

매년최대 연속강우량에 따른 강우사상 계열의 확률분포에 관한 연구

Probability Distribution of Rainfall Events Series with Annual Maximum Continuous Rainfall Depths

박 상 덕*
Park, Sang Deog

Abstract

The various analyses of the historical rainfall data need to be utilized in a hydraulic engineering project. The probability distributions of the rainfall events according to annual maximum continuous rainfall depths are studied for the hydrologic frequency analysis. The bivariate normal distribution, the bivariate lognormal distribution, and the bivariate gamma distribution are applied to the rainfall events composed of rainfall depths and its durations at Kangnung, Seoul, Incheon, Chupungnyung, Teagu, Jeonju, Kwangju, and Busan. These rainfall events are fitted to the the bivariate normal distribution and the bivariate lognormal distribution, but not fitted to the bivariate gamma distribution. Frequency curves of probability rainfall events are suggested from the probability distribution selected by the goodness-of-fit test.

요 지

강우량 자료들을 수공계획에 적절히 사용하기 위해서는 강우량에 대한 다양한 해석방법이 필요하다. 본 연구에서는 연속강우량에 따른 강우사상계열의 수문빈도해석을 위한 확률분포를 연구한 것이다. 2변량 정규분포, 2변량 대수정규분포, 2변량 gamma 분포가 강릉, 서울, 인천, 추풍령, 대구, 전주, 광주, 부산지점의 연속최대 강우량과 그 지속시간으로 이루어진 강우사상의 확률분포로서 적용되었다. 이들 지점의 강우사상 자료가 2변량 정규분포, 2변량 대수정규분포에는 적합되었으나 2변량 gamma 분포에는 적합되지 않았다. 적합도 검정을 통하여 선정된 최적 분포형으로부터 확률강우사상의 빈도곡선을 제시하였다.

1. 서 론

강우량은 지구상의 수문순환에 있어서 대단히 중요한 구성요소이며, 그 시공적인 분포는 수자원 개

발 및 배분계획 또는 홍수나 한발등에 대한 방재계획을 수립하는데 있어서 대단히 중요한 자료이다. 즉, 확보 가능한 수자원의 총량 추정, 다목적댐의 설계, 관개배수계획, 도시지역의 내배수 처리계획,

* 강릉대학교 자연과학대학 대기과학과 조교수

홍수예경보 시스템의 구축 등과 같은 수공계획 수립에 있어서 강우에 관한 자료는 필수불가결의 것이다. 일반적으로 강우량은 다른 수문량에 비하여 관측 및 획득이 용이하기 때문에 풍부한 자료의 축적이 이루어져 있다. 이와같은 강우량 자료들을 수공계획 등에 적절히 활용하기 위해서는 강우량에 대한 다양한 해석기법이 필요하다.

홍수유출 미계측지역인 경우 수공계획의 치수안전도 설정기준은 확률강우량이 사용될 수 있다. 이는 임의의 강우 지속기간별 매년최대 강우량에 대한 빈도해석에 따라 산정되며, 계획지점 유역의 홍수 도달시간을 강우 지속기간으로 하는 최대 강우량이 발생할 정보를 나타낸다. 즉 수공계획 수립에 이러한 확률강우량을 사용하면 그 수공계획은 강우 지속기간으로서의 홍수도달시간 동안에 발생하는 설계강우량에 대하여 설계빈도에 해당하는 치수 안전도를 갖는다는 것을 의미한다. 그러나 어떤 수공시설의 치수안전성에 위협을 초래한 호우들의 특성을 살펴보면 그 수공시설의 설계강우 지속기간보다 큰 강우 지속기간을 갖는 경우가 대부분이기 때문에 홍수도달시간내의 평균확률강우보다 작지만 호우기간이내의 다른 시간대에 발생하는 강우량에 대한 치수 안전성을 알 수가 없다. 특히 대규모 하천이 관류하는 서울과 같은 대도시 지역의 내배수 처리시설인 우수지 및 배수펌프장에서 배수시설의 용량을 초과하는 강우강도 이후의 연속되는 강우에 의하여 배수유역의 침수등과 같은 문제가 매년 발생되고 있는 실정이다. 따라서 어떤 수공계획이 지정된 지속기간 및 치수안전도에 대한 확률강우량 뿐 만 아니라 지정된 치수안전도에 대한 강우량 및 강우 지속기간으로 이루어진 확률강우사상에 대하여도 타당성을 갖는지 확인할 필요가 있으며, 이는 수공계획의 중요성이 크면 클수록 필요하다.

현재까지의 치수방재적 측면에서 강우량 자료의 해석은 주로 임의의 지속기간별 매년최대 강우량에 대하여 이루어져 왔으나 연속최대 강우량의 해석에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 이는 연속최대 강우량이 그 강우 지속기간과 상호 관련되어 발생되므로 임의의 지속기간별 매년최대 강우량 계열에 비하여 해석이 어렵기 때문이다. 매년최대 연속강우량을 갖는 강우량-지속기간 계열, 즉 매년최대 강

우사상 계열에 대한 확률분포 해석은 확률강우사상을 산정하기 위하여 반드시 선행되어야 한다. 특히 홍수 조절능력을 갖는 대규모 다목적 댐과 같은 고도의 치수안전도와 수자원의 최대한 확보를 동시에 만족하여야 할 수공계획, 또는 수공시설의 치수기능 상실시 많은 인명 및 재산피해가 예상되는 대도시 내배수 처리시설 등에 있어서는 홍수도달시간과 같은 설계강우 지속기간내에 발생할 최대 강우량에 관한 정보와 더불어 계획지점에서 연속최대 강우량과 그 최소 지속기간으로 이루어진 확률강우사상의 발생에 관한 정보는 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 수공계획 수립시 필요한 치수안전도 평가기법을 제시하기 위한 기초적 연구로서, 매년최대 연속강우량에 따른 강우량과 그 지속기간으로 이루어진 강우사상 계열에 대한 적절한 확률분포를 밝힘으로써 임의의 치수안전도에 따르는 확률강우사상을 제시하는데 목적이 있다. 이를 위하여 강우사상계열의 기술통계적 특성을 분석하고 2변량 정규분포와 2변량 대수정규분포, 2변량 gamma 분포를 강우사상계열의 확률분포형으로 적용한다.

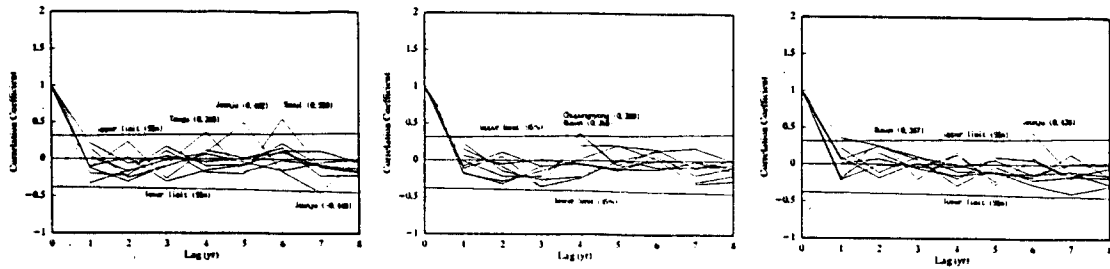
2. 기본자료

기상청 관할 주요 우량 관측지점인 강릉, 서울, 인천, 추풍령, 대구, 전주, 광주, 부산등 8개지점에서 관측된 1961년부터 1991년까지의 31년간 자기우량 기록으로부터 한계무강우 지속기간을 10시간으로 하여 1시간 단위의 강우사상 시계열을 구성하였다. 여기서 강우사상이란 총강우량과 그 지속기간으로 이루어진 단일호우를 말한다. 단일호우를 결정하기 위한 무강우 지속기간은 건설부 산하의 한강홍수통제소(한강수계 유출프로그램 개선방안, 1991) 그리고 이동률과 정상만(1992)에 의하여 한강유역에 대해 조사분석한 10시간을 택하였다. 이와같은 강우사상계열의 특성을 분석하기 위하여 평균, 표준편차, 지속성, 강우량과 지속기간간의 상관계수, 강우량의 시간적 분포를 조사하였다. 표 1은 강우사상 계열의 평균, 표준편차, 강우량과 지속기간간의 상관계수를 나타낸 것으로 여기서도 알 수 있는 바와 같이 연속최대 평균강우량은 추풍령,

표 1. 강우사상 시계열의 특성

구 분		지 점							
		강릉	서울	인천	추풍령	대구	전주	광주	부산
강우량 (mm)	평균	225.0	192.7	108.8	141.8	139.5	147.6	177.4	203.2
	표준편차	109.3	95.3	93.0	49.4	55.0	52.7	86.7	105.2
지속기간 (hr)	평균	63.0	46.9	46.9	49.2	43.4	41.7	46.7	47.2
	표준편차	35.0	24.0	20.6	18.1	22.8	17.1	23.8	28.3
강우강도 (mm/hr)	평균	4.4	5.1	4.5	3.1	3.8	4.2	4.6	5.0
	표준편차	3.0	4.1	2.9	1.1	2.3	2.2	2.9	2.7
상관계수		0.4456	0.3373	0.2167	0.5021	0.6042	0.3599	0.5060	0.5906
강우의 시간적 분포		M	B _A	B	A _B	A _B	B _A	B _A	B _A

주) A : 후반부 집중형, B : 전반부 집중형, M : 중앙부 집중형



(a) 강우량

(b) 지속기간

(c) 강우강도

그림 1. 계열상관도

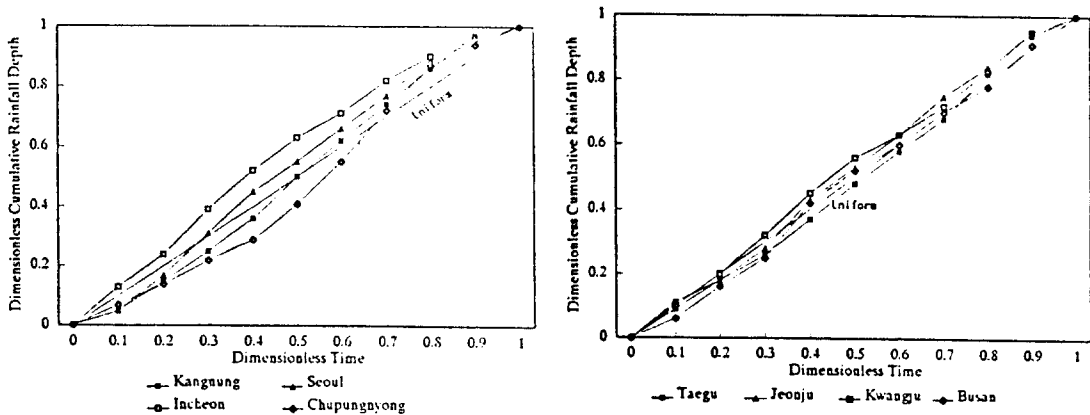


그림 2. 강우량의 시간적 분포

대구, 전주 지점에서 150mm 이하로 다른 지점에 비하여 상대적으로 적으며 강릉과 부산은 200mm 이상으로 많다. 뿐 만아니라 연속최대 강우량의 표준편차도 이와 비슷한 경향을 보여주고 있다. 연속 최대 강우량의 평균 지속기간은 강릉을 제외한 지점에서 40-50hr 이었다. 일반적으로 볼 때 해안지역이 내륙보다 연속최대 강우량이 많은 것으로 보인다.

강우량과 지속기간의 상관계수를 보면 서울, 인천, 전주를 제외한 지점에서 무시할 수 없는 상관관계를 보이고 있다. 그림 1은 각 지점의 강우량, 지속기간, 강우강도에 대한 계열상관도로써 비교적 무작위 성격이 강한 것으로 판단된다. 특히 강우 지속기간 자료가 연속최대 강우량자료에 대하여 무작위 성격이 강한 것으로 판단된다. 여기서 95% 신뢰구간은 식 (1)과 같은 Anderson(1941) 공식을 사용하였다. 이 때 N은 표본의 크기이고 k는 지체시간이다.

$$r_k = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{N-k-1}}{N-k} \quad (1)$$

각 지점별 강우사상에 대한 평균적인 시간분포를 분석하기 위하여 시각별 강우량과 지속기간을 나누어 무차원화 하였다. 이를 지점별 전 자료에 대하여 평균을 구하여 그림 2에 나타내었다. 강우사상의 평균적인 시간분포를 보면 표 1에 나타낸 바와 같이 대부분 전반부 집중형을 보이고 있으며 전반부에서도 강우시작후 어느정도 지난 부분에 침두강우가 나타나는 경우가 많다. 강릉은 중앙집중형을 나타내고, 추풍령과 대구는 후반부 집중형을 보이고 있으며 기타 다른 지점은 전방집중형을 보이고 있다. 여기서 전방은 강우시작후 40% 이내의 시간을, 후방은 강우시작후 60% 이후의 시간을 의미한다. 표 1에서 강우의 시간적 분포 A_n는 전반부에서 후반부쪽에, B_n는 후반부에서 전반부쪽에 집중되는 경향을 나타낸다.

3. 확률분포

3.1 2변량 정규확률분포 및 대수 정규확률분포

강우량과 강우지속기간을 각각 변량으로 하는 x₁, x₂에 대한 2변량 정규확률분포의 밀도함수는 다음 식 (2)와 같다(Johnson과 Kotz, 1972; 石原, 1972).

$$p(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left[\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left\{ \left(\frac{x_1-\xi_1}{\sigma_1} \right)^2 - 2\rho \frac{x_1-\xi_1}{\sigma_1} \frac{x_2-\xi_2}{\sigma_2} + \left(\frac{x_2-\xi_2}{\sigma_2} \right)^2 \right\} \right] \quad (2)$$

여기서, ξ₁와 ξ₂는 각각 변량 x₁, x₂의 평균이고, σ₁와 σ₂는 각 변량의 표준편차, ρ는 x₁과 x₂의 상관계수이다. 본 연구에서는 식 (2)와 같은 2변량 정규확률 분포에서 변량 x₁과 x₂를 대수변환하면 2변량 대수정규확률분포가 된다. 변량 x₁, x₂를 각각 식 (3), (4)와 같이 변환하면 식 (2)는 다음 식 (5)와 같은 2변량 표준정규 확률밀도함수가 된다.

$$z_1 = \frac{x_1 - \xi_1}{\sigma_1} \quad (3)$$

$$z_2 = \frac{x_2 - \xi_2}{\sigma_2} \quad (4)$$

$$p(z_1, z_2) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} (z_1^2 - 2\rho z_1 z_2 + z_2^2) \right\} \quad (5)$$

일반적으로 2변량 정규확률분포의 누가확률은 표준정규 확률밀도함수 (5)를 영역 D에서 적분하여 얻어진다.

$$P(D) = \iint_D p(z_1, z_2) dz_1 dz_2 \quad (6)$$

식 (6)의 확률을 계산하기 위하여 적분함수 ϕ(h, k; ρ)와 L(h, k; ρ)를 다음식 (7), (8)과 같이 정의

하자. 여기서 h 와 k 는 각각 변량 z_1 과 z_2 의 적분한 계이다.

$$\Phi(h, k; \rho) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \int_{-\infty}^h \int_{-\infty}^k \exp\left\{\frac{1}{2(1-\rho^2)}(z_1^2 - 2\rho z_1 z_2 + z_2^2)\right\} dz_1 dz_2 \quad (7)$$

$$L(h, k; \rho) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \int_h^\infty \int_k^\infty \exp\left\{\frac{1}{2(1-\rho^2)}(z_1^2 - 2\rho z_1 z_2 + z_2^2)\right\} dz_1 dz_2 \quad (8)$$

식(7)과 (8)의 두 적분함수는 식 (9), (10), (11), (12), (13)과 같은 관계가 있으며, 여기서 $L(y)$ 와 $\Phi(y)$ 는 각각 1변량 표준정규분포의 적분함수로서 식 (14) 및 (15)와 같다.

$$\Phi(h, k; \rho) = 1 - L(h) - L(k) + L(h, k; \rho) \quad (9)$$

$$L(h, k; \rho) = L(k, h; \rho) \quad (10)$$

$$L(-h, k; \rho) + L(h, k; -\rho) = 1 - \Phi(k) \quad (11)$$

$$L(h, -k; \rho) + L(h, k; -\rho) = 1 - \Phi(h) \quad (12)$$

$$L(-h, -k; \rho) + L(h, k; \rho) = 1 - \Phi(h) - \Phi(k) \quad (13)$$

$$L(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_y^\infty \exp\{-t^2/2\} dt \quad (14)$$

$$\Phi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y \exp\{-t^2/2\} dt = 1 - L(y) \quad (15)$$

Sheppard(1900)에 의하면 $h > 0$, $k > 0$ 일 때 식 (8)은 다음식 (16)과 같은 관계가 있다.

$$L(h, k; \rho) = V(h, \frac{k-\rho h}{\sqrt{1-\rho^2}}) + V(k, \frac{h-\rho k}{\sqrt{1-\rho^2}}) + 1.0 - 0.5\{\Phi(h) + \Phi(k)\} - \frac{\cos^{-1}\rho}{2\pi} \quad (16)$$

여기서 $V(h, k)$ 는 Nicholson(1943)에 의하면 $\lambda = k/h < 1$, $m = h^2/2$ 라 할 때 식 (17)과 같으며 $\lambda > 1$ 일 때는 식 (18)과 같은 관계가 있다.

$$V(h, k) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \lambda(1 - e^{-m}) - \frac{\lambda^3}{3}(1 - e^{-m} - me^{-m}) + \frac{\lambda^5}{5}(1 - e^{-m} - me^{-m} - \frac{m^2}{2!}e^{-m}) \dots \right\} \quad (17)$$

$$V(h, k) + V(k, h) = (\Phi(h) - 0.5)(\Phi(k) - 0.5) \quad (18)$$

3.2 2변량 gamma분포

gamma 분포는 그 매개변수의 선택에 따라서 정규분포에 가까운 형으로부터 지수분포 등의 비대칭분포에 이르기까지 매우 광범위한 형상을 가지므로 그 응용의 폭이 넓은 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 2변량 gamma 분포가 매년 최대 연속강우량과 그 지속기간으로 이루어지는 강우사상계열의 확률분포형으로서 적용될 수 있는 지를 연구하고자 하는 것이다. 본 연구에서 적용하는 2변량 gamma 분포의 확률밀도함수는 井澤(1953)에 의하여 유도된 식 (19)이다.

$$p(x_1, x_2) = \frac{1}{\Gamma(m)\Gamma(n)(1-\rho)\rho^{(n+1)/2}(\sigma_1\sigma_2)^{(n+1)/2}\sigma_1^m} (x_1 x_2)^{(n-1)/2} x_1^m \exp\left\{-\frac{1}{1-\rho}\left(\frac{x_1}{\sigma_1} + \frac{x_2}{\sigma_2}\right)\right\} \int_0^1 (1-t)^{(n-1)/2} t^{(m-1)} \exp\left\{-\frac{x_1}{(1-\rho)\sigma_1}t\right\} I_{n-1}\left(2\sqrt{\frac{\rho}{1-\rho}}\sqrt{\frac{x_1 x_2}{\rho_1 \rho_2}}\sqrt{1-t}\right) dt \quad (19)$$

여기서 변량 x_1, x_2 의 형상모수를 v_1, v_2 라 하면 이는 주변확률분포의 지수가 되며 $n = v_2$, $m = v_1 - v_2$ 이고 이때 주변확률분포는 1변량 gamma 분포가 된다. 식 (19)에서 $\Gamma(v)$ 는 gamma 함수, $I_\nu(z)$ 는 식 (20)과 같은 Bessel의 초기하 σ_1 와 σ_2 는 각 변량의 축척모수, ρ 는 x_1 과 x_2 의 상관모수로서 $0 \leq \rho \leq 1$ 이다.

$$I_\nu(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k! \Gamma(\nu + z + 1)} \left(\frac{z}{2}\right)^{2k + \nu} \quad (20)$$

식(19)의 밀도함수에서 다음식 (21), (22)와

표 2. 각 지점별 적합도 검정 결과

분포형	강릉	서울	인천	추풍령	대구	전주	광주	부산	기각한계
NORMAL	9.645	12.548	5.452	15.452	2.226	8.032	10.290	21.258	11.075
LOGNORMAL	7.065	3.194	9.968	7.710	7.065	15.452	1.258	15.452	
GAMMA	349.0	19.817	13.782	963.0	-	2176.6	-	388.4	

같이 변수변환하면 밀도함수는 식 (23)과 같이 된다. 누가분포함수는 식 (23)을 식 (6)에 대입하여 구할 수 있다.

$$y_1 = \frac{x_1}{(1-\rho)\sigma_1} \quad (21)$$

$$y_2 = \frac{x_2}{(1-\rho)\sigma_2} \quad (22)$$

$$p(y_1, y_2) = \frac{1}{\Gamma(m)\Gamma(n)(1-\rho)^{2-m-n}\sigma_1\sigma_2} y_1^{m+(n-1)/2} y_2^{(n-1)/2} \exp(-y_1 y_2) \int_0^1 (1-t)^{(n-1)/2} t^{m-1} \exp(\rho y_1 t) I_{n-1}\{2\sqrt{\rho y_1 y_2 (1-t)}\} dt \quad (23)$$

3.3 매개변수 추정

2변량 정규확률분포 함수와 2변량 gamma분포 함수의 매개변수를 추정하는 방법에는 모멘트법과 최우도법이 있으며, 최우도법은 표본자료가 많은 대표본의 매개변수추정에 유용한 것으로 알려져 있다. 그러므로 본 연구에서는 강우사상계열자료가 31개로서 소표본에 해당되므로 모멘트법에 의하여 매개변수를 추정한다. 모멘트법에 의한 2변량 정규분포 식 (2)의 형상모수, 축척모수와 상관모수는 각각 표본의 평균, 표준편차, 그리고 상관계수와 같으며, 모멘트법에 의한 2변량 gamma 분포 식 (19)의 형상모수 ν_1 와 ν_2 는 식 (24) 및 (25)로부터, 축척모수 σ_1 와 σ_2 는 식 (26) 및 (27)로부터 구할 수 있고, 또한 상관모수 ρ 는 표본상관계수를 γ 라 할 때 식(28)과 같이 된다.

$$\nu_1 = \frac{(\sum x_1)^2}{N\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2} \quad (24)$$

$$\nu_2 = \frac{(\sum x_2)^2}{N\sum x_2^2 - (\sum x_2)^2} \quad (25)$$

$$\sigma_1 = \frac{\sum x_1}{N\nu_1} \quad (26)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sum x_2}{N\nu_2} \quad (27)$$

$$\rho = \sqrt{\nu_1/\nu_2} \gamma \quad (28)$$

4. 적합도검정

매년최대 연속강우량과 그 지속기간을 변량으로 하는 2변량 정규분포와 gamma분포의 적합도 검정은 χ^2 -검정법을 적용하여 이루어졌다. 이를 위하여 본 연구에서는 정규분포의 경우 확률밀도함수의 적분편의상 각 계급구간별 확률이 같은 11개의 등 확률구간으로 계급구간을 설정하여 기대빈도를 산정하였고, gamma 분포에 대해서는 각 변량을 5개구간으로 구분하여 기대빈도를 산정함으로써 적합도를 판단하였다. gamma 분포의 누가확률은 수치적분을 통하여 구하였으며 이때 수치적분 기법은 Simpson법 (홍준표, 1993)을 사용하였다. 각 지점별 적합도 검정결과는 표 2와 같다. 표 2에서도 알 수 있는 바와 같이 2변량 정규분포가 적합한 지점은 인천, 대구, 전주이고 대수변환 2변량 정규분포는 강릉, 서울, 추풍령 및 광주 이었으나 부산은 두 경우 모두에서 기각되는 것으로 판정되었다. 기각한계는 유의수준 0.05인 $\chi^2_{(m-\nu-1, 0.05)}$ 가 11.075 이었다.

5. 확률강우사상

매년최대 연속강우량과 그 지속기간으로 이루어지는 강우사상에 대하여 적합도 검정결과 적합한 확률 분포형으로부터 빈도해석을 통하여 추정된 확률강우량과 확률지속기간으로 이루어진 확률량을

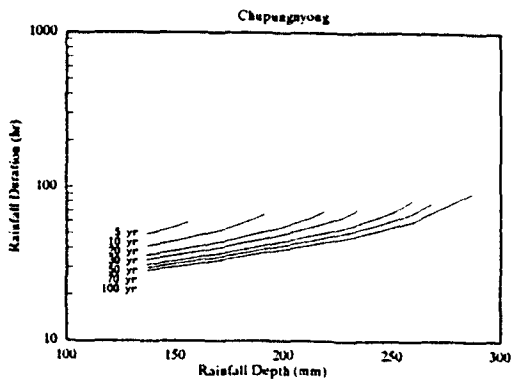
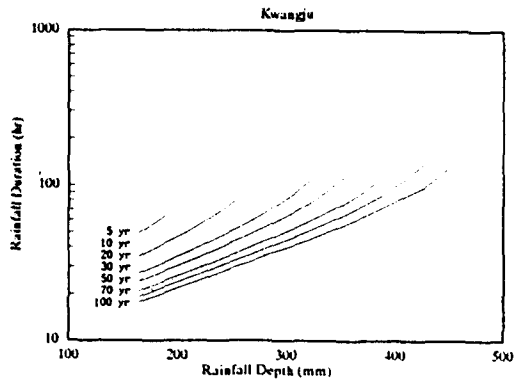
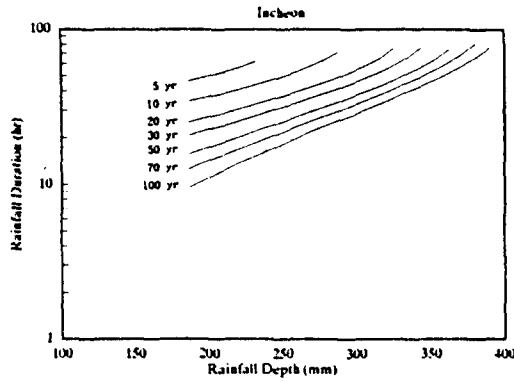
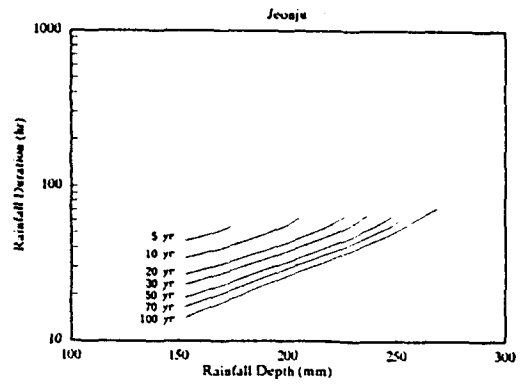
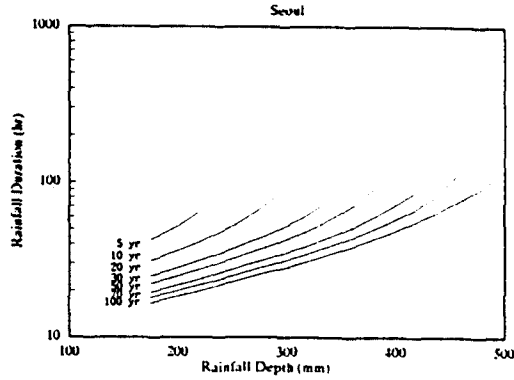
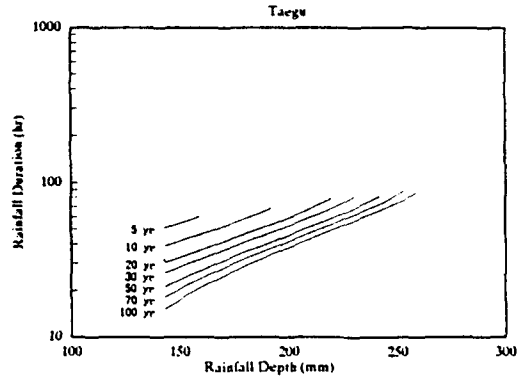
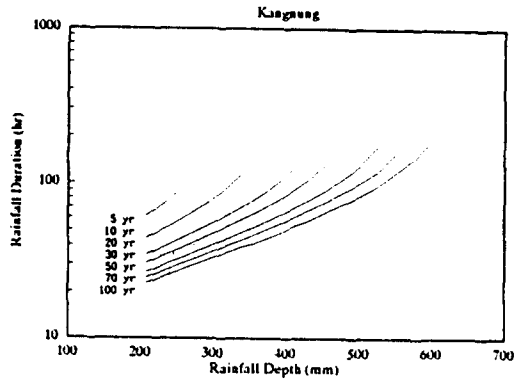


그림 3. 확률강우사상 곡선

편의상 확률강우사상으로 부른다. 실제 수공구조물의 설계에 필요한 치수적 측면의 확률강우사상은 강우량은 극대값, 강우 지속기간은 극소값인 경우에 해당하므로, 일정 강우량 초과 및 일정 지속기간 비초과 확률에 따른 강우량-지속기간 분포의 산정으로 재현기간별(5년, 10년, 20년, 30년, 50년, 70년, 100년) 확률강우 사상을 추정하였다. 식 (29)는 치수 측면에서 의미를 갖는 확률강우 사상의 발생 확률이다. 여기서 X_R 은 확률강우량, X_D

표 3. 24시간 확률강우량과 확률강우사상의 24시간 강우량 비교

단위 : mm

지 점	출 처	20년	30년	50년	70년	100년
강 룡	C	245.7	—	288.2	—	320.2
	본 연구	120.9	148.0	172.8	200.5	220.5
서 울	A	281.2	303.0	330.4	348.4	267.2
	B	257.2	277.5	302.8	319.6	337.5
	C	256.1	272.0	291.4	—	316.7
	본 연구	163.0	190.0	221.0	243.0	272.0
인 천	B	233.9	251.8	274.4	289.3	305.1
	본 연구	172.0	209.0	246.0	262.3	279.0
광 주	B	208.8	224.7	244.9	258.4	272.8
	본 연구	145.0	164.0	186.2	200.3	215.3

A : 이원환, 박상덕(1992년)

B : 이원환(1987년)

C : 이재준, 손광익, 이원환, 이길춘(1981)

표 4. 각 지점별 48시간 확률강우량

단위 : mm

재현기간 (년)	강 룡	서 울	인 천	추풍령	대 구	전 주	광 주
10	221.0	240.0	245.1	160.0	163.0	189.0	203.0
20	272.0	288.4	285.0	183.0	182.0	209.0	242.0
30	301.0	316.2	305.0	196.0	193.0	219.0	264.9
50	337.0	351.0	327.0	211.0	204.0	231.0	293.0
70	361.0	374.0	341.0	221.0	244.0	238.0	311.0
100	391.0	398.1	355.0	232.4	218.0	245.0	330.0

는 확률지속기간, T는 재현기간이다. 즉 재현기간 T에 해당하는 확률량 X_R 과 X_D 를 구함으로써 확률 강우사상을 추정할 수 있다. 각 지점별로 추정된 확률강우사상 곡선은 그림 3과 같다. 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 동일 강우량에 대하여 재현 기간이 증가함에 따라 강우 지속기간이 커지고 있으며, 강우량과 그 지속기간간의 관계는 비선형성을 보여주고 있다. 또한 일반적으로 볼 때 지속기간을 대수변환한 반대수지상에서 지속기간과 강우량은 강우량이 큰 부분에서 곡선을 나타내고 있다.

$$P(x_1 \geq X_R \cap x_2 \leq X_D) = \frac{1}{T} \quad (29)$$

6. 치수안전도 평가의 적용성 검토

확률강우사상의 적용성 검토를 위하여, 기존의 고정된 지속기간 매년최대 강우량으로부터 추정된 확률강우량과 본 연구에서의 연속최대 강우량 및 그 지속기간으로 이루어진 강우사상으로부터 추정된 확률강우량을 비교하여 보면 표 3 과 같다. 기존의 확률강우량 추정시 강우 지속기간 최대한계가 대부분 24시간이므로 표 3의 확률강우량은 지속기간 24시간에 대한 것이다. 표 3에서도 알 수 있는 바와같이 본 연구에서의 확률강우사상에 의한 100년 빈도 강우량을 기존의 확률 강우량에 의한 빈도와 비교하여 보면, 강릉

은 약 10년, 서울은 약 20~30년, 인천은 약 50년, 광주는 약 20~30년에 해당한다. 이로 미루어 볼 때 확률강우사상에 의한 치수안전도는 기존의 확률강우량에 의한 안전도 보다 낮은 것으로 판단된다. 이는 확률강우량 산정을 위한 빈도해석에서 사용된 강우량 자료들이 24시간 최대 강우량의 강우강도가 연속최대 강우량의 강우강도보다 크다는 사실로부터 살펴볼 때 당연한 결과이다. 그러나 지속기간이 커짐에 따라 이러한 빈도의 격차는 줄어들 것이다. 왜냐하면 임의의 지속기간 최대강우량은 결국 연속 최대강우량에 접근하게 되기 때문이다. 즉 치수적인 측면에서의 안전율은 기존의 확률강우량이 안전축이라고 할 수 있다. 표 4는 강우지속기간 48시간에 대한 각 지점별 확률강우량이다.

동일한 100년빈도 강우사상에 있어서 강우량과 그 지속기간의 변화에 따라 댐 관리 및 운영기법의 적정성 검토의 경우에 사용될 수 있으며, 빈도의 상향조정을 통하여 확률강우량이 갖는 치수 안전도를 확보할 수 있을 것이다. 그림 3의 확률빈도 곡선에서도 알 수 있는 바와 같이 동일 강우량에 대하여 빈도가 증가함에 따라 지속기간이 짧아지고 있다. 이는 치수적인 면에서 볼 때 강우강도의 증가에 해당하는 것이다.

7. 고 찰

본 연구에서 사용된 gamma 분포의 확률밀도함수인 井澤의 식 (19)는 0부터 1까지의 정적분 항에 Bessel의 초기함수를 포함하고 있고 형상모수 ν_1 와 ν_2 의 값에 따라 적분 하한계가 무한대가 되기 때문에 수치적분상의 어려움을 수반하고 있다. Simpson의 수치적분기법을 사용하여 식 (6)의 적분을 구하였으나 식 (19)의 정적분 하한계 대신에 유한값으로 어떤 값을 선택하느냐에 따라 그 결과가 크게 좌우되었다. 본 연구에서는 식 (6)의 유한한 적분영역에서 식 (19)의 누가 확률을 구하여 그 값이 1에 가깝게 되는 수

치를 함수 (19)에서의 적분 하한계로 채택하였다. 그 결과 서울 지점은 $0.235E-8$ 이고 인천지점은 $0.45E-4$ 이었다. 본 연구에서 사용한 2변량 gamma 분포의 확률분포를 추정하는데는 수치적분의 하한계 등에 대한 추후 연구가 필요한 것으로 생각된다.

일반적으로 년최대 강우량 자료는 정규분포보다는 대수정규분포를 비롯한 변수변환 정규분포에 적합되는 경우가 더 많은 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 연속최대 강우량에 따른 강우사상계열의 확률분포로서 대수정규분포가 표 2에서도 알 수 있는 바와 같이 전주와 부산을 제외한 모든 지점에서 적합되고 있다. 이로 미루어 볼 때 n승근 변수변환 정규분포도 연속최대 강우량에 따른 강우사상계열에 적합될 수 있으리라 생각된다.

수문자료의 1변량 확률분포 모형에서는 25개 이상의 통계년수를 필요한 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서 사용된 강우사상자료의 통계년수는 31개로서 2변량 확률분포 모형의 분석을 위한 자료수로서는 충분치 못한 것으로 생각된다. χ^2 -검정에서 계급구간의 수가 1변량 확률분포보다 2변량 확률분포의 경우가 더 많아질 수 밖에 없다는 점을 감안할 때 더욱 그러하며, 2변량확률 분포모형을 위한 수문자료의 적정 통계년수에 대한 연구가 요망된다.

한계 무강우시간의 선택에 따라 독립호우사상의 평균강우강도가 크게 달라질 수 있기 때문에 적절한 확률강우사상의 추정을 위한 한계무강우시간의 선정이 중요하다고 생각된다. 본 연구에서는 최소 무강우시간과 호우빈도의 관계를 분석한 이동률과 정상만의 결과로부터 10시간을 선정하여 사용하였으나 확률강우사상과 관련하여 이를 선택하는 기준을 마련할 필요가 있는 것으로 사료된다.

8. 결 론

본 연구는 매년최대 연속강우량에 따른 강

우량과 그 지속기간으로 이루어진 강우사상 계열에 대한 확률분포에 관한 연구로서, 우리나라의 주요 8개 강우관측 지점에 2변량 정규분포, 2변량 대수정규분포, 2변량 gamma분포를 적용한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 매년최대 연속강우량에 따른 강우량과 그 지속기간 계열의 확률분포형으로서 2변량 정규분포는 강릉, 인천, 대구, 전주, 광주지점에서 적합되었고, 2변량 대수정규분포는 강릉, 서울, 인천, 추풍령, 대구, 광주지점에서 적합되었으며, 2변량 gamma 분포는 모든 지점에서 적합하지 않았다.

2. 최대강우량과 최단지속기간으로 이루어진 확률강우사상의 빈도곡선을 산정하여 제시하였다. 이 확률강우사상은 동일 강우량에서 재현기간의 증가에 따라 지속기간이 짧아지고 동일 지속기간에 대해서는 빈도의 증가에 따라 강우량이 커진다.

3. 강우사상의 평균강우강도는 추풍령과 대구가 낮은 편이고 서울과 부산이 상대적으로 높은 편이다. 또한 시계열의 지속성을 보면 강우량의 경우 대구, 전주, 서울에서 약간의 지속성을 보이고 있으나, 지속기간의 경우에는 거의 지속성이 없다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 한국학술진흥재단의 신진교수 연구과제 연구비에 의하여 연구되었으며 동 재단의 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

한강수계 유출프로그램 개선방안. (1991). 건설부, 한강홍수통제소.
이동률, 정상만 (1992). "한강유역 강우의 시·공간적

특성." 한국수문학회지, 제25권, 제4호, pp. 75-85.
이원환, 박상덕 (1992). "서울지방의 통합형 확률강우강도식." 대한토목학회 논문집, 제12권, 제4호, pp. 135-143.
이원환 (1987). "한국 확률강우량도 작성을 위한 수문해석기법 개발." 한국수문학회지, 제20권, 제2호, pp. 139-150.
이재준, 손광익, 이원환, 이길춘 (1981). "강수빈도 및 강우강도의 시공적 분포분석에 관한 연구." 한국수문학회지, 제14권, 제4호, pp. 53-72.
홍준표 (1993). 컴퓨터수치해석.
Anderson, R.L. (1941). "Distribution of the serial correlation coefficients." *Annals of Math. Statistics*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-13.
Gradshteyn, I.C, and Ryzhik, I.M. (1979). *Table of integrals, series, and products*, Translated by Alan Jeffrey, Academic Press.
Johnson, N.L., and Kotz, S. (1972). *Distribution in statistics: Continuous multivariate distributions*. John Wiley & Sons, Inc.
Salas, J.D., Delleur, J.W., Yejevich, V., and Lane, W.L. (1980). *Applied modeling of hydrologic time series*, W.R.P.
Sheppard, W.F. (1900). "On the calculation of the double integral expressing normal correlation." *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, Vol. 19, pp. 23-66.
石原藤次郎. (1972). 水工水理學, 丸善株式會社.
井澤龍夫. (1953). 2變數の Γ 分布について (續), 氣象と統計, 第4卷 第2號, pp. 15-19.
長尾正志, 角屋 睦 (1971). 2變數カンマ分布とその適用に関する研究(2) -2變數カンマ分布の母數推定法-, 京大防災研究所年報, 第4卷B, pp. 1-14.
寶馨, 高棹琢馬 (1988). "水文頻度解析における確率分布モデルの評價規準." 土木學會論文集, 第393號 II-9, pp.151-160.

(접수: 94.12.26)