

공간 분포된 강우를 이용한 유출 해석

Runoff Analysis using Spatially Distributed Rainfall Data

이 중 형* · 윤 석 환**

Lee, Jong hyeong · Yoon, Seok Hwan

Abstract

Accurate estimation of the spatial distribution of rainfall is critical to the successful modeling of hydrologic processes. The objective of this study is to evaluate the applicability of spatially distributed rainfall data. Spatially distributed rainfall was calculated using Kriging method and Thiessen method. The application of spatially distributed rainfall was appreciated to the runoff response from the watershed. The results showed that for each method the coefficient of determination for observed hydrograph was 0.92~0.95 and root mean square error was 9.78~10.89 CMS. Ordinary Kriging method showed more exact results than Simple Kriging, Universal Kriging and Thiessen method, based on comparison of observed and simulated hydrograph. The coefficient of determination for the observed peak flow was 0.9991 and runoff volume was 0.9982. The accuracy of rainfall-runoff prediction depends on the extent of spatial rainfall variability.

Keywords : Spatially distributed rainfall, Kriging, Modified Clark model

I. 서 론

강우현상의 공간적 변동성에 대한 해석은 수자원 계획 및 관리를 위해 중요한 관심사가 되고 있다. 일반적으로 얻을 수 있는 강우량 자료는 우량계에 의하여 관측된 지점우량자료이다. 특정지점에 대한 비교적 정확하면서 직접적인 관측치를 제공하는 지점 자료를 이용하여 새로운 지점에서의 자료를 예

측하는 모형으로 다양한 방법론이 제안되고 있다. 이중 산술평균법이나 Thiessen 다각형법은 면적평균강우량 산정기법을 도입하여 강우-유출 모형의 강우 입력 자료로 사용하고 있다. 그러나 이러한 방법들은 강우의 일반적 특성을 고려해 볼 때, 유역 전체에 균일한 강우가 발생될 경우는 희박하며, 강우 지속기간동안의 강우 깊이는 호우 중심지역으로부터 면적이 증가할수록 점차로 감소하게 되는 강우의 공간적 불균일성을 반영하기엔 부족함이 있다.

이러한 강우의 공간적 특성을 반영하기 위해 수치고도자료를 이용하여 대상유역을 소유역으로 분할함으로써 강우의 공간특성 반영 및 소유역별 유출 매개변수를 산정하고 유역분할에 따른 유출 현

* 공주대학교 건설환경공학부 교수

** 충북대학교 토목공학과 강사, 공학박사

* Corresponding author. Tel.: +82-41-550-0291

Fax: +80-41-550-0127

E-mail address: jhlee@kongju.ac.kr

상에 대한 연구가 진행되고 있다(김경탁, 2003). 이러한 소유역의 분할은 적정 소유역 분할 방법 및 소유역의 변경시에 따른 면적평균강우량의 재 산정이 문제가 되고 있다.

크리깅 기법은 데이터의 공간적 상관성에 입각하여 관측되지 않은 지점에서의 예측값을 제공하며, 예측값의 불확실성을 정량화할 수 있는 장점으로 인해 수자원 분야에서 강우의 공간적 상관성 분석(Chau and Bras, 1982; Bacchi and Kottegda, 1995), 설계 강우의 공간분석(Cheng etc., 2003; 윤강훈 등., 2004; 김광섭 등., 2004)에 적용하였다. Eulogio(1998)는 연평균강우자료를 공간적으로 분포시키기 위해 크리깅 기법과 Thiessen법을 이용하여 강우자료를 공간적으로 분포시켰으며, Goovaerts(2000)는 연, 월 강우자료를 이용하여 크리깅기법, 역거리법, Thiessen법을 이용하여 강우자료만을 이용한 경우와 강우자료와 DEM(Digital Elevation Model) 조합한 방법을 적용하여 강우를 공간적으로 예측한 결과를 상호 비교·분석하였다. 강우의 공간적 특성변화의 고려는 유역내 유출의 변화 및 감시를 위하여 각 격자별 강우량이

입력자료로 활용되어 각 격자별 유출 특성을 파악하게 되는 분포형모형의 중요한 역할을 하게 된다.

본 연구에서는 크리깅 기법을 이용하여 정확한 홍수예측 및 수자원 관리에 필요한 격자기반의 공간분포 강우를 산정하여 기존의 강우 보간방법과의 비교를 통해 정확도를 개선하며, 격자마다 공간분포된 강우자료를 이용하여 유출 분석을 실시함으로써 크리깅 기법에 따른 공간분포 강우가 유출에 미치는 영향을 분석하였다.

II. 기본이론

1. Modified Clark (ModClark) 모형

ModClark 모형의 개념은 Clark의 개념적인 강우-유출 모형에서 사용하고 있는 기본원리를 기초로 하여 공간적으로 분포된 강우자료의 모의 기능을 추가한 것이다. ModClark 모형에서 직접유출은 유수의 전이와 저류로 크게 나누어진다. 유수의 전이효과는 유역전반으로부터 유역출구까지 유수의 도달시간과 관련되어 있으며, 저류효과는 유역의

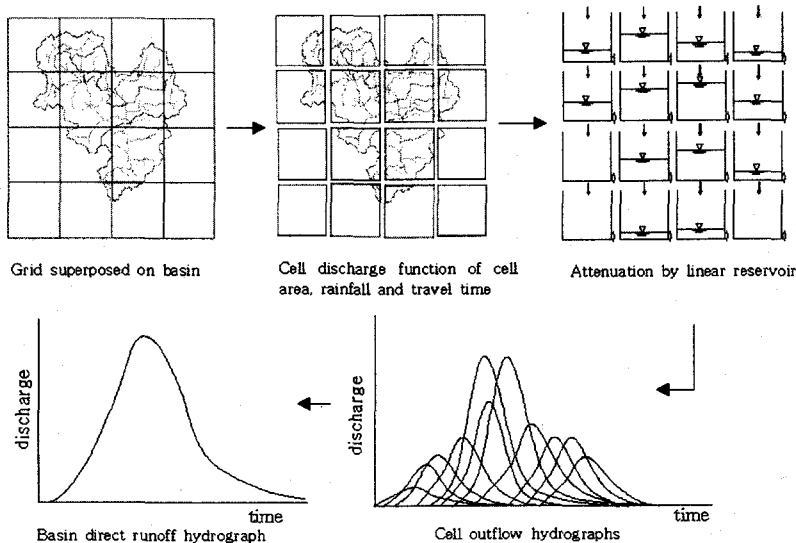


Fig. 1 Basic concepts of ModClark unit hydrograph

자연적인 저류에 의한 지체현상으로 설명될 수 있다. ModClark 모형을 개념적으로 도식화하여 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1과 같이 대상유역을 포함할 수 있는 격자 형태로 구분하며, 지점강우량은 크리깅 기법을 적용하여 분할된 격자마다 강우량을 공간적으로 분포시킨다. 공간적으로 분포된 강우량 및 유역의 격자자료를 이용하여 유출모의를 수행하게 된다.

ModClark 모형의 적용을 위해 필요한 유역의 격자자료는 각각의 격자면적과 해당 격자로부터 유역출구까지의 이동거리이다. 유역출구까지의 도달시간은 각각의 격자마다 고유하게 설명되며, 해당 격자로부터 유역출구까지의 이동거리에 비례한다. 특정 격자의 도달시간은 식 (1)과 같이 산정된다.

$$t_{cell} = T_c \frac{d_{cell}}{d_{max}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 T_c 는 유역 전체의 도달시간, t_{cell} 은 해당 격자로부터 유역출구까지의 도달시간, d_{max} 는 유역출구로부터 이동거리가 가장 긴 격자의 유역출구까지 이동거리를 나타낸다.

각각의 격자로부터 발생하는 유출량은 격자면적에 비례한다고 가정한다. 각각의 격자로부터 지체된 초과우량은 식 (2)와 같이 선형저수지를 통하여 추적된다.

$$O_i = \left[\frac{\Delta t}{K+0.5\Delta t} \right] I_{avg} + \left[1 - \frac{\Delta t}{K+0.5\Delta t} \right] O_{i-1} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 O_i 는 시간 i 에서의 직접유출, K 는 저류상수, I_{avg} 는 시간 $i-1$ 에서 i 사이의 평균유입량이며, Δt 는 시간구간이다.

본 연구에서 사용된 ModClark 모형은 유역에 구축된 각각의 격자에 해당하는 도달시간-누가면적관계를 사용하여 순간 단위유효우량으로 인하여

직접유출수문곡선을 유도한 후, 전체 유역출구에 1개의 선형 저수지가 존재한다고 가정하여 선형저수지를 추적함으로써 해당유역의 직접유출 수문곡선을 얻게 된다.

2. 크리깅(Kriging) 기법

본 연구에서는 지점강우를 공간적으로 분포시키기 위해 주위에 알려진 값들의 상호관계에 따른 가중치를 구하여 미지의 값을 예측하는 크리깅 기법을 적용하였다. 크리깅 기법에는 평균을 안다는 가정하에 사용할 수 있는 Simple 크리깅과 평균을 모르지만 일정하다고 가정하여 사용하는 Ordinary 크리깅, 그리고 공간에 대한 경향성을 고려한 Universal 크리깅 등으로 구분되고 있다.

이미 알고 있는 n 개의 자료값을 이용하여 크리깅에 의한 지점 x 에서 미지의 값의 예측은 식 (3)과 같이 표시되고 오차분석은 식 (4)와 같이 표시할 수 있으며 이를 최소로 하는 가중치들을 결정한다.

$$z(x_0)^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma^2 = E[\{z(x_0) - z(x_0)^*\}^2] \dots\dots\dots (4)$$

여기서 $z(x_0)^*$ 는 예측하고자 하는 지점 x_0 에서의 자료 값, $z(x_i)$ 는 이미 알고 있는 지점 x_i 에서의 자료 값, n 은 자료의 총수, λ_i 는 사용된 주위의 각 자료의 가중치, σ^2 는 오차분산이다.

식 (4)의 오차 분산은 참값과 예측값의 차이의 제곱에 대한 기대값으로 정의되며 가중치의 함수이다. 식 (4)는 각 크리깅 기법에 의해 정상성의 가정 및 공분산과 분산의 관계식으로 표시하여 연구에서 활용된 3가지 크리깅 기법의 오차 분산은 식 (5)~(7)과 같다.

$$\sigma_{SK}^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \sigma_{0i}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \sigma_{ij}^2 \dots (5)$$

$$\sigma_{OK}^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \sigma_{0i}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \sigma_{ij}^2$$

with a constraint $1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0 \dots \dots (6)$

$$\sigma_{UK}^2 = \sigma^2 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \sigma_{0i}^2 + \sum_{k=0}^K \omega_k f_k(x) \dots \dots (7)$$

여기서 $\sigma^2 = Var\{z(x_0)\}$,

$$\sigma_{0i}^2 = Cov\{z(x_0), z(x_i)\},$$

$$\sigma_{ij}^2 = Cov\{z(x_i), z(x_j)\} \text{ 이고, } f_k(x) \text{ 는}$$

차수 K로 알려진 함수, ω 는 라그랑지 매개변수이다.

식 (5)~(7)의 오차분산을 최소로 하는 가중치를 구하여 미지의 값을 산정한다.

III. 대상유역 및 수문자료처리

1. 대상유역

연구의 대상유역은 국내의 여러 유역 중 수문자료의 계속기간이 오래되었고, 관리가 비교적 양호한 유역이며 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 보청천 유역을 연구 대상유역으로 선정하였다. 보청천 유역은 금강수계의 동부에 위치하고 있으며 유역면적은 476.68 km², 하천연장 49 km의 중소유역으로, 건설교통부에서 설치한 12개의 우량관측소와 5개의 수위관측소가 설치되어 자료의 습득이 용이하고 결측자료의 보완이 잘 이루어져 있는 곳이다. Fig. 2는 보청천 유역의 우량관측지점(○)과 수위관측지점(●)을 나타내었다.

2. ModClark 매개변수 산정

ModClark 모형의 적용을 위해 필요한 유역의 격자자료는 각각의 격자면적, 해당 격자로부터 유역출구까지의 이동거리, 격자의 좌표 및 유출곡선

지수이다. 본 연구에서는 HEC-GeoHMS 모듈을 이용하여 데이터 처리단계 및 지형처리단계를 수행하여 지형특성인자와 수문학적 특성인자를 산정하였으며, 대상유역의 유역모델을 구축하였다. 또한 Grid-cell 파일을 생성하기 위해 격자파일 형식은 SHG(Standard Hydrologic Grid)형식을 사용하였다. 공간분포된 강우량 및 격자마다의 매개변수는 격자크기 1,000 m의 셀 영역에 대해 추출하여 입력자료로 활용하였으며, 격자크기 1,000 m로 분할된 유역은 Fig. 3과 같고, Table 1은 Grid-cell 파일에서 생성되는 인자들의 일부를 나타내고 있다.

HEC-GeoHMS 모듈로부터 계산된 자료를 이용하여 기존의 경험식에 의해 산정된 도달시간에서

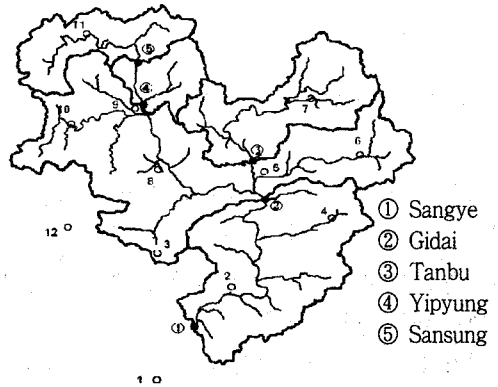


Fig. 2 Bocheong stream basin

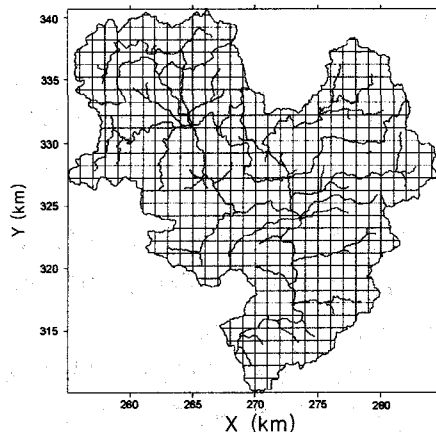


Fig. 3 Intersection between subbasins and SHG grid

Table 1 Grid-cell Parameter

Basin	X coord.	Y coord.	Travel length	Area	SCS CN	Basin	X coord.	Y coord.	Travel length	Area	SCS CN
Sansung	255	333	16.26	0.066	73	Gidai	255	326	32.30	0.315	71
	255	334	16.01	0.048	76		255	327	32.40	0.777	71
	255	334	15.69	0.085	75		255	328	30.24	0.158	60
	255	335	15.68	0.359	75		256	326	31.12	0.509	68
	...	...	...	...	...		256	327	31.06	1.000	69
Yipyung	264	331	0.69	0.157	72	Sangye	256	328	29.69	0.922	66
	264	332	0.76	0.944	77		256	332	28.54	0.122	71
	264	333	2.05	1.000	71		...	...	...	...	...
	264	334	3.15	1.000	72		269	311	3.50	0.886	52
	...	...	...	...	...		269	312	2.36	0.997	54
Tanbu	268	330	6.63	1.000	78	Sangye	269	313	2.15	1.000	66
	268	331	7.45	1.000	72		269	314	2.55	1.000	71
	268	332	8.42	0.710	67		269	315	3.76	0.998	67
	268	333	9.38	0.104	63		269	316	5.53	0.817	46

Table 2 Rainfall events

Event	Beginning date	Ending date	Rainfall duration (h)	Maximum rainfall (mm/h)
Event 1	1993. 6. 28 07:00	6.29 09:00	27	52.0 (No. 3)
Event 2	1993. 9. 16 19:00	9.17 16:00	22	44.0 (No. 12)
Event 3	1999. 6. 23 07:00	6.23 23:00	17	20.5 (No. 11)
Event 4	2000. 6. 26 11:00	6.28 03:00	41	40.0 (No. 8)

유속을 계산하여 홍수시 적정유속인 2.0~3.5 m/s의 범위에 포함여부를 검토하여 도달시간은 Kraven II식, 유역저류상수는 Sabol식을 사용하였다.

3. 강우 공간분포

ModClark 모형의 강우입력 자료의 생성은 크리깅 기법을 이용하여 12개 우량관측소의 1시간 단위의 강우자료를 이용하여 공간적으로 분포시켰으며, Table 2에 적용된 강우사상을 나타내었다. 공간분포 강우의 추정에 앞서 선정된 강우사상에 대

한 시간적, 공간적 변동성을 분석하기 위해 관측소별, 사상별 평균, 분산 그리고 변동계수를 산정하여 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 보듯이 1993. 6. 28일 강우사상은 지점 2, 3에서 최대 공간적 변동성을 나타내고 있다. 1993. 9. 16일 강우사상은 지점 12에서 최대 공간적 변동성을 나타내고 있다. 1999. 6. 23일 강우사상과 2000. 6. 26일 강우사상은 우량관측소지점에서 평균, 분산 및 변동계수의 값의 범위가 큰 차이가 발생하지 않아 지점우량 관측소간 공간적 변동성이 크게 나타나지 않았다.

크리깅 기법 적용시 강우의 공간적 변동성은 반

Table 3 Statistical results of rainfall gauging stations

Station	1993. 6. 28			1993. 9. 16			1999. 6. 23			2000. 6. 26		
	Mean (mm)	Var. (mm ²)	Coe. variation	Mean (mm)	Var. (mm ²)	Coe. variation	Mean (mm)	Var. (mm ²)	Coe. variation	Mean (mm)	Var. (mm ²)	Coe. variation
No.1	4.35	33.02	1.32	4.27	17.88	0.99	5.12	14.04	0.73	2.43	17.57	1.73
No.2	8.37	135.53	1.39	4.77	22.39	0.99	5.41	15.30	0.72	2.56	19.69	1.73
No.3	8.48	147.88	1.43	5.16	35.67	1.16	5.15	10.32	0.62	3.37	23.74	1.45
No.4	4.37	44.29	1.52	4.34	20.37	1.04	4.76	15.44	0.82	3.00	32.63	1.90
No.5	4.69	50.84	1.52	4.34	35.01	1.36	4.88	10.99	0.68	2.79	25.39	1.80
No.6	2.94	27.69	1.79	4.32	30.08	1.27	5.52	17.96	0.77	3.54	35.32	1.68
No.7	4.02	24.75	1.24	5.50	36.50	1.10	6.29	19.85	0.71	3.17	23.45	1.53
No.8	4.39	24.71	1.13	4.93	42.46	1.32	6.85	20.90	0.67	4.67	74.59	1.85
No.9	3.26	12.53	1.09	5.64	31.07	0.99	6.65	22.82	0.72	2.49	20.12	1.80
No.10	4.50	30.06	1.22	5.45	38.34	1.14	6.91	27.27	0.76	1.80	18.56	2.39
No.11	3.22	18.02	1.32	4.55	22.86	1.05	7.50	35.12	0.79	2.39	20.49	1.89
No.12	8.30	11.57	1.37	8.16	109.92	1.28	6.47	18.10	0.66	3.37	23.74	1.45
Average	5.07	46.74	1.36	5.12	36.88	1.14	5.96	19.01	0.72	2.96	27.94	1.77

베리오그램(semivariogram)으로 정량적으로 설명할 수 있으며, 매시간 마다의 지점강우자료를 이용하여 분리거리 증가에 따른 반베리오그램 값을 산정하였다. 이론적 베리오그램 중 구형모델(spherical model)을 적용하여 각 강우사상에 대한 구형모델의 매개변수를 최소사승법을 이용하여 산정하였다. 베리오그램 분석시 일정거리가 되면 거리에 상관없이 강우량 추정오차가 일정한 문턱값(sill)이 나타나므로 그 이상의 거리에 대한 강우량의 추정은 의미가 없게 된다. 1993년 6월 강우사상에서는 문턱값이 0.953, 상관거리가 0.338의 평균값을 나타내었고, 1993년 9월 강우사상에서는 문턱값이 1.00, 상관거리가 0.201의 평균값을 나타내었다. 1999년 6월 강우사상에서는 문턱값이 0.899, 상관거리가 0.214의 평균값을 나타내었고, 2000년 6월 강우사상에서는 문턱값이 0.790, 상관거리가 0.218의 평균값을 나타내었다. Fig. 4는 매시간 마다의 반베리오그램 분석 결과중 일부를 나타내고 있다.

선정된 강우사상에 대한 각 시간대별 강우량 및 구형모델의 매개변수를 적용하여 3가지 크리깅 기

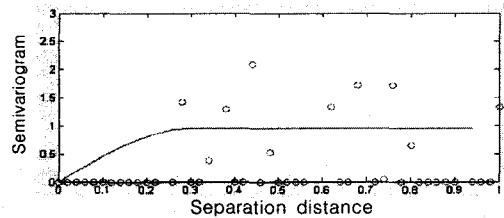


Fig. 4 Calculated result of semivariogram

법을 적용하였으며, 각 기법별 산정결과가 상이한 시점에서의 강우공간분포에 대하여 Fig. 5에 나타내었다. 이러한 공간분포의 차이를 나타내는 것은 Ordinary 크리깅과 Simple 크리깅의 오차분산을 비교해보면 라그랑지 매개변수만큼 차이가 나지만 실제로 계산된 가중치가 다르기 때문이며, Universal 크리깅 이외의 크리깅 예측치는 사용된 자료값 중의 항상 작은 값을 예측하지만 Universal 크리깅의 예측치는 자료값의 경향을 고려하므로 주위의 값보다 큰 값 및 작은 값을 예측할 수도 있다.

Table 4는 각 크리깅 기법에 의해 산정된 격자 크기 1,000 m로 공간분포된 강우자료를 소유역 분

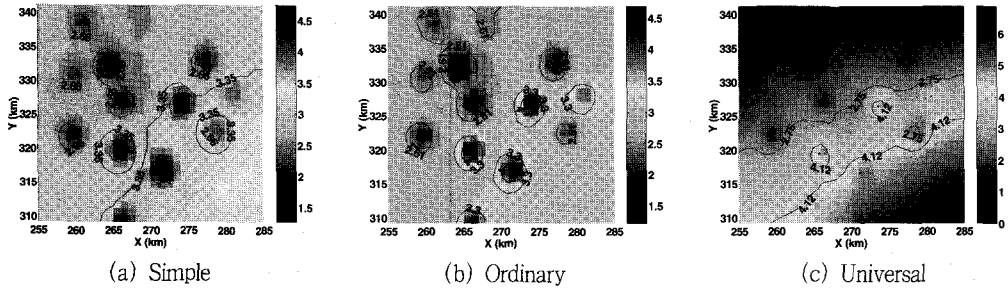


Fig. 5 Estimated results of each kriging (1993. 6. 28 24:00)

Table 4 Total rainfall of each method (mm)

Basin	Event	Method	AMM	Thiessen	Simple	Ordinary	Universal
Sansung	1993. 6. 28		139.04	91.56	184.80	149.70	167.10
	1993. 9. 16		104.88	102.78	130.70	123.90	119.90
	1999. 6. 23		101.98	126.08	94.90	99.60	106.50
	2000. 6. 26		121.54	95.35	106.50	106.40	110.90
Yipyung	1993. 6. 28		139.04	90.40	212.80	184.30	198.20
	1993. 9. 16		104.88	123.06	120.10	114.40	117.30
	1999. 6. 23		101.98	113.57	90.10	93.00	92.60
	2000. 6. 26		121.54	101.82	111.00	111.00	118.29
Tanbu	1993. 6. 28		139.04	112.38	171.40	160.90	162.70
	1993. 9. 16		104.88	114.52	98.10	98.30	104.60
	1999. 6. 23		101.98	102.30	86.50	84.60	90.70
	2000. 6. 26		121.54	125.12	129.70	129.90	130.30
Gadai	1993. 6. 28		139.04	124.04	159.90	148.50	154.50
	1993. 9. 16		104.88	110.23	122.80	115.50	122.00
	1999. 6. 23		101.98	105.69	99.20	100.20	99.90
	2000. 6. 26		121.54	132.41	132.90	133.20	131.50

할도를 이용하여 해당 소유역의 산술평균법(AMM), Thiessen법, 크리깅 기법으로 산정된 격자강우의 합을 나타내고 있다. 크리깅 기법에 의해 산정된 해당소유역의 면적평균총강우량은 강우관측소의 공간적 변동성이 있는 강우사상에 대해서는 기존에 활용되고 있는 산술평균법 및 Thiessen법과는 많은 차이를 나타냈으며, 강우관측소간의 공간적 변동성이 크지 않은 강우사상에 대해서는 산술평균법

과 Thiessen 법과 크리깅의 방법과는 큰 차이가 나타나지 않았다.

공간분포된 강우의 예측결과는 각 기법을 통하여 예측된 자료만을 이용하여 본래의 자료값(12개 우량관측소값)을 다시 예측함으로써 기법의 타당성을 검증하는 교차검증(cross validation)방법을 이용하였다. 통계지표는 식 (8)과 같은 Mean squared error (MSE) 지표를 이용하였다.

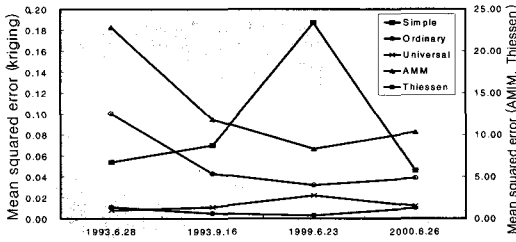


Fig. 6 Comparison of mean squared error

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_i)^*)^2 \dots \dots \dots (8)$$

여기서 $z(x_i)$ 는 우량관측소의 실제 강우량 값, $z(x_i)^*$ 는 강우보간방법으로 예측된 격자자료를 이용하여 우량관측소의 값을 재 예측한 강우량 값이다.

Fig. 6에서 보듯이 공간분포된 강우량의 예측값을 계산하기 위해 사용된 Ordinary 크리깅 기법이 격자기반의 공간강우량을 산정하는데 적합한 것으로 나타났다. 기존의 방법에 비해 크리깅 기법이 자료의 공간적 분포 특성을 잘 나타내며, 공간분포

에 따른 불확실성을 감소할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 유출해석

유출해석을 실시하기 위해 강우입력 자료는 크리깅 기법에 의해 공간적으로 분포된 강우와 실무에서 활용되고 있는 Thiessen법에 의해 산정된 강우를 적용하였으며, HEC-GeoHMS 모듈에 의해 산정된 유역의 격자자료인 격자면적, 각 격자로부터 유역출구까지의 이동거리, 격자의 좌표 및 유출곡선지수를 이용하여 ModClark모형을 구축하였다. 유역의 하도홍수추적 방법에는 유입수문곡선과 하도의 물리적 특성을 기초로 수문곡선의 확산을 고려하는 Muskingum-Cunge 방법을 사용하였다. 기저유출로 분리하는 방법에는 지수함수적 감소방법을 채택하였다. 선정된 홍수사상의 모의는 기대수위표지점의 상류유역(산성, 이평, 탄부, 기대)에 대해서만 유출 모의를 수행하였으며, 모의 결과와 비교할 실측 유출사상은 Table 5와 같다. 본 연구는 공간 분포된 강우자료가 유출에 미치는 영향을

Table 5 Runoff characteristics of selected event

Stations	Date	Peak discharge (m ³ /s)	Runoff volume (×10 ³ m ³)	Peak time (h)	AMC
Sansung	1993. 6. 28. 07:00 ~ 6. 30. 14:00	26.46	1,542	6/29 05:00	I
	1993. 9. 16. 10:00 ~ 9. 18. 24:00	21.16	1,789	9/17 10:00	I
	1999. 6. 23. 07:00 ~ 6. 26. 24:00	54.41	4,592	6/23 22:00	II
	2000. 6. 26. 11:00 ~ 6. 28. 24:00	40.75	3,874	6/27 06:00	III
Yipyung	1993. 6. 28. 07:00 ~ 6. 30. 14:00	24.91	1,740	6/29 07:00	I
	1993. 9. 16. 10:00 ~ 9. 18. 24:00	42.18	2,616	9/17 15:00	I
	1999. 6. 23. 07:00 ~ 6. 26. 24:00	115.83	6,373	6/23 22:00	II
	2000. 6. 26. 11:00 ~ 6. 28. 24:00	69.64	5,595	6/27 07:00	III
Tanbu	1993. 6. 28. 07:00 ~ 6. 30. 14:00	50.03	3,905	6/29 09:00	I
	1993. 9. 16. 10:00 ~ 9. 18. 24:00	32.08	3,173	9/17 15:00	I
	1999. 6. 23. 07:00 ~ 6. 26. 24:00	35.77	3,361	6/23 23:00	I
	2000. 6. 26. 11:00 ~ 6. 28. 24:00	33.22	2,200	6/27 07:00	III
Gidai	1993. 6. 28. 07:00 ~ 6. 30. 14:00	249.43	14,720	6/29 07:00	I
	1993. 9. 16. 10:00 ~ 9. 18. 24:00	162.20	11,927	9/17 15:00	I
	1999. 6. 23. 07:00 ~ 6. 26. 24:00	513.45	44,637	6/23 24:00	I
	2000. 6. 26. 11:00 ~ 6. 28. 24:00	282.66	16,402	6/27 07:00	II

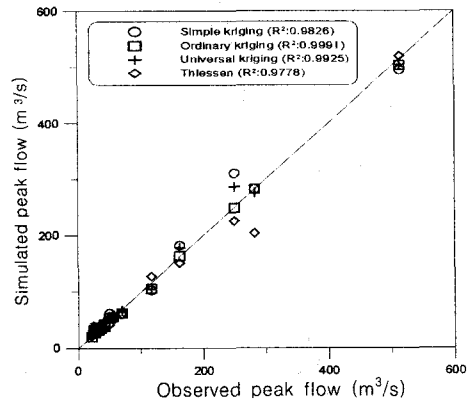
Table 6 Optimized values of parameter

Parameter	Subbasin	Sansung	Yipyung	Tanbu	Gidai
	Initial abstraction ratio	AMC I	0.15	0.05	0.95	0.45
AMC II, III		0.00	0.02	0.10	0.05
Potential retention scale factor	AMC I	1.50	0.60	0.85	0.82
	AMC II, III	1.00	1.00	1.20	1.20
Time of concentration		0.92	1.10	0.97	2.67
Storage constant		6.47	5.77	8.03	5.44
Regression constant		0.86	0.66	0.97	0.90
Threshold Q		0.10	0.10	0.10	0.20

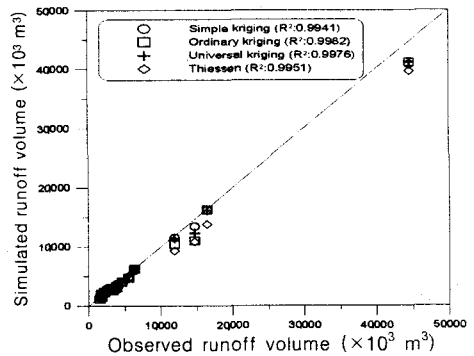
파악함에 있으므로 기왕의 강우유출을 통해 최적화된 매개변수는 Table 6에 나타내었다. 공간분포된 강우가 유출에 미치는 영향을 파악하기 위해 가장 민감하게 반응하는 유효유량 산정은 격자망으로 구성된 유역자료를 바탕으로 각 격자별 CN 값을 각각 적용하였으며, 유효유량산정 매개변수(Initial abstraction ratio, Potential retention scale factor)는 각 호우사상의 AMC조건에 따라 구분하여 사용하였다.

Fig. 7은 4가지 호우사상에 대한 유출 모의 결과의 첨두유량 및 유출체적에 대한 결과를 실측치와 일대일로 나타낸 것이다. 3가지 크리깅 기법과 Thiessen 법으로 산정된 강우를 유출모형에 적용한 결과 모의된 첨두유량은 실측치의 결정계수가 Simple, Ordinary, Universal, Thiessen법이 각각 0.9826, 0.9991, 0.9925, 0.9778로 나타났다. 유출체적의 경우 각각 0.9941, 0.9982, 0.9976, 0.9951으로 높게 나타났다. Fig. 8은 유출 모의 결과의 상관계수(CC)와 제곱근 평균제곱오차(RMSE)를 호우사상별로 나타내고 있다. 그림에서의 횡축은 각 호우사상을 나타내었으며, 호우사상에서의 순서는 산성, 이평, 탄부, 기대지점을 나타내고 있다. 상관계수(CC)의 경우 Simple, Ordinary, Universal, Thiessen법이 평균적으로 0.92, 0.95, 0.93, 0.94의 평균값을 나타냈으며, 제곱근평균제

곱오차(RMSE)는 평균적으로 각각 10.89, 9.78, 10.61, 10.22 m^3/s 로 나타났다.



(a) Peak flow



(b) Runoff volume

Fig. 7 Comparison of simulation and observation

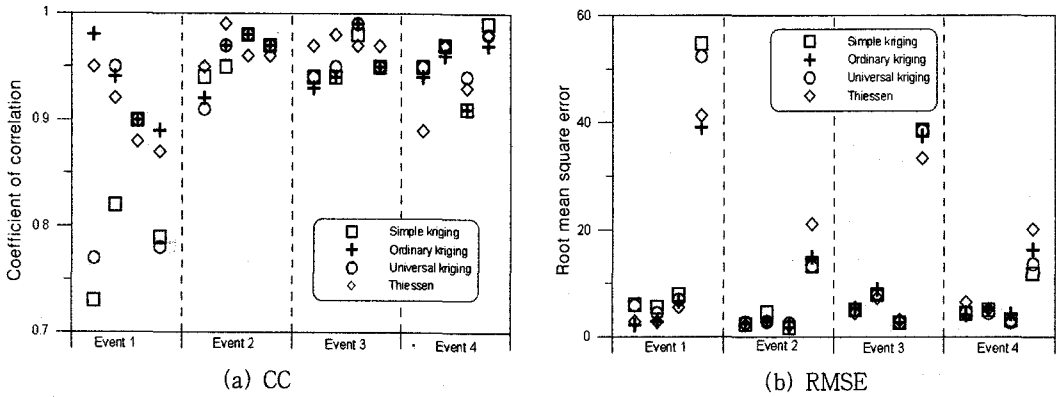


Fig. 8 CC and RMSE for runoff simulation results

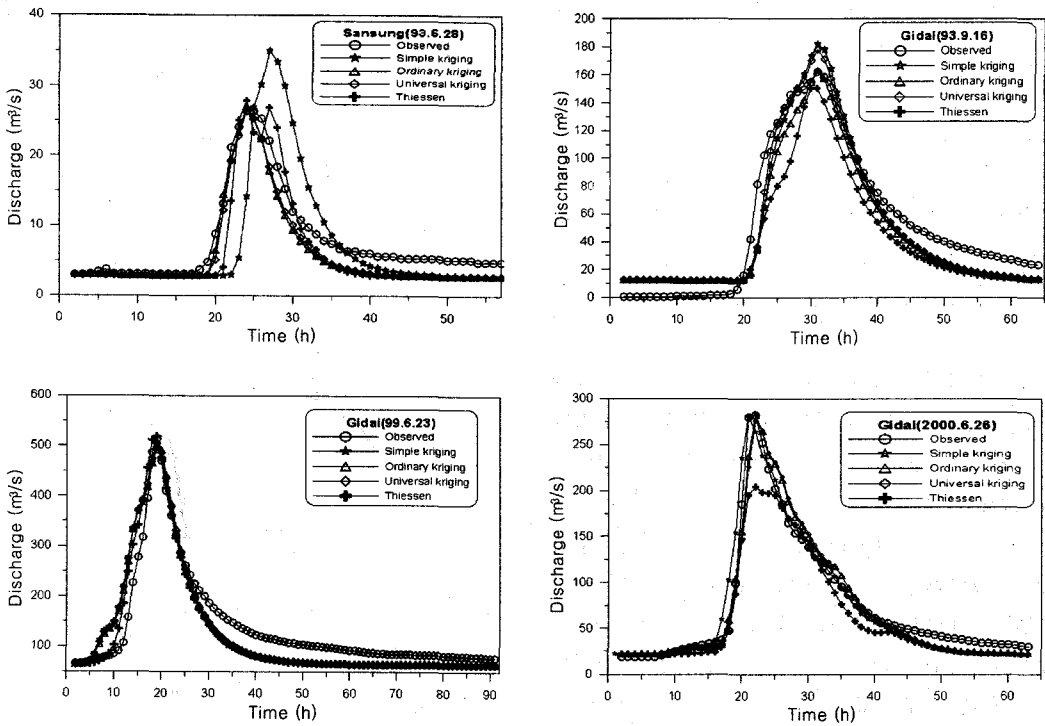


Fig. 9 Comparison of runoff hydrograph for each method

Fig. 9는 호우사상에 대한 모의 수문곡선을 나타내고 있다. 1993. 6월 사상의 산성지점의 결과는 Thiessen법에 의한 유출 모의결과가 수문곡선이 다시 상승하는 것으로 모의 되었으며, Simple 크리깅에 의한 유출 모의 결과는 3시간 후에 첨두유량

이 나타나는 것으로 모의 되었다. 1993. 9월 사상에의 기대지점의 크리깅에 의한 유출 모의 결과가 Thiessen법에 의한 유출 모의 결과에 비해 유출 수문곡선의 상승부분에서 실측 수문곡선의 형상을 잘 모의 하는 것으로 나타났다. 2000년 6월 사상

에서는 Thiessen법에 의한 유출 모의 결과는 첨두 유량에서 많은 오차를 나타내고 있다. 이상의 결과로 크리깅으로 공간분포된 강우에 대한 신뢰할 만한 매개변수 및 유출수문곡선을 유도하였다고 판단된다. Thiessen법에 의해 모의된 결과는 실측수문곡선과 상이한 결과를 나타내는 경우가 발생하였으며 이것은 강우의 공간적 분포특성의 반영으로 판단되며, Ordinary 크리깅 기법에 의해 공간분포된 강우를 적용한 경우가 실측치를 높게 반영하는 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 연구에서는 지점강우자료를 이용하여 공간분포된 강우자료를 크리깅 기법을 이용하여 산정하였으며, HEC-GeoHMS 모듈을 이용하여 대상구역의 지형자료, 수문매개변수를 공간적으로 분포시켰다. 유출해석은 공간분포된 강우의 적용을 용이하게 하기 위하여 준 분포형 접근방법인 Modified Clark 모형을 적용하였다. 각 크리깅 기법에 의해 산정된 격자강우를 이용하여 유출해석을 수행한 결과를 토대로 지점강우량을 공간분포 시킬 경우의 적정 크리깅 기법을 평가하였다.

1. 지점강우자료를 이용하여 산술평균법, Thiessen법, 크리깅 기법을 통해 공간 분포시킨 결과 소유역별 총강우량은 지점강우량의 공간 변동이 큰 사상에서는 각 기법별 강우량 차이를 나타내고 있다. 공간 분포된 자료를 이용하여 교차검증결과 Ordinary 크리깅 기법이 적은 오차를 나타내어 자료의 공간적 분포특성을 잘 나타내며, 공간분포 강우량을 적용시 불확실성을 감소할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 유출 모의 결과 실측치와 비교한 상관계수는 Simple 크리깅 기법이 0.92, Ordinary 크리깅 기법이 0.95, Universal 크리깅 기법이 0.93, Thiessen법이 0.94로 나타났으며, 제곱근평균제곱오차는 각각 10.89, 9.78, 10.61, 10.22로 분석되었다. Ordinary 크리깅 기법에 의해 산정된 공간강우를

적용한 경우가 실측수문곡선과의 높은 상관성과 적은 오차를 나타내었다.

3. Thiessen법에 의해 모의된 결과는 실측수문곡선과 상이한 결과를 나타내는 경우가 발생하였으며 이것은 강우의 공간적 분포특성의 반영으로 판단되며, Ordinary 크리깅 기법에 의해 공간분포된 강우를 적용한 경우가 실측치를 높게 반영하는 것으로 나타났다.

References

1. Bacchi, L., and N. T. Kottegoda., 1995, Identification and Calibration of Spatial Correlation Patterns of Rainfall. *Journal of Hydrology*, Vol. 165, pp.311~348.
2. Cheng, K. S., W. Chiang., Y. B. Cheng., and H. C. Yeh., 2003, Effect of Spatial Variation Characteristics on Contouring of Design Storm Depth. *Hydrological Processes*, Vol. 17, pp.1755~1769.
3. Chua, S. H., R. L. Bras., 1982, Optimal Estimators of Mean Areal Precipitation in Regions of Orographic Influence, *Journal of Hydrology*, Vol. 57, pp. 23~48.
4. Eulogio, P. I., 1998, Comparison of Geostatistical Methods for Estimating the Areal Average Climatological Rainfall Mean using Data on Precipitation and Topography, *International Journal of Climatology*, Vol. 18, pp. 1031~1047.
5. Goovaerts, P., 2000, Geostatistical Approaches for Incorporating Elevation into the Spatial Interpolation of Rainfall, *Journal of Hydrology*, Vol. 228, pp.113~129.
6. Kim, G. S., K. Y. Han, and K. H. Choi, 2004. 2-D Quantitative Rainfall Estimation by Combining Weather Radar and Rain Gauge Data. The Proceeding of 2004 Korea Water Resources Association: 4096-4099. (in Korean)
7. Kim, K. T. and Y. S. Choi, 2003. A Study on

Runoff Response according to Dividing Watershed. *Journal of korea water resources association* 36(6) : 911~924. (in Korean)
8. Yoon, K. H., B. C. Seo, and H. S. Shin, 2004.

Spatial Analysis of Flood Rainfall Based on kriging Technique in Nakdong River Basin. *Journal of korea water resources association* 37(2) : 233~240. (in Korean)