

# 분단위 강우자료를 이용한 공간상관구조 분석

## Analysis of Spatial Correlation Structure Using Minutely Rainfall Data

박창열\*, 김경준\*\*, 황정호\*\*\*, 전경수\*\*\*\*, 유철상\*\*\*\*\*  
Changyeol Park, Kyoungjun Kim, Jungho Hwang, Kyung Soo Jun, Chulsang Yoo

### 요 지

본 연구에서는 국내 분단위 강우자료(MMR)를 이용하여 시간해상도에 따른 강우의 공간상관구조 특성을 검토하였다. 이러한 특성을 파악하기 위해 이변량 혼합분포를 이용하여 강우를 모형화한 후 정규분포와 대수정규분포를 고려하여 시간해상도별로 공간상관함수를 유도하고 그 변동특성을 파악하였다. 또한 분단위 강우 자료를 호우 발생 특성별(태풍, 장마, 대류성 강우)로 분류하여 이에 대한 공간상관함수를 각각 유도하였다. 이때 시간해상도를 고려하기 위한 대상 집계시간은 1, 2, 3, 5, 10, 30, 60분이고, 대상지점은 중부지역의 27개 우량관측소 지점을 이용하였다. 그 적용 결과 분단위 강우자료의 경우 무강우 자료의 영향이 상대적으로 매우 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 공간상관거리는 적용 분포형, 호우 발생 특성에 따라 차이가 있지만 1분의 경우 약 9~15km, 60분의 경우 약 21~53km인 것으로 파악되었다. 또한 강우의 집계시간이 길어질수록 공간상관특성이 상대적으로 뚜렷하게 나타나고 공간상관거리가 길어짐을 확인하였다. 본 연구의 결과는 분단위 강우자료의 관측소 밀도가 시단위 강우자료 관측소에 비해 상대적으로 매우 적음을 나타내며, 분단위 강우자료를 이용하여 지점빈도해석과 같은 공간적인 특성을 분석할 경우 적절한 개선방안이 제시되어야함을 의미하는 것이기도 하다.

**핵심용어 : 분단위 강우자료, 공간상관함수, 정규분포, 대수정규분포**

### 1. 서 론

강우장의 정량화는 수문학적인 적용에 있어서 필수적인 요소이며 이를 위해서 여러 통계적 특성치들이 이용된다(Eagleson 1972; Valdes et al., 1994). 이들 중에서 자주 다루어지는 통계적 특성은 강우장에 대한 공간상관구조이다(Yoo and Ha, 2007; 유철상 등, 2006). 강우장에 대한 공간상관구조는 강우관측소간 거리에 대한 상관계수로 정량화하게 되며 이것을 공간상관함수 또는 공간상관도(spatial correlogram)라고 한다. 공간상관도는 강우의 공간상관구조를 파악할 수 있을 뿐만 아니라 공간상관구조의 대표적인 값이라고 할 수 있는 상관거리(correlation length)를 정량화 하는 데에도 이용된다. 상관거리는 강우관측망의 평가나 설계에도 자주 사용되고 있는 강우장 고유의 특성치로서 가장 유용하게 사용되는 통계치 중에 하나이다(North et al., 1991; 유철상 등, 2003; 건설교통부, 2004).

그러나 강우장의 공간상관함수를 유도하는 경우 여러 가지 원인에 의해 일관된 결과를 얻기가 쉽지 않다. 지금까지의 연구들을 살펴보면 무강우 자료에 대한 영향, 가정된 확률 분포형에 따른 변화, 호우 발생 특성에 따른 변화 등과 같이 어떤 유역을 대표하는 공간상관함수 및 상관거리를 결정할 경우에 문제점이 발생한다(Yoo and Ha, 2007; 유철상 등, 2006). 더욱이 강우자료의 시간해상도에 따라서도 그 상관특성이 크게 달라지는 것으로 파악된다. 특히 Ha and Yoo(2007)는 강우의 공간상관구조에 대한 무강우자료의 영향을 평가하기 위해 강우의 구조를 이변량 혼합 분포로 구성하고 정규분포와 대수정규분포에 대한 공간상관함수를 정량화하여 그에 따른 변동특성을 파악한 바 있다. 또한 유철상 등(2006)은 정규분포를 가정하여 금강유역의 12개 강우관측소의 시자료로 호우사상별 공간상관함수의 변화를 정량화 한 바 있다.

본 연구에서는 중부지역의 분단위 강우자료(MMR)를 이용하여 시간해상도에 따른 강우의 공간상관구조 특성을 검토하였다. 이러한 특성을 파악하기 위해 이변량 혼합분포를 이용하여 강우를 모형화한 후 정규분포와 대수정규분포를 고려하여 시간해상도별로 공간상관함수를 유도하고 그 변동특성을 확인하였다. 또한 분단위 강우자료를 호우 발생 특성별(태풍, 장마, 대류성 강우)로 분류하여 이에 대한 공간상관함수를 시간해상도별로 각각 유도하였다. 이렇게 유도된 공간상관함수를 평가하여 시간해상도에 따른 공간상관구조의 특성 변화, 짧은 시간해상도 자료의 관측을 위한 관측망의 특성과 분단위 강우자료의 공간분석시 문제점 등을 살펴 보았다.

\* 정회원.고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정-E-mail: changyeol@korea.ac.kr  
\*\* 정회원.고려대학교 건축사회환경공학과 박사수료-E-mail: guitar77@korea.ac.kr  
\*\*\* 정회원.고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정-E-mail: hjh5237@korea.ac.kr  
\*\*\*\* 정회원.성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수-E-mail: ksjun@yrim.skku.ac.kr  
\*\*\*\*\* 정회원.고려대학교 건축사회환경공학과 교수-E-mail: envchul@korea.ac.kr

## 2. 배경이론

### 2.1 강우자료의 구조

강우자료의 여러 가지 통계적인 특성은 무강우 자료, 즉 '0' 값에 매우 민감하게 반응하게 되고 강우부분만을 가지고 추정된 통계특성과 크게 다를 수 있다(유철상 등, 2006). 본 연구에서는 강우의 특성에 따라 두 강우관측소에서 측정된 강우자료를  $(0,0)$ ,  $(x,0)$ ,  $(0,y)$  그리고  $(x,y)$ 로 무강우 자료를 포함하여 구분하였다. 따라서 다음의 세 가지 형태의 자료구조에 대해 두 강우관측소 자료사이의 상관관계를 파악하는 것이 가능하다.

$$\text{CASE A : } A = \{X > 0 \text{ and } Y > 0\}$$

$$\text{CASE B : } B = \{X > 0 \text{ or } Y > 0\}$$

$$\text{CASE C : } C = \{X \geq 0 \text{ and } Y \geq 0\}$$

여기서 CASE A는 두 강우관측소에서 동시에 강우가 발생한 자료를 나타내고, CASE B는 두 관측소에서 모두 무강우가 관측된 경우를 제외한 경우를 나타낸다. 마지막으로 CASE C는 모든 강우자료를 사용하는 것을 의미한다.

가정된 분포형에 관계없이 Case A의 경우는 두 관측소간 자료가 모두 양인 경우로 공간상관함수가 '0'에 의하여 영향을 받지 않는 경우이다. Case B는 강우의 간헐성을 고려할 수 있지만 마찬가지로 '0'의 자료가 포함되면서 발생할 수 있는 상관 계수의 왜곡 가능성 등을 고려해야 한다. Case C의 경우는 전체자료를 사용한 경우로 Case B에서와 같은 문제는 없으나 무강우자료의 영향에 의하여 강우관측소간 거리가 멀어져도 상관계수가 '0'에 수렴하지 않는 경우가 발생한다. 아울러 '0'의 정도에 따라 공간상관구조가 크게 지배 받을 수 있다는 문제점이 있기도 하다. 이와 같은 현상을 감안한다면 무강우의 영향이 제거된 경우인 Case A가 어떤 유역의 대표 상관거리를 결정하는데 있어서 보다 현실적인 선택이라고 할 수 있다(김경준과 유철상, 2007). 물론 본 연구에서 사용된 자료의 품질이 확보되지 못한다면 '0' 자료와 결측자료간 불분명한 경우도 발생하여 본 연구의 결과는 약간 달라질 수 있다. 하지만 본 연구에서는 수집된 자료를 모두 참값으로 간주하였다.

### 2.2 무강우 자료의 영향을 고려한 공간상관함수

앞 절에서 나타난 강우의 형태는 두 강우관측소에서 측정된 강우를 모형화 하는데 혼합분포가 사용되어야 함을 나타낸다. 먼저 두 강우관측소에서 측정된 강우자료의 값을 무작위 벡터  $(X, Y)$ 라 정의하면,  $(X, Y)$ 의 확률분포는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

$$P(0 < X \leq x, Y=0) = p_{10}F(x) = \delta_1 F(x), \quad x > 0$$

$$P(X=0, 0 < Y < y) = p_{01}G(y) = \delta_2 G(y), \quad y > 0$$

$$P(0 < X \leq x, 0 < Y \leq y) = p_{11}H(x, y) = \delta_3 H(x, y), \quad x, y > 0$$

여기서  $0 \leq \delta_r < 1 (r=0,1,2,3)$ ,  $\delta_0 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$ ,  $F$ 와  $G$ 는 단변량의 양의 연속분포함수, 그리고  $H$ 는 양의 2변량 연속결합분포함수이다. 두 강우관측소 모두 또는 하나의 관측소에 대한 강우의 조건부 확률은 다음과 같다.

$$P(X \leq x, Y \leq y | X > 0, Y > 0) = H(x, y), \quad x, y > 0, \quad (2)$$

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

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

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

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

여기서  $Var(X)$ ,  $Var(Y)$ 는 각각  $X$ ,  $Y$ 의 분산이며  $Cov(X, Y)$ 는  $X$ 와  $Y$ 의 공분산이다.

위와 같은 세 가지 경우(CASE A, CASE B, CASE C)에 대한 강우관측소간의 상관계수들을 각각  $\rho_i (i=A, B, C)$ 로 나타내기로 한다. 이때 상관계수  $\rho_A$ 와  $\rho_B$ 는 조건 A와 B에 대한 조건부(conditional) 상관계수가 되고,  $\rho_C$ 의 경우는 전체자료를 사용하므로 비조건부(unconditional) 상관계수가 된다. Yoo and Ha(2007)에 따르면 각 경우의 상관계수는 다음과 같이 유도된다.

$$\rho_A = [\delta_3 E(XY) - \{E(X) - \delta_1 E(X | X > 0, Y=0)\} \{E(Y) - \delta_2 E(Y | X=0, Y > 0)\}] \quad (4)$$

$$\div [\delta_3 \{E(X^2) - \delta_1 E(X^2 | X > 0, Y=0)\} - \{E(X) - \delta_1 E(X | X > 0, Y=0)\}^2]^{1/2}$$

$$\div [\delta_3 \{E(Y^2) - \delta_2 E(Y^2 | X=0, Y > 0)\} - \{E(Y) - \delta_2 E(Y | X=0, Y > 0)\}^2]^{1/2}$$

$$\rho_B = [E(XY)/(1 - \delta_0) - E(X)E(Y)/(1 - \delta_0)^2] \quad (5)$$

$$\div [E(X^2)/(1 - \delta_0) - E^2(X)/(1 - \delta_0)^2]^{1/2}$$

$$\div [E(Y^2)/(1 - \delta_0) - E^2(Y)/(1 - \delta_0)^2]^{1/2}$$

Eq. (5)에서는 특히  $\delta_0 \rightarrow 0$ 일 때, 즉, 두 관측소에 동시에 무강우가 기록되지 않는 경우에는  $\rho_B \rightarrow \rho_C$ 가 됨을 쉽게 파악할 수 있다.

### 3. 분단위 강우자료에의 적용

#### 3.1 대상자료

본 연구를 위해 수집된 중부지역의 분단위 강우자료(MMR)는 27개지점 자료이고, 분단위 강우자료의 특성상 자료의 양이 매우 방대함으로 우기자료만을 이용하였다. 본 연구에서 대상으로 하는 지역과 대상 자료 기간은 Figs. 1~2와 같다.

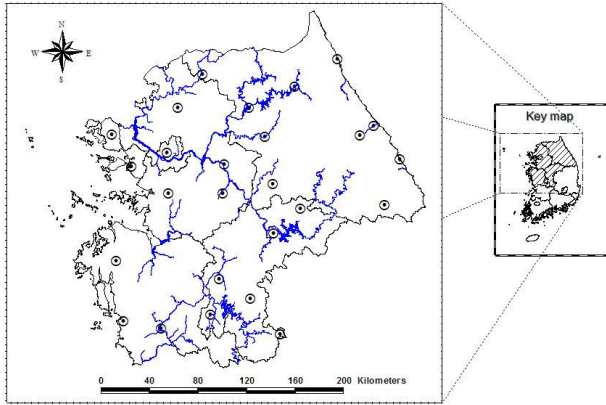


Fig. 1. Location of rain gauges (MMR)

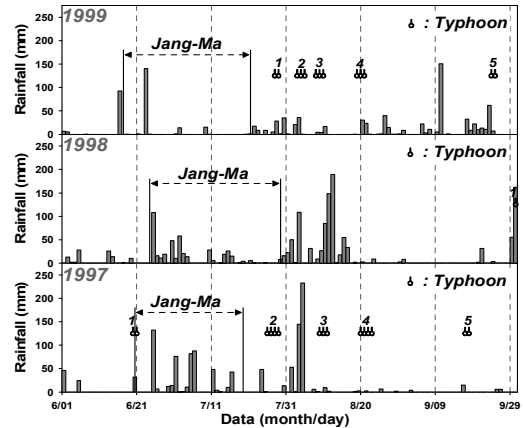


Fig. 2. Period of data used in this study

#### 3.2 강우 특성에 따른 공간상관함수의 변화

본 연구에서는 분단위 강우자료를 이용하여 강우 특성별(장마, 태풍, 대류성 강우), 월별(우기)로 공간상관함수를 유도하였다. 이와 같이 유도된 공간상관함수를 무강우의 영향을 제외한 CASE A에 대해 나타내면 다음 Figs. 3~4와 같다.

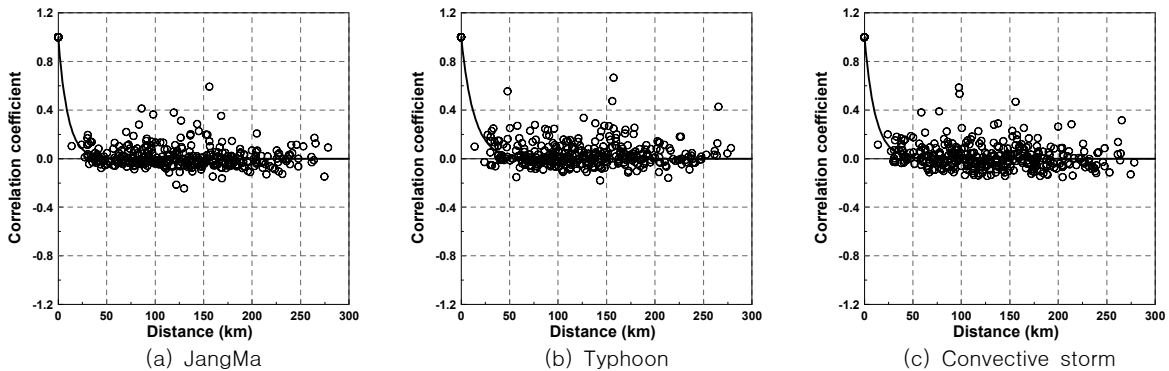


Fig. 3. Derivation of spatial correlogram (normal distribution, minutely rainfall data, CASE A)

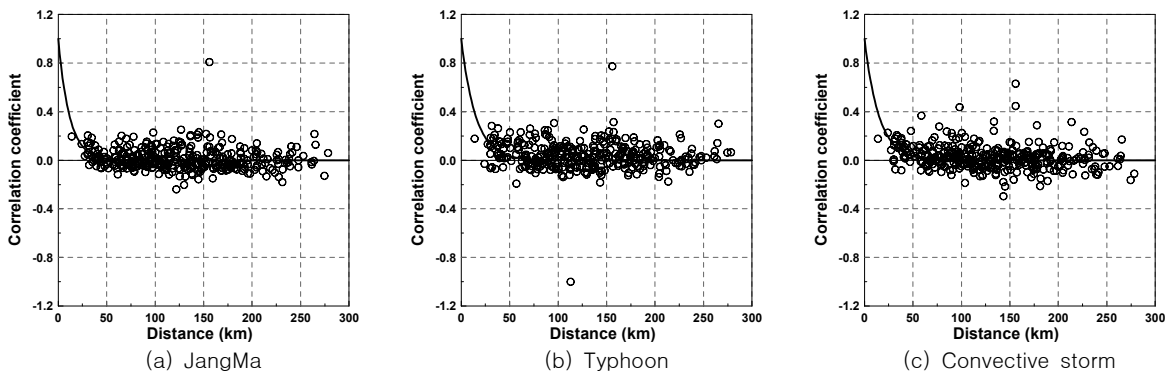


Fig. 4. Derivation of spatial correlogram (lognormal distribution, minutely rainfall data, CASE A)

본 연구의 경우 기상청에서 제공하는 분단위 강우자료(MMR)를 이용하였으며, 공간상관함수를 유도하기 위해 강우 특성별로 구분하여 적용하였다. Figs. 3~4에서 살펴볼 수 있듯이 대상유역내 관측소간의 거리는 상대적으로 거리가 길고, 분단위 강우자료의 경우 상대적으로 무강우의 영향이 큰 것을 알 수 있다.

### 3.3 시간해상도에 따른 공간상관함수의 변화

본 연구에서는 시간해상도에 따른 공간상관함수를 유도하여 그 특성을 살펴보았다. 시간해상도를 고려하기 위한 대상 집성시간은 1, 2, 3, 5, 10, 30, 60분이고, 이를 강우특성별로 나타내면 Figs. 5~6과 같다.

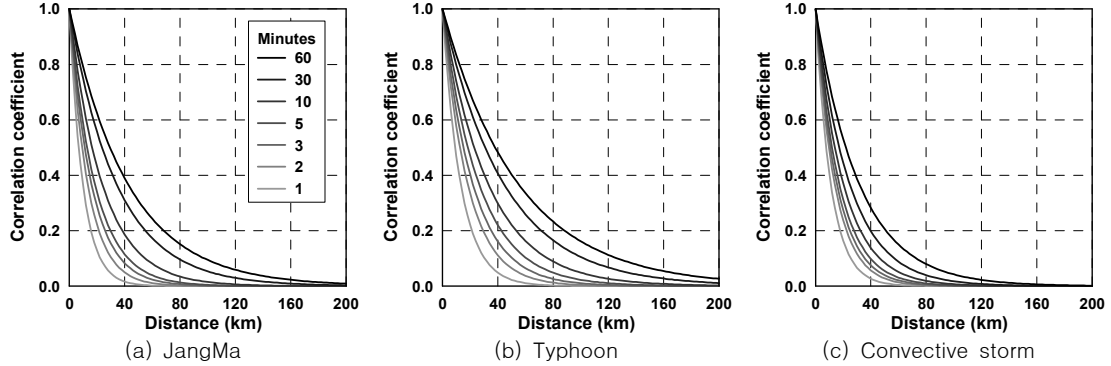


Fig. 5. Spatial correlogram for time step(Normal distribution)

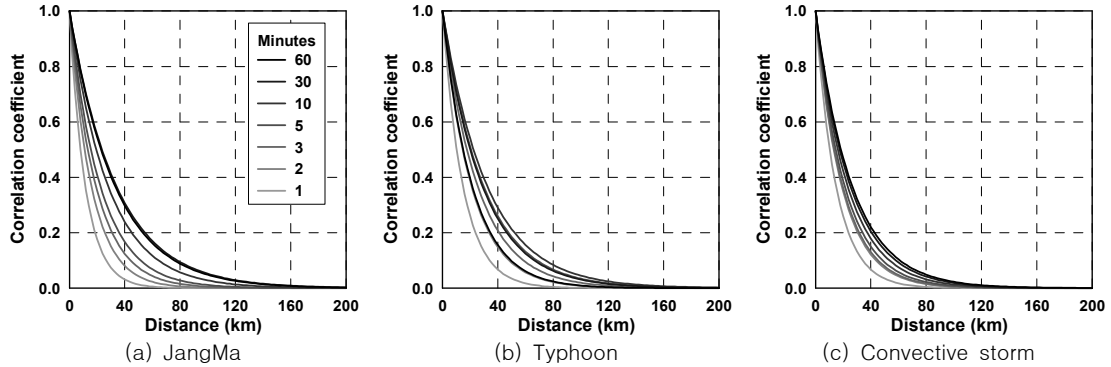


Fig. 6. Spatial correlogram for time step(Lognormal distribution)

Figs. 5~6에서 보는 바와 같이 시간해상도에 따라 살펴본 공간상관함수는 집성 시간이 길어질수록 공간상관거리가 길어지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 짧은 시간단위의 관측을 위해서는 더 조밀한 관측망이 필요하다는 것을 의미한다.

### 3.4 자료에 따른 관측망의 영향범위

일반적으로 각 우량계의 영향범위는 원형으로 나타낸다(유철상 등, 2003). 이 경우 강우는 공간적으로 등방향성(isotropic)이라는 가정을 포함한다. 각 강우계의 영향범위를 원형으로 하는 경우 그 반지름  $R$ 은 다음과 같이 추정한다.

$$R = \frac{\sqrt{(l_c/2)^2}}{\pi} \quad (6)$$

여기서  $l_c$ 는 상관거리를 나타낸다. 이와 같이 산정된 영향범위를 시간해상도별로 나타내면 Fig. 7과 같다.

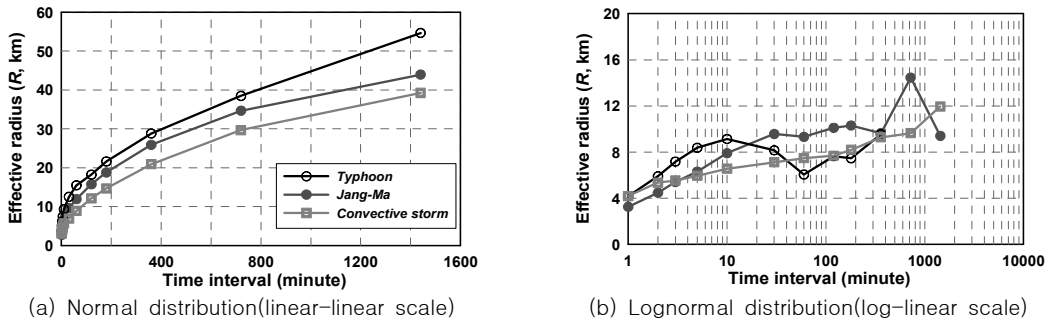


Fig. 7. Variation of effective radius for time interval

Fig. 7에서 살펴보면 알 수 있듯이 정규분포를 적용할 경우 영향범위는 시간해상도에 따라 증가하고, 대수정규분포를 적용할 경우 영향범위의 특성은 다른 경향을 나타낸다. 이것은 정규분포에 비해 '0'의 역할이 커지기 때문이다(또는 강우부분의 역할이 정규분포의 경우보다 작아지기 때문이다). 본 연구에서 산정된 분단위 강우 관측소의 영향범위를 이용하여 분단위 강우자료 관측소와 시간단위 강우자료의 관측소에 각각 나타

내면 Figs. 8~9과 같다.

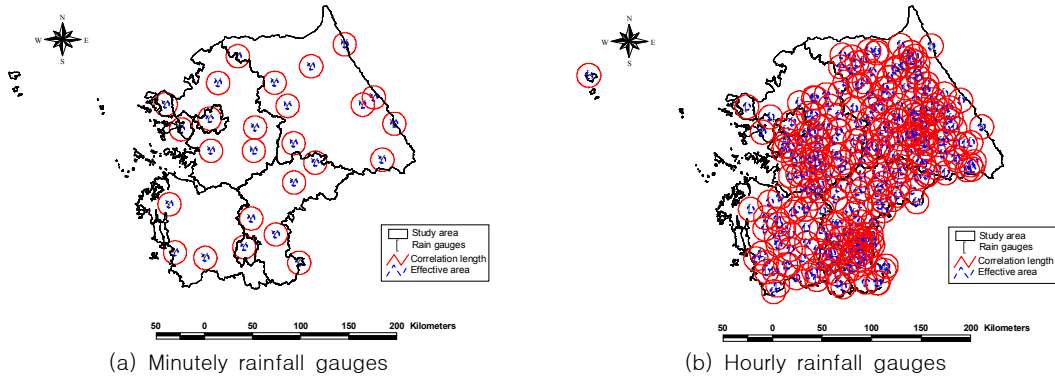


Fig. 8. Correlation length and effective area by normal distribution

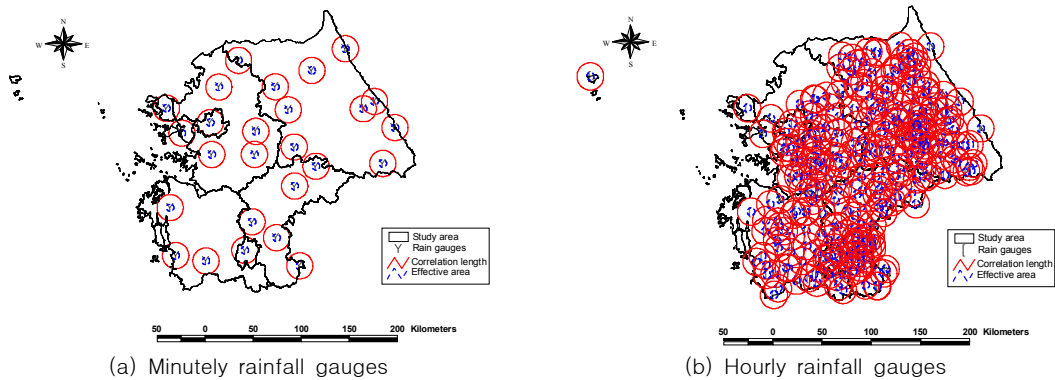


Fig. 9. Correlation length and effective area by lognormal distribution

Figs. 8~9는 중부지역내 가용한 분단위 강우자료 관측소와 시단위 강우자료의 관측소에 본 연구의 결과를 이용하여 추정한 영향범위를 나타낸 것이다. Figs. 7~8에서 볼 수 있듯이 분단위 강우자료의 경우 공간상관거리 및 영향범위가 상대적으로 매우 짧아 분단위 강우자료를 이용한 수문해석 결과를 공간적으로 확장하는데 문제점이 있음을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 국내 분단위 강우자료(MMR)를 이용하여 시간해상도에 따른 강우의 공간상관구조 특성을 검토하였다. 이러한 특성을 파악하기 위해 이변량 혼합분포를 이용하여 강우를 모형화한 후 정규분포와 대수정규분포를 고려하여 호우 발생 특성(장마, 태풍, 대류성 강우)에 따른 시간해상도별 공간상관함수를 유도하고 그 변동특성을 확인하였다. 적용 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) 분단위 강우자료의 경우 무강우 자료의 영향이 상대적으로 매우 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. (2) 공간상관거리는 적용 분포형, 호우 발생 특성에 따라 차이가 있지만 1분의 경우 약 9~15km, 60분의 경우 약 21~53km인 것으로 파악되었다. (3) 강우의 집성시간이 길어질수록 공간상관특성이 상대적으로 뚜렷하게 나타나고 공간상관거리가 길어짐을 확인하였다.

본 연구의 결과는 분단위 강우자료의 관측소 밀도가 시단위 강우자료 관측소에 비해 상대적으로 매우 적음을 나타내며, 분단위 강우자료를 이용하여 지점빈도해석과 같은 공간적인 특성을 분석할 경우 적절한 개선 방안이 제시되어야함을 의미하는 것이기도 하다.

## 감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단(건설핵심D05-01)을 통하여 지원된 건설교통부 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 건설교통부 (2004). 한강유역조사 수리·수문조사 보고서 제1편 수문관측망조사, 연구보고서.
2. 김경준, 유철상 (2007). 강우공간상관구조의 변동 특성, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제40권, 제12호, pp. 943-956.

(일부 생략)