

# 유역형상에 의한 이동강우의 유출분석

## Runoff Analysis due to Moving Storms based on the Basin Shapes

조용수\*\*, 전민우\*, 김훈\*\*

Cho Yong Soo, Jeon Min Woo, Kim Hoon

---

### 요 지

유역형상의 변화에 따라서 이동강우가 유출에 미치는 영향을 운동과이론을 적용하여 분석하였으며, 유역형상은 신장형유역과 정4각형유역 및 장방형유역에 대하여 분석하였고, 이동강우 분포형은 균등분포형, 전진형, 지연형, 중앙집중형을 사용하였다. 이와 같은 형상의 유역에 대하여 다양한 이동속도를 가진 강우가 유역내 하천의 상류방향, 하류방향, 횡방향으로 이동할 때 강우분포형에 따르는 유출수문곡선을 모의하여 그 특성을 비교분석하였다. 유출수문곡선의 모양과 첨두시간, 첨두유량은 시간적, 공간적으로 변화하는 강우와 유역형상에 의하여 크게 영향을 받는다. 횡방향의 이동강우에서는 상류방향과 하류방향의 경우보다 더 큰 첨두유량이 발생하며, 하류방향 이동강우의 첨두유량은 상류방향의 첨두유량보다 더 크게 나타났다. 신장형유역의 경우 하류방향 이동강우의 첨두시간은 상류방향과 횡방향의 경우보다 더 지체되며, 수문곡선의 총유출량과 기저시간은 강우속도가 증가함에 따라 감소하였다.

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

---

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

\*\* 정회원.충북대학교 토목공학과 박사과정·E-mail : [yscho@chungbuk.ac.kr](mailto:yscho@chungbuk.ac.kr)

## 1. 서론

지금까지 이동강우에 관한 대부분의 연구는 지표면에서 상류, 하류로 이동하는 강우에 의한 유출영향을 분석한 것이었으며, 유역의 형상과 횡방향의 이동강우에 대하여는 다루지 못하였다. 한건연 등(2004)의 연구는 정4각형유역만을 다루었으나 본연구에서는 유역형상에 따르는 유출특성을 구명하고자 한다.

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, 지연형, 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 운동과이론을 적용하였다.

## 2. 지배방정식 및 수치해법

1차원 비정상 개수로흐름의 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식으로 구성된 보존식형태의 Saint-Venant 방정식을 사용하며, 측방향유입이 있는 지표면 흐름에 대한 연속방정식과 운동량방정식은 각각 식 (1),(2)와 같다.

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

$$q = \alpha h^\beta \quad (2)$$

식 (1)의 연속방정식과 식 (2)의 운동량방정식이 지표면흐름의 지배방정식이 된다. 식 (2)의  $q$ 를  $h$ 에 대하여 편미분하여 식 (1)에 대입하면 운동과방정식 (3)을 얻을 수 있으며, 이때  $V_p$ 는 지표면흐름의 평균유속이다.

$$\frac{\partial q}{\partial x} (\beta V_p) + \frac{\partial q}{\partial t} = \ell \beta V_p \quad (3)$$

하도흐름의 경우 연속방정식과 운동량방정식은 각각 식 (4),(5)와 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_\ell \quad (4)$$

$$Q = \alpha A^b \quad (5)$$

식 (4)의 연속방정식과 식 (5)의 운동량방정식이 하도흐름의 지배방정식이 된다. 식 (5)의  $Q$ 를  $A$ 에 대하여 편미분하여 식 (4)에 대입하면 운동과방정식 (6)을 얻을 수 있으며, 이때  $V_c$ 는 하도흐름의 평균유속이다.

$$\frac{\partial Q}{\partial y} (b V_c) + \frac{\partial Q}{\partial t} = q_\ell b V_c \quad (6)$$

유한차분법을 이용하여 운동과방정식을 수치해석하는 방법에는 여러가지가 알려져 있으나, 2차精度보다 안정성이 있는 1차精度 수치해법을 사용하여 식 (3)과 식 (6)을 이산화 시키면 지표면흐름과 하도흐름에 대하여 각각 식 (7),(8)과 같다.

$$q_{i+1}^{n+1} = (1 - C_p) q_{i+1}^n + C_p q_i^n + C_p \Delta x \ell \quad (7)$$

$$Q_{i+1}^{n+1} = (1 - \frac{1}{C_c}) Q_{i+1}^{n+1} + \frac{1}{C_c} Q_i^n + \Delta y q_\ell \quad (8)$$

### 3. 유역형상 및 이동강우강도 분포형

자연하천유역에서 흔히 접할수 있는 3가지 유역형상은 신장형(elongated shape)유역, 정4각형(square shape)유역, 장방형(oblong shape)유역으로서, 본 연구에서는 동일한 유역면적 40000m<sup>2</sup>로서 신장형유역(폭 80m×길이500m), 정4각형유역(폭200m×길이200m), 장방형유역(폭500m×길이80m)의 3가지 모형유역을 설정하였다. 이와 같이 설정된 3가지 형상의 모형유역에 대하여 시불변의 강우가 유역을 일정한 속도로 중.횡단이동하는 경우, 이로인한 유출의 영향을 분석하고자 하며, 중단의 경우는 하도흐름의 동일방향과 역방향 이동강우에 대하여 유출을 구하였다. 지표면과 하도의 형상 그리고 유역의 형상을 단순화하여 그림 1에 나타내었

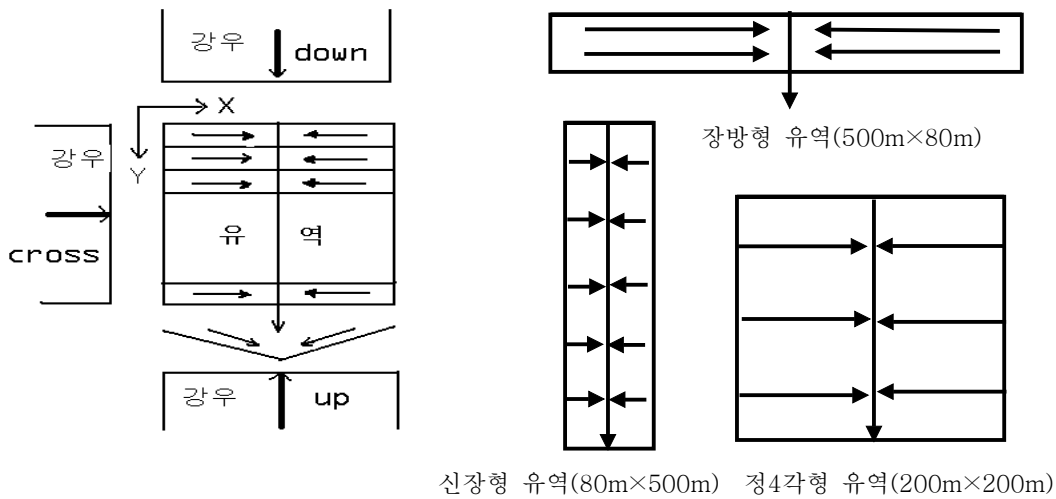


그림 1. 강우이동방향과 유역형상

강우의 공간적 분포형을 균등분포형(uniform type), 전진형(advanced type), 지연형(delayed type), 중앙집중형(centered type)으로 설정하여 그림 2에 나타내었으며, 모든 경우 총강우량은 170mm/hr, 강우의 길이는 1000m이다.

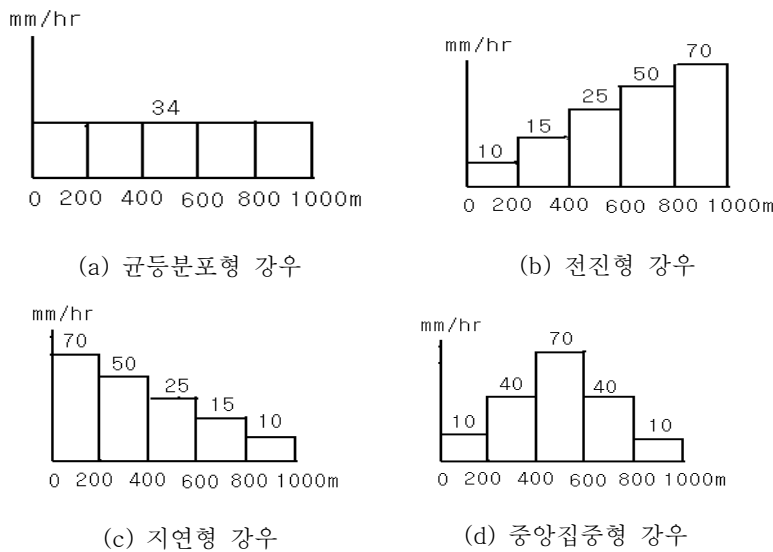
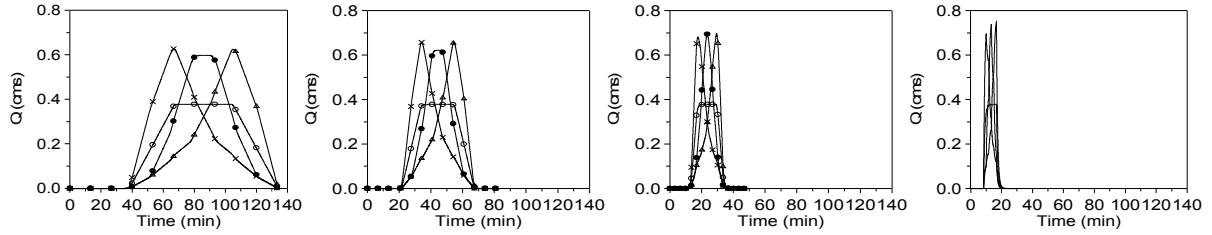


그림 2. 이동강우강도의 공간적 분포형

#### 4. 적용 및 분석

주어진 강우강도와 강우길이의 강우가 모형유역을 이동하며 강하하는 경우이며, 이때는 강우이동속도에 따라 유역내 총강우량이 달라진다. 공간분포하는 이동강우의 영향을 분석하기 위하여 그림 2의 4가지 강우분포형의 이동강우를 3가지 형상을 갖는 모형유역에 중.횡단 이동시키므로서 유출모의를 하였다. 그 결과를 강우 분포형별로 강우이동속도  $V_r=0.25, 0.5, 1.0, 2.0\text{m/s}$  그리고 신장형유역, 정4각형유역에 대하여 그림 3-4에 나타내었다.



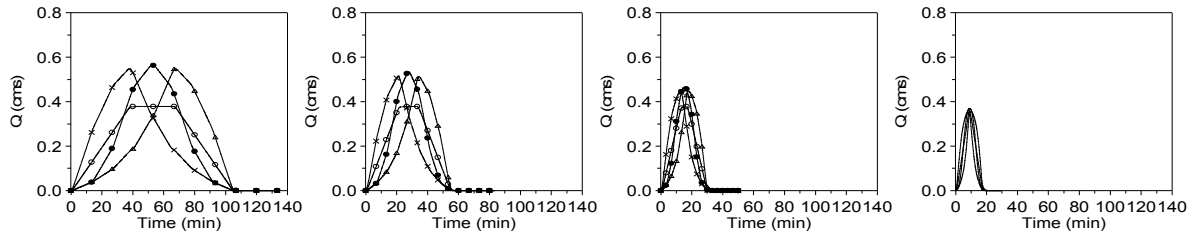
$V_r=0.25\text{m/s}$

$V_r=0.5\text{m/s}$

$V_r=1.0\text{m/s}$

$V_r=2.0\text{m/s}$

(a) 하류방향 (×; advanced △; delayed ●; intermediate ○; uniform)



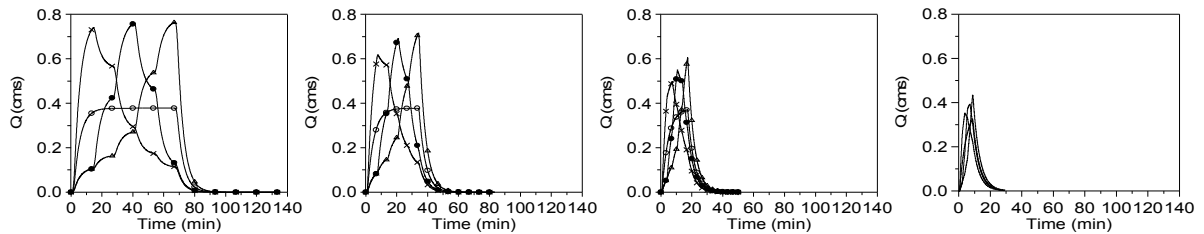
$V_r=0.25\text{m/s}$

$V_r=0.5\text{m/s}$

$V_r=1.0\text{m/s}$

$V_r=2.0\text{m/s}$

(b) 상류방향 (×; advanced △; delayed ●; intermediate ○; uniform)



$V_r=0.25\text{m/s}$

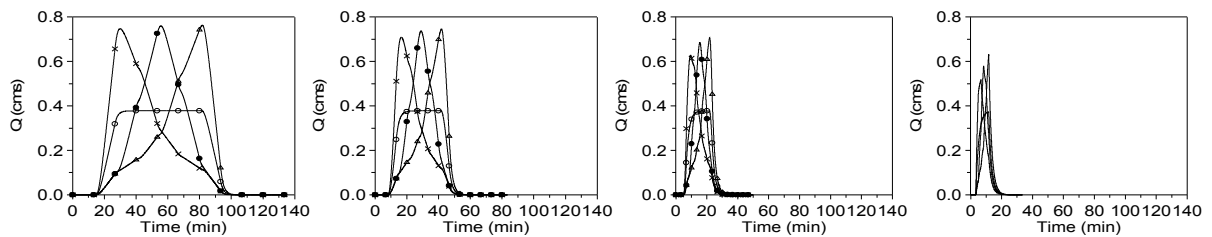
$V_r=0.5\text{m/s}$

$V_r=1.0\text{m/s}$

$V_r=2.0\text{m/s}$

(c) 횡방향 (×; advanced △; delayed ●; intermediate ○; uniform)

**그림 3. 신장형 유역(80m × 500m)**



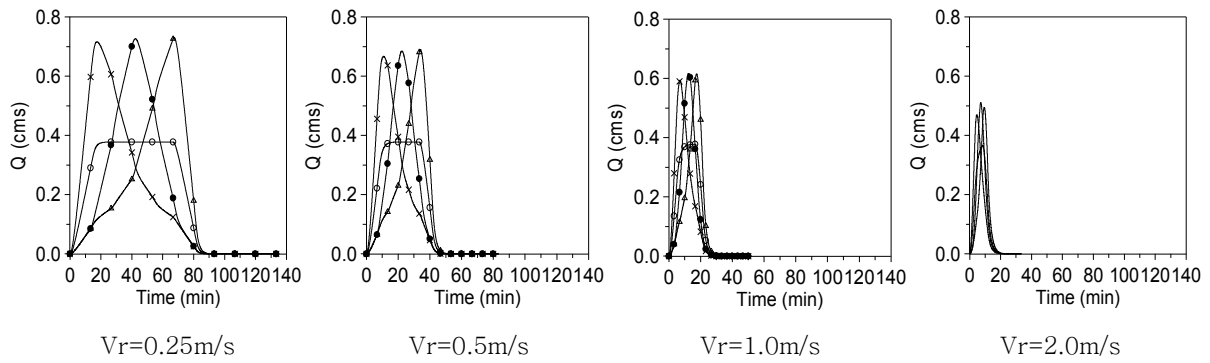
$V_r=0.25\text{m/s}$

$V_r=0.5\text{m/s}$

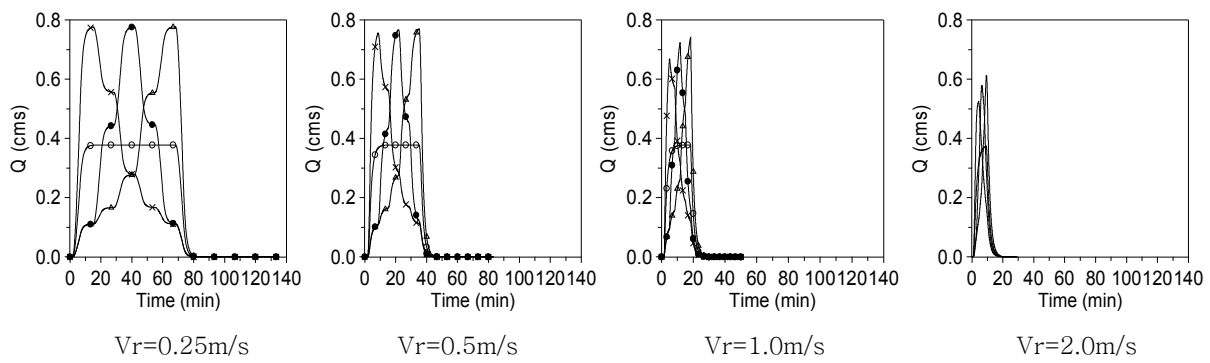
$V_r=1.0\text{m/s}$

$V_r=2.0\text{m/s}$

(a) 하류방향 (×; advanced △; delayed ●; intermediate ○; uniform)



(b) 상류방향 (×; advanced △; delayed ●; intermediate ○; uniform)



(c) 횡방향 (×; advanced △; delayed ●; intermediate ○; uniform)

그림 4. 정4각형 유역(200m×200m)

## 5. 결론

(1) 수문곡선의 모양과 첨두유량 및 첨두시간은 유역형상과 강우이동방향과 이동속도 그리고 강우분포형에 따라 그 크기가 변화하여 유출에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 강우분포형이 시간에 대하여 불변인 경우 강우이동속도가 증가하면 유속에 무관하게 유출량은 감소하고, 첨두유량은 작아지고, 기저시간은 짧아지는 것으로 나타났다. 반면에 총유출량을 일정하게 두고 강우강도를 변화시켰을 때는 모든 강우분포형에서 그리고 모든 유역형상에서 강우속도가 빠를수록 첨두유량은 점차 커지고 첨두유량이 일찍 발생하며, 기저시간은 짧아 지고 있다.

(2) 강우이동방향과 이동속도에 따라 가장 큰 첨두유량을 나타내는 유역형상을 분석한 결과 전진형, 지연형, 중앙집중형강우에서 모두 공통된 성질을 보여 주고 있으며, 강우이동속도와 유역형상에 관계없이 대체로 지연형 강우분포형의 첨두유량이 다른 분포형보다 크게 나타났다.

(3) 첨두시간은 이동속도가 증가함에 따라 지수적으로 급격히 빨라져서 일정한 값에 수렴하고 있으며, 지연형 강우에서 첨두시간이 가장 길고 전진형 강우에서 가장 짧으며, 신장형 유역의 경우 하류방향에서 첨두시간이 매우 길게 나타났다. 상류방향에 대하여는 모든 경우 강우이동속도에 독립적으로 유출이 발생하므로 이동속도와 무관한 동일한 곡선으로 나타났다. 하류방향의 경우 장방향에서 유출이 가장 빨리 나타나고 신장형에서 가장 늦게 나타났으나 횡방향의 경우는 이와 반대의 현상이 생긴다. 또한 상류방향은 하류방향보다 일찍 유출이 발생하며, 횡방향은 그 중간임을 알수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부가 출연하고 한국과학기술기획평가원에서 위탁시행한 2004년도 특정연구개발사업중 “웹기반 홍수정보시스템 Prototype 개발사업”(과제번호:M1-0402-02-0002-04-002-02-000-00)에 의한 것이다.