



주 의

1. 이 보고서는 건전한 도시물순환 인프라의 저영향개발(LID) 및 구축·운영 기술 연구단의 연구성과입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 건전한 도시물순환 인프라의 저영향개발(LID) 및 구축·운영 기술 연구단의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.



경상남도 양산시 물금읍 부산대학교 49 부산대학교 양산캠퍼스  
한국 그린인프라저영향개발센터

2-3. K-LIDGL-GWF 한국형 저영향개발 수변·친수 도시계획 및 설계 가이드라인 그린수변도시계획·설계

2-3. K-LIDGL

저영향개발  
도시 계획·설계·유지관리 가이드라인  
K-LID-Planning and Design Guideline



한국형 저영향개발 수변·친수 도시계획  
및 설계 가이드라인 : 그린수변도시계획·설계

Korea Low Impact Development Guideline for Water Front City Planning and Design  
: Green Water-Front City Design  
K-LIDGL-GWF

GI LID 건전한 도시물순환인프라의 저영향개발(LID) 및 구축·운영 기술 연구단



## 제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

이 보고서를 “건전한 도시물순환 인프라의 저영향개발(LID) 및 구축·운영 기술”  
연구과제의 보고서로 제출합니다.

2018. 03.

연구단장 : 부산대학교 신 현 석  
공동연구기관명 : 한국수자원공사  
공동연구책임자 : 이 상 진  
참 여 연 구 원 : 황 만 하  
: 이 요 상  
: 이 상 욱  
: 서 진 석  
: 김 석 철  
: 김 정 경  
: 백 승 환  
: 신 성 희  
: 유 민 호  
: 정 광 진  
: 김 형 산  
: 김 백 종  
: 백 종 석

# 목 차

<b>제 1 장 총론</b> .....	<b>1</b>
1.1 목적 .....	1
1.2 지구단위계획 시행지침 .....	4
<b>제 2 장 수변·친수도시 개요</b> .....	<b>8</b>
2.1 용어 해설 .....	8
2.2 수변·친수도시 .....	10
2.3 물순환 수변도시 정의 .....	14
2.4 친수도시 해외사례 .....	24
<b>제 3 장 관련 제도 및 기준</b> .....	<b>28</b>
3.1 정부 추진현황 .....	28
3.2 물순환 관련 조례 및 제도 .....	37
3.3 빗물관리 관련법 .....	45
3.4 LID 관련 법률 및 제도 .....	50
<b>제 4 장 물순환 계획</b> .....	<b>54</b>
4.1 물순환 목표 .....	56
4.2 물순환 분석 .....	57
<b>제 5 장 계획 설계(기술) 노트</b> .....	<b>70</b>
5.1 물순환 기본 계획 수립 .....	70
5.2 물순환 관리 목표 산정 .....	75
5.3 물순환 관리량 산정 .....	91

5.4 적용성(설계) 검토 .....	92
<b>제 6 장 물순환 기술의 적용 .....</b>	<b>101</b>
6.1 수변도시 물순환 기술 적용 .....	101
6.2 대상지역 현황 .....	103
6.3 물순환 기술의 현장 적용 .....	113
6.4 물순환 기술의 적용 결과 .....	121
<b>제 7 장 한국형 LID 도시 통합계획·설계 모형 시스템 .....</b>	<b>148</b>
7.1 한국형 LID 도시 통합계획·설계 모형의 필요성 .....	148
7.2 LID 표준 조합 Set 및 계획모형 개발 .....	150
7.3 모형의 적용 .....	161
<b>제 8 장 실증단지 연계 운영방안 .....</b>	<b>167</b>
8.1 LID 요소기술의 효과 검토 .....	167
8.2 실증단지 추진방향 .....	168
8.3 실증단지 연계운영 방향 .....	173

## 표 목 차

<표 1-1> 우수이용 평가 기준 (친환경건축물 인증 기준 2010년) .....	7
<표 1-2> 우수부하 저감대책의 타당성 평가 기준 (친환경건축물 인증 기준 2010년) .....	7
<표 2-1> 수변공간의 범위 .....	12
<표 2-2> 수변공간 관련 유사개념 비교 .....	13
<표 2-3> 서울시 시설분류별 빗물분담량(서울특별시, 2013) .....	18
<표 3-1> 18대 정부 국정과제 .....	29
<표 3-2> 19대 문재인 정부 국정과제 .....	92
<표 3-3> 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」 .....	30
<표 3-4> 4대강 비점오염관리 종합대책(2004.03) .....	31
<표 3-5> 각 부처별 비점오염원 관리정책 .....	32
<표 3-6> 도시분야 추진대책 .....	36
<표 3-7> 서울특별시 물순환 목표 .....	38
<표 3-8> 토지이용 유형별 빗물 분담량 .....	39
<표 3-9> 서울, 남양시, 수원, 광주, 대전 물순환 관련 조례 .....	41
<표 3-10> 물순환 관련법 및 제도 .....	42
<표 3-11> 관련법에서의 빗물관리 내용 .....	46
<표 3-12> 빗물관리 조례 .....	47
<표 3-13> 관련지침에서의 빗물관리 내용 .....	48
<표 3-14> 서울시, 환경부, 국토해양부 빗물관리시설에 대한 내용 .....	49
<표 3-15> 담당부처별 LID 관련 법률 및 기준 .....	50
<표 3-16> LID 관련제도 .....	51
<표 3-17> 녹색건축 인증기준(물순환관리 부문 세부평가 기준표) .....	53
<표 4-1> 생태계를 고려한 유지유량 산정기준 .....	58
<표 4-2> 유속의 크기에 따른 흐름의 상태 .....	59

<표 4-3> 하천경관을 고려한 유지유량 산정기준 .....	60
<표 4-4> 친수를 고려한 유지유량 산정기준 .....	60
<표 5-1> 개발에 따른 물순환률 변화 연구 사례 .....	71
<표 5-2> 강우관측소 현황 .....	73
<표 5-3> 수원강우관측소 최근 10년 강우분석 .....	73
<표 5-4> Percentile별 강우량 .....	74
<표 5-5> 물순환 관리 대상지 면적 .....	78
<표 5-6> 시설분류별 물순환 관리대상지 면적 및 비율 .....	79
<표 5-7> 서울시 건축면적(2010년 기준) .....	80
<표 5-8> 동측지구 면적대비 건물면적 추정 .....	81
<표 5-9> 용도지역별 건폐율 및 용적율 기준 .....	81
<표 5-10> 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙 제4조 .....	82
<표 5-11> 동측지구 저장시설 가능 용량 .....	83
<표 5-12> 저장시설 빗물저장능력 모의를 위한 기초 가정 .....	83
<표 5-13> 독립강우에 대한 이용(저장)시설 저장고 계산 예(건축면적x0.05) .....	85
<표 5-14> 저장시설에 따른 손실고 및 저장고 .....	86
<표 5-15> 동측지구 저장시설 관리량 산정 .....	86
<표 5-16> 동측지구 침투관리 대상지 선정 .....	88
<표 5-17> 동측지구 침투관리량 산정 .....	89
<표 5-18> 동측지구 물순환 목표 및 관리 필요량 .....	90
<표 5-19> 1ha당 물순환 관리량 및 분담량 .....	91
<표 5-20> 소규모 주택단지 친환경 계획 기준 .....	93
<표 5-21> 친환경시범마을 허용용도, 건폐율, 용적률, 높이 .....	94
<표 5-22> 소규모 주택단지 면적 개요 .....	94
<표 5-23> case별 빗물 이용 및 침투관리량 .....	95
<표 5-24> 친환경시범마을 case별 빗물 이용 및 침투시설 설치수량 .....	97
<표 5-25> 친환경시범마을 case별 빗물 이용 및 침투시설에 따른 관리량 .....	97

<표 5-26> 세대당 case별 빗물 이용 및 침투시설 설치수량 ..... 99

<표 5-27> 세대당 case별 빗물 이용 및 침투시설에 따른 관리량 ..... 100

<표 6-1> 토양별 침투 매개변수 ..... 108

<표 6-2> 토지이용별 저류깊이(Rossmann, 2010) ..... 109

<표 6-3> 토지이용별 조도계수(CDM Smith, 2013) ..... 109

<표 6-4> 지속시간별 확률강우량 ..... 110

<표 6-5> 분석 대상에 따른 모의 조건 ..... 111

<표 6-6> 축적과 유실에 관한 수식과 변수(강태욱과 이상호, 2014) ..... 112

<표 6-7> 저영향개발 기법 비점오염원 처리효율 ..... 117

<표 6-8> 빗물 시범단지 계획 ..... 120

<표 6-9> 단기 홍수 사상에 대한 침투유량 및 유출량 비교 ..... 122

<표 6-10> 단기 강우 사상에 대한 물수지 분석 결과 ..... 124

<표 6-11> 단기 강우 사상에 대한 유출부 발생 부하량 ..... 128

<표 6-12> 장기 유출 모의에 대한 물수지 변화 ..... 129

<표 6-13> 장기 유출 모의에 대한 물수지 변화 ..... 132

<표 6-14> 단기 강우 사상에 대한 물 순환 분석 결과 ..... 137

<표 6-15> 비점오염원 처리 분석 결과 ..... 140

<표 6-16> 단기 강우 사상에 대한 물수지 분석 결과 ..... 144

<표 7-1> LID 설치가능시설에 대한 표준 토지이용 ..... 151

<표 7-2> DB항목 ..... 156

<표 7-3> 선정된 LID 요소기술 최종 DB ..... 157

<표 7-4> 개발전 후 토지이용계획도 ..... 162

<표 7-5> 입력자료 ..... 165

<표 7-6> LID 적용 결과 ..... 166

<표 8-1> 투수성능 지속성 검증시험의 인증시스템 ..... 170

<표 8-2> 한국화학융합시험연구원(KTR) ..... 170

<표 8-3> 한국건설품질시험연구원(KTI) ..... 171

<표 8-4> 삼우교역(시험장비 제작) ..... 171  
<표 8-5> 실증단지 추진체계(안) ..... 172

## 그림 목 차

<그림 1-1> K-LIDM 기상자료 입력창 .....	5
<그림 1-2> 친환경시범마을 위치도 .....	6
<그림 2-1> 도심수로의 수자원 확보 사례 .....	16
<그림 2-2> 송산그린시티 서측지구 물순환 세부계획(안) .....	16
<그림 2-3> 송산 그린시티 동측지구 우수 배수체계의 개선(이상진 등, 2014) .....	19
<그림 2-4> 계획 변경 전·후의 지점별 수문곡선(강태욱 등, 2015) .....	20
<그림 2-5> DEM 및 위성영상을 활용한 기존하천 분석 .....	22
<그림 2-6> 물-에너지 Cloud System .....	23
<그림 2-7> 함마르미 생태도시 .....	24
<그림 2-8> 싱가포르 마리나 베이 .....	25
<그림 2-9> 미국 텍사스 샌안토니오 .....	26
<그림 2-10> 영국 런던 도크랜드 .....	27
<그림 4-1> 저영향개발의 목표 수립 .....	55
<그림 4-2> 물순환 목표 .....	56
<그림 4-3> 빗물이용의 개념 .....	66
<그림 4-4> 빗물이용의 효과개념도 .....	67
<그림 4-5> 강변여과수 개략도 .....	69
<그림 5-1> 강우관측소 위치도 .....	72
<그림 5-2> 수원관측소 최근 10년간 강수량 분석(2006-2015) .....	74
<그림 5-3> 물순환 관리필요량 산정 모식도 .....	75
<그림 5-4> 동측지구 토지이용계획도 .....	77
<그림 5-5> 시설분류별 물순환 관리대상지 비율 .....	79
<그림 5-6> 독립강우에 대한 저장시설 계산 예 .....	84
<그림 5-7> 시간당 유출저감능력 산정 모식도 .....	87

<그림 5-8> 침투시설의 필요 빗물관리능력 산정 모식도 .....	89
<그림 5-9> 친환경시범마을 위치 현황 .....	92
<그림 5-10> 친환경시범마을 건축 예시도 .....	96
<그림 5-11> 소규모 주택 예시도 .....	98
<그림 6-1> 송산그린시티 지형 고도 자료(DEM) .....	103
<그림 6-2> 송산 그린시티 동측지구 배수 유역도 .....	104
<그림 6-3> 송산그린시티 동측지구 토지이용 계획도 .....	105
<그림 6-4> SWMM-LID의 지표면 유출 개념도 .....	106
<그림 6-5> EPA SWMM 모형 .....	106
<그림 6-6> 송산그린시티 동측지구의 SWMM 구축 .....	107
<그림 6-7> 송산그린시티 동측지구의 관망 설계 .....	110
<그림 6-8> 동측지구 위치 현황 .....	113
<그림 6-9> 송산 그린시티 동측지구 개발 계획 .....	114
<그림 6-10> 동측지구 우수배제 기존 및 개선 계획 .....	115
<그림 6-11> LID 적용을 위한 주요 개선 계획 .....	116
<그림 6-12> 주수로 비점오염원 저감 흐름도 .....	116
<그림 6-13> 주수로 저류지 합류지점 .....	117
<그림 6-14> LID 반영한 우수계획 평면도 .....	118
<그림 6-15> 빗물시범단지 .....	119
<그림 6-16> 동측지구 유출부 위치 .....	121
<그림 6-17> 단기 홍수 사상에 대한 계획 변경 전후의 유출 비교 .....	122
<그림 6-18> 단기 강우 사상에 대한 계획 변경 전·후의 유출 비교 .....	123
<그림 6-19> 단기 강우 사상에 대한 물수지 변화 분석 .....	124
<그림 6-20> 수질모의 분석 구간 위치도 .....	125
<그림 6-21> 변경 전 상태에 대한 유출 모의 결과 .....	126
<그림 6-22> 변경 전 상태에 대한 SS 모의 결과 .....	126
<그림 6-23> 변경 후 상태에 대한 유출 모의 결과 .....	127

<그림 6-24> 변경 후 상태에 대한 SS 모의 결과 .....	127
<그림 6-25> 장기 유출 모의에 의한 물순환 변화 분석 .....	129
<그림 6-26> 기존 계획의 분석 지점별 유출량(장기 모의) .....	130
<그림 6-27> 개선 계획의 분석 지점별 유출량(장기 모의) .....	131
<그림 6-28> 장기 유출 모의에 의한 물순환 변화 분석 .....	132
<그림 6-29> 기존계획의 분석 지점별 SS 부하량(장기 모의) .....	133
<그림 6-30> 개선계획의 분석 지점별 SS 부하량(장기 모의) .....	134
<그림 6-31> 주수로 유역 관거 종단 구분 .....	135
<그림 6-32> 유역별 우수관거 종단 .....	136
<그림 6-33> 동측지구 주수로 유역 구분 .....	137
<그림 6-34> 주수로 물수지 분석 그래프 .....	138
<그림 6-35> 주수로 강우-유출 곡선 .....	138
<그림 6-36> 유역별 강우-유출 곡선 .....	139
<그림 6-37> 빗물시범단지의 우수관리 메카니즘 .....	141
<그림 6-38> 홍수시 검토 대상 우수관거 종단 .....	142
<그림 6-39> 홍수시 우수관거 종단별 최대 수심 .....	143
<그림 6-40> 단기 강우 사상에 대한 유출부 유출 .....	144
<그림 6-41> 단기 강우 사상에 대한 물수지 분석 결과 .....	145
<그림 6-42> 비점오염 저감 분석 결과 .....	146
<그림 6-43> 빗물이용시설의 물수지 .....	147
<그림 7-1> 토지용도 시설별 표준 토지이용 .....	152
<그림 7-2> 토지용도 시설별 표준 LID 조합 Set 예시 .....	153
<그림 7-3> LID 요소기술 조합 Set .....	154
<그림 7-4> 최종 DB 구축 화면 .....	158
<그림 7-5> 비용-편익 분석 .....	159
<그림 7-6> 계획모델 Activity Diagram .....	160
<그림 7-7> 부여규암지구 사업대상지 위치도 .....	162

<그림 7-8> 기초자료입력 화면 .....	163
<그림 7-9> LID 요소기술 적용화면 .....	164
<그림 8-1> 투수블록 검증시험 결과 .....	169
<그림 8-2> 실증단지 연계운영 방안 .....	173

# 1. 총론

## 1.1 목적

본 가이드라인은 수변 친수도시의 물순환에 대하여 소개하고 이를 계획 및 설계해야 하는 경우 검토해야 하는 제도적 기술적 사항을 제공하는데 목적이 있다.

최근의 도시개발에 있어서 환경성을 강화하고 지속가능한 발전을 도모하기 위한 움직임이 활발하다. 이제까지의 도시환경은 계속되는 개발로 인해 불투수 포장면적이 증가하고, 자연의 순환성이 파괴된 채 생태계 기반으로서의 토양은 훼손되는 등 총체적으로 도시생태계에 좋지 않은 영향을 주었다. 특히 도시개발에 의한 유출량 증가, 증발산 및 침투감소 등으로 자연적인 물순환 체계가 파괴되면서 이를 극복하기 위한 조치들이 활발히 논의 되어왔다.

독일이나 일본 등 선진국에서는 지난 80년대 이후부터 도시지역에 빗물을 지역적으로 분산시켜 지하로 침투시키는 새로운 방법과 시설들이 개발되었다. 이는 곧 지속가능한 도시개발 개념과 친환경 주거·건축이라는 방향과도 일맥상통하고 있다. 지역 내에서 빗물을 침투·저류함으로서 물순환 개선 뿐 아니라 건강한 토양기반을 조성한다는 것과 다양한 생물이 함께 서식할 수 있는 공간을 조성한다는 면에서도 물순환 구축은 그 의미가 크다. 또한 지역 내 지하수 함양 뿐 아니라 하수관거나 정화시설, 배수시설에 부하를 경감시키는 등 경제적으로나 생태적으로 가치 있는 방안이다.

도시지역의 급속한 발달과 함께 불투수면적 및 하수보급률 증가로 인한 지하수 함양 감소, 용수 사용량 증가 및 무분별한 지하수 개발 등으로 인한 하천유량 감소로 도시하천은 수질악화, 유량부족으로 인한 생물 서식환경 악화와 환경기능을 상

실하게 되었다. 또한 1960년대 이후 하천정비사업은 하천생태복원과 거리가 먼 홍수방지 등의 치수 차원에서 정비되어 왔고, 산업화 팽창시기에 도시를 관통하여 흐르는 중소하천은 도시의 과밀화 문제를 해소하는 수단으로서 도로와 주차장, 건물 등으로 전용하기 위하여 전면 혹은 부분 복개되어 사라져 버리게 되었다.

최근들어 자연형 생태하천에 대한 관심이 고조되면서 자연하천으로의 복원사업이 활발히 진행되고 있다. 2005년 시행된 청계천 복원사업은 도시지역 내 물길의 복원이 아닌 인공수로로의 복원이라는 비판에도 불구하고 매년 2천만명 이상이 탐방한 것으로 조사되었으며, 하천복원사업의 기폭제가 되어 서울시를 비롯한 여러 지자체에서도 사업이 추진 또는 계획되었다. 이러한 도시하천 복원사업은 생활수준 향상 등과 함께 하천환경 및 생태보전과 복원에 대한 욕구가 증진되었기 때문으로 볼 수 있다.

한편, 최근 기후변화에 대응하기 위한 저탄소 녹색도시의 모색, 경제성장에 따른 삶의 질 향상에 대한 요구 등 기후적, 사회적, 경제적 변화는 도시공간에서 물과 수변공간의 가치에 대해서 새로운 패러다임의 모색을 요구하고 있다. 따라서 향후 도시의 경쟁력을 높이고, 삶의 환경을 개선하기 위해서는 도시 내에서 수변공간의 가치를 재인식하고 계획의 기초를 새롭게 정립할 필요가 있다. 이는 도시공간에서 수변공간 활용의 패러다임이 변화되는 것을 의미하며 도시의 새로운 패러다임으로써 강을 중심으로 한 도시공간의 재생 등이 제시되고 있다고 할 수 있다. 이는 향후 도시경쟁력을 높이고 도시민들의 삶의 환경을 개선하기 위해서는 도시 내에서 수변공간의 가치를 재인식하고, 계획의 기초를 새롭게 정립할 필요가 있다. 따라서 중앙정부차원에서는 좋은 수변공간을 디자인하기 위한 정책의 기본 방향 제시가 필요하며, 지방자치단체와 계획·설계수립 주체는 이를 바탕으로 한 세부계획수립과 체계적인 집행이 필요하다.

그러나 이러한 수변공간이 가지는 의미와 가치에도 불구하고 우리나라의 경우 수변공간은 치수(治水)와 이수(利水) 등 기능적인 목적을 위주로 관리되고 사용되어 왔으며, 시민들의 이용을 위한 친수(親受)기능으로서의 활용이 부족했고, 접근

성도 떨어지면서 도시 공간과는 단절되어왔다. 또한, 토지의 효율과 개발가치를 극대화하기 위한 개발이 수변공간 주변에 이루어짐에 따라 고밀도로 늘어난 아파트나 고층고밀로 개발된 업무시설들이 들어섰으나, 정작 시민들은 수변공간에 가깝게 다가가지 못하고 멀리서 바라보는 대상이 되어왔다. 또한 제도적으로는 국토법, 하천법 등 관련제도와 지자체, 관련부처의 운영측면에서 통합적으로 관리되지 못하여 왔으며, 결과적으로 계획, 디자인 측면에서 도시공간과 연계하여 계획되지 못하였다. 이러한 상황은 공간구조, 토지이용, 경관 및 건축/시설물, 생태환경 등 분야별로 단절성, 접근성부족, 폐쇄성, 획일성, 연계성부족, 몰개성, 위압성, 노후화, 비환경성, 인위성 등의 문제를 야기했다. 특히 도시공간과의 단절, 성냥갑아파트 조성, 환경 훼손, 고밀개발에 대한 우려가 심각한 상황에 놓여있다. 또한 제도적으로는 하천구역과 하천주변지역인 친수구역, 수변구역에 대한 정의는 내려져 있으나, 이들을 포괄하는 수변공간에 대한 정의가 내려져 있지 않아 통합적 계획 수립 자체가 힘들뿐 아니라, 친수구역, 수변구역, 하천구역 등을 관리하는 법과 담당부처가 모두 다른 상황으로 계획과 공간의 정합성을 확보하기가 어렵다는 문제가 있다.

이에 국토해양부(현 국토교통부)에서는 4대강 살리기 이후 확보된 유량을 활용하여 도시의 녹생공간과 수변공간이 어우러진 한국형 생태도시 모델을 구축하기 위하여 “물순환형 수변도시 시범사업”으로 한강, 금강, 낙동강 및 영산강수계의 4개소를 선정하여 사업을 시행중에 있다. 이는 건전화된 하천에 유지유량을 공급하고 도심지 물순환시스템의 개선을 위해 추진되고 있다. 이처럼 수변도시, 친수도시의 물순환 개념이 점차 도입되고 있는 시점에서 물순환의 계획 및 설계에 대한 가이드라인이 존재하지 않아 도시정비 후 하천 건전화등의 문제가 지속적으로 발생하고 있다. 따라서 본 가이드라인은 수변 및 친수도시를 계획할 때 디자인측면이 아닌 실제 물순환의 계획 및 설계에 필요한 내용을 수록하여 향후 친수도시 설계에 적용될 수 있을 것이다.

## 1.2 지구단위계획 시행지침

지구단위계획 시행지침은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제52조에 의거한 구역 내의 용도지역·지구, 도시계획시설, 건축물의 대지·용도·밀도·형태 및 공간 활용 등에 관하여 지구단위계획 결정조서 및 결정도에 표시되지 아니하거나 세부설명이 필요한 건축 및 경관 관련 시행지침을 별도로 규정함을 목적으로 한다. 이러한 지구단위계획 시행지침은 지구단위계획구역 내 모든 건축행위(건축물 및 구조물의 신축, 증축, 개축, 재축, 대수선, 이전 등)와 지구단위계획 도면 및 지침에 표시되는 모든 관련행위에 대하여 적용한다.

수변 친수도시의 물순환에 대한 계획 및 설계에는 지구단위계획 시행지침에 물순환 및 빗물관리 기준을 추가하여 시행하는 것이 중요하다. 지구단위계획 시행지침에 기준을 제시한 사례로는 한국토지주택공사(LH)의 아산탕정지구가 있다. 아산탕정 신도시는 신도시 개발에 저영향개발 기법을 적용한 첫 번째 사례이며, 지구단위계획지침에 토지이용별 빗물관리 기준을 명시하고 있다. 아산탕정지구는 LID 분산식 빗물관리 대지조성공사 시범지구를 포함하는 신도시로 LID 분산형 빗물관리시설을 설치하도록 하였다. 빗물순환 복원, 빗물이용 확대, 비점오염원관리 및 빗물유출 저감 등을 위해 주요 토지이용계획별 분산형 빗물관리시설의 설치기준이 '09년 12월에 제1종 지구단위계획에 반영되었다. 이는 아산탕정 택지개발사업 제1종 지구단위계획 저탄소 녹색도시 조성 시행지침의 일부이다(국토해양부, 2009 ; 현경학 등, 2010). 이 지구단위계획지침은 아산탕정지구 분산형 빗물관리 도시조성공사 시범지구인 충남 아산시 탕정면 일원(1,753,385㎡) 외에 아산탕정 신도시 전 지구에 적용되며, 지침에서는 불투수면 등을 기준으로 하여 초기오염우수를 관리하기 위해 5mm 이하의 강우는 침투시키고, 10~50mm의 강우를 저류하여 이용하도록 하고 있다. 이는 주택, 공원 등을 포함한 국내 최초의 LID 분산형 빗물관리 기준수립 및 적용 사례이다[그림 1-1].



[그림 1-1] K-LIDM 기상자료 입력창

아산탄정지구와 같이 지구단위계획 시행지침에 물순환, 빗물순환복원 및 빗물이용 확대 방안이 지구단위계획에 반영된다면 건강한 물순환을 위한 도시를 계획하는데 유용하게 적용될 것이다. 최근에 K-water에서 개발하고 있는 송산그린시티의 경우에도 지구단위계획 시행지침에 옥외주차장의 경우 30% 이상을 투수성 바닥 포장재나 잔디블록으로 시공하여 친환경적으로 계획하도록 하고 있다.

송산그린시티 개발사업 지구단위계획 시행지침에서 특별계획구역으로 지정된 친환경시범마을은 [그림 1-2]와 같이 면적 120천㎡, 계획인구 243세대로 계획되어 있는 단지이다. 이 단지의 경우 자원순환에 관한 사항에 투수면적, 우수활용시설 및 우수 유출 저감시설에 대한 기준을 다음과 같이 제시하고 있다.



[그림 1-2] 친환경시범마을 위치도

### 1.2.1 투수면적 확보에 관한 사항

“투수성 포장”이라 함은 투수성 콘크리트 등의 투수성 포장재료를 사용하여 포장하거나, 잔디블록 등과 같이 포장면 상단에서 지하의 지반으로 물이 침투될 수 있는 조립식 포장방식을 사용하여 포장하는 것을 말한다. 다만, 투수성포장이더라도 경사도가 3%를 초과하는 곳은 불투수성포장으로 본다.

투수면적 확보를 위해 주차장, 단지내 보도에 투수성 포장을 원칙으로 하며, 단지내 총 포장면적의 30% 이상을 투수성 포장으로 한다.

### 1.2.2 우수활용시설에 관한 사항

우수활용시설은 우수저류시설, 우수정화시설, 우수재활용시설 등의 설비로 분류되며, 조성시에는 가급적 옥외 친수공간을 설치하도록 권장한다. 주택용지 내 우수 저류소 및 저류지는 「친환경건축물 인증기준」의 평가항목‘우수이용’의 1급 기준에 맞게 조성하도록 하며, 오염되거나 혼탁한 우수가 지하저류조로 유입되는 것을 방지하기 위하여 저류조 설계시 장치형 전처리, 식생여과 등 우수전처리시설

을 설치하여야 한다.

[표 1-1] 우수이용 평가 기준 (친환경건축물 인증 기준 2010년)

구분	계획 기준
1급 기준	우수저수조 또는 저류지 $= \text{건축면적}(\text{m}^2) \times 0.05$ 또는 $\text{대지면적}(\text{m}^2) \times 0.02(\text{m})$ 이상 설치 우수를 살수용수, 조경용수, 청소용수 등으로 사용

### 1.2.3 우수 유출 절감시설에 관한 사항

단지내 우수 유출 절감시설은 「친환경건축물 인증기준」의 평가항목 '우수부하 절감대책'의 1급 기준에 맞게 조성하도록 한다.

[표 1-2] 우수부하 저감대책의 타당성 평가 기준 (친환경건축물 인증 기준 2010년)

구분	계획 기준
1급 기준	우수유출 저감시설을 설치하고 그 시설로 우수가 유입될 수 있는 면적(집수면)이 대지 전체면적의 30% 이상

개발예정 지구에는 이처럼 지구단위계획 시행지침에 물순환 관련 내용이 추가된다면 건전한 물순환 설계를 위한 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

## 2. 수변 · 친수도시 개요

### 2.1 용어 해설

- 물순환 체계: 강우가 발생하여 지표면에서 유출되고 대기 중에서 증발되어 다시 강우로 나타나는 순환체계를 의미한다. 이 과정에서 지표유출과 식물에 의한 증발산, 토양침투, 저류, 지하수·하천수로 분산 이동된다.
- 분산식 빗물관리: 유출이 발생하는 지역 내에서 빗물의 증발산, 침투, 저류를 도모함으로써 자연적인 물순환이 이루어지도록 처리하는 방식이다. 자연소재의 침투·저류시설을 위주로 설치하고, 유출수의 수질정도에 따라 전처리시설을 연결한다.
- 불투수포장율: 개별필지에서 건축면적과 외부공간의 도로, 주차장, 기타 부속 건물 등 콘크리트나 아스팔트로 포장된 면적 비율을 의미한다. 이때 지붕 녹화된 건축면과 투수포장재로 조성된 주차면 등은 불투수포장 면적에서 제외된다.
- 빗물저류시설: 빗물의 유출을 일시 중단시켜 지표면이나 지하부에 저류하는 시설이다. 외부공간에 조성되는 저류연못이나 빗물이용을 목적으로 설치하는 저장조, 학교나 공원이하에 조성되는 저류시설 모두를 포함한다.
- 빗물침투시설: 토양으로 빗물을 침투시킬 목적으로 설치되는 시설로서 지표면에 개방된 형태와 지하에 매설되는 형태로 구분된다. 주로 개거형 침투시설은 침투과정에서 증발산도 함께 일어나며 토양과 식물 등에 의해 자연정화 기능도 갖게 된다. 예로 잔디 블럭포장, 잔디수로, 투수연못, 투수구덩이-자갈층조합시설 등이 이에 해당한다. 지하매립형태의 침투시설은 침투트렌치, 침투조, 유공관-자갈층조합시설 등이 있다.
- 생태적 도시개발: 도시를 개발하는데 있어서 최대한 자연이 갖는 안정성, 순환성, 다양성을 확보할 수 있도록 개발하는 방식을 말한다. 이를 위해 개발과정에서

도시의 녹지·물·토양·에너지·폐기물 부문계획과 관련, 자연계에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 접근방법을 채택하게 된다.

- 생태면적률: 생태면적률은 도시공간의 생태적 건전성 유지·개선을 유도하기 위한 경계획지표의 하나로서 전체 공간계획 대상 면적 대비 자연의 순환기능을 가진 면적의 백분율로 나타낸 것이다. 주로 토양과 물순환 관점에서 공간의 유형과 가중치를 구분하여 생태면적율을 산정한다.

- 수문변화: 도시개발로 인해 불투수포장면이 증가하면서 자연계에서 일어나는 것보다 침투유출량 및 총유출량이 증가하고 침투유출이 발생하는 시간(침투시간)이 감소되는 변화를 의미한다.

- 지원수단: 법적·제도적으로 체계를 갖추어야 하는 사항은 아니나 분산식 빗물 관리를 수행할 때 요구되는 각종 지침 및 평가분석에 기초가 되는 자료, 관련시설 및 기술 등을 의미한다.

- 최종유출허용량: 개발지역에서 최종적으로 연결되는 공공 우수관거나 하천에 유출 또는 방류되는 양을 제한하는 개념이다. 최종유출허용량의 산정은 개발 전 최종지점의 관거유출량 또는 하천방류량에 개발로 인해 불가피하게 발생하는 유출증가분을 합하여 산정하게 된다.

- 친수구역: 국가하천의 하천구역 경계로부터 양안 2킬로미터 범위 내의 지역을 대통령령으로 정한 비율(50%) 이상 포함하여 제4조에 따라 지정된 구역

- 친수구역 조성사업: 친수구역을 국가하천과 조화롭게 주거·상업·산업·문화·관광·레저 등의 기능을 갖추도록 조성·운영하는 사업

- 사전환경성검토: 환경에 영향을 미치는 행정계획의 수립 또는 개발사업(행정계획의 수립이 요구되지 아니하는 개발사업)의 허가·인가·승인·면허·결정·지정 등(이하 “허가등”)을 함에 있어서 해당 행정계획 또는 개발사업에 대한 대안의 설정·분석 등 평가를 통하여 미리 환경측면의 적정성 및 입지의 타당성 등을 검토하는 것

- 사전재해영향성검토: 개발계획수립 초기단계에서 재해영향성에 대한 검토를 받는 절차를 거치도록 하여 개발로 인하여 발생할 수 있는 재해를 예방하는 것
  - 환경영향평가: 사업의 시행으로 인하여 자연환경, 생활환경 및 사회·경제 환경에 미치는 해로운 영향을 예측·분석하고 이에 대한 대책을 강구하는 것
  - 갈수량: 1년을 통하여 355일은 이보다 더 작지 않은 유량, 과거 자연상태하천에서 갈수기에 흘렀던 유량으로서 자연과 사람이 공유할 수 있는 최소한의 유량
  - 기준갈수량: 10년 동안 1위 또는 2위에 해당하는 유량이나 재현기간 10년에 해당하는 유량
  - 평균갈수량: 대상기간 동안의 매년 갈수량을 산술평균한 값
  - 이수유량: 음용수, 공업용수, 산업용수, 농업용수 등 도수하여 사용할 유량
  - 유지유량: 하천에서 유수의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 최소한의 유량, 일반적으로 자연갈수량과 하천의 자연적 기능을 유지하기 위한 유량 중 최대치
  - 친수/경관유량: 사람이 하천에서 물과 접하여 친근함을 느낄 수 있는 유량(시각, 청각, 후각, 촉각)
  - 관리유량: 하천유지유량과 이수유량의 합

## 2.2 수변 · 친수도시

현재까지 수변도시 및 친수도시에 대한 명확한 정의는 이루어져 있지 않은 실정이나 친수구역 활용에 관한 특별법에서 친수구역을 “국가하천의 하천구역 경계로부터 양안 2킬로미터 범위 내의 지역을 대통령령으로 정한 비율(10만 제곱미터, 3만 제곱미터) 이상 포함하여 지정된 구역이라 정의하고 있다.

도시 수변공간(Urban waterfront)의 사전적 의미는 ‘물과 수변’이 갖는 자연 및 생태 환경과 ‘도시’의 기능 및 활동이 결합된 일상의 공간을 말한다. 워터프런트(Waterfront)라는 말은 1980년대 중반부터 일반적으로 사용했는데, 당시에는 연안

역, 코스탈 에어리어(Coastal area), 베이 에어리어(Bay area), 수제역, 수제공간, 수변 리버 프론트, 임해부 등 과 같은 유사어도 빈번하게 사용되었지만(심기섭, 2006), 근래에 와서는 도시 내에 있는 바닷가, 강가, 호수가, 하천가 등 모든 부류의 수변공간을 통칭하는 것으로 사용되기도 한다(橫內憲久, 2000). 권영상과 조민선(2010)은 수변공간을 하천구역의 일부인 제방터 및 홍수터와 하천구역 안쪽의 도시지역 중 일부범위(500m~1km)까지를 포함한다고 제안하였다. 정석희(2003)는 수변공간을 지리적·공간적 의미로 다음과 같이 정의하였다.

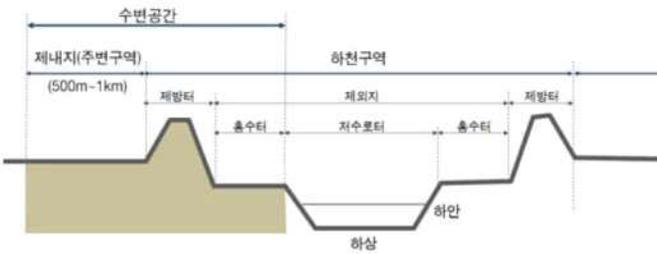
- 지리적 의미: 수제선(水際線)을 사이에 두고 양측 일정범위의 수역과 유역이 합쳐진 대상(帶狀)공간

- 공간적 의미: 수영 및 낚시 등 수상·수중 화동의 레크리에이션기능, 그리고 생태계 보전 및 자연경관을 통한 심리적·정서적 만족기능 등으로 환경형성기능과 친수기능을 포괄하는 공간

수변공간의 범위는 제내지 도시지역, 제방, 제외지 둔치공간으로 제시한다. 한편 수변공간 계획 및 설계의 대상은 공간구조, 토지이용, 경관 및 건축물/시설물, 환경시설물이 해당된다. 공간구조로는 가로구조, 도심과의 관계특성, 주요공간시설물의 분포, 토지이용은 하천변 용도지역, 용도지구, 필지규모, 밀도, 경관 및 건축물/시설물은 건축물의 배치 및 입면, 랜드마크, 조망축 및 조망점, 동경축, 조경시설물, 환경시설물은 공원, 녹지의 분포, SOC시설, 방재시설 등이 해당된다. 향후 도시경쟁력을 높이고 도시민들의 삶의 환경을 개선하기 위해서는 도시 내에서 수변공간의 가치를 재인식하고, 계획의 기초를 새롭게 정립할 필요가 있다. 따라서 중앙정부차원에서는 좋은 수변공간을 디자인하기 위한 정책의 기본방향 제시가 필요하며, 지방자치단체와 계획·설계수립 주체는 이를 바탕으로 한 세부계획수립과 체계적인 집행이 필요하다. 그러나 이러한 수변공간이 가지는 의미와 가치에도 불구하고 우리나라의 경우 수변공간은 치수(治水)와 이수(利水) 등 기능적인 목적을 위주로 관리되고 사용되어 왔으며, 시민들의 이용을 위한 친수(親受)기능으로서의 활용이 부족했고, 접근성도 떨어지면서 도시 공간과는 단절되어왔다.

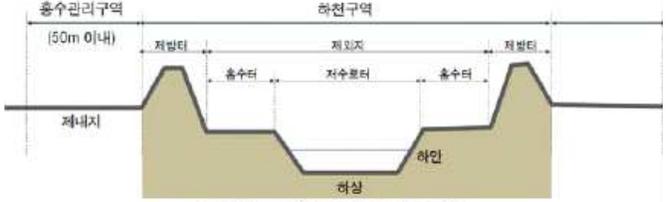
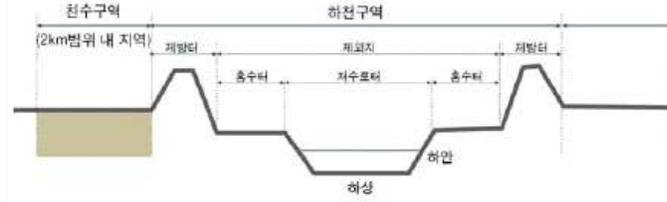
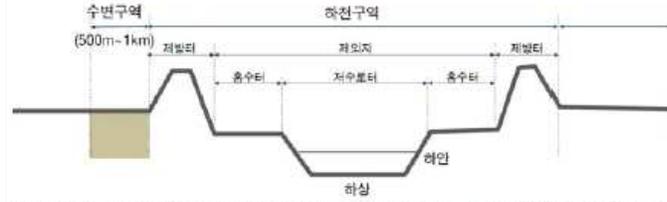
권영상과 조민선(2010)은 기존의 하천법, 친수구역 특별법 및 한강수계법에서 제시한 하천구역 및 친수구역을 [표 2-2]와 같이 공간적 범위로 분류하였으며, 수변공간에 대한 공간적 분류가 따로 제안되어 있지 않은 상황에서 [표 2-1]과 같이 수변공간의 공간적 범위를 제안하였다. 수변공간은 하천구역의 일부인 제방터 및 홍수터와 하천구역의 안쪽의 도시지역 중 일부범위(500m~1km)까지를 포함하는 지역으로 제안하였으며, 도시경관 개선, 도시활성화 및 도시공간 이용확대를 제안 이유로 설명하였다.

[표 2-1] 수변공간의 범위

구분	관련 법	공간적범위	제안취지
수변 공간	본 연구 제안	 <p style="text-align: center;">본 연구에서 제안하는 수변공간의 범위</p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수변공간 : 하천구역의 일부인 제방터 및 홍수터와 하천구역 안쪽의 도시지역 중 일부범위 (500m~1km) 까지를 포함</li> <li>· 수변공간 계획 및 설계 대상 : 공간구조(가로구조, 도심과의 관계특성, 주요공간시설의 분포), 토지이용(하천변 용도지역, 용도지구, 필지규모, 밀도), 경관 및 건축물/시설물(건축물의 배치 및 입면, 랜드마크, 조망축 및 조망점, 통경축, 조경시설물), 환경시설물(공원, 녹지의 분포, SOC시설, 방재시설)</li> </ul>	<p>도시경관 개선, 도시활성화(재생), 도시공간 이용확대</p>

출처 : 수변공간 활성화를 위한 도시계획 및 설계방향(권영상, 2010)

[ 표 2-2 ] 수변공간 관련 유사개념 비교

구분	관련법	공간적 범위	제안 취지
하천구역	하천법	 <p style="text-align: center;">하천법 상의 하천구역 범위</p> <p>홍수관리구역 : 하천기본계획에 완성제방(하천시설의 설치계획을 수립함에 있어서 기준이 되는 홍수량만큼의 물이 소통하는데 필요한 단면을 가지고 있어서 구조적 안정성이 이미 확보된 제방을 말한다)이 있는 곳은 그 완성제방의 부지 및 그 완성제방으로부터 하심축의 토지(하천법 제10조 1항)</p>	하천사용의 이익증진, 하천유수로 피해 예방, 하천의 적절한 관리
친수구역	친수구역특별법	 <p style="text-align: center;">친수구역특별법 상의 친수구역 범위</p> <p>친수구역 : 국가하천의 하천구역 경계로부터 양안 2킬로미터 범위 내의 지역(친수구역 활용에 관한 특별법 제2조 2항)</p>	국가하천 주변의 체계적 발전도모
수변구역	한강수계법	 <p style="text-align: center;">한강수계 상수원수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률상의 수변구역</p> <p>수변구역 :            1. 특별대책지역은 그 하천·호소의 경계로부터 1킬로미터 이내의 지역            2. 특별대책지역 외의 지역은 그 하천·호소의 경계로부터 500미터 이내의 지역            (한강수계 상수원수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률 제4조 1항)</p>	상수원 수질개선

출처: 수변공간 활성화를 위한 도시계획 및 설계방향(권영상, 2010)

## 2.3 물순환 수변도시 정의

현재까지 수변도시 및 친수도시에 대한 명확한 정의는 이루어져 있지 않은 실정이나 「친수구역 활용에 관한 특별법[2010.12.29. 제정/2011.4.30. 시행]」에서 친수구역을 “국가하천의 하천구역 경계로부터 양안 2킬로미터 범위 내의 지역을 대통령령으로 정한 비율(10만 제곱미터, 3만 제곱미터) 이상 포함하여 지정된 구역이라 정의하고 있다. K-water에서 정의하는 수변(水邊, Waterfront)도시란 댐, 보, 호수, 하천, 항구 등 물을 접하고 있고 물을 매개로 주거, 레저, 문화 공간 등의 가치를 부여해 개발하는 도시 지역으로 시민의 삶의 질을 높이는 차세대 도시 개발 개념으로 정의하고 있다.

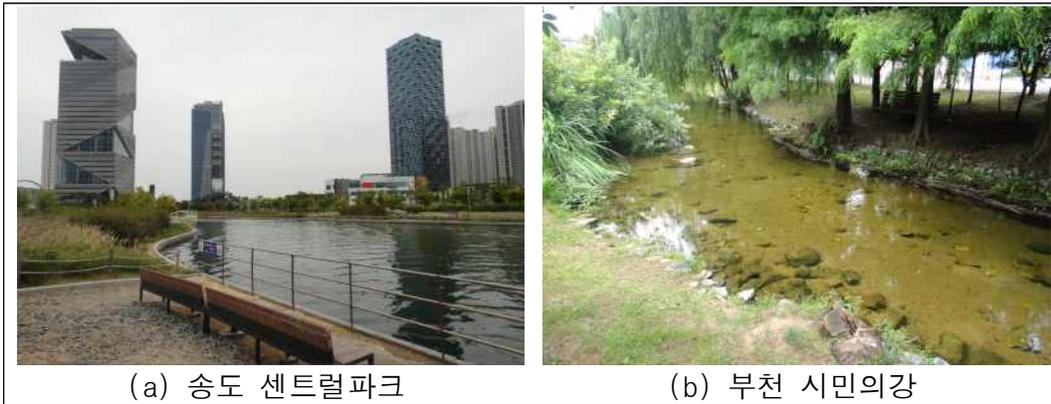
관련연구로는 수변도시보다는 수변공간에 대한 연구 및 정의가 주로 이루어지고 있다. 도시 수변공간(Urban waterfront)의 사전적 의미는 ‘물과 수변’이 갖는 자연 및 생태 환경과 ‘도시’의 기능 및 활동이 결합된 일상의 공간을 말한다. 워터프런트(waterfront)라는 말은 1980년대 중반부터 일반적으로 사용하였다. 정석희(2003)는 수변공간을 지리적·공간적 의미로 분류하여 정의하였으며, 권영상과 조민선(2010)은 수변공간을 하천구역의 일부인 제방터 및 홍수터와 하천구역 안쪽의 도시지역 중 일부범위(500m ~ 1km)까지를 포함한다고 제안하였다. 이처럼 수변공간에 대한 연구 및 정의는 지속적으로 수행되고 있으나 수변도시에 대한 명확한 정의가 구분되어 있지 않은 실정이다.

이처럼 수변도시, 수변공간, 친수도시, 친수공간 등 물과 도시를 연결하는 여러 용어가 사용중에 있으나 이러한 모든 도시는 물순환 도시 라는 하나의 용어로 통합되어 정의할 수 있다. 따라서 본 장에서는 물순환 도시에서 검토되어야 할 사항을 6가지로 구분하여 다음과 같이 정의하였다.

### 2.3.1 도시특성을 고려한 수자원을 확보하는 도시

첫째, “도시특성을 고려한 수자원을 확보하는 도시“이다.

수변도시를 구성하는데 가장 중요하게 고려되어야 하는 사항은 안정적인 수자원 확보이다. 그러나 현재까지 도시계획을 살펴보면 건천시 도시 하천의 수위를 유지하기 위해 고려되는 사항은 저류지 및 지하수가 대부분인 상황이다. 장기간의 모니터링이 수행되지 않은 지역의 지하수의 사용 가능량의 과다추정으로 인하여 도시하천의 수원부족 및 건천화가 도시개발에 중요한 문제점으로 대두되고 있다. 또한 과도한 저류지의 설계로 인한 유지관리비용의 증가는 이를 관리하는 지자체의 부담으로 작용하여 실제 설계에서 많은 부분이 제외되거나 축소되고 있는 실정이다. 따라서 향후 개발되는 물순환 수변도시는 저류지와 지하수뿐만 아니라 빗물, 해수, 하수처리수, 타 유역에서의 도수, 해수담수화, 강변여과수, 지하수의 인공함양(지하댐 등)등 도시의 특성을 반영하여 가용할 수 있는 자체수자원 및 개발에 따라 요구될 수 있는 대체수자원의 전반적인 조사 및 유지관리 방안이 필요할 것이다. [그림 2-1]은 해수를 활용하여 수변공간을 조성한 송도와 하수재이용수를 활용하여 도심수로를 조성한 시민강의 모습을 보여주고 있다. 송도는 수변공간을 조성하기 위하여 해수를 펌핑하여 안정적인 수원을 공급하였으며, 부천의 경우 하수재이용수를 고도처리 하여 도시하천을 조성 안정적으로 하천유지용수를 공급하고 있다.

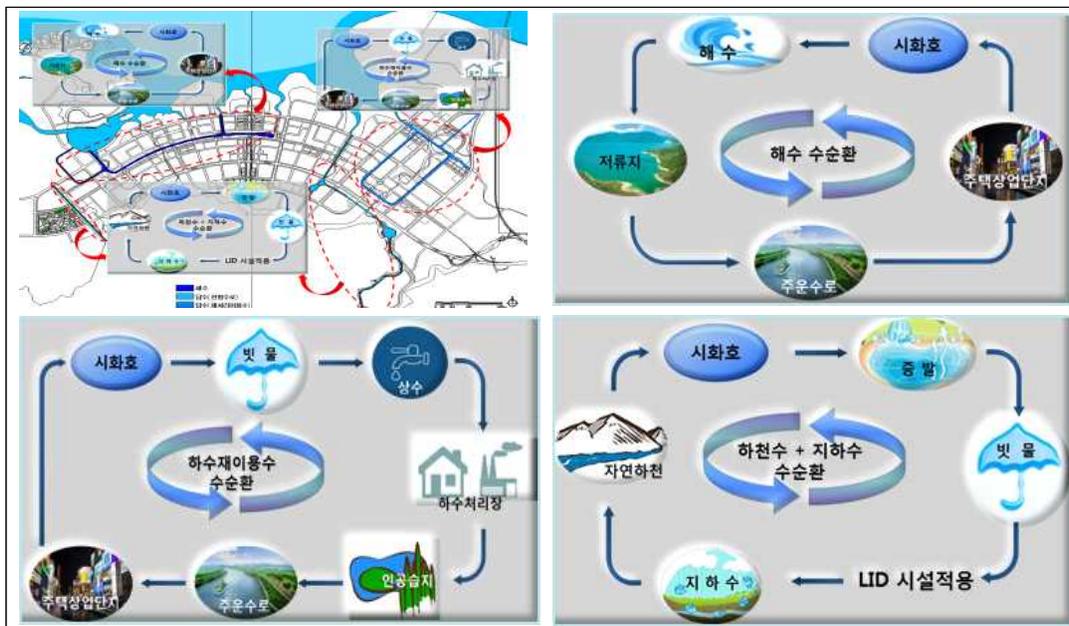


(a) 송도 센트럴파크

(b) 부천 시민의강

[그림 2-1] 도심수로의 수자원 확보 사례

현재 송산 그린시티 조성사업 서측지구의 물순환 방안을 수립하기 위해 K-water에서는 자체수자원 및 대체수자원의 전반적인 조사를 실시하였으며, 서측 지구에 적합한 도시 물순환 체계를 구축하기 위하여 해수, 하수재이용수 및 하천수 지하수 활용방안에 대하여 계획을 수립하고 있다[그림 2-2].



[그림 2-2] 송산그린시티 서측지구 물순환 세부계획(안)

### 2.3.2 수량을 정량적으로 관리하는 자족형 도시

둘째, “수량을 정량적으로 관리하는 자족형 도시“이다.

건강한 물순환 도시를 유지하기 위해서는 정량적인 물순환 목표의 수립이 중요하다. 정량적 물순환 목표수립은 지역의 환경 및 지형특성에 따라 차이가 발생할 수 있어 면밀한 분석이 요구된다. 현재까지 연구방향은 도시의 정량적인 물순환 목표를 수립하는 단계이며, 최근들어 실제 적용하려는 시도가 국내에서 시도되고 있다. LH에서는 국내 최초의 LID 분산형 빗물관리 기준을 수립하여 지구단위계획 지침에 토지이용별 빗물관리 기준을 명시 하였고, 서울특별시는 빗물관리 기본계획을 수립하여 연강수량 1,550mm 중 2050년까지 40%에 해당하는 연간 620mm를 저류, 침투 시설을 통해 관리한다는 목표를 수립하였다[표 2-3]. K-water에서도 송산그린시티 개발사업 지구에 물순환 목표를 수립하여 시설분류별 빗물분담량을 산정하여 이를 도시개발에 반영하고자 노력하고 있다. 송산그린시티 개발사업 동측지구에 적용하고 있는 내용은 5장에 기술하였다.

[표 2-3] 서울시 시설분류별 빗물분담량(서울특별시, 2013)

구분	시설분류별 빗물분담량(mm)				
	공공용도	공공		민간	
시설분류	공공·교육	공원·녹지	교통·기반	민간 (대규모)	민간 (소규모)
빗물분담량	6.0	7.5	5.0	5.5	3.5



[주1] 민간시설의 대규모 : 대지면적 500m<sup>2</sup> 이상, 소규모 : 대지면적 500m<sup>2</sup> 미만

[주1] 복합단지 및 도시개발(재개발)사업 등의 경우는 토지이용계획에 따른 해당 시설별 빗물분담량을 적용

### 2.3.3 분산형 물순환 설계관리로 유출을 최소화하는 도시

셋째, “분산형 물순환 설계관리로 유출을 최소화하는 도시”이다.

분산식 물순환이란 도시화에 따른 불투수면적의 증가로 비정상적인 수문학적 영향을 제어할 수 있는 유역관리 기법으로서 친환경적이고 생태적인 도시 물관리 시스템이다. 분산식 물순환 관리는 지붕, 도로 및 기타 불투수면적에 내린 강우 유출량을 가능한 한 발생지점에서 자연적인 순환과정을 통하여 처리되도록 침투, 저류, 저장, 이용 등을 유역내에서 분산식으로 관리하는 방안이다.

분산형 물순환 설계기술을 적용하여 분석한 사례로 송산 그린시티 동측지구 조성사업이 있다. 송산 그린시티 조성사업은 시화호 주변 지역의 생태환경을 보전하면서 시화 방조제 건설로 생성된 대규모 간석지를 효율적으로 활용하여 자연과 환

경 그리고 인간 모두를 고려한 합리적인 도시를 조성하는데 목적이 있다(K-water, 2007). 송산 그린시티 조성 사업에는 당초 기존의 중앙집중식 물관리 기술이 적용되었다. 하지만 송산 그린시티 조성 사업 지역 중 동측지구에서는 분산식 우수 배제 방식을 채택하고[그림 2-3], 저영향개발 요소기술을 도입하는 등 실시설계의 변경을 통해 도시 물순환 시스템을 개선시키려 하고 있다. [그림 2-3]에서는 기존의 중앙집중식 물관리 기법과 개선된 분산식 물관리 기법의 우수유출 방향을 나타내었다.

(a) 기존 계획의 우수유출 방향                      (b) 개선 계획의 우수유출 방향  
[그림 2-3] 송산 그린시티 동측지구 우수 배수체계의 개선(이상진 등, 2014)

### 2.3.4 수질(비점오염)의 통합관리를 통한 환경생태 도시

넷째, “수질의 통합관리를 통한 환경생태 도시”이다.

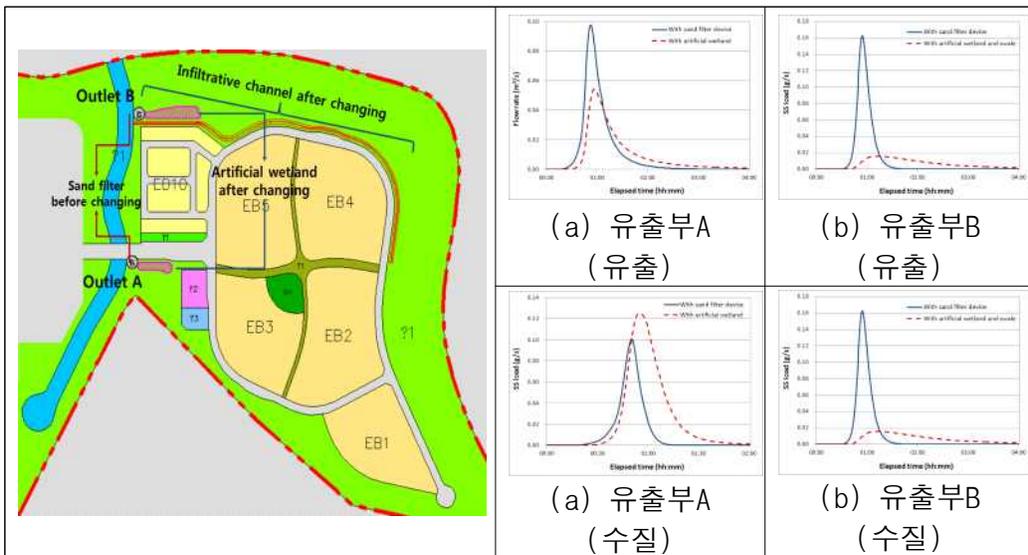
최근 수년간 환경적 삶의 질에 대한 관심과 투자가 증가하면서 자연친화적인 ‘환경생태도시’ 구축이 지자체의 핵심적인 도시브랜드가 되고 있다.

이재준(2005)은 생태도시를 “도시를 하나의 유기적 복합체로 보아 다양한 도시 활동과 공간구조가 생태계의 속성인 다양성·자립성·순환성·안정성 등을 포함하는 인간과 자연이 공존할 수 있는 환경 친화적인 도시”라고 정의하고 생태도시계획지표를 제시하여 한국형 생태도시 계획기법을 도출하고자 하였고, 진종현 등(2008)은 생태도시정책에 사회문화적인 요소의 정립을 통해서 ‘생태문화도시’의 비전을

제안하였다.

이처럼 ‘환경생태도시’에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며, 국민들의 환경적인 삶의 질 기대치가 높아짐에 따라 토지이용계획 수립시 공원 및 녹지율을 증가시켜 경관 향상 및 주민들의 자연 친화적인 쉼터를 제공하고 도시내 투수성 포장, 식재 등을 통해 불투수면적 감소를 통해 비점오염원 저감계획이 함께 고려되고 있다.

현재 K-water에서는 에코델타시티 사업, 송산 그린시티 사업 등 다양한 수변구역 조성 사업에 저영향개발 기술을 적용하여 진행하고 있으며, 강태욱 등(2015)은 시화지구 개발사업의 일환으로 추진되고 있는 송산 그린시티 조성 사업 부지의 동측지구를 대상구역으로 선정하여 당초 계획되어 있던 장치형시설 2개소를 자연형 시설로 대체하였을 경우에 대해 SWMM 모형을 사용하여 처리효율을 비교·분석하였다. 당초 계획되었던 장치형 시설의 부유사 저감효율은 80%이며, 대체 할 자연형 시설의 저감효율은 유출부 A 50%(인공습지), B 85%(인공습지+식생수로)로 계획되었다[그림 2-4].



[그림 2-4] 계획 변경 전·후의 지점별 수문곡선(강태욱 등, 2015)

유출분석결과 유출부 A와 B의 첨두유량은 변경 전에 비해 각각 44.3%와 80.5% 작아지는 것으로 나타났으며, 총 유출량도 유출부 A와 B에서 각각 10.9%와 23.2% 감소하는 것으로 분석되었다.

수질분석결과 유출부 A(인공습지)에서는 기존 계획에 비해 최대 부하량이 23.8% 증가한 반면, 유출부 B(인공습지+식생수로)에서는 90.4% 감소하는 것으로 분석되었다. 총 부하량의 경우 전체 대상유역 차원에서 6.4%만이 증가하는 것으로 분석되었다.

결론적으로 자연형 시설은 장치형 시설을 대체할 수 있는 것으로 분석되었다.

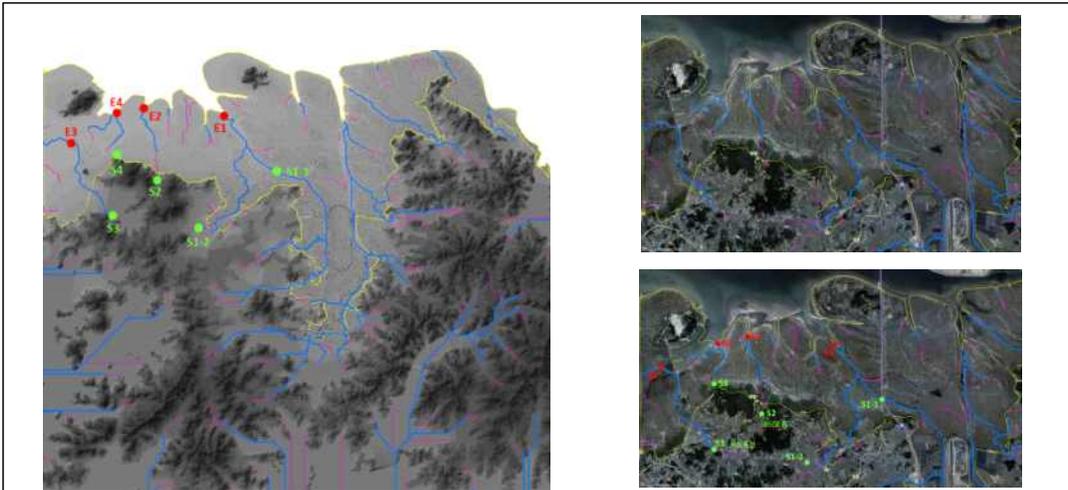
친환경적인 생태도시가 증가하는 최근 경향에 맞춰 비점오염 관리를 위해 자연형 시설을 설치할 경우 장치형 시설에 비해 경제적이고 유지관리가 용이할 뿐만 아니라 도시 환경, 조경, 경관 등 부가적인 개선 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

### 2.3.5 기존의 물길(waterway)을 고려하는 도시

다섯째, “기존의 물길(Waterway)을 고려하는 도시”이다.

도시개발지역의 주변 유역 상황을 고려하여 하천의 물길을 고려해야 한다. 도시개발지역의 DEM, 위성영상, 현장조사를 실시하여 개발 전 위치하고 있는 하천의 상황을 인지하고 도심지를 지나는 하천의 물길을 고려하여 도시계획에 반영할 수 있도록 해야 한다. 지속가능한 물순환 도시를 구축하기 위해서는 개발 전 위치하고 있는 하천의 물순환 시스템을 유지하면서 개발하는 방향이 가장 이상적인 방향이다. DEM과 위성영상을 비교 분석하여 간선수로 계획시 현재 하천 중에서 유지되어야 할 하천을 선정하고 토지이용계획에 적극적으로 반영하는 것이 중요하다. [그림 2-5]는 노란색으로 표시되어 있는 도시개발지역의 주변유역을 고려한 간선수로 계획의 예시를 나타낸 그림이다. 도시개발지역에 편입되어 유지되어야 할 하천의 시점과 종점을 구분하고 도시개발시 건전한 물순환이 유지되어 기존 물순환

체계가 왜곡되지 않도록 고려하였다.



[그림 2-5] DEM 및 위성영상을 활용한 기존하천 분석

## 2.3.6 Smart City

여섯째, “스마트 시티”이다. 스마트 시티란 플랫폼을 통해 각종 도시데이터를 수집·분석·활용하여 스마트서비스를 제공하여 전력난·물 부족·교통체증 등 각종 도시문제를 해결함으로써 자원절약, 재원절약, 시간절약을 통해 시민 삶의 질향상에 기여하는 도시를 말한다.

현재 전 세계적으로 자원의 고갈, 물부족, 기후변화로 인한 환경문제 등으로 인해 대응책 마련에 관심이 고조되고 있으며 특히 기후변화에 대응하는 스마트도시 개발을 통해 도시 수문특성 건전화, 수자원 에너지 효율화 기반의 탄소감축도시 개발이 필요하다.

기후변화에 따라 홍수 및 가뭄, 지하수위 감소, 증발산량 감소 등으로 인해 열대야 및 열섬현상이 급증하고 있으며, 안정적인 물순환을 회복하기 위해 도시내 가용한 물을 자원화 하고 물순환 과정에서의 에너지를 절약하는 에너지 기반의 물순환 기술개발이 필요한 실정이다. 박근혜 대통령은 COP21에서 기초연설을 통해 에너지 신산업을 통한 온실가스 감축, 배출권거래제 운영을 토대로 국제 탄소시장

구축 등 신기후체제의 성공을 위한 실행방안을 제시하는 등 기후변화에 대응하기 위한 Smart City 건설은 중요한 이슈로 떠오르고 있다.

건강한 물순환을 회복하고 신기후체제에 대응하기 위한 Smart City는 물관리, 에너지관리, 환경관리, 탄소배출관리 등 4가지 관리계획을 수립하여 세부적인 대책수립이 필요하다. 물관리는 LID적용, 수자원 다원화 및 재활용, 홍수관리 등을 종합적으로 고려하여 통합 물순환 관리 체계 구축이 필요하며 에너지관리는 수온 차에너지, 수상태양광 에너지, 지하수 지열에너지 등 물-에너지 연계 설계 기술 확보를 통해 에너지 저감효율 향상을 목표로 해야 한다. 환경관리는 미세먼지관리, 비점오염원 관리, 폐기물 관리 등을 통해 생태친환경 도시건설 계획을 수립하여야 하며 온실가스 배출권평가, 그린인프라 탄소영향 분석·관리, 탄소인증제 도입 등을 통해 체계적인 탄소관리가 이루어져야 한다.

이처럼 적절한 관리방안을 수립하여 물-에너지가 연계되는 지속가능한 Smart City 개발을 통해 재해에 안전한 친환경도시 건설로 국민의 삶의 질을 높일 수 있을 것으로 보여진다.



[그림 2-6] 물-에너지 Cloud System

## 2.4 친수도시 해외사례

세계적으로 친수도시에 대한 관심이 증대하고 있으며 관련사례는 다음과 같다.

### 2.4.1 스웨덴 함마르미(친환경 생태도시)

스웨덴 스톡홀름 남동쪽 5km 지점에 위치한 친환경 생태도시로 1991년부터 2018년을 예정으로 지속가능한 복합생태 주거단지 구축을 목적으로 개발되어 지고 있다. 스톡홀름시 공업지역에 주거수요 충족을 위해 재개발 추진 및 친환경 생태 복합도시개발을 추진한 사례로 볼 수 있다. 물과 생태에 중점을 둔 새로운 신도시로 호수를 중심으로 한 Water city를 개발하여 수변의 접근성을 높게 하였으며, 수변공간 및 수변산책로, 수변카페 조성 및 녹색교통수단 중심의 도시를 계획하여 개발하고 있다. 태양광, 지열, 풍력 등의 자연에너지를 활용 및 자원순환형 시스템 성공적 구축한 환경친화적 도시이다.



(a) 주거단지 내부

(b) 개발전경

[그림 2-7] 함마르미 생태도시

## 2.4.2 싱가포르 마리나 베이(Marina Bay)

싱가폴 남동쪽 매립부지를 활용하여 개발하는 사업으로 2008년부터 2025년을 예정으로 국제업무 및 주거복합 단지를 구축할 목적으로 개발되고 있다. 싱가포르 항 항만배후단지에 금융산업을 유치하고 주거 및 관광여건을 조성하기 위해 대규모 워터프론트 개발(Urban River Agency 주관)을 추진하고 있다.

비즈니스·관광·위락·주거의 유기적인 배치와 경관을 고려한 복합 자족형 수변도시를 컨셉으로 옥상공원·식물정원 배치 등 Garden City 이미지 형성을 위하여 3단계로 구분하여 개발전략을 세우고 있다. 1단계('08-'15)에서는 수변개발에 대한 정부의 초기투자를 계획하였으며, 2단계('15-'25)에서 업무 및 주거시설유치 3단계(2025년 이후)에서 개발 완료 및 시설물 유지관리를 목표로 개발되고 있다.



(a) 단지 내부



(b) 개발전경

[그림 2-8] 싱가포르 마리나 베이

### 2.4.3 미국 텍사스 샌안토니오

미국 텍사스주 행정수도인 오스틴에서 132km에 위치하고 있는 지역으로 1960년대부터 도시지역 홍수범람에 대한 방안으로 범람지역 재정비 및 상업단지를 구축하면서 개발되었다. 수로의 연장은 5.8km로 미국의 베니스를 목표로 도시내 수변공간(리버워크) 조성 하였으며 시가지에 많은 군사시설물과 도시의 오래된 역사적 건축물 및 수변공간의 조화로 인하여 관광산업이 발달하였다. 도심에 인접한 강의 범람으로 인한 홍수피해 대책의 구상으로 수변공원과 접하여 도심의 다수의 상업시설과 문화시설(쇼핑센터, 카페, 레스토랑, 호텔 등)을 집중시켜 개발함으로써 지역 특성화에 성공한 사례이다.



(a) 리버센터 쇼핑몰

(b) 관광 유람선

[그림 2-9] 미국 텍사스 샌안토니오

### 2.4.4 영국 런던 도크랜드(템즈강)

영국 도크랜드 도심재생사업으로 런던 동측 8km 템즈강변을 지역경제 활성화를 위해 1981년부터 2001년까지 재개발한 사례이다. 1960년대까지 번성하던 도크랜드가 이후 시설 노후화 및 산업환경 변화로 쇠퇴하면서 재개발 사업이 진행되었으며, 정부는 대상지를 엔터프라이즈 존(Enterprise zone)으로 지정하고 각종 세제 지원, 규제완화 등 개발이 용이한 환경을 조성하였다. 도크랜드 개발공사는 개발

계획을 총괄하며 토지를 일괄 수용하여 통합적인 부지개발을 추진하며 교통 인프라 등을 구축하였다.



(a) 템즈강 업무중심지구 Canary Wharf 전경



(b) 도크랜드 전경



(c) 도크랜드 선착장

[그림 2-10] 영국 런던 도크랜드

## 3. 관련 제도 및 기준

### 3.1 정부추진현황

도시화가 진행됨에 따라 토지 대부분이 도로 포장 및 건축물 등으로 인해 불투수 면이 증가되었고, 강우시 비점오염원의 직접적인 하천유입, 지하수 고갈 등 환경 문제가 지속적으로 발생되고 있다.

이에 과거 제 18대 정부는 140대 국정과제 중 ‘과제99-기상이변 등 기후변화 적응’에서 지속가능한 물순환 체계 구축 및 적응대책 수립 지원을 통해 개발사업 추진시 저영향개발(LID) 기법 적용을 확대하고, 빗물이용시설, 중수도 등 확대 등을 위한 「물의 재이용촉진 및 지원에 관한 법률」 개정을 명시하였다. 제 19대 문재인 정부는 100대 국정과제 중 ‘과제 58-지속가능한 국토환경 조성’에서 ‘22년까지 물순환 도시 5개소 신설, 하수재이용(1.1억톤/년) 등 상시 가뭄 극복 물순환 체계 구축을 국가적으로 추진 중에 있다.

또한 정부는 농림수산식품부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 소방방재청, 농촌진흥청, 산림청 등 관계부처 합동을 통해 ‘12년부터 제 2차 비점오염원 관리 종합대책을 수립하였다.

#### 3.1.1 정부 국정과제

과거 제 18대 정부는 국정과제로 140개 국정과제를 제시하고 추진전략 16[과적하고 지속가능한 환경 조성]에서 99번째 국정과제로 기상이변 등 기후변화 적응을 명시하였다.

[표 3-1]과 [표 3-2]에 나타난 바와 같이 지속가능한 물순환 체계 구축 및 적응대책 수립 지원의 내용에 개발사업 추진시 저영향개발(LID) 기법의 적용을 확대하여 안정적인 물순환을 통한 물의 재이용 방안 수립을 명시하였다.

[표 3-1] 18대 정부 국정과제

NO.99 기상이변 등 기후변화 적응	
<b>과제개요</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기후변화의 위기를 기회로 활용한 ‘지속가능사회’ 구현</li> <li>- 정부, 민간 등 사회 전 분야의 적응역량 제고</li> </ul>
<b>주요 추진계획</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기후변화 감시·예측능력 확보                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 환경위성체(‘18년 발사)를 확보하여 기후변화 감시·예측능력을 강화</li> <li>- 이상기후 위험요인에 대응한 환경영향평가체계 구축(‘13년)</li> </ul> </li> <li>○ 기후변화로 인한 건강피해 최소화 및 생물다양성 관리                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 취약계층을 중심으로 기후변화 기인 건강피해 예방 및 감염성 질병관리를 강화(혹한, 혹서 대비 쉼터 마련, 수인성 질병 모니터링 강화 등)</li> <li>- 기후-생태변화 모니터링 시스템 구축·운영 및 생물자원 조사발굴, 위해 외래종 등 관리 강화</li> </ul> </li> <li>○ 지속가능한 물순환 체계 구축 및 적응대책 수립 지원                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개발사업 추진시 저영향개발기법 적용을 확대하고, 빗물이용시설, 중수도 등 확대등을 위한 「물의 재이용촉진 및 지원에 관한 법률」 개정</li> <li>- 민간 적응대책 수립을 지원하고, 적응사업 해외진출 추진</li> </ul> </li> </ul>

[표 3-2] 19대 문재인 정부 국정과제

NO.59 지속가능한 국토환경 조성	
<b>과제목표</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 보전과 이용이 조화되고 사람과 동물이 공생하는 국토 환경 조성</li> <li>○ 4대강 재자연화와 통합 물관리로 이·치수가 조화되는 하천조성</li> </ul>
<b>주요 내용</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (국토보전·이용 조화) 난개발 차단을 위한 국토관리 패러다임 전환                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- ‘18년부터 환경영향평가 비용 공탁제* 등 평가제도 혁신</li> <li>- 보전총량 설정(‘19년) 및 훼손가치만큼 복원·대체 의무화(‘18년)</li> </ul> </li> <li>○ (4대강 재자연화) 6개 보 상시 개방 후 정밀조사·평가를 거쳐 재자연화 추진                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- ‘18년 10개 보 개방방안 등을 포함한 4대강 16개보 처리방안 확정</li> <li>- ‘19년부터 4대강 재자연화 대책에 따라 자연성 회복·복원사업 추진</li> </ul> </li> <li>○ (안전한 물환경) 이원화된 물관리 통합 및 참여 기반으로 전환                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 물관리 일원화(‘17년), 유역관리위 설치 등 유역 거버넌스 구축(‘19년)</li> <li>- ‘22년까지 취수원 다각화, 광역·지방 상수도 통합으로 안정적 물공급</li> <li>- ‘22년까지 노후 상수관망 현대화(1,717km), 물순환도시 5개소 건설, 하수 재이용(1.1억톤/년 이상) 등 상시 가뭄 극복 물순환 체계 구축</li> </ul> </li> </ul>
<b>기대 효과</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ‘21년까지 보호지역을 국토 대비 17%로 확대(‘16년 11.2%)</li> <li>○ ‘21년까지 물 공급 안전율(지자체 중 물부족 제외한 비율) 87% 달성(‘13년 62%)</li> </ul>

[표 3-3] 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」

물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 [법률 제13879호, 2016.1.27., 타법개정]	동법 시행령 [대통령령 제28211호, 2017.7.26., 타법개정]	동법 시행규칙 [환경부령 제613호, 2015.9.4., 일부개정]
제2장 물의 재이용계획		
제5조 물 재이용 기본계획의 수립	제2조 물 재이용 기본계획의 포함사항	제2조 물 재이용 기본계획의 경미한 변경
제6조 물 재이용 관리계획의 수립	제3조 물 재이용 관리계획의 수립 등 제4조 물 재이용 관리계획의 수립권자 등	
	제5조 물 재이용 정책위원회 구성 제7조 물 재이용 실무위원회 구성	
제3장 물 재이용시설의 설치·관리		
제8조 빗물이용시설의 설치·관리	제10조 빗물이용시설의 설치대상·관리	제3조 빗물이용시설 설치신고 제4조 빗물이용시설의 시설기준·관리기준

### 3.1.2 제2차 비점오염원관리 종합대책( '12~' 20) (2012.5)

#### 가. 수립배경 및 필요성

4대강 사업이후 4대강의 수질관리와 쾌적한 친수공간 조성을 위해 비점오염관리 필요성 더욱 증대되었다. 기후변화에 따른 강우특성 변화로 강우강도가 증가하였고, 지표면에 축적된 고농도의 비점오염물질이 하천으로 유출, 수질오염을 가중시키고 있으므로 강우유출수 집중관리가 필요하다. 오염부하율이 높은 비점오염을 관리하지 않고는 하천의 목표수질 달성을 기대하기 어려우므로, 각 부처 비점오염원관련 정책을 추진하는 각 부처 합동 비점오염원관리 종합대책이 필요하다.

[ 표 3-4 ] 4대강 비점오염 관리 종합대책(2004.03)

구 분	제1차 기간		제2차 기간
	1단계(04~05)	2단계(06~11)	3단계(12~20)
제도	기본제도 마련 (국가·지자체 관리책무 등)	주요 오염원 관리의무 부여	관리의무 강화 지속 추진
관리사업	시범사업(국가)	4대강유역 최적관리사업 (국가·지자체)	본격사업 추진 (지자체 중심, 국가지원)
조사연구	원인규명, 처리기법 개발 중심	모니터링 기법 및 설치기준 정립	비용 효율성을 고려한 최적관리기술 개발·보완

출처 : 제2차 비점오염원 관리 종합대책(2012)

## 나. 부처별 비점오염원 관리 대책

제2차 비점오염원 관리 종합대책 수립에 따라 각 부처에서는 비점오염원 관리정책을 개별적으로 추진하고 있다. 각 부처별 주요 추진업무는 다음 [표 3-5] 와 같다.

각 부처의 특성에 따라 도시, 농촌, 산림·하천·댐, 연구·개발, 홍보·교육, 공통 분야 등 총6개 분야로 세분화하여 비점오염원 관리 대책을 수립하고 있다. LID 기법 적용을 통한 비점오염원 저감대책은 도시분야에서 주로 다루고 있으며 이에 관한 내용은 다음 [표 3-5]에 나타내었다.

[ 표 3-5 ] 각 부처별 비점오염원 관리정책

구분	주요 추진업무
농림수산식품부	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 밭 기반 정비사업 지원, 퇴액비 등 가축분뇨처리 지원</li> <li>• 녹비작물 종자대 지원</li> <li>• 농업비점오염저감관련 연구개발 등</li> </ul>
지식경제부	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폐광산 관리(폐석처리, 토양개량 복원) 등</li> </ul>
환경부	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업장 비점오염저감시설 설치·관리의무 부여 등 제도마련</li> <li>• 지자체 비점오염저감시설 설치사업 국고보조</li> <li>• 하수저류시설, 완충저류시설, 가축분뇨처리시설 등 설치지원</li> <li>• 비점오염저감시설 설계·설치, 유지관리 기준 등 마련</li> <li>• 비점오염저감, 기술개발 등을 위한 조사연구, 개발 등</li> <li>• 오염원자료 및 원단위, 총량제 관련 업무 전반</li> </ul>
국토교통부	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개발사업으로 배출되는 비점오염원에 대한 관리 (지구단위계획수립지침 등)</li> <li>• 도로비점오염관리(친환경적 도로 설계 지침 등)</li> <li>• 댐내 흙탕물 관리 등</li> </ul>
소방방재청	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 우수유출저감시설 설치·운영(자연재해대책법) 등</li> </ul>
농촌진흥청	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농업비점오염저감관련 R&amp;D 등</li> </ul>
산림청	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조림 및 숲가꾸기 사업, 고랭지경작지 매수 및 산림복원</li> <li>• 임도관리, 객토제한</li> <li>• 산불피해지역 관리, 복원 등</li> </ul>

출처 : 제2차 비점오염원관리 종합대책(2012)

## 다. 도시분야 추진대책

총 7개 부처 중 환경부, 국토부, 소방방재청 등 3개 기관은 도시 분야에서 총 8개의 과제를 선정하여 LID 기법 적용 및 비점오염원 관리기준 개정 등 도시 물순환 개선을 위한 대책을 추진 중에 있다.

### 1) 도시분야 과제 1-2

도시분야 과제 1-2 ‘도시 물순환 기능 회복을 위한 관련 규정 제·개정’에서 물순환 회복과 LID의 단계적 적용확대를 위해 「국토 계획 및 이용에 관한 법률」, 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」 등 저영향개발(LID) 기법 관련 규정 개정안을 마련하였다.

#### ○ 국토교통부

- 도시군 기본계획수립지침 개정 (2017.7.26)
  - ‘제 1장 8조의3’ : (자연 상태의 물순환 회복) 도시·군계획 시설은 불투수면(不透水面)에서 발생하는 빗물 유출을 최소화하여 자연 상태의 물순환 회복에 이바지할 수 있도록 결정하여야 한다.
  - ‘제 4장’, ‘제 5장’, ‘제 7장’ 에 명시된 유통업무시설(연면적 5천m<sup>2</sup> 이상), 학교, 종합운동장, 공공청사, 체육시설, 종합시료시설 등은 빗물이용을 위한 시설의 설치를 고려하고, 불투수면에서 유출되는 빗물을 최소화하도록 빗물이 땅에 잘 스며들 수 있는 구조로 하거나 식생도랑, 저류·침투조, 빗물정원 등의 빗물관리시설 설치를 고려해야 한다.
- 지구단위계획수립지침개정(2017.5.1.)
  - ‘3장 4절 3-4-3’ : 강우시 유출수에 의한 환경오염을 저감하기 위하여 투수성 포장 등 비점오염원(non-point source pollution)물질을 줄일 수 있는 방안을 고려하여야 한다.
- 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률(2017.2.8.)
  - 시행규칙 제 13조(저류시설의 설치 및 관리기준)

법 제23조제4항 및 영 제19조의 규정에 의한 저류시설의 설치 및 관리기준은 별표 6과 같다.

## 2) 도시분야 과제 1-7

도시분야 과제 1-7 ‘비점오염저감형 도로설치 및 유지관리지침 제·개정’에서 도로건설 지침 개정 및 도로 비점오염저감시설 설계지침을 제정 하여 친환경적인 도로 건설을 위한 제도를 마련하였다.

### ○ 국토교통부 · 환경부

#### • 환경 친화적인 도로건설 지침(2015.8)

##### - 3.6.2 - 하. 비점오염물질 유출저감을 위한 대책

- ① 강우 시 노면에서 발생하는 비점오염원 관리를 위해 도로 특성 및 주변 환경에 적합한 비점오염물질 유출 저감계획을 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제53조, 같은 법 시행규칙 제74조 및 제76조 규정에 적합하게 수립한다.
- ② 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제53조의2에 해당하는 아래 지역에 대해서는 상수원의 수질보전을 위한 비점오염저감시설을 설치해야 한다.
  - \* 상수원보호구역, 특별대책지역, 수변구역, 고속국도 등
- ③ 비점오염물질 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 제74조제1항에 따라 저영향개발 기법 등을 적용한 비점오염저감시설 설치계획 및 비점오염저감시설 유지관리·모니터링 방안을 포함하여 수립한다.
- ④ 「환경영향평가지 저영향개발(LID) 기법 적용 매뉴얼」(환경부, 2013.7), 「저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인」(환경부, 2013.4)에 따라 개발로 인한 수질에 미치는 영향을 저감할 수 있도록 저영향개발 기법을 적극적으로 적용한다.
- ⑤ 비점오염 저감을 위해 도로 청소차(진공 흡입식) 운영계획을 수립한다.
- ⑥ 비점오염저감시설은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 시행규칙 제8조 별표6에 따른 자연형 또는 장치형으로 설치하되, 이에 상응하는 방안도 반영할 수 있다.

⑦ 기타 비점오염저감시설의 설치 및 운영에 관한 사항은 「비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼」(환경부, 2014.4)에 따른다.

- 도로 비점오염저감시설 설치 및 관리 지침(2015.6)

- 2장 2.4.2 도로 비점오염저감시설의 선정

도로에서 사용되는 비점오염저감시설은 토지이용 특성, 유역특성, 유지·관리의 용이성, 비용의 적정성 등을 종합적으로 고려하여 적합한 시설을 선정하며, 도로 건설 전의 자연상태에 가깝게 유지할 수 있는 자연형시설(저영향개발기법 포함)을 우선으로 한다.

[ 표 3-6 ] 도시분야 추진대책

과제명		세부 추진과제	주관
1-1	저영향개발(LID) 기법 적용 확대	<ul style="list-style-type: none"> <li>저영향개발기법 적용 관련 시설별 설계·시공 지침, 가이드라인 마련</li> <li>저영향개발기법 확산을 위한 정책적 인센티브 제공방안 마련</li> </ul>	환경부 국토부
1-2	도시 물순환 기능 회복을 위한 관련 규정 제·개정	<ul style="list-style-type: none"> <li>물순환기능 회복과 LID기법 단계적 적용확대를 위한 제도정비</li> <li>LID기법관련 규정 개정안 마련을 위한 포럼운영</li> </ul>	환경부 국토부
1-3	비점오염저감형 그린빗물인프라 조성	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린빗물인프라 적용 물순환 도시 시범사업</li> <li>도심지 그린빗물인프라 구축 사업</li> <li>조경용지 경관 비점오염관리 기준 마련</li> </ul>	환경부 국토부
1-4	포장도로 청소 등 도로 비점오염원 관리 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>청소를 통한 도로 비점오염관리방안 마련</li> <li>포장도로 노면 청소차 지원</li> <li>도로청소의 비점오염저감효과분석 연구</li> </ul>	환경부
1-5	하수저류시설 설치 확대	<ul style="list-style-type: none"> <li>다가능 하수저류시설 집중 투자(861개소 설치)</li> <li>새만금유역 시범설치를 통한 비점오염저감기법 정립</li> <li>하수처리장 초과유입수(CSOs) 처리시설 설치</li> </ul>	환경부
1-6	도시기반시설 활용 비점오염원 저감시설 설치 확대	<ul style="list-style-type: none"> <li>유수지 등을 활용한 인공습지, 초기빗물저류시설 등 설치</li> <li>저류시설 활용을 위해 관련 지침 및 기준 개정</li> </ul>	환경부 국토부 소방방재청
1-7	비점오염 저감형 도로설치 및 유지관리지침 제·개정	<ul style="list-style-type: none"> <li>기 운영중인 “환경친화적인 도로건설 지침” 개정</li> <li>도로 비점오염저감시설 설계지침 제정</li> </ul>	환경부 국토부
1-8	산업단지완충저류시설 설치 확대	<ul style="list-style-type: none"> <li>19년까지 완충저류시설 지속 설치</li> <li>타 수계에 확대 설치 검토</li> </ul>	환경부

출처 : 제2차 비점오염원관리 종합대책(2012)

## 3.2 물순환 관련 조례 및 제도

### 3.2.1 물순환 관련 조례

각 지자체별 물순환 관련 조례는 아래 내용과 같이 서울시, 남양주시, 수원시, 광주광역시, 대전광역시 서구에 조례가 제정되어 있으며, 부산, 광주, 목포, 세종, 등 여러 지자체들은 빗물관리에 관한 조례를 제정하여 빗물의 효율적인 이용을 도모하고, 재해예방 및 환경보전에 기여를 목적으로 하고 있다.

#### 가. 서울시

서울시는 도시개발이 본격적으로 진행된 1962년 이후 불투수면적 증가에 따라 비점오염원에 의한 환경오염, 지하수 고갈 등 발생하는 문제점을 해결하고 건전한 물환경 조성을 위해 「서울특별시 물순환 회복 및 저영향개발 기본조례」를 제정하였다.

이 조례는 「자연재해대책법」, 「환경정책기본법」 등 관계법령에 근거하여 빗물의 자연 침투능력을 보전하고, 빗물의 표면유출 억제를 위한 정책을 종합적이고 체계적으로 추진하기 위한 사항을 규정하여, 도시화로 악화된 자연 물순환 회복과 물환경 보전을 위한 저영향개발의 기본방향을 제시함을 목적으로 한다.

(추진현황) '04년부터 빗물관리를 위해 추진한 법령·제도정비와 연구

성과를 바탕으로, '13년 본격적인 '물순환도시' 전환을 추진

(비전 및 목표) [비전] 시민과 함께 만드는 건강한 물순환 도시

[목표] 자연 물순환 복원을 위한 빗물 표면유출 저감

\* 2050년까지 빗물의 표면유출 연간 620mm 저류·침투

\* 2020년까지 빗물, 중수도, 하수처리수 2.09억 m<sup>3</sup> 재이용

(정책지표) 2050년까지 연평균강수량의 40%인 620mm 저류·침투

[표 3-7] 서울특별시 물순환 목표

목 표 연 도	단 기			중 기	장 기
	2013	2014	2015	2020	2050
관리량(mm)	5.6	7.4	9.3	46.5	620
누적시설량(m <sup>3</sup> /hr)	1.75만	2.31만	2.88만	14.1만	187만
누적비율(%)	0.9	1.2	1.5	7.5	100

(계획수립) 물순환 회복 실천계획 수립

- 도로 투수포장 확대

\* 넓은 면적을 차지하는 차도·보도·주차장에 빗물이 스며들 수 있는 투수 포장을 단계적으로 확대

- 시 주관 신규사업 물순환 설계 의무화

\* 시 주관 각종 사업시행시 물순환 회복을 위한 기본원칙 적용 등 노력 추진

### [ 물순환 설계 기본원칙 적용 ]

- (불투수포장 최소화) 8m 미만 도로·보도·주차장·공원 등 신규 포장
  - \* 불가피한 경우 일정규모 이상의 침투통·침투측구 등 침투대책 마련
- 빗물 유입이 가능한 조경설계
- 자연녹지 최대한 보전
- 빗물이 고이도록 소규모 오목형 지형 설계
- 신규 건축시 물재이용 시설(빗물이용시설·중수도) 설치

- 중수도 및 하수처리수 재이용 확대

\* 버려지는 물의 재이용을 통한 친환경적 대체수원 활용 확대를 위해, 중수도 및 하수처리수 재이용을 확대하여 인공계 물순환 체계 개선

- (개발사업시 빗물분담량 적용) 토지이용 유형에 따른 단위면적

(1ha)당 설치 목표량(빗물분담량) 부여

\* 빗물분담량: 시 전체목표달성을 위해, 단위면적당 처리할 침투·저류시설량

[표 3-8] 토지이용 유형별 빗물 분담량

구분	공공·교육	공원·녹지	교통·기반	대규모 민간	소규모 민간
빗물분담량 (mm)	6.0	7.5	5.0	5.5	3.5

## 나. 남양주시

남양주시는 물관리 및 물순환 기본조례가 2009.10.21. 부로 제정되었다.

제6조(물관리 및 물순환 기본계획의 수립)에 따라 시장은 10년마다 물관리 및 물순환 기본계획을 수립하여야 하며, 기본계획이 수립된 날부터 5년이 지나거나 기본계획의 변경이 필요하다고 판단될 시 남양주시 물관리위원회 심의를 거쳐 이를 변경할 수 있다.

남양주시 조례에서는 유역별·통합적·균형배분·수요 관리 네가지 원칙을 바탕으로 물관리 및 물순환 기본원칙을 정하고 있으며, LID 기법을 적용하여 비점오염 저감시설을 설치할 것을 권고하고 있으며, 빗물관리시설 및 중수도 시설을 신규로 설치하는 경우 보조금을 지원 할 수 있는 특징이 있다.

## 다. 수원시

수원시의 물순환 관리에 관한 조례는 2009.6.19. 부로 제정되었다.

수원시의 물순환 관리는 ‘물순환 면적률’ 개념이 도입되었으며, 물순환 면적률이란 개발되는 면적 중 자연상태의 물순환 기능을 가진 대상의 면적비를 말한다. 도시관리계획 시 물순환 면적률을 반영하여야 하며, 물순환 기능을 가진 면적비는 개발대상지를 자연의 물순환 기능정도에 따라 시장이 정한 가중치를 고려하여 산정한다.

시장은 10년 마다 물순환 관리 계획을 수립하여야 하며, 관리계획에는 물순환 체계구축을 위한 빗물·지표수·지하수의 물질수지 및 통합적인 관리계획, 대체수원 확보계획 등이 포함되어 있다. 또한 시장은 빗물관리시설, 중수도, 하수처리수 재

이용시설을 설치하는 자에 대하여 상·하수도 사용료 경감, 건축물 용적률의 기준 완화, 빗물포인트 지급 등의 재정지원을 할 수 있다.

## 라. 광주광역시

광주광역시의 물순환 관리에 관한 조례는 2017.1.1. 부로 제정되었다.

광주광역시의 물순환 목표기준은 개발 전과 후의 증발산량, 침투량, 유출량 등의 비율이 자연상태와 유사할수록 건전한 물순환임을 나타내는 정량적 지표인 물순환 건전화율과 해당 물순환 건전화율에 도달하기 위해 필요한 저영향개발 기법 적용의 범위와 규모로서 해당 시설로 유입되는 집수면적과 해당 시설의 빗물관리 가능량으로 나타내는 물순환 분담량으로 설정하며, 시장은 물순환 목표기준을 설정하고 각 발생원에서 관리해야 하는 물순환 분담량을 산출하여 고시하여야 한다. 또한 시장은 물순환 관리시설의 집중을 통한 재해예방의 극대화와 물순환의 회복을 위하여 위험지구 또는 대규모 개발사업 중심의 저영향개발 지구단위계획을 수립할 수 있다.

광주광역시는 물순환 관리시설을 설치하는 자에 대하여 설치시 필요한 비용의 전부 또는 일부, 상하수도 요금 경감을 통해 재정지원을 할 수 있다.

## 마. 대전광역시 서구

대전광역시 서구 물순환 회복에 관한 기본 조례안은 2017.4.10. 부로 제정되었다.

구청장은 빗물관리정책을 종합적·체계적으로 시행하기 위해 대전광역시 서구 빗물관리 기본계획을 수립하여야 하며, 기본계획에는 빗물관리 기본목표 및 추진 방향, 주요시책 및 제도개선 사항 등이 포함되어야 하며 10년 단위로 기본계획을 수립하며 구청장은 5년마다 변경할 수 있다.

개발사업을 시행하는 경우 저영향개발(LID) 방식을 적용하여야 하며 구청장은 빗물관리시설을 설치하는 자에게 예산의 일부 또는 전부를 보조할 수 있다.

[ 표 3-9 ] 서울, 남양시, 수원, 광주, 대전 물순환 관련 조례

지역 항목	서울특별시	남양주시	수원시	광주광역시	대전광역시 서구
<b>조례 명</b>	서울특별시 물순환회복 및 저영향개발 기본조례	남양주시 물관리 및 물순환 기본 조례	수원시 물순환 관리에 관한 조례	광주광역시 물순환 기본 조례	대전광역시 서구 물순환 회복에 관한 기본 조례안
<b>제정 일</b>	2014.1.9	2009.10.21	2009.6.19	2017.1.1	2017.4.40
<b>목적</b>	「자연재해대책법」, 「환경정책기본법」 등에 근거하여 빗물의 표면유출 억제, 자연 물순환 회복과 물환경 보전을 위한 저영향개발의 기본방향을 제시	안정적인 맑은 물의 확보와 건강한 물 생태계의 유지 등 물관리 및 물순환 체계를 마련	「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」, 「지하수법」에 근거하여 물순환 체계를 구축하여 지속가능한 수자원 관리	「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」, 「자연재해대책법」, 「환경정책기본법」, 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」에 근거하여 물순환 회복을 위한 물순환 관리시설 확대와 저영향개발을 유도하는 정책 추진	물순환 회복 및 빗물관리 정책을 종합적이고 체계적으로 추진함으로써 물관리의 효율적인 이용을 도모하고, 지속가능한 수자원 관리
<b>계획 수립</b>	빗물관리기본 계획, 저영향개발 계획	물관리 및 물순환 기본계획	물순환 관리 계획	물순환 관리계획, 저영향개발 계획구역 지정	빗물관리 기본계획
※시장(대전은 구청장)은 10년 단위로 기본계획을 수립하며 5년마다 변경 할 수 있다					
<b>보조 금지 원</b>	빗물관리시설을 설치시 전부 또는 일부 지원	①주민과 민간단체가 자발적으로 구역관리 및 수질·수생태계 보전을 위해연구 및 조사 사업을 하는 경우 ② 빗물관리시설 및 중수도 시설을 신규로 설치하는 경우	빗물관리시설, 중수도, 하수처리수 재이용시설을 설치하는 자에 대해 상하수도 요금 경감, 건축물 용적률 기준완화, 빗물포인트 지급	물순환 관리시설을 설치하거나 인증을 받은 자에 대해 설치 비용의 일부 또는 전부, 상하수도 사용료 경감	물관리시설 및 빗물이용시설을 설치하는 자에게 필요한 경비의 전부 또는 일부 보조

### 3.2.2 물순환 관련법 및 제도

각 부처의 물순환 관련법을 보면, 국토해양부령의 경우 빗물의 빠른 배수에 초점이 두어져 있으며, 환경부령의 경우 비점오염의 처리와 빗물의 이용에 중점을 두고 있다. 행정안전부령의 경우 재해예방차원에 중점을 두고 있다.

물순환에서의 효과를 극대화하기 위해서는 각 부처의 관련법에서 다루고 있는 빗물관련내용을 조정하여 빗물관리에 대한 통합적 목적을 설정하고 부처간의 법과 제도가 빗물관리를 위해 상충되지 않도록 조정되어야 한다. (환경부) 물순환 관련법, 지침, 규칙은 아래 [표 3-10]과 같다.

[표 3-10] 물순환 관련법 및 제도

관련부처	해당 법 및 지침
환경부	① 수도법 및 하수도법 ② 낙동강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률 ③ 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 ④ 환경영향평가법 ⑤ 빗물이용시설 설치 관련 가이드북 ⑥ 비점오염원관리 업무편람 ⑦ 생태면적을 적용지침
국토교통부	① 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 ② 도시·군 계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한규칙 ③ 건축기본법 및 건축법 ④ 주택건설기준 등에 관한 규칙 ⑤ 도로와 다른 시설의 연결에 관한 규칙 ⑥ 도시공원 및 녹지 등에 관한법률 ⑦ 조경공사 표준시방서(2016) ⑧ 건설공사 전문시방서(2007) ⑨ 도로공사 표준시방서(2016)
행정안전부	① 자연재해대책법

### 3.2.3 일본 물순환 관리 제도화 현황

‘14.4월 「빗물이용 추진법」 제정을 통해 도시내 효율적인 수자원 이용 및 빗물유출 억제에 도모하고, 「물순환기본법」을 통해 수자원 행정의 일원화를 위한 물순환정책본부의 신설 및 건전한 물순환의 유지 및 회복을 위한 정책을 포괄적으로 추진하였다.

2015년 9월 ‘사회자본정비 중점계획’을 통해 자연하천 조성, 녹색 방조제, 화재 방지 등의 기능을 갖는 공원 녹지 정비 실시, 인구감소, 고령화 등에 대응하고 지속가능한 지역사회 형성 및 건전한 물순환 유지·회복 계획을 수립하였다.

#### 가. 「물순환 기본법」 ‘14.7.1 시행

제정 취지 : 7개 부처에 분산되어 행하여지고 있는 수자원 행정을 일원화하기 위하여 물순환정책본부를 설치하고 5년마다 물순환기본계획 수립

##### 1) 목적 (제1조)

건전한 물순환의 유지 및 회복을 위한 정책을 포괄적으로 추진

##### 2) 기본이념 (제3조)

물순환의 중요성 및 건전한 물순환 유지 및 회복을 위한 방안의 추진, 물의 공공성 및 적절한 이용, 건전한 물순환의 배려, 유역의 종합적인 관리 및 물순환에 관한 국제적 협조 등을 규정하였다.

##### 3) 물순환 기본계획 (제13조)

정부는 물순환에 관한 시책의 종합적이고, 계획적인 추진을 위하여 물순환기본계획을 수립하고, 5년마다 재검토하였다.

##### 4) 기본적 시책 (제14조 ~ 제21조)

물의 저류, 함양 기능의 유지 및 향상, 물의 적정하고 유효한 이용촉진, 건전한 물순환 교육 추진, 과학기술의 진흥, 국제협력 등을 규정하였다.

##### 5) 물순환정책본부 (제22조 ~ 제30조)

물순환 기본계획안의 책정, 관련부처가 실시하는 정책의 종합조정, 물순환에 관한 정책 중 중요사항의 기획 및 입안 등을 실시하기 위한 물순환 정책본부 설치하였다.

## 나. 빗물저류 · 이용촉진 제도

일본 국토교통성은 「빗물저류 · 이용시설을 위한 세제특례조치」를 통해 1998년부터 대도시지역에서 일정량의 빗물을 저류하여 이용 또는 침투시키는 시설을 설치할 경우 법인세(소득세) 인센티브 적용하는 제도를 마련하였다.

도시치수대책 용자제도(국토교통성) : 100㎡ 이상의 빗물저류시설을 설치하고, 그 빗물을 재이용하는 건축물(빗물저류 · 활용형 건축물)을 대상으로 일본개발은행에서 저리 용자 지원하였다.

수자원 유효이용 용자제도(국토청) : 물 공급이 원활하지 못한 지역 및 인구 50만명 이상의 도시권에 시설을 설치하는 사업자를 대상으로 용자 지원하였다.

국토교통성 소관의 용자제도 : 도시빗물대책시설 정비사업 용자, 지역정책 할증 용자(특정 빗물대책주택), 빗물이용설비에 대하여 주택금융공고 할증 대부하였다.

## 다. 스미다구 빗물 이용 추진 지침 (1995.3.23.)

### 1) 목적(1조)

이 지침은 스미다 구 (이하 "구"라한다)의 빗물 이용의 추진에 필요한 기본적인 사항을 정함으로써 도시의 가뭄 및 홍수 방지, 방재 대책의 추진 및 지역 물 순환 재생을 도모하고, 도시의 안전성 향상과 쾌적한 도시 환경의 창조를 도모하는 것을 목적으로 한다.

### 2) 빗물 이용의 추진(5조)

- ① 구가 소유하는 건축물 건축 (건축 기준법 (쇼와 25 년 법률 제 201 호) 제 2 조 제 13 호의 규정에 의한 신축, 증축, 개축 또는 이전을 말한다. 이하

- 같다)를 하는 것에 있어서는 빗물을 도입하는 것을 원칙으로 하고 기존의 것에 있어서는 가능한 범위에서 빗물을 도입한다.
- ② 구 이외의 것이 소유 공공 건축물 빗물 이용을 도입하도록 지도 및 조언을 실시한다.
  - ③ 기타 건축물 건축을 하는 것에 있어서는 조성함으로써 빗물 이용을 추진하여 기존에 있어서는 조성함으로써 가능한 범위에서 빗물 이용을 추진해 나간다. 그러나 건축하는 건축물이 큰 것에 대해서는, 따로 정하는 요강 등에 의해 빗물을 도입하도록 지도한다.

### 3.3 빗물관리 관련법

빗물관리에 관해서 환경부는 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」, 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」, 「낙동강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률」 등에서 강우시 우수유출 저감시설 및 빗물재이용시설의 설치 등에 관한 내용을 다루고 있으며, 국토부에서는 불투수면적에서 발생하는 빗물을 처리할 수 있는 빗물관리시설 및 대체용수로의 빗물활용에 대한 내용을 다루고 있다. 행정안전부에서는 가뭄 등 재해방지를 위한 빗물모으기 시설 설치를 제안하고 있다.

「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」에서는 제 3장 8조 빗물이용시설의 설치·관리를 통해 대통령령으로 정하는 종합운동장, 실내체육관, 공공청사, 공동주택, 학교, 골프장, 대규모점포를 신축하려는 자는 빗물이용시설을 설치·운영하도록 명시하였다.

「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」에서 제21조에 완충저류시설 설치에 대한 내용을 명시하였으며, 제4장 비점오염원관리 조항에서 도시개발사업, 산업단지 등에서 발생하는 비점오염원으로 인한 수질오염 방지 및 생태계 보전을 위하여 빗물 저류·침투시설 등 비점오염저감시설 설치를 의무화하고 있다.

「수자원의 의 조사·계획 및 관리에 관한 법률」에서는 제 4장 수자원 관리의

효율화 조항에서 용수부족에 대비하여 빗물을 활용한 대체·보조 수자원의 개발을 제안하고 있다.

「자연재해대책법」에서는 제 33조를 통해 상습가뭄재해지역에 대하여 빗물모으기 시설 설치 등 가뭄 피해를 줄이기 위한 증장기대책을 수립·시행하여야 한다고 명시하였다.

그 밖에도 경기도, 인천광역시, 광주광역시 등 각 지자체들은 효율적인 빗물관리를 위해 별도의 빗물관리 및 빗물이용시설에 관한 조례를 제정하고 있으며, 현재 총 29개의 빗물관련 조례가 제정되어 있다.

[표 3-11] 관련법에서의 빗물관리 내용

관련 부처	관련 법제도	주요 내용
환경부	물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률	종합운동장, 학교 등 대규모 점포시설은 빗물이용시설을 설치·운영 하여야 함
	수질 및 수생태계 보전에 관한 법률	완충저류시설을 설치하거나 비점오염 저감시설을 설치하여 강우유출수 관리
	낙동강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률	빗물, 오수 등 유출차단시설·집수시설·수질오염사고방지시설 설치
	하수도 시설기준	우수유출 저감시설 설치를 통한 우수배제 계획 수립
국토부	도로와 다른 시설의 연결에 관한 규칙	오수 또는 빗물이 접속되는 도로로 흘러가지 않도록 배수시설을 별도로 설치
	도시·군 계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙	불투수면에서 발생하는 빗물 유출을 최소화하도록 빗물관리시설 설치
	수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률	대체·보조 수자원의 개발·활용을 위해 빗물활용 명시
행정 안전부	자연재해대책법	빗물모으기 시설 설치 등 가뭄 피해를 줄이기 위한 증장기대책을 수립·시행

[표 3-12] 빗물관리 조례

자치단체	조례명	공포일자
안성시	안성시빗물이용시설설치조례	2004.12.27
안산시	안산시 빗물이용시설 설치에 관한 조례	2005.4.20
군포시	군포시 빗물이용시설 설치조례	2005.6.3
이천시	이천시 빗물이용시설 설치 조례	2005.6.9
시흥시	시흥시 빗물이용시설 설치에 관한 조례	2006.3.16
옥천군	옥천군 빗물이용시설 설치 조례	2008.3.20
인천광역시	인천광역시 빗물관리에 관한 조례	2011.10.24
나주시	나주시 빗물관리에 관한 조례	2011.2.14
경산시	경산시 빗물관리 조례	2012.11.30
양산시	양산시 빗물관리에 관한 조례	2012.12.31
경상북도	경상북도 빗물 관리에 관한 조례	2013.12.30
의정부시	의정부시 빗물관리 조례	2013.3.19
영양군	영양군 빗물관리에 관한 조례	2013.3.8
화성시	화성시 빗물관리에 관한 조례	2013.6.13
창원시	창원시 빗물관리에 관한 조례	2014.12.24
포천시	포천시 빗물관리에 관한 조례	2014.2.27
안성시	안성시 빗물관리시설 설치에 관한 조례	2014.5.1
광산구	광주광역시 광산구 빗물관리에 관한 조례	2014.8.14
고양시	고양시 빗물관리시설 설치에 관한 조례	2015.1.9
전주시	전주시 빗물관리에 관한 조례	2015.12.30
경기도	경기도 빗물관리시설 설치에 관한 조례	2015.4.30
남구	광주광역시 남구 빗물관리에 관한 조례	2015.8.10
동구	인천광역시동구 빗물관리에 관한 조례	2016.11.1
남구	인천광역시 남구 빗물관리에 관한 조례	2016.11.14
경상남도	경상남도 빗물 관리에 관한 조례	2016.12.29
가평군	가평군 빗물이용시설 설치 조례	2016.3.16
전라남도	전라남도 빗물이용에 관한 조례	2017.11.2
과천시	과천시 빗물이용시설 설치 조례	2017.6.30
부평구	인천광역시부평구 빗물관리에 관한 조례	2017.9.25

[ 표 3-13 ] 관련지침에서의 빗물관리 내용

지침명	빗물관리 내용
<p><b>하수도 시설 기준</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 우수저류형                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 우수저류형은 우수유출총량은 변하지 않으나 유출량을 평균화시켜 첨두유출량을 감소시키기 효과를 발휘함. 이 저류형에는 강우장소에서 우수를 저류하는 onsite저류(공원, 학교 운동장, 광장, 주차장, 건물사이내의 저류 등)와 유출한 우수를 집수하여 별도의 장소에서 저류하는 offsite 저류(우수조정지, 다목적유수지, 우수저류관 등)가 있음</li> </ul> </li> <li>○ 우수침투형                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 우수침투형은 우수를 지중에 침투시키므로 우수유출총량을 감소시키는 효과를 발휘함. 이 침투형에는 침투지하매설관(우수침투관), 침투우수받이, 침투성포장 등이 있음.</li> <li>- 침투시설은 도시의 경우 지하수 함양대책으로 이용할 수 있음</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>하수도 설계기준</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 우수유출억제 대책                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유출억제시설은 크게 지역내 저류, 지역 외 저류와 침투량을 저류하는 지하 침투시설로 나눌 수 있음</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>택지개발 업무처리지침 택지개발업무처리지침</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 환경친화적인 블록형 단독주택용지 조성요령                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 우기 시 단지 내 발생우수량을 일시적으로 저류할 수 있는 기능을 갖는 생태연못조성으로 생태계의 안정성을 도모함</li> <li>- 단지 내 도로 및 보행로 등의 포장에 가능한 투수율이 높은 다공질 포장재를 이용하며, 녹지공간을 최대한 확보하여 택지조성으로 인한 유출계수 증가를 최소화하는 방안을 강구함</li> </ul> </li> <li>○ 우기 시 단지 내 발생우수량을 저류할 수 있는 대연못 등 조성</li> </ul>
<p><b>도시계획시설의 결정, 구조 및 설치기준에 관한 규칙</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 도로, 보행로, 자전거 도로, 광장, 공공용지 등에 빗물 침투 유도시설 설치</li> <li>○ 우수시설 및 저류시설의 결정기준 및 구조설치 기준</li> </ul>
<p><b>준도시지역 시설용지지구 개발계획 수립기준</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 방재계획은 입안대상지역안에서 발생 가능한 재해를 예방함으로 지구내 거주자 또는 이용자의 안전을 도모하기 위해 수립함</li> <li>○ 방재계획에는 지구안에서 중점적으로 방재시설을 설치할 필요가 있는 지역과 이를 위한 시설의 종류가 포함되어야 함</li> </ul>
<p><b>조경기준</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 보행자용 통행로의 바닥은 물이 지하로 침투될 수 있는 투수성 포장구조이어야 하며, 허가권자가 인정하는 경우에는 그러하지 아니함</li> </ul>

출처 : LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련, 환경부

[ 표 3-14 ] 서울시, 환경부, 국토해양부 빗물관리시설에 대한 내용

출처	서울시	환경부	국토교통부
<b>빗물이용 시설</b>	별도 마련되어 있지 않으며 배수관의 유무에 따라 구분 될 수 있다	빗물이용시설은 사례를 통해 제시하고 있으며, 개선 방안은 침투와 저류에 목적을 두고 기술함	-집수면,스트레이너의 청결상태 확인 침전조, 저류조, 처리수조에 대해 주기적으로 확인 -여과시설의 여재, 곤충 확인 -펌프등 활용설비 확인
<b>빗물침투 시설</b>	침투통, 침투측구, 침투트렌치, 투수성포장, 투수성블록, 침투형 저류시설	선형침투시스템, 저장녹지(생태녹지)의 설치, 대규모 저장녹지의 설치, 한국형 물데-리골렌 시스템, 투수성 포장, 침투통-침투트렌치, 침투조, 녹지 경계부 디테일	-기존 하수도 관로시설에 투수성 재질을 사용하거나 빗물 저장시설 다음에 침투블록 등 별도 빗물 침투시설을 설치하는 방법이 있음 -비포장 침투면, 투수구덩이, 자갈트렌치, 유공관트렌치, 투수조, 투수연못
<b>침투시설 설치장소</b>	공공: 학교, 공원, 도로, 공공건축물 등 민간: 주택 개발, 대규모 건축물, 단독주택 등에 적용	공간적으로 사람들의 이용빈도가 높아 불투수 포장률은 높지만 비교적 초기우수의 오염도가 낮은 주거단지와 공원녹지	침투시설은 해당 적용지역의 토지이용현황, 토양 표층의 투수성과 지하수위 등에 의해 영향을 받으므로 적용대상지역의 조건을 고려
<b>빗물이용 시설 집수시설</b>	집수면(지붕, 옥상면, 베란다, 벽면 등)루프드레인, 집수관, 빗물받이	저류조 분산설치와 말단설치를 비교(분산설치가 침투유량을 저감하는데 효과적)	빗물저류시설로 표현했으며, 일반적으로 집수면, 처리시설, 빗물저장조, 공급시설 및 배관 등으로 구성
<b>빗물이용 시설 처리시설</b>	초기우수처리장치, 침전조, 여과시설(공급수질에 따라 필요시에 적용)		처리시설은 집수면에서 빗물과 함께쓸러온 나뭇잎이나 모래 등의 협잡물을 필터를 통해 걸러내는 시설
<b>빗물이용 시설 저장시설</b>	빗물저장조(FRP, 콘크리트, 강판 등) 과시설(공급수질에 따라 필요시에 적용)	저류조	빗물저장조
<b>용도</b>	청소용수, 조경용수, 잡용수	호수공원 증발량 보충수, 공원수경시설, 화장실 세정용수, 도로노면 청소용수, 학교 친수시설	생활용수, 화장실용수, 조경용수, 공업용수 등 음용수 이외의 목적으로 이용

출처 : LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련, 환경부

## 3.4 LID 관련 법률 및 제도

### 3.4.1 담당부처별 LID 관련 법률 및 기준

국내 LID 관련 법률 및 기준은 [표 3-15]와 같이 각 부처별로 비점오염 저감시설 설치 및 관리·운영기준, 저류, 침투 및 이용 등 분산형 빗물관리 계획수립 등과 관련한 법령 및 기준을 제정하여 운용하고 있다.

[표 3-15] 담당부처별 LID 관련 법률 및 기준

관련 부처	관련 법제도 기준	해당 조항
환경부	「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」	제8조 (비점오염저감시설) 제76조(비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영기준)
	「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙」	제3조(빗물이용시설 설치신고) 제4조(빗물이용시설의 시설기준·관리기준)
국토 교통부	「도시 군 계획시설의 결정 구조 및 설치기준에 관한 규칙」	제8조의3(자연상태의 물순환 회복) 제12조(도로의 구조 및 설치에 관한 일반적 기준) 제14조의3(보도의 구조 및 설치기준) 제19조(보행자전용도로의 구조 및 설치기준) 제19조의3(보행자우선도로의 구조 및 설치기준) 제21조(자전거전용도로의 구조 및 설치기준) 제30조(주차장의 결정기준 및 구조·설치기준) 제51조(광장의 구조 및 설치기준) 제58조(유원지의 구조 및 설치기준) 제61조(공공공지의 구조 및 설치기준)
	도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 시행규칙	제13조(저류시설의 설치 및 관리기준) 저류시설의 설치 및 관리기준은 별표 6과 같다.
	「지속가능한 신도시 계획기준」	제4장 환경적 지속성 제고를 위한 계획기준 제5절 에너지 이용 및 자원순환 (2) 수자원의 효율적 이용 3) 빗물관리 4) 비포장확대, 투수성 포장

### 3.4.2 LID 관련 제도

저영향개발(LID) 기법은 [표 3-16]과 같이 비점오염원 설치신고제, 수질오염총량관리제, 생태면적률 제도 등과 많은 관련성이 있으며, 특히 생태면적률 제도는 개발로 인해 훼손되기 쉬운 도시 공간의 생태적 기능(자연의 순환기능)을 유지 또는 개선할 수 있도록 유도하기 위한 환경계획지표로 LID와 밀접한 관련이 있다.

또한, 환경부는 개발사업에 따른 오염발생 부하량 산정 시 저영향개발을 적용하여 삭감부하량을 산정토록하기 위해 ‘환경영향평가지 저영향개발(LID) 기법 적용 매뉴얼(2013)’을 작성하여 전략환경영향평가 및 환경영향평가 대상사업에 적용토록 하였다.

[표 3-16] LID 관련제도

관련 제도	비점오염원 설치신고	수질오염총량관리	사전재해 영향성 검토	생태 면적률	전략환경 영향평가	환경 영향평가
실행 주체	환경부					
적용 사업	개발사업 및 10,000㎡ 이상의 폐수배출 시설설치 사업장	수질오염총량 관리제도를 시행하고 있는 지역의 개발사업	부지면적 5,000㎡ 이상, 길이 2km이상	도시개발사업, 산업입지 및 산업단지의 조성사업, 관광단지의 개발사업, 특정지역의 개발사업, 체육시설의 설치사업, 폐기물 처리시설·분뇨처리시설 및 축산폐수 공공처리 시설의 설치		
관리 대상	비점오염원	비점오염원	비점오염원 유출량, 녹지면적,	녹지면적	녹지면적, 우수유출량	녹지면적,
적용 효과	비점오염저감 시설로 신고가능(단독 또는 복합적 설치 가능)	비점오염저감 시설로 간주하여 저감효율 인정	정량적 저감효과 분석 후 저감방안 인정	생태면적으로 포함되어 산정가능	-	-
적용 지침	비점오염저감 시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼(2008)	비점오염원 최적관리지침 (2012)		생태면적률 적용지침 (2011)	환경영향평가지 저영향개발(LID)기법 적용 매뉴얼(2013)	

출처 : 평택 고덕신도시 저영향개발기법 도입 방안에 관한 연구

### 3.4.3 녹색건축 인증제도

#### 가. 정의

녹색건축 인증제도는 건축물의 환경성을 높이기 위한 정책수단의 하나로서 건축물 전 생애를 대상으로 환경영향을 평가하여 환경성과가 우수한 건축물을 인증하는 제도이다.

#### 나. 인증대상 및 의무대상

인증대상 : 공동주택, 복합건축물, 업무용건축물, 학교시설, 판매시설, 숙박시설, 그밖의 건축물, 소형주택, 기존 공동주택, 기존 업무용건축물 10가지로 분류한다.

의무대상: 공공기관에서 건축하는 연면적의 합이 3,000㎡ 이상 건축물을 신축하거나 별도의 건축물을 증축하는 경우 예비인증, 본 인증을 일반(그린4등급)등급 이상 취득하여야 한다. (단, 공공업무시설은 우수(그린2등급) 등급 이상 취득)

#### 다. 인증유효기간 및 인증서 발급

- 녹색건축인증 유효기간: 녹색건축 인증서를 발급한 날부터 5년
- 예비인증: 예비인증서 발급한 날부터 사용승인일 까지
- 인증기관에서는 인증심사결과 녹색건축인증을 받은 건축물에 대하여는 녹색건축인증서와 인증명판을 교부
- 인증마크는 인증 유효기간 내에서만 사용이 가능하며 인증홍보는 대상건축물과 직접 관련 있는 인쇄물, 광고물 등에 사용할 수 있음(인증범위 및 인증기관과 인증유효기간을 반드시 포함)
- 인증획득 건축물은 표시광고의 공정화에 관한 법률 제3조의 규정에 의한 '부당한 표시 광고의 내용' 규정에 준수

[표 3-17] 녹색건축 인증기준(물순환관리 부문 세부평가 기준표)

녹색건축 인증기준 2013-2		공 동 주 택
평가부문	4 물순환관리	
평가범주	4.1 수순환체계 구축	
평가기준	4.1.1 우수부하 절감대책의 타당성	
<b>■ 세부 평가기준</b>		
평가목적	우수 부하의 절감은 집중호우시 도시 홍수 발생가능성을 저감하고 하수도, 처리장 및 우수 체수지와 같은 우수 배제시설 등의 건설, 관리비를 절감할 뿐만 아니라 토양 생태계 유지 및 하천수량, 지하수 수량 확보 등의 효과를 얻을 수 있으므로 이러한 효과를 얻고자 하는데 그 목적이 있다.	
평가방법	우수유출 저감시설로의 연계면적비율로 평가	
배 점	4점(평가항목)	
산출기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 평점 = (가중치) × 배점</li> </ul>	
	구 분	우수유출 저감시설 연계면적 비율
	1 급	우수유출 저감시설을 설치하고 그 시설로 우수가 유입될 수 있는 면적(집수면)이 대지 전체면적의 50% 이상인 경우
	2 급	우수유출 저감시설을 설치하고 그 시설로 우수가 유입될 수 있는 면적(집수면)이 대지 전체면적의 40% 이상인 경우
	3 급	우수유출 저감시설을 설치하고 그 시설로 우수가 유입될 수 있는 면적(집수면)이 대지 전체면적의 30% 이상인 경우
4 급	우수유출 저감시설로 우수가 유입될 수 있는 면적(집수면)이 대지 전체면적의 20% 이상인 경우	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 우수유출 저감 시설 : 우수저류시설(중수도의 활용이나 침투유출부하 저감을 위한 우수의 일시적 또는 장기적 저류를 위한 시설)과 우수침투시설(침투유출부하 저감 및 지하수 함양을 위한 우수를 자연지반으로의 침투를 유도하는 시설, 자연지반에 설치된 시설에 한하며, 투수성포장은 제외) 등을 포괄하는 시설로서 하류하천 등에 홍수부담을 감소시키며 합류식 하수처리구역에서의 오염부하량 감소와 하수처리장의 유입부하량 감소 및 도시 물순환 환경의 개선을 목적으로 하는 시설 등을 말한다.</li> <li>- 우수유출 저감시설은 시설유형에 따라 집수장소(집수면), 우수연결관, 사용재질, 침투면 하부구조 등 설치기준 및 우수처리용량을 산출한 설명서를 첨부하여야 한다.</li> </ul>	
<b>■ 평가 참고자료 및 제출서류</b>		
참고자료	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 우수유출저감시설에 대한 구조설치 및 유지관리 기준, 소방 방재청, 2006</li> <li>- 우수유출 저감시설 기준연구, 서울시정개발연구원, 1998</li> <li>- 우수유출저감시설 설치기법 연구(I ~ V), 국립방재연구소</li> </ul>	
제출서류	예비인증	- 우수처리계획도 및 우수유출 저감시설 설계 내역서 · 설명서
	본인증	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 예비인증시 제출서류</li> <li>- 단계별 시공과정 사진</li> </ul>

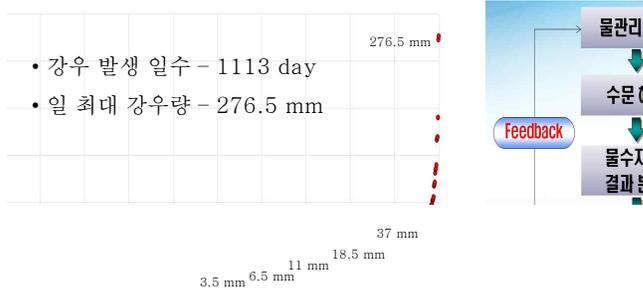
## 4. 물순환 계획

수변도시와 친수구역은 지역적 특성상 하천, 바다 등 물과 가까이 위치할 수밖에 없다. 따라서 인접한 하천 또는 수역이 오염되지 않도록 개발하는 것이 필수적이고, 방재 측면에서도 안전성이 충분히 확보되어야 한다. 또한, 물을 제어의 대상으로 취급했던 과거와 달리 최근에는 여가, 문화, 전망 등을 고려한 물과 조화로운 개발에 대한 요구가 증대되고 있다. 이러한 요구에 부응하면서 수변구역을 효과적으로 개발하고 관리하기 위해 저영향개발 기술을 적극 활용하고자 노력하고 있으며, 이를 위해 수변도시 구성에 있어 물순환, 물관리, 비점오염 저감 등 저영향개발의 목표를 수립하여 개발 사업에 활용하고 있다.

저영향개발은 자연이 가지고 있는 침투, 저류, 여과, 지체 등의 기능을 충분히 활용하고, 빗물 이용시설을 통한 물이용을 증대시키는 종합적인 물관리 기법이다. 이에 K-water는 수변도시 구성에 있어 저영향개발을 기법을 적극 활용하기 위해 물순환, 물관리, 비점오염 저감 등 저영향개발의 목표를 수립하여 개발 사업에 활용하고 있다.

저영향개발을 이용한 수변도시의 구성은 치수 측면의 방재도시 구성과 이수 측면의 물 복지를 위한 물순환 생태도시(친환경 및 물자급률 향상)의 구성을 목표로 계획하고 있다. 즉, 계획빈도 홍수에서도 내·외수에 의한 피해가 발생하지 않도록 계획하고, 소규모 강우 시 유역 내에서 소규모 시설을 이용한 발생원 관리를 통해 목표 강우를 침투, 저류시켜 물순환 개선과 비점오염의 저감을 목표로 한다. 또한, 소규모 저류시설을 통해 빗물의 재이용을 활성화하여 도시의 물 자급률 향상을 고려하고 있다. [그림 4-1]은 송산그린시티에 대한 저영향개발의 목표 수립 내용을 제시한 그림이다.

- 물순환 : 20 mm 발생원관리 (연간 80퍼센타일)**
- 물관리 : 빈도별 홍수관리 (5년~50년)**
- 수 질 : 비점오염 60~80% 저감**
- 물이용 : 사용수량(생활용수) 10% 절감 / 미기후저감(1℃)**



EDC 설계 Process

**물순환 친수도시 표준모델: 수량(이수,치수), 수질, 도시화 Total Solution**

[그림 4-1] 저영향개발의 목표 수립

따라서 향후 수변도시 및 친수도시의 물순환 계획 및 설계에 고려해야할 사항으로 물순환, 물관리, 수질 및 물이용의 큰 방향성을 이용하여 설계에 반영하는 것을 제안한다. 도시계획에서의 물순환 설계는 현재 시점에서는 Master Plan의 사업이 후에 물순환 설계를 실시하는 것이 일반적이다. 그러나 수변도시 및 친수도시에서는 물 및 친수구역의 중요성이 다른 도시에 비하여 크게 영향을 줄 수 있기 때문에 계획 초기에서부터 물순환의 방향성을 잡고 설계에 반영하는 것이 중요하다.

## 4.1 물순환 목표

수변 친수도시 개발에서 물순환 목표를 설정하고 향후 개발되어지는 도시에 적용 가능하도록 다음과 같은 물순환 목표를 수립하였다.

1. 물순환물관리	15mm (80퍼센타일) / 홍수관리(50년빈도, 90퍼센타일)
2. 수질·환경생태	비점오염 70~80% 저감
3. 물확보·물이용	공급계획량 및 사용수량(생활용수) 10%절감
4. 기후변화 대응	저탄소 및 도시열섬·미기후저감(2℃), 냉난방비(10%) 절감

[그림 4-2] 물순환 목표

물순환의 목표는 크게 4가지로 구분하여 설정하였는데 첫 번째는 물순환 및 물 관리 방안으로 80퍼센타일의 물순환 관리와 빈도별 홍수관리를 중점으로 선정하였다. 두 번째는 수질 및 환경생태 부분으로 비점오염을 기존 물순환 방안에서 70~80%저감 시킬 수 있는 저영향개발의 목표로 설정하였다. 세 번째는 물확보 및 물이용 방안으로 공급계획량과 사용수량 10% 절감을 목표로 설정 하였으며, 대체수자원과 타수원의 검토를 통한 수원확보 방안을 목표로 설정하였다. 네 번째 방안은 기후변화에 대응하는 방안으로 기후저감 및 냉난방비 절감을 목표로 설정 하였다.

## 4.2 물순환 분석

수변 친수도시 개발에서 필요한 물순환 분석을 위해서는 기본적인 수자원의 수량 확보 방안이 가장 우선시 되어야 한다. 수변 친수도시를 위한 수량 확보는 하천수질, 생태기능유지, 경관보전 및 개선, 지하수위 유지 등과 같은 여러 효과를 보이고 있으며, 기존에 안정적인 수량 확보 방안이 정해지지 않고 개발된 도시의 경우 유지관리 비용 및 수자원부족으로 인한 문제점이 발생하기도 한다. 따라서 물순환 분석에 기본적으로 요구되는 자체수자원 및 개발에 따라 요구될 수 있는 대체수자원에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

### 4.2.1 필요수량 산정

하천관리를 위한 하천유지유량 또는 하천관리유량은 기본적으로 하천의 보전 및 복원 등을 위한 자연적 기능, 그리고 이수 관리와 하천환경관리를 바탕으로 하천 개발과 이용을 위한 인위적 기능을 유지하고 관리하는데 필요한 최소한의 하천유량이라 할 수 있다. 이러한 하천유지유량은 인간이 사용하는 물과는 별도로 하천 본래의 기능을 충족시키기 위한 유량으로서 하천의 수량관리에 있어 반드시 고려되어야 할 사항이다.

하천법 제20조(하천유지유량)에 하천관리자는 유수의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 수량, 즉 하천유지유량을 설정하여 고시하도록 되어있다. 여기서 하천의 정상적인 기능과 상태라 함은 최소한의 갈수량, 하천 수질 보전, 하천 생태계 보호, 하천 경관 보전, 염수 침입 방지, 하구 막힘 방지, 하천 시설물 및 취수원 보호, 지하수위 유지와 같은 8가지 기능을 말한다.

도시하천에서 하천유지유량은 자연갈수량을 최소한의 기준으로 하고, 자연적 기능에 해당하는 항목별 필요유량을 조합하여 구간 또는 지점별로 설정한 최대유량을 갈수량과 비교하여 하천유지유량을 결정한다. 즉 도시하천의 유지유량은 기본적으로 하천의 보전 및 복원 등을 위한 자연적 기능과 인간이 하천을 이용하는데

필요한 최소한의 하천유량이라 할 수 있다. 자연적 기능이란 하천이 가지고 있는 고유유량에 의해 유지가 가능한 것으로서 하천 고유의 갈수량 유지, 어류 등과 같은 수생 생물의 생태계보호, 정서함양공간으로서 하천경관의 유지 등이다.

도시하천은 하천의 친수기능 제공 등 인위적 기능도 중요하며 이러한 인위적 기능은 하천의 정상적인 이용을 위한 기능들로서 주로 도시하천관리를 위해 개발된 각종 시설물의 보호, 악화된 수질을 개선하기 위한 수질보전 유량, 친수용수, 경관용수 등이 있으며 각각의 필요수량을 설정하는데 적용되는 기준은 다음과 같다.

### 가. 하천생태계를 고려한 필요유량

하천 생태계에서 유량의 변화는 어류뿐만 아니라 하천의 모든 생물에 큰 영향을 미치며, 특히 어류의 서식처, 산란장, 산란한 알 등에는 유량의 변화가 치명적인 영향을 미치기 때문에 하천유지유량을 결정할 때에는 어류생태를 우선 고려하나, 하천 내 모든 어류를 고려한다는 것은 한계가 있으므로 우리가 흔히 접할 수 있고 쉽게 이해할 수 있는 대표어종을 선정하여 필요유량을 충족시켜줌으로서 하천생태계를 보전하도록 하여야 한다.

[표 4-1] 생태계를 고려한 유지유량 산정기준

구 분	유지유량 산정기준
수면폭	하천경관에 필요한 수면폭을 적용한다.
유 속	어느 정도 흐름을 확보할 수 있는 0.2m/s를 적용한다.
수 심	목표어종이 살 수 있도록 하여야 한다.

## 나. 하천경관을 고려한 필요유량

하천경관을 고려한 필요유량이란 하천의 주요지점에서 경관을 유지하기 위하여 하천이 확보해야 할 수리학적 조건, 즉 수면폭, 유속 등을 만족시킬 수 있는 유량을 말한다. 또한 하천이나 하천변에 접근하는 사람으로 하여금 정서적으로 풍부하고 안정된 심적 감정을 갖도록 하는 유량이다.

유량변화에 따라서 수면폭, 유속, 수심, 하폭 등의 물리적인 요소가 경관에 미치는 영향이 커지므로 산정방법은 이를 바탕으로 하여 유속의 크기에 따른 흐름 상태는 다음의 표에 제시된 바와 같다.

[표 4-2] 유속의 크기에 따른 흐름의 상태

유속(m/s)	흐름의 상태
0.1 이하	흐름을 느낄 수 없다. 호안의 물체가 수면에 비친다.
0.1 - 0.2	매우 완만하고, 수면은 거의 파가 일어나지 않는다.
0.2 - 0.4	완만하게 느끼고 흐르는 모습을 알 수 있다.
0.4 - 0.6	비교적 빠른 흐름으로 파가 발생되며 유량감을 느낀다.
0.6 - 0.8	빠른 흐름으로 파가 발생한다.
0.8 - 1.0	빠른 흐름으로 파랑이 크게 된다.
1.0 - 1.5	상당히 빠른 흐름으로 급류에 가깝고 파랑이 급격하게 된다.
1.5 - 2.0	급류의 느낌을 가진다.

필요수심은 생태계를 고려한 필요유량 산정의 값을 보장하는 것이 적합하며, 급격한 경관 변화가 일어나지 않도록 주요 하상재료가 수면으로 드러나지 않는 수심을 확보하도록 고려하여야 한다. 유속은 하천의 형태 및 특성, 지역특성 그리고 사회문화적인 특성을 고려하여 하천의 이미지에 부합하는 유속을 검토하였으며, 하천경관을 고려한 유지유량 산정기준은 다음 표에 제시된 바와 같다.

[ 표 4-3 ] 하천경관을 고려한 유지유량 산정기준

구 분	유지유량 산정기준
수면폭	유량이 많고 적음에 대한 느낌은 수면이 차지하는 비율 등 대상간의 비율과 대상공간의 점용율에 의한다. 이때 공간비율의 지표로써 수면폭(W)과 하천폭(B)의 비(W/B)를 들 수 있다. 유량감을 느낄 수 있는 최소비율은 하천폭의 20%이다.
유 속	각 하천별로의 특성을 고려하여 산정한다.
수 심	목표어종을 고려하여 산정한다.

#### 다. 친수를 고려한 필요유량

하천유지유량을 산정하기 위해서는 하천에서의 여가활동을 포함한 친수활동을 고려할 필요가 있으며, 친수활동의 종류 중에서 소규모 마리나 시설을 적용하면 유지유량 산정기준은 다음과 같다.

[ 표 4-4 ] 친수를 고려한 유지유량 산정기준

구 분	유지유량 산정기준
수면폭	산책이나 물놀이 등이 가능한 수면폭으로 경관에 필요한 수면폭을 적용한다.
유 속	친수활동에 적합한 유속 0.2m/s을 적용한다.
수 심	소규모 마리나 예상시 1.5m가 적당하다.

#### 라. 수질을 고려한 필요유량

생물의 서식환경개선, 경관, 인간의 친수활동을 고려하여 목표수질을 BOD기준 5mg/l로 설정하였다. 이는 상류 오염원 유입을 차단하며, 별도의 유지유량 확보시 가능할 것으로 판단된다.

## 4.2.2 자체수자원 분석

일반적으로 하천에서 수량을 확보하는 방안은 크게 기존의 수원(자체수자원)을 활용하는 방안과 신규수원(대체수자원)을 개발하는 방안이 있으며 자체수자원 활용방안에 대한 내용은 다음과 같다.

개발 이전에 하천의 유황분석을 실시하여 하천의 갈수량, 저수량, 평수량 및 풍수량을 산정하고 하천의 경관 및 친수를 고려한 유지유량이 가능한지 분석을 실시한다. 분석된 하천의 유량과 더불어 이전에 각종 용수원으로 활용하던 저수지나 보가 있을 경우 유지용수의 이용가능성 분석이 필요하다. 또한 이러한 자체수자원을 활용하는 방안등을 살펴보면 다음과 같다.

### 가. 현지처리 확대

하천의 건천화 방지와 유지유량 확보를 위해 하천 상류지역에서 하수의 현지 처리를 확대하여 처리수를 상류하천에 직접 방류하는 방안을 검토한다. 대부분의 하수처리장은 하류에 위치하고 있으나, 이후 신규로 발생하는 상류지역의 하수는 현지 처리를 통해 하천으로 방류하고, 장기적으로 하수처리장의 용량을 초과하는 경우 초과분에 대해서는 기존의 상류지역 유입부분을 줄여 상류에서 처리하도록 유도한다.

### 나. 분류식 하수관거 확충

일반적인 하천은 대부분의 하수관거가 합류식으로 설치되어 있어 상류의 계곡수 및 지하수까지 하수처리장으로 유입되고 있다. 따라서 이를 상류지역부터 분류식으로 조속히 확충하여 상류에서 유입되는 계곡수와 우수가 하수처리장으로 유입되지 않고 하천유지유량으로 가능토록 한다.

## 다. 하수처리장 방류수 활용

각 도시는 하수처리장을 운영하고 있고 대부분 처리수를 하류지역에서 자연방류하고 있다. 이 방류수를 하천특성에 적합하게 고도 처리하여 상류나 인근 하천으로 유입시켜 유지용수로 활용하는 방안을 고려해야한다. 하수처리수를 상류지역까지 이송하여 방류할 경우 건천화 방지와 유지용수 확보뿐만 아니라 하수처리에 대한 시민들의 인식도 재고될 것이다.

## 라. 기존 수리시설의 적정운영

이전에 각종 용수원으로 활용하던 저수지나 보가 있을 수 있다. 현재는 농업용수로의 기능을 상실하여 생활·공업용수 등으로 공급하고 있는 경우 갈수기 유지용수의 이용가능성 분석과 의무방류 방안에 대한 검토가 필요하다. 유지용수 부족으로 하천생태계에 문제가 있을 경우 저수지의 준설을 통해 저수용량을 늘리거나 기존 타 용도를 중수도 등으로 대체하고 긴급시 이용수를 유지용수로 활용하는 방안을 검토한다.

## 마. 우수유출 저감시설

장기적인 대책으로 지하수위를 상승시켜 비가오지 않더라도 지하에서 지표로 유출되는 지하수로 하천의 최저유량(base flow)을 유지하도록 하는 것이다. 연강수량의 67%가 하절기에 집중적으로 분포하고, 하천유출량 중 67%가 직접 바다로 유출되는 수리수문학적 특징을 갖고 있다. 이와 같은 집중적 강우의 특징을 고려하여 발생지역에서 우수를 처리하여 유출량을 경감시킬 수 있는 항구적인 친수대책이 불가피한 실정이다.

우수유출 저감시설에 의해우수를 평면적으로 처리하는 방법은 지하수를 함양시킬 뿐만 아니라 도시의 물순환 면에서도 귀중한 수자원을 만들어 내는 것이 되므로 도시의 물 환경을 개선할 것으로 판단된다.

### 4.2.3 대체수자원 분석

자체수자원으로 하천의 유량을 확보하기 어려운 경우에는 대체수자원의 방안을 찾아볼 수 있다. 대체수자원의 경우 타 유역에서의 도수나 저영향개발 기법을 통한 함수량 증대 및 지하수 함양 방법, 하수처리수 이용, 빗물활용 및 해수담수화 방안 등이 있다.

#### 가. 타유역에서의 도수

인근유역에 풍부한 수원이 있을 경우 유지용수 확보를 위한 타 유역에서의 도수도 가능하다. 실제 낙동강의 경우 영천댐 건설로 인한 유지용수 감소를 보충하고자 임하댐에서 도수로로 건설하여 공급하는 방안을 강구하였으며 2001년 영천댐 도수로로 준공 하였다. 영천댐 도수로는 1990년대 건설과정에서 지하수 고갈 우려 등으로 주민과 마찰까지 빚었지만 최근 에 발생하고 있는 가뭄해갈에 중요한 역할을 하고 있다. 또한 충남 서북부지역의 2015년 극심한 가뭄으로 인하여 금강 본류의 물을 보령댐 상류로 이송시키기 위한 도수로 공사가 예비타당성 평가를 면제받고 사업이 진행되어 2016년 2월 통수식을 가졌다.

#### 나. 저영향개발 기법 적용을 통한 함수량 증대

도시유역에서는 표면의 불투수층이 증가함으로써 강우 시 지하수 충전이 감소하게 되어 갈수기 기저유출량 감소로 인해 하천이 건천화 된다. 따라서 유역의 침투력을 증가시키거나 자연 저류력을 증가시키는 등 유역관리를 통해 기저유출량을 증가시키는 방안을 이용할 수 있다.

유량확보를 위한 유역관리 방안은 그 외에 우수저류시설 설치 등 물에 관한 종합적인 접근방법을 모두 포함한다.

## 다. 하수처리수 이용

최근들어 하수처리수의 고도처리 수질이 좋아지면서 하수처리수를 활용한 수량 확보방안이 하나의 대안으로 부상하고 있다. 하수처리수를 활용한 수량 확보방안의 국내외 사례는 다음과 같다.

일본은 하수처리수를 잡용수로 재이용하는 것이 활발히 이용되어 오다가 최근 하천유지용수로 활용이 이루어지고 있다. 오사카에서는 공원의 호수유지용수로 활용하고 있고, 동경시에서는 다마천 하수처리장에서 송수관을 30km 설치하여 상류로 이송, 산불방지용수, 상수원수, 하천유지용수 등으로 활용하고 있다. 방류수질은 BOD 1.1~2.9mg/l 정도로 양호하다. 미국에서의 하수처리수 재이용은 새로운 용수원 확보의 관점에서 진행되고 있으며, 주로 농업용수(관개용), 공장용 냉각수, 연못이나 호수에 이용되고 있다. 지하수 함양을 위해서 샌디에고 등에서는 하수처리수를 수개월동안 안정화한 후 지하층에 유입시키고 있다. 영국은 총 용수량의 2/3이상을 냉각용수로 사용하고 있다. 하수처리수를 직접 이용시는 목표수질까지 또는 3차 처리까지 하고 있다. 이처럼 해외에서는 하천유지용수의 보조용수로 하수처리수가 활용되고 있다.

국내의 하수처리수를 하천에 적용하는 사례는 신천, 학의천 및 시민의 강을 예를 들 수 있다. 대구광역시에 위치하고 있는 신천은 1998년부터 하수처리수와 금호강의 물을 섞어 상류로 이송하여 하천유지용수로 이용하고 있다. 고도처리수 수질은 BOD 2~3mg/l로 양호하다. 안양시에 위치한 학의천의 경우도 2002년부터 하수처리수를 학의천 상류로 방류하고 있으며, 하천유지용수로 지하철용출수, 상류 저수지, 소하천분리벽 등 다양한 기법을 통해 용수확보가 가능하여 갈수기인 3~5월에 제한적으로 방류하고 있다. 부천에 위치한 시민의 강은 인공하천으로 2003년부터 하수처리수를 원수로 사용하고 있으며, 2004년 7월부터 고도처리수를 방류하고 있다. 친수하천 개념의 수로이며, 경관측면이 강하고 주변 시민들에게 좋은 반응을 보여 하수처리수의 하천용수활용 방안에 좋은 시사점을 나타내고 있다.

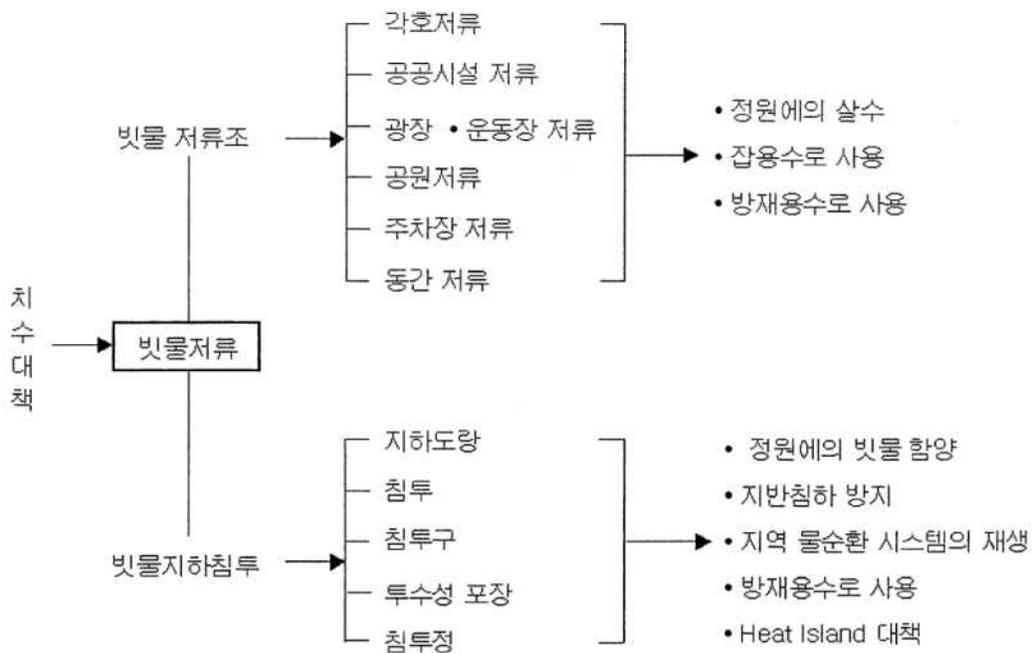
## 라. 해수담수화

수자원 고갈의 문제와 더불어 지표수 이용율이 높은 우리나라의 용수고급 체계는 가뭄에 매우 취약하여 가뭄이 닥칠 때마다 국지적으로 또는 전국적으로 큰 피해를 입어와 이 문제를 해결하고자 일찍부터 대체수자원 개발에 관심을 가져왔다. 대표적인 대체수자원은 지하수, 중수도 및 해수담수화 등을 들 수 있을 것이다. 그 중 지하수의 개발은 가장먼저 시작된 분야로 가뭄시 농업용수나 공업용수의 확보에 많은 성과가 있었다. 그러나 신뢰할만한 대수층이 발달되어 있지 않은 우리나라의 지질학적 특성상 대규모의 지하수를 개발하기에는 한계가 있고 도서지역이나 해안지역에서는 부존 지하수량이 극히 미미한 경우도 많아 수요대비 충분한 개발이 어려운 경우가 적지 않다. 특히 해수담수화는 해수를 원수로 이용하므로 양적으로 풍부하고 질적으로도 비교적 양호하며 아직까지는 수리권 문제가 대두되지 않고 있다는 장점이 있어 담수자원이 부족한 해안지역 및 도서지역의 물 문제를 해결하기 위한 기술로서 관심이 집중되는 추세이다.

담수화의 의미는 해수중에 용해되어 있는 염분을 제거하여 담수를 얻는 일련의 공정을 말하며, 생산된 담수는 각종 용도별로 사용된다. 해수담수화는 물에서 미네랄 성분을 제거하는 탈염화(Demineralization)와 이온을 제거하는 탈이온화(Deionization)를 종합한 것으로 탈염담수화로 일컫기도 한다. 담수화는 플랜트 부분이 핵심인데, 담수화 플랜트 부분은 증발법(Distillation), 역삼투법(Reverse Osmosis), 전기투석법(Electro dialysis) 등의 방법을 사용하여 왔으며, 현재까지 주로 많이 사용되고 있는 것은 증발법인데, 이 방법은 효율은 우수하나 에너지 소비량이 많으므로 에너지 자원이 풍부한 중동지역에서 주로 이용되고 있으며, 최근에는 에너지 소비량이 상대적으로 적고 효율이 뛰어난 역삼투법의 사용이 증가하는 추세이다.

## 마. 빗물 재이용

빗물이용이란 주택건물의 지붕이나 옥상, 테라스, 테크 등에서 빗물을 취수하여 이것을 지하등에 설치된 저류조에 저장하여 화장실용 세정수나 살수 등의 잡용수로 이용하는 것을 말한다. 방제측면에서 빗물을 지하 침투시켜 지역 물순환 시스템의 재생, 지반침하 방지, 정원에의 빗물 함양, 도시의 열섬화 방지대책 등에 기여하는 것을 말한다.

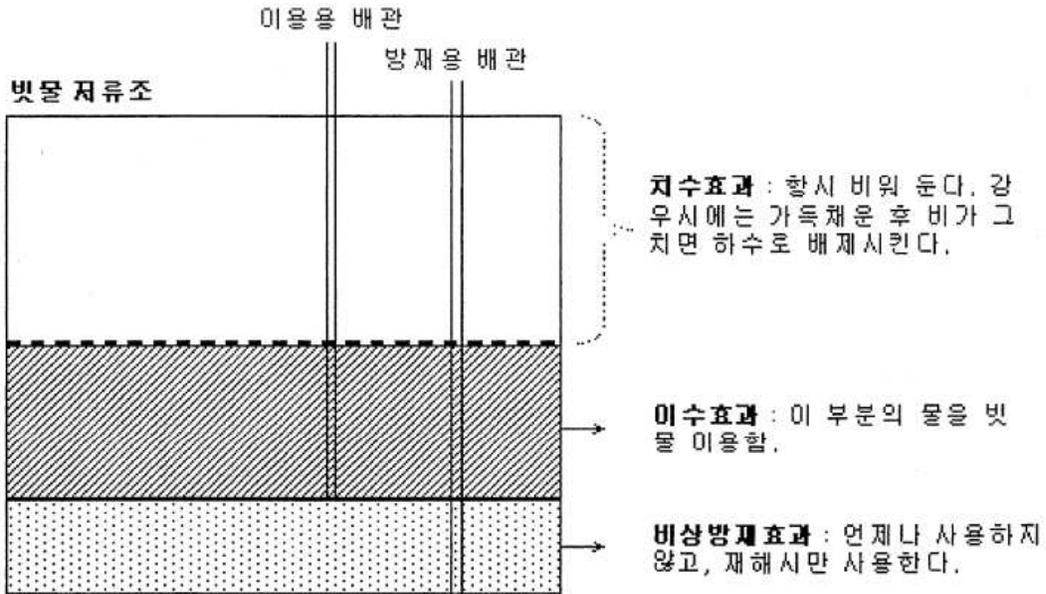


[그림 4-3] 빗물이용의 개념

빗물이용의 효과는 크게 방재, 환경, 이수의 3가지 측면으로 그 효과를 살펴볼 수 있으며, 방재적 측면의 효과는 다시 치수대책과 긴급비상시 대책으로 구분된다.

강우전에 빗물저류조의 1/2밖에 물이 없다면, 용량의 1/2의 치수효과가 얻을 수 있는 이유이고, 또한, 저류조가 가득 차 있으면, 이수효과는 100%이고, 그 시점에

서는, 비상방재 효과도 100%이다. 한편, 만약 저류조가 가득차 있다면 치수효과는 0%이며, 비어 있다면 치수효과는 100%이지만, 이수효과 및 비상방재 효과는 0%이다. 즉, 저류조를 설치한다면 3가지의 효과를 기대할 수 있지만, 때로는 전혀 효과가 없는 경우가 있을 수 있다.



[그림 4-4] 빗물이용의 효과개념도

빗물의 용도는 상수와 같은 수질을 필요로 하지 않고, 인체에 영향을 주지 않는 범위의 용도로 한정한다. 특히, 빗물을 옥상녹화 등 조경용수로 사용할 경우, 단순한 빗물의 활용뿐만 아니라 단열효과, 흙이나 나무가 빗물을 흡수하는 현상에 의한 비의 유출억제효과, 일사의 영향에 의한 옥상열화방지, 사람의 눈을 온화하게 하는 심리적 효과, 건축물의 라이프 사이클 비용을 저감시키는 효과까지 부차적으로 얻을 수 있다. 예를 들면, 일사량이 많은 여름철의 경우 열전도성이 높은 방수 아스팔트와 콘크리트로 인해 빌딩 옥상의 표면온도가 60℃ 가까이 도달하는 것으로 조사되었다. 이때 지붕 위에 설치된 물뿌리개 장치를 이용하여 저류된 빗물을

지붕에 뿌려 건물 내부의 기온을 25℃ 정도로 낮추는 용도로 사용하여 여름철 냉방에 따른 전력 사용량의 증가를 예방할 수도 있다.

## 바. 우수침투시설

택지개발 및 도시화가 진행됨에 따라 불투수면이 증가하게 되고 이로 인하여 개발 전에 비해 유출량이 증가하게 된다. 이로 인하여 침투홍수량이 급격히 증가하게 되고, 침투 도달시간이 빨라지며 유출총량도 증가하게 된다. 그러므로 도시화로 인해 방재적인 측면에서 불리하게 되어 재해영향평가를 실시하게 되었으며 아울러 침투량이 감소함에 따라 지하수의 함양이 낮아지게 되고, 하천으로 유입시 오염부하가 현격히 증가하게 되어 환경적인 면에서도 크게 불리하게 되었다. 우리나라의 치수대책은 주로 위에서 제시한 치수방안 중 주로 구조적인 방법 중에서도 유하를 촉진시키는 방안에 집중되어 왔다. 그러나 유하를 촉진시키는 방안은 어떤 지역의 물문제를 그 하류지역으로 전가시킨다는 문제점을 안고 있다. 따라서 개발에 따른 근본적인 치수대책으로 아직까지 우수유출 저감 시설 유역 외 저류시설인 전용 저류지에 관한 연구가 대부분이며 유역내에서의 우수유출을 저감 시킬 수 있는 방안을 강구하는 것이 바람직하다.

우수침투시설은 지반의 침투능력에 따라 지하로 침투시켜 우수유출량의 절대량을 감소시켜 하류하천의 홍수부담을 경감시키는 것 이외에, 토지의 다목적 이용이 가능하게 된다. 이와 같은 이유로 인해 예전의 방재조정지 등의 저류형 유출억제 시설에서 현재에는 개발로 인해 증대되는 유출량은 되도록 현지에서 처리한다는 생각을 기본으로 기존 설치된 방재조정지 이외의 침투시설을 겸용한 우수저류, 침투방식을 선택하고 있다.

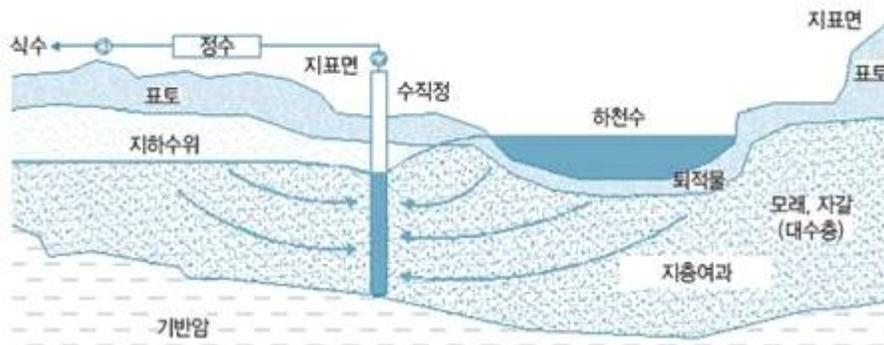
일본 우수저류침투기술협회에서 보고된 바에 의하면 침투시설의 설치 유·무 비교시 침투시설을 저류지와 겸용하여 설치하면, 침투시설을 설치하지 않은 지역보다 조정지 저류용량을 약 27% 감소시키는 것이 가능하다는 보고가 있다.

## 사. 강변여과수

강변여과수란 하천, 호소 또는 그 인근지역의 사력층을 통과한 물로 하천 또는 호수 인접 지역을 굴착하여 설치한 양수시설로 취수하며, 하천 표류수가 대수층을 통과하면서 여과되는 이점을 활용하는 것이다.

강변여과수의 여과 메커니즘은 모래나 자갈의 공극을 통과하여 우물로 집수되면서 물리적 여과와 흡착이나 생화학적 분해에 의해 용존 오염물질이나 병원성 세균이 제거되는 화학적·생물학적 여과로 구분된다. 강변여과수는 오염물질을 걸러주기 때문에 비교적 양호하고 안정적인 수원을 제공하고, 정수처리시 발생하는 슬러지 처리비용을 줄이는 장점이 있다.

강변여과수 취수방식 중 유럽에서 많이 이용되고 있는 인공함양 방식은 해안가 사구지대 또는 강변의 둔치를 활용하거나 인공적으로 굴착한 인공 함양지를 만드는 방식으로, 대체적으로 원수를 인공함양지로 직접 공급할 경우 여과 기간이 짧아져 여과 효과를 떨어지게 하므로, 우선 원수를 침전 및 여과로 전처리한 후 인공함양지로 공급하여 우물을 통해 취수 및 공급하는 방식을 주로 채택하고 있다. 그러나 인공함양지 조성을 위한 대규모 토지 매수와 막대한 투자비가 요구되는 단점이 있다.



[그림 4-5] 강변여과수 개략도

## 5. 계획 설계(기술) 노트

수변 및 친수도시의 물순환 설계시 고려해야할 사항들은 다음과 같다. 강우의 발생으로 인한 빗물은 소유역별 분산관리를 통해 발생지점에서 해결할 수 있도록 해야 한다. 또한 개발되는 대상지역의 물순환은 개발 이전의 물순환 체계에서 크게 변화가 없도록 진행하는 것이 중요하다. 이를 위해 저영향개발과 같은 비점오염 처리 시설과 더불어 LID 시설이 추가된다면 보다 합리적인 물순환 과정에 도달할 수 있을 것이다.

따라서 본장에서는 K-water에서 수변도시로 개발하고 있는 송산그린시티사업의 동측지구를 대상으로 물순환 계획 및 설계에 대하여 검토하고 분석하였다. 물순환 계획 수립 및 분석의 주요내용은 서울특별시 빗물관리 기본계획(2013, 서울특별시)에서 적용되었던 방법을 참고하였으며, 향후 분석결과를 적용할 때 발생할 수 있는 문제점에 대한 내용을 추가하였다.

### 5.1 물순환 기본 계획 수립

#### 5.1.1 도시화에 따른 물순환 변화

도시의 건전한 물순환 분석을 위해 국내·외 연구사례를 검토 및 물순환 분석 결과를 조사하였다. 국내에서는 서울시에서 물순환 조례 및 빗물관리 기본계획을 수립하여 가장 적극적으로 정책을 추진 중에 있다. 개발에 따른 물순환을 변화 연구 사례는 [표 5-1]과 같다. 연구 사례 전체적으로 도시 개발전과 후에 표면유출이 평균 40%이상 증가하는 것으로 나타났으며, 증발량, 지표하 유출 및 지하수 유출이 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 도시 개발에 따른 유출량변화의 특성과 일치하는 연구결과이며 이러한 도시의 물순환 왜곡으로 인한 문제점들을 해결하기

위해 물순환 기본계획은 필수적이라 할 수 있다.

서울시의 경우 2013년 기준으로 10년 평균 강수량의 40%에 해당하는 강수량 (620mm)을 저류 및 침투 시키도록 하는 서울시 빗물관리 기본계획을 수립하였다. 이는 강수량을 정략적으로 분석하여 저감시키려는 국내 최초의 사례이다.

아산탄정지구의 경우 물순환 시설의 설치가 완료되어 시설에 대하여 모니터링이 진행 중에 있다. 향후 실증시설에 대한 모니터링 결과를 바탕으로 도시 물순환 시설의 활용방안에 대한 연구가 필요할 것이라 판단된다.

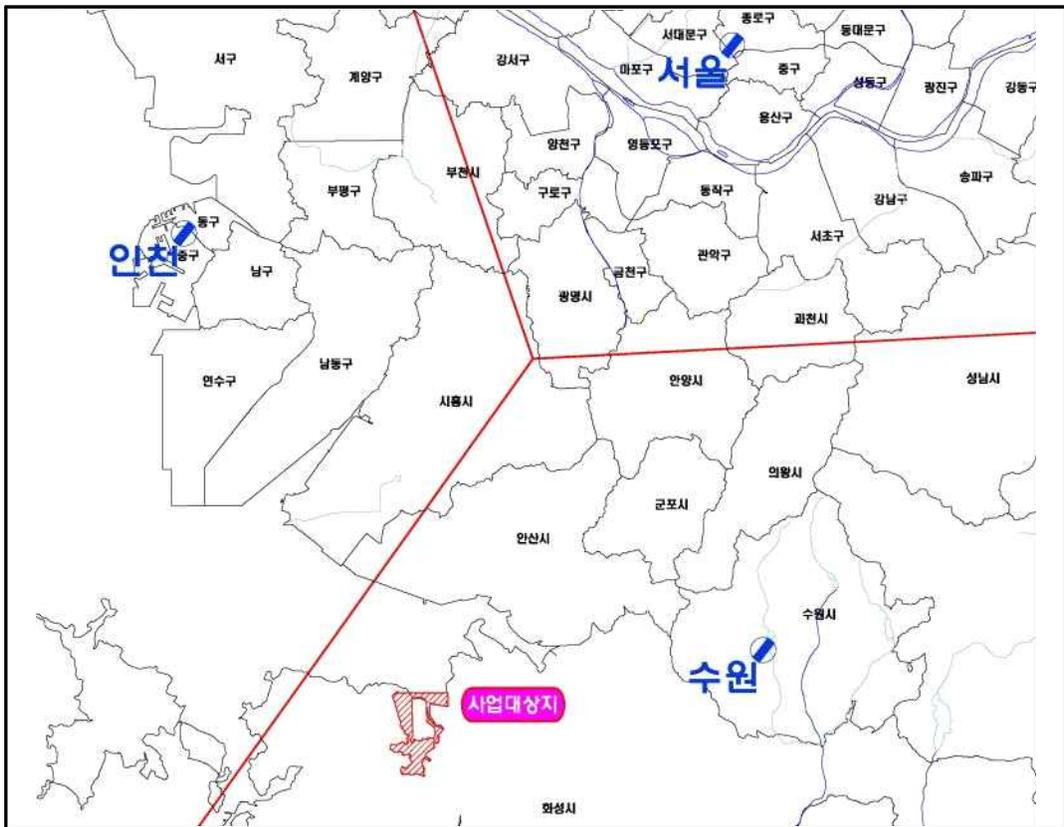
[ 표 5-1 ] 개발에 따른 물순환률 변화 연구 사례

구분		증발	표면 유출		지표하 유출	지하수 유출	
서울시	물순환 기본계획, 빗물관리 기본계획 ('04, '07, 서울연구원)	1962년	51.2	8.9	△38.2	16.6	23.3
		2002년	30.3	47.1		9.3	13.3
	빗물관리시설 설치 기본계획 ('13, 이산+동일)	1962년	43.3	10.6	△41.3	31.8	14.3
		2010년	25.0	51.9		15.4	7.7
수원시	수원시 물순환관리 기본계획 ('11, 한무영)	자연상태	40	10	△45	25	25
		도시화 후	30	55		10	5
아산탄정신도시	아산탄정 시범지구 실시설계 ('11, LH공사)	개발전	33.5	25.0	△40.5	20.0	21.5
		개발후(설치전)	9.4	65.5		10.0	15.1
		개발후(설치후)	11.0	40.8	-	15.0	21.2
미국	LID Guidebook For North Carolina('09) Federal Interagency SRWG ('00, 미국하천복원위원회)	도시화 이전	40	10	△45	25	25
		중간단계1	38	20		21	21
		중간단계2	35	30		20	15
		도시화 이후	30	55		10	5
일본	동경도 물순환 마스터플랜('99) 하찌오우지수환경보전 기본계획 ('01, 주택정비공단 수도권본부)	1999년	29.3	45.1	-	15.0	10.6
		개발전	45.8	4.7	△44.8	8.1	41.4
		개발후	28.1	49.5		3.4	19.0

출처 : 서울특별시 빗물관리 기본계획(2013)

### 5.1.2 송산그린시티 물순환 계획 수립

송산그린시티 동측지구를 대상으로 물순환 기본 계획을 수립하기 위해 4장에서 제시한 친수도시 개발의 물순환 목표를 적용하였다. 15mm 일강우 발생량에 대한 강수량 분석을 위해 송산그린시티 동측지구의 인근의 강우관측소를 분석하였다. 대상지역에는 유역내 우량관측소가 존재하지 않으며 인근에 서울, 인천, 수원관측소가 존재하고 있다. 따라서 주변에 위치한 강우관측소중 수원관측소를 선정하였다. 강우관측소의 위치 및 수원관측소 현황은 다음과 같다.

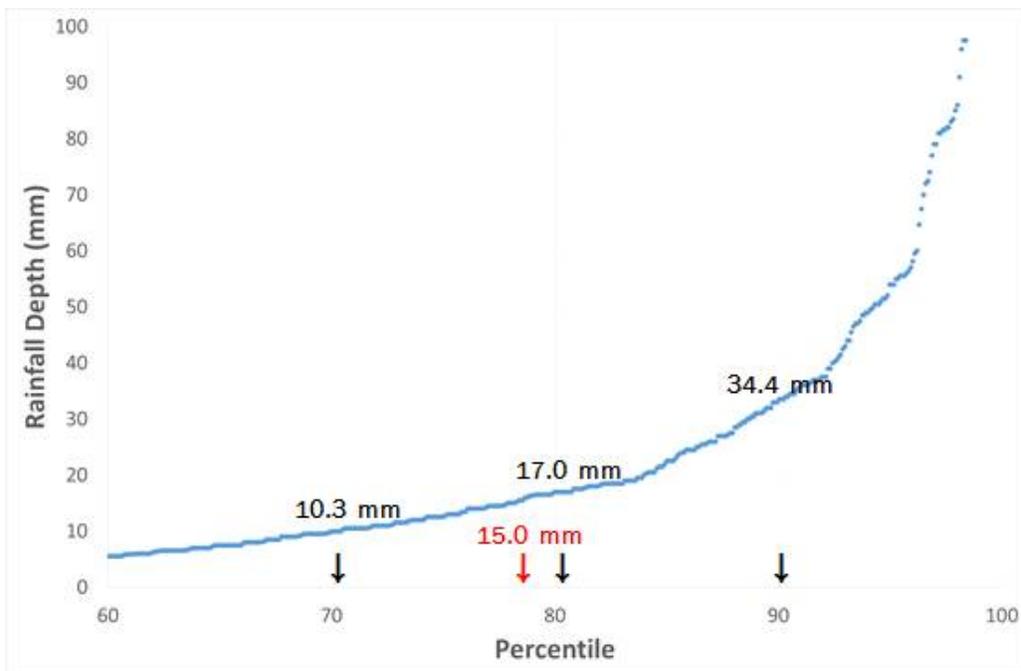


[그림 5-1] 강우관측소 위치도



[표 5-4] Percentile별 강수량

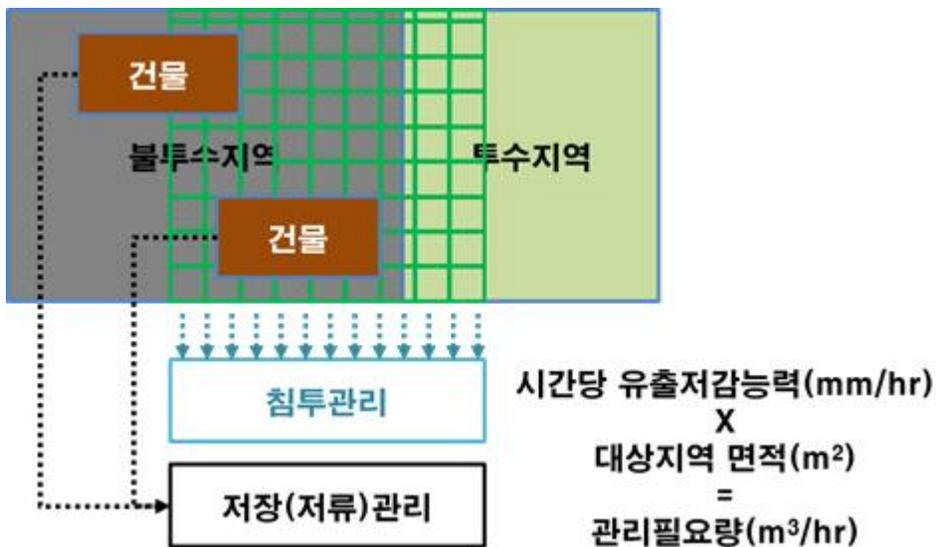
년도	90 percentile		80 percentile		70 percentile		60 percentile		50 percentile	
	연별	평균	연별	평균	연별	평균	연별	평균	연별	평균
2006년	32	34.4	16.5	17.0	9	10.3	3.5	5.7	2	3.5
2007년	29.5		12		7.5		4.5		2	
2008년	37		17		8.5		5.5		3.5	
2009년	41.5		21.5		13		8		4.5	
2010년	27.5		17		10.6		6.6		4.4	
2011년	49.5		26		16.5		9.5		3.5	
2012년	45.5		18		10.7		5.5		4	
2013년	32.9		17		13		7		4.5	
2014년	30.7		12.1		7.7		5.6		3.6	
2015년	18.3		12.6		6.3		4.2		3.1	



[그림 5-2] 수원관측소 최근 10년간 강수량 분석(2006-2015)

## 5.2 물순환 관리 목표 산정

송산그린시티 동측지구를 대상으로 물순환 관리 목표를 수립하기 위해 수원관측소의 2006년부터 2015년까지 최근 10년간의 일 강수량을 분석하였으며, 78퍼센타일에 해당하는 15mm 발생원 관리를 물순환 관리 목표로 선정하였다. 선정된 물순환 목표는 연평균 강우 1,378.5mm의 48%에 해당하는 연간 681mm의 표면 유출 관리를 목표로 하고 이를 만족할 수 있는 물순환 관리 방안을 수립하였다. 물순환관리 필요량 산정방법에 대한 모식도는 [그림 5-3]과 같다.



[그림 5-3] 물순환 관리필요량 산정 모식도

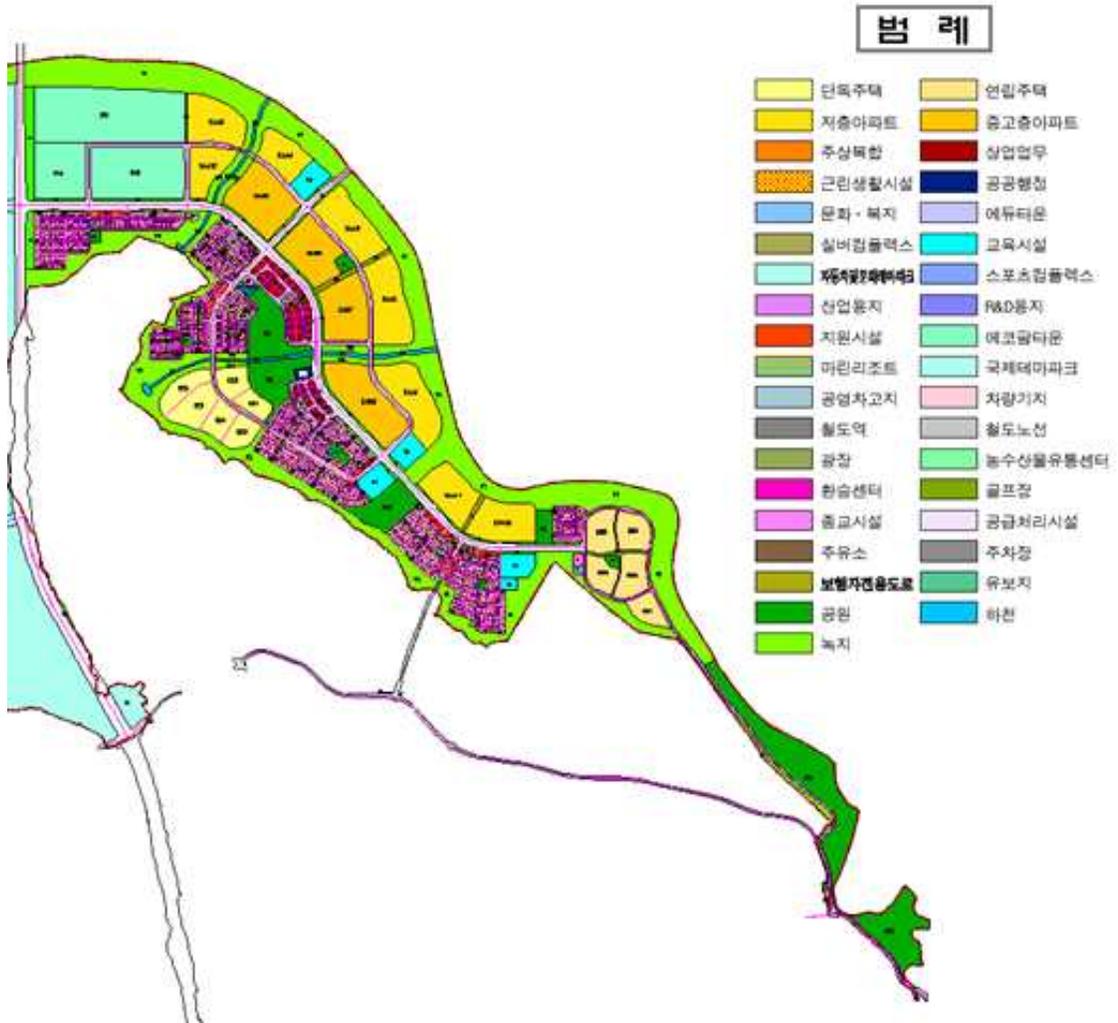
물순환 관리 필요량을 산정하기 위해 크게 침투관리와 저장관리로 구분하여 분석을 실시하였으며, 정량화된 분석을 수행하기 위하여 시간당 유출저감 능력 (mm/hr)의 개념을 적용하였다. 침투 및 저장관리에 필요한 시간당 유출저감 능력 (mm/hr) 산정과 송산그린시티 동측지구의 대상지역 면적( $m^2$ )을 이용하여 물순환 관리필요량( $m^3/hr$ )을 산정하였으며, 대상지역의 연간 681mm의 표면유출을 관리할 수 있도록 분석을 수행하였다.

물순환 관리 필요량 산정에 적용된 방법은 “서울특별시 빗물관리 기본계획(서울특별시, 2013)”의 연구결과를 적용하였다. 그러나 분석결과 시간당 유출저감 능력에 대한 문제점 및 여러 보안내용이 요구되어 향후 연구에서는 이를 보완한 물순환 방안이 수립되어야 할 것으로 기대된다.

## 5.2.1 물순환 관리 대상지 선정

물순환 관리 대상지는 송산그린시티 동측지구이며, 이는 물순환 관리시설을 설치하여 관리해야하는 지역을 의미한다. 도시 개발이 진행되고 있는 동측지구의 경우 물순환 관리시설의 설치가 불필요한 산지, 설치 및 관리가 불가능한 하천, 농경지, 특수지(군사시설, 폐기물시설, 묘지, 고궁, 문화유적지 등)이 위치하고 있지 않으며, 그 또한 전체 면적에서 차지하는 비중이 매우 작게 나타나기 때문에 본 연구에서는 이를 제외하지 않고 현재 동측지구 토지이용계획도에 계획되어 있는 모든 지구가 물순환 관리시설을 설치할 수 있는 지역이라는 가정을 두고 연구를 수행하였다.

동측지구 관리 대상지면적은 3,543,356㎡이며, 물순환 관리 분석을 위해 전체 면적을 공공·교육(공공시설용지), 교통·기반(상업, 하천, 도로, 공급 처리시설), 공원·녹지(공원, 녹지), 대규모(주거용지 공동주택), 소규모(주거용지 단독주택)로 구분하였다. 대상지역은 다른 도시개발 지역에 비해 공원 및 녹지의 비율이 전체 면적의 38%나 차지할 정도로 많은 녹지면적을 포함하고 있다.



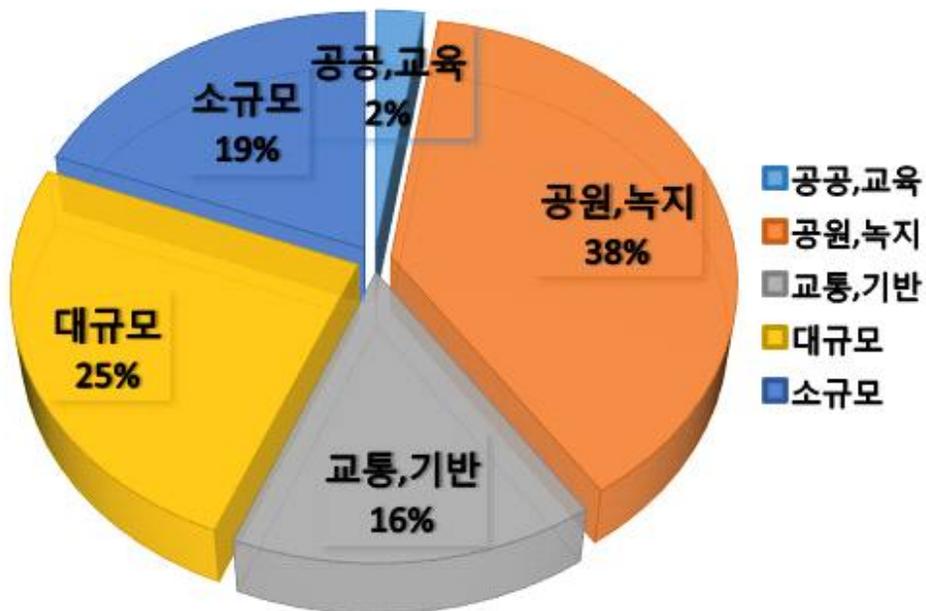
[그림 5-4] 동측지구 토지이용계획도

[표 5-5] 물순환 관리 대상지 면적

구분		면적 (㎡)	구성비 (%)	구분		면적 (㎡)	구성비 (%)
총계		3,543,356	100				
주거용지	계	1,554,722	43.88	공원	계	298,491	8.42
	단독주택	673,416	19.01		근린공원	73,861	2.08
	공동주택	881,306	24.87		소공원	14,358	0.41
					어린이공원	20,741	0.59
			체육공원		189,531	5.35	
상업·업무용지	계	54,535	1.54	녹지	계	1,051,981	29.69
	일반상업	31,093	0.88		완충녹지	102,676	2.9
	근린상업	23,442	0.66		연결녹지	949,305	26.79
			하천		90,415	2.55	
F0/F1 시설용지	계	87,464	2.47	국제테마파크		-	-
	학교	56,128	1.58	도로	계	404,752	11.42
	공공청사	4,903	0.14		자동차도로	345,991	9.76
	사회복지시설	3,903	0.11		보행자도로	58,761	1.66
	종교시설	6,264	0.18	공급처리시설	계	996	0.03
	도서관	7,942	0.22		오수중계펌프장	996	0.03
	주차장	5,396	0.15				
	광장	1,295	0.04				
	공공공지	1,633	0.05				
	철도시설						

[표 5-6] 시설분류별 물순환 관리대상지 면적 및 비율

시설분류	면적 (㎡)	비율 (%)
공공, 교육	87,464	2
공원, 녹지	1,350,472	38
교통, 기반	550,698	16
대규모	881,306	25
소규모	673,416	19
합계	3,543,356	100



[그림 5-5] 시설분류별 물순환 관리대상지 비율

시설분류별 물순환 관리대상지 현황을 비교해보면 공원 및 녹지 지역이 전체면적의 38%인 1,350,472㎡로 가장 비율이 높으며, 공공, 교육 대상지 면적이 2%인 87,464㎡로 가장 낮은 것으로 나타났다. 또한 대규모 및 소규모 주거용지의 합이

전체면적의 44%인 1,554,722㎡로 물순환 관리대상지 중에서 가장 많은 비유을 차지하는 것으로 나타났다. 주거용지의 경우 분양 후 대부분 민간에서 개발하는 분야로 민간분야에서의 적극적인 참여가 도시의 건전한 물순환 회복에 큰 역할을 할 것이라 판단된다.

### 5.2.2 저장 관리량 산정

저장 관리량은 물순환 관리 대상지 중에서 건물 부지를 대상으로 저장시설을 설치한다고 가정하여 산정하였다. 그러나 현재 송산그린시티 동측지구의 경우 현재까지 건물이 완공되어진 부분보다 계획된 부분이 많기 때문에 토지이용계획도와 용도지역별 건폐율, 용적률, 그리고 기존연구사례인 서울시 건축면적의 분석결과를 참고하였다.

[표 5-7] 서울시 건축면적(2010년 기준)

(단위: km<sup>2</sup>)

면적	공공,교육	교통,기반	공원,녹지	대규모	소규모	계
376.21 (100.0%)	7.53 (2.0%)	1.82 (0.5%)	0.26 (0.1%)	51.72 (13.7%)	42.71 (11.4%)	104.04 (27.7%)
-	7.2%	1.7%	0.2%	49.7%	41.1%	100%

출처: 서울특별시 빗물관리 기본계획(서울특별시, 2013)

서울시의 2010년 전체 건축 면적비를 살펴보면 빗물관리 대상지 전체 면적의 27.7%가 건축면적인 것으로 분석되었다. 향후 개발되는 송산그린시티 동측지구의 건축 면적비를 산정하기 위하여 서울시 건축 면적비인 28%를 동측지구의 건축 면적비로 가정하여 건축 면적비를 산정하였다. 가정된 건축면적비의 적정성을 검증하기 위하여 용도지역별 건폐율 및 용적률표를 참조하였다. 전체 면적의 44%를 차지하고 있는 주거용지의 건폐율을 분석한 결과 최소 50%에서 최대 70%까지로

나타났으며, 평균적으로 55% 이상으로 산정하여도 크게 무리가 없을 것으로 분석되었다.

[표 5-8] 동측지구 면적대비 건물면적 추정

면적	공공,교육	교통,기반	공원,녹지	대규모	소규모	계
전체(m <sup>2</sup> )	87,464	550,698	1,350,472	881,306	673,416	3,543,356
건물(m <sup>2</sup> )	27,294	60,770	2,449	487,128	402,267	979,907
비율(%)	31	0	11	55	60	28

[표 5-9] 용도지역별 건폐율 및 용적율 기준

종 전				현 재					
용도지역	세분	건폐율	용적율	용도지역	세분	건폐율	용적율		
도시지역	주거지역	제1종전용	50	50-100	도시지역	주거지역	제1종전용	좌동	좌동
		제2종전용	50	100-150			제2종전용	"	"
		제1종일반	60	100-200			제1종일반	"	"
		제2종일반	60	150-250			제2종일반	"	"
		제3종일반	50	200-300			제3종일반	"	"
		준주거	70	200-700			준주거	"	200-500
	상업지역	중심상업	90	400-1,500	도시지역	상업지역	중심상업	좌동	좌동
		일반상업	80	300-1,300			일반상업	"	"
		근린상업	70	200-900			근린상업	"	"
		유통상업	80	200-1,100			유통상업	"	"
	공업지역	전용공업	70	150-300	도시지역	공업지역	전용공업	"	"
		일반공업	70	200-350			일반공업	"	"
		준공업	70	200-400			준공업	"	"
	녹지지역	보전녹지	20	50-80	도시지역	녹지지역	보전녹지	"	"
		생산녹지	20	50-100			생산녹지	"	"
		자연녹지	20	50-100			자연녹지	"	"
준도시지역		60	200이하	관리지역	계획관리	40	50-100		
준농림지역		40	80이하		생산관리	20	50-80		
농림지역		60	400이하		보전관리	20	50-80		
자연환경보전지역		40	80이하	농림지역	20	50-80			
				자연환경보전지역	20	50-80			

## 가. 저장시설 용량산정

저장 관리량 산정을 위해 저장시설 용량을 산정하였다. 빗물통 및 빗물저류시설에 대한 설계를 위해서 현재까지 적용되어 있는 기준을 살펴보면, ‘물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙’ 제4조 3항에서 빗물이용시설의 시설기준으로 지붕의 빗물 집수 면적에 0.05m를 곱한 규모 이상의 용량으로 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서도 저장시설의 용량을 산정할 때 위의 규정을 적용하여 산정하였다. 건축면적(m<sup>2</sup>)×0.05(m)의 용량(m<sup>3</sup>)이 설치되는 것으로 가정하여 저장시설 용량을 산정한 결과 총 48,995m<sup>3</sup>의 저장시설 용량의 설치가 가능한 것으로 분석되었다.

[표 5-10] 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙 제4조

### 제4조(빗물이용시설의 시설기준·관리기준)

① 법 제8조제2항에 따라 빗물이용시설에는 다음 각 호의 시설을 갖추어야 한다.  
[개정 2014.7.17.]

1. 지붕(골프장의 경우에는 부지를 말한다)에 떨어지는 빗물을 모을 수 있는 집수시설(集水施設)
2. 처음 내린 빗물을 배제할 수 있는 장치나 빗물에 섞여 있는 이물질을 제거할 수 있는 여과장치 등 처리시설
3. 제2호에 따른 처리시설에서 처리한 빗물을 일정 기간 저장할 수 있는 다음 각 목의 요건을 갖춘 빗물 저류조(貯溜槽)

가. 지붕의 빗물 집수 면적에 0.05미터를 곱한 규모 이상의 용량(골프장의 경우 해당 골프장에 집수된 빗물로 연간 물사용량의 40퍼센트 이상을 사용할 수 있는 용량을 말한다)일 것

나. 물이 증발되거나 이물질이 섞이지 아니하고 햇빛을 막을 수 있는 구조일 것

다. 내부를 청소하기에 적합한 구조일 것

4. 처리한 빗물을 화장실 등 사용장소로 운반할 수 있는 펌프·송수관·배수관 등 송수시설 및 배수시설

② 법 제8조제2항에 따른 빗물이용시설의 관리기준은 다음 각 호와 같다.

1. 음용(飲用) 등 다른 용도에 사용되지 아니하도록 배관의 색을 다르게 하는 등 빗물이용시설임을 분명히 표시할 것
2. 연 2회 이상 주기적으로 제1항 각 호의 시설에 대한 위생·안전 상태를 점검하고 이물질을 제거하는 등 청소를 할 것
3. 빗물사용량, 누수 및 정상가동 점검결과, 청소일시 등에 관한 자료를 기록하고 3년간 보존할 것

[표 5-11] 동축지구 저장시설 가능 용량

	공공,교육	교통,기반	공원,녹지	대규모	소규모	계
용량(m <sup>3</sup> )	1,365	3,039	122	24,356	20,113	48,995

#### 나. 저장시설의 시간당 유출저감량 산정

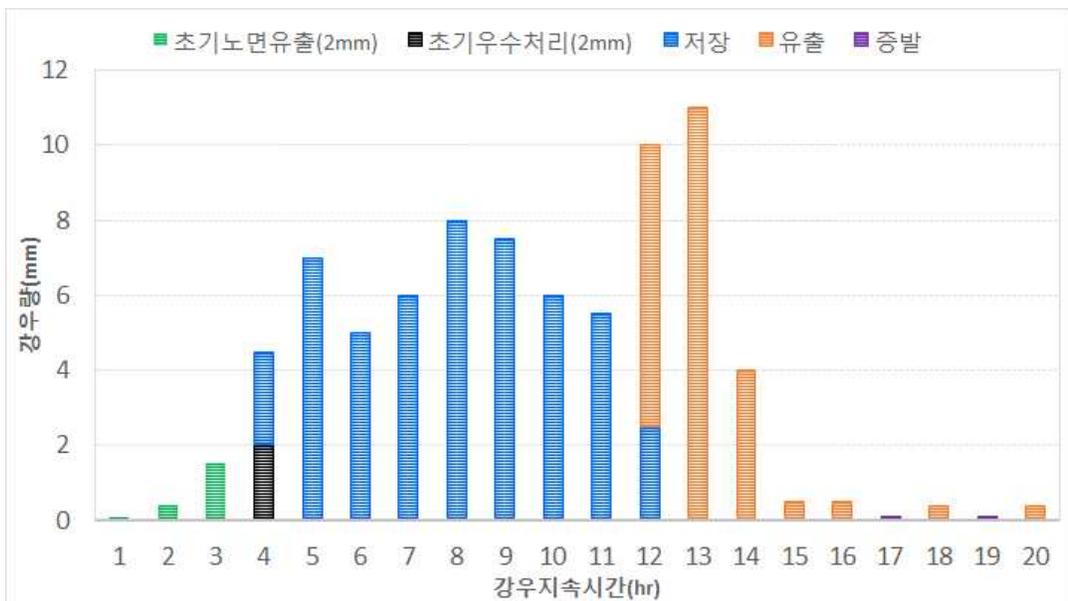
저장시설의 시간당 유출저감량을 산정하기 위해서는 저장시설이 설치된 후의 빗물저장 능력이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 수원관측소의 2006년부터 2015년까지의 시강우를 이용하여 저장시설의 빗물저장 능력을 분석하였다. 분석을 위해서는 저장용량, 초기우수 처리, 노면 저류 및 증발산 등 기본적인 가정이 필요한데 이는 서울시에서 물순환 모의를 위해 설정해놓은 가정을 참고하였다. 분석을 위한 강수량은 최근 10년의 시강우를 이용하였으며, 증발량은 기상청의 일증발량 자료를 24시간 등분하여 강우 발생에 따라 적용하도록 하였다.

[표 5-12] 저장시설 빗물저장능력 모의를 위한 기초 가정

구분	가정 내용
집수면적	- 직접적인 집수면적은 건축면적이며, 설치 가능한 빗물이용시설 최대 시설용량은 건축면적(m <sup>2</sup> )×0.05
노면저류고	- 지붕노면 저류고는 지붕의 형태, 요철 등에 따라 다르나 외국의 사례나 서울시 기존연구 자료에 의해 평균 0.002m(2mm)로 설정
초기우수 처리고	- 초기우수 처리고는 초기우수에 포함된 오염물질로 인하여 이용 불가능하다고 가정하여 배제토록 설정하였으며, 각종 조사 자료에 제시된 내용을 참고하여 초기우수 처리(배제)고는 0.002m(2mm)로 설정
증발량	- 강우 중 증발은 없으며, 증발점계수는 0.7로 설정
기타	- 집수된 빗물이 집수되기 위한 과정 중에 있는 빗물받이 및 낙수흡통, 유입부 등에서의 도달시간이나 전파속도는 고려치 않음 - 무강우시간이 24시간을 초과하는 경우 초기우수처리시설에 저류한 초기우수를 방류하는 것으로 계산 - 지붕의 직접유출량 중에서 초기우수처리시설 용량을 초과하는 유출량 전량은 빗물이용시설로 유입되는 것으로 계산 - 빗물이용시설의 빗물이용은 다음 강우의 저장 및 이용을 위해 선행강우 24시간에 의한 독립강우 기준에 따라 24시간을 초과하는 무강우 발생시에 이용시설에 저류된 전량을 이용하는 것으로 가정

출처 : 서울특별시 빗물관리 기본계획(2013)

2006년부터 2015년까지의 시강우량과 일증발량을 이용하여 손실고, 저장고 및 유출고를 분석하였다. 손실고는 지붕 저류량과 초기 우수배제량 및 무강우시 증발량에 해당하며, 이는 면적에 의해 변화되는 양으로 208.5mm으로 산정되었다. 저장고는 건축면적에 0.05m(50mm)인 저류고만큼 저장하는 양으로 발생하는 손실량을 제외한 강수량을 저장하는 것으로 분석하였으며, 24시간 이후 발생하는 강우를 독립강우로 분류하여 분석한 결과 717.6mm로 산정되었다.



[그림 5-6] 독립강우에 대한 저장시설 계산 예

저장고의 경우 빗물이용대상 시설인 건축물에 내린 강우만을 대상으로 산정된 결과이기 때문에 향후 분석결과에서 전체 면적비의 비율을 적용하여 산정하도록 계획하였다. 유출고의 경우 전체 강수량에서 손실고와 저장고를 제외한 강수량을 유출고로 산정하였다. 그러나 현재까지 분석된 빗물저장량의 분석에서는 빗물 사용에 관련된 부분이 고려되어 있지 않고 24시간 이후 발생하는 강우에 대해서는 빗물저장시설이 100% 비어 있다는 가정을 이용하여 분석을 실시하였다. 향후 빗

물저장시설의 저장량 및 사용량에 대한 정량적인 수치를 이용하여 빗물사용량이 고려된 저장고가 산정된다면 현재보다는 좀 더 합리적인 연구 결과를 이끌어 낼 수 있을 것이다.

[표 5-13] 독립강우에 대한 이용(저장)시설 저장고 계산 예(건축면적x0.05)

독립 강우	강우시간 (hr)	강우 (mm)	손실고(mm)			저장고 (mm)	유출고 (mm)
			초기 노면유출	초기 우수처리	증발		
6/14	1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	2	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	4.5	0.0	2.0	0.0	2.5	0.0
	5	7.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0
	6	5.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0
	7	6.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0
	8	8.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0
	9	7.5	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0
	10	6.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0
	11	5.5	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0
	12	10.0	0.0	0.0	0.0	2.5	7.5
	13	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0
	14	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
	15	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
	16	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
	17	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
	18	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
	19	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
	20	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
합계		78.5	2.0	2.0	0.2	50.0	24.3

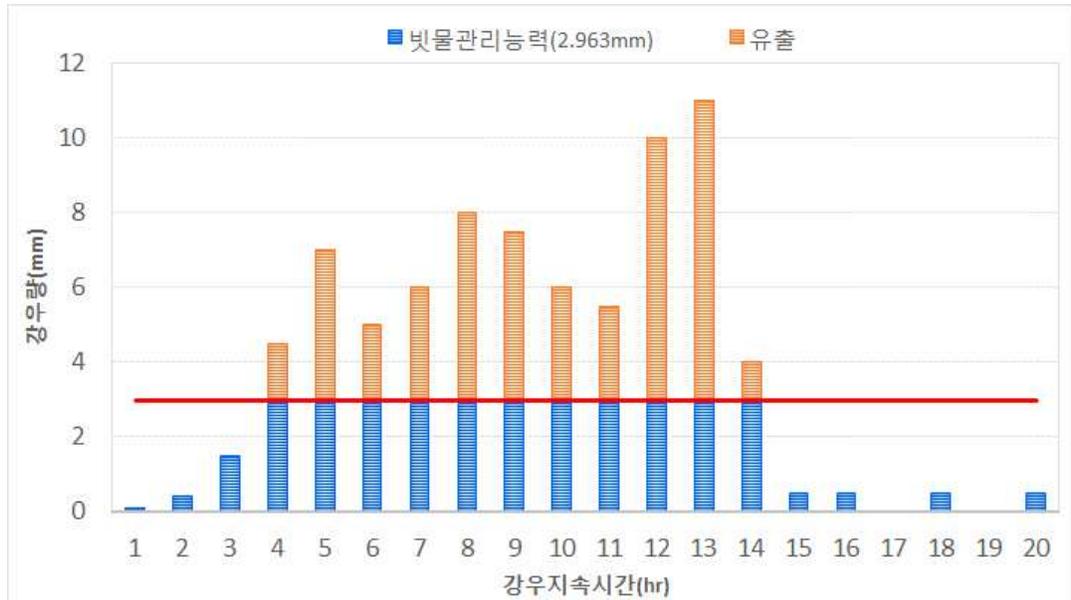
[표 5-14] 저장시설에 따른 손실고 및 저장고

연도	강수량(mm)	손실고(mm)	저장고(mm)	유출고(mm)
2006	1362.7	179.0	628.5	555.2
2007	1324.6	255.9	787.0	281.7
2008	1342.8	207.6	710.2	425.0
2009	1541.2	191.5	727.5	622.2
2010	1470.6	235.9	853.7	381.0
2011	1975.9	187.8	781.0	1007.0
2012	1748.3	205.7	831.2	711.4
2013	1238.6	230.5	760.9	247.2
2014	1029.1	190.4	611.2	227.5
2015	751.1	201.0	484.4	65.7
평균	1378.5	208.5	717.6	452.4

강수량자료를 통해 분석한 결과인 저장고 717.6mm를 이용하여 저감시설의 시간당 유출저감 능력을 산정하였다. 시간당 유출저감 능력 산정 모식도는 [그림 5-7]과 같다. 산정방법을 예로 들면, 유출저감 능력이 5mm/hr일 경우 연간 발생 되는 모든 시강우에 대해 5mm 이하의 강우는 모두 저감되며, 5mm를 초과하는 강우에 대해서는 5mm는 저감되고 초과분에 대해서는 유출로 발생하도록 산정하였다. 위의 산정 방법을 통하여 연간 717.6mm를 저감시키기 위해 필요한 시설의 시간당 유출저감 능력은 2.963mm/hr로 산정되었다. 단, 시간당 유출저감 능력은 침투시설과 다르게 모든 시강우에 대해 실제 유출저감 효과를 내는 것은 아니므로 효과분석 시에는 주의가 필요하며, 향후 이에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

[표 5-15] 동측지구 저장시설 관리량 산정

대상지 전체대비(저장)			저장관리 대상지 건물			저장시설 유출저감량	
면적 (m <sup>2</sup> )	비율 (%)	목표 (mm)	면적 (m <sup>2</sup> )	비율 (%)	목표 (mm)	저감능력 (mm/hr)	관리필요량 (m <sup>3</sup> /hr)
3,543,356	100	201	979,907	28%	717	2.963	2,903



[그림 5-7] 시간당 유출저감능력 산정 모식도

동측지구 저장시설 관리량 산정결과는 [표 5-15]와 같다. 저장관리 대상지에서 건물면적은 전체 면적의 28%에 해당하며, 해당 면적에서는 건축면적 ( $m^2$ ) $\times$ 0.05(m)의 용량( $m^3$ )이 설치되었다고 가정하였을 때 연평균 강수량의 717mm를 저감하는 것으로 분석되었다. 이를 동측지구 전체로 면적비를 통하여 환산하면 저장관리를 통하여 대상지 전체에서는 201mm를 저감하는 것으로 분석되었다. 시간당 저감능력은 2.963mm/hr 로 산정되었으며, 이를 저장관리 면적을 활용하여 산정한 결과 2,903 $m^3$ /hr를 저장시설에서 관리할 수 있는 것으로 분석되었다.

### 5.2.3 침투관리량 산정

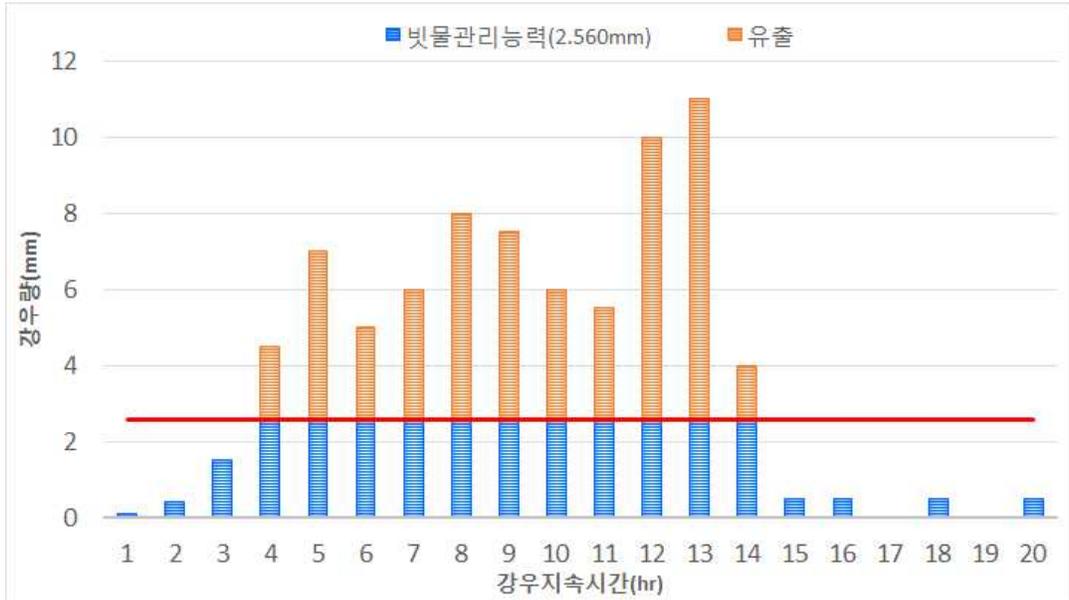
저장관리를 제외한 지역인 침투관리 대상지 내에서 침투시설의 설치를 통하여 송산그린시티 동측지구의 연간 표면유출 목표인 681mm를 만족시키기 위하여 침투 관리량을 산정하였다. 침투 관리량은 연간 표면유출 목표인 681mm에서 저장 관리량 목표인 201mm를 제외한 나머지를 481mm를 목표 침투 관리량으로 설정하고 이를 저감시키기 위해 필요한 침투시설의 시간당 침투관리 능력을 산정하였다.

침투관리 능력을 산정하기 위해 필요한 침투관리 대상지는 대상지 전체에서 건물부지에 해당하는 저장관리 대상지를 제외한 지역을 대상으로 하였다. 건물부지의 경우 침투시설의 설치가 불가능한 지역이며, 저장관리를 통해 시간당 저감능력을 산정하였기에 침투관리 대상지에서 제외하였다. 송산그린시티 동측지구의 대상지 전체 3,543,356㎡ 중 저장관리 대상지 면적인 979,907㎡를 제외한 2,563,449㎡(전체면적의 72%)가 침투관리 대상지에 해당된다.

[표 5-16] 동측지구 침투관리 대상지 선정

대상지 전체		저장관리 대상지		침투관리 대상지	
면적 (㎡)	비율 (%)	면적 (㎡)	비율 (%)	면적 (㎡)	비율 (%)
3,543,356	100%	979,907	28%	2,563,449	72%

침투관리 대상지 내에서 침투시설의 설치를 통하여 침투관리 목표인 481mm를 저감시키기 위해 필요한 침투시설의 시간당 저감능력(mm/hr)을 산정하였다. [그림 5-8]은 침투시설의 시간당 저감능력 산정 모식도이며, 최근 10년간 시강우 자료를 대상으로 침투대상지 내에서 연간 침투 목표관리 능력을 만족시키는 시설의 능력을 산정하였다.



[그림 5-8] 침투시설의 필요 빗물관리능력 산정 모식도

침투관리 대상지의면적은 대상지 전체면적의 72%에 해당하며, 해당 면적에서 481mm를 저감시켜야 하는 것으로 분석되었다. 이를 동측지구 전체로 면적비를 통하여 환산하면 침투관리를 통하여 대상지 전체에서는 663mm를 저감해야 하는 것으로 분석되었다. 이를 통하여 저장시설의 시간당 저감능력을 분석한 결과 2.560mm/hr 로 산정되었으며, 이를 침투관리 면적을 활용하여 산정한 결과 6,562m<sup>3</sup>/hr를 침투시설에서 관리해야 하는 것으로 분석되었다.

[표 5-17] 동측지구 침투관리량 산정

대상지 전체대비(침투)			침투관리 대상지			저장시설 유출저감량	
면적 (m <sup>2</sup> )	비율 (%)	목표 (mm)	면적 (m <sup>2</sup> )	비율 (%)	목표 (mm)	저감능력 (mm/hr)	관리 필요량 (m <sup>3</sup> /hr)
3,543,356	100	481	2,563,449	72%	663	2.560	6,562

## 5.2.4 물순환 관리 목표 및 필요량 산정

산정된 저장 관리량과 침투 관리량을 합산하여 송산그린시티 동측지구의 물순환 목표인 681mm를 달성하기 위해 대상지 전체의 관리 필요량을 산정하였다. 대상지 전체의 연간 물순환 목표 681mm를 관리하기 하기 위한 필요량은 9,466m<sup>3</sup>/hr로 분석되었으며, 저장관리 201mm, 침투관리 481mm로 나타났다. 대상지 내에서 연간 강우에 대한 필요 관리능력은 2.67mm/hr로 산정되었다.

[표 5-18] 동측지구 물순환 목표 및 관리 필요량

전체 면적 (m <sup>2</sup> )	저장관리		침투관리		대상지 전체		
	목표 관리고 (mm)	관리 필요량 (m <sup>3</sup> /hr)	목표 관리고 (mm)	관리 필요량 (m <sup>3</sup> /hr)	목표 관리고 (mm)	관리 필요량 (m <sup>3</sup> /hr)	필요 관리능력 (mm/hr)
3,543,356	201	2,903	481	6,562	681	9,466	2.67

### 5.3 물순환 관리량 산정

물순환 관리량은 송산그린시티 동측지구의 물순환을 통합적으로 관리하기 위하여 공공·교육(공공시설용지), 교통·기반(상업, 하천, 도로, 공급처리시설), 공원·녹지(공원, 녹지), 대규모(주거용지 공동주택), 소규모(주거용지 단독주택)의 5개 시설분류별로 산정된 물순환 관리량을 대상지역에 적용하는 기준값을 의미한다. 송산그린시티 동측지구 전체에 지역별 편차 없이 시설분류별로 동일한 면적에 동일한 대책량을 분담하기 위해 적정 물순환 관리량을 검토하여 적용하되, 지역의 평균 포화투수계수와 실제 저장관리 및 침투관리 대상지역의 면적비를 적용하여 산정된 5개 기준 시설분류별 1ha당 평균관리량을 산정하여 시설분류별로 대책면적에 부여될 물순환 관리량과 분담량을 결정하였다.

[표 5-19] 1ha당 물순환 관리량 및 분담량

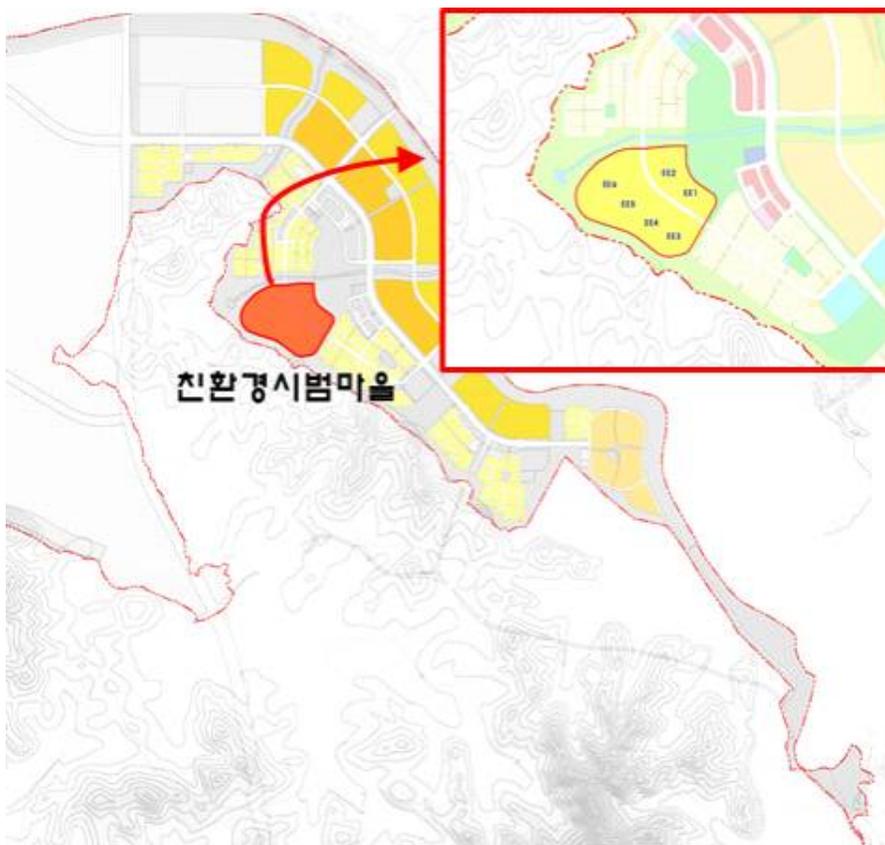
	공공,교육	교통,기반	공원,녹지	대규모	소규모
관리량(m <sup>3</sup> /hr)	27.8	23.0	29.4	28.0	22.7
분담량(mm)	2.8	2.3	2.9	2.8	2.3

## 5.4 적용성(설계) 검토

### 5.4.1 소규모 주택단지

본 연구에서는 [그림 5-9]에서 표시한 송산그린시티 동측지구 친환경시범마을을 대상으로 소규모 주택단지에 대한 설계를 수행하였다.

연구 대상지는 선도적 친환경시범마을 조성을 위하여 건축물 녹화, 주차장 녹화, 투수포장 등 우수유출 절감 및 생태환경 향상을 위한 친환경 기법을 적극적으로 도입하였다.



[그림 5-9] 친환경시범마을 위치 현황

소규모 주택단지는 [표 5-20]과 같이 녹지 확보, 우수활용시설, 우수 유출 절감 시설 등의 항목을 「친환경건축물 인증기준」 평가항목 중 '우수이용'의 1급 기준에 맞게 조성하였다.

[표 5-20] 소규모 주택단지 친환경 계획 기준

구분	친환경건축물 인증 기준 목록	계획 기준
1급 기준	우수활용시설에 관한 사항	우수저수조 또는 저류지 = 건축면적(m <sup>2</sup> ) × 0.05 또는 대지면적(m <sup>2</sup> ) × 0.02(m) 이상 설치 우수를 살수용수, 조경용수, 청소용수 등으로 사용
	우수 유출 절감시설에 관한 사항	우수유출 저감시설을 설치하고 그 시설로 우수가 유입될 수 있는 면적(집수면)이 대지 전체면적의 30% 이상
	생태면적률에 관한 사항	친환경시범마을의 생태면적률은 40% 이상 조성한다.
	녹지축 구성에 관한 사항	$L \geq (1/4) \times A$ 대지내 녹지축이 외부녹지축 또는 비오톱과 8m이상의 폭으로 연결 * L : 조성된 녹지축 길이 , A : 대지의 외곽 길이

소규모 주택단지의 경우 송산그린시티 특별계획부문 시행지침에 따라 [표 5-21]에서 제시한 최대 건폐율 50% 이하를 기준으로 적용성 검토를 시행하였다.

[표 5-21] 친환경시범마을 허용용도, 건폐율, 용적률, 높이

구분		친환경시범마을
건축물 용도	허용용도	「건축법」 시행령에 의한 다음의 용도 - 단독주택 (다중주택 제외) - 2층 이하의 공동주택 (기숙사 제외) 「주택법」 제2조 제8호, 제9호와 「주택 건설 기준 등에 관한 규정」이 정하는 부대복리시설
건폐율(%)		50% 이하
용적률(%)		80% 이하
최고층수		2층
1획지 당 가구수		각 획지별 세대수 이하

[표 5-22]에서는 전체면적 120,000 $m^2$  대상지에 대하여 「친환경건축물 인증기준」을 기준으로 건폐율과 녹지 비율에 따른 건축면적, 녹지면적 및 집수면적을 계산하였다.

[표 5-22] 소규모 주택단지 면적 개요

구분		전체 면적 ( $m^2$ )	녹지 면적 ( $m^2$ )	집수 면적 ( $m^2$ )	건축 면적 ( $m^2$ )	세대수 (EA)	세대당 면적 ( $m^2$ )	세대당 건축면적 ( $m^2$ )
합계		120,000	48,000	36,000	57,000	243	469	235
주거 용지	민간 (소규모)	114,000	48,000	34,200	57,000	243	469	235
공공 시설 용지	교통· 기반	6,000	-	1,800	-	-	-	-
비고		-	전체면적의 40%	전체면적의 30%	건폐율 50%	-	-	-

친환경시범마을은 녹지의 면적이 전체면적의 40%로 침투 및 저류가 용이하여 타지역에 비해 상대적으로 적은 수량의 빗물 이용 및 침투시설 설치만으로도 대상지 빗물 필요 대책량을 충족할 수 있다.

본 대상지는 시행지침에 따라 우수 이용시설의 설치를 의무화하고 있기에 대상지의 총 빗물 필요 대책량에서 우수 이용시설의 설치 용량을 기준으로 침투시설의 규모를 case 별로 구분하여 [표 5-23]에 표시하였다.

빗물 이용시설의 규모는 건물면적( $m^2$ )에 2 ~ 5 cm의 폭에 따른 용량으로 전체 빗물 필요 대책량에서 이용 관리량을 제한 나머지 부분을 침투시설에서 관리하도록 설정하였다.

[표 5-23] case별 빗물 이용 및 침투관리량

구분	빗물 필요대책량 ( $m^3/hr$ )	이용관리량 ( $m^3/hr$ )	침투 관리필요량 ( $m^3/hr$ )	비고	
case 1	149.7	161.0	0.0	case별 이용시설 용량	건물면적( $m^2$ ) $\times 0.05(m)$
case 2	149.7	128.8	20.9		건물면적( $m^2$ ) $\times 0.04(m)$
case 3	149.7	96.6	53.1		건물면적( $m^2$ ) $\times 0.03(m)$
case 4	149.7	64.4	85.3		건물면적( $m^2$ ) $\times 0.02(m)$

### 가. 단지전체 분석

친환경시범마을의 각 세대별 면적에 임의로 시설을 배치한 예시도 이다. 본 대상지는 공공시설용지를 제외한 주거용지  $114,000m^2$ 에 건폐율 50% 기준에 부합하는  $57,000m^2$ 의 건물면적과 전체면적의 40%에 달하는  $48,000m^2$ 의 녹지면적, 그리고 빗물 이용 및 침투시설을 포함한다.



[그림 5-10] 친환경시범마을 건축 예시도

빗물관리시설의 배치는 [표 5-24]와 같이 case별 빗물 이용시설 침투시설의 ‘전체 및 1ha당 설치수량’을 정리한 표이다.

단위면적당 적용할 수 있는 침투시설의 수량에 대한 근거 자료로 「일본의 빗물 침투시설 기술」에서 제시한 1ha당 침투시설의 설치수량과 침투시설의 집수면적의 관계를 참고하였다.

「일본의 빗물침투시설 기술」에서는 1ha당 설치수량의 기준으로 침투트렌치는 약 450m/ha, 침투받이(침투통)는 약 40개/ha, 투수성포장은 약 1,900m<sup>2</sup>/ha으로 제시하였으나, 본 연구에서는 대상지 빗물관리대책량을 고려하여 case별 침투관리필요량을 만족하는 최적의 설치수량을 적용하였다.

[표 5-24] 친환경시범마을 case별 빗물 이용 및 침투시설 설치수량

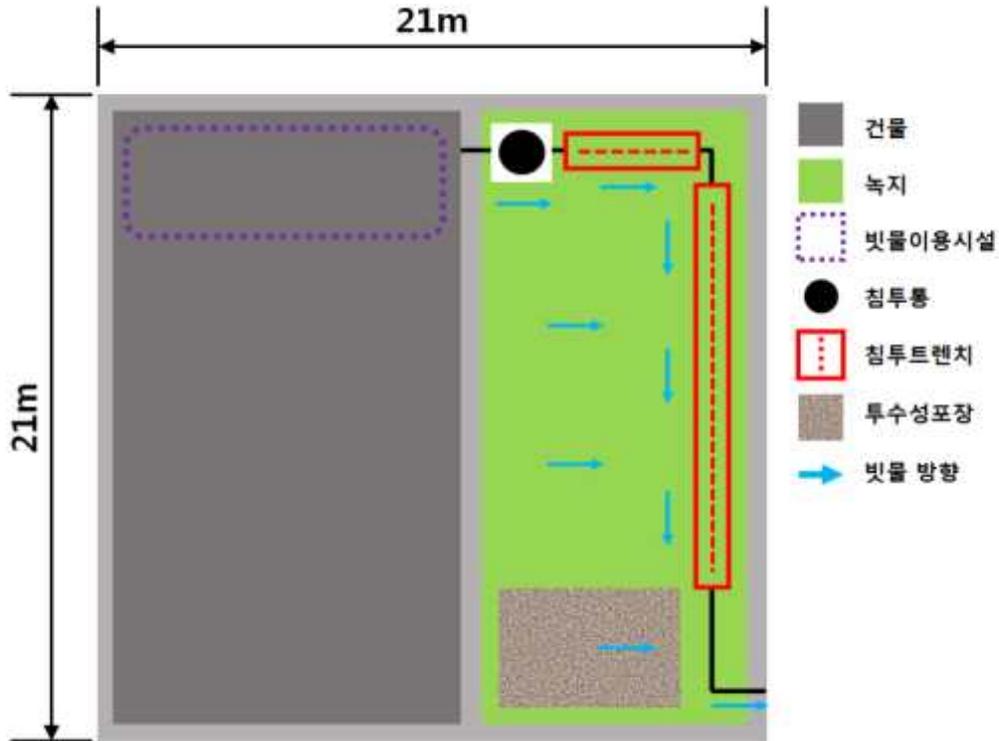
구분		단위	1ha당 적용수량	설치수량	
전체	case1	이용시설	$m^3$	791.67	2850.00
		침투통	EA	0.00	0.00
		침투트렌치	$m$	0.00	0.00
		투수성포장	$m^2$	0.00	0.00
	case2	이용시설	$m^3$	633.33	2280.00
		침투통	EA	67.50	243.00
		침투트렌치	$m$	0.00	0.00
		투수성포장	$m^2$	555.56	2000.00
	case3	이용시설	$m^3$	475.00	1710.00
		침투통	EA	67.50	243.00
		침투트렌치	$m$	277.78	1000.00
		투수성포장	$m^2$	555.56	2000.00
	case4	이용시설	$m^3$	316.67	1140.00
		침투통	EA	67.50	243.00
		침투트렌치	$m$	555.56	2000.00
		투수성포장	$m^2$	555.56	2000.00

[표 5-25]에서는 친환경시범마을의 전체면적에 대한 빗물 이용시설의 용량을 기준으로 이용관리량을 case별로 분류하였고, 그에 따른 침투대책을 설정함으로써 빗물관리 대책량을 만족하는 빗물관리량을 제시하였다.

[표 5-25] 친환경시범마을 case별 빗물 이용 및 침투시설에 따른 관리량

구분	빗물관리 대책량 ( $m^3/hr$ )	이용대책		침투대책		빗물관리량	
		이용시설 용량 ( $m^3$ )	이용 관리량 ( $m^3/hr$ )	침투관리 필요량 ( $m^3/hr$ )	침투 관리량 ( $m^3/hr$ )		
전체	case1	149.70	2,850.00	161.03	0.00	0.00	161.03
	case2	149.70	2,280.00	128.82	20.88	35.40	164.22
	case3	149.70	1,710.00	96.62	53.08	62.00	158.62
	case4	149.70	1,140.00	64.41	85.29	88.50	152.91

## 나. 세대당 분석



[그림 5-11] 소규모 주택 예시도

[그림 5-11]는 친환경시범마을의 각 세대별 면적에 임의로 시설을 배치한 예시도이다. 본 대상지는 세대당 전체면적  $469m^2$ 에 건폐율 50% 기준에 부합하는  $235m^2$ 의 건물면적과 전체면적의 40%에 달하는 녹지면적, 그리고 빗물 이용 및 침투시설을 포함한다.

빗물은 건물의 옥상면적에서 차집되어 빗물이용시설에 저류되거나 지표로 유출되어 침투통과 침투트렌치 및 투수성포장을 거쳐 토양에 침투되는 프로세스를 가진다. 빗물관리시설의 배치는 [표 5-26]과 같이 case별 빗물 이용시설 침투시설의 '전체 및 1ha당 설치수량'을 정리한 표이다.

본 연구에서는 대상지 세대당 빗물관리 대책량을 고려하여 case별 침투관리필요량을 만족하는 최적의 설치수량을 적용하였다.

[표 5-26] 세대당 case별 빗물 이용 및 침투시설 설치수량

구분		단위	1ha당 적용수량	설치수량	
세대당	case1	이용시설	$m^3$	3.26	11.72
		침투통	EA	0.00	0.00
		침투트렌치	$m$	0.00	0.00
		투수성포장	$m^2$	0.00	0.00
	case2	이용시설	$m^3$	2.61	9.38
		침투통	EA	0.28	1.00
		침투트렌치	$m$	0.00	0.00
		투수성포장	$m^2$	2.29	8.23
	case3	이용시설	$m^3$	1.95	7.03
		침투통	EA	0.28	1.00
		침투트렌치	$m$	1.14	4.11
		투수성포장	$m^2$	2.29	8.23
	case4	이용시설	$m^3$	1.30	4.69
		침투통	EA	0.28	1.00
		침투트렌치	$m$	2.29	8.23
		투수성포장	$m^2$	2.29	8.23

[표 5-27]에서는 친환경시범마을의 세대당 면적에 대한 빗물 이용시설의 용량을 기준으로 이용관리량을 case별로 분류하였고, 그에 따른 침투대책을 설정함으로써 빗물관리 대책량을 만족하는 빗물관리량을 제시하였다.

전체면적과 세대당에 따라 빗물관리량을 계산한 결과, 빗물관리 대책량을 초과하여 산정되었으므로 시설 설치에 무리가 없는 것으로 분석되어 예산 및 시공 상황에 따라 이용시설과 침투시설의 적절한 배분이 가능할 것으로 판단한다.

[ 표 5-27 ] 세대당 case별 빗물 이용 및 침투시설에 따른 관리량

구분	빗물관리 대책량 ( $m^3/hr$ )	이용대책		침투대책		빗물관리량	
		이용시설 용량 ( $m^3$ )	이용 관리량 ( $m^3/hr$ )	침투관리 필요량 ( $m^3/hr$ )	침투 관리량 ( $m^3/hr$ )		
세대당	case1	0.62	11.72	0.66	0.00	0.00	0.66
	case2	0.62	9.38	0.52	0.10	0.13	0.65
	case3	0.62	7.03	0.39	0.23	0.25	0.64
	case4	0.62	4.69	0.26	0.36	0.36	0.62

## 6. 물순환 기술의 적용

### 6.1 수변도시 물순환 기술 적용

#### 6.1.1 개요

수변도시는 도시 전체가 물과 맞닿아 있고 도심을 가로지르는 수개의 수로가 있어 홍수와 같은 수재해에 대한 방재가 무엇보다 우선시 되어야 하며, 도시 개발의 진행은 기존의 물순환 시스템을 부정적으로 변동시키기에 최대한 자연에 영향을 적게 미치는 개발 기법의 적용이 요구된다. 수변도시는 개발로 인해 변화하는 물순환 상태를 자연친화적인 기법을 활용해 최대한 개발전 상태에 접근토록 유출발생원에서 분산 관리하여야 한다. 개발로 인해 증가되는 유량 및 비점오염 문제를 해결하기 위해서는 저영향개발 기법과 같은 유역 물관리 기법이 필요하다. 실시계획시 수변도시에 적용 가능한 물순환 개선 기법을 확인하고, 현장 적용 사례를 정리하였다.

수변도시의 물순환 변동 확인을 위한 가장 확실한 방법은 모니터링에 의한 실측 자료의 분석이나, 개발 진행 전 추후 있을 유량과 수질의 변동에 대한 예측을 위해서는 수문학적 모형을 이용한 분석이 필요하다. 본 장에서는 수변도시에 적용 가능한 저영향개발 기술을 수문학적 모형으로 분석한 과정과 결과를 정리하여, 수변도시 물순환 모형 분석의 예시를 제시하였다.

#### 가. 유출 및 물수지 분석

친환경 생태도시 송산그린시티는 타도시에 비해 높은 녹지비율과 면적당 적은 인구비율을 유지하지만 도심지의 불투수면적과 이상기후로 인한 국지성 호우에 대비하기 위하여 소유역별 분산형 우수배제 시스템과 저영향개발 기법을 통하여

유역의 유출량을 관리한다. 각 소유역별로 처리되는 유출수는 동측지구 도심을 가로지르는 수개의 주수로에서 합류되어 시화호로 방류된다. 분산형 관리와 저영향개발 기술을 통해 주수로로 유입되는 소유역별 유출수의 도달시간을 각기 달리하고 임계값을 감소시켜 극한 강우사상에 대한 내수침수의 가능성을 낮추도록 하였다.

본 장에서는 수변도시에 적합한 물순환 개선 기술을 적용하였을 때의 홍수 사상 피해 경감 분석과 단기 및 장기 강우 사상에 대한 유역의 물수지 분석으로 도시 물순환 변화를 분석하였다.

## 나. 수질 분석

최근 대두되고 있는 하천 이상 조류 확산과 도시 하천 수질 악화를 해결하기 위한 대안으로 저영향개발 기법이 각광받고 있다. 이에 따라 수변도시에 적용 가능한 저영향개발 기법의 종류와 적용에 따른 비점오염원 저감 효과 분석 방안의 연구가 필요하다.

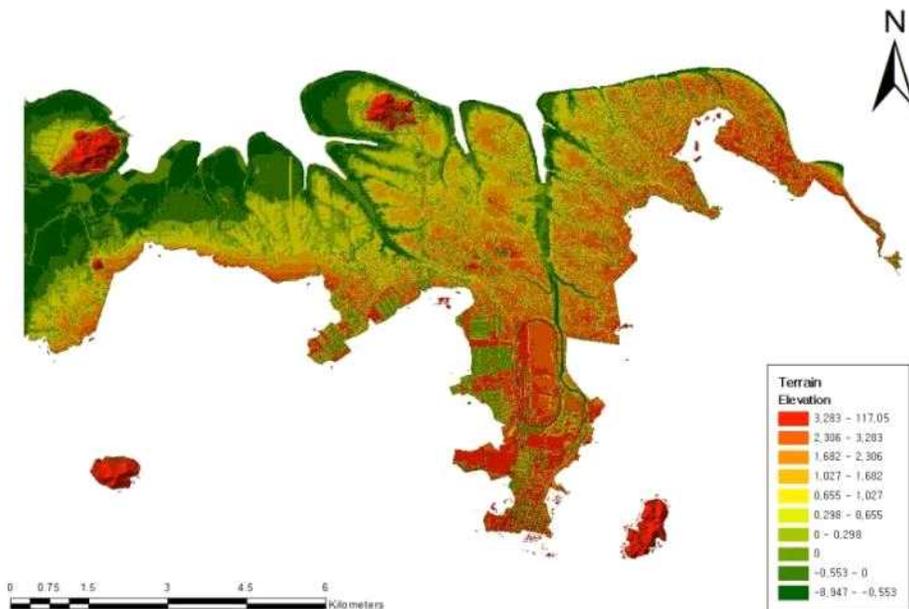
본 장에서는 대상지의 기개발 계획과 물순환 개선 기술을 적용하였을 때의 비점오염원 저감 효과를 환경부에서 제시한 요소기술별 저감 효율을 기준으로 모의 분석하였다.

## 6.2 대상지역 현황

### 6.2.1 대상지역 선정

K-water의 수변도시 단지개발사업으로 시공중인 송산그린시티 동측지구를 대상 지역으로 선정하였다. 송산그린시티는 시화호 남측의 간척지로 [그림 6-1]과 같이 고저차가 크지 않다. 송산그린시티의 지형 특성 상 소유역별 분산형 우수배제를 기본으로 공구별 주수로를 통해 시화호로 방류하도록 하였다.

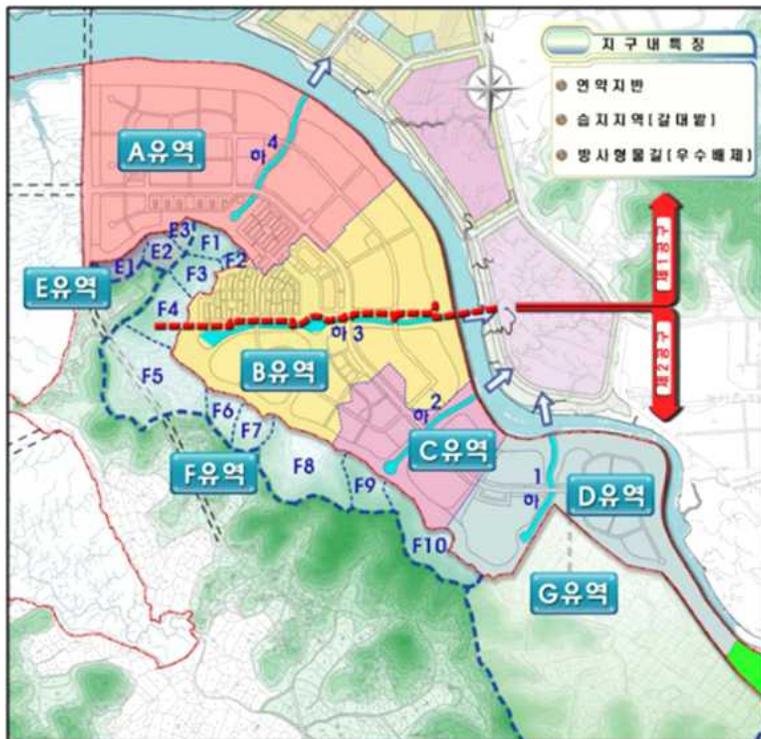
시화호는 외해의 영향을 받지 않는 일종의 큰 저류지로서 외수 범람의 위험이 없으며, 시화방조제는 조력 발전과 홍수조절을 위해 수위를 일정하게 관리하고 있으므로 지구 내 우수를 시화호로 방류하여도 수위 변화가 없다. 일반적으로 홍수 시 내수 침수 및 외수 범람을 모두 고려하지만, 송산그린시티는 외해로 내수를 방류하여 수위를 유지하는 시화호의 특성상 외수 범람의 가능성은 배제할 수 있다.



[그림 6-1] 송산그린시티 지형 고도 자료(DEM)

동측지구는 단지 내로 유입되는 하천 유량이 극히 부족하여 도심지를 관통하는 주수로들에 공급할 하천유지용수가 절대적으로 부족한 상황이다. 저류되어 있는 시화호는 염수로서 하천에 흐르는 담수와는 성격이 달라 시화호 원수를 끌어서 사용하기에는 생태계 및 자연환경에 미치는 영향이 크므로 송산그린시티로 유입되는 하천 유량을 대신할 수 있는 하수재이용수, 빗물관리, 지하수 등 다양한 수자원의 공급 방안을 고려해야 한다.

또한 최근 기후변화로 인한 국지적 강우의 증가로 도심지 우수배제에 관심이 집중되고 있다. 도심지 침수를 최소화하기 위하여 [그림 6-2]와 같이소유역별 분산형 관리 설계를 통해 각소유역에서 주수로로 도달하는 시간을 각기 달리하여 하천 범람을 예방하고자 하였다.



[그림 6-2] 송산 그린시티 동측지구 배수 유역도

송산그린시티 동측지구는 [그림 6-3]과 같이 생태습지를 활용한 자연친화적 생태 주거단지로 계획되었고, 전체 면적 중 주거단지가 44%, 공원 및 녹지가 38%를 차지한다.



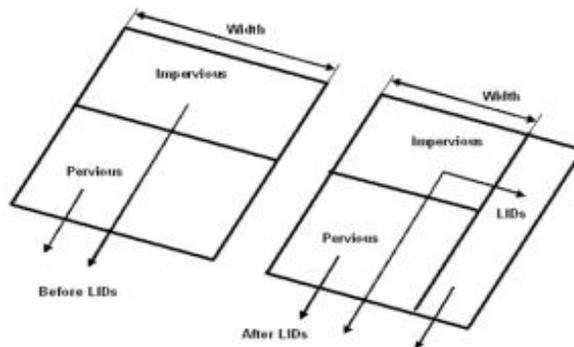
[그림 6-3] 송산그린시티 동측지구 토지이용 계획도

## 6.2.2 모형의 선정 및 구축

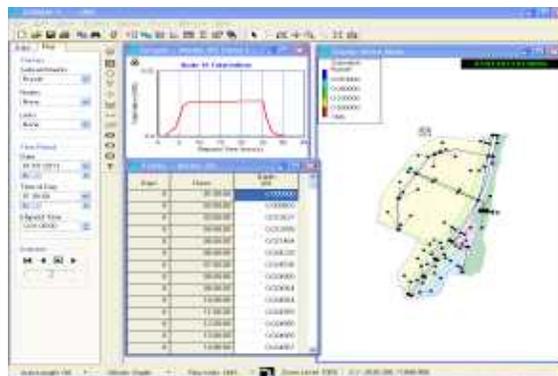
### 가. 모형 선정

소유역별 분산형 우수배제 및 관거를 포함한 유역의 유출, 수질모의 및 LID 기법의 적용 등이 모의 가능한 유출 모형을 선택해야 한다. SWMM5는 [그림 6-4]와 [그림 6-5]와 같이 유역 관망 유출 해석 프로그램으로 LID 빗물관리시설의 수문 영향 분석이 가능하도록 추가 수정 개발되어 SWMM5 모형을 선정하였다.

- 입력자료: 기상 수문자료(강우량, 증발량 등), 유역 토지이용 및 관망 자료 등 대상지 모형 구축에 필요한 input data
- 출력자료: 유역 유출수의 수량과 수질



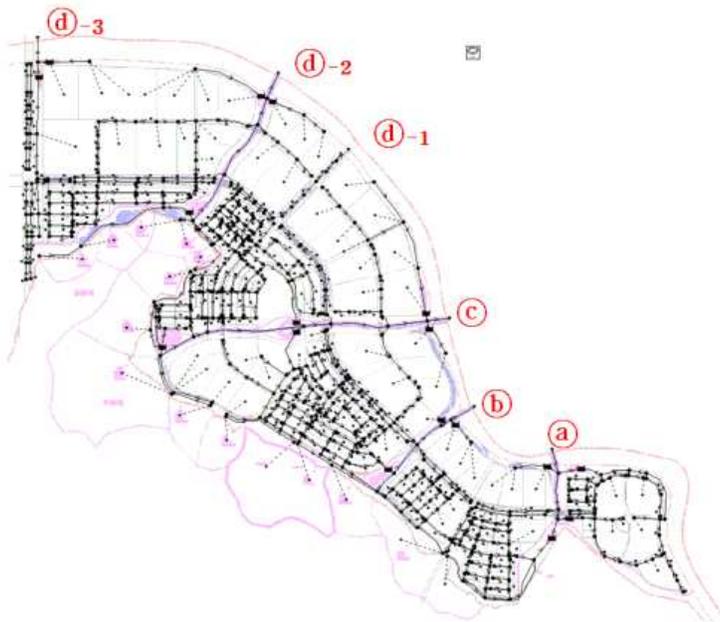
[그림 6-4] SWMM-LID의 지표면 유출 개념도



[그림 6-5] EPA SWMM 모형

## 나. 모형 구축

송산그린시티 동측지구 실시설계시 수리계산 결과(설계도면 및 현황표)를 바탕으로 [그림 6-6]과 같이 유역을 구축하였다. 유역의 물리적 특성에 의한 매개변수는 설계시 산정된 수리계산서 등을 통해 구축하였고, 수문학적 매개변수는 국내외 참고문헌 고찰을 통한 일반적인 연구범위 내에서 적용하였다.



[그림 6-6] 송산그린시티 동측지구의 SWMM 구축

### 1) 침투방정식

Green Ampt 공식을 모형에 적용할 침투공식으로 선정하였다. Green Ampt 침투방정식은 지하수 흐름의 물리적 현상이 고려된 침투 이론식으로, 송산 그린시티는 모래(Sand)로 성토되지만 다짐에 의해 토양의 특성이 다소 변화될 것으로 예상되어, [표 6-1]의 토양별 침투 매개변수 중 양토(Loam)를 적용하여 흡인수두(Suction head) 88.90mm, 투수계수(Conductivity) 3.30mm/hr으로 결정하였다. 개발지역 외의 침투 매개변수는 산간지역을 고려하여 Loamy Sand로 설정하였다.

[표 6-1] 토양별 침투 매개변수

Soil Texture Class	K	$\Psi$	◆	FC	WP
Sand	4.74	1.93	0.437	0.062	0.024
Loamy Sand	1.18	2.40	0.437	0.105	0.047
Sandy Loam	0.43	4.33	0.453	0.190	0.085
Loam	0.13	3.50	0.463	0.232	0.116
Silt Loam	0.26	6.69	0.501	0.284	0.135
Sandy Clay Loam	0.06	8.66	0.398	0.244	0.136
Clay Loam	0.04	8.27	0.464	0.310	0.187
Silty Clay Loam	0.04	10.63	0.471	0.342	0.210
Sandy Clay	0.02	9.45	0.430	0.321	0.221
Silty Clay	0.02	11.42	0.479	0.371	0.251
Clay	0.01	12.60	0.475	0.378	0.265

K = hydraulic conductivity, in/hr

$\Psi$  = suction head, in.

◆ = porosity, fraction

FC = field capacity, fraction

WP= wilting point, fraction

## 2) 유역의 입력자료

유역 폭, 면적 등의 물리적 매개변수는 대상지의 수치지형도를 참고해 결정하였다. 유역의 수문학적 매개변수는 주로 기존에 연구된 결과 값을 사용하였다. 단지의 불투수면적 비율은 85%, 지구 외 산지의 불투수면적 비율은 5%로 설정하였다. 유역의 매개변수는 [표 6-2]와 같이 설정하였다. 조도계수(Roughness)는 [표 6-3]과 같이 토지이용별 조도계수를 이용하여 투수 지역에는 0.25, 불투수 지역에는 0.015를 각각 적용하였다. 저류 깊이(Depression storage)는 토지이용별 저류깊이를 이용하여 투수 지역에는 5.08mm, 불투수 지역에는 2.54mm를 각각 적용하였다.

[ 표 6-2 ] 토지이용별 저류깊이(Rossman, 2010)

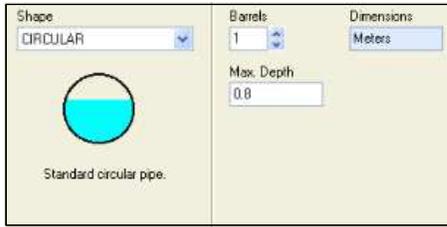
Classification	Typical depression storage values(mm)
Impervious surfaces	1.27 ~ 2.54
Lawns	2.54 ~ 5.08
Pasture	5.08
Forest litter	7.62

[ 표 6-3 ] 토지이용별 조도계수(CDM Smith, 2013)

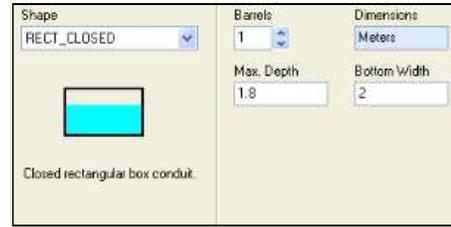
Land Use Category	Impervious N	Pervious N
Open Park (적용)	0.015	0.400
Agricultural/Golf Course	0.015	0.300
Low Density Residential	0.015	0.250
Medium Density Residential	0.015	0.250
High Density Residential (적용)	0.015	0.250
Light Industrial/Commercial	0.015	0.250
Heavy Industrial	0.015	0.250
Wetland	0.100	0.400
Water	0.024	N/A

### 3) 관거 입력자료

우수관거는 [그림 6-7]과 같이 기존과 개선 계획의 우수관계 계획을 이용하여 입력하였고, 개선 계획의 식생수로(Swale)는 개수로(Open channel)로 모의하였고, 침투능은 3.3mm/hr로 설정하였다. 습지의 경우 Storage Unit를 이용하여 설정하고, 습지의 특성상 침투가 잘 안되도록 0.1mm/hr로 설정하였다.



(a) 원형 우수관



(b) 박스형 우수관

[그림 6-7] 송산그린시티 동측지구의 관망 설계

#### 4) 기상 입력자료

대상지역과 인근한 수원지방기상청의 기상 자료를 사용하였다. 단기 및 장기 강우 사상은 상황에 따라 필요한 시간별 혹은 일별 강우량 값을 사용하였고, 홍수사상은 강우 빈도 해석을 통해 지속시간별 확률강우량을 [표 6-4]와 같이 산정하였다. 홍수 검토 확률강우량은 Huff 3분위 분포를 통해 지속시간별 확률강우량을 선정하였다. 대상지역은 계획빈도 30년으로 계획되었다. 대상지역에 대한 Huff 분포의 최빈 분포는 3분위이므로 확률강우량의 공간적 분포에 Huff 3분위를 이용하였다. 대상지역에 대한 확률강우량의 임계 지속시간은 240분으로 결정되었다.

[표 6-4] 지속시간별 확률강우량

빈도	10분	60분	120분	180분	240분	360분	540분	720분	1080분	1440분
2년	16.3	43.1	60.4	73.5	83.4	98.5	118.4	129.5	146.2	160.8
10년	22.4	67.2	98.2	121.7	138.3	162.9	196.4	218.6	248.6	278.4
20년	24.7	76.4	112.6	140.1	159.2	187.5	226.2	252.7	287.7	323.3
30년	26.1	81.8	120.9	150.7	171.3	201.7	243.4	272.3	310.2	349.2
50년	27.7	88.4	131.2	164.0	186.4	219.4	264.8	296.7	338.4	381.5
100년	30.0	97.3	145.2	181.8	206.7	243.3	293.7	329.8	376.3	425.1

## 다. 모의 방법

### 1) 유역 및 하도 추적

유역 추적에는 비선형 저류 방정식(Nonlinear storage equation)을 사용하였다. 하도 추적에는 운동파 모형(Kinematic wave model)을 사용하였다.

### 2) 모의 조건

홍수, 물수지, 수질 모의 등 다양한 조건에 대하여 분석하였다. 각각의 조건에 대한 모의 조건은 [표 6-5]와 같다.

[표 6-5] 분석 대상에 따른 모의 조건

구 분		강우의 지속시간	강우 시간 간격	유역 추적 시간 간격	하도 추적 시간 간격	비고
단기	물수지 모의	1일	10분	10분	1분	전체 구간 모의
	홍수 모의	4시간	5분	5분	1분	
	수질 모의	1시간	1분	1분	10초	일부 구간 모의
장기	물수지 모의	11년	1시간	1일	1시간	전체 구간 모의
	수질 모의	11년	1시간	1일	1시간	
	빗물이용시설 모의	11년	1시간	1일	1시간	

### 3) 수질 모의 방법

SWMM에서는 수질 모의에 유역 내 오염물질의 축적(Buildup)과 유실(washoff)의 수식 정의를 통해 수행하였다. SWMM의 축적과 유실에 의한 수질 모의 방법은 개념적 방법이므로 사용자의 정의에 따라 결과가 크게 달라지는 등 임의성이 크다. 따라서 측정 자료를 통한 모형 보정이 반드시 수반되어야 하지만, 현재의 상황을 측정 자료가 없는 현재의 상황을 고려하여 단순화하여 모의하였다.

- 축적: 멱함수를 포함한 수식(Power equation)
- 유실: 유량 가중 평균 농도(Event mean concentration; EMC)

#### 4) 비점오염원 처리시설의 모의 방법

##### ① 기존 계획

장치형 처리시설의 설치 위치와 효율(SS 80%)을 고려하여 SWMM 내 Treatment 기능을 이용하였다.

##### ② 개선 계획

인공습지와 식생수로의 SS 처리 효율을 각각 고려하여 BMP 시설의 처리효율 설정을 통해 모의하였다. 개선 계획의 식생수로(Swale)를 이용하여 설정하였으며, 침투는 3.3mm/hr이며, 개수로(Open channel)로 증발도 모의 가능하다. 습지의 경우 Storage Unit를 이용하여 설정하고 습지의 특성상 침투가 잘 되지 않도록 0.1mm/hr로 설정하였다.

[ 표 6-6 ] 축적과 유실에 관한 수식과 변수(강태욱과 이상호, 2014)

Buildup/ Washoff	Type	Equation	Variable
Buildup	Power	$B = Min(b_1, b_2 t^{b_3})$	$B$ : Buildup load (mass per area or curb length) $b_1$ : Maximum buildup possible (mass per area or curb length) $b_2$ : Buildup rate constant (mass/days) $b_3$ : Time exponent (dimensionless) $b_4$ : Buildup rate constant (1/days) $b_5$ : Half-saturation constant (days to reach half of the maximum buildup)
	Exponential	$B = b_1 (1 - \exp^{-b_4 t})$	
	Saturation	$B = \frac{b_1 t}{b_5 + t}$	
Washoff	Exponential	$W = w_1 q^{w_2} B'$	$W$ : Washoff load (Exponential: mass per hour, Rating curve: mass per sec) $w_1$ : Washoff coefficient (dimensionless) $w_2$ : Washoff exponent (dimensionless) $w_3$ : Washoff coefficient (mass per liter) $q$ : Runoff rate per unit area (e.g., mm/hr) $B'$ : Pollutant buildup load (mass) $Q$ : Runoff rate in user-defined flow unit (e.g., m <sup>3</sup> /s)
	Rating curve	$W = w_1 Q^{w_2}$	
	Event mean concentration (EMC)	$W = w_3 Q$	

## 6.3 물순환 기술의 현장 적용

본 장에서는 K-water에서 화성시 송산면에 개발중인 송산그린시티 동측지구를 대상지구로 선정하였다. [그림 6-8]과 같이 동측지구 정면에는 염수를 포함한 시화호가 위치하였고, 지구 내측에는 여러 간선 하천을 포함하고 있는 국내의 대표적인 수변도시로서 [그림 6-9]와 같이 친환경 생태 기술을 접목하여 선도적인 물순환 기술로 설계된 친수 주거단지이다.



[그림 6-8] 동측지구 위치 현황

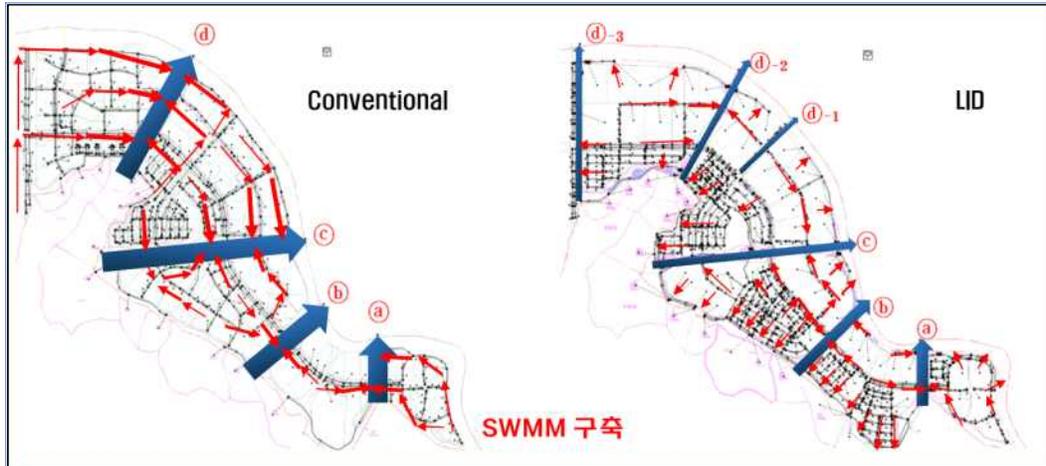


[그림 6-9] 송산 그린시티 동측지구 개발 계획

### 6.3.1 분산식 빗물관리

개발로 인해 변화하는 물순환 상태를 자연친화적인 기법을 활용해 최대한 개발 전 상태에 접근토록 유출발생원에서 분산 관리하도록 설계하였다. 송산그린시티 동측지구 기존의 우수배제 시스템은 4개의 주수로를 이용한 집중식 우수 배제로 설계되었으나, 우수 집중으로 인한 월류와 국지적 침수 현상을 보다 효율적으로 관리하고자 4개의 주수로 및 추가적인 유출부를 고려한 분산식 우수 배제 시스템으로 [그림 6-10]과 같이 설계 변경하였다.

동측지구 단지 중심부에 우수배제 및 친수공간으로서의 4개의 주수로를 계획하였다. 주수로 주변에 자연생태공원을 조성할 예정으로 자연형 하천, 습지를 도입하여 수변 생태건전성을 도모하였다. 친환경 수변도시 조성을 목표로 높은 녹지비율과 저영향개발 기법을 적극 도입하여 도시 물순환 건전성 확보를 계획하였다.



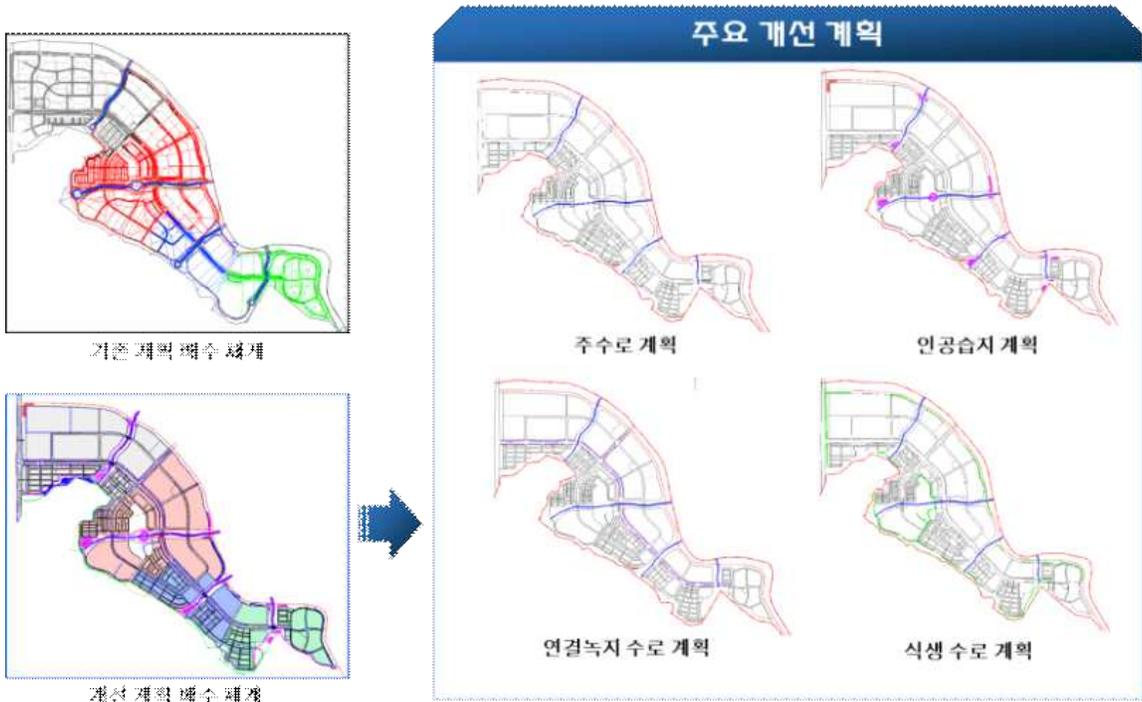
[그림 6-10] 동측지구 우수배제 기존 및 개선 계획

### 6.3.2 저영향개발 기법의 적용

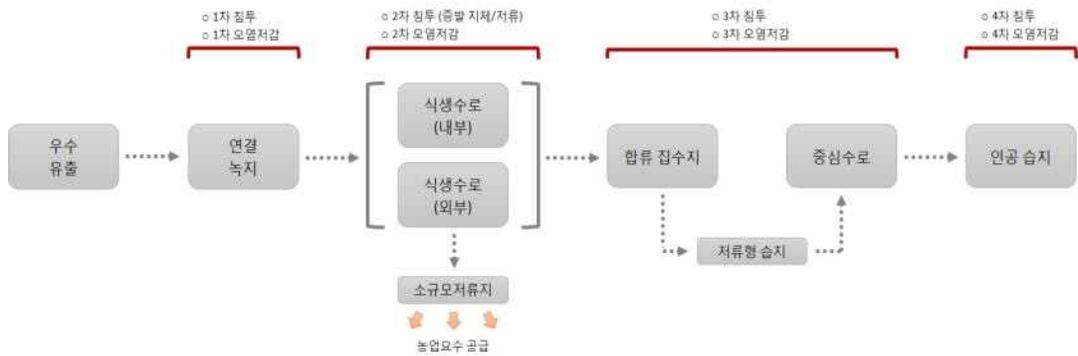
송산그린시티 개발사업의 목표인 수변도시 조성 특화와 연계하고, 주거공간 중심의 사업지구내 주민들을 위한 생태도시 조성의 필수 조건으로 심미적 기능을 창출하기 위하여 하천내 친수공간을 조성, 보행자의 생태적 친수환경을 극대화하는 수변계획을 위하여 저영향개발 기법을 적용하였다.

분산식 빗물관리를 위해 설계된 우수배제 관망을 따라 기존에 적용하였던 18개 장치형 비점오염 처리시설을 녹지를 활용한 식생수로, 습지를 활용한 지구 내 침투시설을 도입하여 자연형 비점오염 처리시설로 [그림 6-11]과 같이 대체 설계하였다. 각 시설은 연계된 비점오염원 처리 과정을 [그림 6-12]와 같이 가지고, 각 시설의 처리 효율은 [표 6-7]과 같다.

서남측 및 동북측의 연결녹지를 이용하여 [그림 6-13]과 같이 식생수로+저류형(인공습지,저류지) 조성계획을 수립하였다. 주간선도로 식수대를 활용한 식생수로+침투시설(침투우수받이+침투도랑)을 적용하여 자연형 처리계획을 반영하였다. 그림 [6-14]는 동측지구 전체에 적용된 저영향개발 기법의 설계도면이다.

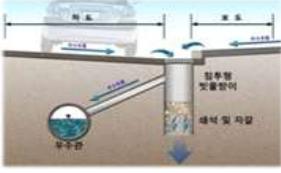


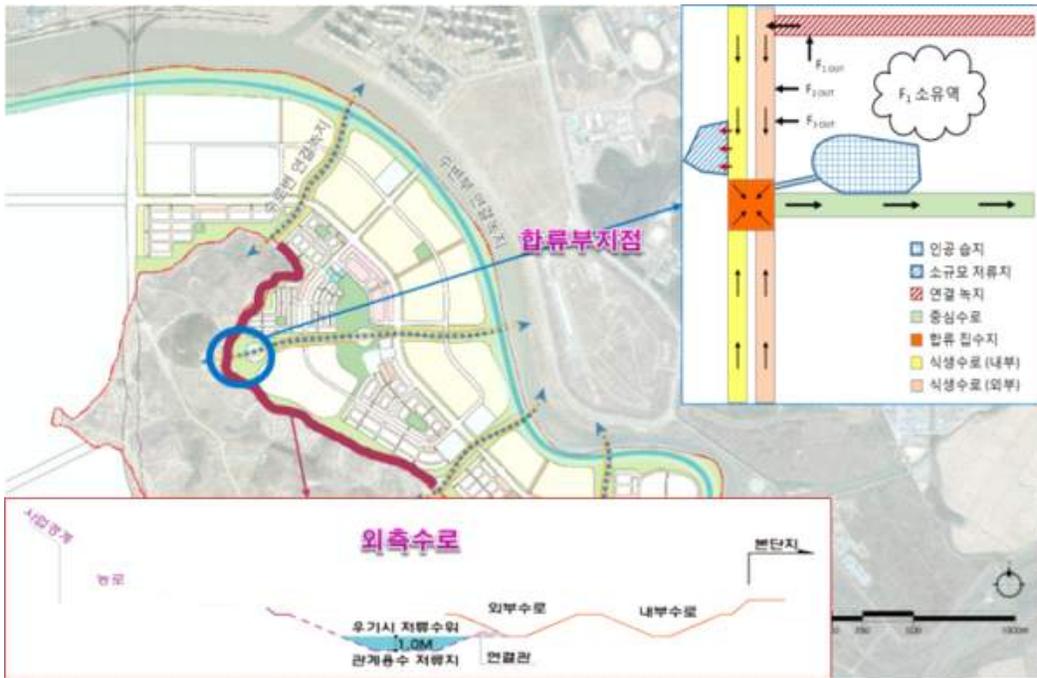
[그림 6-11] LID 적용을 위한 주요 개선 계획



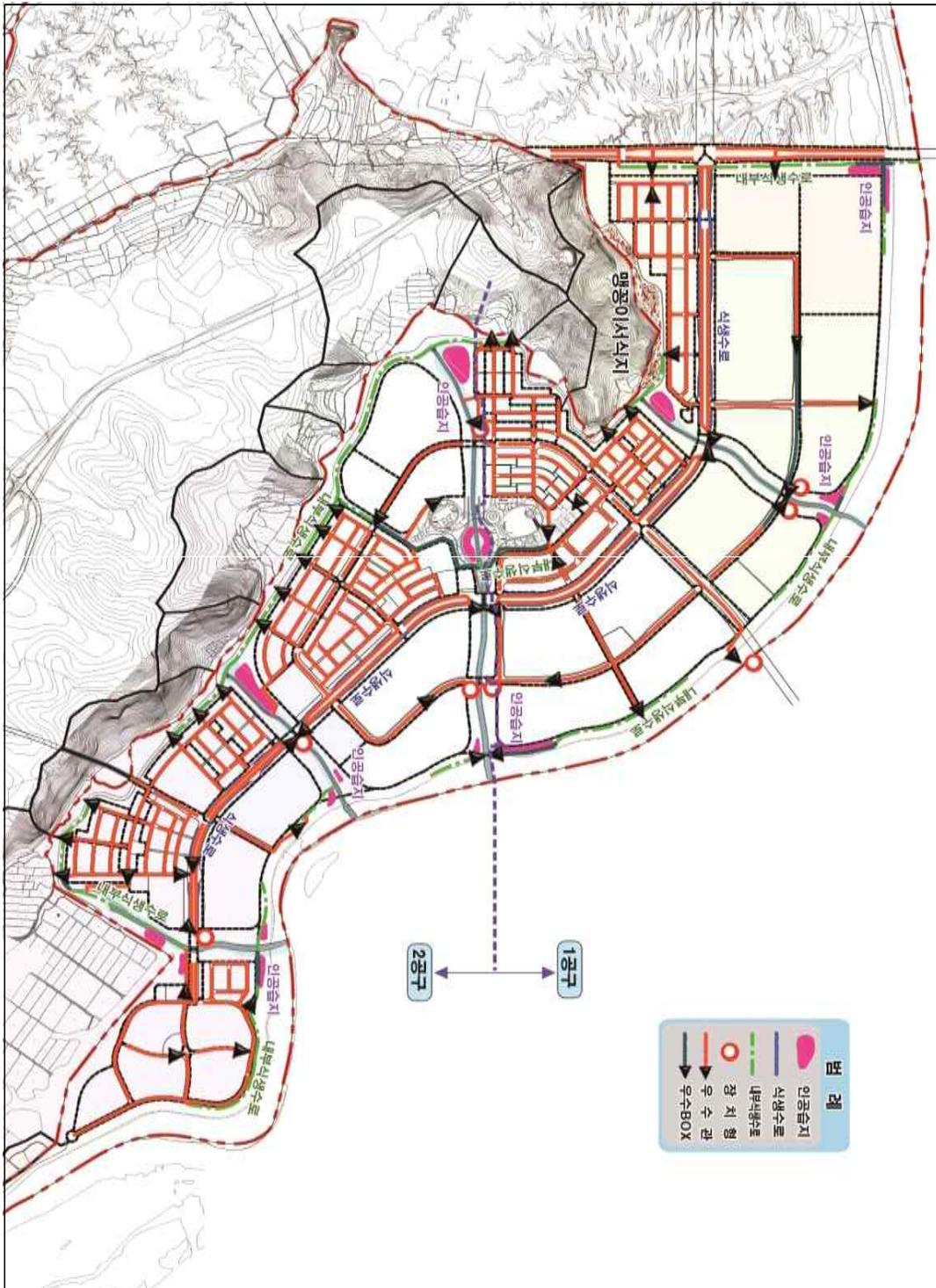
[그림 6-12] 주수로 비점오염원 저감 흐름도

[표 6-7] 저영향개발 기법 비점오염원 처리효율

시설명	처리 효율	비고	시설명	처리 효율	비고
식생수로	30%		저류지	-	
인공습지	50%		침투 빗물받이	70%	



[그림 6-13] 주수로 저류지 합류지점



[그림 6-14] LID 반영한 우수계획 평면도

### 6.3.3 빗물시범단지

빗물시범단지는 [그림 6-15]와 같이 송산그린시티 동측지구내 일반 연립주택용으로 계획되었으며, 지구단위 계획과 연계하여 각 단독주택 및 상가, 업무시설 등 필지별 빗물 저류통을 설치하여 빗물 재활용 계획을 수립하였다.

[표 6-8]과 같이 EB1~EB5 총 5단지로 나누어 총면적 19.47ha, 세대수 516호로 조성할 계획이다. 기존의 변경 전 계획에서는 모래 여과시설 2개소를 설치하여 수질 관리를 계획하였으나, 계획 변경 후 녹지대를 이용한 침투수로 및 인공습지를 설계에 반영하여 자연형 정화시설을 계획하였다.



[그림 6-15] 빗물시범단지

[ 표 6-8 ] 빗물 시범단지 계획

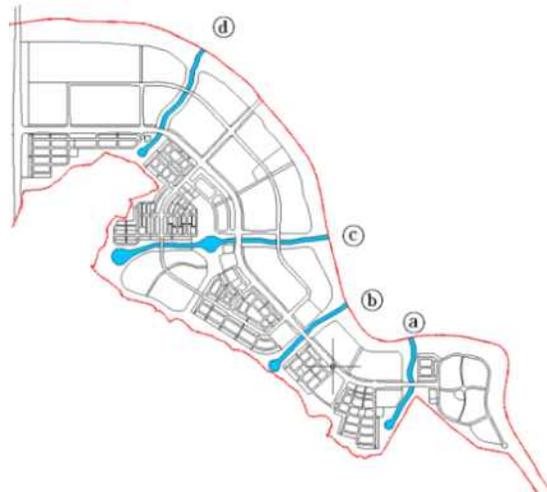
획지 번호	면적 (㎡)	주택 규모	평균 공급면적 (㎡)	세대수 (호)	최고 층수	건폐율 (%)	용적률 (%)	비 고
EB1	17,083	85㎡ 초과	165	72	4	50	70	
EB2	23,923	85㎡ 초과	165	101	4	50	70	
EB3	18,179	85㎡ 초과	165	77	4	50	70	
EB4	15,546	60-85㎡ 이하	109	100	4	50	70	
	7,831	85㎡ 초과	165	33	4	50	70	
EB5	15,565	60-85㎡ 이하	109	100	4	50	70	
	7,841	85㎡ 초과	165	33	4	50	70	
계	105,968	-	-	516	-	-	-	

## 6.4 물순환 기술의 적용 결과

### 6.4.1 동측지구 모의 결과

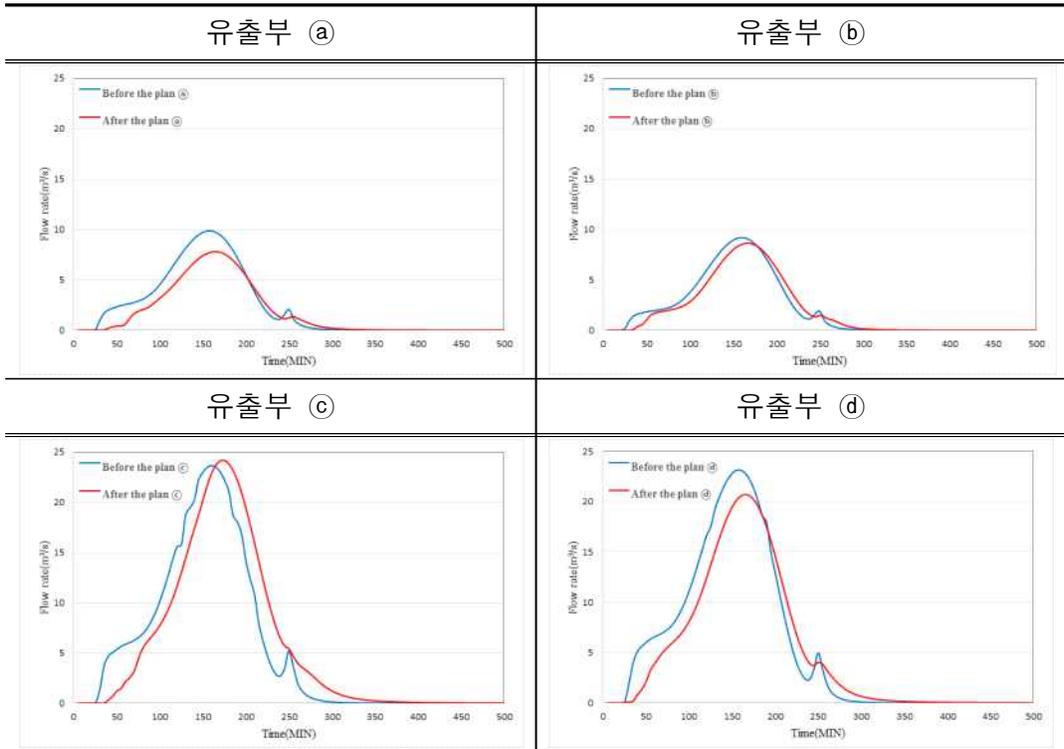
#### 가. 단기 홍수 유출 모의

30년 빈도 확률 강우량(Huff 3분위 사용, 임계지속시간 240분, 확률 강우량 171.3mm)에 대한 단기 강우 사상으로 기존의 우수배수 체계와 분산식 빗물관리에 의한 우수배제의 유출량 저감 효과를 분석하였다.



[그림 6-16] 동측지구 유출부 위치

모의 분석은 [그림 6-16]과 같이 4개의 유출부에 따라 수행하였다. 대체로 계획 변경 후의 홍수 수문곡선은 [그림 6-17]과 같이 계획 변경 전의 홍수 수문곡선에 비해 지체되고 첨두 홍수량은 감소되는 경향을 보였다. 계산 결과, [표 6-9]와 같이 계획 변경에 따라 유역 출구부의 첨두유량의 총량은 6.45% 감소하는 것으로 분석되었고, 총 유출부피도 6.80% 감소하는 것으로 분석되었다. 다만, ©유출구의 첨두유량 및 총 유출 체적은 계획 변경에 따라 약 2% 정도 증가하였는데, 이는 배수분구 조절에 따라 유역 면적이 확대된 것으로 판단하였다.



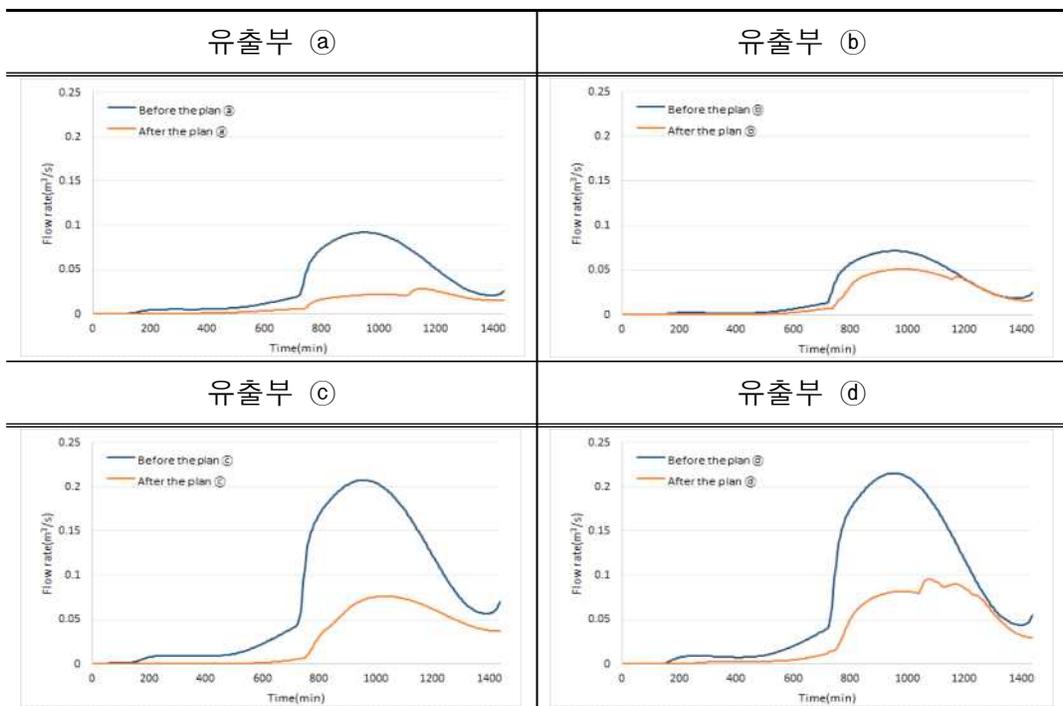
[그림 6-17] 단기 홍수 사상에 대한 계획 변경 전후의 유출 비교

[표 6-9] 단기 홍수 사상에 대한 침투유량 및 유출량 비교

구분	침투유량			유출 부피		
	기존계획 (m <sup>3</sup> /s)	개선계획 (m <sup>3</sup> /s)	감소율 (%)	변경전 (m <sup>3</sup> )	변경후 (m <sup>3</sup> )	감소율 (%)
유출부 ㉠	9.85	7.79	20.90	68,378	53,526	21.72
유출부 ㉡	9.18	8.63	5.99	61,652	58,251	5.520
유출부 ㉢	23.66	24.16	-2.11	162,748	166,403	-2.24
유출부 ㉣	22.84	20.72	9.28	162,649	146,266	10.07
합계	65.53	61.30	6.45	455,427	424,446	6.80

## 나. 단기 강우 유출 및 물수지 모의

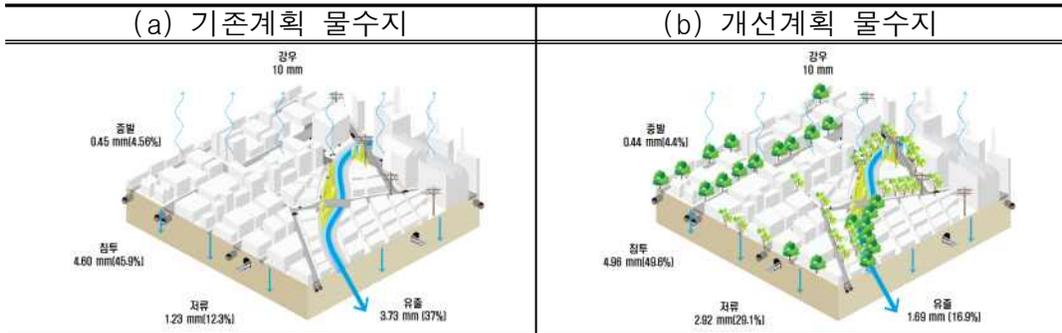
10mm/day 단기 강우 사상에 대한 계획 변경 전·후의 유출량 비교를 각 유출부 기준으로 수행하였다. 대체로 계획 변경 후 [그림 6-18]과 같이 유출량이 크게 감소하였고, 수문곡선이 지체되는 것으로 분석되었다. 분산식 빗물관리로 계획한 후 침투유출이 평균 약 51.78% 감소하였고, 총 유출량은 57.2% 감소한 것으로 분석되었다.



[그림 6-18] 단기 강우 사상에 대한 계획 변경 전후의 유출 비교

계획 변경 전·후에 대한 유역 내의 발생원 변경이 없으므로 유역 내 발생원에 대한 물수지의 변화는 없다. 기존 계획에 의한 유역의 강우 유출수는 대부분 우수관에서 주수로로 유출되며, 주수로 및 토사측구에서 소량의 침투와 증발만이 8.7% 발생하였다. 개선 계획에 의한 유역의 강우 유출수는 대부분 우수관에서 식생

수로로 유출되었고, 부분적으로 습지를 통해 주수로로 유출됨에 따라 저류 46.2%, 침투 10.4%가 하도 내 전체 물 수지 가운데 56.6 %를 차지하는 것으로 분석되었다. 단기 강우 사상에 대한 물수지 분석 결과는 [그림 6-19]와 [표 6-10]와 같이 분석되었다.



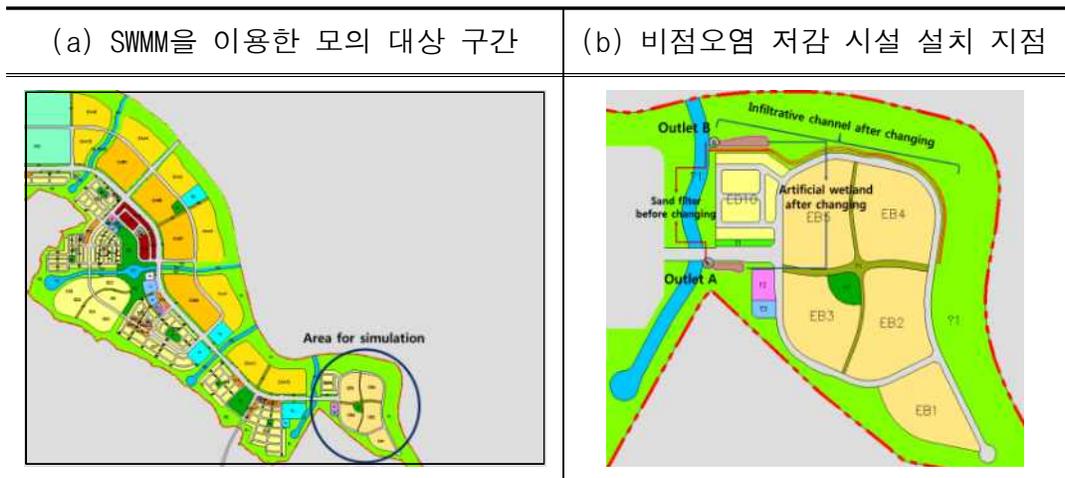
[그림 6-19] 단기 강우 사상에 대한 물수지 변화 분석

[표 6-10] 단기 강우 사상에 대한 물수지 분석 결과

구분		10 mm/day (depth, m)	
		기존계획 (mm)	개선계획 (mm)
유역 내 물수지	총 강우	10	
	지표면 증발	0.436 ( 4.34%)	
	지표면 침투	4.563 (45.51%)	
	지표면 저류	0.399 (11.04%)	
	지표면 유출	3.921 (39.10%)	
구분		기존계획 (mm)	개선계획 (mm)
하도 내 물수지	습지&식생수로[토사측구] 증발	0.002 (0.1%)	0.004 (0.1%)
	습지&식생수로[토사측구] 침투	0.258 (6.6%)	0.406 (10.4%)
	습지&식생수로[토사측구] 저류	0.082 (2.1%)	1.813 (46.2%)
	최종 유출	3.578 (91.2%)	1.697 (43.3%)

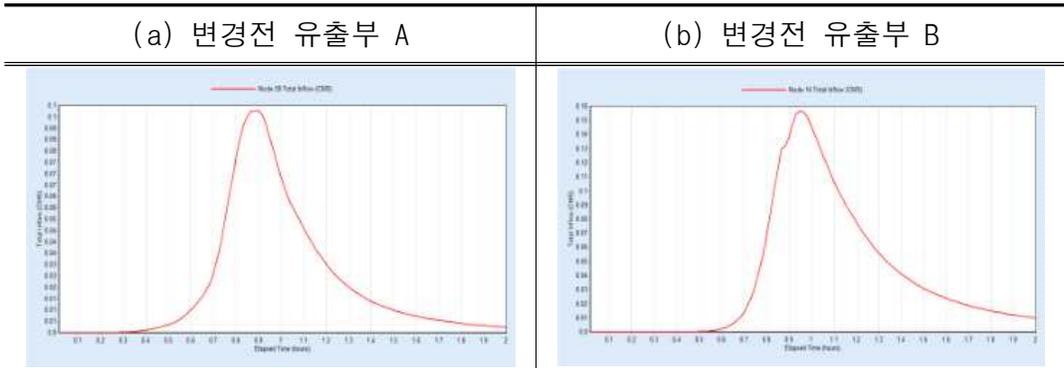
## 다. 단기 강우 수질 모의

동척지구 빗물시범단지를 대상으로 19.47ha의 면적에 변경 전·후의 비점오염 처리 시설에 대한 수질 분석을 수행하였다. 계획 변경 전은 모래 여과시설 2개소를 설치 계획하였으나, 계획 변경 후 녹지대를 이용한 침투수로 및 인공습지를 설치 하도록 [그림 6-20]과 같이 설계하였다.

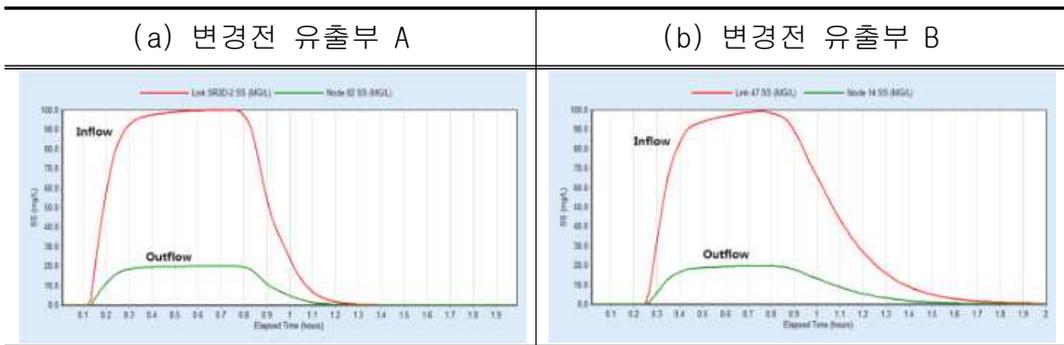


[그림 6-20] 수질모의 분석 구간 위치도

비점오염처리 대상 강우는 수원 기상관측소의 Huff 분위를 고려하여 3분위를 적용하여 시간당 5 mm의 강우량(5 mm/hr)으로 분석하였다. 계획 변경 전의 강우에 의한 유출 곡선은 [그림 6-21]과 같이 나타났고, 변경 전 상태에 대한 SS의 분석은 [그림 6-22]의 그래프와 같이 분석되었다.

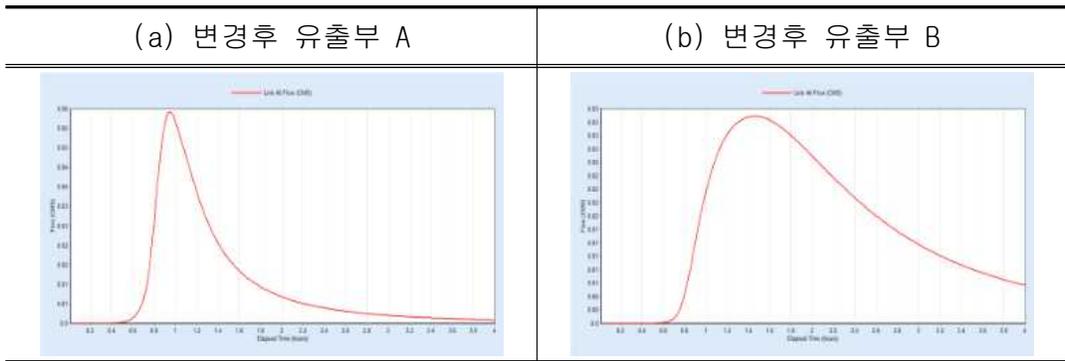


[그림 6-21] 변경 전 상태에 대한 유출 모의 결과

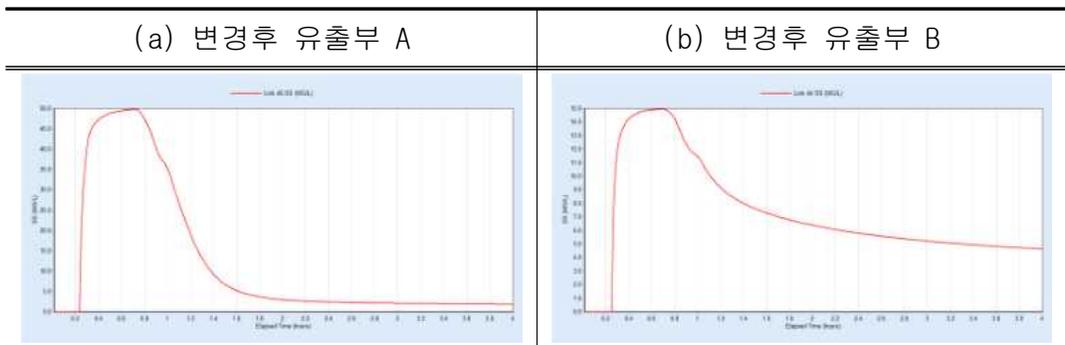


[그림 6-22] 변경 전 상태에 대한 SS 모의 결과

단기 강우 사상 5mm/hr에 대한 수질 분석을 수행하였다. 계획 변경 후 각 유출부의 수문곡선은 [그림 6-23]과 같이 나타났다. 유역의 실제 SS 농도를 파악하기 어려우므로(측정 자료를 이용한 모형 보정 불가) 강우 시 100mg/L의 SS 농도가 발생하는 것으로 가정하여 모의(EMC 적용)하였다. 모래 여과시설 유입 전·후에 대한 SS 농도를 검토(모래 여과시설의 처리효율: 80% 적용)하였다. 유출부 A와 B의 지점의 SS 농도 변화는 [그림 6-24]의 그래프와 같이 분석하였다.



[그림 6-23] 변경 후 상태에 대한 유출 모의 결과



[그림 6-24] 변경 후 상태에 대한 SS 모의 결과

변경 전과 마찬가지로 5mm/hr의 강우에 대한 수질 분석을 수행하였다. 유역의 실제 SS 농도를 파악하기 어려우므로(측정자료를 이용한 모형 보정 불가) 강우 시 100mg/L의 SS 농도가 발생하는 것으로 가정하여 모의(변경 전과 동일)하였다. 유출부 A와 B의 지점의 SS 농도 변화를 분석하였다.

강우 발생 후 6시간까지의 총 발생 부하량으로 검토하였다. 총 발생 부하량은 계획 변경 전과 후에서 거의 유사하였다. 침투수위가 계획된 유출부 B의 경우, 총 발생 부하량이 변경 전의 약 1/2배가 되었다. 반면에 인공습지만 계획된 유출부 A의 경우, 변경에 따른 발생 부하량은 [표 6-11]과 같이 약 2배가 되는 것으로 나타났다.

[표 6-11] 단기 강우 사상에 대한 유출부 발생 부하량

지점	총 발생 부하량(g)	
	변경 전	변경 후
유출부 A	1.41	3.00
유출부 B	2.86	1.55
합계	4.27	4.55

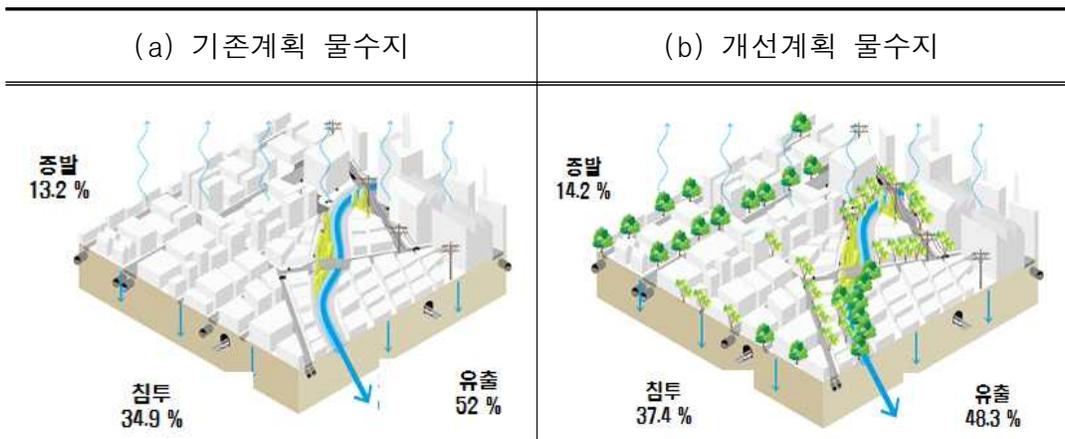
### 라. 장기 강우 유출 및 물수지 모의

수원지방기상청의 2002~2012년의 시간 단위 자료 강우량을 적용하여 장기 강우 모의를 수행하였다. 증발량 자료는 수원지방기상청의 30년 월 평균 자료를 사용하였다. 송산그린시티 동측지구 전체를 대상으로 수행하였고, 계획 변경 전·후의 비점오염 처리 시설 변경에 따라 비교 분석하였다. 계획 변경 전은 모래 여과시설 18개소 설치 계획하였으나, 변경 후 녹지대를 이용한 침투수로 및 인공습지를 설치하도록 설계하였다.

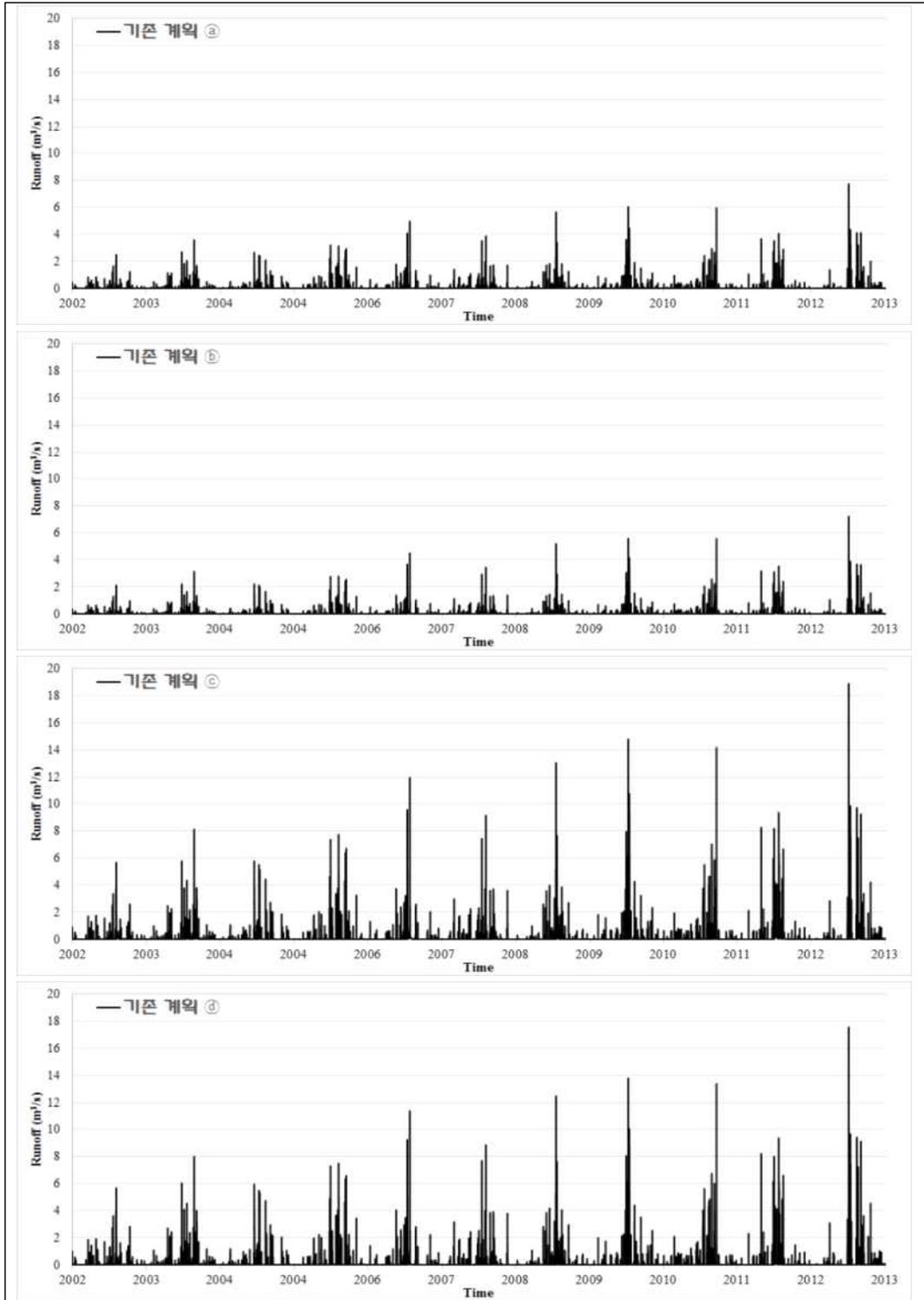
장기 유출 모의 결과 계획 변경에 따라 침투와 증발이 약 3.5 % 증가하여 지표면 유출이 상응하는 수준으로 감소하였다. 각각 기존 및 개선계획에 대한 11년간의 연속모의 결과는 [표 6-12]와 [그림 6-25]와 같다. 계획 변경 전과 변경 후의 유출량 결과는 [그림 6-26]과 [그림 6-27]과 같이 분석되었다.

[표 6-12] 장기 유출 모의에 대한 물수지 변화

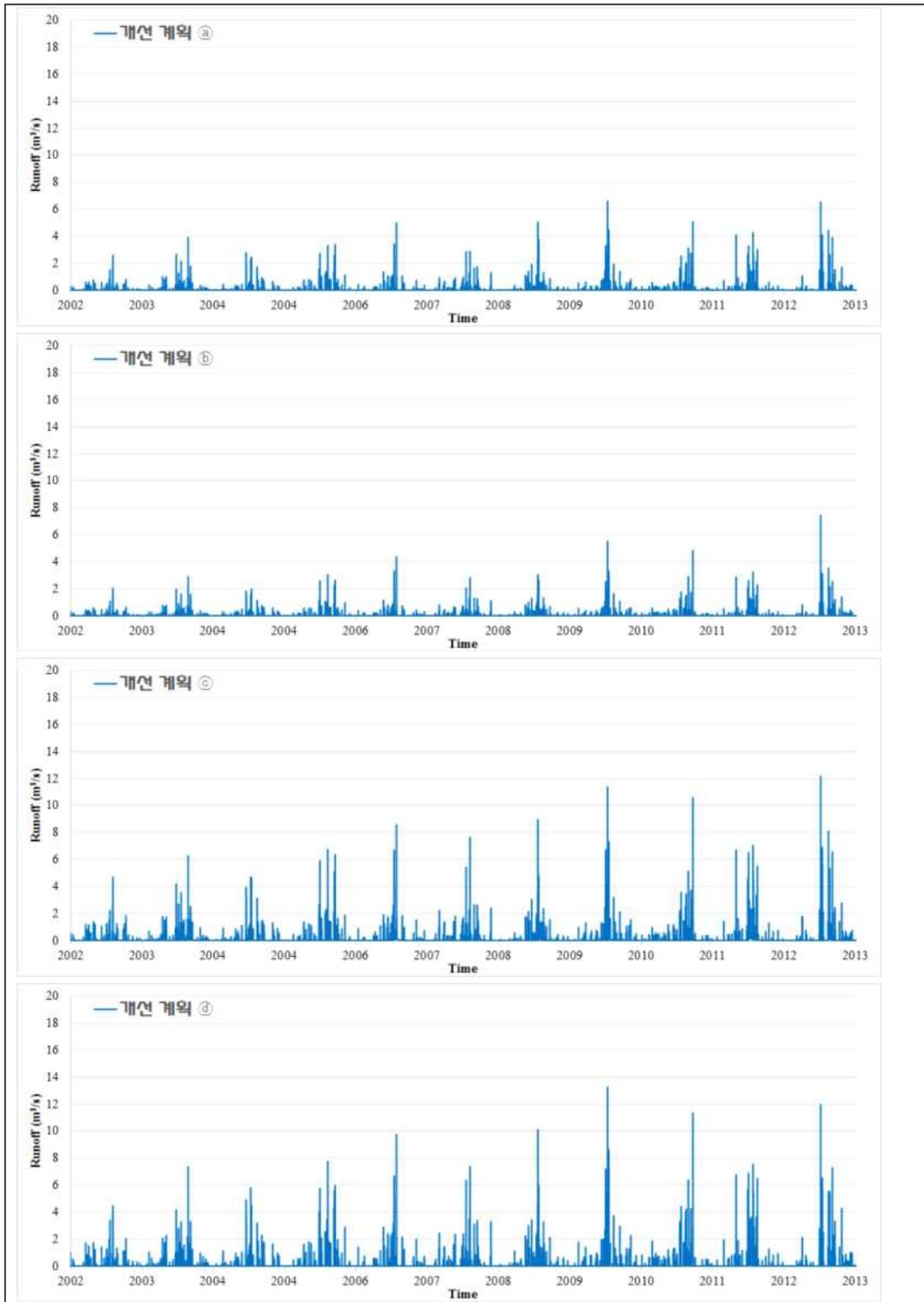
구분		11년 강우 기록(2002년 ~ 2012년)	
		기존 계획(mm)	개선 계획(mm)
유역내 물수지	총 강우	18,543.5	
	지표면 증발	1,462.729	
	지표면 침투	6,502.305	
	지표면 저류	0	
	지표면 유출	11,333.28	
구분		기존 계획 (volume, m <sup>3</sup> )	개선 계획 (volume, m <sup>3</sup> )
하도내 물수지	습지&식생수로[토사측구] 증발	45.738	62.018
	습지&식생수로[토사측구] 침투	980.305	1804.909
	습지&식생수로[토사측구] 저류	0	12.822
	최종 유출	47,442.37	45,126.28



[그림 6-25] 장기 유출 모의에 의한 물순환 변화 분석



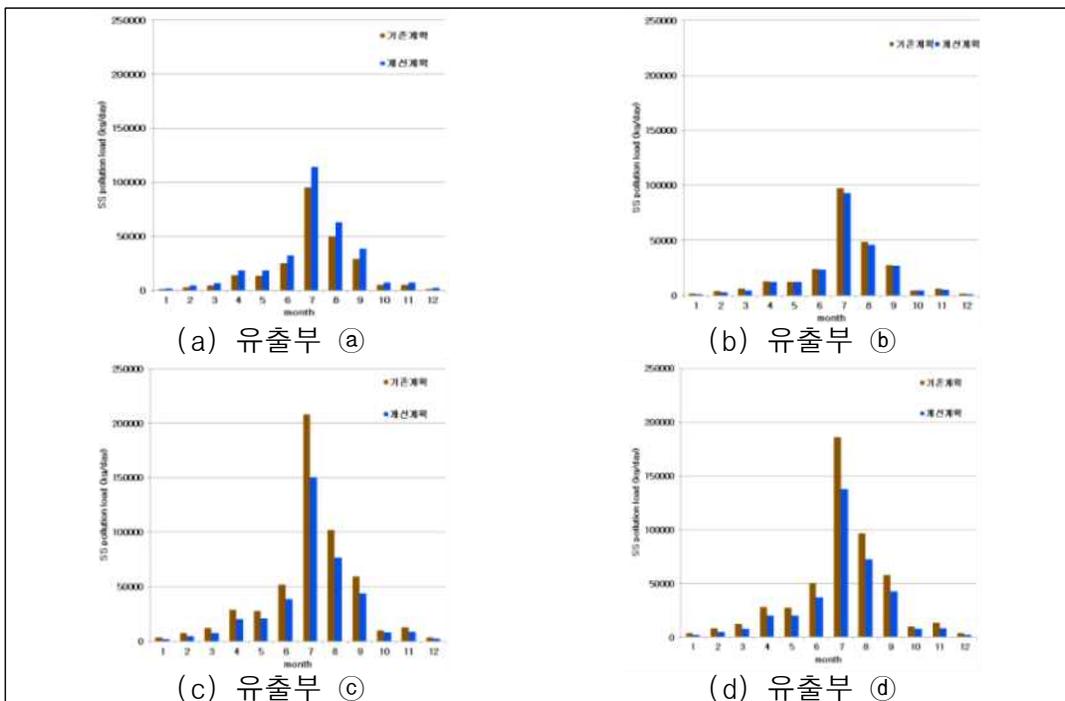
[그림 6-26] 기존 계획의 분석 지점별 유출량(장기 모의)



[그림 6-27] 개선 계획의 분석 지점별 유출량(장기 모의)

## 라. 장기 강우 수질 모의

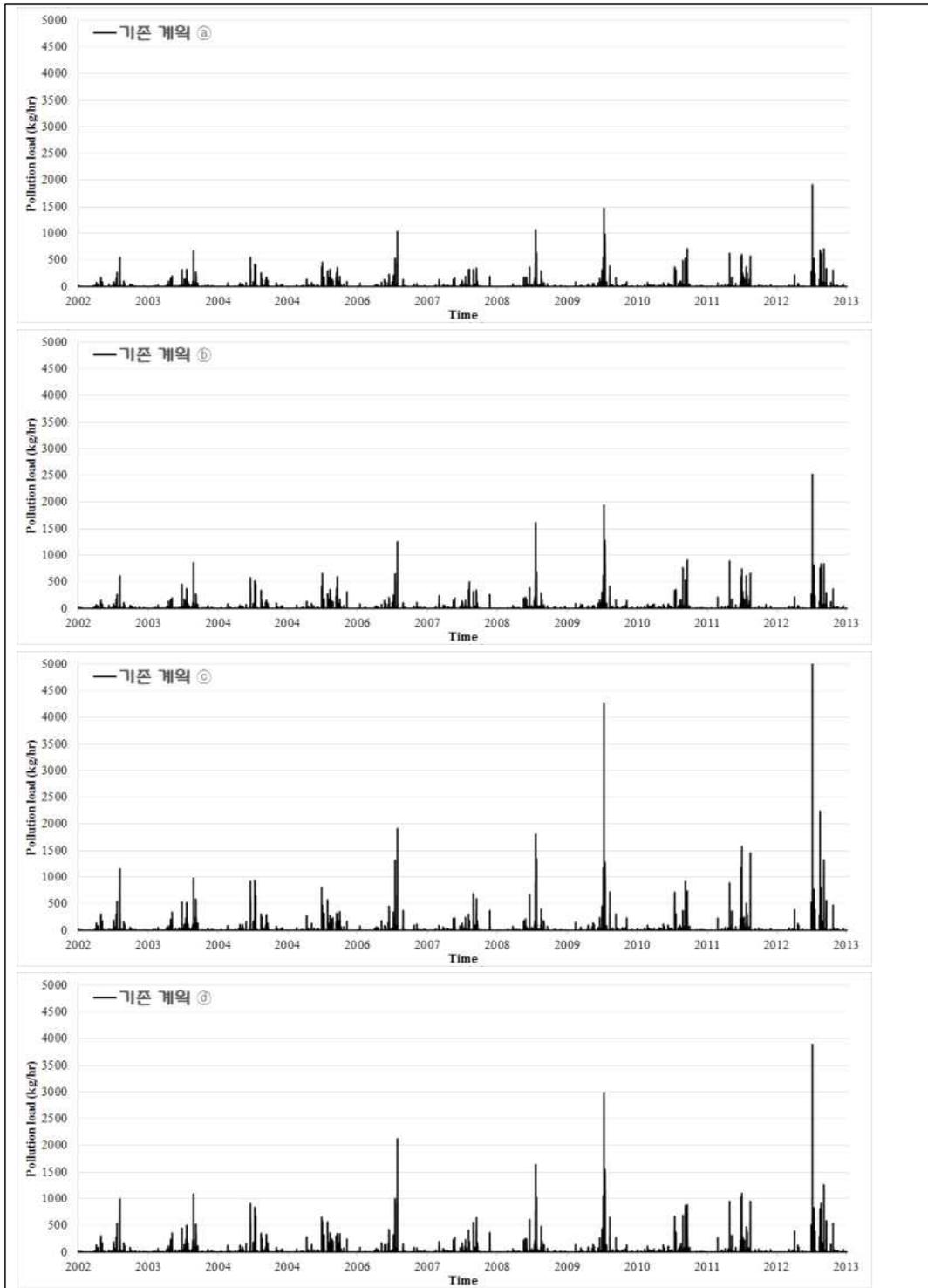
장기 유출 및 물순환 모의와 같은 2002~2012년의 시간 단위 자료 강우량을 적용하여 장기 강우 모의를 수행하였다. 기존의 경우 총 발생 SS 부하량 중 51.1% 저감한 반면, [그림 6-28]과 같이 개선 계획에서는 65.7%의 SS 부하량을 저감하였다. 기존 계획과 개선 계획의 월 평균 발생 부하량을 [표 6-13]과 같이 정리하였고, 변경 전후의 그래프를 [그림 6-29]와 [그림 6-30]과 같이 나타내었다.



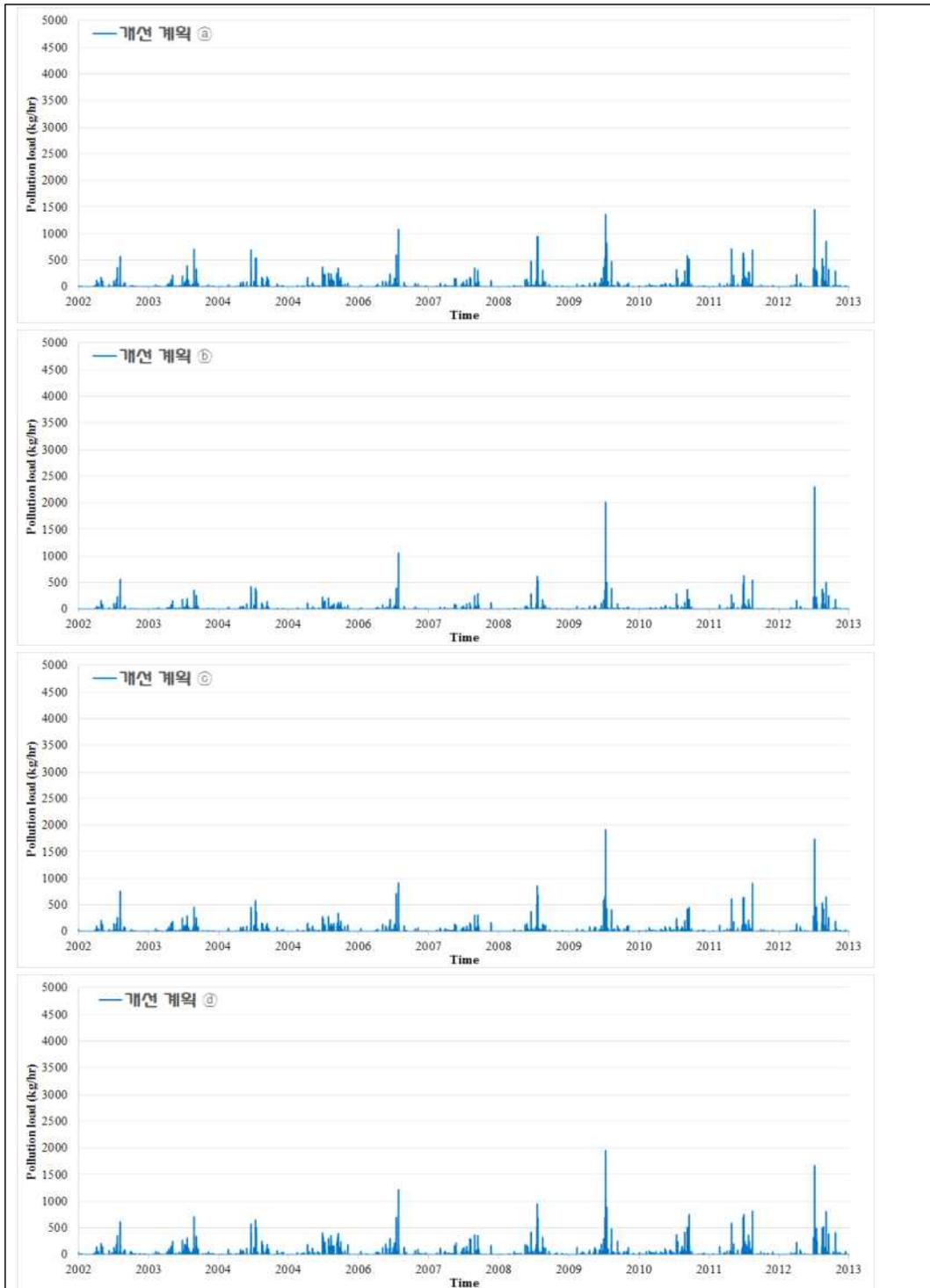
[그림 6-28] 장기 유출 모의에 의한 물순환 변화 분석

[표 6-13] 장기 유출 모의에 대한 물수지 변화

구분		기존 계획 (kg)	개선 계획 (kg)
총 발생 SS 부하량		7,349,840	
저감량	식생수로	-	3,121,163
	습지와 장치형 시설	3,756,624	1,707,368
	소계	3,756,624	4,828,531
최종 유출 부하량		3,593,216	2,521,309



[그림 6-29] 기존계획의 분석 지점별 SS 부하량(장기 모의)



[그림 6-30] 개선계획의 분석 지점별 SS 부하량(장기 모의)

## 6.4.2 주수로 모의 결과

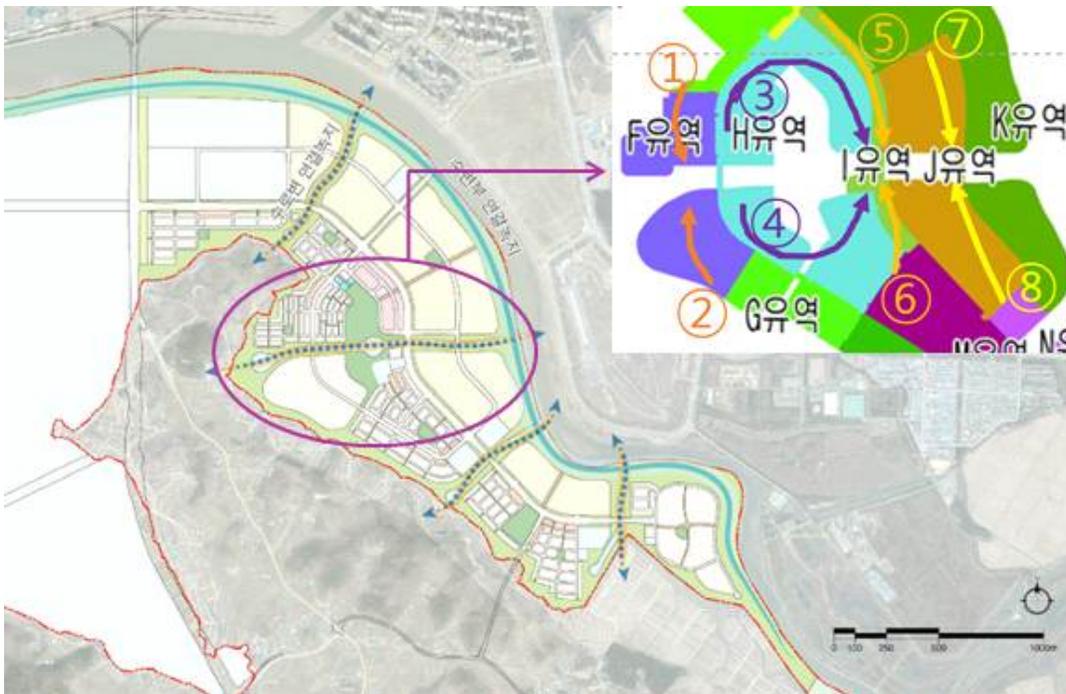
### 가. 단기 홍수 유출 모의

#### 1) 외수 범람의 가능성

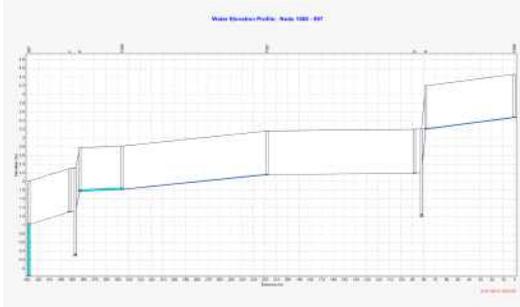
송산 그린시티 동측지구의 강우-유출수는 시화호로 방류한다. 시화호는 큰 저류지로서, 조력 발전과 홍수조절을 위해 수위를 관리하고 있으므로 홍수 시 외수 범람의 위험은 없어 계획 빈도 홍수에 대하여 안전하다. 동측지구 주수로의 유역 분할 및 우수배제 방향은 [그림 6-31]과 같다.

#### 2) 홍수 시 내수 침수의 가능성

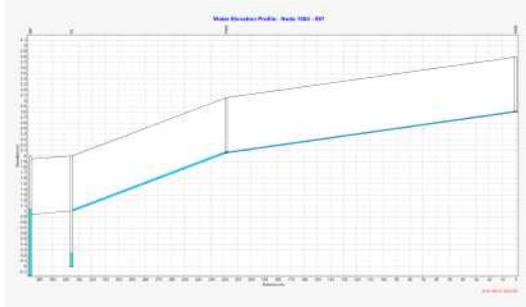
대상지역 내 우수관거의 통수능 검토를 위해 8개 우수관거 종단에 대하여 검토한 결과 [그림 6-32]에 나타난 바와 같이 모든 우수관거에서 홍수 시 안전하게 계획되었다.



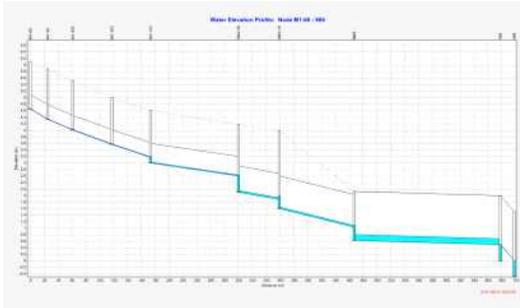
[그림 6-31] 주수로 유역 관거 종단 구분



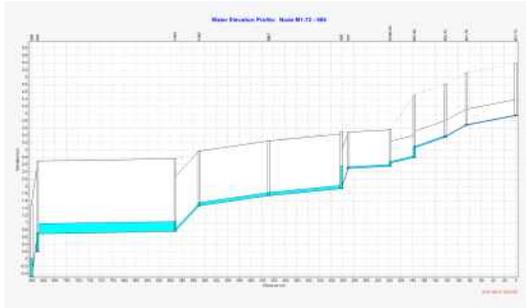
(a) ①:F구역 좌안 우수관거 종단



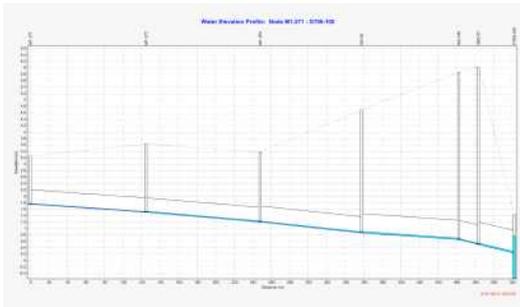
(b) ②:F구역 우안 우수관거 종단



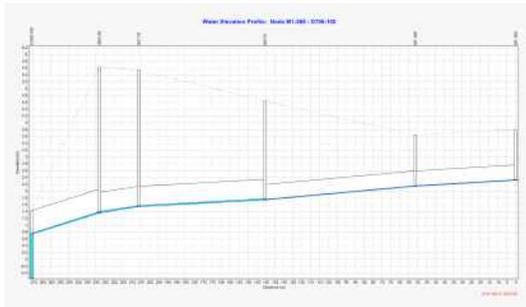
(c) ③:H구역 좌안 우수관거 종단



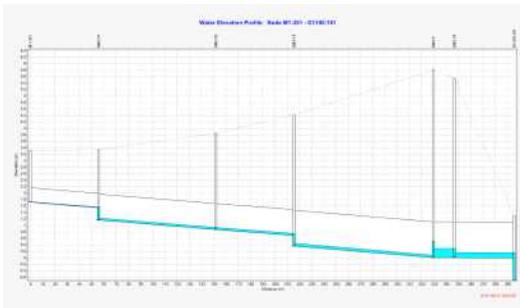
(d) ④:H구역 우안 우수관거 종단



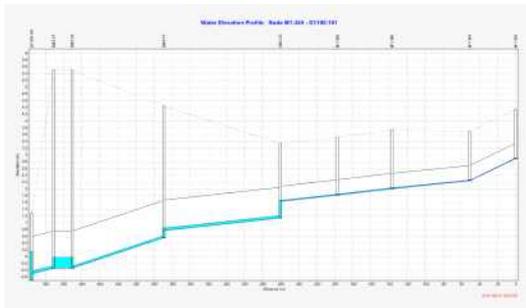
(e) ⑤:I구역 좌안 우수관거 종단



(f) ⑥:I구역 우안 우수관거 종단



(g) ⑦:J구역 좌안 우수관거 종단

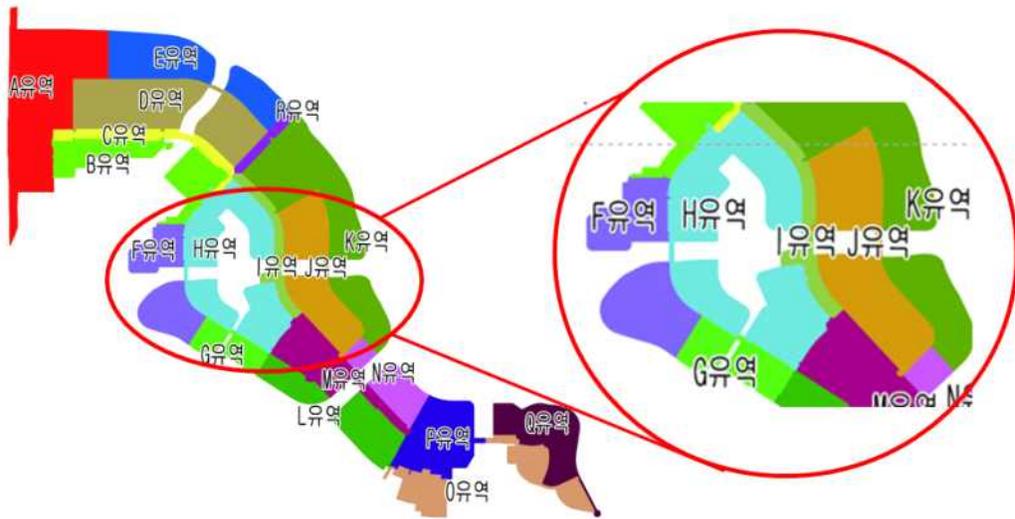


(h) ⑧:J구역 우안 우수관거 종단

[그림 6-32] 유역별 우수관거 종단

### 나. 단기 강우 유출 및 물수지 모의

[그림 6-33]과 같이 선정된 동측지구 주수로 인근 유역에 대해 단기 강우 사상 15mm/day을 적용하여 분석한 결과, [표 6-14]와 같이 50% 이상의 강우가 유역 내에서 침투되었고, 하도에서 20% 저류되었으며, 20% 정도가 외부로 유출 되었다.



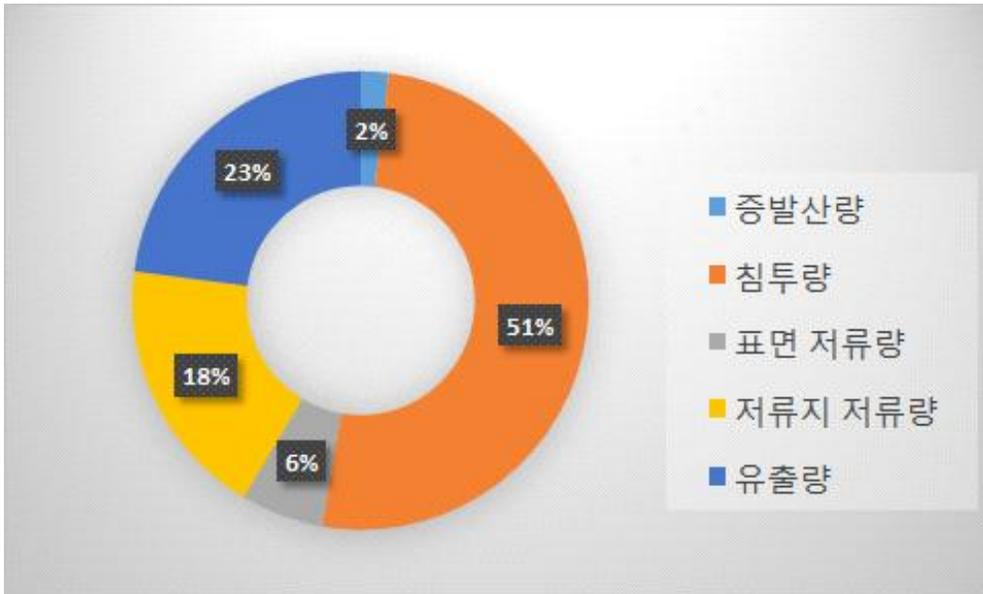
[그림 6-33] 동측지구 주수로 유역 구분

[표 6-14] 단기 강우 사상에 대한 물 순환 분석 결과

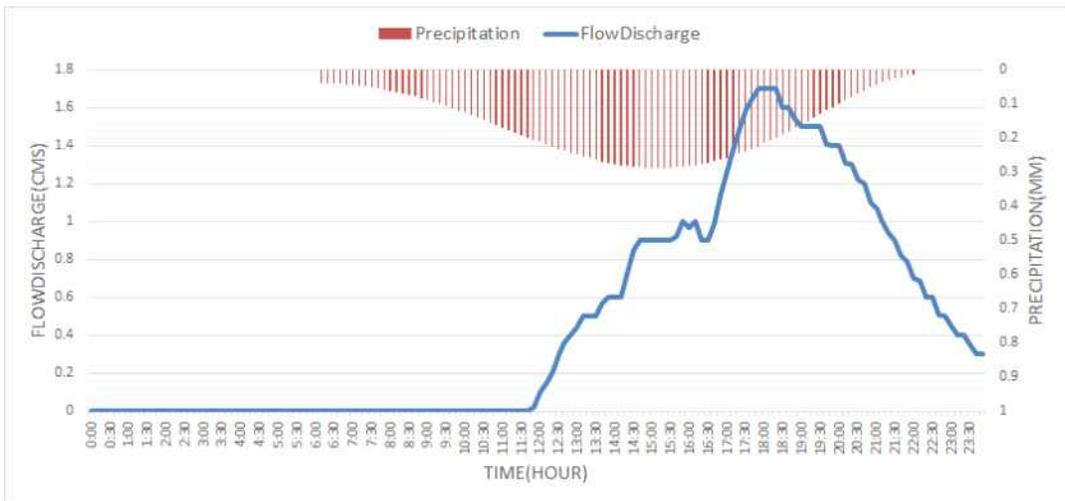
유역			하도(저류지 포함)		유출	합 계
저류	침투	증발	저류	침투		
5.87%	50.72%	1.99%	18.45%	2.68%	20.29%	100%

유역별 분산형 관리에 의한 각각의 강우-유출을 수행하였고, 도시 설계시 충분한 저류시설을 확보하여 [그림 6-34]와 같이 강우량의 80% 이상을 유역내에서 처리하며 외부로 유출된 양은 20% 인 것으로 나타났다. 유출곡선이 고르지 못한

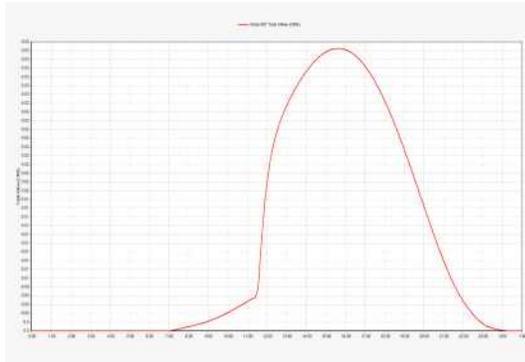
것은 각 유역간의 거리가 일정치 않아 주수로로 유입되는 시간이 각기 달라서이다. [그림 6-35]는 주수로의 단기 강우 사상에 대한 수문곡선이다. [그림 6-36]은 각 유출부별 수문곡선을 개별적으로 나타내었다.



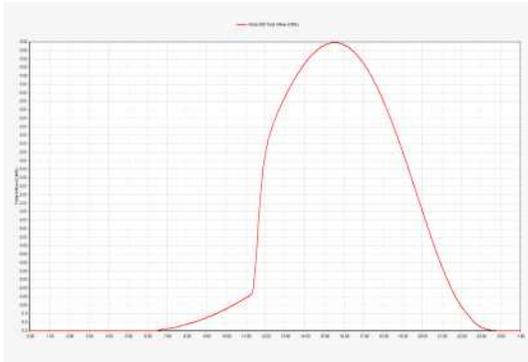
[그림 6-34] 주수로 물수지 분석 그래프



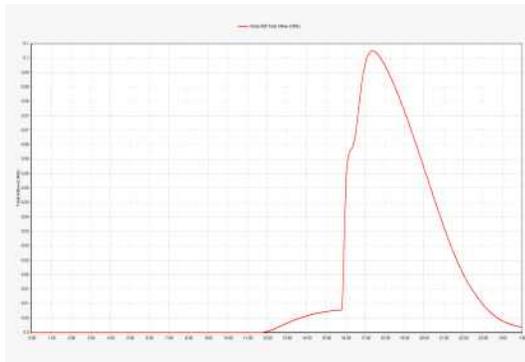
[그림 6-35] 주수로 강우-유출 곡선



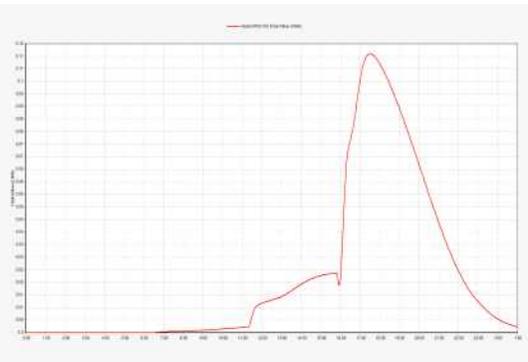
(a) F구역 유출부



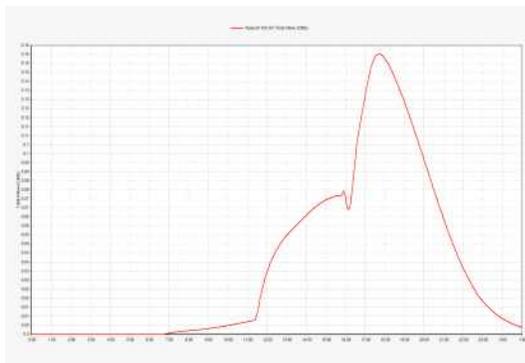
(b) G구역 유출부



(c) H구역 유출부



(d) I구역 유출부



(e) J구역 유출부



(f) K구역 유출부

[그림 6-36] 구역별 강우-유출 곡선

## 다. 단기 강우 수질 모의

### 1) 분석 방법

유역의 실제 부유사(Suspended solid; SS) 농도를 파악하기 어려우므로(측정자료를 이용한 모형 보정 불가) 강우 시 100 mg/L의 SS 농도가 발생하는 것으로 가정하여 모의(EMC 적용) 하였다.

### 2) 시설별 SS 저감 효율

식생수로: 30%, 저류지: 80%

빗물이용시설은 비점오염원의 제거 기능을 가지지 않는다.(단순 저류)

### 3) 분석대상 강우

5mm/hr(환경부 기준), Huff 3분위 강우 분포

### 4) 분석 결과

비점오염 저감 시설 중 [표 6-15]와 같이 저류지의 저류를 통한 비점오염 저감량이 가장 큰 것으로 분석되었으며, 5mm/hr의 강우에 의해 발생된 유역 내 SS 총 부하량 중 99.9% 제거되는 것으로 나타났다.

[표 6-15] 비점오염원 처리 분석 결과

처리 시설명	부하량(kg)	백분율(%)
총 오염물질	266.959	102.41
식생수로 및 침투빗물받이	76.887	28.80
저류지 및 인공습지	58.047	21.74
저류지 및 인공습지	138.047	51.71
최종유출량	0.406	0.15
오차	-	2.41

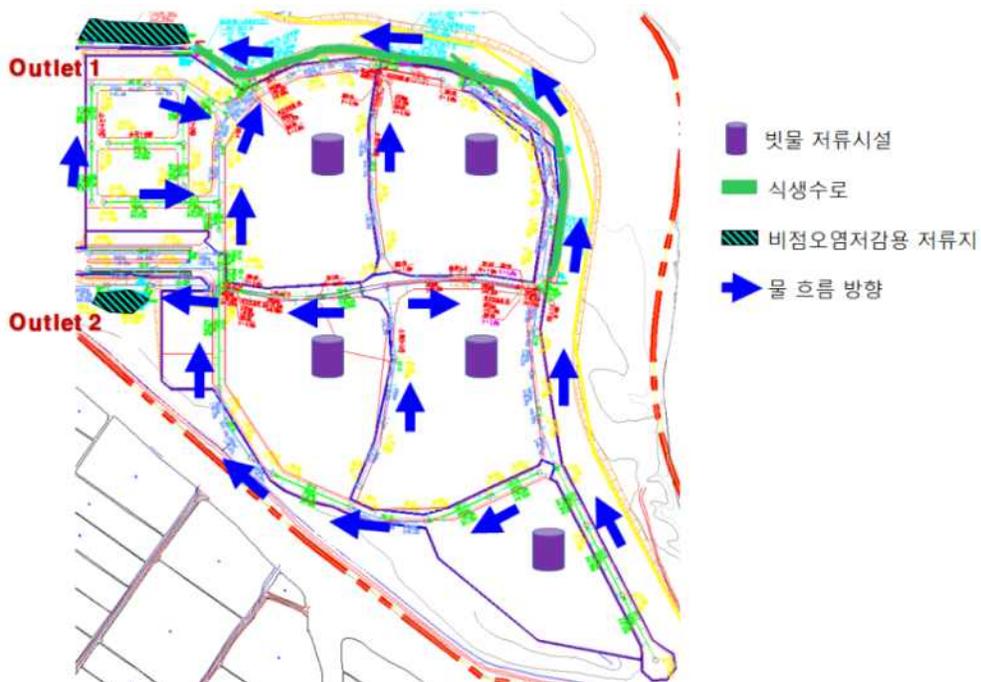
도시 설계시 충분한 비점저감시설 확보할 경우 다음과 같은 비점오염원 저감 효과를 기대할 수 있는 것으로 분석되었다.

- 식생수로 & 침투빗물받이 : 총 오염물질량의 28.80% 처리
- 저류지 & 인공습지 : 총 오염물질량의 21.74% 처리, 51.71%처리
- 유출 : 총 오염물질량의 0.15%

### 6.4.3 빗물시범단지 모의 결과

#### 가. 단기 강우 홍수 모의

빗물시범단지의 강우시 우수배제 방향은 [그림 6-37]과 같다. [그림 6-38]에서 표시한 우수관거 번호에 따라 종단면을 홍수 사상에 대해 분석한 결과 [그림 6-39]와 같이 분석되었다.



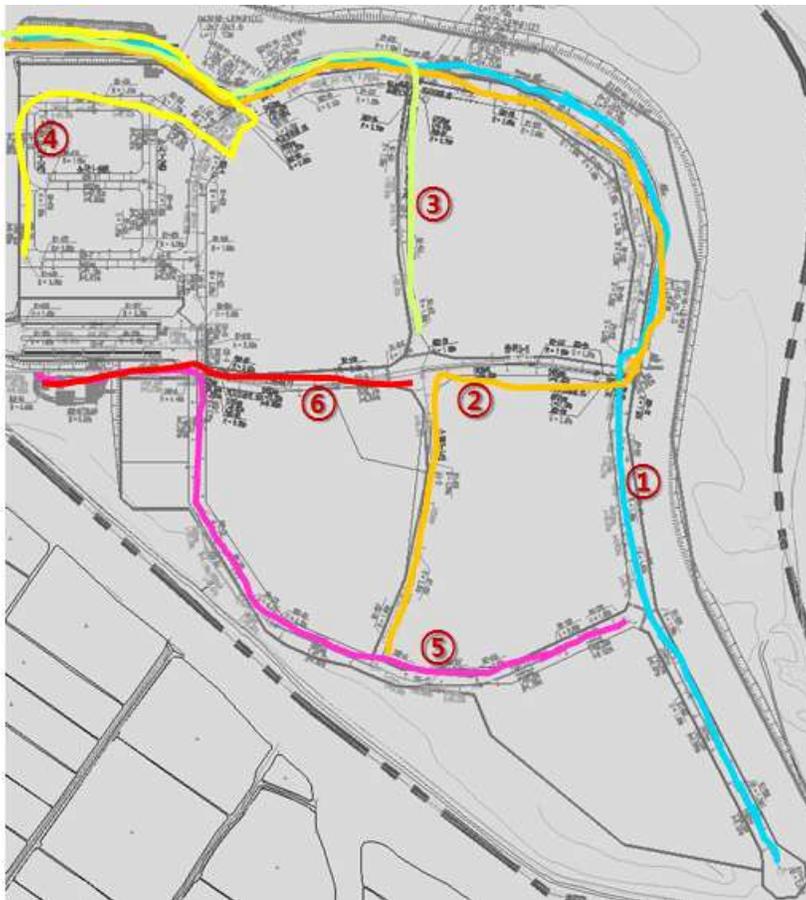
[그림 6-37] 빗물시범단지의 우수관리 메카니즘

### 1) 외수 범람의 가능성

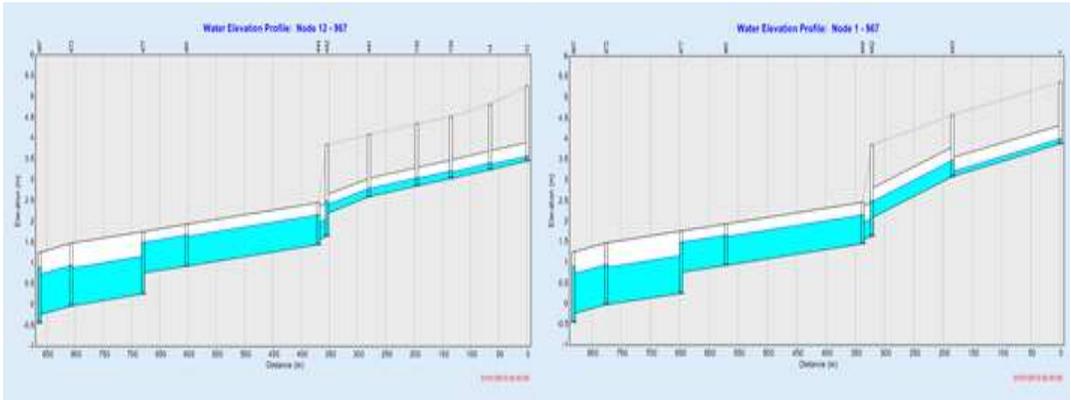
송산 그린시티 동측지구의 강우-유출수는 시화호로 방류한다. 시화호는 큰 저류지로서, 조력 발전과 홍수조절을 위해 수위를 관리하고 있으므로 홍수 시 외수 범람의 위험은 없어 계획 빈도 홍수에 대하여 안전하다.

### 2) 홍수시 내수 침수의 가능성

대상지역 내 우수관거의 통수능 검토를 위해 우수관거 종단에 대하여 검토한 결과 모든 우수관거에서 홍수 시 안전하게 계획되었다.

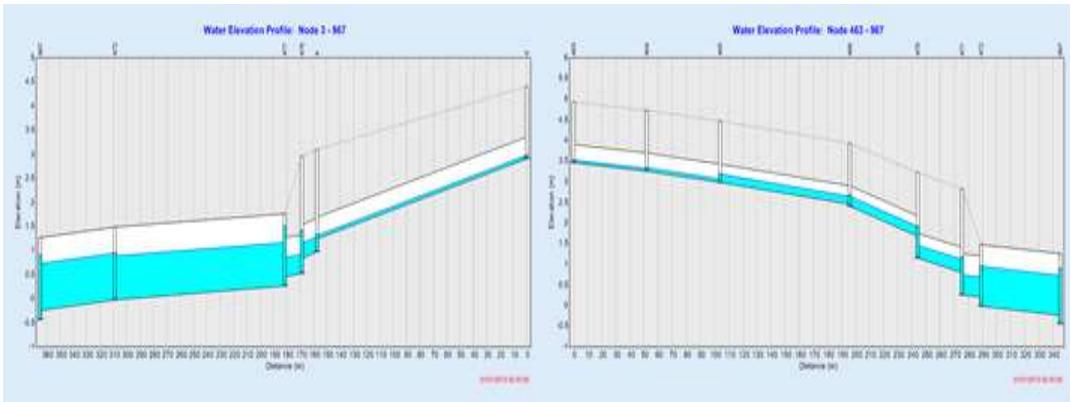


[그림 6-38] 홍수시 검토 대상 우수관거 종단



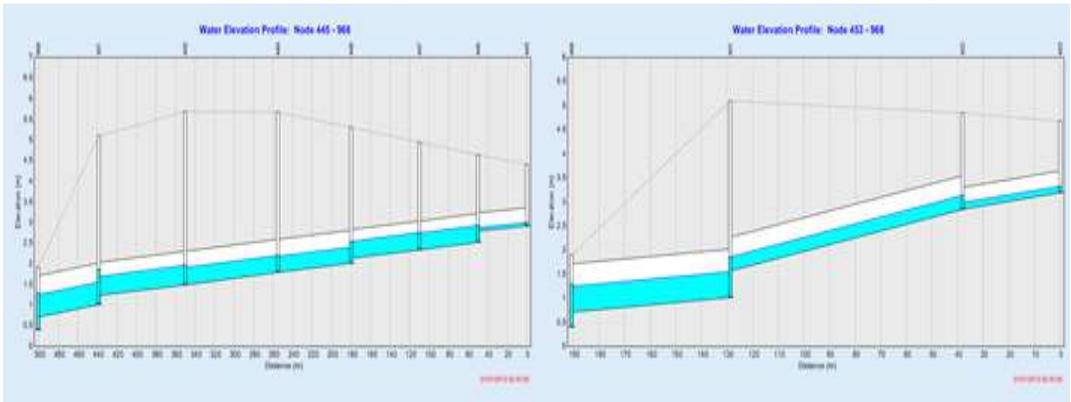
(a) 우수관거 종단 ①

(b) 우수관거 종단 ②



(c) 우수관거 종단 ③

(d) 우수관거 종단 ④



(e) 우수관거 종단 ⑤

(f) 우수관거 종단 ⑥

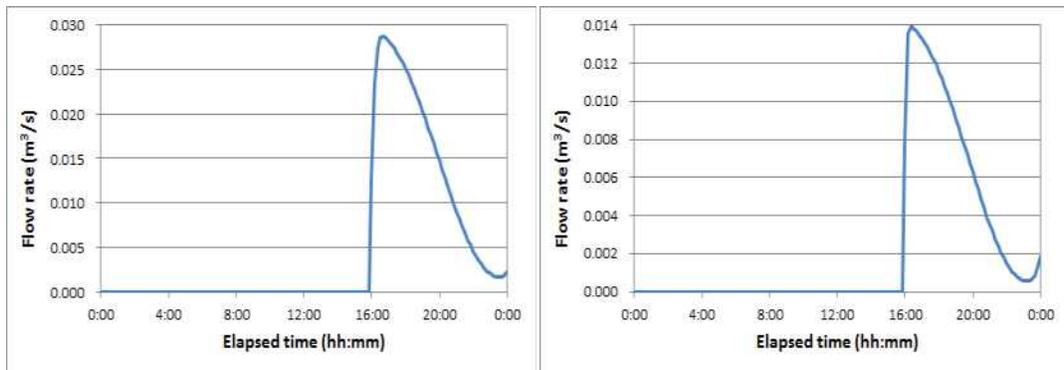
[그림 6-39] 홍수시 우수관거 종단별 최대 수심

## 나. 단기 강우 물수지 모의

단기 강우 사상 18mm/day(연간 강수량의 80퍼센타일)에 대해 분석한 결과 [표 6-16]과 같이 60% 정도의 강우가 유역 내에서 저류 및 침투되었고, 하도에서 22% 저류되었으며, 약 18%가 외부로 유출 되었다. 각 유출부에 따른 유출량 그래프는 [그림 6-40]과 같다.

[표 6-16] 단기 강우 사상에 대한 물수지 분석 결과

유역			하도(저류지 포함)		유출	합 계
저류	침투	증발	저류	침투		
31.9%	24.6%	2.3%	22.0%	1.2%	18.0%	100.0%



(a) 유출부 1

(a) 유출부 2

[그림 6-40] 단기 강우 사상에 대한 유출부 유출

발생원 관리 가능여부를 판단하기 위해 빗물 시범단지 유역에서 외부로의 유출이 전혀 없는 상태의 강수량을 분석하였다. 11mm/day(연간 강수량의 70퍼센타일)의 강수량을 분석하여 [그림6-41]과 같이 유역내 물순환이 이루어지는 것으로 분석되었다.



[그림 6-41] 단기 강우 사상에 대한 물수지 분석 결과

## 다. 단기 강우 수질 모의

### 1) 분석 방법

유역의 실제 부유사(Suspended solid; SS) 농도를 파악하기 어려우므로(측정자료를 이용한 모형 보정 불가) 강우 시 100mg/L의 SS 농도가 발생하는 것으로 가정하여 모의(EMC 적용)하였다.

### 2) 시설별 SS 저감 효율

식생수로: 30%, 저류지: 80%

빗물이용시설은 비점오염원의 제거 기능을 가지지 않는다.(단순 저류)

### 3) 분석대상 강우

5mm/hr(환경부 기준), Huff 3분위 강우 분포

### 4) 분석 결과

비점오염 저감 시설 중 [그림 6-42]와 같이 저류지의 저류를 통한 비점오염 저감량이 가장 큰 것으로 분석되었으며, 5mm/hr의 강우에 의해 발생된 유역 내 SS 총 부하량 중 99.9% 제거되는 것으로 나타났다.



[그림 6-42] 비점오염 저감 분석 결과

## 라. 빗물이용 분석

### 1) 빗물이용시설의 규모와 용도

- 세대 수: 133 세대(면적: 23,406㎡, 건폐율: 50%, 세대 당 인원: 2.5인)
- 빗물이용시설의 규모: 세대 당 D1.5m×H2.0m
- 빗물이용시설의 용도: 조경, 화장실 등

### 2) 분석 방법

- 장기 유출 모의: 20년(1993.01.01~2012.12.31)
- 대상 강우: 수원지방기상청의 시간 강우
- 지구단위 계획 부지의 50%(건폐율)를 집수면적(지붕)으로 적용
- 물이용 목표량: 40L/day/capita

### 3) 분석 결과

빗물이용 분석 결과, 그림 [6-43]과 같이 지붕에 내린 빗물의 이용률은 22.5% (연 평균 강수량: 1,397mm, 빗물 이용량: 315mm)로 나타났고, 이에 따른 빗물 이용시설을 이용한 상수도 대체율은 11.0%(송산 그린시티의 상수도 공급 계획: 324L/day/capita, 빗물 이용량: 35.8L/day/capita)으로 분석되었다.



[그림 6-43] 빗물이용시설의 물수지

## 7. 한국형 LID 도시 통합계획 · 설계 모형 시스템

### 7.1 한국형 LID 도시 통합계획 · 설계 모형의 필요성

도시 집중화에 따른 불투수면적의 증가는 도시의 물순환 왜곡을 발생시켰으며, 이러한 문제를 해결하고자 서울시, 수원시 등 지자체와 국토교통부 및 환경부에서도 도시의 건전한 물순환을 회복하기 위해 여러 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력과 더불어 도심지역의 수변공간에 대한 시민들의 요구가 증가하고 있으며, 이를 바탕으로 국가하천의 주변지역을 체계적이고 계획적으로 조성하기 위한 “친수구역 활용에 관한 특별법”이 제정되어 물순환이 이루어지는 친환경적인 수변도시 조성에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 “친수구역 조성지침”에서는 국가하천 주변의 지속가능한 개발을 통하여 국토발전이 종합적으로 이루어지도록 토지이용계획 시 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법을 적용하도록 기본방향을 수립하였다. 이러한 LID 기법과 관련하여 국외의 경우 이미 80년대에 LID 시설에 대한 효과와 영향분석, 저류를 위한 시스템모형 등의 연구가 수행되어 왔다. Smith and Bedient(1980)는 저류시설의 크기와 위치가 도시유역 하류부 홍수량에 미치는 영향을 분석하였으며, Mays and Bedient(1982)는 LID 시설 설치에 따른 비용-효과를 최적화하는 동적프로그래밍을 통해 저류시설의 최적 설치위치, 크기, 비용 결정 등을 결정하는 방안을 제시하였다. 또한, Bennett and Mays(1985)는 도시지역의 배수 시스템 설계 및 저류시설 배치를 위한 최적화모형을 구축하였으며, Ormsbee et al.(1987)는 저류시설과 방류구조물의 용량과 위치를 결정하는 알고리즘을 개발하였다. 이와 같이 국외에서는 이미 LID 시설에 대한 용량, 위치 등의 결정과 운영을 위한 다양한 연구가 수행되어 왔다.

반면 국내의 경우 LID 시설 최적설치를 위한 모형개발보다는 실험을 기반으로 한 LID 시설 효과검토가 우선되어져 왔다. Yeo et al.(2000)은 실시간 현장계측시

시스템(F-DAS, Field-Data Acquisition System)을 통해 취득한 실측자료를 이용하여 침투집수정과 일반집수정의 유출저감효과를 비교·분석하였으며, Choi et al.(2003), Choi et al.(2004), Sim et al.(2004)은 현장계측 및 실험을 통해 LID 시설의 저류효과를 분석하여 도시화에 따른 유출증가량을 저감하는데 LID 시설이 효과적이라는 결론을 도출하였다. 이후, Im et al.(2007)은 수리모형실험을 통해 운동장, 도로, 공원 등 토지이용에 따른 강우조건별 LID 시설의 효과분석 연구를 수행하여 저류시설 중심의 효과분석 외에 LID 시설의 유출저감 효과를 검증하였다. 이와 같이 저류-침투시설을 포함한 LID 시설의 유출저감 효과에 대한 검증은 국내·외에서 많은 연구를 통해 이루어져 왔다. 그러나 LID 기술에 대한 현장적용은 초기단계로 LID가 적용된 국내 사례가 적고, 구체적인 계획 및 위치선정 등의 설계 방안이 미흡하여 LID 설계시 많은 어려움을 겪고 있다. 현재까지 LID 설계에 필요한 시설의 배치 및 운영 등의 결정을 지원하기 위한 모형으로는 EPA-SWMM (Environmental Protection Agency-Storm Water Management Model), XP-SWMM등이 있으나, 우리나라 현장에서 적용되고 있는 LID 시설과 모형을 통해 적용 가능한 시설이 상이하어 모형사용에 한계성이 있다. 또한 이러한 프로그램들도 LID 시설의 위치 선정, 토지이용 등에 따른 적용 가능한 LID 시설 등을 제시하지는 않고 있으며, 현재 실무에서 사용되고 있는 LID 관련 프로그램들은 현장에서 실제 사용되고 있는 LID 시설물을 반영하기 어렵거나, 적용 절차가 복잡하여 관련분야에 대한 전문적인 지식이 없는 사용자는 사용하기 어려운 한계가 있는 실정이다. 따라서 본 장에서는 토지이용계획에 따른 LID 설계 및 적용효과 분석을 편리하고 효율적으로 수행하기 위해 개발된 GIS기반의 LID 지구단위계획 모형시스템의 구성과 내용에 대하여 서술하였다.

## 7.2 LID 표준 조합 Set 및 계획모형 개발

### 7.2.1 LID 요소기술 조합 Set 개발

본 장에서는 LID 설계에 적용할 수 있도록 토지이용계획에 따른 표준 LID 표준 조합 Set을 개발하였다. 개발된 LID 요소기술 조합 Set은 “우수유출저감 대책 세부수립 기준”에 수록된 작성 절차를 준수하였으며, 단지개발시 필요한 토지이용에 대해 작성하였다. 표준 조합 Set 개발은 주요계획시설의 현황조사 및 분석, LID 설치가능시설 도출, 체크리스트 작성을 통하여 표준 LID 요소기술 조합 Set을 작성하는 과정으로 분석을 수행하였다.

#### 가. 주요계획시설 조사 및 설치가능시설 도출

주요계획시설은 개발단지의 토지이용계획을 분석하여 주거, 숙박, 근린생활, 교통, 공간, 유통공급, 공공문화체육, 방재, 보건위생, 환경기초시설로 분류하였으며, 시설구분에 따라 주요계획시설 현황을 조사하고 주요계획시설 중 LID 요소기술의 설치가 가능한 시설을 채택하였다. 또한 표준 토지이용현황을 분석하기 위해 동탄, 검단, 일산 등 신도시 사례를 검토하여 주거시설, 교통시설 등의 표준 토지이용을 조사하여 설치 가능 시설별 표준 토지이용을 분석한 결과는 [표 7-1]과 같다.

[표 7-1] LID 설치가능시설에 대한 표준 토지이용

구분	설치가능 시설	표준 토지이용
주거시설	공동주택	건물(주거공간, 관리사무소등), 주차장, 도로, 조경공간, 놀이터
교통시설	도로	차도, 측구, 조경공간, 보도
	주차장	주차장, 조경공간
	보도	보도
공간시설	공원	건물(관리사무소등), 광장, 조경공간, 연못, 보도, 주차장, 운동시설
	광장	광장, 조경공간
	녹지	녹지
유통공급 시설	물류시설	건물(물류시설등), 주차장, 도로, 보도, 조경공간
공공문화 체육시설	학교	건물(교실등), 주차장, 운동장, 도로, 보도, 조경공간
	운동장	운동장, 주차장, 도로, 보도, 조경공간
	문화시설	건물(문화시설등), 주차장, 광장, 도로, 보도, 조경공간
	사회복지 시설	건물(사회복지시설등), 주차장, 도로, 보도, 조경공간
	청소년수련시설	건물(청소년수련시설등), 주차장, 운동장, 도로, 보도, 조경공간
	공공청사	건물(공공청사등), 주차장, 운동장, 도로, 보도, 조경공간
환경기초 시설	하수처리 시설	건물(하수처리시설, 관리시설등), 운동장, 주차장, 도로, 보도, 조경공간

[표 7-1]의 표준 토지이용 조사 결과를 토대로 토지용도 시설별 표준 토지이용을 [그림 7-1]과 같이 도식화 하였고, 토지용도 시설별 표준 토지이용은 표준 LID 요소기술 조합 Set 작성에 기본 자료로 활용하였다. 분석결과 학교의 표준 토지이용과 동일한 시설은 공공청사, 하수처리시설, 청소년수련시설 등으로 구분되었으며, 문화시설의 표준 토지이용과 동일한 시설로는 사회복지시설 등이 있는 것으로 나타났다.

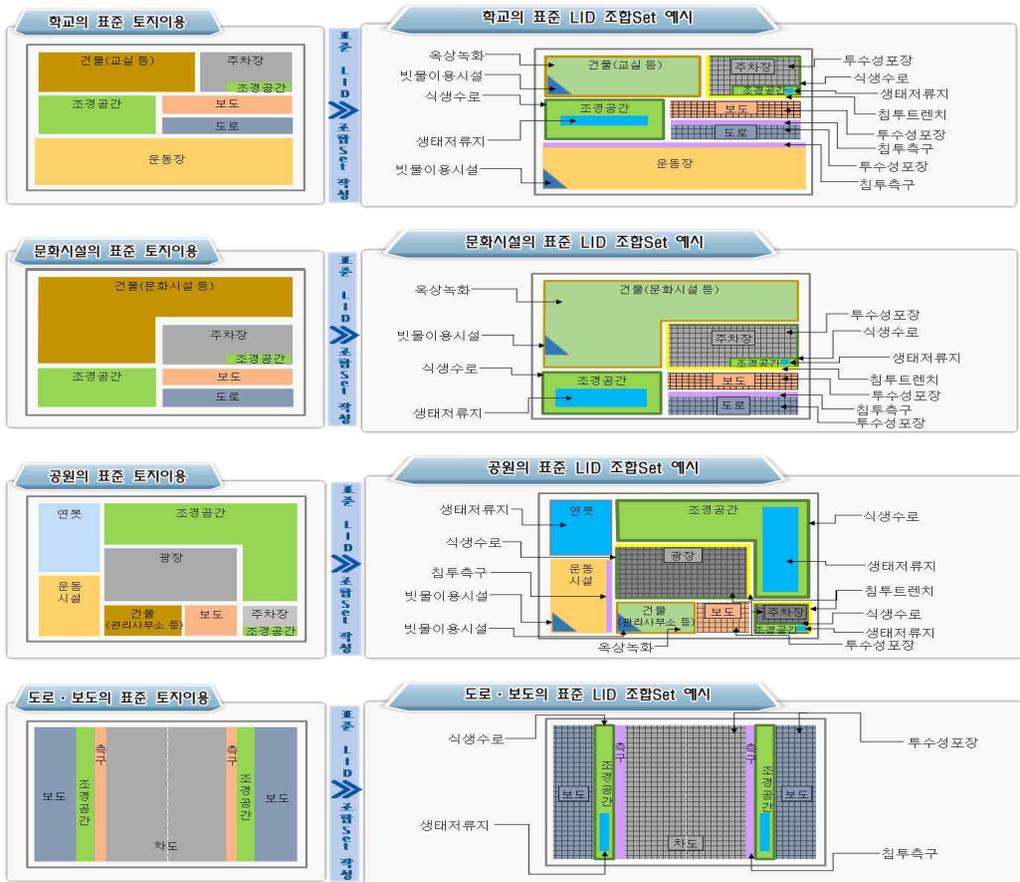
설치가능한 토지용도 시설별 표준 토지이용을 조사하여 토지이용별 적용가능한 모든 LID 요소기술을 선정하고 토지용도 시설별, 토지이용별 적용 가능한 LID 체크리스트를 작성하여 LID 요소기술 조합 Set에 반영되도록 설계하였다.



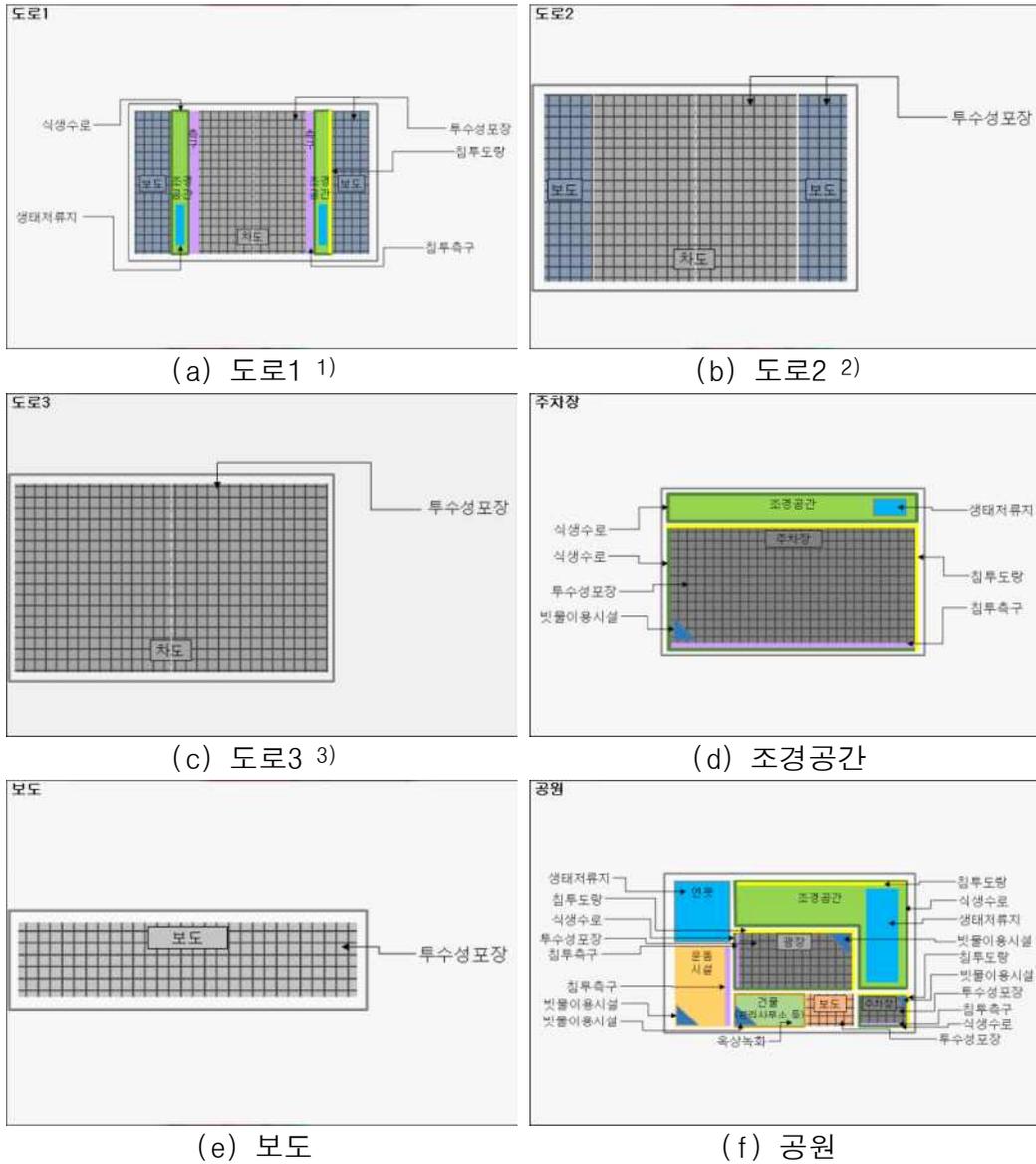
[그림 7-1] 토지용도 시설별 표준 토지이용

## 나. 표준 LID 요소기술 조합 Set

고려된 조합 Set 중학교, 공원, 문화시설, 도로 및 보도에 대한 토지용도별 LID 요소기술 조합 Set의 예시는 [그림 7-2]와 같다. 토지용도별 각각의 시설을 구성하는데 있어 적용 가능한 요소기술을 선택하여 적용할 수 있도록 고려하였다. 최종적으로 계획여건 및 계획수립자의 의견수렴 등을 고려하여 작성된 LID 체크리스트를 기반으로 도로(1, 2, 3), 주차장, 보도, 공원, 녹지, 학교, 문화시설로 구성된 9개의 토지용도 시설별 표준 LID 요소기술 조합 Set을 [그림 7-3]과 같이 개발하였다.

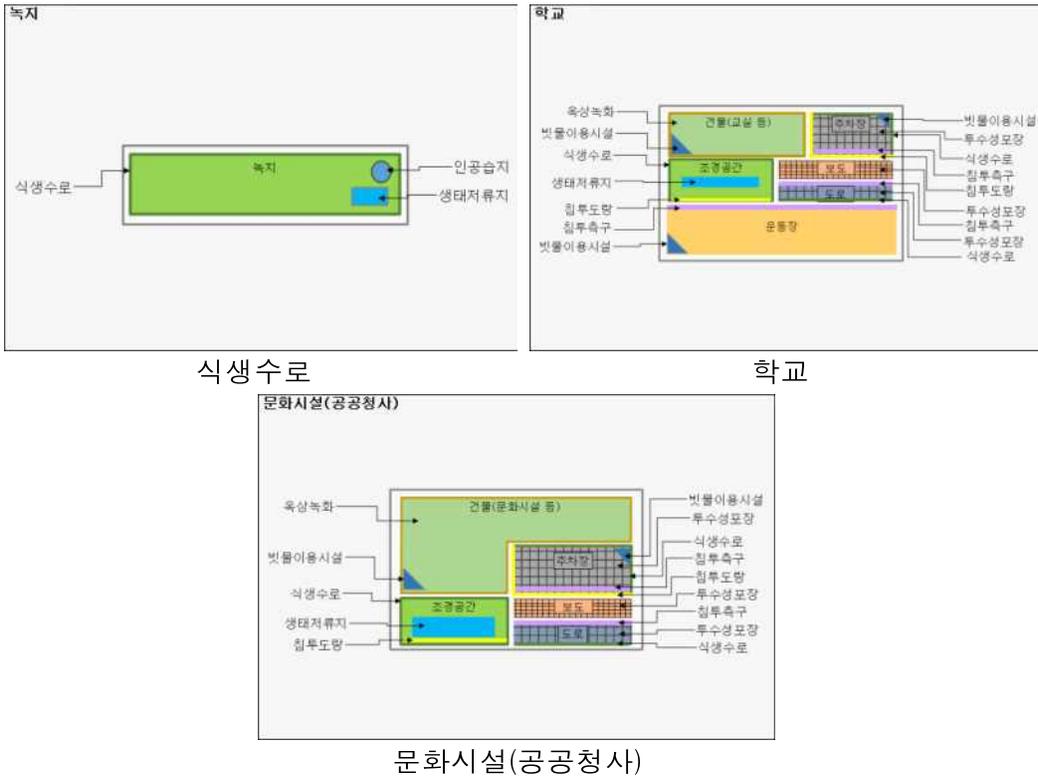


[그림 7-2] 토지용도 시설별 표준 LID 조합 Set 예시



[그림 7-3] LID 요소기술 조합 Set

- 1) 도로1 : 차도, 보도, 조경공간으로 구성
- 2) 도로2 : 차도, 보도로 구성
- 3) 도로3 : 차도로 구성



[그림 7-3] LID 요소기술 조합 Set(계속)

### 7.2.2 LID 요소기술 Data Base 구축

현재 국내에서 적용할 수 있는 LID 요소기술이 다양하게 존재하고 있으나 기관 별로 용어 및 분류기준이 상이한 상태이다. 따라서 본 장에서는 국내 개발되어 있는 LID 요소기술의 지칭용어를 통일하고 분류하여 DB(Data Base)를 구축하였다. LID 요소기술 DB 구축을 위해 모듈 및 기능구성, 분석결과 필요한 입력변수들을 고려하여 DB 항목을 [표 7-2]와 같이 설정하였다. DB는 기본적으로 총 21개의 요소기술을 기준으로 하여 각 요소당 실제적으로 설치할 수 있는 시설을 조사하여 구성하는 것으로 하였으며, 요소기술의 비점오염원 저감량, 규격, 처리용량 등에 대해 조사를 수행하였다.

[표 7-2] DB항목

DB항목	설명
비점오염원 저감	SS, T-N, T-P, BOD, 광물류, Oil, COD, 중금속의 저감량
규격	폭, 길이, 높이, 면적, 외경, 내경
처리용량	총용량 및 시간당용량
저류용량	총용량 및 면적당용량
비용	개당비용(단가)
업체	업체명
업체별 명칭	업체에서 사용하는 명칭
버전	시설물 시판 버전
유출저감	유출저감량
침투량	시설의 침투량
투수계수	시설의 투수계수
이미지	시설의 실제 이미지

LID 요소기술은 LID 요소기술 설계지침(K-water, 2012), 수변구역 LID 적용 마스터플랜수립(K-water, 2012), 저영향개발 기술요소 가이드라인(ME, 2013)등의 지침과 가이드라인에 대해 조사 및 분석을 통해 LID 요소기술 지칭용어를 통일하였으며, 이를 통해 8개의 대분류와 21개의 소분류로 구분하였다. 또한 “비점오염 저감시설 정보관리시스템(<http://npslid.hecsystem.com/user/intro.do>)”의 LID 시설물 정보를 연계하기 위해 44개 제품에 대해 조사 및 분석을 수행하였으며, 적용 가능한 시설을 선정하여 DB에 추가하였다.

분류를 통해 구분된 LID 요소기술은 [표 7-3]과 같다. 8개 대분류의 경우 식생 체류지, 옥상녹화, 빗물정원, 투수성포장, 침투트렌치, 빗물통, 식생수로, 기타로 구분하였으며, 기타의 경우 시스템 기작으로 분류되지 않고 비점오염처리만을 목

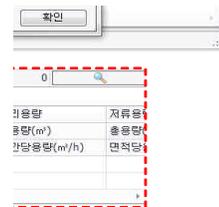
적으로 하는 시설로 기타를 제외한 7개의 시설은 계획모형에서 적용이 가능하도록 개발하였다. 21개 소분류에 대한 LID 요소기술은 총 312개로 분석되었으며 이를 바탕으로 DB를 구축하였다.

최종적으로 구축된 LID 요소기술에 대한 DB 구축결과는 [그림 7-4]와 같다. DB관리에서 LID 요소기술별 제품에 대한 상세제원과 사진을 제공하도록 개발하였으며, 21개의 요소기술에 대한 정보를 확인 가능하도록 하였다.

[표 7-3] 선정된 LID 요소기술 최종 DB

순번	LID 요소기술		LID 제품 DB 개수
	대분류	소분류	
1	식생체류지	빗물연못	2
2		생태저류지	1
3		수목여과박스	1
4		수목여과박스침투화분	1
5		인공습지	7
6		침투저류지	1
7	옥상녹화	옥상녹화	8
8	빗물정원	빗물정원	2
9		수변완충대	16
10	투수성포장	투수성포장	91
11		보수성포장	1
12	침투트렌치	침투도랑	16
13		침투측구	3
14		침투통	3
15	빗물통	빗물이용시설	6
16		빗물이용장치	3
17		지하저류탱크	3
18	식생수로	식생수로	7
19	기타 <sup>4)</sup>	고효율 비점오염저감시설	1
20		고효율 비점오염처리시설	73
21		유공관	66
합계	8	21	312

4) 시스템 기작으로 분류되지 않고 비점오염처리만을 목적으로 하는 시설임



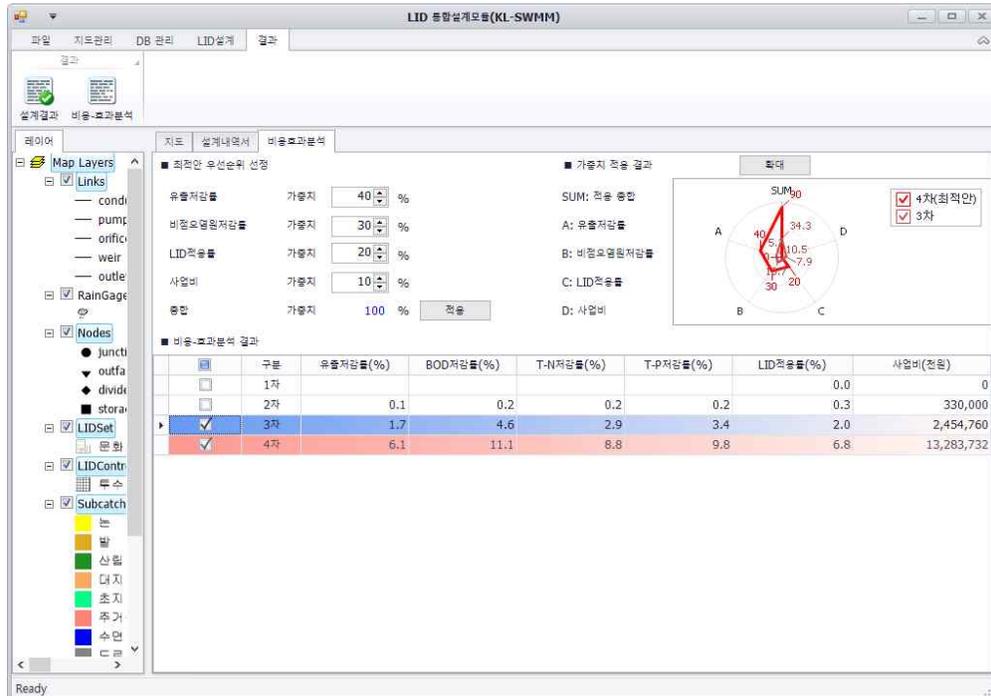
[그림 7-4] 최종 DB 구축 화면

### 7.2.3 사업비 산정 및 비용-효과분석 모듈개발

LID 요소기술을 적용하여 설계를 실시할 경우 발생할 수 있는 사업비는 설계시 중요한 요소로 사업비 산정 및 효과분석은 반드시 필요한 요소 중 하나이다. 본 연구에서는 LID 시설 설치관련 비용뿐만 아니라 재료비, 노무비, 경비를 고려하여 사업비 산정에 필요한 모듈을 개발하였다.

사업비 산정항목에 대한 분석결과 LID 관련 사업은 주로 토공, 구조물공, 관로공, 부대공, 전기공사, 조경공사, 기계공사, 포장공사, 모니터링, 저류시설, 가시설, 전처리시설, 부대시설, 유입·유출시설 설치비용 등으로 구성되는 것으로 나타났다. LID 관련 사업뿐만 아니라 기타 사업 등에 대한 사업비 산정 기준의 추가 보완을 통해 사업비 산정 모듈을 개발하였다.

사업비 산정 모듈은 LID 시설의 배치 우선순위 선정시 사용자의 중요도에 따라 유출저감률, 비점오염저감률, LID 적용률 및 사업비에 대한 가중치를 조정할 수 있도록 하였으며, 비교하고자 하는 결과만을 표시하여 그래프에 표출할 수 있도록 비용-효과분석 모듈을 [그림 7-5]와 같이 개발하였다.



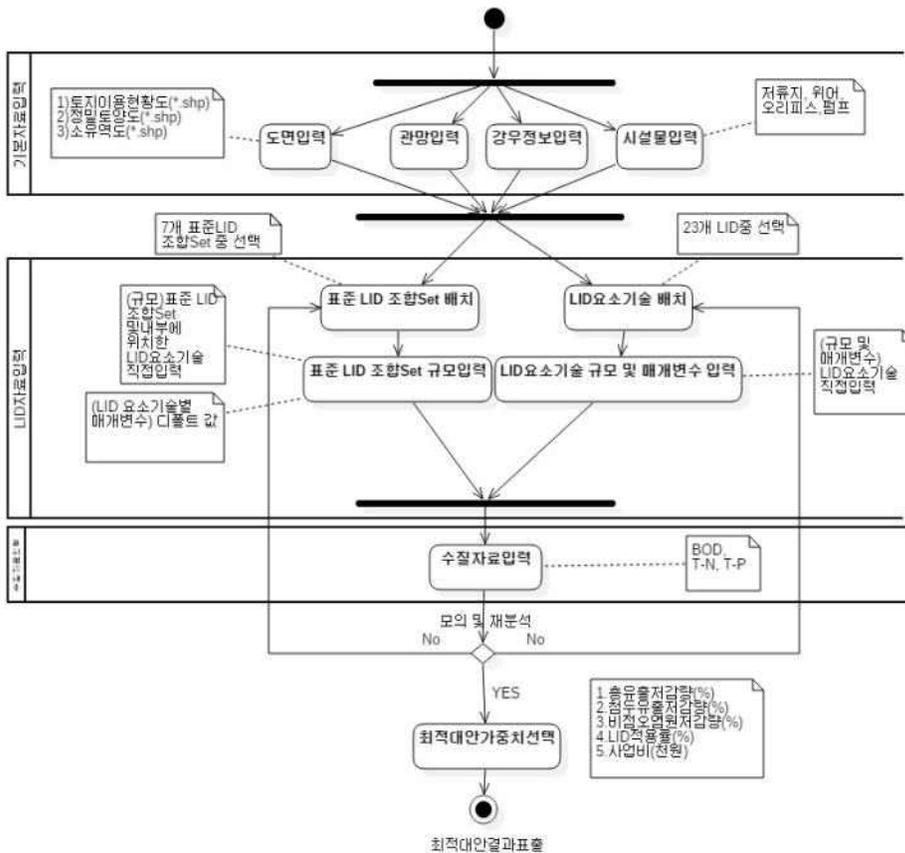
[그림 7-5] 비용-편익 분석

## 7.2.4 계획모델 개발

LID 표준 조합 Set과 구축된 DB, 사업비 산정 및 비용-효과분석 모듈을 적용하여 국내 사정에 적합한 토지이용계획에 따른 LID 설계 및 효과분석을 수행할 수 있는 GIS기반의 계획모형을 개발하였다. 모형은 토지이용계획 기반의 LID 시설배치 및 분석에 특화된 모델로서 실무에서 사용되고 있는 LID-Data를 기반으로 LID 표준 조합 set과 LID 요소기술을 간편하게 적용할 수 있도록 개발하였다. 우수유출량 및 저감 효과는 다수의 연구를 통해 적합성이 입증된 EPA-SWMM 모형의 엔

진을 이용하여 산정하며, 기존 EPA-SWMM에서는 구현할 수 없었던 GIS 화면을 구축하여 가시성과 사용자의 편리성을 높였다.

개발된 모형은 대상지역의 LID 시설 설치 타당성 및 효율적인 배치를 위한 사전 모의 프로그램으로 시스템의 기본적인 프로젝트 생성 및 저장 등 정보관리 기능과 입력된 지형 및 강우 자료의 리스트 표출 기능, 사업지구의 취약성 분석결과 표출 기능을 수행한다. 또한 시스템의 주요 목적인 LID 시설 배치 및 규모설정, LID 시설 배치 전, 후 유출량저감 분석결과 표출 등이 가능하다. 계획모형의 흐름도는 [그림 7-6]과 같다.



[그림 7-6] 계획모형 Activity Diagram

## 7.3 모형의 적용

개발된 모형의 적용성을 판단하기 위하여 부여 규암지구를 연구 대상지역으로 선정하였다. 부여 규암지구는 백제문화단지와 연계한 수상 레포츠시설 등 체험시설과 중저가형 숙박시설 등의 체류형 관광시설을 조성할 계획이 있는 지역이다. 토지이용계획상 불투수면적 비율이 증가하는 시설들이 개발 방향에 포함됨에 따라 LID 요소기술 적용에 따른 효과를 적용하기에 적합한 대상유역으로 판단하였고, 모형의 기능구현 검토를 통해 향후 발전방향에 대한 시사점을 도출하였다.

### 7.3.1 대상지역 개요

대상지역은 충청북도 부여군 규암면 호암리 일원으로 전면에는 금강과 백제역사재현단지에 인접해 있으며 연구대상지역의 위치는 [그림 7-7]과 같다. 개발전 사업대상지는 대부분 농경지 및 산지로 이용되고 있어 투수면적비율이 불투수면적 비율 17.8%에 비해 높은 상태이나, 개발후 공공시설용지의 공원·녹지를 제외하고 대부분 건축물, 도로, 주차장등의 불투수면적을 가지는 시설들이 예정되어 개발후 불투수면적비가 73.2%로 개발전보다 약 55%가 증가하여 유출량의 증가가 예상되는 지역이다[표 7-4]. 토지이용계획에 따른 주요시설은 숙박시설, 휴양·문화시설, 운동·오락시설, 상가시설 및 공공시설이 계획되어있다.



[그림 7-7] 부여규암지구 사업대상지 위치도

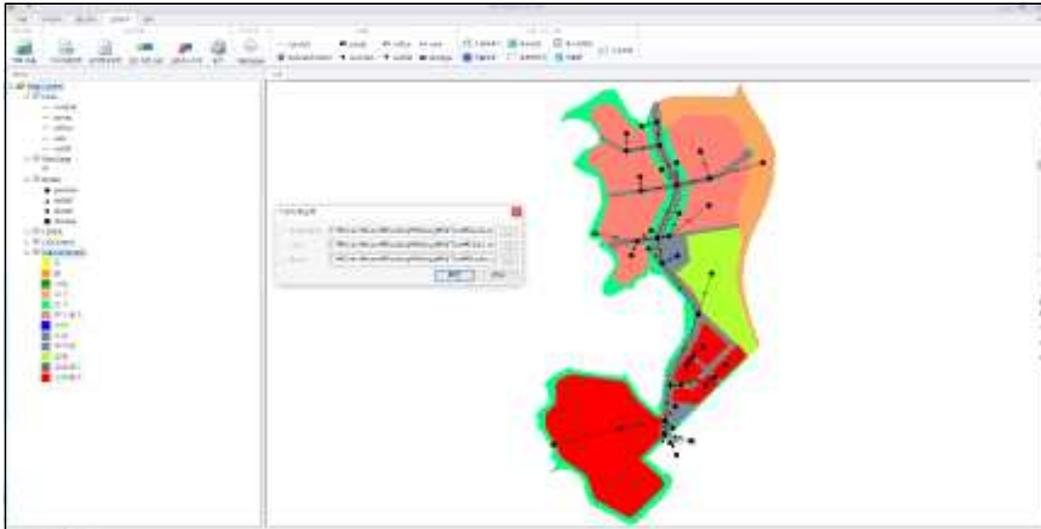
[표 7-4] 개발전 후 토지이용계획도

개발전		
구분	면적(m <sup>2</sup> )	구성비(%)
전	9,921	8.8
답	45,838	40.7
임야	30,271	26.8
대지	6,678	5.9
도로	6,760	6.0
기타	13,291	11.8
계	112,759	100.0
개발후		
구분	면적(m <sup>2</sup> )	구성비(%)
숙박시설용지	30,003	26.6
휴양·문화시설용지	23,249	20.6
운동·오락시설용지	10,775	9.6
상가시설용지	5,123	4.5
공공시설용지	43,609	38.7
계	112,759	100.0

## 7.3.2 모형적용 및 결과

### 가. 모형구축

모형에서 기초자료를 입력하는 방법은 EPA-SWMM과 같이 사용자가 화면에 직접 유역 및 관망체계 기능을 이용하여 입력하는 방법과 미리 작성된 토지이용계획도 및 관망도의 데이터를 추출하여 입력하는 방법으로 구분할 수 있다. 본 연구에서 적용하는 기초자료입력 방법은 부여규암지구 기본계획보고서(K-water, 2013)에 따라 구축된 토지이용계획도 및 관망체계(link, node) 설계도(shp 파일)를 불러오는 방법으로 모형을 [그림 7-8]과 같이 구축하였다.



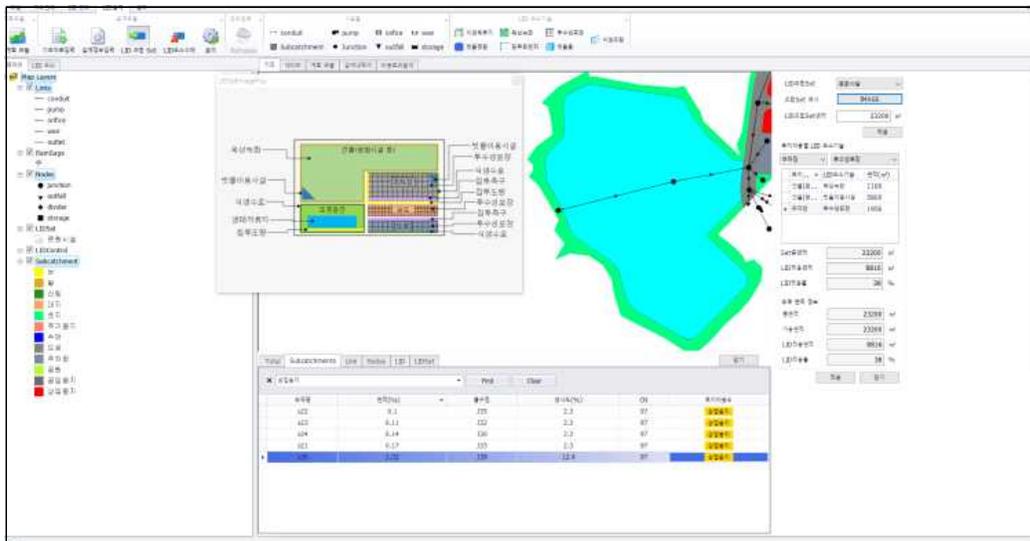
[그림 7-8] 기초자료입력 화면

관망체계, 설계도를 포함한 기초자료 외 유출분석에 필요한 설계강우는 대상유역에 인접해 있는 부여관측소의 확률강우량을 산정하여 적용하였다. 재현기간은 “사전재해영향성검토 협의제도”의 저류지 등 영구구조물 설계빈도인 50년을 적용하였으며, 지속기간은 강우유출량을 전량 저감하지 않고 전체 유출량 중 일부를 분담 저감시키는 동시에 비점오염원 부하저감을 고려하여 1시간을 적용하였다.

부여관측소의 재현기간 50년, 지속시간 1시간에 해당하는 강우량은 91.45mm로 분석되었으며, 강우분포는 확률강우량도 개선 및 보완연구(MLTMA, 2011)의 결과를 바탕으로 3분위를 적용하였다.

## 나. LID 요소기술 적용

토지이용에 따른 LID 요소기술을 적용하기 위해 본 연구에서 개발한 LID 표준 조합 Set을 이용하였다. LID 요소기술은 부여규암지구 전체면적 112,759m<sup>2</sup>의 29%에 해당하는 도로 및 상업용지 지역에 적용하였다. 이 지역은 개발후의 불투수면적이 높은 지역으로 도로로 계획되어 있는 지역의 경우 ‘도로 type 1’의 표준 set을 적용하였으며, 상업용지의 경우 ‘문화시설’ 표준 set을 [그림 7-9]와 같이 적용하였다. 도로의 경우 투수성포장을 적용하고 문화시설은 옥상녹화, 빗물이용 시설 및 투수성포장등을 [표 7-5]와 같이 적용하였다.



[그림 7-9] LID 요소기술 적용화면

[표 7-5] 입력자료

토지 이용	소유역	입력변수			
		면적 (㎡)	LID 표준 set	적용 LID	LID 적용률 (%)
도로	s31	1,600	도로1(차도)	투수성 포장	20.0
	s33	2,000	도로1(차도)	투수성 포장	16.0
	s34	1,900	도로1(차도)	투수성 포장	16.8
	s35	1,800	도로1(차도)	투수성 포장	17.8
상업 용지	s21	1,700	문화시설(건물)	옥상녹화	50.0
			문화시설(건물)	빗물이용시설	50.0
	s30	23,200	문화시설(건물)	옥상녹화	5.0
			문화시설(건물)	빗물이용시설	25.0
			문화시설(주차장)	투수성 포장	8.0
합계		32,200	-		10.5

#### 다. 분석결과

연구 대상지역을 바탕으로 개발후 불투수율이 높은 도로와 상업용지에 LID 표준 set을 배치하여 개발된 모형의 기능구현 검토하였다. 분석결과 LID 요소기술의 적용전 대비 침투유출은 약 11.5%, 유출총량은 약 10.6%의 저감되는 것으로 나타났다. LID 요소기술 설계모듈과 연계모듈이 정상적으로 구현되고 있는 것으로 확인되었다. 또한, 사업비 산정 부분에 있어서도 DB에 일부 탑재되어 있는 개략적인 금액으로 재료비, 노무비 및 경비 등이 산정되었으며, 본 연구에서 적용되어진 요소기술의 사업비 총액은 815,144천원으로 분석되었다.

[표 7-6] LID 적용 결과

구분	LID 적용전	LID 적용후	저감율(%)
침투유출량 (m/sec)	4.42	3.91	11.54
유출총량(m3)	8,231	7,363	10.55
사업비 총액(천원)	-	815,144	-
재료	-	198,764	-
노무	-	473,920	-
경비	-	142,460	-

본 장에서는 도시개발지역의 개발 전후 토지이용계획도를 바탕으로 현재까지 개발되어 있는 각각의 기술들이 모형에서 적용되어 분석되는 것을 확인하였다. 향후 모형의 검·보정과 더불어 DB와 각각의 요소기술의 효율성에 대한 업데이트가 추가적으로 이루어져 모형의 기반이 다져진다면, 국내 LID 기술을 적용할 수 있는 합리적인 모형으로 사용될 것으로 판단한다.

## 8. 실증단지 연계 운영방안

전절에서 분석되는 LID 요소기술의 효율 및 적용결과를 도출하기 위해서는 자연형 및 장치형 시설의 LID 시설물들이 필요하게 된다. 그러나 현재까지 현장에 적용되어지는 LID 시설물의 효율을 검증할 수 있는 기관이 존재하지 않아 정확한 분석결과를 도출하는데 어려움이 있다. LID 시설의 효과에 대한 불확실성과 국내 환경을 고려한 LID 기술의 설계 방안제시를 위해 실험 실증단지가 건설되었으며, 이러한 실증단지와의 연계 운영을 통하여 수변 친수도시 물순환 설계에 반영하여야 할 것이다.

### 8.1 LID 요소기술의 효과 검토

현재까지 국내의 LID 시설에 대한 장기 모니터링 및 효과 검토 사례가 없으며, 특히 투수성 블록, 침투 도랑 등 현재 많은 제품형 LID 시설이 개발되어 현장에 시공되고 있지만 이에 대한 정략적인 효과를 평가하지 못하고 있다. 따라서 실증단지에서 개발된 제품형, 장치형 및 자연형 LID 시설의 정량적인 저감효과를 분석하여 제시할 수 있다면 도시설계에 효율적으로 적용할 수 있다. 물순환 계획 및 설계에 LID 시설의 도입이 필수적이므로 향후 설계시에는 효율이 검증된 시설물 위주로 현장에 적용하는 방안이 가장 타당할 것이다. 이를 위해서는 시설물의 정량적인 평가를 수행하고 이를 인증해 주는 기관이 필요할 것이며, 실증단지에서 이를 수행해야 할 것이다.

실증단지에서 인증된 LID 시설물들의 효율성 분석과 더불어 국내 환경을 고려한 LID 기술의 설계 가이드라인과 지침서가 필요하며, 자연형 시설의 경우 설치후 유지관리 방안 및 유지관리 매뉴얼까지 함께 제공되어 설치되고 난 후의 상황까지 고려할 수 있어야 한다.

## 8.2 실증단지 추진방향

실증단지는 저영향개발 기술의 검증과 관련된 업무에서부터 연구 및 교육, 홍보를 통해 단계적인 절차를 거쳐 인증기관으로 도약할 수 있도록 추진해야 한다. 현재까지 우리나라에서 진행되고 있는 저영향개발 기술 관련 인증 현황은 다음과 같다.

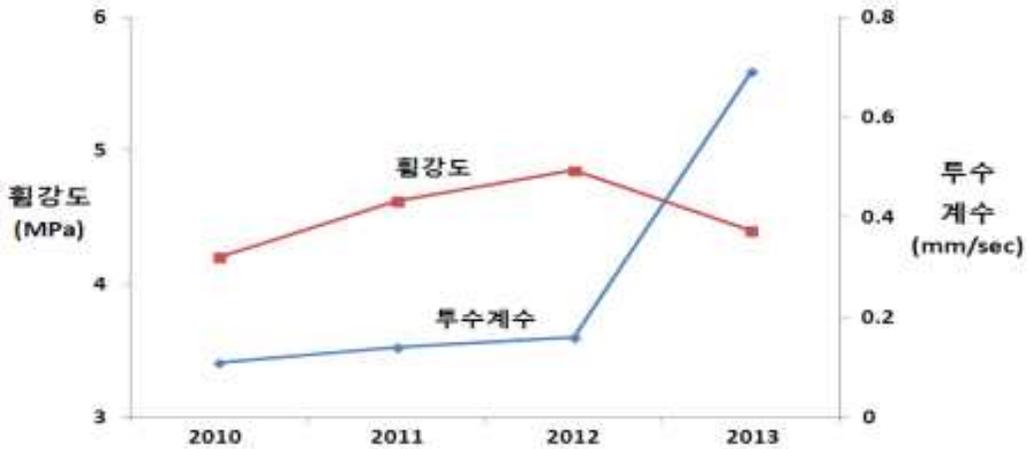
### 8.2.1 서울시의 투수성능 지속성 검증시험

저영향개발시 최근에 주로 시공되어지는 투수성 포장재는 시간이 지남에 따라 공극의 막힘 현상이 발생하게 되어 투수 및 배수성 포장의 투수 성능의 지속성을 검증할 필요가 있다. 이에 서울시에서는 2012년 10월 투수성능 지속성 검증시험 시행 계획을 수립하여 현재까지 진행하고 있으며 현장에 본 시험을 통과한 제품만 선별하여 사용하도록 의무화 하였다. 서울시의 투수성능 검증시험 추진사항은 다음과 같다.

- '12. 3월 : 「투수성능 지속성 검증시험 장치 및 방법」 특허등록
- '12. 9월 : 특허권 실시업체 계약체결 (한국화학융합시험연구원)
- '12.10월 : 투수성능 지속성 검증시험 시행 계획 수립(제도시행)
  - 한국화학융합시험연구원(2012.09~2013.09)
- '13. 9월 : 특허권 실시업체 및 장비제작 업체 추가 계약체결
  - 한국건설품질시험연구원(시험기관), 삼우교역(제작업체) 등
- '13.10월 : 투수성능 지속성 검증시험 수수료 인하(300천원→200천원)

서울시의 자료에 따르면 검증시험 이전인 2010년부터 2012년 기준으로 투수성 포장재의 성능이 4배에서 6배 향상되었으며, 투수블록은 쉽게 막힌다는 약점을 극복하였다고 발표하였다. 이는 서울시 제도시행에 따른 제조업체의 연구개발로 투

수블록 제조 기술력이 향상한 결과라 할 수 있다. 서울시 2010년부터 2013년까지 휨강도와 투수계수의 관계를 나타낸 그래프는 다음과 같다.



[그림 8-1] 투수블록 검증시험 결과

시험기관은 한국화학융합시험연구원(KTR)과 한국건설품질시험연구원(KTI)이 있으며 2012년부터 2015년까지 약 220건의 시험과 8건의 인증서를 발급하였다. 제조업체는 자재 납품 전 시험기관에 수수료를 지불하고 오염전후의 투수계수, 휨강도 및 투수등급이 기재된 시험 성적서를 발급받아야 한다. 또한 서울시는 동일 제품을 다수의 보도공사장에 납품할 시에 매년 투수성능시험을 받는 불편을 해소하여 업체에 편의를 제공하고자 투수성능 지속성 인증도 시행하고 있다. 블록을 생산하는 업체의 요청에 따라서 수시로 신청할 수 있으며, 인증서(TR마크)를 받은 제품은 1년 동안 제품을 납품할 때 시험을 면제 받을 수 있다.

[ 표 8-1 ] 투수성능 지속성 검증시험의 인증시스템

생산자	인증기관	TR마크 인증시스템
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 신청(기술문서 등)</li> <li>- 생산과정 관련 기록 유지</li> <li>- 마크표시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인증기관이 요청한 샘플</li> <li>- 서류심사</li> <li>- 적합성확인(시험 또는 평가)</li> <li>- 생산과정 또는 품질시스템 최초 적합성 평가(공장심사)</li> <li>- 평가(시험 및 평가보고서)</li> <li>- 인증결정(인증서)</li> <li>- 라이선스(마크)</li> <li>- 공장에서 채취한 샘플의 사후관리</li> </ul>	 <p>KTR-F (Water Permeability) -일련번호</p>

[ 표 8-2 ] 한국화학융합시험연구원(KTR)

계약기간		누계		'12. 9. 18 ~'13. 9. 17		'13 9. 26 ~'14 9. 25		'14. 9. 26 ~'15. 9. 26	
		수량	실적	수량	실적	수량	실적	수량	실적
실시 수량	①시험 (건/년)	2,000	191	500	63	500	81	1,000	47
	②인증 (건/년)	80	8	30	3	20	3	30	2
실시료(천원)		26,100		9,600		6,000		10,500	

※ 실시수량 : 계약기간내 시험 및 인증 허가 수량

※ 실 시 료 : 계약당사자가 서울시로 납부하는 시유평특허권 실시 수수료  
(실시료=실수수량(①+②) ×수수료 × 점유율 × 기본율)

-수수료 : 시험 수수료 및 시험장비 구매단가 / 점유율 : 100% / 기본율 : 3%

[표 8-3] 한국건설품질시험연구원(KTI)

계약기간		누계		'13. 10. 24 ~'14. 10. 23		'14. 10. 24 ~'15. 10. 23	
		수량	실적	수량	실적	수량	실적
실시 수량	①시험 (건/년)	1,000	33	500	28	500	5
	②인증 (건/년)	40	-	20	-	20	-
실시료(천원)		15,600		9,600		6,000	

[표 8-4] 삼우교역(시험장비 제작)

계약기간		누계		'13. 9. 26 ~'14. 9. 25		'14. 9. 26 ~'15. 9. 25	
		수량	실적	수량	실적	수량	실적
실시수량(건/년)		10	3	5	3	5	-
실시료(천원)		3,000		1,500		1,500	

제도를 시행하면서 시험비용의 수수료 인하에 대한 중소기업 부담의 증가로 민원이 제기되어 수수료를 인하 및 타 공인시험기관을 추가하여 제도를 시행하고 있다. 따라서 향후 운영되는 실증단지에서도 서울시의 투수성능 지속성 검증시험의 방안을 참조하여 LID 시설물들의 인증 및 실험절차를 수립해야 할 것이다.

## 8.2.2 비점오염 저감 시설 인증제 도입

한국환경정책 평가연구원은 비점오염 저감 시설의 효율에 대한 객관적인 정보 부재, 신뢰성 있는 성능 정보를 제공하여 비점오염 저감 장치 및 시설의 선정에 도움을 주기위해 2013년 비점오염 저감 시설의 인증제 도입을 제안하였다. 인증

제 도입에 대한 롤모델로 미국 기술 승인에 관한 상호 협력(Technology Acceptance Reciprocity Partnership; TARP)을 기반으로 인증센터 조성 방안을 제시하였다.

### 8.2.3 실증단지 추진체계

서울시 인증기관 사례와 국외사례를 기반으로 국내 저영향기발 기술의 검증과 관련된 업무에서부터 연구 및 교육, 홍보를 통해 단계적인 절차를 거쳐 인증기관으로 도약할 수 있도록 추진되어야 할 것이다. 단계별 실증단지 추진체계를 정리하면 다음과 같다. 1단계 검증센터구축은 현재 진행 중이며, 검증센터 구축이후 시설모니터링 및 효과분석에 중점적으로 연구를 진행하고 인증기관이 될수 있도록 추진하여야 할 것이다.

[표 8-5] 실증단지 추진체계(안)

단계	추진사항	추진내용
1단계	검증 센터 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LID 시설에 대한 효과 모니터링(실험)</li> <li>- LID 시설 검증자료 생성</li> <li>- LID 유지관리에 관한 가이드라인 제공</li> </ul>
2단계	실증연구·교육 및 물순환도시 운영·관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LID 기술개발 및 연구수행</li> <li>- LID 설계 및 컨설팅</li> <li>- 교육 및 홍보</li> </ul>
3단계	인증기관 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LID 시설의 검·인증</li> <li>- 교육기관 인증</li> <li>- 교육 수수료증 제시 및 정기 교육추진</li> </ul>

## 8.3 실증단지 연계운영 방향

실증단지 운영방안과 수변도시 물순환 계획 및 설계와의 연계운영 방안은 다음과 같다. LID 요소기술의 현장 적용성 및 효율성 분석결과를 실제 현장에 적용하여 도시 물순환에 대한 설계 기준을 내부 규정화하여 향후 개발되는 단지개발에 적용하고자 한다.



[그림 8-2] 실증단지 연계운영 방안

실증단지 연계운영방안에 고려할 사항은 다음과 같으며, 향후 관련 부분에서 실제 현장과의 연계여부를 판별하여 추진하는 것이 중요할 것이다.

### 8.3.1 LID 시설의 검·인증

자연형 LID 시설에 대한 효과를 모니터링 하여 검증자료를 생성하고 제품형 LID 시설에 대한 인증을 실시하여야 한다.

### 8.3.2 LID 기술개발 및 연구수행

국내의 효과적인 LID 기술 도입을 위한 정책 및 제도 수립에 관한 연구를 수행하여 국내 환경에 적합한 한국형 LID 기술 개발이 요구된다.

### 8.3.3 LID 유지관리에 관한 가이드라인 제공

현재까지 시공되어 있거나 향후 시공되어지는 LID 시설에 대한 모니터링과 유지관리에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다. 이를 위해 실증단지에서는 투수성 포장, 식생저류지 및 침투화분 등의 LID 시설에 대한 장기 모니터링을 실시하여 각각의 시설에 대한 유지관리방안 수립이 필요하다. 장기적인 모니터링을 통한 유지관리 가이드라인을 지속적으로 업데이트하여, LID를 이용한 친수도시 조성 및 유지관리에 관한 기술력을 확보하고 가이드라인을 제작하여, 향후 도시 계획 및 설계에 반영하여야 할 것이다.

### 8.3.4 LID 설계 및 컨설팅

LID 조성 기술을 이용한 국내외 LID 조성 사업에 대하여 직접 설계에 참여하거나 기술지원등을 통한 기술 사업화에 노력해야 할 것이다.

### 8.3.5 교육 및 홍보

LID 기술의 전문가 및 일반인을 대상으로 교육 프로그램을 수행하고, 국내 및 국제학술대회를 통하여 인프라를 조성 및 홍보가 필요할 것이다.