

GIS를 이용한 밀양강 유역의 지형학적 특성 분석

유승근* · 최성규* · 문상원**

Analysis of hydrologic characteristics for Milyang river basin with a GIS

Seung-Keun Yu* · Seong-Kyu Choi* · Sang-Won Moon**

요 약

유역 및 하천의 지형학적 특성은 유역을 모델링하고 관리하는데 매우 중요한 인자로 사용되고 있다. 본 연구에서는 최근 GIS 분야에서 구축된 수자원 관련 자료인 수자원 단위지도, 수치지도 등을 이용하여 밀양강 유역의 DEM과 하천망을 생성하고, 누가표고곡선, 하천 지형법칙, 유역특성인자 등을 이용하여 지형학적 특성을 파악하였다. DEM과 하천망은 수치지도의 지형 관련 레이어와 하천 관련 레이어를 추출하여 생성되었으며, 하천망은 위상 구조 뿐 아니라 방향성과 하천차수도 부여 되었다. 밀양강 유역의 지형학적 특성을 파악한 결과, 밀양강은 지질학적으로 장년기에서 노년기로 변화하고 있는 지역이며, 하천 구조는 Horton-Strahler의 하천지형법칙을 따르고 있음을 알 수 있었다. 본 연구는 수자원 관련 자료가 다양하게 구축되고 있는 현 시점에서, 벡터 자료를 이용한 수자원 관련 분석의 가능성을 제시한 것으로 사료된다.

주요어 : 유역특성, 하천망.

Abstract : Hydrological characteristics would be utilized to apply such as hydrologic modelling or basin management. This study is to extract hydrological characteristics through DEM and stream network analysis using a hydrologic unit map and digital topographic map in Milyang river basin. DEM and stream network was generated from digital topographic map. Especially stream network was allowed direction, stream order, and topology. As a result of the study, it shows that Milyang river has been changing geologically mature stage into old phase and the landform of Milyang river correspond to Horton-Strahler's law on morphology of stream. This methodology can be applicable to other areas related to hydrological characteristics with vector data.

Keywords : DEM, Route

* (주) 유니세크 기술연구소 연구원

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

유역을 모델링하는 주요목표는 유역을 효율적으로 관리하기 위함이며, 바로 이러한 목표가 수문관련 연구의 중심을 이루고 있다. 유역 및 하천의 지형학적 특성에 관한 연구는 Horton(1932), Strahler(1954)등에 의해 하천 차수 개념이 정량적으로 정의되어진 이후로 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 유역의 지형학적 특성은 강우-유출량 산정등의 목적으로 이용되는 수문모델이나 홍수추적 모델 등과 같은 분야에서 중요한 매개변수로 이용된다(김윤영 외, 1999; Brasington et al., 1998).

GIS를 이용한 유역 및 하천의 지형학적 특성 파악에 관한 연구는 Kienzle(1996), 최철웅(1999), 안승섭(1999) 등에 의하여 수행되었으나, 대부분 DEM 위주의 유역 특성 파악이 주를 이루고 있는 실정이다. 현재 우리나라는 국립지리원의 수치지도와 수자원공사의 수자원 단위지도, 하천 GIS, 하천정보 표준화, 수자원 Framework 등 수자원 분야에서 활용 가능한 다양한 형태의 벡터 자료가 구축되고 있는 상황이다. 또한 이러한 자료들을 활용하여 수자원 관련 분석을 수행하고자 하는 노력도 시도되고 있다(수자원공사, 2001)

따라서 본 연구에서는 수치지도를 이용하여 DEM 및 하천망(network)을 생성하고, 격자(raster) 자료와 벡터(vector) 자료를 적극적으로 이용하여 유역 및 하천의 지형학적 특성을 파악해보고자 하였다.

1.2 연구 범위

기존의 연구에서는 DEM으로부터 하천망 격자자료를 산출하여 하천 차수를 부여하는 방법을 이용하는데 반하여, 본 연구에서는 수치지도에서 하천 관련 레이어를 추출하여 하천망도를 생성하고 차수를 부여하여 벡터 자료에 기반한 단위 유역별 지형학적 특성 파악이 가능하도록 하였다. 지형학적 특성 파악을 위하여 DEM을 이용한 표고, 경사, 향 분석을 수행하였고, 하천망도를 이용한 하천 차수별 거리 및 개수 분석을 수행하였다. 또한 이를 바탕으로 형상계수, 형상비, 밀집도, 하천밀도, 수계빈도와 같은 기본적인 유역특성인자를 추출하였다.

2. 연구 동향

1999년 안승섭 등은 금호강의 영천댐 유역을 대상으로 누가 표고곡선, 하천의 차수개념에 의한 지형의 3대 법칙 등을 적용하여 형태학적 특성을 분석하였다. 이 연구에서는 1:25,000 종이지도를 벡터라이징하여 생성된 DEM을 이용한 분석결과와 수치구적기를 이용한 분석결과 비교·검토가 수행되었다.

수치지도를 활용한 유역특성분석 관련 연구도 수행되어졌으나, 등고선과 표고점 등을 이용하여 DEM을 생성한 후 DEM 위주의 분석이 수행되었다(강인준 외, 2001). 또한 DEM을 이용하여 사면안정성 분석에 이용될 수 있는 지표습성지수(Wetness index), 퇴적이동지수(Sediment

Transport Index), 사면안정지수(Stability Index) 등과 같은 수리지형 특성인자를 추출한 사례도 있다(이기원, 2001).

그러나 대부분 하천 관련 특성을 DEM 으로부터 하천망 격자자료를 구해낸 분석 이므로, 하천과 같은 선형 피처(linear feature)에 대한 분석으로는 한계가 있다.

림)이 전체면적의 72%를 차지하며 논, 밭 은 전체의 15%를 차지한다[그림 2].

3. 연구 방법

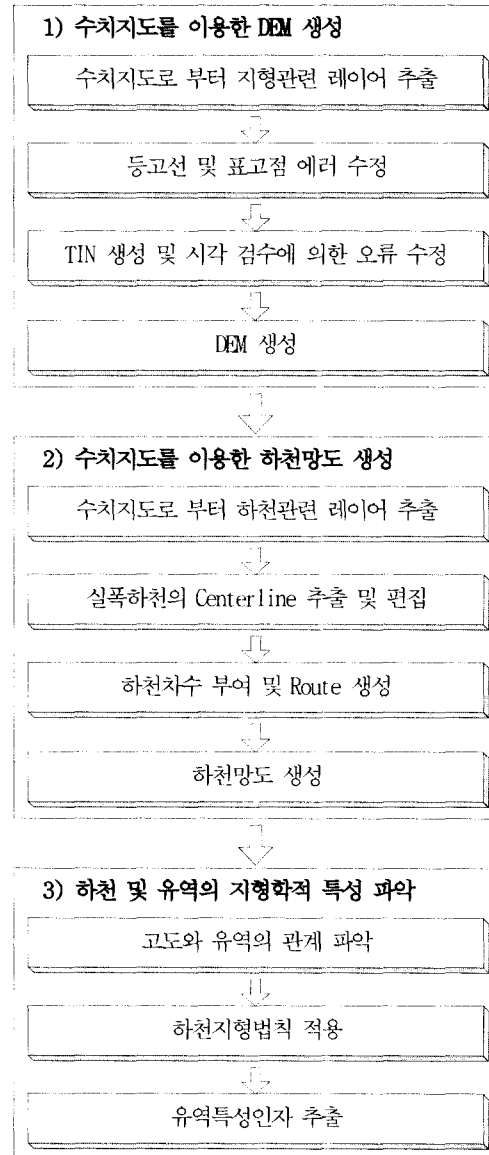
3.1 연구 절차

본 연구는 수치지도로부터 유역 및 하 천의 지형학적 특성을 추출하기 위한 것 으로, DEM과 하천망도가 이용되었다.

수치지도로부터 등고선, 표고점 등을 이용하여 DEM을 생성하고, 하천 관련 레 이어를 추출하고 방향성 등을 부여하여 하천망도를 생성하였다. 유역도, DEM, 하 천망도 등을 이용하여 유역 및 하천 특성 을 추출하는 절차는 [그림 1]과 같다.

3.2 연구 지역 및 자료

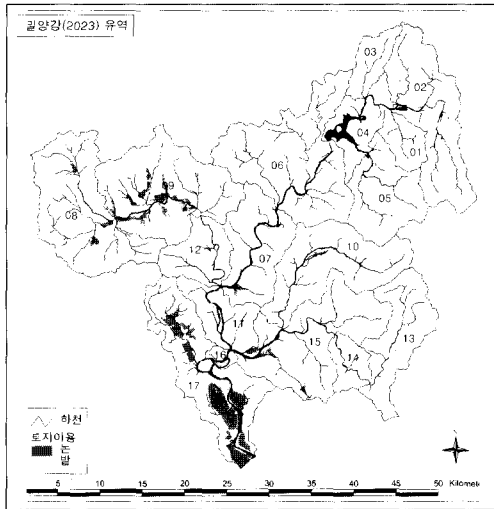
밀양강은 낙동강 하류의 상단부에 위치 하며, 울산시 고현산(古峴山:1,033m)에서 발원하여 남류하다가 경주시·청도군의 동창천(東倉川)·청도천(淸道川)과 합류한 다. 밀양강의 길이는 96km이며, 밀양시를 거치면서 비로소 '밀양강'이 되어 계속 남 으로 흐른 뒤 삼랑진에서 낙동강으로 흘러든다. 밀양강 유역은 17개의 단위 유역 으로 이루어져 있으며, 유역 면적은 1,476km² 이다. 산림(침엽수, 활엽수, 혼합



[그림 1] 연구 절차 및 흐름

낙동강과의 합류지점에 너비 4km에 이르는 벼농사 중심의 곡창지대를 이루는 밀양평야가 있으며, 수리시설이 잘 되어 있으므로 쌀 생산 외에 고등채소와 과수 재배가 성하다. 또한 유역내에 운문댐이 있으며, 밀양 영남루(嶺南樓) 등의 관광명소가 많다.

본 연구는 먼저 GIS 레이어를 구축하고 이를 이용하여 유역의 지형학적 특성을 파악하는 절차로 이루어졌다. 본 연구에 사용된 기본 레이어는 <표 1>과 같다. 유역 관련 자료는 수자원공사에서 구축한 수자원 단위지도를 사용하였으며, 지형 및 하천 관련자료는 수치지도 레이어로부터 추출하였다.



[그림 2] 연구대상 지역 (밀양강 유역)

3.3 유역의 DEM 생성

유역의 면적, 고도, 경사, 방향성과 유역의 형상 등은 유역의 특성을 대표하는 값들이며, DEM 자료로부터 추출해 낼 수 있다. 본 연구에서는 1:5,000 수치지도로부터 등고선 및 표고점 관련 레이어를 추출하고, 등고선 교차(intersection) 오류나 표고점 속성 오류 등을 수정하여 TIN을 생성하고, 이를 시각 검수하여 보완한 후 선형 보간하여 30m 간격의 DEM을 생성하였다.

수치지도에서 레이어를 추출하여 등고선 교차 오류와 표고점 속성 오류를 수정하고, TIN을 생성하고 DEM을 생성하는 일련의 절차는 [그림 3]과 같다.

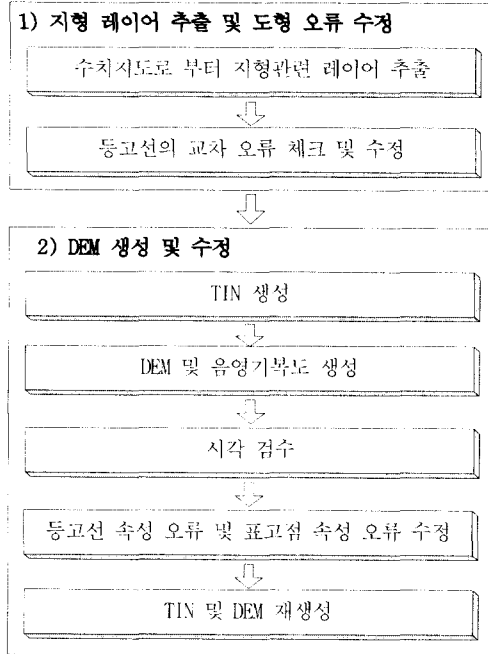
<표 1> 사용된 기본 레이어

주제	레이어	축척	구축 내용
유역	ws2319	1:5,000	수자원단위지도
지형	7110, 7120	1:5,000	등고선 미분류
	7111, 7121		주곡선
	7112, 7122		간곡선
	7113, 7123		조곡선
	7114, 7124		계곡선
	7217	표고점	
하천	2111	1:5,000	실폭 하천
	2112		세류
	2114		호수, 저수지
	2115		하천 중심선

1) 등고선 및 표고점 편집

수치지도로부터 등고선 및 표고점을 추출하여 DEM을 생성하기 위하여 등고선 오류 수정과 표고점 속성 수정 작업을 수행하였다. 등고선의 경우 교차 오류 및 입력 오류로 보여지는 속성 오류를 검수·수정하였으며, 표고점의 경우는 속성 오류를 수정하였다. 표고점의 경우 오류로 보여지거나 수정이 불가능한 부분은, 등고선이 많은 지

역에 한하여 불가피하게 삭제하였다.



[그림 3] DEM 생성 절차

등고선 교차 오류의 경우 간단한 스크립트를 작성하여 자동으로 탐색하였으며, 등고선 속성 오류나 표고점의 속성 오류를 위해서 DEM을 생성한 후, 시각적 검수를 수행하였다.

2) DEM 생성 및 시각 검수에 의한 수정

DEM 생성을 위한 방법에는 크게 보간법을 이용하는 방법과 TIN을 생성한 후 선형 보간하는 방법이 있다. 본 연구에서는 DEM을 생성하기 위하여, 등고선과 표고점을 이용하여 먼저 TIN을 생성하고 선형 보간하였다. 시각 검수를 위하여 음

영기복도를 작성하였으며 DEM과 음영기복도를 중첩하여 등고선 속성 오류와 표고점 속성 오류를 탐색하여 수정하였다.

DEM을 이용하여 유역 경계를 구해내고, 하천의 차수 및 거리등을 구해내는 수문학적 분석을 위해서는 SINK를 찾아내고 수정하는 작업을 거쳐야한다. 그러나 본 연구에서는 기 구축된 수자원 단위 지도와 수치지도를 이용하여 생성된 하천망도를 이용하고 있으므로, DEM을 이용한 분석은 표고, 경사, 향 등에 한정된다. SINK 제거 작업은 유역 분할 및 하천관련 분석을 위한 수학적 가정을 위한 것으로, 본래의 지형을 왜곡할 수도 있기 때문에 본 연구에서는 수행하지 않았다.

3.4 하천망(Network) 생성

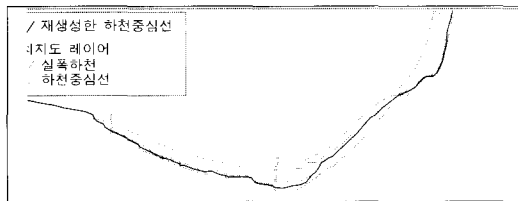
하천망은 유역내에서 지질, 기후, 식생 등의 영향을 받아 본류 하천과 지류들로 이루어진 하천망을 의미한다. 하천망의 형상은 지층의 경사, 암석의 경연, 지질 구조, 지반 운동 등 여러 지질적 요인을 예민하게 반영하기 때문에 하천망의 형상에 대한 분석은 어떤 지역의 지형과 지질의 관계를 파악하는데 매우 중요하다.

본 연구에서는 수치지도에서 하천 관련 레이어를 추출하여 방향성과 차수를 부여하고, 벡터기반 하천망도를 생성하여 하천 특성 파악에 이용하였다.

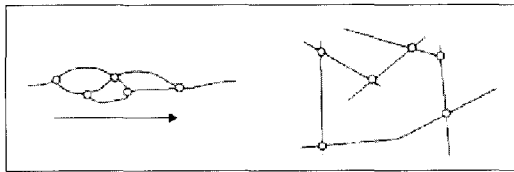
1) 레이어 추출 및 수정 편집

본 연구에서는 수치지도로부터 하천, 실폭하천, 저수지 등을 추출하여 하천망

을 구성하였으며, 250m 이하 세류 하천을 제거하고 실폭하천의 중심선을 추출하는 등의 일반화과정을 거쳤다. 수치지도에 하천 중심선 레이어가 존재하기는 하나, 상당히 일반화되어 있기 때문에, 실폭 하천으로부터 하천 중심선을 다시 추출하여 사용하였다. 실폭하천의 중심선 추출 작업을 위하여 ArcInfo의 일반화 명령인 CENTERLINE 을 이용하였으며, 하천망 구성을 위한 위상 편집을 수행하였다[그림 4].



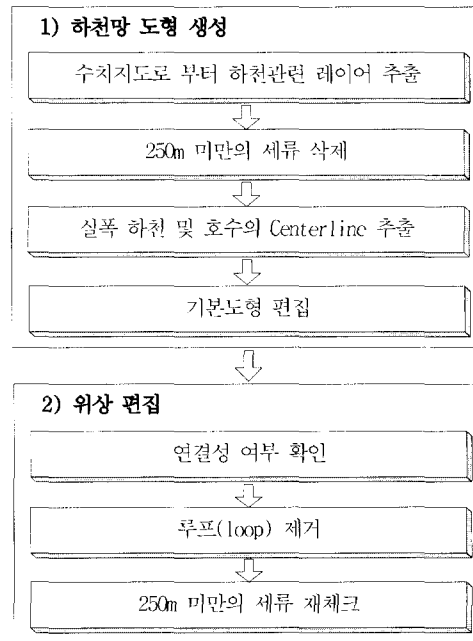
[그림 4] 하천 중심선 재생성



[그림 5] 편조하천과 인공하천

하천과 같은 개수로에서는 하천이 항상 중력 방향으로 흐르며, 이러한 흐름 방향은 지형에 의해 결정된다. 그러나 평지의 경우에는 하천이 두 갈래로 꼬여 있는 편조천(braided stream)같은 형태를 이루기도 하며, 농수로와 같은 인공적인 수로(manmade channel system)에 의해 복잡한 형태의 루프(loop)를 이루기도 한다[그림 5]. 폴리곤 위상을 이용하여 이러한 루프를 제거하고 수지상 하천망(dentritic network)을 생성하여

일반 관망(standard network)에서는 수행되지 못하는 여러 수문학적 분석을 가능하게 하였다. 이러한 하천 관련 레이어 추출 및 수정 편집의 과정은 [그림 6]과 같다.



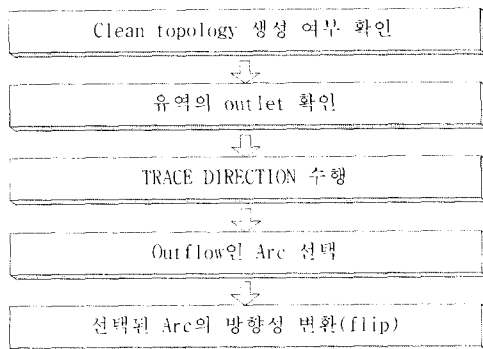
[그림 6] 하천망 도형 생성 절차

2) 트레이싱을 이용한 방향성 부여

트레이싱(tracing)이란 연결성의 개념을 이용하여 네트워크 상의 추적 시작점으로 부터 특정 방향으로 네트워크의 흐름을 찾아 나가는 것이다. 선형 요소의 연결성은 어떻게 선(arc)과 점(node)이 연결되어 있는지를 정의하는 것으로, 하나의 선은 시작점과 끝점을 구분함으로써 선의 방향성을 정의하고 인접 선과의 공통된 점을 통해서 연결 관계를 명시 할 수 있다. 하

천망의 경우 동일 유역의 두 하천은 한 점에서 합류하며, 두 하천을 이루는 두 선은 하나의 노드를 공유하게 된다.

본 연구에서는 하천도형 구축시 루프를 제거하였으므로 정류(inflow)와 역류(outflow)가 명확하다. 방향성 부여를 위하여 ArcInfo의 TRACE DIRECTION 명령과 배출구(outlet point)를 이용하여 정류방향 파일(inflow_direction_file)과 역류방향 파일(outflow_direction_file)을 생성하였다. 역류방향 파일과 READSELECT, SELECTGET 명령을 이용하여 방향성이 잘못된 하천을 찾아내고, FLIP 명령을 이용하여 방향성을 바꾸어 주면 하천의 방향성 부여는 완료된다[그림 7].

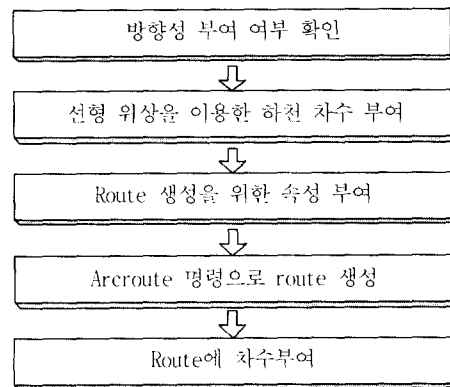


[그림 7] 방향성 부여 절차

3) 차수 부여 및 라우트 생성

하천의 차수는 각 지류의 합류점을 기점으로 구간별로 나누고, 이들 구간에 계급별로 일련의 차수(order)를 매기는 것으로, Horton과 Strahler에 의하여 하천망의 계량적 분석이 처음 시도되었다. 본 연구

에서는 아크(arc)와 노드(node)의 선형 위상을 이용하는 스크립트를 작성하여 하천 차수를 자동으로 부여하였다. 뿐만 아니라 Dynamic Segmentation 데이터 모델을 이용하여 하천과 같은 선형 요소(feature)들의 분석 및 관리에 적합한 라우트(route)를 생성하였다. 라우트는 하천 차수별 개수를 파악하는데 효율적으로 사용되어지므로, 선형 위상을 이용하여 라우트 생성에 필요한 속성을 자동 부여하는 스크립트를 작성하였다[그림 8].



[그림 8] 차수부여 및 Route 생성 절차

3.5 유역 및 하천의 지형학적 특성 파악

1) 고도와 유역의 관계

DEM을 이용하여 곡선의 유형에 따라 유역의 지질학적 발달정도를 판단할 수 있는 누가표고곡선을 그릴 수 있다. 누가표고곡선은 지형에 대한 홍수효과와 침식에 관한 특성을 파악하는 유용한 방법으로, 상대고도를 h/H, 상대면적을 a/A라 하

고 연속함수관계로 표현한다.

DEM을 이용하면 유역의 경사(slope)나 향(aspect) 분석도 가능하다(식 1, 식2). 경사는 고도의 최대 변화율을 말하며 접평면(tangent plane)에 의해 정의된다. 향은 최대 변화율의 방향(compass direction)을 의미한다(Burrough, 1986). 경사는 퍼센트(%)로 표현하는게 일반적이며, 향은 주로 도(°, decimal degrees)로 표현된다.

$$\tan S = \sqrt{(dz/dx)^2 + (dz/dy)^2} \quad (1)$$

$$\tan A = -\frac{(dz/dy)}{(dz/dx)} \quad -\pi \leq A \leq \pi \quad (2)$$

경사와 향을 계산하는 거의 대부분의 기법들은 3 by 3 윈도우(moving window)를 이용하며 이는 윈도우의 중심과 인접한 셀(cell)들 만을 이용하여 차이값(finite difference)을 계산해내기 때문에 단순하지만, 매우 유용하다.

2) 하천지형법칙 적용

Horton과 Strahler에 따르면 하천 차수와 각 차수의 하천수, 하천평균연장 및 하천 평균경사는 지수함수의 관계에 있다.

$$\ln N_u = A - B \cdot U \quad (3)$$

$$\ln L_u = C - D \cdot U \quad (4)$$

$$\ln S_u = E - F \cdot U \quad (5)$$

u : 하천차수
 N_u : u 차 하천의 수
 L_u : u 차 하천의 평균연장
 S_u : u 차 하천의 평균경사
 A, B, C, D, E, F : 유역 특성 상수

식(3)은 하천수의 법칙(law of stream number)으로 한 유역내에서 차수가 낮을 수록 그 하천의 수가 일정한 비율로 기하급수적으로 증가함을 의미한다. 식(4)는 하천평균연장의 법칙(law of average stream length)으로 한 유역내에서 하천은 차수가 높을수록 평균길이가 일정한 비율에 따라서 기하급수적으로 증가함을 의미한다. 식(5)는 하천평균경사의 법칙(law of average stream slope)으로 유역의 차수가 높을수록 유역의 평균경사가 완만해짐을 의미한다.

3) 유역특성인자 추출

DEM과 하천망 자료를 이용하면 차수에 따른 하천수, 평균표고, 평균경사, 유역평균폭, 형상계수, 형상비, 밀집도, 하천 밀도, 수계빈도 등의 유역 특성을 파악할 수 있다. 이러한 지형 인자의 양적인 표현은 무차원양으로 표시함으로써 서로 크기가 다른 유역의 상호 비교시 실용성을 증진시키고 있다.

$$B = \frac{A}{L} \quad (6)$$

$$F = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2} \quad (7)$$

$$S_f = \frac{1}{F} = \frac{L^2}{A} \quad (8)$$

$$K = \frac{0.282 \cdot P}{\sqrt{A}} \quad (9)$$

$$D = \frac{\sum L}{A} \quad (10)$$

$$F_s = \frac{\sum N}{A} \quad (11)$$

A : 유역면적 (km^2)
 L : 본류의 유로연장 (km)
 B : 유역 평균폭 (km)
 F : 유역형상계수

- S_i : 형상비
- P : 유역의 둘레 (km)
- K : 밀집비
- ΣL : 모든 차수 하천 길이의 합 (km)
- D : 하천밀도
- ΣN : 모든 차수 하천 개수의 합
- F_s : 수계빈도

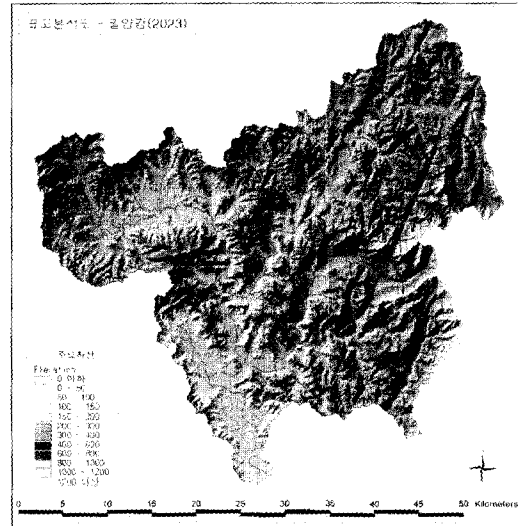
유역 평균폭은 대하천 일수록 크며, 형상계수는 길이에 비하여 폭이 넓은 유역에서 큰 값을 가진다(식 6, 식 7). 밀집비란 유역의 둘레에 근거한 매개변수로 유역의 둘레와 유역과 동일한 면적을 가지는 등가원 둘레의 비다(식 9). 하천밀도는 유역의 단위면적에 대한 수로 길이를 나타내며, 수계빈도는 단위면적에 대한 수로의 수를 나타낸다(식 10, 식 11).

4. 연구 결과 및 고찰

4.1 고도와 유역의 관계

밀양강 유역의 TIN을 생성하고 DEM과

음영기복도를 만들어 시각검수를 수행하고 수정하는 과정을 반복하여 표고분석도를 작성하였고, 이를 이용하여 유역별 표고 누계 면적, 경사별 면적, 향별 면적을 산출하였다(그림 9).



[그림 9] 표고분석도

<표 2> 유역별 표고 누가면적 (표고단위: m, 면적단위: km²)

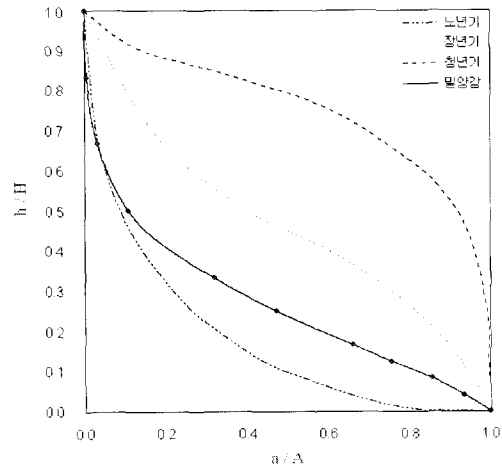
유역코드	1200이상	1000이상	800이상	600이상	400이상	300이상	200이상	150이상	100이상	50이상	50이하	합계
202301	0.00	0.00	0.05	1.56	8.27	16.52	24.89	26.34	26.34	26.34	0.00	26.34
202302	0.00	0.07	1.93	14.05	71.07	98.37	116.86	121.53	121.53	121.53	0.00	121.53
202303	0.00	0.00	0.00	0.61	9.81	19.27	26.74	28.09	28.10	28.10	0.00	28.10
202304	0.00	0.00	0.00	0.14	9.24	20.63	32.56	40.27	47.86	47.86	0.00	47.86
202305	0.02	1.88	9.58	25.06	49.39	62.66	74.41	78.01	78.11	78.11	0.00	78.11
202306	0.00	0.00	0.15	3.22	30.42	61.03	111.02	136.13	157.19	164.71	0.00	164.71
202307	0.00	0.00	0.00	1.53	22.73	34.82	48.61	56.90	66.70	80.58	3.58	84.15
202308	0.00	0.07	2.43	9.94	33.22	57.14	92.95	114.78	138.24	142.08	0.00	142.08
202309	0.00	0.00	0.06	2.45	15.44	29.07	56.19	78.60	111.89	146.30	0.00	146.30
202310	0.01	1.72	9.23	29.83	58.60	75.16	92.76	101.91	111.29	114.92	0.20	115.12
202311	0.00	0.00	0.00	0.18	3.63	7.67	15.12	20.50	26.79	33.61	13.64	47.24
202312	0.00	0.00	0.31	3.13	11.32	18.75	28.73	34.36	39.74	47.04	2.00	49.04
202313	0.00	1.90	15.44	38.76	63.72	72.63	77.73	77.75	77.75	77.75	0.00	77.75
202314	0.00	0.00	0.00	2.09	10.30	15.80	20.76	23.10	25.14	25.15	0.00	25.15
202315	0.00	0.63	5.56	19.30	48.37	70.52	93.50	104.70	115.44	126.37	7.60	133.97
202316	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.24	0.56	1.13	2.20	3.82	6.01
202317	0.00	0.00	0.03	0.76	4.95	11.07	23.26	32.31	44.39	65.07	63.69	128.76
2023	0.02	6.27	44.76	152.62	450.50	671.12	936.33	1,075.85	1,217.65	1,327.72	94.51	1,422.24

밀양강 유역의 평균고도는 약 320m 정도이며, 표고별 면적을 이용하여 표고별 누가면적을 구해내었다<표 2>.

밀양강 유역의 유역별 표고 누계별 면적을 이용하여 상대높이에 대한 누가면적을 나타내는 누가표고곡선(hypsometric curve)을 분석하였다. [그림 10]은 밀양강의 침식순환 특성을 노년기, 장년기, 청년기 특성 곡선과 비교한 것이다. 이 누가표고곡선에 의하면 밀양강 유역은 고도가 64% (약 800m) 이하인 지역은 장년기(mature stage)에서 노년기(old phase) 지형으로 변화하는 과정에 있으며, 고도가 64% 이상인 지역은 노년기 지형임을 알 수 있다.

지표면의 경사는 토지이용을 위한 분석에 매우 중요한 인자로 지표면의 경사가 낮을수록 토지의 이용성을 다양화할 수 있다. 경사 분석을 수행한 결과, 유역의

평균경사는 약 44% (20°) 이었으며, 경사가 50% 이하인 지역이 밀양강 유역 면적의 65% 정도, 경사도가 50~ 70%인 지역이 25% 정도를 차지한다<표 3>.



[그림 10] 누가표고곡선

<표 3> 유역별 경사 범위별 면적 (경사단위; %, 면적단위; km²)

유역코드	10 이하	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100이상	합계
202301	1.94	1.32	2.33	3.43	4.55	5.37	4.71	2.10	0.49	0.08	0.02	26.34
202302	10.25	9.95	16.95	23.79	24.68	20.74	11.57	3.14	0.41	0.05	0.02	121.53
202303	1.25	2.20	3.68	4.88	5.46	5.23	3.79	1.40	0.19	0.02	0.00	28.10
202304	7.98	2.52	3.84	5.97	7.45	8.28	7.19	3.62	0.84	0.14	0.04	47.86
202305	3.29	2.35	4.19	6.94	10.98	15.80	17.64	11.84	3.60	0.95	0.55	78.11
202306	22.39	15.26	20.08	24.62	26.38	24.53	18.80	9.43	2.53	0.49	0.19	164.71
202307	10.77	7.73	11.63	14.09	13.64	11.21	8.55	4.39	1.50	0.42	0.21	84.15
202308	26.06	12.86	18.07	23.75	23.90	19.98	12.36	4.27	0.76	0.07	0.00	142.08
202309	44.38	14.43	18.66	22.49	20.52	15.13	7.71	2.44	0.44	0.06	0.02	146.30
202310	12.69	8.56	11.95	13.33	14.95	17.79	18.50	11.46	4.01	1.04	0.84	115.12
202311	12.40	4.48	5.88	6.83	5.99	5.45	3.86	1.86	0.39	0.06	0.02	47.24
202312	5.31	4.39	6.75	8.09	8.91	8.04	5.19	1.93	0.36	0.04	0.03	49.04
202313	2.01	3.92	7.88	10.77	13.66	15.17	14.18	7.86	1.96	0.23	0.09	77.75
202314	1.31	1.22	2.53	3.56	3.97	4.42	4.44	2.62	0.79	0.19	0.10	25.15
202315	14.39	7.67	12.37	17.66	22.05	23.20	20.79	11.27	3.31	0.82	0.44	133.97
202316	2.83	0.61	0.64	0.66	0.52	0.32	0.23	0.14	0.05	0.00	0.00	6.01
202317	60.90	8.78	10.81	13.70	13.89	11.06	6.52	2.51	0.52	0.06	0.00	128.76
2023	240.16	108.24	158.27	204.57	221.51	211.71	166.02	82.29	22.15	4.74	2.58	1,422.24

<표 4> 유역별 향별 면적 (면적단위; km²)

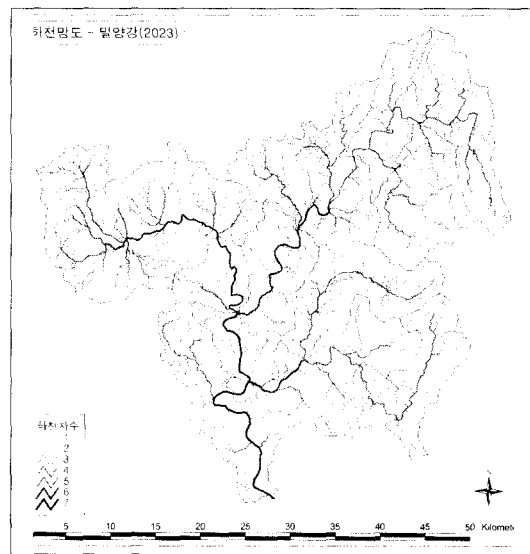
유역코드	FLAT	North	NorthEast	East	SouthEast	South	SouthWest	West	NorthWest	합계
202301	0.04	3.76	4.22	3.50	2.35	2.07	2.73	3.93	3.73	26.34
202302	0.31	12.49	15.35	18.03	13.60	11.29	15.88	19.50	15.07	121.53
202303	0.01	2.18	3.00	4.79	4.16	3.18	3.29	4.08	3.42	28.10
202304	2.71	4.68	5.13	6.26	6.35	5.99	4.80	6.10	5.84	47.86
202305	0.04	11.38	10.41	8.19	6.58	8.60	9.67	11.10	12.15	78.11
202306	0.54	18.00	19.51	20.93	20.38	18.04	20.83	24.71	21.77	164.71
202307	0.24	9.79	10.29	10.08	9.38	10.00	12.24	11.08	11.05	84.15
202308	0.65	17.60	18.59	22.00	20.84	16.83	15.18	13.72	16.68	142.08
202309	1.12	15.57	17.78	18.95	18.09	19.21	20.95	17.81	16.82	146.30
202310	0.62	13.67	10.32	13.30	14.44	13.90	14.96	17.19	16.73	115.12
202311	0.66	3.51	4.93	5.96	6.53	6.72	7.92	6.42	4.59	47.24
202312	0.11	6.58	8.45	6.32	6.21	7.66	5.69	3.97	4.07	49.04
202313	0.01	7.97	7.49	8.43	10.79	9.77	9.03	12.28	11.99	77.75
202314	0.02	3.05	3.23	3.07	2.06	2.68	3.23	4.22	3.57	25.15
202315	0.68	16.28	15.77	14.24	14.55	15.65	19.37	20.95	16.46	133.97
202316	0.31	0.45	0.48	0.38	0.59	0.66	1.16	1.01	0.97	6.01
202317	2.39	11.57	16.30	17.68	15.99	18.26	18.89	15.11	12.57	128.76
2023	10.44	158.52	171.26	182.10	172.88	170.51	185.84	193.20	177.47	1,422.24

밀양강 유역 사면방향의 경우 대체적으로 고른 분포를 가지고 있으나, 그중 서쪽과 남서쪽 사면이 가장 많은 것으로 나타났다<표 4>.

4.2 하천지형법칙 적용

선형 위상을 이용하여 방향성과 하천 차수를 부여하고, 라우트를 생성하여 하천망도를 작성하였다[그림 11].

밀양강의 하천망 패턴은 유역내 지류와 본류의 모양이 나뭇가지 형태를 띄고 있으므로 수지상(dendritic shape)으로 볼수 있다. 우리나라의 경우, 대하천의 중하류로 흘러드는 소규모의 하천이나, 감소권의 소규모 하천들은 대부분 수지상 패턴을 띄고 있다. 수지상 패턴은 암석이등질적이고 기반암의 지질구조가 잘 발달되어



[그림 11] 하천망도

있지 않은 곳, 화강암과 같은 화성암 지역, 수평퇴적암층, 변성암층 지역에서 주

<표 5> 하천차수별 개수

유역코드	I	II	III	IV	V	VI	VII	계
202301	100	22	4	1	0	0	0	127
202302	325	70	17	5	1	0	0	418
202303	69	11	2	1	0	0	0	83
202304	107	21	2	3	2	0	0	135
202305	181	37	8	3	1	0	0	230
202306	564	128	30	9	4	1	0	736
202307	238	47	11	1	0	1	0	298
202308	554	135	30	9	4	1	0	733
202309	384	90	24	7	3	1	0	509
202310	319	79	19	5	1	0	0	423
202311	121	29	5	0	0	2	1	158
202312	134	35	6	1	0	1	0	177
202313	129	27	8	2	1	0	0	167
202314	52	10	2	0	1	0	0	65
202315	313	69	14	3	2	1	0	402
202316	4	0	1	0	0	1	1	7
202317	291	79	22	5	1	0	1	399
2023	3,876	887	203	52	14	3	1	5,036

<표 6> 하천차수별 연장(km)

유역코드	I	II	III	IV	V	VI	VII	계
202301	46.1	16.1	6.8	5.1	0.0	0.0	0.0	74.1
202302	169.1	55.2	23.6	23.6	12.1	0.0	0.0	283.7
202303	38.9	11.0	7.2	3.4	0.0	0.0	0.0	60.5
202304	61.8	18.2	4.1	0.7	18.6	0.0	0.0	103.5
202305	96.1	28.4	16.3	12.3	3.2	0.0	0.0	156.3
202306	320.8	84.1	43.5	22.7	20.7	6.6	0.0	498.4
202307	138.9	40.5	22.3	0.6	0.0	16.3	0.0	218.6
202308	293.3	94.5	48.1	20.7	15.4	3.5	0.0	475.6
202309	224.7	85.8	42.9	17.4	2.6	13.2	0.0	386.6
202310	207.6	53.5	27.8	6.9	17.8	0.0	0.0	313.6
202311	75.7	16.4	16.9	0.0	0.0	0.4	10.0	119.3
202312	77.9	25.3	7.0	4.3	0.0	11.2	0.0	125.8
202313	81.2	25.2	15.4	5.9	9.3	0.0	0.0	137.1
202314	33.1	8.7	2.6	0.0	9.5	0.0	0.0	53.9
202315	191.7	52.1	30.7	15.5	9.6	8.1	0.0	307.7
202316	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.5	7.5
202317	157.8	57.1	36.7	17.1	5.4	0.0	19.1	293.3
2023	2,219.6	672.1	352.0	156.3	124.2	59.5	31.7	3,615.3

로 발달한다.

Horton-Strahler의 하천지형법칙을 적용해 보기 위하여 하천 차수별 개수와 연장을 산출하였다. 하천 차수를 이용하면 유역의 세분화 정도 가능하기 때문에 각 차수별 하천수는 수문학적으로 매우 중요한 개념이다. <표 5>와 <표 6>은 단위 유역의 차수별 개수와 차수별 연장을 나타내고 있다.

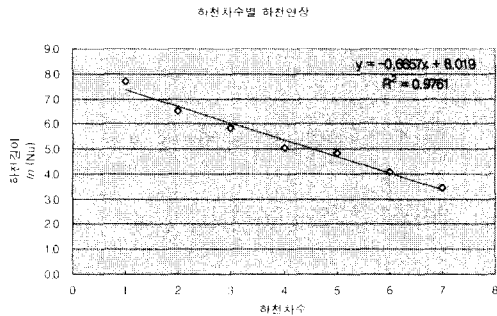
하천차수별 하천수의 비와 하천차수별 총 연장의 비를 이용하면 분기율, 하천 연장비를 특성을 파악할 수 있다<표 7>. 분기율은 유역 유출 모델링에 최근에 자주 이용되는 매개변수이다. 밀양강의 연장비를 구한 결과, 밀양강의 경우도 보통 자연하천의 경우와 마찬가지로 1.5 ~ 3.5 사이의 값을 가지는 것으로 나타났다. 하천 차수 1차와 2차의 하천 연장비가 다소

<표 7> 하천 특성

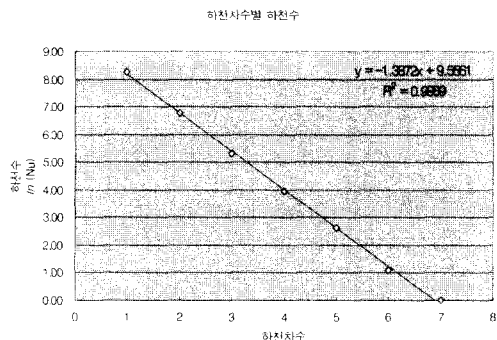
차수	총연장 (km)	총연장 (n)	연장비율 (%)	하천수	하천수 (n)	하천수 비율(%)	분기율	평균하천 연장(km)	누적평균 연장(km)	하천 연장비	누적평균 연장비
1	2,219.6	7.7	61.4	3,876	8.26	77.0	4.37	0.57	0.57		
2	672.1	6.5	18.6	887	6.79	17.6	4.37	0.76	1.33	1.32	2.32
3	352.0	5.9	9.7	203	5.31	4.0	3.90	1.73	3.06	2.29	2.30
4	156.3	5.1	4.3	52	3.95	1.0	3.71	3.00	6.07	1.73	1.98
5	124.2	4.8	3.4	14	2.64	0.3	4.67	8.87	14.94	2.95	2.46
6	59.5	4.1	1.6	3	1.10	0.1	3.00	19.82	34.77	2.23	2.33
7	31.7	3.5	0.9	1	0.00	0.0		31.68	66.45	1.60	1.91
계	3,615.3			5,036			3.43				

적은 것은 250m 미만의 세류를 제거한 영향인 것으로 사료된다.

[그림 12]와 [그림 13]은 Horton-Strahler의 하천지형법칙을 적용하기 위하여 하천 연장과 하천수에 자연로그를 취하여 하천 차수와 하천수의 관계를 파악해본 것이다.



[그림 12] 하천차수별 하천연장 그래프



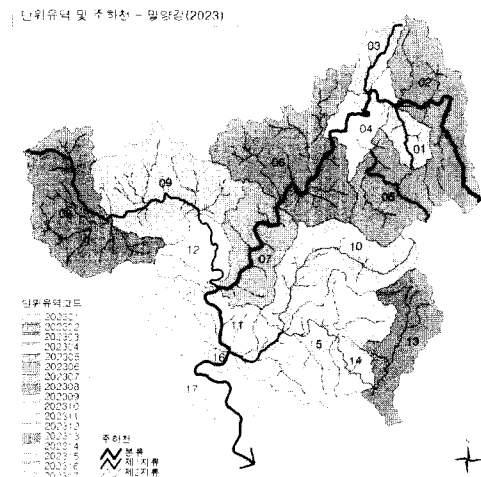
[그림 13] 하천차수별 하천수 그래프

Horton-Strahler의 하천지형법칙을 적용해 본 결과, 밀양강 유역의 형성구조가 어떤 일정한 규칙성을 가지고 발달되어 있음을 알 수 있다. 때문에 유역의 지형학적 특성과 각종 수리량 간에는 밀접한 상관관계가 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 수치하천망도를 바탕으로 하천특성을 파악하였으므로 하천평균 경사의 법칙은 적용해보지는 않았으나, 하천 차수와 하천 차수별 평균경사 또한 밀접한 상관관계가 있을 것으로 사료된다. 하천 차수별 평균경사는 DEM이나 하천 횡단면 자료를 이용하면 가능하다.

4.3 유역특성인자 추출

밀양강 유역은 밀양강 본류에 의해 [그림 14]와 같이 좌안과 우안으로 나뉘며 각 단위 유역별 누적 면적을 통하여 단위 유역간의 상관관계 파악이 가능하다.



[그림 14] 밀양강 유역의 좌·우안

단위 유역 202308, 202309, 202312는 좌안의 제 1지류를 이루며, 단위 유역 202310, 202313, 202314, 202315는 우안의 제 1지류, 제 2지류를 이룬다. 이를 미루어 보면, 밀양강 유역은 하천 흐름과 관

<표 8> 유역의 좌·우안 별 누적 면적

유역코드	좌안	우안	소계	누적
202301	26.3		26.3	26.3
202302	45.6	75.9	121.5	147.9
202303		28.1	28.1	176.0
202304	34.6	19.8	54.4	230.4
202305	71.6		71.6	302.0
202306	47.5	117.3	164.8	466.8
202307	44.8	39.2	84.0	550.8
202308		142.1	-	-
202309		146.3	-	-
202312		49.2	337.6	888.3
202311	26.8	21.5	48.2	936.6
202310	115.1		-	-
202313	78.3		-	-
202314	25.2		-	-
202315	132.5		351.1	1,287.6
202316	1.4	2.1	3.5	1,291.2
202317	33.7	97.5	131.2	1,422.3
2023	683.3	739.0	1,422.3	

련하여 크게 세 개의 소유역(본류, 좌안 1지류, 우안 1지류)로 나누어 해석할 수 있음을 알 수 있다<표 8>.

유역 특성 인자는 수자원단위지도, DEM, 하천망도를 이용하여 <표 9>와 같이 추출되었다. 유역형상계수는 정사각형이나 원형 유역은 0.79 ~ 1.0의 값을 가지며, 길고 좁은 유역은 그 이하의 값을 가진다. 밀양강 유역에서는 단위유역 202306, 202309, 202316은 유역의 폭이 정사각형이나 원형에 가깝고 나머지 유역은 대체로 좁고 긴 유형을 가지는 것으로 나타났다.

하천밀도는 유역 면적과 유역안에 있는 전체 하천의 길이(즉, 단위 면적에 대한 하천의 길이)를 말하여 하천유역의 특성 파악에 도움을 준다. 즉, 밀도가 높을수록 약지에 가깝다. 하천밀도 결정 요인은 기

<표 9> 유역 특성 인자

유역 코드	유역면적 (km ²)	유역둘레 (km)	유로연장 (km)	본류연장 (km)	하천수	평균표고 (m)	평균경사 (%)	유역평균 폭 (km)	형상 계수	형상비	밀집도	하천 밀도	수계 빈도
202301	26.34	23.66	74.07	8.58	127	361.13	46.33	3.07	0.36	2.80	1.301	2.81	4.82
202302	121.52	67.01	283.69	23.42	418	435.38	38.86	5.19	0.22	4.51	1.71	2.33	3.44
202303	28.12	28.00	60.51	10.41	83	363.99	42.84	2.70	0.26	3.85	1.49	2.15	2.95
202304	47.86	41.59	103.46	14.77	163	285.25	41.27	3.24	0.22	4.56	1.70	2.16	3.41
202305	78.11	43.61	156.25	14.63	200	509.71	54.43	5.34	0.36	2.74	1.39	2.00	2.56
202306	164.71	78.80	498.36	13.35	736	277.97	38.99	12.33	0.92	1.08	1.73	3.03	4.47
202307	84.16	47.64	218.62	16.29	297	270.47	38.51	5.16	0.32	3.15	1.46	2.60	3.53
202308	142.07	66.87	475.57	16.24	733	300.74	34.67	8.75	0.54	1.86	1.58	3.35	5.16
202309	146.29	61.67	386.62	13.20	509	205.20	27.97	11.08	0.84	1.19	1.44	2.64	3.48
202310	115.11	63.27	313.61	27.24	423	436.31	45.04	4.23	0.16	6.45	1.66	2.72	3.67
202311	47.22	36.36	119.33	10.42	158	160.26	31.42	4.53	0.43	2.30	1.49	2.53	3.35
202312	49.05	32.44	125.82	11.23	177	274.42	38.80	4.37	0.39	2.57	1.31	2.57	3.61
202313	77.78	57.76	137.06	18.53	167	607.38	48.89	4.20	0.23	4.41	1.85	1.76	2.15
202314	25.15	23.34	53.91	9.53	65	366.66	48.30	2.64	0.28	3.61	1.31	2.14	2.58
202315	133.97	74.47	307.66	17.68	399	347.09	44.48	7.58	0.43	2.33	1.81	2.30	2.98
202316	6.01	10.40	7.48	2.53	4	56.59	21.33	2.38	0.94	1.06	1.20	1.24	0.67
202317	128.75	75.74	293.29	19.14	398	102.03	22.47	6.73	0.35	2.85	1.88	2.28	3.09
2023	1,422.23	253.81	3,615.31	99.43	5,036	319.94	38.40	14.30	0.14	6.95	1.90	2.54	3.54

반암의 특성(경암·연암여부), 암석의 투수율, 기후, 식생(결핍, 풍부 여부), 시간 등이다. 화강암이나 사암같은 경암으로 이루어진 지역, 투수율이 높은 지역, 식물 피복이 두꺼운 지역은 하천밀도가 낮으며, 암석의 투수율이 낮은 지역, 식물 피복이 결핍된 혈암층은 하천 밀도가 높다. 밀양강 유역의 하천밀도는 단위유역 202308이 상대적으로 높은 값을 가지고, 단위유역 202316이 상대적으로 낮은 값을 가지는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 유역 관리에 중요한 매개변수로 이용되는 유역의 지형학적 특성을 파악하기 위한 것으로 밀양강 유역을 대상으로 수행되었다. 분석 결과에 따르면 밀양강 유역은 지질학적으로 장년기에서 노년기로 변화가 진행되고 있음을 알 수 있었다. 그리고 Horton-Strahler의 하천지형법칙을 적용하여 밀양강의 형성구조가 일정한 규칙성을 가지고 발달하였음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 유역의 지형학적 특성을 분석하는데 필요한 DEM과 하천망도 등을 얻기 위하여, 수치지도와 수자원 단위지도 등을 활용하였다. 이는 수자원 관련 자료가 다양하게 구축되고 있는 시점에서, 벡터 자료를 이용한 수자원 관련 분석의 가능성을 제시할 것으로 사료된다.

또한, 위에서 생성된 자료들은 홍수 범람 지역, 관정 위치 등의 자료들을 보완하면 훌륭한 수문 데이터셋(hydrography

dataset)으로 활용이 가능하며, 수문·수질 모델링 및 유역 관리를 위한 기본 자료로 활용가능하다. 이러한 수문 데이터셋은 유역 관리 및 분석을 위한 시스템 구축 시에도 효율적으로 이용 가능할 것으로 사료된다.

6. 사 사

본 연구는 수자원공사의 지원을 받아 수행된 "낙동강 상·하류 유역조사" 과업의 일환으로 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 강인준, 최현, 이병걸, 2001, 수치지도를 이용한 유역 특성분석, 한국측지학회지 제19권 제3호.
- 2) 송재우, 정용태, 1985, 하천지형학적 특성의 비교 연구, 홍대논총 제17권 제2호
- 3) 수자원공사, 2001, 수자원 관련 공간정보 분석 및 적용에 관한 연구.
- 4) 안승섭, 조명희, 1999, 지리정보시스템을 이용한 하천 유역의 지상학적 특성 분석, 한국지리정보학회지 2권 3호.
- 5) 이기원, 2001, ArcView/Spatial Analyst GIS 확장프로그램을 이용한 수리지형 특성인자 분석, 한국지구과학회지 제22권 6호.
- 6) 이환주, 김환기, 2001, GIS 공간분석을 활용한 토양 침식 모형의 입력인자 추출에 관한 연구, 한국측지학회지 제19권 제1호

- 7) Horton, R.E, 1945, Erosional Development of Stream and Their Drainage Basin Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology, Bull. Geol. Soc. of Amer. Bulletin Vol. 56.
- 8) Maidment, 2000, Introduction to GIS in water Resources, 한국수자원학회.
- 9) Maidment, 2001, ArcGIS Hydro Data Model Second Draft, GRWR.
- 10) ESRI, 1996, Automation of Map Generalization : The Cutting-Edge Technology.
- 11) ESRI, 2001, Working with linear features, ArcInfo Online Help.
- 12) Strahler, A.N., 1952, Hypsometric analysis of erosional topography, Bull. Geol. Soc. of Amer. Bulletin Vol. 63.