

비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안

2002.12

최 지 용
신 창 민



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

KEI/2002/RE-03

연구보고서

비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안

2002.12

최 지 용

신 창 민



한국환경정책·평가연구원

서 언

그 동안 우리나라에서 수질오염에 대한 규제는 주로 도시하수, 공장폐수 등 점오염원을 중심으로 관리되어 왔기 때문에 강우시 비점오염원에서 유출되는 오염물질은 적절히 관리되지 못했습니다. 수질개선을 위해서는 점오염원의 규제와 병행하여 비점오염원에 대한 관리도 시급한 실정으로 특히 도시지역은 불투수성 포장비율이 높아짐에 따라 강우시 피크 유출량도 커지고 이에 따라 비점오염물질의 이동력도 증가하여 수질과 수량적인 측면에서 큰 영향을 끼치고 있습니다. 다행히 정부에서는 최근 한강을 비롯한 4대강 대책 및 후속법을 완비하여 비점오염원을 관리할 수 있는 기틀을 마련하였습니다.

이에 본 연구에서는 도시지역의 우수유출수 관리를 통한 비점오염부하의 유출억제 뿐만 아니라 강수의 급격한 유출로 인한 홍수피해도 저감할 수 있는 방안을 강구하고자 하였습니다. 이를 위해 비점오염원 유출특성조사를 통해 강우시 유출되는 비점오염부하량과 우수유출 특성을 바탕으로 비점오염원 유출억제와 더불어 우수 유출량의 저감 방안을 도출한 것은 매우 시의 적절하다고 판단됩니다. 정부에서는 본 연구에서 제시한 각종 우수유출수 관리를 위한 시범사업을 실시하여 우수유출수 관리와 더불어 비점오염원 유출저감 방안을 조속히 마련하기 위해 노력하여야 할 것입니다.

아울러 본 연구를 맡아 수행한 본원의 최지용 박사와 신창민 연구원에게 감사를 표합니다. 그리고 비점오염원 유출특성 파악을 위해 수질조사를 수행하여주신 서울시립대 박철휘 교수님의 노고에 감사드립니다. 바쁘신 중에도 불구하고 유익한 자문과 자료수집에 많은 도움을 주신 환경부 오종극 과장님, 박용성 사무관님, 수원대학교 이상훈 교수님, 방재연구소 심재현 박사님, 건설기술연구원 송호면 박사님에게 이 기회를 빌어 심심한 사의를 표합니다. 끝으로 본 연구의 내용은 본 연구원의 공식견해가 아닌 연구자 개인의 견해임을 밝혀 드립니다.

2002년 12월

한국환경정책·평가연구원

원 장 윤 서 성

<국문 요약>

최근까지만 해도 수질오염물질의 관리는 주로 하수 및 공장폐수 등 점오염원에 대한 사후처리를 중심으로 이루어져 왔으며, 그간 상당 부분 오염부하의 저감 및 수질 개선의 효과가 있었다. 그러나 수질 오염부하의 상당부분을 차지하는 비점오염원에 대한 대책 없이 기존의 점오염원에 대한 처리위주의 수질 정책만으로는 더 이상의 수질 개선은 어려운 것이 현실이다. 또한 도시화에 따른 지역의 불투수율의 증가로 인해 지역의 우수유출 특성이 변화하여 수량적인 면에서는 급격한 우수유출로 인해 홍수피해가 증가하고 수질적인 면에서는 각종 오염물질이 우수유출수와 함께 수계로 유출되어 수질 저하의 원인이 되고 있다. 따라서 비점오염원에 의한 하천 및 호소의 수질 개선 및 우수유출로 인한 홍수 피해의 저감을 위해서는 우수유출수에 대한 관리가 필요하다.

우수유출에 따른 비점오염물질의 유출특성을 살펴보면, BOD, COD, SS, T-N, T-P의 경우 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 나타내는 초기세척효과(first-flushing)를 나타내었으나, 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)의 경우는 초기세척효과 및 우수유출 경향과의 유의성이 나타나지 않았다. 토지이용별 비점오염물질의 지역평균 농도(SMC)를 살펴보면, BOD의 SMC는 5.3~12.1mg/L의 범위로 비교적 낮은 농도를 나타내었으며, 토지이용별 큰 유의성을 보이지는 않았다. COD 및 SS의 SMC는 각각 115.9~67.7mg/L, 22.7~126.6mg/L의 범위를 보이고 있으며, 자동차도로에서 가장 높은 농도를 나타내었다. T-N의 SMC는 3.26~9.62mg/L의 범위를 보이고 있으며, 상업지역에서 가장 높은 농도를 나타내었으며, T-P의 SMC는 0.09~0.48의 범위를 나타내었다. 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)의 SMC 비교적 자동차도로 및 주차장에서 높은 농도를 나타내었는데, 이는 자동차 운행에 의한 영향으로 판단된다.

기존의 우수유출억제시설에 의한 비점오염원 저감효과 분석 결과 홍수방재 시설인 빗물펌프장의 우수지를 활용하여 비점오염물질 저감을 위한 우수유출수 처리시설로 이용할 수 있다. 우수유출수의 침전특성 실험결과 전반적으로 우수유출수의 침전특

성은 양호하였으며, 일반적으로 12시간의 침전만으로도 총고형물질의 60~90%의 침전제거가 가능하였다. 빗물펌프장의 저류조를 비점오염물질 제거를 위한 시설로 운전하기 위해서는, 우수유출수를 최소한 12시간 이상 저류/침전시킨 후 상층수부터 유출시키고, 하층부의 혼탁수는 적정처리를 거친 후 유출시켜야 할 것이다. 일반집수정과 침투집수정에서의 우수유출 특성을 살펴보면, 일반집수정의 경우 강우량이 증가함에 따라 유출량도 선형적으로 정비례적으로 증가하였으나, 침투집수정의 경우는 일반 집수정에 비해 유출량이 현저히 저감되었으며, 20mm 이하의 강우에서는 유출이 거의 발생하지 않았다. 비점오염물질의 유출특성이 주로 초기우수유출수에서 높은 오염농도를 보이는 점을 감안하면, 침투집수정의 설치를 통해 비점오염부하의 상당부분을 저감할 수 있으리라 판단된다.

비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리 기반 구축을 위해서는 먼저 일정규모 이상의 도시 및 공업지역의 강우유출수에 대해 관리계획을 수립하도록 해야 할 것이다. 우수유출수에 대한 규제는 관리계획을 수립하여 시행한 후 비점오염원에 대한 관리 기반이 구축된 후 시행하여야 할 것이다. 따라서 우선은 각 지자체 및 사업자들이 우수유출수 관리에 대한 중요성을 인식하고 우수유출수에 의한 오염부하의 저감을 위해 노력을 기울일 수 있도록 하여야 할 것이다.

강우에 의한 오염물질 유출특성은 초기 우수유출수에서 비교적 높은 오염농도를 나타내고 우리나라의 경우 전체 강우사상의 80% 이상이 20mm 이하의 소규모 강우이므로, 비점오염원 저감을 위한 우수유출수 처리시설은 약 20mm 정도의 강우를 기준으로 설계되어도 전체 강우사상의 80%이상을 처리할 수 있으며, 해당 집수구역의 비점오염부하의 상당부분을 저감할 수 있을 것이다. 그러나 실제로 해당 지역에 우수유출수 처리시설을 설치하고자 할 때는 지역의 지형학적 특성, 수리·수문학적 특성, 기후특성, 처리기술 및 방법 등을 고려하여 적정 시설규모를 결정하여야 할 것이다. 또한 우리나라는 년 중 강우의 분포가 일정하지 않고, 특히 여름 장마철에 강수의 70% 이상이 집중되고 있으므로, 우수유출수 처리기술 및 방법의 선정 및 시설의 설계 시 이러한 강우특성을 충분히 고려하여야 한다. 즉, 건기시는 우수유출수 처리시설의 식생의 생존을 위해 관개대책 등의 고려가 있어야 할 것이고, 장마기간에는 급격한

우수유출에 의한 처리시설의 파손 및 처리효율의 저하를 막기 위해 우회수로를 설치하거나 시설의 안정성을 확보하는 등의 방안을 강구하여야 할 것이다.

지역적 특성에 따라 적용 가능한 우수유출수 처리시설의 종류는 각기 다양할 것이며, 특히 우리나라와 같이 토지이용에 제한이 많은 경우는 처리시설 설치에 필요한 소요면적이 처리시설 선정에 있어 주요 제한 요인이 될 것이다. 일반적으로 도시지역의 경우는 토지확보의 어려움으로 넓은 토지면적을 필요로 하는 우수유출수 처리시설은 설치하기 어려우므로, 비교적 토지이용에 제한이 적은 침투형시설, 특히 기존의 맨홀을 보완하여 비점오염원 관리가 가능토록 하고 그리고 빗물펌프장의 우수지를 초기우수의 비점오염원을 처리할 수 있도록 개선하는 방안도 고려하여야 한다. Stormceptor, Stormfilter, Swirl/Vertex 등의 장치형시설의 설치의 우리나라의 기후와 지형조건에서 효과를 가져오는지 충분한 사전 검토가 필요하다.

이에 비해 농촌 지역의 경우는 도시지역에 비해 토사의 유출이 많고 정기적인 유지관리가 어려우므로, 비교적 유지관리가 많이 필요한 침투형시설이나 장치형시설은 적절치 않으며, 이중목적저류지, 저류연못, 인공습지, 식생수로, 식생여과대와 같이 비교적 넓은 부지를 소요하나 유지관리가 용이한 시설이 적절할 것이다.

신 도시의 조성시에는 지역의 불투수율 증가에 따른 수문 유출특성의 급격한 변화를 방지하기 위해 도시의 불투수율 면적비를 일정수준으로 제한하거나, 개발전후의 우수유출량의 변화를 비교하여 개발전보다 유출량이 많을 경우에는 이를 조절하기 위한 침투 및 저류시설 등을 설치케 하는 등의 방안이 필요할 것이다.

비점오염원 관리를 위해서는 우수유출수 처리시설의 설치와 병행하여 사전에 비점오염원을 제거하는 노력이 필요하다. 즉, 주기적인 도시청소의 실시, 장마전 맨홀 및 우수관거설비의 점검 및 청소, 우수지 바닥의 퇴적물 준설, 건설지역의 우수유출수 방지턱 설치 등을 통해 도시지역에 산재해 있는 각종 비점오염원을 사전에 제거해야 할 것이다. 향후 연구과제로는 비점오염물질의 유출특성의 파악 및 수질에 미치는 영향을 정량화 하기 위해서 시범지역을 선정하여 연중 우수유출수 및 방류수계에 대한 수질 및 수량 분석을 실시하고, 본 연구에서 제시한 각종 우수유출수 처리시설 및 빗물펌프장 우수지에 대한 시범사업을 실시하여 각 처리시설의 성능파악 및 한국형 우

수유출수 처리시설을 조속히 개발하여 보급하기 위해 노력하여야 할 것이다.

차 례

제1장 서 론	1
1. 연구의 필요성과 목적	1
2. 연구의 범위 및 방법	2
제2장 주요 비점오염원 관리기술 및 시설	5
1. 저류형 시설	7
2. 침투형 시설	13
3. 식생형 시설	18
4. 장치형 시설	19
5. 하수처리형 시설	22
제3장 주요국의 비점오염원 및 우수유출수 관리방안	27
1. 미국	27
2. 일본	36
제4장 토지이용별 비점오염 유출특성 고찰	53
1. 기존 자료분석에 의한 비점오염원 유출 특성 파악	53
2. 토지이용별 비점오염물질 유출특성의 실측 조사	66
3. 비점오염 저감시설에 의한 수질개선 효과 분석	82
제5장 비점오염원 저감시설의 설치 및 관리방안	95
1. 비점오염원 관리기술의 선정 방법	95
2. 비점오염원 저감시설의 유지관리	100
3. 비점오염원 처리시설 설치방안	104
제6장 결론 및 정책제언	163
1. 도시지역의 토지이용별 비점오염물질 유출 특성	163
2. 비점오염 저감시설에 의한 수질개선 효과 분석	163

3. 정책 제언	164
----------------	-----

참고 문헌	167
--------------------	------------

부록	169
-----------------	------------

1. I 지점의 강우시 오염물질 유출특성 분석(강우 1, 2002. 7.14)	169
2. I 지점의 강우시 오염물질 유출특성 분석(강우 2, 2002.10. 5)	176
3. II 지점의 강우시 오염물질 유출특성 분석(강우 3, 2002. 8.22)	185
4. II 지점의 강우시 오염물질 유출특성 분석(강우 4, 2002. 8.31)	190
5. II 지점의 강우시 오염물질 유출특성 분석(강우 5, 2002. 9.16)	199

표 차 례

<표 2-1> 비점오염원 관리기술의 종류	5
<표 2-2> 비점오염원 저감시설 설치에 따른 각종 효과	6
<표 3-1> 강우유출수 배출에 대한 NPDES 허가 규제대상	29
<표 3-2> NPDES에 의한 주요 강우유출수 허가기간	30
<표 3-3> 강우유출수(wet weather flow) 대책	32
<표 3-4> 지하대형관거를 이용한 월류수 저류터널 개요	37
<표 3-5> 지하조절지의 분류	38
<표 3-6> 지하조절지 배수시간	41
<표 3-7> 배수수질 관리 목표치	50
<표 4-1> 양호한 조건에서 주차장 0.4 ha와 초지 0.4 ha의 비교	56
<표 4-2> 산림 및 도시지역에서의 물수지 변화 특성	56
<표 4-3> 불투수율 증가에 따른 비점오염부하의 유출특성	58
<표 4-4> 도시적 토지이용별 영양염류의 농도비율(산지=1)	59
<표 4-5> 도시지역의 강우유출수의 오염물질 농도	59
<표 4-6> 도시 우수유출수의 수질 특성	60
<표 4-7> 주거 및 상업지역의 눈 녹은 물의 농도	61
<표 4-8> 상업지역의 눈 녹은 물의 수질	61
<표 4-9> 공업지역의 비점오염원 오염수준	63
<표 4-10> 합류식 하수관거 월류수의 오염물질 농도	64
<표 4-11> 월류수 유량 및 수질 영향인자	66
<표 4-12> 각 지점별 기초현황 조사결과	67
<표 4-13> 각 측정지점별 위치	68
<표 4-14> 성남시 월평균 기상관측 자료	68
<표 4-15> 강우사상에 따른 누적발생확률	69
<표 4-16> 강우사상별 강우 특성 분석	70
<표 4-17> 수질분석항목 및 분석방법	72

<표 4-18> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(고밀도아파트지역)	74
<표 4-19> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(단독주택지역)	74
<표 4-20> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(상업지역)	75
<표 4-21> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(공업지역)	75
<표 4-22> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(자동차도로)	75
<표 4-23> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(주차장)	76
<표 4-24> 토지이용별 지역평균농도 및 COV	76
<표 4-25> 도시 우수유출수에 대한 U.S EPA의 미량 금속 기준	78
<표 4-26> 각 토지이용별 비점오염물질 발생원단위	81
<표 4-27> 도시지역에서의 비점오염원 원단위의 비교	81
<표 4-28> 다양한 토지이용에 따른 비점오염물질 발생원단위	82
<표 4-29> 침투집수정을 전체 유역에 설치시 우수유출량 저감효과 분석	93
<표 5-1> 비점오염원 저감시설의 설계기술의 신뢰성	100
<표 5-2> 최대저류량 산정을 위한 계수 a의 값	106
<표 5-3> 이중목적저류지와 저류연못의 제거효율의 비교	114
<표 5-4> Fairfax County, Virginia에서의 저류시설 조건의 비교	115
<표 5-5> 저류연못의 설계인자	118
<표 5-6> 잠재적인 침투지역의 평가를 위한 점수 시스템	129
<표 5-7> 다양한 토양분류에 따른 전형적인 침투율	132
<표 5-8> 토양종류에 따른 투수계수	134
<표 5-9> 침투트렌치에 일반적으로 이용되는 재질의 공극율	135
<표 5-10> 식생 수로의 측면경사 설계기준	142
<표 5-11> 지체정도의 선정지침	145
<표 5-12> 식생수로의 안정성에 대해 권장되는 최대유속	146
<표 5-13> Stormfilter의 규격별 처리능력	150
<표 5-14> Stormceptor 현장 모니터링 결과 요약	157
<표 5-15> Stormceptor의 모델에 따른 저류용량	159
<표 5-16> 수두에 따른 월류유량	160
<표 5-17> 유지관리를 필요로 하는 침전물 깊이	161

그림 차례

<그림 1-1> 연구의 흐름도	3
<그림 2-1> 지하매관의 종류	17
<그림 3-1> TARP의 개념도	36
<그림 3-2> 지하조절지 히스토그램	41
<그림 3-3> 지하조절지의 복합/다목적 이용 예	42
<그림 3-4> 단계적 정비의 예	43
<그림 3-5> 지하조절지의 표준단면도	44
<그림 3-6> 분할저류 예	45
<그림 3-7> 유입시설의 예	46
<그림 3-8> 지하조절지 배수 및 수처리 계통도	51
<그림 4-1> 유역의 불투수성과 우수유출계수	55
<그림 4-2> 강우사상에 따른 누적발생확률	69
<그림 4-3> 측정법 모식도	71
<그림 4-4> 누적우수유출량에 따른 누적비점오염물질 유출 특성	73
<그림 4-5> 각 토지이용별 SMC의 비교	79
<그림 4-6> 저류조의 개략도	84
<그림 4-7> 빗물펌프장 저류조의 활용방안	85
<그림 4-8> 우수유출수중 SS의 침전제거 특성(주거지역)	86
<그림 4-9> 우수유출수중 COD의 침전제거 특성(주거지역)	86
<그림 4-10> 우수유출수중 SS의 침전제거 특성(상업지역)	87
<그림 4-11> 우수유출수중 COD의 침전제거 특성(상업지역)	87
<그림 4-12> 우수유출수중 SS의 침전제거 특성(자동차도로)	88
<그림 4-13> 우수유출수중 COD의 침전제거 특성(자동차도로)	88
<그림 4-14> 침투집수정의 단면도	89
<그림 4-15> 일반/침투 집수정에서의 유출량 저감효과(성남)	90
<그림 4-16> 일반/침투 집수정에서의 유출량 저감효과(오산)	91
<그림 4-17> 일반/침투 집수정에서의 유출량 저감효과(청주)	91

<그림 4-18> 침투집수정을 전체유역에 적용시의 유출수문곡선(청주)	93
<그림 5-1> 저류지의 유출입 수문곡선	108
<그림 5-2> 이상적인 이중목적저류지 구조	109
<그림 5-3> 저류연못의 평면도 및 종단면도	113
<그림 5-4> 고형물 침전 모델에 대한 설계곡선	116
<그림 5-5> 습지의 평면도 및 종단면도	123
<그림 5-6> 침투지의 구조	130
<그림 5-7> 표면유입에 대한 모래여과층을 가지는 침투 트렌치	136
<그림 5-8> Manning의 조도계수(n), VR 및 지체정도의 관계	147
<그림 5-9> Linear 방식의 Stormfilter	149
<그림 5-10> Precast 방식의 Stormfilter	150
<그림 5-11> (a)일반적인 중력 우수분리장치, (b)CPI 분리장치	152
<그림 5-12> 석유화합물 저장시설 우수의 유적 크기 분포	153
<그림 5-13> Stormceptor의 운전	157
<그림 5-14> 높은 유량시 Stormceptor의 운전	157
<그림 5-15> Stormceptor의 유형	159
<부그림-1> 강우1의 시간대별 강우분포도	169
<부그림-2> 우수유출수의 오염물질 유출특성(고밀도 아파트지역)	170
<부그림-3> 우수유출수의 오염물질 유출특성(단독 주거지역)	172
<부그림-4> 우수유출수의 오염물질 유출특성(상업지역)	173
<부그림-5> 우수유출수의 오염물질 유출특성(공업지역)	174
<부그림-6> 우수유출수의 오염물질 유출특성(주차장)	176
<부그림-7> 강우2의 시간대별 강우분포도	176
<부그림-8> 강우유출수 오염물질 유출특성(고밀도아파트지역)	178
<부그림-9> 강우유출수 오염물질 유출특성(단독주거지역)	179
<부그림-10> 강우유출수 오염물질 유출특성(상업지역)	181
<부그림-11> 강우유출수 오염물질 유출특성(공업지역)	182
<부그림-12> 강우유출수 오염물질 유출특성(자동차도로지역)	183
<부그림-13> 강우유출수 오염물질 유출특성(주차장)	185
<부그림-14> 강우3의 시간대별 강우분포도	185

<부그림-15> 강우유출수 오염물질 유출특성(고밀도아파트지역)	187
<부그림-16> 강우유출수 오염물질 유출특성(단독주거지역)	188
<부그림-17> 강우유출수 오염물질 유출특성(주차장)	190
<부그림-18> 강우4의 시간대별 강우분포도	190
<부그림-19> 강우유출수 오염물질 유출특성(고밀도아파트지역)	192
<부그림-20> 강우유출수 오염물질 유출특성(단독주거지역)	193
<부그림-21> 강우유출수 오염물질 유출특성(상업지역)	194
<부그림-22> 강우유출수 오염물질 유출특성(공업지역)	196
<부그림-23> 강우유출수 오염물질 유출특성(자동차도로지역)	197
<부그림-24> 강우유출수 오염물질 유출특성(주차장)	198
<부그림-25> 강우5의 시간대별 강우분포도	199
<부그림-26> 강우유출수 오염물질 유출특성(단독주거지역)	200
<부그림-27> 강우유출수 오염물질 유출특성(상업지역)	202
<부그림-28> 강우유출수 오염물질 유출특성(공업지역)	203
<부그림-29> 강우유출수 오염물질 유출특성(자동차도로지역)	204
<부그림-30> 강우유출수 오염물질 유출특성(주차장)	205

제1장 서론

1. 연구의 필요성과 목적

공공수역으로 유입되는 오염물질의 발생원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있으며, 점오염원은 주로 가정하수와 공장폐수로 구성되고, 배출특성은 일정한 지점에서 일정한 양이 지속적으로 발생되어 강우시나 비강우시 배출량에 큰 변동이 없다. 이에 비해 비점오염원이란 오염물질이 주로 강우시 지표면 유출수와 함께 유출되는 오염물질로서 도시지역의 먼지와 쓰레기, 농지에 살포된 비료 및 농약, 토양 침식물, 축사유출물, 자연동식물의 잔여물, 대기오염물질의 강하물 등을 말한다. 비점오염물질은 일반적으로 강우시 유출되기 때문에 일간·계절간 배출량 변화가 크고 예측과 정량화가 어려우며, 인위적 조절이 어려운 기상조건·지질·지형 등에 영향을 많이 받는 특성을 지니고 있다.

그 동안 우리나라에서 수질오염에 대한 규제는 주로 하수, 공장폐수 등 점오염원을 중심으로 관리되어 왔기 때문에 강우시 비점오염원에서 유출되는 오염물질로 인하여 하천 및 호소의 수질은 크게 개선되지 않고 있다. 따라서 수질개선을 위해서는 점오염원의 규제와 병행하여 비점오염원에 대한 관리도 시급한 실정이다. 또한 우리나라는 기상학적으로 일년에 내리는 총강수량의 약 70%가 6~9월의 여름철에 집중하고 있으며, 지형적으로는 전국토의 70% 이상이 산지로 구성되어 있고 경사가 급해 수해를 입을 가능성이 매우 크다. 또한 시가화의 확대에 의한 불투수층의 증가로 강수량이 급격하게 유출량으로 바뀌면서 짧은 시간 내에 하천으로 도달하기 때문에 홍수의 피해가 크다.

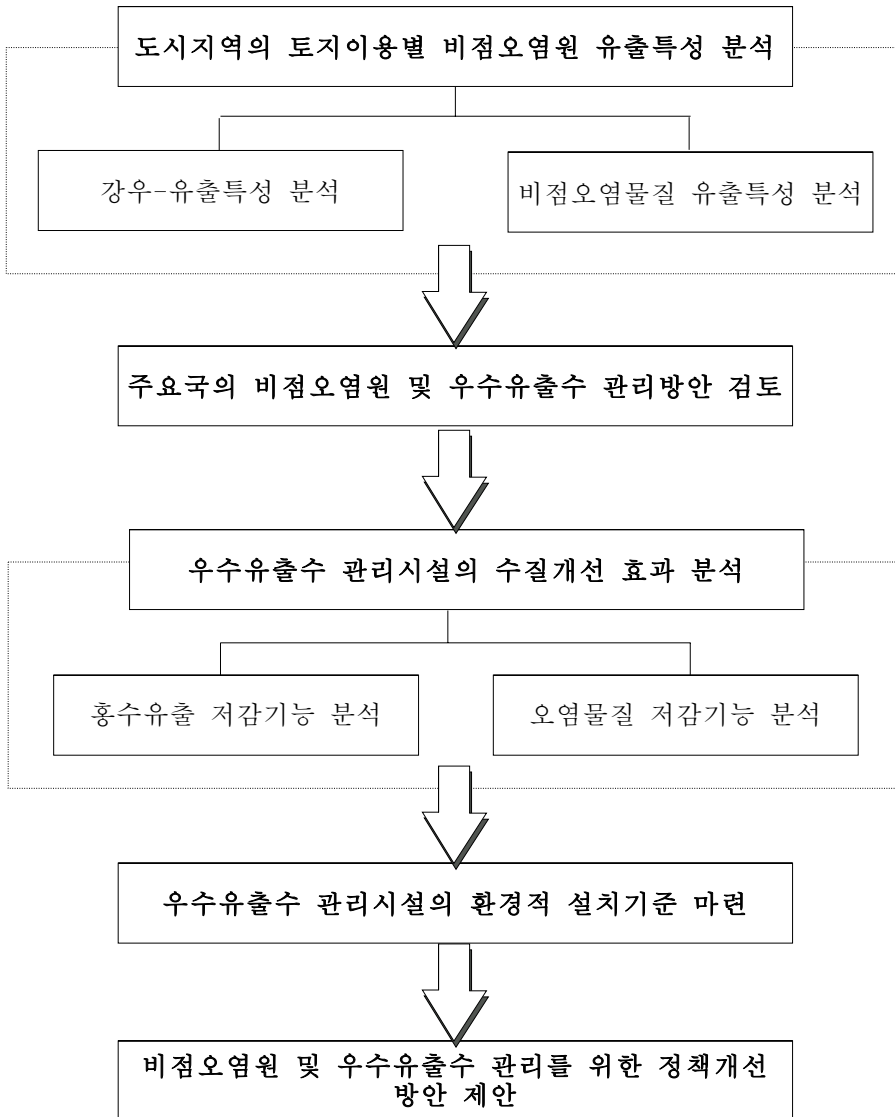
이와 같이 기상 및 지형적 특성과 도시화의 확대에 인하여, 수량적인 측면에서는 여름이면 홍수로 나머지 계절에는 용수부족이라는 고통을 받고 있으며, 또한 수질적인 측면에서는 강우시 비점오염원에서 유출되는 오염물질로 인하여 공공수역의 수질

에 악영향을 끼치고 있다. 특히 도시지역은 불투수성 포장비율이 높아짐에 따라 강우 시 피크 유출량도 커지고 이에 따라 비점오염물질의 이동력도 증가하여 수질과 수량적인 측면에서 관리가 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 도시유역에서 우수유출수 관리를 통한 비점오염부하의 저감뿐만 아니라 유역의 보수기능을 강화하여 강수의 급격한 유출로 인한 홍수피해도 저감할 수 있는 방안을 강구하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

도시유역은 비점오염원의 유출원단위가 타 토지이용보다 월등히 높고 또한 불투수층의 증가로 인해 강우시 피크유출량 및 총 홍수량이 증가함과 동시에 지하침투량은 감소하여 지하수 함량이 저하하고 도시하천의 기저유출이 감소하여 건천화의 원인이 되기도 한다. 따라서 도시지역의 수환경을 개선하기 위해서는 우수유출수 저감, 비점오염원 감소, 홍수피해 저감 등을 위한 종합적인 접근이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 목적달성을 목표로 도시지역에 설치하는 우수유출수 및 비점오염원 저감시설의 종류 및 기능과 역할을 살펴보고 이것이 비점오염원 저감과 유역 수순환 개선목적을 동시에 달성할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

이를 위해 토지이용별 우수유출과 비점오염원 유출관계를 살펴보고, 비점오염원 저감을 고려한 우수유출수 관리시설의 설치기준 및 우수유출수 관리시설의 도입을 위한 정책개선 방안을 도출하고자 한다. 주요 과업범위는 비점오염원 저감을 위한 주요 우수유출수 관리시설의 특징 및 장단점 파악, 토지이용별 우수유출과 비점오염유출관계 고찰, 주요국의 우수유출수 관리방안 조사, 우수유출 저감시설의 수질개선 효과 분석, 비점오염 저감을 고려한 우수유출저감시설의 설치 기준 및 비점오염원 저감 시설 도입을 위한 정책개선 방안의 도출 등을 포함한다. 연구수행 흐름도는 다음 그림과 같다.



<그림 1-1> 연구의 흐름도

4 비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리방안

제2장 주요 비점오염원 관리기술 및 시설

비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리시설에는 크게 저류형 시설, 침투형 시설, 식생형 시설, 장치형 시설 등으로 나눌 수 있으며, 이중 강우유출수 저류시설 및 침투 시설은 비점오염원의 저감뿐만 아니라 홍수 방재를 위한 우수유출 저감기능도 가진다. 대부분의 비점오염원 유출은 우수유출과 동시에 일어나기 때문에 우수유출량이 저감될수록 비점오염원 저감량도 증가하므로 대부분의 비점오염원 관리시설과 우수 유출억제시설은 기본적으로 비슷한 구조를 가지고 있다.

<표 2-1> 비점오염원 관리기술의 종류

관리 유형	관 리 기 술 종 류
저류형	· 하수관거, 저류연못, 이중목적저류지(우수지활용), 인공습지, 지하저류 · 발생지 소규모 저류
침투형	· 침투지, 침투트렌치, 침투도랑, 침투집수정, 투수성포장
식생형	· 식생여과대, 식생수로
장치형	· Stormfilter, Stormceptor, Sand Filter, Swirl 장치, 수유입장치(오일/그 릴분리 포함)
처리형	· 초고속응집·침전시설, 생물학적 처리시설(접촉안정법, 폭기식라군법, 살수여상법, 회전원판법)

비점오염원 저감과 우수유출량을 동시에 저감할 수 있는 시설은 다음과 같이 수질 개선, 수량개선, 친수개선, 홍수방지 등의 다양한 효과가 있다.

- 비점오염원의 저감

강우에 의해 유출되는 비점오염물질을 저류 및 침투시켜 하천 및 호소로의 오염부하량을 감소시킬 수 있다.

- 평상시의 하천 유량의 확보 및 하천수질 보전

지하침투시설 및 저류시설을 이용하여 충전된 지하수는 비강우시 하류부 하천으로 물을 계속적으로 공급할 수 있으므로 일정 하천유량을 확보할 수 있을 뿐만 아니라, 하천유량의 부족에 의한 수질악화의 방지에도 도움이 된다.

▪ 지하수의 함량과 수자원의 확보

우수 침투를 통해 지하수의 함량이 높아지며, 따라서 수자원을 확보할 수 있다.

▪ 침수지역의 해소

침투시설을 설치하여 우수를 침투, 저류 시켜 피크 유량을 감소시켜 홍수피해를 저감시킬 수 있다.

▪ 지반침하의 방지

침투시설 및 저류시설을 통해 충전된 지하수로 인해 지하 수위의 저하로 인한 지반 침하를 방지할 수 있다.

▪ 식생고사의 방지

갈수시에도 지하수를 확보함으로써 지하수의 고갈로 인한 식생의 고사를 방지 할 수 있다.

▪ 바닷물의 역침투에 의한 염수화 방지

바다에 인접한 유역의 경우 지하수가 고갈되면 인접한 바다로부터 해수 유입이 진행되어 염수화 현상이 발생한다. 따라서 우수 저류 및 침투시설을 설치하여 일정 지하수위를 유지하여 해수 유입을 방지할 수 있다.

▪ 수처리 시설 규모의 확대 방지

저류시설을 이용하여 사용가능한 물을 확보함으로써, 필요한 수처리 시설의 규모를 축소할 수 있다.

<표 2-2> 비점오염원 저감시설 설치에 따른 각종 효과

구 분	효 과
수질개선	· 공공수역의 수질오염의 경감, · 하수도시설 부담의 경감 · 하천유지용수 및 건천화방지용수 의 확보
친수개선	· 도시경관의 형성, · 자연생태계의 복원, · 레크레이션 기능의 증대 · 수변의 환경성 회복, · 도시 열섬화의 완화
수량개선	· 하천평상시 유량의 회복, · 잡용수의 확보, · 지하수의 확보 · 소방용수의 확보
수문개선	· 수순환 기능 개선, · 염수침입방지, · 식생고사방지 · 지반침하방지
홍수방재	· 도시 수해의 경감, · 피크유출량 감소

1. 저류형 시설

저류형 시설은 비점오염원 및 우수유출수의 유출저감을 위한 가장 일반적인 방법 중의 하나이다. 우수저류시설은 일반적으로 유역의 말단부에 설치되어 유역으로부터 유입된 우수를 조절할 목적으로 설치된 지역외 저류시설(off-site retention)과 도시 유역내에 내린 강우가 우수관거, 우수지 및 하천으로 유입하기 전에 물을 일시적으로 저류시켜 유출을 억제하는 지역내 저류시설(on-site retention)로 분류한다. 지역내 저류시설로는 공원, 학교운동장, 광장과 같은 공공시설에 저류시설을 설치하는 경우와 공동주택의 경우에는 동과 동 사이, 주차장 등에 저류형 시설을 설치할 수 있으며, 단독주택의 경우에도 지상화단이나 대지내에 소규모 저류시설을 설치할 수 있다. 대부분의 저류시설은 우수 유출수 저감을 위한 목적으로 시작되었으나 발생원에서 우수유출을 저감시킬 경우 비점오염원의 유출저감 또한 발생하므로 비점오염원 저감을 위해서도 효율적으로 활용할 수 있는 시설이다. 각각의 저류형 시설의 특성은 다음과 같다.

가. 이중목적 저류지

이중목적 저류지(extended detention (dry) basins)는 강우유출수 범람조절과 수질 개선의 두가지 목적을 위해 관리될 수 있다. 이중목적 저류조는 오염물질의 침전을 촉진하기 위해 강우유출수를 임시로 저장하는 지역과 하천하류의 범람을 줄이기 위해 일정 수준의 유출수를 저류하는 지역으로 구분 할 수 있다. 강우유출수로부터 오염물질의 제거는 고형물입자와 이들 침전물에 부착되어 있는 오염물질의 침전에 의해 이루어지게 된다. 범람조절은 개발후 증가된 강우유출수의 증가분을 임시로 저장하였다가 유량이 적을 때 천천히 방류함으로 이루어진다. 물이 임시로만 저장되므로 이 시설에서의 침투와 지하수 재충전 효과는 미미하다.

이중목적 저류지는 일반적으로 2단의 저류지로 이루어지는데 제1단 저류지는 큰 빈도의 강우(10년, 25년, 100년)가 올 때를 제외하고는 일반적으로 건조상태로 유지되

고 제2단 저류지는 침전에 의한 오염물질의 포획을 유도하게 된다. 이중목적 저류지의 용존성 오염물질의 제거율을 높이기 위해서는 제2단의 저류지는 연못이나 습지로 만드는 것이 바람직하다.

나. 연못

연못은 강우유출수를 체류시키므로 수질을 개선하고 홍수시 피크유출을 조절한다. 고형물제거에 목적이 있는 저류지와 달리 연못은 물리적침전과 생물학적처리를 통해 용해성 오염물질까지 제거할 수 있는 영구적인 시설로서 내부에 물이 항상 고여있는 영구연못과 강우시 외부의 물이 일시적으로 체류되는 임시연못으로 구성된다. 연못은 배수구역에서 발생하는 강우유출수에 비한 저수용량의 규모에 따라 비점오염물질 제거효율이 결정된다. 연못 주변을 늪지로 조성하는 경우 또는 연못의 형태를 개량하여 침전을 용이하게 함으로써 오염물 제거효율을 높일 수 있다.

우수유출수가 연못으로 유입될 시 일단 연못의 용량이 넘으면, 집수된 우수유출수는 공공수역으로 배출되거나 임시 우회수로로 배출되며 강우기간동안 우수유출수를 집수하여 그 다음 강우로 인한 우수가 유입될 때까지 저류시킨다. 유입되는 강우유출수는 속도가 완만해져 부유성 오염물질들이 침전되고 체류시간의 증가로 미세한 침전물들이 가라앉는다(48시간에 90%이상). 영구연못은 대규모 강우시 발생할 수 있는 침전물의 재부상을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 영양물질이 조류에 의해 섭취되는 등의 생물학적 공정이 일어나 용해성 오염물질의 농도를 감소시키는 장점이 있다. 지역적으로 침전을 촉진시키고 습지식물에 의한 영양물질 섭취를 장려하기 위해 유입부에 늪지가 조성되기도 한다.

그러나 연못은 넓은 토지가 필요하므로 새로운 개발지에 적합하고, 건기시에도 일정량의 물이 항상 있어야 하기 때문에 유공성 토양이나 지하수위가 낮은 지역에서는 인공적인 불투수성 물질이나 점토를 이용해 물의 침투손실을 막아야 한다. 연못은 그 지역의 지형에 따라 이용제한을 받으며, 가파른 경사를 가지는 곳에 설치하는 것은 어려우므로, 비교적 평평한 지형이 좋다.

다. 인공습지

인공습지(constructed wetlands)는 1970년대 이후 미국을 중심으로 서구에서 습지를 이용하여 수질을 정화하는 기술을 개발해 오고 있다. 이들 국가에서는 인공습지를 점원 오염물 처리뿐 아니라 비점원 오염물을 처리하는데 이용하고 있다. 북미(미국, 캐나다)에서는 하폐수를 연못시스템이나 전통적 하수처리공법으로 운영되는 하수처리장에서 처리한 후 고도처리수준으로 처리하기 위해 자유수면 인공습지를 주로 사용하며, 유럽은 하폐수를 2차처리 수준으로 처리하기 위해 토양여과 인공습지를 일반적으로 사용한다.

국내에서의 인공습지 조성은 담수호인 시화호 유입부에 인공습지(750,623m²규모)를 조성하여 반월천과 동화천의 오염하천수를 정화하기 위해 수자원공사에서 설치하였고, 농림부(농업기반공사)에서 아산시 마산저수지로 유입되는 초사천과 황산천 사이의 자연습지(5,500m²)를 활용하여 수질정화를 유도하는 시범사업을 수행하고 있다. 인공습지는 수문학적 특성에 따라 자유흐름시스템(free water surface system : FWS), 지하흐름시스템(subsurface flow system : SFS), 부유식물 시스템(floating aquatic plant system : FAPS)으로 크게 분류한다.

자유흐름시스템(FWS)은 유입수의 저류공간과 침출을 막기 위한 제방으로 이루어지며, 정수식물이 자라는 수심 0.2~0.6m 정도의 식재구간과 수심이 다소 깊어 정수식물이 자라지 않는 1~1.2m 구간으로 이루어진다. 지하흐름시스템(SFS)은 지면이 물에 잠기지 않으며 땅속에 도랑이나 침투가 용이한 바닥층을 설치하여 자갈이나 굵은 모래속으로 유입수가 침투되어 정화되며 표토에 습지식물을 심는다. 인공습지는 부하량에 따라 2~3개 습지를 직렬 또는 병렬로 구성한다. 부래옥잠이나 개구리밥 같은 부유식물을 이용하는 부유식물 시스템(FAPS)은 국내와 같은 온대권에서는 겨울철에 부유식물이 죽기 때문에 규모가 어느정도 큰 지역에서는 적용하기가 매우 어렵다. 그러나 최근 농어촌연구원에서 인공식물섬(또는 부도라고도 함)이라는 부유식물시스템을 마산저수지에 시범적으로 운영하고 있으며 경안천 최하류(광주군 광동리 소재)에서도 부도를 시범운영하고 있다.

라. 지하저류

지하저류는 우수저류시설을 지하에 설치하여, 지상부를 주차장, 공원 등 다른 용도로 이용할 수 있도록 구조화한 것으로 지가가 비싼 시가지 계통에 설치하는 것이 일반적이다. 저류수심은 경제적 이유뿐만 아니라 토사반출 등의 작업성을 고려하여 2m 미만으로 하는 것이 바람직하다. 지하저류시설의 설계에 있어서 가장 중요한 요소는 시설의 관리문제이다. 유입토사의 확산을 방지하는 동시에 토사의 반출을 용이하게 하기 위해 토사의 퇴적장소를 정하고 시설저면의 기울기를 1/100 정도로 하고 배수구를 만드는 것이 필요하다.

건물지하 저류는 크게는 지하저류로 분류되는 방법으로 홍수 다발구역인 고밀도 주택가에서 사용하는 방법이라 할 수 있다. 이 시설은 주로 고층주택 및 큰 건물 등의 지하공간을 이용하여 설치하는 것이 유리하다.

마. 지역내 소규모 저류

지역내 소규모 저류는 주로 발생지에서 이루어지며, 이와 같은 저류는 강우의 이동을 최소한으로 억제하기 위해 비가 내린 그 지역에 우수를 저류하는 방식으로 토지의 이용계획에 있어서 녹지나 시설 등에 내린 비를 저류하는 기능을 포함하는 것이다. 지역내 저류시설의 종류에는 건물간, 주차장, 교정, 공원 및 지붕저류 등을 들 수 있다.

1) 건물간 저류

연립주택 및 건물사이 공간을 지역내 저류시설로서 이용하는 경우는 긴급차량의 진입, 건축물의 보호, 아동에 대한 안전대책 및 유지관리 등을 종합적으로 고려하여 저류가능량을 설정하도록 하여야 한다. 일본에서는 보통 5층 건물의 경우 동간격을 26m로 보고 긴급차 진입시 소요폭 5m, 프라이버시 확보공간 4m가 각각 소요되어 실제 이용 가능한 폭은 13m 정도가 된다. 저류수심은 과거 경험과 주거자에 대한 안전

성 확보 등을 고려해서 30cm를 표준으로 하고 있다.

2) 주차장 저류

주차장 저류를 설계하는데 있어서 자동차의 브레이크 장치가 잠기기 않도록 하고, 우수를 저류시킴으로 인해 주행에 지장을 주지 않도록 하며, 강우시 이용자들의 주차장 이용을 고려해서 저류수심은 약 10cm 이하로 제한한다. 넓은 주차장에서 우수저류는 비교적 사용 빈도가 적은 부분에 시행, 이용자들이 보행하는데 불편함이 없도록 보행로 부분의 높이를 높이는 등의 배려가 필요하다. 일반적으로 주차장저류에는 두 가지 형태가 있다.

첫째, 배수구 부분에 오목면을 만들어 빗물을 저류하는 것으로 오리피스와 같은 것에 의해 하수도로 천천히 유입시키는 방법이다.

둘째, 포장면 가장자리에 수로를 만들고 초지와 모래를 깔아 채운 침투로를 만드는 방법이다. 이 방법의 장점은 공사비가 싸고, 경관상으로도 좋으며, 겨울에는 제설처리장으로 이용할 수 있다는 것이다.

또한 주차장을 저류시설의 경우, 강우 종료 후 물이 고이는 것을 방지하고 체류시간을 단축시키기 위해 투수성 포장을 도입하는 것이 바람직하다.

3) 공원저류

공원, 녹지 등을 저류시설로써 이용하는 경우에는 공원의 기능, 이용자의 안전대책, 경관 등을 배려하여 저류장소 및 저류가능 용량을 결정한다. 일본에서는 공원녹지의 면적은 개발면적의 약 3% 이상으로 하고 있으며, 비교적 대규모인 택지개발지구에는 근린공원과 아동공원이 있다.

아동공원은 아동 및 유아에 대한 안전성을 고려하여야 하므로, 형태는 얇은 굴착식을 원칙으로 하는 등 비교적 소규모로 제약이 많다. 이에 반해 근린공원은 유효수심을 크게 할 수 있는 지역으로 운동장을 조합한 구조가 가능하므로 치수효과가 크다.

4) 교정저류

학교, 유치원 등의 옥외운동장을 지역내 저류시설로서 이용하는 경우에는 학생에 대한 안전성을 고려하여 이용수심, 저류가능용량을 설정하도록 한다. 교정저류는 교정전체에 우수를 저류하는 방식으로 구조는 수심이 얇은 굴착식을 원칙으로 한다.

교정저류의 경우 침수가 장기간 지속되는 경우에는 체육수업 등에 지장을 초래하므로, 강우 종료 후에는 신속히 기능회복을 도모할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해 운동장 흡입자가 세분되는 것을 방지하며 배수가 좋은 장소를 선택함과 동시에 운동장에 배수구를 설치하도록 한다. 또한 우기시 학생들의 등·하교길을 위해 보행로를 높이는 것이 중요하다.

이와 같이 학교 운동장은 교육시설로 본래 기능을 파괴하지 않도록 정기적인 시설의 점검이나 청소 등의 적절한 관리 외에도 우수 유출억제 기능에 관한 관리 역시 필요하다.

5) 지붕저류

공동주택 등의 옥상을 지역내 저류시설로써 이용하는 경우에는 지붕방수 및 건축물의 기본 구조도의 영향을 배려해서 저류가능용량을 산정하도록 한다. 지붕의 저류 특성은 특히 도시형 홍수에 많은 피해를 입는 고밀도 시가화 지역에 대해 아주 효과적인 방법으로, 차량의 통행에 장애가 되지 않을 뿐만 아니라 일반적으로 보이지 않는 곳에 설치되므로 외관상 및 안전성의 문제도 없다.

지붕저류의 기본적인 구조는 지붕배수가 수평한 연립주택 등의 옥상에 웨어 및 우수저류장치 등을 설치하여 배수통으로의 유출량을 조정하는 것으로 저류시간은 일반적으로 24시간을 초과하지 않도록 한다.

그리고 지붕저류시설은 설치할 때 우수문제, 구조상 저류된 우수의 하중문제, 쓰레기와 오물 등의 제거 및 동결문제 그리고 배수 연결부의 월류문제가 존재하는 등 저류상의 문제뿐만 아니라 건물자체에 악영향을 줄 수 있으므로 충분한 검토가 필요하다. 이들의 적절한 설계는 기존 건물에 저류시설을 만드는 것이 아니라 처음부터 저류용 설계를 함으로써 그 악영향을 최소한으로 줄일 수 있다. 누수문제의 경우는, 지붕에 방수처리를 하거나 2중층으로 설치하여 해결할 수 있다. 이와 같이 보다 효율적

인 우수저류를 위하여 정기적인 점검을 실시하여야하며, 이때 낙엽이나 오물 등에 의한 배수관의 막힘 등이 없도록 충분한 배려가 필요하다.

2. 침투형 시설

침투시설은 우수를 지하로 침투되도록 유도하는 시설로서 주로 지표면이나 지하의 일정공간에 쇄석 등의 다공질 매질을 충전하여 우수를 지표 혹은 지표면 보다 얕은 곳에서 불포화지층을 통해 분산 침투시키는 시설물로서 환경적으로 가장 바람직한 기법이다. 침투시설은 집앞의 뜰, 공원이나 녹지 등을 이용하여 침투율을 증가시키는 방법과 보도나 주차장 같은 불투수면을 투수성이 높은 재료를 이용하여 침투가 가능하도록 하는 방법이 있으며, 또한 빗물이 수로에 흐를 때, 지하로 스며들도록 유도하는 시설로 침투트렌치, 침투집수정, 침투측구 등이 있다. 우수저류시설은 침투유량을 저감시킬 수 있지만, 총유출량의 감소기능은 없다. 반면 우수침투시설은 지반의 침투 능력에 따라 지하로 침투시켜 우수유출량의 절대량을 감소시켜 하류하천의 홍수 부담을 경감시키는 것 이외에도, 토지의 다목적 이용이 가능하게 된다. 이와 같은 이유로 예전의 방재조정지 등의 저류형 유출 억제시설에서 현재는 개발로 인해 증대되는 유출량은 되도록 현지에서 처리한다는 생각을 기본으로 침투시설을 겸용한 우수저류·침투방식이 바람직하다.

가. 우물

우물은 지하수 함양 기술로 이전부터 사용되어 오던 공법으로 지반 보오링에 의해 우물을 만들어 그 우물내로 우수를 통과시킨 후 지하로 주입하는 방법이다. 우물법에 의한 시설에는 건식우물법과 습식우물법이 있는데 우물내에 지하수가 있는 경우를 습식우물법, 없는 경우를 건식우물법이라 한다.

우물에 우수주입은 펌프를 사용하는 압력에 의한 압입방식과 중력에 의한 자연주입 방식이 있는데 압입방식의 경우는 주입배수량이 대량이거나 강우시만 간헐적으로

사용되는 단점이 있으므로 주로 자연주입 방식이 사용되고 있다.

나. 침투지

침투지는 강우유출수의 차집과 임시저장 그리고 침투를 위해 투수성 토양에 설치된 수저장시설로서 그 형태와 시공방법이 저류시설과 유사하다. 저장조는 부지를 굴착하거나 독을 설치하여 만들어지며, 침투지는 1~3.5m의 깊이로 조성된다. 침투지는 임시방수로만 있고 기본적인 유출구조물이 없는 것을 제외하면 저류시설과 유사하며 저장된 우수유출수는 토양으로의 침투에 의해서만 유출된다. 침투지는 박테리아, 부유고형물, 비용존성 영양물질, 기름과 유지, 그리고 부유폐기물의 제거에 특히 효과적이지만 용존성 영양물질의 제거에는 그다지 효과가 없다. 그러므로, 침투지는 고도의 지하수질을 필요로 하는 지역이나 우수유출수에 함유된 오염물질의 농도가 높아 지하수질에 악영향을 끼치는 경우는 사용할 수 없다.

토양의 공극을 폐색시켜 침투효율을 감소시킬 수 있는 물질을 제거하기 위해 일부 전처리공정이 침투지에 필요한 경우가 있다. 침투지는 비교적 많은 토지가 필요하고 이미 개발된 지역보다는 개발되고 있는 지역에 적합하다. 침투지가 효과를 발휘하기 위해서는 일반적으로, 모래, 양질토사 같이 투과율이 5mm/hr 이상인 토양이 침투시스템에 적합하다. 침투지는 지하수위가 높은 경우 사용할 수 없다.

다. 침투도랑

침투도랑은 우수유출수 수집과 임시저장, 지속적인 주변 토양으로의 침투를 유도하여 지하수 함양을 돕고, 강우유출수의 유량과 침투배출량을 감소시키는 기능을 갖고 소규모 지역에서 사용된다. 형태는 가늘고 긴 굴착된 도랑으로 0.3~3m의 깊이가 자갈로 채워지고 자갈간의 공극을 통해 강우유출수를 임시로 저장한다. 도랑표면은 돌, 자갈, 모래 또는 풀이 식재된 지역과 지표유입부로 구성되어 여과과정에 의해 오염물질이 제거된다. 부유성 침전물과 부유쓰레기, 박테리아 등은 효과적으로 제거되

나 용존성 영양물질 제거에는 큰 효과가 없어 지하수를 통해 수계로 배출될 수도 있다.

토양투과율 및 침투조의 크기가 침투형시설에서 가장 중요한 사항으로 바닥토양에 대한 침투적합성을 알아보기 위해 사전에 실험과정을 거쳐야 하고 우수유출수량을 처리할 수 있는 정도의 크기를 가져야 함과 동시에 초과분은 우회시킬 수 있도록 설치하여야 한다. 일반적인 규모는 그 지역내 12mm의 초기강우를 저장할 수 있는 수준은 되어야 한다. 우수유출수로부터 오염물을 효과적으로 제거하기 위해 바닥의 토양은 강우전에는 건조되어야 하고 침투구조물이 건조되는데 강우종료 후 3일 이상 지체되지 말아야 하므로 불침투성 토양은 안되고(점토 또는 실트), 너무 빠르게 침투되는 토양(모래 또는 자갈)도 안된다. 한편 지하수위 조건을 고려해야 되는 바 적절한 처리와 지하수오염의 가능성을 줄이기 위해 침투구조물의 바닥과 지하수의 평균수위가 60cm 이상 떨어져 있어야 한다.

라. 침투집수정

침투집수정(침투통)은 통의 저면에 모래, 쇠석을 충전하여 채운 구조로, 침투집수정 하부저면에서 강우유출수를 불포화대 혹은 포화대를 통해서 분산 침투시키는 시설이다. 상부구조는 택지형, U형 및 도로암거형 등이 있으며 상부는 덮개를 설치한다. 침투집수정내 막힘 및 오염이 심한 경우 진공세정 및 청소를 실시한다.

마. 투수성 포장

투수성 포장은 우수를 직접 포장체로 투수수커 하부의 침투기능에 의해 지중으로 투수시키는 시설이다. 투수성 포장재의 사용은 우수유출수량의 감소에 의한 비점오염물질 배출량을 감소시킬 수 있으며, 상당량의 용해성, 입자성 오염물질을 제거할 수 있다. 제거효율은 포장의 저장용량(저장층 깊이), 조의 표면적, 그리고 토양의 침투율 및 여과율에 따라 결정된다. 투수성 포장은 일반적으로 25~100mm 두께의 상부포

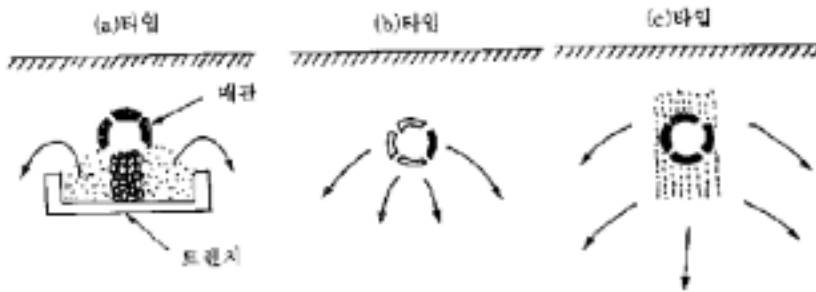
장층(역청질 포장자재)과 25~50mm의 굵은 모래층, 통과된 우수를 저장할 수 있는 쇠석층 그리고 바닥의 여과섬유로 구성된다. 일부에서는 우수유출수를 집수하기 위한 유공관을 설치하여 지하로 침투시키지 않고 지표로 배출하는 경우도 있으며 이는 지하수를 보호할 수 있는 반면, 침투시스템과 같은 오염물질 제거효율을 가지지는 못한다. 우수유출수는 최대설계강우 후 3일 안에 완전히 배수되어서 포장 하부토양이 건조되고 호기성 상태가 유지되어야 한다.

투수성포장은 보도 및 자동차 통행이 적은 접근로, 주차장 등에 이용하는 것이 적절하며, 포장될 지역은 쇠석 저장층의 바닥에서 최대지하수위까지 60~120cm 정도 떨어지는 평평한 지역이어야 하고, 포장하부의 토양은 침투성이어야 한다. 투수성 포장의 유지관리를 위해서는 주기적으로 고압세정으로 청소를 실시하여 투수기능의 확보에 노력해야 한다.

바. 지하매관법

지하매관법은 크게 침투트렌치와 대별되는 방법으로, 지표에서 30~60cm 정도의 깊이에 관경 5~20cm 정도의 침투관을 매설하여, 토양으로 물을 침투시키는 시설이다. 지하매관의 종류는 아래 그림과 같이 A, B, C타입으로 분류될 수 있다.

A타입은 매관의 아래에 트렌치를 갖는 것으로 우수는 매관으로부터 아래의 트렌치로 저류되어 주위의 모래 및 토양에 의해 먼저 위로 확산되고, 모관력 및 중력에 의해 1차 걸려진 우수는 아래 방향으로 침투된다. 토양층을 침투하는 우수는 토양내의 미생물에 의해 정화된다. 따라서 이러한 타입은 우수속에 유기물이 함유되어 있고, 지하수 오염이 우려되는 경우에 사용한다. B타입은 토양중에 그대로 지하매관을 설치한 것이다. 토양의 투수성이 높은 경우 상당한 침투량을 얻을 수 있으며, 가해지는 수압에 의해서도 침투량을 증가시킬 수 있다. C타입은 지하매관의 주변에 투수성이 좋은 모래 또는 쇠석을 충전하여 토양내의 저류량을 증가시켜 침투량을 증가시키는 방법이다.



<그림 2-1> 지하매관의 종류

사. 쇄석공극저류법

쇄석공극저류는 쇄석 등의 공극을 우수의 저류공간으로 이용하는 저류와 침투의 두 기능을 동시에 가지는 방법이다. 쇄석공극저류는 지중에 쇄석구(트렌치), 쇄석조를 설치하여 쇄석간의 공극에 우수를 유입시키고 그 상부는 녹지나 운동장으로 이용하는 것이다. 이와 같은 쇄석공극저류에 필요한 경비는 다른 저류시설, 침투시설과 비교해서 일반적으로 저렴하며 시설 계획규모의 융통성이 크다. 따라서 다른 공법과 시설을 조합하여 유기적인 우수유출억제기능의 일환이 되도록 계획하는 것이 바람직하다. 그러나 쇄석공극저류의 문제점으로 아래와 같은 것들이 지적되고 있다.

- 공극부의 토사 등에 의한 막힘으로 시간경과에 따른 저류기능의 저하된다. 따라서 토사 유입을 방지하기 위한 대책으로, 저류조 상면에 투수층을 연장하여 상부의 유입토사 등을 차단하는 방법, 유입부에 스크린을 설치하는 방법 등의 대책이 필요하다. 그러나 쇄석의 공극부분이 막히는 것을 완전히 방지할 수는 없으므로, 저류조에 대한 안전율은 사용하는 장소와 기간에 따라 적절히 설정하는 것이 필요하다.
- 저류조를 구성하는 쇄석들은 시간이 경과함에 따라 침하되며, 또한 이러한 침하량은 사용하는 쇄석의 성질과 그 시공법에 따라서 달라진다. 따라서 저류시설 상부의 토지이용에 따라 재료 및 시공법 등을 고려하는 것이 필요하다.

3. 식생형 시설

식생형시설은 우수유출수에 의한 피크유량의 감소와 비점오염원의 저감뿐만 아니라, 동·식물 서식공간 제공, 녹지경관 조성 등의 기능도 수행한다. 도시지역에서의 식생은 불투수성지역을 감소시키고 우수유출수의 침투 및 고형물 포획 효과의 기능이 있다. 이들은 다른 물리적방법에 의해 집중 처리되기 전에 우수유출수로부터 부유고형물을 제거하기 위한 전처리방법으로도 적합하다. 일반적으로 사용되는 식생처리 방법은 식생수로와 식생여과대가 있으나 두 방법 모두 때로는 식생여과대로 취급되기도 한다.

가. 식생수로

식생수로(grassed swale)는 강우시 토양의 침식을 줄이기 위해 수로에 식생을 도입하는 것으로서 부유고형물과 금속같은 오염물질 제거에도 효과적이고 침투과정에 의해 박테리아도 제거되나 영양물질같은 용존성 오염물질은 잘 제거되지 않는다. 식생수로는 강우유출수에 포함된 오염물질 제거뿐만 아니라 강우유출수량 조절기능도 갖고 있다. 제거효율은 경사감소, 식생밀도 증대, 소규모 조절댐의 설치 등에 의한 우수유출수의 유속감소에 의해 증가될 수 있고 하부토양의 여과율이 높을 때 제거율도 향상된다. 식생수로는 연석을 설치하고 배수시스템을 재정비해야 하기 때문에 기존의 개발지역에는 적용이 어렵다. 최대측면경사는 토양조건, 우수종류, 그리고 수로라이닝의 종류에 따라 결정되며 일반적으로 다음의 기준을 넘지 않아야 한다.

나. 식생여과대

식생여과대(vegetated filter strips)는 지표 강우유출수내 오염물질 제거를 위해 사용되며 종종 침투조같은 다른 시설과 함께 사용된다. 유입된 유출수가 식생여과대를 통해 흐를때 유출속도가 감소되고 침전물과 오염물질은 여과, 흡착, 중력 침전과정을

통해 오염물질이 제거된다. 만약, 강우유출수가 여과대면을 균등하게 흐르고 단회로 현상이 없는 이상적 환경이 유지된다면, 여과대는 침전물 제거에 매우 효과적이다.

식생수로와 비슷한 시스템이나 이 시스템으로 유입되는 우수유출수는 일반적으로 넓고 평평하게 퍼지며 흐름은 여과대에 수직이다. 오염물질 제거효율은 수역의 크기, 유속, 여과대의 길이와 크기, 경사, 그리고 토양의 침투성 및 여과성에 의존한다. 여과대는 부유고형물, 유기물질, 그리고 일부 미량 금속같은 오염물질 제거에 가장 효과적이나 영양물질같은 용존성 오염물질의 제거에는 별로 효과가 없다. 또한 대규모 수역을 처리하는 여과대는 많은 토지가 필요해 도시지역에 설치하는 것이 어렵다.

4. 장치형 시설

우수유출수에 포함된 오염물질을 제거하기 위하여 물리·화학적 장치를 이용하는 관리기술로서 스크린, 모래 등을 이용한 여과형, 상품화된 제품(Stormfilter, Stormceptor, Stormgate, Swirl concentrators/Vertex solids separators, 우수분리장치) 등이 있다.

가. 스크린

스크린(bar racks and screens)은 비교적 큰 부유물이나 쓰레기 등을 제거하기 위해 주로 전 처리에 사용되는 방법이나, 최근에는 Microstrainers등의 개발 등 스크리닝기술의 향상으로 하·폐수의 일차 처리 단계에서도 이용된다. 스크린의 종류로는 고정스크린, 드럼스크린, 회전스크린 및 Microstrainers 등이 있다. 특히 Microstrainers는 진흙과 같은 아주 작은 입자제거에도 효과적이다. 이 방법은 일반적으로 다른 공정의 부유성 폐기물을 제거하는 일차처리로 사용된다. Bar racks은 매우 큰 체망(보통 25mm 이상)을 가지고 있고 Microstrainers는 작은 체망(보통 15 μ m미만)을 가지고 있다. 이 시설들은 주기적/정기적으로 세정하여 고형물을 제거해 주어야 한다. 스크린은 부유물질의 제거에 가장 효과적이고 크기에 따라 부유고형물도 제거할 수 있으며 약간의 BOD도 제거할 수 있다.

나. 모래여과

모래여과(sand filter)는 무거운 고형물을 침전시키기 위한 우수집수장치와 여과실로 구성되어 있다. 우수유출수는 우수집수장치로 유입되어 용량이 차면, 모래가 채워진 여과실로 월류되어 여지를 통과해 여과실 바닥의 유출관으로 배출된다. 오염물질 제거능력을 증가시키기 위해 자연적 또는 인위적인 저류시설과 조합하여 설계될 수 있다. 모래여과는 다양한 입경(이탄에서 거친모래까지)의 모래로 구성된 여과층과 여과된 물을 배출하기 위한 자갈층으로 구성되어 있다. 오염물질 제거는 주로 여과매체를 통한 오염물질 거름작용, 모래층 상부에서의 침전작용 및 전처리 연못에 의해 진행된다.

전형적 체류시간은 4~6시간(Austin시, 1990)이나, 체류시간이 증가하면 일반적으로 제거 효율이 증가된다. 모래여과는 12,000m²~323,000m² 배수유역 규모에 대해 이용 가능하며 불투수성 지역을 처리하는데 사용된다. 제거율에 대한 주요 영향인자는 용량, 여과매체 및 체류시간이며, 평균적으로 부유물질은 85%, 질소는 35%, 용존 인은 40%, 대장균은 40%, 미량금속은 50-70%의 제거율을 나타내었다.

모래여과는 시간 경과에 따라 막힘현상이 발생되며 일반적으로 우수 유출수 유입구 부근에서 발생된다. 따라서, 표면 퇴적물질, 낙엽 찌꺼기, 잡다한 쓰레기 등에 대한 신속한 제거가 요구된다. 일반적으로 모래여과는 소규모지역에 사용되며, 대규모 지역에서는 전처리로서 사용이 가능하나 충분한 처리 효과는 얻을 수 없다.

다. 장치형 제품

비점오염원 저감을 위한 많은 장치형이 제품화되어 외국에서는 많이 설치하고 있다. 주요 제품은 우수유출수의 물리적인 흐름을 이용하는 경우, 여과, 응집 등을 이용하는 경우 등 다양하고, 대표적으로 Swirl Concentrators, Vertex Solids Separators, Stormceptor, Water Quality Inlets 등이 있다. Swirl은 강우후 부유입자가 많은 우수의 수량과 수질관리에 이용된다. Swirl은 움직이는 부분은 없지만 중앙회전로-웨어-

방수로로 구성된 장치로 오수가 Swirl 내부로 이동하는 동안에 흐름이 규제되고, 이때 형성된 소용돌이에 의해 고액이 분리된다. Swirl은 합류식하수거의 월류수 처리에 주로 이용된다. 월류수가 Swirl로 유입되면 부유성 물질은 상부에서 무거운 고체는 바닥에서 각각 분리, 포획되고, 오염물이 제거된 월류수는 공공수역으로 배출되고, Swirl의 상부와 하부에서 포획된 오염물은 처리장으로 보내진다. Vertex도 Swirl과 비슷한 방식으로 우수유출수나 합류식하수관거의 유출수를 처리하는 방법이다. 우수유출수 및 합류식하수관거의 월류수를 Vertex로 지나가게 함으로써 고형물과 비고형물이 분리되고, 분리된 고형물을 포함하고 있는 하부의 유출수는 처리시설로 이송된다. 이들 장치의 장점은 움직이는 부분이 없으므로 관리가 거의 필요 없다는 것이다.

Swirl concentrators/Vertex solids separators의 효과는 CSO(combined sewer overflow)고형물의 침전특성과 구조에서 생성되는 난류정도와 유속에 달려있다. 강우시 초기 우수유출수에 대해 가장 높은 제거효율을 가지며, 고형물과 BOD를 60%이상 제거한다. 그러나 이는 대부분이 굵은 입자의 제거에 의한 것으로, 효율은 유입수의 고형물크기와 비중에 따라 크게 차이가 난다.

Stormceptor는 중력에 의해 우수유출수로부터 침전성 및 부유성 오염물질을 제거하는 비점오염원 처리시설로, 기존 맨홀에 적용될 수 있다. 집수구역의 면적 및 강수 특성에 따라 다양한 규모 및 종류의 Stormceptor가 있다. 주요 적용 대상지역은 도로, 상용주차장, 공항, 버스터미널, 기차역, 신규주택단지 등이다.

그리고 Water quality inlets/Oil-grit separator 등과 같은 제품은 기름과 침전물 분리기로 일련의 침전조와 수류분리장치를 사용해서 부유성 폐기물과 침전성 고형물을 분리와 침전과정을 거쳐 제거한다. 수유입장치는 침전성 고형물과 부유성 폐기물의 제거효율이 좋기 때문에 우수유출수가 침투시스템이나 저류시설로 유입되기 전에 전 처리로 사용될 수 있다. 이 장치는 방울 3개로 구분함으로써 우수유출수의 체류시간을 연장하고 침전을 유도한다. 또한, 배플과 역곡관(inverted elbow)의 사용은 우수유출수로부터 부유하는 각종 부유물과 석유찌꺼기를 제거하는데 도움이 된다. 이들 오염물질의 제거효율은 조에 계속 체류하는 물의 양과 조를 통과하는 유속, 그리고 배플과 역곡관의 깊이에 달려있다. 체류시간이 증가하고 유속이 감소할수록 수유입장치

로부터 제거되는 퇴적물과 부유성고형물의 양은 증가한다.

수유입장치로의 유입수 속도가 크면, 축적된 오염물이 재부상해서 배출될 우려가 있으므로, 수유입장치의 설계시 유입장치는 과도한 유입유속을 제어할 수 있는 구조로 설계되어야 한다. 수유입장치 사용에 있어서 물리적인 지역제한은 없으며 대부분 지하구조물로 많은 토지가 필요하지 않다. 그러나 시설의 특성상 대규모 수역은 수유입장치로 배수될 수 없고 일반적으로 1ha 미만의 소규모 수역으로 사용이 제한된다.

5. 하수처리형 시설

각종 하수처리형 시설은 에너지 소모적이고, 비용이 비싸므로 이러한 시설을 이용해 비점오염원을 처리하는 방법은 대부분 비경제적이다. 그러나 고도로 개발된 지역의 경우에는 우수유출수에서 오염물을 제거하기 위한 방법으로 하수처리형 시설을 설치하여 직접 처리하는 방법도 가능하다. 특히 합류식 하수관거의 초기 우수월류수는 오염도가 상당히 높으므로 처리되어야 하고, 분류식 하수배제시스템을 가진 도시의 경우도 우수관거가 상수원과 같은 중요한 수역으로 직접 유입되는 경우, 초기우수를 처리하는 것이 바람직한 경우가 많다. 우수유출수의 발생은 매우 불규칙적이기 때문에 처리시설 규모는 장기간의 시뮬레이션과 통계적인 평가를 거친 후 결정되어야 한다. 처리시설의 규모는 초기유출수를 차집하여 처리할 수 있는 규모와 일정확률강우량의 유출수를 처리할 수 있는 규모로 설치하는 경우의 두 종류가 있다. 처리방법은 크게 물리·화학적 응집·침전 처리, 물리·생물학적 방법이 적용되고 있으며, 그 개요는 다음과 같다.

가. 물리·화학적처리

도시 우수유출수의 고형물을 응집하기 위해 응집제(폴리머, 알루미늄, 염화 제2철)를 사용하여 응집과정을 거친 후 침강시설에 의한 침전으로 오염물질을 제거시키는 처리방법으로서 현탁물질의 제거에는 탁월하나 용존성 유기물질 및 T-N제거에는

20%의 제거효과가 있는 것으로 알려져 있다. 오염물질 제거효율은 사용된 응집제의 종류와 혼합특성에 따라 다르다. 침전시간을 최소화시키면서 침전효율을 극대화시킬 수 있는 기법이 최근에 많이 개발되고 있는데 고속응집침전법이 그 한 예로서 URC(ultra rapid coagulation) 처리방법, ACTIFLO 처리방법 등이 있다. 이 두 방법은 처리원리가 비슷하나 URC법은 국내에 신기술로 지정되어 있고 ACTIFLO법은 프랑스의 해외공법으로서 합류식하수관거 월류수(CSO)처리 및 하수처리장에 적용한 사례가 있다. 다만 응집·침전법은 약품사용량이 많고 슬러지발생량이 많아 이에 대한 처분방법이 해결돼야 하는 문제점과 간헐적으로 운전되는 특성이 있으므로 경제적인 측면, 유지관리적인 측면을 고려하여 적용여부를 판단해야 할 것이다. 다음은 각 처리방법에 대한 개략적인 특성을 설명하였다.

1) URC(ultra rapid coagulation) 처리방법

초고속침강이 가능한 반응조건과 경사판 침전형태를 갖춘 정방형 형태의 균등 상향류식 경사판 침전방법에 의한 물리·화학적 처리공정으로 특히 가중 응집보조제의 투여와 경사판 침전지를 사용하는 것이 특징이다. 기존의 방식보다는 반응 및 침전시간을 대폭(10배 이상) 줄일 수 있는 초고속 응집·침전시설이다.

2) ACTIFLO 처리방법

고속응집과 경사판 침강공법의 장점을 결합한 유럽 각지에서 사용되는 공정으로서 URC 처리방법과 원리는 같으나 보조응집제로 폴리머 외에 모래를 투입하는 것과 모래를 재순환 시키는 사이클론 장치가 있다는 차이점이 있다. 부지소요가 적은 경제적인 시설 및 신속한 운전상의 장점으로 인해 강우시 합류식 하수거의 월류수 처리를 위한 유럽의 여러 지역에 사용실적이 있는 것으로 조사되었다.

나. 생물학적 처리

생물학적 처리공정은 고도처리로서 양호한 처리효율을 가지지만, 공정에 필요한

토지소요 면적이 크고, 유지관리비가 높고, 고도의 숙련된 기술자를 필요로 한다. CSO저장시설로부터 이송된 우수유출수는 보통 2차처리시설로 유입되어 처리·소독 후 방류시키게 된다.

생물학적 처리공정은 콜로이드성, 용존성 유기물질을 제거하기 위한 공정으로서 많은 오염물질이 생흡착, 분해, 기타 생물처리공정에서 일어나는 다양한 미생물의 활동에 의해 제거된다.

그러나 점오염원에서 유입되는 하·폐수와 달리 비점오염물질이 함유된 우수유출수의 효과적인 처리에는 다음과 같은 불리한 조건이 있으므로, 이에 대한 해결방법이 있을 때 본 기술의 적용이 가능하다고 하겠다.

- 우수유출수의 BOD농도가 비교적 낮다(10mg/L~30mg/L정도).
- 우수유출수의 수질과 수량에 대한 부하가 매우 불규칙하다.
- 강우시 미생물 시스템을 유지하기가 어렵다.
- 우수유출수에 독성물질 포함시 미생물의 사멸 우려가 있다.

1) 접촉안정법

활성슬러지의 흡착능력을 이용하는 방법으로 접촉조로 비점오염원이 함유된 오수가 유입되며 짧은 시간동안 슬러지와 혼합되어 폭기되면서 우수내의 콜로이드 상태의 유기물과 용존유기물이 슬러지에 흡착된다. 접촉조를 거친 후 MLSS는 2차 침전지에서 침전되고 침전된 슬러지는 안정조로 보내져서 3~6시간동안 폭기된다. 안정조에서는 흡착된 유기물의 산화가 이루어지며 대량의 우수를 폭기하는 대신 소량의 슬러지를 폭기시킨다는 장점이 있다.

2) 라군

라군(lagoons)은 내부생태계의 유지가 비교적 쉽기 때문에 우수를 처리하기에 좋은 방법이다. 실제로 많은 우수저류 연못이 생물학적인 라군의 역할을 하고 있다. 라군은 형태와 산소유입량에 따라 산화지(oxidation ponds)와 임의성지(facultative lagoons)로 나누어진다. 라군은 생장한 조류 등과 같은 물질을 제거하기 위해 후처리를 거쳐

야 하고 이때 적용되는 후처리 방법으로는 침전지, 스크린, 모래여과 등의 방법이 있다. 대부분의 우수처리를 위한 라군은 산화지이고 이들의 처리효율은 20~30% 수준으로서 비교적 낮다.

3) 살수여상법

미생물로 된 점막으로 덮인 쇠석이나 기타 매개층 등 여재표면에 부착된 미생물을 이용하여 강우유출수를 처리하는 방법이다. 여재에는 계속해서 유기물을 함유한 하수나 우수유출수가 공급되어야 하므로 우수저류수내의 유출수가 전부 처리된 후에도 계속 가동할 수 있는 하수의 공급원이 있어야 한다.

4) 회전원판법

회전원판법은 수면보다 약간 높게 설치된 수평회전축에 여러 개의 원반(disk)을 수직으로 고정시켜서 회전시키는 장치를 말하며, 각 원반표면에 미생물막이 형성되어 조내의 용존유기물질 및 기타 오염물질을 제거한다. 살수여상과 마찬가지로 우수유출수 유입이 없더라도 계속해서 가동될 수 있는 조건을 가져야 한다.

제3장 주요국의 비점오염원 및 우수유출수 관리방안

1. 미국

도시지역 우수유출수에 의한 수질오염의 영향에 대한 인식이 증대함에 따라, U.S. EPA는 Clean Water Act의 Section 208에 의거하여 도시지역에서 발생하는 비점오염을 경감시키기 위한 연구를 수행하게 되었다. 208 비점원연구로 알려진 이 연구는 1970년대 미국 전역에 걸쳐 오염이 심각한 대도시지역에 대해 수행되었다. 그러나, 도시 수문학의 동적인 시스템에서 유출수의 수질을 측정하고 정량화하는 방법 및 관리 대책의 효율성에 대해 경험이 거의 없었기 때문에 208연구는 성공적이지 못했다. 208 프로그램이 실패함에 따라, U.S. EPA는 1980년대 초반에 NURP(National Urban Runoff Program)에 자금을 지원한 이후 많은 비점오염원 연구가 수행되었다.

초기 연구는 비점오염원의 중요성 및 농촌지역의 비해 도시지역의 비점오염원의 심각성을 정의하는 것이 목표인 반면에 최근의 연구는 오염수준 및 오염관리대책의 효율성을 확인하는 데 초점을 맞추고 있다. 이와 유사한 연구방향은 후속적으로 유럽 및 캐나다에서 이루어 졌으며, 초기에는 비점오염원의 상대적 중요성을 특징짓는데 초점을 맞추었으나, 점차 농업 및 도시지역에서의 BMPs(best management practices)의 수행으로 그 초점이 바뀌었다.

농업관련 대책에서 시작된 최적관리기법(BMP)은 각종 비점오염원 저감대책 및 유출수에서의 오염물질을 관리하기 위한 방법을 제시하고 있다. 농업관리대책은 겨울철 침식을 방지하기 위하여 추수된 지역에 그루터기의 존치, 비료의 관리, 수확량 증대를 위한 윤작 등의 방법을 포함한다. 구체적으로 등고선 경작, 농경지와 방류수역 사이에 완충지역 설정, 침전물 감소를 위한 배수구 내 방지댐의 설치 등을 포함한다. 도시지역의 경우, 오염원관리방법(source control, 비건설 관리방법으로 지칭) 및 처리관리방법(treatment control, 건설 관리방법으로 지칭) 과 같은 2종류의 관리방안이 있다. 오염원관리방법은 유출수로 화학성분들이 유입되는 것을 방지하기 위한 대책

이다. 예를 들면, 화학물질 저장지역의 표면을 덮거나, 유출수를 이와 같은 지역에서 우회시키는 방법, 거리 청소, 자정용 유해폐기물 재활용 프로그램 등을 들 수 있다. 처리관리방안은 우수유출수로부터 오염물질을 제거하는 장치를 의미하며 이에 식생이 조성된 습지 및 완충지역 조성, 침투지연, 저류, 처리 등의 방법이 있다.

가. 비점오염원 관리

미국의 수질청정법(clean water act : CWA)에서는 국가오염물배출관리시스템(national pollutant discharge elimination system :NPDES)에 의해 점오염원의 배출을 금지하는 규정을 1972년에 제정하였다. 그러나, EPA는 점오염원의 규제만으로는 수질개선의 한계를 인식하고, 비점오염원(강우유출수) 배출에 대한 NPDES 허가규정을 적용하기 위한 프로그램 개발을 위해 노력해왔다.

U.S. EPA의 조사보고에 따르면 비점원오염은 미국 내 남아있는 수질문제의 절반 이상을 나타내고 있으며, U.S. EPA는 비점원으로부터 유출수 수질을 관리하기 위한 다방면의 접근방식을 개발하고 있다. 이와 같은 접근방식은 주로 주의 정부기관에 의해 수행되고 있으며, 비점오염원, 도시 및 산업단지의 유출수 수질, 강 하구 보호, 호수 보호, 연안지역 보호, 최대 1일 부하량(TMDL), 합류식 하수관거에 대한 프로그램으로 구성되어 있다.

강우유출수 규제를 위해 1987년 CWA를 개정하여 EPA로 하여금 도시유출수와 공업지역 유출수에 대한 관리계획을 수립토록 하였다. 1987년 CWA 개정안에 Section 402(p)가 추가되었으며, 이 규정에서는 NPDES 프로그램의 일환으로 도시 및 산업단지에서의 우수배출을 규제하는 기본골격을 확립하였다. 이에 따라 1단계 강우유출수 규제기준을 1990년 말에 제시하였으며, 주요 내용은 이때까지 비점오염원으로 규정되고 있던 공업활동 및 건설지에서의 우수유출수를 점오염원에 포함시켜 1992년 10월 초까지 NPDES허가를 받도록 하였다.

도시 배출수에 대한 U.S. EPA의 적용조건은 2개 부분으로 구성되어 있다. Part 1에서는 신청자의 법적지위, 강우유출수의 특성과 오염지역의 특성, 기존 관리프로그램에

대한 설명, 가능한 재원 및 기타 관련요소들을 고려한 기존 정보 수집에 관한 것이다. Part 2에서는 강우유출수를 감시하고 오염물질 부하를 추정하기 위한 프로그램의 개발, 오염원 특성의 재검토, 강우유출수 관리를 수행하는데 필요한 비용분석, 최대실행 가능한 범위까지 오염물질을 경감시키도록 계획된 우수관리프로그램의 수립 등을 포함한다.

<표 3-1> 강우유출수 배출에 대한 NPDES 허가 규제대상

구분	허가 규제 대상
공업활동 과 관련된 배출허가	· 각종 공업활동이 강우유출수에 노출될 경우 규제대상이 될 수 있는 공업활동을 10가지와 5Acre 이상의 시공현장을 포함하여 총 11개로 분류하여 배출수 규제 · 공업활동에 따른 자재 취급장비, 원자재, 중간산물, 최종산물, 폐기물, 부산물 또는 공업기계가 강우유출수에 노출된 곳에서의 강우유출수만 포함됨 · 단, 사무실 건물, 부설주차장 같은 시설이 공업활동으로부터 떨어져서 위치하여 공업지역으로부터 배수되는 강우유출수와 혼합되지 않을 경우는 제외
도시지역 에서의 배출허가	· CWA의 규정에 따라 연방규정에서 중규모(100,000명 이상, 250,000명 미만)와 대규모(250,000명 이상)도시로서 분류식 하수관거 시스템을 가진 도시에 대해 강우유출수 허가를 받아야 함 · 약 220개 시와 군이 해당됨

자료 : 한국환경정책평가연구원. 2000.

EPA는 CWA의 1987년 수정시, 비점오염원 관리 시행 10년후 2단계 확대를 명시하였으며, 이에 따라NPDES Program의 2단계(Phase II)가 2002년 12월 9일부터 시작하게 되었다. 주요 내용은 비교적 소규모의 도시들도 수자원을 보존하고 보호하기 위해 가능한 한 최대로 오염물의 배출을 줄이도록 요구하는 것이다.

EPA는 우수유출수 관리에 있어 실제적이고 효과적인 프로그램을 개발하는데 있어서 성과를 이루어 왔으며, 2단계 수행에 있어 각각의 도시에 대해 필요한 충분한 자료를 제공하였다

<표 3-2> NPDES에 의한 주요 강우유출수 허가기간

신청종류	신청서 제출기한		허가서 발행기한
산 업			
개별			
- 기존시설	1992. 10.		제출기한 경과후 1년
- 단체신청에서 제외된 시설	1992. 10.		제출기한 경과후 1년
- 신규 시설	가동 180일 전		신청서 접수후 1년
- 신규 건설사업	건설 90일 전		신청서 접수후 1년
도 시			
	Part 1	Part 2	
- 대 도 시(25만 이상)	1991. 11.	1992. 11.	제출기한 경과후 1년
- 중 도 시(10만 이상)	1992. 5.	1993. 5.	
- 지정도시	허가기관에서 결정		제출기한 경과후 1년

NPDES 2단계 프로그램의 3가지 기본적인 특성은 다음과 같다.

- 관련된 도시의 유형: 분류식 관거를 가진(Municipal Sepatate Storm Sewer System(MS4s))의 인구 5만 이상의 도시 또는 인구밀도 1000명/평방 마일 이상 도시지역, 수질에 민감지역은 인구 1만 이상
- 프로그램의 주요 요소 : 오염원 규명, 유출 통제, 시행방안, 주민참여/교육
- 관리방법의 수행 : 효과적인 통제 방법의 규명과 실행

나. 우수유출수 및 월류수 관리

합류식 하수도의 강우시 월류수를 포함한 강우시 하수대책은 현재 미국에 있어서 하수도 사업의 최우선 중요 과제로 대두되고 있다. 강우유출수는 다음과 같이 세 종류로 분류된다.

- 합류식 하수도 월류수(CSO, combined sewer overflow)
- 분류식 하수도 월류수(SSO, sanitary sewer overflow)
- 우수(SW, storm water)

미국의 경우, 강우시 합류식 하수관거의 우수토실에서 월류수가 방류수역의 수질

오염에 미치는 영향을 제어하기 위한 수단으로 하수관거의 분류화를 추진하고 왔으며 1960년대에 이미 122개 지자체에서 1,755개의 하수관거 분류화 사업이 진행되었다.

그러나 합류식 지역의 분류식화 시행과정에서 발생하는 오접합 등의 기술적인 문제와 경제적인 문제로 인해 전면적인 분류식화에서 선택적인 분류식화로 수정¹⁾하였으며 관거매설 상태가 양호한 합류식 관거 보급지역에서는 무리한 분류식화 보다는 초기강우 처리에 주력하는 것이 효과적이라는 결론을 내린 바 있다. 또한 기존의 합류식 하수관거의 초기강우를 효과적으로 처리하기 위한 방안으로는 초기강우 저류시설의 설치, 월류량 제어시설 및 부대처리시설의 설치를 제시하고 있다.

미국은 현재 약 950개 도시가 합류식하수도를 채택하고 있다, 1994년에 EPA는 각 주, 자치단체 등과의 협의를 거쳐 다음과 같은 3단계의 CSO 대책 방침을 결정하였다.

- 월류빈도를 연간 평균 4~7회로 감소시킨다.
- 연간 강우유량의 85% 이상에 대해서 적어도 1차처리를 실시한다.
- 연간 강우유량의 80% 이상에 대응하는 오염부하를 삭감한다.

우수유출수 및 월류수 관리는 지방정부 책임으로서 중앙정부 차원에서는 주로 조사 및 연구를 바탕으로 각종 관리방안을 주 정부가 수행하는 방침을 제공하고 있다. 일례로 CSO대책을 포함한 강우유출수 대책에 대해서는 미국환경보호청 산하의 국가 위기 관리 연구소에서 조사·연구가 행해지고 있다. 강우유출수에 기인하는 문제로는 하천 등 공공수역의 미관 손상, 병원성 미생물의 존재, 용존산소가 감소하여 어류 등 수생식물에 영향, 대량의 SS가 공공수역으로 유입되어 하천의 자정능력 감소, 유해물질의 유입으로 공공수역 오염 등이 있다.

이같이 강우유출수는 공공수역에 악 영향을 미치기 때문에 그 대책이 시급하며, EPA에서도 최우선 과제로 인식하고 있다. 현재 EPA에서는 강우유출수에 관해서 다음 표와 같이 5개 항목으로 분류하여 조사·연구를 수행하고 있다.

1) 분류화 대상지역 : 재개발지구, 신개발지구, 기존 합류식지역 중 관거노후로 교체 필요한 지역 및 시설용량 부족지역

<표 3-3> 강우유출수(wet weather flow) 대책

대책	내용
강우유출수의 특징 및 문제점 분석	· 분류식하수도의 오수는 비교적 유량이 안정되어 있는 것에 비해, 강우유출수는 유량변동이 상당히 큰 특징이 있음 · CSO의 수질 모니터링을 실시함과 동시에 병원성 세균이나 소독법의 조사를 실시
유역관리	· 현재 하천유역의 많은 부분에서 도시개발이 진행되어 수환경 및 상수원의 환경을 보전할 필요가 있음 · 유역을 통합적으로 관리할 필요가 있고, 하나의 하천에는 많은 자치단체가 관여해 있고, 경우에 따라서는 두 개 이상의 주가 관계할 경우에는 정치적인 요소도 가미되어 유역관리는 복잡한 문제를 내포함
유해물질	· 강우유출수에는 유해물질이 함유되어 있으므로 발생원의 확인, 오염방지 기법, 장기적인 영향 등의 조사·연구를 실시
제어기술	· 현재 조사·연구가 진행되고 있는 것으로는 침사지 등 강우 유입부 장치, 저류시설의 설계기법, 레이더 유량계를 이용한 실시간 제어(real time control)기법, 고속침전지, 고속멸균, 관내침전물의 제거법 등이 있음 · 향후 연구를 수행할 예정인 것으로는 토지이용 규제에 의한 발생원 관리, 관내 저류, 처리시설 이외의 기법(교육, 리사이클, 발생원대책, 청소) 등이 있음
시설의 개선 (불명수 대책)	· 불명수는 관거의 유효단면을 손상시켜 하수처리에도 막대한 영향을 미치기 때문에 그 삭감이 요구됨. · 불명수의 침입장소 조사, 관거의 개량·개축, 불명수 삭감기법, 불법접속(오점)의 조사 매뉴얼 작성 등이 과제로 되어 있음.

자료 : 서울시정개발연구원. 2001.

다. 호우관리

1) 메릴랜드주

메릴랜드주에서는 도시 개발 후 증가된 유량으로부터 인한 하도 세굴을 방지하기 위해서 개발자들이 호우관리시설을 설치해야 한다. 1984년 이후 대부분의 호우관리는 주로 도시화로 인해 증가된 침투유량의 조절에 집중되었다. 그러나 1982년 통과된 메릴랜드주의 호우관리법은 “주와 지역 프로그램의 주요 목표는 지역개발 후에도 가능한 개발 전의 유출 특성을 유지하는 것이다.”라고 언급하였다. 메릴랜드주는 도시 지역의 개발에서 우수유출을 조절하기 위한 호우관리 기법 중 침투기법을 가장 먼저

고려하고 있으며, 예로서 침투트렌치가 메릴랜드에서는 널리 사용된다.

2) 펜실베이니아주

펜실베이니아주는 1987년 호우관리법 또는 법령 167을 제정하였으며 주요 내용은 다음과 같다.

- 사회복지 측면에서 호우관리
- 유역계획 수립을 위해 시와 협력하에 대상 “유역”지정
- 호우관리 지침 개발(1985년 채택)
- 시의 유역계획 검토 및 승인

유역은 환경자원부에 의해 설정되며, 환경자원부와 환경수질위원회에 의해 승인된다. 호우관리법은 주로 수량의 측면에서 호우관리 문제를 다루고 있으며, 수질문제는 기술적 측면과 다른 정보를 이용할 수 있음에 따라 추후에 개정되었다.

3) 버지니아주

버지니아주 호우 프로그램의 또 다른 면은 기관간의 관리 책임부분이다. 세굴과 침식을 조절하는 프로그램의 관리의 ‘보전 및 역사자원부’에서 농촌과 도시의 비점원 프로그램은 ‘토양과 물보전국’에서 관리하였다. 1988년 토양과 물보전국은 버지니아주 비점오염원 관리계획을 개발하였다. 또 버지니아는 1990년 포괄적인 호우법을 제정하였다. 이 법은 1991년 1월 1일 부터 효력을 발휘하였는데 다음은 이 법령의 주요 사항들이다.

- 주 기관과 지방기관은 유출량과 수질측면에서 개발전과 동일하거나 향상된 호우관리 프로그램을 개발해야 한다.
- 모든 호우 관리 프로그램에 의해 만족되어야 하는 최소 규범을 설정한다.
- BMP의 유지를 위해 장기간의 책임이 요구된다.
- 호우관리 프로그램은 세굴과 침식 조절, 홍수터 관리, 다른 토지개발법과 병합되어야 한다.

라. CSO 대책

1) 뉴욕시

뉴욕시에서는 시내에 있는 450개소의 우수토실에서의 월류수 대책이 급선무로 되어 있다. 기본적으로 저류지에 의한 저류 및 스월조(swirl regulator) 분리방류가 채택되었다. 강우시의 저류는 일시적으로 저류지에 저류되어 강우종료후에 하수관거를 통해 처리시설로 운송된다. 스월조는 원형의 장치로 원심력에 의해 부유물질을 제거하는 것으로 부유물질을 함유한 분리수는 처리시설로 운반되어 진다.

뉴욕시에서는 저류지의 용지 및 건설비를 절감하기 위해서 만의 일부를 두꺼운 비닐쉬트로 차단하여 저류지로서 사용할 실험을 수행하고 있다. 평상시에는 해수가 저류해 있지만, 강우시에는 월류수가 상부로부터 유입하여 해수는 비닐쉬트 하부로부터 만대로 압출된다. 강우 종료 후 월류수는 펌프에 의해 하수관거로 되돌아 간다. 그때 전기전도도를 계측하여 하수와 해수를 구별하는 연구를 수행하고 있다. 문제점으로는 간조시에 저류능력이 떨어지는 점과 취기의 문제가 있다. 또한, 강우시 월류수에 대한 소독방법에 대해 연구를 수행하고 있으며, 염소소독의 경우 소독부산물의 문제가 있어 대체소독법으로서 이산화염소, 염소+탈염소처리, 오존, 전자빔 대해서도 연구를 수행하고 있다.

2) Los Angeles

LA의 경우 년 중 건조한 지중해성 기후로 인하여 겨울철에만 비가 내리는데 12월부터 2월 사이에는 간혹 집중강우로 인하여 홍수 피해가 발생하기도 한다. 홍수의 피해를 방지하기 위하여 LA시는 일반하수관과 홍수대비하수관으로 구분된 하수체계를 갖고 있다.

그리고 거리에 불법으로 폐기하는 자동차오일, 쓰레기, 화학세제 등이 일반하수관이 아닌 홍수대비하수관으로 유입되어 하수처리과정을 거치지 않고 하천으로 직접 방류하여 수질오염의 주요원인이 되고 있다. 이에 대한 해결방법으로 강우시 일시에 유입되어 들어오는 하수중 처리시설 용량 초과분은 일시 저류시켜 두었다가 강우가

끝나고 하수처리장 정상 가동시 조금씩 분산 처리하여 하수처리장의 급격한 부하증가를 완화시키고 하천의 오염도를 막는 저류시설을 도입하고 있다. 이는 홍수로 인하여 도시폐기물이 하수처리 과정을 거치지 않고 하천으로 유입되어 수질오염을 일으키는 것을 감소시키기 위해서이다.

현재 LA에서는 베니스해변에 1개의 저류시설(The Thornton Avenue Storm Drain)이 작동 중에 있으며, 시의회의 허가를 받으면 보다 많은 시설물을 설치할 예정이다.

3) 시카고

시카고는 미국 5대호의 하나인 미시간호의 남쪽에 위치하며 지대가 낮고 평평하여 비가 많은 지역으로 침수피해가 잦은 지역이다. 침수는 공중위생의 악화를 초래하여 콜레라 및 장티푸스와 같은 수인성 전염병에 의한 피해자를 많이 발생시켰다. 이와 같은 상황에서 19세기초 시카고에서는 침수로 인한 피해자의 경감과 공중위생의 향상을 목적으로 하수도의 정비가 시작되었다. 이 시기의 하수도는 처리면적 971km², 총 연장 800km의 합류식하수도이고 처리방식은 1차처리에 의한 침전방식이었다. 19세기 후반에 시카고는 급격한 발전을 이루게 되었으며 생활하수 및 산업폐수의 증가로 상수원인 미시간호에 강우시 많은 하수가 무처리로 월류되는 경우도 있었다. 1885년에는 시카고 대홍수에 의해 지역주민 약 12%가 장티푸스와 기타 질병으로 인해 사망하는 등 수인성 전염병에 의한 피해자가 많이 발생하였다.

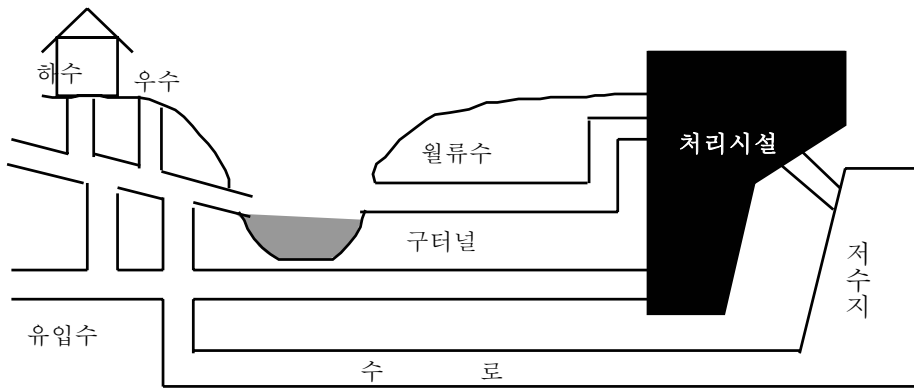
1972년 CWA의 시행에 의해 시카고시는 CSO 처리 및 관리문제에 직면하게 되었으며, 1975년에는 하수의 월류에 의한 수질오염 방지와 우수유출억제라는 두가지 목적을 가진 대규모 지하저류조(tunnel and reservoir plan : TARP) 계획이 시행되었으며, TARP의 주요내용은 다음과 같다.

- 미시간호의 수질오염방지와 시카고지역의 침수해소를 목적으로 시작된 TARP는 시설연장 210.8km, 관경 4~11m, 지하 45~107m 깊이의 터널, 252개의 집수시설, 3곳의 펌프장과 기존의 채석장 아래를 굴삭한 157×10⁵m³ 용량의 저류지로 구성된다.

- TARP는 1차 계획에 의거 총공사비 약 370억달러를 투자하여 10m관경에 약 50km의 터널을 지하 73~91m 깊이에 매설하고 3개의 펌프장을 건설하였다. 이로 인

해 시카고지구에서 발생한 합류식하수를 모두 처리하게 되었으며, 연간 방류부하량은 약 15%가 감소하여 침수피해도 상당히 감소하는 것으로 나타나고 있다. 2차계획에서는 1차계획에 이어 162km의 터널과 1억5,700만 m^3 의 저류지를 건설중에 있다.

한편 TARP의 일부 시설의 완공으로 인접 미시간호의 수질이 상당히 개선되어 어획고가 증가하는 상당히 고무적인 개선효과가 나타났다.



<그림 3-1> TARP의 개념도

2. 일본

일본은 미국과 같이 비점오염원 관리를 위한 각종 법이나 제도는 완비되지 않고 있다. 각 자치단체에서도 비점오염원 관리만을 위한 시설 설치 보다는 치수 차원에서 대책이 추진되고 있고, 부수적으로 오염원 관리에 대한 방안이 검토되고 있다. 대표적인 사업으로 대도시에서 추진되고 있는 지하조절지사업이다. 지하조절지는 미국의 TARP 사업과 다소 적용 목적상의 차이는 있지만, ‘지하하천 및 지하조절지’라는 이름하에 도시 지하에 저수용 관거를 매설하는 대책 계획을 수립하여 추진 중이다. 1998년에 공사를 시작한 동경의 Kanda/Loop 7 지하 저류관거는 1차 공사의 완공으로 29 km^2 에 내리는 50mm/hr 강우를 저류할 수 있게 되었다.

<표 3-4> 지하대형관거를 이용한 월류수 저류터널 개요

CSOs 저류터널	내용
Kyoto 대형주간선 하수관거 축조	· 저류용량 : 13,000m³ · 최대관경 : 2.5m · 길이 : 4.9km
Tokyo Kanda/Loop 7 Underground Reservoir	· 저류용량 : 540,000m³ · 최대관경 : 12.5m · 길이 : 4.5km · 깊이 : 지하 약 40m

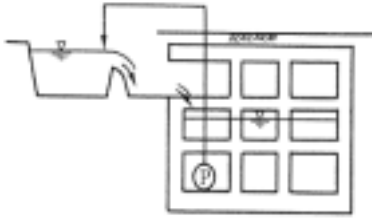
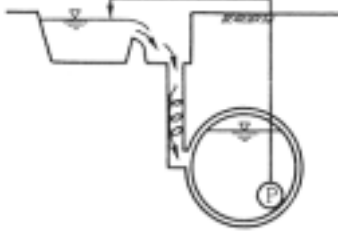
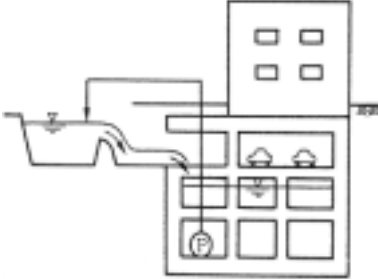
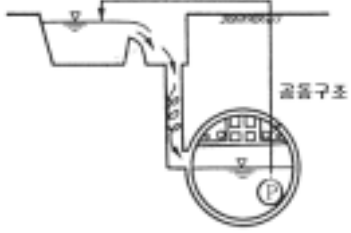
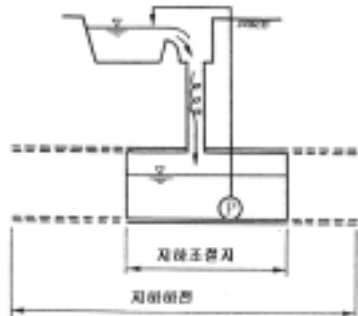
자료 : U.S. Water News, 1989.

가. 지하 조절지의 정의 및 분류

도시지역은 토지이용의 집약화로 불투수면적이 증가하여 강우시 우수가 일시에 유출하여 홍수피해에 취약하며, 또한 강우시 도시지역의 비점오염 물질이 일시에 유출되어 수질오염의 원인이 되고 있다. 지하 조절지는 용지의 취득이 어려운 도시공간에서 도시 지하 공간에 저류지를 설치하여 계획 홍수의 피크유량과 우수유출량의 차이에 상당하는 유량을 일시적으로 저류하여 홍수 피해를 저감하고, 우수유출수 중의 오염물질을 일부 침전 제거하여 도시 비점오염원에 의한 수질오염부하를 저감시킬 수 있어 설치하게 되었다.

지하 조절지의 도입시에는, 지하 수맥의 분단, 지반 침하, 인근 하천 수질에의 영향 및 기타 도시 시설에의 영향, 혹은 장래의 도시 지하 공간 이용의 계획 등에 대한 종합적인 검토를 바탕으로 한다. 또한 지하 조절지는 복합 및 다목적 이용을 동반하는 경우가 많으므로, 복합/다목적 시설을 계획하는 데에 있어서 배려사항에도 충분히 고려하고 있으며 또 하수도 계획 등의 관련 계획에 대해서는 충분한 고려가 이루어지고 있다. 지하조절지는 기능 및 구조상으로 다음과 같이 분류될 수 있다.

<표 3-5> 지하조절지의 분류

구분	대들보, 기둥, 슬라브 형지	지하터널 형식
지하조절지 단독이용		
다른시설과 복합이용		
지하하천의 정비단계로 조절지로 이용		

자료 : 國土開發技術研究センター, 1995. 「都市河川計畫の手引き(立體河川施設計畫編)」

나. 지하조절지 설치계획시 고려사항

지하조절지의 설치계획은 기초 조사, 지하 조절지 계획, 시설계획, 유지 관리 계획으로 구성되고 조절지 계획과 시설계획 단계에서는 필요에 따라, 수리 모형 실험에 의한 검증을 행한다. 지하 조절지 계획은 설정된 기본 조건 하에서, 위치 선정, 유입

시설, 조절지 용량 등 조절지 본체 계획, 복합 이용 계획의 순서로 진행되고 있다. 이어서, 지하 조절지의 주요시설인 조절지 본체, 유입시설, 감세 시설 등의 시설계획의 검토를 하며, 필요한 경우 시설형상 등에 대해서 수리 모형 실험에 의한 검증을 실시한다. 마지막으로 조절지 본체를 포함한 각 시설 및 유지관리 시설의 계획을 실시하고 유지 관리 계획을 입안해서 시공한다.

1) 지하 조절지의 위치 선정

지하 조절지는 홍수 방재 효과가 크고 용량의 확보가 유리한 지점을 선정하고 있다. 이 경우 도시공간의 유효이용 및 사업의 조기 추진의 관점에서, 복합, 다목적의 이용의 가능성에 대해서도 고려한다. 지하 조절지의 홍수 조절 효과를 고려한다면 치수계획상의 주요한 홍수 방어지역에 가능한 한 가까운 곳에 배치한다. 또한, 지하 조절지의 위치선정시 주변의 도시 기능과의 조화 및 유효한 토지 이용을 위해 복합·다목적 시설로서 계획한다.

2) 홍수 조절계획

지하 조절지는 계획 홍수에 대해서 확실히 홍수 조절을 할 수 있도록 계획한다. 지하 조절지는 홍수 유출량의 일부를 저류해서 하류부의 최대 유량을 감소시키는 것으로, 그 시설 형상(용량, 유입, 도수)은 일반적으로 계획 홍수를 대상으로 결정된다. 또한, 계획규모에 미달하는 중소 홍수와 유형이 다른 홍수에 대해서도 그 기능이 어느 정도 발휘될지를 검토한다. 조절지의 유입시설로는 고정둑과 가동둑이 있는데, 도시 지역의 중소하천에 있어서는 일반적으로 횡월류식 고정 둑이 이용되고 있는 경우가 많다. 횡월류식의 고정 둑의 형상(둑 높이와 둑 길이)은 홍수의 피크에 대해 조절이 가능하도록 결정한다. 그러나 둑 높이가 낮은 경우는 조절지로의 유입 빈도가 높게 되고 조절지 용량이 많이 필요하게 된다. 또 둑 높이가 높은 경우는 그 만큼 둑 길이가 길어지고 시설규모가 커지게 된다. 따라서 월류 둑의 형상은 이러한 것을 충분히 감안해서 결정하고 있다.

계획홍수를 조절하기 위한 실저류량은 하도 특성과 유입시설 형상 등에 따라서 변

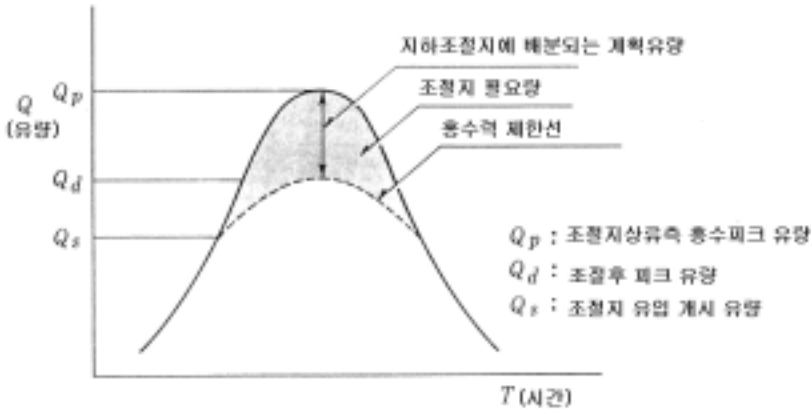
하기 때문에 이런 점을 고려해서 결정한다. 수치 계산 등에 따라서 하도 특성 및 홍월류의 수리현상을 파악하는 것이 곤란한 경우는 수리 모형실험을 병용해서 결정하고 있다. 지하 조절지의 경우 시공후의 용량 및 구조변경이 아주 곤란하기 때문에 필요량의 산정 및 수리현상의 파악에는 충분한 검토를 하고 있다. 지하 조절지의 시설 용량에는 다음 사항을 고려해서 필요량에 10~20% 정도 여유를 고려해서 계획하는 것이 일반적이다.

- 조절지에 유입된 빗물, 토사 등의 배출이 늦어진 경우에서도, 어느 정도 다음 강우에 대응할 수 있어야 한다.
- 장래 관리 시설 등의 증설, 변경 등에 의해 용량의 감소가 있을 경우에서도 필요량을 확보할 수 있어야 한다.

유입시설은 도시 하천의 경우 관리가 용이하고 조절 효과가 확실히 발휘할 수 있는 자연유입 방식(고정 독)으로 하는 경우가 많다. 그러나 지하 조절지는 용량의 유효이용 등을 목적으로 가동 독에 의한 유입 제어가 유리한 경우도 있다.

3) 배수 계획

지하 조절지는 홍수 조절 후 빨리 배수가 되도록 계획하는 것이 좋으나, 오염물질의 제거 측면에서는 일정기간 이상의 저류가 필요하기도 하다. 지하 조절지는 홍수 방재를 대상으로서 계획되기 때문에 홍수 후 다음 강우에 대기할 필요가 있다. 따라서 저류량을 가능한 한 단기간으로 배수하고 있다. 그러나 단기간으로 배수하기 위해서는 펌프 용량 등의 시설 규모를 크게 할 필요가 있기 때문에, 배수 시간은 조절지 계획 지점의 홍수특성 및 하류의 유하 능력 등을 고려해서 적절한 시간으로 결정하고 있으며 일반적으로 12~24시간 정도로 설정되는 예가 많다. 치수목적의 기능이 크기 때문에 빠른 배수에 의해 조절지의 오물 물질과 SS의 침강에 의한 악취 발생의 방지에도 관심을 두고 있다.



<그림 3-7> 지하조절지 히스토그램

<표 3-6> 지하조절지 배수시간

조절지 이름	하천 이름	소재지	시설용량(m³)	배수시간
선입장 조절지	목흑천	동경도	55,000	12
재원 조절지	목흑천	동경도	200,000	24
묘정사제 1 조절지	묘정사 하천	동경도	85,000	12
상고다 조절지	묘정사 하천	동경도	186,000	24
백자천 조절지	백자천	동경도	212,000	24
향리서 조절지	-	오오사까	8,000	24
대정천 조절지	-	오오사까	14,000	24
삼도 조절지	-	오오사까	24,000	24
포시역전 조절지	유역 조절지	오오사까	12,000	24

자료 : 國土開發技術研究センター, 1995.

4) 복합, 다목적이용

도시하천의 지하 조절지 계획에서는 도시지역의 공간적 제약 속에서의 토지의 높은 이용과 치수사업의 조기 실시를 위해서 다른 도시 시설 등의 도입에 의한 복합, 다목적이용을 적극적으로 검토하고 있다. 지하 조절지의 복합, 다목적 이용에 있어서

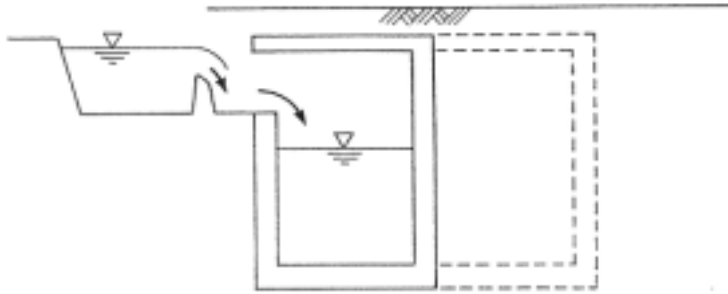
도입 가능한 시설로서는, 주택, 학교, 공원, 녹지, 운동시설, 주차장 등의 공공 공익 시설 및 교통관련 시설을 고려하고 있는데, 도시 특성에 따라서 조기에 공동사업이 성립 가능한 시설을 선정하고 있다. 지하 조절지의 복합, 다목적 이용시는 치수 효과의 유지 및 이용상의 안전성을 고려하여 시설계획 및 관리방법을 검토하여야 한다. 지하 조절지의 복합 다목적 이용의 예를 들면, 다음 그림에 나타내는 것과 같이, 공원 등의 공공시설의 지하를 이용하거나 건물 지하에 설치하여 지하 조절지의 지주 등이 건물의 기초를 겸하도록 일체적인 구조로 설치할 수 있다.



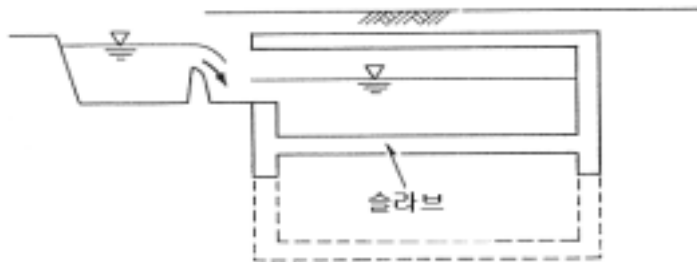
<그림 3-8> 지하조절지의 복합/다목적 이용 예

5) 단계적 정비 계획

지하 조절지의 단계적 정비에 있어서는, 시공, 유지관리, 치수 효과 등을 감안해서 결정한다. 지하 조절지는 하도 정비가 늦은 지점의 상류 측에 치수효과의 조기발휘를 목적으로 설치되어 있는 경우가 많으므로, 가능한 빨리 지하 조절지를 완성시키고자 하고 있다. 그러나 대형의 지하 조절지는 완성까지 상당 기간이 요하므로, 단계적으로 치수 효과를 올리는 것을 검토하고 있다. 지하 조절지의 단계적 정비는 시공, 시설구조의 면에서 어려움이 예상되어, 안전성 및 경제성을 충분히 고려할 필요가 있다는 의견이 대두되고 있다.



(조절지를 부분적으로 건축후 연결하는 경우)



(조절지의 상층부를 공용하는 경우)

<그림 3-4> 단계적 정비의 예

다. 지하조절지의 시설 개요

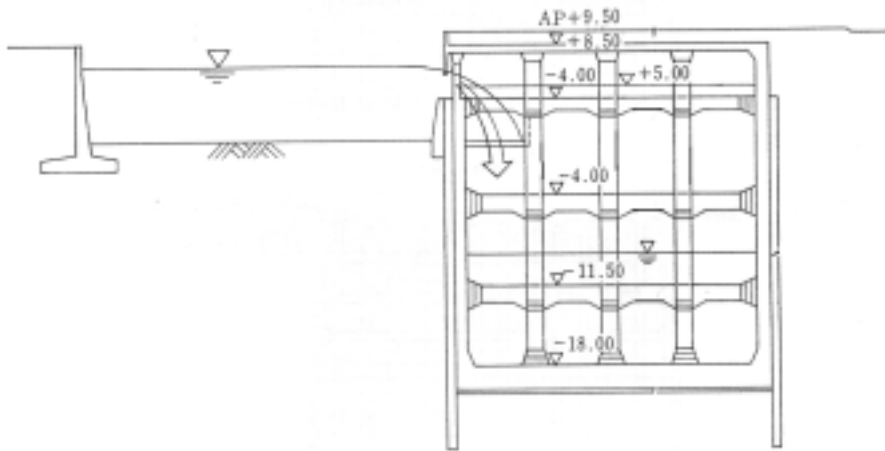
1) 조절지 본체

조절지 본체는, 안전성, 시공성, 경제성 및 유지관리 등을 고려하고, 확실하게 홍수 조절을 행할 수 있는 구조로 한다.

(1) 본체구조

지하 조절지는 저류수가 새거나 지하수가 침투하는 일이 없도록 수밀 구조로 한다.

일체 구조가 되지 않는 다른 시설과의 경계는 누수의 위험이 있으므로 특히 충분히 검토한다. 구조 형식은 대들보, 기둥, 슬라브 구조를 기본으로 하는데, 도로의 지하 등을 종단적으로 이용할 경우는 지하 터널 형식(shield tunnel), 박스 컬버트(box culvert)에 대해서도 검토한다.



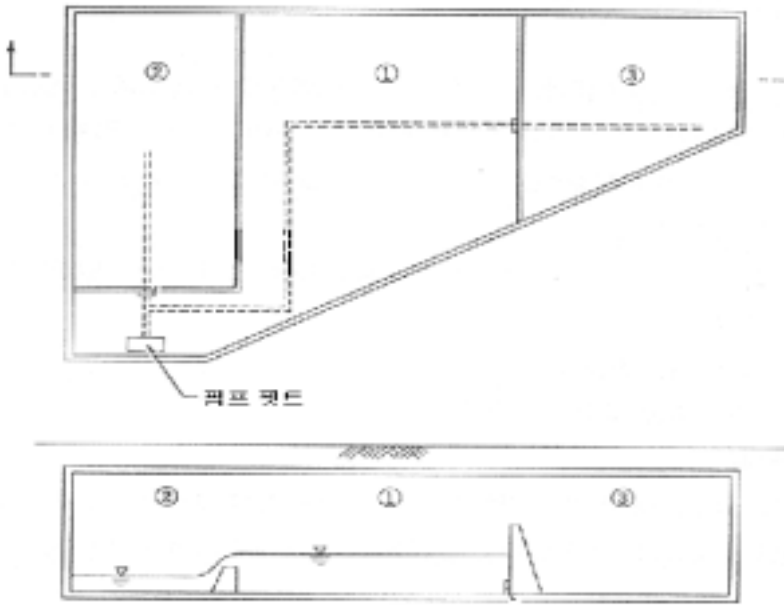
<그림 3-5> 지하조절지의 표준단면도

(2) 분할 저류

대규모적인 조절지에 있어서는 분할 저류를 하는 것이 유지관리의 면에서 유리한 경우가 있다. 단지 조절지를 벽과 슬라브로 구분 지음으로서, 환기 및 청소 등이 어려워 질 수 있으므로 주의를 하고있다.

(3) 유효 저류량의 산정

지하 조절지의 계획 단계에서는 배수, 환기, 반입 반출 시설 등의 시설규모, 배치 등이 결정되어 있지 않는 경우가 많기 때문에 이러한 시설에 따라 장래 유효 저류량이 감소하는 일이 없도록 주의한다.



<그림 3-6> 분할저류 예

(4) 바닥의 배수 경사 등

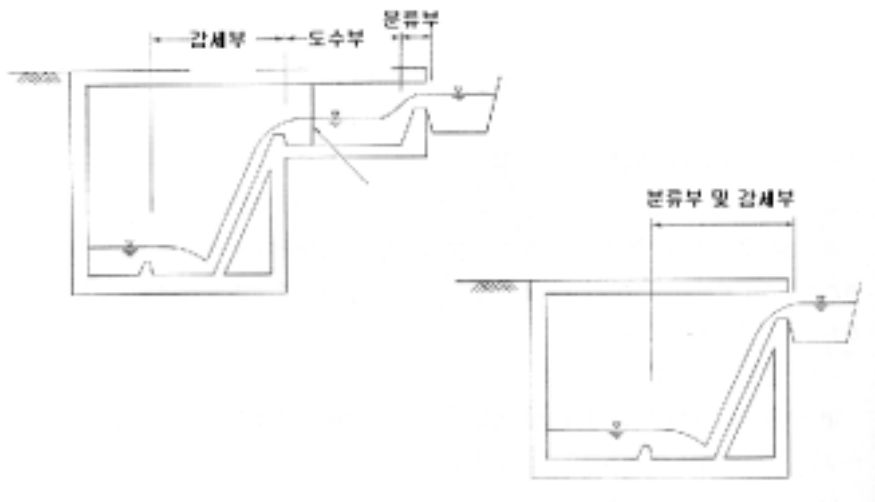
지하 조절지의 바닥은 배수 후의 토사, 진흙 등의 청소를 고려해서, 배수 도랑 및 1~2% 정도의 배수경사를 고려한다.

(5) 세정 용수량의 확보

배수후의 토사, 진흙 등을 세정하기 위한 수량을 확보하기 위해서 필요에 따라 조절지의 일부에 저류조를 설치하는 등을 고려한다.

2) 유입시설

유입시설은 우수유출수의 일부를 지하 조절지 내로 흐르게 하는 시설로 일반적으로 분류부, 도수부, 감세부로 이루어진다. 일반적으로 하도에 인접해서 설치할 수 있으므로, 도수부를 설치하지 않아 분류부와 감세부가 일체가 되는 경우도 있다.



<그림 3-7> 유입시설의 예

(1) 분류방식의 검토

본 하천에서 지하 조절지예의 분류 방식으로서의 횡월류 방식이 일반적이다. 횡월류 방식에는, 고정 둑 횡월류 방식, 고정 둑 횡월류 양안 물가 취수 방식, 가동 둑 등이 있는데, 분류의 확실성, 용지의 제약, 유지관리의 용이함, 조작의 안전성을 충분히 고려해서 결정한다. 도시 지역의 중소 하천에서는, 관리의 용이함, 조작의 안전성 등에서 볼 때 일반적으로 고정 둑이 이용된다.

(2) 도수방법의 검토

지하 조절지의 경우 도수부는 하도에서의 유입수를 재빠르게 스크린, 침사지 및 감세부로 유입하기 위해 설치된다. 조절지 형상에 따라서는 일차 저류지가 도수부의 역할을 하거나 또는 분류부에서 직접 감세부로 접속되어 도수부를 설치 할 수 없는 경우도 있다. 스크린 및 침사지는 주로 홍수후의 유지관리를 용이하게 하는 목적으로 설치되어 있는 경우가 많다. 또 지하 조절지가 하도에 인접해서 설치되는 경우에는 침사지 및 스크린은 설치되지 않는 경우가 많다.

(3) 감세방법의 검토

감세부는 하도와 조절지 바닥과의 낙차를 처리하는 시설로 기본형식으로서, 낙하식, 계단식, 경사로식 등이 있고, 용지의 제약, 낙차높이, 유수 상황, 감세효과, 유지관리 등을 종합적으로 판단해서 결정 한다. 또 일반적으로 조절지의 수위 상승에 따라 물 쿠션이 형성되어 감세 효과가 올라가므로, 시설 형상은 조절지가 비었을 경우를 대비해 검토한다. 지하 조절지는 우수유출수가 유입됨에 따라 조절지 내의 수위가 상승하여 최종적으로 감세시설이 수몰되며, 일반적으로 경사로식 감세방법이 많이 사용되고 있다. 단지 용지가 좁은 경우와 복합 이용하는 시설에 의한 공간적 제약이 있는 경우, 또는 높은 낙차의 경우는, 낙하식 및 계단식에 대해서도 고려가 되고 있다.

3) 배수시설

배수 시설은 지하 조절지의 저류수를 홍수 후 배수하는 시설로, 배수 시설의 계획에 있어서는, 배수 시간, 시설규모, 유지관리 등을 고려 한다. 지하 조절지의 펌프 용량은 저류수의 배수시간에 따라서 결정된다. 일반적으로 지하 조절지는 수중 펌프를 사용하고 있는 경우가 많으며, 설치 대수는 고장시의 위험 분산을 고려하여 복수 대수로 하며, 설치위치는 하천으로 배수 및 펌프의 유지관리, 반출 반입에 유리한 위치로 한다.

라. 지하조절지의 유지관리

입체하천시설의 기능이 확실히 발휘되도록, 주변환경을 충분히 배려하면서, 필요한 유지관리 시설계획을 실시하는 것으로 하며, 주요 관리항목은 설비 기기의 보수 및 점검, 잔류수의 배수와 처리에 관련하는 관리, 세정 및 청소, 환기, 탈취, 반입 및 반출관리, 계측관리 등이 있다. 홍수 후의 유지관리는 홍수유입 → 배수 → 수 처리 → 환기 → 점검 및 청소 → 계측관리 순서로 하고 있다.

1) 저류수의 배수와 처리 시스템

홍수 후에 지하 조절지 본체 내에 저류수는 일반적으로 SS가 높은 현탁수이므로 일정 시간 저류하여 침전 후 배수하며, 이러한 저류수의 배수 및 처리는 저류수의 수질, 배수시간, 하수도 현황, 주변환경에 미치는 영향 등을 고려하여 결정한다.

2) 세정 및 청소

지하 저류지의 벽면, 기둥, 대들보 등에는 부유물이 부착될 수 있으며, 이러한 부착물은 장기간 방치한 경우에 고형화, 고착화할 우려가 있다. 또 건조하지 않는 부분에서는 부패 및 악취의 원인이 될 우려가 있어, 배수 후에 세정 및 청소를 필요로 한다. 자동 세정으로 한 경우 작업의 부담은 줄지만, 상당수의 노즐이 필요하고, 배관, 밸브 등이 복잡하고, 제어 면에서도 복잡하다. 세정수의 수원으로서는 수도수, 하천수, 중수도 등이 있다.

3) 환기

환기설비는 작업자의 노동환경 및 근린 지역에서의 악취를 방지하기 위해 설치하며 환기 방식에는 강제급기 강제배기(제1종 기계환기), 강제급기 자연배기(제2종 기계환기), 자연급기 강제배기(제3종 기계환기) 방식이 있다. 자연급기 강제배기방식(제3종)은 터널 본체의 단면이 넓어, 충분한 환기를 할 수 없기 때문에 지하조절지의 환기 방식으로서 사용이 어렵다. 강제급기 자연배기방식(제2종)을 사용했을 경우는 배기구가 둘 이상이면 목적으로 하는 풍량을 확보할 수 없게 될 염려가 있다. 강제급기 강제배기방식(제1종)은 급기팬과 배기팬의 조합에 따라 계획 풍량으로 환기할 수 있다.

4) 탈취설비

지하조절지는 잔류 오염수 등에 의한 냄새 등이 발생할 우려가 있으므로, 시설 내의 작업환경 및 주변 환경의 보호를 위해 효과적인 악취 대책이 필요하며 주요 고려사항은 다음과 같다.

- 악취 방지법 등의 관계법령을 준수한다.

- 악취 물질의 종류와 량, 발생장소 및 주변 환경을 파악하고, 필요에 따라 냄새의 발생 방지의 목적에 맞는 경제적인 설비를 설치한다.

- 탈취에 있어서는 가능한 한 적은 풍량으로 고농도의 냄새를 포집 한다.

침전물에서 발생 우려가 있는 저농도의 가스 처리 및 흡수 후의 일시적인 운전 등을 고려하면 활성탄 흡착법이 가장 적당하나, 실제의 사용에 있어서는 여러 가지 상황을 종합적으로 판단해서 실시 한다.

5) 반입, 반출, 승강 설비

점검 관리원의 승강, 유지관리용 기기와 차량의 반입 및 반출에 필요한 설비를 지하 조절지 내에 설치하고 있다. 주요 시설로서는 일반적으로 다음과 같은 것이 있으며, 시설의 규모, 유지관리의 목적에 따라서 설치한다.

- 차량용 리프트 : 지하조절지 내에서의 잔류 퇴적토사의 운반용 차량 및 청소장비 등의 반·출입을 위한 충분한 용량과 안전성을 갖추도록 한다.
- 유지관리용 호이스트 : 기기의 부품교환 등을 위하여 무거운 물건을 반출입 하는데 있어서 충분한 용량을 갖추도록 한다.
- 엘리베이터 : 점검기기를 소지한 몇몇 작업자가 이용할 수 있는 용량을 갖추도록 한다.
- 지하 연락문 : 지하조절지의 문은 높은 수밀성을 갖추어야 하며, 관리자의 출입이 용이하고, 개폐 작업이 인력으로 가능하도록 한다.

6) 소음, 진동 대책 설비

배수시설의 펌프실과 환기실에서 소음과 진동이 발생하여 근린 주거환경에 악영향을 미칠 염려가 있을 경우 소음, 진동 방지 대책을 검토한다. 소음, 진동의 규제치에 대해서는 공해 대책 기본법, 소음규제법, 진동규제법 외에 각 지방자치 단체의 조례 등의 관계법령에 의거하는 것으로 한다.

마. 설치 사례(가미다 지하조절지의 배수처리의 검토)

가미다 지하조절지로 유입하는 강수의 규모는 30mm/h 이상이며, 조절지에 물이 가득 찼을 때에 수처리를 고려하지 않고 배수 펌프로 전량 배수한 경우의 최단 배수 일수는 2일이다. 지하조절지의 배수수질에 관련하는 기준에는 “수질오수방지법”에 정하는 환경기준(하천)과 “동경도 공해방지조례”에서 정하는 배수기준이 있다.

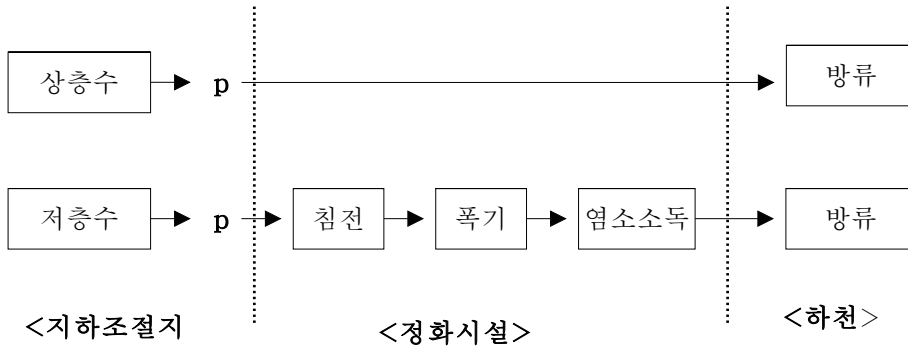
<표 3-7> 배수수질 관리 목표치

항목	환경기준*	배수 지표**	관리목표치
pH	6.0~8.5	5.8~8.6	6.0~8.5
BOD(mg/L)	8 이하	25이하	25 이하
SS(mg/L)	100 이하	60이하	60 이하
DO(mg/L)	2 이상	-	2 이상
대장균군 수(MPN/㎖)	-	3,000이하	3,000 이하

주) * 수질 오염 방지법의 D 유형

**동경도 공해 방지 조례의 지정 작업장에서 설정

지하조절지에서의 배수수질 목표치는 BOD, SS에 대해서는 동경도조례의 기준치를, 그 외의 항목에 대해서는 수질오염방지법의 환경기준에 준하여 설정하고 있다. 유입 및 배수수질의 측정 결과에 따르면 상징수는 배수수질 관리 목표치를 만족하고 있어 직접 방류가 가능하며, 지하조절지 바닥부의 현탁수는 SS, DO, 대장균군 수에 대해서 관리 목표치 이하까지 처리해서 하천에 배수하여야 한다.



<그림 3-8> 지하조절지 배수 및 수처리 계통도

지하조절지에서 부유물질의 침전특성 측정 결과에 의하면, 부유물질농도는 3시간 침전 후 $60\text{mg}/\ell$ 이하가 되었으며, 홍수의 재 발생이 예상되지 않는 경우 저류 1일 후에 배수를 실시하면 적당하리라 판단된다. 또한 우수유출수중의 부유물질은 약 12시간 저류 후 80%, 약 42시간 저류 후 90%이상이 침전하였다.

배수는 경제성을 감안해서 평상시는 다음과 같이 6일간에 걸쳐 배수를 하지만 홍수가 연속해서 발생하는 경우 등 긴급시는 2일만에 수처리 없이 직접 배수한다.

- 상정수 (약 총 유출수의 95%) : 약 2일간에 걸쳐 직접배수
- 현탁수 (약 총 유출수의 5%) : 약 4일간에 걸쳐 수처리 후 배수

제4장 토지이용별 비점오염 유출특성 고찰

1. 기존 자료분석에 의한 비점오염원 유출 특성 파악

도시지역은 불투수성 면적비율이 높아 표면유출이 다른 지역보다 많기 때문에, 강우에 대한 유출 및 유량과 수질농도의 변화가 빠르게 나타난다. 강우가 있는 경우 유량은 급히 상승하고 강우가 종료되면 바로 감소하여 비강우시의 상황으로 빠르게 회복되는 등 도시지역에서의 수문현상은 강우에 매우 민감하다. 특히 도시는 오염물질이 강우초기에 일시에 배출되는 초기유출(first flush)현상이 두드러져, 우수피크유출에 앞서 최대 오염유출이 발생하여 하천에 큰 영향을 미친다. 도시지역 비점오염원으로서 큰 역할을 하는 것은 가로상에 쌓인 각종 오염퇴적물과 하상 퇴적물이며, 이들 퇴적물은 유기성 부유오니, 기름, 중금속, 각종 도시폐기물, 점토, 모래, 자갈 등으로 이루어져 있다. 또한 대기중 오염물질의 건식강하물과 강우에 포함되어 내리는 습식강하물도 도시지역의 비점오염원이 되고 있다.

도시지역에서는 토지이용의 형태가 다양하므로 오염물질의 유출도 토지이용의 종류에 따라 차이가 크며, 같은 토지이용이라도 이용 특성에 따라 비점오염 배출량의 차가 크다. 도시적 토지 이용 중 공원과 같이 초지가 많은 지역은 다른 일반 도시지역보다 오염물질 배출량이 적고, 상업지역과 산업지역은 다른 토지이용보다 불투수지역과 대기오염물질의 배출이 많아 비점오염물질 유출량이 많다. 주거지역의 경우는 주거밀도, 식생, 하수처리시설의 유무에 따라 비점오염 배출량이 다양하다. 산업지역에서는 각종 생산활동으로 인하여 비점오염물질이 많이 발생하고 있으며, 특히 각종 유독성 오염물질을 함유하고 있는 경우도 있다.

도시지역에서 초기강우가 어느 정도 큰 경우는 불투수층에서 발생하는 표면유출에 의해 유량피크가 생기기 때문에 초기유출 현상이 나타난다. 이때 수로에 침전되었던 쉽게 이동할 수 있는 오염물질이 일시에 유출되기 때문에, 유출 부하량은 작아도 고농도의 오염물질은 예리한 피크를 나타낸다. 강우시에는 비강우시에 비해 BOD,

COD, SS가 급격히 증가하여, 강우시 하수수질이 비강우 시보다 2배~5배 높은 경우도 있다. 하수처리가 잘되는 도시지역에서 강우시 유출부하는 연간부하의 약 50%를 차지하며, 이 비율은 강우량, 유역면적, 하천경사, 유역의 토지이용 등에 따라 달라진다. 도시화가 진행되고 있는 지역에서는 다음 네가지 요인에 의하여 수량과 수질에 영향을 받게 된다.

첫째는 집수유역이 불투수성 표면으로 포장되어 간다는 것이다. 즉 지붕, 도로, 보도, 주차장 등에서 우수의 침투율은 거의 제로에 가깝다. 이로 인해 유출계수가 증가하여 침투유량과 유출량이 증가하게 된다. 또한 오염저류용량도 상당히 감소하며 도시생활로 인하여 발생되어 가라앉은 먼지, 토사, 여러 가지 오염물질이 이 불투성 표면에 쌓이게 되며 비가 오는 동안 유출에 의하여 씻겨 간다.

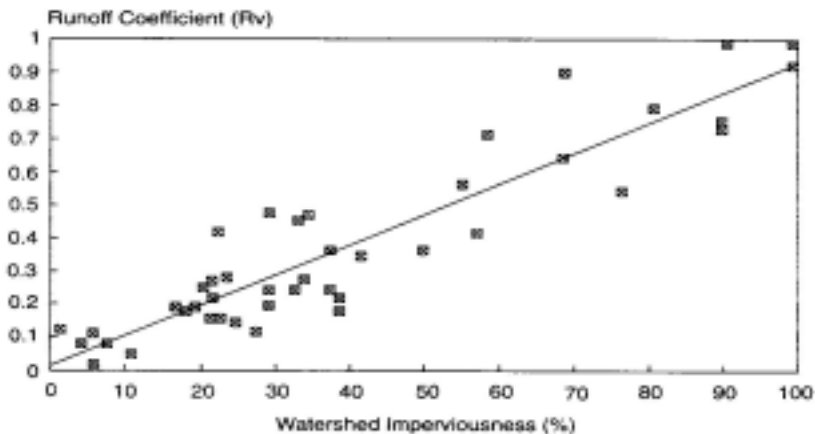
둘째, 수로의 수리학적 통수능이 증가하는 것이다. 즉, 도시화가 진행되면서 자연하천이 곧게 개선되며 수심도 깊어지고 또한 수로벽이 라이닝된다. 또한 하수관거와 각종 배수시설이 설치되어 수로에서 유속이 빨라지기 때문에 침투유출 도달시간이 빨라지게 되며 불투수성 표면의 증가와 수리학적 통수능력의 증가로 인하여 유출총량과 침투유출율이 증가하게 된다. 따라서 강우에 의한 유출량은 도심지 유역의 하류지점에 일시에 많은 양으로 집중하게 되며, 자연하천일 때보다 침투유출량의 도달시간도 빨라진다.

셋째, 도시화가 이루어지면 해당 유역에 내린 강수외에도 주변지역에서 끌어들이는 상수를 사용하고 하수로서 배출하게 되므로, 도시하천은 자연유역에 비해 유출량의 증가를 가져올 것으로 예상된다. 또 외부에서 공급되는 상수를 사용 후에 하수로 배출하므로 도시하천은 자연하천에 비해 오염이 심화될 것이 예상된다. 도시에서 하수처리시설을 하게 되면 분류식인가 합류식인가에 따라 수량과 수질은 크게 영향을 받는다. 기존의 도시처럼 하수와 우수가 합류식으로 처리되면 평상시에는 하수의 유입이 차단되므로 도시하천은 건천화 되기 쉽다.

본 절에서는 도시적 토지이용을 주거 및 상업지역과 공업지역으로 나누어 비점오염원 유출특성 및 원단위를 기존의 국내외 조사자료를 바탕으로 분석하여 비점오염원 특성을 고찰하고자 한다.

가. 도시 우수유출수의 수문학적 변화 특성

일반적으로 도시화는 토지의 포장율 증가로 인한 침투율의 감소 및 유출수량의 증가, 경사도 변경에 따른 지면저류량의 변화, 식생의 제거에 따른 증발산량의 변화, 하수관거 시스템의 건설에 따른 방류수역까지의 도달시간의 감소 등 수문학적 순환을 바꿀 수 있다. 다음 그림은 불투수율과 유출계수의 상관관계를 잘 나타내고 있다. 이 그래프(Schueler, T.R. 1994)는 미국 전역에 걸친 40여곳 이상의 유출수 모니터링 지역으로부터 산출되었다.



<그림 4-1> 유역의 불투수성과 우수유출계수

그림에서 보듯이 매우 낮은 불투수율인 경우를 제외하고 유출계수가 불투수율과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 불투수율이 낮은 경우는 다른 요소(예를 들면, 토양 및 경사)의 영향이 커지며, 유출계수를 예측하기 어려워진다.

100% 포장된 주차장의 경우 총유출수량은 개발되지 않은 초원의 유출수량에 비해 거의 20배에 해당한다. 최대유량, 유속 및 강우 유출수의 도달시간 또한 이와 같은 상황에서 증가하게 된다.

<표 4-1> 양호한 조건에서 주차장 0.4 ha와 초지 0.4 ha의 비교

유출수 항목 또는 수질 항목	주차장 ^a	초지 ^b
유출계수	0.95	0.06
유하시간	4.8	14.4
침투 유출량(m^3/s) 2년, 24시간 강우	0.122	0.0113
침투 유출량(m^3/s), 100년 강우	0.357	0.0878
25.4mm 강우에 의한 유출수량(m^3)	97.7	6.17
2년 강우에서의 유출속도(m/s)	2.44	0.55
년간 인 부하량($kg/ha \cdot a$)	2.242	0.561
년간 질소 부하량($kg/ha \cdot a$)	17.26	2.242
년간 아연 부하량($kg/ha \cdot a$)	0.336	-

주) 주차장 : 100% 불투수율이며, 3%의 경사, 60m의 흐름길이

초지 : 1% 불투수율이며, 3%의 경사, 60m의 흐름길이, 양호한 식생조건,

2년, 24시간 강우 = 79mm, 100년 강우 = 226mm

자료 : Schueler, T.R. 1994.

다음 표는 산림지역에서 단독주택지역으로 토지이용 변화에 따른 수문의 변화를 나타낸 것이다. 결과적으로 침투량 및 지면저류량의 감소가 초래하였으며, 방류수역에 도달한 유출수량이 10배 증가하였다.

<표 4-2> 산림 및 도시지역에서의 물수지 변화 특성

항목	산림지역		도시지역(불투수율 : 40%)	
	깊이(mm)	깊이분율(%)	깊이(mm)	깊이분율(%)
5~11월의 강우	515	100	515	100
불투수지역에 대한 차단손실량과 지면저류량	342	66.5	235	45
침투량	155	30	100	20
유출량	18	3.5	180	35

자료 : American Society of Civil Engineers. 1998.

나. 도시지역의 토지이용별 유출 특성고찰

1) 주거 및 상업지역

주거 및 상업지역에서 강우유출수와 오염물질 배출특성은 당해지역의 인구밀도 및 경제활동 정도에 따라 다양하다. 대부분의 상업지역은 주차장과 도로 등의 불투수면 적의 증가로 강우시 유출수량은 개발전의 상황보다 상당히 증가한다. 또한 다양한 상업적 활동으로 인해 지표면에 쌓이는 오염물질량이 증가하며, 특히 각종 판매시설, 재래식 시장과 주유소에서 발생하는 오염물질은 중금속, 질소, 석유계탄화수소와 기타 독성물질을 포함한다. 일반적으로 다음 표에서 보듯이 도시의 불투수성 면적이 클 수록, 토지이용이 고밀도로 이루어질수록 비점오염원의 유출이 증가한다.

대규모 거주지개발도 주요 비점오염발생원으로 기름방울, 식물류, 찌꺼기 등 잡쓰레기를 포함한 각종 오염물질이 불투수성 표면에 축적되어 있다가 강우시 씻겨나간다. 인구가 증가하면 폐기물발생량과 차량 등에 의한 기름유출이 증가하여 오염발생량은 증가하는 반면, "도시청소"의 수준은 오래된 주거지역일수록 감소하고, 안뜰과 소규모의 도로까지 포장됨에 따라 불침투성면적은 증가한다. 따라서 오래된 지역일수록 슬럼화로 인한 오염의 과부하, 골목길의 관리소홀로 인한 침식가능지역의 생성으로 인해 신도시지역보다 비점오염발생량이 증가한다.

<표 4-3> 불투수율 증가에 따른 비점오염부하의 유출특성

(단위 : kg/ha/yr)

토지이용	불투수율 (%)	TP	TN	BOD ₅	Zn	Pb
농촌 주거지역	0	0.12	0.90	2.36	0.02	0.01
	5	0.22	1.80	4.49	0.03	0.01
	10	0.34	2.58	6.52	0.04	0.02
대규모 단독주택지	10	0.34	2.58	6.52	0.04	0.02
	15	0.44	3.37	8.65	0.07	0.03
	20	0.55	4.27	10.79	0.08	0.04
중밀도 단독주택지	20	0.55	4.27	10.79	0.08	0.04
	25	0.65	5.06	12.81	0.09	0.06
	30	0.76	5.84	14.94	0.11	0.06
	35	0.87	6.74	17.08	0.12	0.07
도시 주택지 (연립주택지)	35	0.87	6.74	17.08	0.12	0.07
	40	0.98	7.53	19.21	0.13	0.08
	45	1.09	8.31	21.24	0.16	0.08
	50	1.19	9.21	23.37	0.17	0.09
아파트지역	50	1.19	9.21	23.37	0.17	0.09
	55	1.30	9.44	25.51	0.18	0.10
	60	1.40	10.79	27.64	0.20	0.10
저밀도 상업/공업지역	60	1.40	10.79	27.64	0.20	0.10
	65	1.52	11.69	29.66	0.21	0.11
	70	1.62	12.47	31.80	0.24	0.11
	75	1.73	13.26	33.93	0.25	0.12
	80	1.83	14.16	35.96	0.26	0.12
고밀도 상업 및 쇼핑 센타	80	1.83	14.16	35.96	0.26	0.12
	85	1.94	14.94	38.09	0.28	0.13
	90	2.04	15.73	40.22	0.29	0.15
	95	2.16	16.63	42.36	0.30	0.15
	100	2.25	17.30	44.04	0.31	0.16

주) 1. 농촌주거지역 : 0.25-0.50 Dwelling Units(DU)/acre

대규모 단독주택지 : 1.0-1.5 DUs/acre

중밀도 단독주택지 : 2-10 DUs/acre

도시 주택지 및 아파트 지역 : 10-20 DUs/acre

자료 : Schueler, 1987

다음 표는 도시적 토지이용별 비점오염물질 배출량 실측값을 나타내고 있으며, 표에서 보듯이 신개발지보다는 구시가지의 오염물질 배출량이 많다.

<표 4-4> 도시적 토지이용별 영양염류의 농도비율(산지=1)

오염물질		신개발지	구시가지	상업지역	도시 평균	도시 고속도로
인	총 량	1.73	48	-	20.47	-
	Ortho	6	13	50.5	-	-
	Soluble	4	-	-	4	14
	Organic	1	7.45	-	1.3	-
질 소	총 량	2.56	17.44	2.78	4.24	-
	Nitrate	2.82	52.35	4.94	5.65	-
	Ammonia	3.71	15.71	-	-	-
	Organic	2.32	-	-	-	-
	TKN	2.48	11.8	2.44	3.85	4.46

자료 : NJDEP, 1994

<표 4-5> 도시지역의 강우유출수의 오염물질 농도

오염물질	주거지역		혼합		상업지역		공지/비도시지역	
	중앙값	COV	중앙값	COV	중앙값	COV	중앙값	COV
BOD(mg/L)	10	0.14	7.8	0.52	9.3	0.31	-	-
COD(mg/L)	73	0.55	65	0.58	57	0.39	40	0.78
TSS(mg/L)	101	0.96	67	1.14	69	0.85	70	2.92
TP(μ g/L)	383	0.69	263	0.75	201	0.67	121	1.66
Soluble P(μ g/L)	143	0.46	56	0.75	80	0.71	26	2.11
TKN(μ g/L)	1900	0.73	1288	0.5	1179	0.43	965	1
NO ₂ +NO ₃ (μ g/L)	736	0.83	558	0.67	572	0.48	543	0.91
Cu(μ g/L)	144	0.75	114	1.35	104	0.68	30	1.52
Pb(μ g/L)	33	0.99	27	1.32	29	0.81	-	-
Zn(μ g/L)	135	0.84	165	0.78	226	1.07	195	0.66

주) COV*(분산계수) = 표준편차/평균

자료 : NURP(U.S.EPA, 1983)

<표 4-5>은 1980년대초 미국에서 조사된 자료로서 주거지역의 비점오염물질 농도가 상업지역 등 다른 지역보다 높게 나타나고 있다.

<표 4-6> 도시 우수유출수의 수질 특성

(단위 : mg/L)

토지이용	BOD	COD	TSS	TDS	TP	TKN	NO ₂ / NO ₃	Pb	Cu	Zn	Cd
산림/전원공지	3	27	51	415	0.11	0.94	0.80	0	0	0	0
도시	3	27	51	415	0.11	0.94	0.80	0.014	0	0.040	0.001
농지/목장	3	53	145	415	0.37	1.92	1.06	0	0	0	0
저밀도 거주지	38	124	70	144	0.52	3.32	1.83	0.057	0.026	0.161	0.004
중밀도 거주지	38	124	70	144	0.52	3.32	1.83	0.180	0.047	0.176	0.004
고밀도 거주지	15	79	97	189	0.24	1.17	2.12	0.041	0.033	0.218	0.003
상업지역	21	80	77	294	0.33	1.74	1.23	0.049	0.037	0.156	0.003
공업지역	24	85	149	202	0.32	2.08	1.89	0.072	0.058	0.671	0.005
도로	24	103	141	294	0.43	1.82	0.83	0.049	0.037	0.158	0.003
수면/습지	4	6	6	12	0.08	0.79	0.59	0.011	0.007	0.003	0.001

자료 : International Erosion Control Association. 2002

한편 <표 4-7>과 <표 4-8>은 도시지역의 눈 녹은 물의 오염도를 보여주고 있으며, 도로상의 눈 녹은 물은 상당량의 오염원을 함유하고 있음을 보여주고 있다.

<표 4-7> 주거 및 상업지역의 눈 녹은 물의 농도

오염물질	주거지역		상업지역	
	도 로	도로외 지역	도 로	도로외 지역
SS(mg/ℓ)	185(63-332)	8(1-18)	595(58-905)	7(1-19)
Total-Cu(μg/ℓ)	69(38-120)	22(10-30)	225(21-302)	29(16-44)
Soluble-Cu(μg/ℓ)	10(3-19)	6(ND-12)	17(6-24)	7(5-10)
Total-Pb(μg/ℓ)	103(65-170)	26(ND-48)	293(29-431)	39(12-58)
Soluble-Pb(μg/ℓ)	23(7-45)	8(ND-10)	77(12-120)	15(7-29)
Total-Zn(μg/ℓ)	348(102-960)	120(4-790)	771(124-1080)	74(28-139)
Soluble-Zn(μg/ℓ)	129(25-658)	120(2-696)	47(25-98)	46(12-113)

자료 : Vladimir N. et. al., 1997

<표 4-8> 상업지역의 눈 녹은 물의 수질

발생원 지역	TS	TDS	SS	Cl	T-P	PO ₄ -P	TKN	NH ₃ -N	COD
침투성 지역									
- 초지/개방공간	94	78	40	4	0.29	0.2	1.2	0.4	26
불침투성 지역									
- 인도	390	29	281	6.4	0.63	0.38	2.6	2.6	98
- 주차장	918	274	380	81	0.64	0.08	2.5	<0.1	110
- 도로	890	166	284	56	0.3	0.06	1.8	<0.1	140
- 도로도랑	530	190	152	25	0.54	0.28	2.3	<0.1	66
- 도로옆중앙분리대녹지	380	155	50	37	0.59	0.17	1.8	0.1	40

발생원 지역	분변성 대장균 (MPN/100mL)	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	페놀류 (μg/ℓ)
침투성 지역							
- 초지/개방공간	<20	<0.005	<0.01	<0.01	0.04	0.02	1.4
불침투성 지역							
- 인도	75	<0.005	<0.01	0.02	0.15	0.16	1.4
- 주차장	<20	<0.005	0.02	0.04	0.23	0.23	2.6
- 도로	50	<0.005	0.01	0.05	0.26	0.26	3.2
- 도로도랑	60	<0.005	0.01	0.02	0.12	0.09	1.8
- 도로옆중앙분리대녹지	60	<0.005	<0.01	0.01	0.05	0.08	1.6

주) 분변성 대장균과 페놀을 제외한 단위는 mg/ℓ 임

자료 : Pitt and McLean. 1986

2) 공업지역

공업지역에서는 각종 생산활동으로 인해 비점오염물이 많이 발생하고 있으며 특히 각종 유독성 오염물질을 함유하고 있는 경우도 있다. 현행 우리나라의 수질환경보전법(시행령 제40조관련)에 명시된 ‘기타 수질오염원’에 해당되는 다음의 시설이 비점오염원에 가까우며 이를 관리하고 있다.

- ① 수산물 양식시설(면허대상, 수조 500m²이상)
- ② 골프장시설(면적200m²이상)
- ③ 폐차장시설(면적1,500m²이상)
- ④ 농축수산물 가공시설(물사용량 5m³/일이상)
- ⑤ 사진처리시설(1대이상)

한편, 미국의 EPA에서는 각종 산업활동중 비점오염유출과 관련이 있는 발생원을 다음과 같이 분류하고 있다.

- ① 주요 비점오염 유출업종 명시(목재 및 나무제품, 종이 및 관련제품 등 9개 업종).
- ② 금속광산, 안트라사이트 광산, 석탄광산, 석유 및 가스광산, 비철금속 광산등으로 생산중 또는 폐광된 광산과 석유 및 가스의 생산, 처리, 정제, 수송업으로서 원료, 중간제품, 완제품, 부산품, 폐기물 등이 강우에 노출된 지역.
- ③ 유해폐기물 처리, 저장, 최종처분지역.
- ④ 산업폐기물을 매립중이거나 매립한 지역.
- ⑤ 금속폐품 및 배터리 재생사업장, 폐차장.
- ⑥ 석탄화력을 포함한 증기발전시설.
- ⑦ 자동차 정비 및 세정시설이 있는 운수시설, 제설, 제빙시설이 있는 공항, 자동차 유지보수(자동차 재생, 기계수리, 도색, 주유, 윤활유 교환 등)시설.
- ⑧ 도시하수 및 슬러지의 처리, 저장, 재이용 관련시설(농장, 가정정원, 처리장내에 입지하지 않은 슬러지 재이용 시설은 제외).
- ⑨ 벌목, 정지, 굴착 등을 포함하는 5에이커 이상의 건설사업장.

- ⑩ 원료처리시설, 중간제품, 최종제품, 폐기물, 부산물 및 관련 기계시설이 강우에 노출되는 사업장(음식 및 관련제품, 담배제품, 직물 및 의류업 등의 12개 업종)

공업지역에서 발생하는 폐수 등 점오염원은 지표수로 유입되기 전에 대부분 처리되며 새롭게 문제로 대두되는 것은 원료의 야적, 제품원료의 방치 등과 강우에 노출된 공장시설에서 유출되는 비점오염물질이다. 특히 공업지역에서의 우수유출수에는 일반적인 오염물질뿐만 아니라 유해/독극물질이 함유되어 있다. 다음 <표 4-9>는 공업지역의 우수유출수에 대한 오염도를 나타낸 것으로 미국 EPA의 수질기준을 전부 초과함을 알 수 있으며, 이는 공업지역에서의 비점오염원에 의한 독극물질의 관리필요성을 보여주고 있다.

<표 4-9> 공업지역의 비점오염원 오염수준

(단위 : $\mu\text{g/L}$)

구분	오염물	최고농도			EPA 수질기준
		1회	2회	3회	
목재 보관시설	아연	714	1,300	12,500	14
	구리	120	360	1,730	2
	크롬 6가	300	20	1,580	16
	비소	10	1,048	2,420	360
	수은	180	3	1,160	2
비료 혼합 및 포장시설	암모니아	3,200	236,000	289,000	1,400
해운화물 취급시설	암모니아	2,750,000	76,000	440,000	1,400
	구리	2,070	320	780	3
	납	1,700	1,800	1,600	140
제재소	아연	1,180	-	-	30
	구리	10	-	-	4

자료 : Water Environment Federation. 1991

한편 공업지역에 쌓여 있다가 봄철에 녹아 내리는 눈도 겨울내 살포한 제설제와 각종 쓰레기 등이 함유되어 있어 거대한 오염덩어리이다. 총고형물과 부유성 고형물

및 중금속, 염 등이 도시하수 수준이상의 농도로 포함되어 있으며, 특히 비포장의 저장지역 및 주차장과 도로의 오염물질 농도가 가장 높음을 알 수 있다.

다. 합류식하수관거 월류수 수질 특성

합류식 하수도는 건기시에는 도시하수만이 유입되나 강우시에는 우수유출수를 포함한다. 대부분의 합류식 하수시스템은 건기시에는 비교적 느린 하수유속으로 하수관내 고형물이 침전되어 있다가 강우유출수가 시스템내로 유입되면 이 침전물들이 일시에 수세된다. 이 초기월류수는 일반적으로 우수거의 강우유출수나 하수원수보다 고농도의 오염물질을 함유하게 된다. 특히, 강우시에는 도시하수처리장의 처리용량을 초과할 경우, 합류식 하수도 월류수는 공공수역에 직접방류되어 수질오염원으로 작용하게 된다.

<표 4-10> 합류식 하수관거 월류수의 오염물질 농도

항목	오염물질 농도(mg/L)								
	TSS	VSS	BOD	COD	TKN	T-N	PO ₄ -P	Pb	대장균
IOWA	413	117	64	-	-	4.3	1.86	-	-
Milwaukee Wisconsin	321	109	59	264	4.9	6.3	1.23	-	-
New York	Newtown Greek	306	182	222	481	-	-	-	0.6
	Spring Greek	347	-	111	358	-	16.6	4.50	-
Poissy France	751	387	279	1005	-	43	17	-	-
Racine Wisconsin	551	154	158	-	-	-	2.78	-	201
Rochesterb N.Y	273	-	75	-	2.6	-	-	0.14	1140
평균	370	140	115	367	3.8	9.1	1.95	0.37	670

자료 : ASCE, 1991

1) 합류식하수도 수질특성

합류식 하수관거 월류수의 성상은 해당 지역의 수문·지형특성과 인문 특성에 따라 매우 다양하게 나타난다. 수문·지형특성으로는 선행강우일수, 강우강도 및 강우 지속시간의 강우 특성, 지형, 식생밀도 등이 해당되고, 인문특성에는 토지이용(가주,

상업, 산업지역), 거리청소주기, 대기오염도, 거리포장형태 등이 주요인자로 구분된다. 또한, 월류수의 오염물질 종류 및 농도는 지역에 따라 그 특성을 달리하기 때문에 항목별 농도간의 편차가 상대적으로 크다.

2) 강우시간에 따른 분류

초기강우 유출수를 포함한 합류식 하수관거 월류수의 성상은 지형, 토양조건, 개발정도, 지표의 불투수성과 같은 지역적인 조건에 따라 매우 다양하고, 기후조건, 선행건기일수 및 강우강도와 강우지속시간, 수리·수문학적인 조건 등에 따라서도 월류수의 성상이 변한다. 합류식 하수관거 월류수는 일반적으로 시간대별로 다음 네가지로 구분할 수 있다.

(a) 초기강우 유출수(first-flush) : 합류식하수관거 시스템에서 오염물질과 관련하여 선행건기일수, 강우강도, 토지이용형태와 불투수성 포장도로 및 지표 퇴적물 세척(wash-off)으로 인하여 상대적으로 고농도의 오염물을 함유하며 선행건기일수에 따라 농도는 크게 좌우된다.

(b) 지속강우유량(extended duration flow) : 초기강우 이후의 지속된 강우의 유출유량으로 빗물과 생하수가 혼합된 형태이다.

(c) 후속 강우 유출(post rainfall runoff) : 강우가 종료 후 배출되는 유출수로 수질 특성상 강우지속유량과 다소 비슷한 성상으로 대부분 생하수와 침투된 지하수로 구성된다.

(d) 건기유량(dry weather condition flow) : 주로 생하수로 구성된다.

3) 수질 특성

강우초기에는 건기시의 수질농도보다 상당량 증가한 경향을 나타내나 유출 후기에는 같은 유출량에서도 그 농도 및 부하량이 상당히 감소되며, 이러한 영향은 선행건기일수에 가장 민감하며 TSS에서 가장 명확하게 나타난다.

월류수의 유량 및 수질은 여러 가지 인자에 영향을 받으나 가장 직접적인 영향은 강우이며 다음 표에서와 같은 인자들의 영향을 고려 할 수 있다.

<표 4-11> 월류수 유량 및 수질 영향인자

인자	유량		수질
강우	· 강우량 · 강우지속시간	· 강우강도 · 선행건기일수	· 대기오염도
오수	· 발생원의 종류	· 유량의 변화	· 발생원 종류
유역	· 크기 · 유달시간 · 토지 용도 · 투수/불투수:유출계수	· 지표면 지질특성 · 지표유출 관리상태 · 건조상태	· 오염원 적체와 유출 · 지표관리 상태
하수관망 시스템	· 관경, 경사 · 배수현상 · 침전물과 통수능 저하	· 유입 지하수량 · 유량조정기능/종류	· 화학/생물학적 변환 · 유입지하수의 수질 · 침전물의 재부유

자료 : Mecal & Eddy. 1991.

2. 토지이용별 비점오염물질 유출특성의 실측 조사

토지이용도별 비점오염물질의 강우시 유출특성을 파악하기 위해 시험유역(경기도 성남시 분당구 일원)을 대상으로 강우시 오염물질의 유출특성을 조사하였다. 현장조사는 2002년 7월 14일부터 10월 5일까지 총 5회에 걸쳐 실시하였다.

가. 측정지점의 선정 및 기초현황 자료 분석

도시지역의 강우에 의한 비점오염물질 유출특성 파악을 위한 토지이용도별 소유역의 선정은 1/1,200 우수관망도를 이용한 도상작업과 현장조사를 통해 우수관거의 오접 여부를 확인하여 선정하며, 선정시 고려사항은 다음과 같다.

- 도시지역의 토지이용특성을 대별할 수 있는 지점
- 유량조사 및 시료 채취가 용이한 지점
- 조사대상지역 내 관련자료의 확보가 용이한 지점

도시지역 토지이용도의 구분은 ①고밀도 아파트지역, ②단독주거지역, ③상업지역,

④공업지역, ⑤자동차도로, ⑥주차장 등 총 6개 토지이용으로 구분하였으며, 각 토지이용별로 2지점씩 총 12개 지점을 선정하였다.

실측 조사 지역은 경기도 성남시 분당구 일원으로 선정하였다. 분당구 지역은 분류식 하수관거가 설치되어 강우시 하수에 의한 영향을 배제할 수 있고 토지용도 구분이 비교적 명확하여 토지용도별 강우에 의한 비점오염물질의 유출 특성 파악이 비교적 용이하다.

1) 토지이용별 기초현황

각 지점별 유역면적, 불투수율, 인구수 등의 기초 현황을 다음 표에 나타내었다.

<표 4-12> 각 지점별 기초현황 조사결과

토지이용구분		유역면적(m ²)	불투수율(%)	기 타
I 지점	아파트지역	5,556.3	80	세대수 : 200세대
	단독주거지역	7,208.6	95	세대수 : 154세대
	상업지역	12,257.1	98	점포수 : 50개
	공업지역	41,44.2	96	종업원수 : 920 명
	자동차도로	4,880.6	100	차선수 : 6차로
	주차장	400.6	99	주차대수 : 369대
II 지점	아파트지역	883.8	80	세대수 : 92세대
	단독주거지역	3,834.6	90	세대수 : 133세대
	상업지역	1,221.9	100	점포수 : 41개
	공업지역	37,259.1	96	공장수 : 6개업소 종업원수 : 1160명
	자동차도로	2,561.4	100	차선수 : 6차로, 사거리
	주차장	7,540	95	주차대수 : 157대

<표 4-13> 각 측정지점별 위치

토지이용구분		주 소
I 지점	아파트지역	경기도 성남시 분당구 정자2동 상록마을 우성아파트
	단독주거지역	경기도 성남시 분당구 정자동 243 일원
	상업지역	경기도 성남시 분당구 정자2동 136 일원
	공업지역	경기도 성남시 중원구 야탑동 분당테크노파크 A동
	자동차도로	경기도 성남시 분당구 정자2동 신기사거리 근처
	주차장	경기도 성남시 분당구 정자2동 211 E마트 야외 주차장
II 지점	아파트지역	경기도 성남시 분당구 정자동 200 정든마을 동아1차아파트
	단독주거지역	경기도 성남시 분당구 정자동 237 일원
	상업지역	경기도 성남시 분당구 서현동 247 일원
	공업지역	경기도 성남시 중원구 상대원1동 333 일원
	자동차도로	경기도 성남시 중원구 성남동 456 일원
	주차장	경기도 성남시 분당구 서현동 먹자골목 입구 공용주차장

2) 강수량 분석

다음 표는 성남시의 2001년도 월평균 기온 및 강수량 분포를 나타낸 것이다.

<표 4-14> 성남시 월평균 기상관측 자료(2001년)

날짜(월)	기온(℃)			바람 (m/s)	강수량(mm)
	평균	최고	최저	평균풍속	
1	-3.6	0.1	-7.4	2	39
2	0.1	4.3	-3.6	1.9	42.5
3	5.4	10.1	1.1	2.4	11
4	13.8	19.6	8.6	1.9	16
5	19.5	25.1	15.1	1.8	11
6	22.9	27.5	19.3	1.6	172.5
7	26.4	30.7	23.2	1.6	565
8	26.8	31.5	23.1	1.3	127.5
9	22.4	27.4	18.1	1.5	10
10	16.5	21.1	12.6	1.3	71.2
11	7.2	11.6	3.2	1.5	7.5
12	-0.1	4	-3.6	1.9	8.5

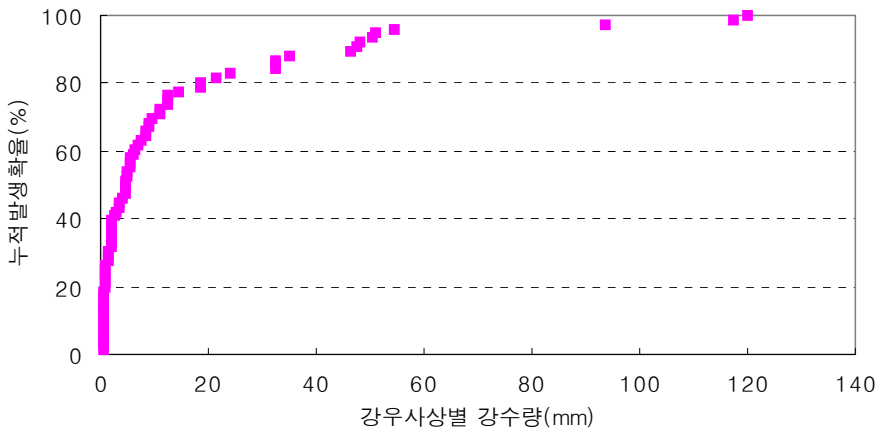
자료 : 성남기상관측대, 2001년 성남 월평균 기상관측자료

다음 표 및 그림은 강우사상에 따른 누적발생확률을 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 총 강우사상의 80%이상이 20mm이하의 강우이다. 따라서 강우유출수 처리시설을 설치시 약 20mm 이상의 강우를 대상으로 설계한다면, 전체 강우사상의 80% 이상을 처리할 수 있을 것이다.

<표 4-15> 강우사상에 따른 누적발생확률(성남시, 2001)

강우 누적분율	20%	40%	60%	80%	100%
강우사상기준(mm)	1.0	2.2	6.3	18.5	120.0



<그림 4-2> 강우사상에 따른 누적발생확률(성남시, 2001)

나. 우수유출수 실측 방법

토지이용도별 비점오염물질의 강우시 유출특성을 파악하기 위해 시험유역(경기도 성남시 분당구 일원)을 대상으로 강우시 오염물질의 유출특성을 조사하였다. 현장조사는 2002년 7월 14일부터 10월 5일까지 총 5회에 걸쳐 실시하였다. 강우자료는 성남시 기상대의 강수량자료를 이용하였으며, 강우특성은 다음 표에 나타난 바와 같다.

<표 4-16> 강우사상별 강우 특성 분석

구분	강우사상	발생일시	강우량 (mm)	지속시간 (hr)	선행무강우일수 (day)
I 지점	강우1	2002. 7.14. 0시~ 9시	7.5	9	7.04
	강우2	2002. 10.5. 15시~21시	12	6	2.13
II 지점	강우3	2002. 8.22. 13시~20시	8	7	3.08
	강우4	2002. 8.31. 5시~14시	9	9	3.75
	강우5	2002. 9.16. 21시~9.17. 3시	0.6	6	1.33

본 연구에서는 우수유출수의 비점오염물질 유출특성을 파악하기 위해, 각 토지이용별로 유량가중평균농도(EMC : event mean concentration) 및 지역평균농도(SMC : site mean concentration)를 산정하였으며, 이를 바탕으로 도시지역의 토지이용별로 비점오염물질 발생원단위를 산정하였다.

$$\blacksquare \text{ 유량가중평균농도} = \frac{\text{강우사상별 총오염물질발생량(kg)}}{\text{강우사상별 총강우유출량(m}^3\text{)}}$$

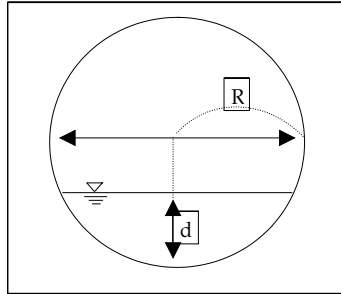
$$= \frac{\sum_{i=1}^n \text{오염물질농도}_i \times \text{유출량}_i}{\sum_{i=1}^n \text{유출량}_i}$$

- 지역평균농도 : 특정지역 EMC 값의 평균(산술확률분포에서) 또는 중앙값(log-normal 분포에서)

1) 유량 조사방법

본 연구에서는 강우시 유량측정을 위해 유속계를 이용한 유량측정법과 용기에 의한 측정법을 병행하여 분석하였다. 유속계를 사용한 경우는 각 지점별 유속 및 수심을 측정하여 유출량을 계산하였고, 유량이 적어 유속계 사용이 불가능한 경우는 용기법을 사용하여 유출량을 측정하였다.

유속계를 이용한 유출량 계산은 다음 그림에 도시된 바와 같이 관저내의 중심 수심을 측정하여 공식 ①로 유수의 단면 A를 계산한 후 유속계로 유속을 측정하여 공식 ②에 대입시켜 유량을 산정하였다.



<그림 4-3> 측정법 모식도

$$A = \frac{\pi R^2}{180} \cdot \tan^{-1} \frac{\sqrt{(R^2 - (R-d)^2)}}{(R-d)} - (R-d) \cdot \sqrt{R^2 - (R-d)^2}$$

여기서, A = 유수 단면적(m²)

R = 관의 반경(m)

d = 수심(m)

$$Q = A \cdot V$$

여기서, Q = 유량(m³/sec)

A = 유수 단면적(m²)

V = 유속(m/sec)

2) 수질조사방법

시료의 채취는 2L 용량의 무균채수병에 채취한 후, 아이스박스에 4℃이하로 보관하여 24시간 이내로 실험실에 운반하여 실험하였다. 분석방법은 수질공정시험법과 Standard Methods(1996, 19th. Ed.)에서 제시된 방법으로 분석하였으며, 수질항목 및 분석방법은 다음 표에 나타내었다.

우수유출수의 수질분석을 위해 조사된 수질항목 및 채취 빈도는 다음과 같다.

- 시료 채취 : 강우 발생시, 초기 0분, 15분, 30분, 1시간, 2시간, 4시간.....간격으로
현장 강우조건에 따라 유동성 있게 시료 채취
- 조사항목 : 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS),
총질소(T-N), 총인(T-P), 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu), 수온, 강우량, 유출량

<표 4-17> 수질분석항목 및 분석방법

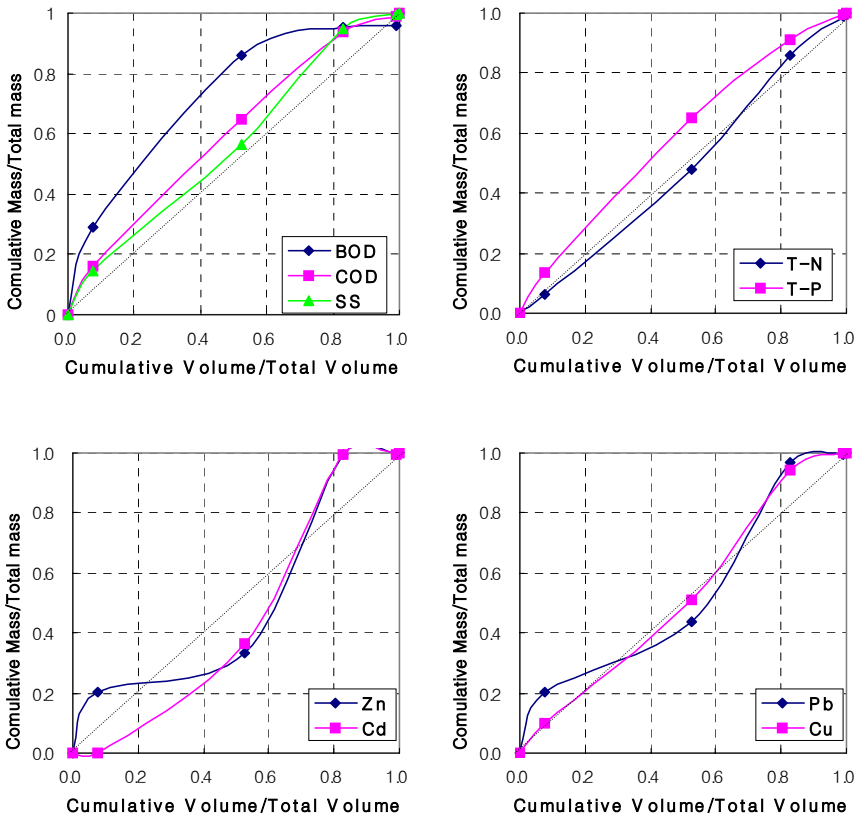
분석 항목	분석 방법	모델/규격
BOD ₅	DO meter	YSI(model 58)
COD	Closed reflux method	SM 5220B
SS	Glass fiber filter method	
T-N	Automated ion analyzer	Hach, DR2010
T-P	Automated ion analyzer	Hach, DR2010
Cu	Portable Digital Voltammeter	PDV-3000
Zn	Portable Digital Voltammeter	PDV-3000
Cd	Portable Digital Voltammeter	PDV-3000
Pb	Portable Digital Voltammeter	PDV-3000
수온	Temperature meter	
유출량	유속계를 이용한 측정 및 용기법	

다. 토지이용별 우수유출수의 수질특성 분석 결과

대부분의 오염물질은 초기 우수유출시 유출농도가 증가하는 경향을 보였으며, 토지이용도별 유출특성에 있어서는 유의적인 차이는 발견되지는 않았다. 각 지역에 대한 수질분석 결과는 부록 1에 상술하였으며 강우유출에 따른 오염물질 유출특성 분석은 다음과 같다.

강우에 의한 오염물질 유출 특성을 파악하기 위해 누적오염 부하량비를 이용하였다. 누적오염 부하량비를 표현하는 방법은 강우기간 중 이산시간 동안의 유량 $Q(t)$ 에 대한 누적유량 $\Sigma Q(t)$ 비인 $Q(t)/\Sigma Q(t)$ 를 x축으로 하고, 이산시간 동안의 오염부하량 $L(t)$ 에 대한 누적오염부하량 $\Sigma L(t)$ 비인 $L(t)/\Sigma L(t)$ 를 y축에 도시하여 그래프의 기울

기가 1보다 크면 초기유출 현상이 강한 것이며, 기울기가 1보다 작은 경우는 그 반대이다. 대개의 경우 입자상 물질의 경우 강우초기에 유출되는 정도가 커 기울기가 1보다 크며 용존성 물질은 강우지속시간 동안 일정하게 유출되는 경향이 있기 때문에 기울기가 1에 접근한다. 다음 그림은 상업지역(지역 I, 강우2)에서의 우수유출에 의한 오염물질 유출량 비를 강우유출량 비에 대해 도시한 것이다.



<그림 4-4> 누적우수유출량에 따른 누적비점오염물질 유출 특성

그림에서 보듯이, BOD, COD, SS는 강우초기에 다량의 오염물질이 유출되는 초기 유출 현상을 보였다. 영양물질의 경우 T-N은 강우초기 다량의 오염물질이 유출되는 초기유출 현상을 보였으나, T-P의 경우는 비교적 균일한 유출특성을 나타내었다.

라. 토지이용별 강우사상에 따른 유량가중평균농도 및 지역평균농도의 산정

우수유출수의 비점오염물질 유출특성을 파악하기 위해, 각 토지이용별로 유량가중 평균농도(EMC : event mean concentration) 및 지역평균농도(SMC : site mean concentration)를 산정하였으며, 이를 바탕으로 도시지역의 토지이용별로 비점오염물질 발생원단위를 산정하였다.

$$\blacksquare \text{ 유량가중평균농도} = \frac{\text{강우사상별 총오염물질부하량(kg)}}{\text{강우사상별 총강우유출량(m}^3\text{)}}$$

■ 지역평균농도 : 특정 지역 EMC 값의 평균값

각 토지이용별 유량가중평균농도 및 지역평균농도는 다음 표와 같다.

<표 4-18> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(고밀도아파트지역)

(단위 : mg/L)

구분		BOD	COD	SS	T-N	T-P	Zn	Cd	Pb	Cu
I 지점	강우 1									
	강우 2	2.2	20.3	114.9	5.44	0.4	0.03	0.023	0.09	0.037
II 지점	강우 3	6.7	22.2	38.4	0.33	0.19	0.01	ND	0.015	0.044
	강우 4	9.4	5.3	25.4	4.02	0.35	0.074	0.017	0.055	0.031
	강우 5									
지역평균농도(SMC)		6.1	15.9	59.6	3.26	0.31	0.038	0.013	0.054	0.037

<표 4-19> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(단독주택지역)

(단위 : mg/L)

구분		BOD	COD	SS	T-N	T-P	Cu	Zn	Cd	Pb
I 지점	강우 1									
	강우 2	9	61.1	63.8	3.51	0.29	0.08	0.066	0.167	0.094
II 지점	강우 3	11	31.7	39.9	2.4	0.28	0.035	0.005	0.014	0.058
	강우 4	9.9	12.9	10.5	6.5	0.15	0.011	0.007	0.049	0.087
	강우 5	6	48.3	15.7	7.6	0.22	0.003	0.01	0.035	0.044
지역평균농도(SMC)		9.0	38.5	32.5	5.00	0.24	0.032	0.022	0.066	0.071

<표 4-20> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(상업지역)

(단위 : mg/L)

구분		BOD	COD	SS	T-N	T-P	Cu	Zn	Cd	Pb
I 지점	강우 1									
	강우 2	5.1	54.3	63.8	6.55	0.31	0.08	0.07	0.153	0.069
II 지점	강우 3									
	강우 4	6.9	10.4	10.9	6.4	0.11	0.037	0.002	0.005	0.006
	강우 5	12.2	109	82.7	15.91	0.74	0.021	0.003	0.043	0.017
지역평균농도(SMC)		8.1	57.8	52.5	9.62	0.39	0.046	0.025	0.067	0.031

<표 4-21> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(공업지역)

(단위 : mg/L)

구분		BOD	COD	SS	T-N	T-P	Cu	Zn	Cd	Pb
I 지점	강우 1									
	강우 2	12.8	80.1	104	7.88	0.3	0.09	ND	0.07	0.066
II 지점	강우 3									
	강우 4	14.1	57.2	72	3.32	0.39	0.013	0.015	0.063	0.034
	강우 5	10.1	46.6	26.9	10.86	0.50	0.136	0.011	0.102	0.061
지역평균농도(SMC)		12.3	61.3	67.6	7.35	0.40	0.080	0.009	0.078	0.054

<표 4-22> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(자동차도로)

(단위 : mg/L)

구분		BOD	COD	SS	T-N	T-P	Cu	Zn	Cd	Pb
I 지점	강우 1									
	강우 2	7.5	59	67.9	4.73	0.18	0.27	0.053	0.166	0.072
II 지점	강우 3									
	강우 4	18.3	44.5	154.7	5.67	0.33	0.011	0.009	0.057	0.121
	강우 5	10.5	99.7	157.2	12.28	0.94				
지역평균농도(SMC)		12.1	67.7	126.6	7.56	0.48	0.141	0.031	0.111	0.097

주) 강우4 및 강우5의 경우 유출량 자료가 없어 EMC를 산정 못하여 시간에 따른 오염물질 농도를 산술평균하였다.

<표 4-23> 유량가중평균농도 및 지역평균농도(주차장)

(단위 : mg/L)

구분		BOD	COD	SS	T-N	T-P	Cu	Zn	Cd	Pb
I 지점	강우 1									
	강우 2	10.5	45.3	46.3	4.25	0.13	0.11	0.056	0.14	0.033
II 지점	강우 3	3.8	23.6	11.5	3.04	0.05	0.015	0.002	0.012	0.004
	강우 4	3.1	22.2	21.1	0.11	0.09	0.009	0.007	0.031	0.026
	강우 5	3.6	101	11.9	6.17	0.08	0.036	0.116	0.189	0.058
지역평균농도(SMC)		5.3	48.0	22.7	3.39	0.09	0.043	0.045	0.093	0.030

다음 표는 각 토지이용별 지역평균농도(SMC) 및 분산계수(COV)를 나타낸 것이다.

<표 4-24> 토지이용별 지역평균농도 및 COV

(단위 : mg/L)

구분		BOD	COD	SS	T-N	T-P	Cu	Zn	Cd	Pb
고밀도 아파트지역	SMC	6.1	15.9	59.6	3.26	0.31	0.038	0.013	0.054	0.037
	COV	0.60	0.58	0.81	0.81	0.35	0.86	0.88	0.70	0.18
단독주택지역	SMC	9.0	38.5	32.5	5.00	0.24	0.032	0.022	0.066	0.071
	COV	0.24	0.54	0.75	0.49	0.27	1.08	1.34	1.03	0.33
상업지역	SMC	8.1	57.8	52.5	9.62	0.39	0.046	0.025	0.067	0.031
	COV	0.46	0.85	0.71	0.57	0.83	0.66	1.55	1.15	1.09
공업지역	SMC	12.3	61.3	67.6	7.35	0.40	0.080	0.009	0.078	0.054
	COV	0.17	0.28	0.57	0.52	0.25	0.78	0.90	0.26	0.32
자동차도로	SMC	12.1	67.7	126.6	7.56	0.48	0.141	0.031	0.111	0.097
	COV	0.46	0.42	0.40	0.54	0.83	1.30	1.02	0.69	0.36
주차장	SMC	5.3	48.0	22.7	3.39	0.09	0.043	0.045	0.093	0.030
	COV	0.67	0.77	0.72	0.75	0.38	1.09	1.17	0.92	0.73

주) COV(coefficient of variance) = 표준편차/평균

각 토지이용별 SMC를 다음 그림에 나타내었으며, 토지이용별 SMC 특징은 다음과 같다.

■ BOD, COD, SS

BOD의 SMC는 5.3~12.1mg/L의 범위로 비교적 낮은 수치를 보이고 있으며, 토지이용별 큰 유의성을 보이지 않는다.

COD 및 SS의 SMC는 각각 115.9~67.7mg/L, 22.7~126.6mg/L의 범위를 보이고 있으며, 자동차도로에서 가장 높은 농도를 나타내었다.

■ T-N, T-P

T-N의 SMC는 3.26~9.62mg/L의 범위를 보이고 있으며, 상업지역에서 가장 높은 농도를 나타내었다. 이는 아마도 상업지역에 식당이 밀집되어 음식물 쓰레기에 의한 영향으로 판단된다.

T-P의 SMC는 0.09~0.48mg/L의 범위를 보이고 있다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu의 SMC는 각각 0.043~0.141mg/L, 0.009~0.045mg/L, 0.054~0.111mg/L, 0.030~0.097mg/L의 농도범위를 나타내었다. 중금속은 비교적 자동차도로 및 주차장에서 높은 농도를 나타내었는데, 이는 자동차 운행에 의한 영향으로 판단된다.

다음 표는 도시 우수유출수에 대한 미국 EPA의 미량 금속 농도기준을 나타낸 것이다. 조사 대상 중금속중 Cd와 Cu의 경우 대부분의 토지이용에서 미국 Ambient life criteria의 Threshold 기준을 초과하고 있다.

<표 4-25> 도시 우수유출수에 대한 U.S EPA의 미량 금속 기준

미량 금속	경도 (mg/L as CaCO ₃)	음용수기준 ^a (μ g/L)	Ambient life criteria(μ g/L) ^b	
			Threshold ^c	Mortality ^d
Cu	50	-	20	50-90
	100	-	35	90-150
	200	-	80	120-350
Cd	50	10	3	7-160
	100	10	6.6	15-350
	300	10	20	45-1070
Pb	50	50	150	320-3200
	100	50	360	820-7500
	200	50	850	1950-17850
Zn	50	-	380	870-3200
	100	-	680	1550-4500
	200	-	1200	2750-8000
Ni	-	13.4	-	-

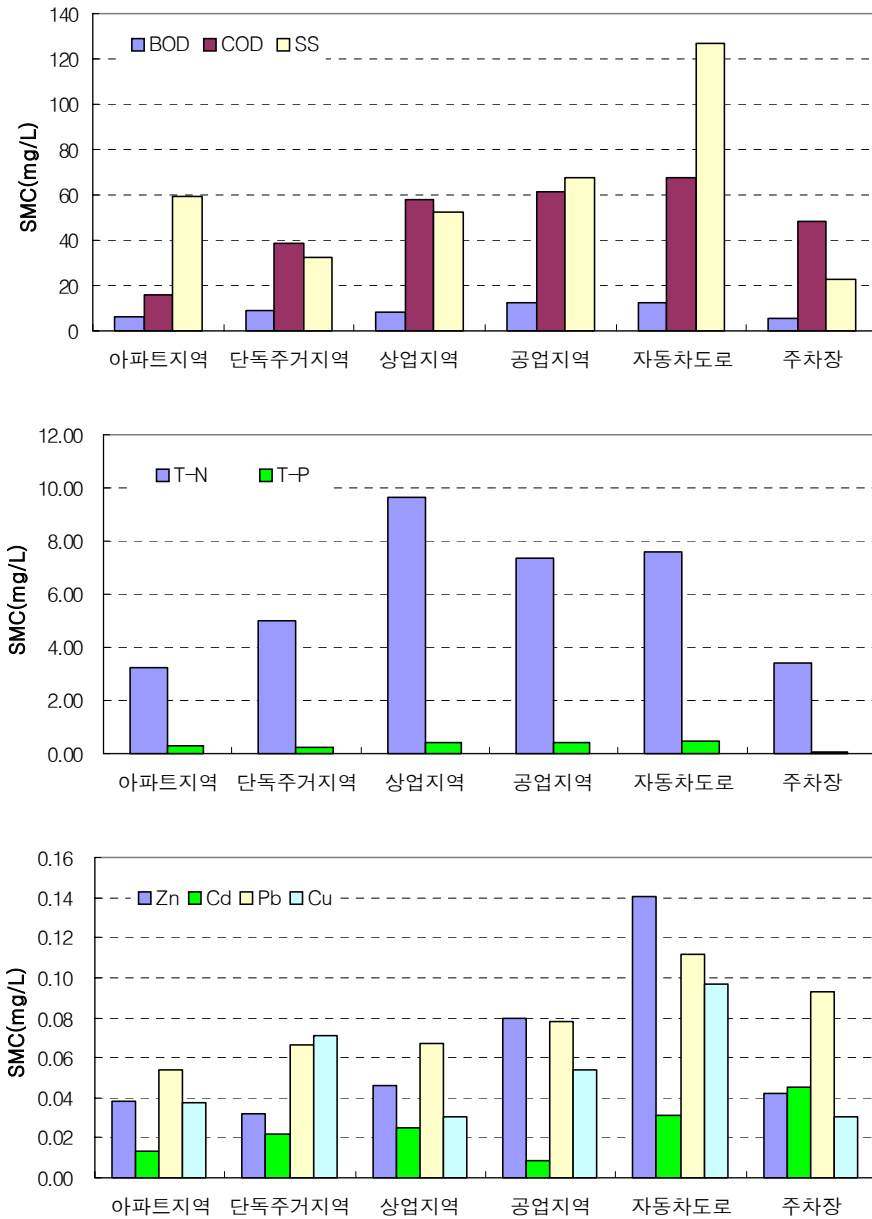
주) a U.S. EPA 음용수 수질기준

b EPA의 갈혈적, 단기간 독성 농도 추정치

c 가장 민감한 종에서 가장 민감한 개체에 사망을 유발하는 농도

d 가장 민감한 종에서 50%의 개체에 사망을 유발하는 농도, 25% 민감도를 가지는 종에서 가장 민감한 개체에 사망을 유발하는 농도

자료 : Schueler, 1987

**<그림 4-5> 각 토지이용별 SMC의 비교**

마. 토지이용별 비점오염원 원단위 산정

비점오염원단위를 간단히 정의하면 단위시간당 단위토지면적에서 배출되는 오염물질량을 말한다. 현재 사용되고 있는 원단위산정법으로는 경험식 등을 이용한 계산법과 유역에서 유량과 오염부하량을 실측해서 산정하는 실측법이 있다. 여기서 실측법은 조사방법에 따라 다음과 같이 크게 세가지로 구분할 수 있다.

- 지표면에서 오염물질 총량을 실측한 후 축적을 및 분해율을 적용하는 방법으로 주로 도시지역에서 비점오염원 원단위를 산정하는데 이용된다.
- 강우시 특정지역을 통과하는 하천상류와 하류의 수질을 비교하여 수질의 차이를 환산하여 당해 유역에서의 비점오염원 배출원단위를 산정하는 방법이다.
- 토지이용별 강우시 배출물질을 직접 채취하여 농도를 측정하는 방법으로서 측정횟수가 충분하면 원단위 산정에서 가장 신뢰성 있는 방법이다.

본 연구에서 실시한 방법은 앞서 언급한 세 번째 방법에 속한다고 볼 수 있으며, 위에서 언급한 토지이용별 유량가중평균농도(EMC) 및 지역평균농도(SMC)에 토지이용별 표면유출계수 및 연간평균강우량을 곱하여 산정한다.

$$\text{원단위(kg/ha/day)} = P \times P_j \times C \times \text{EMC}$$

여기서, P = 연간평균강수량(본 연구에서는 수원의 1971~2000년 연간평균강수량 자료를 이용)

P_j = 우수유출이 없는 강우에 대한 보정치(일반적으로, 0.5mm이하의 강수는 유출이 없으며, 일반적으로 0.9값을 적용한다. 그러나 본 사례지역 같이 불투수율이 높은 도시지역의 경우 0.5mm이하의 강우에서도 우수유출이 발생하므로 본 연구에서는 1.0값을 적용하였다.)

$$C = \text{유출계수(유출량(mm)/강우량(mm))}$$

$$= 0.858 i^3 - 0.78 i^2 + 0.774 i + 0.04 \quad (i = \text{유역의 불투수율})$$

<표 4-26> 각 토지이용별 비점오염물질 발생원단위

(단위: kg/ha/yr)

구분	BOD	COD	SS	T-N	T-P	Zn	Cd	Pb	Cu
아파트지역	61.9	161.6	604.2	33.1	3.2	0.385	0.136	0.543	0.378
단독주거지역	106.1	455.3	384.0	59.2	2.8	0.381	0.260	0.785	0.836
상업지역	100.4	719.9	653.1	119.8	4.8	0.573	0.312	0.834	0.383
공업지역	150.1	746.1	823.2	89.5	4.8	0.970	0.105	0.952	0.656
자동차도로	153.2	858.7	1605.0	95.9	6.1	1.781	0.391	1.412	1.226
주차장	63.4	579.4	274.0	40.9	1.1	0.513	0.547	1.120	0.367

<표 4-27>은 여러 선행 연구와 본 연구결과를 비교한 것으로 선행무강우일수, 강우량, 강우강도, 강우지속시간, 토지이용상황, 도시의 특성, 거리청소상황을 반영해 조사자별로 다소 차이가 있으나, 비교적 여러 선행 연구결과와 유사한 특성을 보였다.

<표 4-27> 도시지역에서의 비점오염원 원단위의 비교

(단위 : kg/ha/yr)

출처	SS	BOD	COD	T-P	T-N
본연구	274~1605	61.9~153.2	161.6~858.7	1.1~4.8	33.1~119.8
서울시(2002)	482~1236 (719)	245~590 (372)	236~1302 (713)	5~54 (23)	32~147 (86)
Whipple et al.(1976)	-	40.2 (29.2~51.1)	- (201~310)	3.3 (1.1~5.5)	8.03 (6.9~9.1)
Cemola et al.(1979)	1701 (730~4792.5)	76.7 (54.8~84.)	-	1.83 (1.1~5.1)	8.4 (3.29~17.9)
Sonzogni et al.(1980)	1460 (620~2299.9)	-	-	0.88 (0.40~1.31)	6.17 (5.0~7.3)
Wanielista et al.(1981)	460	50	-	2.01	8.4
和田安産(1983)	686~1916	84~339	113~259	1.5~2.6	1.1~41.0
임봉수(1984)	831.1	319.7	690.6	-	-
최의소 외(1991)	854.1	270.1	1226.4	32.0	157.0
國松(1992)	770.2	150.7	222.7	5.62	45.3
최지용(1995)	929.0	313.6	388.7	7.66	49.98

다음 표는 미국의 다양한 토지이용에 따른 비점오염물질 발생원단위를 나타낸 것으로, 본 연구 결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

<표 4-28> 다양한 토지이용에 따른 비점오염물질 발생원단위

(단위 : kg/ha/yr)

토지이용	TSS	TP	TN	Pb	Zn	Cu	FC	COD
도로	281	0.59	1.3	0.49	0.18	0.03	7.1E+07	112
	723	1.5	3.5	1.1	0.45	0.09	2.8E+08	289
	502	1.1	2.4	0.78	0.31	0.06	1.8E+08	201
상업지역	242	0.69	1.6	1.6	1.7	1.1	1.7E+09	306
	1369	0.91	8.8	4.7	4.9	3.2	9.5E09	1728
	805	0.8	5.2	3.1	3.3	2.1	5.6E+09	1017
단독주택, 저밀도	60	0.16	3.3	0.03	0.07	0.09	2.8E09	N/A
	340	0.64	4.7	0.09	0.2	0.27	1.6E+10	N/A
	200	0.55	4	0.06	0.13	0.18	9.3E+09	N/A
단독주택, 고밀도	97	0.54	4	0.06	0.11	0.15	4.5E+09	N/A
	547	0.76	5.6	0.15	0.33	0.45	2.6E+10	N/A
	322	0.65	5.8	0.1	0.22	0.3	1.5E+10	N/A
복합 주거단지	133	0.29	4.7	0.35	0.17	0.17	6.3E+09	100
	755	0.81	6.6	1.05	0.51	0.34	3.6E+10	566
	444	0.7	5.6	0.7	0.34	0.51	2.1E+10	333

자료 : Terrene institute. 1994

3. 비점오염 저감시설에 의한 수질개선 효과 분석

일반적으로 불투수성 지역에서 강우에 의해 지표면의 비점오염원이 유출되는 초기 우수는 오염물질의 유출이 강우시에만 집중되고, 오염원이 넓은 지역에 분산되어 있기 때문에 처리대책 수립이 곤란하고 오염원으로서의 중요성도 인식되지 못하였다. 그러나 최근 들어 비점오염원에 의한 수질기여도가 밝혀지면서 도시지역의 오염물질이 유출되는 초기우수는 지표면의 여러 가지 오염물질이 함께 유출되어 인근 수역의 주요 수질오염원임이 밝혀지게 되었다. 비점오염원 유출은 유역의 토지이용도, 강우

조건과 밀접한 관계를 가진다. 본 절에서는 이러한 측면에서 다양한 토지이용에 의해 발생하는 비점오염물질이 비점오염원 저감시설에 의해 저감되는 효과를 분석하고자 한다.

수질개선 효과 분석은 도시지역의 토지이용별 비점오염원 유출량 조사와 성남지역에 설치된 침투집수정으로의 우수 유입, 유출, 지하침투 자료를 바탕으로 각 토지이용별 침투집수정 설치시 오염저감기능을 분석하고자 한다. 이외에도 저류시설, 침투시설, 기계식 시설 등과도 간접적인 수질개선 효과를 분석하여 이를 바탕으로 다음 장에서 제안코자하는 우리나라의 기후 및 유역여건에 적합한 비점오염원 저감시설의 설치 및 관리방안 도출에 활용하고자 한다.

가. 저류지에 의한 비점오염물질 저감효과의 분석

우수유출수중 오염물질을 저감시키기 위한 방법으로 저류지의 설치를 고려할 수 있다. 도시지역에서 저류시설의 설치 및 적절한 운전을 통해 유량조절의 효과뿐만 아니라 오염물질의 저감효과도 기대할 수 있다. 저류시설의 장점은 설계와 운영이 용이하고, 유량의 변동에 쉽게 대처할 수 있고, 인접 하수처리장에서 처리가 가능하여 우수로 인한 홍수피해 및 수질오염을 방지할 수 있다는 것이다.

특히 기존의 빗물펌프장의 우수지를 활용하여 초기강우의 오염부하를 저감시키기 위한 방안으로 이용할 수 있다. 빗물펌프장은 지금까지 홍수나 태풍을 대비한 치수설비로만 이용되어 왔으나, 펌프장내 저류조를 우수유출수 처리를 위한 우수지로 활용하여 초기강우의 오염부하를 저감시키는 저류·침전설비로 활용할 수 있을 것이다.

현재 빗물펌프장의 저류조나 우수지는 강우량의 증감과 방류선의 외수위에 따라 수문을 조작하여 월류되는 유량을 펌프장으로 유입, 일시 저류시킨 후 펌프의 토출압을 이용하여 방류선으로 강제 배출시키고 있다. 이와 같은 펌프장의 운전은 집중호우에 의해 저지대 침수가 발생할 우려가 있을 경우에만 실시되므로 대부분의 강우에는 작동되지 않고 있는 실정이다.

따라서 대부분의 강우시 작동되지 않는 빗물펌프장의 저류지를 활용하여 본래의

역할인 침수제어기능을 수행함과 동시에 우수유출수의 오염부하를 제어할 목적으로 활용할 수 있을 것이다. 빗물펌프장 저류조를 활용한 우수유출수 및 CSOs 처리방안으로는 다음 3가지 경우로 나누어 고려할 수 있다.

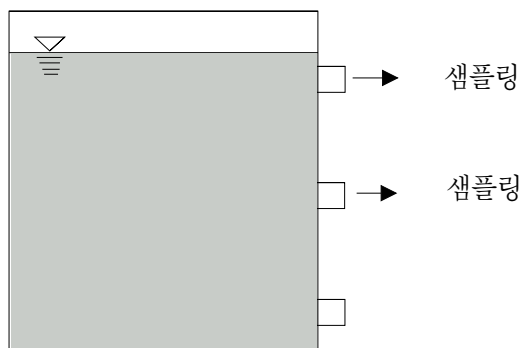
- 초기강우중 저류조 용량만큼 일시 저류한 후 청전시 처리하는 방안
- 전 강우를 차집하여 연속 침전처리하는 방안
- 일정한 표면부하율(차집용량을 제한)을 유지한 연속 침전처리 방안

우리나라는 6~9월 사이에 장마와 태풍의 영향으로 연간 강우의 70% 이상이 집중되는 강우패턴을 보이므로 이 기간에는 펌프장 본래의 역할인 침수제어기능을 수행하고 나머지 기간은 CSOs 오염부하를 제어할 목적으로 활용할 수 있을 것이다. <그림 4-7>은 위 각 관리방안에 대한 개념도를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 저류지에서의 우수유출수의 침강특성을 파악하여, 우수유출수중의 오염물질 저감을 위한 저류지의 적절 체류시간의 산정 및 운전조건을 파악하기 위해 다음과 같이 모의 저류지를 통해 침강 특성실험을 수행 하였다.

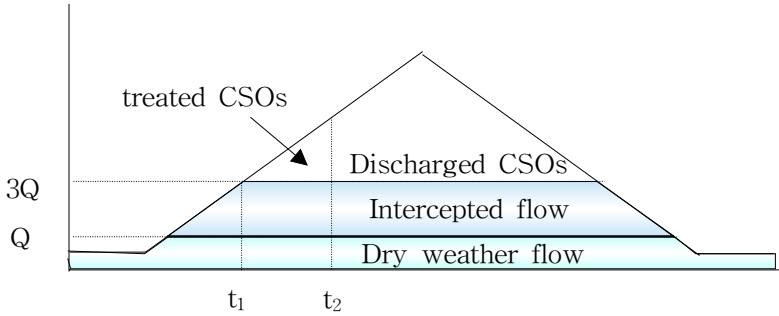
1) 실험 장치의 구성 및 실험 방법

저류지는 실험실 규모로 아크릴조를 이용하여 다음 그림과 같이 구성하였다. 저류조의 규격은 $29 \times 29 \times 35(L \times W \times H)$ cm이며, 샘플링 포트의 위치는 바닥에서 각각 4.5cm, 15cm, 30cm이다.

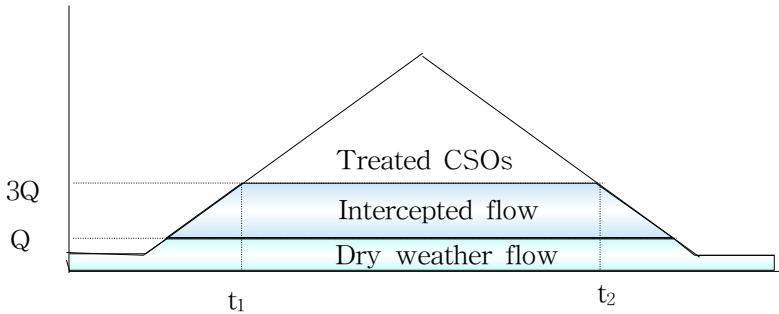


<그림 4-6> 저류조의 개략도

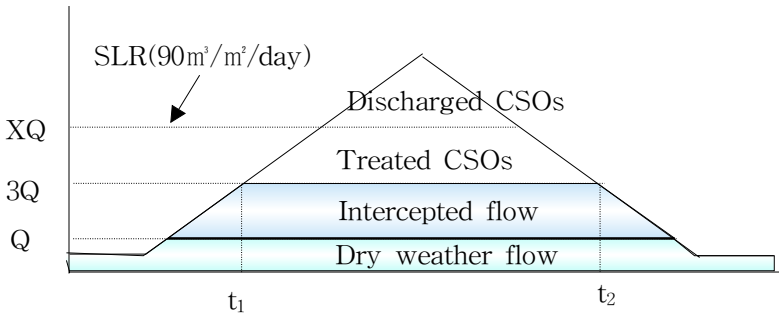
우수유출수의 저류조 실험은 총 3개의 토지이용별(주거, 상업, 자동차도로) 우수유출수를 대상으로 실시하였으며, 실험방법은 우수유출수를 저류조에 담은 후, 30분, 1시간, 2시간, 4시간, 8시간, 12시간, 24시간, 48시간 간격으로 저류조의 상단 및 중단에서 유출수를 샘플링한 후 수질을 분석하였다.



(a) 초기강우중 저류조용량만큼을 일시 저류한 후 청전시 처리하는 방안



(b) 전 강우를 차집하여 연속 침전처리하는 방안



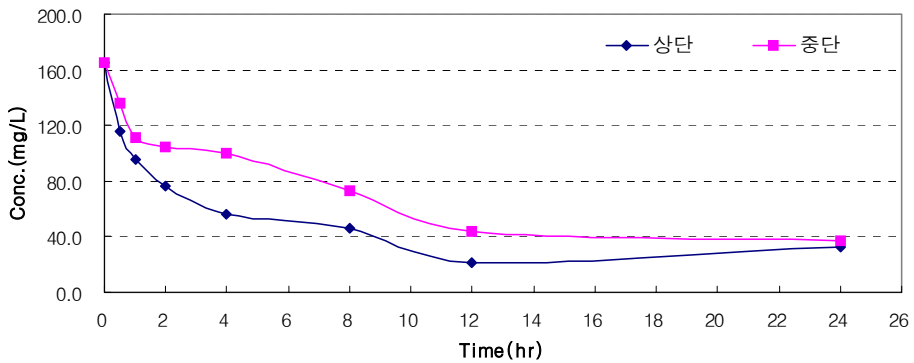
(c) 일정한 표면부하율(차집용량을 제한)을 유지한 연속 침전처리 방안

<그림 4-7> 빗물펌프장 저류조의 활용방안

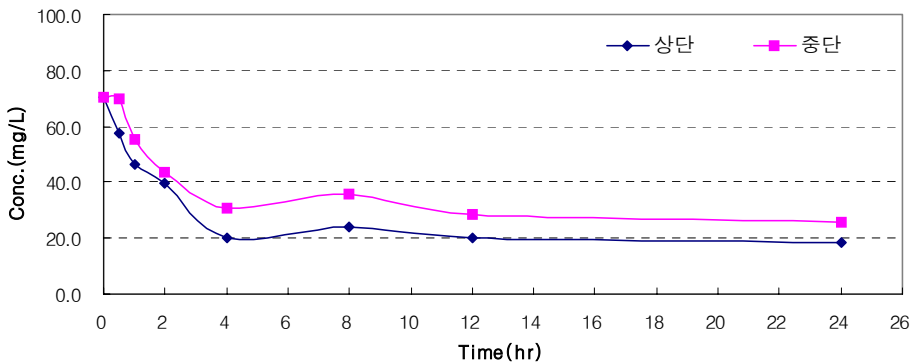
2) 저류조 실험 결과

가) 주거지역

다음 그림은 주거지역 우수유출수의 COD 및 SS의 침강제거 특성을 나타낸 것이다. SS의 초기농도는 165.0mg/L이며 24시간 침전 후 중단지점에서 37.0mg/L까지 농도가 저감되었다. COD의 초기농도는 70.2mg/L였으며 24시간 침전 후 중단지점에서 25.7mg/L까지 농도가 저감되었다.



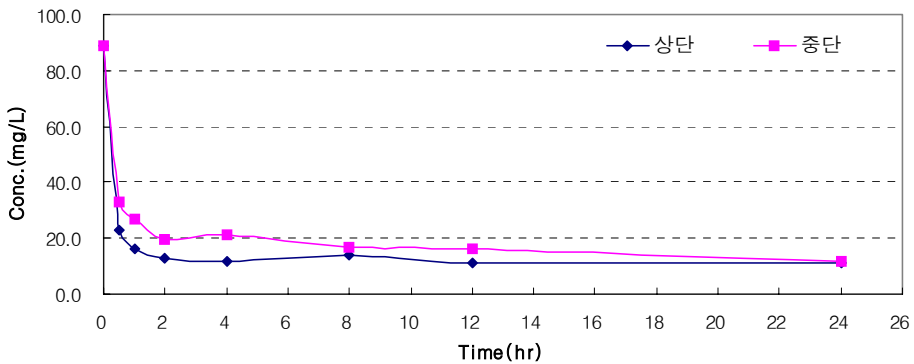
<그림 4-8> 우수유출수중 SS의 침전제거 특성(주거지역)



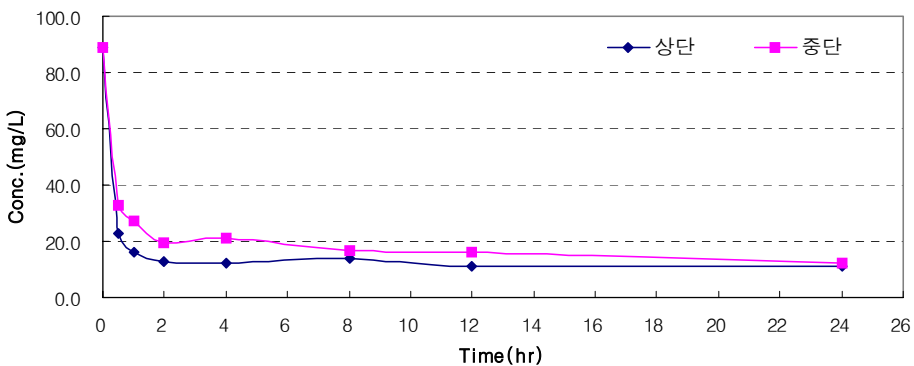
<그림 4-9> 우수유출수중 COD의 침전제거 특성(주거지역)

나) 상업지역

다음 그림은 상업지역 우수유출수의 COD 및 SS의 침강제거 특성을 나타낸 것이다. SS의 초기농도는 89.0mg/L이며 24시간 침전 후 중단지점에서 12.0mg/L까지 농도가 저감되었다. COD의 초기농도는 157.8mg/L였으며 24시간 침전 후 중단지점에서 42.0mg/L까지 농도가 저감되었다.



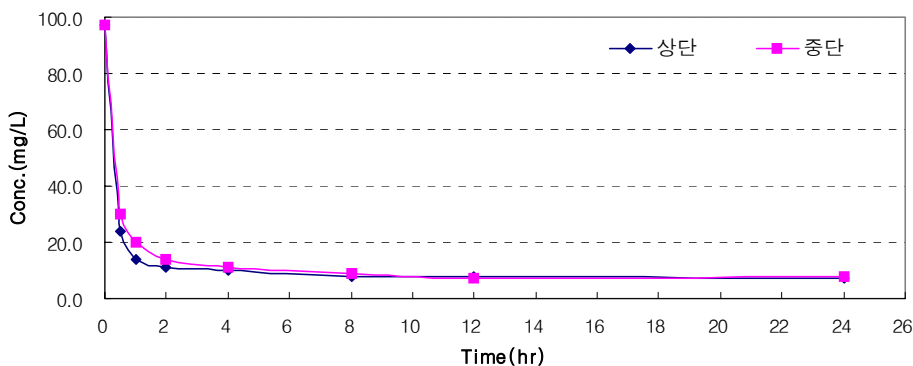
<그림 4-10> 우수유출수중 SS의 침전제거 특성(상업지역)



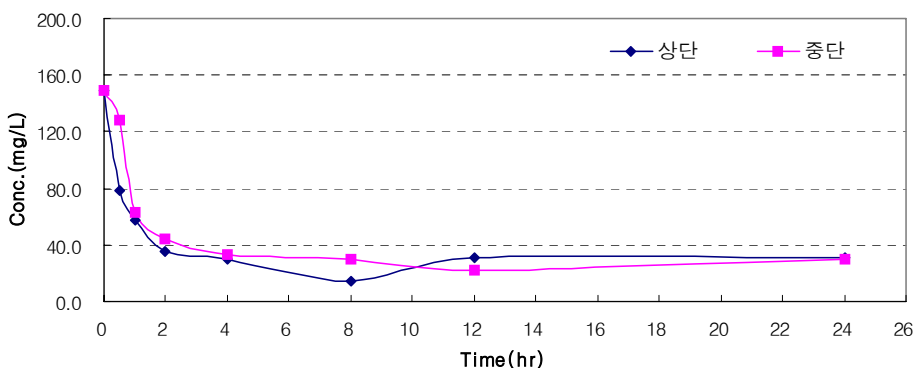
<그림 4-11> 우수유출수중 COD의 침전제거 특성(상업지역)

다) 자동차도로

다음 그림은 자동차도로 우수유출수의 COD 및 SS의 침전제거 특성을 나타낸 것이다. SS의 초기농도는 97.0mg/L이며 24시간 침전 후 중단지점에서 8.0mg/L까지 농도가 저감되었다. COD의 초기농도는 149.0mg/L였으며 24시간 침전 후 중단지점에서 30.3mg/L까지 농도가 저감되었다.



<그림 4-12> 우수유출수중 SS의 침전제거 특성(자동차도로)



<그림 4-13> 우수유출수중 COD의 침전제거 특성(자동차도로)

라) 종합

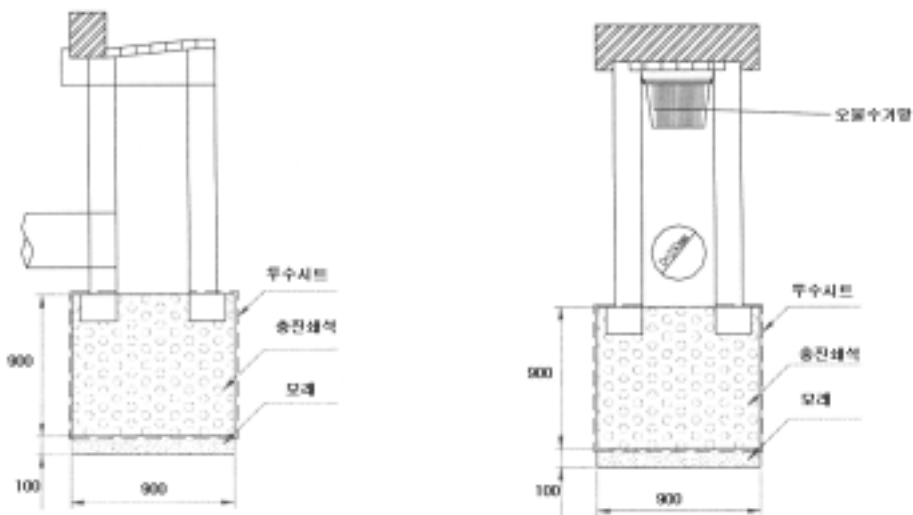
전반적으로 우수유출수의 침전특성은 양호하였으며, 일반적으로 12시간의 침전만으로도 COD, SS 모두 60%이상 침전제거가 가능하였다. 빗물펌프장의 우수지를 우수

유출수 처리시설로 운전시에는 우수유출수를 최소한 12시간 이상 저류/침전후 상층수부터 유출시키고, 하층부의 혼탁수는 적정처리를 거친 후 유출시켜야 할 것이다.

나. 침투집수정에 의한 우수유출 및 비점오염물질 저감효과의 분석

침투집수정은 통의 저면에 모래, 쇄석을 충전하여 채운 구조로, 침투집수정 하부저면에서 강우유출수를 불포화대 혹은 포화대를 통해서 분산 침투시키는 시설이다. 상부구조는 택지형, U형 및 도로암거형 등이 있으며 상부는 덮개를 설치한다. 침투집수정은 아래 그림처럼 일반 집수정의 아래에 물이 침투되도록 밑면이 뚫려있으며 그 아래에는 모래 10cm와 쇄석층 90cm의 침투층으로 구성된다.

침투집수정의 원래 도시지역에서 호우시 침수에 의한 피해를 방지하기 위해 우수유출량의 저감을 위해 설치되었으나, 최근에는 우수유출수의 지하 침투에 의한 비점오염물질 저감효과도 고려할수 있다. 침투집수정에 유입된 우수유출수는 침투층 및 지반층을 통과하면서 오염물질이 제거되어 지하수로 충전된다.

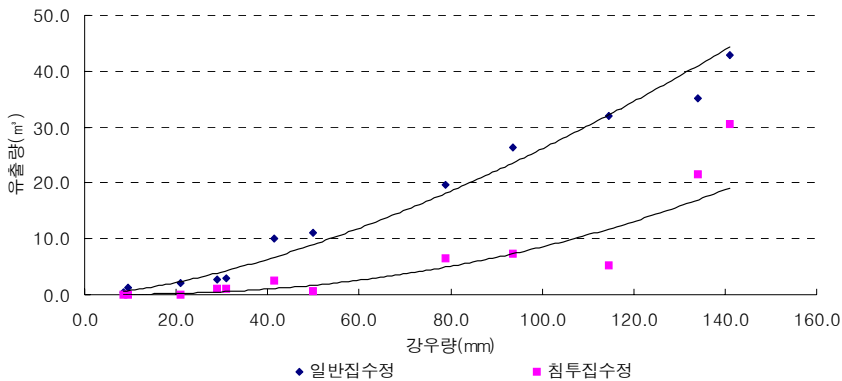


<그림 4-14> 침투집수정의 단면도

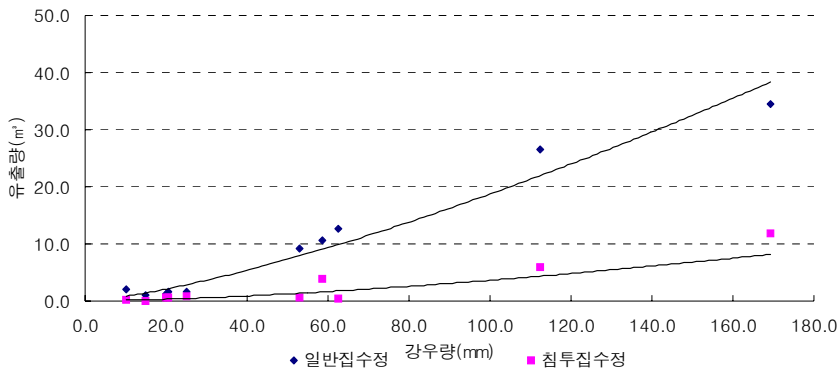
다음에 언급되는 침투집수정에 의한 우수유출 및 비점오염물질 저감효과 분석은 행정자치부 국립방재연구소(2001)자료를 활용하였다.

1) 시범지역에서의 침투집수정의 유출량 저감 효과

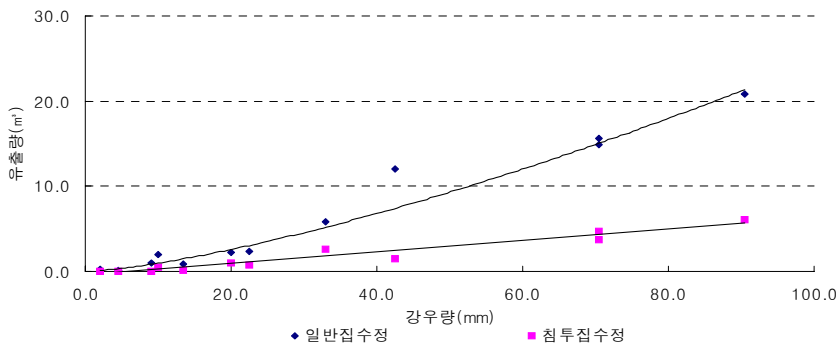
다음 그림은 각 시범 지역에서의 강우량에 따른 각 침투집수정에서의 유출량 저감 효과를 도시한 것이다. 먼저 일반 집수정의 유출량은 강우가 증가함에 따라 선형적으로 유출량도 정비례적으로 증가하나 침투집수정의 유출량은 일반 집수정에 비해 현저히 유출량이 저감되었다. 각 지점별 평균 유출 저감율은 성남 73.32%, 오산 75.1%, 청주 73.4%를 나타내었다.



<그림 4-15> 일반/침투 집수정에서의 유출량 저감효과(성남)



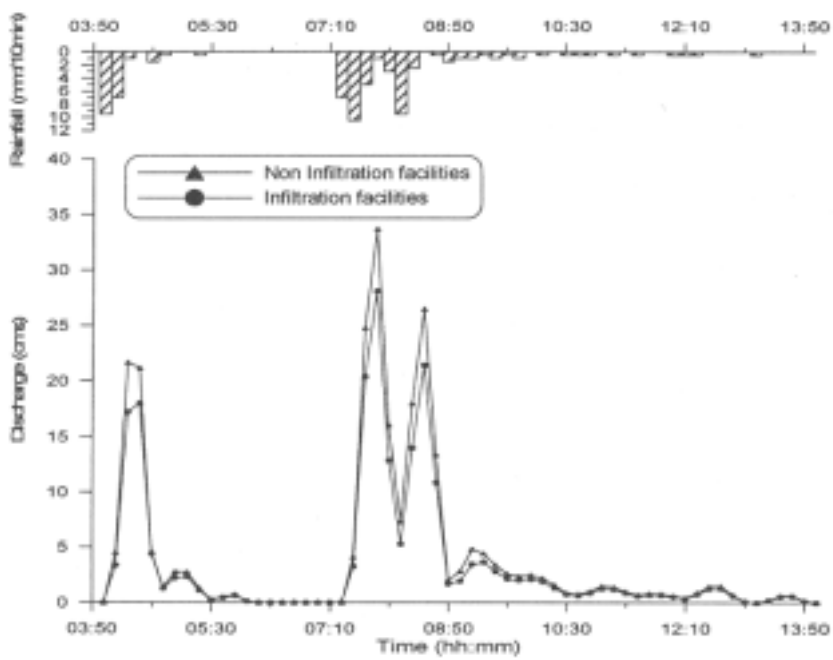
<그림 4-16> 일반/침투 집수정에서의 유출량 저감효과(오산)



<그림 4-17> 일반/침투 집수정에서의 유출량 저감효과(청주)

2) 침투집수정을 배수전역으로 확대 설치했을 경우 유출량 저감 효과

침투 집수정을 전체 배수구역의 도로에 적용시의 우수유출량 저감효과를 모의하여 보았다. 대상지역은 청주시이며, 2001년 7월 21일의 70.5mm의 강우에 대해 ILLUDAS 모델을 이용하여 강우 유출을 해석하였다. 강우 유출 모의 결과, 총 유출량 저감효과는 약 18.5% 였고, 침투유량 저감효과는 16.6%였다. 비점오염물질 유출특성이 주로 초기우수유출수에 높은 농도를 보이는 점을 감안하면, 침투집수정의 설치를 통해 비점오염부하의 18.5% 이상의 저감효과가 있음을 알 수 있다.



<그림 4-18> 침투집수정을 전체유역에 적용시의 유출수문곡선(청주)

<표 4-29> 침투집수정을 전체 유역에 설치시 우수유출량 저감효과 분석

강우량 (mm)	일반집수정 설치시		침투집수정 설치시		저감효과	
	유출량(m³)	침투유량(cms)	유출량(m³)	침투유량(cms)	유출량(%)	침투유량(%)
70.5	150526.2	33.69	122817.6	28.09	18.4	16.6

제5장 비점오염원 저감시설의 설치 및 관리방안

본 장에서는 우수유출수 및 비점오염물질의 저감을 위한 비점오염원 관리기술의 선정방법, 각 처리시설의 규모결정 방법론, 처리시설의 설치 및 유지관리방안에 대해 다루고자 한다. 주요 비점오염원 저감시설로는 식생수로와 식생여과대, 불투수지역의 최소화를 포함하는 우수침투시설, 이중목적저류지, 연못, 인공습지, 여과, 우수분리장치 등이 있다. 비점오염원 저감시설은 다양한 시스템의 상호 연계를 통해 더욱 효율을 높일 수 있다. 예를 들면, 건설지역에서의 침식관리가 집수유역 내에서 엄격하게 시행되지 않는다면, 그 지역에 설치된 비점오염원 저감시설은 아마 짧은 시간 안에 작동하지 않게 될 것이다. 즉, 저류지, 연못 또는 인공습지는 침전물로 가득 차게 될 것이고, 침투장치는 실패하게 될 것이다. 따라서 여기서 설명된 비점오염원 저감시설들이 제 기능을 발휘하기 위해서는 다양한 시스템의 상호연계를 고려한 적절한 관리시스템이 구축되어야 한다.

1. 비점오염원 관리기술의 선정 방법

특정 비점오염원 관리방안의 선정을 위해서는 기술적인 문제 외에 방류수역의 문제점, 방류수역의 이용목표, 시설의 설치 및 유지비용, 지역 주민의 의사, 법적인 규제 등의 조건을 충족하여야 한다. 처리시설을 선정하고 설계할 시 일반적 고려사항은 다음과 같다.

1) 발생원 관리

비점오염원 관리기술 선정에 대한 첫 번째 단계로, 비점오염원 저감시설의 도입에 앞서 발생원관리가 먼저 고려되어야만 한다. 발생원관리를 위해서는 우선, 가급적 우수와 오염물질의 접촉을 피해야 하며, 다음 단계로 오염된 우수유출수의 유출을 가능한 억제하여야 한다.

비점오염원 저감시설이 모든 오염물질을 제거할 있는 것은 아니기 때문에, 발생원 관리는 전체적인 우수수질 관리시스템의 효율을 증가시킬 수 있을 것이다.

2) 지역의 기후

많은 비점오염원 저감시설이 식생 및 생물학적 기작을 통한 오염물질의 제거를 위해 습식 상태를 필요로 하고 있다. 건조 및 반건조지역의 경우 증발산에 의해 발생하는 수분의 손실을 관개에 의해 보충하지 않는다면 이와 같은 처리관리는 실용적이지 못하다. 선정된 관리시설이 지역의 기후 및 관리시설의 정상적인 작동을 위해 필요한 물의 이용가능성과 양립할 수 있는지 반드시 확인하여야 한다. 예를 들면, 보충적인 관개수가 공급되지 않는다면, 반건조 기후의 습지는 습지의 생물종의 생존을 위한 물을 보유할 수 없을 것이다. 따라서 이와 같은 선택안은 경제적으로 실현가능성이 없을 것이다.

3) 설계강우의 규모

비점오염원 저감시설의 규모를 결정하기 위한 설계강우의 선정은 일반적인 우수배제를 목적으로 하는 우수유출수 관리시설의 설계와는 다르다. 예를 들면, 25년 빈도 강우의 오염물질 수세에 의한 방류수역의 영향은 이러한 강우에 의한 수리학적 손실에 비해 크게 중요하지 않다. 대부분의 강우사상은 30mm이하의 소규모 강우이며, 비 오염물질의 대부분은 이러한 소규모 강우에 의해 수계로 운반된다. 따라서, 비점오염원 저감시설의 규모는 일반적으로 이러한 소규모 강우를 대상으로 하며, 시설 설치에 앞서 우수수질에 관련된 수문학적인 연구가 충분히 검토되어야 한다.

4) 토양 침식

비점오염원 저감시설의 성공여부는 유역의 지류에서 얼마나 엄격하게 토양침식 보호가 실행되느냐에 의해 영향을 받는다. 건조 및 반건조 기후의 경우 자연 식생은 드물며, 따라서 습한 기후보다 강우 시 보다 큰 침식이 발생할 수 있다. 인공적으로 조성된 잔디는 토지가 도시화가 된 후에도 과도한 침식을 경감시키는 경향이 있다. 기후

에 상관없이 정상보다 높은 침식물의 부하량은 처리시설의 성능 및 유지관리조건에 악영향을 줄 것이다.

5) 우수유출수 중 오염물질의 특성

우수유출수 중 오염물질은 입자상태 또는 용존상태로 존재할 수 있다. 일부 비점오염원 저감시설은 오직 입자상 오염물질만을 제거하는 반면에, 습지와 같은 시설은 용존물질과 입자상물질을 모두 제거할 수 있다. 특정 오염물질이 관심대상일 경우는 설계자는 관심대상인 오염물질을 가장 잘 제거할 수 있는 처리시설을 선택할 필요가 있다.

6) 다양한 용도

우수유출수 관리시설을 다양한 용도와 통합할 수 있는 가능성에 대해 고려할 필요가 있다. 이와 같은 용도에는 레크리에이션, 야생동물 서식지의 보호, 홍수관리, 지하수 함양 등이 포함된다.

7) 유지관리

여기서 소개되는 대부분의 비점오염원 저감시설은 기계적 또는 화학적 시스템과 같이 복잡한 유지관리를 필요로 하지는 않는다. 그러나 시설의 적절한 운전을 위해서는 일정한 유지관리가 필요하다. 또한 시설의 설계시 시설의 효율성과 설치비용뿐만 아니라 유지관리의 용이성 및 유지관리비용에 대한 고려도 반드시 필요하다.

8) 물리/환경적 요소

비점오염원 저감시설의 선정 시 고려할 필요가 있는 가장 일반적인 물리/환경적 요소는 아래와 같다.

- 경사 : 대부분의 비점오염원 저감시설은 해당지역의 지형 경사에 민감하다. 저습지 및 침투지와 같은 시설은 가파른 지형에서는 사용할 수 없는 반면에, 저류지 및 여과장치 같은 시설은 비교적 가파른 지형 경사에도 설치될 수 있다.

- 소요면적 : 대부분의 비점오염원 저감시설은 상당한 양의 토지를 필요로 한다. 일부 시설은 상당한 비용이 들더라도 지하에 설치될 수 있다.
- 토양 : 침투시스템은 투수성 토양에 위치해야만 한다. 저류연못의 경우 불투수성의 토양 또는 라이닝을 필요로 하며, 식생형 시설의 경우 양질의 토양을 필요로 한다.
- 물의 이용가능성 : 오염물질 제거를 위해 식생 또는 영구지에 의존하는 시설은 물을 필요로 하며, 건기 동안에도 적당한 양의 물을 이용할 수 있어야 한다.
- 심미적인 가치와 안전성 : 시민들이 볼 수 있거나 접근할 수 있는 지역의 경우, 심미적인 가치와 안정성은 중요한 문제이다.
- 수리학적 수두 : 일부 시설의 경우 수리학적 낙차를 필요로 하며 이것은 지형학적 문제이다.
- 환경측면의 영향 : 설계절차에서 모기의 산란, 지하수 오염, 수중생물 및 야생동물의 서식지, 레크리에이션 등을 고려해야만 한다.

상기된 고려사항에 상관없이, 어떤 경우에도 비점오염원 저감시설은 기존의 배수 또는 홍수조절의 목표와 양립하여서는 안된다.

9) 현장관리(on-site controls) 및 지역관리(regional controls)

일부 비점오염원 저감시설은 현장관리기술 또는 지역관리기술 모두에 이용될 수 있는 반면에, 다른 비점오염원 저감시설은 오직 현장처리기술로만 이용될 수 있다. 식생수로, 식생여과대, 침투시설, 모래여과장치, 유수분리기 등의 시설은 대규모의 지역관리시설로는 적용될 수 없다. 반면에 이중목적저류지, 저류연못, 습지 등은 많은 집수지역들에 서비스하는 지역관리시설로 이용될 수 있으며, 지역적인 조건이 허락한다면, 현장관리시설로도 이용될 수 있다. 때때로 수백 또는 수천 개의 많은 수의 현장관리시설들이 도시유역 안에 설치될 수 있으며, 이 경우 방류수역에 대한 관리시설들의 누적된 수문학적 영향을 정량화하는 것은 어렵다. 그러나 비록 수많은 현장관리시설의 누적된 영향을 예측하는 것이 지역관리시설에 비해 어렵다고 할지라도, 지역관리 및 현장관리 모두 방류수역의 수질을 향상시킬 수 있다.

일반적으로 현장관리시설은 다양한 수질관리 목표 아래 다양한 개인에 의해 설계 및 건설되기 때문에 많은 수의 현장관리시설은 방류수역의 수질 예측을 복잡하게 만든다.

넓은 지역은 소규모의 강우를 저류하기 위한 다단식의 유출구를 필요로 한다. 12~24시간 동안 소규모 유출을 배출하고, 24~48시간 동안 총 수질포획량을 배출하기 위한 다단식의 유출구가 사용될 수 있다.

Wiegand et al.(1989)은 보다 적은 수의 지역관리시설이 많은 수의 현장관리시설보다 설치와 유지관리비가 저렴하기 때문에 지역관리시설이 보다 비용-효과적이라고 추정하였다. 또한 지역관리시설은 때때로 공공기관에 의해 유지관리되기 때문에 지속적인 유지관리를 받을 수 있다.

지역관리시설은 현장관리시설의 경우 놓칠 수 있는 공공도로에서 발생하는 모든 유출수를 일반적으로 포획할 수 있으며, 또한 지역관리시설은 넓은 면적의 토지를 이용하므로 레크리에이션, 야생동물의 서식지, 심미적인 공지와 같은 용도와 호환될 수 있다.

지역관리시설의 두 가지 주요 단점은 복잡한 계획절차 및 자금조달의 선행을 필요로 한다는 점이다. 토지개발시 지역관리시설 설치를 위한 초기 자본의 부족은 시기적절한 비점오염원 저감시설의 설치를 불가능하게 할 수 있으며, 이런 경우 현장관리시설의 설치가 보다 실용적인 대안이 될 수 있다.

10) 설계기술의 신뢰성

설계기술의 신뢰성이란 모든 설계항목들이 올바르게 정의되고 정량화되었을 경우 설계가 의도한대로 실행될 수 있는 가능성을 의미한다. <표 5-1>에 다양한 비점오염원 저감시설의 신뢰성에 대한 내용을 요약하였다. 이러한 내용 중 일부는 해당 지역의 기후, 지질, 토질, 오염성분의 특성과 같은 조건에 따라 달리 해석될 수도 있다. 표에서 보듯이 설계기술의 신뢰성은 수리학적 설계 및 수질개선능력에 주로 의존한다. 수질개선능력이 아주 뛰어나고 시설이 확실히 가동되고 있다 하더라도 수리학적 설계의 견고성이 낮으면 수질개선능력이 보증될 수 없다. 또한 그 역도 성립한다. 즉,

높은 수리학적 신뢰성을 갖고 있지만 수질개선효과가 낮은 시설은 낮은 설계 견고성을 갖게 될 것이다. 즉 설계기술 가장 취약한 설계부분이 설계의 전반적인 신뢰성을 결정한다.

<표 5-1> 비점오염원 저감시설의 설계기술의 신뢰성

종류	수리학적 설계의 신뢰성	우수 내 오염물질의 제거의 신뢰성		
		부유물질	용존물질	일반적인 성능
식생수로	보통 - 높음	낮음 - 보통	없음 - 낮음	낮음
식생여과대	낮음 - 보통	낮음 - 보통	없음 - 낮음	낮음
침투지	보통 - 높음	높음	보통 - 높음	보통
침투트렌치	낮음 - 보통	높음	보통 - 높음	보통 - 높음
이중목적저류지	높음	보통 - 높음	없음 - 낮음	보통 - 높음
저류연못	높음	높음	낮음 - 보통	보통 - 높음
습지	보통 - 높음	보통 - 높음	낮음 - 보통	낮음 - 보통
여과시설	낮음 - 보통	보통 - 높음	없음 - 낮음	낮음 - 보통
유수분리장치	낮음 - 보통	낮음	없음 - 낮음	보통
투수성포장	낮음 - 보통	보통 - 높음	낮음 - 높음	낮음 - 보통
모듈식 투수성포장	보통 - 높음	낮음 - 높음	낮음 - 높음	낮음 - 높음

2. 비점오염원 저감시설의 유지관리

비점오염원 처리시설이 설계한 대로 운전되기 위해서는, 정기적인 검사와 시설의 유지관리가 필수적이다. 특히 시설의 유입구 및 유출구에서의 침전물제거는 가장 중요한 요구조건이며, 비점오염원 저감시설의 유지관리에 관한 주요 내용은 다음과 같다.

가. 검사

비점오염원 저감시설이 설계된 대로 작동하고 있는 지 확인하기 위하여 정기적인

검사가 수행되어야 한다. 강우 후에 추가적인 검사와 함께 매년 정기적인 검사가 필요하다. 일부 검사는 현장방문 횟수를 줄이고 유지관리가 잘 수행되고 있는지 확인하기 위하여, 계획된 유지관리활동과 동시에 수행되도록 조정될 수 있다. 주요 검사 내용은 다음과 같다.

- 유입구와 유출구에서의 침전물의 축적여부를 점검
- 사면 점검 : 침식, 침전, 사면의 붕괴 또는 차량에 의한 손상여부 점검
- 식생지역 점검 : 수위가 식생의 성장에 적당한지, 허용생존율이 유지되고 있는지, 식생이 허용한계 내에 있는지를 확인

나. 정기적인 유지관리

예방차원의 정기적인 유지관리는 비점오염원 저감시설을 정상적인 작동상태로 유지하기 위하여 정기적으로 수행되는 절차를 의미한다. 정기적인 유지관리에는 막힘 현상을 방지하기 위하여 유량제어장치 주변의 쓰레기 조각의 제거, 미사토 및 침전물질의 제거 및 식생의 제거 등을 포함한다. 정기적인 유지관리는 또한 건강한 식생의 유지관리를 포함하며, 죽은 잔디 또는 건강하지 못한 식생지역을 발견하게 되면 재식재 해야 한다.

다. 비정기적인 유지관리

복원차원의 비정기적인 유지관리는 시설의 정상가동을 위해 실시되는 모든 비정기적인 복원활동을 의미한다. 이와 같은 활동에는 유량제어장치의 교체 또는 수중식물의 재식재 및 제거를 포함한다.

1) 침식 관리 및 시설의 수리

침식 및 사면붕괴 지역은 가능한 한 빨리 수리하고 새로 씨를 뿌리거나 잔디를 새로 입힌다. 유입구 또는 유출구 근처의 침식지역은 사석층을 설치 할 필요가 있다.

유출구, 유입구 또는 기타 시설에 대한 손상은 즉시 수리해야 한다. 이와 같은 수리의 지연은 다음에 시설이 운전될 때, 구조적인 붕괴를 야기할 수 있다. 일단 구조적인 붕괴가 발생하면, 시설의 전반적인 재건축을 필요로 하게 될 것이다.

2) 침전물의 제거 및 처분

일반적으로 침전물의 제거 및 처분은 정기적으로 시행할 필요는 있으나, 매년 실시할 필요는 없다. 대부분의 처리시스템의 경우 침전물의 제거 주기는 시설에 의해 제거되는 연간 총 부유침전물의 부하량과 침적되는 면적의 크기에 의존한다. 몇몇의 현장조사에 의하면 저류연못에서 침전물의 축적율이 6~13mm/year에 해당한다는 사실이 보고되었다. 또한 지류가 있는 유역에서 건설공사가 있고 효과적인 침식 관리활동이 이루어지지 않는 경우, 축적율이 10~100배 정도 증가한다는 사실이 보고되었다.

식 5.1(Urbonas, 1994)은 우수로부터 부유침전물을 제거하는 거의 모든 시설에서 축적된 침전물의 깊이를 추정하기 위하여 활용될 수 있다.

$$V_{p.p} = 1.45 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{h \cdot T_{ss} \cdot f_r}{R} \quad (5.1)$$

여기서, V_p = 바닥에 침전된 침전물의 연간 평균깊이(mm)

h = 유역으로부터 발생한 우수유출수의 연간 평균깊이(mm)

T_{ss} = 우수유출수 내 총부유침전물(TSS)의 연간 평균농도(mg/L)

f_r = 조에 저류된 TSS의 비율

R = (조의 표면적)/(유역의 면적)의 비

위 식은 건설활동과 같은 침전물의 발생원은 없다는 것을 가정한다. 아마 실질적인 축적율은 추정치보다 다소 높을 것이며, 따라서 보다 빈번한 침전물의 제거가 필요할 것이다.

납, 아연, 구리와 같은 중금속의 축적이 우려되는 경우는 보다 빈번한 침전물의 제

거 및 주기적인 모니터링이 수행되어야 한다. 또한 조 바닥에서 코아샘플링을 수시로 시행하여 오염물질의 축적정도를 파악해야 한다.

라. 기타 유지관리 요구조건

1) 풀베기

측면 경사지, 제방, 긴급 유출로 및 기타 우수관리시설에서 풀이 난 지역은 수목의 성장을 막고 잡초를 제어하기 위하여 정기적으로 풀을 베어야 한다. 거주지역의 경우, 더욱 빈번한 풀베기를 필요로 할 것이다. 풀베기는 정기적인 유지관리 비용 중 가장 많은 부분을 차지한다.

2) 쓰레기 제거 및 관리

쓰레기는 대부분의 경우 우수관리시설의 유입구 및 유출구 근처에 쌓이게 되며, 정기적인 풀베기 작업동안에 제거할 필요가 있다. 또한 관리시설의 유출구를 막을 수 있는 부유성 쓰레기에 특별한 주의를 기울여야 한다.

불법투기로 발생하는 쓰레기는 정기적으로 청소되어야만 하며, 제거된 물질 및 개선사항에 대한 정확한 일지를 유지하여야만 한다. 불법투기의 관리는 매우 어려운 일이나 처리시설 부지 근처에 “쓰레기 투기금지” 간판을 설치하는 것만으로도 불법투기 방지에 도움이 될 것이다. 또한 불법투기 및 처분에 대한 실질적인 처벌을 채택하고 강화하는 것 역시 불법투기의 방지효과가 있을 것이다.

3) 생활침해 관리

우수처리시설을 습식상태로 유지하는 일은 악취 발생 및 모기 등의 유해곤충의 산란으로 근처 주민들의 생활을 침해할 수 있다. 그러나 저류연못의 연안지역내 습지식물은 모기의 자연적인 억제작용을 하는 조류, 육식곤충, 어류의 서식지를 제공한다. 또한 쓰레기를 제거 및 정기적인 유지관리는 잠재적인 생활침해 문제를 관리하는 데 도움이 될 것이다.

3. 비점오염원 처리시설 설치방안

일반적인 비점오염원 저감기술로는 식생수로, 식생여과대, 침투지, 침투트렌치, 이중목적저류지, 저류연못, 습지 등이 있다.

- 식생수로(vegetated wales) : 식생수로는 잔디를 심거나 식생이 조성된 완만한 경사면을 가진 얇은 수로다. 소규모 강우시 느린 유속을 갖도록 설계되었으며 식생수로의 바닥을 통한 침투와 식생이 조성된 면에서의 침전물 및 유기성 오염물질의 포획이 일어날 수 있다.
- 식생여과대(filter strip) : 때때로 완충지대로 불리는 식생여과대는 수로는 아니지만 식생수로와 유사한 방법이다. 식생여과대는 불투수지역에 인접하여 설치된, 완만한 경사를 가지는 식생이 조성된 지표면이다. 불투수지역에서 발생한 유출수의 유속을 저감시키고, 침투 및 식생에 의해 오염물질을 저감한다.
- 침투지(infiltration basins) 및 침투트렌치(percolation trenches) : 이 처리시설은 소규모 집수지역에서 소규모 강우에 의해 생성된 유출수를 포획하는데 이용되며, 지표유출수를 지하수 영역으로 침투시키면서, 토양 입자 및 식생에 의한 여과 및 산화 작용 등으로 우수유출수로부터 오염물질을 제거한다.
- 저류관리(detention controls) : 이 방법에는 강우사상 사이에 유출수를 완전히 배출하는 이중목적저류지(extended detention basins)와 다음 강우가 발생하기 전까지 영구지 내에 이전 강우유출수의 일부 또는 전부를 저류하는 저류연못(retention ponds)이 있다. 이중목적저류지는 주로 고형물질의 침전을 통해 오염물질을 제거하는 반면에, 저류연못은 침전 및 강우 사이의 건기 동안 영구지에서 물리적, 생화학적 기작을 통해 오염물질을 제거한다. 일반적으로 저류연못은 이중목적저류지보다 토지소요가 크며, 오염물질가 보다 효과적이다.
- 습지(wetland basins) : 습지는 효과적인 우수수질 처리관리방법이 될 수 있다. 인공습지는 부하량에 따라 2~3개 습지를 직렬 또는 병렬로 구성하며, 주로 침전 및 습지 내 식생에 의해 오염물질이 제거된다.
- 여과시설(media filtration) : 여과시설은 일반적으로 여재의 막힘 현상을 피하기

위해 전단에 침전시설을 설치하여야 한다. 주요 여재로는 토탄혼합물, 모래, 퇴비 혼합물, geotextile 등이 주로 사용되고 있다.

- 유수분리기(oil and water separator) : 이 처리시설은 우수유출수로부터 유류화합물, 그리스, 모래, 자갈 및 기타 쓰레기조각 등을 제거하기 위한 장치이다.

가. 저류형 시설

1) 이중목적 저류지(extended detention basins)

도시 우수유출수의 저류시설은 신규토지개발지역으로부터 발생한 침투유출을 관리하기 위하여 1970년대 초반에 북미, 유럽 및 오스트레일리아의 도시우수관리 방안으로 나타나기 시작했다. 우수 수질을 관리하기 위한 저류시설의 이용은 1980년대 초반에 시작되었다. 이중목적저류지는 부유물질을 제거하는 데 있어 최고의 방법이나, 용존성물질 제거에는 효과적이지 않다.

가) 시설의 규모 결정 방법

(1) 최대저류량의 결정(1.0 km² 이하의 소규모 집수지역)

이중목적저류지의 규모를 결정하기 위한 몇 가지 방법이 있으며, 가장 단순하고 직접적인 방법은 최대저류량을 이용하는 것이다. 저류조로의 유입 우수유출량 및 배출 시간에 따라 저류량 산정한다. 일반적으로 배출시간이 길어질수록 부유물질의 제거율이 높아지나, 배출시간이 길어지면, 저류지 바닥의 식생에 악 영향을 준다. 긴 배출시간을 갖고 있는 시설은 습지 식물 가진 늪지상태의 바닥을 갖게 되며, 유지관리 및 청소가 어렵다.

최대저류량은 유출량포획비(volume capture ratio)와 강우사상포획비(event capture ratio)¹⁾를 기준으로 산정할 수 있으며, 일반적으로 강우사상포획비에 근거하

1) 유출량포획비(volume capture ratio) : 포획우수유출량/전체우수유출량
강우사상포획비(event capture ratio) : 포획강우사상/전체강우사상

여 계산한다.

Guo and Urbonas(1995)는 평균강우량을 통해 최대저류량을 산정하는 단순한 회귀 방정식을 제안하였다.

$$P_0 = (a \cdot C) \cdot P_6 \quad (5.2)$$

여기서, P_0 = 최대저류량(mm)

a = 배출시간을 고려한 회귀상수(<표 5-2> 참조)

C = 유역의 유출계수

P_6 = 유역의 평균강우량(mm)(최소 2.5mm이상의 강우에 대해서 평균)

위 식에서 유역의 유출계수(C)는 다음 식과 같이 유역의 불투수율(i)을 통해 구할 수 있다.

$$C = 0.858 i^3 - 0.78 i^2 + 0.774 i + 0.04 \quad (5.3)$$

다음 표에 나타난 계수들은 미국의 7곳의 강우측정지점에서 수집된 장기간의 자료들의 분석에 기초하고 있으며, 결정계수 r^2 의 상관관계는 0.80~0.97의 범위로 강한 수준의 신뢰도를 나타내고 있다. 회귀 상수 a 는 총강우사상 포획비 및 총강우량 포획비에 근거한 최대저류량/평균강우량의 비를 나타낸 것이다.

<표 5-2> 최대저류량 산정을 위한 계수 a 의 값

구분		저류량의 배출시간		
		12 hours	24 hours	48 hours
강우사상 포획비 (event capture ratio)	$a =$	1.109	1.299	1.545
	$r^2 =$	0.97	0.91	0.85
유출량 포획비 (volume capture ratio)	$a =$	1.312	1.582	1.963
	$r^2 =$	0.80	0.93	0.85

주) 강우사상 및 유출량 대비 약 85%(82~88%)의 포획비를 기준으로 한 값임.

최대저류량에 의해 결정된 저류조의 규모는 가장 비용-효과적인 처리시설 규모를 제공할 것이며, 또한 이와 같은 우수유출량을 저류하기 위한 규모의 처리시설은 보다 설계치보다 큰 규모의 강우시에도 오염부하가 상대적으로 높은 초기유출수를 포획할 수 있을 것이다.

설계저류량을 초과하는 유출량은 시설을 우회하거나 또는 저류시간을 다소 줄여 방류하게 되나, 전체적인 처리효율의 저하는 거의 없을 것이다. 그러나 저류조의 용량이 과대 설계되어 과대한 유출구가 설치된다면, 소규모 강우시 우수유출수가 상대적으로 빨리 유출되어 처리효율이 오히려 감소하게 된다.

장기간의 강우기록에 대한 분석 결과 25mm이하의 소규모 강우들이 큰 분율(80% 이상)을 나타내고 있으므로, 저류량의 과잉설계는 빈번하게 발생하는 소규모 우수유출수를 오히려 제대로 처리하지 못하고 방류하게 될 수 있다.

다음은 10,000m²의 유역에서의 최대저류량을 산정한 예이다. 유역의 불투수율은 40%, 평균강우량(P₆)은 20.3mm이며, 저류지는 24시간 안에 저류지의 포획유량을 배출하여야 한다.

먼저 식 5.2에 불투수율(*i*) 0.40의 값을 대입하면, 유출계수(C) = 0.30이 된다. <표 5-2>로부터 24시간 배출시간에 대한 계수 *a* = 1.299를 구할 수 있다. 따라서 최대저류량은 아래와 같이 계산될 수 있다.

$$P_0 = (1.299 \cdot 0.3) \cdot 20.3 = 7.91\text{mm}$$

따라서, 10,000m²의 유역에 대한 저류조의 부피는 79.1m³을 필요로 한다. 침전물의 축적에 따른 부피손실을 충당하기 위하여 약 20%의 여유율을 고려하여야 한다.

따라서 24시간 안에 79.1m³의 유출량을 바닥까지 배출하도록 설계된 유출구를 갖춘 총부피 94.9m³의 저류지를 필요로 하게 된다.

(2) 수문곡선의 이용(1.0 km² 이상의 집수지역)

1.0km² 이상의 지역의 경우, 최대저류량은 reservoir routing 방법을 이용하여 구할 수 있다. 이 경우 유출수문곡선을 시물레이션하기 위하여, 우선 최대강우량을 강우주 상도로 전환해야 한다. 이는 시설이 위치한 지역에서 사용중인 일반적인 설계강우의

시간적 분포에 의해 정해진다. 그러나 최대강우량은 2시간 설계 강우주상도로 재분류되어야 한다고 제안하고 있다. reservoir routing 방법은 필요한 설계 용적을 구하기 위해 유출율에 대한 유입율의 균형을 잡는 일이다.

<그림 5-1>을 참조하면, 우수유출의 시작지점부터 유출율이 유입율을 초과하는 시점까지 유입율과 유출율 차이에 대한 시간적분 면적이 필요한 저류량이며, 이는 식 5.4와 같다.

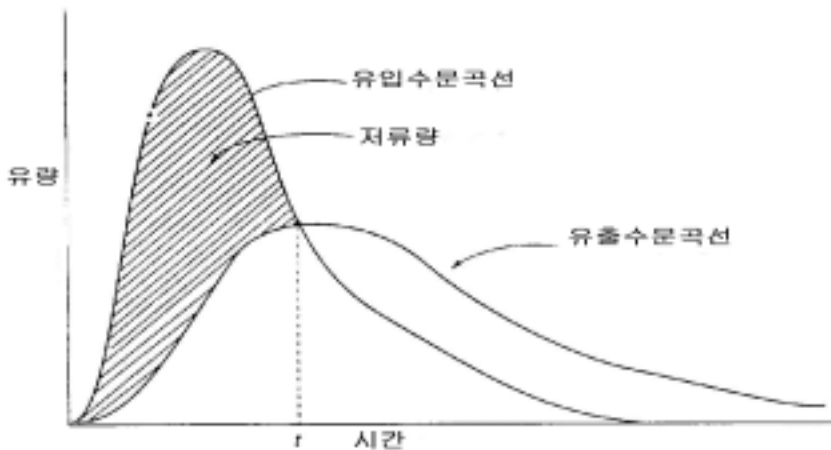
$$V_{\max} = \int_0^t (Q_{in} - Q_{out}) dt \quad (5.4)$$

여기서, $V_{\max}$ = 저류량

t = 유출의 시작부터 최대저류지점까지의 시간

Q_{in} = 유입율

Q_{out} = 유출율



<그림 5-1> 저류지의 유출입 수문곡선

나) 이중목적저류지의 구성

가능하면 이중목적저류지를 홍수조절 시설 안에 결합하여 수질과 홍수조절 기능의 결합하는 것이 바람직하다.

(3) 저류지의 배치

반응물이 혼합되지 않고 직접 유출되는 단회로현상을 경감시키기 위하여, 저류지의 형상은 유입구부터 점차 넓어져서 유출구를 향해 점차 좁아져야 한다. 길이/폭의 비는 2이상으로 하며, 가능하면 4까지 연장한다.

(4) 2단계의 설계

가능하면 2단계로 조를 설계한다. 저류지의 하류부에 작은조를 설치하며, 이것은 조의 나머지 부분에서 물이 고여있는 시간과 침전물의 침전을 감소시킨다. 상류의 조 깊이는 0.6~1.8m이며 바닥의 경사는 약 2%로 한다. 하류 조는 상류측 조보다 0.5~0.9m 더 깊으며, 포획량의 15~25%를 저류할 수 있어야 한다.

(5) 조의 측면경사

조의 측면경사는 포화된 토양조건에서도 안정해야 하며, 세류 침식을 제한하고, 유지관리가 용이하며, 익사 사고에 대비해 충분히 완만해야 한다. 이를 위해서는 4:1 이상의 완만한 측면경사가 필요하다.

(6) 취수지(forebay)

유입지점 근처에 침전물의 침전을 촉진하도록 조를 설계한다. 취수지는 전체 설계 부피의 10%를 차지하며, 조의 유지관리에 도움이 되고, 조의 나머지 부분의 사용연한을 늘릴 수 있다. 안정된 진입로를 갖추고, 기계장비들이 바닥에 가라앉는 것을 방지하기 위해 콘크리트 또는 소일 시멘트를 바닥에 포설한다.

(7) 조의 유입구

대부분의 침식 및 침전물의 침전은 유입구 근처에서 발생한다. 이상적인 유입시설

은 조의 바다 및 제방의 침식을 방지하고, 침전물의 재부상을 감소시키며, 유입구 근처에서 무거운 침전물의 침전을 촉진하여야 한다.

(8) 저유량 수로

작은 유량 및 포획된 유량의 남은 부분을 유출구로 운반하기 위한 저유량수로로 설치한다.

(9) 유출구 설계

설계 배출시간 동안 설계 포획량을 배수할 수 있는 유출구를 설치한다. 도시 우수는 상당한 량의 침전성 및 부유성 고형물을 포함하고 있어 유출구가 막히기 쉬우므로 이를 고려하여 유출구를 설계해야만 한다.

(10) trash rack

유출구가 gravel pack에 의해 보호되지 않는다면, 다른 형태의 trash rack을 설치한다. geotextile filter는 다공성 유출구를 막히게 할 수 있으므로, 다공성의 유출구를 geotextile filter로 감싸서는 안된다.

(11) 제방

설계강우보다 큰 규모의 강우에 의한 파손을 방지하기 위해, 긴급 방수로 및 제방을 설치해야 한다. 긴급 방수로의 설계는 지자체의 규정을 만족해야 하며, 일반적으로 현장처리시설인 소규모의 저류지를 위한 제방은 적어도 100년 홍수로부터 보호되어야 하며, 보다 대규모의 시설은 가능최대홍수량에 대해 평가되어야 한다.

댐의 경사는 3:1보다 경사가 급해서는 안되며, 되도록 4:1 또는 그 이하의 경사로 한다. 또한 잔디밭을 조성할 필요가 있으며, 최적 함수조건에서의 최대밀도의 95 %까지 제방의 흙을 압밀해야 한다.

(12) 식생

조의 식생은 침식관리 및 침전물의 포획을 촉진한다. 지역적인 배경, 조의 설계 및 이용목적(레크리에이션 등)에 따라 토착 잔디 등을 조에 심을 수 있다. 빈번한 장기간의 침수 및 침전물의 침전으로, 조의 바닥에 건강한 식생층을 유지하기는 어렵다. 바닥 라이너의 대안으로는 습지성 바닥층, 자갈층, 강가의 초목, 키가 낮은 잡초종, 기타 조 바닥서 생존할 수 있는 식생을 적용할 수 있다.

(13) 유지관리용 진입로

취수지 및 유출구 지역으로 접근할 수 있는 차량의 이동을 위한 유지관리용 진입로를 설치한다. 진입로의 경사는 8~10%를 초과해서는 안되며, 자갈로 안정화된 잔디밭, 자갈층, 콘크리트 포장과 같은 안정한 표면을 갖추어야 한다.

(14) 다양한 이용용도

가능하면 이중목적저류지를 대규모의 홍수조절 시설 안에 결합시키고, 레크리에이션, 야생동물의 서식지, 습지와 같은 다양한 용도로 이용한다. 앞에서 설명한 다단계 조는 다양한 이용목적에 수용하는 데 도움이 된다.

(15) 안전성

대규모의 현장처리시설 및 지역처리시설의 안전성을 위해서는 제방의 구조적인 완전성 및 재해에 의한 파손으로부터 보호되어야만 한다. 위험성이 높은 지역에는 사람들의 출입을 금하고, 특히 유출구 및 인접지역은 특별한 관심을 필요로 한다. 모든 유출구의 오리피스, 파이프 및 위어에는 가시가 돋친 관목 및 안전망을 이용하는 것이 바람직하다.

2) 저류연못

- 저수지나 호소로 흘러가는 유역—유역 내 저류연못은 하류에 위치한 저수지 및 호소에서 부영양화 관리목표를 달성하는 데 도움이 될 수 있다.
- 만 또는 강 하구로 흘러가는 유역—해안지역(조수로 배수되는 내륙지역 포함)의 경우, 강 하구로 유입되는 영양물질의 부하에 대한 관심이 커지고 있다. 저류연못은 영양물질의 부하를 감소시키는데 도움이 될 것이다.

<표 5-3> 이중목적저류지와 저류연못의 제거효율의 비교

(단위 : %)

시설의 종류	TSS	T-N	T-P	납	아연	BOD
extended detention	70 ~ 80	20 ~ 30	20 ~ 50	70 ~ 80	40 ~ 50	20 ~ 40
저류연못	70 ~ 80	30 ~ 40	50 ~ 60	70 ~ 80	40 ~ 50	20 ~ 40

자료 : U.S. EPA. 1983

일반적으로 저류연못의 영구지는 이중목적저류지에 비해 지역의 기상학적 특성에 따라 2~7배에 해당하는 부피를 필요로 한다. 부피의 증가는 이중목적저류지보다 더 많은 건축물과 부지를 필요로 하게 되며, 시설의 비용은 이중목적저류지보다 50~150% 증가하게 된다. <표 5-4>에서는 미국의 Fairfax County, Virginia의 지역우수관리종합계획에 대한 설계기준을 요약하였으며, 이 지역에서의 저류연못과 이중목적저류지의 상대적인 규모의 차이를 예시하였다.

<표 5-4> Fairfax County, Virginia에서의 저류시설 조건의 비교

토지이용목적	불투수율 (%)	저류연못의 규모 (mm)	이중목적저류지의 규모 (mm)
저밀도의 단일세대	20	17.8	2.5
중간밀도의 단일세대	35	20.3	5.1
다세대 주거	50	25.4	10.2
산업/사무실	70	30.5	12.7
상업	80-90	33.0	20.3
산림/미개발	0	12.7	0.0

주) 저류연못의 조부피는 2주의 평균수리학적 체류시간에 근거하고 있다.

이중목적저류지의 부피는 초기유출량의 포획에 근거하고 있다.

나) 설계방법

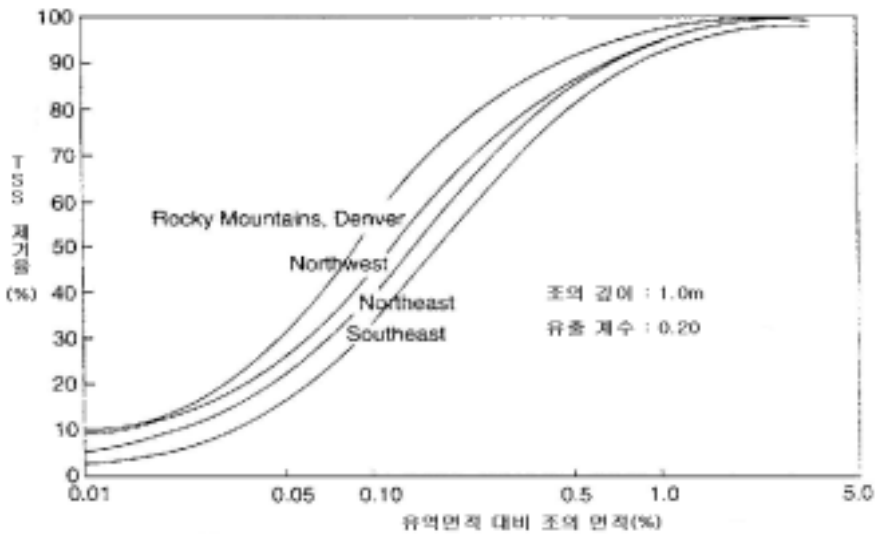
저류연못의 영구지를 설계하는 데 이용되는 두가지 방법이 있다.

- 고형물 침전에 근거한 설계방법 : 고형물 침전 이론에 의지하고 있으며, 모든 오염물질의 제거는 침전으로 인해 이루어진다고 가정한다.
- 호소 부영양화 모델에 근거한 설계방법 : 주요 영양물질 제거기작을 근거로 하여 저류연못의 규모를 결정한다.

(1) 고형물 침전에 근거한 설계방법

고형물 침전에 근거한 설계방법은 총부유침전물과 고형물에 부착된 오염물질의 제거가 주요목적인 경우 적합하다. 이 방법에서는 저류연못 내의 흐름을 plug flow로 가정하고 모든 오염물질의 제거는 침전으로 이루어진다고 가정한다.

이 설계방법에 근거한 저류연못 설계곡선(저밀도의 단일세대 거주지역의 경우)을 <그림 5-4>에 나타내었다. 다른 토지이용의 경우 개별적인 설계곡선이 개발되어야만 한다. 이 설계곡선은 영구지의 크기에 따라 총부유침전물의 평균제거율을 나타낸 것이다. 여기에서 영구지의 크기는 집수지역에 대한 영구지 표면적의 비로 표현되며, 영구지의 평균깊이는 거의 1m라는 가정에 근거하고 있다.



<그림 5-4> 고형물 침전 모델에 대한 설계곡선(U.S. EPA, 1986)

이 방법에서 영구지의 부피는 12시간의 배출시간에 근거하며, 또한 영구지 위에 최대유출량과 동일한 용량의 잉여저류용량을 설치하는 것이 바람직하다. 그 다음 유출구의 설계는 12시간 안에 잉여저류용량을 배출하도록 설계한다. 이와 같은 설계는 오염물질 제거효율을 상당히 개선시키고 영구지 위에 잉여저류용량을 갖추지 못한 조에서 종종 관찰되는 단회로 문제를 제거할 수 있다.

(2) 호소 부영양화 모델에 근거한 설계방법

이 방법은 저류연못을 소규모의 부영양호로 가정하여, 저류연못의 설계에 호소부영양화의 영향을 평가하기 위하여 개발된 경험적 모델을 적용하는 것이다. 이 설계방법을 이용하여 영양물질의 제거율을 달성하기 위한 저류연못의 크기를 결정할 수 있다. 일반적으로 영양물질 제거를 만족하는 저류연못은 또한 다른 오염물질의 제거도 만족하므로, 설계절차에서 영양물질 외에 다른 오염물질을 다룰 필요는 없다. 또한 앞에서 설명한 것처럼, 영양물질 제어가 주요 수질관리 목표가 아닌 경우 대규모의 저류연못은 비용-효율적이지 못하다.

호소 부영양화 설계모델은 Walker(1985, 1987)에 의해 개발된 인 저류계수 모델(phosphorus retention coefficient model)이 이용된다. 대부분의 호소 부영양화 모델과 같이, 이 모델은 영구지를 완전혼합시스템으로 간주하고, 개개의 강우와 관련된 시간변동을 고려할 필요가 없다고 가정한다. 개개의 강우에 따른 시간변동을 설명하는 고품물 침강모델과는 달리 Walker 모델은 연간 유량 및 부하량에 기초하고 있다.

이 모델은 다음 두 식에 기초한다.

$$K_2 = \frac{0.56 \cdot Q_s}{F \cdot (Q_s + 13.3)} \quad (5.5)$$

K_2 = 2차 부패율($\text{m}^3/\text{mg} \cdot \text{year}$)

Q_s = Z/T 평균월류율(m/year)

Z = 조의 평균깊이(m)

T = 수리학적 평균체류시간(year)

F = 유입수 내 (ortho P)/(total P)의 비

$$R = 1.0 - \frac{1.0 - \sqrt{1.0 + (1.0 + 4N)}}{2N} \quad (5.6)$$

R = 총 P 저류계수(즉, 처리시설 효율)

$N = K_2 \cdot P_T \cdot T$

P_T = 유입수 내 총인($\mu\text{g}/\text{L}$)

이 모델은 Walker에 의해 10개소의 NURP 부지와 14개소의 다른 저류연못과 소규모 호소에 대해 적용되었다.

총인에 대한 평균제거율에 대해, 수리학적 평균체류시간 T와 함수관계인 영구지의 저류부피 V_B 를 계산한다. 평균체류시간(T)은 영구지의 부피(V_B)를 평균강우유출량(V_R) 및 연간 총유출회수(n)로 나누어 계산될 수 있다. 즉, $T = V_B/(V_R \cdot n)$ 이다. 평균깊이 1.0~2.0m인 조에 대해 평균체류시간이 2~3주인 경우, 총인에 대한 최적제거율이

거의 50%에 이른다는 사실이 현장연구로부터 지적되었다. 미국 동부지역의 경우, 평균체류시간의 최적범위는 4~6인 V_B/V_R 의 비에 해당하였다. 2~3주 이상의 평균체류시간을 갖는 저류연못은 수온성증현상과 바닥의 혐기성화로, 바닥의 침전물로부터 영양물질의 재용출의 위험이 있을 수 있다.

다) 저류연못의 구성

소형(배수면적 < 23ha)과 대형(배수면적 = 45~140ha) 저류연못의 주요 설계항목에 대한 수리, 수문학적 세부사항은 다음과 같다.

<표 5-5> 저류연못의 설계인자

구 분	소형(현장설치규모)	대형(지역적 규모)
용 량	강우유출수의 3배 이상	강우유출수의 3배 이상
표 면 적	100m ² 이상	12,000~20,000m ² 이상
배수면적	8-10ha 이상	40~120ha
측면경사	5 : 1~10 : 1(수평:수직)	5 : 1~10 : 1(수평:수직)
길이 : 폭	3 : 1 이상	3 : 1 이상

(1) 영구지의 깊이

영구지의 평균깊이는 저류용량을 표면적으로 나눴으로서 구할 수 있다. 조의 깊이는 호기성 조건을 확보하고 수온성증현상을 방지하기 위해 충분히 알아야 한다. 그러나 과도한 조류번식의 방지와 침전된 오염물질의 재부상을 방지할 수 있도록 충분히 깊어야 한다. 영구지의 수심은 정수식물의 성장을 방지하기 위하여 햇빛의 침투깊이보다 깊어야 한다. 즉 2~2.5m 정도 되어야 한다.

0.8ha이상의 수표면을 가진 조의 경우 바람에 의한 침전물의 재부상을 방지하기 위해서는 최소수심은 2.0m 이상이며, 동절기 어류의 생존을 위해서는 최소 1.8m 이상의 수심이 되어야 한다. 또한 수온성증현상을 방지하기 위해서는 최대 수심이 3~4m 이하여야 한다.

(2) 호안선에 대한 사면의 경사와 식생

유지관리를 용이하게 하고 미끄러짐에 대한 위험성을 감소시키기 위하여 저류연못의 호안선을 따라 위치한 사면의 경사는 4:1 이하로 하여야 한다. 또한 호안선 주변에서의 정수식생의 성장을 촉진하고 사람들의 접근을 막기 위하여 영구지의 주변지역에 연안지대를 조성해야 한다. 영구지 주변의 정수식생은 침식을 방지하고, 도시 우수 유출수 내 용존성 영양물질을 제거하고, 부유성 조류의 형성을 감소시킬 수 있으며, 수중 생물 및 습지에 사는 야생동물의 서식지를 제공하는 역할을 한다. 정수식생의 조성을 위한 화분대는 0.15~0.45m의 수심으로 적어도 폭이 3m 이상 되어야 한다. 수중 화분대의 총면적은 영구지 수표면의 25~50%가 되어야 한다.

(3) 영구지 위에 위치한 잉여저류용량

영구지 위의 잉여저류용량에 저류된 유출수는 유출시설을 통해 특정시간 동안 배출된다. 이와 같은 잉여저류용량의 설치는 단회로 현상을 감소시키고 총부유침전물의 침전을 보강할 목적으로 이용된다. 고형물침강 분석의 결과, 최소체류시간이 2주이고 V_B/V_R 의 최소비가 4인 조건에서, 영양물질 제거를 위해 규모가 정해진 저류연못은 80~90%의 총부유침전물 제거율을 달성할 수 있는 것으로 나타났다. 영구지 위에 잉여저류용량을 추가한다고 해서 총부유물침전물의 제거율의 상당한 증가를 나타내지는 않는다. 그럼에도 불구하고, 잉여저류용량은 V_B/V_R 이 2.5 이하인 경우 권장되고 있다.

(4) 최소 및 최대집수면적

건기동안의 과도한 저류시간 및 영구지의 심각한 수위저하를 방지하기 위한 충분한 기저유량을 확보하기 위해 최소배수면적이 필요하다. 최소배수면적을 결정하는데 이용할 수 있는 지역의 경험이 없는 경우, 건기동안 조를 만수위로 유지하는 데 필요한 기저유량을 계산하기 위해, 지역의 유출, 증발산, 투수율, 기저유량에 대한 자료를 이용하여 물질수지의 계산을 수행하여야 한다.

우수에 대한 상류지역 수로의 침식을 감소시키고, 하천 및 습지에 대한 영향을 감소시키며, 대중의 안전성을 확보하기 위해 최대집수면적을 정해야 한다. 최대집수면적의 결정에 있어 지역의 경험의 유용할 것이다. 예를 들면, 미국 남동부 지역의 경우 최대집수면적은 지역의 불투수율에 따라 40~120 ha로 제한된다. 불투수율이 높은 집수지역은 최대집수면적이 낮은 값으로 제한되고, 불투수율이 낮은 집수지역은 최대집수면적이 커진다.

(5) 조의 기하학적 배치

상대적으로 큰 길이:폭의 비는 단회로 현상을 감소시키고, 침전을 강화하는 데 도움이 되며, 영구지 성층현상을 방지하는 데 도움이 된다. 영구지에서 길이/폭의 최소 비는 2 이상이 권장된다. 유입구에서 유출구까지의 이동시간을 극대화하기 위하여 영구지는 조의 유입구부터 점차 넓어져야 하며, 유출구를 향해 점차 좁아져야 한다. 조 안에 배플 또는 섬을 설치하는 것은 유체의 이동경로를 증가시키고 단회로 현상을 감소시킬 수 있다.

(6) 토양의 투수성

건조기 동안에 과도한 수위저하를 방지하기 위해, 저류연못의 경우 높은 투수성의 토양은 허용되지 않는다. 투수성 토양의 경우 투수율을 최소화하기 위해, 0.3m 두께의 바닥층 토양을 갈아 엮어 압밀하거나, 점토를 토양에 혼합하거나 또는 인공 라이너를 설치하여야 한다. 또한 지하수면까지 영구지를 굴착하여 조의 수위저하를 방지할 수 있으나, 지하수위의 계절에 따른 변동을 고려할 필요가 있다.

(8) 침전지

영구지 내 청소 및 유지관리 빈도를 감소시키기 위하여, 굵은 침전물입자를 포획할 수 있는 침전지가 유입구 근처에 설치되어야 한다. 침전지의 저수용량은 영구지의 저수용량의 10% 정도로 한다. 침전물의 제거를 용이하게 하기 위하여 기계장비 출입을 위한 진입로를 설치해야 한다.

(9) 유입구 및 유출구 시설

유입구는 유체의 에너지를 소산시키고, 취수지 또는 영구지로 유입될 곳의 유입 흐름을 분산시켜야 한다. 저류연못의 유출구는 일반적으로 막힘현상에 주의하여 설계되어야 한다. 저류연못이 홍수조절용 저류지의 일부분인 경우, 유출구는 홍수조절 목적에 맞게 설계되어야 한다. 조의 제방을 보호하기 위하여 인정된 엔지니어링 기법을 활용하여 긴급 방수로로 설계하고 설치해야만 한다.

유출구 부근의 수로는 침식을 유발할 수 있는 과도한 유속을 피하여야 한다. 이를 위한 방안으로 수로의 유출수보호 시설, 감세공의 설치, 저지댐의 설치 등 유출구에서의 유속을 낮출 수 있는 장치를 설치해야 한다.

3) 인공습지

인공습지의 활용한 우수유출수의 처리효율은 매우 우수한 편이다. 미국 내 여러 습지의 도시유출수의 처리성능은 부유물질 제거율의 범위는 40~96 %, 평균제거율은 87%로 조사되었다. 다음은 습지의 설치와 관련된 사항이다.

가) 습지의 설계

(1) 일반적인 고려사항

습지 조성을 위한 부지의 조건은 습지의 적절한 설계에 매우 중요하다. 부지의 주요특성으로는 토양, 수문특성, 식물의 종 및 밀도를 포함한다. 건기시 습지가 마르는 것을 방지하기 위한 최소 유량의 확보가 필요하다. 습지 내 정체된 물은 하부 토양을 혐기성 상태로 만들어 습지 바닥에서 암모니아, 인 및 중금속을 용출시킬 우려가 있으며, 또한 정체된 물은 악취 발생 및 유해 곤충 문제를 발생시킨다. 습지의 최대침수의 깊이 및 지속기간은 식생을 사멸시킬 수도 있기 때문에 중요하다.

(2) 수리학적 설계

습지에 대해 아래의 수리학적 설계기준이 권장된다.

- 조성된 식생의 종류에 따라, 유출장치를 이용하여 습지의 건기 수심을 0.1~1.2m 사이로 유지한다. 침전물을 완전히 말리기 위하여 유출장치는 정기적으로 습지의 수위를 낮출 수 있도록 설계되어야 한다.
- 우기시 습지의 저류부피는 이중목적저류지와 같은 방법론(단, 건기수심 0.6m 이상)으로 결정한다.
- 유입장치는 유입흐름이 가능한 습지 전체에 걸쳐 고루 분산되도록 설계한다.
- 유출장치는 수표면의 조절이 가능하고, 유출부의 막힘현상을 방지할 수 있도록 설계한다.
- 햇빛에 노출된 수표면이 전체 습지면적의 50% 이하여야 한다. 햇빛에 노출된 수표면의 수심은 저류연못 내 영구지의 최대수심에 대한 규칙을 따라야만 한다.

(3) 습지의 구성

인공습지의 부지선정 및 구성은 인접한 토지의 이용목표, 우수유출수의 규모 및 집수시스템의 종류에 달려 있다. 인공습지의 구성에 따른 지형 및 식물 종류의 변화는 보다 적합한 야생동물의 서식지를 만들 것이다.

<그림 5-5>에서는 우수유출수 처리를 목적으로 설계된 이상적인 습지를 보여주고 있다. 이상적인 습지의 형태는 반대편의 끝부분에 유출구 및 유입수를 갖춘 타원형이며, 타원형 형태가 가능하지 않은 경우 유출구 및 유입구를 가능한 한 멀리 떨어뜨릴 수 있는 형태가 바람직하다. 습지 구성은 유입수와 습지 표면의 접촉시간을 증가시키고, 유입수가 단회로 현상을 일으키지 않도록 하여야 한다. 이를 위해서는 조의 형태를 가능한 길게 하는 것이 바람직하다. 습지의 길이/폭의 비는 최소 2이상이 되어야 한다.

취수지는 습지의 유입부에 설치하여 유입수가 습지 내로 유입하기 전에 비교적 큰 입자들을 침전시키는 역할을 한다. 또한 취수지에는 유입구 근처에 배플을 설치하여 유입수가 전체 습지로 균등하게 퍼지도록 하는 역할을 한다.

유출구는 창발성 식생의 성장을 막고 유출구의 막힘을 방지하기 위해 비교적 수심

나) 습지의 건설

습지 구성에 이용되는 토양은 건조기간 동안 수분보유능력의 확보와 영양물질의 공급을 위해 유기질 토양의 사용이 바람직하다. 가능하다면, 이전한 습지에서 발생된 토양을 비축하여 인공습지에서 사용하는 것이 좋다. 이전한 습지의 흑니토(黑泥土)는 뿌리번식체, 씨앗 및 기타 무척추동물의 공급원이 되며, 표토 또는 토탄이 습지의 흑니토를 대신하여 이용될 수 있다. 흑니토 및 유기질 층은 0.1~0.3m의 두께가 적절하며, 0.3m이상의 두께는 흑니토의 성토 및 식재를 어렵게 한다.

식생의 구성이 안정화 될 때까지는 가능하다면 새로 조성된 인공습지의 담수를 제어하는 것이 좋다. 식생의 조성은 물이 포화된 상태에서 가장 효율적일 수 있으나, 완전히 정착되지 않은 식생의 경우 물에 떠오를 위험이 있다. flash-board riser 및 조절이 가능한 수문은 습지의 건설기간 동안 수위를 조절할 수 있으나, 수위조절이 불가능한 경우, 습지 식물을 현장에 식재하기 전에 묘목장에서 침수에 순응시켜야 한다.

흑니토 및 뿌리덮개흙 성토 후, 일주일 동안 토양을 포화상태로 유지하여, 씨앗 및 번식체의 발아를 촉진할 수 있도록 한다. 습지를 약 2주 동안 0.15m의 수심으로 침수시켜, 육상식물종을 선택적으로 제거할 수 있다. 흑니토 및 뿌리덮개흙 성토 후, 3주가 경과한 후 습지를 설계수위까지 채운다.

다) 모니터링

인공습지에 대한 모니터링을 통해 바람직한 식물종이 식생지역에 적절히 적용되었는지 확인한다. 습지 완공 후, 첫 1년간은 분기마다, 2~3년간은 반년마다, 4~5년간은 1년마다 모니터링을 수행해야 한다.

습지의 모니터링시 주요 항목은 다음과 같다.

- 식재된 식물종의 생존율(%) : 대규모 습지의 경우 부차표본을 이용하여 생존율을 정량화한다.
- 식재된 식물종 및 바람직한 식물종의 적용범위(%)
- 바람직하지 않은 식물종의 적용범위(%)

- 야생식물의 이용
- 수질의 정성적인 평가

식물종의 생존율을 85% 이상으로 유지하기 위해서는 재식재가 유용할 것이다. 유해 식물종이 습지 면적의 10% 이상을 차지하고 있다면, 제거를 통한 유지관리가 필요하다.

라) 유지관리

습지의 3가지 주요 유지관리 영역은 재식재, 유해 종의 제거, 침전물의 굴착이다. 습지의 다양한 수위에 적합한 식물종의 조정이 필요하며, 습지의 수위조절을 통해 습지식물의 생존율을 증가시킬 수 있다.

유해 종의 제거는 인공습지의 기능과 가치를 향상시킬 것이다. 영양물질의 제거를 위하여 습지식물을 수확하는 것을 고려할 수 있으나, 포획된 침전된 침전물질을 재부상시킬 우려가 있다.

나. 침투형 시설

지역적 상황이 허용된다면 도시 우수유출수의 일부는 침투를 통해 제거될 수 있다. 우수유출수는 저습지, 완충지대, 투수성 포장, 침투지, 침투트렌치를 통해 토양으로 침투할 수 있다. 도시지역의 비점오염원 저감 및 급격한 우수유출로 인한 홍수피해의 저감을 위해서는 지역의 불투수율을 최소화하는 것이 바람직하다.

지역의 불투수율의 최소화는 불투수지역을 감소시키고, 지붕의 낙수홈통을 측구 및 연석 대신에 잔디 지역으로 향하게 하고, 식생수로 및 식생여과대를 이용하고, 가급적 다공성 포장블럭을 이용하며, 침투지역으로 향하는 지표면의 경로의 길이를 최대한화함으로써 달성될 수 있다.

현장침투는 침투지와 침투 트렌치의 이용을 통해 달성될 수 있으며, 이러한 시설은 양호한 지표 및 지하 배수를 제공하도록 설계된다. 개인의 빌딩부지 및 소규모의 도시집수지(즉 단일세대 거주지역의 경우 4ha 까지, 상업지역의 경우 2ha까지)로부터

발생한 우수유출수를 제어하기 위하여 사용되는 경우, 현장관리방식이 바람직하다.

우수침투시설은 강우유출수의 지하로의 침투시 설계유량을 충분히 지하로 배수하지 못하는 등의 문제를 유발하기 쉽다. 이런 경우 침투지 또는 침투트렌치 내에 오랜 기간동안 물이 껴어 있는 현상이 일어나며, 후단에 위치한 우수관련 시스템 및 방류수역에는 유출속도와 유출량의 증대로 인해 오염물질의 부하량이 증가하게 된다.

침투지와 침투트렌치는 다공성의 토양, 적합한 지하수조건을 갖춘 부지에서만 사용할 수 있으며, 다음과 같은 장점이 있다.

- 지하수의 함양
- 지하수가 고갈된 지역에서의 지반침하 감소
- 지역 식생의 보호 및 강화
- 방류수역으로 운송되는 오염물질 부하를 감소
- 우수관거의 규모축소가 가능

그러나 우수 침투시설의 설치에 대한 다음과 같은 반대의 견해도 있다.

- 우수유출수 중 침전물 및 기타 고형물에 의해 침투지의 표면이 막히게 되어, 문제를 유발 할 수 있다.
- 개인 소유의 침투시설은 적합한 유지관리가 잘 되지 않는다.
- 우수침투시설에 의해 지역적인 지하수위 상승을 유발하여 시스템을 고장나게 할 수 있으며, 근접한 건물을 손상시킬 수 있다.
- 문제 발생시, 재설치에 많은 비용이 소요된다.
- 공장 및 상업지역에서 사용할 경우 지하수의 수질을 떨어뜨릴 수 있다.

침투시설의 설계시 다음과 같은 설계침투량 및 용설수에 대한 고려가 필요하다.

■ 설계 침투량

침투시설에 도달하는 지표유출수의 양은 유역의 규모 및 불투수율, 강우 및 용설수의 특성, 정원에서야의 살수, 세차 등의 요소에 의해 영향을 받는다. 이중에 우수유출수 및 용설수에 의한 유출이 설계의 가장 중요한 고려사항이다. 침투지의 설계규모는 앞서 언급한 식 5.2를 이용하여 산정할 수 있으며, 배출시간은 12시간을 기준으로한다.

■ 융설수

불투수지역이 거의 없고 투수지역인 대부분인 지역의 경우는 융설수가 침투시설의 규모를 결정한다. 극단적인 상황에서 융설율은 시간당 4mm의 유출에 해당할 수 있다. 융설율은 불투수 지역의 경우 1.0mm/h, 투수성 지역의 경우 0.5mm/h를 적용할 수 있으며, 가능하다면 지역 특성에 적합한 융설율을 산정하여 이용한다.

1) 침투지

가) 부지 선정방법

다음의 경우 우수침투를 위한 부지선정에서 제외된다.

- 최대 지하수위가 침투지 표면 아래 1.2m 이하인 경우
- 기반암 및 불투수성의 토양층이 침투지 표면 아래 1.2m 이내에 위치한 경우
- 침투지 표면이 매립지 또는 압밀된 토양의 상부에 위치한 경우
- 지표면 및 하부의 토양이 RCS(resource conservation service)의 토양분류 C 또는 D인 경우거나, 포화된 지표면의 침투율이 7.6mm/h이하인 경우

예비 심사과정에서 부지가 적합하다고 판단되면 그 다음에 침투지의 면적과 우수 저류량을 결정하여야 한다. <표 5-6>에 의하면 개발지역 내 모든 침투지역의 표면적은 불투수지역 면적의 절반 이상이어야 한다.

다음은 1.0ha 면적의 지붕에서 발생한 우수유출수를 처리하기 위한 침투지의 부지 평가에 대한 분석의 예이다. 침투지는 2.0ha 면적과 0.2% 경사의 새로이 잔디가 식재된 지역이다. 상부토양은 일반적인 부식질 토양이며, 하부토양은 대부분 거친 실트로 구성되어 있다. <표 5-6>에 제시된 평가점수 시스템을 이용한 결과는 아래와 같다.

- 침투지의 면적은 불투수지역의 면적보다 2.0배 크다($A_{INF} = 2.0 A_{IMP}$) = 10점
- 상부 토양층은 일반적인 부식질 토양이다. = 5점
- 하부토양층은 거친 실트이다. = 5점
- 침투지의 경사는 0.002이다. = 5점
- 침투지의 식생은 새로이 조성된 잔디이다. = 0점

- 잔디밭은 평균적인 도보량 상태를 갖는 것으로 기대된다. = 3
- 이 부지는 총 28점의 점수를 받았다. 따라서 평균 이상의 후보부지인 것으로 판단된다.

나) 침투지의 구성

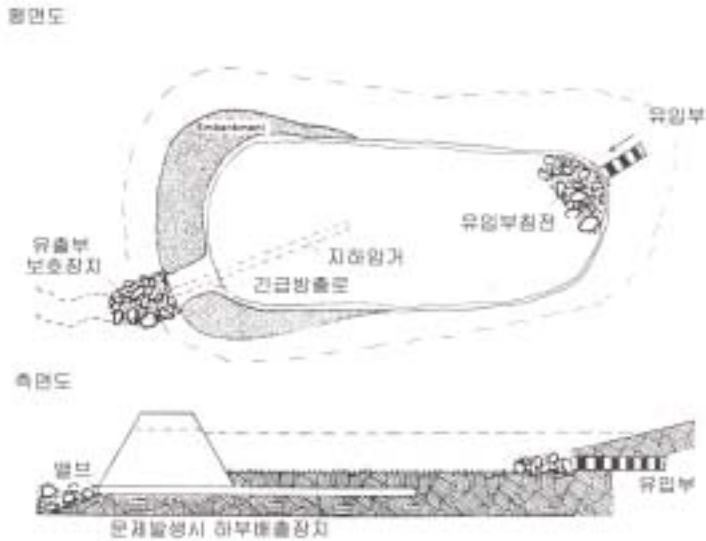
침투지는 침투지 바닥을 통해 짧은 시간 내에 유출수를 배출해야 하며, 그렇지 못하면 수렁상태가 되어 침투지 바닥의 식생은 사멸하게 될 것이다. 6시간 이내에 설계 포획량을 침투시키도록 침투지의 표면적을 결정하며, 침투지의 최대수심은 가능한 얕도록 설계한다. 이상적인 침투지 설계강우 동안에 0.3m 이상의 수심을 발생시키지 않아야 하며 초과량은 침투지를 월류하거나 또는 우회하게 한다. 침투지에서 이용가능한 토양 공극부피는, 침투지 수심 0.3m에 대해 침투지 하부의 지하수수심을 0.9~1.2m까지 확장할 것이며, 이 물은 측면으로 배출된다.

그러나 하부층 토양의 투수계수가 낮은 경우에는, 침투지 아래에서 지하수 마운드를 형성할 수 있는 유출은 거의 없을 것이다. 대부분의 토양의 경우 지하수 마운딩은 측면 방향의 배출이 느리게 일어나서, 지하 수위가 상승하여 침투지의 결함을 유발할 수 있다. 개발지역 전역에 분산된 많은 침투지를 이용하여 지역의 수문상황을 개발전의 상태에 보다 가깝게 재현할 수 있다. 따라서 모든 부지의 유출수를 하나의 침투지로 집중시키는 것 보다는 개발지역 전역에 걸쳐 많은 수의 소규모 침투지를 설치하는 편이 좋다. 식생의 조성은 장기간의 건조기간 및 장기간의 침수에도 생존할 수 있는 잔디로 모든 침투지 표면에 조성한다.

<표 5-6> 잠재적인 침투지역의 평가를 위한 점수 시스템

부지 조건	평가점수
침투지 면적(A_{INF})에 대한 지류의 불투수지역 면적(A_{IMP})의 비	
$A_{INF} > 2 \cdot A_{IMP}$	10 점
$A_{IMP} < A_{INF} < 2 \cdot A_{IMP}$	5 점
$0.5 \cdot A_{IMP} < A_{INF} < A_{IMP}$	0 점
투수지역 면적이 불투수지역 면적의 1/2보다 작은 경우는 후보부지로 부적합하다.	
지표면 토양층의 종류	
낮은 유기물질 함량을 가진 거친 토양	7 점
일반적인 부식질 토양	5 점
높은 유기물질 함량을 가진 고운 입자의 토양	0 점
하부토양	
하부토양이 지표층의 토양보다 입자가 거친 경우, 하부토양에 대해 상기된 지표면 토양층에 주어진 점수와 같은 점수를 할당한다.	
하부토양이 지표층의 토양보다 입자가 작은 경우는 아래의 점수를 이용한다.	
자갈, 모래 및 자갈로 구성된 빙하토의 모래	7 점
실트질 모래, loam	5 점
고운 실트, 점토	0 점
침투지 부지의 경사도	
$S < 0.007\text{m/m}$	5 점
$0.007 < S < 0.020\text{m/m}$	3 점
$S > 0.020\text{m/m}$	0 점
식생의 범위	
양호한 자연 식생층	5 점
잘 조성된 잔디층	3 점
새로 조성된 잔디층	0 점
식생이 없는 대지	-5 점
침투지에 대한 교통량의 정도	
도보 출입 금지	5 점
평균적인 도보량(공원, 잔디밭)	3 점
매우 많은 도보량(운동장)	0 점

자료 : Urbonas, B.R., and Stahre, P. 1993.



<그림 5-6> 침투지의 구조

(1) 유출부 보호장치와 침전축진장치

유입강우의 속도를 감소시키고 침식물의 침전을 촉진시키는 시설을 설치하고, 강우유출수에 의한 조바닥의 침식을 방지하여야 한다. 유입되는 침전물을 포획하기 위해 유입부 부근에 설치된 침전축진장치는 침전물의 침전 및 유입되는 강우유출수 속도를 감소시켜 조의 침식을 억제하는 효과가 있어 침투지의 수명을 연장시키게 된다.

(2) 표면적과 조의 깊이

크고 얇은 조가 작고 깊은 조에 비해 침투효과가 좋으며 조의 바닥에 1~2%의 경사로를 두어 지표하 배수시설에서의 배수를 촉진시키도록 한다. 배수시설은 지하수 위로부터 최소한 1.2m 상부에 있어야 한다.

(3) 완충지대

조의 하단부로부터 최소한 7~8m 정도의 식생수로 또는 식생완충대 형식의 완충지대를 조성하여 조 주변의 침식을 막고 강우유출수내 오염물질이 하천으로 유입되는 것을 방지한다.

(4) 식생

침수에 잘 견디는 식생을 조 바닥과 측면경사부에 밀도있게 자라도록 관리하여 조의 침투용량 및 용해성 영양물질의 제거효과를 향상시킬 수 있도록 한다.

(5) 조경사

조 바닥의 경사는 조내에 균일하게 유입수가 채워지도록 0에 가깝게 유지시킨다. 만약 조가 기울어졌거나 낮은 부분이 있으면 강우유출수가 그 부분에 고여 오랫동안 젖은 상태가 되고 결국 오랜 시간이 흐른 후에는 침전물로 막히게 되므로 조 바닥 면적의 손실을 가져와 강우유출수의 처리에 지장을 주게 된다.

(6) 최대배수시간

조내 침투를 위한 최대 저장깊이는 설계침투량이 3일내에 토양으로 완전히 배수되도록 조절되어야 한다. 우수가 3일이상 체류하게 되면, 침투지 토양층이 혐기화되어 오염물질 제거능이 감소할 우려가 있다.

(7) 최소배수시간

강우유출수의 오염물질의 효율적 제거를 위한 침투지의 최소 배수시간은 6시간이며, 이보다 짧은 경우에는 오염물질 제거효율면에서 바람직하지 못하다.

다) 침투지 규모의 결정

침투지는 우수유출수가 침투지로 유입되는 것만큼 빠르게 우수를 지하로 전달할 수는 없으므로, 침투지의 표면 위에 임시적으로 초과된 유출수를 저장할 수 있는 저류량을 필요로 한다. <표 5-7>은 전형적인 토양분류에 대한 침투율을 나타내고 있다. 그러나 실제 침투지의 설계시에는 각각의 부지에서 토양침투시험을 수행하여, 가장 낮은 침투율을 보이는 측정값들의 평균값을 이용하는 것이 좋다. 또한 침투율은 침전물이 침투지의 표면에 축적됨에 따라 점차 감소하므로, 지역의 토양이 높은 표면 침투율을 나타내는 경우에도, 침투지의 최대 설계침투율은 50mm/h 이상을 초과하여서는 안된다.

<표 5-7> 다양한 토양분류에 따른 전형적인 침투율

Soil Conservation Service의 분류	전형적인 토양의 종류	포화침투율	
		mm/h	in./hr
A	sand	200	8.0
A	loamy sand	50	2.0
B	sandy loam	25	1.0
B	loam	12.7	0.5
C	silt loam	6.3	0.25
C	sandy clay loam	3.8	0.15
D	clay loam and silty clay loam	<2.3	<0.09
D	clay	<1.3	<0.05

주) 최소허용침투율은 7.6mm/h이며, 이 보다 낮은 투수율의 부지는 이용되어서는 안된다.

침투지의 저류량은 다음 식을 이용하며 다음을 가정한다.

- 12시간의 배출시간에 근거한 최대우수포획량을 계산한다
- 0.3m의 최대저류수심을 이용하여 침투지의 표면적을 추정한다.
- 토양의 침투율을 침투지의 표면적과 곱하여 총침투율을 구한다.
- 저류량이 6시간 이내에 배수될 수 있는지 확인하며, 그렇지 않다면, 저류량이 6시간 이내에 배수될 때까지 침투지의 표면적을 증가시킨다.
- 마지막으로, 침투지의 면적이 융설수를 다루기 위하여 증가되어야 하는지 검토한다.

$$P_0 = (a \cdot C) \cdot P_6 \quad (5.7)$$

여기서, P_0 = 최대저류량(mm)

a = 배출시간을 고려한 회귀상수(<표 5-2> 참조)

C = 유역의 유출계수

P_6 = 유역의 평균강우량(mm)(최소 2.5mm이상의 강우에 대해서 평균)

다음은 22,200m²의 집수지역을 가정한 침투지의 설계 예이다. 이 집수지역은 포화 침투율 25mm/h의 sandy loam 토양에 위치해 있다. 이 지역의 평균강우량은

12.7mm이고, 침수지의 불투수율은 44 %이다(즉, 유출계수 $C = 0.3$).

식 5.7과 <표 5-2>을 이용하여, 12시간 배출시간에 대한 저류조의 최대용량을 구하면 아래와 같다.

$$P_0 = 1.109 \times 0.3 \times 12.7 = 4.2 \text{ mm}$$

그 다음 설계저류량은 다음과 같다.

$$V_{wQ} = 4.2 \text{ mm} \times 22,200 \text{ m}^2 \div 1,000 = 93 \text{ m}^3$$

수심을 0.3m로 제한하면, 침수지의 표면적은 310 m^2 이다. 총 침투율은 아래와 같다.

$$Q_{\text{out}} = 310 \text{ m}^2 \times 25 \text{ mm/h} \div 1,000 = 7.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

위 식에서 계산된 총침투율 $7.8 \text{ m}^3/\text{hr}$ 은 설계저류량을 배수하는데 12시간이 소요된다. 저류량이 6시간 이내에 배수되도록 하기 위해서는 침투지의 표면적을 2배(720 m^2)로 증가시켜 총 침투율을 $15.6 \text{ m}^3/\text{hr}$ 로 증가시켜야 한다. 여기서 산출된 침투지의 면적은 전체 침수지역의 3%만을 차지한다.

다음은 침투지가 장기간의 융설기간에 대처 할 수 있는 지를 검토한다. 융설율을 0.7 mm/h 로 가정하면, 이 구역에서의 총 융설율은 $15.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 이다. 이 값은 설계침투율인 $15.6 \text{ m}^3/\text{h}$ 보다 작으므로, 침투지의 규모에 대한 추가적인 조정은 필요치 않다.

2) 침투 트렌치

가) 부지의 평가

침투 트렌치의 부지 선정시 다음의 경우는 부지 선정에서 제한한다

- 지하수위가 침투 트렌치의 바닥 아래 1.2m 이하인 경우
- 기반암 및 불투수성의 토양층이 침투 트렌치의 바닥 아래 1.2m 이내에 위치한 경우
- 침투 트렌치가 매립지 또는 압밀된 토양의 상부에 위치한 경우
- 지표면 및 하부의 토양이 RSC(Resource Conservation Service)의 토양분류 C 또는 D인 경우거나, 침투 트렌치의 포화 투수계수가 7.6 mm/h 이하인 경우

Darcy(식 5.8)의 법칙을 통해 물이 침투 트렌치의 측면을 통해 지하로 침투할 수 있는 유속을 추정할 수 있다.

$$U = K \cdot I \quad (5.8)$$

여기서, U = 유속(m/s)

K = 투수계수(m/s)

I = 동수구배(m/m)

시설의 바닥은 지하수 수위 위에 위치해야 하므로, 동수구배 $I = 1.0$ 이라고 가정하며, 침투 트렌치에 근접한 토양의 투수계수를 결정한다. <표 5-8>에서는 일반적인 토양의 투수계수의 범위를 나타내고 있다. 최종설계를 위해서는 지역-특성적인 투수계수 시험을 수행하고, 현장에서 측정된 현장투수계수 중 가장 낮은 값을 이용하는 것이 바람직하다. 침투 트렌치는 건설하는 데 많은 비용이 소요되며 특히 재건축시 더 많은 비용이 소요된다.

<표 5-8> 토양종류에 따른 투수계수

토양종류	투수계수	
	ft/sec	m/s
gravel	$3.3 \times 10^{-3} \sim 3.3 \times 10^{-1}$	$10^{-3} \sim 10^{-1}$
sand ^a	$3.3 \times 10^{-5} \sim 3.3 \times 10^{-2}$	$10^{-5} \sim 10^{-2}$
silt	$3.3 \times 10^{-9} \sim 3.3 \times 10^{-5}$	$10^{-9} \sim 10^{-5}$
clay(saturated)	$<3.3 \times 10^{-9}$	$<10^{-9}$
till	$3.3 \times 10^{-10} \sim 3.3 \times 10^{-6}$	$10^{-10} \sim 10^{-6}$

주) 우수 침투에 대한 최소허용 투수계수는 2.0×10^{-2} m/s(6.5×10^{-5} ft/sec)이다.

자료 : American Society of Civil Engineers. 1998.

나) 침투 트렌치의 구성

침투 트렌치의 저류용량은 트렌치 충전물질의 공극부피를 사용한다. <표 5-9>에 전형적인 트렌치 충전물질의 공극율을 나타내었다. 트렌치의 바닥은 설치 후 곧 막히게 되는 경향이 있어 트렌치의 바닥은 불투수성으로 고려되며 모든 물은 오직 벽을 통해

서 침투된다고 가정한다. 일반적으로 길고 깊은 트렌치가 효율적이다. 트렌치의 최대 깊이는 트렌치 벽의 안정성, 높은 지하수 수위 및 불투수층까지의 깊이에 의해 제한된다. 일반적인 트렌치의 규모는 폭 1m, 깊이 1~2m이다.

<표 5-9> 침투트렌치에 일반적으로 이용되는 재질의 공극율

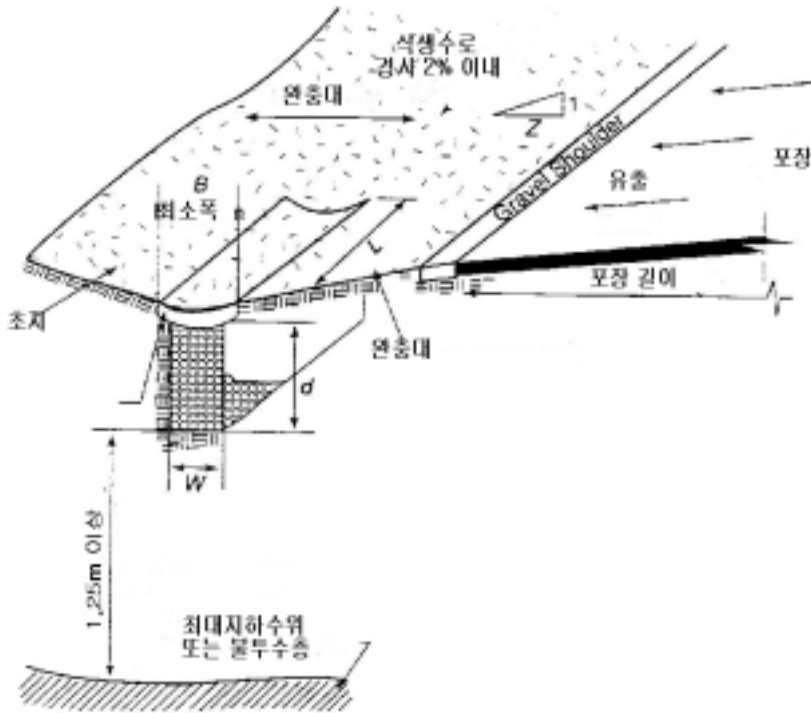
물 질	유효공극율(%)
crushed and blasted rock	30
uniform sized gravel	40
graded gravel(2.0cm)	30
sand	25
pit run gravel	15-25

침투 트렌치가 최대 저류량을 24시간 이내에 배출하지 못할 경우, 바닥에 수집관을 설치하여 저류된 물을 유량조절장치를 통해 서서히 배출하여야 한다.

우수유출수는 침투트렌치로 유입되기 전 모래층을 통해 여과되어야 한다. 우수유출수가 여과 없이 트렌치로 직접 유입된다면, 충전물질의 공극 및 인접한 토양은 시간이 경과함에 따라 막히게 되어 시설은 정지하게 될 것이다.

<그림 5-7>는 상부에 모래여과층을 가진 침투 트렌치를 나타내고 있다. 모래여과층은 우수가 트렌치로 유입될 때 모래층 표면에 최소한의 물이 고이도록 충분한 표면적을 가져야만 한다. 그러나 높은 유출율을 완충하기 위하여 모래여과층 위에 약간의 물이 고일 공간은 필요로 할 것이다. 이와 같은 모래여과층으로는 모듈식 투수성 포장 및 geotextile filter bag같은 여과장치가 있으며, 모든 여과장치는 적극적으로 정기적인 유지관리를 필요로 한다.

지표면 침투시설과 달리 침투트렌치는 지하에 설치되므로 문제 발생의 발견이 어려우므로 정기적인 조사 프로그램을 필요로 하며, 조사를 용이하게 하기 위하여 하나 이상의 관측정을 설치하여야 한다. 강우 후 트렌치 안의 물이 2일 안에 배출되지 못한다면, 이는 초기 고장을 나타내며 이에 대한 조사가 이루어져야 한다.



<그림 5-7> 표면유입에 대한 모래여과층을 가지는 침투 트렌치

- 주) 1) 모든 rock 충진물을 굵은 공극을 가진 geotextile로 감싼다.
- 2) 완충지대의 길이 $> 25\% \times$ 포장지역의 길이
- 3) 길이 $L \leq K/(S_0/100)$, $K = 0.3 \text{ m}$, $S_0 = \text{경사}(\%)$
- 4) 침투에 필요한 총길이를 얻기 위하여 트렌치를 증가시킨다.
- 5) 측면 경사 $Z \geq 4.0$
- 6) 모래 또는 모래-잔디 여과층의 표면적은 트렌치로 유입될 때 최소한의 물이 고이도록 크기를 결정한다.
- 7) 식생수로로 가로지른 소단(berm)을 이용하여 토양-잔디층 위에 물이 고일 장소를 만든다.
- 8) $B > 2d$

자료 : Urbonas, B.R., and Stahre, P. 1993.

다) 침투 트렌치 규모의 결정

침투 트렌치는 소규모 집수지역에서 발생한 유출수를 제한하기 위하여 사용되기 때문에, 아래의 합리식 식 5.9를 설계에 이용할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{360} \cdot C \cdot I_t \cdot A \quad (5.9)$$

여기서, Q = 강우 지속기간 t 에 대한 평균유출량(m^3/s)

C = 유출계수

I_t = 강우 지속기간 t 에서의 설계강우에 대한 강우강도(mm/h)

A = 유역의 면적(ha)

평균 유출량 Q 와 설계강우의 지속기간 t 를 곱하면, 시간 t 동안의 누적유출량을 나타내는 식 5.10을 구할 수 있다.

$$V_{in}(t) = 10 \cdot C \cdot I_t \cdot t \cdot A \quad (5.10)$$

여기서, $V_{in}(t)$ = 강우 지속기간 t 동안의 총유입량(m^3)

t = 강우지속기간(hour)

트렌치 내 수심은 강우 유출 동안에 변하기 때문에, 침투 트렌치의 측면은 유출기간 동안 완전히 물에 잠기지 않는다. 규모결정 절차를 단순화하기 위하여, 평균 배출율은 물에 절반 정도 잠긴 트렌치 깊이를 가정하여, 침투의 평균유효면적을 구한다. 또한 동수구배 I 는 1.0이라고 가정한다. 따라서 Darcy의 법칙으로부터 식 5.11을 유도할 수 있다.

$$V_{out}(t) = 3,600 \cdot K \cdot (A_{perc} \div 2) \cdot t \quad (5.11)$$

여기서, $V_{out}(t)$ = 시간 t 동안에 지하로 침투된 물의 총부피(m^3)

K = 토양의 투수계수(m/s)

A_{perc} = 침투 트렌치 측면의 총면적(m^2)

t = 침투 지속시간(hour)

트렌치 내 저류된 물의 총부피 V 는 $V_{in}(t)$ 와 $V_{out}(t)$ 사이의 차이이며, 식 5.11로 표현된다.

$$V = \max [V_{in}(t) - V_{out}(t)] \quad (5.12)$$

따라서 식 5.10과 식 5.11을 식 5.12에 결합하여 식 5.13을 유도할 수 있다.

$$V = \max [10 \cdot C \cdot I_t \cdot t \cdot A - 1,800 \cdot K \cdot A_{perc} \cdot t] \quad (5.13)$$

침투트렌치의 설계 절차는 다음과 같다.

우선, 식 5.2를 이용하여 12시간의 배출시간 및 유출계수 $C = 1.0$ 에 대한 최대저류량을 구한다. 이와 같은 강우에 의해 발생한 유출수를 측면을 통한 침투에 의해 처분하도록 트렌치를 설계한다. 최대수심은 1시간 이내에 발생한다고 가정하며, 설계강우의 강도-지속기간의 함수를 구한다.

다음 단계는 트렌치의 단면(폭×높이)과 충전물질의 종류를 결정하는 것이다. 다음으로 트렌치의 길이를 가정하고, 가정된 트렌치의 길이가 최대저류용량을 만족하는지에 대한 적합성을 검토한다. 시행착오법을 통해 최종 필요한 트렌치 길이를 산정한다.

3) 침투 집수정

침투집수정 설계인자도 침투 트렌치와 비슷하게 고려되어야 한다. 특히 위치선정 시 다음의 지역에 대해서는 설치를 금해야 한다.

- 산사태 위험지역, 급경사지 등 우수침투에 의하여 지반의 안정성에 문제가 발생할 우려가 있는 지역
- 지하건물의 밀집 등으로 우수침투시 주변지역의 건물에 누수 등 문제가 발생할 우려가 있는 지역
- 투수계수가 10^{-5} cm/sec 보다 작은 토양(시공지역의 터파기 공사 후 물이 5시간 동안 0.18cm이하로 침투되는 토양)
- 입도 분포에서 점토가 40% 이상을 차지하는 지역

- 공장주변지역 또는 매립지 주변지역 등에서의 수질오염이 우려되는 지역
- 지하수위가 높거나 석회암 등이 지표면으로부터 가까운 거리에 있는 경우 침투 시설 설치를 금함

침투집수정의 유지 관리시 주의 사항은 다음과 같다.

- 조사점검 : 시공후 5개월 까지는 월 1회씩 점검을 실시하고, 그 이후는 매년 점검한다. 큰 호우이후나 장마기간 전·후는 침투집수정의 막힘을 점검하여야 한다.
- 퇴적물 제거 : 평상시 월 1회, 장마시는 주 1회씩 정기적으로 점검하고 토사 및 쓰레기등의 퇴적물을 제거해주며, 특히 유입관과 방류관의 막힘이 없는지 반드시 점검을 실시한다.
- 나무 가지치기 : 침투집수정에 인접하여 나무가 자라는 경우, 나무의 낙엽에 의해 침투집수정이 막힐 우려가 있으므로 나뭇가지를 쳐줘야 한다.

다. 식생형 시설

식생형시설은 우수유출수에 의한 침투유량의 감소와 비점오염원의 저감뿐만 아니라, 동·식물 서식공간 제공, 녹지경관 조성 등의 기능도 수행한다. 도시지역에서의 식생은 불침투성지역을 감소시키고 우수유출수의 침투 및 오염물질의 제거 기능을 한다. 이러한 식생형 시설은 우수유출수의 전처리 방법으로 널리 이용된다.

식생형시설로는 식생수로 및 식생여과대가 있다. 식생수로란 식생 높이 아래로 물이 흐르는 얇은 수로를 의미한다. 식생여과대란 물이 아주 얇게 흐르는 식생이 조성된 편평한 지표면을 의미한다. 주로 조성되는 식생으로는 잔디류, 정수식물, 습지식물 등이 있다.

1) 계획기준 및 지침

식생형여과시설은 우수관리의 기본구조로서 일련의 처리시설의 일부분으로 간주

해야 한다. 예를 들면 도로 옆의 배수로를 식생수로로 이용할 수 있으며, 토지가 제한된 경우 연못을 둘러싼 식생여과대는 우수가 연못으로 유입되기 전에 우수를 처리할 수 있다.

건설현장의 유출수, 오일, 그리스 등이 식생형여과시설로의 유입을 방지하기 위해, 식생형여과시설 전단에 집수조, 저류조, 침사지 및 유수 분리기를 설치할 수 있다.

2) 설계 및 설치기준과 지침

가) 식생수로 및 식생여과대에 공동으로 적용되는 규정

식생형여과시설의 효과를 높이기 위해서는 식생 및 토양층과 물의 접촉을 최대화하는 것이 중요하다. 자갈 및 굵은 모래로 구성된 토양은 식생의 유지가 어렵기 때문에 바람직하지 않으며 점토성의 토양 및 바위도 피해야 한다. 가능하다면, 식생을 조성하기 전에 압축된 토양을 갈아 뒤집어 주는 것이 바람직하다.

식생형여과시설에는 침수에 저항력이 강한 식생을 조성한다. 건조 및 반건조지역의 경우 식생식생여과대를 건강하게 유지하기 위한 추가적인 관개를 필요로 한다. 식생형여과시설의 식생조성은 가능하다면 그 지역의 토착식생을 이용하며, 해당 지역의 기후 및 토양에 적합한 잔디 및 습지종을 선정하는 것이 중요하다.

잔디 씨와 공급자에 의해 명시된 뿌리덮개의 적용율을 이용한다. 가급적, 축분의 토지개량제로의 이용 및 화학비료의 이용을 피해야 한다. 화학비료를 사용해야만 한다면, 최소한의 양만을 적용해야 하며, 완효성 비료를 사용한다. 습지 식물이 이용된 경우, 식물이 자리를 잡는 동안 그물을 쳐서 포식자로부터 보호해야 할 필요가 있다. 가능하다면 식생이 자리를 잡는 기간 동안은 필요한 관개수 외의 다른 우수유출수는 우회시키도록 한다.

침식을 방지하기 위하여 상부 경사지역에 식생을 조성한다. 사람과 가축의 침입을 감소시키기 위한 차단벽으로는 관목을 이용하며, 식생형여과시설에는 그늘을 만드는 수목은 피하며, 만약 수목을 피할 수 없는 경우라면, 적어도 6.5m 이상 거리를 두어야 한다.

흐르는 방향으로 1.0~2.0%의 경사가 적절하며, 최대 경사는 6.0%, 최소 경사는

0.5%로 한다. 흐름 방향의 경사가 1.0~2.0% 보다 작을 경우, 다공성의 암거를 설치하거나 수분이 적당하면 습지 종을 심는다. 경사가 2.0% 보다 크다면 우수유출수에 의한 침식을 방지하기 위해 저지댐을 설치한다. 토지경사가 6.0% 이상일 경우, 사면에서의 수로를 Z자형으로 흘러가도록 설계할 수 있다.

식생형여과시설에 대한 고른 유량 분배를 위해 연석을 사용하는 경우, 막힘현상을 방지하기 위하여 최소한 0.3m 이상의 폭이 되어야 하며, 인접한 식생형여과시설의 수위보다 약간 높게 포장을 한다. 유량을 일정하게 분배하기 위해서는 식생수로의 유입구 부분이나 식생여과대의 폭을 가로질러서 침전물 제거장치를 갖춘 유량분배장치를 설치한다. 또한 우수유출수에 의해 움직이지 않을 정도로 큰 바위를 사용한 사석축대 및 감세공을 설치하여 유입구 부분을 침식으로부터 보호하도록 한다.

나) 식생수로(swale)에 대한 규정

최대강우의 침투유출유량에 대해 식생수로를 설계한다. 최대강우는 유출계수(C) 1.0과 배출시간 12시간을 이용하여 산출된 강우량에 근거한다. 이 최대강우량을 가정하여 강우강도-지속 곡선을 구한다. 집수지역에 대한 집중시간과 유출계수 C를 이용하여 설계유출속도를 구한다. 식생수로에 우회수로를 설치하지 않는 경우, 10~100년 침투유량의 홍수유출수를 통과시킬 수 있도록 용량을 설계한다.

식생형여과시설의 설계시 일반적인 기준은 다음과 같다.

- 수리학적 체류시간 : 최대 유출량 기준으로 5분 이상
- 최대유속 : 0.3 m/s 이하
- 정기적인 풀베기를 하는 식생수로의 경우 : Manning의 조도계수 $n = 0.20$
- 드물게 풀베기를 하는 식생수로의 경우 : Manning의 조도계수 $n = 0.24$
- 바닥의 최대 폭 : 2.4m
- 바닥의 최소 폭 : 약 0.6 m
- 흐름의 최대 깊이 :
 - 불규칙적으로 풀베기를 하는 경우 : 식생 높이의 1/3 이하
 - 정기적으로 풀베기를 하는 경우 : 식생 높이의 1/2 이상

- 잔디의 경우 : 최대 깊이를 75mm 이하로 함
- 가장 낮은 습지 식물종의 평균 높이보다 50mm 아래로 함
- 최소길이 : 30m

일반적으로 건설의 용이성을 위해 사다리꼴 형태의 단면을 이용하며, 유지관리의 용이성을 위해 측면경사는 4:1이하로 한다. 측면경사가 3:1 보다 가파른 경우, 계단식 단을 이용할 필요가 있다. 최대측면경사는 토양조건, 수로라이닝의 종류에 따라 결정되며 일반적으로 다음의 기준을 넘지 않아야 한다.

<표 5-10> 식생 수로의 측면경사 설계기준

종 류	폭 : 높이
식 재 초 지	3 : 1
잔 디 지 역	3 : 1
사 석	2 : 1
돌 망 태	수 직
돌망태 매트	2 : 1

다) 식생여과대에 대한 규정

식생여과대의 설계는 식생수로와 마찬가지로 최대강우의 침투유출량을 기준으로 설계한다. 식생여과대의 처리효과는 경사가 증가할수록 감소하는데 17%이상의 경사에서는 제거능을 발휘될 수 없으며, 5%미만의 경사에서 최적효과를 기대할 수 있다. 길이가 짧을수록 경사도는 작아야 하며, 여과대 길이가 6m이하라면, 경사는 0에 가깝게 조성되어야 한다.

식생여과대의 기본 설계 기준은 다음과 같다.

- 수리학적 체류시간 : 최대 유출량 기준으로 5분 이상
- 평균유속 : 0.3 m/s 이하
- 정기적인 풀베기를 하는 식생수로의 경우 : Manning의 조도계수 $n = 0.20$
- 드물게 풀베기를 하는 식생수로의 경우 : Manning의 조도계수 $n = 0.24$

- 일정한 유량의 배분을 달성하기 위하여 식생여과대의 폭을 제한한다.
- 평균수심 : 20mm 이하
- 설계깊이와 동일한 경심(hydraulic radius)

3) 식생형여과시설의 운전 및 유지관리

식생형여과시설의 효율적인 운전을 위해서는 모든 유입 분배장치를 균일하게 위치시키고 쓰레기 조각의 유입을 방지하여야 한다. 식생형여과시설에서 오염물질의 흡수를 촉진하기 위해서는 식물의 생장기 동안에 정기적으로 풀베기를 수행한다. 베어진 풀은 퇴비화와 같은 방법을 통해 적절하게 처분한다. 풀베기의 목적이 영양물질의 재용출을 방지하기 위해서라면 생장기간의 종료시점에서 잔디 및 창발성 습지식물을 최대수심 이상에서 가급적 낮은 높이로 풀베기를 실시한다. 그러나 부유물질의 포획 및 쓰레기 오염방지의 목적을 위해서라면, 생장기간의 종료시점에서 설계수심 보다 최소한 50mm 이상 식물의 높이를 유지하도록 한다.

침전물질이 식생을 덮거나 또는 생물학적 여과시설의 용량을 감소시키기 시작하면, 침전물을 제거하여야 한다. 식생형여과시설이 손상된 경우에는 초기 식종을 이용하여 재식재하거나 인접한 경사면의 상부지역의 잔디를 이용하여 식재한다. 그리고 가능하다면 새로운 식생이 완전히 자리를 잡기 전까지 물의 유입을 제한하며, 그렇지 못할 경우에는, 양질의 침식방지 천으로 씨를 뿌린 표면을 덮도록 한다.

정기적으로(가능한 매달), 특히 큰 유출 후, 식생형여과시설을 점검하도록 한다. 토양 및 식생의 축적을 막기 위하여 연석을 깨끗이 유지한다. 식생형여과시설에 정원폐기물 또는 애완동물의 폐기물을 버리는 일이 없도록 지역 주민들을 교육한다.

4) 식생형여과시설의 설계절차

가) 준비단계

식생수로 및 식생여과대의 설계절차는 거의 동일하다. 아래에서 설명된 설계단계는 식생수로에 대한 내용이며, 필요한 경우 식생여과대의 설계를 위한 내용을 나타내었다.

- 1단계 : 설계 강우에 대한 유출율을 추정한다. 유출율은 다음의 방법 등을 통해 약 $0.03\text{m}^3/\text{s}$ 로 제한한다. ①여러 식생수로들 사이에 유량을 배분, ②유출율을 조정하기 위하여 상류에 저류시설을 설치, ③유출계수를 감소하거나 식생여과시설의 면적을 확보하기 위해 계발면적을 감소시킨다.
- 2단계 : 제안된 식생형여과시설의 경사를 결정한다.
- 3단계 : 지역에 적합한 식생을 선정한다.

나) 식생형여과시설의 용량 설계

일반적으로 최대유속은 사면의 안정성을 위해 요구되는 최대유속보다 낮게 설계한다.

- 1단계 : 우수 유출기간 중 예상되는 식생의 높이를 추정한다. 설계수심은 이 식생의 높이 보다 적어도 50mm는 낮아야 하며, 최대수심은 식생수로의의 경우 75mm, 식생여과대의 경우 25mm로 한다.
- 2단계 : Manning의 조도계수, n 을 선정한다.
- 3단계 : 일반적으로 식생수로는 사다리꼴의 수로로 설계한다. 직사각형의 단면을 사용하는 경우, 수직벽을 보강한다.
- 4단계 : 대략의 초기 규모는 Manning 공식을 이용하여 결정한다. 사다리꼴 형태의 경우, 사면경사는 3:1 이하로 한다.(4:1 이하의 완만한 경사가 바람직하다). 바닥 폭은 약 0.6~2.5m사이로 한다.
- 5단계 : 단면적을 계산한다.
- 6단계 : 설계유량에 대한 유속을 계산한다. 최대설계강우시의 유속을 0.3m/s 이하로 제한한다. 이 이상의 유속은 잔디를 쓰러뜨리고 여과능을 감소시킬 수 있다.
- 7단계 : 6단계로부터 산출된 설계유속과 가정된 수리학적 체류시간을 이용하여 식생수로의 길이를 계산한다. 일반적으로 수리학적체류시간은 5분 이상으로 한다. 계산된 식생수로의 길이가 30m 이하인 경우, 식생수로의 길이를 최소 30m 이상으로 하고, 바닥의 폭을 조정한다.

다) 침식을 감소시키기 위한 안정성의 검토

안정성 검토는 예상되는 최대 유량에 대해 최소한의 식생의 적용범위 및 높이를 기준으로 수행한다.

- 1단계 : 우수유출수가 식생형여과시설을 우회하지 않는 경우, 10~100년 설계강우에 대한 안정성 검토를 실시한다.
- 2단계 : 식생의 적용범위 및 높이가 최소인 경우에 대해 식생의 적용범위(예를 들면, “양호” 또는 “보통”)와 수심을 추정한다.
- 3단계 : <표 5-11>을 이용하여 지체정도를 추정한다. 창발성 습지 식물종은 일반적으로 잔디보다 덜 조밀하게 성장하기 때문에 피복정도를 “보통”으로 가정한 다.
- 4단계 : 침식을 방지하기 위하여 <표 5-12>로부터 최대허용유속(V_{max})을 추정한다.

<표 5-11> 지체정도의 선정지침

식생의 평균높이(cm)	식생 피복 정도	
	양호	보통
>75	A. (매우 높음)	B. (높음)
30-60	B. (높음)	C. (보통)
15-30	C. (보통)	D. (낮음)
5-15	D. (낮음)	D. (낮음)
<5	E. (매우 낮음)	E. (매우 낮음)

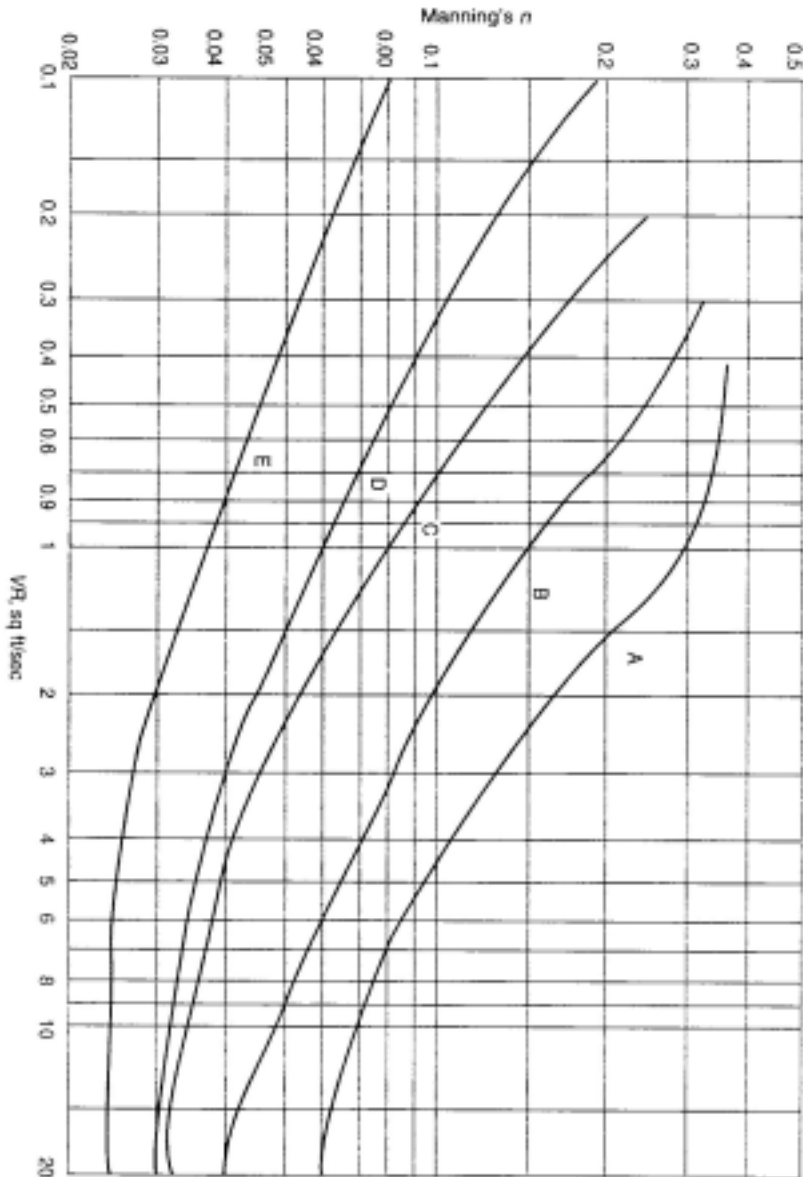
- 5단계 : 시험적인 Manning의 조도계수 n 을 선정한다. 빈약한 식생조건의 경우 적당한 초기값은 $n=0.04$ 이다.
- 6단계 : <그림 5-8>을 이용하여, 3단계에서 선정한 지체정도와 4단계에서의 V_{max} 에서의 VR(유속과 경심의 곱)값을 구한다.

- 7단계 : 6 단계에서 구한 VR을 4단계에서 구한 $V_{\max}$ 로 나누어 새로운 경심을 추정한다.
- 8단계 : 실질적인 VR을 구하기 위하여 Manning 공식을 이용한다.

<표 5-12> 식생수로의 안정성에 대해 권장되는 최대유속

식생	경사도(%)	최대유속(m/sec)	
		침식에 대한 저항력이 있는 토양	쉽게 침식되는 토양
Kentucky bluegrass Tall fescue	0 ~ 5	1.8	1.5
Kentucky bluegrass Ryegrass Western wheat-grass	5 ~ 10	1.5	1.2
Grass—legume mix	0 ~ 5	1.5	1.2
	5 ~ 10	1.2	0.9
Red fescue	0 ~ 5	0.9	0.8
Redtop	5 ~ 10	비적합	비적합

- 9단계 : 6 단계의 초기 근사값과 8 단계에서 구한 실질적인 VR을 비교한다. 10% 내에서 일치하지 않으면, 허용범위에 도달할 때까지 5단계에서 9단계까지 반복한다.
- 10단계 : 최종설계조건에서의 실질적인 V를 계산한다. 계산된 V가 4 단계의 $V_{\max}$ 보다 작은지($V < V_{\max}$) 검토한다.
- 11단계 : “안정성”에 기초한 단면적을 계산한다.
- 12단계 : 식생형여과시설의 “용량설계”로부터 계산된 면적과 11단계에서 계산된 면적을 비교한다. “용량설계”에 기초한 면적보다 “안정성”에 기초한 면적이 작은 경우, “용량분석”에 의한 설계 값을 적용한다. 그러나 그렇지 않은 경우, 11단계에서 계산된 면적을 이용하여 수로의 부피를 다시 계산해야 한다.



주) VR은 유속과 경심의 곱, $\text{ft}^2/\text{sec} \times 0.0929 = \text{m}^2/\text{s}$

<그림 5-8> Manning의 조도계수(n), VR 및 지체정도의 관계

- 13단계 : 최종 규모 결정을 위해, 안정성검토 설계유속조건에서의 수심을 계산한다.
- 14단계 : 13단계에서 구한 수심과 식생형여과시설의 용량설계에서 사용된 수심을 비교한다. 두 개의 수심 중 큰 값을 이용하고, 여유고로 0.3m를 추가한다. 수심에 대한 상부층의 폭을 계산한다.
- 15단계 : 안정성검토의 설계강우 및 식생의 최대범위 및 높이에 근거하여 용량에 대한 최종적인 검토를 수행한다(이 검토를 통해 가장 큰 기대강우와 가장 큰 지체효과 발생시에도 식생형 여과시설의 용량이 적합성을 확인할 수 있다. 선정된 Manning의 조도계수 n 과 계산된 수로의 부피(여유고 포함)를 이용하여 수로의 용량을 계산한다. 계산된 수로의 용량이 안정성검토 설계강우시 유량보다 작은 경우, 수로의 단면적을 적당하게 증가시키고, 계산을 반복하여 새로운 수로의 부피를 명시한다.

라. 장치형시설

우수유출수에 포함된 오염물질을 제거하기 위한 장치형 시설로는 크게 여과처리 방법에 의한 오염물질 제거방법, 침전에 의한 오염물질 제거방법, 유수분리장치에 의한 유류오염물질 제거방법 등이 있다.

1) Stormfilter

Stormfilter는 여과에 의해 우수유출수로부터 오염물질을 제거하는 장치형시설로서, Stormfilter로 유입된 우수유출수는 여과되어 유공관에서 집수된 후 방류수역으로 배출된다. 오염물질 제거는 저류시에서의 침전과 여과매체에서의 여과에 의해 일어난다. 제거효율은 저장용량, 체류시간, 여과매체 등에 따라 다르며 체류시간이 길수록 오염물질 제거효율이 증가한다. 여과매체의 교체도 여과조의 오염물질 제거효율에 영향을 미치며, 지금까지는 여과매체로 모래를 많이 사용하였으나, 모래와 활성탄을 혼합하여 사용할 경우 활성탄의 흡착능력에 의해 오염물질제거효율이 더욱 높아진다.

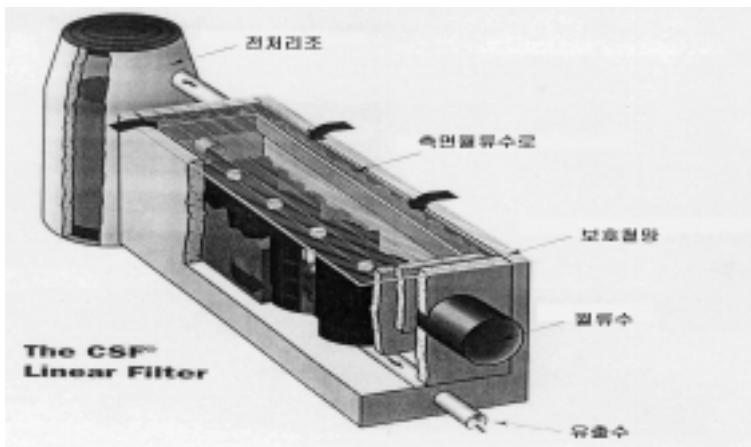
Stormfilter의 주된 문제중의 하나는 시스템의 동결로서 우리나라의 경우 겨울에는 우수유출수가 많지 않기 때문에 큰 영향은 없지만 이에 대한 대비책을 고려하여야 한다.

대규모 강우시 우수유출수가 여과시스템의 용량을 넘을 경우, 여과조를 우회할 수 있는 임시배수로 설치가 필요하다. 여과조의 수명을 증가시키기 위해서는 시스템으로 유입되는 우수유출수의 부유성 고형물을 전처리해야 하며, 저류연못이나 수유입장치 등을 함께 사용하는 것이 효과적이다.

Stormfilter의 특징은 다음과 같다.

- 도로 및 고속도로에 적용이 적합하다.
- 유지관리비가 저렴하다.
- 부지소요가 저류연못 등과 같은 시설의 10% 정도이다.
- SS 90%, Oil류 85%, 중금속류 91% 정도의 제거가 가능하다.
- 선형(linear type)은 소규모 배수구역, 선조립형은 3m³/sec미만, 현장타설형은 그 이상에 적용

아래 그림은 주차장 등의 지하공간에 설치되는 소규모의 필터를 이용한 처리시설인 Linear 방식의 Stormfilter 와 대규모 우수유출량을 처리할수 있는 선조립형(precast) 방식의 Stormfilter를 나타내고 있다



<그림 5-9> Linear 방식의 Stormfilter



<그림 5-10> Precast 방식의 Stormfilter

stormfilter의 규격별 처리능력은 다음과 같다.

<표 5-13> Stormfilter의 규격별 처리능력

model	처리능력 (ft ³ /sec)	여과지 수	표준 소요 부지(m)	
			폭	길이
6×8	~0.2	4~6	7	9
6×12	0.18~0.37	6~12	7	13
8×12	0.4~0.46	12~14	10	14
8×16	0.5~0.8	15~24	10	18
8×18	0.54~1.0	17~30	10	20
8×16/8×16	0.81~1.83	25~55	10	40
8×18/8×16	0.81~1.96	25~59	10	42
8×18/8×18	0.81~2.03	25~61	10	44

마) 유지관리

반년에 한번 또는 큰 강우 후에 유지관리 및 검사를 실시한다. 100mm 이상 침전된 침전조, 2.5mm 이상 침전된 여과시설의 경우 모든 침전물과 부유물질을 제거해야 하며, 강우가 발생한 후 40시간이 경과하도록 물이 고여 있는 경우에도 모든 침전물과

부유물질을 제거하도록 한다. 집수지역 내에 침식이 발생하는 공지가 있는 경우, 또는 건설공사가 진행되는 경우, 보다 빈번한 유지관리가 이루어져야 할 것이다.

2) 유수 분리장치

유수분리장치는 석유화합물, 그리스, 잔모래 및 기타 부유성 쓰레기를 제거하는 장치이다. 일반적인 유수분리장치는 중력분리장치 및 CPI(Coalescing Plate Interceptor) 등이 있으나, 우수유출수의 경우 낮은 유류 농도로 인하여 성능의 불확실성이 상당히 높다.

가) 적용범위

이 처리기술은 유류 및 그리스 관련 화합물들의 농도가 높고, 발생원 관리가 효과적이지 못한 지역에 적용할 수 있다. 일반적인 발생원으로는 주유소, 차량의 정비 및 세차업체, 기타 고농도의 유류 관련물질을 배출하는 상업 및 공업시설 등이 있다. 유수 분리장치의 설치가 고려되는 지역으로는 항구, 공항, 차량정비 및 세차시설, 환승주차지역이 포함된다.

나) 성능

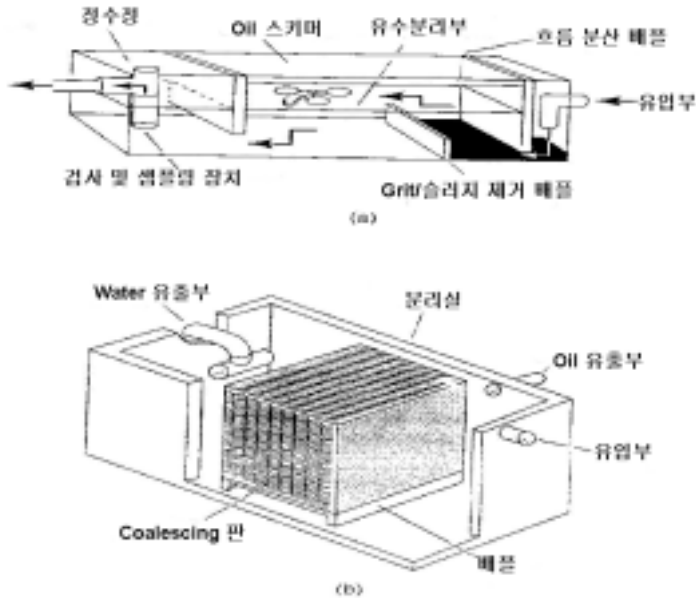
일반적인 유수분리장치는 150 μ m 이상 직경을 가진 유적을 제거할 수 있으며, CPI분리장치는 약 60 μ m 직경의 유적까지도 제거 가능하다. 유적이 충분히 큰 경우, 유류 및 그리스 농도는 10mg/L 이하로 감소될 수 있다.

유수분리장치의 크기는 유적의 상승속도에 근거한다. 유적의 상승속도는 유류의 밀도 및 유적의 크기를 이용하여 계산하거나 유적의 상승속도에 대한 직접적인 측정을 통해 구할 수 있다.

다) 설계

유수분리장치의 기본구조를 다음 그림에 나타내었다. 소규모 시설의 경우, 일반적

인 중력분리장치는 정화조와 비슷한 모양이나 그 폭이 더 길다. 대규모 시설은 도시 폐수처리시설의 일차침전지와 유사한 외관을 가지고 있다. CPI 분리장치는 처리효율을 강화하기 위하여 밀접한 간격으로 판을 배치하고 있으며, 일반 분리장치에 비해 더 적은 공간을 필요로 한다. 판의 각도는 수평면에서 0~60°의 범위를 갖고 있지만, 45~60°의 범위가 일반적이다. 판 사이의 수직거리는 일반적으로 19~25mm의 범위를 갖고 있다.



<그림 5-11> (a)일반적인 중력 유수분리장치, (b)CPI 분리장치

라) 규모의 결정

유수분리장치의 크기는 식 5.14를 이용한 유적의 상승속도 계산에 근거하여 정해질 수 있다.

$$V_P = \frac{5.76 \cdot (d_p - d_c) \cdot d^2}{n} \cdot 10^{-15} \quad (5.14)$$

여기서, V_P = 상승속도(m/s)

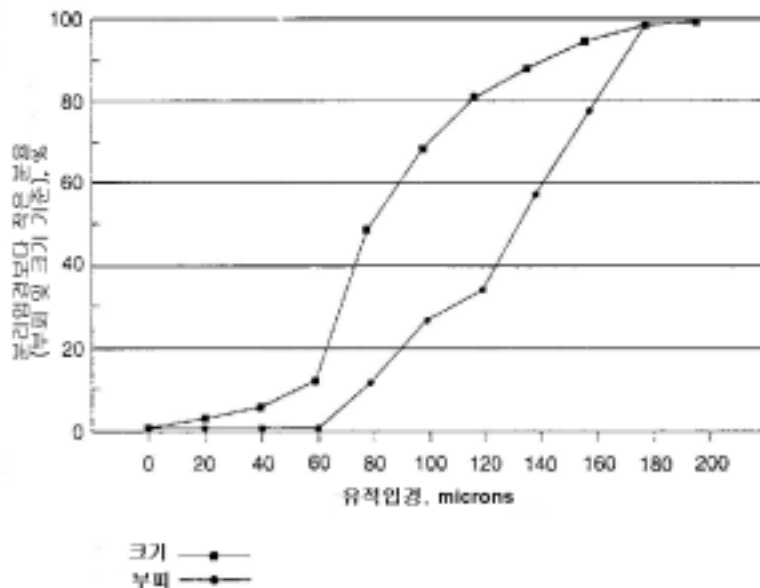
d_p = 유류의 밀도(kg/m^3)

d_c = 물의 밀도(kg/m^3)

d = 제거되어야 할 유적의 직경(m)

n = 물의 절대점도(kg/m^3)

위식에서 물의 밀도 및 점성은 동절기 수온에 근거한 값을 적용한다. 도시우수 내 유류화합물의 비중에 대한 자료는 없으나 0.85~0.95의 값이 일반적으로 이용된다. 설계효율의 설정을 위한 적절한 유적의 직경을 선정하기 위하여 유적의 크기에 따른 분포를 알아야 한다. 그러나, 도시우수 내 유적의 크기분포에 대한 자료는 거의 없다. 석유화합물 저장시설에서 발생한 우수에 대한 유적의 크기 및 부피 분포를 다음 그림에 나타내었다. 유수분리시설 설계시 유입농도가 반드시 가정되어야 하나, 그 농도가 강우강도에 따라 또는 강우기간 중에 변화가 심하기 때문에 불확실성이 상당히 높아지게 된다.



<그림 5-12> 석유화합물 저장시설 우수의 유적 크기 분포

유출수의 목표가 20mg/L이고 설계 유입농도가 50mg/L인 경우, 60%의 제거율을 필요로 하게 된다. <그림 5-12>에서 보면, 90 μ m 이상의 직경을 갖는 모든 유적을 제거해야만 이 효율을 달성할 수 있다. 10℃의 수온(물의 밀도 0.999)과 0.898의 유류 밀도를 가정하면, 90 μ m의 유적이 나타내는 상승속도는 1.2m/h이다.

일반적인 유수분리장치는 150 μ m 이하의 유적을 제거하는데 효과적이지 못하므로, 보다 작은 유적을 제거하기 위해서는 CPI 분리장치가 훨씬 비용 효과적일 수 있다.

(1) 일반적인 분리장치의 규모 결정

일반적인 분리장치의 크기를 결정하기 위하여 우선 깊이를 계산한다.

$$D = \sqrt{\frac{Q}{2V}} \quad (5.15)$$

D = 깊이, 0.9~2.4 m 사이의 값을 가져야 한다.

Q = 설계유량(m^3/s)

V = 허용 수평속도, 설계 유류 상승속도의 15 배 이하의 값을 가져야 하며, 55 m/h 보다 작아야 한다.

계산된 깊이가 2.4m를 초과하는 경우, 설계유량에서 최대 권장깊이가 2.4m를 초과하지 않도록 병렬구조로 설계한다.

설계 단계는 아래와 같다.

- 길이, $L = I \cdot D / V_p$ 를 계산한다.
- 폭(W)은 깊이의 2~3배로 하나, 6m를 초과하지 않도록 한다.
- 상부 배플은 깊이 0.85의 높이에, 하부 배플은 0.15의 높이에 설치한다.
- 유입구에서 0.10×L 떨어진 위치에 배플을 설치한다.
- 여유고로 0.3m를 추가한다.
- 설계유량의 초과량에 대한 우회로 및 유입량 조절장치를 설치한다.

(2) 분리장치의 규모결정

비교적 적은 유량의 경우 규격화된 분리장치를 이용할 수 있으나, 보다 큰 유량의 경우 분리판의 크기를 결정하고 시설을 설계해야만 한다.

아래의 절차를 이용하여 시설의 크기를 결정할 수 있다. 우선, 요구되는 판의 각도 H 를 확인하고, 판의 총면적 $A(m^2)$ 를 계산한다.

$$A = \frac{Q}{V_P \cdot \cos(H)} \quad (5.16)$$

CIP 분리장치가 수리학적으로 100% 효율적일 수는 없으며, 판의 설계에 따라 0.35~0.95의 값을 가진다. 이러한 수리학적 효율을 고려하기 위해서는 식 5.16에서 계산된 결과를 수리학적 효율로 나누면 된다.

- 일반적으로 19~38mm의 범위를 갖는 판사이의 거리 S 를 결정한다.
- 적절한 판의 폭 W 및 길이 L 을 결정한다.
- 판의 개수 $N = A/(W \cdot L)$
- 판의 부피 $P_v(m^3)$ 를 계산한다.

$$P_v = \left[\frac{N \cdot S}{12} + L \cdot \cos(H) \right] \cdot [W \cdot L \cdot \sin(H)] \quad (5.17)$$

- 침전물의 침전을 고려하여 판 아래에 0.3m를 추가한다.
- 판 위에 축적된 유류를 제거하기 위한 여유고 0.1~0.3m를 추가한다.
- 여유고 0.3m를 추가한다.
- 하나 이상의 시설이 필요한 경우, 부유성 물질의 제거를 위한 취수지(forebay) 또는 유량분배장치를 설치한다.
- 유수분리장치로부터의 유출수의 수집을 위한 후단취수지(afterbay)를 설치한다.
- 대규모의 시설의 경우, 물의 표면으로부터 유류를 제거하고 저장할 시설을 포함한다.

시설을 운전함에 따라, 침전성 물질들이 판 위에 축적될 것이며, 이는 유지관리를 어렵게 만들 것이다. 막대기, 플라스틱, 종이와 같은 폐기물의 유입이 우려되는 경우, 판 사이의 거리를 보다 크게 선정하거나, 판의 간격보다 작은 간격을 갖는 스크린 장치를 전단에 설치하여 조대성 폐기물의 유입을 막는다.

마) 유지관리

우기의 시작전 및 우기 기간 동안은 매달 유지관리 및 검사를 실시하며, 일반적으로 1년에 수 차례 유지관리를 하도록 한다. 제거된 유류는 적절하게 처분하도록 한다.

3) Stormceptor

Stormceptor는 강우시 도로, 상용주차장, 공항, 버스터미널, 기차역, 신주택단지 등으로부터 유입되는 우수유출수중에 포함되어 있는 오염물질을 처리하는 비점오염처리시설이다.

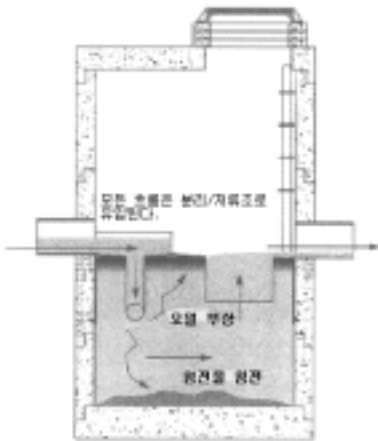
Stormceptor의 주요 장점은 다음과 같다.

- 소규모 배수구역에 적절히 설치된다면 연간 총침전물질 부하의 80%까지 제거 가능하다.
- 침전된 오염물질의 재부상 및 소류현상이 적다.
- 다른 처리시설과 연계하여 설치가 가능하다.
- 설치 및 개조가 간단하다.
- 유지관리가 쉽다.
- 신설 또는 기존 우수관거에 설치 가능하고 별도의 침사설비가 필요없다.
- 관거청소 횟수를 줄임으로써 관거의 유지관리비를 절감할 수 있다.
- 기성품화 되어 있어 표준맨홀과 유사하게 도로에 적용이 가능하다.
- 다양한 장소(산업단지, 주차장, 도로, 자동차정비소, 공항, 버스터미널, 기차역, 신주거단지, 발전소, 쇼핑센터 등)에 적용이 가능하다.

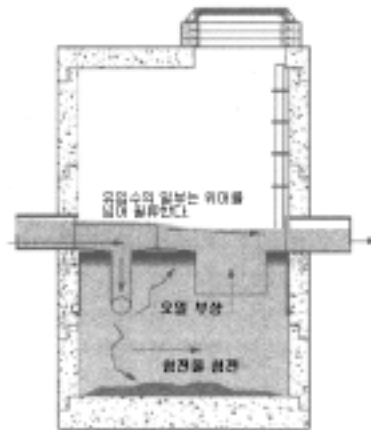
Stormceptor는 하부의 항상 물이 잠겨 있는 저류조와 상부의 월류조로 구성된다. 일반적인 강우시 강우유출수는 위어에 의해 차단되어 저류조로 흘러 들어간다. 저류조에서 침전물은 침전에 의해 오일은 부상되어 강우유출수와 분리되며, 오염물질이 제거된 강우유출수는 유출 파이프를 통해 상승된 후 Stormceptor 밖으로 유출된다.

설계치 이상의 높은 유량(총 강우사상의 10% 이하)이 유입시에는 강우유출수의 일

부는 위어를 넘어 바로 유출되며, 이때 침전물 및 부상물의 재부상 및 동반 유출현상은 거의 일어나지 않는다.



<그림 5-13> 평수량시
Stormceptor의 운전



<그림 5-14> 높은 유량시
Stormceptor의 운전

다음 표는 미국의 주요 도시에서의 Stormceptor의 현장 모니터링 결과이다. TSS의 경우 평균 제거효율은 52.7~87%이며, 오일의 제거효율은 43.2~99%였다.

<표 5-14> Stormceptor 현장 모니터링 결과 요약

설치 장소	Stormceptor종류	오염물질 제거효율(%)			
		TSS	TPH	TN	TP
Seatac, Washington	STC 900	87	99	43	11
Westwood, Massachusetts	STC 1200	93	82		
Como Park, Minnesota	STC 1800	76		65	32
City of Edmonton, Alberta	STC	52.7	43.2		

자료 : Stormceptor. 2002.

주) TPH : total petroleum hydrocarbons

가) Stormceptor의 구분

Stormceptor는 In line Stormceptor, Series Stormceptor, Submerged Stormceptor, Inlet Stormceptor로 구분되며 각각의 특징은 다음과 같다.

(1) In line Stormceptor

In line Stormceptor는 지중의 관로상에 설치되어, 우수유출수 중에 포함되어 있는 오일과 침전물을 제거할 수 있는 맨홀형식 장치이다. 저류용량은 3400~27000L이며, 8가지 표준 모델 사이즈가 있다. 조의 구성은 상층부의 월류조와 하층부의 저류조로 구성되며, 유입구는 단일 및 복합 유입구로 설치될 수 있으며, 유출구는 단일 유출구로 설계된다.

(2) Series Stormceptor

Series Stormceptor는 비교적 큰 배수구역에 적용되며, 저류용량은 40,000, 50,000, 60,000L이다. Series Stormceptor는 두 개의 Stormceptor로 구성되며, 첫 번째 Stormceptor는 유입유량을 분리시키는 역할을 하며, 유량의 약 절반은 첫 번째 Stormceptor의 저류조로 흘러보내고, 나머지 절반은 두 번째 Stormceptor의 저류조로 흘러보낸다.

(3) Submerged Stormceptor

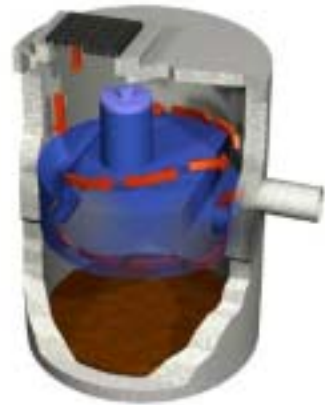
Submerged Stormceptor는 호수, 해안가, 지하수위가 높은 지역 등 관로가 침수된 지역에 적용된다. 저류용량은 3400~27000L이며, 8가지 표준 모델 사이즈가 있다.

(4) Inlet Stormceptor

Inlet Stormceptor는 연료 저장소, 하역장, 주창장 같은 좁은 배수구역에 적용되며, 강우유출수는 유입 철망을 통해 직접 Stormceptor 내로 들어오도록 설계된다. 저류용량은 1700L이다.



[Inline Stormceptor]



[inlet Stormceptor]

<그림 5-15> Stormceptor의 유형

나) Stormceptor의 규격 및 설계용량

Stormceptor의 모델별 직경 및 설계용량은 다음 표와 같다.

<표 5-15> Stormceptor의 모델에 따른 저류용량

Model	저류조 직경 (m)	Down pipe 직경 (cm)	침전물 저장용량(L)	오일 저장용량 (L)	총 저장용량 (L)
450i	1.2	15.2	1274	326	1779
900	1.8	15.2	2124	950	3604
1200	1.8	15.2	3200	950	4671
1800	1.8	15.2	5465	950	6939
2400	2.4	20.5	4389	3180	9320
3600	2.4	20.5	9146	3180	14063
4800	3.0	25.4	13167	3441	19150
6000	3.0	25.4	17245	3441	23227
7200	3.7	30.5	20558	4009	28088
11000s	3.0	25.4	26675	10588	42374
13000s	3.0	25.4	34830	10588	50528
16000s	3.7	30.5	41626	11564	60256

Stormceptor의 운전에서 저류조로의 유입유량은 down pipe 직경에 따라 조절된다. 위어의 높이는 모두 20.3cm로 일정하며, 유출구가 유입구 보다 2.5cm가 낮기 때문에, 총 22.8cm의 수두까지는 월류없이 강우유출수를 저류조로 유입시킬 수 있다. 월류 유량은 위어 위로 월류되는 물의 수위로 간단히 계산될 수 있다.

<표 5-16> 수두에 따른 월류유량

월류수위 (cm)	STC 450i (m ³ /sec)	STC900-7200 (m ³ /sec)	STC11000s-16000s (m ³ /sec)
2.5	5.7	10.2	15.9
5.1	15.6	28.6	44.2
10.2	43.6	81.3	126.0
15.2	80.7	151.5	235.3
20.3	125.7	237.0	369.5
25.4	177.5	337.0	526.7
30.5	235.9	450.5	706.2
38.1	334.7	645.3	1015.7
45.7	445.7	868.5	1372.5
53.3	568.0	1119.4	1776.3

다) 유지관리 지침

Stormceptor의 오염물질 제거능은 저류조내에 침전물이 쌓임에 따라 점차 감소된다. 유지관리 빈도는 각 지점별로 차이가 있지만, 일반적으로 년 1회의 유지관리 및 침전물 부피가 총 부피의 15%에 달했을 때 유지관리를 시행하며, 유해오염물질이 유출되었을 때는 즉시 유지관리를 행하여야 한다.

침전물의 깊이는 깊이를 재는 막대기(dipstick)를 이용하여 잴 수 있으며, 침전물의 깊이가 <표 5-17>의 깊이를 초과시 침전물을 제거해주어야 한다. 유지관리시 오일은 점검/청소관(직경 15.6cm)을 통해, 침전물은 outlet riser pipe(직경 61cm)를 통해 진공 흡입장치를 이용하여 제거한다. Inlet Stormceptor 및 소규모의 In-line Stormceptor의 경우 유지관리용 출입구가 필요하지 않으나, 대규모 Stormceptor의 경우 유지관리용 출입구가 필요할 수 있다.

<표 5-17> 유지관리를 필요로 하는 침전물 깊이

Model	침전물 깊이(mm)
450i	200
900	200
1200	250
1800	375
2400	300
3600	425
4800	375
6000	450
7200	375
11000s	375
13000s	375
16000s	375

제6장 결론 및 정책제언

1. 도시지역의 토지이용별 비점오염물질 유출 특성

우수유출에 따른 비점오염물질의 유출특성을 살펴보면, BOD, COD, SS, T-N, T-P의 경우 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 나타내는 초기세척효과(first-flushing)를 나타내었으나, 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)의 경우는 초기세척효과 및 우수유출 경향과의 유의성이 나타나지 않았다.

토지이용별 비점오염물질의 지역평균농도(SMC)를 살펴보면, BOD의 SMC는 5.3~12.1mg/L의 범위로 비교적 낮은 농도를 나타내었으며, 토지이용별 큰 유의성을 보이지는 않았다. COD 및 SS의 SMC는 각각 115.9~67.7mg/L, 22.7~126.6mg/L의 범위를 보이고 있으며, 자동차도로에서 가장 높은 농도를 나타내었다. T-N의 SMC는 3.26~9.62mg/L의 범위를 보이고 있으며, 상업지역에서 가장 높은 농도를 나타내었으며, T-P의 SMC는 0.09~0.48의 범위를 나타내었다. 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)의 SMC 비교적 자동차도로 및 주차장에서 높은 농도를 나타내었는데, 이는 자동차 운행에 의한 영향으로 판단된다.

2. 비점오염 저감시설에 의한 수질개선 효과 분석

홍수방재 시설인 빗물펌프장의 우수지를 활용하여 비점오염물질 저감을 위한 우수유출수 처리시설로 이용할 수 있다. 우수유출수의 침전특성 실험결과 전반적으로 우수유출수의 침전특성은 양호하였으며, 일반적으로 12시간의 침전만으로도 총고형물질의 60~90%의 침전제거가 가능하였다. 빗물펌프장의 저류조를 비점오염물질 제거를 위한 시설로 운전하기 위해서는, 우수유출수를 최소한 12시간 이상 저류/침전시킨 후 상층수부터 유출시키고, 하층부의 혼탁수는 적정처리를 거친 후 유출시켜야 할 것이다.

일반집수정과 침투집수정에서의 우수유출 특성을 살펴보면, 일반집수정의 경우 강우량이 증가함에 따라 유출량도 선형적으로 정비례적으로 증가하였으나, 침투집수정의 경우는 일반 집수정에 비해 유출량이 현저히 저감되었으며, 20mm 이하의 강우에서는 유출이 거의 발생하지 않았다. 비점오염물질의 유출특성이 주로 초기우수유출수에서 높은 오염농도를 보이는 점을 감안하면, 침투집수정의 설치를 통해 비점오염부하의 상당부분을 저감할 수 있으리라 판단된다.

3. 정책 제언

그 동안의 수질오염물질의 관리는 주로 하수 및 공장폐수 등 점오염원에 대한 사후처리를 중심으로 이루어져 왔으며, 그간 상당 부분 오염부하의 저감 및 수질개선의 효과가 있었다. 그러나 수질 오염부하의 상당부분을 차지하는 비점오염원에 대한 대책 없이 기존의 점오염원에 대한 처리위주의 수질 정책만으로는 더 이상의 수질 개선은 어려운 현실이다. 또한 도시화에 따른 지역의 불투수율의 증가로 인해 지역의 우수유출 특성이 변화하여 수량적인 면에서는 급격한 우수유출로 인해 홍수피해가 증가하고 수질적인 면에서는 각종 오염물질이 우수유출수와 함께 수계로 유출되어 수질 저하의 원인이 되고 있다. 따라서 하천 및 호소의 수질 개선 및 급격한 우수유출로 인한 홍수 피해의 저감을 위해서는 우수유출수에 대한 관리가 시급하다.

비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리 기반 구축을 위해서는 먼저 일정규모 이상의 도시 및 공업지역의 강우유출수에 대해 관리계획을 수립하도록 해야 할 것이다. 우수유출수에 대한 규제는 관리계획을 수립하여 시행한 후 비점오염원에 대한 관리 기반이 구축된 후 시행하여야 할 것이다. 따라서 우선은 각 지자체 및 사업자들이 우수유출수 관리에 대한 중요성을 인식하고 우수유출수에 의한 오염부하의 저감을 위해 노력을 기울일 수 있도록 하여야 할 것이다.

강우에 의한 오염물질 유출특성은 초기 우수유출수에서 비교적 높은 오염농도를 나타내고 우리나라의 경우 전체 강우사상의 80% 이상이 20mm 이하의 소규모 강우이므로, 비점오염원 저감을 위한 우수유출수 처리시설은 약 20mm 정도의 강우를 기

준으로 설계되어도 전체 강우사상의 80%이상을 처리할 수 있으며, 해당 집수구역의 비점오염부하의 상당부분을 저감할 수 있을 것이다. 그러나 실제로 해당 지역에 우수 유출수 처리시설을 설치하고자 할 때는 지역의 지형학적 특성, 수리·수문학적 특성, 기후특성, 처리기술 및 방법 등을 고려하여 적정 시설규모를 결정하여야 할 것이다. 또한 우리나라는 년 중 강우의 분포가 일정하지 않고, 특히 여름 장마철에 강수의 70%이상이 집중되고 있으므로, 우수유출수 처리기술 및 방법의 선정 및 시설의 설계 시 이러한 강우특성을 충분히 고려하여야 한다. 즉, 건기시는 우수유출수 처리시설의 식생의 생존을 위해 관개대책 등의 고려가 있어야 할 것이고, 장마기간에는 급격한 우수유출에 의한 처리시설의 파손 및 처리효율의 저하를 막기 위해 우회수로를 설치 하거나 시설의 안정성을 확보하는 등의 방안을 강구하여야 할 것이다.

지역적 특성에 따라 적용 가능한 우수유출수 처리시설의 종류는 각기 다양할 것이며, 특히 우리나라와 같이 토지이용에 제한이 많은 경우는 처리시설 설치에 필요한 소요면적이 처리시설 선정에 있어 주요 제한 요인이 될 것이다. 일반적으로 도시지역의 경우는 토지확보의 어려움으로 넓은 토지면적을 필요로 하는 우수유출수 처리시설은 설치하기 어려우므로, 비교적 토지이용에 제한이 적은 침투형시설, 특히 기존의 맨홀을 보완하여 비점오염원 관리가 가능토록 하고 그리고 빗물펌프장의 우수지를 초기우수의 비점오염원을 처리할 수 있도록 개선하는 방안도 고려하여야 한다. Stormceptor, Stormfilter, Swirl/Vertex 등의 장치형시설의 설치에 우리나라의 기후와 지형조건에서 효과를 가져오는지 충분한 사전 검토가 필요하다.

이에 비해 농촌 지역의 경우는 도시지역에 비해 토사의 유출이 많고 정기적인 유지 관리가 어려우므로, 비교적 유지관리가 많이 필요한 침투형시설이나 장치형시설은 적절치 않으며, 이중목적저류지, 저류연못, 인공습지, 식생수로, 식생여과대와 같이 비교적 넓은 부지를 소요하나 유지관리가 용이한 시설이 적절할 것이다.

신 도시의 조성시에는 지역의 불투수율 증가에 따른 수문 유출특성의 급격한 변화를 방지하기 위해 도시의 불투수율 면적비를 일정수준으로 제한하거나, 개발전후의 우수유출량의 변화를 비교하여 개발전보다 유출량이 많을 경우에는 이를 조절하기 위한 침투 및 저류시설 등을 설치케 하는 등의 방안이 필요할 것이다.

비점오염원 관리를 위해서는 우수유출수 처리시설의 설치와 병행하여 사전에 비점오염원을 제거하는 노력이 필요하다. 즉, 주기적인 도시청소의 실시, 장마전 맨홀 및 우수관거설비의 점검 및 청소, 우수지 바닥의 퇴적물 준설, 건설지역의 우수유출수 방지턱 설치 등을 통해 도시지역에 산재해 있는 각종 비점오염원을 사전에 제거해야 할 것이다. 향후 연구과제로는 비점오염물질의 유출특성의 파악 및 수질에 미치는 영향을 정량화 하기 위해서 시범지역을 선정하여 연중 우수유출수 및 방류수계에 대한 수질 및 수량 분석을 실시하고, 본 연구에서 제시한 각종 우수유출수 처리시설 및 빗물펌프장 우수지에 대한 시범사업을 실시하여 각 처리시설의 성능파악 및 한국형 우수유출수 처리시설을 조속히 개발하여 보급하기 위해 노력하여야 할 것이다.

참고 문헌

1. 서울시정개발연구원. 1995. 「우수유출을 저감대책」
2. 서울시정개발연구원. 2001. 「중랑천 비점오염원 관리대책 및 생태지도 제작」
3. 한국토지공사. 1996. 「주택단지내 수문자료모니터링시스템 구축에 관한 연구」
4. 한국토지공사. 1999. 「단지내 우수유출에 의한 하천수질변화에 관한 연구」
5. 한국환경정책평가연구원. 1997. 「도시지역 비점오염원 관리방안 연구」
6. 한국환경정책평가연구원. 1998. 「농업지역 비점오염원 관리방안 연구」
7. 한국환경정책평가연구원. 2000. 「비점오염원의 제도적 관리방안」
8. 행정자치부 국립방재연구소. 2000. 「우수유출저감시설 설치기법 연구(Ⅲ)」
9. 행정자치부 국립방재연구소. 2001. 「도시형재해예방 기능 강화를 위한 우수유출 저감시설 적용」
10. 행정자치부 국립방재연구소. 2001. 「우수유출저감시설 설치기법 연구(Ⅳ)」
11. 환경부. 1995. 「비점오염원 조사연구사업 보고서」
12. 國土開發技術研究センター. 1995. 「都市河川計畫の手引き(立體河川施設計畫編)」
13. APHA, AWWA, and WPCF. 1992. *Standard Method for the examination of water and wastewater*. 18th Ed. APHA. N. Y.
14. ASCE. 1991, *Manual and Report on Engineering Practice No.62*. American Society of Civil Engineers
15. Guo,C.Y., and Urbonas, B.R. 1995. Special Report to the Urban Drainage and Flood Control District on Stormwater BMP Capture Volume Probabilities in United States. Denver, Colo.
16. International Erosion Control Association. 2002. Stormwater Quality specialist Review
17. Jandel Scientific Co., 1994. *SigmaPlot User's Manual*.
18. American Society of Civil Engineers. 1998. *Urban runoff quality managenent*.
19. Mecalff & Eddy. 1991. *Wastewater Engineering treatment-disposal-reuse*, 3rd Edition
20. NJDEP. 1994. *Wastewater Engineering treatment-disposal-reuse*, 3rd Edition
21. Novotny, V., and Chesters, G., 1981. *Handbook of nonpoint pollution; sources and*

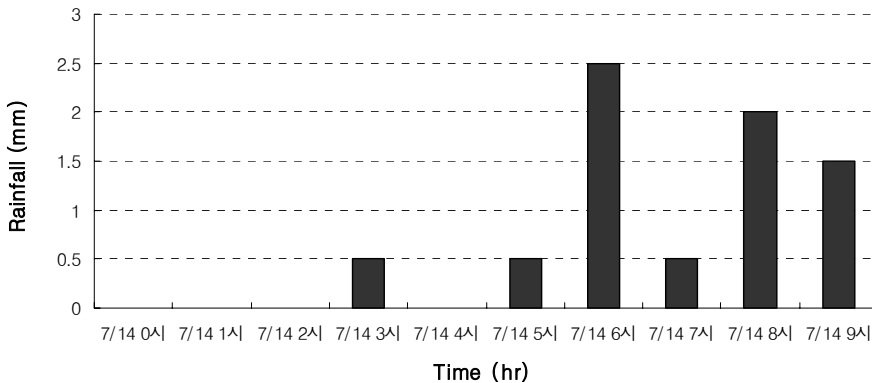
- management*, Van Nostrand Reinhold Co. N. Y.
22. Pitt, R., and McLean. J. 1986. Toronto Area Watershed Management Strategy study. Humber River Pilot Watershed Project. Final Rep., Ont. Ministry Environ., Toronto, Ont., Can.
 23. Schueler, T.R. 1987. Controlling Urban Runoff : A Practical Manual for Planning and Designing Urban Best Management Practices. Metro. Wash. Water Resour.Plann. Board, Washington D.C.
 24. Schueler, T.R. 1994. *Watershed Protection Techniques: a Quarterly Bulletin on Urban Watershed Restoration and Protection Tools*. Center for Watershed Protection, Silver Spring, Md., 1, with permission
 25. Stormceptor. 2002. The Stormceptor system technical manual
 26. U.S. EPA. 1983. Results of the Nationwide Urban Runoff Program. Final Report, Water Plann. Div. Washington,D.C.
 27. U.S. EPA. 1986. Methodology for Analysis of Detention Basins for Control of Urban Runoff Quality. EPA-440/5-87-001, Washington, D.C.
 28. U.S. Water News. 1989. *ANON Spillwat System Detects Pollution, Tokyo Metropolitan Government, Underground River*
 29. Urbonas, B.R. 1994. Urban Drainage and Flood Control. Flood Hazard News. Denver, Colo.
 30. Urbonas, B.R., and Stahre, p. 1993. *Stormwater-Best Management Practices*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
 31. WEF, 1991, Manual of Practice : *Exisiting sewer evaluation & rehabilitation*
 32. Vladimir Novotny and Harvey Olem. 1994. Water Quality Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution. Van Nostrand Reinhold
 33. Walker,W.W.1987. Phosphorus Removal by Urban Runoff Detention Basins. Lake and Reservoir Management:Volume III. North Am. Lake Manag. Soc., Washington. D.C.
 34. Wiegand,C,et al.1989. cost of Urban Quality Controls. In Design of Urban Runoff Quality Controls. Am. Soc. Civ. Eng., New York

부 록

(토지이용별 우수유출수의 수질 및 수량 분석결과)

1. I 지점의 강우시 오염물질 유출특성 분석(강우 1, 2002. 7.14)

강우 1은 2002. 7.14에 발생한 강우사상으로서 9시간동안 약 7.5mm의 강우량을 기록하였다. 다음 그림은 실측 지역의 시간대별 실제 강우분포도를 나타낸다.



<부그림-1> 강우1의 시간대별 강우분포도

I 지점의 토지이용별 비점오염물질 유출특성은 다음과 같다.

(1) 고밀도 아파트지역

■ BOD, COD, SS

강우사상동안 BOD농도는 5.6~33.4mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수의 농도가 비교적 높았다. COD와 SS는 BOD와 유사한 유출특성을 보였으며, 강우 사상 동안 각각 24.5~120.9mg/L, 22.0~107.0mg/L의 농도범위를 보였다.

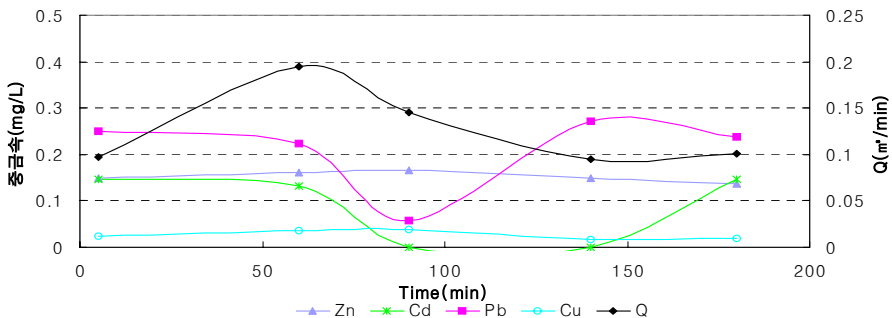
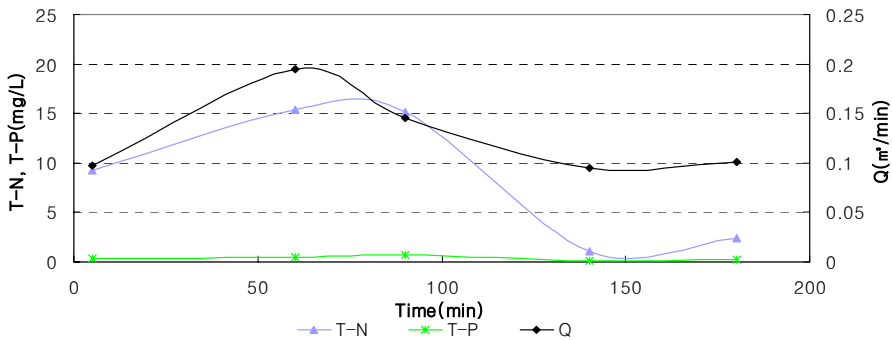
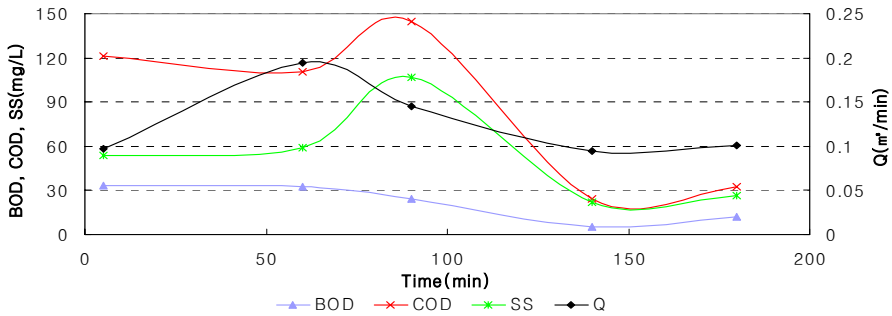
■ T-N, T-P

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 0.03~15.44mg/L, 0.16~0.67mg/L의 농도범

위를 보였으며, 총질소의 경우 유출량 변화와 유사한 오염물질 농도변화를 보였다.

■ Zn, Cd, Pb, Cu

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.137~0.165mg/L, 0~0.147mg/L, 0.057~0.25mg/L, 0.016~0.039mg/L의 농도범위를 나타내었으며, 유출량 변화와 큰 상관성을 나타내지 않았다.



<부그림-2> 우수유출수의 오염물질 유출특성(고밀도 아파트지역)

(2) 단독주거지역

■ BOD, COD, SS

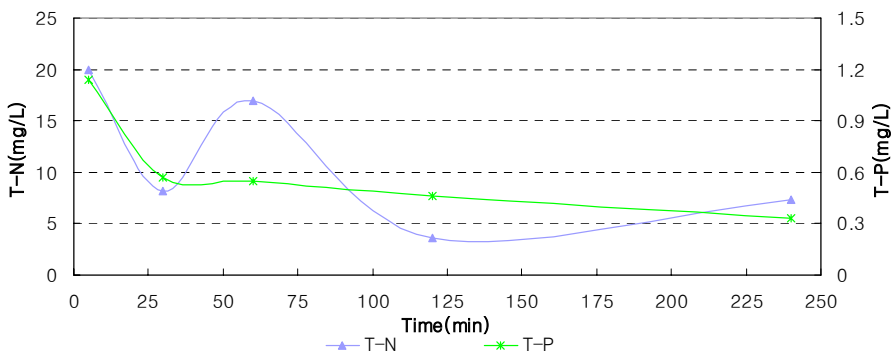
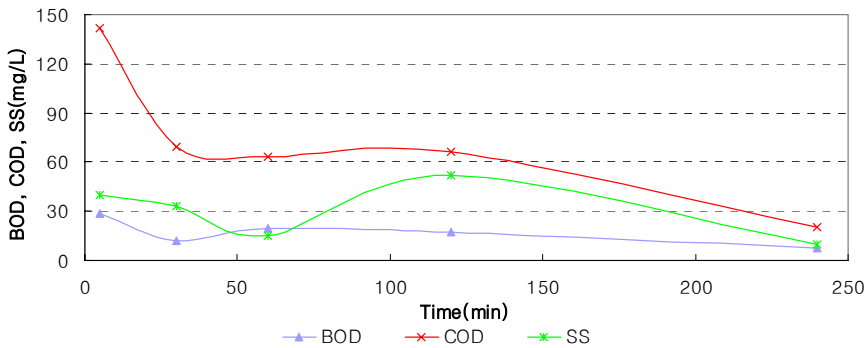
강우사상동안 BOD, COD, SS 농도는 각각 7.4~28.5mg/L, 20.4~142.0mg/L, 10.0~52.0mg/L의 범위를 보였으며, 비교적 초기 우수유출수에서 높은 농도를 나타내었다.

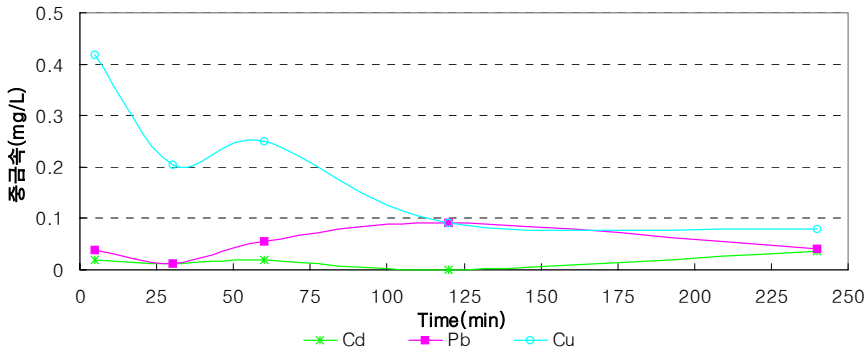
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 3.62~20.00mg/L, 0.33~1.14mg/L의 농도범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 오염물질 농도가 높게 나타났다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.02mg/L, 0.013~0.092mg/L, 0.080~0.419mg/L의 농도범위를 나타내었다.





<부그림-3> 우수유출수의 오염물질 유출특성(단독 주거지역)

(3) 상업지역

■ BOD, COD, SS

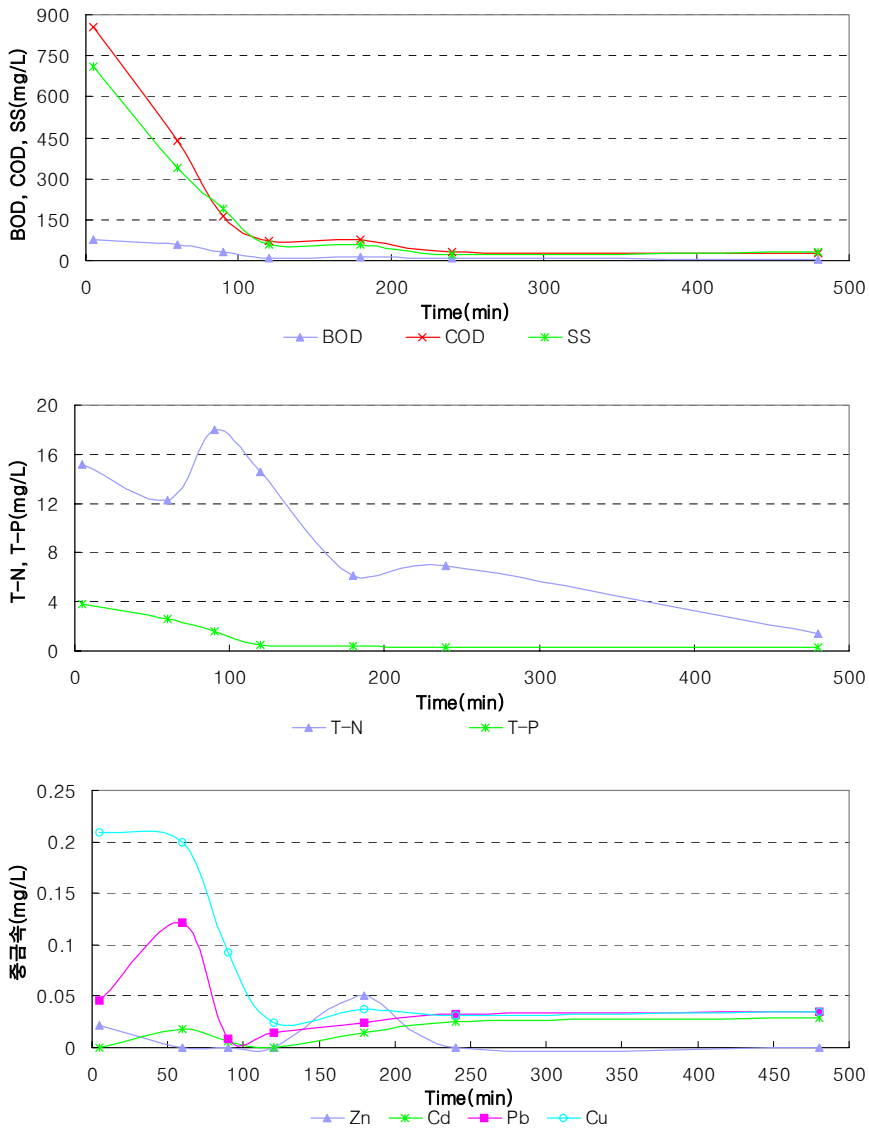
강우사상동안 BOD농도는 5.6~75.7mg/L의 범위를 보였으며, 특히 초기우수유출수에서 높은 농도를 보였다. COD와 SS는 BOD와 유사한 유출특성을 보였으며, 강우사상동안 각각 27.8~854.0mg/L, 21.0~710.0mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 1.42~15.20mg/L, 0.29~3.80mg/L의 농도범위를 보였으며 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.022mg/L, 0.0~0.029mg/L, 0.024~0.121mg/L, 0.024~0.209mg/L의 농도범위를 나타내었다.



<부그림-4> 우수유출수의 오염물질 유출특성(상업지역)

(4) 공업지역

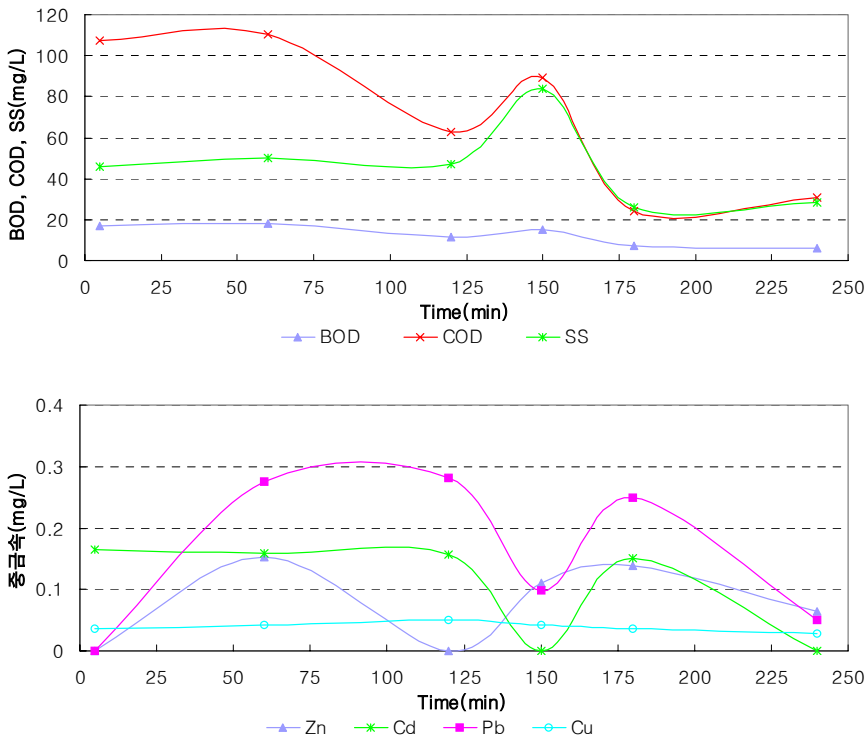
■ BOD, COD, SS

강우사상동안 BOD농도는6.1~18.4mg/L의 범위를 보였으며 초기우수유출수에서

비교적 높은 오염농도를 보였다. COD와 SS는 BOD와 유사한 유출특성을 보였으며, 강우 사상동안 각각 24.0~110.2mg/L, 26.0~84.0mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.152mg/L, 0.0~0.164mg/L, 0.0~0.281mg/L, 0.029~0.051mg/L의 농도범위를 나타내었다.



<부그림-5> 우수유출수의 오염물질 유출특성(공업지역)

(5) 자동차도로지역

우수유출수가 발생하지 않아 실측이 이루어지지 못하였으며, 2차 실측시 실측장소를 변경하였다.

(6) 주차장

■ BOD, COD, SS

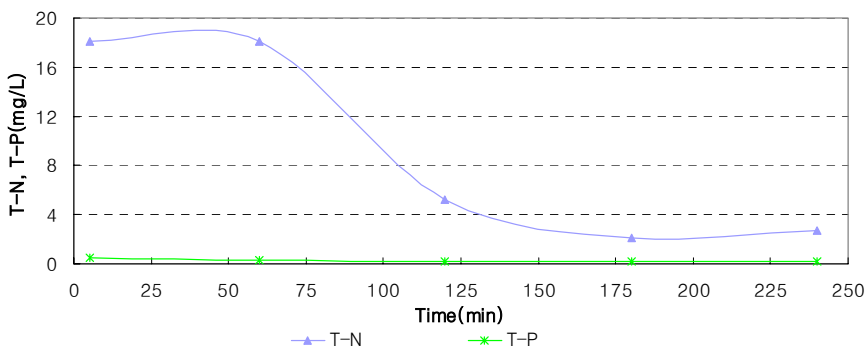
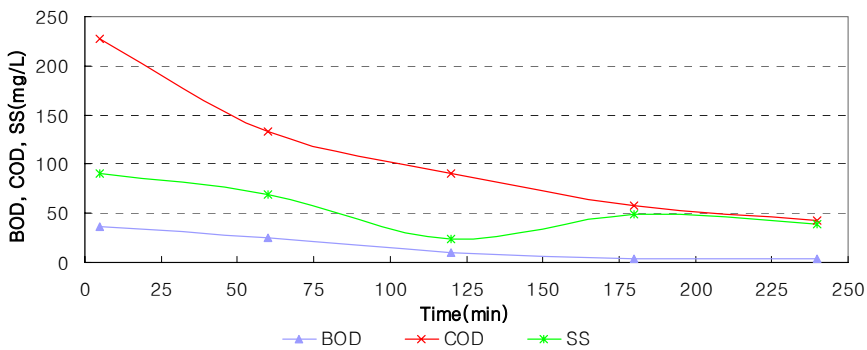
강우사상동안 BOD농도는 3.4~36.4mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 높은 농도를 나타내었다. COD와 SS는 BOD와 유사한 유출특성을 보였으며, 강우사상동안 각각 42.5~227.2mg/L, 23.5~91.0mg/L의 농도범위를 보였다.

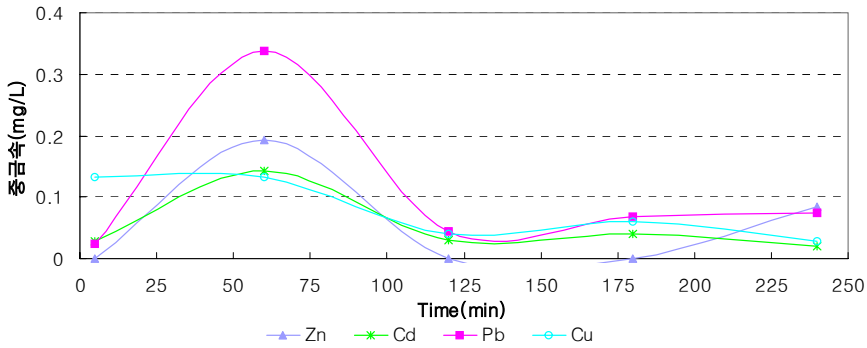
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 2.11~18.07mg/L, 0.16~0.48mg/L의 농도범위를 보였으며 초기 우수유출수에서 비교적 높은 유출농도를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.193mg/L, 0.028~0.142mg/L, 0.024~0.338mg/L, 0.028~0.133mg/L의 농도범위를 나타내었다.

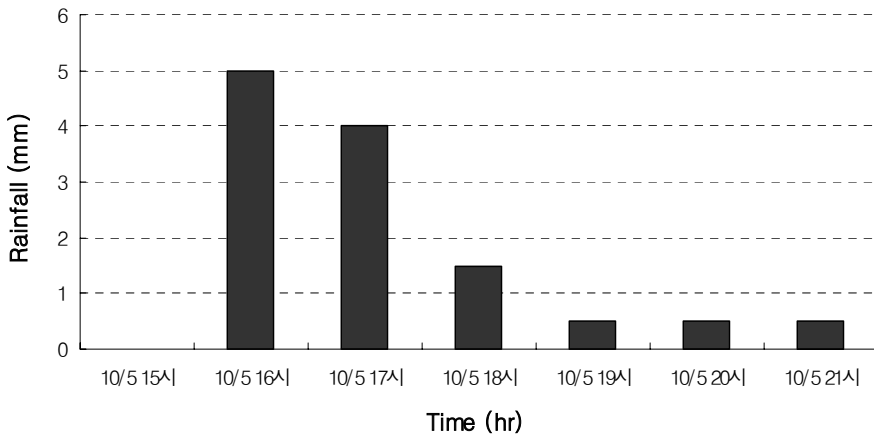




<부그림-6> 우수유출수의 오염물질 유출특성(주차장)

2. I 지점의 강우시 오염물질 유출특성 분석(강우 2, 2002.10. 5)

강우2는 2002. 10.5에 발생한 강우사상으로서 6시간동안 약 12mm의 강우량을 기록하였으며, <부그림-7>은 시간대별 실제 강우분포도를 나타내었다.



<부그림-7> 강우2의 시간대별 강우분포도

I 지점의 토지이용별 비점오염물질 유출특성은 다음과 같다.

(1) 고밀도아파트지역

■ BOD, COD, SS

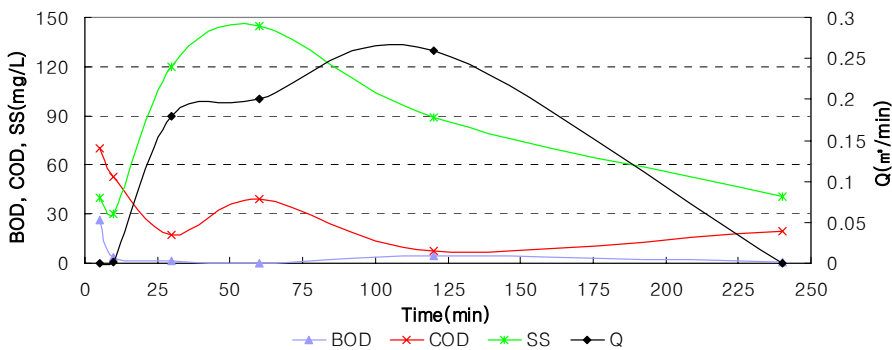
강우사상동안 BOD 및 COD 농도는 각각 0.1~26.7mg/L, 7.9~70.3mg/L의 범위를 보였으며, 초기 강우시 비교적 유출농도가 높았다. SS 농도는 30.0~145.0mg/L의 범위를 나타내었으며, 유출량의 변화와 유사한 경향을 나타내었다. SS 농도의 피크치는 유량 피크치에 앞서 발생하였다.

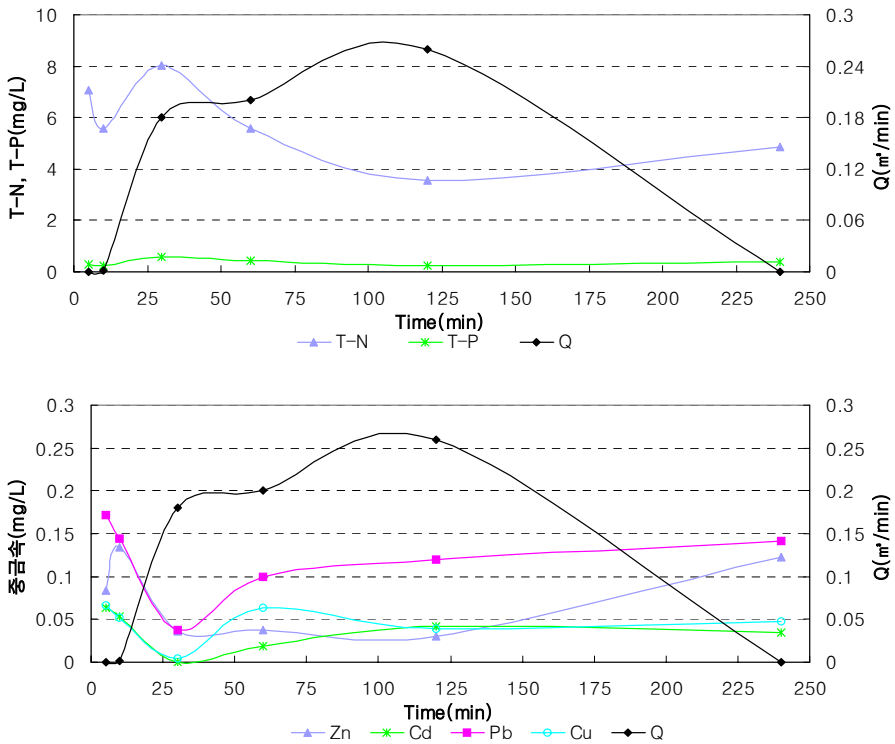
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 3.56~8.03mg/L, 0.25~0.59mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.031~0.134mg/L, 0.0~0.063mg/L, 0.037~0.171mg/L, 0.004~0.066mg/L의 농도범위를 나타내었으며, 유출량 변화와 큰 상관성을 나타내지 않았다.





<부그림-8> 강우유출수 오염물질 유출특성(고밀도아파트지역)

(2) 단독주거지역

■ BOD, COD, SS

강우사상동안 BOD, COD 농도는 각각 6.4~21.4mg/L, 13.1~156.2mg/L의 범위를 보였으며, 비교적 초기 우수유출수에서 높은 농도를 보였다. SS 6.9~125.1mg/L의 농도범위를 보였으며, 유출량의 변화와 유사한 경향을 보였다.

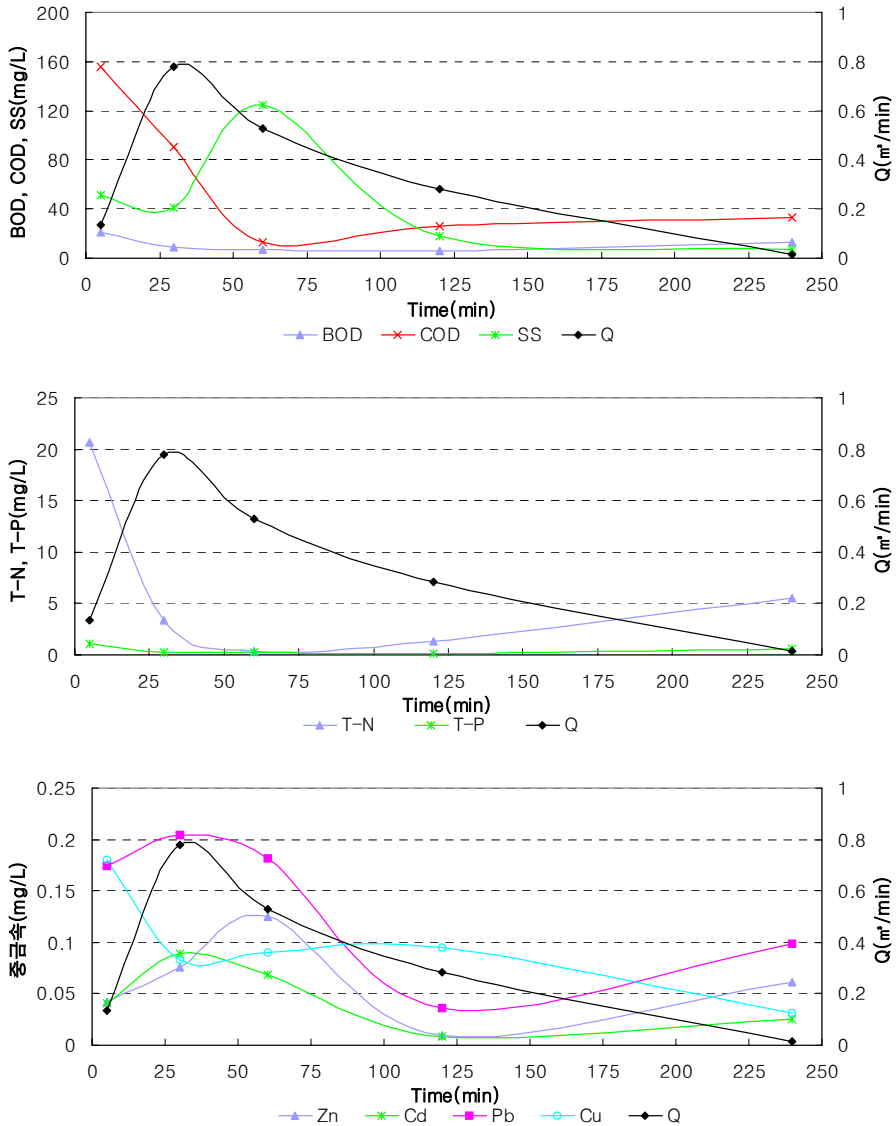
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 0.42~20.73mg/L, 0.17~1.13mg/L의 농도범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.010~0.125mg/L, 0.008~

0.090mg/L, 0.036~0.175mg/L, 0.031~0.180mg/L의 농도범위를 나타내었다.



<부그림-9> 강우유출수 오염물질 유출특성(단독주거지역)

(3) 상업지역

■ BOD, COD, SS

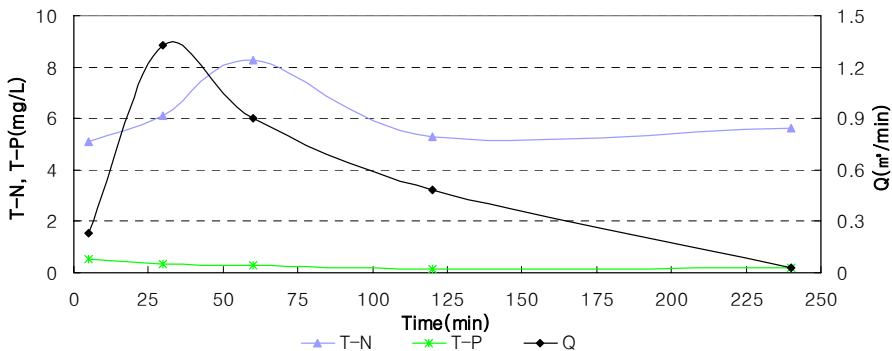
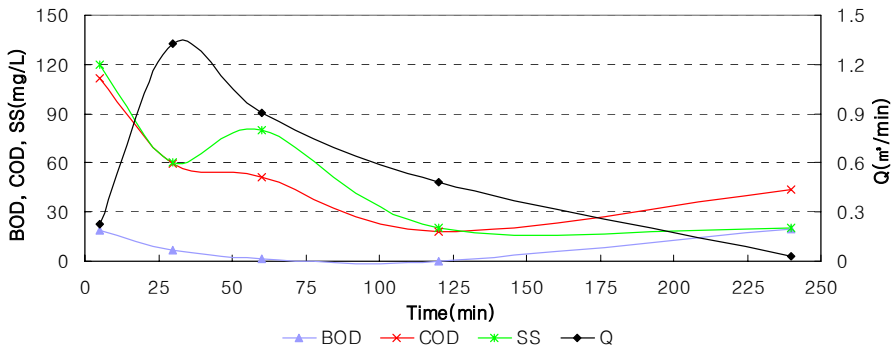
강우사상동안 BOD, COD, SS 농도는 각각 0.3~19.6mg/L, 18.3~111.5mg/L, 20.0~120.0mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

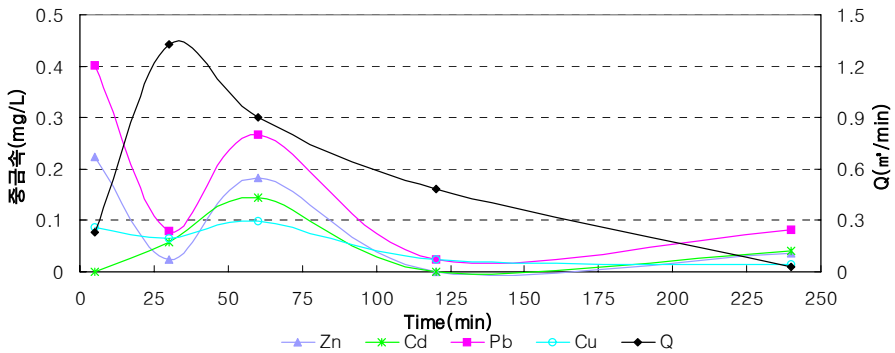
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 5.11~8.29mg/L, 0.16~0.54mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.000~0.223mg/L, 0.0~0.145mg/L, 0.024~0.402mg/L, 0.014~0.098mg/L의 농도범위를 나타내었다.





<부그림-10> 강우유출수 오염물질 유출특성(상업지역)

(4) 공업지역

■ BOD, COD, SS

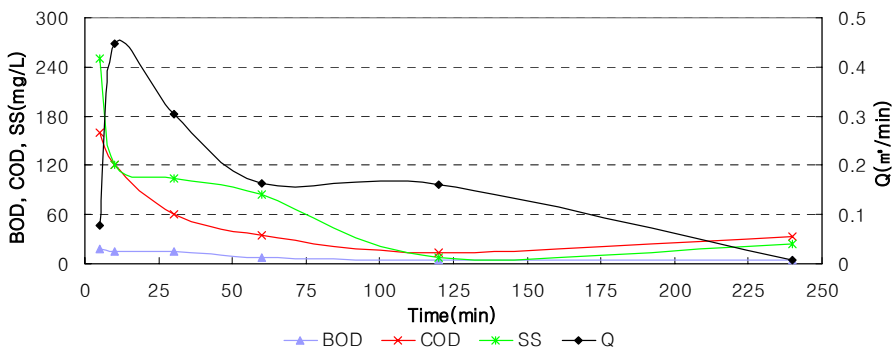
강우사상동안 BOD, COD, SS 농도는 각각 4.0~17.8mg/L, 13.8~159.8mg/L, 8.0~250.0mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

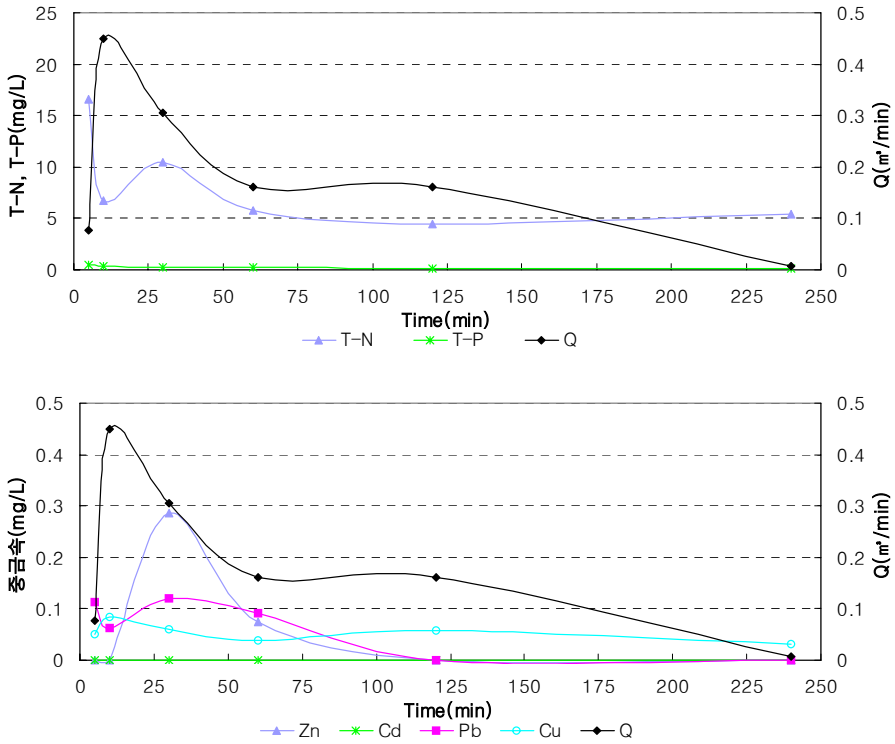
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 4.43~16.63mg/L, 0.11~0.47mg/L의 농도범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.287mg/L, 0.0mg/L, 0.0~0.114mg/L, 0.031~0.085mg/L의 농도범위를 나타내었다.





<부그림-11> 강우유출수 오염물질 유출특성(공업지역)

(5) 자동차도로

■ BOD, COD, SS

강우사상동안 BOD, COD, SS 농도는 각각 4.1~18.6mg/L, 30.8~112.0mg/L, 40.0~120.0mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

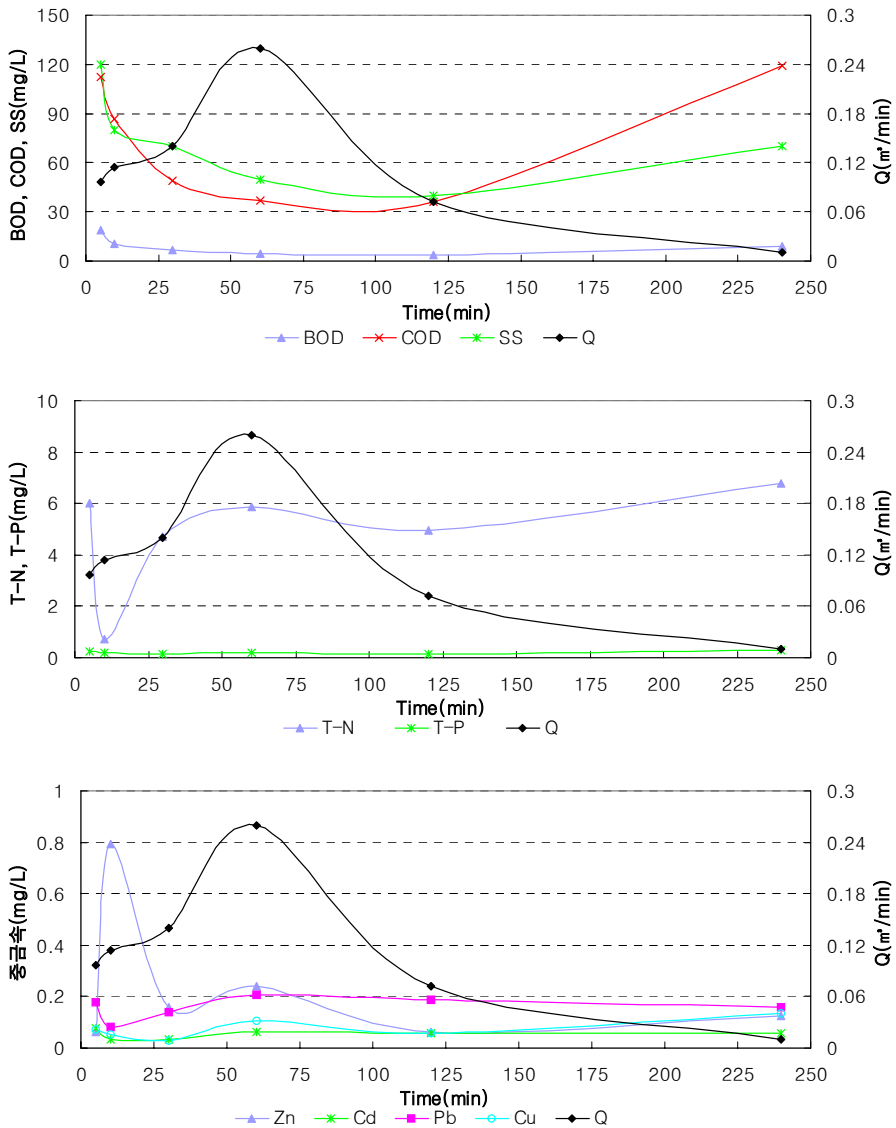
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 0.71~6.77mg/L, 0.13~0.30mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.063~0.794mg/L, 0.033~

0.077mg/L, 0.084~0.207mg/L, 0.030~0.134mg/L의 농도범위를 나타내었으며, 유출량 변화와 큰 상관성을 나타내지 않았다.



<부그림-12> 강우유출수 오염물질 유출특성(자동차도로지역)

(6) 주차장

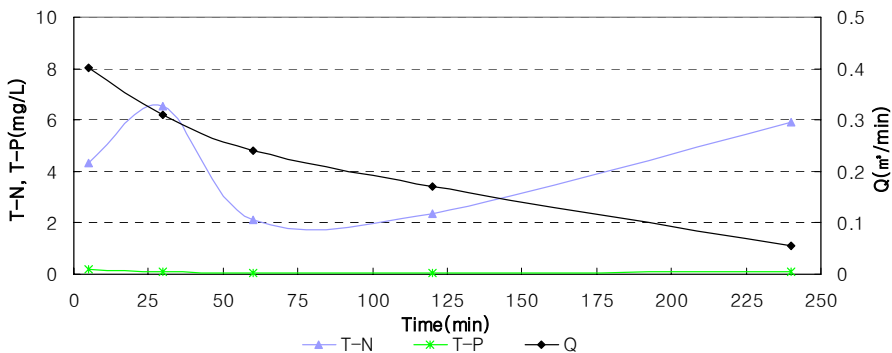
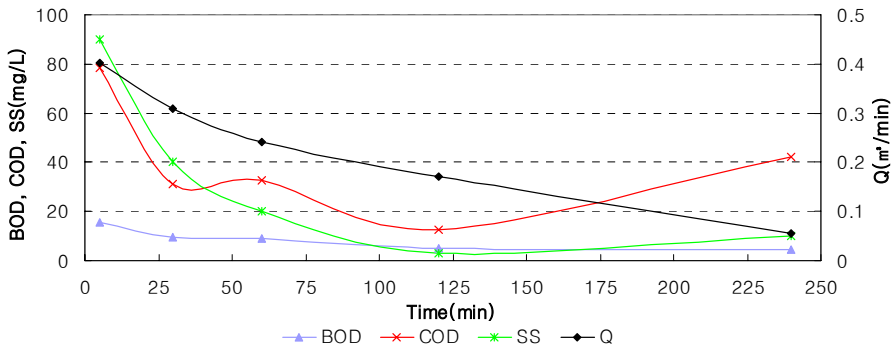
■ BOD, COD, SS

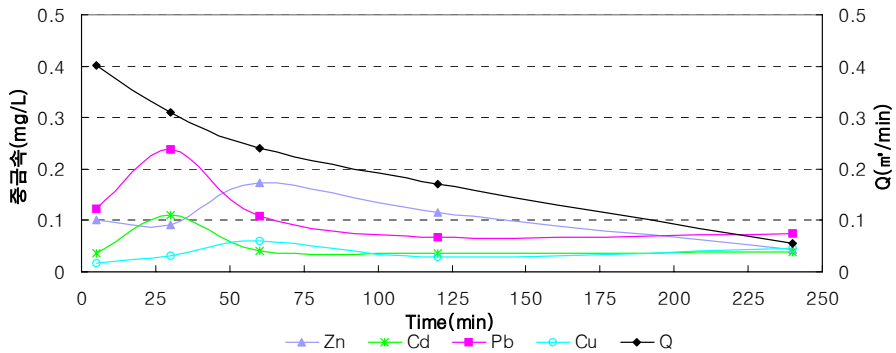
강우사상동안 BOD, COD, SS 농도는 각각 4.7~15.6mg/L, 12.7~78.2mg/L, 3.0~90.0mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다. ■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 2.12~6.52mg/L, 0.05~0.21mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.043~0.174mg/L, 0.035~0.110mg/L, 0.067~0.239mg/L, 0.018~0.060mg/L의 농도범위를 나타내었다.

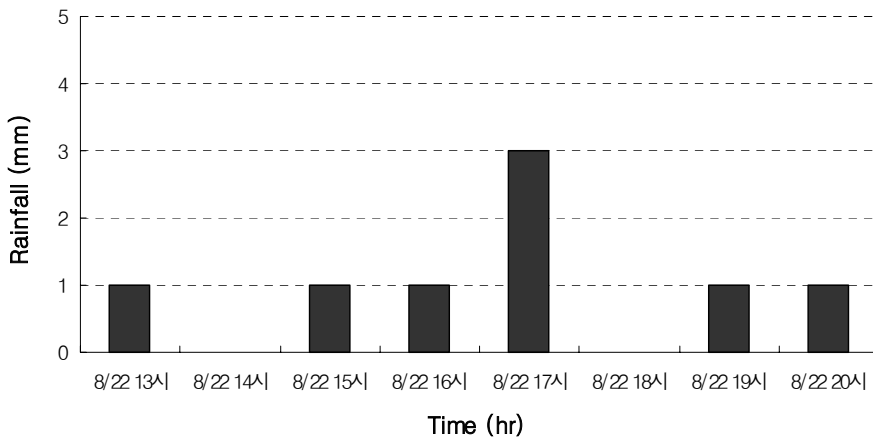




<부그림-13> 강우유출수 오염물질 유출특성(주차장)

3. II지점의 강우시 오염물질 유출특성 분석(강우 3, 2002. 8.22)

강우3은 2002. 8.22에 발생한 강우사상으로서 7시간동안 약 8mm의 강우량을 기록하였으며, <부그림-14>은 시간대별 실제 강우분포도를 나타낸다.



<부그림-14> 강우3의 시간대별 강우분포도

(1) 고밀도아파트지역

■ BOD, COD, SS

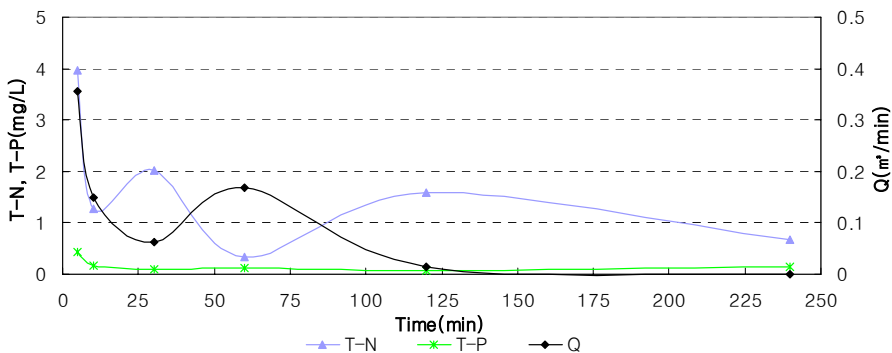
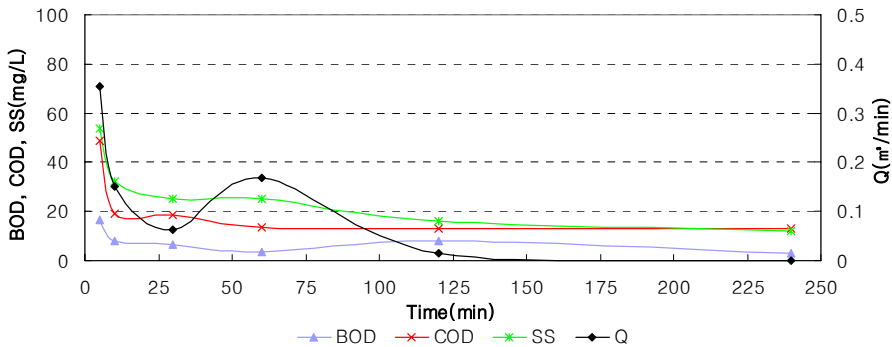
강우사상동안 BOD, COD, SS 농도는 각각 3.0~16.6mg/L, 13.1~48.8mg/L, 12.0~54.0mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

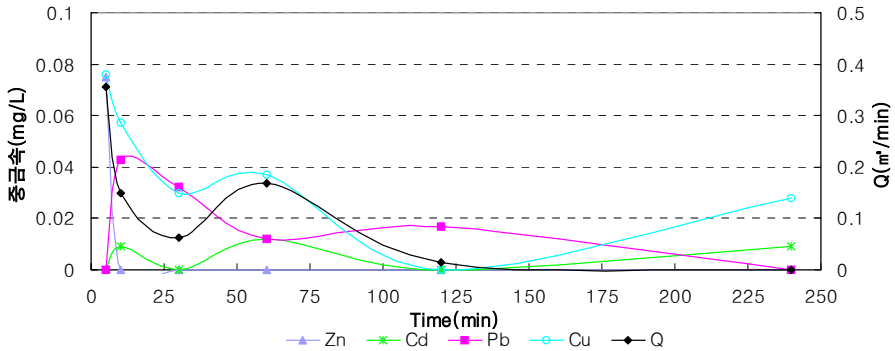
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 0.33~3.96mg/L, 0.1~0.44mg/L의 농도범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.000~0.075mg/L, 0.0~0.012mg/L, 0.0~0.043mg/L, 0.0~0.076mg/L의 농도범위를 나타내었으며, 유출량 변화와 큰 상관성을 나타내지 않았다.





<부그림-15> 강우유출수 오염물질 유출특성(고밀도아파트지역)

(2) 단독주거지역

■ BOD, COD, SS

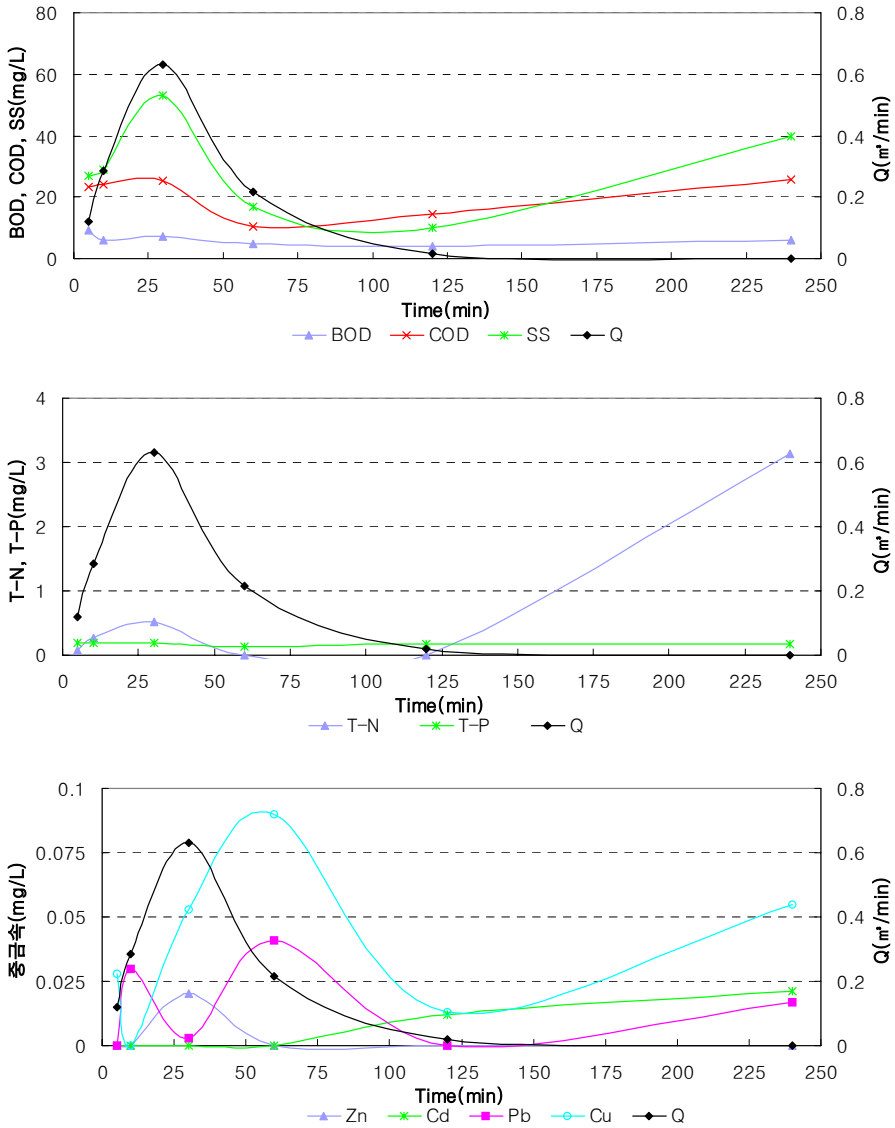
강우사상동안 BOD, COD농도는 각각 3.8~9.3mg/L, 10.6~25.8mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다. SS는 10.0~40.0mg/L의 농도범위를 보였으며, SS의 농도변화는 우수유출량 변화가 유사한 경향을 보였다.

■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 0.0~15.0mg/L, 0.20~0.14mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.02mg/L, 0.0~0.210mg/L, 0.0~0.041mg/L, 0.0~0.090mg/L의 농도범위를 나타내었다.



<부그림-16> 강우유출수 오염물질 유출특성(단독주거지역)

(6) 주차장

■ BOD, COD, SS

강우사상동안 BOD, COD, SS농도는 각각 2.4~14.0mg/L, 6.7~91.4mg/L, 7.0~

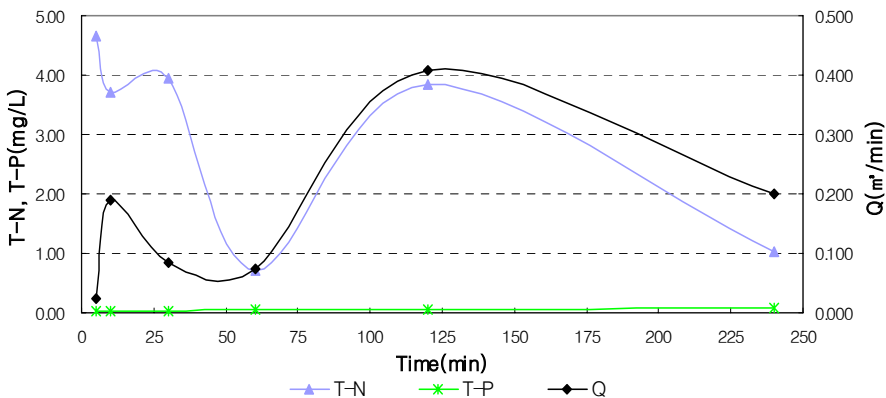
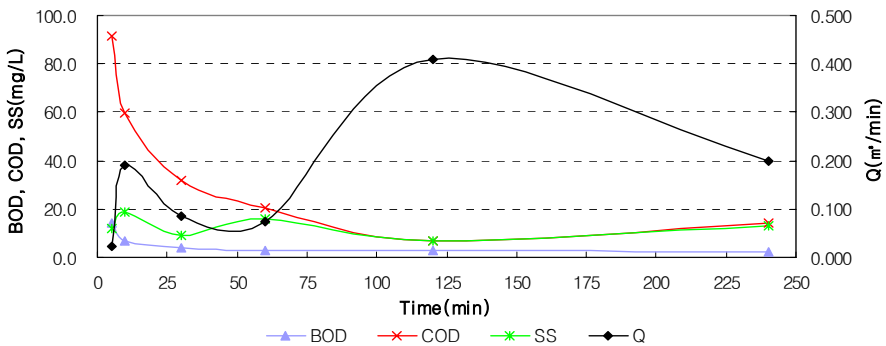
19.0mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

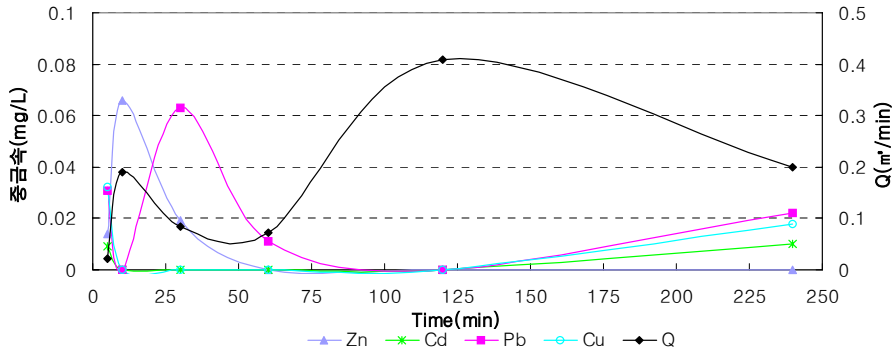
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 0.70~4.65mg/L, 0.02~0.08mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.066mg/L, 0.0~0.01mg/L, 0.0~0.063mg/L, 0.0~0.032mg/L의 농도범위를 나타내었다.

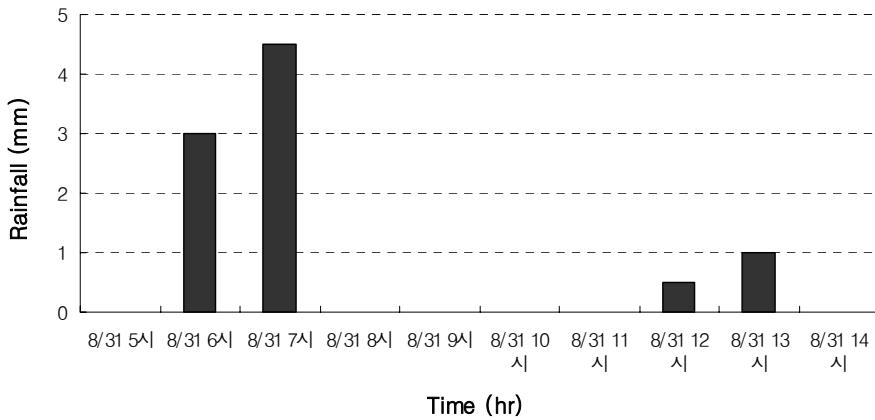




<부그림-17> 강우유출수 오염물질 유출특성(주차장)

4. II지점의 강우시 오염물질 유출특성 분석(강우 4, 2002. 8.31)

강우4는 2002. 8.31에 발생한 강우사상으로서 9시간동안 약 9mm의 강우량을 기록하였으며, <부그림-18>은 시간대별 실제 강우분포도를 나타낸다.



<부그림-18> 강우4의 시간대별 강우분포도

(1) 고밀도아파트지역

■ BOD, COD, SS

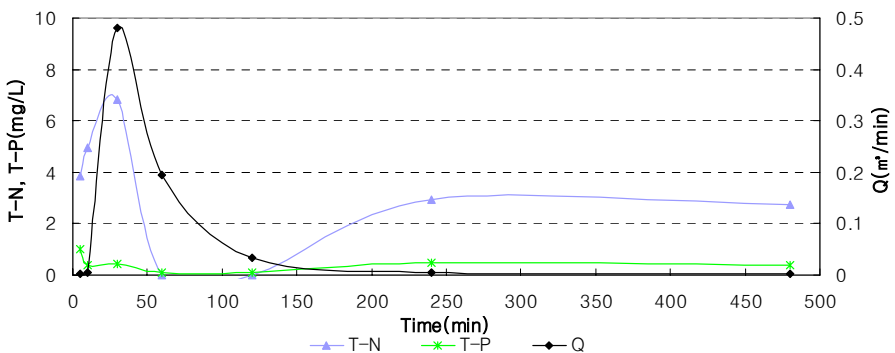
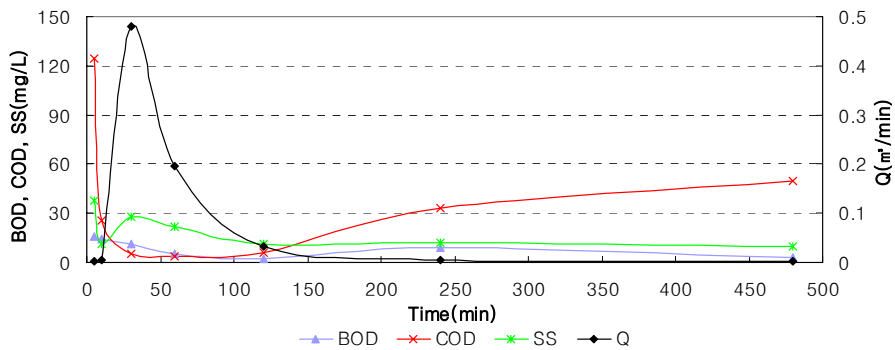
강사상동안 BOD, COD, SS농도는 각각 2.9~16.2mg/L, 6.3~124.5mg/L, 10.0~38.0mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

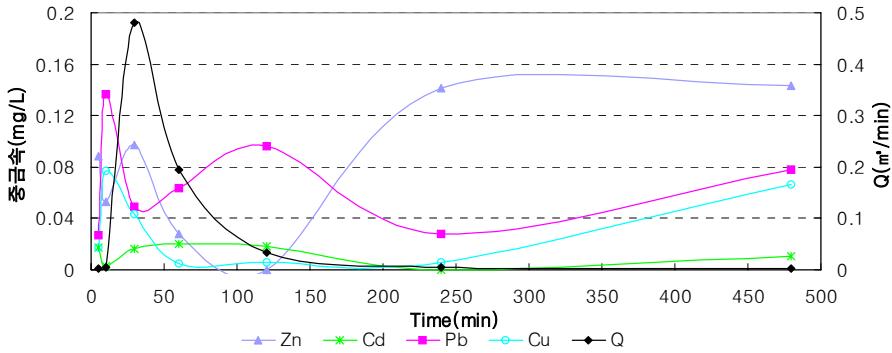
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 0.0~6.84mg/L, 0.11~1.01mg/L의 농도범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.143mg/L, 0.0~0.020mg/L, 0.028~0.137mg/L, 0.005~0.066mg/L의 농도범위를 나타내었으며, 유출량 변화와 큰 상관성을 나타내지 않았다





<부그림-19> 강우유출수 오염물질 유출특성(고밀도아파트지역)

(2) 단독주거지역

■ BOD, COD, SS

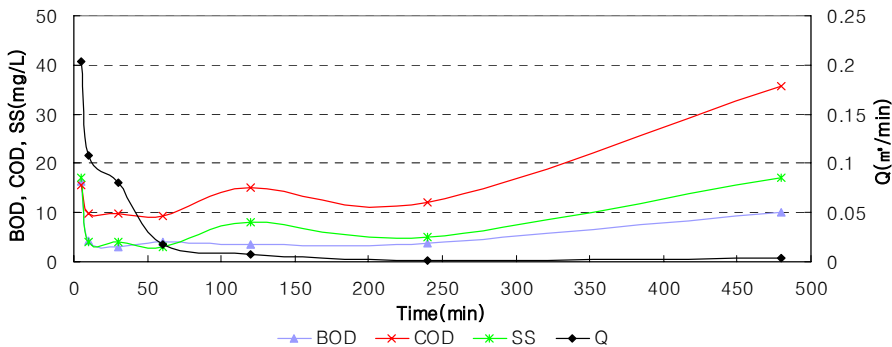
강우사상동안 BOD, COD, SS농도는 각각 3.7~16.4mg/L, 9.2~35.6mg/L, 3.0~17.0mg/L의 범위를 보였다.

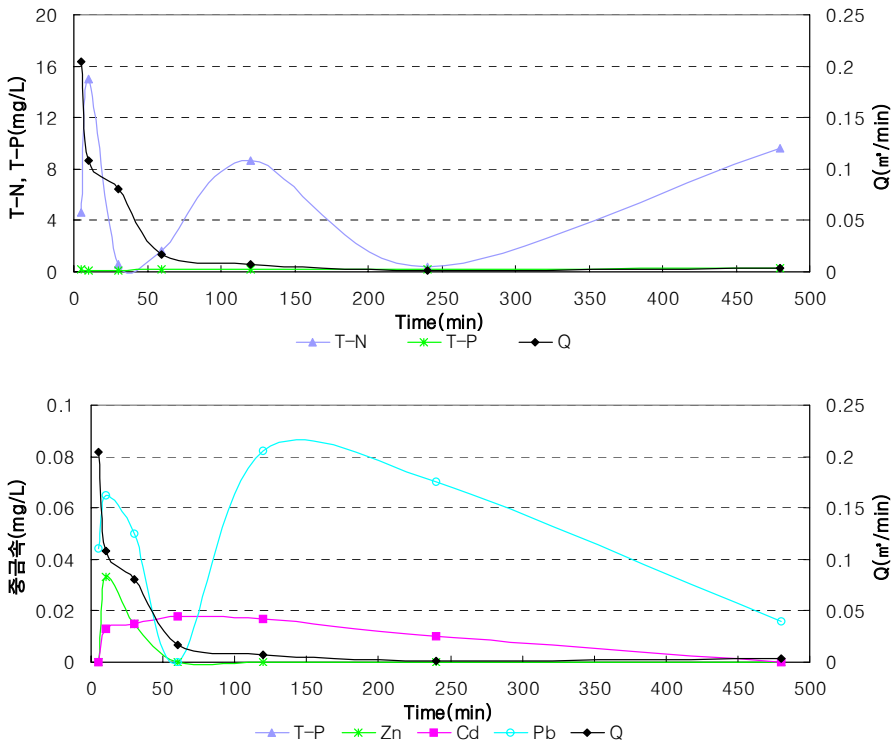
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 0.4~15.0mg/L, 0.13~0.26mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.033mg/L, 0.0~0.018mg/L, 0.0~0.082mg/L, 0.031~0.117mg/L의 농도범위를 나타내었다.





<부그림-20> 강우유출수 오염물질 유출특성(단독주거지역)

(3) 상업지역

■ BOD, COD, SS

강우사상동안 BOD, COD, SS 농도는 각각 5.4~24.8mg/L, 5.7~113.0mg/L, 3.0~20.0mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

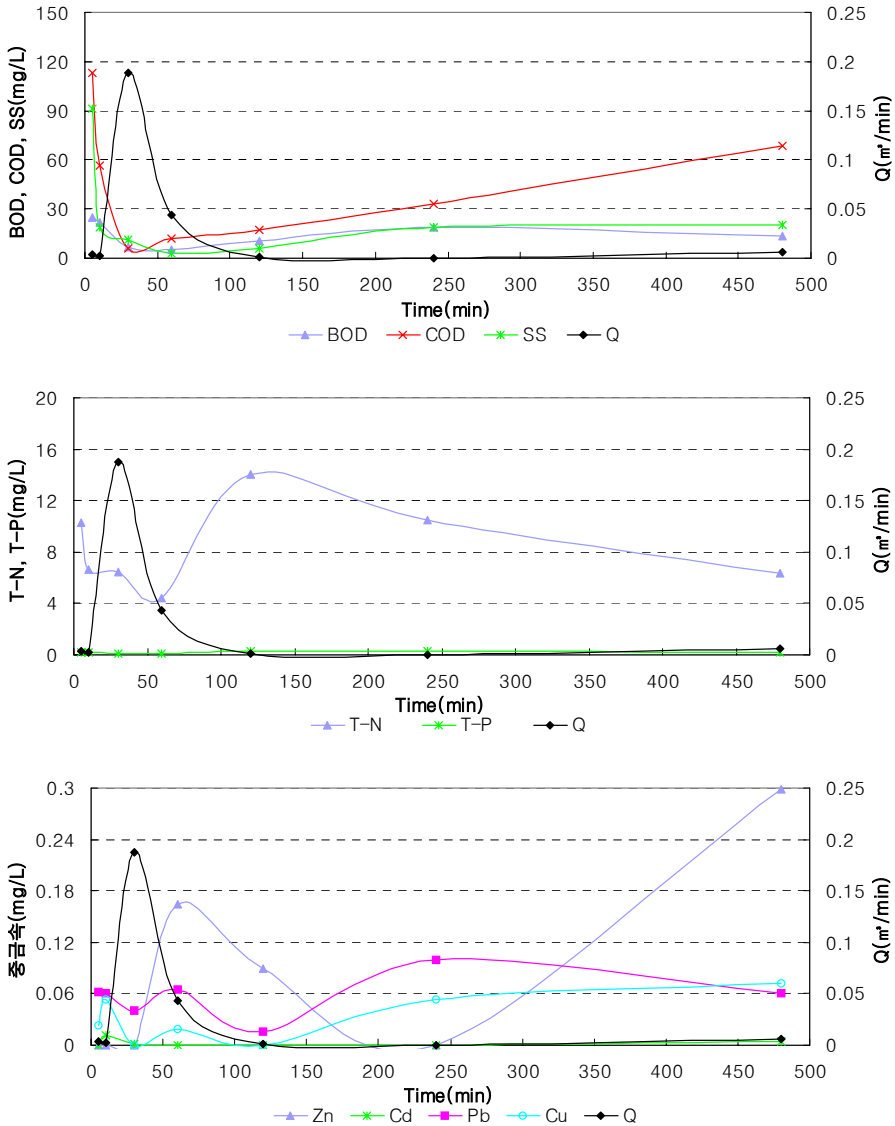
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 4.46~10.31mg/L, 0.10~0.29mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.298mg/L, 0.0~0.012mg/L, 0.041~0.099mg/L, 0.0~0.072mg/L의 농도범위를 나타내었으며, 유출량 변

화와 큰 상관성을 나타내지 않았다.



<부그림-21> 강우유출수 오염물질 유출특성(상업지역)

(4) 공업지역

■ BOD, COD, SS

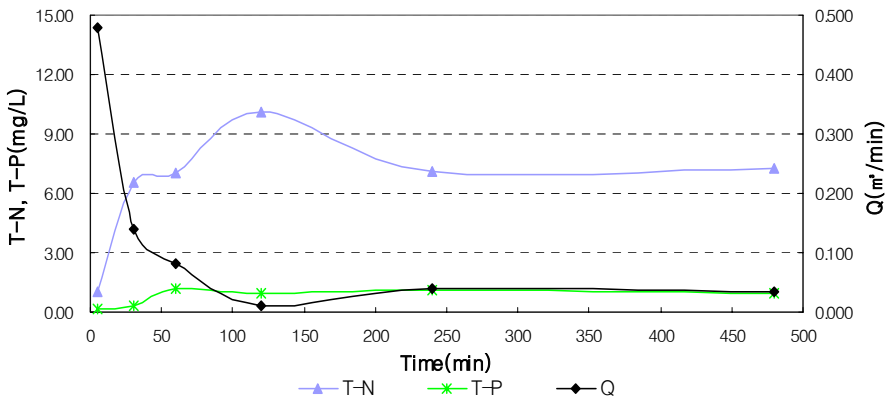
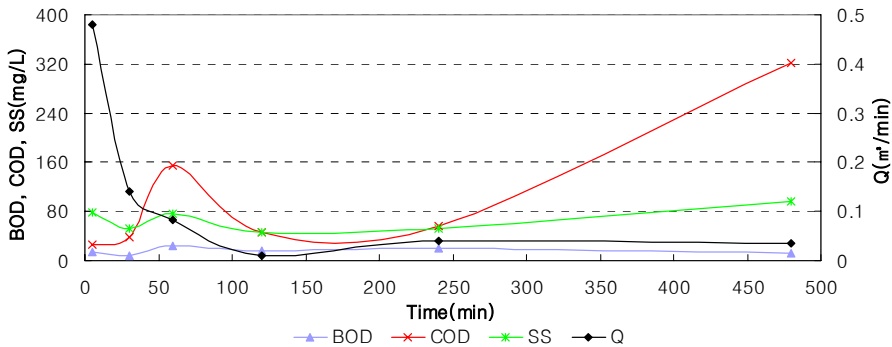
강우사상동안 BOD, COD, SS농도는 각각 9.0~24.6mg/L, 26.6~322.0mg/L, 46.0~95.8mg/L의 범위를 보였다.

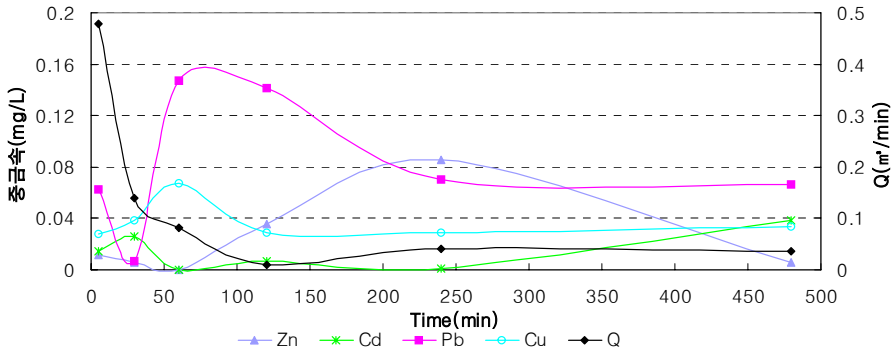
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 0.99~10.14mg/L, 0.10~1.16mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.000~0.085mg/L, 0.0~0.038mg/L, 0.007~0.148mg/L, 0.028~0.067mg/L의 농도범위를 나타내었다.





<부그림-22> 강우유출수 오염물질 유출특성(공업지역)

(5) 자동차도로

■ BOD, COD, SS

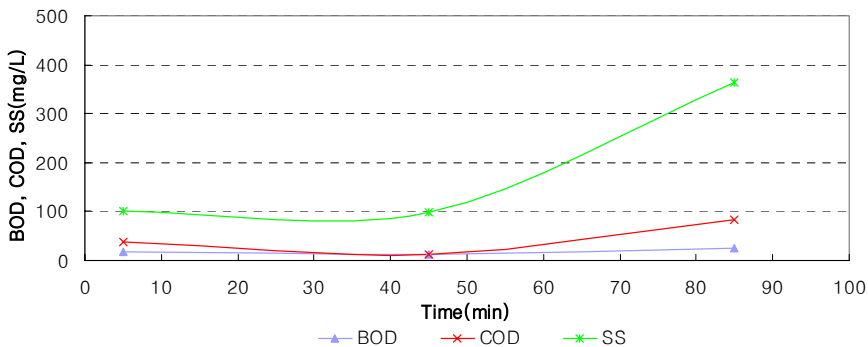
강우사상동안 BOD, COD, SS 농도는 각각 12.0~24.4mg/L, 13.4~82.5mg/L, 98.0~364.0mg/L의 범위를 보였다.

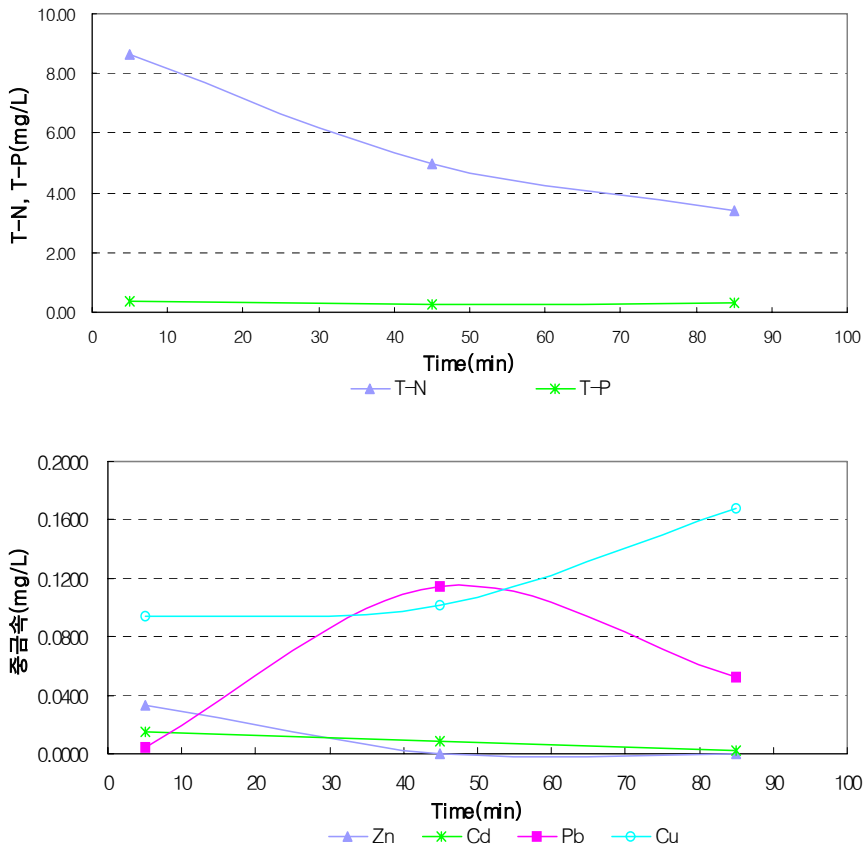
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 3.41~8.62mg/L, 0.27~0.39mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.000~0.033mg/L, 0.002~0.015mg/L, 0.004~0.052mg/L, 0.094~0.168mg/L의 농도범위를 나타내었다.





<부그림-23> 강우유출수 오염물질 유출특성(자동차도로지역)

(6) 주차장

■ BOD, COD, SS

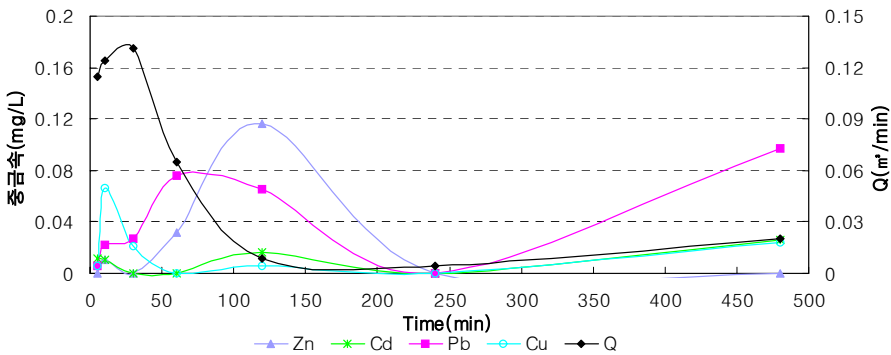
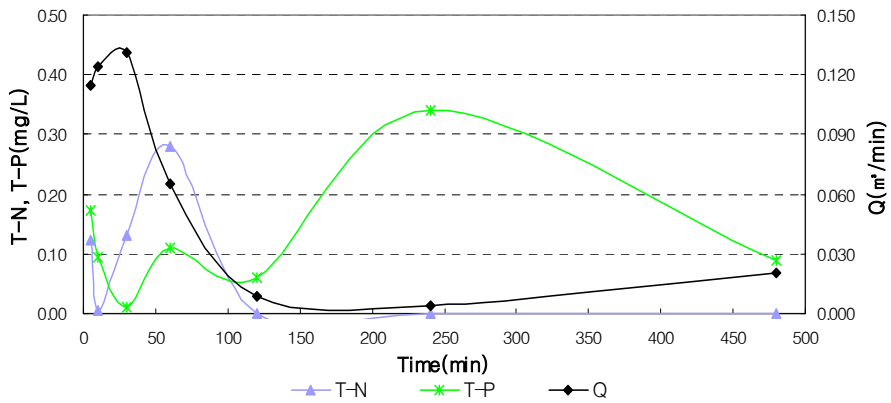
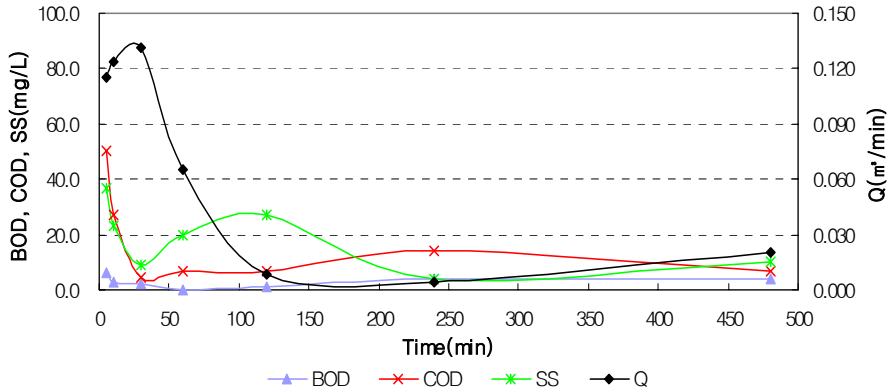
강우사상동안 BOD, COD, SS농도는 0.1~6.2mg/L, 4.4~50.4mg/L, 4.0~36.6mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 나타내었다.

■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 0.001~0.28mg/L, 0.01~0.34mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

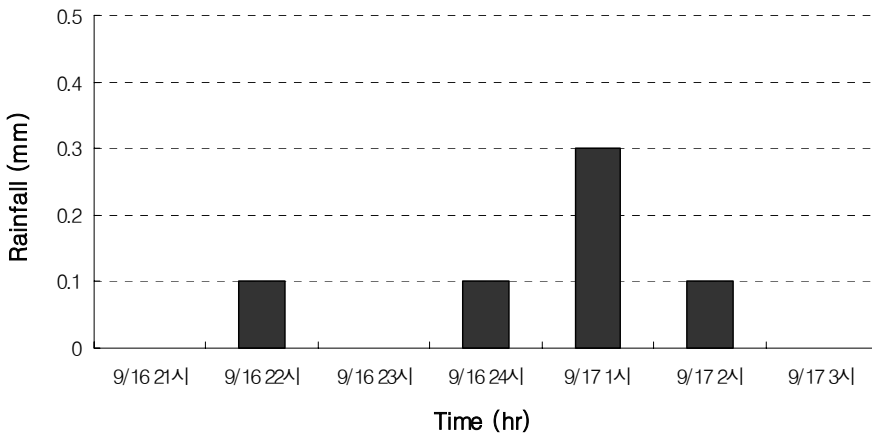
조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.000~0.116mg/L, 0.000~0.026mg/L, 0.000~0.097mg/L, 0.000~0.066mg/L의 농도범위를 나타내었다.



<부그림-24> 강우유출수 오염물질 유출특성(주차장)

5. II지점의 강우시 오염물질 유출특성 분석(강우 5, 2002. 9.16)

강우1은 2002. 9.16에 발생한 강우사상으로서 6시간동안 약 0.6mm의 강우량을 기록하였으며, <부그림-25>는 시간대별 실제 강우분포도를 나타낸다.



<부그림-25> 강우5의 시간대별 강우분포도

(1) 고밀도아파트지역

유출수 없음

(2) 단독주거지역

■ BOD, COD, SS

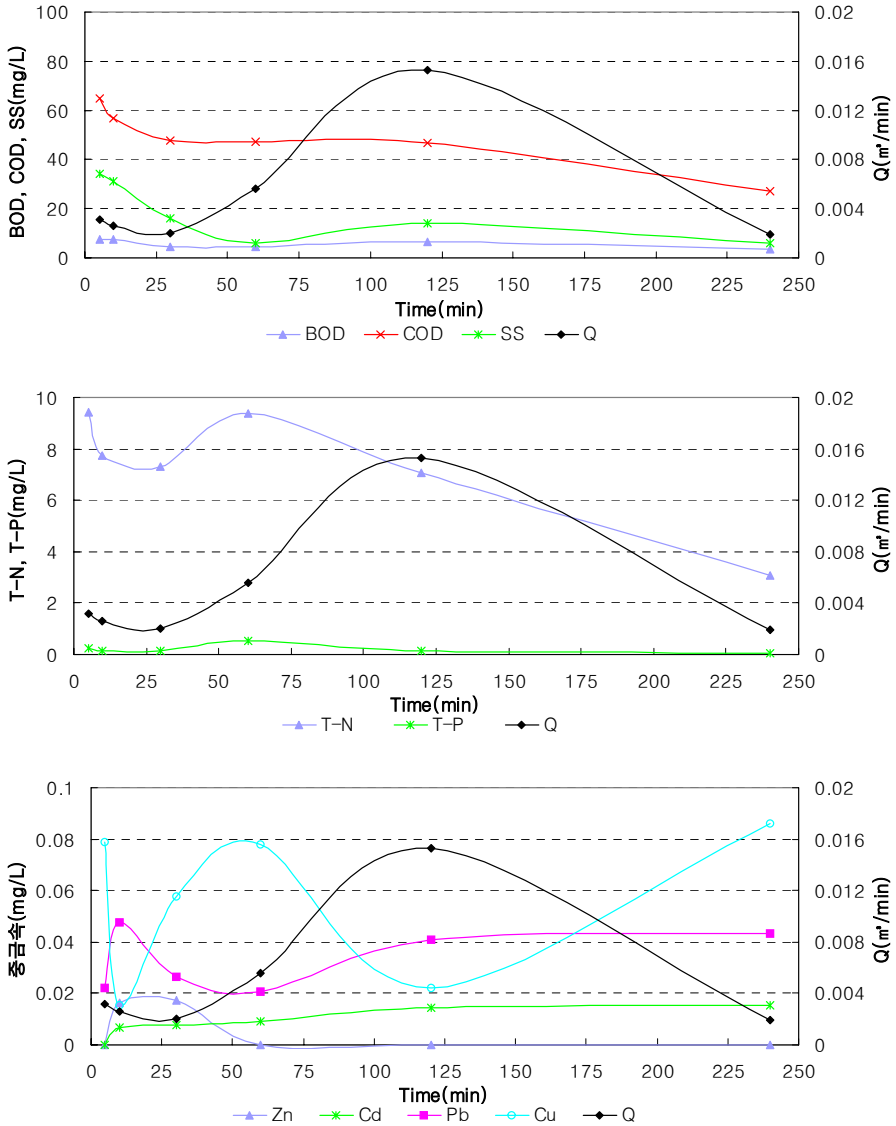
강우사상동안 BOD, COD, SS농도는 각각 3.3~7.6mg/L, 27.2~64.8mg/L, 6.0~34.0mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 3.08~9.42mg/L, 0.07~0.53mg/L의 농도범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.0175mg/L, 0.0~0.015mg/L, 0.021~0.047mg/L, 0.015~0.086mg/L의 농도범위를 나타내었다.



<부그림-26> 강우유출수 오염물질 유출특성(단독주거지역)

(3) 상업지역

■ BOD, COD, SS

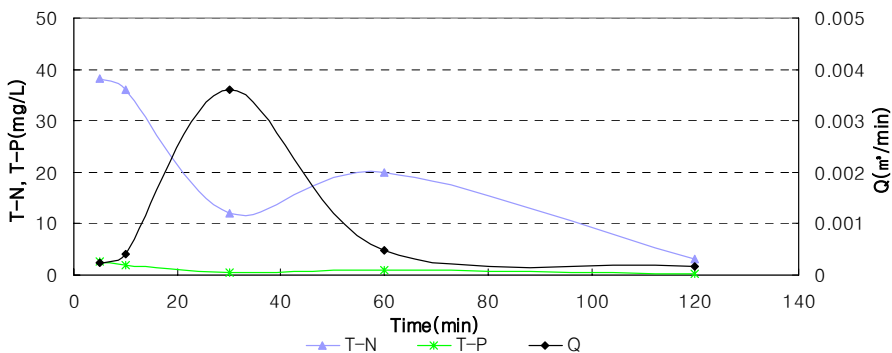
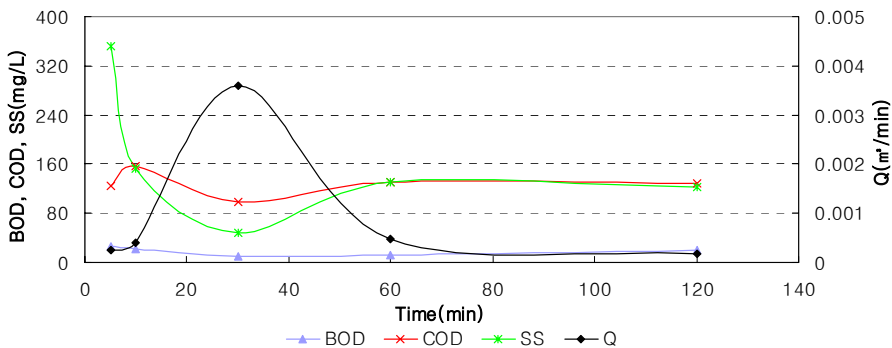
강우사상동안 BOD, COD, SS농도는 각각 9.7~25.6mg/L, 98.2~157.4mg/L, 48.0~352.0mg/L의 범위를 보였다.

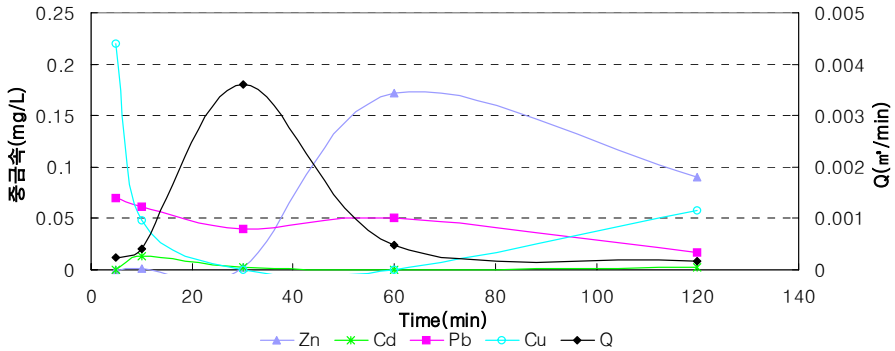
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 3.21~38.25mg/L, 0.17~2.56mg/L의 농도범위를 보였으며, 초기 유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.172mg/L, 0.0~0.013mg/L, 0.017~0.070mg/L, 0.0~0.220mg/L의 농도범위를 나타내었다.





<부그림-27> 강우유출수 오염물질 유출특성(상업지역)

(4) 공업지역

■ BOD, COD, SS

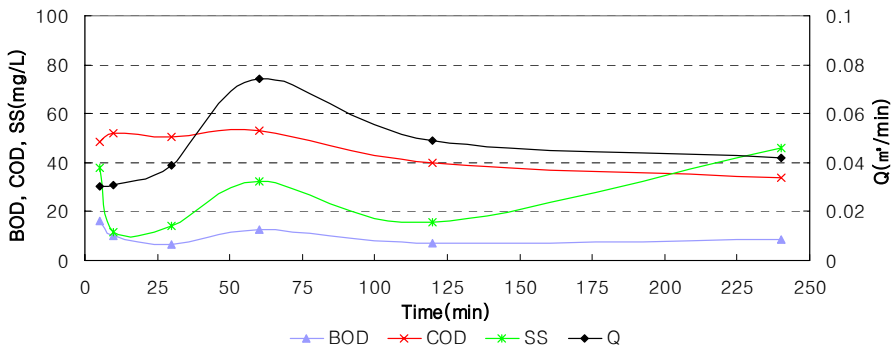
강우사상동안 BOD, COD, SS농도는 각각 6.4~15.9mg/L, 34.1~52.8mg/L, 11.4~37.6mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

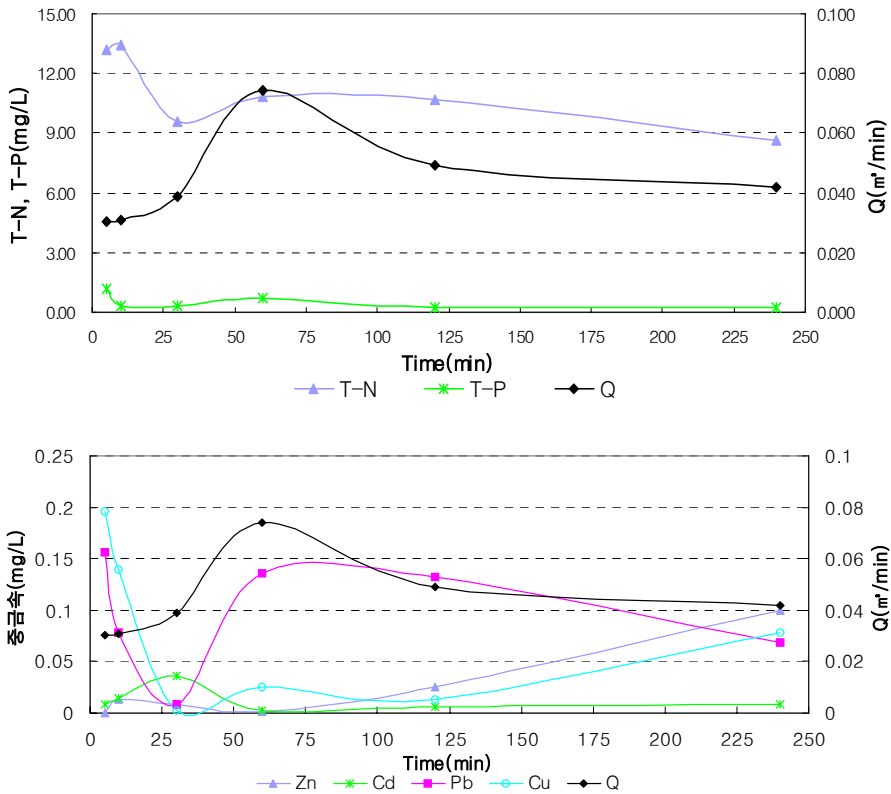
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 8.64~13.43mg/L, 0.23~1.14mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.0~0.100mg/L, 0.002~0.036mg/L, 0.008~0.156mg/L, 0.002~0.196mg/L의 농도범위를 나타내었다.





<부그림-28> 강우유출수 오염물질 유출특성(공업지역)

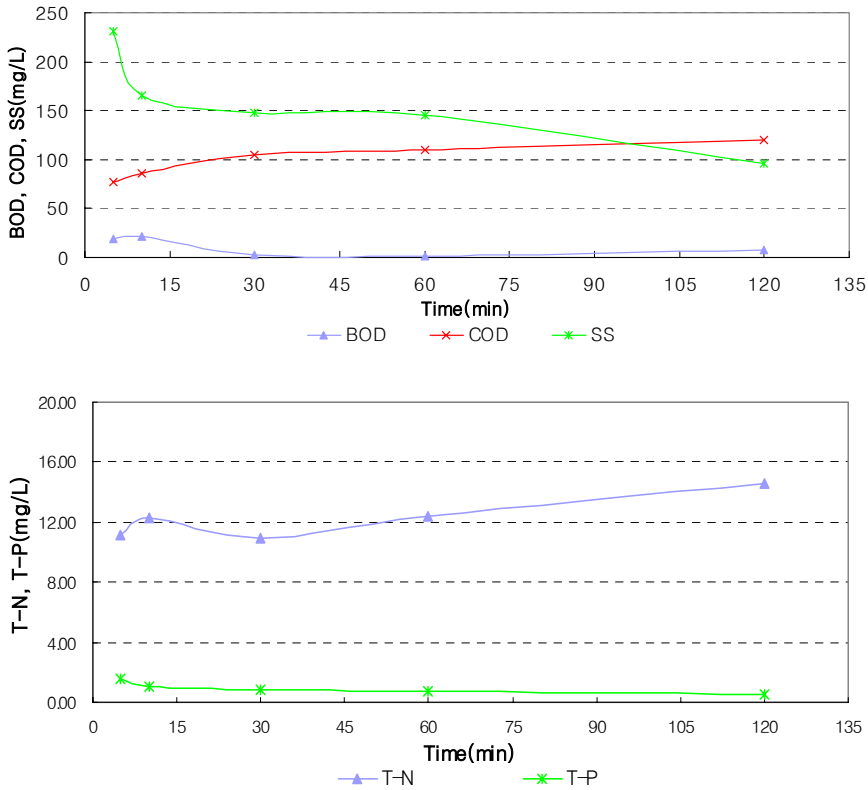
(5) 자동차도로지역

■ BOD, COD, SS

강우사상동안 BOD, COD, SS농도는 각각 1.2~21.3mg/L, 76.4~120.4mg/L, 96.0~231.0mg/L의 범위를 보였으며, 초기 우수유출수에서 비교적 높은 농도를 보였다.

■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 10.97~14.61mg/L, 0.57~1.52mg/L의 농도범위를 보였다.



<부그림-29> 강우유출수 오염물질 유출특성(자동차도로지역)

(6) 주차장

■ BOD, COD, SS

강우사상동안 BOD, COD, SS농도는 각각 3.2~5.0mg/L, 95.5~109.4mg/L, 10.0~35.0mg/L의 범위를 보였다.

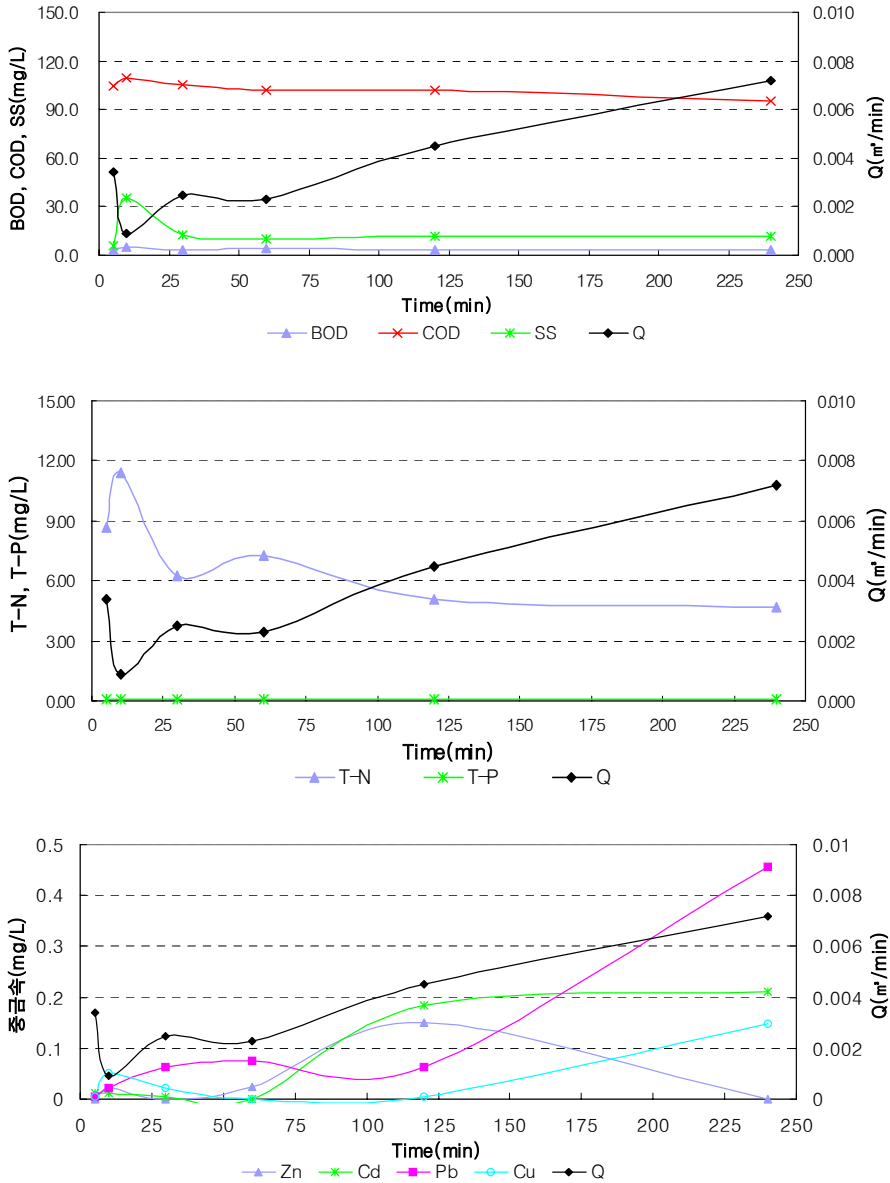
■ 총질소(T-N), 총인(T-P)

강우사상동안 총질소와 총인은 각각 5.04~11.43mg/L, 0.05~0.09mg/L의 농도범위를 보였다.

■ 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)

조사대상 중금속 Zn, Cd, Pb, Cu는 강우사상 동안 각각 0.021~0.024mg/L, 0.0~

0.21mg/L, 0.004~0.456mg/L, 0.0~0.148mg/L의 농도범위를 나타내었다.



<부그림-30> 강우유출수 오염물질 유출특성(주차장)

Management of Nonpoint Pollution by Reducing Storm Runoff

So far, the management of water pollution has been focused mainly on the post-treatment of point pollutions such as urban sewage and industrial waste water. Considerable improvement has been made to the water quality and the reduction of pollution. However, this post-treatment oriented policy has no countermeasures for non-point pollution that occupies considerable portion of water pollution. Moreover, increased impermeable rate accompanied by urbanization changed the characteristics of storm runoff. It added to the damage from flood due to rapid storm runoff seen from the water volume aspect. Seen from the aspect of water quality, it caused the water quality to be deteriorated with the runoff of various polluting materials into the water body along with the storm runoff. Therefore, immediate action shall be taken to properly control the storm runoff to reduce the risk of flood by rapid storm runoff and to improve the water quality.

The review on the runoff characteristics of non-point pollution materials by storm runoff showed that BOD, CDO, SS, T-N and T-P featured the first-flushing effect, showing relatively high concentration in early-stage storm runoff, however, the heavy metal(Zn, Cd, Pb, Cu) showed no meaningful significance with the first-flushing effect and storm runoff tendency. Another review on the Site Mean Concentration(SMC) of non-point pollution materials according to the use of land revealed that the SMC of BOD was in relatively low concentration in the range of 5.3~12.1mg/L, no meaningful significance by the use of land. The SMC of COD and SS ranged from 115.9~67.7mg/L and 22.7~126.6mg/L, respectively, and showed the highest concentration in motorway. T-N SMC from 3.26~9.62mg/L and highest in commercial areas and T-P SMC from 0.09~0.48. Heavy metal (Zn, Cd, Pb, Cu) SMC featured relatively high concentration in motorway and parking lots, which seems to be caused by the vehicular traffic.

The analysis on the effect of reducing non-point pollution by existing rainwater runoff prevention facilities revealed that the rainwater pumping station's reservoir can be utilized as the storm runoff treatment facilities for the reduction of non-point pollution materials. The result of storm runoff precipitation test showed, on the whole, relatively precipitation characteristics. 12 hours of precipitation was sufficient to remove 60~90% of suspended solid. In order to utilize the pumping station's reservoir to remove non-point pollution materials, the storm runoff must be stored/precipitated for at least 12 hours and the upper portion shall be drained out first followed by properly treated lower portion. When examined the runoff characteristics of general receiving reservoir and infiltration receiving reservoir, the runoff volume in general receiving reservoir increased in proportion to the increase of rainfall while the runoff volume in infiltration receiving reservoir remarkably decreased compared to general reservoir. Little runoff was found in the rainfall volume under 20mm. Considering that the non-point pollution materials have high pollution in the early-stage storm runoff, the infiltration receiving reservoir is expected to reduce considerable amount of non-point pollutions. To build a foundation for the management of storm runoff to reduce the non-point pollution, the management plans for the rainwater runoff in cities and industrial areas that exceed certain scale shall be established first. With the management plan carried out, the restriction on the storm runoff shall be implemented after building the foundation for non-point pollution control. Therefore, it is important that the self-governing communities and carriers recognize the importance of storm runoff control and make efforts to reduce the pollution from storm runoff. Since the characteristic of pollution material runoff by rainfall shows relatively high pollution concentration in early stage runoff and more than 80% of the entire rainfall are 20mm and below in Korea, the storm runoff treatment facilities for the reduction of non-point pollution may be designed to cover approximately 20mm rainfall. It will be able to treat more than 80% of the entire rainfall and contribute to reduce considerably the non-point pollution burden in appropriate drainage area. However, when establishing the storm runoff treatment facilities in certain area,

the geomorphologic peculiarities, hydrographical and hydrological characteristics as well as the climate and applicable technologies must be taken into consideration when determining the scale of the facilities. Moreover, the peculiarity of Korean climate, which has more than 70% of rainfall in summer, shall also be considered when selecting the storm runoff treatment technology and designing the facilities. There are many types of storm runoff treatment facilities applicable to each local peculiarity. In Korea, where the use of land is limited, the size of land required for the treatment facilities shall be the main consideration in selecting the location. Generally, the urban areas where wide area is usually unavailable, adopt infiltration facilities that occupy relatively small area. Especially, the appropriate measures are needed to enable the control of non-point pollution by supplementing existing manhole and to improve the rainwater pumping station's reservoir to make it possible to treat the first flush non-point pollutions. The installation of apparatus type facilities such as Stormceptor, Stormfilter and Swirl/Vertex needs sufficient preliminary study in terms of their effectiveness in peculiar climate and geographical features of Korea. Compared to urban areas, rural areas have more earth/sand runoff and periodic maintenance is more troublesome. Therefore, rather than infiltration or apparatus type facilities that require much maintenance works, the rural areas shall adopt multi-purpose retention reservoir, artificial wetland, vegetation waterway and filtering belt that require wide area but easier maintenance. When building new towns, appropriate measures shall be taken to limit the town's impermeable area ratio in certain level to prevent the rapid change of runoff features by the increase of impermeable rate, and to install infiltration facilities to control the increased runoff after the development. For the control of non-point pollutions, preliminary efforts to remove the source of pollution shall be made along with the installations of storm runoff treatment facilities. The efforts to remove the source of non-point pollutions in urban areas can be made through the periodic cleaning of cities, inspection/cleaning of manhole and rainwater irrigational facilities, dredging the bottom of detention reservoir and installation of storm runoff blocking slope in construction areas. Future studies shall focus on

the understanding of non-point pollution runoff features and quantification of its effect on the water quality. For this, model site shall be selected to analyze the water quality and water quantity according to the storm runoff and water discharging system all the year round, and the concepts set forth in this report, various storm runoff treatment facilities and rainwater pumping station, shall be embodied to understand the efficiency of each facility and finally to develop the storm runoff treatment facilities that are customized to the characteristics of Korean climate and geographical features.

집필자 약력

최지용(崔智龍)

KAIST 건설환경공학과(수질관리 전공), 공학박사(1994)
한국환경정책평가연구원 연구위원
(e-mail : jychoi@kei.re.kr)

저서 및 논문

농어촌지역 생활용수 공급체계 개선방안 연구(1994)
비점오염원 조사연구(1995)
수질자동측정망 기본계획 수립(1995)
Development of a Long-term Nonpoint Pollution Model in Small to Medium Watersheds(1995)
21세기를 대비한 물관리 정책연구(1996)
종합수질지표의 개발(1996)
도시지역 비점오염원 관리방안(1997)
수질환경규제기준의 합리적 조정(1997)
지역특성별 수처리설비의 최적시스템 도출(1997)
물관리체계의 구조조정방안(1997)
수계시스템을 고려한 수질관리방안(1998)
농업지역비점오염원 관리방안(1998)
비점오염원 관리를 위한 제도적 개선방안(1998)
물자원의 효율적이용을 위한 유역관리방안(1999)
국토환경을 고려한 축산오염관리방안 연구(1999)
수질개선을 위한 수변녹지 조성 및 관리방안 연구(2000)
한강수계오염총량관리제 시행방안 연구(2000)
Nonpoint pollution effects and it's control measures in Paldang Reservoir(2000)
수질환경기준 개선방안(2000)
도시하천 유지용수 및 건천화 방지용수 확보방안(2001)
지역특성을 고려한 축산폐수 관리모델개발 연구(2001)
도시지역의 수변녹지 및 조성 및 관리방안 연구(2001)
Management of Riparian Buffer Zones for Protecting Paldang Lake Water Quality(2002)
수변구역의 효율성제고를 위한 정책개선방안 연구(2002)
인공습지의 수질개선효과 분석모델 개발(2002)
환경친화적 수자원 개발 및 관리방안(2002)

연구진

연구책임자 최지용(한국환경정책평가연구원 연구위원)

신창민(한국환경정책평가연구원 연구원)

산학연 연구자문위원

박용성(환경부)

송호면(건설기술연구원)

심재현(국립방재연구소)

이상훈(수원대학교)

© 2002 한국환경정책·평가연구원

발행인 윤서성

발행처 한국환경정책·평가연구원

서울시 은평구 불광동 613-2

우편번호 122-706

전화 380-7777 팩스 380-7722

<http://www.kei.re.kr>

인쇄 2002년 12월

발행 2002년 12월

출판등록 제17-254호

ISBN 89-8464-040-9

값 6,000원