

도시 물순환개선을 위한 빗물관리시설의 효과분석

Effect Analysis of Rainwater Management Facility for Improving Urban Water Cycle

박성천*, 광필정**, 임옥근***, 김종오****

Sung Chun Park, Pil Jeong Gwak, Ok Geun Lim, Jong O Kim

요 지

광주광역시 도심유역의 14개 단위유역(영본B02~영본B25)으로 면적 501.19km² 중 약 42%에 해당하는 211.86km²를 대상유역으로 분산식 빗물관리에 의한 물순환 체계를 구축하였다. 지목별 저감대상 면적은 대지, 창고, 공장용지는 전체면적의 15%, 주유소, 학교, 잡종지, 종교용지, 주차장은 5%, 도로는 10%를 적용하여 저감대상 산출면적은 9.1km²로 설정하였으며, 초기강우 10mm에 대한 초기강우유출량 90,885m³이 발생하며 이는 각 단위유역의 토지이용별로 침투통, 침투측구, 침투화분, 침투도랑, 수목여과박스, 식생수로, 빗물저금통, 투수블럭의 8개 시설에 의해 침투 및 저류하는 것을 제한하였으며, 또한, 본 연구의 대상유역에서 발생하는 비점오염원 발생부하량은 8,439.16kg/일으로 그 중 2.4%에 해당하는 210.186kg/일이 본 연구에서 제한한 빗물관리시설에 의해서 삭감되는 것으로 분석되었다. 또한, 빗물관리시설의 총 투자비용은 약 322억원이며, 효과비용은 343억원으로 산정되었다.

핵심용어 : 빗물관리시설, 불투수면적률, 초기강우, 저감대상면적, 삭감부하량

1. 서 론

물 순환은 기본적으로 강우에 의한 지표수의 흐름, 지표하부로의 침투와 대기 중으로의 증발 및 증산을 통해 이루어진다. 물순환의 기본적인 원리에서 벗어난 불투수면적의 증가는 다른 도시 문제를 일으키며 그 심각성은 매우 크다고 할 수 있다. 2012년 전국 평균 불투수면적률은 7.9%로 나타나 3%에 불과했던 1970년에 비해 2.63배의 높은 증가를 보이고 있다. 이러한 불투수면의 확대를 억제하고 물순환 구조 훼손으로 인한 부작용을 최소화하기 위해 저영향개발(LID, Low Impact Development)과 그린빗물인프라(Green Stormwater Infrastructure)를 적극적으로 활용하고 있다. 개발사업이나 건축물의 불투수면적에 비례해 요금을 부과하는 빗물요금제를 시행하거나 유역 내 불투수면적의 상한을 설정해 관리하는 불투수면 총량제를 시행하는 지역도 있다(환경부, 2013). 기존에 도시의 불투수 포장에 따른 문제는 주로 도시 강우 유출수에 따른 홍수와 비점오염원 문제의 측면에서 다루어졌으나 점차 도시 토양 기능의 상실과 도시 생태기반 저하라는 측면의 관심이 증가되고 있다. 또한 도시 강우 유출수 문제는 주로 우수저류 탱크나 우수저류지 등의 점적인 시설 위주로 해결 방안이 모색되었으나, 최근 연구는 우수 침투가 가능한 녹지의 배치와 설계 등과 같이 경관설계요소로서 통합하여 면적으로 강우 유출수를 관리하는 방안에 대한 관심이 증가하고 있다(2007, Tice).

광주광역시는 전 지역이 도시화가 급속히 진행되면서 불투수면적이 증가됨에 따라 직접유출이

* 정회원 · (주)상원 부설연구소 소장 · E-mail : psc3135@gmail.com
** 정회원 · (주)상원 대표 · E-mail : gwakpj@hanmail.net
*** (주)상원 상무 · E-mail : ninjalim@nate.com
**** 목포대학교 사범대학 환경교육학과 교수 · E-mail : jongokim@mokpo.ac.kr

증가되어 홍수방지대책으로 하천정비가 이루어졌으며, 지하수 함양량 감소, 용수 사용량 증가 및 무분별한 지하수 개발 등으로 지하수위 및 하천 수위의 저하, 하수보급률의 증가로 하천유량 감소 등으로 도시하천은 유량부족 및 수질악화로 인한 생물 서식환경 악화와 환경기능상실을 초래하게 되었다. 도심하천 유역의 근본적인 문제를 해결하기 위한 물순환 체계의 개선은 되지 않고 있는 실정이다. 따라서 광주광역시 물순환 체계를 확립하고 개선시키기 위해 지속적이고 장기적인 측면에서 노력이 이루어져야 한다. 물순환 체계를 개선하기 위해서는 우선 물순환 계획의 기본구상을 수립하고 지역적 특성에 맞는 방법이 도출되어 체계적인 투자와 집행이 이루어져야 한다.

2. 유역환경조사

2.1 연구대상 유역현황



그림 1. 광주광역시 도심지역 연구대상 유역

광주광역시는 한반도의 남서부에 위치하고 있으며, 다양한 분야에서 넓은 호남지역의 중심도시로서 기능을 하고 있으며 호남 최대의 도시이다. 광주광역시의 행정구역은 5개구 94개 행정동으로 구성되어 있으며 광주광역시 인근에는 나주시, 화순군, 장성군, 담양군, 함평군 등과 접하고 있다. 서울특별시·부산광역시·대구광역시·인천광역시·대전광역시에 이어 국내 제6위에 해당되는 대도시이다. 광주광역시는 전체면적은 501.18km²이며, 동서간 34.3km, 남북간 23.1km이다.

분산식 빗물관리에 의한 물순환 체계를 구축하기 위하여 광주광역시 도심유역은 14개의 단위 유역(영본B02~영본B25)으로 면적 501.19km² 중 약 42%에 해당하는 211.86km²을 대상유역으로 설정하였다.

2.2 인구현황

광주광역시의 2012년 말 현재의 주민등록인구는 1,483,708명으로 최근 20년 평균 0.96%의 증가를 보였고, 최근 10년 평균 0.57%, 최근 5년 평균 0.83%의 꾸준한 증가추세를 나타내고 있다. 과거 인구밀도 추이를 보면 1993년 2,495명/km²에서 2012년 2,960명/km²로 최근 20년 평균 0.96%의 증가율을 보이고 있다.

2.3 대상유역의 투수면, 불투수면 구성비

각 유역별 불투수면 면적을 산정한 결과 영본B11 유역이 19,655,706m²로 가장 넓은 면적으로서 광주 도심지역 불투수면의 약 18.94%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 영본B17 유역의 불투수면은 267,416m²로서 광주 도심지역의 약 0.26%로 조사되어 불투수면의 면적비가 약 70배 정도의 차이를 보였다. 대상유역은 유역별로 불투수, 투수 면적의 비율 표 1.을 살펴보면 광주광역시 구도심에 해당하는 영본B10 유역이 85.0%로 가장 높게 나타났으며 이는 대부분이 평지로서 주택과 상가가 대부분을 차지하고 있어 높게 나타난 반면 미개발지역으로 농지가 많이 차지하고 있는 덕흥동에 해당하는 영본B16 유역은 25.5%로 불투수면 비율이 낮게 나타난 것으로 조사되었다.

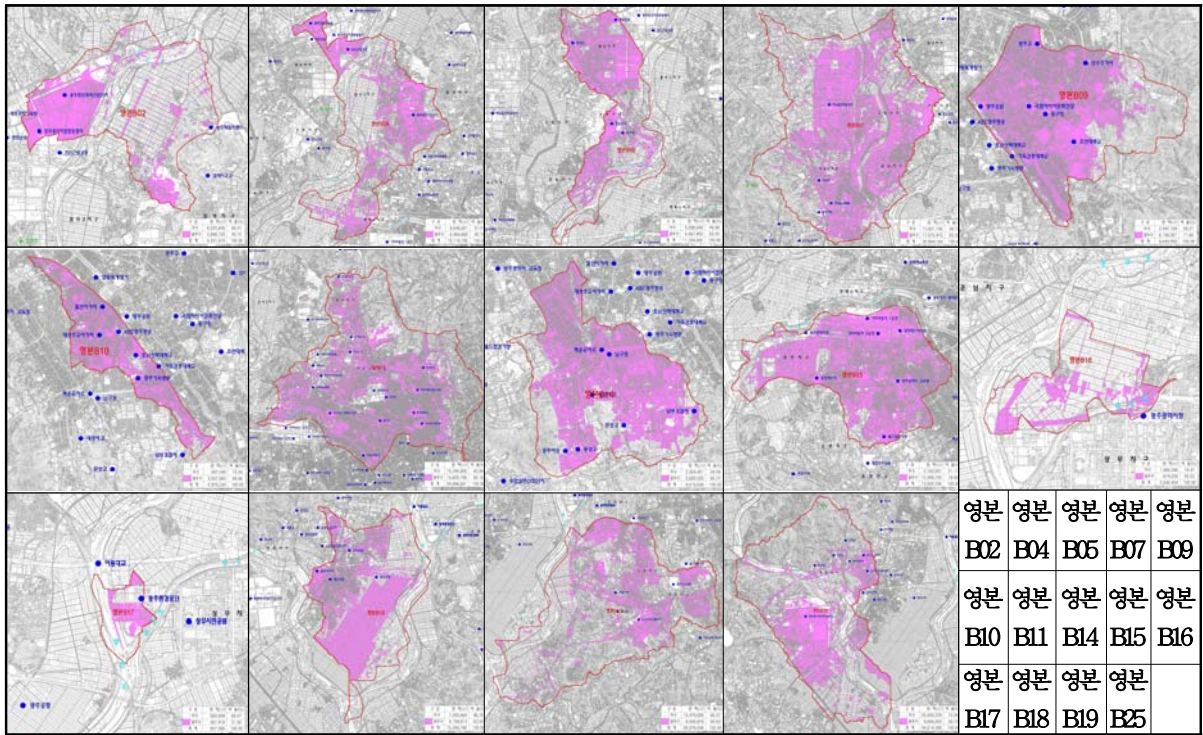


그림 2. 연구대상구역의 불투수층 및 투수층 면적분류

표 1. 대상구역의 불투수층 및 투수층 면적

구분	불투수층		투수층		합 계
	면적(m ²)	구성비	면적(m ²)	구성비	
총 계	103,792,323	49.0%	108,064,360	51.0%	211,856,683
영본B02	2,898,125	30.7%	6,533,688	69.3%	9,431,813
영본B04	6,469,865	42.8%	8,647,835	57.2%	15,117,699
영본B05	6,467,453	55.1%	5,278,928	44.9%	11,746,381
영본B07	17,072,415	55.3%	13,786,171	44.7%	30,858,586
영본B09	6,196,251	71.7%	2,447,184	28.3%	8,643,435
영본B10	2,527,983	85.0%	447,171	15.0%	2,975,154
영본B11	19,655,706	56.2%	15,325,851	43.8%	34,981,557
영본B14	5,665,055	65.7%	2,951,371	34.3%	8,616,426
영본B15	10,289,703	78.8%	2,762,901	21.2%	13,052,605
영본B16	674,039	25.5%	1,965,820	74.5%	2,639,859
영본B17	267,416	31.9%	569,968	68.1%	837,385
영본B18	8,198,813	53.3%	7,191,521	46.7%	15,390,334
영본B19	8,599,576	30.6%	19,474,446	69.4%	28,074,022
영본B25	8,809,922	29.9%	20,681,504	70.1%	29,491,426

표 2. 유출계수

지 목	유출계수 (C)
대 지	0.81
공장용지	0.70
학교용지	0.65
주 차 장	0.76
주 유 소 용 지	0.8
창고용지	0.73
도 로	0.83
종교용지	0.81
잡 종 지	0.70

표 3. 유역별 초기강우유출량

구분	불투수면 강우유출량 (m ³ /hr)	초기강우 유출량 (m ³)
총 계	4,059,773	949,825
영본B02	118,967	28,981
영본B04	275,061	64,699
영본B05	281,374	64,675
영본B07	718,887	170,724
영본B09	266,424	61,963
영본B10	110,708	25,280
영본B11	850,466	196,557
영본B14	247,290	56,651
영본B15	449,094	102,897
영본B16	29,582	6,740
영본B17	10,953	2,674
영본B18	330,182	81,988
영본B19	370,785	85,996
영본B25	375,885	88,099

3. 도시구역의 물순환과 빗물관리

3.1 유역별 강우유출량

영본B17유역이 대부분이 농경지와 하천중심으로 이루어 졌기 때문인 것으로 조사되었다. 불투수면의 강우유출량은 표 2.의 지목별 유출계수를 적용하여 표 3.과 같이 산정하였으며 그림에서 보는 바와 같이 불투수면 면적과 상관관계를 그대로 따라가고 있다. 초기강우유출량은 10mm를 적용하여 산정하였다.

3.2 지목별 저감대상면적

지목별 저감대상면적 산정은 대지, 창고, 공장용지는 전체면적의 15%, 주유소, 학교, 잡종지, 종교용지, 주차장은 5%, 도로는 10%를 적용하여 저감대상면적을 산출하였다. 대지에서의 건폐율이 최소 40%이상인 점을 감안하여 대지면적이 2,500㎡이상의 대지를 별도로 분류하여 산정하였다. 창고와 공장용지에는 건물과 주차장이 설치되어 빗물을 저감할 수 있는 면적을 15% 적용하고 학교, 잡종지, 종교용지에는 빗물유출을 저감할 수 있는 최소면적을 전체의 5%로 산정하였다. 그 결과 유역별 지목별 저감대상면적은 표 4와 같다.

표 4. 유역별 지목별 저감대상면적 (단위 : ㎡)

구분	대지	공장	창고	주유소	학교	잡종지	종교용지	도로	주차장	합계
영본B02	34,729	195,212	2,719	439	9,687	5,802	687	58,865	1,081	309,221
영본B04	278,392	175,345	2,548	707	27,270	7,814	894	159,027	451	652,448
영본B05	295,050	9,226	8,421	1,911	32,250	7,468	1,703	212,396	507	568,932
영본B07	937,942	735,970	16,522	3,272	31,540	21,212	3,403	426,402	2,970	2,179,233
영본B09	73,940	26	121	521	47,958	507	2,366	136,653	2,406	264,498
영본B10	60,561	0	0	124	11,093	125	2,020	44,785	161	118,869
영본B11	942,065	2,897	2,793	6,765	82,272	28,408	5,665	334,099	1,911	1,406,875
영본B14	199,288	137	505	1,174	26,529	500	2,589	132,038	439	363,199
영본B15	437,123	98,310	2,015	1,377	24,899	12,500	3,760	258,751	500	839,235
영본B16	983	8,590	7,941	35	0	1,405	268	35,898	0	55,120
영본B17	2,622	177	0	0	0	8,328	0	8,088	0	19,215
영본B18	109,843	48,007	3,263	1,040	8,090	207,984	1,054	84,949	405	464,635
영본B19	607,860	13,432	6,651	1,603	17,075	28,597	4,854	269,383	2,702	952,157
영본B25	50,999	591,500	7,618	1,655	9,695	32,963	1,159	197,512	1,781	894,882
합계	4,031,397	1,878,829	61,117	20,623	328,358	363,613	30,422	2,358,846	15,314	9,088,519

4. 빗물관리시설 설치 계획 및 효과

4.1 빗물관리시설 대상면적 및 저류 및 침투량 산정

유역별 전체 불투수면적 중에서 빗물을 저류 또는 침투시키는 빗물관리시설의 대상면적을 표 4.에서 유역별로 살펴보면 영본B07에서 2,179,233㎡로 최대로 조사되었다. 영본B11 유역의 불투수면적이 가장 넓지만 빗물관리시설의 대상면적비율은 7.4%로 평균 9.4%보다 더 낮은 비율로 산정되었다. 이는 대지 2,500㎡이상만을 시설대상면적으로 설정하였기 때문으로 보인다. 영본 B17에서는 저감비율이 19.1%로 가장 높았는데 이는 불투수면적이 가장 적은 것에 비해 도로가 차지하는 비율이 높아서 저감비율이 상대적으로 높게 나타났다. 초기우수 10mm는 저류 또는 침투를 목표로 하였을 경우 초기강우유출량 모두를 저류 또는 침투하는 것으로 산정하였다.

4.2 빗물관리시설에 의한 삭감부하량

수계오염총량관리기술지침(2014.05. 국립환경과학원)에 제시한 토지계 오염배출부하량 산정량 중 토지계 비점오염배출 원단위를 적용하기 위한 지목분류를 이용하여 배출원단위별 재분류를 시행하였다. 불투수면에 해당되는 지목이 빗물관리시설을 설치시에 투수면으로 전환되므로 발생부하량 원단위를 대지에서 기타로 적용하여 삭감부하량을 산정하였고, 잡종지에 빗물관리시설을 하는 경우에는 삭감부하량이 없는 것으로 산정하였다. 대상유역에서 발생하는 비점오염원 발생부하량은 8,439.16kg/일으로 그 중 2.4%에 해당하는 210.186kg/일이 삭감되는 것으로 분석되었다.

4.3 빗물관리시설의 경제성 분석

유역별 빗물유출저감을 위하여 빗물관리시설 설치비용은 영본B17에서는 약 9천만원 정도로 산

정되어 최소비용, 영본 B07유역은 투자비가 약 73억원으로 최대비용으로 산정되었다. 14개의 대상 유역의 빗물관리시설 총 투자비용은 약 322억원이며, 효과비용은 343억원으로 산정되었다.

표 5. 유역별 빗물관리시설 대상면적과 저류 및 침투량 표 6. 유역별 비점 발생 및 삭감부하량

구 분	총불투수 면적 (m ²)	시설대상 면적 (m ²)	초기강우 유출량 (m ³)	저류 및 침투량 (m ³)	저감 비율 (%)	구 분	발생 부하량 (kg/일)	삭감 부하량 (kg/일)	최종배출 부하량 (kg/일)
영본B02	2,898,125	309,221	3,092	3,092	11.1	영본B02	250.44	7.300	243.14
영본B04	6,469,865	652,448	6,525	6,525	10.4	영본B04	554.06	15.439	538.621
영본B05	6,467,453	568,932	5,689	5,689	9.0	영본B05	548.80	13.616	535.184
영본B07	17,072,415	2,179,233	21,792	21,792	13.1	영본B07	1,450.62	51.407	1,399.213
영본B09	6,196,251	264,498	2,645	2,645	4.3	영본B09	533.17	6.542	526.628
영본B10	2,527,983	118,869	1,189	1,189	4.7	영본B10	216.92	2.887	214.033
영본B11	19,655,706	1,406,875	14,069	14,069	7.4	영본B11	1,654.12	32.729	1,621.391
영본B14	5,665,055	363,199	3,632	3,632	6.4	영본B14	489.22	8.776	480.444
영본B15	10,289,703	839,235	8,392	8,392	8.4	영본B15	866.43	19.906	846.524
영본B16	674,039	55,120	551	551	8.5	영본B16	59.28	1.377	57.903
영본B17	267,416	19,215	192	192	19.1	영본B17	9.71	0.943	8.767
영본B18	8,198,813	464,635	4,646	4,646	11.6	영본B18	360.08	6.288	353.792
영본B19	8,599,576	952,157	9,522	9,522	11.9	영본B19	718.15	22.123	696.027
영본B25	8,809,922	894,882	8,949	8,949	11.0	영본B25	728.16	20.853	707.307
합계(평균)	103,792,322	9,088,519	90,885	90,885	9.4	합계(평균)	8,439.16	210.186	8,228.974

5. 결론

본 연구는 광주광역시 도심유역의 14개 단위유역(영본B02~영본B25)으로 면적 501.19km² 중 약 42%에 해당하는 211.86km²를 대상유역으로 분산식 빗물관리에 의한 물순환 체계를 구축하였다. 대상유역의 불투수면적은 103,792,323m²이며 저감대상면적은 9.1km²로 설정하였으며, 초기강우 10mm에 대한 초기강우유출량 90,885m³이 발생하며 이는 각 단위유역의 빗물관리시설에 의해 모두 침투 및 저류하는 것을 제안하였으며, 또한, 본 연구의 대상유역에서 발생하는 비점오염원 발생부하량은 8,439.16kg/일으로 그 중 2.4%에 해당하는 210.186kg/일이 본 연구에서 제안한 빗물관리시설에 의해서 삭감되는 것으로 분석되었으며, 14개의 대상유역의 빗물관리시설 총 투자비용은 약 322억원이며, 효과비용은 343억원으로 산정되어 본 연구에서 제안하는 빗물관리시설은 경제성이 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 영산강섬진강수계관리위원회 2015년 환경기초조사사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 국립환경과학원(2014), 수계오염총량관리기술지침
2. 광주발전연구원 (2014), 아름다운 물의 도시 광주 조성방안 연구.
3. 경기개발연구원 (2012), 경기도 빗물이용 활성화 제도 보완 방안.
4. 광주발전연구원 (2011), 녹색도시 조성을 위한 광주광역시 수자원 확보 및 활용방안.
5. 한국건설기술연구원 (2011), 기후변화 적응 및 물 순환형 도시를 위한 빗물관리 기술의 적용과 확대 방안.
6. 토지주택연구원 (2011), 도시환경개선을 위한 단지내 포장체 물순환시스템 개발 연구.
7. 한국환경정책평가연구원 (2011), 물 재이용을 통한 도시하천 물순환개선 정책 방향.