

ORIGINAL ARTICLE

김해시 물 순환 개선 도시계획에 의한 비점오염물질 저감효과 분석

정강영 · 김신 · 권현각 · 양득석 · 김교식¹⁾ · 장광진¹⁾ · 신동석 · 안정민*

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹⁾경북대학교 토목공학과

Analysis of Non-Point Source Pollution Reduction using Water Sensitive Urban Design in Gimhae, South Korea

Kang-Young Jung, Shin-Kim, Hun-Gak Kwon, Duk Seok Yang, Kyosik Kim¹⁾,
Kwang-Jin Jang¹⁾, Dong-Seok Shin, Jung-Min Ahn*

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, NRER, Goryeong 40438, Korea

¹⁾*Department of Civil Engineering Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea*

Abstract

This study was performed to analyze the effects of a water circulation green area plan on non-point source pollution in Gimhae South Korea. A quantitative analysis of Arc-GIS data was conducted by applying a watershed model based on Fortran to investigate the changes to direct runoff and pollution load. Results showed that prior to the implementation of the water circulation green area plan in Gimhae, direct runoff was 444.05 m³/year, total biological oxygen demand (BOD) pollution load was 21,696 kg/year, and total phosphorus (TP) pollution load was 1,743 kg/year. Implementation of the development plan was found to reduce direct runoff by 2.27%, BOD pollution load by 1.16% and TP pollution load by 0.19% annually. The reduction in direct runoff and non-point source pollution were attributed to improvements in the design of impermeable layers within the city.

Key words : Non-point source pollution load, Gimhae, Direct runoff, Water sensitive urban design

1. 서론

그동안 우리나라는 경제개발을 지속해 오면서 그에 따른 급격한 도시 개발로 꾸준히 불투수면적이 증가해 오고 있다. 이와 같은 도시화는 강우 시 유출, 침

투, 저류 및 지하수 함량 그리고 증발산량 등과 같은 자연적인 수문학적 물 순환 체계에 변화를 가져온다 (Kang et al., 2015). 또한 이러한 도시화의 진행은 비점오염의 증가와 주변 환경 및 생태계에 영향을 미칠 수 있어(Lee and Lee, 2009), 이에 대응하기 위한 노력

Received 18 August, 2016; Revised 16 November, 2016;

Accepted 22 November, 2016

*Corresponding author : Jung Min Ahn, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, NRER, Goryeong 40438, Korea
Phone : +82-54-950-9780
E-mail : jahn@korea.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

으로 근래에 들어 녹지를 확보하고 불투수면적을 줄이는 등 자연물순환 기능을 최대한 유지하기 위한 새로운 도시 물 순환시스템 관리 방안에 대한 연구와 정책들이 제안되고 있다. 최근 환경부에서는 이상기후 변화와 그에 따른 도시에서의 비점오염에 대비하는 물 순환 선도도시를 선정하여 저영향개발기법(LID : low impact development)을 적용한 물 순환 체계 개선 도시를 조성할 계획을 추진하고 있다(www.me.go.kr). 이러한 수질개선 사업의 일환으로 물 순환 선도도시에 선정된 김해시는 그간 택지개발과 도로건설에 따른 도시화와 산업화의 진전으로 토지개발이 가속화되었고, 대지, 도로, 주차장 등 불투수면적이 늘어남과 동시에 다양한 토지 이용으로 인해 강우 시 유출량과 비점오염발생량이 증가되고 있다(Lee et al., 2006). 또한 대상계획지구는 구도심지역으로 주거지와 상업지가 밀집되어 있고 여기서 발생한 비점오염이 해반천, 조만강, 서낙동강 수질에 상당한 영향을 주고 있는 실정이라서 비점오염에 대한 관리가 절실히 필요한 지역이다(Lee and Im, 2009). 따라서 김해시 물 순환 계획지구 구성에 따른 비점 저감 효과를 분석하기 위한 방법으로 가장 많이 사용되는 미자연자원보존국(NRCS : natural resources conservation service)에서 개발한 유출곡선지수방법(runoff curve number method)

을 이용하여 직접유출량을 산정하였다. 이 방법은 유효우량의 크기에 영향을 미치는 인자로 토지이용피복 상태, 토양의 종류 및 선행토양함수조건을 고려하여 미 계측 유역에 직접유출량을 산정 할 수 있다. 그간 유역에서 강우에 의한 비점영향을 평가하기 위해 복잡한 유역모형을 이용하여 사용의 어려움이 많았는데, 이번 연구에서는 이러한 점을 개선하여 평가할 수 있는 새로운 Fortran 기반의 프로그램 모형을 개발 적용하여 유출량과 오염물질부하량을 산정하였다(Korea Copyright Commission, 2016). 또한 Arc-GIS(arc-geographic information system)분석 툴을 활용하여 대상지역의 토양종류와 토지이용형태를 파악하고 모형에 필요한 입력 자료를 도출하는데 사용하였다. Choi et al.(2012)은 용산지구 물 순환 환경도시계획에 따른 비점오염물질 저감 효과 분석에 이와 같은 방법을 연계 적용하여 개발 전·후의 비점오염 개선 효과를 비교 분석한바 있다. 본 연구에서는 김해시 물 순환 계획지구를 대상으로 물 순환시스템 녹지 조성 전과 후의 직접유출량(Direct runoff)과 비점오염부하량(Non-point Source pollution load)을 산정하여 저감량을 비교 평가 하였으며, 이 결과를 바탕으로 김해시의 물 환경 선도도시 사업을 추진하는데 필요한 참고 자료를 제시하고자 하였다.

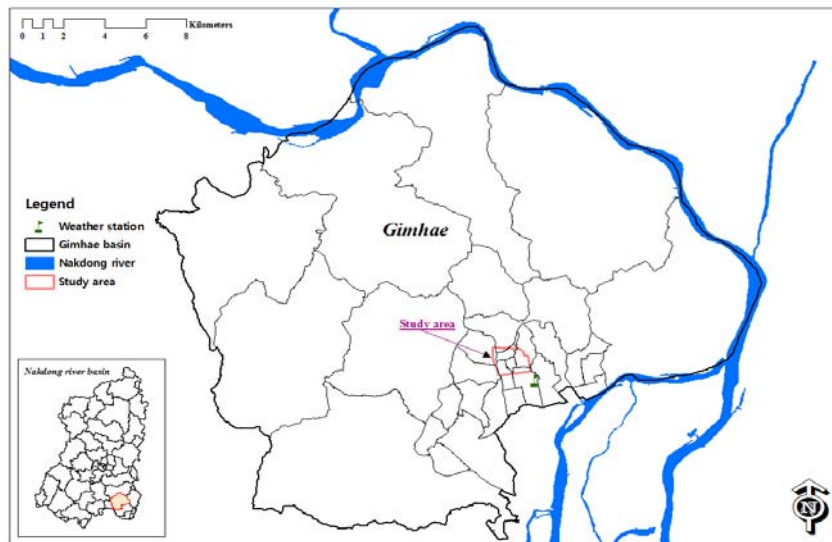


Fig. 1. Location of research area.

Table 1. Rainfall in Gimhae watershed from 2011 to 2015

(Unit : mm)													
Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Mean
2011	0.0	73.4	19.1	134	105.6	303.1	369	227.7	46.1	112.6	135.9	6.6	1533.0
2012	8.5	15.5	122	207.5	37.5	75.3	288	178.2	300.5	47.5	65.5	86.5	1432.7
2013	11.5	57	100.5	96.5	182.6	118	187	92.3	96.7	62.9	46.5	4.6	1055.6
2014	11.8	28.2	122.1	78.9	108.2	51.6	229	676.6	126.1	126.5	47.2	15.2	1621.1
2015	27.2	25.7	62.4	175.7	128.3	48.3	180	109.5	129.5	35	75.8	37.5	1034.8
Mean	11.8	40.0	85.2	138.5	112.4	119.3	250.4	256.9	139.8	76.9	74.2	30.1	1335.4

2. 재료 및 방법

2.1. 대상지역

김해시는 동경 128° 49′ ~ 128° 56′, 북위 35° 10′ ~ 35° 17′으로 경상남도 낙동강 서쪽에 위치한 시로 면적은 463.26 km²이다. 북쪽으로는 낙동강을 경계로 밀양시·양산시와 접하고, 남쪽으로는 창원시와 접하고 있다. 행정구역은 하나의 읍과 6개 면 그리고 12개 동으로 나뉘어 있으며, 표고 100 m미만의 지역이 전체 면적의 70%로 완만하고 평탄한 지형으로 이루어져 있다. 물 순환 계획지구인 동상동, 회현동, 부원동 일대는 해반천이 김해시가지를 좌·우에 두고 남하하다 조만강으로 유입되며, 해반천의 유로연장은 7.9 km이다(Lee et al., 2006). 또한 계획지구 일대는 수질 오염총량관리 대상유역인 낙본N 단위유역에 속하는 지역으로 집중적인 오염부하량 삭감이 요구되는 곳이기도 하다. 김해시의 물 순환 환경도시 계획 대상지는 면적이 2,146,205 m²(2.1 km²)이고, Fig. 1에 나타난 바와 같다.

2.2. 강우분석

강우시 비점오염부하량은 강우량 및 강우강도 등에 따라 상당한 차이가 발생하며(Lee et al., 2010), 또한 강우는 유출에 영향을 미치는 주요한 인자이다. Table 1은 기상청에서 김해 유역의 최근 5년간 강우량 자료를 수집 조사하여 각 년도별로 나타낸 자료이다. Table 1에 요약한 김해 유역의 강우량을 살펴보면 대체로 6월부터 여름철 장마기인 7월과 8월에 강우가 집중되어 9월까지 평균강우량(1,335.4 mm)의 약 57.4%(766.3 mm)가 이 기간 동안 내렸다.

7월과 8월에는 최고치가 369 mm, 676.6 mm로 나타났고, 이때에 평균 강우도 가장 많았다. 이러한 때에는 더 많은 비점오염물질 부하가 발생하여 그 양을 강우유출수의 양으로 나눈 값인 유량가중평균농도(EMC : event mean concentration)가 증가할 가능성이 있다(Lee et al., 2010). 12월~1월에 강우량은 전 기간 중 가장 적었으며, 강우가 전혀 관측이 되지 않은 때도 있어 가뭄현상을 보였다. 봄철에는 강우가 산발적으로 많았다 적었다 했지만 이시기에는 그 양이 많지 않은 간헐적 강우 현상을 보였다. Fig. 2는 김해 기상관측소를 포함한 낙동강 유역의 기상관측소 18개 지점의 최근 5년간(2011~2015) 일 강우 자료를 분석하여 GIS분석 툴을 이용하여 년도별로 나타내었다.

2.3. 모형 개발 및 적용

미 계측 유역의 유출량 해석을 위한 많은 경험식 중 NRCS에서는 유출곡선지수방법(runoff curve number method)을 제안하였다(Choi et al., 2012; Mockus, 1964; Rallison and Cronshey, 1979). 이 방법은 토양의 종류, 토지이용형태, 선행토양함수조건(AMC : antecedent soil moisture condition) 등을 고려하여 식 (1)을 통하여 지표유출량을 산정한다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \tag{1}$$

유역의 최대잠재보유량 S는 유출곡선지수 CN과 직접적으로 연관이 되어 있으며, 식 (2)와 같다.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{2}$$

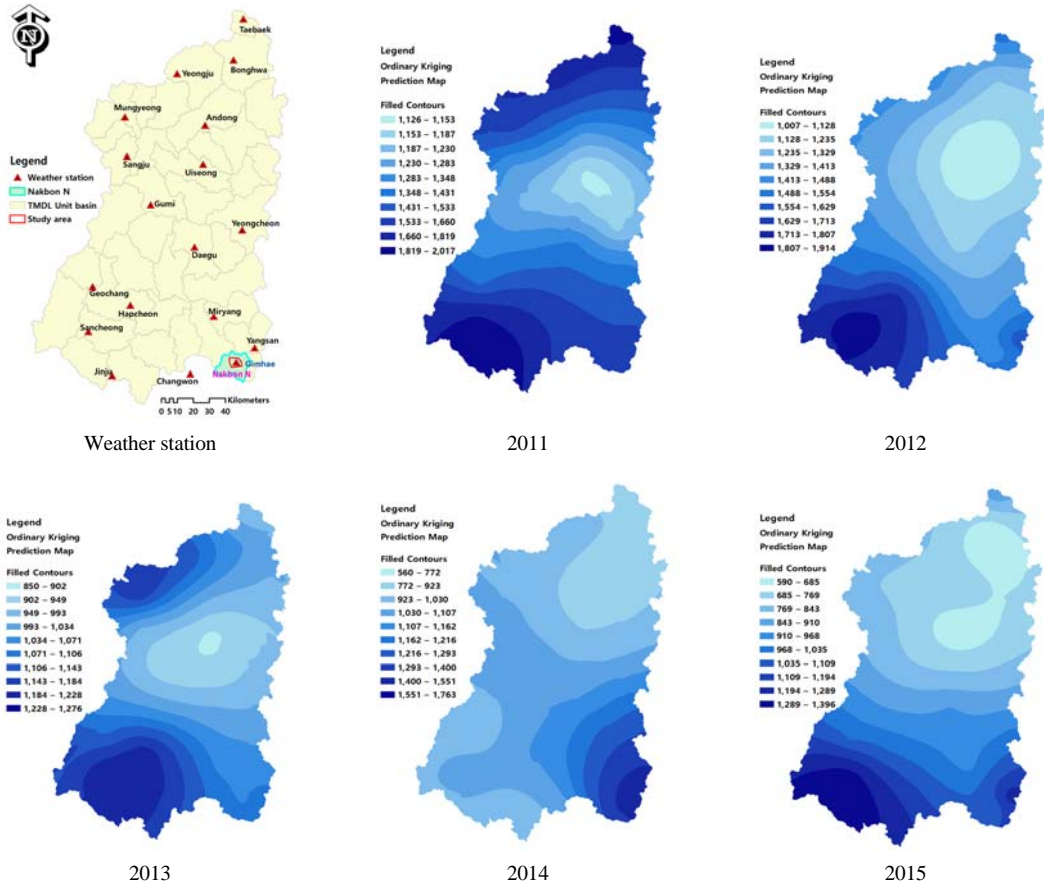


Fig. 2. Spatial distribution of rainfall in Nakdong river watershed (2011 to 2015).

CN은 0에서 100사이의 무차원 값을 가지며 불투수 또는 수표면에서 CN=100이고, 자연적 지표면에서는 CN < 100이다(Lee et al., 2007). 이번 연구를 목적으로 개발된 모형은 프로그램화 과정에서 수식을 Fortran 기반으로 계산식을 작성하였으며, 유출량 계산을 위해 입력조건의 알고리즘은 Control, Rainfall, Input 파일에 의해 구동되도록 작성되었다. 또한, 각 토지피복별로 직접유출량을 분리하여 계산되도록 하였으며, 다소 번거로운 처리 과정 없이 결과 값을 도출 해석할 수 있도록 고려하였다. 그리고 토지피복별 오염부하량 출력자료 전환과정에서 유량가중평균농도인 EMC 조건에 대한 알고리즘을 추가로 작성하여 비점오염에 대한 부하량을 해석 할 수 있도록 하였다

(Korea Copyright Commission, 2016). 유량가중평균 농도(EMC)는 4대강 물 환경연구소(2014)에서 측정 한 자료를 활용하여 모형에 적용하였다. 비점오염부 하량을 산정하는 계산식은 식 (3)과 같다.

$$PollutionLoad(kg) = Directrunoff(m^3) \times EMC(mg/L) \times 1000 \quad (3)$$

개발한 프로그램 모형의 개략도와 Arc-GIS 인터페이스를 Fig. 3에 나타내었다.

2.4. 김해시 물 순환 선도도시 계획 내용

사업대상계획지구는 앞서 언급한 바와 같이 김해시 구도심지역으로 주거지와 상업지가 대부분을 차지

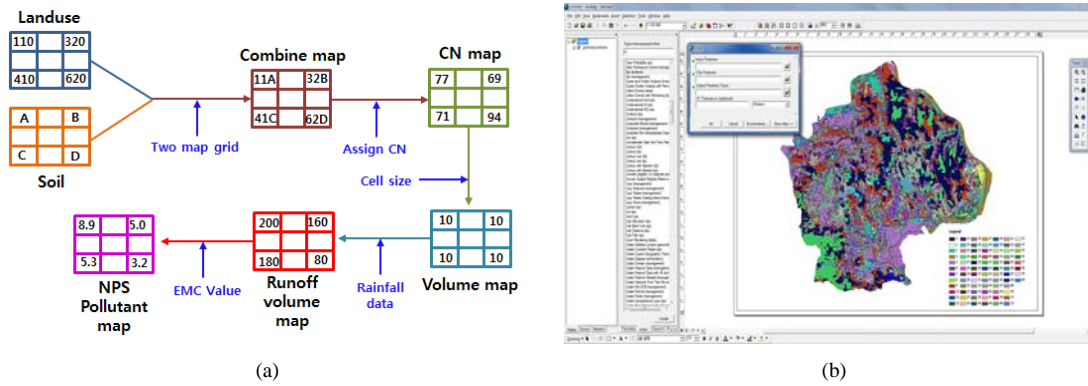


Fig. 3. Overview of the computer program GIS system.

하고 있으며, 분류식 하수관거 정비 사업이 완료되어 향후 비점오염원에 대한 관리가 집중적으로 필요한 지역이다. 이 지역은 많은 시민과 외국인들의 밀집한 생활공간으로 식생시설, 생태주차장, 다운립 광장 조성 등 불투수면적을 줄이고 녹지를 확보하여 자연적인 물 순환 기능을 회복함과 동시에 주거환경개선 및 쾌적한 환경조성을 목적으로 김해시는 사업을 계획하고 있다. 개발 계획 면적은 2.1 km²이며, 여건 성숙 시 중기적으로 (3 km² ~ 4 km²) 확대 추진할 계획인 것으로 조사되었다(www.gimhae.go.kr). 이 중 물 순환 개선을 위한 녹지 개발 면적은 약 2.3% 내외이다. Fig. 4에 (a)는 우선사업대상지역의 정밀토지이용도이며, (b)는 계획지구 내 구체적인 사업규모 내용을 간략하게 표기하여 나타내었다.

2.5. 토지이용분석과 모형 입력자료 구축

토지이용은 인간의 활동과 직접적으로 관련되어 있고, 토지이용형태에 따라 환경오염원인도 나누어진다. 최근 이러한 토지이용현황에 따라 유발되는 많은 환경문제를 용도에 따른 지목정보를 이용하여 해당 구역이나 사업지역의 비점오염원과 같은 환경오염원에 대한 공간적 분석을 위해 GIS 분석 틀이 많이 활용되고 있다(Min et al., 2015). 본 연구에서는 사업지구의 토지이용현황을 분석하고 모형의 입력 값을 도출하기 위해 환경부에서 제공하는 중분류 토지이용도와 토양도를 이용하였다. 그리고 사업지구에 대한 공간적 분석 및 모델입력자료 도출을 위해 먼저 Auto CAD (auto-computer aided design)를 이용하여 사업지구 면적만큼 Polygon 작성을 위해 국토지리정보원



Fig. 4. Water circulation area development plan.

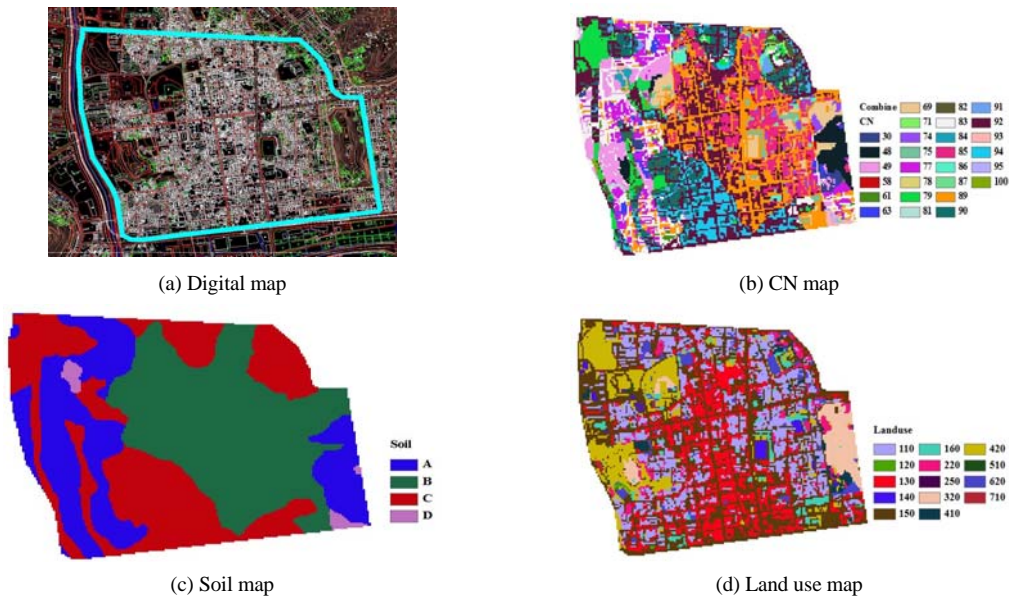


Fig. 5. Result of GIS mapping at research area.

에서 제공하는 1:5000 수치지도를 이용하여 다각형유형 형태로 레이어를 편집하고, shp 파일변환을 실시하였다. 또한 대상지에서 녹지 개발 면적 역시 수치지도 상에서 같은 방법으로 면적을 산정하였다. 이렇게 shp 파일로 변환한 Polygon을 이용하여 환경공간정보 서비스(EGIS : environment geographic information system)에서 제공하는 1:25,000 토양도와 토지이용도에 적용하여 해당 면적만큼 ArcMAP 상에서 Mask 기

능을 이용하여 추출하였고, Combine기능을 이용하여 공간중첩을 실시하여 Cell별로 CN값을 산정하였다. 토지이용도와 토양도의 Cell size는 10 m × 10 m 격자로 구성되어 있다. 이와 같이 자료를 수집 분석한 결과를 Fig. 5에 함께 나타내었다.

그리고 현재 사업지구의 토지이용현황을 Commercial(상업지구), Agricultural(농업), Forest(산림), Residential(주거지), Industrial(산업), Grass(초지), Wet land(습지),

Table 2. Land use of research area

No.	Land category	Development area (km ²)	Total area (km ²)	ratio (%)
1	Road	0.043434	0.7737	35.7
2	Commercial	0.005189	0.4010	18.5
3	Agricultural	-	0.0657	3.0
4	Forest	-	0.0977	4.5
5	Residential	0.00351	0.4824	22.3
6	Industrial	-	0.0033	0.2
7	Grass	-	0.2748	12.7
8	Wet land	-	0.0021	0.1
9	Bare ground	-	0.0642	3.0
10	Waters	-	0.0032	0.1
	Sum	0.052133	2.1681	100.00

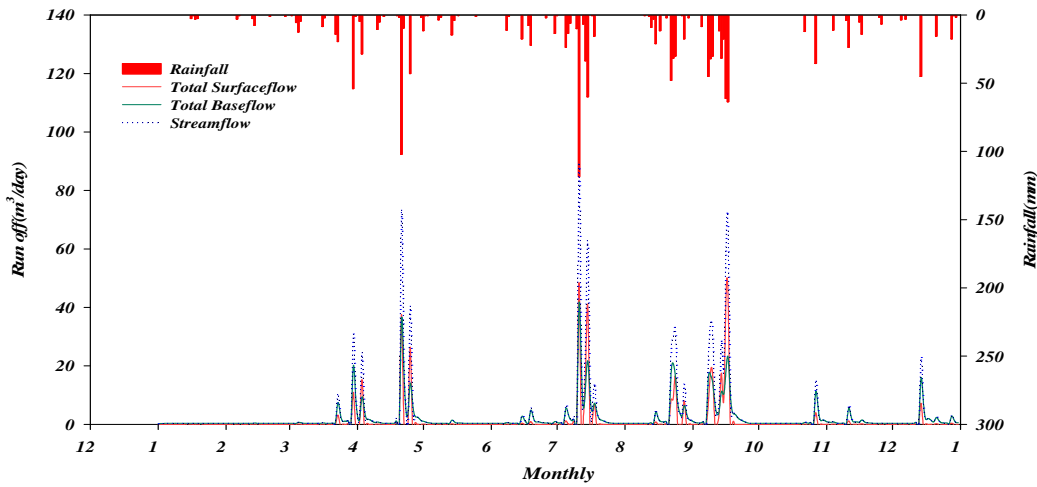


Fig. 6. Rainfall, total stream flow and direct runoff, base flow at Gimhae watershed.

Bare ground(나지), Waters(수역), Road(교통지역) 10 개 지목으로 분류 추출한 분석결과는 Table 2와 같으며 약 80% 정도가 불투수면적인 것으로 조사 되었다. NRCS 분류 방법에 따른 사업지구 내 토양특성은 A타입이 25.5%, B타입이 39.6%, C타입이 33.8%, D타입이 1.2%를 차지하는 것으로 조사되었다. 또한 사업지구의 총 면적은 214 ha(2.14 km²)이며 수치지도를 이용하여 Polygon화하여 분할한 면적은 216 ha(2.1681 km²)로 조사한 면적과 거의 일치함을 보였으며, 대상지에서 녹지 개발 면적(Fig. 4(b))은 대략 5 ha(0.052133 km²) 정도로 전체 면적의 약 2.3%에 해당하는 면적인 것으로 조사되었다. 토지이용에 따른 비점오염의 공간적 정보를 효과적으로 수집, 저장, 분석 및 표현 하는데 있어 GIS분석 툴을 사용하는 것은 간단하면서도 합리적인 방법이다(Barringer, 1990; Jung et al., 2016).

3. 결과 및 토의

3.1. 직접 유출량 및 비점오염 부하량

개발된 모형 시스템의 입력 자료는 토지이용도, 수문학적 토양도, 그리고 장기 일강우량 자료이다. 따라서 본 연구에서는 김해시에서 분할한 물 순환 환경 계획 지구의 토지이용도와 토양도, 그리고 2012년 1월 1

일부터 2012년 12월 31일까지의 일강우량 자료를 모형의 입력자료로 구축하였다.

유역에 동일한 강우가 내릴 경우 NRCS방법을 적용하기 위해서는 선행강우를 고려해야 한다. NRCS방법에서는 5일 선행강우를 적용하고 있고, 선행토양함수(AMC) 조건을 세 가지로 구분하여 선행강수량의 크기에 따라 결정하고 있다. AMC I은 토양이 건조하여 유출이 낮은 상태 즉 강우가 적은 상태, AMC II는 토양의 수분과 유출이 보통인 상태 즉 강수량이 보통인 상태, AMC III는 선행강우로 인해 토양이 함유하는 수분이 많아 유출이 많은 우기 상태를 나타내고, 이렇게 구분된 AMC 조건은 CN값을 산정하는데 이용되며, NRCS에서는 AMC II조건하에서 CN값을 정한다(Kim et al., 2011; NRCS, 1972). 이러한 방법을 고려해서 2012년 강우자료를 AMC로 구분한 결과 AMC I 조건이 250일, AMC II 조건이 43일, AMC III 조건이 73일인 것으로 조사되었다. 따라서 AMC 조건에 따른 토지이용별 CN값을 산정하여 강우 시 발생하는 일별 직접유출량을 산정하여 Fig. 6에 나타내었다. 본 연구에서 개발한 모형을 적용하여 산정된 김해시 물 순환 계획지구의 녹지개발조성 전 연간 발생한 직접 유출량은 약 444 m³/year이고, SS가 연간 총 비점오염부하량 226,801 kg/year로 가장 높게 산정되었고, 두번째로 COD가 연간 총 비점오염부하량이

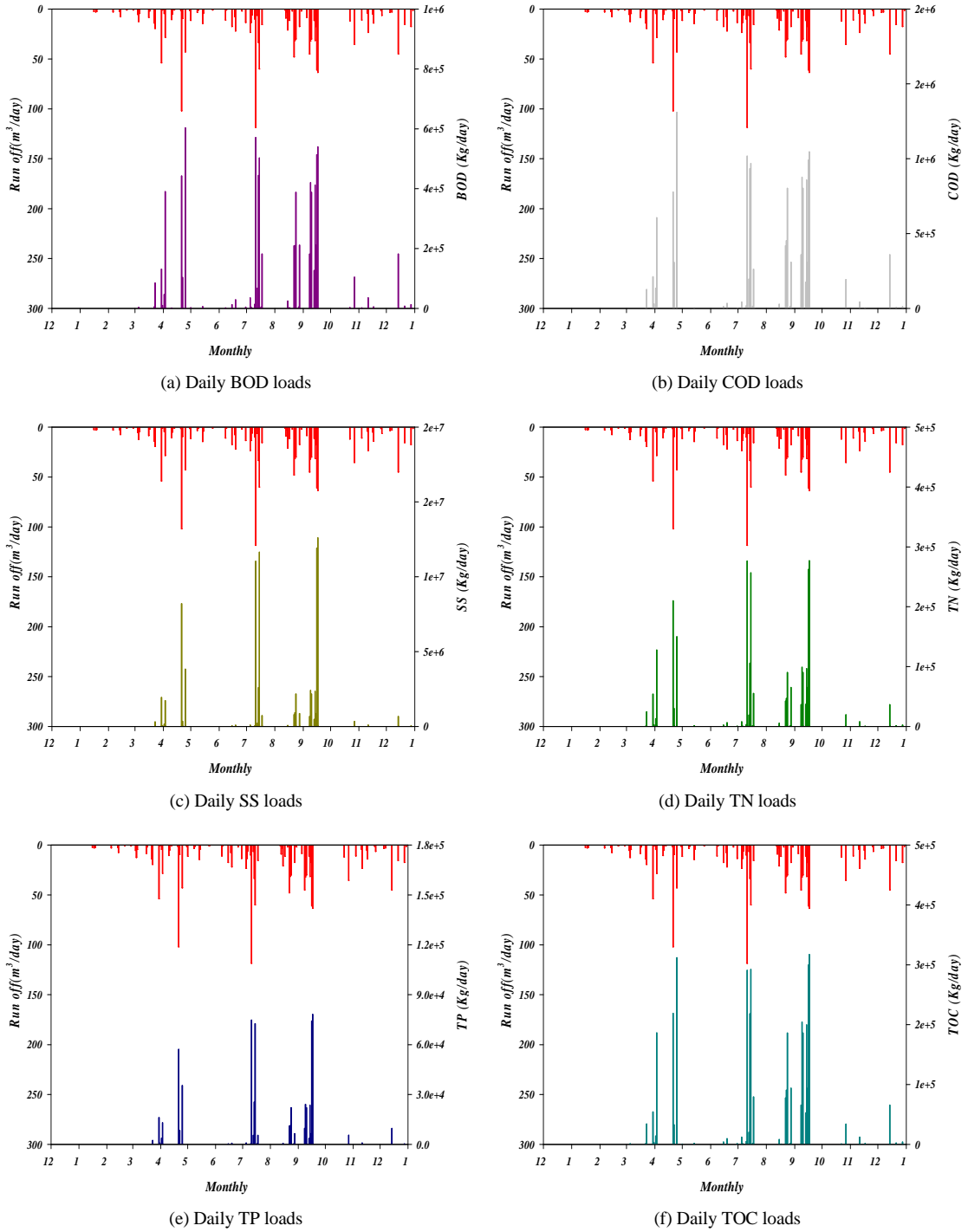


Fig. 7. Graph of NPS pollution load analysis.

Table 3. Results of direct runoff analysis

	Before (m ³ /year)	After (m ³ /year)	Reduction volume (m ³)	Reduction rate (%)
Runoff	444.05	433.95	10.1	2.27

Table 4. Result of NPS pollution load analysis

	Before (kg/year)	After (kg/year)	Reduction load (kg)	Reduction rate (%)
BOD	21,696	21,445	251	1.16
SS	226,801	225,604	1,197	0.53
COD	41,426	40,265	1,162	2.80
TN	7,236	7,126	110	1.52
TP	1,743	1,740	3	0.19
TOC	10,413	10,334	79	0.76

41,426 kg/year로 산정되었으며, 다음 순으로 BOD가 21,696 kg/year, TOC가 10,413 kg/year, TN이 7,236 kg/year 로 산정 되었으며, TP가 1,743 kg/year 로 가장 적게 산정되었다. Fig. 7에 각 수질항목별로 녹색개발조성 전 비점오염부하량을 도시하여 나타내었다.

3.2. 유출률 및 비점오염원 저감 효과

김해시 물 순환선도 도시 계획지구의 토지이용변화를 고려한 직접유출량 및 비점오염부하량 저감율을 각각 산정하여 비교 평가하였다. 불투수면 개선 시 직접유출의 경우 연간 2.27%의 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. BOD 비점오염부하의 경우 연간 1.16% 정도가, TP 비점오염부하의 경우 연간 0.19% 정도가 저감되는 것으로 나타났다. COD는 연간 2.80%로 가장 많은 저감 효과를 보이는 것으로 나타났다. Table 3에 연간 저감되는 유출량과 그 비율을 비교하여 나타내었으며, Table 4에는 연간 저감되는 부하량과 그 비율을 비교하여 나타내었다.

또한 Table 3, 4 결과를 Fig. 8에 요약 도시하여 나타내었다. 이번 연구를 통해 항목별로 차이는 있으나 저감시설 설치로 불투수층 개선에 따른 유출량 저감 및 비점오염저감 효과를 확인할 수 있었으며, 그 효과는 전체대상면적 중 물 순환 개선을 위해 신규로 조성

되는 면적에 어느 정도 비례하는 것으로 나타났다. 위와 같은 결과를 통해 물 순환 개선 시설이 최근 문제시 되고 있는 불투수층포장으로 인한 유출 증가로 도시 침수와 같은 위험인자 뿐만 아니라 초기강우에 의한 비점오염부하를 제한함으로써 그로 인한 수질오염을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 향후에 도시개발 과정에서 이러한 저감개선시설의 설치를 고려한다면 무분별한 도시개발로 인해 증가될 수밖에 없는 오염부하를 상당부분 줄이는데 기여 할 수 있을 것으로 사료된다.

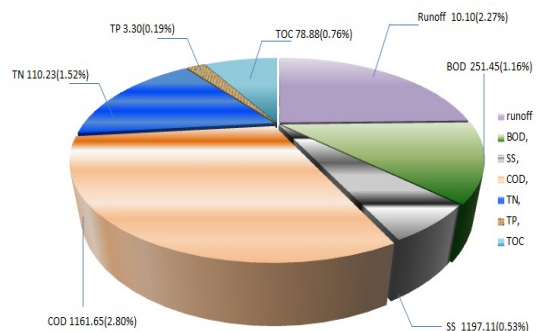


Fig. 8. Reductions of pollutant loads and runoff after development.

4. 결론

본 연구는 물 순환 선도도시로 선정된 김해시의 물 순환 녹지 계획에 따른 비점오염 저감 효과를 분석하기 위해 수행되었다. Arc GIS를 통해 도출된 모형 입력 자료를 Fortran 기반의 새로 개발한 유역모형에 적용하여 정량적 분석을 하였으며, 직접 유출량과 비점오염부하량에 대한 연구 수행 결과는 다음과 같다.

1. 김해시의 물 순환 계획 지구의 녹지개발조성 전 연간 발생한 직접 유출량은 약 444 m³/year이고, BOD의 총 비점오염부하량은 21,696 kg/year이고, TP는 1,743 kg/year 로 산정되었다. SS는 226,801 kg/year이며, COD는 41,426 kg/year, TOC가 10,413 kg/year, TN이 7,236 kg/year 로 산정 되었다.

2. 대상유역(2.1 km²)에 물 순환 녹지 약 2.3%의 5 ha(0.052133 km²)가 계획대로 조성될 경우 직접유출은 연간 2.27%의 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. BOD 비점오염부하의 경우 연간 1.16% 정도가, TP 비점오염부하의 경우 연간 0.19% 정도가 저감되는 것으로 나타났으며, COD는 연간 2.80%로 가장 많은 저감 효과를 보이는 것으로 나타났고, SS는 0.53%, TN은 1.52%, TOC는 0.76% 저감되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 대상지역내 불투수면적을 개선하여 지표유출량 및 비점오염부하량 저감에 기여 할 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 중기적인 계획에 따른 복원 면적을 확장한다면 물 순환 선도도시 조성에 좀 더 긍정적인 영향을 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

3. 이번 연구는 물 순환 선도도시 개발 전의 상황과 개발 후의 상황을 비교 분석하여 개선효과를 확인 했다는 점에서 의의가 있다. 다만, 직접 유출량과 비점부하량 산정에 주안점을 두고 정성적 저감방안계획을 새로 개발한 유역모형에 적용하여 정량적으로 비교 평가하였으나, 실제 해당지역의 한정된 실측자료로 인해 모형의 보정과 검증 작업을 수행하지 않아 결과값에 불확실성을 내포하고 있다. 따라서 정확한 저감량을 파악하기 위해서는 추가적인 연구로 현장조사를 통한 계획 대상지의 세부적인 자료 구축이 필요하며, 저감시설 설치 면적과 연계한 다양한 설계요소를 매개변수로 하여 결과를 수정 보완 할 필요가 있다.

REFERENCES

- Barringer, T. H., Dunn, D., Battaglin, W. A., Vowinkel, E. F., 1990, Problem and methods involved in relating land use to ground-water quality, *Water Resources Bulletin*, 26, 1-9.
- Choi, J. W., Lee, S. J., Ryu, J. C., Shin, D. S., Lim, K. J., 2012, Comparison of NPS reduction at Yongsan area considering spatio-temporal changes CN, *Journal of Environmental science international*, 21(10), 1203-1212.
- Geum River Environment Research Center, 2014, Study on long-term runoff monitoring and reduction techniques for major nonpoint source pollution.
- Gimhae-si, 2016, http://www.gimhae.go.kr/sub/02/01_05.jsp?amode=view&idx=2543&gcode=1005
- Han River Environment Research Center, 2014, Study on long-term runoff monitoring and reduction techniques for major nonpoint source pollution.
- Jung, K. Y., Ahn, J. M., Kim, K. S., Lee, I. J., Yang, D. S., 2016, Evaluation of water quality characteristics and water quality improvement grade classification of Geumho River tributaries, *Journal of Environmental Science International*, 25(5), 615-623.
- Kim, H. W., Sin, Y. J., Choi, J. H., Kang, H. W., Ryu, J. C., Lim, K. J., 2011, Estimation of CN-based infiltration and baseflow for effective watershed management, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 27(4), 405-412.
- Kang, S. H., Heo, W. M., Kang, S. H., 2015, Water balance estimate of LID technique for circulating urban design, *Journal of Environmental science international*, 24(8), 1065-1073.
- Korea Copyright Commission, 2016, Program to estimate runoff and non-point source pollution, Registration Number : C-2016-017455.
- Lee, E. J., 2006, Runoff characteristics and nonpoint source pollution load in an urban watershed using SWMM model, Master's Thesis, Inje University, 2-14.
- Lee, J. S., 2007, Hydrology, Goomibook.
- Lee, Y. G., Im, S. H., 2009, Non-point sources of Geumcheon watershed Gimhae, Gyeongnam Development Institute, 1-58.
- Lee, H. S., Lee, S. H., 2009, Runoff characteristics of

- stormwater in small city urban area, Korean Society on Environmental Engineers, 31(3), 193-202.
- Lee, G. J., Seong, J. U., Park, J. H., Joe, G. S., Park, J. C., 2010, Runoff characteristics of nonpoint pollutants source in urban area, Journal of Environmental science international, 19(7), 819-827.
- Mockus, V., 1964, chapter 10. Estimation of direct runoff from storm rainfall, section 4. Hydrology, National engineering handbook, Washington, D. C., 7-28.
- Min, K. S., Kim, H. J., Kim, J. M., 2015, Analysis of the land pollution area using land category information, Journal of Korea Spatial Information Society, 23(1), 33-40.
- Ministry of Environment, 2016, <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?menuId=286&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&boardId=607110>
- Natural Resources Conservation Service(NRCS), 1972, Hydrology SCS national engineering handbook Section 4.
- Nakdong River Environment Research Center, 2014, Study on long-term runoff monitoring and reduction techniques for major nonpoint source pollution.
- Rallison, R. E., Cronshey, R. C., 1979, Discussion to runoff curve numbers with varyung soil moisture, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 105(4), 439-441.
- Youngsan River Environment Research Center, 2014, Study on long-term runoff monitoring and reduction techniques for major nonpoint source pollution.