

연구논문

LID 기법 적용에 의한 SCS-CN값 변화가 강우유출특성에 미치는 영향 분석

권준희 · 박인혁 · 하성룡

충북대학교 도시공학과

(2009년 10월 7일 접수, 2009년 12월 21일 승인)

The Analysis of Runoff Characteristics by Alterations of SCS-CN Value using LID Method

Jun-Hee Kwon · In-Hyeok Park · Sung-Ryong Ha

Department of Environmental & Urban Engineering, Chungbuk National University

(Manuscript received 7 October 2009; accepted 21 December 2009)

Abstract

The objective of the research is to analyze changing trend of water discharge in precipitation, according to changing land use, through an environment-friendly urban development method called LID. The study chose S1 basin (Separated Sewer districts) in Cheongju region for survey. Among LID methods, relatively more applicable methods of green rooftop space and parking lot with permeable material were selected to construct plausible scenarios. Curve Number (CN) value was calculated due to land use patterns in each scenario, and SWMM model simulation were conducted during 2008 for comparative analysis. For Case 1, only parking lot with permeable material was applied to the scenario. Green rooftop space I and II were applied to Case 2 and 3 respectively. For Case 4 and 5, green rooftop space I and II were applied, in addition to parking lot with permeable material, Calculation of CN value showed that for S1 basin, the value was 88.1 (prior to scenario application), 86.5 (Case 1), 81.9 (Case 2), 68.5 (Case 3), 80.4 (Case 4) and 67.2 (Case 5). Changing pattern of rain water discharge was analyzed for each scenario. For Case 1, the change was not remarkable before and after application of scenario. In Case 2 and 4, the impact of rain water discharge as source of pollutant fell to 20~30%. The rate dropped to 30~50% in Case 3 and 5 respectively. The result demonstrates that the amount of rain water discharge, amount and frequency of sewer overflow, frequency of rain water discharge, and pollution load decreased in accordance with declining CN value in each scenario. In installing green rooftop space, the effect was twice greater when rain water

discharge was directly infiltrated into soil.

Keywords : Low impact development(LID), SWMM, SCS-CN, Runoff

1. 서론

도시화와 산업화로 인하여 도시지역의 인구가 집중되면서 토지개발이 급격히 이루어졌다. 농지와 임지 등 투수면적은 감소하는 반면 주거지 및 상업지, 교통시설인 도로와 주차장, 공업지등 불투수면적은 지속적으로 증가하여 강우 시 도시표면에 불특정하게 축적된 오염물질이 강우와 함께 하천으로 유입이 되어 오염을 악화시키고 있다. 이는 강우 시 도시지역에서 발생하는 비점오염원으로 하천의 수질악화에 큰 영향을 주고 있다(환경부, 2006). 비점오염원의 영향으로 우리나라는 현재 도시하수종말처리장, 산업폐수처리장 등의 점오염원 관리시설이 대폭 확충되고 하수관거 정비사업 등과 같은 정부의 지속적인 노력과 수질오염총량제를 시행하여 관리를 하고 있으나 하천의 수질은 크게 향상되지 못하고 있는 원인 중 하나이다(주진호등, 2007). 도시지역의 불투수면적의 증가로 비점오염원의 대부분을 차지하는 토지계 오염이 수질에 미치는 영향이 권역별로 30%~35%를 차지하고 있어 문제의 심각성을 더하고 있다(환경부, 2006). 강우 시 발생하는 도시구역의 비점오염원의 영향을 줄이기 위해서는 불투수 면적에 관한 관리가 필요한 실정이다. 최근 녹색성장기반 토지개발과 지속가능한 발전에 관한 사회적 관심이 고조되고 있는 가운데 친환경 도시개발기법 중에 하나인 저오염개발(Low impact development: LID)에 대한 연구가 진행되고 있다(전지홍 등, 2009). LID는 강우의 근원지에 침투, 여과, 저장, 증발과 함께 유출을 지연시키는 디자인 기술을 이용하여 개발전의 지역이 가지고 있던 수리학적 기능을 유지시키려는 것이라 할 수 있다(김이형, 2008).

본 연구의 목적은 LID 기법 중 대상지에 쉽게 적용할 수 있는 옥상녹화와 투수성 주차장을 적용시켜 강우 시 유출특성 변화를 분석하는데 있다. 대상

지로부터 옥상녹화와 투수성주차장의 적용가능지역을 추출하여 시나리오를 작성하고 시나리오 별 토지이용형태 변화에 따른 Curve Number(CN)값을 산정하였으며 현장조사를 통해 강우 시 하수관거의 유출특성을 파악하여 이 결과를 바탕으로 SWMM 모형을 구축하였다. 시나리오 별 년간 모의를 실시하여 모의된 결과를 분석하여 CN값이 유출 변화특성에 미치는 영향을 판단하였다.

II. 조사지점 및 연구방법

1. 조사지점 선정

본 연구의 대상지역은 충북 청주시 일부지역으로 하수배출특성이 분명하고 유량 및 수질 측정이 용이한 분류식 지역으로 선정하였다. 토지이용현황 분석한 결과 주거지역 면적이 2.4ha로 높게 나타났

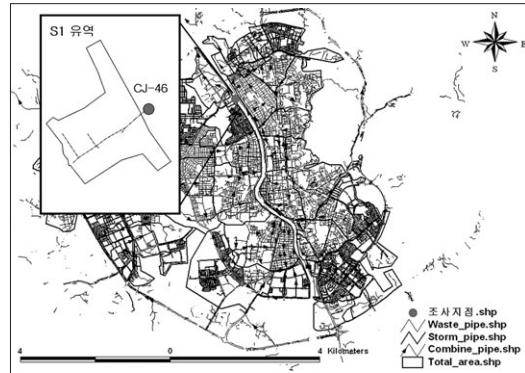


그림 1. 대상지 및 조사지점

표 1. 대상지 현황

대상지 특성						
구역	조사 지점	하수배제 방식	인구 (명)	물사용량 (m ³ /d)	불투수율 (%)	
S1	CJ-46	분류식	905	223	94	
토지이용현황(ha)						
총구역 면적	도로	상업 업무지	일반 주택지	고층 주택지	교육 군사시설	하천
6.7	0.9	1.8	0.9	1.5	1.2	0.4

으며 불투수지역의 면적이 94%로 조사되었다.

2. 현장조사 및 관측자료 분석

대상지역에서 발생하는 유량을 측정하기 위해 국내에 도입된 유량계 중에서 이동식 유량계의 기본 조건을 충족하고 한강수계 하수관거 타당성조사 사업에서 성능이 검증된 독일 NIVUS사의 PCM3 유량계를 사용하였다. 강우시 5분 간격으로 유량 및 수위를 측정하였으며, 수질채수는 침투유량이 발생하는 시간에 맞추어 조사하였다. 대상지역의 월류량을 산정하기 위하여 월류가 발생하기 직전시점까지를 한계 차집량이라 정의하고 그 이후부터 계속되는 유량에서 한계 차집량을 차감하여 월류량을 산출하였다.

$$\text{월류량} = \frac{Q_{total} - Q_{trans}}{\Delta t}$$

Q_{total} : 월류시간동안의 전체 유량

Q_{trans} : 월류가 발생하기 직전시점의 유량
(한계 차집량)

3. LID 적용 및 CN값 선정

본 연구에서는 LID기법 중 우리나라의 좁은 국토 면적을 고려하여 실제 바로 적용 가능한 옥상녹화와 투수성 주차장을 선정하였다(박준호등, 2008). GIS Tool인 Arcview 3.1을 사용하여 옥상녹화와 투수성주차장 면적을 추출하여 적용하였으며 대상지의 토지이용형태에 따른 CN값 선정은 표 2와 같다.

CN값 산정 시 옥상녹화는 강우유출수가 직접 토양으로 침투하지 않는 문제점이 있어 침투율이 0mm/h ~ 1.27mm/h로 가장 낮은 토양형 D로 적용한 경우와 강우유출수를 저류지로 유입하여 토양으로 직접 침투시켜 대상지의 토양형을 적용한 두 가지 경우로 CN값을 산정하였다. 주차장의 경우 “자갈로 포장되거나 잡초가 있는 포장된 도로”로 적용하여 CN값을 산정하였다.

4. 시나리오 작성 및 SWMM 모의

투수성주차장과 옥상녹화 적용에 따른 CN값 변화가 강우유출특성에 미치는 영향을 비교·분석하기 위하여 표 3과 같이 5개의 시나리오를 작성하여

표 2. 토지이용에 따른 CN값 선정

구 분	SCS의 CN값(AMC-II) 토지의 사용용도	흙의 분류			
		A	B	C	D
도 로	불투수면적의백분율(100%)	98	98	98	98
상업업무지	불투수면적의백분율(100%)	98	98	98	98
일반주택지	불투수면적의백분율(100%)	98	98	98	98
고층주택지	불투수면적의백분율(100%)	98	98	98	98
교육근사시설	불투수면적의백분율(100%)	98	98	98	98
하 천	75%이상잔디밭	39	61	74	80
옥상녹화	잔디가 면적의 75% 정도인 양호한 상태	39	61	74	80
주 차 장	자갈로 포장되거나 잡초가 있는 포장된 도로	72	82	87	89

표 3. 시나리오 작성

구분	LID 적용	SCS의 CN값(AMC-II)토지의 사용용도
Case 1	투수성 주차장	자갈로 포장되거나 잡초가 있는 포장된 도로
Case 2	옥상녹화(I)	잔디가 면적의 75% 정도인 양호한 상태
Case 3	옥상녹화(II)	잔디가 면적의 75% 정도인 양호한 상태
Case 4	투수성 주차장	자갈로 포장되거나 잡초가 있는 포장된 도로
	옥상녹화(I)	잔디가 면적의 75% 정도인 양호한 상태
Case 5	투수성 주차장	자갈로 포장되거나 잡초가 있는 포장된 도로
	옥상녹화(II)	잔디가 면적의 75% 정도인 양호한 상태

SWMM 모의를 하였다.

옥상녹화(I)는 토양형 D를 적용한 경우이며, 옥상녹화(II)는 옥상녹화에서 발생하는 강우유출수를 저류지로 유입시켜 대상지의 토양형을 적용한 경우이다. 이동근 등은(2006) 연구를 통해 옥상녹화를 조성할 경우 장마철을 제외한 우수에는 90% 이상의 우수유출 저감할 수 있다는 결과를 얻었다. 이에 옥상녹화에서 발생하는 강우유출수를 토양으로 침투시키기 위한 저류지 면적은 옥상녹화 면적의 0.2%로 가정하여 적용하였다.

SWMM 모의는 2008년 1월 1일 ~ 2008년 12월 31일까지의 1년간 강우사상에 대하여 실시하였다. 각 강우 사상(이하 Event)은 최장 24시간, 12시간 이내의 간격을 둔 강우는 동일한 강우사상으로 간주하였다.

Event의 구분 기준은 다음과 같다.

- Event의 시작시점은 강우시작 시간으로 함
- Event의 종료 시점은 월류 종료 혹은 유출 종료시점으로 함

- 단속 강우의 경우, 무강우 시간을 포함하여 최대 24시간을 하나의 Event로 간주함

이와 같은 방법으로 S1 구역의 Event를 기준으로 LID 적용 전·후의 SWMM 모의값을 분석하여 비교하였다.

III. 연구 결과

1. 유량 및 수질 분석결과

S1 구역에 대하여 총 2회에 걸쳐 강우시 배출량 및 수질을 조사하였다. 2회의 강우사상에 대해 유량 및 수질조사 결과를 분석하였다. 1차 강우사상은 2차 강우사상에 비해 강우량은 많았으나 강우지속시간

표 4. S1구역 강우시 유량분석결과

구분	강우량 (mm)	강우지속시간 (h)	강우강도 (mm/h)	총배출량 (m ³)	월류량 (m ³)
1차	21	3.0	7.0	627.4	234.6
2차	11.5	2.3	4.9	395.3	230.4

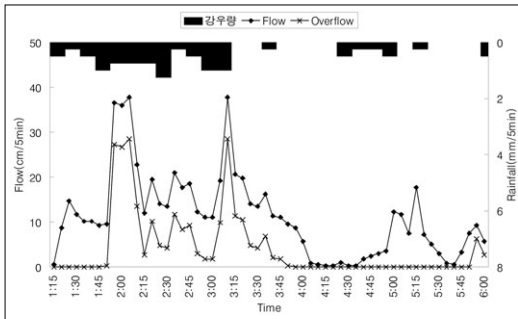


그림 2. S1 강우 1차 유량변화

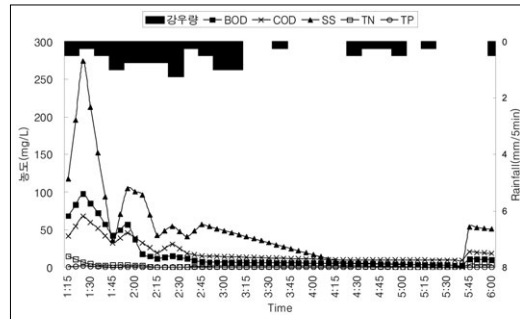


그림 3. S1 강우 1차 수질변화

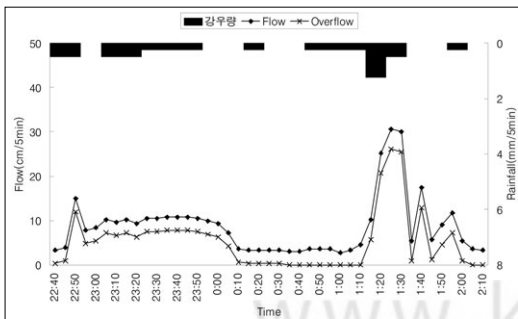


그림 4. S1 강우 2차 유량변화

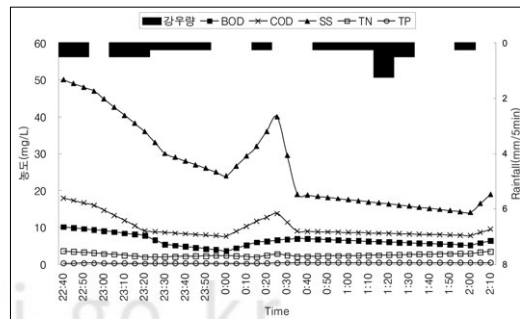


그림 5. S1 강우 2차 수질변화

표 5. S1구역 강우시 수질분석결과 (단위 : mg/L)

구분		BOD	COD	SS	T-N	T-P
강우1차	최소값	2.8	9.7	2.7	0.2	0.2
	최대값	98.1	68.0	274.0	14.8	2.1
	EMC	20.7	23.9	62.2	2.0	0.6
강우2차	최소값	3.6	7.6	14.0	2.0	0.3
	최대값	11.2	20.6	54.0	4.3	0.5
	EMC	6.6	10.2	27.2	2.6	0.4

간이 길어 월류량에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

강우시 수질분석결과는 표 5와 같으며 전반적으로 낮게 분석되었다. 이는 선행 건기일에 좌우되는 것으로 조사시기가 장마철임을 감안할 때 선행건기일이 짧은데 원인이 있다고 판단된다.

S1 구역의 한계차집량 산출결과는 표 6과 같다. 1차 강우사상 발생시 비교적 많은 양이 차집된 후에 월류량이 발생한 반면, 2차 강우사상은 비교적 적은 양이 차집된 후 월류가 시작되었다. 이는 강우지속시간에 의한 차집관거의 통수능의 변화에 기인한 것으로 판단된다.

표 6. S1구역 강우시 한계 차집량 산출 (단위 : m³/s)

강우사상	월류직전	월류종료
1차	0.031	0.003
1차	0.025	0.01
2차	0.015	0.007

2. 시나리오에 따른 CN값 산정 결과

대상지의 CN값 산정결과는 표 7과 같다. 시나리오 적용전 CN값은 89.3으로 산출되었고 투수성주차장만을 적용한 Case 1의 CN값은 86.5로 시나리오 적용전과 큰 차이가 없었다. 이는 투수성주차장 적용 면적이 낮아 변화폭이 적은 것으로 판단된다. Case 2와 Case 3은 옥상녹화를 적용한 것으로 강우유출수가 직접 토양으로 침투하지 않고 배출되는 옥상녹화 I와 강우유출수가 직접 토양으로 침투하

표 7. 시나리오 별 CN값 산정 결과

구분	기존	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
S1 구역	88.1	86.5	81.9	68.5	80.4	67.2

도록 저류지를 적용시킨 옥상녹화 II로 구분하여 CN값을 산출한 결과로써 81.9, 68.5로 산출되었다. 강우유출수가 토양으로 침투 유·무에 따라 CN값이 크게 차이가 나는 것을 알 수 있다. Case 4와 Case 5는 Case 2와 Case 3에 투수성주차장을 포함한 시나리오로써 CN값은 80.4, 67.2로 산출되었다. Case 4와 Case 5 경우 역시 투수성주차장을 적용하더라도 강우유출수가 직접 토양으로 침투 유·무에 따라 CN값에 큰 차이를 보였다.

3. 시나리오 별 유출특성 분석

S1 구역의 시나리오 별 SWMM 모의결과를 바탕으로 강우사상별 강우유출수, 유출지속시간, 월류량, 월류지속시간, 강우유출수부하량과 월류 부하량의 각각 누적량과 강우유출빈도와 월류빈도를 분석하여 그림 6에 나타냈다. 각각의 누적량은 시나리오 적용전과 Case 1, Case 2와 Case 4, Case 3과 Case 5가 유사한 패턴으로 증가 하였다. 시나리오 적용전과 Case 1은 CN값의 변동이 적어 유사한 강우유출패턴을 보이며, Case 2와 Case 4는 옥상녹화의 강우유출수가 직접토양으로 침투하지 않고 배출되는 옥상녹화 I의 경우로 유사한 강우유출패턴을 보였으며, Case 3과 Case 5는 옥상녹화의 강우유출수를 저류지로 유입시켜 직접 토양으로 침투시킨 시나리오로 강우유출수의 오염원의 영향이 가장 크게 감소한 것을 알 수 있다.

S1 구역에 대해 2008년간 시나리오별 유출특성 변화를 모의하여 분석한 결과는 표 8과 같다. LID 적용전과 비교하였을 때 Case 1의 경우 모든 분석값에서 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 대상지 총면적 6.7ha에 비해 투수성 주차장의 적용면적이 0.2ha로 토지이용변화가 적어 CN값의 변화가 적은데 원인이 있다. Case 2는 옥상녹화 I를 적용한 것으로 강우유출유량 25,162.2ton, 강우유출지속시간 188.8hr, 월류량 17,439.3ton, 월류지속시간 49.3hr로 LID 적용전에 비하여 각각 20.0%, 17.7%, 19.4%, 28.3%로 감소하였으며 강우유출빈도와 월류빈도 또한 10회, 4회 감소하였다. 또한 강

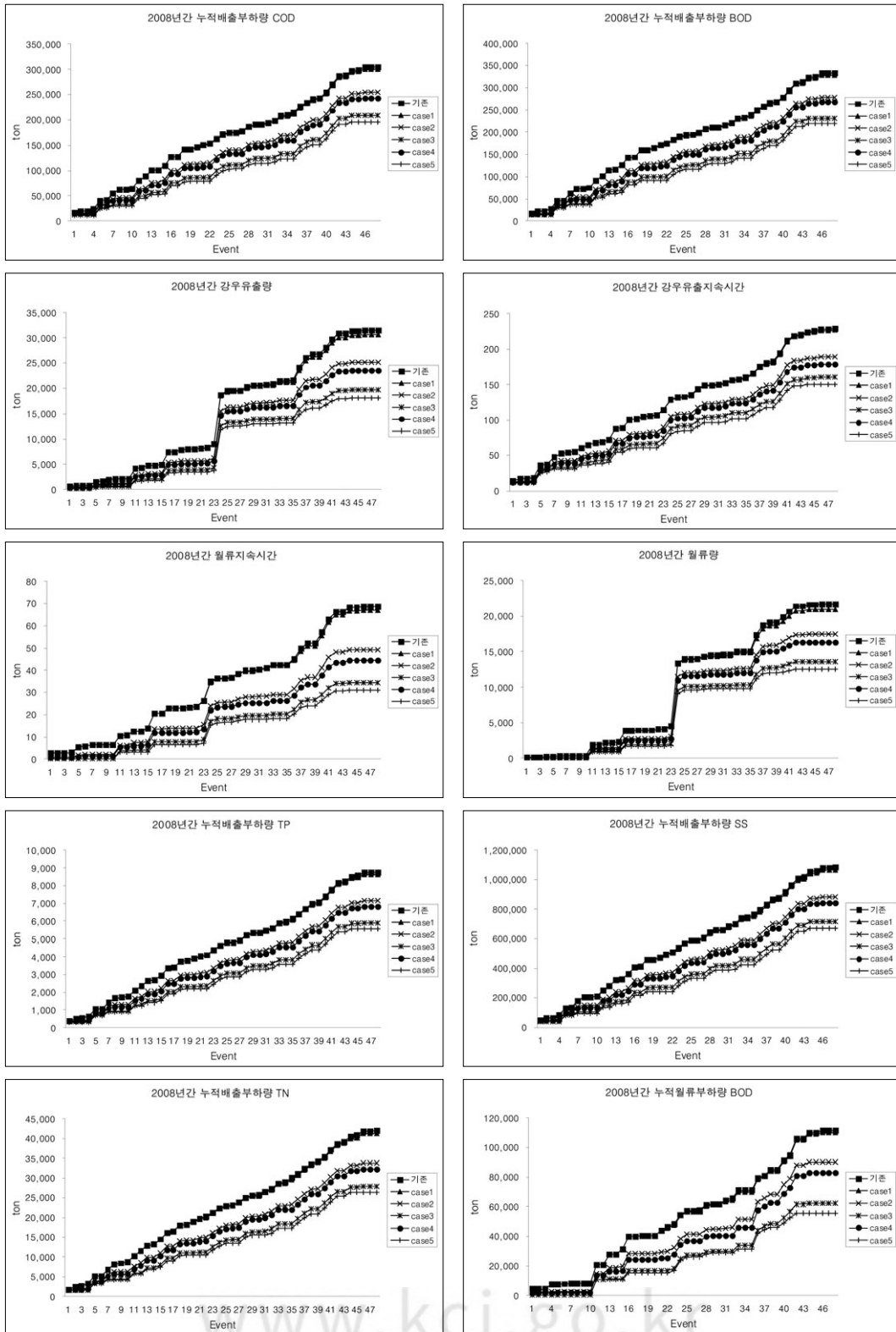


그림 6. S1 구역 시나리오 별 유출특성 변화

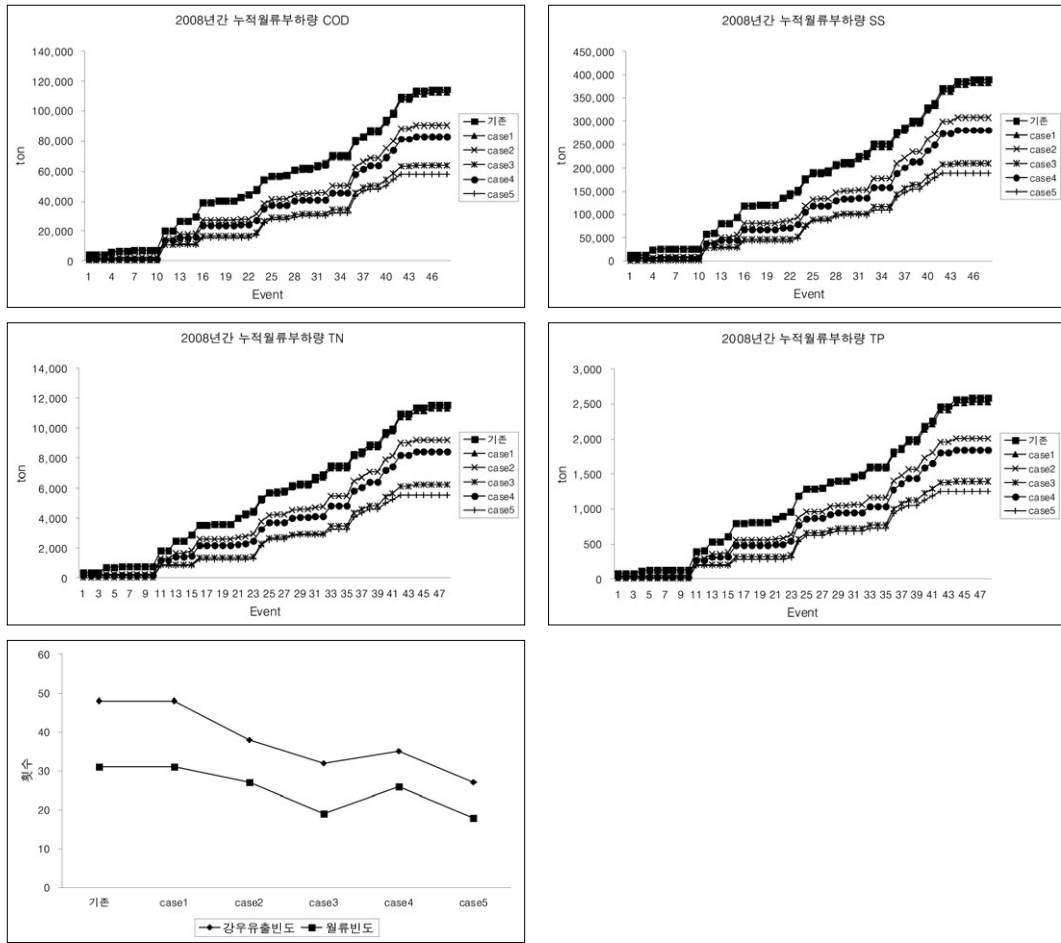


그림 6. 계속

우유출부하량 16.5%~19.5%, 월류부하량 19.2%~22.4%로 감소하였다. Case 3는 옥상녹화Ⅱ를 적용한 것으로 강우유출유량 19,631.7ton, 강우유출지속시간 160.5hr, 월류량 13,555.8ton, 월류지속시간 34.4hr로 LID 적용전에 비하여 각각 37.6%, 30.0%, 37.3%, 49.9%로 크게 감소하였으며 강우유출빈도와 월류빈도 또한 16회, 12회 감소하였다. 강우유출부하량의 경우 30.6%~33.9%, 월류부하량 44.3%~46.1%로 크게 감소하였다. Case 4는 옥상녹화Ⅰ와 투수성주차장을 적용한 것으로 강우유출유량 23,567.4ton, 강우유출지속시간 179.1hr, 월류량 16,339.8ton, 월류지속시간 44.4hr로 LID 적용전에 비하여 각각 25.0%, 21.9%, 24.5%, 35.3%로 감소하였으며 강우유출빈도와 월류빈도

또한 13회, 5회 감소하였다. 강우유출부하량의 경우 19.8%~23.2%, 월류부하량 25.9%~28.8%로 감소하였다. Case 5는 옥상녹화Ⅱ와 투수성주차장을 적용한 것으로 강우유출유량 18,055.2ton, 강우유출지속시간 150.7hr, 월류량 12,565.8ton, 월류지속시간 30.9hr로 LID 적용전에 비하여 각각 42.6%, 34.3%, 41.9%, 55.0%로 크게 감소하였으며 강우유출빈도와 월류빈도 또한 21회, 13회 감소하였다. 강우유출부하량의 경우 34.3%~37.9%, 월류부하량 49.4%~51.9%로 크게 감소하였다. 이 결과 투수성 주차장을 적용한 Case 1의 경우는 강우유출수의 오염원 저감 효과가 가장 작았으며, 옥상녹화의 경우 옥상녹화Ⅰ를 적용한 Case 2, Case 4와 옥상녹화Ⅱ를 적용한 Case 3, Case 5의 경우

표 8. S1 유역 시나리오 별 2008년간 유출특성 변화 분석

구 분	강우유출 유량(ton)	유출지속 시간(hr)	월류량 (ton)	월류지속 시간(hr)	강우유출 빈도(횟수)	월류빈도 (횟수)
LID적용전	31,437.0	229.3	21,635.1	68.7	48	31
Case_1	30,557.1	226.7	20,921.1	67.0	48	31
Case_2	25,162.2	188.8	17,439.3	49.3	38	27
Case_3	19,631.7	160.5	13,555.8	34.4	32	19
Case_4	23,567.4	179.1	16,339.8	44.4	35	26
Case_5	18,055.2	150.7	12,565.8	30.9	27	18
강우 유출수	BOD부하량 (kg)	COD부하량 (kg)	SS부하량 (kg)	TN부하량 (kg)	TP부하량 (kg)	
LID적용전	333.5	304.7	1,083.2	42.0	8.8	
Case_1	329.2	300.6	1,064.1	41.3	8.6	
Case_2	278.5	253.9	881.9	33.8	7.1	
Case_3	231.4	208.6	717.8	27.8	5.9	
Case_4	267.3	242.7	840.9	32.2	6.8	
Case_5	219.0	195.9	672.3	26.4	5.6	
월 류 수	BOD부하량 (kg)	COD부하량 (kg)	SS부하량 (kg)	TN부하량 (kg)	TP부하량 (kg)	
LID적용전	111.6	114.4	390.5	11.5	2.6	
Case_1	110.1	112.3	382.6	11.3	2.5	
Case_2	90.2	90.3	307.5	9.2	2.0	
Case_3	62.2	63.7	210.5	6.2	1.4	
Case_4	82.7	83.0	280.7	8.4	1.8	
Case_5	55.8	57.9	188.3	5.5	1.2	

강우유출수의 오염원의 저감효과가 모두 크게 나타났지만 옥상녹화의 강우유출수를 저류지를 통하여 직접 토양으로 침투시켰을 때 그 효과가 더 크다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 LID 기법 중 옥상녹화와 투수성주차장 적용에 따른 CN값 변화가 강우유출특성에 미치는 영향을 분석하였다. 연구 대상지는 청주시 일부지역으로 분류식 지역인 S1 유역으로 선정하였으며, 시나리오별 CN값을 산정하여 2008년간 SWMM 모의를 실시하였다. 시나리오 별 CN값 산정결과 시나리오 적용 전 88.1, Case 1 86.5, Case 2 81.9, Case 3 68.5, Case 4 80.4, Case 5 67.2로 산출되었으며, 시나리오 적용 전을 기준으로 강

우유출유량, 강우유출빈도, 월류량, 월류빈도, 강우유출부하량, 월류부하량등 유출특성을 비교하였다. Case 1의 경우 시나리오 적용 전에 비하여 유출특성이 크게 변하지 않았다. 이는 투수성주차장의 적용 면적이 적어 CN값 변화가 크지 않은데 원인이 있다고 판단된다. 그러나 Case 2와 Case 4의 강우유출수에 의한 오염원의 영향은 20%~30%, Case 3과 Case 5는 30%~50%로 옥상녹화와 투수성주차장 적용 전에 비하여 크게 감소하였다.

본 연구의 결과 시나리오 별 CN값이 낮아짐에 따라 강우유출유량, 월류량, 강우유출빈도, 월류빈도, 오염부하량이 감소하는 것을 알 수 있었다. 옥상녹화의 경우 강우유출수가 저류지를 통하여 직접 토양으로 침투할 경우 오염원의 저감효과가 더 크다는 것을 알 수 있다. 또한 본 연구를 통해 개발이 이루어진 도시유역에 LID 기법을 적용하여도 강우시

유출량이 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 강우 시 유출량의 감소는 토양의 침투량 및 저류량을 증가로 지하수함량에 영향을 미칠 수 있으며, 침투유량의 감소로 홍수등의 피해를 줄일 수 있다고 판단된다. 또한 월류수의 발생빈도를 감소 시켜 하천 수질 개선에 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 선우중호, 2006, 수문학, 동명사.
- 환경부, 2006, 물환경관리기본계획.
- 박준호외 7인, 2008, SWMM을 이용한 춘천 거두 1 지구 LID 개념 적용으로 인한 유출 감소 특성 분석, 한국물환경학회, 24(6).
- 이동근 외 3인, 2006, 옥상녹화의 우수유출량 저감 효과에 관한 연구, 한국환경복원녹화기술학회지.
- 주진호 외 6인, 2007, 낙동강 수계 고랭지 밭의 비점오염 물질 유출 특성 조사 및 단위 유출량 산정, 한국환경농학회지, 26(3).
- 전지홍 외 2인, 2009, 지속가능한 도시개발을 위한 LID평가모델(LIDMOD)개발과 수질오염총량제에 대한 적용성 평가, 한국물환경학회, 25(1).
- 김이형, 2008, 21세기 친환경 건설을 위한 Low Impact Development(LID) 기술, 물과 미래, 41(6).

최종원고채택 09. 12. 24