

연안지역 포장면 비점오염물질 유출 및 최적관리방안 시설의 선정을 위한 가이드언스에 관한 연구

고 응 · 박기수 · 진요평 · 김영철⁺

한서대학교 환경공학과

A Study on Non-point Source Pollutants from Pavement of Coastal Area and Guidance for Selecting BMP

Woong Ko · Kisoo Park · Yaoping Chen · Youngchul Kim⁺

Dept. of Environmental Engineering, Hanseo University

요 약

우리나라에서는 유역 특성별 비점오염물질 유출특성을 파악하고 최적관리방안을 도모하기 위해 2000년 이후 다양한 형태의 실험실 규모 또는 실증 규모 최적관리방안(Best Management Practices, BMP) 시설에 대해 연구가 진행되고 있으나 유역 특성상 자정작용의 기회가 주어지지 않는 연안지역에서의 비점오염물질 유출특성 및 관리방안에 대한 연구는 미비한 상태이다. 최근 연안지역 개발에 따른 불투수층 비율은 지속적으로 증가하고 있으나, 초기우수의 직접유출을 방지하기 위한 완충 시설 및 최적관리방안 시설은 전무한 상태이다. 본 논문에서는 충남 보령시 대천항 주차장을 중심으로 연안 지역의 비점오염물질 유출특성을 파악하고, 이를 저감하기 위한 최적관리방안을 설정하여 연안지역 비점오염원 관리에 대한 기초자료를 제공하였다. 연안지역은 지역특성상 해안과 접하고 있기 때문에 지하수위가 낮고 경사차가 크지 않은 평탄한 지형을 이루고 있다. 즉, 최적관리방안을 선정하는데 있어 유출입구의 수두확보문제와 굴착 깊이에 제한을 받으며, 인공습지 및 저류지와 같은 대규모 저류형 시설의 입지조건으로는 부적합하다. 또한, 연안지역은 강우유출 특성상 염분의 함량이 높기 때문에 식물 생장에 미치는 영향이 커 식생을 이용한 자연형 최적관리방안 시설을 적용하는데도 제약을 받는다. 연안지역 비점오염원 유출 특성과 연안지역 지리·지형적 조건을 고려하여 선정된 최적관리방안 시설의 주관평가 결과 시공시 굴착 깊이가 적고, 식생의 이용이 제한적인 침투수로 형태의 시설이 적합한 것으로 사료되며 유지관리 측면에서도 유리하다.

핵심용어 : 강우유출수, 불투수층, 비점오염물질, 연안지역, 최적관리방안

Abstract

In Korea, there have been many studies and progresses on various types of pilot scale or commercialized field scale Best Management Practices(BMP) during the last 10 years. Runoff characteristics of diffuse pollutants from different land uses are well identified and documented. However, for the coastal area connected directly with shoreline, runoff patterns and management schemes of non-point pollution were not fully studied. Recently, coastal area is emerging as a new development axis especially in west coast side of Korea such as Incheon city and Chungnam province, thus urbanized area rapidly increased but there are no buffer zones and BMP facilities to aim at preventing direct discharge of the first flush into coastal sea and beaches. In this study, parking area in Deacheon harbor, Boryeong City in Chungnam Province was selected and rainfall runoff was monitored for two year period in order to examine run-off features from which proper type of BMP suitable for coastal area is proposed. Coastal area usually has a low ground water level and consists of plain land, so that large scale BMP such as storm water retention pond and wetland requiring great excavation works is not best management plan. In addition, monitoring study shows that storm water from the paved parking area has a high salinity compared with those in storm water from the inland. High salinity is detrimental for the vegetation. Therefore, BMP employing least vegetative cover and also in terms of maintenance is a good option such as infiltration trench and porous pavement.

Keywords : Best management practices(BMP), Coastal area, Impermeable layer, Non-point pollution, Stormwater

⁺ Corresponding author : ykim@hanseo.ac.kr

1. 서론

우리나라에서는 유역 특성별 비점오염물질 유출특성을 파악하고 최적관리방안을 도모하기 위해 2000년 이후 다양한 형태의 실험실 규모 또는 실증 규모 최적관리방안 시설에 대해 연구가 진행되어 왔다(Lee et al., 2012). 2005년 환경부/환경관리공단에서 설치하고 한국물환경학회 주관으로 이루어진 「한강수계 비점오염저감시설 모니터링 및 유지관리」 사업을 통해 12개의 장치형시설과 17개의 자연형시설에서 총 208회의 강우사상에 대한 모니터링이 이루어졌으며(Ministry of Environment(MOE) and Environment Management Corporation, 2008 a), 이를 시작으로 낙동강, 금강, 영산강 수계에서 2년에서 3년 동안 강우사상에 대한 모니터링을 수행하여 유역별 비점오염물질 유출특성에 대한 기초자료(MOE and Environment Management Corporation, 2011)를 구축하고 농촌지역 및 도시지역에서의 비점오염물질 최적관리방안에 대한 초석을 마련하고 있다.

한편, 연안지역의 경우에는 1998년 해양수산부에서 연안관리법을 제정하였으며 2000년에는 생태적, 문화적, 경제적, 심미적 가치가 조화롭게 공존할 수 있도록 종합적이고 미래지향적인 관점에서 연안의 보전 및 개발을 위해 중앙정부 차원의 연안통합관리 계획을 수립·고시하였다(Choi, 2004; Yi et al., 1999). 2007년과 2008년에는 환경관리해역 지정·관리, 연안오염총량관리제 도입 등 해양환경 개선 및 보전을 위한 종합적이고 체계적인 연안 환경정책 추진이 진행되고 있다(Ministry of Oceans and Fisheries(MOF), 2007; Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), 2008). 또한 2001년에는 관계부처 합동으로 ‘시화호 종합관리계획’이 수립되었으며 2005년에는 ‘마산만 특별관리해역 연안오염총량관리 기본방침’을 제정하는 등 연안통합관리에 필요한 제도적 기반을 구축하고 있다(Kang et al., 2005; Cho and Yang, 2012). 이러한 사회적 제도에도 불구하고 유역 특성상 자정작용의 기회가 주어지지 않는 연안지역 지역에서 비점오염물질 유출특성 및 관리방안에 대한 연구는 미비한 상태이다. 최근 연안지역 개발에 따라 해양생태환경이 파괴되고 불투수층 비율은 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 초기우수의 직접유출을 방지하기 위한 완충 시설 및 최적관리방 시설은 전무한 상태이다(Kim et al., 2011).

충청남도의 대표적인 연안지역인 당진, 서산, 아산 등에 각종 중화학공장 등의 증설이 크게 증가되고 있는 실정이다. 또한 충남 연안지역에는 우리나라 서해에서 가장 많은 관광객이 찾고 있는 대천해수욕장(년 평균 관광객 14,382,110명), 춘장대 해수욕장(년 평균 관광

객 5,098,417명) 등과 갯벌, 사구, 습지 등 자연자원이 풍부한 지역인 반면에 개발압력에 밀려 연안역 오염이 가장 우려되는 지역 중 하나이다. 또한 연안역 인근 국도와 주차장시설을 이용하는 교통량은 매년 증가함에 따라 연안인근 환경의 오염도가 앞으로 더욱 높아질 것으로 예상된다(Kim et al., 2011).

비점오염물질 특성상 병원성 미생물 및 높은 농도의 영양염류, 오일과 지방질, 석유류 등에 포함되어 있는 탄화수소 등을 포함하고 있으며, 이런 오염물질들이 해역으로 직접 유출되면서 해양수질에 악영향을 미치고, 갯벌 생태계에 교란을 불러일으킬 수 있으며, 여름철 해수욕장 관광객들의 인체에 해로운 영향을 미칠 가능성이 크다. 또한, 포장지역으로 조성된 주차장에서 발생하는 강우유출수에는 중금속 함유율이 높은 미세입자를 포함하고 있다(Sansalone et al., 1996; Zanders, 2005). 그러나 강우유출수에 함유된 용해성과 입자성 중금속류는 이송과정이 다르므로 실제 현장에서의 조사 분석이 중요하다고 지적하고 있다(Tuccillo, 2006; Lee et al., 2006). 특히 해수욕장의 해변을 따라 설치된 주차장은 해변으로부터 불과 수 미터에서 수 십미터 밖에 떨어져 있지 않으므로 강우시 발생된 비점오염물질이 곧바로 해변의 모래사장으로 유출되어 장기간에 걸쳐 축적될 가능성이 있다. 다양한 형태의 탄화수소와 중금속이 흡착된 페토사는 대형강우시 직접 연안해역으로 배출되어 연안역 수질에 미치는 영향 및 잠재력은 매우 크다.

국내에서도 비점오염원에 대한 중요성을 인식하고 다양한 저감방안을 모색하고 있으나, 하천 및 수계를 중심으로 목표수질을 달성하고자 하는데 의의를 두고 있는 실정이며, 연안지역에서의 비점오염물질 유출특성에 대한 연구는 미비한 상황이다.

본 논문에서는 충남 보령시 대천항 주차장을 중심으로 연안지역의 비점오염물질 유출특성을 파악하고, 이를 저감하기 위한 최적 관리방안을 선정하여 연안지역 비점오염원 관리에 대한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1 연구대상 지역 선정

연구대상 지점을 선정하기 위하여 충남 서해 연안지역의 15개 주차장(해수욕장 10개 지점, 항·포구 3개 지점, 박물관 1개소) 후보지를 선정하여 배수면적, 해안과의 거리, 포장재질 등을 조사하였다(Table 1). 조사 결과 추후 자료의 활용성 및 현장 접근성 등을 고려하여 충청남도 보령시 소재의 대천항 주차장을 강우시 수문/수질 모니터링 지점으로 선정하였다.

Table 1. Characteristics of impervious parking Lots in coastal areas

Location	Area(m ²)	Pavement Material	Capacity*(cars)	Distance to shore(m)
Mongsanpo Beach	7,609	Block	400	200
Kozi Beach(1)	60,168	Asphalt	947	12
Kozi Beach(2)	567	Asphalt	286	6
Manripo Beach(sedan)	7,606	Asphalt	280	200
Manripo Beach(bus)	5,620	Asphalt	100	200
Daechon Harbor	6,023	Asphalt	177	120
Daechon Beach	12,000	Asphalt	850	350
Shinjindo Harbor	5,790	Asphalt	155	20
Shinjindo Bridge	9,239	Block	350	5
Yeonpo Beach	1,463	Asphalt	75	70
Muchangpo Beach(3)	2,280	Asphalt	100	2
Muchangpo Beach(6)	1,700	Asphalt	55	6
Chunjangdae Beach	9,300	Asphalt	362	50
Hongwon Harbor	3,060	Asphalt	200	10
Seochon Ocean Museum	400	Asphalt	100	10

* Maximum daily parking capacity

모니터링 지점으로 선정된 대천항 주차장은 충남 보령시에 위치하고 있으며 Fig. 1에는 모니터링 지점, 강우 유출수의 이동경로를 표시한 조감도를 나타내었다. 대천항 주차장의 면적은 6,023m², 177대의 차량을 주차할 수

있는 규모이며 해안과의 이격 거리는 약 120m 떨어져 있다. 강우시 대부분의 강우유출수는 주차장 중앙에 위치한 우수관거로 차집되며 해안으로 직접 유출되는 구조로 되어있다(Fig. 2).



Fig. 1. Monitoring site used in this study



Fig. 2. Rainfall runoff discharge conduit to the shoreline

2.2 강우유출수 모니터링

강우시 강우유출수의 시료채취는 강우개시 후 유량측정(수위 및 유속 측정)을 병행하여 강우량 및 강우강도와 같은 강우활동에 따라 침투유량에 도달할 때 까지는 1-5분의 간격을 두고 시료를 채취하였으며 이후에는 지속적으로 수위를 관찰하여 수위변화에 따라 시료를 채취하였다. 채취한 강우유출수 시료는 수문곡선의 변화를

정확히 반영할 수 있도록 시간에 따른 수위곡선을 작성하여 분석 시료를 선정하였다. 또한, 강우 종료 후 배출수로의 수위가 2cm이하로 감소될 때까지 강우유출수 시료채취를 실시하였다. 강우깊이는 현장에 이동식 우량계를 설치하여 직접 측정하였으며 유량은 주차장 배수로에서 프로펠러식 유속계(FP-101)를 이용하여 측정한 유속을 수심측정 후 산출한 통수 단면적에 곱하여 산출하였다(Fig. 3).



Fig. 3. Monitoring activity and samples illustrating a first flush

2.3 수질분석

연안지역 포장면의 강우시 비점오염물질 유출특성을 파악하기 위해 강우시 모니터링을 실시하여 채취한 시료는 탁도, 전기전도도(Electrical conductivity, EC), TSS, COD, TN, TP, NH₄-N, NO₃-N 등을 분석하였다. 수온, EC, DO, 탁도 등은 현장 측정항목으로 YSI 30, YSI 5000, Hach 2100Q 모델을 이용하여 측정하였고 그 외의 유기물질 및 영양소 항목은 실험실에서 Standard Methods (APHA et al., 1998)와 수질오염 공정시험법 (MOE, 2008 b)에 의거하여 분석하였다.

2.4 모니터링 강우특성

Fig. 4에는 모니터링 조사기간 동안 대천항 주차장의 강우사상 분포를 도식화하였다. 모니터링 기간은 2011년 8월부터 2012년 10월까지 총 6회의 강우시 모니터링을 수행하였다. 비점오염물질 유출 특성에 있어 선형강우일수가 유출 특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 1~3차 강우시 모니터링은 선형강우일수 5일 이상의 강우사상에 대하여 모니터링을 실시하였으며, 4~6차 강우시 모니터링은 선형강우일수 5일 이하의 강우사상에 대하여 모니터링을 실시하였다.

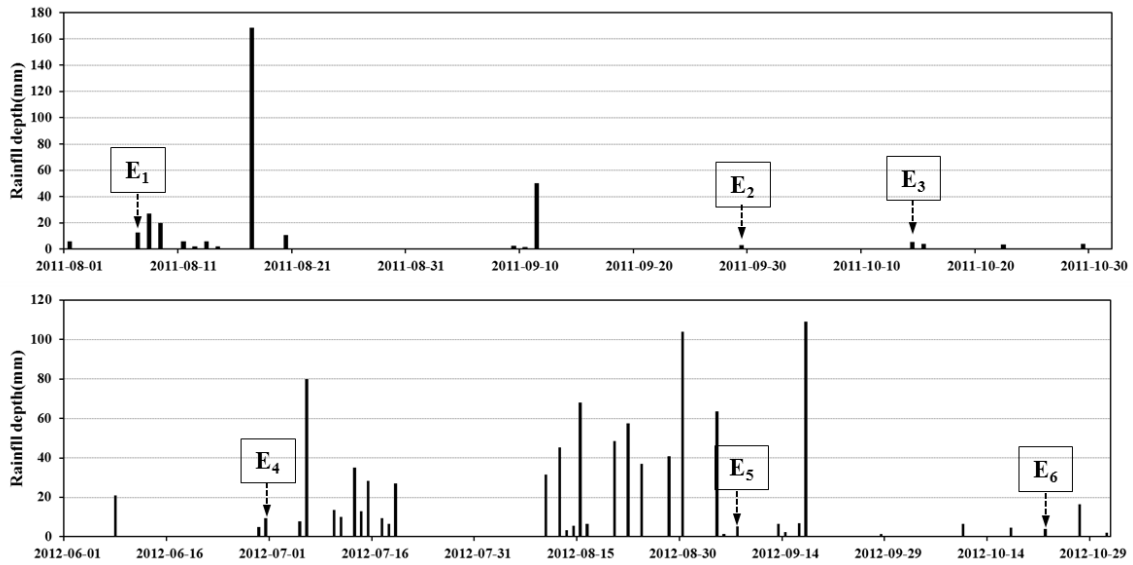


Fig. 4. Distribution of monitoring rainfall event

Table 2에는 대천항 주차장의 우수 최종 방류지점을 모니터링 지점으로 선정하여 수행된 강우시 모니터링의 강우특성 및 유출량을 분석하여 제시하였다. 선행 건기 일수 (Antecedent Dry Day, ADD)는 1~18일의 범위이며 조사대상 강우량은 3.0~12.6mm의 강우사상을 나타냈다.

강우지속시간은 0.5~5.0시간이며 강우강도는 1.0~11.3mm/hr를 보였다. 강우유출량은 경우 5.4~74.9m³으로 선행건기일수 및 강우량에 따라 유출량이 큰 폭으로 변하는 것으로 나타났다.

Table 2. Monitoring rainfall event informations

Date	ADD (days)	Rainfall Depth (mm)	Duration (hrs)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Runoff Volume (m ³)	Runoff Coefficient
2011. 08. 07	13	12.6	5.0	2.5	74.9	98.7
2011. 09. 29	18	3.0	4.0	1.3	5.4	29.9
2011. 10. 14	15	3.5	3.5	1.0	8.4	39.8
2012. 06. 30	1	9.4	1.6	6.0	55.2	97.5
2012. 09. 07	2	5.3	0.5	11.3	21.9	68.7
2012. 10. 22	4	4.1	0.6	5.0	19.4	78.6

3. 연구결과 및 고찰

3.1 주요 오염물질의 강우시 유출특성

Table 3에서와 같이 총 6회의 강우사상에 대하여 강우시 모니터링을 실시하였으며, 각 강우사상에 대한 비점오염물질 유출특성을 파악하기 위해 유량가중평균농도(Ecten mean concentration, EMC)를 산정하여 Table 3에 나타내었다. EC는 평균 640.4μs/cm로 최대 2,332.5μs/cm까지 측정되었으며, pH는 6.68~8.19로 평균 7.12값을 보이고 있다. EMC 산정 결과 TSS 13.71~116.50mg/L, COD 25.3~129.2mg/L, TN 1.76~25.40mg/L, TP 0.17~

0.60mg/L, NH₄-N 0.69~3.50, NO₃-N 0.39~1.30mg/L로 분석되었다.

오염물질 항목별 분석 결과 비점오염물질 유출특성은 일반적인 도시지역 및 도로에서의 비점오염물질 유출특성과 유사한 초기강우 효과를 나타내었다. 도시지역을 대상으로 비점오염물질 유출특성을 분석하여 TSS 67~351mg/L, COD 45~190mg/L, TN 3.6~10.3mg/L, TP 1.2~2.5mg/L을 보고한 연구결과(Jung and Kim, 2012)와 비교하여 보았을 때 모든 오염물질 항목에서 소폭 낮은 수치를 나타내고 있지만 전반적으로 유사한 농도를 나타내고 있다.

일반적으로 선행건기일수가 증가하면 퇴적된 오염물질의 함량이 높아 초기강우 유출수의 TSS 농도가 높은 것으로 알려져 있다(Barco et al., 2008). 본 연구에서는 오히려 선행건기일수가 짧았던 4-6회 모니터링에서 더 높은 TSS농도가 나타났다. 그 이유는 4-6회 모니터링의 강우강도가 1-3회 모니터링의 강우강도보다 커 주차장에 퇴적된 부유물질을 쉽게 이동 시킬 수 있었기 때문

에 TSS의 EMC 값이 높게 나타난 것으로 판단된다. 그러나 유기물질 및 영양염류의 함량은 ADD가 큰 1-3회 모니터링에서 높은 오염물질농도를 보이고 있다. EC의 경우에는 측정값이 도시지역 및 도로보다 높은 값을 보이고 있다. 이는 연안지역 특성상 대기 중의 에어로졸 형태로 존재하고 있는 염분이 강우유출수에 포함되어 유출되므로 나타나는 현상으로 판단된다.

Table 3. Event mean concentrations for the water quality parameters in studied area

Event	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)
1	210.06	7.07	13.71	25.30	1.76	0.17	0.69	0.39
2	2,332.54	6.68	21.47	129.20	25.40	0.28	1.86	0.87
3	968.29	8.19	27.00	113.45	10.09	0.60	3.50	0.71
4	139.07	6.84	116.50	86.70	5.10	0.20	0.60	0.40
5	104.70	7.06	21.40	30.60	2.80	0.10	0.30	1.30
6	87.70	6.90	43.50	57.90	3.20	0.20	0.30	1.20
Average	640.39	7.12	40.51	73.86	8.06	0.26	1.61	1.12

Fig. 5에는 각 모니터링 별 시료 분석결과를 Box Plot을 이용하여 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 유기물질과 영양염류의 경우 1-3회 차 모니터링에서 높은 오염물질 농도를 나타내고 있다. 그 이유는 1-3회 차 모니

터링의 선행건기일수가 4-6회 차의 선행건기일수에 2배 이상의 긴 수치로 선행건기일수가 길어짐에 따라 포장면에 축적된 오염물질의 양도 증가하고 강우유출수에 쉽게 씻겨져 나타나는 현상으로 판단된다.

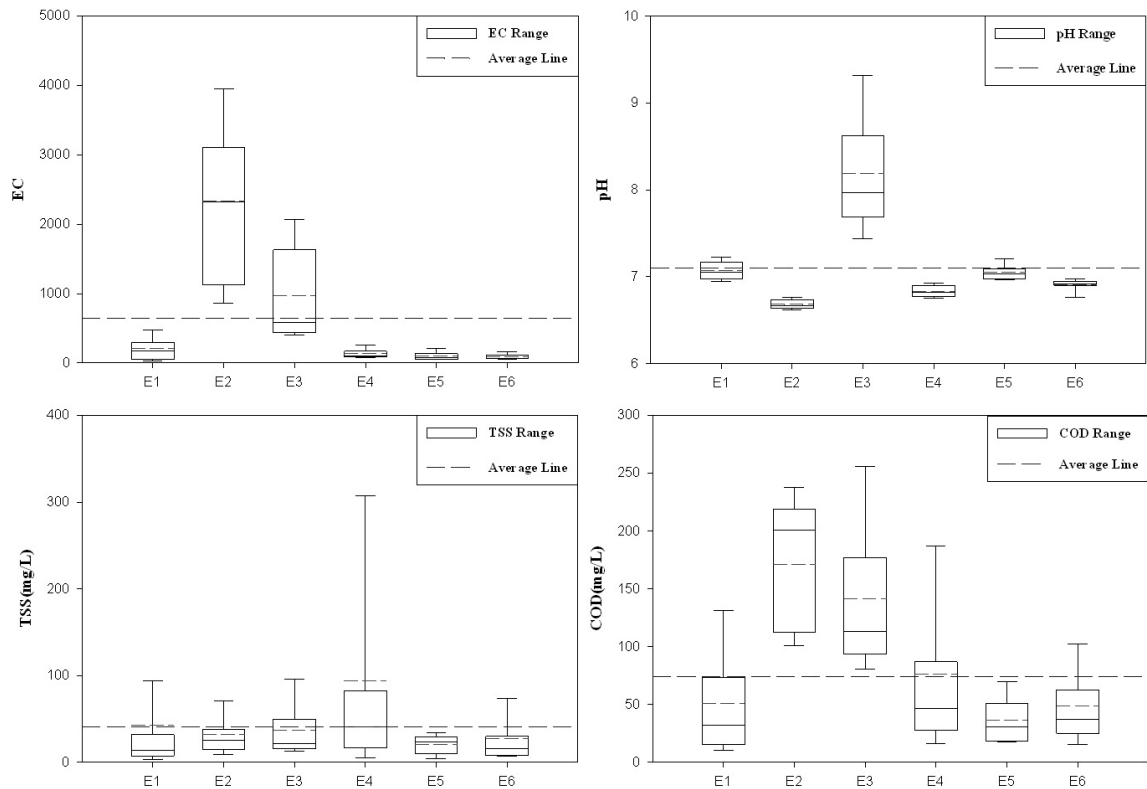


Fig. 5. EMC of itemized pollutants in stormwater runoff

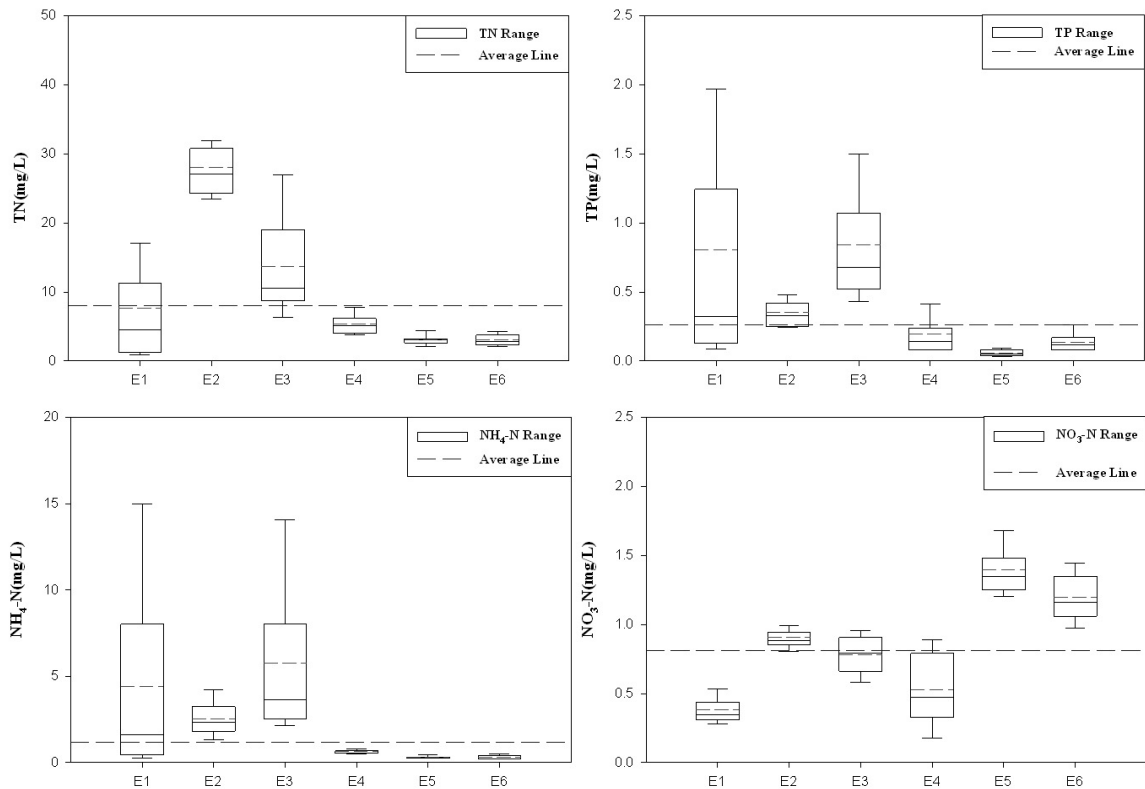


Fig. 5. EMC of itemized pollutants in stormwater runoff (continued)

Table 4는 대천항 주차장의 비점오염물질 분석결과와 도로, 도시지역의 비점오염물질 분석 결과를 비교한 결과이다. 연구대상 지점인 대천항주차장 비점오염물질 분석 결과는 전체적으로 도시지역의 비점오염물질 분석 결과와 큰 차이를 보이고 있지 않다. 이는 연안지역의 비점오염물질 유출 특성이 도시지역과 유사한 양상을

보이고 있다는 것을 알 수 있다. 도로에서의 비점오염물질 분석 결과는 연안지역과 도시지역에 비해 농도 값이 크게 나타난 것을 알 수 있는데, 이는 도로 통과 교통량이 비점오염물질 발생에 크게 기여를 하기 때문에 나타나는 현상이다.

Table 4. Comparison of the EMC values in the runoff from three impervious areas

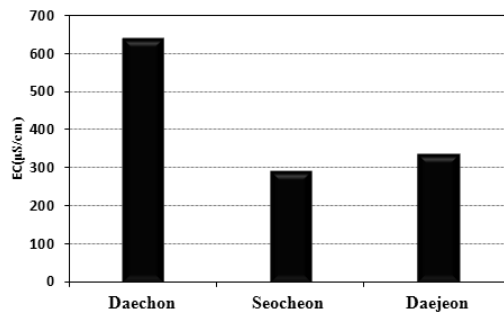
Monitoring point	Number of events	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Deacheon harbor	6	40.5	73.9	8.1	0.26
Daejeon Bridge*	3	300.0	200.1	10.9	0.52
Urban Area of Daejeon**	6	42.7	68.5	6.8	1.15

* Oh, (2007). *Water Quality Characteristics of Initial Rainfall for Road Runoff*

** Lee, (2008). *Runoff Characteristics of Stormwater in Urban Area*

Fig. 6에는 도심지역(대전)과 농공단지(서천) 및 연구대상지점의 EC 농도를 비교한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 연구대상지점의 EC 값이 내륙지점과 비교한 결과 2배 이상 높은 수치를 보이고 있다. 이는 대기 중 에어로졸로 존재하는 염분입자가 강우시 배출되는 유출

수 내에 포함되어 유출되면서 나타나는 현상으로 사료되며, 연안지역에 비점오염 저감을 위한 최적관리방안 시설을 설치할 경우 매우 중요한 고려사항으로 판단된다.



* MOE and Environment Management Corporation. (2010). *Final Report: Monitoring and Maintenance Studies of the Stormwater BMPs*
 ** Oh, (2007): *Water Quality Characteristics of Initial Rainfall for Road Runoff*

Fig. 6. Comparison of the electrical conductivity values in the runoff from three different impervious areas

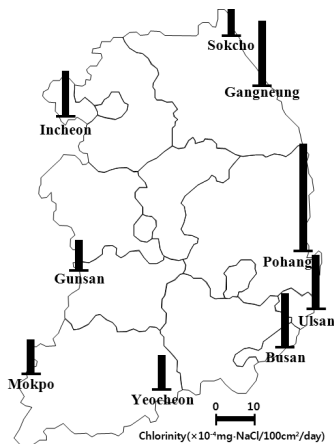
3.2 최적관리방안 선정을 위한 Guidance

일반 도시지역과 마찬가지로 해안지역에서도 구조적인 최적관리방안 선정에 앞서 우선적으로 대상지역에서 불투수 지역을 줄일 수 있는지 여부를 조사하여야 한다. 불투수면을 줄이는 것은 결과적으로 비점오염물질 유출을 저감하는 효과가 있으므로 추후 건설되는 최적관리방안 시설의 용량을 최소화 할 수 있기 때문이다. 최적관리방안 시설을 설치하고자 할 경우 해당구역의 현장 적용 제한 요인을 살펴봐야 한다. 최적관리방안 시설의 입지조건이 좋지 않으면 기능과 역할을 제대로 수행할 수 없기 때문이다. 최적관리방안 시설에 대한 입지 고려할 때 배수구역의 면적, 토양, 경사도, 지하수위 등에 관한 정보를 수집하여야 한다. 우선적으로 최적관리방안을 선정하는데 있어 가장 중요한 1차적인 고려사항은 배수구역의 크기이다. 배수구역의 크기에 따라 최적관리방안 시설의 용량이 결정되므로 해당 최적관리방안 시설을 설치할 수 있는 공간적 특성을 파악하는데 1차적으로 고려하여야 한다. 배수성이 불량한 토양은 유출량이 증가하여 최적관리방안 시설의 용량을 증가시키는 원인을 제공하므로 토양의 배수성을 고려하여야 하며,

경사가 평탄한 지역은 대규모 시설 입지조건으로는 부적합하다. 또한, 지하수위가 낮은 지역은 최적관리방안 시설의 설치시 굴착 깊이의 제한을 받으므로 시설을 설치하는데 있어 중요 고려사항이 된다.

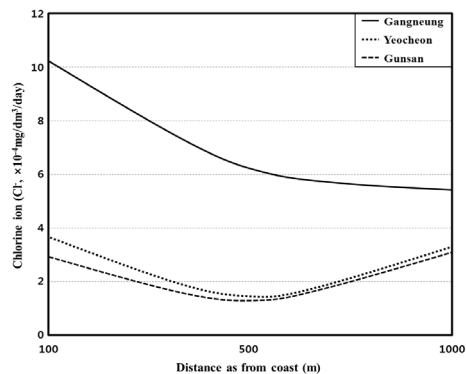
연안지역은 지역특성상 해안과 접하고 있기 때문에 지하수위가 낮고 경사차가 크지 않은 평탄한 지형을 이루고 있다. 즉, 최적관리방안 시설을 선정하는데 있어 굴착 깊이에 제한을 받으며, 인공습지 및 저류지 등과 같은 대규모 저류형 시설의 입지조건으로는 부적합한 것으로 판단된다. 한편 평탄한 지형에서는 시설의 유입지점과 유출지점의 표고차 확보가 대단히 어렵다.

그리고 Fig. 7과 Fig. 8에서 보는 바와같이 연안지역 불투수면의 염분함량이 높아 강우시 강우유출수가 유출되면 염분의 농도가 높다 해상의 대기 중에서 부유하는 염분입자는 해안에서 불어가는 바람에 의해 운반되며, 크고 무거운 염분입자는 빨리 낙하하게 되므로 염분입자는 해안 부근에 집중하게 된다. 또한, 해안에서 파랑(波浪)이 부서지면서 발생하는 대기 중의 염분입자도 대부분 해안 부근에 낙하한다. 따라서 대기 중의 염분입자나 지상의 물체에 부착하는 염분입자도 해안 부근이 가장 많고 연안지역 강우유출수 내에는 염분의 함량이 높다.



Housing Research Institute(HRI). (1995). *Study for the Proper Window Frame Under the Influence of Salt in the Shore.*

Fig. 7. Salt distribution in the atmosphere of coastal areas Fig. 8. Salt distribution according to the distances from seashore



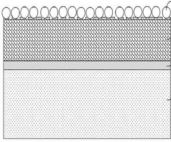
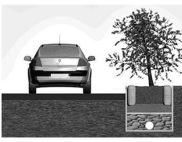

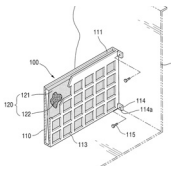
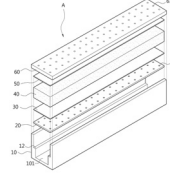
식물의 염해기작은 과도한 염분농도에 의해 토양내 삼투압이 증가되고 이에 따라 수분흡수가 저해되어 나타나는 수분 결핍현상과 특정 이온의 비정상적 과다 흡수에 의해 나타나는 이온 특이적 효과, 그리고 이 두 가지 원인이 복합적 작용에 의한 현상으로 설명되고 있는데, 특정 이온의 영향은 이차적인 원인으로 취급되고 있다(Min, 2010).

염분농도가 어떤 한계를 넘으면 식물의 생육이 저해되는데 작물의 생육을 저해할 수 있는 한계 염분농도는 식물의 종류와 상태, 그리고 온도, 습도, 풍속 등의 외부 환경과 근원의 수분 포텐셜 등에 의하여 결정되며, 생육 저해는 염 농도가 높아질수록 커지게 된다(Lee et al., 2000). 따라서 연안지역 특성상 염분의 함량이 높기 때문에 식물 생장에 미치는 영향이 커 식생을 이용한 자

연형 최적관리방안을 적용하는데도 제약을 받을 것으로 판단되며 식생형 시설을 고려할 경우에는 염분에 대한 저항력이 강한 식물 종을 선정해야 한다.

상기 내용을 토대로 연안지역의 구조적 최적관리방안의 입지조건 고려 결과 굴착 깊이가 낮고, 소규모이면서, 식생에 크게 의존하지 않는 시설을 선정하여야 한다. Table 5에는 국내 최적관리방안의 기술적용 동향 및 사례를 조사하여 연안지역에 적용 가능한 시설을 선정하였다. 또한, 각 시설의 입지여건에 따른 항목별 주관평가를 실시하였다. 최적관리방안의 주관평가는 연안지역에 적합성 파악을 위해 입지여건에 대한 평가만 이루어져 있으며 연안지역의 특성상 고려하기 어려운 물 순환, 홍수조절 효과 등 재해적인 요인은 배제하였음을 밝혀둔다.

Table 5. Qualitative evaluation of the BMPs suitable for the impervious area in coastal area

Type	Porous pavement	Tree box	Infiltration trench type	Channel filter	Side filter
Visual description					
Capacity	○	◎	◎	◎	◎
Construction	◎	○	○	◎	◎
Excavation	◎	△	○	◎	◎
Cost	△	○	△	◎	◎
Drainage	×	○	○	○	○
Maintenance	△	○	○	◎	◎
Score	△	○	○	◎	◎

Excellent : ◎, Good : ○, Fair : △, Poor : ×

연안지역 비점오염원 유출 특성과 연안지역 지리·지형적 조건을 고려하여 선정된 최적관리방안 시설의 주관 평가 결과 시공시 굴착 깊이가 적고, 식생의 이용이 제한적인 침투 또는 여과형 수로형태(infiltration trench or filtration type)의 시설이 적합한 것으로 사료되며, 유지관리 측면에서도 유리한 것으로 나타났다. 또한, 기존의 우수배제 계획에 준해 설치되어 있는 기존 배수로를 이용할 수 있어 설치비용 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

시공성 및 굴착 깊이가 측면에서 투수성 블록(porous pavement)의 설치도 유리할 것으로 판단되나, 강우대비 배수능력이 부족하며 공극 막힘 주기가 짧아 높은 강우 강도 강우사상에서 블록 내 침적되어 있던 비점오염물질이 다량 유출될 가능성이 크다.

수로필터(channel filter) 및 수로형 시설은 여재를 이용하여 효과적으로 비점오염물질을 제거할 수 있으나 여재교환 및 역세척 등에 소요되는 비용이 크고 유지관리가 어려워 널리 적용되는 데에는 한계가 있다.

4. 결론

연안지역 비점오염물질 유출특성을 파악하고 최적관리방안 선정을 위한 가이드를 제공하기 위해 충남 서해안 연안지역을 중심으로 배수만이 퇴적도 분석을 실시하였으며, 대천항 주차장을 강우시 모니터링 지점으로 선정하여 비점오염물질의 유출특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선행강우일 5일 이상 강우사상에서의 모니터링 분

석 결과와 선행강우일수 5일 이하 강우사상에서의 모니터링 분석결과를 비교한 결과 선행강우일수 5일 이상 강우사상에서의 EMC 값이 전체적으로 높게 분석되어 선행강우일수가 비점오염물질 유출에 크게 기여하는 것으로 나타났다.

- 2) 대천항 지역 강우 유출수 분석 결과 도시지역과 유사한 유출특성을 보이는 것으로 분석되었으나, 전기전도도(EC) 값을 비교한 결과 내륙지방 보다 높게 나타났다.
- 3) 연안지역의 특성상 대기 중에 존재하는 염분입자가 강우시 빗물에 함유되어 유출됨으로서 강우 유출수 내 염분 농도가 높아 전기 전도도 값이 높게 나타나는 것으로 사료되며, 가장 중요한 연안지역 비점오염물질 유출특성으로 평가되었다.
- 4) 연안지역의 비점오염물질 유출 특성상 강우유출수의 염분농도가 높아 식물의 염해기작으로 인한 식물 생장에 영향을 미쳐 최적관리방안 시설 선정시 식생에 의존하는 자연형 시설은 적합하지 않으며, 바다와 직면해있는 연안지역은 표고가 낮고 지하수위가 낮아 굴착 깊이에 제한을 받으므로 용량확보를 위해 과도한 굴착이 필요한 최적관리방안 시설을 적용하는 데에는 한계가 있다.
- 5) 연안지역의 비점오염물질 유출특성 및 지리적 특성을 고려하여 적용 가능한 최적관리방안 시설을 평가한 결과 투수성 포장, 침투도랑, 트리박스, 수로형 시설이 적합한 것으로 선정되었다. 연안지역에 적용가능한 시설로 선정된 시설들의 상대적 주관평가 결과 굴착 깊이가 낮고, 식생에 의존하지 않으며, 소규모 시설로서 적합한 침투기능을 갖는 수로형 시설이 가장 적합한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2011년도 지역기술혁신사업(09 지역기술혁신B-01)에 의한 환경 친화적 연안지역 개발 기술연구단 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- APHA (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, Washington, DC
- Barco, J, Papiri S and Stenstrom M.K. (2008). First flush in a combined sewer system, *Chemosphere*, **71**, pp. 827- 833
- Cho, BH and Yang, GS (2012). A Study on the total pollutant load management of Masan bay using GIS technique, *J. of Wetlands Research*, 14(1), pp. 89-99. [Korean Literature]
- Choi, HJ (2004). Construction and improvement direction of coastal management information systems, *The Korea Maritime Review*, pp. 42-43.
- Housing Research Institute (HRI) (1995). *Study for the Proper Window Frame Under the Influence of Salt in the Shore*. [Korean Literature]
- Jung, YJ and Kim, SW (2012). Characteristics of stormwater runoff from urban areas with industrial complex, *J. of Wetlands Research*, 14(1), pp. 131-137. [Korean Literature]
- Kang, SH, Kim, EH and Koo, BJ (2005). Sustainable development of reclaimed area in lake Shihwa by integrated coastal management, *J. of Wetlands Research*, 7(1), pp. 93-106. [Korean Literature]
- Kim, LH and Kang, JH (2004). Determination of event mean concentrations and pollutant loadings in highway storm runoff, *J. of Korean Society on Water Quality*, 20(6), pp. 631-640. [Korean Literature]
- Kim, YS, Park, KS and Kim, YC (2011). Pollutant content of the sediments in the drain channel of paved catchments in coastal areas, *J. of Wetlands Research*, 13(3), pp. 523-533. [Korean Literature]
- Lee, EJ, Ko, SO, Kang, HM, Lee, JK, Lee, BS, Lim, KH and Kim, LH (2006). Determination of EMCs and comparison with sampled concentrations in paved areas, *J. of Korean Society on Water Quality*, 22(1), pp. 104-109. [Korean Literature]
- Lee, HS (2008). *Runoff Characteristics of Stormwater in Urban Area*, Master's Thesis, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Korea. [Korean Literature]
- Lee, JH, Kim, CJ, Park, MJ, Shin, JS and Jang, HW (2012). Assessment of the wetland soil development of constructed wetlands using soil properties of a reference wetland. *J. of Wetlands Research*, 14(2), pp. 181-192. [Korean Literature]
- Lee, SH, Yoo, SH, Seol, SI, An, Y, Jung, YS and Lee, SM (2000). Assessment of salt damage for upland-crops in Dae-Ho reclaimed soil, *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 19(4), pp. 358-363. [Korean Literature]
- Min, BM (2010). *Fundamentals of Halophyte survival*, <http://blog.naver.com/zkxkflsk222/130092892419>. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) (2008a). *Certified Analytical Methods of Water Quality*. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) (2008b). *Design and*

- Maintenance Guidelines of the Stormwater BMPs*, pp. 86-110. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) and Environment Management Corporation (2008). *3rd Report: Monitoring and Maintenance Studies of the Stormwater BMPs*. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) and Environment Management Corporation (2010). *Final Report: Monitoring and Maintenance Studies of the Stormwater BMPs*. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) and Environment Management Corporation (2011). *Final Report: Monitoring and Maintenance Studies of the Stormwater BMPs*. [Korean Literature]
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2008). *Masan Bay Coastal Pollution Load Management Research*.
- Ministry of Oceans and Fisheries (2007). *First Management Plan of the Coastal Pollution Load in a Specially Managed Area of Masan Bay*.
- Oh, SH (2007). *Water quality characteristics of initial rainfall for road runoff*, Master's Thesis, Hanbat University, Daejeon, Korea. [Korean Literature]
- Sansalone, JJ, Buchberger, SG, Al-Abed, SR (1996). Fraction of heavy metals in pavement runoff, *The Science of the Total Environment*, 189/190, pp. 371-378.
- Tuccillo, ET (2006). Size fractionation of metals in runoff from residential and highway storm sewers, *Science of the Total Environment*, 355(1-3), pp. 288-300.
- Yi, GC, Park, CH, Kim, JH, Suh, SH, Jeong, HG and Choi, JY (1999). A Basic Study of an Integrated Digital Map Generation to an Electronic Navigational Chart and a Digital Topographic Map for Coastal Development and Management, *The Korean Association of Geographic Information Studies*, 2(1), pp. 1-11.
- Zanders, JM (2005). Road sediment: characterization and implications for the performance of vegetated strips for treating road runoff, *Science of the Total Environment*, 339(1-3), pp. 41-47.

- 논문접수일 : 2013년 07월 17일
- 심사의뢰일 : 2013년 07월 25일
- 심사완료일 : 2013년 10월 14일