

단기 강우 시 소규모유역에서 생태저류지의 유출 저감효과 분석

천종현, 김재문, 장영수, 신현석*
부산대학교 사회환경시스템공학과

An Analysis of the Outflow reduction effect of Bio-retention in Small watershed during Short-term rainfall

Jong-hyeon Cheon, Jae-moon Kim, Young-su Jang, Hyun-suk Shin*

Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

요약 도시 내 빈번히 발생하는 홍수 피해를 해결하기 위한 대응 방안으로 자연상태의 수문순환 체계를 회복하기 위한 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법이 대두되고 있다. LID 요소기술 중 하나인 생태저류지는 유역에서 발생하는 유출수를 저류 및 침투하여 우수 유출수 및 비점오염물질 저감효과를 갖는 시설로 다양한 연구가 진행되고 있으나, 유출 저감효과에 대한 분석은 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수문 해석이 가능한 K-LIDM을 이용하여 소규모유역에서 생태저류지의 유출 저감효과를 분석하였다. 시나리오를 구성함에 있어 생태저류지의 저류용량을 증가시키거나 유역과 생태저류지를 분할하였고 확률강우량을 활용하여 단기강우를 모의하였다. 분석결과 저류용량 증가에 따라 20%, 분산형 시스템에서 5~15% 이상의 유출 저감효과를 나타냈으며 향후 생태저류지의 저류깊이, 지반의 침투능 및 유출부의 직경과 높이 등 다양한 시나리오에 대한 연구가 수행된다면 생태저류지의 물순환 효율성에 관하여 보다 정량적인 분석이 가능할 것으로 기대된다.

Abstract Low Impact Development(LID) techniques has been attracting attention as a countermeasure to solve frequent flood damage in urban areas. LID is a techniques for returning to the natural hydrological cycle system by infiltrating the runoff from the impervious surface into the soil. The Bio-retention, one of the LID element technology has outflow reduction effect by reserving and infiltrating storm water runoff from watersheds. Recently, a number of studies have been carried out as interest in the reduction of storm water runoff and non-point pollutants in Bio-retention has increased. However, quantitative analysis on the outflow reduction of Bio-retention applied to small watershed is insufficient. In this study, Bio-retention model was constructed in a small watershed using K-LIDM which is capable of hydrologic analysis. When the storage capacity was increased or dividing the Bio-retention and watershed, the outflow reduction effect was 20% according to the storage capacity increase and 5~15% in the distributed Bio-retention system. The results of this analysis will be used as the basic data of future Bio-retention research related to watershed characteristics, vegetation type and soil condition.

Keywords : Low Impact Development(LID), Bio-retention, Outflow reduction, Storage capacity, K-LIDM, Distributed Bio-retention System

1. 서론

현재 우리나라의 도시는 점점 증가하고 있으며, 도시

화로 인한 불투수면의 증가는 지면 저류량 및 침투 능력을 감소시키는 등 수문순환 체계를 왜곡하고 있다. 도시는 녹지면적을 축소하고 배수시설을 확장해 빠른 속도

본 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Hyun-suk Shin(Pusan National Univ.)

Tel: +82-51-510-2348 email: hsshin@pusan.ac.kr

Received October 23, 2018

Revised (1st December 24, 2018, 2nd January 15, 2019)

Accepted February 1, 2019

Published February 28, 2019

의 유출을 발생시키며, 하천의 범람과 같은 수문학적 변화를 초래했고 이는 인적, 재산피해의 직접적인 원인이 되고 있다. 또한 기후변화로 인한 이상 강우의 발생빈도 증가는 도시유역의 빈번한 홍수 및 침수피해를 야기하며 도시 내 수재해에 대한 대응책이 필요한 실정이다. 이에 따라 강우 시 유출수를 모아 관을 통해 방류하는 기존의 집중형 빗물관리와 달리 유출이 발생하는 지점에서 우수를 처리하는 분산형 빗물관리가 대두되고 있다. 저영향 개발(Low Impact Development, LID)이란 왜곡된 수문 순환 체계를 개발 이전의 상태로 되돌려 우수를 토양에 잡아둠으로써 유출 저감효과를 갖는 기법이다. 자연상태의 강우-유출 현상이 발생하도록 하여 빗물이 우수관으로 들어가기 전 침투, 여과 및 저류 과정을 통해 유출량과 오염물질을 저감할 수 있다. LID의 요소 기술 중 하나인 생태저류지는 도시화된 유역의 빗물관리를 위한 자연 및 공학적 요소가 결합된 시설로 강우-유출 발생 시 수량 및 수질을 동시에 조절할 수 있는 분산형 저류지이다. 생태저류지는 빗물유출 저감시설 중 저류형 시설로써 소규모 유역의 부지 내 건물, 공원, 공공시설 등에 설치되어 홍수량을 분담하게 하는데 우수를 저류하여 침투 유량 감소 및 침투시간을 지연한 다음 천천히 방류하여 홍수조절의 효과를 갖는다.

우수유출 저감용 우수지(저류지)에 관한 연구사례로 [1]은 저류지 관련 변수 해석을 통해 우수유출 저감용 저류지의 간편 설계기법 절차를 제시했고, [2]는유역 내 저류지의 설치 위치를 달리하며 단일 저류지와 복수 저류지의 유출 저감효과를 확인하고 위치 선정 기준을 제안하였다. [3]은 LID의 개념을 도입하여 우수지와 침투 기반 저류지의 복합 설계기법을 제안하였고, [4]는 분산형 생태저류시스템을 주택단지 내 도입하여 침투 유출량의 감소와 침투시간의 지체 효과를 확인하였다. [5]는 유허곡선을 기반으로 처리 대상구역의 불투수 면적에 따른 생태저류지 용량 결정 방법에 대해 연구하였고, [6]은 식생이 조성된 LID 기술을 이용해 강우 유출수 유입에 따른 물 순환 효과와 비점오염물질 저감능력을 비교하였다. [7]은 아스팔트 주차장에서 발생하는 유출수를 병렬 구조의 생태저류지에 유입하여 침투 유출량 및 지체시간을 비교하였고, [8]은 토양종류(sand, loamy sand and clay)와 습윤상태(dry, wet)의 분류에 따른 생태저류지의 수문학적 특성 변화를 연구하였다. [9]는 lysimeters를 이용하여 소규모 생태저류지에서 증발산량 관측 및 물수

지분석을 평가하였고, [10]은 DRAINMOD 프로그램을 이용하여 Bio-retention의 물수지분석(유출, 배수, 월류, 저류 및 증발산)에 관한 연구를 수행하였다. LID 시설에 대한 관심이 높아짐에 따라 생태저류지에 관한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으나, 소규모유역에 적용하는 분산형 생태저류지의 정량적인 유출 저감효과에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 소규모 유역에서 생태저류지의 정량적 유출 저감효과 분석을 위하여 K-LIDM을 이용하여 저류 용량 증가에 따른 유출 저감효과와 분산형 생태저류지 시스템에서 유출 저감효과를 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상지 및 이론

생태저류지란 강우 시 유출 발생 지역에서 우수의 침투 및 일시적인 저류를 통해 침투 유출량을 저감하고 도달시간을 지연하여 유역 내 침수피해와 하류지역의 홍수피해를 예방하는 분산형 저류지이다. 또한 초기 우수유출수에서 발생하는 오염물질을 여과시켜 수질개선에도 기여하고 땅속으로 침투된 우수는 지하수를 함양하는 효과가 있다.



Fig. 1. Bio-retention in Korea GI & LID Center

Fig. 1은 본 연구에 적용된 부산대학교 양산캠퍼스 KOREA GI&LID Center 내의 생태공원형 LID 시설이다. KOREA GI&LID Center의 부지면적은 약 5000m²로 실내 실험동, 교육 연구동, 실외 실증 단지 등으로 구성되어 있고, 유역 내에서 발생한 우수유출수는 주변 트랜치 및 수로를 통해 생태저류지에 유입 후 저류된다. 생태저류지의 바닥면적은 약 88.30m²이고 상부 면적은 약 253.44m²이며 총 저류 용량은 약 140m³이다. 저류된 물

은 증발 및 침투 등 자연적인 과정이나 배수펌프를 이용하여 방류하는 인공적인 과정을 통해 조절된다. 또한 집중호우시 수위가 급격히 위험수위에 도달하여 초과유출량이 발생하는 경우 월류구를 통해 방류된다.

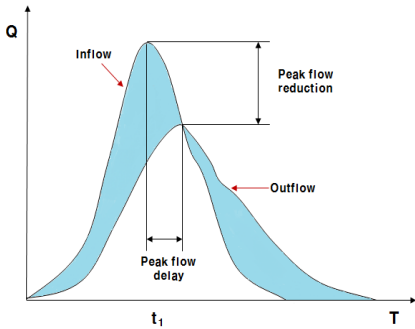


Fig. 2. Inflow and Outflow

Fig. 2는 저류지의 유입 및 유출 수문곡선을 나타내는 그림이다. 저류지로 들어오는 유입량을 시간 t_1 까지 저류하였다가 목표 유량을 초과하지 않도록 점진적으로 방류하므로 유출 수문곡선의 침투유량을 완화하고 침투시간을 지체한다. 유입 및 유출 수문곡선에서 부피는 동일하지만 저류지로 인하여 시간적 분포가 변하게 된다.

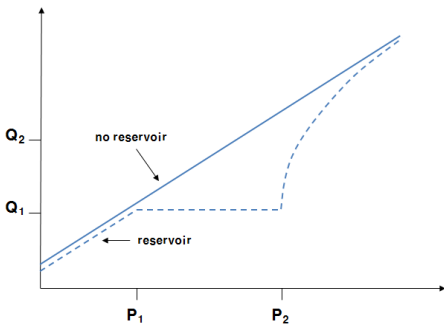


Fig. 3. Change of outflow-frequency

또한 Fig. 3은 유량-빈도함수를 이용하여 저류지에 의한 유량지감을 확인할 수 있다. Q_1 은 하류하도의 통수능을 나타내는 목표유량으로 유역의 홍수피해가 시작하는 최대수위이다. 저류지는 이 목표유량과 같거나 낮은 유량이 발생하도록 설계되어 비초과확률이 P_1 보다 큰 사상에 대해서도 방류량을 Q_1 으로 조절한다.

2.2 K-LIDM 개요

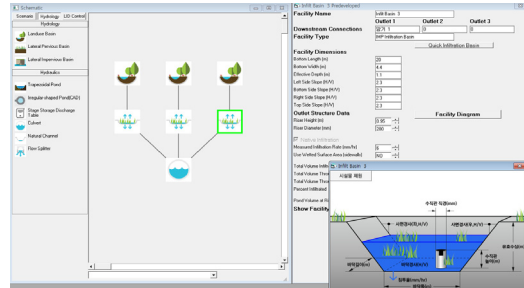


Fig. 4. Operation of K-LIDM

Fig. 4에 보이는 한국형 저영향개발 해석모형(Korea Low Impact Development Model, K-LIDM)은 LID 시설의 수리·수문학적 거동 해석이 가능한 모형으로 강우·유출 과정에서 복합적인 LID 시설의 적용이 가능하다. 기존의 연구에 많이 사용되었던 Storm Water Management Model (SWMM)은 도시유역에서 발생하는 유출량 및 오염물질 산정에는 효과적이지만 LID 시설 적용 시 한계가 발생하게 되는데, LID를 유역면적에 따른 비율로 적용함으로써 LID 시설간의 연계 부분이 미흡하여 연계 시 발생하는 수리·수문학적 거동 해석에 어려움이 있다. 또한 Western Washington Hydrology Model(WWHM)은 유역유출 연속모의를 통해 LID의 효과분석에 특화된 모형이지만 적용이 미국에 한정되어 국내에서 적용의 한계가 발생한다. 그에 반해 [11]에 따르면 K-LIDM은 LID 시설을 세부적으로 구성하여 다양한 시설 간의 연계를 통한 우수유출 저감 및 물순환 효과 분석이 가능하다. 투수성포장, 식생체류지, 옥상녹화, 식생여과대, 수목여과박스, 빗물집수통, 침투트렌치, 침투저류지, 모래여과, 식생수로 등 10가지의 LID 시설을 내장하여 상세제원에 대한 홍수추적을 수행할 수 있다. K-LIDM을 이용한 연구사례로 [12]는 투수성 포장의 배치를 달리하며 포장 면적에 따른 우수 저감효과를 분석하였다.

K-LIDM의 기본 유출 모의는 Hydrological Simulation Program-Fortran(HSPF)를 기반으로 하고, 투수유역의 유출은 PERLND, 불투수유역의 유출은 IMPLND 모듈로 계산한다. PERLND 모듈은 투수유역에서의 유출과 수질을 계산하며, 주요 부 모듈로는 용설을 계산하는 SNOW, 지표면의 토양유실을 계산하는 SEDMNT, 유출

을 계산하는 PWATER, 수질을 계산하는 PQUAL이 있다. 또한 IMPLND는 불투수유역에서의 유출을 계산하는 모듈로 PERLND 모듈의 주요 부 모듈과 유사하다. IMPLND의 유출을 계산하는 부 모듈인 IWATER는 물의 저류와 추적, 증발을 모의하고 침투를 포함한 지표 하 유출이 발생하지 않는 점을 제외하면 PERLND 모듈의 PWATER와 거의 동일하다. PERLND와 IMPLND 두 모듈은 유역의 토양, 식생 및 경사에 따른 특성을 각각 15개, 37개 내장하고 있으며, 사용자가 입력한 유역 자료를 기초로 모듈을 호출한다. LID 기술요소의 수리-수문학적 거동 해석은 WWHM을 기초로 하였고, 본 연구에서 적용한 생태저류지는 침투-저류형 시설로 RCHRES 모듈의 HYDR을 이용하여 유입 유량을 수리-수문학적으로 추적한다. RCHRES 모듈은 관수로와 개수로, 완전 혼합 저수지의 단일 하도에서 발생하는 물질의 이동을 모의하는 모듈로써 단일 유입구(INFLO)를 통해 RCHRES에 들어가는 물과 다른 성분들은 다양한 경로 중 하나의 유출구(OFLO)를 통해 RECHRES에서 방류된다. RCHRES의 부 모듈인 HYDR은 하도나 혼합 저수지에서 발생하는 수리학적 과정을 모의하는 것으로 홍수추적, 저수지 거동 등을 수행한다. LID 시설 내부의 방류 수리계산의 경우 위어(weir) 식 및 오리피스(orifice) 식을 사용하고, 시설 하부에서의 침투량은 단위 시간당 침투율(mm/hr)을 이용하여 계산한다.

2.3 모형의 검·보정

본 연구에서는 생태저류지의 저류특성을 반영하는 유입유량과 수위에 대하여 검보정을 실시하였다. 모형의 검점 및 보정에는 생태저류지의 저류량 산정 실험을 통해 얻은 유입유량과 수위 관측값을 이용하였다. 유량 측정이 가능한 호스로 0.19m³/min의 유량을 유입해 생태저류지의 수위가 0.95m까지 상승하고 그 때까지의 저류용량이 약 140m³임을 산정하였다. 실험 결과값을 이용하여 생태저류지의 모형을 구축하였고 5분단위의 유입유량과 수위를 모의값과 비교하였다.(Fig. 5) 모형에 대한 평가는 RMSE(Root Mean Square Error-dimensionless)와 NSE(Nash-Sutcliffe efficiency) 기법을 적용하였고 결과는 Table 1에 나타내었다.

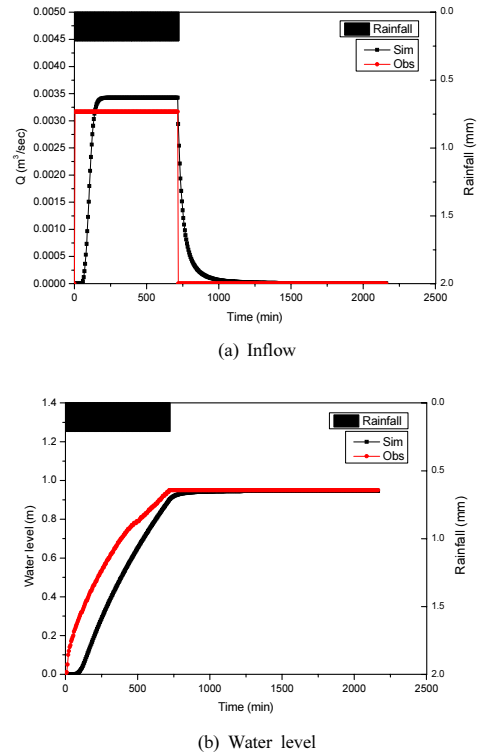


Fig. 5. Graphs of observation and simulation

Table 1. The results in evaluation of model

	R ²	NSE
Inflow	0.966	0.726
Water level	0.784	0.769

3. 연구결과

3.1 시나리오 선정

본 연구는 K-LIDM 모형을 이용하여 5000m²의 불투수유역에서 유출수가 생태저류지에 저류 후 유출할 경우 저류용량을 증가(2배, 3배, 4배)하여 저류용량 증가(BR)에 따른 침투유출 저감효과 및 침투시각 지연효과를 분석하였다. 또한 유역을 소규모로 분할(1/2배, 1/3배, 1/4배)하여 분산형 생태저류지 시스템(DBR)의 우수 저감효과를 분석하였다. 두 시나리오(BR, DBR)에 대한 모식도

는 Fig. 6을 통하여 나타내었고 Table 2는 생태저류지 시나리오 Case를 정리하였다. 단기 강우의 발생빈도-지속시간별 확률 강우량은 환경부(2018)에서 제공하는 한국 확률강우량정보를 이용하여 부산지점의 확률강우량을 선정하였다. 30년, 10년 발생빈도에 대하여 60분, 120분, 180분 지속시간의 강우를 Huff 3분위법을 이용하여 5분 단위로 입력하였다.

Table 2. Bio-retention system Case

	Non	1	2	3	4
BR (times)	×	1	2	3	4
DBR (times)	×	1	1/2	1/3	1/4

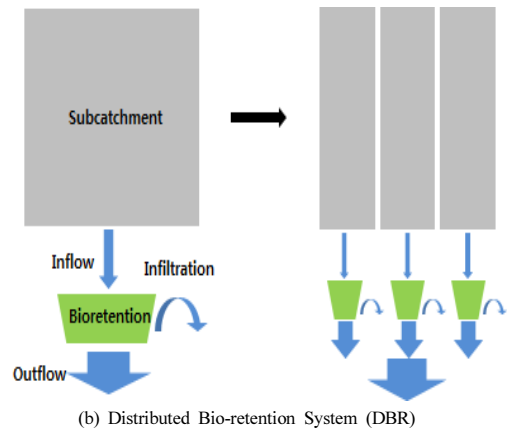
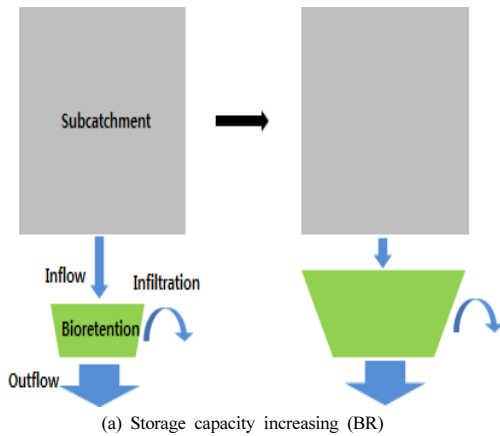


Fig. 6. Diagram of two scenarios

3.2 저류용량 증가에 따른 유출 저감효과 분석

생태저류지 저류용량이 증가함에 따라 유역의 유출 저감효과를 정량적으로 파악하기 위하여 저류지 크기를 2배(BR-2), 3배(BR-3), 4배(BR-4)씩 증가시킨 후 생태저류지에서 발생하는 유출 저감을 비교 분석하였다. 우선 강우 시나리오별 생태저류지의 설치 유무에 따라 침투유출량 저감효과를 살펴보았을 때 Table 2에서 기존의 생태저류지(BR-1)가 설치된 경우 5.77~47.85%의 저감효과를 보였다. BR-2의 경우 22.58~77.76%의 저감효과가 나타났고, BR-3의 경우 41.13~100%, BR-4의 경우는 57~100%의 저감효과가 나타났다. 생태저류지의 저류용량이 증가할수록 20% 이상의 침투유출량 저감효과가 발생하였고 BR-4의 경우 30년 빈도와 10년 빈도의 지속시간 60분 강우에서는 우수가 모두 저류되어 유출이 발생하지 않았다. 또한 Table 3의 침투유출 시간을 비교하였을 때 생태저류지가 설치된 경우 1.13~1.86 배를 지연하는 효과가 나타났고 저류용량의 증가에 따른 유출 수문곡선을 Fig. 7과 같이 나타냈다.

Table 3. Peak flow(m³/s) and Time to Peak(min) of Increasing Bio-retention Storage

Yr	Type	Non BR		BR-1		BR-2		BR-3		BR-4	
		Peak flow	Peak time	Peak flow	Peak time	Peak flow	Peak time	Peak flow	Peak time	Peak flow	Peak time
30	180min	0.146	110	0.138	125	0.113	135	0.086	145	0.063	150
	120min	0.181	75	0.153	85	0.108	95	0.072	100	0.045	105
	60min	0.241	35	0.135	50	0.070	55	0.026	65	0	-
10	180min	0.118	110	0.110	125	0.085	135	0.60	145	0.037	155
	120min	0.146	75	0.119	90	0.078	95	0.045	105	0.006	135
	60min	0.193	35	0.100	50	0.043	60	0	-	0	-

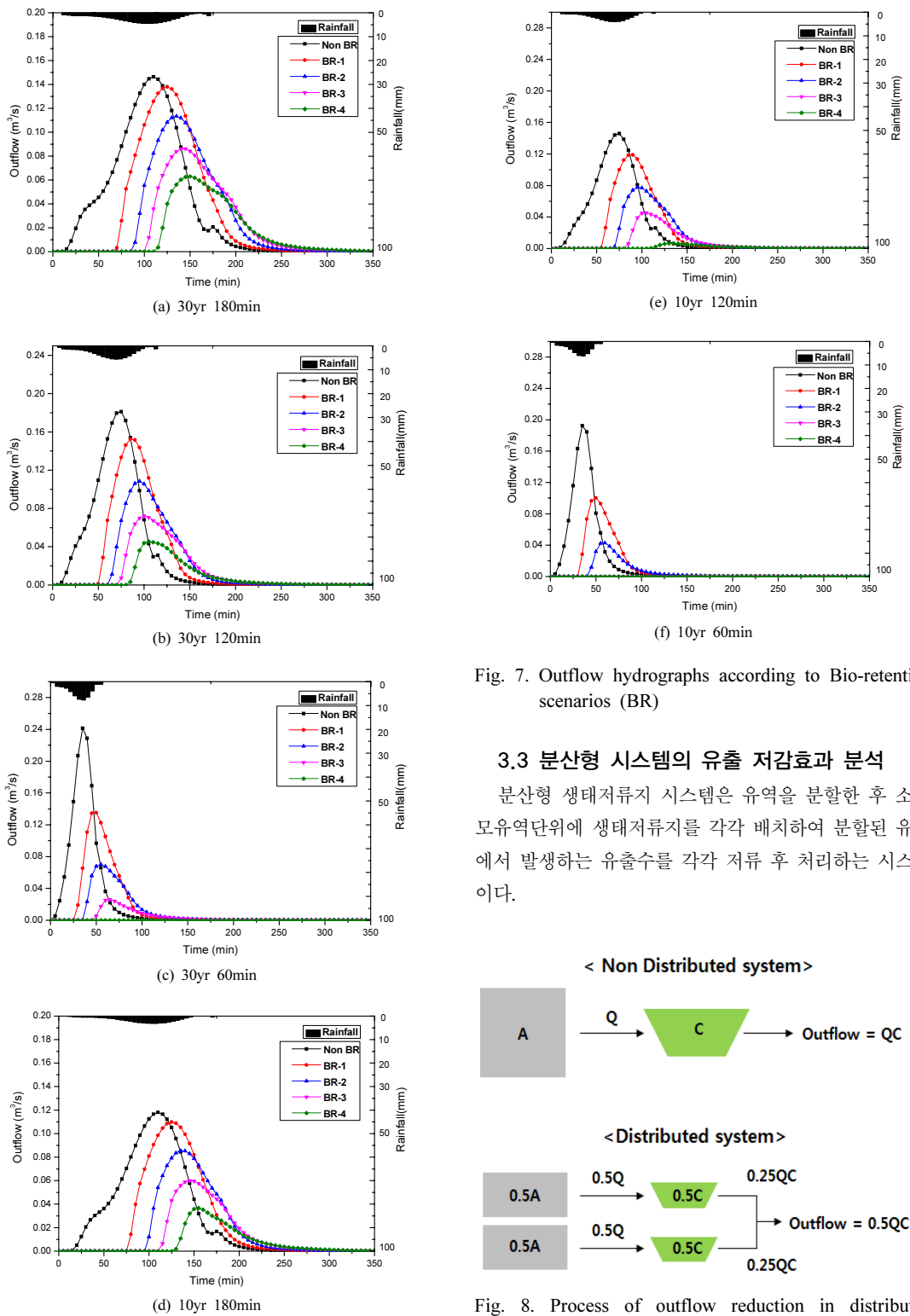


Fig. 7. Outflow hydrographs according to Bio-retention scenarios (BR)

3.3 분산형 시스템의 유출 저감효과 분석

분산형 생태저류지 시스템은 유역을 분할한 후 소규모유역단위에 생태저류지를 각각 배치하여 분할된 유역에서 발생하는 유출수를 각각 저류 후 처리하는 시스템이다.

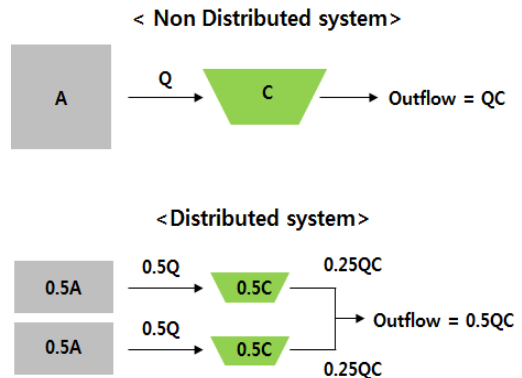


Fig. 8. Process of outflow reduction in distributed Bio-retention system

Fig. 8은 분산형 생태저류지 시스템의 유출저감 과정에 대하여 간략하게 나타낸 그림이다. 불투수유역을 분할하여 병렬식으로 소규모 저류지를 설치하였을 경우 각 저류지의 저감계수는 낮아지지만 부하되는 유입량이 감소하므로 총 유출저감효과는 높아질 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구에서는 유역의 소규모 단위화 및 생태저류지의 분할을 통해 유출량저감 효과를 분석하였다.

5000m²의 불투수유역과 기존의 생태저류지(DBR-1)를 2분할(DBR-2), 3분할(DBR-3), 4분할(DBR-4)하여 Fig. 6의 (b)와 같은 방식으로 분산형 생태저류지 시스템을 구성하였고 각 시나리오의 유출 수문곡선을 Fig. 9에 나타내었다.

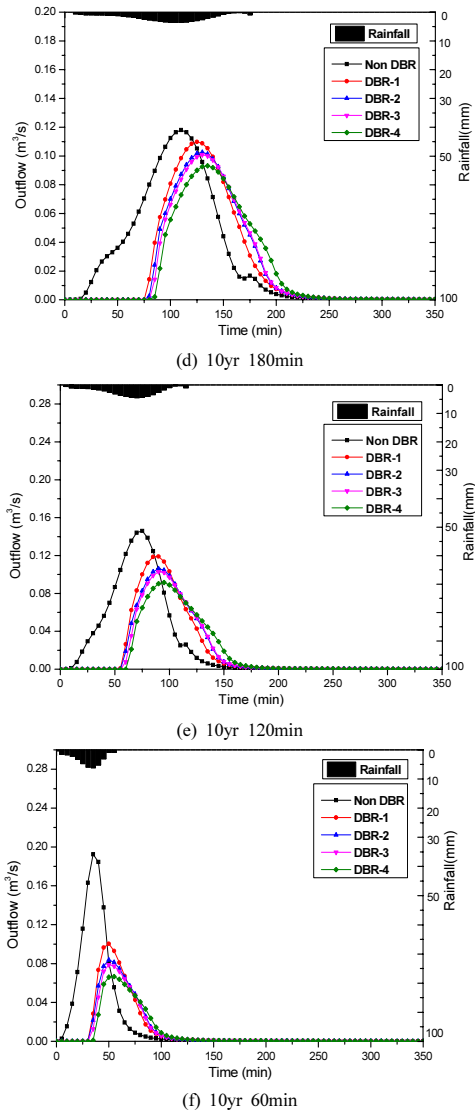
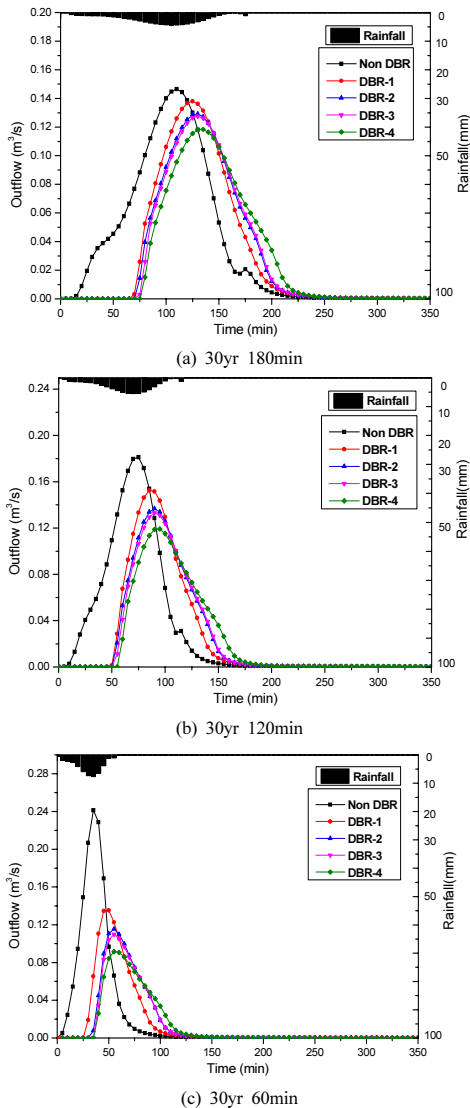


Fig. 9. Outflow hydrographs according to Bio-retention scenarios (DBR)

Table 4에서 생태저류지가 설치되지 않은 불투수유역과 비교하였을 때 DBR-2의 경우 11.79~56.55%, DBR-3의 경우 12.83~59.05%, DBR-4의 경우는 19.13~65.38%의 저감효과가 나타났다. 유역과 생태저류지를 많은 소규모 유역단위의 분산형 시스템으로 나눌수록 침투유출량 저감효과는 크게 나타났다. 분할되지 않은 DBR-1과 비교하여 2분할(DBR-2)일 경우에 저감율은 6.39~16.69%, 2분할(DBR-2)과 비교하여 3분할(DBR-3)일 경우 1.19~5.75%, 3분할(DBR-3)과 비교하

여 4분할(DBR-4)일 경우 7.23~16.60%의 저감율이 증가했다.

Table 4. Peak flow(m³/s) and Reduction rate(%) of Distributed Bio-retention System

Yr	Type	Non BR	DBR-1	DBR-2	DBR-3	DBR-4
		Peak flow	Peak flow	Peak flow	Peak flow	Peak flow
3 0	180min	0.146	0.138	0.129	0.128	0.118
	▼(%)		5.77	6.39	1.18	7.23
	120min	0.181	0.153	0.137	0.133	0.119
	▼(%)		15.82	10.38	2.64	10.42
	60min	0.241	0.135	0.116	0.110	0.092
	▼(%)		43.97	14.59	4.87	16.60
1 0	180min	0.118	0.110	0.103	0.101	0.093
	▼(%)		6.92	6.62	1.75	7.54
	120min	0.146	0.119	0.106	0.103	0.091
	▼(%)		18.47	10.85	2.99	11.09
	60min	0.193	0.100	0.084	0.079	0.067
	▼(%)		47.85	16.69	5.75	15.45

4. 결론

본 연구에서는 도시화에 따른 수문순환체계 왜곡현상을 해결하기 위한 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법의 요소기술인 생태저류지를 이용하여 단기 강우 시 소규모유역에서 생태저류지의 유출 저감효과를 분석하였다.

- (1) 5000m² 불투수유역에서 발생하는 우수를 생태저류지에 저류 후 유출하여 침투유출량 저감 및 침투유출 시간의 지연효과를 분석하였다. K-LIDM을 이용하여 모형을 구축했고 부산지점의 30년, 10년 발생빈도에 대하여 60분, 120분, 180분 지속시간의 확률강우를 이용하였다.
- (2) 생태저류지의 저류용량 증가에 따른 유출 저감효과 분석을 위하여 저류용량을 2배, 3배, 4배씩 증가시켰다. 침투유출량 저감효과를 분석했을 때 저감율은 5.77%에서 100%까지 나타났고, 저류용량의 증가에 따라 20% 이상의 저감효과가 발생했다. BR-4의 경우 30년 빈도, 10년 빈도의 지속시

간 60분 강우에서 우수가 모두 저류되어 유출이 발생하지 않았다. 침투유출 시간은 1.13~1.86배를 지연하는 효과가 나타났다.

- (3) 소규모 유역으로 구성된 분산형 생태저류지 시스템의 유출 저감효과 분석을 위하여 유역과 생태저류지를 2분할, 3분할, 4분할하였다. 분산형 생태저류지 시스템에서 11.79~65.38%의 침투유출량 저감효과가 나타났다. DBR-1과 비교하여 DBR-2에서 저감율이 크게 증가하였고 DBR-3과 비교하여 DBR-4에서 저감율이 5~15% 이상 크게 증가하였다.

LID 기법의 핵심 요소기술인 생태저류지는 침투-저류형 시설로 효율성에 관한 정량적인 연구가 많이 진행되지 않아 설계 기준이 미비한 실정이다. 본 연구는 단기 강우 시 소규모 유역에서 생태저류지의 유출 저감효과를 분석하였고, 향후 이를 활용하여 생태저류지의 저류깊이에 따른 분석, 지반의 침투능을 고려한 토양특성에 대한 분석, 유출부의 환경이나 수직높이를 고려한 분석 등 다양한 시나리오에 대한 연구가 추가적으로 수행된다면 생태저류지의 유출 저감효과에 대한 정량적인 분석이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] Lee, J. J., Kwak, C. J., "A Development of Simplified Design Method of the Detention Pond for the Reduction of Runoff.", Journal of Korea Water Resources Association, vol. 41, no. 7, pp. 693-700, June, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3741/jkwra.2008.41.7.693>
- [2] Lee, J. J., Kim, H. N., "Analysis of Rainfall Runoff Reduction Effect Depending upon the Location of Detention Pond in Urban Area.", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, vol. 28, no. 5B, pp. 535-546, September, 2008.
- [3] Choi, C. H., Choi, D. G., Lee, J. K., Kim, S. D., "An Hybrid Approach for Designing Detention and Infiltration-based Retentions to Promote Sound Urban Hydrologic Cycle.", Journal of Korean Society of Environmental Engineers, vol. 33, no. 1, pp. 1-8, January, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4491/ksee.2011.33.1.001>
- [4] Byeon, C. W., Park, H. J., Lee, H. C., "A Monitoring of Reduction of Peak Runoff, Ecological and Environmental Effectiveness of Dispersal Detention System in Apartment Complex.", Journal of KOSHAM, vol. 13, no. 1, pp. 327-336, February, 2013. DOI: <https://doi.org/10.9798/kosham.2013.13.1.327>

- [5] Lee, O. J., Jang, S. H., Kim, H. T., Kim, S. D., "Size Determination Method of Bio-Retention Cells for Mimicking Natural Flow Duration Curves.", Journal of Wetlands Research, vol. 18, no. 4, pp. 424-431, November, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.17663/jwr.2016.18.4.424>
- [6] Hong, J. S., Kim, L. H., "Assessment of Performances of Low Impact Development(LID) Facilities with Vegetation.", Ecology and Resilient Infrastructure, vol. 3, no. 2, pp. 100-109, June, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.17820/eri.2016.3.2.100>
- [7] Davis, A. P., "Field Performance of Bioretention: Hydrology Impact.", Journal of Hydrologic Engineering, vol. 13, no. 2, pp. 109-117, February, 2008.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(2008\)13:2\(90\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(2008)13:2(90))
- [8] Brown, R. A., Hunt, W. F., "Impacts of Construction Activity on Bioretention Performance.", Journal of Hydrologic Engineering, vol. 15, no. 6, pp. 386-394, June, 2010.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000165](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000165)
- [9] Denich, C., Bradford, A., "Estimation of Evapotranspiration from Bioretention Areas Using Weighing Lysimeters.", Journal of Hydrologic Engineering, vol. 15, no. 6, pp. 522-530, June, 2010.
DOI: [https://doi.org/10.1061/41009\(333\)96](https://doi.org/10.1061/41009(333)96)
- [10] Winston, R. J., Smolek, A. P., Dorsey, J. D., Hunt, W. F., "Modeling Bioretention Hydrologic Performance using DRAINMOD under Current and Future Climate Scenarios.", Modelisation/Models Proceedings of Novatech 2016.
- [11] Park, J. P., "Development and application of a low impact development analysis model based on HSPF.", Pukyong National University Graduate School Doctor's Thesis, pp. 1-186, February, 2018.
DOI: <http://www.riss.kr/link?id=T14729036>
- [12] Jang, Y. S., Shin, H. S., "The study on Installation Areas of Permeable Pavement for Stormwater Control.", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 18, no. 11, pp. 104-109, November, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.11.104>

천 종 현(Jong-hyeon Cheon) [정회원]



- 2017년 2월 : 부산대학교 사회환경 시스템공학과 (공학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

<관심분야>
수공학, 수자원

김 재 문(Jae-moon Kim) [정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2016년 2월 : 부산대학교 사회환경 시스템공학과 (공학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 수공학전공 박사과정

<관심분야>
수공학, 수자원

장 영 수(Young-su Jang) [정회원]



- 2011년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2013년 2월 : 부산대학교 사회환경 시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : 부산대학교 사회환경 시스템공학과 (공학박사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 녹색국토물관리 연구소 연구원

<관심분야>
수공학, 수자원

신 현 석(Hyun-suk Shin) [정회원]



- 1990년 2월 : 고려대학교 토목환경 공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 고려대학교 토목환경 공학과 (공학석사)
- 1997년 1월 : University of Colorado 토목환경공학 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수

<관심분야>
수공학, 수자원