

도로 유출수 오염 저감 시설인 침투형 도랑의 오염물질 처리

Treatment of Road Runoff by Infiltration Trench Facility

한대성* · 지상현** · 고석오*** · 김성민**** · 서재수*****

Han, Dae Sung · Jee, Sang-Hyun · Ko, Seok-Oh · Kim, Seong-Min · Seo, Jae Su

1. 서론

최근의 환경정책은 4대강 수질 개선문제와 더불어 수질오염총량관리제의 실시를 앞두고 다양한 비점오염물질 관리의 필요성을 증대시키고 있다. 다양한 비점오염물질 중에서도 도로 및 고속도로에서 차량통행에 기인하여 발생하는 비점오염원 물질에 대한 관심이 높아지고 있다. 차량 통행에 의한 도로면 상부에 발생된 오염물질은 현재 대부분이 강우 발생 시에 처리 없이 가까운 수계나 토양으로 유입되기 때문에 처리대상으로 인식되고 있다. 침투형 도랑은 우수유출수 수집과 임시저장, 지속적인 주변 토양으로의 침투를 유도하여 지하수 함양을 돕고, 강우유출수의 유량과 침투배출량을 감소시키는 기능을 갖는 시설이다. 길고, 좁으며, 자갈 등으로 채워졌으며, 유출수는 자갈 사이의 빈 공극에 저장되며, 바닥으로 여과 되어, 토양층으로 흡수된다. 침투형 도랑은 미세한 퇴적토 입자와 오염물질의 제거에 우수한 것으로 알려져 있다. 전처리로 거름장치, 침전조, 또는 저류조를 사용하는 것이 큰 입경의 퇴적물들이 도랑으로 유입되어 공극을 막아 효율이 저감되는 것을 최소화 할 수 있다. 본 연구에서는 도로면에 시범시설로 설치된 침투형 도랑에서 강우 시 시설로 유입되는 도로유출수와 시설을 통과하여 인근 수계로 배출되는 처리수의 성상을 모니터링한 결과를 나타내었다.

2. 모니터링 및 분석 방법

비점오염 저감시설인 침투형 도랑 시설은 ○○시에 위치하고 있으며, 강우 발생 시의 유입원의 100%가 국도(아스팔트 포장)의 노면 유출수이다. 처리된 강우 유출수는 ○○천으로 방류된다. 전체 배수구역의 면적은 0.3 ha 이며, 설계 시 유출계수는 0.8이 적용되었다. 2006년부터 2008년까지 3년간 총 18회의 모니터링을 수행하였으며, 각 자료에 대한 항목별 해석방법은 다음과 같다.

오염물질별 유입 및 유출 EMC(Event Mean Concentration) 산정식과 오염물질별 유입(출)부하량 산정식을 아래에 나타내었다.

표 1. 유입 및 유출 EMC(Event Mean Concentration) 산정식과 오염물질별 유입(출)부하량 산정식

EMC(Event Mean Concentration)	오염물질별 유입(출)부하량
$EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=1}^T C(t)q(t)}{\sum_{t=1}^T q(t)}$	$\text{유입(출)부하량}(kg/day) = \frac{\sum_{t=1}^{t=T} C(t)q(t)}{\text{총강우유입(출)지속시간}(hr)} \times 24$

* 학생회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 석사과정(E-mail : sung551@khu.ac.kr)-발표자
 ** 비회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 Post-Doc · 공학박사(E-mail : sanghyun@khu.ac.kr)
 *** 비회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사(E-mail : soko@khu.ac.kr)
 **** 정회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사(E-mail : seongmin@khu.ac.kr)
 ***** 비회원 · (주) 동일기술공사 기술연구소 연구원(E-mail : dongilseo@empal.com)

분석항목은 TSS, BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P, pH, 탁도, 전기전도도, Oil & Grease, 중금속(Cd, Pb, Zn), 및 DOC 이며, 분석방법은 수질오염공정시험법과 Standard methods 방법에 의해 분석하였다.

3. 모니터링 결과

아래 그림 1에 모니터링 대상 지역의 3년간의 강우사상 현황에 대한 강우량의 누적 확률 분포와 모니터링 시 강우량의 누적 확률 분포를 나타내었다. 그림 2에는 Event 15에 대한 유입유출곡선 및 농도곡선을 대표적으로 나타내었으며, 모든 모니터링 Event에 대해서 동일한 분석을 실시하였다.

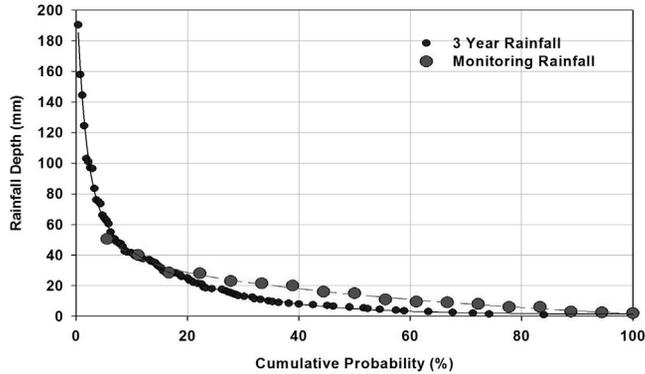
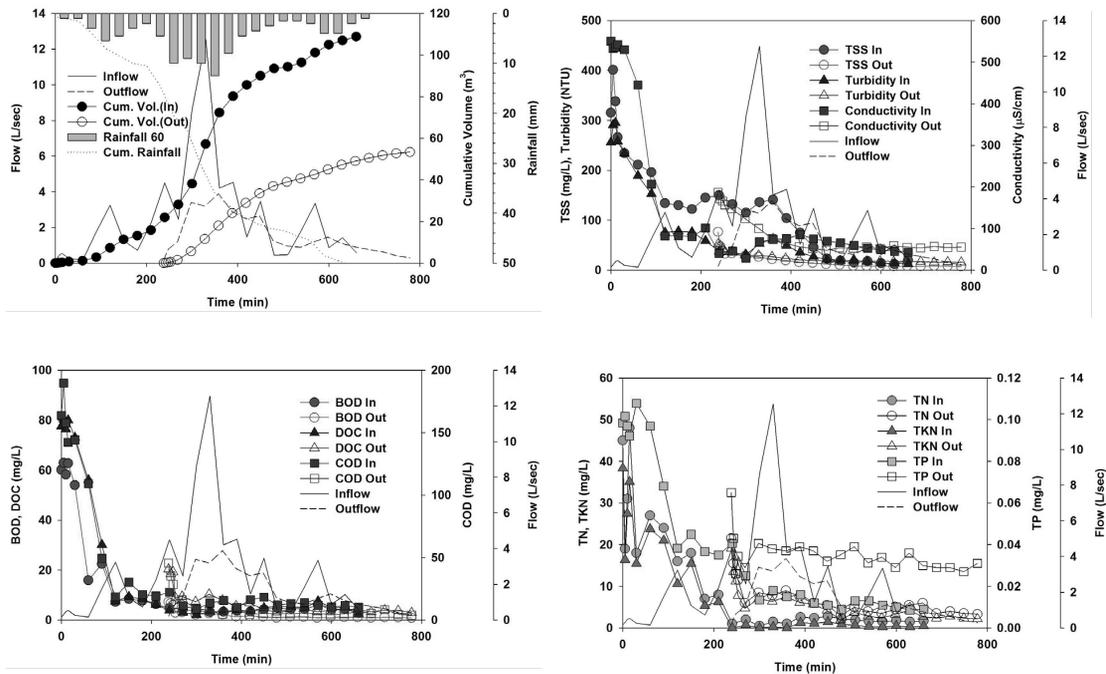


그림 1. 모니터링 지역의 강우량의 누적 확률 분포



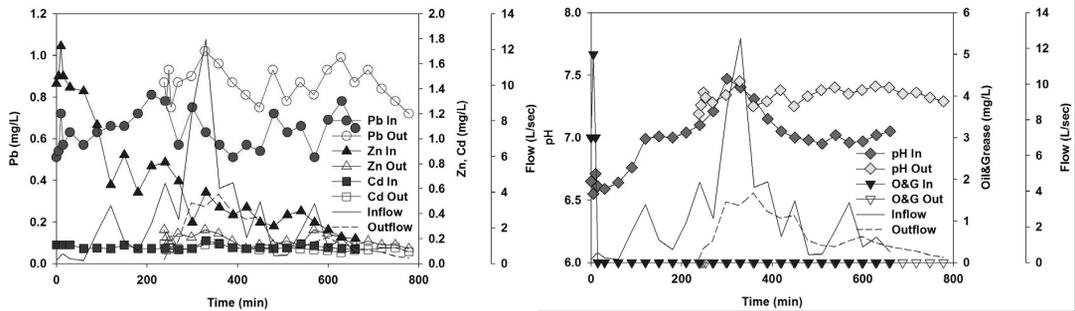


그림 2. Event 15에서의 유입유출곡선 및 농도곡선

전체 모니터링을 통해 획득된 침투형 도랑 시설에서의 오염물질별 유입과 유출 EMCs와 항목별 저감효율을 표 2와 표 3에 각각 나타내었다.

표 2. 오염물질별 유입과 유출 EMCs

Event	In/Out	pH	TSS (mg/L)	Turbidity (NTU)	BOD (mg/L)	CODMn (mg/L)	DOC (mg/L)
1	In	6.6	48.3	34.6	9.8	19.8	15.9
	Out	-	-	-	-	-	-
2	In	7.3	93.2	25.2	3.4	9.7	3.8
	Out	7.8	30.8	48.7	3.1	16.0	19.4
3	In	6.9	17.2	20.3	6.1	7.7	8.5
	Out	7.4	12.3	23.8	5.5	11.8	10.9
4	In	6.6	22.8	31.5	10.4	24.5	10.2
	Out	7.2	11.8	25.1	3.7	9.8	4.8
5	In	6.8	161.1	85.0	1.0	16.6	2.9
	Out	6.6	37.8	62.2	0.4	6.8	1.8
6	In	6.8	164.8	150.1	10.5	8.3	15.9
	Out	6.8	25.1	33.1	4.9	7.6	9.6
7	In	6.8	99.7	103.3	17.7	92.5	25.9
	Out	-	-	-	-	-	-
8	In	7.2	176.9	108.9	10.8	23.9	14.2
	Out	7.4	25.6	38.5	5.0	22.6	20.4
9	In	6.4	60.2	51.8	13.5	23.4	15.2
	Out	6.8	44.1	30.4	5.4	17.9	10.4
10	In	6.4	64.8	36.5	26.9	52.0	28.7
	Out	-	-	-	-	-	-
11	In	7.3	426.2	315.3	17.4	106.1	55.2
	Out	-	-	-	-	-	-
12	In	7.2	143.0	82.3	6.4	30.0	9.8
	Out	7.3	12.2	17.4	2.8	7.4	5.1
13	In	7.3	212.6	145.4	21.8	41.5	33.6
	Out	-	-	-	-	-	-
14	In	7.4	234.5	111.3	17.4	77.2	28.4
	Out	7.4	25.8	41.2	4.0	166.9	15.0
15	In	7.2	107.6	47.8	5.0	16.4	5.4
	Out	7.3	17.0	22.8	1.6	6.4	6.0
16	In	7.1	38.3	23.3	7.8	20.1	9.9
	Out	7.2	9.0	15.3	5.5	10.9	7.3
17	In	7.2	139.1	24.7	3.7	9.5	4.5
	Out	7.3	36.3	22.3	2.5	4.9	3.9
18	In	6.8	92.4	28.5	5.7	14.6	6.5
	Out	7.2	10.7	18.7	4.3	8.1	5.6



표 3. 항목별 총괄제거효율

Event		Removal Rate(%)									
Event	Rainfall (mm)	TSS	BOD	COD	DOC	TN	TP	Oil & Greese	Cd	Pb	Zn
1	8	100	100	100	100	100	100	NA	100	100	100
2	15	94.5	84.8	72.4	15.4	86.1	79.7	NA	83.5	83.1	90.5
3	11	97.4	96.8	94.4	95.3	96.5	97.7	NA	95.3	93.5	97.8
4	20	93.9	95.7	95.3	94.4	93.7	94.9	NA	93.4	90.0	98.8
5	16	82.3	70.5	69.1	53.2	60.7	40.8	NA	100	99.8	67.8
6	9	89.1	66.5	34.6	56.9	65.3	90.5	NA	100	54.0	61.1
7	6	100	100	100	100	100	100	NA	NA	100	100
8	6	97.7	92.6	84.8	77.0	96.7	89.6	NA	100	95.2	NA
9	28.5	88.9	93.9	88.5	89.6	84.3	96.8	100	86.2	33.0	94.4
10	3	100	100	100	100	100	100	NA	100	100	100
11	2.5	100	100	100	100	100	100	NA	100	100	100
12	23	96.8	83.5	90.8	80.9	81.8	92.4	0.0	67.0	63.2	92.2
13	2.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	NA	100.0	100.0	100.0
14	9.5	99.6	99.1	91.6	97.9	97.7	98.9	100.0	96.4	92.8	100.0
15	50.5	92.3	84.0	80.8	45.3	15.2	17.2	100.0	55.9	31.3	81.4
16	40.0	88.8	66.0	74.1	64.4	61.7	54.9	NA	59.9	64.6	87.6
17	28.0	87.2	66.9	74.9	57.6	52.9	52.8	NA	51.2	67.8	82.8
18	21.5	95.4	69.9	78.1	65.6	99.5	79.0	NA	55.5	80.5	86.1
Range	2~50.5	82.3~100	66.0~100	34.6~100	15.4~100	15.2~100	17.2~100	~100	51.2~100	31.3~100	55.9~100
Total Removal Rate		91.7	86.1	85.3	77.8	77.1	93.1	100.0	79.0	88.0	87.6

4. 결론

본 연구에 검토된 침투형 도랑 시설은 하천변 고수부지에 설치된 시설이며, 주요염원은 국도의 노면 유출수이다. 2006년부터 3년간 총 18회의 모니터링이 수행되었다. 복수강우를 고려한 효율을 계산하였으며, 총부유성고형물질 농도 TSS는 18회 모니터링에 대한 평균값이 91.7%로 아주 좋은 효율을 보여주고 있다. 유입된 고형물질은 침강지과 침투형 시설을 거치면서 대부분이 높은 제거 효율을 나타냈다. BOD와 COD_{Mn} 항목의 평균 제거효율은 각각 86.1%, 85.3%로 TSS 항목과 더불어 좋은 효율을 보여주고 있으나, DOC 항목의 경우에는 시설 자체가 토양 내로 침투되어 처리되는 시설이므로 토양의 유기물질에 의해 평균 제거 효율이 77.8%로 다소 낮은 특성을 보여준다. 영양 염류 항목인 TN과 TP 항목의 평균 제거 효율은 각각 77.1%와 93.1%이며, Oil & Grease 항목은 유입되는 농도가 되었mg/독있이하인 검출한계였이하의 낮은 값을 보였기에 평균제거 효율은 100%로 나타났다. 중금속 항목 또한 토양으로의 흡착 및 입자의 침전효과에 의해 평균 제거효율은 Cd, Pb, Zn가 각각 79.0%, 88.0%, 87.6%로 좋은 효율을 보여준다.

참고 문헌

1. 김이형, 강주현(2004) “고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정”, 한국물환경학회지, 제20권, 제6호, pp. 631-640.
2. 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형(2006) “포장지역에서의 강우사상별 EMC 산정 및 단순 샘플농도와와의 비교간대별 농도 분포”, 한국물환경학회지, 제22권, 제1호, pp. 104-109.
3. 환경부(2005), 비점오염관리 업무편람
4. California Department of Transportation(2004), BMP Retrofit Pilot Program Final Report.
5. United States Environmental Protection Agency(2002), National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas.