

GIS를 이용한 등시간도 작성

Construction of Isochrones by using GIS

○ 조효섭^{*} / 정관수^{**} / 윤석영^{***} / 김선민^{****}

1. 서론

Clark의 유역추적법에 적용되는 도달시간-집수면적도는 유역 응답 시간특성을 이용하여 산정한다. 이 때 사용하는 도달시간은 유역의 수리학적 특성(유속, 조도계수 등)을 이용하게 되며, 등시간도는 이 도달시간을 이용하여 작성하게 된다. Clark의 유역추적법은 유역출구에 가상의 단일 선형 저수지를 위치시켜 유역의 저류영향을 고려하게 되고 도달시간-집수면적도 작성에 유역의 특성(모양, 수리학적 길이, 지표면의 조도 등)이 반영되어 유출의 전이와 저류(확산 또는 감쇠)를 포함하기 때문에 유출의 물리적 현상을 구체적으로 기술할 수 있는 방법이다.

그러나 Clark모형을 적용하기 위해서는 등시간도로 구성되는 유역분할과 저류상수(k)의 결정에 어려움이 있다. 특히 등시간도의 작성은 해석자마다 다른 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 그 작성에 많은 시간 및 노력이 들기 때문에 지루한 작업이 아닐 수 없다. 이러한 관점에서 본 연구는 도달시간에 따른 등시간도 작성에 대하여 GIS기법을 이용함으로써 지루하고 방대한 작업량을 획기적으로 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 그 작성에 있어 가능한 임의성을 배제할 수 있도록 하였다. 기존 연구에서는 대부분이 도달시간의 산정을 유속의 함수로 표현하고 이를 등시간도 작성에 적용하도록 제시되고 있으나, 이들에 대한 공간데이터 모형화에 대한 연구는 부족한 형편이라고 할 수 있다. 그러므로 본 연구는 등시간도 작성에 있어서 GIS기법을 적용하기 위한 도형자료의 공간데이터 모형화 관점에서 기존의 수작업으로 수행했던 방법들을 GIS기법에 적용 가능하도록 이들 방법을 재구성하고, 작성방법에 있어 GIS기법 적용에 어느 방법이 타당한가를 비교 평가하고자 하였다.

2. 기존방법의 검토

도달시간-집수면적도는 Dooge(1959)에 의해 제시된 등시간도(Isochrones)로부터 작성된다. 등시간도의 정의는 유역의 출구지점에서부터 동일한 도달시간(Travel Time)으로 표시되는 점들을 연결한 지도로서 등시간선은 서로 교차하지 않으며, 분수계에서 시작하거나 끝나게 되는 특성을 갖는다. 도달시간은 흐름거리와 유속으로부터 유도될 수 있다.

* 유니세크 기술연구소 소장
** 충남대학교 토목공학과 조교수
*** 한국건설기술연구소, 수자원연구실, 책임연구원
**** 충남대학교 토목공학과 대학원 석사과정

만약 하천상 두 점의 거리가 L 이고 이 두 점간의 연결된 경로를 따르는 유속은 $v(l)$ 이며, 여기서 l 은 경로를 따르는 길이라고 정의하면 도달시간 t 는 다음 식(1)과 같이 주어진다.

$$t = \int_0^L \frac{dl}{v(l)} \quad (1)$$

여기서, 임의의 경로구간 Δl_i ($i=1,2,3,\dots,n$)에서 유속 v_i 이 상수라고 가정하면 위 식은 다음과 같이 이산형으로 쓸 수 있다.

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{v_i} \quad (2)$$

이러한 등시간도의 작성을 실제로 적용하기 위해서 여러 가지 방법들이 고안되어 왔으며, 본 연구에서는 기존 방법들을 검토하여 GIS기법을 적용하기 위해서 이들 방법들을 재구성하였다.

가. Laurenson 방법

Laurenson이 제시한 도달시간 공식은 Manning의 유속이 $S^{1/2}$ 에 비례하는 것에 근거하여 임의의 유역면적 상에 떨어진 강우입자가 유역출구 지점까지의 흐름경로를 따라서 거리와 경사의 1/2 지수 승 비를 누가 시킨 것을 도달시간이라고 정의 한 것이다. 일반적으로 수작업에 의한 작성절차는 지형도를 이용하여 등고선과 흐름경로의 교차점을 표시하고 유역의 최원거리의 흐름경로길이 값을 최대 구간거리 값으로 하고 이를 각 구간거리의 상대비를 구한 다음 도달시간을 곱하여 산정한다.

나. 하천중단도를 이용한 방법

하천중단도를 이용하기 위해서는 지형도가 필요하며, 도달시간 산정은 유효우량이 끝나는 시점과 직접유출수문곡선의 변곡점의 시간차로 정의되며, 지형도로부터 본류, 지류의 하천길이별 표고 자료추출 및 하천중단그래프작성하고, 도달시간을 N 개의 간격으로 분할한다. 분할된 시간축과 하천중단그래프의 횡단축(하도거리축)에 N 개의 시간간격수로 분할된 도달시간축을 중첩하여 각 교차점을 읽고 이를 지형도상에 표시 후 이를 연결하여 등시간도를 작성한다.

다. Clark-Kiet 방법

한국건설기술연구원에서 제안한 방법으로서 Clark모형의 매개변수를 산정하기 위해 유속을 이용하여 등시간도를 작성하는 것으로 다음 표<1>와 같은 절차에 따라서 수행한다. 유속의 산정은 이동거리가 중요한 변수이며, 유역 내 발생한 유효우량은 유역내에 무작위적으로 입력되므로 이로 인해 발생한 홍수파의 이동거리는 유역출구 근처의 짧은 거리에서 유역 최원점 거리에 이르기까지 다양한 이동경로를 택하게 되며 결국 홍수파는 유효우량 효과가 유역의 평균거리를 이동하면서 형성된 결과라고 할 수 있다. 따라서 홍수파의 이동거리는 유역출구에서 1차수하천까지의 길이를 각각 측정하여 이를 합하고 총 1차수하천의 수로 나눈 것이 하천의 평균거리라고 정의하여 사용한다.

<표 1. Clark -Kict방법의 수행절차>

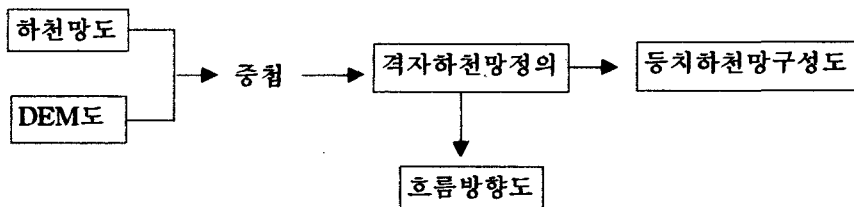
단계	처리내역	비고
1	유효우량과 직접유출 수문곡선으로부터 각각의 1차모멘트를 산정	강우-유출자료활용
2	지체시간산정 : $L_t = DRH_m - ERH_m$	L_t : 지체시간 DRH_m : 직접유출수문곡선의 1차모멘트 ERH_m : 유효우량의 1차 모멘트
3	최소이동시간(= ERH_m) 산정	유효우량 1차 모멘트
4	식(3)을 이용하여 유역평균유속 산정: $V_m = 0.278 \cdot \frac{L_m}{T_m}$ (3)	V_m : 유량의 이동속도(m/s) L_m : 하천의 평균거리(km) T_m : 최소이동시간(hr)
5	식(4)을 이용하여 등시간도 작성 $L_{is} = 3.6 \cdot V_m \cdot \Delta t$ (4) L_{is} : 유역출구에서 Δt 에 해당하는 등시간거리 V_m : 유역의 평균유속 Δt : 등시간도의 시간구간(hr)	평균 최대 유속을 거리로 환산하여 필요한 등시간 구간을 Δt 만큼 상류 쪽으로 하천을 따라 표시한 후 유역의 지형조건과 유량의 이동방향을 고려하여 미끈하게 작도.

3. 지형정보시스템의 적용

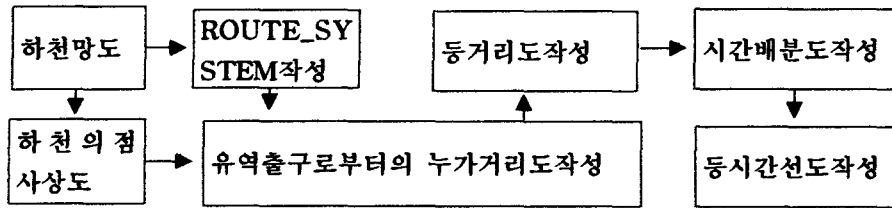
앞서 기술한 각 방법별로 GIS를 적용하기 위하여 공간데이터를 모형화하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 모형화를 위하여 각 방법별로 공간데이터 모형은 격자 방법(grid)를 사용하였으며, 이러한 모형화를 검토하기 위해서 국제수문개발계획(IHP)의 대표시험유역인 보청천유역의 소유역인 산성교지점을 통하여 검토하였다.

3.1 각 방법별 공간데이터의 모형화 및 등시간선도작성

등시간도 작성을 위해서 필요한 공간데이터는 등고선도, 하천망도의 벡터도형자료를 이용한다. 등고선도 및 하천망도는 국립지리원의 1/5,000의 수치지도를 이용하였으며, 원시자료의 가공은 GIS소프트웨어인 ARC/INFO을 이용하여 다음과 같은 절차에 의하여 기본적인 가공을 수행하고, 각 방법별로 등시간도를 작성하였다.



<그림 1. 유역의 흐름방향 및 등치하천망도구성 흐름도>



<그림2. 등거리도 작성 및 등시간선도구성 흐름도>

가. Clark-kict 및 하천중단도를 이용하는 방법의 모형화

Clark-kict방법에서 필요로하는 것은 하천망도의 도형자료와 강우 및 실측 유출수문곡선 자료가 필요하며, 도형자료는 그림.1의 하천망도를 사용하여 유역의 출구지점에서 소유역별 1차수 하천까지의 거리를 각각 구하여 1차수하천의 총수로 나누어 하천의 평균거리를 구하고 이를 식(3)에 의하여 유역의 평균유속을 계산한 후 하천을 따라서 일정시간간격($\Delta t = 1$ 시간)으로 상류쪽으로 같은 도달시간을 갖는 등시간거리를 식(4)에 의하여 산정되는 등시간거리를 작성하여 등시간도를 작성하게 된다. 또한 하천중단도를 이용하는 방법은 수작업으로 수행할 경우 하천중단도 그래프를 이용한다. 그러나 이들의 방법은 모두가 1차수 하천내지는 본류 및 지류의 연장 측정의 방법에 너무나 많은 시간이 소요되는 단점이 있을 뿐만 아니라, 각 방법에서 사용되는 공간자료의 처리에 일관성을 갖기 어렵다는 단점이 있다. 물론 지형정보시스템이 없을 경우에는 두 방법이 매우 훌륭한 방법이라고 할 수 있을 것이다. 다만, 공간정보의 처리관점에 볼 때에는 두 방법모두가 같은 개념에 속한다고 볼 수 있다. 따라서 하천망도의 route_system을 이용하여 등거리도를 작성하거나 유역의 흐름방향을 결정하여 이로부터의 흐름길이를 누가시켜서 최대거리를 상대비로 구하고 이를 도달시간을 곱하여 작성하였다. (그림6. 참조)

나. Laurenson 방법의 모형화

식 (1)을 Laurenson이 제시한 도달시간 공식인 식 (5)을 사용하였다. 이방법은 앞 두방법이 하천연장만을 이용한 방법이지만, 여기에 흐름을 따르는 경사를 고려하여 작성하는 방법으로 앞의 두 방법과는 약간의 차이가 있다.

$$T_0 = \sum_{j=1}^N \frac{l_j}{(S_j)^{1/2}} \quad (5)$$

여기서, l_j : 격자요소의 흐름길이, S_j : 격자요소의 흐름경사, T_0 : 격자요소의 도달시간

식 (5)로부터 계산된 각 격자 속의 도달시간 T_0 중 최대도달시간 T_{max} 를 추출하고 이를 전 유역의 격자에 대하여 상대적인 도달시간분포도를 작성하고 실측치로 제시되어 있는 도달시간을 전 유역에 다시 분포시켜서 도달시간분포도를 작성하였다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$T_i = \frac{T_0}{T_{max}} T_{true} \quad (6)$$

그림.3는 식(6)에 의하여 작성된 등시간선도이다.

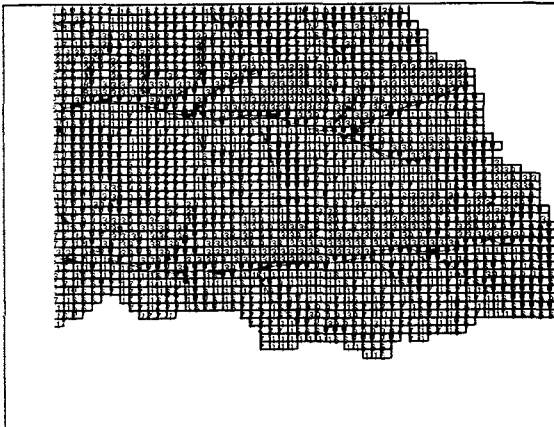
다. 수정 Laurenson 방법

이 방법은 앞 식(5)에 Manning계수 중에서 단순히 경사만의 함수로 유속을 계산하기보다는 경사와 Manning의 계수중 경사를 제외한 나머지 계수를 가중계수로 사용하여 하천망의 형상을 고려하여 수리학적으로 연계된 등시간도를 작성할 수 있도록 하기 위한 것으로서 식(7)과 같이 표현할 수 있다. 본 연구에서 가중계수(W)는 각 격자에 집수되는 면적 값을 고려하도록 설계하였다.

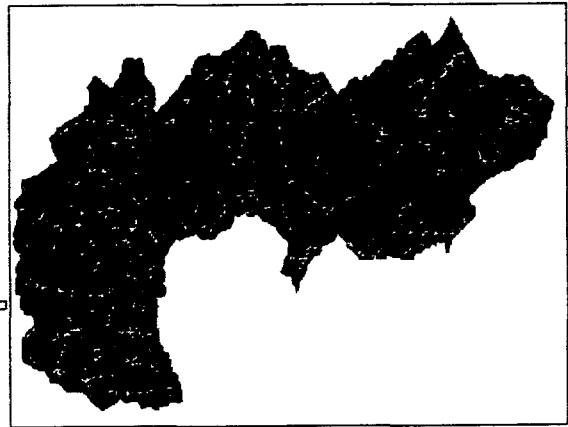
$$T_0 = \sum_{j=1}^N \frac{L_j}{W(S_j)^{1/2}} \quad (7)$$

3.2 각방법별 등시간도작성결과 및 시간별 누가면적의 비교

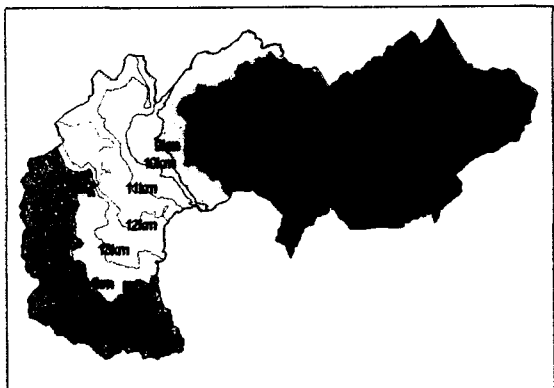
도달시간-집수면적도의 가장 중요한 변수 중 하나는 도달시간의 산정이나, 본 연구에서는 도달시간의 산정에 중점적인 것보다는 지형정보를 이용한 도달시간-집수면적의 구성에 대한 것이 관건이므로 각 방법별로 생성된 도달시간-면적도의 상대적인 것만을 비교 평가하였다. 여기서 사용된 도달시간은 국제수문개발계획(IHP)의 대표시험유역인 보청천유역의 소유역인 산성교지점(8.4시간)의 자료를 사용하였다.



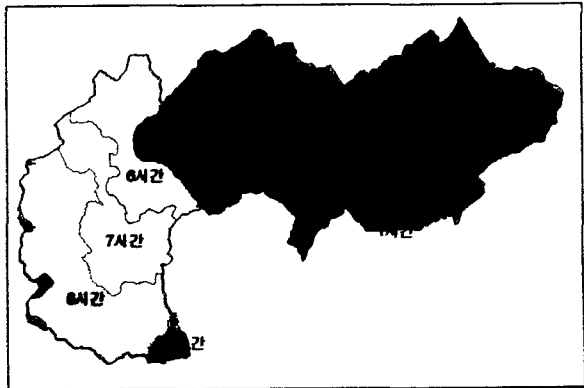
<그림3. 유역의 흐름방향 및 하천망도-일부확대>



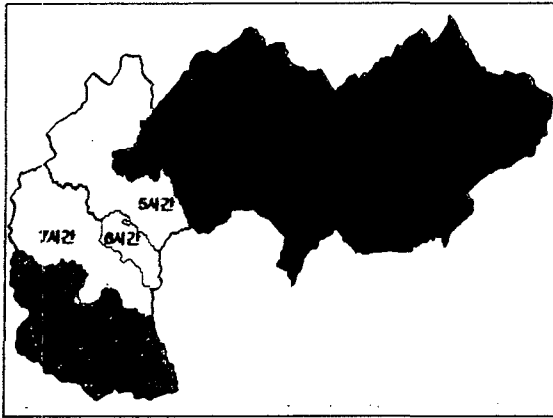
<그림4. 유역의 등치하천망도>



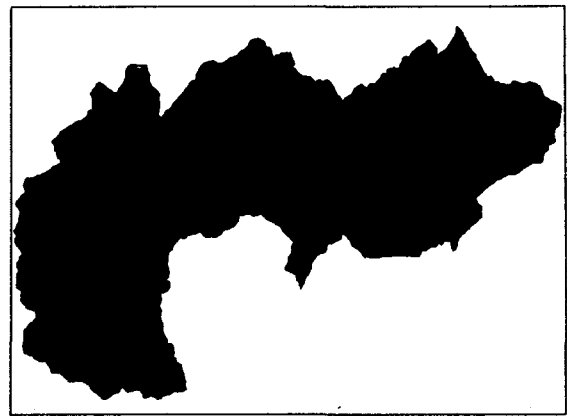
<그림5. 하천망으로부터 생성된 등거리도>



<그림6. 도달시간-집수면적도: 하천중단도법>



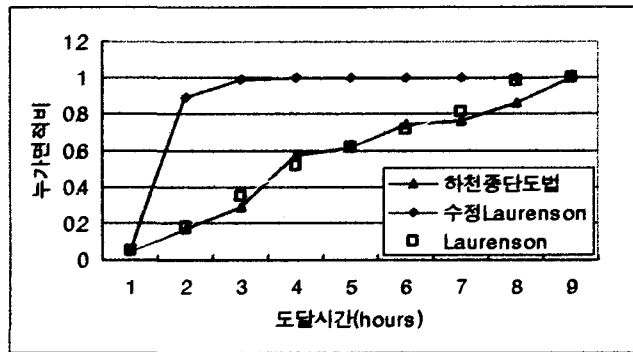
<그림7. 도달시간-집수면적도: Laurenson>



<그림8. 도달시간-집수면적도: 수정 Laurenson>

4. 결론

본 연구에서는 Clark의 유역추적법에 사용되는 도달시간-면적의 작성을 여러 가지 형태로 작성방법으로 시도하여 보았다. 그림6과 그림7을 비교하면 도달시간의 분포가 유사하게 나타남을 알 수 있다. 그림7과 그림8을 비교하면 그림7은 전체 유역에 대하여 유출지점을 중심으로 도달시간이 계산되는 반면에 그림8은 유출지점과 하천망의 형상을 고려하여 도달시간의 분포가 계산되어짐을 알 수 있다. 그러나 그림9의 그래프에서 나타나듯이 하천의 집수면적을 가중계수로 하는 수정Laurenson 방법은 그 가중치를 부여하는 계수값을 유역 형상에 맞도록 조절한다면 다른 방법에 비하여 유역의 모양을 더욱 잘 반영한 도달시간-면적도가 작성될 것으로 판단된다. 본 연구는 기존의 수작업으로 행하여지던 하천중단도법이나, Clark-Kick방법 등을 본 연구방법에 따라서 수행하게 되면 그 작업의 일관성뿐만 아니라, 체계적이면서도 유역의 물리적 인자를 고려한 합리적인 도달시간-면적도를 작성할 수 있음을 보여주었다.



<그림 9. 방법별 도달시간-누가면적비>

참고문헌

- 1) 윤석영, 홍일표(1994). "소유역의 응답시간특성 산정방법에 따른 시간 면적도의 작성과 적용", 제 36회 수공학연구발표회 논문집, pp.279-283
- 2) 윤석영(1993). 수로망 응답과 사면응답을 고려한 홍수유출해석, 박사학위논문, 충남대학교.
- 3) 조효섭(2000). 분포형 강우-유출모형의 격자 규모 결정, 박사학위논문, 충남대학교.
- 4)건설교통부(1983-2000). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 5)한국건설기술연구원(1994). 홍수유출 예측을 위한 수리·수문학적 인자의 결정. 건기연 94-WR-113