

# FOFIS: 산불 정보 시스템\*

## FOFIS: Forest Fire Information Systems

지승도", 황수찬", 이종근", 이장세", 이기준", 박재민", 김용환"

Sung-Do Chi, Su-Chan Hwang, Jong-Keun Lee,

Jang-Se Lee, Ki-Jun Lee, Jae-Min Park, Yong-Hwan Kim

### Abstract

The main purpose of this paper is to design and implement forest fire information system (FOFIS) for effective prevention of forest fire using GIS, database, 3-D graphics, and simulation techniques. In contrast to conventional fire information systems that are mostly based on the 2-D graphics and analytic modeling approaches, we have proposed the cell-based modeling approaches, i.e., spatial, data, and simulation modeling approaches. The cell-based spatial modeling is proposed by eliminating the cliff effect of the typical elevation model so that it can provide realistic 3-D graphics of the forest fire. The cell-based data modeling of geography, meteorology, and forestry information is also proposed. The cell-based dynamic modeling for forecasting of the fire diffusion is developed using the variable structure modeling techniques. Several simulation tests of FOFIS performed on a sample forest area of Chungdo, Kyungsangbukdo will demonstrate our approaches.

\* 본 연구는 정보통신부의 초고속응용S/W 개발 프로젝트 (과제번호: A3-98-1010-00)로 진행됨.

\*\* 한국항공대학교 컴퓨터공학과

\*\*\* 한국교육개발원

## 1. 서론

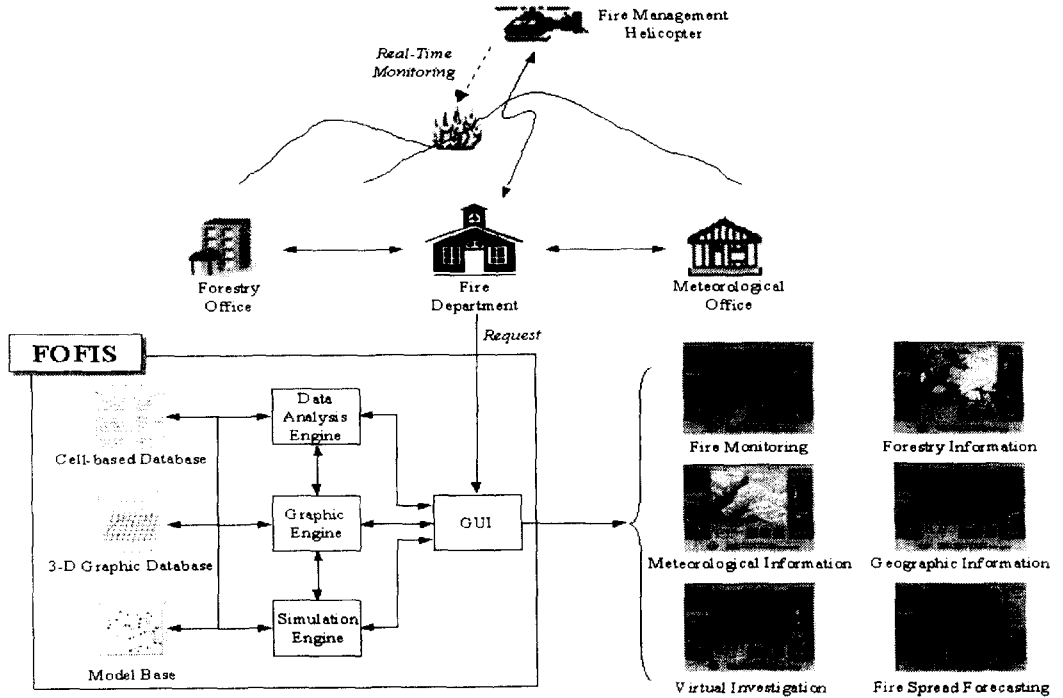
전국토의 70% 이상이 산림 지형으로 이루어진 우리나라에 있어서 기상이변과 함께 해마다 증가하는 산불피해에 대한 인식이 커지고 있는 실정이다. 산불로 인한 피해가 심각한 이유로는 첫째, 산불발생의 즉각적인 발견이 어렵고, 둘째 산불의 확산 범위 및 피해정도를 예측하기 어렵고, 셋째 산불진압을 위한 인력과 장비의 효율적인 운영이 어려우며, 넷째 진화에 필요한 도로, 수계, 피신지 등의 지형자료를 정확하게 알 수 없기 때문이다. 따라서, 자연진화에 의존하거나 또는 경험적인 방법에 의한 방재는 이제 한계에 이르렀으며, 이에 따라 정보화를 이용한 체계적인 접근이 요청되고 있다. 한편, 기존의 GIS 공간 자료 모델들을 통한 관련 연구들은 주로 지리적인 주제들의 분포를 나타내기 위하여 사용되고 있으며, 또한 대부분이 불연속적인 시간구조로 정적인 정보만을 가지고 있다. 그러나 산불의 움직임은 공간상에서 연속적인 시간의 흐름을 가지는 현상이므로, 이러한 동역학적 특징이 기존의 GIS모델링에 효과적으로 통합되어야 할 것이다[1].

산불 확산 예측을 위한 동역학 모델링 연구는 초기의 경험적 접근으로부터 시작하여 활발한 연구가 진행되어 미니 컴퓨터에서 수행되는 최초의 산불 확산 예측 시스템인 BEHAVE가 미국에서 개발[2]된 바 있으며, 이보다 한단계 진보하여 산불 상황의 평가, 방재계획의 수립, 자원의 배치 및 산불 확산의 제어를 위한 CHARADE 시스템이 이태리에서 그리고 SIROFIRE 시스템이 호주에서 각각 최근에 개발된 바 있다[3]. 이러한 연구들에 있어서, 산불의 연소상황은 지형, 기상, 산림형태 등 많은 환경 및 기상인자에 영향을 받으며, 따라서 이러한 인자들에 대한 정확한 모델링이 필수적인 것으로 제시되고 있다[4]. 그러나, 기존의 BEHAVE, CHARADE 그리고 SIROFIRE 시스템 등은 대부분 2-D 그래픽 중심의 공간정보만을 제공할 뿐 아니라 산불 확산 모델의 설계에 있어서도 첨단 시물레이션 기법보다는 기존의 해석적 기법에 의존하고 있다. 해석적 기법이란 일련의 단순화 작업을 통한 입증 방법으로서 산불 확산과 같이 복잡한 시스템의 해석에는 적합치

않은 것으로 알려져왔다. 반면, 시물레이션 기법은 비록 많은 계산상의 부담을 안고 있기는 하나, 해석적 기법이 갖는 단순화 작업을 기반으로 하지 않으므로 보다 정확한 값을 도출해 낼 수 있다[5].

본 논문은 산불 화재 사고의 효과적 대처를 위하여, GIS 기술, 데이터베이스 기술, 3-D 그래픽 기술, 그리고 시물레이션 기술 등을 이용한 산불 정보 시스템 (FOFIS: Forest Fire Information System)의 설계 및 개발을 주 목적으로 한다. 이를 위하여, 첫째, 산림 전체를 동일한 크기의 셀로 분할한 격자형 가변구조 DEVS (Discrete Event System Specification) 모델링 및 시물레이션 방법론을 제안함으로써 산불 모델링을 보다 체계적으로 단순화시키고 계산상의 복잡성과 메모리의 문제를 효과적으로 해결하였고 둘째, 제안된 셀 기반 모델링 방법론을 산불 관련 정보들의 데이터 모델링 그리고 3-D 그래픽 처리를 위한 공간 정보 모델링에 일관성있게 적용함으로써 효과적인 산불 정보 시스템을 구축하였다.

<그림 1>은 구현된 산불 정보 시스템 (FOFIS: Forest Fire Information System)의 개념도를 보이는데, 산불 발생시 각종 센서들로부터 입력되는 데이터(발화지점, 범위 등)들과 산림청, 기상청, 그리고 관할 소방본부 등 관련 기관들로부터 얻을 수 있는 정보들을 이용하여 기상, 지형 및 산림정보 등의 산불 데이터 모델, 3-D 그래픽에 항공촬영 영상을 합성해 현실감을 제공하는 공간 정보 모델, 그리고 산불 동역학 모델 등이 초기화한 후 각각의 처리기(엔진)들을 통하여 다양한 산불 정보가 제공된다. 이를 위하여 그림2와 같이 셀 기반의 모델링 접근방법이 제시되고 구현되었다. 먼저 대상 산림지역을 셀별로 분할한 후, 첫째, 데이터 모델링으로서 각 셀을 기반으로 산불 정보 처리를 위한 산불 관련 정보들을 비교적 변화가 적은 지형정보와 산림정보, 그리고 변화가 심한 기상정보의 세 부분으로 분류하고 속성간의 관계를 고려하여 모델링한다. 둘째, 3-D 그래픽 처리를 위한 공간 정보 모델링으로서 GIS분야에서 많이 사용하는 DEM 모델[6]을 셀 기반으로 적용함으로써 기존의 DEM모델이 가지고 있는 단점을 수정 보완한 공간 정보 모델링과 셀별 텍스처 매



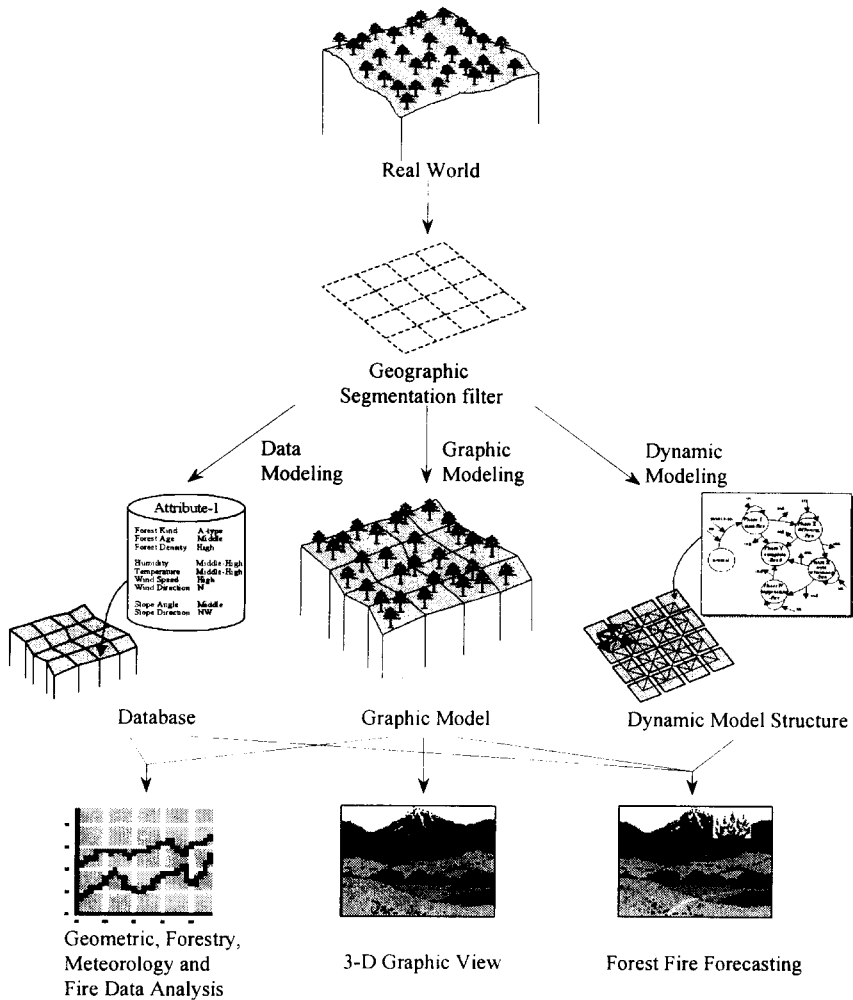
<그림 1> FOFIS 개념도

핑을 통하여 현실감 있는 그래픽 처리를 한다. 그리고 셋째, 산불 확산 시뮬레이션을 위한 동역학 모델링으로서 셀 단위의 풍속, 풍향, 경사도, 산림 밀도, 수종 등의 산불 확산에 영향을 주는 많은 벡터 값들에 따른 연소속도 및 불의 확산 양을 고려하여 격자형 가변구조 DEVS 모델링을 수행한다. 이러한 각 모델들은 산불 모니터링, 산림 정보, 기상 정보, 지형 정보, 가상 탐사, 그리고 산불 확산 예측 등 다양한 정보를 제공하는데 효과적으로 활용될 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존의 GIS에서 사용되는 공간 정보 모델링 개념과 산림지역 모델링을 위한 공간 정보 모델링 방법을 제시하며 3장에서는 산불에 관련된 각종 데이터 모델링 방법을 설명하고, 4장에서는 산불 확산 예측을 위한 동역학 모델링 기법이 제안되며, 끝으로, 5장에서 결론과 향후 연구방향에 대하여 논한다.

## 2. 공간 정보 모델링

GIS는 지구상에 존재하는 사물들을 지도로 제작하거나, 지구상에서 발생하는 사건들을 분석하는 도구로서[6] GIS를 구성하는 데이터는 공간정보와 속성정보로 나눌 수 있다. 지리적인 특성을 나타내는 공간정보는 좌표계로 표현되는 지리적 위치와 특성 사이의 공간적 관계로 나뉘어진다. 컴퓨터가 인식할 수 있는 공간 관계에는 기하학적 또는 위상학적인 관계가 있으며 이를 표현하는 모델로는 벡터(vector)와 래스터(raster) 모델이 있다[7]. 벡터모델은 지표 특징의 경계나 궤적이 일련의 점으로써 정의되며, 이들을 여러 개의 직선으로 연결시킴으로써 해당하는 지표 특징의 도형적 표현이 이루어진다. 각 점은 경위도 좌표계나 UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표계에서의 X좌표와 Y좌표를 표시하는 두개의 수치값으로 부호화된다. 한편, 래스터 모



<그림 2> 셀 기반 모델링 접근방법

델에서는 대상지역을 아주 작은 격자형 셀로 분할한 다음, 각 셀 안에 각 지점의 지표조건이나 속성을 기입하게 된다[7].

지리정보에 대한 표현은 2-D로 표현한 지도를 주로 사용하는데, 이 경우 3-D 지리 정보를 2-D로 표현하기 때문에 사용자가 쉽게 이해하기 어렵다. 이를 해결하기 위해서는 3-D 지형 모델링이 필요한데, 이것은 지형상에서 관측된 3-D 지형정보로부터 컴퓨터 그래픽스의 시각화 기법인 표면 모델링 기법을 이용하여 지형을 형상화하는 것을 말한다. 3-D

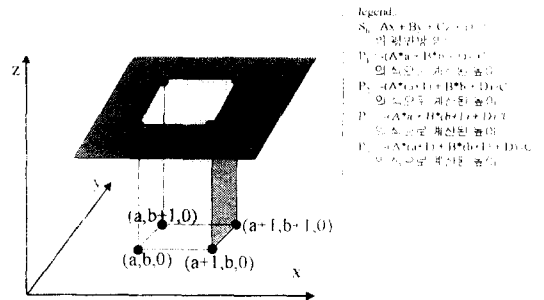
지형 모델링을 위한 3-D 지형자료로는 주로 수치고도모델(DEM: Digital Elevation Model)이 사용되는데, 이 방법은 사각형 격자(grid) 방법과 DEM 데이터에서 중요한 의미점(산꼭대기, 웅덩이, 계곡 등)을 추출하여 불규칙한 삼각망의 형태로 구성하는 TIN(Triangulated Irregular Network) 방법으로 구분된다. 사각형 격자 방법은 DEM 데이터에서 표현된 고도값들에 단순히 선형 보간법을 적용하여 3-D 지형을 모델링하므로 처리가 빠르고 간단하며 평지 모델링에 적합하다. 그러나 산악지형처럼 데이터

양이 많고 굴곡이 심한 지형의 특징을 정확히 표현하기 힘든 단점을 갖는다. 한편, TIN 방법은 DEM 데이터로부터 지형적으로 의미있는 위치의 점들만을 추출함으로써 지형의 모습을 사실적으로 표현할 수 있다는 장점을 가지고 있어 사실적인 지형 모델링 및 렌더링에 많이 사용되고 있으나, 데이터 양을 줄이기 위한 의미점 추출 과정이 필요하고 전처리 단계에서의 계산시간이 많이 소요되는 단점을 갖는다[8].



(a) 셀 'X'와 인접 셀 1, 2, 3

본 연구에서는 3차원 지형 데이터를 생성시키기 위해 DXF파일을 이용하고[9], 셀들의 비연속적인 부분을 생성시키기 위해 Bresenham 알고리즘을 적용하였다[10]. 또한, 3-D 지형 모델링은 처리속도가 비교적 빠른 DEM 방법을 기반으로 접근하였다. 그러나, 이 경우 산악 지형과 같이 데이터 양이 많고 굴곡이 심한 지형에 대해서는 인접한 셀들간의 높이의 차이에 의해서 불연속적인 표면이 형성되어 클리프(cliff)가 발생이 된다[8]. 이러한 클리프 현상은 인접한 셀간의 특정한 3개의 점을 연결하여 하나의 평면을 만들어 해결하는 것이 일반적이다[8]. 그러나 FOFIS 시스템에서는 각각의 셀 자체가 여러 가지 정보들을 담고 있기 때문에 삼각형을 이용해 클리프 현상을 제거하는 경우 셀의 정보들과 화면에 디스플레이가 1:1로 사상되지 않는 문제가 발생하게 되고 디스플레이하기 위한 셀의 개수가 실제 정보를 가진 셀의 개수와 비교하여 2배 증가하는 문제점을 가진다. 따라서, 본 연구에서는 인접한 셀들간의 높이 값을 통해 각각의 셀들의 기울기를 구함으로써 클리프 현상을 완화시키는 방법을 제안하였다. 이 방법에서, 각 셀들의 기울기는 3-D로 표현되는 셀의 상부 평면의 평면 방정식으로부터 유도된다. 여기서, 평면 방정식이란 공간 좌표계에서 (x, y, z)로 구성된 3개의 정점이 이루는 평면을 나타내는 방정식으로서, 그림3(a)와 같이 X평면이 이루는 셀의 기울기를 구하기 위해서는 인접한 3개 셀(1,2,3)의 정점에서 높이 정보를 추출하여 해당 셀의 평면 방정식으로 (<그림 3(b)>) 사용하였다.

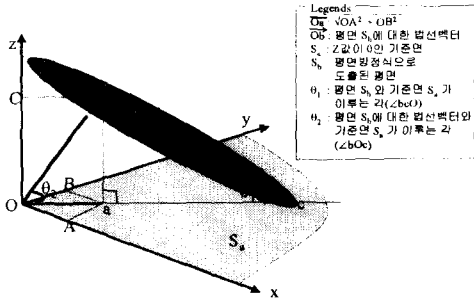


(b) 셀 'X'의 평면 방정식

<그림 3> 평면 방정식 도출방법

<그림 3>의 셀 'X'를 표현하기 위해서는 단지 'X'가 가지고 있는 높이 정보만으로 단순히 직육면체를 만들어 표현하는 것이 아니라, 인접 셀 1, 2, 3의 각 x, y, z 값을 바탕으로 그림4와 같이 평면방정식을 계산한 뒤, 이를 토대로 셀 X의 상부 평면이 갖는 방향과 기울기를 표현하는데, 이것은 평면방정식의 A, B, C, D 값을 통하여 얻을 수 있다. 즉, 라는 변수를 두어서 평면의 방정식으로 만들어지는 평면이 동서남북의 어느 방향으로 향해 기울어져 있는지, 또 평면의 논리적인 기준면, 즉 Z값이 0인 평면과는 얼마만큼의 기울기가 있는지를 구한다. 먼저,  $\theta = \tan^{-1}(B/A)$ 로써  $\theta$ 를 구하고, 일반적인 방향의 각 ( $0^\circ \sim 360^\circ$ )로 나타내기 위해서  $\theta = (180^\circ \times \theta) / \pi$ 에 의해서 각을 구한다. 이때, C값의 부호에 따라서 평면이 가지는 방향(direction)이 결정된다. 즉, C값의 부호에 따라서 평면이  $90^\circ$  쪽을 향해 기울어 있는지 또는  $270^\circ$  쪽을 향해 기울어 있는지를 정한다. 셀의 상부 평면이 기준면과 이루는 각도 또한

이미 구해진 평면방정식의 법선 벡터(A, B, C)를 이용하여 계산되어진다. 그림 4에서 보듯이 평면 방정식의 법선벡터 (A, B, C)를 이용해서 각을 구할 수 있다. 여기서,  $Oa$ 는 원점에서 평면까지의 벡터를 나타내고 평면과  $Oa$ 가 만나는 점을  $c$ 라 하면 구하고자 하는 각  $\theta_1$ 은  $\theta_2$ 를 구함으로써 알 수 있다.



<그림 4> 평면과 바닥이 이루는 각을 구하는 방법

이러한 셀 기반 모델링에 항공촬영을 통해 얻은 2D 영상의 텍스처 매핑을 이용해 재연한 3-D 그래픽 화면의 예가 <그림 5>에 있다. 그림은 정상복도 정도군의 산림지역 일부를 보이고 있는데, 여기서 각 셀의 크기는 실측면적 10m x 10m를 나타낸다. 그림에서와 같이 제안된 방법은 현실감 있는 그래픽

처리를 가능케 하여 산불 정보 시스템에 효과적으로 활용될 수 있다. 물론, 항공촬영 영상의 해상도 및 선명도를 높이고 셀의 크기를 더욱 작게 처리한다면 보다 높은 현실감을 제공할 수 있을 것이다.

### 3. 지형, 기상 및 산림정보의 데이터 모델링

산불 정보 처리를 위한 데이터 모델링 또한 셀 기반으로 표현이 가능한데, 각 셀이 갖는 속성정보로는 지형정보, 산림정보, 그리고 기상정보 등이 있다. 먼저 지형정보는 산불확산에 영향을 미치는 중요한 요소로서, 해당 지역의 경사도와 경사방향이 바람의 방향과 함께 결정적인 작용을 한다. 산림정보는 해당지역 산림의 특성을 통하여 산불과급의 영향력을 제시해 준다. 기상정보에는 풍향 및 풍속, 기온, 습도 등이 있는데, 이들은 산불확산에 필요한 산소 공급을 좌우하므로 연소율의 결정에 중요한 작용을 하게 된다[4]. 이러한 각 정보들은 요구 사항 분석에 의해 비교적 변화가 적은 지형정보 데이터베이스와 산림정보 데이터베이스 그리고 변화가 심한 기상정보 데이터베이스로 각각 구축되었으며 산림청 및 기상청으로부터 전반적인 데이터를 얻어오고 셀 단위의 세밀한 데이터는 지형데이터, 산림데이터, 기상데이터의 속성간의 관계를 통하여 얻는다. 각 셀에서의 온도는 (평지의 온도) - (고도 ÷ 셀이 받는 빛의 양) 이고, 풍향은 평지의 풍향이 각 셀의 경사



(a) 시점이 90° 인 경우



(b) 시점이 40° 인 경우

<그림 5> 공간 정보 모델링을 이용한 3-D 그래픽의 예

방향이 고려되어 변하고 또한 고도 및 현재 그 셀의 온도와 주변 셀들의 온도를 고려하여 유도되었다. 풍속은 다른 풍향과 마찬가지로 평지의 풍속이 셀의 경사방향이 풍향과 반대방향이면 경사도에 따라 풍속이 감소되며 고도 및 온도에 따라 풍속이 변화된다. 이러한 각 속성간의 관계는 향후 보다 많은 연구가 필요하며 각 속성값은 각각 <표 1>, <표 2>, 그리고 <표 3>과 같다.

FOFIS시스템은 1장에서 언급한 바와 같이 일선 소방서나 산림 사무소등에서의 활용도를 높이는 방향으로 설계되었다. 따라서 실행환경도 일반 PC의

Windows95환경에서 실행이 가능하도록 설계되었으므로 기상정보, 산림정보, 지형정보의 데이터베이스 역시 일반 PC에서 실행이 가능한 Access데이터베이스 엔진을 사용하였다. 이렇게 구성된 데이터베이스는 본 논문에서 실험적으로 적용한 경북 청도의 경우 약 2.5MB의 크기를 갖고, 각 데이터베이스에 저장된 레코드의 개수는 2장에서 설명한 공간정보 모델링시 공간을 분할한 셀의 개수와 동일한 크기를 갖는다.

<표 1> 지형정보 데이터베이스의 속성과 타입

속 성		타 입	비 고
위치정보	X	Integer	셀의 2차원 공간상의 x, y 좌표 값으로 기본키로 사용된다.
	Y	Integer	
위도		Float	셀의 위도를 갖는다
경도		Float	셀의 경도를 갖는다
고도		Integer	셀의 고도를 갖는다
경사도		Integer	셀의 경사도를 갖는다
경사방향		Float	셀의 경사방향을 갖는다
등산로 여부		Integer	등산로가 포함된 셀들을 구분하기 위해 사용된다
인공 설치물		String	셀 내의 인공 설치물 (가옥, 축사 등)이 포함되는가를 나타내는 속성으로, 화재 발생시 우선적인 방재 작업을 위해 사용된다.

<표 2> 산림정보 데이터베이스의 속성과 타입

속 성		타 입	비 고
위치정보	X	Integer	셀의 2차원 공간상의 x, y 좌표 값으로 기본키로 사용된다.
	Y	Integer	
수 령		String	셀 내의 수목들의 평균 나이에 대한 정보를 갖는다.
수 종		String	셀 내의 수목들의 평균 종류에 대한 정보를 갖는다
밀 도		Integer	셀 내의 수목들이 갖는 평균 밀도 정보를 갖는다.

<표 3> 기상 정보 데이터베이스의 속성과 라입 정보

속성		타입	비고
위치정보	X	Integer	셀의 2차원 공간상의 x, y 좌표 값으로 기본키로 사용된다.
	Y	Integer	
날씨		String	셀의 현재 날씨에 관한 정보. 즉 맑음, 흐림, 비 등의 정보를 갖는다.
온도		Float	셀의 현재 온도 정보를 갖는다.
습도		Float	셀의 현재 습도 정보를 갖는다.
바람	풍향	Float	셀의 현재 바람의 풍향, 풍속 정보를 갖는다.
	풍속	Integer	

#### 4. 산불 확산 예측을 위한 동역학 모델링

기존의 산불 확산 모델은 해석적 기법이나 통계적인 방법에 의존하여 시간적 모델링을 하지만 본 연구에서는 DEVS형식론을 통하여 시간적 모델링을 하였다. 이산 사건 모델링을 위한 DEVS(Discrete Event System Specification) 형식론은 Zeigler에 의해 제안되었으며 연속적인 시간상에서 이산적으로 발생하는 사건들에 대한 시스템의 동역학 모델을 표현한다[11]. DEVS 모델은 기본적으로 입력집합 X, 출력집합 Y, 상태집합 S, 시간진행함수  $ta$ , 외부적 상태전이함수  $\delta_{ext}$ , 내부적 상태전이함수  $\delta_{int}$ , 출력함수  $\lambda$  등으로 구성된다.

$$M = \langle X, Y, S, ta, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda \rangle$$

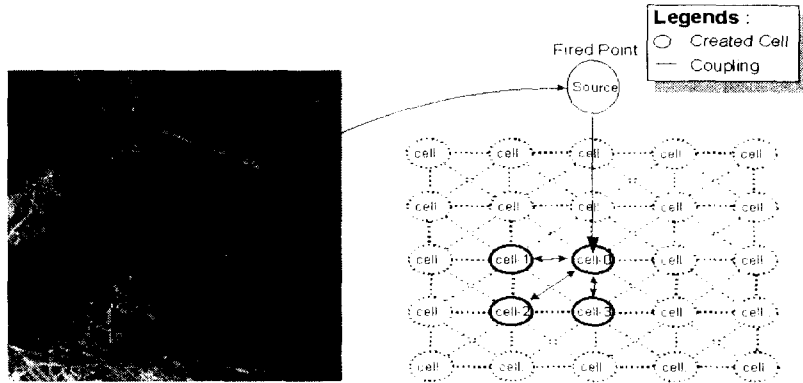
역시 Zeigler에 의해 제안된 cellular DEVS [11,12] 모델은 셀 기반의 동역학 모델링의 구현에 용이성을 제공하고 있으나, 고정된 수의 셀 모델을 이용하는 고정구조 방법을 사용함으로써 계산상의 복잡성 및 메모리상의 부담을 안고 있는 단점이 있다. 이를 위해, 본 연구에서는 가변구조 DEVS 모델링을 제안함으로써 셀 모델의 단일화된 결합과 고정된 결합관계를 가변 결합과 유연한 결합관계로 확대할 수 있었다. 가변구조 모델링은 입/출력 결합방법을 이

용하여 시뮬레이션 진행동안에 시뮬레이션 모델의 출력 요구에 따라 시뮬레이션 모델 구조를 임의로 변경시킬 수 있어서, 즉, 모델들의 생성 및 삭제를 시뮬레이션 진행중에도 유연하게 조절함으로써, 모듈화 모델링의 구조적인 장점을 극대화할 수 있다. 예를 들면, 셀 하나가 그와 결합된 인접 셀들에 미치는 영향력은 자신의 동역학적 행위의 결과에 의해 결정되어지며, 이러한 기능은 셀 모델 설계에서 너무나 유연성과 효율성을 제공할 수 있다[13]. 가변구조 모델링의 알고리즘은 다음과 같이 요약된다.

- (1) 셀 모델링 및 모델베이스 구축.
- (2) 외부로부터의 입력사건에 의해서 최초의 셀이 생성 (산불 발생).
- (3) 생성된 셀들의 동역학적 행위의 결과로 인접 셀들이 생성 (주변 셀 모델들을 메모리에 로드시킴).
- (4) 셀간의 coupling과 상호작용 (산불이 번짐).
- (5) 생성된 모든 셀들의 행위가 종료될 때까지 3, 4를 반복.

산불 확산 예측을 위한 시뮬레이션 모델은 산불 발생시 발원지가 되는 Source 모델과 단위 지역별 동역학을 나타내는 Cells 모델로 구성된다. <그림 6>은 가변구조 모델링을 이용한 cellular DEVS 모델링 방



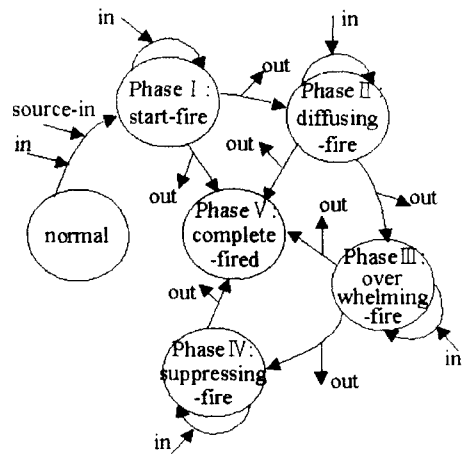


<그림 6> 가변구조를 이용한 산불 확산 모델링

법을 나타낸다. 여기에서 Source에 의해 산불이 전달되어지는 Cell-0모델이 가변구조에 의해 최초로 생성되어진다. 이어서, Cell-0는 시간경과에 따른 자신의 상태 변환에 따라 다시 인접한 Cell-1, Cell-2, Cell-3에게 산불을 출력(인접 지역으로 산불이 번짐)시킬 수 있으며, 이때 비로서 Cell-1, Cell-2, Cell-3가 생성되어 Cell-0와 결합되어 새로운 시뮬레이션 모델 구조로 변환된다.

각 셀 모델에 대한 상태전이도는 <그림 7>과 같다. 셀 모델은 자신이 갖는 불의 양과 상태에 따라 인접한 셀들과의 지속적인 상호관계 속에서 상태 변환을 일으킨다. 즉, 각 셀은 인접 셀들로부터의 입력과 자신의 상태에 따라서 연소속도와 인접 셀로의 불의 확산 양이 결정되고 그에 따라 인접 셀들로 출력을 보내게 된다. 셀 모델이 갖는 상태 집합에는 초기 상태인 normal상태와 연소의 정도에 따라 5단계의 연소 상태를 갖는 것으로 모델링하였다. 즉, normal(산불이 번지지 않은 정상상태), start-fire(산불이 일부 번진 상태), diffusing-fire(산불이 확산되는 상태), overwhelming-fire(산불이 최고조에 달한 상태), suppressing-fire(산불이 약해지는 상태), 그리고 fired(산불이 진화된 상태) 등 5단계의 상태로 표현된다. 셀 모델의 상태 변화에 영향을 미치는 변수들에는 풍속, 경사도, 습도, 화력, 온도, 산림밀도, 수령, 수종 등이며, 각 변수는 그 값에 따라 각각 High, Middle-High, Middle, Middle-Low, 그리고

Low의 5레벨로 나뉘어지고 각 변수들은 산불 확산에 미치는 영향력에 따라서 각각 고유의 가중치가 부여된다. 셀 모델의 연소속도와 인접 셀로 확산되는 산불의 양은 (풍속의 Level × 가중치1) + (경사도의 Level × 가중치2) + ... + (수종의 Level × 가중치n)로 얻어진 값에 풍향과 경사방향과의 관계가 함께 고려되어서 결정된다[3]. 이러한 관계식은 향후 보다 정확한 실험 데이터를 근거로 확장 보완되어야 할 것이다.



<그림 7> 셀 모델의 상태전이도

&lt;표 4&gt; 산불 시뮬레이션 궤적

Simulation Clock	Activated Cell (state)
00 : 00	Cell-5050(fire)
00 : 10	Cell-5050(start-fire)
00 : 18	Cell-4949(start-fire), Cell-4950(start-fire), Cell-4951(start-fire), Cell-5049(start-fire), Cell-5050(diffusing-fire), Cell-5051 (start-fire), Cell-5149 (start-fire), Cell-5150(start-fire), Cell-5151(start-fire)
00 : 20	Cell-4949(start-fire), Cell-4950(start-fire), Cell-4951(start-fire), Cell-5049(start-fire), Cell-5050(diffusing-fire), Cell-5051 (start-fire), Cell-5148 (start-fire), Cell-5149(diffusing-fire), Cell-5150(start-fire), Cell-5151(st art-fire), Cell-5248(start-fire), Cell-5249(start-fire)
:	:
01 : 00	Cell-4546(start-fire), Cell-4547(start-fire), Cell-4548(start-fire), Cell-4549(start-fire), Cell-4550(start-fire), Cell-4551 (start-fire), Cell-4646(sta rt-fire), Cell-4647(diffusing-fire), Cell-4648(diffusing-fire), Cell-4649(di ffusing-fire), Cell-4650 (diffusing-fire), Cell-4656(start-fire), Cell-4745 (start-fire), Cell-4746(diffusing-fire), Cell-4747(overwhelming-fire), : : Cell-5550(diffusing-fire), Cell-5551(start-fire), Cell-5552(start-fire), Cel l-5553(start-fire), Cell-5646(start-fire), Cell-5647(start-fire), Cell-5648 (start-fire), Cell-5649(start-fire), Cell-5650(start-fire), Cell-5651(start-f ire)
:	:



&lt;그림 8&gt; 시간대별 확산 예측 화면

경상북도의 청도 지역을 대상으로 가상의 산불 발생을 설정하여 시간에 따른 확산 영향에 대한 시뮬레이션 테스트 결과는 표4와 같으며 FOFIS에서는 그림8과 같은 화면으로 나타난다. 표4에서 보듯이, 시뮬레이션 모델은 현재 산불이 번져있는 셀 모델들(activated model)을 중심으로 가변구조 방법에 의해 접근되어, 시간경과에 따른 산불 확산의 영향으로 점차 다수의 셀 모델들로 시뮬레이션이 진행되는 것을 알 수 있다. 여기서는 북동방향의 풍향과 강한 풍속이 주어진 경우, 기상 및 산림 조건에 따라 산불이 발화 지점으로부터 확산되는 과정을 주요 시간대 별로 보이고 있다.

## 5. 결론

본 논문은 산불 화재 사고의 효과적 대처를 위하여, GIS 기술, 데이터베이스 기술, 3D 그래픽 기술, 그리고 시뮬레이션 기술 등을 이용한 산불 정보 시스템의 설계 및 개발을 주 목적으로 수행하였다. 기존의 산불 정보 시스템들이 대부분 해석적 기법에 의존하는데 비해 본 연구는 산악지형을 셀 단위의 공간으로 분할하고, 셀간의 결합관계는 가변구조를 적용함으로써 시스템 설계상의 효율성과 유연성을 제공한다. 또한 격자형 공간 모델링 및 시뮬레이션을 적용함으로써, 산불 발생시 산불 확산에 영향을 미치는 각종 벡터 변수 값들과 지형 정보를 기반으로 산불의 확산 분포를 예측함과 동시에 확산에 영향을 주는 많은 벡터 값들의 모니터링 정보 등을 제공함으로써 산불예방 및 진화에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구 결과는 향후, 종합 GIS, 기상 데이터베이스, 인공위성 그리고 초고속정보통신망 등을 연계하여 일선 소방서, 산림청, 관련 정부기관 등에서 직접적으로 활용할 수 있을 것이며, 소방 전문가 시스템과의 통합연구를 통하여 지능적 GIS 시스템으로도 활용 가능할 것이며, 기타, 기름유출에 의한 해양환경 오염 및 유독물 누출에 의한 대기오염 문제 등 유사 연구에 직접적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 현 시스템이 갖는 근본적 문제점으로는 셀의

개수가 증가할수록 시뮬레이션 및 화상처리 시간 등 성능 저하 문제를 들 수 있으나, 경상북도 청도 일대에 행한 사례연구 및 평균 산불 발생 규모 등을 고려할 때 큰 문제는 없을 것으로 판단된다. 따라서, 향후의 연구방향으로는 검색 또는 질의처리에 대한 성능 강화를 위한 공간 색인이나 공간 질의 등에 관한 연구가 필요하며 산불 확산에 영향을 미치는 각종 벡터들간의 상호작용이 산불 확산에 어떠한 영향을 줄 것인가에 대한 지리학적, 환경공학적, 그리고 기상학적 접근을 기반으로 하는 구체적인 산불 동역학 모델링 연구를 들 수 있다.

## 참고문헌

- [1] 박은경, GIS를 이용한 산불 확산 모델링, 서울대학교 지리학과 석사학위논문, 1996.
- [2] Coleman, J.R. and A.L. Sullivan, A real-time computer application for the prediction of fire spread across the Australian landscape, *SIMULATION*, 1996.
- [3] Ricci, F., A. Perini, and P. Avesani, Building first intervention plans: the forest fire case, *Proc. of AIRIES (Artificial Intelligence Research in Environmental Science)*, Mississippi, Nov, pp. 14-17, 1994.
- [4] 이시영, 정연하, 이봉수, 수치지형자료를 이용한 산불의 연소유형 분석, *산림과학논문집 Vol. 53*, pp. 186-193, 1996.
- [5] F.E. Cellier, *Continuous System Modeling*, Springer Verlag, 1991.
- [6] Nabil R. Adam, Aryya Gangopadhyay, *Database Issues in Geographic Information Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [7] 정선태, 유철중, 장옥배, 홍성태, 정병열, 소방용 급지령시스템을 위한 GIS의 설계 및 구현, *정보과학회 98 춘계학술 발표 논문집, Vol. 25 No. 4*, pp. 77-79, 1998.
- [8] Tomlin, C.D., *Geographic Information System*

and Cartographic Modeling, Prentice Hall, 1990.

- [9] Keith Rule, 3D GRAPHICS FILE FORMATS: A PROGRAMMERS REFERENCE, ADDISON-WESLEY, 1996.
- [10] Donald Hearn & M.Pauline Baker, COMPUTER GRAPHICS, Prentice Hall, 1994.
- [11] Zeigler, B.P, *Object-Oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models*, Academic Press, 1990.
- [12] Zeigler, B.P, *Multifaceted Modeling and Discrete Event Simulation*, Academic Press, 1984.
- [13] Cho, T.H. and Chi, S.D., Name-directed coupling applied to cellular model: river pollution example, *Proc. on MODSIM 95*, Newcastle, Australia, Oct, 1995.

## 부록. FOFIS : 산불 정보 시스템

경상북도 청도군의 산림지대의 지형데이터를토대로 공간 정보 모델링, 산불에 관련된 각종 데이터 모델링을 수행하여 지형, 기상, 산림 등의 데이터베이스 정보와 함께 산불 확산 예측 정보의 효과적인 제공이 가능한 산불 정보 시스템을 구현하였으며 주요 특징은 다음과 같다.

**산불 모니터링 정보 제공** : 산불 발생시 산불 상황 모니터링 정보를 제공하고 원하는 지역에 대하여 셀 단위로 산림, 기상, 지형 정보를 제공한다(그림 9(a)(b))

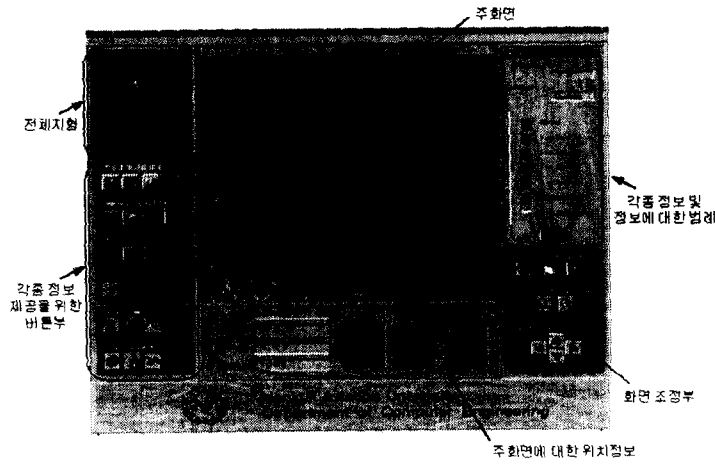
**산림 정보 제공** : 해당지역의 산림의 밀도를 3D 그래픽을 통하여 제공하고(그림 9(c)) 수종 및 수령 또 한 3D 그래픽을 이용하여 정보를 제공한다.

**기상 정보 제공** : 기상청으로부터 얻어온 현재의 날씨 정보를 제공하고(그림 9(d)) 풍향 및 풍속별 3D 그래픽 정보(그림 9(e)), 온도별 3D 그래픽 정보, 그리고 습도별 3D 그래픽 정보를 제공한다.

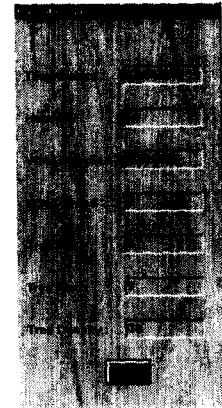
**지형 정보 제공** : 지형데이터로부터 얻은 산림의 등고선별 3D 그래픽 정보를 제공하고 등산로별 3D 그래픽 정보(그림 9(f)), 가옥별 3D 그래픽 정보를 제공한다.

**3차원 그래픽을 이용한 가상 답사** : 3차원 그래픽으로 산림지역을 재연하고 zoom-in, zoom-out 기능, 다양한 view-point를 제공함으로써 원하는 지역을 현실감있게 볼 수 있다(그림 9(g)).

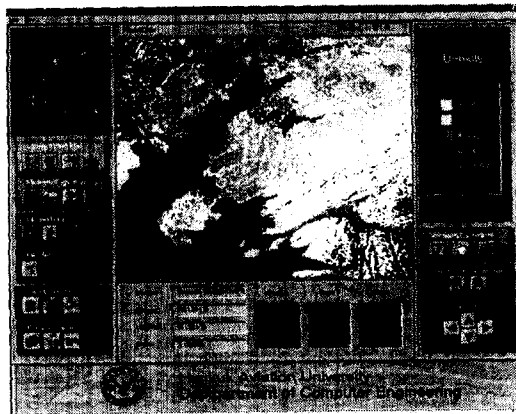
**산불확산 예측** : 다양한 조건으로 시물레이션이 가능하며 시간대별 예측정보를 제공함으로써 산불 진화에 효과적으로 적용할 수 있다(그림 9(h)).



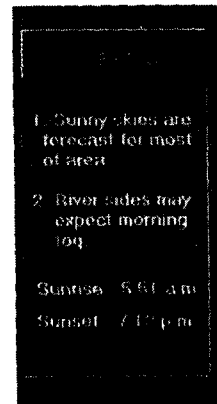
(a) 산불상황



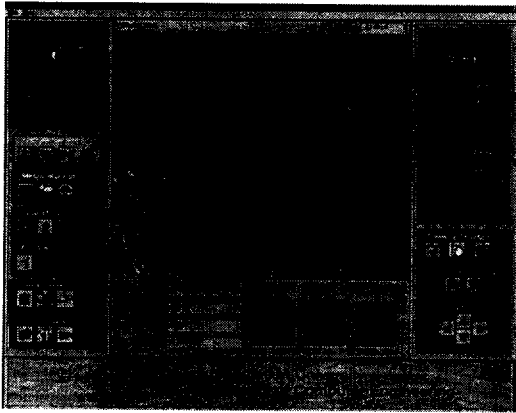
(b) 해당 지역별 산림, 기상, 지형 정보



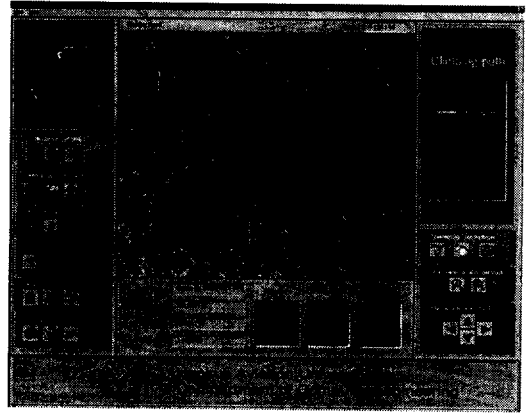
(c) 산림 밀도별 3D 그래픽 정보



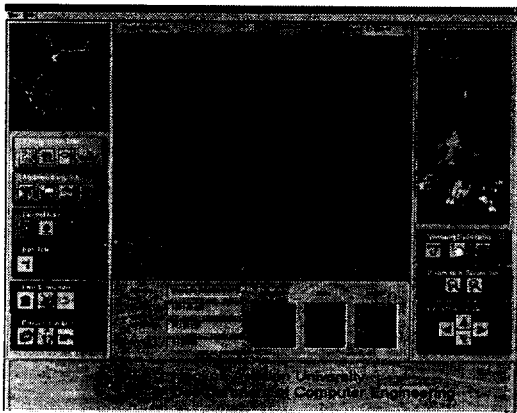
(d) 날씨 정보



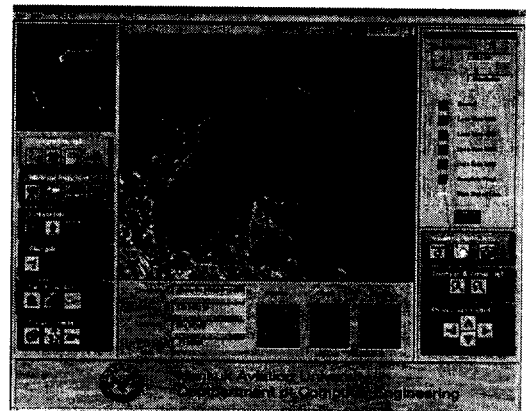
(e) 풍향 및 풍속별 3D 그래픽 정보



(f) 등산로별 3D 그래픽 정보



(g) 다양한 view-point



(h) 시간대별 산불확산 예측 정보

<그림 9> FOFIS의 화면 예

● 저자소개 ●



지승도

1982년 연세대학교 전기공학과 전기공학 공학사  
 1984년 연세대학교 대학원 전기공학과 제어공학 공학석사  
 1985~86년 두산 컴퓨터(현 한국 디지털) 근무  
 1991년 미국 아리조나대학교 전기전산공학과 컴퓨터공학 공학박사  
 1991~92년 미국 SIMEX Systems and S/W 회사 S/W담당  
 자로 근무  
 1992~현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 부교수  
 관심 분야 : 지능시스템 디자인 방법론, 교통모델링, 모델기반 추론, 이산사건  
 시스템 모델링 및 시뮬레이션, 시뮬레이션 기반 인공생명 등임



황수찬

1984년 서울대학교 전자계산기공학과 공학사  
 1986년 서울대학교 전자계산기공학과 공학석사  
 1991년 서울대학교 컴퓨터공학과 공학박사  
 1995. 8~1996. 7 미국 캘리포니아 주립대학 전기 및 컴퓨터공학과 방문교수  
 1991년~현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 부교수  
 관심분야 : 데이터베이스 시스템, 객체지향 시스템, 멀티미디어 시스템



이종근

1996년 한국항공대학교 전자계산학과 이학사  
 1998년 한국항공대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사  
 1998년~현재 한국항공대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정  
 관심 분야 : 지능시스템 디자인 방법론, 교통모델링, 이산사건 시스템 모델링  
 및 시뮬레이션, 자치적 능동 방어시스템 등임



이장세

1997년 한국항공대학교 전자계산학과 이학사  
 1999년 한국항공대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사  
 1999년~현재 한국항공대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정  
 관심분야 : 지능시스템 디자인 방법론, 교통모델링, 이산사건 시스템 모델링  
 및 시뮬레이션, 시뮬레이션 기반 인공생명 등임



이기준

1997년 한국항공대학교 전산학과 이학사

1999년 한국항공대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사

1999년~현재 한국교육개발원 교육통계DB관리자로 재직중

관심분야 : 이미지 데이터베이스, 그래픽 데이터베이스, 3-D Graphics 등임



박재민

1998년 한국항공대학교 전자계산학과 이학사

1998년~현재 한국항공대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정

관심 분야 이미지 데이터베이스, 지리정보시스템, 웹 데이터베이스 등임



김용환

1998년 한국항공대학교 전자계산학과 이학사

1998년~현재 한국항공대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야 : 지리정보 시스템, 이미지 데이터베이스, 웹 데이터베이스 등임