

# 기후변화와 도시화에 의한 강수특성 변화연구

## A Study of the Change of Rainfall Characteristics according to Climate Change and Urbanization

류성수\*, 전환돈\*\*, 류관형\*\*\*, 오진아\*\*\*\*, 김종훈\*\*\*\*\*

Seong Su Ryu, Hwan Don Jun, Gwan Hyeoung Ryu, Jin A Oh, Joong Hoon Kim

---

### Abstract

최근 국내외적으로 기후변화와 도시화와 관련하여 기후특성의 변화에 대한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 다양한 연구에 의해 기후변화와 도시화의 영향으로 강수특성이 변화한다고 하였으며, 강수특성의 변화는 필연적으로 유출의 특성에도 영향을 미치게 된다. 이는 도시구역의 수공구조물의 안전성과 CSO 처리 시설 등의 용량산정 등에 있어서 필히 검토되어야 하는 문제이다.

이에 따라 본 연구에서는 현재 서울 기상청에 구축되어 있는 장기간의 시강우자료(1961년-2006년 4-10월)를 이용하여 전기간 자료(Data 1)와 특성변화가 진행되었다고 판단되는 1990년 이후의 강우자료(Data 2)를 이용하여 각 100년치의 모의 강우를 발생시켜 원자료의 차이에 따른 강우의 변화 정도에 대해 비교하여 보았다. 비교결과 연평균 123.7mm 더 크게 산정되었으며, 강우발생범위는 Data 1은 411.5-2564.9mm, Data 2는 382.0-2754.7mm의 범위를 보였다.

*Key words* : 기후변화, 도시화, 강우모형, 강수특성

---

## 1. 서론

최근 엘리뇨, 라리냐, 지구온난화와 같은 이상기후에 대한 관심이 증대되고 그에 따라 많은 관련 연구들이 진행되고 있다. Whetton(1993) 등 많은 연구자들이 GCM(General Circulation Model)을 이용하여 기후변화에 따른 CO<sub>2</sub>변화로 강수량이 증대되고 이로 인해 홍수량의 변화가 예상된다고 하였다. 유철상 등(2007)은 도시화의 간섭분석을 실시하여 간섭분석 결과를 바탕으로 판단할 때 극한호우사상에 상당한 영향을 끼치며 도시화에 의한 강수특성의 변화는 향후에도 계속될 것으로 판단된다고 하였다. 이처럼 기후변화에 따라 전세계적으로 강수특성이 변화하고, 산업화 및 도시화에 따라 국지적으로도 강수특성이 변화하고 있다. 이에 본 연구에서는 현재 축적되어있는 강우자료와 최근의 강수특성이 변화하고 있다는 관련 연구를 바탕으로 90년대 이후 강우자료의 상호 비교를 통해 강수특성의 변화를 파악해보고자 한다.

## 2. 강우 모형

---

\* 정회원·고려대학교 환경시스템공학 석사과정·E-mail : fbtjdn@korea.ac.kr  
\*\* 정회원·한밭대학교 토목공학과 전임강사·E-mail : hwandonjun@gmail.com  
\*\*\* 정회원·고려대학교 건축·사회환경공학과 석사과정·E-mail : rk11010@korea.ac.kr  
\*\*\*\* 정회원·고려대학교 건축·사회환경공학과 석사과정·E-mail : babairu@naver.com  
\*\*\*\*\* 정회원·고려대학교 건축·사회환경공학과 교수·E-mail : jaykim@korea.ac.kr

강우 모형은 활용가능한 강우자료가 제한적이거나 가뭄분석 등 보유한 자료보다 긴 기간의 자료가 필요할 경우 유용하게 사용할 수 있는 강우 모의 기법이다. 강우모형의 종류는 매우 다양하나 추계학적 모형이 타 모형에 비해 재현성이 우수한 것으로 알려져 있다(Onof et al., 2000).

## 2.1 Neyman-Scott Rectangular Pulse Model

Rodriguez-Iturbe et al.(1987) 에 의해 제안된 Neyman-Scott 모형은 Neyman-Scott 점과정에 따라 모의강우를 발생시키는 모형으로 강우의 특성인 균집성을 고려할 수 있다는 장점을 가지고 있는 대표적인 추계학적 강우발생 모형이다. 5개의 비교적 적은 수의 매개변수를 가지고 있어 강우모의가 쉬운 편이다. 실제 관측자료의 집성시간별 통계특성을 통해 매개변수를 추정하여 강우를 모의한다. 이에 따라 기본적인 통계특성에 대해서는 잘 보존하나 균집성이 과도하여 실제 강우보다 큰 무강우확률을 나타내는 것으로 알려져 있다(Cowpertwait, 1991).

매개변수	의 미	분 포
$\lambda$	강우사상의 발생	Poisson process
$\beta$	강우사상내 강우세포의 위치	Exponential distribution
$\eta$	강우세포 지속시간	Exponential distribution
$\mu_C$	강우사상당 평균 강우세포의 수	Poisson distribution / Geometric distribution
$\mu_x$	강우세포의 강도	Exponential distribution

Table 1. Neyman-Scott 모형의 매개변수

모형의 매개변수 추정은 아래 식 (1)~(3)과 같이 매개변수로 구성된 통계특성식을 이용한다. 각 식들은 표 1에서 설명된 매개변수로 표현되며 집성시간별 평균, 분산, 공분산을 구하여 5개의 식을 구성하면 이는 제약없는 최적화 문제가 되어 매개변수를 추정할 수 있다.

$$E[Y_i(\tau)] = \lambda\eta^{-1}E[c]E[x]\tau \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Var[T_i(\tau)] = & \lambda\eta^{-3}(\eta\tau - 1 + e^{-\eta\tau})(2E[c]E[x^2] + E[c^2 - c]E^2[x] - \frac{\beta^2}{\beta^2 - \eta^2}) \\ & - \lambda(\beta\tau - 1 + e^{-\beta\tau})\frac{E[c^2 - c]}{\beta(\beta^2 - \eta^2)} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Cov[Y_i(\tau), Y_{i+k}(\tau)] = & \lambda\eta^{-3}(1 - e^{-\eta\tau})^2 e^{-\eta(k-1)\tau} \cdot (E[c]E[x^2] + \frac{1}{2}\frac{E[c^2 - c]E^2[x]\beta^2}{\beta^2 - \eta^2}) \\ & - \lambda(1 - e^{-\beta\tau})^2 \cdot e^{-\beta(k-1)\tau} \frac{E[c^2 - c]E^2[x]}{2\beta(\beta^2 - \eta^2)}, k \geq 1 \end{aligned} \quad (3)$$

## 2.2 매개변수 추정

Neyman-Scott 모형의 매개변수를 추정하기 위해서 매개변수의 개수와 동일한 수의 통계식이 필요하며 이를 위해서 서로 다른 집성시간의 평균, 분산, 공분산으로 5개의 식을 사용하였다. 이를 바탕으로 Eq. (4)와같이 원자료와 모의자료의 통계특성치의 오차가 최소일 때의 매개변수를 선택하도록 목적함수를 설정하였다. 집성시간에 따른 통계치를 선정하는데 있어서 일정한 기준은 없으

며 본 연구에서는 1시간의 평균과 분산, 공분산, 6시간, 12시간, 24시간의 분산, 공분산을 이용하였다. 또한 월별 강우특성을 보존하기 위하여 월별로 매개변수를 추정하였다.

$$\text{Objective fn. } F(x) = \sum \left( \frac{S_{sim}}{S_{his}} - 1 \right)^2 \quad (4)$$

여기서,  $S_{sim}$ 은 모의자료의 통계치이며  $S_{his}$ 는 관측자료의 통계치이다.

### 3. 모형의 적용

본 연구에서는 서울지방기상청의 1961~2006년까지 46개년의 4월부터 10월까지의 시강우를 이용하여 집성시간별 통계특성을 분석하였다. 월별 집성시간별로 평균과 분산, lag-1 자기공분산, lag-1, lag-2 자기상관계수, 무강우확률, 연속강우확률, 연속무강우확률을 구하였다(Table 2). 지면관계상 관측자료의 4월과 7월의 통계특성만을 기재하였다.

1961 - 2006년	Mean	Var.	lag-1 Cov.	lag-1 Corr.	lag-2 Corr.	P <sub>dry</sub>	P <sub>DD</sub>	P <sub>ww</sub>	
Apr.	1hr	0.1209	0.4934	0.3514	0.7122	0.5533	0.9220	0.9067	0.0627
	6hr	0.7252	11.0524	5.2888	0.4785	0.1766	0.8658	0.8141	0.0830
	12hr	1.4505	31.8097	10.2623	0.3226	0.0637	0.8159	0.7225	0.0913
	24hr	2.9009	87.2094	12.6682	0.1453	0.0058	0.7261	0.5674	0.1159
Jul.	1hr	0.5108	7.0149	3.9918	0.5690	0.3483	0.8332	0.7931	0.1269
	6hr	3.0650	119.7560	38.6333	0.3226	0.1210	0.7009	0.6054	0.2039
	12hr	6.1300	317.4000	75.9825	0.2394	0.0328	0.6094	0.4748	0.2563
	24hr	12.2599	800.6625	90.2087	0.1127	0.0319	0.4748	0.3036	0.3534
1990 - 2006년	Mean	Var.	lag-1 Cov.	lag-1 Corr.	lag-2 Corr.	P <sub>dry</sub>	P <sub>DD</sub>	P <sub>ww</sub>	
Apr.	1hr	0.1052	0.3737	0.2335	0.6248	0.4780	0.9311	0.9171	0.0550
	6hr	0.6313	7.7735	3.5009	0.4504	0.1475	0.8794	0.8314	0.0735
	12hr	1.2625	22.2194	6.0213	0.2710	0.0105	0.8353	0.7431	0.0745
	24hr	2.5251	53.8591	6.9593	0.1292	-0.0063	0.7412	0.5922	0.1118
Jul.	1hr	0.5453	8.0343	4.7074	0.5859	0.3477	0.8345	0.7951	0.1263
	6hr	3.2716	140.8730	45.8801	0.3257	0.1480	0.7120	0.6167	0.1935
	12hr	6.5433	369.4107	98.3841	0.2664	0.0638	0.6186	0.4810	0.2457
	24hr	13.0865	959.2893	147.5662	0.1539	0.0331	0.4782	0.3055	0.3510

Table 2. 관측자료의 월별 통계특성

월별로 산정된 통계특성을 이용하여 2장에서 언급된 방법으로 전기간(1961-2006년) 강우자료 및 1990-2006년 강우자료를 바탕으로 각 100년치의 모의강우를 발생시켰다. 발생된 결과는 평균과 분산, 공분산, 무강우확률 등을 비교하였고, 본 논문에는 지면관계상 4월과 7월의 평균, 분산, 무강우확률만을 나타내었다. 7월과 8월의 무강우확률은 관측자료보다 조금 크게 산정되었으나 이는 강우의 군집성이 다소 과도하게 고려되는 NSRPM의 특성을 반영한 것으로 판단되며, 그 외의에는 실강우사상의 특성을 적절히 재현한 것으로 판단되었다.

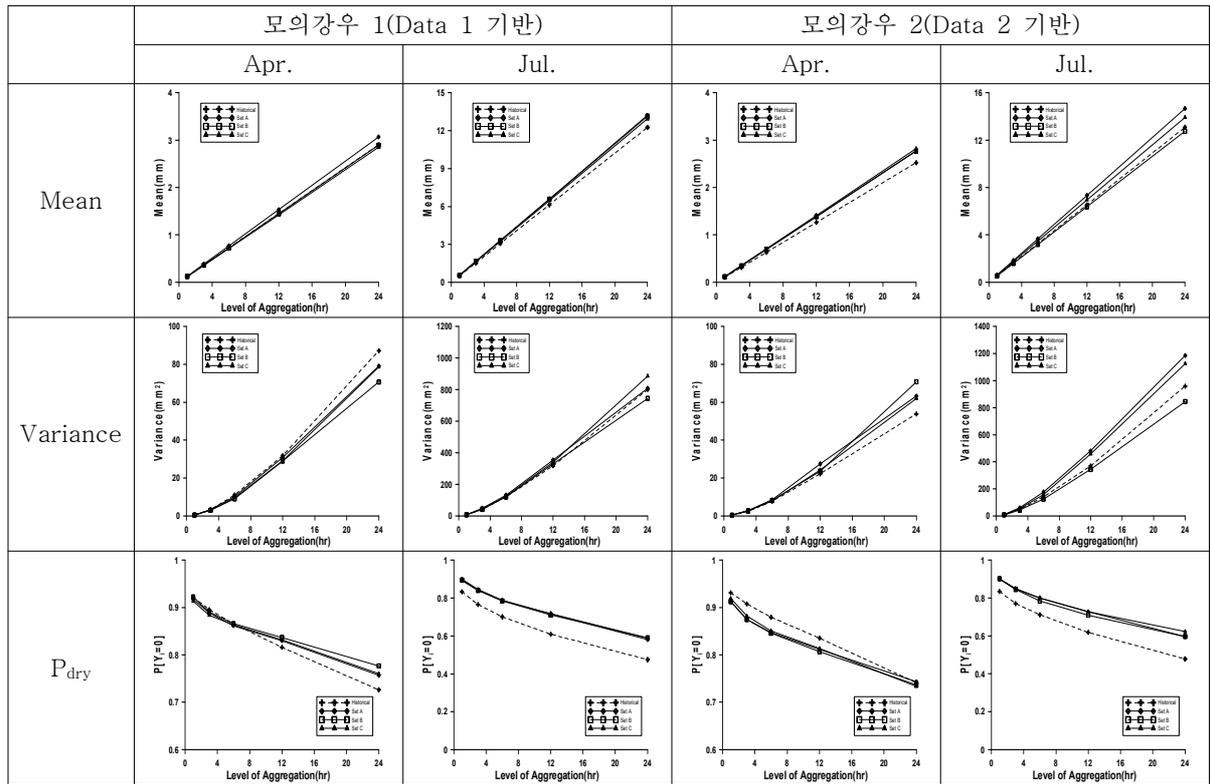


Fig. 1. 관측자료와 모의자료의 통계특성 비교

각 자료기간별 강우의 재현성을 검토한 결과 기본적인 통계치와 평균강우량 및 강우강도 등 실측자료의 특성을 잘 재현하였다. Data 1의 평균강우량은 1272.4mm이고, 411.5-2564.9mm의 강우범위를 보였다. Data 2는 평균강우량 1387.7mm, 발생범위는 382.0-2754.7mm였다. 관측자료의 평균강우량은 Data 2가 Data 1에 비해 123.7mm(9.02%)켰으며, 모의자료는 Data 2가 115.3mm(8.31%) 크게 산정되었다.

자료 구분	Data 1		Data 2		비교
	Observed	Simulated	Observed	Simulated	
평균 강우량(mm)	1247.6	1272.4	1371.3	1387.7	+ 9.02% (+ 8.31%)
최대 강우량(mm)	2230.7	2564.9	2230.7	2754.7	.
최소 강우량(mm)	661.0	411.5	929.7	382.0	.
최대 강우강도(mm/hr)	112.0	91.4	90	94	.

Table 3. 자료기간별 모의강우의 강우특성

#### 4. 결론

수공구조물 설계, 홍수가뭍 분석 등을 위해서는 강우분석이 선행되어야 한다. 특히 강우자료의 선택에 따라 결과의 차이는 필연적으로 발생하게 된다. 최근들어 기후변화와 도시화로 인하여

강우특성 및 유출특성이 변화하고 있다. 많은 연구결과에서 기후변화로 인하여 평균강우량이 증가하고, 도시화에 따라 국지적으로 강우량이 증가하고 불투수면적의 증가는 유출량의 증가를 야기하는 것으로 연구되었다. 이는 도시구역의 수공구조물이나 오염물 처리시설 등의 설계에 있어서 기존의 장기간 자료를 활용하는 것이 최근의 강우특성을 왜곡할 수 있는 가능성이 있다. 이에 본 연구에서는 관측자료의 기간에 따른 강우특성을 비교하기 위하여 서울지방기상청의 시강우자료를 전기간과 강우특성이 눈에 띄게 변화되었던 1990년 이후의 자료를 바탕으로 각각 모의강우 100년치를 발생시켰다. 관측자료의 기간에 따른 모의강우는 평균 115.3mm 이상 크게 산정되었으며 전기간 자료에 비해 최대강우량은 +189.8mm, 최소강우량은 -2.95mm 차이가 났다. 강우모형이 관측자료의 통계치를 보존하며 강우를 발생시키므로 모의강우의 통계치만으로 특별한 의미를 부여하기는 어렵다. 그러나 최근의 변화되는 강우특성을 가진 자료만을 활용하여 통계적 분석 등을 실시하기에는 자료의 기간이 짧다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서 활용된 강우모형을 이용하여 짧은 관측기간의 자료일지라도 통계특성을 보존한 장기간의 자료를 생성함으로써 더욱 다양한 분석에 적용할 수 있을 것이다.

## 감 사 의 글

본 연구는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2007-314-D00279)입니다.

## 참 고 문 헌

1. Cowpertwait, P. S. P. (1991), "Further developments of the Neyman-Scott clustered point process for modeling rainfall", *Water Resources Research*, 27(7), pp.1431-1438.
2. Onof, C., Chandler, R. E., Kakou, A., Northrop, P., Wheeler H. S., and Isham V. (2000), "Rainfall modelling using Poisson-cluster processes: A review of developments", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 14(6), pp.384-411.
3. Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D.R., F.R.S., and Isham, V. (1987), Some models for rainfall based of stochastic point processes, *Proc. R. Soc. Lond. A*, Vol. 410, No. 1839, pp.269-288.
4. Whetton, P. H., Fowler, A. M., Haylock, M. R., and Pittock, A. B. (1993), "Implications of climate change due to the enhanced greenhouse effect of floods and droughts in Australia", *Climatic Change*, Vol.25, pp.289-317.
5. 유철상, 김대하, 박상형, 김병수, 박창열 (2007), "서울지점 강우자료에 나타난 도시화의 간접 분석", **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 40(8), pp.629-641.