

분포형 정보에 대응하는 수문해석의 검토

신사철

1. 서론

유출해석에 있어서 유출장인 유역사면특성의 공간분포의 중요성은 여러차례 지적되어왔다. 최근 기상레이더 등에 의하여 점점 강우의 시공간분포가 획득 가능하도록 되어가고 있으며 GIS 등의 정비에 의하여 지형, 지질, 토양과 식생 등의 격자자료가 형성되고 있다. 이와 같이 유출현상의 입력과 발생장에 관한 정보가 분포형으로 정비됨에 따라 이들의 정보를 이용한 다양한 수문해석의 결과도 격자화 된 정보로의 개발이 요구된다. 본 연구에서는 다양한 수문과정에 지형요소를 고려한 실용적인 수문해석 방법에 대한 제시 및 그 적용성을 검토하고자 한다.

2. 수계망의 추출

수계망은 유출장의 지형정보를 나타내는 중요한 역할을 하며 이 수계망을 따라 유출량이 추적 계산된다. 임의의 크기를 갖는 격자의 수치지형도와 그에 대응하는 주요 실제하도망자료를 이용하여 수계망을 추출한다.

(1) 입력자료의 정비

본 연구에서는 청미천유역에 대하여 약 9" 간격의 표고자료를 작성하였다. 또한 실제하도망자료는 1/200,000 지형도로부터 읽은 하도를 가장 가까운 격자 점을 통과하도록 변환하여 작성한다. 유역범위를 지정하기 위하여 유역경계 자료도 같은 방법으로 작성한다.

(2) 격자 점에 있어서 가장 급경사방향 산출

> 각 격자 점에 있어서 경사가 가장 급한 방향으로 물이 전부 흐른다고 가정하고 3×3격자의 중심점의 흐름 방향은 주위 8점과의 사이에 경사가 가장 큰 점을 지정하는 것이다. 단, 8개 방향의 경사가 모두 부(-)인 점은 와지이며 이의 존재가 수계망 작성의 어려운 점을 주고 있다. 이 와지에 대하여 복잡한 처리를 피하기 위하여 3×3격자를 기본으로서 1차처리와 2차처리를 반복하여 모든 처리를 수행하는 것으로 하였다. 1차처리로서는 와지에 대하여 주위의 점의 평균표고를 그 표고로 하는 처리이며, 2차처리는 와지에 대하여 몇 개의 경로 중 실제 하도에 최단거리인 방향을 지정하는 처리이다.

(3) 각점의 집수면적 계산

어느 점의 집수면적은 그것에 흘러 들어오는 격자 수에 의해 결정된다. 본 계산에서는 모든 점으로부터 추적을 수행하여 통과할 때마다 통과 점의 횟수에 1을 더함으로써 각점의 집수면적을 계산할 수 있다. 얻어진 방향과 집수면적자료를 이용하여 어느 집수면적이상의 격자 점으로부터 형성되는 유사하도망을 작성할 수 있다. 그림1은 청미천 유역의 수계망도이며 집수면적의 한계 치로서 50을 이용하였다.

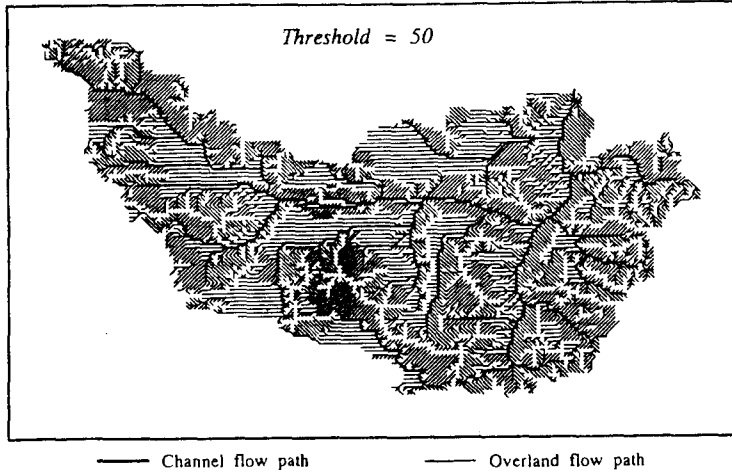


그림1 청미천 유역의 수계망

3. 유출량 계산

각 격자에 있어서 직접유출성분은 유사하도망을 통하여 이하의 가정 하에 운동파(kinematic wave)이론에 의해 유역출구까지 추적 계산된다.

- (1) 흐름의 방향은 유사하도망에서 결정된 최급경사방향이며 격자 점 사이는 광폭구형단면의 가상 유로로 연결되어 있다.
- (2) 유로에의 입력은 격자점만에서 이루어지며 그 격자에서의 직접유출성분과 상류에서의 유입으로 이루어진다.
- (3) 가상유로에서의 전파는 운동파 이론에 따른다.

운동파 이론에서 저항에 대하여 Manning법칙을 이용하면 가상유로에서의 전파에 관하여 다음 식이 성립한다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$V = h^{2/3} I^{1/2} / N \quad (2)$$

$$Q = BhV \quad (3)$$

여기서 B, h, A 는 각각 유로폭, 수심과 통수면적이며, N, I 는 각각 등가조도, 유로 경사이다. 이식을 풀면 다음 두 식이 얻어진다.

$$\frac{dQ}{dt} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{5I^{0.3}Q^{0.4}}{3N^{0.6}B^{0.4}} \quad (5)$$

격자 점간의 도달시간은 상류단에서의 유량을 이용하여 계산가능하며 하류단에서의 도달시간도 계산될 수 있다. 각유로의 하류단에서 시간배분을 실시하여 하류유로에의 유입량시계열을 형성한다.

또한 기저유출성분에 대해서는 분수감수식에 대한 저류함수를 이용하여 유역출구에서만 계산되어진다.

수록 유출의 지속시간은 짧아진다. 따라서 등가 조도를 여러 가지로 변화시켜 실제의 수문곡선 형에 근접하도록 하여 최적의 등가 조도를 구한다. 여기서 평가기준으로서 다음 식을 고려한다.

$$CRE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(Q_{oi} - Q_{ci})^2}{Q_{oi}^2} \quad (12)$$

유사하도망의 한계치 50이상의 하도에 대해서는 조도계수를 0.05로 고정하고 사면의 등가 조도의 범위로서 0.05 - 0.65로 정하여 유출계산을 실시하였다. 이들 결과에 대한 평가오차는 그림2와 같으며 등가 조도가 0.34의 경우에 최적의 재현성이 얻어졌다. 하도의 조도계수 0.05, 사면에서의 등가 조도를 0.34로 한 경우 유역의 출구에서 얻어진 유출량을 그림3에 표시하였다.

5. 증발산 분포의 추정

유역단위의 증발산량 추정의 하나의 방법은 물수지법에 의하여 구할 수 있다. 어느 유역에서의 물수지식은 다음 식으로 표시될 수 있다.

$$E = P - Q \pm \Delta S \quad (13)$$

물수지법에 의하여 증발산량을 추정할 경우 물수지 기간을 비교적 장기간으로 선정함으로써 ΔS 를 무시할 수 있으나 하나의 홍수기간과 같이 단기간의 물수지로부터 증발산량을 추정하기 위해서는 적당한 물수지 기간을 선정함이 중요한 문제이다. 한편 유출량 $q(t)$ 와 저류량 $S(t)$ 와의 사이에는 다음의 관계가 성립된다(高木과 Rodde, 1978).

$$S(t) = f \left[q(t), \frac{dq}{dt} \right] \quad (14)$$

이범위내에서 $q(t)$, dq/dt 가 같은 시간의 저류량은 동일하다고 생각할 수 있으며 이 기간을 하나의 물수지기간으로 선정하면 다음과 같이 간단하게 증발산량이 산정된다.

$$E = P - Q \quad (15)$$

따라서 강우량과 유출량의 자료로부터 어느 호우 기간의 유역 증발산량을 간접적으로 추정 가능하다. 이런 방법에 의해 추정된 평균 증발산량을 다음과 같은 방법에 의해 분포적으로 환산한다. 증발산량과 그 지점의 식생량과의 사이에는 비례관계가 성립한다는 가정(신사철, 1996)하에 NDVI와의 함수로 증발산량의 분포량을 산정한다.

$$E_i = k \cdot NDVI_i \quad (16)$$

$$k = \frac{P_m \cdot E}{\sum NDVI_i} \quad (17)$$

이와 같이 얻어진 증발산량은 유역 내 19.4mm - 31.6mm로 분포함을 알 수 있었다.

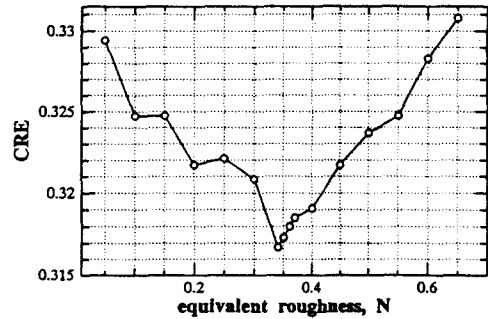
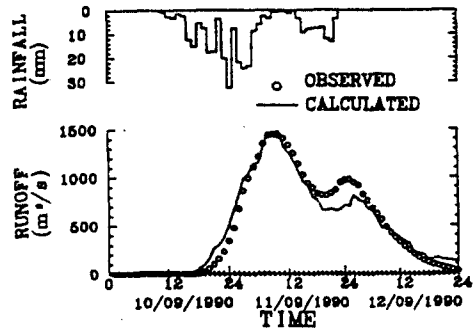
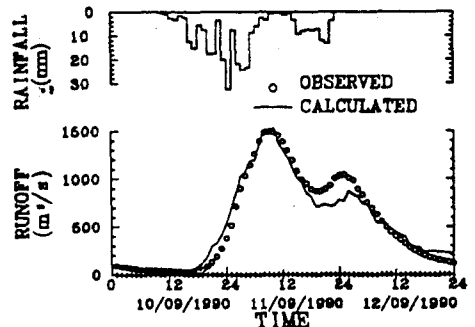


그림2 최적등가조도의 산출



(a) Direct runoff



(b) Total runoff

그림3 유역출구에서의 수문곡선

$$\frac{dS_g}{dt} = \alpha_i \cdot (1 - \alpha_d) \times P - Q_g \quad (6)$$

$$Q_g = b^2 \cdot S_g^2 \quad (7)$$

여기서 P, α_i, α_d 는 유역평균강우량, 총유출율, 직접유출율이며, 분수감수계수 b 는 유출곡선의 감수부를 이용하여 $b=0.041$ 을 얻었다.

4. 실제 홍수에의 적용

4.1 유출률의 계산

유출수문곡선은 직접유출과 기저유출의 각성분으로부터 구성되어진다. 그러나 이들의 배분은 유출기구가 해명되지 않는 한 확실히 분리할 수 없으며 간략법에 의해 이루어지고 있다. 유출에 영향을 주는 인자는 기후적 및 지상적인자에 의해 좌우되기 때문에 유출률의 공간적 분포를 추정한다는 것은 대단히 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 지형요소에 의한 유출특성 변화 등을 유효하게 평가하기 위하여 어느 지점의 지형특성에 대한 유출률을 평가하는 방법에 대한 검토를 수행하여 해석 모형에 유역의 지형요소의 특성을 조합하는 방법에 대한 고찰을 수행하였다.

지하수감수곡선을 이용하여 직접유출성분과 기저유출성분을 분리하고 대상유역에 대한 직접유출성분에 해당하는 직접유출율을 산정하였으며 해당홍수에 대한 유역의 평균 직접유출률을 다음과 같은 가정 하에 직접유출률의 분포를 산정하는 방법에 대한 검토를 수행한다.

표면유출이 발생하기 쉬운 곳은 사면 표층의 토층구조가 거의 동일하다고 한다면 토층의 포화도가 높고 그러기 위해서는 침투능이 상대적으로 작은 영역이다. 토층의 포화도는 토양수의 장기에 걸친 유하에 의해 높아지며 토양수의 유하도 결국 최대지표경사방향이라 한다면 집수면적이 큰 곳일수록 포화도가 높다고 생각할 수 있다. 또한 집수면적이 클수록 강우 중에 발생하는 빠른 중간류도 지표면 유출이 될 가능성이 높아 표면류의 발생영역이 되기 쉽다. 또한 식생 피복은 공극을 보존하는 역할 등 여러 면에서 침투율을 증가시킨다. 식생의 영향으로 증발산량이 좌우되며 결국 식생의 영향으로 유출률의 감소현상이 나타난다. 여기서 식생 상태를 잘 반영하는 NDVI(식생지수)와 유출률의 관련을 생각한다. 결국 유출률의 분포는 다음과 같이 구해진다.

$$f_{si} = F(A_{si}, NDVI_i, S_{oi}) \quad (8)$$

$$f_{si} = k \left(\frac{A_{si}}{A_t} \cdot \frac{1}{NDVI_i} \cdot S_{oi} \right) \quad (9)$$

$$f_{si} = k \cdot R_{oi} \quad (10)$$

$$k = \frac{P_m \cdot f_{g0}}{\sum R_{oi}} \quad (11)$$

여기서, f_{si} 는 각 격자점에서의 유출율이며 f_{g0} 는 유역평균 유출률, A_{si} 는 각 격자점에서의 집수면적, $NDVI_i$ 는 각 격자에서의 NDVI, S_{oi} 는 격자에서의 경사, A_t 는 총집수면적, P_m 는 총 격자수, k 는 비례상수이다.

4.2 최적등가조도의 산출

직접유출성분에 대하여 시간간격을 15분으로 유사하도망을 통하여 추적계산을 실시하였다. 단 15분간의 강우량은 시간우량을 4로 나누어 입력하였다. 등가조도를 변화시킬 경우, 등가조도가 크면 침투유량이 증가하며 그 출현시간도 짧아진다. 이 경우 총유출량은 동일하므로 침투유량이 클

6. 결론

단기간의 홍수 시에 있어서 수문량의 공간 분포 특성을 조사하기 위하여 지형특성을 고려한 기초적 단계의 연구를 수행하였다. 청미천 유역을 대상으로 하여 하도 특성을 고려한 유출해석을 통하여 구성요소의 분포상황을 추정하였다. 본 연구에서는 단일유역에 대한 단일 호우를 대상으로 해석을 실시하였으나 추후 보다 다양한 유역과 다양한 홍수를 대상으로 연구가 추진되어야 할 것이다. 유출률의 분포에 관해서도 공간적 변화 뿐만 아니라 시간적 변화도 고려될 수 있는 방법이 기대 된다. 또한 본 연구가 유출량 혹은 물수지의 예측으로 발전하기 위해서는 유출률을 강우량 자료로부터 직접 산정할 수 있는 방법이 연구되어야 할 것이다. 이들에 대한 많은 부분에 대해서는 추후의 연구방향으로 한다.

참고문헌

- 신사철(1996), "인공위성 자료에 근거한 한반도 물수지 분포의 추정", 한국수자원학회지, 제29권, 제 5호, pp. 203-214.
- 高木不折, Rodde, F. G.(1978), "地下水流出の流域における特性變化と場所的スケル", 日本土木學會 論文報告集, 270, pp. 99-108.