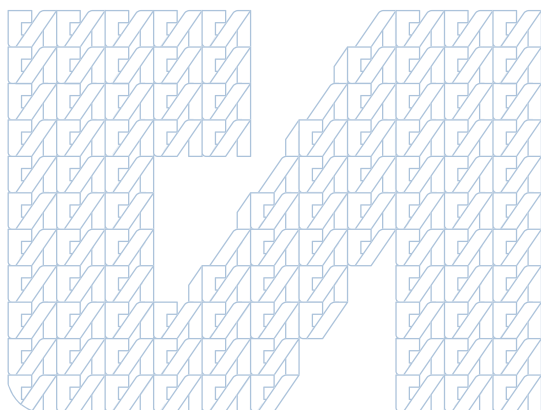


대전광역시 물순환선도도시 운영에 따른 수환경 개선효과

이재근 · 이은재 · 문충만



정책연구 2019-24

대전광역시 물순환선도도시 운영에 따른 수환경 개선효과

이 재 근 · 이 은 재 · 문 충 만

연구책임

• 이재근 / 도시기반연구실 책임연구위원

공동연구

• 이은재 / 도시기반연구실 책임연구위원
• 문충만 / 도시기반연구실 연구위원

정책연구 2019-24

대전광역시 물순환선도도시 운영에 따른 수환경 개선효과

발행인 박 재 목

발행일 2019년 9월

발행처 대전세종연구원

34863 대전광역시 중구 중앙로 85(선화동)

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
입장과는 다를 수 있습니다.

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

요약 및 정책건의

■ 연구 배경 및 필요성

- 기존 도시의 문제점 및 변화의 필요
 - 도시화에 따른 불투수면 증가로 도시의 물순환 체계가 왜곡됨에 따라 수질·수생태계 악화, 하천의 건천화, 지하수 고갈, 열섬현상 악화, 도시 유역 홍수 등 다양한 분야에서 물환경에 대한 문제점이 발생함
 - 이에, 대전광역시와 원래부터 있었던 자연상태의 물순환으로 돌아가고 체계적인 물순환 관리를 위하여 “대전광역시 물순환 개선 조례(2018, 제5054호)”에 의거하여 물순환선도도시 수립을 추진함
- 물순환선도도시를 비롯한 저영향개발기법 도입의 필요성
 - 대전광역시의 자연환경과 도시 기반시설에 부합하는 저영향개발 기법을 도시 전체에 점진적으로 적용할 필요가 있음
 - 공공부문에서의 다양한 도시시설과 민간부문의 신규개발, 재개발, 재건축, 정비사업 등에 대해 원인자 부담원칙에 근거한 물순환 분담량이 설정되고 이행하는 방안의 마련에 대응할 필요가 있음

■ 연구목적

- 기후변화로 변화하는 환경에 대응
 - 기후변화에 대응하기 위한 적극적인 방안과 더불어, 변화를 예측하고 변화된 기후에 적응하기 위한 장기적인 방안으로 적용함
- 물순환선도도시의 효과 확인
 - 도시화에 의한 불투수면 확대는 자연의 물순환 구조를 왜곡시키며, 이는 기후변화에 의하여 그 정도가 확대될 수 있음

- 물순환선도도시는 도심의 빗물 침투 증가에 의한 빗물유출 감소, 도심의 지하수 유입 등의 기능을 수행할 것이며, 이에 따른 저영향개발기법의 효과를 확인해야 함

■ 물순환선도도시 등에 적용되는 저영향개발기법의 효과

- 저영향개발기법에 의한 개별배출부하량 삭감
 - 수질오염총량제의 소유역 기준으로 갑천A24 및 갑천A32를 대상지역으로 하여 저영향개발기법을 적용함
 - 비점배출부하량으로 갑천A24에서는 T-P 0.179 kg/일, 갑천A32에서는 1.286 kg/일이 감소되는 것으로 나타남
 - 이 삭감량은 대전광역시 갑천A 단위유역 비점배출부하량(점을 비점으로 전환하는 조건) 1,848,888 kg/일과 비교하여 0.08%로 작은 수준으로 나타남
- 대상지역의 관거월류부하량 삭감
 - 대상지역에 저영향개발기법을 적용함에 따라 관거월류부하량을 삭감함
 - 삭감부하량은 물순환분담량 20 mm에서 T-P가 0.888 kg/일에서 0.322 kg/일로 0.566 kg/일이 삭감되는 것으로 나타남
- 수질오염총량제 수질모델링 적용에 의한 갑천의 수질개선 효과
 - 저영향개발기법 적용 지점(유등천 한밭대교)에서 T-P 0.124 mg/L, 유등천 합류지점(원촌교)에서 0.129 mg/L, 갑천A 지점(불무교)에서 0.195 mg/L로 나타남
 - 개별배출부하량 삭감을 통하여 유등천 합류지점에서 0.127 mg/L로 수질이 약간 감소하였으나 최종 갑천A 지점에서는 0.194 mg/L로 거의 동일하였음
 - 관거월류부하량 삭감을 적용한 결과, 유등천 합류지점에서 0.128

mg/L로 수질이 약간 감소하였으나 갑천A 지점의 수질은 0.195 mg/L로 동일하였음

- 시가화지역의 25%로 대상을 확대·적용하면 유등천 합류지점 0.121 mg/L, 갑천A 지점 0.190 mg/L로 개선되는 것을 확인할 수 있었음
- 물순환선도도시 등의 적용으로 비점오염물질의 배출을 억제하였지만 하천수계 말단인 갑천A 지점의 수질은 변화가 없었음. 단, 일평균이 아닌 강수 시기를 대상으로 하면 효과가 더욱 커질 것으로 보임. 더불어, 신도심, 환경정비구역, 재개발 등 새로운 도심의 적극적인 적용 및 기존 도심에의 도입 확대는 도심하천 전체의 수질개선 및 수생태 개선을 이끌어 낼 수 있을 것으로 판단됨

■ 정책건의

○ 저영향개발기법의 이행 모니터링의 수행

- 물순환선도도시 등의 저영향개발기법이 하천수질을 개선하는 것을 예측하는데 있어, 현장 모니터링이 절대적으로 필요함. 향후 선도도시의 성공적인 운영에 필요한 현장 모니터링 계획을 수립하는 것이 필요함
- 물순환선도도시는 환경부의 수질오염총량제와 LID 사업의 효과를 나타내는 것이 바람직함. 대전광역시 Test Bed로서의 역할과 사업의 확산을 위해 사업준비 및 초기단계에서 모니터링과 결과 분석사업이 반드시 수행되어야 할 것이며, 해당 모니터링의 종류는 다음과 같음

- ① 물순환의 확인을 위한 모니터링의 진행
- ② 에너지 관리를 위한 구체적 에너지소비 데이터의 확보
- ③ 대기관리를 위한 모니터링 지점 확대
- ④ 기후변화 관리를 위한 방법의 선정 및 지속적인 모니터링
- ⑤ 지역사회 일반적 환경개선 조사

- 저영향개발기법에 따른 효과의 인식 확대
 - 빗물을 발생원에서 분산형으로 관리하는 원칙을 가진 저영향개발(LID)은 저류식 빗물관리시설보다 도시 물순환을 회복하는데 효과가 큼
 - 저영향개발기법의 일반적인 효과는 수질개선으로 인식되어 왔음, 하지만, 빗물을 모두 제어할 수 없고 그 대상면적이 적은 상황에서 수질개선의 효과는 크지 않을 수 있음
 - 이에, 저영향개발기법의 부가적 효과를 사회적 비용과 연계하여 객관화하여 새로운 평가를 진행하여야 함
- 저영향개발에 의한 사회적 비용의 대체 및 경제 활성화 효과 검토
 - 물순환 및 저영향개발이라는 틀에서 아래와 같은 부가적 효과에 대한 체계적 검토 및 대응이 필요함
 - ① 도심온도 저감이 온열환자, 스트레스, 사망률 등에 미치는 영향 분석
 - ② 도시의 미관개선, 부동산 가치의 증가여부 확인
 - ③ 도시 기능 개선에 의한 여가활동 개선
 - ④ 녹색일자리의 창출
 - ⑤ 에너지사용량의 감소, 이산화탄소 배출의 감소량
 - ⑥ 대기질의 개선 확인

차 례

1장 서론	1
1절. 연구배경 및 필요성	3
1. 연구배경	3
2. 연구의 주요 내용	5
2절. 연구의 방법	7
2장 물순환선도도시 일반현황 및 진행사항	9
1절. 물순환선도도시의 선정 및 진행사항	11
1. 주요 용어	11
2. 언론 등에 나타난 진행현황	13
2절. 대전광역시 물순환 기본계획	19
1. 물순환선도도시 조성을 위한 물순환 기본계획 수립방법	19
2. 대전광역시 물순환 기본계획	20
3절. 대전광역시 물순환 개선조례	29
3장 수환경 개선효과 분석을 위한 기준	33
1절. 삭감을 검토하기 위한 인자 및 방법	35
1. 검토 인자	35
2. 삭감의 산정 방법	39
2절. 강수량 특성	43
3절. 수질오염총량제 및 수질모델링 적용	50
1. 삭감 배출부하량 산정 방안	50
2. 수질모델링 적용방안	52

4절. 물순환선도도시 등의 적용	55
4장 물순환 적용에 따른 수환경 개선효과	57
1절. 개별배출부하량의 삭감	59
2절. 오염배출 저감에 의한 수질개선 효과	63
3절. 부가적 효과	67
5장 결론 및 정책제언	79
1절. 결 론	81
2절. 정책제언	85
참고문헌	91

표 차례

[표 2-1] 물순환 기본계획의 주요 내용	19
[표 2-2] 대전광역시 현황	20
[표 2-3] 물순환 상태 평가	21
[표 2-4] 대전광역시 물순환 상태 평가 및 목표	22
[표 2-5] 단계별 물순환 개선효과	23
[표 2-6] 물순환 분담량	24
[표 2-7] 대전광역시 단계별 저영향개발기법 시행효과	26
[표 2-8] 저영향개발기법 시설에 따른 부가적 효과	27
[표 3-1] 대전광역시 강수량별 분포 특성 (구간별 강수일수)	37
[표 3-2] 대전광역시 우수토구, 우수토실 조사표	42
[표 3-3] 대전광역시 강수량별 분포 특성 (구간별 강수일수)	43
[표 3-4] 대전광역시 2016년 일별 강수량 (mm)	44
[표 3-5] 대전광역시 2017년 일별 강수량 (mm)	46
[표 3-6] 대전광역시 2018년 일별 강수량 (mm)	48
[표 3-7] 갑천A 단위유역 오염원별 할당부하량	50
[표 3-8] 갑천A 단위유역 소유역별 할당부하량	51
[표 3-9] 대전광역시 수질모델링 적용하천 및 구간	52
[표 3-10] 대전광역시 갑천 수질모델링 수리계수	54
[표 3-11] 단계별 사업지역별 물순환 개선효과 (누적)	55
[표 4-1] 저영향개발기법 적용에 따른 관리지역 물수지	60
[표 4-2] 저영향개발 적용에 따른 대상지역 하천유출량 변화	61
[표 4-3] 비점오염원관리지역의 저영향개발기법 적용에 따른 삭감부하량 ·	62

[표 4-4] 저영양개발 적용에 따른 관거월류부하량 삭감량 및 삭감률	62
[표 4-5] 갑천하류 구간별 수질의 변화 (T-P, mg/L)	64
[표 4-6] 비점오염저감시설의 저감효율 (%)	65
[표 4-7] 미국 필라델피아의 물순환 부가가치 항목 및 추정액	77
[표 4-8] 대전광역시의 물순환 부가가치 추정	78

그림 차례

[그림 2-1] 토지계 배출부하량 산정과정	12
[그림 2-2] 대전광역시 물순환선도도시 사업대상지역	20
[그림 2-3] 대전광역시 시가화/비시가화 구분	21
[그림 2-4] 대전광역시 물순환 분담량	24
[그림 3-1] 대전광역시 세분류 토지피복도	36
[그림 3-2] 도시 물순환 모식도	39
[그림 3-3] 토지계 개별배출부하량 산정 과정	40
[그림 3-4] 토지계 관거월류부하량 산정 과정	40
[그림 3-5] 대전광역시 갑천의 우수토구, 우수토실 현황	41
[그림 3-6] 대전광역시 하천 수질모델링 모식도	53
[그림 3-7] 물순환 관리지역 (단기1차, 단기2차, 중기, 장기)	56
[그림 4-1] 대전광역시 비점오염원관리지역	59

서론

1절. 연구배경 및 필요성

2절. 연구의 방법

1장

1장 서론

1절. 연구배경 및 필요성

1. 연구배경

1) 대전광역시 내외 여건

(1) 물순환선도도시의 출범

○ 기존 도시의 문제점 및 변화의 필요

- 도시화에 따른 불투수면 증가로 도시 물순환 체계가 왜곡됨에 따라 수질·수생태계 악화, 하천의 건천화, 지하수 고갈, 열섬현상 악화, 도시유역 홍수 등 다양한 분야에서 물환경에 대한 문제점이 발생함
- 이에, 대전광역시 본래의 자연적인 물순환으로 회복하고 체계적인 물순환 관리를 위하여 “대전광역시 물순환 개선 조례(2018, 제5054호)”에 의거하여 물순환선도도시의 수립이 추진됨

○ 물순환선도도시의 목적

- 대전광역시의 자연환경과 도시 기반시설에 부합하는 저영향개발 기법을 도시 전체에 점진적으로 적용하기 위함임
- 공공부문에서의 다양한 도시시설과 민간부문의 신규개발, 재개발, 재건축, 정비사업 등에 대하여 원인자 부담 원칙에 근거한 물순환 분담량이 설정되고 이행될 수 있는 방안을 마련하는데 근거를 제시하고자 함

○ 물순환선도도시의 공모 및 선정

- 2016년 물순환선도도시 공모 및 신청 이후 최종적으로 환경부에서 대전광역시 등 5개 지자체가 선정됨

(2) 기후변화 대응 등 변화하는 환경요구

○ 기후변화로 변화하는 환경

- 화석연료 사용 이후 전 세계적인 기후변화 및 기상이변은 대부분의 곳에서 체감할 수 있는 상황이 되고 있음
- 기후변화에 대해서 대응하기 위한 적극적인 방안을 진행하는가 하면, 변화를 예측하고 변화된 기후에 적응하기 위한 장기적인 방안이 요구되고 있는 상황임

○ 도시의 기후변화 대응 요구

- 기후변화 대응은 환경과 인간사회 사이의 상호작용 또는 물리적 환경을 조절하여 변화하는 기후의 영향을 감소시키기 위한 활동을 말함
- 대응방안으로써 대표적인 부문으로는 건물, 조명, 패시브하우스, 연비 개선, 자전거, 대중교통, 태양광태양열, 지열, 풍력, 수소에너지, 열병합발전, 해양에너지, 수소에너지, 에너지 절약 등이 있음

○ 기후변화 대응 방법으로 물순환선도도시를 적용

- 도시화에 의한 불투수면 확대는 자연의 물순환 구조를 왜곡시키며, 이는 기후변화에 의하여 그 정도가 확대될 수 있음
- 빗물의 양 증가는 도시의 침수를 일으킴. 지하침투량을 감소시켜 장기적으로 지하수의 고갈과 하천 건천화를 일으킴
- 비가 많이 내리면 직접 유출되어 홍수와 함께 하천범람이 일어남. 비점오염원 유출로 도심하천의 수질 악화가 나타남
- 가뭄 시에는 도시의 저장된 물의 부족으로 도시 생태계의 변화를 일으킴. 가로수는 악화된 환경으로 인하여 그 기능을 잃게 됨
- 물순환선도도시는 도심의 빗물 침투 증가에 의한 빗물유출 감소, 도심의 지하수 유입 등의 기능을 수행할 것이며, 이에 따른 저영향개발기법의 효과를 확인해야 할 것임

2. 연구의 주요 내용

(1) 대전광역시 하천수질의 개선여부 확인

- 사업에 따른 오염배출부하량 삭감여부 확인
 - 갑천에 갑천가동보와 같은 체류시간을 증가시키는 유역현황 및 비점유출이 있는 상황이며, 이에 비점오염원관리지역 또한 T-P에 대한 삭감을 기준으로 계획을 수립하고 있음
 - 물순환선도도시, 비점오염원관리지역 등 진행·계획 중인 물순환 개선사업에서 가능한 삭감 오염배출부하량의 확인
- 수질개선 확인을 위한 수질모델링의 도입
 - 유역의 배출부하량이 하천수질에 미치는 영향을 연결하기 위해서는 하천을 모의할 수 있는 수질모델링을 적용해야 함
 - 과거 적용된 수질모델링의 사용 및 새로운 수질모델링의 적용을 고려하여 갑천에 적용할 수 있는 수질모델링을 선정함
- 갑천의 수질변화 제시
 - 적용 수질모델링으로 물순환선도도시 및 비점오염원관리지역의 시행으로 변화하는 갑천의 수질을 확인함
 - 변화하는 수질은 수질모델링에서 모의한 대표지점의 수질로 제시함

(2) 수질오염총량제에 대응

- 수질오염총량제 대응방법
 - 수질오염총량제는 금강, 낙동강, 영산섬진강 수계에서 제3단계가 진행 중이며, 각각의 단위유역 할당부하량을 만족시켜야 함
 - 할당부하량을 만족하기 위해서 하수관거 개선사업, 하수처리장 고도화 사업, 비점오염원 저감사업 등이 진행되고 있음. 수질오염총량제가 제3단계로 접어들면서 점오염 삭감보다는 비점오염 삭감으로 그 방법이

다변화되고 있는 상황임

○ 물순환선도도시 등의 적용 방법

- 물순환선도도시의 침투능력 향상을 위한 LID기법은 오염물질 배출을 제어할 수 있음
- 빗물을 합류식관거 및 우수관거에 연결되지 않고 여러 가지 침투시설에 연결시킴으로써 합류식관거의 CSOs 유출, 토지로부터의 오염유출을 감소시킬 수 있음
- 이러한 유출을 수질오염총량관리제 기술지침에 의거한 삭감 배출부하량으로 변환시킬 경우 삭감배출부하량으로 적용할 수 있음

(3) 건전한 물순환의 효과 확인

○ 물순환에 의한 생활여건의 변화

- 건전한 물순환은 빗물의 유출 제어로 인한 오염물질을 감소시킬 수 있는 것 이외에 부정적인 도시특성을 완화시키게 됨

○ 물순환에 의한 부가적 효과 예측

- 물순환에 의한 생활여건의 개선으로 기후에 영향을 받는 여가활동의 개선, 침투기법 시설에 의한 도시미관의 향상, 하천·지하수량 증가에 의한 생태계 여건 향상, 에너지사용의 감소 등이 예상됨
- 이러한 건전한 물순환의 효과는 국내외 사례를 통해 긍정적 효과를 예측할 수 있을 것으로 보임

2절. 연구의 방법

(1) 물순환선도도시 진행사항의 검토

- 물순환선도도시의 준비 및 추진
 - 물순환선도도시에 선정된 이후 기본계획, 실시계획의 추진상황을 인지하고, 여기에서 도출되는 결과를 하천의 수환경 예측에 도입하게 됨
- 「대전광역시 물순환 기본계획」의 검토
 - 환경부의 「물순환선도도시 조성을 위한 물순환 기본계획 수립방법」에 의하여 「대전광역시 물순환 기본계획」을 수립함
 - 「대전광역시 물순환 기본계획」에서 제시한 저영향개발기법의 적용범위 및 삭감예상부하량을 검토할 수 있음

(2) 저영향개발의 적용에 의한 오염배출부하량 삭감 검토

- 저영향개발기법 적용 적지 분석
 - 현실적으로 저영향개발기법을 적용할 수 있는 대상인 물순환선도도시, 비점오염원관리지역의 계획을 검토하여 대상지를 확인
- 수질오염총량관리 기술지침의 적용
 - 현재 상황으로 오염배출부하량을 산정할 수 있는 가장 체계적인 것으로 환경부의 수질오염총량관리 기술지침을 적용
 - 우리나라에서 유역관리를 위한 기초계획인 수질오염총량관리제를 위한 것으로, 여러 분야에서 범용성이 우수한 지침임
- 대상 삭감부하량의 선정
 - 저영향개발기법을 적용하여 삭감 가능한 것은 수질오염총량관리 기술지침에 의하면 토지계 유출부하량, 하수관거 CSOs 부하량임
 - 침투량의 감소가 어떻게 대상 삭감부하량과 연계시킬 수 있는지 진행연구가 필요함

(3) 저영향개발기법이 공공수역 수질에 미치는 영향 분석

- 유역과 하천의 관계 설정
 - 대전광역시는 갑천A 단위유역을 중심으로 금강이 지나가는 순서대로 금본F, 금본G, 금본H가 있음
 - 본 연구의 대상지역은 갑천A 단위유역으로 이를 갑천에 유입되는 소유역으로 세분한 후, 저영향개발기법이 적용되는 소유역을 수질모델링에 적용하게 됨
- 수질모델링 활용
 - 근래에 대전광역시에 적용된 수질모델링은 하천을 모의하는 QUAL2E와 하천과 저수지를 동시에 모의할 수 있는 QUALKO 및 QUAL-NIER이 있음
 - 최근에는 갑천가동보와 같은 체류시간이 긴 상황을 적용할 수 있는 QUAL-NIER이 수질오염총량제 제3단계 기본계획에서 적용되었음

(4) 저영향개발기법의 적용에 의한 도심의 변화 예측

- 도심의 긍정적 효과 확인
 - 저영향개발기법의 적용이 오염배출부하량 삭감과 같이 정량화할 수 있는 것도 있지만, 평가가 어려운 효과도 많이 존재함
 - 국내외 학술연구 DB에서 물순환, 저영향개발기법 등과 관련한 부가적 효과에 대한 사례를 취합·검토하고자 함
 - 더불어 환경경제적 검토로 부가적 효과를 정량화한 사례가 있을 경우, 이의 방법을 소개하고자 함

물순환선도도시 일반현황 및 진행사항

- 1절. 물순환선도도시의 선정 및 진행사항
- 2절. 대전광역시 물순환 기본계획
- 3절. 대전광역시 물순환 개선조례

2장

2장 물순환선도도시 일반현황 및 진행사항

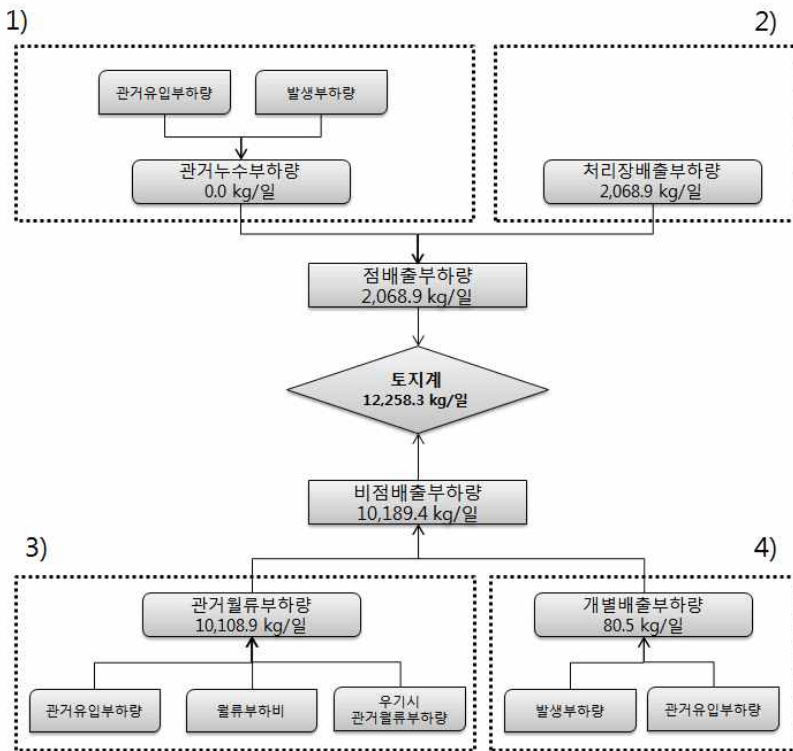
1절. 물순환선도도시의 선정 및 진행사항

1. 주요 용어

- 물순환선도도시 : 도심의 불투수면에 의해 파괴된 물순환을 저영향개발 기법 등을 이용하여 도시조성 이전의 물순환 상태로 되돌리기 위해 시범사업을 진행하는 도시
- 저영향개발(Low Impact Development) : 저영향개발이란 빗물이 땅속으로 침투되지 못하는 불투수면을 줄여서 강우유출을 최소화하고 물의 순환기능을 유지하는 개발방식임. '물순환 회복 사전협의제'는 개발의 대상지 내에서 빗물의 자연순환 기능을 회복하는 계획을 수립·적용하도록 사전협의하는 제도로, 수질오염 저감 및 도시침수, 건천화 예방을 목적으로 함
- 불투수면 : 빗물 또는 눈 녹은 물 등이 지하로 스며들 수 없게 하는 아스팔트, 콘크리트 드응로 포장된 도로, 주차장, 보도 등을 말함
- 불투수면적률 : 불투수면적 / 총면적 × 100% (불투수면-빗물 또는 눈 녹은 물 등이 지하로 스며들 수 없게 하는 아스팔트·콘크리트 등으로 포장된 도로 등을 말함)
- 소유역 : 유역환경조사, 수질모델링 등에 필요한 배수구역단위를 설정하기 위하여 단위유역을 세분한 유역
- 배출부하량 : 발생한 오염물질이 처리과정을 거쳐 삭감된 후 또는 처리과정을 거치지 아니하고 직접 공공수역으로 배출되는 양
- 수질모델링 : 계산식 또는 전산모델을 이용하여 오염원과 수질의 관계를 분석하고 오염부하량의 증감을 비롯한 환경요인 변화에 따른 수질

변화를 예측평하는 것

- 할당부하량 : 기준배출부하량에서 안전부하량을 제외한 부하량
- 토지계 점오염원 : 공공수역으로 방류되는 환경기초시설로부터의 토지계 방류수, 토지계 관거누수 및 미처리배제수
- 토지계 비점오염원 : 환경기초시설과 연결된 관거로 유입되지 않아, 해당 구역에서 토지계 배출수(개별배출부하량), 토지계 관거월류수(관거월류부하량)형태로 배출되는 오염원
- 토지계 오염물질 배출구조¹⁾



[그림 2-1] 토지계 배출부하량 산정과정

1) 이재근(2013), 대전시 수환경 배출오염원 조사방법 개선, 대전발전연구원

2. 언론 등에 나타난 진행현황

1) 물순환선도도시의 공모 및 제안

○ 물순환선도도시 공모, 설명회

○ 배경 및 목적

- 도시화로 인한 불투수면의 증가로 가뭄·홍수, 지하수 고갈, 하천 건천화, 수질·수생태계 악화 등 물문제 가중
- 저영향개발 적용을 통하여 자연적 물순환 회복으로 도시 물순환 건전성을 높인 '물순환선도도시' 선정·조성 추진

○ 공모 계획

- 대상 : 10만명 이상 도시(시·군·구) 및 광역·특별·특별자치시
- 기간 : 2016.2.17~4.15
- 방법 : 희망 지자체에서 신청서 및 관련된 자료 등을 작성하여 환경부에 공문으로 신청
- 지자체 작성자료 : 도시의 물순환 현황, 물순환 회복 추진계획 등

구분	항목	세부 내용
물순환 상태	도시화와 불투수 면적	토지이용 현황도, 도시인구 밀집도, 불투수면적률 현황 등
	기후조건과 자연환경	강수량, 증발량, 지하수, 고도, 토질·토양
	수질 및 수생태계	하천수질, 비점오염원 현황, 생태계(생태자연도 등)
	물순환변화의 영향	도시 미기후(열대야, 폭염), 도시 홍수(침수피해 이력) 등
물순환 개선 추진 기반	사업추진계획 수립 여부	저영향개발 적용사업 추진계획 (기본계획, 타당성 등)
	제도 개선	물순환 개선 조례 마련계획
	부서간 협업계획	물순환 관련된 유관부서 업무분담 및 협업계획서 등
	교육·홍보 계획	학교와의 연계 교육계획, 지역주민 교육·홍보계획 등

○ 물순환선도도시 신청서 작성

I. 사업개요

1. 사업의 필요성

- 대전광역시는 도시화, 산업화 및 행정구역의 확대에 의한 주거, 업무 등 다양한 토지이용으로 불투수면적이 증가하면서 강우시 유출량과 비점오염 발생량이 증가되고 있음
- 대전광역시 갑천은 금강으로 흐르는 수계로 비점오염원의 집중적 오염부하량 삭감이 요구되는 지역임. 더불어 기후변화에 따른 집중호우와 가뭄으로 인하여 하천수질 관리가 어려운 실정임
- 이에, 건전한 물순환의 확보, 비점오염물질 유출의 저감 및 주민친화공간 조성을 통하여 강우유출수 저감을 위한 저영향개발을 확대하며, 저영향개발기법 도입에 따른 타당성 연구를 선행한 후에 관련 조례를 제정하고 교육·홍보시스템을 구축하는 등의 물순환선도도시로 조성하고자 함



2) 물순환선도도시의 선정

○ 대전시 ‘물순환선도도시’ 선정2)

대전광역시시는 환경부의 물 순환 체계개선을 위한 ‘물 순환 선도도시 공모사업’에 지난 5월25일 선정돼, 저영향개발 기법 도입에 탄력을 받게 됐다. 이번 환경부 공모사업에 인구 10만명 이상의 전국 지자체를 대상으로 지난 2월17일부터 4월15일까지 물 순환 건전성, 사업의 효율성, 지자체 추진의지 등 8개 평가기준에 따른 서면평가와 현장평가를 거쳐 대전시를 포함한 4개 도시(광주, 울산, 김해, 안동)가 최종 선정됐다. 특히 대전시는 중앙부처와 전문 심사위원들에게 물 순환을 고려한 친환경 도시 구성에 강한 추진의지를 보여줬다는 점에서 높은 평가를 받았다. 올해 1월, 대전시는 저영향개발 기법 전면 도입을 통해 빗물을 이용한 물 순환 도시로 전환시키겠다고 공식적으로 밝힌 후, 저영향개발 도입을 위한 연구과제를 수행 중에 있으며 환경부의 ‘물 순환 선도도시’로 선정되기 위해 준비해 왔다. 앞으로 대전시는 6월 중에 환경부와 업무협약을 맺고 ▷물 순환 평가방법 및 개선 목표 설정 ▷물 순환 정책협의회 구성 ▷물 순환을 개선하기 위한 조례 제정 등 제도 도입에 상호 협력하게 된다. 아울러 내년부터 2019년까지 (중략) LID 기법을 집중 적용하는 시범사업을 펼치게 되는데, 그에 따른 사업비가 280억원으로 70%를 환경부가 지원한다. (중략)이와 함께 대전시는 ▷개발사업 시 사전협의제 운영 ▷도로투수포장 확대 및 관리실명제 도입 ▷빗물관리시설 보조금 신설 ▷물 순환 교육센터 건립 등 다양한 시책도 함께 실천해 나간다는 계획이다. 앞으로 대전시는 환경부와의 상호협력을 강화해 훼손된 빗물 순환체계를 회복하고 ‘건강한 물 순환 도시’로 탈바꿈하게 될 것이다. 또한 개발부하량 확보를 위한 비점오염원에 대한 체계적 수질오염총량 삭감방안으로 제시될 수 있다는 점에서 고무적이다. 저영향개발기법 적용은 비점오염 물질로 인한 하천오염 저감은 물론 도시공간의 가치증대, 도심의 열섬현상 완화, 재난(홍수)예방 등 다양한 파급효과가 기대된다. (후략)

2) 환경일보(2016.06.09.), 대전시 ‘물순환선도도시’ 선정

○ 대전 등 전국 5개 지자체 '물순환선도도시' 본격시동, 환경부·환경관리공단대전시 등 5개 지자체 업무 협약³⁾

대전시 등 전국 5개 지자체와 환경부 등은 23일 대전시청 대회의실에서 '물 순환 선도도시 조성을 위한 업무협약'을 체결했다. 협약에는 대전을 비롯해 물 순환 선도도시로 선정된 광주, 울산, 경북 안동, 경남 김해 등 5개 지자체와 환경부, 환경관리공단이 참여했다. 이 자리에는 이정섭 환경부 차관과 권선택 대전시장, 물 순환 도시 자치단체장, 이시진 한국환경공단 이사장이 참석했다. 5개 물 순환 선도도시는 이번 협약을 통해 환경부·환경관리공단과 긴밀한 협력체계를 구축하고 가뭄, 홍수, 지하수 부족, 수질 오염 등 물 순환 왜곡현상을 획기적으로 개선하기 위한 '저영향개발기법'(빗물 분산관리기법)을 전면 도입할 계획이다. 환경부와 한국환경공단은 물 순환 선도도시 조성사업이 성공적으로 이뤄질 수 있도록 ▲ 추진방향 제시 ▲ 기술 및 예산 등을 지원하고, 5개 지자체는 ▲ 도시의 물 순환 개선 목표 설정 ▲ 물 순환 개선 조례(가칭) 제정 ▲ 저영향개발 시범사업을 추진한다. 특히 환경부와 물 순환 선도도시, 전문가로 상호 협의체를 구성, 운영한다. (후략)



3) 연합뉴스(2016.06.23.), 대전 등 전국 5개 지자체 '물순환선도도시' 본격시동, 환경부·환경관리공단, 대전시 등 5개 지자체 업무 협약

3) 물순환선도도시의 진행

○ 대전광역시 물순환 개선 조례

제1조(목적) 이 조례는 「환경정책기본법」, 「물환경보전법」, 「자연재해대책법」 등 관계 법령에 근거하여 수질 및 수생태계의 오염이나 훼손을 사전에 예방하고 관리하여 본래의 자연적인 물순환 회복에 기여함을 목적으로 한다.

제2조(정의)

제3조(기본 책무)

제4조(원인자 책임원칙)

제5조(물순환 기본계획의 수립)

제6조(물순환 목표의 설정과 공개)

제7조(물순환 회복을 위한 지구단위계획에의 반영)

제8조(물순환 회복 사전협의)

제9조(저영향개발기법 적용시설의 설치 권고)

제10조(물순환위원회의 설치 및 기능)

제11조(위원회의 구성)

제12조(위원의 임기)

제13조(위원의 제척·기피·회피)

제14조(위원의 해촉)

제15조(위원장)

제16조(위원회의 회의)

제17조(의견청취 등)

제18조(간사)

제19조(수당 등)

제20조(운영세칙)

제21조(저영향개발기법의 우선 적용)

제22조(저영향개발기법의 우선 적용)

제23조(물순환 통합관리시스템의 구축·운영)

제24조(연구·개발의 촉진 등)

제25조(홍보사업 등)

○ 대전시, 물순환선도도시 조성사업 본격 시동4)

대전시가 '물순환선도도시 조성사업'에 본격 시동을 건다. 시는 둔산·월평 일원의 '물순환 도시 시범사업'추진과 함께 각종 개발사업 시 저영향개발 기법 적용을 유도하는 '물순환 회복 사전협약제'를 내달 1일부터 시행한다고 31일 밝혔다. (중략) 시 물순환 개선조례(제8-9조)에 근거한 사전협약의 대상은 비점오염저감 설치신고 대상사업 및 우수유출관리 대상사업으로, 이들 사업규모가 큰 공공개발의 경우 사전협약제를 통해 물순환 분담 목표량을 반영한 시설계획을 철저히 이행토록 유도하게 된다. (중략) 국정과제이기도 한 '물순환선도도시 조성사업'은 시가 2016년 환경부 공모사업에 선정된 이후 민선 7기 시민약속사업(빗물재이용 확산 및 빗물정원 조성 등)과 연계 추진되고 있다. 시범사업은 둔산·월평동 일원 2.56 km²에 2020년까지 모두 280억 원의 사업비(국비 70%)를 들여 식생체류지 조성, 투수성 포장, 옥상녹화 등 저영향개발기법을 적용해 물순환기능을 회복할 예정이다. 올 하반기 실시설계 완료 후 시범지역에 대한 시설공사 착공이 가능할 것으로 보여... (후략)



4) 대전일보(2019.01.31.), 대전시, 물순환선도도시 조성사업 본격 시동

2절. 대전광역시 물순환 기본계획

1. 물순환선도도시 조성을 위한 물순환 기본계획 수립방법

- 물순환선도도시 조성을 위한 물순환 기본계획 수립방법⁵⁾
 - 물순환선도도시를 조성하기 위하여 다음 [표 2-1]을 기초로 작성함

[표 2-1] 물순환 기본계획의 주요 내용

구 분	항 목
기초조사	<ul style="list-style-type: none"> • 기초자료 조사 및 분석 • 지역 환경 현황 조사 • 상위계획 및 관련 계획 조사 • 도시 물순환 및 우수배제 관련 현황 조사 등
불투수 산정 및 물순환 상태평가	<ul style="list-style-type: none"> • 불투수면적을 산정 • 물순환 상태 평가 • 물순환 회복률 산정
물순환 목표 설정 및 우선관리지역 선정	<ul style="list-style-type: none"> • 물순환 목표 설정 • 우선관리지역 선정
최적관리방안 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 최적관리방안 수립 방향 제시 • 구조적 최적관리방안 및 비구조적 최적관리방안 수립
물순환 조례	<ul style="list-style-type: none"> • 물순환 조례 제정
시행효과 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 시행효과 분석방법 제시 • 효과 실측, 분석 모델 구축 및 수행 • 모니터링 및 평가 수행
재원조달 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 재정계획 수립에 필요한 기준, 원칙 등을 제시
유지관리 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 유지·관리 기준 제시
협업 / 교육·홍보계획	<ul style="list-style-type: none"> • 부서간 협업 및 교육·홍보 계획 수립

5) 환경부(2016.), 물순환선도도시 조성을 위한 물순환 기본계획 수립방법

2. 대전광역시 물순환 기본계획6)

1) 기초조사

[표 2-2] 대전광역시 현황

구 분	현 황
면 적	539.55 km ² (국가기초구역 기준)
인 구	1,535,191명 (2015년)
하천현황	국가하천 3개소(80.20 km), 지방하천 26개소 (132.82 km)
토지이용현황	임야 51.83%, 대지 12.06%, 농경지 11.15%, 과수원 0.40%, 기타 24.56%
연강수량	1,414.7 mm



[그림 2-2] 대전광역시 물순환선도도시 사업대상지역

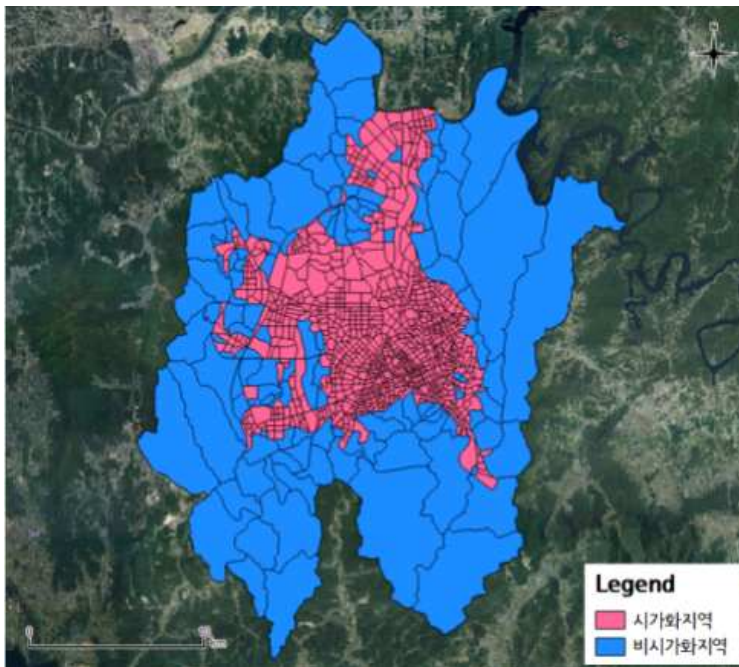
6) 대전광역시(2018), 대전광역시 물순환 기본계획

2) 불투수 산정 및 물순환 상태 평가

[표 2-3] 물순환 상태 평가

구 분	총 면적 (km ²)	불투수면적 (km ²)	불투수면적률 (%)	투수면적 (km ²)	투수면적률 (%)
시가화	139.98	87.25	62.33	52.73	37.67
비시가화	399.57	25.98	6.50	373.59	93.50
전 체	539.55	113.23	20.99	426.32	79.01

- 불투수면적률 : 불투수면적 / 총면적 × 100%
- 시가화 구역 : 국가기초구역단위 불투수면적율이 25%이상인 구역
- 비시가화 구역 : 국가기초구역단위 불투수면적율이 25%미만인 구역



[그림 2-3] 대전광역시 시가화/비시가화 구분

3) 물순환 목표 설정 및 우선관리지역 선정

[표 2-4] 대전광역시 물순환 상태 평가 및 목표

구 분		물순환 현황	물순환 목표	물순환 기준	
시가화 지역	물수지 (증발산:침투:유출)	28:23:49	29:26:45	32:42:26	
	물순환 변화량 (천m ³ /년)	증발산	52,275	53,940	-
		침투	43,859	50,846	-
		유출	92,871	84,219	-
	물순환 회복률		54.29%	63.45%	100%
	불투수면적률		62.33%	54.85%	25%
비시가화 지역	물수지 (증발산:침투:유출)	35:52:13	35:53:13	35:56:9	
	물순환 변화량 (천m ³ /년)	증발산	187,379	187,833	-
		침투	283,012	284,229	-
		유출	69,119	67,449	-
	회복률		91.81%	92.43%	100%
	불투수면적률		6.50%	6.01%	0%
전 체	물수지 (증발산:침투:유출)	33:45:22	33:46:21	-	
	물순환 변화량 (천m ³ /년)	증발산	239,654	241,773	-
		침투	326,870	335,074	-
		유출	161,990	151,667	-
	회복률		82.54%	85.37%	
	불투수면적률		20.99%	18.68%	

- 물수지 : 총강수량에 대해 증발산, 침투, 유출이 차지하는 상대적 비율
- 물순환 회복률[%] : 물순환 기준의 근접 정도를 정량적으로 나타낸 지표
- 물순환 목표 : 물순환 기본계획 상 재원여건과 시간적 범위를 고려하여 2065년까지의 물수지와 물순환 회복률 설정지표
- 물순환 기준 : 불투수면적률이 시가화 지역은 25%, 비시가화 지역은 0% (물순환 회복률 100% 상태)에 도달하기 위한 궁극적인 지표

[표 2-5] 단계별 물순환 개선효과

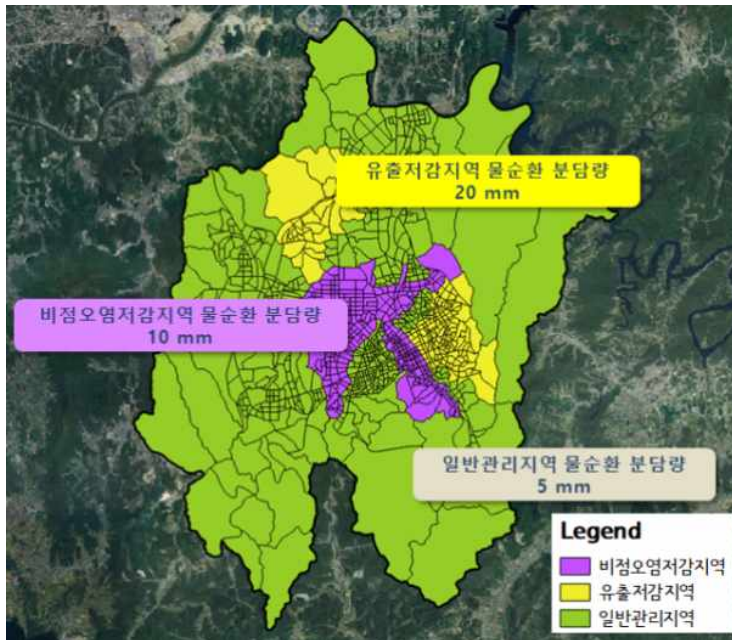
구 분		현황 (~2017)	단기1차 (~2020)	단기2차 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2065)
시가화 지역	불투수 면적률 (%)	62.33	62.05	61.69	58.49	54.85
	불투수면적 (km ²)	87.26	86.86	86.35	81.87	76.78
	회복률 (%)	54.29	54.63	55.07	58.99	63.45
비시가화 지역	불투수 면적률 (%)	6.50	6.50	6.50	6.38	6.01
	불투수면적 (km ²)	25.98	25.98	25.98	25.49	24.01
	회복률 (%)	91.81	91.81	91.81	91.96	92.43
전체	불투수 면적률 (%)	20.99	20.91	20.82	19.90	18.68
	불투수면적 (km ²)	113.24	112.84	112.33	107.37	100.79
	회복률 (%)	82.54	82.62	82.74	83.86	85.37

4) 최적관리방안 수립

[표 2-6] 물순환 분담량

구 분	국가기초구역 개소수	면적 (km ²)	불투수면적 (km ²)	물순환 분담량 (mm)
비점오염저감지역	346	43.79	26.62	10
유출저감지역	190	50.06	16.04	20
일반관리지역	571	445.70	70.58	5
전 체	1,107	539.55	113.24	-

- 물순환 분담량 : 물순환 목표에 도달하기 위하여 필요한 저영향개발 기법의 시설규모를 불투수면적에 연계하여 나타낸 값



[그림 2-4] 대전광역시 물순환 분담량

5) 물순환 조례

- 대전광역시 물순환 개선조례 (제정 2017-12-29 조례 제5054호, 일부 개정 2018-12-28 조례 제5182호)

<p>제1조(목적) 이 조례는 「환경정책기본법」, 「물환경보전법」, 「자연재해대책법」 등 관계 법령에 근거하여 수질 및 수생태계의 오염이나 훼손을 사전에 예방하고 관리하여 본래의 자연적인 물순환 회복에 기여함을 목적으로 한다.</p> <p>제2조(정의)</p> <p>제3조(기본 책무)</p> <p>제4조(원인자 책임원칙)</p> <p>제5조(물순환 기본계획의 수립)</p> <p>제6조(물순환 목표의 설정과 공개)</p> <p>제7조(물순환 회복을 위한 지구단위계획에의 반영)</p> <p>제8조(물순환 회복 사전협의를)</p> <p>제9조(저영향개발기법 적용시설의 설치 권고)</p> <p>제10조(물순환위원회의 설치 및 기능)</p>	<p>제11조(위원회의 구성)</p> <p>제12조(위원의 임기)</p> <p>제13조(위원의 제척·기피·회피)</p> <p>제14조(위원의 해촉)</p> <p>제15조(위원장)</p> <p>제16조(위원회의 회의)</p> <p>제17조(의견청취 등)</p> <p>제18조(간사)</p> <p>제19조(수당 등)</p> <p>제20조(운영세칙)</p> <p>제21조(저영향개발기법 적용시설에 대한 재정지원)</p> <p>제22조(저영향개발기법의 우선 적용)</p> <p>제23조(물순환 통합관리시스템의 구축·운영)</p> <p>제24조(연구·개발의 촉진 등)</p> <p>제25조(홍보사업 등)</p>
---	---

- 대전광역시 물순환 개선조례는 물순환 회복 표준조례를 기준으로 수립을 함
- 제안의 이유는 도시물순환의 문제를 해결하기 위해 빗물의 침투나 저류를 통하여 빗물의 표면유출을 억제함과 동시에 버려지는 물을 효과적으로 관리하기 위하여 저영향개발을 유도함으로써 악화된 도시물순환과 물 환경을 회복하려는 것임

6) 시행효과 분석

[표 2-7] 대전광역시 단계별 저영향개발기법 시행효과 (단위:백만원)

구 분		설치비용 (A)	개선효과 (B)		절감 비용 (B-A)
			시설용량	파생이익	
단기1차 (2020년)	계	28,000		34,344	6,344
	1.비점오염우수유출량저감	28,000	7,060 m ³ /회	10,329	6,344
	2.지하수함양		738 m ³ /일	5,065	
	3.기타부가적효과			18,950	
단기2차 (2025년)	계	64,037		68,775	4,738
	1.비점오염우수유출량저감	64,037	16,368 m ³ /회	23,946	4,738
	2.지하수함양		1,698 m ³ /일	8,611	
	3.기타부가적효과			36,218	
장기 (2065년)	계	671,536		1,449,959	778,423
	1.비점오염우수유출량저감	671,536	229,400 m ³ /회	335,614	778,423
	2.지하수함양		22,476 m ³ /일	45,104	
	3.기타부가적효과			1,069,241	

- 저영향개발기법 설치에 따른 부가적 효과에 설치비용을 검토한 결과 절감 비용은 위의 [표 2-7]과 같으며, 하천으로의 비점오염 저감 및 지하수 함양의 직접적인 효과 외에 그 파생효과가 크다는 것을 의미함
- 이러한 단순비교는 실제 저영향개발기법 설치로 인해 시민에게 직접적인 상수공급이 불가하고 국내여건을 고려하지 않은 해외사례를 적용한 것으로 개략적인 파급효과가 상당할 것으로 추측하는 정도에서 판단하고, 금회 사업이 국내 물순환 개선을 위한 저영향개발 기법 보급을 위한 초기 단계인 점을 고려하여 향후 심도 있는 연구가 필요할 것으로 판단됨

[표 2-8] 저영향개발기법 시설에 따른 부가적 효과

항목	세부항목	내용
물	수처리필요성	- 대상지 강우량 (mm) - 강우시 유출량 (m ³ /s) - 수질분석자료 (SS, COD, TN, TP 등)
	수질개선	
	홍수저감	
	지하수함양 증가	
에너지	난방에너지 소비감소	- 건물에너지 사용량
	냉방에너지 소비감소	
대기	대기질 개선	- 대기질 수치 조사 (NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀ 등)
기후변화	대기층 이산화탄소 감소	- 대기중 탄소량
	도시열섬 완화	- Landsat → 지표온도
지역사회 환경개선	심미적 개선효과	- 정성적 평가방법
	여가기회 확대	
	소음공해 감소	
	지역사회 유대 강화	
	도시농업	
	지역 서식지 확대	

- [표 2-7]과 같은 효과 외에도 도시 물순환을 위한 다양한 기법은 위의 [표 2-8]의 과 같은 부가적 효과를 얻을 수 있음
- 물 항목의 부가적 효과를 조사하기 위해서는 대상지의 강우량, 강우 시 유출량 및 수질결과를 조사하여야 함. 또한, 수질오염총량제의 배출부하량 산정방법 및 수질모델에 의한 수질개선 효과를 유출할 수 있음
- 에너지의 부가적 효과를 조사하려면 건물의 에너지 사용량 추이를 파악하여야 하고, 대기는 대기질 수치를 조사하여 파악함
- 기후변화는 탄소저감 파악 및 Landsat 영상을 활용하여 지표면 온도를 추출, 지역사회 환경개선은 정성적으로 지역주민의 선호도 조사를 포함

7) 재원조달 계획

- 대전광역시는 국고보조율에 따라 비점오염저감지역, 일반관리지역(유출저감지역 포함)으로 구분하여 재원조달 계획을 수립함

8) 유지관리 계획

- 저영향개발 기법별 유지관리계획을 수립하며 유지관리빈도, 여재교체, 식생관리, 퇴적물 제거, 특수장비의 활용여부, 유지관리인력에 따라 용이성을 구분하게 됨
- 시설별(식생형, 침투형, 투수성포장, 옥상녹화 등)으로 유지관리실적을 점검할 수 있는 유지관리대장을 구축하여야 할 것임
- 저영향개발 기법의 설치기준을 마련하여야 하며 이는 「비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼(환경부, 2016)」과 건강한 물순환 체계 구축을 위한 「저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인(환경부, 2013)」에서 제시된 설치기준을 인용할 수 있음

9) 협업/교육홍보계획

- 관련 부서간 협업으로 대전광역시 부서간 협업체계, 관련 부서간 협업방안을 구축함
- 교육·홍보로 교육 및 홍보계획, 주민참여형 프로그램 개발, 거버넌스 활성화 방안을 구축함

3절. 대전광역시 물순환 개선조례

1) 개설

- 대전광역시 물순환 개선 조례([시행 2019. 1. 1.] [대전광역시조례 제5182호, 2018. 12. 28., 일부개정])는 「환경정책기본법」, 「자연재해대책법」, 「물환경보전법」 등 관계법령에 근거하여 수질 및 수생태계의 오염이나 훼손을 예방하고 관리함으로써 본래 자연 상태의 물순환 회복에 기여함을 목적으로 함
- 「물환경보전법」의 관리지역의 지정에 대하여 저영향개발기법의 우선적용의 내용을 조례에 규정함
- 타 시도의 유사 조례와 비교하였을 때, 내용상 큰 차이는 없음

2) 조례

제1조(목적) 이 조례는 「환경정책기본법」, 「물환경보전법」, 「자연재해대책법」 등 관계 법령에 근거하여 수질 및 수생태계의 오염이나 훼손을 사전에 예방하고 관리하여 본래의 자연적인 물순환 회복에 기여함을 목적으로 한다.

제5조(물순환 기본계획의 수립) ① 시장은 본래의 자연적인 물순환을 회복하고 체계적인 물순환 관리를 위하여 10년마다 대전광역시 물순환 기본계획(이하 “기본계획”이라 한다)을 수립·시행하여야 한다.

② 기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.

1. 물순환 목표기준과 추진방향
2. 물순환 목표기준 설정을 위한 공간정보 체계의 구축
3. 물순환 중점관리지역 선정 및 최적관리방안
4. 권고 물순환 분담량

5. 재정 및 도시기반시설 계획을 고려한 연차별 물순환 회복 목표량
 6. 물순환 목표 달성을 위한 저영향개발기법 적용시설 설치계획
 7. 물순환 목표 달성을 위한 비용 산정 및 장기적 재원조달계획
 8. 건전한 물순환 회복을 위한 부서 간 협의체의 구성 및 역할 분담
 9. 그 밖에 건전한 물순환 회복을 위하여 시장이 필요하다고 인정하는 사항
- ③ 시장은 기본계획이 수립된 날부터 5년이 지나면 그 필요성과 타당성을 검토하여 기본계획을 변경할 수 있다.

제6조(물순환 목표의 설정과 공개) ① 시장은 다음 각 호의 사항으로 물순환 목표를 설정한다.

1. 물순환 회복률: 개발 전과 후의 증발산량, 침투량, 유출량 등의 비율이 자연 상태와 유사한 정도를 나타내는 정량적 지표
 2. 물순환 분담량: 해당 물순환 회복률에 도달하기 위하여 필요한 저영향개발기법 적용시설의 범위와 규모
- ② 시장은 물순환 목표를 설정한 후 각각의 강우유출수 발생원에 대한 권고 물순환 분담량을 산출하여 고시하여야 한다.

제22조(저영향개발기법의 우선 적용) 시장은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 저영향개발기법의 적용을 우선적으로 추진할 수 있다.

1. 「물환경보전법」 제54조에 따른 비점오염원관리지역
2. 금강 및 지천 등의 수질 및 수생태계 보전을 위하여 비점오염원 관리가 필요하다고 시장이 선정한 지역
3. 「자연재해대책법」 제12조에 따른 자연재해위험개선지구
4. 「자연재해대책법」 제16조제2항에 따라 시장이 수립한 풍수해저감종합계획에 따른 풍수해 대비가 필요한 지역

5. 「자연재해대책법」 제33조에 따른 상습가뭄재해지역
6. 빗물침투를 통한 지하수 함양효율이 높은 지역으로서 지하수 함양 촉진을 위한 시책을 수립하여 시장이 선정한 지역

제24조(연구·개발의 촉진 등) 시장은 물순환 시설에 관한 기술의 연구·개발 및 보급을 촉진하기 위하여 다음 각 호의 사업에 대한 비용 또는 기술을 지원할 수 있다.

1. 저영향개발기법의 시범적용, 효과분석 및 보급 촉진 사업
2. 물순환에 관한 교육·홍보자료의 발간·보급 및 관련 정책 개발
3. 그 밖에 물순환 회복을 위하여 시장이 정하는 사업

3) 검토

- 물순환과 관련된 조례를 수립한 도시는 대전광역시, 하남시, 김해시, 안동시, 광주광역시, 남양주시, 수원시의 7개 지자체로 대부분 물순환선도도시를 운영하기 위한 방안으로 수립을 한 상황으로 물의 재이용과 관련한 조례와는 그 성격이 다름
- 물순환은 빗물이 떨어진 현장에서 유출을 지양하고 침투시키는 것을 목적으로 하고 있음
- 이에, 물순환선도도시의 대상지만을 하였을 경우 해당 지역의 도시열섬효과 및 생활환경이 개선되는 효과는 있겠지만 도시 전체로의 확대는 어려울 것으로 보임
- 따라서, 물순환선도도시의 운영결과를 바탕으로 도시 전체로 확대할 수 있는 보다 강력한 행적적 조치와 더불어 도시에 적합한 LID기법의 개발 및 적용이 필요할 것으로 보임

수환경 개선효과 분석을 위한 기준

- 1절. 삭감을 검토하기 위한 인자 및 방법
- 2절. 강수량 특성
- 3절. 수질오염총량제 및 수질모델링 적용
- 4절. 물순환선도도시 등의 적용

3장

3장 수환경 개선효과 분석을 위한 기준

1절. 삭감을 검토하기 위한 인자 및 방법

1. 검토 인자

1) 불투수면적

○ 불투수면적

- 인구증가 및 도시의 성장으로 농지, 임야가 감소하고 도로, 건물 등의 확대로 불투수면이 증가되어 우수가 침투하기 어렵게 됨

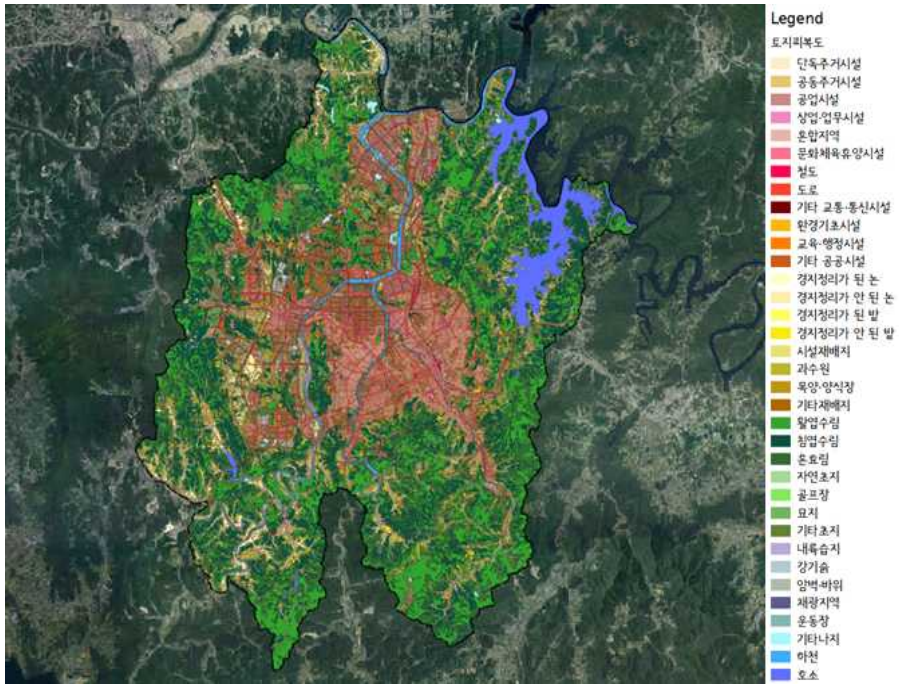
○ 불투수면적의 산정

- 대전광역시 총 면적은 539.55 km²로 나타나며, 이 중에서 불투수면적이 113.23 km²으로 20.99%를 차지함

○ 입력자료⁷⁾

- 건축물 : 주소, 재질, 연면적, 대지면적, 높이, 건폐율, 용적률, 건물용도코드, 지번, 건물명, 층수 등
- 도로 : 도로폭, 길이, 구분(고속도로, 대로, 로, 길, 단지 내 도로)
- 토지피복도 세분류(불투수) : 단독주거시설, 공동주거시설, 공업시설, 상업·업무시설, 혼합지역, 문화·체육·휴양시설, 공항, 항만, 철도, 도로, 환경기초시설, 교육·행정시설, 기타 공공시설
- 토지피복도 세분류(투수) : 논, 밭, 시설재배지, 과수원, 목장양식장, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지, 골프장, 묘지, 습지, 갯벌, 염전, 해변, 강기슭, 채광지역, 운동장, 하천, 호소, 해양수

7) 환경부 환경공간정보체계, <https://egis.me.go.kr/intro/land.do>



[그림 3-1] 대전광역시 세분류 토지피복도

2) 물순환 상태

○ 물순환 체계

- 증발산, 침투, 유출로 구성되는 물순환 체계를 의미함
- 증발산량, 침투량, 유출량의 비율인 물수지가 평가기준(기준물수지)과 비슷할수록 건전한 물순환 상태라는 것을 기본원칙으로 봄

$$\text{물순환회복률} = (1 - \text{변화율}) \times 100$$

변화율

$$= \frac{|\text{증발산량}_{\text{기준}} - \text{증발산량}_{\text{현황}}| + |\text{침투량}_{\text{기준}} - \text{침투량}_{\text{현황}}| + |\text{유출량}_{\text{기준}} - \text{유출량}_{\text{현황}}|}{\text{증발산량}_{\text{기준}} + \text{침투량}_{\text{기준}} + \text{유출량}_{\text{기준}}}$$

- 도시의 물순환 평가에서 불투수면 증가는 기준물수지에서 증발산량과 침투량이 줄어들지만 유출량은 증가하는 물수지로 변화하게 됨
- 기준물수지는 우리가 지향하고 도달하고자 하는 기준임. 「대전광역시 물순환 기본계획」에서는 시가화 전체 불투수면적률을 25%로 유지할 때의 물수지를 기준물수지로 적용함

○ 물순환 회복률

- 과거의 저류시설이나 침투시설 위주로 이루어지는 도시 빗물관리 체계를 변화시킬 수 있는 평가지표임. 증발산, 침투, 유출에 따른 대전광역시의 기준, 현황, 최종목표인 물순환회복률은 다음의 [표 3-1]과 같음

[표 3-1] 대전광역시 강수량별 분포 특성 (구간별 강수일수)

	기준 물수지	현황 물수지	최종 목표	비 고
증발산	32.25%	27.66%	28.54%	
침 투	41.47%	23.21%	26.40%	
유 출	26.28%	49.13%	44.56%	
물순환 회복률	100.00%	54.29%	63.45%	

3) 물순환 분담

○ 물순환의 분담

- 개발의 종류 및 시행주체에 따라 차등적으로 분담하여 효과적이고 실행가능하게 해야 함

○ 빗물분담량

- 공공부문은 민간의 부담을 줄이기 위해 가중치가 높음. 서울시는 공원 녹지 7.5 mm/hr, 소규모 민간사업 3.5 mm/hr로 차등 적용하고 있음

○ 물순환 가중치 = P1 × P2 × P3

- 강우유출 가중치(P1) : 기법설치가 용이한 공공시설에 높게 두어 관리

함. 환경부 기준으로 도로 3.4, 단독주거시설 1.6의 가중치를 보임

- 공공/민간 가중치(P2) : 공공과 민간을 구분하여 공공 1.7, 민간 1.2의 가중치를 부여함
- 용도지역 가중치(P3) : 주거지역 1.1, 상업지역 1.2, 공업지역 1.3, 녹지지역 1.0의 가중치를 부여하며, 비점오염이 높을 것으로 예측될수록 높은 가중치를 적용함

○ 물순환 분담계수 (mm)

- 주제별 대상지역 내의 불투수면적에 대해 일괄적으로 부여된 분담량임
- 물순환 가중치가 토지피복과 용도지역에 반영되도록 하는 계수라 볼 수 있음
- 즉, “물순환 분담량(m^3) = 면적(m^2) × 물순환가중치 × 분담계수 (mm)”의 식에서 나타나듯이 해당지역 내의 불투수면적에 대하여 처리하고자 하는 강우깊이(mm)라 할 수 있음

○ 물순환 분담량 (mm)

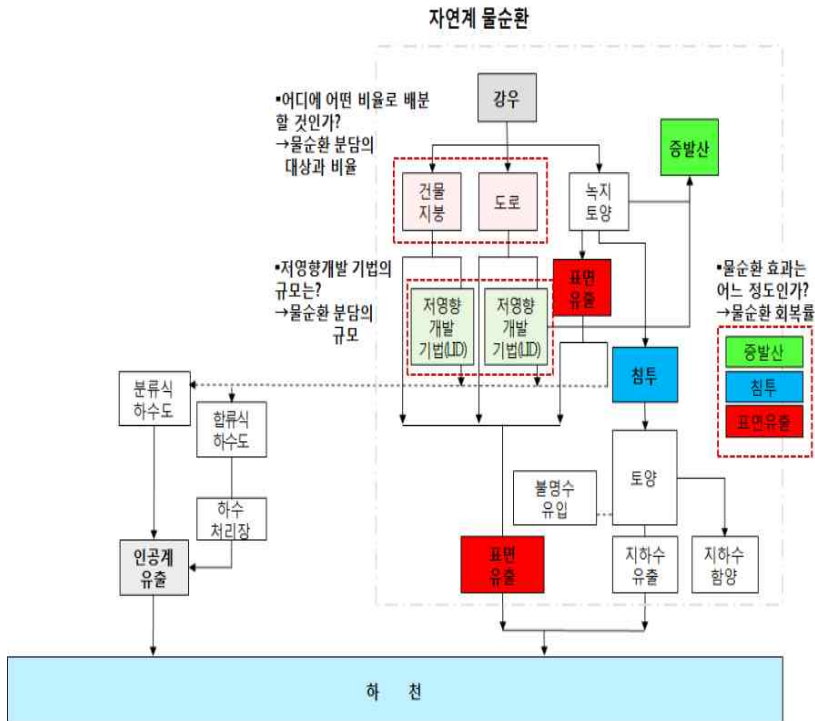
- 물순환을 위하여 목적별로 처리할 수 있는 빗물처리 목표량이 다름
- 비점오염원관리지역에선 10 mm, 유출저감지역에서는 20 mm를 두어 물순환 계획을 수립하게 하였음

2. 삭감의 산정 방법

1) 삭감을 위한 도시 물순환 검토

○ 도시 물순환과 관련된 오염배출

- 도시에서는 빗물의 유출을 저감함에 따른 대상 배출부하량으로 토지계 개별배출부하량, 관거유입유량 저감에 따른 관거월류부하량(CSOs) 저감이 있음

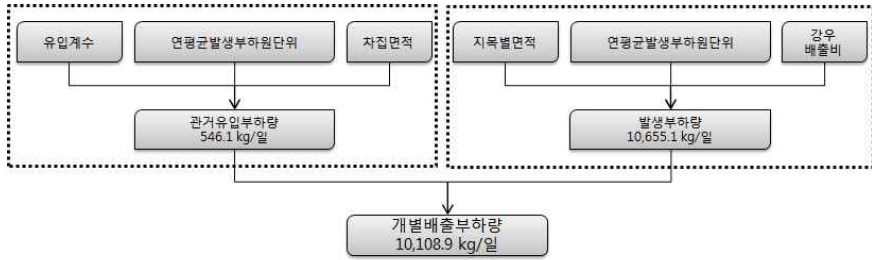


[그림 3-2] 도시 물순환 모식도

2) 토시오염물질의 저감

○ 토지계 배출수, 개별배출부하량

- 토지계 개별배출부하량은 대전광역시 전체 배출부하량의 약 50%를 차지할 만큼 많은 비중을 차지하여 대전광역시 전체 배출부하량에 큰 영향을 미치고 있음. 토지계 개별배출부하량은 발생부하량에서 관거유입부하량의 차로 산정함

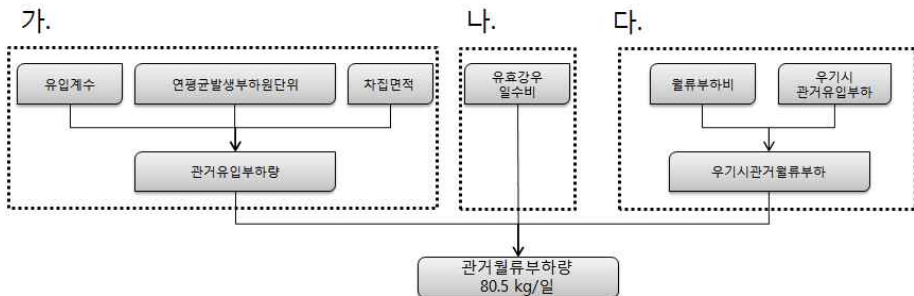


[그림 3-3] 토지계 개별배출부하량 산정 과정

3) CSOs 저감

○ 토지계 관거월류수, 관거월류부하량

- 관거월류부하량은 대전광역시 전체 배출부하량의 약 5%를 차지할 만큼 큰 비중을 차지함. 이러한 관거월류부하량은 관거유입부하량, 유효강우일수비 그리고 우기시관거월류부하량의 곱으로 계산됨



[그림 3-4] 토지계 관거월류부하량 산정 과정

○ 대전광역시의 우수토구, 우수토실 현황

- CSOs는 합류식관거에서 오수와 빗물이 합류되었지만, 차집관거에서 이송가능한 유량이 공공수역에 유출되는 것임
- 이에, CSOs는 갑천, 유등천, 대전천과 같이 차집관거가 매설되어 있는 하천변에서 배출되는 특성을 가짐

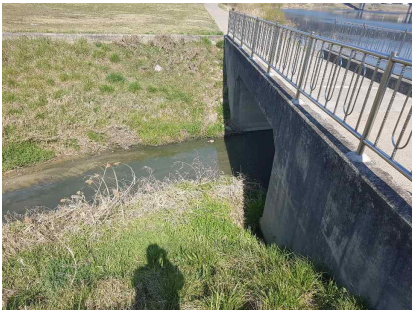




[그림 3-5] 대전광역시 갑천의 우수토구, 우수토실 현황

○ 대전광역시의 우수토구, 우수토실 조사표

- CSOs의 저감을 위한 지역을 선정하기 위해서는 다음의 조사표 [표 3-2]와 같은 현장 모니터링을 거쳐야 할 것임

[표 3-2] 대전광역시 우수토구, 우수토실 조사표

1. 하천명	갑천(대전)	2. 주소	금남 구즉로
3. 좌표	E : 36.4388, N : 127.3897		
4. 위치	본류 하천과의 이격 거리	100 m	
5. 시설 점검사항	침·퇴적 상태		있음(✓), 없음() m ³
	우천시 심각한 수위상승의 유발성	토구 주변 유하장애 구조 및 장애물	퇴적물 제거 및 준설의 필요성
	있음(), 없음(✓)	있음(), 없음(✓)	있음() 없음(✓)
6. 오염원 관리현황	없음(), 약간 오염(✓), 눈에 띄(), 오염 심각()		
7. 현장 사진			
			
			
비고	토구 주변 침·퇴적물 준설 필요하며 하수량이 많음		

2절. 강수량 특성

○ 10년간 강수량 분포

- [표 3-3]과 같이 강수량 5 mm 까지는 도심의 빗물 유출이 거의 없는 상황으로 평균 강수횟수 103.1회/년, 강수량은 93.8 mm/년으로 전체 강수량의 6.1%를 차지하였음
- 강수량 0~20 mm는 저영향개발기법을 적용할 수 있는 기준으로 보임. 강수횟수 132.5회/년, 421.0 mm/년으로 전체 강수량의 34.5%를 차지하였음
- 저영향개발기법을 적용하기 어려운 수준인 20 mm를 초과 강수량은 강수횟수 19.4회/년, 861.2 mm/년으로 전체 강수량의 65.5%를 차지함
- 20 mm 이하의 강수량이 34.5%에 불과하지만 강수횟수의 비율로는 87.1%를 차지하기 때문에 저영향개발기법에 의한 삭감효율은 높을 것으로 기대됨

[표 3-3] 대전광역시 강수량별 분포 특성 (구간별 강수일수)

	~5 mm	~10 mm	~20 mm	~30 mm	~40 mm	~50 mm	~60 mm	60 mm~
2009	86	14	15	3	5	4	2	2
2010	102	23	20	7	5	4	4	2
2011	102	11	20	6	6	4	0	9
2012	115	13	14	9	5	2	1	4
2013	103	13	21	4	6	3	1	2
2014	108	18	11	5	4	4	1	3
2015	110	16	15	5	4	1	0	1
2016	108	17	13	11	5	1	0	3
2017	116	6	12	5	9	2	0	4
2018	81	7	15	8	8	2	3	5
평균	103.1	13.8	15.6	6.3	5.7	2.7	1.2	3.5

[표 3-4] 대전광역시 2016년 일별 강수량 (mm)

2016년	1월	2월	3월	4월	5월	6월
1						
2					6.3	
3				2.5	19.8	
4			8.0			0.4
5			26.7			
6		0.0	0.0	4.4		0.5
7				20.1		1.2
8	0.0					
9	0.0					
10					25.7	
11		0.4	0.0		3.7	0.0
12		16.8		0.0		0.2
13	0.2	8.3		28.1		
14	0.0	0.0				
15		0.0			7.5	7.8
16		0.6		23.0	5.2	0.1
17	3.8			20.6		
18	3.5		5.6	1.7		
19	0.4					
20	0.0			1.2		2.2
21				37.2		
22						0.0
23	1.2	0.7				0.0
24	0.3				16.8	43.3
25	0.1					
26	0.4	3.8				
27		2.6		15.4		5.5
28	0.1	12.2		0.7		
29	1.6	0.4			0.1	
30	0.0					1.3
31						

[표 3-4] 대전광역시 2016년 일별 강수량 (mm)

2016년	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1	64.0		0.7	0.6		0.0
2	11.3	0.1	1.5	0.5		
3	13.7	0.0	0.0	6.1	0.0	
4	179.1					0.0
5	14.5		0.0	21.6		0.2
6	38.8	1.0				
7	3.0	6.7	0.0	22.4	2.7	0.2
8	0.1		22.8	32.3	5.0	1.9
9		7.7	0.7			0.3
10			0.6		5.2	
11	0.3				1.4	
12	2.2		9.8			0.0
13						
14			0.0		0.1	
15	1.3					
16	39.0	0.0	6.9	6.8		
17	0.5		97.8	1.0		
18		0.0	12.5		8.7	0.0
19	0.0				0.7	1.8
20	0.0					
21				0.0	0.1	20.5
22					0.0	17.6
23		13.7		1.0		1.3
24		0.0		0.0		
25		0.0		21.4		
26		17.2			3.0	10.8
27	0.1	0.0	39.7		0.5	0.0
28	0.0	3.7	0.0	8.9		
29	0.0	3.1	0.0			0.2
30		0.6	3.0		2.1	
31		3.6		0.0		

[표 3-5] 대전광역시 2017년 일별 강수량 (mm)

2017년	1월	2월	3월	4월	5월	6월
1		0.0	0.1	1.1		
2			2.0			0.0
3						0.2
4		0.0			0.0	
5		0.5		17.0	0.0	
6			0.0	15.9		10.3
7			1.2			4.5
8	0.0		0.0			
9	0.0	0.1			7.3	
10		0.2			2.0	
11	0.0	0.5		14.3	4.1	
12	0.0					
13	0.6	0.6			1.4	0.0
14	0.0			0.0		
15						
16		1.9				
17		1.9		26.8		
18				0.5		
19		3.5				
20	3.4	15.3	0.1	1.7		
21	1.2		0.0			0.0
22	0.5	17.5				
23	0.0					
24					11.0	2.8
25			0.9	0.0		
26			0.0	0.4		1.8
27	2.3		1.6			12.2
28			0.2			3.2
29	5.7		1.6			0.3
30	1.3					
31			3.9		3.5	

[표 3-5] 대전광역시 2017년 일별 강수량 (mm)

2017년	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1	14.4	9.2		16.5		
2	39.5			3.0		
3	69.9				0.3	0.0
4	34.0					0.0
5			0.8			
6	41.2	0.0	1.4	1.5		2.5
7	1.7			0.0	0.0	2.0
8	61.0	0.0			0.7	
9	31.0	37.3				0.0
10	35.0	3.8			3.1	3.0
11	0.8	0.0	77.0	6.0		0.6
12				1.3		
13		1.4			0.0	
14	1.9	65.0			0.0	
15	24.5	34.4			0.0	
16	0.1	4.2				0.0
17	7.1	1.2			0.1	
18	0.9	0.0		0.0	0.0	0.0
19		10.2	0.5			0.5
20		2.7	0.7			1.8
21		36.1				
22		0.7			0.1	
23	1.2	2.1			2.1	
24	0.7	49.8	0.0		5.9	21.4
25	27.6					
26					2.8	0.3
27			31.0			
28	10.7	35.2			0.0	
29	2.1				0.0	0.0
30	0.0	0.5				0.9
31	29.2					0.5

[표 3-6] 대전광역시 2018년 일별 강수량 (mm)

2018년	1월	2월	3월	4월	5월	6월
1			1.0			
2					7.0	
3		0.0				
4		0.0	11.5	21.1		0.0
5			18.6	18.6		0.1
6		0.2		18.8	20.5	
7		0.0	4.0		4.0	
8	3.6		12.5			
9	2.5					0.7
10	2.6			0.3		0.0
11	0.0	1.0		14.6		0.0
12	0.0	1.4			23.4	0.1
13	0.1	0.9		0.0	2.3	
14				36.7		0.0
15			16.6		0.0	
16	3.1		0.1		0.0	
17	11.2				0.2	
18	0.0		8.0		9.9	
19			22.0			2.3
20						
21			13.5			
22	0.8	0.0	0.6	2.7	6.2	
23	0.0	2.0		38.9	22.4	
24				3.6		
25						
26						30.3
27						50.4
28		35.0				0.3
29						9.2
30					0.0	22.4
31						

[표 3-6] 대전광역시 2018년 일별 강수량 (mm)

2018년	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1	119.9			1.7		
2	43.9					
3	0.0	0.0	89.8			10.6
4			18.9			16.8
5	19.4			60.0		
6	6.8		0.0	35.5		1.3
7			0.9		1.2	0.0
8					37.1	
9	35.5	0.0			1.0	
10				0.0		
11	0.2				0.0	3.0
12		0.1				
13		0.0	0.1			0.1
14		0.0	6.4			
15			0.2			
16						0.0
17						0.1
18				1.0		
19						1.8
20			0.2			
21			32.9		0.4	
22						
23		1.1		0.4		0.0
24		20.3			10.1	
25		0.0				
26		78.2		21.7		0.0
27		53.0		0.2		
28	1.2	140.0	0.0	13.2		0.0
29				0.2		0.0
30		73.3				0.0
31		42.6		0.0		

3절. 수질오염총량제 및 수질모델링 적용

1. 삭감 배출부하량 산정 방안

1) 할당부하량 특성

○ 오염원별 할당부하량

- 전체 할당부하량은 617.147 kg/일이며 점배출보다 비점배출이 많음
- 반면 점-비점 전환율 0.15를 적용하여 점을 비점배출부하량으로 전환하면 비점배출부하량 1,848.939 kg/일로 적용할 수 있음

[표 3-7] 갑천A 단위유역 오염원별 할당부하량

단위유역	오염원	점	비점	계	비고
갑천A	생활계	202.749	107.962	310.711	
	축산계	0.075	12.085	12.160	
	산업계	9.938	1.955	11.893	
	토지계	3.478	277.770	281.248	
	양식계	1.041	0.000	1.041	
	매립계	0.094	0.000	0.094	
	합계	217.375	399.772	617.147	

2) 소유역별 할당부하량 특성

○ 비점오염원관리지역 해당 소유역

- 비점오염원관리지역 및 물순환선도도시 지역으로 A24 및 A32가 해당함
- A24 소유역은 점 0.000 kg/일, 비점 0.821 kg/일로 오염배출량이 많지 않음. A32 소유역은 점 0.000 kg/일, 비점 12.613 kg/일로 점 배출부하량이 없으며 오염배출량이 많은 편이 아님

[표 3-8] 갑천A 단위유역 소유역별 할당부하량

단위유역	오염원	점	비점	계	시가회율	
갑천A	갑천A03	1.913	6.764	8.677		
	갑천A05	0.980	5.040	6.020		
	갑천A07	0.352	2.929	3.281		
	갑천A08	0.052	1.071	1.123		
	갑천A09	0.584	4.651	5.234		
	갑천A10	0.132	2.311	2.442		
	갑천A11	0.041	0.332	0.373		
	갑천A12	1.372	6.564	7.936		
	갑천A13	1.421	30.363	31.784		
	갑천A14	0.856	4.047	4.902		
	갑천A15	0.095	0.711	0.806		
	갑천A16	3.122	33.578	36.700		
	갑천A17	0.000	0.070	0.070		
	갑천A18	2.284	7.527	9.810		
	갑천A19	3.142	39.046	42.189		
	갑천A20	0.128	2.064	2.192		
	갑천A21	1.162	3.731	4.893		
	갑천A22	1.881	16.694	18.575		
	갑천A23	0.000	5.481	5.481		
	갑천A24	0.000	0.821	0.821		
	갑천A25	1.977	35.03	37.006		
	갑천A26	3.860	31.933	35.794		
	갑천A27	4.354	54.449	58.803		
	갑천A28	0.502	17.085	17.587		
	갑천A29	0.013	5.161	5.174		
	갑천A30	0.013	3.467	3.481		
	갑천A31	0.594	9.394	9.989		
	갑천A32	0.000	12.613	12.613		
	갑천A33	2.255	14.576	16.831		
	갑천A34	150.456	16.919	167.375		
	갑천A35	0.886	7.968	8.855		
	갑천A36	27.779	7.111	34.89		
	갑천A37	5.170	10.27	15.439		
	합 계		217.375	399.772	617.147	

2. 수질모델링 적용방안

1) 하천수질 예측을 위한 방안

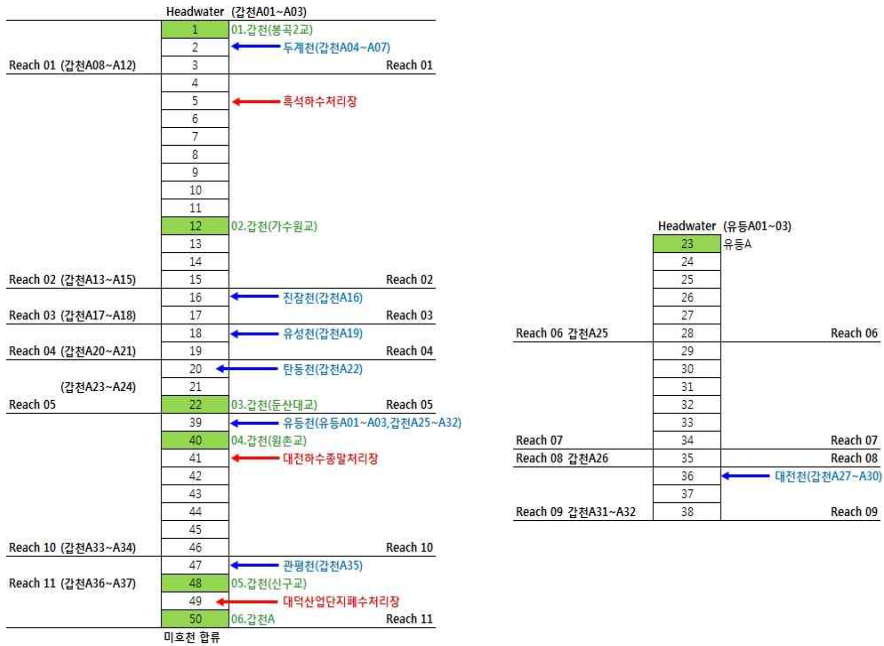
- 대전광역시 제3단계 수질오염총량관리 기본계획
 - 제3단계(2016~2020년) 수질오염총량관리에서는 수질예측을 위한 다양한 예측 프로그램 중에 QUAL-NIER를 적용함
 - QUAL-MEV는 QUAL2E를 기반으로 하며 수질오염총량제에 최적화한 하천 수질 모델임. 하천의 흐름선을 축으로 하여 수심과 수평 방향으로 완전혼합을 가정하여 수지형 하천의 수질변화 모의에 적합하게 개발됨
- 수질모델링 적용구간
 - 갑천은 두계천 합류 전부터 금강합류 전 지점까지의 33.6 km 구간에 대하여 총 7개의 소구간으로 구분하여 모델을 구성함. 유등천은 금산군 복수면의 충남경계부터 4개 구간으로 구분하여 수질모델링을 구성함

[표 3-9] 대전광역시 수질모델링 적용하천 및 구간

구간분류 (본류/지류)	적용구간	구간거리 (km)	Reach 수	Element 수
본류	봉곡2교 ~ 매노천 합류전	3	1	3
본류	매노천 합류점 ~ 진잠천 합류전	12	1	12
본류	진잠천 합류점 ~ 유성천 합류전	2	1	2
본류	유성천 합류점 ~ 탄동천 합류전	2	1	2
본류	탄동천 합류점 ~ 유등천 합류전	3	1	3
지류	유등천 상류 ~ 정생천 합류전	6	1	6
지류	정생천 합류점 ~ 복수 수위표	6	1	6
지류	복수 수위표 ~ 대전천 합류전	1	1	1
지류	대전천 합류점 ~ 유등천 말단	3	1	3
본류	유등천 합류점 ~ 관평천 합류전	8	1	8
본류	관평천 합류전 ~ 갑천A	4	1	4

○ 수질모델링 모식도

- [표 3-9]와 같이 구분한 수질모델링의 구간을 아래의 [그림 3-6]에 모식도로 나타냄



[그림 3-6] 대전광역시 하천 수질모델링 모식도

2) 수질모델링 적용 계수

○ 유달율

- 유달률은 유역에서 배출되는 오염배출부하량과 실제 하천으로 전달되는 유달부하량의 비로써 결정되는 무차원 상수임
- 유달률은 유역의 강우 특성, 유역의 경사, 유역의 표면 또는 크기와 같은 물리적 특성, 오염물질의 물리·화학·생물학적 반응특성 및 인위적 관리요소의 존재 유무에 따라 달라짐

○ 수리계수

- 산정은 QUAL-NIER 모델에 입력되는 수리계수는 대상 하천의 유량, 유속 및 수심자료를 회귀분석하여 구하게 되는데 이러한 수리자료는 실측자료를 이용하거나 수리 모델을 이용하게 됨
- 이에 산정된 수리계수는 다음의 [표 3-10]와 같음

[표 3-10] 대전광역시 갑천 수질모델링 수리계수

Reach	a	b	c	d	조도계수
1	0.1914	0.5536	0.1382	0.3265	0.034
2	0.1277	0.5915	0.1764	0.3166	0.032
3	0.1112	0.5658	0.2036	0.2716	0.030
4	0.1282	0.5097	0.1059	0.4034	0.028
5	0.0890	0.5480	0.1198	0.3052	0.028
6	0.1164	0.0215	0.3026	1.0322	0.035
7	0.0984	0.3523	0.2137	0.3053	0.032
8	0.0568	0.6006	0.4226	0.1373	0.032
9	0.0624	1.3214	0.1398	0.4373	0.029
10	0.0921	0.5319	0.1848	0.2414	0.027
11	0.0571	0.8216	0.1260	0.4436	0.027

○ 수질모델링 반응계수

- 조류, 질소, 인, 일조량 등 하천 안에서 여러 가지 물질들 사이에 발생할 수 있는 관계를 정의하는 계수임
- 미국 EPA에서 제시하는 반응계수 적용 범위가 있으며, 해당하는 구간에서 각 계수를 측정하는 것을 우선으로 함
- 이후, 수질모델링을 보정하는 상황에서 일부 계수를 조정하게 됨

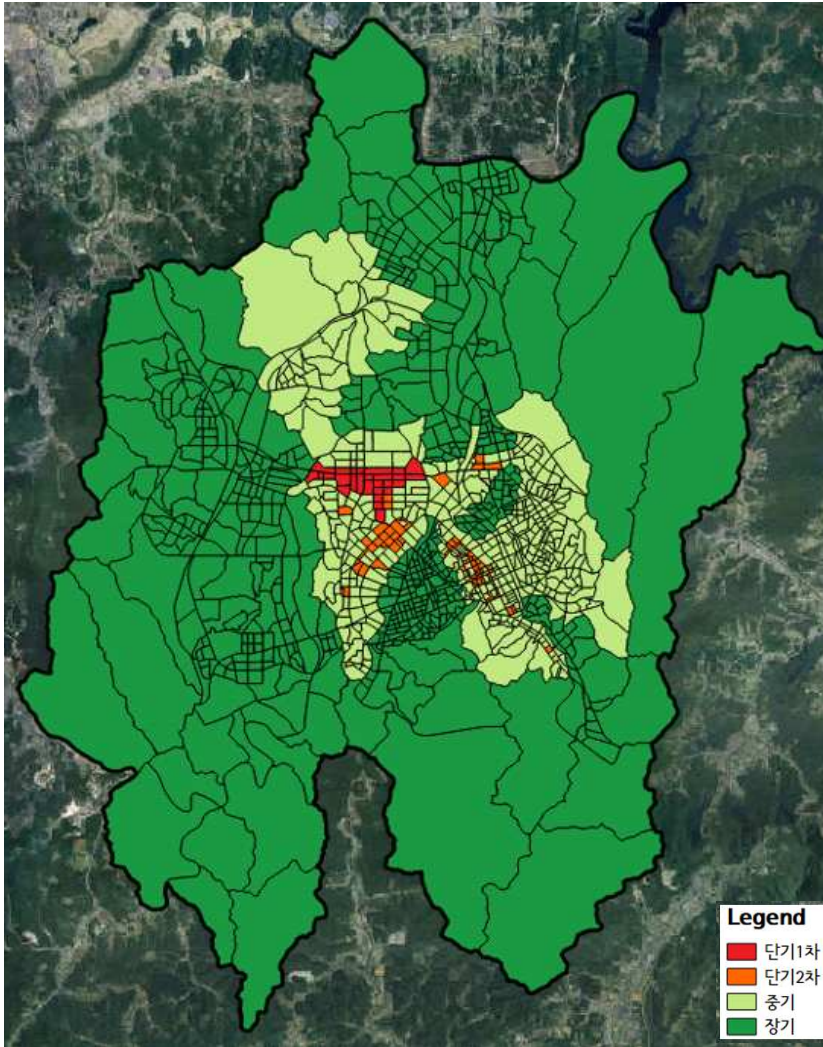
4절. 물순환선도도시 등의 적용

○ 물순환을 위한 단계적 계획

- 「대전광역시 물순환기본계획」에 의하면 단기1차, 단기2차, 중기, 장기의 4단계에 대한 계획년도, 관리불투수면적, 침투증가량 및 유출저감량을 시가화/비시가화 지역으로 구분하여 [표 3-11]과 같이 나타냄
- 단기1차(시범지역)에 해당하는 기간은 대전광역시에서 물순환선도도시 및 비점오염원관리지역 등과 같이 계획·진행 중인 사업을 대상으로 함
- 이에, 삭감량 등의 확인과 같은 내용은 단기1차인 시범지역을 대상으로 진행함

[표 3-11] 단계별 사업지역별 물순환 개선효과 (누적)

구 분		현 황	단기1차 (시범지역)	단기2차	중 기	장 기
계획년도		2017년	~2020년	~2025년	~2030년	~2065년
시 가 화	관리불투수면적 (km ²)	-	0.61	1.43	9.57	21.81
	침투증가량 (m ³ /년)	-	+ 269,194 (0.61%)	+ 619,697 (1.41%)	+ 3,595,204 (8.20%)	+ 6,986,949 (15.93%)
	유출저감량 (m ³ /년)	-	- 317,700 (0.34%)	- 736,553 (0.79%)	- 4,438,283 (4.78%)	- 8,652,491 (9.32%)
비 시 가 화	관리불투수면적 (km ²)	-	-	-	1.09	6.50
	침투증가량 (m ³ /년)	-	-	-	+ 288,894 (0.10%)	+ 1,216,723 (0.43%)
	유출저감량 (m ³ /년)	-	-	-	- 395,663 (0.57%)	- 1,670,526 (2.42%)



[그림 3-7] 물순환 관리지역 (단기1차, 단기2차, 중기, 장기)

물순환 적용에 따른 수환경 개선효과

- 1절. 배출부하량의 삭감
- 2절. 오염유출 저감에 의한 수질개선 효과
- 3절. 부가적 효과

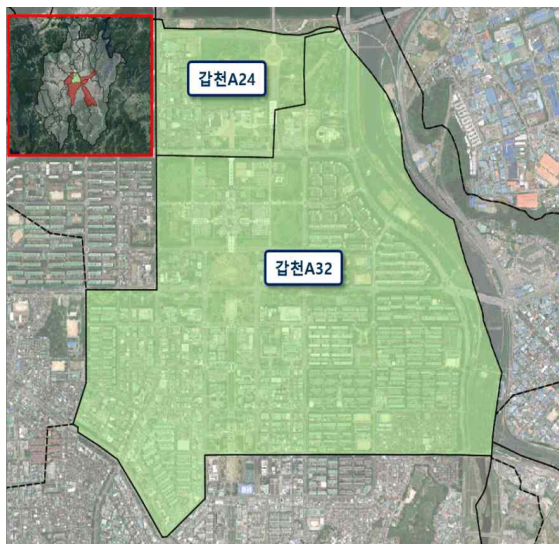
4장

4장 물순환 적용에 따른 수환경 개선효과

1절. 배출부하량의 삭감

1) 대상지역

- 비점오염원 관리지역을 대상지역으로 선정
 - 대전광역시에서 지정한 비점오염원관리지역 중 사업시행으로 적용이 가능한 [그림 4-1]의 갑천A24 및 갑천A32 소유역을 대상으로 비점오염 저감에 대하여 검토함
 - 저감모델에 사용한 발생부하원단위는 수질오염총량관리 기술지침의 토지계 발생부하 원단위를 적용함



[그림 4-1] 대전광역시 비점오염원관리지역

2) 물수지 분석⁸⁾

○ 관리대상 지역의 증발산량

- 대상지역 내 저영향개발 기법 설치에 따른 효과분석을 위해 불투수면 비율 100%를 기준으로 진행한 모델링의 물수지 결과는 다음의 [표 4-1]과 같음
- 증발산량은 적용전 33%에서 30 mm 분담량에 39%로 증가하게 됨. 이는 향후 증발산에너지 소비로 인한 열섬현상의 감소 및 그로 인한 도시환경의 개선하는 파급효과를 보일 것으로 보임
- 침투량은 적용전 17%에서 30 mm 분담량에 42%로 증가하게 됨. 이는 지하수량의 증가 및 이로 인한 하천유지유량의 증대, 생태환경의 개선 등의 효과를 야기할 것으로 판단됨
- 유출량은 적용전 50%에서 30 mm 분담량에 19%로 증가하게 됨. 이는 합류식관거에의 빗물유입 감소에 의한 CSOs의 감소, 토지오염물질 유출의 감소에 의한 유출부하량의 감소 효과가 있을 것으로 판단됨

[표 4-1] 저영향개발 적용에 따른 관리지역 물수지

주제별 물순환 분담량	증발산량	침투량	유출량
적용전	33%	17%	50%
10 mm	37%	31%	32%
20 mm	38%	39%	23%
30 mm	39%	42%	19%

○ 관리지역 하천유출량 저감

- 현재의 하천유출량은 [표 4-2]에 나타난 바와 같이 267,748 m³/년이

8) 대전광역시(2018), 대전광역시 물순환 기본계획, 7장. 물순환 기본계획 시행효과 분석, pp.28~29

지만 저영향개발기법의 적용으로 물순환분담량이 30 mm에서 82,804 m³/년으로 감소하게 됨

[표 4-2] 저영향개발 적용에 따른 대상지역 하천유출량 변화

구 분	하천유출량 (m ³ /년)			
	적용 전	10 mm	20 mm	30 mm
물순환 분담량				
불투수면 비율 (100%)	267,748	156,738	107,166	82,804

3) 개별배출부하량의 삭감량⁹⁾

○ 물순환분담량 선정

- 개별배출부하량 삭감에 있어서 물순환분담량은 대전광역시 물순환 기본계획의 제4장 물순환 목표 및 우선관리지역에서 결정한 관리 불투수면 25%를 기준으로 10 mm로 설정하게 됨

○ 저영향개발기법 적용

- 갑천A24, 갑천A32 내의 국가기초구역별로 저영향개발 기법 시설을 배치하여 비점오염 저감을 모의한 결과, 저영향개발 기법 적용 전 T-P 오염부하량은 갑천A24의 1.910kg/일 및 갑천A32의 9.302 kg/일이며, 저영향개발 기법 적용 후 T-P 오염부하량은 갑천A24의 1.730 kg/일 및 갑천A32의 8.016kg/일로 나타남
- 이에 저영향개발 기법 설치 전·후의 T-P 저감량은 갑천A24의 0.179 kg/일과 갑천A32의 1.286 kg/일로 나타남
- 이러한 저감량은 대전광역시 갑천유역의 할당부하량 617.147 kg/일 (점 217.375, 비점 399.772)에 비교하여 0.24%에 해당하며, 점-비점 저감율을 고려한 비점배출부하량 1,848.888 kg/일의 0.08%에 해당함

9) 대전광역시(2018), 대전광역시 물순환 기본계획

[표 4-3] 비점오염원관리지역의 저영향개발기법 적용에 따른 삭감부하량

지역	저영향 개발기법	최종 배출부하량 (kg/일)	삭감 배출부하량 (kg/일)	최종목표 배출부하량 (kg/일)
갑천 A24	적용전	1.910	-	0.804
	적용후	1.730	0.179	0.625
갑천 A32	적용전	9.302	-	12.343
	적용후	8.016	1.286	11.057

4) 관거월류부하량 삭감량¹⁰⁾

○ 삭감량

- BOD, T-N, T-P 모두 물순환분담량이 증가하면서 배출부하량이 감소함을 알 수 있음
- 이는 토지 유출의 대부분이 30 mm 이하에 집중되어 있기 때문임
- 수질오염총량제 기술지침에 근거하면 T-P의 경우 물순환 분담량 10 mm 에서는 46%, 20 mm에서는 64%, 30 mm에서는 71%까지 감소함을 알 수 있음

[표 4-4] 저영향개발 적용에 따른 관거월류부하량 삭감량 및 삭감률

구 분		적용 후 관거월류부하량 kg/d (삭감률)			
물순환 분담량		적용 전	10 mm	20 mm	30 mm
불투수면 비율 (100%)	BOD	32.15	17.20 (47%)	11.35 (65%)	8.770 (73%)
	T-N	6.714	3.691 (45%)	2.581 (62%)	2.120 (68%)
	T-P	0.888	0.477 (46%)	0.322 (64%)	0.255 (71%)

10) 대전광역시, 대전광역시 물순환 기본계획, 7장. 물순환 기본계획 시행효과 분석, pp.28~29

2절. 오염배출 저감에 의한 수질개선 효과

1) 수질모델링에 적용

- 적용 삭감부하량
 - 적용 개별배출부하량은 T-P 1.465 kg/일임
 - 적용 관거월류부하량은 20 mm 물순환 분담량 기준으로 T-P 0.566 kg/일임
- 적용 지점
 - 삭감은 수질모델링에서 Reach 9, Element 37에 해당됨
- 적용 수질모델링
 - 수질오염총량제 제3단계 기본계획에 적용한 QUAL-MEV에 적용함
 - 수질모델링에 필요한 적용구간, 수리계수, 유달율, 반응계수 등은 동일한 조건에서의 비교를 위해 제3단계 기본계획의 수치를 사용함
- 수질의 비교
 - 저영향개발기법의 효과를 비교하기 위하여 기존의 수질, 비점오염원 관리지역의 오염삭감에 따른 수질, CSOs 관리지역의 오염삭감에 의한 수질을 비교하고자 함.
 - 또한 비교대상 오염항목은 비점오염원관리지역의 대상물질인 T-P로 함

2) 대전광역시 물순환 기본계획에 근거한 수질의 변화

- 수질의 변화
 - 삭감부하량 적용구간은 Reach 9, Element 37에 해당함
 - 저영향개발기법 적용 지점인 Reach 9, Element 37에서 T-P 0.124 mg/L, 유등천 합류지점 0.129 mg/L, 대전하수처리장 유출지점 0.199 mg/L, 갑천A 지점 0.195 mg/L로 변화함

- 개별배출부하량 삭감을 통하여 1.465 kg/일이 삭감되었을 경우, 유등천 합류지점에서 0.127 mg/L로 수질이 약간 감소하였으나 최종 갑천 A 지점의 수질은 0.194 mg/L로 거의 동일하였음
- 관거월류부하량 삭감을 적용하여 T-P 0.322 kg/일을 삭감하였을 경우에는 유등천 합류지점에서 0.128 mg/L로 수질이 약간 감소하였으나 최종 갑천A 지점의 수질은 0.195 mg/L로 동일하였음
- 이에, 물순환선도도시, 비점오염원관리지역의 비점오염배출의 삭감만으로 갑천의 수질개선 효과는 크지 않은 것으로 나타났음

[표 4-5] 갑천하류 구간별 수질의 변화 (T-P, mg/L)

Reach	Element	기존	개별배출 삭감	관거월류 삭감	위 치
9	36	0.128	0.128	0.128	유등천, 대전천 유입
	37	0.124	0.124	0.124	유등천, 저영향개발기법
	38	0.136	0.130	0.135	유등천
10	39	0.129	0.127	0.128	갑천, 유등천 유입
	40	0.127	0.125	0.127	갑천, 원촌교
	41	0.199	0.198	0.199	갑천, 대전하수처리장 유출
	42	0.197	0.196	0.197	갑천
	43	0.195	0.194	0.195	갑천
	44	0.196	0.195	0.195	갑천
	45	0.194	0.193	0.194	갑천
	46	0.193	0.192	0.193	갑천
11	47	0.192	0.191	0.192	갑천, 관평천 유입
	48	0.193	0.192	0.0193	갑천, 신구교
	49	0.196	0.195	0.196	갑천, 대덕산업환경사업소
	50	0.195	0.194	0.195	갑천, 갑천A, 갑천말단

3) 수질오염총량제에 근거한 수질의 변화

○ 비점오염저감시설의 저감

- 비점오염원을 저감하기 위한 저영향개발기법은 비점오염원 최적관리지침¹¹⁾에 의하여 삭감량을 산정할 수 있음
- 저영향개발기법인 비점오염저감시설의 삭감량은 유입-유출의 모니터링으로 삭감부하량을 산정하게 됨
- 물순환선도도시 등에 적용되는 저영향개발기법은 최적관리지침의 침투형 시설에서 저감효율을 참고할 수 있음
- 도심에 설치할 수 있는 저영향개발기법은 침투측구, 침투화분, 투수성토장, 침투도랑 등이 있음

[표 4-6] 비점오염저감시설의 저감효율 (%)

시설구분	시설구분	시설	BOD	T-N	T-P
저류형	저류시설	습식연못	43	31	52
	인공습지	인공습지	53	24	70
침투형	침투시설	침투통, 침투측구	53	72	46
		침투화분	75	73	72
		투수성포장	75	83	65
		침투저류지	73	74	79
		침투도랑	77	62	73
여과형	식생여과시설	식생여과대	44	42	42
		식생수로	34	45	51
	여과형시설	여과시설	54	40	58
		빛물정원	54	49	65

11) 국립환경과학원(2010), 수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침, 발간등록번호 11-1480523-000643-01

○ 대상 저감율

- [표 4-7]의 저감율을 대표할 수 있게 T-P 저감효율 70%를 적용하며, 대상 불투수 면적을 25%로 하면 총 대상 저감율은 17.5%가 됨
- 이는, 삭감대상 비점배출부하량은 관리 불투수면 25%를 및 물순환분담량 10 mm로 설정한 우선관리지역의 삭감률 15%과 비슷한 수치임

○ 삭감부하량

- T-P 대상 저감율 17.5%를 [표 3-8]의 시가화지역 비점배출부하량에 적용하여 수질모델링에 적용하였음
- 이러한 삭감부하량을 수질모델링에 적용하여 [표 4-6]과 같이 모의하면 유등천 합류지점 0.121 mg/L, 대전하수처리장 유출지점 0.196 mg/L, 갑천A 지점 0.190 mg/L로 변화를 확인할 수 있었음

○ 저영향개발기법에 의한 수질개선 검토

- 시가화지역의 비점오염물질 17.5% 저감으로 갑천A 지점의 T-P를 연평균 0.005 mg/L 개선할 수 있었음
- 강수패턴에 따라 수질모델링을 적용할 수 없어 강수시 수질개선 효과를 제시할 수 없는 한계가 있었음. 앞으로 물순환선도도시 및 비점오염원관리지역의 평가 및 개선을 위하여 시계열적인 수질모델링을 구축하여야 할 것임
- 빗물유출이 있는 시기(5 mm이상 강수)가 1년 중에 13%인 것으로 보면, 강수시 T-P의 수질개선 효과는 훨씬 클 것으로 예상됨

3절. 부가적 효과

1) 미기후(microclimate)

○ 정의

- 지표면으로부터 지상 1.5 m 정도의 접지층 기후를 말함. 지표의 상태 및 지물의 영향을 많이 받아 미세한 기상이나 기후에 차이가 생기게 됨. 접지층에서는 약간의 높이에 따라 기후상태가 크게 변화하므로 기상관측을 하는 높이(1.2~1.5 m)의 기후와는 큰 차이가 있음

○ 중요성

- 현재의 도시처럼 인공피복이 확장되면 도시의 기후변화 적응능력이 크게 저하될 것으로 예상됨
- 특히 아스팔트, 콘크리트 등 인공적인 구조의 밀도 증가는 도심에서 비축 가능한 열용량을 증가시켜 도시열섬 및 극한기후를 심화시키게 됨
- 더불어 도시열섬 및 극한 기후변화는 사회·경제·환경적 문제를 유발하며, 에너지·보건·환경적으로 큰 사회적 비용을 초래하게 됨

○ 대응방안

- 지구온난화 및 도시미기후에 대한 통합 관리체계를 통해 사회적 비용을 저감할 필요가 있음
- 이에, 우리나라는 도시피복의 관리를 하는 그린인프라 전략을 진행하고 있지만 자연피복을 확장하는 정책에 집중되어 있어 효과가 크지는 않음
- 이러한 상황에서 물순환을 위한 LID 기법의 적용은 물순환을 통해 미기후의 악영향을 저감할 수 있는 방안으로 기대됨

2) 부가적 효과의 사례

(1) 여가활동 등 공공참여 기회 향상

- 행복도시 저영향개발기법 도입방안에 관한 연구 (I)¹²⁾
 - (여가활동 공간 구성) 미국 포틀랜드의 경우 LID기법 설치지역을 자전거투어 코스로 개발하고, 이를 자전거 대여점과 연계하여 일반인들의 방문을 유도하고 여가활동의 기회를 제공함
- LID기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련¹³⁾
 - (공공참여 및 삶의 질 향상) 저영향개발기법은 공공이 아닌 개별 주차장에도 다양하게 적용할 수 있으며, 개인주택 소유자들이 참여할 수 기회로 볼 수 있음. 이러한 참여를 통해 지역에서 수질 및 물순환에 대한 인식이 강화될 수 있으며 환경개선을 통한 삶의 질 향상으로 이어지게 됨
 - ⇒ 기관이 주도하는 대규모 SOC가 아닌 개인의 주택·마당 및 동네에서 추진하는 사업으로 활성화하여, 시설 설치 후에도 주민들이 관심을 갖고 유지관리 할 수 있도록 한다면 제도·문화적으로 정착 가능할 것임¹⁴⁾

(2) 도시미관 개선, 자산가치 향상

- 행복도시 저영향 개발 기법 도입방안에 관한 연구 (I)¹⁵⁾
 - (예술적 요소의 가미를 통한 미관 개선) LID기법의 단순 적용보다는 지역의 예술가 참여를 통한 조형물 등을 가미함으로써 주민 친화력을 높이고, 기법 자체의 심미적 가치를 향상시킴으로써 관광 인구의 흡인 요소로 작용하게 함

12) LH 토지주택연구원(2017), 행복도시 저영향 개발 기법 도입방안에 관한 연구(I)

13) 환경부(2009), LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련

14) 한국환경공단(2017), 대구의 폭염, 물순환도시 건설로 극복하자!

15) LH 토지주택연구원(2017), 행복도시 저영향 개발 기법 도입방안에 관한 연구(I)

○ LID기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련¹⁶⁾

- (지역가치 제고) 녹지 조성된 지역은 도심경관 가치를 증진시키고 지역에 활기를 불어넣음. 지가도 더 높다는 연구결과를 확인할 수 있음
- (증가된 자산가치 및 세수입) 개방된 자연 공간, 오솔길 등은 잠재적 주택 구매자들에게 구매 요인으로 작용함. 다양한 LID기법이 적용된 사업지역은 타 지역보다 재산가치가 더 높게 평가되고 있음

⇒ MA의 Amherst와 Concord에 의하여 개발된 주거단지는 기존의 지역보다 평균 \$17,100 비싸게 매각함. 이러한 자산가치 증가는 지자체 재산세입의 증가로 전환되는 것도 가능함. 또한 Triangle Greenways Council에서는 녹색공간 옆의 주택 가격이 떨어진 곳에 위치한 주택보다 평균 \$5,000 더 비싸게 매매된 것으로 확인됨

(3) 열섬현상 개선

○ LID기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련¹⁷⁾

- (도시열섬현상 감소) 도심 지역의 기온을 교외 지역과 비교하였을 때 평균 10℃ 이상 높을 수 있음. LID기법이 적용된 도시에서 녹지가 조성된 공간은 열 흡수를 감소시키고 수증기를 방출하기 때문에 더운 공기를 식히는 역할을 함. 환경부의 빗물유출 제로화 시범단지 조성사업 효과를 분석한 결과 저영향개발기법 적용 시 0.5~0.6℃의 열섬완화 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타남¹⁸⁾

○ 도시지역 미기후 관리방향 연구¹⁹⁾

- (전기이용 수요 감소 등 연쇄적 사회적 관리비용 절약 가능) 도시열섬 현상이 심화될 경우 실내의 온열쾌적성을 유지하기 위한 시민들의 선풍기, 에어컨 등 전자제품 사용량이 증가함. 이 수요를 충족하기 위해

16) 환경부(2009), LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련

17) 환경부(2009), LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련

18) 한국환경공단(2017), 대구의 폭염, 물순환도시 건설로 극복하자!

19) 안승만 외(2016), 도시지역 미기후 관리방향 연구

발전소를 최대 가동하거나 추가 건설함으로써 대기오염물질 배출량이 증가하고, 이로 인해 대기질이 악화되거나 보건피해로 이어질 수 있음

- (사회적 취약계층의 열적 피로 감소) 에어컨 등을 사용하여 실내의 온열쾌적성을 유지할 경제적 능력이 부족한 취약계층은 도시열섬현상의 증가로 인한 열적 피로가 상대적으로 크게 누적되어 사망비율이 증가하게 됨

⇒ 따라서 도시열섬현상의 완화를 통해서 이와 같은 다양한 사회적 관리비용을 절감할 수 있음

(4) 수질 개선, 수생태계 향상 및 지하수 충전

○ LID기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련²⁰⁾

- (수질개선) 녹지공간은 강우유출수의 범람을 방지하고 합류식 하수도 시설에서 합류된 오수와 빗물의 범람을 줄이게 됨
- (수자원 공급량 확대) 대부분 녹지 및 침투지에서는 강우유출수가 토양으로 침투하여, 지하수 및 수계의 수자원이 보충됨. 이는 안정적인 인간 및 수생태시스템을 위한 수자원의 공급을 원활하게 함
- (감소된 하류 침식과 홍수 조절) LID기법은 유출유량을 거의 없게 줄이고 침전부하를 방지하게 됨. 따라서 홍수와 같은 심각한 침식을 일으키는 강우가 내릴 때 초과하여 유출하는 빗물로 인해 발생하는 피해 부담을 방지할 수 있게 함
- (야생동물의 서식지 개선 및 보호) LID기법은 자연지역, 야생생물 서식지 및 범람원 등을 보호할 수 있음. 특히 훼손된 생태환경을 회복하거나 개선을 할 때에 상당한 비용이 소요될 수 있음을 감안하면, 자연서식지의 개선 및 지속은 큰 경제·사회적 이익을 가져오게 됨. 생태계가 감퇴, 손상, 파괴되는 상황은 생태자본의 감소와 천연 상품서비스의 생산도 감소하게 되는 것임

20) 환경부(2009), LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련

- (개선된 지하수 재충전과 음용수. 감소 처리비용) 물을 사전에 깨끗하게 유지하는 것이 오염된 후에 깨끗하게 만드는 것보다 더 저렴함
- ⇒ Trust for Public Land는 애틀란타주가 산림피복으로 빗물저류시설 설치 필요성이 없어짐으로써 8억 3300만 달러 이상을 절약함
- ⇒ 물 공급자들의 연구에서 유역 내에 많은 삼림을 피복함으로써 수처리 비용이 절감된다는 것이 드러남
- ⇒ 처리비용 변수에서 50~55%가 지역 내 삼림피복 비율로 설명될 수 있음. 수원지역에서 삼림의 피복이 10% 증가하면, 처리 및 화학비용이 약 20%까지 감소함

(5) 습지의 기능 공급 및 홍수 예방

○ 저영향개발기법(LID) 기반의 친환경 도시 계획²¹⁾

- (강우유출수의 습지를 통한 처리) 미국 로드아일랜드주에서는 비점오염원을 관리하기 위하여 LID를 도입함. 기존에 빗물관으로 직접 유입되던 강우유출수를 LID기법 시설을 이용하여 따로 침투하거나 저류조 등에 머물도록 함. 기존의 건물 지붕 및 주차장 등에서 유출되는 강우유출수는 빗물관을 이용해 유출시켰지만, LID기법 빗물관리 방법은 불투수층에서 발생하는 강우를 빗물정원 및 습지를 통하여 제어하게 됨
- (도로 옆 습지설치를 통한 홍수예방) 캐나다의 에드몬턴주는 LID-BMPs (Best Management Practices)를 이용하여 도시개발을 계획한 대표적인 사례임. 도로 옆에 식생습지를 설치하여 연결하였으며, 큰 강우강도에서 발생하는 홍수를 예방하기 위하여 대형습지를 설치함. 분산형 LID기법 시설에서 월류(Overflow)가 되면 대형습지로 빗물이 이동하여 저류(Undercurrent)가 되도록 설계함

21) 이상진(2014), 저영향개발(LID) 기반의 친환경 도시 계획(녹색기술정보포털)

(6) 녹색일자리 창출 및 환경규정 충족 등으로 인한 사회적 비용 감소 및 지역 경제 활성화

- LID기법을 사용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련²²⁾
 - (경제 발전) 2004 Brooking Institute Smart Growth는 공공시설 및 서비스 비용은 LID기법을 적용을 통해 절감될 수 있는 것으로 나타남. 이 연구는 지역사회의 이익과 중심 시가지가 환경친화적으로 구성·개발될 때, 지역적 경제 활동이 강화된다는 것을 발견함
 - (법적 규정 만족) 미국의 많은 주에서는 LID기법이 제공하는 이익에 주목하고 있음. 즉 LID기법의 적용이 결과적으로는 법적 규정 대여금의 지원, 더 쉬운 허가, 다른 녹색 계획 등 많은 인센티브와 연결되게 되었음. LID기법을 적용한 프로젝트는 기존 프로젝트보다 환경에 영향을 덜 미치고, 환경영향 유발부담금을 더 줄이게 하였음
 - (세금 공제) LID기법을 적용한 프로젝트는 미국에서의 에너지 세금 공제를 받기에 적합할 것으로 보여짐
 - ⇒ 뉴욕에서 설계자가 에너지 목표를 충족시키고, 환경적으로 선호되는 재료를 사용하면 실내의 작업에서 평방피트 당 3.75달러까지, 실외 작업에서는 평방피트 당 7.5달러까지 세금 감면을 받을 수 있음
 - (사회적 공간 형성 및 기타 소요비용 절감) LID기법을 적용한 곳을 지역보행자를 위한 공간으로 창조한다면, 주민 보행을 활성화시킴으로써 자동차 교통과 연료 소비를 줄일 수 있음
- 친환경시범마을의 LID기법 적용에 따른 물순환 효과 및 비용편익 분석²³⁾
 - (상하수도 요금 절감) 가정용 상수도 사용액 절감에 따른 편익과 상수도 생산원가 및 하수 처리비용 단가에 대한 사회적 편익을 고려할 수 있음

22) 환경부(2009), LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련

23) 백종석 외(2018), 친환경시범마을의 LID 적용에 따른 물순환 효과 및 비용편익 분석

(7) 도심의 수목에 의한 대기질 향상 및 전기사용량 감소

- LID기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련²⁴⁾
 - (대기 개선) 나무와 풀은 대기오염 물질을 정화하기 때문에, 대기질을 개선시키며 호흡기 질환 발생을 감소시키게 됨
- 서울시 저영향개발(LID) 시범 시설에 대한 편익 특성 연구²⁵⁾
 - (전기에너지 사용량 감소에 따른 대기질 개선) 저영향개발 시설의 설치 및 운영으로 발생하는 전기 저감량을 화석 연료 기반 발전소의 발전 저감량으로 환산하여 간접 가치 비용 산출이 가능함

(8) 에너지 사용 저감 및 에너지 효율 증가

- 서울시 저영향개발기법(LID) 시범 시설에 대한 편익 특성 연구²⁶⁾
 - (연간 하수처리용 전기에너지 저감) 강우유출 저감량에 따른 단위부피당 하수처리 에너지 소모량 절감
- LID기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련²⁷⁾
 - (에너지 효율 증가) 건물 옥상 또는 인근에 녹지공간이 있으면 건물 기온의 변동폭을 줄일 수 있음. 이는 난방 및 냉방에 드는 에너지의 수요를 줄이게 됨
- 대구의 폭염, 물순환도시 건설로 극복하자!²⁸⁾
 - (기온 및 전력소비량 감소) 미국의 Portland는 계획단계에서 Green Infrastructure(GI) 적용을 의무화함. 포틀랜드 대학교에 GI 모니터링 결과를 바탕으로 실제 도시에 적용한 결과, 생태밀도 및 태양광 반사 효과가 10% 증가할 경우 약 1.6°F(0.9°C)의 도심기온 감소효과가 있었음. 이에, Portland 연간 전력소비량의 2% 감소 효과가 확인됨

24) 환경부(2009), LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련

25) 이승원 외(2016), 서울시 저영향개발(LID) 시범 시설에 대한 편익 특성 연구

26) 이승원 외(2016), 서울시 저영향개발(LID) 시범 시설에 대한 편익 특성 연구

27) 환경부(2009), LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련

28) 한국환경공단(2017), 대구의 폭염, 물순환도시 건설로 극복하자!

(9) 이산화탄소 배출 감소

- 행복도시 저영향 개발 기법 도입방안에 관한 연구(I)²⁹⁾
 - (탄소배출 저감) LID기법 적용은 도시열섬현상 및 열대야현상을 감소시켜 냉방에너지 사용량을 줄이며, 이는 탄소배출 저감에 영향을 미침

(10) 저영향개발기법의 설치 및 유지보수 비용 절감

- 친환경시범마을의 LID기법 적용에 따른 물순환 효과 및 비용편익 분석³⁰⁾
 - (정기적 옥상 관리비용 절감) 주택단지에 빗물통을 시공할 경우 집수통으로 빗물 차집이 용이하도록 영구적인 방수공사를 수행하기 때문에 주기적인 옥상 방수공사 비용을 절감함
- 건전한 도시 물순환 회복을 위한 LID 정책 및 제도화 방안³¹⁾
 - (자연상태 유지를 통해 청소비용 저감) LID기법은 기존 건설현장에서 사용되던 콘트리트나 배관을 대체하기 때문에 건설비용을 절감할 수 있음. 또한, 자연상태를 유지하도록 함으로써 도시의 청소유지 비용도 절감 가능함
 - ⇒ 미국 시애틀에서는 25%가량의 도로유지 비용을 절감한 사례가 있음
 - ⇒ 미국의 노스캐롤라이나의 애버딘에서 신규 270세대 아파트 단지의 우수관리 디자인 개발을 통해 우수관리 건설비용 대비 약 \$175,000을 절감시킨 사례가 있음³²⁾
- LID기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련³³⁾
 - (도시유지비용 절감) LID기법을 채택하면 중앙 집중식 강우유출수 저류시설, 유출수 처리시설을 운영하고 유지하기 위한 비용과 펌프, 파

29) LH 토지구택연구원(2017), 행복도시 저영향 개발 기법 도입방안에 관한 연구(I)

30) 백종석 외(2018), 친환경시범마을의 LID 적용에 따른 물순환 효과 및 비용편익 분석

31) 신현석(2017), Part 01. 건전한 도시 물순환 회복을 위한 LID 정책 및 제도화 방안(위터저널)

32) 국립환경과학원 영산강물환경연구소(2010), 친환경적 유역관리를 위한 저영향개발(LID) 기법

33) 환경부(2009), LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련

이프 및 다른 기반시설에 들어가는 비용을 절약할 수 있음. 또한, 펌프시설에 공급되는 에너지 비용, 장마철 강우 처리비용, 하수오염 및 강우유출수로 인해 입은 수질오염, 홍수복구 등을 위한 비용 등도 저감이 가능함

- (기반시설과 개발비용) LID기법은 우수관, 차도 등의 도시기반 시설의 규모를 감소시키게 함으로써 기반시설 비용을 축소시킬 수 있음. 이는 개발에 따른 오염을 감소시키고, 주차장 마련 및 관리비용에 소요되는 잠재적인 비용의 절감으로도 이어지게 됨

(11) 환경부 저영향개발 기법 적용 시범사업 평가 결과

○ 빗물유출 제로화사업 실시

- 환경부는 2013~2015년에 빗물유출 제로화사업(1~2단계)을 실시하여 청주시 오창과학산업단지, 전주 서곡지구를 대상으로 저영향개발기법(LID)을 시범 적용하였음. 식물재배화분, 나무여과상자, 식생체류지 등의 저영향개발기법 시설을 설치하였으며, 2018년까지 3년간의 효과를 평가함
- 저영향개발기법 사업 전과 비교하여 강우유출량이 오창 및 서곡지구에서 각각 24.1, 8.6%, 수질오염물질 중 총부유물질(TSS)가 21.0, 13.1%가 저감되었으며, 지하수의 함양률은 5.06 및 2.96%가 상승한 것으로 나타남
- 1단계, 2단계 시범사업의 부가편익을 산정한 결과 공기질개선, 온실가스저감, 녹지면적 증가 등으로 30년간 최대 총 446억 원의 편익이 발생할 것으로 분석됨

3) 경제적 편익 검토의 사례

(1) 미국 필라델피아의 저영향개발 경제적 가치³⁴⁾

○ 기후변화 적응을 위한 행동

- 필라델피아는 온실가스의 안정적 감축을 위한 기술과 조직 기반 형성을 목표로 2007년에 'Local Action Plan for Climate Change'를 수립함
- 적응에 관련한 내용으로 전력 수요를 충족시키기 위한 풍력에너지 도입, 그린빌딩 개발 전략, 법규 검토, 도시차양 수목 15% 유지, 녹지와 오픈스페이스 계획 및 방안이 포함됨
- 기후변화에 대한 홍수 위험을 예측하여 이를 대처하기 위해 EPA와 펜실베이니아 환경보호국에서 폭우관리를 다룸. 결과로 2050년까지 전체 표면적의 11%(약 15.6 square miles)의 지역에 투수 포장, 초목 습지, 그린루프 등의 그린 인프라 기반시설 적용 계획을 추진하고 있음³⁵⁾
- 적응 중에 형평성 부문으로 폭우관리, 오픈 스페이스, 로컬 푸드, 식재 계획으로 구성하여 세부 목표를 수립하였고, 폭우관리에 대한 방안으로 그린 인프라의 중요성을 강조함
- 구체적인 방안으로 폭우대비 그린 인프라, 하천통로 복원·보존, 하수처리장 개선을 제안함. 더불어 투수성 포장, 지붕 녹화, 빗물정원, 습지 등의 기법으로 공공공간과 외부공간에서 기후변화에 적응하고자 제시함

○ 그린 인프라에 대한 부가적 효과의 경제적 가치

- 전체 불투수면적의 25%, 50%에 대한 저영향개발 기법을 적용했을 때의 가치를 다음과 같이 제시함
- 저영향개발 기법 설치에 따라 여가활용 향상, 도시미관 개선, 부동산 가치 향상, 스트레스 및 사망률 감소 등의 부가적 편익에 따른 비용창출 효과가 다음의 [표 4-7]과 같은 것으로 나타남

34) 이성희, 김정곤(2014), 기후변화를 위한 도시계획 방안 연구, Journal of Climate Change Research, Vol.5, No.3, pp.257-266

35) Institute for sustainable communities(2013), Climate adaption & resilience: A resource guide for local leaders

[표 4-7] 미국 필라델피아의 물순환 부가가치 항목 및 추정액

항 목	불투수면 50%로 관리 (백만달러)
여가활동 기회 향상	524.60
도시미관 개선 및 부동산 가치 향상	574.70
열섬현상에 의한 스트레스 및 사망률 감소	1,057.60
수질 및 수생태계 향상	336.40
습지 기능 공급	1.60
녹색 일자리 창출로 인한 사회적 비용 감소	124.90
수목에 의한 대기질 향상	131.00
에너지 절감	33.70
SO _x 및 NO _x 배출 감소	46.30
이산화탄소 배출로 인한 피해 감소	21.20
건설 및 유지 보수에 따른 비용	(-)5.60
총 합계	2,846.40

○ 경제적 가치의 검토

- 환경에 대한 가치에 대해 다양한 측정 방법이 있으며, 각 항목에 적합한 평가방법으로 가치를 추정하였음. 그 중에 열섬현상에 대한 가치가 전체의 37.2%, 도시미관 및 부동산 가치 향상이 20.2%, 여가활동 기회 향상이 18.4%로 세 가지 항목이 75.8%를 차지함
- 하지만 일부분은 주관적인 상황을 비교·추정하여 나타내는 방법으로 사용되었음. 물순환 이외에 대체하는 방법을 고려하지 않아 참고할 수 있는 가치로 판단해야 함
- 더불어 항목 간에 중첩된 가치가 있어 향후 환경가치를 추정하는데 있어 고려할 사항이라고 판단됨. 동일한 지역의 환경가치를 평가하는데 있어 조사자에 의한 작위적 요소가 개입될 수 있어 조가 기관에 따라 상이한 결과가 도출될 수 있음³⁶⁾을 염두하여야 함

4) 대전광역시의 저영향개발의 경제적 가치

- 대전광역시 부가적 효과의 경제적 가치³⁷⁾
 - 필라델피아에서 검토한 항목을 중심으로 대전광역시에서 적용 가능한 부가적 가치를 다음의 [표 4-9]에 나타냄³⁸⁾³⁹⁾
 - 40년간 저영향개발 기법을 적용한 효과비용을 연간으로 환산함
- 경제적 가치의 검토
 - 필라델피아의 부가가치 항목과는 달리 가치의 중첩을 피하여 적용 가능한 항목에 대해서 검토하였음
 - 열섬현상에 따른 가치가 60.2%, 도시미관 및 부동산 가치 향상이 32.7%로 두 가지 항목이 전체의 92.9%를 차지하였음. 하지만, 이에 대한 객관성 확보는 앞으로 명확히 해야 할 사항이라고 판단됨

[표 4-8] 대전광역시의 물순환 부가가치 추정

항 목	불투수면 25%로 관리 (백만원)				
	합계	단기1차	단기2차	중기	장기
면적 (km ²)	539.55	3.28	3.31	87.26	445.70
도시미관, 부동산 가치 향상	349,601	6,196	5,646	120,511	217,248
스트레스 및 사망률 감소	643,357	11,402	10,390	221,772	399,793
수목에 의한 대기질 향상	79,689	1,412	1,287	27,470	49,520
건설 및 유지보수 비용	-3,406	-60	-55	-1,174	-2,117
합 계	1,069,241	18,950	17,268	368,579	664,444

36) 문종길, 환경에 관한 공리주의적 경제 이론의 접근과 한계, 환경철학(2집), pp.65-98
 - 환경가치를 경제학적으로 측정하려는 배경의 이면에는 환경이 인간에 대한 효용성, 제공 편의 및 만족을 평가하려는 의도가 숨어있음. 이를 측정하기 위해 사용되는 CBA나 CVM은 인간의 효용성, 복지, 즐거운, 만족을 평가할 수 있음

37) 대전광역시(2018), 대전광역시 물순환 기본계획, 7장. 물순환 기본계획 시행효과 분석, pp.53~54

38) 환경부(2017), 비점오염저감 국고보조사업 추진지침, 2017

39) 환경부(2016), 수도시설 운영비 및 공사비 개략산정기준, 2016

결론 및 정책제언

1절. 결 론

2절. 정책제언

5장 결론 및 정책제언

1절. 결 론

1) 물순환 적용에 의한 오염배출부하량 삭감

- 저영향개발기법 적용에 의한 대상지역의 개별배출부하량
 - 대전광역시 비점오염원관리지역을 대상지역에 포함되는, 수질오염총량 관리제의 갑천A24 및 갑천A32에 저영향개발기법에 의한 T-P 삭감량을 적용함
 - 갑천A24에서는 비점배출부하량으로 0.179 kg/일, 갑천A32에서는 1.286 kg/일이 감소되는 것으로 나타남
 - 이 삭감량은 갑천A 단위유역의 비점배출부하량(점을 비점으로 전환하는 조건) 1,848,888 kg/일과 비교하여 0.08%의 낮은 수준임
 - 반면, 대상지역에서 저감된 개별배출부하량은 우기시에 집중되는 것으로 실제로 체감되는 효과는 훨씬 높을 것으로 판단됨. 특히, 비점배출부하량은 유출되는 유역환경에 영향을 미치게 되므로 유등천 하류의 하천구간에는 상당한 개선효과가 있을 것으로 보임
- 대상지역의 관거월류부하량
 - 대상지역의 침투량 관리는 합류식관거의 빗물유입을 저감시킴에 따라 하천월류량 또한 저감됨
 - 대상지역 하천월류량이 현재 267.748 m³/년이지만 저영향개발기법의 적용으로 물순환분담량이 20 mm면 107,166 m³/년로 감소하게 됨
 - 관거월류부하량 삭감량은 물순환분담량이 20 mm에서 T-P가 0.888 kg/일에서 0.322 kg/일로 0.566 kg/일이 삭감되는 것으로 나타남

2) 오염배출 저감에 의한 수질개선

○ 수질오염총량제 수질모델링 적용

- 대상지역에서는 개별유출부하량이 T-P 1.465 kg/일이 삭감됨. 관거월류부하량은 20 mm 물순환분담량 기준으로 0.566 kg/일이 삭감됨
- 삭감은 적용된 수질모델링에서 Reach 9 구간, Element 37에 해당됨
- 적용하는 수질모델링은 최근에 적용되었던 QUAL-NIER를 적용함
- 비교 대상 수질항목은 비점오염원관리지역의 대상물질인 T-P로 함

○ 수질개선 효과

- 저영향개발기법 적용 지점(유등천 한밭대교)에서 T-P 0.124 mg/L, 유등천 합류지점(원촌교)에서 0.129 mg/L, 대전하수처리장 유출지점 0.199 mg/L, 갑천A지점(불무교)에서 0.195 mg/L로 나타남
- 개별배출부하량 삭감을 통하여 1.465 kg/일이 삭감되었을 경우, 유등천 합류지점에서 0.127 mg/L로 수질이 약간 감소하였으나 최종 갑천A 지점의 수질은 0.194 mg/L로 거의 동일하였음
- 관거월류부하량 삭감을 적용하여 T-P 0.322 kg/일을 삭감하였을 경우, 유등천 합류지점에서 0.128 mg/L로 수질이 약간 감소하였으나 최종 갑천A지점의 수질은 0.195 mg/L로 동일하였음
- 대전광역시 시가화지역의 25%로 대상을 확대하여 저영향개발기법을 수질모델링을 모의하면 유등천 합류지점 0.121 mg/L, 대전하수처리장 유출지점 0.196 mg/L, 갑천A지점 0.190 mg/L로 개선되는 것을 확인할 수 있었음
- 물순환선도도시 등의 적용으로 비점오염물질의 배출을 억제하였지만 하천수계 말단인 갑천A 지점의 수질은 변화가 없었음. 일부 지역의 저영향개발기법의 적용 만으로도 적용지점의 수질개선을 볼 수 있었지만, 일평균이 아닌 강수 시기를 대상으로 하면 효과가 더욱 커질 것으로 보임. 이에, 신도심, 환경정비구역, 재개발 등 새로운 도심에 적극

적인 적용 및 기존 도심에의 도입 확대는 도심하천 전체의 수질개선 및 수생태 개선을 이끌어 낼 수 있을 것으로 보임

3) 부가적 효과 검토

- 여가활동 등 공공참여 기회 향상
 - LID기법의 적용과 자전거투어코스 등의 연계. 개별주차장의 LID기법 적용의 참여기회 확대 등이 있음
- 도시미관 개선, 자산가치 향상
 - LID기법 적용에 심미적 가치의 향상으로 관광인구의 확대. 심미적 가치의 증가로 인한 재산가치의 증가를 사례로 확인함
- 열섬현상 개선
 - 빗물유출 제로화 시범단지 조성으로 0.5~0.6℃의 기온저감 효과를 기대함. 또한, 이러한 기온저감은 전기이용의 수요 감소와 같은 사회적 관리비용을 절약할 수 있으며, 사회적 취약계층의 열적 피로를 감소시킬 수 있는 것으로 제시함
- 수질개선, 수생태계 여건 향상, 지하수 충전
 - 녹지공간으로 인한 강우유출수의 유출 방지. 지하수 침투에 의한 수자원 공급량 확대. 급격한 유출유량 감소에 의한 하류침식 및 홍수 조절. 야생동물의 서식지 개선 및 보호 등이 제시됨
- 습지의 기능 공급 및 홍수 예방
 - 환경친화적인 도시에서는 LID기법을 이용한 친환경 도시계획이 일반화되고 있음. 또한 LID기법 중에 도로 옆 습지설치로 홍수의 예방과 동시에 생태계의 다양화 기능을 부여함
- 녹색일자리 창출 및 환경규정 충족 등으로 사회적 비용 감소 및 지역경제 활성화
 - LID기법의 적용은 공공시설 및 서비스 비용으로 사회적 비용을 줄일

수 있을 것으로 제시함. 또한, 빗물의 도심 사용은 수돗물의 사용 저감으로 상하수도 사용을 절약할 수 있을 것으로 평가함

○ 도심의 수목에 의한 대기질 향상 및 전기사용량 감소

- LID기법의 활용에 따른 나무와 풀은 대기오염 물질을 정화하여 대기질 개선 및 호흡기 질환 발생을 감소시킴을 확인함. 또한, LID기법이 전기사용을 감소시켜 발전소 배출 탄소량 저감에 기여함을 제시함

○ 에너지 사용 저감 및 에너지 효율 증가

- 건물 옥상의 녹지공간은 난방 및 냉방에너지의 수요를 감소시키게 됨. 포틀랜드의 경우 녹색인프라를 적용할 경우 연간 전력소비량의 2% 감소효과가 있다고 확인함

○ LID기법의 설치 및 유지보수 비용 절감

- LID기법에서 따라오는 옥상 방수시설 등의 적용은 주택 유지보수 비용을 절감시킬 수 있음. LID기법의 적용시설의 적용 및 관리는 도심의 청소·관리비용을 감소시킴으로써 사회유지비용을 감소시킴. 빗물을 제어하기 위한 강우처리비용, 수질오염피해 복구, 홍수 복구 등의 비용을 감소시킬 수 있음

2절. 정책제언

1) 저영향개발기법의 이행평가를 위한 모니터링 방안의 수립

○ 저영향개발기법의 이행 모니터링의 필요

- 물순환선도도시 등의 저영향개발기법 운영이 하천수질을 개선하는 것을 예측하는데 있어 현장 모니터링이 절대적으로 필요함. 향후 선도도시의 성공적인 운영에 필요한 현장 모니터링 계획을 수립하는 것이 필요함
- 물순환선도도시는 환경부의 수질오염총량제와 LID 사업의 효과를 나타내는 것이 바람직함. 대전광역시가 Test Bed로서의 역할과 사업의 확산을 위해 사업준비 및 초기단계에서 모니터링과 결과 분석사업이 반드시 수행되어야 할 것임
- 이에 다음과 같은 모니터링의 수행 및 데이터의 확보가 필요함

① 물순환의 확인을 위한 모니터링의 진행

- 목적 : 수질개선, 홍수·침수 저감, 지하수함양 증대 등 모니터링에 의한 저영향개발기법의 효과 확인
- 대상 : 주요 저영향개발기법 시설의 유입 및 유출수
- 모니터링 : 대상지의 강우량(mm), 강우유출량(CMS), 수질분석자료(TOC, BOD, COD, SS, T-N, T-P, 일반세균, 대장균군 등) 등이 필요함
- 검토방법 : 저영향개발기법 시설의 설계와 비교하여 빗물의 침투량 및 삭감부하량이 어떻게 되는지 산정함

② 에너지 관리를 위한 구체적 에너지소비 데이터의 확보

- 목적 : 냉방에너지 소비의 감소
- 모니터링 : 대상지의 온도, 건물의 에너지 사용량 등이 필요

- 저영향개발기법의 적용 전·후를 타 지역과 비교하여 건물의 에너지 사용에 차이점이 있는지 검토
- ③ 대기관리를 위한 모니터링 지점 확대
- 목적 : 도시 대기질의 개선
 - 모니터링 : NO_x, SO_x, O₃, PM₁₀, PM_{2.5} 등의 조사지점 확대
 - 저영향개발기법의 적용 전·후를 타 지역과 비교하여 대기 오염물질의 농도 변화가 있는지 검토
- ④ 기후변화 관리를 위한 방법의 선정 및 지속적인 모니터링
- 목적 : 도시화에 의한 불투수면적에 의한 도시열섬현상은 물순환에 의하여 건전한 도심으로 만들 수 있음
 - 모니터링 : 도심의 온도를 여러 곳에서 지속적으로 모니터링하거나 인공위성영상 및 드론을 이용한 도심의 열지도를 파악하는 것은 건전한 물순환을 파악하는 방법이 될 수 있음
 - 저영향개발기법의 적용 전·후를 타 지역과 비교하여 지표면의 온도변화에 차이가 있는지 분석
- ⑤ 지역사회 일반적 환경개선
- 목적 : 여가활동 기회의 확대, 소음공해 감소, 심미적 개선, 지역사회 유대 강화, 도시농업의 증가, 생태서식지의 증가 등
 - 모니터링 : 객관화된 것보다는 주민선호도 조사와 같은 정성적 평가가 필요함
 - 저영향개발기법의 적용 전·후를 타 지역과 비교하여 지역민들의 부동산가치생활 만족도 및 타 지역민들의 방문횟수 등에 변화가 있는지 분석

2) 사회적 비용을 감소시키는 부가적 효과의 객관화 필요

○ 저영향개발기법에 따른 효과의 인식 확대

- 빗물을 발생원에서 분산형으로 관리하는 원칙을 가진 저영향개발(LID)은 저류식 빗물관리시설보다 도시 물순환을 회복하는데 효과가 큼
- 저영향개발기법의 일반적인 효과는 수질개선으로 인식되어 왔음, 하지만, 빗물을 모두 제어할 수 없고 그 대상면적이 상황에서 수질개선의 효과는 크지 않을 수 있음
- 이에, 저영향개발기법의 부가적 효과를 사회적 비용과 연계하여 객관화하여 새로운 평가를 진행하여야 함

○ 환경경제 평가기법의 활용

- 환경경제학은 자연환경 및 환경자원을 어떻게 개발하고 관리할지를 경제학적으로 적용하여 분석하는 것임
- 환경경제는 기업, 소비자 및 공공기관의 각종 경제활동이 환경오염과 파괴에 있어 큰 원인이 됨을 시작으로 전개함. 이에 첫 번째로 경제활동과 환경오염 사이의 관계를 구체적으로 밝히는 것, 두 번째로 환경의 질이 변화함으로써 보편적 복지를 얼마나 변화시키는가의 검토, 마지막으로 환경정책 수립·시행에 대한 효과를 평가해야 함
- 평가의 접근방법으로 지불의사 접근법, 회피행위 접근법, 헤도닉가격 접근법, 조건부 평가법 등이 있음. 반면에 이러한 평가법들은 평가자에 따라 과대·과소평가될 수 있으며 여러 가지 편익을 검토할 경우 편익이 중복되어 평가될 수도 있음을 주의하여야 함

○ 저영향개발에 의한 사회적 비용의 대체 및 경제 활성화 효과 검토

- 저영향개발기법의 적용으로 인한 효과 중에는 물순환 및 수질과 관련된 직접적인 효과와 부가적 효과가 있음
- 이에, 물순환 및 저영향개발이라는 틀에서 아래와 같은 부가적 효과에 대한 체계적 검토 및 대응이 필요함

- ① 도심온도 저감이 온열환자, 스트레스, 사망률 등에 미치는 영향 분석
 - 높은 기온에 대하여 개별적으로 해결방법을 선택하고 있는데, 이러한 문제를 공공부문이 부담한다면 사회적 비용으로 검토할 수 있음
 - 높은 기온에 대한 대처 및 해결방안에 대한 만족도는 개별적인 차이가 있어 이를 객관화하기 힘들지만, 취약계층을 비롯한 시민들에게 보편적 복지를 제시할 수 있음
 - 이에, 에너지사용량의 감소 및 온열환자, 스트레스, 사망에 따른 비용을 검토함으로써 편익을 산정할 수 있을 것으로 판단됨
- ② 도시의 미관개선, 부동산 가치의 증가
 - 저영향개발기법은 생활환경의 쾌적성을 높여 부동산 가치의 증가시킬 수 있지만, 이를 사업의 편익으로 포함시켜야 하는지는 검토가 필요함
 - 도시의 미관개선은 외부 관광객들의 유입을 증가시켜 경제활동을 활발하게 유지시켜 주어 편익을 산정할 수 있을 것으로 보임
- ③ 도시 기능 개선에 의한 여가활동 개선
 - 저영향개발기법 시설의 결과인 녹지면적 증가, 산책로 확보, 공원면적 증가는 외부 여가활동을 활성화시켜 시민들에게 편익을 부여할 수 있지만, 환경경제학적으로 과대평가되는 경향도 있음
 - 지역민들의 여가활동 참여비용을 조사함으로써 편익을 산정할 수 있을 것으로 보임
- ④ 녹색일자리의 창출
 - 저영향개발기법은 주목받는 미래 도시계획기법이라 볼 수 있으나 그 효과가 객관화되지 않아 기법을 확장하는데 어려움이 있음
 - 녹색 물순환도시라는 새로운 일자리를 창출함으로써 발생하는 일자리의 창출은 편익 산정에 중요한 요소가 될 것으로 보임
- ⑤ 에너지사용량의 감소, 이산화탄소 배출의 감소

- 저영향개발기법의 적용이 도심의 전기사용량을 줄일 수 있을 것으로 예상되지만 이를 객관화하기 위한 데이터가 전무한 상황임
- 단기적으로는 예상되는 대상 도심지의 온도저감에 따른 건물의 냉방에너지 저감비용을 편익으로 전환할 필요가 있음

⑥ 대기질의 개선

- 저영향개발기법에 의한 녹색도시가 각종 오염물질을 흡착해 대기질을 개선할 수 있을 것으로 예상되지만, 대기질의 개선이 얼마만큼의 편익으로 대체될 수 있을지는 어려운 상황임
- 단, 청정도시에 대한 도시 이미지가 가져올 수 있는 브랜드 가치를 주목할 필요가 있음

참고문헌

- Institute for sustainable communities(2013), Climate adaption & resilience: A resource guide for local leaders
- LH 토지주택연구원(2017), 행복도시 저영향 개발 기법 도입방안에 관한 연구(I)
- 국립환경과학원 영산강물환경연구소(2010), 친환경적 유역관리를 위한 저영향 개발(LID)기법
- 대전광역시(2018), 대전광역시 물순환 기본계획
- 대전광역시(2015), 대전광역시 풍수해저감 종합계획
- 문종길, 환경에 관한 공리주의적 경제 이론의 접근과 한계, 환경철학(2집), pp.65-98
- 백종석 외(2018), 친환경시범마을의 LID 적용에 따른 물순환 효과 및 비용편익 분석
- 신현석(2017), Part 01. 건전한 도시 물순환 회복을 위한 LID 정책 및 제도화 방안(워터저널)
- 안승만 외(2016), 도시지역 미기후 관리방향 연구
- 이상진(2014), 저영향개발(LID) 기반의 친환경 도시 계획(녹색기술정보포털)
- 이성희, 김정근(2014), 기후변화를 위한 도시계획 방안 연구, Journal of Climate Change Research, Vol.5, No.3, pp.257-266
- 이승원 외(2016), 서울시 저영향개발(LID) 시범 시설에 대한 편익 특성 연구
- 이재근(2013), 대전시 수환경 배출오염원 조사방법 개선, 대전발전연구원
- 한국환경공단(2017), 대구의 폭염, 물순환도시 건설로 극복하자!
- 환경부(2009), LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련
- 환경부(2016), 물순환선도도시 조성을 위한 물순환 기본계획 수립방법
- 환경부(2017), 비점오염저감 국고보조사업 추진지침, 2017
- 환경부(2016), 수도시설 운영비 및 공사비 개략산정기준, 2016
- 환경부 환경공간정보체계, <https://egis.me.go.kr/intro/land.do>



34863 대전광역시 중구 중앙로 85 (선화동)

TEL. 042-530-3500 FAX. 042-530-3528

www.dsi.re.kr