

수질 및 수생태계 보전을 위한 21세기 지속가능한 환경정책 방안

김 이 형* / 이 소 영** / 민 경 석***

The 21st Sustainable Environmental Policies for Protecting the Water Quality and Aquatic Ecosystems

Kim, Lee-Hyung* / Lee, So-Young** / Min, Kyung-Suk***

요약 : 환경부는 최근 30년 동안 가정하수, 축산폐수 및 산업폐수 등과 같은 점오염원에 대한 집중적인 기술개발, 시설설치 및 시설개선에 투자를 하여왔으며, 수질개선도 크게 이루어졌다. 그러나 지속적인 인간의 활동 및 토지이용의 고도화로 나타나는 도시화는 유역의 변화를 가져오고 수질 및 수생태계의 건전성을 약화시키는 새로운 오염물질을 유발하고 있다. 이러한 유역의 변화는 주로 인간의 활동공간을 창출하는 개발사업에 의하여 발생한다. 따라서 환경부는 시대적 필요에 의해 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 등의 개정을 통해 다양한 수질 및 유역관리제도(수질오염총량관리제, 비점오염원 관리지역 지정제도, 비점오염원설치신고제도, 고령지 경작지 경작방법 권고 등)를 도입하여 수질개선을 꾀하고 있다. 그러나 이러한 각종 제도는 개발사업에 효율이 검증되지 않은 허울뿐인 비점저감시설의 난립을 가져올 소지가 매우 높다. 즉, 수질 및 수생태계의 보전은 환경에의 직접적 영향을 끼치는 개발사업의 건설기술 자체가 환경에 영향을 최소화시키는 건설환경기술로 변화될 때 가능하다. 따라서, 본 논문에서는 수질 및 수생태계 보전을 위한 유역관리기법, Low Impact Development (LID) 기술 및 비점오염원 관리 방향에 관한 21세기형 지속가능한 환경정책을 제안하고자 한다.

핵심용어 : 비점오염원, 유역관리기법, 환경정책, LID 기술

Abstract : The construction technologies for development and urbanization diversely effect on the water qualities, hydraulics and aquatic ecosystems in watershed areas. Usually, the landuse changes in watershed areas by human activities are known as the main sources of pollutants to aquatic ecosystems. Therefore, in order to protect the aquatic ecosystems and to improve the water quality, the construction technologies should be improved with environmental technologies. In this paper, several applicable technologies for construction projects and protection of aquatic ecosystem will be summarized, which are the low impact developments (LID), buffer zones, watershed management practices, etc. Also the 21st sustainable environmental policies concerning watershed management will be discussed for watershed managers.

Keywords : Environmental policy, LID, Nonpoint source, Watershed Management

1. 서 론

1960년 이래 환경부는 가정하수, 축산폐수 및 산업폐수 등과 같은 점오염원에 대한 집중적인

기술개발, 시설설치 및 시설개선에 투자를 하여왔다. 이러한 환경부의 적극적 노력으로 수계의 수질은 크게 개선되었으며, 2000년대 들어 수질오염총량관리제의 도입 및 방류수 수질규제 강화와

+ Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr

* 정희원 · 교신저자 · 공주대학교 건설환경공학부 교수

** 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 박사과정

*** 정희원 · 경북대학교 환경공학과 교수

같은 다양한 정책으로 인하여 한층 더 높은 수질을 기대할 수 있게 되었다. 그러나 인간의 활동에 의한 유역의 변화는 새로운 오염물질의 유입을 증가시키고 있으며, 이와 같은 영향으로 인하여 수계에서의 난분해성 물질 및 유해물질의 함량이 점차 높아지는 것으로 보고되고 있다(환경부, 2006a). 예를 들면, 다양한 환경기초시설의 확대 보급에 의하여 하천에서의 생물분해 가능한 유기물 함량은 점차 감소하는 경향을 보이고 있으나, 생물분해 불가능한 유기물의 함량은 점차 증가하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상에 대한 원인은 다양하겠지만, 그 중에서도 유역의 변화로 하천수계에 유입이 증대되고 있는 비점오염물질이 주요한 원인으로 알려져 있다.

지속적인 인간의 활동에 기인한 유역 토지이용의 고도화는 유역에서의 수리적 특성(침투, 증발, 유출, 침투 유출율, 침투 유출 발생시간 등)을 변화시키며, 수질 및 수생태계의 건전성을 약화시키는 원인으로 지목되고 있다. 대표적인 유역변화, 즉 도시화는 불투수층의 증가를 의미하며, 수리학적으로는 유출유량의 증가, 침투 유출율의 증가, 침투유량 기간 증가, base flow 감소, sediment 부하량 변화, 홍수유발, 하천침식, 수로확장 및 수로바닥의 변화 등을 초래하고 있다. 또한, 환경적으로는 다양한 종류의 오염물질 유입으로 인한 자정작용 감소, 증가된 유량으로 수반되는 오염물질 부하량 증가 등으로 나타나며 심각한 수생태계 파괴와 같은 현상을 초래하고 있다(강 등 2007). 이러한 도시화 및 개발화를 주도하는 것은 각종 건설 및 개발사업이며, 환경오염 및 생태계를 파괴하는 주 원인으로 지목되어 사업추진에 있어서 많은 논란의 중심에 있는 것이 현실이다. 그 동안 건설분야 기술은 국민들의 의식수준 향상과는 달리 친환경성을 도외시 해온 것도 사실이다. 이와 더불어 건설분야는 '비 친환경성 기술'을 '친환경성 기술'이란 표현으로 포장하여 국민 및 사용자들로 하여금 '친환경성'이란 용어를 식상하게 만들기도 하였다. 결과적으로 개발은 곧 생태계의 파괴라는 등식을 국민들에게 인식하게 만들었으

며, 스스로 큰 사회적 비용을 지불해야하는 시점에 와 있는 것이 현실이다. 이제는 국민들의 의식수준 및 생활수준의 변화와 더불어 전 지구가 직면하고 있는 문제점, 즉 지구온난화, 황사 및 사막화, 기상이변 등에 능동적으로 대처할 시점에 와 있다. 따라서 건설기술도 생태계를 파괴하는 분야가 아닌, 생태계를 보호하고 확대하여 인간과 환경이 공존하는 사회를 건설한다는 목표를 두어야 하며, 이러한 방향으로 건설환경 기술의 개발에 노력을 경주하여야 할 것이다.

인간이 포함된 생태계가 존재하는 유역은 종합적 및 통합적인 관리가 요구된다. 유역의 개발은 생태계의 파괴를 의미하기에 개발계획단계에서부터 유역관리기법이 접목되어야 할 것이며, 개발단계 중에서도 지속적으로 생태계 파괴에 능동적으로 대처하는 기술적 응용을 기하도록 하여야 하며, 개발 완료 후에 발생 가능한 비점오염물질의 유출을 미리 예측하여 그 영향을 최소화 시키는 방향으로 정책적 및 제도적 장치가 마련되어야 한다. 그러나 이러한 모든 제도와 장치 및 기술이 통합적으로 운영되어야 수질과 수생태계를 보전할 수 있기에 유역관리자의 역할이 매우 크다 하겠다. 이러한 중요성에 기인하여, 환경부는 시대적 필요에 의해 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 등의 개정을 통해 다양한 수질 및 유역관리제도(수질오염총량관리제, 비점오염원 관리지역 지정제도, 비점오염원설치신고제도, 고령지 경작지 경작방법 권고 등)를 도입하여 수질개선을 위한 노력을 주저하지 않고 있다. 그러나 이러한 각종 제도는 개발사업에 효율이 검증되지 않은 허울뿐인 비점저감시설의 난립을 가져올 소지가 매우 높다. 즉, 수질 및 수생태계의 보전은 환경에 직접적 영향을 끼치는 개발사업의 건설기술 자체가 환경에 영향을 최소화시키는 건설환경기술로의 변화를 가져올 때 가능하다. 따라서 본 논문에서는 유역관리자들이 인지하고 수행하여야 하는 수질 및 수생태계 보전을 위한 유역관리도구를 제시하고자 하며, 유역개발자에게는 개발사업시 생태계의 영향을 최소화시키는 Low Impact Development

(LID) 기술 및 비점오염원 관리기술에 대한 전반적 방향을 제시하고자 하며, 정책입안자에게는 21세기를 위한 지속가능한 환경정책을 제안하고자 한다. 특히 LID 기술은 각종 개발사업에 있어서 개발 이전의 수리학적 특성을 개발후에도 최대한 발현될 수 있도록 유도하는 기술로 향후 유역관리에서 가장 중요한 개념이 될 것이다.

2. 기초 연구 내용

2.1 연구의 법적 및 행정적 배경

비점오염원은 인간에 의한 다양한 토지이용에서 기인한다. 즉, 인간에 의한 각종 토지이용, 상업지역, 산업지역, 주거지역, 도로 등과 같은 포장지역, 공공지역, 농업지역 등은 건조시 많은 양의 비점오염물질을 축적하고 강우시 유출이 발생하여 수생태계에 심각한 피해를 끼친다(환경부, 2006a, 2006b). 특히 하천은 유역으로부터 발생하는 다양한 오염물질을 처리 및 저감하는 기능, 즉 자정능력을 가지고 있으나, 토지이용의 고도화는 이러한 생태계의 자정능력을 파괴하는 다양한 오염물질의 유입을 가속화 시키고 있다. 따라서 환경부는 2000년 들어 수질에 관련되는 각종 법률 및 제도적 장치를 수생태계의 입장에서 농도규제가

아닌 오염총량 규제로의 변화를 수립함과 동시에 다양한 유해물질에 대한 각종 제도 정비를 시행하고 있다. 비점오염원 관리를 위한 환경부의 각종 법령 및 규제적 행정장치를 살펴보면 표 1과 같다. 표에서 보듯이 개발사업과 관련되는 모든 사업, 즉 토지이용의 지목변경을 가져오는 개발사업은 비점오염원의 관리를 명시하고 있다. 이와 더불어 개발과 관련되는 정부부처(건설교통부, 농림부, 산림청 등)는 관련되는 법령, 시행령, 시행규칙, 지침, 편람 등의 개정과 더불어 고시 등을 통해 개발사업과 관련된 비점오염원 관리를 시급히 요구하고 있다. 특히 2007년에 개정된 ‘수질및수생태계보전에관한법률’에서는 ‘비점오염원 설치신고제도’, ‘비점오염원 관리지역 지정제도’, ‘고랭지 경작지에 대한 경작방법 권고’, ‘기타수질오염원 설치신고제도’ 등에 대하여 절차와 규제방법에 대하여 명시함으로써 향후 각종 사업장별 및 개발사업장별 비점오염원 관리가 적극적으로 추진될 전망이다. 이렇듯 도시화를 유발하는 각종 개발사업장 및 일반사업장은 개발계획 단계에서부터 관리운영시까지 비점오염원의 저감계획을 수립하여 시행할 것을 제도와 법에서 명시하고 있다. 특히 개발사업장의 경우에는 환경·교통·재해영향평가를 통해 개발사업 전에 개발 후 발생 가능성이 있

표 1. 비점오염원 관리를 위한 법적 및 행정적 장치

구분	법적/행정적 제도	비고
환경부 물환경관리기본계획 (2006-2015)	- 수질오염총량관리제 확대시행 - 비점오염원 관리 제도적 기반구축 - 고랭지 및 탁수관리대책 수립 - 도시 및 도로 비점오염원 관리강화	
수질오염총량관리제	- 비점오염원 관리 요구	
비점오염원 관리의 법제화	- 비점오염원 설치신고제도(수질및수생태계보전에 관한법률 제53조)	- 개발 사업 및 사업장별 비점오염원 관리 - 개발 사업장별 공사 중 토양침식 및 토사 유출관리
	- 비점오염원관리지역 지정제도	수질및수생태계보전에관한법률 제54조
	- 고랭지 경작지에 대한 경작방법 권고	수질및수생태계보전에관한법률 제59조
	- 기타수질오염원 설치신고	수질및수생태계보전에관한법률 제60조
빗물 저류, 침투 및 이용	- 골프장 농약사용 제한	수질및수생태계보전에관한법률 제61조
	- 빗물이용시설의 설치 - 빗물저류 및 침투시설의 설치	물의순환이용촉진에관한법

는 비점오염원에 대하여 대책수립을 관리하고 있으며, 개발사업 중에 발생하는 토사유출에 대해서도 저감계획을 수립할 것을 요구하고 있다. 이러한 모든 제도와 장치는 수생태계를 보전하고 확대하기 위한 유역관리기법의 시행될 때 그 효과가 나타날 것이다.

2.2 도시화에 따른 비점오염원 특성

도시지역은 불투수층이 매우 높은 다양한 토지이용의 집합체이다. 도시지역은 주거, 상업, 공공, 산업, 도로와 같은 포장지역 등으로 인하여 높은 포장율을 나타내고 있다. 따라서 건조시 많은 차량의 운행과 인간의 활동에 의하여 다량의 입자상 물질, 중금속, 각종 유해화학물질 등의 축적이 높으며, 강우시 집중적으로 유출되어 하천수계에 위해를 끼치게 된다. 특히 높은 포장율은 높은 강우유출율과 더불어 최대유출율을 증가시키며 최대유출율이 발생하는 침투시간을 앞당기게 되어 집중호우시 심각한 도시홍수의 원인으로 작용하기도 한다(환경부, 2006a; Kim, *et al.*, 2004a, 2004b).

이러한 도시지역 비점오염원의 유출특성은 다음과 같이 정리된다(Kim *et al.*, 2005, 2006, 2007a, 2007b).

- 도시 비점오염원은 강우초기에 다량의 오염물질 유출이 발생하는 초기강우 현상을 보이는 전형적인 토지이용이다. 이러한 초기강우 현상은 비점오염저감시설 규모 산정시 매우

중요한 설계인자로 고려된다(김 등, 2006a, 2006b; Chang *et al.*, 1990).

- 강우 특성 및 유역특성에 의하여 자료의 불확실성이 매우 큰 토지이용이다. 따라서 강우특성 및 유역특성을 고려한 모니터링 계획 수립 없이는 정확한 EMC(Event Mean Concentrations) 및 유출부하량 등을 산정하기가 어렵다.
- 입자상 물질, 중금속류 및 각종 유해화학물질 등의 유출이 높은 지역이다(김 등, 2006a, 2006b, 2007).
- 비점오염물질의 유출부하량은 초기강우 기준과는 상관없이 유출율에 비례한다.
- 초기강우내 비점오염물질의 평균농도는 포장율에 비례하여 증가한다(김이형 2007a, 2007b).

도시지역 비점오염원저감시설 설계시 중요하게 고려되는 초기강우 기준인데, 일반적으로 도시지역의 초기강우는 30분 이내에 발생하게 되며, 이때 누적강우량은 7.4mm 정도를 보이게 된다. 즉, 도시지역의 경우 7.4mm 누적강우량을 차집하여 처리함으로써 비용효율적 비점오염원관리가 가능하다는 것을 나타내고 있다(김이형, 2007a).

2.3 토지이용별 오염물질 원단위 및 개발사업 토사유출 원단위

각종 개발사업 및 수질오염총량관리제의 오염총량 산정시 비점오염저감시설 설계를 위한 토지

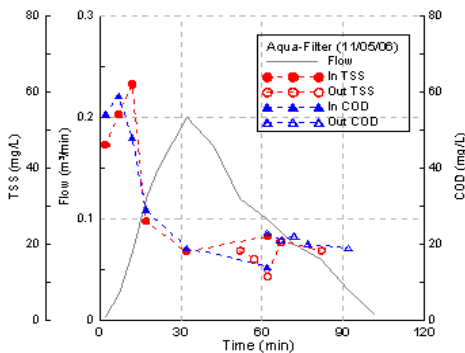


그림 1. 도시지역 비점오염원 유출특성 및 초기강우현상(김 등, 2006a, 2006b)



표 2. 포장율의 증가에 따른 초기강우내 비점오염물질의 증가 양상(Chang et al., 1990)

구분 (mg/L, MPN/100ml)	5% 포장율	30%포장율	50% 포장율	70%포장율	90% 포장율
BOD5	9	10	14	16	19
COD	26	52	65	66	69
TOC	7	13	14	18	24
TKN	0.52	0.91	1.1	1.24	1.4
TSS	80	170	212	220	123
Cu	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe	0.36	0.68	0.48	0.54	0.58
Pb	0.004	0.045	0.03	0.04	0.06
Zn	0.008	0.06	0.09	0.12	0.17

표 3. 도시지역의 EMC 통계분석(김 등, 2006a, 2006b, 2007; 김이형 2007a, 2007b)

농도(mg/L, NTU, ug/L for metal)	최소	최대	평균	95% CI Upper	95% CI Lower	표준편차
TSS	12.1	364	88.7	136	41.5	104
COD	10.9	199	82.3	108	57.1	55.5
OIL_GREASE	0.10	74.8	12.3	22.8	1.88	23.0
TN	0.98	5.50	2.49	3.06	1.91	1.27
TP	0.06	1.15	0.42	0.56	0.28	0.30
TOTAL_CD	0.21	4.28	0.97	1.42	0.52	0.98
TOTAL_CR	0.28	9.74	2.76	3.72	1.80	2.11
TOTAL_CU	22.4	225	93.2	111	75.4	39.2
TOTAL_FE	6.75	123	65.3	77.9	52.6	27.8
TOTAL_NI	3.07	38.1	11.0	15.2	6.78	9.27
TOTAL_PB	1.72	54.7	8.24	13.5	2.94	11.7
TOTAL_ZN	15.9	180	101	119	82.0	40.9

이용별 오염물질 원단위는 매우 중요하게 이용된다. 특히 원단위는 향후 예측되는 각종 토지이용 계획의 변화에 능동적으로 대처하여 수계의 오염을 예방하는 저감시설 설계시 또는 친환경 설계를 위한 기준 제시시 매우 중요하다. 따라서 다양한 토지이용에 대한 원단위 산정이 효율적 비점오염원 관리 및 수생태계 보전을 위해서는 가장 중요한 인자라고 볼 수 있다. 국내에서 현재 적용되고 있는 토지이용별 오염물질 원단위는 7개의 지목으로 각종 토지를 분류하여 적용하고 있다. 그러나 인간이 활동하는 모든 토지이용을 대지로 분류하여 실제 오염총량을 산정함에 있어 많은

문제점을 내포하고 있다. 따라서 본 연구진은 포장지역의 각종 토지이용에 대하여 원단위 연구를 최근 5년간 수행하였으며 그 결과를 표 4에 나타내었다.

각종 개발사업은 공사중 토양표피 교란에 의하여 강우시 다량의 토사유출이 발생하는 사업이다. 따라서 외국의 경우도 공사중 발생하는 토사유출량을 사전에 산정하여 효율적인 관리대책 수립을 요구하고 있다. 이에 맞추어 본 연구진은 각종 개발사업별 토사유출량을 조사하여 그 결과를 표 5에 나타내었다.

표 4. 국내 포장지역 토지이용에서의 토지이용별 원단위 산정(손 등, 2008)

토지이용	TSS (kg/km ² day)	COD (kg/km ² day)	DOC (kg/km ² day)	TN (kg/km ² day)	TP (kg/km ² day)
고속도로	411.15	324.04	54.67	13.12	1.7
주차장	115.43	199.45	29.04	7.65	0.71
교량	716.7	632.19	104.61	14.9	2.98
휴게소	365.62	465.72	74.51	18.18	5.54
영업소	370.03	308.31	47.10	9.26	3.50
평균	395.78	385.94	61.99	12.62	2.88

표 5. 각종 개발사업에서의 강우시 토사유출 원단위 산정(김 등, 2008)

번호	개발 사업	개발 전 (ton/ha-year)	개발 중 (ton/ha-year)	개발 후 (ton/ha-year)
1	도시개발	5.19	26.29	1.52
2	산업입지	11.94	62.87	4.69
3	도로건설	-	2.90	-
4	관광단지	26.44	105.61	18.17
5	산지개발	49.27	107.52	23.04
6	체육시설	27.55	210.50	15.95
7	농경지 (고랭지밭)		135.16	
평균		-	92.98	-

3. 유역관리기법 및 LID 기술

3.1 유역관리 및 보호도구

유역의 변화에 의한 수생태계에서의 영향을 미리 예측하고 환경친화적으로 유역을 개발 및 관리하기 위해서는 유역관리자의 역할이 매우 중요하다. 환경분야는 타 분야와는 달리 Top-Down 방식, 즉 규제가 우선되고 이에 근거하는 기술개발이 절실히 요구되는 분야이기에 유역관리자 및 정책입안자 및 수행자의 역할이 중요하다 하겠다. 현재 환경기술은 비용측면을 고려하지 않는다면 거의 99.9% 오염물질을 저감할 수 있다. 하지만 환경기술이란 한정된 비용에서 최고의 효율을 나타내는 기술의 개발 및 접목이 필요한 분야이기에 ‘최고의 기술’이 아닌 ‘비용대비 최고기술 또는 최적기술’이 요구된다. 따라서, 환경규제와 관련된 제도와 장치를 입안하는 행정기관에서는 적용 가능한 기술의 분석도 필요하겠지만, 이보다

인간의 생존을 담보할 있는 생태계의 보전 및 복원에 대한 환경제도와 장치를 우선시 해야 함이 바람직하다.

일반적으로 유역의 변화에 능동적으로 대응하여 생태계가 지속가능하도록 유도하는 유역관리는 토지이용 계획 단계에서부터 검토되어야 하며, 토지보존, 수변완충지대 보존 및 확대, 친환경 설계 기법, 토사 및 침식관리기법, 건전한 물순환을 위한 강우유출수 관리기법과 유역 주민들의 환경인식 확대를 통해서 가능하다. 표 6은 이러한 효율적 유역관리 및 보호도구를 나타내고 있으며, 이러한 모든 도구들이 통합적으로 운영관리될때 개발로 인한 유역의 생태계 파괴를 최소화 할 수 있으며, 인간과 생태계가 공존하는 개발이 가능할 것이다. 유역관리 및 보호도구라 함은 기본적으로 물의 저류, 침투 및 이용이 가능하도록 유역관리를 함을 의미한다.

표 6. 효율적 유역관리 및 보호를 위한 도구(환경부, 2003)

도구 연번	유역관리 및 유역보호 도구
Tool 1	토지 이용 계획 (Land Use Planning)
Tool 2	토지 보존 (Land Conservation)
Tool 3	수변 완충 지대 (Aquatic Buffers)
Tool 4	더 좋은 지역 디자인 (Better Site Design)
Tool 5	침식과 토사유출 관리 (Erosion and Sediment Control)
Tool 6	우수유출수 관리 최적방안 (Stormwater BMPs)
Tool 7	우수유출수를 방류하지 않는 것 (Non-stormwater Discharges)
Tool 8	유역 관리 프로그램 (Watershed Stewardship Programs)

3.2 효율적 유역관리를 위한 LID 기술의 개요

LID 기술은 자연의 기본적인 원칙(자연이 가지고 있는 집중화되지 않은 미시적 관리를 통해 공평한 분배를 이용하여 빗물을 관리)을 적용하는 혁신적인 강우유출수 관리방법이다. LID의 목표는 강우의 근원지에 침투, 여과, 저장, 증발과 함께 유출을 지연시키는 디자인 기술을 이용하여 개발전의 지역이 가지고 있던 수리학적 기능을 최대한 흉내 내는 것이라 할 수 있다. 이러한 기술은 강우유출수 관리가 배출 및 처분이 능사는 아니라는 것에서 시작한다. 기존의 강우유출수 관리, 즉 강우유출수의 신속한 배제 및 관리, 배수관망 또는 배수구역 말단에 위치하고 있는 대규모 값비싼 처리시설에서의 강우유출수 처리 대신에 LID 기술은 현장에 작고, 비용효율적인 조정 특성을 통하여 강우유출수를 관리함을 목적으로 한다. Integrated Management Practices (IMPs)라고 알려져 있는 조정특성 기술은 LID의 중요한 한 부분이다. 일반적으로 도시환경의 모든 부분은 IMP로 이용될 수 있는 가능성을 가지고 있다. 여기에는 투수층의 보전뿐만 아니라 지붕, 도로 조정, 주차장, 보도 및 여타공간을 모두 포함하고 있다. 이러한 LID 기술은 신도시 건설, 모든 개발사업장, 도시재생 또는 재개발 등에 모두 적용될 수 있다. LID는 보전(Conservation), 성장(Growth), 생태계 보전(ecosystem protection)과 생활수준의 향상 및 공공건강 사이에 한층 높은

균형을 성취하는 스마트한 디자인과 진보된 기술을 통해 지역에 보다 큰 개발 능력을 허용할 수 있다. 또한 최근의 LID 기술은 수변완충지역 기술(Aquatic Buffers), 투수성 포장기술(permeable pavers), 가로수 조경공간 활용한 물의 침투 및 저류기술(tree box planters), 건축물의 빗물 이용기술 등을 포함하고 있다. 이러한 LID 기술의 기본적인 방향은 다음과 같이 정리된다.

- Conservation Design(CD) 기술을 이용하여 보전대책을 촉진
- Better Site Design(BSD) 기술을 이용하여 불투수층의 저감과 환경영향 최소화 촉진
- Integrated Management Practices (IMPs) 기술을 조정기술에 접목하여 강우유출수의 저류 및 침투를 원활히 유도
- Smart Growth를 위하여 각종 건설기술을 환경기술과 접목 유도
- Best Management Practices(BMPs) 기술을 건설기술에 접목 유도

3.3 LID 기술 및 적용방안

(1) BMP 기술

도시는 포장지역(주차장, 도로, 교량 등)과 주거지역(단독주택, 밀집주거지역 등), 상업지역, 공공지역 및 산업지역 등으로 다양한 토지이용으로 구성되어 있다. 이러한 토지이용은 앞서 밝힌바와 같이 다양한 환경수리학적 문제점들을 내포하여

도시환경수리학적 문제를 야기하기에 다양한 LID 기술(물의 저류, 이용 및 침투기술)을 건축 및 건설기술에 접목하여 도시내 건전한 물순환 구조창출을 이루어야 한다. 이러한 LID 기술 중에서 BMP 기술은 저류형 기술(저류조, 인공습지, 연못 등), 침투형 기술(침투도랑, 유공포장, 침투조 등), 여과형 기술(모래여과 등), 식생형 기술(식생수로, 식생여과대 등), 물의 이용 기술(지하 저장고, 지상저장고 등) 등으로 분류되며 그림 2와 같이 나

타난다.

(2) Better Site Design(BSD) 기술

BSD 기술은 LID 기술의 대표적인 예이다. BSD 기술은 건축물의 배치, 계획, 도로의 형태 및 구조, 배수관망의 구조와 배열 및 배치, 주차 공간 및 주차장 설계기술, 조경기술의 배열과 설계, 소규모 단위의 지구단위 계획 등에 유용하게 적용되는 기술이다(환경부, 2003).



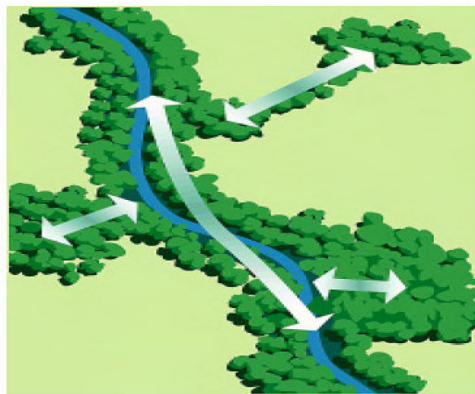
그림 2. LID 중에서 BMP 기술 및 적용 예



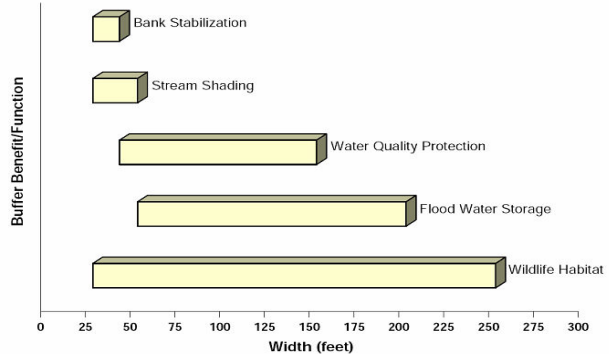
그림 3. 전통적인 건설 및 건축기술과 BSD 기술의 비교(환경부, 2003)



그림 3. 전통적인 건설 및 건축기술과 BSD 기술의 비교(환경부, 2003)(계속)



Aquatic Buffer Width Correlated to Ecological Function



Reference	Buffer Vegetation	Buffer Width (m)	Pollutant Removal Rate(%)		
			TSS	TP	TN
Dillaha et al. 1989	Grass	4.6	63	57	50
		9.1	78	74	67
Magette et al. 1987	Grass	4.6	72	41	17
		9.2	86	53	51
Schwer and Clausen 1989	Grass	26	89	78	76
Lowrance et al. 1983	Native hardwood forest	20 - 40	-	23	-
Doyle et al. 1977	Grass	1.5	-	8	57
Barker and Young 1984	Grass	79	-	-	99
Lowrance et al. 1984	Forested	-	-	30-42	85
Overman and Schanze 1985	Grass	-	81	39	67
Young et al. 1980	Grass	27.4	-	88	87

그림 4. LID 중에서 Aquatic Buffer 기술 적용 예(환경부, 2003)

(3) Aquatic Buffer(AB)r 기술

LID 중에서 Aquatic Buffer 기술은 토지와 물이 만나는 수변 완충지역을 특별한 보호를 받은 만한 중요한 지역으로 정하여 보호하고 개발하는 기술이다. 완충지는 하천이나 해안선을 따라 혹은 자연 상태의 습지 근처에 위치할 수 있는데, 이들 지역은 여러 용도로 사용될 수 있고, 다양한 환경수리학적 장점을 가지고 있다. 1차적인 사용도는 하천을 보호하고 하천, 호수, 습지 수로를 장래의 재해나 침식으로부터 안전하게 유지시키는 것이다. 그림 4는 LID 중에서 Aquatic Buffer 기술의

개략적인 개요 및 적용 사례를 보이고 있다.

(4) 기타 LID 기술

이외에도 LID에는 그림 5와 같이 다양한 기술들이 존재하는데 여기에는 다음과 같은 기술들이 포함된다: 생물저류기술(Bioretention), 녹색지붕 기술(Green Roofs), 투수성 포장기술(Permeable Pavers), 물의 이용을 위한 저장고 기술(Rain Barrels and Cisterns), 가로수 조경공간 활용기술(Tree Box Filter). 이러한 기술들은 도시지역 적용시 물의 저류, 침투 및 이용을 촉진할 수 있으며, 건전한 도시내 물순환을 촉진할 수 있다.



그림 5. 기타 다양한 LID 기술

4. 수질 및 수생태계를 위한 정책 제언

수질 및 수생태계 보전을 위해서는 통합적 유역관리가 절실히 필요하다는 것은 의심의 여지가 없다. 또한 환경기술이 건설기술에 직접적으로 포함되어 ‘건설환경기술’이 되어야 함도 당연하다. 지금까지 도시화에 따른 유역의 변화가 수생태계 및 수질에 어떠한 영향을 끼치는지, 또한 어떠한 방법 및 기술로 이러한 영향을 최소화 하여야 하는지에 대하여 서술하였다. 본 장에서는 이러한 수질 및 수생태계를 위하여 유역관리자, 정책입안자 및 시행자가 어떠한 방식으로 제도 개선 및 개발을 하여야 하는지에 대하여 서술하고자 한다.

(1) 정책제언 1: 각종 개발사업에 비검증 비점 오염저감시설 적용에 대한 대책 수립 필요

수질 및 수생태계 보전에 관한 법률의 개정을 통해 각종 개발 사업 및 사업장에 대해 비점오염저감시설의 설치를 의무화 하고 있으나, 현재 개발사업을 책임지고 있는 개발주체들은 환경친화적 개발(Low Impact Development)의 인식이 여전히 부족하여 건설환경기술의 적용을 하지 않고 건설기술과 별도로 환경기술(비점오염저감시설)을 접목하고 있는 현실이다. 향후 건설환경기술의 개발(LID 기술)이 이루어져야 하겠지만 현재 비검증된 비점오염저감시설이 환경기술로 인식되어 개발사업에 접목되는 현상은 엄청난 환경적 및 경제적 비용낭비이다. 따라서 이에 관한 대책이 필요한 시점이며, 사업의 시행기관 및 주관업체의 기술적 및 책임적 의식 확대가 절실히 필요하다. 특히 현재 비점오염원 관리에서 적용되고 있는 BMP기술 중에서 다음과 같은 조건을 가진 시설의 확대보급이 절실하다 하겠다.

- 자연친화적 시설이어야 한다.
- 혐오시설이 아닌 대민친화적 시설이어야 한다.
- 생태계를 보전 및 확대에 기여할 수 있는 시설이어야 한다.

- 조경 및 위락 공간으로서의 기능을 가지도록 하여야 한다.
- 공공 안전을 고려하여야 한다.
- 홍수예방, 침식방지, 저류기능, 오염물질 제거 기능을 충분히 가지도록 한다.
- 시설의 유지관리가 용이하고 경제적이어야 한다.

(2) 정책제언 2: 건설기술이 ‘건설환경기술(LID)’이 될 수 있도록 효율적 건설비용 조정

개발사업을 주관하고 있는 주관기관에서는 건설기술이 건설환경기술이 되도록 경제적 비용조정이 필요하다. 현재 건설기술은 환경적 기능을 가지지 못하고 있기에 개발사업 추진 시행기관에서는 환경적 기능을 도외시하고 설계 및 시공을 하고 있다. 따라서 환경부는 국토부와 연계하여 ‘건설환경기술’의 개발 및 보급에 심혈을 기울여야 할 것이다.

(3) 정책제언 3: 신도시, 도시 재생사업 등에서의 비점오염원관리를 위한 LID 기술적용사업 추진

기존 도시의 비점오염원 관리는 비점오염저감시설을 위한 부지 확보가 쉽지 않기에 관리에 어려움이 따른다. 그러나 신도시 및 도시 재생사업이 이루어지는 도시는 LID 기술을 접목하여 생태계가 개발이전의 상황을 최대한 유지하도록 유도함이 바람직하다.

(4) 정책제언 4: 기존도시 비점오염관리는 공공성 토지이용지역 위주로 환경조경사업 추진

기존도시에서의 비점오염원 관리는 토지이용의 자체가 공공성을 가진 포장지역, 즉 공공건물, 대규모 상업지역, 공원, 도로, 주차장, 보도 등과 같은 지역에서 우선적으로 비점오염원 관리를 수행함이 바람직하다. 여기에 접목되는 기술은 물의 저류, 침투 및 이용이 가능하도록 포장지역을 감소시키는 정책이 되어야 하며, 기존의 조경기술을

‘환경조경기술’로의 전환을 통해 적용할 수 있을 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 다음과 같은 방안의 접목을 통해 가능하다.

- 도로를 따라 조성되어 있는 보도의 가로수 조경공간: 물의 침투 및 저류가 가능하도록 tree box filter 기술을 접목하는 ‘환경가로수 조경사업’ 추진
- 도로 및 주차장: 투수성 포장을 통해 물의 저류 및 침투 수행
- 공공건물 및 대규모 상업지역: 옥상녹화 및 물의 이용기술을 접목하며, 건물 주위 포장공간을 최소화 하도록 ‘건물환경혁신사업’ 추진
- 공원: 도시 비점오염원을 저류하여 오염물질을 저감할 수 있도록 ‘대규모 저류지 건설사업’ 추진

(5) 정책제언 5: 수질 및 수생태계 보전을 위하여 Aquatic Buffer zone 확대사업 추진

기존도시의 하천인근 부지 확보, 신도시의 충분한 하천주위 공간확보 및 비도시 지역의 하천 인근에 Aquatic Buffer zone 확대를 통하여 도시 비점오염물질의 수계 유입을 저감하고 수질 및 수생태계 보전이 가능하도록 정책적 방안 수립이 필요하다.

(6) 정책제언 6: 하수차집율이 80% 이상 되는 도시 위주로 비점오염저감사업 추진

미국의 경우, 일반적으로 하수차집율이 80% 이상되는 지역에 한해서 비점오염저감사업을 추진하고 있으며, 이를 통해서 효율적인 수질 개선을 꾀할 수 있다. 따라서 하수차집율이 80%가 되지 않은 지역 및 비도시 지역은 수변공간을 활용한 비점오염저감사업을 추진하는 것이 바람직하며, 점오염원에 대한 하수관거 보급 등에 정책을 집중하여야 수질 및 수생태계 보전이 가능할 것이다.

(7) 정책제언 7: 비점오염원의 점오염원화사업 추진(예를 들면, 축산, 영세 산업체, 식당 등)

수도권의 경우 가장 큰 비점오염원은 비계획적

인 개발, 즉 난개발이 원인이다. 특히 팔당수계에 존재하는 수많은 소규모 축사, 영세 산업체 및 식당 등은 주요 비점오염원의 원천이다. 이러한 지역에서 발생하는 비점오염원을 효율적으로 관리하기 위해서는 집중화, 즉 점오염원화 사업이 필요하다.

(8) 정책제언 8: 비도시 지역의 비점오염원관리 는 대규모 집중식 비점오염저감시설 설치

비점오염원은 오염물질 근원관리(source control), 현장관리(site control) 및 지역관리(regional control)를 통해서 관리가 가능하다. 그러나 비도시 지역의 비점오염원은 산재되어 있기에 현장관리가 쉽지않다. 따라서 이러한 지역은 지역관리기법이 바람직하며 대규모 집중식 비점오염저감시설의 설치가 바람직하다.

(9) 정책제언 9: LID 정책을 위한 부처간 긴밀한 협조체계 구축 필요

각종 개발사업에서의 비점오염원 관리는 토지이용 계획단계에서부터 건축물 설계, 시공 등에 이르기까지 물의 저류, 침투 및 이용이 가능하도록 설계기술이 필요하며, 이의 적용을 통해서만이 가능하다. 따라서 관련 부처간 긴밀한 협조체계 구축을 통해 LID가 유역의 개발사업에 직접적으로 적용가능하도록 하여야 할 것이다.

(10) 정책제언 10: 도시 포장지역 비점관리를 위한 초기강우 기준 도입 필요

도시지역은 강우초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우현상을 보이고 있는 토지이용으로 비점오염원 저감사업에서도 초기강우 기준의 도입이 비용경제적인 측면에서 매우 중요하다. 특히 도시지역은 비점저감시설의 설치를 위한 부지확보가 어려운 만큼 초기강우 기준을 도입하여 비용효율적으로 처리가 가능하도록 하여야 할 것이다.

(11) 정책제언 11: 비강우시 비점오염저감시설의 이용방안 수립 필요

국내 강우사상은 여름철에 집중되는 아시아 몬순기후이기에 건조기인 10월에서 3월까지의 비점오염저감시설 비운영 기간동안 이용방안 수립이 필요하다. 시설의 유휴 기간에도 지속적으로 유지관리비용이 책정되기에, 이러한 기간 중에는 소규모 오염하천 정화 등의 목적으로 활용 가능성이 높도록 시설의 설치 및 정책이 필요하다.

(12) 정책제언 11: 포장지역 비점오염저감을 위한 도로 청소 주기 등 지침안 개정 필요

도로와 같은 포장지역은 도시 비점오염원의 상당부분을 차지하고 있다. 도시내의 모든 비점오염물질은 도로를 통해 배출되기에, 도로 청소는 비점오염저감에 있어서 매우 중요한 부분이다. 도로 청소를 통해서 비점오염물질의 30-50%까지 저감할 수 있다는 결과도 보고되고 있다. 따라서 정기적 도로 청소 외에 비정기적 강우 전 도로 청소 의무화 등에 대한 대책 수립을 통해 효율적 도시 비점오염원 관리가 요구된다.

4. 결론

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 개발산업으로 환경친화적, 생태 친화적, 친환경적 등으로 함축되는 다양한 생활환경 개선기술을 건설기술에 접목할 것을 강하게 요구하고 있다. 따라서 본 논문에서는 수질 및 수생태계 보전을 위한 효율적 유역관리기법을 기술적 및 정책적 기법을 통해 제안하였다. 기술적 제안으로는 개발사업을 주도하는 건설 및 건축기술에 친환경 유역관리기법을 응용하는 Low Impact Development (LID) 기술을

제시하였으며, 여기에는 도시내 물의 저류 및 침투기술과 이용기술 등이 포함된다. 특히 LID 기술 중에서 Better Site Design(BSD), Aquatic Buffer(AB), Conservation Design(CD), Integrated Management Practices (IMPs), Smart Growth 기술 등은 친환경 건설을 유도하는 최선의 유역관리기법으로 오염원에서의 원천적 오염물질 저감방안이라 하겠다. 또한 본 논문에서는 인간도 생태계의 일부라는 관점에서 효율적 수질 및 수생태계 보전을 위한 정책을 제안하였다. 이러한 정책은 정책입안자, 유역관리자 및 수행자가 유역관리 및 비점오염원 관리를 함에 있어서 취해야 할 유역관리기법으로 통합적 유역관리를 가능하게 하는 기법이라 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 수생태복원사업단(Eco-Star)의 연구비 지원으로 수행되었기에 감사드립니다.

참 고 문 헌

강주현, 김이형 (2007), 일차원 kinematic wave 모형을 이용한 고속도로 강우 유출수의 동적 거동 예측, 한국물환경학회지, 23(1), pp. 38-45.

김이형, 고석오, 이병식, 김성길 (2006a), 국내 고속도로 강우 유출수의 EMCs 및 유출 부하량 산정, 대한토목학회지 논문집, 26(2B), pp. 225-231.

김이형, 이은주, 고석오, 강희만 (2006b), 아스팔트 포장 고속도로에서의 강우지속 시간별 오염물질 유출 경향, 한국도로학회 논문집, 8(1), pp. 99-106.

김이형, 이은주, 이소영, 안우영 (2007), 도로 비점오염원 관리를 위한 기초 연구 및 지침 개발, 한국물환경학회지, 23(4), pp. 423-428.

김이형 (2007a), 비점오염의 현황 및 적정 처리용

- 량 산정을 위한 초기강우 기준 산정, 한국도로학회지, 9(2), pp. 12-21.
- 김이형 (2007b), 포장지역 비점오염원 관리를 위한 최적관리방안 중 침투도랑에서의 기작 및 설계방안, 한국수자원학회지-물과 미래, 40(7), pp. 61-66.
- 김철민, 이은주, 이소영, 김이형 (2008년, 게재중). 개발사업장에서의 강우시 토사유출 원단위 산정. 한국습지학회 논문집.
- 손현근, 이은주, 이소영, 김이형 (2008년, 게재중). 고속도로 영업소 토지이용에서의 비점오염원 원단위 산정. 한국습지학회 논문집.
- 환경부 (2003), 유역관리기법-I. II.
- 환경부 (2006a), 비점오염원관리 업무편람.
- 환경부 (2006b), 물환경관리기본계획.
- Chang, G., J. Parrish and C. Souer (1990), The First Flush of Runoff and Its Effect on Control Structure Design. Environ. Resource Mgt. Div. Dept. of Environ. and Conservation Services. Austin, TX.
- Kim, L.-H., E. Choi, K.-I. Gil and M.K. Stenstrom (2004a), Phosphorus release rates from sediments and sediment characteristics in Han river, Seoul, Korea. Science of the Total Environment, 321, pp 115-125.
- Kim, L.-H., M. Kayhanian and M.K. Stenstrom (2004b), Event mean concentration and loading of litter from highways during storms, Science of the Total Environment. 330, pp 101-113.
- Kim, L.-H., Masoud Kayhanian, Kyung-Duk Zoh, Michael K. Stenstrom (2005), Modeling of Highway Stormwater Runoff, Science of the Total Environment. 348, pp. 1-18.
- Kim, L.-H., Kang, J. H., Kayhanian, M., Gil, K.-I., Stenstrom, M.K., and Zoh, K.D. (2006), Characteristics of Litter Waste in Highway Storm Runoff. Wat. Sci. & Tech., 53(2), pp. 225-234.
- Kim, L.-H., Sangman Jeong, and S.-O. Ko (2007a), Determination of first flush criteria using dynamic EMCs (event mean concentrations) on highway stormwater runoff. Wat. Sci. & Tech., 5(3), pp. 71-77.
- Kim, L.-H., Seok-Oh Ko, Sangman Jeong, Jaeyoung Yoon (2007b), 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.