

# 효자배수분구의 우수유출저감을 위한 레인가든 면적 산출\*

- 몬테카를로 시뮬레이션의 적용 -

## Sizing Rain Garden to Reduce Stormwater Runoff in Hyoja Drainage Basin

- Applying Monte Carlo Simulation -

김지연\*\* · 이동근\*\*\* · 성선용\*\*\*\* · 박 찬\*\*\*\*\*

Kim, Ji-Yeon · Lee, Dong-Kun · Sung, Sun-Yong · Park, Chan

### Abstract

Increasing impervious area has been responsible for urban inundation in recent times. To address the problem of urban inundation, rain gardens have been considered for improving water systems in cities. In Seoul, seven rain gardens were installed in the Hyoja drainage basin, which was prone to floods, as part of the rain garden project. However, the required area of the rain gardens in the site has not been studied. This study estimated the required area of the rain gardens for reducing runoff volume in the Hyoja drainage basin. Monte Carlo simulation was performed to enable better decision-making by applying the results of this study to planning. In the simulation, precipitation and soil water-holding capacity, which had probability distribution, were used as variables, and they were combined to generate the distribution of the area of rain gardens. The results of the simulation showed that the average required area of rain gardens is 56,703.34–57,434.09 m<sup>2</sup>, and the maximum area required is 109,429.75–110,617.82 m<sup>2</sup>. The distribution of rain garden area can be useful in deciding the appropriate area of rain gardens for reducing target runoff in the site.

키 워 드 ▪ 우수유출량, 유출곡선지수, 확률분포, 도시 침수

Keywords ▪ Runoff volume, Curve number, Probability distribution, Urban inundation

## I. 서 론

한국은 1970년대 이후 고속경제성장을 거치며 급격하게 도시화가 이루어졌다. 특히 서울시는 택지 및 상가 등의 집중 개발과 인구밀도 증가가 급속히 진행된 대표적인 지역이다. 이에 따라 서울시의 불투수면적률은 1962년 7.8%에서 2010년 47.8%로

크게 증가하였다(김영란, 2012). 불투수면적의 증가는 강우 시 유출량을 증가시켜 도시침수를 일으키고, 지하 침투량을 감소시켜 지하수 고갈 및 하천 건천화 등 수순환의 문제를 야기하고 있다(환경부, 2013).

이러한 배경 아래 도시의 수순환 개선을 위한 레인가든의 역할이 주목받고 있다. 레인가든은 불투

\* 본 연구는 2014년도 환경부 차세대 에코이노베이션 기술개발사업(과제번호 : 416-111-014) 및 기후변화 대응 환경기술개발사업(과제번호: 2014-001-310007)의 지원으로 수행되었습니다.

\*\* 서울대학교 대학원 생태조경-지역시스템 공학부 석사과정 (주저자: jijeon0424@snu.ac.kr)

\*\*\* 서울대학교 생태조경-지역시스템 공학부 교수 (교신저자: dklee7@snu.ac.kr)

\*\*\*\* 서울대학교 환경대학원 협동과정 박사과정

\*\*\*\*\* 일본 국립환경과학원 사회시스템연구센터 특별연구원

수면에서 흘러넘치는 빗물을 최대한 많이 담을 수 있도록 설계된 움푹하게 파인 모든 식재지역을 의미한다(Dunnett and Clayden, 2007).

레인가든은 강유유출수를 저류하며 유출수가 최고수위에 도달할 때 까지 걸리는 시간을 지연시키는 것으로 알려져 있다(Kohler et al., 2002, Murhanna et al., 2008, 김창수와 성기준, 2011). 실제로 포틀랜드 오리건 컨벤션센터의 레인가든(2003)은 5.5에이커의 건물 옥상으로부터 집수되는 빗물을 효과적으로 처리하고 오염물질을 걸러 도시 하천의 수질 향상에 기여하고 있는 것으로 나타났다(Kinkade-Levario, 2013). 뉴욕시시의 레인가든은 폭넓은 지역의 불투수면에 도입함으로써 1-1.5 인치 강우 발생시 72,000갤런의 우수유출수를 저감시킬 수 있도록 설계되어 도시에서의 레인가든 효과를 입증하였다(NYC, 2010).

서울시 역시 불투수면적 증가로 인한 빗물 침투곤란 개선 및 도시경관을 향상시키기 위하여 2012년에 레인가든 조성 사업을 추진하였다(서울시, 2012a). 현재 종로구 효자배수분구의 세종대로에 7개소(1개소: 1m×4.5m)가 시범적으로 조성되어 있다.

그런데 레인가든을 도입함에 있어서 그 규모가 적절한지 연구될 필요가 있다. 레인가든의 규모 및 기능을 정량적으로 평가하는 연구가 반드시 선행되어야 하며 연구 결과를 바탕으로 레인가든 도입 계획을 수립해야 한다. 서울시 레인가든 조성사업의 경우 레인가든의 우수유출저감효과를 분석하기 위한 시도는 있었으나 공식적인 결과는 내지 못하였다(서울시 조경과, 2014, 한국건설기술연구원, 2014). 따라서 레인가든 적정 규모 산출을 위한 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

레인가든 적정 규모를 산출할 때에는 계획 비용 및 토지의 낭비를 최소화시킬 수 있도록 효율적인 의사결정 방법을 선택하는 것이 중요하다. 의사결정의 불확실성을 줄이기 위한 방법으로 확률론적 점

근방식이 주로 이용되는데(Smith, 2002), 확률론적 분석방법 중 변수가 확정값이 아닌 확률값을 가질 때에는 변수들의 확률분포를 반영한 결과를 도출할 수 있는 몬테카를로 시뮬레이션이 이용된다. 시뮬레이션 결과를 토대로 도시 내 레인가든 필요면적을 산정하면 레인가든 도입을 위한 효율적인 토지 계획을 세울 수 있다.

따라서 본 연구에서는 레인가든 시범조성 지역인 종로구 효자배수분구를 대상으로 우수유출수를 처리하기 위한 레인가든 필요면적을 산출함에 있어서 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하였다. 몬테카를로 시뮬레이션 결과를 바탕으로 대상지 내 적절한 레인가든 조성 계획을 제시하고자 한다.

## II. 연구 범위

본 연구의 대상지는 서울시의 4개 물재생 센터 중 하나인 중랑처리구역 내의 청계배수구역에 속하는 종로구 효자배수분구이다. 상류부는 북한산과 인왕산이 위치하여 급한 경사를 이루고 중하류부에서 급격히 완만해지는 전형적인 도시 배수분구이다(안정환 외, 2013). 배수분구의 북쪽으로는 북악산과 인왕산이 위치하며 그 아래는 광화문 일대를 포함한다.

이 지역은 2008년 2월 종로구로부터 호우 시 광화문지역의 통수능력 확보를 위해 실시된 「광화문 지역 침수방지용역」 등의 결과에 따라 불량 하수관거 정비를 요청받은 지역이다(김계중, 2012). 또한, 광화문광장 조성이 이루어진 이후에는 기습적인 폭우로 해마다 침수가 반복되고 있어 물 관리의 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 이에 효자배수분구는 국내 34개 침수 취약지역 중 특별관리구역 및 환경치수 시범계획 구역으로 지정되어 있어 본 연구의 대상지로 선정하였다(서울시, 2012b).



## 1. 유출곡선지수(CN) 산정

대상지 내에서 발생하는 우수유출량을 계산하기 위하여 대상지의 평균 유출곡선지수(Curve number, CN)를 산정하였다. 토양의 조건에 따라 우수유출량을 산정하는 방식 중 가장 보편적이고 합리적으로 알려져 있어 국내에서 채택하고 있는 미국 자연자원보존국의 SCS-CN 방법을 이용하였다(소방방재청, 2010).

본 연구에서는 ArcGIS 9.3을 이용하여 농촌진흥청에서 제작한 정밀토양도를 기반으로 토양형을 분류하였다. 분류한 토양형별 면적 구분을 중분류 토지피복도의 피복형별 면적 구분과 중첩시켜 동일 토양형-피복형별 면적으로 구분하였다. 동일 토양-토지피복별 면적에 대하여 SCS-CN값을 부여한 다음, 면적 가중 평균하여 유역의 평균 유출곡선지수(CN)를 산정하였다(정종호와 윤용남, 2010). 일반적으로 개발 사업이 많이 진행된 도시의 유출곡선지수를 산정할 때 유출률이 대단히 높은 상태를 가정한 AMC-I 조건을 사용하지만, 대상지는 인왕산, 북악산 등의 자연지역과 역사 보존지역을 포함하고 있다. 따라서 대상지는 개발 사업이 많이 진행되지 않은 도시 지역으로 판단하여 유출률이 보통인 상태를 가정한 AMC-II 조건을 사용하였다.

## 2. 입력자료 구축

### 1) 레인가든 필요면적 산출식 선정

레인가든 필요면적은 대상지 내에서 발생하는 유출량 Q(식1)를 계산하고 이를 레인가든이 머금을 수 있는 물의 양으로 나누어 계산하였다. SCS방법의 총강우량-유효우량 관계 모형을 이용하여 유출량 Q를 계산하였으며 (식1)의 Area는 효자배수분구의 면적, P는 총 강우량(mm/day), CN은 앞서 산

정한 평균 유출곡선지수를 나타낸다. 레인가든이 머금을 수 있는 물의 양은 레인가든의 토양수분함유량과 토양 상부에 고이는 물의 양을 더하여 산정하였다.

$$Q = Area \times \frac{(P - 0.2 \times (\frac{25400}{CN} - 254))^2}{P + 0.8 (\frac{25400}{CN} - 254)} \quad (식1)$$

위의 공식에서 확정된 하나의 값으로 표현되지 않고 특정 확률분포를 따르는 값들로 표현되는 변수에 대해서 정의해야 한다. 레인가든 면적을 결정하는 두 변수인 강우량과 수분함유능이 모두 확률분포로 나타난다.

### 2) 강우 확률분포 정의

강우량의 확률분포를 정의하기 위하여 기상청이 제공하는 최근 5년간(2009년-2013년)의 일일 총 강우량 데이터를 이용하였다. 이는 최근 들어 돌발적인 호우 발생률이 증가하고 있으며 광화문광장 조성으로 인한 불투수면적 증가에 따른 유출수 증가를 고려하기 위함이다. 강우 데이터는 효자배수분구가 속한 종로구에서 관측된 값을 사용하였다. 0mm부터 100mm까지의 강우사상을 10mm를 기준으로 총 10개 구간으로 나누어 발생 횟수를 기록한 뒤 각 구간의 강우가 발생할 확률을 도출하였다. 각 구간 내에서 도출되는 값은 균등한 확률을 갖는다고 가정하였다. 예를 들어 10개 구간 중 0-10mm 구간의 강우가 발생할 확률을 도출하고 0-10mm 사이에서는 균등한 확률로 강우가 발생하는 것으로 설정하였다.

### 3) 레인가든 수분함유능 확률분포 정의

레인가든 수분함유능 확률분포는 토양수분함유능

에 따라 달라진다. 본 연구에서는 수분함유능 및 침투능이 커 우수유출저감시설에 적합한 토양이며 (환경부, 2013) 현재 시범 조성된 레인가든에 사용되고 있는 양토를 레인가든 토양 기준으로 하고 토양수분함유능 확률분포를 정의하였다. 양토의 경우 레인가든 토양 깊이인 60cm의 흙에서 최대 10cm 깊이만큼 물을 저장할 수 있다(Klocke and Hergert, 1990). 강우사상 발생 시 토양수분함유능은 선행강수량 등의 초기 토양수분량의 영향을 받으므로 레인가든의 토양수분함유량을 최소 0cm부터 최대 10cm로 두었다. 또한 본 연구에서 우수유출량을 계산할 때 토양수분량이 50%라고 가정한 AMC-II 조건을 사용하였으므로, 레인가든 토양이 최대 수분함유량의 50%인 5cm의 수분을 함유하고 있는 상태를 평균으로 하는 정규분포( $\mu=5$ )를 따른다고 가정하였다. 그러나 이 확률분포의 표준편차는 알 수 없기 때문에 표준편차를 1, 1.5, 2, 2.5, 5로 바꾸어가며 시뮬레이션 하였다.

### 3. 몬테카를로 시뮬레이션 실행

입력변수의 확률분포를 고려한 레인가든 필요면적을 산출하기 위해서 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 몬테카를로 시뮬레이션은 수치적으로 해를 찾기 위하여 확률모형의 변수의 확률분포를 얻어내고, 이 분포를 따르는 수많은 난수들의 조합을 통해 결과의 확률분포를 도출해내는 방법이다(이준행과 이준식, 2004).

Excel의 VBA(Visual Basic for Application)를 이용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 프로그래밍 하였다. 2만 번의 반복시행을 통해 강우 및 토양수분함유능 확률분포로부터 무작위로 값을 뽑아낸 후 앞서 도출한 레인가든 면적 산출식에 대입하여 레인가든 필요면적의 확률분포를 도출하였다. 시뮬레

이션 결과값을 히스토그램으로 나타내어 결과값의 발생빈도를 파악하였다. 최종적으로 결과의 확률분포로부터 평균값 및 90% 신뢰구간에서의 최댓값을 해석함으로써 레인가든 도입을 위한 의사결정에 이용하고자 하였다.

## IV. 연구 결과

### 1. 유출곡선지수(CN) 산정

수문학적 토양분류 기준을 이용하여 토양형 A, B, C, D로 재분류한 토양도와 토지피복지도를 면적구분하였다(그림 4). 토양-토지피복별 면적 분포를 가중인자로 두고 전체 평균함으로써 산정한 평균 유출곡선지수(CN)는 약 69.95로 산정되었다(표 1).

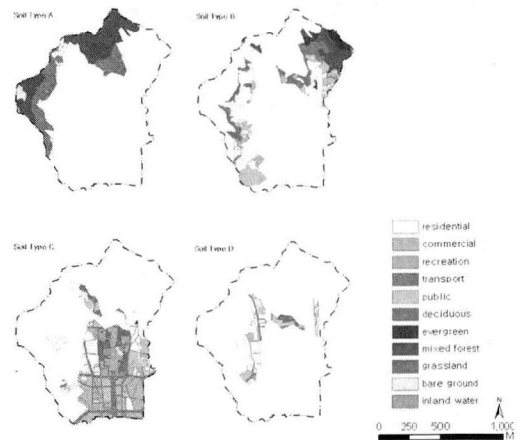


그림 4. 토양-토지피복 면적구분도  
Fig. 4. Soil-land cover area division

### 2. 강우 확률분포

일일 총 강우량의 발생 확률은 (표 2)와 같다. 0-10mm의 약한 강우의 발생확률이 73%로 매우 높게 나타났으며 총 강우량 30mm까지 발생할 확

표 1. 효자배수분구의 유출곡선지수(CN)

Table 1. Curve number of Hyoja drainage basin

| Land cover     | Area(m <sup>2</sup> ) | A          |     | B          |    | C          |    | D          |    | CN    | CN (weighting) |
|----------------|-----------------------|------------|-----|------------|----|------------|----|------------|----|-------|----------------|
|                |                       | Area       | CN  | Area       | CN | Area       | CN | Area       | CN |       |                |
| Residential    | 1,222,375             | 58,620.58  | 46  | 451,217.68 | 65 | 420,072.70 | 77 | 292,464.00 | 82 | 72.28 | 15.85          |
| Commercial     | 553,733.60            | -          | -   | 23,858.46  | 92 | 497,955.40 | 94 | 31,919.75  | 95 | 93.22 | 9.26           |
| Recreation     | 242,222.10            | -          | -   | -          | -  | 242,113.50 | 79 | 108.55     | 74 | 79.00 | 3.43           |
| Transportation | 658,175.70            | 31,296.72  | 83  | 61,141.57  | 89 | 489,866.30 | 92 | 75,871.07  | 93 | 90.14 | 10.64          |
| Public         | 621,731.50            | 537.45     | 89  | 295,531.37 | 92 | 223,045.50 | 94 | 102,617.20 | 95 | 91.06 | 10.16          |
| Deciduous      | 807,031.20            | 485,333.30 | 36  | 299,660.15 | 60 | 16,078.28  | 73 | 5,959.35   | 79 | 45.98 | 6.66           |
| Evergreen      | 124,885.30            | 3,382.88   | 36  | 118,026.47 | 60 | 3,215.405  | 73 | 260.57     | 79 | 59.73 | 1.33           |
| Mixed forest   | 962,253.90            | 724,122.60 | 36  | 235,164.37 | 60 | 2,966.87   | 73 | -          | -  | 41.97 | 7.24           |
| Grassland      | 187,845.20            | 3,174.02   | 49  | 28,225.38  | 69 | 123,979.20 | 79 | 32,466.59  | 84 | 77.50 | 2.61           |
| Bare ground    | 178,342.10            | 37,484.81  | 56  | 20,692.45  | 75 | 80,392.00  | 86 | 39,772.78  | 91 | 77.52 | 2.48           |
| Inland water   | 13,352.82             | 13,352.82  | 100 | -          | -  | -          | -  | -          | -  | 100   | 0.23           |
| Total          | 5,571,948.35          |            |     |            |    |            |    |            |    |       | 69.95          |

률이 전체의 90%를 차지하였다. 총 강우량이 증가할수록 발생확률은 줄어드는 경향을 나타냈다.

### 3. 몬테카를로 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과 필요한 레인가든의 면적은 평균적으로 56,703.34m<sup>2</sup>-57,434.08m<sup>2</sup>으로 나타났으며 이는 광화문광장의 약 3-3.03배와 같은 면적이다.

표 2. 구간별 강우량의 발생 빈도 및 확률  
Table 2. Frequency and probability of occurrence of precipitation

| Precipitation (mm/day) | Frequency |    |    |    |    |              | Probability of occurrence (%) |
|------------------------|-----------|----|----|----|----|--------------|-------------------------------|
|                        | 2         | 2  | 2  | 2  | 2  | Ave-<br>rage |                               |
| 0-10.0                 | 95        | 73 | 64 | 86 | 79 | 79.4         | 73.11                         |
| 10.0-20.0              | 16        | 13 | 13 | 8  | 14 | 12.8         | 11.79                         |
| 20.0-30.0              | 5         | 5  | 5  | 5  | 5  | 5.00         | 4.60                          |
| 30.0-40.0              | 3         | 4  | 6  | 3  | 7  | 4.60         | 4.23                          |
| 40.0-50.0              | 2         | 2  | 1  | 1  | 1  | 1.40         | 1.29                          |
| 50.0-60.0              | 4         | 2  | 1  | 1  | 1  | 1.80         | 1.65                          |
| 60.0-70.0              | 1         | 1  | 0  | 2  | 0  | 0.80         | 0.74                          |
| 70.0-80.0              | 1         | 3  | 0  | 2  | 0  | 1.20         | 1.10                          |
| 80.0-90.0              | 1         | 1  | 1  | 0  | 1  | 0.80         | 0.74                          |
| 90.0-100.0             | 1         | 1  | 1  | 0  | 1  | 0.80         | 0.74                          |
| Total                  |           |    |    |    |    | 108.6        | 100                           |

90% 신뢰구간에서 나타나는 최댓값은 109,429.75m<sup>2</sup>-110,617.82m<sup>2</sup>으로 나타났으며 이는 광화문광장의 약 5.79-5.85배에 해당하는 면적이다. 일반적으로는 레인가든을 도입할 때 산출된 레인가든 필요면적의 평균값을 사용할 수 있다. 그러나 발생 확률은 매우 적지만 발생 시 침수 등 유출수에 의한 피해를 야기하는 강한 강우에 대해서도 가능한 레인가든을 도입하고자 한다면 레인가든 필요면적의 최댓값을 고려해야 한다.

레인가든 필요면적의 분포 형태는 토양수분함유능 확률분포의 표준편차와 상관없이 유사하게 나타났다(그림 5). 이는 레인가든 필요면적 분포에서 토양수분함유능 확률분포보다 강우 확률분포가 더 큰 영향을 끼친다는 것을 나타낸다. 작은 값의 도출 빈도가 높게 나타나는 이유는 0-10mm, 10-20mm 강우의 발생 확률이 전체 강우사상의 각각 73%, 12%를 차지하여 약한 강우의 발생 확률이 강한 강우의 발생 확률보다 크게 높기 때문이다.

대상지 내에서 레인가든은 보도 위에 조성되기 때문에 시뮬레이션 결과를 바탕으로 레인가든을 조성했을 경우 보도의 면적이 얼마나 소요되는지를 분석하였다. 수치지도(1:5000)상에 나타난 효자배수

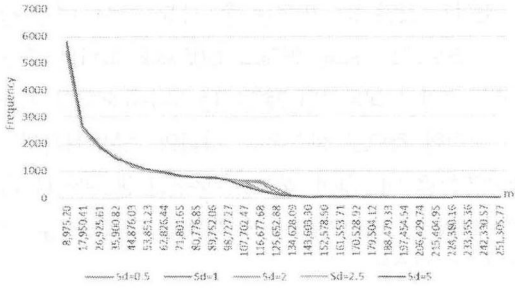


그림 5. 토양수분함유능 표준편차에 따른 레인가든 면적 분포곡선  
Fig. 5. Distribution of rain garden area as different standard deviations

분구의 보도면적은 광화문광장을 포함하여 총 110,877m<sup>2</sup>이다. 대상지에서 발생하는 우수유출 처리를 위하여 레인가든을 조성할 경우 평균적으로 전체 보도면적의 51.14~51.79%에 해당하는 면적에 레인가든이 도입되어야 하는 것으로 나타났다. 그러나 낮은 확률로 발생하는 강한 강우에 의한 우수유출량까지 고려하여 레인가든을 조성한다면 전체 보도 면적 중 98.95~99.76%가 소요되므로 도출된 레인가든 면적의 최댓값을 고려하여 레인가든을 조성하는 것은 현실적으로 불가능한 것으로 판단된다.

표 3. 레인가든 조성 시 소요되는 보도면적 비율  
Table 3. Street area ratio for installing rain garden

| Rain garden / Street(%)  | Standard deviation of distribution of soil water holding capacity |       |       |       |       |
|--------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
|                          | 0.5   | 1     | 2     | 2.5   | 5     |
| Average                  | 51.14   | 51.18 | 51.42 | 51.12 | 51.79 |
| Maximum (90% confidence) | 98.95   | 98.69 | 99.12 | 99.37 | 99.76 |

따라서 레인가든으로 처리할 수 있는 우수유출량을 전체 우수유출량의 일부로 한정한다면 보다 실현 가능한 레인가든 면적을 도출해낼 수 있다. 대

상지 내에서 발생하는 전체 우수유출량 중에서 10%, 30%, 50%, 70% 그리고 100%의 유출량을 레인가든이 처리하도록 가정할 때 전체 보도면적 대비 레인가든 필요면적을 비교하여 (표 4)에 나타내었다. (그림 6)은 유출량 처리 비율에 따라 달라지는 레인가든 필요면적 범위를 나타낸다.

표 4. 우수유출량의 일부를 처리할 때 소요되는 보도면적 비율

Table 4. Street area ratio for installing rain garden to manage a portion of runoff volume

| Rain garden / Street(%)  | Proportion of target runoff volume |        |        |        |        |
|--------------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                          | 10%                                | 30%    | 50%    | 70%    | 100%   |
| Average                  | 5.11                               | 15.34  | 25.58  | 35.80  | 51.14  |
|                          | -5.18                              | -15.54 | -25.90 | -36.25 | -51.79 |
| Maximum (90% confidence) | 9.87                               | 29.60  | 49.35  | 69.08  | 98.69  |
|                          | -9.98                              | -29.93 | -49.89 | -69.83 | -99.76 |

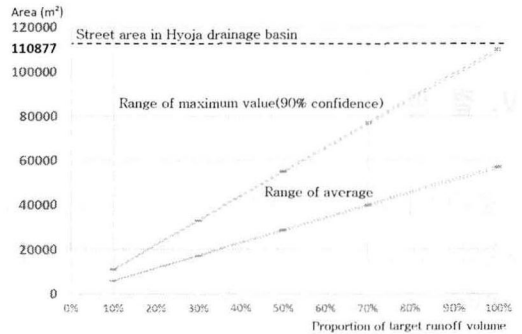


그림 6. 유출량 처리 비율에 따른 레인가든 필요면적 범위

Fig. 6. The range of required rain garden area as target runoff volume

분석 결과, 레인가든을 보도 위에 조성할 경우 레인가든이 처리할 수 있는 유출량을 전체 유출량의 10%로 한정하는 것이 실현 가능한 목표라고 판단된다. 평균적으로 전체 보도면적의 5.11~5.18%를 레인가든으로 조성할 경우 전체 우수유출량 중

10%를 처리할 수 있게 된다. 또한 전체 보도면적의 9.87-9.98%를 레인가든으로 조성한다면 발생 확률은 낮지만 강하게 내리는 비에 의한 유출수도 10%만큼 처리할 수 있다.

현재 서울시가 정한 레인가든 모듈을 그대로 사용한다면 지나치게 넓은 면적의 보도가 소요되거나 전체 유출량의 일부만을 처리할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 서울시 레인가든 조성사업 시 몇 가지 대안들이 고려될 수 있다. 먼저 레인가든 조성 지역을 보도뿐만 아니라 주차장이나 건물 옥상 등으로 확대시킴으로써 대상지 내 불투수면을 효과적으로 줄일 수 있다. 또한 수분함유능이 개선된 인공토양을 레인가든에 이용할 수 있으며 레인가든의 깊이 등 구조를 변화시킴으로써 개별 레인가든의 우수유출처리능력을 향상시킬 수 있다. 앞으로 최적의 레인가든 모듈 개발을 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

도시의 불투수면적 증가로 인한 빗물 관리의 중요성이 대두되고 있으며 이를 해결하기 위한 그린 인프라의 도입 필요성이 증대되고 있다. 본 연구에서는 빗물 관리 대안으로서 레인가든을 시범적으로 도입하고 있는 효자배수분구를 대상으로 우수유출수 처리를 위해 필요한 레인가든의 면적을 산출하였다.

2012년부터 서울시가 추진한 '건강한 물순환을 위한 레인가든 조성 사업'의 일환으로 현재 효자배수분구의 세종대로에 조성되어 있는 레인가든은 필요면적에 대하여 지나치게 적게 조성되어 있다.

조성된 레인가든 면적은 총 31.5m<sup>2</sup>이며 이는 필요한 레인가든 평균 면적의 0.05%에 미치는 수준이다. 따라서 대상지의 레인가든 우수유출저감 기능은 미미할 것으로 생각된다. 사업의 기본 취지대로 레인가든을 이용하여 효자배수분구의 물 관리를 하기 위해서는 레인가든 면적 확대를 적극적으로 검토해 볼 필요가 있다.

본 연구에서는 레인가든이 머금을 수 물의 양을 산정함에 있어서 식재된 수목 및 초화류의 기능은 고려하지 못하였으며 토양수분함유능을 정의함에 있어서도 많은 가정 하에 이루어졌다는 한계점이 있다. 특히 토양의 수분함량은 입경분포와 유기물 함량, 공극의 크기분포 등에 따라 달라지기 때문에 (한국지하수토양환경학회, 2007) 토양수분함유능을 결정짓는 것은 쉽지 않다. 향후 레인가든 조성 시 여러 차례 실험된 인공토양을 사용한다면 보다 정확한 토양수분함유능 확률분포를 그려낼 수 있을 것이다.

적절한 레인가든 면적을 산출하는 것은 도시의 물 관리 문제를 해결하기 위한 의사결정 과정에서 비용 및 토지의 낭비를 방지하기 위해 반드시 필요하다. 이 때 확정값을 갖지 않는 변수들을 고려하여 결과를 도출해야만 결과 해석에서의 불확실성을 줄일 수 있으며 이에 따라 목표에 부합하는 의사결정을 내릴 수 있다. 따라서 본 연구에서 몬테카를로 시뮬레이션을 사용하여 변수들의 확률분포에 따라 레인가든 필요면적을 도출했다는 점에서 의의가 있다고 판단된다. 본 연구의 결과를 바탕으로 우수유출처리를 위해 필요한 레인가든의 면적을 제시할 수 있다. 앞으로 레인가든 뿐만 아니라 다양한 그린인프라를 도입하기 위한 도시계획에서 이와 같은 방법을 이용하여 불확실성을 줄인 의사결정을 내리는 것이 필요할 것이라 사료된다.

인용문헌  
References

1. 김계중, 2012. 도시지역 침수예방 및 복구사업 추진실태 감사결과, 서울시: 지방건설감사단.  
Kim, G-J, 2012. *The result of a project audit for inundation prevention in the city*, Seoul: Local audit.
2. 김영란, 2012. 도시화가 물순환에 미치는 영향과 서울시 현황, 서울: 서울시정개발연구원.  
Kim, Y-R, 2012. *The impact of urbanization to water cycle system and Seoul*, Seoul Development Institute.
3. 김창수·성기준, 2011. “레인가든이 지하유출 및 침투유량 감소에 미치는 효과”, 「한국환경복원기술학회」, 14(5): 69-79.  
Kim, C-S, Sung, K-J, 2011. “Effects of Rain Garden on Reduction of Subsurface Runoff and Peak Flow”, *The Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology*, 14(5): 69-79.
4. 서울시, 2012a. 「세종대로 레인가든 조성공사」, 서울. Seoul, 2012a. *Rain garden project on the Sejongdaero*, Seoul.
5. 서울시, 2012b. 「청계천유역 환경치수 도시관리방안 수립용역 과업지시서」, 서울. Seoul, 2012b. *Direction of the project for flooding control in cheonggye basin*, Seoul.
6. 소방방재청, 2010. 「우수유출저감시설의 종류·구조·설치 및 유지관리 기준」, 서울. National Emergency Management Agency, 2010. *Manual for stormwater management facilities*, Seoul.
7. 안정환·김건우·조원철, 2013. “침수특성치를 이용한 침수위험성 평가”, 「대한토목학회」, 33(3): 957-964.  
Ahn, J-H, Kim, K-W, Cho, W-C, 2013, “Flooding Risk Assessment Using Flooding Characteristic Values”, *Journal of the Korean society of civil engineers*. 33(3): 957-964.
8. 이준행·이종식, 2004. 엑셀/VBA를 이용한 금융공학, 서울: 경문사.  
Lee, J-H, Lee, J-S, 2004. *Finance engineering using Excel/VBA*, Seoul: Kyungmoonsa.
9. 정종호·윤용남, 2010. 「수자원설계실무 제2판」, 서울: 구미서관.  
Lee, J-H, Lee, J-S, 2010. *Finance engineering using Excel/VBA*, Seoul: Goomiseogwan.
10. 한국지하수토양환경학회, 2007. 「“토양환경공학”」, 서울. Korean Society of Soil and Groundwater Environment, 2007. *Soil environmental engineering*, Seoul.
11. 환경부, 2013. 「환경영향평가서 저영향개발(LID)기법 적용 매뉴얼」, 세종. Ministry of Environment, 2013. *Manual for application of LID in environmental impact assessment*, Sejong.
12. Smith, E, 2002. “Uncertainty analysis”, *Encyclopedia of Environmetrics*, 4: 2283-2297.
13. Dunnett, N, Clayden A, 2007, *Rain gardens: Managing water sustainably in the garden and designed landscape*, Portland: Timber press.
14. Kinkade-Levario, H, 2013. *Design for water: Rainwater harvesting, stormwater catchment, and alternate water reuse*, Vancouver: New society publishers.
15. Klocke, N, Hergert, G, 1990. *How soil holds water*, University of Nebraska: Lincoln Extension.
16. Kohler, M, Schmidt, M, Grimme, FW, Laar, M, de Assuncao Paiva, VL, Tavares, S, 2002. “Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics-far beyond the aesthetics”, *Environment and health*, 13: 382-391.
17. Muthanna, T.M, Viklander, M, Thorolfsson, S.T., 2008. “Seasonal climatic effects on the hydrology of a rain garden”, *Hydrological process*, 22: 1640-1649.
18. New York City, 2010. *NYC green infrastructure plan: A Sustainable Strategy for Clean Waterways*, New York City.
19. 서울시, 2014년 2월 10일. 서울시 레인가든 조성사업 담당자 전화 인터뷰.

Seoul, 2014.2.10. Interview by officer.

20. 한국건설기술연구원, 2014년 2월 7일. 서울시 레인가든 우수유출저감효과 분석결과 전화 인터뷰.

Korea Institute of Construction Technology,  
2014.2.7. Interview by officer.

Date Received 2014-05-12

Date Reviewed 2014-06-26

Date Accepted 2014-06-26

Final Received 2014-07-07