

GIS를 이용한 산불 진화용 저수탱크 적지 분석에 관한 연구*

이기철 · 김승환 · 남정철 · 박승범 · 강영조 · 옥진아¹

A Study of the Analysis of Water Tank Suitability for Forest Fire Extinction using Geographic Information System

Gi-Chul Yi · Seung-Hwan Kim · Jung-Chil Nam · Sung-Burm Park
Young-Jo Kang · JinA Ok¹

요 약

이 논문의 주요 목적은 지리정보체계의 지도모델링 기법을 이용하여 소규모 산림의 산불 진화용 저수 탱크의 적지 분석에 있다. 부산광역시 서구에 위치한 암남 도시자연공원을 대상으로 산불 진화 모델에 필요한 산불 진화 시설, 지형 등의 수치 지도 데이터베이스를 만들었다. 암남공원에 현재 설치되어 있는 산불 진화 시설에 근거해 조기진화가 가능한 지역과 산림의 산불 진화 효과를 밝히기 위해 지리정보체계를 이용한 서술적 지도모델링 기법을 적용해 현재의 저수 탱크 시설로 초기 진화가 용이한 지역과 현재의 진화효과를 규명하고, 규정적 지도모델링 기법에 의해 현재의 시설로 충분치 못한 지역에 추가로 시설을 설치해 조기 진화를 가능하게 할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 산불 진화와 같은 재해 관리에 지리정보체계와 지도 모델링이 효율적으로 활용 가능함을 밝혔다.

주요어: 지리정보체계, 지도모델, 산불 진화, 암남 도시자연공원

ABSTRACT

The objective of this paper is to develop a cartographic model for water tank suitability for small forest fire extinction using GIS. Various digital maps were created using CAD & GIS for Amnam urban park, which is located in Seogu, Pusan city. The park had 4 small water tanks for fire extinction. The developed descriptive cartographic model identified the spatial effects of fire extinction due to the existing facilities. The prescriptive model to enhance spatial effects was developed for the determination and comparison of the effects of forest fire extinction due to the proposed facilities. This paper proved the techniques of GIS and cartographic modelling are significant for the suitability analysis of water tanks for small forest fire extinction.

KEYWORDS: GIS, Cartographic Modeling, Forest Fire Extinction, Amnam Urban Park

1998년 10월 22일 접수 Received on October 22, 1998

* 이 논문은 1997년도 동아대학교 학술연구조성비(신진과제)에 의하여 연구되었음

1. 동아대학교 도시조경학부

Dept. of Planning and Landscape, Dong-A University (gcyi@seunghak.donga.ac.kr)

서론

산불은 전 세계 곳곳에서 매년 발생하는 자연적 또는 인위적 재해중의 하나이다. 많은 국가에서는 이러한 재해에 의한 피해를 감소시키기 위한 다각적인 접근을 하고 있다. 산불로 인한 문제가 심각한 이유는 산불의 발생시 초기 발견이 어렵고, 산불의 확산에 미치는 요인이 복잡하여 산불의 변화를 구체적으로 파악하기 어려우며, 초기진화의 실패시 대형화된 산불 진화를 위한 많은 인력과 시간 및 경비가 필요할 뿐 아니라, 진화도중 인명의 피해 위험과 함께, 진화 후에도 사람을 포함한 자연 생태계에 여러 피해를 가져오기 때문이다.

우리 나라에서도 산불의 문제를 심각하게 인식하여 산림청과 지방자치단체를 중심으로 많은 인력과 경비를 들여 산불의 예방과 진화 및 산불 지역의 복구에 노력하고 있다. 우리나라의 산불 실태를 통계적으로 보면 1960년 및 1970년대에는 산림은 국민들에게 연료채취, 산나물 채취, 수렵 등 생활 필수품을 획득하는 자원으로서의 역할을 감당하며, 자연자원의 보존에 대한 관심이 매우 낮아 입산자에 대한 통제가 거의 없었고, 그 결과 산불 발생 건수가 대단히 많았으나, 1980년대에 들어오면서 감소하다가, 1990년대에 들어오면서 다시 증가하고 있다(산림청, 1997). 1990년대 이후 산불의 증가 현상이 계속되고 있는데, 이러한 현상이 계속된다면 많은 피해가 예상된다. 과거의 산불이 자연적인 요인과 산불예방대책의 미흡에 있다면, 지금의 산불은 인구 증가와 복지 수준의 향상에 따른 여가시간의 증대에 따라 등산, 캠핑, 산림욕과 같은 산림지역 내에서의 여가활동 증가로 인한 인간의 부주의로 인한 실화가 급증하고 있는 실정이다. 더욱이 국내의 산림보호정책의 일환으로 낙엽채취가 전면적으로 금지됨에 따라 지표에 가연성 피복물이 급증하여, 산불 초기 진화의 난점과 산불의 대형화 추세는 계속될 가능성이 높다.

산불 발생을 예방하기 위한 국가의 조치로는 산불예보제와 논, 밭두렁 및 농산 폐기물을 계획적으로 폐기하고 있다. 산불예보제는 기상자료와 습도추정망을 이용한 산림내 실효습도를 측정하여 지역별 실태에 따른 산불 위험예보를 발령하는 것으로 산불위험지수에 따라 산불주의, 경계 또는 위험경보로 나누어 국민에게 산불의 심각성을 홍보하고 있고, 논, 밭두렁 및 농산 폐기물소각은 읍, 면, 동장의 관찰 하에 소각계획에 의해 추진되고 있다.

산불 발생시 진화기술과 진화인력의 전문화에 의해 진화시간은 단축되고 있지만, 1970년대 이후 계속된 산림녹화사업에 의해 산림내 수목의 밀도가 높아져 일단 산불이 발생하면 많은 수목들이 피해를 입고, 이에 따른 입목피해액 또한 매년 증가하게 되는 것이다. 따라서 소규모로 발전하는 산불을 조기에 발견하고, 단시간 내에 쉽게 진화할 수 있는 것이 현실적으로 매우 중요한 문제인 것이다. 그러나 지금까지의 관행은 이러한 소규모 산불은 수시로 발생하기 때문에 이에 대한 기록은 남기지 않고 있는데, 이러한 산불은 전국적으로 많이 발생하고 있고, 이러한 산불의 발생시 초기 발견 및 진화가 매우 중요하다. 이를 위해 국내 곳곳에 산불의 위험을 알리는 안내판을 설치해 국민에게 그 심각성을 홍보하는 동시에 산불경보시 산불의 발생을 실제로 관측하게 하는 조치를 취하고 있고, 도시내의 산림 또는 공원에는 산불진화를 위한 소규모의 방화시설 또한 설치하고 있다.

본 연구에서는 자연자원 또는 재해관리에 이용될 수 있는 지리정보시스템(GIS: Geographic Information System)을 이용해 발생한 재해를 신속히 수습할 수 있는 방안을 모색해 보기 위해, 공원에 설치되고 있는 산불진화용 저수 탱크의 적지분석을 하였다. GIS는 공간자료를 효율적으로 구축, 저장 및 분석할 수 있어 산불관리에 필요한 공간 전략을 수립하는데 기여할 수 있는데, 특히 산불 관리는 그 특성상 방대한 공

간 데이터 및 속성 데이터가 필요하고, 실무에 적용해야 하는 필요성 때문에 세계 여러 곳에서 관심을 가지고 있는 분야이다 (Woods and Gossette, 1992; Chou, 1992; Kessell, 1990; Chagarlamudi, 1997). 예를 들어 Kessell과 Beck (1991)는 오스트레일리아에서 수십 년간 발생한 산불 발생기록 자료를 근거로 산불 취약지역에 대한 산불 예측, 산불 확산 행태 분석 및 산불 억제 정책 등에 관한 다양한 정보를 산불관리자들의 의사 결정정보로 제공하였고, Garcia와 Lee (1993)는 캐나다 알버타 지역의 Whitecourt 산림지역의 산불 발생 위험이 있는 요인을 평가해 산불 발생 위험지도를 작성하였고, Woods와 Gossette(1992) 등은 미국 캘리포니아주 산타모니카 산림지역에 GIS를 이용한 산불 관리 방안을 제안하기 위해 식생, 지형, 기후, 산불발생기록, 교통망, 인간활동 등의 화재 재해변수를 사용해 산불 발생과의 관계를 규명해 산불재해 모델을 개발한 바 있다. 국내에서는 생태학적 측면에서 산불 발생후 산림 및 토양생태계에 미치는 영향을 중심으로 차순형과 유탉규(1983), 우보명과 이현호 (1989), 김옥경(1970), 박광호와 정성호(1990) 등의 연구가 있었고, 산불발생 위험도 평가 및 예측 시스템 개발에 관한 연구로는 정연하(1992), 이시영(1995) 등의 연구가 진행된 바 있다. 최근에 박은경(1996), 김윤정(1996) 등이 GIS를 이용해 산불 발생의 확률이 높은 지역을 추출하고, 산불 예측 모델을 개발하며, 산불 예방의 측면에서 가시권 분석을 통한 산불 감시 후보지를 선정할 수 있는 정보를 제공하여 GIS에 의해 산불 재해관리의 잠재력을 크게 높였다. 하지만 전국 여러 지역에서 매년 발생되고 있지만 행정당국에 제대로 보고되고 있지 않는 소규모 산불의 조기 진화 측면에서 적용될 수 있는 실증적 연구는 부족한 실정이다.

산불 문제를 대책하기 위해서는 여러 관점에서 볼 수 있겠지만, 우선적으로 산불 발생의 동향을 살펴보아야 하는데, 부산광역시를 포함한 전국 대도시의 대도시에 발생되어 산림청에 보

고되어 있는 1980년 이후의 자료에 의하면 산림청에 보고되어 산불대장에 기록된 부산광역시의 산불만도 1980년대에는 매년 평균 9건에서 90년대에는 15건으로 증가하고 있으며, 이러한 현상은 서울을 제외한 전국 대도시의 경우와 흡사하다 (산림청, 1997). 더욱이 1990년대 이후 전국 대도시 지역의 산불의 발생 건수가 지속적으로 증가하고 있어 사람의 실화로 인한 도시지역의 산불 건수는 증가할 것으로 보인다.

또한 지역적 관점에서 산불의 실태를 구체적으로 파악하기 위해 부산광역시의 최근 산불 실태를 파악해 보면, 1988년 이후 1996년까지 평균 13건 이상의 산불이 매년 발생하고 있는데 1995년 이후의 산불 건수가 상대적으로 많았다. 이들 산불의 원인은 등산, 산림욕 등의 목적으로 산림을 이용한 입산자들의 실화가 약 71%를 차지하고 있고, 다음으로는 어린이들의 불장난(5%), 논두렁 소각(3%), 쓰레기 소각(3%) 등으로 나타나, 도시 지역의 자연 공원에 대한 이용 욕구가 산불 발생의 위험이 됨을 알 수 있었다. 또한 산불의 계절적 분포를 보면 2월~4월 사이가 총 64건으로 전체 발생건수의 약 60%를 차지하고 있고 11월~1월의 경우 39건으로 전체 발생건수의 약 33%를 차지하고 있는데, 이 것은 강수현상과 관련하여 강수량, 최종 강수일로부터 경과일수, 강설, 안개 등의 요소와 가연성과의 관계를 시사해 주는 것으로, 매년 11월 이후 산림의 상태가 건조하기 시작하여 무강수 일수가 계속되는 가뭄기에 산불 발생 위험도가 높아지는 것으로 판단되며, 이것은 전국의 여타 지역과 유사한 현상을 보이고 있다 (산림청, 1997). 이러한 산불은 전국의 어느 지역에서도 발생 가능한 것이지만, 특히 도시 지역의 경우 가뭄기간 중 산림 또는 도시림의 이용에 의한 산불 발생의 위험이 가장 많은 것으로 밝혀져, 도시민의 여가시간의 증대와 각종 여가활동의 증가에 기인한 산림을 이용하는 행태에 근본적인 원인이 있다고 보여진다.

따라서 본 연구에서는 도시민들의 자연에 대한 욕구는 계속 증가하면서 인간의 부주의에 의해 발생할 수 있는 산불중, 소규모 산불에 주안점을 두고 그 가능성을 고려하여, 부산광역시 도시자연공원인 암남공원에 설치되어 있는 소규모의 저수 탱크가 진화할 수 있는 적정 한계지역을 분석해보고, 현재의 시설로서 진화를 효과적으로 할 수 없는 지역에 적정 시설을 적지에 배치함으로써 좀 더 효율적이고 실용적인 방법으로 자연자원의 재해관리를 하고자 본 연구를 수행하였다. 이를 위해 본 연구에서는 지도 모델링 기법을 적용해 초기 진화에 필요한 소규모 저수 탱크시설의 적지분석에 주안점을 두었다.

GIS를 이용한 지도 모델(Cartographic model)에 관한 연구로는 Tomlin(1990)은 서술적 모델링(Descriptive Modeling)과 규정적 모델링(Prescriptive modeling) 단계로 구분한 기법들을 제안하고 있는데, 이러한 기법을 적용한 사례는 토지 및 환경 계획시의 적지 분석을 통한 연구가 진행된 바 있다 (Tomlin 등. 1987; Tomlin, 1997; 이기철, 1994). 본 연구에서는 이러한 기법을 이용해 첫째, 서술적 모델링(Descriptive modeling) 단계로서 현재의 저수 탱크 시설로 초기 진화가 용이한 지역을 규명하고, 둘째, 규정적 모델링(Prescriptive modeling) 단계에서는 현재의 시설로 충분치 못한 지역에 추가로 적정시설을 설치해 초기 진화를 가능하게 하는 최적의 산불 진화 시설을 규명하는 것을 주요 연구 목적으로 삼았다.

연구방법

1. 연구의 범위 및 방법

최근 이용객이 급증하고 있는 부산광역시의 서구 암남동에 위치한 도시자연공원을 선정하였다. 이 공원은 바다와 인접해 있으며 빼어난 경관과 자연지형, 그리고 다양한 식생을 가지고 있는 자연공원으로 보존의 가치가 매우 높은 지역이지만, 그 동안 군사보호지역으로 묶여 있다가 1996년 6월 시민의 휴식공간

으로 개장한 이후 많은 이용객이 공원을 이용하고 있으며, 부산광역시 서구청에서는 이 공원을 자연 생태학습원으로 개발하려고 진행하고 있어, 앞으로 더 많은 공원 이용객이 예상되기 때문이다 (부산광역시 서구청, 1997).

주요 연구 방법으로는 외국의 환경자원 또는 재해관리에 많이 이용되고 있는 지리정보시스템을 이용해 발생한 재해를 신속히 수습할 수 있는 방안을 모색해 보았는데, GIS는 공간자료를 효율적으로 구축, 저장 및 분석할 수 있어 산불 관리에 필요한 공간 전략을 수립하는데 기여할 수 있다. 특히 본 연구에서는 초기 진화에 필요한 소규모 저수 탱크시설의 타당성 분석과 이와 관련된 지도 모델의 개발에 주안점을 두었다. 초기 진화가 중요한 이유는 공원을 포함한 산림지역의 소규모 산불은 수시로 전국 어디에서나 쉽게 발생할 수 있고, 이러한 산불의 발생시 조기 발견 및 진화가 매우 중요하기 때문이다.

본 연구에서 적용하였던 지도 모델링의 절차로 1단계는 필요한 자료의 선정, 자료입력, 자료의 신빙성 검증, 자료의 해석 및 자료 전환 등의 절차를 거쳐 모델개발을 위한 지도자료 데이터베이스를 구축하였고, 2단계는 서술적 모델링 단계로서 현재의 시설로 초기 진화가 용이한 지역을 규명하였으며, 3단계 규정적 모델링 단계에서는 현재의 시설로 충분치 못한 지역에 추가로 시설을 계획해 초기 진화가 가능하도록 하였다.

2. 연구자료의 수집 및 정리

본 연구가 목표로 하는 산불 진화용 저수 탱크 적지와 적정시설의 타당성을 밝히기 위해 어떠한 인자를 어떻게 구성하여 완성할 것인가에 대한 질문을 가지고 전문가 및 실무자의 논의를 통해 사전에 예측하였는데, 공원관리자들은 암남공원의 이용객들이 다니는 주요 도로변에 4개의 소규모 저수 탱크를 설치하여 초기 진화를 대비하고 있었고, 산불의 발생시 초기진화의 목표를 아주 짧은 시간 내에 설치

되어 있는 방화수 탱크의 시설을 이용해 진화하려고 하였다. 공원관리자들은 이들 시설이 충분한지, 적지에 위치해 있는지 또는 추가의 시설을 설치한다면 어떠한 지역에 설치하여야 그 효과가 가장 클 것인가에 관한 내용들을 주요 의문 사항으로 보고 있었다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 구체적으로 해결하기 위한 지도모델 공간 인자 파악에 주력하였고, 어떠한 공간인자에 어떠한 지도인자를 이용할 것인지를 사전에 고려하였다. 이러한 과정 속에서 지도모델에 필요한 공간인자로서 공원내 방화시설의 위치도, 산불 발생시 방화시설로 부터 미세지형의 경사 난이도에 따른 진화 장비 및 진화인원의 이동상황이 초기 진화를 성공 또는 실패하게 하는 결정적 인자로 밝혀졌고, 또한 산불의 주요 대상인 식생의 종류에 따른 내화성 여부가 중요인자로서 실제 산불이 발생할 경우 산불 확산에 중요한 인자로 판단되었다.

이러한 예비적 작업을 거쳐 암남공원 산불 진화 지도모델의 기본적인 지도자료는 표 1 및 그림 1~4와 같이 구축하였다. 기본적인 수치지도 자료로는 공원의 지형을 나타내는 등고선 현황, 공원도로, 산불 발생시의 주요 피해대상인 수목현황을 나타내는 식생군락도, 산불 발생을 대비한 현재의 저수 탱크 시설과 경사도 등에 관한 지도로 선정하였다. 산불 발생시 중요한 인자가 되는 수리적 상황은 고려하지 않았는데, 그 이유는 이 지역의 지형 경사가 대부분의 급경사로 이루어진 해안 지형으로서 우수기를 제외하고서는 우수를 저장 또는 저류할 수 있는 지형이 전혀 없고, 우수

기에 발생되어지는 소량의 지표수도 급속한 속도로 바다에 유출되어지며, 산불이 발생할 경우 산불의 진화에 거의 사용될 수 없기 때문이다 (부산광역시 서구청, 1997).

현지 답사시 각종 조사 내용의 위치 정보의 정확도를 향상시키기 위해 지형, 공원도로 및 공원 시설 등의 기초도면들을 수집하여, 현지조사 이전에 AutoCAD를 이용하여 현황을 나타내는 각종 도면을 디지털이징에 의하여 수치데이터로 입력하고 출력하였으며, 현지 답사시 이들의 위치를 출력된 도면과 비교하며 확인하였다. 공원의 산불을 대비한 저수 탱크 시설로는 방화수 5 톤 가량의 물을 저장할 수 있는 간이 탱크 4개가 있었는데, 이는 현지 조사시 실측에 의해 그 위치와 규모를 확인하였다. 이렇게 확인된 자료는 CAD 자료의 상태에서 1차적 검증을 하였다.

공원 전역 미세지형과 경사도 분석을 위해 국립지리원에서 제작한 축척 1:5,000 지형도에 나타난 5 m 등고선에 근거해 CAD에서 작성된 수치지형도를 IDRISI 상에서 벡터 파일로 불러들인 후 그 파일을 래스터(raster)화하였고, 래스터 방식으로 만들어진 데이터에서 고도가 알려진 점을 기준으로 고도가 알려지지 않은 부분(등고선이 지나가지 않는 부분)의 고도를 추산하여 수치표고모형(DEM: Digital Elevation Model)을 생성하고 이를 다시 10m 간격으로 분류하여 고도분석도를 작성하였다(그림 1 참조). 이렇게 제작된 수치표고모형에 근거해 IDRISI의 경사 분석모듈을 이용해 5개의 경사 범위를 나타내는 경사분석도를 그림2와 같이 만들었다.

식물상의 분석은 1997년 1월에서 10월까지

TABLE 1. Digital map data base for Amnam park

수치지도	원시 자료	축척	범례
수치지형도	국립지리원 지형도	1:5,000	0 - 130 meter
경사도	국립지리원 지형도	1:5,000	5개 경사범위
식생도	현지 식생조사	1:5,000	15개 주요식생 군락
공원도로 및 시설도	공원계획도/현지조사	1:1,200	공원도로 및 산불진화시설

현지 조사를 통해 파악하였는데, 식생조사는 출현종에 근거해 식생 목록을 작성한 이후, 기록된 식생의 종류중 주목할 만한 식물의 분포를 나타내는 식생군락도를 현지에서 작성후 AutoCAD에서 입, 출력을 거친 후 다시 현장에 가지고 나가서 재검증하는 방법으로 수차례 검증하였다 (부산광역시 서구청, 1997). 식생군락에 대한 개별 속성은 Arc/Info를 이용해 식생 군락의 종류별로 작성한 이후, IDRISI 래스터 파일 형태로 전환하였다.(그림 3 참조). 공원 경계, 공원도로 및 공원 시설 등은 공원계획도에 근거해 CAD 자료로 입력한 이후 현지 조사를 통해 검증하였고, 최종적으로 IDRISI 래스터 파일 형태로 제작되었다.(그림 4 참조).

이들 여러 도면의 내용을 설명하는 범례에 관한 내용은 GIS 수치지도의 속성자료로서 공원의 자연환경과 산불진화 지도모델을 구성하는 기본 자료로 이용되었다. 또한 이들 모든 도면은 지도모델에 사용하기 위해 IDRISI 래스터 파일 형태에서 5 미터의 해상도를 가지는 격자크기로 통일되었고, 각각의 수치지도들은 290 행과 400 열의 크기로 만들어졌다.

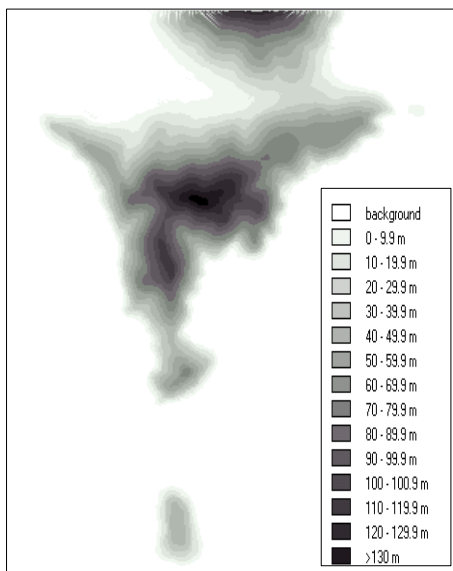


FIGURE 1. Digital Elevation Model

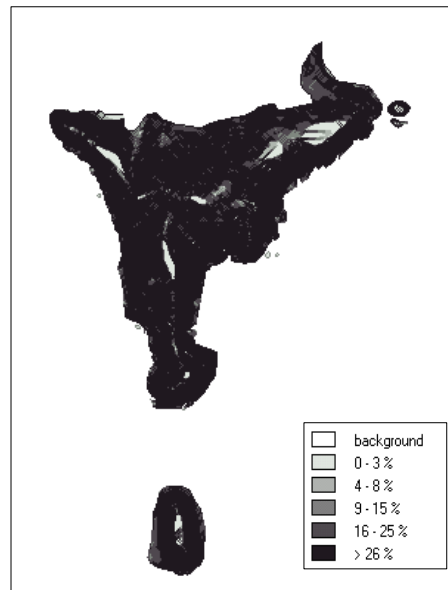


FIGURE 2. Slope analysis map

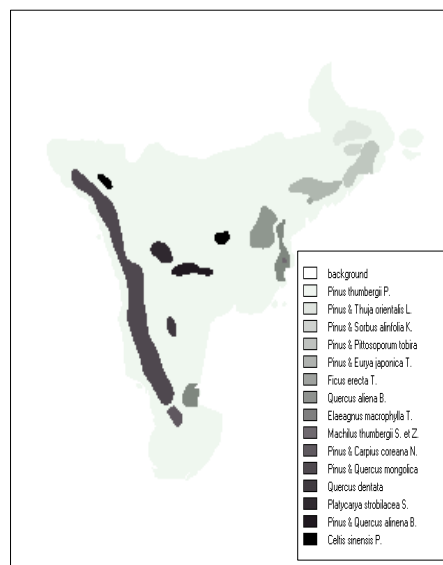


FIGURE 3. Major plants community map

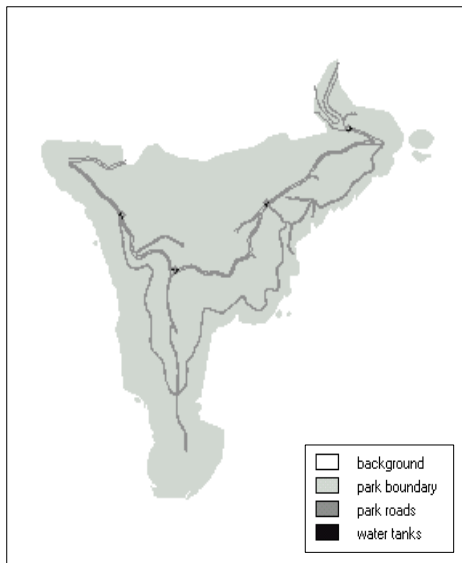


FIGURE 4. Park roads and water tanks

3. 산불과 관련된 암남공원의 환경 분석

암남공원은 최고 표고 130m의 산봉우리를 중심으로, 크고 작은 구릉과 해변에는 퇴적층으로 이루어진 해안절벽과 바위 등으로 이루어져 있으며 전체 면적은 약 57ha에 이르고 있다. 공원의 이용과 관리를 위한 공원내부로의 진입은 그림 4의 상단에 나타나 있는 공원도로의 동북쪽에 위치한 한 입구를 통해서만 이루어지고 있으며, 북쪽 경계는 인근 지역에 위치한 동물 검역소와의 철조망 방책에 의해 공원이용객의 출입이 철저히 통제되고 있다. 또한 공원의 동, 서남쪽은 바다로 둘러 싸여져 있는데 해안 절벽

등의 자연해안 지형으로 되어 있다. 대규모 산불의 발생시 진화를 위한 대형 소방차의 진입은 공원 주진입구까지만 가능하고, 공원내의 도로는 도로의 경사 및 폭의 제한에 의해 도보 또는 오토바이 등의 소형차로만 이동이 가능한데, 공원이용객은 도보로의 이용만 허용되고 있다.

공원내 자연 지형의 특성을 파악하기 위해 표2와 같이 지형의 고도에 따라 전체를 표고 10m 이하, 표고 10~100m, 표고 100m 이상 지역으로 분류해, IDRISI Crosstab 모듈에 의해 경사도와 비교 분석한 결과, 경사 26% 이상인 경사지는 약 49.7ha로서 전체 지역의 약 86 % 이상을 차지해, 대부분의 지역이 경사가 심한 지역으로 이루어진 해안 지형으로 되어 있어서 산불의 발생시 인력 또는 장비의 진입을 제한하는 가장 큰 인자가 되고 있다.

공원 지역의 대한 식생분포는 표고10m 이하 지역은 곰솔(*Pinus thunbergii* Parl.)군락이 전체 지역의 약 84%인 42.46ha로 나타나 전 식생에서 압도적인 우점종을 차지하고 있는데, 이 곰솔은 산불의 내화성이 약한 수종으로, 산불의 발생시 급속하게 전체 공원지역으로 산불이 전개될 수 있는 환경여건을 가지고 있다. 식생의 분포를 표고에 따라 지역별로 비교한 결과는 표 3과 같은데, 이중 표고 10~100m 지역은 15종 이상의 식생군락으로 구성되어 다양한 식생 형태로 구성되어 있으며, 산불의 내화성이 강한 측백나무, 돈나무, 갈참나무, 후박나무, 보리밥나무, 떡갈나무, 신갈나무, 사스레피나무 군락 등의 식생 구조를 가지고 있다.

TABLE 2. A Crosstab table of slope and reclassified elevation map

(area unit : m²)

구 분	1 (0-3%)	2 (4-8%)	3 (9-15%)	4 (16-25%)	5 (26% 이상)	합 계
표고 10m 이하	1,225	925	2,675	13,100	76,675	94,600
표고 10-100m	10,375	2,225	5,475	31,900	391,850	441,825
표고 100m 이상	2,950	450	775	5,875	28,300	38,350
합 계	14,550	3,600	8,925	50,875	496,825	574,775

TABLE 3. A Crosstab table of plants and reclassified elevation map

(area unit : m²)

구 분	표고 10m 이하 지역	표고 10-100m 지역	표고 100m 이상 지역	합 계
곰솔	59,900	330,525	35,850	426,275
곰솔, 측백나무		5,425		5,425
곰솔, 팔배나무		1,700		1,700
곰솔, 돈나무	625	6,750		7,375
곰솔, 사스레피나무		7,225		7,225
곰솔, 천선과나무		300		300
갈참나무, 산벚나무		7,675	100	7,775
돈나무, 보리밥나무	3,000	4,850		7,850
후박나무	200			200
곰솔, 신갈나무		1,950		1,950
떡갈나무, 팽나무	675	37,175		37,850
곰솔, 소사나무		575	850	1,425
굴피나무		3,325		3,325
떡갈나무, 산벚나무		3,600		3,600
곰솔, 갈참나무		1,225	1,550	2,775
합 계	64,400	412,300	38,350	515,050

* Area of 515,050m² is calculated by subtracting the area of Du Island from the total area(574,775m²) of Annam Park.

연구결과 및 고찰

1. 현재 조성된 시설의 진화 효과 분석

현재의 산불진화용 저수 탱크 시설로 초기 진화가 용이한 지역을 규명하기 위해 기술적 모델링(Descriptive Modeling) 단계의 과정을 모식화 한 것은 그림5와 같다. 이 모식도에서

사각형은 각각의 주제도면을 말하며, 직선은 하나의 주제도에서 또 다른 주제도를 만들어 가는 흐름을 나타내고, 이탤릭체로 쓰여진 것은 이를 수행하기 위한 명령어이다.

현재 조성되어 있는 저수탱크의 진화 효과를 파악하기 위해 본 연구에서는 산불의 주요 대상이 되는 식생군락을 중심으로 식생의 내화성 정

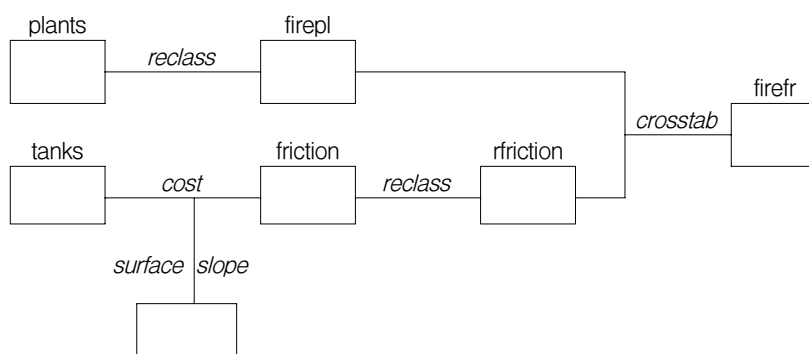


FIGURE 5. A diagram of forest fire cartographic model

도에 따라 산불에 강한 수종과 약한 수종을 구분하였다. 암남공원은 크게 15개 식생군락으로 구분되어 있지만 산불의 내화성과 관련되어 구분하면 크게 내화성이 강한 수종 (측백나무, 돈나무, 갈참나무, 후박나무, 보리밥나무, 떡갈나무, 신갈나무, 사스레피나무 군락)과 내화성이 약한 수종 (곰솔, 팔배나무, 천선과나무, 산벚나무, 소사나무, 굴피나무, 팽나무 등)으로 구분되어지고, 식생 구조적 측면에서 상부는 내화성이 약한 수종이 대부분이고 하부는 일부 내화성이 강한 수종이 있는 지역이 많다. 본 연구에서는 국내 대부분의 산불은 지표화로 진행되는 현실을 고려해 상부에 내화성이 약한 수종이 있고, 하부에는 내화성이 강한 수종이 있는 지역의 경우 또는 일부 또는 전체가 내화성이 강한 수종이 있는 어떠한 경우에도, 전체를 내화성이 강한 지역으로 분류하였다. 그럼에도 불구하고 암남공원의 경우 산불의 내화성이 강한 지역은 전체 식생의 약 11%에 해당하는 458,850m²에 불과하여 산불 발생시 그 피해가 매우 클 것으로 판단되었다(표 3 참조).

또한 산불진화에 참여한 실무자들의 경험에 의하면 방화수 탱크지역을 중심으로 해서 진화작업을 위해 장비 및 진화 인원의 이동시 공원 지형의 경사가 심할수록 이동이 힘들게 되므로, 경사의 난이도에 따른 이동 비용을 거리로 분석하였는데, 이를 위해 IDRISI costpush 모듈을

이용해 그림 6과 같은 마찰 (friction) 도면을 작성하였다. 그림 6은 현재 조성되어 있는 4개의 방화수 탱크지역에서 진화작업을 위해 장비 및 진화 인원의 이동 비용을 거리로 나타내어 주는 데, 이 비용도면의 개별 그리드 (grid)는 5m 간격의 실제 거리에서 경사의 난이도에 따른 이동의 정도를 추정하여 재분류한 것으로 진화작업을 위해 실제적으로 이동할 수는 있는 비용거리로 판단할 수 있다. 이 도면을 20개씩의 그리드 간격으로 재분류하였는데 그 이유는 산불의 진화 대상 범위를 설정하는 기본단위로 약 100m 간격이 적절하다고 판단되었기 때문이다.

본 연구에서는 산불 진화 모델의 1단계에서 만들어진 산불의 내화성에 따른 식생 구분도 (firepl 지도)와 20개씩의 그리드 간격으로 재분류한 산불 진화시설의 진화 효과도 (friction 지도)를 IDRISI Crosstab 모듈에 의해 중첩하여 산불의 진화 대상범위에 따라 내화성에 따라 강한 지역과 약한 지역을 최종 구분하였는데 그 결과는 표 4와 같다. 표 4와 그림 7은 현재 조성되어 있는 시설로부터 발생된 산불의 진화 효과를 보이고 있는데, 방화수 탱크로부터 멀어질수록 진화가 불가능하거나 어려운 지역의 규모는 커지고 있음을 보이고 있다. 산불의 조기 진화가 용이한 20그리드 즉 약 100m 이내의 진화 규모는 총 384 셀로서 전체의 1.9%에 불과하지만, 100그리드 즉

TABLE 4. The range and effects of existing fire extinction tanks area unit: grid

진화대상범위	내화성이 약한 식생지역	내화성이 강한 식생지역	소 계
0-20 그리드*	356 (1.7%)	28 (0.1%)	384 (1.9%)
21-40 그리드	743 (3.6%)	192 (0.9%)	935 (4.5%)
41-60 그리드	1,072 (5.2%)	252 (1.2%)	1,324 (6.4%)
61-80 그리드	3,715 (18.0%)	214 (1.0%)	3,929 (19.1%)
81-100 그리드	3,699 (17.9%)	372 (1.8%)	4,071 (19.8%)
100 그리드 이상	8,769 (42.6%)	1,190 (5.8%)	9,959 (48.3%)
소 계	18,354 (89.1%)	2,248 (10.9%)	20,602 (100%)

* A size of one grid is 25m²

500m 이상 떨어진 지역은 총 9,959셀로서 전체의 약 48.3%를 차지하고 있다. 이러한 분포는 내화성이 약한 식생지역도 유사한 공간적 분포를 보이고 있어 산불의 발생시 현재의 시설로는 충분한 진화를 기대하기 어려운 상황을 나타내고 있다.

2. 추가 계획시설의 진화 효과 분석

연구 대상지역으로 삼은 암남공원은 현재 조성되어 있는 저수 탱크 시설로는 산불의 발생시 조기 진화의 효과가 충분하지 못하다고 판단된 바, 본 연구에서는 규정적 모델링 (Prescriptive modeling) 기법을 적용해 현재의 시설로 진화 효과가 충분치 못한 지역에 추가로 시설을 계획해 진화의 효과를 사전에 분석하였다. 산불의 초기 진화를 위해서는 많은 진화 시설이 있으면 용이하지만 공원 관리상 꼭 필요한 곳에 적정 개수의 시설만을 배치해야만 그 효율성을 증가시킬 수 있다. 추가로 필요한 저수 탱크는 공원 이용객이 주로 다니는 통로의 주변 지역 중 식생의 종류별 내화성 여부와 산불 진화를 위한 시설의 확산효과가 가장 높을 것으로 생각되는 지역으로서, 본 연구에서는 현재 공원내에 조성되어 있는 시설과 같은 크기의 것을 계획하였다. 그 절차는 서술적 모델링과 유사하지만, 새로운 적지를 찾기 위한 방법으로서 본 연구에서는 서술적

모델링 분석과정 중 작성된 그림 6을 이용하였다. 현재의 시설에서 진화를 위한 이동시간의 비용이 가장 높은 4개의 지역의 중심은 가장 높은 수치로 나타났으며, 이 지역에 방화수 탱크를 위치하는 것이 진화의 효과가 가장 큰 것으로 나타나 수치가 가장 높은 4개의 지역과 공원 도로 도면을 중첩하여 저수 탱크 적지를 판단한 후, IDRISI update에 의해 4개의 추가시설을 지정하였다.

추가로 계획된 저수 탱크지역을 중심으로 해서 IDRISI costpush 모듈을 이용해 경사의 난이도에 따른 이동 비용을 거리로 분석한 결과는 그림 8과 같으며, 기술적 모델과 같이 20개씩의 grid 간격으로 재분류하여 추가로 설치된 시설에 의해 진화 대상 범위를 비교하기 위해, IDRISI의 crosstab과 overlay 모듈에 의해 현존하는 시설의 효과와 비교하여 최종 정리하였다 (그림 9 및 표 5 참조).

이렇게 해서 나온 결과물은 산불의 발생시 추가로 설치된 시설에 의해 예상되어 지는 효과를 사전에 살펴 볼 수 있는데 전체 식생 지역은 변화가 없지만 20그리드 즉 100m 이내의 면적은 613셀로서 기존 시설에 비해 229그리드 즉 5,725m²의 면적이 확대하는 것에 불과하지만 저수 탱크로부터 100그리드 이상 즉 500m 이상의 면적은 4,337그리드 즉 150,325m²에 불과해 전체 지역의 약 21% 만이

TABLE 5. The range and effects due to the proposed fire extinction tanks area unit: grid

진화대상범위	내화성이 약한 식생지역	내화성이 강한 식생지역	소	계
0-20 그리드*	585 (2.8%)	28 (0.1%)	613	(2.9%)
21-40 그리드	1,326 (6.4%)	216 (1.0%)	1,542	(7.4%)
41-60 그리드	1,985 (9.6%)	335 (1.6%)	2,320	(11.2%)
61-80 그리드	5,264 (25.5%)	386 (1.9%)	5,650	(27.4%)
81-100 그리드	5,629 (27.3%)	511 (2.5%)	6,140	(29.8%)
100 그리드 이상	3,765 (18.3%)	772 (3.7%)	4,337	(21.0%)
소 계	18,354 (89.1%)	2,248 (10.9%)	20,602	(100.0%)

* A size of one grid is 25m²

진화가 어려운 대상 범위에 포함되게 된다. 더욱이 이 지역의 내화성이 약한 식생 지역은 2,765셀 즉 94,125m²에 불과해 전체 면적의 약 18%에 불과해 4개의 추가 간이 물탱크 시설만으로도 산불 진화를 효율적으로 전개할 수 있음을 보여 주었다.

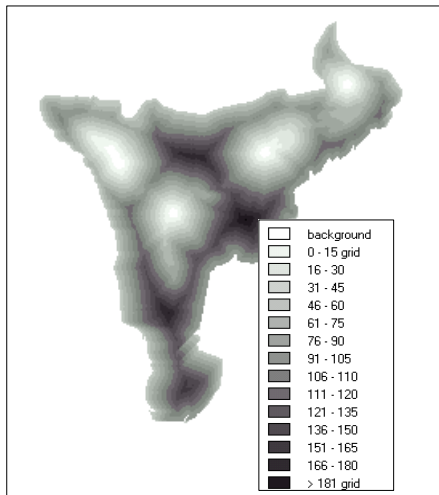


FIGURE 6. Friction map from existing water tanks

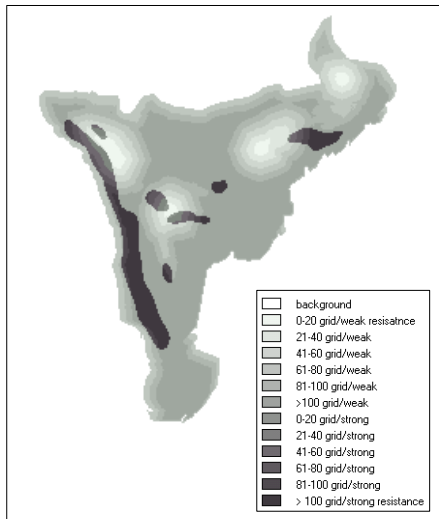


FIGURE 7. Zone describing existing effects

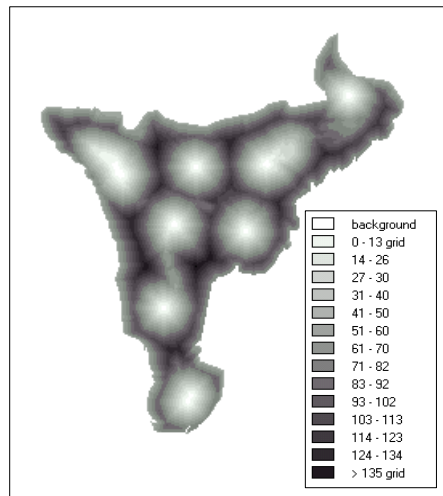


FIGURE 8. Friction map from proposed water tanks

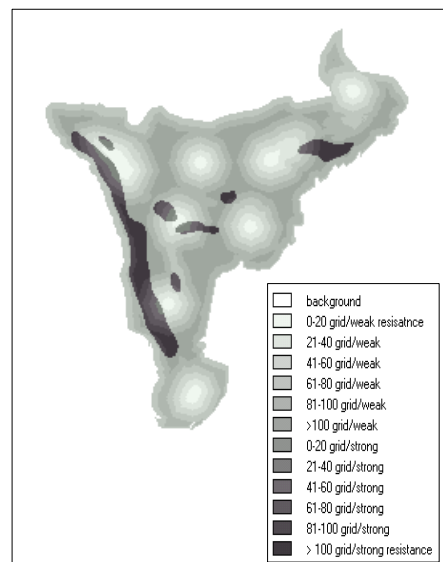


FIGURE 9. Zone prescribing proposed effects

결론

본 연구는 국내에서 수시로 발생되고 있는 소규모 산불을 중심으로 도시 자연공원에 실용적으로 이용할 수 있는 산불 진화용 시설을

적지에 추가 배치 할 수 있는 방법을 제시한 것으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 현재 공원 시설에 설치되어 있는 산불 진화용 저수 탱크가 산불 발생시 진화할 수 있는 지역과 그렇지 못한 지역의 비교 분석을 통해 적절한 위치에 방화수 탱크를 추가 배치할 수 있었다.
2. 현재 시설의 진화 효과 비교는 GIS 지도 모델의 서술적 모델링의 방법으로 추가 시설의 배치는 규정적 모델링의 방법으로 효과적으로 처리할 수 있었다.
3. 산불 재해 관리에 있어 GIS는 명확하고 구체적이며 과학적인 방법으로 공간의 사결정 자료를 효율적으로 제공해 줄 수 있었다. **KAGIS**

참고문헌

- 김옥경. 1970. 산화적지의 생태학적 연구-산화 후의 잔여종자 발아율에 대하여. 한국임학회지 10:29-39.
- 김윤정. 1996. 산불 예측 모델에 관한 연구. 이화여자대학교 대학원 사회생활학과 석사학위 논문. 74쪽.
- 박광호, 정성호. 1990. 고산지대 산화적지의 식물생태에 관한 연구-지리산의 제석봉 지역을 중심으로. 한국임학회지 79 : 33-41.
- 박은경. 1996. GIS를 이용한 산불확산 모델링. 서울대학교 대학원 지리학과 석사학위 논문. 63쪽.
- 산림청. 1997. 산림청 산불대장.
- 부산광역시 서구청. 1997. 암남공원 자연생태조사 보고서. 145쪽
- 우보명, 이현호. 1989. 황폐지역에서의 산불이 삼림식생 및 토양에 미치는 영향에 관한 연구. 한국임학회지 78(3) : 302-313.
- 이기철. 토지이용의 상충성 해결을 위한 지도학적 모델의 개발. 한국지형공간정보학회논문집 2(1) : 131-140.
- 이시영. 1995. 산불발생 위험도 및 연소확대 요인 분석에 관한 연구. 동국대학교 대학원 임학과 박사학위 논문.
- 정연하. 1992. 낙엽의 연소특성과 기상조건에 따른 산화예측에 관한 연구. 서울대학교 산림자원학과 박사학위 논문.
- 차순형, 유택규. 1983. 산불이 산림토양 생태계에 미치는 영향. 자연보존 48 : 8-16
- Chagarlamudi, P. 1997. The Utility of Geomatics in Emergency Planning and management. 2nd Annual International Seminar on GIS Applications for the Public Sector. 공공부분 GIS 활용에 관한 국제세미나, 국토개발연구원. pp. 117-134.
- Chou, Y. H. 1992. Management of wildfires with a Geographical Information System. IJGIS 6(2): 123-140.
- Eastman, J. Ronald. 1997. IDRISI Technical reference. Clark univ. Graduate School of Geography
- Garcia, Cristina V. and B. S, Lee. 1993. Mapping risk of wildfires from human source of ignition with a GIS", Proceedings of the Thirteenth Annual ESRI User Conference. Vol. 1.
- Kessell, S. R. 1990. An Australian geographical information and modeling system for natural area management. IJGIS 4(3) : 333-362.
- Kessell, Stephen R. and J. A, Beck. 1991, "Perspective on fire ecosystems in the United States, In "Fire in the Environment Symposium", pp.29-33. U.S.D.A. Forest Services, Wa, D.C.
- Tomlin, C. D., S. H, Berwick. and S. M, Tomlin. 1987. The use of computer graphics in deer habitat evaluation, In "GIS for Resource management: A Compendium" ASPRS & ACSM. pp. 212-228

- Tomlin, C. D. 1990. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Prentice-hall, Inc. 249pp.
- Tomlin, C. D. 1997. Cartographic Modeling Techniques for Corridor Planning. 2nd Annual International Seminar on GIS Applications for the Public Sector 공공부분 GIS 활용에 관한 국제세미나. 국토개발연구원. pp.103-116.
- Woods, J. A. and F, Gossette. 1992. A Geographical Information System for Brush Fire Hazard Management. ASPRS/ASCSM/RT vol. 3. pp.56-65. **KAGIS**