

유역분지의 환경관리와 관련된 지형인자들의 분석
- 용인시 서북부 지역을 사례로 -*

A Study on the Geomorphological Characteristics of
Environmental Management in Watershed

성 호 현** · 류 중 희*** · 반 호 원****

Sung, Hyo-Hyun · Ryu, Joong-Hi · Ban, Hyo-Won

要 旨

수도권지역은 급속한 도시화에 의한 환경관리 부족으로 인하여 집중호우시 개발된 지역이 침수되는 등 수해가 빈번히 발생하고 있으며 피해규모도 커지는 경향을 보인다. 본 연구의 목적은 하천 유역분지의 개발 여부와 수해 발생간의 상관관계를 파악하고, 유역분지 전체 및 유역분지 내 개발지역 각각에 대하여 지형 인자들의 수해 발생에 대한 기여도를 분석하는 것이다. 지형 인자를 추출하기 위하여 GIS 및 RS를 이용하였고, 유역분지의 개발과 수해 발생의 상관관계를 파악하는 데는 유역분지별 지형 인자들에 대하여 t-검증 기법을 사용하였다. 또한 수해 발생에 대한 지형 인자들의 기여도를 고찰하는 데는, 유역분지 전체의 지형 인자들과 유역분지 내 개발지역의 지형 인자들에 대하여 다중회귀분석 기법을 사용하였다.

ABSTRACT

Since the industrialization spread out, the metropolitan areas of Seoul have been urbanized rapidly in Korea, without concern for the quality of further development and sufficient environmental management. Due to this fact, it has become increasingly apparent that natural hazards, such as floods and landslides, occur frequently after the summer's heavy rains, and because of that, the scale of damage is getting larger. The purpose of this study is first to analyze the relationship between development and floods in the sub-basins of the study area. In addition to this, we'd like to compare the influences of geomorphological characteristics upon the floods occurring in both the whole study area and the developed area in sub-basins.

* 본 논문은 석사학위 논문의 일부를 재구성한 것임.

** 이화여자대학교 사회생활학과 교수(Professor, Dept. of Social Studies, Ewha Womans University)

*** (주)캐드랜드

**** (주)캐드랜드 고객센터, 이화여자대학교 사회생활학과 지리전공(Dept. of Social Studies-Geography, Ewha Womans University)

1. 서 론

1) 연구 배경과 연구 목적

(1) 연구 배경

산업화 이후 최근 우리나라의 수도권지역은 도시화가 급속히 진행중이다. 그러나 개발의 질보다는 그 속도가 중시됨에 따라 개발지역에 대한 충분한 사전조사가 이루어지지 않아 도시지역은 재해에 광범위하게 노출되었다. 특히 여름철 집중호우시 하천변 개발지역이 침수되는 등, 수해가 빈번히 발생하고 있으며 피해규모도 증가하는 경향을 보인다. 따라서 지역 개발시 유역분지 내의 개발가능지역 모색이 시급한 과제로 제기되고 있으며, 특히 90년대 말에 들어서면서 수도권지역의 개발 문제가 심각하게 대두되고 있다. 경기도 남부의 수도권지역은 도시기반시설이 부족한 상황에서 과도한 택지개발이 이루어져 주변 자연환경이 파괴되고 있으며 이로 인한 자연재해가 여러 차례 보고된 바 있다. 이와 관련하여 하천에 접해있는 일부 도심의 저지대에 수해 피해가 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 수해지역의 대부분은 지형 인자들을 충분히 고려하지 못한 상황에서 개발되었다.

유역분지는 하천환경의 특성을 가장 효율적으로 나타내며, 강우를 유출로 변환시키는 지역 단위의 역할을 한다(양인태, 최영재 1999, 350). 유역분지의 기능과 그 중요성은 배수 지역·집수 구역으로서의 의미와, 분수계로서의 의미를 가지게 됨에 따라 점차 인정받게 되었다. 또한 하천이 여러 행정구역에 걸쳐 흐르고 관리청이 다를 경우, 개수된 상류지역 때문에 아직 개수되지 않은 하류지역은 홍수피해가 증대되는 경우가 있기 때문에 하천 관리는 수계 단위로 이루어질 필요성이 있다(성효현 1996, 28). 이와 같이 유역분지는 자연경관에서 물의 흐름과 그 분포양상을 결정하는 요소이며, 지형정보는 이러한 유역분지를 연구하는데 매우 중요한 인자이다.

수해와 관련된 지형 환경은 같이 지형 및 지질, 토지피복, 수해 발생 지역의 지형 인자를 기초로 고찰할 수 있다. 본 연구에서 유역분지의 지형 및 지질에 관한 특성을 나타내는 인자들에는 유역분지의 면적, 고도, 경사, 사면의 방향, 하계밀도, 고화되지 않은 지층

의 분포가 사용되었다. 유역분지의 현황을 조사하는 데는 지형·지질·사면의 특성·단층선·하계망 등의 요소가 일반적으로 사용되며, 면적·고도·경사는 지역의 위상적 특성을 파악하는데 사용된다(Anderson 1964, 271). 특히 사면의 방향은 개발지역이나 식생이 밀집하는 방향을 고려하기에 적절한 인자이다. 본 연구지역의 경우 주택개발이 과도하게 이루어지고 있기 때문에 대부분 남·동 방향이 개발과 관계가 있을 것으로 사료되어 사면방향 인자를 고려하였다. 또한 유역분지의 고화되지 않은 지층의 분포는 산사태 등의 수해 발생과 관계가 있으나, 투수율이 기반암 노출지역보다 높으므로 우수저류기능과 관련하여 수해에 영향을 미칠 수 있는 인자로 생각되어 고려대상에 포함하였다.

다음으로, 유역분지의 토지피복 특성을 나타내는 인자들에는 유역분지의 개발지역·삼림·논·밭 분포가 본 연구에서 사용되었다. 개발지역의 분포는 삼림의 제거 및 사면 변형 등으로 홍수시의 수해와 관계가 있을 것으로 사료되어 고려하였다. 논·밭·삼림의 분포는 집중호우로 인한 홍수 발생시, 우수저류기능으로 유역분지의 수해 발생과 밀접한 관계가 있으리라 사료되어 인자로 고려하였다. 유역분지의 수해 지역 특성을 나타내는 요소에는 침수 및 토사유출 등이 발생한 수해 지역의 분포가 사용되었다.

이밖에도 지형 연구에서는 기후요소 또한 중요한 고려대상에 포함된다. 그러나 본 연구의 대상지역은 하나의 기후 관측소 안에 모두 포함되어 있기 때문에, 지역별로 비교하는 것이 불가능하며 본 연구지역에서 국지적 기후요소에 영향을 주는 인자는 주로 지형인자로 판단되어 기후요소는 본 연구의 고려대상에서 제외되었다.

국내의 수해 관련 연구는 1990년대 들어 지형연구와 관련한 GIS 및 RS 기법 사용이 계속적으로 증가하고 있으며, 특히 90년대 말부터는 국가수치지도 사용이 활발해짐에 따라 GIS의 GRID 분석 및 DEM을 활용한 지형연구가 활성화되는 추세이다. RS를 활용한 분야로는 산사태나 산불, 홍수유출 등의 재해 관련 연구들이 있다

이에 관련된 연구로서, 이종학(1999)은 상습침수 지

역의 특성과 대책방안에 관한 연구에서 상습침수지에 대한 자연적 특성과 주변 환경조건 및 침수발생빈도 등을 분석하였다. 이사로(1992)는 사면경사, 사면방위, 암질, 토질, 식생, 토지이용 등의 요인들을 GIS를 사용하여 산사태 발생과 그 피해 가능성을 분석하고, 산사태에 의한 재해 발생 가능성을 파악하였다. 박병욱, 김철(1997)은 홍수 및 가뭄 피해지역에 대한 조사방법으로서 인공위성 자료를 이용한 분석의 타당성을 평가하였다. 이 연구 결과로 위성영상 자료를 이용한 홍수 흔적 조사는 재해 발생 후 수개월 지나 실시되는 현지조사보다 더 정확한 것으로 밝혀졌다. 양인태, 천기선, 박재훈(1999)은 수치표고모형에 의한 유역에서의 지형인자 분석 연구에서, DTED(Digital Terrain Elevation Data)를 사용하여 하천과 유역을 생성하고 하천분기율·하천연장비·하천밀도·수계빈도 등의 지형인자를 추출하였다. 양인태, 최영재(1999)는 그리드 분석 기법에 의한 수문 지형인자 추출에 관한 연구에서 DEM과 지형공간정보체계를 이용하여 유역경계, 주하천 길이, 유역 평균경사, 하계밀도, 하천차수, 유역형상계수 등의 수문 지형인자를 추출하였다.

국외의 경우 지형인자의 연구는 더 광범위한 범위에서 많은 양의 데이터를 자동적으로 처리하게 되었고, 통계 예측 기술 또한 발달하게 되었다. 따라서 분석 방법에 대하여 깊은 연구가 필요하게 되었으며, 자료의 통계적 속성과 인자들 간의 상관성을 해석하는 것이 1970년대부터 점차 주목받는 연구과제가 되어왔다(Gardiner 1990, 81). 1980년대 후반부터 지형학과 하천 공학(river engineering)이 공동으로 자연 재해를 초래할 수 있는 유역분지와 하천 환경의 변화를 연구해오고 있다. 특히 수문 모델링과 원격 탐사, GIS, GPS 및 기타 수단들을 채택하고 있는데, 최근에는 자연 재해로 인한 피해를 최소화하고 환경 파괴를 감소시키기 위한 연구에 관심이 모아지고 있다.

이에 관련한 연구로서, Brunnsden(1999)은 산사태 모델에서 지형학적으로 고려해야 할 점들에 관한 연구에서 산사태 또는 소규모 사면붕괴 현상에 대한 3D 모델을 개발할 때의 고려사항들을 자연재해의 개념 중심으로 고찰하였다. Gellis, Cheama, Lallo(2000)는

재개발에 최적적인 유역분지의 순위를 정하는 접근법을 GIS와 GPS를 이용하여 연구했다. 분석에는 연구 지역의 건천의 횡단면 변화와, 침식 제어 구조, 그리고 표피침식에 대한 자료와 하계밀도, 나지의 비율, 연속적인 지형의 비율, 하도의 넓이와 깊이의 비율, 50년간의 하도변화 등의 인자들이 사용되었다. Bryant와 Gilvear(1999)는 고해상도 위성영상을 이용한 최대우도분류 기법으로 홍수가 발생한 시점의 전후 지역의 변화를 정량적으로 비교하였다.

국내·외 자연재해에 대한 연구를 종합하여보면, 자연재해에 관하여 지형학적으로 분석한 연구, 자연재해에 관련한 인자들의 분석 기법들을 개발한 연구, 다양한 자료원과 분석 기법을 사용하여 재해 인자들을 추출한 연구 등이 있다. 그러나 인자들의 재해발생에 대한 영향력을 정량적으로 분석한 연구는 미비한 편이며, 이를 유역분지의 개발 측면과 관련하여 고찰한 연구는 거의 없는 실정이다. 그러므로 유역분지의 개발과 재해와의 관계를 밝히고 재해 발생에 대한 인자들의 기여도를 분석하여, 향후 유역분지 개발시 고려해야 할 기초적인 자료로 활용될 수 있는 연구가 필요하다.

(2) 연구 목적

우리나라의 수도권지역은 급속한 도시화에 의한 환경관리 부족으로 인하여 집중호우시 개발된 지역이 침수되는 등 수해가 빈번히 발생하고 있으며 피해규모도 커지는 경향을 보인다. 본 연구의 목적은 하천 유역분지의 개발 여부와 수해 발생간의 상관관계를 파악하고, 유역분지 전체 및 유역분지 내 개발지역 각각에 대하여 지형 인자들의 수해 발생에 대한 기여도를 분석하는 것이다.

이로써 유역분지의 수해발생에 영향을 미치는 지형 인자들을 선별할 수 있으며, 차후의 유역분지 내 지역 개발시 지형 인자들의 특성에 따른 개발 지역을 모색하는데 본 연구의 결과를 기본 자료로서 활용할 수 있을 것이다. 궁극적으로는 유역분지 내에 개발된 지역의 수해 피해를 감소시키는데 기여할 수 있으리라 사료된다.

2) 연구지역의 개관

연구지역은 탄천(炭川)의 최남단에 위치하는 유역으로서 지류로는 동막천, 손곡천, 정평천, 성북천, 마북천이 있다. 연구지역 유역분지의 면적은 약 74.2km²이며, 총 유로 길이는 약 88.23km이다. 서북쪽 바라산(428m)·백운산(564m)·광교산(582m)·형제산(448m) 등과 중심부에 위치한 한강 지류인 탄천 주위의 저지로 인하여, 전체적으로 고도가 높고 경사가 급한 지역과 고도가 낮고 경사가 완만한 지역이 혼재하는 지형적인 조건을 가지고 있다. 이와 같은 지형 특성을 가지고 있는 연구지역의 지질은 선캄브리아기의 변성암류가 거의 전역을 차지하며, 이를 관입한 화강편마암 및 화성관입암류로 구성되어 있다. 자갈, 모래, 점토 등 쇄설물과 유기물 등으로 구성되어 있으며 미고결(未固結) 상태이다(한국동력자원연구소 1982, 10).

연구지역은 대부분이 산간 또는 산록에 산재하여 계단식 경지를 이룬다. 밭은 구릉지에 완경사지로 분포된 것이 많다. <그림 1>은 본 연구의 연구지역을 나타낸 것이다. 연구지역은 90년대 후반부터 대규모 택지화 사업으로 인하여 90년대 초부터 용인, 수원 등의 연구지역을 포함하는 경기도 남부 지역은 집중호우 등, 자연재해가 빈번하게 발생하는 지역이기도 하다. 수해 발생과 관련하여 용인시 녹지면적의 변화 추이를 살펴보면, 1992년부터 1999년 사이 용인시 녹지

의 전체 면적은 점점 감소하고 훼손면적은 95년과 97년에 최대로 나타나며, 다소 변동은 있으나 증가추세이다. 용인 서북부지역에서 사업이 준공되었거나 사업계획승인을 획득한 민간주택개발사업지구는 총 145개 지구 84,106 세대로써, 이는 계획인구 40만인인 분당신도시의 86%에 해당되는 규모이다.

수해 사례는 주로 용인시 수지읍과 용인시 구성면, 용인시 기흥읍에서 나타나고 있다. 수해발생 후 집계된 용인시 수지읍과 구성면의 피해현황은 수지읍이 67동, 구성면이 89동으로 집계되었으며, 도로 및 하천 등 시설물 피해액은 수지읍이 약 10억5천만원, 구성면이 약 67억7천만원으로 집계되었다.

3) 연구 방법

본 연구는 선행 연구의 연구 방법들을 참조하여 다음과 같은 연구 절차를 통하여 이루어졌다. 첫째, 1:25,000축척의 지형도를 사용하여 연구지역의 유역분지 경계 및 하계망을 추출하여 디지털이징하고, 하계 밀도를 구하였다. 유역분지의 경계는 연구지역에 위치한 1차수 하천 수준까지 나누어 전체 연구지역을 총 230개의 유역분지로 구분하였다.

둘째, 용인시 수지읍 및 구성면의 1:5,000 지번도를 이용하여 수해 지역 분포를 디지털이징하였다. 연구지역에 대규모 수해 현상이 발생한 시기(2000년 7월 22일)의 위성 영상을 구할 수 없었기 때문에 연구지역의 수해 발생 이후에 용인시청 및 환경단체 등에서 작성된 관련 자료들을 참고하였다.

셋째, 국립지리원에서 제작한 1:5,000축척의 수치지도를 이용하여 40m 격자*의 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하여, 유역분지 내의 지형 인자들(유역분지별 평균 고도, 평균 경사, 북향 비율, 동향 비율, 남향 비율, 서향 비율)의 정보를 ARC/INFO 8.0.2를 사용하여 추출하였다.

또한 한국동력자원연구소에서 제작한 1:50,000축척

* 격자 크기를 증가시켜도 평균 고도 등의 지형 인자는 큰 변화를 나타내지 않으나 실행시간과 저장공간이 크게 단축되기 때문에 최적의 격자크기를 결정하는 것이 바람직하다(윤철규 1998, 67).



그림 1 연구지역

의 한국지질도를 사용하여 유역분지의 지질구조 중에서 홍수로 인한 산사태가 일어나기 쉬운 고화되지 않은 지층(충적층(沖積層), 붕적층(崩積層), 잔적층(殘積層))의 분포를 디지털화하였다.

그리고 유역분지의 수해 발생시점에서 개발지역, 삼림, 논, 밭 분포에 대한 최근 데이터를 추출하기 위하여 2000년 5월에 촬영된 1m해상도의 기하보정된 위성영상을 사용하여 토지피복분류를 실시하였다. 연구지역은 급속한 난개발로 인하여 자연환경의 변화가 매우 신속하게 나타나는 지역이므로, 연구지역의 가장 최근의 피복분류 분포를 추출하는 데 위성영상을 사용하였다. 본 연구에서 분포의 자료를 추출하는 데는 e-HD.COM에서 제공한 1m해상도의 IKONOS 영상을 사용하였다.

분류 결과를 개발지역, 삼림, 논, 밭의 4개 레이어로 구축하고, median 5x5법으로 위 5개 레이어를 필터링하였다. <그림 2>는 위의 수치지도를 사용하여 생성하고 GRID로 나타낸 연구지역의 고도분포이다. <그림 3>은 연구지역의 위성영상 감독분류 결과를 나타낸 것이다. 위성영상 감독분류 결과는 연구 지역의 답사 자료와 매우 유사한 분류 결과를 보이는 것으로 나타났다.

그 후 수치지도로부터 생성된 유역분지 경계 커버리지와의 합성(union)을 위해, 각각의 레이어에 있는 래스터 형태의 개체들을 ER Mapper 6.0을 사용하여 벡터 형태의 개체로 변환하였다. 이렇게 생성된 각 지

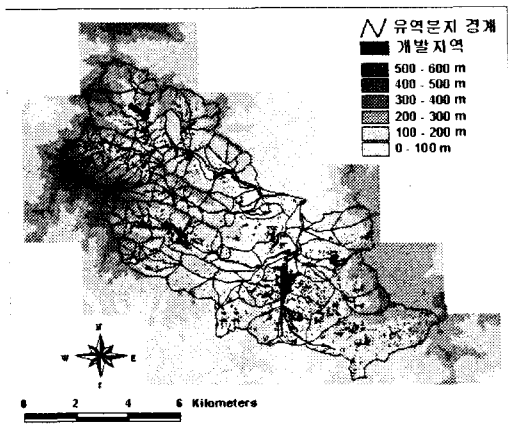


그림 2 연구지역의 고도분포

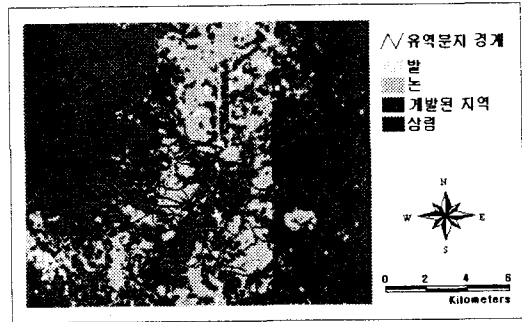


그림 3 연구지역의 위성영상 감독분류 결과

형 인자들의 분포도를 연구지역의 유역분지 바깥 경계를 기준으로 절취(clip)하고, 230개의 유역분지 경계 커버리지와 합성하여 각 유역분지별로 지형 인자들의 속성자료를 부여하였다.

넷째, 연구지역에서 유역분지의 개발 여부와 수해 발생간의 상관관계를 알아보기 위하여, 개발된 유역분지와 개발되지 않은 유역분지의 수해 지역 면적의 차이에 대해 SPSS 8.0을 사용하여 t-검증 분석을 실시하였다.

다섯째, 유역분지 전체의 지형 인자들 및 유역분지 내에서 개발된 지역의 지형 인자들의 수해발생에 대한 각각의 기여도를 다중회귀분석 기법을 통하여 알아보기 위하여, 개발 지역의 분포 커버리지를 기준으로 각 지형 인자들의 분포 커버리지를 절취하였다. 그 결과로 생성된 각 폴리곤 객체마다 유역분지의 고유번호를 부여하기 위하여 유역분지 경계 커버리지와 합성하였다. 유역분지 전체와 개발된 유역분지 각각의 수해발생에 대한 지형 인자들의 기여도를 알아보기 위하여, 앞서 생성된 데이터를 개발된 유역분지의 지형 인자들의 속성자료로 입력한 후 SPSS 8.0으로 다중회귀분석을 실시하고 각각의 분석 결과를 비교하였다.

마지막으로, 위의 분석결과들을 종합하여 개발된 유역분지와 개발되지 않은 유역분지의 수해발생 간의 상관관계를 고찰하였다. 그리고 유역분지 전체의 지형 인자들과 유역분지 내에서 개발된 지역의 지형 인자들의 수해발생에 대한 영향력을 비교 고찰하였다. <그림4>는 본 연구의 흐름 및 데이터 처리과정을 나타낸다.

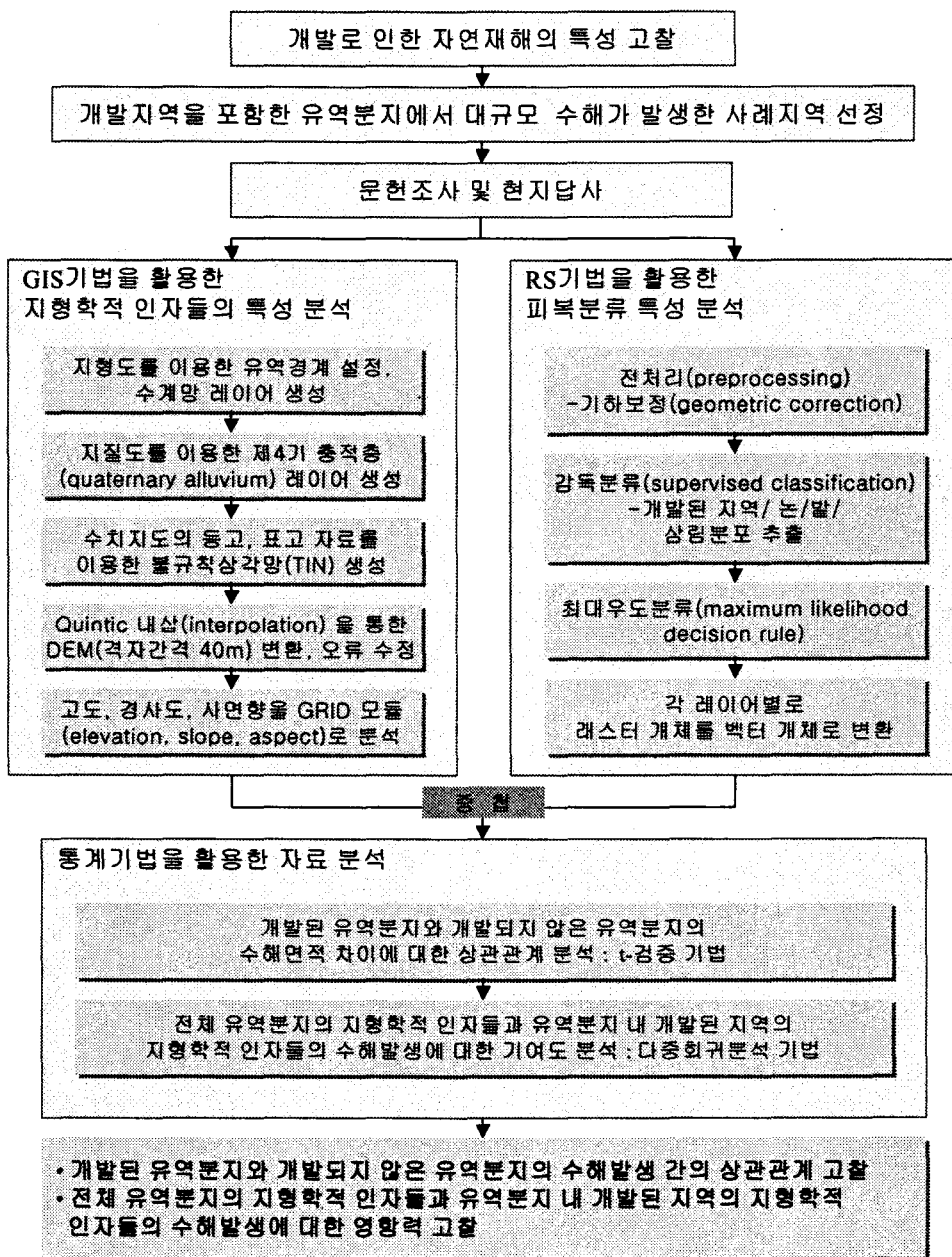


그림 4 연구흐름도

2. 유역분지 내의 개발지역에 대한 특성

1) 유역분지의 지형 및 토지 피복 특성

(1) 지형 인자의 특성

연구지역의 유역분지 면적, 하계망, 수계조직, 고화되지 않은 지층의 분포, 고도 분포, 경사 분포, 사면 방향 분포로 지형 인자의 특성을 알아보았다. 연구지역의 서쪽을 차지하고 있는 분당구와 수지읍의 산지에 비교적 면적이 좁은 유역분지가 분포하고 있으

유역분지의 환경관리와 관련된 지형인자들의 분석

며, 수지음의 남단을 거쳐 구성면의 저기복 지대에 이 합해지면서 차수별 하천 수가 점점 감소하므로, 위상

표 1 연구지역의 하천 차수별 하천 개수

구분	1차수하천	2차수하천	3차수하천	4차수하천	계
개수	86	40	26	13	165

표 2 유역분지의 하계밀도 분포

하계밀도 (단위 : km/km ²)	0 -0.02	0.02 -0.04	0.04 -0.06	0.06 -0.08	0.08 -0.1	0.1 -0.2	0.2 -0.3	0.4 -	계
점유율 (단위 : %)	30.8	34.8	10.0	9.1	5.3	8.7	0.4	0.9	100

표 3 유역분지의 평균 고도 분포

해발고도 (단위 : m)	50 -100	100 -150	150 -200	200 -250	250 -300	300 -350	350 -400	400 -450	450 -500	계
점유율 (단위 : %)	21.3	20.4	22.1	13.9	9.1	5.6	3.7	2.6	1.3	100

표 4 유역분지의 평균 경사 분포

경사도 (단위 : °)	0 -5	5 -10	10 -15	15 -20	20 -25	25 -30	30 -35	35 -40	40 -45	45 -50	계
점유율 (단위 : %)	6.5	15.7	21.8	22.2	16.5	10.0	2.1	3.0	1.8	0.4	100

표 5 유역분지의 평균 사면 방향(Aspect)분포

사면의 향	북	동	남	서	계
점유율 (단위:%)	29.3	26.5	23.5	20.7	100

르러서는 비교적 면적이 넓은 유역분지들이 분포하고 있다. 이는 연구지역의 서북쪽 사면의 고도가 높을 뿐만 아니라, 기복 변화와 사면의 방향 변화가 심하기 때문이다. 면적이 좁은 서북쪽 유역분지의 하천은 길이가 짧고, 면적이 넓은 남동쪽 유역분지의 하천은 길이가 길다.

연구지역의 하계망은 유로 연장이 많이 진행되어 있고 하계망의 구조가 잡혀져 있어 격자상 패턴과 수지상 패턴이 혼합되어있다. 또한 1차수 하천으로부터 더 높은 차수 하천으로의 연결이 끊어지지 않고 계속

적으로 동일한 각각의 하계망을 이룬다(Werner and Smart 1973, 271-295). 연구지역의 하계망의 분포는 고화되지 않은 지층과 단층선에 영향을 받는데, 하천의 분류는 단층선을 따라 흐르고 있으며 고화되지 않은 지층은 주로 하계망의 3, 4차수 하천의 분포에 영향을 주고 있다.

연구지역의 수계 조직(drainage texture)의 특징은 다음과 같다. 연구 지역의 서쪽을 차지하고 있는 분당구와 수지음의 산지가 가장 조밀한 조직(박성미 1997, 51)을 보이고 있으며, 수지음의 남단을 거쳐 구성면에

표 6 수해 피해 지역의 분포 특성

수해 면적 (단위 : m ²)	0	0 -1,000	1,000 -10,000	10,000 -100,000	100,000 -1,000,000	계
점유율 (단위 : %)	80.4	0.4	3.5	10	5.7	100

이르러서는 성진 조직(박성미 1997, 51)을 나타내고 있다. 이는 연구지역의 서쪽은 사면의 기복과 방향 변화가 급하고 고도가 높아 분수계가 조밀하게 분포하며, 고화되지 않은 지층도 비교적 좁게 분포하고 있는 반면, 연구지역의 동쪽은 지형의 기복이 완만하고 사면의 방향 변화가 비교적 적으며 고도가 낮아 분수계가 널리 분포하며, 연암층이 비교적 넓게 분포하기 때문으로 사료된다. 또한 연구지역에는 단층선이 통과하는데, 주로 연구지역의 중심부인 저지대에 위치하며 하천의 본류는 단층선을 따라 흐르고 있다.

연구지역의 고화되지 않은 지층은 대부분 높은 차수의 하천을 따라 중앙 저지대를 중심으로 탄천 및 지천의 하안을 따라 길게 분포한다. 이는 사면의 경사가 급하고 기복이 심한 고지대에 분포해있던 고화되지 않은 지층이 매스 무브먼트나 하천에 의해 운반되어 완만한 저지대에 분포하는 것으로 사료된다.

연구지역은 높은 고도에서 낮은 고도로 완만하게 이어지는 지형임을 알 수 있으며, 유역분지들은 대부분 다소 낮은 지점에 위치하는 분포양상을 보이고 있다. 연구지역의 서쪽은 주로 해발고도 200m 이상의 고기복의 지형이 나타나며, 동쪽은 저기복 지형으로 해발고도 100m 이하의 상반된 특성의 지형이 유역 내에 동시에 나타나고 있다.

연구지역의 경사는 지역에 따라 최소 경사 1.6도에서 최대 경사 52.3도로 국부적인 경사의 차가 심한 것으로 나타났다. 특히 북서쪽과 동남쪽 지역의 경사가 급하게 나타나는데, 이는 이 지역의 고도가 비교적 높고 또한 지질의 측면에서 이 지역이 고화되지 않은 지층의 분포가 낮아 쉽게 침식되지 않는 지층으로 구성되어 있어, 주변의 고화되지 않은 지층이 넓은 분포를 보이는 지역들과 차별침식을 받았기 때문으로 사료된다. 또한 연구지역의 사면 방향은 북(29.2%)·남

(26.4%)·동(23.5%)·서(20.7%)의 순서로 전체 연구지역에서 각 방향이 골고루 나타났다.

(2) 토지피복 특성

연구지역 내의 개발지역, 삼림, 논, 밭의 분포로 유역분지의 토지피복 특성을 알아보았다. 연구지역 내 개발지역은 주로 연구지역의 남동쪽에 위치한 저지대인 하천의 하류에 분포하며, 서북쪽의 산지에는 소규모로 분포함을 알 수 있다. 분당구, 수지읍, 구성면의 개발지역은 대부분 주택 및 공장 건설을 위한 용지이므로 사면의 기복이 완만하고 고도가 낮은 저지대에 집중적으로 분포한다.

연구지역의 삼림은 대부분 고도가 높은 서북쪽 지역에 넓게 분포한다. 특히 의왕시와의 경계지역을 이루는 지역에는 바라산(428m)·백운산(564m)·광교산(582m)·형제산(448m)이 있어 상대적으로 고도가 높고 경사가 급한 지역이 형성되어 있다. 또한 연구지역의 논은 대부분의 지역에 분포하며, 특히 구성면에서 하천 주변에 밀집해있고 일부 고도가 높은 산지에 분포한다. 특히 연구지역의 북서쪽은 대부분 고기복의 산지가 분포하기 때문에 이러한 산지에 계단식 논이 많이 형성되어있다. 연구지역의 밭은 대부분 고도가 낮은 하천의 하류 지역에 넓게 분포한다. 특히 연구지역의 밭은 하천 양안에 위치한 경부고속국도와 영동고속국도 및 일반도로를 따라 위치하고 있다. 마지막으로, 연구지역의 수해 발생 지역은 대부분 중앙 저지대를 중심으로 분포하며 주로 수지읍과 구성면에 해당되는 유역분지에 걸쳐 국지적으로 분포한다. 반면에 연구지역의 서쪽 고지대에 위치한 유역분지에는 수해 발생 지역이 드물게 나타나고 있다.

2) 유역분지 내의 개발지역에 대한 특성

(1) 지형 인자의 특성

연구지역 내의 개발지역에 대한 하천으로부터의 거리, 고화되지 않은 지층의 분포, 고도 분포, 경사 분포, 사면 방향 분포로 지형 인자의 특성을 알아보았다. 연구지역에서의 개발지역은 하천으로부터 2km 이내에 모두 포함되고 있다. 개발지역의 하천으로부터의 거리가 200~400m 사이인 지역은 63.9%를 차지하고, 0~200m 사이인 지역이 약 31.3%를 차지하는 것을 알 수 있다. 따라서 유역분지 내 개발지역은 대부분 하천으로부터 비교적 가까운 거리에 분포한다. 연구지역의 개발지역 내에 위치하는 고화되지 않은 지층은 주로 하천의 본류를 따라 저지대에 분포한다. 또한 연구지역 내에서 개발지역의 고도 분포는 주로 북

서쪽, 서쪽, 동쪽, 동남쪽의 해발고도 200m이상의 지역과 가운데 지역 및 북쪽, 남쪽의 저기복 지역에 분포한다. 즉 개발지역들은 주로 고도 200m 이하의 저지대에 분포하고 있다.

유역분지 내에서 개발지역의 경사 분포는 저지대를 중심으로 한 지역의 사면 대부분이 10도 안팎의 경사를 이루며, 북서쪽과 동남쪽의 일부 지역의 사면이 40도 이상의 경사를 보인다. 북서쪽과 동남쪽의 일부 지역의 경사가 급한 이유는 이 지역의 고도가 비교적 높고, 또한 지질의 측면에서 이 지역이 고화되지 않은 지층의 분포가 낮아 쉽게 침식되지 않는 지층으로 구성되어 있기 때문으로 사료된다.

연구지역 내에서 각 유역분지의 개발지역에 대한 평균 사면 방향의 분포는, 남(27.7%)·동(26.7%)·북

표 7 유역분지 내에서 개발지역의 하천으로부터의 평균 거리

하천으로부터의 평균 거리 (단위 : m)	0 -200	200 -400	400 -600	600 -800	800 -1000	계
점유율 (단위 : %)	31.3	63.9	2.6	1.8	0.4	100

표 8 유역분지 내에서 개발지역의 평균 고도 분포

해발고도 (단위 : m)	0 -50	50 -100	100 -150	150 -200	200 -250	250 -300	300 -350	350 -400	400 -450	450 -500	500 -550	계
점유율 (단위 : %)	11.3	24.3	28.3	17.0	6.9	4.0	2.6	1.3	2.6	0.4	1.3	100

표 9 개발지역의 유역분지별 평균 경사 분포

경사도 (단위 : 도)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	계
점유율 (단위 : %)	31.8	39.1	15.3	7.8	3.5	1.7	0.4	0.0	0.4	100

표 10 개발지역의 평균 사면 방향 분포

사면의 향	북	동	남	서	계
점유율 (단위:%)	25.5	26.7	27.7	20.1	100

(25.5%)~서(20.1%)의 순서로 남향에 개발지역이 비교적 많이 위치한 것으로 나타났다. 이는 연구지역에서 이루어진 개발 대부분이 택지개발이기 때문에 일반적으로 주택 방향으로 선호되는 남향에 택지를 조성했기 때문으로 사료된다.

(2) 토지피복 특성

연구지역 내 개발지역의 삼림, 논, 밭, 수해지역의 분포로 토지피복 특성을 알아보았다. 연구지역 내 개발지역의 삼림은 대부분 고도가 높은 서북쪽 및 남서쪽 지역에 분포한다. 반면에 연구지역의 개발지역 내에 위치하는 논은 하천 본류에 가까운 저지대 및 산기슭에도 비교적 고르게 분포한다. 연구지역의 개발지역 내에 위치하는 밭은 하천 본류 주변에 집중적으로 분포하며, 하천의 지류 주변에도 비교적 소규모로 분포한다. 특히 연구지역의 개발지역 내에 위치하는 수해지역은 하천 본류 주변 및 연구지역의 남서쪽에 집중적으로 분포한다.

3. 유역분지의 개발과 수해 피해의 상관관계 분석

유역분지의 개발과 수해 발생의 관계를 파악하기 위해 상관관계분석을 실시하였다. 230개의 유역분지

내 개발지역의 면적을 비교하였을 때 면적이 급감하는 경계값인 20,000m²를 구분 기준으로 하여, 유역분지 내 개발지역의 면적이 20,000m² 이상인 경우 해당 유역분지를 개발된 유역분지로 설정하였고, 유역분지 내 개발지역의 면적이 20,000m² 미만인 경우 해당 유역분지를 개발되지 않은 유역분지로 설정하였다. 이를 지도로 나타내면 <그림 5>와 같다.

개발된 유역분지는 전체 230개 유역분지 중에서 65개로 전체의 28.3%이다. 개발되지 않은 유역분지는 165개로 전체의 71.7%로 나타났다. <그림 6>에서, 개발지역의 면적은 전체의 9.5%를 차지하고 수해 발생지역의 면적은 전체의 5.1%를 차지한다. 개발 및 수해 발생 지역의 면적은 전체의 1.3%를 차지한다.

유역분지의 개발과 수해 발생간의 상관관계를 파악하기 위하여 다음과 같이 t-검증(t-test)을 실시하였다. 각 유역분지의 수해 지역 면적 자료를 사용하여, 개발된 유역분지와 개발되지 않은 유역분지의 수해 지역 면적을 비교하였다. 개발된 유역분지의 사례 수는 65개이고, 수해 발생 면적의 평균은 52,298.9m²이다. 개발되지 않은 유역분지의 사례 수는 165개이고, 수해 발생 면적의 평균은 4,258.9m²이다. t-검증 결과는 F값은 60.423이고 P값은 0.000를 나타냈다. 즉, 개발된 유역분지와 개발되지 않은 유역분지의 평균 수해 발생 면적의 차이는 통계적으로 유의미하므로, 유역분지의 개발 여부에 따라 유역분지의 수해 피해 공간 패턴이 다르게 나타난다. 따라서 개발된 유역분지

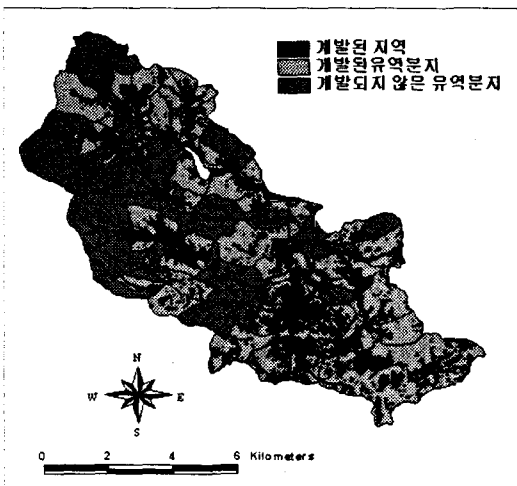


그림 5 유역분지 구분

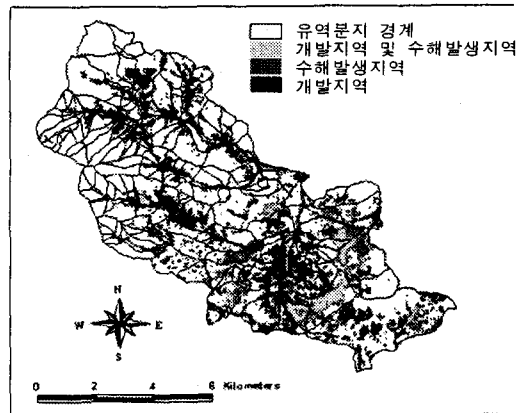


그림 6 개발지역과 수해 발생 지역의 분포

는 개발되지 않은 유역분지에 비하여 95% 신뢰수준에서 수해가 발생할 확률이 더 높다고 볼 수 있다.

4. 유역분지 지형인자들의 수해 피해에 대한 기여도 분석

유역분지 전체에서의 수해 면적에 대한 지형 인자들의 기여도에 대한 다중회귀분석과, 개발된 유역분지에서의 수해 면적에 대한 지형 인자들의 기여도에 대한 다중회귀분석이 각각 이루어졌다. 분석에는 SPSS 8.0의 다중회귀분석 기법이 사용되었으며, 종속 변수에는 앞에서 도출한 각 유역분지의 수해 면적 자료를 사용하였고, 독립변수에는 유역분지별로 앞에서 추출한 유역분지의 지형 인자들을 사용하였다. 본 연구에서는 다중회귀분석 기법 중에서 종속변수에 대한 독립변수들의 기여도를 측정하는데 가장 적절하다고 평가되는 엔터(Enter)방법(김홍규 1997, 311)을 이용하였다. 본 연구에서 사용한 회귀계수의 산출공식은 다음과 같다.

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$$

여기서, Y = 수해 지역 면적
 X_n = n번째 지형인자
 a_n = X_n 의 회귀계수

회귀계수간에 상대적 중요성을 비교하기 위해서는 회귀계수를 표준화시켜야 한다. 본 연구에서 사용한 회귀계수 표준화 공식은 다음과 같다.

$$\beta_i = b_i (S_{xi} / S_y)$$

여기서, β_i = 표준화된 부분회귀계수
 b_i = 회귀계수
 S_{xi} = 지형인자의 표준편차
 S_y = 수해 지역 면적의 표준편차

다중회귀분석에 사용된 종속변수와 독립변수는 <표 11>과 같다.

표 11 다중회귀분석에 사용된 변수

구분	변수명	설 명
종속변수	Y	각 유역분지 수해 지역 면적(m ²)
독립변수	X ₁	각 유역분지 면적(m ²)
	X ₂	각 유역분지 하계밀도(m/m ²)
	X ₃	각 유역분지 평균 고도(m)
	X ₄	각 유역분지 평균 경사(°)
	X ₅	각 유역분지 북향 면적 비율(%)
	X ₆	각 유역분지 동향 면적 비율(%)
	X ₇	각 유역분지 남향 면적 비율(%)
	X ₈	각 유역분지 서향 면적 비율(%)
	X ₉	각 유역분지 고화되지 않은 지층 면적(m ²)
	X ₁₀	각 유역분지 개발지역 면적(m ²)
	X ₁₁	각 유역분지 삼림 면적(m ²)
	X ₁₂	각 유역분지 논 면적(m ²)
	X ₁₃	각 유역분지 밭 면적(m ²)

다중회귀분석 결과 위 <표 11>의 독립변수들이 모두 모델에 투입되었고, 다음과 같은 회귀모델이 도출되었다.

유역분지 전체의 수해 발생 회귀모델

$$Y = 0.586X_1 + 0.066X_2 + 0.012X_3 + 0.058X_4 - 0.054X_5 - 0.089X_6 - 0.158X_7 + 0.032X_8 - 0.359X_9 + 0.277X_{10} - 0.331X_{11} + 0.409X_{12} + 0.160X_{13}$$

위의 분석결과에 의하여 95% 유의수준에서 수해 피해를 설명하는 지형 인자들만의 유역분지의 수해 피해에 대한 기여도를 알아보기 위하여, 다음과 같이 다중회귀분석을 실시하였다. 분석에 사용할 종속변수와 독립변수들을 <표 12>와 같이 선정하였다.

다중회귀분석 결과 위 <표 12>의 독립변수들이 모두 모델에 투입되었고, 다음과 같은 회귀모델이 도출되었다.

유역분지 전체의 수해 발생 회귀모델

$$Y = 0.893X_1 - 0.140X_2 - 0.310X_3 + 0.438X_4 - 0.385X_5$$

표 12 다중회귀분석에 사용된 변수

구분	변수명	실 명
종속 변수	Y	각 유역분지 수해지역 면적(m ²)
독립 변수	X ₁	각 유역분지 면적(m ²)
	X ₂	각 유역분지 남향 면적 비율(%)
	X ₃	각 유역분지 고화되지 않은 지층 면적 (m ²)
	X ₄	각 유역분지 개발지역 면적(m ²)
	X ₅	각 유역분지 삼림 면적(m ²)

유역분지 내 개발지역의 지형 인자들의 다중회귀분석을 실시하기 전, 분석에 사용할 종속변수와 독립변수들을 <표 13>과 같이 선정하였다.

표 13 다중회귀분석에 사용된 변수

구분	변수명	실 명
종속 변수	Y	각 유역분지 내 개발지역의 수해 면적 (m ²)
독립 변수	X ₁	각 유역분지의 면적 (m ²)
	X ₂	각 유역분지 내 개발지역의 하천으로부터의 거리 (m)
	X ₃	각 유역분지 내 개발지역의 평균 고도 (m)
	X ₄	각 유역분지 내 개발지역의 평균 경사
	X ₅	각 유역분지 내 개발지역의 북향 면적 비율 (%)
	X ₆	각 유역분지 내 개발지역의 동향 면적 비율 (%)
	X ₇	각 유역분지 내 개발지역의 남향 면적 비율 (%)
	X ₈	각 유역분지 내 개발지역의 서향 면적 비율 (%)
	X ₉	각 유역분지 내 개발지역의 고화되지 않은 지층 면적 (m ²)
	X ₁₀	각 유역분지 내 개발지역의 면적 (m ²)
	X ₁₁	각 유역분지 내 개발지역의 삼림 면적 (m ²)
	X ₁₂	각 유역분지 내 개발지역의 논 면적 (m ²)
	X ₁₃	각 유역분지 내 개발지역의 밭 면적 (m ²)

다중회귀분석 결과 위 <표 13>의 독립변수들이 모두 모델에 투입되었고, 다음과 같은 회귀모델이 도출되었다.

유역분지 내 개발지역의 수해 발생 회귀모델

$$Y = 0.114X_1 - 0.022X_2 + 0.025X_3 - 0.024X_4 + 0.011X_5 - 0.051 - 0.022X_7 + 0.084X_8 - 0.382X_9 + 0.484X_{10} - 0.092X_{11} + 0.295X_{12} + 0.249X_{13}$$

위의 분석결과에 의하여 95% 유의수준에서 수해 피해를 설명하는 지형 인자들만의 유역분지 내 개발지역의 수해 피해에 대한 기여도를 알아보기 위하여, 다음과 같이 다중회귀분석을 실시하였다. 분석에 사용할 종속변수와 독립변수들을 <표 14>와 같이 선정하였다

표 14 다중회귀분석에 사용된 변수

구분	변수명	실 명
종속 변수	Y	각 유역분지 내 개발지역의 수해 면적(m ²)
독립 변수	X ₁	각 유역분지 내 개발지역의 고화되지 않은 지층 면적(m ²)
	X ₂	각 유역분지 내 개발지역의 면적(m ²)
	X ₃	각 유역분지 내 개발지역의 밭 면적(m ²)

다중회귀분석 결과 위 <표 14>의 독립변수들이 모두 모델에 투입되었고, 다음과 같은 회귀모델이 도출되었다.

유역분지 내 개발지역의 수해 발생 회귀모델

$$Y = -0.493X_1 + 0.866X_2 + 0.215X_3$$

이와 같이 유역분지 전체 및 유역분지 내 개발지역 두 가지 경우에 대한 분석 결과는 아래와 같은 차이 점을 보였다. <표 15>는 분석에 사용된 인자들 중 유의수준이 0.05 이하인 항목들을 열거한 것이다. 유역

표 15 수해 발생에 기여하는 지형 인자들

구분	인자	β계수	유의수준
유역분지 전체 ($r^2=0.543$)	유역분지 면적	0.893	0.000
	개발지역 면적	0.438	0.000
	삼림 면적	-0.385	0.000
	고화되지 않은 지층 면적	-0.310	0.000
	남향 면적 비율	-0.140	0.005
유역분지 내 개발지역 ($r^2=0.518$)	개발지역 면적	0.866	0.000
	고화되지 않은 지층 면적	-0.493	0.000
	밭 면적	0.215	0.012

분지 전체와 유역분지 내 개발지역 각각의 수해 발생에 기여하는 지형 인자들은 대부분 그 특성이 서로 달랐다. 유역분지 전체의 경우 회귀모델은 회귀모델 결정계수가 0.543으로 사례의 약 54.3%를 설명하였고, 13개의 지형 인자들 중 유역분지 면적·개발지역 면적·삼림 면적·고화되지 않은 지층 면적·남향 면적 비율의 5개 인자들이 수해 발생에 영향을 미치는 인자로 나타났다. 따라서 유역분지 면적·개발지역 면적이 넓을수록, 고화되지 않은 지층 면적·삼림 면적·남향 면적 비율이 좁을수록 수해가 발생할 확률이 높다고 할 수 있다.

유역분지 내 개발지역의 경우 회귀모델은 회귀모델 결정계수가 0.518로 사례의 약 51.8%를 설명하였고, 13개의 지형 인자들 중 개발지역 면적·고화되지 않은 지층 면적·밭 면적의 3개 인자들이 수해 발생에 영향을 미치는 인자로 나타났다. 따라서 개발지역 면적 및 밭 면적이 넓을수록, 고화되지 않은 지층 면적이 좁을수록 수해가 발생할 확률이 높다고 할 수 있다. 또한 유역분지 전체에서 수해 발생에 가장 큰 영향을 미치는 지형 인자는 유역분지 면적으로 나타났으며, 유역분지 내 개발지역에서 수해 발생에 가장 큰 영향을 미치는 지형 인자는 개발지역의 면적으로 나타났다.

5. 결론

본 연구 결과, 개발된 유역분지는 개발되지 않은 유역분지에 비하여 수해가 발생할 확률이 더 높은 것으로 나타났다. 유역분지 전체와 유역분지 내 개발지역 각각의 수해 발생에 기여하는 지형 인자들은 차이가 있는 것으로 나타났다. 유역분지 전체의 경우 유역분지 면적, 개발지역 면적, 삼림 면적, 고화되지 않은 지층의 면적, 남향 면적 비율 인자들이 영향을 미치는 것으로 드러났다. 유역분지 내 개발지역의 경우에는 개발지역 면적, 고화되지 않은 지층의 면적, 밭 면적 인자들이 영향을 미치는 것으로 드러났다. 따라서 잠재적인 홍수피해를 줄이기 위해서는 유역분지 내 개발 예정 지역의 지층의 고화 정도를 특히 검토하여, 개발로 인한 재해 발생 가능성을 최소화하는 방향으로 개발 계획을 수립해 나가야 할 것으로 사료된다.

본 연구가 갖는 한계를 극복하기 위하여 추후 연구 보완되어야 할 과제는 다음과 같다. 첫째, 회귀분석에서 더욱 높은 설명력을 얻기 위해서는 되도록 연구지역에 수해가 발생했던 시기 이후와 가까운 날짜에 촬영된 위성영상을 이용하여야 할 것으로 사료된다. 또한 위성영상 피복 분류 결과를 토지 피복도와 비교하여 더욱 정밀한 분류 결과를 얻지 못한 점이 아쉽다. 둘째, 기후인자 등의 다양한 지형 인자들을 사용하여 광범위한 재해의 종류에 대한 분석이 이루어질 필요가 있다. 셋째, 지형 인자들의 수해 발생에 대한 기여도를 일반화하기 위해서는 면적이 좀 더 넓은 유역분지를 대상으로 한 연구가 수반되어야 할 것으로 보

이다.

참고문헌

1. 경기도 농업정책과. 2000. 『용인시 녹지면적 보고서』.
2. 김홍규. 1997. 『사회과학통계분석』. 나남출판.
3. 농림부 홈페이지. 2000. <http://www.maf.go.kr/faq/faq_01_04.html>.
4. 박병욱, 김 철. 1997. 원격탐사 자료를 이용한 자연재해분석에 관한 연구. 『한국측지학회지』. 15(2): 237-244.
5. 박성미. 1997. 『원격탐사 및 GIS 기법을 이용한 지표환경 분석 연구 : 하남지역의 응용사례』. 서울대학교 석사학위논문.
6. 성효현. 1996. 수도권지역 개발에 따른 자연재해 특징분석 : 안양천 유역분지에서 잠재적 수해 특징 분석. 『한국GIS학회지』. 4(1): 21-42.
7. 양인태, 천기선, 박재훈. 1999. 수치지표고모형에 의한 유역에서의 지형인자 분석. 『한국측지학회지』. 17(1): 61-67.
8. 양인태, 최영재. 1999. GIS의 그리드 분석 기법에 의한 수문 지형인자 추출. 『한국측량학회지』. 17(4): 349-357.
9. 용인시. 2000. 『용인서북부지역 도시화에 따른 대책』.
10. 용인시, 용인시재해대책본부. 2000. 『2000년 수해 복구사업 추진 현황』.
11. 용인시재해대책본부. 2000. 『재해상황보고』.
12. 윤철규. 1998. TIN과 GRID 기반의 수치지형모델을 이용한 지형분석에 관한 연구. 『한국측지학회지』. 16(1). 67-74.
13. 이사로. 1992. 『지리정보시스템(GIS)을 이용한 청주지역의 광역적 산사태분석 연구』. 연세대학교 석사학위논문.
14. 이종학. 1999. 『부산지방 상습침수 지역의 특성과 대책방안에 관한 연구』. 부경대학교 석사학위논문.
15. 한국동력자원연구소. 1982. 『한국지질도』. 1:50,000. 둔전도폭.
16. 환경정의시민연대. 2000. 『용인시 서북부지역 수해피해에 대한 조사 보고서』.
17. 환경정의시민연대. 2000. 『준농림지 농지보존 캠페인 정책연구 및 현장조사 보고서』.
18. Anderson, H. W., 1954. "Suspended Sediment Discharge as Related to Streamflow, Topography, Soil, and Land Use" *Am. Geophys. Union Trans.*, 35: 268-281.
19. Brunnsden, D., 1999. "Some geomorphological considerations for the future development of landslide modes" *Geomorphology*, 30(1999): 13-24.
20. Bryant, R. G., and Gilvear, D. J., 1999. "Quantifying geomorphic and riparian land cover changes either side of a large flood event using airborne remote sensing: River Tay, Scotland" *Geomorphology*, 29(1999): 307-321.
21. Gardiner, V., 1990. *Drainage Basin Morphometry*. Edited by Goudie, Andrew. *Geomorphological Techniques*, 71-81. Unwin Hyman.
22. Gellis, A. C., Cheama, A., and Lalio, S. M., 2000. "Developing a geomorphic approach for ranking watersheds for rehabilitation, Zuni Indian Reservation, New Mexico" *Geomorphology*, 37(2001), 105-134.
23. Werner, C., and Smart, J. S., 1973. "Some New Methods of Topologic Classification of Channel Networks" *Geog. Analysis*, 5: 271-295.