

도심형 홍수 예방을 위한 분산형 빗물저류장치 효과에 관한 연구*

전상미**, 박재현, 이상호

최근 이상기후현상과 도시화 확대에 의한 침투홍수량 증가, 기저유출의 감소 등의 도시지역의 수문환경 변화는 최근 정부의 녹색성장정책과 부합하여 분산형 빗물관리시스템 도입 및 저영향개발 공법(LID, Low Impact Development)을 이용한 근원적인 해결책이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 도시유출모형인 SWMM 5 모형을 이용하여 도심형 홍수 예방을 위한 분산형 빗물저류 장치의 효과를 분석하였다. 창원시 토월천 유역을 연구유역으로 선정하고, SWMM 5 모형을 이용하여 도심하천의 유출특성과 저영향개발 공법 적용에 따른 각 공법별(투수성 포장재, 소형 빗물 저류조, 대형 빗물 저류조) 유출변화 특성을 분석하였다. 분석 결과 각 저영향개발 공법별 유출변화 기여 특성이 다른 것으로 평가되었다. 투수성 포장재의 경우 포장재 및 기층 내에 저류되었던 유량으로 인하여 유황곡선에 영향을 많이 주며, 빗물저류조의 경우 초기 강우량 저류 및 침투 홍수량 감소에 영향을 많이 주는 것으로 평가되었다. 이러한 자료들은 향후 도심하천의 유지용수 확보 방안, 도심형 홍수예방 시설의 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

주제어: 도시화, 저영향개발 공법, SWMM 5

1. 서론

일반적으로 도시개발은 도시 물순환에 나쁜 영향을 미치고 있다. 불투수면적의 증대, 무분별한 지하수 개발, 대규모 하수처리시설의 건설, 치수위주의 하천정비 등은 도시화의 산물이며 물순환 악화의 원인이 되고 있다(경기개발 연구원, 2010). 이러한 도시화 현상으로 인한 수문환경의 변화는 최근 정부의 녹색성장정책과 부합하여 분산형 빗물관리시스템 도입 및 저영향개발 공법(LID, Low Impact Development)을 이용한 근원적인 해결책이 필요한 실정이다. 저영향개발 공법은 소규모 분산형의 자연친화적인 기법을 활용해 우수유출 발생원부터 우수유출량 및 비점오염을 저감, 유출속도를 지연시켜 도시지역의 물순환 상태를 개발 이전에 가깝게 유지하기 위한 기법으로 관련 시설물은 빗물정원, 생태저류지, 옥상녹화, 가로수 저류, 생태수로, 완충지, 식생대, 빗물통, 빗물탱크, 투수성 포장 등이 있다.

* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

** 주저자.

최근 SWMM 5 모형을 이용한 특정지역의 저영향개발 공법의 효과 분석에 관한 연구들이 수행되고 있다. 박준호 외(2008)는 춘천시 거두 1지구, 이정민 외(2011)는 아산시 탕정지구, 배상원(2012)은 장재천 유역, 조은영(2012)은 부산시 동래천 유역, 장영선 외(2013)는 광명시 목감천 유역에 대하여 대상 유역의 저영향개발 공법 적용에 따른 홍수 저감 효과 및 비점오염원 저감효과 등에 대하여 연구하였다. 빗물 저류장치들에 대한 많은 연구가 수행되고, 저류장치들이 설치되고 있으나, 저류장치들의 홍수저감 효과, 유역 건전화 효과 등에 대한 정량적 평가는 아직 미미한 실정이다. 분산형 빗물저류장치는 저류장치 형태, 위치, 저류량의 방류 조건 등에 따라 수문학적 효과가 매우 다르다. 이에 본 연구에서는 도시유출모형인 SWMM 5 모형을 이용하여 도심형 홍수 예방을 위한 분산형 빗물저류 장치의 수문학적 효과를 분석하였다. 이를 위하여 최근 도시화가 진행된 도시하천으로 불투수율이 높고, 지하수 사용량이 많은 창원시 토월천 유역을 연구유역으로 선정하고, SWMM 5 모형을 이용하여 도심하천의 유출특성과 저영향개발 공법 적용에 따른 각 공법별(투수성 포장재, 소형 빗물 저류조, 대형 빗물 저류조) 유출변화 특성을 분석하였다.

II. 토월천 유출특성 분석

1. 토월천 개요

토월천은 유역의 북동쪽의 김해군 진례면과 창원시 경계지점에 위치한 유역내 고봉인 해발 510m의 비읍산에서 발원하여 약 2.5km 하류지점에서 고산제1소류지와 합류, 흐름의 큰 방향 변동없이 남서쪽으로 향하여 하구까지 흐르게 되는데, 발원지에서 약 5.2km 하류지점에서 분류남천과 합류하여 약 8.5km 하류의 마산만으로 흘러 나가고 있다. 유역면적 8.92km², 유로연장 5.19km의 기타수계의 준용하천인 본 토월천은 동경 128°40' 25" -128°42' 30", 북위 35°12' 30" -35°13' 30" 사이에 위치하고 있으며, 남북의 길이 약 2.5km, 동서의 길이 약 3.8km로 비교적 북동방향으로 길게 뻗어있는 형상을 이루며 북동에서 남서쪽을 향해 흐르고 있다.

<표 1> 하천의 수계 현황

하천명	유수의 계통(수계)		하천등급	하천 연장(km)	하천의구간	
	분류	제1지류			기점	종점
토월천	남천	토월천	지방하천	3.0	경남 창원시 신월동 대방로	경남 창원시 외동 남천 합류점

2. 유출분석 모형의 개요

미국의 환경보호국에서 개발한 SWMM 모형은 도시구역 및 인위적인 배수체계에 적용될 수 있을 뿐만 아니라, 소규모 배수구역에서 대규모 배수구역까지 적용될 수 있다. 그리고 각 배수구역에 대한 합성 및 분리와 함께 배수구역 내의 각종 수리시설물을 동시에 고려할 수 있다. 또한, 구역의 유량 및 물 순환에 대한 모의가 가능하고, 1차원적인 지하수 계산 및 장기 유출 해석이 가능하다(<표 2>).

SWMM 5 버전은 기존 SWMM 모형에 LID 빗물관리시설의 수문영향분석이 가능하도록 추가 수정 개발된 것으로, 미국환경보호국(EPA)에서 빗물정원, 습지, 침투트렌치, 침투정, 식생도랑, 투수성포장 등의 저영향개발 시설 모의가 가능하도록 개발된 모형이다(EPA, 2010). 침투·저류시설 및 저영향개발 계획요소의 정량적인 수문영향평가가 가능하다. SWMM 5 모형의 유출개념도 및 저영향개발 시설 설명은 <그림 1>, <표 3>와 같다. 본 연구에서는 SWMM 5 모형을 이용하여 대상 구역의 수문순환과 침투 특성 등을 분석하였다.

<표 2> SWMM 특징의 개관

구분	특징
적용 대상구역	· 도시구역·인위적 배수계통을 갖는 소유역
시간적 특성	· 호우 사상에 대한 모의, 호우와 건기를 포함한 연속 모의 · 연산시간 간격은 임의 값
공간적 특성	· 배수구역의 크기에 관계없이 적용이 가능 · 배수구역은 최대 3000개의 소유역, 2,000개의 수로/관거로 구성 · 배수구역은 합성, 분리가 가능
물리적 특성	· 유출은 강우와 용설로 발생 · 지표면유출은 비선형 저류식을 사용: 저류추적방법은 수표면이 평행하다고 가정 · 침투량 산정에는 Horton 또는 Green-Ampt 식을 사용 · 수로/관거에 대해 ① RUNOFF - 비선형 저류식 ② TRANSPORT - kinematic wave 식, 연속식 ③ EXTRAN - dynamic wave 식, 연속식
호환성	· WASP, HEC, STORM, QUAL-II 등의 모형

※ 자료: 한국토지주택공사(2011).

<표 3> LID시설 별 입력 Layer

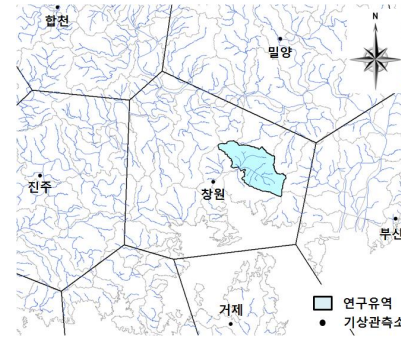
LID type	Surface	Pavement	Soil	Storage	Underdrain
Bio-Retention Cell	●		●	●	○
Porous Pavement	●	●		●	○
Infiltration Trench	●			●	○
Rain Barrel				●	●
Vegetative Swale	●				

○: 선택사항 ●: 필수사항

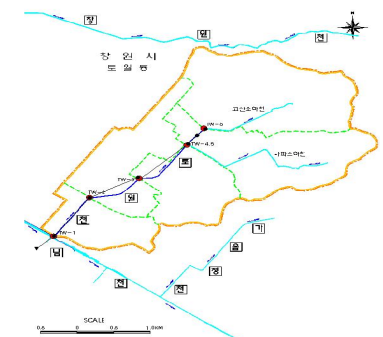
3. 모형 입력자료 구축 및 매개변수 보정

1) 모형 입력자료 구축

본 연구대상 구역의 강우분석에 필요한 우량 관측소의 경우 위치, 관측연수, 1시간 미만의 강우자료 보유여부 등을 종합적으로 고려하여 선정해야 한다. 연구대상지역 주변의 우량관측소를 조사한 결과 구역내에는 없었으며, 연구대상지역과 인접한 기상청 관할의 관측소인 Thissen망을 분석한 결과 창원 관측소를 선정하였다(<그림 1>). 장기연속유출모의를 수행하기 위하여 창원 관측소의 강우량 자료를 이용하였으며, 증발량 자료의 경우 창원 관측소에서 측정하고 있지 않아 타 관측소에 비해 가장 가까운 부산 기상관측소의 자료를 이용하였다(<표 4>). SWMM 5 모형의 입력자료로 활용하기 위해 강우량 자료는 시계열 자료를 이용하였으며, 증발량 자료는 과거 관측자료의 월별 평균값을 사용하였다.



<그림 1> 연구구역의 Thissen망



<그림 2> 토월천 구역 SWMM 구축화면

<표 4> 토월천 구역의 기상관측소

관측소명	위치	관리기관	관측 개시일
창원	경남 창원시마산합포구 가포동 산1-117번지	기상청	1985.07.01
부산	부산광역시 중구 대청동 1가	기상청	1971.01.01

<표 5> 토월천 소유역별 유역특성인자

소유역	유역특성 인자			
	유역면적(km ²)	유로연장(km)	유역평균폭A/L(km)	유역형상계수(A/L ²)
TW1	8.92	5.19	1.72	0.33
TW2	7.94	4.37	1.82	0.42
TW3	6.29	3.56	1.77	0.5
TW4	4.96	2.63	1.89	0.72
TW5	3.03	2.63	1.15	0.44
TW6	2.75	2.26	1.22	0.54

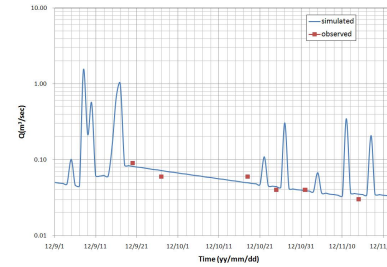
소유역과 관련된 입력 자료들을 구축하기 위하여 토월천 수치지형도, 토지이용도, 토양도 등을 수집하였으며, 배수 유역도 등 소유역별 특성 자료들은 토월천, 하남천 환경 정비사업(창원시, 2011), 국가수자원관리종합정보 시스템 자료 등을 사용하여 구성하였다. 토월천 유역은 총 6개의 소유역으로 구성되어 있으며, 배수 유역도 및 소유역 특성 인자 자료는 <그림 2>, <표 5>와 같다.

2) 유역 유출 모형 보정

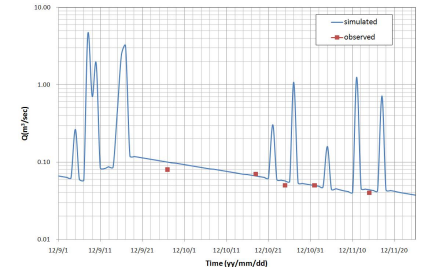
모형의 보정은 모의 결과의 정확성과 모형 예측을 위한 신뢰성 확보를 위해 수행된다. 본 연구에서는 모형 보정을 위하여 토월천 유역 상류(토월천 제7호교)와 토월천 하류(재료연구소 삼거리) 유량을 초음파도플러 유속계를 이용하여 측정하였으며, 측정 날짜 및 유량 측정 결과는 <표 6>과 같다. 토월천 유역의 실측유량과 초기 SWMM 5 모형의 계산 결과를 이용하여 시행착오법으로 모형의 수문학적 매개변수들(침투, 지하수 흐름, 소유역 토양수분관련 매개변수 등)을 보정하였다. <표 6>, <그림 3, 4>는 토월천 유역에 대한 유량 측정 지점의 보정된 모형의 수문곡선과 관측유량을 나타내고 있다. 모의 결과와 관측 결과값이 -17~10% 오차를 나타내며 전반적으로 모의된 결과와 측정값이 비교적 일치하는 것을 확인 할 수 있다. 관측 시 유량 측정 오차 등을 감안한다면 비교적 모형의 보정결과는 양호하다고 판단된다. 모형 구축 및 보정에 대한 자세한 내용은 하천유지용수 및 도심형 홍수 예방을 위한 분산형 빗물저류장치 설치 가능성 연구 보고서(경남녹색환경지원센터, 2012)를 참조할 수 있다.

<표 6> 유량 측정 결과

구분	토월천 상류			토월천 하류		
	모의(m ³ /s)	관측(m ³ /s)	관측/모의(%)	모의(m ³ /s)	관측(m ³ /s)	관측/모의(%)
2012년 09월 20일	0.082	0.09	110			
2012년 09월 27일	0.072	0.06	83	0.100	0.08	80
2012년 10월 18일	0.050	0.06	120	0.066	0.07	106
2012년 10월 25일	0.044	0.04	90	0.057	0.05	87
2012년 11월 01일	0.039	0.04	102	0.050	0.05	100
2012년 11월 14일	0.035	0.03	85	0.044	0.04	91



<그림 3> 토월천 유출모의 및 측정 결과(상류지점)



<그림 4> 토월천 유출모의 및 측정 결과(하류지점)

4. 토월천 유출특성 분석 결과

창원관측소의 1996년 1월부터 2012년 11월까지 약 17년 동안의 기상자료를 이용하여 토월천 유역의 도시개발 전, 후에 대한 유출 연속모의를 실시하였다. 실측된 유량자료를 활용하여 유량에 대한 보정을 실시하였으며, 유출량 분석은 2000년 1월부터 2011년까지 12년에 대하여 수행하였다.

토월천 유역의 개발전 상태를 불투수율이 0%, 지하수 이용률이 0%인 경우로 가정된 자연상태와 현재(2007년 기준) 불투수율 45.6% 지하수 이용률이 0%인 경우를 가정한 현재 상태 총 2가지 경우에 대하여 유출모의를 수행하였다. 유출모의 결과 자연상태의 경우 총 유출량이 강우량 대비 평균 53.14%로 분석되었으며, 현재 상태의 경우 총유출량이 강우량 대비 평균 65.28%로 분석되었다(<표 7>).

<그림 5>와 <표 8>에서 볼 수 있듯이 자연상태의 경우 큰 강우가 발생하여도 많은 양이 침투하는 것에 비하여 현재 상태의 경우 강우시 침투량이 작고 대부분이 침투 홍수량으로 발생함으로써 총 유출량이 증가하는 것으로 평가 된다. 연도별 유황곡선을 분석하여 <그림 6>과 <표 9>과 같이 평균 유황곡선을 작성하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 현재의 경우 풍수량, 평수량, 저수량 갈수량 모두 과거상태에 비하여 약 40%의 유량을 나타내는 것으로 분석되었다.

<표 7> 토월천 물수지 분석

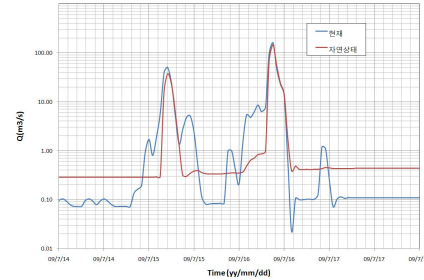
년도	강우량 (mm/year)	총유출량(㎥/year)		총유출량/총 강우량(%)	
		현재	자연상태	현재	자연상태
2000	1,407.7	8,393,558	6,788,889	66.85	54.07
2001	1,071.9	5,633,250	3,922,796	58.92	41.03
2002	1,873.3	10,750,287	9,322,327	64.34	55.79
2003	2,036.3	12,448,444	11,229,377	68.53	61.82
2004	1,826.5	11,641,953	9,689,579	71.46	59.47
2005	1,490.1	9,090,623	7,620,138	68.39	57.33
2006	1,693.5	9,933,692	8,215,979	65.76	54.39
2007	1,497.2	8,368,960	6,429,309	62.67	48.14
2008	1,020.5	5,514,263	4,260,809	60.58	46.81
2009	1,865.9	11,513,985	9,490,518	69.18	57.02
2010	1,766.1	10,574,663	8,916,795	67.13	56.60
2011	1,514.0	8,413,367	6,657,920	62.30	49.30
2012	1,476.2	8,240,532	6,452,952	62.58	49.01
average	1,588	9,356,420	7,712,036	65.28	53.14

<표 8> 토월천 매년 7월 침투홍수량

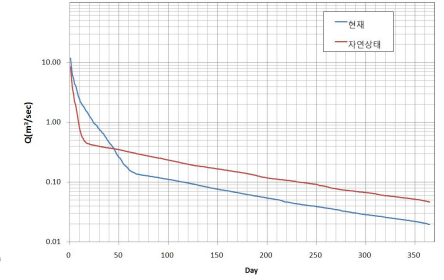
년도	강우량 (mm/hr)	침투홍수량(㎥/s)		변화	
		현재	자연상태	침투홍수 증가량	현재/자연상태(%)
2000	29.1	64.1	49.1	15.0	76.5
2001	15.9	16.3	2.9	13.4	17.7
2002	17.0	28.6	17.8	10.8	62.3
2003	20.0	30.3	17.9	12.3	59.2
2004	29.0	46.4	19.4	27.0	41.8
2005	22.5	32.8	19.9	12.9	60.5
2006	42.5	95.1	85.2	9.9	89.5
2007	21.5	31.2	16.5	14.7	53.0
2008	28.5	47.4	22.9	24.5	48.3
2009	67.5	161.6	147.7	13.9	91.4
2010	33.5	74.2	56.0	18.2	75.4
2011	34.5	57.2	41.5	15.7	72.5
2012	38.5	74.0	56.9	17.2	76.8

<표 9> 토월천 유황곡선

		개발전(㎥/s)	현재(㎥/s)	현재/과거(%)
풍수량	Q ₉₅	0.244	0.114	47
평수량	Q ₁₈₅	0.133	0.060	45
저수량	Q ₂₇₅	0.075	0.033	44
갈수량	Q ₃₅₅	0.050	0.021	42



<그림 5> 토월천 수문곡선(2009년 7월 14일~18일)



<그림 6> 토월천 자연상태 현상대 유황곡선

III. 저영향개발 공법 적용에 따른 유출변화 특성 분석

본 연구에서는 SWMM 5 모형 중 투수성 포장과 침투정 모형을 이용하여 토월천 유역에 투수성 포장, 소형 빗물저류조, 대형 빗물저류조 등을 설치했을 때의 유출 변화 특성을 분석하였다.

<표 10>은 토월천 소유역별 불투수율을 보여주고 있으며, 각 소유역별 교통시설(도로 및 주차장 외)의 경우 투수성 포장재를 적용하고, 주거지 및 공업지의 경우 빗물저류조를 적용하여 유출특성 변화를 분석하였다.

<표 10> 토월천 소유역별 불투수율

구분	TW1	TW2	TW3	TW4	TW5	TW6	total
주거지(km ²)	0.206	0.166	0.338	0.572	0.382	0.107	1.771(19.8%)
교통시설(km ²)	0.177	0.064	0.203	0.214	0.392	0.115	1.165(13.1%)
공업지 및 기타(km ²)	0.244	-	0.107	0.111	0.184	0.487	1.133(12.7%)
총불투수 면적(km ²)	0.627	0.230	0.648	0.897	0.958	0.709	4.069
불투수율(%)	7.0	2.6	7.3	10.1	10.7	7.9	45.6

1. 투수성 포장재 설치에 따른 유출변화 특성

토월천 유역 내 교통시설(도로 및 주차장 외)을 기준으로 투수성 포장재를 적용하였다. 적용 방법은 교통시설 전체를 투수성 포장재로 교체하는 경우를 100%로 가정하고, 교통시설을 투수성 포장재로 100%, 80%, 60%, 40%, 20%로 교체할 경우에 대하여 유출특성을 분석하였다. 유출모의 결과 투수성 포장재를 적용할 경우 총 유출량은 강우량 대비 63.95~65.36 %로 분석되었다(<표 11>). 년도별 7월 기준으로 침투 홍수량을 분석하였다. 분석 결과 투수성 포장재 적용비율에 따라 현상대 대비 평균 약 1.2~6.2% 침투홍수량이 저감되는 것으로 평가되었다(<표 12>, <그림 7>). 년도별 유황곡선을 분석하

여 평균 유황곡선을 작성하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량 모두 과거상태에 비하여 약 50%의 유량을 나타내는 것으로 분석되었으며, 현재상태에 비해서 약 7~20%이상 증가하는 것으로 평가되었다(<표 13>, <그림 8>).

<표 11> 토월천 투수성 포장재 설치에 따른 물수지 변화

년도	총강우량 (mm/년)	총 유출량(10 ⁸ m ³ /년)						
		현재	자연상태	PP100	PP80	PP60	PP40	PP20
2000	1,408	8,394	6,789	8,313	8,347	8,377	8,401	8,424
2001	1,072	5,633	3,923	5,443	5,489	5,535	5,582	5,630
2002	1,873	10,750	9,322	10,502	10,558	10,619	10,681	10,752
2003	2,036	12,448	11,229	12,388	12,424	12,457	12,488	12,518
2004	1,827	11,642	9,690	11,511	11,557	11,602	11,645	11,686
2005	1,490	9,091	7,620	8,946	8,987	9,029	9,071	9,115
2006	1,694	9,934	8,216	9,705	9,759	9,817	9,877	9,942
2007	1,497	8,369	6,429	8,180	8,225	8,273	8,325	8,382
2008	1,021	5,514	4,261	5,358	5,392	5,429	5,470	5,516
2009	1,866	11,514	9,491	11,199	11,262	11,329	11,403	11,485
2010	1,766	10,575	8,917	10,361	10,406	10,456	10,510	10,576
2011	1,514	8,413	6,658	8,213	8,258	8,304	8,353	8,411
2012	1,476	8,241	6,453	8,032	8,080	8,127	8,179	8,235
평균	1,589	9,356	7,712	9,176	9,222	9,269	9,317	9,370

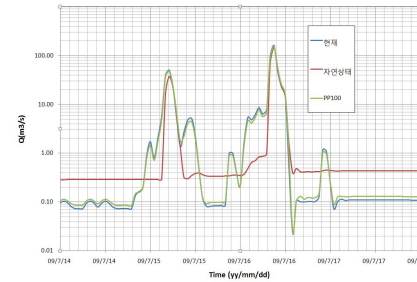
<표 12> 토월천 투수성 포장재 설치에 따른 침투홍수량 변화(7월기준)

년도	강우량 (mm/hr)	침투홍수량(m ³ /sec)						
		현재	자연상태	PP100	PP80	PP60	PP40	PP20
2000	29.1	64.1	49.1	61.4	62.0	62.5	63.1	63.6
2001	15.9	16.3	2.9	15.4	15.6	15.8	16.0	16.2
2002	17.0	28.6	17.8	26.7	27.1	27.4	27.8	28.2
2003	20.0	30.3	17.9	28.0	28.5	29.0	29.4	29.9
2004	29.0	46.4	19.4	43.4	44.0	44.6	45.2	45.8
2005	22.5	32.8	19.9	29.2	29.9	30.7	31.4	32.1
2006	42.5	95.1	85.2	91.7	92.4	93.0	93.7	94.6
2007	21.5	31.2	16.5	29.1	29.5	29.9	30.3	30.8
2008	28.5	47.4	22.9	44.0	44.7	45.4	46.1	46.7
2009	67.5	161.6	147.7	153.7	155.3	156.9	158.5	160.1
2010	33.5	74.2	56.0	70.4	71.2	72.3	72.7	73.5
2011	34.5	57.2	41.5	52.8	53.7	54.6	55.5	56.3
2012	38.5	74.0	56.9	70.7	71.4	72.1	72.7	73.4

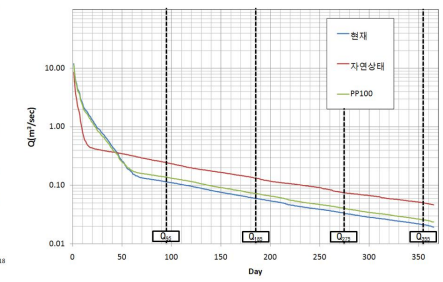
<표 13> 토월천 투수성 포장재 설치에 따른 유황곡선

		과거	현재	PP100	PP80	PP60	PP40	PP20
풍수량	Q ₉₅	0.244	0.114	0.137	0.133	0.129	0.125	0.122
평수량	Q ₁₈₅	0.133	0.060	0.072	0.070	0.068	0.066	0.064
저수량	Q ₂₇₅	0.075	0.033	0.040	0.039	0.038	0.037	0.036
갈수량	Q ₃₅₅	0.050	0.021	0.026	0.025	0.024	0.024	0.023

단위(m³/sec)



<그림 7> 투수성 포장재 설치에 따른 수문곡선



<그림 8> 투수성포장재 설치에 따른 유황곡선 1

2. 소형 빗물 저류조 설치에 따른 유출변화 특성

토월천 유역 내 주거지 중 대형 아파트를 기준으로 소형 빗물 저류조를 적용하였다. 각 소유역별 적용된 빗물 저류조의 규모 및 개소수는 <표 14>와 같으며, 각 경우에 대하여 저류조를 배수하지 않는 경우, 10mm/hr의 속도로 저류조를 배수하는 경우, 1mm/hr의 속도로 저류조를 배수하는 경우에 대하여 유출특성을 분석하였다. 유출모의 결과 소형 빗물 저류조를 적용할 경우 총 유출량은 강우량 대비 65.65~65.70%로 분석되었다(<표 15>). 연도별 7월 기준으로 침투 홍수량을 분석하였다. 분석 결과 소형 빗물 저류조 적용 방법에 따라 현상태 대비 평균 약 2.1~4.1% 침투홍수량이 저감되는 것으로 평가되었다(<그림 9>, <표 16>). 소형 빗물 저류조의 경우 저류조의 크기 및 규모 뿐만 아니라 저류조 배수 시간 및 배수량에 따라 침투 유량 감소량과 풍수량에 직접적인 영향을 주는 것으로 분석되었다.

연도별 유황곡선을 분석하여 평균 유황곡선을 작성하였다(<표 17>, <그림 10>). 그림에서 볼 수 있듯이 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량 모두 과거상태에 비하여 약 42%의 유량을 나타내는 것으로 분석되었으며, 현재상태에 비해서 약 -1~1% 증감소하는 것으로 평가되었다. 빗물저류조의 경우 배수 시간 및 형태에 따라 침투홍수량 감소 및 유황곡선 변화가 다양하게 나타날 수 있을 것으로 분석된다.

<표 14> 소형 빗물 저류조 규모 및 개소수

유역번호	구분	이름	면적(㎡)	개수	Total(㎡)
TW 1	아파트	한일팜트하우스	1,000	1	1,000
	아파트	S&P	500	4	2,000
	아파트	대동아파트	1,000	3	3,000
	아파트	비엔지스틸	500	1	500
	아파트	현대비엔지스틸	500	1	500
TW 2	아파트	월드메르디앙	500	10	5,000
	아파트	대호타워	500	1	500
	아파트	대우아파트	500	16	8,000
TW 3	아파트	은아아파트	800	38	30,400
	아파트	도월대동아파트	1,000	23	23,000
	아파트	성원아파트	1,000	42	42,000
	아파트	삼익1-2차아파트	900	23	20,700
	아파트	무궁화아파트	800	13	10,400
TW 4	아파트	주공화아파트	500	36	18,000
	아파트	동성아파트	500	19	9,500
				231	174,500

<표 15> 토월전 소형 빗물 저류조 설치에 따른 물수지 변화

년도	총강우량 (mm/년)	총 유출량(10 ³ ㎡/년)				
		현재	자연상태	RBA 1 (no drain)	RBA 2 (10mm_drain)	RBA 3 (1mm_drain)
2000	1,408	8,394	6,789	8,430	8,428	8,424
2001	1,072	5,633	3,923	5,680	5,678	5,667
2002	1,873	10,750	9,322	10,823	10,821	10,806
2003	2,036	12,448	11,229	12,479	12,479	12,468
2004	1,827	11,642	9,690	11,650	11,646	11,599
2005	1,490	9,091	7,620	9,124	9,119	9,114
2006	1,694	9,934	8,216	9,994	9,993	9,987
2007	1,497	8,369	6,429	8,419	8,418	8,392
2008	1,021	5,514	4,261	5,561	5,558	5,551
2009	1,866	11,514	9,491	11,582	11,580	11,564
2010	1,766	10,575	8,917	10,640	10,637	10,609
2011	1,514	8,413	6,658	8,478	8,475	8,458
2012	1,476	8,241	6,453	8,307	8,303	8,296
평균	1,589	9,356	7,712	9,405	9,403	9,387

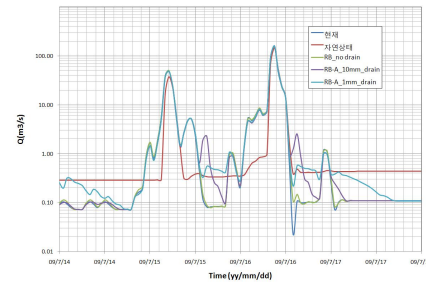
<표 16> 토월전 소형 빗물 저류조 설치에 따른 침투홍수량 변화(7월기준)

년도	강우량 (mm/hr)	침투홍수량(㎡/sec)				
		현재	자연상태	RBA 1 (no drain)	RBA 2 (10mm_drain)	RBA 3 (1mm_drain)
2000	29.1	64.1	49.1	64.0	62.2	62.3
2001	15.9	16.3	2.9	15.4	14.5	14.6
2002	17.0	28.6	17.8	28.8	28.4	28.4
2003	20.0	30.3	17.9	29.8	29.2	29.2
2004	29.0	46.4	19.4	44.9	43.1	43.1
2005	22.5	32.8	19.9	31.8	31.0	31.5
2006	42.5	95.1	85.2	94.4	94.4	94.4
2007	21.5	31.2	16.5	30.1	29.2	29.3
2008	28.5	47.4	22.9	45.9	45.1	45.1
2009	67.5	161.6	147.7	159.9	159.6	159.8
2010	33.5	74.2	56.0	73.5	72.7	72.7
2011	34.5	57.2	41.5	55.1	54.7	55.1
2012	38.5	74.0	56.9	73.4	72.1	72.1

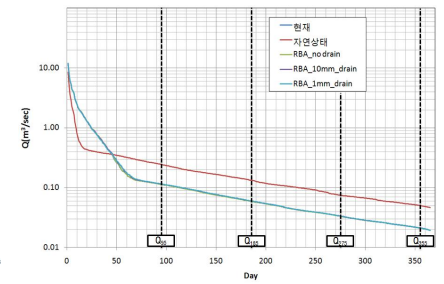
<표 17> 토월전 소형 빗물 저류조 설치에 따른 유황곡선

		과거	현재	RBA 1 (no drain)	RBA 2 (10mm_drain)	RBA 3 (1mm_drain)
홍수량	Q ₉₅	0.244	0.114	0.113	0.114	0.115
평수량	Q ₁₈₅	0.133	0.060	0.059	0.060	0.060
저수량	Q ₂₇₅	0.075	0.033	0.033	0.034	0.034
갈수량	Q ₃₅₅	0.050	0.021	0.021	0.021	0.021

단위(㎡/sec)



<그림 9> 소형 빗물 저류조 설치에 따른 수문곡선



<그림 10> 소형 빗물 저류조 설치에 따른 유황곡선

3. 대형 빗물 저류조 설치에 따른 유출변화 특성

토월전 유역내 학교 운동장을 기준으로 대형 빗물 저류조를 적용하였다. 각 소유역별 적용된 빗물

저류조의 규모 및 개소수는 <표 18>과 같으며, 각 경우에 대하여 저류조를 배수하지 않는 경우, 10mm/hr의 속도로 저류조를 배수하는 경우, 1mm/hr의 속도로 저류조를 배수하는 경우에 대하여 유출특성을 분석하였다. 유출모의 결과 대형 빗물 저류조를 적용할 경우 총 유출량은 강우량 대비 65.23~65.30%로 분석되었다(<표 19>). 년도별 7월 기준으로 침투 홍수량을 분석하였다. 분석 결과 소형 빗물 저류조 적용 방법에 따라 현상태 대비 평균 약 2.1~11.7% 침투홍수량이 저감되는 것으로 평가되었다. 대형 빗물 저류조의 경우 저류조의 크기 및 규모 뿐만 아니라 저류조 배수 시간 및 배수량에 따라 침투 유량 감소량과 유허곡선에 직접적인 영향을 주는 것으로 분석되었다(<표 20>, <그림 11>).

년도별 유허곡선을 분석하여 평균 유허곡선을 작성하였다(<표 21>, <그림 12>). 그림에서 볼 수 있듯이 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량 모두 과거상태에 비하여 약 42%이상의 유량을 나타내는 것으로 분석되었으며, 현재상태에 비해서 약 -1.4~28% 증감소하는 것으로 평가되었다. 빗물저류조의 경우 배수 시간 및 형태에 따라 침투홍수량 감소 및 유허곡선 변화가 다양하게 나타날 수 있을 것으로 분석된다.

<표 18> 대형 빗물 저류조 규모 및 개소수

유역번호	구분	이름	면적(㎡)	개수	Total(㎡)
TW 1	학교	창원남고등학교	5,000	1	5,000
	학교	창원남중학교	2,000	1	2,000
TW 2	학교	도월중학교	1,000	1	1,000
	학교	창원상남중학교	4,500	1	4,500
TW 3	학교	웅남중학교	5,000	1	5,000
	학교	동산초등학교	2,500	1	2,500
	학교	창원중앙여자고등학교	2,500	1	2,500
	학교	웅남초등학교	3,500	1	3,500
	학교	사파초등학교	6,000	1	6,000
TW 4	학교	신월초등학교	3,000	1	3,000
	학교	창원신월고등학교	3,000	1	3,000
	학교	사파중학교	7,500	1	7,500
	학교	창원사파고등학교	5,500	1	5,500
	학교	토월초등학교	5,500	1	5,500
TW 6	학교	창원토월고등학교	2,500	1	2,500
	학교	신월중학교	15,000	1	15,000
				16	74,000

<표 19> 토월천 대형 빗물 저류조 설치에 따른 물수지 변화

년도	총강우량 (mm/년)	총 유출량(10 ³ m ³ /년)				
		현재	자연상태	RBS 1 (no drain)	RBS 2 (10mm_drain)	RBS 3 (1mm_drain)
2000	1,408	8,394	6,789	8,397	8,398	8,401
2001	1,072	5,633	3,923	5,630	5,630	5,639
2002	1,873	10,750	9,322	10,749	10,748	10,758
2003	2,036	12,448	11,229	12,440	12,444	12,451
2004	1,827	11,642	9,690	11,610	11,602	11,626
2005	1,490	9,091	7,620	9,084	9,085	9,092
2006	1,694	9,934	8,216	9,941	9,944	9,949
2007	1,497	8,369	6,429	8,352	8,348	8,366
2008	1,021	5,514	4,261	5,511	5,513	5,519
2009	1,866	11,514	9,491	11,507	11,505	11,517
2010	1,766	10,575	8,917	10,552	10,545	10,566
2011	1,514	8,413	6,658	8,404	8,401	8,415
2012	1,476	8,241	6,453	8,243	8,242	8,247
평균	1,589	9,356	7,712	9,348	9,347	9,358

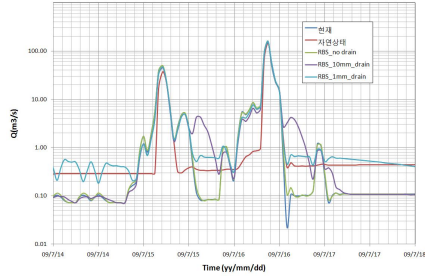
<표 20> 토월천 대형 빗물 저류조 설치에 따른 침투홍수량 변화(7월기준)

년도	강우량 (mm/hr)	침투홍수량(m ³ /sec)				
		현재	자연상태	RBS 1 (no drain)	RBS 2 (10mm_drain)	RBS 3 (1mm_drain)
2000	29.1	64.1	49.1	64.0	57.7	57.9
2001	15.9	16.3	2.9	15.4	12.2	12.6
2002	17.0	28.6	17.8	28.8	26.2	26.2
2003	20.0	30.3	17.9	29.8	26.5	26.7
2004	29.0	46.4	19.4	44.9	38.4	38.4
2005	22.5	32.8	19.9	31.8	28.0	29.4
2006	42.5	95.1	85.2	94.4	92.5	92.5
2007	21.5	31.2	16.5	30.1	26.2	26.2
2008	28.5	47.4	22.9	45.9	41.1	41.1
2009	67.5	161.6	147.7	159.9	154.6	157.9
2010	33.5	74.2	56.0	73.5	68.0	68.2
2011	34.5	57.2	41.5	55.1	50.6	51.7
2012	38.5	74.0	56.9	73.4	67.9	68.8

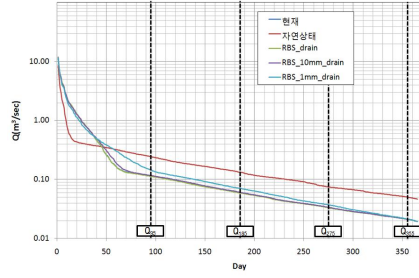
<표 21> 토월천 대형 빗물 저류조 설치에 따른 유허곡선

단위(m³/sec)

		과거	현재	RBS 1 (no drain)	RBS 2 (10mm_drain)	RBS 3 (1mm_drain)
풍수량	Q ₃₅	0.244	0.114	0.113	0.116	0.146
평수량	Q ₁₈₅	0.133	0.060	0.059	0.060	0.071
저수량	Q ₂₇₅	0.075	0.033	0.033	0.034	0.037
갈수량	Q ₃₅₅	0.050	0.021	0.021	0.021	0.021



<그림 11> 대형 빗물 저류조 설치에 따른 수문곡선



<그림 12> 대형 빗물 저류조 설치에 따른 유황곡선

IV. 결론

본 연구에서는 토월천 유역에 대한 현재의 유출특성을 분석하고, 투수성 포장재, 소형 빗물 저류조, 대형 빗물 저류조 등의 저영향개발 공법 적용에 따른 각 공법별 유출변화 특성을 분석하였다.

분석 결과 각 저영향개발 공법별 유출변화 기여 특성이 다른 것으로 평가되었다.

투수성 포장재의 경우 투수성 포장재 적용비율에 따라 현상태 대비 평균 약 1.2~6.2% 침투홍수량이 저감되는 것으로 평가되었고, 유황곡선의 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량 등은 현상태에 비해서 약 7~20%이상 증가하는 것으로 평가되었다. 즉 투수성 포장재 적용 시 기반층 및 기층의 투수성이 확보될 경우 침투 홍수량이 감소될 뿐만 아니라 투수성 포장재 및 기층내에 저류되었던 유량이 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량에 영향을 주어 유황곡선이 전반적으로 상승하는 것으로 분석되었다.

대형 아파트 옥상에 설치되는 것으로 가정된 소형 빗물 저류조의 경우 소형 빗물 저류조 적용 방법에 따라 현상태 대비 평균 약 2.1~4.1% 침투홍수량이 저감되었고, 유황곡선의 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량 등은 현상태에 비해서 약 -1~1% 증감소하는 것으로 평가되었다. 본 연구에서 적용한 소형 빗물 저류조의 경우 침투홍수량 감소에는 기여하지만, 일정시간 이후 배수시킬 경우 유황곡선 변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 평가되었다.

학교 운동장 등에 설치되는 것으로 가정된 대형 빗물저류조의 경우 적용 방법에 따라 현상태 대비 평균 약 2.1~11.7% 침투홍수량이 저감되었으며, 유황곡선의 경우 현상태에 비해서 약 -1.4~28% 증감소하는 것으로 평가되었다. 대형 빗물저류조 적용 시 유출특성 변화는 저류조 넓이 뿐만 아니라 깊이를 깊게(본 연구에서는 1m 기준) 할 경우 침투 홍수량 감소에 큰 기여를 하는 것으로 분석되었으며, 저류된 유량에 대하여 배수시설을 설치하여 갈수시 등에 운영한다면 유황곡선 즉, 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량 등에도 큰 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

경기개발연구원. 2010. 도시하천 건전화 방지를 위한 하천유지용수 확보방안에 관한 사례 연구.

경남녹색환경지원센터. 2012. 하천유지용수 및 도시형 홍수 예방을 위한 분산형 빗물저류장치 설치 가능성 연구 보고서.

박준호, 유용구, 박영근, 윤희택, 김종건, 박윤식, 전지홍, 임경재. 2008. SWMM을 이용한 춘천 거두 1 지구의 LID 개념 적용으로 인한 유출 감소 특성 분석. 한국물환경학회지. 24(6): 806-816.

배상원. 2012. SWMM5를 이용한 저영향개발의 홍수저감효과분석: 장재천 유역을 대상으로. 연세대학교 석사학위논문.

이정민, 배상원, 현경학, 이유진, 이윤규. 2011. SWMM5를 이용한 아산 탕정 LID 빗물관리시범지구 홍수저감효과분석. 한국물환경학회 추계학술발표회.

장영선, 문성호, 양성린. 2013. SWMM 모형을 이용한 목감천 유역의 LID 시설 적용 홍수저감효과분석. 한국도로학회지. 15(3): 75-83.

조은영. 2012. SWMM_LID 모형을 활용한 도시소유역 LID 영향 분석 연구. 부산대학교 석사학위논문.

창원시. 2011. 토월천, 하남천 환경 정비사업.

한국토지주택공사. 2011. LID기술을 이용한 홍수저감 효과 분석.

국가 수자원관리 종합정보 시스템. <http://www.wamis.go.kr>.

기상청. <http://www.kma.go.kr>.

U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0.

全相美: 인제대학교 공학박사 학위(논문제목: Development of Technique for Evaluating Streamflow Depletion in the Urbanized Small and Midium Watershed, 2012년 8월)를 취득하고 현재 인제대학교 건설기술연구소 연구원으로 재직하고 있다. 수문분석, 지하수 흐름 분야에 관심을 두고 연구 중이다(nil79@naver.com).

朴宰賢: 서울대학교 공학박사 학위를 취득하고(논문제목: 비포화 영역에서 용존 오염물질 거동에 관한 실험적 연구, 1998년 2월), 현재 인제대학교 토목공학과 부교수로 재직하고 있다. 주요논문으로는 “준설용 커터헤드 주변의 수리특성에 관한 실험적 연구(2011)”, “선형 성층수조에서의 선택취수에 관한 실험적 연구(2011)”, “고수호안 식생 매트공법의 수리적 안정성에 관한연구(2010)” 등이 있다(jh-park@inje.ac.kr).

李相浩: 서울대학교 공학박사 학위를 취득하고(논문제목: 한강수계 저수지구의 홍수시 예측 및 제어, 1993년 2월), 현재 부경대학교 토목공학과 교수로 재직하고 있다. 주요논문으로는 “홍수유출 모형 자동 보정의 별적함수를 이용한 기능 향상 연구(2012)”, “제내 비탈길 배수공을 이용한 제방의 침투조절에 관한 연구(2012)”, “SWMM과 인공신경망을 이용한 미 계측 하천의 클로로필 a 추정에 관한 연구(2011)”, “제주도에 계획된 침투저류지의 수문학적 분석 사례(2010)” 등이 있다(peterlee@pknu.ac.kr).

투 고 일: 2013년 05월 14일

심 사 일: 2013년 06월 27일

게재확정일: 2013년 12월 05일

Analysis of Flood Reduction Effect using Decentralized Rainwater
Retention Facility in Urban Area

Sang Mi Jun, Jae Hyeoun Park, Sang Ho Lee

Abnormal climate phenomena and urbanization recently causes the changes of the hydrological environment. To consist with the green grow policy of the government a fundamental solution such as decentralized rainwater management system and Low Impact Development(LID) techniques should be needed. In this study, urban runoff models for urban flood prevention, SWMM 5, was used to analysis the effects of decentralized stormwater retention. Wolcheon stream watershed located in Changwon city was selected as the study watershed. SWMM 5 modelling was applied to analyze the runoff characteristic of urban stream with various methods of LID techniques(Permeable packaging, small rainwater storage tank, large rainwater storage tank). The runoff variation characteristics resulted from each of the methods of LID techniques were used to estimate at other places. It was estimated that the permeability of packaging materials and detention storage at the basic floor have high effect to discharge duration curve. And the initial rainfall retention at the rainwater storage tank effected to reduce the flood peak was estimated. These kind of data could be the advantage in the future for securing and maintenance discharge in the river and could use as the basis data for urban flood prevention facilities.

Key words: urbanization, low impact development, SWMM 5