



유역 공간 강우 산정방법에 따른 Vflo™ 분포형 강우-유출 모형의 매개변수 평가 - 금호강 동촌 유역을 대상으로 -

Parameter Estimation of Vflo™ Distributed Rainfall-Runoff Model by Areal Rainfall Calculation Methods - For Dongchon Watershed of Geumho River -

김시수* · 정충길** · 박종윤*** · 정성원**** · 김성준*****†

Kim, Si Soo · Jung, Chung Gil · Park, Jong Yoon · Jung, Sung Won · Kim, Seong Joon

ABSTRACT

This study is to evaluate the parameter behavior of Vflo™ distributed rainfall-runoff model by applying 3 kinds of rainfall interpolation methods viz. Inverse Distance Weighting (IDW), Kriging (KRI), and Thiessen network (THI). For the 1,544 km² Dongcheon watershed of Nakdong river, the model was calibrated using 4 storm events in 2007 and 2009, and validated using 2 storm events in 2010. The model was calibrated with Nash-Sutcliffe model efficiency of 0.97 for IDW, 0.94 for KRI, and 0.95 for THI respectively. For the sensitive parameters, the saturated hydraulic conductivity (K_{sat}) for IDW, KRI, and THI were 0.33, 0.31, and 0.43 cm/hr, and the soil suction head at the wetting front (ψ_f) were 4.10, 3.96, and 5.19 cm H₂O respectively. These parameters affected the infiltration process by the spatial distribution of antecedent moisture condition before a storm.

Keywords: Distributed model; rainfall Interpolation method; antecedent moisture condition

1. 서 론

대상유역의 강우-유출을 해석하고자 할 경우 지점관측강우량이 갖는 중요성 때문에 그동안 지속적으로 다방면에서 연구가 이루어져 왔다. 일반적으로 우리가 얻을 수 있는 강우자료는 한 지점에 설치되어 있는 우량계에 의한 관측지점의 강우량자료이다. 이와 같은 방법으로 얻어진 지점강우량자료를 대상유역의 전역에 걸친 공간분포를 위한 많은 기법들이 제시되어 있으며 현재 국내의 경우 산술평균법, Thiessen 가중법 (Thiessen weighting method), IDW (Inverse Distance Weighting) 기법 등이 사용되고 있다. 본 연구에서는 가장 보편적이고 널리 사용되고 있는 Kriging 기법, Thiessen 가중법, IDW 기법 등을 이용하였다.

과거에는 유역의 강우-유출과정을 해석하기 위하여 유역의 공간적인 분포 및 변화를 유역단위로 평균화하여 취급하는 집중형 수문모형을 대부분 적용하여 왔다. 이러한 방법은 수문 매개변수의 취득이 비교적 용이하고 계산시간이 짧은 장점을 가지고 있는 반면에 유역의 특성을 정확히 반영하지 못함에 따른 계산의 정확성이 떨어진다는 단점을 가지고 있다. 하지만 격자기반의 분포형 유출모형을 적용하면 격자의 우량을 지형격자와 대응시켜 격자간의 흐름을 이론적으로 해석할 수 있다. 기존의 집중형 수문모형이 유출과정의 공간적인 분포 및 변화를 유역단위로 평균화해서 취급하는 개념기반의 모형임에 반해서 분포형 수문모형은 유역을 수문학적으로 균일한 매개변수를 갖는 소유역 또는 격자망으로 구분하여 적용하는 것으로, 도시화 등 토지이용의 변화나 기타 유역내의 물리적인 특성의 변화가 수문과정에 미치는 영향을 잘 모의할 수 있다.

분포형 모형에 의한 국외 연구로는 Emerson (2003)은 IDW 기법을 이용하여 지점 강우를 공간 분포시켜 Modclark 모형에 적용하였고 Vieux et al. (2002)은 Salt and Verde Riverm, Brays Bayou, Tar River에 Vflo™ 분포형 모형과 레이더 강우 자료를 연계하여 분포형 강우-유출 모형의 충분한 적용성을 보여주었다. Hunter et al. (2003)은 Arizona의 Santa Maria 유역에 대하여 GSSHA와 Vflo™ 분포형 모형을 적용하여 모의시간

* 유량조사사업단 유량조사실 금강유량그룹
 ** 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사
 *** 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사수료
 **** 유량조사사업단장
 ***** 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수
 † Corresponding author Tel.: +82-2-450-3749
 Fax: +82-2-444-0186
 E-mail: kimsj@konkuk.ac.kr

2012년 6월 29일 투고
 2012년 12월 13일 심사완료
 2012년 12월 14일 게재확정

을 비교한뒤 홍수량을 산정한 사례가 있다 (Kim et al., 2008). 국내의 경우 Kim (1998)은 격자 물수지 기법 (Grid-based water balance technique)을 이용하여 지표 및 지표하 흐름을 모두 고려한 분포형 강우-유출모형 (KIMSTORM)을 개발하여 한 때 임진강 수계에 위치하였던 연천댐 유역 (1,875 km²)을 대상으로 GRASS 기법을 이용하여 GIS 입력 자료를 추출하여 적용한 바 있으며 Park et al. (2007)은 댐 유역에서의 홍수예측을 위하여 GIS 기반의 분포형 수문모형인 VfloTM 분포형 모형과 경험적-개념적 모형인 한국수자원공사 (K-water)의 저류함수 모형을 이용하여 금강의 용담댐 유역 (930 km²)의 유출해석을 실시하였으며 분포형 수문모형에 의한 수문곡선이 매개변수의 추가적 보정이 필요 없을 정도로 매개변수의 초기 값이 수문곡선을 잘 모의하고 있다는 결론을 제시하였다.

본 연구에서는 금호강 유역을 대상으로 지점강우량의 공간적 분포가 실제 강우 유출에 미치는 영향을 분석하여 VfloTM 분포형 모형을 이용하여 유역에서의 적용성을 검토하고자 한다.

II. 기본이론

1. 유역강우분포도 작성기법

특정 호우로 인한 유역의 평균우량은 우량깊이-유역면적간의 관계뿐만 아니라 여러 가지 목적을 위해 필요할 경우가 있다. 본 연구에서는 Thiessen 가중법, IDW (Inverse Distance Weighting) 기법 이외에 Kriging 기법을 이용하였다. 우량계가 유역 내외에 불균등하게 분포되어 있을 경우에는 Thiessen 가중법을 사용한다.

본 연구에서 사용한 Ordinary Kriging은 널리 이용되는 방법으로 모형의 평균(μ)은 사전에 알 수 없지만 그 물리량이 고정되어 있다는 가정하에 추정하는 방법이다. 모형가정과 추정 값에 대한 가정은 다음과 같다.

$$Z(h) = \mu + \delta(h), \quad h \in D, \mu \in R \quad (1)$$

$$p(Z, h_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(h_i), \quad \sum \lambda_i = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i E[Z(h_i) - Z(h_0)] = 0 \quad (3)$$

여기서, μ 는 미지수이며 $\sum \lambda_i = 1$ 은 불편제한조건이다. 다음 식 (4)는 가중치와 Lagrange multiplier를 구하기 위한 추정분산 (estimation variance)이다.

$$E(Z(h_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(h_i))^2 - 2m(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1) = 0 \quad (4)$$

위의 식 (4)에서 최소로 해주는 $\lambda_1, \dots, \lambda_n, m$ 을 구해야한다. m 은 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ 을 만족시키기 위한 Lagrange multiplier이다. 식 (4)를 다음 식 (5)와 같이 표현 하여, Ordinary Kriging 시스템은 다음 식과 같이 선형 연립방정식을 이끌어 낼 수 있다.

$$\lambda_1 \gamma(1, 1) + \lambda_2 \gamma(1, 2) + \dots + \lambda_N + m = \gamma(1, N) \quad (5)$$

$$\lambda_1 \gamma(2, 1) + \lambda_2 \gamma(2, 2) + \dots + \lambda_N + m = \gamma(2, N)$$

$$\lambda_1 \gamma(3, 1) + \lambda_2 \gamma(3, 2) + \dots + \lambda_N + m = \gamma(3, N)$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \dots \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \dots \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$\lambda_1 \gamma(N, 1) + \lambda_2 \gamma(N, 2) + \dots + \lambda_N + m = \gamma(N, N)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N + 0 = 1$$

식 (5)는 미계측 지점과 각 표본들과의 사이를 이론적 variogram으로 나타내준 식이다. 여기서 구해지는 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 은 각 지점에서의 가중치이며 m 은 Lagrange multiplier이다. Ordinary Kriging은 오차항의 정규분포 가정 하에서 최적이다. 이는 추정값의 모형이 관찰치의 선형결합이고 최소평균제곱오차(minimum mean square error)를 만족하는 조건부 기댓값 즉, 관찰치가 주어졌을 때 미지의 위치 h_0 에 대한 관찰치의 조건부 기댓값이 정규분포하에서 선형이기 때문이다.

IDW는 거리가중기법으로서 지점 가중치는 미계측지점 v_0 와 $j = 1, \dots, M$ 인 관측지점 v_j 사이의 거리함수로 표현된다. 관측지점과 거리가 가까운 지점은 거리가 멀리 떨어져 있는 지점보다 관측지점에 근접한 수치가 나타난다는 것이 이 가중치를 두는 식의 기본 원리이다. 일반적으로 지점 v_j 에 대한 가중치는 다음 식 (6)과 같다.

$$w_i = \frac{f(d_{oj})}{\sum_{i=1}^M f(d_{oj})} \quad (6)$$

여기서, $f(d_{oj})$ 는 지점 v_0 와 v_j 사이의 거리 d_{oj} 에 대한 함수를 나타내며, 일반적으로 함수 $f(d_{oj})$ 의 형태는 다음 식 (7)과 같다.

$$f(d_{oj}) = \frac{1}{d_{oj}^\alpha} \quad (7)$$

여기서, α 는 양의 상수이다. 식 (6)의 가중치 w_i 는 식 (7)의 거리에 대한 감소함수이므로 거리 d_{oj} 가 증가 할수록 0에 근접한다.

2. Vflo™ 분포형 모형

Vflo™ 분포형 모형은 2002년 미국 오클라호마 대학의 Vieux에 의해서 개발된 물리적 기반의 분포형 모형으로 호우사상기반의 유출모의 및 연속유출모의가 모두 가능하며 사용자 인터페이스와 레이더와 지상관측 자료를 이용한 초단시간 강우예측 모듈의 전처리과정을 갖추고 있다. Vflo™ 분포형 모형은 분포형 매개변수를 이용하는 단기 유출 모형으로 공간적으로는 유한요소법, 시간적으로는 유한차분법을 이용하고 있으며 특히 미리 결정된 흐름방향도에 의해 1차원 흐름을 추적하며 지표면 흐름은 최급구배 1방향으로 전파되는 알고리즘을 택하고 있다.

Vflo™ 분포형 모형은 유역전체를 격자 (GRID)로 등분할하여 각 격자가 가지고 있는 표고 데이터에 따라 흐름 방향을 결정한다. 각 격자들은 크게 지표흐름과 수로흐름의 속성을 가진 격자들로 구분되고 각 격자들은 흐름 속성 외에 경사, 조도계수, 토양종류에 따라 침투율 등의 속성을 갖는다. 유역 요소망의 각 격자들은 8가지의 방향성분을 가질 수 있으며 운동과 방정식에 의해 해석되어진다. 흐름을 해석하기 위한 방법으로는 유한요소법 (FEM, Finite Element Method)을 이용하며 유한요소법은 어떤 물리현상을 나타내는 함수의 분포영역을 특별한 기하학적 형태로 세분하고 가중함수 (Weighting function)와 결합된 기존의 미분방정식이 세분화된 미소영역에서 만족되도록 하는 동시에 각 세분요소의 꼭짓점이 되는 절점의 물리현상을 나타내는 값이 연속이 되도록 해석한다.

Vflo™ 분포형 모형에 주요 검토 매개변수로는 하폭 (Channel

Width), 조도계수 (Roughness), 포화투수계수 (Hydraulic Conductivity), 습윤선단 (Wetting Front), 유효토심 (Soil Depth) 등이 있다. Vflo™ 분포형 모형은 분포형 매개변수를 이용하는 단기 유출 모형으로 공간적으로는 유한요소법, 시간적으로는 유한차분법을 이용하고 있다. Vflo™ 분포형 모형은 미리 결정된 흐름방향도에 의해 1차원 흐름을 추적하며 지표면 흐름은 최급구배 1방향으로 전파되는 알고리즘을 택하고 있다. Fig. 1은 Vflo™ 분포형 모형의 기본 개념도이다 (Vieux, 2004).

III. 재료 및 방법

1. 대상유역 및 지형자료

본 연구의 대상유역은 금호강 유역으로 유역면적은 2,092.4 km²이며 낙동강 유역면적 23,384.2 km²의 약 9 %를 차지하고 있다. 금호강 유역의 토지이용현황으로는 산림이 63.6 %를 차지하고 있으며 농지가 23.7 %로 산림과 농지가 대부분인 유역이다. 유역의 토양특성을 분석해 보면 Loam (사질양토)가 약 44.9 %, Silt Loam (미사질양토)가 약 31.9 %로 유역의 약 76.8 %를 차지하고 있다.

Vflo™ 분포형 모형의 보정에 사용된 동촌 수위관측소의 수위-유량 곡선식은 국토해양부에서 발행하는 수문조사연보의 곡선식을 이용하였다. 2007년, 2009년, 2010년의 곡선식을 이용하여 낙동강 홍수통제소에서 확인할 수 있는 실시간 수위를 바탕으로 연도별 실측유량을 산정하였다.

본 연구에서는 국가수자원관리종합정보시스템 홈페이지 (WAMIS)에서 제공하는 DEM, 토양도, 토지이용도 자료를 이용하여 입력 자료를 생성하였으며 이들 자료를 입력 자료로 변환하기 위해 ArcGIS 프로그램을 사용하여 일련의 과정을 수행하였다. Vflow™에 입력되는 지형자료에 수치값을 산정하기 위해 DEM자료 (Fig. 2 (a))로부터 Flow Direction Map을 구축하고 각 격자로부터 D8방향법 (Deterministic-8 Node algorithm)을 이용하여 지표면의 흐름방향과 경사도를 결정하였다. 각 격자별 흐름방향은 동 (1), 남동 (2), 남 (4), 남서 (8), 서 (16), 북동 (32), 북 (64), 북서 (128)의 수치로서 표현된다. 정밀토양도와 유효토심자료는 'Distributed Hydrological Modeling Using GIS' (Vieux, 2004)에 제시된 기준에 따라 재분류하여 포화투수계수 (Hydraulic Conductivity), 습윤선단 (Wetting Front Suction Head), 유효공극률 (Effective Porosity) 및 유효토심 (Soil Depth)을 결정하였다 (Fig. 2(c)). Vflow™에 입력자료로 조도계수와 불투수율은 환경부 토지이용도 (Fig. 2(b))를 이용하여 산정하였으며 조도계수는 토지의 이용 상태나 식생의 상태에 따라 그 값이 달라지며 불투수율은 강우발생시 유출시간과 관계가 있다. 토양

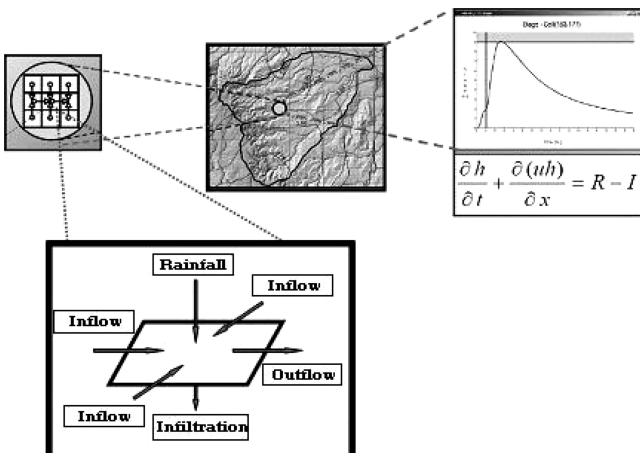


Fig. 1 The Algorithm of Vflo™ (Vieux, 2004)

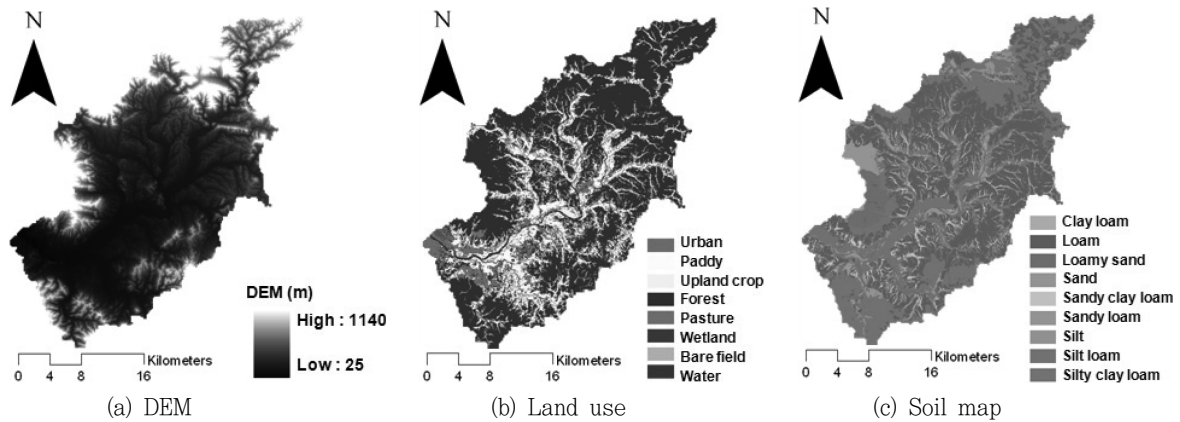


Fig. 2 Spatial input data: (a) DEM, (b) Land use, and (c) Soil map

도에 관한 매개변수의 경우, Vieux (2004)가 제시한 기준은 Soil Texture Classification과 토양 매개변수의 관계로 각각의 매개변수 값을 재분류 하였다.

2. 호우사상 및 면적강우량

금호강 유역의 대표관측소인 대구우량관측소의 2011년 총 강우량은 1430.4 mm이며 이중에 6월과 9월 사이에 강수량은 892.8 mm로 연 강수량의 약 62.4 %가 집중되고 있으며 이 기간 중에 태풍, 장마, 국지성 호우 등의 형태로 강우가 발생하고 있다.

모형의 보정에 사용 된 2007년 2개의 호우사상은 제5호 태풍 우사기 (USAGI)가 북동진하여 일본 삿포로 남해상으로 빠져나가면서 영향을 주었던 8월 6일의 호우사상과 9월 14일에 제11호 태풍 나리 (NARI)가 남해안으로 상륙 후 동해안으로 이동해가면서 발생한 호우사상을 선정하였다. 2009년의 경우에는 우리나라에 영향을 미친 태풍은 없으며 7월에 국지성 호우로 발생한 호우사상 2개를 선정하였다. 2010년 5월 22일경 서해남부해안에서 북동진한 저기압의 영향으로 발생한 호우사상, 여름철 장마에 의하여 발생한 7월 15일 호우사상과 9월 10일경에 남부 지방에 위치한 정체전선 상에서 발달한 저기압의 영향으로 전국적으로 많은 비가 내렸던 호우사상을 검증에 사용하였다.

본 연구에서는 동촌 수위관측소 유역의 유출에 영향을 주는 우량관측소를 선정하고 IDW, Kriging, Thiessen 등의 공간보간 기법을 통하여 강우량을 산정하였다. 하지만 기상청에서 운용하는 우량관측소가 대구 관측소와 영천 관측소 2개소 밖에 존재하지 않으므로 강우의 공간분포를 실시 할 경우 동촌 수위관측소 유역 (1544.0 km²)의 크기에 비하여 우량관측소의 밀도가 너무 적다. 그러므로 Thiessen이나 Kriging 등을 사용하여 면적강우량을 산정할 경우 지배면적이 너무 커서 정확한 강우의 공간분포를 반영

Table 1 The results of spatial interpolation to rainfall data

Event	Rainfall (mm)	IDW		Kriging		Thiessen	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
2007-08-06 20:00	77.9	89.9	15.5	92.2	18.4	102.0	31.0
2007-09-14 03:00	148.6	154.5	4.0	142.7	-4.0	137.1	-7.8
2009-07-14 16:00	142.7	133.9	-6.2	140.4	-1.6	140.2	-1.8
2009-07-28 14:00	43.4	47.5	9.4	46.1	6.2	46.6	7.4
2010-05-22 00:00	64.8	79.2	22.3	69.6	7.5	71.1	9.8
2010-07-15 15:00	61.3	62.1	1.2	65.1	6.1	61.4	0.1
2010-09-10 18:00	40.8	48.4	18.8	44.5	9.2	45.2	10.9
Total	579.5	615.5	9.29	600.6	5.97	603.6	7.09

하지 못 할 것으로 판단되어 동촌 수위관측소 유역의 유출에 영향을 주는 AWS 관측소 18개소의 강우관측 자료를 함께 사용하였다.

VfloTM 분포형 모형의 입력 자료는 백그라운드 이미지 파일을 제외한 거의 모든 입력 자료가 ASCII 파일 형태로 입력되기 때문에 ASCII 파일을 VfloTM 분포형 모형에 입력하여 유역출구 점을 동촌 수위관측소로 지정한 후, 유역의 평균 강우량을 다시 TEXT파일로 획득하였다. 방법별로 산정 된 면적강우량을 실측치와 비교하기 위한 강우자료는 앞서 언급한 기상청 2개소와 AWS 18개소의 강우 관측 자료를 평균한 값을 사용하였으며 결과값을 Table 1에 정리하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 평균 강우량 산정방법에 따른 모형의 보정 및 검증

금호강 동촌지점을 대상으로 하여 실측유량자료를 바탕으로 VfloTM 분포형 모형의 보정 및 검증을 실시하였다. 모형의 적합성과 상관성을 판단하기 위한 목적함수는 결정계수 (R²), 모형

Table 2 The VfloTM results of streamflow during simulated periods

Event	Duration (hr)	Rainfall (mm)	Streamflow						
			Observed (10 ³ m ³)	IDW		Kriging		Thiessen	
				volume (10 ³ m ³)	R ²	volume (10 ³ m ³)	R ²	volume (10 ³ m ³)	R ²
2007/08/06	72	77.9	24319.5	24116.3	0.99	22829.9	0.99	23069.5	0.99
2007/09/14	80	148.6	44402.7	43645.2	0.98	46032.5	0.95	43676.2	0.94
2009/07/14	240	142.7	38160.4	38935.1	0.95	38597.9	0.95	37065.6	0.94
2009/07/28	24	43.4	11931.2	13423.5	0.99	13227.9	0.96	13442.9	0.96

Table 3 The calibrated parameters according to spatial interpolation of IDW, Kriging and Thiessen network methods

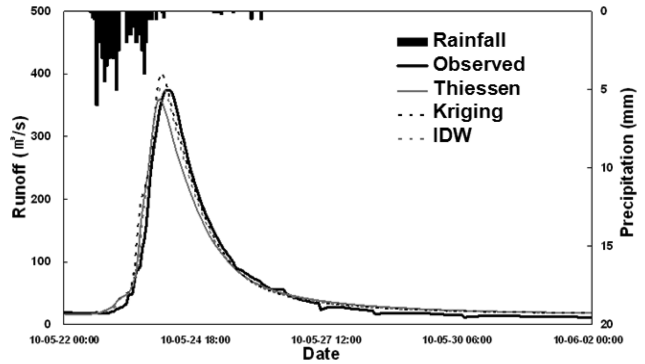
Method	Roughness	Hydraulic conductivity (cm/hr)	Wetting Front (cm)	R ²	ME	VCI
IDW	0.055	0.33	4.10	0.98	0.97	1.04
Kriging	0.055	0.31	3.96	0.96	0.94	1.06
Thiessen	0.054	0.43	5.19	0.96	0.95	1.03

의 효율성 검증은 Nash and Sutcliffe (1970)가 제안한 모형 효율성계수 (ME, Model Efficiency)를 사용하였다. 또한 실측 유량과 모의 된 유량과의 전체유출체적의 상관성을 알아보기 위하여 유출용적지수 (VCI, Volume Conservation Index)를 사용하였다.

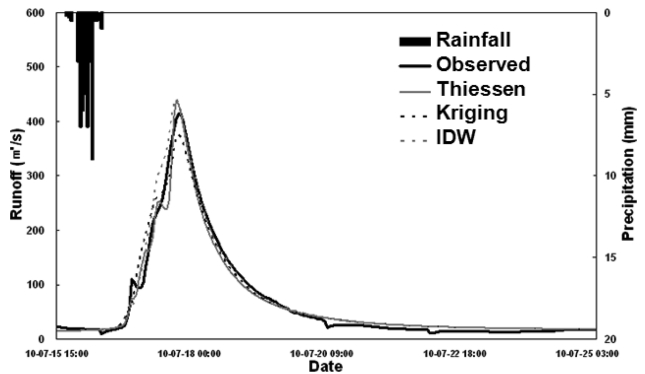
강우산정방법에 따라 IDW, Kriging, Thiessen의 강우량 산정 방법별로 2007년 2개의 호우사상, 2009년 2개의 호우사상으로 모형의 보정을 실시하였다. 시행착오법을 통해 각 면적강우량 산정방법별로 최적 매개변수를 선정한 결과, 조도계수는 0.054 ~ 0.055의 범위를 나타냈으며, 포화투수계수의 결과 값은 0.28 ~ 0.43 cm/hr, 습윤선단의 경우 9.55 ~ 12.74 cm의 결과를 보였다. 보정 결과 값을 토대로 2010년 3개의 호우사상으로 모형의 검증을 실시하였다. 검증된 자료를 면적 평균 강우량 산정 방법별로 정리하여 Table 3과 같이 나타내었다.

각 산정방법별로 얻어진 보정 값을 이용하여 모형의 검증을 수행하여 실측유량과의 편차 및 모형의 효율을 다음 Fig. 3과 Table 2와 같이 정리하여 나타냈으며 대체적으로 유사한 경향성을 나타내고 있다. 검증된 자료의 실측자료와의 상관성을 분석해보면 VCI는 1.01 ~ 1.09의 범위를 나타냈으며 R²는 0.95 ~ 0.98, ME는 0.89 ~ 0.98로 실측의 경향성을 상당히 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

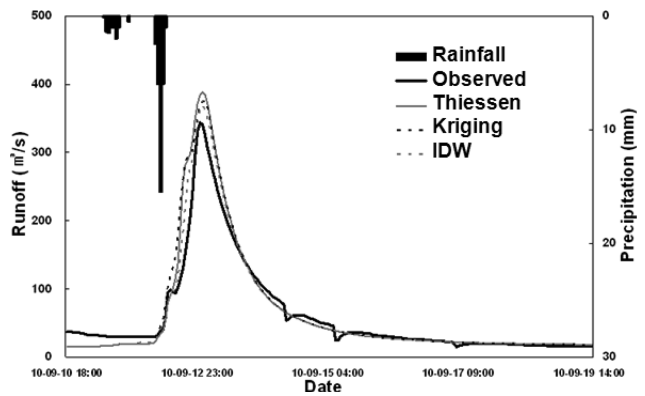
2007년과 2009년의 보정 호우사상과 2010년 검증호우 사상의 침투유량의 모의치와 실측유량과의 편차를 보면 대부분 5.0 % 내외의 양호한 결과를 나타내고 있는 반면에 2007년 9월 14일의 호우사상의 경우 그 편차가 최대 약 28.3 %까지 차이가 나고 있다(Table 4). 이는 다른 호우사상의 경우 약 20 mm 이상



(a) 22 May 2010



(b) 15 July 2010



(c) 10 September 2010

Fig. 3 Hydrograph comparison between simulated and observed runoff

Table 4 Statistical summary of peak runoff according to spatial interpolation of IDW, Kriging and Thiessen network methods

Date	Peak runoff (m ³ /sec)				SD (%)			Pa (mm)
	Obs.	IDW	Kriging	Thiessen	IDW	Kriging	Thiessen	
2007-08-06	755.1	757.5	749.9	743.7	0.3	-0.7	-1.5	23.6
2007-09-14	1758.8	1458.3	1464.0	1261.2	-17.1	-16.8	-28.3	0.0
2009-07-14	610.4	613.1	610.1	609.6	0.5	0.0	-0.1	35.6
2009-07-28	331.3	325.8	321.5	315.0	-1.7	-3.0	-4.9	19.0
2010-05-22	373.1	379.8	400.8	359.0	1.8	7.4	-3.8	43.8
2010-07-15	414.0	441.3	376.2	436.9	6.6	-9.1	5.5	100.9
2010-09-10	343.9	368.9	375.7	388.9	7.3	9.3	13.1	81.8

Obs.: Observed, SD: Standard Deviation, P₅: antecedent 5 days rainfall (mm)

의 선행강우가 있었던 반면 2007년 9월 14일의 경우 선행강우가 전무하였기 때문에 실제 토양보다 건조한 상태로 모의된 이유 때문으로 판단된다. 2010년 9월 10일 호우사상의 경우 실측 유량 자체가 크지 않기 때문에 편차가 크게 발생한 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 연구에서는 낙동강 제 1지류인 금호강 중류부의 동촌 수위 관측소를 대상유역으로 GIS자료를 이용하여 입력 자료를 구축하고 공간분포 된 강우자료와 분포형 강우-유출 모형인 VfloTM 모형을 이용하여 강우-유출모의를 수행하였다.

기존의 집중형 강우-유출 모형에서는 유역내의 우량관측소의 좌표를 이용하여 점 강우자료를 사용하여 모의를 수행하였으나 본 연구에서는 IDW, Ordinary Kriging, Thiessen 등이 공간보간 기법을 이용하여 동촌 유역의 유출에 영향을 주는 강우관측소의 강우자료를 활용하여 공간분포 된 강우자료를 생성하였다.

금호강 동촌 수위관측소 유역을 250 m×250 m 크기의 격자로 나누어 공간 입력 자료를 구축하고 산정방법별로 강우자료를 생성하였다. 2007년 8월 6일 호우사상의 IDW에 의하여 산정된 강우량을 바탕으로 모형의 민감도 분석을 실시한 결과, 조도계수와 포화투수계수, 습윤선단 등이 모형의 강우-유출에 가장 큰 영향을 주는 매개변수로 나타났다. 보정된 매개변수를 가지고 강우량 산정방법별로 평균치를 획득하여 2010년 호우사상으로 검증 실시하였다. 검증된 자료의 모형의 효율은 IDW의 경우 ME가 0.97, Kriging은 0.94, Thiessen의 경우 0.95로 계산되었다. R²의 경우 IDW는 0.98의 결과를 나타내었고 Kriging과 Thiessen은 0.96으로 계산되었다. 3가지 방법 모두 실측치를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 산정된 강우량과 유역 평균 강우량과의 편차를 분석해 보면 Kriging의 편차율이 6.0 %이고 IDW, Thiessen의 순으로 9.3 %, 7.1 %를 기록하고 있어 산정강우량 자체는 Kriging이 가장 실측치와 유사하게 산정되었으나 모의된 실측치의 경향성을 분석해 보았을 경우 IDW로 산정된 강우량의

유출 모의량이 실측치의 경향성을 가장 잘 반영하는 것으로 나타났다.

보정된 호우사상의 침투유량을 실측자료와 비교하여 보았을 경우 그 편차는 5.0 % 내외로 아주 유사하게 모의가 이루어졌다. 하지만 2007년 9월 14일 호우사상의 경우 그 편차율이 약 28.3 % 실측치보다 작게 산정되었는데 그 이유는 다른 3개의 호우사상의 경우 약 30 mm 내외의 5일 선행강우량이 있었던 반면에 2007년 9월 14일 호우사상의 경우 5일 선행강우량이 전무하였기에 포화투수계수를 낮추어 보정을 실시할 경우 실측자료와 경향성에서 많이 차이가 발생하여 유출형태와 총 유출량을 기준으로 보정을 실시하였기 때문에 포화투수계수의 보정량을 작게 산정한 이유 때문으로 보여 진다.

2010년 3개의 호우사상으로 검증을 실시한 결과 침투시간은 실측자료와 경향성이 유사하게 모의 되었으며 유출용적지수 (VCI)의 경우 IDW, Kriging, Thiessen의 순서로 1.04, 1.06, 1.03으로 나타나 실측치의 유출용적과 유사하게 모의되었다. 보정에 사용한 호우사상의 VCI는 1.01, 1.01, 0.98로 검증기간의 VCI보다 더 정확한 지수를 나타내고 있는데 그 이유는 보정에 실시된 호우사상의 경우 약 23.6 ~ 35.6 mm의 5일 선행강우량이 관측된 반면 검증에 사용된 2010년 호우사상의 5일 선행강우량은 43.8 ~ 100.9 mm로 토양의 상태가 보정에 사용된 호우사상보다 더 습윤한 상태였기 때문에 포화투수계수의 보정량이 실제 토양 상태보다 건조한 상태로 모의된 이유로 판단된다. 분포형 강우-유출 모형을 이용하여 유역의 유출량 모의를 할 경우 5일 선행강우량에 의해 토양의 상태를 선행토양함수조건 (Antecedent Moisture Condition: AMC)으로 분류한 뒤에 매개변수의 보정량을 토양의 포화상태에 따른 AMC 3가지 조건으로 나누어서 결정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

이 논문은 2011년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0029851).

REFERENCES

1. Emerson, C. H., 2003. Evaluation of the additive effects of stormwater detention basins of the watershed. Univ. of Drexel, Philadelphia.
2. Hunter, S., B. Vieux, F. Ogden, J. Niedzialek, C. Downer, J. Addiego, and J. Daraio, 2003. A test of two distributed hydrologic models with WSR-88D radar precipitation data input in Arizona. 31st Intl. Conf. on Radar Meteorology, Seattle, Washington, 6-12 Aug.
3. Kim, S. J., 1998. Grid-based kinematic wave storm runoff model (KIMSTORM)(II). *Journal of the Korea Water Resources Association* 31(3): 309-315 (in Korean).
4. Kim, W. I., K. D. Oh, W. S. Ahn, and B. H. Jun, 2008. Study on flood prediction system based on radar rainfall data. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 41(11): 1153-1162 (in Korean).
5. Lee, M. H., 2010. A study of a distributed flood runoff model for its application. Ph.D. diss., Ajou University (in Korean).
6. Nash, J. E., J. V. Sutcliffe, 1970. River flow forecasting through conceptual models Part I: A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3): 282-290.
7. Park, J. H., B. S. Kang, G. S. Lee, and E. R. Lee, 2007. Flood runoff analysis using radar rainfall and Vflo model for Mangang Dam watershed. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(3): 13-21 (in Korean).
8. Vieux, B. E., 2002. Distributed hydrologic modeling using GIS. 2nd Edition, Kluwer Academic Pub.