

# 이동강우로 인한 유출수문곡선의 비교

Comparison of Runoff Hydrographs based on the Moving Rainstorms

조용수, 전민우

Yong Soo Cho, Min Woo Jeon

## Abstract

Using kinematic wave equation, the influence of moving rainstorms to runoff was analysed with a focus on watershed shapes and rainfall distribution types. Watershed shapes used are the oblong, square and elongated shape, and the distribution types of moving storms used are uniform, advanced and intermediate type. The runoff hydrographs according to the rainfall distribution types were simulated and the characteristics were explored for the storms moving down, up and cross the watershed with various velocity. And the hydrographs were compared in the case of varying the rainstorm intensity and varying the rainstorm length in order to make the same total runoff volume. When the rainstorm intensity was varied the shape, peak time and peak runoff of a runoff hydrograph are significantly influenced by spatial and temporal variability in rainfall and watershed shapes. The peak time of down and upstream moving storms appeared latest in the case of the elongated shape basin, meanwhile at cross stream moving storms, the peak time of elongated shape basin is earlier than the others. For storms moving downstream peak time was more delayed than for other storm direction in the case of elongated watershed. The runoff volume and time base of the hydrograph decreased with the increasing storm speed.

**Keywords :** moving rainstorm, moving velocity, moving direction, rainfall distribution type, basin shape

## 요지

강우분포형과 유역형상의 변화에 따라서 이동강우가 유출에 미치는 영향을 운동파이론을 적용하여 분석하였으며, 이동강우 분포형은 균등분포형, 전진형, 지연형, 중앙집중형을 사용하였으며, 유역형상은 신장형, 정4각형 및 장방형유역에 대하여 분석하였다. 이와 같은 형상의 유역에 대하여 다양한 이동속도를 가진 강우가 유역내 하천의 상류방향, 하류방향, 횡방향으로 이동할 때 유출수문곡선을 모의하여 그 특성을 비교분석하였다. 또한 총유출량을 동일하게 하기 위하여 강우강도를 변화한 경우와 강우길이를 변화한 경우의 수문곡선을 비교하였다. 강우강도를 변화시킨 경우, 모든 강우분포형에서 그리고 모든 유역형상에서 첨두유량은 강우이동속도에 따라 점차 커지고 첨두시간이 일찍 발생하며, 기저시간은 짧아 진다. 첨두시간은 상류방향과 하류방향에서는 신장형유역의 경우가 가장 길고 장방형유역이 가장 짧으며, 횡방향에서는 반대현상으로 장방형이 가장 길고 신장형이 가장 짧다. 강우길이를 변화시킨 경우, 상류방향과 하류방향에서는 신장형의 수문곡선의 변화가 가장 크고 장방형의 변화가 가장 작으나, 횡방향의 경우는 반대현상이 생기며, 모든 경우 정사각형의 이동속도에 따른 수문곡선의 변화는 그 중간임을 알 수 있다.

**핵심용어 :** 이동강우, 이동속도, 이동방향, 강우분포형, 유역형상

\* 정회원 : 충북대학교 토목공학과 박사과정수료 · E-mail : yscho@chungbuk.ac.kr

\*\* 정회원 : 충북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : minwoo@chungbuk.ac.kr

## 1. 서 론

유출수문곡선에 영향을 미치는 인자는 크게 유역특성과 강우특성으로 대별할 수 있으며, 유역특성은 유역면적, 유역형상, 유역경사, 식생, 조도, 토지이용 등이며 강우특성은 강우량, 강우강도, 강우지속기간, 강우이동속도, 강우이동방향 등을 들수 있다. 지금까지 이동강우에 관한 대부분의 연구는 지표면에서 상류, 하류로 이동하는 강우에 의한 유출영향을 분석한 것이었으며, 한진연 등(2006)의 연구는 유역형상에 따르는 유출특성을 구명하였으나 본 연구에서는 총유출량이 동일한 조건하에서 이동강우의 강우강도와 강우길이를 증가시켰을 때의 유출을 비교분석하였다. 이를 위하여 유역을 지표면과 하도로 구성하였으며, 그 형상과 특성을 단순화하여 2개의 직4각형 지표면과 그 지표면 사이에 있는 하천으로 이루어진 유역을 가정하고, 설정된 강우분포형을 갖는 이동강우가 유출수문곡선에 미치는 영향을 분석하였다. 유역형상은 신장형유역과 장방형유역 그리고 정4각형유역에 대하여 분석하였으며, 이동강우 분포형은 균등분포형, 전진형, 자연형, 중앙집중형을 사용하였다. 이와 같은 형상의 유역에 대하여 다양한 이동속도를 가진 강우가 유역내 하천의 상류방향, 하류방향, 횡방향으로 이동할 때 강우분포형에 따르는 유출수문곡선을 모의하여 그 특성을 비교분석하였고, 이때 지배방정식으로서 운동파이론을 적용하였다.

## 2. 지배방정식 및 수치해법

운동파모형은 운동량방정식에서 관성과 압력항이 마찰력 및 중력항에 비해 무시될 수 있다고 보고 해를 구하는 방법이다. 1차원 비정상 개수로흐름의 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식으로 구성된 보존식 형태의 Saint-Venant 방정식을 사용하며, 측방향유입이 있는 지표면 흐름에 대한 연속방정식과 운동량방정식으로부터 운동파방정식 (1)을 얻을 수 있으며, 이때  $V_p$ 는 지표면 흐름의 평균유속이다.

$$\frac{\partial q}{\partial x}(\beta V_p) + \frac{\partial q}{\partial t} = \ell \beta V_p \quad (1)$$

여기서  $t$  =시간(sec),  $X$  =지표면 흐름방향으로의 거리(m),  $q$  =단위폭당 유량( $m^2/s$ ),  $\ell$  =측방향유입량으로서 지표면흐름의 경우 공간적, 시간적으로 변화하는 유효강우( $m/s$ )이다.

하도흐름의 경우 운동파방정식은 식 (2)와 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial y}(b V_c) + \frac{\partial Q}{\partial t} = q_\ell b V_c \quad (2)$$

여기서  $y$  =하도 흐름방향으로의 거리(m),  $Q$  =유량( $m^3/s$ ),  $A$  =흐름단면적( $m^2$ ),  $q_\ell$  =측방향유입량( $m^2/s$ )으로서 하도흐름의 경우 지표면으로부터의 유입량이다. 유한차분법을 이용하여 운동파방정식을 수치해석하는 방법으로는 2차精度보다 안정성이 있는 1차精度 수치해법을 사용하여 식 (1)과 식 (2)를 이산화 시키면 지표면흐름과 하도흐름에 대하여 각각 식 (3),(4)와 같다.

$$q_{i+1}^{n+1} = (1 - C_p) q_{i+1}^n + C_p q_i^n + C_p \Delta x \ell \quad (3)$$

$$Q_{i+1}^{n+1} = (1 - \frac{1}{C_c}) Q_i^{n+1} + \frac{1}{C_c} Q_i^n + \Delta y q_\ell \quad (4)$$

여기서 Courant수  $C$ 는 지표면흐름의 경우  $C_p = \frac{\beta V_p \Delta t}{\Delta x}$ 이며, 하도흐름에서는  $C_c = \frac{b V_c \Delta t}{\Delta y}$ 이다.

### 3. 유역형상 및 이동강우강도 분포형

자연하천유역은 그 모양이 다양하지만, 흔히 접할수 있는 유역으로서, 동일한 유역면적 40000m<sup>2</sup>를 갖는 신장형유역(폭80m×길이500m), 정4각형유역(폭200m×길이200m), 장방형유역(폭500m×길이80m)의 3가지 모형유역을 설정하였다. 이와 같이 설정된 3가지 형상의 모형유역에 대하여 시불변의 강우가 유역을 일정한 속도로 종.횡단이동하는 경우, 이로 인한 유출의 영향을 분석하고자 하며, 종단의 경우는 하도흐름의 동일방향과 역방향 이동강우에 대하여 유출을 구하였다.

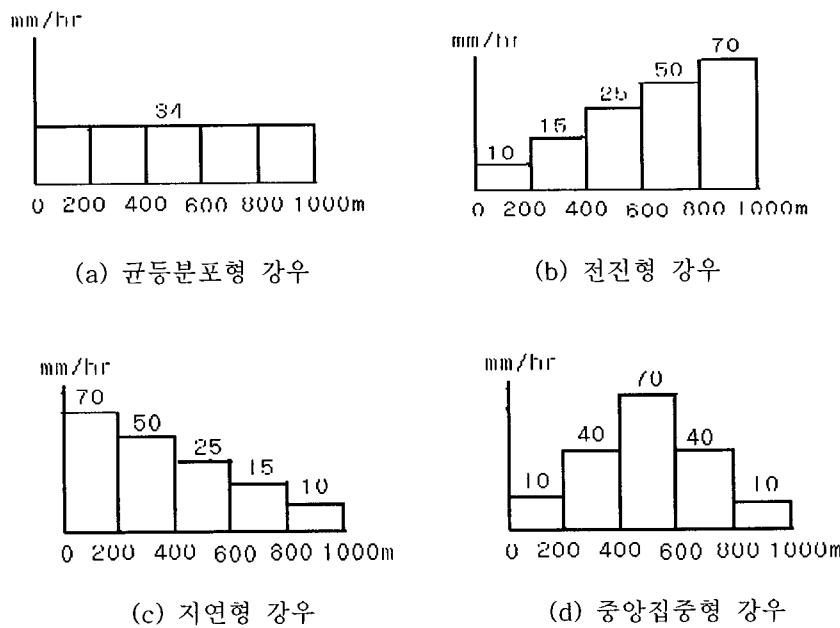


그림 1. 이동강우강도의 공간적 분포형

강우의 공간적 분포형을 균등분포형, 전진형, 자연형, 중앙집중형으로 설정하여 그림 1에 나타내었으며, 모든 경우 총강우량은 170mm/hr, 강우의 길이는 1000m이다.

이동강우에 의한 유출을 모의하기 위하여  $x$ 방향에 대하여  $\Delta x$ ,  $y$ 방향에 대하여  $\Delta y$ 로 이산화한 유역을  $\Delta t$ 시간 간격으로 강우를 이동시키므로서 유출추적을 하였으며, 강우의 이동속도는 횡방향의 경우  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ , 종방향의 경우  $\frac{\Delta y}{\Delta t}$ 로 나타내었다.

### 4. 적용 및 분석

#### 4.1 강우강도가 변화하는 경우

총유출량이 동일한 조건하( $1511m^3$ )에서 동일한 강우양상에 대하여 강우이동속도에 따라 강우강도를 변화시켰을 때의 유출영향분석을 하였다. 이와 같이 강우강도를 변화시킨 4가지 강우분포형을 3가지 유역형상에 대하여 종.횡단시키므로서 유출분석을 하였다. 그 결과 신장형유역에 대하여 그림 2에 나타내었다.

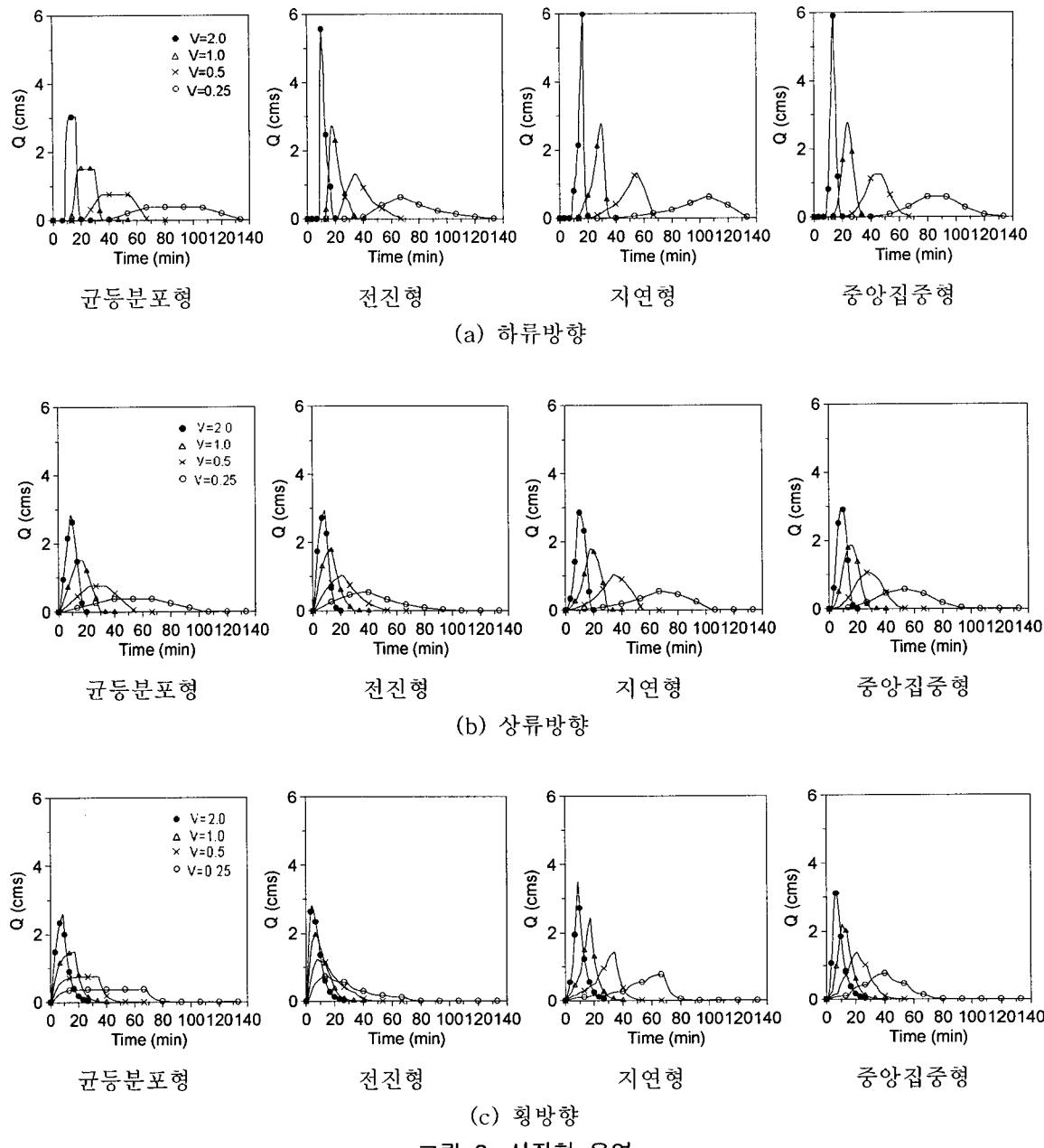


그림 2. 신장형 유역

#### 4.2 강우길이가 변화하는 경우

강우이동속도에 대한 총강우량( $1511\text{m}^3$ )을 일정하게 유지하기 위하여 강우강도를 일정하게 두고 강우길이를 변화시켜서 유출을 비교하였다. 이 경우 동일한 총강우량을 유지하기 위하여 임의이동방향에서 강우길이  $L_r$ 는 강우이동속도  $V_r$ 에 비례하여 변하며 식 (5)와 같다.

$$L_{r2} = L_{r1} \frac{V_{r2}}{V_{r1}} \quad (5)$$

여기서 첨자 1은 속도가 느린 경우, 첨자 2는 속도가 빠른 경우의 값이다. 그 결과 신장형유역에 대하여 그림 3에 나타내었다.

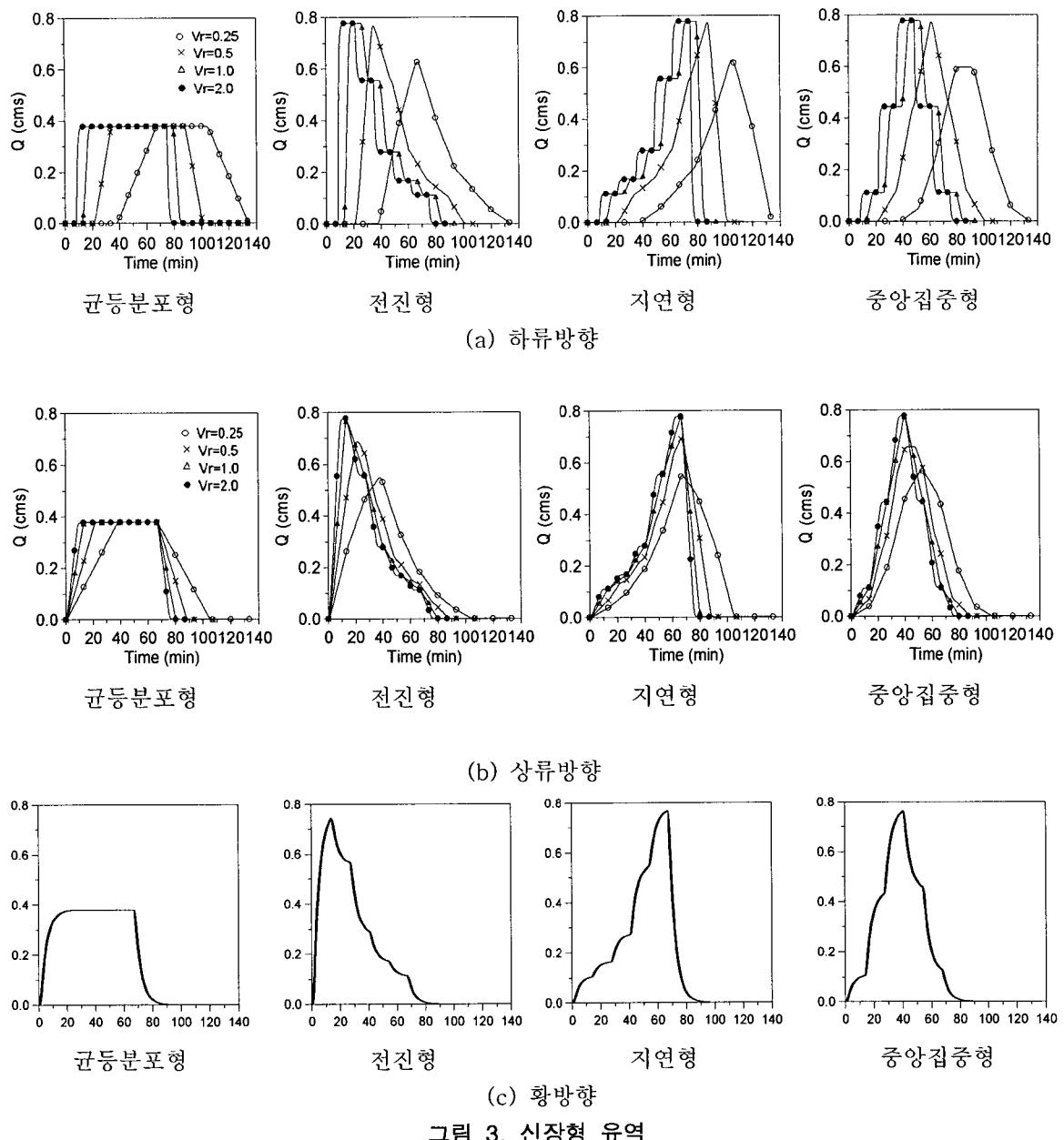


그림 3. 신장형 유역

## 5. 결 론

(1) 총유출량이 동일한 조건하에서 동일한 강우양상에 대하여 강우이동속도에 따라 강우강도를 변화시켰을 때의 유출영향분석을 한 결과, 모든 강우분포형에서 그리고 모든 유역형상에서  $Q_p$ 는 점차 커지고 첨두시간이 일찍 발생하며, 기저시간은 짧아지고 있다.

(2) 강우이동속도에 따른 강우길이가 유출에 미치는 영향을 분석하였으며, 강우이동속도에 관계없이 하류방향의  $Q_p$ 가 상류방향의  $Q_p$ 보다 크게 나타나며, 균등분포형 강우의 첨두유량은 강우이동방향에 관계없이 모든 유역형상에서 동일한 크기를 보여주고 있다.