

포장지역 비점오염원 관리를 위한 최적관리방안 중 침투도량에서의 기작 및 설계방안



김 이 형 |
공주대학교 건설환경공학부 교수
leehyung@kongju.ac.kr

1. 토지이용의 변화 및 환경친화적 개발

인간에 의한 토지이용의 변화라는 것은 자연적인 피복으로부터 포장된 피복 형태로의 전환을 의미한다. 자연적인 피복상태에서는 다양한 오염물질들이 식물을 통한 흡수, 토양층을 통한 침투 및 여과라는 자연적 정화를 통해 자연계에서 그 양이 줄어든다. 그러나 인간에 의한 토지이용의 고도화는 강우의 유출 특성 변화와 더불어 다양한 종류의 오염물질을 유발시키고 있으며, 이는 강우 유출수에 함유되어 수계로 유입되어 하천 및 호소수의 수질을 악화시키고 있다. 수계의 수질은 유역에 존재하는 각종 시설물 뿐만

아니라 토지이용 그 자체로부터 영향을 받고 있으나, 유역이라는 것이 워낙 방대한 면적을 가지고 있기에 오염물질의 관리에 비용효율적 및 기술적 어려움이 존재하였다. 이러한 이유로 최근 30년간 환경정책은 유역에 존재하는 시설에서의 방류수 규제를 통해 수계의 수질을 개선하고자 하였다. 그러나 이러한 방류수 규제만으로는 수계의 수질이 개선되지 않기에 최근의 환경규제는 유역으로부터 유출되는 오염물질의 총량을 규제하는 ‘수질오염총량관리제’를 도입하여 통합적인 오염물질 관리를 꾀하는 방향으로 그 기조가 변화하고 있다.

유역의 다양한 토지이용에서 기인하는 비점오염물질은 최근 들어 각종 환경정책의 선두에 있으며, 이의 관리 없이는 수계의 수질개선이 어렵다는 것이 중론으로 받아들여지고 있다. 특히 토지이용의 변화를 선두에서 이끄는 분야는 각종 개발사업을 담당하고 있는 건설 분야이다. 그동안 건설분야에서 환경친화성은 지속적으로 요구받았으나 형식적인 구호에 지나지 않았기에 최근에 건설교통부는 이러한 개발사업 및 건설기술에 환경친화성을 부여하기 위하여 건설관련 각종규정 및 지침을 정비하고 있다. 이러한 노력

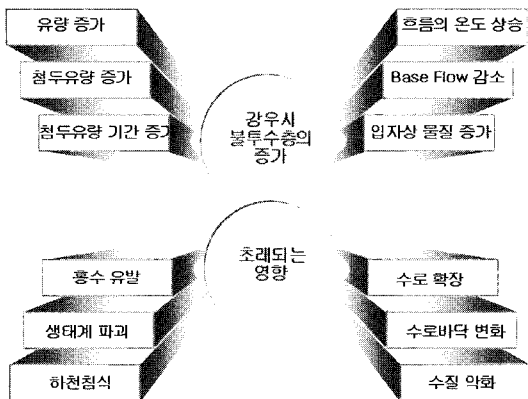


그림 1. 개발로 인한 환경수리학적 영향

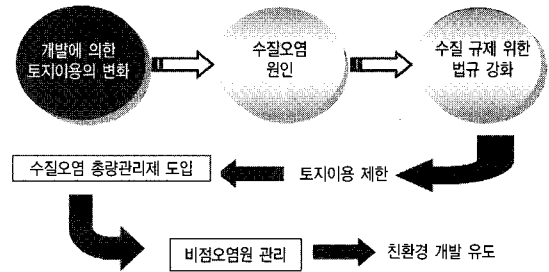


그림 2. 토지이용의 변화, 수질오염총량관리제 및 비점오염원 관리

으로 인하여 2006년 12월에는 ‘환경친화적 도로 유지관리 잠정지침’이 개발되었으며, ‘환경친화적 도로 건설 지침 및 편람’의 재개정 작업이 진행되고 있다. 이러한 새로운 지침에서는 개발계획에서부터 개발로 인한 비점오염물질의 발생량을 예측하고, 이를 사전에 방지하고 저감하기 위하여 설계에 반영하여 시공하여 개발에 환경친화성을 부여할 것을 강력하게 요구하고 있다(정 등, 2006).

2. 비점오염원 저감시설

이러한 지침에서는 비점오염물질의 저감을 위한 구조적 최적관리방안(Structural Best Management Practices, Structural-BMPs)의 선정에 있어서 다음과 같은 요구조건을 방안을 제시하고 있다.

그림 3은 유역에서의 비점오염원 관리를 위한 다양한 최적관리방안을 보여주고 있다. 일반적으로 비점오염원 저감시설은 크게 장치형과 설계형(또는 자연형)으로 분류될 수 있다. 그 중에서 장치형은 선정에 앞서 환경시설제품으로 인정되기에 오염물질 효율을

표 1. 구조적 비점오염원 저감시설 선정시 고려사항 (건설교통부, 2006)

- ① 비점관리시설은 자연친화적 시설이어야 한다.
- ② 비점관리시설은 혐오시설이 아닌 대민친화적 시설이어야 한다.
- ③ 생태계 보전 및 확대에 기여할 수 있는 시설이어야 한다.
- ④ 조경 및 위락 공간으로서의 기능을 가지도록 하여야 한다.
- ⑤ 공공 안전을 고려하여야 한다.
- ⑥ 홍수예방, 침식방지, 저류기능, 오염물질 제거기능을 충분히 가지도록 한다.
- ⑦ 시설의 유지관리가 용이하고 경제적이어야 한다.

인정하는 품질(Quality), 품질을 보증할 수 있는 방안(Guaranty, Warranty), 그 제품이 특허 및 외국에서의 기술에 대부분 의존하기에 로열티(Royalty) 등이 충분히 고려되어야 한다. 설계형은 다양한 자연적 정화기능(여과, 침투, 식물흡수 등)을 보유하고 있으며, 다양한 자연적 재료를 이용하여 설계 및 시공이 가능한 것으로 나타나 있으며, 효율도 높게 보장되기에 현재 미국을 비롯하여 다양한 국가에서 많이 적용되고 있다. 따라서 본 논문에서는 설계형 중에서 포장

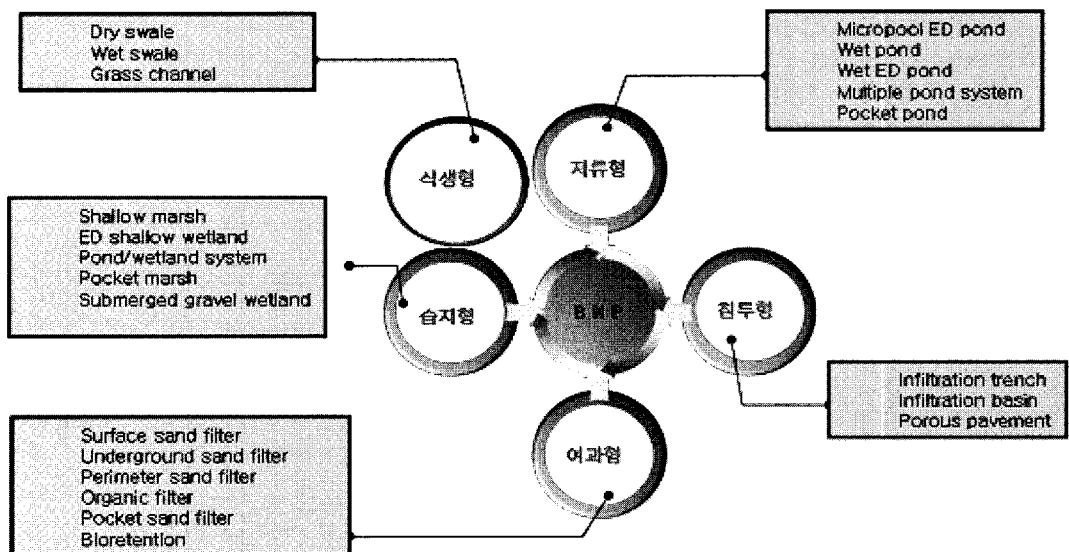


그림 3. 최적관리방안의 분류 및 종류

지역, 즉 도로변 주위에 적용가능한 침투도랑(Infiltration Trench)에 대하여 다루고자 한다.

3. 침투도랑의 특징

침투도랑은 침투 및 여과기작을 통해 비점오염물질을 제거하며, 지하수 충진을 위하여 적용된다. 유출 체적은 점차로 바닥과 양쪽 면을 통해 2일에 걸쳐서 그리고 최종적으로는 수위 면에 도착할 때까지 지하로 침투된다. 토양으로 전환되는 강우 유출수에 의해 침투도랑은 수질 처리뿐만 아니라, 현장에서의 자연수의 물질 수지를 도와 지하수계에 지속적인 수량

을 공급하며, 또한 기저유량을 유지한다. 이러한 사실에 기인하여, 침투 시스템은 높은 다공성 토양이 존재하는 지역에 많이 설치된다. 그러나 침투 도랑은 지하수계 오염에 대한 위험을 피하기 위해 신중하게 설치되어야 한다. 침투도랑은 침전물을 제거하기 위하여 고려되지 않았기 때문에 반드시 침전조와 함께 설계되어야 하며, 또는 다른 전처리 시설을 설치해 파울링이나 폐색과 같은 현상을 방지해야 한다.

침투도랑은 강우의 수질관리를 우선하여 설계되며, 강우강도가 작은 유량에 적합하다. 토양의 자연적 여과 특성을 이용한 침투도랑은 강우 유출로부터 유입되는 넓은 범위의 오염물질을 흡착, 침전, 여과 그리고 미생물과 화학적 저감을 통해 제거할 수 있다.

표 2. 침투도랑의 장단점 (환경부, 2005)

시설	장점	단점
침투도랑	1. 도랑은 필요한 유량이나 월류빈도를 감소시키기 위해 강우유출수 하수거 시스템의 설계에 포함 가능 2. 지역의 범람을 감소 3. 자연적 배수시스템을 이용 4. 지하수를 재충진 5. 공간이 제한된 지역에서 사용가능 6. 수리학적으로 침투보다 빠르게 기능 7. 설계에 따라 관리가 용이	1. 부적절한 설계, 오염물질 부하, 관리에 의한 실패 가능 2. 빈도높은 관리 필요 3. 침전물에 의한 막힘의 우려 있음 4. 지하수 오염문제 유발 가능

표 3. 비점오염원 관리시설의 처리효율 (환경부, 2005)

시설명	처리효율(%)					
	BOD	COD	SS	T-N	T-P	
저류형	저류조	30	30	70~90	20~60	10~60
	인공습지(고도처리기능)	64~86	20~80	73~93	15~40	47~80
	인공습지(산화지기능)	40~60	10~40	40~60	~25	~12
침투형	연못	10~70	10~70	50~70	10~70	20~70
	유공포장	60~90	60~90	60~90	60~90	60~90
	침투조	50~80	50~80	50~80	50~80	50~80
식생형	침투도랑	50~90	50~90	50~90	50~90	50~90
	식생여과대	~50	~50	40~60	20~30	30~60
	식생수로	~25	~25	20~40	10~30	20~40
장치형	스크린류	20	20	60	10	20
	필터형류	60	40~70	60~90	20~40	~80
	와류형류	-	5~10	10~25	5~10	5~10
하수처리형	초고속 응집·침전법	80	60	85	20	85

강우 유출수에 의한 퇴적토 부하와 다른 용존성 고형물은 도랑 표면에 도달하기 전에 전처리 시설로부터 제거가 된다. 환경부에서 2005년도에 발행한 '비점오염원관리업무편람'에서는 침투도랑에 대하여 표 2 및 3과 같은 장단점 및 효율을 제시하고 있다.

4. 침투도랑의 처리용량 산정 및 설계 방안

비점오염저감시설 설계에 있어서 가장 중요한 것은 처리용량 산정이다. 침투도랑의 용량 산정은 '환경친화적 도로 유지관리 잠정지침(건설교통부, 2007)'에서 제시하는 기준과 '환경부 비점오염관리업무편람(환경부, 2005)'의 두 가지 기준으로 산정가능하다. 환경친화적 도로유지관리 지침에서는 포장지역의 경우 초기강우기준 7.4mm 누적강우량 이상을 처리할 수 있도록 유역면적 및 경사 등을 고려하여 설계할 수 있다고 명시되어 있다. 환경부 비점오염원 업무편람에 의하면, 최근 10년간 연평균 강우량에 가장 근접하는 년도의 80% 강우사상(rainfall event) 확

률에 해당하는 강우량으로서 누적 유출고로 환산하여 최소 5mm 이상으로 하여 설계하도록 추천하고 있다. 이 경우 일반적으로 20-22mm의 누적강우량 범위를 보이고 있다(김 등, 2005; 이 등, 2006; Kim et al., 2005, 2006, 2007).

환경부 비점오염원관리업무편람에서는 다음과 같은 사항을 고려하여 설계하도록 제시하고 있다.

이러한 고려사항과 더불어 침투도랑의 설계시 다양한 용량의 산정이 요구된다. 수로 보호유량 (Cpv), 홍수 보호 유량(Qp), 그리고 최대 홍수량 (Qt)등의 유량이 산정되어야 하며, 침투유량(Qwq)도 산정되어야 한다. 침투도랑의 면적 산정시에는 아래와 같은 식이 적용 가능하다. 여기서, A = 표면적, WQv = 유입수량 또는 침투도랑의 총용량, n = 공극비, d = 트랜치 깊이(cm), k = 투수계수(cm/hr), T= 물이 채워지는데 걸리는 시간(hr) 등을 의미한다 (US EPA, 1994).

일반적인 침투도랑의 설계 예는 그림 4와 같다.

$$A = \frac{WQ_v}{(30.5nd + 2.54kT/12)}$$

표4. 침투형 시설의 설계시 고려 사항

① 물리적·환경적 실현가능성

- ㉠ 침투시설의 하층에 위치한 토양의 침투율은 1.5cm/시간 이상이어야 하며, 토양은 점토 함유율 20% 이하, 실트/점토 함유율 40%여야 함
- ㉡ 지하수 오염을 방지하기 위해 특별오염발지역으로부터 배출된 강우유출수가 침투되게 해서는 안 되며, 현장 실사를 통해 최고 지하수위 또는 기반암으로부터 수직으로 최소 1.2m 이상의 거리를 두어야 함
- ㉢ 상수원으로부터 수평거리가 최소한 30m 이상이 되어야 하며, 일반적으로 최대 배수면적은 20,000m² 이하여야 함
- ㉣ 강우유출수에 포함된 오염물질을 효과적으로 제거하기 위하여 바닥의 토양은 강우 전에는 건조되어야 하며, 강우 종료 후 최대 3일 내에는 침투물이 건조되어야 함

② 유입·유출시 안전성

모든 침투시설은 강우 후 48시간 이내에 처리계획 강우유출량을 전부 배제하도록 설계하며 용량을 초과한 율류수의 우회로를 확보함

③ 전 처리(Pre-treatment)

침투시설의 폐색을 막기 위해 계획된 강우유출량의 25% 용량을 처리할 수 있는 침사지, 웅덩이 등을 전처리시설로 설치하여야 함

④ 처리기준

침투시설의 바닥으로 계획된 강우유출량의 전부가 배출되도록 설계함

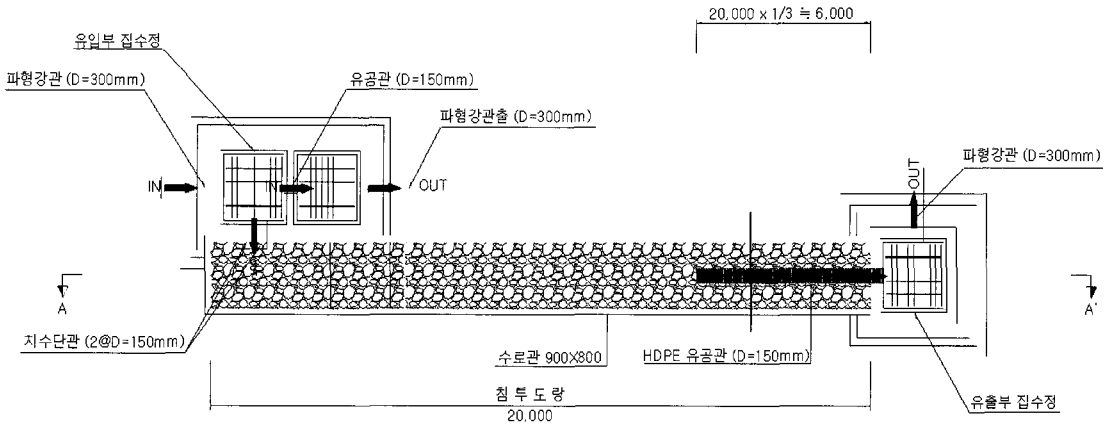


그림 4. 침투도랑 상세도

5. 침투도랑의 운영 사례

캘리포니아 교통국(Cal Trans)는 도로관련 다양한 비점오염물질 저감을 위한 최적관리방안을 도로의 건설 및 유지관리에 적용하고 있다. 그림 5는 네바다의 리노에서 캘리포니아 샌프란시스코를 향하는 고속도로인 80번 고속도로의 노변 및 중앙에 설치되어 있는 비점오염물질 관리를 위한 침투도랑의 설치 예를 보이고 있다. 80번 고속도로에는 이러한 시설들이 고속도로 전역에 설치되어 있으며, 침투도랑 외에도 식생여과 시설도 다수 건설되어 있다.

그림 6은 UC Davis 내 신설되는 도로에서의 비점오염원 관리를 위한 침투도랑 건설 현장을 나타내고 있다. 현재 대학내에는 체육시설 신설공사가 진행되고 있는 지역이며, 체육시설 주변의 주차장 및 도로변에 그림과 같은 침투도랑을 접목하여 비점오염물

질의 저감을 피하고 있다.

현재 국내에서도 환경부 주도로 비점오염원 관리를 위한 각종 시범사업의 일환으로 한강유역에 침투도랑(그림 7)이 시공되어 효율평가를 위한 모니터링이 수행중에 있으며, 수질오염총량관리제가 도입된 경기도 지역에서 개발사업에 침투도랑이 설계되고 있다.

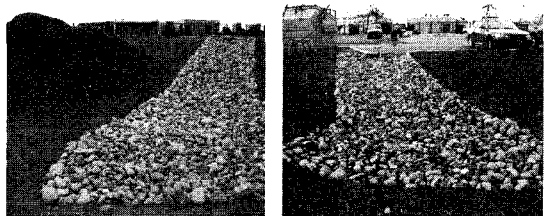


그림 6. 신설되는 도로에서의 침투도랑 건설 현장



그림 5. 캘리포니아 80번 Freeway 노변에 설치되어 있는 침투도랑의 설치 예

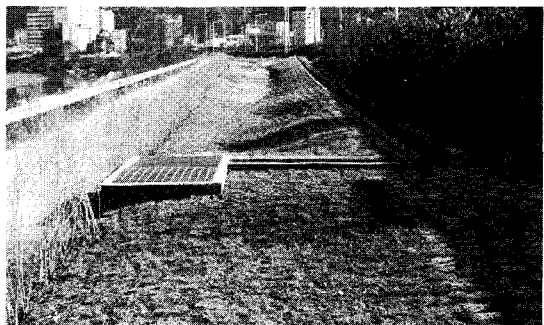


그림 7. 한강수계 비점오염원관리 시범사업에서의 침투도랑 현장

참고문헌

- 건설교통부 (2006), 환경친화적 도로 유지관리 잠정 지침, 건설교통부 도로관리팀.
- 김이형, 이선하 (2005), 강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs, 한국물환경학회지, Vol. 21(3), pp. 248-255.
- 김이형, 이병식, 권수열(2005), 산업단지내 비점오염물질 처리를 위한 적정 저류용량 산정 및 처리효율, 한국습지학회지, 7(3), pp. 75-85.
- 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 임경호, 이병식, 김이형(2006). 고속도로 노면유출수의 중금속 유출 특성 및 상관성, 한국물환경학회지, 22(1), pp. 128-133.
- 정용준, 이은주, 김이형(2006). 리조트 개발사업에서 토지이용 변화에 따른 비점오염물질 부하량 변동 산정, 한국습지학회지, 8(4), pp. 23-31.
- 환경부 (2005), 비점오염원관리업무편람
- Kim, L.-H., Kayhanian, M., Lau, S.-L. and Stenstrom, M. K. (2005). A new modeling approach in estimating first flush metal mass loading, Wat. Sci. & Tech. Vol. 51(3-4), pp. 159-167.
- Kim, L.-H., Zoh, K.-D., Jeong, S.-M., Kayhanian, M. and Stenstrom, M. K. (2006). Estimating Pollutant Mass Accumulation on Highways during Dry Period, Journal of Environmental Engineering, Vol 132, No. 9, pp. 985-993.
- Kim, L.-H., Jeong, S.-M., and Ko, S.-O. (2007). Determination of first flush criteria using dynamic EMCs (event mean concentrations) on highway stormwater runoff. Water Science & Technology, Vol. 55, No. 3, pp. 71-77.
- Kim, L.-H., Ko, S.-O., Jeong, S.-M., Yoon, J (2007). Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm, Science of the total Environment, Vol. 376, pp. 178-184.
- US EPA (1994), Nonpoint sources pollution control program, U.S. EPA, Report 841-F-94-005, USA. 🌐