

수치표고모형에 의한 유역에서의 지형인자 분석 Analysis of A Watershed Terrain Factors using Digital Elevation Model

양인태* · 천기선** · 박재훈***
Yang, In-Tae · Chun, Ki-Sun · Park, Jae-Hoon

要 旨

하천과 유역을 연구하는데 있어서, 유역에 대한 지형인자는 매우 중요한 부분을 차지한다. 이러한 지형인자를 구하기 위해서, 기존에서는 지형도상에서 직접 구하거나 지형도를 수치화하여 사용하였다. 그러나 이러한 방법은 매우 번거롭거나 비경제적이다. 본 연구에서는 미국의 DMA에서 제공하는 DTED를 사용하여, 하천과 유역을 생성하고, 지형인자를 추출하였다. 지형도를 수치화하여 구한 지형인자와 DTED에서 구한 지형인자들을 서로 비교함으로써 DTED의 활용여부에 대해서 알아보려고 하였다.

ABSTRACT

A watershed terrain factor is known to be very important in studies of a stream and a watershed. We have obtained the terrain factor in map directly or we have generated it in a digitalized map. In this study, DTED (Digital Terrain Elevation Data) offering in DMA(Defense Mapping Agency) was used to create a stream and a watershed and to extract the terrain factor. As comparison of the terrain factors generated in digitalized map with the terrain factors extracted in DTED, DTED could be used to extract a terrain factor for a watershed management.

1. 서 론

하천과 유역에 대한 해석에서, 지형인자는 유역에서 매우 중요한 지배인자이며, 강수의 유출과정은 유역에서의 지형학적 특성에 따라 달라지게 된다. 그러나 유역은 그 범위가 매우 광대하여 지형인자를 분석하는 일은 그리 쉬운 일이 아니다.^{1,5,14)}

하천과 유역에 대한 지형인자를 구하는 방법으로는 지형도를 직접 이용하는 방법과 컴퓨터를 사용하여 지형도를 수치화하는 방법, 그리고 수치표고모형을 사용하는 방법이 있다. 지형도를 직접 이용하여 지형인자를 구하는 경우는 구적기를 사용하여 간단하게 구할 수 있다. 그러나 데이터를 취득하는 과정에서 상당한 오차를 포함하게 될 뿐만 아니라 사용자의 숙련도에

따라 결과가 다르게 나타나는 단점이 있다. 지형도를 수치화하여 사용하는 방법은 GIS 기술의 발달과 더불어 사용하기 시작한 방법인데, 스캐닝과 벡터라이징을 거치거나 디지털라이징을 수행하여 지형도를 수치화하는 것으로서 시간과 노력이 매우 많이 소요된다. 그러나 일단 구축해 놓으면 데이터의 저장과 사용에 있어서 매우 유용한 방법이므로 대부분의 GIS에서 사용하고 있다.^{3,15,17)} 마지막으로 수치표고모형을 이용하는 방법은 데이터를 바로 입력하여 간단한 변환과정을 거친 후에 단기간내로 결과를 추출해 낼 수 있다. 특히 최근에는 미국의 USGS나 DMA에서 수치표고모형을 제공하고 있어 손쉽게 구할 수 있고, 수치데이터를 사용할 경우 지형도에서 발생할 수 있는 오차를 상당히 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 시간을 상당히 절약할 수 있다.^{2,7)}

본 연구에서는 DMA에서 제공하고 있는 DTED를 사용하여 소양강유역의 지류인 세 곳(방내천, 북천, 인

*강원대학교 토목공학과 교수
**강원대학교 토목공학과 석사과정
***경동대학교 토목공학과 조교수

북천)에 적용해 보고, 또한 지형도를 수치화하여 얻은 데이터와 상호 비교해 봄으로써 DTED의 실용성에 대해서 알아 보았다.

2. 연구 방법

소양강 유역중 방내천, 북천 및 인북천 유역에 대해 축척 1:50,000 지형도를 수계망도, 유역도, 등고선도별로 각각 스캐닝한 후, 이를 GEOVEC을 사용하여 벡터화하고, 여기서 3차 하천을 최소단위의 유역으로 하여 유역도를 작성하였다. Arc/Info에서 각각의 유역별로 유역면적과 차수별 하천길이등 지형인자를 추출해 내었다.

등고선도에 표고점과 분기선(breakline)을 추가로 입력하고 TIN 형성과정을 거쳐 다시 격자 크기가 50 m인 그리드로 변환하였다.²⁷⁾ 그리드에서 하천과 유역을 추출하여 지형인자를 구하였다.

마지막으로 DMA에서 제공하는 DTED데이터를 격자 크기 50 m인 그리드로 변환하였다. DTED데이터를 그리드로 변환할 경우, 먼저 DTED가 WGS84 좌표체계로 되어 있기 때문에, Arc/Info에서 일반적으로 사용하는 project명령을 사용하여 TM 좌표체계로 변환하였다. 또한 제공되는 DTED데이터의 격자 크기는 3"로 이것은 지표면에서 약 97 m 정도에 해당하는 것이다. 따라서 재배열(Resampling) 방법 중에서 공2차보간법(cubic convolution)을 사용하여 50 m 격자 크기를 갖는 그리드로 변환하였다.^{26,16)} 이렇게 구축한 그리드에서 역시 수계망과 유역을 추출하여 지형인자를 구하였다.

이렇게 3가지 방법으로 구한 지형인자를 사용하여 각 유역마다 하천형태학적 특성인자를 구하고 이를 분석해 보았다.

또 지형인자들의 관계를 알아보기 위하여 Horton-Strahler의 지형법칙에 적용해 보고 상관성분석을 수행하였으며,^{5,13)} 아울러 각각의 방법으로 구한 지형인자를 서로 비교해 보았다. 그림 1은 연구 수행 과정을 간단히 도식화한 것이다.

3. 하천망과 유역 추출

그리드에서 하천망과 유역을 추출하는 과정은 그림 2와 같다. 그리드에서 유역에 대한 수계망을 구축할 경

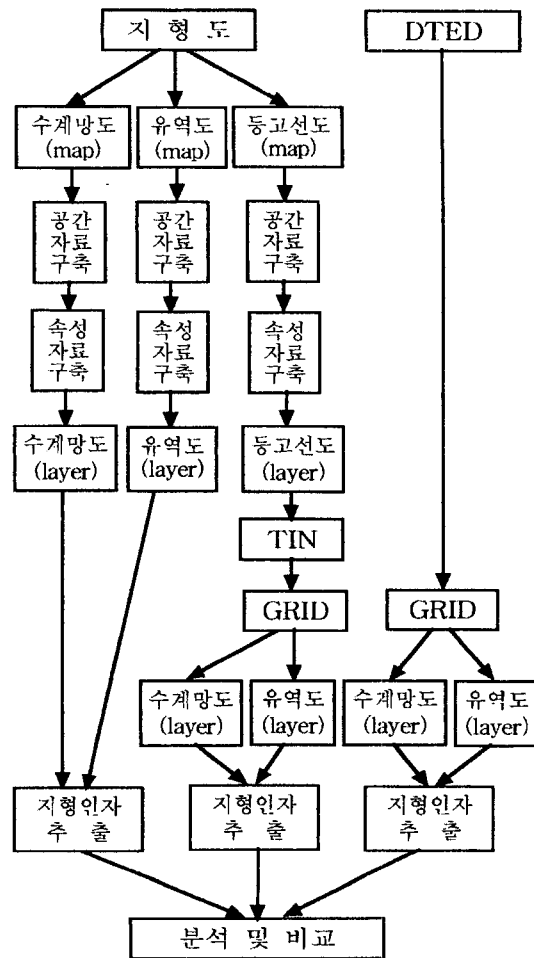


그림 1. 연구 수행 과정

우, CON 값으로 100을 입력하여 형성하였다.

CON값은 하천을 추출할 때 생성되는 1차 하천의 개수를 인위적으로 제어하는 흐름누적(Flowaccumulation) 함수의 값으로 CON값이 크면 클수록 생성되는 1차 하천의 개수가 많아진다. 여기서는 흐름누적값이 100보다 큰 격자에 대해서만 하천으로 분류된다.

본 연구에서는 지형도상의 5차 하천까지를 기준으로 하여, 그리드에서 생성되는 수계망이 지형도상의 5차 하천이 끝나는 위치와 같은 위치에서 5차 하천이 생성되도록 CON 값을 선정하였다. 유역도를 구축할 경우에는 생성된 하천에 따라 5차 하천이 끝나는 유출지점을 중심으로 5차 하천 유역을 구축하였다.

그림 3은 방내천 유역에 대하여 각각 지형도를 직접 수치화하여 나타낸 수계망과 유역도이고, 그림 4는 등고

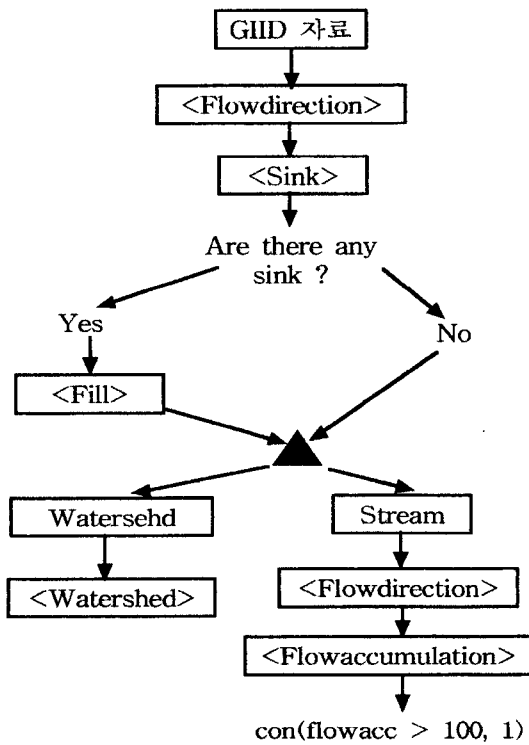


그림 2. 수계망 및 유역추출과정

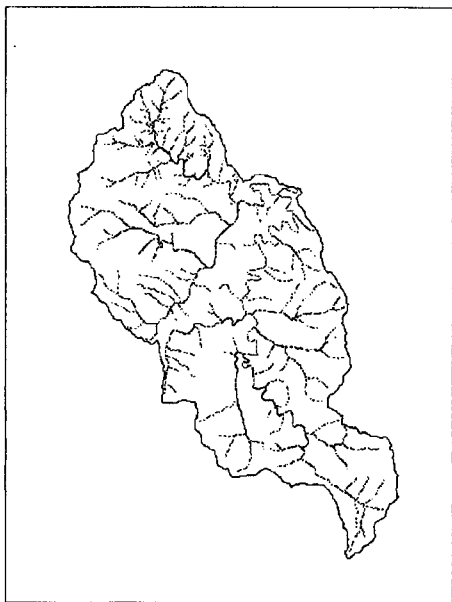


그림 3. 지형도를 직접 수치화한 수계와 유역(방내천)

선을 그리드로 변환한 자료에서 추출한 수계망도와 유역도이다. 그림 5는 역시 방내천 유역에 대하여 DTED

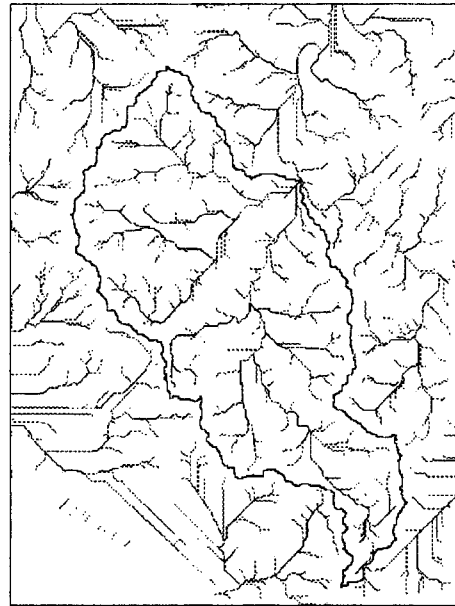


그림 4. 등고선을 변환한 그리드에서 추출한 수계와 유역(방내천)

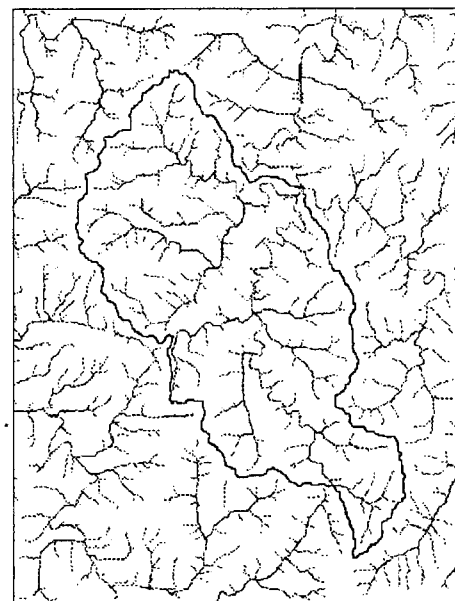


그림 5. DTED에서 추출한 수계와 유역(방내천)

에서 추출한 수계망과 유역도이다. 3가지 방법으로 추출한 수계망을 살펴보면, 생성된 1차 하천의 개수에 다소 차이가 나고 있음을 알 수 있다. 이것은 DTED에서 하천을 형성할 경우 지형도상에는 나타나지 않는 부분, 즉

부여되는 CON값에 따라 계곡 부분들이 하천으로 형성되었기 때문이다.

북천 유역과 인북천 유역에 대해서는 지형도를 수치화한 수계와 유역, 그리고 DTED를 그리드로 변환하여 추출한 수계와 유역 등, 두 가지 방법에 대해서만 구축을 수행하였다. 북천과 인북천 유역에 대한 각각의 그림은 유역의 면적이 넓고, 지면관계상 생략하였다.

4. 지형인자 추출

본 연구에서 추출하고자 하는 유역의 지형인자는 하천차수별 유역에 대한 하천수, 하천의 평균길이, 유역면적 등이다. 하천의 개수와 길이 및 유역면적은 Arc/

표 1. 방내천 유역에서 추출한 지형인자(면적: km², 하천길이: km)

방내천						
유역면적	지형도		방내천		DTED	
	하천 개수	하천평균연장	하천 개수	하천평균연장	하천 개수	하천평균연장
173.819	173	1.003	172.082	172	173.172	173
1	135	1.003	186	0.616	168	0.619
2	25	3.067	39	1.802	27	2.519
3	9	6.510	10	6.109	8	7.261
4	2	18.516	3	12.808	2	20.011
5	1	19.722	1	15.205	1	20.514
본류의 유로연장	33.132		24.740		29.315	
하천총길이	243.156		226.468		213.221	

표 2. 북천 유역에서 추출한 지형인자(면적: km², 하천길이: km)

북천					
유역면적	지형도		DTED		
	하천 개수	하천평균연장	하천 개수	하천평균연장	하천평균연장
304.148	304	1.148	302.952	303	1.148
1	229	1.033	297	0.706	297
2	50	2.629	67	2.265	67
3	10	6.205	17	4.910	17
4	2	16.728	3	14.479	3
5	1	34.802	1	33.764	1
본류의 유로연장	36.940		37.346		
하천총길이	391.332		407.148		

표 3. 인북천 유역에서 추출한 지형인자(면적: km², 하천길이: km)

인북천				
유역면적	지형도		DTED	
	하천 개수	하천평균연장	하천 개수	하천평균연장
582.183	582	1.183	582.005	582
1	339	1.012	426	0.768
2	73	2.954	87	2.867
3	18	7.883	18	6.800
4	3	15.023	3	21.149
5	1	47.683	1	63.139
본류의 유로연장	71.797		73.299	
하천총길이	627.768		665.666	

표 4. 각 유역에서의 하천 형태학적 특성인자

	방내천		북천		인북천	
	지형도	DTED	지형도	DTED	지형도	DTED
하천밀도 (km/km ²)	1.399	1.231	1.287	1.344	1.078	1.144
수계빈도 (개/km ²)	0.989	1.190	0.960	1.271	0.745	0.919
하천분기율 (N _i /N _{i+1})	3.669	3.899	4.145	4.260	4.425	4.682
하천연장비 (L _i /L _{i+1})	0.522	0.482	0.417	0.385	0.389	0.336
유역형상계수	0.158	0.201	0.223	0.217	0.113	0.108

Info에서 통계처리기능을 사용하여 자동으로 추출해 낼 수 있다. 표 1, 2와 3은 각각 방내천, 북천, 인북천 유역에 대하여, Arc/Info의 처리과정을 통해 추출해 낸 지형인자를 표로 나타낸 것이다.

지형도를 수치화한 수치자료와 DTED에서 추출한 지형인자들을 사용하여 방내천 유역, 북천 유역, 인북천 유역에 대하여 하천밀도, 수계빈도, 하천분기율, 하천연장비, 유역형상계수 등 하천 형태학적 특성인자들을 계산하였다. 표 4는 계산된 하천형태학적 특성인자들을 표로 나타낸 것이다.

5. 분석

그림 6, 7과 8은 각각 방내천, 북천, 인북천 유역에 대해서 추출한 지형인자들 중에 하천차수에 따른 하천개수를 반대수지에 표현하여 지형법칙을 나타낸 것이

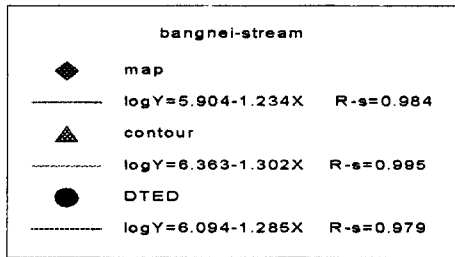
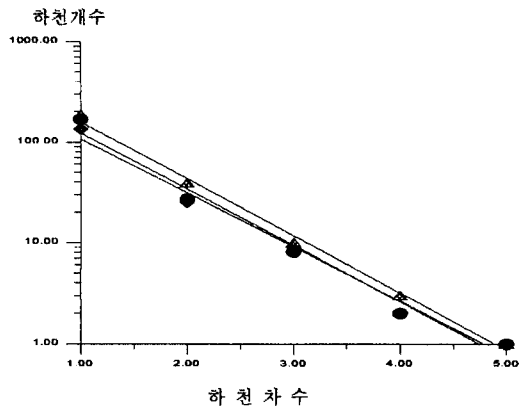


그림 6. 하천차수와 하천개수에 대한 회귀분석(방내천 유역)

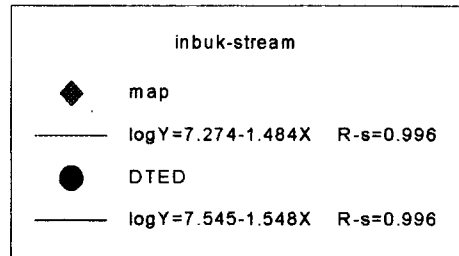
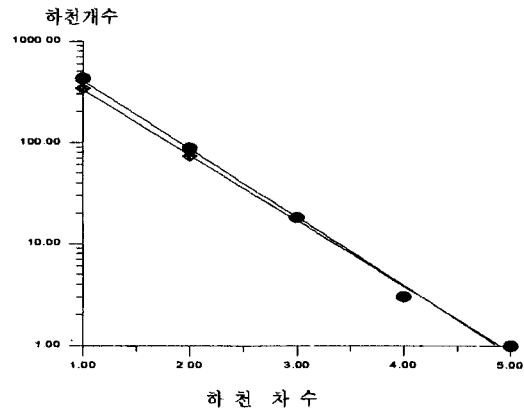


그림 8. 하천차수와 하천개수에 대한 분석(인북천 유역)

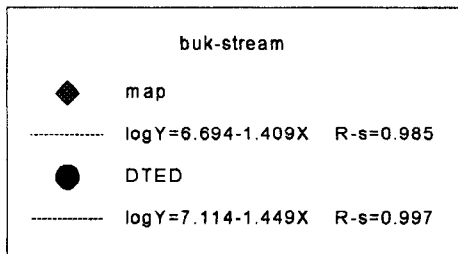
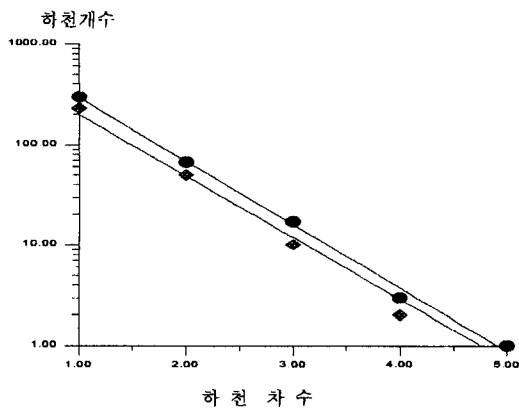


그림 7. 하천차수와 하천개수에 대한 분석(북천 유역)

다. 각각의 경우가 모두 직선에 가까운 형태를 하고 있으며, 상관계수가 95%로 높은 상관성을 보이고 있다.

그림 9, 10과 11은 방내천, 북천 그리고 인북천 유역에 대하여 구한 지형인자중에서 하천차수와 누적하천 평균연장의 관계를 반대수지에 나타낸 것이다. 역시, 각각의 경우 모두 직선에 가까운 형태를 하고 있으며, 상관계수도 95% 이상으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

앞에서 구한 유역의 지형인자들을 기초하여 계산한 하천 형태학적 특성인자들은 유역의 특성을 파악하는데 중요한 자료이다. 그림 12는 표 4의 하천 형태학적 특성인자들에 대하여 정도를 분석한 그래프이다. 정도 분석은 지형도에서 구한 하천 형태학적 특성인자들을 기준으로 하여 DTED에서 구한 하천 형태학적 특성인자들의 편차를 나타낸 것이다. 즉, DTED의 하천 형태학적 특성인자들과 지형도의 하천 형태학적 특성인자들 사이의 차를 2로 나눈 후, 이 값을 DTED와 지형도의 하천 형태학적 특성인들 각각의 평균으로 나눈 값이다. 그림 12를 살펴보면, 하천분기율, 하천연장비 그리고 하천밀도등은 8% 이하의 정도를 보이고 있는 반면에, 수계빈도는 다소 높은 정도를 보이고 있다. 이것은 지형도의 하천보다 DTED로부터 추출한 하천의 개수, 특히 1차 하천의 개수가 상대적으로 많이 생성되었기

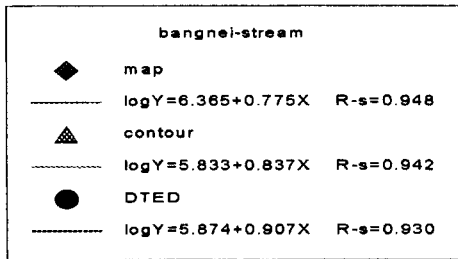
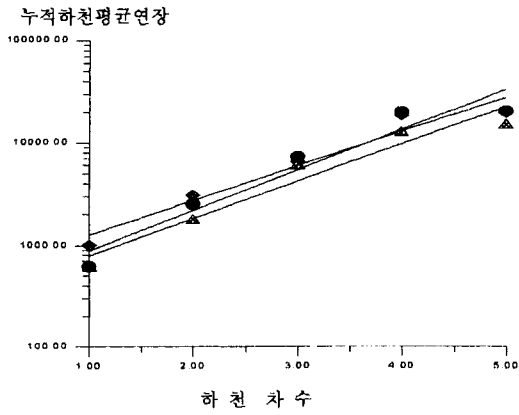


그림 9. 하천차수와 누적하천평균연장에 대한 분석(방내천 유역)

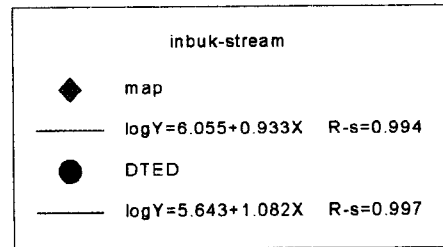
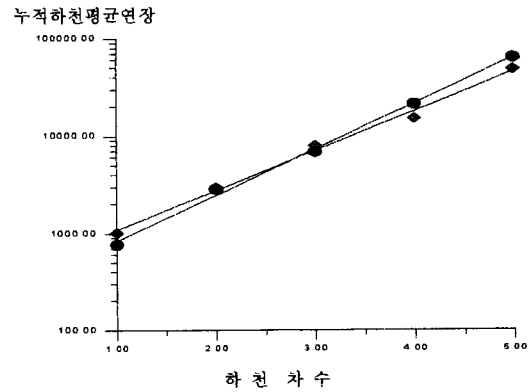


그림 11. 하천차수와 누적하천평균연장에 대한 분석(인북천 유역)

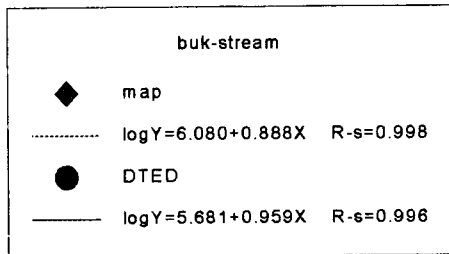
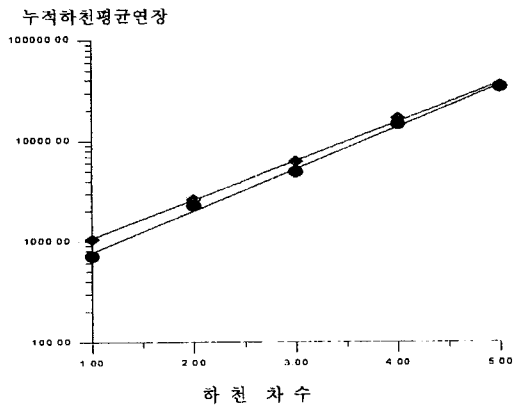


그림 10. 하천차수와 누적하천평균연장에 대한 분석(북천 유역)

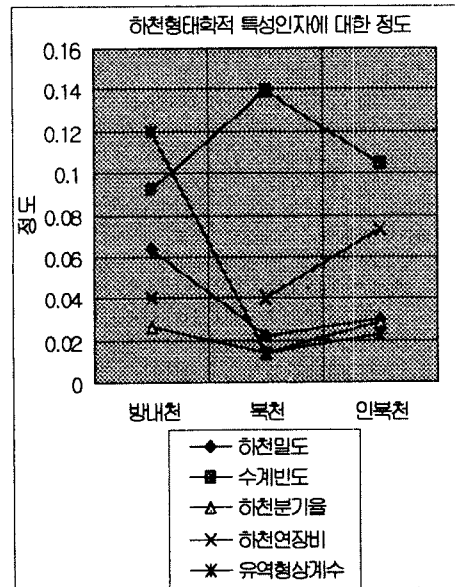


그림 12. 각 유역에서의 하천 형태학적 특성인자에 대한 정도 분포

때문이다.

또한 유역형상계수를 볼 때, 북천과 인북천 유역의 형상계수보다 방내천 유역의 형상계수가 비교적 높은

값을 보이고 있다. 이것은 방내천 유역이 북한 유역이나 인북천 유역보다 하천의 곡류부분이 많이 발달해 있고, DTED에서 생성한 하천의 곡류 부분들이 격자크기의 영향으로 곡류 정도가 지형도에서의 곡류 정도보다 더 작게 나타났다. 따라서 실제로 본류의 유로연장이 작아졌기 때문이다.

방내천 유역의 경우, 두 개의 긴 4차 하천이 합류하여 5차 하천을 형성하고 있어 유역형상계수를 구하는데는 약간의 무리가 따른다. 예컨대, 한강의 경우를 보면 남한강과 북한강이 길게 발달해 있다. 유역형상계수를 구할 때 본류의 유로연장을 구해야 되는데, 가장 긴 유로연장을 그 유역의 본류로 고려하게 된다. 우리나라에서는 남한강을 본류로 고려해서 유역형상계수를 계산하고 있다. 이때 북한강 유역의 면적도 포함되지만 북한강의 하천길이는 포함되지 않는다. 따라서 한강의 경우 북한강과 남한강의 유역형상계수를 따로따로 구분해서 유역형상계수를 구해야 될 것으로 사료된다.

6. 결 론

본 연구는 DMA에서 제공하는 DTED데이터와 등고선도를 변환하여 만든 그리드데이터에서 각각 하천과 유역을 추출해 보고, 이것을 지형도의 하천 및 유역과 비교해 본 결과로서, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 하천의 지형인자들을 반대수지에 나타난 결과, 지형도를 이용한 경우와 DTED를 이용한 경우 모두 Horton-Strahler에 따른 지형법칙에 잘 부합되었고, 95% 이상의 높은 상관성을 보였다.

2. DTED에서 구한 하천 형태학적 특성인자 중 수계빈도만이 8% 이상의 정도를 보이고 있는데 이것은 DTED에서 구한 하천의 개수가 지형도의 하천 개수보다 상대적으로 많이 생성되었기 때문이다.

3. 유역형상계수의 정도분석결과 방내천유역이 타유역보다 상당히 크게 나타났다. 이것은 DTED의 격자크기가 하천의 곡류부분의 생성에 영향을 끼쳤기 때문인 것으로 사료된다.

4. 지형도를 수치화하여 사용하는 기존의 방법에 비하여 약 90% 정도, 상당한 시간과 노력을 절감할 수 있었다.

참고문헌

1. 박영일, "수치지형모형으로부터 유역의 하천형태학적 특성인자 추출에 관한 연구", 1995. 2.
2. 양인태, 김연준, "수문해석을 위한 DEM에 의한 지형의 경사도 분석에서 격자 크기의 영향", 한국측지학회지, 제 15권 2호, 1997.
3. 양인태, "지구공간정보공학(제1권)", 1993.
4. 유영걸, "GIS에 의한 산림 화재의 공간 분포 특성", 1998. 8.
5. 이원환, "수문학", 문운당, 109-130, 1989.
6. ERDAS FIELD GUIDE, Third Edition Revised and Expanded, 93-96, 310-316.
7. Using GRID with ARC/INFO, (주)캐드랜드.
8. Moore, I. D., "Digital terrain modelling in hydrology", Hydrol., Processes, 5(1), 1991.
9. Hutchinson, M. F., "A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious", Journal of Hydrology, 106, 1989, 211-232.
10. 홍일표, "시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구", 연구보고서(1차년도), 211-232.
11. 김태진, "GIS를 이용한 하천 관리방안", 1997. 8.
12. Horton, R. E., "Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins-hydrological Approach to Quantitative Morphology", Geol. Soc. of Amer, Vol. 56, 1945, 275-370.
13. 김남원, "미계측 유역의 확률홍수량 결정을 위한 동역학적 홍수빈도 모형개발", 1998. 2.
14. 안상진, "유역의 하천형태학적 특성인자와 유출 및 수리 기하간의 상관성", 1980, 6-11.
15. 유근배, "지리정보론", 1992, 상조사, 113-117.
16. ESRI, What's new in GRID at Rev 6.1, 1992.
17. 유복모, "지형공간정보론", 1996, 동명사.
18. Strahler, A. N., "Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks" Hand book of applied Hydrology, 1952.
19. Peucker, T. K., Fowler, R. J., Little, J. J. and Mark, D. M., "The triangulated irregular network. Proceedings of the ASP Digital Terrain Models(DTM) Symposium", 1978, 516-540.
20. Mark, D. M., "Automated detectio of drainage networks from digital elevation models, Auto-Carto VI, Proceedings of the Sixth International Symposium on Automated Cartography", 1983, 288-289.
21. David R. Maidment, "GIS and Hydrological Modelling", Environmental Modelling With GIS, 147-167.