 높은 에너지 소모의 문제



[그림 2-21] 물사용을 위한 방법별 에너지사용량 (kWh/m³)

■ 취수 시에 발생할 수 있는 문제 및 고농축 처리부산물에 대한 문제

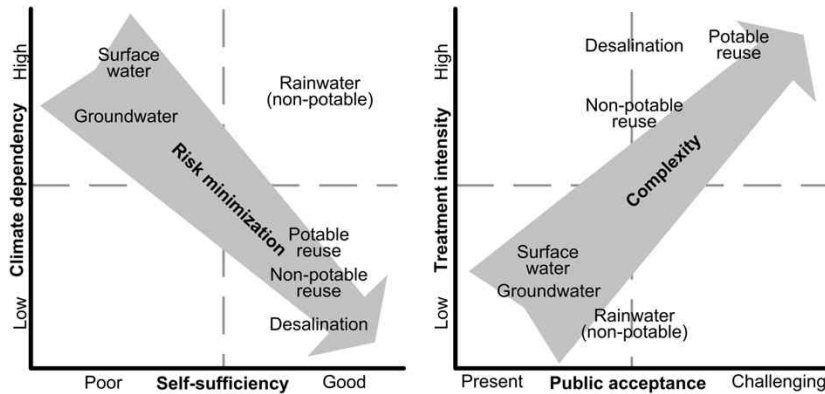
■ 미세 오염물질들에 대한 문제

■ 대중의 수용과 신뢰 : 사람들이 오폐수를 처리한 물을 마실까?

■ 비용 : 방법, 솔루션, 위치, 규모 등에 따라 달라지는 문제

■ 기후 의존도가 낮고 수자원이 양호한 수자원은 물 부족으로 인한

위험을 감소시킴(왼쪽). 높은 수준의 처리를 요구하고 공공 적용의 어려움은 급수시스템의 복잡성을 야기시킴(오른쪽)



[그림 2-22] 도시 급수자원의 특성

3) Recycled water for stream flow augmentation: Benefits, challenges, and the presence of wastewater-derived organic compounds²³⁾

○ 목적 및 필요성

- ▮ 하폐수처리장은 일부 또는 전부를 농업용수, 음용수, 환경이용, 중수도, 생태계이용 등 추가기준에 적합하도록 처리하여 재활용수를 생산하고 있음. 하천이나 습지, 연못, 호수 등 지하수에의 물 재사용은 환경이익에 영향을 주게 됨
- ▮ 재활용수는 지역사회의 물공급 방안 중에 중요한 일부이며 기존의 것을 대체할 수 있는 수자원임

23) Megan H. Plumlee, Christopher J. Gurr, Martin Reinhard, 2012, Recycled water for stream flow augmentation: Benefits, challenges, and the presence of wastewater-derived organic compounds, *Science of the Total Environment*, 438, pp.541-548

- 적용사례 : 미국 캘리포니아 지역을 대상으로 하는 하폐수처리장 재
활용수의 하천용수 재사용을 위해서 다음의 사항을 고려하였음
 - 동기 및 범위 : 재활용의 동기는 환경개선, 수질향상, 미적 향상, 레
크레이션 가치 제공을 목적으로 함
 - 허가 : 재활용 된 물을 이용한 하천유량 증대에 대한 규정은 없음.
하지만 지하수 보호, 규제된 화합물에 대한 주 또는 연방기준 적용
 - 유출장소 및 지하수에의 영향 : 재활용 물을 배출지점에 전달하는
문제는 이용 가능한 인프라에 의해 결정됨. 파이프라인의 건설의
최소화하는 방법 선택
 - 온도 : 재활용 물의 온도(27~28℃)에 의하여 어업에 필요한 온도(2
4℃) 에 영향이 발생. 하천에 유입되는 물량을 관리하는 계획 세움
 - 탈염소 : 경관 관개 및 산업용도와는 달리, 하천유량의 증가는 수생
태계의 탈염소가 필요
 - 생물학적 영향 : 생태독성학적 영향이 있을 수 있음
 - OWCs(Organic wastewater-derived compounds : 하폐수에 기인하는
유기화합물의 문제점 인식. 모니터링 결과 N-nitrosodimethylamine
(NDMA) , Perfluorochemicals 및 기타 OWCs가 재활용 수에서 검출
됨. 하폐수배출은 생태계에 해한 조사가 필요하게 됨. 재활용 된 물
에 OWCs가 있으면 하천유량 증대사업을 중단하게 됨
- 결과 및 결론
 - 적용사례에 나타난 바와 같이 문제점을 해결하여야 하며, 이를 성
공하려면 하천유량 증대를 위한 물 재사용의 이점을 현장에 명확하
게 정의하고, 프로젝트 팀, 이해관계자 및 대중에게 전달하여 위험
성 및 부정적인 인식을 감소시켜야 할 것임
 - 하천유지용수 증대가 수자원 공급, 안전성 향상, 지역사회 미화 및
수질개선과 같은 공공 생태계 유지 이상의 이익을 추구하면 이해당
사자들의 지지를 받을 수 있을 것임

- OWCs의 문제점 해결을 위해 역삼투압 공법등을 사용할 수 있지만 비용이 크게 증가하게 됨. 추가적인 처리가 가능하지 않은 경우에는 기존 재활용 수질이 프로젝트 이론적 근거, 현장 및 수질검토 및 대중수요에 따라 목표를 달성하기에 충분할 수 있음

4) Urban stream deserts: Mapping a legacy of urbanization in the United States²⁴⁾

○ 목적 및 필요성

- 메가시티와 도시인구의 급속한 성장패턴으로 급속한 도시화는 복잡하고 지속적인 문제가 되고 있음

○ 연구방법

- 도시화 과정은 파란, 그리고 녹색의 토지이용을 교통, 자산경계와 같은 기반시설로 대체하여 자연경관을 도시풍경으로 바꾸게 됨
- 도시지역이 넓어지면서 인구밀도가 높아지고 도시 흐름은 단순해짐
- 대규모의 하천기능 상실(매립)은 하천 네트워크에 영향을 미침
- UrbSD(Urban Stream Desert) 매핑은 하천관리 방법을 개선하고 도시흐름 네트워크를 복원하며, 지역사회가 도시경관에서 자연환경의 가치를 재발견하는데 도움을 주게 됨

○ 결과 및 결론

- UrbSD는 상대적으로 인구밀도가 높아 큰 경제적 잠재력을 가지게 되지만 자연경관에서는 멀어지게 됨
- 결과적으로 강이 없는 도시지역은 도시경관에서 얻은 생태구성 요소로서 매우 적은 공급, 규정 및 생태계 서비스만을 제공하게 됨

24) Jacob A. Napieralski, Thomaz Carvalhaes, 2016, Urban stream deserts: Mapping a legacy of urbanization in the United States, *Applied Geography*, 67, pp.129-139

- 미국의 심하게 도시화 된 도시 지역, 특히 5대호 및 북부 캘리포니아 지역에서의 UrbSD의 확대는 급속한 도시화가 도심 지표수에 미치는 결과를 표현하는 경고가 되고 있음

5) Urban water metabolism indicators derived from a water mass balance - Bridging the gap between visions and performance assessment of urban water resource management²⁵⁾

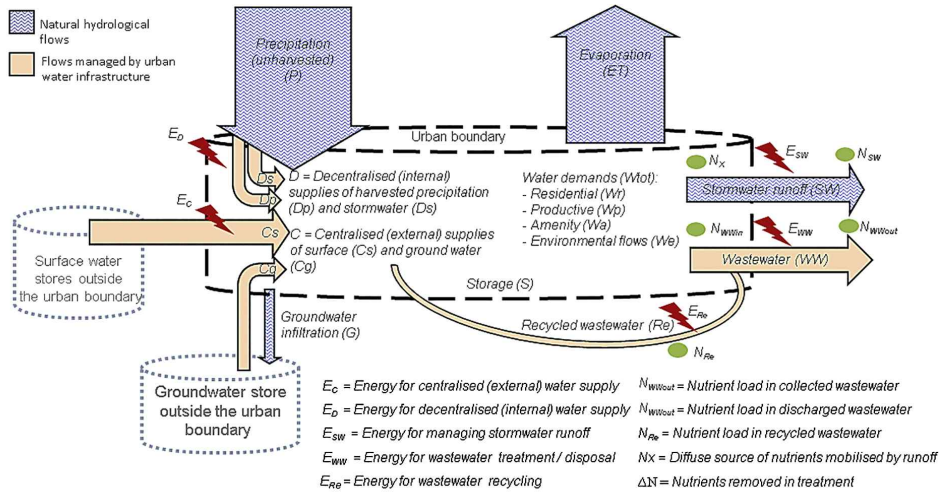
○ 목적 및 필요성

- 평범한 접근방식을 기반으로 한 도시의 물에 대한 인식은 새로운 패러다임으로 옮겨가고 있음
- 물의 관리는 환경에서 얻을 수 있는 물의 습득 및 분배와는 다르게 물의 가장 높은 가치를 도출하는 방식으로 바뀌어야 할 것임
- 이를 위해서는 거버넌스, 인프라 설계, 도시 설계와 더불어 사람들이 얼마나 가치 있게 물을 사용하는지에 대한 변화가 필요함

○ 연구방법

- 도시의 water metabolism 지표는 도시의 물관리 목표 범주화, 최선의 방법 결정, 도시 도시물 물질수지 계량 테스트, 잠재적 이용자에 의한 지표정렬로 이루어짐
- 도심 수자원 관리목적의 분류 : 자원 효율화, 공급의 내부화, 수자원의 보호 및 수문학적 유량, 물 기능의 다양성 인식
- 도심에서 사용되는 물의 지표 이끌어내기
- 지표에 대한 이해관계자

25) M.A. Renouf, S. Serrao-Neumann, S.J. Kenway, E.A. Morgan, D. Low Choy, 2017, Urban water metabolism indicators derived from a water mass balance e Bridging the gap between visions and performance assessment of urban water resource management, *Water Research*, 122, pp.669-677



Water Mass Balance	Sum of water inflows (P + C + D + Re)	= Sum of water outflows + change in storage = (ET + SW + WW + G + Re) + ΔS
Water-related Energy	Total energy use E_{TOT}	= Sum of energy use for water management = $E_C + E_D + E_{WW} + E_{SW} + E_{Re}$
Nutrient Balance	Sum of nutrient inflows $N_{WWin} + N_{Re} + N_X$	= Sum of nutrient outflows = $N_{WWout} + N_{SW} + N_{Re} + \Delta N$

[그림 2-23] 확장된 도심 물수지 (water mass balance)

○ 결과 및 결론

도심의 하천을 비롯한 물관리를 위해서 다음과 같은 방안을 제시하고 있으며, 이를 [표 2-12]에 정리하였음(26)27)28)29)

- 26) Wong, T.H.E., Allen, R., Brown, P.R., DEletic, A., GAngadharen, L., Gernjak, W., Jakob, C. Johnstone, P., Reeder, M., Tapper, N., Vewtz, G., G., Walsh, C.J., Blueprint 2013. *Stormwater Management in a Water Sensitive City*. CRC Water Sensitive Cities
- 27) IWA, 2016, The IWA Principles for Water Wise Cities. International Water Association, London
- 28) OECD, 2015, Water and Cities, Ensuring Sustainable Futures, OECD
- 29) ADB, 2016, Asian Water Development Outlook 2016, Strengthening Waste Security in Asia and the Pacific. Asian Development Bank, Asia-Pacific Water Forum, Phillipines

[표 2-12] 도심 물 관리의 비전과 목표

Water Science Cities	Water Wise Cities	EECD principles	Asian Water Devl. Outlook
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 물 공급 유역으로의 도시 : · 공급 규모의 다양성에 따라 다양한 수자원 범위에 대한 접근을 의미. ▶ 생태계 서비스를 제공하는 도시 · 건설된 환경은 자연 환경의 기능을 보완하고 지원 ▶ 물에 민감한 공동체로 구성된 도시 · 지속 가능성을 위한 사회-정치적 자본, 시민의 결정과 물의 행동은 물에 민감 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 재생 서비스 · 수역과 그 생태계 보충 · 사용된 물과 에너지 줄이기. · 재사용, 복구, 재활용 · 시스템의 모듈성을 높이고 여러 옵션을 보장 ▶ 물에 민감한 도시 디자인 · 재생 수 서비스 활성화 · 홍수위험을 줄이는 도시공간 설계 · 가시적인 물로 생존성 강화 · 환경영향을 최소화하는 재료를 수정하고 적용. ▶ 분지 연결 도시 · 수자원 확보 및 가뭄 완화 계획 · 수자원 질 보호. · 극단적사건 대비 ▶ Waterwise 커뮤니티 · 권한 있는 시민 · 전문가가 물 공동 이익을 인식 · 종합 계획 팀 · 물 현명한 행동을 가능하게 하는 정책 입안자 · 신뢰를 창출하고 창출하는 리더 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 재원 · 최적화된 물 관리 · 물 보안의 이익과 비용을 반영하는 관세 및 세금 · 목표 한 보조금만 혁신 : · 스마트 및 분산 수 시스템 · 다양한 수원 결합 · 녹색 물 인프라 · 물에 민감한 도시 디자인 ▶ 도시-농촌 경계 · 물 상인 권리 · 지하수 보존을 위한 계약 · 토지 이용 기반의 홍수 관리 · 수질 서비스에 대한 지불 ▶ 거버넌스 · 수도권 거버넌스 · 상수도 및 위생 관련 규제 기관 · 이해 관계자 참여 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 가정에서의 물 · 안전하고 신뢰할 수 있는 물 및 위생 서비스에 대한 보편적인 접근 ▶ 경제적인 물 · 경제 활동 및 지원과 물, 음식에 대한 지지 ▶ 도시 수자원 · 도시 전체의 수자원에 민감한 인프라 및 관리 절차 작성 · 물과 환경 보호를 위한 재정 지원의 지속적인 원천 · 지속 가능한 공공 물 소비 수준 · 첨단 물 기술 및 연구 개발 지원 · 강력한 국제 물 파트너십 ▶ 환경적인 물 · 견고한 국제 수자원 협력 환경 수자원 보안 : · 강과 생태계를 국가 및 지역차원에서 회복시킴 ▶ 도시의 물과 재해와의 관계: · 탄력적이고 적응력 있는 커뮤니티 육성 · 자연 재해의 결과는 덜 심각

3장

도심의 유량 및 수질 왜곡을 일으키는 현장분석 및 개선방안

1. 하천의 물수지 모니터링
2. 미흡, 미처리 지역의 분석
3. 하천 유지유량 및 수질 개선을 위한
방안

3장. 도심의 유량 및 수질 왜곡을 일으키는 현장분석 및 개선방안

1절 하천의 물수지 모니터링

1. 모니터링 결과

- 하천유지유량에 강수량 및 선행무강우일수에 따른 지하수위의 영향을 검토하기 위하여 지천의 영향을 받는 갑천 중상류 및 독립하천인 반석천의 유량변화를 모니터링 함

1) 1차 모니터링 (갑천, 2017년 8월 4일)

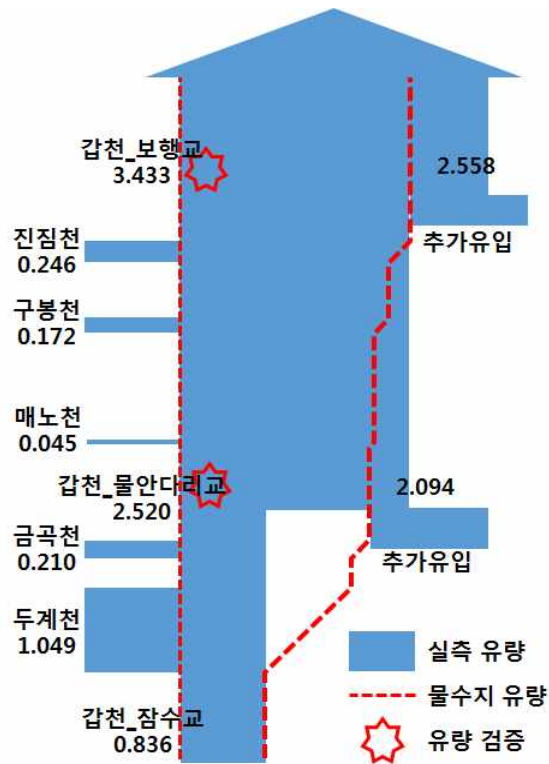
- 강수의 영향을 고려한 유량 모니터링 선정
 - 지하수가 풍부하여 하천유지유량을 많이 제공할 수 있는 시기를 선정하기 위해, 강수특성 및 현장답사로 모니터링 시기를 결정함
 - 8월 4일 모니터링 전 10일 동안 총 78.8 mm의 강수가 있어 충분한 지하수위가 함양되었다고 볼 수 있음
 - 갑천 물안다리교에서 나타난 2.520 CMS의 유량은 대전광역시 수질오염총량제 제3단계 기본계획에서 조사한 2013~2014년의 유량패턴에 비교할 경우, 총 32회의 모니터링 중 8월 4일 모니터링 수치를 넘어서는 수치가 1회에 그칠 정도의 풍수기에 해당함 (평균 1.416, 최소 0.547, 최대 4.330 CMS)³⁰⁾³¹⁾
 - 유량 물질수지로 계산된 유량보다 실측 하천유량이 높은 이유로는

30) 대전광역시, 수질오염총량관리 제3단계 기본계획, 2015

31) 대전지방기상청, <http://web.kma.go.kr/aboutkma/intro/daejeon/>

지하수의 하천용출 및 인근 농업용지에서의 유출 때문으로 판단됨

- 흑석하수처리장을 비롯한 소규모 처리시설이 있지만, 가장 규모가 큰 흑석하수처리장의 방류유량이 0.001 CMS 이하로 유량 물질수지에는 큰영향을 주지 못하는 것으로 판단됨



[그림 3-1] 갯천의 하천유지유량 (풍수기)

○ 풍수기에 갯천의 모니터링 어려움

- 충분한 강수가 일어난 후의 갯천은 유량이 2 CMS 이상이 되는 지점이 있음. 유량이 많을수록 하천에서 직접 모니터링을 진행해야 하는 상황에서 유속의 증가 등의 이유로 측정의 어려움이 발생함 (유속측정 상한선의 초과, 안전의 불확실성 등)

[표 3-1] 1차 모니터링 이전의 강수패턴

날짜	7/6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
강수량	41.2	1.7	61.0	31.0	35.0	0.8	0.0	0.0	1.9	24.5
날짜	7/16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
강수량	0.1	7.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.7	27.6
날짜	7/26	27	28	29	30	31	8/1	2	3	4
강수량	0.0	0.0	10.7	2.1	0.0	29.2	9.2	0.0	0.0	0.0

[표 3-2] 갑천(풍수기) 유량 모니터링 결과

	측정유량 (CMS)	누적측정유량 (CMS)	유량차 (CMS)	비교
갑천_잡수교	0.836	0.836		
두계천	1.049	1.885		
금곡천	0.210	2.094		
갑천_물안다리교	2.520	2.094	0.426	16.9%
매노천	0.045	2.140		
구봉천	0.172	2.312		
진잠천	0.246	2.558		
갑천_보행교	3.433	2.558	0.875	25.5%

2) 2차 모니터링 (반석, 2017년 8월 28일)

○ 강수의 영향을 고려한 유량 모니터링 선정

- 단일 하천으로, 다른 점유입 유량이 없어 지하수 및 기타하천에 의한 유량변화를 쉽게 검토할 수 있는 하천을 선정
- 8월 28일 이전에 많은 강수가 있었고 모니터링에 적합한 하상구조 및 유량을 유지하여, 하천유지유량의 모니터링에 적합하였음

- 이에, 강수특성 및 현장답사를 통하여 모니터링 시기를 결정함
- 8월 28일 모니터링 전 10일 동안 총 101.6 mm의 강수가 있어 충분한 지하수위가 함양되었다고 볼 수 있음
- 반석천6에서 나타난 0.291 CMS의 유량은 수질오염총량제 제3단계 기본계획의 유성천(반석천+유성천)과 비교하였음에도 불구하고, 총 32회의 모니터링 중 8월 4일 모니터링 수치를 넘어서는 수치가 3회에 그칠 정도의 풍수기에 해당함 (평균 1.127, 최소 0.009, 최대 0.450 CMS)³²⁾.
- 반석천6은 반석천1에 비해 1.52배 증가하였는데, 하류로 갈수록 유량이 증가하는 이유로는 하천인근 지역의 지하수 하천유출 및 인근 농업용지 및 주거지에서의 빗물유출 지연 때문으로 판단됨

[표 3-3] 2차 모니터링 이전의 강수패턴

날짜	7/30	31	8/1	2	3	4	5	6	7	8
강수량	0.0	29.2	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
날짜	8/9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
강수량	37.3	3.8	0.0	0.0	1.4	65.0	34.4	4.2	1.2	0.0
날짜	8/19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
강수량	10.2	2.7	36.1	0.7	2.1	49.8	0.0	0.0	0.0	35.2

○ 반석천 중상류 유역의 특성

- 반석천 상류는 산림지역에 위치하고 있으며, 이 지역의 지하수 용출수 및 강수시에 집수되어 유출되는 빗물에 하천유지유량을 구성
- 반석천1~5지점은 신시가지가 입지하여 지연유출되는 빗물이 분류식 관거에 의하여 유출되는 경우가 있으며, 반석천5~6지점은 인근 농

32) 대전광역시, 수질오염총량관리 제3단계 기본계획, 2015

경지에서서의 지연유출이 일부 발생하고 있음



[그림 3-2] 반석천의 하천유지유량 (풍수기)

[표 3-4] 반석천(풍수기) 유량 모니터링 결과

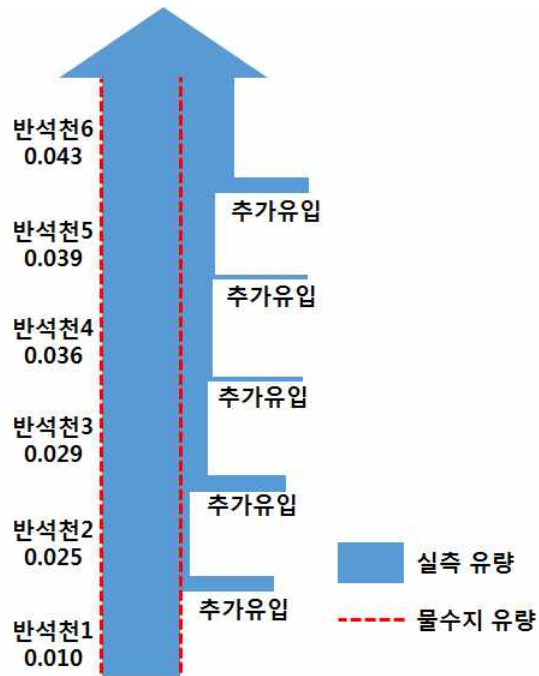
	측정 유량 (CMS)	누적측정 유량 (CMS)	유량차 (CMS)	비고
반석천1	0.172	0.172	0.000	
반석천2	0.195	0.172	0.023	
반석천3	0.235	0.172	0.063	
반석천4	0.245	0.172	0.073	
반석천5	0.251	0.172	0.079	
반석천6	0.291	0.172	0.119	

3) 3차 모니터링 (반석천, 2017년 11월 7일)

- 지하수위 저하 및 강수유입이 없음을 고려한 유량 모니터링 선정
 - 단일 하천으로, 다른 점유입 유량이 없어 유량변화를 쉽게 검토할 수 있는 하천을 선정
 - 11월 7일 이전에 강수가 거의 없었고 모니터링에 적합한 하상구조여서, 하천유지유량의 모니터링에 적합함
 - 이에, 강수특성을 통하여 모니터링 시기를 결정함
 - 11월 7일 모니터링 전 10일 동안 총 0.0 mm, 20일 동안에도 0.0 mm의 강수패턴을 보여 저수기의 하천유지유량 형태로 볼 수 있음
 - 건기시에도 반석천의 6개 지점의 하류로 진행하면서 반석천1보다 반석천5이 4.3배(풍수기에 1.5배)로 증가하는 패턴을 보임. 모니터링 동안에 인근 농지에서의 하천유출이 없었던 점을 고려하면, 이는 지하수의 하천 용출도 있겠지만 복개하천 등에서 유입되는 유량의 증가도 있는 것으로 판단됨
 - 반석천6에서 나타난 저수기의 유량 0.043 CMS의 유량은 8월 28일의 0.291 CMS와 비교하여 약 15%에 그침

[표 3-5] 3차 모니터링 이전의 강수패턴

날짜	10/9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
강수량	0.0	0.0	6	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
날짜	10/19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
강수량	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
날짜	29	30	31	11/1	2	3	4	5	6	7
강수량	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



[그림 3-3] 반석천의 하천유지유량 (저수기)

[표 3-6] 반석천(저수기) 유량 모니터링 결과

	측정유량 (CMS)	누적측정유량 (CMS)	유량차 (CMS)	비고
반석천1	0.010	0.010	0.000	
반석천2	0.025	0.010	0.015	
반석천3	0.029	0.010	0.019	
반석천4	0.036	0.010	0.026	
반석천5	0.039	0.010	0.029	
반석천6	0.043	0.010	0.033	

2. 유량 물질수지 분석

○ 갑천의 공간이동에 따른 유량변화 (풍수기)

- 유입하천의 실측값을 합해 산정한 물질수지 유량값보다 갑천_물안 다리교에서 0.426 CMS, 갑천 유림공원 인근의 보행교에서 0.875 CMS가 높게 측정됨
- 이는, 풍수기에는 도심 내에서도 지하수 및 비점유출의 방법으로 하천에 유량의 유입이 발생하는 것을 의미함

○ 반석천의 공간이동에 따른 유량변화 (풍수기)

- 일반적인 상황에서 반석천에 유입/유출되는 유량이 없음을 고려할 때, 반석천1의 유량은 반석천6까지 유지되어야 하지만, 0.119 CMS가 증가하는 것으로 측정됨
- 이는, 도심에서도 풍수기에는 지하수 및 농지유출 등의 방법으로 하천에 유량의 유입이 발생하는 것을 의미함

○ 반석천의 공간이동에 따른 유량변화 (저수기)

- 모니터링 구간에 큰 유입/유출 유량이 없어, 반석천1의 유량은 반석천6까지 유지되어야 하지만, 0.033 CMS로 크게 증가함
- 이는, 저수기에도 지류의 점유입이 없어도 지하수와 및 소규모의 지체된 빗물유입과 같은 비점유입이 있기 때문으로 판단됨

○ 상류 본류 및 지류의 유량 합으로 하천의 유량 물질수지를 산정하기 어려움

- 점유량이 있는 것과 마찬가지로, 비점유량이 있음
- 점유량은 하천의 본류 및 지류, 비점유량은 지하수량임
- 강수가 많이 있었던 직후의 유량은 하류로 갈수록 점유량의 합보다 하천유지유량이 많아짐
- 강수가 오래전에 있었다면 유량은 하류로 갈수록 점유량의 합보다 적어짐

2절 미흡, 미처리 지역의 분석

1. 미흡처리 지역

1) 아직 남아있는 미흡처리 지역

- 오수처리, 단독정화 등 대규모 환경기초시설보다 미흡한 처리효율을 가지는 지역이 존재함
 - 그 중에서 오수처리 및 단독정화는 발생된 오염의 50%도 처리하지 못하고 공공유역에 배출되는 문제가 있음
 - 이는 대전시 전체의 1.4%에 불과하지만 21,818인이나 되는 인구의 배출로 작은 무시하지 못할 오염배출을 일으킴

[표 3-7] 대전시 오수처리 인구의 분류 (2015년)

	분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거식	합계
시가인구(인)	619,032	668,364	5,964	6,055	2,607	1,302,022
비시가인구(인)	138,008	84,920	4,404	5,395	442	233,169

- 가축분뇨를 자원화하는 지역은 식물체에 완전 흡수되지 않고 빗물과 함께 인근의 하천에 배출됨
 - 2015년 기준으로 318 가구에서 84,368두를 소규모로 사육하고 있지만, 1개소를 제외하고는 모두 개별 자원화 하여 인근 농지에 살포하고 있음
 - 특히 퇴비로 부숙시키지 못하고 축산폐수 자체로 공공유역에 배출되는 경우 보다 큰 문제를 유발시키고 있음

2) 환경기초시설의 NBOD

○ NBOD

- 질소계 산소 요구량을 말함. 유기물을 분해할 때 소비하는 산소량 가운데 질소화합물을 산화하는데 필요한 산소 소비량을 말함
- 대전하수처리장을 비롯한 환경기초시설은 용존산소를 필요로 하는 미흡처리 질소오염원의 유출이 존재
- 수질오염총량제는 탄소를 기반으로 한 유기물(BOD)를 대상오염물질로 하는데, 질소를 기반으로 하는 NBOD가 BOD에 포함되어 목표수질을 평가하는데 저해요소로 작용하고 있음

○ 대전하수처리장 유출수 NBOD 검토

- 일반적인 수계에서는 다량의 점배출이 이루어지지 않아 NBOD는 거의 존재하지 않음. 하지만 대규모 환경기초시설일수록 질산화가 완전히 이루어지지 않고 유출되는 경우가 종종 발생함
- 일반적으로 NBOD는 질산화미생물이 활동할 수 있는 15℃ 이상의 수온과 충분한 체류시간이 보장되어야 하지만, 고도처리 운영으로 용존산소를 충분히 공급할 수 없는 대전하수처리장의 겨울철에는 NBOD가 상당량 배출될 수 있음

[표 3-8] 대전하수처리장 유출수의 NBOD 모니터링

모니터링 시기		1,2처리장		3처리장		4처리장	
		NBOD	BOD	NBOD	BOD	NBOD	BOD
9/22	10:00	0.7	0.8	0.5	0.9	0.4	0.6
9/29	10:00	0.3	0.8	0.4	0.9	0.4	0.9
10/6	10:00	0.6	1.1	0.5	1.2	0.3	0.3
10/13	10:00	0.6	0.6	0.7	0.9	0.4	0.6

2. 미처리 지역

1) 수질의심 하천의 모니터링

- 대전시 하천의 일반적인 현황
 - 1990년대에 접어들면서 대전시에 있는 대부분 하천의 수질개선이 이루어짐
 - 갑천을 비롯한 대부분 하천은 1~2등급(BOD 3 mg/L이하, T-P 0.1 mg/L이하)의 수준을 유지함
- 대전시 하천의 유량모니터링 및 답사를 진행하면서 구봉천의 수질상태를 파악
 - 도안신도시의 건설로 그 중간을 관통하는 구봉천에 여러 가지 원인으로 오염배출 가능성이 높아짐
 - [그림 3-4]와 같이 구봉천 최하류의 하천을 눈으로 살펴본 결과 일반오수가 배출될 때 발생하는 하천의 형태를 확인할 수 있었으며, 이에 대한 수질모니터링을 실시하게 됨



[그림 3-4] 구봉천의 미처리 오염물질 유입에 의한 하천오염

○ 수질 모니터링

- 구봉천은 과거 수질오염총량제 및 보건환경연구원의 정기적인 수질 모니터링 하천이 아니어서 조사된 수질데이터가 거의 없음
- 택지개발로 구봉천에의 접근성이 좋아지면서 구봉천의 수질에 대한 관심이 발생함
- T-P를 보면 평균 0.586 mg/L로 인근 하천인 진잠천의 2013~2014년도의 33회 평균인 0.066 mg/L(최소 0.022, 최대 0.123)에 비하여 약 9배 정도 차이가 발생함
- 이는 일반적인 하천의 현황이 아닌, 인근 주택에서 미처리된 후 오접 등의 문제로 하천에 영향을 준 것으로 판단됨

[표 3-9] 구봉천 수질측정 결과

	COD	SS	T-N	T-P
8월 4일	39.2	20.5	12.27	0.617
8월 28일	35.6	22.7	14.0	0.554

2) 고속도로 유출수

○ 한국도로공사의 고속도로

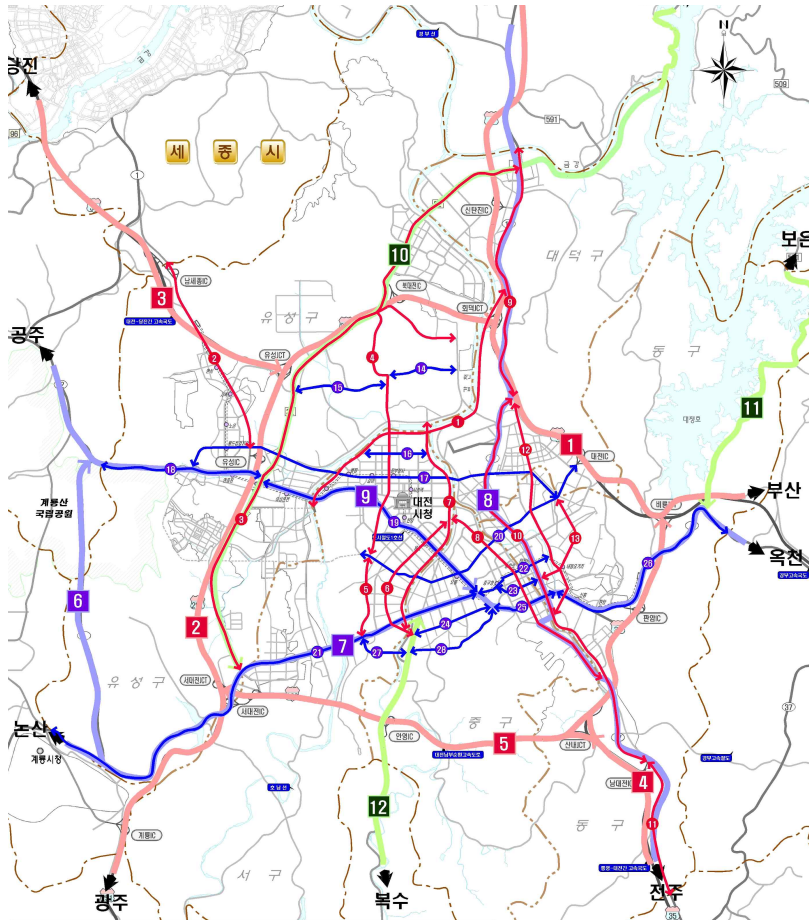
- 한국도로공사에서 관리하는 대전시 고속도로는 76 km, 면적으로는 약 1.9 km²을 차지

○ 고속도로에서의 오염물질 배출

- 토지계 오염원 중에서 가장 오염배출이 많은 지목은 도로와 같은 대지이며, 특히 교통량이 많은 고속도로의 오염물질 배출은 특히 높은 특성을 가지고 있음
- 하지만 고속도로는 지자체가 운영하고 있지 않아 발생/배출원으로만 산정이 되고, 삭감대상으로 인식되지 않아 오염삭감이 어려운

사각지대로 존재하고 있었음

- 한국도로공사는 이러한 오염물질의 저감을 위하여 비점오염저감장치를 도입하고 있으며, 이의 확장을 통해 대전시 하천에 유입되는 오염물질을 감소시킬 수 있을 것임



[그림 3-5] 대전시 주요 도로망

3절 하천 유지유량 및 수질 개선을 위한 방안

1. 하천 유지유량 개선

1) 자급자족을 위한 물재생의 도전

- 물 부족 현상이 심화되는 현황에서 자급자족을 위해서는 다음의 문제 해결이 선행되어야 함
 - 사람들이 사용하는 물을 만들기 위해서는 오염된 물일수록 높은 에너지가 소모되는데, 이러한 에너지를 저감하기 위해서는 원수를 되도록 깨끗하게 유지하여야 함
 - 기술의 발달과 더불어 측정되는 미세 오염물질들에 대한 문제
 - 방법, 위치, 규모 등에 따라 달라지는 비용의 문제
- 하나의 개념이 도심의 물 문제를 모두 해결할 수 없음
 - 기후 의존도가 낮고 수자원이 양호한 수자원은 물 부족으로 인한 위험을 감소시키지만, 깨끗한 수질의 수준이 높아질수록 공공 적용의 어려움이 발생함

2) 물순환 선도도시의 적용

- 물순환 선도도시의 목적 및 필요성
 - 건전한 물순환체계의 확보, 비점오염물질의 저감 및 주민친화공간 조성을 위해서 강우유출수 저감을 통한 저영향 개발을 확대 적용하는 것임
 - 대전시는 총 불투수면은 21.99%이고, 임야/수계 면적을 제외한 불투수면은 49.89%로 서울(78.74%), 부산(64.84%), 대구(54.07%) 다음으로 높음

○ 물순환 선도도시의 효과

- 대전시는 금강수계 전체인구의 45.7%를 차지하지만 배출부하량은 15.9%를 그치는 만큼 체계적인 관리를 통해 오염물질 저감에 앞장서고 있음. 더불어 물순환 선도도시 조성사업 진행은 건전한 물순환체계의 확보, 점오염물질의 저감, 주민친화공간 조성과 같은 효과를 보여 줄 것으로 판단됨

○ 적용방안 및 고려사항

- 현재까지 물순환을 위한 방안은 LID 공법을 적용하는 것이 주요 방안으로 제시되어 왔음. 하지만 기존의 LID 공법 중 일부는 효과 및 내구성에 있어서 문제제기가 되고 있음
- 대전정부청사, 대전시청시청사를 비롯한 도심지역에 알맞은 적용방안을 제시해야 함
- 뉴욕, 워싱턴 등과 같이 사업을 추진할 때에는 관련부서 협업방안 및 업무 체크리스트를 구축하여 자료를 공유해야 함
- LID 시설 설치 등 관련된 기술제안을 고려한 제도개선이 가능하도록 추진해야 함
- LID 기법 적용을 위해서는 도시계획, 도시관리 제반과 융합/연계해야 정책적 효과를 극대화 할 수 있음
- LID 기법 중에 식생을 사용하게 되면, 겨울에 식생이 얼어서 관리가 안 되는 경우가 있음. 계절을 고려한 관리가 필요함
- 이미 입지가 된 장소는 배수시설을 다시 하는 경우가 많으며, 토양 특성에 따른 설계가 필요함
- 구조물 안정성 및 땅이 가라앉는 문제의 고려가 선결되어야 함
- 방재, 토목, 지하수, 수리, 수문 등 다양한 분야의 로드맵이 필요함

3) 하수처리장 배출수의 재활용

○ 대전시에서 가장 큰 수자원

- 수질을 벗어나 대전시에서 가장 큰 유량을 가지고 있는 수자원은 대전하수처리장으로 보통 6.7 CMS를 방류하고 있음
- 이는 저수기 기준으로 대전시 전체인 8.9 CMS의 약 75%에 해당하는 유량으로, 수질 및 입지를 제외하고는 매력적인 수자원으로 분류할 수 있음

○ 하수처리장 배출수 사용의 문제

- 재활용을 위해서는 원하는 용도에 따라 높은 에너지가 소모됨
- 생활오수 및 공장폐수 등에서 배출되는 미세 오염물질(병원성 오염물질, 중금속 등)의 포함 가능성
- 사람들이 오폐수를 처리한 물을 쉽게 받아들일 수 있을까의 문제
- 기후 의존도가 낮고 수자원이 양호한 지역은 물 부족에 의한 위험성을 낮게 생각함

○ 하수처리장 배출수의 도심하천 유지유량 적용의 절차

- ① 하폐수 배출 : 규정농도를 만족하는 배출
- ② 새로운 기준 : 새로운 환경기준 등에 따른 새로운 개선
- ③ 계획된 하천유량의 설정: 방류위치, 유속, 수질 등을 프로젝트 목표에 맞게 설정
- ④ 지속가능한 수자원으로 하천 재정비 : 지속가능한 도시 물 인프라와 통합된 도심하천 리뉴얼의 일부로 적용

○ 재활용 방안

- 하수처리장 배출수의 재활용과 같은 방법은 기술적 공법, 솔루션, 위치, 규모 등에 따라 달라짐
- 경제성, 시대적 흐름, 시민의식 등에 대한 준비를 통해 준비해야 할 것임

2. 수질 개선

1) 개선 대상지역의 선정을 위한 모니터링의 실시

- 실패한 비점오염 처리로 본 대상오염물질의 선정
 - 일부 인공습지는 비점오염원을 처리하기 위한 목적으로 인공습지 등 설치하였으나, 대상물질 및 적용방법에 오류가 있어 처리수질이 오히려 더 높아지는 경우도 있음
 - 자연적인 물질을 대상으로 하는 것이 아닌, 사람들의 활동으로 인해 발생하는 오염물질을 대상으로 수질개선을 해야 할 것임
- 지속적인 미흡처리, 미처리 대상의 모니터링
 - 지금까지 대전시를 비롯한 대부분의 지자체에서는 대표 하천을 중심으로 수질모니터링을 실시해왔음
 - 하지만, 추가적인 수질개선을 위해서는 지금까지 진행되었던 모니터링 방법을 진행해서는 한계에 도달하게 됨
 - 최근 몇 년간 대전하수처리장 방류수질의 개선, 오염하천의 집중관리, 하수관거정비사업의 시행 등으로 큰 오염물질의 배출은 대부분 해결하였음. 이러한 수질개선사업이 진행됨에 따라 과거에는 알 수 없었던 불명오염원이 있음을 알게 됨
 - 이에, 불명오염원 및 이미 알고 있는 개선 대상지역을 선정하여 지역 특성에 맞는 모니터링을 실시하여야 할 것임

2) 오염배출 특성에 맞는 적정 수질오염 처리 방법의 적용

- 오수처리, 단독정화조처리의 추가처리 필요성
 - 단독정화, 오수처리 지역의 오수는 배출수질이 높아 처리효율을 높이기 위해서 하수처리구역화 하는 방안이 꾸준히 제기됨

- 하지만, 하수처리구역화를 위한 관거연결 및 소규모하수처리는 비경제적인 경우가 대부분이어서 하수처리구역화의 추진은 어려운 현실에 있음
- 이러한, 소규모 미처리지역은 단독정화 후 수질을 개선할 수 있는 방안을 적용하여야 할 것임

○ 삭감효율 증대방안

- 우리나라 다양한 곳에서 이러한 오염원을 차단하기 위하여 생태습지 등을 조성한 바 있지만, 현장을 고려하지 않은 일률적인 조성은 수질개선에 기여를 못한 경우가 많음
- 습지조성에 있어서 정화조, 오수처리 대상을 여러 마을을 통합하여 운영하기 보다는, 대상 오염물질을 쉽게 모을 수 있는 지역별로 취합하는 소규모 습지조성이 효율적일 것임
- 가정의 정화조, 오수처리수는 일정 유량이 지속적으로 배출되므로, 기존의 인공습지와 같이 일정 수심을 지속적으로 유지하는 것 보다는 습지에서 유출되기 전에 상당량이 땅속으로 침투시킬 수 있을 정도의 규모 및 공법을 적용할 필요가 있음
- 이러한 정화조, 오수처리수의 삭감에 대한 연구가 절대적으로 부족한 상황으로, 이에 대한 체계적 연구의 진행도 필요함

3) 새로운 관점에서의 다양한 수질개선 방법의 적용

○ 침투능력 개선을 통한 빗물의 유출 저감

- 도로 및 주차장 등을 중심으로 한 투수블록, 투수아이콘 등을 적용하여 대지에 기인하는 수질오염물질의 유출을 방지
- 다음의 [표 3-10]은 대전시에서 발생한 투수소재를 사용한 삭감방법을 적용한 사업을 나타내었고, [표 3-11]에는 해당사업을 기초로 삭감될 수 있는 부하량을 산정하여 제시하였음

[표 3-10] 대전시 투수능력 증대를 위한 사업

착공일	완료일	위 치	삭감방법	사업면적 (m ²)	폭×길이 (m)
2017.04	2017.06	읍내동 자전거도로 정비공사	투수블록	574	3.5×164
2017.04	2017.08	반지어린이집 주변 정비사업	투수블록	180	1.8×100
2017.04	2017.06	성천초 주변 정비사업	투수블록	300	2.3×108
2016.05	2016.07	2016 노인보호구역 개선사업	투수블록	853	3.2×370
2017.02	2017.06	2017년 자전거 이용시설 정비공사	투수아스콘	2,431	1.5~5.2×691
2017.03	2017.05	서구 문화원 앞 자전거도로 정비	투수아스콘	939	1.5~7.2×335
2017.03	2017.05	성룡초 일원 보도 정비공사	투수아스콘	1,266	3~4×362
2017.03	2017.06	자전거 보행자 겸용도로 정비사업	투수블록, 투수콘	3,590	4~7.2×680.5
2017.03	2017.06	햇님,한마루아파트 주변 보도 정비	투수블록	1,328	2×664

[표 3-11] 비점오염저감시설에 의한 삭감부하량 산정

위 치	저감효율		삭감대상부하량 (kg/일)		삭감부하량 (kg/일)	
	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P
읍내동 자전거도로 정비공사	0.75	0.65	0.05	0.0012	0.04	0.0010
반지어린이집 주변 정비사업	0.75	0.65	0.02	0.0004	0.01	0.0000
성천초 주변 정비사업	0.75	0.65	0.03	0.0006	0.02	0.0000
2016 노인보호구역 개선사업	0.75	0.65	0.07	0.0018	0.05	0.0010
2017년 자전거 이용시설 정비공사	0.75	0.65	0.21	0.0051	0.16	0.0030
서구 문화원 앞 자전거도로 정비	0.75	0.65	0.08	0.0020	0.06	0.0010
성룡초 일원 보도 정비공사	0.75	0.65	0.11	0.0027	0.08	0.0020
자전거 보행자 겸용도로 정비사업	0.75	0.65	0.31	0.0075	0.23	0.0050
햇님,한마루아파트 주변 보도 정비	0.75	0.65	0.11	0.0028	0.09	0.0020

○ 고속도로 유출수의 처리

[표 3-12] 한국도로공사에서 시행하는 대청호구역 비점오염저감시설

착공일	완료일	위 치	삭감방법	사업면적 (m ²)	시설용량 (m ³)
2014.02	2014.12	대전광역시 동구 비룡동 303-1	모래여과 시설	2,422	12.0
		대전광역시 동구 비룡동 415-1	모래여과 시설	4,836	24.0
		대전광역시 동구 비룡동 19	모래여과 시설	9,791	49.0
		대전광역시 동구 비룡동 568-1	침투도랑	767	3.8
		대전광역시 동구 신상동 603	저류지	13,900	69.5
2013.08	2013.12	대전광역시 동구 신상동 산53-3	모래여과 시설	5,158	25.8
2014.02	2014.12	대전광역시 동구 신상동 376-2	모래여과 시설	8,328	41.6

[표 3-13] 대청호구역 비점오염저감시설에 의한 삭감부하량 산정

위 치	저감효율		삭감대상부하량 (kg/일)		삭감부하량 (kg/일)	
	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P
대전광역시 동구 비룡동 303-1	0.50	0.54	0.21	0.005	0.07	0.002
대전광역시 동구 비룡동 415-1	0.50	0.54	0.42	0.010	0.13	0.003
대전광역시 동구 비룡동 19	0.50	0.54	0.84	0.021	0.27	0.007
대전광역시 동구 비룡동 568-1	0.77	0.73	0.07	0.002	0.05	0.001
대전광역시 동구 신상동 603	0.34	0.36	1.19	0.029	0.12	0.003
대전광역시 동구 신상동 산53-3	0.50	0.54	0.44	0.011	0.14	0.004
대전광역시 동구 신상동 376-2	0.50	0.54	0.72	0.017	0.23	0.006

- 한국도로공사의 2010년 이후 비점오염저감시설의 설치 현황을 검토한 결과 [표 3-12]와 같은 실적이 조사됨
- 비점오염저감시설의 설계에 따라 삭감부하량이 [표 3-13]과 같이 나타났으며, BOD 기준으로 0.05~0.29 kg/일을 삭감할 수 있었음
- 우선적으로 상수원이 있는 대청호구역을 대상으로 하였지만, 일반 하천을 대상으로 대상을 확대할 필요가 있음

4) 비점오염 관리지역의 적용

○ 비점오염 관리지역의 목적 및 필요성

- 비점오염부하율은 2010년 기준으로 약 60%를 차지하며, 불투수면확대 등으로 2020년에는 약 72%에 달할 것으로 전망됨
- 대전시의 갑천은 2014년 비점부하율은 77.8%로 전국평균보다 높아 체계적인 비점오염원 관리 및 저감시설 설치가 절실함
- 해당 지역의 특정 오염물질을 지정하고, 이를 저감시킬 수 있는 다양한 방법을 적용하여 관리함

○ 비점오염 관리지역의 효과

- 비점오염원 효율적 관리를 통한 물순환 개선 및 수생태계 보전, 쾌적한 생활환경 조성으로 주민친화 개선의 시너지 효과 기대
- 갑천유역 비점오염원 발생 및 배출특성에 맞는 관리방안을 제시하여 갑천 수질개선에 기여

○ 적용방안

- 배출부하량 및 실측조사 시에 모두 높은 비점기여율을 나타낸 T-P를 관리대상 물질로 지정. 특히 보존성이 높아 비점오염원 관리지역의 하류에 위치한 갑천가동보와 갑천하류의 수질에 영향을 미칠 수 있으므로 T-P는 대전시의 중점 관리대상이 될 필요가 있음
- 비점오염 관리지역은 그 시행에 있어서 많은 비용이 수반되어 이를

안정적으로 실행할 수 있는 관리방안이 필요함. 이에 아래의 [표 3-14]와 같이 유역특성을 고려하여 관리대책을 적용할 필요가 있음

[표 3-14] 비점오염 관리지역의 관리대책 적용방안

유역 특성	관리대책 적용방안	
물순환선도도시	구조적	<ul style="list-style-type: none"> · 발생원관리 : LID 저감시설설비, 비산먼지, 도로청소 · 유출경로관리 : CSOs, 관거준설, 초기우수처리시설 설치 등
	비구조적	<ul style="list-style-type: none"> · 교육 및 홍보방안으로 거버넌스 체계구축 · 생태계 보전활동, 활동조직 경비 지원
대전산업단지재생사업	구조적	<ul style="list-style-type: none"> · 발생원관리 : LID 저감시설설비(저류형, 침투형 등), 도로청소(관리방안, 청소방안, 점검방안), 업종별 관리 수단 정비(공장내 우수노출지역, 주요비점오염원파악) · 유출경로관리 : CSOs, 관거준설
	비구조적	<ul style="list-style-type: none"> · 무단방류 단속 및 교육 (매년 직원대상으로 년 2회 이상으로 비점관리에 관한 교육실시로 오염원 사전예방 필요)
원도심재생사업	구조적	<ul style="list-style-type: none"> · 발생원관리 : LID 저감시설설비(장치형 등), 도로청소
	비구조적	<ul style="list-style-type: none"> · 주민참여를 위한 교육/홍보, 관할 구청과 거버넌스 구축

5) 대전하수처리장 이전에 대한 설계대응

○ 온도 유지

■ 미생물을 이용하여 오염물질을 처리하는 기본설계를 적용하므로 하수처리장 복개로 수온을 최대한 확보하여야 함

○ 충분한 체류시간

■ 부지확보의 어려움으로 콤팩트한 처리시설을 건설하기 보다는 안정적인 호기성 생물반응조의 충분한 체류시간 확보하기 위하여 적정 부지면적을 확보하여야 함

3. 새로운 도심 물 관리 지표의 제시

1) 새로운 관점의 관리방안 필요성의 출현

○ 환경변화에 따른 새로운 하천관리 패러다임의 필요성

- 도시의 하천환경 변화 : 대도시에 인구 및 도심공간의 집중으로 불투수층의 증대, 오염배출의 집중
- 기후변화에 따른 수자원 흐름의 변화 : 기후변화로 강우일수 감소 및 강수량의 증가
- 도심에서 물에 대한 인식 변화 : 증가 인구의 수돗물 이용을 위한 수자원 확보, 도시공간에서 물의 중요성 증가, 하천의 생태적 기능을 위한 유량/수질의 개선, 수자원이용을 위한 에너지 효율성 고려

2) 수관리 비전 및 성과지표

○ 도시 수자원 관리에 관한 비전에 선진국을 중심으로 개발되고 있음

⇒ 이러한 비전의 수립은 도시의 목표를 수월하게 하고 일관성을 유지하는 데 필요함

○ 비전 및 목표를 기반으로 도심에서의 수관리 측면에 대한 성과지표 목록을 다음과 같이 제안하고자 함

- 자원 효율성 (물 및 물 관련 에너지 사용)
- 내부적 공급
- 수자원 및 수 문학적 흐름 보호
- 물의 다양한 기능 인식

⇒ 도시에서 물 혹은 물과 관련된 자원을 얼마나 효율적으로 활용하고 관리하는지에 대한 분석이 필요함. 이러한 지표들은 단순히 수

계 구성 요소가 아닌 도시 전체의 수자원의 중요성을 강조하고 도시시스템과 지역 간의 연결을 지원해야 할 것임

○ 비전을 제시할 때 고려사항

- 도시의 물순환을 이것을 실행가능 하게 하는 에너지 데이터와 중첩
- 도시에서 물을 사용하는데 있어 물 사용량과 같은 대표지수 개발
- 도시 내에서 다양한 목적을 달성하기 위해 물을 사용하고 이를 공급하기 위한 가능성
- 목적에 맞게 수자원의 수질을 달성할 수 있는가의 방법

[표 3-15] 도심의 물 관리 비전/지표의 제안

지 표		기 간	
		단기	중장기적
1. 자원이용 효율성	물 사용량	일인당 물 사용량 저감	도시기능 각각의 물 사용량 저감
	에너지 효율	물에 관련된 전체 에너지 사용효율 개선	물에 관련된 각각의 에너지 사용효율 개선
2. 물 공급 자급화		물 요구량에 대한 내부적 생산 비율	
3. 수자원 및 유량의 보호	물 공급량	요구되는 물 사용량 중에 내부적으로 얻어지고 순환되는 물의 비율	
	수질	수질오염총량제 목표수질 만족	지속가능성을 위해서 필요한 점,비점배출량
	물의 자연흐름 회복	물순환선도도시 등을 통한 회복목표 설정	도시화되기 전의 도심 하천 유량 달성
4. 물이용 다양성	사회적 환경, 도시공간		예산대비, 수공간의 기능을 위해 필요한 물

3) 새로운 패러다임 적용의 기대

- 위의 [표 3-15]와 같이 제안 된 물 관리 지표는 도시의 물 관리와 향 후 평가를 다음과 같이 용이하게 해 줄 것으로 기대됨
 - 도시의 수자원 관리 목표의 명확화
 - 목적에 부합하는 성과를 측정 할 수 있는 지표의 제시
 - 도시의 수자원에 대한 유량 및 수질에 대한 물질수지 설정
- 이러한 물 관리는 일상적인 방법에 기반한 도시의 물 기능을 벗어난 물에 대한 새로운 패러다임으로 적용시킬 수 있을 것임

4장

결론 및 정책제언

1. 결론
2. 정책제언

4장 결론 및 정책제언

1절 결론

- 대전시 하천의 유량측정에 따른 물질수지를 검토하여 유량의 다음과 같은 왜곡현상을 제시하고자 함
- 갑천 ‘상류~유성천 합류전’ 구간의 모니터링 (풍수기)
 - 유입하천의 실측값을 합해 산정한 물질수지 유량값보다 갑천 물안 다리교에서 0.426 CMS, 갑천 보행교에서 0.875 CMS가 높게 측정됨
 - 이는, 풍수기에는 도심 내에서도 지하수 및 비점유출의 방법으로 하천에 유량의 유입이 발생하는 것을 의미함
- 반석천(유성천 합류 이전) 구간의 모니터링 (풍수기)
 - 일반적인 상황에서 반석천에 유입/유출되는 유량이 없음을 고려할 때, 반석천1의 유량은 반석천6까지 유지되어야 하지만, 0.119 CMS가 증가하는 것으로 측정됨
 - 이는, 도심에서도 풍수기에는 지하수 및 농지유출 등의 방법으로 하천에 유량의 유입이 발생하는 것을 의미함
- 반석천(유성천 합류 이전) 구간의 모니터링 (저수기)
 - 건기시에도 반석천의 6개 지점의 하류로 진행하면서 반석천1보다 반석천5이 4.3배(풍수기에 1.5배)로 증가하는 패턴을 보임
 - 반석천6에서 나타난 저수기의 유량 0.043 CMS의 유량은 8월 28일의 0.291 CMS와 비교하여 약 15%에 그침
- 대전하수처리장의 NBOD
 - 대전하수처리장에서 9월22일~10월13일에 4회 NBOD를 측정함
 - 1,2/3/4처리장 합계의 평균은 NBOD 0.48 mg/L, BOD 0.80 mg/L로

BOD 방류농도가 낮아진 상황에서 매우 높은 수준을 차지함

- 수질오염총량제 등 하천 목표수질을 준수하기 위해서는 NBOD의 삭감개선이 요구됨
- 향후, 하수처리장의 개선 및 이전을 위한 설계에 있어서는 미생물 반응조의 충분한 호기접촉시간 및 온도를 확보해야 함

○ 미처리오수의 유입 의심하천 모니터링

- 도안신도시의 건설로 그 중간을 관통하는 구봉천에서 미처리 오염 배출을 확인함
- T-P 기준으로 0.586 mg/L의 수질을 나타냈으며, 인근 하천인 진잠천의 0.066 mg/L에 비하여 약 9배 정도 차이가 발생함
- 오점 및 상류의 미처리배출에 대한 정밀조사를 진행하여야 할 것임

○ 대전시 통과 고속도로 유출수의 삭감

- 교통량이 많은 도로는 도심의 비점오염배출로 인하여 수질오염을 일으키는 대표 인자임
- 대전시를 통과하는 고속도로 중에서 대청호구역에 T-P 0.026 mg/L의 삭감이 2013~2014년도에 이루어진 것으로 나타남
- 상수원보호구역 외의 하천에도 이러한 비점오염저감시설을 설치하여 오염물질 삭감을 통한 수질환경을 개선하여야 할 것임

○ 침투능력 개선을 통한 빗물의 유출 저감

- 대전시 도로 및 주차장 등을 중심으로 한 투수블록, 투수아이콘 등을 적용하여 수질오염물질의 유출을 방지하였음
- 대전시에서 발생한 투수소재를 사용한 삭감방법을 적용하여 삭감을 기대할 수 있었음. 향후 원도심개발, 신도시건설, 보도블록 정비, 자전거도로 건설, 주차장 신설/정비 등 지표면 피복에 관련한 모든 사업에 투수와 연관된 비점오염저감시설을 기본적으로 적용하여야 할 것임

2절 정책제언

- 성공적인 물순환 선도도시를 위한 노력
 - 물순환을 위한 방안으로 LID 공법을 적용하는 것이 주요 방안으로 제시되어 왔으며 수질개선으로 높은 기대를 하여왔음. 하지만 기존의 LID 공법 중 일부는 효과, 내구성 및 주변에 미치는 환경에 있어서 문제가 발생되기도 함
 - 물순환을 위해 LID 기법의 제고, 도시계획과의 융합, 기타 관련된 기술분야(방재, 토목, 지하수, 수리, 수문)과의 협업이 필요함
- 수질개선 대상지역의 선정 및 지속적 모니터링 실시
 - 근래에 오염의 발생이 매우 큰 지점의 수질이 크게 개선됨에 따라, 과거 중요하지 않게 생각하던 지점에서 불명오염이 발생하는 경우가 종종 발생하고 있음
 - 이에, 오염물질이 다량 배출되는 우려지역으로 불명오염원이 예상되는 지역 및 이미 알고 있는 개선 대상지역을 선정하여 지역 특성에 맞는 모니터링을 지속적으로 실시하여야 할 것임 (탄동천, 대동천, 구봉천, 1/2산업단지, 3/4산업단지 지역 등)
- 대전시 통과 고속도로, 대전시 주요도로 유출수의 삭감
 - 한국도로공사는 상수원보호구역에의 오염배출 저감을 위해 비점오염저감시설을 설치
 - 한국도로공사 및 대전시는 주요 관리하천에 유입되는 하천의 수질 보호를 위하여 비점오염저감시설 설치를 증가시켜야 할 것임
- 비점오염 관리지역
 - 대전시의 갑천은 2014년 비점부하율은 77.8%로 전국평균보다 높아 체계적인 비점오염원 관리 및 저감시설 설치가 절실함
 - 대전시는 물순환 선도도시 지역, 대전산업단지 재생사업 지역, 원도심 재생사업 지역을 중심으로 T-P의 저감을 위한 비점오염원 관리

를 진행하여야 함

- 물순환 선도도시지역의 관리와 마찬가지로, 지금까지의 일률적인 공법적용이 아닌 지역에 맞는 오염물질 저감사업을 진행해야 함

○ 환경변화에 따른 새로운 하천관리 패러다임의 필요성

- 대전시를 비롯한 하천과리는 다음과 같은 4개의 큰 지표를 중심으로 물사용량 및 에너지사용, 물공급 자급화, 수자원의 보호, 이용의 다양성을 고려하는 지역 특색에 맞는 지표를 구축하여 관리해야 함

지 표		기 간	
		단기	중장기적
1. 자원이용 효율성	물 사용량	일인당 물 사용량 저감	도시기능 각각의 물 사용량 저감
	에너지 효율	물에 관련된 전체 에너지 사용효율 개선	물에 관련된 각각의 에너지 사용효율 개선
2. 물 공급 자급화		물 요구량에 대한 내부적 생산 비율	
3. 수자원 및 유량의 보호	물 공급량	요구되는 물 사용량 중에 내부적으로 얻어지고 순환되는 물의 비율	
	수질	수질오염총량제 목표수질 만족	지속가능성을 위해서 필요한 점, 비점배출량
	물의 자연흐름 회복	물순환선도도시 등을 통한 회복목표 설정	도시화되기 전의 도심 하천 유량 달성
4. 물이용 다양성	사회적 환경, 도시공간		예산대비, 수공간의 기능을 위해 필요한 물

연구의 배경 및 필요성

대전시는 하천관리를 위해 하수광로 조성, 하수처리장 건설 및 고도화처리, 하천정비사업 등으로 많은 수질개선이 있었음
하지만, 도시화 따른 문제점을 해결할수록 하천유량 감소 및 불명요입원 등에 의한 문제점이 여전히 존재하고 있음

도심에서 하천의 중요성

- 산업의 발달 및 인구의 집중은 수자원을 오염시키는 원인이 됨
- 특히, 자정용량을 벗어난 오염물질의 배출은 중금속 중독 및 수인성전염병의 확산 등 사람들의 건강을 심각하게 위협하였음

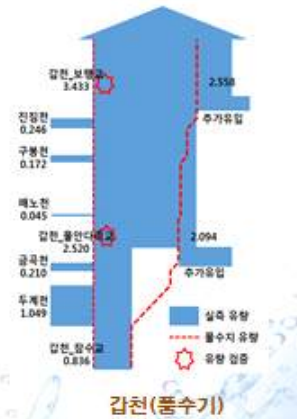
목적 및 방법 : 대전시 하천에 미치는 영향의 조사

- 하천유량의 감소요인 조사
 - ⇒ 대전시 하천유량의 실측에 따른 물질수지 검토 및 불명요입유량의 검토
- 미흡, 미처리로 인한 하천오염의 가능성 조사
 - ⇒ 대전시 하천의 답사 및 문헌으로 오염된 하천 및 원인을 추적
- 도심하천을 유지하기 위한 사례 검토 및 새로운 지표 제시
 - ⇒ 환경 패러다임의 변화에 맞추어 기존의 오염식감방법 외 사례 및 향후 하천관리 목표를 위한 새로운 지표를 제시

갑천의 유량 모니터링

모니터링 결과 (갑천, 풍수기)

- 8월4일 모니터링의 '실측 vs 물질수지' 비교
 - ⇒ 10일 전까지 78.8 mm 강수
 - ⇒ 갑천 물안다리고에서 0.426 CMS(16.9%), 갑천보행교에서 0.875 CMS(25.5%) 차이
 - ⇒ 지하수 및 기타유입으로 인한 유량유입 있음
- 모니터링의 어려움
 - ⇒ 보다 많은 유량은 유속 및 수심의 증가로 유속측정 불가 및 안전보장의 어려움
 - ⇒ 해당 유역에 폭석하수처리장 및 소규모 개별처리시설이 있으나, 그 유량이 매우 작고 무도 현상 파악하는데 어려움



반석천의 유량 모니터링

모니터링 결과 (반석천, 풍수기/저수기)

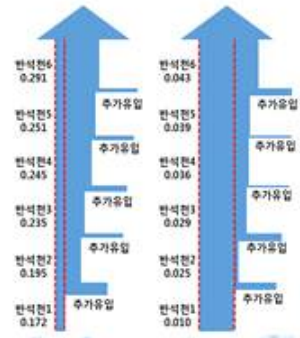
8월 28일 모니터링

- ⇒ 10일 전까지 101.6 mm 강수
- ⇒ 반석천1에서 0.172 CMS, 반석천6에서 0.291 CMS로 0.119 CMS 증가
- ⇒ 지하수 및 우수관거 등의 유량유입 있음

11월 6일 모니터링

- ⇒ 30일 전까지 7.3 mm 강수
- ⇒ 반석천1,6에서 0.010 CMS, 0.043 CMS
- ⇒ 반석천 6 기준으로 풍수기에 비하여 약 15%의 유량

- ▶ 반석천은 뚜렷한 점유입지점이 없지만 비점 유량유입이 있는 것으로 판단됨



반석천(풍수기) 반석천(저수기)

미흡처리지역의 원인 검토

미흡처리 지역

하수처리장의 도움을 받지 못하는 오수처리, 단독정화 인구

- ⇒ 오수처리, 단독정화 21,818인 / 하천의 상류인 외곽에 주로 입지 / 높은 방류농도

가축분뇨를 자원화 하는 축산지역의 가축분뇨

- ⇒ 318가구에서 84,368두의 소규모 / 퇴비로 완성하지 못하고 배출되는 사례도 있음

NBOD

- ⇒ 환경기초시설의 충분치 못한 처리로 NBOD 배출
- ⇒ 대전하수처리장 방류 NBOD는 0.48 mg/L로 BOD 0.80 mg/L의 60%

	분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거식	합계
서가영구(인)	619,032	668,364	5,964	6,055	2,607	1,302,022
비서가영구(인)	138,008	84,920	4,604	5,395	442	233,169

미처리지역의 원인 검토

미처리지역

■ 구봉천 지역 새로이 발견

- ⇒ 과거 모니터링에서 벗어났던 지역
- ⇒ 신도심의 오염이 의심됨
- ⇒ T-P 0.586 mg/L, 인근 진잠천의 0.066 mg/L에 비해 9배 정도 차이



구봉천

■ 고속도로의 오염악감 가능성

- ⇒ 대전시에 7.6 km의 길이에 1.9 km²의 면적을 차지함
- ⇒ 교통량이 많은 도로일수록 오염의 발생부하량 및 배출부하량이 많음



대전시 주요도로 현황

유량개선 방안

하천유지유량 개선

■ 물 자급자족을 위한 물재생의 도전

- ⇒ 문제점 해결 필요: 물재생을 위한 에너지 및 비용, 미세오염물질 처리
- ⇒ 보다 깨끗한 수질을 요구할수록 공중에 적용하기가 어려우며 대책마련이 필요

■ 물순환 선도도시

- ⇒ 불투수면이 많은 대전시, 물순환 선도도시 선정 및 진행의 계획에 있는 상황
- ⇒ LID기법이 만능이 아님, 장단점 및 적재적소에의 적용이 필요

■ 하수처리장 배출수

- ⇒ 대전시에서 가장 풍부한 수자원 (감천말단부 유량의 약 75%)
- ⇒ 배출수 사용을 위한 용도별 수질개선 에너지 필요. 하천유지유량 적용에 있어 다음의 절차가 필요 ① 규정농도 만족 ② 새로운 환경기준에 맞게 개선 ③ 위치를 포함한 계획 하천유량 설정 ④ 지속가능한 수자원으로 재정비

수질개선 방안

수질 개선

■ 침투능력의 개선을 통한 오염물질 삭감

- ⇒ 도로개선, 도심환경개선, 주차장개선 등의 이유로 많은 곳에서 불투수포장이 아닌 침투포장의 사업이 있음 (2015~2017년에 완공되는 25개 사업 조사됨)
- ⇒ 불투수면 감소를 위한 다양한 사업의 추진 및 다양한 분야에 효과가 있음을 홍보

	완료일	삭감방법	사업면적	저감효율	삭감대상부하량	삭감부하량
읍내동 차전거도로	2017.06.	투수블록	574 m ²	0.65	0.0012 kg/일	0.0010 kg/일

■ 고속도로 유출수의 처리 / 비점오염관리지역(진행중)

- ⇒ 대전시 내 고속도로(대전호구역)에서 2013~2014년에 7개소 시설 적용
- ⇒ 7개소에서 T-P 0.026 kg/일의 삭감효과가 있음. 대전호구역만이 아니라 대전시 주요하천에 영향을 주는 지역도 비점저감처리시설을 설치할 필요가 있음

	완료일	삭감방법	사업면적	저감효율	삭감대상부하량	삭감부하량
중구 비룡동 303-1	2014	도려여과	2,422 m ²	0.54	0.0050 kg/일	0.0020 kg/일

새로운 지표의 제시

새로운 도심 물 관리 지표의 제시

■ 환경변화에 의한 패러다임 변화

- ⇒ 도시의 하천환경 변화
- ⇒ 기후변화에 의한 흐름 변화 등

■ 비전 설정의 목적

- ⇒ 지속적인 목표를 수행하기 위한

■ 고려사항

- ⇒ 물순환과 에너지와의 관계
- ⇒ 물사용량과 같은 대표지수
- ⇒ UN SDGs 등과 연계
- ⇒ 목적에 맞는 수질의 달성 등

	지 표	단기	중장기
자원이용 요율성	물사용량	일인당 물 사용량저감	도시기능 각각의 물 사용량 저감
	에너지 요율	물에 관련된 전체 에너지 사용요율 개선	물에 관련된 각각의 에너지 사용요율 개선
물공급 자급화	물공급량	물 요구량에 대한 내부 축 생산 비율	
	물공급원	요구되는 물 사용량 중 에 내부적으로 얻어지고 순환되는 물의 비율	
수자원 유량의 보유	수질	수질오염총량제 목표수 질 만족	지수가농성을 위해서 필 요한 점 비점비출량
	물의 자연 회복	물순환성도도시 안 회복목표 설정	도시화되기 전의 도실하 천 유량 달성
물이용 다양성			예산대비, 수공간의 기 능을 위해 필요한 물

참고문헌

- 고광규, 김석규(2015), 하천유지유량 증대에 따른 수질개선 효과 분석
- 김갑수, 이승민(2009), 고도재생수를 이용한 서울시 지천의 유지수량 확보방안
- 국립환경과학원(2014), 수질오염총량관리기술지침
- 국립환경과학원(2015), 전국오염원조사
- 노재경(2009), 대전 3대 하천 상류 저수지 운영에 의한 유지유량 증대 효과
- 대전광역시(2014), 수질오염총량관리 시행계획
- 대전광역시(2015), 수질오염총량관리 2014년 이행평가
- 대전광역시(2015), 수질오염총량관리 제3단계 기본계획
- 대한토목학회(2001), 투수성포장재를 사용한 호우시 우수유출 저감효과 분석
- 대통령령, 환경정책기본법 시행령
- 도우곤, 조정구, 유평중(2010), 도심 하천 복원에 따른 기온 저감 효과 연구
- 박성천, 이진원, 최계운, 오종민, 김용구(2003), 도시하천의 유지수량확보에 따른 수질개선 효과
- 서주환, 이인규(2013), LID 기술 적용을 통한 공동주택단지 물순환 개선 연구
- 수질오염총량관리기술지침(2012.8)
- 안중호 외(2011) 물 재이용을 통한 도시하천 물순환개선 정책방안
- 윤춘경, 임용호, 김형중(1997), 인공습지에 의한 농공단지 폐수처리
- 장연구, 최계운(2005), 도심하천 복원에 따른 하천유지유량 산정 연구
- 최계운, 최종영, 김석봉(2004) 우수유출수의 도시하천 유지유량 활용을 위한 지하저류시스템 개발
- 최지용(2007), 지속가능한 물 관리를 위한 환경유량의 기능정립에 관한 연구
- 환경부(2014), 수질오염공정시험기준
- ADB(2016), Asian Water Development Outlook 2016, Strengthening Waste Security in Asia and the Pacific. Asian Development Bank, Asia-Pacific Water Forum, Phillipines
- Fetter, C. W.(2001), "Applied Hydrogeology" 4th ed., New Jersey : Prentice Hall, p 598
- IWA(2016), The IWA Principles for Water Wise Cities. International Water Association, London
- Jacob A. Napieralski, Thomaz Carvalhaes(2016), Urban stream deserts:

- Mapping a legacy of urbanization in the United States, *Applied Geography*, 67, pp.129-139
- KS F 2010, 2003, “개수로의 유량측정방법(유속-면적법) “ 한국표준협회
- M.A. Renouf, S. Serrao-Neumann, S.J. Kenway, E.A. Morgan, D. Low Choy(2017), Urban water metabolism indicators derived from a water mass balance e Bridging the gap between visions and performance assessment of urban water resource management, *Water Research*, 122, pp.669-677
- Martin Rygaard, Philip J. Binning, Hans-Jørgen Albrechtsen(2011), Increasing urban water self-sufficiency: New era, new challenges, *Journal of Environmental Management*, 92, pp.185-194
- Megan H. Plumlee, Christopher J. Gurr, Martin Reinhard(2012), Recycled water for stream flow augmentation: Benefits, challenges, and the presence of wastewater-derived organic compounds, *Science of the Total Environment*, 438, pp.541-548
- OECD(2015), Water and Cities, Ensuring Sustainable Futures, OECD
- Ogosi, M., Suzuki, Y., Asano, T.(2001), Water reuse in Japan, *Water Science and Technology*, 43(10), pp.17-23
- US EPA/620/R-94/004F(1998), Environmental monitoring and assessment program-surface waters, EPA
- Wong, T.H.E., Allen, R., Brown, P.R., DEletic, A., GAngadharen, L., Gernjak, W., Jakob, C. Johnstone, P., Reeder, M., Tapper, N., Vewtz, G., G., Walsh, C.J., Blueprint(2013), *Stormwater Management in a Water Sensitive City*. CRC Water Sensitive Cities

대전지방기상청, <http://web.kma.go.kr/aboutkma/intro/daejeon/>
 물환경정보시스템, <http://water.nier.go.kr/main/mainContent.do>