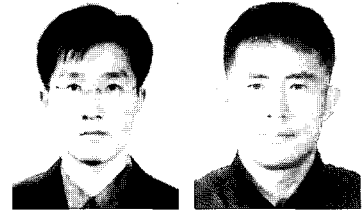


## 도로 비점오염물질 저감을 위한 최적관리방안



강 희 만 | 한국도로공사 도로교통기술원 재료환경그룹  
이 주 광 | 한국도로공사 도로교통기술원 재료환경그룹

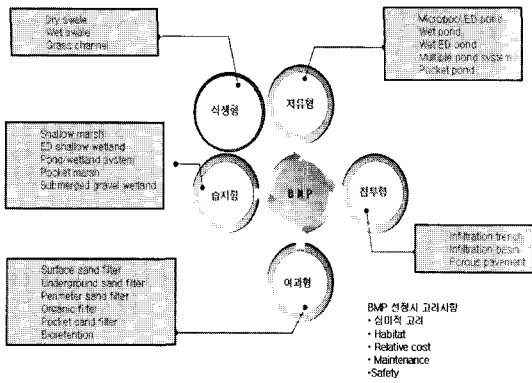
### 1. 서론

고속도로는 많은 차량의 운행과 높은 포장율에 의해 건조시 다량의 비점오염물질이 축적되었다가 강우시 유출이 발생되어 수계를 오염시키는 오염원이다. 따라서 최근에는 건설교통부 및 환경부는 이러한 포장지역으로부터의 비점오염원 관리를 위하여 각종 지침 및 규정정비와 더불어 다양한 최적관리방안을 이용하여 시범사업을 추진중에 있다. 따라서 본 논문에서는 도로에서의 비점오염원 관리를 위하여 적용 가능한 다양한 최적관리방안(Best Management Practices, BMPs)에 대하여 알아보 고자 한다.

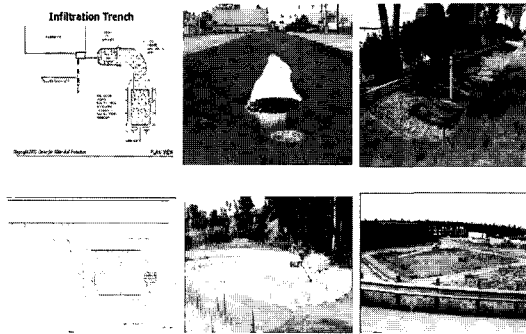
### 2. 비점처리시설의 개요

그림 1은 다양한 비점오염원에 대한 처리 및 관리를 위한 최적관리방안(Best Management Practices, BMPs)들을 보여주고 있다. BMP를 크게 분류하면 처리대상 오염물질의 종류별 처리 메카니즘을 이용하여 적용되고 있으며, 이는 식생형, 저류형, 침투형, 여과형, 습지형 등으로 분류가능하다. 그 중에서 도로의 경우 토사 및 중금속의 함량이 높은 토지이용이기에 이러한 오염물질의 처리 메카니즘에 효과가 좋은 침투형, 여과형 및 일부 저류형 등이 바람직하게 고려되고 있다(환경부, 2004).

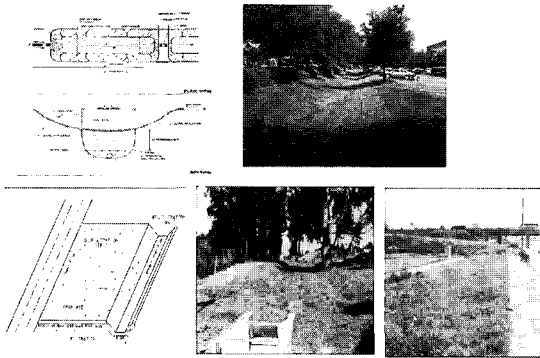
표 1은 2004년도에 발행된 환경부의 비점오염원 관리 업무편람에서 강우 유출수 관리를 위한 시설의 비교를, 표 2는 처리시설별 처리효율을 나타내고 있다.



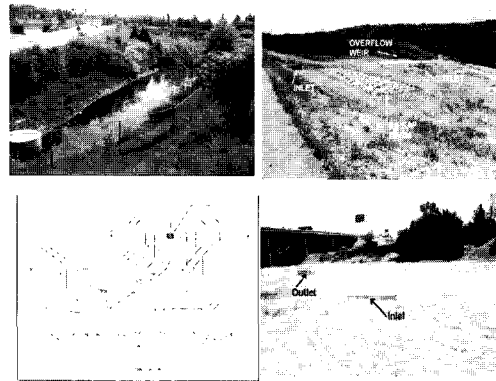
(1) 침투형시설-침투형도랑, 침투조



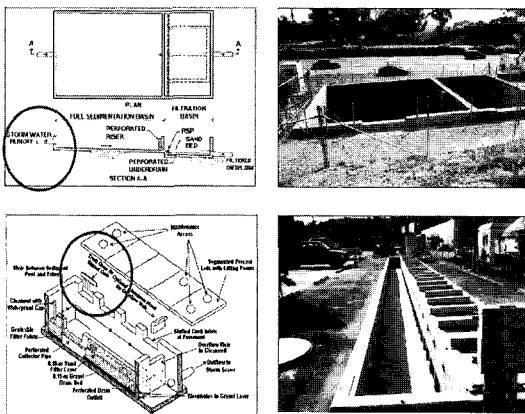
(2) 식생형시설-식생수로, 식생여과대



(3) 저류시설-저류지, 저류시설



(4) 여과형-모래여과대



(5) 장치형-Stormfilter

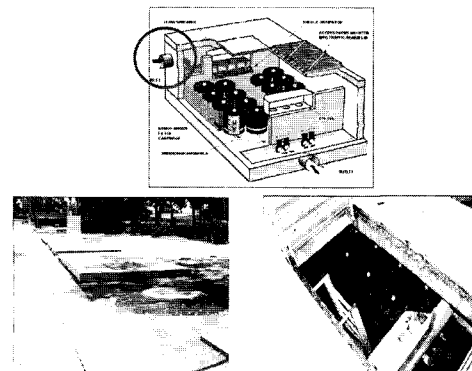


그림 1. 비점오염원 관리시설

표 1. 비점오염물질 관리시설별 비교

관리시설	장 점	단 점
저류조	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 강우유출수의 수질과 수량 모두를 조절하는 가장 저렴한 수단</li> <li>2. 재래의 홍수조절용 유수지 건설비의 10% 정도만 더 소요</li> <li>3. 기존의 유수지를 개선해 사용가능</li> <li>4. 침전물과 침전물에 흡착된 오염물질의 제거에 탁월</li> <li>5. 전식저류조 바닥은 위락용으로 사용 가능</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 비교적 대규모의 토지를 필요로 하므로 토지비용이 고가인 지역에는 적용 곤란</li> <li>2. 적절한 관리 필요</li> <li>3. 용존성 오염물질은 제거효율 저조</li> <li>4. 침전물이 제거되지 않았을 경우 대규모 강우 후 침전물 재부상 우려</li> <li>5. 침전물 제거(준설)에 비교적 높은 비용 소요</li> </ol>
연못	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 고형물질 외에 용존성 오염물질 제거 가능</li> <li>2. 미관적으로 쾌적한 경관 제공</li> <li>3. 지역의 자산적, 효용적 가치 증가</li> <li>4. 관리빈도가 적음</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 이중목적 저류조보다 비용이 고가</li> <li>2. 대규모의 저류용량이 토지를 많이 요구</li> <li>3. 침전물 제거 등 준설에 비용이 소요</li> </ol>
인공 습지	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 식생습지는 일반적으로 연석이나 도랑시스템보다 설치비용이 저렴</li> <li>2. 도로 옆 습지는 비가 내리는 동안 자동차가 빗길에 미끄러지는 현상을 예방하면서 도로표면의 우수흐름을 방지</li> <li>3. 도로 옆 습지는 강우유출수를 더 잘 희석시키고 수질을 개선시키기 위해 침투도랑과 침투조와 함께 사용 가능</li> <li>4. 자연경관 개선의 효과를 가짐</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 식생습지는 많은 관리가 필요함(풀 깎기, 식종, 잡쓰레기 제거 등)</li> <li>2. 도로 옆 습지는 제설과 도로 밖 주차로 인한 손상이 있을 수 있음</li> <li>3. 습지가 있는 도로는 가로등이 필요하고 보도시스템으로는 부적합</li> <li>4. 습지는 배수성이 열악한 토양, 과도한 경사, 또는 중력식 배출구를 설치하지 못할 경우 사용 불가</li> </ol>
침투조	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 지역의 홍수피크를 감소</li> <li>2. 지하수 재충전</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 부적절한 설계로 인한 실패율이 높고 관리요구가 높음</li> <li>2. 부적절하게 관리되면 냄새, 모기, 수렁같은 불쾌감을 유발</li> <li>3. 침투방법은 고농도의 오염물질 부하나 침전물 부하를 처리하는 데에는 부적절</li> <li>4. 토양층 내에서 처리되지 않은 오염물질에 의해 지하수 오염 유발 가능</li> <li>5. 대규모 배수지역에는 부적합</li> </ol>
침투도랑	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 도랑은 필요한 유량이나 월류빈도를 감소시키기 위해 강우유출수 하수거 시스템의 설계에 포함 가능</li> <li>2. 지역의 범람을 감소</li> <li>3. 자연적 배수시스템을 이용</li> <li>4. 지하수를 재충전</li> <li>5. 공간이 제한된 지역에서 사용가능</li> <li>6. 수리학적으로 침투보다 빠르게 기능</li> <li>7. 설계에 따라 관리가 용이</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 부적절한 설계, 오염물질 부하, 관리에 의한 실패 가능</li> <li>2. 빈도높은 관리 필요</li> <li>3. 침전물에 의한 막힘의 우려 있음</li> <li>4. 지하수 오염문제 유발 가능</li> </ol>
식생수로	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 별도의 부지가 소요치 않음</li> <li>2. 강우에너지로부터 토양을 보호함으로써 토양침식 감소</li> <li>3. 유수속도 감소, 침투증가에 의해 강우유출수량 감소</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 수질조절을 위해서는 저장과 침투가 충분하지 못함</li> <li>2. 오염물 제거에 필요한 이상적 환경이 유지되는 것을 조건으로 함</li> <li>3. 경사가 급한 장소에는 적용이 불가능</li> </ol>

관리시설	장 점	단 점
유공 포장	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 별도의 토지소요량이 없고 도랑 등의 운송시스템이 불필요</li> <li>2. 새로운 지역이나 기존개발지 모두에 적용 가능</li> <li>3. 우기 동안에는 미끄럼 방지같은 안전성이 개선</li> <li>4. 배수를 위한 부대시설 불필요</li> <li>5. 현지의 자연적 물흐름과 균형을 유지</li> <li>6. 고도의 강우유출수 오염조절 기능</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 막힌 유공성 포장면은 재생 어려움</li> <li>2. 동결과 해빙이 문제 유발 가능</li> <li>3. 지하수 오염의 위험</li> <li>4. 주차장 같은 소규모지역에서만 적용 가능</li> </ol>
식생 여과대	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 강우에너지로부터 토양을 보호함으로써 토양침식 감소</li> <li>2. 지표면 유수속도 감소, 침수시간 증가, 침투증가에 의해 강우유출수량 감소</li> <li>3. 유속이 감소됨에 따른 여과, 흡수 그리고 중력침전으로 부유성 침전물 제거</li> <li>4. 자연환경개선에 효과 있음</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 수질조절을 위해서는 저장과 침투가 충분하지 못할 경우 있음</li> <li>2. 오염물 제거에 필요한 이상적 환경이 유지되는 것으로 조건으로 함</li> <li>3. 관리가 노동집약적임</li> <li>4. 오염물제거를 위한 최소너비가 필요하므로 일정규모의 토지가 필요함</li> </ol>
stormfilter/sand filter	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 부유성 고형물과 고형물에 부착된 오염물질 제거 가능</li> <li>2. 모래뿐만 아니라 다양한 여재 적용이 가능</li> <li>3. 박테리아 및 조류 제거에도 효과 있음</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 대규모 배수지역에서는 부적합</li> <li>2. 정기적인 여재 교체가 필요</li> <li>3. 유입부에 전처리시설(침전) 필요</li> <li>4. 불투수성 지역에서 적용</li> </ol>
수유입 장치	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 일반적으로 지하에 위치하므로 적은 지표공간에도 설치 가능</li> <li>2. 우수거를 대체할 수 있고 개조도 가능</li> <li>3. 다른 관리시설로 유입되기 전에 전처리 시설로도 이용 가능</li> <li>4. 관리를 위한 접근 용이</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 오염물질 제거율이 제한</li> <li>2. 소규모 시설로서 수량조절은 불가능</li> <li>3. 설치비용이 비교적 높음</li> <li>4. 관리빈도가 빈번</li> </ol>
이 밖에 stormceptor, stormgate 같은 소형장치는 소규모 단지, 주차장, 사업장, 도로 등에서 사용이 가능함		
하수처리형 (응집 침전법)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 하수처리형의 다른 시설보다 간단</li> <li>2. BOD, SS, T-P에 대해서는 신속한 처리효과를 얻을 수 있음</li> <li>3. 침전시간의 단축을 위한 초고속응집침전법의 개발로 소요부지를 최소화할 수 있음</li> <li>4. 기술의 신뢰성이 확보되어 있음</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 유지관리인 확보 및 상시관리가 필요</li> <li>2. T-N에 대해서는 처리효과가 다소 떨어지는 것으로 알려져 있으므로 후속처리시설이 필요한 경우 있음</li> <li>3. 약품비 및 동력비 등 운전비가 소요</li> <li>4. 슬러지 발생 및 처분 문제</li> <li>5. 주민의 이해가 필요</li> </ol>
비점오염원에 대해 직접 사용하기에는 강우특성 등에 따른 유량 및 수질의 변동부하가 심하므로 처리의 안전성면에서 비효율적이며 비경제적일 수 있음		

표 2. 비점오염원 관리시설의 처리효율(환경부, 2005)

시 설 명		처리효율(%)				
		BOD	COD	SS	T-N	T-P
저류형	저류조	30	30	70~90	20~60	10~60
	인공습지 (고도처리가능)	64~86	20~80	73~93	15~40	47~80
	인공습지 (산화지가능)	40~60	10~40	40~60	~25	~12
	연못	10~70	10~70	50~70	10~70	20~70
침투형	유공포장	60~90	60~90	60~90	60~90	60~90
	침투조	50~80	50~80	50~80	50~80	50~80
	침투도랑	50~90	50~90	50~90	50~90	50~90
식생형	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
하수 처리형	초고속 응집 침전법	80	60	85	20	85

표 3. 최적관리방안(BMPs) 선택

BMP	토지이용		
	주거지	상업지	산업지
Dry Detention	Y	Y	L
Underground Detention	N	Y	Y
Dry Extended Detention	Y	Y	L
Wet Extended Detention	S	S	L
ED Shallow Wetland	S	S	L
Surface Sand Filter	S	Y	Y
Underground Sand Filter	N	Y	Y
Perimeter Sand Filter	N	Y	Y
Bioretention	Y	S	N
Dry Swale	Y	S	N
Submerged Gravel Wetland	N	Y	Y
Grass Channel	Y	S	N
Dry Well	Y	N	N
Filter Strip	Y	S	N

Y: Yes S: Sometimes N: No  
L: Only use with an impermeable liner

### 3. 비점처리시설의 선정기준 및 적용성

#### 3.1 최적관리방안 선정방법

유출되는 비점오염물질을 관리하고자 하는 최적관리방안을 선정할 시에는 다음과 같은 과정을 거쳐 선정되어야 한다.

- (1) 유역의 토지이용은 무엇인가?
- (2) 최적관리방안의 목적은 무엇인가?
- (3) 유역의 물리학적, 지형학적 제한요소는 무엇인가?
- (4) 유출되는 유출수의 처리를 위해서 어떠한 방법을 선택할 것이며, 처리된 유출수는 어디로 배출이 되는가?
- (5) 최적관리방안을 선택했을 때 경제성은 어떠한가?
- (6) 수질보호를 위해 선택된 최적관리방안의 규모는

표 4. 처리목적별 시설의 적합성 matrix

BMP	지하수 함양	수로 보호	홍수 예방	수질 개선
Dry Detention	N	Y	Y	N
Underground Detention	N	Y	Y	N
Dry Extended Detention	N	Y	Y	Y
Wet Extended Detention	N	Y	Y	Y
Extended Detention Wetland	N	Y	Y	Y
Surface Sand Filter	"	N	N	Y
Underground Sand Filter	N	N	N	Y
Perimeter Sand Filter	"	N	N	Y
Bioretention	"	N	N	Y
Dry Swale	Y	C	N	Y
Grass Channel	Y	C	N	?
Dry Well	Y	N	N	/
Filter Strip	Y	N	N	/
Gravel-Based Wetland	N	N	N	/

Y : Yes N : No D : Depends ? : Unknown " : Only if partial exfiltration is provided.  
C : Used as a Channel stabilization practice " : Only in combination with other practices

어느 정도로 할 것인가?  
 (7) 새로운 시설 건설시, 이러한 오염처리시설을 어느 부분에 접목할 것인가?

토지이용별 최적관리방안의 선택은 표 3과 같으며, 지형 지질학적인 특성 및 물리적 적합성 검토 (Physical suitability)가 표 3과 4에 나타나 있다.

3.2 최적관리방안의 공공 및 환경성 검토

최적관리방안의 검토에는 공공 및 환경 요인이 매우 중요하다. 특히 비점오염원 시설은 점오염원 시설이 그동안 인식되어온 “혐오시설”이 아닌 “친환경적인 시설”이어야 한다. 그 이유는 비점오염원 관리 시설의 경우 인간의 활동과 밀접하며, 각종 토지이용에 접목되어야 하기에 사람과 분리되어 설치가 불

가능하기 때문이다. 따라서 “공공 및 환경 친화성”은 매우 중요한 고려대상이다.

3.3 최적관리방안의 설계시 중요하게 고려되어야 할 인자

비점오염원 관리를 위한 최적관리방안 선정시 고려하여야 할 내용은 다음과 같다.

- (1) 심미적 고려(Aesthetics)
- (2) 생태계의 확대 및 보존(Enragement and protection of habitat)
- (3) 경제성(Relative cost)
- (4) 유지관리(Maintenance)
- (5) 공공 및 시설의 안정성(Safety of public and facility)

표 5. 물리-지형적 적합성 matrix

BMP	Drainage area (Acres)	Space (% draining imper. area)	Slope (%)	Hydraulic head (feet)
Dry Detention	small or large sites	2-3	<15	4-10
Underground Detention	<5	0	<15	5-8
Dry Extended Detention	> 10	<3	<15	6-8
Wet Extended Detention	>15	<3	<15	4-10
Extended Detention Wetland	> 25	3-5	<10	3-5
Surface Sand Filter	<10	2-3	<6	5
Underground Sand Filter	<2	0	<6	6
Perimeter Sand Filter	<2	3	<6	3
Bioretention	<5	5	<6	5
Dry Swale	<5	10-20	<2	3-5
Grass Channel	<5	7	<2	1
Dry Well	<1	0	<6	1
Filter Strip	<2	50-100	<6	<1
Gravel-Based Wetland	<5	3-5	<15	3

표 6. 공공 및 환경 요인들

BMP	Aesthetics	Habitat	Relative cost	Maintenance	Safety
Dry Detention	M	W	B	B	B
Underground Detention	M	W	W	B	B
Dry Extended Detention	W	M	B	B	B
Wet Extended Detention	B	B	B	B	W
Extended Detention Wetland	B	B	M	M	B
Surface Sand Filter	W	W	M	W	M
Underground Sand Filter	M	W	W	W	B
Perimeter Sand Filter	M	W	B	W	B
Bioretention	B	M	W	W	B
Dry Swale	M	M	M	B	B
Grass Channel	M	W	W	B	B
Dry Well	M	W	W	W	B
Filter Strip	M	M	B	W	B
Gravel-Based Wetland	M	W	W	W	B

B : Best, M : Moderate, W : Worst

#### 4. 도로에서 유출되는 비점오염물질의 원단위 문제점

도로에서 유출되는 비점오염물질의 처리를 위해서는 관리시설의 선정과 더불어 삭감량이 매우 중요하다. 특히 비점오염원관리는 오염총량관리제하에서 시행되기에 부하량을 산정하고 삭감량 산정에 적용 가능한 원단위의 효율적 작성이 필요하다. 그러나 현재 국내에는 토지이용별 비점오염물질 원단위(표 7)가 작성되어 있긴 하지만, 도로의 경우 대지에 포함되어 그 정확성이 매우 떨어진다. 이는 처리효율 뿐만 아니라 경제성에도 큰 문제를 제기하기에 대지로부터 도로의 원단위를 분리함이 바람직하다.

표 7. 토지이용별 비점오염물질 EMC 및 원단위

구 분 (단위: kg/km <sup>2</sup> ·일)	BOD	TN	TP
논	2.3	6.56	0.61
밭	1.6	9.44	0.24
임 야	1.0	2.20	0.14
대 지	85.9	13.69	2.10
목 장	35.1	5.37	1.72
골프장	1.0	3.56	2.76
기 타	1.0	0.06	0.03

[자료:수질오염총량관리계획수립지침, 환경부 고시 제1999-143호, 1999. 9. 15]

비고:1. 밭은 지목별 면적중 전과 과수원을 포함한다.

2. 대지는 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 체육용지(골프장 제외), 유원지, 종교용지, 사적지를 포함한다.

3. 기타에는 광천지, 염전, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 공원, 묘지, 잠종지를 포함한다.

#### 5. 도로 유출 비점오염원 저감시설의 정책적 관리

앞서 도로유지관리지침에서 밝힌 바와 같이 도로로부터 유출되는 비점오염물질의 저감을 위해서는

행정적이고 정책적 억제방안 수립이 절실히 요구된다. 이러한 억제방안을 다시한번 정리하면 다음과 같다.

- (1) 강우 시작 전 건기시 노면의 정기적/비정기적 청소 : 강우전 노면에 대한 정기적 및 비정기적 청소를 통해 강우시 비점오염물질의 유출을 사전 억제
- (2) 수계인근의 국도에 쓰레기 투기금지(litter removal) 등과 같은 도로 표지판의 설치: 상수원 보호구역, 수변구역 및 수계인근의 국도상에 비점오염물질 발생억제를 위한 도로표지판 설치 등
- (3) 도로 노변주위 식생의 주기적인 제초: 도로상 노면에 존재하는 식생근은 하천으로 유입되어 부패될시 난분해성 유기물을 포함하여 각종 부영양화의 원인인 질소와 인 등의 오염물질의 증가를 초래하기에 정기적인 식생관리를 통해 사전억제
- (4) 포장/차선 및 시설물의 도색 페인트의 친환경 재료 사용을 유도
- (5) 상수원 보호구역, 수변구역 및 수계 인근의 국도에 강설시 염화칼슘 등의 제설제 대신 모래를 통한 강설관리
- (6) 자동차 매연측정 등의 기준강화 또는 측정의 정확성을 기해 비점오염물질 사전저감
- (7) 상수원 보호구역, 수변구역 및 수계인근의 환경사고 다발지역의 국도에서 유류 및 유해물질 운반차량의 통행제한
- (8) 국도상 비점오염원 저감예방 등에 대한 pocket형 지침서를 개발: 고속도로 IC를 통과하여 국도로 유입되는 차량들에 대해 배부

이와 별도로 비점오염원의 경우 법정오염원으로 등록되었기에 환경의 패러다임인 "오염자 부담원칙"에 의거하여 고속도로의 경우 한국도로공사 및 민간관리업체, 국도의 경우 건설교통부 그리고 지방도의 경우 지자체가 비점오염원 관리를 위한 시설의 운영 및 관리에 책임을 가져야 한다.

## 6. 결론

비점오염물질은 다양한 토지이용, 즉 비점오염원에서 유출되기에 토지이용은 비점오염물질 유출의 근원이다. 그 중에서 포장율이 높아 강우유출율이 높은 도로의 경우 유역면적이 적음에도 불구하고 유출되는 비점오염물질의 총량은 매우 높은 편이다. 또한 도로의 경우 많은 차량의 활동으로 인하여 오염물질의 축적이 높고, 하천 및 호소인근으로 집중되어 있기에 강우시 유출가능한 비점오염물질의 관리가 절실히 요구된다. 따라서 본 연구에서는 도로에서 유출되는 비점오염물질의 유출경향, 환경수리학적 영향 등을 모니터링을 통해 분석하였으며, 도로로부터 유출되는 비점오염물질의 종류, EMC 및 부하량 산정도 수행되었다. 이러한 결과를 바탕으로

효율적인 도로 비점오염물질 관리방안을 제시하기 위한 초기강우기준을 도출하였으며, 정책적 및 기술적 관리방안을 제안하기 위하여 지침개발 및 적용 가능한 처리시설의 개요를 정리하였다. 본 자료는 향후 국내 도로에서의 비점오염원 관리를 위한 지침 및 방향 수립에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- 수질오염총량관리계획수립지침, 환경부 고시 제 1999-143호, 1999. 9. 15 (1999).  
 환경부, 관계부처합동(물관리 종합대책)의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책 (2004).  
 환경부, 비점오염원관리 업무편람 (2005).

### 학회지 광고접수 안내

본 학회지에 게재할 광고를 모집합니다. 우리 학회지는 계간으로 매회 1,800부를 발간하여 회원과 건설관련 기관에 배포하고 있습니다. 회사 영업신장과 이미지 제고를 원하시는 업체는 우리 학회지를 이용하시기 바랍니다.

광고료 : 표2 · 표3 · 표4(300만원)  
 간 지(200만원)

※ 상기금액은 연간(4회)광고료임.

사단법인 **한국도로학회**

전화 (02) 3272-1992 전송 (02)3272-1994