

## 주택정비사업에서의 빗물관리 적용 타당성 분석

김영란\* · 심주영\*\*

### A Feasibility Analysis of Stormwater Management for the Housing Redevelopment and Reconstruction

Young Ran Kim\* · Joo Young Sim\*\*

**요약 :** 본 연구는 매년 반복되는 여름철 집중호우에 의한 피해 예방과 도심 주거지의 물순환 회복을 위하여, 서울시 주택정비사업에 자연지반 및 녹지대와 연계한 빗물관리를 적용하기 위한 타당성을 분석하였다. 기존의 정비사업 및 개발사업은 집중식 배제 중심의 빗물관리가 주를 이루었으나, 최근에는 발생원에서 빗물을 이용하고, 침투·처리하는 통합적 빗물관리가 추진되고 있다. 이에 빗물관리 관련 시민의식 설문조사와 함께 현재 설치·운영되고 있는 빗물이용시설의 실태를 파악하고, 빗물관리시설 적용에 의한 침수피해 저감과 개발지역의 환경변화 저감 효과를 분석하였다. 또한 빗물이용시설과 침투시설의 경제성을 분석하여, 종합적으로 주택정비사업에서의 빗물관리 적용 타당성을 검토하였다. 빗물이용시설은 서울시 강우패턴의 변화로 '이용일수 60일 이하'가 48.6%로 이용효율이 높지 않으며, 시설 미운영률도 38%에 달한다. 빗물침투시설은 방재성 측면에서 빗물이용시설에 비하여, 지표면 유출량과 침투 유출량 저감률이 커 홍수량 저감 효과가 있다. 비용면에서도 단위면적당 빗물침투가능량(이용시설은 저장용량)으로 비교한 결과, 빗물침투시설이 빗물이용시설에 비하여 저렴한 가격으로 빗물관리가 가능한 것으로 나타났다. 그러므로 서울시 주택정비사업에서의 빗물관리는 빗물침투시설의 설치 확대를 통한 자연계 물순환 회복으로 정비되는 것이 효과적이다.

**주제어 :** 우수유출저감관리, 물순환 회복, 주택정비사업, 빗물침투시설, 빗물이용시설

**ABSTRACT :** This study analyzed the feasibility to apply the stormwater management linked with the natural soil and the green space in the housing redevelopment and reconstruction of Seoul, for the purpose of the recovery of the water cycle and the prevention of severe damages caused by torrential rainstorms, especially in concrete-covered urban areas. The stormwater management in the existing redevelopment and reconstruction projects has been the centralized exclusion method, but recently Seoul is introducing the integrated stormwater runoff control method. Therefore, in this study, a survey of the civic consciousness for the stormwater management was conducted and the effect of the stormwater management on environmental change reduction and flooding prevention were investigated. Also, the economic analysis for rainwater utilization facilities and stormwater infiltration facilities was performed. The result showed that the rainwater utilization with less than 60 days in rainwater utilization facilities was 48.6%, utilization efficiency was not high, and 38% of the facilities was not operated. However, we found that stormwater infiltration facilities were

\* 서울연구원 안전환경연구실 선임연구위원(Senior Research Fellow, Department of Safety and Environment Research, Seoul Institute), 교신저자(E-mail: yrkim@si.re.kr, Tel: 02-2149-1159)

\*\* 서울연구원 안전환경연구실 연구원(Researcher, Department of Safety and Environment Research, Seoul Institute)

effective in flood disaster prevention. In addition, the result of the economic analysis showed that stormwater filtration facilities were operated at a lower cost than rainwater utilization facilities. Hence, the findings of this study suggest that the stormwater management in order to recover the water cycle should be directed toward expanding stormwater infiltration facilities in the housing redevelopment and reconstruction projects.

**Key Words** : stormwater management, recovery of the water cycle, housing redevelopment and reconstruction, stormwater infiltration facilities, rainwater utilization facilities

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

서울시는 1960년대 이래 인구집중과 각종 개발 사업으로 급격한 도시화가 이루어졌다. 상업지와 주거지 중심의 도시개발사업은 대지와 도로의 불투수면을 증가시켜, 1962년 서울시 면적의 7.8%였던 불투수율은 2010년 47.7%로 6배 이상 증가하였다.

2000년대 들어서는 기후변화의 심화로 연평균 강우량은 증가하고 강우빈도는 감소하는, 계절적 강우편차가 심화하는 경향을 보인다. 특히 홍수기(7~9월)의 강우량이 70년대 대비 39.5% 증가하였으며, 갈수기(12~2월)에는 14.9% 감소하였다. 월별 강우량에서도 12월에 비하여 7~8월이 24배 이상 큰 것으로 나타나고 있다(서울특별시, 2007).

여기에 도심부와 주거지의 불투수면 확대는 도시 물순환 구조를 왜곡시켜 홍수기에는 빗물이 침투되지 못하고 지표면으로 유출되어 침수피해가 증가하고, 갈수기에는 하천의 건전화로 수질 악화와 수생태계 파괴를 야기하는 등 도시환경의 안전을 취약하게 만들고 있으며, 나아가 생활환경을 악화시키는 직접적인 피해를 야기하고 있

다. 뿐만 아니라 토지의 빗물 침투량 감소는 지하수위를 감소시키고 지하생태계 악화나 지반 침하와 같은 또 다른 문제를 일으키며, 증발산량의 감소로 이어져 도시가 더욱 건조해지고 미기후 조절능력이 약화되는 현상을 심화시켰다.

서울시는 도시 안정성을 회복하고, 자연계 흐름의 물순환을 보전·회복하기 위하여 2007년 「서울시 빗물관리 기본계획」을 수립하여 기성 시가지 및 개발 사업에 대하여 빗물관리를 추진하고 있다.

서울시에서 추진하고 있는 주택정비사업<sup>1)</sup>은 정비구역과 정비예정구역을 포함하여 1,143곳<sup>2)</sup>으로 54.2km<sup>2</sup>에 지정되어 있으며 전체 주거지역의 17.6%를 차지한다. 주택정비사업에서는 지금까지 도로, 상하수도 관거, 건축물 등의 회색기반시설(Grey Infrastructure)을 우선적으로 설치하여 왔으며, 여기서 빗물관리는 강우 시 대부분의 빗물이 하수관거를 통하여 신속하게 배제되는 집중식 빗물관리계획이 중심이 되었다.

그러나 불투수면의 지속적인 증가와 기후변화에 따른 강우 편중 현상이 심화되면서 기존 빗물관리 방식의 한계가 나타나고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 주거지를 비롯한 도심부의

1) 주택정비사업은 「도시 및 주거환경정비법」에 의한 주택재개발사업과 주택재건축사업을 포함한다. 주택재개발사업은 정비기반시설이 열악하고, 노후불량건축물이 밀집한 지역을 대상으로 주거환경을 개선하기 위한 사업이며, 주택재건축사업은 정비기반시설이 양호하나 노후불량건축물이 밀집한 지역에서 주거환경을 개선하기 위한 사업이다.

2) 서울시 주택정책실 내부자료(2012년 3월)

토지이용형태별 특성을 반영하고, 녹지와 연계한 물순환 빗물관리가 이루어져야 한다.

본 연구는 도시화에 큰 부분을 차지하는 주택 정비사업에 대하여 빗물관리 적용 방향을 검토하였다. 빗물관리는 목적에 따라서 빗물이용과 빗물침투, 빗물저류 3가지로 구분된다. 주택정비사업의 특성을 고려하여 빗물관리시설의 운영 실태를 조사하고, 설문조사를 통하여 시민들의 빗물관리인식과 빗물이용 및 침투시설 설치의 효과, 경제성 분석 등 4개 분야에 대하여 타당성을 분석하고 빗물관리 방향을 제시하였다.

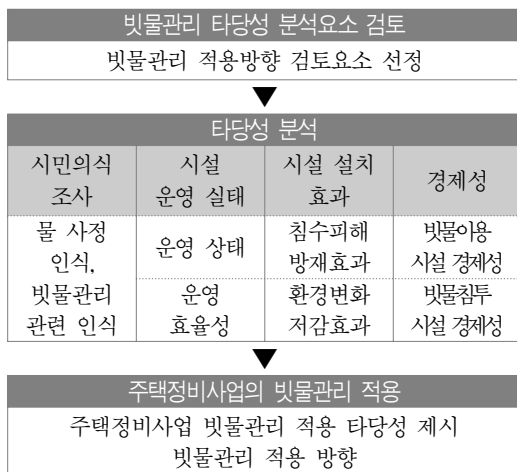
## 2. 연구방법 및 범위

주택정비사업에 대한 빗물관리 적용 타당성은 시설 운영실태 조사, 시민의식 조사, 빗물관리시설의 환경변화 저감 효과와 방재성, 경제성의 4개 분야 7개 항목에 대하여 분석하였다.

검토 내용을 바탕으로 주택정비사업 등의 개발 사업에서의 빗물관리 적용 방향을 제안하였다.

전체적인 연구방법은 <표 1>과 같다.

<표 1> 연구방법

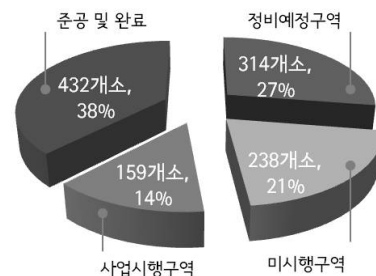


## II. 주택정비사업의 빗물관리 실태

서울의 주거지 개발은 60년대 이래 꾸준히 증가해 왔으며, 최근에는 「도시 및 주거환경정비법」에 따라 주택재개발과 주택재건축사업을 추진해 오고 있다. 서울시 주택정비사업 지역은 2012년 3월 기준으로 1,143개소로 54.2km<sup>2</sup>를 차지하며, 이는 서울시 전체 주거지 면적의 17.6%를 차지한다.

현재 사업이 시행중인 곳을 제외하고 정비예정 및 미시행 구역에 대하여 빗물관리를 적용할 경우 이는 전체 주택정비사업지 면적의 48%에 해당하는 26.5km<sup>2</sup>에 달한다. 따라서 향후 주택정비사업 계획 시 빗물관리를 적용할 경우, 서울의 도심 물순환계 회복에 중요한 위치를 차지할 것으로 보인다.

현재 주택정비사업의 빗물관리는 환경영향평가 협의 대상 사업에 대해서만 계획을 의무적으로 적용하도록 규정하고 있다. 사업이 시행된 기존의 주택정비사업 가운데 빗물관리가 적용된 사업은 2011년 기준으로 대상사업 18개소, 사업면적 약 2.72km<sup>2</sup>이며, 전체 주택정비사업 구역 면적의 6.3%에 불과하다.



자료: 서울시 내부자료, 2012년 3월 기준

<그림 1> 환경영향평가 협의완료 정비사업 현황



〈그림 2〉 서울시 주택정비사업 시행현황

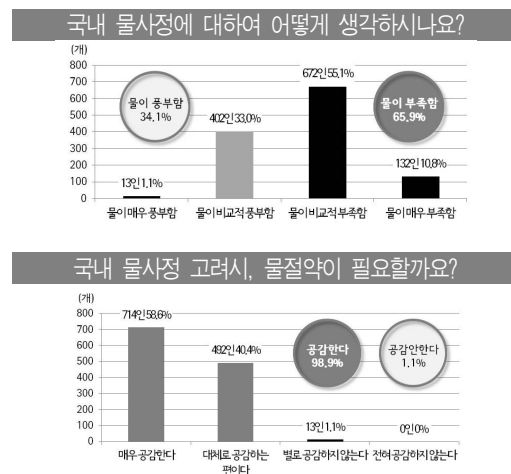
### Ⅲ. 빗물관리 관련 시민의식 조사

주택정비사업에서의 빗물관리 적용은 환경을 고려한 공공적 가치를 수반함으로써 서울시의 물사정 및 빗물관리에 대한 시민의 공감대가 요구된다. 서울시에 거주하는 만 30세에서 만 59세의 가정주부를 대상으로 물 사정 및 빗물이용시설과 관련한 의식조사를 실시하였다. 설문조사의 총 응답자수는 1,219가구이다.<sup>3)</sup>

#### 1. 물 사정 인식 설문조사

국내 물 사정에 대한 조사에서 응답자의 65.9%가 국내 물 사정이 열악하다고 인식하고 있으며, 매우 부족하다고 응답한 수는 10.8%이다. 반면 물

이 매우 풍부하다고 응답한 수는 1.1%에 그쳤다.



〈그림 3〉 물 사정 인식 설문조사 결과

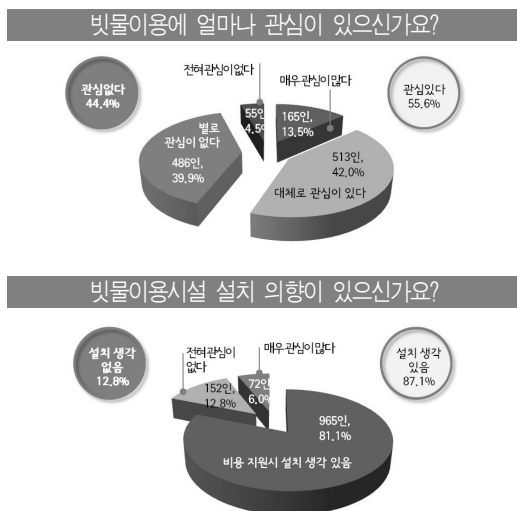
3) 본 조사는 저자가 『물부족에 대응한 서울시 물수요관리 도입계획』을 작성하면서 수행한 설문조사 결과의 일부를 자료로 참고하였다.

물 사정을 고려할 때, 물 절약이 필요하다고 응답한 수는 98.9%로 대부분의 응답자가 물 관리의 필요성을 인식하고 있었다. 특히 매우 공감한다고 응답한 수가 58.6%로, 물 절약 및 물 관리 정책에 대하여 관심이 높은 것으로 나타났다.

## 2. 빗물관리 관련 설문조사

빗물이용시설에 대해서는 응답자의 55.6%가 관심이 있으며, 매우 많은 경우도 13.5%였다.

빗물이용시설 설치 의향에 대해서는 아무 조건 없이 설치할 생각이 있다는 응답은 6.0%이며, 시설 설치비 일부를 보조하거나 일정 비율의 수도요금 감면 혹은 보조금 지급 시 설치의향이 있다는 응답자가 87.1%로 높게 조사되어 빗물이용시설 보급 확대를 위해서는 별도의 지원책이 필요할 것으로 나타났다.



〈그림 4〉 빗물이용시설 관련 설문조사 결과

빗물이용시설 설치에 따른 비용 지원방식으로 설치비의 일부를 보조받기 원하는 비율이 51%로 가장 높으며, 매월 일정비율의 수도요금 감면 방식이 25%, 매월 일정액을 지원받는 방식은 23.9%이다.

빗물이용시설을 설치하여 사용하고 있는 가구는 응답자 전체 1,219가구 중에서 약 2.5%인 30가구만이며, 이들 가구에서 사용하는 빗물량은 월평균 전체 물 사용량의 16.7%이다.

빗물용도로는 조경용수와 청소용수를 들었으며, 그 외에 화장실 양변기 용수로 활용하여 상수량을 줄이길 희망하는 비율도 37.5%로 높았다.

## IV. 빗물관리시설 운영실태 분석

국내에서 빗물관리는 빗물이용시설을 중심으로 보급·운영되어 왔다. 기존에 설치된 서울시 빗물이용시설을 대상으로 시설 운영 상태 및 효율을 조사하여 빗물이용시설 설치 중심의 빗물관리 실효성에 대하여 검토하였다.<sup>4)</sup>

### 1. 빗물이용시설 운영 상태

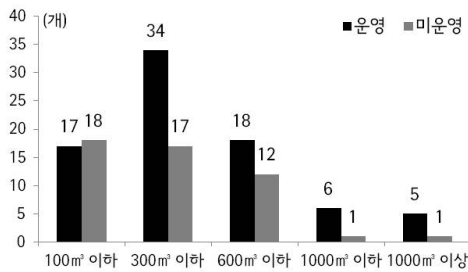
서울시 빗물이용시설 129개소의 소유주 및 관리인을 대상으로 직접 면담을 통한 설문조사를 실시하였다.

#### 1) 빗물이용시설 현황

129개소 가운데 빗물이용시설이 운영되고 있는 시설은 80개소이고, 미운영이 49개소로서 시설을 설치하고도 빗물을 이용하고 있지 않는 시설이 38%에 달하고 있다.

4) 본 내용은 저자가 『물부족에 대응한 서울시 물수요관리 도입계획』을 수행하면서 실시한 분석 결과의 일부를 자료로 참고하였다.

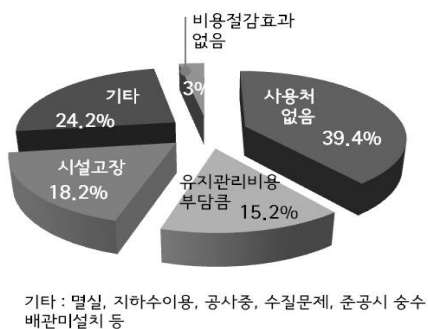
설치된 빗물이용시설은 주로 300m<sup>3</sup> 이하로 전체의 67%를 차지하고 있으며, 미운영되고 있는 빗물이용시설도 대부분 300m<sup>3</sup> 이하 규모 시설이다.



〈그림 5〉 빗물이용시설 설치규모 및 운영 현황

## 2) 빗물이용시설 미운영 사유

시설 설치 후에도 빗물을 이용할 사용처가 없다고 응답한 수가 39.4%로 높게 나타났으며, 도원에서 간헐적으로 발생하는 빗물을 적절하게 이용할 수 있는 용도가 조경용수 및 청소용수 등으로 한정되어 있었다.



〈그림 6〉 빗물이용시설 미운영 사유

빗물이용시설의 간헐적 운전으로 인한 시설고장과 지하에 설치되어 전력 과다소모로 인한 높은 유지관리비 등 경제성 문제로 운영되지 않는 시설도 34%로 높게 나타났다.

## 3) 빗물이용시설의 이용처 및 이용량

운영하고 있는 빗물이용시설에서 이용 용도는 조경용수를 포함한 살수용수가 62.5%로 높고, 청소용수는 30.7%로서 대부분을 살수 및 청소용수로 이용하고 있다. 빗물이용시설의 이용량은 평균 10m<sup>3</sup>/일 이하가 79.5%이며, 이용일수도 60일 이하가 48.6%로 이용효율이 높지 않다.

〈표 2〉 빗물이용시설 빗물이용량

구분	개소(개)	비율(%)
10m <sup>3</sup> /일 이하	31	79.5
30m <sup>3</sup> /일 이하	5	12.8
50m <sup>3</sup> /일 이하	1	2.6
100m <sup>3</sup> /일 이하	1	2.6
100m <sup>3</sup> /일 이상	1	2.6

〈표 3〉 빗물이용시설 빗물이용일수

구분	개소(개)	비율(%)
10일 이하	10	27.0
60일 이하	18	48.6
180일 이하	4	10.8
240일 이하	0	0.0
240일 이상	5	13.5

## 2. 빗물이용시설 운영 효율성

실제 빗물이용시설을 설치하고도 유향화되는 비율이 높으므로, 현재 빗물이용시설 설치 규모의 적정 기준을 검토하였다. 과거 40년 간 독립강우의 강우량과 발생빈도를 분석하여, 빗물이용시설의 규모 및 이용 효율을 분석하였다.

공동주택단지 및 일반건축물에 적용하고 있는 빗물이용시설의 규모 산정은 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」에 근거하고 있다. 건축물 지붕면적에 대해 50mm를 저장할 수 있거나, 대

지면적에 대해 20mm를 저장할 수 있는 시설용량을 설치하도록 하고 있다.<sup>5)</sup> 2007년 기준, 서울시 강우량 대비 빗물이용시설의 평균 저장률은 건축면적기준의 빗물이용시설 규모산정계수 0.05일 때 시설용량의 23.4%이며, 대지면적기준의 0.02 적용시 시설용량의 26.2%이다. 갈수기인 12월~2월 사이에는 빗물 저장률이 지붕면적의 5.2%, 대지면적의 6.3%로서 상당히 낮아 시설이 대부분 활용되지 못하고 있다.

향후 기후변화에 따른 집중호우 강우패턴이 증대됨에 따라, 용수확보가 필요한 갈수기의 강우량과 강우발생횟수가 점점 줄어들어 빗물이용시설의 효율성은 더욱 낮아지고 이용량도 줄어들 것으로 예상된다. 최대 저장률을 나타내는 홍수기에도 빗물의 평균 저장률은 7월이 54.3%로서, 연중 시설용량의 절반 수준에 불과하다.

〈표 4〉 빗물이용시설 분기별 평균 빗물저장률

규모 산정기준	갈수기 (12~2월)	홍수기 (6~9월)	평균
건축면적 기준 (규모산정계수 0.05)	5.2%	40.7%	23.4%
대지면적 기준 (규모산정계수 0.02)	6.3%	44.2%	26.2%

## V. 빗물관리시설 설치 효과 검토

### 1. 빗물관리 침수피해 방재 효과

불투수면적률이 높은 도시지역의 경우, 빗물관리시설을 설치하여 집중 호우 시 발생원에서의 지표면 유출량을 줄일 수 있으므로 도시 방재차

원에서도 빗물관리가 요구된다.

빗물이용시설과 빗물침투시설 각각에 대하여 침수피해를 일으키는 침투홍수량에 대한 저감 효과를 분석하였다. 분석대상 강우는 서울시에 큰 침수피해를 발생시킨 1987년, 1998년, 2001년으로 하였으며, 고밀도 도심지인 청계천 전체유역에 대하여 실시하였다<sup>6)</sup>.

#### 1) 빗물이용시설의 방재성

빗물이용시설의 설치효과를 극대화하기 위하여 청계천유역 전체 건물에 빗물이용시설을 설치하는 경우에 대해 서울시 침수피해를 일으킨 홍수사상을 적용하여 유출분석을 실시하였다.

빗물이용시설 설치 전·후의 강우지속시간 1시간과 5시간의 유효강우량 최대값 변화를 분석한 결과, 강우지속시간 1시간의 유효강우량 최대시 소유역에서 저감량 변화가 없으며 강우지속시간 5시간의 유효강우량 최대 경우 3.3%정도 저감되었다. 이는 도달시간 1시간 이내의 소유역과 임계지속시간 5시간인 청계천 전체유역에서 침수피해를 일으키는 침투홍수량을 저감시키기 어려운 것이다.

지표면의 유출률은 빗물이용시설에서 빗물을 저장 후 24시간 이내 다시 저장하는 경우 2.5%~6.5%가 저감되는 것으로 나타났다. 빗물을 저장 후 2시간 이내에 다시 저장하는 경우는 유출률이 6.0%에서 12.5% 저감되어 24시간내 다시 저장하는 경우보다 1.9~2.4배 많이 저감되는 것으로 나타났다.

빗물이용시설을 청계천유역 47.92km<sup>2</sup>의 고밀도 도시가지에서 25.7%에 해당되는 총건축면적

5) 빗물이용시설 설치 저류조 용량(m<sup>3</sup>)=건축물 지붕면적(m<sup>2</sup>)x0.05(m) 또는 대지면적(m<sup>2</sup>)x0.02(m)로, 각각 집수면적 기준에 따라서 빗물이용시설 저장계수 0.05, 0.02를 적용함.

6) 본 내용은 저자가 「서울시 빗물관리계획」을 수행하면서 실시한 분석 결과의 일부를 자료로 참고하였다.

12.30km<sup>2</sup>의 모든 건축물에 총 61만m<sup>3</sup> 규모로 설치하였을 경우 강우유출률 2.5~12.5%를 저감시킬 수 있으나, 침수피해를 일으키는 침투유출량은 저감시키지 못하는 것으로 나타났다.

빗물이용시설이 방재시설로서 기능하기 위해서는 침수피해를 일으키는 침투유출량을 저감시켜야 하지만, 빗물이 강우 5mm이상의 강우초기부터 유입되는 구조로서 침투홍수량이 발생하기 전에 빗물이용시설에 빗물이 저장되므로 침투홍수량 발생지점에서 빗물을 저장시키기 어렵다.

빗물이용시설은 지표면 유출량 저감 효과는 있지만, 침수피해를 줄이는 방재시설의 효과는 크지 않다.

## 2) 빗물침투시설의 방재성

빗물침투시설의 설치효과를 극대화하기 위하여 청계천유역에 침투시설을 설치가능한 모든 지역에 설치하는 경우에 대해 서울시 침수피해를 일으킨 홍수사상을 적용하여 유출분석을 실시하였다.

빗물침투시설 설치에 따른 강우지속시간 1시간의 유효강우량 최대값 변화 분석 결과, 유역내 도달시간 1시간 이내의 소유역에 대하여 유효강우량이 최대 7.2% 저감되는 것으로 나타났으며 강우지속시간 5시간에 대해서는 유효강우량이 최대 11.3% 정도 저감되는 것으로 분석되었다. 빗물침투시설을 모든 침투가능지역에 설치할 경우, 청계천의 소유역과 전체 유역에서 침수피해를 일으키는 유효강우량 대비 최대 10% 정도 저감시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

빗물침투시설의 설치 전·후 유출률 변화 분석 결과, 청계천 유역 전체에 3.27mm/hr 규모의 빗물침투시설을 설치할 경우 10%~40%까지 유출률이 저감되는 것으로 나타났다. 빗물침투시설의

설치에 따라 침수피해 발생 3개 홍수사상에 대한 침투유출량은 5~7%까지 저감되었다.

빗물침투시설을 불투수율이 높은 고밀도시에 지에 설치하여, 홍수시 방재시설로서 활용될 수 있는 것으로 나타났다.

## 2. 빗물관리의 환경변화 저감 효과

현재 서울시는 일부 개발사업에 대하여 환경영향평가 협의 시 빗물관리계획을 적용하도록 규정하고 있으며, 주택정비사업은 대상지면적 9만m<sup>2</sup> 이상에 대하여 환경영향평가 협의를 받도록 하고 있다. 그러므로 주택정비사업에서의 빗물관리 적용에 의한 환경변화 저감 효과는 환경영향평가 협의대상 정비사업으로 분석하였다.

환경영향평가 협의대상 정비사업의 빗물관리 시설 설치 공동주택단지와 미설치 단지의 환경성 비교를 통하여, 실제 빗물관리시설 계획에 의한 단지 내 환경변화 저감 효과를 비교·분석하였다. 항목은 수질 분야의 빗물이용시설 저장계수와 토지이용 분야의 생태면적률 변화를 분석하였다.<sup>7)</sup>

분석대상 사업은 다음과 같다.

1. 환경영향평가 협의사업 대상선정
  - 2002년~2009년까지 서울시 환경영향평가 협의완료 된 정비사업 대상
  - 항목별로 구축된 자료가 상이하여 항목별 4~14개 사업 대상 분석
2. 환경영향평가 비협의사업 대상선정
  - 환경영향평가 대상 사업을 선별하고 비대상 사업은 건축위원회 심의자료를 검토하여 대표사업을 선정
  - 선정된 환경영향평가 사업과 비대상사업을 용도지역과 규모 기준 유사한 사업지를 대상으로 선정

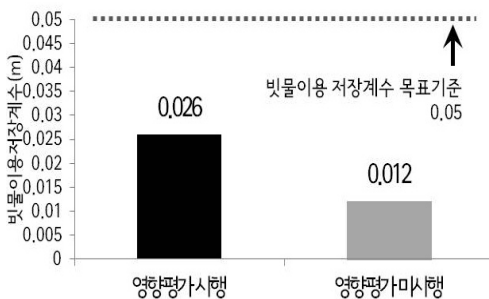
7) 본 내용은 저자가 「환경영향평가 협의사업 성과 분석에 따른 개선방안 연구」를 수행하면서 실시한 분석 결과의 일부를 자료로 참고하였다.



### 1) 수질분야-빗물이용시설의 환경변화 저감

빗물이용시설 저장계수<sup>8)</sup>는 건축면적당(또는 대지면적당) 시설의 빗물저장량을 나타내는 지표로서 환경영향평가 협의사업 대상지의 빗물이용가능량을 확인할 수 있다. 빗물이용시설 저장계수의 목표치는 「물 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행규칙」에서 제시하는 지붕의 집수면적에서 빗물을 50mm를 저장하도록 하는 0.05(m)이다.

분석결과에서 빗물관리를 적용한 사업이 평균 0.026(m)이고 비적용 사업은 평균 0.012(m)로서, 빗물관리를 적용한 사업의 빗물이용시설 저장계수가 비적용사업보다 평균 2배 이상 높아 빗물이용의 저장능력이 크다. 빗물이용시설 설치 달성율은 목표치 0.05(m)에 대비 적용사업은 100% 설치되었지만, 비적용사업의 달성율은 0%로 빗물이용시설이 자발적으로 설치되지 못하고 있다.



〈그림 7〉 빗물이용 저장계수 목표 대비 확보량

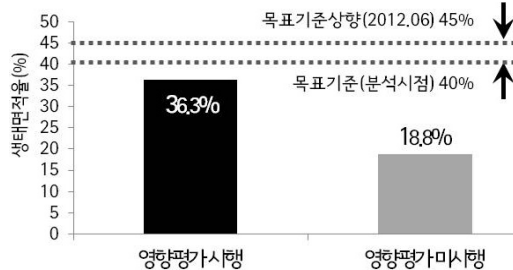
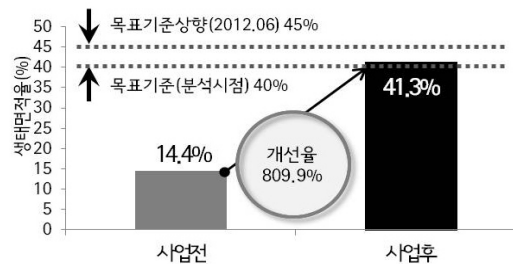
### 2) 토지이용분야-생태면적률의 환경변화 저감

빗물관리를 적용하기 전·후의 생태면적률 개선률은 사업 전 14.4%에서 사업 후 41.3%로 빗물관리를 통하여 상당히 개선되었다. 이는 기존 생태면적률 목표치<sup>9)</sup>를 상회하는 것으로, 단지

내에 투수성 포장 및 조경 식재구역, 수공간 등의 확보를 통해서 기존의 불투수면을 저감하는 계획이 반영된 것이다.

빗물관리 적용사업과 비적용사업을 비교·분석한 결과에서 환경영향평가 시행사업의 생태면적률은 평균 36.3%이고 영향평가 미시행사업은 18.8%로서, 영향평가에서 빗물관리 적용을 규정함으로써 불투수면 저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

생태면적률 목표치(2010년 기준) 대비 달성율은 빗물관리 적용사업이 116.1%를 달성하였지만 비적용사업은 목표치의 36.3%만을 나타내고 있다. 이는 환경영향평가에 의해 빗물관리를 의무적으로 반영하도록 규정함으로써, 민간에서 시행하는 주택정비사업에 생태면적률을 높이고, 불투수면 저감 및 지표면의 빗물투수율을 높이고 있다.



〈그림 8〉 생태면적률 목표 대비 확보량

8) 빗물이용시설저장계수=빗물이용시설저장량( $m^3$ )/(건물면적( $m^2$ ) 또는 대지면적( $m^2$ ))

9) 환경영향평가 사업 성과 분석 시점인 2010년 당시 '환경영향평가 항목 및 심의기준'에서 규정하는 정비사업의 생태면적률은 40% 이상이었다. 현재는 2012년 5월 31일자로 기준이 변경되어 생태면적률은 45% 이상을 확보하도록 하고 있다.

## VI. 빗물관리시설 설치에 따른 경제성 분석

### 1. 빗물이용시설 경제성 분석

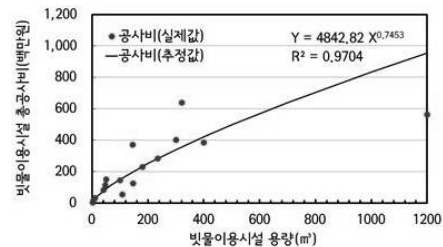
빗물이용시설의 경제성 분석은 수요자 측면에서의 소요비용과 발생편익을 비교하였다. 방법은 사업 경제성에 대한 절대적 평가를 나타내는 현재가치법<sup>10)</sup>과 상대적 평가를 나타내는 비용·편익비율법<sup>11)</sup>을 사용하였다.

빗물이용시설 경제성분석에 반영된 비용항목은 설치비용과 유지관리비이며, 편익항목은 상하수도요금, 물이용분담금, 시설분담금이다.

#### 1) 빗물이용시설 설치 비용 산정

단독주택, 다세대주택에 설치되는 소용량 빗물이용시설의 경우 설치비를 서울시로부터 90% 지원받고 있지만, 정비사업 공동주택의 경우 민간에서 토목 및 조경 공사비에 포함되어 산정되고 있어 정확한 건설비를 산출하는 것이 어렵다. 따라서 공동주택과 유사한 규모로 설치된 빗물이용시설의 건설비 자료를 토대로 분석하였다.

빗물이용시설 용량별 건설비 산정에 이용된 자료수는 총 17개이며, 분석 자료를 바탕으로 빗물이용시설의 용량별 건설비 관계식을 도출한 결과는 <그림 9>와 같다.



<그림 9> 빗물이용시설 설치규모 및 운영 현황

빗물이용시설의 시설용량-건설비 관계식을 이용하여 산출한 결과, 1,000m³ 규모의 빗물이용시설로 연간 7,028m³를 이용하기 위해서는 시설용량 1m³당 834천원/m³가 소요되며, 연간 1m³의 빗물을 이용하기 위해서는 113천원/m³가 소요되는 것으로 나타났다. 빗물이용시설의 용량별 건설비 산정식은 비선형으로, 저류조 용량이 작아질수록 시설용량 단가는 높다.

#### 2) 유지관리비용 산정

빗물이용시설의 유지관리비 항목에는 인건비, 보수비, 전력비, 수질 측정비가 있다. 빗물이용시설은 다른 정수처리, 하·폐수처리시설에 비해 규모가 작고 시설 공정이 간단하며 유지관리가 용이하므로, 인건비와 수질측정비 등은 제외하고 전력비 및 보수비만을 적용하였다.

10) 현재가치법은 투자사업 기간에 걸쳐 발생하는 비용과 편익을 할인율을 적용하여 현재가치를 구해, 순편익이 양인 경우 경제성이 있는 것으로 평가한다. 구체적으로 n기간동안 비용흐름이 C0, C1, C2, ..., Cn-1이고 편익흐름이 B0, B1, B2, ..., Bn-1이며 할인율이 r일 때 순편익의 현재가치는 다음과 같다.

$$NPV = B_0 - C_0 + \frac{(B_1 - C_1)}{(1+r)} + \dots + \frac{(B_n - C_n)}{(1+r)^n}$$

$$\sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t}, t=0, 1, \dots, n$$

여기서 순편익의 현재가치(NPV, Net Present Value)가 양이면 사업의 경제성이 있는 것이고 음이면 경제성이 없게 된다.

11) 비용·편익비율법은 비용과 편익의 현재가치를 각각 구해서 이 비율이 1보다 크면 사업의 경제성이 있는 것이고 1보다 작으면 경제성이 없다는 것임. 편익의 현재가치가 PVB이고 비용의 현재가치는 PVC일 때 BC의 비율은 다음과 같다. 비용편익비(B/C Ratio) = PVB / PVC

연간 빗물이용시설 유지관리비는 시설규모 1,000m<sup>3</sup>의 경우 41,752천원/년이다. 전력비 35천원/년, 보수비용 41,716천원/년으로 보수비용이 유지관리비의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다.

### 3) 편익 산정

빗물이용시설 도입으로 기존에 상수로 사용하던 청소 용수, 살수 용수 및 화장실 용수 등을 빗물로 이용할 수 있으므로 빗물이용량만큼의 수돗물 절감효과가 있는 것으로 하여, 서울시 상하수도 요금 체계에 따라 가정용을 기준으로 적용하였다.

### 4) 비용-편익 분석 결과

비용 대비 편익 분석 결과, 빗물이용시설 설치에 따른 비용-편익비는 지표 기준인 1.0보다 상당히 낮은 0.02~0.07로 나타났다(〈그림 10〉 참조). 이는 편익을 고려한 빗물이용시설의 시설용량 2~1,200m<sup>3</sup>까지 모두 경제성이 없는 것으로, 국내 가정용 상하수도 요금이 낮은 상태에서 실제 빗물이용에 따른 물사용 절감액의 편익이 시설투자 비용에 비하여 크지 않기 때문인 것으로 보인다. 또한 빗물이용시설 설치에 따른 연간 유지관리비용이 건설비용의 5% 수준으로, 시설 운영에 따른 소모 비용이 매우

큰 것으로 나타났다.

빗물이용시설 보급을 위해서는 소용량 뿐만 아니라 대용량의 모든 빗물이용시설에 대하여 지원이 필요한 상태이다. 수요자 측면에서 편익이 발생하도록 건설비 보조금과 별도의 상하수도 요금 감면과 같은 지원 대책이 요구된다.

시설용량별 비용 편익의 분석결과는 〈표 5〉와 같다.

## 2. 빗물침투시설 경제성 분석

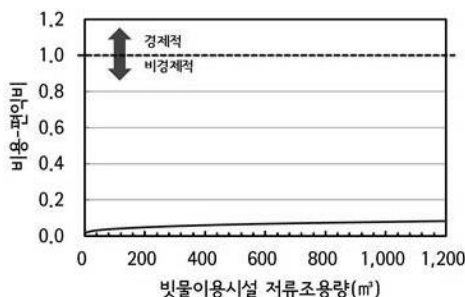
빗물침투시설은 빗물이용시설에 비하여 보급이 많이 이루어지지 않은 상태로 현장 시공에 의한 설치가 많아 시설 비용의 정확한 근거 자료가 확보되지 않았고, 편익 산정에 대한 기준이 모호하여 빗물이용시설과 같은 경제성 분석을 적용하기 어렵다.

선행연구로 개발사업, 단지에 대하여 빗물침투시설을 적용한 『아산탕정 분산형 빗물관리 체계』(한국토지주택공사, 2011)의 검토 결과를 참조하여, 공동주택단지에 설치되는 빗물이용시설과 빗물침투시설의 단위 빗물저장량당 설치비용을 비교, 검토하였다.

### 1) 단위 빗물저장량 당 비용 산출

분석 경우는 서울시 20년(1991년~2010년)간의 연평균 강우량인 1,489mm를 기준으로 하였으며, 대상지의 유효 강우량은 938.6mm, 손실량은 551.3mm로 가정하였다. 대상지의 토양 포화투수계수는 아산탕정에서 적용한  $0.55 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 를 적용하였다.<sup>12)</sup>

주택단지의 세대당 면적 491.2m<sup>2</sup>에서 연평균 침투량 726.3mm를 처리하기 위해서 침투통 4개



〈그림 10〉 빗물이용시설 비용-편익비

12) 투수가 원활하지 못한 토양 수준으로, 서울시 정비사업 대상지의 특성상 개토에 의한 토양현황이 고르지 못함을 반영하였다. 일반적인

〈표 5〉 빗물이용시설 용량별 비용 및 편익, 비용-편익비 결과

저류 용량 (m <sup>3</sup> )	빗물 이용량 (m <sup>3</sup> /년)	산정			경제성평가			
		비용(원)		편익(원)				
		건설비	연간 유지 관리비	물사용 절감	비용(원)	편익(원)	현재가치법(원)	편익 -비용비
2	14.1	8,123,295	406,659	17,289	12,604,067	190,503	-12,413,564	0.02
5	35.1	16,081,498	804,675	43,223	24,947,811	476,258	-24,471,553	0.02
10	70.3	26,958,232	1,348,688	86,447	41,818,755	952,516	-40,866,239	0.02
20	140.6	45,191,452	2,260,701	172,894	70,101,004	1,905,033	-68,195,971	0.03
50	351.4	89,464,463	4,475,409	432,235	138,776,793	4,762,582	-134,014,211	0.03
70	492.0	114,964,380	5,751,110	605,129	178,333,029	6,667,615	-171,665,414	0.04
100	702.8	149,973,821	7,502,640	864,470	232,641,714	9,525,164	-223,116,550	0.04
200	1,405.6	251,408,731	12,577,911	1,728,939	389,998,533	19,050,329	-370,948,204	0.05
300	2,108.5	340,114,703	17,016,735	2,593,409	527,613,721	28,575,493	-499,038,228	0.05
400	2,811.3	421,449,218	21,086,986	3,457,878	653,796,329	38,100,658	-615,695,672	0.06
500	3,514.1	497,707,995	24,903,451	4,322,348	772,106,845	47,625,822	-724,481,023	0.06
700	4,919.7	639,568,929	32,003,548	6,051,287	992,200,258	66,676,151	-925,524,107	0.07
1,000	7,028.2	834,333,179	41,752,337	8,644,696	1,294,381,609	95,251,644	-1,199,129,965	0.07

주: 평균 독립강우 발생횟수 64.95회/년, 저장율 22.28% 적용하여 연간 빗물이용량 산정

와 침투트렌치 26m를 설치하는 것으로 산정하였다.<sup>13)</sup> 침투통과 침투트렌치는 연간 113m<sup>3</sup>(세대당 기준), 244m<sup>3</sup>(세대당 기준)을 각각 침투·저장하게 되며, 이에 대한 설치비용은 2008년 기준 단가(아산탕정 사례)로 적용하여 각각 265,600원, 312,000원이다.

단지에 빗물침투시설을 설치하여 빗물을 침투·저류할 수 있는 양은 연간 485,877m<sup>3</sup>(침투통 153,793m<sup>3</sup>, 침투트렌치 332,084m<sup>3</sup>)이며, 빗물침투시설의 연간 빗물 1m<sup>3</sup>을 침투·저장하기 위해 발생하는 비용은 침투통이 2,357원/m<sup>3</sup>, 침투트렌치가 1,278원/m<sup>3</sup>로 평균 시설비용은 1,620원/m<sup>3</sup>

으로 나타났다.

## 2) 이용시설-침투시설의 빗물처리용량 대비 비용 분석

동일한 단지에 빗물이용시설을 설치할 경우, 빗물이용시설의 저류조의 용량은 18,384m<sup>3</sup>로 연간 265,931m<sup>3</sup>를 저장할 수 있다. 일반적으로 정비사업 공동주택단지에 설치되는 용량인 400m<sup>3</sup> 단위 저류조를 설치할 경우 빗물이용시설의 1m<sup>3</sup>당 시설 설치비용은 72,796원/m<sup>3</sup>이다.

침투시설의 기초(쇄석, 자갈층) 조성 비용을 고려하여도 빗물이용시설에 비하여 상대적으로

토양구성 성분의 포화투수계수는 다음과 같다.

	점토	실트	미세사	세사	중사	조사	작은자갈
입경(mm)	0~0.01	0.01~0.05	0.05~0.1	0.1~0.25	0.25~0.5	0.5~1.0	1.0~5.0
ko(cm/sec)	3x10 <sup>-6</sup>	4.5x10 <sup>-4</sup>	3.5x10 <sup>-3</sup>	0.015	0.085	0.35	3.0

13) 침투통과 침투트렌치 조합설치로 5mm/hr의 강우시 유출을 억제하여 비점오염원 및 강우 유출저감이 가능할 것으로 가정하였다.

낮은 비용으로 빗물관리가 가능하고 빗물의 침투·저류량이 더 많을 것으로 나타나 시설에 대한 비용 효율이 높을 것으로 분석되었다. 빗물침투시설 가운데 침투통과 침투트렌치를 적용한 경우의 예측 결과로, 녹지대에 설치되는 침투구덩이나 수로 등을 통한 침투량과 도로 및 광장 등에 설치되는 투수성포장 등에 의한 침투량은 산정되지 않았으므로 실제 공동주택단지에 침투시설을 적용하였을 때의 침투효과는 더 높을 것으로 기대된다.

〈표 6〉 빗물침투시설 단위빗물저장량당 비용산출

형태	침투통	침투트렌치
대지면적	세대당 대지면적 : $668,540\text{m}^2/1361\text{세대}=491.2\text{m}^2$	
건폐율	55% 적용	
연평균 침투량	726.3mm	
설계침투 강도	5.11mm/hr <sup>14)</sup>	
집수면적	155m <sup>2</sup>	336m <sup>2</sup>
단위 침투량	0.198x4 =0.792m <sup>3</sup> /hr	0.066x26 =1.716m <sup>3</sup> /hr
연평균 침투량	113m <sup>3</sup> /년	244m <sup>3</sup> /년
설치비용	265,600원	312,000원
m <sup>3</sup> 당 설치비용	2,357.41원/m <sup>3</sup>	1,278.11원/m <sup>3</sup>

## Ⅶ. 결과 및 고찰

이상과 같이 주택정비사업의 개발사업 추진 시 빗물관리 적용을 위한 타당성을 4개 분야 7개 항목에 대하여 분석하였다. 빗물관리 적용 타당성에 대한 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 물사정 및 빗물관리 관련 시민의식 설문 조사에서 설문응답자의 98.9%가 물 관리의 필요성을 인식하고 있으며, 물 절약 및 물 관리 정책 수립에 높은 관심을 갖고 있다. 빗물이용시설의 경우 비용 지원 시 설치하겠다는 응답자의 수가 많아, 시설비용 보조금 또는 수도요금 감면과 같은 별도의 지원제도가 뒷받침되어야 할 것이다.

둘째, 기존에 설치되어 있는 빗물이용시설 실태를 조사한 결과, 미운영률이 38%로 높으며, 운영되고 있는 시설도 평균 빗물이용량이 10m<sup>3</sup>/일 이하 79.5%, 이용일수 60일 이하 48.6%로 빗물이용시설의 이용 효율이 높지 않다.

셋째, 빗물관리시설의 홍수량 저감 효과는 빗물이용시설보다는 빗물침투시설이 크다. 강우시 빗물이용시설은 지표면 유출량은 저감시키지만 침수피해 대상강우인 침투홍수량 저감 효과가 없다. 이에 대해 빗물침투시설은 빗물이용시설에 비해 지표유출량 저감 효과가 최대 40%로 크고, 침투유출량은 5~7% 정도 저감시켜 방재시설로 활용이 가능하다.

넷째, 빗물관리가 적용된 정비사업은 환경변화 저감 효과가 있으며, 개발지역의 자연 물순환 회복이 가능하다. 빗물이용시설 설치를 통해 빗물이용의 저장능력이 빗물관리 비적용사업에 비하여 평균 2배 이상 높다. 또한 빗물침투시설이 설치되어 높은 생태면적률을 확보하고 있으며, 비적용사업에 비하여 2배 높고, 빗물관리 적용 전에 비해서는 3배 가량 더 넓은 면적을 확보하고 있어 빗물관리에 의한 불투수면 저감효과가 있다.

다섯째, 현재 빗물이용시설의 법적 기준에 따른 시설용량의 평균 저장률이 연간 23~26% 수준에 불과하며, 갈수기인 12~2월에는 빗물저장

14) 설계 침투강도(mm/hr) = 설계침투량(m<sup>3</sup>/hr) / 집수면적(m<sup>2</sup>) x 1000

률이 5~6%로 상당히 낮아 시설 대부분이 활용되지 못하고 있다. 향후 기후변화로 인하여 용수 확보가 필요한 시기인 갈수기의 강우량과 강우발생횟수는 더욱 낮아질 것으로 예상되어 빗물이용시설의 이용량 및 시설효율도 더욱 줄어듦 것으로 예상된다.

여섯째, 빗물이용시설의 시설설치비용 대비 편익분석 결과  $2\text{m}^3 \sim 1,200\text{m}^3$ 까지 소용량, 대용량 빗물이용시설 모두에 편익-비용비가 1.0 미만으로 경제성이 없는 것으로 나타났다. 국내 가정용 상하수도 요금이 상대적으로 낮아, 실제 빗물이용시설 설치비용 대비 물사용 절감액 편익이 크지 않으며, 또 연간 유지관리비용이 건설비용의 5% 수준으로 시설운영에 따른 소모비용이 매우 크기 때문이다.

일곱째, 빗물관리시설의 단위 침투량 대비 시설설치 비용을 분석한 결과 빗물이용시설에 비하여 빗물침투시설이 저렴한 것으로 나타났다. 침투시설이 빗물이용시설에 비하여 물순환 관리 측면에서 낮은 비용으로 빗물관리가 가능하고, 빗물의 침투·저류량도 더 많으므로 시설에 대한 비용 효율이 높다.

빗물관리시설은 기반시설의 성격을 가지고 있으므로 개발계획 초기 단계에서부터 고려되어야 한다. 기존의 빗물관리가 단독주택 및 공공시설을 대상으로 빗물이용시설 설치가 중심이 되었던 것도, 빗물관리계획이 개발계획 수립 초기에 반영되지 못한 것에서 기인하였다고 볼 수 있다.

특히 주택정비사업의 경우 1996년도 주택법령 개정 이후 공동주택단지에 지하주차장 설치가 확대되면서 단지내에 자연지반이 크게 감소하였고, 녹지의 경우도 인공지반위에 조성되어 실질적인 투수면적이 높지 않은 것으로 나타나 이를 확대하기 위한 방안이 필요한 시점이다.

## VIII. 결론

본 연구는 기후변화와 불투수면 확대로 도시의 자연적 물순환 구조가 상실됨에 따라, 도시 전체의 물순환 회복을 위하여 서울시 주거지의 17.6%를 차지하고 있는 주택정비사업에 대하여 빗물관리를 적용하는 방안을 검토하였다.

서울시의 빗물관리는 2000년대 초반 빗물이용을 중심으로 추진되었으나, 2007년 『서울특별시 빗물관리에 관한 조례』 제정 이후 빗물침투와 빗물저류의 개념을 포괄하는 통합적 빗물관리방식으로 전환하였다. 그러나 이는 권고 수준에 불과하여, 정책적으로 도시의 빗물침투 및 저류 확대를 위한 다각적 빗물관리 적용 방안이 마련되어야 한다. 따라서 불투수면 확대와 인공적 물순환으로 진행되어 온 주택정비사업에 대하여 자연계 물순환을 고려한 빗물관리를 적용하게 되면 도시 물순환 구조 회복에 큰 전환이 될 수 있다. 이는 주거지의 지속가능성을 증진시킨다는 점에서도 의의가 있으며, 최근 개발사업과 관련하여 LID(저영향개발) 그린인프라스트럭처에 주목하고 있는 국내의 경향에서도 가능성을 확인할 수 있다(현경학, 2011).

주택정비사업에서의 빗물관리는 빗물침투에 의한 토양 자연정화기능의 활용 및 물순환 회복을 위한 방향으로 추진되어야 하며, 빗물이용시설의 경우는 현재의 권고수준을 유지하면서 강우양상 변화에 따라 시설 효율성을 높이기 위한 설치 기준이 검토되어야 한다.

빗물관리는 도시환경과 안전을 위한 공공적 가치를 지향하는 개념으로, 향후 정비사업 등의 민간추진 개발사업에 적용하기 위해서는 주체인 시민과 민간사업자의 빗물관리에 대한 이해와 정책적 공감대가 확보되어야 한다. 또한 개발사업 계

획단계에서부터 빗물관리 계획을 적용할 수 있도록 환경영향평가 적용범위 확대 및 건축심의기준 마련 등 정책적·제도적 방안이 필요하다.

## 참고문헌

- 김영란, 2007, 『빗물관리시설 설치 및 관리 매뉴얼 작성』, 서울시정개발연구원.
- \_\_\_\_\_, 2010, 『물부족에 대응한 물수요 관리 도입 계획』, 서울시정개발연구원.
- \_\_\_\_\_, 2012, “도시 물환경 변화와 적응 관리방안”, 도시생태계적응관리기술개발(수환경부) 공개세미나 발표자료.
- 서울특별시, 2007, 『서울특별시 빗물관리 기본계획』.
- \_\_\_\_\_, 2009, 『빗물 가두고 머금기 가이드라인 작성』.
- \_\_\_\_\_, 2010, 『환경영향평가협의사업 성과분석에 따른 개선방안 연구』.

- 한국토지주택공사, 2011, 『아산탕정 분산형 빗물관리체계』.
- 한영해·최영국·이태구, 2005, 『생태적 도시개발을 위한 물순환 체계 확보방안 연구』, 국토연구원.
- 한우석, 2011, “도시 빗물관리 개선을 위한 미국 저영향개발 적용사례와 시사점”, 『국토정책 Brief』, 제344호
- 현경학, 2011, “서울시 물관리 정책방향 LID(저영향개발) Green Infra(GI)와 도시 물순환”, 토지주택연구원
- 현경학·김정곤·이정민·정종석·김종남·이유진, 2010, 『아산탕정 물순환 그린도시 조성방안 연구』, 토지주택연구원.
- 환경부, 2000, 『친환경적 도시계획수립 방안 연구』.
- \_\_\_\_\_, 2005, 『생태면적률 적용지침(안)』.
- \_\_\_\_\_, 2007, 『건전한 생태도시 조성을 위한 빗물관리체계개선 연구』.

원 고 접 수 일 : 2013년 1월 8일  
1 차 심 사 완 료 일 : 2013년 3월 8일  
최 종 원 고 채 택 일 : 2013년 4월 10일