

강우의 공간상관구조에 대한 무강우자료의 영향

Effect of Zero Measurements on the Spatial Correlation Structure of Rainfall

유철상* / 하은호** / 김경준***

Yoo, Chulsang / Ha, Eunho / Kim, Kyoungjun

Abstract

This study evaluated the effect of zero measurements of rainfall on the spatial correlation structure using the mixed distribution function. Three cases of data structures were considered at two gauge stations: only the positive measurements at both stations, the positive measurements at either one or both stations, and all the measurements including zero measurement at both stations. Also the rainfall data were categorized into the frontal, typhoon, and convective for their comparison. Hourly rainfall data from 12 rain gauge stations within the Geum river basin were analyzed to find that the rain gauge density of WMO to be good for the frontal and typhoon, but not enough for the convective storms.

keywords : rain, no rain, spatial correlation, gauge density

요지

본 연구에서는 강우의 공간상관구조에 대한 무강우 자료의 영향을 혼합분포를 이용하여 평가하였다. 강우자료의 형태는 두 강우관측소 모두 양의 자료를 가지는 경우, 두 지점중 하나 이상의 양의 자료를 가지는 경우, 그리고 전체 자료를 사용한 경우 등 3가지를 고려하였다. 아울러 사용된 자료는 강우의 형태별로 태풍, 장마, 대류성 강우에 의한 강우로 나누어 비교가 이루어 질 수 있도록 하였다. 금강유역 내 12개 강우관측소의 시 자료를 이용하였으며, 그 결과 WMO에서 추천하는 강우관측망의 밀도가 장마와 태풍으로 인한 강우에 대하여는 적절하지만, 대류성 강우에 대하여는 부족한 수준인 것으로 파악되었다.

핵심용어 : 강우, 무강우, 공간상관, 관측망 밀도

1. 서론

강우의 특성은 일반적으로 통계적으로 정량화 된다 (Eagleson, 1972; Houze and Cheng, 1977; Graves et al., 1993; Valdes et al., 1994; Yoo et al., 1996; Finnerty et al., 1977; Woods and Sivapalan, 1999, Arnaud et al., 2002). 주로 유도되는 평균, 분산, 상관

계수와 같은 1차 및 2차 모멘트가 강우장의 시-공간적인 특성을 대표하게 되며, 경우에 따라 이들의 계절적인 변동특성 또한 많은 관심의 대상이기도 하다(Yoo et al., 1996; Shmizu, 1993). 왜곡도나 첨예도와 같은 더 높은 차수의 모멘트들 또한 자주 비교되는 통계치들 중에 하나이다. 그러나 이와 같은 통계특성들은 무강우 부분의 정도에 매우 민감하게 반응하며, 따라서 강우부

* 고려대학교 사회환경시스템공학과 부교수
Asso. Prof., Dept. of Civil and Env. Engrg., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
(e-mail: envchul@korea.ac.kr)

** 연세대학교 정보통계학과 교수 (e-mail: statha@dragon.yonsei.ac.kr)

*** 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 (e-mail: guitar77@korea.ac.kr)

분만을 가지고 추정된 통계특성과 크게 다를 수 있는 것은 당연하다. 그럼에도 불구하고, 무강우 부분의 영향이 정량화되지 못하는 것은 이를 위한 적절한 방법론이 존재하지 않기 때문이기도 하다.

본 연구에서는 두 강우관측소간의 상관계수 및 이들을 관측지점사이의 거리의 함수로 나타낸 공간상관함수(또는 공간상관도)에 대한 무강우 부분의 영향을 정량화 해 보고자 한다. 이런 연구의 목적을 위해 다음과 같은 3가지의 자료형태를 고려하였다. 첫 번째 경우는 두 강우관측소의 자료가 모두 양(+의) 값을 가지는 경우로서, 호우 기간동안 인접한 지점의 두 강우관측소가 이와 같은 상황에 해당될 수 있을 것이다. 두 번째 경우는 두 강우관측소 자료 중 최소한 하나의 관측소 자료는 반드시 양(+의) 자료를 가지고 있는 경우로서, 한쪽 강우계에 대해 무강우 기록을 허용하는 경우이다. 마지막으로 세 번째의 경우는 두 개의 강우관측소 자료 모두가 무강우 자료를 허용하는 경우이다. 만일 모든 기록을 사용한다면 이와 같은 세 번째의 경우가 되며, 동시 강우기록만을 이용하는 경우는 첫 번째가 된다.

본 연구에서는 2변량 혼합 분포함수를 도입하여 위 세 가지의 경우에 대한 공간상관함수를 유도하고자 하며, 그 결과를 통해 무강우 부분이 미치는 영향이 어느 정도인지를 파악해 보고자 한다. 본 연구결과는 금강유역의 일 강우자료에 적용하여 평가하였으며, 아울러 강우의 발생형태 및 이에 따른 차이를 살펴보기 위해 태풍으로 인한 강우, 장마로 인한 강우, 그리고 나머지 부분을 대류성 강우로 구분하여 수행하였다.

2. 무강우자료와 관측소간 상관계수

Table 1은 금강유역 내에 있는 두 강우관측소(추풍령, 정안)에서 측정된 전형적인 강우자료의 구조를 보여준다. 이 두 강우관측소는 기후학적으로 동질한 한 지역에 위치하고 있다고 할 수 있다(문영수, 1990; 박정규와 이승만, 1993; 김성렬과 양진석, 1995; 김웅태 등, 2000). 그러나, Table 1에서 보는 바와 같이, 강우는 동시에 발생하지 않는다. 이것은 아마도 두 강우관측소간의 거리가

99.8 km로 다소 멀리 떨어져 있기 때문이라 판단되지만, 불과 몇 km 내에 위치한 두 강우관측소의 경우에도 이러한 형태의 자료 양상을 보이는 경우가 있다.

Table 1에서 나타난 자료의 형태는 두 강우관측소에서 측정된 강우를 모형화 하는데 혼합분포가 사용되어야 함을 나타낸다. 즉, 강우가 없는, 기록에서 '0'으로 나타난 부분과 양의 연속된 값을 가진 부분을 함께 고려해야 한다. 먼저 두 강우관측소에서 측정된 강우자료의 값을 무작위 벡터 (X, Y) 라 정의하면, (X, Y) 의 확률분포는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(X=0, Y=0) = p_{00} = \delta_0 \tag{1}$$

$$P(0 < X \leq x, Y=0) = p_{10}F(x) = \delta_1F(x), \quad x > 0$$

$$P(X=0, 0 < Y \leq y) = p_{01}G(y) = \delta_2G(y), \quad y > 0$$

$$P(0 < X \leq x, 0 < Y \leq y) = p_{11}H(x, y) = \delta_3H(x, y), \quad x, y > 0$$

여기서 $p_{00}, p_{01}, p_{10}, p_{11}$ 는 각각 두 지점 사이의 무강우-무강우 확률, 무강우-강우 확률, 강우-무강우 확률, 강우-강우 확률을 나타내고, 따라서 $\delta_0 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$ ($0 \leq \delta_r < 1, r=0, 1, 2, 3$)이다. 아울러 F 와 G 는 단변량의 양의 연속분포함수를, 그리고 H 는 양의 2변량 연속결합분포함수를 나타낸다. 두 강우관측소 모두 또는 하나의 관측소에 대한 강우의 조건부 확률은 다음과 같다.

$$P(X \leq x, Y \leq y \mid X > 0, Y > 0) = H(x, y), \quad x, y > 0,$$

$$P(X \leq x \mid 0 < X \leq x, Y=0) = F(x), \quad x > 0,$$

$$P(Y \leq y \mid X=0, 0 < Y < y) = G(y), \quad y > 0.$$

(2)

다음으로, 두 강우관측소에서 측정된 강우자료사이의 상호 종속성 또는 관련성은 관측소간의 상관계수에 의하여 정량화될 수 있다.

$$\rho = \frac{Cov(X, Y)}{[Var(X)Var(Y)]^{1/2}} \tag{3}$$

Table 1. Example hourly rainfall data at the Chupoongryung and Jeongan stations, Geum river basin (August, 1965)

Time(hr) \ Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Chupoongryung	1.9	4.0	8.0	13.4	0.3	11.6	2.6	0.0	0.0	0.0	3.0	0.3	11.4	0.0	0.8	0.0	5.3	0.0	6.7
Jungan	20.2	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.8	3.2	4.0	0.0	0.0	0.0	30.0	8.0

여기서 $Cov(X, Y)$ 는 X 와 Y 의 공분산이며, 다음과 같이 계산된다.

$$Cov(X, Y) = E[(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})] = E(XY) - E(X)E(Y) \quad (4)$$

강우의 특성에 따라 두 강우관측소에서 측정된 강우 자료는 $(0, 0)$, $(x^*, 0)$, $(0, y^*)$ 그리고 (x, y) 로 구분될 수 있다. 여기서 x^* , y^* , x 그리고 y 는 양의 측정치를 나타낸다. 따라서 다음의 3가지 형태의 자료구조에 대해 두 강우계 자료사이의 상관관계를 파악하는 것이 가능하다. 첫 번째 경우는 $A = \{X > 0 \text{ and } Y > 0\}$, 다시 말해서 (x, y) 의 자료를 이용하는 것을 의미한다(CASE A). 두 번째 경우는 $B = \{X > 0 \text{ or } Y > 0\}$ 일 때의 강우자료를 사용하는 경우로 $(x^*, 0)$, $(0, y^*)$, 및 (x, y) 자료를 이용하는 경우를 나타낸다(CASE B). 마지막으로, 세 번째 경우는 $C = \{X \geq 0 \text{ and } Y \geq 0\}$ 일 때의 강우자료로 $(0, 0)$, $(x^*, 0)$, $(0, y^*)$, 및 (x, y) 의 모든 자료를 이용하는 경우가 된다(CASE C). 이와 같은 세 가지 경우에 대한 강우관측소간의 상관관계수들을 각각 ρ_i ($i = A, B, C$)로 나타내기로 한다. 이때 상관관계수 ρ_A 와 ρ_B 는 조건 A 와 B 에 대한 조건부(conditional) 상관관계수가 되고, ρ_C 의 경우는 전체 자료를 사용하므로 비조건부(unconditional) 상관관계수가 된다.

만일, 조건 A 와 B 하에서의 조건부 확률분포함수를 알고 있다면, 평균, 분산 또는 강우계 사이의 상관계수와 같은 통계치들의 계산이 가능하게 된다. 또한 이런 통계치들의 유도를 위해서는 다음과 같은 전확률공식(total probability theorem)의 적용이 필요하다(Parzen, 1962).

$$E[h(Y)] = \sum [h(Y)|X=x]p(X=x) \quad (5)$$

이와 같은 이론을 이용하면, 먼저 $E(X^k)$ 로 나타나는 조건 C 하에서의 모멘트를 유도할 수 있으며, 아울러 $E(X^k | A)$ 또는 $E(X^k | B)$ 로 표시된 조건 A 와 B 하에서의 모멘트를 구하는 것도 가능하다. 각각의 경우 중 먼저 $E(X^k)$ 와 $E(X^k | B)$ 의 관계를 유도하면 다음과 같다.

B 는 $B = \{X > 0 \text{ or } Y > 0\}$ 이며 그에 대한 여집합

$$\begin{aligned} \rho_A &= [\delta_3 E(XY) - \{E(X) - \delta_1 E(X | X > 0, Y = 0)\} \{E(Y) - \delta_2 E(Y | X = 0, Y > 0)\}] \\ &\div [\delta_3 \{E(X^2) - \delta_1 E(X^2 | X > 0, Y = 0)\} - \{E(X) - \delta_1 E(X | X > 0, Y = 0)\}^2]^{1/2} \\ &\div [\delta_3 \{E(Y^2) - \delta_2 E(Y^2 | X = 0, Y > 0)\} - \{E(Y) - \delta_2 E(Y | X = 0, Y > 0)\}^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (11)$$

은 $B^c = \{X = 0 \text{ and } Y = 0\}$ 이다. B 의 확률은 $P(B) = 1 - P(B^c) = 1 - \delta_0$ 이다. 따라서 Eq. (5)를 이용하면 다음과 같은 관계식을 유도할 수 있다.

$$E(X^k) = E(X^k | B)P(B) + E(X^k | B^c)P(B^c) = (1 - \delta_0)E(X^k | B) \quad (6)$$

$E(X^k)$ 와 $E(X^k | A)$ 의 관계 또한 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} E(X^k) &= E(X^k | X = 0, Y = 0)P(X = 0, Y = 0) \\ &+ E(X^k | X > 0, Y = 0)P(X > 0, Y = 0) \\ &+ E(X^k | X = 0, Y > 0)P(X = 0, Y > 0) \\ &+ E(X^k | X > 0, Y > 0)P(X > 0, Y > 0) \\ &= E(X^k | X > 0, Y = 0)P(X > 0, Y = 0) \\ &+ E(X^k | X > 0, Y > 0)P(X > 0, Y > 0) \\ &= \delta_1 E(X^k | X > 0, Y = 0) + \delta_3 E(X^k | A) \end{aligned} \quad (7)$$

같은 방법으로 다음과 같은 관계식의 유도가 가능하다.

$$E(Y^k) = \delta_2 E(Y^k | X = 0, Y > 0) + \delta_3 E(Y^k | A) = (1 - \delta_0)E(Y^k | B) \quad (8)$$

$$E(X^k Y^k) = \delta_3 E(X^k Y^k | A) = (1 - \delta_0)E(X^k Y^k | B) \quad (9)$$

따라서 Eqs. (6)~(9)에 주어진 모멘트를 이용하면 강우관측소간 상관관계수인 ρ_A , ρ_B , ρ_C 를 계산하는 것이 가능하다. Eqs. (6)~(9)의 모멘트는 서로 관계되어 있기 때문에 어떤 조건에서의 모멘트로부터 다른 조건에서의 모멘트를 계산하는 것도 가능하다. 먼저, 상관관계수인 ρ_A 는 다음과 같이 정의된다.

$$\rho_A = \frac{E(XY | A) - E(X | A)E(Y | A)}{[E(X^2 | A) - E^2(X | A)]^{1/2} [E(Y^2 | A) - E^2(Y | A)]^{1/2}} \quad (10)$$

따라서 Eqs. (6)~(9)에 주어진 관계를 이용하면 상관관계수 ρ_A 는 다음과 같이 유도된다.

다음으로, 상관계수인 ρ_B 는 다음과 같이 정의되고,

$$\rho_B = \frac{E(XY|B) - E(X|B)E(Y|B)}{[E(X^2|B) - E^2(X|B)]^{1/2} [E(Y^2|B) - E^2(Y|B)]^{1/2}} \quad (12)$$

또한 Eqs. (6)~(9)에 나타난 관계를 이용하면 Eq. (12)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho_B = \frac{\frac{E(XY)}{(1-\delta_0)} - \frac{E(X)E(Y)}{(1-\delta_0)^2}}{\left[\frac{E(X^2)}{(1-\delta_0)} - \frac{E^2(X)}{(1-\delta_0)^2} \right]^{1/2} \left[\frac{E(Y^2)}{(1-\delta_0)} - \frac{E^2(Y)}{(1-\delta_0)^2} \right]^{1/2}} \quad (13)$$

Eq. (13)에서는 $\delta_0 \rightarrow 0$ 일 때, 즉, 두 관측소에 동시에 무강우가 기록되지 않는 경우에는 $\rho_B \rightarrow \rho_C$ 가 됨을 쉽게 파악할 수 있다.

3. 적용 예

3.1 대상자료 및 강우의 형태별 분류

본 연구에서는 금강유역을 대상유역으로 선정하였다. 금강유역은 한반도의 중서부에 위치하며 충청남도, 충청북도의 약 절반과 전라북도의 약 1/4을 점하고 경기

도 및 경상북도 일부를 포함하는 유역 면적 9,886 km²의 대유역이다. 금강유역은 대략 남한면적의 1/10정도인 남한 제3의 유역이며, 본류의 유로 연장이 393.9 km에 이른다. 또한 유역 연평균강수량은 1,130 mm이고 연강우량의 70% 이상이 6, 7, 8, 9월에 집중되고 있다.

본 연구에서는 유역 내 존재하는 관측소 중 Fig. 1에 나타나있는 12개 지점을 선정하였으며, 이들 강우관측소에 존재하는 동시간 강우자료기간인 1982년~1985년의 자료를 이용하였다.

우리나라의 내리는 강우는 크게 장마라 불리는 전선에 의한 강우, 태풍에 의한 강우, 그리고 대류성 강우와 같이 3가지의 형태로 나누어 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 금강유역의 12개 지점 자료를 기상월보(기상청, 1982, 1983, 1984, 1985)를 근거로 Table 2 및 Table 3과 같이 장마기간과 태풍기간으로 분류하였다. 태풍기간과 장마기간을 나머지 기간은 대류성 강우기간으로 분류하였다. Fig. 2는 추풍령관측소의 일강우자료를 이런 방식으로 구분하여 나타낸 것을 보여준다.

3.2 대상자료의 기본적인 통계적 특성

Fig. 3은 임의의 두 강우관측소의 평균을 각각 X축 및 Y축으로 하여 도시한 것이다. 아울러 Fig. 4는 분산에 대한 동일한 그림이다. 대부분의 경우에 있어 모든 점들이

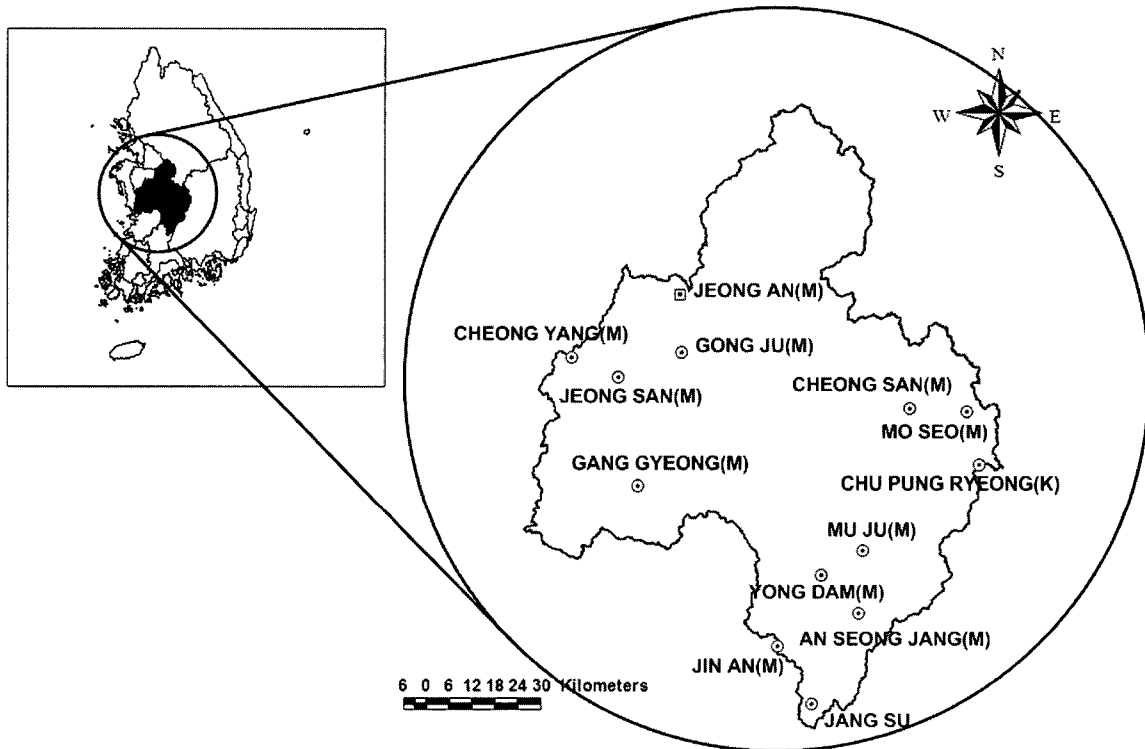


Fig. 1. Location of Geum river basin and spatial distribution of rain gauges (where M represents the Ministry of Construction and Transportation, and K the Korea Meteorological Agency)

Table 2. Monsoon (Jang-Ma) periods of Southern Korea
(Korea Meteorological Agency, 1982; 1983; 1984; 1985)

Year	Start (Year/Month/Day)	End (Year/Month/Day)	Number of days
1982	1982/07/08	1982/07/28	21
1983	1983/07/01	1983/07/25	25
1984	1984/06/25	1984/07/23	29
1985	1985/06/22	1985/07/18	27

Table 3. Starting and ending date of typhoons in Korea
(Korea Meteorological Agency, 1982; 1983; 1984; 1985)

Year	No.	Typhoon	Start (Year/Month/Day)	End (Year/Month/Day)	Number of days
1982	1	Bess	1982/08/02	1982/08/02	1
	2	Cecil	1982/08/13	1982/08/15	3
	3	Ellis	1982/08/27	1982/08/28	2
	4	Judy	1982/09/12	1982/09/12	1
1983	1	Abby	1983/08/14	1983/08/17	4
	2	Forrest	1983/09/27	1983/09/28	2
1984	1	Ed	1984/07/30	1984/07/30	1
	2	Holly	1984/08/20	1984/08/21	2
1985	1	Jeff	1985/08/01	1985/08/02	2
	2	Kit	1985/08/09	1985/08/10	2
	3	Lee	1985/08/13	1985/08/15	3
	4	Pat	1985/08/31	1985/09/01	2

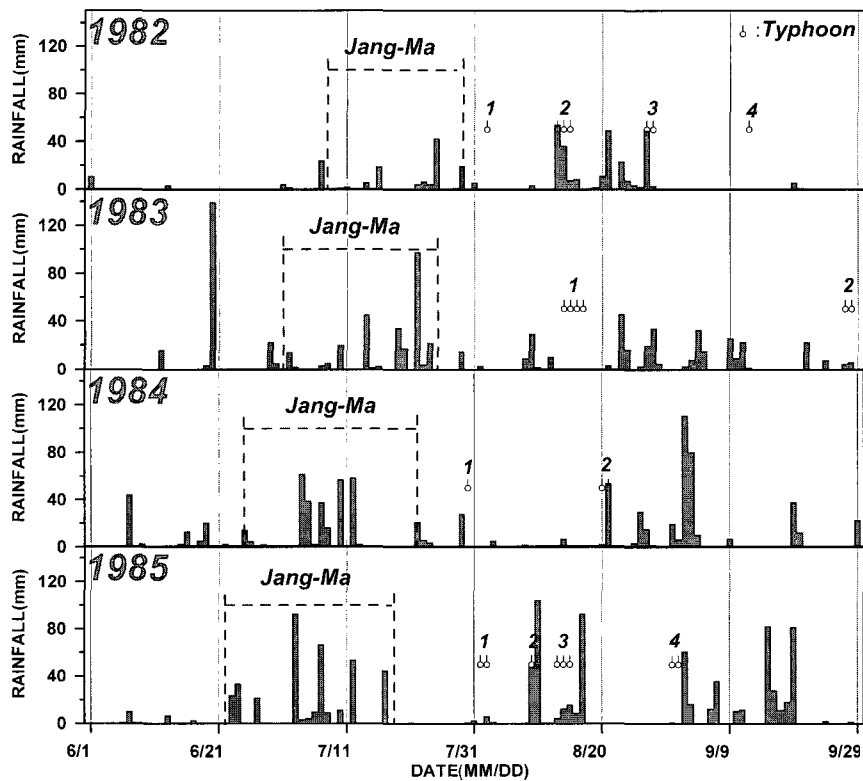


Fig. 2. Separation of typhoon and monsoon (Jang-Ma) period
(Chupungryeong)

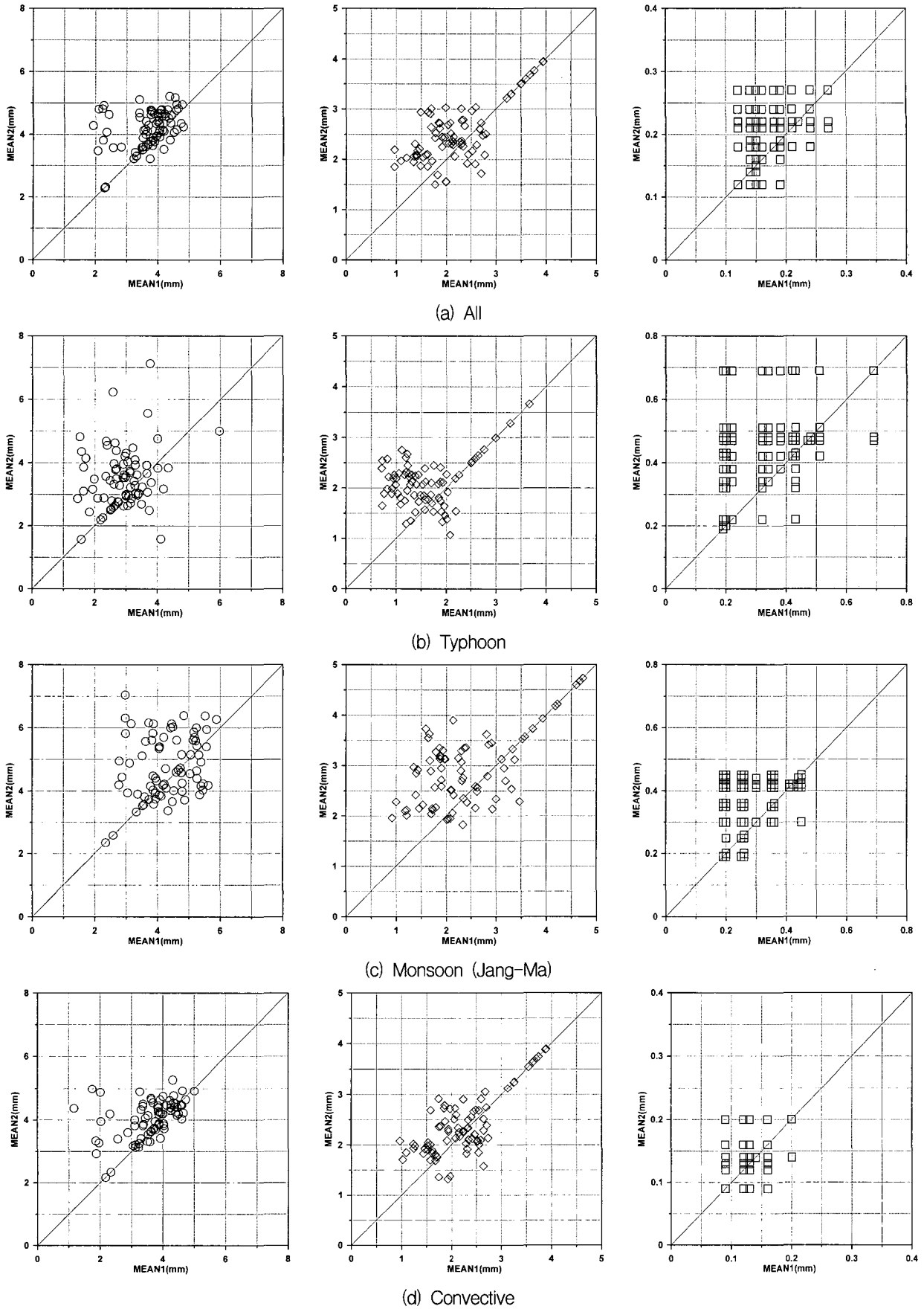
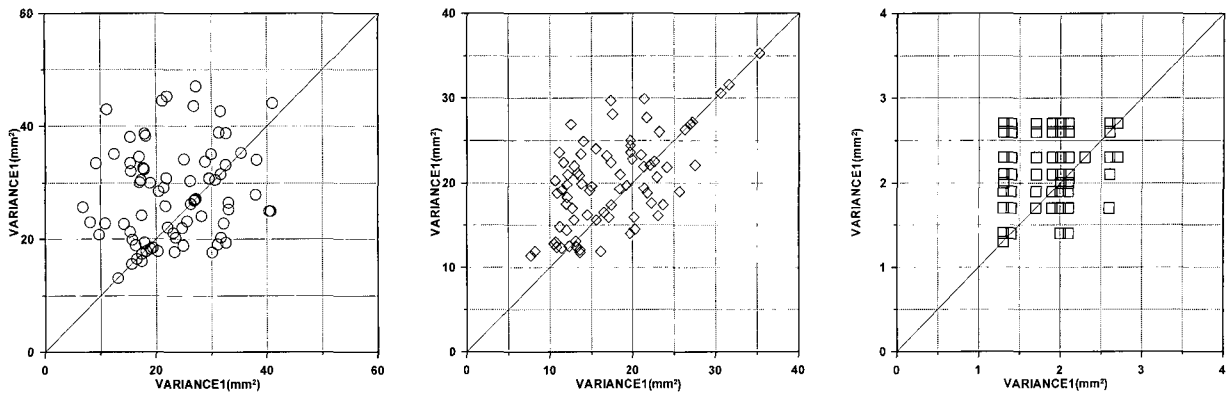
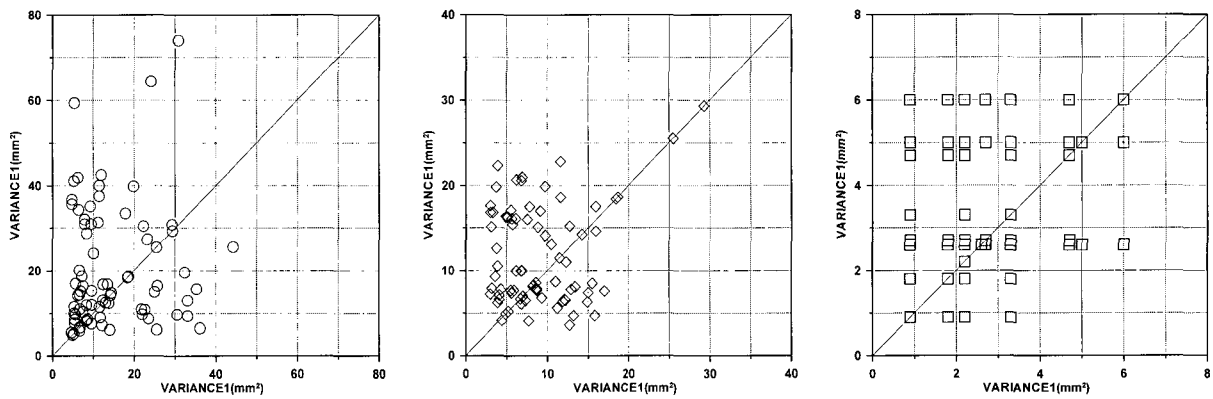


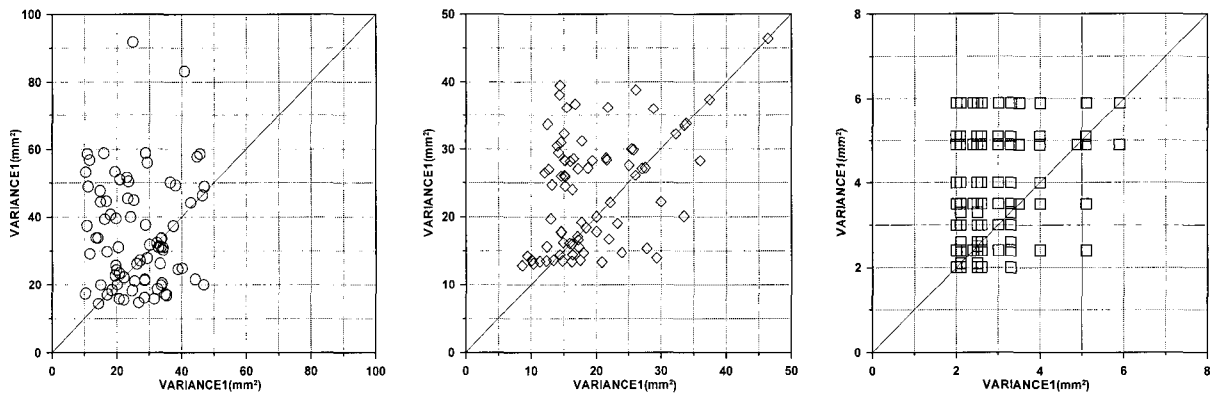
Fig. 3. Comparison of means at rain gauge stations (left: CASE A, middle: CASE B, right: CASE C)



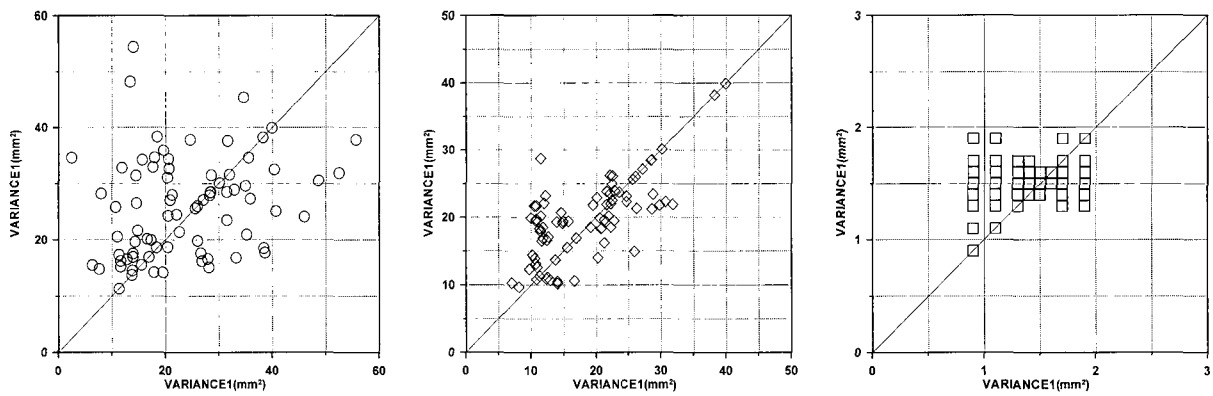
(a) All



(b) Typhoon

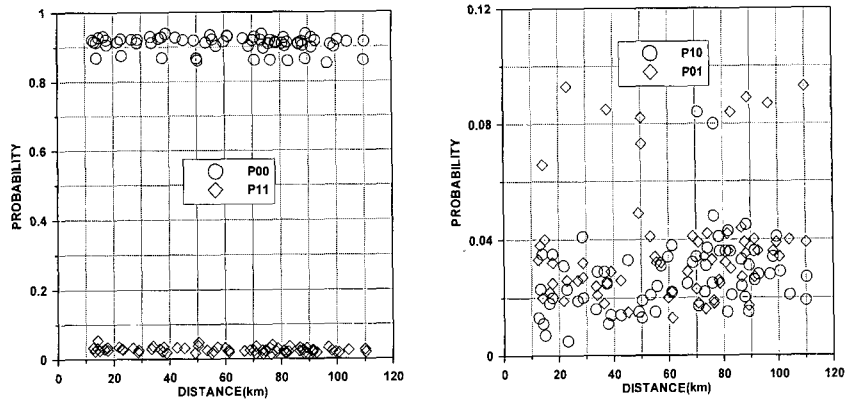


(c) Monsoon (Jang-Ma)

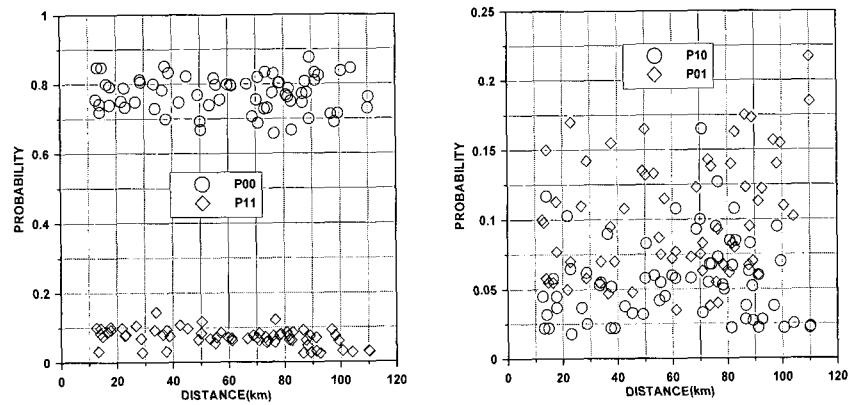


(d) Convective

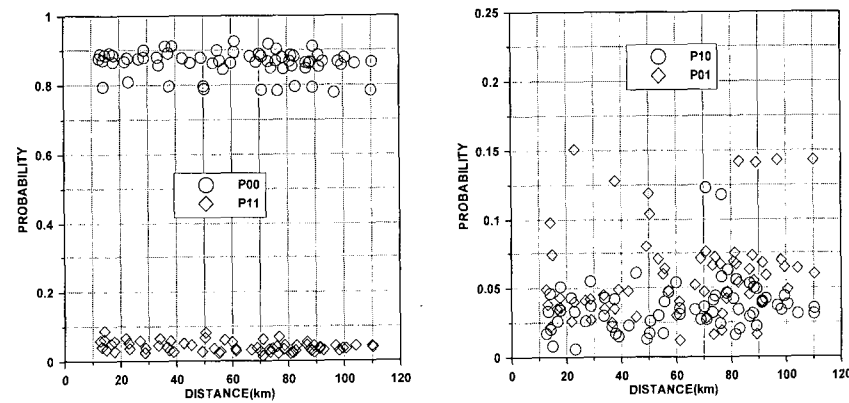
Fig. 4. Comparison of variances at rain gauge stations (left: CASE A, middle: CASE B, right: CASE C)



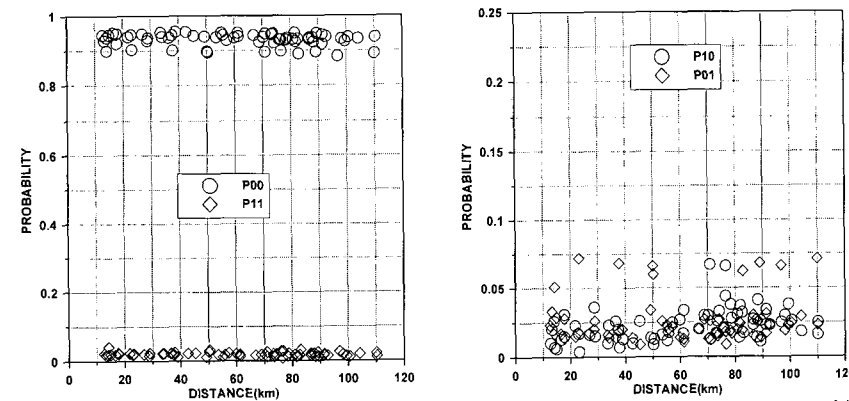
(a) All



(b) Typhoon

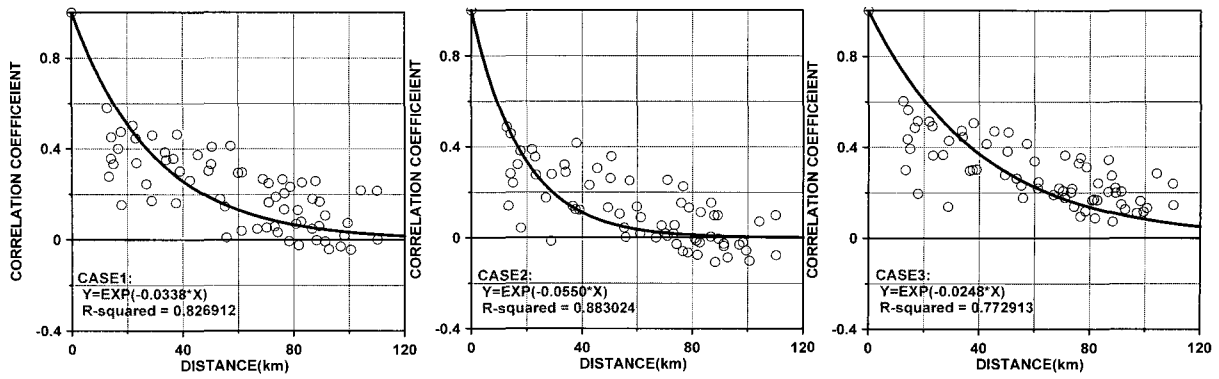


(c) Monsoon (Jang-Ma)

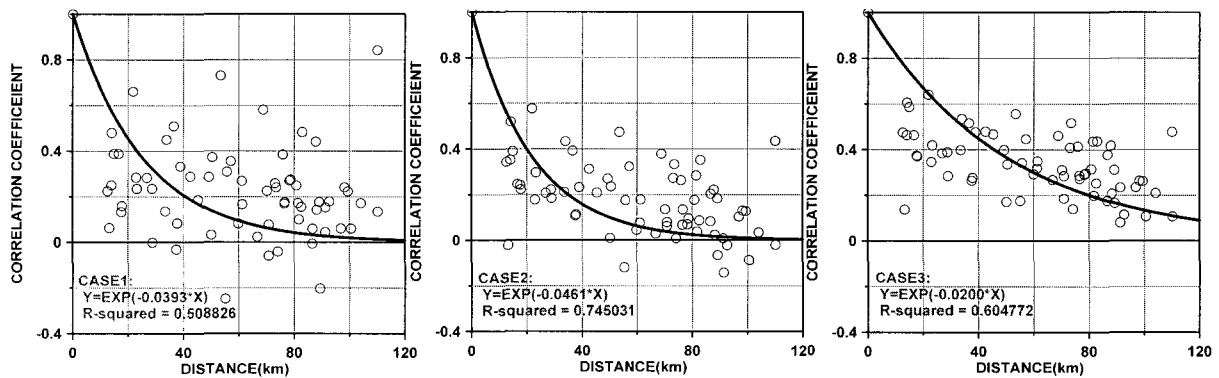


(d) Convective

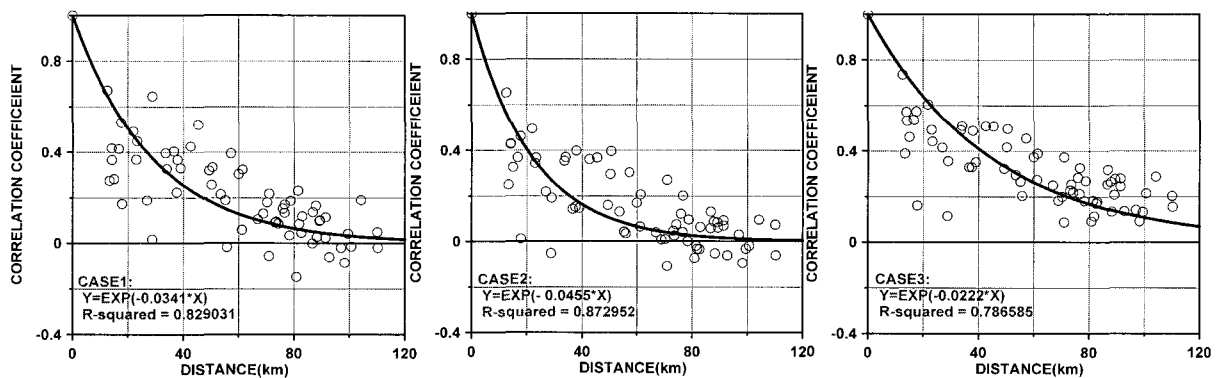
Fig. 5. $p_{00}(=\delta_0)$, $p_{11}(=\delta_3)$, $p_{10}(=\delta_1)$, $p_{01}(=\delta_2)$ vs. distance between gauges



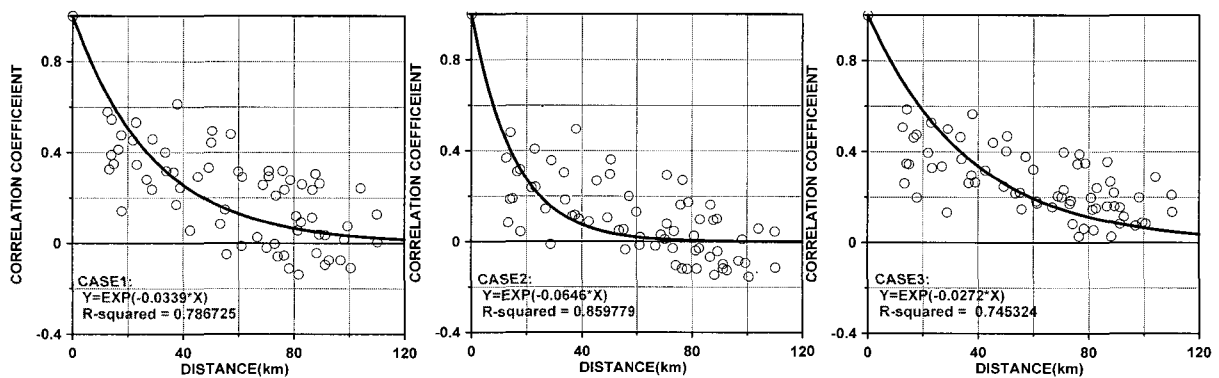
(a) All



(b) Typhoon



(c) Monsoon (Jang-Ma)



(d) Convective

Fig. 6. Derivation of spatial correlograms (left: CASE A, middle: CASE B, right: CASE C)

$y=x$ 의 직선에 집중되어 있으나, CASE A의 경우가 상대적으로 높은 변동성을 보이고, 반대로 CASE C가 낮은 변동성을 나타냄을 파악할 수 있다. 이것은 무강우 부분의 직접적인 영향이라고 말할 수 있다.

강우의 공간적인 간헐성은 $\delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3$ (Eq. (1)에서 정의)를 계산하여 알아볼 수 있으며, 강우의 시간적인 간헐성은 δ_0, δ_3 를 이용하여 추정할 수 있다. Fig. 5는 강우의 형태별로 이들 값을 비교한 것이다. 비록 아주 뚜렷한 추세를 찾아보기는 어려우나, δ_0 와 δ_3 의 경우 거리가 증가함에 따라서 감소하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 이와 반대로 δ_1 과 δ_2 의 경우는 거리가 증가함에 따라 약간 증가하는 경향이 있는 것으로 파악되었다.

3.3 공간상관함수

Fig. 6은 CASE A, B, C에 대하여 유도된 강우관측소 간 상관계수를 두 강우관측소 사이의 거리의 함수형태로 나타낸 것이다(공간상관함수). 자료 자체도 전체 자료를 이용한 경우, 태풍기간의 자료, 장마기간의 자료, 그리고 대류성 강우기간의 자료로 구분하여 상관계수를 추정하였다. 이렇게 추정된 상관계수는 지수함수 형태의 적합방정식에 대해 회귀분석을 실시하였으며, 추정된 회귀식과 결정계수도 Fig. 6에 함께 나타내었다.

Fig. 6에서는 거리에 따른 상관계수의 감소경향을 쉽

게 확인할 수 있다. 또한 동일 거리에 대한 상관계수가 CASE C > CASE A > CASE B의 순으로 나타나는데, 이 중 CASE C의 경우가 가장 큰 상관계수를 나타내는 이유는 무강우 즉, (0,0)의 자료가 강우관측소 간 상관관계를 더욱 크게 만들었기 때문으로 파악된다. 전체자료, 태풍자료, 장마자료, 대류성 강우자료 모두에서 동일한 경향을 파악할 수 있었다.

분석에 사용된 장마, 태풍 등 다른 자료계열에 대한 공간상관함수를 함께 비교한 것이 Fig. 7이다. CASE A에서는 태풍을 제외한 나머지 자료계열은 유사한 결과를 보였으며, 태풍의 경우는 약간 작은 공간상관함수를 가짐을 파악할 수 있었다. CASE B에서는 태풍과 장마 자료의 경우가 유사한 수준으로 나타났으며, 반대로 대류성 강우의 경우에는 이보다 낮은 상관정도를 나타내었다. CASE C의 경우는 무강우 자료의 영향으로 인해 CASE A나 B의 경우보다 더 큰 상관계수를 가짐을 확인할 수 있었으며, 강우특성에 따라서는 태풍, 장마, 대류성 강우자료 순서로 공간상관 계수가 크기를 확인하였다. 자료 전체에 대해서는 장마와 대류성 강우 사이 정도의 공간상관함수가 추정되었다.

공간상관함수에 대한 회귀식의 유의성은 Fig. 6과 같이 결정계수를 통해 파악할 수 있었다. 아울러, 이렇게 추정된 회귀식을 통해 상관거리의 추정이 가능

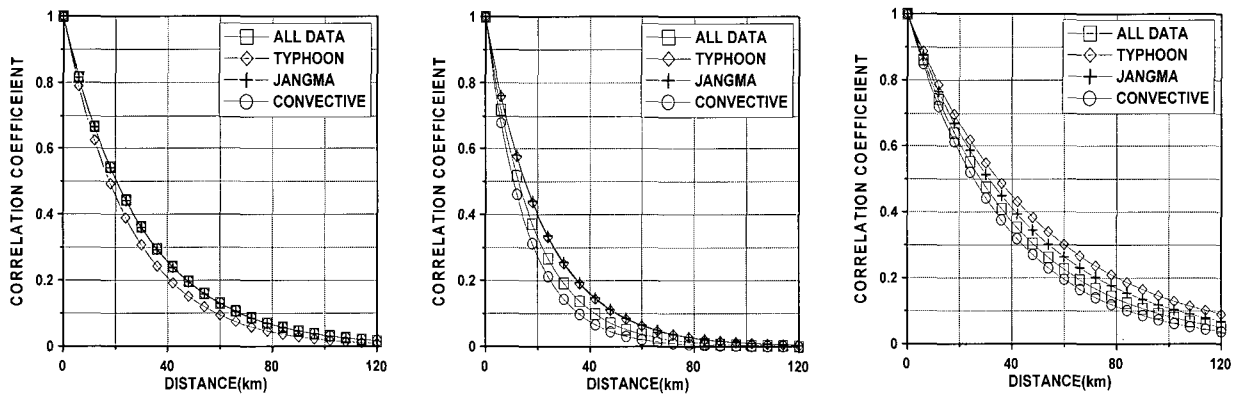


Fig. 7. Comparison of spatial correlograms (left: CASE A, middle: CASE B, right: CASE C)

Table 4. Correlation lengths derived for CASE A, CASE B, and CASE C

Data \ CASE	A (km)	B (km)	C (km)
All	30	19	40
Typhoon	25	22	50
Monsoon (Jang-Ma)	29	22	45
Convective	30	15	37

하고 이를 Nyquist의 샘플링 이론(유철상 등, 2003)을 적용하면 최적의(즉, 최소의) 강우관측소간 거리 추정 이 가능하다. 본 연구의 경우 그 결과는 Table 4와 같 이 나타난다. WMO에서 추천하는 온대기후 산악지역 의 강우계 밀도는 약 1개소/(100~250) km² 이므로 강우계사이에 간격은 대략 10~15 km 정도가 되고, 따라서 상관거리는 대략 20~30 km가 된다. 이것을 기준으로 유역 내 강우가 발생하는 경우, 즉 CASE B 의 경우를 살펴보면, 태풍과 장마로 인한 강우에 대해 서는 WMO의 기준이 적절할 수 있지만, 대류성 강우 에 대해서는 보다 높은 강우관측망 밀도가 요구됨을 판단할 수 있다. 최근 돌발홍수와 같은 국지성 집중호 우의 발생이 빈번한 상황에서 관측망 밀도 기준의 향 상이 필요하다고 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 강우의 공간상관구조에 대한 무강우 자료의 영향을 혼합분포를 이용하여 평가하였다. 강우 자료의 형태는 두 강우관측소간의 자료를 모두 양의 자 료를 가지는 경우, 두 자료중 하나 이상의 양의 자료를 가지는 경우, 그리고 전체 자료를 사용한 경우 등 3가 지를 고려하였다. 아울러 사용된 자료는 강우의 형태별 로 태풍, 장마, 대류성 강우에 의한 강우로 나누어 비교 가 이루어 질 수 있도록 하였다.

적용 예로는 급강우역 내에 위치한 12개 강우관측소 의 시자료를 이용하였으며, 그 결과 각각의 강우의 형 태별로 무강우 자료가 강우의 공간상관구조에 어떤 영 향을 미치는지 확인 할 수 있었다. 또한 유도된 공간 상 관함수를 통하여, WMO에서 추천하는 강우관측망의 밀 도가 장마와 태풍으로 인한 강우에 대하여는 적절하지 만, 대류성 강우에 대하여는 부족한 수준인 것으로 파 악되었다.

참 고 문 헌

기상청 (1982). **기상월보** 6월, 7월, 8월, 9월.
 기상청 (1983). **기상월보** 6월, 7월, 8월, 9월.
 기상청 (1984). **기상월보** 6월, 7월, 8월, 9월.
 기상청 (1985). **기상월보** 6월, 7월, 8월, 9월.
 김성렬, 양진석 (1995). "한국의 온대저기압성 강수지역 구분." **한국지역지리학회지**, 한국지역지리학회, 제1 권, 제1호, pp. 45-60.
 김용태, 이동률, 김선권, 이시현 (2000). "군집분석을 이 용한 동질 강수지역 구분." 2000년 **한국수자원학회**

학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 75-78.
 문영수 (1990). "클러스터분석에 의한 한국의 강수지역 구분." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제26권, 제4 호, pp. 203-215.
 박정규, 이승만 (1993). "연강수량에 의한 남한의 강수 지역구분." **한국기상학회지**, 한국기상학회, 제29권, 제2호, pp. 117-126.
 유철상, 김인배, 류소라 (2003). "우량계의 밀도 및 공 간분포 검토: 남한강 유역을 중심으로." **한국수자원 학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제2호, pp. 173-181.
 Arnaud, P., Bouvier, C., Cisneros, L., and Dominguez, R. (2002). "Influence of rainfall spatial variability on flood prediction." *Journal of Hydrology*, Vol. 260, pp. 216-230.
 Eagleson, P.S. (1972). Dynamics of flood frequency, *Water Resources Research*, Vol. 8(4), pp. 878-898.
 Finnerty, B.D., Smith, M.B., Seo, D.J., Koren, V., and Moglen, G.E. (1997). "Space-time scale sensitivity of the Sacramento model to radar-gauge pre- cipitation inputs." *Journal of Hydrology*, Vol. 203, pp. 21-38.
 Graves, C.E., Valdes, J.B., Shen, S.S.P., and North, G.R. (1993). "Evaluation of sampling errors of rainfall from space-borne and ground sensors." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 32, pp. 374-384.
 Houze, R.A. and Cheng, C.P. (1977). "Radar characteristics of tropical convection observed during GATE: Mean properties and trends over the summer season." *Monthly Weather Review*, Vol. 105, pp. 964-980.
 Parzen, E. (1962). *Stochastic Processes*, Holden-Day, 324 pp.
 Shimizu, K. (1993). "A bivariate mixed log-normal distribution with an analysis of rainfall data." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 32, pp. 161-171.
 Valdes, J.B., Ha, E., Yoo, C., and North, G.R. (1994). "Stochastic characterization of space-time pre- cipitation: Implications for remote sensing." *Advances in Water Resources*, Vol. 17, pp. 47-99.
 Woods, R. and Sivapalan, M. (1999). "A synthesis of space-time variability in storm response: Rainfall,

runoff generation, and routing.” *Water Resources Research*, Vol. 35, No. 8, pp. 2469-2485.

Yoo, C., Valdes, J.B., and North, G.R. (1996).
“Stochastic modeling of multi-dimensional rainfall fields considering spectral structure.” *Water*

Resources Research, Vol. 32, No. 7, pp. 2175-2187.

(논문번호:05-54/접수:2005.04.07/심사완료:2005.11.25)