

저영향개발기법 적용을 통한 비점오염원 저감 및 비용효율 분석에 관한 실증적 연구*

- 울산광역시를 대상으로 -

임용균¹⁾ · 정주철²⁾ · 신현석³⁾ · 하경준²⁾

¹⁾ 울산광역시 북구청 · ²⁾ 부산대학교 도시공학과 · ³⁾ 부산대학교 사회환경시스템공학부

Analyzing the Efficiency of LID Technique for Urban Non-point Source Management*

- Focused on City of Ulsan in Korea -

Lim, Yong-Kyun¹⁾ · Jung, Ju-Chul²⁾ · Shin, Hyun-Suk³⁾ and Ha, Gyoung-Jun²⁾

¹⁾ Buk-Gu Office, Ulsan Metropolitan City,

²⁾ Department of Urban Engineering, Pusan National University,

³⁾ Department of Civil and Environmental System Engineering, Pusan National University.

ABSTRACT

The purpose of this study is to identify the efficiency of LID technologies for controlling non-point source pollution from urban areas. The recent technical responses to managing water resource and urban areas according to the influence of climate change is an important national policy, along with green growth. Through various reference studies reasonable ways to consider a wholistic plan on urban-eco-friendly river management, the Low Impact Development (LID) as the adequate river management method is being undertaken in foreign countries to technically apply to urban plans. However, the LID is at the initial stage in Korea, with no specific studies implemented. Thus, this study explored whether LID technologies can be efficient measures to control non-point source

* 본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임(No. 2011-07-대-04-034).

* 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2013R1A1A2007664).

First author : Lim, Yong-Kyun, Buk-Gu Office, Ulsan Metropolitan City,
Tel : +82-10-9470-7438, E-mail : number1lim@korea.kr

Corresponding author : Jung, Ju-Chul, Dept. of Urban Engineering, Pusan National University,
Tel : +82-51-510-3521, E-mail : jcjung@pusan.ac.kr

Received : 11 July, 2013. **Revised** : 5 November, 2013. **Accepted** : 11 November, 2013.

pollution on the cost side. Ulsan's Namgu and Bukgu have been chosen as case studies that illustrate the efficiency of the LID technologies. On investigation, if LID technologies are designed properly, the efficiency of them is expected to higher than that of sewage treatment plant.

Key Words : *Low Impact Development, Green Infrastructure, Efficiency of LID, Water Resources Management, Rainfall, Non-point Source.*

I. 서 론

최근의 정책적 방향으로 녹색성장 및 친환경적 도시계획 등 다양한 계획이 수립되고 있으나, 이를 구현할 수 있는 실천계획에 대한 구체적인 방안의 연구가 부족한 실정이다. 또한, 환경부를 중심으로 유역관리에 대한 관심이 증대되고 있으며, 다양한 법·제도가 정비되어 시행 단계에 접어들고 있으나, 실제적인 사업 시행 시 이러한 요소들이 규제적인 측면으로 받아들여지고 있어 실효성 있는 제도로서의 한계점을 가지고 있다(Ministry of Environment, 2004). 그리고 최근 유역관리를 위한 최적관리기법의 도입에 대한 논의들 중, 비점오염원 관리를 위한 장치위주의 구조적 접근방법의 문제점이 지속적으로 지적되고 있다. 이러한 상황에서 경제적이면서 합리적인 유역관리, 특히 친환경적 토지이용관리에 바탕을 둔 비점오염원 관리 방안에 관한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다(National Institute of Environmental Research, 2007).

또한 도시지역에서 발생하는 비점오염원은 2009년 60%의 비중을 차지하였으며 2020년에는 65%까지 증가할 것으로 예상되나(Environmental Management Corporation, 2009), 이를 관리할 수 있는 효율적이고 경제적인 도시지역 비점오염원 관리방안이 부재한 실정이다. 따라서 기존에 개별적으로 관리, 규제되어 오던 홍수량 관리, 비점오염원 관리, 오염총량관리 등을 효율적이며, 통합적으로 관리할 수 있는 현실적인 대안

마련이 필요한 시점이다.

최근 들어 물순환에 대한 중요성의 부각과 더불어 비점오염원과 강우유출수를 동시에 관리할 수 있는 친환경적 토지이용관리방안에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이에 대한 방안으로 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법이 대두되고 있다. LID기법의 원리는 기본적으로 수환경에 부정적인 영향을 최소화하기 위한 방향을 제시함으로써 토지이용을 통해 빗물유출이 저감되고 이는 비점오염원 저감으로 이어져 물순환 건전화와 비점오염원 관리를 동시에 이룰 수 있게 한다(Ministry of Environment, 2009).

현재 미국에서는 LID기법 적용 방법, LID기법의 효율성 등을 담은 가이드라인을 제시하여 적용을 적극 권장하고 있으며 도시의 효율적 관리를 위해 LID기법 적용 시 인센티브를 부여하는 등의 정책을 활용하고 있다(SEMCOG, 2008). 한편 국내에서는 현재 LID기법 적용에 관한 연구로 소하천유역 및 아파트단지 등의 소규모 지역 위주로의 적용 방안에 대한 논의가 진행되고 있는 수준으로, 향후 국내에서 LID기법의 적용을 현실화하고 정책으로 활용하기 위해서는 도시 전반에서 LID기법이 갖는 효율성을 검증해 볼 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 비점오염원 관리방안으로 LID기법이 현실적인 대안으로 적용할 수 있을지에 대한 효율성을 비점오염원 처리효율 및 비용적 측면에서 검토해 보고자한다.

II. 선행연구 및 이론적 고찰

1. 비점오염원에 관한 연구동향 및 이슈제기

현재 국내에서는 비점오염원에 대한 인식 증대로 비점오염관련 연구가 활발히 진행되고 있다. Ministry of Environment(2004)는 강우유출수 관리를 위한 시설의 장단점과 처리시설별 오염원 처리효율을 비교하였다. 국내 도시지역 비점오염원을 정량화하기 위한 연구는 비도시 유역보다 다소 앞서서 시작되었는데 그 이유는 유역면적은 적으나 높은 불투수율로 인하여 강우유출량 및 오염물질의 유출량이 커서 단위면적당 오염부하가 크기 때문이다(Shin et al., 2004). 또한 Baek(2002)은 도시지역 비점오염원의 관리방안을 정리하였고, Lee et al.(2008)은 낙동강 상류권역인 남천을 대상으로 토지이용현황, 강우사상에 따른 유량 및 오염물질에 대한 모니터링을 실시하였다. 앞 선 선행연구는 비점오염원 관리에 있어 장치형 위주의 관리가 주를 이루었다. 그러나 이러한 방안은 현재 비점오염원에 대한 주 대처방안인 장치형 위주의 비점오염원관리로 인하여 막대한 운영비용을 부담해야 하는 문제점이 나타나고 있다(Ministry of Environment, 2009). 따라서 본 연구는 비점오염원 관리에 있어 LID(Low Impact Development) 기법의 요소를 적용하고자 한다.

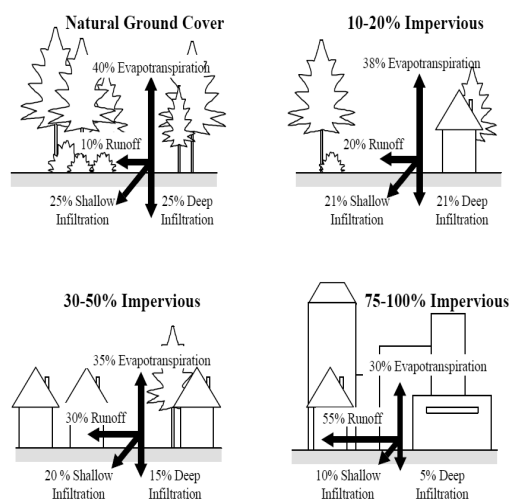
국외에서는 1990년대 초반부터 LID기법에 대한 논의가 시작되어 LID요소별 처리효율 및 비용은 물론 제도화 방안연구도 수행되었고, 이미 상당부분 제도화 된 지역도 많다. Ben R. Urbonas와 John T. Doerfer(2003)는 도시생태계 건강성과 수질관리는 물론, 나아가 침수피해 저감을 위해 도시계획차원에서 도시유역을 제도적으로 관리해야 할 필요성을 언급한 바 있다. Maine Department of Environmental Protection (2005)의 연간 보고서 내용에 따르면 비점오염원 관리프로그램을 통해 지역주민에 대한 교육

및 다양한 연구 활동을 지원함으로써 해당 유역의 수질개선을 이뤄낸 사례를 제시하고 있다. 따라서 본 연구는 국외에서 활발히 진행되고 있는 LID 방안을 국내에 적용하기 위해 우선적으로 비점오염원 저감량 및 비용효율을 검토해 보는데 그 의의가 있다.

2. 도시지역 비점오염의 특성

도시지역에서는 유역 면적이 작을수록, 불투수면 비율이 높을수록 강우유출수에 비점오염원이 유입될 가능성이 높다(EPA, 2008). 도심지 오염물의 하천유입은 강수의 유출량에 비례하는데, Figure 1에서와 같이 자연적인 토양의 경우 유출율이 10%, 도시와 같이 포장지 많고 불투수지표면이 많은 경우 최고 55%가 하천으로 유출된다(Curtis Hinman, 2005).

비점오염원은 불특정지역에서 발생하고, 하천으로의 유입 경로를 명확히 파악하기 어렵다. 또한 강우발생과 동시에 비점오염원이 유입되기 때문에 비점오염원 자체를 관리하는 것은 용이하지 않다. 따라서 강우유출수의 효과적인 관리가 무엇보다 중요하다(EPA, 2008).



Source: EPA, (1999)

Figure 1. Relation between Impervious and Run-off.

3. LID 정의 및 요소

LID(Low Impact Development)는 대상지 본연의 수문패턴을 모방하기 위해 대상지의 자연 상태를 보전하면서 소규모 분산식의 강우유출수 처리요소를 통합적으로 관리하는 기법이다(Curtis Hinman, 2005). 기존의 물관리기법은 강우발생시 빗물을 대상지로부터 신속하게 배수하는 것이 최대 목표지만, 이와는 반대로 LID기법은 빗물을 대상지에 최대한 머금었다가 토양 또는 식물에 흡수·여과·증산·증발시키는 등의 과정을 거쳐 지하수 충전, 오염물질 여과 등의 자연의 수문패턴 기능과 유사하게 작동한다. 또한 대규모 중앙집중식 우·하수 처리시설을 지양하고 소규모로 분산된 시설로써, 비점오염원이 강우유출수에 유입되는 것을 원천적으로 방지하는 방식을 취하며 대상지 지형여건에 따라 유연하게

적용할 수 있다는 특징이 있다(Haan-Fawn Chau, 2009). LID기법의 요소는 크게 Table 1과 같이 4가지 유형으로 분류할 수 있다.

Table 2는 California Stormwater Quality Association에서 발간한 BMP Handbook에 제시된 각 용도지역별 적합한 LID기술요소이다. LID 기술요소 중 투수성포장은 포장재를 통해 빗물을 노상에 침투시켜 흡속으로 환원시키는 기능을 하며, 차도나 주차장 등에 적용된다(California Stormwater Quality Association, 2003). 옥상녹화는 도시 내 건물에 다양한 적용이 가능하며, 중소 규모의 강우에 대해서 효과적인 빗물 관리가 가능하지만 단위면적당 설치비용 비싼 단점이 있다(EPA, 2008). 빗물통과 흡통필터는 주거지역, 공업지역 등에 적용이 가능하며, 옥상에서 흘러내려오는 강우유출수를 저류시키는 역할을 한

Table 1. Factors of LID.

Types	LID Best Management Practices
Landscape	Bioretention / Bioswales / Vegetated Swales
Building	Green Roof / Treeboxfilter / Rain Chains
Street and Alley	Sandfilter / Porous pavement / Street cleaning
Site planning	Reforestation / Amending Construction Site Soils / Minimal Excavation Foundation

Source: Haan-Fawn Chau(2009).

Table 2. Factors of LID on the Land Use Characteristics.

LID Factors	Residential area	Commercial area	Industrial area	Road area
Rain Barrels	○	△	○	×
Rain Chains	○	×	○	×
Green roof	△	○	△	×
Porous pavement	○	○	△	△
Pot plant	△	○	△	○
Treebox filter	△	△	○	○
Street cleaning	×	×	×	○
Bioswales	○	△	△	×
Sandfilter	×	○	△	×

○: Suitability △: Inadequacy ×: Unsuitability.

Source: California Stormwater Quality Association(2003).

다(EPA, 2008). 나무화분여과장치는 도시지역의 가로수에 적용하기 적합하며, 도로청소는 비구조적인 방법으로 별도의 면적이 필요하지 않으며 효율은 높으나 주기적으로 실시해야 하는 단점이 있다(California Stormwater Quality Association, 2003). 비점오염원을 효율적으로 저감시키기 위해서는 토지이용 특성에 따라 다른 LID기술요소를 적용해야 한다.

III. 연구방법

본 연구의 공간적 범위는 울산시 남구 및 북구지역으로 설정하였다. 울산시는 2003년부터 태화강 수질개선 기본계획을 시작으로 태화강 수질 개선에 심혈을 기울여 전국적 명성을 얻고 있다(Lee, 2008). 그러나 태화강 수계의 비점오염원 조사에 따르면, 비점오염원이 태화강 총오염원에 차지하

는 비율이 BOD(생물학적산소요구량)에 14.5%, COD(화학적산소요구량)에 21%에 달하는 것으로 나타나 태화강수계에 지속적으로 위협요인이 되고 있다.(Ulsan Metropolitan City, 2004, Lee, 2008).

본 연구는 울산시를 비점오염원 저감을 위한 LID적용 효율성을 검토하기 위한 사례지역으로 선정하였다. 구체적으로 용도지역별 최적관리기법을 검토하기 위해 울산시 남구지역을 주거지역, 상업지역, 공업지역, 도로지역으로 구별하고 각 용도지역별 LID기법 기술요소를 적용하였으며, 울산시 북구지역은 택지개발사업 대상지역인 송정동과 화봉동 일원 약 1,440,000m² 지역을 선정하여 사업 완료 후 계획안을 기준으로 상업지역, 주거지역, 도로지역, 주차장지역으로 구별하여 적용하였다.

연구의 내용적 범위는 LID기법의 이론적 고찰을 바탕으로 유역 수리모형인 SWMM¹⁾모형

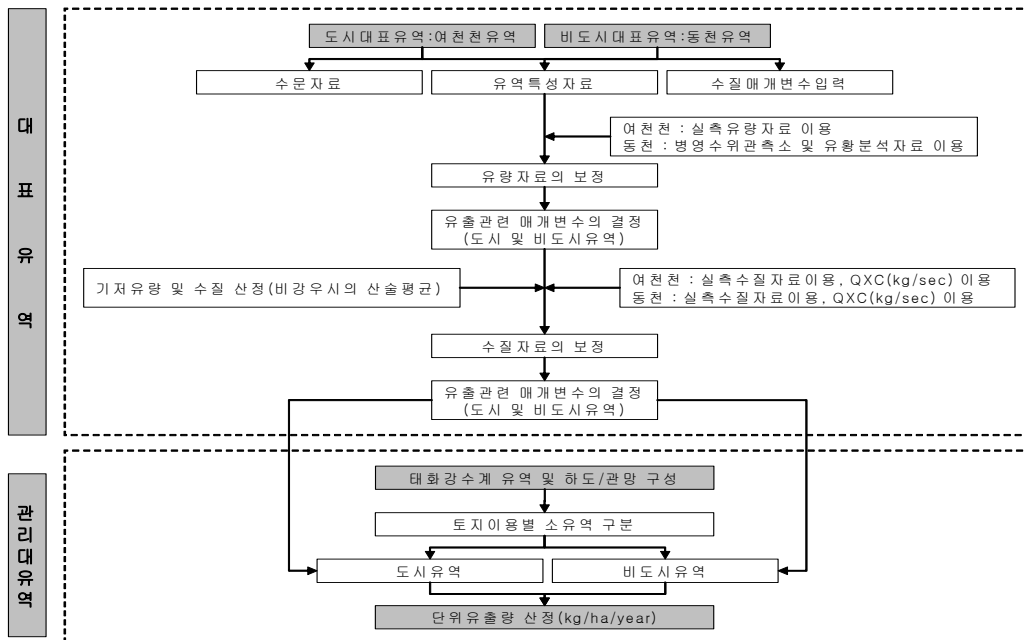


Figure 2. Process for Computing Non-Point Source.

1) SWMM모형은 도시 유역의 강우에 의한 홍수량을 산정하기 위하여 1971년 미국EPA의 지원아래 Metcalf & Eddy사가 개발한 모형으로 강우, 유출과 수질, 수리 해석에 사용된다(Lee, 2011). 본 모형에서는 사용프로그램인 PC-SWMM모형을 이용하여 정량적 강우-유출 모의에 의한 초기 우수량 및 부하량을 산정하였다.

Table 3. Treatment Efficiency and Cost of Factors of LID(Per 2,000m²).

LID Factors	Efficiency(%)			Cost (1,000WON)			출처
	BOD	TN	TP	Installation Cost	Maintenance Cost	Total	
Rain Gardens and Bioretention	65	65	50	19,500	715	65	Tim D. Fletcher et al., 2004, Fairfax County, 2005
Bioretention cell	60	60	60	13,000	715	60	Sukalyan et al., 2009, Fairfax County, 2005
Bioslope	60	60	60	13,000	260	60	Fairfax County, 2005
Bioswale	65	65	65	13,000	260	65	Dennis Jurries, 2003,
Green Roof	60	60	60	325,000	650	60	Fairfax County, 2005
Treeboxfilter	75	68	74	24,700	195	68	Fairfax County, 2005
Catchbasin	60	60	15	26,000	650	60	Aronson et al., 1983, Fairfax County, 2005
Dry wells	60	60	60	13,000	325	60	CASQA,, 2003, Fairfax County, 2005
Filters	60	60	50	10,400	650	60	Sukalyan et al., 2009
Rain Chains	60	60	60	1,950	650	60	Fairfax County, 2005
Street cleaning	58	58	58	162,500	130	58	Tim D. Fletcher et al., 2004, Fairfax County, 2005
Sandfilter	60	60	60	39,000	780	60	Fairfax County, 2005
Waterqualityswale	35	35	35	7,800	260	35	IUGG, 1999, Fairfax County, 2005
Infiltration trench	60	60	60	13,000	845	60	CASQA, 2003, Fairfax County, 2005
Porous pavement	60	88	62	15,600	650	88	Fairfax County, 2005
Flow splitte	60	60	60	2,600	195	60	Dennis Jurries, 2003, Fairfax County, 2005
Improvement Soils	65	65	65	32,500	325	65	Fairfax County, 2005
Landscaping	50	50	50	6,500	520	50	Fairfax County, 2005
Planter box	60	60	50	5,200	520	60	CASQA, 2003
Reforestation	60	60	60	6,500	520	60	Fairfax County, 2005
Rain barrel	95	95	95	16,250	325	95	Sukalyan et al., 2009

을 이용하여 대상지 비점오염 부하량을 산정하고 LID적용에 따른 비점오염 감축량을 계산하여 그에 따른 비용효율성을 검토하고자 한다.

대상지역의 LID요소기술을 적용하여 처리효율 및 소요비용을 산정하기 위해 2가지 연구 방법을 사용하였다. 먼저, 비점오염량을 산정하기 위해 대표유역에서 비강우시 월별 수질 및 유량의 실측값 또는 미계측 유역의 자연유량을 산정한다. 강우시 측정은 비점오염 유출특성 규명에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 가을 및 봄철의 강우사상을 최대한 반영할 수 있도록 여천천 및 동천 유역에서 각각 3회에 걸쳐 실측을

수행하였다. 이렇게 실측하여 산정한 대표유역에서의 강우시 및 비강우시 수질, 유량 자료를 바탕으로 SWMM모형의 변수에 적용하여 울산시 태화강 전체 수계에 확대 적용하였고 이를 근거로 대상지 비점오염량을 산정하였다. 비점오염원 산정 절차는 Figure 2와 같다.

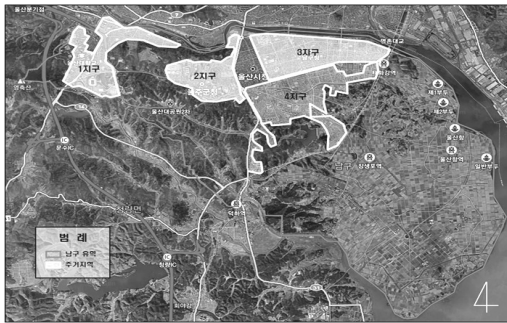
둘째, 대상지역의 LID요소기술을 적용하여 처리효율 및 소요비용을 산정하기 위해 국외 문헌에서 조사·분석된 자료를 정리하여 Table 3으로 정리하였다. 본 연구에서는 Table 3값을 대상지 지역 현황에 적용하여 처리효율 및 소요비용을 산정하였다.

IV. 사례적용 분석

1. 울산광역시 남구

(1) LID적용지역 선정

울산시 남구는 전체면적의 약 38%인 71.96km²이 공업지역으로 비점오염원이 많이 발생하는



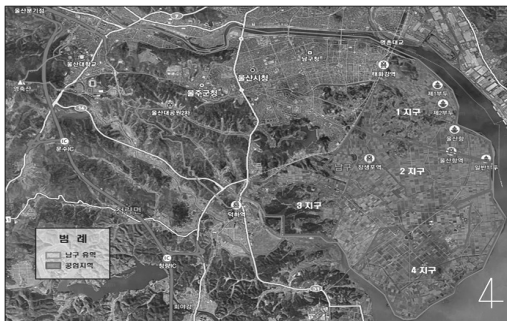
Source: Google maps.

Figure 3. Residential Zones.



Source: Google maps.

Figure 4. Commercial Zones.



Source: Google maps.

Figure 5. Industrial Zones.

지역이다. 이에 본 연구에서는 LID 기술요소를 울산시 남구에 적용하여 가장 적합한 LID 기술요소를 선정하고 적용 시 비점오염원 저감가능량을 산출하였다. 또한 토지이용에 따라 비점오염 및 강우유출패턴이 다르므로 각 용도지역별(주거, 상업, 공업) 3개 지구와 도로지역으로 분류해 LID기법을 적용하였다. 울산시 남구의 LID 기법 적용지역은 다음 Figure 3, 4, 5와 같다.

본 연구에서 도로지역은 도로 폭원이 다소 넓고 주거, 상업, 공원 지역의 도로를 제외한 자동차 전용도로를 중심으로 선정하였다. 울산시 남구의 자동차 전용도로는 총 연장 13,050m이며 대상지역의 면적은 자동차 전용도로의 평균 폭원 40m를 적용하여 $13,050m \times 40m = 522,000m^2$ 으로 산출하였다.

(2) LID적용에 따른 비점오염원 저감량 및 비용

각 용도지역별 LID 기법 기술요소는 Table 2의 토지 이용 특성에 따른 LID적용 기술요소에 근거하였다. 주거지역에는 빗물통과 홈통필터를 적용하였으며, 아울러 투수성포장을 적용하여 주거지역 내 분포한 보도 및 불투수공간에 적용하고자 하였다. 상업지역 또한 투수성포장을 적용하였으며 옥상면적이 넓은 건물이 분포하는 상업지역에 옥상녹화를 적용하였다. 아울러 대상지역에 식물화분을 함께 적용하였다. 공업지역은 나무화분여과장치, 빗물통, 홈통필터를 설치하였으며 도로지역은 나무화분여과장치, 식물화분, 도로청소를 적용하였다. 도로지역은 도로폭원이 넓은 자동차전용도로를 대상으로 적용하므로 현실적으로 투수성포장이 불가능하여 도로청소를 적용하고자 한다. 본 연구에 적용한 LID기법 및 처리효율은 Table 4와 같다.

울산시 남구의 기존 비점오염부하량은 Figure 2에서 제시한 SWMM모델을 이용하여 원단위를 산정한 후, 토지이용별 유출계수²⁾와 토지이용별

Table 4. Result of Calculation of Treatment Efficiency.

Land use	LID Factors	Efficiency(%)	Average(%)
		BOD	BOD
Residential Zone	Rain barrel	95	72
	Rain Chains	60	
	Porous pavement	60	
Commercial Zone	Porous pavement	60	60
	Green Roof	60	
	Planter box	60	
Industrial Zone	Treeboxfilter	75	77
	Rain barrel	95	
	Rain Chains	60	
Road	Treeboxfilter	75	64
	Planter box	60	
	Street cleaning	58	

Table 5. Result of Estimation of the Unit.

Classify		Nonpoint Source Pollution Load (kg/ha/year)	
		Season	BOD
Short Simulation (1year)	Yeo-Cheon Stream	Wet (6~8)	29.55
		Dry (9~5)	47.04
		Total(1year)	76.59
	Dong Stream	Wet (6~8)	7.36
		Dry (9~5)	12.61
		Total (1year)	19.97
Long Simulation (10year Average)	Taehwa River Basin	Wet (6~8)	34.84
		Dry (9~5)	33.28
		Total (1year)	68.12

면적을 적용하여 계산하였다. SWMM모형을 이용하여 계산한 원단위 산정결과는 Table 5와 같으며 용도지역별 비점오염원부하량은 Table 6에 제시하였다.

용도지역별 비점오염저감 가능량은 대상지역 면적에 LID 기법의 요소별 처리효율을 곱하여 다음 Table 6과 같이 비점오염원(BOD)저감량을 산정하였다.

- 2) 토지이용별 비점오염원 배출 원단위는 국립환경과학원(2006) 『비점오염부하량 평가기법 연구』에 의해 산정된 결과를 이용하였다. 유출계수는 다음과 같다. 공업용지 : 0.65, 상업용지 : 0.80, 주거용지 : 0.50, 공원 : 0.15, 주차장 : 0.80, 도로 : 0.85, 대지 : 0.72.

Table 6. Amount of Reduction of BOD.

Land use	Area (km ²)	Nonpoint Source Pollution Load (kg/year)	Available reductions (kg/year)
		BOD	BOD
Residential Zone	13.16	267,357	192,497
Commercial Zone	2.48	153,929	92,357
Industrial Zone	27.24	394,791	303,989
Road	0.52	27,424	17,551
Total		843,501	606,394

Table 7. Cost by Land Use.

Land use	Cost(1,000won/m ²)	Area (m ²)	Total Costs (1,000,000won)
Residential Zone	5.9	13,160,000	77,644
Commercial Zone	57.9	2,480,000	143,592
Industrial Zone	7.3	27,240,000	198,852
Road	32.2	520,000	16,744
Total		43,400,000	436,832

용도지역별 소요비용은 Table 7과 같이 계산하였다. Table 7에서 제시한 기준비용은 용도지역별 적용 LID요소의 평균설치비용이며, 기준비용을 해당 용도지역의 면적에 적용하여 총비용을 산정하였다.

(3) 울산시 남구LID기법 적용 결과분석

LID 기법 기술요소의 적용 후의 저감효과를 분석하기 위하여 울산시 남구의 비점오염부하량을 산정한 후 저감효과를 분석하였다. 울산시 남구의 주거지역에서 발생하는 BOD비점오염부하량은 267,357kg/year로 산정되었으며 LID 기술요소 적용 시 저감가능량은 192,497kg/year로 분석되었다. 또한 상업지역에서 발생하는 BOD 비점오염부하량은 153,929kg/year로 산정되었으며 LID 기술요소 적용 시 저감가능량은 92,357kg/year로 분석되었다. 공업지역의 경우 BOD 비점오염부하량은 394,791kg/year로 산정

되었으며 저감가능량은 303,989kg/year로 산정되었다. 도로지역의 경우 BOD 비점오염부하량은 27,424kg/year로 산정되었으며 LID 기술요소 적용 시 총 저감가능량은 17,551kg/year로 분석되었다. 울산시 남구 LID 기법 적용 시 용도지역별 소요비용을 산정한 결과 주거지역이 77,644백만원, 상업지역이 143,592백만원, 공업지역이 198,852백만원, 도로지역이 16,744백만원으로 산정되었다.

2. 울산광역시 북구 택지개발사업지

(1) LID적용지역 선정

대상지역은 한국토지주택공사에서 계획하고 있는 송정지구로 면적 약1,440,000m², 세대수 약 6,800세대의 택지개발사업이다. 본 연구에서는 대상지역에 대하여 비점오염원의 발생가능지역인 도로지역, 상업지역 및 주거지역에 대하여 비점오염부하량을 산정하고 LID 기법 기술요소를



Source: Korea Land&Housing Corporation((2007).

Figure 7. Existing Site.



Source: Korea Land&Housing Corporation(2007).

Figure 8. Existing Land Use.

Table 8. Area by Land Use.

Land Use	Area(1,000m ²)	Ratio(%)
Detached Houses	246	17.1%
Apartment Houses	369	25.6%
Road	304	21.1%
Parking	14	1.0%
Commercial Facility	58	4.0%

적용함으로써 저감효과를 분석하였다. Figure 7 은 대상지역 현황이다. 본 대상지역은 현재 나대지 및 논, 밭으로 이용되고 있으며 택지개발 완료 후 주거지역으로 이용될 예정이다.

사업 후 본 대상지역의 비점오염부하량을 분석하기 위하여 비점오염발생 가능지역을 분석하였다. 본 연구에서는 산림, 초지 등은 불투수면이 적을 것으로 판단되므로 비점오염부하량산정에서 배제하고 상업지역, 주거지역, 도로지역, 주차장지역에 대하여 비점오염부하량 발생가능 지역으로 제한하였다. 대상사업지역에서 비점오염원이 발생하는 지역은 68.8%로 분석되었다. 용도지역별 면적은 Figure 8 및 Table 8과 같다.

(2) LID적용에 따른 비점오염원 저감량 및 비용
 각 용도지역별 LID 기법 기술요소는 Table 2의 토지 이용 특성에 따른 LID적용 기술요소에 따라 Table 9와 같이 각 지역에 적용하였다.

비점오염부하량은 Table 5와 같이 원단위를 산정하고 LID적용 지역에 적용하여 산정하고 분석된 대상지역별 비점오염부하량에 LID 기법 기술요소 적용 시 저감되는 효과를 분석하였다. 분석 결과는 다음 Table 10과 같다.

대상지역내 LID 기법 기술요소 적용 시 소요비용은 19,067,500천원이 예상된다. 상업시설의 경우 옥상녹화의 소요비용이 단위단가가 상대적으로 비싸기 때문에 다른 LID 기법 기술요소에 비해 많은 비용이 산정되었다. 분석 결과는 다음 Table 11과 같다.

V. 비용효율성 분석

LID요소기술 비용분석은 Table 3에 따라 2,000m²당 소요비용을 토대로 m²당 소요비용을 산출하였다. 또한 비교 자료로 하수종말처리시설의 비용분석 시 처리장비용분석 및 하수종말처리시설 운영관리현황 자료를 바탕으로 하수

Table 9. Treatment Efficiency.

Land Use	LID Factor	Efficiency(%)
		BOD
Detached Houses	Rain barrel	95
Apartment Houses	Bioswales	60
Road	Treeboxfilter	75
Parking	Sandfilter/Green Roof	60
Commercial Facility	Porous pavement	60

Table 10. Amount of Reduction of BOD.

Area by Land use (1,000m ²)	Nonpoint Source Pollution Load (BOD) (kg/year)	BOD handling efficiency(%)	Available reductions (BOD) (kg/year)
Detached Houses 246	8,422	95	8,000.9
Apartment Houses 369	12,633	60	7,579.8
Road 304	18,297	75	13,722.8
Commercial facility 58	4,109	60	2,465.4
Parking lot 14	511	60	306.6
Total 991	43,972	-	32,076

Table 11. Calculation of Cost.

Area by Land use (1,000m ²)	Cost (1,000won/m ²)	Total Costs (1,000won)
Detached Houses 246	8.3	2,041,800
Apartment Houses 369	6.9	2,546,100
Road 304	12.4	3,769,600
Commercial facility 58	182.7	10,596,600
Parking lot 14	8.1	113,400
Total 991	-	19,067,500

종말처리시설의 설치비용 및 1년간의 유지관리 비용을 분석하여 비교하였다.

1. 하수처리장 비용분석

국내 연간 하수처리장 운영비는 아래 Table 12와 같다. 2007년도에 비해 2008년도의 운영비용은 약 7.3% 증가하였다. 또한 하수 1톤당

처리단가는 105.5원으로 전년도 100.1원과 비슷한 수준임을 알 수 있다. 하수처리장 설치 및 운영비용 산정을 위해 6곳의 하수처리장 설치 및 운영비용을 활용하여 Table 13으로 정리하였다. 비용분석 결과 m²당 소요비용은 평균 35,800원으로 산정되었다. 처리면적당 소요비용이 가장 큰 하수처리장은 중량하수처리장으로서 123,100

Table 12. Installation and Operation Cost of Sewage Treatment Plant in Korea.

Type		Cost
'08	Operating Expenses(1,000,000won)	696,934
	Processing Expenses(won/ton)	105.5
	Processing Expenses of BOD(won/kg)	824.4
'07	Operating Expenses(1,000,000won)	649,582
	Processing Expenses(won/ton)	100.1
	Processing Expenses of BOD(won/kg)	760.9

Source: Ministry of Environment(2008)

Table 13. Compare Cost of LID and Cost of Sewage Treatment Plant.

Technique of Management	LID Factors									Sewage Treatment Plant					
	Ulsan Namgu				Ulsan Bukgu					Yong-yon	On-san	Jung-rang	Tan-cheon	Seo-nam	Nanji
Applicable Area	Residential Zone	Commercial Zone	Industrial Zone	Road	Detached Houses	Apartment Houses	Road	Commercial Facility	Parking						
Cost (1,000won/m ²)	5.9	57.9	7.3	32.2	8.3	6.9	12.4	182.7	8.1	20.5	20.1	123.1	18.4	18.2	13.9

원이고, 가장 작은 하수처리장은 난지하수처리장으로서 13,900원으로 분석되었다.

2. LID기법 적용 시 소용비용과 하수처리장 비용 분석

앞서 살펴본 울산시 남구 및 북구 사례지역에서 산정한 LID기법 적용 시 소요비용과 6곳의 하수처리장 소요비용을 Table 14로 나타내었다. LID기술 적용 시 울산시 남구 주거지역이 가장 적은 처리비용을 나타냈으며, 상대적으로 설치비용이 적은 빗물통, 흙통필터, 투수성포장이 적용된 결과로 분석되었다. 또한, 울산시 남구 공업지역에 적용한 나무화분여과장치, 빗물통, 흙통필터와 울산시 북구 단독주택에 적용한 빗물통이 경제적 효과가 뛰어난 것으로 분석되어 주거지역 또는 단독주택지역에 적합한 LID

기술요소로 분석되었다. 반면 상대적으로 울산시 남구 상업지역과 울산시 북구 상업시설의 처리비용이 높게 나타났으며, 이는 다른 LID요소 기술에 비하여 옥상녹화 설치비용이 많이 들기 때문인 것으로 분석되었다. 울산시 남구의 도로 지역에 적용된 도로청소 또한 청소차량구입비용이 많이 들기 때문에 소요비용이 높은 것으로 분석되었다.

LID기술 적용에 따른 소요비용을 하수처리장 소요비용과 비교했을 때, 울산시 남구 주거지역, 공업지역과 울산시 북구 단독주택, 공동주택, 도로, 주차장에 적용된 LID기술요소는 하수처리장 소요비용 보다 저렴한 효율을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 LID기술요소의 적절한 설계 시 하수처리장 보다 높은 효율을 낼 수 있을 것으로 기대된다.

Table 14. Calculation of Installation and Operation Cost of Sewage Treatment Plant.

No.	Sewage Treatment Plant	Projected Cost					Handling Area (ha)	Cost (1,000 won/m ²)
		Installation Cost* (1,000won)	Operation Cost** (1,000won/year)		Total (1,000won)			
			Cost	Sewer Maintenance				
1	Yongyon	154,425,000	7,752,366	851,087,900	1,013,265,266	4,940	20.5	
2	Onsan	58,302,000	4,148,873	380,750,000	443,200,873	2,210	20.1	
3	Jungrang	259,462,000	51,185,166	1,135,594,000	1,446,241,166	1,175	123.1	
4	Tancheon	226,598,000	30,811,548	1,062,005,000	1,319,414,548	7,053	18.7	
5	Seonam	425,902,000	46,811,826	1,679,797,000	2,152,510,826	11,795	18.2	
6	Nanji	183,450,000	27,012,646	690,930,000	901,392,646	6,494	13.9	
	Average	218,023,166	27,953,737	966,693,983	1,212,670,888	5,611	35.8	

* Source: Ministry of Environment(2008).

** Source: Ministry of Environment(2007).

VI. 결 론

본 연구는 울산광역시를 대상지역으로 비점오염원 관리에 있어 저영향개발기법 적용에 따른 효율성을 분석하였다. 울산광역시 남구 지역을 대상으로 LID적용의 효과를 살펴 본 결과, 연간 606,394kg의 비점오염원량을 저감할 수 있을 것으로 분석되었다. 또한 비용적 측면에서는 주거 지역, 공업 지역, 도로 지역에서 단위면적당 처리비용이 기존 울산시 남구 지역의 하수처리장인 용연 하수처리장의 단위면적당 처리비용과 비교했을 때 효율성이 있다고 분석되었다. 두 번째 사례분석 지역인 울산시 북구 택지개발사업지 또한 연간 비점오염원 저감량이 30,076kg으로 분석되었고 단독주택, 공동주택, 도로, 주차장 부문에서 기존 하수처리장과 비교했을 때 비용적으로 더 높은 효율을 낼 수 있을 것으로 분석되었다.

그러나 본 연구에서 제시한 Table 2, Table 3의 용도지역별 LID적용요소 및 효율성·비용을 국외 문헌에서 제시한 자료를 근거로 분석하였으므로 국내 효율성 자료를 반영하지 못한 한계

를 가지고 있다. 본 연구는 LID 기법의 실질적인 국내 적용에 앞서 울산시를 대상으로 LID 요소기술을 적용하여 비용적 측면에서 효율성을 검증하는 데 의의가 있다. 그 결과 LID기법을 울산시에 적용하여 하수처리장 비용과의 분석 결과를 통해 LID기법이 경제적 효율성이 존재하는 것으로 검토되었다. 향후 본 연구는 국내 토질에 따른 비점오염원 저감량 산정 및 설치비용에 대한 구체적인 연구가 뒷받침 되어 연구를 확장해 나가야 할 것으로 기대한다.

인 용 문 헌

- Ben R. Urbonas, P. E. and John T. Doerfer. 2003. Stream Protection in Urban.
- California Stormwater Quality Association. 2003. BMP Handbook. Watersheds Through Master Planning.
- Chang Min, Shin · Ji Yong, Choi and Chul Hwi, Park. 2004. Characteristics of Non-Point Pollution Discharge with Land Use in Urban Area, Korean Society of Environmental

- Engineering. 26(7): pp.729-735.
- Curtis Hinman. 2005. Low Impact Development.
- Do Hyun, Baek. 2002. Development of Integrated Watershed Model Using GIS, Seoul National University.
- Dong Woo, Lee. 2008. Strategies for Nonpoint Source Reduction in Ulsan Area, Keimyung University.
- Environmental Management Corporation. 2009. Feasibility Study of Zero Emission Non-Point Source in the Urban, Environmental Management Corporation.
- EPA. 1999. Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices, Washington, US EPA.
- EPA. 2008. Managing Stormwater in Your Community.
- Haan-Fawn Chau. 2009. Green Infrastructure for Los Angeles: Addressing Urban Runoff and Water Supply through Low Impact Development.
- Ho Jin, Lee. · Chang Deok, Jang and Gye Won, Jeon. 2011. Numerical Simulations of Inundation Area Using XP-SWMM, Journal of safety and Crisis Management. 7(2). pp.75-86.
- Jae Yong, Lee. · Seong Ho, Jang and Jin Sik, Park. 2008. Application of SWMM for Management of the Non-point Source in Urban Area: Case Study on the Pohang City, Journal of Environmental Health Sciences. 34(3). pp.247-254.
- Korea Land & Housing Corporation. 2007. Environmental Impact Assessment Report of Song-Jung District in Ulsan. Korea Land&Housing Corporation.
- Maine Department of Environmental Protection. 2005. Nonpoint Education for Municipal Officials.
- Ministry of Environment. 2004. Non-Point Source Management in the four major rivers for Comprehensive Measures on Water Quality Management, Ministry of Environment.
- Ministry of Environment. 2007. Operational Management of Wastewater Treatment Plant.
- Ministry of Environment. 2008. Cost Analysis of Wastewater Treatment Plant.
- Ministry of Environment. 2009. Management Plan of Natural Non-point Source Pollution with Using LID.
- National Institute of Environmental Research. 2007. Long-Term Monitoring and Reduction Method of Major Non-Point Source, National Institute of Environmental Research.
- SEMCOG. 2008. Low Impact Development Manual for Michigan. Southeast Michigan Council of Governments.
- Ulsan Metropolitan City. 2004. Reseach of Non-Point Source and Management in Ulsan, Ulsan Metropolitan City.