

## 산불 진화 전문가 시스템 설계 방법론

임예환, 이장세, 이종근<sup>o</sup>, 지승도  
지능시스템 연구실  
한국항공대학교 컴퓨터공학과  
경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1  
Tel : 02-3158-4866  
E-Mail : leejk@mail.hangkong.ac.kr

### Design Methodology for Forest Fire Extinguishment Expert System

Ye-Hwan Lim, Jang-Se Lee, Jong-Keun Lee, Sung-Do Chi  
Intelligent Systems Research Lab  
Department of Computer Engineering  
Hankuk Hangkong University.

본 연구는 산림, 기상, 지형, 소방 정보 등을 토대로 최적의 산불 진화 전략 수립을 위한 산불 진화 전문가 시스템의 설계 방법론 제시를 주목적으로 한다. 기존의 산불 정보 시스템들은 GIS 데이터와 기상 관련 데이터, 산불 발생 지점에 대한 지형 데이터를 이용하여, 산불 확산에 따른 피해 정도 및 확산 범위의 예측을 목표로 접근하고 있다. 그러나, 이를 활용하여 최적의 진화 전략을 생성시킬 수 있는 연구는 아직까지 제시된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 기존의 산불 정보 시스템을 기반으로 이산 사건 모델링 및 시뮬레이션 기법, 규칙기반 SES (RUSES: Rule-based System Entity Structure), 그리고 유전 알고리즘 등을 이용하여 최적의 산불 진화 전략을 생성할 수 있는 산불 진화 전문가 시스템의 설계 방법론을 제안한다.

#### 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, 정보화를 이용한 체계적인 접근이 요청되고 있다.

산불 확산 예측을 위한 연구는 초기의 경험적 접근으로부터 시작하여 활발한 연구가 진행되어 미니 컴퓨터에서 수행되는 최초의 산불 확산 예측 시스템인 BEHAVE가 미국에서 개발된 바 있으며[1], 이보다 한 단계 진보하여 산불 상황의 평가를 중심으로 한 CHARADE 시스템이 이태리에서, 그리고 SIROFIRE 시스템이 호주에서 각각 개발되었고[2], 이러한 시스템들이 갖는 2-D 그래픽 중심의 공간정보와 해

석적 기법에 의존하는 산불 확산 예측 방법을 보완하여 적자형 가변구조 DEVS 모델링[3] 및 시뮬레이션 방법론을 적용한 산불정보시스템(FOFIS : Forest Fire Information System)이 본 연구진에 의해 개발된 바 있다[4,5]. 그러나, 이들 시스템을 활용하여 최적의 진화 전략을 생성시킬 수 있는 연구는 아직까지 제시된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 기존의 산불 정보 시스템을 기반으로 이산 사건 모델링 및 시뮬레이션 기법, 규칙기반 SES(RUSES)[3,6], 그리고 유전 알고리즘[7,8] 등을 이용하여 최적의 산불 진화 전략을 생성할 수 있는 산불 진화 전문가 시스템의 설계 방법론을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 기존의 산불 정보시스템 개요에 대하여 설명하며, 3장에서 진화전문가시스템의 개발 방법론을 제안하고, 4장에서 제안된 방법론의 검증, 그리고 결론 및 향후 연구방향을 각각 논한다.

#### 2. 산불정보시스템(FOFIS) 개요

본 연구진에 의해 개발 완료된 산불정보시스템(FOFIS)[4]은 그림1과 같이 각종 센서들로부터 입력되는 데이터(발화

지점, 범위 등)들과 관련 기관들(산림청, 기상청, 관할 소방본부)로부터 얻을 수 있는 정보들을 토대로 기상, 지형 및 산림정보 등의 산불 데이터 모델을 구축하고, 3-D 그래픽에 항공촬영 영상을 합성해 현실감을 제공하는 공간 정보 모델, 그리고 산불 동역학 모델 등을 구축한 후 각각의 처리기(엔진)들을 통하여 다양한 산불 정보를 제공한다[4].

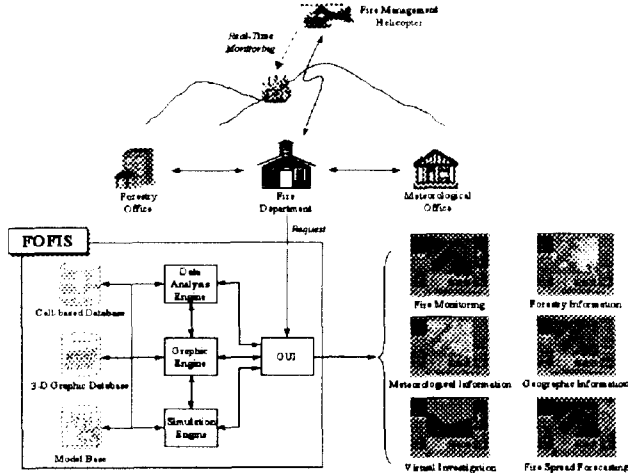


그림 1. 산불정보시스템 개념도

산불정보시스템(FOFIS)은 기존의 산불 정보 시스템들이 대부분 해석적 기법에 의존하는데 비해, 산악 지형을 cell 단위의 공간으로 분할하고, cell 간의 결합관계에 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 산불 예방 및 진화에 효과적으로 적용할 수 있다[4,5].

### 3. 진화 전문가 시스템 4단계 개발 방법론

그림2는 제안된 산불 진화전문가시스템(FOFES: Forest Fire Expert System)과 기 개발된 산불정보시스템(FOFIS) [4]과의 통합 환경을 보이고 있다. FOFES는 FOFIS에서 제공하는 산림, 기상, 지형, 소방 정보들과 시뮬레이션을 통한 산불 확산 예측 정보들을 토대로 피해 규모 및 정도를 추정한 뒤, 가용한 진화 장비 및 인력을 토대로 RUSES[6]를 이용하여 최적의 소방팀을 구성한다. 구성된 각 소방팀의 작업위치, 내용, 시간 등은 유전 알고리즘의 유전자 정보로 매핑되고, 시뮬레이션 검증을 이용한 진화론적 선택과정을 통해 최적의 진화전략이 수립된다.

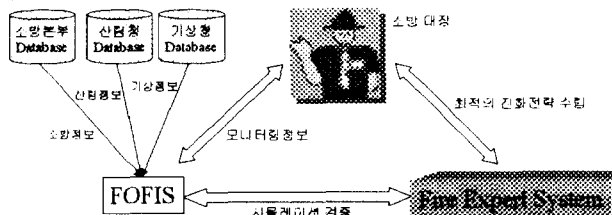


그림 2. 산불정보시스템(FOFIS)과 통합된 진화전문가시스템(FOFES) 개념도

그림3은 진화전문가시스템을 위한 4단계 방법론을 제시하고 있다. 1단계는 GIS 및 기상 정보를 이용하여 산불 발생 지역에 대한 지리학적, 기상학적인 방재 우선순위와 작업위험도를 추정하는 단계이며, 2단계는 1단계를 토대로 소방 활동에 필요한 가용 장비와 인력 등의 자원 할당 단계이며, 3단계는 유전 알고리즘을 이용한 진화 전략 수립 단계를 말한다. 이 단계에서 진화론적 선택을 위해 시뮬레이션 검증이 사용된다. 마지막으로 4단계는 생성된 진화 전략의 최종적 검토를 통한 최적화 단계이다.

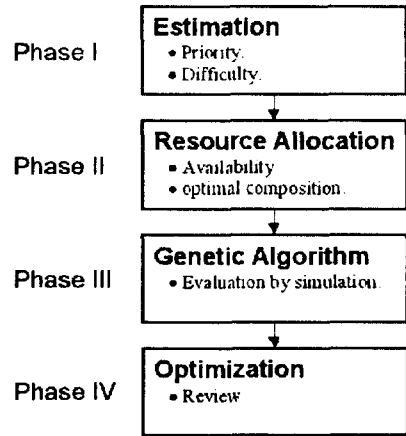


그림 3. 진화전문가시스템 개발 방법론

#### 3.1 1단계 : 방재 우선순위와 작업위험도 추정

진화전문가 시스템을 위한 4단계 방법론중 1단계는 GIS 및 기상 정보를 이용하여 산불 발생 지역에 대한 지리학적, 기상학적인 방재 우선순위와 작업위험도를 추정하여, 소방팀의 작업 투입 예상 위치를 구하기 위한 셀별 작업기대치를 산출하는 단계이다. 작업기대치는 산불 발생 지역의 전 지역 중에서 진화 작업을 위하여 우선적으로 소방팀이 투입 되어야 할 지점이 어디인지 알기 위해 사용하는 값으로써, 각 셀의 소방 작업 투입 우선순위가 되며, 이는 2단계인 자원 할당 단계에서 제약조건으로 이용되고, 3단계인 진화 전략 수립 단계에서 소방팀의 작업 지역, 내용, 시간을 산출할 때, 유전자 알고리즘의 사전지식으로 사용된다.

방재 우선순위와 작업위험도를 산출하는 방법은 GIS 데이터와 기상 정보, 산불 방재에 대한 전문 지식을 이용한다. GIS 데이터 적용의 예는 급경사인 지역에서 산불의 진행속도가 평지에서 발생한 것보다 빠르기 때문에 작업위험도가 높아지고, 가옥이 있는 지점은 전기 시설, 수도 시설 및 소방도로와 같은 시설이 있으므로, 작업위험도는 낮아지고, 우선순위가 높아지는 방식으로 적용된다. 또한, 숲의 경우에는 수목의 수령이 높으면, 낙엽과 수목의 죽은 가지처럼 함수량이 낮은 가연물질이 많고, 뽕뽕히 자란 수목들로 인하여 진화 작업에 어려움이 있으므로, 작업위험도는 올라가는 방식으로 적용된다. 기상 정보 적용에 대한 예도 마찬가지로, 풍속이 세거나, 고도가 높으면 작업위험도는 올라가고, 습도가 높으면 내려가는 방식의 적용이 가능하다[9,10]. 이와 같이 산출된 우선순위와 작업위험도를 이용하여 셀별 작업기대치를 산출한다. 이 작업기대치는 소방팀의 투입 위치를 산정하는데 필요한 값으로, 산출 방식은 우선순위에 작업위험도를 뺀 결과이다. 그림4는 셀별 작업기대치가 부여된 것을 보이고 있다. 예를 들어, 셀(122,130) 지점은 방재 우선순위와 작업위험도의 차가 37이므로, 방재작업팀이 투입될 경우의 작업기대치가 37이다.

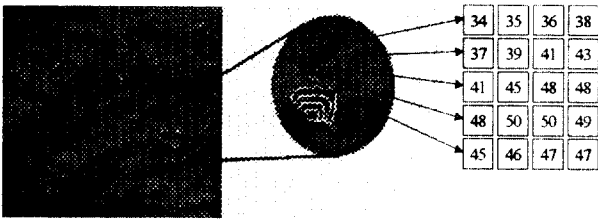


그림 4. 각 셀별 작업기대치 표현 3.

2.2단계 : RUSES를 이용한 자원할당

Zeigler에 의해 제안된 System Entity Structure (SES)는 구성원들의 분할, 분류, 결합관계, 제약조건 등을 표현할 수 있는 구조체로서, entity, aspect(분할), 그리고 specialization(분류)이라는 3가지 모드로 구성된다[3].

본 연구에서는 기존의 SES에 합성용 규칙기반 전문가시스템 방법론을 통합한 RUSES 방법론[6]을 이용하여 소방활동에 필요한 가용장비와 인력 등의 자원할당(Resource Allocation) 단계에 적용하여 산불 진화 작업에 적절한 팀 구성안을 도출하였다.

그림5는 진화전문가시스템의 자원 할당에 사용되는 SES 구조를 보이고 있다. 이 구조는 산불 진화자원에 관한 모든 가능한 구성을 표현한다. 여기서 분할노드를 가진 entity는 합성 규칙들을 갖으며, 분류노드를 가진 entity는 종류별 선택 규칙들을 갖음으로써, 해당 속성값(제약조건)의 부여시 최적의 구성안이 제시될 수 있다.

그림 6은 RUSES 적용의 결과 예를 보이고 있다. 그림 6(a)는 SES 구조에 산불 발생 지역의 작업위험도가 높고 산불의 규모가 소형이라는 등의 규칙집합을 적용한 이후 pruning과 cutting 과정을 거친 결과이고, 그림6(b)는 그 결과로써 출력될 수 있는 자원 할당의 결과이다. 그림에서 산불 진화 작업을 위하여 두명의 진화 전문가(산불진화 전문가와

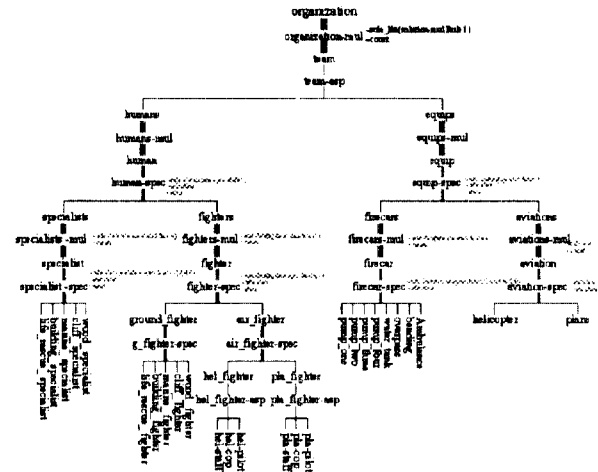
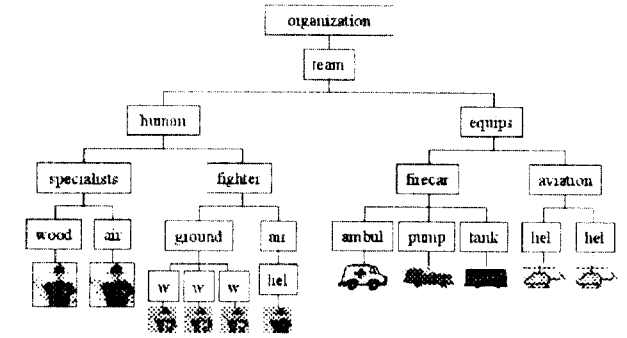


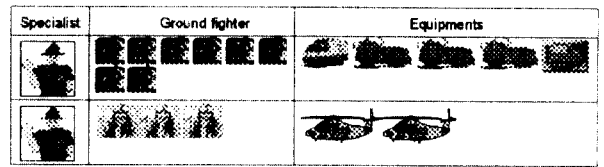
그림 5. SES 구조

항공진화 전문가)와 다수의 소방팀, 항공팀 및 장비들이 할

당되었음을 알 수 있다.



(a) Pruned Entity Structure



(b) 개념도

그림 6. RUSES의 결과 예

3.3 3단계 : GA를 이용한 진화전략 수립

유전자 알고리즘은 확률적 탐색이나 학습 및 최적화를 위한 기법으로 생물적진화의 원리를 기본으로 하고 있다. 유전자 알고리즘은 기본적으로 염색체의 생성, 적합성 검토, 선택, 유전자 조작의 4과정을 가진다[7,8].

진화 전략 수립단계에서의 유전자 알고리즘은 초기 염색체 생성 과정에서 각 소방팀이 행할 수 있는 작업 내용을 유전자로하는 염색체들을 무작위 생성한 후, 소방팀이 바람직한 위치에 배치되었는지, 보유한 작업 도구와 지형을 비교하여 적절한 작업 종류가 산정되었는지 등을 적합성 검토를 통하여 진화하는 방식으로 적용된다.

**생성:** 진화전문가시스템에서 사용되는 염색체의 구성은 그림7과 같다. 한 염색체의 구성은 유전자의 집합으로써, 한 염색체는 n개의 유전자로 구성된다. 위쪽의 염색체 개수 n은 2단계 자원 할당으로부터 넘어온 n개의 팀을 나타낸다. k번째 유전자는 전체 n개의 팀 중 k번째 팀의 정보를 가지고 있다. 한 팀의 정보를 나타내는 하나의 유전자는 팀의 작업위치(working\_area), 작업내용(working\_kind), 작업시간(duration), 그리고 해당 팀의 효율(efficiency) 값을 가지는 네 개의 필드로 나누어져 있다.

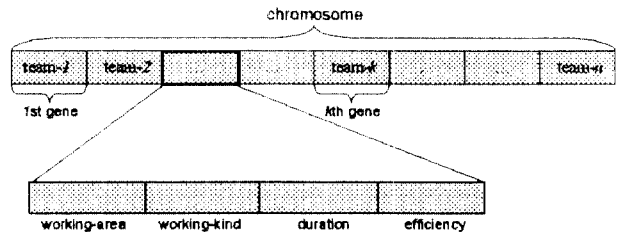


그림 7. 염색체와 유전자의 구성

**적합성검토:** 이와 같이 구성된 염색체를 이용하여 유전자 알고리즘의 두 번째 과정인 염색체의 적합성 검토에 들어간다. 진화전문가시스템(FOFES)에서는 다음과 같이 크게 두

가지로 나누어진 적합성 검토 방법을 이용한다.

- (1) 진화전문가시스템 자체의 적합성 검토
- (2) 산물정보시스템의 시물레이션을 통한 적합성 검토

진화전문가시스템 자체의 적합성 검토를 통하여 일정 세대의 진화 과정을 거친 후, 어느 정도 그 적합성이 입증된 염색체만을 FOFIS의 시물레이션에 입력한다.

진화전문가시스템 자체의 적합성 검토 과정은 다음과 같은 방법을 가진다. 1단계의 결과인 셀별 작업기대치와 2단계 결과인 소방팀 구성안, 그리고 산물정보시스템에서 넘어온 산물 관련 정보 및 GIS 정보, 기상정보를 이용하여 각 소방팀의 효율을 구한 후, 소방팀들의 효율을 합산하여 염색체 하나의 적합성을 구한다. 각 소방팀의 효율은 소방팀이 화재 진화 작업을 위한 적절한 위치에 배치되었는가, 작업 종류는 알맞게 선정되었는가, 작업 시간은 무리없이 설정되었는가에 따라 결정된다.

**선택:** 이상의 과정을 통해 산출된 염색체들의 적합성을 이용하여, 다음 세대로 이어질 염색체들을 선택하는데, 높은 적합성을 가지는 염색체는 다음 세대에서도 살아남을 수 있도록 그대로 진화하고, 상대적으로 낮은 적합성의 염색체는 교배(crossover), 돌연변이(mutation) 등의 유전자 조작이 적용되거나, 도태된다.

**유전자조작:** 유전자 알고리즘의 네 번째 과정인 유전자 조작 과정은 각각 그림8, 그림9에서 설명된다.

그림8의 교배 조작은 모든 염색체 전체를 대상으로 하며, 각 염색체 유전자의 효율을 비교하여, 상대적으로 높은 효율을 가지는 유전자를 높은 적합성을 가지는 염색체에 넣고, 상대적으로 낮은 효율을 가지는 유전자를 낮은 적합성을

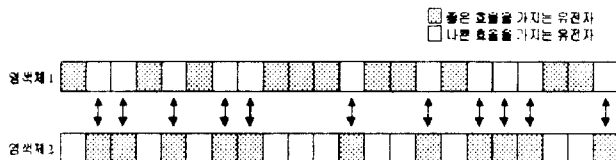


그림 8. GA Operation : Crossover

가지는 염색체에 넣는다. 이러한 교배 조작은 다중 선택 교배이다[8]. 이런 과정을 거치면, 높은 효율을 가지는 유전자로만 이루어진 염색체군과 낮은 효율을 가지는 유전자들로 이루어진 염색체군을 얻을 수 있다. 하지만, 이러한 교배 방법만을 사용할 경우, 이미 생성된 유전자들 사이에서만 교배가 이루어지므로 새로운 변종의 유전자를 얻지 못한다. 전혀 새로운 염색체의 생성은 돌연변이 조작을 통한

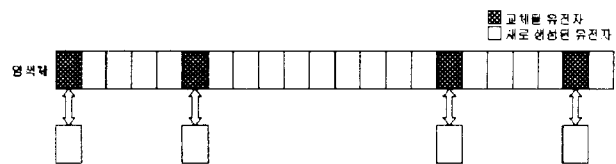


그림 9. GA Operation : Mutation

그림9의 돌연변이 조작은 한 세대내 각 염색체의 적합성을 비교하여 상대적 높은 적합성을 가진 염색체에는 적은 수의 유전자에 돌연변이 조작을 가하고, 낮은 적합성을 가지는 염색체일수록 많은 양의 유전자에 돌연변이 조작을 가한다.

진화전문가시스템에서 사용한 방법은 다음과 같다. 적합성에 따라 각 염색체에 순위를 매겨 순위가 최상위인 염색체는 아무런 돌연변이 조작도 가하지 않는다. 순위가 중간 정도인 염색체는 염색체 내 유전자의 효율에 따라 부분적으로 돌연변이 조작을 가한다. 여기서 부분적인 돌연변이 조작이란, 완전히 무작위로 돌연변이 조작을 가하는 것이 아니라, 이전 세대의 유전자 정보로부터 어느 정도의 한계를 가지는 범위내에서만 돌연변이를 발생시키는 것이다. 예를 들어서, 작업 위치에 가하는 부분 돌연변이 조작은 이전 세대에서 생성된 작업 위치로부터 어느 정도 한계 이내에서만 작업 위치가 생성되도록 하는 것이다. 적합성 순위가 하위인 염색체는 지난 세대의 유전자가 거의 필요가 없으므로, 완전히 새로운 유전자들이 생성될 수 있도록 완전 돌연변이 조작을 가한다.

이상과 같은 유전자 조작 과정을 거친 염색체들은 다음 세대로 진화되어 적합성 검토, 유전자 조작의 과정을 반복하게 된다. 이 과정을 반복하여 염색체가 어느정도 만족할 만한 적합성을 가지게 되면, 이를 FOFIS의 시물레이션 입력력으로 들어가도록 하여, 실질적으로 어느정도의 산물 진화 효과가 있는지 시물레이션하게 된다.

3단계의 모든 과정을 마친 이후에 나오는 결과의 예를 보면 그림 10과 같다. 그림에서 team-3의 작업위치 도착시간은 산물발생 당일의 15시 30분이고, 작업 위치는 좌표 15.100이며, 작업 종류는 주수에 의한 소화 작업, 작업 시간은 3시간인 것을 알 수 있다.

team	arrival-time (day, hour-min)	working-area (x-y)	working-kind	duration (hour)
team_1	1, 14-45	p14-94	cutting-tree	1.5
team_2	1, 15-00	p13-90	fire-walling	0.5
team_3	1, 15-30	p15-100	water-pumping	3.0
team_4	1, 15-45	p15-101	water-pumping	2.5
team_5	1, 16-00	p16-103	life-rescueing	0.5
team_6	1, 16-00	p16-103	water-pumping	0.5
team_7	1, 16-00	p16-104	life_rescueing	0.5

그림 10. 유전자 조작 과정의 결과인 진화전략의 예

### 3.4 4단계 : 최적화

진화전문가시스템의 마지막 단계인 4단계는 지금까지 3개의 단계를 거쳐오면서 구해진 각 진화전략 중에, 최고로 효율적인 진화팀 구성안 및 전략을 선택하는 단계이다. 그림 11에서 나타난 바와 같이, 소방대장은 과거의 실제 소방 작업에서 경험한 노하우를 바탕으로, 그림 10과 같이 진화전문가시스템이 제안하는 여러 진화 전략 중 가장 최상의 효과를 낼 수 있다고 생각하는 전략을 선택하면, 진화전문가시스템은 선택된 전략에 대한 상세한 정보(선정 이유, 예측 효과)를 표시한다. 이렇게 선택된 진화 전략은 실제 산물 소방 활동에 적용된다.

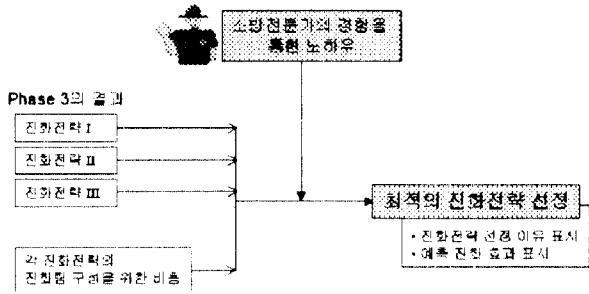


그림 11. 최적화

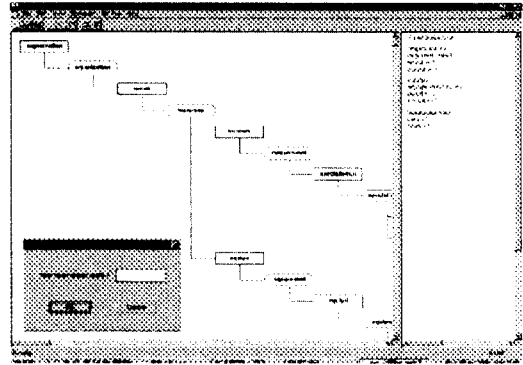


그림 14. RUSES 적용 과정의 예

4. 실험 사례

본 연구에서는 이상의 구현 방법론 검증에 위하여, 산림, 기상, 지형, 소방 정보 등을 토대로 하는 최적의 산불 진화 전략 수립이 가능한 진화전문가시스템 FOFES를 구현하였다.

그림 12은 경상북도 청도 지역에 산불이 발생한 상황을 가상하고 있다. 이와 같은 산불 발생 상황을 넘겨받은 FOFES는 1단계를 거치면서 우선순위와 작업위험도를 추정하여, 그림13와 같이 셀별 작업기대치를 출력한다.



그림 12. 산불 발생

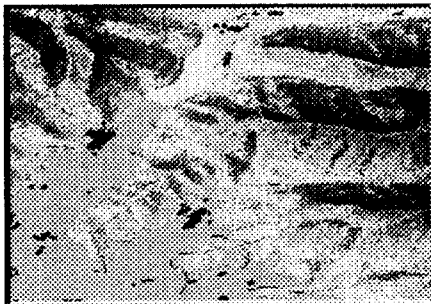
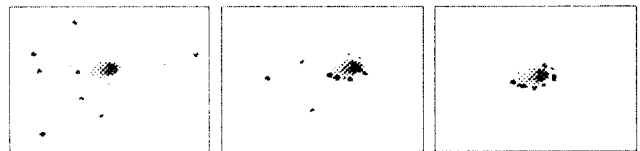


그림13. 작업기대치의 그래픽한 표현

그림13는 붉은색에 가까운 지역일수록 소방팀의 작업이 어렵거나, 우선순위가 낮은 지역임을 나타내고 있고, 파란색에 가까운 지역일수록 소방팀의 작업이 비교적 쉽거나, 우선순위가 높은 지역임을 나타낸다.

2단계에서는 산불이 발생한 지역내에 있는 소방대에 대한 정보를 이용하여 산불 진화 작업에 가장 효율적인 소방팀 조직 구성안을 구한다. 즉, 산불 발생 지역 근방에 흩어져 있는 가용 인적 자원과 가용 물적 자원을 이용하여, 가장 빠른 시간 내에 가장 효과적인 화재 진압에 나설 수 있는 소방팀을 구성하는 것이다. 예를 들면, 산불의 크기 및 면적에 따른 규칙의 적용을 통하여 몇 개의 소방팀이 필요한지를 pruning하게 되고, 마찬가지로 규칙에 따라 산불진화 전문가나 항공소화 전문가 등을 선택하게 된다. 이러한 과정의 예는 그림 14와 같다.

1단계와 2단계를 거쳐 셀별 작업기대치와 소방팀 구성안을 구한 다음, 3단계를 통하여 팀 조직이 어떤 위치에서 어떤 작업을 얼마동안 해야하는지를 유전자 알고리즘을 이용하여 산출한다. 몇 세대의 적합성 검토 단계를 통하여 진화된 산불 진화 전략은 FOFIS의 시뮬레이션에서 받아들일 수 있는 포맷으로 변경되어 실제 어떤 효과를 볼 수 있는지 시뮬레이션한다. 그림15는 유전자 알고리즘을 통하여 몇 세대 진화하는 동안 변화되는 소방팀의 위치를 보여주고 있다. 세대를 거치면서 소방팀의 위치(가운데 화재 위치를 중심으로 퍼진 점들)가 그림 15(a)에서와 같이 산불이 발생한 위치와는 상관없이 흩어져 있는 상태에서 그림 15(c)에서와 같이 유전자 알고리즘을 거쳐가는 동안 적절한 위치로 수렴되어감을 알 수 있다.



(a) 초기단계 (b)250세대 진화 (c)500세대 진화

그림 15. 유전자 알고리즘을 통한 진화팀 위치 수렴 과정

이상의 1, 2, 3단계를 거치면 최적의 진화전략이 수립되어 실제 소방 작전에서 사용할 수 있도록 그림16과 같이 표현된다. 이 진화전략 화면은 현 산불 진행 상황에 따른 소방팀(소방 대원 및 항공기)의 전략적 이동 위치를 도식화하고 있다. 예를 들면 Hel-01 팀은 현위치에서 진화 전략에 따라 산불의 전면 위치로 이동해야 함을 보인다.

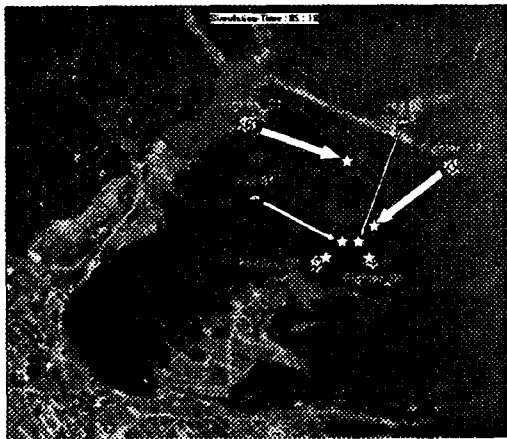


그림 16. 그래픽으로 표현된 진화전략

## 5. 결론

본 논문에서는 산림, 기상, 지형, 소방 정보 등을 토대로 최적의 산불 진화 전략 수립을 위한 산불진화전문가시스템의 설계 방법론을 제시하고 구현하였다. 기존의 산불 정보 시스템들이 GIS 데이터와 기상 관련 데이터, 산불 발생 지점에 대한 지형 데이터를 이용하여, 산불 확산에 따른 피해 정도 및 확산 범위의 예측정보를 제공한다면, 진화전문가시스템은 산불정보 시스템이 제공하는 정보를 활용하고, 규칙 기반 SES (RUSES), 그리고 유전 알고리즘 등을 이용하여 최적의 산불 진화전략을 생성할 수 있음을 보였다. 본 연구 결과는 앞으로 종합 GIS, 기상 데이터베이스, 인공위성 그리고 초고속정보통신망 등을 연계하여 일선 소방서, 산림청, 관련 정부기관 등에서 직접적으로 활용할 수 있을 것이며, 기타, 기름유출에 의한 해양환경 오염 등의 유사 연구에 직접적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

계속되어야 할 연구방향으로는 산불 확산에 영향을 미치는 각종 벡터들간의 상호작용이 산불 확산과 진화에 어떠한 영향을 줄 것인가에 대한 지리학적, 환경공학적, 그리고 기상학적 접근을 기반으로 하는 구체적인 산불 동역학 모델링 연구를 들 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] Coleman, J.R. and A.L. Sullivan, A real-time computer application for the prediction of fire spread across the Australian landscape, SIMULATION, 1996.
- [2] 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.
- [3] Zeigler, P.B., "Object-Oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models", Academic Press, 1990.
- [4] 황수찬, 지승도 외, "산불확산의 효율적 방재를 위한 실시간 모니터링 및 예측 시스템 개발에 관한 연구", 최종 연구개발 결과 보고서, 한국항공대학교, 1998.
- [5] "산불정보 시스템을 위한 격자형 공간 모델링 및 시뮬레이션", 정보과학회 춘계논문발표회, 1998.
- [6] Chi, S.D., Lee, J.S., Lee, J.K. and Whang, J.H.

- "NETE: Campuse Network Design Tool", in Proc. IASTED International Conference, July, 1997.
- [7] David E. Goldberg, "Genetic Algorithm in Search, Optimization & Machine Learning", Addison Wesley, 1989.
- [8] 기타노 히로이키, "유전자 알고리즘", 대청, 1996.
- [9] 홍성길 지, "기상과 화재", 교학연구사, 1987.
- [10] 우성천 편지, "소방인명구조와 장비", 교문당, 1997.
- [11] Chi, S.D. "Modeling and Simulation for High Autonomy Systems", Ph.D. Dissertation, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Univ. of Arizona, 1991.