

다차원 강우모형의 시간적인 특성 연구

A Study of Temporal Characteristics From Multi-Dimensional Precipitation Model

김 상 단* / 유 철 상** / 김 중 훈*** / 윤 용 남****

Kim, Sangdan / Yoo, Chulsang / Kim, Joong-Hoon / Yoon, Yong Nam

Abstract

A multidimensional representation for precipitation, given in the theory proposed by E. Waymire et al. (1984), is used for simulating rainfall in space and time. The model produces moving storms with realistic meso-scale meteorological features in time and space. The first- and second-order statistics derived from observed point gauge data were used to estimate the model parameters based on the Nelder-Mead algorithm of optimization. Then twelve-year traces of rainfall intensities at fixed gage stations were generated at intervals of 1 hours. First- and second-order statistics are evaluated from the above series, which are used for estimating the parameters of one dimensional model of temporal rainfall at a point. As a result from the comparisons of one dimensional model parameters used observed and generated data from multidimensional model, we found that the multidimensional rainfall model generated visually realistic spatial patterns of rainfall as well as realistic temporal hyetographs of rainfall at a point.

keywords : rainfall, one-/multi-dimensional precipitation model, parameter optimization

요 지

Waymire 등 (1984)에 의해 제안된 다차원 강우모형을 시공간 상에서 강우를 모의하기 위하여 사용하였다. 위 모형은 시공간 상에서 실제 중규모 호우의 기상학적인 특징을 잘 재현하면서 이동하는 호우를 모의한다. 영월 지역의 4개 지점에서 4년간의 7월 강우 시자료를 바탕으로 모형의 매개변수를 추정하였으며, 추정된 매개변수를 사용하여 12년간의 7월 강우를 1시간 간격으로 모의 발생하였다. 모의 발생된 자료를 각 지점별로 재 구축한 후, 각 지점별 1, 2차 통계량의 계산을 통하여 Neyman-Scott 일차원 강우모형의 매개변수를 추정하는데 사용되었다. 실제 자료를 통한 Neyman-Scott 모형의 매개변수와 비교결과, 다차원 강우모형을 통하여 발생된 자료는 일차원 강우모형의 매개변수를 우수하게 재현시킬 수 있는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 강우, 다차원 강우모형, 일차원 강우모형, 매개변수 최적화

* 고려대학교 토목환경공학과 석사과정
Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engr., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
(E-mail : mioksd@kucn.korea.ac.kr)

** 고려대학교 환경공학과 조교수
Assistant Prof., Dept. of Environmental Engr., Korea Univ., Chungnam 339-700, Korea

*** 고려대학교 토목환경공학과 부교수
Associate Prof., Dept. of Civil & Environmental Engr., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

**** 고려대학교 토목환경공학과 교수
Professor, Dept. of Civil & Environmental Engr., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea

1. 서 론

강우는 가장 기초적인 수문학적 입력자료임과 동시에 수문분야에서 가장 복잡한 현상 중에 하나이다. 이는 강우가 시간 및 공간에 따른 변동성을 동시에 갖고 있기 때문이며, 1980년대 들어 이러한 강우의 공간-시간적인 현상을 해결하고자하는 많은 연구가 있어왔다. 대표적인 연구성과들로는 Waymire 등(1984)이 WGR(Waymire - Gupta - Rodriguez-Iturbe)모형을 개발한 이후로 Valdes 등(1985), Rodriguez-Iturbe와 Eagleson(1987)을 비롯한 이에 관한 많은 연구가 뒤를 이어 진행되어 왔으며, 그 외에도 North와 Nakamoto(1989)는 간단한 확산방정식에 기초한 NFD강우모형(The Noise-Forced Diffusive Precipitation Model)을 개발하였으며 또한, 강우의 이송·확산의 물리적 특성을 반영하여 관측된 강우의 스펙트럼을 잘 재현할 수 있고 또한 WGR강우모형보다 그 구조가 간단하여 다른 목적에의 적용이 용이할 목적으로 개발된 Yoo 등(1996)의 모형이 개발된 바 있다. 국내 연구결과들로는 Bras와 Rodriguez-Iturbe(1976)의 비정상 시간변화 다차원모형을 이용한 오남선(1996)의 연구와 관측오차문제에 대하여 다차원 강우모형을 적용한 유철상(1997)의 연구, Yoo와 Kwon(2000)에 의해 수행된 WGR모형을 국내 한강 유역에 적용하여 월별 매개변수를 추정한 연구 등을 찾아볼 수 있다.

강우는 공간-시간적인 현상이기 때문에 그 동안 시간적인 분포만을 대상으로 연구되어온 일차원 강우모형의 연구결과들과 강우의 공간-시간적인 특징을 함께 고려하고 있는 다차원 강우모형 사이에는 어떤 관련성이 있음은 자명한 사실이다. 따라서 일차원 강우모형의 시간적인 특징을 대변할 수 있는 매개변수들은 다차원 강우모형을 통하여 얻을 수 있는 시간적인 매개변수들과 같아야만 한다는 것도 당연한 논리의 귀결이라고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 다차원 강우모형이 일차원 강우모형으로부터 표현되는 시간적인 특성을 얼마나 재현할 수 있는지에 관하여 분석하였으며, 이러한 목적을 위하여 일차원 강우모형으로는 Neyman-Scott모형이 사용되었고 다차원 강우모형으로는 WGR모형을 사용하여 공간적 시간적인 강우를 모의하였다.

2. 다차원 강우모형

본 연구에 사용된 WGR모형은 중규모 강우(호우범

위 20~200km)를 표현하기 위해 개발된 모형이다. 이 모형은 개념적인 모형으로서 중규모 강우의 대기 동역학적 특성과 강우의 통계학적 특성이 비교적 잘 반영된 모형이다. 강우의 시공간 표현으로서 이 모형은 호우 사상의 도달 메커니즘에 의해 시간적으로 특성화되어진다. 이 모형은 클러스터 포텐셜 중심 속에 포함되어있는 강우세포의 생성 및 소멸로서 강우를 표현한다. 이 때 클러스터 포텐셜 중심은 다시 강우대 속에 포함되어있다. 강우대의 도달 구조는 포아송 과정에 의해 나타나게 되며 강우대 속의 클러스터 포텐셜을 분포시키기 위하여 공간적 포아송 과정이 적용된다. 아울러 강우의 군집특성 및 이송·확산에 의한 시간·공간적인 변화도 잘 고려하고 있는 것으로 알려져 있다.

강우세포 (τ, y) 의 발생은 세포의 생성시간 τ 및 세포의 생성위치 y 로서 수식화된다. 세포의 생성을 지배하는 확률밀도함수의 형태는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} f_{s,x}(\tau, y) &= 0 \\ \tau &\leq s - \gamma \\ f_{s,x}(\tau, y) &= f_s^{(1)}(\tau)f^{(2)}[y - (x - U_b(\tau - s))] \\ \tau &> s - \gamma \end{aligned} \quad (1)$$

이 때, $f_s^{(1)}(\tau)$ 및 $f^{(2)}(x)$ 는 각각 세포의 시간 및 공간적인 생성을 지배하는 함수로서 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} f_s^{(1)}(\tau) &= \beta e^{-\beta(\tau-s)} e^{-\beta\gamma} \\ f^{(2)}(x) &= \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp\left\{-\frac{x_1^2}{2\sigma_1^2} - \frac{x_2^2}{2\sigma_2^2}\right\} \\ x &= (x_1, x_2) \in R^2 \end{aligned} \quad (2)$$

위 식 (1)과 (2)에서 U_b 는 호우속도이며, γ 는 세포 발생에 필요한 평균 시간이다. 또한, 매개변수 β^{-1} 은 세포생성 평균시간을 의미하며, σ_1 과 σ_2 는 세포의 위치변수이다. 각각의 세포들은 다음과 같은 함수에 의해서 강우강도를 발생시키는 것으로 가정된다.

$$g(a, r) = i_r g_1(a) g_2(r) \quad (3)$$

이 때, $g_1(a)$ 및 $g_2(r)$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 g_1(a) &= e^{-aa} & a \geq 0 \\
 &= 0 & a < 0
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$g_2(r) = \exp\{-r^2/2D^2\} \quad r \geq 0$$

여기서 i_0 는 세포생성 시점에서의 강우강도이며, a 는 세포생성 시점에서부터의 경과시간, r 은 세포생성 초기위치에서부터의 거리, α 는 세포 강도의 시간적인 감소에 관련된 매개변수, D 는 세포의 공간적인 범위를 나타내는 매개변수이다. 즉, 식 (4)에서 g_1 은 강우강도의 시간적인 함수로서 시간에 따라 강우강도가 지수함수적으로 감소하는 것을 모의한 것이며, g_2 는 강우강도의 공간적인 함수로서 공간적 분포는 2차원 정규분포의 형태를 따른다고 가정한 것이다.

위와 같은 모형화를 바탕으로 Waymire 등(1984)은 다음과 같이 평균, 분산 및 공분산을 유도하였다.

$$E[\xi(t, z)] = E[\nu] \rho_L \lambda_M E[i_0] 2\pi D^2 \alpha^{-1} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 Var[\xi(t, z)] &= \theta_1 + (\beta - \alpha) \{ \theta_2 + \theta_3 (4\pi)^{-1} \\
 &\quad \cdot [(D^2 + \sigma_1^2)(D^2 + \sigma_2^2)]^{-1/2} \} \\
 &\quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cov[\xi(t_1, z_1), \xi(t_2, z_2)] &= \theta_1 \exp(-\alpha|t_1 - t_2|) \\
 &\quad \cdot \exp\left\{-\frac{1}{4D^2} \{ [z_{11} - z_{21} - U_1(t_1 - t_2)]^2 \right. \\
 &\quad \left. + [z_{12} - z_{22} - U_2(t_1 - t_2)]^2 \right\} \\
 &\quad + \theta_2 [\beta \exp(-\alpha|t_1 - t_2|) - \alpha \exp(-\beta|t_1 - t_2|)] \\
 &\quad + \theta_3 \eta(z_{11} - U_1(t_1 - t_2); 2D^2 + 2\sigma_1^2)(z_{21}) \\
 &\quad \cdot \eta(z_{12} - U_2(t_1 - t_2); 2D^2 + 2\sigma_2^2)(z_{22}) \\
 &\quad \cdot [\beta \exp(-\alpha|t_1 - t_2|) - \alpha \exp(-\beta|t_1 - t_2|)] \\
 &\quad (7)
 \end{aligned}$$

여기서 θ_1 , θ_2 , θ_3 및 함수 $\eta(\alpha, b^2)(x)$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 \theta_1 &= \frac{E[\nu] \rho_L \lambda_M E[i_0]^2 \pi D^2}{2\alpha} \\
 \theta_2 &= \frac{2\lambda_M \beta E[i_0]^2 E[\nu]^2 \rho_L^2 \pi^2 D^4}{\alpha(\beta^2 - \alpha^2)} \\
 \theta_3 &= \frac{2\lambda_M \beta E[i_0]^2 E[\nu]^2 \rho_L \pi^2 D^4}{\alpha(\beta^2 - \alpha^2)} \\
 \eta(\alpha, b^2)(x) &= \frac{1}{(2\pi)^{1/2} b} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2b^2}\right)
 \end{aligned} \quad (8)$$

3. 일차원 강우모형

본 연구에 사용된 Neyman-Scott 모형의 구조는 Rodriguez-Iturbe 등(1984)을 참조할 수 있으며, 그 구조를 간략하게 요약하면 아래와 같다.

Neyman-Scott 모형은 무작위적인 크기를 갖는 일련의 순간적인 사상으로서 강우강도를 표현하고 있으며, 각각의 강우사상은 어떤 군집특성을 내포하고 있다. 호우 도달과정은 매개변수 λ 를 갖는 포아슨 과정으로 모의하며, 도달된 특정 호우의 특성은 강우의 군집특성을 고려하기 위하여 매개변수 ν 와 X 로 설명되는 Neyman-Scott 점과정을 따른다. 즉, 이 모형의 매개변수는 4개로 평균펄스발생시간 γ , 평균펄스깊이 $E[X]$, 평균펄스의 수 $E[\nu]$, 평균호우수 λ 이다. 관측된 자료 Y 가 1시간 간격이라 한다면 평균, 분산 및 공분산은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[Y] = \lambda E[X] E[\nu] \quad (9)$$

$$Var[Y] = b_1 + 2b_2[\gamma - 1 + e^{-\gamma}]/\gamma^2 \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 Cov[Y_1, Y_k] &= b_2(1 - e^{-\gamma})^2 e^{-\gamma(k-2)}/\gamma^2, \\
 &\quad k \geq 2
 \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 b_1 , b_2 는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 b_1 &= 2\lambda E^2[X] E[\nu] \\
 b_2 &= \lambda \gamma E^2[X] E^2[\nu]
 \end{aligned} \quad (12)$$

표 1. 다차원 강우모형의 매개변수 추정결과

매개변수	매개변수에 대한 설명	추정된 값
λ_M	강우대 도달율	0.0077097 (bands/hr)
ρ_L	클러스터 포텐셜 밀도	0.014246 (clusters/km ²)
$E[\nu]$	클러스터에 포함된 평균 강우세포 개수	3.6298 (cells)
β	강우세포 생성율	0.92858 (cells/hr)
σ	클러스터 내 강우세포 위치변수	7.7739 (km)
α	강우세포 지속기간에 관한 변수	0.18123 (1/hr)
D	강우세포의 공간적 지배반경	1.5433 (km)
$E[i_o]$	강우세포 발생 시 평균강우강도	21.2736 (mm/hr)
U_b	호우속도	3.1489 (km/hr)

4. 적 용

4.1 대상지점 및 사용된 자료

대상지점은 남한강 상류인 영월지역이며, 건교부에서 운영하고 있는 영월, 미탄, 상동, 정선 자기우량관측소의 1987년부터 1990년까지의 7월 시자료를 사용하였다. 위 4개년 자료를 사용한 이유는 다차원 모형과 일차원 모형의 비교를 위하여 네 개 지점의 연속된 동일 시간자료를 사용하는 것이 보다 바람직하다고 판단하여 결측이 있거나, 연속성에 문제가 있는 기간을 모두 제외한 결과이다.

4.2 매개변수 추정

4.2.1 다차원 강우모형의 매개변수 추정

다차원 강우모형은 모두 9개의 매개변수를 갖고 있으며, 다음과 같은 모멘트법의 절차에 따라 매개변수를 추정할 수 있다.

1. 앞서 설명된 다차원 강우모형의 평균, 분산, 공분산 식의 형태를 이용하여 9개 매개변수로 표현되는 9개의 이론적인 식을 유도한다.
2. 실제 자료를 사용하여 단계 1에서 유도한 식의 값을 구한다.
3. 단계 1의 식 및 단계 2의 값을 이용하여 매개변수를 추정한다.

WGR 모형의 매개변수는 중규모 강우에서 관찰되는 물리적인 특징을 표현하고 있으며, 공간적으로 확장된 강우장 및 관측된 강우장의 특징 등을 설명할 수 있다. 또한, 이러한 개념적인 측면에서 시공간적으로

강우사상에 대한 적절한 추계학적 표현을 이루고 있으나, 복잡한 모형의 구조 및 추정해야할 매개변수의 수적인 문제를 가지고 있다. Islam 등(1988) 및 Koepsell 과 Veldes(1991)는 편차자승의 합을 최소화시키는 비선형 최적화 기법을 사용하여 다양한 장에 대한 매개변수를 추정하였다. 매개변수의 수적인 문제와 고도의 비선형 때문에 매개변수 추정 방법은 매우 어려운 문제라 할 수 있다.

본 연구에서는 다음과 같은 비선형 최적화 기법을 이용하여 최적해를 찾는 과정을 실시하였다.

$$\min \left\{ \left(\frac{f_1(x)}{\theta_1} - 1 \right)^2 + \left(\frac{f_2(x)}{\theta_2} - 1 \right)^2 + \dots + \left(\frac{f_i(x)}{\theta_i} - 1 \right)^2 + \dots \right\} \quad (13)$$

여기서 $f_i(x)$ 는 추정된 통계량이며, θ_i 는 관측자료로부터 구한 통계량이다. 따라서, 식 (13)은 제한이 없는 최적화 문제가 되므로 Nelder와 Mead의 simplex 탐색법(D. Hanselman과 B. Littlefield, 1997)을 이용하여 쉽게 해결할 수 있다. 추정된 매개변수는 표 1과 같으며, 실제 자료를 통하여 구한 통계량과 모형 통계량을 표 2에 비교하였다. 참고로 표 2에 나타난 모형 통계량은 모형을 통하여 모의 발생된 자료의 통계량이 아니라 최적화 결과 산출된 모형의 이론적인 통계량을 표시한 것이다.

4.2.2 일차원 강우모형의 매개변수 추정

일차원 강우모형의 경우도 위의 다차원 강우모형과 마찬가지로 4개의 매개변수에 대하여 평균, 분산, 공분

표 2. 실제 자료의 통계량과 다차원 모형통계량과의 비교(영월지점)

통 계 량		실제자료(영월지점)	최적화자료
평균(mm/hr)		0.6989	0.6968
분산(mm/hr ²)		9.0744	8.9272
자기 공분산 (mm/hr ²)	$\tau=1$	5.8891	5.9856
	$\tau=2$	4.5806	4.3020
	$\tau=3$	3.6259	3.5926
	$\tau=4$	2.8631	2.9850
교차 공분산 (mm/hr ²)	영월-미탄	4.8468	4.9709
	영월-상동	6.3022	4.8675
	영월-정선	4.1116	4.7977

표 3. 일차원 강우모형의 매개변수 추정결과

매개변수	추정된 값(영월)	매개변수	추정된 값(미탄)
λ (storms/hr)	0.016295	λ (storms/hr)	0.028536
$E[\nu]$	28.0672	$E[\nu]$	19.4403
γ (1/hr)	0.25123	γ (1/hr)	0.41447
$E[X]$ (mm)	1.5282	$E[X]$ (mm)	1.0031
매개변수	추정된 값(상동)	매개변수	추정된 값(정선)
λ (storms/hr)	0.018281	λ (storms/hr)	0.01958
$E[\nu]$	26.9349	$E[\nu]$	22.8528
γ (1/hr)	0.27514	γ (1/hr)	0.31762
$E[X]$ (mm)	1.3648	$E[X]$ (mm)	1.1162

표 4. 실제 자료의 통계량과 일차원 모형통계량과의 비교 (실제자료/최적화자료)

자 점	평균 (mm/hr)	분산 (mm/hr ²)	1차계열상관계수	2차계열상관계수
영 월	0.6989 / 0.6989	9.0744 / 9.0744	0.6490 / 0.6490	0.5048 / 0.5048
미 탄	0.5565 / 0.5565	5.0516 / 5.0516	0.5966 / 0.5967	0.3942 / 0.3942
상 동	0.6720 / 0.6720	8.0490 / 8.0481	0.6454 / 0.6454	0.4902 / 0.4902
정 선	0.4995 / 0.4995	4.7652 / 4.7653	0.6233 / 0.6233	0.4537 / 0.4537

산의 이론적인 식의 형태를 유도하고 실제 자료의 통계량과 같다고 놓으면, 마찬가지로 제한이 없는 최적화 문제가 되므로 다차원 강우모형의 경우와 마찬가지로 방법으로 매개변수를 추정할 수 있다. 추정된 매개변수는 표 3과 같으며, 실제 자료를 통하여 구한 통계량과 모형 통계량을 표 4에 비교하였다. 참고로 표 4에 나타난 모형통계량은 모형을 통하여 모의 발생된 자료의 통계량이 아니라 최적화 결과 산출된 모형의 이론적인

통계량을 표시한 것이다.

5. 다차원 강우의 모의발생 및 실제 자료와의 비교분석

5.1 다차원 강우의 모의발생

앞서 표 1에서 표시한 매개변수를 사용하여 영월지역의 7월 강우를 1시간 간격으로 12년간 모의하였다.

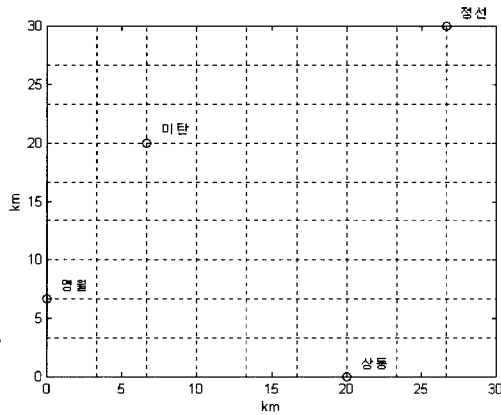


그림 1. 모의된 강우격자 현황

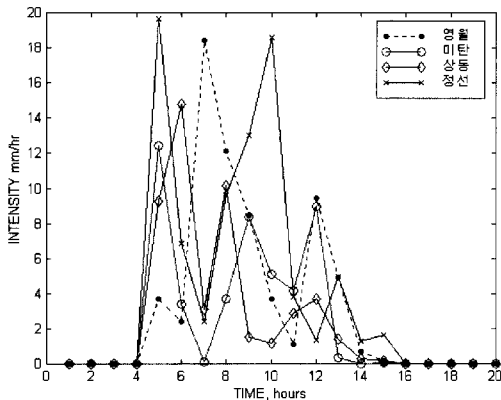


그림 2. 첫 번째 모의 발생된 호우에 대한 주요관측지점의 우량추상도

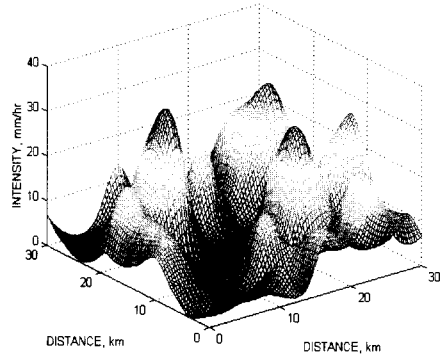
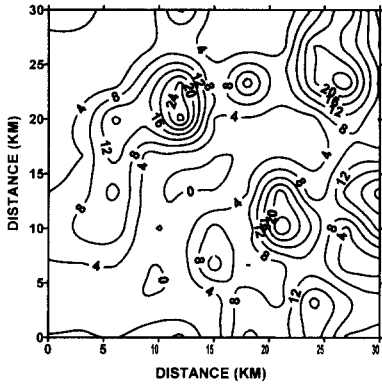
그림 1은 공간 분포된 강우를 모의하기 위한 격자망 (3.33km×3.33km)을 보여주고 있다. 그림 2는 모의된 자료들 중 첫 번째 호우에 대한 우량추상도를 나타내고 있으며, 그림 3은 그림 2에 나타난 호우에 대한 처음 3시간의 공간분포현황을 보여주고 있다.

5.2 일차원 강우모형과의 비교

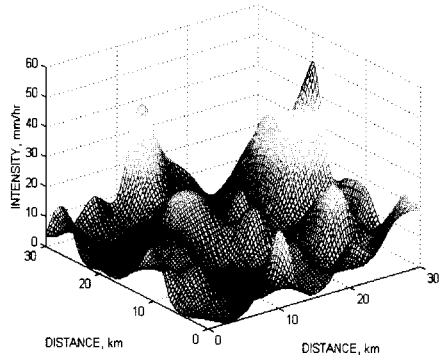
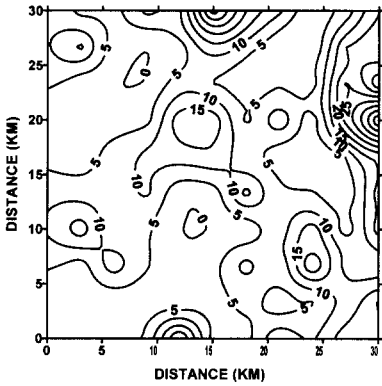
모의된 공간 강우자료들 중 일차원 모형인 Neyman-Scott모형의 매개변수를 구하기 위하여 영월, 미탄, 상동, 정선 지점에 해당하는 위치에 있는 자료를 다시 선별하여 12년간의 각 지점별 7월 시간자료를 구성하였다. 이와 같이 구성된 자료와 실제 자료 (1987~1990년)의 통계량을 표 5에 비교하였다. 표 5

에 나타난 바와 같이 모의된 자료는 실제 자료를 양호하게 재현하고 있음을 알 수 있다. 참고로 표 5의 괄호는 실제자료와 다차원 강우모형 모의자료 사이의 정성적인 비교를 위하여 실제자료에 대한 모의자료의 비율을 나타내었다.

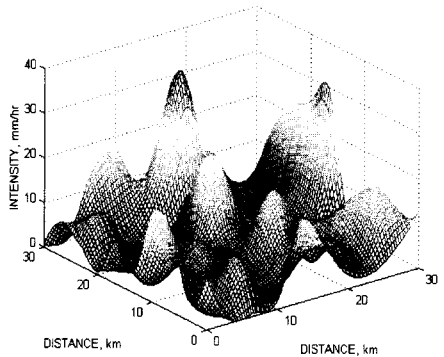
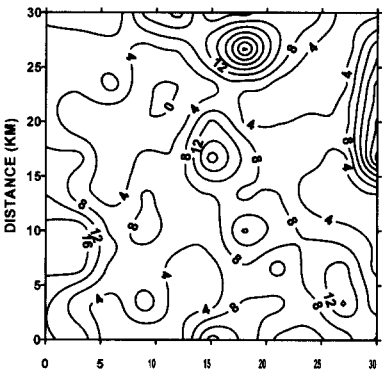
또한, 위 모의된 자료를 사용하여 Neyman-Scott 모형의 매개변수를 추정하였으며, 그 결과를 표 6에 실제 자료를 사용하여 구한 Neyman-Scott모형의 매개변수와 비교하여 수록하였다. 표 5에서와 마찬가지로 표 6의 괄호는 실제자료와 다차원 강우모형 모의자료 사이의 정성적인 비교를 위하여 실제자료에 대한 모의자료의 비율을 나타내었다. 또한, 표 6의 교차상관계수는 각 지점과 영월지점간의 1차교차상관계수를 의미한



(a) 첫 번째 호우 첫 시간후의 강우공간분포현황(단위:mm)



(b) 첫 번째 호우발생 두 시간후의 강우공간분포현황(단위:mm)



(c) 첫 번째 호우발생 세 시간후의 강우공간분포현황(단위:mm)

그림 3. 첫 번째 모의 발생된 호우의 처음 3시간 동안의 공간분포현황

표 5. 모의 발생된 다차원 강우자료와 실제자료의 통계량 비교

(실제자료 / 다차원 강우모형 모의자료)

지점	평균 (mm/hr)	분산 (mm/hr ²)	1차제열상관계수	2차제열상관계수
영월	0.6989 / 0.5636 (0.81)	9.0744 / 7.6801 (0.85)	0.6490 / 0.6609 (1.02)	0.5048 / 0.4684 (0.93)
미탄	0.5565 / 0.6247 (1.12)	5.0516 / 9.1407 (1.81)	0.5966 / 0.7016 (1.18)	0.3942 / 0.4943 (1.26)
상동	0.6720 / 0.6238 (0.93)	8.0490 / 8.1944 (1.02)	0.6454 / 0.6710 (1.04)	0.4902 / 0.4843 (0.99)
정선	0.4995 / 0.5824 (1.17)	4.7652 / 7.3610 (1.54)	0.6233 / 0.6391 (1.03)	0.4537 / 0.4720 (1.04)

표 6. 모의 발생된 다차원 강우자료와 실제자료의 일차원 강우모형 매개변수 비교

(실제자료 / 다차원 강우모형 모의자료)

지점	λ (storms/hr)	$E[\nu]$	γ (1/hr)	$E[X]$ (mm)	교차상관계수
영월	0.0163 / 0.0153 (0.94)	28.07 / 30.81 (1.10)	0.2512 / 0.3443 (1.37)	1.528 / 1.186 (0.78)	-
미탄	0.0285 / 0.0148 (0.52)	19.44 / 42.08 (2.16)	0.4145 / 0.3354 (0.81)	1.003 / 1.000 (1.00)	0.716 / 0.561 (0.78)
상동	0.0183 / 0.0168 (0.92)	26.93 / 33.03 (1.23)	0.2751 / 0.3260 (1.19)	1.365 / 1.124 (0.82)	0.737 / 0.517 (0.70)
정선	0.0196 / 0.0163 (0.83)	22.85 / 25.55 (1.12)	0.3176 / 0.3032 (0.95)	1.116 / 1.401 (1.26)	0.625 / 0.513 (0.82)

다.

표 6에 나타난 바와 같이 모의된 자료와 실제자료 사이에 일차원 강우모형의 매개변수에 있어서 비교적 우수한 일치성을 보인다고 할 수 있다. 표 5 및 표 6의 결과를 볼 때, 다차원 모형인 WGR모형은 강우의 시간적인 특성만을 모의할 수 있는 Neyman-Scott모형의 특성을 그대로 보존시킬 수 있음을 의미하며, 그에 덧붙여서 강우의 공간분포 또한 실제와 유사하게 모의해 주고 있음을 보여준다고 말할 수 있다.

6. 결 론

다차원 강우모형인 WGR모형을 시공간 상에서 강우를 모의하기 위하여 사용하였다. 영월 지역의 4개 지점에서 4년간의 7월 강우 시자료를 바탕으로 모형의 매개변수를 추정하였으며, 추정된 매개변수를 사용하여 12년간의 7월 강우를 1시간 간격으로 모의 발생하였다. 모의 발생된 자료는 각 지점별로 재 구축된 후 각

지점별 1, 2차 통계량의 계산을 통하여 Neyman-Scott 일차원 강우모형의 매개변수를 추정하는데 사용되었으며, 실제 자료를 통한 Neyman-Scott모형의 매개변수와 비교결과, 다차원 강우모형을 통하여 발생된 자료는 일차원 강우모형의 매개변수를 우수하게 재현시킬 수 있는 것으로 파악되었다. 본 연구를 통하여 파악된 사항을 정리하면 다음과 같다.

1. 다차원 강우모형인 WGR모형의 매개변수를 비선형 최적화 기법으로 추정한 결과 실제자료와 비교할 때 양호한 재현성을 나타낼 수 있었다.

2. 일차원 강우모형인 Neyman-Scott모형의 매개변수를 비선형 최적화 기법으로 비교적 실제자료의 통계량을 유사하게 재현할 수 있도록 추정할 수 있었다.

3. WGR모형을 통하여 모의 발생된 각 지점 모의 자료는 실제 지점모의자료에 근사한 통계량을 갖고 있음을 파악할 수 있었다.

4. WGR모형을 통한 각 지점자료를 바탕으로

Neyman-Scott모형의 매개변수를 추정할 결과 실제 자료와 유사하게 나타남을 확인할 수 있었다.

모형의 매개변수 및 통계량의 일치성이 모형의 적정성을 모두 대변해준다고는 생각할 수 없으나, 개념적인 모형으로서 WGR모형은 중규모 강우의 대기 동역학과 통계학적인 의미에 있어서 좋은 연결성을 보여줌을 우리나라 유역에서도 확인할 수 있다고 판단된다. 물론, 이렇게 모의된 다차원 강우 시계열의 실제 강우자료에 대한 재현성 여부는 본 연구에서 사용된 4년간의 자료로서는 명확히 단정짓기는 어려운 것으로 사료되며, 특히 1990년대 후반기의 국지적 집중호우가 많았던 자료를 사용한다면 보다 더 흥미로운 연구성과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 본 연구에서 적용된 남한 강 유역 이외에 다른 지역에 대한 연구가 추가된다면 강우의 공간적 문제를 다루는데 있어 더욱 신뢰성을 가질 수 있을 뿐 아니라 다차원 강우모형을 일반화시키는데 도움이 될 것으로 판단되며 이는 추후 연구과제로 남겨둔다.

참 고 문 헌

- 오남선 (1996), 신경망이론과 Kalman Filter 강우예측모형의 비교연구, 박사학위논문, 서울대학교.
- 유철상 (1997), 관측오차문제에 대한 다차원 강우모형의 적용, 한국수자원학회논문집, 제30권, pp. 441~447.
- Bras, R. L., and Rodriguez-Iturbe, I. (1976), Rainfall Generation : a Nonstationary Time-Varying Multidimensional Model, *Water Resour. Res.*, Vol. 12, No. 3, pp. 450~456.
- Chulsang Yoo, Sangwoo Kwon (2000), Characterization of Rainrate Fields Using a Multi-Dimensional Precipitation Model, *Journal of Korea Resources Association*, Vol. 1, No. 2, pp. 147~158.
- Duane Hanselman and Bruce Littlefield (1997), *The Student Edition of MATLAB, Version 5, User's Guide*, The MathWorks, Inc., pp. 167~182.
- Islam, S., R. L. Bras and I. Rodriguez-Iturbe (1988). Multi-dimensional Modeling of Cumulative Rainfall: Parameter Estimation and Model Adequacy through a Continuum of Scales, *Water Resour. Res.*, Vol. 24, No. 7, pp. 985~992.
- Koepsell, R. W. and J. B. Valdes (1991). Multi-dimensional Rainfall Parameter Estimation from Sparse Network, *ASCE J. Hydraulic Eng.*, Vol. 117, pp. 832~850.
- North, G. R. and S. Nakamoto (1989), Formalism for Comparing Rain Estimation Designs, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, Vol. 6, pp. 985~992.
- Rodriguez-Iturbe, I., P. S. Eagleson (1987), Mathematical Models of Rainstorm Events in Space and Time, *Water Resour. Res.*, Vol. 23, No. 1, pp. 181~190.
- Rodriguez-Iturbe, I., V. K. Gupta, and E. Waymire (1984). Scale Considerations in the Modeling of Temporal Rainfall, *Water Resour. Res.*, Vol. 20, No. 11, pp. 1611~1619.
- Valdes, J. B., I. Rodriguez-Iturbe, and V. K. Gupta (1985), Approximations of Temporal Rainfall from a Multi-Dimensional Model, *Water Resour. Res.*, Vol. 21, No. 8, pp. 1259~1270.
- Waymire, E., V. K. Gupta, and I. Rodriguez-Iturbe (1984). A Spectral Theory of Rainfall Intensity at the Meso- β Scale, *Water Resour. Res.*, Vol. 20, No. 10, pp. 1453~1465.
- Yoo, C., J. B. Valdes, G. R. North (1996), Stochastic Modeling of Multi-Dimensional Precipitation Fields Considering Structure, *Water Resour. Res.*, Vol. 32, No. 7, pp. 2175~2187.

(논문번호:00-039/접수:2000.06.22/심사완료:2000.12.04)