

# 강우의 시간 및 공간분포를 고려한 도시구역의 유출특성 분석

이상태\*, 이종태\*\*

## 1. 서론

수공구조물 설계를 위하여서는 먼저, 해당 유역에 대한 지점 강우량 자료로부터 설계강우를 산정하여 유출해석을 실시한다. 그러나, 이 방법은 유역이 충분히 클 경우 강우의 공간분포 영향과 유수지 등의 설계시에 중요한 다중 침투강우를 고려할 수 없다는 문제점이 있다. 실질적으로 수공구조물의 수문학적 설계에 사용되는 강우량은, 특정 지점의 강우량 보다는 유역면적에 걸친 강우량의 평균치로서, 한국건설기술연구원(1989)에서는 전국을 몇개의 유역으로 나누어 지역빈도 해석 결과를 이용하여 강우강도-면적관계를 나타내는 면적강우 환산곡선을 작성한 바 있다.

그러나, 실제 소배수유역에서 조차 강우분포가 균일하지 않으며 유역의 면적이 증가할수록 그 변동폭이 커짐에 따라 수공구조물 설계시 강우분포를 고려하지 않을 경우에는 과소설계의 위험성을 내포하게된다. 또한, 소유역 유출해석시 같은 강우사상으로 다른 형태의 유출결과치가 발생하는 한 주요 원인은, 입력자료로 선택된 대상강우가 유역내의 실제강우의 공간분포를 적합하게 재현하지 못한 결과로 볼 수 있다. 이러한 결함을 보완하기 위해서는 강우의 공간분포를 고려한 설계강우의 적용이 필요하다.

## 2. 설계강우와 강우분포

설계강우란 특정 구조물의 설계를 위하여 제시되는 강우사상으로, 수공구조물의 보다 정확한 설계를 위해서는 설계강우에 따른 정확한 유출수문곡선의 예측이 필요하며, 이를 위해서는 우선, 선정된 빈도 및 지속시간에 대한 설계우량의 주상도의 작성기준, 즉 설계강우의 시간적 분포에 대한 기준이 필요하다. 또한, 유출의 관점에서 볼 때, 일반적으로 도달시간이 짧은 유역의 경우 침투유량은 강우용적 보다는 침투강우강도에 의해 결정되고, 도달시간이 긴 유역의 경우는 침투강우강도 보다는 주로 강우용적에 의해 결정된다. 도시의 배수유역과 같이 유역면적이 작고 도달시간이 짧은 경우에 침

---

\* 경기대학교 토목공학과 박사과정

\*\* 경기대학교 토목공학과 교수

두유량은 강우강도와 깊은 관련이 있다는 사실은 매우 중요하다.

따라서, 강우강도-지속기간-생기빈도 (Intensity-Duration-Frequency, I.D.F) 곡선에서 추출된 자료 즉, 선정된 지속기간의 강우량은 지속기간내의 시간적 분포성을 고려하지 않았기 때문에 도달시간에 따른 침투유량의 변화를 충분히 고려할 수 없다.

국내 Huff 분포에 관한 박찬영(1980), 이근후(1983), 한국건설기술연구원(1989)의 연구결과에 의하면, 국내에서는 Huff 분포 중 2구간 강우의 확률이 가장 크게 나타났으며, 국내에서 Huff분포는 유출 모형에 적용시킨 연구로는 서병하(1981) 등에 의해 RRL 모형에 적용되었으며, 서울시(1991)와 이종태(1992)등에 의해 ILLUDAS 모형에 적용된 바 있다.

### 3. 도시배수구역에의 적용

설계강우를 공간분포시켜 수공구조물 설계에 적용하는데 있어서 안전만을 고려한다면 가장 이상적인 방법은 여러 시간분포된 설계강우로부터 많은 강우분포들의 조합을 사용하여 유출해석을 실시한 후, 결과치들을 분석하여 적용대상 유역에서 가장 큰 침투유량치를 산출하는 강우분포의 조합을 설계강우로 사용하는 것이다. 그러나, 이러한 방법은 많은 시간과 노력이 필요하게 되며, 또한 비 경제적인 설계가 될 수 있다. 따라서, 유역의 유로길이를 따라 등도달시간에 해당되는 유역들을 각각 분할하고, 등도달시간에 해당되는 유역에 각각 다른 형태의 강우분포형을 적용하여 침투유량치가 극대화되는 강우분포형으로 인한 유출특성과 침투유량, 도달시간 등 유출특성의 변동에 대해 검토하는 것이 능률적이다. 본 연구에서는 계산량을 줄이기 위해 배수유역을 상·하 두개의 영역(Zone)으로 크게 분리하여 각 영역에 속한 소유역들에는 같은 설계강우를 적용하였다. 즉, Huff의 강우분포형들을 적용함에 있어서는 두 영역에 대한 조합만으로 유출해석을 실시하였다.

적용 유역으로는 유역의 크기와 형태를 고려하여 마포, 개봉, 잠실 2, 신정 1등 국내의 4 배수유역을 선정하였으며, 유출해석을 실시하기 위하여 유출모형으로는 SWMM모형에 Huff 설계강우분포를 적용하였고, 유역의 도달시간에 따라 60분, 120분 강우지속시간을 적용하였다.

배수구역의 유출해석시 강우의 공간분포를 검토하기 위하여 선택한 SWMM 모형의 RUNOFF는 지표면 유출해석 블럭으로 10개까지의 다른 강우사상과 이동강우로 인한 유출해석까지 실시할 수 있다. 또한 지표면유출 계산 결과치를 관로내에서 동력확방정식을 사용하여 관망해석을 하는 EXTRAN 블럭을 포함하고 있다. 본 연구에서는 SWMM 모형의 RUNOFF와 EXTRAN 블럭을 연계시켜 지표면과 관망의 유출해석을 실시하였다.

#### 4. 강우의 공간분포에 따른 영향분석

각 강우분포형의 지역공간조합으로 인해 발생하는 각 배수구역에서의 침투유량과 도달시간을 기존의 방법인 균일공간 강우분포(Huff 2)로 전 배수구역에 대해 유출해석을 실시한 결과와 비교하여 보면 다음의 표 1, 2, 3, 4와 같다. 이 표들에서는 결과치간의 편차를 평가하기 위하여 식 (1)과 같이 상대오차(%)의 개념으로 표현하였다.

$$\text{편차 (\%)} = \frac{\text{OUT}_{\text{COM}} - \text{OUT}_{\text{HuffII}}}{\text{OUT}_{\text{HuffII}}} \times 100 \quad (1)$$

식(1)에서,  $\text{OUT}_{\text{HuffII}}$ 는 상·하류유역 전 배수구역에 Huff의 2구간 호우로 고르게 분포시킨 경우의 계산결과치(침투유량),  $\text{OUT}_{\text{COM}}$ 은 상·하류유역에 다양한 조합으로 구성된 강우분포에 의해 계산된 결과치를 나타낸다. 여기서, 침투유량 편차의 양(+)의 값이 클수록 기존의 설계방법은 과소설계 음(-)의 값이 클수록 과대설계된 경우로 볼 수 있다. 도달시간에 있어서는 음(-)의 값이 증가할수록 도달시간이 기존 방법에 비해 짧게 나타나는 것으로, 양(+)의 값이 클수록 도달시간이 길게 나타나는 것으로 볼 수 있다.

표 1 공간분포를 고려한 마포유역 유출결과(%)

상류 하류	I		II		III		IV	
	유량	시간	유량	시간	유량	시간	유량	시간
I	-11.05	-35.48	+10.59	+80.65	-30.37	-48.39	-30.25	-48.39
II	- 1.89	- 3.23	00.00	00.00	-19.26	00.00	-21.10	00.00
III	+ 0.65	+45.16	+ 8.52	+45.16	+11.65	+48.39	- 6.52	+48.39
IV	+ 0.65	+45.16	+13.17	+80.65	+26.41	+77.42	+23.01	+80.65

표 2 공간분포를 고려한 개봉구역 유출결과(%)

상류 하류	I		II		III		IV	
	유량	시간	유량	시간	유량	시간	유량	시간
I	- 9.56	-36.36	-19.44	00.00	-26.07	+54.55	-19.94	+81.82
II	-11.94	- 9.09	00.00	00.00	-13.56	+42.42	-19.10	+78.79
III	-18.12	+36.36	- 4.52	+30.30	-12.81	+42.42	- 5.76	+75.76
IV	-17.71	+72.73	-12.84	+72.73	+ 7.42	+69.70	+22.86	+75.76

표 3 공간분포를 고려한 잠실 2구역 유출결과(%)

상류 하류	I		II		III		IV	
	유량	시간	유량	시간	유량	시간	유량	시간
I	-20.88	-32.35	-16.41	00.00	-16.86	+44.12	-16.39	+64.71
II	- 9.57	- 8.82	00.00	00.00	-10.82	+44.12	-12.24	+76.47
III	-19.04	+32.35	- 2.28	+20.59	+14.33	+38.24	+ 7.81	+67.65
IV	-16.39	+64.71	- 8.45	+64.71	+11.65	+64.71	+21.79	+73.53

표 4 공간분포를 고려한 신정1구역 유출결과(%)

상류 하류	I		II		III		IV	
	유량	시간	유량	시간	유량	시간	유량	시간
I	- 8.63	-46.75	-25.68	-27.27	-32.31	-50.65	-32.14	-50.65
II	- 0.14	-20.79	00.00	00.00	-20.32	- 6.49	-22.66	-10.39
III	+ 9.72	+20.78	+14.18	+22.08	+14.07	+29.87	+ 4.56	+18.18
IV	+11.50	+48.05	+13.58	+53.25	+25.33	+53.25	+19.95	+55.84

이상의 표에서 알수있는바와 같이 강우의 공간분포는 시간분포와 더불어 해석결과치에 큰 영향을 줄 수 있다. 일반적으로 상류III, IV분포와 하류IV분포의 조합일 때 큰 침투유량을 보여주었는데, 이는 초기강우로 우수관이 점차 저류되면서 강우가 후반부에 집중되는III, IV분포에 의한 유출집중이 하류에서의 유입량과 누적되어 큰 유량을 유발시키는 것으로 판단된다.

표 5는 각 배수구역에서의 강우공간분포를 고려한 계산결과치들을 전 배수구역별로 이상의 Huff 2의 균일분포와 같은 방법으로 계산한 Mononobe 3 분위 시간분포 결과치를 비교한 것이다.

표 5 적용배수유역에 대한 유출결과

항목 유역	Huff 분포형		Mononobe 분포형	
	첨두유량(cms)	도달시간(min)	첨두유량	도달시간
마 포	49.96 ± 15.17	31 ± 25	48.40 ± 19.54	39 ± 24
개 봉	34.51 ± 9.00	33 ± 27	34.35 ± 13.59	40 ± 21
잠 실 2	64.64 ± 14.09	34 ± 26	62.87 ± 25.19	42 ± 21
신 정 1	197.10 ± 63.69	77 ± 43	203.80 ± 83.00	75 ± 53

각 배수구역에서의 강우공간분포를 고려함으로써 나타나는 유출특성치들의 결과들을 종합해 보면 기존의 Huff의 2구간 균일 공간분포의 경우가 조합공간분포에 의한 경우와 비교하여 볼 때 대체적으로 각 강우 유출량 값의 중간치를 나타낸다고 할 수 있으며, Mononobe 분포형 중에서도 중간위 분포가 대체로 전체 강우사상 조합의 중간값을 나타내었으나 유출수문곡선의 형태로 보아 강우공간분포에의 적용에는 다소 문제가 있을 것으로 판단된다.

위의 결과들을 종합한 결과 공간분포를 고려한 강우 유출결과치는 심한 편차를 보였다. 따라서 균일 공간분포를 설계강우로 사용하는 경우는 과소설계의 위험성이 내포되어 있다고 볼 수 있으며, 균일 공간분포에 의한 유출특성치를 기준으로 공간분포에 의한 결과치와의 차이를 각 배수구역 별로 정리한 표 5에서 알 수 있는 바와 같이 첨두유량은 강우공간분포 적용방법에 따라 최대 약 ±30%의 증감을 보였으며, 도달시간은 강우분포의 영향은 더욱커서 유역에 따라 80%의 증감을 보였다.

## 5. 결론

도시화 유역에서의 기상현상은 국지적으로 변화하는 특성이 있으며, 이러한 변화양상은 강우량을 증가시키면서 잠재적인 도시화의 역기능이 나타나는 수가 있다. 특히, 근년에 이르러서는 여름철 호우의 규모가 증대되고 있으며, 이에따른 홍수의 빈도와 피해가 늘어나는 경향을 보여주고 있다.

도시화가 증대될수록 강우의 공간분포로 인한 유출의 변동폭이 증대가 예측되며, 단일 설계강우로 유출현상을 예측함에는 한계가 있다. 따라서, 설계강우의 적용을 위한 강우의 시간분포 및 공간분포형의 개발 및 적용에 대한 부분은 지속적으로 연구되어야 할 사항이다.

본 연구에서 제시한 강우의 공간분포 적용법을 고려할 경우 유출특성에는 기존의 방법에 의한 결과와 큰 편차가 나타나므로 전체 배수유역에 대한 체계적인 위험도 해석시 또는 중요한 수공구조물의 설계시 본 방법의 적용이 안전성 제고면에서 가능할 것으로 판단된다.

## 6. 참고문헌

1. 서병하, 김남원(1989), 지역별 설계 강우의 시간적 분포, 한국건설기술연구원 pp.52-71, 103-108,
2. 박찬영 외 3인(1981), 소유역의 설계우량 산정을 위한 강우형상분석에 대한 연구, 한국수문학회지, 15권, 3호, pp.13-18
3. 이근후(1983), 폭우의 시간적분포에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문
4. 윤용남, 전병호, 이종태(1992), 도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템분석 및 설계기법의 비교, 한국 과학재단, pp.281.
5. 이종태, 윤세의(1995), 도시유역의 유출특성과 해석모형의 적용성 향상에 관한 연구, 'IHP연구보고서, pp. 5-1~5-87
6. 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남(1991), 도시화 영향을 고려한 우수지 계획모형, 한국수문학회지, 24권, 4호, pp.73-83.
7. David,P.Heeps and G.H.Russell(1974). Independent Comparison of Three Urban Runoff Models, Journal of The Hydraulics Division, ASCE.
8. Huber,W.C. at al(1988). " Storm Water Management Model Ver 4 ", Part A : User's Manual, E.P.A, pp.569.
9. Kibler,D.F(1982). " Urban Stormwater Hydrology ", A.G.U, pp.1-28,69-159.
10. Roesner,L.A. at al(1988). " Storm Water Management Model Ver 4 Part B : Extran Addendum " , E.P.A, pp.155.
11. Yen,B.C(1981), " Urban Stormwater Hydraulics and Hydrology ", W.R.P, pp.547.