

강우로 인해 고속도로로부터 유출되는 폐기물의 성상, 부하량 및 유출 특성

김이형^{*} · 강주현^{*}

국립공주대학교 건설환경공학부 방재연구센터

^{*}Dept. of Civil & Environ. Engr., University of California, Los Angeles, CA 90055, USA

Loading Rates and Characteristics of Litter from Highway Stormwater Runoff

Lee-Hyung Kim^{*} · Joohyon Kang^{*}

Dept. of Civil & Environ. Engr., Disaster Prevention Research Center, Kongju National University

^{*}Dept. of Civil & Environ. Engr., University of California, Los Angeles, CA 90055, USA

(Received 31 March 2004, Accepted 9 August 2004)

Abstract : Litter wastes on highway runoff are gradually being considered one of the major pollutants of concern in protecting the integrity of receiving waters for beneficial use. The California State Water Resources Control Board has identified in their 303(d) list at least 36 water bodies where trash or litter is considered a pollutant of concern. The first TMDL adopted by the Region 4 (Los Angeles area) of the California State Water Quality Control Board was for trash in the Los Angeles River. The first flush characteristic study was developed to obtain first flush water quality and litter data from representative stormwater runoff from standard highway drainage outfalls in the Los Angeles area. Total captured gross pollutants in stormwater runoff were monitored at six Southern California highway sites over two years. The gross pollutants were 90% vegetation and 10% litter. Approximately 50% of the litter was composed of biodegradable materials. The event mean concentrations show an increasing trend with antecedent dry days and a decreasing trend with total runoff volume or total rainfall. Event mean concentrations were ranged 0.0021 to 0.259 g/L for wet gross pollutants and 0.0001 to 0.027 g/L for wet litters. The first flush phenomenon was evaluated and the impacts of various parameters such as rainfall intensity, drainage area, peak flow rate, and antecedent dry period on litter volume and loading rates were evaluated. First flush phenomenon was generally observed for litter concentrations, but was not apparent with litter mass loading rates. Litter volume and loading rates appear to be directly related to peak storm intensity, antecedent dry days and total flow volume.

keywords : EMC, First flush, Highways, Litter, Los Angeles, Nonpoint source

1. 서론

미국은 과거 30년 동안 하천과 호소의 수질보호를 위하여 점오염원에 관한 많은 연구를 수행해 왔다. 최근 들어서는 생물학적 영양소 제거공정 및 고도처리공정 도입으로 인하여 폐수처리기술은 많은 발달을 보였다. 하지만 하천, 호소 및 해양수들은 끊임없이 오염이 지속되고 있기에 미국 EPA (US Environmental Protection Agency)는 최근 10년 동안의 연구결과를 종합하여 비점오염원이 수질오염의 큰 부분을 차지하고 있다고 결론지었다. 다양한 토지이용에서 기인하는 비점오염물질에 관한 관심은 이제 미국뿐 아니라 전 세계적인 관심의 대상이 되고 있으며 활발한 연구가 진행 중이다. 일반적으로 비점오염물질은 건조 시 오염물질이 다양한 토지에 축적되었다가 강우 시 유출이 이루어지기 때문에 관리에 어려움이 많다. 또한 한국뿐 아니라 미국의 호소와 하천은 강우 시 유입되는 많은 비점오염물질들

에 의해서 수질관리에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

Fig. 1은 California내 하천의 8가지 주요오염물질 항목을 보여주고 있다. 이 중에서 sedimentation과 기타항목에는 폐기물이 큰 부분을 차지하고 있다. 그림에서 보이는 Miles와 Acres는 오염된 수계의 길이와 유역면적을 나타내고 있다. (김, 2002; Corwin et. al., 1997; Horan, 1990).

특히 강우에 의해서 유입되는 비점오염폐기물은 하천이나 호소의 수질 및 해양오염의 원인으로 인식되고 있으나 관리대책은 전무한 상태다. 이러한 문제는 한국뿐 아니라 세계적인 문제이기에, 미국 EPA는 최근 들어 비점오염원에 의한 폐기물의 유입에 관한 법적 기준 강화를 위한 연구를 진행하고 있다. 도시지역의 주택이나 산업단지로부터 발생되는 폐기물은 전형적인 수거시스템을 통하여 수거, 운반 및 처리가 원활히 이루어지고 있으며 매립기술의 발달로 인하여 많은 양의 폐기물들이 안전하게 위생 처리되고 있다. 그러나 관리가 잘 이루어지지 못한 도시지역의 폐기물, 농촌 및 삼림지역, 중소규모 축사 및 건설현장에서 발생되는 폐기물들은 발생되는 양도 추정이 어렵거나 관리에 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구는 강우시 비점오염원

^{*} To whom correspondence should be addressed.
leehyung@kongju.ac.kr

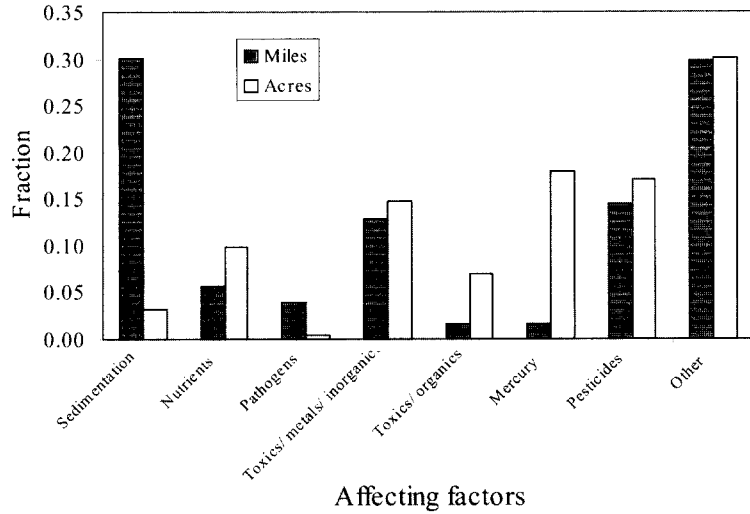


Fig. 1. Percentage of eight impacting parameters to waters in California.

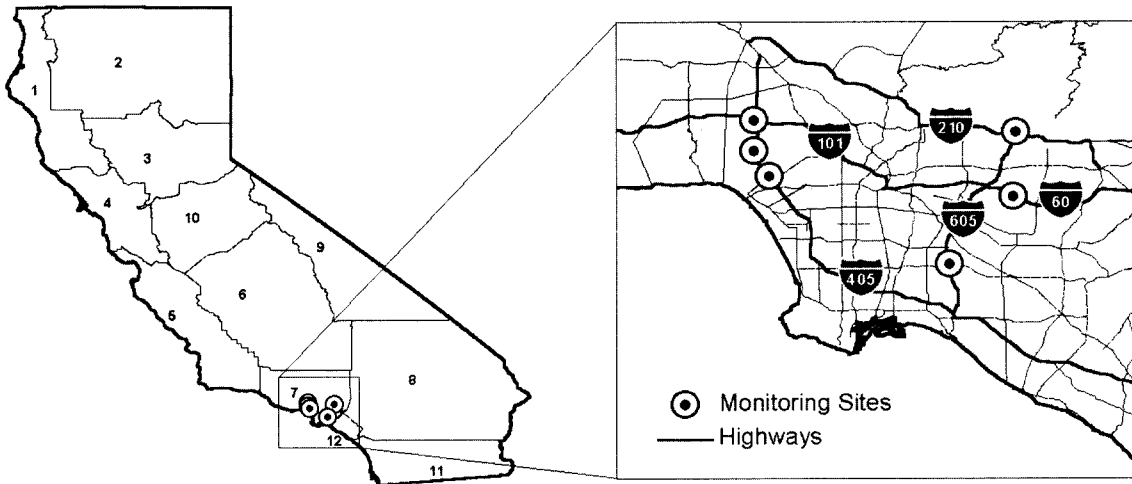


Fig. 2. Locations of monitoring sites.

에 기인하여 유출 가능한 폐기물의 특성 및 부하량 산정의 일환으로 진행되어졌다. 특히 본 논문에서는 도시지역 중에서도 유출이 심한 고속도로로부터의 비점오염폐기물의 축적과 유출을 다루도록 한다.

도로 쓰레기, 즉 플라스틱 봉지, 종이 또는 플라스틱 컵, 담배꽂초, 자연적으로 축적된 오염물질, 식물 잔재물 등은 건조 시에 도로 표면에 축적되었다가 강우 시 유출되어 하천이나 호수로 이동하게 된다. 특히 유입되는 폐기물 중 많은 양들은 플라스틱으로 이루어져 하천, 호수 및 해양에 유입 시 자연적인 분해에 수 백년이 걸린다. California 수자원 관리위원회(California Water Resources Control Board)에서는 California내의 36개 수체에 대하여 비점오염 폐기물을 관리종목으로 정하였다(CSWRCB, 1999). 또한 2001년도에 California 지역 수질관리위원회(California Regional Water Quality Control Board)의 Los Angeles 지부는 Los Angeles 강의 오염총량제(Total Maximum Daily

Load, TMDL)에 비점오염 폐기물을 포함하여 관리중이다(CRWQCB, 2001). California 교통국(Caltrans)에서도 장래 관리 기준을 맞추기 위하여 교통국이 관리하는 도로로부터 유출 가능한 쓰레기의 성상 및 양을 추정하기 위하여 본 연구를 UCLA에 의뢰하여 연구를 수행하였다(Caltrans, 2001).

2. 실험 방법 및 장치

2.1. 연구지역 및 실험방법

본 연구는 California 교통국의 초기강우 특성연구(First Flush Characterization Study, FFCS)의 한 부분이다. 일반적으로 고속도로는 수계를 따라 형성되어 오염물질의 유출은 수계에 직접적인 영향을 끼치며, 특정 지역에서 배출된 오염물질이 차량의 이동에 의해 타 지역으로의 이송이 가능하기에 미국에서는 중요한 오염물질로 정의하고 있다. 따

Table 1. Monitoring site descriptions

Site Name	Site Location	Post Kilometers	ADT (cars/day)	No. of Drain Inlets	Catchment Area(ha)	Approx. % Impervious(%)
UCLA1	101 Freeway	29.2	328,000	1	1.3	100
UCLA2	405 Freeway	53.6	260,000	1	1.7	95
UCLA3	405 Freeway	49.7	322,000	1	0.4	100
URS6-20F	60 Freeway	8.2/25.1	216,600	1	0.2	100
URS8-23C	605 Freeway	9/9.6	229,000	1	0.3	100
URS23	210 Freeway	29.8	122,000	20	2.9	100



(a)



(b)

Fig. 3. Highway outfall modifications for litter collection [(a): Relatively larger outfall with dual-litter bag arrangement, (b) Litter collection bag strapped around metal collar extension].

라서 본 연구는 고속도로 강우 유출수에 의한 수계의 오염을 방지하기 위하여 수행되었으며 그 결과는 California 내의 고속도로에서 유출되는 비점오염물질 방지 및 저감 처리대책, 즉 최적관리방안(Best Management Practices, BMPs)의 선택 및 기술개발에 응용될 것이다. 본 연구는 2000-2002년 동안 발생한 17개의 강우사상에 대하여 6개의 관측지점을 선정하여 수행하였다. Southern California내 관측지점은 Fig. 2에 나타나 있으며, 자세한 특징 및 기본 자료는 Table 1에 정리하였다.

고속도로 관측지점은 Los Angeles 내에서도 특히 오염물질의 유출이 많고 인근에 수계가 존재하는 지역을 선택하였다. 각 지점별 하루 평균 자동차 운행횟수(Average Daily Traffic, ADT)는 오염물질의 유출에 직접적인 영향을 미치게 되므로 기본적인 측정항목이며 불투수율은 강우의 유출에 영향을 끼치기에 중요한 항목으로 선정하여 조사하였다. 기본적인 현장조사 항목과 더불어 각 지점에서 강우 및 유출되는 오염물질에 관한 모니터링을 수행하였는데, 각 강우사상 당 1분 단위로 강우량, 유출수의 유속, 및 유출고를 자동적으로 측정하였다. 모니터링 결과 자료는 유출된 폐기물의 부하량 및 유출량 산정에 이용하였다.

강우 시 모든 지점에서 채취된 폐기물은 총 고형 폐기물(Gross Pollutants)로 명명하였으며, 이는 유역내의 쓰레기 및 식물 잔재물을 포함하는 값이다. 비점오염 폐기물을 채취하기 위한 모니터링 프로그램은 강우초기에 폐기물이 다

량 유출되는 초기강우(first flush) 현상에 맞추어 설계하였으며, 유출이 시작된 후 30분, 60분, 120분 그리고 강우가 끝난 후 마지막으로 채취하는 방식으로 수행하였다. 채취된 비점오염폐기물은 실험실에서 다음과 같은 성분별로 분석을 하였다: 총 고형물질(gross pollutant), 식물 잔재물(vegetation), 쓰레기(litter), 생물학적 분해 가능한 쓰레기(biodegradable litter) 및 생물학적 분해 불가능한 쓰레기(non-biodegradable litter).

고속도로 연구 현장에는 0.5cm 크기의 nylon mesh bag을 Fig. 3과 같이 설치하여 강우 유출수내의 폐기물을 수집 분석하였다.

2.2. 강우 사상별 평균농도 및 초기강우 경향

강우 시 고속도로에서 유출되는 폐기물은 식물 잔재물, 노변 침식 및 도로 침식 조각, 종이, 플라스틱 및 담배꽂초 등의 다양한 종류로 구성되어 있다. 일반적으로 이러한 다양한 오염물질들은 식 (1)에 보인 바와 같이 강우 사상별 평균농도(Event Mean Concentration, EMC)로 정량화 된다 (Irish et. al., 1998; Kayhanian et. al., 2002).

$$EMC_n (g/L) = \frac{\text{Discharged litter mass during time periods}}{\text{Discharged stormwater volume during time periods}} = \frac{\int_0^t M(t)dt}{\int_0^t V_{T_{th}}(t)dt} \tag{1}$$

여기서, $M(t)$: 유출된 폐기물의 무게, $VTRu(t)$: 특정 시간 동안 유출된 유출수의 부피.

일반적으로 강우시 발생하는 유출수에 의하여 하천수나 호소수는 수질과 수량면에서 큰 영향을 받는다. 따라서 유출된 비점오염폐기물들이 하천이나 호소에의 환경적인 영향을 평가하기 위해서 EMC를 중요하게 사용한다(김, 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1. 수리수문학적 오염물질 유출 경향

모니터링을 통해 얻어진 고속도로 강우 유출물 및 폐기물의 실험결과는 수리수문학적 모식(Hydro-graph) 및 오염물질 유출경향 모식(Polluto-graph)을 통하여 나타내었다. 일반적으로 비점오염원 연구에서는 수리수문학적 모식과 오염물질 유출경향 모식이 동시에 나타내어져야 하는데, 이는 오염물질의 유출특성이 수리학적 조건과 밀접한 관계가 있기 때문이다. Fig. 4는 수리수문학적 모식과 오염물질 유출경향 모식의 조합된 형태를 보여준다. 그림에서 아래 x-축은 강우 지속시간, 위의 x-축은 강우강도(1분단위 측정결과를 15분 단위로 정리), 배경에는 강우에 의해서 고속도로에서 유출되는 유출율을 나타내고 있다.

Fig. 4는 직접 측정된 수리수문학적 모식과 오염물질 유출경향 모식의 예를 보여주고 있다. Fig. 4(a)는 UCLA1 지역에서 2000년 10월 26일에 측정되어진 강우 유출물 및 폐기물의 농도와 부하량을 나타내고 있는데 오랜 기간의 (151일) 건조기간 후 시작된 강우에 의해 나타난 결과이며 일반적으로 강우 초기에 높은 폐기물의 유출이 이루어졌으며 최대 강우강도 이전에 대부분의 폐기물들이 유출되는 경향을 나타내었다. 그러나, 일반적으로 고속도로에서 폐기물의 유출은 강우 지속시간과 최대 강우강도에 의존하는 것으로 조사되었다.

3.2. 고속도로 비점오염 폐기물 부하량

고속도로 유역에 내리는 강우는 건조 시 축적된 폐기물의 유출을 증가시킨다. 강우에 의해서 유출된 폐기물들은 인근의 수계나 토양으로 유입되어 분해에 오랜 기간이 소요된다. 따라서 고속도로에서 유출되는 폐기물들의 부하량은 중요한 연구 인자이다.

연구지역에서 강우 시 유출된 폐기물들의 부하량을 통계학적 분석을 통해 Table 2에 정리하였다. URS6-20F지역이 평균 전체 질량별 및 부피별 폐기물 부하량이 가장 높은 것으로 나타났는데, 질량별 부하량은 18.63 kg/ha를 보이고 있으며 부피별 부하량은 73.46 L/ha를 나타내고 있다. 상대적으로 UCLA3과 URS23지역들은 적은 질량 및 부피 부하량을 나타내고 있다. UCLA3지역은 질량 및 부피 부하량이 각각 5.34 kg/ha와 12.81 L/ha를 보이며 URS23지역은 5.88 kg/ha와 17.65 L/ha로 측정되었다.

또한 강우 사상과 유출폐기물과의 관계가 Fig. 5에 나타나 있는데, 총 고형물질의 질량 부하량은 0.8-80 kg/ha의 범위를 나타내고 있으며 부피 부하량은 1.5-85 L/ha의 범위를 보여주고 있다. 강우 유출율과 고속도로 유출 폐기물 질량 및 부피 부하량과의 상관관계는 exponential regression 경향을 보이며, R^2 값은 0.95 이상을 보였다.

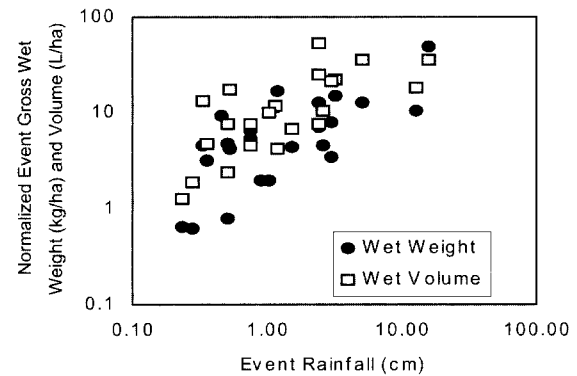


Fig. 5. Normalized gross pollutant weight and volume.

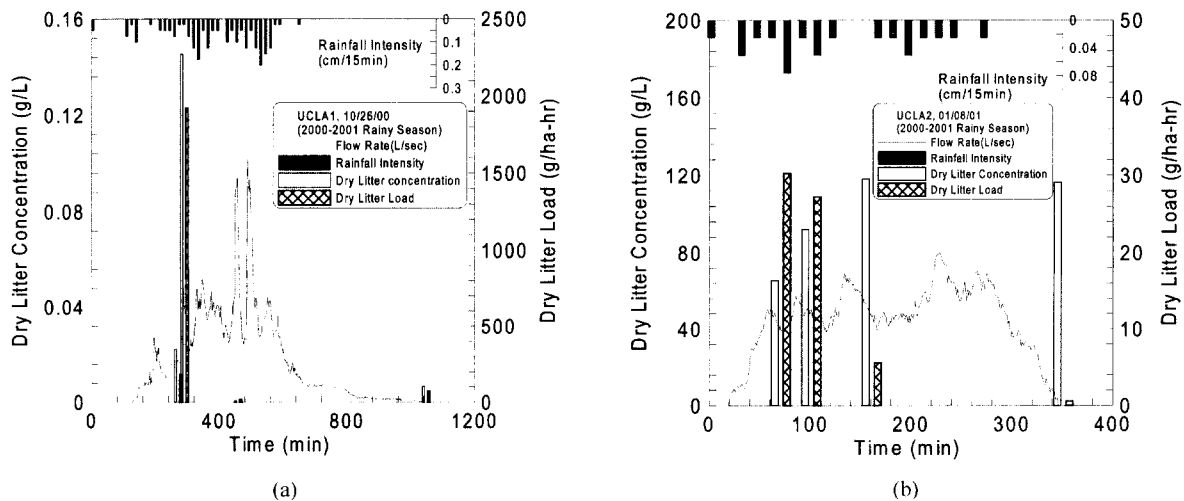


Fig. 4. Litter polluto- and load-graphs (with hydrograph shown in background).

Table 2. Statistical summary of normalized litter for all data during the 2000-2002 monitoring season

Parameters	Monitoring Sites	Gross Pollutants		Litter				Biodegradable		Non-biodegradable	
		Wet		Wet		Dry		Dry		Dry	
		Weight (kg/ha)	Volume (L/ha)	Weight (kg/ha)	Volume (L/ha)	Weight (kg/ha)	Volume (L/ha)	Weight (kg/ha)	Volume (L/ha)	Weight (kg/ha)	Volume (L/ha)
Minimum	UCLA2	0.302	0.412	0.02	0.088	0.01	0.082	0.005	0	0.005	0
	UCLA3	0.625	1.875	0.221	0	0.104	0	0.036	0	0.034	0
	URS6-20F	0.35	2.4	0.033	0.5	0.012	0.4	0.01	0.249	0	0.1
	URS8-23C	0.497	2.833	0.172	0.9	0.084	0.934	0.053	0.6	0.031	0.334
	URS23	0.407	1.793	0.066	0.345	0.03	0.145	0.008	0.072	0.007	0.072
Maximum	UCLA2	49.42	35.76	1.38	22.94	0.9	10	0.37	4.41	0.39	4.71
	UCLA3	11.45	32.5	0.88	5.75	0.4	7	0.35	5	0.21	4.75
	URS6-20F	80	292	6.8	52	4.17	39.3	2.6	19.7	1.15	12.8
	URS8-23C	43.33	82.33	7.7	27.73	6.07	26.37	2.3	11.33	3.31	12.37
	URS23	20.77	50	2.22	8.97	1.3	8.97	0.58	4.14	0.63	4.66
Mean	UCLA2	9.28	10.76	0.46	3.69	0.3	2.75	0.09	0.57	0.13	0.6
	UCLA3	5.34	12.81	0.49	2.28	0.25	2.6	0.14	1.31	0.1	1.05
	URS6-20F	18.63	73.46	1.58	10.03	0.85	8.38	0.54	4.86	0.24	2.62
	URS8-23C	13.97	23.78	2.31	8.66	1.62	7.9	0.67	3.45	0.85	3.93
	URS23	5.88	17.65	0.59	2.63	0.33	2.69	0.14	1.09	0.13	1.25
Standard Deviation	UCLA2	14	13.12	0.44	6.56	0.3	3.53	0.12	1.23	0.16	1.33
	UCLA3	3.02	8.82	0.22	1.88	0.1	2.22	0.08	1.37	0.06	1.25
	URS6-20F	26.7	93.71	2.29	17.63	1.41	13.29	0.88	6.94	0.39	4.24
	URS8-23C	17.22	30.85	2.88	10.43	2.3	9.67	0.88	4.09	1.26	4.59
	URS23	7.45	17.54	0.77	3.07	0.45	3.12	0.21	1.57	0.23	1.7

3.3. 고속도로 폐기물 유출 영향인자

강우 시 고속도로 폐기물의 유출에 끼치는 영향인자를 파악하기 위하여 측정된 현장조사 자료와 유출농도를 비교 분석하였다. Fig. 6은 폐기물의 성분별 농도를 강우 전 건조일수(ADD, Antecedent Dry Period), 이벤트 강우량, 최대 강우강도, 이벤트 전체 강우 유출량과 비교한 결과를 나타내고 있다. 모니터링 기간동안 ADD는 1일에서 190일 까지를 보였으며, 이벤트 총 강우량은 0.28-15.6 cm의 범위를 보였다. 또한, 이벤트 총 유출량은 8.0-1,420 m³ 사이의 넓은 분포를 나타내었다.

젖은 상태 총 고형물질의 EMC는 ADD와 이벤트 총 강우량에 대하여 특정 경향을 보이지 않고 있으나 쓰레기의 EMC는 ADD에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다. 이벤트 총 강우량에 대해 쓰레기의 EMC는 약간 감소하는 것으로 조사되어졌는데 다른 종류의 폐기물에도 같은 경향을 나타내고 있다. 이는 큰 강우에서 많은 양의 쓰레기가 유출되어 농도가 떨어지고 있는 것으로 판단된다. 또한 Fig. 6은 최대 강우강도와 쓰레기 EMC와의 상관관계를 보이고 있는데, 명확한 상관관계를 보이지 않는다. 그러나 유출농도는 이벤트 강우 총 유출량에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다(지면 제한 상 자세한 통계학적 결과는 보이지 않았음).

3.4. EMC의 통계분석

모니터링에서 얻어진 6 항목의 고속도로 유출 폐기물 농도분포를 통계학적으로 분석한 결과가 Fig. 7에 나타나 있으며, 중간값과 95% 확신 범위도 나타내고 있다. 젖은 상태의 총 고형물질의 농도는 0.0021-0.259 g/L (평균 = 0.066 g/L)의 범위를 보이고 있으며, 젖은 상태의 쓰레기의 농도는 0.0001-0.027 g/L (평균 = 0.006 g/L)의 범위를 나타내고 있다. 건조 쓰레기의 생물학적 분해 가능한 부분과 생물학적 분해 불가능한 부분의 농도는 약 0.03 mg/L에서 5.5 mg/L 사이를 보이고 있다.

3.5. Regression model을 통한 EMC 예측

강우 유출 폐기물의 농도와 영향인자들을 비교 검토한 결과, 고속도로에서 유출되는 폐기물의 EMC는 ADD와 이벤트 총 강우량에 대해 영향을 많이 받는 것으로 연구되었다. 따라서 고속도로 강우 유출 폐기물의 EMC를 예측하기 위하여 식 (2)와 같은 power regression model을 이용하였다.

$$EMC_{litter} = \epsilon (ADD)^a (TR)^b \quad (2)$$

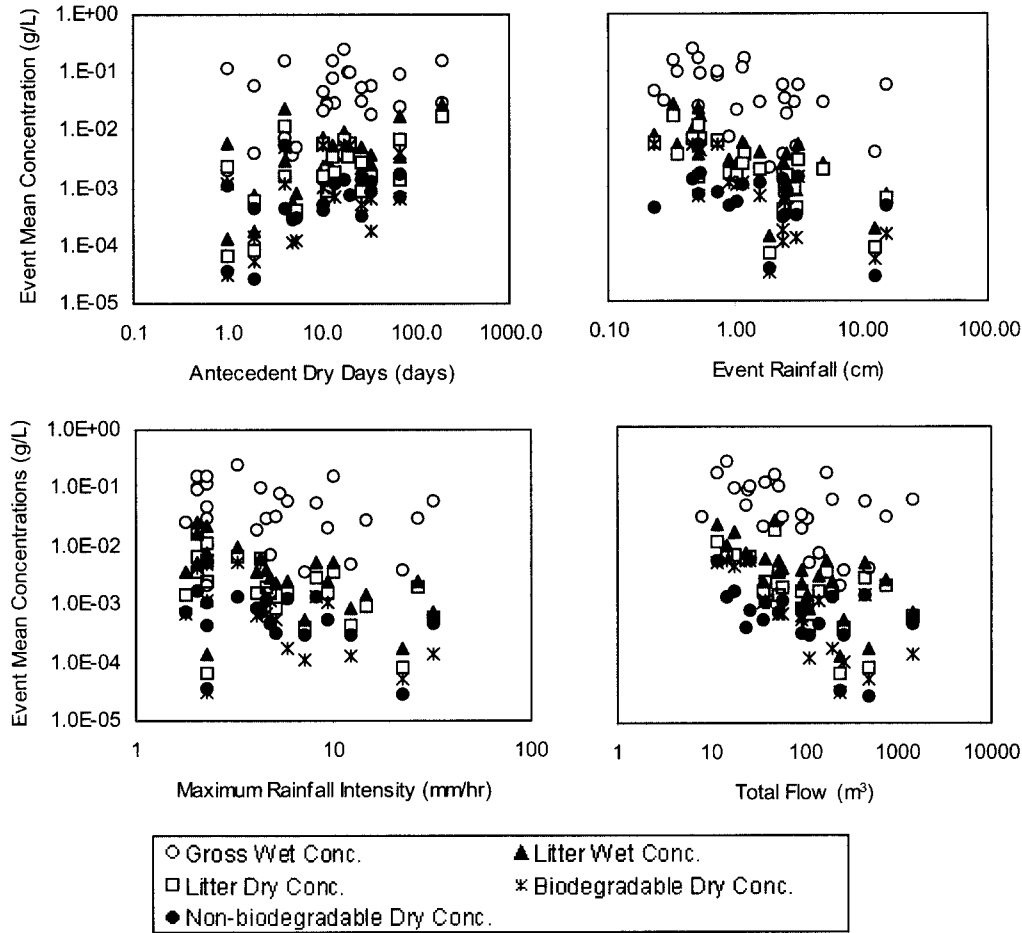


Fig. 6. Correlation between event mean concentrations and impacting parameters (ADD, event rainfall, maximum rainfall intensity and total flow).

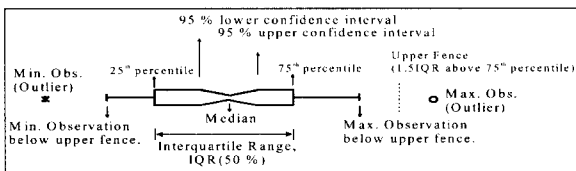
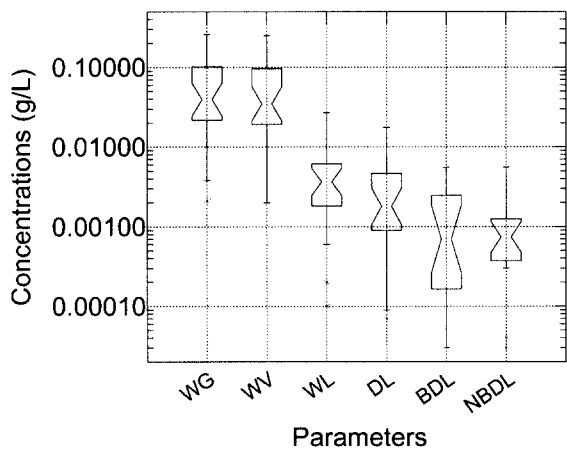


Fig. 7. Notched box plot for event mean concentrations (WG: wet gross, WV: wet vegetation, WL: wet litter, DL: dry litter, BDL: biodegradable dry litter, NBDL: non- biodegradable dry litter).

여기서, ADD : 강우 전 건조일수 (days), TR: 이벤트 총 강우량 (cm), a와 b: 조정 계수, ε: 계수.

Table 3은 식 (2)의 regression model 적용결과를 나타내고 있는데 고속도로 강우 유출 폐기물의 농도에 대하여 약 40에서 80%의 변화성을 가지고 있는 것으로 연구되었다. 표에서 보는 바와 같이 조정계수, a ,는 (+)의 값을 보이고 있는데 이는 EMC가 ADD의 증가에 따라 증가한다는 결과를 설명하고 있다. 또한 일반적으로 EMC는 이벤트 총 강우량에 대해 감소하는 결과를 보이는데, 모델의 적용결과 계수 b 는 (-)의 값을 보이고 있다. 이러한 결과는 앞서 설명한 실측결과와도 매우 비슷한 결과를 보여주는데 이는 건조기간동안 많은 양의 폐기물들이 고속도로에 축적이 되며 강우 유출수에 의해 상당량이 유출된다는 것을 의미한다.

4. 결론

고속도로에서 강우 시 유출되는 비점오염폐기물은 인근 수계나 토양으로 유입되어 장기적인 내부 오염원으로 작용하며 수질에 악영향을 끼치는 것으로 나타났다. 따라서 고속도로 강우 유출 폐기물 문제는 오염총량제의 한 부분으

Table 3. Coefficient determination and statistical summaries.

Parameters	ϵ	a	b	R2	Durbin-Watson D
Wet gross pollutant	0.0239	0.206	-0.408	0.500	2.009
Wet vegetation	0.02056	0.215	-0.387	0.490	1.964
Wet litter	0.0016	0.360	-0.683	0.790	1.933
Dry litter	0.00095	0.354	-0.694	0.770	2.061
Dry biodegradable litter	0.00061	0.245	-1.034	0.570	1.676
Dry non-biodegradable	0.00032	0.336	-0.408	0.590	2.252

로 중요시하게 다루어야 할 부분이다. 본 연구진은 고속도로 강우 유출수와 유출폐기물과의 관계를 규명하기 위하여 모니터링과 모델링 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 강우 전 건조일수는 고속도로 폐기물 축적에 중요한 요소 중의 하나이다. 또한 강우 시 폐기물 부하율은 유역의 면적에 큰 영향을 받지 않고, 오히려 강우강도에 직접적으로 영향을 받는 것으로 나타났다.
2. 폐기물이 많이 함유되어 있는 초기 유출수의 경우 최적 관리방안 수립에서 가장 중요한 부분인데 이러한 경향은 대부분의 강우 이벤트에서 나타났다.
3. 측정된 모든 강우 이벤트에서 생물학적 분해가능 폐기물과 분해 불가능한 폐기물과의 비는 거의 비슷한 것으로 나타났다. 그러나 초기 유출수내에서는 분해가능 폐기물의 함량이 상대적으로 높았다.
4. 강우 이벤트 당 전체 유출 폐기물 부하량은 건조 쓰레기인 경우 1.25-13.39 kg/ha의 범위를 나타냈으며, 생물학적 분해 가능한 건조 쓰레기는 0.40-8.99 kg/ha, 그리고 생물학적 분해 불가능한 건조쓰레기는 0.85-6.60 kg/ha의 범위를 나타내었다.
5. 고속도로 강우 유출 폐기물의 EMC는 ADD와 비례하여 증가하였다. 하지만 이벤트 총 강우량과 이벤트 총 유출량은 희석 효과로 인하여 EMC를 감소시키는 원인으로 작용하였다. EMC는 젖은 상태의 총 고형물질이 0.0021-0.259 g/L, 젖은 상태의 쓰레기가 0.0001-0.027 g/L, 그리고 건조 쓰레기가 0.00007-0.018 g/L의 범위로 산정되었다.

사 사

본 연구는 California 교통국(California Department of Transportation)의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

김이형, *Monitoring and modeling of pollutant mass in urban runoff: washoff, buildup and litter*, Ph.D Dissertation, UCLA, U.S.A. (2002).

California Department of Transportation (Caltrans), *Gross solids removal devices (GSRD) pilot study 2000-2001 interim report*, Document No. CTSW-RT-01-047, CA, U.S.A. (2001).

California Regional Water Quality Control Board (CRWQCB), *Trash total maximum daily loads for the Los Angeles river watershed*, CA, U.S.A. (2001).

California State Water Resources Control Board (CSWRCB), *1998 California 303(d) list and TMDL priority schedule*, CA, U.S.A. (1999).

Corwin, D. L., Vaughan, P. J., Modeling nonpoint source pollutants in the vadose zone with GIS, *Environ Sci. & Tec.*, **31**, pp. 2157-2175 (1997).

Horan, N. J., *Biological wastewater treatment system-theory and operation*, John Wiley & Sons, England, UK (1990).

Irish, Jr L. B., Barrett, M.E., Malina, Jr J. F., Charbeneau, R. J., Use of regression models for analyzing highway storm-water loads. *J. Environ Eng.*, **124**, pp. 987-993 (1998).

Kayhanian, M., Kummerfeldt, S., Kim, L-H., Gardiner, N., and Tsay, K., Litter pollutograph and loadograph, *Proceedings of 9th International Conference on Urban Drainage*, Portland, Oregon (2002).