

## 결측강우보완방법에 따른 분포형 유출모형의 적용성 검증

최용준 · 김연수 · 이기하 · 김주철<sup>1)\*</sup>

충남대학교 토목공학과, <sup>1)</sup>한국수자원공사 K-water 연구원  
(2010년 9월 8일 접수; 2010년 11월 12일 수정; 2010년 11월 20일 채택)

### The Verification of Application of Distributed Runoff Model According to Estimation Methods for the Missing Rainfall Data

Yong-Joon Choi, Yeon-Su Kim, Gi-Ha Lee, Joo-Cheol Kim<sup>1)\*</sup>

Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>1)</sup>Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea

(Manuscript received 8 September, 2010; revised 12 November, 2010; accepted 20 November, 2010)

#### Abstract

The purpose of this research is to understand the change of runoff characteristics by estimated spatial rainfall. Therefore, this paper largely composed of two parts. First, we compared the simulated result according to estimation method, ID(Inverse Distance Method, ID2(Inverse Square Distance Method), and Kr(General Covariance Kriging Method), after letting miss rainfall data to the observed data. Second, we reviewed the runoff characteristics of the distributed runoff model according to the estimated spatial rainfall. On the basis of Yuseong water level station, we select the target basin as Gabchun watershed. We assumed 1 point or 2 point of the 6 rainfall gauge stations in watershed were missed. We applied the spatial rainfall distributed by Kr to Hy-GIS GRM, distributed runoff model. When 1 point rainfall data is missed, Kr is superior to others in point rainfall estimation and runoff estimation of Hy-GIS GRM. However, in case rainfall data of 2 points is missed, all of three methods did not give suitable result for them. In conclusion, Kr showed better applicability than other estimated methods if rainfall's data less than 2 points is missed.

**Key Words :** General covariance Kriging, HyGIS-GRM, Missing rainfall data

#### 1. 서론

이상기후의 영향으로 국지적으로 발생하는 집중호우의 발생빈도가 증가하고 있으며, 이로 인한 홍수피해가 빈번하게 발생하고 있다. 이에 대한 대책수립과 피해예방을 위해서는 정확한 유출량 산정이 필요하

다. 강우를 통해 이러한 유출량을 산정 방법은 크게 집중형 모형과 분포형 모형으로 구분된다. 두 방법은 서로 장단점을 가지고 있어 어느 모형이 우수하다고 단정 지을 수는 없으나 최근 정보처리능력의 발달로 분포형 유출모형에 대한 관심이 커지고 있는 실정이다. 그러나 어떠한 강우-유출 모형이라도 모형의 입력자료인 강우에 대한 정확한 계측이 선행되어야 함은 틀림없는 사실이다. 그러나 강우계에 의해 계측되는 강우량은 자연적, 인위적 요인으로 인한 결측의 위험성을 항상 내포하고 있다. 이로 인해 결측된 강우자료의 보안을 위한 연구가 현재까지도 계속 진행되어 오고

\*Corresponding author : Joo-Cheol Kim, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea  
Phone: +82-42-870-7402  
E-mail: kjoocheol@kwwater.or.kr

있다. 따라서 본 연구에서는 강우의 공간상관성을 고려할 수 있는 Kriging 기법과 일반적으로 널리 사용되고 있는 거리가중법(역거리법과 역거리제곱법)에 의한 결측 보완법을 비교검토하여 전자의 적용성을 검증하고자 하였다.

Kriging 기법은 광석의 함량평가 문제에 최초로 이 이론을 적용한 Krige의 이름을 따서 명명된 공간 내삽 기법의 하나로 수문학 분야에서는 Delfiner와 Delhomme (1973)에 의해 정상성 평균의 가정 하에서 총강우량의 평가에 최초로 적용되었다. 이후 Villeneuve 등(1979)은 stream sampling network 설계에 Kriging 기법을 적용하였으며, Tabios와 Salas(1985)는 강우의 공간변화에 의한 추정기법들을 비교연구 하였다. 또한 Abteu 등(1993)은 월강우량의 공간분석을 통해 Kriging 기법의 우수성을 증명한 바 있다. 최근에는 Rivest 등(2008)에 의해 여러 가지 Kriging 기법을 이용한 수리학적 수두의 공간분포를 실측치와 비교한 결과 drift를 이용한 Kriging 기법의 우수성이 입증되었다. 또한 Basistha 등(2008)은 Kriging 기법과 타기법과의 강우 결측 보간법에 관해 비교 연구를 수행하였으며, Bargaoui와 Chebbi(2009)는 기존의 강우기간(rainfall duration)과 최대강우강도의 영향을 고려한 Kriging 기법과 관측소의 위치, 강우기간 및 강우강도의 영향을 고려한 Kriging 기법과의 비교 연구를 수행하여 강우 관측망의 구성에 후자의 기법의 우수성을 증명하였다. 국내에서는 이 등(1989)은 인접계측 지점의 상관성을 이용하여 결측지점의 자료를 보완 후 다중상관 기법에 의하여 총강우량의 호우곡면을 구성하였으며, 이(1993)은 Kriging을 이용하여 면적 평균강우량을 추정함에 있어 임의 추출 방식의 Kriging 기법을 개발하였다. 윤 등(2004)은 Kriging 기법을 이용하여 낙동강 유역 홍수강우의 공간해석에 관해 연구하였다. 최 등(2010)은 Kriging 기법에 의해 산정된 분포형 강우자료와 면적평균강우 자료를 분포형 유출모형에 적용하여 강우자료의 입력형태(즉, 집중형과 분포형 강우자료)에 따른 유출특성 차이를 비교 분석한 바 있다.

본 연구에서는 대상유역내 임의 강우관측소를 결측지점으로 가정하여 주변관측소의 강우자료로부터 가정 지점의 강우값을 추정하였으며 이를 실제 관측

값과 비교하였다. 또한 각각의 기법에 의해 추정된 값을 이용하여 분포형 강우를 산정하였으며, 이를 분포형 유출모형에 적용해 관측수문곡선과 비교하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 범용 공분산 Kriging 기법

본 연구에서 적용된 결측보완 기법 중 거리가중법들은 일반적으로 널리 사용되는 방법으로 별도로 수식화하여 나타내지 않았으며, 본 연구에서 적용된 범용 공분산 Kriging 기법의 주요 내용은 다음과 같다.

공간상에서 강우의 분포는 제한된 관측 자료를 표본공간으로 하는 확률과정(random process)으로 취급할 수 있다. 대상이 되는 확률과정을 2차원 공간상의 모든 점에서 정의되는 random field(강우량)을  $Z(u_i)$ 라 하고, 임의지점  $i$ 에서의 평균(Drift)을  $\mu(u_i)$ 라 하면 임의의 두 지점 사이의 공간상관성은 다음과 같은 공분산(covariance)에 의하여 나타낼 수 있다.

$$Cov(u_1 u_2) = E[(Z(u_1)Z(u_2)) - \mu(u_1)\mu(u_2)] \quad (1)$$

또한, 지형의 영향을 고려하여 강우량을 추정하기 위해서는 비정상성(non-stationarity)의 개념을 고려하여야 하며, 이를 위해 범용공분산 Kriging 기법에서는 Drift를 다음과 같은  $k$ 차 다항식으로 가정한다.

$$\mu_k(u) = \sum_{i=0}^{l(k)} a_i f^i(u) = \sum_{i=0}^{l(k)} a_i [u_1^{\beta_1} u_2^{\beta_2} u_3^{\beta_3} \dots u_i^{\beta_i}] \quad (2)$$

여기에서  $a_i$ 는 계수이고,  $l(k)$ 는 각각 다음과 같이 정의 된다.

$$l(k) = \frac{(k+1)(k+2)\dots(k+n)}{n!} \quad (3)$$

이 때, 범용공분산을 갖는 Kriging 시스템은 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j K(u_i - u_j) - \theta_0 - \sum_{l=1}^{\nu} \theta_l f^l(u_i) = \frac{1}{A} \int_A K(u_i - u) du \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i f^l(u_i) = \frac{1}{A} \int_A f^l(u) du \quad (6)$$

여기에서  $\lambda_i$ ,  $K(\cdot)$ ,  $\theta$  및  $A$ 는 각각 가중계수, 범용공분산 연산자, lagrange 승수 및 유역면적을 나타낸다. Delfiner(1976)는 Drift의 차수 결정에 있어서  $k=0,1,2$ 를 교대로 가정함으로써 몇 개의 기지의 지점들을 추정하기 위하여  $K(v) = -|v|$ 의 관계를 사용할 것을 제안하였다. Matheron(1973)과 Delfiner(1976)는 결정된 차수  $k$ 에 대해 계수  $\alpha_p$ 가 식 (7)과 같은 조건을 만족할 때, 실수 공간  $R^n$ 에 대한 범용공분산은 식 (8)과 같이 제안하였다.

$$\sum_{p=0}^k \alpha_p x^{k-p} \geq 0 \quad \forall x \geq 0 \quad (7)$$

$$K(v) = \sum_{p=0}^k (-1)^{p+1} \frac{\alpha_p}{(2p+1)!} \frac{I\left(\frac{n}{2}\right) p!}{\sqrt{\pi} I\left(\frac{2p+n+1}{2}\right)} (v)^{2p+1} \quad (8)$$

식 (8)에서 범용공분산의 계수는 다음 식 (9)를 최소로 해주는 값들이 된다.

$$Q(C, \alpha) = \sum_{i=0}^r w_i^2 \left[ Z(\lambda^i)^2 - CT_i^0 - \sum_{p=0}^k \alpha_p T_i^{2p+1} \right]^2 \quad (9)$$

## 2.2. HyGIS-GRM 모형

### 2.2.1. 지표 흐름

지표흐름은 지표면 흐름과 하도 흐름으로 구분할 수 있으며, 이에 대한 유출해석을 위해서 운동과 방정식을 적용하고 있다. 지표면 흐름에서의 연속 방정식은 식 (10)과 같고, 하도 흐름에서의 연속방정식은 식 (11)을 적용한다. 하도에서의 유효강우량을 측방유입

량과 같이 계산하고 있으며, 운동량 방정식은 식 (12)와 같이 기술된다(최 등, 2008).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = P_r - IF_r \quad (10)$$

$$\frac{\partial A_x}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = P_r dy + q_L \quad (11)$$

$$S_0 = S_f \quad (12)$$

여기서  $q$ : 단위폭당 유량(=  $uh$ ),  $h$ : 수심,

$u$ : 유속,  $Q$ : 유량,  $S_0$ : 바닥 경사,

$S_f$ : 마찰경사,  $P_r$ : 강우강도,  $IF_r$ : 침투율,

$t$ : 시간,  $A_x$ :  $x$ 방향에 직각인 단면적,

$q_L$ : 측방유입량이다.

### 2.2.2. 침투

HyGIS-GRM에서는 강우강도가 침투율보다 클 때 발생하는 침투초과유출과 토양의 포화시 발생하는 포화초과유출을 모의할 수 있으며, 침투량 산정을 위하여 green-ampt 모형을 적용하고 있다. 식 (13)은 누가침투량을, 식 (14)는 침투율을 나타낸다(최 등, 2008).

$$F(t) = Kt + \Delta\theta\psi \ln\left(1 + \frac{F(t)}{\Delta\theta\psi}\right) \quad (13)$$

$$f(t) = K\left(\frac{\psi\Delta\theta}{F(t)} + 1\right) \quad (14)$$

여기서  $F(t)$ :  $t$  시간에서의 누가침투량,

$f(t)$ :  $t$  시간에서의 침투율,

$\Delta\theta$ : 토양수분함량변화( $\Delta\theta = (1 - S_e)\theta_e$ ),

$S_e$ : 유효포화도( $S_e = (\theta - \theta_r) / (\eta - \theta_r)$ ),

$\theta$ : 수분함량( $\theta_r \leq \theta \leq \eta$ ),

$\theta_r$ : 잔류 수분함량( $\theta_r = \eta - \theta_e$ ),

$\eta$ : 공극율,  $\theta_e$ : 유효공극율,

$K$ : 수리전도도이다.

또한 초기수분함량( $\theta$ )은 선행강우에 따라서 변화할 수 있으며, 총유출량과 침투유출의 적합성을 위해 보정되는 매개변수이다.

2.2.3. 지표하 유출

HyGIS-GRM에서는 침투가 진행되면서 토양이 포화될 경우에 대해서 식 (15)를 이용하여 지표하 유출을 모의하고 있다.

$$Q_s = KD_s \sin(S_a) \tag{15}$$

여기서  $Q_s$  : 지표하 유출,

$D_s$  : 불투수층 상부의 포화된 토양 깊이,

$S_a$  : 지면의 경사각이다.

HyGIS-GRM 모형에서는 이상의 지배방정식에 대해 유한체적법을 이용하여 이산화 방정식을 유도 하고, TDMA(TriDiagonal Matrix Algorithm) 방법을 이용하여 연립방정식의 해를 구하게 된다. 또한 비선형 항에 대해서는 newton-raphson 방법을 이용하여 반복 계산함으로써 수렴해를 도출하게 된다(최 등, 2008).

2.3. 대상유역

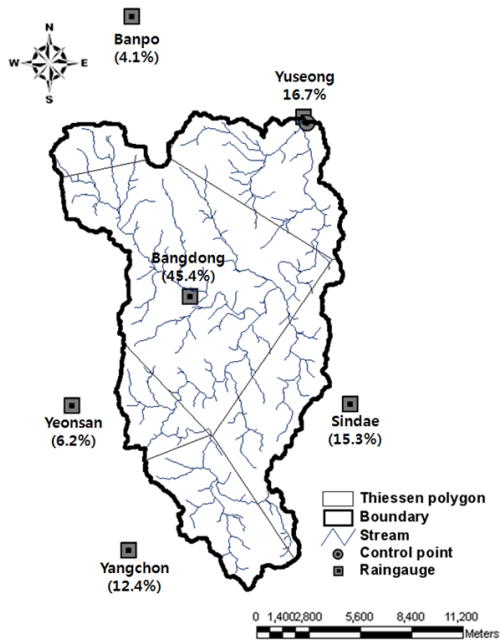


Fig. 1. Target basin.

본 연구 대상유역은 금강수계의 갑천유역 중 유성 수위국을 기준으로 분할된 유역으로 유역면적은 약 250 km<sup>2</sup>이다. 대상유역에 영향을 미치는 강우관측소는 총 6개소로 Fig. 1에 표시하였다. Fig. 1에서 강우관측소의 팔호안의 값은 강우관측소별 티센 다각형에 의한 지배면적비를 나타낸 것이다. 대상 호우사상은 2002년에서 2009년까지 5월에서 10월 사이에 발생한 호우사상을 대상으로 유출률이 70% ~ 85%에 해당하는 사상 중 해당 강우관측소의 강우관측결과와 수위국의 유량측정결과에서 이상치가 존재하지 않는다고 판단되는 사상을 선정하였으며 그 결과는 Table 1과 같다. 분포형 유출모형인 HyGIS-GRM 모형의 적용을 위해 1 : 25,000 수치지형도로부터 대상유역을 30×30 m의 격자로 분할하였다.

Table 1. The selected events in the Yuseong watershed

Event	Starting time (y-m-d)	Ending Time (y-m-d)	Initial moisture content	Manning n	Initial bed slope
S1	03-07-22	03-07-24	0.16		
S2	05-07-11	05-07-13	0.32	0.03	0.014
S3	07-08-29	07-09-01	0.78		

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 강우결측시 결측보완방법에 따른 신뢰성을 평가하기 위하여 지점을 가상으로 결측시킨 후 각 기법에 의해 결측보완된 결과와 실측치를 비교하였다. 특히, 결측 대상지점의 선정에 있어 유역의 지배면적이 제일 큰 지점(방동관측소)을 결측시킨 경우와 지배면적이 큰 상위 두 지점(방동관측소, 유성관측소)을 결측시킨 경우에 대하여 적용하였다. 이 때, 결측보완에 이용된 관측소는 결측관측소를 제외한 모든 관측소를 적용하였다.

각 결측보완방법에 따른 결측된 관측소별 오차를 실측치와 비교하여 평가하였으며, 이러한 내용은 3.1절에 수록하였다. 오차분석 방법은 각 사상별 시강우 자료에 대해 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error), 평균백분율오차(MPE, Mean of Percent

Error) 및 상관계수(CC, Correlation Coefficient)를 적용하였다. 또한 각 결측보완방법에 따른 유출변화를 살펴보기 위해 한국건설기술연구원(2009)에서 개발한 분포형 강우유출모형인 HyGIS-GRM 모형을 이용하였으며, 이에 대한 내용은 3.2절에 수록하였다.

3.1. 강우 결측보완방법에 따른 각 지점의 오차 분석

가상 결측 시킨 유성지점과 방동지점의 각 사상에 대한 관측치와의 오차 분석 결과는 Table 2와 같다. 1개소(방동관측소) 결측시 오차 분석 결과 RMSE, 백분율 오차 및 상관계수에서 타 기법에 비해 비교적 안정적으로 Kriging방법이 양호한 결과가 도출되는 것으로 나타났다. 2개소(방동관측소, 유성관측소) 결측시 S1의 경우에는 두 관측소 모두 Kriging 기법이 양호한 결과를 보였으나, S2의 경우 방동관측소는 세 기법이 모두 비슷한 오차를 나타낸 반면 유성관측소는 역거리제곱법, Kriging 기법, 역거리법의 순으로 오차가 적게 나타났다. 또한 S3 역시 방동관측소의 경우 세기법이 거의 비슷한 오차를 보였으나, 유성관측소는 역거리제곱법, 역거리법, Kriging 기법의 순으로 오차가 적게 나타났다.

3.2. 강우결측보완방법에 따른 분포형유출모형의 유출 모의

각 결측보완방법에 따른 분포형유출모형의 유출결과를 비교하기 위하여 우선 모든 관측소의 실제 관측

자료를 사용한 분포형 강우자료를 이용해 모형의 매개변수를 보정하였다. 각 사상별 보정된 매개변수의 결과는 Table 1에 수록하였다. 여기서 하도의 조도계수는 Chow 등(1988)의 연구를 바탕으로 대상유역 모의에 적합한 계수값을 산정하여 이용하였으며, 초기하상경사와 초기함수비는 한국건설기술연구원(2009)에서 제시한 범위 내에서 시행착오법에 의해 산정하였다. 또한 각각의 경우에 대해 HyGIS-GRM의 분포형 강우자료는 각 결측보완기법별 객관적인 유출변화 분석이 이루어 질 수 있도록 모두 Kriging 기법을 적용하여 작성하였으며, 유출모형의 적용시에는 6개관측소 모두의 자료를 이용하여 모의하였다.

각각의 경우에 대한 유출모의 결과는 Table 3과 같고, 각각의 수문곡선의 비교결과는 Fig. 2 ~ Fig. 7과 같다. Table 2에서 괄호안의 숫자는 관측된 침투유량의 오차율 또는 침투시간에 대한 오차를 나타낸다. Fig. 2 ~ Fig. 7에서 Observed는 유성수위관측소 실측 수문곡선을, Simulate(6k)는 6개 관측소의 강우자료를 이용해 보정된 각 사상별 수문곡선이며, Simulate(5k), Simulate(5i), Simulate(5i2)는 각각 1개소 결측시 Kriging방법, 역거리법, 역거리 제곱법에 의해 결측보완된 강우값에 의해 모의된 수문곡선을 나타낸다. 또한 괄호안의 4k, 4i, 4i2은 2개소 결측에 의해 보완된 각각의 방법을 나타낸다.

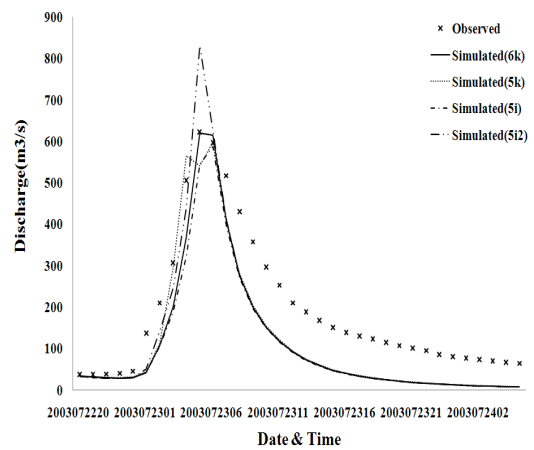
Table 2. The result of error analysis for the missing rainfall data

Event	Method	1 point missing			2 point missing					
		Bang dong			Bang dong			Yu seong		
		RMSE	MPE	CC	RMSE	MPE	CC	RMSE	MPE	CC
S1	ID	30.7	3.2%	0.954	35.9	3.5%	0.948	33.9	3.5%	0.985
	ID2	25.2	2.9%	0.961	27.7	3.0%	0.958	53.5	4.2%	0.980
	Kriging	17.8	2.6%	0.973	18.0	2.9%	0.976	17.8	2.5%	0.983
S2	ID	4.6	1.3%	0.984	6.8	1.6%	0.970	10.8	1.9%	0.963
	ID2	4.4	1.3%	0.985	6.4	1.6%	0.971	13.8	2.1%	0.972
	Kriging	4.5	1.4%	0.994	6.4	1.6%	0.947	29.6	2.4%	0.973
S3	ID	25.7	3.1%	0.874	24.1	3.1%	0.856	10.3	2.1%	0.726
	ID2	23.3	3.0%	0.885	21.9	3.0%	0.867	6.5	1.7%	0.795
	Kriging	22.8	3.0%	0.876	21.9	3.0%	0.856	21.3	3.0%	0.693

**Table 3.** The result of error analysis for runoff in the Yuseong watershed( $Q_p, t_p$ )

Event	Method	Observation		Calibration		1 point missing		2 point missing	
		$Q_p$ (CMS)	$t_p$ (hr)	$Q_p$ (CMS)	$t_p$ (hr)	$Q_p$ (CMS)	$t_p$ (hr)	$Q_p$ (CMS)	$t_p$ (hr)
S1	Kriging					597.5 (-3.9%)	10 (+1)	574.0 (-7.7%)	10 (+1)
	ID	622.1	9	620.7 (0.2%)	9 (0)	587.3 (-5.6%)	10 (+1)	537.6 (-13.6%)	10 (+1)
	ID2					831.3 (+33.6%)	9 (0)	545.9 (-12.2%)	10 (+1)
S2	Kriging					1115.4 (+20.8%)	9 (0)	658.6 (-28.7%)	9 (0)
	ID	923.3	9	923.6 (0%)	9 (0)	807.8 (-12.5%)	9 (0)	682.6 (-26.1%)	10 (+1)
	ID2					847.4 (-8.2%)	9 (0)	698.9 (-19.3%)	10 (+1)
S3	Kriging					391.06 (-14.5%)	20 (-1)	619.6 (+58.6%)	23 (+2)
	ID	457.5	21	455.1 (-0.5%)	20 (-1)	566.7 (+23.9%)	17 (-4)	513.9 (+12.3%)	14 (-7)
	ID2					420.4 (-8.1%)	21 (0)	449.6 (-1.7%)	20 (-1)

S1사상에 대한 1개소 결측시 유출량 변화에 대한 결과는 Fig. 2와 같다. 첨두유량에 대한 백분율 오차를 산정한 결과 Simulate(5k), Simulate(5i), Simulate(5i2)에서 각각 3.9%, 5.6%, 33.6%로 Kriging방법을 이용한 방법이 실측 유량과 가장 근사한 결과를 도출하는 것으로 나타났다. 첨두시간에 있어서는 Kriging 방법과 역거리법을 이용한 경우에서 1시간의 지체가 발생하였으며, 역거리 제곱법을 이용한 경우 실측값과 같은 첨두시간이 발생하였다. S1사상에 대한 2개소 결측시 유출량의 변화에 대한 결과는 Fig. 3과 같다. 첨두유량에 대한 백분율 오차를 산정한 결과 Simulate(4k), Simulate(4i), Simulate(4i2)에서 각각 7.7%, 13.6%, 12.2%로 Kriging방법을 이용한 방법이 실측 유량과 가장 근사한 결과를 도출하는 것으로 나타났다. 첨두시간에 있어서는 모든 방법에 대해서 1시간의 지체가 발생하였다.



**Fig. 2.** Hydrograph of S1 event in the Yuseong watershed (Case of Bangdong raingage missing).

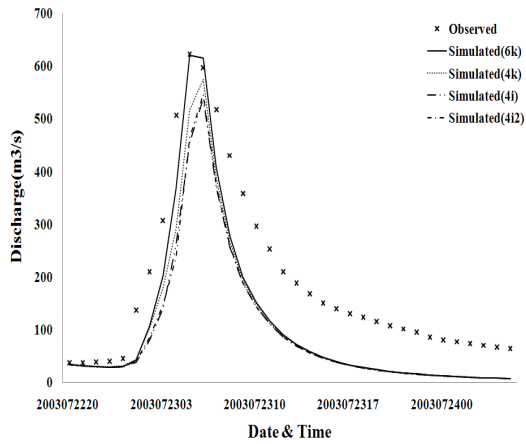


Fig. 3. Hydrograph of S1 event in the Yuseong watershed (Case of Bangdong and Yuseong raingage missing).

S2사상에 대한 1개소 결측시 유출량 변화에 대한 결과는 Fig. 4와 같다. 침투유량에 대한 백분율 오차를 산정한 결과 Simulate(5k), Simulate(5i), Simulate(5i2)에서 각각 20.8%, 12.5%, 8.2%로 역거리 제공 방법을 이용한 방법이 실측 유량과 가장 근사한 결과를 도출하는 것으로 나타났다. 침투시간에 있어서는 모든 방법에서 실측값과 같은 침투시간이 발생하였다. S2사상에 대한 2개소 결측시 유출량 변화에 대한 결과는 Fig. 5와 같으며, 침투유량에 대한 백분율 오차를

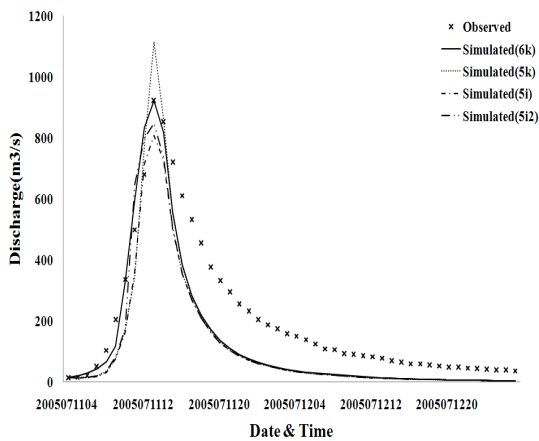


Fig. 4. Hydrograph of S2 event in the Yuseong watershed (Case of Bangdong raingage missing).

산정한 결과 Simulate(4k), Simulate(4i), Simulate(4i2)에서 각각 28.7%, 26.1%, 19.3%로 역거리 제공법을 이용한 방법이 실측 유량과 가장 근사한 결과를 도출하는 것으로 나타났다. 침투시간에 있어서는 Kriging 방법을 이용하는 경우 실측값과 같은 침투시간이 발생하였으며, 역거리법과 역거리 제공법에서는 1시간의 지체가 발생하였다.

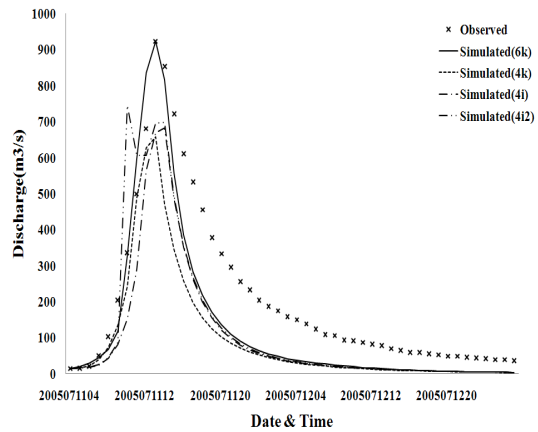


Fig. 5. Hydrograph of S2 event in the Yuseong watershed (Case of Bangdong and Yuseong raingage missing).

S3사상에 대한 1개소 결측시 유출량 변화에 대한 결과는 Fig. 6과 같다. 침투유량에 대한 백분율 오차를 산정한 결과 Simulate(5k), Simulate(5i), Simulate(5i2)에서 각각 14.5%, 23.9%, 8.1%로 역거리 제공법을 이용한 방법이 실측 유량과 가장 근사한 결과를 도출하는 것으로 나타났다. 침투시간에 있어서는 Kriging 방법과 역거리 제공법에서는 실측값에 비하여 1시간 먼저 침투에 도달하는 것으로 나타났으며, 역거리법은 실측값에 비하여 4시간 먼저 침투에 도달하는 것으로 나타났다. S3사상에 대한 2개소 결측시 유출량 변화에 대한 결과는 Fig. 7과 같다. 침투유량에 대한 백분율 오차를 산정한 결과 Simulate(4k), Simulate(4i), Simulate(4i2)에서 각각 58.6%, 12.3%, 1.7%로 역거리 제공법을 이용한 방법이 실측 유량과 가장 근사한 결과를 도출하는 것으로 나타났다. 침투시간에 있어서는 Kriging 방법을 이용하는 경우 실측값 비하여 두 시간 늦게, 역거리법에서는 실측값에 비하여 8시간 먼

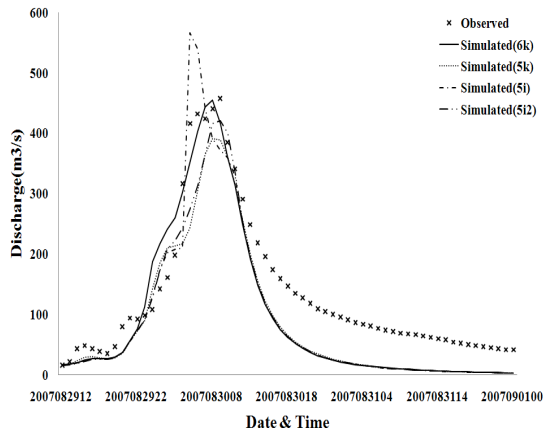


Fig. 6. Hydrograph of S3 event in the Yuseong watershed (Case of Bangdong raingage missing).

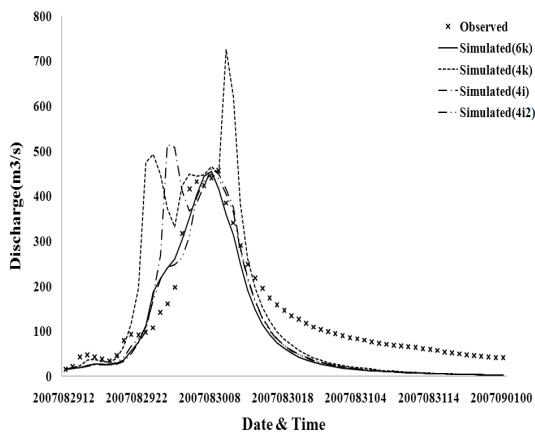


Fig. 7. Hydrograph of S3 event in the Yuseong watershed (Case of Bangdong and Yuseong raingage missing).

저, 역거리 제공법에서는 실측값에 비하여 1시간 먼저 첨두에 도달하였다.

3.3. 결과 고찰

강우 관측에 있어서 결측이 발생할 경우 정확한 결측보완 방법을 선정하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 모든 사상에 대하여 낮은 오차 뿐만 아니라 오차의 범위, 즉 안정성도 같이 평가하는 방법이 적합하다고 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 결측지점에 대한 보완결과, 분포 강우의 총강우량 및 첨두유량과 첨두 시간에 대한 오차 및 안정성을 종합적으로 고려하여 분석하고자 하였다.

결측 지점에 대한 결측 보완결과 Table 2에서 볼 수 있듯이 1개소 결측시에는 적용된 세 기법 모두 비교적 양호한 오차 결과를 보였으나 Kriging방법이 역거리 법과 역거리 비하여 안정적인 결과를 나타냈다. 2개소 결측시 유역 내부의 방동지점은 1개소 결측과 마찬가지로 Kriging 기법이 타 기법에 비해 안정된 결과를 나타냈으나, 유역 외부의 유성지점은 오차 분석의 경우 역거리 제공법이 비교적 양호한 결과를 나타냈다. 그러나 적용기법 모두 안정성은 낮은 것으로 나타났다. 이는 세 기법 모두 내삽법을 기반으로 한 방법이기 때문에 판단된다. 따라서 현재 6개의 관측소들이 모두 내삽이 될 수 있도록 결측보완에 이용된 관측소의 공간적 범위를 확장하여 적용한다면 향상된 정도의 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대되며, 특히 이러한 방법을 적용할 경우 1개소 결측의 경우와 2개소 결측의 경우 중 유역내부의 방동지점의 결과를 미루어 때 Kriging 기법이 안정된 결과를 나타낼 수 있을 것으로 기대된다.

또한 다음 Table 4는 각 사상에 대해 미결측시 Kriging 방법에 의해 산정된 분포형 강우의 총량과 결측보완 후 각 보완 방법별 총강우량을 비교한 결과이다. 총강우량의 경우 1개소 결측의 경우 세 기법 모두

Table 4. Comparison of errors of total amount about distributed rainfall

Method	Errors of total amount about distributed rainfall (%)				
	S1	S2	S3	Mean	
1 point missing	Kriging	3.8	5.6	6.7	5.37
	ID	2.8	11.6	3.3	5.90
	ID2	5.9	7.6	5.5	6.33
2 point missing	Kriging	4.30	17.80	36.70	19.60
	ID	6.60	17.70	11.30	11.87
	ID2	8.10	5.10	2.00	5.07



약 5~6%의 비교적 낮은 오차를 나타냈으며, 2개소 결측의 경우에는 역거리 제공법이 평균 5.1%로 가장 우수하게 나타났다. 오차의 안정성은 1개소 결측의 경우 Kriging 방법이, 2개소 결측의 경우 역거리 제공법이 비교적 양호하게 나타났다.

또한 Table 3에서 보여지듯이 침투유량의 경우 1개소 결측의 경우 세 기법 모두 약 13~16%의 평균오차를 나타냈으나, Kriging 기법이 사상별 오차의 범위가 가장 안정되게 나타남을 알 수 있었다. 반면 2개소 결측의 경우에는 역거리 제공법이 평균 11.1%의 오차로 가장 양호한 결과를 보였다. 침투시간의 경우에는 1개소 결측과 2개소 결측에서 모두 Kriging 기법(평균 1.7 시간 오차)과 역거리 제공법(평균 1시간 오차)이 역거리 방법(평균 4.7 시간 오차)에 비해 비교적 안정되고 양호한 결과를 보임을 알 수 있었다.

이상의 결과들을 종합적으로 판단하여 볼 때 1개소 결측의 경우에는 Kriging 기법의 결측 보완방법이 타 기법에 비해 비교적 안정된 양호한 결과를 나타내는 것으로 판단되며, 다중 결측시에는 결측관측소의 위치에 따라 Kriging 기법과 역거리 제공법을 선택적으로 사용하여야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 갑천 상류 유역을 대상으로 역거리법, 역거리제공법 및 Kriging 기법을 중심으로 결측보완방법별 관측 강우자료와 결측보완된 값의 오차분석, 보완 기법별 분포형강우자료의 총강우량 평가 및 각 방법에 의해 결측보완된 강우자료를 바탕으로 분포형 유출모형에 의한 모의결과와 관측수문곡선의 침투유량과 침투시간을 비교 연구한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다. 이상의 모든 분석을 통해 역거리법은 본 연구에서 적용된 다른 2가지 기법에 비해 신뢰성이 낮은 것으로 나타났다. 반면 Kriging 기법과 역거리제공법은 역거리법에 비해 상대적으로 높은 신뢰도를 나타내고 있으며, 특히 1개소 결측의 경우에는 Kriging 기법이 타 기법들에 비해 상대적으로 안정적이고 양호한 결과를 나타내며, 2개소 결측의 경우에는 결측 관측소의 위치에 따라 Kriging과 역거리제공법이 상대적으로 양호한 결과를 나타내는 것을 알 수 있

었다. 그러나 본 연구에서 적용된 세 기법은 모두 내삽법을 기반으로 한 기법들로 강우 결측보완 시 대상유역에 영향을 미치는 관측소 자료만 뿐 아니라 이들을 포함한 외부의 관측소 자료를 포함하여 보완하는 방법이 좀 더 효율적인 방법이 될 것으로 판단된다. 본 연구에서는 침투유량과 침투시간에 대한 비교·분석을 실시하였으나 향후 유출총량의 변화에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되며, 본 연구결과와 더불어 향후 강우관측소의 결측위치에 따른 분석이 이루어진다면 강우자료 결측 시 분포형 유출모형의 적용방향에 많은 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

윤강훈, 서봉철, 신현석, 2004, 크리깅 기법을 이용한 낙동강 유역 홍수강우의 공간해석 연구, 한국수자원학회지, 37(2), 223-240.

이상일, 1993, 임의추출방식 크리깅을 이용한 평균면적우량의 추정, 한국수문학회지, 26(2), 79-87.

이재형, 이동주, 박영기, 1989, 호우의 환상스펙트럼 추정, 한국수문학회지, 22(2), 201-211.

최용준, 김주철, 2010, 강우 자료 형태에 따른 분포형 유출 모형의 적용성 평가, 수질보전 한국물환경학회지, 26(2), 252-260.

최윤석, 김정탁, 이진희, 2008, 유한체적법을 이용한 격자 기반의 분포형 강우-유출 모형 개발, 한국수자원학회지, 41(9), 895-905.

한국건설기술연구원, 2009, HyGIS Tutorial.

Abtew, W., Obeysekera, J., Shih, G., 1993, Spatial analysis for monthly rainfall in south Florida, Water Resour. Bull., 29(2), 179-188.

Bargaoui, Z. K., Chebbi, A., 2009, Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall, J. Hydrol., 365, 56-73.

Basistha, A., Arya, D. S., Goel, N. K., 2008, Spatial Distribution of Rainfall in Indian Himalayas - A Case Study of Uttarakhand Region, Water Resour. Manage., 22, 1325-1346.

Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W., 1988, Applied hydrology. McGraw-Hill, 110-147.

Delfiner, P., Delhomme, J. P., 1973, Optimum Interpolation by Kriging, in: Davis, McCullagh, (eds.), Display and analysis of Spatial Data, New

- York: Wiley, 49-68.
- Delfiner, P., 1976, Linear Estimation of Non-Stationary Spatial Phenomena. *Advanced Geostatistics in the mining Industry*, Guarascio, M., et al., (eds.) Dordrecht, Holland, D. Reidel, 49-68.
- Matheron, G., 1973, The Intrinsic Random Eunctions and Their Applications, *Adv. Appl. Prob.*, 5, 439-68.
- Rivest, M., Marcotte, D., Pasquier, P., 2008, Hydraulic head field estimation using kriging with an external drift: A way to consider conceptual model information, *J. Hydrol.*, 361, 349-361.
- Tabios, G. Q., Salas, J. D., 1985, A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Interpolation of Precipitation, *AWRA Water Resour. Bull.*, 21(3), 365-80.
- Villeneuve, J. P., Morin, G., Bobée, B., Leblanc, D., 1979, Kriging in the Design of Streamflow Sampling Networks, *Water Resour. Res.*, 15(6), 1833-40.