서울지역 강우의 시·공간적 특성 분석

Temporal and Spatial Characteristics Analysis of Rainfall in Seoul

손아롱* · 한건연** · 배성환***

Son, Ahlong · Han, Kunyeon · Bae, Sunghwan

Abstract

In this study, kriging and moving average method were applied in order to comprehend temporal and spatial characteristics of rainfall in Seoul area. Errors were estimated depending on weights of weighted moving average model and exponential moving average model for analyzing temporal characteristics of rainfall. According to the results of the analysis of rainfall database of the Seoul Meteorology Station and AWS(Automatic Weather Station) by using the weighted moving average model having minimum errors, rainfall was concentrated in the summer months except for the rainy season and tend to increase the total amount of rainfall. The kriging was applied for analyzing spatial characteristics of rainfall and the spherical model well depicted spatial distribution of urban heavy rain in target area. And parameters were calculated and analyzed in accordance with rainfall intensity. The result show area-averaged rainfall using kriging reduced risk of overestimation of area-averaged rainfall using Thiessen weighting method.

Key words : Seoul, Heavy rain, Moving average, Kriging, Area-Averaged Rainfall

요 지

본 연구에서는 서울지역에서의 강우의 시·공간적 특성을 파악하기 위하여 크리깅 기법과 이동평균법을 적용하였다. 강우의 시간적 특성을 분석하기 위하여 가중이동평균법과 지수이동평균법을 적용하여 각각의 가중치에 따른 오차를 분석하였다. 최소오차가 발생하는 가중이동 평균법을 이용하여 서울기상대와 AWS자료를 분석한 결과, 여름강우 중 장마를 제외한 나머지 기간에 강우가 집중되고 있으며, 강우량 또한 증가하는 추세를 보였다. 강우의 공간적 특성을 분석하기 위하여 크리깅 기법을 적용하였으며, 크리깅 기법 중 spherical model이 대상지역의 집중호우에 대한 공간적 분포를 가장 잘 묘사하였다. 그리고 강우강도에 따라 매개변수를 산정하여 비교하였다. 분석결과 크리깅 기법을 적용한 면적평균강우량이 티센가중법에 의한 면적평균강우량 산정으로 인한 과대추정의 위험을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 서울지역, 집중호우, 이동평균법, 크리깅 기법, 면적평균강우량

1. 서 론

우리나라를 둘러싼 기후패턴의 변화가 가속화되면서 한반도는 엘니뇨의 영향권에 들어 장마기간에는 강우가 소강상태를 보이는 반면, 장마 후 국지성 집중호우가 증가하고 태풍이 내습하는 현상이 빈번해지고 있으며 이러한 현상은 지구 온난화에 의한 것이라는 주장이 제기되고 있다. 이와 더불어 도시화와 산업화에 따른 사회구조 변화는 강우패턴 변화에 영향을 주고 있다. 도시화에 따라 뚜렷한 양상을 보이는 열섬현상이나 풍속 감소와 같은 현상에 비해, 강우는 그 메커

니즘이 복잡하므로 도시지역의 기후를 설명할 때 가장 논쟁이 되는 요소이다. 또한, 강우는 기후학적 측면에서 뿐만 아니라 도시계획, 도시 수문 등의 요소와 밀접한 관계를 가지고 있으므로 도시강우현상에 대한 포괄적인 연구가 필요하다.

최근의 도시지역 집중호우 피해의 대부분이 장마기간을 제외한 여름철 집중호우에 의해 발생하는 것으로 나타났다. 특히 서울에서는 2010년 9월 21일 집중호우로 인한 누적강우량이 259.5 mm를 기록하였으며, 강서구 화곡동은 1시간 최대 강우량 98.5 mm를 기록하였다. 또한 2011년 7월 26일부터 28일까지 3일간 누적강우량은 587.5 mm로 1907년 관측을

*교신저자. 정회원. 경북대학교 건축·토목공학부 박사과정(Tel: +82-53-950-6624, Fax: +82-53-951-6624, E-mail: salong83@naver.com)
 Corresponding Author. Member. Ph.D Candidate, Department of Architectural and Civil Engineering, Kyungpook National University

**경북대학교 건축·토목공학부 교수
 Professor, Department of Architectural and Civil Engineering, Kyungpook National University

***경북대학교 건축·토목공학부 석사
 Master, Department of Architectural and Civil Engineering, Kyungpook National University

시작한 이래 일 누적강우량 최고치를 기록하였다. 주목할 점은 서울 서남권의 관악구가 94.0 mm를 기록한 반면, 동북권의 노원구는 3.5 mm에 불과하여 지역적으로 큰 차이가 발생하는 국지적 양상을 보였다. 이렇듯 서울을 비롯한 도시지역 강우특성은 강우량과 집중호우의 발생빈도가 증가하여 이로 인한 재해유발 가능성이 높아지고 있으며, 이와 더불어 강우량의 시·공간적인 변동성이 심화되어 강우의 지역 편차가 심해지고 있다. 이는 방재 관련 체계의 재정립이 필요하며 지역적 강우특성을 고려한 방재 및 치수계획이 필요하다는 사실을 반증하고 있다.

도시지역의 강우분석에 관한 연구는 다양한 방면에서 이루어지고 있다. 이한영(1998)은 서울과 그 주변 지역의 하계강우 연구에서 열섬의 영향으로 서울 도심을 중심으로 한 풍상 지역보다 풍하지역에서 연강우량이 빠르게 증가하고 있으며, 도시지역이 주변의 농촌 지역보다 미우 및 뇌우 일수가 월등하게 많이 나타나고 있음을 분석하였다. 김연희 등(2005)은 서울에서의 강우의 시공간적 특성 분석을 통하여 도시화가 강우에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 안기호(2000)는 서울시 AWS 자료(1996~1999)를 이용해 서울지역 내에서 강우현상의 공간적 분포를 알아보았다. 최현아 등(2008)는 서울시 AWS에 의한 지표 근처 기온 및 강우자료를 이용하여 서울 지역 기상인자의 시·공간 구조분석 및 변화경향과 변이성을 도출하였다. 기후변화를 고려한 도시지역의 강우분석에 관한 연구는 다양한 방면에서 이루어지고 있다. 문영일 등(2011)은 서울시의 시자료를 활용하여 비정상성 강우빈도해석을 실시하여 기후변화를 고려한 확률강우량을 산정하였으며, 권석주(2011)는 KMA RCM A1B시나리오를 기반으로 미래 도시지역의 확률강우량을 산정하였다. 공간 데이터를 이용하여 새로운 지점의 데이터를 예측하는 기법으로써 과거 지하자원의 분포를 알기 위해 개발된 기법이었으나, 최근 수자원 분야에서 강우예측보완 및 강우의 공간적 특성에 관한 연구에 크리깅 기법이 사용되고 있다. Sun et al.(2000)은 오스트레일리아 Darwin 지방의 Finnis 강 유역을 대상으로 강우관측소의 측정 자료만을 활용한 경우, 관측소자료에 크리깅 기법을 적용한 경우, 레이더 자료를 적용한 경우, 레이더와 강우관측소 자료를 공동 크리깅을 통하여 예측한 경우를 구분하여 유출 해석을 실시하였다. Cheng et al.(2003)은 타이완 북부 유역에서 설계강우의 공간분포방법으로 일반 크리깅 기법을 적용하여 기존의 IDF 곡선과 비교하여 설계강우의 지속시간과 공간적 변동성을 비교하였다. 최용준(2000)은 크리깅 기법을 이용하여 면적평균강우량을 산정하고 티센망과 등우선법에 의한 결과와 비교·검토하였다. 김홍태(2003)는 크리깅 기법을 이용하여 낙동강 전체 유역에 대하여 유역평균강우량을 산정하는 기법을 개발하여 티센가중법에 의해 산정된 유역 평균강우량과 비교·분석하였다. 최규현(2004)은 기상자료와 지상의 강우관측소 자료를 연계하여 공동크리깅 기법을 통해 강우량을 산정하였으며, 산정된 강우량 자료를 이용해 유역에서의 홍수량 산정 및 범람해석을 위한 기본자료로 활용하였다. 크리깅 기법 이외에 통계적 방법 중 군집기법인 k-means방법을 적용하여 강우의 공간적 분포를 분석한 연구가

엄명진 등(2009)에 의해 강원도 지역을 대상으로 수행되기도 하였다. 강우의 공간적 분포에 관한 기존 연구는 하천유역과 같은 대규모 유역에 대하여 적용한 분석 결과를 제시하였으나 도시지역에 대한 강우의 공간적 분포에 대한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 서울시의 26개의 AWS(Automatic Weather Station) 데이터를 활용하여 최근 기후변화와 도시화로 인한 서울시 강우의 시·공간적 특성을 파악하고자 한다. 강우의 시간적 특성을 분석하기 위하여 가중 이동평균법을 적용하였으며, 공간적 특성은 공간정보 모형의 하나인 크리깅 기법을 적용하였다.

본 논문의 세부적인 전개는 다음과 같다. 2장에서는 이상기후에 따른 강우 특성분석을 위한 이동평균법과 크리깅 기법에 대해 설명하고 3장에서는 AWS자료를 활용하여 서울시의 시·공간적 강우 특성을 분석하였으며 크리깅 기법을 적용하여 최근 발생한 집중호우에 대하여 분석하였다. 제 4장에서는 본 연구를 통해 얻어진 결론을 요약하여 정리하였으며, 본 연구의 결과는 향후 지역적 특성에 맞는 방재

2. 적용기법

2.1 강우의 시간적 변동분석

이동평균법은 시계열 자료의 추세를 파악하는 방법의 일종으로 수문자료의 결측치를 효과적으로 보완하거나 미래를 예측하는 기법으로 적용된다. 이동평균법의 종류는 단순이동평균법, 가중이동평균법 그리고 지수이동평균법이 있다. 단순이동평균법은 관측데이터에 동일한 가중치를 두는 기법이며, 가중이동평균법은 관측데이터에 따라 가중치를 다르게 두어 산정하는 기법이다. 지수이동평균법은 가중이동평균법의 하나로써 가중이동평균법은 과거의 모든 데이터를 반영하지 못하지만 지수이동평균법은 과거의 모든 데이터를 활용하여 최근 데이터에 더 큰 가중치를 두는 방법으로 지수평활화라고도 한다. 이동평균법에 있어 중요한 문제는 평균할 과거데이터의 수를 결정하는 것이다. 일반적으로 불규칙 변동이 심하지 않은 경우에는 많은 데이터를 사용하고 불규칙 변동이 심한 경우에는 적은 데이터를 사용한다. 절대평균오차와 평균제곱오차를 적용하여 오차가 작은 가중치를 선택하도록 모형을 반복 수행하였다. 다음 식은 가중이동평균법과 지수이동평균법에 관한 것이다.

$$M_t = w_1 Y_t + w_2 Y_{t-1} + \dots + w_n Y_{t-n+1} \quad (1)$$

여기서, 가중이동평균 M_t 는 다음 시점 $t+1$ 의 예측값 (F_{t+1})로 이용된다. w 는 가중치이고 Y 는 실제 관측값이다.

$$F_t = \alpha Y_{t-1} + (1-\alpha)F_{t-1} \quad (2)$$

F_t 는 기간 t 의 예측값이고 F_{t-1} 는 $t-1$ 시간의 예측값이다. 그리고 Y_{t-1} 는 기간 $t-1$ 의 실제값이며 α 는 지수평활계수로써 가중치 역할을 한다. 불규칙 변동이 큰 자료에서는 큰 값의 α 를, 불규칙 변동이 작은 자료에서는 작은 값의 α 를 적용하며 일반적으로 0.05와 0.3사이의 값을 사용하는 것으로 알려져 있다.

2.2 강우의 공간적 변동분석

본 연구에서 도시지역 집중호우 사상의 지역적 강우특성 분석을 위해 사용된 크리깅 기법은 지구통계학에서 사용되는 가장 대표적인 기법이다. 크리깅 기법은 관심 있는 지점에서 특성값을 이미 알고 있는 값의 가중선형조합으로 예측하는 방법으로 그 가중치는 대개 예측오차를 최소화하면서 그 추정식이 편향되지 않도록 결정한다. 최용준(2000)은 범용공분산을 이용한 크리깅 기법을 적용하였으나 본 연구에서는 공분산의 계산과 크리깅 가중치를 계산하기 위하여 공간적 상호관계를 나타내는 척도로 베리오그램을 적용하였다.

2.2.1 베리오그램

베리오그램(Variogram)은 일정한 거리에 있는 자료들의 유사성을 나타내는 척도이며, 반베리오그램(semivariogram)은 베리오그램의 반에 해당하는 값이다. 본 연구에서는 베리오그램은 반베리오그램을 의미하며 다음 식과 같다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

주어진 자료로부터 계산된 실험적 베리오그램을 바탕으로 이를 가장 잘 대표하는 이론적 베리오그램을 선정하는 것은 예측 결과에 상당한 영향을 미치므로 매우 중요하다. 이론적 베리오그램의 종류는 다음과 같다.

- 선형모델(Linea rmodel)

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 \frac{h}{a}, & \text{for } h \leq a \\ C_0, & \text{for } h > a \end{cases} \quad (4)$$

- 구형모델(Sheperical model)

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 \left[1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 1.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], & \text{for } h \leq a \\ C_0, & \text{for } h > a \end{cases} \quad (5)$$

- 지수모델(Exponential model)

$$\gamma(h) = C_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right] \quad (6)$$

- 가우스모델(Gauss model)

$$\gamma(h) = C_0 \left[1 - \exp\left(-3\left(\frac{3h}{a}\right)^2\right) \right] \quad (7)$$

- 너깃모델(Nugget model)

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0, & \text{for } h \leq a \\ 0, & \text{for } h > a \end{cases} \quad (8)$$

- 단항모델(Monomial model)

$$\gamma(h) = \gamma_0 + ah^\beta, \gamma_0 \geq 0, a, \beta > 0 \quad (9)$$

분리거리가 증가하여 일정한 거리가 되면 자료들 간의 베리오그램이 일정해지는 경우 그 값을 문턱값(sill)이라고 하며,

여기서 C_0 을 나타낸다. h 는 상관거리를 의미하며, 이는 자료들이 상관관계를 보이는 최대 분리거리이며 a 는 실제 자료간의 분리거리를 의미한다.

2.2.2 크리깅 기법

크리깅 기법은 관심 있는 지점에서 특성치를 알기 위해 이미 값을 알고 있는 주위값들의 가중선형 조합으로 그 값을 예측하는 통계적인 기법이다. 크리깅의 종류는 오차분산을 최소화 하는 가중치를 구하여 선형조합으로 미지의 값을 예측하는 단순크리깅, 크리깅 추정식이 편향되지 않으면서 오차분산을 최적으로 하는 정규크리깅, 그 외에 특정 지점의 값을 예측하는 점크리깅이 아닌 구역크리깅, 두 가지 이상 여러 변수의 선형조합을 사용하여 예측하는 공동크리깅 등이 있다. 본 연구에서는 연구목적에 가장 적합한 정규크리깅을 적용하였으며 식은 다음과 같다.

$$\sigma_{OK}^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \sigma_{oi}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \sigma_{ij}^2 \quad (10)$$

λ_i 는 사용된 주위의 각 자료의 가중치이며, σ^2 는 $Var[z(x_0)]$ 이고, σ_{0j}^2 은 $Cov(z_0, z_i)$ σ_{ij}^2 은 $Cov(z_i, z_j)$ 이다. σ_{OK}^2 는 오차분산을 나타내며 이를 최소화 하는 가중치들을 결정한다.

주어진 제약조건 하에서 최소의 오차분산을 산정하기 위한 여러 가지 방법 중 여기서는 라그랑제 인자법(Lagrange parameter method)을 적용하였으며 관련 식은 다음과 같다.

$$L(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n; w) = \sigma^2 - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \sigma_{oi}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \sigma_{ij}^2 + 2w \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) \quad (11)$$

여기서 $L(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n; w)$ 은 라그랑제 목적함수이고 w 는 라그랑제 매개변수이다.

주어진 목적함수는 극값에서 최고값을 가지며 그 극값은 목적함수를 각각 λ 와 w 에 대하여 편미분하여 구할 수 있다. 식 (8)을 미분하여 정리하면 식 (10)을 얻는다.

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = -2\sigma_{oi}^2 + 2 \sum_{j=1}^n \lambda_j \sigma_{ij}^2 + 2w = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = 2 \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) = 0 \quad (13)$$

식 (10), 식 (11)은 식 (12)와 같이 간단히 정리되며 정규 크리깅 방정식을 얻게 된다.

$$\sigma_{0l}^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \sigma_{li}^2 + w, l = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

정규크리깅 방정식 식 (12)의 관계식을 이용하면 식 (13)과 같은 오차 분산식을 얻게 된다.

$$\sigma_{OK}^2 = \sigma^2 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \sigma_{oi}^2 + w \quad (15)$$

3. 도시유역에 대한 적용

본 연구에서는 서울시에 대한 강우분석을 통해 강우패턴이 시공간적인 변동성을 가지고 있음을 밝히고자 하였다. 이를 위해 첫째, 서울시 기상대자료에 대한 강우량, 강우일수, 집중호우 등 시간적인 분석을 실시하여 서울시 강우가 여름철에 집중되고 강우패턴이 증가하고 있다는 시간적 변화에 대해서 검토하였다. 또한 지역적으로 발생하는 서울시 강우의 공간적 특성을 밝히기 위해 자동기상관측소(AWS) 강우자료에 대한 최근 15년간의 연도별 총강우량 변동 추이를 비교하고, 지역별 극치강우분석을 실시하여 서울시 강우특성이 시간적인 변화와 더불어 공간적인 차이를 동반함을 입증하고자 한다. 마지막으로 실제 강우사상의 지역적인 편차를 확인하기 위해 서울시에 발생한 2010년 9월 21일과 2011년 7월 26일~29일에 발생한 집중 호우사상에 대해 크리깅 분석을 실시하여 강우의 공간분포를 확인하고 각 배수구역별 정량적 강우량을 산출함으로써 도시지역의 강우발생 양상이 지역적, 국지적으로 발생하고 있음을 밝히고자 한다.

3.1 대상지역

본 연구의 대상지역으로 서울지역을 선정하였다. 지배면적은 605.41 km²(49.2%)으로써 강북이 297.86 km², 강남이 307.47 km²(50.8%)을 차지하고 있다. 전 국토의 0.28%(남한면적의 0.61%)에 해당하는 넓이로 남북 간 연장거리는 30.30 km, 동서간 연장거리는 36.78 km이다. 서울시는 한강과 청계천, 중랑천, 탄천과 안양천 등 4대천 중심의 소분지가 형성되어 있고 동서남북이 산으로 둘러싸여 있다.

서울지역을 대표하는 강우자료는 기상청 관할 서울기상대의 자료이며 각종 치수계획에 활용되고 있으나 한 지점에 의존하여 서울지역의 강우특성 분석을 하는 것은 무리가 있다. 그러므로 본 연구에서는 서울지역의 지역적 강우특성을 분석하기 위해 서울기상대의 자료 뿐만아니라 1997~2011년 간 AWS 강우자료를 활용하였고, 시·공간적인 변동이 심한 강우자료 특성상 단일자료의 신뢰도 판별이 어렵기 때문에 주변 관측소와의 지역적 분석에 중점을 두었다. 서울시의 경우, 1994년부터 AWS에 의해 강우를 측정해오고 있으나, 1999년 국립기상연구소에서 실시한 측정값의 품질검사 결과 1997년 이전자료는 40%이상이 불량한 것으로 판정되어 자료의 신뢰성이 높은 1997년을 시작으로 2011년까지의 자료를 선정하였다. 현재 서울시내 AWS를 통한 강우관측은 총 26개 지점에서 이루어지고 있다. 그러나 금천지점과 관악지점의 경우 1997년 전체 자료, 북한산지점의 경우 1997년과 2010년의 자료, 성동지점의 경우 1997~1999년 간의 자료, 구로지점의 경우 1997~2001년의 자료 전체가 결측이므로 연구의 통일성을 위해 금천, 북한산, 성동, 구로, 관악, 강북 등 6개 지점 자료를 제외한 나머지 20개 지점에서 관측된 자료를 이용해 서울지역의 지역적 강우특성 분석을 실시하였다. 또한 서울시의 시간적인 강우특성 분석에는 기상청 관할 서울기상대의 1973~2011년 시강우자료를 이용하였다. Fig. 1에 서울시 AWS 관측소의 위치를 도시화하였다.

Fig. 1. Location of Automatic Weather Station in Seoul

3.2 시간적 변동 분석

최현아 등(2008)은 강우의 시간적 변동을 분석하기 위하여 연평균 강우에 대하여 분석을 실시하였으며, 기후변화 및 도시화로 인하여 1997년 연평균 강우량에 비해 2006년의 연평균 강우량이 증가하고 있다고 분석하였으며, 오태석 등(2005)은 도시화가 도시지역의 강수변화에 미치는 영향에 대한 연구에서 계절별 평균 강우량을 활용하여 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 최근 강우의 특성이 과거와는 달리, 우기 즉 6월~9월에 특정 장마기간에 걸쳐 집중되던 현상이 특정 장마기간이 아닌 우기 전반에 걸쳐 발생하고 있음을 확인하며, 극한 호우 또한 증가하고 있음을 확인하고자 한다. 또한, 안기효(2000)는 서울지역 강우의 시간적 패턴을 분석하기 위하여 단순이동평균법을 적용하였으며 가중이동평균을 주로 활용하고 있으나, 본 연구에서는 가중이동평균과 지수이동평균을 각각 적용하여 강우와 같이 불규칙성이 큰 경우에 적합한 적용기법을 찾고자 하였다.

여기서 6월~9월은 계절구분을 하는 경우 강우가 많은 계절로 우기를 의미하며, 장마기간은 우기중에서 대략 6월 하순부터 7월 하순까지 장마전선에 의하여 강우가 집중적으로 발생하며 기상청에서 발표하는 기간을 의미한다. 그러나 기상청 역시 최근 한반도를 북상하며 소멸하던 장마가 과거와 달리 발생 및 소멸 시기가 뚜렷해지지 않아 장마 예보를 폐지하고 우기로 명명하고 있다.

기후변화에 따른 강우의 시간적 특성의 경향을 분석하고 앞으로의 변화를 예측하기 위하여 이동평균법을 적용하였다. 먼저, 평균을 산정하기 위한 기간을 선정하기 위하여 2년, 5년, 7년, 10년에 대하여 단순이동평균법을 이용하여 관측데이터와의 비교 후 오차가 가장 작은 5년에 대하여 이동평균법을 적용하기로 하였다. 단순이동평균의 경우 모든 데이터의 가중치가 같기 때문에 가장 최근의 데이터를 뒤늦게 반영하는 특성이 문제가 되어 가중이동평균과 지수이동평균을 적용하였다. 가중이동평균법을 적용하기 위해서는 5개의 가중치가 필요하므로 최소값 0.1에서 최대값 0.6까지 0.1의 간격으로 하여 이등변 삼각형 형태(예, $w_1=0.1, w_2=0.2, w_3=0.4, w_4=0.2, w_5=0.1$)와 사다리꼴 형태(예, $w_1=0.1, w_2=0.1,$

Table 1. Error Analysis of Weighted Moving Average

w1	w2	w3	w4	w5	MAD	MSE
0.1	0.2	0.4	0.2	0.1	266	133,439
0.1	0.1	0.6	0.1	0.1	292	158,885
0.1	0.1	0.4	0.2	0.2	32	2,022
0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	101	17,424
0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	101	18,464
0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	115	24,950
0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	200	75,015
0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	64	7,714
0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	62	7,135
0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	36	2,340

Table 2. Error Analysis of Exponential Moving Average

	0.05	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95
MAD	271	216	192	169	147	125	101	76	63	17
MSE	146,197	89,429	71,143	56,803	43,577	31,327	20,380	11,206	7,452	525

w3=0.2, w4=0.3, w5=0.3)의 가중치에 대하여 총 10개의 조합에 대하여 모의를 실시하였으며 평균절대오차 MAD와 평균제곱오차 MSE를 구하여 가장 작은 오차 값을 가지는 조합에 대하여 가중이동평균법을 적용하였다. Table 1에서 확인할 수 있듯이 오차 분석 결과 강우량의 크기에 비해 오차값이 큰 것으로 판단되나, 여기서는 강우량을 예측하기 위함이 아니라 기후변화에 따른 경향을 파악하고자 하는 것이므로 경향을 가장 잘 파악하는 오차 값이 작은 시나리오를 찾아 시간적 강우 패턴 분석에 적용하였다.

지수이동평균은 가중치 α 를 0.05~0.95범위 내에서 0.05씩 증가시키며 MAD와 MSE를 산정한 결과는 다음 Table 2와 같다. 앞서, 가중치 α 는 일반적으로 불규칙변동 특성이 큰 자료에서는 큰 값을 가지며, 불규칙변동 특성이 작은 자료에서는 작은 값을 가진다고 하였다. 모의결과 가중치 α 가 0.95일 때 가장 오차가 작았으며, 이를 통하여 강우량 자료가 불규칙 변동성이 큰 자료임을 확인할 수 있었다. 그러나 가중치 α 가 커질수록 오차가 작아지는 것을 확인할 수 있는데 이는 지수이동평균에 의한 강우량 자료는 불규칙성이 매우 커서 시간적 변동 경향이 의미가 없다는 것을 말해주고 있다.

따라서 강우의 시간적 특성을 분석하기 위하여 5년 가중이동평균법을 적용하여 분석을 실시하였다.

2012년도의 우리나라의 연평균 강우량의 평균치는 1,190 mm인데 반해 서울시의 연평균 강우량을 1,300 mm 이상으로 강우가 많은 지역에 속한다. 연강우량은 1990년대 중반(1,276 mm)이전보다 그 이후의 기간(1,537 mm)에서 강우량이 증가한 것을 알 수 있다. 5년 가중이동평균을 보면 연간강우량이 1970년대부터 꾸준히 증가하는 모습을 보이다가 1980년대 후반에서 1990년대 초반까지 잠시 줄어드는 경향을 보이다가 다시 증가하여 2011년까지 증가된 총강우량 추이를 유지하고 있었다. Fig. 2와 Fig. 3은 각각 1997~2011년의 장마기간에 발생한 강우량과 장마기간을 제외한 6월~9월의 강우량을 나타낸다. 연강우량 대비 6월~9월에 발생하는 강우

Fig. 2. Annual Rainfall Distribution(monsoon)

Fig. 3. Annual Rainfall Distribution(June~ September)

비율은 1990년대 중반이전 68%에서 최근 15년 정도의 기간에는 74%까지 증가하였으며, 마찬가지로 장마기간을 제외한 기간 동안 1990년 중반이전 38%에서 44%로 6월~9월에 강우가 집중되는 경향을 알 수 있다. 5년 가중이동평균에서도 확인할 수 있듯이, 최근 들어 장마기간을 제외한 6월~9월에 강우량이 증가하고 있으며, 급격하게 증가하고 있는 추세이다.

Fig. 4는 1973~2011년 간의 연간 강우일수 변화추이를 나타내고, Fig. 5는 장마기간을 제외한 6~9월의 강우일수를 나타낸 것이다. 강우일수는 강우자료로부터 무강우 최대시간과 최소지속시간, 최소 강우량 조건을 통해 강우사상을 선정하였다. 선정기준은 다음과 같다.

Fig. 4. Annual Total Rainy Day

Fig. 5. Rainy Day(June~ September)

- ① 사상 분리 무강우 최대기간 ≥ 6 시간
- ② 최소 지속 시간 ≥ 4 시간
- ③ 최소 강우량 ≥ 10 mm
- ④ 시간 강우 고이상치 기각 기준 ≥ 200 mm

연간 강우일수는 증가와 감소를 반복하면서 점차적으로 증가하는 경향을 보인다. 20년 평균을 기준으로 비교 시 1990년대 중반 이전 30.6일에서 그 이후의 기간에 37.6일로 강우일수가 증가한 것으로 분석되었다. 하지만 주목할 점은 장마기간을 제외한 6월~9월 강우일수의 5년 가중이동평균은 정체하거나 소량의 증가폭을 보이며 일정한 추이를 유지하며, 1990년대 중반 이전(10.2일)에서 그 이후의 기간(12.3일) 사이에 약 20% 정도 증가하였다. 그러나 장마기간을 제외한 6월~9월의 강우량은 1990년대 중반 이전(472.4mm)보다 이후의 기간(711.2mm)에 약 51% 증가한 것으로 나타났다. 즉, 장마기간을 제외한 6월~9월의 기간 동안 강우일수에는 큰 변화가 없으나 강우량이 증가하여 강우강도가 커졌음을 의미한다.

현재의 강우가 과거의 강우보다 커지고 있다는 사실은 1973~2011년 동안 시간당 30 mm 이상, 시간당 50 mm 이상의 강우발생횟수를 나타낸 Fig. 6과 Fig. 7을 통해 알 수 있다. 두 경우 모두 1990년대 중반이전 보다 그 이후의 기간에서 더 큰 발생빈도를 보여, 전체적으로 최근 15년 정도의 강우강도가 이전보다 증가한 것을 알 수 있다. 5년 이동평균을 보면, 강한 강우의 빈도가 1970년부터 꾸준히 증가하는 모습을 보인다. 하지만 1980년대 후반에서 1990년대 초반 까지 잠시 줄어드는 경향을 보인 후 다시 2010년 까지 증가한다. 이러한 모습은 1990년대를 기준으로 과거 20년과

Fig. 6. The Number of Rainfall Event above 30 mm/hr

Fig. 7. The Number of Rainfall Event above 50 mm/hr

최근 20년간의 평균에서도 볼 수 있는데 최근 20년 동안이 과거보다 1시간 강우량이 30 mm 이상인 발생회수는 2.3배, 1시간 강우량이 50 mm 이상인 발생회수는 5.3배 증가하였다.

3.3 공간적 변동 분석

3.3.1 지역별 총강우량 분포

서울시 도시강우의 공간적인 분석을 위한 대상 관측소는 분석기간의 통일성을 위해 결측치가 있거나, 관측시점이 1997년 이후인 지점을 제외한 나머지 20개 지점으로 선정하였다. AWS 지점별로 분석한 총강우량은 같은 해당년도 별로 나열해 비교하였고, Fig. 8에서 서울시 총 강우량 분포의 지역적인 차이를 확인할 수 있다. Table 3은 앞서 분석한 AWS 지점별 연도별 강우량 분석을 토대로 최고강우량과 최저강우량의 발생지점을 보여준다. 최고 강우량과 최저 강우량 발생 지점 간에는 평균 570 mm, 약 159%의 편차가 발생하는 것으로 나타났다. 특히 1997년의 경우 동대문지점의 연간강우량이 중구 지점보다 약 1000 mm 이상, 약 300%이상 많은

Fig. 8. Annual Rainfall at Observing Point of AWS

강우가 발생하였고, 2008년의 경우 노원지점의 연간강우량이 기상청 지점보다 약 490 mm 이상, 약 150% 이상의 강우가 발생하였다. 최고 강우량의 최대 발생지점은 동대문 지점으로서 1997년, 1998년, 2003년, 2006년에 걸쳐 4회를 기록했다.

3.3.2 지역별 극치강우분석

지역별 극치강우분포를 분석하기 위해 지역빈도해석을 이

용한 확률강우량을 크리깅 기법으로 공간분석 하였다. 연구의 대상은 자료의 통일성을 위해 결측치가 존재하는 지점을 제외하고 자료의 보유기간이 같은 서울시 AWS 20개 지점의 1997년~2011년 간의 강우자료를 선정하였다. 우리나라와 같이 강우의 계절적 특성이 뚜렷한 경우, 연초과치 계열에 대하여 강우를 분석하는 것이 합리적이나, 간편성을 이유로 연 최대치 강우자료를 통한 확률강우량을 산정하는 것이 일반적

Table 3. Ratio of Maximum to Minimum Annual Rainfall

년도	최고			최저			편차 (mm)	최고/최저 (%)
	총강우량 (mm)	관측 지점	구분	총강우량 (mm)	관측 지점	구분		
1997년	1560.3	동대문	강북	483.5	중구	강북	1076.8	322.7
1998년	2273.5	동대문	강북	139.6	한강	강남	877	162.8
1999년	1892.0	마포	강북	1333	송파	강남	559	141.9
2000년	1452.5	도봉	강북	776	양천	강남	676.5	187.2
2001년	1511.1	영등포	강남	855	송파	강남	656.1	176.7
2002년	1497.9	송파	강남	962.3	도봉	강북	535.6	155.7
2003년	2154.5	동대문	강북	1630	광진	강북	524.5	132.2
2004년	1565.0	강서	강남	1095	동대문	강북	470	142.9
2005년	1532.5	노원	강북	1108.5	중구	강북	424	138.2
2006년	1784.5	동대문	강북	1329	강서	강남	455.5	134.3
2007년	1221.5	노원	강북	841	은평	강북	380.5	145.2
2008년	1364.5	노원	강북	872	기상청	강남	492.5	156.5
2009년	1634.0	도봉	강북	1206	중구	강북	428	135.5
2010년	1930.0	강서	강남	1554	노원	강북	376	124.2
2011년	2032.5	도봉	강북	1563.0	중구	강북	469	130.0

Fig. 9. Local Frequency Analysis(Return Period: 100 yr)

이다. 따라서 본 연구에서는 연최대치와 연초과치자료에 대한 빈도해석을 재현기간 10, 50, 100 및 200에 따른 지속시간 1, 6, 12 및 24시간에 대하여 실시하였다. 빈도해석에 적용한 연최대치 자료에 대한 확률분포형은 Gumbel model, GEV model을 적용하였고, 연초과치 자료에 대한 확률분포형은 Seasonal model과 GP model을 적용하였다. Fig. 9는 재현기간 100년에 따른 지속시간 1, 6, 12 및 24시간에 대한 Seasonal model의 지역빈도해석 결과에 따른 확률강우량을 나타내며, Table 4는 각 확률분포형에 따른 100년 빈도 6시간에 대한 결과를 보여준다. 강우 분포의 음영은 유사한 결과 값을 보여주고 있으나, 모든 재현기간에 있어서 Seasonal model이 가장 많은 확률강우량을 나타내고 있다.

동일 재현기간일 경우 지속시간이 길어질수록 마포, 동대문 일원에서 확률강우량이 높게 산정되었으며, 지속시간 6, 12시간의 경우 마포, 동대문, 동작 및 강남지방이 다른 지역보다 높게 나타났고, 지속시간 24시간일 때, 강동, 중랑, 마포 지

방에서 높은 값을 보였다. 또한 동일 지속시간일 경우 재현기간이 길어질수록 재현기간이 짧을 경우에 발생한 강우특성보다 더 뚜렷하게 나타났다. 그러나 지속시간에 따른 강우특성 차이보다는 그 차이가 심하지 않았고 지역적으로 뚜렷하게 구분된 강우는 확인되지 않았다. 이러한 결과는 기존의 기상청 강우관측소 지점의 분석결과만 의존하는 서울시 치수 계획에 보다 현실적인 극치강우분포를 제시하여 지역별 강우특성을 고려한 치수계획 수립의 필요성을 보여준다.

3.3.3 실제 극치 강우의 분석

2010년 9월 21일 서울과 인천 등을 중심으로 내린 집중호우로 강서구 및 양천구, 강남구 그리고 광화문일대에 침수피해가 집중적으로 발생하였다.

이 집중호우는 전형적인 국지성 호우로서 12시에서 17시 사이의 6시간 여 동안 대부분의 강우를 발생시켰다. 13시를 기준으로 강서지점의 경우 시간당 98.5 mm의 기록적인 강우

Table 4. Probability Rainfall According to Probability Distribution(100yr, 6hr)

자료계열	확률분포형	최대강우량	발생위치	최저강우량	발생위치
연최대치	Gumbel model	365mm	마포, 동대문	268mm	성북, 광진
	GEV model	267mm	마포, 동대문	196mm	성북, 광진
연초과치	Seasonal model	388mm	마포, 동대문	291mm	성북, 광진
	GP model	274mm	동대문	215mm	성북, 광진

Table 5. Maximum Rainfall and Frequency by Duration Time(September 21th, 2010)

관측소	누가우량 (mm)	지속시간별 최대 강우량(mm)							
		1hr.	확률빈도	6hr.	확률빈도	12hr.	확률빈도	24hr.	확률빈도
강남	293.0	65.5	5년	278.5	500년	291.0	100년	293.0	10년
서초	261.0	51.5	2년	247.0	200년	259.0	50년	261.0	5년
강동	274.5	72.5	10년	257.5	300년	268.5	50년	274.5	10년
송파	275.5	57.5	3년	259.5	300년	272.5	70년	275.5	10년
강서	293.0	98.5	50년	283.5	500년	291.5	100년	293.0	10년
양천	269.0	71.0	10년	260.0	300년	268.0	50년	269.0	10년
도봉	95.5	15.5	2년이하	79.5	2년이하	94.0	2년이하	95.5	2년이하
동대문	229.5	57.5	3년	213.5	70년	227.5	20년	229.5	5년
중랑	227.5	55.5	3년	212.0	70년	223.5	20년	227.5	5년
기상청	228.5	71.5	10년	220.0	80년	228.0	20년	228.5	5년
마포	280.5	84.0	20년	271.5	500년	279.5	80년	280.5	10년
서대문	275.5	75.0	10년	264.0	300년	274.0	70년	275.5	10년
광진	263.5	67.5	5년	248.5	200년	260.0	50년	263.5	5년
성북	170.0	43.5	2년이하	159.5	10년	169.0	5년	170.0	2년
용산	263.0	49.0	2년	250.0	200년	259.5	50년	263.0	5년
은평	180.5	47.0	2년	166.5	10년	179.5	5년	180.5	2년
금천	194.0	60.5	3년	180.5	20년	193.0	5년	194.0	3년
한강	267.5	64.0	5년	256.0	300년	265.5	50년	267.5	10년
중구	264.0	71.5	10년	248.0	200년	262.0	50년	264	5년
성동	259.5	63.0	5년	242.0	200년	254.0	30년	259.5	5년
구로	229.5	76.5	10년	219.5	80년	228.5	20년	229.5	5년
강북	130.5	28.5	2년이하	113.5	3년	129.0	2년	130.5	2년이하
관악	159.5	73.5	10년	145.5	5년	157.5	3년	159.5	2년
영등포	257.5	55.5	3년	248.0	200년	256.0	30년	257.5	5년

를 뿌렸으나, 관악 지점은 5.5 mm에 그쳐 두 지점간의 시간당 강우량의 편차가 약 20배 가까이 나는 것으로 나타났다. 또한 14시를 기준으로 서대문 지점의 경우 시간당 75.0 mm의 강우가 기록되었으나, 도봉 지점의 경우 시간당 15.5 mm 내리는데 그쳤다. 마찬가지로 17시를 기준으로 관악 지점에서 시간당 73.5 mm를 기록하였으나, 강서 지점에서는 시간당 2.0 mm에 그치며 두 지역 간 강우량 편차가 최대 300배 이상의 차이를 보였다.

따라서 이 기간의 호우에 대해 지속기간별 최대 강우량을 도출하고 이에 따른 해당지속시간의 재현기간(확률빈도)을 제시함으로써 강우의 지역적 편차를 확률빈도 개념으로 정량화하였다. 해당 집중호우의 지속기간별 최대강우량에 대한 확률빈도를 산정하기 위한 기준으로는 서울시 기상대의 1973년~2011년 강우자료에 대한 빈도해석 결과를 적용하였다. 빈도

해석에는 FARD모형을 사용하였고, 매개변수 추정에는 확률가중모멘트법을 적용하였고, 확률분포형은 Gumbel 분포형을 선정하였다. Table 5에 빈도해석한 결과를 제시하였으며 관측지점별 지속시간 6시간 경우, 강서, 강남, 마포 지점에서 500년 빈도에 해당되는 기록적인 강우가 기록된 반면, 성북, 강북, 관악 지점 등에서 10년 이하에 해당되는 강우가 기록되었고, 도봉 지점에서는 2년 이하의 빈도를 가진 강우가 발생하였다.

3.3.4 크리깅 기법을 적용한 강우의 공간 분석

본 연구에서는 AWS 관측소의 강우자료를 이용한 서울시내 16개 배수구역의 정량강우량을 산정하기 위해서 2010년 9월 21일 서울시에 내린 집중호우를 크리깅 기법으로 분석하였다. AWS 관측소의 좌표를 이용하여 관측소별 거리를 구하고 분

Table 6. Estimated Parameters of Theoretical Variogram

일 시	Nugget	Sill	Actual range	일 시	Nugget	Sill	Actual range
09/21 06시	0.01	0.1	4	09/21 15시	0.01	300	10
09/21 07시	0.01	0.11	4	09/21 16시	0.01	425	12
09/21 08시	0.01	0.65	4	09/21 17시	0.01	400	5
09/21 09시	0.01	3	6	09/21 18시	0.01	0.3	5
09/21 10시	0.01	2.5	7	09/21 19시	0.01	7	5
09/21 11시	0.01	5	7.5	09/21 20시	0.01	0.18	4.5
09/21 12시	0.01	90	7.5	09/21 21시	0.01	10	5
09/21 13시	0.01	620	10	09/21 22시	0.01	0.3	5
09/21 14시	0.01	250	10

(a) 2010.09.21.06:00

(b) 2010.09.21.14:00

(c) 2010.09.21.15:00

(d) 2010.09.21.22:00

Fig. 10. Comparison of Experimental Variogram and Theoretical Variogram

Fig. 11. Spatial Distribution of Rainfall Using Kriging(September 21 th, 2011)

리거리별로 식 (1)에 의해 계산되어진 값에서 거리별 그래프를 도시하고 베리오그램을 완성하였다. 윤강훈 등(2004)은 낙동강 유역에 크리깅 기법을 이용하여 홍수강우의 공간해석에 관한 연구에서 낙동강 유역을 크게 4개의 대유역으로 분할하였으며, 공간상관도는 exponential model, 반분산도는 분할한 유역에 따라 monomial model과 spherical model형이었다. 김홍태(2003)는 실험적 모델로서 exponential model과 monomial model을 적용하였으나 본 연구에서는 실험적 모델에 의한 자료의 분석결과 spherical model에 의한 실험적 모델이 주어진 자료를 잘 반영하는 것으로 판단되었으므로, 자료들의 방향성을 고려한 공간적인 변화도의 척도로서 spherical model을 이용하여 각 격자점에서의 정량강우량을 산정하였다. Table 6은 spherical model의 주요 매개변수 결과값을 나타내고 있고, Fig. 10은 해당 시간별로 작성한 실험적 베리오그램 및 이론적 베리오그램을 나타내고 있다. 분리거리 0에서도 베리오그램이 0이 아닌 상수값을 나타낼 수 있는데 이를 nugget이라하며, nugget의 값은 주어진 자료가 짧은 분리거리에서 나타내는 자료의 불확실성을 나타낸다. 본 연구에서는 nugget의 값이 0.01로 매우 작은 값을 가지며 이는 넓게 분포한 자료를 이용하여 가까운 거리에서의 자료 특성을 찾으려는 한계로 인한 불확실성이 매우 작다는 것을 의미한다. sill은 문턱값으로 이는 자료의 분산을 나타내며 분리거리가 증가하여 일정한 거리가 되면 자료값들이 아무런 상관관계를 가지지 않을 때 베리오그램이 가지는 값이다. actual range는 자료들이 상관관계를 보이는 최대 분리거리이다. 강우의 시작시점과 종료시점에서는 분리거리가 약 5 km 내외이고 강우강도가 큰 시점에서는 10 km이상으로 강우강도가 커짐에 따라 상관거리도 증가한다. 즉, 강우강도에 따라 상관정도를 나타내는 거리가 달라지고 있다. 즉, 강우강도가 증가할수록 공간상관도 역시 증가하였다. 또한, 강우초기 및 강우종료 시점의 관측오차는 약 0.5 mm, 강우강도가 큰 시점에서는 약 0.3 mm로 나타났다.

Spherical model에 의해 산정된 전체 모의시간에 대한 매개변수는 각 자료들에 대한 시간별 지형통계학적 특성들을 잘 나타내고 있으며, 이러한 값들을 이용하여 강우 관측자료에 대한 크리깅 분석을 수행하였다. 크리깅 분석에 대한 주

요시간별 결과는 Fig. 11에 나타내었다. 크리깅 분석을 통한 강우 분포를 살펴보면 해당 집중호우가 지역적이고 국지적인 편차를 뚜렷이 가지고 발생하였음을 알 수 있다. 최용준(2000)이 분석한 연평균 강우량의 공간분포와는 다른 양상을 가지고 있다. 즉, 1996~1999년의 AWS관측 자료의 분석결과 풍상지역에 위치하는 우장산, 도봉산 및 북한산에 많은 강우량이 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 고도, 풍상 및 풍하의 위치에 따라 다른 강우패턴을 보이던 과거와는 달리 기후변화에 영향을 미치는 도시화로 인하여 강우패턴이 영향을 받고 있음을 언급하였다. 2010년과 2011년에 서울지역에서 발생한 강우패턴에서 확인할 수 있었다.

서울시 16개 배수구역별 면적평균강우량을 크리깅 기법을 통하여 산정하였다. Fig. 12는 공간 분포된 강우를 분석하기 위한 1 km×1 km 크기의 격자망 및 격자망에서의 강우관측소 위치를 보여주고 있으며 Fig. 13은 서울시 16개의 배수구역도를 나타내고 있다. 크리깅 분석에 의한 강우량은 각 격자마다 할당되어 있으므로 배수구역에 대한 면적 평균 강우량은 소유역에 포함된 격자의 강우량을 합산한 후 격자의 개수로 나눔으로써 평균강우량을 계산할 수 있다. 추가적으로 Thiessen 가중법에 의한 평균강우량을 산출해 크리깅에 의한

Fig. 12. Grid for Kriging

Fig. 13. Drainage district in Seoul Area

면적평균강우량과 비교 · 제시하였다.

배수구역별 면적평균강우량은 Fig. 14에 제시하였으며, Fig. 15는 크리깅 분석을 통해 산정한 각 배수구역별 면적평균 누가강우량을 나타낸 것이다. 해당 집중호우로 강서배수구역, 성내배수구역, 뚝도 배수구역과 마포배수구역 등에 270 mm에 가까운 누적강우량을 기록한 반면, 청계 배수구역은 224 mm, 중랑 배수구역은 174 mm의 누적강우량을 기록해 배수구역별

로 최대 100 mm에 가까운 편차가 발생한 것으로 나타났다. 최용준(2000)은 금강 본류의 상류지역을 대상으로 연구한 결과 유역의 면적 평균강우량 산정시 지형학적 특성을 고려할 수 있는 kriging을 적용하는 것이 단순 수학적 방법에 의해 면적 평균강우량을 한정하는 것보다 물리적으로 타당할 것으로 판단하였으나, 실제 분석결과 관측소의 수에 따라 다른 양상을 보이고 있다. 대상 관측소가 배수구역 면적에 비해 상대적으로 적은 강서 및 망원과 같은 배수구역에서는 티센가중법으로 해석한 면적평균강우량이 과대추정 되고 있음을 확인할 수 있었다. 상대적으로 대상 관측소가 배수구역 면적에 비해 상대적으로 많은 독도, 안양천, 마포 배수구역에서는 티센가중법으로 해석한 면적평균강우량이 약간과소추정 되었으나 큰 차이가 발생하지 않았다. 배수면적에 당 관측소의 수를 Table 7에 제시하였다. Table 7에서 확인할 수 있듯이 배수면적당 해당관측소의 수가 적은 지역은 티센가중법으로 해석한 면적평균강우량이 크게 산정되었으나, 노량진과 망원의 경우 배수면적당 해당관측소의 수가 많아 조밀한 지역에 해당됨에도 불구하고 티센가중법으로 해석한 면적평균강우량이 크게 산정되었다. 배수구역내 해당관측소의 수와 인근관측소의 수가 차이가 많은 경우, 크리깅 분석의 분산에 관한 문제로 판단된다.

따라서 정확한 분석을 위해서는 약 20 km²당 해당 배수구
역내에 관측소가 1대 이상 필요할 것으로 판단된다.

(a) Gangseo

(b) Mangwon

(c) Chunggyecheon

(d) Noryangjin

Fig. 14. Rainfall of Each Drainage district(Sep. 21, 2011)

Fig. 15. Areal Average Accumulated Rainfall(Sep. 21, 2011)

Table 7. Ratio of the Number of Stations to Area

배수구역	면적 (km ²)	해당관측소수	관측소/면적	인근관측소수 (반경5km내)	관측소/면적	최대면적평균강우
강서	37	1	0.03	2	0.08	Thiessen
안양천	104	6	0.06	4	0.11	Kriging
노량진	15	1	0.07	5	0.40	Thiessen
반포	38	1	0.03	2	0.08	Thiessen
탄천	74	2	0.03	1	0.04	Thiessen
성내	43	1	0.02	0	0.02	Thiessen
뚝도	13	2	0.15	4	0.46	Kriging
중랑	113	4	0.04	6	0.09	Kriging
청계	62	3	0.05	5	0.13	Kriging
용산	13	1	0.08	3	0.31	Kriging
육천	12	0	0.00	1	0.08	Thiessen
마포	10	1	0.10	5	0.60	Kriging
홍제	7	1	0.14	2	0.43	Kriging
망원	21	1	0.05	3	0.19	Thiessen
불광	32	1	0.03	1	0.06	Thiessen
창릉	12	0	0.00	2	0.17	Kriging

4. 결 론

본 연구에서는 서울시 AWS 강우자료 및 서울기상대의 자료의 시공간적 통계적 특성을 크리깅 기법과 이동평균법을 적용하여 분석하였다. 그리고 2010년 서울에서 발생한 집중호우에 대하여 크리깅 기법을 적용하여 배수구역별 면적평균 강우량을 산정하여 티센면적가중법에 의한 결과와 비교하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 강우의 시간적 특성을 파악하기 위하여 가중이동평균법과 지수이동평균법을 적용하였으며 서울시 기상대와 AWS 강우자료의 분석 결과, 서울시 강우특성은 시간적으로 장마기간을 제외한 여름철에 강우일수에는 큰 변화

가 없으나 장마기간을 제외한 6월~9월까지의 강우량, 집중호우 발생빈도가 증가하고, 공간적, 지역적 편차를 가지는 것으로 확인되었다.

- 2) 자료의 분석결과 spherical model에 의한 실험적 모델이 주어진 자료를 잘 반영하는 것으로 판단되었으므로, 자료들의 방향성을 고려한 공간적인 변화도의 척도로서 spherical model을 이용하여 각 격자점에서의 정량강우량을 산정하였다.
- 3) 강우의 시작시점과 종료시점에서는 분산거리가 약 5 km 내외이고 강우강도가 큰 시점에서는 약 10 km이다. 즉, 강우강도에 따라 상관정도를 나타내는 거리가 달라지고 있다. 강우초기 및 강우종료 시점의 관측오차는 약

0.5 mm, 강우강도가 큰 시점에서는 약 0.3 mm로 나타났다.

- 4) 강우 지점간의 가중선형을 이용한 크리깅 기법을 적용하여 2010년 9월 21일 집중호우 사상을 분석해 배수구역별 면적평균누강우량을 비교해본 결과 지역적 차이가 나타났다. 대상구역의 관측소가 적을 경우 크리깅 기법을 적용하여 티센가중법의 과대추정의 위험을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-0008716).

References

- Ahn, G.H. (2000) *The Spatial Distribution of Precipitation in Seoul Area.*, Masters thesis, Konkuk University, Seoul, Korea.
- Cheng, K.S., Chiang, W., Cheng, Y.B., and Yeh, H.C. (2003) Effect of Spatial Variation Characteristics on Contouring of Design Storm Depth., *Hydrological Processes*, Vol. 17, pp. 1755-1769.
- Chio, H.A., Song, C.C., Lee, W.K., and Kwak, H.B. (2008) Analyzing Spatio-temporal Variability of Temperature and Precipitation in Seoul., *Conference of KSIS*, Vol. 15, No. 2, pp. 455-460.
- Chio, K.H. (2004) *Development of a Flood Runoff and inundation Analysis System Associated With 20D Rainfall Data Generated Using Radar.*, PH.D. dissertation, Kyungpook National University, Daegu, Korea.
- Chio, Y.J. (2000) *Estimation of Areal-Averaged Precipitation Using Kriging.*, Master's thesis, Chungnam National University, Daejeon, Korea.
- Kim, H.T., Shin, H.S., and Park, Y.W. (2003) A Method in Calculation the Basin Mean Precipitation Using Kriging-Application to Nakdong River Basin., *Conference of KSCE*, pp. 2148-2152.
- Kim, Y.H., Gu, H.J., and Nam, J.C. (2005) Evaluation of Urban Effect Based on the Spatial and Temporal Characteristics of Rainfall in the Seoul Region. Seoul., *Journal of The Seoul institute*, Vol. 6, No. 2, pp. 165-183.
- Kwon, S.J. (2011) *A Study on Estimation of Probable Precipitation in Urban Area under Climate Change.*, Masters thesis, University of Seoul, Seoul, Korea.
- Lee, H.Y. (1998) Precipitation of Summer Season in Seoul and Fringe Area., *Journal of The Korean Geographical Society*, Vol. 23, No. 1, pp. 1-15.
- Moon, Y.I., Son, C.Y., Chang, M.S., and Yoon, S.G. (2011) A Selection of Rainfall Time Distribution in Urban stream and Analysis of Climate Change Effect., *Conference of Korea Water Resources Association*, pp. 278.
- Oh, T.S., Ahn, J.H., Moon, Y.I., and Kim, J.S. (2005) A Study of the Urbanization Effect on the Precipitation Pattern in Urban Areas., *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 10, pp. 885-894.
- Sun, S. and Mein, R.G. (2000) Flood Estimation using Radar and Rainage Data., *Journal of Hydrology*, Vol. 239, pp. 4-18.
- Um, M.J., Jeong, C.S., and Cho, W.C. (2009) Analysis of Precipitation Distribution in the region of Gangwon with Spatial Analysis (I): Classification of Precipitation Zones and Analysis for Seasonal and Annual Precipitation., *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 9, No. 5, pp.103-113.

© Received January 24, 2013

© Revised January 30, 2013

© Accepted May 22, 2013