

# 교통량 분산을 위한 대체경로 연구

## A Study on Alternative Paths for Spread of Traffic

서기성\* · 최규석\*\*

Ki-Sung Seo · Gyoo-Seok Choi

### Abstract

For the purpose of decreasing economic loss from the traffic jam, a car route guidance system efficiently utilizing the existing roads has attracted a great deal of attention. In this paper, the search algorithm for optimal path and alternative paths, which is the main function of a car route guidance system, was presented using evolution program. Search efficiency was promoted by changing the population size of path individuals in each generation, applying the concept of age and lifetime to path individuals. Through simulation on the virtual road-traffic network consisting of 100 nodes with various turn constraints and traffic volumes, not only the optimal path with the minimal cost was obtained, avoiding turn constraints and traffic congestion, but also alternative paths with similar costs and acceptable difference was acquired, compared with optimal path.

### 1. 서 론

날로 심각해지는 교통 문제를 해결하기 위해, 여러 시도가 행해지고 있으며, 이 중에서 도로를 운행하는 차량에게 혼잡지역을 피해 목적지까지 운행할 수 있는 경로를 안내함으로써, 기존 도로의 효율을 높이고, 교통 혼잡을 감소시킬 수 있는 여러형태의 차량주행 안내 시스템이 큰 관심을 끌고 있다. 이러한 시스템들은 전자, 통신, 정보기술을 이용하여, 도로를 주행하는 차량에게 각종 회전 제약사항 및 동적으로 변하는 교통상황을 반영한 목적지까지의 최단경로를 안내한다. 현재,

일부 시스템이 상용화되고 있으며, 앞으로 점차 대중화가 이루어질 전망이다.[1-2]

차량주행 안내시스템의 주요기술로는 항법기술, 디지털 지도, 경로 탐색, 이동데이터 전송기술이 있으며, 본 연구는 이 중에서 경로 탐색에 관한 것이다. 최단경로에 관한 연구는 Dijkstra[3]에 의해 이미 기초가 확립되었고, 이후로 지금까지 주행안내에 대한 응용 연구의 대부분은[4-7] 도로망에 대하여 각종 제약(좌회전 금지, U 턴등) 사항을 고려하면서 출발점에서 목적지까지 최단경로를 찾는 것에 집중되고 있다. 그러나 최단경로(또는 경로 비용의 기준이 다르거나, 복합적인

\* 서경대학교 산업공학과

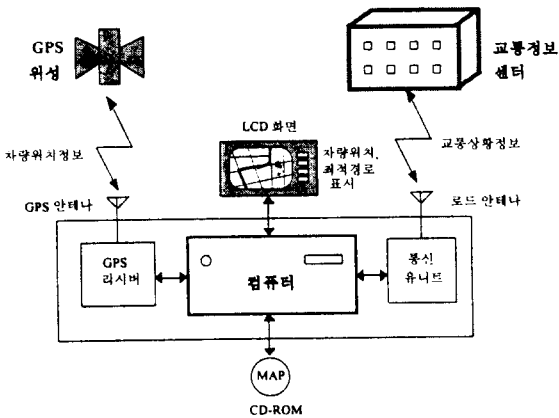
\*\* 충남산업대학교 인공지능학과

기준이 비용으로 고려되는 경우도 있어, 최적경로라고도 함)를 탐색하는 것도 중요하지만, 교통관제 시스템의 측면에서 볼때, 주행 경로가 유사한 운전자들에게 거의 동일한 최단경로를 제시해 주기보다는 출발지와 목적지 사이의 복수개의 경로를 통해 교통량을 분산시키는 것이 전체 도로망의 효율을 높일 수 있다. 즉, 최단경로의 비용과 별 차이가 만나면서, 서로 다른 복수개의 대체 경로를 탐색하는 기법이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 이는 운전자들의 측면에서도 자신의 선호도에 따라, 주행안내 시스템에서 구해준 최단경로보다 다른 대체 경로를 원하는 경우가 종종 발생하기 때문이다.

본 연구에서는 각종 제약(좌회전, U턴 등) 사항과 동적으로 변하는 교통상황을 고려하면서, 병렬 해의 탐색이 가능한 진화 프로그램[8-9]을 기반으로 하여, 동시에 복수개의 대안을 제시할 수 있는 최적 경로 탐색 기법을 제시하고자 한다.

## 2. 차량주행 안내시스템

차량주행 안내시스템(Car Route Guidance System)의 일반적 구조는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 차량주행 안내시스템 구성도

이 시스템은 운전자가 이용할 수 있도록 차량에 탑재되며, GPS(Global Positioning System) 위성을 통해 파악된 자신의 현재위치를 액정 화면에 표시할수 있고,

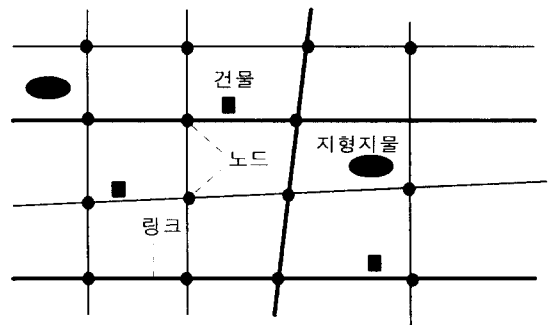
무선통신망을 통해 교통정보센터로부터 수신된 교통상황 정보를 화면에 표시할수 있다. 또한, 운전자가 목적지를 설정하면 교통혼잡 및 각종 제약 사항을 반영한 목적지까지의 최단경로를 산정하여 화면에 표시해준다. 차량 내부에 위치정보와 교통정보를 수신하고 처리할수 있는 컴퓨터와 통신장비가 설치되어 있고, 도로에 대한 최신의 각종정보가 들어 있는 CD-ROM이 포함된다. 그리고 앞좌석의 전방에 액정화면이 부착된다. 컴퓨터는 CD-ROM에 들어 있는 도로정보와 GPS 위성으로 받은 현재 위치, 그리고 수신된 현재의 교통상황정보를 종합하여 화면에 목적지까지의 경로를 표시한다.

## 3. 도로망 표현 및 제약 문제

### 3.1 도로망의 네트워크 표현

대부분의 도로망은 직선으로 된 도로와 도로간의 교차점으로 이루어진다. 이러한 특성은 노드와 링크의 집합으로 구성된 네트워크 구조로 표현할 수 있다.[5] 즉, 교차점을 노드로, 도로를 링크로 표현하며, 링크에 비용을 부여하는 형태이다. 이러한 교차로 표현을 격자형의 도로망에 대해 확장하면 전체 도로망을 네트워크로 구조로 쉽게 모델링할 수 있다. 시가지의 경우, <그림 2>와 같은 격자 형태의 구성을 가지고 있다.

따라서, 도로망을 다음과 같이 네트워크  $G = (N, L)$ 로 표현할 수 있다. 여기서,



<그림 2> 도시의 도로망 표현

$N = \{1, \dots, m\}$  :  $m$ 개의 노드로 구성된 집합.

$L = \{1, \dots, n\}$  :  $n$ 개의 링크로 구성된 집합.

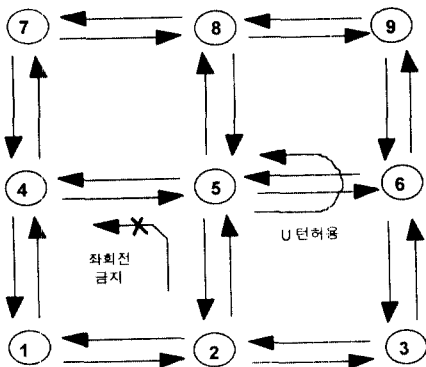
노드-링크 연결 관계를 나타내는 접속행렬(incident matrix)  $A$ 는 다음과 같이 정의된 원소를 가진다.

- $a_{ij} = 1$  : 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 로 연결
- $0$  : 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 로 연결이 안될때

### 3.2 제약 문제

도로망을 기존의 네트워크 구조로 처리할 때 발생하는 제약 문제는 크게 다음의 두 가지로 구분된다. 첫째는 회전에 따른 제약이고, 둘째는 순환 경로의 포함에 따른 처리문제이다. <그림 3>에서 이 문제를 살펴보자.

첫째, 좌회전 금지에 따른 문제로서, 노드 4는 노드 8이나 노드 6에서 접근하는 경우에는 노드 5와 연결되나, 노드 2에서 접근하는 경우에는 노드 5와 연결되지 않는다. 둘째, U턴의 경우로서, 각 링크의 교통량이 수시로 변하는 교통 상황에서는 U턴 경로를 포함하더라도 정체되는 도로를 우회하여 주행하는 것이 시간적으로 더 단축될 수 있다. 출발점 2에서 종점 4로 가고자 했을 때, 2-1 구간이 매우 혼잡하다면, U턴 경로를 포함하는 2-5-6-5-4가 시간적으로 최단경로가 될 수 있다. 이때 5-6-5의 순환경로(U턴 경로)가 목적 경로에 포함되어 있음을 알 수 있다.



<그림 3> 도로망의 네트워크 표현

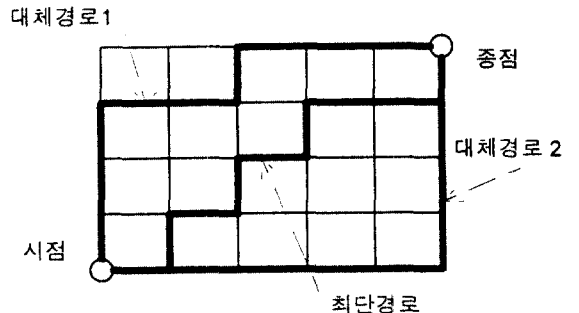
## 4. 대체경로

출발지와 목적지가 유사하거나 또는 일부 구간이 겹칠 경우, 운전자들에게 동일한 최단경로를 제시해 주는 것 보다, 최단경로의 비용에 근접한 서로 다른 복수개의 경로를 통해 교통량을 분산시키는 것이 전체 도로망의 효율을 높일 수 있다.

또한, 운전자들 개인의 취향에 따라 경로를 선택하는 기준이 서로 다르다. 예를 들면, 어떤 사람은 시간을 최우선시 하고, 다른 사람은 시간이 더 걸리더라도 한적하고 주변 경치가 수려한 도로를 선택할 수 있다. 즉, 시간, 거리, 외곽도로 이용, 특정지역 통과 및 회피, 주변의 경관, 그리고, 이들 사항의 특정한 조합등이 대체경로를 선택하는 기준이 될수 있다.

### 4.1 대체경로 문제정의

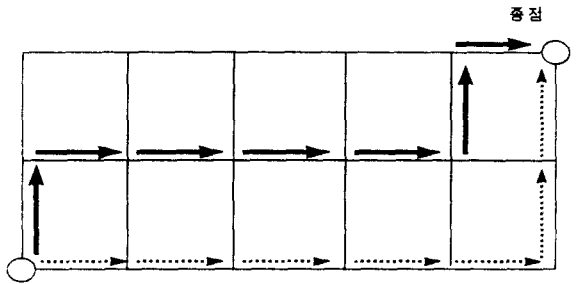
대체경로는 최단경로와 비용이 같거나 근접한 경로로서, 최단경로 이외의 다른 경로를 말한다. 출발점인 시점으로부터 목적지인 종점까지는 노드 또는 링크들의 조합으로 구성될 수 많은 경로가 존재한다. 이들 경로중에서 가장 비용이 작은 경로를 최단경로라고 한다. 이 최단경로외에 부가적으로 최단경로의 비용과 같거나 큰  $i$ 개의 대체경로가 존재할 수 있다.(그림 4)



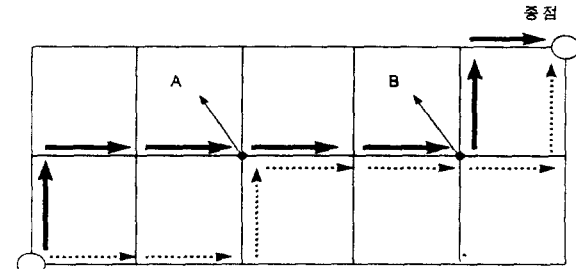
<그림 4> 대체경로

대체경로는 최단경로와 전혀 겹치는 구간이 없는 경우도 있고, 또 경로의 일부가 겹칠수도 있다. 어떤 대체 경로는 대부분의 구간이 최단경로와 겹치고 일부

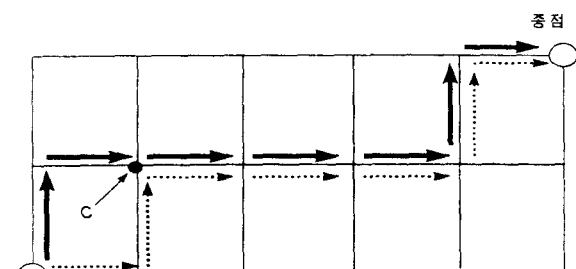
구간만 다른 경우도 존재할 수 있다. <그림 5>에 여러 가지 경우의 대체경로가 나와 있다.



(a) 겹침 구간 없음



(b) 일부 겹침 구간



(c) 다수 겹침 구간

<그림 5> 여러가지 대체경로

를 보여준다. 위에서 알 수 있듯이 모든 대체 경로가 교통량 분산이나, 운전자의 대체경로 요구를 만족시킬수는 없다. 즉, <그림 5> (c)와 같은 경로는 실제적으로 교통량 분산의 효과가 거의 없으며, 대체경로를 요구한 운전자의 입장에서 다른 경로라는 인상을 거의 받지 못한다. 따라서 대체경로의 적합성을 판단하기 위해서는 최단경로와 대체경로의 상이성을 나타내는 기준이 필요하다.

### 4.2 대체경로의 상이성

본 연구에서는 이를 위해 두 경로사이의 만남 노드수와 겹침 링크수를 정의한다. 먼저, 만남(또는 교차) 노드수는 시점과 종점을 제외한 두 경로사이의 일치된 노드수를 의미한다. 예를 들어 <그림 5> (a)에서는 만남 노드가 존재하지 않고, <그림 5> (b)에서 만남 노드는 3개가 존재하며, <그림 5> (c)에서 5개가 존재한다.

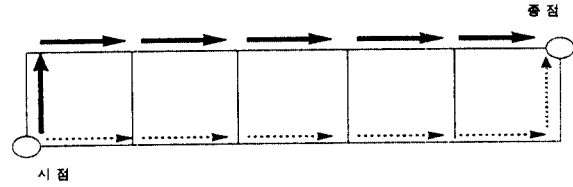
두번째, 겹침 링크수는 두 경로사이의 일치된 링크수를 나타낸다. <그림 5> (a)에서는 겹침 링크가 존재하지 않고, <그림 5> (b)에서 겹침 링크는 2개가 존재하며, <그림 5> (c)에서는 5개가 존재한다.

이상에서 알 수 있듯이, 만남 노드수와 겹침 링크수의 수가 적을수록 최단경로와 대체경로와의 상이성이 커지며, 대체경로로서의 적합성이 높다고 할 수 있다. 두 가지 지수가 대체경로의 상이성에 비례적인 관계를 가지고 있지만, 경우에 비례적이지 않을 수 있다. 이를 다음 그림을 통해 설명한다. <그림 6>은 시점에서 종점까지의 경로가 6개의 링크로 구성된 3가지 서로 다른 예를 보여준다. <그림 6> (a)에는 최단경로와 대체경로사이에 만남 노드와 겹침 링크는 전혀 없는 경우이다. <그림 6> (b)는 최단경로와 대체경로사이에 만남 노드수가 1 이고, 겹침 링크는 0 이다. <그림 6> (c)의 경우에는 만남 노드가 2개이나, 겹침 링크는 0이다. (b)와 (c)의 경우에 서로 교차하는 노드가 존재하지만 실제로 겹치는 구간이 없기 때문에 교통량 분산 및 운전자의 체감 측면에서 서로 다른 경로로 간주할 수 있다.

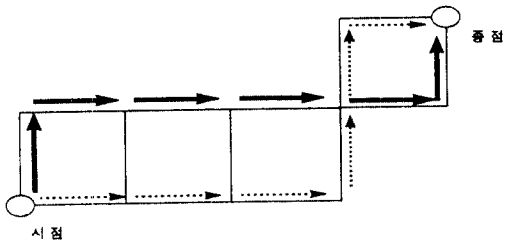
이를 통해 볼 때, 일반적으로는 만남 노드와 겹침 링크수가 적을수록 두 경로의 상이성이 커지지만, 특수한 경우에는 만남 노드수 보다는 겹침 링크수에 더 좌우됨을 알 수 있다. 따라서, 두 가지 지수중에서는 겹침

<그림 5>에서 볼수 있듯이 최단경로에 대한 대체 경로중 (a)는 서로 겹치는 구간이 전혀 없는 독립적인 경로이고, (b)는 A 노드와 B 노드 사이의 구간이 겹침을 알수있다. 이에 비해 (c)는 대부분의 구간이 최단경로와 겹치고, 시점부터 C 노드사이의 구간만이 서로 다

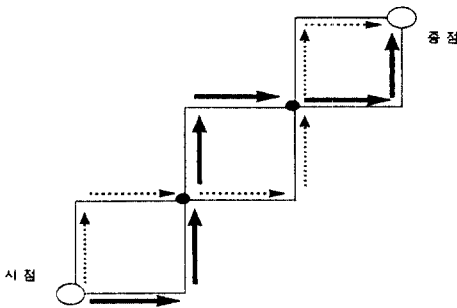
링크수가 두 경로의 상이성을 더 잘 반영한다고 볼 수 있다.



(a) 만남 노드수 : 0, 겹침 링크수 : 0



(b) 만남 노드수 : 1, 겹침 링크수 : 0



(c) 만남 노드수 : 2, 겹침 링크수 : 0

〈그림 6〉 만남 노도와 겹침링크

최단경로와 대체경로 사이의 상이성을 정량화하기 위해 다음과 같은 계수를 도입한다.

$$\text{만남노드계수} = \frac{\text{만남노드수}}{\text{전체노드수}} \quad (1)$$

$$\text{겹침링크계수} = \frac{\text{겹침링크수}}{\text{전체링크수}} \quad (2)$$

만남노드계수는 최단경로의 전체 노드수(이때, 시점과 종점은 제외한다)중에서 대체경로와의 만남 노드수가 차지하는 비율로 정의한다. 〈그림 5〉 (b)의 경우

$3/6=50\%$  이며, 〈그림 5〉 (c)의 경우는  $5/6=83.3\%$ 가 된다. 겹침링크계수는 최단경로의 전체 링크수중에서 대체경로와의 겹침 링크수가 차지하는 비율로 정의한다. 〈그림 5〉 (b)의 경우  $2/7=28.6\%$ 이며, 〈그림 5〉 (c)의 경우는  $5/7=71.4\%$ 가 된다.

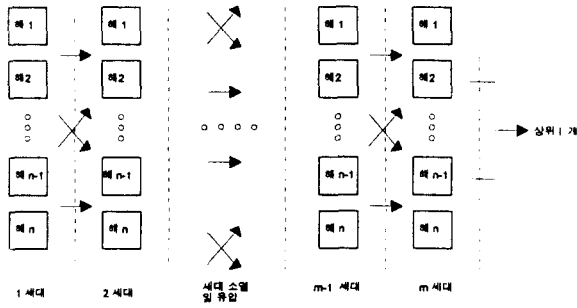
따라서 만남노드계수와 겹침링크계수가 낮을수록 두 경로 사이의 상이성이 높아지고, 교통량 분산과 운전자의 대체경로 요구에 더 적합한 대체 경로가 될 수 있다.

### 4.3 대체경로 탐색

교통량을 분산시키기 위해서 주행안내 시스템이 최단경로와 함께 대체경로를 제시하거나, 또는 운전자가 주행안내 시스템에서 구해준 최단경로보다 다른 대체경로를 원하는 경우가 종종 발생할 수 있다. 그런데, 기존의 탐색 방법들은 대부분 하나의 최단 경로만을 구하는 역할만을 수행한다. 따라서, 대체 경로를 구하는 것이 구조적으로 곤란하거나, 가능하다고 하더라도 한번에 하나씩의 경로를 탐색하는 단점이 존재한다. 즉, 경로 대체 요구시에 처음부터 재 탐색을 해야만 하는 문제점이 존재한다. 여기에는 다시 상당한 시간이 소요되어, 주행중인 운전자에게 상당한 불편을 감수하게 해야 하는 단점이 있다. 또한 한번에 하나씩의 경로만이 나타나기 때문에 그 전의 경로와 비교하는 것이 쉽지 않다.

따라서, 주행안내 시스템에서 위의 사항들을 만족시키기 위해서는 복수개의 대체 경로를 한 번의 탐색으로 구하여, 비교 가능하게 한 화면에 표시하는 것이 필요하다.

본 연구에서 제안된 기법은 진화 프로그램의 병렬해 탐색 특성을 이용하여 최소비용 순으로 상위 복수개의 경로를 탐색하는 것이 가능하므로, 위의 문제점을 해결하는 유력한 접근법이 될 수 있다. 즉, 경로해들이 세대를 증가해서 진화해나감에 따라 최종 m세대에서는 그 전 세대보다 우수한 해들이 생성되므로(그렇지 않은 경우도 존재하나 매 세대마다 우수한 해는 따로 저장하고 있으므로 문제가 되지않음). 최종 m세대에서 상위의 i개의 해를 선택하는 것이 우수한 대체 경로를 구할수 있는 수단을 제공한다.(그림 7)



(그림 7) 경로 병렬 탐색 기법

### 5. 진화 프로그램을 이용한 탐색기법

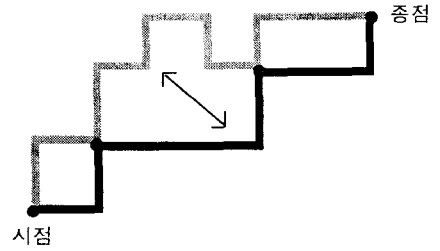
Holland에 의해서 제안된 유전 알고리즘은 고등생물이 염색체내에 있는 유전인자의 교배와 돌연변이를 통해, 세대를 생성함에 따라 최적의 상태로 진화해 나가는 데서 착안한 것으로 현재 다양한 최적해 탐색 문제에 응용되고 있다.[8-9] 유전 알고리즘이 주로 이진 스트링을 사용하는데 비해, 진화 프로그램은 해결하려는 문제에 적합한 자료구조와 연산자를 사용한다.

#### 5.1 경로탐색을 위한 유전 연산자의 설계

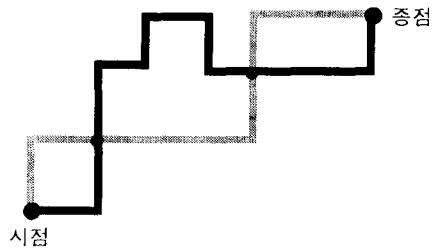
기존의 네트워크에서 노드와 아크의 연속적인 집합으로 표현된 경로를, 시작점과 종점간의 하나의 가능 경로를 경로 염색체로 구성하였다. 그리고, 여러개의 가능 경로에 대응하는 경로 염색체에 교배와 돌연변이를 수행시켜 최적의 경로를 탐색하도록 하였다. 이를 위해 다음과 같이 유전 연산자를 설계하였다.

경로 교배 연산자는 교배된 부분 경로가 원래의 경로에 연결되어야하는 제약을 지켜야 하므로, 두 경로의 공유 노드를 중심으로 형성된 구간에서 임의의 부분 경로를 선택하여 그 경로간의 노드정보를 상호 교환함으로써 새로운 두 경로를 만들어낸다.(그림 8)

경로 돌연변이 연산자는 하나의 경로간에 존재하는 임의의 두 점을 선택하여 이 두점을 시작점과 끝점으로 하는 새로운 부분 경로를 생성하여, 이를 원래의 부분 경로와 대치시키는 방법이다(그림 9).

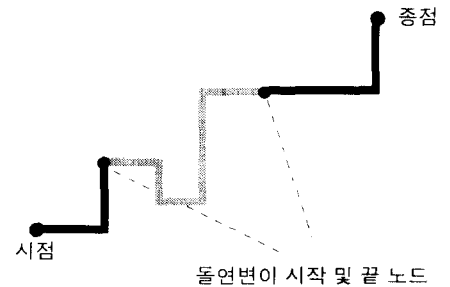


(a) 경로교배 실행전

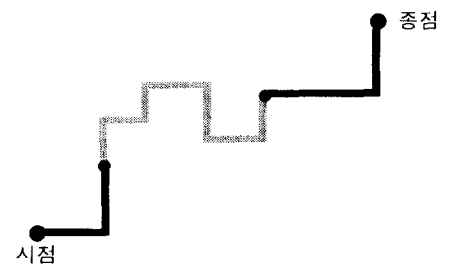


(b) 경로교배 실행후

(그림 8) 경로 교배연산자



(a) 경로돌연변이 실행전



(b) 경로돌연변이 실행후

(그림 9) 경로 돌연변이 연산자

## 5.2 최적경로 및 대체경로 탐색 알고리즘

경로 개체는 시작점 노드에서 종점 노드에 이를 때까지 현재 노드에서 다음 노드를 확률적으로 무작위하게 선택하여, 노드를 계속적으로 반복해서 생성한다. 이 과정에서 회전제약을 반영하고 탐색효율을 높이기 위해서는 종점 노드와의 상대적 거리 및 회전제약 사항을 고려하여 다음 노드를 생성한다. 이를 통해 생성된 경로개체는 필연적으로 여러 가지 형태의 순환 부분경로가 시점과 종점간 경로의 일부로서 포함될 가능성이 높다. 탐색효율을 증가시키기 위해서 이러한 순환 부분 경로를 제거 한다.

탐색성능을 높이기 위해 경로 염색체에 나이 및 수명 개념을 도입하여 매 세대에 존재하는 경로 개체집단(해집합)의 크기를 조정하고, 매세대마다 일정량의 열등 개체를 우수한 경로 개체로 교체시키는 방법을 사용하였다. 최적경로 탐색 알고리즘의 수행절차는 다음과 같다.

### 최적경로 및 대체경로 탐색 알고리즘

#### [단계 1] 파라미터 초기화

초기 개체군 및 최대 개체군 크기, 최대 세대수, 경로 교배 및 돌연변이 확률, 재생산율등의 각종 파라미터들의 값을 설정하고, 초기화 시킨다.

#### [단계 2] 초기 경로 개체군의 생성

하나의 경로 개체마다 시작점 노드에서 종점 노드에 이를 때까지 다음 노드를 확률적으로 무작위하게 반복 선택하여 경로를 완성하는데, 이를 정해진 초기 개체군 수만큼 수행한다.

#### [단계 3] 보조 경로 개체군 생성

초기 경로 개체군의 생성과 같은 방법으로 현재 경로 개체군 수와 최대 개체군 수의 차이만큼 보조의 경로 개체군을 생성한다.

#### [단계 4] 경로 재생산

현재의 경로 개체군에 대해서 경로 교배 및 경로 돌연변이를 수행해 새로운 경로개체군을 생성한다.

#### [단계 5] 엘리트 과정

열등한 경로 개체를 다른 장소에 보관하고 있는 우수한 경로 개체로 교체한다.

#### [단계 6] 나이 부여

새로이 생성된 경로 개체에 대해서 적합도에 따라 우수한 개체에게 더 많은 나이를 부여한다.

#### [단계 7] 종료조건 검사

종료조건이 만족되지 않으면 단계 3으로 간다.

#### [단계 8] 최적경로 및 대체경로의 출력

단계 1과 2에서 경로 탐색을 위해 각종 파라미터들의 값을 설정 또는 초기화 하고, 설정된 초기 개체군의 수만큼 초기 경로 개체군을 생성한다. 여기서, 초기 개체군은 교배 및 돌연변이 연산의 대상이 되는 가장 처음에 생성된 경로들을 의미한다. 최대 개체군은 개체 집단의 최대 크기를 나타낸다. 최대 세대수는 진화해갈수 있는 최대의 세대(generation) 수를 의미한다. 경로 교배확률은 한 세대에서 교배되는 개체의 비율을 의미하고, 경로 돌연변이 확률은 돌연변이되는 개체의 비율을 의미한다. 교체율은 열등한 개체를 우수한 개체로 교체하는 비율이다.

단계 3에서는 현재의 경로 개체군 수와 설정된 최대 개체군 수의 차를 구하여 그 차이 만큼 부수적인 경로 개체군을 새로이 생성하여 전체 경로 개체군 수가 설정된 최대 경로개체군 수가 되게한다.

단계 4는 경로 재생산 과정으로서 현재의 경로 개체군에 대해서 설정된 교배 확률 및 돌연변이 확률을 적용, 경로 교배 및 경로 돌연변이를 행하며, 그 결과로서 다음 세대를 위한 새로운 경로 개체군이 생성된다. 이 과정에서 각 경로를 평가하여 최소비용 경로와 일정 개수의 우수한 경로를 탐색 성능을 높이기 위해 특정 장소에 저장한다.

단계 5는 엘리트 과정으로서, 최적경로 탐색효율을 극대화하기 위해 현재 존재하는 경로개체군내의 모든 경로염색체를 평가하여 설정된 수만큼의 열등한 경로 개체를 특정 장소에 이미 보유하고 있는 우수한 경로로 대체시킨다.

단계 6은 위의 과정중에서 새로이 생성된 경로만을

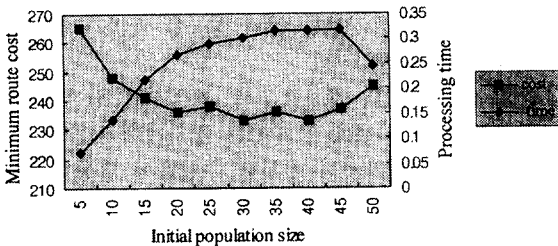
대상으로 각 경로 개체의 적합도를 산출하여 그 값에 비례하여 경로 개체의 수명을 부여함으로써 우수한 개체는 오래 살아 남도록 하여 탐색 성능 향상을 도모한다. 또한, 경로 개체 집단의 모든 경로의 나이를 1세대씩 증가시킨다. 그리고, 경로 개체의 나이를 조사하여 그것의 수명보다 더 나이가 많은 경로 개체는 개체 집단에 삭제하여 경로 개체 집단의 크기를 조절하고, 이를 통해 보조 개체군 생성 과정에서 새로운 경로가 생성될 기회를 부여한다.

단계 7에서는 설정된 최대 세대수 값과 비교하여 만일 이보다 작으면 계속적인 탐색을 위해 단계 3으로 돌아간다. 마지막으로 단계 8에서는 특정 배열에 보유하고 있는 최소비용 경로를 최적 경로로서 출력하고 탐색 작업을 종료한다.

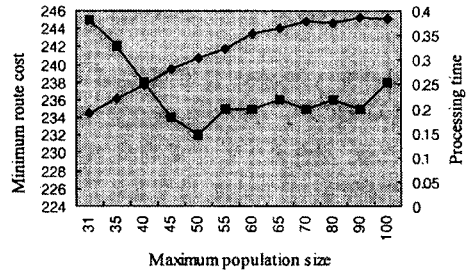
## 6. 컴퓨터 시물레이션

### 6.1 유전 파라미터 분석

먼저, 초기개체수 30, 최대개체수 50, 최대 세대수 20, 교배 및 돌연변이 확률 0.9 및 0.3, 재생산율 0.3으로 하여 제안 알고리즘을 적용하였다. 최대 세대수 20, 재생산율 0.2, 교배 확률 0.8, 돌연변이 확률 0.3으로 하였을 때, 초기 개체군 크기 및 최대 개체군 크기변화에 따른 탐색성능 변화는 <그림 10>과 같다. 그림에 나타난 바와 같이 초기세대의 크기 30, 최대 개체군 크기 50일 때, 최적 값이 나타나며 그 이후에는 개체군 크기, 즉 경로 개체 수가 증가해도 처리 시간만 길어지고, 탐색 성능을 오히려 저하시킬 수 있음을 알 수 있다.



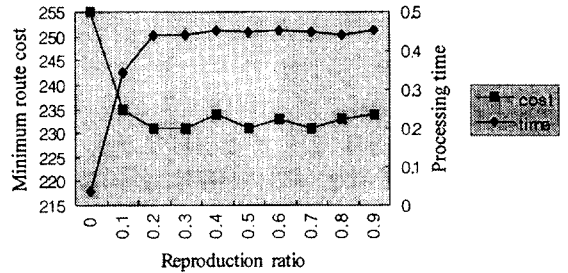
(a) 초기개체수 변화에 따른 성능 변화



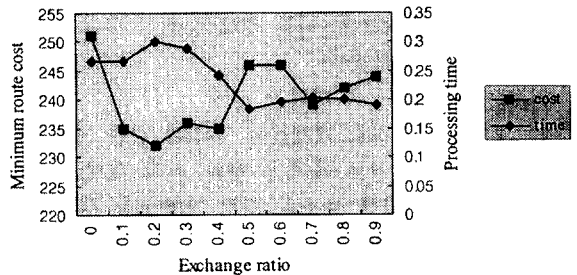
(b) 최대개체수 변화에 따른 성능 변화

<그림 10> 개체군 크기변화에 따른 탐색 성능 변화

가변 개체군 방법은 재생산율을 현재 개체군 크기에 적용하여 보조 개체군을 새로이 생성하여 전체 성능을 향상시키는데, 이러한 재생산율 변화에 따른 전체 탐색 성능의 변화는 <그림 11> (a)와 같다. 여기서, 다른 변수값은 최대 세대수 20, 초기 개체수 30, 최대 개체군 크기 50, 교배 확률 0.8, 돌연변이 확률 0.3으로 하였다. 그림에 나타난 바와 같이 재생산율 0.2와 0.3에



(a) 재생산율 변화에 따른 성능 변화



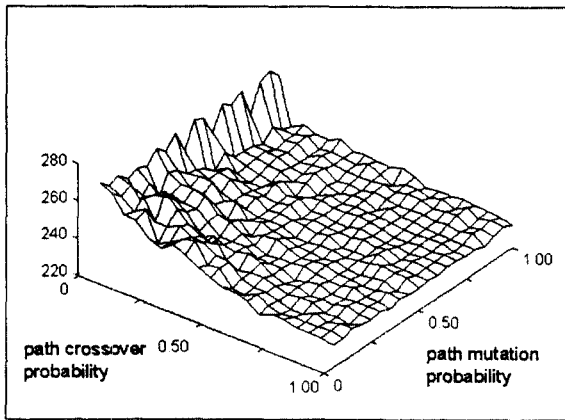
(b) 교체를 변화에 따른 성능 변화

<그림 11> 재생산율 및 교체를 변화에 따른 탐색성능 변화



서 거의 최적값이 나타나며, 그 이후에는 재생산율이 증가해도 탐색 성능이 나아지지 않음을 알 수 있다. 또한, 현재 개체수에서 일정한 교체율로 일정한 개체를 외부에 저장하고 있던 우수한 개체로 교체하는데, 이러한 교체를 변화에 의한 전체 탐색 성능의 변화는 <그림 11> (b)와 같다. 이때, 재생산율은 0.3을 적용하였으며, 그림에서 보듯이 교체율 0.2일때 거의 최적값을 나타낸다.

진화 프로그램에 근거한 알고리즘에 있어서 일반적으로 유전 연산자(교배, 돌연변이)의 확률 변화는 알고리즘의 성능에 밀접한 영향을 미친다. 본 논문에서 제안한 경로 재생 유전 연산자를 단순 네트웍에 적용하여 전체 탐색 성능을 분석하였다. <그림 12>는 상호 연관을 갖고 탐색 성능에 영향을 미치는 경로교배 확률 및 경로 돌연변이 확률을 동시에 변화시켰을 때의 전체 탐색 성능의 변화를 나타낸다.



<그림 12> 경로 교배 확률 및 경로 돌연변이 확률 변화에 따른 탐색성능 변화

<그림 12>에서 알 수 있듯이, 제안된 경로 교배 및 경로 돌연변이가 탐색 성능에 깊이 있게 영향을 미치며, 경로 교배 확률 및 경로 돌연변이 확률 동시변화에 의한 탐색 결과는 교배확률 0.2, 돌연변이 확률 0.9 부근에서 제일 좋은 성능을 보였다.

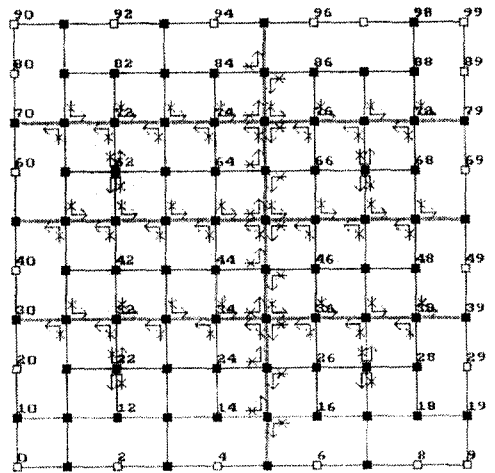
이상의 결과를 종합하면, 제안 알고리즘에 사용되는 각종 매개 변수 값이 <표 1>과 같을 때, 주어진 네트웍에서 최고의 탐색 성능을 발휘함을 알 수 있다.

<표 1> 탐색성능을 우수한 매개변수 값

파라미터	값
초기개체군 크기	30
최대개체군 크기	50
최대 세대수	30
경로교배확률	0.9
경로돌연변이확률	0.2
재생산율	0.3
교체율	0.2

### 6.2 가상도로망에 대한 시뮬레이션

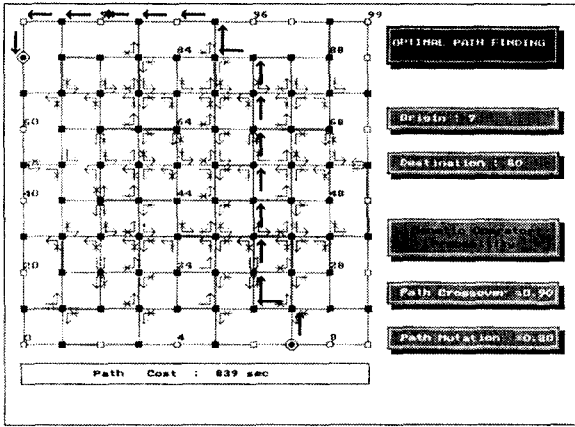
가상 도시가로망에 대상으로 제안된 최적경로 탐색 알고리즘을 평가하기 위하여, C 언어를 사용하여 Pentium PC(120Mhz)의 DOS 환경에서 경로 탐색 시뮬레이터를 구현하였다. 그리고, 가상 도시가로망은 좌회전 금지, U턴 금지 등의 회전제한 및 부분적인 교통정체를 고려하여, 100개의 노드와 256개의 링크(양방향 포함)로서 구성하였다.(그림 13)



<그림 13> 가상 도시 도로망의 구조

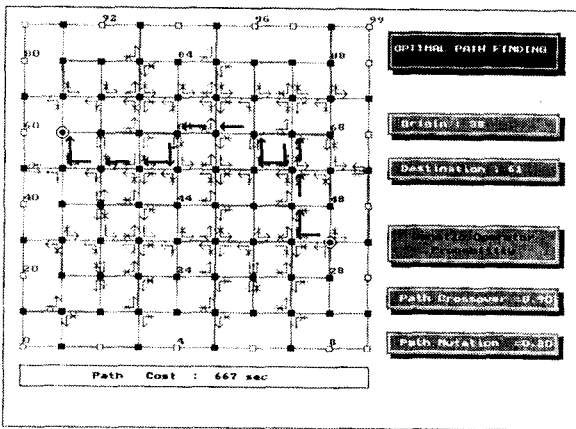
가상 도로망에 대해 임의의 시점과 종점을 선택하여 최적 경로를 탐색을 수행하였다. <그림 14>에는 7번 노드에서 종점 80번 노드에 이르는 최적경로 탐색을 수행한 결과가 나와있다. 굵은 선이 최적경로를 출력한

것으로서 회전 제약을 지키면서 교통혼잡 상태에서 신호등에 의한 통행지체가 보다 적은 외곽 순환도로를 일부 이용하여 경로가 형성됨을 알 수 있다.



〈그림 14〉 제안 알고리즘에 의한 최적경로 탐색결과(1)

〈그림 15〉에는 38번을 시점으로 하고 61번을 종점으로 하는 최적경로를 탐색한 결과가 나타나 있다. 여기서, U턴을 통해 교통혼잡이 가중된 도로 및 좌회전 제약을 피하고 소통이 원활한 도로구간으로 최적경로가 생성되었음을 알 수 있다.

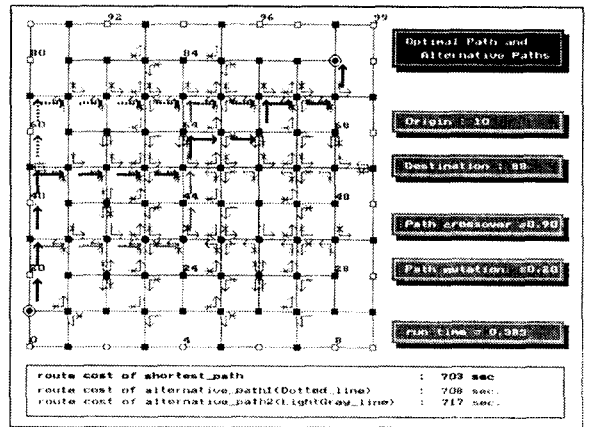


〈그림 15〉 제안 알고리즘에 의한 최적경로 탐색결과(2)

〈그림 16〉에는 시점노드 10에서 종점노드 88까지의 최적경로와 대체경로가 표시되어 있다. 검은색으로

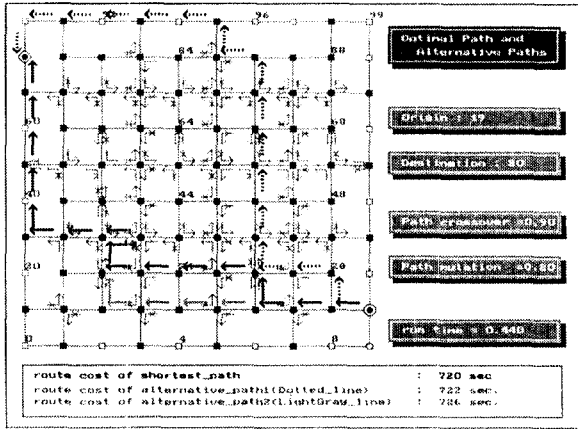
표시된 경로가 최적경로를 나타내고, 점선으로 표시된 경로가 대체경로 1을, 회색으로 표시된 경로가 대체경로 2를 나타낸다. 서로 경로가 겹쳐진 부분은 검은색으로만 표시되어 있다. 먼저, 대체경로 1에 대해서, 만남노드계수는  $7/14=50\%$  이고, 겹침링크계수는  $7/15=46.7\%$  임을 구할수 있다. 대체경로 2에 대해서도, 만남노드계수는  $7/14=50\%$  이고, 겹침링크계수는  $6/15=40\%$  임을 알 수 있다. 두가지 대체경로가 모두 최적경로에 비해 비용면에서 별로 차이가 나지 않으며, 비교적 경로의 상이성도 비교적 높음을(경로가 독립적) 알 수 있다.

아직까지 상이성의 높고 낮음을 판단하는 정량적인 기준은 없다. 그러나 비용과 회전제약을 고려할 때, 최적경로와 일부 구간이 겹치는 것은 피할수 없는 형상이므로, 대체경로의 상이성 또는 독립성이 일반적으로 높지 않게 나타난다.



〈그림 16〉 최적경로와 대체경로 탐색결과(1)

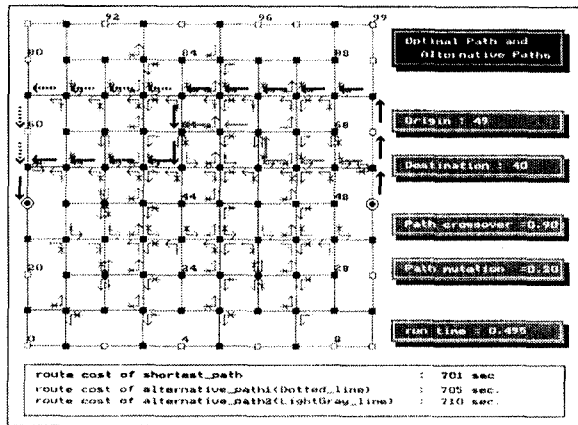
〈그림 17〉에는 시점노드 19에서 종점노드 80까지의 최적경로와 대체경로가 표시되어 있다. 대체경로 1에서, 만남노드계수는  $2/17=11.8\%$  이고, 겹침링크계수는  $1/18=5.6\%$  이다. 대체경로 2에서는, 만남노드계수가  $13/17=76.5\%$  이고, 겹침링크계수는  $13/18=72.2\%$  임을 알 수 있다. 두가지 대체경로가 최적경로에 비해 비용면에서 별로 차이가 나지 않으나, 대체경로 1이 경로의 상이성이 현저히 높은데 비해, 대체경로 2는 상이성이 낮음을(즉, 경로가 유사함) 알 수 있다.



〈그림 17〉 최적경로와 대체경로 탐색결과(2)

〈그림 18〉에는 시점노드 49에서 종점노드 40까지의 최적경로와 대체경로가 표시되어 있다. 대체경로 1에서, 만남노드계수는  $9/14=64.3\%$ 이고, 겹침링크계수는  $9/15=60\%$ 이다. 대체경로 2에서는, 만남노드계수가  $7/14=50\%$ 이고, 겹침링크계수는  $7/15=46.7\%$ 임을 알 수 있다. 두가지 대체경로가 최적경로에 비해 비용면에서 별로 차이가 나지 않으면서, 대체경로 1과 대체경로 2가 경로의 상이성이 면에서 중간 수준임을 알 수 있다.

대상 도로망의 동적인 교통상황 변화에 따라, 구해지는 최단경로와 대체경로가 계속적으로 변하겠지만, 위의 결과를 볼 때, 경로 비용면에서 거의 최적경로에



〈그림 18〉 최적경로와 대체경로 탐색결과(3)

근접하면서, 진화 프로그램의 특성인 해의 랜덤성 때문에 비교적 서로 상이성이 큰 대체경로를 구함을 알 수 있다.

위를 종합할 때, 본 연구의 접근법이 비용과 상이성 측면에서, 효율적인 대체경로의 탐색에 적합하다고 할 수 있다.

## 7. 결 론

본 논문에서는 차량주행 안내시스템에서 교통량의 분산을 위한 최적경로 및 대체경로 탐색기법을 제안하였다. 진화 프로그램을 이용하여 이를 구현하였으며, 탐색성능을 높이기 위해 경로 염색체에 나이 및 수명 개념을 도입하여 매 세대에 존재하는 경로 개체집단(해집합)의 크기를 변화시키는 방법을 이용하였다. 그리고 대체경로에 대한 문제정의와 대체경로의 상이성을 측정할수 있는 두 가지 계수를 정의하였다.

동적 교통상황 및 각종 회전 제약을 갖는 100개 노드로 구성된 가상 도시가로망을 대상 도로망으로 하여 제안된 알고리즘을 적용한 시뮬레이션을 수행한 결과, 회전 제약 및 교통혼잡을 피하면서 시간 측면에서 최소 비용을 갖는 최적 경로를 효과적으로 탐색함을 확인하였다. 그리고, 대체경로에 있어서도 비용과 경로의 상이성의 기준에서 효과적인 탐색이 이루어졌음을 알 수 있었다.

향후, 탐색속도와 향상과 대체경로에 대한 체계적인 분석이 필요하고, 사용자의 다양한 요구 조건을 만족시키는 지능적인 경로 선택 기법을 개발하는 것도 추후 과제이다.

## 참고문헌

- [1] 이성경외, ITS/IVHS 정보통신 시스템 기술개발, 한국전자통신연구소, 1995.
- [2] D. J. Jeffery, "Route Guidance and Vehicle Location Systems", Mobile Information Systems, ARTECH HOUSE, 1990.
- [3] E. W. Dijkstra, "A Note on Two Problems in Connection with Graphs", Numer. Mathematics, Vol. 1, pp. 269 - 271, 1959.

- [4] R. W. Hall, "The Fastest Path through a Network with Random Time-Dependent Travel Times", *Transportation Science* Vol. 20, No. 3, pp.182-188.
- [5] T. Kitamura, M. Kobayashi, K. Takeuchi, The Dynamic Route Guidance Systems of UTMS, Proc. of The Second World Congress on Intelligent Transport Systems 95 YOKOHAMA, pp.610 - 615, 1995.
- [6] S. Q. Zheng, J. S. Lim, S. S. Iyengar, "Finding Obstacle-Avoiding Shortest Paths Using Implicit Connection Graphs", *IEEE Tr. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, Vol.15, No.1, pp. 103-110, 1996.
- [7] 최기주, "U-TURN을 포함한 가로망 표현 및 최단 경로의 구현", *대한교통학회지* 13권 3호, pp.35-52, 1995.
- [8] Z. Michalewicz, *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer-Verlag, 1992.
- [9] J. Arabas, Z. Michalewicz, J. Mulawka, "GAVaPS - a Genetic Algorithm with Varing Population Size", Proc. of Evolutionary Computation Conference, part of the IEEE World Congress on Computational Intelligence, 1994.

---

● 저자소개 ●

---



서기성

1986년  
1988년  
1993년  
현 재  
관심분야

연세대학교 전기공학과 학사  
연세대학교 전기공학과 석사  
연세대학교 전기공학과 박사  
서경대학교 산업공학과 조교수  
인공지능, 지능형교통시스템(ITS), CIM



최규석

1982년  
1987년  
1997년  
1990~1997년  
현 재  
관심분야

연세대학교 전기공학과 학사  
연세대학교 전기공학과 석사  
연세대학교 전기공학과 박사  
한국이동통신 책임연구원  
충남산업대 인공지능학과 전임강사  
인공지능, 지능형교통시스템(ITS), 이동정보시스템