한국측량학회지, 제 26권 제 1호, pp. 41~50(2008년 2월 29일)

유역경계 추출을 위한 DEM별 전처리 방법과 격자크기 분석

Preprocessing Methods and Analysis of Grid Size for Watershed Extraction

김동문[1)]

Kim, Dong Moon

Abstract

Recent progress in state-of-the-art geospatial information technologies such as digital mapping, LiDAR (Light Detection And Ranging), and high-resolution satellite imagery provides various data sources for Digital Elevation Model(DEM). DEMs are major source to extract elements of the hydrological terrain property that are necessary for efficient watershed management. Especially, watersheds extracted from DEM are important geospatial database to identify physical boundaries that are utilized in water resource management plan including water environmental survey, pollutant investigation, polluted/wasteload/pollution load allocation estimation, and water quality modeling. Most of the previous studies related with watershed extraction using DEM are mainly focused on the hydrological elements analysis and preprocessing without considering grid size of the DEMs. This study aims to analyze accuracy of the watersheds extracted from DEMs with various grid sizes generated by LiDAR data and digital map, and appropriate preprocessing methods.

Keywords : LiDAR, DEM, Watershed, Preprocessing

초 록

최근 지형정보 취득을 위한 다양한 신기술의 개발로 수치지도, LiDAR(Light Detection And Ranging), 고해상도 위성영상 등의 Digital Elevation Model(DEM) 자료원이 다양해졌다. 이러한 DEM은 효율적인 유역관리를 위해 수문지형 특성인자 추출에 필요한 주요 자료원이다. 특히 DEM을 이용한 유역 추출은 최근의 오염총량관리 계획의 수립에 필요한 당해 지역의 수계환경자료조사, 오염원조사, 오·폐수량 및 오염부하량 산정, 수질모델링 등의 공간적 경계를 구분 짓는 매우 중요한 공간자료이다. 지금까지의 DEM을 이용한 유역추출 연구가 격자크기나 전처리 방법에 따른 인자추출이 주를 이뤘으나, 이 연구에서는 LiDAR와 수치지도를 통해 작성한 DEM별 격자크기와 전처리방법에 따른 유역 추출의 정확도를 분석하였으며, 2m 격자의 LiDAR DEM을 Agree burn으로 전처리한 것이 가장 적합한 것으로 나타났다.

핵심어 : LiDAR, DEM, 유역, 전처리

1. 서 론

태풍이나 호우와 같은 자연재해는 점차 그 규모와 빈도가 예측 불가능하게 바뀌어 가고 있으며 이로 인한 피해는 천문학적인 수준이어서 지방자치단체를 넘어 중앙정부 측면의 대책과 대응방안이 시급히 마련되어야 하는 실정이다.

최근에는 수도권을 중심으로 대도시의 급격한 팽창과 지방 도시들의 개발 증가로 다량의 오염원과 오염물질이 양적 질적으로 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 이러한 오염물질은 하천이나 호소지역으로 지속적으로 배출되어 오염부하의 증가로 이르며, 결국에는 통제할 수 없는 수준에 도달하게 될 것이다. 우리나라 하천의 중, 하류에는 인구 및 산업시설이 과도하게 밀집되어 있어 현재의

1) 정회원·남서울대학교 지리정보공학과 교수(E-mail:david@nsu.ac.kr)

규제 방식으로는 하천의 환경기준 달성에 근본적으로 한계가 있는 것으로 인식되고 있어 수질오염총량관리 제도를 추진하고 있다.

따라서 이러한 다양한 환경에 놓여있는 유역 및 하천에 대한 효율적인 관리가 절대적으로 필요한 시점이다. 이를 위해서는 유역과 관련된 수문지형학적인 특성인자들에 대한 신속하고 정확한 추출이 필요하다.

현재의 유역에 대한 수문지형학적인 특성인자의 추출 방법에는 국토지리정보원을 중심으로 제작한 수치지도, 원격탐사기법, LiDAR(Light Detection And Ranging) 시스템, GPS 등으로 구축한 DEM을 이용하는 방법이 있다. 원격탐사기법은 광대 지표공간에 대해 주기적으로 정량적 및 정성적인 정보를 제공해 줄 수 있는 기법이며, LiDAR 시스템은 기존 사진측량의 문제점을 보완하기 위해 비행기에 탑재된 레이저 장비로부터 발사된 레이저 파가 대상물에 반사되어 돌아오는 시간을 측정함으로써 상대적인 거리를 측정하여 보다 정확한 수치표고자료를 자동으로 제작하기 위해 개발된 시스템이다. GPS(Global Positioning System)는 GPS 위성으로부터의 반송파와 코드를 이용하여 이용자의 위치를 실시간으로 측량하는 시스템이다.

DEM은 수문지형분석을 위해 필요한 매우 중요한 자료원이다. 일반적으로 DEM을 사용하여 표고값, 경사도, 유역의 경계와 면적을 추출할 수 있으며, 흐름 방향도나 하천망, 흐름 방향도 등을 추출할 수 있다. 추출된 특성인자들은 수자원공사의 수자원 단위지도, 하천 GIS, 하천정보 표준화, 수자원 Framework, 재해위험지도 등 지형공간과 수문분야에서 활용 가능한 DB이다.

Horton(1945)과 Strahler(1952)는 유역 및 하천의 지형학적 특성연구에서 하천차수의 개념을 정의하였으며, Garbrecht and Martz(1997)는 함몰지역과 평평한 면 위의 흐름의 유도와 관련한 DEM 처리방법의 취약점 해결을 위해 TOPAZ (TOpographic PArameteriZation)를 개발하였고, Hellweger (1997)는 DEM 표면에 하천 트렌치를 형성하는 알고리즘을 개발하였으며, 성동권(2002)은 BurnDEM을 이용한 유역 및 하도망 추출을 시도하였으며, 유승근(2002)은 수자원 단위지도, 수치지도 등을 이용하여 DEM과 하천망을 생성하여 지형학적 특성을 파악하였다. 정인균(2003)은 유역 및 하도망을 추출을 위해 DEM 전처리 방법을 비교하였으며, 박근애(2006)는 수자원 단위지도를 기반으로 북한강 유역의 지형학적 특성을 분석하였다.

위의 연구들은 대상유역의 하천특성인자 추출을 위해 격자크기나 전처리방법 등의 개별 분야에 한정하여 분석하는 것에 초점을 맞추었다. 즉 10~150m 사이의 격자크기에 따라 분석한 유역인자의 비교나 DEM을 이용한 유역의 특성 분석 및 모델적용의 경우, 흐름방향 및 흐름누적도 작성, 하천망, 유역경계 등의 유역자료 추출에서 Filburn, Agree Burn 등의 전처리 방법을 적용하여 추출된 유역경계의 비교에 초점을 맞추었으나, 최근에는 LiDAR와 같은 고해상력의 지표면 정보를 제공할 수 있는 DEM 자료가 존재하므로 DEM의 자료별, 격자크기, 전처리 방법을 통합한 연구가 시행되지 못하였다.

본 연구에서는 현재 표고자료 구축에 있어서 각광을 받고 있는 LiDAR 자료와 국가 수치자료인 수치지도를 기준으로 격자크기와 전처리방법별 유역 경계추출 결과에 대한 비교분석을 통해 유역경계추출에 적합한 DEM 자료와 격자크기, 전처리 방법을 제안하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

2.1 연구지역

본 연구의 대상유역은 강원도 강릉시에 위치하였으며, 수자원 단위지도의 대권역은 한강동해, 중권역은 강릉 남대천, 표준유역은 전천이다. 대상유역은 전천유역(183.99km^{2}의 면적)의 소유역 중에 3개로 구성되어 있는 유역으로 면적

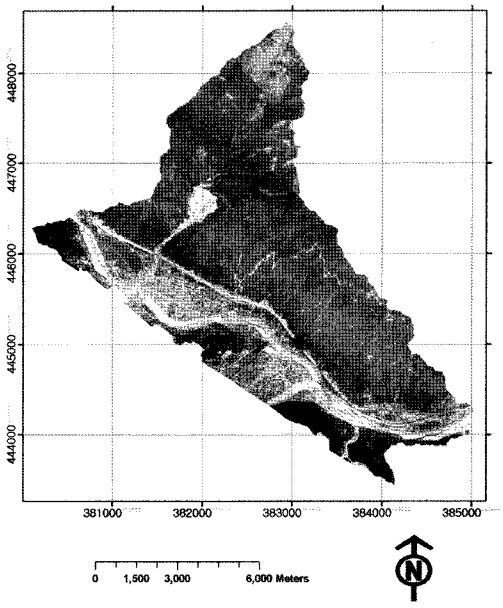


그림 1. 연구지역

그림 2. LiDAR 자료

은 9,453,118(m^2)이다. 전천유역은 주하천 길이가 6.66km 이며, 유로연장 12.47km, 하천 총길이 317.32km, 수계밀도 1.72, 수계빈도 2.72, 수계 유지상수 0.58, 최고표고 1,399m, 평균표고 259.66m, 평균경사 36.67 degree 이다.

대상유역의 북측에는 주수천이 남측에는 삼척 오십천, 서측에는 남한강 상류이며, 동측에는 동해가 위치해 있으며 산림과 도시, 하천지역이 골고루 분포해 있는 경사지대이다.

2.2 연구자료

배수구역 혹은 유역은 강우가 지표수의 형태로 유출되어 합류되는 지역으로 최근에는 DEM을 이용한 유역구획과 수질 모델링 적용이 일반화 되어 있는 실정이다.

기존의 유역경계 추출 연구(정인균, 2003)는 단순히 격자의 크기에 따른 비교나 전처리 방법의 비교에 그치고 있다. 그러나 최근 지형정보 취득을 위한 LiDAR와 같은 신기술의 등장으로 고해상도의 지표정보를 취득할 수 있게 되었다. 따라서 기존의 수치지도 위주의 분석에서 고해상도 LiDAR 자료의 적용에 대한 연구가 필요한 시점이다. 또한 유역경계 추출을 위한 격자크기나 전처리 방법별의 단편적인 분석이 아니라, DEM의 종류와 격자크기, 전처리 방법의 복합적인 비교 분석이 필요하게 되었다.

유역의 특성인자인 유역의 경계와 지형인자 경사도를 추출하기 위하여 표 1에서와 같은 자료를 구축하여 사용하였다.

1/5,000 수치지도에서 등고선 및 표고점 관련 레이어를 추출하여 TIN(Triangle Irregular Network)을 생성한 후에 DEM을 제작하였다. 수치지도를 Coverage, TIN, Lattice, DEM으로 제작하는 과정은 AML(Arc Macro Language)을 이용하였다. 등고선 및 표고점 등에 포함된 표고 오류(함몰, 과대 상승지역)는 DEM 작성 후 ArcGIS를 통해 항공사진과 수치지도를 중첩하여 화면확인 후에 수

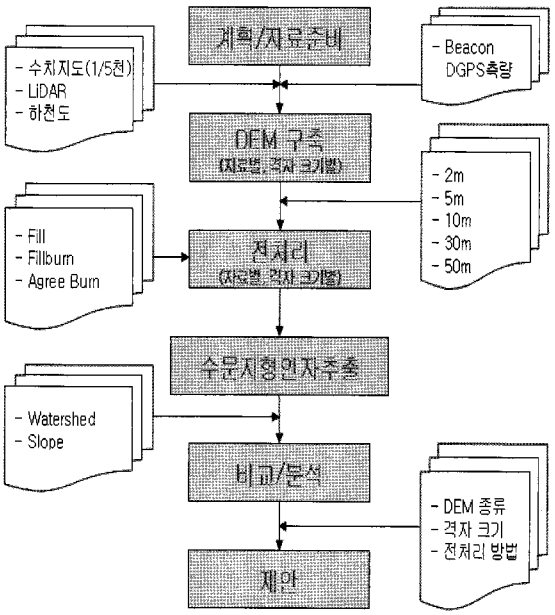


그림 3. 연구방법

표 1. 연구 자료

자 료 명	구축 내용	기 타
수치지도	7111(주곡선), 7114(계곡선), 7217(표고점), 7311(삼각점), 2111-2114(하천) 레이어	1/5,000(축척), 국토지리정보원 1998년 제작
LiDAR	표고 데이터(X, Y, Z)	2005년 6/25 촬영, (주)한진
GPS 측량자료	유역경계	2005년 측량, Beacon GPS

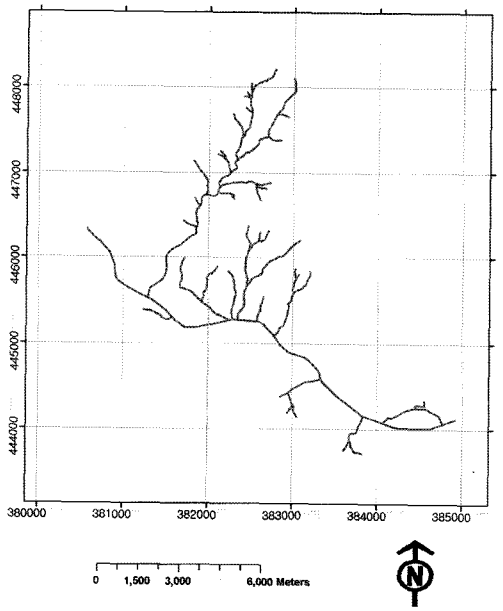


그림 4. 하천망도

표 2. ALTM 측량

항 목	내 용
장비 모델명	ALTM 3070
Flight Date	2005/06/25
Laser Frequency	70000
Scanner Rate	35
Eyesafe Altitude	550 meters
Intensity Gain	20
Laser Hours	37.5

정하였으며 DEM 제작에 최종 반영하였다. DEM의 격자크기는 양인태(2002), 박근애(2006) 등의 선행연구와 1/5,000 수치지도의 평균 수평정확도, LiDAR의 기대 수평정확도(윤부열, 2006) 등을 고려하여 2m, 5m, 10m, 30m, 50m 격자크기를 선정하였다. 그림 4의 하천망도는 수치지도의 하천관련 레이어(7111~7114)를 추출하여 구축하였다.

LiDAR 자료로부터 DEM을 생성하기 위해서는 데이터의 검증 및 보정, 불필요한 데이터의 제거, 내삽등의 과정을 거친다. 불필요한 데이터 즉 LiDAR 자료는 불규칙한 3차원 점 형식으로 기록되어 있는데 이러한 3차원 점들을 필터링을 통해 비지면점과 지형의 지면점을 분리하며 아주 큰 오차를 포함하는 점들을 제거해야 한다. 이 연구에서는 표 2와 같은 Optech의 ALTM으로 1m 격자로 취득한 LiDAR 자료를 TerraScan을 이용하여 초기 수치표고자료를 생성한 후에, 국부적 곡률이 작은 점들을 추가하면서 TIN을 점점 조밀하게 만드는 방법을 사용하여 DEM을 제작하였다.

그림 2에서와 같이 LiDAR 자료도 수치지도와 마찬가지로 2m, 5m, 10m, 30m, 50m로 구분하여 DEM으로 생성하였다. 연구지역의 표준 소유역 경계선을 생성하기 위해, 현장 상황을 가장 잘 반영할 수 있는 비콘 GPS 측량을 실시하였다. 박운용(2006)의 연구에서와 같이 비콘 GPS 측량은 일반적으로 장비의 기대 정확도를 ±1.0m로 보고 있으나, 실제 연구결과 약 ±0.5m 이내의 정확도를 제공하는 것으로 나타났다. 이러한 정확도는 1/1,000 수치지도의 수평정확도인 ±1.0m를 만족하는 수치이다. 따라서 본 연구에서는 표 3과 같은 비콘 GPS 수신기와 노트북, 외부 배터리 등의 DGPS 측량시스템을 이용하여 연구유역의 유역경계에 대한 현장조사 및 측량을 실시하였으며, DGPS 서비스 기준국은 주문진을 적용하였다. 실측 시 대상지역에 대한 항공사진 자료와 기존 수치지도(1/5,000)를 중첩하여 1/1,000으로 가편집하였으며, 대상지역의 유역경계 추출을 위한 DGPS 측량시 보조자료로 활용하였다.

2.3 전처리

기존 수치자료를 DEM으로 생성 후 원시 DEM을 이용하여 흐름특성을 표현할 때 발생 가능한 오류는 함몰, 등경사, 돌출 등으로 분류할 수 있다. 그 중 대부분을 차

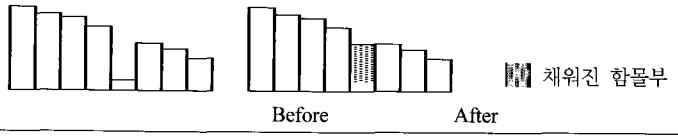
표 3. 비콘 GPS 장비

항 목	내 용		
일 반	제품명 : BR2G	1주파 수신기(12ch)	범위 : 기지국에서 180km 이내
GPS 수신부	12 수신채널	수신속도 : 2Hz	정확도 : 1m 이내
Beacon 수신부	2 수신채널	283.5~325KHz 주파수	Warm Start : 2초
기 타	RS-232C 인터페이스	RTCM SC-104 보정데이터출력	NMEA 0183 입력데이터

표 4. 전처리 수행내용

전처리 방법	사용 Tool	Command와 처리과정	내 용
Fill	ArcGIS 9.2	FILL	함몰지역의 제거
Fillburn	AML	FILLBURN.aml	하천망과 DEM의 병합
Agree Burn	AML	AGREE.aml	하천망 기준의 트렌치 생성

표 5. 전처리 과정

전처리 방법	전처리 과정
Fill	
Fillburn	Merge((Grid 하천망 × DEM 원자료), (DEM 원자료 + 고도경계치))
Agree Burn	Grid 하천망 생성 ⇒ 하천중심의 트렌치 형성 ⇒ 트렌치 양 옆으로 버퍼 형성 ⇒ 버퍼 양 옆으로 경사단면 구성 ⇒ 최종 트렌치 형성

지하는 오류는 함몰이다. DEM에서 함몰 등의 오류를 수정하지 못하면 지표수의 흐름방향 등에 흐름특성에 대한 정의나 정확한 흐름방향을 결정할 수 없다. 그러므로 유역 추출과정에서 DEM이 안고 있는 함몰부분 등의 본질적 오차를 제거하기 위해 Stream Burning 기법을 적용하였다.

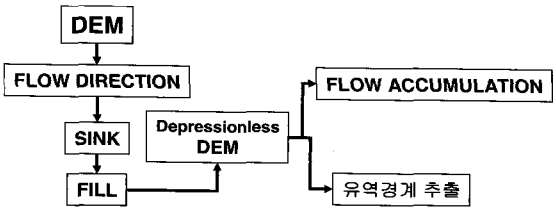


그림 5. 유역경계 추출과정

본 연구에서는 이러한 전처리 방법으로 표 4, 5와 같은 기존의 ArcGIS의 filling 알고리즘과 Saunders(2000)의 Fillburn, Hellweger(1997)의 Agree Burn 알고리즘을 ArcGIS 9.2의 AML로 각각 프로그래밍하여 이용하였으며, 수치지도와 LiDAR 자료를 통해 생성한 2m, 5m, 10m, 30m, 50m DEM의 각각에 대해 전처리를 실시하였다.

2.4 유역특성인자 추출

DEM 자료의 종류와 격자별로 적용된 전처리 결과를 이용하여 그림 5에서와 같은 ArcGIS의 Spatial Analysis 도구와 과정을 거쳐 유역경계를 추출하였으며, 표 6과 7에 결과(표준유역 대비 소유역의 면적)를 나타냈다.

유역경계 추출에 일반적으로 적용하는 임계값, 즉 흐름방향에 따른 흐름누적의 임계값은 2m, 5m, 10m, 30m,

표 6. 수치지도(1:5,000)로 생성한 DEM에 의한 유역면적(단위 : m^2)

	격자크기 / 유역코드	2m	오차 (%)	5m	오차 (%)	10m	오차 (%)	30m	오차 (%)	50m	오차 (%)
Fill	1	4,155,900	0.79	4,308,130	2.85	4,143,600	1.08	4,327,200	3.30	4,115,000	1.76
	2	753,148	0.12	644,145	14.37	696,400	7.43	732,600	2.62	722,500	3.96
	3	4,539,300	0.60	4,495,650	0.36	4,585,700	1.63	4,356,900	3.44	4,507,500	0.10
Fillburn	1	4,170,400	0.44	4,260,500	1.71	4,143,600	1.08	4,146,300	1.02	4,192,500	0.09
	2	737,408	1.98	746,225	0.80	860,400	14.37	827,100	9.95	750,000	0.30
	3	4,540,540	0.63	4,441,200	1.57	4,421,700	2.00	4,443,300	1.52	4,402,500	2.43
Agree burn	1	4,165,530	0.56	4,249,950	1.46	3,404,000	18.74	4,238,100	1.18	4,110,000	1.88
	2	739,648	1.68	835,475	11.06	625,500	16.85	670,500	10.87	732,500	2.63
	3	4,543,170	0.69	4,362,500	3.32	5,396,200	19.59	4,508,100	0.09	4,502,500	0.21

50m DEM의 각각에 대해 정인균(2003) 등의 연구로부터 도출한 15만, 2만, 6천, 500, 250이다. 그림 6은 DEM 자료별 유역경계 현황이다.

유역별 경사도 인자를 분석하기 위해 각 DEM별로 ArcGIS의 Spatial Analysis 도구를 이용하여 그림 7과 같은 평균경사도를 생성하였으며, 결과를 표 8과 9에 나타냈다.

기존의 연구들이 격자 크기나 전처리 방법 등 관심 분

표 7. LiDAR로 생성한 DEM에 의한 유역면적(단위 : m^2)

	격자크기 / 유역코드	2m	오차 (%)	5m	오차 (%)	10m	오차 (%)	30m	오차 (%)	50m	오차 (%)
Fill	1	4,231,950	1.03	4,197,080	0.20	4,176,500	0.29	3,870,100	7.61	3,922,500	6.36
	2	764,178	1.58	743,515	1.16	787,600	4.70	1,044,000	38.78	1,030,000	36.92
	3	4,452,220	1.33	4,507,330	0.11	4,461,600	1.12	4,502,600	0.21	4,392,500	2.65
Fillburn	1	4,188,990	0.00	4,136,680	1.24	4,177,900	0.26	4,166,400	0.54	4,206,500	0.42
	2	755,628	0.45	870,045	15.65	807,400	7.33	741,300	1.46	723,000	3.89
	3	4,503,730	0.19	4,441,200	1.57	4,440,400	1.59	4,509,000	0.07	4,415,500	2.14
Agree burn	1	4,186,400	0.06	4,220,350	0.75	4,174,600	0.34	3,740,400	10.71	4,182,500	0.15
	2	752,328	0.01	839,325	11.57	863,100	14.73	1,151,100	53.02	715,000	4.96
	3	4,509,620	0.05	4,388,250	2.74	4,388,000	2.75	4,525,200	0.29	4,447,500	1.43

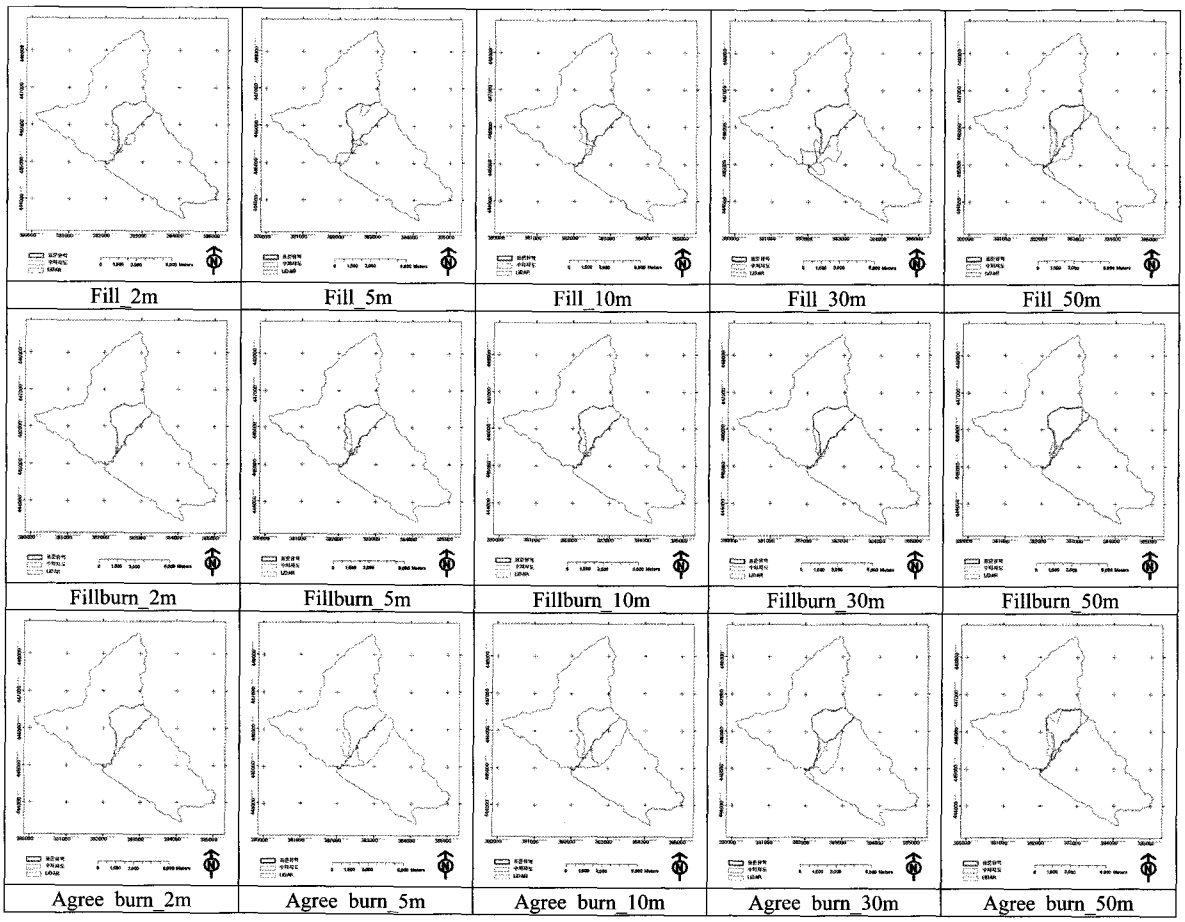


그림 6. DEM 자료별 유역경계 추출 현황

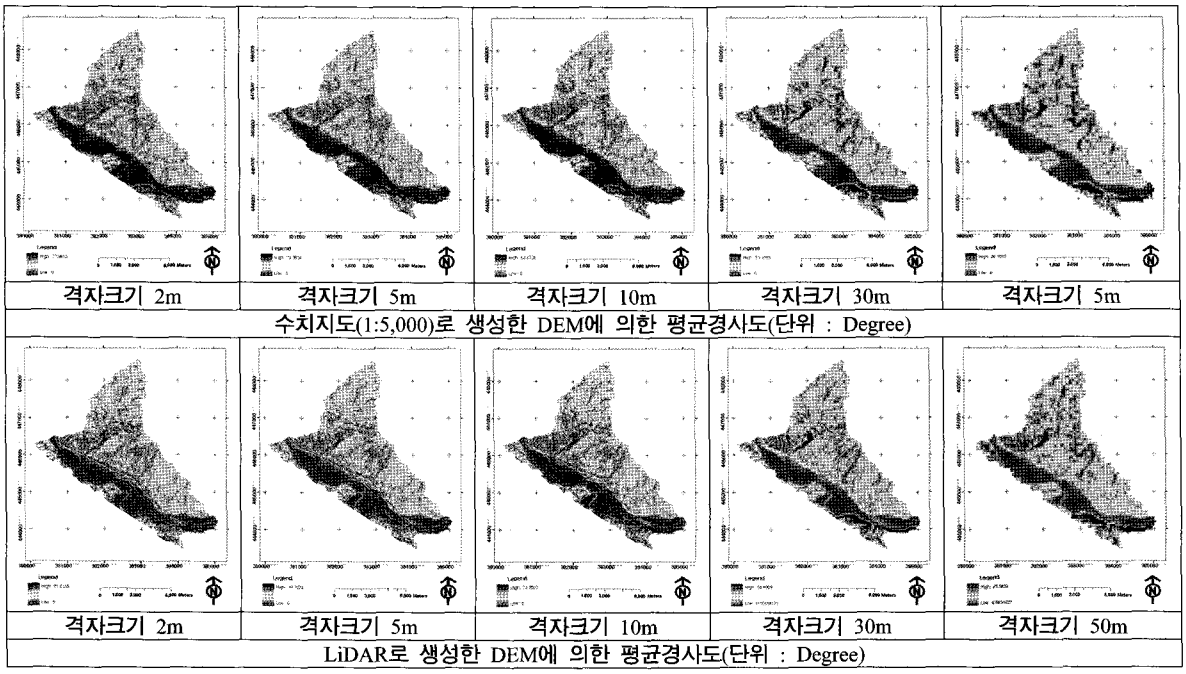


그림 7. DEM의 평균경사도

표 8. 수치지도(1:5,000)로 생성한 DEM에 의한 평균경사(단위 : Degree)

	격자크기 / 유역코드	2m	5m	10m	30m	50m
Fill	1	19.55	19.12	18.62	15.28	13.48
	2	26.95	27.19	26.20	20.68	18.15
	3	22.25	22.15	20.92	17.77	15.38
Fillburn	1	20.53	19.16	18.63	15.68	13.42
	2	29.04	26.89	24.72	20.09	17.96
	3	23.85	22.16	21.09	17.50	15.76
Agree burn	1	21.01	19.39	17.56	15.50	13.46
	2	29.73	26.71	26.30	21.36	18.12
	3	24.56	22.38	21.39	17.43	15.35

표 9. LiDAR로 생성한 DEM에 의한 평균경사(단위 : Degree)

	격자크기 / 유역코드	2m	5m	10m	30m	50m
Fill	1	21.19	20.60	19.74	16.87	14.29
	2	29.01	28.45	27.09	18.72	16.09
	3	23.67	23.00	21.78	17.99	15.49
Fillburn	1	22.30	20.53	19.70	16.49	13.96
	2	30.16	28.30	26.83	21.71	18.10
	3	25.21	22.98	21.88	18.02	15.80
Agree burn	1	22.74	20.86	19.74	16.76	13.94
	2	30.59	27.53	25.52	18.63	17.78
	3	25.74	23.38	22.07	17.92	15.50

야별로 생성한 DEM을 이용하여 유역특성을 추출하였기에 격자 크기와 전처리 방법 모두를 고려한 유역특성을 파악하지 못했으므로, 본 연구에서는 3가지 전처리방법을 수치지도와 LiDAR로 생성한 2m, 5m, 10m, 30m, 50m DEM을 사용하여 유역의 특성인자인 유역면적과 평균경사(degree)를 추출하여 유역특성을 파악하였다. 유역의 특성인자에는 유역면적이나 평균경사 외에도 하천의 밀도나 연장 등이 있으나, 본 연구에서는 유역면적과 평균경사에 준하여 유역특성을 파악하였다.

3. 결과 및 고찰

유역의 주요 특성인자들에 대한 분석은 여러 방법들이 소개되고 있으나, 본 연구에서는 여러 인자 중에 지형특성의 가장 기본적인 지표로 판단되는 유역면적과 경사도를 기준으로 DEM의 종류, 격자크기, 3가지 전처리 방법이 영향을 미치는 정도를 분석하였다.

3.1 표준 소유역도

그림 8에서와 같이 비콘 GPS 측량에 의한 유역은 3개의 소유역으로 구성된다. 이때 연구대상 유역의 각 소유역에 대한 경계와 유역면적은 표 10과 같다.

분수선이나 함몰지 등 현장 상황을 가장 잘 반영할 수

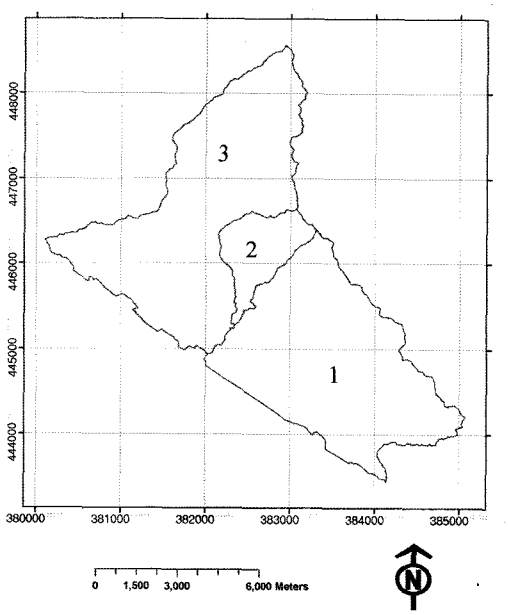


그림 8. 표준 소유역도

표 10. 표준 소유역별 면적

유역코드	면적(m^2)
1	4,188,818
2	752,278
3	4,512,089

있는 DGPS 측량을 실시하였으며, 유역경계선 추출시 경계구분이 명확한 지역과 불명확한 지역이 존재할 것으로 예상되었으나, 분수선이 명확한 상류지역과 평지에 가까운 하류 지역에서 유역경계 구분이 비교적 명확하였다. 하류의 경우, 평지에 가까운 지역이 많았음에도 주변의 배수망이나 하천에 의한 유출 흐름방향 구분이 비교적 단순 명료하였다.

3.2 표준 소유역과 DEM에 의한 소유역의 비교

표준 소유역을 기준으로 DEM에 생성한 유역경계를 DEM의 종류와 격자의 크기, 전처리 방법별로 비교하여 소유역에 따라 그 오차(표준유역 대비 소유역의 면적)를 표 11에 나타냈다. 3개 소유역 전체에 대한 평균 오차는 표 12와 같다.

DEM의 종류와 전처리 방법, 격자크기를 전반적으로 고려한 분석 결과, 유역경계 추출에 가장 적합한 DEM은 LiDAR로 생성한 DEM이었으며, 전처리 방법은 Agree burn을 이용하였을 경우이고, 격자크기는 2m 이었을 경우였다.

즉, LiDAR는 지표면의 표고정보를 가장 세밀하게 제공하기에 수치지도로 만든 DEM에 비해서 평균오차(0.52%)가 작았으며, 전처리 방법중에 하천의 형상과 흐름방향을 가장 잘 반영할 수 있는 Agree burn을 사용했을 때 평균오차(0.04%)가 가장 작았다.

격자크기의 측면에서, DEM 격자크기와 관련된 선행연구에서 양인태(1997)는 DEM 격자크기에 관계없이 유역면적은 동일하였고, 한건연(2004)은 10m~100m의 격자크기 중에 도시지역에서는 30m, 비도시화 지역에서는 50m 격자크기가 적절한 것으로 연구결과가 도출되었으며, Zhang과 Montgomery(1994)의 경우에서도 30m와 50m 격자크기가 적절한 것으로 연구되었다. 이러한 급경사로 이루어진 비도시화 지역과 완경사인 도시지역에서의 유출흐름 특성을 가장 잘 반영할 수 있는 격자크기가 30m나 50m라는 선행 연구결과와는 달리, 본 연구의 결과에서는 공간해상도가 가장 높은 2m에서 평균오차(0.52%)가

표 11. 표준 및 DEM에 의한 소유역의 오차(단위 : 오차(%), D : 수치지도, L : LiDAR)

유역코드 1	D_2m	L_2m	D_5m	L_5m	D_10m	L_10m	D_30m	L_30m	D_50m	L_50m
Fill	0.79	1.03	2.85	0.20	1.08	0.29	3.30	7.61	1.76	6.36
Fillburn	0.44	0.00	1.71	1.24	1.08	0.26	1.02	0.54	0.09	0.42
Agree burn	0.56	0.06	1.46	0.75	18.74	0.34	1.18	10.71	1.88	0.15
유역코드 2	D_2m	L_2m	D_5m	L_5m	D_10m	L_10m	D_30m	L_30m	D_50m	L_50m
Fill	0.12	1.58	14.37	1.16	7.43	4.70	2.62	38.78	3.96	36.92
Fillburn	1.98	0.45	0.80	15.65	14.37	7.33	9.95	1.46	0.30	3.89
Agree burn	1.68	0.01	11.06	11.57	16.85	14.73	10.87	53.02	2.63	4.96
유역코드 3	D_2m	L_2m	D_5m	L_5m	D_10m	L_10m	D_30m	L_30m	D_50m	L_50m
Fill	0.60	1.33	0.36	0.11	1.63	1.12	3.44	0.21	0.10	2.65
Fillburn	0.63	0.19	1.57	1.57	2.00	1.59	1.52	0.07	2.43	2.14
Agree burn	0.69	0.05	3.32	2.74	19.59	2.75	0.09	0.29	0.21	1.43

표 12. 표준 및 DEM에 의한 소유역의 평균오차(단위 : 오차(%), D : 수치지도, L : LiDAR)

DEM 종류 / 전처리방법	D_2m	L_2m	D_5m	L_5m	D_10m	L_10m	D_30m	L_30m	D_50m	L_50m
Fill	0.50	1.31	5.86	0.49	3.38	2.04	3.12	15.53	1.94	15.31
Fillburn	1.02	0.21	1.36	6.16	5.82	3.06	4.16	0.69	0.94	2.15
Agree burn	0.97	0.04	5.28	5.02	18.39	5.94	4.05	21.34	1.57	2.18
평 균	0.83	0.52	4.17	3.89	9.20	3.68	3.78	12.52	1.48	6.55

가장 작아 유역인자 추출에 더 적절하였음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 연구지역의 경사분포가 13~30 degree로서 유출흐름의 변동요소가 적은 산악지형에 해당하여 격자크기가 2m일 경우에 가장 분석결과가 좋았다고 판단할 수 있다.

분석 종합결과, LiDAR로 2m 격자크기의 DEM을 생성한 경우에 표준 소유역을 기준으로 산정한 평균 오차가 가장 작았으며, Agree Burn 전처리 방법을 사용한 경우에 가장 작은 0.04%의 평균 오차를 나타냈다.

따라서 유역 추출시 LiDAR을 이용하여 DEM을 생성하며, 격자크기는 2m, 전처리 방법은 Agree Burn을 사용하는 것이 가장 적합할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 수문환경의 효율적인 관리와 모델링에 필요한 수문지형 특성인자를 통해 유역 경계의 효과적인 추출방법을 연구하고자 하였다. 특히 수치지도와 LiDAR을 사용하여 유역추출에 필수적인 DEM을 격자크기와 전처리 방법을 달리하여 생성하고 각 자료와 방법별 정확도를 종합적으로 분석하여 GPS 측량 결과와 그 정확도를 평가하였으며, 그 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 수치지도와 LiDAR을 이용하여 생성한 DEM 중에 유역특성인자인 유역면적 추출에 적합한 자료는 LiDAR을 이용하여 작성한 DEM이었으며, GPS 측량을 통해 생성한 표준 유역면적을 기준으로 계산된 것 중에 최소오차(%)는 0.52%로 분석되었다.

2. DEM의 격자크기 중에 표준 유역과 가장 유사한 유역면적을 나타낸 것은 2m이었으며, 수치지도와 LiDAR 모두 2m 격자크기에서 가장 작은 1% 이내의 오차를 보이는 것으로 분석되었다. 또한 격자 크기가 증가함에 따라 오차의 양도 다소 증가하는 양상을 보이는 것으로 나타났다.

3. Fill, Fillburn, Agree Burn의 전처리 방법중에 최소오차로 분석된 것은 LiDAR를 사용하여 작성한 2m 격자의 DEM을 Agree Burn 전처리한 것이었으나, 격자크기 모두에 대한 평균치에서는 Fillburn에 의한 전처리 방법이 오차가 제일 작은 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 남서울대학교 교내연구 공모과제로 지원을 받아 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

박근애 (2006), 수자원 단위지도를 기반으로 한 북한강 유역의 지형학적 특성 분석, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권, 제 3B호, pp. 241-251.

박운용 (2006), Beacon GPS를 이용한 수치지도 수정 정확도 평가, **연구와 보고**, 동아대학교건설기술연구소, 제29권 제1호, pp. 147-156.

성동권 (2002), BurnDEM을 이용한 유역 및 하도망 추출에 관한 연구, **대한토목학회논문집**, 제22권 2-D호, pp. 293-301.

양인태 (2002), DEM 격자크기에 따른 지형경사와 배수유역 면적의 분석, **한국측량학회지**, 한국측량학회, 제20권 제3호, pp. 303-311.

유승근 (2002), GIS를 이용한 밀양강유역의 지형학적 특성 분석, **한국GIS학회지**, 한국GIS학회, 제10권 1호, pp. 107-122.

윤부열 (2006), 디지털 영상과 LIDAR 자료를 이용한 수치지도 갱신, **지구물리**, Vol. 9, No. 2, pp. 87-97.

정인균 (2003), 효과적인 유역 및 하도망 추출을 위한 DEM전처리 방법의 비교, **대한토목학회논문집**, 제23권 3-D호, pp. 393-400.

한건연 (2004), 지형지수 산정을 통한 수문모형에서의 적정 해상도 도출, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제24권 제6B호, pp. 537-543.

Garbrecht, J. and L.W. Martz (1997), TOPAZ Version 1.20: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization - Overview. Rep.# GRL 97-2, Grazinglands Research Laboratory, USDA, Agricultural Research Service, El Reno, Oklahoma, pp. 21.

Hellweger, F.L. (1997), AGREE-DEM surface Reconditioning System. www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro/ferdi/research/agree/agree.html

Horton, R.E. (1945), Erosional development of stream and their drainage basins hydrophysical approach to quantitative morphology, Bull. Geol. Soc. of America. Bulletin, Vol. 56, pp. 275-370.

Saunders, W.K. (2000), Preparation of DEMs for Use in Environmental Modeling Analysis, Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems, David Maidment and Dean Djokic, ESRI Press, New York, pp. 29-51.

Strahler, A.N. (1952) Hypsometric analysis of erosional topography, Bull. Geol. Soc. of America. Bulletin, Vol. 63.

Zhang, W., and Montgomery, D.R. (1994), Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulation, Water Resour. Res., Vol. 30, pp. 1019-1028.

(접수일 2007. 10. 26, 심사일 2007. 11. 19, 심사완료일 2007. 12. 13)