

발 간 등 록 번 호
11-1480523-000643-01

수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침

2010. 6



 국립환경과학원
환 경 부

 국립환경과학원
환 경 부

수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침

2010. 6

 국립환경과학원

발 간 등 록 번 호
11-1480523-000643-01

수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침

2010. 6

목 차

제1장 총칙	1
1. 목적	1
2. 적용 범위	2
제2장 개발사업 비점오염원 관리방향	3
1. 비점오염원의 정의 및 종류	3
2. 개발사업 비점오염원 및 기존 비점오염관리방안	5
3. 개발사업 비점오염원 관리방향	9
4. 저영향개발 접근방법(LIDA : Low Impact Development Approaches)	16
제3장 비점오염원 관리시설 종류 및 설치 기준	23
1. 생태면적	23
가. 시설 개요	23
나. 공간유형별 구조 및 설치 기준	23
다. 생태면적 산정방법	28
2. 빗물이용시설	30
가. 시설 개요	30
나. 구성요소별 설치 기준	30
다. 관리·운영기준	34
3. 침투시설	35
가. 침투통	35
나. 침투관	42
다. 침투측구	44
라. 투수성 포장(Porous Pavement)	47
마. 침투화분(Infiltration Planter)	50
바. 침투도랑(Infiltration Trench)	53
사. 침투저류지(Infiltration Basin)	56
4. 여과시설	60
가. 빗물정원(Rain Garden)	60
나. 통로화분(Flow Through Planter)	63
다. 수목여과박스(Tree Box Filter)	66
라. 식생수로(Vegetated Swale)	69

마. 식생여과대(Vegetated Filter Strip)	75
바. 모래여과시설(Sand Filter)	79
사. 제조 여과시스템(Manufactured Filtering System)	84
5. 저류시설	88
가. 습식연못(Stormwater Pond)	88
나. 인공습지(Stormwater Wetland)	98
 제4장 비점오염관리계획의 수립 및 삭감부하량 산정방법	107
1. 비점오염관리계획의 수립	107
가. 비점오염관리계획의 수립 절차	107
나. 비점오염저감시설의 세부적용 예	109
2. 비점오염삭감부하량 산정방법	112
가. 개요	112
나. 비점오염저감시설별 삭감부하량 산정방법	113
 제5장 비점오염관리계획 수립 예	116
1. 산업시설 개발사업	116
가. 개발사업 개요	116
나. 비점오염관리계획	117
다. 시설별 설계 및 삭감량 산정	118
2. 공동주택 개발사업	125
가. 개발사업 개요	125
나. 비점오염관리계획	126
다. 시설별 설계 및 삭감량 산정	127
3. 골프장 개발사업	132
가. 개발사업 개요	132
나. 비점오염관리계획	133
다. 시설별 설계 및 삭감량 산정	134
4. 교량개발사업	137
가. 개발사업 개요	137
나. 비점오염관리계획	137
다. 시설별 설계 및 삭감량 산정	139
 제6장 참 고 문 헌	142

제1장 총 칙

1. 목 적

본 지침은 ‘제2단계 수계오염총량관리 기술지침, “한강수계 오염총량관리계획 수립지침” 제13조제2항의 별표 6에 따른 토지계 개별삭감량 산정시 개발지역에 대해 인정 가능한 비점오염관리방안에 대해 기술적 해설을 제공함으로써 **지역개발사업** 추진시 **비점오염원 최적관리계획 수립**을 유도하고, 이를 통해 오염총량관리계획의 성공적 이행이 이루어지도록 하는데 그 목적이 있다.

【 해 설 】

- ‘제2단계 수계오염총량관리 기술지침’(이하 ‘수계오염총량관리 기술지침’)은 『낙동강 수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률』, 『금강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률』, 『영산강·섬진강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률』(이하 『3대강수계법』) 각 제9조제3항의 규정에 의한 3대강 수계별 “오염총량관리 기본방침(2009.12.31)”에 따른 오염총량관리 기본계획과 시행계획 수립에 필요한 기술적인 사항을 정하고 있다.
- “한강수계 오염총량관리계획 수립지침”(이하 “오염총량관리계획 수립지침”)은 『한강수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률』(이하 『한강수계법』) 제8조제1항 및 동법 시행령 제6조 규정에 따라 오염총량관리계획을 수립·시행하려는 경우 그 기본이 되는 사항을 정하고 있다.

2. 적용 범위

본 지침은 『3대강수계법』 제9조제2항의 규정에 의한 “오염총량관리 기본방침” 및 『한강수계법』 시행령 제6조의 규정에 의한 “오염총량관리계획 수립지침”에 따른 지역개발사업을 대상으로 비점오염원 최적관리계획 수립, 개발부하량 협의 및 이행사항 평가시 토지계 개별삭감부하량 산정을 위해 적용할 수 있다.

【 해 설 】

- “오염총량관리 기본방침” 제2조제11항에서 명시하는 지역개발사업은 다음의 사업을 말한다.

가. 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』 제30조에 따른 관계기관 협의사업(『환경정책기본법』 시행령 제7조제3항제1의2호 및 같은 법 시행령 별표 2 제1호의 비고란 제3호 바목부터 아목까지의 사업은 제외한다), 『농어촌정비법』에 따른 농어촌생활환경정비사업(집단화된 농어촌 주택, 공동이용시설 등을 갖춘 새로운 농어촌 마을 건설사업), 『주택법』에 따른 사업계획의 승인대상 공동주택

나. 가목 이외의 사업으로서 『환경정책기본법』에 따른 사전환경성검토 대상사업과 『환경영향평가법』에 따른 환경영향평가대상사업

다. 가목 및 나목의 사업 중 사업시행 전·후를 비교하여 오염물질 배출부하량에 변동이 없는 개발사업(오염물질 삭감시설에 대한 변경이 없는 경우에 한한다)과 환경기초시설 등 수질오염물질 저감시설의 설치사업은 개발사업에서 제외한다.

- “오염총량관리계획 수립지침” 제2조제17항에서 명시하는 지역개발사업은 다음의 사업을 말한다.

가 및 나. “오염총량관리 기본방침”의 가 및 나목과 동일

다. 『한강수계법』 제9조 및 동법 시행령 제11조 규정에 의한 행위제한 적용 배제시설라. 환경기초시설 등 수질오염물질 저감시설 설치사업은 개발사업에서 제외한다.

제2장 개발사업 비점오염원 관리방향

1. 비점오염원의 정의 및 종류

- (1) 『수질 및 수생태계 보전에 관한 법률』 제2조제2호에서 정의한 비점오염원이라 함은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등으로서 불특정장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 오염원을 말한다.

(2) 비점오염물질로는 토사, 영양물질, 박테리아와 바이러스, 기름과 그리스, 금속, 유기물질, 농약, 협잡물이 있다.

【 해 설 】

- 『수질 및 수생태계 보전에 관한 법률』(이하 『수생태보전법』) 제2조제2호에서 정의한 비점오염원은 일반적으로 강우에 의해 유출되므로, 문헌에서는 비점오염을 토지표면에 축적된 오염물, 토양의 침식, 흩덩이, 강우유출량의 증가, 대기 중 오염물질, 부유물질, 용존성 오염물질, 인간의 활동에 의한 오염물질 등이 강우에 의해 유출되는 것이라고 정의하기도 한다.
- 비점오염원은 점오염원과 구별되는데, 오염물질의 유출 및 배출경로가 명확하게 구분되지 않아 수집이 어렵고, 발생량·배출량이 강수량 등 기상조건에 크게 좌우되기 때문에 점오염원과는 달리 체계적인 관리가 어렵다. 또 점오염원의 급격한 감소로 인해 오히려 비점오염원의 오염기여도가 높아지고 있다.
- 토사는 강우유출수의 많은 부분을 차지하는 오염물질로서 수생생물의 광합성, 호흡, 성장, 생식에 장애를 일으켜 치명적인 영향을 미친다. 토사에는 영양물질, 금속, 탄화수소 등을 비롯한 다른 오염물질이 흡착되어 같이 이동하게 된다.
- 질소나 인과 같은 영양물질은 비료로 사용되기도 하며, 영양물질은 주택 및 골프장의 잔디밭, 농경지, 도시노면 및 하수도에서 유출된다.
- 박테리아와 바이러스는 동물의 배설물과 하수도에서 월류된 배출수에서 많이 검출된다.
- 기름과 그리스는 적은 양으로도 수생생물에 치명적일 수 있으며, 누출이나 차량전복 등 사고, 차량 세척, 폐기름의 무단 투기 과정에서 오염이 발생할 수 있다.
- 납, 아연, 카드뮴, 구리, 니켈 등의 중금속은 도시지역 강우유출수에서 흔히 검출되는 물질로, 하천으로 유입되는 총금속물질량 중 50% 이상이 토사를 매개체로 하여 배출된다.

- **유기물질**은 밭, 논, 산림, 주거지역 등 광범위한 장소에서 유출되며, 특히 합류식 관거에서는 하수관거 바닥에 침전되어 있던 유기물질이 강우시 일시에 배출되기도 한다. 공업지역에서 광범위하게 사용되는 인공적인 유기화합물도 부적절하게 저장 및 폐기되는 과정에서 배출되기도 한다.
- 제초제, 살충제, 항공광이제와 같은 **농약**은 플랑크톤과 같은 수생생물에 축적되어 먹이사슬을 통해 생물농축을 일으켜 어류와 조류에게는 치명적인 결과를 초래할 수 있다.
- **협잡물**은 건축공사장 및 사업장 등에서 발생하는 쓰레기, 잔재물, 부유물 등을 말하며, 이러한 협잡물에 중금속, 살충제, 박테리아 등이 포함될 수 있다.
- ‘수계오염총량관리 기술지침’에서 세분화하고 있는 오염원그룹별 비점오염원은 다음 표와 같다.

<표 2.1> 오염원그룹별 비점오염원 구분표(국립환경과학원, 2010)

오염원그룹	비점오염원	비고
생활계	가. 생활계 관거월류수	
축산계	가. 개별배출수: 개별축사로부터 자원화처리 또는 미처리되어 농지에 살포된 후 주로 강우에 의존하여 배출되는 고품질 성상의 축산계 배출수 나. 축산계 관거월류수	자원화 유형에는 ‘톱밥발효’, ‘퇴비’, ‘액비’, ‘위탁’이 있다
산업계	가. 산업계 관거월류수	
토지계	가. 개별배출수: 환경기초시설로 연결된 관거로 유입되지 않는 구역의 토지계 배출수 나. 토지계 관거월류수	토지계의 개별배출수란 환경기초시설로 이송하는 배수설비로 유입되지 않고 개별적으로 배출 또는 배제되는 토지계의 유출수를 말한다.
양식계	가. 양식계 관거월류수	
매립계	가. 개별배출수: 침출수처리시설을 갖추지 않은 비위생매립지로부터 공공수역으로 배출되는 매립계 배출수 나. 매립계 관거월류수	

- 여기서 관거월류수란 우기시 관거용량 부족으로 발생하는 월류수로 다음과 같이 구분한다.

- (ㄱ) 합류식 관거의 맨홀로부터의 월류수(CSOs, Combined Sewer Overflows)
- (ㄴ) 분류식 관거의 맨홀로부터의 월류수(SSOs, Sanitary Sewer Overflows)

2. 개발사업 비점오염원 및 기존 비점오염관리방안

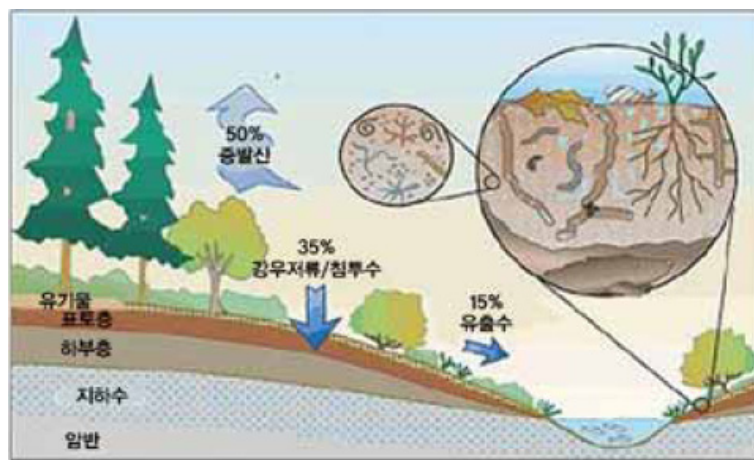
- (1) 개발로 인한 토지이용변화에 따라 토양침식이 증가하고 유출량의 증가, 침투량 및 지하수함양의 감소 등과 같은 수문 체계의 변화가 발생한다.
- (2) 이러한 토지훼손행위 및 수문 체계의 변화로 비점오염원의 발생량 및 배출량이 증가하게 된다.
- (3) 비점오염원에 의한 오염은 개발지역의 강우유출수에 대한 관리를 통하여 최소화할 수 있다.
- (4) 기존의 비점오염원 관리방안은 저감시설을 설치하는 구조적 방안과 배수구역의 최종점에서 강우유출수를 집수하여 처리하는 집중식 방안이 주를 이루고 있다.
- (5) 『수생태보전법』 제2조제12의2호에서 정의한 비점오염저감시설은 수질오염방지시설 중 비점오염원으로부터 배출되는 수질오염물질을 제거하거나 감소시키는 시설을 말한다.

【 해 설 】

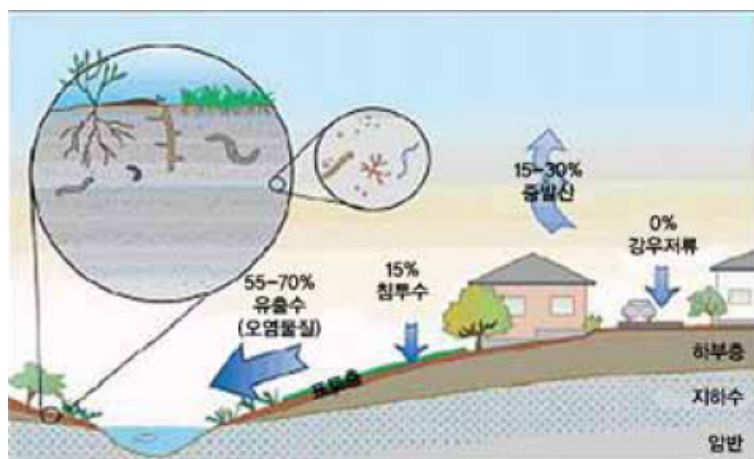
▶ 개발사업에 따른 수문체계의 변화 및 비점오염원

- 개발사업에서 이루어지는 토지경사의 변경, 굴착, 절토, 굽어내기 또는 구멍파기, 충전물의 변경, 포장, 축조, 표토층 식물의 제거, 토양이나 지반의 노출, 자연적 및 인공적인 유로의 변경이나 관거사업화 등의 모든 토지를 훼손하는 행위는 수문체계를 변화시키게 된다.
- 건물, 도로, 공장 단지 등의 개발사업 전의 자연상태에서 강우는 지면으로 침투 또는 대기로 증발되고, 식물에 의해 이용되어 지표유출은 거의 발생하지 않지만, 개발 후 토지이용은 불투수층으로 전환되어 침투에 대한 투수성 면적은 감소하고 이에 따라 유출률 및 총유출량이 증가하게 된다.
- 포장과 같은 불투수성 지면은 거칠고 요부를 갖는 자연 상태의 지면보다 매끄러워 강우에 대한 유역응답이 신속해져서 침투시간이 빨라지고 유역지체는 감소하며, 침투유량도 증가한다.
- 강우가 지중으로 침투되지 않으면 지하수위가 낮아지고 기저유출이 감소하여 갈수량이 감소한다. 지하수 함양이 줄어들수록 갈수가 장기간에 걸쳐 발생하게 되면 하천유지 유량의 확보가 더욱 어려워진다.

- 또한 강우가 지중으로 침투되지 않고 하천이나 바다로 유출되면 이용가능한 수자원의 양이 감소하여 물부족 문제가 심화된다.
- 개발에 의한 토양훼손행위로 토사발생량이 증가하고 지면에 집적되는 토사, 협잡물 및 다른 오염물질이 증가하며, 이러한 비점오염원은 증가된 강우유출수와 함께 유출된다.
- 개발 후 이루어지는 거주, 사업 등과 관련된 인간의 활동도 비점오염원의 증가를 초래한다.
- 비점오염물질의 배출량이 증가하면 공공수역의 수질은 악화되고, 이는 하천이나 해양의 생물생식영역에도 악영향을 미친다.



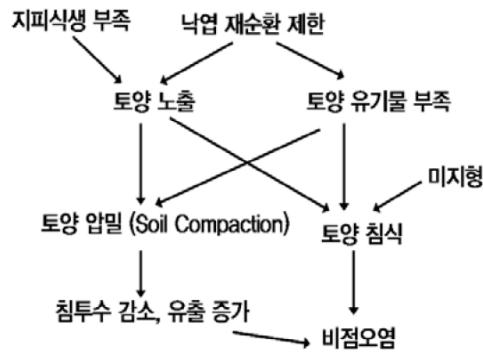
(가) 자연지역



(나) 도시지역

<그림 2.1> 자연녹지와 도시지역에서 강우시 물순환(Scheyer and Hipple, 2005; 박 등, 2006에서 재인용)

: 자연토양을 포함하는 녹지에서는 강우의 15%만이 유출되는 반면 도시에서는 15%만이 토양으로 침투되고 55~70%가 유출된다(박 등, 2006)



<그림 2.2> 토양의 구조적 불안정성에 영향을 미치는 요인들과 결과(박 등, 2006)

▶ 기존의 비점오염관리방안 및 문제점

- 비점오염저감시설을 설치하여 비점오염원을 저감하는 구조적 방안이 주를 이룬다.
- 비점오염저감시설의 설치를 위한 여유부지의 확보가 어렵다(특히 고밀도도시지역).
- 비점오염저감시설의 유지 및 운영, 검사, 보수 및 보강 등을 하는데 필요한 비용의 문제가 발생하고 있다.
- 대부분의 개발사업자들이 장치형 시설 위주로 비점오염원을 관리하고 있어 유지관리 및 운영에 막대한 비용을 지불하고 있다.
- 비점오염저감효과에 비해서 비용이 크게 증가하고 있는 실정이다.
- 비점오염저감시설의 유지관리는 자주 무시된다.
- 하수관·오수관 등을 통하여 수송된 우수를 차집하여, 집중화한 처리 시스템으로 처리한 후 방류하는 방법이 주된 방안이다.
- 배수구역의 최종점에 설치하는 대규모 저류지는 열오염, 지하수오염, 유해물질의 생물농축, 집중강우시 영양물질이나 토사, 유해물질 등의 유출, 하천 침식의 증가 등의 문제를 일으킨다.
- 파이프와 저류지를 이용하는 방식은 지역의 수문특성을 변화시키고, 하도침식을 가속화시켜 하천의 서식처구조를 만들어내지 못한다.
- 비점오염저감시설의 설치만으로는 개발이전의 수문학적 체계를 재현할 수 없으며, 단지 도시발달의 영향을 완화시키거나 감소시키는 정도 일 뿐이므로 오염부하와 수문체계의 근본적인 변화를 방지시키지 못하고 누적적인 악영향을 초래한다.
- 개발에 따른 불투수지역의 확대, 배수시스템의 변화, 하천범람원의 시가화, 식물과 생물의 서식처의 감소 등의 문제점들에 대한 근본적인 대안을 마련할 필요가 있다.
- 생물의 시점에서 자연을 생각하고 물순환을 보전하려는 생각이 결여되어 있다.
- 경제적·효율적인 관리, 토지이용계획 차원에서의 지속가능한 비점오염관리가 필요하다.

▶ 비점오염저감시설

○ 『수생태보전법』 시행규칙 별표 6에 제시된 비점오염저감시설은 다음과 같다.

가. 자연형 시설

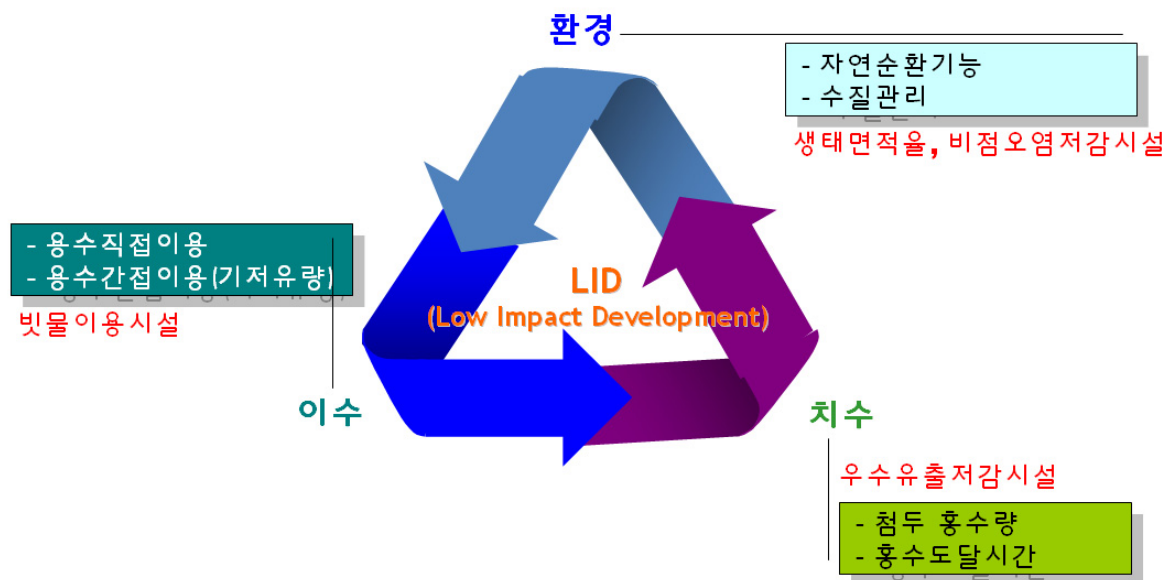
- 1) 저류시설 : 강우유출수를 저류(貯留)하여 침전 등에 의하여 비점오염물질을 줄이는 시설로 저류지·연못 등을 포함한다.
- 2) 인공습지 : 침전, 여과, 흡착, 미생물 분해, 식생 식물에 의한 정화 등 자연상태의 습지가 보유하고 있는 정화능력을 인위적으로 향상시켜 비점오염물질을 줄이는 시설을 말한다.
- 3) 침투시설 : 강우유출수를 지하로 침투시켜 토양의 여과·흡착 작용에 따라 비점오염물질을 줄이는 시설로서 유공(有孔)포장, 침투조, 침투저류지, 침투도랑 등을 포함한다.
- 4) 식생형 시설 : 토양의 여과·흡착 및 식물의 흡착(吸着)작용으로 비점오염물질을 줄임과 동시에, 동·식물 서식공간을 제공하면서 녹지경관으로 기능하는 시설로서 식생여과대와 식생수로 등을 포함한다.

나. 장치형 시설

- 1) 여과형 시설 : 강우유출수를 집수조 등에서 모은 후 모래·토양 등의 여과재(濾過材)를 통하여 걸러 비점오염물질을 줄이는 시설을 말한다.
- 2) 와류(渦流)형 시설 : 중앙회전로의 움직임으로 와류가 형성되어 기름·그리스(grease) 등 부유성(浮游性) 물질은 상부로 부상시키고, 침전가능한 토사, 협잡물(挾雜物)은 하부로 침전·분리시켜 비점오염물질을 줄이는 시설을 말한다.
- 3) 스크린형 시설 : 망의 여과·분리 작용으로 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하는 시설로서 주로 전(前) 처리에 사용하는 시설을 말한다.
- 4) 응집·침전 처리형 시설 : 응집제(應集劑)를 사용하여 비점오염물질을 응집한 후, 침강 시설에서 고형물질을 침전·분리시키는 방법으로 부유물질을 제거하는 시설을 말한다.
- 5) 생물학적 처리형 시설 : 전처리시설에서 토사 및 협잡물 등을 제거한 후 미생물에 의하여 콜로이드(colloid)성, 용존성(溶存性) 유기물질을 제거하는 시설을 말한다.

3. 개발사업 비점오염원 관리방향

- (1) 개발지역의 자연순환기능을 최대한 유지함으로써 개발에 의해 발생하는 오염물질의 정화기능 뿐 아니라 물순환, 미기후 조절 및 생태적 기능의 저하 방지
- (2) 우수를 최대한 토양으로 침투 및 저류시키는 우수관리를 통하여 강우유출수의 최소화, 침투유량의 감소 및 홍수도달시간의 지연 도모
- (3) 물순환 기능 증대를 이용한 방법 뿐 아니라 빗물을 직접 이용한 용수수급개선을 통해 하천유지유량 확보, 용수수요량 및 환경용수의 증가 등에 대처
- (4) 소규모 시설을 분산 적용하여 개발지역의 강우유출수의 차단 또는 분산
- (5) 강우유출수 중 수질오염물질을 저감시켜 비점오염부하 감소



<그림 2.3> 오염총량관리 개발사업 비점오염원 최적관리 기본방향

▶ 녹지와 토양의 생태적 기능 회복 필요

- 포장되지 않은 건강한 토양을 포함하는 녹지는 물과 공기, 유기물의 순환 과정 속에서 다양한 생태적 기능을 발휘한다.

가. 물순환 기능

- 식생은 강우를 차단시켜 토양의 유실을 방지하고, 강우의 침투 및 유출속도를 감소시킨다.
- 좋은 배수 특성을 가진 토양은 침투된 강우를 저류하여 강우유출수 감소, 지하수 함양, 홍수 방지 등에 기여한다.

나. 미기후 조절 기능

- 식생은 풍속 저하, 여름에는 그늘, 겨울에는 보온 효과를 가져다주어 에너지 절감 및 화석연료 사용을 감소시킨다. 식생의 증발산 작용은 도시의 열섬현상을 억제시킨다.
- 열전도도가 낮은 물과 공기를 포함한 토양은 지표의 온도상승을 억제시킨다.

다. 생물의 서식처 기능

- 교목층, 관목층, 초본류층 등 다양한 형태의 서식 공간을 제공한다.
- 비옥하고 유기물이 충분히 포함된 토양은 다양한 생물의 서식처를 제공한다.
- 토양 표면에 쌓이는 낙엽, 죽은 나무 등의 미소서식처와 토양 내부에 많은 곤충 등이 서식하여 다른 척추동물의 먹이사슬로 이어진다.

라. 오염물질 정화기능

- 식생의 잎과 가지 표면이 필터로 기능하여 먼지나 미세분진 제거에 기여한다.
- 녹지는 강우유출수를 저감시키고 침투량을 증가시킬 뿐만 아니라 강우유출수에 포함된 오염물질을 정화한다.
- 토양으로 침투되어 토양 내에 저류된 오염물질은 미생물과 화학 작용에 의해 변환되고 식물의 영양분으로 이용된다.

▶ 저영향개발 접근방법을 이용한 비점오염원 관리방안

- 개발이 자연에 미치는 인공적 영향을 최소화 하고, 생태계를 보전하려는 저영향개발 접근방법(LIDA; Low Impact Development Approaches)은 강우 자체를 수원으로 간주하여 대상부지에 내린 강우를 부지레벨에서 관리하며, 개발 이후에도 자연자원, 토양상태, 숲, 지형특성, 습지와 부지내 기타 자생식물 등의 개발 이전의 자연상태를 그대로 유지시키는 것을 목적으로 한다. 즉, 개발지역 내에서 이루어지는 침투, 증발산, 저류 등의 자연적 과정을 재현할 수 있는 소규모 시설들을 분산 적용하여 강우 또는 강우유출수를 지역 내에서(On Site) 관리한다.

<표 2.2> 중앙집중형 물관리와 분산적 빗물관리의 비교

중앙집중형 물관리	분산적 빗물관리
· 처리비용이 높음 · 문제 발생시 광범위한 지역에 영향을 미칠 위험이 있음	· 건물단위, 토지이용형태별로 시설이 설치되어 설치 개수가 많음 · 연간 발생하는 강우에 대해 상시 사용가능 · 제어가 간단하며 오염물질의 유입량이 적음 · 초기건설비용이 저렴 · 위험관리에 있어 중앙 집중형 관리보다 안정적이며 위험대처가 용이

출처: 한강수계관리위원회(2009)

▶ 토양 및 우수관리와 관련된 법규를 이용한 비점오염원 관리

- 효율적인 국토이용의 측면에서 토양 및 우수관리와 관련된 법, 지침 및 지방자치단체의 조례 등이 지속적으로 확대되고 있는 실정이며, 그러한 관련 법규에서 정하고 있는 시설이 본 지침의 개발사업 비점오염원 관리방향에 적합하고 비점오염저감에 효과가 있는 시설이라면 이를 비점오염저감시설로 간주하는 것이 바람직하다.
- 또한 오염총량관리 지역개발사업 추진시 개발사업의 종류, 규모에 따라 관련 법규의 적용대상이 될 수 있다. 따라서 개발부하량 협의시 비점오염저감시설을 관련 법규에서 정하고 있는 시설에 의한 비점오염저감시설까지 확대 인정하여 효율적인 비점오염관리를 유도할 수 있다.

<표 2.3> 관련 법규에 따른 비점오염원 관리방법

관리 목적	관리 방법	정 의	관련 법 및 지침
자연 순환기능 유지	생태면적률	· 생태면적률은 개발로 인해 훼손되기 쉬운 도시 공간의 생태적 기능(자연의 순환기능)을 유지 또는 개선할 수 있도록 유도하기 위한 환경계획지표 · 생태적 기능이 온전한 '자연기반녹지(가중치 1)'와 생태적 기능이 전무한 '포장면(가중치 0)'을 기준으로 지역의 개발 특성에 맞게 공간유형을 구분하고 각각의 가중치를 부여하여 산출한 자연순환기능의 비율 · 생태면적률 인정 공간유형 : 자연기반녹지, 인공 기반녹지, 옥상녹화, 수공간, 부분포장 등	'생태면적률 적용지침'
이 수	빗물이용 시설	· 빗물을 모아 생활용수·조경용수·공업용수 등으로 이용할 수 있도록 처리하는 시설	『수도법』

<표 2.3> 관련 법규에 따른 비점오염원 관리방법(계속)

관리 목적	관리 방법	정 의	관련 법 및 지침
치 수	우수유출 저감시설	· 우수의 직접유출을 억제하기 위하여 인위적으로 우수를 지하에 침투시키거나 저류시키는 시설 · 우수유출저감시설의 종류 1. 침투시설 : 침투통, 침투측구, 침투트렌치, 투수성 포장, 투수성 보도블럭 등 2. 저류시설 : 쇄석공극저류시설, 운동장저류, 공원 저류, 주차장저류, 단지내 저류, 건축물 저류, 공사장 임시저류지, 유지·습지 등 자연형 저류시설	『자연재해 대책법』
수질오염 방지	비점오염 저감시설	· 수질오염방지시설 중 비점오염원으로부터 배출되는 수질오염물질을 제거하거나 감소하게 하는 시설 · 비점오염저감시설의 종류 1. 자연형 시설 : 저류시설(연못, 저류조 등), 인공 습지, 침투시설(침투도랑, 침투저류지, 유공포장 등), 식생형 시설(식생여과대, 식생수로 등) 2. 장치형 시설 : 여과형 시설, 와류형 시설, 스크린형 시설, 응집·침전 처리형 시설, 생물학적 처리형 시설	『수생태 보전법』

○ 관련 법규별 적용대상사업

가. 생태면적률

- 근거지침: ‘생태면적률 적용지침(환경부, 2005)’
- 사전환경성검토 및 환경영향평가 대상 중 ‘택지개발이나 공동주택 건설과 관련되는 개발사업’에 우선 적용

<사전환경성검토대상>

구 분	행정계획	근거법령	규 모
국토·지역·도시의 개발	택지개발예정지구의 지정	택지개발촉진법	10만 m ² 이상
행정계획	도시개발구역의 지정	도시개발법 제3조	생태면적률 적용

<환경영향평가대상>

구 분	대상사업	근거법령	규 모
도시개발	도시개발사업	도시개발법	25만 m ² 이상
	정비사업 (주거환경개선사업 제외)	도시및주거환경정비법	30만 m ² 이상
	대지조성사업	주택법	30만 m ² 이상
	택지개발사업	택지개발촉진법	30만 m ² 이상
	국민임대주택단지 조성사업	국민임대주택건설등에관한특별 조치법	30만 m ² 이상

나. 빗물이용시설

- 근거법령: 『수도법』 제16조제1항 및 동법 시행규칙 제26조
- 『체육시설의 설치·이용에 관한 법률』 시행령 별표 1에 따른 운동장 또는 체육관으로서 지붕면적이 2천 400제곱미터 이상이고, 관람석 수가 1천 400석 이상인 시설물을 신축하거나, 해당 규모 이상으로 증축·개축 또는 재축하는 경우

다. 우수유출저감시설

- 근거법령: 『자연재해대책법』 제19조제1항 및 동법 시행령 제16조
- 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업(『수생태보전법』 제53조에 따라 비점 오염저감시설을 설치하는 대상사업은 제외한다)을 시행하는 중앙행정기관의 장 또는 지방자치단체의 장이 수립
 1. 「관광진흥법」 제2조제6호 및 제7호의 규정에 의한 관광지 및 관광단지개발사업
 2. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조제6호의 규정에 의한 기반시설 중 유원지, 공원, 운동장, 유통업무설비, 우수지 또는 주차장의 도시계획시설사업
 3. 「온천법」 제10조의 온천개발계획에 따른 개발사업
 4. 「도시개발법」 제2조제1항제2호의 규정에 의한 도시개발사업
 5. 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」 제28조에 따른 특수산림사업지구으로 지정된 지역 안에서의 청소년수련사업·휴양시설조성사업
 6. 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제2조제5호의 규정에 의한 산업단지조성사업
 7. 「산지관리법」 제25조의 규정에 의한 채석허가를 득하여 시행하는 사업
 8. 「물류시설의 개발 및 운영에 관한 법률」 제2조제9호에 따른 물류단지개발사업
 9. 「주택법」 제2조제4호의 규정에 의한 주택단지조성사업
 10. 「체육시설의 설치·이용에 관한 법률」 제2조제1호의 규정에 의한 체육시설 중 골프장사업
 11. 「택지개발촉진법」 제2조제3호의 규정에 의한 택지개발예정지구로 지정하여 추진하는 택지개발사업
 12. 「도시 및 주거환경정비법」 제2조제2호 나목 및 라목에 따른 주택재개발사업 및 도시환경정비사업

13. 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」 제2조제3호에 따른 도시공원의 조성사업
14. 「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」 제13조에 따른 공장의 설립
15. 「장사 등에 관한 법률」 제13조에 따른 공설묘지의 설치
16. 「유통산업발전법」 제2조제15호에 따른 공동집배송센터의 조성사업
17. 「물류시설의 개발 및 운영에 관한 법률」 제2조제3호에 따른 물류터미널사업
18. 「보금자리주택건설 등에 관한 특별법」 제2조제3호가목에 따른 보금자리주택지구조성사업
19. 「지역균형개발 및 지방중소기업 육성에 관한 법률」 제9조에 따른 개발촉진지구의 개발사업
20. 「고등교육법」 제2조에 따른 학교를 설립하는 경우의 건축공사
21. 「지방소도읍 육성 지원법」 제4조의 지방소도읍 지역에 대한 종합적인 육성계획에 따른 개발사업
22. 「농어촌주택 개량촉진법」 제5조에 따른 농어촌주거환경개선사업
23. 「농어촌정비법」 제2조제10호에 따른 생활환경정비사업
24. 「중소기업진흥에 관한 법률」 제31조제1항에 따른 단지조성사업
25. 「도시철도법」 제3조제4호에 따른 도시철도사업(부지조성이 수반되는 경우에 한한다)
26. 「항공법」 제2조제10호에 따른 공항개발사업(부지조성이 수반되는 경우에 한한다)
27. 「수도권신공항건설 촉진법」 제2조제2호에 따른 신공항건설사업(부지조성이 수반되는 경우에 한한다)
28. 「임업 및 산촌 진흥촉진에 관한 법률」 제25조의 산촌개발사업계획에 따른 개발사업
29. 「건축법」 제29조에 따른 건축협약의 대상 중 대지면적 2천 제곱미터 이상이거나 건축연면적이 3천 제곱미터 이상인 건축(신축·증축·개축·재축 또는 이전을 포함한다)
30. 「주택법」 제16조에 따른 주택건설사업계획의 승인 대상 건축물
31. 지방자치단체의 조례로 정하는 개발사업 또는 시설물

라. 비점오염저감시설

- 근거법령: 「수생태보전법」 제53조제1항 및 동법 시행령 제72조
- 환경영향평가 대상사업 및 1만제곱미터 이상의 사업장에 다음 각호에 해당하는 폐수배출시설을 설치하는 경우, 평가서의 재작성·재협약의 대상이 되는 경우 및 변경허가를 받거나 변경신고를 하는 사업장으로서 부지면적이 100분의 30 이상 증가하는 경우
 1. 목재 및 나무제품 제조업
 2. 펄프·종이 및 종이제품 제조업
 3. 코크스·석유정제품 및 핵연료 제조업
 4. 화합물 및 화학제품 제조업
 5. 고무 및 플라스틱제품 제조업
 6. 비금속광물제품 제조업

7. 제1차 금속산업
8. 석탄, 원유 및 우라늄 광업
9. 금속 광업
10. 비금속광물 광업(연료용은 제외한다)
11. 음·식료품 제조업
12. 전기업, 가스업 및 증기업
13. 도매업 및 상품 중개업
14. 하수처리업, 폐기물처리업 및 청소 관련 서비스업

▶ 기타사항

- 가. 본 지침에서 생태면적으로 인정하고 있는 공간 유형과 관련하여 별도로 명시되지 않는 기술적 사항은 ‘**생태면적을 적용지침(환경부, 2005)**’에 따른다.
- 나. 『자연재해대책법』에서 정하는 우수유출저감시설 중 본 지침에서 제시한 시설과 관련하여 별도로 명시되지 않는 기술적 사항은 ‘**우수유출저감시설의 종류·구조·설치 및 유지관리기준(소방방재청, 2008)**’에 따른다.
- 다. 『수생태보전법』에서 정하는 비점오염저감시설과 관련하여 기본적인 관리·운영은 동법 제53조제4항제2호에 따른 **비점오염저감시설의 관리·운영기준(동법 시행규칙 별표 18)**에 따른다.
- 라. 『수생태보전법』에서 정하는 비점오염저감시설과 관련하여 본 지침에서 별도로 명시되지 않는 기술적 사항은 ‘**비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼(환경부, 2008)**’에 따른다.

4. 저영향개발 접근방법

(LIDA : Low Impact Development Approaches)

- (1) 자연에 미치는 영향을 최소화 하여 개발하는 것을 의미한다.
- (2) 생태계를 보전하는 개발, 자연에 미치는 인공적 영향을 최소화 하는 개발을 지향한다.
- (3) 자연의 원리를 기본으로 한 강우유출수 관리 방법이다.

【 해 설 】

- 저영향개발 접근방법은 개발과 강우 관리에 대한 새로운 방법으로, 기존의 개발수법을 개량하여 **개발과 동시에 수원확보, 수질유지, 생활의 질 향상**을 목적으로 한다.
- 저영향개발 접근방법은 **자연의 침투 및 저류 프로세스를 모방**하는 것으로서, 미생물의 힘에 의해서 환경을 정화하는 **장치(Bioswale, Bioretention 등)**를 경관에 통합시키는 것을 의미한다.
- 토지의 종류나 환경에 구애받지 않고 수원(강우) 근처에 **기능적 경관 요소**를 전략적으로 배치하여, 강우유출수 발생 억제 및 침투, 여과, 정화 등의 효과를 기대할 수 있으며 미적으로도 뛰어나다.

<표 2.4> 저영향개발 접근방법의 이점

환경적 이점	개발자의 이점	지방자치단체나 지역사회의 이점
○ 건전한 물순환 시스템 조장 ○ 홍수방지 및 생물의 서식처 제공 ○ 강우유출수에 포함된 오염 물질 정화 ○ 수목 등의 식생 보전 및 회복 등	○ 부지배치계획, 강우조절장치의 설치나 개조에 대한 새로운 대안 제시 ○ 매력적인 근린지구를 조성하는데 기여하여 시장가치 향상 ○ 우수관리 및 비점오염저감 시설의 건설비 및 관리운영비 삭감 ○ 대규모 저류지 확보하기 위하여 소요되는 부지를 다른 다양한 가치 생산에 이용 가능	○ 홍수방지 ○ 생물의 서식지 보호 ○ 식수공급 유지 ○ 우수관리시설 및 비점오염저감시설의 유지비 축소 ○ 도로, 연석 등 다른 기초 설비의 저비용화 ○ 지역사회 외관과 미적가치 향상 ○ 부지의 자산가치 증대 ○ 비용효율이 높은 도시 건설 ○ 하수처리시설의 비용 삭감

<표 2.5> 저영향개발 접근방법의 전략

구 분	내 용
식생과 토양의 보전·재생	○ 자연 배수 패턴, 지형, 함몰지 등을 그대로 유지하고 원래의 토양에 가능한 식생을 최대한 보전 ○ 재래 식생을 회복시킬 수 있도록 식물종을 선택하여 다시 식재 ○ 특히 배수가 좋은 수문학적 토양형의 A와 B 그룹을 최대한 보존 ○ 토양의 압밀 최소화 및 교란 최소화 ○ 공사로 인하여 압밀된 토양의 건강성을 회복시키기 위하여 퇴비 이용 ○ 자연배수기능과 지세를 유지시키며 이를 부지 설계시 고려 ○ 부지의 기존 지형을 이용하여 지표유출을 지연시키고 강우가 침투하여 지하수로 함양될 수 있도록 부지 정비 ○ 개방형 식생수로와 자연식생 배수패턴을 사용하여 유로연장 및 흐름분산 ○ 식생수로나 빗물정원 등 자연의 체류시스템을 활용하여 흐름저지 ○ 연석, 우수를 배제하기 위한 우회수로를 제거하고 수직낙수의 방향을 변경하여 불투수성 지표면이 연속되지 않도록 설계 ○ 불투수면과 식생대를 연결시켜 빗물이 발생원에 체류되는 시간 연장 ○ 낮은 경사도
불투수성 지표를 최소로 부지 설계	○ 부지 설계자, 플래너, 엔지니어, 경관 설계자, 건축가가 함께 업무를 진행하여 공통의 가치 혹은 합의(consensus)가 필요 ○ 토지피복유형, 불투수율과 그 연결성, 수문학적 토양 유형, 기존의 배수패턴과 자연의 저류특성 유지 ○ 교란 최소화, 개방식 식생도랑, 침투율이 높은 토양의 보전, 침투율이 높은 토양에 비점오염저감시설의 설치 등을 포함 ○ 지붕, 도로, 주차장 등의 불투수성 지표면적 최소화 ○ 집, 그 외의 구조물, 도로, 주차장 등의 불투수면은 우수관리상 중요한 장소나 침투율이 높은 토양을 피해서 설치 ○ 불투수면이 연속되지 않도록 단절 ○ 강우유출수를 수문학적 토양형 A나 B 그룹에 해당하는 토양으로 분산
강우발생 부근에서 관리	○ IMP(Integrated Management Practices) 관리 기법 적용(집중식 BMP와 구분) ○ 환경을 보전하는 매력적인 경관을 조성하기 위하여 우수관리기능을 부지 설계안으로 통합 ○ 강우유출을 지연시키고 부지 내에 체류하는 빗물의 단위시간량을 증가시키기 위한 경관 조성 ○ 유출수 발생원 단계에서 저류와 침투가 가능하도록 설계 ○ 미니 스케일의 저습지, 투수성 포장, 녹화 지붕 등을 조합한 통합적 우수관리 ○ 빗물정원, 침투도랑, 우수통, 옥상저장, 물탱크, 연못 등의 오염저감시설을 빗물이 떨어지는 곳에 분산식으로 배치 ○ 다양한 시설을 활용하여 복합적인 장치를 만듦으로써 우수관리시스템의 신뢰도 향상 및 실패가능성 감소 ○ 기존 우수관리에 사용하던 우수관, 하수관 및 연못 등에 대한 의존도 감소 ○ 우수관로, 연석, 차도와 보도 사이의 우수배제수로의 설치는 피함 ○ 유출수 발생원에 BMPs를 설치하여 오염방지 및 유지관리 하는 것이 저영향개발 접근방법의 가장 중요한 요소

<표 2.5> 저영향개발 접근방법의 전략(계속)

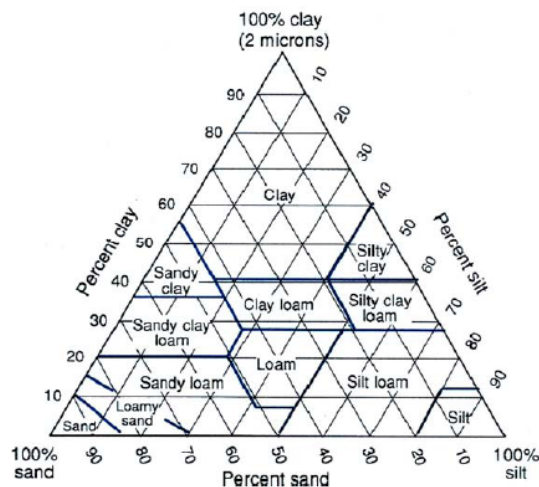
구 분	내 용
유지관리 및 교육	○ 모든 관계자들의 이해와 교육이 중요 ○ 저영향개발 접근방법으로 조경과 경관에 통합되어 유출수가 제어되는 시스템을 이해하고 이를 관리하는 방법을 아는 것이 중요 ○ 저영향개발 장치의 적절한 유지관리를 위하여 주택 또는 빌딩 소유자, 조원가의 육성 필요 ○ 계발적 설계, 교육의 해답이 될 만한 설계가 가능한 설계자의 육성 필요 ○ 토지소유자는 이러한 경관 요소가 자신의 재산가치를 높인다는 것을 신뢰하고, 환경보호에 기여한다는 점에 보람을 느낄 수 있어야, 경관유지에 소요되는 비용에 대한 지불의사를 가질 수 있음 ○ 명확하고 실시 가능한 가이드라인을 가진 장기적인 보수계획의 개발 필요

NRCS 수문학적 토양형(HSG: Hydrologic Soil Groups)

토양그룹	토양의 특성
Type A	유출이 가장 적음, 침투율이 가장 큼 실트와 점토를 약간 포함한 모래층 및 자갈층으로 배수양호
Type B	비교적 낮은 유출율, 비교적 높은 침투율 자갈이 섞인 사질토로 배수가 대체로 양호
Type C	비교적 높은 유출율, 비교적 낮은 침투율 상당수의 점토와 콜로이드 물질을 포함하고 있어 배수불량
Type D	유출율이 가장 큼, 침투율이 가장 낮음 대부분이 점토질로 이루어져 배수가 대단히 불량

토성분류	토양그룹 (HSG)	중기침투율 (in/hr)	중기침투율 (cm/hr)
모래 (Sand)	A	8.27	21.01
양질사토 (Loamy Sand)	A	2.41	6.12
사질양토 (Sandy Loam)	B	1.02	2.59
양토 (Loam)	B	0.52	1.32
미사질양토 (Silt Loam)	C	0.27	0.69
사질식양토 (Sandy Clay Loam)	C	0.17	0.43
식양토 (Clay Loam)	D	0.09	0.23
미사질식양토 (Silt Clay Loam)	D	0.06	0.15
사질점토 (Sandy Clay)	D	0.05	0.13
미사질점토 (Silt Clay)	D	0.04	0.10
점토 (Clay)	D	0.02	0.05

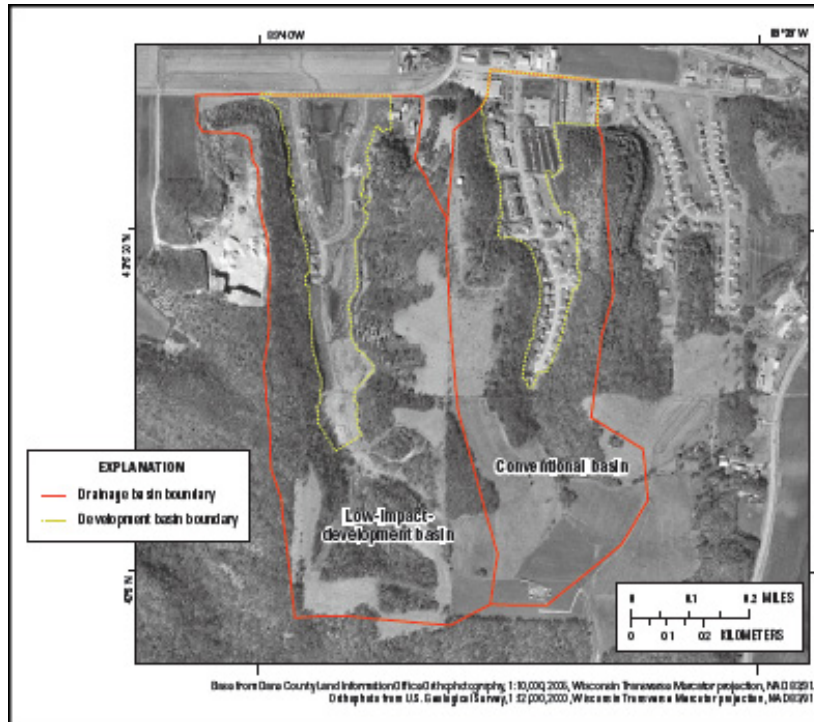
출처 : Rawls *et al.*(1982), CTRE(2008)에서 재인용



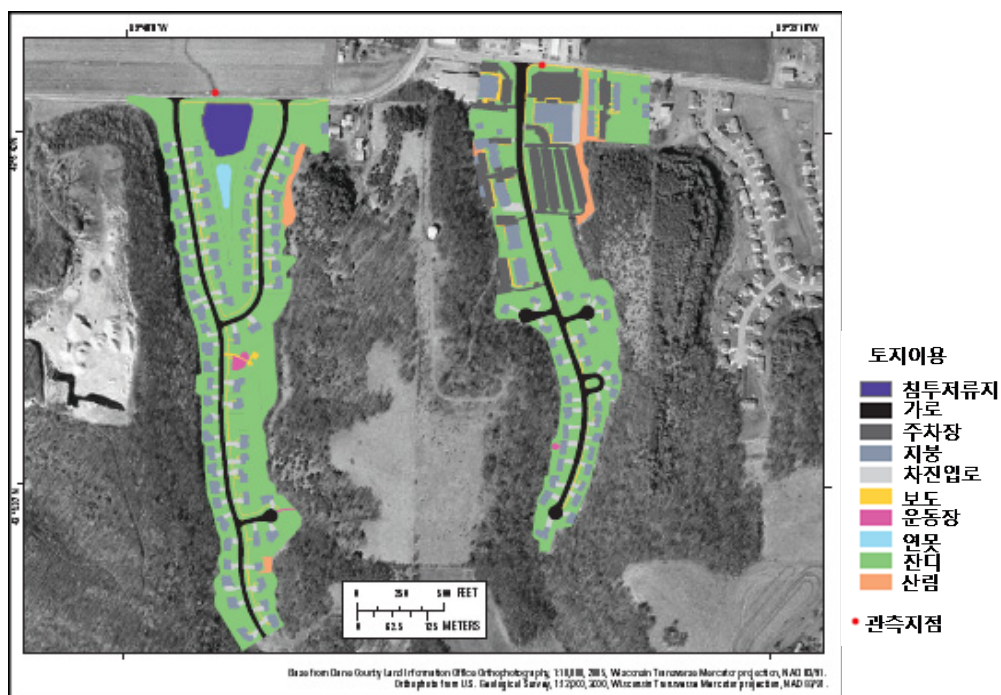
USDA 토성분류(CTRE, 2008)

▶ 저영향개발과 기존의 전통적인 개발 사례(USDOI and USGS, 2008)

- 위스콘신주의 Cross Plains 빌리지의 남서부 지역에 두 소유역을 선정하여 저영향개발 방법과 전통적인 방법으로 주택 개발



<그림 2.4> 대상지구의 배수유역(저영향개발: 192 acres, 전통적인 개발: 137 acres)



<그림 2.5> 저영향개발(왼쪽)과 전통적인 개발(오른쪽)

< 개발구역의 토지이용별 면적 >

구분	저영향개발 구역		전통적인 개발 구역			
개발면적	37.7 acres		32.0 acres			
토지이용	거주지	점유율(%)	거주지	점유율(%)	상업지역	점유율(%)
차진입로	1.6	4	0.8	3	0.3	1
잔디	24.4	64	13.5	42	1.8	6
지붕	4.7	12	3.7	11	1.1	4
보도	0.6	2	0.7	2	-	-
가로	3.8	10	2.9	9	0.4	1
주차장	-	-	1.8	6	4.2	13
산림	0.5	1	0.8	3	-	-
공원	0.1	<1	-	-	-	-
기타	2.0	5	0.03	<1	-	-

- 전통적인 방법으로 개발된 구역에서 강우유출수를 도로에 연석이나 배수로 등으로 배수시켜 관리하는 반면, LID 접근방법으로 개발된 구역에서는 불투수성 지표면을 가능한 감소시키고 식생수로, 침사지, 침투저류지 등으로 배수시켜 관리한다.



<그림 2.6> LID 접근방법에 의한 강우유출수 관리 예



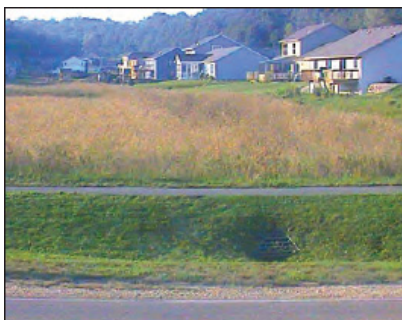
1999.09



2000.09



2001.09



2002.09



2003.09



2004.09

<그림 2.7> LID 구역의 연간변화(1999-2004)

- 전통적인 개발 유역에서는 빈도가 높은 소규모 강우사상에 대해서 유출이 발생하는 반면, LID 유역에서는 강우가 토양에 저류되어 유출이 발생하지 않는다. 즉, LID 유역에서는 강우강도가 크거나, 강우량이 많은 경우 또는 토양이 이미 포화된 경우에 유출사상이 관측된다.

< 강우 및 유출특성 >

구분	수문년(5월~이듬해 4월)													
	개발전 (1998.6-1999.5)		1999-2000		2000-2001		2001-2002		2002-2003		2003-2004		2004-2005	
	LID	기존	LID	기존	LID	기존	LID	기존	LID	기존	LID	기존	LID	기존
강우사상 개수	63	-	55	51	61	48	53	58	38	40	48	48	54	57
총강우량(in.)	35.4	-	26.7	28.5	36.9	33.8	37.6	37.2	19.8	21.8	32.5	33.2	30.5	32.2
유출사상 개수	7	-	10	55	19	51	18	61	7	46	18	60	19	68
총유출량(in.)	0.11	-	0.19	1.7	1.47	3.4	1.75	4.1	0.4	1.9	1.26	2.9	1.61	3.9
저류된 강우(%)	100	-	99	94	96	90	95	89	98	91	96	91	95	88
유역개발(%)	0	-	20	100	35	100	50	100	75	100	85	100	95	100

- LID 유역에서 총고형물질(TS), 총부유물질(TSS), 총인(TP)의 유출이 완화된다. 비교연구결과에서 2000년, 2001년, 2004년의 경우 전통적인 개발 유역보다 높은 연간부하량이 발생하였으나, 이는 하나 또는 두 강우사상에 의해 발생한 것이다.

< 연간총부하량 >

구분	수문년(10월~이듬해 9월)													
	1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005	
	LID	기존	LID	기존	LID	기존	LID	기존	LID	기존	LID	기존	LID	기존
TS(tons)	1.2	8.9	15.5	9.0	14.7	33.2	1.7	14.3	2.4	5.0	10.3	8.4	1.0	5.1
TSS(tons)	0.8	2.8	7.4	6.3	11.5	4.5	0.4	2.5	1.0	2.2	5.3	3.4	0.0	1.7
TP(tons)	2.0	9.9	82.6	18.9	42.0	18.5	4.1	10.0	8.2	8.3	37.7	13.8	1.7	10.8

< 강우사상의 부하량 및 연간총부하량에 대한 점유율 >

강우사상	강우량(in.)		강우강도(in./hr)		TS(tons, %)		TSS(tons, %)		TP(tons, %)	
	LID	기존	LID	기존	LID	기존	LID	기존	LID	기존
2000/5/17	5.09	4.93	1.2	1.3	5.3(32)	2.1(23)	3.0(35)	1.9(30)	54.1(65)	5.4(28)
2000/5/30	4.89	5.14	1.14	0.88	6.2(38)	2.5(27)	3.0(35)	2.0(32)	18.5(22)	4.1(22)
2001/8/01	9.68	8.82	3.15	2.6	11.6(74)	2.0(6)	10.3(83)	1.5(34)	31.6(73)	6.3(34)
2004/5/21	6.21	6.71	1.13	1.22	6.9(61)	3.4(40)	4.0(63)	1.1(32)	19.8(51)	3.1(22)

제3장 비점오염원 관리시설 종류 및 설치 기준

1. 생태면적

가. 시설 개요

- 개발지역의 생태적 문제 해결을 위해 **자연의 순환기능**을 유지·개선하기 위한 공간 유형을 말한다.
- 「자연의 순환기능」은 자연의 순환체계(생태계)에 내재된 증발산 기능, 미세분진 흡착기능, 우수투수·저장 기능, 토양기능, 생물서식처 제공 기능 등을 의미하며,
- 이들 기능의 상호작용으로 토양이 함유한 수분의 증발산 기능과 우수의 투수 및 저장능력으로 일정지역의 기후를 조절하며, 건전한 생태환경을 제공하여 동·식물의 서식처를 제공함과 동시에 유해물질의 여과, 완충, 변환 등을 통해 에너지 및 물질 순환을 가능하도록 하는 총체적 기능을 말한다.

나. 공간유형별 구조 및 설치 기준

1) 자연지반녹지

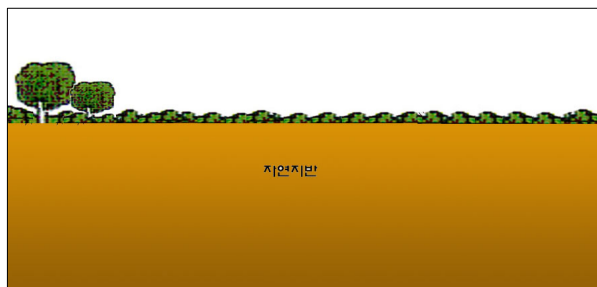
- 자연지반 위에 조성된 녹지로 동식물이 자생할 수 있는 자연 토양으로 구성되어야하며, 표층은 반드시 식생으로 피복되어 있어야 한다. 이때, 녹지의 용적과 질은 고려하지 아니한다.
- 신축 공간의 경우 공사로 인해 자연 상태가 일시적으로 훼손되었다가, 녹지로 복원된 경우에도 자연지반녹지로 인정한다.

▶ 자연지반 정의(국토해양부 “조경기준” 제3조제8항)

“자연지반”이라 함은 인공구조물이 없는 자연 상태의 지층 그대로인 지반으로서 공기, 물, 생물 등의 자연순환이 가능한 지반을 말한다.



자연지반녹지



자연지반녹지 단면도

2) 인공지반녹지

가) 인공지반녹지(90cm 이상)

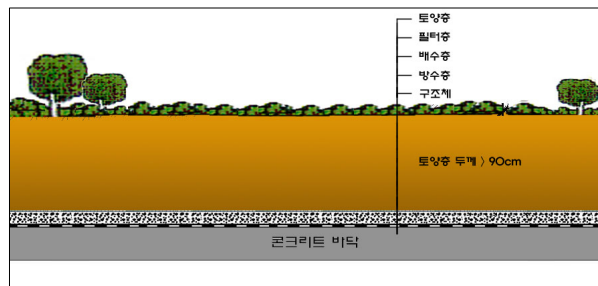
- 인위적으로 구축된 건축물이나 구조물 등 식물생육이 부적합한 불투수층의 구조물 위에 자연지반과 유사하게 토양층을 90cm 이상 형성하여 그 위에 조성한 녹지를 말한다. 단, 지상부가 아닌 옥상부에 조성된 녹지의 경우는 제외한다.
- 토양층과 함께 식재플랜에 적합한 배수층/방수층/방근층 시설 확보가 필요하며, 하부의 이용되는 지하공간의 누수 발생 가능성에 대한 합리적인 대책을 마련해야 한다.

▶ 인공지반조경 정의(국토해양부 “조경기준” 제3조제9항)

“인공지반조경”이라 함은 건축물이나 지하구조물의 상부에 설치한 조경을 말한다.



인공지반녹지(토심 ≥ 90cm)



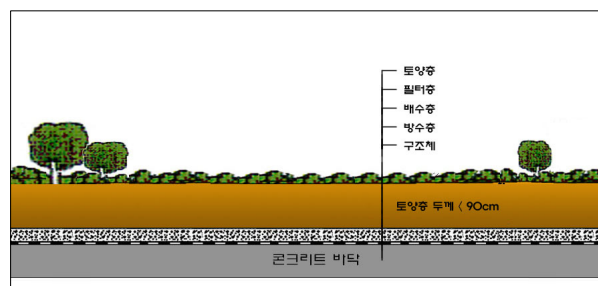
인공지반녹지(토심 ≥ 90cm) 단면도

나) 인공지반녹지(90cm 미만)

- 불투수층의 구조물 위에 조성된 지상부 녹지로 토양층 두께가 90cm 미만인 경우를 말한다.
- 90cm 이상 인공지반녹지에 준하는 구성요소로 조성되어야 하며, 생태적 기능 저하를 방지하기 위해 가능하면 분절되지 않고 서로 연계될 수 있도록 조성한다.



인공지반녹지(토심 < 90cm)

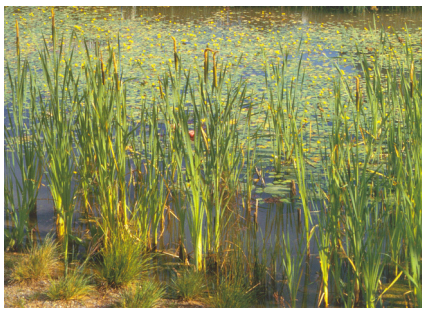


인공지반녹지(토심 < 90cm) 단면도

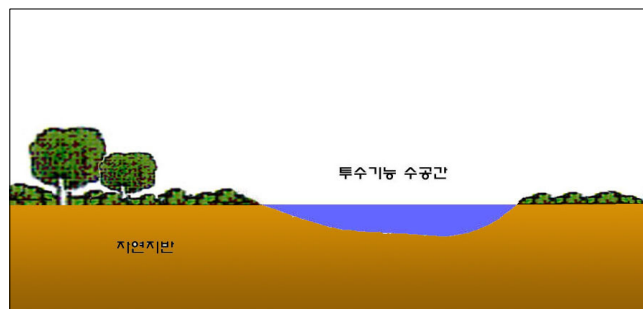
3) 수공간

가) 투수성 수공간

- 자연지반 상부에 존재하거나 시설된 수공간으로 바닥에 인위적인 차수시설을 하지 않아 사면과 저면부의 투수기능이 그대로 살아 있는 공간을 말한다.
- 사면과 바닥으로 물이 투수되어 지하수를 생성할 수 있는 조건이 형성되어야 하며, 수공간 주위에 식물과 동물이 자생할 수 있는 여건을 갖추고 있어야 한다.
- 자연호수, 연못, 하천, 습지 등이 이에 속하며, 인공지반 위에 조성될 경우에 그 면적의 50%를 인정한다.



수공간(투수기능)



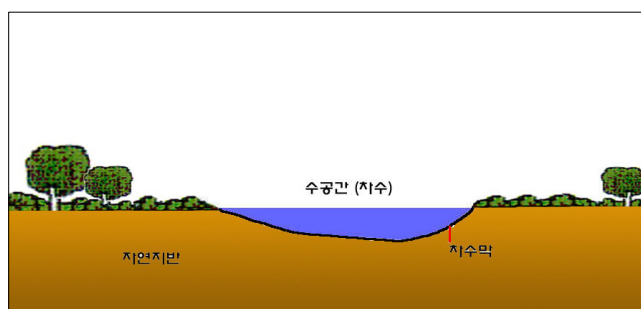
투수기능 수공간 단면도

나) 차수성 수공간

- 상시 수면을 유지하기 위해 바닥에 차수시설을 한 수공간을 말한다.
- 지하수 생성 기능을 못하는 차수 처리된 인공호수, 연못, 실개천, 인공습지 등이 이에 속하며, 인공지반 위에 조성될 경우에 그 면적의 50%를 인정한다.



수공간(차수)



수공간(차수) 단면도

4) 옥상녹화

가) 옥상녹화(20cm 이상)

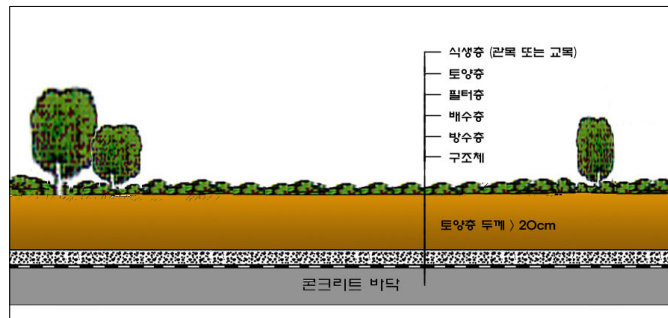
- 건물 옥상이나 지붕 위에 조성한 녹화 공간으로 순수 육성토양층의 두께가 20cm 이상인 관리중량형 또는 혼합형 옥상녹화시스템 설치공간을 말한다.
- 사람의 이용이 전제된 옥상녹화 공간의 경우 보행로, 포장공간 등은 제외한 순수 녹화공간만을 대상면적으로 산정한다.
- 옥상녹화시스템은 반드시 식생층/토양층/배수층/방근층/방수층 등 구성요소를 갖추어야 하며, 지속적 관리를 위해 관수, 시비 및 시설물 관리가 전제되어야 한다.

▶ 옥상조경 정의(국토해양부 “조경기준” 제3조제10항)

“옥상조경”이라 함은 인공지반조경 중 지표면에서 높이가 2미터 이상인 곳에 설치한 조경을 말한다. 다만, 발코니에 설치하는 화훼시설은 제외한다.



옥상녹화 $\geq$ 20cm



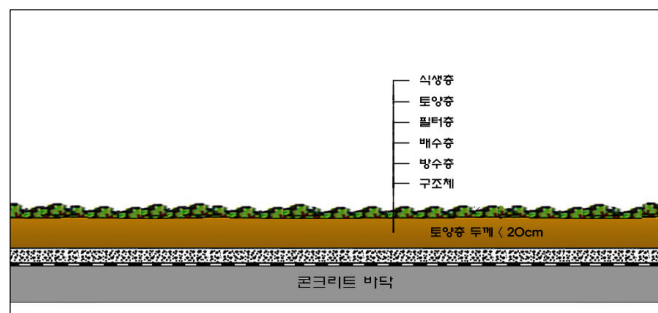
관리중량형 옥상녹화 시스템 단면도

나) 옥상녹화(20cm 미만)

- 옥상녹화공간 중 순수 토양층 두께가 20cm 미만인 저관리 경량형 옥상녹화시스템이 적용된 공간을 말한다.
- 적용 가능한 식생의 종류는 대부분 자생초화류, 세덤류 등의 뿌리가 깊지 않고, 높게 성장하지 않는 식생으로 한정된다.



옥상녹화 < 20cm



저관리 경량형 옥상녹화 단면도

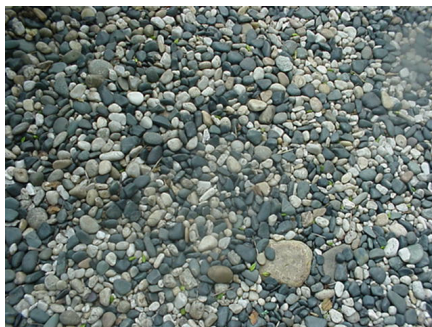
5) 포장

가) 전면투수포장

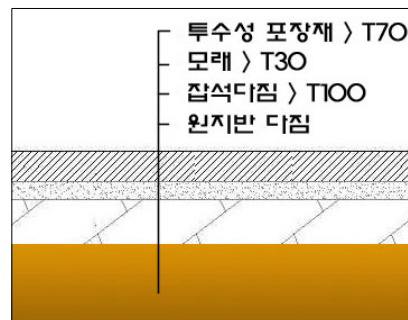
- 마사토, 모래, 자갈 등 자연골재를 물다짐하여 조성한 자연골재 투수포장이나 투수소재를 이용해 포장면 전체를 투수가 가능하게 조성한 공간을 말한다(마사토 포장면, 모래사장, 쇄석포장면, 투수 아스콘, 투수 콘크리트 등을 전면 시공).
- 포장면의 용도에 따라 전면포장의 두께는 보도는 60mm, 자전거 도로는 70mm, 주차장 또는 광장은 100mm이상으로 시공되어야 하며, 포설은 전압을 고려하여 설계두께의 30%를 더한 두께로 고르게 하여야 한다. 투수성능에 있어 초기 포장면의 80%이하로 저하되지 않도록 유지보수 및 관리가 되어야 한다.

▶ 투수성 포장구조 정의(국토해양부 “조경기준” 제3조제11항)

“투수성 포장구조”라 함은 투수성 콘크리트 등의 투수성 포장재료를 사용하거나 조립식 포장방식 등을 사용하여 포장면 상단에서 지하의 지반으로 물이 침투될 수 있도록 한 포장구조를 말한다.



전면투수포장



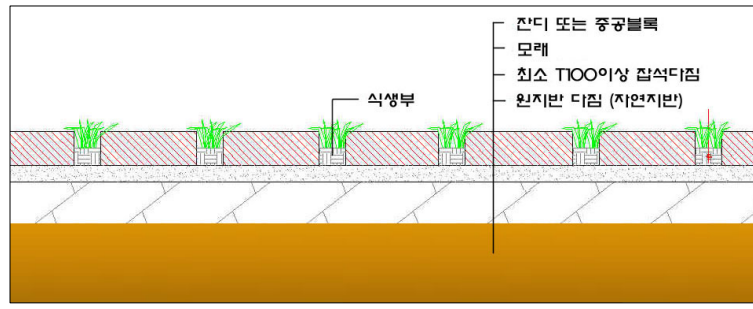
전면투수포장 단면도

나) 부분포장

- 자연지반녹지 위에 보행공간의 확보를 위해 식물의 생장이 가능하도록 부분적인 포장을 한 유형을 말한다. 자연지반위에 식물의 생장이 가능한 포장공법을 적용한 유형도 포함한다(식생블럭, 중공블럭, 잔디블록 등).
- 자연지반녹지 위에 바닥재를 사용하여 부분 포장을 하는 경우 순포장면적이 전체 포장면적의 50%를 넘지 말아야 한다. 식물의 생장이 가능한 포장공법을 적용한 경우에도 전면적으로 식생이 피복되거나 순포장면적이 50%를 넘지 말아야 한다.



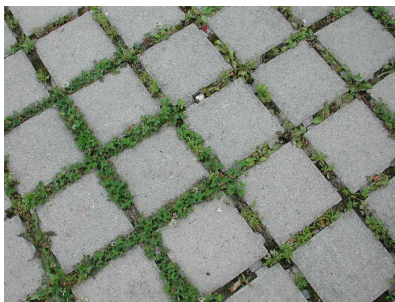
부분포장



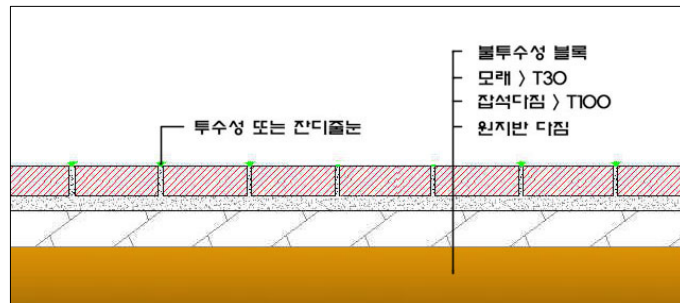
부분포장 단면도

다) 틈새투수포장

- 포장재의 틈새로 투수가 가능하게 포장한 경우를 말한다.
- 틈새를 조성하기 위해 이형블록을 사용하거나 보조재를 사용하는 경우가 해당하며, 시공과정에서 투수골재를 충전하여 틈새를 시공한 경우도 해당한다(틈새로 투수기능을 가지는 이형블록, 세골재로 틈새를 시공한 사교석 포장 등).
- 포장재 사이의 틈새는 10mm 이상으로 하고, 투수기능이 우수한 세골재로 충전한다.



틈새투수포장



틈새투수 포장 단면도

다. 생태면적 산정방법

- 생태면적은 각 공간유형별 해당면적에 대하여 가중치를 적용하여 계산한다.

$$\text{생태면적(자연순환 기능 면적)} = \text{공간유형별 면적} \times \text{가중치}$$

- 공간유형별 가중치는 <표 3.1>과 같다.

<표 3.1> 생태면적률 공간유형 구분 및 가중치

공간유형			가중치	설 명	사 례
1		자연지반녹지	1.0	- 자연지반이 손상되지 않은 녹지 - 식물상과 동물상의 발생 잠재력 내재 온전한 토양 및 지하수 함양 기능	- 자연지반에 자생한 녹지 - 자연지반과 연속성을 가지는 절성토 지반에 조성된 녹지
2		인공지반녹지 ≥ 90cm	0.7	- 토심이 90cm 이상인 인공지반 상부 녹지	- 지하주차장 상부 녹지, - 지하구조물 상부 녹지
3		인공지반녹지 < 90cm	0.5	- 토심이 90cm 미만인 인공지반 상부 녹지	- 지하주차장 상부 녹지, - 지하구조물 상부 녹지
4		수공간 (투수성)	1.0	- 자연지반과 연속성을 가지며 지하수 함양 기능을 가지는 수공간	- 하천, 연못, 호수 등 자연상태의 수공간 - 지하수 함양 기능을 가지는 인공연못
5		수공간 (차수성)	0.7	- 지하수 함양 기능이 없는 수공간	- 자연지반 위 차수 처리된 수공간 - 인공지반 위 차수 처리된 수공간
6		옥상녹화 ≥ 20cm	0.6	- 토심이 20cm 이상인 녹화옥상시스템이 적용된 공간	- 혼합형 녹화옥상시스템 - 중량형 녹화옥상시스템
7		옥상녹화 < 20cm	0.5	- 토심이 20cm 미만인 녹화옥상시스템이 적용된 공간	- 저관리 경량형 녹화옥상시스템
8		전면 투수포장	0.3	- 공기와 물이 투과되는 전면투수 포장면, 식물생장 불가능	- 자연지반위에 시공된 마사토, 자갈, 모래포장 등
9		부분포장	0.5	- 자연지반과 연속성을 가지며 공기와 물이 투과되는 포장면, 50% 이상 식재면적	- 잔디블록, 식생블록 등 - 녹지 위에 목판 또는 판석으로 표면 일부만 포장한 경우
10		틈새 투수포장	0.2	- 포장재의 틈새를 통해 공기와 물이 투과되는 포장면	- 틈새를 시공한 바닥 포장 - 사교석 틈새포장 등

출처 : 생태면적률 적용지침(환경부, 2005)

2. 빗물이용시설

가. 시설 개요

- 빗물이용시설이란 빗물을 모아 생활용수, 조경용수, 농업용수 등으로 이용할 수 있도록 처리하는 시설을 말하며, 다음의 시설을 갖추어야 한다.
 - 지붕에 떨어지는 빗물을 모을 수 있는 집수시설
 - 비가 내리기 시작한 후 처음 내린 빗물을 배제할 수 있는 시설이거나 빗물에 섞여 있는 이물질 제거할 수 있는 여과장치 등 처리시설
 - 처리시설에서 처리된 빗물을 일정 기간 저장할 수 있는 빗물 저류조(저류조)
 - 처리한 빗물을 화장실 등 빗물을 사용하는 곳으로 운반할 수 있는 펌프·송수관·배수관 등 송수·배수 시설

나. 구성요소별 설치 기준

1) 빗물집수시설

- 지붕의 집수면을 한쪽 방향으로 경사를 두거나, 집수면이 여럿인 경우 높은 집수면에서 낮은 집수면으로 빗물을 자연유하시켜 저류조로의 횡인관 연장을 가능한 짧게 한다.
- 집수관의 관경은 건축물의 집수면적과 해당 지역의 최대강우강도, 수평배관의 경우 집수관 경사 등으로부터 결정한다(<표 3.2>와 <표 3.3>은 최대강우강도가 100mm/hr일 때 적용되는 예).

<표 3.2> 관경별 수직배관 최대집수면적

관 경(mm)	최대 집수면적(m ²)
50	67
65	135
70	197
100	425
125	770
150	1,250
200	2,700

출처: 우수이용시스템(일본 우수저류침투기술협회), 서울특별시(2009)에서 재인용

<표 3.3> 관경별 수직배관 최대집수면적

관경(mm)	최대집수면적(m ²)							
	배관구배							
	1/25	1/50	1/75	1/100	1/150	1/200	1/300	1/400
65	127	90	73					
70	186	131	107					
100	400	283	231	200				
125		512	418	362	296			
150		833	680	589	481	417		
200			1,470	1,270	1,040	897	732	
250				2,300	1,880	1,630	1,330	1,150
300				3,740	3,050	2,650	2,160	1,870
350					4,610	3,990	3,260	2,820
400					6,580	5,700	4,650	4,030

출처: 우수이용시스템(일본 우수저류침투기술협회), 서울특별시(2009)에서 재인용

- 호우시 빗물집수관이 만수에 가까운 상태가 되면 배관 내의 유속이 빨라지거나 집수관 내의 압력변동이 커지므로 기본적으로 집수관 경로는 압력변동 차의 영향을 받지 않는 구조로 한다.(루프 드레인에 의한 유입제어기능을 부가시킨 구조, 집수관 내부 보호를 위한 압력배출관 설치 등)

2) 초기우수배제시설

- 건축물의 초기우수는 오염도가 높은 경우가 많으므로 초기우수를 배제하는 시설을 설치한다. 초기강우는 일반적으로 유효강우량 2-3mm 정도로 본다.
- 초기우수배제시설은 우량계를 이용한 방법, 분리장치를 이용한 방법, 부자를 이용한 방법 등이 있다.

3) 처리시설

- 빗물저류조로 유입되는 토사 및 부유물질을 제거하고 저류조의 청소 주기를 길게 하기 위해 저류수의 상태, 수질 등을 고려하여 침사조, 침전조 및 여과조 등의 처리시설을 설치한다.
- 침사조는 빗물에 포함되어 있는 토사나 부유물질 등을 제거해야 하는 경우에 설치하고

자연 침전되도록 하며, 침전조는 빗물에 미세모래나 유기성 부유물질이 포함되어 있을 경우 설치한다. 침사조 및 침전조 내의 평균 유속은 0.3m/sec이하로 하며, 유효수심은 1-4m로 한다. 유입부에는 유공정류판을 두어 편류를 막으며, 바닥은 경사를 두어 침전물의 처리가 쉽게 한다. 여과지 등의 처리시설을 설치하는 경우에 발생슬러지는 해당규정에 의해 처분하도록 한다.

4) 빗물저류조

가) 저류조 규모 설정

- 빗물이용시설의 저류조는 제곱미터 단위로 표시한 집수면적에 미터 단위로 표시한 집수대상강우량을 곱한 규모 이상의 용량(m^3)을 갖도록 한다. 다만 옥상녹화 등과 같이 집수에 영향을 주는 시설은 집수면적에서 제외한다.
- 수도법 상 의무설치대상이거나 지방자치단체 조례로 설치용량이 명기된 경우 해당 법률 또는 조례 기준에 우선하여 빗물이용시설의 규모를 결정한다. 다만, 자율적으로 설치하는 경우 시설의 효율성을 높이기 위하여 강우특성과 사용수량 등의 관계를 고려하여 빗물저류조의 용량을 결정할 수 있다.

※ 수도법상 빗물이용시설 의무설치대상의 저류조 규모(『수도법』 시행규칙 제7조제3항)
: 제곱미터 단위로 표시한 지붕 면적에 0.05미터를 곱한 규모 이상의 용량

나) 저류조 설치 장소

- 빗물저류조는 원칙적으로 빗물공급에 동력이 최소로 소요되는 위치에 설치하며, 호우시 빗물유입에 의해 침수가 발생하지 않도록 설계한다.
- 빗물월류수가 자연배제될 수 있도록 하며, 건물 지하에 설치하는 경우 비상시와 만수시 월류수가 하수관거에 자연유하로 배제될 수 있도록 설치 위치를 정한다.

다) 저류조 구조

- 빗물저류조는 정해진 규격은 없으며, 다양한 재질과 형태의 저류조가 사용될 수 있다.
- 조류 발생 및 물의 증발을 방지하기 위해 햇빛을 막을 수 있어야 하며, 내부 청소에 적합한 구조로 한다.
- 보수점검이 용이하도록 저류조별로 맨홀을 설치하며, 외부로부터의 먼지, 빗물 등이 유입되지 않도록 한다.

5) 송수·배수시설

- 빗물급수배관에는 상수도에 이용하는 관재와 동등한 재질의 것을 사용한다.
- 배관류는 착공에 앞서 색상테이프로 구분하는 등 수도배관과의 오접합을 방지한다.
- 밸브류, 양수기 펌프 마개 등에는 빗물용이라는 것을 각인 등에 의해 명시하고, 본체에 대해서는 지정색의 착색도장을 실시한다.

다. 관리·운영기준

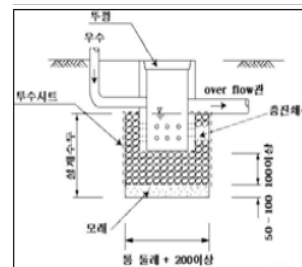
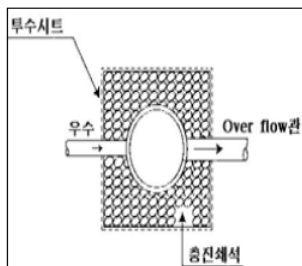
- 빗물관리시설의 기능을 유지시키기 위하여 각 저류조 및 부속기기 등의 상태를 정기적으로 점검한다.
- 저장조의 경보장치 및 자동밸브, 송수펌프류의 작동 상태를 반년을 주기로 점검한다.
- 침사조·침전조·저장조내의 오염, 침전물, 부유물 등의 상황은 월별로 점검하고 유충의 발생상황에 따라 소독한다.
- 수위계, 유량계측장치, 자동밸브, 월류관은 반년을 주기로 점검하고, 월 1회 소독장치를 점검한다.
- 쓰레기, 낙엽 등의 스크린 및 모래퇴적 상황을 점검하고, 적절히 청소 및 제거한다.
- 강우발생 후 지붕면에 퇴적된 오염물질 및 협잡물을 제거하고, 송수관내 퇴적, 오염, 누수 여부 등을 점검한다.
- 빗물집수면은 빗물이용을 위한 집수면의 표시를 하고 깨끗이 관리한다.
- 청소는 저장조를 비운 후에 실시하며, 필요시 환기 등 기타의 조치를 강구한다.
- 처리장치의 일부가 고장나거나 노화하여, 일정 기준의 수량 및 수질 확보에 우려가 있는 경우 즉시 수리 및 보수한다.
- 대규모 호우가 발생할 경우에는 빗물의 일부를 하수도 등으로 배수하는 등의 빗물저류시설로 유입되는 유량의 조절 방안을 마련하여, 많은 유량의 유입으로 시설의 기능에 지장이 발생하지 않도록 관리한다.
- 정전 또는 수리 등에 따라 빗물공급이 중단되는 경우, 그 상황을 관계자에게 즉시 통보하고 빗물을 재이용하는 시설에 지장을 주지 않도록 조치를 취한다.

3. 침투시설

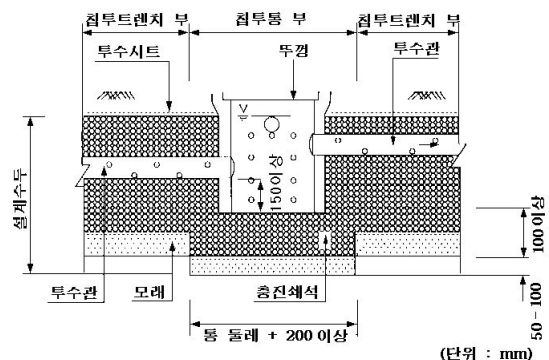
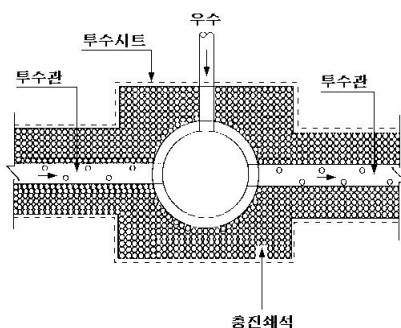
가. 침투통

1) 시설 개요

- 침투통은 투수성을 가지는 통 본체와 주변을 쇄석으로 충전하여 집수한 빗물을 측면 및 바닥에서 땅속으로 침투시키는 시설을 말한다.
- 침투통은 통본체, 충전쇄석, 모래, 투수시트, 연결관(집수관, 배수관, 투수관 등), 부대시설(막힘방지시설 등)로 구성된다.
- 침투통은 단독으로 설치하거나 침투관이나 침투측구 등과 연결하여 설치할 수 있다. 연결하여 설치하는 경우 침투통은 침투기능과 집수기능을 하며, 침투관과 침투측구의 유입부, 중간부, 유출부에 설치하면 시설로의 토사 등의 유입을 방지하는 역할을 할 수 있다.



(a) 단독으로 설치하는 경우



(b) 조합하여 설치하는 경우

출처 : 소방방재청(2008)

<그림 3.3> 침투통 기본 구조

2) 구성요소별 설치 기준

가) 침투통 본체

- 침투통 내경 또는 내부치수는 300~500mm를 표준으로 하나, 협소한 장소에서는 150mm 정도를 최소로 한다. 통 높이는 연결관의 접합 위치 및 진흙의 퇴적깊이 등을 고려하여 결정한다.
- 형상은 원형 또는 각형으로 하고 재질은 콘크리트 또는 합성수지(염화비닐, 폴리프로필렌 등)을 표준으로 한다.
- 투수구조는 유공 또는 다공(포러스)을 표준으로 한다. 유공의 구조에 있어 유공경은 충전쇄석의 입경을 고려하여 20mm 이하로 하고 개공률은 장기적인 면에서 투수 기능이 저하되지 않도록 0.5% 이상을 표준으로 한다. 다공의 경우에는 투수계수 $3 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 이상을 표준으로 한다.

나) 뚜껑 및 막힘방지장치

- 뚜껑은 지자체 마크, 사업자 마크 등 효율적인 유지관리를 위한 마크를 표시한다.
- 막힘 방지장치는 상부 필터, 저면부 필터, 관입구 필터 등이 있으며, 일정 수준 이상의 강도를 가지며 착탈이 쉬운 재료를 이용한다.

다) 침투층

- 시설 본체와 침투면 사이에 충전되는 쇄석은 침투면의 보호와 저류량 및 설계수두의 확보를 도모하기 위하여 사용된다.
 - 일반적으로 입도는 쇄석 20~40mm의 사용을 표준으로 하며, 재생쇄석(콘크리트 파쇄제 등)의 입경을 조정한 쇄석을 사용하는 것도 바람직하다.
 - 진폭은 침투통 외부에서 200mm 이상으로 하고, 충전높이는 요구되는 설계수두에 따라 결정한다. 충전량이 동일한 경우 충전형상은 각형을 표준으로 한다.
- 모래는 굴착 바닥면의 침투면이 다짐으로 인하여 침투능력이 저하되는 현상을 방지하기 위해 사용된다.
 - 모래는 강모래, 바다모래, 산모래 등을 사용하며, 모래의 두께는 50~100mm를 표준으로 한다. 지반이 사력 또는 사질토인 경우 설치하지 않는 것이 좋다.

라) 투수시트

- 투수시트는 토사가 쇄석 안으로 유입되는 것을 막음과 동시에 지면의 함몰을 막기 위해 사용된다.

- 재료는 폭 5cm 정도, 인장강도 30kg 이상, 투수계수 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{cm/s}$ 이상, 두께 0.1~0.2mm 이상의 것을 표준으로 하며, 재질은 폴리에스테르, 폴리프로필렌 등이 일반적이다.

3) 설계침투량 산정 방법

가) 기준침투량

- 기준침투량(Q_f)은 여러 가지 토양의 물성에 크게 영향을 받지 않는 단위 시설의 침투량을 의미한다. 각 시설의 기준침투량을 정확히 평가하기 위해서는 토양의 포화·불포화 특성을 고려한 이론적 해석이 필요하지만 현실적으로 어려운 경우 다음 식으로 구한다.

$$Q_f = \frac{Q_t}{K_t} \times K_f = k_0 \times K_f$$

여기서 Q_f : 단위시설당(예. 침투통 1개당 또는 침투관 1m당) 기준침투량(m^3/hr),

Q_t : 시험시설의 종기침투량(m^3/hr), K_f : 설치시설의 비침투량(m^2),

K_t : 시험시설의 비침투량(m^2), k_0 : 토양의 포화투수계수(m/hr)이다.

- 시험시설 또는 설치시설의 비침투량은 <표 3.4>를 이용하여 시설의 형상에 따라 결정한다.
- 현장침투시험에서 얻은 종기침투량(Q_t)을 시험시설의 비침투량(K_t)으로 나누어 토양의 포화투수계수($k_0 = Q_t/K_t$)를 구하고, 이에 설치시설의 비침투량(K_f)을 곱하여 기준침투량을 산정한다.
- 단, 현장 시험시공없이 구할 경우 현지의 포화투수계수(k_0)에 설치시설의 비침투량을 곱하여 산정한다.

나) 설계침투량

- 설계침투량은 각 침투통의 단위 설계침투량에 그 설치수량을 곱한 것을 합산하여 산정한다.

설계침투량(m^3/hr) = 단위 설계침투량($\text{m}^3/\text{hr}/\text{개}$) × 침투통의 개수(개)

- 침투통의 단위 설계침투량은 시설의 형상과 설계수두를 변수로 하는 간편식을 이용하여 기준침투량을 구하고, 여기에 영향계수를 곱하여 산정한다.

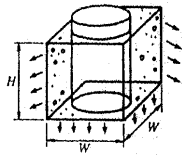
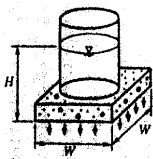
$$Q = C \times Q_f$$

여기서 Q : 침투통의 단위 설계침투량, Q_f : 침투통의 기준침투량,

C : 영향계수(일반적으로 $0.9(\text{지하수위의 영향}) \times 0.9(\text{공극 막힘에 의한 영향}) = 0.81$)

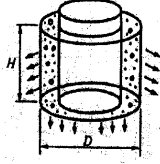
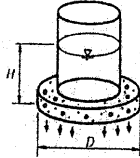
- 다른 침투시설을 조합하여 설치하는 경우 설계침투량은 각 침투시설의 설계침투량을 합산하여 산정한다.

<표 3.4> 각종 침투시설의 비침투량[K_t 및 K_f (m^2)] 산정식

시 설		정방형 침투통		
침투면		측면 및 저면		
모식도				
산정식의 적용범위	설계수두 시설규모	약 1.5m		
		폭 ≤ 1m	1m < 폭 ≤ 10m	10m < 폭 < 80m
기본식		$K = aH^2 + bH + c$ H : 설계수두(m) W : 시설폭(m)	$K = aH + b$ H : 설계수두(m) W : 시설폭(m)	
계수	a	$0.12W + 0.985$	$-0.453W^2 + 8.289W + 0.753$	$0.747W + 21.355$
	b	$7.837W + 0.82$	$1.458W^2 + 1.27W + 0.362$	$1.263W^2 + 4.295W - 7.649$
	c	$2.858W - 0.283$	-	-
시 설		정방형 침투통		
침투면		저면		
모식도				
산정식의 적용범위	설계수두 시설규모	약 1.5m		
		폭 ≤ 1m	1m < 폭 ≤ 10m	10m < 폭 < 80m
기본식		$K = aH + b$ H : 설계수두(m) W : 시설폭(m)		
계수	a	$1.676W - 0.137$	$-0.204W^2 + 3.166W - 1.936$	$1.265W - 15.670$
	b	$1.496W^2 + 0.671W - 0.015$	$1.345W^2 + 0.736W + 0.251$	$1.259W^2 + 2.336W - 8.13$
	c	-	-	-

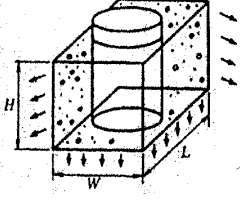
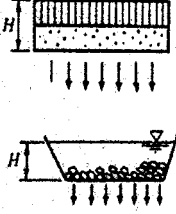
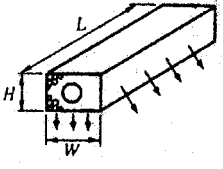
출처 : 소방방재청(2008)

<표 3.4> 각종 침투시설의 비침투량[K_t 및 K_f (m^2)] 산정식(계속)

시 설		원통 침투통	
침투면		측면 및 저면	
모식도			
산정식의 적용범위	설계수두	약 1.5m	
	시설규모	$0.2m \leq \text{직경} \leq 1m$	$1m < \text{직경} < 10m$
기본식		$K = aH^2 + bH + c$ H : 설계수두(m) D : 시설직경(m)	$K = aH + b$ H : 설계수두(m) D : 시설직경(m)
계수	a	$0.475D + 0.945$	$6.244D + 2.853$
	b	$6.07D + 1.01$	$0.93D^2 + 1.606D - 0.773$
	c	$2.570D - 0.188$	-
비 고		-	-
시 설		원통 침투통	
침투면		저면	
모식도			
산정식의 적용범위	설계수두	약 1.5m	
	시설규모	$0.3m \leq \text{직경} \leq 1m$	$1m < \text{직경} < \text{약} 10m$
기본식		$K = aH + b$ H : 설계수두(m) D : 시설직경(m)	
계수	a	$1.497D - 0.100$	$2.556D - 2.052$
	b	$1.13D^2 + 0.638D - 0.011$	$0.924D^2 + 0.993D - 0.087$
	c	-	-

출처 : 소방방재청(2008)

<표 3.4> 각종 침투시설의 비침투량[K_t 및 K_f (m^2)] 산정식(계속)

시 설		거형의 침투통	침투성(침투지)	침투측구 및 침투관
침투면		측면 및 저면	저면	측면 및 저면
모식도				
산정식의 적용범위	설계수두	약 1.5m		
	시설규모	연장 약 200m, 폭 약 4m	침투지는 저면적이 약 400 m^2 이상	폭 약 1.5m
기본식		$K = aH + b$ H : 설계수두(m) L : 시설연장(m) W : 시설폭(m)	$K = aH + b$ H : 설계수두(m)	$K = aH + b$ H : 설계수두(m) W : 시설폭(m)
계수	a	$3.297L + (1.971W + 4.663)$	0.014	3.093
	b	$(1.401W + 0.684)L + (1.214W - 0.834)$	1.287	$1.34W + 0.677$
	c	-	-	-
비 고		쇄석공극저류침투시설에 적용가능	비침투량: 단위면적당 값 저면적이 넓은 쇄석공극 저류침투시설에 적용가능	비침투량: 단위길이당 값

출처: 소방방재청(2008)

4) 관리·운영기준

- 환경부에서 제시한 ‘비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)’에 제시된 기준은 다음과 같으며 침투통도 이에 준하여 관리·운영한다.
 - 설치한 저감시설의 보존상태와 주변부의 여건, 상황 등을 파악하여 시설물의 기능을 유지하기 어렵거나 어렵게 될 우려가 있는 부분은 보수하여야 한다.
 - 저감시설의 기능이 정상적으로 유지될 수 있도록 침전부 및 여과 시설의 슬러지 및 협잡물을 제거하여야 한다.
 - 유입 및 유출 수로의 협잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.
 - 준설한 슬러지는 「폐기물 관리법」에 따른 기준에 맞도록 처리한 후 최종 처분하여야 한다.
 - 정기적으로 시설을 점검하되, 장마 등 큰 유출이 있는 경우에는 시설을 전반적으로 점검하여야 한다.

- 주기적으로 수질오염물질의 유입량, 유출량 및 제거율을 조사하여야 한다.
- 시설의 유지관리계획을 적절히 수립하여 주기적으로 점검하여야 한다.
- 사업자는 제75조 제1항에 따라 비점오염저감시설을 설치한 경우에는 지체없이 그 설치내용, 운영내용 및 유지관리계획 등을 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 서면으로 알려야 한다.
- 환경부에서 제시한 침투시설의 관리·운영기준(환경부, 2008)은 다음과 같으며 침투통도 이에 준하여 관리·운영한다.
 - 토양의 공극이 막히지 아니하도록 시설 내의 침전물을 주기적으로 제거하여야 한다.
 - 침투시설은 침투단면의 투수계수 또는 투수용량 등을 주기적으로 조사하고 막힘 현상이 발생하지 아니하도록 조치하여야 한다.
- 정기점검 외에도 우기, 홍수경보가 발령되거나 시설주변의 토공사 등이 종료된 후 등의 시기에 점검한다.
- 안전 확보를 위하여 외견상 덮개의 엇갈림, 시설의 파손·변형상황, 지표면의 침하, 함몰상황 등을 점검한다.
- 기능의 양부를 확인하기 위하여 침투통 내부의 토사, 쓰레기, 낙엽 등의 퇴적상황, 쓰레기제거 필터의 폐색 상황, 침수상황, 주변의 상황 등을 점검한다.
- 인력청소를 하거나 흡인세정차 등을 이용하여 청소하고, 내부에 퇴적된 토사 등이 묻쳐져 토사 등을 제거하기 힘든 경우에는 고압세정기로 흡인하는 방법도 고려한다. 단, 고압세정기와 병용하는 경우 분사압에 의하여 침투능력이 저감될 수 있으므로 주의가 필요하다.
- 기능이 저하된 경우 아래의 방법으로 기능회복을 도모한다.
 - 쇄석의 표면을 흡입 세정한다.
 - 쇄석부분을 파낼 때는 세정한다.
 - 쇄석의 주위를 파서 드러낼 때 쇄석의 충전범위를 확대한다.

5) 저감효율

- '시가지의 비점부하에 관한 안내서(일본하수도신기술추진기구, 2007)'의 권말자료 C-6. 우수침투시설에 의한 비점오염부하 삭감효과 등의 지견에는 침투통에 의한 오염부하 저감효과를 조사하기 위하여 두 도시에 침투통을 설치하고 COD, T-N, TP, SS, 증발잔류물질 등을 분석한 사례가 소개되어 있다.
- 이를 참조하여 결정한 침투통의 저감효율은 <표 3.5>와 같으며, 여기서 제시한 BOD 저감효율은 COD 저감효율을 대체한 값이다.

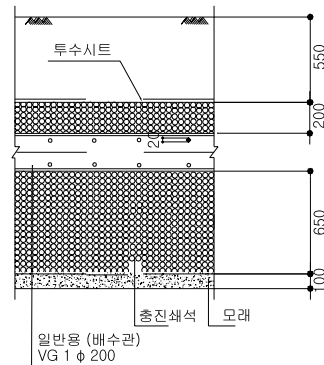
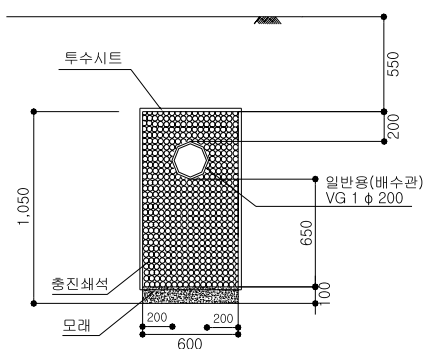
<표 3.5> 침투통의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
53	72	46

나. 침투관

1) 시설 개요

- 침투관은 길게 굴착한 도랑에 쇠석을 충전하고 그 중심에 침투통과 연결되는 유공관을 설치하여 빗물을 통하게 하며, 쇠석의 측면 및 바닥을 통하여 땅속으로 침투시키는 시설을 말한다.
- 침투관은 투수관, 충전쇄석, 모래, 투수시트, 관입구 필터 등으로 구성된다.
- 침투관은 유입 토사 등의 청소가 어려우므로 전후에 침투통을 조합 설치하여 토사 등의 유입을 방지할 수 있다.



출처 : 소방방재청(2008)

<그림 3.4> 침투관 기본 구조

2) 구성요소별 설치 기준

가) 투수관 본체

- 형상은 원형 또는 계란형이 많으며, 재질은 콘크리트 또는 염화비닐을 표준으로 한다.
- 투수구조는 유공관 또는 다공관을 표준으로 한다. 유공관 및 다공관 규격은 침투통과 동일하다.

나) 침투층 및 투수시트

- 침투층(충전쇄석과 모래), 투수시트에 대한 일반적 사항은 침투통에서의 내용과 같다.
- 충전쇄석의 폭은 600mm 정도를 표준으로 하며, 부지가 좁은 경우 등에는 300mm 정도를 최소 치수로 한다. 충전높이는 설계수두에 의해 결정하되 500~1,000mm를 표준으로 한다.

다) 관입구 필터

- 관입구 필터는 투수관으로 쓰레기 등이 유입되는 것을 방지하기 위해 사용되며, 필터의 mesh(1인치 간격 내에 있는 망의 수)는 4~5개를 표준으로 한다.

3) 설계침투량 산정 방법

가) 기준침투량

- 기준침투량(Q_f) 산정 방법은 침투통에서의 내용과 같으며, 침투관의 비침투량은 <표 3.4>에 따라 산정할 수 있다.

나) 설계침투량

- 침투관의 설계침투량은 단위 설계침투량에 그 설치길이를 곱한 것을 합산하여 산정한다.

$$\text{설계침투량(m}^3/\text{hr)} = \text{단위 설계침투량(m}^3/\text{hr/m)} \times \text{침투관의 길이(m)}$$

- 단위 설계침투량 산정 방법은 침투통의 내용과 동일하나, 침투관의 단위 설계침투량(Q)은 단위길이당 단위시간당 침투량($\text{m}^3/\text{hr/m}$)이다.
- 다른 침투시설을 조합하여 설치하는 경우 설계침투량은 각 침투시설의 설계침투량을 합산하여 산정한다.

4) 관리·운영기준

- 침투관은 침투통의 관리·운영기준에 준하여 관리·운영한다.
- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준 및 침투시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 단, 침투관의 청소는 접속부의 통이나 관구필터의 청소시 중점적으로 행하고, 관구 필터는 인력으로, 투수관은 고압세정기 등을 이용하여 청소한다.

5) 저감효율

- 침투관의 저감효율은 침투통의 저감효율에 준하여 결정하며, 이는 <표 3.6>과 같다.

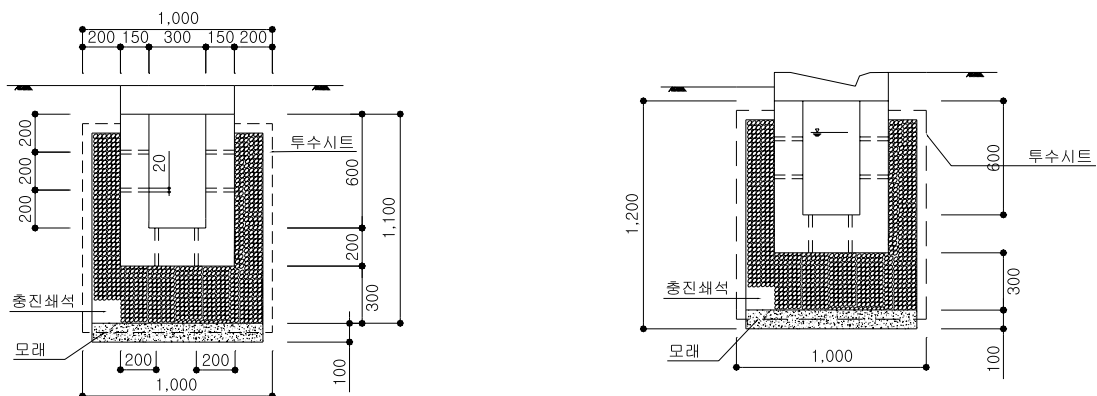
<표 3.6> 침투관의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
53	72	46

다. 침투측구

1) 시설 개요

- 침투측구는 측구 주변을 쇠석으로 충전하고 빗물을 측면 및 바닥을 통하여 땅 속으로 침투시키는 구조를 말한다.
- 침투측구는 측구, 충전쇄석, 모래, 투수시트로 구성된다.



출처 : 소방방재청(2008)

<그림 3.5> 침투측구 기본 구조

2) 구성요소별 설치 기준

가) 침투측구 본체

- 형상은 일반측구(U자측구 등)과 비슷하며, 재질은 콘크리트를 표준으로 한다.

- 내부 폭은 통수능력과 청소 등의 유지관리를 고려하여 140~450mm를 표준으로 한다.
- 투수구조는 측면이나 저면부를 유공 또는 다공성으로 한다. 유공의 경우 유공경은 20mm 이하로 하고 개공률은 0.5% 이상을 표준으로 한다. 다공성인 경우 투수계수는 $3 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 이상으로 한다.

나) 침투층 및 투수시트

- 침투층(충전쇄석과 모래), 투수시트에 대한 일반적 사항은 침투통에서의 내용과 같다.
- 단, 충전쇄석의 폭은 측구 바깥 폭보다 200mm 이상 크게 하고, 저면부의 두께는 100mm 이상을 표준으로 한다.

3) 설계침투량 산정 방법

- 침투측구의 설계침투량 산정방법은 침투관의 내용과 동일하다.

4) 관리·운영기준

- 침투측구는 침투통의 관리·운영기준에 준하여 관리·운영한다.
- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준 및 침투시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 산간부에서는 낙엽이나 토사붕괴, 평지에서는 오물이나 토사의 퇴적에 주의한다.
- 콘크리트 측구벽은 노면하중 등으로 쓰러질 가능성이 있으므로 필요하다면 보강한다.
- 측구의 뚜껑이나 연석의 파손 등은 교통사고의 원인이 되기도 하므로 그러한 경우 조속히 교체하거나 보수해야 한다.
- 누수는 노상에 공동 등을 발생시켜 함몰사고의 원인이 되기도 하므로 연결관이나 배수관이 하중이나 지반침하에 의해 파손되지 않도록 주의한다.
- 배수능력이 부족할 경우에는 증개축을 고려할 필요가 있다.

5) 저감효율

- 침투측구의 저감효율은 침투통의 저감효율에 준하여 결정하며, 이는 <표 3.7>과 같다.

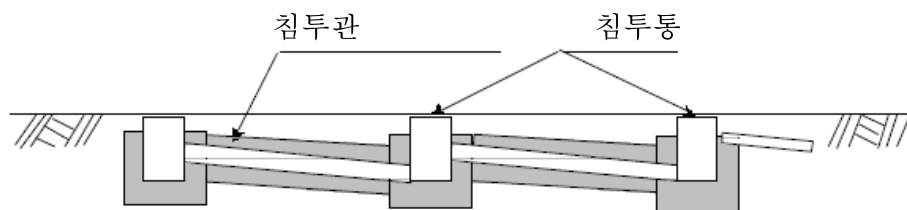
<표 3.7> 침투측구의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
53	72	46



(a) 침투통 및 침투관 조합 설치 모식도: 건물옥상 (b) 침투측구 설치 모식도: 주차장

<그림 3.6> 침투통, 침투관, 침투측구 설치모식도(소방방재청, 2009)



<그림 3.7> 침투관, 침투측구 설치모식도(일본도쿄부하수도국, 2002)

<표 3.8> 침투통, 침투관, 침투측구의 적용 예(소방방재청, 2008)

설치장소의 이용	집 수 대 상	침 투 통	침 투 관	침투측구
단독주택	지 붕	○	○	
	건물주택(정원, 주차장)	○	○	○
주택단지, 사무소, 학교 등	지 붕	○	○	○
	건물주변 (식재지, 주차장, 자전거 주차장, 도로)	○	○	○
공원 등	식재지(녹지), 도로, 주차장, 운동장	○	○	○
도 로	보·차도 구별이 있는 도로의 차도	○		○
	보·차도 구별이 있는 도로의 보도	○	○	○
	보·차도 구별이 없는 도로	○		○

라. 투수성 포장(Porous Pavement)

1) 시설 개요

- 투수성 포장은 직접 포장체를 통해 빗물을 하부 지층으로 침투시키는 기능을 가지며, 투수성 포장체 하부는 여과층, 침투수의 일시 저류 기능을 하는 자갈층과 섬유여과층(필요시) 및 적정 침투율을 갖는 토양층으로 구성된다.
- 투수성 포장재는 일반 포장재료에서 잔골재를 대부분 제거하여 포장재가 충분한 공극을 함유하도록 한 것으로 투수성 콘크리트, 투수성 아스팔트가 있다.
- 그 밖에 모래, 자갈과 같은 투수성 재료로 만들어진 블록을 이용하거나, 잔디나 자갈에 강화 구조체를 설치하여 빗물을 지하토층으로 침투시키는 경우도 투수 포장으로 인정한다.



<그림 3.8> 투수성 콘크리트 설치 예



Pervious Asphalt installation near SE 162nd & Foster

<그림 3.9> 투수성 아스팔트 설치 예



(a) 투수블럭포장



(b) 잔디강화포장

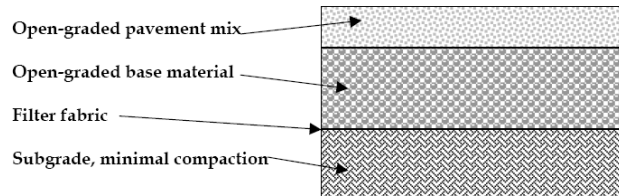


(c) 자갈강화포장

<그림 3.10> 기타 투수포장 설치 예

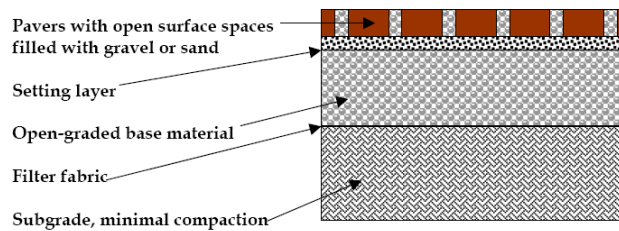
2) 설치 기준

Pervious (Open Graded) Concrete and Asphalt Mixes



(출처: City of Portland, 2004)

<그림 3.11> 투수성 콘크리트 및 아스팔트 기본 구조



(출처: City of Portland, 2004)

<그림 3.12> 투수성 블럭 기본 구조

- 노상이 동결된 경우에는 포장하지 않는다.
- 하부 토양의 침투율은 시간당 13mm 이상이어야 하며, 지하수 오염 방지를 위해 최고 지하수위 또는 기반암으로부터 수직으로 최소 1.2m 이상 거리를 두어야 한다.
- 투수성 포장은 투수층 포장체, 자갈층, 토양층으로 구성된다. 필요시 자갈층 상하층에 모래층이나 필터섬유를 설치한다.

- 자갈층은 지름 2.5~6cm 정도 크기의 쇄석으로 구성하며, 자갈층 두께는 강우처리용량과 공극에 따라 결정한다. 포장면적 이외의 불투수면적으로부터 발생하는 강우유출수를 유입 침투시킬 목적으로 투수성 포장을 설치하는 경우 자갈층의 두께는 최소 30cm 이상이 되도록 한다.
- 일반적으로 48시간 이내 배수되도록 설계한다.

3) 설계용량 산정 방법

- 투수성 포장의 설계용량은 수질처리용량을 일시 저류 및 침투시키기 위해 필요한 용량이다.
- 하부토양의 침투속도, 투수성 포장체와 자갈층의 공극 및 두께 등을 고려하여 수질 처리용량을 처리할 수 있는 투수성 포장 면적을 산정하고, 배수시간이 적절한지를 확인한다.

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQv = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQv = 수질처리용량(m³), A = 유역면적(m²), P = 설계강우량(mm),
R_v = 체적유출계수(=0.05+0.009×I, I=불투수율(%))

② 투수성포장의 면적(A_p) 산정

$$A_p = \frac{WQv}{\rho_p d_p + \rho_g d_g + 10^{-3} K t}$$

여기서 A_p = 투수성포장의 면적(m²), WQv = 수질처리용량(m³),
ρ_p = 포장층의 공극율(투수성 콘크리트의 경우 0.18),
d_p = 포장층의 두께(최소 0.075m 이상),
ρ_g = 충전물의 공극율(자갈의 경우 0.32 적용),
d_g = 충전물의 두께(m, 최소 0.6-1.2m),
K = 하부토양의 종기침투속도(mm/hr),
t = 충전시간(hr, 일반적으로 2시간으로 가정)

③ 배수시간(T_{drain})의 확인

$$T_{drain} = \frac{d_g + d_p}{10^{-3} K} < 48 \text{시간}$$

여기서 T_{drain} = 배수시간(hr), K = 하부토양의 종기침투속도(mm/hr),
d_p = 포장층의 두께(m), d_g = 충전물의 두께(m)

4) 관리·운영기준

- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준 및 침투시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 포장함몰, 침하, 막힘 상황, 토사의 퇴적 등의 발생여부를 점검한다.
- 장기간 사용하여 포장의 표층내 공극이 폐색된 경우, 전용고압세정기를 사용하거나 압축공기를 불어넣는 등의 방법으로 공극내에 있는 토립자 등을 제거한다.
- 투수성 포장의 표면에 낙엽, 쓰레기, 협잡물 및 불투수성 물질이 쌓이지 않도록 정기적으로 청소한다.
- 투수성 포장에 잔디가 사용된 경우 급수, 비료주기, 잔디깎기 등의 관리가 필요하지만, 비료, 살충제, 기타 화학약품 등의 사용은 가능한 제한한다.

5) 저감효율

- 투수성 포장의 저감효율은 '수계오염총량관리 기술지침'에 제시된 유공성포장 저감효율 기준에 따른다.

<표 3.9> 투수성 포장의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
60~90 (75)	83	65

마. 침투화분(Infiltration Planter)

1) 시설 개요

- 침투화분은 식물이 식재된 토양층과 그 하부를 자갈로 충전하여 채운 구조의 시설로, 강우유출수를 식재토양층과 지하로 침투시키는 시설이다.
- 침투화분은 집수된 강우유출수를 우수배수시스템으로 배수시키는 통로화분보다 작은 배관시설을 필요로 하며, 침투 가능한 토착 토양에 설치하는 식생수로보다 작은 규모의 시설이다.

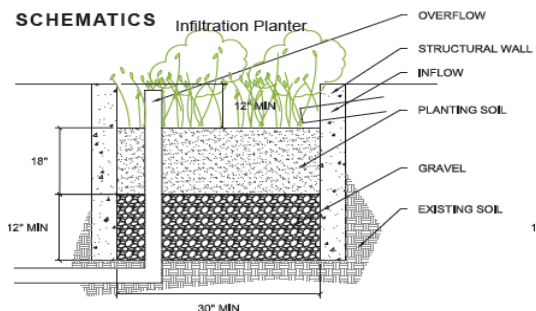
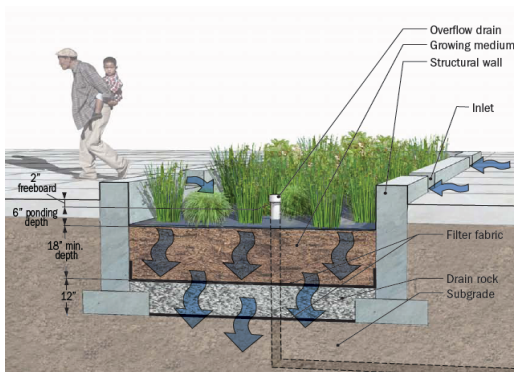
- 현장여건에 따라 침투화분을 에워싼 벽이 있는/없는 시설, 좁은 저류지 같은 시설 등 그 형태와 구성은 다양하다.



<그림 3.13> 침투화분 설치 예

2) 설치 기준

- 침투화분의 형상은 원형, 각형 등 현장에 따라 적정하게 설계할 수 있으나, 단락류 (short circuiting)를 방지하고 충분한 처리시간을 확보하기 위하여 침투화분의 폭은 최소 75 cm이상으로 설치한다.
- 담수심(식재토양상부 경계부터 월류관 유입부까지)은 최대 15cm, 식재토양상부 경계부터 화분 최상단까지는 최소 30cm, 식재토양의 두께는 최소 45cm, 식재토양 하부의 자갈층은 최소 30cm 기준으로 조성한다.
- 침투화분의 바닥경사는 가능한 수평으로 설치하고, 모든 방향에서 0.5% 이상의 경사를 가지지 않도록 한다.
- 하부 토양의 침투율은 시간당 최소 13mm 이상이어야 하며, 최고 지하수위 또는 기반암으로부터 수직으로 최소 1.2m 이상 거리를 두어야 한다.
- 일반적으로 48시간 이내 배수되도록 설계한다.



Adapted from:
Portland: Stormwater Management Manual (Adopted July 1, 1999, Revised September 1, 2004)
<http://www.portlandonline.com/bes/index.cfm?c=dfbbh> Accessed 01/29/2008

<그림 3.14> 침투화분 기본 구조

3) 설계용량 산정 방법

- 침투화분의 설계용량은 수질처리용량을 일시 저류 및 적정 시간 내에 하부 토양으로 침투·배제시키기 위해 필요한 용량이다.
- 식재토양 및 자갈층의 공극, 침투화분의 폭과 깊이, 하부토양의 침투속도를 고려하여 침투화분의 면적을 산정하고, 해당 조건에서 배수시간이 적절한지를 확인한다.

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQv = 수질처리용량(m³), A = 유역면적(m²), P = 설계강우량(mm),
Rv = 체적유출계수(=0.05+0.009×I, I=불투수율(%))

② 침투화분의 표면적(Af) 산정

$$A_f = \frac{WQ_v}{\rho_s d_s + \rho_g d_g + 10^{-3} K t}$$

여기서 Af = 침투화분의 표면적(m²), WQv = 수질처리용량(m³),

ρs = 식재토양층의 공극율,

ds = 식재토양층의 두께(m, 최소 0.45m),

ρg = 충전물의 공극율(자갈의 경우 0.32 적용),

dg = 충전물의 두께(m, 최소 0.30m),

K = 하부토양의 중기침투속도(mm/hr),

t = 충전시간(hr, 일반적으로 2시간으로 가정)

③ 배수시간(T)의 확인

$$T = \frac{d_g + d_s + h}{10^{-3} K} < 48 \text{시간}$$

여기서 T = 배수시간(hr), K = 하부토양의 중기침투속도(mm/hr),

ds = 식재토양층의 두께(m), dg = 충전물의 두께(m),

h = 평균담수심(=1/2h_{max}, m)

4) 관리·운영기준

- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준 및 침투시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 지붕이나 포장된 포면에서 유출하는 우수가 화분으로 유입될 수 있도록 쓰레기 등은 제거하고 파이프의 손상 등은 수리한다.
- 화분은 청결하게 유지하고 막힘의 원인은 발견 즉시 제거한다.
- 부패나 갈라짐과 같은 화분의 구조적 결함은 발견 즉시 수리한다.
- 토양의 침식을 방지하고 오염물질의 저감기능을 확보할 수 있도록 초목을 건강하고 뽕뽕하게 관리한다.
- 모래, 자갈, 표토를 포함하는 필터 여재는 여과 속도가 저하되면 교체한다.
- 침전물은 초목에 미치는 영향이 작은, 적절한 침식조절 대책으로 제거한다.

5) 저감효율

- 침투화분의 경우 ‘수계오염총량관리 기술지침’에 제시된 침투시설의 평균값을 적용한다.

<표 3.10> 침투화분의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
75	73	72

바. 침투도랑(Infiltration Trench)

1) 시설 개요

- 침투도랑은 강우유출수를 처리하기 위하여 1~2.5m(현장여건에 따라 0.3~3.0m) 깊이로 굴착한 도랑에 자갈이나 돌을 충전하여 조성한 일종의 지하 저수조로서 차집된 강우유출수는 도랑의 바닥을 서서히 통하여 하부토양층을 침투해서 지하 수면에 도달하게 된다.
- 침투도랑은 주거지역 또는 상업지역의 강우유출수 처리에 적합하며, 폭이 좁은 긴 도랑형태이므로 저류지를 설치할 수 없는 작은 부지나 배수구역 가장자리 및 자투리땅에

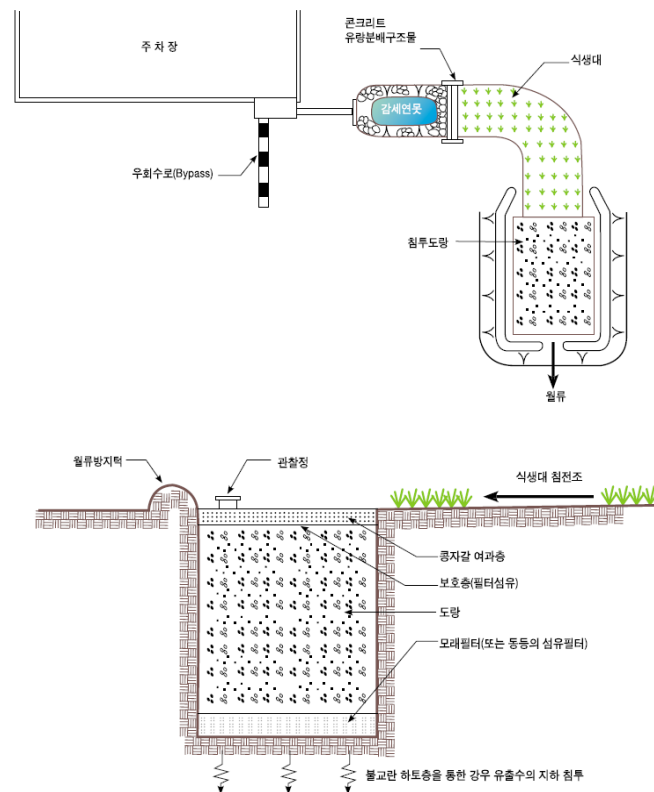
쉽게 설치할 수 있다. 침투도랑의 처리대상면적은 최대 2ha(적정면적 0.8ha)로 한다.

- 침투도랑 유입 전 식생여과대, 침강지 등을 통과시킴으로서 강우유출수 내 토사를 제거하고 토양 공극의 막힘을 저감시킬 수 있다.

2) 설치 기준



<그림 3.15> 침투도랑 설치 예



<그림 3.16> 침투도랑 기본 구조

- 하부 토양의 침투율은 시간당 13mm 이상이어야 하며, 지하수 오염 방지를 위해 최고 지하수위 또는 기반암으로부터 수직으로 최소 1.2m 이상 거리를 두어야 한다.
- 침투도랑으로 차집된 강우유출수는 강우종료 후 일반적으로 48시간 이내(최대 3일 이내) 도랑의 벽면이나 바닥을 통해 하부토층으로 침투되어야 한다.
- 도랑의 깊이는 1.0~2.5m, 폭은 7.5m 이내가 되도록 하며, 도랑의 하부에는 약 0.15m의 모래층을 설치한다.
- 침투도랑은 유입 및 유출부, 초과유량에 대한 우회시설, 관측정 등으로 구성되며, 유입부에 설치하는 침강지 용량은 강우처리용량의 25% 이상이 되도록 한다.

3) 설계용량 산정 방법

- 침투도랑의 설계용량은 수질처리용량을 일시 저류 및 적정 시간 내에 하부토양을 통해 침투·배제시키기 위해 필요한 용량이다.
- 침투도랑의 자갈충전층 깊이 및 공극율, 하부토양의 침투속도 등을 고려하여 침투도랑의 깊이를 결정하고, 해당 조건에서 수질처리용량을 일시 저류할 수 있는 도랑 규모가 되도록 도랑의 표면적을 결정한다.

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQv = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQv = 수질처리용량(m³), A = 유역면적(m²), P = 설계강우량(mm),
R_v = 체적유출계수(=0.05+0.009×I, I=불투수율(%))

② 최대 침투도랑 깊이(d_{max}) 결정

$$d_{\max} = \frac{10^{-3} \times K \times T}{\rho_g}$$

※ 침투도랑의 깊이(d)는 지하수위 및 d_{max}를 고려하여 설치기준(1.0~2.5m)에 적합하도록 결정

여기서 d_{max} = 침투도랑의 최대 깊이(m),

ρ_g = 충전물의 공극율(자갈의 경우 0.32 적용),

K = 하부토양의 중기침투속도(mm/hr),

T = 배수시간(hr, 일반적으로 48시간)

③ 침투도랑 면적(A_t) 산정

$$A_t = \frac{WQv}{\rho_g d + 10^{-3} K t}$$

여기서 A_t = 침투도랑의 표면적(m²), d = 침투도랑의 두께(m),

t = 충전시간(hr, 일반적으로 2시간으로 가정)

4) 관리·운영기준

- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준 및 침투시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 정기점검 외에도 우기, 홍수경보가 발령되거나 시설주변의 토공사 등이 종료된 후 등의 시기에 점검한다.
- 기능의 양부를 확인하기 위하여 침투도랑의 토사, 쓰레기, 낙엽 등의 퇴적상황, 쓰레기제거 필터의 폐색 상황, 침수상황, 주변의 상황 등을 점검한다.
- 특히 유입관과 방류관은 막힘이 없는지 반드시 점검해야 한다.
- 규칙적인 청소로 퇴사물질을 제거하여야 하고, 인력청소를 하거나 진공펌프 등을 이용하여 청소한다.
- 필요시 도랑 상부의 잔자갈과 필터섬유를 교체하고 교체 여재는 매립처분 한다.
- 침투도랑의 운영과 접근을 방해하는 초목은 제거하거나 가지치기를 한다.

5) 저감효율

- 침투도랑의 저감효율은 '수계오염총량관리 기술지침'에 제시된 저감효율에 따른다.

<표 3.11> 침투도랑의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
77	62	73

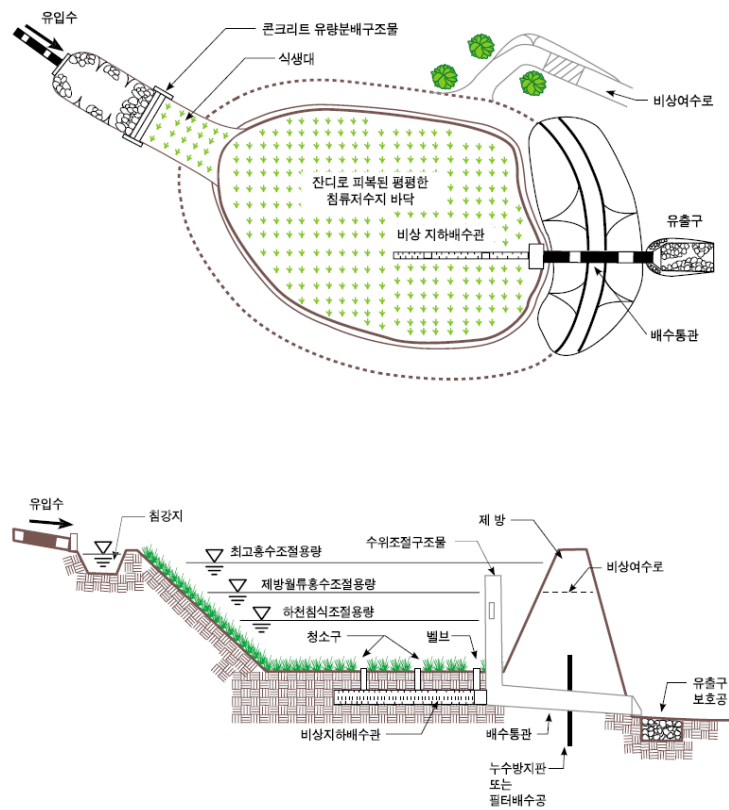
사. 침투저류지(Infiltration Basin)

1) 시설 개요

- 침투저류지는 굴착이나 독을 쌓아 형성한 저수지로 강우유출수를 얇은 수심의 저류지에 차집하여 임시 저장 및 침투를 통해 빗물의 직접유출을 저감하는 동시에 오염물질이 제거되도록 설계된 시설이다.
- 침투저류지의 처리대상면적은 최대 10ha(적정면적 4ha)로 한다.
- 침투저류지 바닥 및 측면 토양의 침투속도가 저하되지 않도록 침사지 설치 및 식생을 조밀하게 피복시켜 강우유출수 내 토사를 사전에 제거하는 것이 중요하다.



<그림 3.17> 침투저류지 설치 예



<그림 3.18> 침투저류지 기본 구조

2) 설치 기준

- 하부 토양의 침투율은 시간당 13mm 이상이어야 하며, 지하수 오염 방지를 위해 최고 지하수위 또는 기반암으로부터 수직으로 최소 1.2m 이상 거리를 두어야 한다.
- 침투저류지로 차집된 강우유출수는 강우종료 후 일반적으로 48시간 이내(최대 3일 이내) 저류지 바닥 및 측면을 통해 지하로 침투되는 것이 바람직하다.
- 침투저류지는 유입 및 유출부, 초과유량에 대한 우회시설, 관측정 등으로 구성되며, 유입부에 설치하는 침강지 용량은 강우처리용량의 25% 이상이 되도록 한다.

3) 설계용량 산정 방법

- 침투저류지의 설계용량은 수질처리용량을 일시 저류 및 적정 시간 내에 하부토양을 통해 침투·배제시키기 위해 필요한 용량이다.
- 하부토양의 침투속도와 저류지의 수심을 고려하여 수질처리용량을 적정 시간 내에 하부토양으로 침투·배제시킬 수 있는 침투저류지의 표면적을 산정한다.

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQv = 수질처리용량(m³), A = 유역면적(m²), P = 설계강우량(mm),
Rv = 체적유출계수(=0.05+0.009×I, I=불투수율(%))

② 침투저류지의 표면적(Ab) 계산

$$A_b = \frac{WQ_v}{d_{\max}} = \frac{WQ_v}{10^{-3} \times K \times T}$$

여기서 Ab = 침투저류지의 표면적(m²), K = 하부토양의 중기침투속도(mm/hr),
d_{max} = 최대저류수심(m), T = 배수시간(hr, 일반적으로 48시간)

4) 관리·운영기준

- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준 및 침투시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 정기점검 외에도 우기, 홍수경보가 발령되거나 시설주변의 토공사 등이 종료된 후 등의 시기에 점검한다.
- 기능의 양부를 확인하기 위하여 침투저류지의 토사, 쓰레기, 낙엽 등의 퇴적상황, 쓰레기제거 필터의 폐색 상황, 침수상황, 주변의 상황 등을 점검한다.
- 특히 유입관과 방류관은 막힘이 없는지 반드시 점검해야 한다.
- 규칙적인 청소로 침전물의 발생 원인을 제거하여야 하고, 필요하다면 저류지를 갈퀴로 긁거나 토양을 굴삭하거나 교체한다.
- 침투저류지에서 제방이나 경사면에 구조적 결함이 발생하면 즉시 보수하고, 경사면의 토양이 노출된 경우에는 적절한 침식 방지대책을 세워 안정화 시킨다.

- 저류지 운영과 접근을 방해하는 초목은 제거하거나 가지치기를 한다.
- 침투저류지로의 접근은 안전하고 효율적이어야 하므로 장애물은 제거하고, 출입구의 경로, 도로가 차량이나 보행자에 의해 침식이 일어나면 토양을 보충한다.

5) 저감효율

- 침투저류지의 저감효율은 '수계오염총량관리 기술지침'에 제시된 저감효율에 따르며, 이는 <표 3.12>와 같다.

<표 3.12> 침투저류지의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
73	74	79

4. 여과시설

가. 빗물정원(Rain Garden)

1) 시설 개요

- 빗물정원은 풀, 초본식물, 나무 등 다양한 식물들을 식재하여 조성한 정원으로 생태저류시설(bioretention)로 기능하며, 강우유출수를 침투 및 여과시켜 수질개선에 기여할 뿐만 아니라 심미적으로도 효과적인 시설이다.
- 빗물정원은 옥상, 차도, 가로변 등에 좁고 오목한 지역을 조성하여 깊은 뿌리의 토착 식생 등을 식재하여 조성한다.

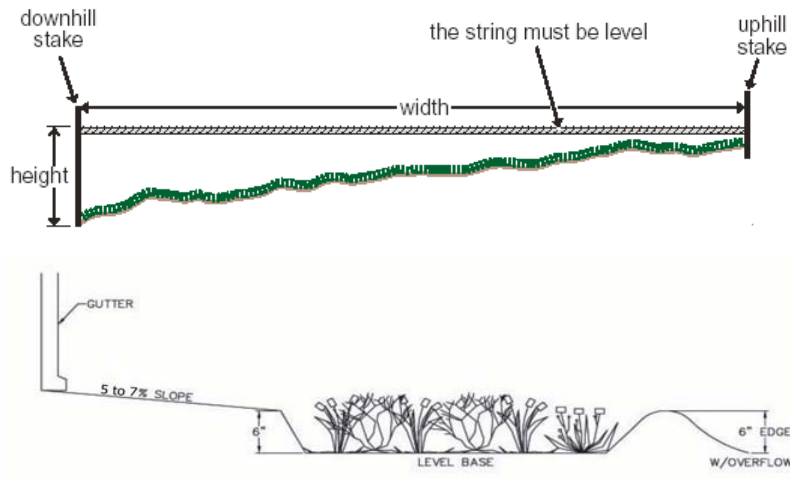


(출처: WDNR, 2003)

<그림 3.19> 빗물정원 설치 예

2) 설치 기준

- 빗물정원은 강우유출수 발생원에 가깝고 강우유출수를 집수할 수 있는 위치에 설치하며, 유출경로를 고려하여 지표면의 변경이 가능한 작도록 한다.
- 빗물정원은 주변 경관에 잘 적응하여 통합적으로 기능할 수 있도록 계획하여야 한다.
- 지하층이 있는 건축물의 경우 기초와 최소 9m 이상 떨어진 위치에 설치하고, 지하층이 없다면 최소 3m 이상 떨어진 위치에 설치한다.
- 일반적인 주택의 빗물정원은 9~28m²의 규모이다. 아주 작은 규모의 빗물정원은 식생의 다양성이 감소하며, 아주 큰 빗물정원은 많은 굴착이 필요하고 수준을 맞추기 어렵다.
- 불투수층 지역의 빗물정원은 배수면적의 약 10~20%의 규모가 권장된다.
- 일반적으로 길이에 대한 폭의 비율은 약 2:1이며, 바닥은 가능한 평평하게 한다.



(출처: WDNR, 2003)

<그림 3.20> 빗물정원의 깊이 및 수준

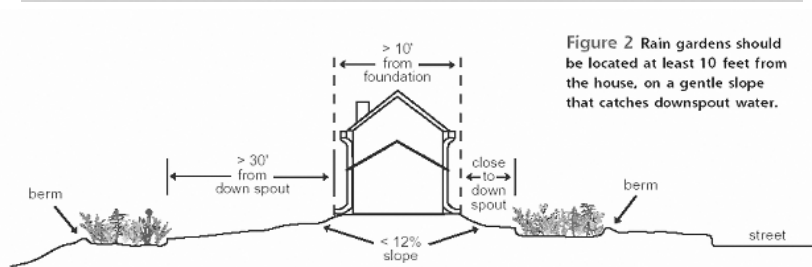
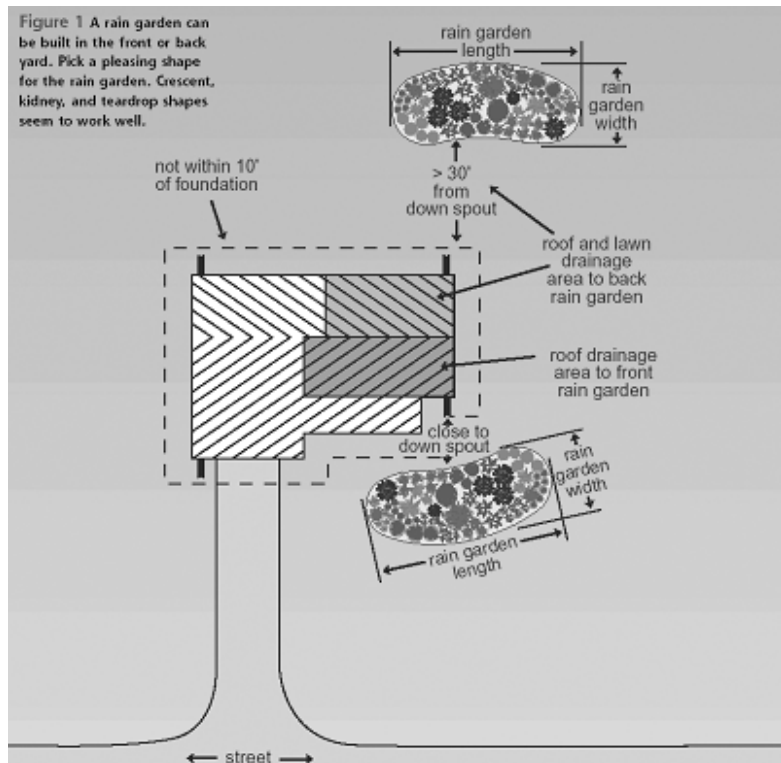


Figure 2 Rain gardens should be located at least 10 feet from the house, on a gentle slope that catches downspout water.

(출처: WDNR, 2003)

<그림 3.21> 빗물정원의 위치 및 배치

- 일반적인 빗물정원의 깊이는 10~20cm이며, 너무 깊으면 담수시간이 너무 길어지고 너무 얕으면 강우유출수의 저류량이 감소하게 된다.
- 대규모의 빗물정원을 한 곳에 설치하기보다 소규모의 빗물정원을 여러 곳에 분산시켜 설치하는 것이 더 효과적이다.
- 식생종은 주변의 습윤 조건 등에 적합한 토착종으로 선정한다.
- 초본이나 관목의 하목층을 갖는 수목의 식재를 고려한다.
- 수목군계(woody vegetation)는 강우유출수가 유입하는 경로에는 설치하지 않는다.
- 토양의 침투능을 개선 및 유지시키고, 토양침식을 방지하기 위하여 뿌리가 깊은 식생을 설치한다.

3) 설계용량 산정 방법

- 빗물정원의 설계용량은 수질처리용량을 일시 저류 및 적정 시간 내에 여과·배제시키기 위해 필요한 용량이다.
- 빗물정원의 폭과 깊이 등을 고려하여 수질처리용량을 처리할 수 있는 빗물정원의 면적을 산정하고, 배수시간이 적절한지를 확인한다(통로화분의 설계용량 산정 방법 참고).

4) 관리 · 운영기준

- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 식생의 생장에 필요한 환경이 유지되고, 토양의 침투 및 여과기능이 정상적으로 유지되도록 식생의 건강상태, 토양의 침식 및 퇴적 등을 정기적으로 점검한다.
- 정기점검 외에도 우기, 홍수경보가 발령되거나 시설주변의 토공사 등이 종료된 후 등의 시기에 점검한다.
- 토양의 침식 및 퇴적을 조절하기 위한 구체적인 계획을 수립하여야 한다(시설의 건설기간에 특히 주의한다).
- 토양의 침투 및 여과 기능에 영향을 줄 우려가 있으므로 토사의 농도가 높은 강우유출수의 유입은 배제시킨다.
- 토양을 압착하거나 다짐이 발생할 경우 침투 및 여과기능에 영향을 줄 우려가 있으므로 중장비등의 통행을 제한해야 하고, 유지관리를 위해 장비를 사용할 경우에도 제한적으로 적용하는 것이 바람직하다.

- 건기동안 또는 식생유지에 필요한 경우 물을 공급해주어야 한다.
- 규칙적으로 잔디깎기 등을 실시할 필요는 없다.
- 해충이나 설치류 등의 피해를 방지하기 위한 방안을 마련한다(단, 살충제의 사용은 억제한다).
- 식생의 안정화 기간에는 강우유출수를 우회시키고, 식생이 잘 정착하도록 가지치기 및 제초작업을 실시한다(가능한 손제초를 하고 제초제의 사용은 최소화한다.).
- 파편, 쓰레기 및 협잡물 등을 제거한다.
- 다년생 식물은 성장기가 끝난 후 가지치기를 한다.
- 멀칭은 일 년에 한 번 정도 보충하고, 토양 침식 등이 확인되면 즉시 교체한다.
- 식재된 토양이 오염된 경우 오염된 토양을 교체한다.
- 병들거나 죽은 나무나 관목을 제거하고 새로 식재한다.

4) 저감효율

- 빗물정원의 저감효율은 ‘National Pollutant Removal Performance Database for Stormwater Treatment Practices(U.S. EPA, 2000)’에서 제시한 바이오리텐션(bioretenction)의 저감효율에 따르며, 이는 <표 3.13>과 같다. 여기서, BOD 저감효율로 제시된 값은 바이오리텐션을 포함한 전체 여과형시설을 포함한 BOD, COD, TOC를 포함한 유기탄소(organic carbon)의 저감효율이다.

<표 3.13> 빗물정원의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
54	49	65

나. 통로화분(Flow Through Planter)

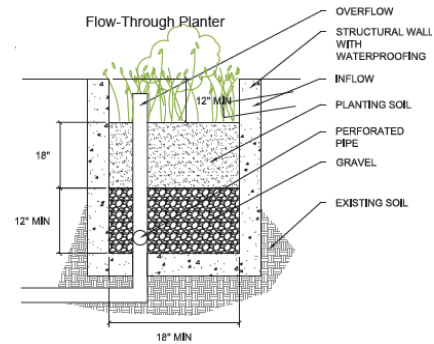
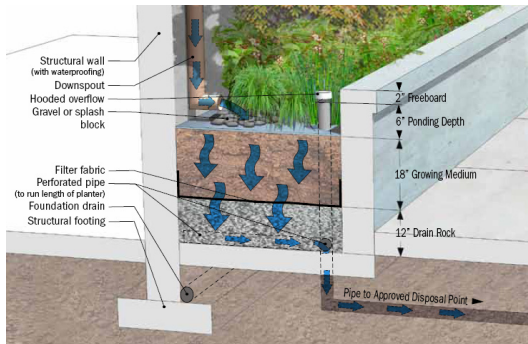
1) 시설 개요

- 통로화분은 식물이 식재된 토양층과 그 하부를 자갈로 충전하여 채운 구조의 시설로, 강우유출수를 식재토양층으로 침투시킨 후 우수배수시스템으로 배수시키는 시설이다.

- 현장 토양의 배수능가 나쁘거나, 급경사, 인접한 건축물 등 현장 제약이 있는 경우에 설치한다.



<그림 3.22> 통로화분 설치 예(City of Portland, 2004)



<그림 3.23> 통로화분 기본 구조

2) 설치 기준

- 통로화분의 형상은 원형, 각형 등 현장에 따라 적절하게 설계할 수 있으나, 단락류를 방지하고 충분한 처리시간을 확보하기 위하여 통로화분의 폭은 최소 45cm이상으로 설치한다.
- 담수심은 최대 15cm 이하, 식재토양의 두께는 최소 45cm 이상, 식재토양 하부의 자갈층은 최소 30cm 이상으로 조성한다.
- 통로화분의 바닥경사는 가능한 수평으로 설치하고, 모든 방향에서 0.5% 이상의 경사를 가지지 않도록 한다.
- 일반적으로 24시간 이내 배수되도록 설계한다.

3) 설계용량 산정 방법

- 통로화분의 설계용량은 수질처리용량을 일시 저류 및 적정 시간 내 여과·배제시키기 위해 필요한 용량이다.
- 연결되어 있는 배수시설, 통로화분의 폭과 깊이 등을 고려하여 수질처리용량을 주어진 배수시간에 처리할 수 있는 통로화분의 표면적을 산정한다.

① 수질처리용량(WQ_v) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQ_v = 수질처리용량(m³), A = 유역면적(m²), P = 설계강우량(mm),
R_v = 체적유출계수(=0.05+0.009×I, I=불투수율(%))

② 통로화분의 표면적(A_f) 산정

$$A_f = \frac{WQ_v \times d_s}{k_s \times (d_s + h) \times t}$$

여기서 A_f = 통로화분의 표면적(m²), WQ_v = 수질처리용량(m³),
d_s = 식재토양층의 두께(m), h = 평균담수심(=1/2h_{max}, m),
h_{max} = 최대담수심(m), k_s = 식재토양층의 투수계수(m/day)
t = 식재토양층을 통한 여과시간(일반적으로 1일)

③ 통로화분의 저류용량(V_f) 확인

$$V_f = A_f \times d_s \times \rho_s + A_f \times h_{\max} > WQ_v$$

여기서 V_f = 통로화분의 저류용량(m³), A_f = 통로화분의 표면적(m²),
d_s = 식재토양층의 두께(m), ρ_s = 식재토양층의 공극율

4) 관리·운영기준

- 통로화분은 빗물정원의 관리·운영기준에 준하여 관리·운영한다.
- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 통로화분을 구성하는 구조물의 파손 여부를 정기적으로 점검하고 파손된 부분은 보수한다.

- 강우유출수의 흐름을 방해하기 쉬운 낙수홈통, 연석의 절개부분, 그 외 구조물 등에 파편, 쓰레기 등이 쌓이지 않도록 정기적으로 점검하고 청소한다.
- 퇴적물을 제거하고, 파이프를 청소 및 보수하며, 통로화분을 통한 배수 및 월류가 적절히 유지되도록 관리한다.
- 토양의 침식을 방지하고 오염물질의 저감기능을 확보할 수 있도록 초목을 건강하고 뻗뻗하게 관리한다.
- 모래, 자갈, 표토를 포함하는 필터 여재는 여과 속도가 저하되면 교체한다.
- 침전물은 초목에 미치는 영향이 작은, 적절한 침식조절 대책으로 제거한다.

5) 저감효율

- 통로화분의 저감효율은 빗물정원의 저감효율에 따른다.

<표 3.14> 통로화분의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
54	49	65

다. 수목여과박스(Tree Box Filter)

1) 시설 개요

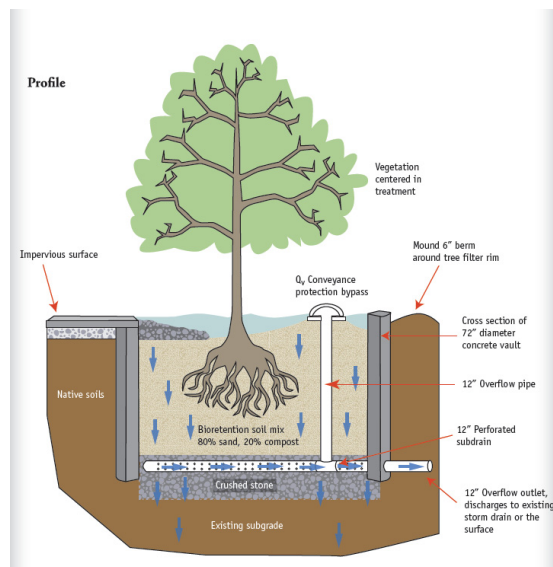
- 수목여과박스는 나무 또는 큰 관목이 식재된 콘크리트 박스로 식재토양층의 여과기작을 통해 강우유출수에 포함된 오염물질을 저감시키는 시설이다.
- 수목여과박스는 주로 맨홀 등의 시설로 유입되기 전 강우유출수를 처리하므로 도로 주변에 많이 설치되며, 단독 또는 여러 개로 설치될 수 있다.
- 통로화분처럼 설치되므로 지하수 함양 등은 고려할 필요가 없다.



<그림 3.24> 수목여과박스 설치 예

2) 설치 기준

- 배수구역의 면적을 고려하여 수목여과박스의 규모를 결정하며, 토사량 등 오염 부하가 큰 구역에는 설치하지 않는다.
- 유입수의 에너지 분산을 위하여 표면에는 약 5cm의 두께의 멀치층과 자갈패드와 필요하다.
- 가뭄, 침수, 염분에 내성이 있는 토착의 수목을 선정하며, 수목의 뿌리기 지나치게 빨리 성장하는 수목은 피한다.
- 후처리 장치로 맨홀과 조합하여 설치할 수 있다.



출처 : UNH Stormwater Center(2007)

<그림 3.25> 수목여과박스 기본 구조

3) 설계용량 산정 방법

- 수목여과박스의 설계용량은 수질처리용량을 일시 저류 및 적정 시간 내 여과·배제시키기 위해 필요한 용량이다.
- 수목여과박스의 사양은 제조업체가 제안하는 제품의 권장사항을 기반으로 하며, 배수유역의 특성 및 비용을 고려하여 수질처리용량을 처리할 수 있는 수목여과박스의 개수를 결정한다.
- 버지니아 대학의 연구에 따르면 0.1ha 유역의 강우유출수를 처리하기 위한 수목여과박스는 약 1.82m×1.82m의 규모가 적절하다.

※ 제조업체가 제안하는 제품의 권장사항을 근거로 수목여과박스를 설계한 예는 다음과 같다(http://www.lid-stormwater.net/treeboxfilter_sizing.htm)

<수목여과박스(Filterra™)의 테스트 결과>

Tree Box Filter Size(ft)	Area Ratio (%)	Annual Volume Filtered (%)	TP Removal (%)	TN Removal (%)	TSS Removal (%)	Metal Removal (%)
9 x 16	1.32%	99.48%	81.57%	75.70%	94.50%	90.52%
9 x 12	0.99%	98.55%	80.81%	74.99%	93.62%	89.68%
6 x 12	0.66%	96.58%	79.19%	73.40%	91.75%	87.88%
*6 x 6	0.33%	89.93%	73.74%	68.43%	85.43%	81.83%
3 x 6	0.16%	69.26%	56.79%	52.70%	65.79%	63.02%
3 x 3	0.08%	60.88%	49.75%	46.32%	57.83%	55.40%

※ 약 0.1ha(=0.25acre)당 1.82m x 1.82m(=6ft x 6ft) 수목여과박스가 오염물질저감 및 비용효과가 최적인 규모이다.

- ① 연간 처리대상강우량 선정 : 약 90% → 1.82m x 1.82m(=3.3m²) 적용
- ② 배수유역면적 산정 : 0.2ha(=2000m²)
- ③ 수목여과박스 개수 결정

$$\frac{2000 \times 0.33}{100} = 6.6\text{m}^2 = 2 \times 3.3\text{m}^2$$

→ 2개의 1.82m x 1.82m 규모의 수목여과박스 설치가 권장됨

4) 관리·운영기준

- 수목여과박스는 빗물정원의 기준에 준하여 관리·운영한다.
- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 수목여과박스를 구성하는 구조물의 파손 여부를 정기적으로 점검하고 파손된 부분은 보수한다.
- 표면의 투수성을 유지할 수 있도록 정기적으로 쓰레기를 제거하고 표면을 긁어낸다.
- 수목의 스트레스 및 건강 상태를 점검하고 필요시 교체하며, 이 때 식재 토양도 교체한다.
- 수목의 수명이 최소 5~10년이 되도록 관리한다.

5) 저감효율

- 수목여과박스의 저감효율은 빗물정원의 저감효율에 준하여 결정하며, 이는 <표 3.15>에 제시한 바와 같다.

<표 3.15> 수목여과박스의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
54	49	65

라. 식생수로(Vegetated Swale)

1) 시설 개요

- 식생수로는 식생으로 덮인 개수로를 통하여 강우유출수를 이송시키는 시설로 식생에 의한 여과, 토양으로 침투 등의 기작으로 강우유출수의 오염물질을 제거하는 시설이다.
- 일반적으로 강우유출수를 주요 수질처리시설로 유입시키기 전의 전처리 및 이송 목적으로 설치된다.
- 식생수로에서 발생하는 흐름은 얇은 흐름(shallow flow)이다.
- 식생수로의 종류로는 초지수로(grass swale), 건식식생수로(dry swale) 및 습식식생수로(wet swale) 등이 있다.



(a) 초지수로



(b) 초지수로(check dam 설치)



(c) 건식식생수로

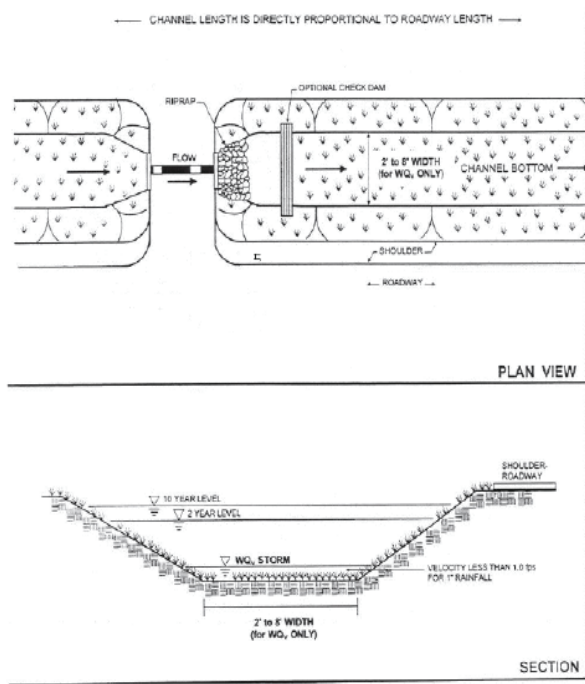


(d) 습식식생수로

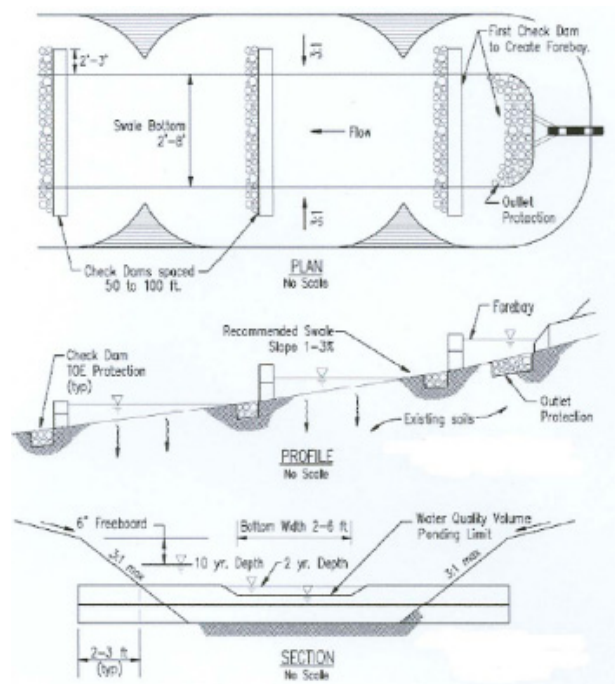
<그림 3.26> 식생수로 설치 예

2) 설치 기준

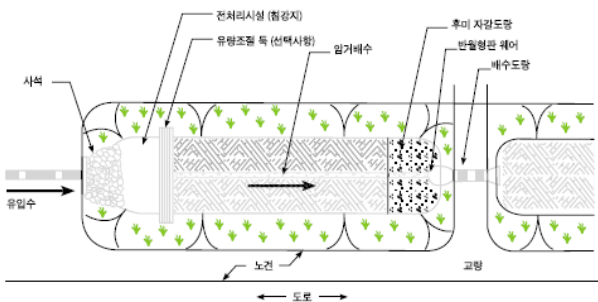
- 초지수로의 경우 경사에 따라 다르지만 처리지역의 면적은 불투수성 지역의 약 6.5%이다. 건식 및 습식 식생수로의 경우 처리지역의 면적은 불투수성 지역의 약 16%이다.
- 식생수로를 흐르면서 강우유출수의 오염물질을 저감시키기 위하여, 강우유출수는 식생수로의 측면이 아니라 유입구(inlet)에서 유입되도록 한다.
- 식생수로의 단면형상은 주로 사다리꼴 또는 포물선이며, 수로길이는 최소 30m 이상이어야 한다.
- 식생수로의 바닥폭은 최대 2m로 설계하며, 최대측면경사는 3H:1W이다.
- 수질처리용량에 대한 침투유량의 통수를 만족시키는 허용수심이 0.1m이하가 되도록 식생수로의 폭을 설계한다.
- 흐름방향의 경사는 체크댐이 없다면 0.5~2%, 있다면 2~5%로 설치한다.
- 수질처리용량에 대한 침투유량 통수시 수리학적 체류시간은 최소 9분 이상이 되어야 한다. 체크댐을 설치하면 긴 체류시간을 확보할 수 있다.



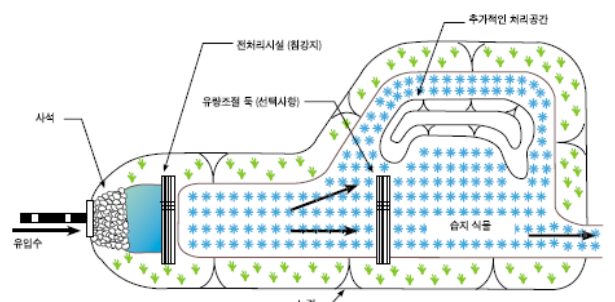
(a) 초지수로



(b) 초지수로(check dam 설치)



(c) 건식식생수로



(d) 습식식생수로

<그림 3.27> 식생수로 기본 구조

- 식생, 사석 등이 침식되지 않도록 유속은 0.8m/s 이하로 제한한다.
- 대규모 강우사상이 발생했을 때 범람하지 않도록 식생수로의 수심을 설계하며, 이 수심에 더하여 15~30cm 정도의 여유고가 필요하다.

- 고농도의 오염물질이 발생하는 지역의 강우유출수를 처리할 목적으로 설치되는 경우, 지하수 오염을 방지하기 위해서 불투수성 라이너를 사용하여 설치한다.

3) 설계용량 산정 방법

- 설계강우량에 대한 수질처리용량, 수로의 종단경사 및 통수가능수심 등을 고려하여 식생수로의 바닥폭을 산정한다.
- 수질처리용량에 대한 체류시간, 유속 기준을 만족할 수 있도록 식생수로의 길이를 결정한다.
- 그 밖에 범람 등에 대한 안정성 확보 문제 등을 고려하여 식생수로의 수심을 결정한다.

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQ_v = 수질처리용량(m^3), A = 유역면적(m^2), P = 설계강우량(mm),
 R_v = 체적유출계수($=0.05+0.009 \times I$, I =불투수율(%))

② 수질처리용량에 대한 유량(WQf) 산정

- ▷ 강우-유출 분석을 통하여 수질처리용량에 의하여 발생하는 수질처리유량 (Water Quality Flow)을 산정한다.

* 단, NRCS 방법을 이용하여 수질처리유량을 산정할 경우, 수질처리용량을 이용하여 산정한 CN_{obs} 를 기반으로 강우-유출 분석을 한다.

$$CN_{obs} = \frac{25,400}{254 + 59 + 10Q - 10(Q + 1.25QP)^{1/2}}$$

여기서, CN_{obs} =관측기록으로부터 유도된 수문곡선지수,

P =강우고(강우량, mm), Q 는 유출고(유출량, mm)

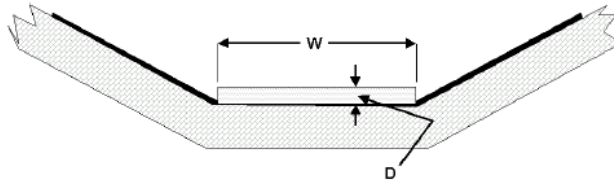
이 때 유출고 Q 는 다음과 같다.

$$Q = \frac{WQ_v}{A}$$

참고로 CN_{obs} 는 토지이용이나 토양군 등을 기반으로 산정한 CN 과 다를 수 있으며, 이는 수질처리유출고를 유량으로 전환하기 위하여 적용된다.

③ 식생수로의 바닥폭 산정

- ▷ 식생수로의 종단경사, 적정 수심 등의 기하구조를 결정한 후 바닥폭을 설계하며, 바닥폭이 2m 이내가 되는지 확인한다.



$$W = \frac{n \times WQf}{D^{5/3} \times S^{1/2}}$$

여기서 W = 바닥폭(m), n = 조도계수, WQf = 수질처리유량(m^3/s),

D = 수질처리유량의 통수가능 깊이(m, 최대 0.1m),

S = 식생수로의 종단경사(m/m)

- ▷ 유속검토 : 평균유속(V) < 허용유속(0.8m/s) 이면 O.K.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{WQf}{W \times D} < 0.8m/s$$

④ 식생수로의 길이의 산정

- ▷ 수질처리유량의 체류시간이 최소 9분 이상이 되도록 식생수로의 흐름방향 길이를 설계한다.

$$L = V \times T_r$$

여기서 L = 식생수로의 길이(m, 최소 30m 이상), V = 평균유속(m/s),

T_r = 수리학적 체류시간(s)

⑤ 식생수로의 안정성 확인

- ▷ 대규모 강우사상에 대한 유량이 범람하지 않도록 설계한다.
▷ 대규모 강우사상을 선정한 후 이에 대한 유량을 강우-유출 분석으로 산정한다.

⑥ 식생수로의 수심 결정

$$H = y + \text{여유고}$$

여기서 H = 설계수심(m),

y = 대규모 강우사상에 대한 유량을 통수시키기 위하여 필요한 수심(m)

4) 관리 · 운영기준

- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 환경부에서 제시한 식생형 시설의 관리·운영기준(환경부, 2008)은 다음과 같으며 식생수로도 이에 준하여 관리·운영한다.
 - 식생이 안정화되는 기간에는 강우유출수를 우회시켜야 한다.
 - 식생수로 바닥의 퇴적물이 처리용량의 25%를 초과하는 경우에는 침전된 토사를 제거하여야 한다.
 - 침전물질이 식생을 덮거나 생물학적 여과시설의 용량을 감소시키기 시작하면 침전물을 제거하여야 한다.
 - 동절기(11월부터 이듬해 3월까지)에 말라 죽은 식생을 제거 · 처리한다.
- 전처리시설(유량조절둑, 침사지 등)의 유입 및 유출수로 등의 손상여부를 주기적으로 점검하고 보수하여야 한다.
- 유입유량 분배장치의 패쇄 여부를 매년 1회 점검하여 퇴적물을 제거하여야 한다(조성 후 첫 해는 2회 점검이 권장된다).
- 식생수로의 유입구에 전처리시설을 설치한 경우, 토사 침전상태를 주기적으로 점검하고 필요시 제거하여야 한다.
- 초기에 식재한 잔디가 정착하지 못한 경우 대체 잔디종으로 재파종하거나 객토작업을 실시해야 한다.
- 강우유출수의 흐름 확보, 안전과 심미적 목적 등으로 잔디의 키(7~10cm)를 유지하기 위해 필요시 벌초작업을 실시하여야 한다.
- 벌초 작업 전에 반드시 쓰레기를 제거하고, 벌초 후 식물 잔재물이 수로로 유입되는 일이 없도록 처리한다.
- 건식식생수로는 강우유출수를 시설 내에 임시적으로 저장하였다가 24시간 정도(최대 48시간)에 걸쳐 배수되도록 설계되어야 하며, 강우 종료후 배수 여부를 주기적으로 점검하여야 한다.
- 토양을 압착하거나 다짐이 발생할 경우 침투 및 여과기능에 영향을 줄 우려가 있으므로 중장비등의 통행을 제한해야 하며, 유지관리를 위해 장비를 사용할 경우에도 제한적으로 적용하는 것이 바람직하다.

5) 저감효율

- 식생수로의 저감효율은 '수계오염총량관리 기술지침'에 제시된 값을 따르며, 이는 <표 3.16>과 같다.

<표 3.16> 식생수로의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
34	45	51

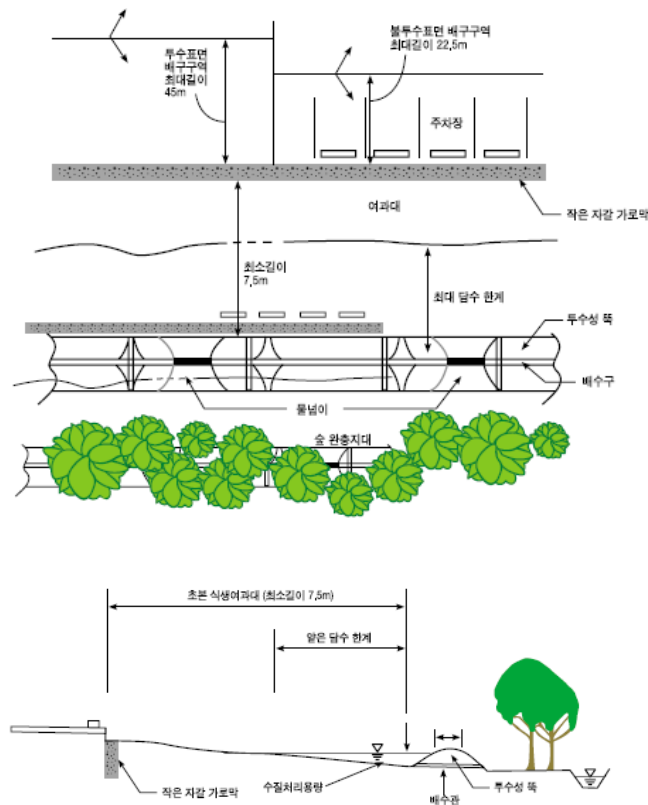
마. 식생여과대(Vegetated Filter Strip)

1) 시설 개요

- 식생여과대는 조밀한 식생으로 덮인 균등경사의 지표면을 통하여 강우유출수를 이송시키는 시설로, 식생에 의한 여과, 토양으로 침투 등의 기작으로 강우유출수의 오염물질을 제거하는 시설이다.
- 일반적으로 강우유출수를 주요 수질처리시설로 유입시키기 전의 전처리 및 이송 목적으로 설치할 수 있으며, 상이한 토지이용지역 사이의 완충지대로 설치하면 경관효과를 기대할 수 있다.
- 식생여과대에서 발생하는 흐름은 표면박류흐름(sheet flow)이다.
- 주택 및 상업지역 또는 고속도로나 일반도로 인근에 설치하며, 오염물질 처리효율은 등분포 표면박류흐름의 유지 여부에 좌우되므로 기여면적 및 유출체적에 제한이 있다.



<그림 3.28> 식생여과대 설치 예



<그림 3.29> 식생여과대 기본 구조

2) 설치 기준

- 식생여과대는 배수면적이 4ha 이하인 소유역에 설치하며, 처리대상구역의 흐름길이는 투수층인 경우 최대 45m, 불투수층인 경우에는 최대 22.5m 이하여야 한다.
- 식생여과대에서 표면박류흐름이 발생하도록 유량을 균일하게 분배하여 유입시킬 수 있는 유량분배장치를 설치하여야 한다.
- 식생여과대의 말단부에 투수성 소단(permeable berm)을 설치하면, 오염물질의 접촉시간을 증가시킬 수 있어 필요한 부지면적을 감소시킬 수 있다.
- 소단을 설치할 경우 소단의 최대높이는 0.3m 이하로 한다.
- 식생여과대의 종단경사는 2~5% 범위로 설치하며, 식생여과대의 흐름방향으로의 길이는 최소 7.5m 이상이 되도록 설치한다.
- 표면박류흐름의 최대수심은 25mm 이하로 하며, 흐름유속 0.4m/s 이하로 한다.
- 체류시간이 최소 9분 이상이 되도록 설치한다.

3) 설계용량 산정 방법

- 설계강우량에 대한 수질처리용량과 식생여과대의 흐름방향 경사 등 설계조건 등을 고려하여 여과대의 바닥폭을 산정한다.
- 식생여과대에서 형성되는 표면흐름이 적정 체류시간 및 유속 조건을 확보할 수 있도록(체크댐이 있는 경우 수질처리용량의 50%를 일시 저류할 수 있도록) 식생여과대의 길이를 결정한다.

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQ_v = 수질처리용량(m^3), A = 유역면적(m^2), P = 설계강우량(mm),
 R_v = 체적유출계수($=0.05+0.009 \times I$, I =불투수율(%))

② 수질처리용량에 대한 유량(WQf) 산정

- ▷ 강우-유출 분석을 통하여 수질처리용량에 의하여 발생하는 수질처리유량(Water Quality Flow)을 산정한다.

③ 식생여과대의 바닥폭 산정

- ▷ 식생여과대에서 발생하는 표면박류흐름의 최대수심이 허용수심(25mm)을 초과하지 않도록 설계한다.

- ▷ 광폭사각형 단면에 대한 Manning의 평균유속공식 :

$$q = \frac{Q}{W} = \frac{1}{n} y^{5/3} \times S^{1/2}$$

여기서 q = 식생여과대의 단위폭당유량($m^3/s/m$),
 y = 최대 허용수심(m, 0.0254 m), n = 조도계수
 S = 식생여과대의 흐름방향 경사(m/m)

- ▷ 유속검토 : 평균유속($V=q/y$) < 허용유속(0.4m/s) 이면 O.K.

- ▷ 식생여과대의 바닥폭 산정

$$W_{\min} = WQ_f / q$$

여기서 $W_{\min}$ = 식생여과대의 최소 바닥폭(m), WQ_f = 수질처리유량(m^3/s),
 q = 식생여과대의 단위폭당유량($m^3/s/m$)

④ 식생여과대의 길이 산정

▷ 소단이 없는 경우

- 여과대 표면박류흐름의 체류시간이 최소 9분 이상이 되도록 설계한다.

▷ 소단이 있는 경우

- 소단의 높이를 선정한 후, 수질처리용량의 반이 소단에 의해 차집 되도록 설계한다.

$$L = \frac{2 \times WQ_v}{W \times h}$$

여기서 L = 식생여과대의 길이(m), WQ_v = 수질처리용량(m^3),
W = 식생여과대의 폭(> W_{min} , m), h = 소단의 높이(m)

4) 관리·운영기준

- 식생여과대는 식생수로의 관리·운영기준에 준하여 관리·운영한다.
- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준 및 식생형 시설의 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.

5) 저감효율

- 식생여과대의 저감효율은 '수계오염총량관리 기술지침'에 제시된 값을 따르며, 이는 <표 3.17>과 같다.

<표 3.17> 식생여과대의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
44	42	42

바. 모래여과시설(Sand Filter)

1) 시설 개요

- 모래여과시설은 강우유출수를 차집·저장한 후 모래 여과층을 통과시켜 박테리아, 영양염류 등의 오염물질을 저감하는 시설이다.
 - 여과형 시설은 일반적으로 표면여과와 지하매설여과로 구분되며, 일반적으로 유입수 통제, 전처리, 여과조(여과표면, 모래여과재), 배수시스템으로 구성된다.
 - 홍수량 조절 기능은 거의 없으며, 여과층의 폐색 및 동결 등의 우려가 있다. 표면 여과의 경우 여과층의 동결로 동절기에는 비효과적이며, 지하매설여과의 경우 모기의 유입 방지를 위하여 밀폐한다.
 - 설치조건 등의 제약 조건이 작아 대부분의 지역에서 적용가능하고, 고도로 개발된 지역에 이상적이다. 단, 산업 지역 및 고농도의 오염물질이 발생하는 지역의 강우유출수를 처리할 경우, 지하수 오염을 방지하기 위해서 불투수성 라이너를 사용하여 처리수를 토양으로 배수시키지 않는 여과형 시설을 설치한다.
- ※ 최근에는 잔디 및 식생을 고려하지 않는 표면 여과에 대한 관심은 상대적으로 저하되고 있으며, 혼합 식생을 고려한 빗물정원 등의 형태가 더 선호되고 있다.

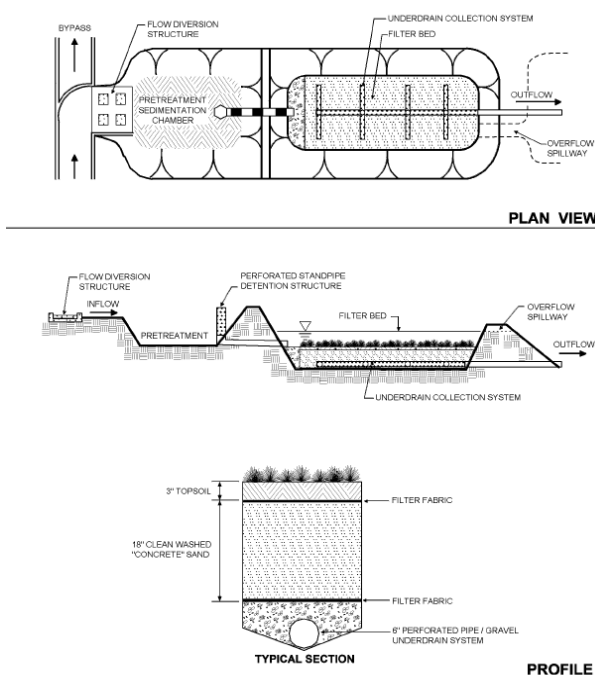


<그림 3.30> 모래여과시설

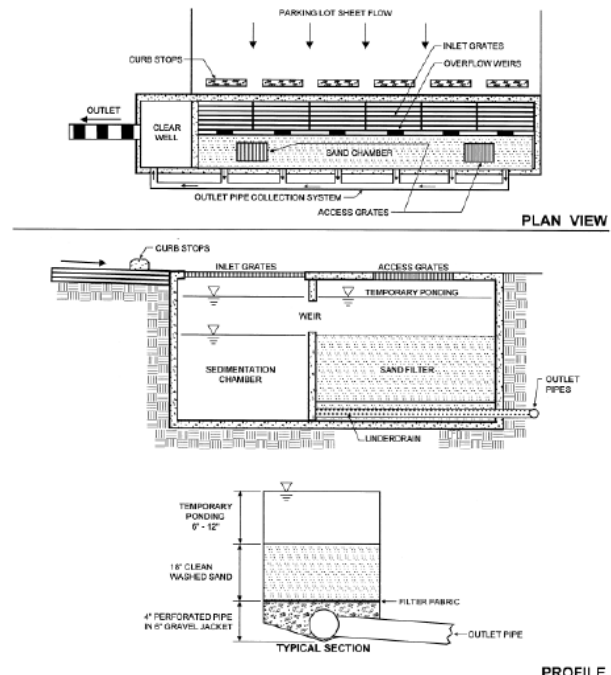
2) 설치 기준

- 수질처리용량을 분리하여 처리하기 위하여 Off-Line으로 설계하고, 여과조로 유입되는 유수량 등을 감소시키기 위하여 수질처리용량을 침전조 또는 상부 저수지로 우회시켜 전처리한다.

- 전처리 시설은 건식 또는 습식 침전조와 침전물 저수조로 구성되며, 길이 대 폭의 권장 비율은 약 1.5:1~3:1이다.
- 침전조는 수질처리용량의 최소 25%를 저류하여 24시간에 걸쳐 여과시설로 배수시킨다. 불투수성 지역이 75% 이상인 경우 수질처리용량 전체를 저류 및 전처리할 수 있도록 설계한다.
- 침전조와 여과조의 저류용량은 수질처리용량의 최소 75%를 저류할 수 있도록 설계한다.
- 약 6% 이하의 경사에 적합하며, 자연유하를 위하여 일반적으로 약 1.5~2m의 수두차가 필요하다.
- 여과재의 투수계수를 결정하기 위하여 실험실 분석이 권장된다.
- 여과층의 깊이는 최소 45cm 이상이어야 하며 표면은 평평하게 한다.
- 여과층은 가능하면 동결선(frost line) 아래에 설치하도록 한다.
- 상당한 양의 모래가 유입될 우려가 있는 경우, 전처리 침전지의 규모를 증대할 필요가 있다.



Earthen Surface Sand Filter



Perimeter (Delaware) Sand Filter

<그림 3.31> 대표적인 모래여과시설의 구조

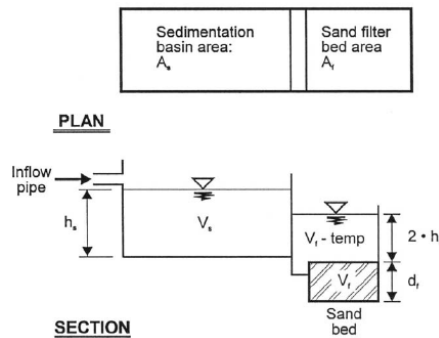
3) 설계용량 산정 방법

- 모래여과시설의 설계용량은 수질처리용량을 저류하고 적정 배수시간 내에 여과시키기 위해 필요한 용량이다.
- 침전조의 규모는 Camp-Hazen 공식, 여과조의 규모는 Darcy의 법칙으로 산정한다.
- 모래여과시설의 종류 및 구조에 따라 세부사항의 설계조건 등이 달라질 수 있다.

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQ_v = 수질처리용량(m^3), A = 유역면적(m^2), P = 설계강우량(mm),
 R_v = 체적유출계수($=0.05+0.009 \times I$, I =불투수율(%))



< 표면여과시설 >

- ▶ 침전조와 여과조의 폭, 여과재의 종류 및 두께 등을 고려하여 침전조의 표면적과 높이 및 여과조의 표면적을 결정한다.

② 침전조의 최소 표면적(A_{s-min}) 산정

$$A_{s-min} = - \frac{Q_o}{v_p} \times \ln(1-E)$$

여기서 A_{s-min} = 침전조의 최소 표면적(m^2), E = 포착효율(0.9로 가정)

Q_o = 배수유역의 유출량(m^3/s) = $(WQ_v/24hr)^*$,

v_p = 입자 침강 속도(m/s) (silt에 대해 0.000122 m/s 권장)

* 참고 : 수질처리용량의 25~100%에 해당하는 용량에 대해 설계하며, 일단 저류하여 여과시키므로 배수유역의 유출량은 배수시간을 고려하여 산정한다.

③ 여과조의 최소 표면적(A_{f-min}) 산정

$$A_{f-min} = \frac{WQ_v \times d_f}{k_f \times (h_f + d_f) \times t_f}$$

여기서 A_{f-min} = 여과층의 최소 표면적(m^2), WQ_v = 수질처리용량(m^3),

k_f = 여과재의 투수계수(m/day), d_f = 여과층의 두께(m),

h_f = 여과재 상부수층의 평균깊이(m),

t_f = 여과층을 통한 여과시간(day , 일반적으로 1일)

※ 우수처리 여과재의 투수계수 (Claytor and Schueler, 1996)

여과재	투수계수(k , m/day)
모래	1.0668
이탄/모래	0.8382
퇴비	2.6518

④ 침전조의 저류용량(V_s) 및 높이(h_s) 산정

▷ 시설전체의 최소저류용량(V_{min}) 산정(수질처리용량의 75%)

$$V_{min} = 0.75 \times WQ_v$$

▷ 각 시설부분의 저류용량 산정

$$V_f = A_f \times d_f \times \rho_f$$

$$V_{f-temp} = 2 \times h_f \times A_f$$

$$V_s = V_{min} - V_f - V_{f-temp}$$

여기서 V_f = 여과층, 자갈, 파이프내의 수용량(m^3),

V_{f-temp} = 여과상 상부의 일시적인 저류용량(m^3),

V_s = 침전조의 저류용량(m^3), A_f = 여과조의 설계표면적($> A_{f-min}$, m),

ρ_f = 공극(일반적으로 0.4), d_f = 여과층의 두께(m),

h_f = 여과재 상부 수층의 평균깊이(m)

▷ 침전조의 높이 산정

$$h_s = V_s / A_s$$

여기서 h_s = 침전조의 높이(m), V_s = 침전조의 저류용량(m^3),

A_s = 침전조의 설계표면적($> A_{s-min}$, m)

* 참고 : 침전조 높이에 대한 제약이 있을 경우 이를 고려하여 설계한다.

4) 관리·운영기준

- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 환경부에서 제시한 여과형 시설의 관리·운영기준(환경부, 2008)은 다음과 같으며 이에 준하여 관리·운영한다.
 - 전처리를 위한 침사지는 저장능력을 고려하여 주기적으로 헹잡물과 침전물을 제거하여야 한다.
 - 시설의 성능을 유지하기 위하여 필요하면 여과재를 교체하거나 침전물을 제거하여야 한다.
- 모래여과시설을 적절하게 운영하기 위해서는 정기적인 점검과 청소가 매우 중요하다.
- 건설한 직후 몇 달 동안은 대규모호우가 발생한 경우에 매회 점검할 필요가 있으며, 그 이후 최소 6개월마다 점검하는 것이 바람직하다.
- 우기시에 자주 침전물 및 헹잡물을 제거하고 연간 강우패턴에 따라 강우의 빈도가 줄어드는 시점이나 강우가 시작하는 시점에 제거하는 것이 바람직하다.
- 물이 괴어있을 때 여과표면을 점검하고, 변색이나 축적된 퇴적물 등으로 인하여 폐색 현상이 발생했는지 확인하여야 한다.
- 유입구, 유출구 및 월류 여수로의 차단, 구조적 결함, 침식 등을 점검하여야 한다.
- 배수시간이 계획된 배수시간을 초과하면 유출구 장치를 청소하거나 침전물을 제거한다.
- 여과재 위에 침전된 물질이 25 mm 이상인 경우 여과재의 침투능이 상당히 감소하므로 침전물을 제거할 필요가 있다.
- 경험적으로 여과재의 상부의 몇 mm는 매년 제거하고 교환할 필요가 있으며, 필요한 경우 더 자주 제거 및 교환한다.
- 무거운 건설기계보다 갈퀴를 이용하여 제거하는 것이 바람직하다.
- 유입 및 유출수로, 콘크리트 구조물 등의 파손 여부 점검을 정기적으로 실시하고 파손된 부분은 수리 및 보수한다.

5) 저감효율

- 모래여과시설의 저감효율은 '수계오염총량관리 기술지침'에 제시된 여과형 시설의 저감효율에 따른다.

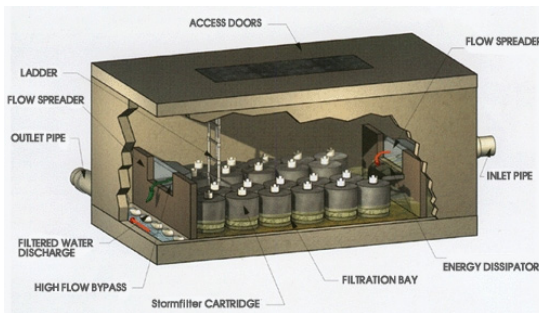
<표 3.18> 모래여과시설의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
54	40	58

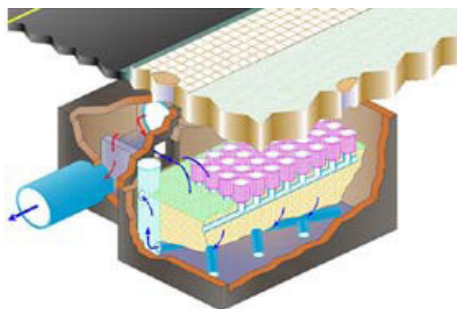
사. 제조 여과시스템(Manufactured Filtering System)

1) 시설 개요

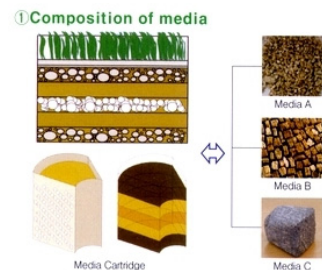
- 최근에 독점적 설계기술로 개발되고 있는 여과형 시설이다.
- 사전 제조 판매, 일반적인 구성으로 설계되나 다양한 미립자 및 용존성 오염물질 등의 제거를 위한 특수한 여과재의 사용, 교체 및 재생 가능한 여과 카트리리지 사용 등 그 구조 및 구성이 다양하다.
- 유지관리 및 여재 카트리리지 교체 빈도가 높은 시설이 많다.
- 규칙적으로 유지관리가 이루어지지 않으면, 토사의 재부상에 의하여 시설 자체가 오염원이 될 가능성 있다.



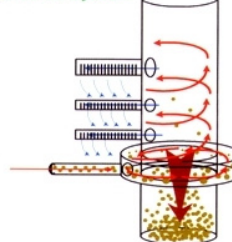
Stormfilter



M-Filter



② Non-power / solid-liquid separation system



Stormsys

③ Vegetation



<그림 3.32> 제조 여과시스템의 예

- 현장에서 운영된 시설에 관한 상호 검토된 자료가 부족하기 때문에, 주요 대책이 아닌 보조 대책으로 취급할 필요가 있다.

2) 설치 기준

- 전통적인 저감대책으로 쉽게 제거되지 않는 특정한 오염물질을 처리하기 위하여 산업단지와 같은 지역에서 전문화된 대책이 필요한 경우에 설치한다.
- 전통적으로 이용되는 큰 규모가 요구되는 처리 방법이 적합하지 않거나, 지상에서 처리하는 방법을 이용할 수 없는, 고도로 개발된 지역에 적합하다.
- 다른 저감대책의 전처리 또는 우수 유출수의 일련의 처리 대책 중 하나로 사용하는 것이 바람직하다.
- 수질처리용량을 분리하여 처리하기 위하여 Off-Line으로 설계하고, 여과조로 유입되는 유사량 등을 감소시키기 위하여 수질처리용량을 침전조 또는 상부 저수지로 우회시켜 전처리한다.
- 침전조는 수질처리용량의 최소 25%를 저류하여 24시간에 걸쳐 여과시설로 배수시킨다. 불투수성 지역이 75% 이상인 경우 수질처리용량 전체를 저류 및 전처리할 수 있도록 설계한다.
- 침전조와 여과조의 저류용량은 수질처리용량의 최소 75%를 저류할 수 있도록 설계한다.

3) 설계용량 산정 방법

- 제조 여과시스템의 여과조의 설계용량은 수질처리용량을 저류하고 적정 배수시간 내에 여과시키기 위해 필요한 용량이다.
- 여과조로 유입되는 유사량 등을 감소시키기 위하여 전처리 시설로 침전조를 설치하며, 침전조의 규모는 Camp-Hazen 공식으로 산정하고 여과조의 규모는 제조업체가 제안하는 제품의 권장사항을 기반으로 설계한다.

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQv = 수질처리용량(m³), A = 유역면적(m²), P = 설계강우량(mm),
Rv = 체적유출계수(=0.05+0.009×I, I=불투수율(%))

② 침전조의 최소 표면적(A_{s-min}) 산정

$$A_{s-min} = - \frac{Q_o}{v_p} \times \ln(1-E)$$

여기서 A_{s-min} = 침전조의 최소 표면적(m²), E = 포착효율(0.9로 가정)

Q_o = 배수유역의 유출량(m³/s) = (WQv/24hr)*,

v_p = 입자 침강 속도(m/s) (silt에 대해 0.000122 m/s 권장)

* 참고 : 수질처리용량의 25~100%에 해당하는 용량에 대해 설계하며, 일단 저류하여
여과시키므로 배수유역의 유출량은 배수시간을 고려하여 산정한다.

③ 여과조의 표면적(A_f) 및 저류용량(V_f) 산정

▷ 제품의 권장사항에 맞추어 선정

④ 침전조의 저류용량(V_s) 및 높이(h_s) 산정

▷ 시설전체의 최소저류용량(V_{min}) 산정(수질처리용량의 75%)

$$V_{min} = 0.75 \times WQ_v$$

▷ 침전조의 저류용량 및 높이 산정

$$V_s = V_{min} - V_f$$

$$h_s = V_s / A_s$$

여기서 h_s = 침전조의 높이(m), V_s = 침전조의 저류용량(m³),

A_s = 침전조의 설계표면적(> A_{s-min}, m)

* 참고 : 침전조 높이에 대한 제약이 있을 경우 이를 고려하여 설계한다.

4) 관리·운영기준

- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준 및 여과형 시설의 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 제조 여과시스템의 적절한 운영을 위해서는 정기적인 점검과 청소가 매우 중요하고, 유지관리가 적절하게 이루어지지 않으면 구조물 자체가 상당한 오염원이 될 가능성이 있다.
- 제조업체의 운영 및 유지관리 지침에 따라 설계 유량 이하의 유량을 처리하고, 오염물질 및 침전물 등을 제거하여야 한다.

- 일반적인 유지관리로서 여과조에 축적된 오일과 그리스, 부유성 오염물질, 침전물 제거와 여과 카트리지의 교체 등이 포함된다.

5) 저감효율

- 제조 여과시스템의 저감효율은 ‘수계오염총량관리 기술지침’에 제시된 여과형 시설의 저감효율에 따른다.

<표 3.19> 제조여과시스템의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
54	40	58

5. 저류시설

가. 습식연못(Stormwater Pond)

1) 시설 개요

- 습식연못은 강우유출수의 집수, 저류 및 배수를 조절하는 저류시설의 하나이다.
- 습식연못은 일반적으로 수질처리용량을 저류하기 위한 영구연못(연중 물이 차 있는 연못, permanent pool), 강우유출수의 저류시간을 연장하기 위한 확장저류공간(extended detention) 또는 얇은 소택(shallow marsh) 등으로 구성된다.
- 습식연못은 강우유출수를 저류시킨 후 중력침전 및 생물학적 과정으로 오염물질을 저장하는 시설로, 저류된 강우유출수는 다음 강우에 의해 발생하는 유출수에 의하여 교체된다.
- 수질처리용량을 초과하는 용량을 임시 저류한 후 방류하는 홍수량 조절 기능을 가지고 있다.
- 일반적으로 땅을 굴착하거나 저류지 가장자리에 제방을 쌓아 설치한다.



(a) 연못형 저류지



(b) 연못형 이중목적 저류지



(c) 소규모 연못형성 이중목적 저류지



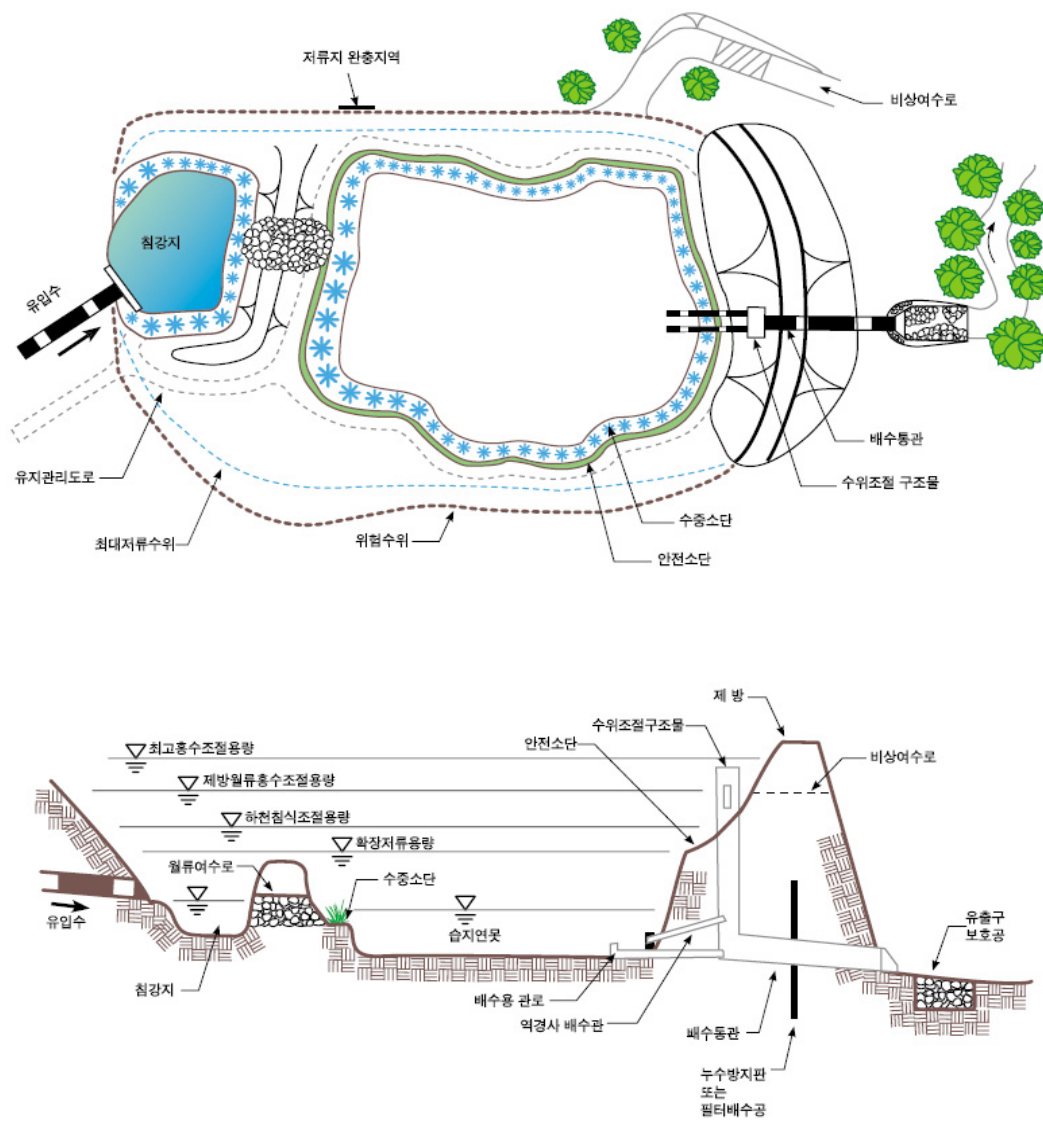
(d) 연못형 이중목적 저류지

출처 : AMEC Earth and Environmental Center for Watershed Protection *et al.*(2002)

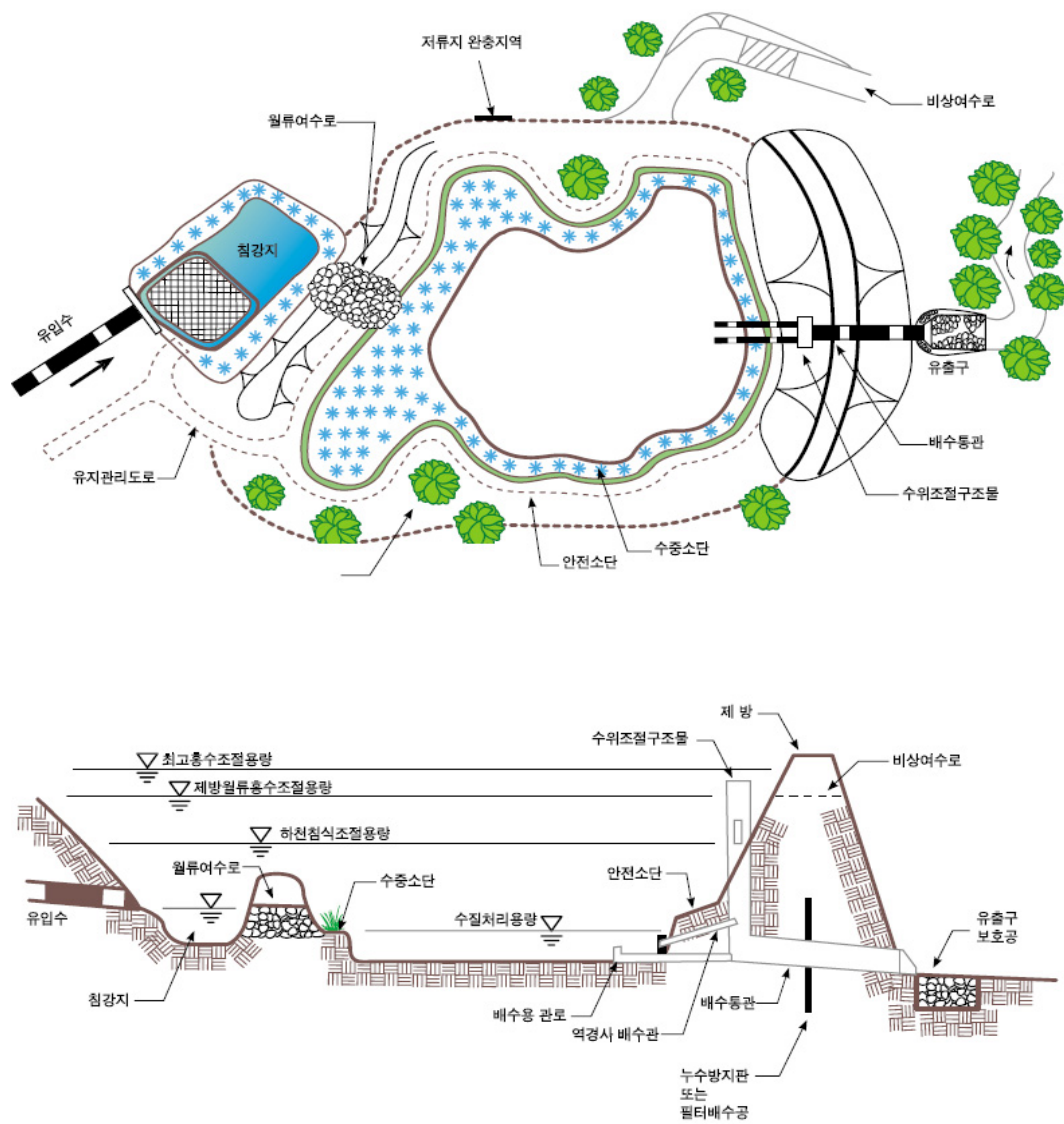
<그림 3.33> 습식연못 설치 예

2) 시설 종류

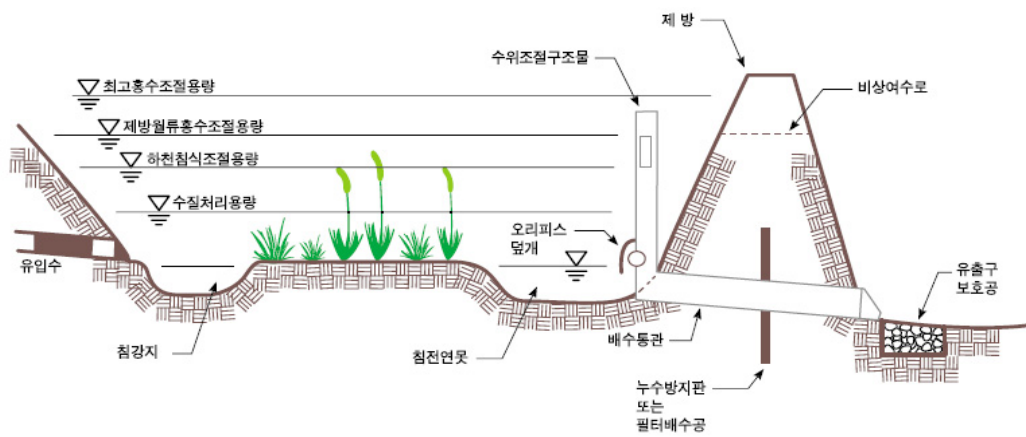
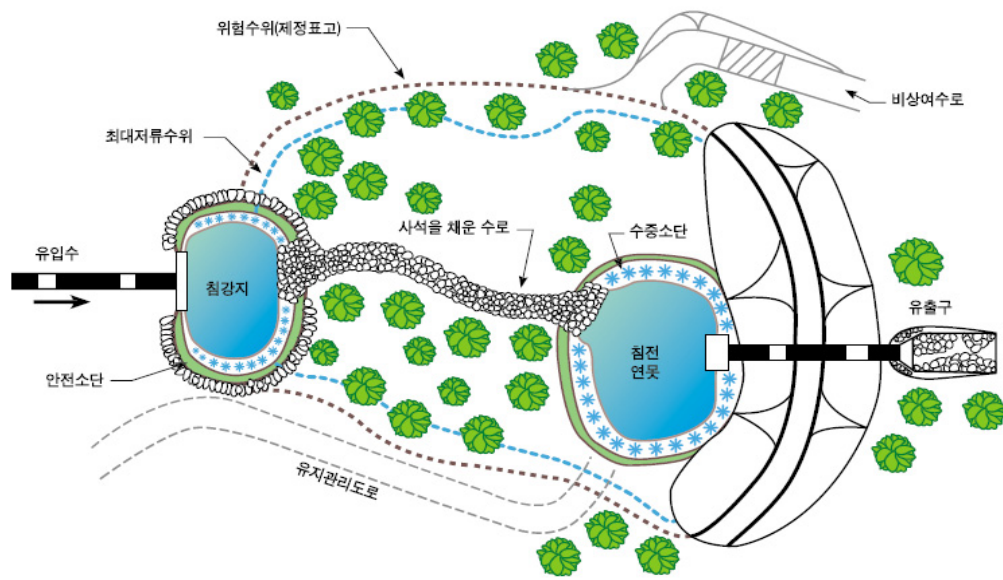
- 연못형 저류지(Wet Pond) : 수질처리 및 홍수조절(필요시)을 위한 대규모 연못으로, 영구연못은 수질처리용량을 처리할 수 있어야 한다.
- 연못형 이중목적 저류지(Wet Extended Detention Pond) : 연못형 저류지와 유사한 구조의 시설로, 영구연못은 수질처리용량의 50%를 처리하고, 확장저류공간에 수질처리용량의 50%를 저류한다. 확장저류공간에 저류된 강우유출수는 24시간에 걸쳐 서서히 유출되며, 소요부지면적이 연못형 저류지보다 작다.
- 소규모 연못형성 이중목적 저류지(Micropool Extended Detention Pond) : 연못형 이중목적 저류지와 유사하나, 유출부로 흐름을 유도하는 사석수로 및 유출부에 소규모 연못이 추가적으로 설치된다. 영구연못은 수질처리용량의 25~30%를, 확장저류용량은 수질처리용량의 70~75%를 처리한다. 확장저류공간에 저류된 강우유출수는 24시간에 걸쳐 서서히 유출된다.
- 다단계 저류지(Multiple Pond System) : 침강지와 2개 이상의 소규모 습식연못으로 구성된다.
- 소규모 저류지(Pocket Pond) : 건기시 건조상태가 되고, 우기시 지하수의 영향으로 수위가 상승하는 소규모 배수구역의 저류지로서, 배수구역이 너무 작아서 건기동안 기저유출량으로 수위를 유지할 수 없는 저류지를 말한다.
- ※ 건식 (이중목적) 저류지(Dry (Extended Detention) Pond) : 평상시 건조 상태로 유지되는 저류시설로, 오염물질 제거효율이 높지 않고 장기적인 유지관리 문제로 인하여 수질처리 시설로 고려되지 않는다. 이 시설은 수로 및 제방의 보호, 홍수방재 등의 목적으로 타 시설물과 조합하여 사용할 수 있다.



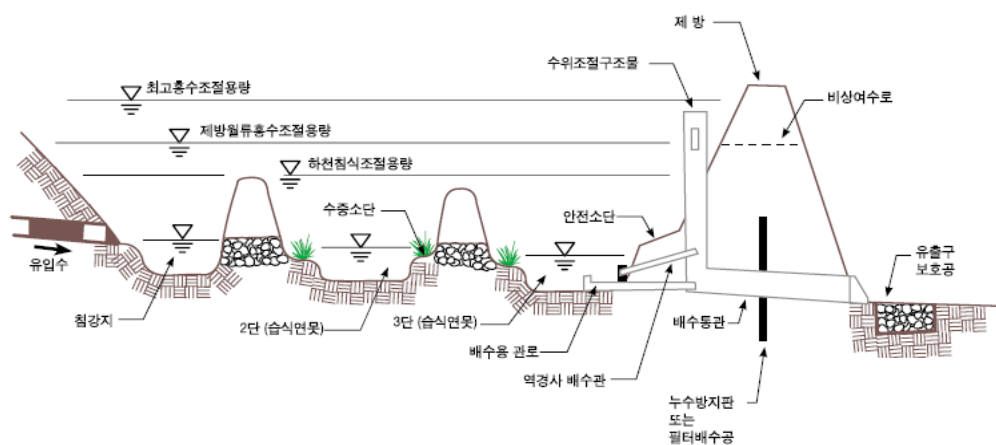
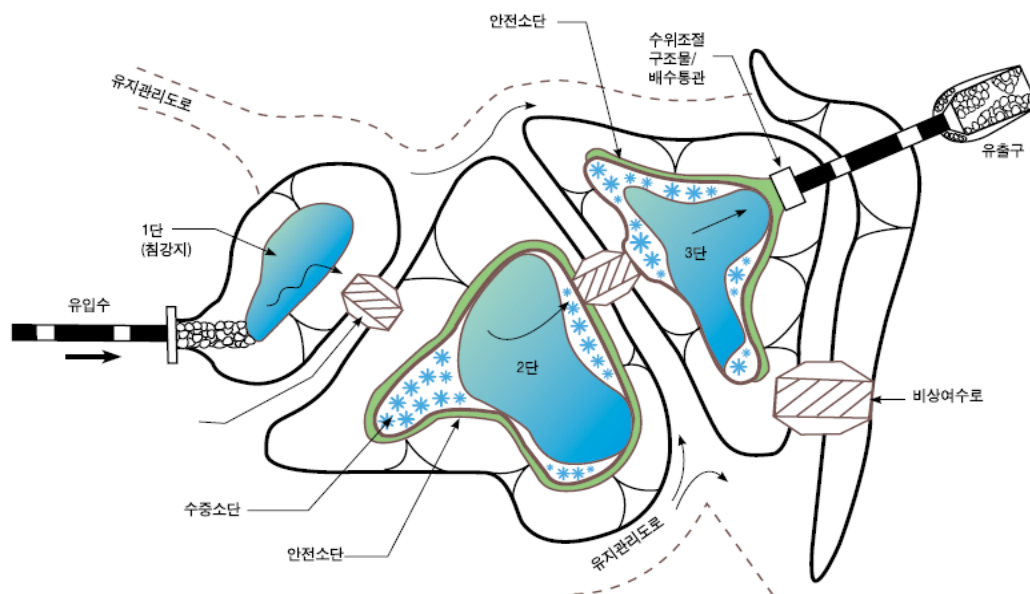
<그림 3.34> 연못형 저류지



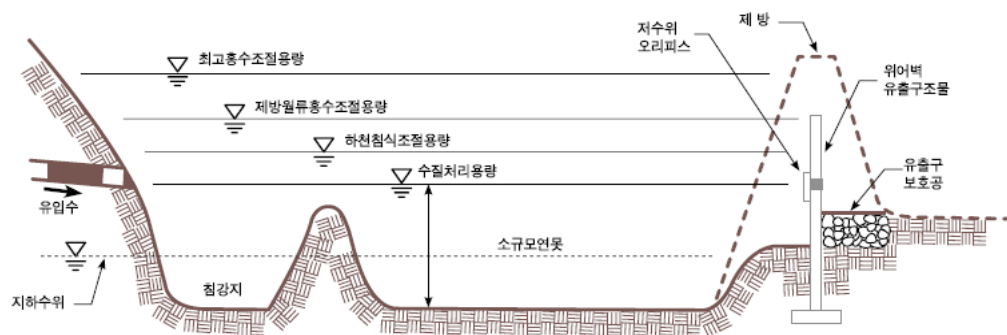
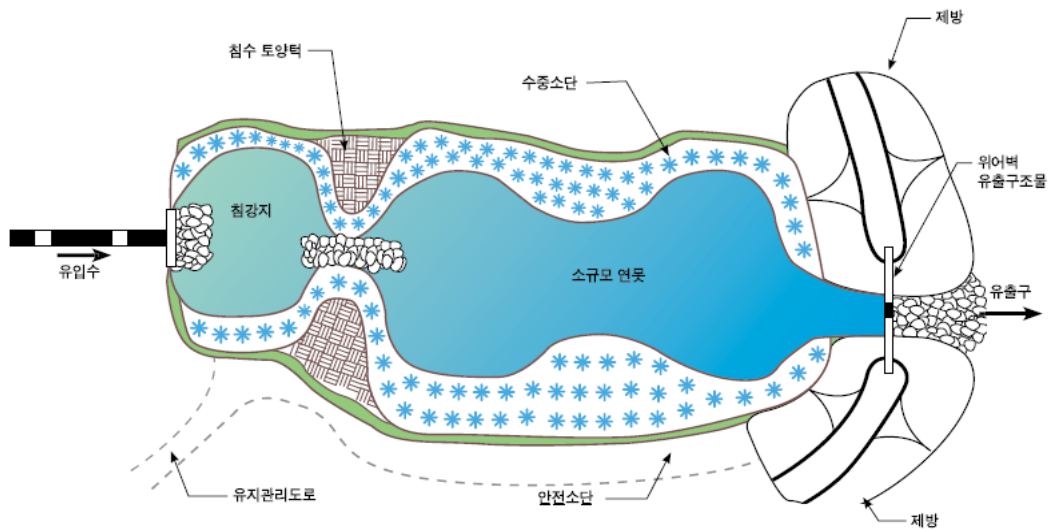
<그림 3.35> 연못형 이중목적 저류지



<그림 3.36> 소규모 연못형성 이중목적 저류지



<그림 3.37> 다단계 저류지



<그림 3.38> 소규모 저류지

3) 설치 기준

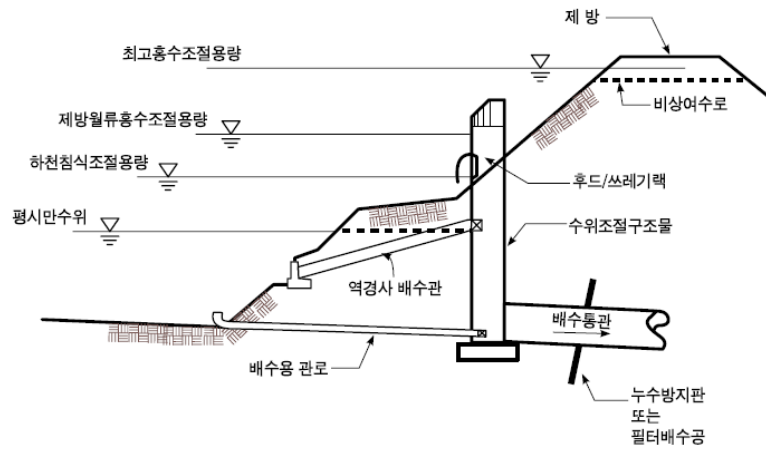
- 습식연못의 주변은 곡선으로 이루어져야 한다.
- 자격이 있는 전문가가 식물 계획을 수립하여야 한다.
- 영구연못의 수심 유지를 위하여 이용가능한 물이 충분하도록 물수지를 산정하여야 한다.
- 습지 내 유로는 최대한 길게 하고, 길이 대 폭의 비율은 2.0 이상으로 한다.
- 부지면적은 배수면적의 1%(얕은습지의 경우 1.5%) 이상으로 한다.
- 유로경사는 0.5~1.0%로 한다.
- 침투율 높은 토양(NRCS 분류 A, B 유형)에 설치할 경우 차수층을 설치한다.
- 유입구와 유출부는 충분히 멀리 떨어져 있어야 하고, 세굴이 발생하지 않도록 에너지를 분산시켜야 한다.
- 제방의 여유고는 계획최대수위를 고려하여 0.6m 이상으로 한다.
- 유입부 및 유출부에 침식 방지 시설(옹덩이 또는 사석)을 설치한다.
- 저류지의 길이 대 폭의 비율은 최소 1.5 이상이며, 유로는 가급적 길고 불규칙적으로 조성한다.
- 침강지는 전체 수질처리용량의 10% 이상, 최대수심은 1.2~1.8m로 한다.
- 저류지 최대 수심은 2.4m 이하, 최소수심은 0.9~1.2m 정도로 한다.
- 침투율 높은 토양(NRCS 분류 A, B 유형)에 설치할 경우 차수층을 설치한다.
- 영구연못 및 확장저류공간에 할당되는 수질처리용량은 <표 3.20>과 같다.
- 습식연못을 구성하는 강우유출수 규모별 유출구 설치 기준은 <표 3.21>과 같다.

<표 3.20> 습지연못의 설계기준 - 수질처리용량의 할당 비율

구분	연못형 저류지	연못형 이중목적 저류지	소규모연못형 확장 저류지
영구연못용량	100	50	25 - 30
확장저류용량	-	50	70 - 75

<표 3.21> 습식연못의 강우유출수 규모별 유출구 설치 기준

대상용량	유출부	설치 기준
확장저류	유출구	·확장저류용량을 24시간에 걸쳐 배수 ·최소직경은 75mm 이상
하천수로보호 (CP _V , 1년빈도-24시간 강우)	유출구	·1년 빈도의 강우사상의 침투유량을 24시간에 걸쳐 배수 ·최소직경은 75mm 이상
제방범람홍수조절 (Q _{P25} , 25년빈도-24시간 강우)	Slot	·25년 빈도의 강우사상의 침투유량을 개발전 수준으로 유지
최대홍수조절 (Q _f , 100년빈도-24시간 강우)	여수로	·100년 빈도의 강우사상의 침투유량을 안전하게 통수



<그림 3.39> 습식연못 유출부 구조

4) 설계용량 산정 방법

- 습식연못의 설계용량은 수질처리용량 및 홍수조절용량(필요시)을 저류하고 안전하게 통수시키기 위한 저류용량을 말한다.

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQv = 수질처리용량(m³), A = 유역면적(m²), P = 설계강우량(mm),
Rv = 체적유출계수(=0.05+0.009×I, I=불투수율(%))

② 규모별 설계강우에 대한 개발전·후의 유출고, 침투유량, 저류용량 산정 ▷ 강우-유출 분석을 통하여 산정한다.

설계용량	설계강우* 재현기간	유출고(mm)		침투유량(cms)	
		개발전	개발후	개발전	개발후
CP _v	1년		V _{1yr}	Q _{pre-1yr}	Q _{post-1yr}
Q _{p25}	25년		V _{p25}	Q _{pre-p25}	Q _{post-p25}
Q _f	100년		V _f	Q _{pre-f}	Q _{post-f}

* 24시간 지속시간 강우

* 개발전·후 유출고 및 첨두유량은 NRCS 유출곡선지수(CN) 방법 등을 이용하여 산정할 수 있다.

* NRCS 방법으로 저류용량을 산정할 경우, 다음과 같은 경험식을 이용한다.

$$V_s/V_r = 0.683 - 1.43(q_o/q_i) + 1.64(q_o/q_i)^2 - 0.804(q_o/q_i)^3$$

여기서 q_o = 유출첨두유량(cms), q_i = 유입첨두유량(cms),
 V_s = 저류용량(m^3), V_r = 유출체적(m^3)

▷ 하천수로보호용량(CP_v) 산정

i) $V_s^* = CP_v = V_r^* \times (V_s/V_r)$

여기서 $V_r^* = \text{유출체적} = \text{유출고} \times \text{유역면적} = V_{1yr} \times A$,
 $V_s/V_r = 0.683 - 1.43(q_o/q_i) + 1.64(q_o/q_i)^2 - 0.804(q_o/q_i)^3$,
 $q_o/q_i = \text{유출첨두유량/유입첨두유량} \approx 0.01 \sim 0.04$ 가정

ii) 하천수로보호유량, $Q_{CPv} = CP_v / (24hr \times 3600)$

※ Q_{CPv} 와 q_o 가 동일할 때까지 Trial-error 방법으로 결정

▷ 제방범람홍수조절용량 산정 : 15% 여유용량 고려

○ 개발후 25년 빈도 첨두유량($Q_{post-p25} \rightarrow q_i$)을 개발전 25년 빈도 첨두유량($Q_{pre-p25} \rightarrow q_o$) 수준으로 유지하기 위한 저류용량 산정

$$V_s^* = V_r^* \times (V_s/V_r) \times 1.15$$

여기서 $V_r^* = V_{p25} \times A$,

$$V_s/V_r = 0.683 - 1.43(q_o/q_i) + 1.64(q_o/q_i)^2 - 0.804(q_o/q_i)^3$$

$$q_o/q_i = Q_{pre-p25}/Q_{post-p25}$$

▷ 최대홍수조절용량 산정 : 15% 여유용량 고려

○ 개발후 100년 빈도 첨두유량($Q_{post-f} \rightarrow q_i$)을 개발전 25년 빈도 첨두유량($Q_{pre-p25} \rightarrow q_o$) 수준으로 유지하기 위한 저류용량 산정

$$V_s^* = V_r^* \times (V_s/V_r) \times 1.15$$

여기서 $V_r^* = V_f \times A$,

$$V_s/V_r = 0.683 - 1.43(q_o/q_i) + 1.64(q_o/q_i)^2 - 0.804(q_o/q_i)^3$$

$$q_o/q_i = Q_{pre-p25}/Q_{post-f}$$

③ 침강지용량 산정 : 수질처리용량의 10%(깊이는 1.2~1.8m)

④ 영구연못용량 및 확장저류용량의 결정 : <표 3.20> 참조

⑤ 각 설계용량의 저류를 위한 저류지 규모(면적, 수심) 결정

▷ 저류지의 수위-유량(h-Q) 표를 작성하여 각 처리용량별 수위 및 표면적 결정

⑥ 유출구 설계(그림 3.39 참조)

▷ 규모별 설계용량의 배수를 위한 적정 유출구 규모 설계

4) 관리·운영기준

- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 환경부에서 제시한 저류시설의 관리·운영기준(환경부, 2008)은 다음과 같으며 습식 연못도 이에 준하여 관리·운영한다.
 - 저류지의 침전물은 주기적으로 제거하여야 한다.
- 습식연못의 저류지 기능이 정상상태로 유지될 수 있도록 유입 및 유출수로, 연못 내 평상시 물이 차 있지 않은 구역의 헐잡물, 쓰레기 등을 수시로 제거하여야 한다.
- 저류지의 침전물은 매년 1회 이상 점검하며, 전체 저류지 용량의 25% 이상 감소되거나 식생성장조건이 악화되거나 부영양화가 발생하는 경우 또는 10~20년마다 침전물을 제거한다.

5) 저감효율

- 습식연못의 저감효율은 '수계오염총량관리 기술지침'에 제시된 값을 따른다.

<표 3.22> 습식연못의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
43	31	52

나. 인공습지(Stormwater Wetland)

1) 시설 개요

- 인공습지는 강우유출수를 처리하기 위하여 인위적으로 얕은 습지를 조성하는 것으로, 침전, 여과, 흡착, 미생물분해, 식생 식물에 의한 정화 등 자연상태의 습지가 보유하고 있는 정화능력을 인위적으로 향상시켜 오염물질을 저감하는 시설이다.
- 인공습지는 일반적으로 수질처리용량을 저류하기 위한 영구연못(pool)과(또는) 소택(marsh), 확장저류공간(Extended detention)으로 구성된다.

- 인공습지는 영구연못이 있다는 점에서 습식연못과 유사하나, 습지식생의 식물군락을 지탱하기 위하여 영구연못의 수심을 다양하게 설계하다는 점이 다르다. 즉, 인공습지의 영구연못에서는 침전 외에도 습지환경 안에서 지지되는 생물학적 활성(biological activity) 및 식생(vegetation)에 의한 오염물질 제거 및 흡수 등이 발생한다(NHDES, 2008).



(a) 얇은 습지



(b) 이중목적 얇은 습지



(c) 얇은 습지



(d) 소규모 습지

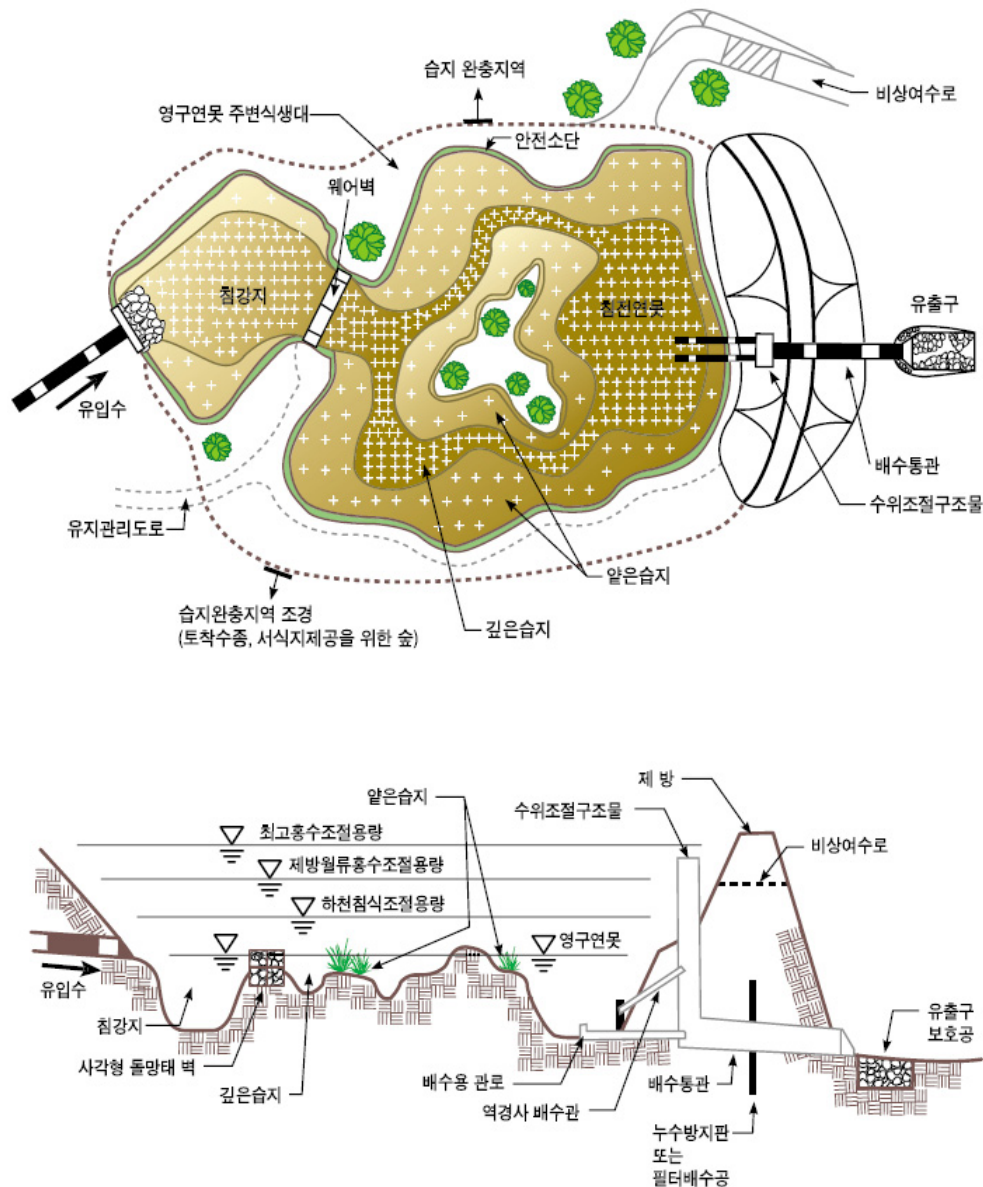
출처 : AMEC Earth and Environmental Center for Watershed Protection *et al.*(2002)

<그림 3.40> 인공습지 설치 예

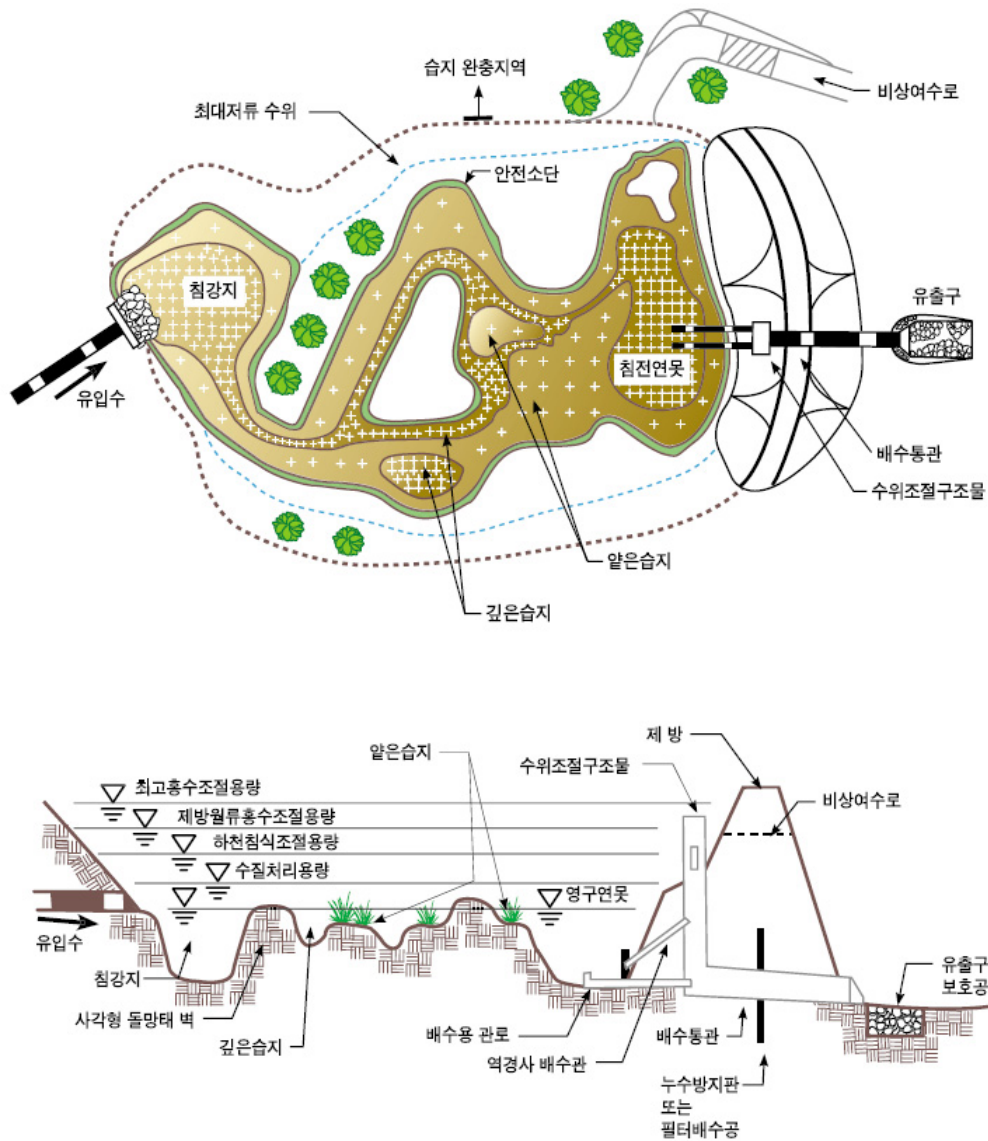
2) 시설 종류

- 인공습지는 영구연못에 대한 소택과 확장저류공간의 상대적인 비율에 따라 구분할 수 있다.
- 얇은 습지(Shallow Wetland) : 침강지와 소규모 연못의 규모는 수질처리용량에 의해 결정된다. 얇은 습지에서 수심이 깊은 곳은 유입부의 침강지와 유출부의 소규모 연못밖에 없으며, 연못의 깊이가 낮을 경우 넓은 부지가 요구된다.
- 이중목적 얇은 습지(Extended Detention Shallow Wetland) : 얇은 습지와 유사하나, 습지수면 상부의 확장저류공간에서 수질처리용량의 일부를 처리하며 이는 24시간에 걸쳐 방류시킨다. 얇은 습지에 비하여 소요부지면적이 작다.

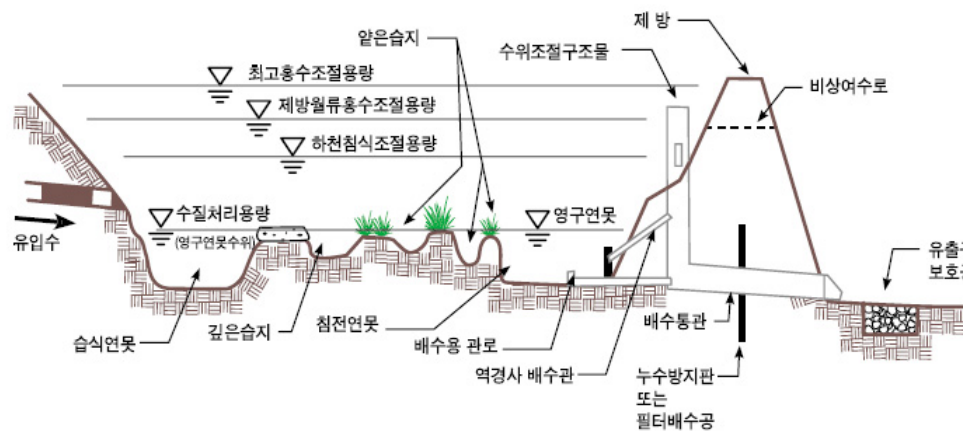
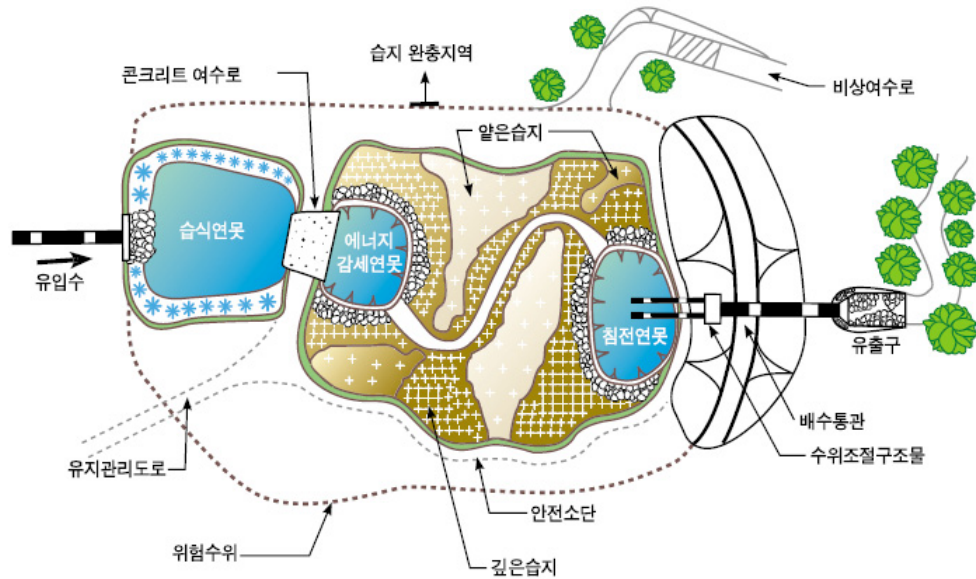
- 연못/습지시스템(Pond/Wetland System) : 깊은 연못과 얇은 습지가 분리되어 있으며, 전단부의 연못을 통과하면서 토사 등이 제거되고 유속이 감소되며, 후단부의 습지에서 추가적으로 오염물질이 저감된다. (이중목적) 얇은 습지에 비하여 소요부지면적이 작다.
- 소규모 습지(Pocket Wetland) : 2~4ha의 소규모 배수구역에 적용되며, 습지 시스템을 유지하기 위한 수량 확보를 위하여 지하수위까지 굴착한다.



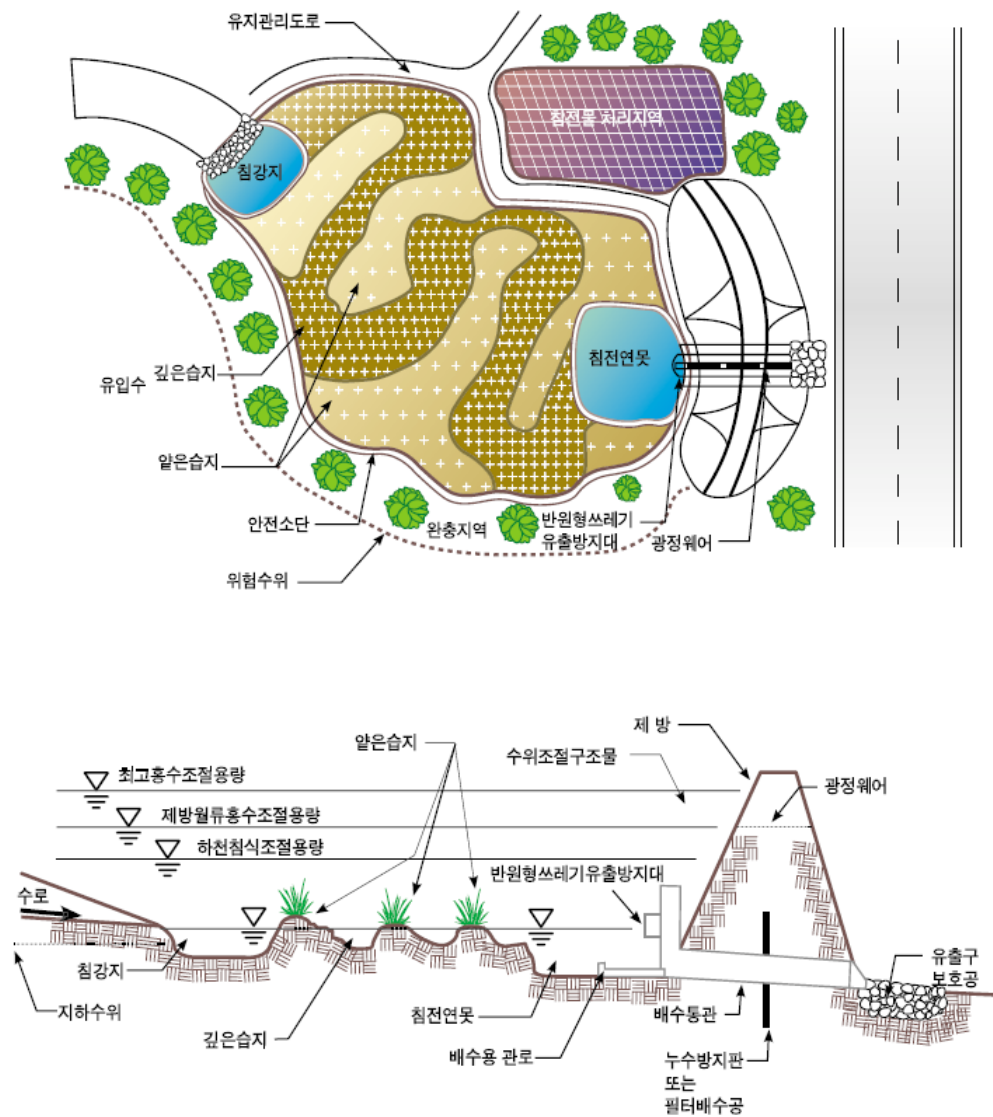
<그림 3.41> 얇은 습지



<그림 3.42> 이중목적 얇은 습지



<그림 3.43> 연못/습지 시스템



<그림 3.44> 소규모 습지

3) 설치 기준

- 인공습지의 주변은 곡선으로 이루어져야 한다.
- 자격이 있는 전문가가 습지식물 계획을 수립하여야 한다.
- 영구연못의 수심 유지를 위하여 이용가능한 물이 충분하도록 물수지를 산정하여야 한다.
- 습지 내 유로는 최대한 길게 하고, 길이 대 폭의 비율은 2.0 이상으로 한다.
- 부지면적은 배수면적의 1%(얕은습지의 경우 1.5%) 이상으로 한다.
- 유로경사는 0.5~1.0%로 한다.
- 침투율 높은 토양(NRCS 분류 A, B 유형)에 설치할 경우 차수층을 설치한다.
- 유입구와 유출부는 충분히 멀리 떨어져 있어야 하고, 세굴이 발생하지 않도록 에너지를 분산시켜야 한다.
- 유입부의 침강지는 수질처리용량의 10% 이상의 규모로 설계하고, 최대수심은 1.2~1.8m로 한다.
- 유출부의 소규모 연못은 수질처리용량의 10% 이상의 규모로 설계하고, 수심은 1.0~2.0m로 한다.
- 다양한 생태환경 조성을 위하여 인공습지를 구성하는 각 저류공간에 수질처리용량을 적절히 할당하고 다양한 수심이 유지될 수 있도록 설계한다.

<표 3.23> 인공습지의 설계기준 - 수질처리용량 및 표면적 할당 비율(%)

구분	얕은 습지	이중목적 얕은 습지	연못/습지 시스템	소규모 습지
수질처리용량 (영구연못/소택/확장저류)	25/75/0	25/25/50	70/30	25/75/0
표면적 (영구연못/깊은소택/얕은소택)	20/30/50	15/35/50	45/25/30	10/45/45

- 연못(permanent pool) : 수심 1.0~2.0m 정도로 유지, 습지 식생보다 침수성 및 부유성 식생이 주로 생존
- 깊은 소택(high marsh) : 수심 0.3~1.0m 정도로 유지, 다양한 습지 식생이 생존
- 얕은 소택(low marsh) : 수심 0.3m 이하로 유지, 깊은 습지보다 더 다양한 식생이 생존
- 확장저류공간(extended detention) : 영구지 수위 이상, 홍수기 범람되며 홍수시 생존가능한 식생을 식재하여야 함

- 확장저류용량은 수질처리용량의 50% 이하, 최대수심은 영구지 수위 상부에서 1.0m 이하로 한다.
- 햇빛에 노출된 수표면 면적은 습지의 50% 이하로 한다.
- 유출부 설치 기준은 습식 연못과 동일한 기준을 적용한다.

4) 설계용량 산정 방법

- 인공습지의 설계절차는 습식연못과 유사하며, 다양한 생태환경을 조성을 위한 수심별 수질처리용량의 할당 및 다양한 습지식생의 조성한다는 점에서 다르다.
- 인공습지의 설계용량은 수질처리용량 및 홍수조절용량(필요시)을 저류하고 안전한 통수시키기 위한 저류용량을 말한다.

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQv = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQv = 수질처리용량(m³), A = 유역면적(m²), P = 설계강수량(mm),
R_v = 체적유출계수(=0.05+0.009×I, I=불투수율(%))

② 규모별 설계강우에 대한 개발전·후의 유출고, 침투유량, 저류용량 산정

▷ 강우-유출 분석을 통하여 산정한다(습식연못 설계용량 산정방법 참고).

③ 침강지용량 산정 : 수질처리용량의 10%(깊이는 1.2~1.8m)

⑤ 수질처리용량 및 습지면적 할당 : <표 3.23> 참조

⑥ 영구연못 및 각 설계용량의 저류를 위한 저류지 규모(면적, 수심) 결정

▷ 저류지의 수위-유량(h-Q) 표를 작성하여 각 처리용량별 수위 및 표면적 결정

⑦ 유출구 설계

▷ 규모별 설계용량의 배수를 위한 적정 유출구 규모 설계

5) 관리·운영기준

- 환경부에서 제시한 비점오염저감시설의 공통 관리·운영기준(환경부, 2008)에 준하여 관리·운영한다.
- 환경부에서 제시한 인공습지의 관리·운영기준(환경부, 2008)은 다음과 같으며 습식 연못도 이에 준하여 관리·운영한다.

- 동절시(11월부터 다음 해 3월까지)에는 인공습지에서 말라 죽은 식생을 제거·처리하여야 한다.
- 인공습지의 퇴적물은 주기적으로 제거하여야 한다.
- 인공습지의 식생대가 50% 이상 고사하는 경우에는 추가로 수생식물을 심어야 한다.
- 식생대의 과도한 성장을 억제하고 유로가 편중되지 아니하도록 수생식물을 잘라내는 등 수생식물을 관리하여야 한다.
- 인공습지 침사지의 매몰 정도를 주기적으로 점검하여야 하고, 50% 이상 매몰될 경우에는 토사를 제거하여야 한다.

6) 저감효율

- 인공습지의 저감효율은 ‘수계오염총량관리 기술지침’에 따르며, 이는 <표 3.24>과 같다.

<표 3.24> 인공습지의 저감효율(%)

BOD	TN	TP
53	24	70

제4장 비점오염관리계획의 수립 및 삭감부하량 산정방법

1. 비점오염관리계획의 수립

가. 비점오염관리계획의 수립 절차

- 비점오염관리계획의 수립 과정에 부지 설계자, 엔지니어, 경관 설계자, 건축가 등 개발사업의 관계자가 함께 참여하는 것이 바람직하다.
- 비점오염관리계획의 수립 절차는 다음과 같다.

【I 단계】 문제의 정규화 및 지각

- 개발지역의 토지매입 및 토지이용목적 분석
 - ✓ 주거지역, 상업지역, 공업지역 등 → 발생예상 비점오염물질 파악
- 비점오염관리계획 수립의 필요성 확인

【II 단계】 부지의 상태 및 조건에 대한 분석 및 평가

- 개발계획에 따른 부지 개략도, 배선, 건물 계획 등 검토
- 개발부지의 생활 및 자연환경 등의 조사(자료 및 현장 조사 등)
 - ✓ 범람원, 강변, 습지, 토양질, 지하수, 식생, 재해발생 이력 등
 - ✓ 하수시설, 물수급 현황 등을 검토
 - ✓ 문제가 되는 지역의 파악 및 목록 작성
- 개발지역의 비점오염관리계획 수립과 관련한 조례 등 조사
- 개발지역의 정책결정자의 의견 청취
- 관련 전문가 및 학자들의 자문 의뢰

【III 단계】 비점오염저감시설의 종류 및 위치 선정 및 평가

- 적용가능한 비점오염저감시설의 목록 작성
 - ✓ 물리적 특성, 공사비용, 작업시 문제가 되는 지역 등을 조사
- 비점오염저감시설의 설치가 가능한 부지의 목록 작성
- 토지이용 형태별 적절한 비점오염저감시설의 종류 및 위치 제안
 - ✓ <표 4.1> 과 <표 4.2> 참조
- 비점오염관리계획 평가 및 피드백을 통하여 최적대안 선정

【IV 단계】 비점오염관리계획에 따른 비점오염삭감부하량 산정

- 수질오염총량제와 관련하여 삭감부하량 산정

<표 4.1> 부지 조건별 비점오염저감시설의 선정

구분	비점오염저감시설	불투수면적 감소	침투	저류/유량 조절	서식지 제공	식생로	사유지	도로	빌딩 옥상/근처	주차장	경관 지역	급경사	침투능이 낮은 토양	높은 지하수위	오염된 토양
생태면적	옥상녹화	◎					◎		◎			◎	◎	◎	◎
빗물이용시설	집수조			◎			◎		◎	◎		◎	◎	◎	◎
침투시설	침투통 침투관 침투측구	◎	◎	◎			◎	◎	◎	◎					
	투수포장	◎	◎	◎			◎	○		◎			○		
	침투화분	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎				
	침투저류지 침투도랑	◎	◎	◎	○	○	◎	○		◎					
여과시설	통로화분 수목화분	○			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	빗물정원	○	○	○	◎	◎	◎	◎		◎	◎		○		
	식생여과대 식생수로	○	○		◎	◎	◎	◎		◎	◎		○	◎	
	모래여과	○	○				◎	◎	○	◎		○	○	○	○
	제조 여과시스템						◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎
저류시설	습식연못	◎	○	◎	◎	◎	◎			○	◎				
	인공습지	◎	○	◎	◎	◎	◎			○	◎				

◎: 아주 타당, ○: 타당

<표 4.2> 비점오염저감시설의 위치 제안

구분	모래여과	제작처리	Bioretention	필터 제거	이전포장	지체유역	완충지대	건초습지	호우습지대
주차장	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
고속도로/도로	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
거주지	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
투수성			✓	✓		✓	✓	✓	✓
지붕 유출	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
도시 개보수	✓	✓	✓		✓	✓			

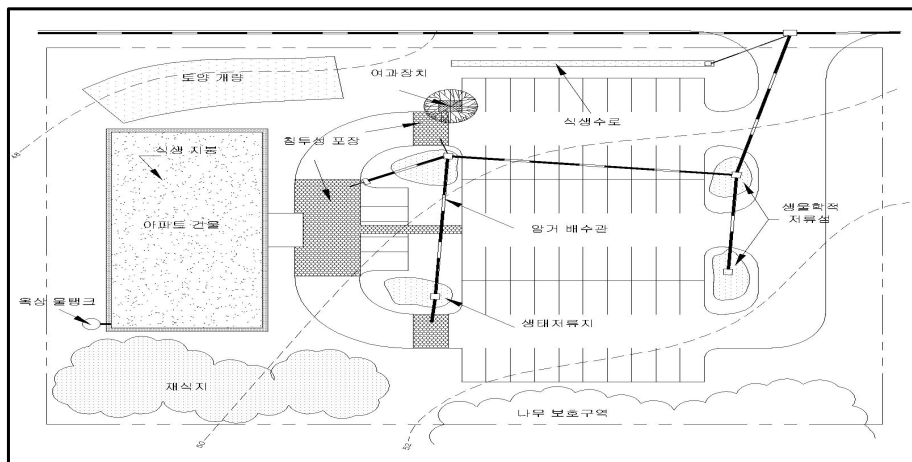
출처: LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련(환경부, 2009)

나. 비점오염저감시설의 세부적용 예(환경부, 2009)

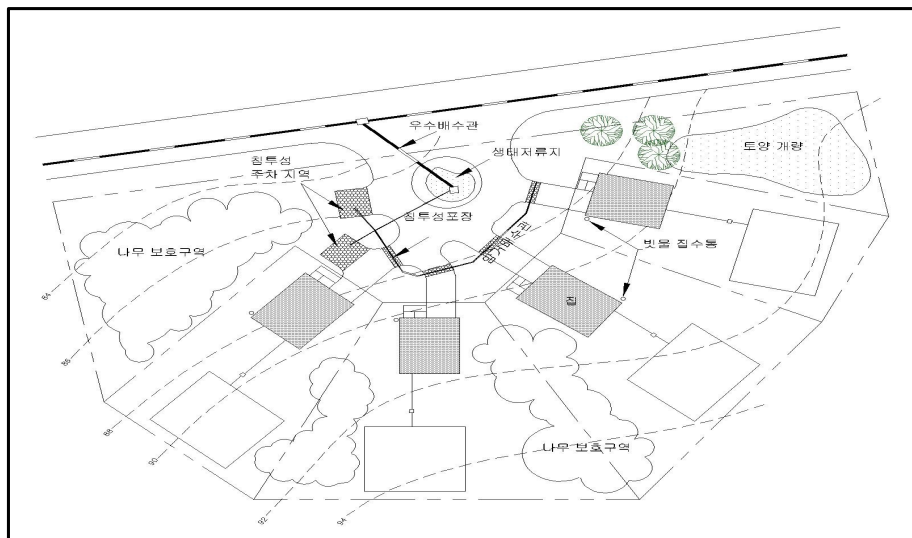
1) 주거지역

- 주거지역의 일반적인 개발 형태는 각 구조물의 정면 및 후면에 공간이 있으며, 통행을 위한 공간이 있다.
- 부지 설계 및 비점오염관리계획 수립시 가정에서 발생하는 유출량을 저감시키는 것에 초점을 두어야 한다.

고밀도 주거지역



식생체류장치의 적용 예



투수성 포장의 적용 예

일반 주거지역

투수성 포장의 적용 예

2) 상업/공업/공공 지역

- 상업/공업/공공 지역은 지표면 주차장과 차가 통행할 수 있는 지역으로 둘러싸여 있는 하나 혹은 여러 개의 큰 구조물로 이루어져 있다.
- 토지이용의 90% 이상이 open space이며, 일반적으로 포장지역이다.

상업/공업/공공 지역

This site plan illustrates a commercial/industrial/public area layout. Key features include:

- 관개 시스템 (Irrigation System):** Located in the top left corner.
- 옥상 물탱크 (Roof Water Tank):** Situated near the top left.
- 상업 건물 (Commercial Building):** A large central structure.
- 식생지붕 (Green Roof):** Located on the right side of the commercial building.
- 옥상 물탱크 (Roof Water Tank):** Another one on the right side.
- 생물학적 지류상 (Biological Stream):** A winding feature in the center.
- 침투성 포장 (Permeable Paving):** Indicated in several areas.
- 유출수 유입부 (Outflow Water Inlet):** Located on the left side.
- 나뭇여과장치 (Tree Filter):** A circular feature on the left.
- 배수구역 (Drainage Area):** A large central area.
- 무니 콘크리트 (Muni Concrete):** A specific paving material area.
- 조경화장 (Landscape Design):** A designated area on the right.
- 나무보호구역 (Tree Protection Area):** A hatched area on the right.
- 상업발판 (Commercial Platform):** A large rectangular area at the bottom.
- 식생수로 (Green Waterway):** A winding waterway at the bottom.
- PLAZA:** A central open space.

투수성 포장의 적용 예

This site plan demonstrates the application of permeable paving in different zones:

- 나무보호선 (Tree Protection Line):** A dashed line at the top.
- 토양개량 및 식물생성 (Soil Improvement and Plant Growth):** A hatched area at the top.
- 나무보호구역 (Tree Protection Area):** A hatched area on the right.
- 상생수로 (Symbiotic Waterway):** A winding waterway on the left.
- 안정동 구조 (Stable Structure):** A large central building.
- 장비 보관소 (Equipment Storage):** A smaller building next to the main one.
- 안정활동 지역 (Stable Activity Area):** A designated area near the main building.
- 경사지 (Sloped Land):** An area on the left.
- 생태 저류지 (Ecological Retention Pond):** A pond at the bottom left.
- 재식재 (Re-planting):** An area at the bottom left.
- 연석제거 (Curb Removal):** A feature near the bottom center.
- 나무 여과장치 (Tree Filter):** A circular feature at the bottom center.
- 투수성 포장 방목객/스텝 주차지역 (Permeable Paving for Grazing/Stepped Parking Area):** A hatched area on the right.
- 정비 건물 (Maintenance Building):** A building on the right.
- 식생 지붕 (Green Roof):** A feature on the right.
- 안개배수관 (Fog Drainage Pipe):** A feature at the bottom center.
- 우수배수관 (Rainwater Drainage Pipe):** A feature at the bottom center.

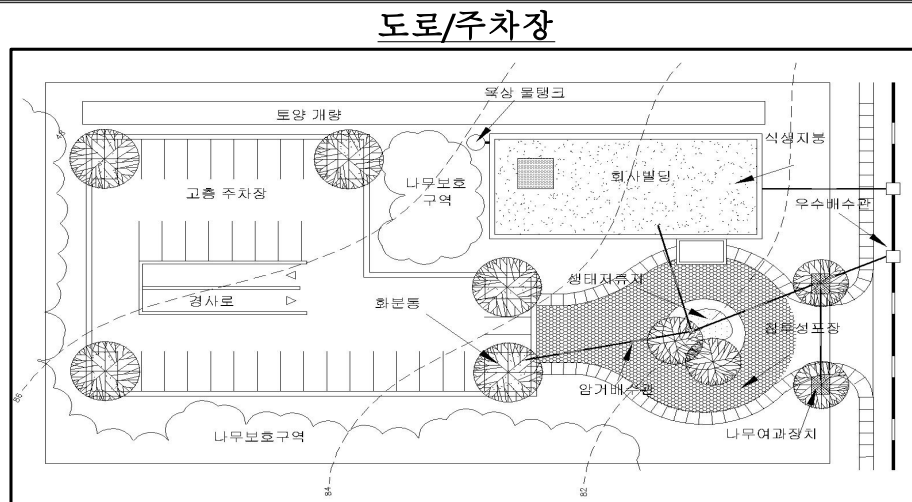
옥상녹화의 적용 예

This site plan illustrates the application of rooftop greening in various zones:

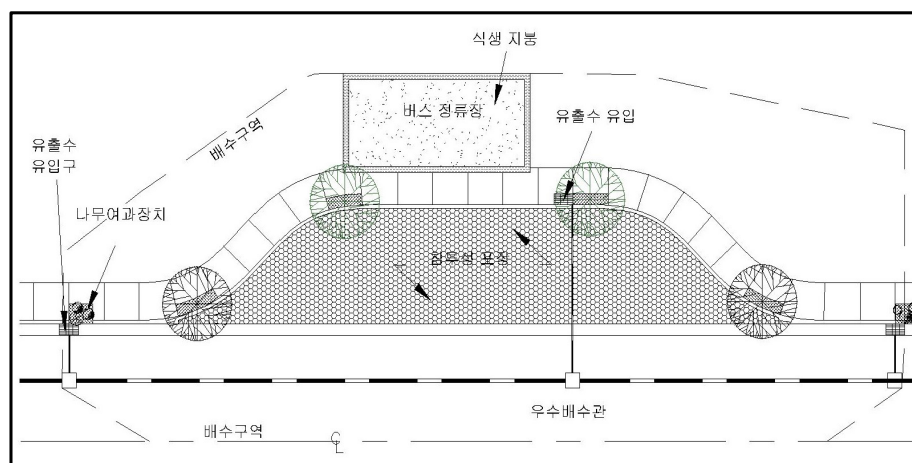
- 옥상물탱크 (Roof Water Tank):** Located in the top left.
- 관개 시스템 (Irrigation System):** Located in the top left.
- 옥상물탱크 (Roof Water Tank):** Another one in the top right.
- 식생지붕 (Green Roof):** A large area in the top right.
- 생물학적 지류상 (Biological Stream):** A winding feature in the center.
- 침투성 포장 (Permeable Paving):** Indicated in several areas.
- 유출수 유입부 (Outflow Water Inlet):** Located on the left side.
- 나뭇여과장치 (Tree Filter):** A circular feature on the left.
- 배수구역 (Drainage Area):** A large central area.
- 무니 콘크리트 (Muni Concrete):** A specific paving material area.
- 조경화장 (Landscape Design):** A designated area on the right.
- 나무보호구역 (Tree Protection Area):** A hatched area on the right.
- 상업발판 (Commercial Platform):** A large rectangular area at the bottom.
- 식생수로 (Green Waterway):** A winding waterway at the bottom.
- PLAZA:** A central open space.

3) 도로/주차장

- 일반적으로 포장지역이며 투수성 면적을 증대하는 방향으로 계획을 수립하되, 도로 및 주차장의 차량 통행에 문제가 발생하지 않도록 한다.



생태저류지의 적용 예



투수성 포장의 적용 예

2. 비점오염삭감부하량 산정방법

가. 개요

- 비점오염삭감부하량은 개발지역의 비점오염관리계획을 적용하기 전과 적용한 후에 발생하는 부하량의 차이이다.
- 본 지침은 개발부지 내에 소규모 비점오염저감시설들을 분산 적용하는 것을 권장하고 있으며, 이로 인해 삭감되는 부하량을 정확하게 산정하기 위해서는 물순환 해석이 필요하나, 계산상 편의를 위하여 각 소규모 시설들의 저류용량을 이용하여 개략 산정하도록 한다.
- 본 지침에서는 비점오염삭감량을 개략 산정하는 방법을 제시하고 있으므로 개발부지의 삭감가능한 최대부하량은 이러한 점을 고려하여 판단하여야 한다.
- 비점오염저감시설의 한 부분을 구성하는 전처리 시설의 경우 주처리 시설의 기능을 유지하기 위해 필요한 것이므로 개별시설로 인정하지 않는다.
- 비점오염저감시설의 삭감부하량 산정에 이용되는 저감효율은 <표 4.3>과 같다.

<표 4.3> 비점오염저감시설의 저감효율(%)

본 지침의 시설구분	수계오염총량관리 기술지침의 시설구분	시설	BOD	TN	TP
저류형	저류시설	습식연못	43	31	52
	인공습지	인공습지	53	24	70
침투형	침투시설	침투통, 침투관, 침투측구	53	72	46
		침투화분	75	73	72
		투수성포장	75	83	65
		침투저류지	73	74	79
		침투도랑	77	62	73
여과형	식생형 시설	식생여과대	44	42	42
		식생수로	34	45	51
	여과형 시설	여과시설 (모래여과 및 제조여과)	54	40	58
		빗물정원, 통로화분, 수목여과박스	54	49	65

주) 음영표시가 된 시설은 ‘수계오염총량관리 기술지침’에 제시된 비점오염저감시설로서, 그 저감효율은 ‘수계오염총량관리 기술지침’의 최신 개정사항에 따라 결정한다.

나. 비점오염저감시설별 삭감부하량 산정방법

1) 생태면적

- 자연의 순환기능을 가진 공간유형을 적용하여 비점오염을 저감하는 경우, 비점오염 삭감부하량은 계획된 공간유형의 가중치를 이용하여 결정한 생태면적을 임야로 간주하여 산정한다.

① 설치할 공간유형 선정 및 대상지 면적(A) 결정

※계획가능한 공간유형 및 면적으로 설계

② 생태면적(자연순환 기능면적) 산정

$$Ag = w \times A$$

여기서 Ag = 생태면적(km^2), A = 전체 대상지 면적(km^2),

w = 계획된 공간유형의 가중치

③ 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = UL_{pre} \times A - \{ UL_{post} \times Ag + UL_{pre} \times (A - Ag) \}$$

$$\therefore \Delta L = (UL_{pre} - UL_{post}) \times Ag$$

여기서 ΔL = 삭감부하량(kg/일), Ag = 생태면적(km^2),

UL_{pre} = 생태면적 적용전 대상지의 원단위(kg/일/km^2),

UL_{post} = 생태면적 적용후 대상지의 원단위(kg/일/km^2 , 일반적으로 BOD 0.93kg/일/km^2)

2) 빗물이용시설

- 빗물이용시설을 적용하여 비점오염을 저감하는 경우, 비점오염삭감부하량은 총 강우량(초기우수배제량과 집수대상강우량의 합)에 대한 삭감대상부하비에서 초기 우수배제량에 대한 삭감대상부하비를 공제한 삭감대상부하비와 빗물이용률 및 각 저감효율을 이용하여 산정한다.
- 빗물이용시설은 대상집수지역의 집수대상강우량을 처리하는 용량으로 설계되고, 빗물이용률을 연간집수가능한 총용량을 고려하여 결정한다.
- 집수된 빗물 중 용수로 이용되는 빗물의 저감효율은 100%, 이용되지 않는 빗물에 대한 저감효율은 일반적으로 저조류의 효율만큼 인정한다.

① 초기우수배제량(P_1)을 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

설계강우량(P_1) = 초기우수배제량

강우처리비₁ = $0.2716 \times \ln(P_1) - 0.2425$

삭감대상부하비₁ = $\exp[-0.0184 \times \{\ln(\text{강우처리비}_1)\}^2 + 0.6922 \times \ln(\text{강우처리비}_1)]$

② 초기우수배제량과 집수대상강우량의 총강우량(P_2)을 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

설계강우량(P_2) = 초기우수배제량 + 집수대상강우량

강우처리비₂ = $0.2716 \times \ln(P_2) - 0.2425$

삭감대상부하비₂ = $\exp[-0.0184 \times \{\ln(\text{강우처리비}_2)\}^2 + 0.6922 \times \ln(\text{강우처리비}_2)]$

③ 삭감대상부하비 산정

삭감대상부하비 = 삭감대상부하비₂ - 삭감대상부하비₁

※ 초기우수배제량이 없는 경우 집수대상강우량에 대한 삭감대상부하비 적용

④ 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = A \times UL \times \text{삭감대상부하비} \times \{r + (1-r) \times E/100\}$$

여기서 ΔL 은 삭감부하량(kg/일), A = 집수유역면적(km²),

UL = 집수유역의 원단위(kg/일/km²),

r = 빗물이용률, E = 저감시설(일반적으로 저류조)의 저감효율(%)

⑤ 빗물이용시설의 규모 결정

빗물저장조의 부피(m³) = 설치면적 × 집수대상강우량

⑥ 빗물급수계획의 결정

빗물급수계획량(m³) = 빗물집수가능량 × 빗물이용률

※ 강우사상의 변동에 따라 빗물저장조에 실제 저장되는 양은 달라지므로 이를 고려하여 빗물이용률을 결정한다.

3) 그 외 비점오염저감시설

- 그 외 비점오염저감시설의 삭감부하량은 각 시설의 규모가 대상집수지역에 대한 수질처리용량을 처리할 수 있도록 설계된 것을 확인한 후 산정한다.
- 비점오염삭감부하량은 수질처리용량의 설계강우량을 기준으로 산정한 삭감대상 부하비와 해당 비점오염저감시설의 저감효율을 이용하여 산정한다.

① 설계강우량(P) 결정

② 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v$$

여기서 WQv = 수질처리용량(m³), A = 집수유역면적(m²),

Rv = 체적유출계수, P = 설계강우량(mm)

※비점오염저감시설은 WQv를 처리할 수 있는 규모로 설계

③ 설계강우량(P) 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

$$\text{강우처리비} = 0.2716 \times \ln(P) - 0.2425$$

$$\text{삭감대상부하비} = \exp[-0.0184 \times \{\ln(\text{강우처리비})\}^2 + 0.6922 \times \ln(\text{강우처리비})]$$

④ 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = A \times UL \times \text{삭감대상부하비} \times E/100$$

여기서 ΔL은 삭감부하량(kg/일), A = 집수유역면적(km²),

UL = 집수유역의 원단위(kg/일/km²),

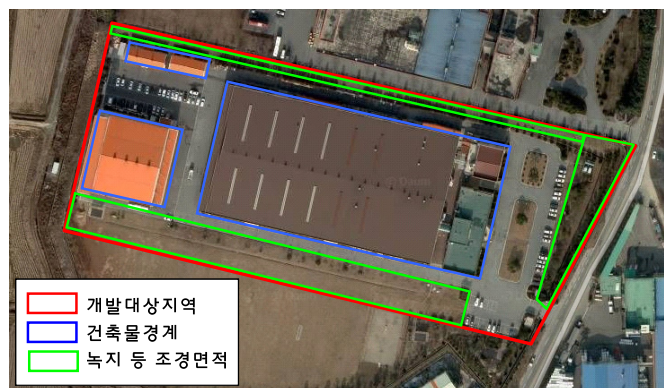
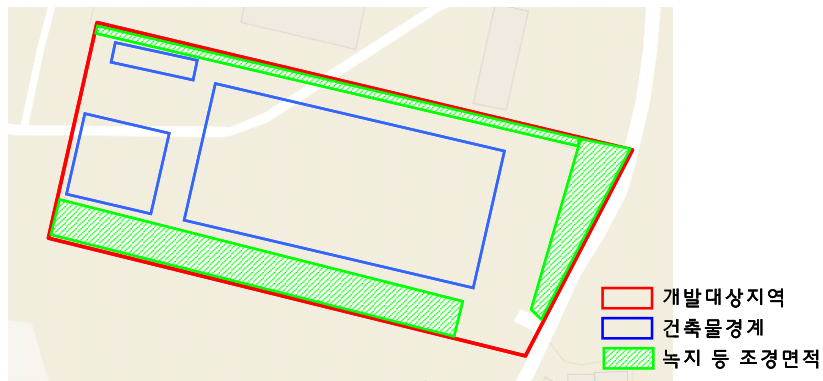
E = 저감시설의 저감효율(%)

제5장 비점오염관리계획 수립 예

1. 산업시설 개발사업

가. 개발사업 개요

- 사업내용: OO 화장품 생산공장
- 개발면적: 33,670m²
 - 건축면적: 14,495m²
(생산공장: 11,875m², 부대시설1: 2,200m², 부대시설2: 420m²)
 - 녹지 및 조경: 8,100m²
 - 기타: 11,075m²
- 개발전후 지목변경내역: 임야 → 대지
- 토양형 : Sandy loam



<그림 5.1> 비점오염관리계획 미수립시 토지이용형태 - 공장조성사업

개발사업 추진시 별도의 비점오염관리계획을 수립하지 않는 경우 불투수면적 증가(임야에서 대지로 지목변경 수반)로 인해 약 2.86kg-BOD/일(=33,670m²×(85.9-0.93)kg/일/km²)의 비점오염부하 증가가 예상된다.

나. 비점오염관리계획

산업시설 개발사업에 대한 비점오염관리계획을 수립하기 위해 개발부지 내 토지이용 형태별로 적용 가능한 비점오염관리기법을 검토하였으며(표 5.1), 개발부지 내 비점오염 부하 증가를 최소화하기 위하여 본 연구에서 제시된 비점오염관리기법 중 토지이용형태별로 적절한 시설 유형을 선택한 결과는 다음과 같다.

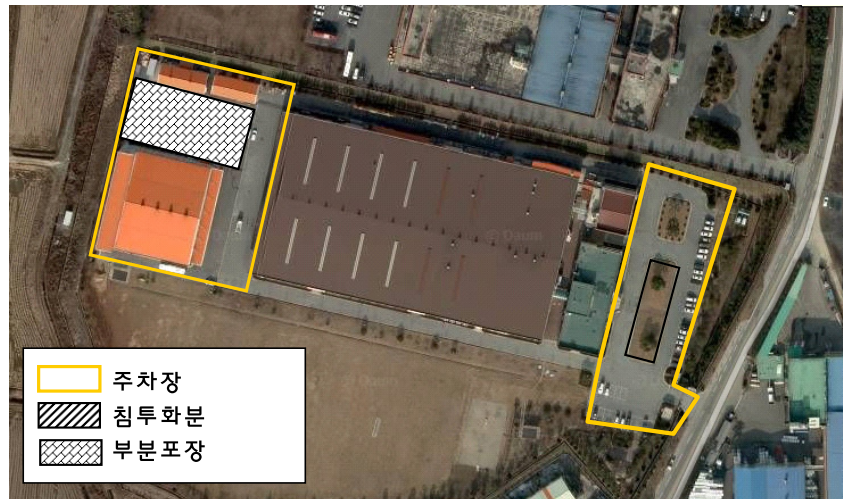
<표 5.1> 산업시설(공장) 내 토지이용형태별 적용 가능한 비점오염관리기법

구분	시설 종류	집수구역			
		지붕		주차장	도로
		평면	경사		
생태면적	지붕녹화	◎			
	부분포장			○	
빗물이용시설	빗물이용시설	◎	◎		
침투시설	침투통	○		○	○
	침투관	○		○	○
	침투측구	○		○	○
	투수포장			○	○
	침투화분	○			
여과 시설	통로화분	○			
	빗물정원			○	○
	수목박스			○	○
	식생수로			○	○
	식생여과대			○	○
	모래여과			○	○

◎: 적용 가능, ○: 하부토양의 투수조건 및 비점오염물질 종류에 대한 지하수 안정성 만족시 적용 가능

<표 5.2> 토지이용형태별 비점오염관리기법 선정

비점오염관리대상	토지이용형태	비점오염관리기법
건축물	생산공장 (158.33m×75m)	침투통, 침투관 조합
	부대시설1	빗물이용시설
	부대시설2	
주차장	주차장1	침투화분
	주차장2	부분포장
그 외	기타	인공지반녹지(8,100m ²)



<그림 5.2> 비점오염관리계획 수립시 토지이용형태 - 공장조성사업

다. 시설별 설계 및 삭감량 산정

개발부지 내 토지이용형태별로 선정된 비점오염관리기법에 대해 적정 설계용량과 이에 따른 비점삭감량(kg-BOD/일)을 검토하였다.

1) 인공지반녹지 조성

① 설치할 공간유형 선정 및 대상지 면적(A) 결정

- 인공지반녹지 토양층의 두께 = 90cm 이상(생태면적률 가중치 = 0.7)
- 인공지반녹지 조성면적 = 8,100m²

② 생태면적(자연순환 기능면적) 산정

$$Ag = w \times A = 0.7 \times 8,100 \times 10^{-6} = 0.00567$$

여기서 Ag = 생태면적(km^2), A = 전체 대상지 면적(km^2),

w = 계획된 공간유형의 가중치

③ 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = (UL_{pre} - UL_{post}) \times Ag = (85.9 - 0.93) \times 0.00567 = 0.48 \text{ kg/일}$$

여기서 ΔL = 삭감부하량(kg/일), Ag = 생태면적(km^2),

UL_{pre} = 생태면적 적용전 대상지의 원단위(kg/일/km^2),

UL_{post} = 생태면적 적용후 대상지의 원단위(kg/일/km^2 , 일반적으로 BOD 0.93kg/일/km^2)

2) 건축물 비점오염관리

가) 생산공장

STEP1) 수질처리용량 산정

① 설계강수량(P) 결정: $P = 30\text{mm}$

② 수질처리용량(WQ_v) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v = 10^{-3} \times 30 \times 11,875 \times 0.95 = 338.4\text{m}^3$$

여기서 WQ_v = 수질처리용량(m^3), A = 집수유역면적(m^2),

R_v = 체적유출계수, P = 설계강수량(mm)

STEP2) 침투통/침투관 설치 규모 결정*

※ 「우수유출저감시설의 종류구조설치 및 유지관리기준(소방방재청, 2008)」에 제시된 방법에 따라 산정

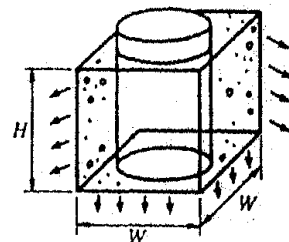
※ 현장침투시험을 수행하여 토양의 포화투수계수($k_0 = Q_t/K_t$) 결정: 여기서 $k_0 = 0.025(\text{m/hr})$

① 침투통/침투관 단위설계침투량/처리용량 산정

○ 침투통 단위시설당 설계침투량/처리용량

< 침투통 개요 >

- 정방향 침투통(측면 및 저면)
- 폭(W) 2m, 설계수두(H) 1.5m
- 침투통 지름(d) 1.2m
- 높이(h) 1.5m
- 침투시간 $T=2\text{hr}$



- 침투통 비침투량(Kf)

$$\text{계수 } a = -0.453W^2 + 8.289W + 0.753 = 15.519$$

$$\text{계수 } b = 1.458W^2 + 1.27W + 0.362 = 8.734$$

$$K_f = aH + b = 15.519 \times 1.5 + 8.734 = 32.013(\text{m}^2)$$

- 침투통 기준침투량(Qf)

$$Q_f = k_0 \times K_f = 0.025(\text{m/hr}) \times 32.013(\text{m}^2) = 0.800\text{m}^3/\text{hr}$$

- 침투통 단위 설계침투량

$$Q = C \times A_f = \text{영향계수} \times \text{기준침투량} = 0.81 \times 0.800 = 0.648\text{m}^3/\text{hr}$$

- 침투통 단위시설당 처리용량(WQv1')

$$WQv1' = \text{침투통 부피} + \text{침투통 외부 자갈층} + \text{토양 침투량}$$

$$= \pi \times d^2 / 4 \times h + (W \times W \times H - \pi \times d^2 / 4 \times h) \times \rho + Q \times T$$

$$= 3.14 \times 1.2^2 / 4 \times 1.5 + (2 \times 2 \times 1.5 - 3.14 \times 1.2^2 / 4 \times 1.5) \times 0.32 + 0.648 \times 2$$

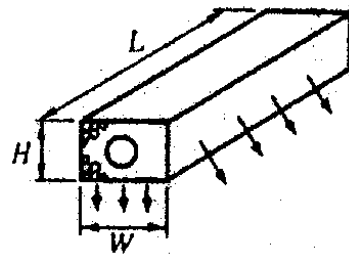
$$= 4.4\text{m}^3/\text{개}$$

○ 침투관 단위길이당 설계침투량

※ <표 3.4> 각종 침투시설의 비침투량[K_f 및 K_f (m²)] 산정식 참조

< 침투관 개요 >

- 폭(W) 1m
- 설계수두(H) 1m
- 침투관 지름(d) 0.5m
- 침투시간 T=2hr



- 침투관 비침투량(Kf)

$$\text{계수 } a = 3.093, \text{ 계수 } b = 1.34W + 0.677 = 2.017$$

$$K_f = aH + b = 3.093 \times 1 + 2.017 = 5.110(\text{m}^2)$$

- 침투관 기준침투량(Qf)

$$Q_f = k_0 \times K_f = 0.025(\text{m/hr}) \times 5.110(\text{m}^2) = 0.128\text{m}^3/\text{hr}$$

- 침투관 단위 설계침투량

$$Q = C \times A_f = \text{영향계수} \times \text{기준침투량} = 0.81 \times 0.128 = 0.103\text{m}^3/\text{hr}$$

- 침투관 단위시설당 처리용량(WQv2')

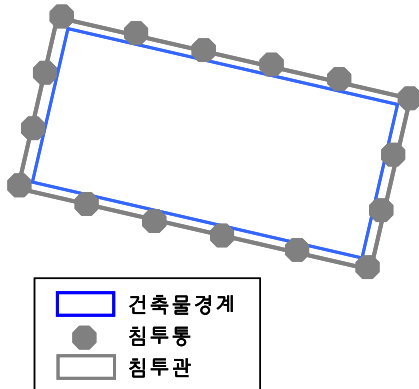
$$WQv2' = \text{침투관 부피} + \text{침투통 외부 자갈층} + \text{토양 침투량}$$

$$= 3.14 \times 0.25 \times 0.25 + (1 \times 1 - 3.14 \times 0.25 \times 0.25) \times 0.32 + 0.103\text{m}^3/\text{hr} \times 2\text{hr}$$

$$= 0.66\text{m}^3$$

② 침투통/침투관의 규모 결정

- 강우유출수의 배수흐름에 문제가 없도록 설치한다.



○ 침투통/침투관의 설치 개요

- 침투통 설치개수: 16개
- 침투관 설치길이(L, m)

$$= (\text{건축물 가로} + \text{세로}) \times 2 - \text{침투통 너비}$$

$$= (158.33 + 75) \times 2 - 16 \times 2$$

$$= 434.66\text{m} \approx 435\text{m}$$

< 침투통/침투관 배치도 >

○ 침투통/침투관의 수질처리용량 확인

- 총수질처리용량

$$= \text{침투통 수질처리용량}(\sum WQ_{v1'}) + \text{침투관 수질처리용량}(\sum WQ_{v2'})$$

$$= \text{침투통 개수} \times \text{단위시설당 처리용량} + \text{침투관 설치길이} \times \text{단위길이당 처리용량}$$

$$= 16\text{개} \times 4.4\text{m}^3/\text{개} + 435\text{m} \times 0.66\text{m}^3/\text{m} = 69.91 + 287.1 = 357.0\text{m}^3$$
- 30mm 설계강우량을 처리하기 위한 수질처리용량(= 338.4m³)

$$\sum WQ_{v1'} + \sum WQ_{v2'} = 357.0\text{m}^3 > WQ_v = 338.4\text{m}^3 \rightarrow \text{O.K.}$$

※ 침투통/침투관은 WQ_v를 처리할 수 있는 규모로 설계되었음

STEP3) 설계강우량 및 삭감대상부하비 최종 결정

- ① 침투통과 침투관을 설계된 규모로 조합설치시 처리가능한 용량(=357.0m³)에 해당하는 설계강우량 최종 결정

$$P = \frac{WQ_v \times 10^3}{A \times R_v} = \frac{357.0 \times 10^3}{11,875 \times 0.95} = 31.6\text{mm}$$

- ② 설계강우량(P) 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

- 강우처리비 = $0.2716 \times \ln(P) - 0.2425 = 0.2716 \times \ln(31.6) - 0.2425 = 0.6954$
- 삭감대상부하비 = $\exp[-0.0184 \times \{\ln(\text{강우처리비})\}^2 + 0.6922 \times \ln(\text{강우처리비})]$

$$= \exp[-0.0184 \times \{\ln(0.6954)\}^2 + 0.6922 \times \ln(0.6954)] = 0.776$$

STEP4) 침투통+침투관 조합설치에 따른 비점삭감량 산정

- 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = A \times UL \times \text{삭감대상부하비} \times E/100$$

$$= 11,875 \times 10^{-6} \times 85.9 \times 0.776 \times 53/100 = 0.42 \text{ kg/일}$$

여기서 ΔL 은 삭감부하량(kg/일), A = 집수유역면적(km²),

UL = 집수유역의 원단위(kg/일/km²),

E = 저감시설의 저감효율(%)

나) 부대시설

STEP1) 빗물이용시설의 설치내용 및 빗물급수계획

- 빗물이용시설 설치내역: 부대시설1+2 건물면적 = 2,620m²
- 빗물 저장조의 부피 = $2,620 \times 0.035 = 91.7\text{m}^3$ (집수대상강우량 = 35mm)
- 건물사용계획 = 사무실 및 당직실, 사용인원 40명
- 물사용량 예측 = 40인 $\times$ 200L/인/일* = 8.0m³/일
- 빗물이용률 = 64%

STEP2) 빗물이용시설 설치에 따른 비점삭감량

① 초기우수배제량(P_1)을 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

설계강우량(P_1) = 초기우수배제량 = 3mm 배제

강우처리비₁ = $0.2716 \times \ln(3) - 0.2425 = 0.05588$

삭감대상부하비₁ = $\exp[-0.0184 \times \{\ln(0.05588)\}^2 + 0.6922 \times \ln(0.05588)] = 0.117$

② 초기우수배제량과 집수대상강우량의 총강우량(P_2)을 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

설계강우량(P_2) = 초기우수배제량 + 집수대상강우량 = 3+35 = 38mm

강우처리비₂ = $0.2716 \times \ln(38) - 0.2425 = 0.7455$

삭감대상부하비₂ = $\exp[-0.0184 \times \{\ln(0.7455)\}^2 + 0.6922 \times \ln(0.7455)] = 0.815$

③ 삭감대상부하비 산정

삭감대상부하비 = 삭감대상부하비₂ - 삭감대상부하비₁ = 0.815 - 0.117 = 0.698

④ 삭감부하량(ΔL) 산정

$\Delta L = A \times UL \times \text{삭감대상부하비} \times \{r + (1-r) \times E/100\}$

$= 2,620 \times 10^{-6} \times 85.9 \times 0.698 \times \{0.64 + (1-0.64) \times 25/100\} = 0.11 \text{ kg/일}$

여기서 ΔL 은 삭감부하량(kg/일), A = 집수유역면적(km²),

UL = 집수유역의 원단위(kg/일/km²),

r = 빗물이용률, E = 저감시설(일반적으로 저류조)의 저감효율(%)

3) 주차장 비점오염관리

가) 주차장 1

STEP1) 수질처리용량 산정

① 설계강수량(P) 결정: $P = 30\text{mm}$

② 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v = 10^{-3} \times 30 \times 4,320 \times 0.95 = 123.1\text{m}^3$$

여기서 WQ_v = 수질처리용량(m^3), A = 집수유역면적(m^2),

R_v = 체적유출계수, P = 설계강수량(mm)

STEP2) 침투화분의 설치 규모 결정

<침투화분 개요>

- 식재토양층 높이 = 0.5m
- 자갈층 높이 = 0.3m
- 하부토양의 종기침투속도, $K = 25 \text{ mm/hr}$

① 침투화분 표면적(A_f)

$$A_f = \frac{WQ_v}{\rho_s d_s + \rho_g d_g + 10^{-3} K t} = \frac{123.1}{0.5 \times 0.2 + 0.3 \times 0.32 + 10^{-3} \times 25 \times 2} = \underline{500.5 \text{ m}^2}$$

여기서 ρ_s = 식재토양층의 공극율(본 사업의 경우 0.2 적용),

d_s = 식재토양층의 두께(m, 최소 0.45m),

ρ_g = 충전물의 공극율(자갈의 경우 0.32 적용),

d_g = 충전물의 두께(m, 최소 0.30m),

K = 하부토양의 종기침투속도(mm/hr),

t = 충전시간(hr, 일반적으로 2시간으로 가정)

② 배수시간(T) 확인

$$T = \frac{d_g + d_s + h}{10^{-3} K} = \frac{0.5 + 0.3 + 0.15/2}{10^{-3} \times 25} = 23.8\text{시간} < 48\text{시간} \rightarrow \text{O.K.}$$

여기서 T = 배수시간(hr), h = 평균담수심($=1/2 h_{\max}$, m)

③ 침투화분 규모 확정

- 표면적 = $500.5\text{m}^2 \rightarrow$ 설치가능면적임, O.K.

STEP3) 침투화분 설치에 따른 비점삭감량 산정

- ① 설계강우량(P) 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

$$\text{강우처리비} = 0.2716 \times \ln(30) - 0.2425 = 0.6813$$

$$\text{삭감대상부하비} = \exp[-0.0184 \times \{\ln(0.6813)\}^2 + 0.6922 \times \ln(0.6813)] = 0.765$$

- ② 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = A \times UL \times \text{삭감대상부하비} \times E/100$$

$$= 4,320 \times 10^{-6} \times 85.9 \times 0.765 \times 75/100 = 0.21 \text{ kg/일}$$

여기서 ΔL 은 삭감부하량(kg/일), A = 집수유역면적(km²),

UL = 집수유역의 원단위(kg/일/km²),

E = 저감시설의 저감효율(%)

나) 주차장 2

- ① 설치할 공간유형 선정 및 대상지 면적(A) 결정

- 부분포장 면적 = 1,500m² (생태면적률 가중치 = 0.5)

- ② 생태면적(자연순환 기능면적) 산정

$$Ag = w \times A = 0.5 \times 1,500 \times 10^{-6} = 0.00075$$

여기서 Ag = 생태면적(km²), A = 전체 대상지 면적(km²),

w = 계획된 공간유형의 가중치

- ③ 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = (UL_{\text{pre}} - UL_{\text{post}}) \times Ag = (85.9 - 0.93) \times 0.00075 = 0.06 \text{ kg/일}$$

여기서 ΔL = 삭감부하량(kg/일), Ag = 생태면적(km²),

UL_{pre} = 생태면적 적용전 대상지의 원단위(kg/일/km²),

UL_{post} = 생태면적 적용후 대상지의 원단위(kg/일/km², 일반적으로 BOD 0.93kg/일/km²)

4) 비점오염원관리에 따른 비점삭감량 총합

○ 개발사업으로 인한 비점부하 증가량 = 2.86 kg-BOD/일

○ 비점오염 관리계획에 따른 비점삭감량

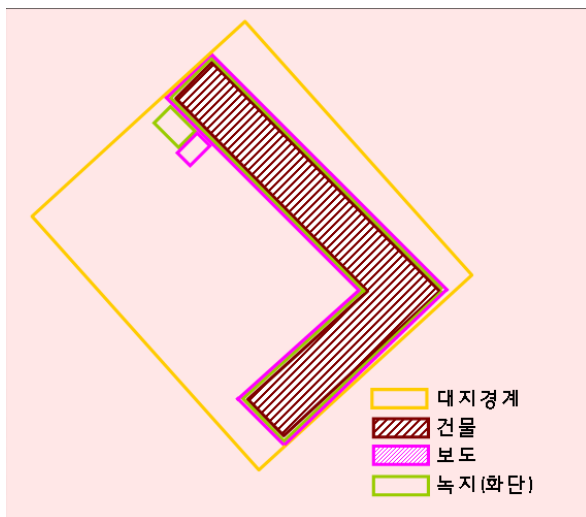
$$= 0.48 + 0.42 + 0.11 + 0.21 + 0.06 = 1.28 \text{ kg-BOD/일}$$

2. 공동주택 개발사업

가. 개발사업 개요

- 사업내용: OO아파트(L자형 아파트 1개동, 15층 150세대)
- 개발면적: 6,350m²
 - 건축면적: 1,652m² (콘크리트 평면 지붕)
 - 주차장 면적: 제1주차장 3,250m², 제2주차장 778.5m²
 - 기 타 : 669.5m² (건물 주변에 화단(폭 1m), 화단 외측에 보도(1m) 설치 예정)
- 개발전후 지목변경내역: 임야 → 대지
- 토양형 : Sandy loam

개발사업 추진시 별도의 비점오염관리계획을 수립하지 않는 경우 불투수면적 증가(임야에서 대지로 지목변경 수반)로 인해 약 0.54kg-BOD/일($=6,350\text{m}^2 \times (85.9-0.93)\text{kg/일/km}^2$)의 비점오염부하 증가가 예상된다.



<그림 5.3> 비점오염관리계획 미수립시 토지이용형태 - 공동주택 개발사업

나. 비점오염관리계획

공동주택단지와 같은 도시개발사업에 대한 비점오염관리계획을 수립하기 위해 개발부지 내 토지이용형태별로 적용 가능한 비점오염관리기법을 검토하였으며(표 5.3), 개발부지 내 비점오염부하 증가를 최소화하기 위하여 본 연구에서 제시된 비점오염관리기법 중 토지이용형태별로 적절한 시설 유형을 선택한 결과는 다음과 같다.

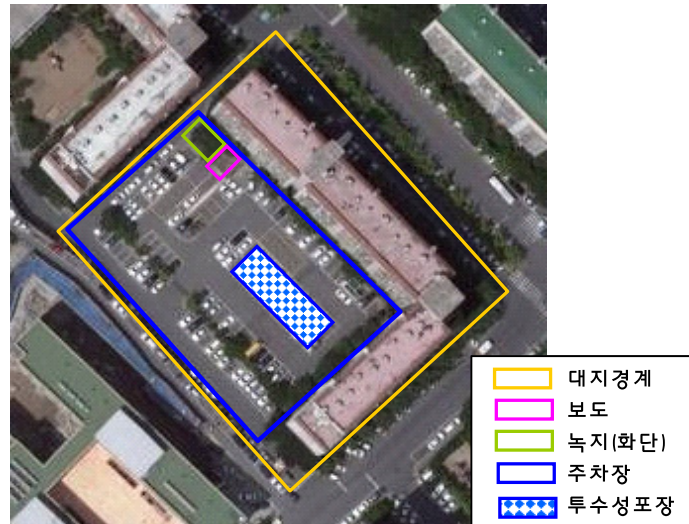
<표 5.3> 공동주택단지 내 토지이용형태별 적용 가능한 비점오염관리기법

구분	시설 종류	집수구역				
		지붕		주차장	보도	도로
		평면	경사			
생태면적	지붕녹화	◎				
	부분포장				○	
빗물이용시설	빗물이용시설	◎	◎			
침투시설	침투통	○		○	○	○
	침투관	○		○	○	○
	침투측구	○		○	○	○
	투수포장			○	○	○
	침투화분	○			○	
여과 시설	통로화분	○			○	
	빗물정원			○		○
	수목박스			○	○	○
	식생수로			○		○
	식생여과대			○		○
	모래여과			○		○

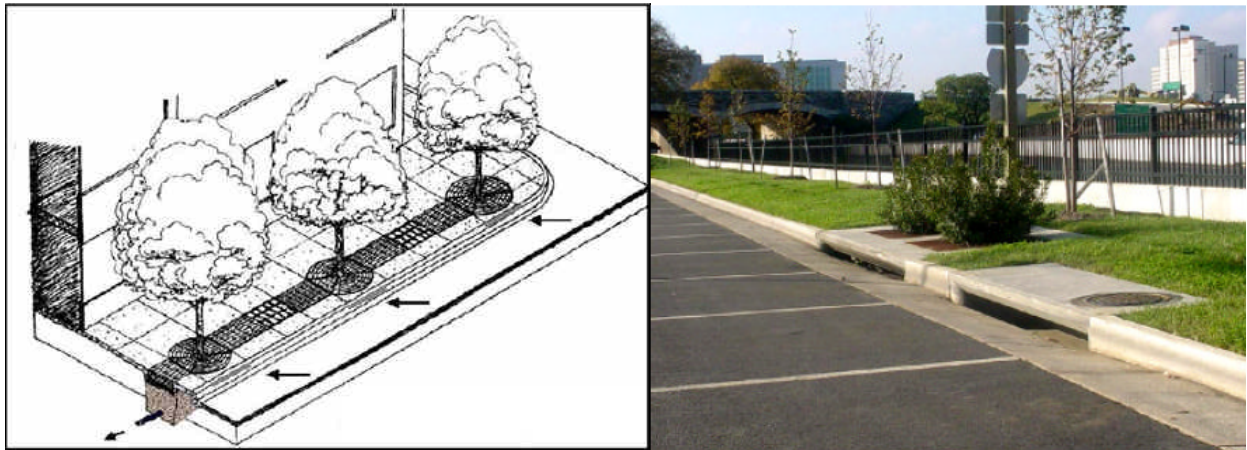
◎: 적용 가능, ○: 하부토양의 투수조건 및 비점오염물질 종류에 대한 지하수 안정성 만족시 적용 가능

<표 5.4> 토지이용형태별 비점오염관리기법 선정

비점오염관리대상	토지이용형태	비점오염관리기법
건축물	건물(공동주택)	옥상녹화(≥20cm)
그 외	화단	인공지반녹지(<90cm)
	보도	부분포장
주차장	주차장1	투수성 포장
	주차장2	수목여과박스



<그림 5.4> 비점오염관리계획 수립시 토지이용형태 - 공동주택 개발사업



<그림 5.5> 수목여과박스의 적용

다. 시설별 설계 및 삭감량 산정

개발부지 내 토지이용형태별로 선정된 비점오염관리기법에 대해 적정 설계용량과 이에 따른 비점삭감량(kg-BOD/일)을 검토하였다.

1) 건축물(공동주택) 비점오염관리

① 설치할 공간유형 선정 및 대상지 면적(A) 결정

- 옥상녹화 토양층의 두께 = 20cm 이상(생태면적률 가중치 = 0.6)
- 옥상녹화면적 = 건물전체면적 = 1,652m²

② 생태면적(자연순환 기능면적) 산정

$$Ag = w \times A = 0.6 \times 1,652 \times 10^{-6} = 0.000991$$

여기서 Ag = 생태면적(km^2), A = 전체 대상지 면적(km^2),

w = 계획된 공간유형의 가중치

③ 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = (UL_{\text{pre}} - UL_{\text{post}}) \times Ag = (85.9 - 0.93) \times 0.000991 = 0.084 \text{ kg/일}$$

여기서 ΔL = 삭감부하량(kg/일), Ag = 생태면적(km^2),

UL_{pre} = 생태면적 적용전 대상지의 원단위(kg/일/km^2),

UL_{post} = 생태면적 적용후 대상지의 원단위(kg/일/km^2 , 일반적으로 BOD 0.93kg/일/km^2)

2) 화단 조성

① 설치할 공간유형 선정 및 대상지 면적(A) 결정

- 인공지반녹지 두께 = 90cm 미만(생태면적률 가중치 = 0.5)

- 인공지반녹지면적 = 화단면적 = 328m^2 (건물주변+건물입구에 설치)

② 생태면적(자연순환 기능면적) 산정

$$Ag = w \times A = 0.5 \times 328 \times 10^{-6} = 0.000164$$

여기서 Ag = 생태면적(km^2), A = 전체 대상지 면적(km^2),

w = 계획된 공간유형의 가중치

③ 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = (UL_{\text{pre}} - UL_{\text{post}}) \times Ag = (85.9 - 0.93) \times 0.000164 = 0.014 \text{ kg/일}$$

여기서 ΔL = 삭감부하량(kg/일), Ag = 생태면적(km^2),

UL_{pre} = 생태면적 적용전 대상지의 원단위(kg/일/km^2),

UL_{post} = 생태면적 적용후 대상지의 원단위(kg/일/km^2 , 일반적으로 BOD 0.93kg/일/km^2)

3) 보도 비점오염관리

① 설치할 공간유형 선정 및 대상지 면적(A) 결정

- 부분포장 (생태면적률 가중치 = 0.5)

- 부분포장 면적 = 보도 면적 = 319.5m^2 (건물주변+건물입구에 설치)

② 생태면적(자연순환 기능면적) 산정

$$Ag = w \times A = 0.5 \times 319.5 \times 10^{-6} = 0.00016$$

여기서 Ag = 생태면적(km^2), A = 전체 대상지 면적(km^2),

w = 계획된 공간유형의 가중치

③ 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = (UL_{pre} - UL_{post}) \times Ag = (85.9 - 0.93) \times 0.00016 = 0.014 \text{ kg/일}$$

여기서 ΔL = 삭감부하량(kg/일), Ag = 생태면적(km^2),

UL_{pre} = 생태면적 적용전 대상지의 원단위(kg/일/km^2),

UL_{post} = 생태면적 적용후 대상지의 원단위(kg/일/km^2 , 일반적으로 BOD 0.93kg/일/km^2)

4) 주차장 비점오염관리

가) 제1주차장

STEP1) 수질처리용량 산정

① 설계강수량(P) 결정: $P = 30\text{mm}$

② 수질처리용량(WQ_v) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v = 10^{-3} \times 30 \times 3,250 \times 0.95 = 92.6\text{m}^3$$

여기서 WQ_v = 수질처리용량(m^3), A = 집수유역면적(m^2),

R_v = 체적유출계수, P = 설계강수량(mm)

STEP2) 투수성 포장의 설치 규모 결정

<투수성 포장의 개요>

- 포장층 높이 = 0.1m , 하부 자갈충진층 높이 = 0.8m , 종기침투속도, $K = 25 \text{ mm/hr}$

① 투수성 포장의 표면적(A_p)

$$A_p = \frac{WQ_v}{\rho_p d_p + \rho_g d_g + 10^{-3} K t} = \frac{92.6}{0.1 \times 0.18 + 0.8 \times 0.32 + 10^{-3} \times 25 \times 2} = \underline{285.9 \text{ m}^2}$$

여기서 A_p = 투수성포장의 면적(m^2), ρ_p = 포장층의 공극율(투수성 콘크리트의 경우 0.18),

d_p = 포장층의 두께(최소 0.075m 이상), ρ_g = 충진물의 공극율(자갈의 경우 0.32 적용),

d_g = 충진물의 두께(m , 최소 $0.6\text{--}1.2\text{m}$), K = 하부토양의 종기침투속도(mm/hr),

t = 충전시간(hr , 일반적으로 2 시간으로 가정)

② 배수시간(T) 확인

$$T = \frac{d_g + d_p}{10^{-3}K} = \frac{0.1 + 0.8}{10^{-3} \times 25} = 36 \text{시간} < 48 \text{시간} \rightarrow \text{O.K.}$$

③ 투수성 포장 규모 확정

- 투수성 포장면적 = $285.9\text{m}^2 \rightarrow$ 설치가능면적임, O.K.

STEP3) 투수성 포장 설치에 따른 비점삭감량 산정

① 설계강우량(P) 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

$$\text{강우처리비} = 0.2716 \times \ln(30) - 0.2425 = 0.6813$$

$$\text{삭감대상부하비} = \exp[-0.0184 \times \{\ln(0.6813)\}^2 + 0.6922 \times \ln(0.6813)] = 0.765$$

② 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\begin{aligned} \Delta L &= A \times UL \times \text{삭감대상부하비} \times E/100 \\ &= 3,250 \times 10^{-6} \times 85.9 \times 0.765 \times 75/100 = 0.160 \text{ kg/일} \end{aligned}$$

여기서 ΔL 은 삭감부하량(kg/일), A = 집수유역면적(km^2),

UL = 집수유역의 원단위(kg/일/ km^2), E = 저감시설의 저감효율(%)

나) 제2주차장

○ 수목여과박스의 규모 결정 방법

※ 여기서는 제조업체의 권장 규모로 설치

- 버지니아 대학의 연구결과 이용 : $1.82\text{m} \times 1.82\text{m}$ 규모의 수목여과박스 선정

STEP1) 수목여과박스 설치개수 산정

① 설계강우량(P) 결정: $P = 32\text{mm}$

- $1.82\text{m} \times 1.82\text{m}$ 수목여과박스의 배수유역면적에 대한 수목여과박스면적의 비는 0.33%이므로 $778.5 \times 0.33/100 = 2.56\text{m}^2 (< 3.3\text{m}^2)$ 필요

- $1.82\text{m} \times 1.82\text{m} (= 3.3\text{m}^2) \rightarrow$ 수목여과박스 소요개수 = 1개

STEP2) 수목여과박스 1개 설치에 따른 비점삭감량 산정

① 설계강우량(P) 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

$$\text{강우처리비} = 0.2716 \times \ln(32) - 0.2425 = 0.6988$$

$$\text{삭감대상부하비} = \exp[-0.0184 \times \{\ln(0.6988)\}^2 + 0.6922 \times \ln(0.6988)] = 0.778$$

② 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\begin{aligned}\Delta L &= A \times UL \times \text{삭감대상부하비} \times E/100 \\ &= 778.5 \times 10^{-6} \times 85.9 \times 0.778 \times 54/100 = 0.028 \text{ kg/일}\end{aligned}$$

여기서 ΔL 은 삭감부하량(kg/일), A = 집수유역면적(km²),

UL = 집수유역의 원단위(kg/일/km²),

E = 저감시설의 저감효율(%)

5) 비점오염원관리에 따른 비점삭감량 총합

○ 개발사업으로 인한 비점부하 증가량 = 0.54 kg-BOD/일

○ 비점오염원 관리계획에 따른 비점삭감량

$$= 0.084 + 0.014 + 0.014 + 0.160 + 0.028 = 0.3 \text{ kg-BOD/일}$$

3. 골프장 개발사업

가. 개발사업 개요

- 사업내용: OO 골프장
- 개발면적: 221,842m²
 - 골프장 필드면적: 212,272m²
 - 시설물 면적: 9,570m²
(클럽하우스: 1,872m², 부대시설1: 1,094m², 부대시설2: 518m², 주차장: 5,219m², 기타: 867m²)
- 개발전후 지목변경내역:
 - 골프장 필드 : 임야 → 기타
 - 시설물 : 임야 → 대지
- 토양형 : Loamy Sand

개발사업 추진시 별도의 비점오염관리계획을 수립하지 않는 경우 불투수면적 증가(임야에서 대지로 지목변경 수반)로 인해 약 0.82kg-BOD/일(=212,272m²×(0.96-0.93)kg/일/km² +9,570m²×(85.9-0.93)kg/일/km²=0.006+0.813)의 비점오염부하 증가가 예상된다.



<그림 5.6> 비점오염관리계획 미수립시 토지이용형태 - 골프장 조성사업

나. 비점오염관리계획

골프장 필드의 건설로 인하여 증가하는 비점오염부하는 약 0.006kg-BOD/일로서 그 증가가 현저하지 않으므로 골프장 필드에 대한 별도의 비점오염관리계획은 수립하지 않는 것으로 한다. 단, 시설물 건설에 따른 비점오염부하는 다소 증가하므로 이에 대한 비점오염관리계획을 수립하기 위해 개발부지 내 토지이용형태별로 적용 가능한 비점오염관리기법을 검토하였으며(표 5.5), 개발부지 내 비점오염부하 증가를 최소화하기 위하여 본 연구에서 제시된 비점오염관리기법 중 토지이용형태별로 적절한 시설 유형을 선택한 결과는 다음과 같다.

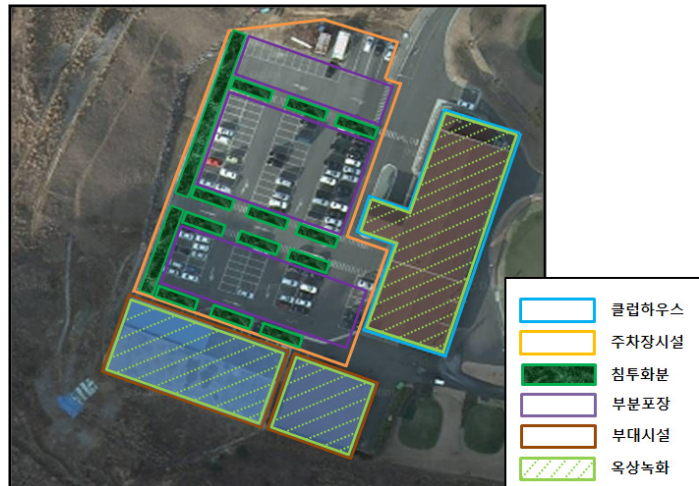
<표 5.5> 골프장 건축시설물의 토지이용형태별 적용 가능한 비점오염관리기법

구분	시설 종류	집수구역				
		지붕		주차장	보도	도로
		평면	경사			
생태면적	지붕녹화	◎				
	부분포장				○	
빗물이용시설	빗물이용시설	◎	◎			
침투시설	침투통	○		○	○	○
	침투관	○		○	○	○
	침투측구	○		○	○	○
	투수포장			○	○	○
	침투화분	○			○	
여과 시설	통로화분	○			○	
	빗물정원			○		○
	수목박스			○	○	○
	식생수로			○		○
	식생여과대			○		○
	모래여과			○		○

◎: 적용 가능, ○: 하부토양의 투수조건 및 비점오염물질 종류에 대한 지하수 안정성 만족시 적용 가능

<표 5.6> 토지이용형태별 비점오염관리기법 선정

비점오염관리대상	토지이용형태	비점오염관리기법
건축물	클럽하우스	옥상녹화(≥20cm)
주차장	주차장	침투화분



<그림 5.7> 비점오염관리계획 수립시 토지이용계획 - 골프장 조성사업

다. 시설별 설계 및 삭감량 산정

개발부지 내 토지이용형태별로 선정된 비점오염관리기법에 대해 적정 설계용량과 이에 따른 비점삭감량(kg-BOD/일)을 검토하였다.

1) 건축물 비점오염관리

① 설치할 공간유형 선정 및 대상지 면적(A) 결정

- 옥상녹화 토양층의 두께 = 20cm 이상(생태면적률 가중치 = 0.6)
- 옥상녹화면적 = 건물전체면적(클럽하우스 + 부대시설) = 3,484m²

② 생태면적(자연순환 기능면적) 산정

$$Ag = w \times A = 0.6 \times 3,484 \times 10^{-6} = 0.00209$$

여기서 Ag = 생태면적(km²), A = 전체 대상지 면적(km²),

w = 계획된 공간유형의 가중치

③ 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = (UL_{pre} - UL_{post}) \times Ag = (85.9 - 0.93) \times 0.00209 = 0.18 \text{ kg/일}$$

여기서 ΔL = 삭감부하량(kg/일), Ag = 생태면적(km²),

UL_{pre} = 생태면적 적용전 대상지의 원단위(kg/일/km²),

UL_{post} = 생태면적 적용후 대상지의 원단위(kg/일/km², 일반적으로 BOD 0.93kg/일/km²)

2) 주차장 비점오염관리

STEP1) 수질처리용량 산정

① 설계강수량(P) 결정: $P = 35\text{mm}$

② 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v = 10^{-3} \times 35 \times 5,219 \times 0.90 = 164.4\text{m}^3$$

여기서 WQ_v = 수질처리용량(m^3), A = 집수유역면적(m^2),

R_v = 체적유출계수, P = 설계강수량(mm)

STEP2) 침투화분의 설치 규모 결정

<침투화분 개요>

- 식재토양층 높이 = 0.55m
- 자갈층 높이 = 0.35m
- 하부토양의 종기침투속도, $K = 30 \text{ mm/hr}$

① 침투화분 표면적(A_f)

$$A_f = \frac{WQ_v}{\rho_s d_s + \rho_g d_g + 10^{-3} K t} = \frac{164.4}{0.55 \times 0.25 + 0.35 \times 0.32 + 10^{-3} \times 30 \times 2} = \underline{\underline{531.2 \text{ m}^2}}$$

여기서 ρ_s = 식재토양층의 공극율(본 사업의 경우 0.25 적용),

d_s = 식재토양층의 두께(m , 최소 0.45m),

ρ_g = 충전물의 공극율(자갈의 경우 0.32 적용),

d_g = 충전물의 두께(m , 최소 0.30m),

K = 하부토양의 종기침투속도(mm/hr),

t = 충전시간(hr , 일반적으로 2시간으로 가정)

② 배수시간(T) 확인

$$T = \frac{d_g + d_s + h}{10^{-3} K} = \frac{0.35 + 0.55 + 0.15/2}{10^{-3} \times 30} = 32.5\text{시간} < 48\text{시간} \rightarrow \text{O.K.}$$

여기서 T = 배수시간(hr), h = 평균담수심($=1/2h_{\text{max}}$, m)

③ 침투화분 규모 확정

- 표면적 = $531.2\text{m}^2 \rightarrow$ 설치가능면적임, O.K.

STEP3) 침투화분 설치에 따른 비점삭감량 산정

- ① 설계강수량(P) 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

$$\text{강우처리비} = 0.2716 \times \ln(35) - 0.2425 = 0.7231$$

$$\text{삭감대상부하비} = \exp[-0.0184 \times \{\ln(0.7231)\}^2 + 0.6922 \times \ln(0.7231)] = 0.797$$

- ② 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\Delta L = A \times UL \times \text{삭감대상부하비} \times E/100$$

$$= 5,219 \times 10^{-6} \times 85.9 \times 0.797 \times 75/100 = 0.27 \text{ kg/일}$$

여기서 ΔL 은 삭감부하량(kg/일), A = 집수유역면적(km²),

UL = 집수유역의 원단위(kg/일/km²),

E = 저감시설의 저감효율(%)

3) 비점오염원관리에 따른 비점삭감량 총합

○ 골프장 건축물 시설 개발사업으로 인한 비점부하 증가량 = 0.82 kg-BOD/일

○ 비점오염원 관리계획에 따른 비점삭감량

$$= 0.18 + 0.27 = 0.45 \text{ kg-BOD/일}$$

4. 교량개발사업

가. 개발사업 개요

- 사업내용: OO교량 (폭원: 8.0 m, 길이: 1 km, 왕복 2차로의 FCM교)
- 사업대상면적: 15,000 m²
 - 도로 면적: 8,000 m²
 - 기타부지 면적: 7,000 m²
- 개발전후 지목변경내역
 - 도로: 임야 → 대지
 - 기타부지: 임야 → 기타
- 토양형 : Sandy loam

개발사업 추진시 별도의 비점오염저감계획을 수립하지 않는 경우 불투수면적 증가 (임야에서 대지로 지목변경 수반)로 인해 약 $0.68\text{kg-BOD/일} (=8,000\text{m}^2 \times (85.9-0.93)\text{kg/일/km}^2 + 7,000\text{m}^2 \times (0.96-0.93)\text{kg/일/km}^2 = 0.6798 + 0.0002)$ 의 비점오염부하 증가가 예상된다.

나. 비점오염관리계획

교량개발사업의 대상지역에 포함된 도로 외의 부지에 대하여 개발사업 후 증가하는 비점오염부하는 약 0.0002kg-BOD/일 로서 그 증가가 현저하지 않으므로 도로 노면에서 발생하는 비점오염에 대한 관리계획만을 수립하는 것으로 한다.



<그림 5.8> 비점오염관리계획 수립시 토지이용형태 - 교량개발사업

도로에 적용 가능한 비점오염관리기법을 검토하였으며(표 5.7), 개발부지 내 비점오염부하 증가를 최소화하기 위하여 본 연구에서 제시된 비점오염관리기법 중 선택한 시설은 다음과 같다. 단, 교량 양단부근(육상)에 비점오염저감시설을 설치하는 것을 계획하였으며, 대상 사업부지 외의 상류측 유역에서 유입되는 유량은 없는 것으로 가정하여 이를 고려하지 않는 것으로 한다.

<표 5.7> 도로에 대한 적용 가능한 비점오염관리기법

구분	시설 종류	집수구역
		도로
생태면적	지붕녹화	
	부분포장	
빗물이용시설	빗물이용시설	
침투시설	침투통	○
	침투관	○
	침투측구	○
	침투저류지	○
	투수포장	○
	침투화분	
여과시설	통로화분	
	빗물정원	○
	수목박스	○
	식생수로	○
	식생여과대	○
	모래여과	○

◎: 적용 가능, ○: 하부토양의 투수조건 및 비점오염물질 종류에 대한 지하수 안정성 만족시적용 가능

<표 5.8> 도로 비점오염관리기법 선정

비점오염관리대상	토지이용형태	비점오염관리기법
교량	도로	침투저류지
		식생여과대

다. 시설별 설계 및 삭감량 산정

개발부지 내 토지이용형태별로 선정된 비점오염관리기법에 대해 적정 설계용량과 이에 따른 비점삭감량(kg-BOD/일)을 검토하였다.

1) 도로 비점오염관리

가) 도로 1(폭원: 8.0 m, 길이: 500 m)

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v = 10^{-3} \times 30 \times 4,000 (=8 \times 500) \times 0.9 = 108 \text{ m}^3$$

여기서 WQ_v = 수질처리용량(m^3), A = 유역면적(m^2), P = 설계강수량(mm),
 R_v = 체적유출계수($=0.05+0.009 \times I$, I =불투수율(%))

② 침투저류지의 표면적(A_b) 계산

$$A_b = \frac{WQ_v}{d_{\max}} = \frac{WQ_v}{10^{-3} \times K \times T} = \frac{108}{10^{-3} \times 20 \times 24} = \underline{225 \text{ m}^2}$$

여기서 A_b = 침투저류지의 표면적(m^2), K = 하부토양의 중기침투속도(mm/hr),
 $d_{\max}$ = 최대저류수심(m), T = 배수시간(hr , 최대 48시간)

∴ 표면적이 225 m^2 인 침투저류지 → 설치부지 확보가능하면 O.K.

→ 침투저류지의 세부시설에 대한 별도의 설계 필요

③ 침투저류지 설치에 따른 비점삭감량 산정

- 설계강수량(P) 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

$$\text{강우처리비} = 0.2716 \times \ln(30) - 0.2425 = 0.6813$$

$$\text{삭감대상부하비} = \exp[-0.0184 \times \{\ln(0.6813)\}^2 + 0.6922 \times \ln(0.6813)] = 0.765$$

- 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\begin{aligned} \Delta L &= A \times UL \times \text{삭감대상부하비} \times E/100 \\ &= 4,000 \times 10^{-6} \times 85.9 \times 0.765 \times 73/100 = 0.192 \text{ kg/일} \end{aligned}$$

여기서 ΔL 은 삭감부하량(kg/일), A = 집수유역면적(km^2),

UL = 집수유역의 원단위(kg/일/km^2), E = 저감시설의 저감효율(%)

나) 도로 2(폭원: 8.0 m, 길이: 500 m)

STEP1) 수질처리용량 및 수질처리유량 산정

① 수질처리용량(WQv) 산정

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v = 10^{-3} \times 30 \times 4,000 (=8 \times 500) \times 0.9 = 108 \text{ m}^3$$

여기서 WQ_v = 수질처리용량(m^3), A = 유역면적(m^2), P = 설계강우량(mm),
 R_v = 체적유출계수($=0.05+0.009 \times I$, I =불투수율(%))

② 수질처리용량에 대한 유량(WQf) 산정

▷ 강우-유출 분석을 통하여 수질처리용량에 의하여 발생하는 수질처리유량(Water Quality Flow)을 산정한다. → 산정결과 $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$

STEP2) 식생여과대의 설치규모 결정

① 식생여과대의 바닥폭 산정

<식생여과대의 개요>	
y (최대허용수심, m)	0.0254
n (조도계수)	0.088
S (식생여과대의 흐름방향 경사, m/m)	0.0024

▷ 광폭사각형 단면에 대한 Manning의 평균유속공식 :

$$q = \frac{Q}{W} = \frac{1}{n} y^{5/3} \times S^{1/2}$$
$$= \frac{1}{0.088} (0.0254)^{5/3} \times (0.0024)^{1/2} = 0.0085$$

여기서 q = 식생여과대의 단위폭당유량($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$),

y = 최대 허용수심(m, 0.0254 m), n = 조도계수

S = 식생여과대의 흐름방향 경사(m/m)

▷ 유속검토 : 평균유속($V=q/y=0.0085/0.0254=0.33$)

$V=0.33 \text{ m/s} < \text{허용유속}(0.4\text{m/s}) \rightarrow \text{O.K.}$

▷ 식생여과대의 바닥폭 산정

$$W_{\min} = WQ_f/q = 0.10/0.0085 = 11.76 \text{ m}$$

여기서 $W_{\min}$ = 식생여과대의 최소 바닥폭(m), WQ_f = 수질처리유량(m^3/s),

q = 식생여과대의 단위폭당유량($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

∴ 식생여과대의 폭, $W = 12\text{m}$ 로 결정

② 식생여과대의 길이 산정(소단 있음)

▷ 소단의 최대높이($\leq 0.3\text{m}$)를 이용하여 설계

$$L = \frac{2 \times WQ_v}{W \times h} = \frac{2 \times 108}{12 \times 0.3} = 60\text{m}$$

여기서 L = 식생여과대의 길이(m), WQ_v = 수질처리용량(m^3),

W = 식생여과대의 폭($> W_{\min}$, m), h = 소단의 높이(m)

∴ 폭 12m, 길이 60m의 식생여과대 필요 → 설치가능하면 O.K.

→ 식생여과대의 식생 종류 및 그 외 세부시설에 대한 별도의 설계 필요

STEP3) 식생여과대 설치에 따른 비점삭감량 산정

$$\begin{aligned} &= \text{처리대상면적}(\text{km}^2) \times \text{대지원단위}(\text{kg}/\text{일}/\text{km}^2) \times \text{삭감대상부하비} \times \text{저감효율}(\%) / 100 \\ &= 8,676(\text{m}^2) \times 10^{-6} \times 0.96(\text{kg}/\text{일}/\text{km}^2) \times 0.778 \times 40(\%) / 100 = 0.0026 \text{ kg}/\text{일} \end{aligned}$$

① 설계강우량(P) 기준으로 강우처리비 및 삭감대상부하비 산정

$$\text{강우처리비} = 0.2716 \times \ln(30) - 0.2425 = 0.6813$$

$$\text{삭감대상부하비} = \exp[-0.0184 \times \{\ln(0.6813)\}^2 + 0.6922 \times \ln(0.6813)] = 0.765$$

② 삭감부하량(ΔL) 산정

$$\begin{aligned} \Delta L &= A \times UL \times \text{삭감대상부하비} \times E / 100 \\ &= 4,000 \times 10^{-6} \times 85.9 \times 0.765 \times 44 / 100 = 0.116 \text{ kg}/\text{일} \end{aligned}$$

여기서 ΔL 은 삭감부하량(kg/일), A = 집수유역면적(km^2),

UL = 집수유역의 원단위(kg/일/ km^2),

E = 저감시설의 저감효율(%)

2) 비점오염원관리에 따른 비점삭감량 총합

○ 교량개발사업으로 인한 비점부하 증가량 = 0.68 kg-BOD/일

○ 비점오염원 관리계획에 따른 비점삭감량

$$= 0.192 + 0.116 = 0.308 \text{ kg-BOD}/\text{일}$$

제6장 참 고 문 헌

- 국립환경과학원, 2009. 수질오염총량관리를 위한 비점오염저감시설 유지관리실적대장 작성지침.
- 국립환경과학원, 2010. 제2단계 수계오염총량관리 기술지침.
- 농림부·농업기반공사, 2004. 농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계·관리 요령.
- 박은진, 강규이, 이현정, 2007. 물순환을 고려한 도시녹지 기능 제고 방안, 경기개발연구원.
- 박은진, 서정영, 강규이, 2006. 도시 내 불투수 포장 개선을 통한 녹지의 확대 및 생태적 관리 방안, 경기개발연구원.
- 서울특별시, 2009. 빗물 가두고 머금기 가이드라인 작성.
- 소방방재청, 2008. 우수유출저감시설의 종류·구조·설치 및 유지관리기준.
- 소방방재청, 2009. 우수유출저감시설 설치 사업 설명자료.
- 정종호, 윤용남, 2007. 수자원설계실무(제2판), 구미서관.
- 최지용, 반양진, 2007. 저수지 비점오염원 저감을 위한 인공습지의 설치효과 및 개선방안, 한국환경정책평가연구원·한국수자원공사.
- 일본도교부하수도국, 2002. 우수침투시설기술지침.
- 일본제리스케이프디자인연구협회(JXDA, Japan Xeriscape Design Association)
(URL: <http://www.xeriscape-jp.org/lid/what01.html>)
- 일본하수도신기술추진기구, 2007. 시가지의 비점부하에 관한 안내서.
- 일본호소대책검토회, 2004. 배포자료 중 비점오염관련자료(자료-6, 참고-1, 참고-2).
(URL: http://www.env.go.jp/water/kosyou/h16_04/)
- 일본환경성수질총량규제(URL: <http://www.env.go.jp/water/heisa/tplc.html>)
- 윤태훈, 1997. 응용수문학, 청문각.
- 한강수계관리위원회, 2009. 수계별 불투수율 조사 및 저감방안 연구.
- 한강수계관리위원회, 2009. 오염총량관리를 위한 개발사업 및 사업장 비점오염원 최적 관리방안 연구.
- 환경부, 2003. 자연형 하천정화를 위한 인공습지 조성 및 운영요령.
- 환경부, 2005. 생태면적률 적용 지침.
- 환경부, 2005. 주요 비점오염원에 대한 효과적인 관리방안.
- 환경부, 2006. 비점오염원관리 업무편람.
- 환경부, 2006. 환경친화적 도로유지관리 잠정지침.

- 환경부, 2008. 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼.
- 환경부, 2009. LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련.
- 환경부·환경관리공단, 2003. 비점오염관리를 위한 강우유출수 관리 매뉴얼.
- 환경관리공단, 2007. 비점오염저감시설 설계지침 마련 최종보고서.
- 환경시설관리공사, 2006. 도시 및 산업단지 BMP를 위한 처리장치 개발, 양질의 상수원수 확보 및 유지관리기술 연구.
- AMEC Earth and Environmental Center for Watershed Protection *et al.*, 2001. *Georgia Stormwater Management Manual*.
- California Stormwater Quality Association, 2003. *California Stormwater BMP Handbook: New Development and Redevelopment*.
- Center for Transportation Research and Education, 2008. *Iowa Stormwater Management Manual*.
- Center for Watershed Protection, 2000. *The Vermont Stormwater Management Handbook Technical Support Document - Public Review Draft*. Prepared For Vermont Agency of Natural Resources.
- Center for Watershed Protection, 2000. *National Pollutant Removal Performance Database for Stormwater Treatment Practices*.
- City of Portland Environmental Services, 2004, 2008. *City of Portland Stormwater Management Manual*.
- Claytor RA and TR Schueler, 1996. *Design of Stormwater Filtering Systems*. Center for Watershed Protection, Silver Spring, MD.
- Clean Water Services, 2009. *Low Impact Development Approaches Handbook*.
- Connecticut Department of Environmental Protection, 2004. *Connecticut Stormwater Quality Manual*.
- Federal Highway Administration, 1996. *Evaluation and Management of Highway Runoff Water Quality*. Publication No. FHWA-PD-96-032.
- Larry Walker Associates, 2005. *Stormwater Quality Control Criteria Plan*.
- Low Impact Development Center. (URL: <http://www.lowimpactdevelopment.org>)
- Maryland Department of the Environment, 2009. *Maryland Stormwater Design Manual, Vol. I & II*.
- New Hampshire Department of Environmental Services, 2008. *NH Stormwater Management Manual Volume 2: Post-Construction Best Management Practices Selection and Design*.

- New York State Department of Environmental Conservation, 2003. *New York State Stormwater Management Design Manual*. Prepared by Center for Watershed Protection.
- Rainscaping Iowa. (URL: <http://www.rainscapingiowa.org>)
- Rawls WJ, DL Brakensiek and KE Saxton, 1982. *Estimation of Soil Water Properties*, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers Vol. 25, No. 5 pp. 1316 - 1320 and 1328.
- Santa Clara Valley Urban Runoff Pollution Prevention Program, 2003. C.3. *Handbook, Attachment VI-3: California Stormwater BMP Handbook and SCVURPPP Maintenance Fact Sheets*.
- Scheyer JM and KW Hipple, 2005. Urban Soil Primer. USDA, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE(<http://soils.usda.gov/use>).
- US Department of the Interior and US Geological Survey, 2008. *A comparison of runoff quantity and quality from two small basins undergoing implementation of conventional- and low-impact-development (LID) strategies: cross plains, wisconsin, water years 1999-2005*. In cooperation with the Wisconsin Department of Natural Resources.
- University of New Hampshire Stormwater Center, 2007. *Annual Report*. Durham, NH. 2007.
- Ventura Countywide Stormwater Quality Management Program, 2002. *Technical Guidance Manual for Stormwater Quality Control Measures*.
- Virginia Department of Conservation and Recreation, Virginia Stormwater Management Program - Technical Bulletins #6: Minimum Standard 3.11C - Filterra Bioretention Filter System.
- Virginia Stormwater Management Handbook, 1999. Volumes 1 and 2, First Edition.
- Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers, 1998. *Urban Runoff Quality Management*. WEF Manual of Practice No. 23; ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 87.
- Wisconsin Department of Natural Resources, 2003. *Rain Garden - A how-to manual for homeowners*.

편 집 위 원

물환경연구부	부	장 정동일	수질총량연구과	과	장 천세억
한강물환경연구소	소	장 류덕희	수질총량연구과	연	구 관 나은혜
수질총량연구과	연	구 관 박준대	수질총량연구과	연	구 관 신동석
수질총량연구과	연	구 사 정제호	수질총량연구과	연	구 사 신창민
수질총량연구과	연	구 사 김병익	수질총량연구과	연	구 사 이 혁
수질총량연구과	연	구 사 박배경	수질총량연구과	전	문위원 강민지
수질총량연구과	전	문위원 이성준			

수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침

인 쇄 2010년 6월 일

발 행 2010년 6월 일

발행처 국립환경과학원 물환경연구부 수질총량연구과
인천광역시 서구 경서동 종합환경연구단지내 (우편번호) 404-708
전화 032) 560-7354

■ 본 자료에 대한 문의사항이나 의문사항이 있으시면 발행처로 연락주시기 바랍니다.