

DEM에서의 Sink와 Flat Area 처리 알고리즘에 대한 비교 검토*

김경탁^{1*} · 최윤석¹

Examination of the Algorithms for Removing Sink and Flat Area of DEM*

Kyung-Tak KIM^{1*} · Yun-Seok CHOI¹

요 약

DEM을 이용하여 하천망을 생성하고 유역을 분할하기 위해서는 DEM에 존재하는 sink나 flat area와 같은 오류를 합리적인 방법으로 제거하는 과정이 필요하다. DEM의 sink를 제거하기 위한 방법으로는 filling 알고리즘과 breaching 알고리즘 등이 있으며, flat area에서 흐름방향을 결정하기 위한 방법으로는 Jenson과 Domingue 알고리즘, relief 알고리즘 및 combined gradient 알고리즘 등이 있다. 본 연구에서는 이들 알고리즘에 대한 검토를 수행하고 breaching 알고리즘이 포함된 filling 알고리즘과 combined gradient 알고리즘을 적용하여 DEM의 오류를 제거하는 프로그램을 개발하였으며, 이와 Arc/Info에서 채택하고 있는 filling 알고리즘과 Jenson과 Domingue 알고리즘을 적용한 DEM의 오류 제거 결과와 비교 검토하였다. 추출된 하천망의 특성을 분석하고, 그 결과를 수치지도에서 추출한 하천망과 형태적 측면 및 하천차수별 특성 비교를 통해 본 연구결과의 유용성을 검토하였다.

주요어 : Sink, Flat Area, DEM, 하천망

ABSTRACT

To determine stream network and watershed boundary using DEM, it is necessary to remove sink and flat area in proper way. There are filling algorithm and breaching algorithm to remove sink and Jenson and Domingue algorithm, relief algorithm and combined gradient algorithm to determine flow direction in flat area. In this study, the algorithms are reviewed. The computer program which uses filling algorithm with breaching algorithm and combined gradient algorithm to remove errors in DEM is developed. The results from this program are compared with Arc/Info which uses filling algorithm and Jenson and Domingue algorithm. The characteristics of stream network extracted from

2005년 10월 10일 접수 Recieved on October 10, 2005 / 2005년 11월 3일 심사완료 Accepted on November 3, 2005

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

¹ 한국건설기술연구원 수자원연구부 Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

* 연락처자 E-mail : ktkim1@kict.re.kr

the DEM are analyzed. They are compared with the stream from NGIS map for stream morphology and characters by stream order to examine the value of this study.

KEYWORDS : Sink, Flat Area, DEM, Stream Network

서 론

수자원분야에서 유역의 지형인자는 유역에 대한 수리·수문 분석과 유역관리를 위하여 반드시 필요한 자료이다. DEM은 고도 값을 가지는 일정한 크기의 격자를 이용하여 유역의 형상을 나타내고 있으며, 이를 이용하여 하천망을 추출하고 유역을 분할함으로써 유역의 다양한 지형인자를 계산할 수 있다(Martz와 Garbrecht, 1998). 이러한 DEM을 활용한 기술은 실측된 수치자료가 없는 유역을 대상으로 수문분석을 위한 지형자료를 객관적인 방법으로 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 분포형 수문모형에서도 유용하게 사용될 수 있다.

일반적으로 DEM은 항공사진이나 위성영상 등을 이용한 영상분석과 수치지도의 등고선을 이용한 보간법 등을 통해서 구축되고 있다(DeBarry와 Quimpo, 1999). 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(Martz와 Garbrecht, 1998). 이러한 DEM의 오류는 유역의 지표면 흐름의 결정, 하천망 추출 및 유역경계의 결정시 실제와 상이한 결과가 도출될 수 있는 원인으로 작용할 수 있다. 따라서 DEM을 이용한 유역의 수문학적 지형인자를 추출하기 전단계로서 DEM이 가지고 있는 오류를 수정하여 지표면 흐름을 가장 적절히 표현할 수 있는 DEM으로 변환하는 과정이 반드시 필요하다고 할 수 있다.

원시 DEM을 이용하여 유역의 흐름특성을 표현할 때 나타날 수 있는 오류는 sink와 flat area를 들 수 있다. 본 연구에서는 순수 국내 기술로 개발된 GIS engine인 GEOMania에 새롭게 컴포넌트 형태의 수문학적 DEM 처리기술을 개발할 목적으로 breaching 알고리즘이 포함된 filling 알고리즘과 combined gradient 알고리즘을 적용하여 DEM의 오류를 제거하는 프로그램을 개발하였다. 한편 DEM 격자의 흐름방향의 결정은 O'Callaghan과 Mark(1984)에 의해서 제안된 D8-method(deterministic eight-neighbors method)를 이용하였다. 본 연구에서 개발된 DEM 오류 제거 기술의 적용성을 검토하기 위해 일반적으로 국내에서 많이 사용하고 있는 filling 알고리즘과 Jenson과 Domingue 알고리즘을 적용하고 있는 ArcInfo를 이용한 DEM의 오류 제거 결과와 비교 검토하였다. 각각에서 추출된 하천망의 특성을 분석하고, 그 결과를 수치지도에서 추출한 하천망과 형태적 측면 및 하천차수별 특성 비교를 통해 본 연구결과의 유용성을 검토하였다.

연구동향

DEM을 이용하여 지표수 흐름을 모의하기 위한 DEM의 오류수정에 대한 연구는 국외의 경우 1980년대 이후 꾸준히 수행되고 있으며, 국내에서는 2002년 이후에 DEM에 존재하는 sink와 flat area의 제거에 대한 연구가 수행되고 있다. Collins(1975)와 Mark등(1984)은 DEM에서의 pit의 문제를 해결하기 위한 기초연구를 수행하였으며, Jenson과 Domingue(1988) 및 Martz와 Jong(1988)은 filling 알고리즘을 제안했다. Martz와 Jong은 sink의 고도를 높여 주기 위하여 특정

검색 영역 내에 존재하는 잠재출구(potential outlet)의 고도를 이용하였으며, Jenson과 Domingue는 sink를 형성하는 기여 영역의 경계 중 가장 낮은 고도를 이용하였다. 이때 흐름 방향의 결정은 셀을 둘러싼 8개의 셀에 대하여 가장 급한 경사를 가지는 곳으로 흐름을 결정하는 D-8 method를 이용하였으며, 이는 지형의 기복이 잘 발달한 지형에서는 다방향의 흐름을 고려하는 것보다 더 양호한 결과를 보여주고 있다 (Freeman, 1991). Garbrecht와 Martz(1992)는 Jenson과 Domingue의 방법과 Martz와 Jong의 방법을 비교 분석 하였으며, Jenson과 Domingue 방법을 이용하여 DEM 해상도에 따른 영향을 검토한 결과 해상도에 큰 영향을 받지 않고 유사한 결과를 나타낸다는 결론을 도출하였다. 이후 Garbrecht와 Martz(1996)는 sink의 발생원인의 분석과 함께 기존의 연구내용을 보완하여 breaching 알고리즘을 제안하였다.

sink 제거를 위한 국내의 연구사례로는 sink 영역 내에 있는 DEM의 셀에서 잠재 유출구로 설정된 셀까지의 거리를 가중치로 하여 sink의 고도를 보정하는 거리가중법이 개발된 바 있다 (김경탁 등 2004). 거리가중법은 sink 영역의 보정 후에 flat area가 발생되지 않고 모든 sink를 효과적으로 제거할 수 있으나, 이로 인하여 sink 영역을 둘러싸고 있는 주변 지형의 형태가 반영되지 않는 단점이 있다. 또한 정인균 등 (2003)은 DEM을 이용하여 하천망을 추출할 때 Fillburn과 Agree burn 기법을 적용하고 이를 수치지도의 하천망과 비교 분석하였다.

DEM에 존재하는 flat area에서 지표수의 흐름을 모의하기 위한 흐름방향에 대한 연구는 sink의 제거에 비해서 큰 관심을 끌지 못해왔다 (Tribe, 1992). O'Callaghan과 Mark(1984)는 어떤 셀을 둘러싸고 있는 8방향을 향한 경사가 2개 이상이 동일하여 특정 방향으로의 흐름을 결정하지 못할 경우 시계방향으로 우선순위를 부여하여 흐름을 유도 하였다. Morris와 Heerdegen(1988)은 배수가 가능한 인접한 셀에서의 방향성에 의하여 flat area에서의 흐름 방

향을 결정하였다. Jenson과 Dominique(1988)는 흐름방향이 결정되지 않는 영역이 있을 경우 '흐름 방향이 결정된 셀과 인접해 있고, 그 셀의 흐름방향이 대상 셀로 향하지 않는다'는 조건을 만족하면 인접한 셀로 흐름방향을 부여하였다. Jenson과 Dominique의 알고리즘은 산지의 골짜기와 같은 지역에서는 양호한 결과를 보이나, 하천의 하류부와 같이 평탄지가 분포한 지역에서는 동일한 방향으로 향하는 지류가 다수 발행하는 문제점을 안고 있다(Tribe, 1992). 이를 보완하기 위하여 Tribe(1992)는 sink의 처리과정에서 발생하는 flat area를 처리하기 위하여 flat area 부분으로 흘러들어오는 부분과 flat area의 출구로 설정된 셀을 최단거리로 이어주는 셀의 경로를 주된 흐름 경로로 설정하고 Jenson과 Dominique의 알고리즘을 이용하여 flat area를 제거하였다.

Martz와 Garbrecht(1992)는 flat area의 고도가 동일한 셀들의 범위를 검색하여 인접한 부분에 더 낮은 고도를 가지는 셀이 없을 때 이 범위를 flat area로 판단하여, 이의 고도를 순차적으로 증가시켜 나가는 relief 알고리즘을 제안하였다. relief 알고리즘에서는 하향 경사가 있는 셀에서부터 증가하는 경사를 가지도록 flat area를 처리하게 된다. Garbrecht와 Martz(1996)는 이 방법을 개선한 combined gradient 알고리즘을 제안하였으며 실제적이고 지형적으로 타당한 배수 경로를 결정할 수 있었다.

Sink 처리 알고리즘

sink는 유역내의 DEM에서 흐름 방향을 결정할 수 없는 셀 혹은 여러 셀들의 집합으로서 물의 흐름이 하류방향으로 발생되지 않은 지점을 나타낸다(Martz와 Garbrecht, 1992). DEM에 존재하는 sink는 sink의 기여영역과 이를 둘러싸고 있는 주변 고도에 따라서 두 가지의 형태로 구분될 수 있다. 첫 번째는 sink의 기여영역의 고도가 실제보다 낮게 부여됨으로 인해서 발생하는 것과, 두 번째는 sink의 기여영역 하류부의 지형이 실제보다 높게 부여됨으로 인해서

발생되는 것이다(그림 1). 실제보다 고도가 낮게 부여됨으로 인하여 발생하는 sink는 sink 기여영역의 고도를 높여 줌으로써 제거될 수 있고, 하류부가 실제보다 높은 고도가 부여됨으로 인하여 발생하는 sink는 하류부의 고도를 낮게 해주어야 한다. 그러나 이러한 구분은 실제 DEM에서 판별되기 매우 어려우며, 기존의 연구들은 대부분 모든 sink는 실제보다 낮은 고도가 부여됨으로 인해서 발생 되는 것으로 가정하여 sink의 고도를 증가시키는 방법을 채택하였다(Martz와 Garbrecht, 1998). 그러나 Garbrecht와 Martz(1996)는 실제보다 높은 고도가 부여된 하류부의 고도를 낮추어 주기 위하여 breaching 알고리즘을 제안하였으며, breaching 알고리즘을 적용한 filling 알고리즘을 이용하여 DEM을 보정한 결과 기존의 결과에 비하여 양호한 결과를 도출 하였다.

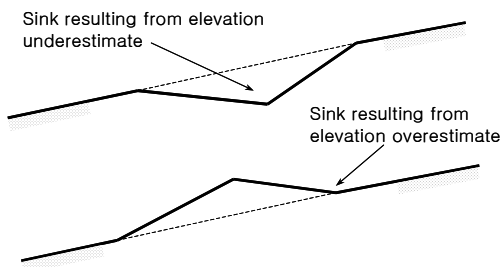


FIGURE 1. Schematic profiles of two types of sink(Martz and Garbrecht, 1998)

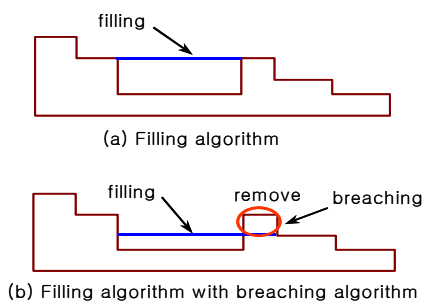


FIGURE 2. Filling algorithm and breaching algorithm

그림 2는 기존의 filling 알고리즘과 breaching 알고리즘을 적용한 filling 알고리즘의 차이를 비교한 것이다. 기존의 filling 알고리즘은 sink의 기여영역 내부의 최외각 셀의 고도 중 가장 작은 값으로 sink 영역을 채우는 방법이다. breaching 알고리즘은 sink의 기여영역 하류부분에 국부적인 고도의 과대평가에 의해서 흐름에 장애가 발생하는 상황에 대하여 sink의 유출구로 평가되는 하나 혹은 두개의 셀의 고도를 낮추어 줌(breaching)으로써 유출구를 형성한다. breaching의 대상이 되는 셀의 개수를 하나 혹은 두개로 제한한 것은 breaching 알고리즘이 sink 하류부의 국부적인 고도 과대평가로 인한 sink만을 처리하기 위함이며, 또한 breaching에 의해서 직선 형태를 나타내는 긴 흐름경로가 발생하는 것을 방지하기 위함이다.

Flat area 제거 알고리즘

1. Jenson과 Domingue 알고리즘

flat area는 DEM의 특정 셀 혹은 동일한 고도를 가지는 인접한 셀들의 집합과 그 셀들을 둘러싸고 있는 주변 셀들의 고도가 같음으로 인하여 흐름방향을 결정할 수 없는 영역을 나타낸다. Jenson과 Domingue(1988)는 DEM의 3×3 셀의 영역에서 가운데 셀과 주변 8개의 셀과의 고도 비교에 따른 flat area 내부에 있는 셀의 흐름방향을 결정하는 방법을 제안하였다. DEM의 3×3 영역에서 가운데 셀이 flat area 일 경우에는 주변 셀들과의 경사를 이용하여 흐름방향을 결정할 수 없다. 따라서 인접한 셀의 흐름방향을 검토하여 ‘흐름 방향이 결정된 셀과 인접해 있고, 그 셀의 흐름방향이 대상 셀로 향하지 않는다’는 조건을 만족하면 인접한 셀로 흐름방향을 부여하였다. 이 과정이 반복될 경우 flat area로 설정된 영역의 가장자리부터 순차적으로 흐름방향이 설정되며, 모든 flat area에 대하여 흐름방향이 부여될 때 까지 반복된다.

Jenson과 Domingue 알고리즘은 모든 flat

area에 대하여 효과적으로 흐름방향을 부여할 수 있으나, 하천의 중류와 하류에 분포하고 있는 넓은 영역의 flat area에 대해서는 평행한 하천망이 추출되는 단점이 있다(Tribe, 1992). Jenson과 Domingue 알고리즘을 이용하여 보정한 DEM에서 추출한 하천망은 relief 알고리즘을 이용할 경우와 유사하나, Jenson과 Domingue 알고리즘에서는 실제적인 DEM의 고도는 변화시키지 않은 상태에서 각 셀별로 흐름방향을 설정한다는 특징이 있다(Martz와 Garbrecht, 1992).

2. Combined gradient 알고리즘

Combined gradient 알고리즘은 검색된 flat area에 대하여 “gradient towards lower terrain” 과정과 “gradient away from higher terrain” 과정을 수행한다. 이때 “gradient towards lower terrain” 과정은 flat area로 판명된 영역을 둘러싸고 있는 외부 셀의 고도 중 flat area의 고도보다 낮은 값을 가지는 셀에서 멀어지는 방향으로 순차적으로 고도를 증가시키고 있으며, 이로 인하여 보정된 flat area의 경

사는 낮은 셀이 있는 방향으로 형성된다. “Gradient towards lower terrain” 과정은 기존의 relief 알고리즘과 같은 방법으로 적용절차는 다음과 같다.

- (i) flat area를 검색한다(그림 3(b)).
- (ii) flat area에 대해서 그림 3(a)와 같이 순차적으로 고도를 증가시킨다(그림 3(c)).

“Gradient away from higher terrain” 과정은 높은 지형으로부터 멀어지는 경사를 부여하기 위하여 적용되는 과정이다. “Gradient away from higher terrain” 과정의 적용 절차는 다음과 같고, 그림 3(b)에 대하여 적용한 예는 그림 4와 같다.

- (i) 평탄면에서 높은 지형의 인접부에 있고, 낮은 고도에 인접하지 않는 모든 셀의 고도를 증가시킨다(그림 4(a)).
- (ii) 이전에 증가된 모든 셀은 다시 증가시킨다(그림 4(b)).
- (iii) 이전에 증가되지 않은 모든 셀과 증가된 셀에 인접한 모든 셀 그리고 평탄면 보

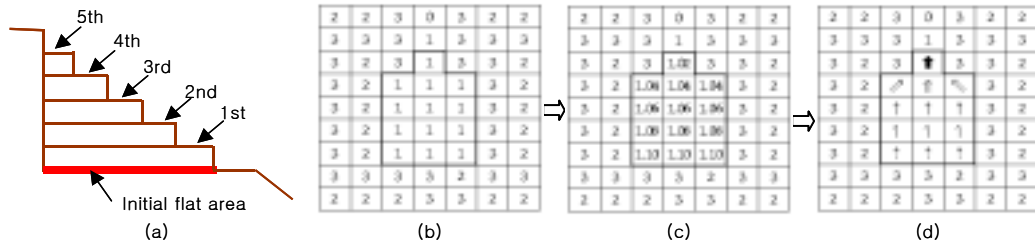


FIGURE 3. Gradient towards lower terrain process(Martz and Garbrecht, 1998)

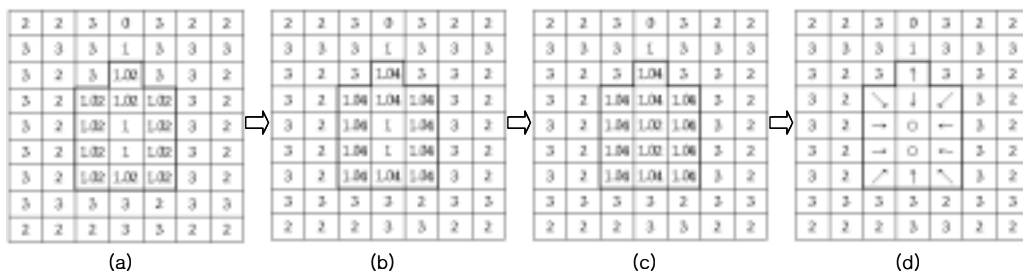


FIGURE 4. Gradient away from higher terrain process(Martz and Garbrecht, 1998)

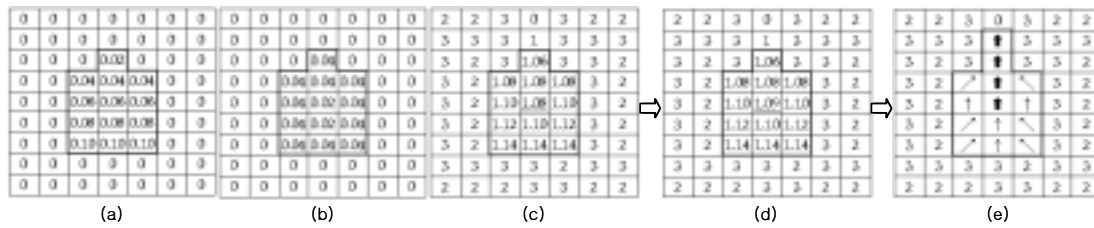


FIGURE 5. Combined gradient process(Martz and Garbrecht, 1998)

다 낮은 셀에 인접하지 않은 모든 셀을 증가시킨다(그림 4(c)).

- (vi) flat area로 설정된 모든 셀이 한번 이상 처리될 때까지 (ii)와 (iii)의 과정을 반복한다.

Combined gradient 알고리즘에서는 “gradient towards lower terrain” 과정의 결과와 “gradient away from higher terrain” 과정의 결과를 합성하여 flat area를 보정하며, 그 과정은 다음과 같다. 그림 5는 그림 3과 그림 4의 결과를 합성하여 flat area를 보정하는 예를 나타낸 것이다.

- (i) “Gradient towards lower terrain”에 의한 DEM의 증가 값을 계산한다(그림 5(a)).
- (ii) “Gradient away from higher terrain”에 의한 DEM의 증가 값을 계산한다(그림 5(b)).
- (iii) (i)과 (ii)의 증가 값을 합한다.
- (vi) 원본 DEM에 (iii)에서 계산된 고도 증가분을 합한다(그림 5(c)).
- (v) (vi)의 결과로 flat area가 발생될 경우 그 영역에 대하여 “gradient towards lower terrain” 과정으로 보정한다. 이때의 증가분은 기존 증가분의 1/2을 이용한다(그림 5(d)).

기존에 널리 이용되던 relief 알고리즘과 본 연구에서 적용한 combined gradient 알고리즘을 이용한 flat area 처리 결과를 비교하면 그림 3(d) 및 그림 5(e)와 같다. 그림 3(d)에서는 flat area 내에서 저지대 방향으로 평행한 흐름을 가지는 셀들이 다수 발생하고 있지만, 그림 5(e)에

서는 이러한 셀들이 대폭 감소하고 주수로 형태로 흐름이 유도되는 것을 알 수 있다.

DEM 보정 기법의 적용

본 연구에서는 DEM의 sink와 flat area 처리하기 위하여 제안된 알고리즘 중 filling 알고리즘, breaching 알고리즘, Jenson과 Domingue 알고리즘, relief 알고리즘(“gradient towards lower terrain” 과정과 동일) 및 combined gradient 알고리즘에 대하여 검토하였다. 그리고 이러한 방법을 이용해서 보정된 DEM에서 추출된 하천망을 비교함으로써 각각의 보정방법이 하천망의 추출에 미치는 영향을 검토하고자 한다. 다만, 실제 시스템구현과정에서는 각각의 알고리즘을 어떻게 결합하느냐에 따라 최종적으로 추출되는 결과에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 DEM을 이용한 하천망 생성을 위하여 breaching 알고리즘이 적용된 filling 알고리즘과 combined gradient 알고리즘을 이용한 DEM 보정기법을 개발하였으며 알고리즘의 구현 과정은 그림 6과 같다.

그림 6과 같은 과정을 통해 처리된 DEM을 이용하여 하천망을 생성하였으며, 생성된 하천망은 ArcInfo를 이용해서 생성한 하천망과 비교 검토되었다. 본 연구에서 검토된 각 하천망의 생성 과정에서 적용된 DEM 보정 방법은 표 1과 같다. ESRI의 ArcInfo에서는 DEM의 보정을 위하여 표 1에서와 같이 filling 알고리즘과 Jenson과 Domingue 알고리즘을 이용하고 있다(ArcInfo v8.1). 또한 추출된 하천망의 적합성

TABLE 1. DEM treatment methods for creating stream networks

Classification	Remove sink algorithm	Flat area treatment
This study	Breaching algorithm Filling algorithm	Applying Combined gradient algorithm and D8-method
ArcInfo	Filling algorithm	Jenson and Domingue algorithm



FIGURE 6. DEM treatment process

을 평가하기 위한 기준으로 수치지도에서 추출한 일차원 하천망을 이용하였으며, 이 수치지도에서 추출한 하천망과의 비교를 통해 구현된 알고리즘의 적합성을 평가하고자 한다.

각 방법에서 추출된 하천망의 비교에서는 우선적으로 하천망의 형태와 지형적 적합성이 검토 되었다. 이는 하천망의 형태가 수치지도의 하천 중심선과 유사한 형태로 일차원 하천망을 형성하는가에 대한 것과 유역의 지형과 중첩되었을 때 지형의 기복에 따라 위치적으로 타당한가에 대한 평가이다. 두 번째는 각 방법을 통해서 추출된 하천망에 대하여 하천차수별로 지형 특성을 비교하였다. 이때 하천의 차수는 Horton-Strahler 방법을 이용해서 부여 하였으며, 하천차수별 하천수, 평균하천연장, 평균하천경사 등에 대하여 검토하였다.

1. 대상 유역의 선정 및 자료 준비

구현된 알고리즘의 적합성 여부를 검증하기 위한 대상 유역은 한강의 지류인 경안천에서 경안교 상류 유역을 선정하였다. 경안교 유역은 약 263km²의 면적을 가지며, 토지피복 현황은 산림지역이 60%, 농업지역이 20%, 시가화/건조지역이 11%, 기타 지역이 9%를 차지하고 있다. 행정구역으로는 용인시와 광주시에 걸쳐있으며, 경안교는 광주시의 목감천 합류부 상류에 위치하고 있다.

본 연구에서는 국가지리정보원의 1:25,000 수치지도의 등고자료로 생성한 30m×30m 크기의 DEM을 이용하였으며, ArcInfo와 본 연구에서 구현한 기법을 이용하여 하천망을 생성하였다. 수치지도의 하천망은 1:25,000 수치지도의 하천망 레이어 중 세류까지 포함하여 1차원 하천망을 구축하고, 이 중 소하천보다 작은 지류에 해당하는 부분을 제외하여 기준 하천망으로 설정하였다.

평지가 넓게 분포하는 하천의 중하류 지역에 대하여 수치지도 등고선으로부터 생성된 DEM만을 이용하여 하천망을 추출하는 것은 매우 어려운 일이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Agree Burn(Hellweger, 1997) 등에서는 항공측량 등으로 제작된 일차원 하천망이 있는 경우에 이를 이용하여 DEM으로부터 실제와 유사한 하천망을 생성할 수 있는 기법을 제공하고 있으나, 실측된 하천망이 없는 경우에는 적용할 수가 없는 한계가 있다. 본 연구에서는 DEM의 오류를 보정하는 알고리즘이 하천망 생성에 미치는 영향에 대하여 검토하고 있으며, 따라서 DEM만을 이용해서 하천망을 생성하고 이를 수치지도에서 추출한 기준 하천망과 비교하였다.

DEM을 이용한 하천망의 생성에서는 각 threshold 별로 생성되는 하천망의 형태가 달라진다. 따라서 본 연구에서는 기준 하천망의 총연장과 1% 이내의 오차를 가지는 threshold에서의 하천망을 검토 대상으로 설정하였다. 또한 DEM을 이용하여 하천망을 생성할 경우에는 실제보다 매우 짧은 길이를 가지는 지류가 생성 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기준 하천망의 1차 하천 중 가장 짧은 길이를 1차 하천의 최소연장으로 설정하였으며, DEM에서 하천망을 생성할 때 이 길이보다 짧은 1차하천의 지류는 하천망에서 제외하였다.

2. 형태 및 지형적 검토

DEM을 이용해서 생성한 하천망의 특성 분석 중 첫 번째로 하천망의 형태와 지형적 적합성을 검토하였다. 실제 하천의 형태와 지형적 특성은 낮은 지형을 따라서 1차원 하천망을 형성한다는 것이다. 본 연구에서는 수치지도의 하천망을 기준 하천망으로 설정하였으며, 이를 항공사진과 중첩한 것은 그림 7과 같다. 그림 7에서의 수치지도의 하천망은 항공사진에서의 하천중심을 대체적으로 잘 따르고 있음을 알 수 있다. 따라서 수치지도의 하천망이 실제 하천망의 형태를 적절히 반영하고 있다고 볼 수 있으며 이를 기준으로 하여 DEM에서 추출된 하천망을 비교하였다.

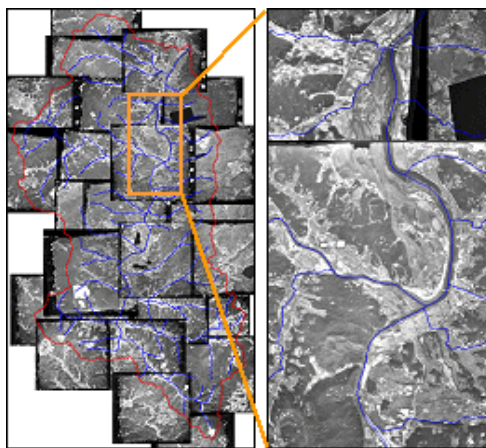


FIGURE 7. Aerial photos and NGIS stream

그림 8은 수치지도의 하천망과 ArcInfo에서 추출한 하천망 그리고 본 연구에서 추출한 하천망을 경안교 유역의 DEM과 중첩한 것이다. 하천망의 형태와 지형적 적합성은 그림 8(a)에 표시된 3개의 영역에 대해서 검토되었으며, 각 영역을 확대한 것이 그림 8(b) ~ 그림 8(d)이다. 그림 8(b)는 하천의 상류지역으로 지형의 기복이 명확한 산지이다. 이러한 지역의 경우 좁은 영역에서 국부적으로 발생하는 sink와 flat area에 대한 보정이 이루어 질 수 있으나, 그 결과가 하천망의 형태에 미치는 영향은 중하류의 평탄지에 비해서 작다고 할 수 있다. 따라서 그림 8(b)에서는 DEM에서 추출된 두 개의 하천망이 모두 낮은 지형을 따라서 유사한 형태로 생성되는 것을 알 수 있으며, 이는 수치지도의 하천망과도 일치하고 있다.

그림 8(c)와 그림 8(d)는 하천의 중하류에 있는 도시지역과 농경지에 해당하는 영역이다. 이러한 지역은 평탄한 지형이 넓게 분포하고 있으며, 원시 DEM에서 많은 sink와 flat area를 포함하고 있다. 이러한 영역은 DEM 보정 방법에 따라서 각기 다른 흐름 방향이 계산되며, 결과적으로 하천망의 형태도 각기 다르게 형성된다. 그림 8(c)와 그림 8(d)에서는 ArcInfo에서 추출한 하천망과 본 연구에서 추출한 하천망 모두가 수치지도의 하천망을 잘 반영하고 있지는 못하다. 그러나 ArcInfo에서 추출한 하천망은 넓은 평탄지에서 하류 방향으로 평행한 직선 형태의 하천망을 형성하는 것을 알 수 있다. 이에 비하여 본 연구에서 추출한 하천망은 넓은 평탄지에서도 주하천으로 지류가 적절히 합류하고 있으며, 평탄지를 둘러싸고 있는 고지대의 영향을 반영하여 넓은 평탄지에서도 굴곡을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 flat area를 처리하는 알고리즘의 차이로 인한 것이며, 각각의 하천망은 그 특징을 잘 반영하고 있다고 할 수 있다. 따라서 그림 8에서와 같이 하천의 중하류에 분포하고 있는 평탄지에서는 Jenson과 Domingue 알고리즘을 적용하기 보다는

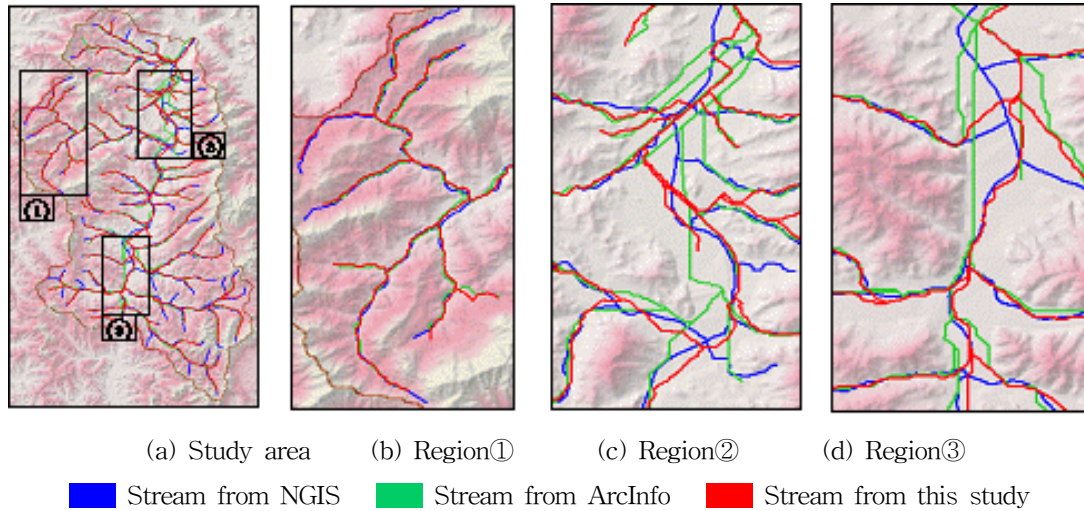


FIGURE 8. DEM and streams from each method

TABLE 2. Stream characteristics by stream order

Stream order	Stream Character	NGIS	This study	Relative error[%]	ArcInfo	Relative error[%]
1	Number	65	65	0.0	60	7.7
	Total length[m]	152788	138275	9.5	137939	9.7
	Average length[m]	2351	2127	9.5	2299	2.2
	Average slope[m/m]	3.6423	5.7796	58.7	5.0515	38.7
2	Number	34	30	11.8	27	20.6
	Total length[m]	41113	52652	28.1	51597	25.5
	Average length[m]	1209	1755	45.1	1911	58.0
	Average slope[m/m]	0.9178	2.2811	148.5	3.8129	315.5
3	Number	8	11	37.5	16	100.0
	Total length[m]	11664	14352	23.0	17918	53.6
	Average length[m]	1458	1305	10.5	1120	23.2
	Average slope[m/m]	0.4554	0.9898	117.4	2.2660	397.6
4	Number	22	23	4.5	16	27.3
	Total length[m]	20387	20358	0.1	18270	10.4
	Average length[m]	927	885	4.5	1142	23.2
	Average slope[m/m]	0.1923	0.3799	97.5	1.3830	619.0
Summary	Number	129	129	0.0	119	7.8
	Total length[m]	225951	225637	0.1	225724	0.1
	Average slope[m/m]	5.21	9.43	81.1	12.51	140.3


combined gradient 알고리즘으로 DEM을 보정한 후에 D-8 method를 적용하여 흐름방향을 결정하고, 이를 이용하여 하천망을 생성하는 것이 형태적으로나 지형적으로 좀 더 적절하다는 것을 알 수 있다.

3. 하천차수별 특성 검토

하천차수별 지형적 특성을 검토하기 위하여 Horton-Strahler 방법에 의해서 각 하천망의 차수를 부여하였으며, 하천차수별 지형특성은 표 2와 같다. 비교 항목으로는 하천차수별 하천의 개수, 하천연장, 하천의 평균경사이며, 수치지도 하천망의 특징을 기준으로 하여 DEM에서 추출한 두 개의 하천망을 비교하였다. 본 연구에서는 DEM을 이용하여 생성한 하천망의 총연장이 수치지도 하천망의 총연장을 기준으로 1% 이내의 오차범위를 만족하는 것을 검토대상 하천망으로 선정하였다. 이로 인하여 표 2에서는 ArcInfo 하천망과 본 연구에서 추출한 하천망 모두 총연장에서 99.9%를 보이고 있으나, 차수별로 산정된 지형인자에서는 큰 차이를 나타내고 있다. 표 2에서 1차 하천의 지형특성은 본 연구에서의 하천망과 ArcInfo에서의 하천망이 모두 다른 차수에 비하여 작은 상대오차를 보이고 있으며, 이는 지형의 기복이 분명한 상류에서의 하천망의 특징을 두 방법에서 모두 잘 반영하고 있는 것을 알 수 있다. ArcInfo의 하천망은 하천차수가 증가하면서 상대오차가 커지는 경향을 보이고 있으며, 특히 4차 하천에서는 하천평균경사에서 큰 오차를 보이고 있다. 이는 ArcInfo에서 채택하고 있는 Jenson과 Domingue 알고리즘이 평탄지에서 하천망의 특성을 제대로 반영하지 못하고 있다는 것을 나타내고 있다. 본 연구에서의 하천망은 ArcInfo에서의 하천망에 비하여 하천차수에 관계없이 유사한 상대오차 값을 보이고 있으며, 이는 유역의 전역에 걸쳐서 하천의 특성을 비교적 잘 반영하고 있다는 것을 나타내고 있다.

결론

본 연구에서는 DEM을 이용하여 하천망을 생성하기 위하여 DEM에 존재하는 sink와 flat area를 제거하는 알고리즘에 대하여 검토하였다. 또한 수치지도에서 추출한 하천망을 기준 하천망으로 설정하였다. breaching 알고리즘이 포함된 filling 알고리즘으로 sink를 제거하고, combined gradient 알고리즘으로 flat area를 제거하는 기법을 개발하였으며 filling 알고리즘으로 sink를 제거하고 Jenson과 Domingue 알고리즘으로 flat area에서의 흐름방향을 결정하고 있는 ArcInfo에서 추출되는 하천망과 비교하여 DEM의 오류 수정 알고리즘에 따른 하천망의 특성을 분석하였다.

분석 결과 하천망의 형태와 지형적 적절성에서는 하천의 상류와 같이 지형의 기복이 명확한 부분에서는 세 가지 하천망이 유사한 형태를 띠는 것으로 나타났다. 그러나 하천의 중하류에서 나타나는 평탄한 지형에서는 본 연구에서 추출한 하천망이 ArcInfo에서 추출한 하천망에 비하여 수치지도 하천망과 좀 더 유사한 형태를 띠는 것으로 나타났다. 하천차수별 지형적 특성 분석에서는 본 연구에서 추출한 하천망이 ArcInfo에서 추출한 하천망에 비하여 대체적으로 오차가 작게 나타났다. 따라서 DEM의 분석을 통하여 하천망을 생성할 경우에는 breaching 알고리즘과 filling 알고리즘 그리고 combined gradient 알고리즘을 이용해서 sink와 flat area를 제거하는 것이 filling 알고리즘과 Jenson과 Domingue 알고리즘을 이용하는 것에 비하여 실제 하천을 좀 더 잘 재현할 수 있을 것으로 사료된다. 

감사의 글

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

참고문헌

- 김경탁, 최윤석, 김주훈. 2004. 하천 네트워크 기반의 유역관리시스템 개발을 위한 프레임 워크 공간 DB 구축에 관한 연구. 한국지리 정보학회지 7(2):87-97.
- 정인균, 김성준. 2003. 효과적인 유역 및 하도망 추출을 위한 DEM전처리 방법의 비교. 대한 토목학회논문집 23(3D):393-400.
- ArcInfo Online Help. ArcInfo v8.1
- Collins, S.H. 1975. TERRAIN PARAMETERS DIRECTLY FROM A DIGITAL TERRAIN MODEL. Canadian Surveyor 29(5):507-518.
- DeBarry, P.A. and R.G. Quimpo. 1999. GIS Modules and Distributed Models of the Watershed. ASCE, USA. pp.4-23.
- Freeman, T.G. 1991. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. Computers & Geosciences 17(3):413-422.
- Garbrecht, J. and L.W. Martz. 1996. Digital landscape parameterization for hydrological applications. HydroGIS 96:Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management(Proceedings of the Vienna Conference, April 1996). IAHS Publ. no. 235, pp.169-173.
- Garbrecht, J. and L.W. Martz. 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, pp.7-9.
- Hellweger, F.K. 1997. AGREE-DEM Surface Reconditioning System. <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro/ferdi/research/agree/agree.html>.
- Morris, D.G. and R.G. Heerdegen. 1988. Automatically derived catchment boundaries and channel networks and their hydrological applications. Geomorphology 1:131-141.
- Jenson, S.K. and J.O. Domingue. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric engineering and remote sensing 54(11):1593-1600.
- Marks, D., J. Dozier and J. Frew. 1984. Automated basin delineation from digital elevation data. GeoProcessing 2:299-311.
- Martz, L.W. and E.d. Jong. 1988. CATCH: A FORTRAN program for measuring catchment area from digital elevation models. Computers & Geosciences 14(5):627-640.
- Martz, L.W. and J. Garbrecht. 1992. Numerical Definition of Drainage Network and Subcatchment Areas from Digital Elevation Models. Computers & Geosciences 18(6):747-761.
- Martz, L.W. and J. Garbrecht. 1998. The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models. Hydrological processes 12(6):843-855
- O'Callaghan, J.F. and D.M. Mark. 1984. The extraction of drainage networks from digital elevation data. Computer vision, graphics, and image processing 28:324-344.
- Tribe, A. 1992. Automated Recognition of Valley Lines and Drainage Networks from Grid Digital Elevation Models: a review and a new method. Journal of Hydrology 139:263-293. 