

특별기고

도로 비점오염원 관리를 위한 기초 연구 및 지침 개발

김이형^{*} · 이은주 · 이소영 · 안우영

공주대학교 건설환경공학부

Development of Guidelines for Nonpoint Source Control in Roads

Lee-Hyung Kim^{*} · Eun-Ju Lee · So-Young Lee · Woo-Young Ahn

Department of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University

Abstract

The 21st century is that both human and environment live together. The advancing knowledge concerning our environment instigates a change in understanding about the physical surroundings. The construction field particularly induces significant impacts affecting our lives and the environment. Taking that into account, the construction technology must incorporate vast improvements that are environmental-friendly. To convene this demand, several manuals and guidelines related to the environmental issues have been enacted and amended. Especially the manuals and guidelines issued from Ministry of Environment (MOC) and Ministry of Construction and Transportation (MOCT) is requiring the addition of environmental knowledge in construction technology. Recently, environmental assessments and advanced environmental measures in various kinds of construction are persuasively been carried out. The policy of Total Maximum Daily Load is the one more reason for the revisions of the manual and guideline, which is really requiring the addition of the environmental knowledge in construction technology. Therefore, this research is focusing on revising the manuals and guidelines related to road construction and maintenance works issued from MOCT.

keywords : First flush, Guidelines, Nonpoint source, Roads, Stormwater

1. 서론

21세기는 인간과 환경이 공존하는 사회가 주요 모토가 되고 있다. 선진화된 생활환경의 변화는 주위환경에 대한 인식의 변화를 가져왔으며, 이에 따라 여유로운 생활환경 조성을 위한 국민들의 요구는 점점 증가하고 있다. 특히 건설 분야는 인간의 생활환경에 직접적인 영향을 끼치는 산업으로 환경친화적, 생태친화적, 친환경적 등으로 함축되는 다양한 생활환경 개선기술을 건설기술에 접목할 것을 강하게 요구하고 있다. 이러한 요구에 부응하여 그동안 건설분야에 접목 가능한 다양한 환경친화적 건설기술이 개발되어 부분적으로 적용되었다. 그러나 체계적인 규정이나 제도의 정비 없이 이러한 기술들이 접목되다보니 건설과정 및 유지관리과정에서 제대로 효과를 발휘하지 못하였다는 것이 현실이다. 따라서 최근 들어 건설분야에 제도화된 친환경성을 부여하기 위하여 각종 환경관련 법률 및 규정의 정비, 개정 및 제정이 이루어졌으며, 이는 건설기술 및 분야에 환경친화성을 제도적으로 도입할 것을 요구하고 있다. 이러한 변화는 각종 건설 사업에 대한 환경영향평가 및 사전환경성검토를 통해 시행되고 있다. 특히 단계적으로 전국적인 확대시행을 앞두고 있는 수질오염총량관리제는 지역

의 친환경성 정도를 파악하여 개발할당량 또는 개발제한을 두는 제도로 건설기술에 친환경성 부여를 당연시하고 있다. 2005년도에 발행된 환경부의 비점오염원관리 업무편람에서는 도로 계획시, 휴게소 및 영업소 설계시에 배수구조 직 유입되는 불투수층의 면적을 가급적 줄이며 불투수층으로부터의 강우유출수를 투수층으로 유입시켜 침투·저류·여과되도록 하여 노면으로부터 유출되는 비점오염물질의 하천 유입을 최소화하도록 요구하고 있다(환경부, 2005).

다양한 토지이용, 즉 비점오염원에서 발생되어 강우에 의해 유출되는 비점오염물질은 국내 하천수계에 심각한 수질 문제를 야기하고 있다(이 등, 2006a). 특히 각종 토지이용 중에서 포장율이 높고 차량의 운행이 높아 강우시 비점오염물질의 유출이 높은 도로는 다양한 건설분야 중에서 비점오염원 관리가 우선적으로 요구되는 사업이기에, 도로 노선 계획시, 공사시 및 운영관리에 이르기까지 광범위한 비점오염원 대책수립이 시급히 요구된다. 따라서 본 연구는 도로 건설 지침 및 편람에 친환경성을 부여하고자 하며, 도로 완공후 운영관리시 제기될 각종 비점오염원 관리를 위한 환경친화적 도로유지관리 지침의 제정을 목표로 하고 있다.

2. 연구방법

본 연구는 2005년 6월부터 2007년 3월까지 건설교통부, 공주대학교 및 한국건설기술연구원이 공동으로 수행하여

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

2007년도에 발행한 환경친화적 도로유지관리 잠정지침에 대하여 요약정리 하고자 하며, 환경친화적 도로건설 지침 및 편람에서 고려되어야 할 사항들에 대하여 정리하고자 한다. 또한 지침 및 편람 개발에 앞서 그 동안 본 연구진에 의하여 수행된 고속도로, 도로, 교량 및 주차장 등과 같은 포장지역에서의 비점오염원 유출특성, 부하량 및 초기강우 특성 등을 요약 정리하여 지침 개발에 활용하고자 한다. 이러한 지침 및 편람의 개발 목적은 기존의 도로건설 및 유지관리에 친환경성을 부여하고자 함이며, 이러한 과정을 통해서 향후 건설사업에서 발생 가능한 환경문제에 능동적으로 대처하기 위해서이다.

3. 도로 비점오염원 연구 결과

3.1. 점오염원 및 도로 비점오염원

일반적으로 Fig. 1과 같이 점오염원은 시간에 따른 유출 오염물질의 농도 및 유출율이 일정부분 차이는 있겠지만 그 차이가 비점오염원에 비하여 매우 적은 편이다. 그 이유는 비점오염원이 다양한 강우특성과 유역의 토지이용 상태 및 피복상태 등과 같은 유역특성에 의하여 강우유출수 및 오염물질의 유출이 영향을 받기 때문이다. 이러한 원인은 비점오염원의 불확실성을 높이고 있기에 현실을 반영하는 적절한 모니터링 계획에 의하여 획득된 방대한 자료 및 통계학적 해석이 절실히 요구된다(이 등, 2006b).

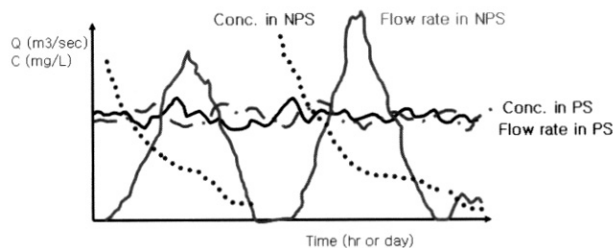


Fig. 1. Differences between point and nonpoint sources (김 등, 2007).

3.2. 도로 비점오염원 유출특성 및 부하량

포장율이 높고 많은 차량의 운행으로 인하여 비점오염물

질의 축적이 높은 고속도로, 도로 및 도시지역의 경우에는 비점오염원 관리를 위한 최적관리방안 수립이 절실히 요구되는 토지이용이다(Bertrand-Krajewski et al., 1998; Charbeneau et al., 1998; Kim et al., 2005). 이러한 포장지역은 인간의 활동영역인 수계 인근에 대부분 분포하고 있기에 오염물질 발생시 하천수질에 직접적인 영향을 끼치는 지역이다.

Fig. 2(a)와 2(b)는 포장지역에서 유출되는 비점오염물질의 가장 큰 특징인 초기강우 현상을 보이고 있다. 초기강우 현상이란 강우가 발생하고 유출이 시작된 이후 일정기간 동안 고농도로 오염물질의 유출이 일어나는 현상을 의미한다. 이러한 초기강우 현상은 향후 포장지역에서 유출되는 비점오염물질의 최적관리방안 선정시 중요한 설계인자로 사용된다(Kim et al., 2005, 2006, 2007).

Table 1은 강우지속시간에 대한 유역면적별 포장지역의 비점오염물질의 유출부하량을 나타내고 있다. TSS의 95% 신뢰구간의 범위는 152.25~589.58 mg/m²-hr이며, COD는 181.06~408.55 mg/m²-hr의 범위, Oil & Grease는 5.55~19.23 mg/m²-hr의 범위를 나타내고 있다.

3.3. 도로지역에 적용 가능한 초기강우 기준

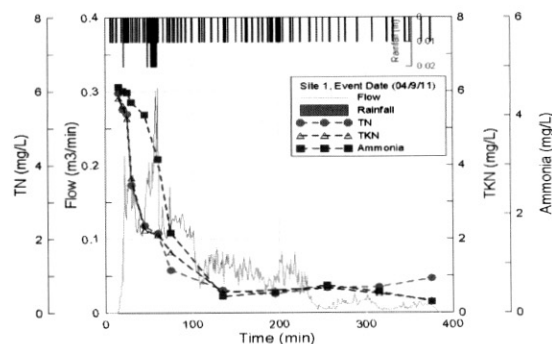
강우시작 후 초기 1시간 내 포장지역에서 유출된 강우유출수 내 오염물질의 평균 농도변화를 살펴보면 Fig. 3(a), (b)와 같은데 모든 오염물질에서 강우 초기에 비해 5분에서 60분으로 갈수록 오염물질의 농도는 급격히 떨어지는 것으로 나타났다(김 등, 2005; 이 등, 2006b).

Fig. 4(a), 4(b) 및 4(c)는 강우유출수율에 따른 비점오염물질의 유출비를 통계학적으로 일반화시킨 결과를 보이고 있다. 전체 유출량의 10%에 해당하는 유출량에 대하여 TSS의 경우 평균 26% 정도가 유출되는 경향을 나타냈으며, COD의 경우 31%, Cu의 경우 24%가 유출되는 것으로 분석되었다. 또한 전체 강우유출량의 30% 정도에 해당하는 유출이 발생할 때까지 유출오염물질의 유출이 급격히 감소하는 것으로 나타났으며, 이후 유출량에 대해서 감소되는 정도가 작아지는 것으로 나타났다.

일반적으로 EMC(Event Mean Concentrations)는 전체 강우지속시간에 따른 유출오염물질의 평균농도이지만, 동적 EMC는 강우지속시간에 따라 EMC가 지속적으로 변한다는



(a) Monitored samples with time



(b) Hydro- and polluto-graphs

Fig. 2. Hydro- and polluto-graphs in paved areas (김 등, 2004).

Table 1. Washed-off pollutant loadings from paved areas by watershed areas and runoff duration (김 등, 2005; 이 등, 2006a, 2006b)

Parameters	Min.	Max.	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower	St.Dev
TSS (mg/m ² -hr)	12.26	1309.13	370.92	589.58	152.25	378.73
COD (mg/m ² -hr)	28.31	606.32	294.81	408.55	181.06	196.0
Oil & Grease (mg/m ² -hr)	0.64	38.58	12.39	19.23	5.55	11.85
TN (mg/m ² -hr)	1.86	38.91	11.82	17.89	5.75	10.51
TP (mg/m ² -hr)	0.07	5.01	1.69	2.42	0.96	1.26
Total Cd (μg/m ² -hr)	0	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
Total Cr (μg/m ² -hr)	0	0.07	0.03	0.04	0.02	0.02
Total Cu (μg/m ² -hr)	0.11	3.6	1.08	1.74	0.41	1.15
Total Fe (μg/m ² -hr)	0.06	1.58	0.53	0.83	0.23	0.51
Total Ni (μg/m ² -hr)	0.02	0.53	0.12	0.2	0.04	0.14
Total Pb (μg/m ² -hr)	0.01	0.19	0.07	0.1	0.04	0.05
Total Zn (μg/m ² -hr)	0.14	3.65	0.98	1.71	0.26	1.25

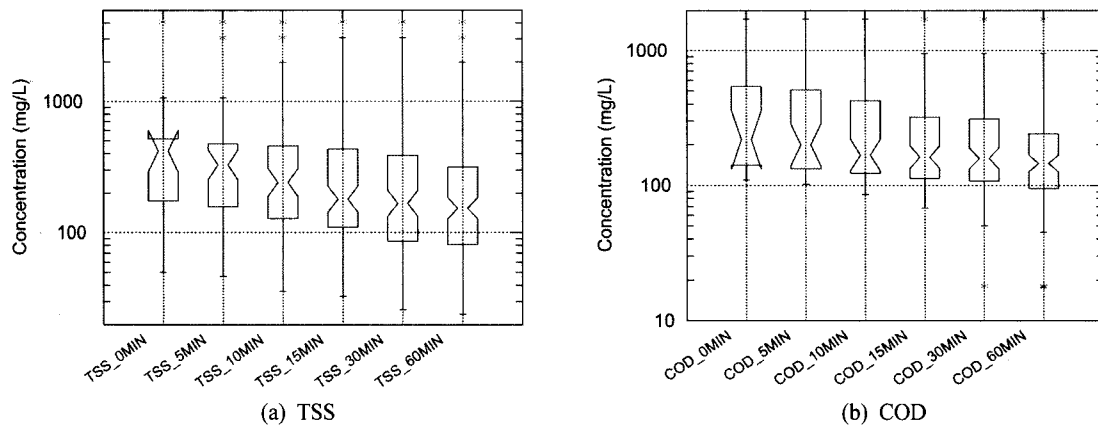


Fig. 3. Statistical concentration changes during 1-hr storm duration (김 등, 2005; 이 등, 2006a).

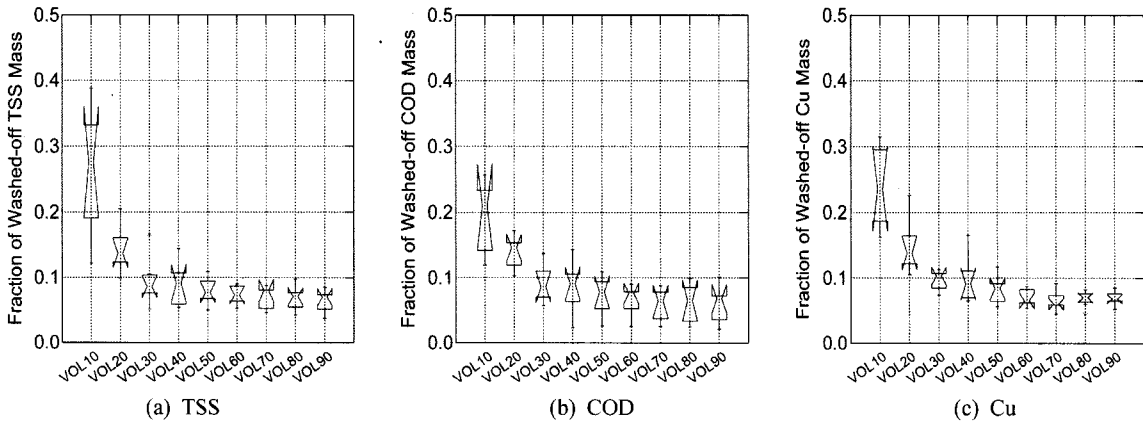


Fig. 4. Fraction of washed-off pollutant mass with normalized runoff volume (김 등, 2005; 이 등, 2006a, 2006b).

개념이다. 즉, 동적 EMC는 t 시간의 강우지속시간 동안 유출된 오염물질의 EMC를 나타낸다. 이러한 동적 EMC를 이용한 초기강우 기준 산정은 최근 들어 그 활용도가 증가하고 있다. 국내 포장지역의 경우 동적 EMC를 활용한 초기강우 기준은 Table 2에 나타난 바와 같이 강우지속시간으로는 34분 정도, 그리고 누적 강우량 기준으로는 7.4 mm 정도를 제안하고 있다(Kim et al., 2007).

3.4. 도로 비점오염원 관리를 위한 비점오염저감시설의 조건

도로는 대부분 인간의 활동 범위와 일치하며 인간의 활

동을 대변하는 토지이용이다. 특히 도로는 인간활동의 중심인 도시내에 가장 많이 존재하며, 도로의 특성상 수계 인근에 존재하는 특징이 있기에 수질관리 측면에서 비점오염원 관리는 환경친화적이고 대민친화적으로 수행되어야 한다. 비록 도시내 도로의 경우 비점오염물질을 저감할 수 있는 공간의 부족으로 인하여 지하에 비점오염저감시설을 설치할 필요성이 제기되나, 신도시 개발 및 신설 도로일 경우에는 아래와 같은 조건을 따름이 바람직하다. 이러한 도로비점오염원 관리를 위한 조건은 2007년도에 개발된 환경친화적 도로유지관리 잠정지침에 포함되어 시행을 앞두고 있다(건설교통부, 2007).

Table 2. First flush criteria using dynamic EMCs (Kim et al., 2007)

Parameters	Rainfall duration (min)	Accumulated rainfall (mm)
No. of Events	35	35
Min.	20	5
Max.	50	10
Median	34	7.4
Mean	33.6	7.36
95% CI Upper	36.36	7.89
95% CI Lower	30.84	6.83
St. Dev.	8.04	1.56

- ① 비점관리시설은 자연친화적 시설이어야 한다.
- ② 비점관리시설은 혐오시설이 아닌 대민친화적 시설이어야 한다.
- ③ 생태계를 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.

3.5. 환경친화적 도로유지관리 잠정치침 내용

도로는 비점오염물질의 축적이 매우 높은 토지이용이지만, 그동안 도로 유지관리에 대한 내용은 여러 편람과 지침에 산재되어 있었다. 따라서 도로 유지관리에 대한 연구가 본 연구진에 의하여 수행되었으며, 2007년도에 환경친화적 도로유지관리 잠정치침이 개발되었으며 주요내용은 Table 3과 같다.

3.6. 환경친화적 도로건설 지침 개정 방향

환경친화적 도로건설 지침은 환경친화적인 도로건설을 위하여 도로설계자, 관련 행정기관 등이 계획·설계·시공시 활용할 수 있고 현장 적용이 가능한 도로노선 선정방안과 항목별 도로설계기법을 제시하는 데 있다. 이 지침은 환경친화적인 도로노선 선정과 항목별 도로설계기법으로 구분되며, 환경친화적인 도로노선 선정은 기본·실시설계 단계에서 도로노선 계획·설계시 고려하여야 할 검토사항과 추진절차에 대하여 설명하고 있다. 항목별 도로설계기법은 여러 검토요소 중에서 “환경영향평가 작성 등에 관한 규정”에서 제시한 도로사업의 총 10개 주요 평가항목에 대하여 환경훼손 저감방안에 대한 설계기법을 제시하고 있다. 환경훼손 저감방안에 대한 설계기법은 항목별로 환경훼손을 저감하기 위한 다양한 설계기법을 회피, 완화로 구분하여 제시하고 있으며, 제시된 설계기법들은 해당 계획노선 및 지역특성에 따라 다양하게 적용될 수 있다(건설교통부, 2006). Table 4는 기존의 환경친화적 도로건설 지침에 대하여 본 연구를 통하여 새롭게 제안된 세부 개정방향을 보이고 있다.

Table 3. Main topics of guidelines for Environment-kindly road maintenance

유지관리 시설	지침 내용
교량	- 교량 관리 시설(보수보강, 페인트, 배수구 등)에서의 비점오염원 유출최소화가 고려된 친환경적 유지관리 방안
도로	- 도로 포장시 비점오염원 관리방향 - 각종 도로시설(도로 안전시설, 표지시설 등)의 친환경적 유지관리 방안 - 도로 배수구에서의 비점오염원 관리방안 - 도로 보수 및 보강(질성토시 등) 토사유출 최소화 방안 - 도로 청소물의 관리 및 처리방안 - 노면 식생 관리방안 - 포장/차선 및 시설물의 도색 페인트의 친환경 재료 사용을 유도함으로써 비점오염물질 발생 억제 - 도로상에서 발생하는 비점오염물질의 종류 및 현황 - 도로상 비점오염물질 관리시설 선정시 고려사항 - 도로상 비점오염물질 관리시설의 규모 및 효율 결정 - 도로 법면 및 사면배수시설에서의 환경친화적 유지보수 방안
터널	- 터널내 청소수 및 배수시설의 관리
휴게소 오염원 관리	- 휴게소내 오수관리 방향 - 휴게소 및 주유소의 비점오염원 관리
건설 및 유지관리장비	- 각종 건설 장비 및 유지관리 장비의 효율적 관리방안
제설 장비 및 관리방안	- 제설 및 제빙제의 효율적 관리방안 - 제설 후 유출수의 관리방안
수질사고 다발지역	- 수질오염 사고 다발지역에서의 비점오염원 관리방안 - 상수원 인근 도로에 대한 유해차량 관리 방안

Table 4. Revised topics for guidelines of Environment-kindly road construction

항목	세부분야	비점오염저감 관련 개정방향
환경친화적인 도로노선 선정	지형·지질	- 대규모의 지형변화를 가져오는 땅갈기·흙쌓기의 최소화
	토지이용	- 하천 횡단 교량 개수의 최소화 고려 - 비점오염물질 발생 및 유출 최소화 고려
	수질	- 수질보전 관련 용도지역 혹은 시설물의 우회 고려 - 교량공사, 제방축조 등으로 발생하는 토사유출이 하천, 습지 등의 담수생태계에 미치는 영향 최소화 - 하천횡단 교량으로부터 비점오염물질의 하천유입 최소화 고려 - 수질오염 최소화를 위한 도로 비점오염원 저감시설 설치 가능성 고려
	위락·경관	- 대규모 땅갈기·흙쌓기로 인한 경관적 영향 최소화
항목별 도로설계기법	지형·지질	- 지형훼손 저감방안 - 비탈면 침식방지를 위한 안정대책 - 연약지반의 처리 - 비육토의 처리
	수리·수문	- 강우시 비점오염물질 유출 저감 대책
	토지이용	- 효율적인 토지이용계획 수립 - 비점오염물질 유출억제 및 저감방안 수립
	대기질	- 살수 - 세륜·세차시설 설치 - 차량덮개 설치 및 속도제한
	수질	- 공사시 비점오염물질이 함유된 강우유출수의 유출량 저감방안 - 공사시 토사유출 저감방안 - 침사지 설치 - 골재채취에 따른 수질오염 저감방안 - 교량 공사시 수질오염 저감방안 - 터널 공사시 및 운영시 폐수처리 - 터널공사로 인한 지하수 이용 피해방지 - 토취장, 사토장에서 토사유출 저감방안 - 현장사무소 내 비점오염물질 유출 저감 대책 - 휴게소의 용수공급, 오수처리 및 비점오염물질 유출저감대책 - 노면 비점오염원 유출저감을 위한 대책(초기강우 기준 산정: 최소 7.5 mm 누적강우량 이상) - 교량으로부터의 비점오염물질 유출 저감대책 - 유류 및 유독물 운반차량의 추락·전복 등 사고 발생 가능지역 수계오염 방지 방안
	위락·경관	- 노면 비점관리시설의 선정, 설계 및 시공시 고려사항

4. 결론

참고문헌

도로는 각종 개발사업에서 가장 우선시 되는 개발사업이며, 각종 건설사업에서 필수적인 분야이기에 도로의 계획, 설계 및 시공과 유지관리시 친환경성에 많은 관심을 기울여야 한다. 특히 도로의 경우, 수계를 횡단 및 종단하여 건설되고 있으며, 많은 차량의 운행으로 인하여 입자상물질, 각종 중금속 등의 비점오염물질의 축적과 유출이 높은 토지이용이다. 따라서 인근의 수질오염을 예방하기 위해서 도로의 계획, 설계 및 시공과 유지관리에 이르기까지 각종 규정 및 지침에 관한 면밀한 검토를 통하여 환경친화적 개발이 이루어지도록 개정 및 개발이 요구된다. 본 연구는 이러한 도로의 건설 및 유지관리에 관련되는 지침과 편람의 개발과 개정에 주안점을 두었으며, 환경친화적 개발을 이루어 수계의 오염을 저감시키고자 하는 선진화된 규정 연구이다. 그러나 이러한 지침과 편람만으로는 환경친화적 건설 및 유지관리가 충분하지 않기에, 향후 주차장법, 화물유통촉진법, 도시개발법, 도로법 등에 관한 각종 법률들의 개정이 절실히 요구된다.

건설교통부, 환경친화적 도로건설지침 (2006).
 건설교통부, 환경친화적 도로유지관리장점지침 (2007).
 김이형, 김구범, 강희만, 이주광, 임지현, 고석오, 국내 고속도로 강우 유출수의 부하농도 및 초기우수 경향, *대한환경공학회 2004 추계학술연구발표회*, 전북대학교, pp. 414-421 (2004).
 김이형, 이선하, 강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs, *한국물환경학회지*, **21**(3), pp. 248-255 (2005).
 김이형, 정하익, 이은주, 건설사업에서의 비점오염원 관리를 위한 각종 지침 및 편람 개정 방향, *한국물환경학회 및 대한상하수도학회 공동 포럼집*, 대전수자원연구원, 대전, pp. 77-103 (2007).
 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형, 포장지역에서의 강우사상별 EMC 산정 및 단순 샘플농도와의 비교, *한국물환경학회지*, **22**(1), pp. 104-109 (2006a).
 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 임경호, 이병식, 김이형, 고속도로 노면유출수의 중금속 유출 특성 및 상관성, *한국물환경학회지*, **22**(1), pp. 128-133 (2006b).

- 환경부, 비점오염원관리업무편람 (2005).
- Bertrand-Krajewski, J., Chebbo, G. and Saget, A., Distribution of Pollutant Mass vs Volume in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomenon, *Wat. Res.*, **32**(8), pp. 2341-2356 (1998).
- Charbeneau, R. J. and Barrett, M. E., Evaluation of Methods for Estimating Stormwater Pollutant Loads, *J. of Water Environmental Research*, **70**(7), pp. 1295-1302 (1998).
- Kim, L.-H., Kayhanian, M., Lau, S.-L. and Stenstrom, M. K., A new modeling approach in estimating first flush metal mass loading, *Wat. Sci. & Tech.*, **51**(3-4), pp. 159-167 (2005).
- Kim, L.-H., Zoh, K.-D., Jeong, S.-M., Kayhanian, M. and Stenstrom, M. K., Estimating Pollutant Mass Accumulation on Highways during Dry Period, *J. of Environ. Engr.*, **132**(9), pp. 985-993 (2006).
- Kim, L.-H., Ko, S.-O., Jeong, S.-M. and Yoon, J., Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm, *Science of the total Environment*, **376**, pp. 178-184 (2007).