

수문지형분석을 위한 DEM에서의 sink 처리에 관한 연구

A Study on the Treatment of Sink for Hydrological Geographic Analysis in DEM

김경탁* · 최윤석** · 김주훈***¹⁾
Kyung Tak Kim, Yun Seok Choi, Joo Hun Kim

요 지

수자원 분야에서 DEM을 이용하여 유역의 수문학적 지형인자를 추출하기 위해서는 DEM으로부터 하천망을 추출하고, 유역을 분할하며 이를 이용하여 유역 범위 내에서 지형인자를 계산하는 일련의 과정이 필요하다. 이때 사용되는 기초 자료인 DEM은 최종 결과물인 유역의 지형인자에 영향을 미치게 되며, 따라서 지표면의 수리·수문 현상을 가장 적절히 표현할 수 있는 DEM을 수문학적으로 어떻게 처리할 것인가가 중요한 문제이다. 수치지도의 등고선이나 영상으로부터 추출된 DEM을 그대로 유역 분석에 이용할 경우 지표면 흐름 모의에 장애를 초래하는 sink나 flat area와 같은 오류를 다수 포함하고 있다. 그러므로 이러한 오류들을 합리적인 방법으로 제거하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 DEM을 이용하여 유역의 수문학적 지형인자를 계산하기 위해 DEM이 가지고 있는 오류 중 sink를 제거하는 기술을 개발하였다. 본 연구에서 구현한 sink 제거 기술을 이용하여 실제 유역의 DEM에서 sink를 제거하고, 그 결과를 Arc Hydro와 WMS v6.1과 비교하여 적용된 sink 처리 알고리즘의 타당성과 적용성을 검토하였다. Sink 제거 기능의 효율성과 오류 수정 후의 DEM에서 추출된 하천망의 형태적 특성 및 실제 하천과의 유사성에 대하여 검토한 결과 유역의 모든 sink가 양호하게 보정되었으며 보정된 DEM을 이용하여 추출된 하천망 또한 국외의 Arc Hydro 및 WMS v6.1과 유사한 결과를 나타내고 있다.

핵심용어 : DEM, sink, 수문지형분석

1. 서 론

최근 들어 활발히 적용되고 있는 GIS는 수자원 분야에서 다양하게 응용되고 있다. 특히 DEM을 이용한 유역의 지형분석과 수문지형인자의 추출은 수자원 분야에서 GIS를 활용하기 위한 핵심적인 기술 중 하나이다. 현재 DEM을 구축하기 위한 기술로는 항공사진이나 위성영상 등을 이용한 영상분석과 수치지도의 등고선을 이용한 보간법 등이 있다. 이와 같은 방법으로 구축된 DEM은 영상자료나 등고선이 가지고 있는 오류와 이러한 자료를 이용하여 DEM을 추출하는 과정에서 가지는 오류를 포함할 수 있다(Garbrecht와 Martz, 1999). 또한 DEM은 일정한 크기의 격자를 이용하여 지표면의 형상을 표현하기 때문에 실제 지형을 그대로 반영하고 있다고는 볼 수 없는 한계를 가지고 있다(Garbrecht와 Martz, 1998). 이러한 DEM의 오류는 유역의 지표면 흐름의 결정, 하천망의 추출 및 유역경계의 결정시 실제 자연현상과는 상이한 결과가 도출될 수 있는 원인으로 작용할 수 있다. 또한 DEM이 실제 지표면의 형상을 그대로 반영하고 있다고 하더라도 배수율

1) * 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · Email : ktkim1@kict.re.kr.
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · Email : yschoi51@kict.re.kr.
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · Email : jh-kim@kict.re.kr.

위한 인공 구조물은 DEM에서 반영되기 어려운 부분이므로, DEM의 합리적인 변형을 통하여 물의 흐름이 원활히 이루어 질 수 있도록 해야 한다. 따라서 DEM을 이용한 유역의 수문지형학적 인자를 추출하기 전 단계로서 DEM이 가지고 있는 오류를 수정하여 자연현상을 가장 적절히 표현할 수 있는 DEM으로의 변환 과정이 반드시 필요하다.

DEM을 이용하여 유역의 흐름 현상을 모델링 하는 데 있어서 발생하는 오류는 물의 흐름을 저해하는 sink와 흐름 방향을 결정할 수 없는 flat area이다. 본 연구에서는 이러한 DEM에서의 오류 중 sink를 제거하는 기술을 개발하는 것에 대하여 수행되었다. 국외의 경우 미국의 Arc/Info와 TOPAZ를 중심으로 이러한 DEM 처리기술을 개발하여 발전시켜 오고 있으며, 국내에서는 한국건설기술연구원에서 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원에 의해 수행되고 있다.

2. Sink 검색

Sink는 유역내의 DEM에서 흐름 방향을 결정할 수 없는 셀 혹은 여러 셀들의 집합으로서 물의 흐름이 하류방향으로 발생되지 않은 지점을 나타낸다(Garbrecht와 Martz, 1992). 이는 DEM의 특정 셀을 둘러싸고 있는 모든 셀들의 고도가 대상 셀보다 높거나, 두 셀의 흐름이 각각 반대여서 흐름경로가 무한 루프를 나타낼 때 발생하게 되며(Arc/Info v8.1), sink의 판별을 위해서는 모든 셀에 대해 직접적인 물의 유출경로를 따져 보아야 한다. 본 연구에서는 DEM 격자에서의 흐름방향을 결정하기 위해서 O'Callaghan과 Mark(1984)에 의해서 제안된 D8-method(deterministic eight-neighbors method)를 이용하였다.

본 연구에서는 N×N 마스크 내에서 발생하는 sink를 검색하기 위하여 DEM 범위내의 모든 셀에 대하여 흐름의 발생 유무를 검토하고 N×N 마스크 영역 내에서 흐름 경로를 추적한다. 이때 흐름이 발생하지 않거나, 이미 흐름이 발생된 경로를 반복하여 지나갈 경우 이 셀을 sink로 설정한다. Sink로 설정된 셀에서부터 sink 처리가 이루어지며 물의 흐름이 마스크 외곽 범위에 도달할 경우 N×N 마스크에서의 sink는 제거된 것으로 판단한다. 이러한 과정에서 N×N 마스크에서 sink 처리를 통하여 보정된 DEM 셀의 영역을 sink 영역으로 정의한다.

3. Sink 보정

Sink를 보정하기 위한 알고리즘은 외국의 경우 1970년대 중반부터 제안 되었다. Mark등(1984)은 sink 제거를 위하여 “filling” 방법을 제안 하였으며, 이 방법은 Arc Hydro나 TOPAZ에서 적용되고 있다. 본 연구에서 적용한 sink 보정 기술은 sink로 설정된 단일 셀에서부터 시작한다. 이러한 개념은 sink 영역으로 설정된 부분일지라도 마스크의 크기가 작아질 경우 sink 영역에서 제외 될 수 있음을 반영한 것이다. 특정 셀에서 흐름이 발생하지 않을 경우는 특정 셀을 둘러싸고 있는 모든 셀이 자신보다 높거나 같은 고도를 가짐으로써 흐름이 발생하지 않는 경우이며, 이때 sink 처리의 시점은 그림 1과 같다.

본 연구에서는 “filling” 방법과는 달리 sink를 둘러싸고 있는 셀들의 고도를 고려하여 보정을 수행하며, 이는 그림 2와 같다. 즉, 단일 sink를 둘러싸고 있는 8개의 셀 중 가장 낮은 고도(EL_{m1})를 가지는 셀(C_{m1})과 두 번째 낮은 고도(EL_{m2})를 가지는 셀(C_{m2})을 이용하여 sink 영역을 채운다. 이때 C_{m1} 을 sink의 출구로 설정하고 C_{m1} 에서부터 sink 영역내의 각 셀까지의 거리에 따라서 EL_{m1} 과 EL_{m2} 사이의 값으로 거리 배분하게 된다.

$$EL_{fill} = m1 + (L/Lmax) \times (EL_{m2} - EL_{m1}) \quad (1)$$

여기서, EL_{fill} : 보정된 셀의 고도

L : C_{m1} 에서 보정할 셀까지의 거리

$Lmax$: C_{m1} 에서 sink 영역의 셀 중 가장 먼 거리.

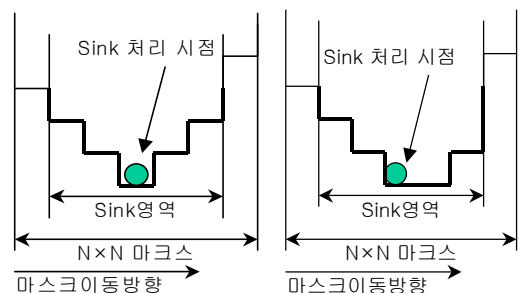
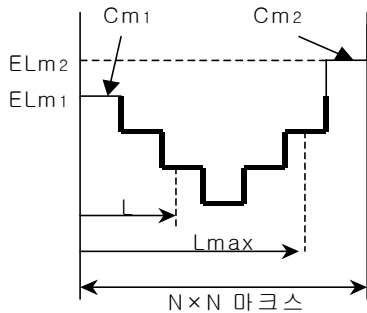


그림 1. Sink 처리를 위한 시점 결정



이때 L_{max} 에 위치한 셀이 $Cm2$ 와 인접해 있는 경우 $ELm2$ 가 EL_{fill} 로 설정됨으로서 flat area를 형성한다. 따라서 $ELm2$ 대신에 $ELm2$ 에서 $ELm2$ 와 $ELm1$ 의 차의 0.05%에 해당하는 값을 뺀 값 ($ELm2'$)을 적용한다. 즉, 식 (1)에서 $d = L/L_{max}$, $ELm2' = ELm2 - (ELm2 - ELm1) \times 0.05$ 라고 하면 보정된 셀의 고도는 식 (2)와 같다.

$$EL_{fill} = ELm1 + d(ELm2' - ELm1) \quad (2)$$

그림 2. 거리에분배 의한 Sink 보정

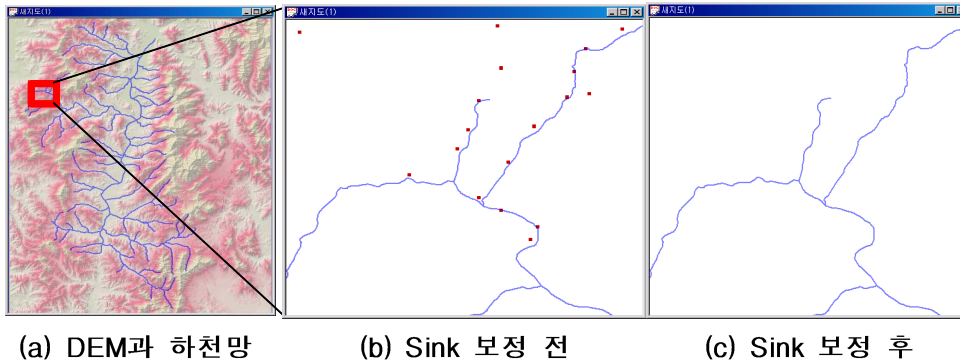
단일 sink의 보정이 이루어진 후에는 물의 흐름이 $N \times N$ 마스크 영역의 최외곽 셀까지 진행되는지 검사하며, 그렇지 못할 경우는 sink 영역을 확대시켜서 위의 과정을 반복하게 된다.

본 연구에서 제안한 방법은 "filling" 방법과는 달리 sink의 처리에 의해서 flat area가 생기지 않는다. 따라서 DEM의 오류수정을 위해서 sink 처리와 flat area의 처리를 반복적으로 수행하는 Arc/Info 및 TOPAZ와는 달리 sink 처리만을 반복적으로 수행하게 되며, flat area의 처리는 DEM 보정 과정 초기에 한번만 수행하면 된다.

4. Sink 처리기술의 적용

본 연구에서는 경안천의 경안교 상류 유역을 대상으로 sink 처리기술을 적용하였다. 1/25,000 수치지도로부터 추출한 등고선을 이용하여 30m×30m의 격자로 이루어진 DEM을 구축하였으며, 이를 이용하여 DEM 보정을 수행하고 추출된 하천망을 Arc Hydro 및 WMS v6.1을 이용한 결과와 비교 하였다.

그림 3은 경안천 유역을 대상으로 sink 처리를 한 것을 나타내고 있다. 그림 3(a)는 1/25,000 수치지도의 등고선을 이용하여 구축한 경안천 유역의 DEM과 수치지도의 하천망 레이어를 추출하여 1차원 하천으로 재구성한 경안교 상류의 하천망을 나타낸 것이다. 그림 3(b)는 그림 3(a)에서 붉은색 사각형으로 표시된 부분을 확대한 것으로 붉은 점은 확대된 영역에 존재하는 sink를 나타내고 있다. 계산결과 그림 3(a)의 영역에는 그림 3(b)와 같은 sink가 sink 보정 전에 총 1409개가 존재하는 것으로 나타났으며, 본 연구에서는 검색된 1409개의 sink를 처리하게 된다. 그림 3(c)는 sink 보정 후에 확대된 영역에서 sink가 완전히 제거된 것을 나타내고 있다. 그림 4는 본 연구에서 개발한 알고리즘을 이용하여 추출한 하천망과 Arc Hydro를 이용하여 추출한 하천망 및 TOPAZ를 이용하여 DEM을 보정하고 하천망을 추출한 WMS v6.1에서의 결과를 비교한 것이다. 그림 4에서 파란색으로 표시된 하천망은 수치지도에서 추출한 하천망을 나타낸 것이며, 황색으로 표시된 하천망은 WMS v6.1을 이용해서 추출한 하천망이다. 또한 녹색으로 표시된 하천망은 Arc Hydro를 이용해서 추출한 하천망을 나타낸 것이며, 빨간색으로 표시된 하천망은 본 연구에서 추출한 하천망을 나타낸 것이다. 그림 4에서 수치지도의 하천망과 본 연구에서 추출한 하천망을 비교하여 보았을 때 대상유역의 sink가 정상적으로 보정된 것을 알 수 있으며 추출된 하천망도 실제 하천과 유사한 결과를 보이고 있다. 또한 Arc Hydro 및 WMS v6.1을 이용하여 추출된 하천망과 비교 하였을 때에도 유사한 결과를 보이고 있는 것을 알 수 있다.



(a) DEM과 하천망 (b) Sink 보정 전 (c) Sink 보정 후
그림 3. Sink 보정 결과

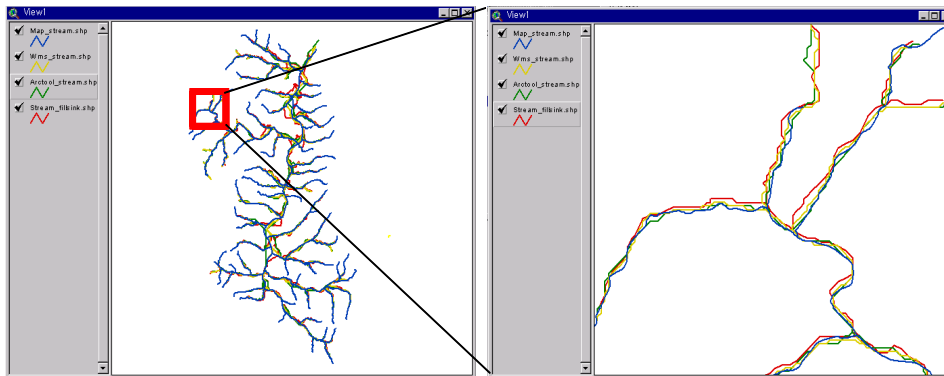


그림 4. Sink 보정 결과

5. 결론

본 연구에서는 DEM을 이용하여 지표수 흐름을 표현할 때 흐름에 장애를 발생시키는 DEM의 오류인 sink와 flat area 중 sink의 처리기술에 대하여 수행되었다. DEM에 존재하는 sink를 보정하기 위하여 새로운 알고리즘을 제시하였으며, 구현된 알고리즘을 이용하여 실제 유역에 적용하였다. 적용결과 유역의 모든 sink가 양호하게 보정되었으며 보정된 DEM을 이용하여 추출된 하천망 또한 국외의 Arc Hydro 및 WMS v6.1과 유사한 결과를 나타내고 있다.

6. 향후 연구과제

DEM을 이용하여 지표수 흐름을 표현하기 위해서는 DEM에 존재하는 sink 뿐만 아니라 flat area의 보정도 중요하다고 할 수 있다. 따라서 향후에는 개발된 sink 처리 알고리즘의 개선과 더불어 flat area의 처리기술의 개선을 위한 연구가 필요하다. 또한 개발된 알고리즘을 실제 적용성 높은 우수한 프로그램으로 구현하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원(과제:1-2-1)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. David R. Maidment(2002). Arc Hydro GIS for Water Resources, ESRI Press.
2. Garbrecht, J. and Martz, L.W.(1992). Numerical Definition of Drainage Network and Subcatchment

- Areas from Digital Elevation Models. *Computers & Geosciences* V.18. No. 6. pp.747-761.
3. Garbrecht, J. and Martz, L.W.(1998). The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models. *Hydrological processes*, v.12 no.6, pp.843-855)
 4. Garbrecht, J. and Martz, L.W.(1999). TOPAZ: An Automated Digital Landscape Analysis Tool for Topographic Evaluation, Drainage Identification, Watershed Segmentation, And Subcatchment Parameterization, Overview. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, GRL 99-1, p.7-9.
 5. O'Callaghan, J.F. and Mark D. M.(1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer vision, graphics, and image processing*, v28, pp.324-344.