

분산식 빗물관리에 의한 수문학적 처리목표량 설정

한영해* · 이태구**

*에코아르케 생태도시건축연구소 · **세명대학교 건축공학과

I. 서론

전통적인 집중식 빗물처리 기술의 한계가 지속적으로 논의되면서 이를 대처할 수 있는 새로운 방안들이 독일과 일본, 미국을 포함한 세계 각처에서 매우 다양하게 나타나고 있다. 이의 한 양상으로 저부하형 개발(LID: low impact development) 또는 최적관리기법(BMPs; the best management practices) 등의 개념으로 분산식 빗물관리 기법들이 논의되고 이와 관련된 연구들이 진행되고 있다(PGDER, 1997; Shaver, 2000).

분산식 빗물관리는 강우시 지역 내에서 발생하는 유출수를 빗물이용 및 침투·저류시설 등을 이용하여 그 지역내에서 처리하는 방법으로, 이를 위해서는 빗물의 상태나 활용목적에 따라 전처리·이용·저류·침투시설을 조합하여 계획하는 것이다(Freie und Hansestadt Hamburg Umweltbehoerde, 2000). 분산식 빗물관리는 현지에서 빗물의 침투, 증발산을 도모함으로써 개발로 인한 유출 증가량을 최소화하고 자연적인 물 순환의 기능을 회복하는 등 주요한 효과를 갖게 된다.

이에 본 연구는 택지개발사업으로 개발되는 지역을 대상으로 기존에 100% 관거에 의해 집중식으로 처리되었던 빗물을 어느 정도 분산식으로 처리하는 것이 합리적인지를 결정하기 위해 처리목표량을 도출하고자 한다. 이는 국내의 강우특성과 택지개발사업 지역의 공간적 특성을 고려한 분산식 빗물관리의 수문학적 목표량으로 제시될 수 있다.

II. 이론적 고찰

분산식 빗물관리 계획을 수립하기 위하여 검토되어야 하는 요소들은 매우 다양하다. 즉, 계획지역의 강우자료나 유역의 물리적·공간적 조건, 적용하고자 하는

계획시설 등 면밀한 분석을 토대로 이루어진다. 특히 해당지역의 강우강도, 강우사상의 경향을 나타내는 강우자료(rain database)의 구축이 요구된다. 이는 적용지역에서 분산식 빗물관리로 처리해야 하는 목표량 설정의 근거가 되며, 또한 각 시설의 설계용량을 결정하는 근거가 되기 때문이다(Sieker; 2002, Mondale; 2001).

분산식 빗물관리에 의해 처리할 수 있는 유출수문곡선상의 범위는 대상지역의 공간적 특성, 개발유형 등에 따라 다르다. 그러나 택지개발사업이나 신개발 단지의 경우 계획초기부터 침투·저류시설 적용을 위한 용지 확보가 가능하도록 체계적으로 토지이용계획이나 녹지계획, 우수관망계획을 수립할 수 있기 때문에 분산식 빗물관리의 적용정도가 크다.

즉, 강우사상이 크지 않은 때의 유출은 침투·저류시설에 의해 처리하고 특정 강우사상 이상에 대해서는 하수관거로 보내는 개념이다. 따라서 일반적인 하수관망 계획보다 관경의 크기를 적게 할 수 있다는 점에서 경제적 효과가 있다(한영해; 2005).

III. 연구방법

1. 연구범위 및 과정

택지개발사업지구에서 분산식 빗물관리에 의해 처리해야 하는 목표량은 전체 대상지역의 개발 전·후 토지이용 변화에 따른 CN값 변화를 근거로 설정하였다. 전국의 택지개발지역 중 재해영향평가가 수립된 18개 지역을 대상으로 평가사상의 CN값을 바탕으로 S.C.S 방법에 의해 유효우량을 산정하였다.

2. 개발 전·후 유출변화율 도출

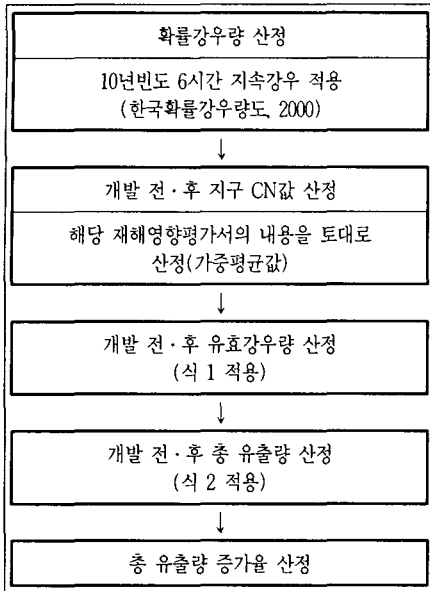


그림 1. CN 변화값을 이용한 유출량 산정과정

1) 확률강우량 산정

확률강우량은 설계강우의 지속기간(duration), 시설의 규모에 따른 설계빈도(design frequency), 선정된 빈도와 지속기간에 대한 강우량 깊이나 강우량으로 표현한다(윤태훈, 2002). 이에 분산식 빗물관리 목표량 산정시 적용할 수 있는 확률강우량을 구하기 위하여 강우의 재현빈도와 지속기간을 결정한다.

① 재현빈도 결정(I-D-F)

설계강우의 재현빈도는 적용시설의 설계재현기간을 고려하였을 경우 용도지역별로 주거지역 5~10년, 상업지역 10~50년 기준으로 계획강우량의 재현빈도를 결정하고 있다(대한주택공사, 1994). 미네소타주에서 발간한 빗물최적관리기법 매뉴얼에 의하면 소유역 개발시 빗물침투·저류시설 설계강우는 보통 2년~10년 빈도를 적용한다(Stadt Coesfeld, 2002; Urbanas and Stahre, 1993). 독일 하수처리협회(ATV, Abwassertechnische Vereinigung)에 의하면 토지이용별 도심지역에 대해서는 5~10년 빈도를 적용하도록 하고 있다(ATV-Arbeitsblatt: 2004, Geiger: 2001).

본 연구에서는 주로 주거지역으로 개발되는 택지개발사업의 특성을 고려하여 분산식으로 처리해야 하는 계획강우량을 10년 빈도의 강우량으로 설정하였다.

② 지속기간의 결정

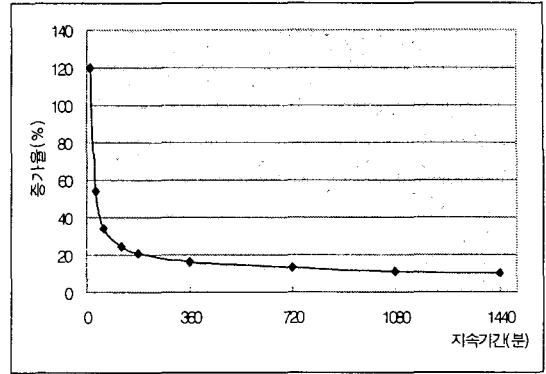


그림 2. 지속기간에 따른 개발전·후 총유출량 증가율(10년빈도 확률강우량) - 고양행신지구

설계강우의 지속기간은 유역면적과 수자원 구조물의 규모에 따라 다르게 된다. 본 연구에서는 일정 기간동안의 총 유출용적 변화를 분석하는 것이므로 침투유출이 일어나는 시간보다 큰 시간을 택해야 하며, 일반적으로 침투유출이 발생하는 시간의 2배에 해당하는 시간을 적용하여 유출총량을 산정한다.

전국 18개의 택지개발사업지구 재해영향평가서를 분석한 결과, 침투유출이 일어나는 시간이 2~3시간에 발생하기 때문에 총유출이 일어나는 시간을 침투유출 발생시간의 2배인 6시간으로 결정하여 확률강우량을 도출한다. 택지개발사업지구 중 고양행신지구를 대상으로 지속기간 변화에 따른 총유출량 증가율을 분석한 결과 6시간 이전에는 큰 폭으로 감소하다가 6시간 이후로 증가율에 큰 변화를 보이지 않음을 알 수 있다(그림 2). 확률강우량은 건교부(2000)에 의한 한국 확률강우량도에 따른다.

2) 개발 전·후 CN 변화 및 유효강우량 산정

각 재해영향평가서에서 도출한 CN값 중 CN-Ⅲ의 값을 채택하여 유효우량을 구하였으며 이때 확률강우량은 10년 빈도 6시간 지속기간에 대한 확률강우량을 적용하였다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (\text{식 1})$$

Q : 유효강우량(직접유출량, mm),

P : 확률강우량(mm)

S : 흙의 최대가능 저류량 ($S = \frac{25,400}{CN} - 254$)

3) 개발 전·후 총유출량 산정

총 유출량을 일정 지속기간 동안의 유출용적으로 구하면 다음과 같다.

$$V = Q \times A \quad (\text{식 2})$$

V : 유역에서의 총유출량(m^3),

Q : 유효강우량(mm), A : 유역면적(km^2)

IV. 연구결과

1. 개발 후 총유출량 변화율

위의 분석과정에 의해 분산식 빗물관리의 처리목표량은 개발 후 유출변화량 만큼을 처리하는 것으로 하며, 이때 설계강우는 10년 빈도 6시간 지속기간에 해당하는 확률 강우량을 적용하였다.

분석 결과, 개발 전·후의 CN 값은 개발 후 증가하였으며, 이는 총 유출량 변화에 영향을 준 것으로 나타났다(표 1). 개발 전, 후의 CN 값 차와 총 유출량 변화율의 상관관계를 분석한 결과 Pearson 단순상관계수는 $r=0.751$ 이고, 유의성 검정결과 유의수준 0.01에서 상관관계는 유의한 것으로 나타났다(그림 3).

10년 빈도 확률강우량에 대한 개발 전, 후의 유출변화율을 분석한 결과는 표 1과 같다. 사업지구면적과 평가구역 중 사업지구를 포함하고 있는 소유역의 면적이 서로 상이하고 이에 따라 총유출량의 변화폭도 다르게 도출되었다. 이는 재해영향평가시에는 사업지구를 포함하여 주변지역으로 미치는 영향을 모두 고려해야 하

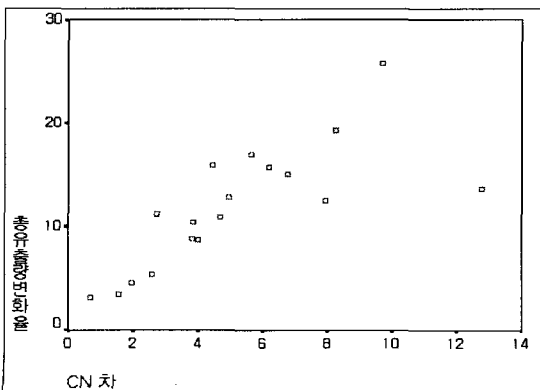


그림 3. 18개 택지개발사업지구의 CN차와 총유출량 변화율의 관계

표 1. 택지개발사업 전, 후 총유출량 변화율

| 지구명 | 사업 면적 (km^2) ¹⁾ | 평가구역 면적 (km^2) | 평균 CN | | 총유출량 변화율 (%) |
|-------|--------------------------------|--------------------|-------|-------|--------------|
| | | | 개발 전 | 개발 후 | |
| 고양행신 | 0.751 | 0.798 | 87.67 | 94.42 | 15.03 |
| 용인보라 | 0.819 | 0.829 | 82.60 | 86.61 | 8.70 |
| 양주덕정 | 0.244 | 0.290 | 83.08 | 88.04 | 12.84 |
| 의정부녹양 | 0.303 | 0.719 | 83.48 | 85.03 | 3.40 |
| 용인구성 | 0.996 | 2.273 | 84.11 | 86.06 | 4.50 |
| 성남도촌 | 0.800 | 1.165 | 82.79 | 92.50 | 25.78 |
| 용인동백 | 3.265 | 10.200 | 76.6 | 77.30 | 3.10 |
| 용인죽전 | 3.720 | 4.960 | 85.23 | 89.08 | 10.40 |
| 화성동탄 | 9.060 | 9.220 | 87.45 | 90.16 | 11.25 |
| 파주교하 | 2.043 | 2.425 | 85.00 | 93.24 | 19.31 |
| 김해율하 | 1.850 | 1.850 | 74.04 | 81.98 | 12.48 |
| 울산구영 | 0.740 | 0.740 | 76.53 | 89.28 | 13.60 |
| 광주수완 | 4.680 | 5.547 | 89.24 | 94.86 | 16.92 |
| 양산물금 | 10.674 | 12.589 | 93.80 | 96.38 | 5.38 |
| 대구매천 | 0.400 | 0.612 | 85.66 | 90.11 | 15.96 |
| 군포부곡 | 0.473 | 0.560 | 87.50 | 92.20 | 10.94 |
| 안산신길 | 0.812 | 0.810 | 91.12 | 94.93 | 8.76 |
| 울산화봉 | 0.450 | 0.428 | 87.46 | 93.64 | 15.76 |

¹⁾ 재해영향평가서에서 설정한 평가구역 중 사업지구가 속한 소유역의 합.

기 때문에 평가면적을 넓게 선정하여 소유역을 구분, 이를 포함하여 CN 값을 구하였기 때문에 CN 변화가 크지 않은 것으로 나타났다.

2. 유의성 검토

분석값의 정확도를 높이기 위해 18개의 결과값에 대해 택지개발지구 면적에 대한 재해영향평가면적 비율을 분석, 이에 따른 총 유출량 변화율을 구분하였다.

K-평균 군집분석을 실시한 결과, 사업지구면적(B)에 대한 평가구역면적(A)의 비 $R_{A:B}$ 가 비교적 같은 1.159인 군집에서는 평균 총 유출량 변화율(ΔV)이 14.04이며, $R_{A:B}$ 이 1.46인 군집에서는 ΔV 가 평균 25.78%, $R_{A:B}$ 가 1.83 군집에서는 ΔV 가 5.64%였다. 여기서 $R_{A:B}$ 의 비가 1에 가까운 군집은 평가구역면적

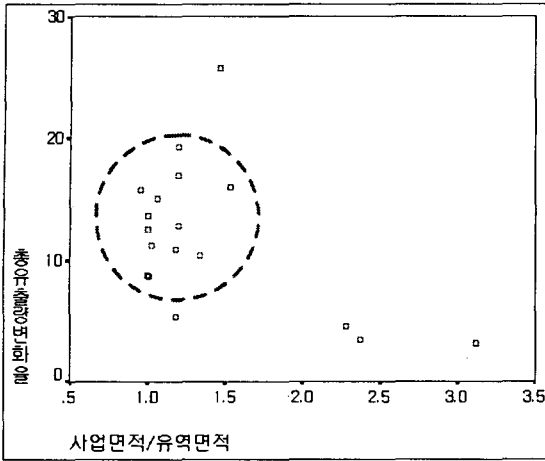


그림 4. 평가면적과 총유출량 변화율 산점도

과 사업지구의 면적이 비슷하기 때문에 비교적 정확한 유출량 변화율을 도출한 것으로 분석되었다. 반면 의정부 북양, 용인구성, 용인동백지구는 재해영향평가서에서 택지개발사업지구를 포함한 소유역면적의 합이 택지개발 사업면적의 약 2배 이상이 되어 $R_{A:B}$ 의 비가 1.83이며, 이때 소유역에서 일어난 총 유출량 변화율이 약 5%로 나타났다(표 2).

이유는 유출량 산정 소유역이 택지개발사업 지구 이외의 자연지역을 많이 포함하기 때문에 CN 변화가 적게 도출되고 이로 인해 총유출량 변화도 적게 분석된 것이다. 따라서 이러한 결과 값은 분석자체에서 유의한 자료를 입력하지 않았기 때문으로 사료되어 채택하지 않았다.

3. 택지개발사업 후 유출변화율

결론적으로 택지개발사업으로 인한 전, 후의 총유출

표 2. 분석대상의 K-평균 군집분석 결과

| 내용 | 군집 | 1 | 2 | 3 |
|----------------|---------------|-------|-------|-------|
| | 총유출량 변화율 (평균) | | 14.04 | 25.78 |
| 사업면적 평가유역면적 | | 1.15 | 1.46 | 1.83 |
| 총유출량 변화율 | 최소값 | 10.94 | 25.78 | 3.10 |
| | 최대값 | 19.31 | 25.78 | 8.76 |
| 개체수 | | 11 | 1 | 6 |

량 변화는 10년 빈도 확률강우량에 대하여 10~20% 증가함을 알 수 있으며, 이를 지역·지구차원에서의 분산식 빗물관리 목표량으로 설정한다(표 2).

V. 결론

이제까지의 빗물관리는 수해에 대한 안정성 확보를 주요목적으로 강우 시 발생하는 침투유출을 최대한 안전하게 배제하는 방향으로 진행되어 왔다. 국내에서 진행된 관련연구들 또한 유출억제 및 대체수자원 확보 측면에서 접근하였기 때문에 상대적으로 개발로 인해 변화된 수문환경을 개선한다는 차원에서는 적극적으로 대처하지 못했던 것이 사실이다.

이에 본 연구는 개발로 인한 수문변화를 최소화하고 자연적인 물순환 체계를 회복하기 위한 목적으로 분산식 빗물관리를 제안하였다. 주요내용으로는 대상지역에서 발생하는 유출수를 지역 내에서 얼마만큼 침투 및 저류에 의해 처리할 것인가에 대한 분산식 빗물처리 목표량을 설정하는 것이 주요한 내용이었다.

전국의 18개 택지개발사업지구를 대상으로 개발 전·후의 총 유출량 변화를 분석한 결과, 택지개발사업과 같이 지역·지구적 공간범위에서는 10년 빈도 확률 강우량에 대하여 개발 전·후 총 유출량이 10~20% 증가함을 알 수 있었다. 따라서 지역규모에서는 개발 후 발생하는 총유출량의 10~20%를 분산식으로 처리함으로써 개발로 인한 유출변화율을 최소화할 수 있는 근거를 마련하였다.

한편, 택지개발사업 지구 내에서 공동주택단지로 개발되는 지역은 단지규모의 공간적 범위에서 개발 이전의 토지이용현황보다 불투수포장률이 현저히 증가하기 때문에 이를 고려한 처리목표량 설정이 요구되며, 이에 대한 연구는 추후 진행함으로써 개발사업 규모에 따라 분산식 빗물관리에 의한 처리목표량을 세분화하는 것이 요구된다.

인용문헌

1. ATV AG 1.2.6(1999). Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.6. Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten zur Angleichung an natuerliche Abflussverhaeltnisse. Korrespondenz Abwasser Heft4, 46. Jahrgang, p. 104.
2. Freie und Hansestadt Hamburg Umweltbehoerde(2000). De-

- zentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung. pp. 33-37.
3. Geiger, W. und Dreiseitl, H.(2001). Neue Wege Fuer Das Regenwasser. Oldenbourg. p.1-40.
 4. Mondale, T.(2001). Minnesota Urban Small Sites BMP Manual - Stormwater Best Management Practices for Cold Climates. Metropolitan Council Environmental Services. pp. 7-10.
 5. PGDER(1997). Low Impact Design Manual, Prince George's County Department of Environmental Resources, Maryland.
 6. Shaver, E.(2000). Low Impact Design Manual for The Auckland Region. Auckland Regional Council.
 7. Sieker, F. et al 4(2002). Naturnahe Regenwasser bewirtschaftung in Siedlungsgewbieten. Kontakt & Studium Band 508. pp. 55-57
 8. 대한주택공사(1994). 『택지개발지구의 수리해석 기법연구』.
 9. 윤태훈(2002). 『응용수문학』. 청문각.
 10. 한영해(2005). 도시 주거지역에서의 분산식 빗물관리 계획모형 개발. 서울대학교 박사학위논문.