

강우의 모의발생에 관한 연구 (2차원 무작위 호우장에서)

A Study on the Rainfall Generation
(In Two-dimensional Random Storm Fields)

이 재 형* · 선우 중 호** · 황 만 하***
Lee, Jea Hyoung · Soun, Jung Ho · Hwang, Man Ha

Abstract

In recent years, hydrologists have been interested in the radial spectrum and its estimation in two dimensional storm field to construct simulation model of the rainfall. This paper deals with the problem of transformation from the spectrum or isotropic covariance function to two dimensional random field. The extended turning band method for the generation of random field is applied to the problem using the line generation method of one dimensional stochastic process by G.Matheron. Examples of this generation is chosen in the random components of the multidimensional rainfall model suggested by Bras and are given with a comparison between theoretical and sample statistics. In this numerical experiments it is observed that first and second order statistics can be conserved. Also the example of moving storm simulation through Bras model is presented with the appropriate parameters and sample size.

요 지

최근 몇년동안 2차원 무작위 강우장의 확률특성치인 환상스펙트럼에 대한 논의가 있었고, 2차원 강우장의 모의 모형도 제안되었다. 본 연구는 맨처음 G.Matheron에 의해 소개된 회전띠기법(TBM)을 도입하여 앞서 제시된 환상스펙트럼이나 등방성 공분산 함수를 2차원 강우장으로 전환하는 문제를 다루었다. 특히 Bras의 강우 모의 모형에서 잔차 발생치의 보존특성에 중점을 두었는데 표본수의 증가에 따라 TBM에 의해 발생한 값을 토대로 산정한 평균과 공분산이 이론치에 접근해감을 보였다. 또한 표본의 갯수를 경제적인 규모로 선택하여 실시한 진행성 강우의 모의에도 제시하였다.

*정회원 · 전북대학교 공과대학 토목공학과 부교수

**정회원 · 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

***정회원 · 전북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

1. 서 론

강우현상을 확률과정으로 간주하면 그 모집단을 대표하는 확률특성치가 존재한다. 모집단의 확률특성치는 평균, 분산, 공분산함수 등의 통계특성치로 대신하는 경우가 많고 이러한 대표치가 주어졌을때 그 집단의 표본을 모의할 수 있다. 모의 실험에서 얻은 표본은 사용한 통계특성치를 보존해야 한다. 그러나 실제로 이산화등의 이유로 모형오차가 발생한다. 따라서 모형은 정확해야 한다. 그렇다고 해서 실용성에 비추어 과도한 비용이 수반되어도 좋지않다.

확률과정으로서의 강우현상을 모의 발생하는 모형으로는, Mejia기법⁽¹⁾, Shinozuka기법⁽²⁾, 회전띠기법(Turning Band Method)⁽³⁾등 3가지이다. 앞의 두모형에서 무작위 변수는 코사인함수의 급수로 얻어진다. Majia기법의 코사인급수에서 진폭은 같고 주파수벡터는 스펙트럼 밀도함수의 역변환값(Monte-Carlo적분형)인 반면에, Shinozuka기법의 코사인 급수에서는 진폭은 가중치이며 주파수는 짝수간격(수치적분형)으로 취한다. 회전띠기법은 일차원 모의기법인 Shinozuka기법을 2-3차원 확률과정의 모의기법으로 확장한 것이다.

다수의 가중코사인 함수값의 합으로 모의되기 때문에 모의비용은 발생지점의 갯수에 비례한다. 따라서 2차원 강수평면에서 계측지점은 유한하더라도 강수발생 지점은 무한개인 현상을 모의할때 모의비용 문제가 대두된다. 회전띠기법은 상대적으로 경제적인 모의기법으로 알려져있다. 이 기법을 맨처음 제안한 학자는 Matheron⁽³⁾인데 그 당시는 매우 엄밀한 수학형식이었다. 이를 Delhomme⁽⁴⁾등이 적용하면서 실용화되기 시작했는데, 이 기법의 독창성은 2-3차원 모의문제를 1차원으로 모의하고 그 결과를 합해서 2-3차원 공간의 지점에서 발생한 값으로 한다. 이러한 변환하는 통해서 모의하는 비용은 지점갯수(N)의 평방근에 비례하기 때문에 N이나 N²에 비례하는 Mejia기법이나 Shinozuka기법보다 효율적인 것으로 알려졌다⁽⁵⁾.

이재형등⁽⁶⁾은 홍수시 저수지 운영을 실시하기 위한 시우량 모형을 제안하면서 Mejia방식의 모의기법을 검증없이 적용하였다. 본 논문의 목적은 회전

띠기법을 도입하여 2차원 무작위 강우장의 모의결과가 평균, 공분산함수등의 확률특성치의 보존여부를 확인하고 효율적인 강우모의를 실시해 보이는데 있다. 그렇게 하기 위해서 다음장에서는 Bras⁽⁶⁾의 강우발생모형을 소개하고 회전띠기법은 3장에서, 회전띠기법의 기초가 되는 1차원 무작위 과정의 모의기법은 4장에서 기술하였다. 마지막으로 모의결과의 확인과 강우의 모의실시는 5장에서 다루었다.

2. 다차원 호우 내부모형

무강우 기간으로 구별되고 어느 기준치 이상의 독립강우사상을 호우⁽⁵⁾라고 정의하기로 한다. 시간축상에서 구분된 호우는 한지점에 낙하하는 빗방울들이 모인 강우량시계열인데, 관심에 따라서 한지점에서의 시계열, 한편면에서의 시계열로 분류할 수 있다. 후자를 다차원 호우라고 명명하기로 한다. 이때 한편면을 구성하는 점은 무한하므로 유한개의 지점을 선택하여 무한지점으로 구성되는 평면을 대표한다고 하는 의미도 포함되어 있다. 유한개의 지점에서 발생하는 호우, 즉 다차원호우를 지상의 관찰자의 관점에서 표현하려고 한다면 우량곡면 시계열을 시계열해석법 또는 추계확적인 접근법을 연상하게 된다. 이러한 관점에서 하나의 호우에 대해서 주목해 보면 강우개시에서 종료까지 누적된 총강우량, 강우가 지속된 시간등은 호우의 외양이라고 할 수 있는 반면 지속시간동안의 시우량분포는 호우의 내양이라고 할수 있다. Bras등⁽⁶⁾은 전자를 외부모형, 후자를 내부모형의 개념으로 도입했다. 호우모형은 호우의 내양과 외양을 모두 포함한 문제형식이나, 호우 내부모형은 호우모형을 축소한 의미를 갖는다.

Bras등은 5가지의 가정하에 다차원 호우에 관해서 호우내부모형의 정식화를 시도했다. 즉,

$$i(x_s, t) = i_s(x_s, t) + \eta(x_s, t) \quad (21)$$

여기서 $i(x_s, t)$ 는 좌표벡터 x_s 시각 t 에서의 강우강도인데, i_s 는 강우량평면을 유한개의 격자로 나누었을때의 격자점을 나타낸다. 또 $i_s(x_s, t)$ 는 x_s 와 t 에서의 평균강우강도이고, $\eta(x_s, t)$ 는 시·공간의 함수로 표현되며 평균이 0이고 어떤 공분산함수를 따르는 잔차강우강도이다.

Engleson⁽⁷⁾에 의하면 어떤 호우역을 대표하는 무차원 시우량분포가 존재한다. 즉 호우역 모든 지점은 같은 평균누가분포 곡선을 갖는다. 엄밀하게 말하면 식(2.1)의 $i_u(x_i, t)$ 는 공간 x_i 에서 시각 t 의 값이 아니다. 만일 호우가 u 라는 속도로 병진운동하고 시각 t 에 좌표원점을 통과했다고 하면 x_i/u 시간후에 x_i 지점에 도착할 것이다. 따라서 x_i/u 시간전에 좌표원점을 통과한 호우와 현재 x_i 를 통과하고 있는 호우는 같다. 이러한 개념을 수식으로 나타내면

$$i_u(x_i, t) = i_a(t - x_i/u) \quad (2.2)$$

여기서 $i_a(t_i)$ 는 주어진 지점에서 실제시각 $t_i = t - x_i/u$ 에서의 평균강우강도라고 할 수 있다.

잔차 강우강도의 평균이 0이므로 잔차의 공분산함수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$E[\eta(x_i, t')\eta(x_j, t'')] = \sigma(x_i, t')\sigma(x_j, t'') \quad (2.3)$$

여기서 $E[\cdot]$ 는 기대치 연산자이고, $\sigma(\cdot)$ 는 표준편차이며, $r(\cdot)$ 는 정규화된 공분산 범함수이다.

표준편차 $\sigma(x_i, t)$ 는 $i_a(\cdot)$ 의 주변변동에 상응하는 통계적이고, 병진이동의 개념을 도입하면 식(2.4)와 같이 표시할 수 있다.

$$\sigma(x_i, t) = \sigma_a(t - x_i/u) \quad (2.4)$$

식(2.2), (2.3), (2.4)를 참고로 식(2.1)을 다시 쓰면

$$i(x_i, t) = i_a(t - x_i/u) + R(x_i, t)\sigma_a(t - x_i/u) \quad (2.5)$$

여기서 $R(x_i, t)$ 는 평균이 0이고 분산이 1인 지점 x_i , 시각 t 에서의 정규강우잔차이며

$$E[R(x_i, t')R(x_j, t'')] = r(x_i, t'; x_j, t'')$$

Bras등은 난류의 Taylor가정을 도입하여 정규공분산 범함수 $r(x_i, t'; x_j, t'')$ 를 다음과 같이 간략했다.

$$r(x_i, t'; x_j, t'') = r\left\{ (y_i - y_j)^2 + [(x_i + ut') - (x_j + ut'')]^2 \right\}^{1/2} \quad (2.6)$$

윗식에서 $x_i = y$ 및 $x_j = x + ut$ 인 변수로 치환하면 정규잔차는 정상이고 등방이라는 의미를 유추할 수 있다. 이는 식(2.1)의 잔차강우 $\eta(x_i, t)$ 의 정상성을 의미하지 않으면 x, y 및 t 에 관해서 개별적으로 등방성이라는 뜻도 아니다.

앞서 기술한 상관구조의 무작위장을 합성하기 위해서는 모형이 필요하고, 모형이 설정되면 경우를

발생시킬 수 있다.

3. 회전띠기법의 개념

2차원 평면을 P 로 표기하기로 한다(그림 3.1 참조). 임의로 원점(0)을 취하고 2차원 평면에서 무작위 방향을 갖는 선분(line segment)을 발생시킨다고 가상했을 때 i 를 그 성분중의 하나라고 하고 x 축과 이루는 각을 θ 로 표시한다. x 가 고정축이라면 선분 i 방향의 무작위변수는 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ 에서 균일하게 분포해 있다고 할 수 있다. 각 선분 i 상에서 평균이 0이고 공분산함수가 $C_i(\zeta)$ 인 일차원 무작위변수를 발생시킨다. 여기서 ζ 는 선분 i 상의 좌표이다. 발생 지점 N 을 선분 i 에 직교하게 투영하고 투영지점에 이에 상응하는 일차원과정의 값을 배정한다. 해당 2차원평면에서 점 N 의 위치벡터가 x_N 이라면 이에 상응하는 선분 i 상의 좌표값은 ζ_N 이고 이에 배당된 값은 $Z_i(\zeta_N)$ 이다. 이때 ζ_N 는 $x_N \cdot v_i$ 인데, 벡터 x_N 과 단위벡터 v_i 의 내적으로 계산된다. 유한개의 선분 L 에 대해서 무작위로 발생된 결과는 독립이고 이들의 합을 평가한 값은 점 N 에서의 발생값이다. 즉,

$$Z_s(x_N) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L Z_i(x_N \cdot v_i) \quad (3.1)$$

여기서, 첨자 s 는 모의된 또는 합성된 것을 의미한다.

식(3.1)에서 $Z_i(\zeta_N)$ 각각의 평균값이 0이므로 $Z_s(x_N)$ 의 평균값 역시 0이다. 2차원 공분산함수를 $C(r)$ 이라 하자. 여기서 r 은 극좌표에서 반경이며, 등방성 확률과정(Isotropic Stochastic Process)이라고 가정하면 2차원 공분산함수는 반경만의 함수가 된다. 2차원확률과정에서는 표본공분산 함수로서 $C(r)$ 이 구해진다. 따라서 $C_i(\zeta)$ 과 $C(r)$ 의 관계가 밝혀져야 위에서 설명한 변환관계가 설정된다. 이러한 관계를 설정하기전에 그림(3.1)에서 \mathcal{L} 의 띠에 주목해보자. $i=1, \dots, L$ 까지 또는 무한개의 선분이라 하더라도 띠를 회전시키면 점 N 에서의 모든 방향을 접하게 된다. Matheron⁽³⁾은 이러한 의미에서 회전띠기법(TBM)이라 명명했다.

그림(3.1)에 보인 것처럼 2차원 평면에서 위치벡터 x_1 과 x_2 를 택해서 이 두지점에 상응하는 모의값은 식(3.1)에 의해서 다음으로 주어진다.

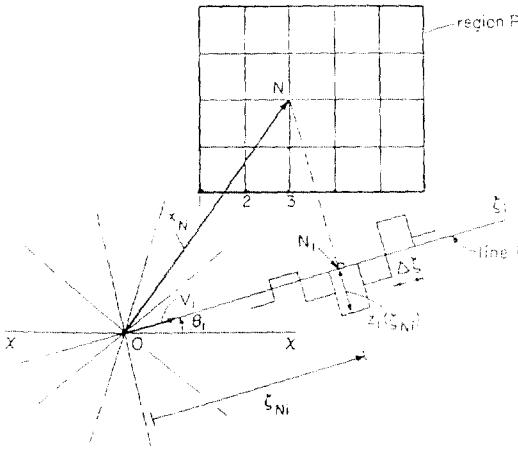


그림 31 TBM의 모식도(Mantoglou, 1984)

$$Z_s(x_1) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L Z_i(x_1 \cdot v_i) \quad (3.2)$$

$$Z_s(x_2) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L Z_i(x_2 \cdot v_i) \quad (3.3)$$

모의 확률과정 Z_i 와 Z_j 는 서로독립이고, Z_s 의 평균값은 0이다. 또한 정상확률과정의 공분산함수는 위치에 종속되지 않고 거리에 의존한다. 이러한 관점들을 감안하면 모의공분산함수는 다음식이 된다.

$$C_s(x_1, x_2) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L C_i(h \cdot v_i) \quad (3.4)$$

여기서 $h = x_1 - x_2$, 식(3.4)에 $L \rightarrow \infty$ 에 대한 큰수에 법칙을 적용하면 식(3.4)의 우변은 $C_i(h \cdot v_i)$ 의 기대치이며, 벡터 v_i 의 확률밀도함수 값이 $1/2\pi$ 이라는 점을 감안하면

$$C_s(r) = \frac{1}{2\pi} \int_{0 \leq \theta < 2\pi} C_i(h \cdot v) dv \quad (3.5)$$

여기서 $r = |h|$. 실제 보존되기를 원하는 2차원 공분산함수를 $C(r)$ 로 나타내면 $C_s(r) = C(r)$ 이고, 식(3.5)에서 ζ 로 변수변환하면 $C_i(\zeta)$ 과 $C(r)$ 의 관계가 얻어진다⁽⁹⁾. 즉,

$$\int_0^r \frac{C_i(\zeta)}{r^2 - \zeta^2} d\zeta = \frac{\pi}{2} C(r) \quad (3.6)$$

식(3.6)에서 $C(r)$ 과 $C_i(\zeta)$ 의 관계가 적분을 통해서만 명료해지므로 실용적이지 못하다. 모든 경우가 그렇지는 않지만 경우에 따라서 2차

원과정의 스펙트럼 밀도함수의 특이해를 얻을 수 있고 모의 발생에 이용할 수 있다.

유한개의 띠를 선택하면 에르고드성(ergodicity)이 만족되는가 하는 의문의 여지가 남아있다. 이 의문에 대해 Mantoglou등⁽⁸⁾은 회전대에 사용된 1차원 확률과정이 에르고드성인 이상 선분을 우수(even number)로 선택하더라도 에르고드성을 유지한다고 했다. 2차원 평면에서 발생하는 수문현상은 4-16개의 띠만으로도 충분히 에르고드성이 보존되는 것으로 알려져있다⁽⁸⁾.

4. 1차원과정의 모의

앞절에서 2차원 공분산함수와 1차원 공분산함수의 관계를 제시했다. 공분산함수와 스펙트럼 밀도함수는 등가이다. 2차원 공분산함수를 변환하여 환상스펙트럼 밀도함수가 얻어졌고 1차원 공분산함수를 변환하여 1차원 스펙트럼 밀도함수가 얻어졌다고 하면 이제는 주파수영역의 스펙트럼 밀도함수가 어떤 관계를 갖는가 그리고 이 함수를 이용해서 어떻게 무작위 변수를 모의하는가를 기술한다.

2차원 등방성 공분산함수(Isotropic Covariance Function)는 환상스펙트럼과 다음의 관계를 갖는다⁽⁸⁾.

$$C(r) = \sigma^2 \int_0^\infty J_0(\omega r) f(\omega) d\omega \quad (4.1)$$

여기서 $f(\omega)$ 는 2차원과정의 환상스펙트럼 밀도함수이고, σ^2 은 분산이며, J_0 는 0차의 베셀함수이다. $S_i(\omega)$ 를 공분산함수 $C_i(\zeta)$ 에 상응하는 1차원과정의 스펙트럼 밀도함수라 하면

$$C_i(\zeta) = 2 \int_0^\infty \cos(\omega \zeta) S_i(\omega) d\omega \quad (4.2)$$

식(4.1)과 식(4.2)를 연립하여 풀면 다음의 환상스펙트럼 밀도함수와 2차원과정의 환상스펙트럼 밀도함수의 관계식이 얻어진다⁽⁹⁾.

$$S_i(\omega) = \frac{\sigma^2}{2} f(\omega) \quad (4.3)$$

식(4.3)은 TBL(Turning Band Line)상에서 1차원과정의 스펙트럼 밀도함수가 2차원과정의 환상스펙트럼 밀도함수의 반에다 분산을 곱한것과 같다는 뜻이다.

2차원 공분산함수를 환상스펙트럼으로 변환하고 식(4.3)을 이용해서 각종의 1차원 스펙트럼 밀도함수를 구할 수 있다⁽⁸⁾.

지수형 공분산함수 $C(r) = \sigma^2 e^{-r}$, $r \geq 0$ 에 대해서

$$S_1(\omega) = \frac{\sigma^2}{2} \frac{\omega}{b^2[1+\omega^2/b^2]^{3/2}} \quad (4.4a)$$

베셀형 공분산함수 $C(r) = \sigma^2 \text{br}K_1(\text{br})$, $r \geq 0$ 에 대해서

$$S_1(\omega) = \sigma^2 \frac{\omega}{b^2[1+\omega^2/b^2]^{3/2}} \quad (4.4b)$$

여기서, K_1 은 제 2종의 1차 수정베셀함수이다. 이중지수형 공분산함수 $C(r) = \sigma^2 \exp[-br^2]$, $r \geq 0$ 에 대해서

$$S_1(\omega) = \frac{\sigma^2}{4b^2} \exp\left[-\frac{\omega^2}{4b^2}\right] \quad (4.4c)$$

Shinozuka 등⁽²⁾에 의하면 일차원 공분산함수에 상응하는 스펙트럼 밀도함수 $S_1(\omega)$ 이 주어지면 일차원 확률과정은 다음식으로 발생할 수 있다.

$$Z(\zeta) = 2 \sum_{k=1}^M [S_1(\omega_k \Delta\omega)]^{1/2} \cos(\omega'_k + \Phi_k) \quad (4.5a)$$

$$\omega_k = \frac{k-1}{2} \Delta\omega, \quad k=1, \dots, M \quad (4.5b)$$

$$\omega'_k = \omega_k + \delta\omega, \quad k=1, \dots, M \quad (4.5c)$$

여기서 Φ_k 는 0과 2π 에서 균일하게 분포하는 무작위 위상각이다. 한편 스펙트럼밀도함수 $S_1(\omega)$ 는 영역 $[-\mathcal{Q}, +\mathcal{Q}]$ 에서 정의된다. 이산주파수는 $\Delta\omega = \mathcal{Q}/M$ 으로 정의되고, M 은 사용된 조화(harmonics)의 갯수이다. 주파수 $\delta\omega$ 는 주기성을 면하기 위하여 추가된 미소무작위주파수이고 $-(\Delta\omega/2)$ 와 $+(\Delta\omega/2)$ 사이에서 균일하게 분포하며 $\Delta\omega' \ll \Delta\omega$ 이다. 식(4.5)로 주어진 확률과정은 $M \rightarrow \infty$, $\mathcal{Q} \rightarrow \infty$ 그리고 $\Delta\omega \rightarrow 0$ 에 대해서 평균 0과 공분산함수 $C_1(\zeta)$ 를 갖는다. 실제 적용하려 할 때는 $M < \infty$ 및 $\Delta\omega > 0$ 이므로 약간의 오차를 수반하게 된다.

5. 모의실험

강우의 모의발생을 실시하기전에 2장에서 제시한 강우 모의모형(식2.5)중에서 본 논문의 관심사인 잔차 $R(x_s, t)$ 발생이 기존의 등방성 공분산함수로부터 경제적이고 정상적으로 이루어지는지를 시험해 보아야 한다. 기존의 연구⁽²⁾에서 제시한 등방성공분산 함수형태는 일차원 스펙트럼으로 전환하는데에는 적합하지 않다. 따라서 등방성 2차원 공분산함수의 표본값을 3가지의 유형에 접근시켜보아 적절한 함수형을 취하는 작업이 필요하다. 이에 상응하는 1차원 스펙트럼 함수는 식(4.4a)~식(4.4c)중

의 하나가 된다. 표본의 갯수는 계산시간의 과다와 관계가 있고 표본으로 선택된 등방성 공분산과 평균이 이론값에 접근하는지의 여부를 조사하여 잔차 발생모형의 적합성 여부와 발생에 적절한 표본의 갯수를 정한다. 마지막으로 남대천유역을 관심대상의 호우역으로 하여 식(2.5)에서 평균 강우진행 파형과 모의발생 진행강우 파형을 비교 예시한다.

5.1 이론 공분산함수의 도출

TBM에 모의를 실시하기 위해서는 모의구역의 등방성 공분산함수를 도출하여야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 기존의 연구결과⁽¹⁾인 대청댐유역의 2차원 등방성 공분산함수의 표본값을 이용하였다(그림 5.1에서 사각형). 식(4.4)의 1차원 스펙트럼 밀도함수 $S_1(\omega)$ 를 선정하기위해서 등방성 공분산함수의 표본값을 지수형, 베셀형, 이중지수형등에 맞추어 보았다. 그 결과 그림 5.1에서 보는 바와같이 베셀형 공분산함수가 가장적인 오차(root mean squares)를 보인 반면 지수형과 이중지수형은 상대적으로 큰 오차를 보였다(표 5.1). 따라서 모의모형에 사용할 일차원 스펙트럼함수로는 베셀형을 취했다.

5.2 모의 실시

전 절에서 제시한 평균 0.0, 분산 1.0인 베셀형 이론공분산함수에 상응하는 1차원 스펙트럼 밀도함수는 식(4.4b)이다. TBL을 따라 잔차강우를 모의하는 모형인 식(4.5a)에서 스펙트럼 $S_1(\omega_k)$ 로는 식(4.4b)를 이용한다. 모의 대상유역에서 모의 실험에 사용한 공간변수는 $\Delta x = 0.2/b$, $\Delta \zeta = 0.075/b$ 로 했으며 TBL의 갯수로 $L = 16$ 을 취했다. 또 모의실험에 사용한 조화의 갯수 M 은 100이고 $\mathcal{Q} = 40$ 이다. 모의구역으로 선정한 남대천지역($96.7 \times 51.4 \text{km}$)에서 표본의 갯수 N_s 를 100과 400, 900에 대해 모의를 실시하여 얻은 잔차강우값을 사용하여 평균과 등방성공분값을 산정했다.

그림(5.2)는 표본의 갯수를 100, 400, 900으로 늘려가면서 각각에 대해 산정한 등방성 공분산함수값을 도시하여 실선으로 표시한 이론값과 비교한 그림이다. 이때 $N_s = 900$ 에서 더이상 N_s 증가에 따른 계산을 실시하지 않는다. 그림(5.3)은 등방성 공분산값 산정에 사용한 표본의 평균값을 도시한 것이다. 이상의 두가지 수치실험에서 N_s 의 어느 정도까지가 유의한가에 대한 검토는 하지않고 N_s 의 증가에 따

표 5.1 각 방법별 오차의 비교

	σ^2	b	RMS
지수형	1.000	1.271	0.13657
베셀형	1.000	2.226	0.0165
이중지수형	1.000	1.220	0.15233

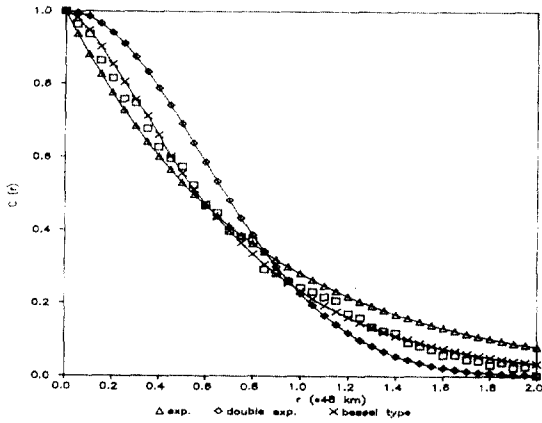


그림 5.1 등방성 공분산함수형의 결정

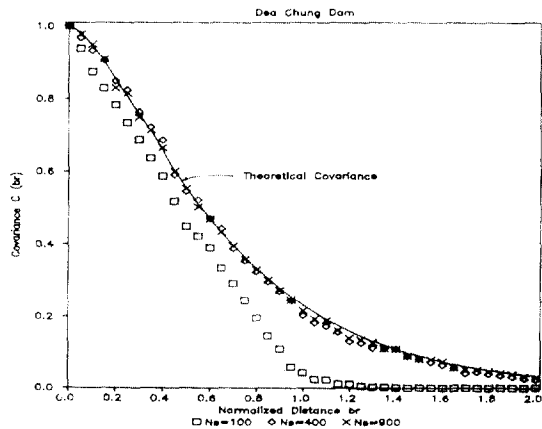


그림 5.2 모의 및 이론 공분산함수

라 이론값에 접근해감을 확인했다. 그 이유는 대상 호우역의 크기 스펙트럼함수의 형태, TBL의 갯수, 조화의 갯수 등에 따라 다소 차이를 보일것으로 판단했기 때문이다. 두가지 수치실험에서 확실한 것

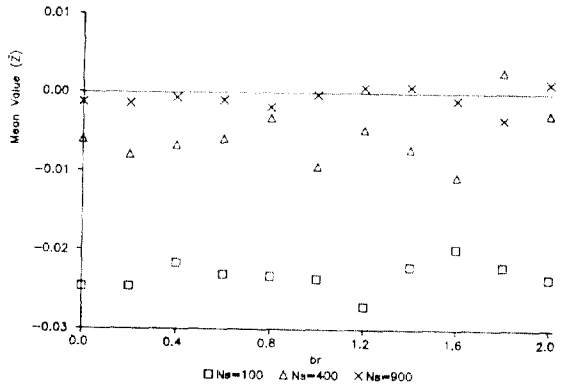


그림 5.3 모의 평균의 변화

은 이론스펙트럼을 따르는 잔차강우를 발생시킬 수 있으며 적절한 규모의 표본이 존재한다는 사실이다.

5.3 적용에

강우발생 대상 호우역으로는 대청댐상류 유역인 전북 무주군 소재 남대천 유역을 택하였다. 이 유역의 위치는 위도 35° 0', 경도 127° 40'이다. 남대천 수위탑을 유출점으로 하는 유역면적은 396.5km² 이나 편의상 38km(남북)×28km(동서)를 모의구역으로 하였다. 5.2절의 모의실험에서 Ns=900일때 평균과 등방성공분산이 이론치에 잘 접근하고 있으나 경제성(계산 소요시간)을 참작하여 표본의 갯수를 400으로 했다. 표본의 갯수를 400으로 했을때 격자 규모는 2km×1.5km이다.

일차원 확률과정의 재현에 사용되는 조화의 갯수 N, 최대주파수 Q, 회전선 L 등을 앞선 연구결과⁽⁶⁾에 의존하여 각각 100, 40, 16등으로 택했다.

Bras의 강우발생모형은 잔차강우의 모의발생외에 외부변수로 평균강우 강도와 이의 표준편차가 필요하고 내부변수로 강우의 진행속도가 필요하다. 지난 1989년 7월 28일 남대천유역에 내린 호우는 지속시간 10시간, 강우량이 제 3구간에 집중되어 있었으며 총강우량은 35mm였다. 이 호우의 분석결과 호우의 이동속도가 12km/hr, 진행방향이 S80W였다⁽⁶⁾. 이 호우를 염두에 두고 모의실험을 실시하려 한다. 이때 평균강우강도와 표준편차는 기존의 보고서⁽¹⁰⁾를 원용하였다. 그림 (5.4)는 호우의 모의역

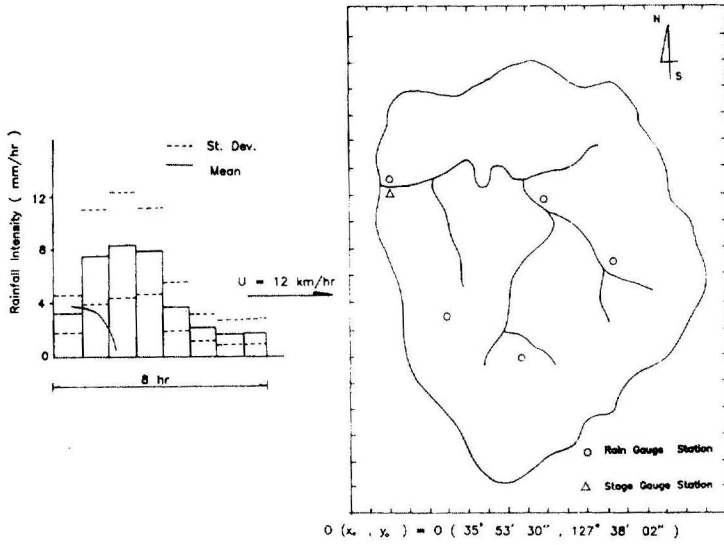


그림 54 모의구역 및 잔일 평균 강우강도

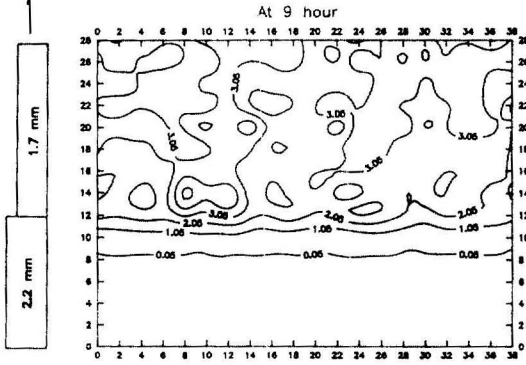
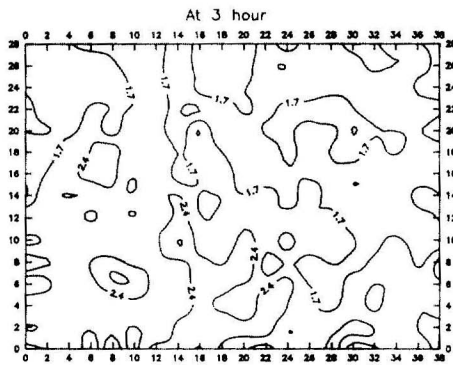
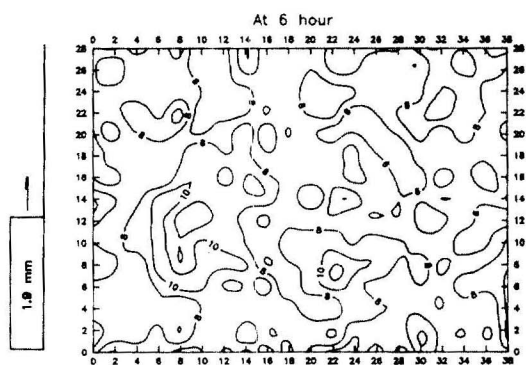
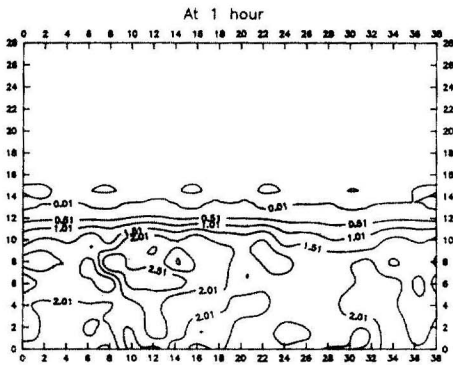


그림 55 모의발생 강우강도(mm)

그림 55 모의발생 강우강도(계속)

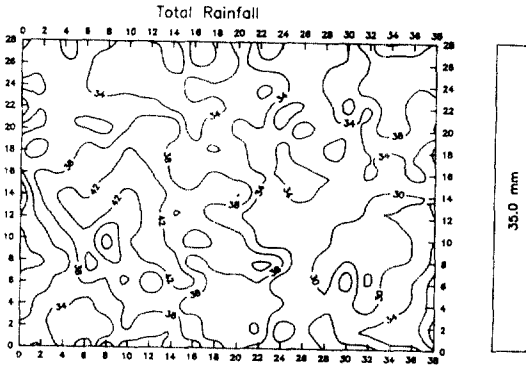


그림 5.6 모의발생 총강우량 분포도(mm)

감사의 말

본 연구는 1990-1991년 한국과학재단의 연구비 지원에 의해 수행된 연구성과이며 동 재단에 깊은 감사를 표한다. 또한 한국수자원공사의 “저수지 수문조작을 위한 홍수 유입량의 예측모형개발 연구”에 힘입은 바 컸음을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

1. Mejia, J. and I. Rodriguez-Iturbe, “On the Synthesis of Random Fields from the Generation of Hydrologic Spatial Processes”, *WRR*, Vol. 10, No.4 1974.
2. Shinozuka, M., and C.M. Jan, “Digital Simulation of Random Processes and its Applications”, *Journal of Sound and Vibration* Vol.25, No.1. 1972
3. Matheron, G. “The Intrinsic Random Functions and Their Applications.” *Adv. Appl. Prob.* 5, 1978
4. Delhomme, J.P. “Spatial Variability and Uncertainty in Groundwater Flow Parameters : A Geostatistical Approach”, *WRR*, 1979, Vol.15, No.2
5. 이재형, 전일권, 임용택, “호우역의 이동특성”, 제 32회 수공학 연구발표회, 한국수문학회, 1990.7.
6. Bras, R.L. and I. Rodriguez-Iturbe, “Rainfall Generation : A Nonstationary Time-Varying Multidimensional Model,” *WRR* 1976, Vol.12, No.3.
7. Eagleson, P.S., *Dynamic Hydrology*, Mcgraw-Hill, New York, 1970.
8. Mantoglou, A., and J.L. Wilson, “Simulation of Random Fields with the Turning Bands Method.” Cambridge Mass. : Ralph M. Parsons Laboratory for WR & Hydr, M.I.T.Rep, No.264., 1984.
9. Bras, R.L. and I. Rodriguez-Iturbe. *Random Functions and Hydrology*, 1985, Addition-Wesley Pub. Co.
10. 이재형 등, “홍수시 저수지 운영을 위한 시우량모형”, *한국수문학회지* 제23권, 3호, 1990.9.
11. 수자원공사, 저수지 수문조작을 위한 홍수유입량의 예측모형 개발 연구 보고서, 1990.4
12. 이재형 등, “산지성 호우의 환상스펙트럼 추정”, *대한토목학회논문집*, 제10권 제4호, 1990.12.

(接受 : 1990. 11. 6)

과 이구역에 진입하는 평균강우강도이다.

이상의 자료를 사용하고 이제까지 기술한 절차에 따라 강우의 모의발생을 실시한 결과를 도시한 것이 그림(5.5-6)이다. 그림(5.6)은 지속시간동안의 총강우량의 곡면을 나타낸다. 강우가 모의구역을 통과하는데는 2시간이 소요되므로 지속기간 8시간을 갖는 호우사상이 유역에 발현할 경우 이 유역에서 강우가 지속되는 시간은 10시간이다. 만일 유역면적을 늘려잡으면 그만큼 강우가 지속하는 시간은 늘어져서 자동적으로 면적증대에 따른 강우강도의 감소현상이 발생한다. 또 유역을 2시간에 주파하는 호우는 단일 또는 2개의 단조로운 우량심도가 유역에 분포해 있게 된다. 그림(5.5-6)에서 알수 있듯이 무차원 시간분포를 도출할때 생기는 편차만큼 무작위하게 가감됨으로서 일어날 수 있는 하나의 실현 강우강도 곡면을 얻을 수 있다.

6. 결 론

Bras가 제시한 진행강우의 모의 발생모형에서 잔차 강우발생 방법으로 Mantoglou의 회전띠기법을 도입하여 금강유역의 일부인 남대천유역에 적용해본 결과 잔차강우의 확률특성치인 평균과 공분산함수가 표본 갯수의 증가에 따라 보존될 수 있음을 확인했다. 또한 Eagleson이 제시한 무차원 시간분포가 공간강우에 대해서 취약한데, 평균무차원 시간분포의 변동폭인 표준편차와 잔차강우가 갖는 무작위성의 결합값을 첨가함으로써 보완할 수 있었다. 이상의 연구결과는 실시간이나 강우계측망을 위한 강우모형으로 발전시키는데 큰 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.