기본 19-13

Research on Introduction strategy of low Impact development (LID) in Goyang city [1]

고양시 LID(저영향개발) 도입 전략 연구 [1]

임지열
소가람
손덕주

GYRI 고양시정연구원
GOYANG RESEARCH INSTITUTE

Research on Introdution strategy of low Impact development (LID) in Goyang city [1]

고양시 LID(저영향개발) 도입 전략 연구 [1]

연구책임자

임지열(고양시정연구원, 도시환경연구부, 부연구위원)

공동연구자

소가람(고양시정연구원, 도시환경연구부, 위촉연구원)

손덕주(고양시정연구원, 도시환경연구부, 위촉연구원)

발 행 일 2019년 11월 15일

저 자 임지열, 소가람, 손덕주

발 행 인 이재은

발 행 처 고양시정연구원

주 소 10393 경기도 고양시 일산동구 태극로 60 빛마루방송지원센터 11층

전 화 031-8073-8341

홈페이지 www.gyri.re.kr

S N S https://www.facebook.com/goyangre/

I S B N 979-11-89636-48-7

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서, 고양시 정책과는 다를 수 있습니다.

목 차

요약 ····· i

제1장 연구의 배경 및 목적 ····· 1

제1절 연구의 배경 ····· 3

제2절 연구의 목적 ····· 11

제2장 고양시 LID 관련 현황 분석 ····· 23

제1절 물순환 관련 법적 현황 ····· 25

제2절 LID 관련 선행연구 및 자료 ····· 31

제3절 고양시 비점오염 저감시설 현황 ····· 34

제4절 고양시 내 비점오염 저감시설 성능 평가 ····· 39

제3장 고양시 LID 도입 및 적용 ····· 47

제1절 고양시 내 비점오염 저감시설 우선 도입지역 검토 ····· 49

제2절 고양시 LID 신규 도입 우선지역 제안 ····· 62

제3절 고양시 LID 도입 우선지역 내 적용 가능한 LID 시설 선정 ····· 64

제4절 LID 설계 예시 및 가이드 ····· 80

제5절 고양시 LID 시설 유지관리 시스템 구축 현황 ····· 83

제4장 결론 ····· 89

참고문헌 ····· 93

Abstract ····· 95

표 목차

[표 1-1] 2010년과 2017년 고양시 토지 이용 변화 ····· 5
[표 1-2] 한강 하구 지역 비점오염저감시설 설치 신고 현황(2019년 기준) ····· 15
[표 1-3] 세계 주요국의 물관리 개념 및 특징 ····· 19
[표 1-4] 우리나라의 GI 및 LID 도입의 법적 근거 ····· 20
[표 2-1] '물의 재이용' 관련 조례 제정 지자체(101개, 사전식 배열) ····· 26
[표 2-2] '빗물' 관련 조례 제정 지자체(25개, 사전식 배열) ····· 29
[표 2-3] '저영향개발(LID)' 관련 조례 제정 지자체(1개) ····· 29
[표 2-4] '물순환' 관련 조례 제정 지자체(10개, 사전식 배열) ····· 29
[표 2-5] 토지의 이용 방법에 따른 도입 가능한 LID 시설 및 적용방안 ····· 32
[표 2-6] 고양시 내 비점오염 저감시설 설치 및 운영 현황 ····· 35
[표 3-1] 토지계 BOD 배출원단위 ····· 51
[표 3-2] 토지계 TP 배출원단위 ····· 52
[표 3-3] 토지계 TN 및 SS 배출원단위 ····· 53
[표 3-4] 고양시 토지 이용현황 ····· 56
[표 3-5] 고양시 BOD 배출량 추정 결과 ····· 57
[표 3-6] 고양시 TP 배출량 추정 결과 ····· 58
[표 3-7] 고양시 TN 배출량 추정 결과 ····· 59
[표 3-8] 고양시 SS 배출량 추정 결과 ····· 60
[표 3-9] LID 시설의 오염물질 처리 기작 ····· 66
[표 3-10] 형태에 따른 LID 시설 및 기술의 분류 ····· 67
[표 3-11] 물환경보전법에서 구분하는 비점오염저감시설 ····· 68
[표 3-12] 본 연구에서 사용할 LID 시설의 선정 기준 ····· 69
[표 3-13] LID 시설 개요 ····· 70
[표 3-14] LID 시설 개요 요약 ····· 73

[표 3-15] LID 시설 성능 ····· 74
[표 3-16] 고양시 LID 우선 도입지역에 적용 가능한 시설 ····· 78
[표 3-17] 비점오염 저감시설 주요 유지관리 기준 ····· 84
[표 3-18] 빗물유출제로화 사업 내 LID 시설 설치 현황 ····· 87

그림 목차

[그림 1-1] 1기 신도시 선정 이후 고양시의 변화 ····· 3
[그림 1-2] 개발에 따른 고양시 토지 이용 변화 ····· 4
[그림 1-3] 도시화로 인한 물순환 시스템 변화 ····· 6
[그림 1-4] 비점오염물질로 인한 도심 인근 다양한 수계 오염 사례 ····· 8
[그림 1-5] 도시화로 인한 사회환경적 문제 ····· 8
[그림 1-6] 도심 인근 도로에서 발생하는 강우유출수 유출 특성 ····· 9
[그림 1-7] 최근 5년간 한강에서 발생한 녹조 및 어류 폐사 사례 ····· 10
[그림 1-8] 대한민국 문재인 대통령 UN 기조연설 장면(2019년 9월 24일) ····· 12
[그림 1-9] 한강 하구 지역(고양시, 서울특별시, 인천광역시, 파주시, 김포시 및 강화군 등 인접지역) ····· 12
[그림 1-10] 한강 상류 - 하류의 COD 농도 변화 ····· 13
[그림 1-11] 한강 하구 지역 토지계 오염원 분포 ····· 14
[그림 1-12] 환경기준 달성을 위한 오염원 관리 변화 ····· 16
[그림 1-13] 도심 지역의 물문제 해결을 위한 NBS 기법 적용 ····· 17
[그림 1-14] 물관리 패러다임의 변화 ····· 18
[그림 1-15] LID 및 GI 도입과 관련된 국내 주요 지자체의 언론 보도 ····· 21
[그림 1-16] 비점오염 저감시설 관리 주체 변화(중앙정부에서 지방자치단체로 ····· 22
[그림 2-1] 고양시 3기 신도시 개발 관련 언론 보도 ····· 25
[그림 2-2] 고양시 LID 시설 현황 ····· 36
[그림 2-3] 오염원 관리 체계 ····· 38
[그림 2-4] LID 성능 평가 모니터링 결과 보고(2018.08.29.) ····· 40
[그림 2-5] 비점오염 저감시설 강우 모니터링 그래프 예시 ····· 42
[그림 2-6] 고양시 LID 시설 유지관리 상 문제점 ····· 45
[그림 3-1] 고양시 행정지도 ····· 49
[그림 3-2] 차량 운행 시 발생할 수 있는 오염물질 ····· 61

[그림 3-3] 도로지역 강우유출수 내 중금속 (Fe 및 Ni) 농도 비교 ····· 61
[그림 3-4] 고양시 비점오염 우선 관리 대상 지역(안) ····· 63
[그림 3-5] 대표적인 LID 시설 종류 ····· 65
[그림 3-6] 강우유출수 내 오염물질 적정 처리 기작 ····· 67
[그림 3-7] 자연순환체계 회복에 기여하는 LID 시설 설치 시 예상되는 효과 ····· 75
[그림 3-8] 나무여과상자와 식물재배화분 사진 ····· 76
[그림 3-9] 침투도랑 설치 과정 ····· 77
[그림 3-10] 국내의 LID 가이드들 ····· 80
[그림 3-11] 「비점오염저감시설의 설치 및 관리운영 매뉴얼 내 설계」 부분 발췌 1 ····· 81
[그림 3-12] 「비점오염저감시설의 설치 및 관리운영 매뉴얼 내 설계」 부분 발췌 2 ····· 82
[그림 3-13] 연 강우 사상 및 유지관리 실시 상황 예시 ····· 85
[그림 3-14] 환경부 빗물유출제로화 시범 사업 지역 ····· 86
[그림 3-15] 유지관리 방향성 ····· 88
[그림 4-1] 후속 연구의 지향성 ····· 92

요 약

1. 연구의 배경 및 목적

□ 연구의 배경

○ 고양시는 1기 신도시 지정 이래로 급속한 성장이 일어났으나 도시 개발로 인한 불투수면적이 증가했으며 이는 다음과 같은 문제 야기

- 도시 홍수, 지반 침하, 증발량의 감소 및 지하수 고갈 등 물순환 문제
- 비점오염원 문제 증가

○ 최근 국가적으로 비점오염 관리를 적극적으로 시작하였으나 아직 미비한 점이 이 많음

- 한강 하구의 환경적·생태적 가치에도 불구, 일대 수환경은 갈수록 악화됨

○ 현재 고양시의 오염원은 많으나 인접 지자체 대비 비점오염 저감시설은 부족

- 안정적 수계 관리를 위한 비점오염원의 관리 필요성 대두

□ 연구의 목적

○ 2018년 UN에서 Nature-Based Solution for Water 보고서 발간

- LID(저영향개발), 및 GI(녹색 기반)의 확장된 개념
- 도시 지역에서의 물순환 문제의 해결 방안으로 LID, GI 제시

○ 물관리 패러다임의 변화

- 지속가능한 성장, 기후변화의 회복을 위한 다기능적 GI 및 물 민감성 가치 강화

○ LID 운영 및 관리주체의 변화: 중앙정부에서 지방정부로

- 따라서 지자체의 대비 필요
- 고양시의 LID 시설 도입의 방향성을 제시하고자 함

2. 고양시 LID 관련 현황 및 분석

○ 물의 재이용, 빗물, 저영향개발, 물순환 관련 조례 도입 현황 및 비점오염 저감 시설 현황 제시

○ 고양시 내 비점오염 저감시설 성능 평가 및 지표 제시

- 법적 기준이 존재치 않으나, 고양시의 시설은 권고사항의 10% 수준으로 효율성이 낮음
- 고성능평가 또한 실시간으로 변화하는 강우의 특성을 반영하지 못하는 등 문제점 내포
- 문제점에 따른 새로운 지표 제시

○ 비점오염 저감시설 운영상의 문제점 제시

- 시설 인근 쓰레기 축적 및 식물의 고사와 내부 생성 오염물질 발생

○ 비점오염물 현황 제시 및 고양시의 관련 현황 추정

- 대한민국의 BOD, TP, TN, SS 배출원단위 제시
- 고양시의 배출량 추정

3. 고양시 LID 도입 및 적용

○ 고양시 내 LID 도입 우선지역 제안

- 고밀도 상업 시설 지역, 수계 통과교량, 수계 인접 도로로 설정

○ 적용 가능한 LID 시설 제시

- 주요 고려 사항은 오염물질 처리 가능성, 자연 순환체계 회복 기여도, 시공 및 유지관리의 용이성, 도입 우선지역과의 적합성

- 우선도입지역에 적용 가능한 시설 제시

○ **LID 설계 기준(식생형) 제시**

- 현재 환경부 제공 가이드라인은 접근성이 낮음
- 설계기준 용량 산정, 시설용량 및 세부시설 설계 예시 제시

○ **LID 유지관리 방향성 제시**

- 환경부의 유지관리 기준 제시(저류시설, 식생형시설)
- 기간 기준의 유지관리 기준 제안
- 효율화 및 IOT 기반의 통합 관리 시스템 구축 필요

4. 결론

○ **고양시 LID 관련 현황 검토를 바탕으로 시설 설계방안 및 유지관리 방향성 제시**

○ **연구의 한계 및 후속연구방안 제시**

제 1 장
연구의 배경 및 목적

제1절 연구의 배경

제2절 연구의 목적

제1절 연구의 배경

1. 연구의 배경

❑ 고양시는 1989년 1기 신도시 선정과 함께 급속한 발전을 이루었으며, 신도시 개발 이후로도 지속적으로 발전하여 2019년 현재 우리나라 10위권(인구 순위 기준) 인 주요 도시에 도달하였다. 특히, 법적으로 광역시의 기준인 인구 백만 명을 돌파했으며 지속적으로 인구가 감소하고 있는 수도권 외의 지역들의 상황을 감안한다면 이는 고양시의 위상이 증대되었음을 직접적으로 보여주는 사례라 할 수 있다.

[그림 1-1] 1기 신도시 선정 이후 고양시의 변화

❑ 이와 같은 도시개발에 따라 신도시 개발 계획에 따라 고양시에서 아파트 및 주택 개발과 같은 건설 공사 및 사회 기반시설 보급을 위한 대규모 기반 공사가 이루어졌다. 이러한 도시화로 인하여 지표에 아스팔트나 콘크리트가 깔리게 되고 이는, 투수면적의 감소와 불투수면적의 증가를 유발했다(그림 1-1). 이는 최근에도 택지지구 개발이나 신도시 개발예정 등 여러 가지 개발로 인하여 불투수면적은 지속적으로 증가하고 있으며 앞으로도 증가세를 보일 전망이다. 이러한 현상은 2010년과 2016년의 불투수면적을 비교한 (표 1-1)을 통해서도 확인할 수 있다. (표 1-1)은 고양시 통계연보 (2018)의 '고양시 토지 지목별 현황' 중 불투수면적으로 분류 가능한 항목(대지, 공장, 학교, 주차장, 도로 등)들의 비율 변화를 분석한 것이다. 고양시 불투수면적비 (불투수면적 / 고양시의 총 면적)는 2010년 약 24.1% (64,316,170 m^2)였으나, 2017년 28.8% (77,099,288 m^2)로 약 4.7% (12,783,118 m^2) 증가한 것을 확인할 수 있다. 물론 해당 분석은 현장 조사가 아닌 수집된 통계자료를 기반으로 분석한 것으로 다소 오차가 있을 수 있다. 하지만, 고양시의 불투수면적은 최근에도 지속적으로 증가하고 있다는 것은 충분히 추정 가능하다.

[그림 1-2] 개발에 따른 고양시 토지 이용 변화

[표 1-1] 2010년과 2017년 고양시 토지 이용 변화

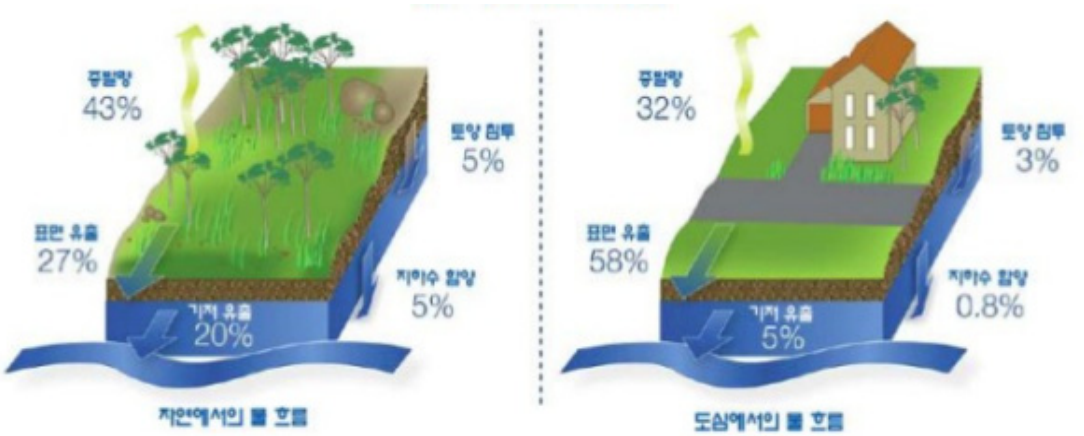
구분	2010년	2017년
대지(주거)	28,123,036 m^2	32,242,593 m^2
공장	2,113,159 m^2	2,875,088 m^2
학교	2,043,445 m^2	2,270,697 m^2
주차장	131,107 m^2	205,406 m^2
주유소	221,933 m^2	238,835 m^2
창고	1,710,746 m^2	1,755,079 m^2
도로	16,315,387 m^2	19,312,147 m^2
철도	2,471,109 m^2	3,325,969 m^2
체육용지	3,496,284 m^2	3,922,792 m^2
유원지	87,995 m^2	95,609 m^2
종교용지	357,279 m^2	420,517 m^2
잡용지	7,244,690 m^2	8,893,397 m^2
불투수면적 합계	64,316,170 m^2 (총 면적 대비 24.1%)	77,099,288 m^2 (총 면적 대비 28.8%)
고양시 총 면적	267,410,000 m^2	268,059,219 m^2

자료: 고양시, 『고양통계연보』, (2017)

❑ 불투수면적의 증가는 도시 개발 시 일반적으로 나타나는 특징이다. 이러한 불투수면적의 증가는 다양한 도시 문제를 유발한다. 첫째, 도시 홍수, 지반 침하(싱크홀), 증발량 감소 및 지하수 고갈 등과 같은 물순환 왜곡 문제이다. 일반적인 상태에서 강우와 같은 강수는 발생 시 우선적으로 토양으로 침투하게 된다. 침투된 강우유출수는 중력에 의해 지하수층에 도달하여 지하수의 형태로 유출된다(지표하 유출). 이 과정에서 토양 침투 및 저류가 일어나게 되며, 이로 인해 강우유출수의 유출 억제 및 지연 효과를 기대할 수 있다. 침투된 강우유출수로 인해 지하수의 수위가 상승하게 되는데, 상승한 지하수위가 지표면보다 높아지게 되면, 강우유출수는 더 이상 침투되지 않고 지표면으로 흘러나온다. 이처럼 지표면으로 발생하는 유출을 지표면 유출이라고 하며, 앞서 언급한 문제의 주요 영향을 주는 주요 인자이다. 즉, 불투수면적의 증가는 투수면적으로 인해 확보할 수 있는 강우유출수의 침투 및 저류 효과를 감소시키

는 결과를 초래한다. 이처럼 토지 이용의 변화로 인해 발생한 강우는 발생 즉시 지표면으로 유출이 이루어지고, 여름철 집중호우와 같은 특이 기상조건에서 지표면 유출량은 급증하여 도시 우수시스템의 설계 용량을 초과하게 된다. 이와 같은 경우, 전국적으로 문제시되고 있는 도시 홍수 및 우수관의 역류 등의 사회적 문제를 초래한다. 또한 침투수량이 감소하게 되며 이로 인해 지하수위 감소를 가져오고 이는 인근 활용 가능한 수자원의 감소를 가져온다. 이러한 문제는 고양시가 직면한 문제 중 하나인 장항습지의 탈습지화도 지하수위 감소의 영향과도 무관하다고 할 수 없다. 즉, 불투수층의 증가는 자연적 조건에서의 물순환 시스템의 왜곡을 가져오며, 도심 지역의 물순환으로 인한 다양한 문제를 유발한다고 할 수 있다. (그림 1-3)은 불투수층 증가로 인한 물순환 시스템 변화를 보여준다.

[그림 1-3] 도시화로 인한 물순환 시스템 변화



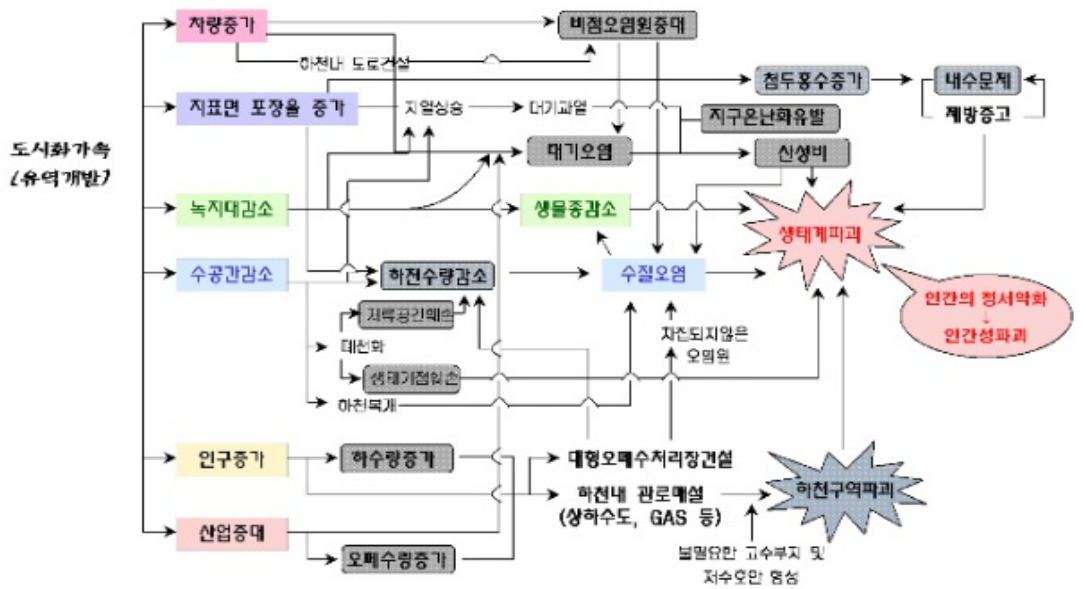
출처: Phillip Johnstone(2012)

❑ 둘째, 도심지 건설과 더불어 인구 및 차량 증가로 인한 비점오염원과 같은 오염 문제를 들 수 있다. 비점오염원은 「물환경보전법」에서 '도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등으로서 불특정 장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원'으로 정의하고 있다. 풀이하면, 기존에 내린 비로 인하여 노면에 축적된 오염물질이 추후 발생한 우천 시 강우유출수에 포함되어 수계로 유출되는 오염물질의 원인이 되는 지역으로

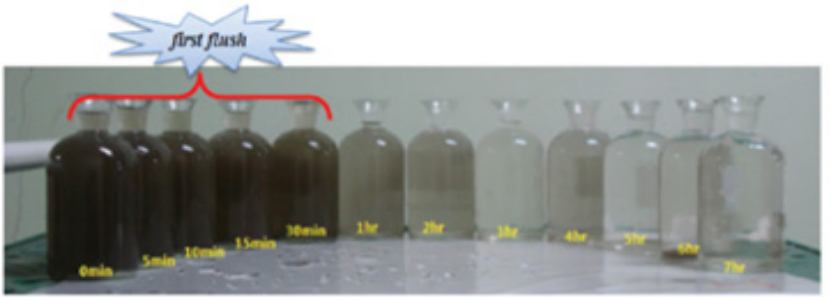
해석 할 수 있다. 최근 비점오염원 관리가 주목받는 이유는 비점오염원에서 발생하는 비점오염물질이 수계로 유출되는 이송 경로가 종류의 오염물질이 유출되는지 파악이 어렵다는 점, 오염물질이 어느 지점에명확하게 규명되지 않다는 점, 어떤서 주로 발생하는지 파악되지 않았다는 점, 발생하는 오염물질량의 예측이 어렵다는 점 그리고 강우유출수는 전 국토에서 발생하기 때문에 관리 범위가 산정이 어려운 점 등을 들 수 있다. 일반적으로 비점오염물질은 자연에서 발생하기도 하지만, 비점오염물질 발생량에 영향을 주는 핵심 사항은 인간 활동이라는 주장이 지배적이다. 즉, 인간 활동이 이루어지는 지역에서 비점오염물질 발생은 필연적이라는 것이다. (그림 1-4)는 도심 지역에서 발생한 비점오염물질로 인해 수계 오염이 유발된 사례를 보여준다. 여기서도 확인 할 수 있듯이, 도심 인근 수계에서 폐유 등의 유지류, 부유물질, 쓰레기와 같은 폐기물 등으로 인한 수계 오염이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이외에도 도심 지역 열섬 현상, 온실가스 발생량 증대, 녹지 공간 감소로 인한 미관 훼손 등의 다양한 문제가 유발된다는 연구 결과가 발표되고 있다. (그림 1-5)는 도시화로 인한 전반적인 사회·환경적 문제에 대한 내용을 정리한 것이다. (그림 1-6)은 강우 시 도심 내 도로 지역에서 발생하는 강우유출수의 시간에 따른 변화사진과 강우 시 시간에 따른 유량 및 농도 변화 그래프의 예시이다. 여기서도 확인 할 수 있듯이, 강우초기 고농도의 부유물질(오염물질)을 함유한 강우유출수가 유출되고 이후 점차 농도가 감소하는 경향을 보인다. 이와 같은 현상은 초기 강우 현상 (First Flush Effect)라 하는데 이는 유출계수가 높은 도로와 도심과 같은 불투수비율이 높은 토지에서 전형적으로 관찰되는 현상이다. 특히, 일부 연구에서는 강우 초기에 발생하는 고농도의 강우유출수의 오염물질 농도는 하수의 농도보다 높다고 보고되고 있다. 이처럼 도시화 된 지역에서 발생하는 강우유출수는 수계에 심각한 영향을 주는 것으로 보고되고 있으며, 이에 대한 관리 방안 수립이 시급하다.

[그림 1-4] 비점오염물질로 인한 도심 인근 다양한 수계 오염 사례

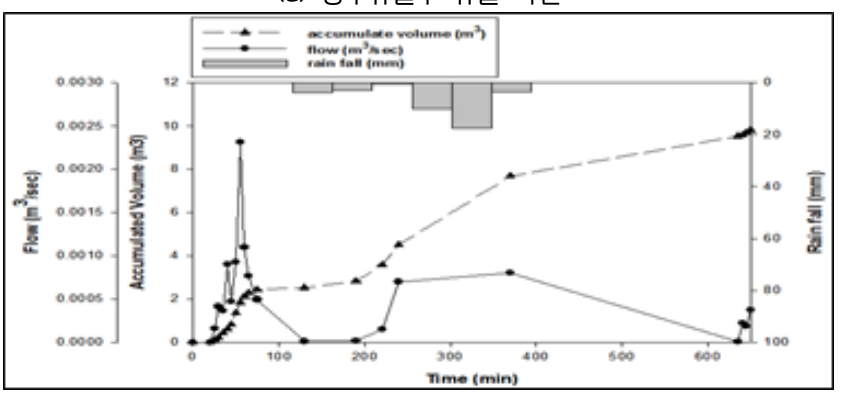
[그림 1-5] 도시화로 인한 사화환경적 문제



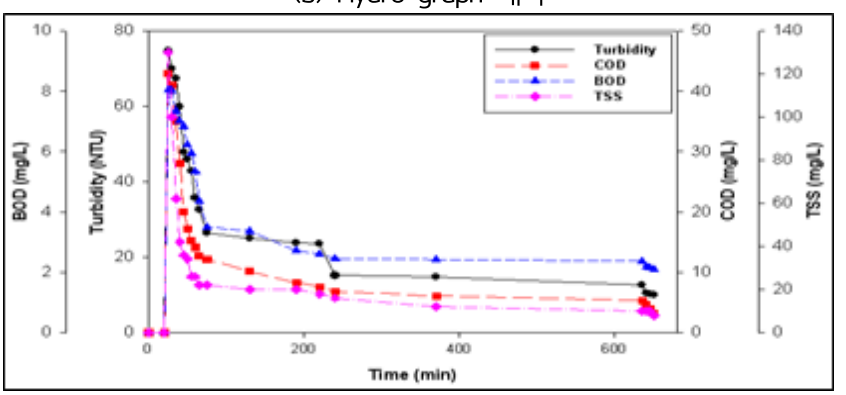
[그림 1-6] 도심 인근 도로에서 발생하는 강우유출수 유출 특성



(a) 강우유출수 유출 사진



(b) Hydro graph 예시



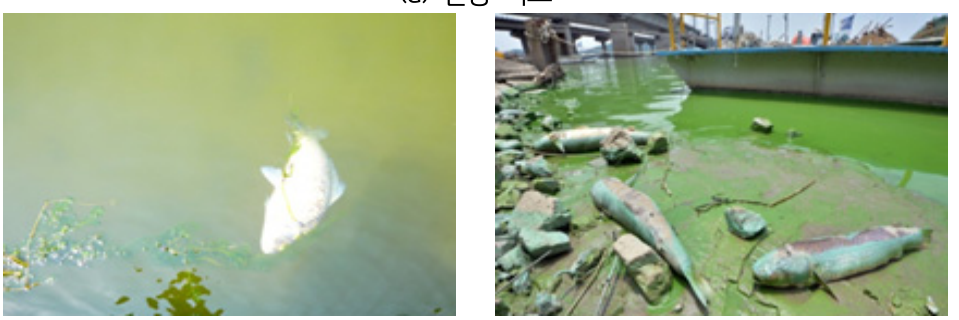
(c) Polluto graph 예시

❑ 최근 국가적으로 비점오염 관리에 있어 적극적인 관리 정책을 도입하고 있으나, 비점오염물질로 인해 발생되는 수계 환경 문제는 여전히 빈번하게 발생한다. 그 대표적인

사례로 강우유출수 내 함유된 영양염류로 인해 녹조 및 어류의 폐사 등을 들 수 있다. (그림 1-7)은 최근 5년간 한강에서 발생한 녹조 및 어류 폐사의 사례를 보여준다. 녹조의 경우, 2014년 8월, 2015년 및 2017년 6월 등에 발생하였으며, 그 주요 원인은 비점오염원에서 유출된 다량의 영양염류로 인한 것으로 분석되었다. 어류 폐사의 경우, 2017년 7월, 2015년 4월 및 2015년 6월에 발생하였으며, 이는 강우 시 다량의 영양염류 및 중금속과 같은 독성물질 유입이 그 원인으로 제시되었다. 최근 고양시와 인접해 있는 한강에서 녹조 경보나 어류 폐사의 발생이 감소하였으나, 비점오염원에 대한 체계적인 관리가 이루어지지 않는 이상 이와 같은 문제에 항상 노출되어 있는 것은 사실이다.

[그림 1-7] 최근 5년 한강에서 발생한 녹조 및 어류 폐사 사례

(a) 한강 녹조



(b) 한강 어류폐사

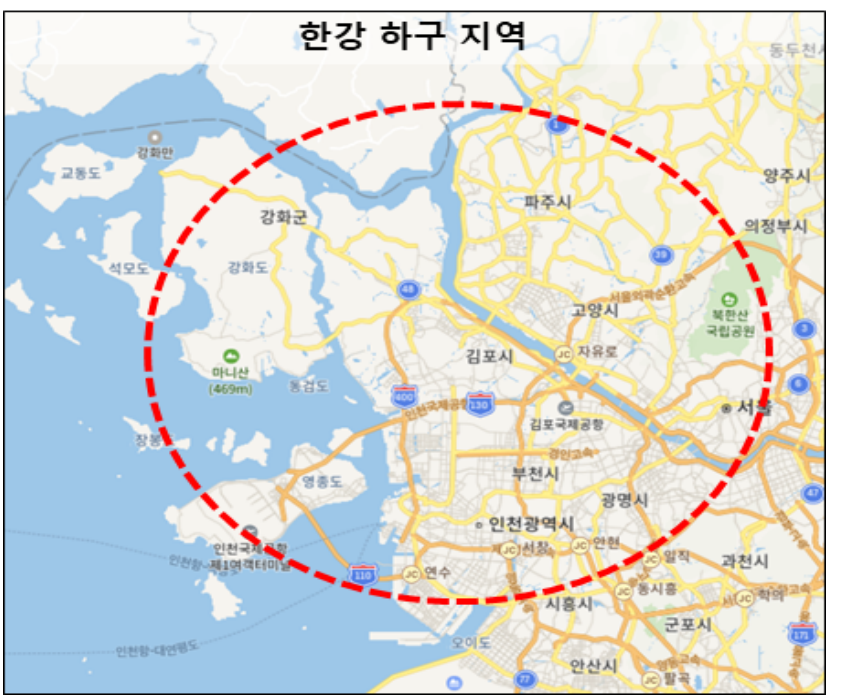
제2절 연구의 목적

❑ 2019년 9월 우리나라 문재인 대통령의 UN 기조 연설이 있었다(그림 1-8). 그 중 한강 하구의 환경·생태·평화적으로 높은 가치를 언급하며, 이에 대한 적극적인 보존 및 활용을 추진하겠다는 내용이 포함되어 있었다. 한강 하구 지역은 고양시, 서울특별시, 인천광역시, 파주시, 김포시 및 강화군 등이 공유하고 있는 한강의 하류지역으로 이에 대한 환경·생태적 가치는 이미 전 세계가 주목하고 있는 수준이다(그림 1-9). 하지만, 이와 같은 한강하구의 보존 및 활용을 위해서는 우선 질적으로 안전한 수환경이 조성이 필요하다. (그림 1—10)은 한강 상류 지역과 하류지역의 유기물 농도의 변화(5년)를 보여준다. 그림에도 확인할 수 있듯이, 한강 상류로부터 하류로 올수록 COD(Chemical Oxygen Demand, 화학적 산소 요구량)의 농도가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 한강의 경우 유속으로 인한 내부 생성 오염물질이 전무하다는 가정하에, 한강 하류 인근에서 한강 COD 농도를 증가시킬 수 있는 수준의 오염물질 유입이 이루어지고 있다는 것을 직접적으로 보여주는 사례이다. 특히, 한강 상류 (탄천 유역)대비 행주, 김포 그리고 파주의 COD 농도가 약 1.5 ~ 2배 높은 것으로 나타났다. 이는 한강 하구지역 수질관리의 필요성을 대변해주는 조사 결과라 할 수 있으며, 한강 하구를 공유하는 지자체간의 긴밀한 협조 및 광역차원의 관리 방안 수립 (통합관리 기관 설립 등)이 시급한 상황이라 할 수 있다.

[그림 1-8] 대한민국 문재인 대통령 UN 기조연설 장면 (2019년 9월 24일)

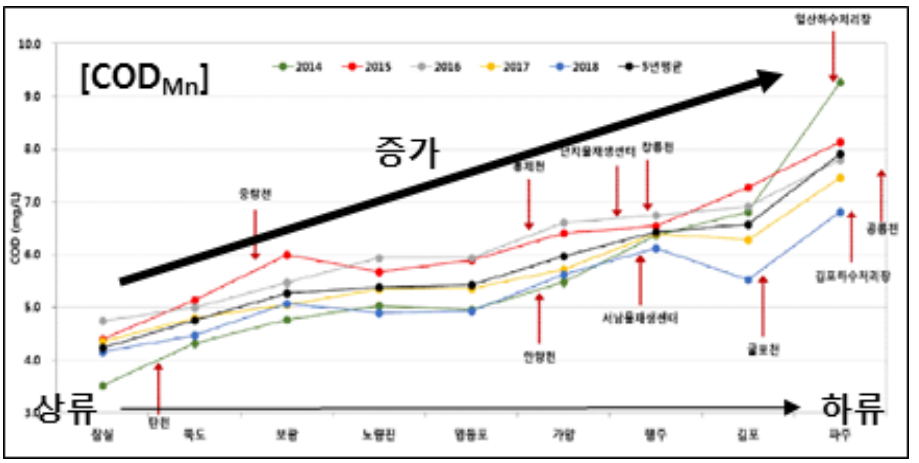
출처: "문 대통령 'DMZ 국제평화지대' 제안에 담긴 뜻", 정책브리핑(2019.10.2.)
http://www.korea.kr/news/top50View.do?newsId=148865314 접속일 2019.11.2.

[그림 1-9] 한강 하구 지역 (고양시, 서울특별시, 인천광역시, 파주시, 김포시 및 강화군 등 인접)



출처: Naver 지도 (map.naver.com) 접속일: 2019.12.3.

[그림 1-10] 한강 상류 - 하류의 COD 농도 변화

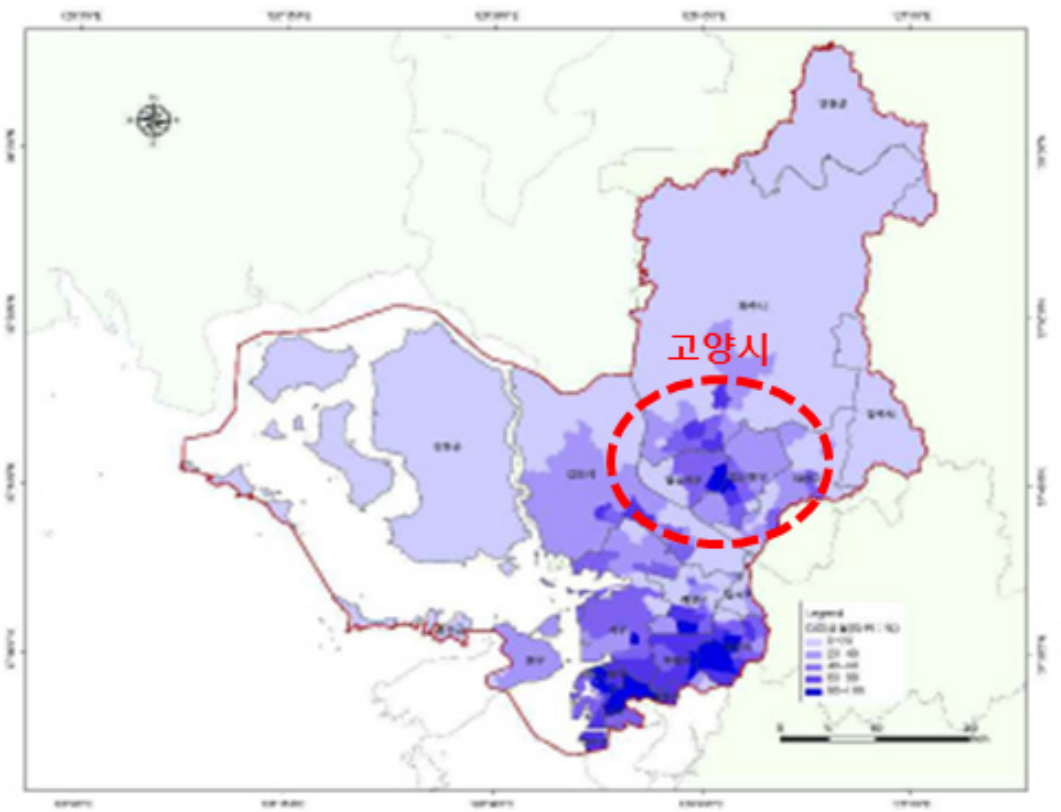


출처: 국립환경과학원『한강 하구 지역 토지계 오염원 분포』, 국립환경과학원, 2017.

❑ 이와 같은 한강 하류 오염물질 농도 증가에 기여하는 오염원은 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계 및 매립계로 구분 할 수 있다. 그 중 비점오염원과 관련된 오염원은 토지계로 구분 할 수 있다. 이러한 오염원별 지역별 분포도는 국립환경과학원에서 조사를 실시하여 제공한다. 국립환경과학원에서 제공하는 한강 하구의 지역별 토지계 오염원 분포는 아래 (그림 1-11)에서 확인 할 수 있다. 고양시의 경우, 인천광역시와 비교하여 토지계 오염원 발생 수준은 낮지만, 인접한 파주시, 김포시 및 강화군과 비교해서는 높은 것으로 조사되었다. 고양시 내에서도 덕양구 지역보다 일산 동·서구에서 토지계 오염원 발생 비율이 높은 것으로 조사되었는데, 이와 같은 결과는 인구 밀도 및 개발 수준에 영향을 받은 것으로 해석할 수 있다. 즉, 고양시의 경우 한강 하구 지역에서 인천광역시 다음으로 고농도의 토지계 오염물질(비점오염물질)이 발생하는 지역이라 할 수 있다. 일반적으로, 비점오염물질을 관리하기 위한 시설은 비점오염 저감시설이라 한다. 그리고 비점오염 저감시설은 설치 시 한국환경공단에 비점오염 저감시설 설치 신고가 되어야한다. (표 1-2)는 한강하구 인근 지자체의 비점오염 저감시설 설치 신고 현황을 조사한 것을 바탕으로 작성된 내용이다. 조사결과, 고양시 내 비점오염 저감시설로 설치 관련 신고는 총 15건으로 인접한 인천광역시, 파주시 그리고 김포시보다 적은 것으로 나타났다. 특히, 고양시의 토지계 오염원

발생량은 많은 것으로 분석(그림 1-11)되었는데, 이를 관리하기 위한 비점오염 저감시설이 타 지자체보다 적은 것으로 조사되었다. 즉 고양시에서 발생하는 비점오염물질의 양은 상대적으로 많으나 이를 위한 관리 대책은 미흡하다는 것을 의미한다. 이는 고양시에서 적극적인 비점오염 저감시설 도입을 추진해야할 필요가 있다는 것을 직접적으로 보여준다.

[그림 1-11] 한강 하구 지역 토지계 오염원 분포



출처: 국립환경과학원. 『한강 하구 지역 토지계 오염원 분포』, 국립환경과학원, 2017.

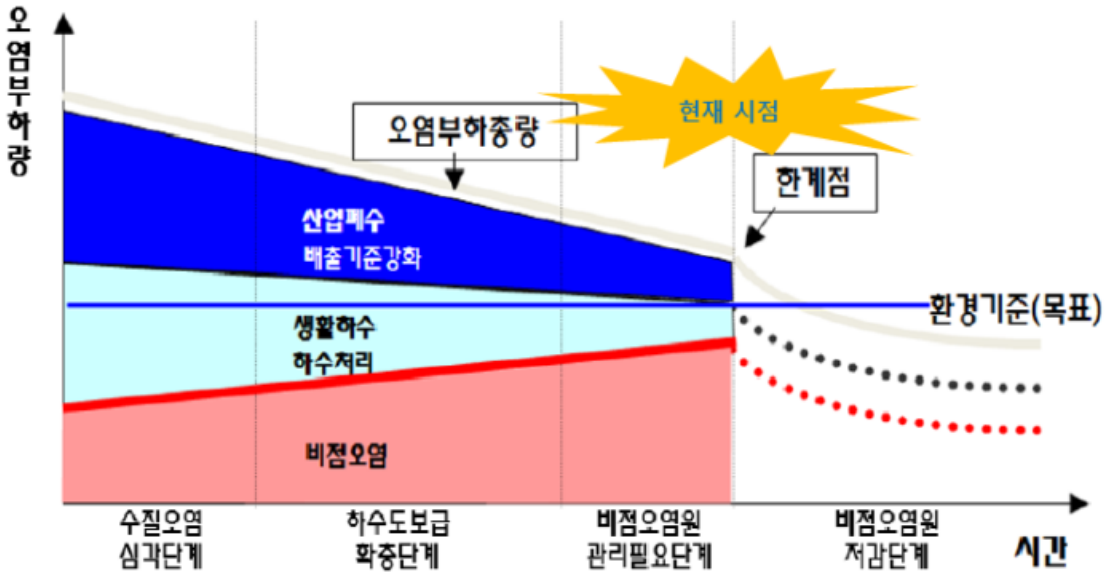
[표 1-2] 한강 하구 지역 비점오염저감시설 설치 신고 현황 (2019년 기준)

지역	비점오염저감시설 신고 현황 (건)
고양시	15
인천광역시	90
김포시	22
파주시	29
부천시	5
강화군	4
옹진군	2
양주시	14
연천군	13

출처: 경기데이터드림. "비점오명 저감시설 현황", 2019.

❑ 비점오염원 관리에 대한 필요성은 비단 고양시에 한정된 것만은 아니다. 아래 (그림 1-12)는 환경기준 달성을 위한 오염원 관리 기여도의 변화를 보여주는 그림이다. 과거 우리나라는 산업폐수 및 생활하수와 같은 점오염원 관리에 적극적인 행보를 보였다. 이와 같은 결과로 우리나라의 점오염원 관리 수준은 이미 세계적인 수준에 도달하였고, 높은 수준의 기술을 확보한 다수의 기업들을 보유하고 있다. 하지만, 점오염원만의 관리 한계점에 도달하기 시작하였고, 그로 인해 비점오염원으로 인한 오염기여도 또한 증가하는 단계에 도달하였다. 즉, 안정적인 수계 환경 조성을 위해서 점오염원 관리만이 아닌 비점오염원 관리가 필요한 시점이라 할 수 있다. 특히, 우리나라에서 농도 기준이 아닌 오염부하량 기준으로 수계관리를 실시하는 것은 적극적인 비점오염원 관리를 하고자 하는 정부의 의지가 반영된 것이라고 할 수 있다.

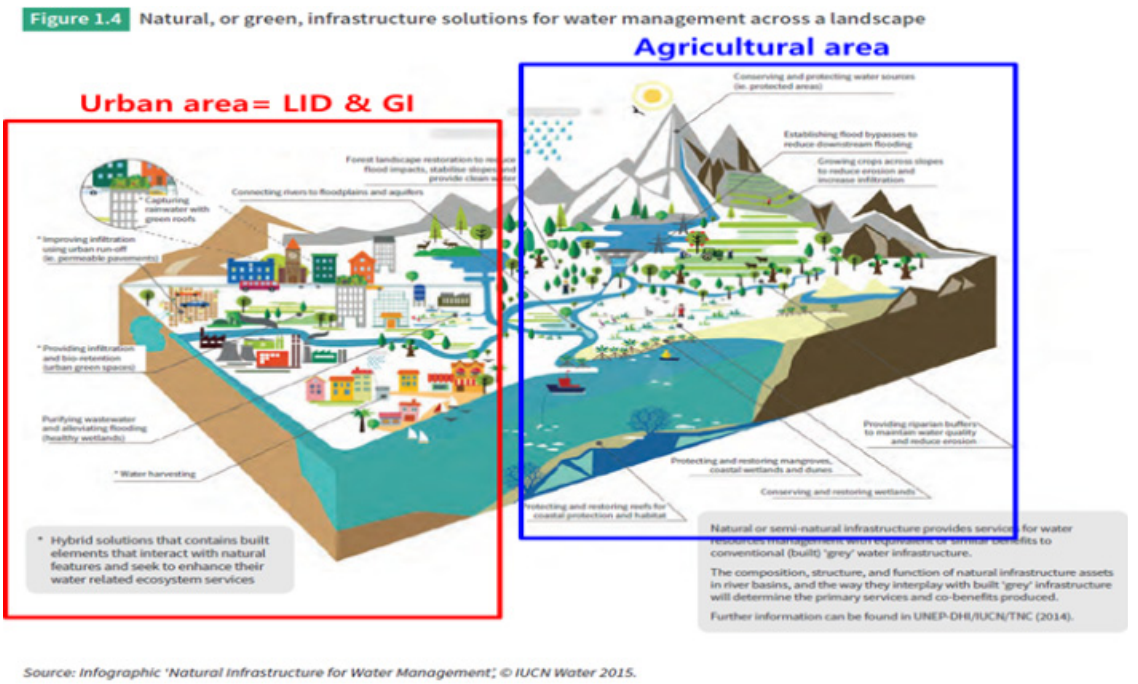
[그림 1-12] 환경기준 달성을 위한 오염원 관리 변화



출처: 국립환경과학원. 『한강 하구 지역 토지계 오염원 분포』, 국립환경과학원, 2017.

❑ 2018년 UN에서 'Nature-Based Solutions for Water' 보고서가 발간되었다. 해당 보고서의 주요 내용은 물 문제를 해결하기 위해 자연기반해법 (Nature Based Solution, NBS)를 활용하는 것에 관한 것이다. 'NBS'는 '저영향개발 (Low Impact Development, LID)'과 '녹색 기반 (Green Infrastructure, GI)'의 확장된 개념으로, 개발로 인해 발생하는 물 관련 문제를 자연적인 해법을 이용하여 해결하고자 하는 것이다. 해당 보고서에서는 도심 지역에서 발생하는 물 문제의 해결방안으로 LID와 GI를 제시하였다. 즉, 단순한 개발 목적의 도시 계획이 아닌 자연적 물 및 물질 순환 시스템까지 함께 고려하여 도시 계획을 수립하고 구현해나가야 한다는 것이다. 아래 (그림 1-13)은 도심 지역의 물 문제 해결을 위한 해법으로 제시된 도심 지역의 물 문제 해결을 위한 NBS의 개념도이다.

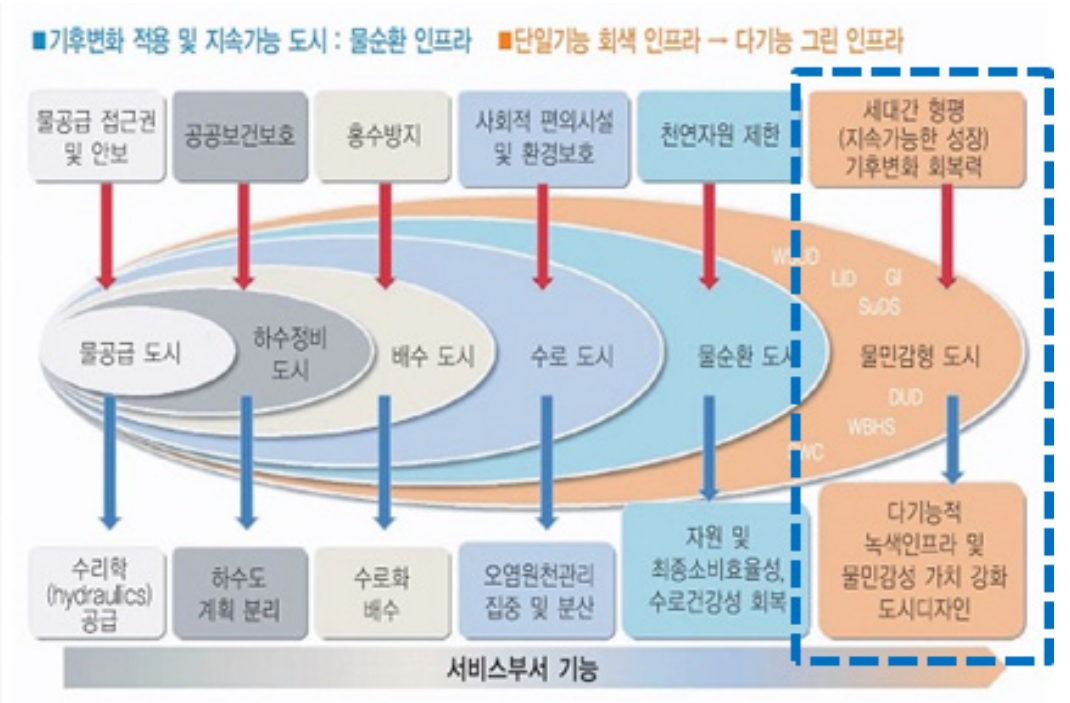
[그림 1-13] 도심 지역의 물문제 해결을 위한 NBS 기법 적용



출처: IUCN (https://www.iucn.org) 접속일 2019.12.2.

❑ 과거의 단순한 물 공급 목적에서 벗어나, 현재는 지속가능한 성장 및 기후변화의 회복을 위한 다기능적 GI 및 물 민감성 가치를 강화하는 방향의 도시디자인으로 세계적 물관리 패러다임의 변화가 일어나고 있다. 즉, 지속가능개발, 도시 물 문제 및 기후변화에 대한 해법으로서 도시 개발 시 자연적 물관리 시스템을 보존하는 방안이 제시되었다고 해석할 수 있다. (그림 1-14)는 물관리 패러다임 변화 그리고 (표 1-3)에서는 우리나라를 포함 세계 주요국의 물관리 개념 및 특징을 정리하였다. (표 1-3)처럼, 우리나라도 Smart Water City (SWC 또는 U-Eco City)라는 개념 하에 도시개발 시 LID 및 GI를 기본 개념으로 생태, 에너지 및 비용 효율을 고려하며 네트워크 및 지능화 시스템까지 포함하고 있다. 타 국가에서도 미국 (LID·GI), 영국 (SUDS), 독일 (DUD), 호주 (WSUD) 및 일본 (WBHS) 등 다양한 개념을 적용하고 있지만, 근본적인 내용으로는 자연적 물순환 시스템을 포함하고 있다.

[그림 1-14] 물관리 패러다임의 변화



출처: 김이호. "해외 빗물관리 시스템과 방향", 『워터저널』, 2015, (6).

[표 1-3] 세계 주요국의 물관리 개념 및 특징

분류	개념	특징
미국	LID • GI (Low Impact Development • Green Infrastructure)	√ 식생에 기반한 오염원 및 우수관리 √ BMPs (WQCV) √ LID • GI
영국	SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems)	√ 수질•수량•편의시설 통합 디자인 √ 현장관리 (설계•유지•교육) √ 관리 기술 교육
독일	DUD (Decentralized Urban Design)	√ 분산적 우수관리 √ 우수유출수 관리 및 사용
호주	WSUD (Water Sensitive Urban Design)	√ 기후변화 적응 우수관리 √ 우수유출수 관리 및 사용
일본	WBHS (Well-balanced Hydrological System)	√ 유역 관리 √ 유량 조절, 물 사용, 수환경 균형 √ 우수저장 및 침투 시설 촉진
한국	SWC (Smart Water City / U-Eco City)	√ LID • GI 기본개념 √ 생태 • 에너지 • 비용 효율 고려 √ 네트워크 및 지능화 (IoT)

자료: 박종관 외, 『물 관리 효율화를 위한 환경행정체계 발전방향 연구』 환경부, 2011.

❑ GI 및 LID와 같은 시설 도입의 우리나라 법적 근거는 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법」 및 「물환경보전법」에서 찾을 수 있으며, 세부 내용은 아래 (표 1-4)를 통해 확인 할 수 있다. 이와 같은 법 제정은 우리나라 정부에서도 도시 물 문제의 심각성을 인식하고 이에 대한 해법 마련에 많은 관심을 기울이고 있다는 것을 알 수 있다.

[표 1-4] 우리나라의 GI 및 LID 도입의 법적 근거

<table>
<tr><th>법적 근거</th><th>관련 조항</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법</td><td>제8조
(빗물이용시설의 설치·관리)</td><td>- 대통령령으로 정하는 종합운동장, 실내체육관, 공공청사, 공동주택, 학교, 골프장 및 「유통산업발전법」에 따른 대규모 점포를 신축(대통령령으로 정하는 규모 이상으로 증축·개축 또는 재축하는 경우 포함)할 경우 빗물이용시설 설치 및 운영
<table>
<tr><th>구분</th><th>빗물이용시설</th></tr>
<tr><td>근거</td><td>• 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>• 물 자원의 효율적 이용, 물 절약</td></tr>
<tr><td>설치대상</td><td>• 종합운동장, 실내체육관, 공공청사: 지붕면적 1,000m^2 이상
• 공동주택(건축면적 10,000m^2 이상), 학교(건축면적 5,000m^2 이상), 골프장(부지면적 100,000m^{2}이상)</td></tr>
<tr><td>빗물수집면</td><td>• 지붕면(골프장 제외)</td></tr>
<tr><td>빗물이용용도</td><td>• 조경용수, 화장실, 청소용수 등</td></tr>
<tr><td>종류</td><td>• 집수시설</td></tr>
<tr><td>용량</td><td>• 지붕집수면적X0.05(m)
• 연간 물 사용량의 40% 이상을 사용 가능한 용량(골프장)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

자료: 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법 제8조

❑ 우리나라 주요 지방자치단체에서도 도시 물문제 해결을 위해 자연 기반 해법을 도입하고자 하는 움직임을 보이고 있다. 아래 (그림 1-15)는 서울특별시, 부산광역시, 광주광역시, 대전광역시 및 울산광역시 등 국내 주요 지자체의 저영향개발, LID 또는 GI 등 자연 기반 해법 도입과 관련된 언론 보도 내용을 보여주고 있다. 또한 서울특별시, 울산광역시 및 대전광역시 등에서는 신규 개발 사업 시 LID 도입 사전 협의 조례를 제정하였다. 또한 부산광역시, 광주광역시, 전주시 등에서는 신규 개발 사업 시 LID 도입 추진을 검토하고 있다.

[그림 1-15] LID 및 GI 도입과 관련된 국내 주요 지자체의 언론 보도

출처:

"LID기법 적용한 '물순환 생태도시' 확대", 투데이에너지(2017.3.28.),
http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=121955 접속일 2019.12.1.

"울산 물순환 선도도시 조성 LID시설 도입", 울산제일일보(2018.10.14.),
http://www.ujeil.com/news/articleView.html?idxno=218014 접속일 2019.12.1.

"시민과 함께 촉촉한 물순환 선도도시 만들기 '시동'", 이뉴스투데이(2019.1.31.)
http://www.enewstoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=1268230 접속일 2019.12.1.

"세종 모든 신축 아파트에 '저영향개발(LID) 기법' 도입", 충북일보(2018.11.11.),
https://www.inews365.com/news/article.html?no=558844 접속일 2019.12.1.

"당진시, 봄 가뭄 피해 예방 추진", 충청뉴스라인(2013.1.29.),
http://www.ccnewsline.co.kr/news/articleView.html?idxno=51717 접속일 2019.12.1.

"부산대, 부산에코델타시티 조성에 LID 기술 지원", 서울경제(2018.9.7.),
https://www.sedaily.com/NewsView/1S4JM329VZ 접속일 2019.12.1.

"'생방송 오늘 아침' 서울 강북구 빗물마을, 장마 피해 없는 '투수 블록'과 물 절약 돕는 '빗물 저금통'...저영향개발(LID) 기법은 무엇?", 탑스타뉴스(2018.7.23.), http://www.topstarnews.net/news/articleView.html?idxno=451013 접속일 2019.12.1.

"광주시 물순환 선도도시 조성 속도낸다", 광주일보(2018.11.19.),
http://www.kwangju.co.kr/read.php3?aid=1542553200646365004 접속일 2019.12.1.

"물길 살린다"...전주시, 모든 개발사업에 LID기법 도입", 뉴스1(2016.10.10.),
http://news1.kr/articles/?2797468 접속일 2019.12.1.

❑ 과거 비점오염 저감시설 (LID 포함)의 운영 및 관리는 환경부와 같은 중앙정부의 몫이었다. 하지만, 최근 비점오염 저감시설의 관리 주체가 중앙정부가 아닌 지자체로 이관되고 있는 상황이다. 이는 비점오염 저감시설 설치, 효율 평가 및 유지관리 등을 비점오염 저감시설의 운영에 관한 일련의 과정들이 지자체 책임 하에 실시되어야 한다는 것을 의미한다. 즉, 비점오염원 관리에 관한 지자체의 책임이 커진다는 것으로 해석할 수 있으며, 이는 비점오염 저감시설 운영 관리 주체 변화에 대한 지자체의 준비가 필요하다는 것을 보여준다(그림 1-16). 따라서 본 연구에서는 고양시 내 LID 관련 현황, LID 우선 관리 대상 지역 분석, 우선 관리 대상 지역 내 적용 가능한 시설, LID 설계 절차 (예시) 및 LID 시설 유지관리 방향성에 대해 분석을 실시하였다. 이를 바탕으로 고양시 LID 시설 도입에 관한 전체적인 방향성을 제시하고자 한다.

❑ [그림 1-16] 비점오염 저감시설 관리 주체 변화 (중앙정부에서 지방자치단체로)

출처: 각 도시정부 홈페이지

제 2 장
고양시 LID 관련 현황 분석

제1절 물순환 관련 법적 현황

제2절 LID 관련 선행연구 및 자료

제3절 고양시 비점오염 저감시설 현황

제4절 고양시 내 비점오염 저감시설 성능 평가

제1절 물순환 관련 법적 현황

[그림 2-1] 고양시 3기 신도시 개발 관련 언론 보도

3기 신도시, 친환경 공간으로 만든다... 저영향개발기법 적용

관련이슈 디지털기획 , 킬러콘텐츠 입력 : 2019-06-16

▲ 경기도 고양시 창릉동 일대 모습. 뉴시스

경기 고양시와 남양주시, 하남시 등에 조성하는 3기 신도시 공공택지에 자연 상태의 물 순환 체계를 유지하도록 하는 등 기존 특성을 최대한 보존하는 개발기법이 도입된다. 이를 통해 땅에 물이 충분히 머금으면서 기존 아스팔트 포장으로 인한 폭우 시 도시 침수, 하천의 건천화, 도심의 열섬효과 등 환경 문제가 저감할 것으로 전망된다.

출처: "3기 신도시, 친환경 공간으로 만든다...저영향개발기법 적용", 세계일보(2019.6.16.), http://www.segye.com/newsView/20190616503926?OutUrl=naver 접속일 2019.12.1.

❑ 1기 신도시에 이어 2019년 고양시는 3기 신도시 지역으로 선정되었으며, 전 지구적 추세에 발맞추어 3기 신도시의 개발 과정에 저영향개발기법(LID) 도입을 추진하고 있다. 즉, 저영향개발기법 기반의 도시 구축을 목표로 하는 것이라 할 수 있다. 이와 같은 부분을 통해 자연적 물순환 시스템을 최대한 유지한 채 도시를 구축하여, 해당 지역의 개발로 인한 물 문제 및 기후변화에 대응하기 위한 정부의 적극적인 의지를

엿볼 수 있다. 하지만, 현재 고양시의 조례를 살펴보면, 저양향개발 (자연적 물순환 시스템 회복)과 관련된 조례는 「고양시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례」 가 유일하다. 또한 해당 조례도 저류지 및 중수도 등과 같은 물의 재이용과 관련된 조례로 저영향개발과 직접적 관계있는 조례가 아닌 물의 재이용과 관련된 조례이다. 물의 재이용 부분도 물순화의 한 부분으로 포함시킬 수 있으나, 보다 포괄적 개념의 물순환 관련 조례가 필요하다. (표 2-1)은 국내 광역자치단체 및 지자체에서 '물의 재이용'과 관련된 조례가 있는 주요 지자체, (표 2-2)는 '빗물'과 관련 있는 조례를 제정하고 있는 지자체의 사례를 정리한 것이다. 또한 (표 2-3)과 (표 2-4)는 각각 '저영향개발 (LID)'과 '물순환'과 관련된 조례로 직접적인 물순환과 관련된 내용까지 포함하고 있는 조례를 제정한 지역을 정리한 것이다(자치법규정보시스템, http://www.elis.go.kr 및 국가법령정보센터, http://www.law.go.kr). 현재 조례 제정 상황을 살펴보면, 재이용과 관련된 '물의 재이용' 혹은 '빗물' 관련 조례를 제정한 지역은 116개 지역, '저영향개발 (LID)' 및 '물순환' 관련 조례를 제정한 지역은 10개 지역으로 10% 정도밖에 되지 않는 상황이다. 따라서, '저영향개발 (LID)' 및 '물순환' 관련 조례를 제정한 지역은 물순환 우수 (선도) 지자체로 평가 할 수 있으며, 고양시도 이와 같은 조례 제정이 시급하다고 볼 수 있겠다.

[표 2-1] '물의 재이용' 관련 조례 제정 지자체 (101개, 사전식 배열)

지역	조례
가평군	가평군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
강원도	강원도 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
거제시	거제시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
거창군	거창군 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
경기도	경기도 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
경상북도	경상북도 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
계룡시	계룡시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
고성군	고성군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
고양시	고양시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
고창군	고창군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
고흥군	고흥군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
광명시	광명시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
광양시	광양시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
광주시	광주시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례

구리시	구리시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
구미시	구미시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
군산시	군산시 물의 재이용촉진 및 지원에 관한 조례
김제시	김제시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
김포시	김포시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
김해시	김해시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
남양주시	남양주시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
남원시	남원시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
남해군	남해군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
당진시	당진시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
대구광역시	대구광역시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
대전광역시	대전광역시 물의 재이용 촉진 및 지원조례
동두천시	동두천시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
목포시	목포시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
무안군	무안군 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
무주군	무주군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
밀양시	밀양시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
보령시	보령시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
보은군	보은군 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
부산광역시	부산광역시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
부안군	부안군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
부여군	부여군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
부천시	부천시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
사천시	사천시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
산청군	산청군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
서산시	서산시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
서천군	서천군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
성남시	성남시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
세종특별자치시	세종특별자치시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
순창군	순창군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
순천시	순천시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
시흥시	시흥시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
아산시	아산시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
안산시	안산시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
안성시	안성시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
안양시	안양시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
양산시	양산시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
양주시	양주시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
양평군	양평군 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
여주시	여주시 물의 재이용 촉진과 지원에 관한 조례
연천군	연천군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
영광군	영광군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
영주시	영주시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례

예산군	예산군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
오산시	오산시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
완주군	완주군 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
용인시	용인시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
울산광역시	울산광역시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
원주시	원주시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
음성군	음성군 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
의령군	의령군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
의왕시	의왕시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
의정부시	의정부시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
이천시	이천시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
익산시	익산시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
임실군	임실군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
장수군	장수군 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
전라북도	전라북도 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
전주시	전주시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
정읍시	정읍시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
제주특별자치도	제주특별자치도 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
증평군	증평군 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
진안군	진안군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
진주시	진주시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
창녕군	창녕군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
창원시	창원시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
천안시	천안시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
청양군	청양군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
청주시	청주시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
춘천시	춘천시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
충주시	충주시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
충청남도	충청남도 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
충청북도	충청북도 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
태안군	태안군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
통영시	통영시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
파주시	파주시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
평택시	평택시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
포천시	포천시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
포항시	포항시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
하남시	하남시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례
하동군	하동군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
함안군	함안군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
함양군	함양군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
해남군	해남군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
홍성군	홍성군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례
홍천군	홍천군 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례

[표 2-2] '빗물' 관련 조례 제정 지자체 (25개, 사전식 배열)

지역	법령
경기도	경기도 빗물이용시설 설치에 관한 조례
경산시	경산시 빗물관리 조례
경상남도	경상남도 빗물 관리에 관한 조례
경상북도	경상북도 빗물 관리에 관한 조례
고양시	고양시 빗물관리시설 설치에 관한 조례
과천시	과천시 빗물이용시설 설치 조례
광주광역시 광산구	광주광역시 광산구 빗물관리에 관한 조례
광주광역시 남구	광주광역시 남구 빗물관리에 관한 조례
군포시	군포시 빗물이용시설 설치조례
나주시	나주시 빗물관리에 관한 조례
양산시	양산시 빗물관리에 관한 조례
영양군	영양군 빗물관리에 관한 조례
의정부시	의정부시 빗물관리 조례
인천광역시	인천광역시 빗물관리에 관한 조례
인천광역시 미추홀구	인천광역시 미추홀구 빗물관리에 관한 조례
인천광역시 동구	인천광역시동구 빗물관리에 관한 조례
인천광역시 부평구	인천광역시부평구 빗물관리에 관한 조례
전라남도	전라남도 빗물이용에 관한 조례
전주시	전주시 빗물관리에 관한 조례
진해시	진해시 빗물이용시설 설치 조례
창원시	창원시 빗물관리에 관한 조례
청원군	청원군 빗물이용시설 설치조례
청주시	청주시 빗물이용시설 설치조례
포천시	포천시 빗물관리에 관한 조례

[표 2-3] '저영향개발 (LID)' 관련 조례 제정 지자체 (1개)

지역	법령
서울특별시	서울특별시 물순환회복 및 저영향개발 기본조례

[표 2-4] '물순환' 관련 조례 제정 지자체 (10개, 사전식 배열)

지역	법령
광주광역시	광주광역시 물순환 기본 조례
김해시	김해시 물순환 개선 조례
남양주시	남양주시 물관리 및 물순환 기본 조례
대전광역시	대전광역시 물순환 개선 조례
부산광역시 동래구	부산광역시동래구 물순환 회복에 관한 조례
서울특별시 강동구	서울특별시 강동구 물순환 회복에 관한 기본 조례
수원시	수원시 물순환 관리에 관한 조례
안동시	안동시 물순환 회복 조례

울산광역시	울산광역시 물 순환 회복 기본 조례
하남시	하남시 물관리 및 물순환 기본 조례

자료: 자치법규정보시스템 (http://www.elis.go.kr/)에서 각 키워드 검색

제2절 LID 관련 선행연구 및 자료

❑ Urbanization and Streams: Studies of Hydrologic Impacts. EPA(1997)

- 본 연구는 기존의 치수와 이수 개념에서 벗어나 빗물의 유출로 인한 문제를 초기 강우의 발생지에서 침투나 저류 등의 방법을 통해 최소화하고 자연적인 물순환에 미치는 악영향을 저감하기 위한 도시 및 토지 이용계획이라는 점에서 기념비적인 자료라고 할 수 있다. 또한 장치나 설비보다 자연의 순환체계를 활용하여 비점오염원을 관리하는 최근의 트렌드를 제시한 연구이기도 하다.

❑ 환경영향평가시 저양향개발(LID)기법 적용 매뉴얼. 환경부(2013).

- 환경부는 환경영향평가 협의 시 LID기법 적용을 유도하여 도시지역에서의 물순환 기능을 개선하고 비점오염물질을 저감하기 위한 목적으로 환경영향평가시 저영향개발(LID)기법 적용 매뉴얼을 제정하였다. 여기서는 LID의 개념을 “개발로 인해 변화하는 물순환 상태를 자연친화적인 기법을 활용해 최대한 개발 이전에 가깝게 유지하도록 하는 것이 공통된 사항” 으로 정의하였다. 이러한 내용을 바탕으로 환경영향평가 대상사업 중 도시개발, 산업단지의 개발, 도로개발 등과 관련된 사업에 적용하기 위해 발간하였다고 소개하고 있다(환경부, 2013).
- 또한 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 에 의하여 시설물의 설치 기준을 제시하였으나 기법(시설)마다 다기능을 수행하며 국내에서는 종류가 법적으로 규정되거나 분류되어 있지 않은 상황이라고 언급하였다. 이에 따라 시설을 저류형 시설, 인공습지, 침투형 시설, 식생형 시설 등으로 분류하였다. 또한 토지의 이용방법에 따라 도입이 가능한 시설과 적용방안을 제시하고 있다. 해당 내용은 아래 (표 2-5)와 같다.

[표 2-5] 토지의 이용 방법에 따른 도입 가능한 LID 시설 및 적용방안

토지 이용양태	도입 가능한 시설 및 적용방안
자동차 도로	• 적용 가능 기법 - 완충녹지가 있는 도로: 식생수로, 침투도랑 - 완충녹지가 없는 도로: 침투통, 침투관[1] • 적용방안 및 고려사항 - 도로 노면의 유출수가 주변 녹지로 유입될 수 있도록 계획고 및 구배 고려 - 공동주택지 인근 등 사람의 동선이 많은 곳은 몰 고임 등에 따른 민원발생 우려가 있는 경우에는 일정 시간 경과 후 자연배수 또는 전량 침투되는 기능을 갖추도록 함
보행자 및 자전거도로	• 적용 가능 기법: 투수성 포장, 투수블럭 • 적용방안 및 고려사항 - 보행자도로 및 자전거도로에 적용하며, 차량 통행이 많지 않은 이면도로에도 적용 가능 - 보행자 민원 최소화를 위해 전면 투수포장보다는 부분포장 우선 고려 - 해당 기법은 공극막힘에 따른 투수능 유지가 곤란하다는 한계로 인해 일정 기간 투수성능 유지를 담보할 수 있는 기술이어야 함
주차장	• 적용 가능 기법: 투수성 포장, 투수블럭 • 적용방안 및 고려사항 - 주차장 부지는 투수성 포장 및 투수블럭을 적용하되, 주차장 부지에 투수성 기법 적용 곤란 시 주변에 침투도랑, 침투통 설치 - 보행자 민원 최소화를 위해 전면 투수포장보다는 부분포장 우선 고려
공원	• 적용 가능 기법: 저류지, 침투저류지, 식생수로, 식생여과대 • 적용방안 및 고려사항 - 공원 내 설치하는 시설의 경우 사람의 이용과 접촉이 빈번하므로 도로노면 유출수 등 주변의 오염도가 높은 강우유출수가 유입되지 않도록 설계

자료: 환경부『비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼 개정』, 환경부, 2014.

❑ LID 표준 조합 Set 및 계획모델 개발. 김형산 외(2018)

○ 본 연구는 GIS를 기반으로 LID 표준형 모델을 개발하고자 하는 연구로 각 LID 시설별 기술적용에 따른 효과와 비용 등의 정보를 제공하고자 시도한 연구이다. 이를 바탕으로 9가지 토지 용도에 대한 LID 표준 조합을 제시하였으며 각 모형을 IT 기반 분석을 통해 관리할 수 있도록 체계화한 시도가 돋보이는 연구이다.

---

[1] 매뉴얼에는 침투트렌치/침투관으로 표기하고 있으나 다른 연구에서는 침투도랑을 침투트렌치로 표기하였기에 본 연구에서는 침투관이라 칭함.

❑ 저영향개발(LID) 제도의 정착을 위한 전문가 인식분석과 개선방안, 이현지(2014)

- 본 연구는 Q 방법론을 바탕으로 LID 기법의 의무화 정책 추진 시 고려할 문제점과 개선방안 등에 대해 전문가들의 인식을 유형별로 구분하고 각 유형별 대응방안을 제시하고자 한 연구이다. 이를 바탕으로 빗물요금제의 활성화, 전문가 간 상호교류 증대 및 공무원과 시민의 이해도 증진을 위한 프로그램을 실시할 것을 제시하고 있다. 또한 한계 파악 등 분석을 위한 모니터링 자료를 구축해야 할 것을 제언으로 제시하였다. 이를 바탕으로 자료 설치 이후에도 인식의 제고 및 LID 시설 관리의 필요성을 제시하고 있다.

❑ 저영향시설(LID) 모니터링 자료를 통한 유출저감 효과 분석. 이인화(2017)

- 본 연구는 LID 시설물의 유출저감 효과를 분석하는 논문으로 4개의 사례를 분석하여 낙수홈통, 식물재배화분, 건물화분, 투수성 포장 등의 유출량과 침투량을 비교하였다. 결과로는 총유출량이나 총침투량에서 낙수홈통, 건물화분, 거리화분, 투수성 포장 순으로 나타났다.
- 그러나 케이스가 4개밖에 되지 않으며 다른 시설물을 측정하지 못했다는 한계를 보이고 있다. 그럼에도 불구하고 LID 시설의 유무에 따라 평균적으로 3배 가량의 유출량과 침투량 차이가 난다는 것을 보였으며 LID의 효과성을 어느 정도 보였다고 할 수 있겠다.

❑ 저영향개발 기술의 물순환 효율성 분석 기법 개발 및 적용 연구. 장영수(2018)

- 본 연구는 물순환 분석 모형으로 K-LIDM 모형을 활용하여 물순환 효율성을 측정하였다. 이를 바탕으로 건축형, 도로형, 주차장형, 공원형 모형별로 LID 시설물을 분류하고 각각의 효율성을 제시하였다.
- 연구에서 식생저류지형(본 연구에서는 식생형으로 다루는 시설) 물순환 효율성 분석에서는 적용 면적의 증가에 따라 효율성이 크게 증가함을 확인할 수 있었다. 이는 비식생형(투수성 바닥 등)과 유사한 수치로 물순환 이외에도 대기질 개선 등의 효과가 있는 식생형 시설의 도입이 더 긍정적인 효과를 유발함을 알 수 있었다.

제3절 고양시 비점오염 저감시설 현황

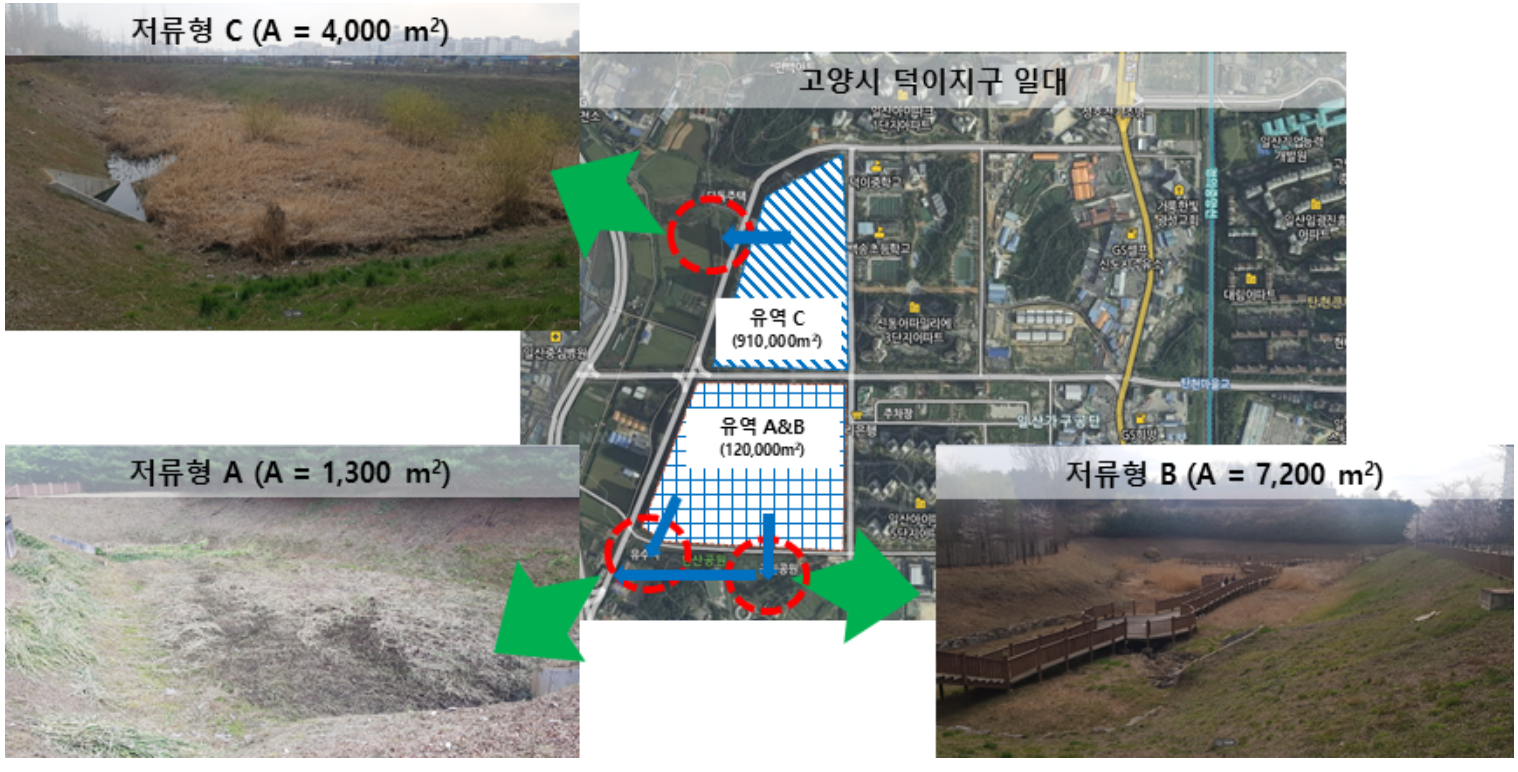
❑ (표 2-5)는 고양시에서 운영 중인 비점오염 저감시설 (2019년 설치 신고 기준) 및 각 시설의 제원을 정리한 내용이다. 현재 고양시에서는 장치형 시설은 12개소 그리고 LID 시설은 3개소로 총 15개소의 비점오염 저감시설을 운영하고 있다. 현재 고양시의 비점오염 저감시설은 장치형 시설의 경우 스크린형(9개소)과 여과형(3개소) 그리고 LID 시설은 저류형(3개소)시설이 도입된 상황이다. 도입된 비점오염 저감시설의 경우 대부분 신규 개발 사업지에 설치되어 있으며, 전반적으로 대용량의 비점오염 저감시설이 설치된 것이 특징이라 할 수 있다. 특히, LID 시설의 경우 덕이지구 도시개발사업에 반영되었으며, 공통적으로 배수 유역은 아파트와 같은 복합 토지이용 지역이다. 이와 같은 고양시 LID 시설 설치 현황은 (그림 2-2)를 통해 확인 할 수 있다. 또한 해당 유역에서 발생한 강우유출수가 모두 LID 시설로 유입되는 구조를 가지고 있다. 이에 앞 서 언급한 것처럼 LID 시설은 큰 표면적을 가지고 있는 것으로 조사되었다(저류지 A 1,300 m^2, 저류지 B 7,200 m^2 그리고 저류지 C 4,000 m^2).

[표 2-6] 고양시 내 비점오염 저감시설 설치 및 운영 현황

연번	위치	개발사업명	시설명	처리방법	초기우수량(㎥/일)	규격(m) (WxLxH)	처리용량(㎥/일)	비고
1	일산서구 대화동 1396	한국국제전시장 2단계(3개)	장치형	스크린형		2.5x6.75x5.5	1300	장치형
2			장치형	스크린형		1.6x3.0x3.4	250	
3			장치형	스크린형		2.4x4.6x3.5	916	
4	덕양구 원흥동, 도내동, 용두동 일원	고양원흥주택지구 조성사업(8개)	장치형	여과형	149	3.1x4.1x3.0	149.5	
5			장치형	여과형	321	3.3x5.75x3.2	321	
6			장치형	여과형	457	3.3x7.0x3.5	457	
7			장치형	여과형	1,579	4.96x13.86x4.6	1579	
8			장치형	여과형	677	3.3x9.05x3.8	677	
9			장치형	여과형	442	3.3x6.9x3.9	442.5	
10			장치형	여과형	314	3.3x5.7x3.6	314	
11			장치형	여과형	247	3.3x5.1x3.2	247.5	
12	일산서구 덕이동 일원	고양덕이지구 도시개발사업(4개)	장치형	여과형	545	18.6x1.82x2.32	550	
13			**저류형A**	**저류형**	**735**	-	-	LID
14			**저류형B**	**저류형**	**1,075**	-	-	
15			**저류형C**	**저류형**	**1,105**	-	-	

출처: 2019년 비점오염 저감시설 설치 신고 기준

[그림 2-2] 고양시 LID 시설 현황



출처: Naver 지도 (map.naver.com) 접속일 2019. 11.28. 및 현장촬영

❑ 아래 (그림 2-3)은 일반적원 오염원 관리에 관한 개념을 설명하고 있다. 오염원 관리 개념은 크게 집중형 관리와 분산형 관리로 구분할 수 있다. 집중형 관리는 대규모 오염발생 지점에서 발생한 오염물질을 처리를 위한 특정 지점으로 이송 후 처리하는 개념이다. 이를 위해서는 이송 시설 및 대규모 처리 시설이 필요하며, 대표적으로 하수, 분뇨, 산업폐수 및 가축분뇨 등과 같이 점오염원 관리를 위한 처리에 적합한 것으로 알려져 있다. 반면, 분산형 관리는 오염발생 지점에서 오염물질 발생 즉시 처리하는 개념이라고 할 수 있다. 분산형 관리를 위해 소규모 처리 시설(나무여과상자, 식생수로, 식물재배화분 등)을 해당 유역에 다수 설치하는 것으로 일반적으로 비점오염원 관리에 적합한 처리 개념이라 할 수 있다. 고양시의 사례로는, 덕이지구에 도입된 LID 시설이 있는데 이 경우 해당 유역에서 발생한 강우유출수를 인근에 설치한 대규모 저류지로 이송시킨 후 처리하는 집중형 관리체계와 유사한 상태로 도입되어 있음을 알 수 있다. 이와 같은 시설은 대량의 강우유출수를 처리할 수 있도록 설계되어야 하기 때문에, 상대적으로 넓은 부지면적을 필요로 한다. 토지 이용에 제한이 많은 우리나라의 경우에는 대규모 시설의 도입에 대한 적합성 여부가 지속적으로 논의되어 왔다. 따라서 국내 상황을 고려할 경우, 비점오염원 관리에 있어서 집중형 관리보다는 분산형 관리 개념이 보다 적절하다고 전문가들의 의견이 모아지고 있는 상황이다. 덕이지구에 도입된 LID 시설을 비점오염원 관리에 적합한 분산형 관리체계 기반으로 접근할 경우, 현재 시설은 (그림 2-3 (a))와 같은 형태가 아닌 소규모 시설이 유역 내 설치된 (그림 2-3 (b))와 같은 형태로 도입되는 것이 더 적합할 것으로 판단된다. 이와 같은 소규모 시설은 현장 조건에 적합한 시설을 설치할 필요가 있으며, 앞서 서술한 내용들은 향후 비점오염원 관리를 위한 LID 시설 도입 시 충분한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

[그림 2-3] 오염원 관리 체계

(a) 집중형 관리 개념

(b) 분산형 관리 개념

자료: Google Earth

제4절 고양시 내 비점오염 저감시설 성능 평가

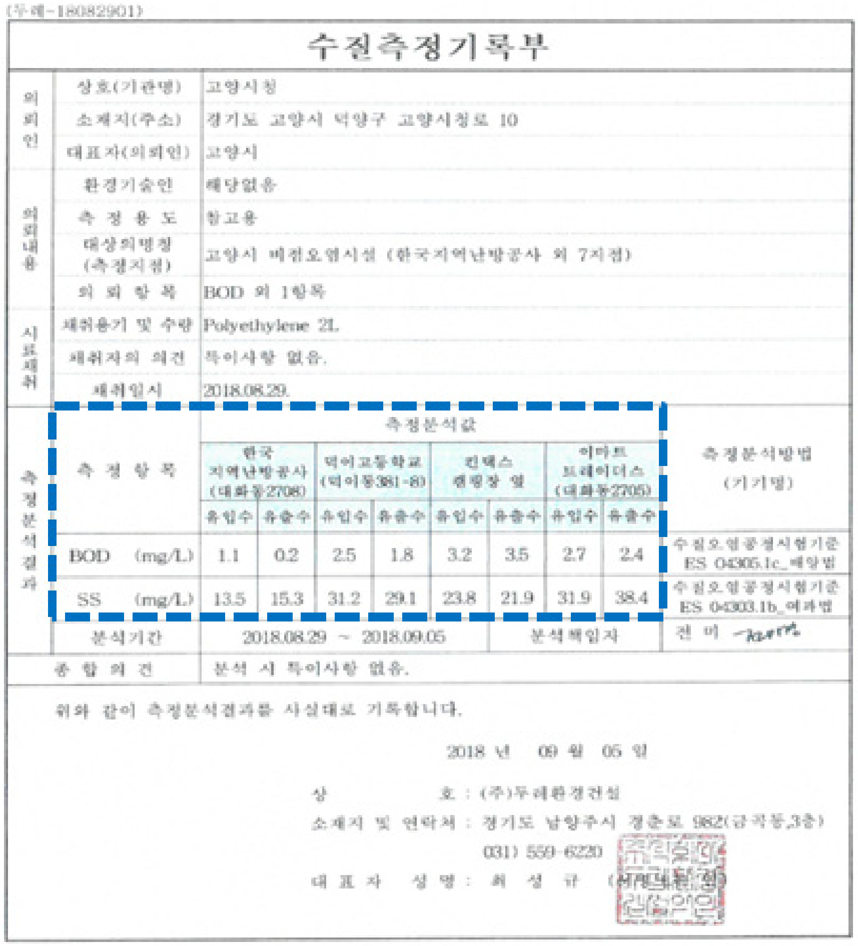
❑ LID 시설의 경우, 강우 시 강우유출수와 함께 비점오염 물질(부유물질 및 쓰레기 등)이 지속적으로 유입되면서 여러 가지 설계 인자들의 변화가 일어난다. 이와 같은 상황은 LID 시설의 효율 감소를 초래하고 결과적으로 계획한 효율을 안정적으로 확보하지 못하는 상황이 발생한다. 따라서 지속적인 성능 평가 모니터링을 바탕으로 설치한 LID 시설에 대한 효율 평가를 실시해야 한다. 또한 효율 모니터링은 추후 유지 및 관리 방안 수립에 중요한 기초자료로 활용될 수 있기에 LID 시설 운용에 있어 중요한 부분을 차지한다. (그림 2-4)는 2018년 LID 시설에 대해 성능 평가를 실시한 성능평가 자료로 그림에서도 확인 할 수 있듯이, 강우 중 2회 (유입수 1회, 유출수 1회) 샘플링을 실시하여 BOD[2]와 SS 농도[3]를 측정하여 성능 평가를 실시한다. 해당 평가 결과를 보면, BOD와 SS의 저감 효율은 각 각 11.1% ~ 81.8%과 6.7% ~ 8.0%의 범위를 보였다(단, 음의 효율 제외). 참고로 비점오염 저감시설에 대한 법적 방류 기준은 따로 존재하지 않으나, 권고사항으로 SS 제거 효율 80%가 제시되고 있다. 즉, 고양시 LID 성능 평과 결과와 비교하면, 현재 운영 중인 LID 시설의 효율은 권고 효율의 약 10% 정도 수준으로 볼 수 있다. 이는, 현재 운영 중인 LID 시설은 안정적으로 운용되고 있지 않거나 효율성이 상당히 떨어진다고 할 수 있다.

---

2) 생화학적 산소 요구량(Biological Oxygen Demend)의 약자로 호기성 미생물이 일정 기간 동안 물 속에 있는 유기물을 분해할 때 사용하는 산소의 양을 말한다. 보통 물의 오염된 정도를 표현할 때 사용하는 지표이다. (두산백과)

3) 부유물질량(Suspended Solid)의 약자로 일정량의 물 속에 부유하고 있는 물질의 양이며, 수질조사의 한 지표로 사용된다.. 단위는 ppm으로 나타낸다. (농촌진흥청, 농업용어사전)

[그림 2-4] LID 성능 평가 모니터링 결과 보고 (2018.08.29)



(두레-18082901)

수질측정기록부

의뢰인	상호(기관명)	고양시청
	소재지(주소)	경기도 고양시 덕양구 고양시청로 10
	대표자(의뢰인)	고양시
의뢰내용	환경기술인	해당없음
	측정용도	참고용
	대상회명칭 (측정지점)	고양시 비점오염시설 (한국지역난방공사 외 7지점)
	의뢰항목	BOD 외 1항목
시료채취	채취용기 및 수량	Polyethylene 2L
	채취자의 의견	특이사항 없음.
	채취일시	2018.08.29.

	측정항목	측정분석값								측정분석방법 (기기명)
		한국 지역난방공사 (대화동2708)		덕이고등학교 (덕이동381-8)		킨텍스 캠핑장 옆		이마트 트레이더스 (대화동2705)		
		유입수	유출수	유입수	유출수	유입수	유출수	유입수	유출수	
측정분석결과	BOD (mg/L)	1.1	0.2	2.5	1.8	3.2	3.5	2.7	2.4	수질오염공정시험기준 ES 04305.1c_배양법
	SS (mg/L)	13.5	15.3	31.2	29.1	23.8	21.9	31.9	38.4	수질오염공정시험기준 ES 04303.1b_여과법
	분석기간	2018.08.29 ~ 2018.09.05				분석책임자				전 미
종합의견		분석 시 특이사항 없음.								

위와 같이 측정분석결과를 사실대로 기록합니다.

2018 년 09 월 05 일

상 호 : (주)두레환경건설

소재지 및 연락처 : 경기도 남양주시 경춘로 982(금곡동,3층)

031) 550-6220

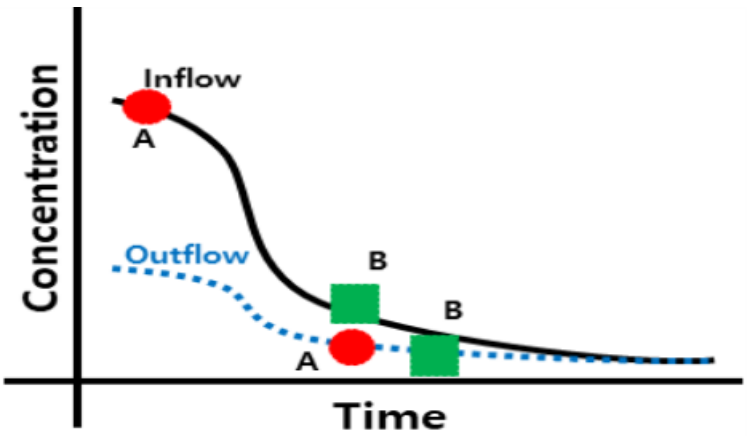
대 표 자 성 명 : 최 성 규 (서명 또는 인)

출처: 환경부

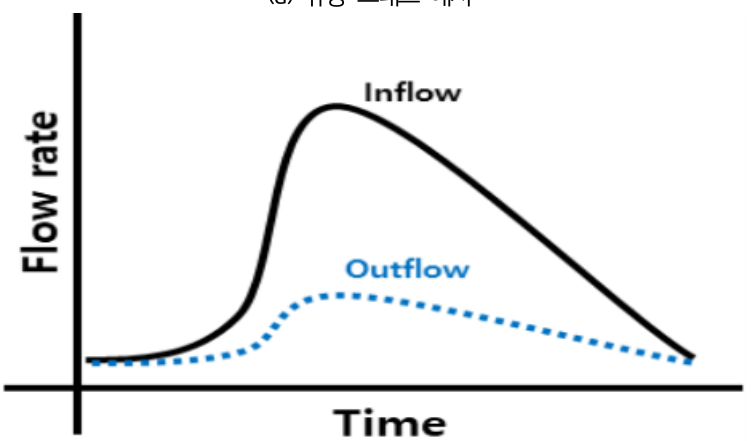
- 하지만, 이와 같은 성능 평가는 근본적인 문제점을 내포하고 있다. 바로 단순 농도를 기반으로 성능 평가가 이루어지기 때문에 실시간으로 변화하는 강우의 특성을 반영하지 못한다는 것이다. 이는 (그림 2-5)의 비점오염 저감시설 강우 모니터링 특성 그래프 예시를 통해 설명 될 수 있다. 해당 예시 그래프는 불투수면적의 비율이 높은 도로 및 도심지역의 강우 모니터링 특성 그래프이며, 해당 지역의 전형적인 유출 특성인 초기 강우 현상을 예시에 반영하였다. 여기서, 초기 강우 현상이란 투수계수가

높은 불투수 토지 이용 지역의 전형적인 강우 유출 특성으로 유량과 관계없이 강우 초기 고농도의 오염물질이 유출되는 현상을 의미한다. 만약, 유입수와 유출수를 샘플링한 시점이 'A'라고 가정할 경우, 본 시설은 높은 저감 효율을 보일 것이다. 하지만, 샘플링 시점이 'B'일 경우, 본 시설은 상대적으로 낮은 저감 효율을 보일 것이다. 단순 농도를 기반으로 성능 평가를 실시한다면, 동일한 강우에서 샘플링 시점에 따라 그 효율 변화 폭 변화가 크다. 또한, 실시간으로 변하는 유량을 고려하지 못하여 낮은 농도에 고유량이 유출되는 경우와 높은 유량에 저유량이 유출되는 경우와 같은 상황에 정확한 분석을 실시할 수 없다. 따라서, 현재 실시하고 있는 단순 농도 기반 효율 평가는 실제 강우 유출의 특성을 반영하지 못하는 문제점으로 LID 시설 효율 평가에 적합하지 않은 평가 방법이다.

[그림 2-5] 비점오염 저감시설 강우 모니터링 그래프 예시



(a) 유량 그래프 예시



(b) 농도 그래프 예시

❑ 비점오염 연구는 기본적으로 자연현상인 강우를 대상으로 연구가 이루어지기 때문에 불확실성이 매우 큰 분야이다. 이와 같은 불확실성을 최소한으로 하는 것은 현장 강우 모니터링 비점오염 연구에서 중요한 부분을 차지한다. 특히, 1회 모니터링을 실시하더라도 강우 유출 초기부터 강우 유출 종료시까지 샘플링을 실시하고 단순 농도만이 아닌 강우유출수 유입·유출 유량, 농도 측정을 위한 시료 채취, 토양 투수속도 및 실시간 강우 발생 현황 등을 측정한다. 이후 이를 바탕으로 다음과 같은 7가지 방법

을 통해 효율 분석을 실시한다. 제시한 효율 평가 방법은 강우 사상, 강우 빈도, 강우 유출수 유량, 샘플링 간격, 식생 피도 및 농도 등을 인자로 효율을 산정한다. 즉, 다양한 인자 수치를 측정한 후 이를 기반으로 LID 시설의 효율 평가가 이루어지는 것이라 할 수 있다. 현재, 가장 보편적으로 활용되고 있는 방법은 오염부하량을 기반으로 시설 성능평가가 이루어지는 SOL 방법이지만, 시설 특성, 목적 및 종류 등을 기반으로 해당 조건에 적합한 효율 평가를 실시한다. 따라서 고양시 LID 시설도 이와 같은 점을 고려하여 정밀한 강우모니터링 자료를 기반으로 공학적 성능 평가가 필요하다.

▶ ER (Efficiency Ratio) → 강우 사상별 저감효율 산술 평균 효율
▶ ROF (Rainfall of Frequency) → 강우 계급별 발생빈도 고려 효율 산정
▶ SOL (Summation of Loads) → 오염저감량 기반 효율 산정
▶ SOLF (Summation of Loads as rainfall of Frequency) → 오염저감량 기반 발생빈도 고려 효율 산정
▶ ROL (Regression of Loads) → 추세선 기반 효율 산정
▶ ROL (Regression of Loads as rainfall of Frequency) → 추세선 기반 발생빈도 고려 효율 산정
▶ EOV (Efficiency of Vegetation coverage ratio) → 식생 피도 기반 효율 산정

❑ LID 시설의 경우, 안정적인 효율 유지를 위한 유지관리가 중요한 부분이다. (그림 2-6)에서는 현재 고양시 LID 시설에서 관찰될 LID 시설의 주요 유지관리 상의 문제점을 보여주고 있다. (그림 2-6 (a))는 LID 시설 내 쓰레기 축적 및 식생고사에 관한 부분이다. 쓰레기 축적 및 식생 고사는 강우 종료 시 유지관리가 이루어져야 후속 강우 시 쓰레기의 수계로 유출을 방지할 수 있다. 이와 같은 쓰레기가 지속적으로 축적되게 될 경우 LID 시설은 주민들에게 혐오 시설로 인식될 가능성이 높기 때문에 강우 종료 이후에도 (강우량이 큰 강우) 지속적인 관리가 필요한 부분이다. 식생 고사는 계절적 영향을 받는 부분으로 초봄 또는 겨울철 식생이 고사할 경우 고사한 식생을 제거해주어야 하는 필요성이 있다. 고사한 식생을 관리하지 않고 방치할 경우,

일부는 분해되어 LID 시설 내 토양에 영양분을 공급해주는 역할을 하지만 그 외 고사한 식생은 지표에 축적되어 오염물질로 수계로 유출되는 상황이 발생할 수 있다. (그림 2-6 (b))는 LID 시설 내 식생이 과다 성장한 경우이다. 이와 같이 식생이 과다 성장할 경우, 식생에 의한 흡수 작용으로 유량 및 오염물질 저감 효율은 증가할 수 있으나, 모기와 같은 해충 등의 서식 공간을 제공 할 수 있다. 특히, 주거지역 인근에 설치된 LID 시설의 경우 이와 같은 부분에서 각별한 관리가 필요하다고 할 수 있다. (그림 2-6)의 (c)는 LID 시설 내에서 녹조가 발생한 경우를 보여주고 있다. 이와 같은 현상은 강우가 지속적으로 발생하여, 내부체류수가 존재하는 경우 관찰 될 수 있는 상황이다. 일반적으로 LID 시설은 강우 유출 발생 시 최대 3일(72시간) 이내 발생한 강우유출수를 전량 배출하고, 지하수위도 강우 전 수위를 확보하여 다음 강우에 대비할 수 있도록 해야 한다. 하지만, 배수가 원활하게 이루지지 않을 경우, LID 시설 내 내부체류수가 발생하게 되며, 강유유출수 내 함유되어 있는 질소와 인과 같은 영양염류로 인해 미세조류의 과다증식으로 인한 녹조 현상이 발생하게 된다. 이와 같은 상황에서 후속 강우로 인해 내부체류수가 수계 유출될 경우 다량의 미세 조류와 시설 내부에서 생성된 오염물질의 수계 유출이 발생할 수 있다. 즉, LID 시설 내부에서 생성된 오염물질로 인해 다량의 오염물질이 수계로 유출될 수 있다는 것이다. 내부 체류수 발생은 하부토양의 투수성 감소 등의 문제로 인해 발생할 수 있으므로 현장 조사 및 지하수위 관측정 등을 설치하여 이에 대한 대비도 필요하다. (그림 2-6 (d))는 현재 고양시 LID 시설의 성능 평가를 위한 모니터링 시설이 전무하다는 것을 보여주는 내용이다. 앞서 비점오염 연구에서 모니터링은 가장 기초적이지만 가장 중요한 부분을 차지하고 있다고 서술하였다. 특히, 현장 모니터링은 강우 시 수행하게 되며, 모니터링 실시자들에 대한 안전 확보가 매우 중요하다. 따라서 강우 시 LID 시설 내 강유출수의 유입이 이루어지는 상황에서 모니터링 실시자들의 안전성 부분을 충분히 확보할 수 있는 모니터링 시설이 필요하다. 하지만 현재 고양시 LID 시설을 점검한 결과 모니터링 시 안정성을 확보할 수 있는 시설이 전무하며, 이에 대한 개선 또한 절실한 상황이다.

[그림 2-6] 고양시 LID 시설 유지관리 상 문제점

(a) LID 시설 내 쓰레기 축적 및 LID 시설 내 식생 고사

(b) LID 시설 식생 과다 성장

(c) LID 시설 내 녹조 (내부 생성 오염물질)

(d) LID 시설 내 모니터링을 위한 시설 전무

제 3 장
고양시 LID 도입 및 적용

제1절 고양시 내 비점오염 저감시설 우선 도입지역 검토

제2절 고양시 LID 신규 도입 우선지역 제안

제3절 고양시 LID 도입 우선지역 내 적용 가능한 LID 시설 선정

제4절 LID 설계 예시 및 가이드

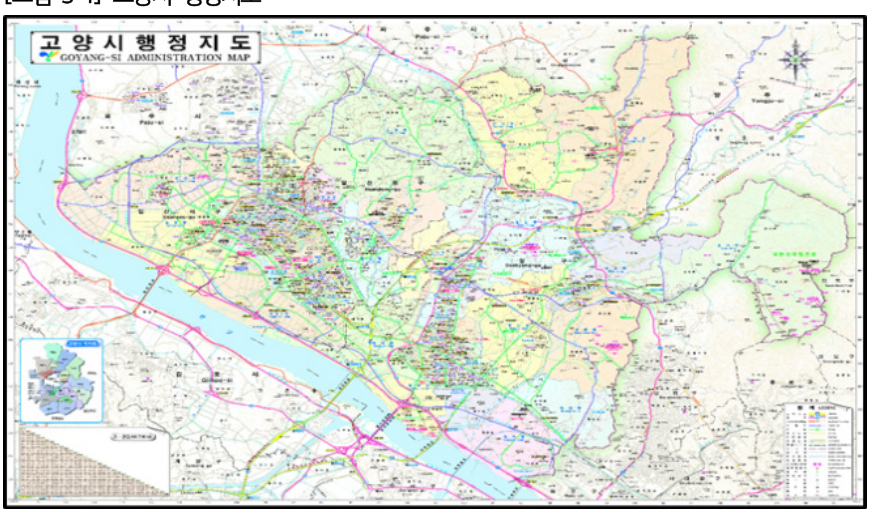
제5절 고양시 LID 시설 유지관리 시스템 구축 현황

제1절 고양시 내 비점오염 저감시설 우선 도입지역 검토

❑ 고양시의 총 면적은 총 278.94km^{2}이며, 전, 답, 과수원, 목장, 대지, 도로, 철도 및 공원 등 다양한 형태의 토지로 구성되어 있다. 그 중, 비점오염 물질은 토지계에서 발생하는 오염원으로 볼 수 있으며, 아는 고양시 전 지역이 비점오염 물질을 배출하는 비점오염원이라는 사실을 알려준다. 즉, 비점오염 관리를 위해 LID 시설과 같은 관리 시설을 도입해야 하는 상황에서 고양시 전역에 걸쳐 일괄적으로 시설을 도입하는 것은 현실적으로 불가능한 상황이라고 판단할 수 있다. 따라서 고양시에서도 비점오염원으로 인한 수계 및 환경 영향이 시급할 것으로 판단되는 지역에 대해 검토가 이루어져야 하며, 이를 바탕으로 비점오염원 관리 우선 지역을 선정할 필요가 있다.

❑ 이에 본 연구진은 고양시 비점오염원 관리에 있어 시급성을 요하는 지역의 선정을 위해 다음과 같은 세 가지 항목을 바탕으로 검토를 실시하였다. 첫째, 국립환경과학원에서 제시한 토지계 배출원단위, 둘째, 토지계 배출원단위를 기반으로 고양시 토지이용 현황과 비교하여 고양시에서 발생하는 토지계 오염물질 추정 결과 마지막으로 수계와의 인접한 정도이다.

[그림 3-1] 고양시 행정지도



출처: 고양시청 (http://www.goyang.go.kr/www/www05/www05_1/www05_1_8.jsp) 접속일 2019.12.3.

❑ 아래 (표 3-1)~(표 3-3)은 국립환경과학원에서 제시한 토지계 배출원단위의 경우 비점오염 물질 유출 특성과 관련되어 수행된 선행 연구 자료를 취합하여, 세부 토지 이용 지역에서 발생하는 오염물질별 발생 원단위를 제시한 것이다. 제시하고 있는 토지 이용 지역은 대분류 5 지목 (대지, 답, 전, 임야 및 기타) 그리고 중분류 17 지목 (주거, 공업, 상업, 위락시설, 교통, 공공시설, 논, 밭, 하우스 등)으로 분류하고 있다. (표 3-1)은 토지 이용 지역의 BOD 배출원단위에 관한 것으로 대분류 기준 대지 지목의 배출원단위가 21.82 ~ 219.50 kg / km^2·day (평균 17.76 kg / km^2·day)로 가장 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 중분류의 경우에는 상업 (7.02 ~ 219.50 kg / km^2·day, 평균 75.02 kg / km^2·day)과 공업 (2.16 ~ 196.80 kg / km^2·day, 평균 33.10 kg / km^2·day)지역의 발생원단위가 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있다. (표 3-2)는 토지 이용 지역의 TP 배출원단위에 관한 것으로 대분류 기준 전 지목의 배출원단위가 0.080 ~ 11.319 kg / km^2·day (평균 1.435 kg / km^2·day)로 가장 높은 것을 확인 할 수 있다. 또한 중분류의 경우에는 하우스 (0.418 ~ 11.319 kg / km^2·day, 평균 3.511 kg / km^2·day), 밭 (0.321 ~ 10.896 kg / km^2·day, 평균 1.400 kg / km^2·day)과 상업 (0.201 ~ 3.902 kg / km^2·day, 평균 1.385 kg / km^2·day)지역의 발생원단위가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. (표 3-3)에서는 토지 이용 지역의 TN과 SS 배출원단위를 보여주고 있다. TN의 경우 대분류 기준 대지 지목의 배출원단위가 10.147 kg / km^2·day로 가장 높음을 확인할 수 있다. 또한 중분류의 경우에는 상업(13.588 kg / km^2·day)과 주거(11.360 kg / km^2·day)지역의 발생원단위가 상대적으로 높은 것으로 조사되었다. 반면, SS의 경우, 대분류 기준 전 지목의 배출원단위가 327.70 kg / km^2·day로 가장 높은 것으로 나타났으며, 중분류의 경우에는 밭 (380.35 kg / km^2·day)과 하우스(290.93 kg / km^2·day)지역의 발생원단위가 상대적으로 높은 것으로 조사되었다. (표 3-1) ~ (표 3-3)의 결과를 바탕으로 전반적으로 대지와 전 지목에서의 배출원단위가 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 원인은 대지 지역은 자동차 통행과 같은 인간의 활동에 영향에 의해서, 그리고 전 지역은 강우 시 토사 유출 및 비료의 영향으로 상대적으로 타 지목에 비해 배출원단위가 높은 것으로 판단된다.

[표 3-1] 토지계 BOD 배출원단위

지목 (대분류)	배출원단위(kg / km2•day)		토지피복(중분류)	배출원단위(kg / km2•day)		문헌
	평균	범위		평균	범위	
대지	17.76	21.82 ~ 219.50	주거	10.28	2.56 ~ 43.07	11.00 ~ 87.60
			공업	33.10	2.16 ~ 196.80	
			상업	75.02	7.02 ~ 219.50	
			위락시설	14.87	2.46 ~ 101.40	
			교통	12.42	1.83 ~ 74.55	
			공공시설	7.25	1.82 ~ 39.73	
답	4.24	1.44 ~ 11.96	논	4.24	1.44 ~ 11.96	5.50 ~ 26.60
전	4.57	0.32 ~ 49.81	밭	4.38	0.82 ~ 49.81	2.90 ~ 25.90
			하우스	11.85	2.06 ~ 43.06	
			과수원	2.69	0.43 ~ 2.91	
			기타	1.45	0.32 ~ 5.30	
임야	1.49	0.50 ~ 5.16	활엽수림	1.53	0.80 ~ 5.16	1.12 ~ 5.11
			침엽수림	1.31	0.50 ~ 2.59	
			혼효림	1.76	0.11 ~ 3.96	
기타	1.60	3.71	골프장	3.71	1.57 ~ 15.61	-
			기타 초지	3.71	0.35 ~ 6.15	
			기타	0.96	0.96	

자료: 국립환경과학원, “한강 하구 지역 토지계 오염원 분포”, 국립환경과학원, 2017.

[표 3-2] 토지계 TP 배출원단위

지목 (대분류)	배출원단위(kg / km2•day)		토지피복(중분류)	배출원단위(kg / km2•day)		문헌
	평균	범위		평균	범위	
대지	0.631	0.005 ~ 4.025	주거	0.600	0.166 ~ 2.328	0.5 ~ 8.5
			공업	0.885	0.005 ~ 4.025	
			상업	1.385	0.201 ~ 3.902	
			위락시설	0.609	0.101 ~ 3.924	
			교통	0.391	0.044 ~ 1.822	
			공공시설	0.447	0.028 ~ 3.347	
답	0.467	0.139 ~ 1.339	논	0.467	0.139 ~ 1.339	0.04 ~ 16.40
전	1.435	0.080 ~ 11.319	밭	1.400	0.321 ~ 10.896	0.30 ~ 3.98
			하우스	3.511	0.418 ~ 11.319	
			과수원	0.630	0.239 ~ 1.733	
			기타	0.813	0.080 ~ 1.749	
임야	0.056	0.005 ~ 0.748	활엽수림	0.089	0.015 ~ 0.748	0.07 ~ 0.47
			침엽수림	0.035	0.013 ~ 0.121	
			혼효림	0.058	0.005 ~ 0.077	
기타	0.094	0.015 ~ 8.530	골프장	0.738	0.038 ~ 8.530	-
			기타 초지	0.295	0.015 ~ 0.790	
			기타	0.027	0.027	

자료: 국립환경과학원, “한강 하구 지역 토지계 오염원 분포”, 국립환경과학원, 2017.

[표 3-3] 토지계 TN 및 SS 배출원단위

지목 (대분류)	토지피복(중분류)	TN 배출원단위(kg / km2•day)		문헌 (TN)	SS 배출원단위(kg / km2•day)		문헌 (SS)
대지	주거	10.147	11.360	1.7 ~ 43.0	85.44	81.63	126.0 ~ 466.0
	공업		9.423			55.09	
	상업		13.588			145.17	
	위락시설		5.976			127.63	
	교통		7.553			66.45	
	공공시설		8.431			147.66	
답	논	2.920	2.920	19.3 ~ 50.0	46.04	46.04	16.10
전	밭	3.146	3.409	1.28 ~ 912.0	327.70	380.35	23.0 ~ 2,241.0
	하우스		4.990			290.93	
	과수원		1.562			36.16	
	기타		0.438			120.04	
임야	활엽수림	2.522	3.568	0.95 ~ 8.0	15.20	30.86	4.02 ~ 329.94
	침엽수림		2.525			6.21	
	혼효림		1.508			14.52	
기타	골프장	1.462	3.611	1.53 ~ 850.5	-	11.35	11.8 ~ 840.0
	기타 초지		3.986			77.65	
	기타		0.759			290.15	

자료: 국립환경과학원, “한강 하구 지역 토지계 오염원 분포”, 국립환경과학원, 2017.

❑ 여기에서는 앞서 제시한 국립환경과학원에서 제시한 배출원단위에 고양시 토지 지목별 현황을 반영하여 고양시에서 발생하는 각 오염물질 별 토지계 발생 원단위를 분석하였다. 먼저 고양시 지목별 토지 이용현황은 아래 (표 3-4)에서 확인 할 수 있다(고양시 통계연보, 2018). 고양시 총 면적 268.03 km^2 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 토지 지목은 임야로 약 31.8% (84.955 km^2)의 비율을 보였다. 그 다음으로 대지 12.4% (33.072 km^2), 답 11.9% (31.860 km^2), 전 10.4% (27.894 km^2), 하천 9.1% (24.355 km^2) 그리고 도로 7.4% (19.739 km^2) 순으로 조사되었다. 이와 같은 고양시 토지 지목 별 현황에 배출원단위를 반영하여 고양시 지역에서 발생하는 토지계 오염배출량(BOD, TP, TN 및 SS)을 분석하였으며, 그 결과는 (표 3-5) ~ (표 3-8)에서 확인 할 수 있다. (표 3-5)는 고양시 BOD 배출량을 분석한 결과로, 고양시의 경우 하루에 약 1,352 kg BOD가 토지계에서 발생하는 것으로 분석되었다. 그 중 BOD 발생 기여도가 가장 높은 부분은 대지로 339.98 kg BOD / day로 나타났으며, 그 다음은 도로 (245.158 kg BOD / km^2·day)로 고양시 총 발생량의 약 43.3%에 해당하는 수준인 것으로 분석되었다. (표 3-6)은 고양시 TP 배출량 분석 결과로, 고양시의 경우 하루에 약 105 kg TP가 토지계에서 발생하며, 그 중 TP 발생 기여도가 가장 높은 부분은 전 지목으로 39.052 kg TP / km^2·day로 나타났다. 그 다음은 대지 (20.868 kg TP / km^2·day)로 고양시 총 발생량의 약 56.2%에 해당하는 TP 부하가 전과 대지 지역에서 발생하는 것으로 분석되었다. (표 3-7)은 고양시 TN 배출량을 분석한 결과를 정리한 것으로, 고양시의 경우 하루에 약 1,137 kg TN이 토지계에서 발생하는 것으로 분석되었다. 그 중 TN 발생 기여도가 가장 높은 부분은 대지 지목으로 355.582 kg TN / day로 나타났다. 그 다음은 도로 (149.089 kg TN / km^2·day)로 고양시 총 발생량의 약 42.6%에 해당하는 TN 부하가 대지와 도로 지역에서 발생하는 것으로 분석되었다. (표 3-8)은 고양시 SS 배출량을 분석한 결과이며, 고양시 토지계 배출량은 약 32,121 kg SS이 토지계에서 발생하는 것으로 분석되었다. 그 중 SS 발생 기여도가 가장 높은 지목은 전으로 9,140 kg SS / day로 나타났다. 그 다음은 대지 (2,825 kg SS / km^2·day)로 고양시 총 발생량의 약 37.2%에 해당하는 SS 부하가 전과 대지 지역에서 발생하는 것으로 분석되었다. 서술한 바와 같

이 고양시 토지계 배출 부하는 대지, 도로, 전 및 답의 기여도가 상대적으로 타 토지 지목과 비교하여 높은 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 고양시 토지 이용 중 대지, 도로, 전 및 답 지역에서 다량의 비점오염물질이 발생한다는 것을 의미한다. 그 외에 도로지역의 경우 차량 운행과정에서 중금속과 같은 다량의 미량오염물질이 발생하는 것으로 보고되고 있다. 이와 같은 미량오염물질은 소량이라도 수계로 유입될 경우 수생태계에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 대책 수립이 필요하다. 특히, 고양시는 생태학적으로 가치가 높은 장항습지를 보유하고 있으며, 그 옆으로 차량 통행이 많은 자유로가 위치하고 있어 수생태계 보호를 위해 도로 지역에서의 비점오염물질 관리가 시급하다. (그림 3-2)는 차량 운행 시 발생할 수 있는 중금속류에 대해 보여주고 있으며, (그림 3-3)은 도로, 주차장 및 건물 지역에서 발생하는 중금속 농도를 비교하여 보여주고 있다. (그림 3-2) ~ (그림 3-3)에서도 확인 할 수 있듯이, 차량 운행 시 오일, 브레이크, 타이어 마모 및 부동액 등에 의해 철 (Fe), 납 (Pb), 아연 (Zn), 구리 (Cu), 니켈 (Ni) 및 카드뮴 (Cd) 등의 중금속이 발생함을 확인할 수 있다. 또한 상대적으로 도로 지역에서 발생하는 강우 유출 내 철과 니켈의 농도가 타 포장 지역 (주차장과 건물)과 비교하여 높음을 알 수 있다. 따라서 앞서 분석한 BOD, TP, TN 및 SS와 더불어 중금속과 같은 미량오염물질 발생량까지 고려한다면, 도로 지역 역시 비점오염원 우선관리지역으로 고려해야 할 것이다.

[표 3-4] 고양시 토지 이용현황

구분	전	답	과수원	목장	임야	광천지	염전	대지	공장용지	학교
면적 (km^2)	27.894	31.860	0.676	1.601	84.955	-	-	33.072	3.024	2.320
구분	주차장	주유소	창고	도로	철도	하천	제방	구거	유지	양어
면적 (km^2)	0.232	0.243	1.786	19.739	3.323	24.355	0.605	6.894	0.298	0.078
구분	수도	공원	체육	유원지	종교	사적	묘지	잡종지	총합	
면적 (km^2)	0.433	7.279	3.938	0.099	0.417	2.162	1.855	8.876	267,03,000 m^2 (267.03 km^2)	

자료: 고양시. "고양시 통계연보", 2018.

[표 3-5] 고양시 BOD 배출량 추정 결과

구분	전	답	과수원	목장	임야	광천지	염전	대지	공장용지	학교
면적 (Km2)	27.894	31.860	0.676	1.601	84.955	-	-	33.072	3.024	2.320
원단위 (kg/km2•day)	4.380	4.240	2.690	1.450	1.490	-	-	10.280	33.100	7.250
발생량 (kg/day)	122.176	135.086	1.818	2.321	126.583	-	-	339.980	100.094	16.820
구분	주차장	주유소	창고	도로	철도	하천	제방	구거	유지	양어
면적 (Km2)	0.232	0.243	1.786	19.739	3.323	24.355	0.605	6.894	0.298	0.078
원단위 (kg/km2•day)	12.420	12.420	33.100	12.420	12.420	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600
발생량 (kg/day)	2.881	3.018	59.117	245.158	41.272	38.968	0.968	11.030	0.477	0.125
구분	수도	공원	체육	유원지	종교	사적	묘지	잡종지	총합	
면적 (Km2)	0.433	7.279	3.938	0.099	0.417	2.162	1.855	8.876		
원단위 (kg/km2•day)	1.600	7.250	7.250	14.870	1.600	1.600	1.600	1.600	1,352 kgBOD/day	
발생량 (kg/day)	0.693	52.773	28.551	1.472	0.667	3.459	2.968	14.202	(1.352 tonBOD/day)	

자료: 국립환경과학원, “한강 하구 지역 토지계 오염원 분포”, 국립환경과학원, 2017. 및 고양시 토지 이용현황 기반.

[표 3-6] 고양시 TP 배출량 추정 결과

구분	전	답	과수원	목장	임야	광천지	염전	대지	공장용지	학교
면적 (Km2)	27.894	31.860	0.676	1.601	84.955	-	-	33.072	3.024	2.320
원단위 (kg/km2•day)	1.400	0.467	0.630	0.813	0.056	-	-	0.631	0.885	0.447
발생량 (kg/day)	39.052	14.879	0.426	1.302	4.757	-	-	20.868	2.676	1.037
구분	주차장	주유소	창고	도로	철도	하천	제방	구거	유지	양어
면적 (Km2)	0.232	0.243	1.786	19.739	3.323	24.355	0.605	6.894	0.298	0.078
원단위 (kg/km2•day)	0.391	0.391	0.885	0.391	0.391	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094
발생량 (kg/day)	0.091	0.095	1.581	7.718	1.299	2.289	0.057	0.648	0.028	0.007
구분	수도	공원	체육	유원지	종교	사적	묘지	잡종지	총합	
면적 (Km2)	0.433	7.279	3.938	0.099	0.417	2.162	1.855	8.876		
원단위 (kg/km2•day)	0.094	0.447	0.447	0.609	0.094	0.094	0.094	0.094	105 kgTP/day	
발생량 (kg/day)	0.041	3.254	1.760	0.060	0.039	0.203	0.174	0.834	(0.105 tonTP/day)	

지료: 국립환경과학원, “한강 하구 지역 토지계 오염원 분포”, 국립환경과학원, 2017. 및 고양시 토지 이용현황 기반

[표 3-7] 고양시 TN 배출량 추정 결과

구분	전	답	과수원	목장	임야	광천지	염전	대지	공장용지	학교
면적 (Km2)	27.894	31.860	0.676	1.601	84.955	-	-	33.072	3.024	2.320
원단위 (kg/km2•day)	3.146	2.920	1.562	0.438	2.522	-	-	10.147	9.423	8.431
발생량 (kg/day)	87.755	93.031	1.056	0.701	214.257	-	-	335.582	28.495	19.560
구분	주차장	주유소	창고	도로	철도	하천	제방	구거	유지	양어
면적 (Km2)	0.232	0.243	1.786	19.739	3.323	24.355	0.605	6.894	0.298	0.078
원단위 (kg/km2•day)	7.553	7.553	9.423	7.553	7.553	1.462	1.462	1.462	1.462	1.462
발생량 (kg/day)	1.752	1.835	16.829	149.089	25.099	35.607	0.885	10.079	0.436	0.114
구분	수도	공원	체육	유원지	종교	사적	묘지	잡종지	총합	
면적 (Km2)	0.433	7.279	3.938	0.099	0.417	2.162	1.855	8.876		
원단위 (kg/km2•day)	1.462	8.431	8.431	5.976	1.462	1.462	1.462	1.462	1,137 kgTN/day	
발생량 (kg/day)	0.633	61.369	33.201	0.592	0.610	3.161	2.712	12.977	(1.137 tonTN/day)	

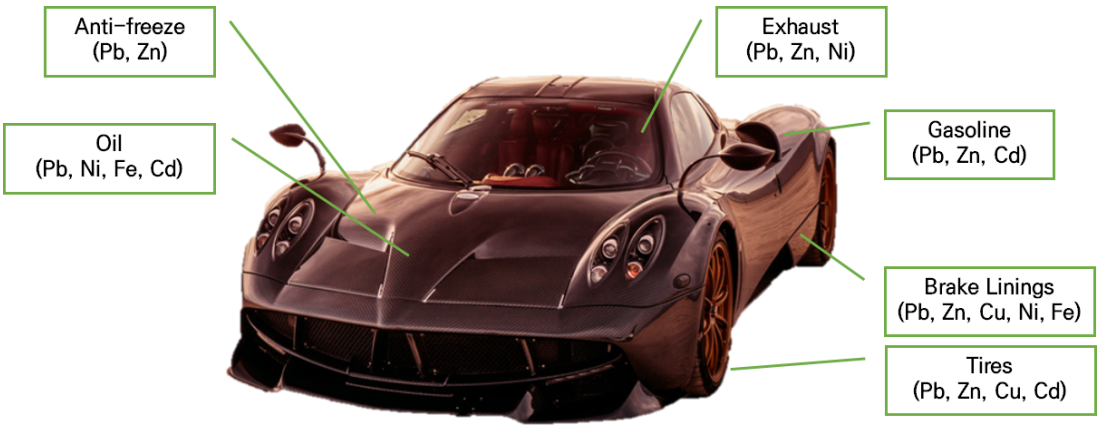
자료: 국립환경과학원, “한강 하구 지역 토지계 오염원 분포”, 국립환경과학원, 2017. 고양시 토지 이용현황

[표 3-8] 고양시 SS 배출량 추정 결과

구분	전	답	과수원	목장	임야	광천지	염전	대지	공장용지	학교
면적 (Km2)	27.894	31.860	0.676	1.601	84.955	-	-	33.072	3.024	2.320
원단위 (kg/km2•day)	327.700	46.040	36.160	120.040	15.200	-	-	85.440	55.090	147.660
발생량 (kg/day)	9140.864	1466.834	24.444	192.184	1291.316	-	-	2825.672	166.592	342.571
구분	주차장	주유소	창고	도로	철도	하천	제방	구거	유지	양어
면적 (Km2)	0.232	0.243	1.786	19.739	3.323	24.355	0.605	6.894	0.298	0.078
원단위 (kg/km2•day)	66.450	66.450	55.090	66.450	66.450	290.150	290.150	290.150	290.150	290.150
발생량 (kg/day)	15.416	16.147	98.391	1,311.657	220.813	7,066.603	175.541	2,000.294	86.465	22.632
구분	수도	공원	체육	유원지	종교	사적	묘지	잡종지	총합	
면적 (Km2)	0.433	7.279	3.938	0.099	0.417	2.162	1.855	8.876		
원단위 (kg/km2•day)	290.150	147.660	147.660	127.630	290.150	290.150	290.150	290.150	32,121 kgSS/day	
발생량 (kg/day)	125.635	1,074.817	581.485	12.635	120.993	627.304	538.228	2,575.371	(32,121 tonSS/day)	

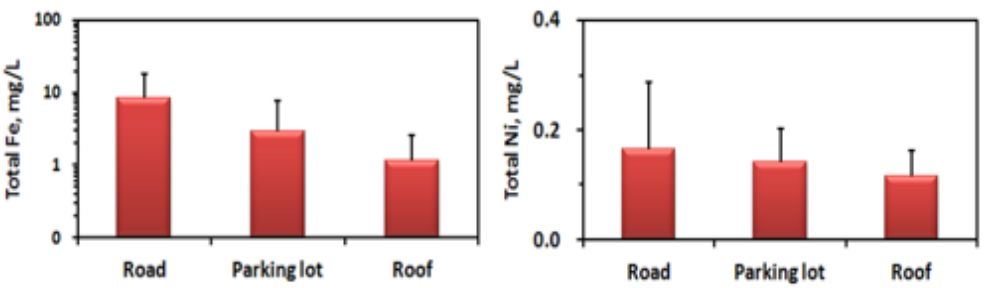
자료: 국립환경과학원, “한강 하구 지역 토지계 오염원 분포”, 국립환경과학원, 2017. 및 고양시 토지 이용현황

[그림 3-2] 차량 운행 시 발생할 수 있는 오염물질



출처: Pagani website (http://www.Pagani.com/) 접속일 2019.12.1.

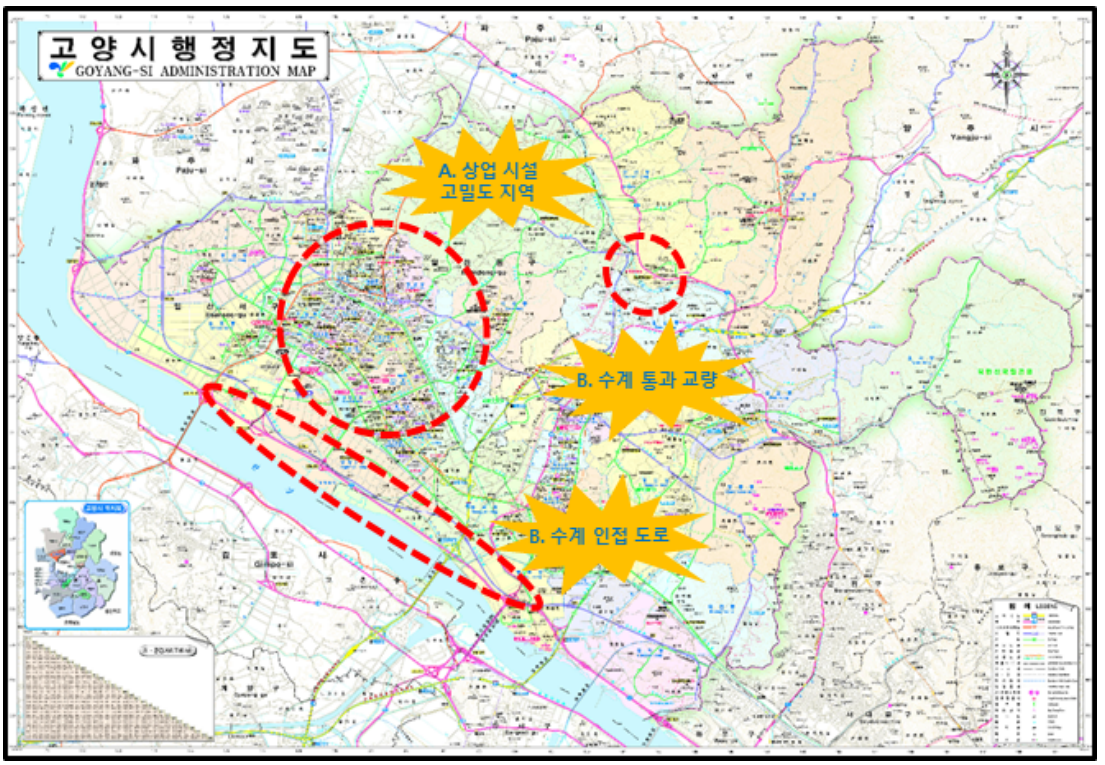
[그림 3-3] 도로지역 강우유출수 내 중금속 (Fe 및 Ni) 농도 비교



제2절 고양시 LID 신규 도입 우선지역 제안

- 앞서 1절에서 고양시 오염원 발생량 분석 결과와 더불어 수계와 영향성(접근성) 부분도 비점오염 우선 관리 대상 지역 선정 시 중요한 부분이라고 언급했다. 따라서 본 절에서는 고양시 지역 중 발생한 비점오염물질이 중간 완충 혹은 자연 분해 가능성 없이 수계로 유입될 수 있는 위험도 높은 지역에 대해 검토하였다. 그리고 이를 바탕으로 고양시 내 LID 도입 우선지역을 제안하고자 한다.
- 가장 우선적으로 검토한 부분은 수계로 직유입이 가능한 지역으로 대표적으로 수계 인접 도로 및 수계를 통과하는 교량으로 볼 수 있다. 특히, 장항습지와 인접해있는 자유로의 경우 발생한 비점오염물질이 장항습지로 바로 유입될 수 있어 장항습지 수생태계에 미치는 영향력이 클 것으로 판단된다. 또한 각 하천을 통과하는 하천 통과 교량의 경우 교량에서 발생한 강우유출수가 우수관을 통해 후처리 과정 없이 수계로 유입될 가능성이 높다. 이는 직접적인 수계 내 오염물질 농도의 증가 원인으로 볼 수 있어, 관리의 시급성이 높은 지역으로 판단된다. 이와 같은 수계 인접 도로 및 수계 통과 교량과 더불어 상업 시설 고밀도 지역도 우선 관리 대상 지역으로 선정할 필요가 있다. 상업 시설 고밀도 지역의 경우, 앞서 발생원단위 및 발생오염부하량이 클 것으로 추정된 지역이기에 우선 관리 대상 지역으로 선정함이 적합하다. 또한 상대적으로 도로 등 불투수면적의 비율이 높기 때문에 국지성 집중 강우 시 도시홍수 및 침수가 발생할 가능성이 높다. 한편 전 및 답 지역 역시 다량의 오염물질이 발생하는 것으로 조사되었으나, 이는 강우유출수 이송과정에서 자연 분해, 퇴적, 여과 및 침투 등으로 인해 강우유출수 유출 유량 및 오염물질이 저감될 가능성이 있기에 본 연구에서 제안하는 수계 인접 도로, 수계 통과 교량 및 상업 시설 고밀도 지역보다는 후순위로 제안하고자 한다.
- 앞선 내용을 바탕으로 고양시에서 우선적으로 비점오염 저감이 필요한 지역을 설정하였으며, 해당 내용은 아래 (그림 3-4)를 통해 확인할 수 있다.

[그림 3-4] 고양시 비점오염 우선 관리 대상 지역 (안)



출처: 고양시청 (http://www.goyang.go.kr/www/www05/www05_1/www05_1_8.jsp) 접속일 2019.12.3.

제3절 고양시 LID 도입 우선지역 내 적용 가능한 LID 시설 선정

1. 시설 선정 기준

❑ 현재 LID 시설로 분류되는 다수의 기술들이 도입 및 개발되고 있는 상황이다. 이는 구조적, 기능적, 저감 원리 등 다양한 방법을 통해 분류되고 있다. (그림 3-5)에서는 이와 같은 LID 시설을 처리 기작, 유량 저감 효과 및 구조적 기능을 바탕으로 분류한 대표적인 LID 시설을 보여주고 있다. 해당 LID 시설들은 구조적 형태에 따라 계획기술, 수리기술, 저류기술, 여과기술, 침투기술 및 처리기술 등으로 분류할 수 있으며, 처리 기작 따라 기계적(물리적)과 생물학적으로 분류할 수 있다. 또한 LID 시설의 주요 기능인 유량 저감 기능 역시 각 시설의 종류에 따라 차이를 보인다. 이처럼 다양한 성능이 복합적으로 이루어져있는 다수의 LID 시설이 존재하며, LID 시설 도입 시 현장 여건에 적합한 LID 시설의 선정이 이루어져야 한다.

[그림 3-5] 대표적인 LID 시설 종류

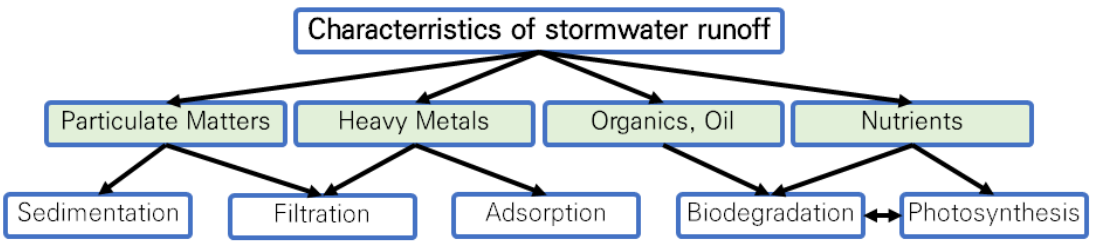
출처: 한국수자원공사(2012)

❑ 위의 (그림 3-5)는 LID 시설에서 일반적이 오염물질 처리 기작을 정리한 것이다. LID 시설에서 오염물질이 처리되는 기작은 물리적(Physical), 화학적(Chemical) 및 생물학적(Biological)으로 구분할 수 있다. 물리적 처리 기작은 침전, 흡착 및 여과 등, 화학적 처리 기작은 산화·환원, 광분해 및 가수분해 등, 마지막으로 생물학적 처리 기작은 생물분해 및 광합성 등을 들 수 있다. 일반적으로 강우유출수 내에는 기본적인 유기물 외에도 영양염류 및 미량오염물질 등 다양한 오염물질이 함유되어 있는 것이 특징이다. 아래 (표 3-9)에 정리되어 있듯이 다양한 오염물질들을 처리하기 위해서는 다양한 처리 기작이 적용되어야 하며, 이러한 내용을 바탕으로 아래 (그림 3-6)에 강우유출수 내 오염물질 종류별 처리가 적합한 기작들을 정리하였다. 여기서 확인할 수 있듯이, 부유물질은 침강과 여과를 적용한 기술들의 처리 효율이 높고, 중금속은 여과와 흡착을 통한 처리가 적절하다. 또한 유기물과 오일류는 생물 분해를 통해 처리하는 것이 효과적이며 과다한 영양염류는 생물 분해 및 광합성에 의한 처리 방식이 효과적이다.

[표 3-9] LID 시설의 오염물질 처리 기작

Reaction	Major reaction
Physical	Dilution(희석), sedimentation(침강), re-suspension(재부유),coagulation(응결), filtration(여과),adsorption(흡착),volatilization(휘발),evaporation(증발), Dissolution(용해), heat transfer(열전달), dispersion(확산), etc.
Chemical	Photolysis(광분해), hydrolysis(가수분해), precipitation(침전), ionization(이온화), oxidation(산화), reduction(환원). etc.
Biological	Bio-degradation(생물분해), Bio-accumulation(생물농축), Photosynthesis(광합성)

[그림 3-6] 강우유출수 내 오염물질 적정 처리 기작



❑ LID 시설(기술)의 경우 구성 요소에 따라 분류가 가능한데 연구자마다 기준이 다르다. 통상적인 분류 방식은 아래 (표 3-10)과 같다. 한편 우리 나라 LID 시설의 근간이 되는 「물환경보전법 시행규칙」에 따르면 자연형 설비와 장치형 시설로 분류하고 있는데 이는 아래 (표 3-11)과 같다.

[표 3-10] 형태에 따른 LID 시설 및 기술의 분류

분류	기술명	특징
식생체류형	• 생태저류지 (Bioretention Basin) • 식생체류장치 (Bioretention Cell) • 식생수로 및 생태수로 (Bio Swale) • 식물재배화분 (Planter Box)	강우유출수를 식생으로 피복된 공간으로 유입시켜 체류, 여과, 침전, 침투 등의 효과를 발생시키는 기술
침투형	• 식생여과대/식생사면 (Bio Slope) • 투수포장 (Permeable Pavement) • 침투도랑 (Infiltration Trench)	배수구역 내 강우유출수를 차집[4]한 후 불포화지층을 통해 지하로 침투시켜 여과, 흡착 작용을 거쳐 정화하는 기술
여과형	• 나무여과상자 (Tree Box Filter) • 모래여과장치 (Sand Filter)	강우유출수를 LID 시설물로 차집한 후 모래나 토양, 기타 여재 등의 여과재를 통해 여과하여 정화하는 기술
습지형	• 자유수면형 인공습지 (Free Water CW) • 수평흐름형 인공습지 (HSSF CW) • 수직흐름형 인공습지 (VF CW) • 하이브리드 습지 • 도로노변용 소규모 습지	강우유출수를 저류나 증발산을 통해 물순환 작용을 만들고 식물이나 미생물 등의 저감기법을 활용하여 오염물질을 제거하는 기법
기타	• 단절 (Disconnect) • 재조림 (Reforestation) • 흐름분배기 (Flow Splitter) • 토양 개량 (Soil Amendment)	강우유출수를 자연적 설계기법으로 저감하는 기법으로 보조적인 기법으로 활용

자료: 김이형, 2018

[표 3-11] 물환경보전법에서 구분하는 비점오염저감시설

구분	종류
자연형 시설	- 저류시설: 강우유출수를 저류하여 침전 등의 방식으로 비점오염물질을 저감 (저류지, 연못 등) - 인공습지: 자연상태의 습지가 보유하는 정화능력(침전, 여과, 흡착, 미생물 분해, 식생 식물에 의한 정화 등)을 인위적으로 향상시켜 비점오염물질을 줄이는 시설 - 침투시설: 강우유출수를 지하로 침투시켜 토양의 여과·흡착 작용에 따라 비점오염물질을 줄이는 시설 (유공포장, 침투조, 침투저류지, 침투도랑 등) - 식생형 시설:토양의 여과·흡착 및 식물의 흡착작용으로 비점오염물질을 줄임과 동시에, 동식물의 서식공간을 제공하면서 녹지경관으로도 기능하는 시설 (식생여과대, 식생수)
장치형 시설	- 여과형 시설: 강우유출수를 집수조 등에서 모은 후 모래나 토양 등의 여과재에서 걸러 비점오염물질을 줄이는 시설 - 와류형 시설: 중앙회전로의 움직임으로 와류가 형성되어 기름이나 그리스 등의 부유성 물질과 침전 가능한 토사, 협잡물을 분리하여 비점오염물질을 줄이는 시설 - 스크린형 시설: 망의 여과 및 분리 작용으로 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하는 시설로 대개 전처리에 사용 - 응집·침전 처리형 시설: 응집제를 사용하여 비점오염 물질을 모은 후 침강시설에서 고형 물질을 침전, 분리시키는 방식으로 부유물질을 제거하는 시설 - 생물학적 처리형 시설: 전처리시설을 거친 물질에 미생물 등을 활용하여 콜로이드성, 용존성 유기물질을 제거하는 시설

자료: 법제처 국가법령정보센터, 「물환경보전법 시행규칙」 별표 6

❑ 본 연구에서는 「물환경보전법 시행규칙」에서 언급되는 시설물을 바탕으로 설정된 고양시의 우선지역에 적용 가능한 시설을 선정하고자 한다. 다만 제시된 시설물 외에도 고양시의 필요나 시급성 등에 의해 다른 시설물을 추가적으로 살펴볼 수 있도록 할 것이다.

❑ 본 연구에서는 처리기작 및 선행연구를 기반으로 고양시에 우선적으로 도입할 시설을 선정하는 기준을 설정하였다. 특히 현재 도시계획 및 개발의 트렌드에 맞춰 인공적인 시설보다는 식생형 시설을 중심으로 선정하였다. 기준은 아래 (표 3-12)와 같다.

---

4) (遮集): 하수나 우수 등을 모음

[표 3-12] 본 연구에서 사용할 LID 시설의 선정 기준

기준	세부사항
오염물질 처리 가능성	
자연 순환체계 회복의 기여도	• 지하수 확보 및 지표면 유출수량 저감 - 침투 및 침루 가능 시설 • 저류 등 지표 유출 지연 효과가 가능한 시설 - 증발 및 증산 기여 • 물 및 물질순환이 가능한 시설 - 오염물질 축적 및 식물 고사 방지 기능 • 생태환경 제공 가능 시설 - 식생형 시설로 한정
시공 및 유지관리의 용이성·적합성	• 상업 밀집지역에 설치가 용이한 소형 시설 • 조경성의 확보가 가능한 시설
우선대상지역과의 적합성	• 도로, 교량 인근 유휴부지에 설치가 용이한 시설 • 도로와 같이 선적 관리가 용이한 시설
식생(체류)형 시설 및 자연형 시설	• 우선적으로 선정하되 필요 시 다른 시설도 선정 가능

❑ 본 연구진이 제시한 LID 우선 적용지역에 도입 가능한 시설의 조건으로 우선 오염물질 처리 가능성이 있다. 이는 현재까지 제시한 LID 시설의 기본적인 사양으로 특별한 문제가 제기되지 않았거나 시설의 설치로 인한 부작용이 클 경우, 혹은 우선 도입지역에 적용하기에 부적당하지 않는 한 이용하기로 한다.

❑ 또한 LID 트렌드가 인공적인 시설보다는 자연의 순환기능을 최대한 활용하는 방향성(GI)인 만큼(환경부, 2013) 식생(체류)형 및 자연형 시설을 우선적으로 선정하고자 한다. 다만 필요 시 기타 다른 시설 또한 선정할 수 있도록 한다.

❑ (표 3-13)의 시설은 앞서 (표 3-12)에서 제시한 자료를 근간으로 하여 LID의 시설에 대한 기능, 적용성 및 장·단점을 정리한 내용이다. 여기에 제시된 자료는 기본적으로 강우유출량 저감효과를 가지고 있으며 이는 초기 우수와 함께 유출되는 TSS, TN, TP, 중금속 등의 오염물질 저감에 효과가 있다고 알려진다(환경부, 한국환경공단, 2013). 따라서 본 연구에서 제시하고자 하는 LID 시설의 근간으로 삼았으며 상기 시설들의 기능이나 적용성 등은 아래 (표 3-13)에 설명하였으며 (표 3-14)는 이에 대한 요약이고, 해당 시설들의 구체적인 효율은 아래 (표 3-15)에 정리하였다.

[표 3-13] LID 시설 개요

시설물/ (시설 구분)	주요기능	적용성	유지관리	적용 후 장점	적용 후 단점
식생체류지 (식생형 시설)	• 저류기능 • 여과기능 • 침투기능 • 증발산[5] • 생태서식처 • 지하수 함양 • 심미성	단지: 매우 좋음 도로: 매우 좋음	매우 쉬움	• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질 유출량 저감 • 첨두유량[6] 감소 • 첨두시간 지연 • 도심 기온저감	• 다량의 토사는 저감효과 미미 • 막힘에 취약 • 단독으로 큰 배수구역 관리 불가
옥상녹화	• 저류기능 • 여과기능 • 증발산 • 생태서식처 • 심미성	단지: 매우 좋음 도로: 적용 불가	쉬움	• 강우유출수 여과/증발/저류 유도 • 유출량 저감 • 심미적 기능 • 도시열섬 해소	• 옥상하중 안전성 검토 필요 • 겨울철 식생관리 곤란 • 방수 및 용수시설 등 부대비용 증가
나무여과상자	• 여과기능 • 침투기능 • 지하수 함양 • 심미성	단지: 매우 좋음 도로: 매우 좋음	매우 쉬움	• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소 • 첨두시간 지연	• 계절의 영향 (겨울 동파, 제설제에 의한 고사) • 토사 등 협잡물에 의학 막힘 발생

시설물/ (시설 구분)	주요기능	적용성	유지관리	적용 후 장점	적용 후 단점
식물재배화분	• 여과기능 • 침투기능 • 증발산 • 생태서식처 • 지하수 함양 • 심미성	단지: 매우 좋음 도로: 좋음	쉬움	• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질 유출량 저감 • 첨두유량 감소 • 첨두시간 지연	• 계절의 영향 (겨울 동파)
식생수로	• 저류기능 • 여과기능 • 침투기능 • 증발산 • 생태서식처 • 지하수 함양 • 심미성	단지: 매우 좋음 도로: 매우 좋음	매우 쉬움	• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소 • 첨두시간 지연 • 도심 기온저감	• 토사 등에 의한 막힘에 취약 • 제설제 대량 유입시 고사 발생 • 단독으로 큰 배수구역 관리 불가
식생여과대	• 여과기능 • 침투기능 • 증발산 • 생태서식처 • 심미성	단지: 보통 도로: 매우 좋음	쉬움	• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소 • 첨두시간 지연 • 도심 열섬저감효과	• 성토부 등의 지반조건 제약 • 막힘, 단회로에 취약 • 제설제 유입 시 고사 발생

시설물/ (시설 구분)	주요기능	적용성	유지관리	적용 후 장점	적용 후 단점
침투도랑	• 저류기능 • 여과기능 • 침투기능 • 증발산 • 지하수 함양 • 심미성	단지: 매우 좋음 도로: 매우 좋음	매우 쉬움	• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소 • 첨두시간 지연	• 막힘에 취약 • 지하수위에 따라 설치 위치 제한 • 단독으로 큰 배수구역 관리 불가
침투통	• 저류기능 • 여과기능 • 침투기능 • 지하수 함양	단지: 매우 좋음 도로: 보통	쉬움	• 강우 저류 기능 • 첨두유량 감소 • 첨두시간 지연	• 단독으로 큰 배수구역 관리 불가
투수성 포장	• 여과기능 • 침투기능 • 증발산 • 지하수 함양	단지: 매우 좋음 도로: 좋음	쉬움	• 강우유출수 지하침투 유도 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소 • 첨두시간 지연	• 토양 및 자동차 하중에 의한 침하 발생 우려 • 지반 조건 제약 • 막힘에 취약 • 동절기 파손
모래여과장치	• 여과기능 • 침투기능 • 지하수 함양	단지: 좋음 도로: 보통	보통	• 좁은 면적에 적용 가능 • 오염물질, 유출량 저감 • 첨두유량 감소 • 첨두시간 지연	• 막힘에 취약 • 토사 대량 유입 시 취약 • 단독으로 큰 배수구역 관리 불가
빗물통	• 빗물이용 • 유출 저감	단지: 매우 좋음 도로: 적용 불가	쉬움	• 강우류출량 관리 • 집수된 수원 이용 • 경제적인 설계비용	• 단독으로 큰 배수구역 관리 불가

자료: 환경부, 한국환경공단. 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인, 2013

[표 3-14] LID 시설 개요 요약

시설물	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태서식처	지하수함양	심미성	적용성		유지보수의 용이성
								단지	도로	
식생체류지	V	V	V	V	V	V	V	매우 좋음	매우 좋음	매우 쉬움
옥상녹화	V	V		V	V		V	매우 좋음	적용 곤란	쉬움
나무여과상자		V	V			V	V	매우 좋음	매우 좋음	매우 쉬움
식물재배화분		V	V	V	V	V	V	매우 좋음	좋음	쉬움
식생수로	V	V	V	V	V	V	V	매우 좋음	매우 좋음	매우 쉬움
식생여과대		V	V	V	V		V	좋음	매우 좋음	쉬움
침투도랑	V	V	V	V		V	V	매우 좋음	매우 좋음	매우 쉬움
침투통	V	V	V			V		매우 좋음	좋음	쉬움
투수성 포장		V	V	V		V		매우 좋음	좋음	쉬움
모래여과장치		V	V			V		좋음	보통	보통
빗물통	V							매우 좋음	적용 곤란	쉬움

자료: 환경부, 한국환경공단. 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인, 2013

5) (Evapotranspiration)수목이나 초본류의 표면에서 일어나는 증발로 육상 강수량의 2/3은 이에 의해 대기 중으로 환원된다. (자연지리학사전, 한울아카데미, 2006)

6) (Peak flow)일정 기간에 대해 작성한 유량 곡선의 최고점 (한국수자원공사, 2011)

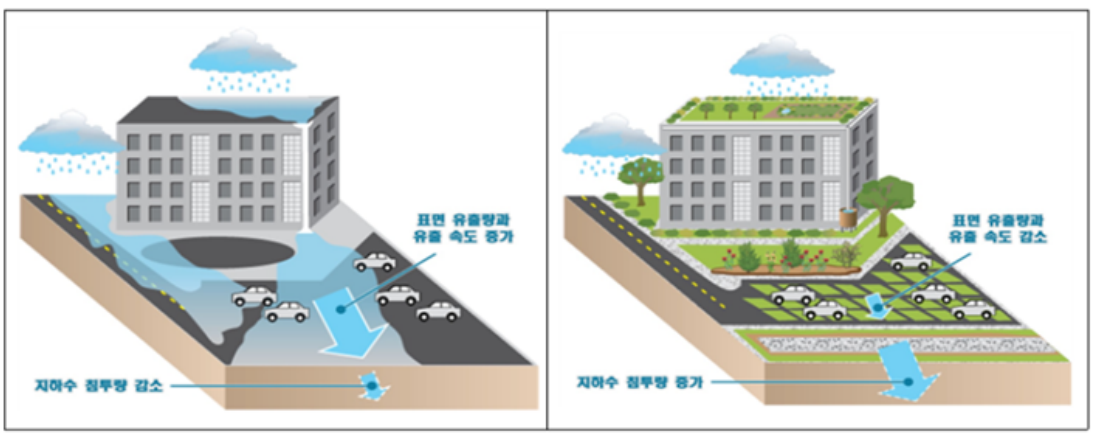
[표 3-15] LID 시설 성능

시설물	BOD	TN	TP	유출저감량	첨두유량	TSS	기타	중금속 /금속류	COD	Oil, Grease
식생체류지	23~54%	22~49%	17~81%	40%	-	80%	Zn 99% Pb 99%	-	-	-
옥상녹화	-	-	-	-	-	90%	50~71.7%	80% (금속류)	-	-
나무여과상자	54%	49~68%	74%	-	-	85%	-	82%	-	-
식물재배화분	54%	49%	65%	40%	-	97%	67%	-	67%	98%
식생수로 pp. 89 확인	34~58%	0~15%* 45~62%**	10~25%* 48~51%**	10%	-	30~65%* 84%**	Zn 20~50% Pb 20~50%	-	-	-
식생여과대	44%	42%	42~60%	-	-	88%	-	77%	-	-
침투도랑 pp. 95 확인	77%	40~60% 73%	15~35% 25%	80~100%	-	-	Zn 80~100% Pb 80~100%	-	-	-
침투통	53%	40~60% 72%	40~60% 46%	50~65%	-	80~100%	Zn 80~100% Pb 80~100%	-	-	-
투수성 포장	75%	83%	65%	15.7%~38.2%	19.9%~40.3%	-	-	-	-	-
모래여과장치	50%	39~71%	54%~60%	-	-	-	-	-	-	-
빗물통	해당 없음									

자료: 환경부, 한국환경공단. 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인, 2013

❑ 도입 가능한 시설의 조건 중 두 번째로는 자연 순환체계 회복에 기여하는 정도를 들었다. 구체적으로는 첫 번째로 지하수의 확보 및 지표면에서의 유출수량을 저감할 것과, 두 번째로 저류 등 지표 유출의 지연 효과, 세 번째로 물 및 물질의 순환이 가능한지 여부, 마지막으로 자연 생태환경을 제공하는지의 여부이다. 아래 (그림 3-7)은 이 조건에 부합하는 LID 시설의 설치 시 예상되는 상황을 표현한 것으로 강수로 인한 지표면에서의 유출량과 유출속도를 감소시키고 지하수의 침투량을 증가시켜 지구적으로 일정 수량을 유지할 수 있게 한다.

[그림 3-7] 자연순환체계 회복에 기여하는 LID 시설 설치 시 예상되는 효과



자료: Center for Environmental Science(Univ of Maryland)
(https://ian.umces.edu/imagelibrary/displayimage-87-8170.html 접속일: 2019.12.13.

❑ 본 조건 중 하나 이상의 요소를 만족하는 시설은 제시한 모든 시설이 해당하였다. 특히 식생수로와 식생체류지의 경우 4개 세부지표를 모두 만족하고 있으며 그 외에도 나머지 시설물 또한 빗물통은 저류 기능을, 나무여과상자와 모래여과장치의 경우에도 침투기능 및 지하수 함양을 통해 지하수 확보 및 지표면의 유출수량 저감기능을 수행함을 확인할 수 있었다,

❑ 따라서 자연 순환체계 회복의 기여도 부분에서는 앞서 소개된 모든 시설물이 일정 부분 기여를 하고 있으며 이후 제시할 다른 조건들을 통해 선정 절차를 계속하고자 한다.

- 세 번째 조건으로는 시공 및 유지관리의 용이성과 적합성을 들었다. 특히 유지관리와 관련하여 자연적인 관리방안을 충분히 활용할 것과 불가피하게 시설을 설치하게 될 경우 유지관리가 용이한 자연적인 관리방안을 마련할 것을 들고 있다(환경부, 2014). 구체적으로는 첫 번째로 상업지구 등 토지를 고도로 이용하는 지역에서는 신규설치가 용이한 소형 시설 및 조경성(심미성)의 여부이며, 두 번째로 기존 시설을 부분 개조한 시설을 활용하였거나 기존시설에 쉽게 대체 설치가 가능한지 등의 여부이다.
- 해당 조건을 만족하기 위해 앞서 제기한 특성 중 심미성 부분을 만족하는 설비를 찾았다. 해당 부분을 만족하는 설비로는 식생체류지, 옥상녹화, 나무여과상자, 식물재배화분, 식생수로, 식생여과대, 침투도랑이 있다. 이 중 나무여과상자나 식물재배화분의 경우 도심 지역의 가로수 위치를 대체하거나 그 크기가 작아 토지를 고도로 이용하는 지역의 특성에 적합한 시설이라 할 수 있다. 아래 (그림 3-8)은 나무여과상자와 식물재배화분의 모습이다.

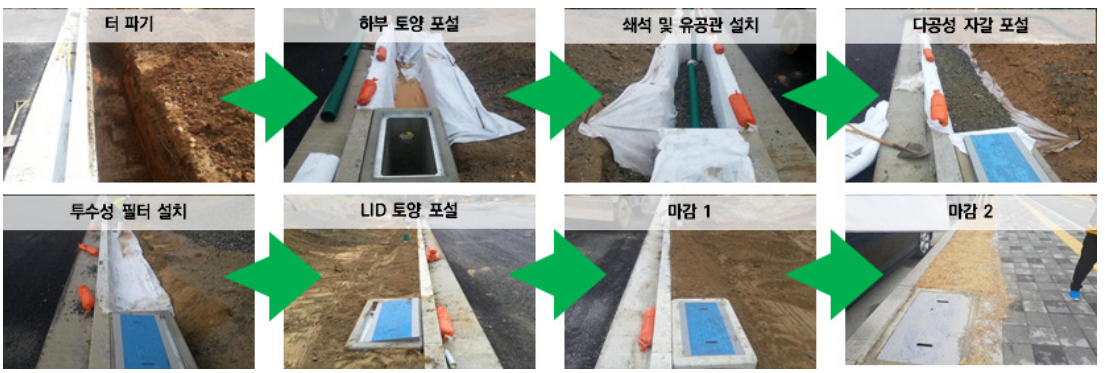
[그림 3-8] 나무여과상자와 식물재배화분 사진

<table>
<tr>
<td> </td>
<td> </td>
</tr>
<tr>
<td>나무여과상자 사진
(출처: 환경부 비점오염원 공식블로그, 2019)</td>
<td>식물재배화분 사진
(출처: 정책브리핑, 2019)</td>
</tr>
</table>

- 기존 시설의 대체가능 여부나 위치의 제약을 적게 받는 시설로는 해당 시설의 설치가 가능한 장소의 영향을 받는다. 이를테면 나무여과상자의 경우 기존 가로수를 대체하여 해당 부지에 바로 적용이 가능하고 투수포장, 침투도랑, 빗물통 등의 경우에는 보도블록이 설치된 인도나 주차장 혹은 등에 적용이 가능하다.

❑ 네 번째 조건으로는 도로나 교량 인근의 유휴 부지에 설치가 용이한지의 여부 및 선적인 관리의 용이성의 여부이다. 이는 대개 설치가 고려되는 장소가 교량, 도로 등 선형 시설물이라는 점에 착안한 것이다. 아래 (그림 3-9)는 제시한 기준과 일치하는 (소형이며 선적인 관리가 용이) 시설인 침투도랑 설치 현장을 순서대로 촬영한 사진이다.

[그림 3-9] 침투도랑 설치 과정



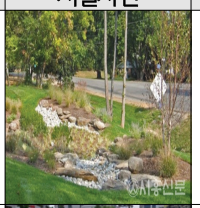
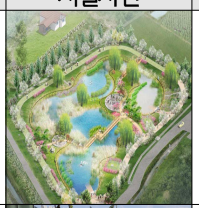
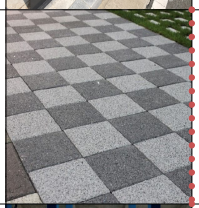
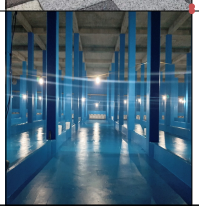
❑ 또한 앞서 제시한 가이드라인 상에 도로 적용성 부분에서 좋음 등급 이상을 받은 시설을 보면 식생체류지, 나무여과상자, 식물재배화분, 식생수로, 식생여과대, 침투도랑, 침투통, 투수성 포장이 있다. 여기서 식생체류지나 식생여과대를 제외한 나머지 시설들은 크기가 작거나 침투도랑과 같이 선형이기에 도로나 교량 등에 설치하기 용이한 편이다. 한편 식생체류지나 식생여과대의 경우 기존의 녹지공간을 그대로 활용할 수 있으나 녹지공간이 없거나 활용하지 않을 경우 넓은 면적이 필요하다는 점이 문제로 제기되고 있다.

- 다만 식생체류지나 식생여과대의 경우는 자유로 서편에 위치한 장항습지가 자연적으로 해당 기능을 대체할 수 있으며, 특히 DMZ의 일부 구역이기에 사람의 손길이 제한되어 보존이 용이하다는 이점이 있다. 이를 보존함으로서 자연적인 물순환기능을 유지하는 것 또한 필요하다.
- 또한 일산신도시의 녹지 면적 비중은 23.5%로 타 1기 신도시 대비 비중이 높아 적용이 용이하다고 볼 수 있다(이성오, 2019).

2. 선정된 시설 제시

❑ 앞서 제시하였던 기준을 종합해 본 결과 선정된 시설은 아래 (표 3-16)과 같다.

[표 3-16] 고양시 LID 우선 도입지역에 적용 가능한 시설

구분	시설사진	구분	시설사진	구분	시설사진
식생체류지 (빗물정원) (Bio Retention)		인공습지 및 저류지 (Constructed Wetland, Retention Basin)		나무여과상자 (Tree Box Filter)	
침투도랑 (Infiltration Trench)		식물재배화분 (Planter box)		침투저류지 (Infiltration Basin)	
식생수로 (Bio Swale)		투수포장 (Permeable Pavement)		식생여과대 (Bio Slope)	
빗물통 (Dry Wells)		지하저류조 (Underground Retention Basin)			

출처: "'녹색성장과 빗물관리' 국제 빗물포럼", 건설기술뉴스(2009.3.20.) 접속일 2019.12.3.
"뉴욕시 빗물통 무료 배포", 한국일보(2011.4.30.) 접속일 2019.12.3.
"빗물 한방울도 자원... 주목받는 'LID 기법'", 그린포스트코리아(2019.6.2.) 접속일 2019.12.3.
"서울시, 양평1유수지에 한강수질개선 '저류조' 설치", 자치행정신문(2019.11.18.) 접속일 2019.12.3.
"일석이조 '빗물정원' 아시나요?", 시흥신문(2017.6.11.) 접속일 2019.12.3.
"창녕군 인공습지 만들어 계성천 수질 개선", 국제신문(2016.9.7.) 접속일 2019.12.3.
"청호환경개발, 오염된 도로 빗물 정화 위한 수목여과박스, 친환경 대전서 눈길", 머니투데이(2016.10.25.) 접속일 2019.12.3.
"한반도 '물난리', 투수블록으로 잡는다", 건설경제신문(2011.8.4.) 접속일 2019.12.3.
"행복청은 급격한 도시화로 빗물관리 이해를 위해 친환경 홍보관 운영", 뉴스통신포커스(2019.6.24.) 접속일 2019.12.3..
"(1기 신도시 발표 후 30년의 변화) 고양시 한해 살림, 1991년 3600억 → 2019년 2조3000억", 고양신문(2019.6.10.) 접속일 2019.12.3.
"5개시, 수질오염-기후변화에 강한 도시된다", 그린타임즈(2016.6.11.) 접속일 2019.12.3.

- 제시한 시설물은 LID 우선 도입지역에 설치할 시설물로 투수포장이나 빗물통, 지하저류조를 제외하고는 식생형 시설물로 구성하여 자연의 물순환 기능을 강화하고자 하였다. 그러나 이는 절대적인 것이 아니며 추후 현장에서의 적용 시 문제점이나 필요에 의해서 추가적인 검토와 더불어 다른 시설의 적용 여지는 열려 있다.
- 그리고 본 연구에서 제시한 시설물의 경우 우선지역을 염두에 두고 선정한 만큼 추후 공간적 범위를 고양시 전체로 확대할 경우 추가적인 검토가 필요할 것이다.

제4절 LID 설계 예시 및 가이드

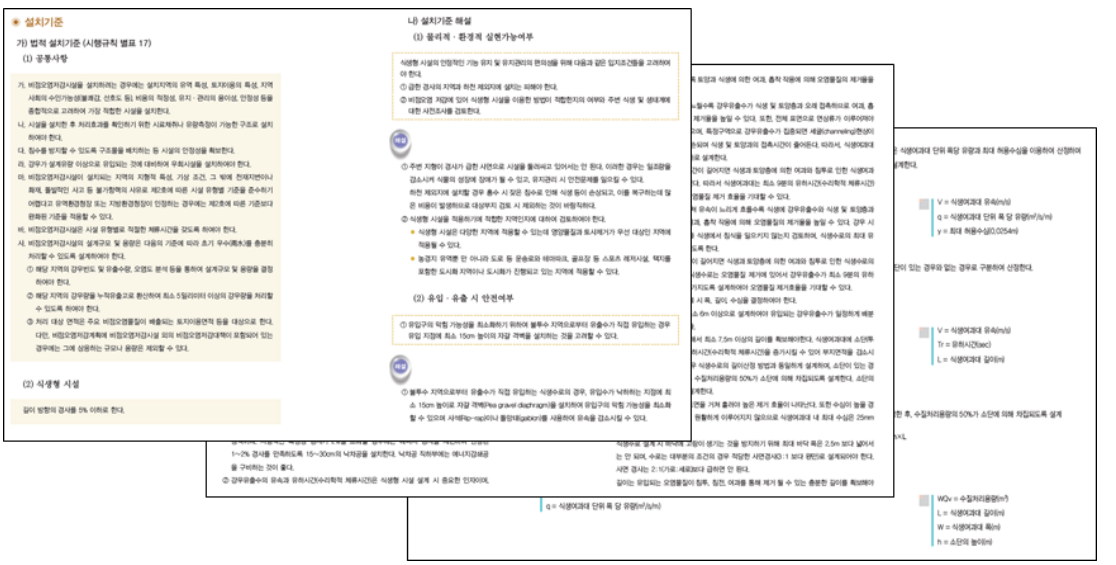
❑ 현재 국내의 LID의 설계 지침이나 매뉴얼, 가이드라인 등은 상당히 많은 현실이다. 문제는 이를 다수의 기관(한국도로공사, LH, 환경부, 행정중심복합도시건설청, 서울특별시 등)에서 발간하였으며 특정한 기준을 설정하여 나눈 것이 아니라는 점이다. 게다가 환경부에서 발간한 자료만도 5가지 이상으로 LID 기법을 적용하거나 시설을 도입하고자 하는 지자체 등이 자료를 선택함에 있어 혼선을 빚고 있는 실정이다. 아래 (그림 3-10)은 국내에서 발행된 LID 관련 가이드라인, 매뉴얼들을 모아 놓은 사진이다.

[그림 3-10] 국내의 LID 가이드들

자료: 한국도로공사, LH, 환경부, 행복도시건설청, 서울특별시

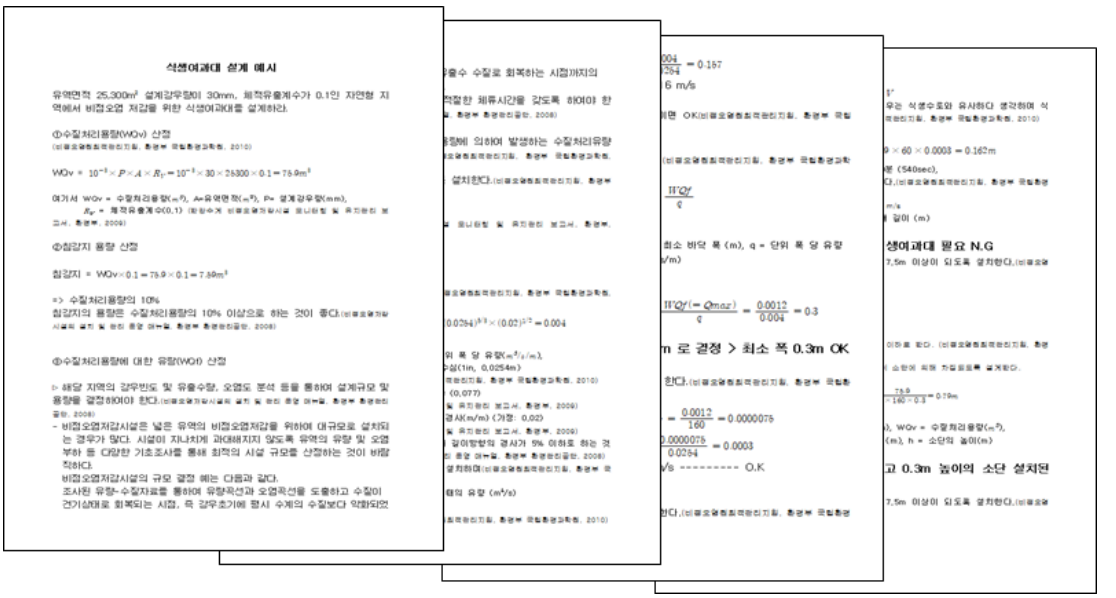
- 반면 미국의 경우에는 EPA에서 설계 기준을 작성한 것을 바탕으로 각 city나 county 별로 개별 기준을 적용하는 방식을 사용하고 있다. 이 경우 각 지자체별로 일정한 기준을 바탕으로 해당 지역 내의 상황을 반영하여 계획을 수립할 수 있기에 좀 더 효율적인 LID 계획 및 적용이 가능하다.
- 국내 LID 가이드 등의 또 다른 문제점은 대부분 문헌으로 구성이 되어 있고 실제 적용 사례나 시각화된 자료가 적어 LID를 적용하고자 하는 지자체 공무원들이 이해하기 어려운 실정이라는 점이다. 아래 (그림 3-11)과 (3-12)는 환경부의 가이드 일부를 발췌한 것이다.

[그림 3-11] 「비점오염저감시설의 설치 및 관라운영 매뉴얼 내 설계」 부분 발췌 1



자료: 환경부, 『비점오염저감시설의 설치 및 관라운영 매뉴얼 개정』, 환경부. 2018.

[그림 3-12] 「비점오염저감시설의 설치 및 관리운영 매뉴얼 내 설계」 부분 발췌 2



자료: 환경부, 『비점오염저감시설의 설치 및 관리운영 매뉴얼 개정』, 환경부. 2018.

- ❑ 이러한 문제로 인하여 지자체 실무자 등이 설계상의 이해의 부족 등으로 인해 비적정 설계 시설의 도입이 일어날 수 있다. 이러한 점을 방지하기 위해 설계 기준 용량을 산정하고, 시설용량이나 세부시설 설계 예시를 작성할 필요가 있다. 특히 식생형 시설의 경우 변수가 많아서 이해가 어려울 수 있기에 이런 부분은 필히 개선되어야 할 문제이다.
- ❑ 그러나 아직 국내 지자체 단위에서 이러한 가이드를 제정한 곳은 서울특별시 한 곳으로(신건철, 2019: 인터뷰를 통한 청취) 적용 가능한 사례가 한정된 것이 현실이다. 이에 추후 우선지역을 중심으로 시설의 적용 과정에서 시각화 자료 및 이해하기 쉬운 가이드의 작성이나 관계부처 가이드 개정에 반영할 수 있도록 연구가 필요하다.

제5절 고양시 LID 시설 유지관리 시스템 구축 현황

❑ LID 시설에 있어서 핵심적 관리 인자 중 하나는 유지관리에 관한 것이다. 일반적으로 비점오염원에서 발생하는 오염물질은 약 80%이상 입자상 물질로 유출이 이루어진다. 이와 같은 입자상 물질은 LID 시설 내에서 침전 및 여과와 같은 LID 시설 내 기작을 통해 저감된다. 또한, 일부 용존상 물질도 시설 내에서 식생 및 토양층 흡착 등의 기작을 통한 처리가 이루어진다. 즉, 비점오염원에서 발생한 오염물질 (특히 입자상 물질)은 LID 시설 내에서 축적이 되는 것이라 할 수 있다. LID 시설 내 다량의 입자 및 용존상 물질이 축적의 LID 시설 내 축적됨에 따라 LID 하부 토양 내 공극률 및 용량 감소가 이루어지게 된다. 이와 같은 현상이 발생할 경우 시설 처리 용량 및 효율의 감소를 유발할 수 있으며, 이는 안정적인 강우유출수 처리가 이루어지지 않는 문제점이 발생한다. 따라서 LID 시설 설치 이 후에도 LID 시설 종류에 따라 막히는 현상, 식생밀도 및 시설 내 퇴적물 준설 등의 유지관리를 실시해야 한다. 이런 LID 시설 유지관리에 관한 내용은 국내·외 비점오염 저감시설 설계 및 유지관리와 관련된 매뉴얼에서 제시하고 있다. 아래 (표 3-17)은 '비점오염 저감시설 설치 및 유지관리 매뉴얼'에서 제시하고 있는 비점오염 저감시설 주요 유지관리 기준을 나타낸 것이다. (표 3-17)에서 확인 할 수 있듯이, 현재 LID시설은 기간을 기준으로 유지관리를 실시하고 있다. 이와 같이 유지관리를 기간을 기준으로 하는 것은 관리자적 측면에서는 용이성을 확보할 수 있으나, LID 시설의 측면에서는 실제적인 유지관리가 이루어져야 할 경우 적절한 유지관리가 이루어지지 않을 가능성이 높다. (그림 3-13)은 이와 같이 기간을 기준으로 LID 시설 유지관리를 실시할 경우의 문제점을 보여주는 그림이다. 만약 1회/6개월의 기준인 막힘 현상 유지관리 항목에 대해 A시기 유지관리를 실시하였다고 하였을 때, B 기간에 발생한 강우는 안정적인 저감 효율을 기대할 수 있다. 하지만 B 기간 이 후 C 기간의 발생한 강우에 대해서는 그 효율 기대가 불확실할 것이다. 이는 B 기간 동안 발생한 강우에 의해 시설 내 막힘이 발생할 가능성이

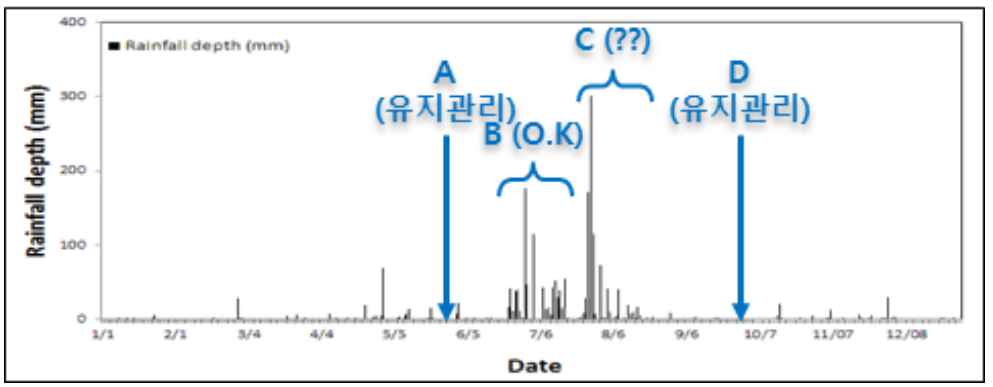
있기 때문이다. 이와 같은 경우 C 기간 발생한 강우는 안정적 효율 확보가 어려울 것이다. 이후 D기간에 유지관리를 실시할 경우, 유지관리의 효율성에 대한 의문점이 발생할 수밖에 없다. 단, 이와 같은 경우 유지관리 대행 기관은 매뉴얼 상 제시되고 있는 1회/6개월의 기준을 준수하였기에 책임을 회피 할 수 있음. 특히, 우리나라는 여름 ~ 초가을 (6 ~ 8월) 강우 집중 현상이 명확하게 발생하며, 이와 같은 시기에 대한 철저한 대비가 필요하다.

[표 3-17] 비점오염 저감시설 주요 유지관리 기준

시설	유지관리 항목	기간
저류시설	완공 후 서너 개의 강우사상이 지나간 뒤 제방안정성과 침식징후, 유출구의 막힘 및 파손여부	필요할 때 마다
	유출구의 쓰레기 등 협잡물에 의한 막힘현상 여부	1회 / 6개월
	지내에 물고임 현상 및 제방경사면의 식생밀도	1회 / 6개월
	유입출구의 쓰레기 청소 및 제방식생 및 접근로의 풀베기작업	1회 / 1개월
	수문,밸브,유입출구,제방 등의 보수작업	1회 / 5~7년
	습지에 준한 유지관리시행/풀베기 계획수립	필요할 때 마다
	토사퇴적량 모니터링, 퇴적물 제거작업	1회 / 1년
식생형 시설	쓰레기, 돌맹이 등을 제거하고 적절히 처분	1회 / 6개월
	유입구와 잔자갈 격벽의 퇴적물과 쓰레기 청소	1회 / 6개월
	수로에서 물 흐름에 장애가 되는 퇴적물 제거	필요할 때 마다
	건식수로의 배수시간이 48시간 초과할 때 모래와 토양여과층 갈아 엎음, 작업 후 다시 식생을 조성함	필요할 때 마다

자료: 환경부, 『비점오염저감시설의 설치 및 관리운영 매뉴얼 개정』, 환경부. 2018.

[그림 3-13] 연 강우 사상 및 유지관리 실시 상황 예시



출처: 국립환경과학원, "한강 하구 지역 토지계 오염원 분포", 국립환경과학원, 2017.

❑ LID 시설의 국내 기본 도입 방향성은 건축물 및 인구 밀집과 같은 토지 특성 등의 이유로 소규모 시설의 다량 도입으로 볼 수 있다. 이는 발생 지역에서 강우유출수와 오염물질을 저감하고자 하는 LID 시설의 기본 개념과 부합하는 방향이다. 이는 환경부에서 실시한 빗물유출제로화 시범 사업에서도 확인 할 수 있다. (그림 3-14)는 빗물유출제로화 시범사업 1단계 청주 오창과학산업단지와 2단계 전주 서곡 지구를 보여주는 것이다. 또한 이와 같은 지역에 도입된 LID 시설수 및 투수포장의 면적은 (표 3-18)에서 확인할 수 있다. 이와 같이 단지 내 LID 도입을 위해 다수의 LID 시설이 도입된 것을 확인할 수 있었으나, 현재 LID 시설의 유지관리는 인력을 기반으로 운영되고 있으며, 이는 지속적인 인건비를 발생시키는 요인이다. 특히, 해당 시설에 대해 전문지식이 부족한 인력을 기반으로 상태를 확인하는 것은 관리에 있어 문제를 발생시킬 것으로 예상된다.

[그림 3-14] 환경부 빗물유출제로화 시범 사업 지역

(a) 청주 오창과학산업단지

(b) 전주 서곡지구

출처: 환경부(2019).

[표 3-18] 빗물유출제로화 사업 내 LID 시설 설치 현황

LID 시설	1차 (개소)	2차 (개소)
식물재배화분	64	87
나무여과상자	136	15
식생체류지	4	4
침투형 빗물받이	5	33
옥상녹화	-	4
식생수로	-	4
빗물침투측구	-	101
빗물통	-	35
침투도랑	338	4
침투통	22	5
침투측구수로	-	3
빗물저류조	4	
필터형 투수성 포장	29,869 m^2	578.64 m^2
틈새형 투수성 포장		4,314 m^2

자료: "강우유출량·수질오염 저감...저영향개발기법 효과 확인", 정부24(환경부), https://www.gov.kr/portal/ntnadmNews/1887405 접속일 2019.12.1.

❑ 앞서 언급한바 다수의 LID 시설에 대해 인력기반으로 유지관리를 실시하는 것은 한계가 명확하게 드러난다. 따라서 이와 같은 유지관리의 대안으로 IoT기반의 LID 시설통합 관리 시스템 및 주민 참여 기반 LID 유지관리로 접근하는 것을 제안하고자 한다. 먼저, IoT 기반 LID 시설 통합 관리 시스템 구축 방안은 (그림 3-15)와 같다. 1단계로는 설치된 LID 시설 중 해당 지역의 특성을 대표할 수 있는 대표 시설을 선정하는 것이다. 여기서 대표 시설 선정 기준으로 통행량 (차량), 유역 면적, 시설 용량 및 유역 토지 이용 상태 등을 활용할 수 있으며, 이는 해당 지역에서 유입 오염부하가 가장 높을 것으로 예상되는 시설을 파악하기 위함이다. 이후 퇴적물 높이 및 하부토양 투수속도 등 실제 LID 시설 처리 효율에 영향을 미치는 인자를 대상으로 측정센서를 설치하여 통합 모니터링 시스템을 구축하는 것이다. 이와 같은 시스템을 구축할 경우, 통합 관리 센터(가칭)에서 실시간 모니터링이 가능하며, 보다 효율적인 LID 시설 유지관리가 가능할 것으로 전망된다. 다른 하나는 바로 시민들의 참여를 유도하는 것으로, LID 시설의 경우, 도로, 인도 및 건물 인근에 설치되는 경우가 많다는 점을 이용하는 것이다. 이와 같은 지역에 설치된 시설은 시민의 접근성이 높기에 상가 및

주거 주민을 대상을 구역을 배정 해당 지역 내 LID 시설에 대해 협잡물 제거, 퇴적물 축적 상황 및 토양 침투 속도 등 확인의 책임을 부여하는 것이다. 하지만, 이와 같은 경우, 특정 시민을 대상으로 과도한 책임 부여와 참여도 감소 등의 문제가 발생할 수 있으므로, 시민들을 대상으로 사전 교육 및 홍보에 많은 노력을 기울이고 추가적으로 인센티브를 제공하는 방안에 대해서도 고려해야 할 것이다.

[그림 3-15] 유지관리 방향성

자료: Google earth

제 4 장

결론

결론

❑ 본 연구에서는 고양시의 LID 추가 도입에 있어 도입 우선지역을 설정하고 우선 지역에 설치하기 용이한 시설물들을 선정하는 작업을 실시하였다. 이를 위하여 현재 설치된 고양시 내의 LID 시설을 분석하여 문제점을 제시하였다. 그리고 관련 조례를 제정할 것을 권고하였고 국내의 관련 기준이나 가이드를 바탕으로 문제점을 지적하였으며 이에 대한 해결책으로 우선지역에 시설 도입과 더불어 시각화 자료 및 가이드를 충실하게 할 것을 제안하였다. 마지막으로 관리의 방안으로서 IoT 기반의 관리방식을 도입할 것을 제안하였다.

- 우선지역은 발생원단위를 기반으로 비점오염물질 발생량을 추정하고 수계와의 연관성 검토를 바탕으로 일산동서구의 상업 시설 고밀도 지역, 수계와 인접한 자유로 인근, 수계 통과 교량을 설정하였다.
- 또한 오염물질 처리 가능성, 자연순환체계 회복 기여도, 시공 및 유지관리의 용이성, 우선대상지역과의 적합성 등을 검토하여 11종의 LID 시설물을 제안하였다.
- 마지막으로 유지 및 관리의 효율화를 위해 관리기법으로 IoT 방식을 도입할 것을 제안하였다.

❑ 아래 (그림 4-1)은 본 연구 및 후속연구를 바탕으로 지향성을 표시한 그림이다.

[그림 4-1] 후속 연구의 지향성

❑ 해외에서는 많은 연구들이 활발히 이루어지며 국가별로 통일된 기준이 나오고 있으나 국내의 기준 및 가이드들은 여러 가지가 혼재되어 명확한 기준이 없는 상황이다. 이러한 상황에서 고양시에 적합한 가이드를 제시하기가 어려운 상황이었다. 이는 본 연구의 한계점으로, 추후 지속적인 연구와 고양시의 지리적 여건 조사를 기반으로 하여 적합한 가이드를 발간할 수 있도록 해야 할 것이다.

참고문헌

강민자·류덕희·최지용(2014). “국내 비점오염원 관리 정책현황과 연구동향”, 『환경정책』, 22(4) 141-167.

국립환경과학원(2017). “한강 하구 지역 토지계 오염원 분포”, 국립환경과학원.

김승현·조경진(2015). “도시 물순환 회복을 위한 그린인프라 계획 및 설계에 관한 연구 - 조경계획 및 설계 해외사례 분석을 중심으로” 『한국도시설계학회지 도시설계』, 16(3), 37-51.

김이형(2018). “생태공학과 도시환경”. 『KSEIE - OJERI 2018 생태공학 공개강좌』

김이호(2015). “[Special Report] ①해외 빗물관리 시스템과 방향”, 『워터저널』, 2015(6)

김형산 외(2018). “LID 표준 조합 Set 및 계획모델 개발”, 『한국방재학회 논문집』, 18(3) : 321-329.

이인화(2017). 『저영향시설(LID) 모니터링 자료를 통한 유출저감 효과 분석』, 석사학위논문, 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과.

전제찬 외(2018). “국내 비점오염 관련 연구 동향 및 향후 연구방향 제언”, 『Journal of Wetlands Research』, 20(1), 80-93.

한국수자원공사(2012). LID 요소기술 설계지침, 한국수자원공사.

환경부(2014). 『비점오염저감시설의 설치 및 관리운영 매뉴얼 개정』, 환경부.

고양시(2017). “고양시 통계연보”.

“‘녹색성장과 빗물관리’ 국제 빗물포럼”, 건설기술뉴스(2009.3.20.) 접속일 2019.12.3.

“뉴욕시 빗물통 무료 배포”, 한국일보(2011.4.30.) 접속일 2019.12.3.

“빗물 한방울도 자원... 주목받는 ‘LID 기법’”, 그린포스트코리아(2019.6.2.) 접속일 2019.12.3.

“서울시, 양평1유수지에 한강수질개선 ‘저류조’ 설치”, 자치행정신문(2019.11.18.) 접속일 2019.12.3.

“일석이조 ‘빗물정원’ 아시나요?”, 시흥신문(2017.6.11.) 접속일 2019.12.3.

“창녕군 인공습지 만들어 계성천 수질 개선”, 국제신문(2016.9.7.) 접속일 2019.12.3.

“청호환경개발, 오염된 도로 빗물 정화 위한 수목여과박스, 친환경 대전서 눈길”, 머니투데이(2016.10.25.) 접속일 2019.12.3.

“한반도 ‘물난리’, 투수블록으로 잡는다”, 건설경제신문(2011.8.4.) 접속일 2019.12.3.

“행복청은 급격한 도시화로 빗물관리 이해를 위해 친환경 홍보관 운영”, 뉴스통신포커스(2019.6.24.) 접속일 2019.12.3..

“(1기 신도시 발표 후 30년의 변화) 고양시 한해 살림, 1991년 3600억 → 2019년 2조3000억”, 고양신문(2019.6.10.) 접속일 2019.12.3.

"5개시, 수질오염-기후변화에 강한 도시된다", 그린타임즈(2016.6.11.) 접속일 2019.12.3.

강우유출오염원 블로그(환경부) https://blog.naver.com/nonpointme1/220722985181 접속일 2019.12.3.

"강우유출량수질오염 저감...저영향개발기법 효과 확인", 정부24(환경부)(2019.5.31.),
https://www.gov.kr/portal/ntnadmNews/1887405 접속일 2019.12.1.

County, P. G. S.(1999)
Low-impact development design strategies: An integrated design approach. Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division, Prince George's County, Maryland.

Georgia Priari. *Promoting the Use of Public Areas for Sustainable Stormwater Management in Cities with Mediterranean Climate,* In Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2018.

Johnstone, Phillip. *Stormwater in a Liveable City - Towards an Evidence Based Policy Framework*. 2012.

Center for Environmental Science(Univ of Maryland)
https://ian.umces.edu/imagelibrary/displayimage-87-8170.html 접속일: 2019.12.13.

Google Earth(2019)

Abstract

Research on Introdution strategy of low Impact development (LID) in Goyang city [1]

Jiyeol Im*, Deokjoo Son*, Garam So*

Goyang City has achieved quantitative growth since it was designated as the new city in 1989. This has led to the expansion of various urban infrastructures and the expansion of urban areas. However, such urban expansion has caused a number of environmental problems. Increasing impervious surfaces is one of these environmental issues, which, to date, are not prominent in the realm of life, but can lead to problems such as urban flooding, subsidence, reduced evaporation of the surface and underground water depletion. It also causes an increase in non-point pollutant source.

The rise of sustainable development and climate change also affected urban design. In the water management paradigm, there is a shift from the concept of dimension and completion to the enhancement of multi-functional GI and water sensitive values and the introduction of natural water management system. Recently, the Korean government has been actively implementing non-point pollution management policies.In the UN keynote speech in September 2019, President Moon Jae-in mentioned the value of the Han River estuary, and the importance of LID and non-point pollutant source management is increasing.

Meanwhile, in Goyang, the cities near Han-river downstream have high

* Goyang Research Institute, Goyang, Korea

emission of pollutants but lack of pollution reduction facilities. The purpose of this study is to suggest the LID related facilities, management, and operation plan applicable to Goyang-si based on the regulations on the water management by each local government and the pollutant source investigation and the problem analysis of the current system.

This study estimates pollutant emissions in Goyang-based based on source unit survey based on BOD, TP, TN, SS, etc. of Korea, and sets LID's priority introduction area reflecting the characteristics of pollutant sources. Presented. In addition, ease of management was considered based on the introduction of iOT.

The limitation of this study is that it does not provide more accurate management and operation methods because there is no accurate data on the setting of accurate pollutant emission or nonpoint source in Goyang. This problem can be said to suggest the direction of future research, and the subsequent research will look for other solutions and suggest better direction.