

임하 유역 강우의 공간적 특성에 관한 연구

A Study on Spatial Characteristics of Rainfall in Imha Basin

이 상 진^{*,†} · 이 배 성^{*} · 강 부 식^{**} · 황 만 하^{*}

Sang-Jin Lee · Bae-Sung Lee · Bu-Sick Kang · Man-Ha Hwang

Abstract

In this study, spatial characteristics of rainfall in Imha basin were investigated by cross-correlation analysis among rainfall gaging stations and rainfall-runoff analysis used in HEC-HMS model for analysis of influence on observed rainfall. The Kriging technique was applied to rainfall analysis in Imha basin to reflect spatial characteristics of regional rainfall. Their results are compared to rainfall-runoff data with spatially distributed rainfall data as well as the classical Thiessen method. The results by kriging technique approached by geostatistical method could reflect spatial characteristics of regional rainfall properly in Imha basin.

Keywords : Flash flood, Spatial analysis, Area-average Rainfall, Rainfall-runoff

I. 서 론

최근 일련의 집중호우로 인하여 효율적이고 안전한 치수 및 방재에 대한 관심이 어느때 보다 높다. 집중호우는 비교적 단시간동안 좁은 지역에 오는 국지성과 임의의 제한된 지역에서 급격히 발생한 후 소멸하는 돌발성, 야간에 발생하는 야행성, 열대성 저기압에 의해 남태평양으로부터 올라오는 태풍 등 다양한 형태를 보이기 때문에 예보와 방재활동이 쉽지 않다. 특히 우리나라와 같이 강우의 계절

성이 심하고 아울러 산악지형의 영향으로 강우의 공간적 변동성이 큰 지역의 공간강우 분석에 대한 중요성은 상대적으로 크다. 지형통계학적(geostatistical) 기법을 이용한 강우현상의 공간적 분석은 예전부터 수자원 계획 및 관리를 위하여 중요한 관심사였다. 수문변수의 공간변동 해석은 한정된 범위의 관측자료로부터 미계측지점 및 면적평균값을 추정하는데 필요하며, 이를 고찰하여 강우-유출분석에 의한 홍수예경보 등과 같은 수문학적 연구에 활발히 응용되고 있다.

강우의 시간적 공간적 분포가 유출수문곡선에 미치는 영향은 여러 연구(Nicks, 1982, Hamlin, 1983, Milly와 Eagleson, 1988)에서 증명되어 왔다. Abteew 등(1993)은 월강우량의 공간 분석을 통해 여러 가지 공간내삽법 중 크리깅 기법의 우수성을 입증하

* 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소
** 단국대학교 공과대학교 토목환경공학과
† Corresponding author. Tel.: +82-42-860-0431
Fax: +82-42-860-0349
E-mail address: sjlee@kowaco.or.kr

였으며, 윤용남 등(2002)은 강우의 관측오차와 이로부터 발생하는 유출오차를 정의한 후, 강우관측소의 밀도를 다양하게 변화시켜 강우의 관측오차가 유출해석에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 김홍태 등(2003)은 낙동강 유역을 중심으로 크리깅기법을 이용한 지속시간별-재현기간별 확률강우량을 산정하여 유역단위로 구분함으로써 유역별 평균강우량을 산정하였다.

본 연구에서는 지형적 영향에 의한 강우의 공간적 변동성이 크다고 판단되는 임하유역을 대상으로 공간강우의 교차상관 분석을 통하여 유역강우의 공간변동성을 파악하고, 강우-유출 모의를 통하여 관측강우가 유출계산에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 공간적인 통계특성을 반영하기 위해 크리깅기법을 이용하여 면적평균강우량을 산정하여 전통기법인 산술평균법 및 Thiessen의 가중평균법과 비교하였다.

II. 크리깅 기법의 기본이론

수문변수의 공간적인 변동성은 주로 공간상관(spatial correlation) 및 반분산(semi-variogram)으로 공간적인 상관성을 정량적으로 설명할 수 있으며, 이 두 함수들은 일반적으로 공간적인 의존성이나 상관성을 나타내는 척도로 사용되고 있다. 이 두 공간함수들은 공간 오차 분석을 통해 면적 평균이나 공간적 내외삽 기법에 대하여 추정된 변수의 정확도 및 신뢰도를 평가할 수 있으며, 특히 대표적 지형통계 기법인 크리깅 기법은 반분산을 이용하여 공간상의 추정오차를 최소화하여 미계측 지점의 값을 내삽하는 방법이다.

일반적으로 반분산을 이용한 최적보간 기법을 크리깅 기법이라고 하며 공간현상에 대한 공간적인 변동성을 표현하기 위해 반분산을 이용한다. 크리깅기법은 공간현상이 등방성의 반분산을 가지며 공간현상의 평균 및 분산도 공간적으로 균일하다는 가정을 포함한다. 크리깅 기법은 보통 일반 크리깅

(ordinary Kriging)이라고 부르며, 또한 범용 크리깅(universal Kriging)은 불균일한 공간현상에 적용될 수 있다.

공간변수의 임의 지점 u_0 에서 지점 추정치 $Z(u_0)$ 는 측정지점 u_1, u_2, \dots, u_m 에서의 관측값 $Z(u_1), Z(u_2), \dots, Z(u_m)$ 의 선형가중 조합으로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z(u_0) = \sum_{j=1}^M w_j Z(u_j) \dots \dots \dots (1)$$

여기서, w_j 는 표본지점 u_j 에서의 $Z(u_j)$ 에 대한 가중치, M 은 표본지점의 총수이며, 직각좌표계에서 $u = (x, y)$ 로 x 는 수평, y 는 수직방향의 좌표를 나타낸다.

식 (1)은 지점 추정에 사용되는 식이며 가중치 w_j 를 산정하기 위해 다양한 기법들이 사용될 수 있다. 식 (1)에서 가중치의 무편향(unbiased) 최소 분산 추정치를 구하기 위해 가중치의 합은 1이 되어야 하며 평균제곱오차는 최소가 되어야 한다. 무편향 조건을 만족하는 평균제곱오차는 다음 식 (2)와 같다.

$$MSE_p = 2 \sum_{j=1}^m w_j \gamma(d_{0j}) - \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M w_j w_i \gamma(d_{ij}) \quad (2)$$

여기서, $\gamma(\cdot)$ 는 등방성 반분산이며, 라그랑지 방법을 이용하면 함수는 식 (3)과 같이 최소화된다.

$$F = 2 \sum_{j=1}^M w_j \gamma(d_{0j}) - \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M w_j w_i \gamma(d_{ij}) \dots (3) \\ - 2\lambda \left[\sum_{j=1}^M w_j - 1 \right]$$

식 (3)의 함수를 가중치와 라그랑지 계수 λ 에 관하여 미분하면 다음 식 (4)를 구할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^M w_i \gamma(d_{ij}) + \lambda = \gamma(d_{0j}), j=1, \dots, M \dots \dots (4a)$$

$$\sum_{i=1}^M w_i = 1 \dots\dots\dots(4b)$$

식 (4)는 $M+1$ 개의 방정식으로 최적가중치 w_i^* 를 구하기 위해 동시에 계산할 수 있으며, 최소평균제곱오차는 계산된 최적가중치를 이용하여 식 (4)를 식 (2)에 대입함으로써 다음 식 (5)을 구할 수 있다.

$$MSE_p^* = \sum_{j=1}^M w_j^* \gamma(d_{op}) + \lambda^* \dots\dots\dots(5)$$

III. 결과 및 고찰

1. 강우관측망 분석 및 강우자료의 신뢰도 분석

유역 강우의 공간적 특성 및 정확한 유출량을 파악하기 위해서는 우선, 기 구축된 강우관측망이 유역의 강우를 대표할 수 있는지 여부와 함께 관측된 강우자료의 신뢰성이 확보되었는지 여부를 파악하여야만 한다. 이에 본 연구에서는 강우관측망에 대

한 적정성 및 관측된 강우자료의 신뢰도 평가를 실시하였으며 분석결과는 다음과 같다.

가. 강우관측망 분석

본 연구대상 유역은 경상북도 안동시 임하면에 위치하며 낙동강 상류의 지방1급하천인 반변천과의 합류점으로부터 17.4 km 상류지점에는 1992년에 준공된 임하댐이 있다. 유역면적은 1,361 km²으로 댐이 준공된 1992년 이후 유역의 연평균강우량은 1,050.6 mm로서 전국평균 1,283 mm의 81.9%에 불과한 과우지역에 속한다. 임하유역의 지형은 Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 동쪽으로 주왕산(EL. 720.6 m) 등의 높은 산지가 자리잡고 있으며, Fig. 1(b)와 Fig. 1(c)의 티센망도에 나타낸 것과 같이 강우관측소는 2001년도에 8개소로 증설되어 관측 밀도가 증대되었다. 임하유역의 실시간 전송장비를 갖춘 강우관측소에 대한 현황은 Table 1과 같다.

본 연구에서는 현재 구축되어 있는 강우관측망이 유역의 강우를 대표할 수 있는지 여부를 판별하기 위해 유역내 강우관측소의 고도분석을 실시하였으며 그 결과는 다음 Table 2와 같다. 강우관측소의

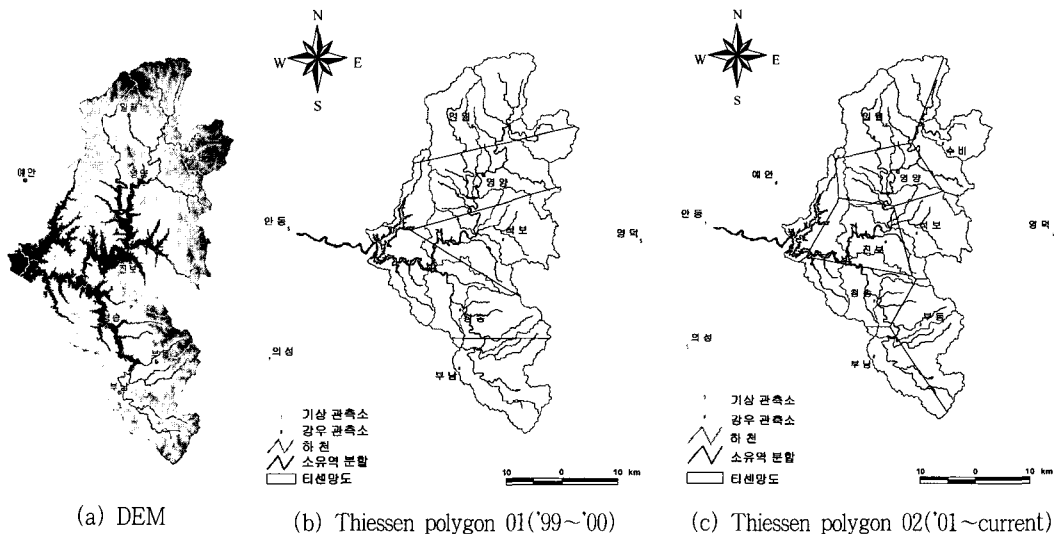


Fig. 1 DEM and Thiessen polygon in Imha basin

고도분석시 Fig. 1(a)의 DEM을 이용하여 티센망 내의 격자별 표고값을 면적가중평균하여 티센망내 유역의 평균고도로 산정하였으며, 이를 관측소의 표고와 비교·분석하였다. 관측소의 고도는 현지조사를 통해 얻어진 GPS 측량성과와 GIS 기반상의 자료를 이용하여 추정하였으나, 티센망내 유역의

평균고도가 GIS 기반으로 산정되어 일관성 있는 비교·분석을 위해 고도분석시 관측소의 고도는 GIS상의 자료를 이용하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 강우관측소의 고도분석 결과 강우관측망내 모든 관측소들의 고도는 해당관측소의 티센다각형내 평균고도보다 작은 것으로 나타났다. 또한 본 연구에서는 강우사상별 총강수량에 대한 관측소별 고도분석을 실시하였으며, 분석결과는 다음 Fig. 2와 같다. 강우량은 지형·지세, 산지의 경사도, 방향성, 기단의 이동방향, 호우발생원인 등의 여러 요인에 영향을 받으며, 따라서 강우량과 관측소고도간의 상관성이 크지 않다. 그러나 일반적으로 관측소 고도가 높을수록 많은 강우량이 예측되며, 따라서 현재 분석 대상 유역내 설치된 관측소의 고도는

Table 1 Rainfall gaging station in Imha basin

T/M gaging station (K-water)	AWS (KMA)	Etc.
Cheongsong, Bunam, Yeongyang, Sukbo, Ilwol, Subi, Jinbo, Budong, Yean	Cheongsong, Yeongyang, Juwangsang, Subi	Juwangsang National Park - Keungol & Gamebong, ROKAF - Ilwolsan

Table 2 Elevation analysis for rainfall gaging stations

Stations	Thiessen coefficient	Average elevation in Thiessen polygon (m)	Station elevation (m)		Relative elevation*
			GIS	GPS	
Yeongyang	14.05	344.1	250	225	0.73
Ilwol	14.65	491.4	309	335	0.63
Subi	9.85	512.4	443	300	0.86
Sukbo	11.36	372.2	185	225	0.50
Bunam	8.48	406.9	290	275	0.71
Budong	11.40	457.7	280	370	0.61
Cheongsong	12.50	308.8	188	245	0.61
Jinbo	17.69	256.0	180	160	0.70

* Ratio of station elevation(GIS) for average elevation in Thiessen polygon

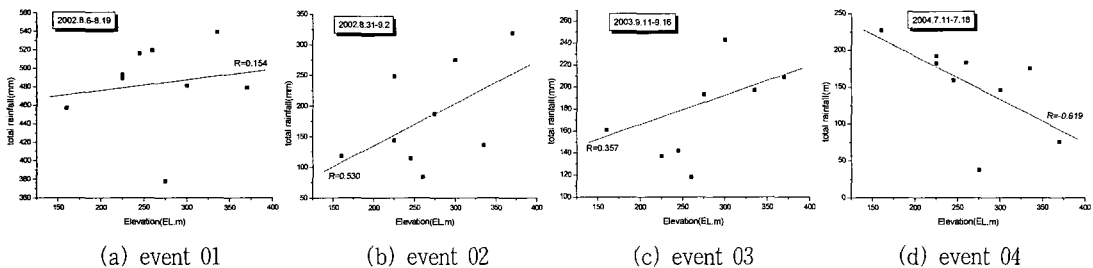


Fig. 2 Elevation analysis for rainfall event

대체로 낮은 고도에 위치하여 실제 강우보다 과소 계측될 가능성이 있는 것으로 분석되었다.

나. 관측강우의 신뢰도 분석

강우관측의 신뢰성을 평가하기 위해서는 다양한 형태의 강우사상에 대한 분석이 요구된다. 본 연구에서는 2000년 이후에 발생한 강우사상 중 호우의 성격에 따라 국지성/장마성호우, 집중호우 및 태풍에 의한 호우로 구분하였으며, 분석대상 호우로는 2002년 8월 집중호우 (2002. 8. 6~8. 19), 2002년 8월 태풍 “루사”, 2003년 9월 태풍 “매미”, 2004년 7월 장마성호우 등 4개의 호우사상을 선정하였고 고도 및 공간분포에 대한 분석을 실시하였다.

Table 3에서 보는 바와 같이 4개의 호우사상에 대한 관측소별 변동계수는 태풍 “루사” 내습시 0.408, 그리고 2004년 7월 장마성 호우시 0.421으로 강우형태와 상관없이 높게 나타났으며, 호우사상별로 변동계수가 0.114~0.421으로 다양한 분포를 나타남에 따라 호우사상에 대한 강우의 지역적 편차가 큰 것으로 분석되었다. 또한 강우관측망의 적정성을 검토하기 위하여 산술평균법과 Thiessen의 가중평균법으로 산정된 면적평균강우총량을 비교·분석하였다. 호우사상별로 산정된 총강수량에 대하여 분석한 결과 각 기법별로 2002년 8월 집중호우 시에는 15.3%의 오차가 발생하였으나, 이외의 3개의 강우사상에서는 5% 내외의 오차가 발생하였다. 따라서 총강수량의 경우에는 면적평균강우 산정기법에 따른 차이가 그리 크지 않음을 알 수 있었다.

그러나 Fig. 3과 같이 시간우량의 시계열도에서 산술평균법과 Thiessen의 가중평균법으로 산정된 면적평균강우량을 각 시간대별로 비교·분석해보면 총강수량에서 보다 그 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 이와 같이 오차가 크게 발생하는 원인으로 Thiessen의 가중평균법은 관측망의 기하학적 면적 대표성을 고려한 개념으로서 관측소의 공간적 불균칙배열을 강수량 산정시 감안해 주기 때문이다. 따라서 연구대상 유역인 임하댐유역의 경우 면적평균강우를 산정하는데 있어서 보다 정확히 공간강우를 고려하기 위해 관측밀도를 개선함은 물론 크리깅 기법과 같은 강우의 공간적 특성을 고려한 면적평균강우의 산정이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 강우의 공간적 변동양상을 살펴보기 위해 한국수자원공사 T/M 강우관측소 인근에 위치한 기상청 AWS(수비, 영양, 청송)의 호우사상별 시장우자료를 활용하여 교차상관분석을 실시하였으며, 분석결과는 다음 Fig. 4와 같다. 교차상관분석시 이용된 관측소간 이격거리는 수비 11.4 km, 영양 3.7 km, 그리고 청송 5.5 km이다. 교차상관분석결과를 시간강우사상의 시계열도와 연결하여 분석해 보면 2002년 8월 집중호우의 경우 국지강수의 이류로 인한 동일시간대에서의 교차상관저하가 관찰되었으며, 루사의 경우에는 AWS시계열상에 결측으로 의심되는 구간이 발생하여 교차상관이 떨어지게 된 것으로 분석되었다. 2004년 7월 집중호우의 경우에도 2002년 8월 호우에서와 마찬가지로 이동성 호우사상의 이류특성으로 말미암아 교차상관이 떨어진 것으로 이는 임하유역 강우의

Table 3 Observed rainfall data for events

Event	Standard deviation (mm)	Coefficient of variation	Thiessen (mm) (A)	Arithmetic (mm) (B)	(A-B)/B
2002. 8. 6 13:00~8. 19 23:00	47.7	0.114	483.06	419.10	0.153
2002. 8. 31 2:00~9. 2 23:00	78.5	0.408	182.76	192.63	-0.051
2003. 9. 12 0:00~9. 16 23:00	42.9	0.224	186.98	191.63	-0.024
2004. 7. 11 18:00~7. 18 24:00	62.9	0.421	159.23	149.25	0.067

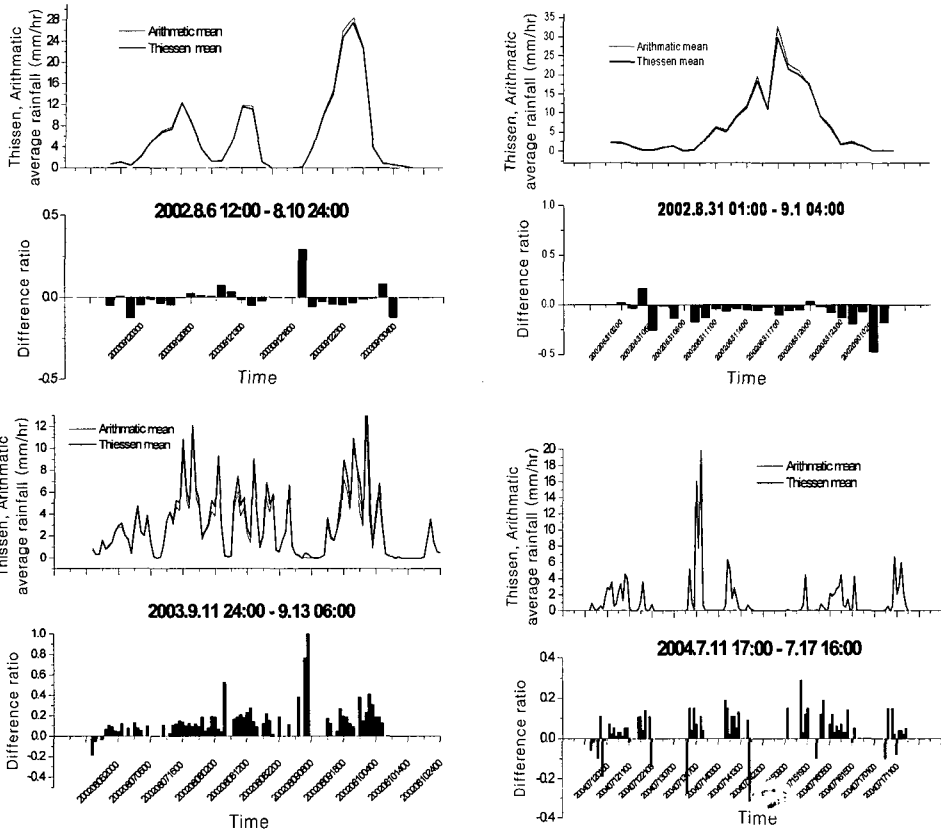


Fig. 3 Time series of average rainfall for events

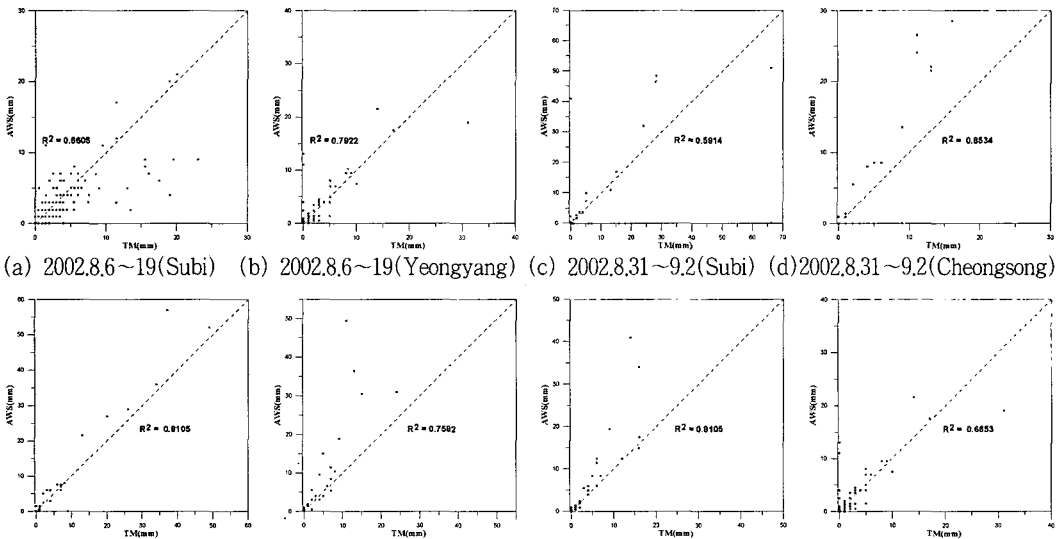


Fig. 4 Comparison between observed rainfall data at T/M station and AWS's

공간적 균질성이 떨어지고, 공간변동성이 크다는 것을 나타낸다.

2. 강우-유출분석

앞에서 언급한 바와 같이 임하댐 유역강우의 공간적 분포 양상이 매우 큰 것으로 나타남에 따라 유역강우의 공간적 특성을 고려한 강우-유출분석이 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 연구대상 유역의 강우-유출 특성을 분석함으로써 유역강우의 추정오차가 유출량 산정에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이에 본 연구에서는 분석모형으로 HEC-HMS 모형을 선정하여 1998~2004년 기간 동안에 발생했던 8개의 집중호우를 대상으로 임하댐유역의 강우-유출 분석을 실시하였다. 분석대상유역의 과거 홍수자료는 한국수자원공사에서 관리하고 있는 수자원관리종합정보시스템(WAMIS)의 자료를 이용하였으며 분석대상 호우는 '99년 8월 호우, '00년 7월 호우, '00년 8월 호우, '02년 8월 집중호우, '02년 태풍 『루사』, '03년 태풍 『매미』, '04년 7월 호우 등 8개이다.

가. 매개변수 추정

강우-유출 분석을 위해서는 우선 매개변수를 추정하며, HEC-HMS 모형에서는 강우-유출분석을

위한 매개변수로 초기손실, 유출곡선지수(CN), 집중시간(Tc), 저류상수(K), 초기기저유량, 감소상수, Threshold 유량 등이 있다. 본 연구에서 매개변수 최적화기법을 이용하여 분석대상 호우사상별로 매개변수를 추정하였으며, 최적화 수행시 채택된 기법은 Univariate Gradient 방법으로 목적함수유형은 Peak-Weighted RMS Error이다. 그러나 매개변수 추정을 최적화 기법에만 의존하여 산정하면 분석대상 유역의 특성을 반영할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 유역의 특성 및 각 호우에 대한 유출특성을 고려하여 매개변수 추정과정 및 최적화를 통해 매개변수를 추정하였고 그 결과는 다음 Table 4와 같다.

추정된 매개변수 중 강우-유출에 가장 큰 영향을 미치는 매개변수는 도달시간 및 저류상수이며 분석대상호우의 평균 집중시간은 6.4이고 저류상수는 4.5로 추정되었다. 각 호우사상별 집중시간 및 저류상수 추정값은 평균값과 큰 차이를 보이지 않았고, 경험공식에 의해 산정된 추정값 7.7, 6.2와도 근사한 것으로 분석되어 추정된 매개변수는 유역의 특성을 잘 반영하는 것으로 판단된다.

나. 분석결과

추정된 매개변수를 이용하여 강우-유출분석을 실시한 결과, 비교적 신뢰성 있는 호우사상에 대해

Table 4 Results of parameter estimation for rainfall-runoff

Event	Date	P5 (mm)	Time of concentration (Tc)	Storage constant (K)	CN	Initial loss	Initial base flow	Recession constant	Threshold discharge	Runoff rate
1	1999.8.18 03:00~8.20 06:00	0.0	6.6	3.4	85	36.4	2.0	0.1	475.7	45.3
2	2000.7.22 24:00~7.25 13:00	1.9	6.5	4.0	67	34.3	3.2	0.1	620.6	36.5
3	2000.8.25 22:00~8.28 21:00	15.1	7.4	4.1	77	12.6	23.9	0.3	458.8	50.6
4	2001.6.24 14:00~6.26 17:00	23.9	7.7	4.3	70	23.5	8.3	0.1	486.6	30.8
5	2002.8. 6 12:00~8.30 24:00	1.3	6.0	5.7	66	16.2	7.9	0.1	916.5	82.7
6	2002.8.31 01:00~9. 2 24:00	33.6	6.0	4.5	72	20.3	85.1	0.2	949.8	101.2
7	2003.9.11 24:00~9.16 24:00	39.2	6.0	4.5	72	20.4	25.2	0.1	698.5	99.0
8	2004.7.11 18:00~7.18 24:00	19.4	6.0	4.2	83	17.8	25.2	0.1	698.5	91.6

여 임하유역의 평균유출률은 54.4%로 산정되었다. 다음 Fig. 5에서 보는 바와 같이 유출률이 유역의 평균유출률에 해당되는 호우사상에서는 모의된 유출량과 실측유출량이 거의 유사한 것으로 나타났다. 그러나, '02 태풍 루사, '03 태풍 매미 등 유출률이 100%를 상회하는 일부 호우에서는 모의유출량이 실측유출량과 비슷한 강우-유출 반응양상을 나타내었으나, 침투유량 등 유출규모면에서 현저히 적게 모의하였다. 유출에 영향을 미치는 가장 큰 인자로는 강우로서 본 연구에서와 같이 일부 호우에 있어 유출량이 적게 모의된 주요 원인으로는 면적평균강우량의 추정오차인 것으로 판단되며, 따라서 본 연구에서는 크리깅 기법을 이용하여 유역강우의 공간적 특성을 고려한 유출분석을 실시하고자 한다.

3. 크리깅 기법을 이용한 강우의 공간분포 분석

가. 대상 호우 및 공간강우분포

앞서 설명한 바와 같이 임하유역은 2001년도에 강우관측소가 8개소로 증설되어 강우관측망이 개선

되었다. 따라서 강우관측망 변화로 인해 추정된 유역강우의 공간분포 변화양상을 살펴보기 위해, 크리깅 기법 적용시 분석대상 호우로 1999년 8월 호우(1999. 8. 18~8. 20)와 2001년 6월 호우(2001. 6. 24~6. 26)를 선정하였다.

우선, 임하댐 유역강우의 공간적 특성을 분석하기 위하여 대상유역을 70 m×100 m 크기의 격자 시스템으로 구성하였으며, 분석대상 호우에 대하여 강우 관측소간 거리에 따른 강우량의 상관성 및 반분산 분석을 실시하였고, 산정된 공간상관도 및 반분산도로부터 크리깅 기법의 매개변수를 산정하였다. 분석대상 기간에 대한 임하댐 유역 강우를 크리깅 기법을 이용하여 매시간 마다 공간 분포시켰으며, 공간 분포된 유역강우로부터 면적평균강우량을 산정하였다. Fig. 6은 분석기간 동안에 면적평균강우량이 가장 크게 추정된 시점에서 유역내 강우의 공간분포를 나타낸 것이다.

나. 면적평균강우량 산정 및 유출 분석

크리깅기법, 산술평균법 및 Thiessen의 가중평

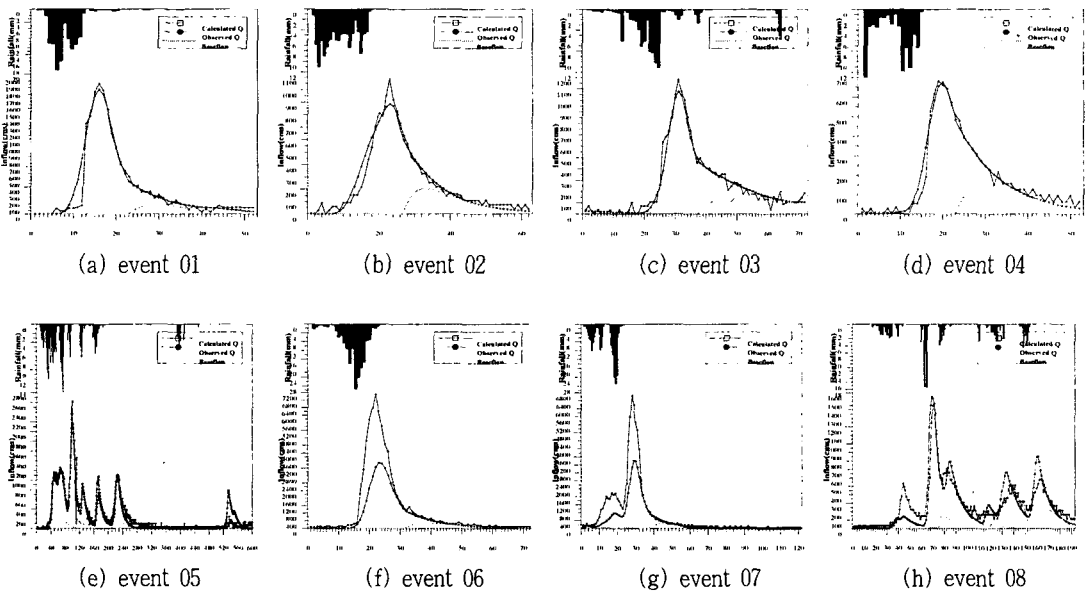
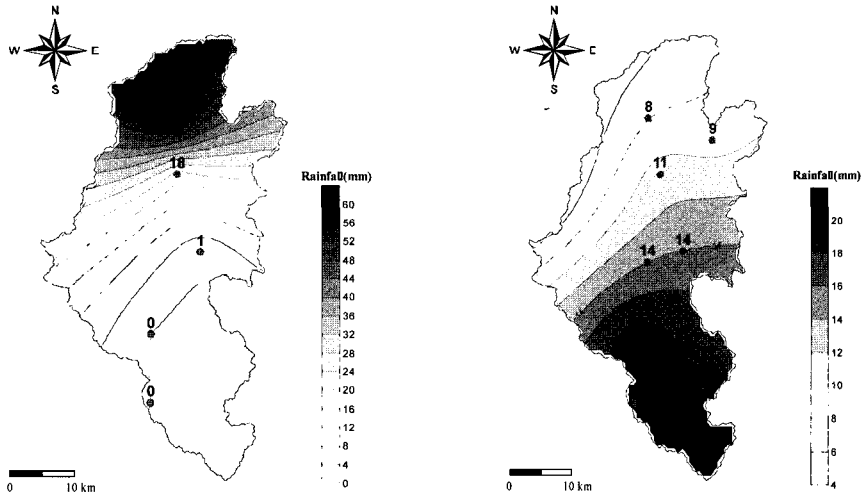


Fig. 5 Results of rainfall-runoff analysis for events



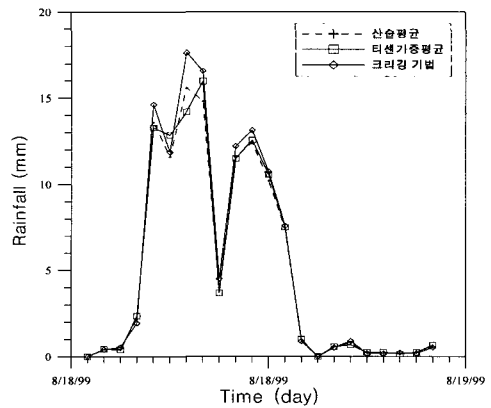
(a) Event 01('99/08) (b) Event 02('01/06)
Fig. 6 Maximum of spatially distributed rainfall data in Imha basin

Table 5 Estimation of cumulated area-average rainfall

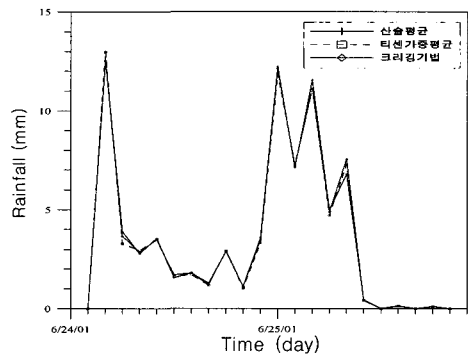
Event	Cumulated area-average rainfall (mm)		
	Arithmetic	Thiessen	Kriging
1999.08.18 03:00 ~ 08.20 06:00	110.60	111.5	117.9
2001.06.24 14:00 ~ 06.26 17:00	78.2	77.3	78.2

균법을 이용하여 면적평균강우량을 산정한 결과는 다음 Table 5 및 Fig. 7과 같다. 누가 면적평균강우량은 Table 5에서 보는 바와 같이 산정기법에 따른 큰 차이가 나타나지 않았으나, Fig. 7(a)의 1999년 8월 호우와 같이 일부 기간에서 공간적 분포 특성을 고려한 크리깅 기법이 다소 크게 산정되었다.

유역강우의 추정오차가 유출계산에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Table 5에서 산정된 면적평균강우량 산정 결과를 이용하여 강우-유출분석을 실시하였으며 결과는 Fig. 8과 같다. 2001년 6월 호우의 경우, 면적평균강우량 산정기법별 유출계산오차는 작은 것으로 나타났으나, 1999년 8월 호우의

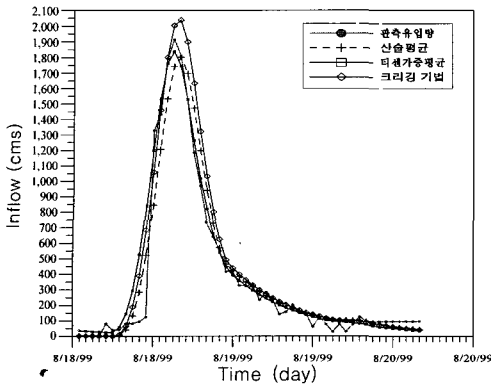


(a) Event 01('99/08)

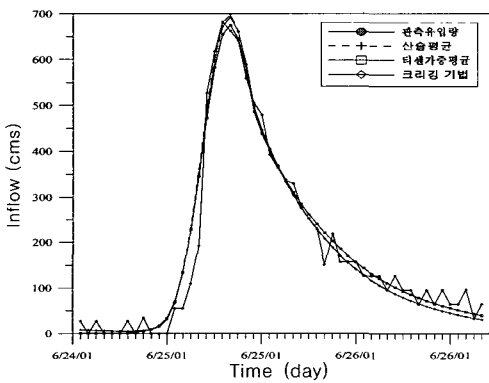


(b) Event 02('01/06)

Fig. 7 Estimation of Area-average rainfall



(a) Event 01('99/08)



(b) Event 02('01/06)

Fig. 8 Result of rainfall-runoff analysis

경우, 첨두유량 모의에서 산술평균과 Thiessen의 가중평균법의 유출계산오차는 각각 170.9 cms, 76.2 cms으로 과소 추정되었고, 크리깅 기법의 유출 계산오차는 90.2 cms으로 과대 산정되었다. 이와 같이 크리깅 기법의 경우 유출계산 오차가 크게 나타난 이유는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 면적평균강우량 산정값이 타 기법들에 비해 크게 산정되었기 때문으로 판단되며 이로부터 면적평균강우량의 추정오차가 유출계산에 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있었다.

IV. 결 론

강우의 공간적 변동성이 크다고 판단되는 임하

유역을 대상으로 강우의 공간적인 통계특성을 반영하기 위해 크리깅 기법을 이용하여 면적평균강우량을 추정함으로써 유역강우의 공간적인 특성을 분석하였다. 또한 면적평균강우량 추정기법 중 기존에 실무에서 널리 사용된 산술평균법 및 Thiessen의 가중평균법을 이용하여 면적평균강우량을 계산하고 각각의 경우에 대한 오차를 평가하였으며, 각 기법들로부터 추정된 면적평균강우 자료를 이용하여 강우-유출분석을 실시함으로써 유역강우의 추정오차가 유출계산에 미치는 영향을 평가하였다. 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 최근 4개의 대규모 호우사상을 선정하여 임하유역의 공간강우 특성을 분석한 결과 강우형태와 상관없이 관측소별 변동계수의 절대값은 0.114~0.421로 다양한 분포를 보임으로써 강우의 지역적 편차가 큰것을 확인하였으며, 국지강우의 이류특성으로 인한 공간강우의 교차상관성의 저하로 공간적 균질성이 떨어지고 공간변동성이 큰 것으로 분석되었다.

둘째, 매개변수 최적화과정을 통해 추정된 매개변수로부터 분석대상 호우인 8개의 호우사상에 대하여 HEC-HMS 모델을 이용한 강우-유출분석을 실시하였다. 분석대상호우의 평균 집중시간은 6.4 이고 저류상수는 4.5로 경험공식에 의한 산정된 값과 근사하였다. 또한 '02년 태풍 루사, '03년 태풍 매미 등 일부 호우에서 유출률이 100%를 상회한 것으로 분석되었으며, 이에 대한 원인 분석을 위해 면적평균강우량 추정오차가 유출에 미치는 영향을 분석하였다.

셋째, 유역강우의 공간적 특성분석을 위해 임하유역을 70 m×100 m 크기의 격자를 기반으로 하는 공간시스템을 구성하였으며, 공간강우량 산정 및 등우선도 작성을 위하여 크리깅 기법을 적용하였다. 또한 산술평균법 및 Thiessen의 가중평균법과 비교한 결과 면적평균강우량의 추정오차가 유출량 산정에 미치는 영향이 매우 큼을 확인하였다.

그러나 유출률이 100%를 상회하는 호우에서는

면적평균강우량 산정기법에 따른 추정오차보다는 계측오차 즉, 관측소 주변의 지형적 장애와 돌풍과 같은 기상학적인 장애요인으로 인해 강우량이 실제보다 과소 관측되어 나타나는 것으로 추정되며, 이에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 21세기 프론티어연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Kim, Hong-Tae, Hyun-Suk, Shin & Yong-Woon, Park, 2003, A Method in Calculation the Basin Mean Precipitation Using Kriging -Application to Nackdong River Basin -, *2003 Korea Society of Civil Engineers Annual Conference*, pp. 2148-2152.
2. Yoon, Yong-Nam, Joong-Hoon, Kim, Chul-Sang, Yoo & Sang-Dan, Kim, 2002, A Runoff Parameter Estimation Using Spatially Distributed Rainfall and an Analysis of the Effect of Rainfall Errors on Runoff Computation, *Journal of Korea Water Resources Association*, 35(1), pp. 1-12.
3. Abtey W., Obeysekera J., & Shih G., 1993, Spatial analysis for monthly rainfall in south Florida, *Water Resources Bulletin*, 29(2), pp. 179-188.
4. Hamlin, M, J., 1983, The Significance of Rainfall in the Study of Hydrological Process at Basin Scale, *Journal of Hydrology*, 65, pp. 73-94.
5. Hydrologic Engineering Center, 1998, HEC-HMS: Hydrologic Modeling System, User's Manual, *U.S. Army Corps of Engineers*, Davis, CA.
6. Milly, P. C. D, and Ealeson, P. S. (1988) Effect of Storm Scale on Surface Runoff Volume, *Water Resource Research*, 24(4), pp. 249-260.
7. Nicks, A. D., 1982, Space-Time Quantification of Rainfall Inputs or Hydrological Transport Models, *Journal of Hydrology*, 59, pp. 249-260.