

□ 論 文 □

## 專門家시스템을 이용한 最適經路 探索시스템(X-PATH)의 開發

Development of Optimal-Path Finding System(X-PATH) Using Search Space  
Reduction Technique Based on Expert System

南 宮 城

(한양대학교 도시공학과 박사수료)

魯 正 鉉

(한양대학교 도시공학과 교수)

### 目 次

- |                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| I. 서 론                      | VI. 프로토타입 적용 |
| II. 전통적인 최적경로 탐색 알고리즘의 분석   | VII. 결론      |
| III. 전문가 시스템을 이용한 최적경로 탐색   | 참고문헌         |
| IV. 최적경로 탐색 시스템(X-PATH)의 개발 | 부록           |
| V. X-PATH의 수행성능 평가          |              |

### ABSTRACT

The optimal path-finding problem becomes complicated when multiple variables are simultaneously considered such as physical route length, degree of congestion, traffic capacity of intersections, number of intersections and lanes, and existence of free ways. Therefore, many researchers in various fields (management science, computer science, applied mathematics, production planning, satellite launching) attempted to solve the problem by ignoring many variables for problem simplification, by developing intelligent algorithms, or by developing high-speed hardware.

In this research, an integration of expert system technique and case-based reasoning in high level with a conventional algorithms in lower level was attempted to develop an optimal path-finding system. Early application of experienced driver's knowledge and case data accumulated in case base drastically reduces number of possible combinations of optimal paths by generating promising alternatives and by eliminating non-profitable alternatives. Then, employment of a conventional optimization algorithm provides faster search mechanisms than other methods such as bidirectional algorithm and A\* algorithm. The conclusion obtained from repeated laboratory experiments with real traffic data in Seoul metropolitan area shows that the integrated approach to finding optimal paths with consideration of various real world constraints provides reasonable solution in a faster way than others.

\* 본 논문은 1995년 한양대학교 부설 산업과학연구소 연구비 지원에 의해 수행되었음.

## 1. 서론

최적경로 탐색 알고리즘은 경로안내시스템(route guidance system)의 중요한 요소 중의 하나로서 최근 첨단도로교통체계(ITS: intelligent transportation system)에 관한 연구가 활발히 진행되면서 그 기능과 역할이 새롭게 인식되고 있다. 특히, 시간에 따른 구간별 통행비용의 변화는 물론, 사고, 집회, 긴급공사 등 예기치 못한 요인으로 인한 정체와 같이 다변하는 통행여건하에서 실시간으로 최선해(best solution)를 탐색해야 한다는 면에서 최적경로 탐색 알고리즘은 경로안내시스템에서 매우 중요한 요소라고 할 수 있다.

이와 같은 최적경로 탐색은 경로안내시스템에서 다음과 같이 몇가지 요건을 갖추어야 한다. 첫째, 실시간 탐색이다. 전통적인 최적경로 탐색 알고리즘의 경우, 이용 가능한 경로중 최적해로서 가치가 없는 불필요한 부분까지 탐색하는 비효율적인 구조를 가지고 있어 교통망이 복잡하고 조밀할수록 그리고 대규모 교통망에서 출발지와 도착지가 멀수록 탐색 소요 시간이 매우 길어지는 단점을 안고 있다.

둘째, 최적성의 보장이다. 시간에 따라 매우 불규칙적으로 변화하는 통행비용하에서 동적으로 적응하는 최적경로 탐색이 이루어져야 한다. 이는 경로탐색에 앞서 선행되어야 할 통행비용의 산정 및 예측에 관한 문제로서 이에 관해서는 앞으로 많은 연구가 이루어져야 할 부분이다.

셋째, 도시가로망에 존재하는 다양한 통행방법(회전금지, U-turn, P-turn 등)이 고려되어야 한다. 이에 관해서는 이미 노정현,남궁성(1995)에 의해 효율적인 알고리즘이 개발된 바 있다.

본 논문은 위에서 언급한 내용 중 첫 번째와 두 번째에 관련된 내용으로서, 전문가 시스템을

이용하여 첫째, 유효 탐색영역의 효과적인 설정을 통한 탐색공간의 감소를 시도함은 물론, 이용자의 다양한 특성과 선호를 반영한, 보다 현실적이고 질 높은 최적경로 탐색 방법을 개발한다. 둘째, 시간에 따른 통행비용 변화에 기인한 최적경로 탐색 실패의 문제를 개선하기 위해 지금까지의 접근방법에 달리하여 과거 통행정보(case-based information)와 전문가의 지식(knowledge-based information)을 이용하는 방법을 개발한다.

특히, 전문가의 지식은 통행경험이 많은 운전자(특히 택시기사 등)의 '최선(best)의 경우지'에 관한 지식을 말하는 것으로 이를 바탕으로 경로의 탐색방향을 효과적으로 설정할 수 있음은 물론, 유효 탐색영역 설정기법이 갖는 탐색영역 감소효과를 향상시킬 수 있다.

결론적으로 본 논문에서 개발된 최적경로 탐색 시스템은 여러 개의 모듈(module)로 구성되는 하나의 시스템으로서 경로에 관한 경험적 사전 지식 및 불필요한 탐색을 억제하는 상식적인 수준의 지리 정보, 그리고 과거 자료를 활용하여 탐색의 실패를 개선하고 문제해결의 시간을 감소시키고자 하는 것이다. 이는 운전자의 경로계획(route planning) 의사결정을 지원하는 것으로 이하 'X-PATH'라 부르기로 한다.

한편, 개발된 최적경로 탐색 시스템의 실제 현장 적용성을 검증하기 위해서는 운전자 경로 선택 행태에 관한 분석이 선행되어야 할 것이나, 이는 본 연구의 규모를 벗어나는 것이기 때문에 여기서는 효과적인 경로계획(route planning)을 위한 구조(architecture)와 활용 알고리즘 개발만을 살펴보도록 한다. 특히, 다음장에서 언급될 '경험지식의 학습'은 신경망에 의한 것으로 현재 연구와 검증이 진행중이며, 본 논문에서는 전체 탐색구조에서의 역할만을 언급하였음을 미리 밝혀 둔다.

## II. 전통적인 최적경로 탐색 알고리즘의 분석

전통적인 최적경로중 단방향 탐색 알고리즘의 경우, 교통망이 복잡하고 조밀할수록 최적해의 탐색시간이 길어진다. 이는 최적해와는 상관없이 주어진 교통망상의 모든 링크를 탐색하는 비효율적인 탐색구조에 기인한다. 물론, 단일기종점간 최적경로를 찾고자 하는 경우, 종점노드가 영구표지될 때 알고리즘을 종료하는 방법이 있다. 이 방법은 적어도 종점 이후에 위치한 노드의 탐색을 어느 정도 억제하여 줌으로써 탐색속도를 향상시킬 수 있다. 그러나 시점 이전의 노드(backward node) 탐색은 막을 수가 없다.

이와 같은 비효율적인 문제를 해결하고자 인공지능(AI) 분야에서의 탐색기법을 적용한 몇 가지 방법이 시도되어 왔다.

첫번째, 가장 대표적인 방법으로 양방향 탐색 알고리즘(Pohl 1971) 이 있다. 이는 시점으로부터 탐색을 시도하는 전방 탐색(forward search)과 종점으로부터 탐색을 시도하는 후방 탐색(backward search)을 모두 실시함으로써 최적해의 탐색속도를 향상시킨 방법이다. 이 알고리즘의 종료는 시점으로 부터 확장된 노드와 종점으로부터 확장된 노드가 만날 때이므로 시점과 종점이 서로 일정거리내에 있는 경우 그 효과가 크지만, 시종점이 원거리에 있거나 전체 교통망의 양 끝단에 위치하는 경우 효과가 반감되는 한계를 가지고 있다. 또한, 이 방법의 가장 큰 결점으로서 전방탐색에 의한 경로와 후방 탐색에 의한 경로가 서로 만나기 전에 이미 각자 목표노드에 도달하는 경우, 기존의 단방향 탐색 알고리즘 보다 오히려 탐색속도 및 계산량의 부담이 더 커지는 결과를 초래한다는 것이다.

이와 같은 단점을 개선하기 위하여 많은 휴리스틱(heuristic)한 알고리즘들이 개발되었는데,

이들 수정 알고리즘들의 대부분은 출발지와 도착지에서 시작한 경로가 대체로 가운데 지점에서 만나도록 기존의 알고리즘을 개선한 것으로 대체로 성공적인 결과를 가져왔다. 그러나 어떠한 노드가 가장 확장하기에 적합한 노드인지를 결정하는 과정에서 많은 계산을 요구하는 단점이 있어 실시간 탐색이 요구되는 경로안내시스템을 위한 알고리즘으로는 부적합하다고 할 수 있다(김창호, 1995).

두번째, A\*알고리즘으로서 이 방법은 최적경로를 구축하는 과정중에 현재 노드에서 도착지까지의 잔여 경로비용의 '최소 추정치'(lower bound estimator)를 이용하는 것이다. 이는 시점을 기준으로 종점과 반대방향에 있는 영역과 종점을 기준으로 시점의 반대방향에 교통망 탐색을 최대한 억제시켜 줌으로써 기존의 단방향 탐색 알고리즘의 탐색속도를 상당히 향상시킬 수 있을뿐만 아니라 양방향 탐색 알고리즘 보다도 적은 영역의 탐색만으로 최적해를 발견할 수 있는 방법이다. 그러나 이 방법은 현재노드에서 도착지까지의 최소 비용을 실제치와 근사하게 추정해야 하는 부담이 따라, 거리보다는 통행시간을 비용으로 취급하는 교통망에서의 최적경로 탐색에 적용하기는 현실적으로 어렵다고 할 수 있다.

마지막으로, 양방향 탐색 알고리즘에 A\*알고리즘을 결합함으로써 불필요한 노드 확장을 최대한 억제하면서 경우에 따라 계산량이 단방향 탐색 알고리즘보다 커지는 양방향 탐색의 결점을 해결해보고자 하는 연구가 있다(de Champeaux & Sint 1977, Kwa 1989, Takahiro 1994). 이 역시 기존의 알고리즘에 비해 좋은 결과를 가져다 주었지만, 그럼에도 불구하고 이러한 수정 알고리즘의 가장 큰 결점은 현재노드에서 도착지까지의 최소 잔여비용을 추정해야 하는 A\*알고리즘의 근본적인 한계를 여전히 갖고 있다는 것이다.

### III. 전문가 시스템을 이용한 최적경로 탐색

본 논문에서는 경로에 관한 경험적 사전 지식을 3가지로 구분한다. 첫째, 풍부한 통행경험을 바탕으로한 '경로지식'으로서 이를 활용하여 경로 탐색 방향을 효과적으로 설정한다. 둘째, 경로탐색을 위한 상식적인 수준의 정보, 즉 '경로상식'이라 할 수 있는 것으로 이를 토대로 유효 탐색 영역을 설정한다. 여기서 경로상식은 탐색 영역에 대한 제한 규칙으로서 메타지식(meta-knowledge)에 해당한다. 이를 통해서 탐색공간을 특징적이고 효율적으로 제한할 수 있다. 셋째, '경험지식'으로서 과거 통행경험(또는 자료)을 추적, 학습함으로써 여건 변화에 따른 경로지식의 갱신 및 수정을 가능토록 함은 물론, 현재 통행 여건을 반영한 대안경로 및 예상 도착시간 등을 제공할 수 있도록 한다."

#### 1. 경로지식을 이용한 최적경로 탐색

##### 1) 경로지식의 활용

기존의 전통적인 최적경로 탐색 알고리즘이 도착지의 위치에 관계없이 전체 교통망을 탐색 대상 범위로 하는 것과는 달리, 실제 운전자의 경로탐색은 운전자가 현재 위치에서 도착지까지 제한된 범위내에서 단지 몇 개의 대안경로만이 고려되고 있음을 발견할 수 있다. 이 때 운전자는 자신의 과거 통행경험을 바탕으로 피

해 가야 할 곳을 제외한 나머지 가능한 곳 중에서 주요 경유지만을 개략적으로 결정한 후, 실제 주행 과정에서 시종점과 경유지간 구체적인 경로를 선택해 간다.

예를 들어, A지점에서 B지점으로 가고자 할 때, 경험이 많은 운전자의 경우, 단지 몇 가지 대안만을 대상으로 자신의 경로를 선택한다. 여기서 그 대안이란 도착지까지의 완전한 경로가 아니라 단지 거쳐가야 할 부분 경로에 관한 것으로서 현재 위치와 그 부분 경로의 시작점, 그리고 부분 경로의 끝점과 도착지를 연결하는 최적경로에 관한 선택은 그 다음 과정을 통해 선택된다. 이와 같이 도착지까지의 통행경험이 풍부한 운전자일수록 만성 정체 구간과 같이 피해 가야 할 경로를 제외한 나머지 경로중에 현재의 여건(시간대, 기상상태, 요일 등)을 고려한 하나 이상의 경유구간(또는 지점)을 결정한 다음, 그 구간들을 연결하는 최적경로를 자신의 과거 통행경험을 토대로 동일한 과정을 거쳐 구한다.

대개의 경우, 이와 같이 통행경험을 바탕으로 하여 얻어진 경유구간을 포함하는 경로탐색은 시간에 따라 변화하는 통행여건하에서 비교적 우수한 해를 제공한다. 일반적으로 이와 같은 경험적 기법은 조사해야 할 경로의 질(통행시간의 측면에서)을 향상시킬 수 있으므로 선택된 경로는 보다 실용적이라 할 수 있다.

여기서 경유지의 선정은 자신의 목적 함수의 성패를 결정하는 주요한 요소로서 이 과정에서 운전자는 현재 자신이 알고 있는 통행정보(특히 공사, 차선통제, 상습정체구간 등)와 자신의 경로선택 선호를 적극 반영하고자 한다. 따라서 경로통행 경험이 많을수록 최적경로의 선택 가능성이 그 만큼 높아질 수 있으며, 이에 관한 학습 정보를 사전에 구축하여 활용할 수 있다면 보다 효과적인 경로선택이 가능해 질 수 있다.

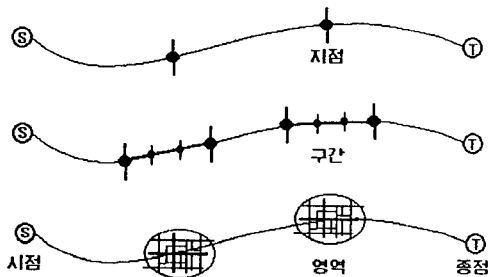
1) 여기서, 경로지식과 경험지식은 경로에 관한 경험정보라는 점에서 그 맥락을 함께 한다. 그러나 경로지식은 통행경험이 많은 운전자로부터 획득되어 사전 구축된 정보이며, 경험지식은 시스템 스스로 이용자의 통행결과를 저장하여 축적된 자료를 바탕으로 하는 것이다. 즉, 경로지식은 이미 학습된 정보라고 할 수 있으며, 경험지식은 시스템이 학습한 정보이다.

이와 같이 경로선택을 위한 사전지식(경유지에 관한)을 경로지식(knowledge-based information)이라 한다.

지금까지 설명한 경로지식의 유용성을 살펴 보기 위해서는 실제 경로지식의 구축을 통하여 경로지식이 과연 얼마만큼 해의 질적 향상에 기여할 수 있는지를 검토하는 것이 바람직하겠으나, 이는 상당한 시간과 노력이 요구되는 일인만큼, 본 논문에서는 경로지식의 구축 방안과 탐색기법 측면에서의 효과만을 다루기로 한다.

2) 경로지식의 구축

많은 통행경험을 통해 보다 적절한 경로선택을 할 수 있는 사람(말하자면, 택시기사와 같이 길을 잘 알고 있는 운전자)의 경로지에 관한 지식(즉, 경로지식)은 다음 <그림 1>과 같이 지점(교차로), 구간(부분 경로), 영역 등 3가지 형태가 혼용되어 나타난다.



< 그림 1 > 경로지식의 표현

<그림 1>과 같이 여러 형태로 표현되는 최적 경로지에 관한 지식을 컴퓨터내에서 효과적으로 저장·활용하기 위해서는 하나의 형태로 통일할 필요가 있다. 이를 위해 <그림 1>과 같은 3가지 형태의 경로지에 관한 경로지식을 하나의 대표노드(critical node)를 중심으로 하는 일정범위의 반경을 갖는 '원내 영역(circle area)'으로 변환한다.

이 때, 경로탐색은 다음 절에서 설명될 '유효 탐색영역'과 변환된 '경유지 영역'내의 노드만을 대상으로 수행된다. 이와 같은 최적 경로지 설정은 경로의 탐색 방향을 결정하는 것으로 이를 이용한 경로탐색은 출발지와 경로지 그리고 경로지와 도착지를 연결하는 과정이라 할 수 있다.

경유지에 관한 경로지식은 주어진 교통망을 격자형 구역으로 분할한 후, 이를 기준으로 <표 1>과 같이 각 구역간 최적 경유 노드를 2차원 행렬(matrix) 형식으로 저장하여 활용한다(만약 일부 기종점에 대해 후보 경로지가 2개 이상 존재하는 경우, 또는 동일 기종점에 대해 시간대별로 최적 경로지가 다른 경우가 있다면, 경로지식은 3차원 행렬 구조를 가질 것이다. 또한 주어진 출발지와 도착지간 최적 경로지의 보다 효과적인 구축을 위해서 대구역, 소구역으로 구분되는 2단계 격자형 구역 분할을 고려해 볼 수 있다. 이는 향후 경로지식의 실제 구축과정을 통해 밝혀져야 할 문제로서 구체적인 논의는 본 논문에서 다루지 않는다).

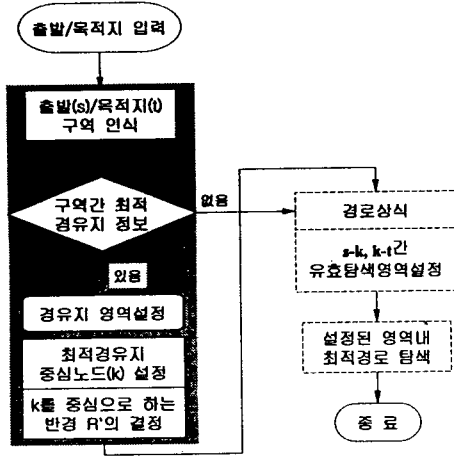
<표 1> 경로지식 구축의 예

구역번호	1	2	3	...	47	48
1	/	-	55	...	98	450
2	-	/	-	...	567	156
3	61	-	/	...	410	176
.	.	.	.	...	.	.
.	.	.	.	...	.	.
.	.	.	.	...	.	.
47	110	567	357	...	/	-
48	471	149	180	...	-	/

註: 1. 각 란의 번호는 노드 번호로서 총 48개 구역간 최적 경로지 중심노드를 나타냄.  
2. 각 구역간 경로지 중심노드는 1개만을 가정하였음.

<표 1>과 같이 구축된 경로지식을 토대로한

최적경로 탐색은 다음과 같은 과정을 통해 수행된다.



〈그림 2〉 경로지식을 이용한 최적경로 탐색과정

## 2. 경로상식을 이용한 유효 탐색영역 설정 기법

### 1) 경로상식의 활용

앞서 설명한 바 있듯이 전통적인 최적경로 탐색 기법은 교통망상의 모든 노드를 탐색대상으로 함으로써 불필요한 시간과 소요 메모리 용량의 증가를 감수해야 하는 단점을 갖고 있다. 그러나 실제 탐색 대상 경로중에는 많은 부분이 상대적으로 비교할 가치가 없는 것들이다. 예를 들어 여의도에서 종로를 가고자 할 때 종로와 정반대 방향의 김포공항을 경유하는 경로, 또는 매우 먼 거리를 우회해야 하는 불광동을 경유하는 경로 등은 애초 탐색대상으로 포함시킬 가치가 없는 것들이다.

결국, 최적경로는 출발지와 도착지 사이의 일정 영역내에 존재한다고 할 수 있다. 만약 이 영역을 효과적으로 설정할 수만 있다면 제한된 영역만을 탐색대상으로 하므로 탐색시간을 대

폭 줄일 수가 있다. 이는 기존의 전통적인 최적 경로 탐색 알고리즘이 교통망의 규모가 커짐에 따라 계산량이 증가함을 감안할 때 매우 효율적인 방법이라 할 수 있다. 왜냐하면 교통망의 규모가 커진다 하더라도(예를 들어 서울시 교통망에서만 아닌 수도권 전체 교통망을 대상으로 하는 경우) 이와 같은 방법은 동일한 출발지와 도착지간에 대해서 설정된 탐색영역의 규모는 변함이 없기 때문이다.

이를 위해 본 논문에서는 탐색영역의 설정을 위해 경로탐색시 '출발지에서 도착지 반대 방향의 영역과 도착지 이후의 영역은 탐색하지 않는다'라는 규칙과 '운전자의 주행 궤적은 출발지와 도착지를 잇는 직선을 기준으로 일정 영역 이상 벗어나지 않는다'라는 제한 규칙을 둔다. 이는 인간이 경로를 탐색하는 과정에서도 잘 나타나는 것으로, 상식적인 수준의 경로정보라는 의미로서 '경로상식'이라 할 수 있다.

이상의 두가지 제한 규칙은 한마디로 '최적경로는 두 지점 사이의 2차원 영역내에 존재한다는 사실'을 의미하는 것으로 본 논문에서는 유효 탐색대상 영역을 출발지와 도착지를 초점으로 하는 '타원(ellipse)'내로 제한한다.

이는 앞서 언급한대로 운전자의 주행경로가 출발지와 도착지를 사이의 일정범위 이상을 벗어나지 않는다는 사실에 바탕을 두고 있다. 다시 말해, 2차원 좌표상에서 주행차량의 공간상의 이동 범위는 현재 위치에서 최초 출발지까지의 직선거리와 도착지까지의 직선거리의 합이 일정한 값을 넘지 않는 영역내에 존재한다는 것으로, 결국 주행경로는 대체로 출발지와 도착지간 가운데 지점으로 갈수록 볼록한, 그리고 양 끝 점에 가까워지면서 다시 좁아지는 형태의 공간내의 범위로 제한된다. 이는 결국 '두 점간의 거리의 합이 일정한 점의 궤적'을 나타내는 '타원'과 그 모양이 유사하다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 경로상식을 이용하여 유효 탐색영역을 설정하는 방법(network filtering)은 적절한 기준을 토대로 최적경로를 포함하고 있으리라 예상되는 공간을 설정하고 그 공간내 링크들만을 대상으로 탐색을 시도하는 직관적인 탐색 공간 감소 기법이라 할 수 있다.

2) 유효 탐색영역의 설정

타원 영역은 임의의 노드로부터 출발지 그리고 도착지까지의 직선거리의 합이 일정한 범위를 말한다. 여기서 타원의 크기는 출발지와 도착지간 직선거리(d)에 대한 실제 최대 주행거리(l)의 비율(r)로서 결정할 수 있다. 이 경우, r은 출발지와 도착지간의 상대적인 이격(離隔) 정도와 교통망의 밀도에 따라 다르게 적용되어야 한다. 다시 말해, 출발지와 도착지간의 거리가 가까우면 가까울수록 교통망의 밀도가 작으면 작을 수록(즉, 성기면 성길수록) r은 큰 값을 가져야 한다. 그 이유는 가까운 거리일수록 운전자의 경로선택에 있어 우회거리의 허용범위가 커지고 교통망의 밀도가 작을수록 그 만큼 제한된 범위내에서 선택가능한 대안 경로가 적기 때문에 보다 넓은 영역을 탐색할 필요가 있기 때문이다.

한편, 최적경로 탐색시 탐색공간을 타원내의 영역으로 제한하는 방법은 다음과 같은 몇 가지 문제점을 갖고 있다. 우선 첫째, 후향 경로를 고려하지 못한다. 즉, 이용경로에 따라 출발지를 기준으로 도착지와 반대 방향으로의 경로를 선택할 경우가 있는 데, 이와 같은 경우가 누락되기 쉽다. 둘째, 멀리 돌아가는 우회경로를 고려할 수 없다. 특히 강변도로, 순환도로 등과 같은 도시내 장거리 통행시 이용빈도가 높은 도로가 원천적으로 제외될 수 있다.

이를 위해 본 논문에서는 다음과 같은 해결 방안을 제시한다. 첫째, 후향경로를 고려하기 위

해 출발지와 도착지를 중심으로 하는 일정 영역의 원을 설정하고 이를 출발지와 도착지를 초점으로 하는 타원과의 OR연산에 의해 참이 되는 영역만을 탐색대상으로 한다. 둘째, 도시내 지역간 주간선(특히, 순환도로를 포함하여 강변도로와 같은 자동차 전용 도로 등)은 탐색공간의 제한을 받지 않도록 한다. 즉, 무조건 탐색대상으로 포함한다.

이상과 같은 내용을 토대로 유효 탐색영역의 크기를 설정하는 방법은 다음과 같다.

우선, 타원의 크기는 다음 (식 1)의 E에 의해 결정된다.

$$r = \frac{(d_{ns} + d_{nt})}{d_{st}}$$

$$E = r \cdot d_{st} \tag{식 1}$$

여기서, s, t : 출발노드, 도착노드

$d_{nm}$  : 노드 n에서 노드 m까지의 직선 거리

$r^*$  : r의 최대값.

E :  $(d_{ns} + d_{nt})$ 의 최대 허용치로서 타원의 크기를 결정함.

한편, 후향 경로를 고려하기 위해 출발노드와 도착노드를 중심으로 설정되는 원(circle) 영역은 다음 식에 의해 계산되는 원의 반경 R에 의한다.

$$K = \frac{1}{2}(E - d_{st}) = \frac{d_{st}}{2} \left( \frac{E}{d_{st}} - 1 \right)$$

$$= \frac{d_{st}}{2} (r^* - 1)$$

$$R = cK = \frac{c}{2} (r^* - 1) d_{st} \quad (c > 1) \tag{식 2}$$

여기서, K : 타원의 경계와 초점간의 수평거리

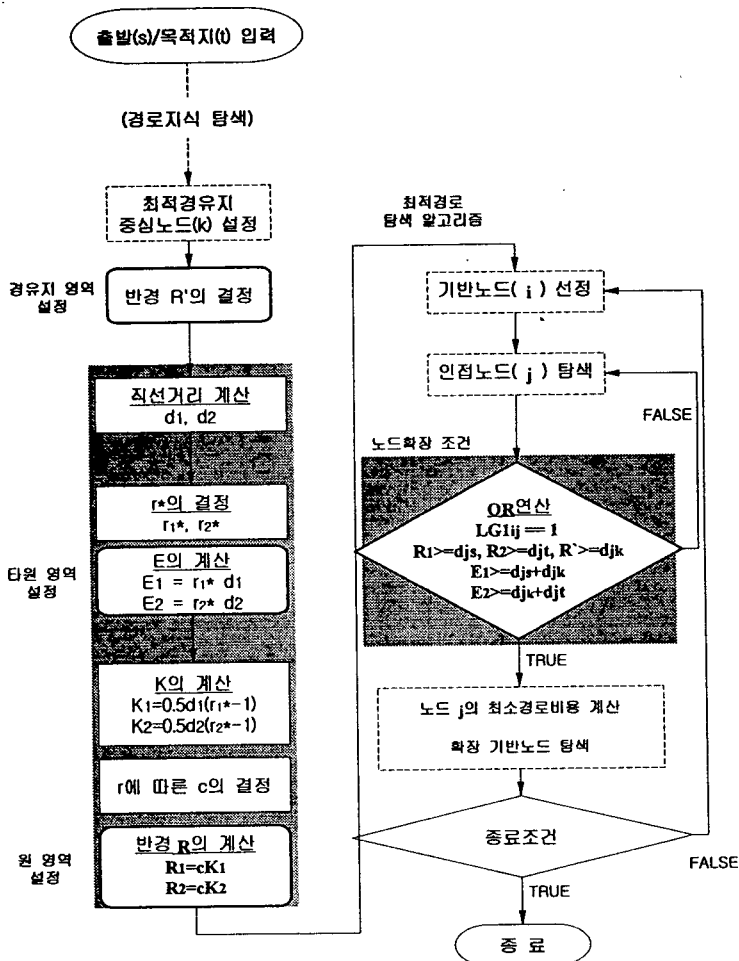
R : 노드 s 또는 t를 중심으로 하는 원의 반경

c : 반경 R의 계수

결론적으로, 두 지점간 '직선거리'에 대한 최대 주행거리의 비( $r^*$ )와 '후향 우회경로의 범위'를 결정하는  $c$ '를 적절하게 결정할 수만 있다면,<sup>2)</sup> 이를 통해 얻어지는(식 1, 2참조) 타원의 범위 E와 원의 범위 R을 이용하여 탐색 노드의 규모를 효율적으로 감소시킬수가 있다. 탐색노

드를 선별하는 기준은 다음 <그림 3>에서 나타난 '노드확장조건'에 의한다.

2) 이는 운전자의 경로선택에 관한 행태 분석을 통하여 이루어져야 하는 문제로서 향후 과제로 남겨두고, 본 논문에서는 활용 알고리즘만을 개발한다.



註: 1. 첨자 '1'은 노드 s-k간(시점과 경유지 중심노드간), 첨자 '2'는 k-t간(경유지 중심노드와 종점노드간)을 의미함.  
 2.  $LG1ij=1$ 은 링크그룹 코드로서 링크 (i, j)가 지역간 간선(순환도로, 강변도로 등)임을 의미함.

< 그림 3 > 경로상식 기반 유효 탐색영역 설정을 이용한 경로탐색 과정



### 3. 경험지식을 이용한 최적경로 탐색

일반적으로 운전자는 새로운 경로계획이 가능한 모든 경로의 조합을 시도하기보다는 현재의 통행여건(시간대, 요일, 기상상태 주요구간 통행정보)을 바탕으로 주어진 출발-도착시간 통행경험을 적극 활용한다.

이때 활용되는 대표적인 경험정보로는 소요 시간, 이용경로 등이 있다. 운전자는 가능한 한 과거에 통행한 적이 있는 경로를 선호하는 경향이 있으며, 이때 경로통행 경험이 풍부한 사람일수록 많은 대안경로를 가지고 있으며, 현재의 통행여건을 고려하여 그 중 최선의 경로를 선택한다.

경험지식을 이용한 최적경로 탐색은 과거 통행경험을 축적하여 경로탐색에 활용하고자 하는 것이다. 이는 과거의 성공과 실패의 경험을 토대로 하기 때문에 경험정보의 조직화, 분류, 수정 등이 매우 중요한 요소로 취급된다. 특히, 성공의 경험정보(시스템에 의해 제시된 예상 경로통행 시간과 통행종료후 실제 경로통행시간과 차이가 허용치 이내인 경우)는 다음의 경로계획을 위해 저장되며, 실패의 경험정보는 기존 경험정보 및 사전 구축된 경로지식의 평가와 수정을 위한 자료로서 활용된다.

이상의 내용을 토대로 하는 경험지식의 활용은 최적경로 탐색 시스템내에서 출발지와 도착지 그리고 출발시간이 주어졌을 때 현재의 통행여건을 토대로 대안경로 및 예상도착시간 그리고 이용자 요구에 따라 최적 출발시간을 산출하는데 목적을 둔다. 이 때 경험정보에 관한 학습과정(learning process)이 요구되는 데, 이는 새로운 상황에 올바르게 적응하기 위한 매우 중요한 요소라고 할 수 있다.

본 논문에서는 이를 위해 신경망(neural network)을 이용한 경로학습모듈을 구상한다.

단, 서론에서 언급한 바 있듯이 과거 경험정보를 토대로 하는 신경망 경로학습기는 현재 연구진행중이며, 본 고에서는 연구의 범위상 전체 시스템 구조상에서의 구상안만을 제안한다. 단, 시스템의 구현예를 위해서 과거 동일시간대 통행경로가 저장되어 있는 경우, 이를 경로지식과 경로상식을 토대로 최적화된 경로와 함께 하나의 대안경로로서 제공토록 하였다.

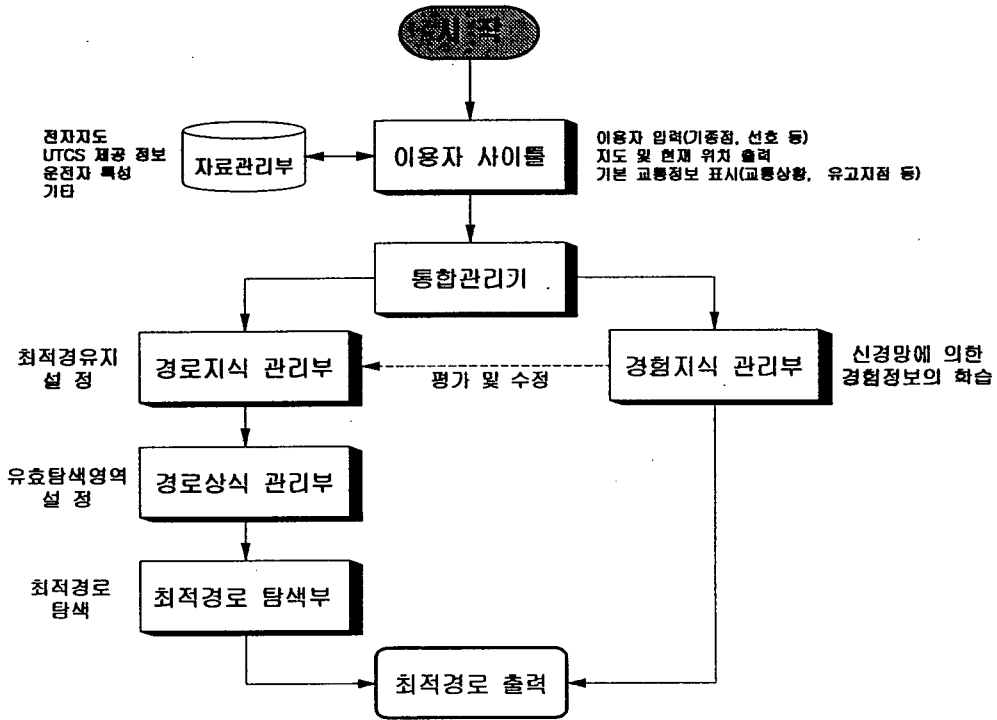
## IV. 최적경로 탐색 시스템(X-PATH)의 개발

### 1. X-PATH의 경로탐색 구조

X-PATH는 크게 4개의 단계로 나누어 진행된다. 즉, 운전자의 개인 특성 및 경로선택 선호, 그리고 각종 교통기반정보를 저장하고 분석, 처리하는 자료관리(data base management)단계, 현재의 통행여건과 경로지식 그리고 풍부한 통행경험을 토대로 경로의 결정 기준을 제공하는 경로계획(route planning)단계, 결정된 경로계획과 경로에 대한 직관적인 상식을 기반으로 탐색영역을 설정하는 유효영역추출단계(network filtering), 마지막으로 실시간으로 수집된 링크통행비용을 토대로 설정된 영역내에서 최적경로를 결정하는 최적화 단계(network optimizing)로 나누어진다.

여기서 자료관리단계는 교통망에 대한 기초 정보 등을 포함하는 내부 입력부분 및 실시간 교통정보를 처리하는 외부입력부분으로 나뉘며, 경로계획단계는 경로지식 추출부분과 과거 통행경험을 토대로 하는 경험정보 추론단계로 구분된다.

이상과 같은 X-PATH의 경로 탐색 기본 구조를 간단하게 나타내면 다음 그림과 같다.



〈 그림 4 〉 X-PATH의 경로탐색 구조

최적경로 탐색을 위해 X-PATH는 이용자 사이틀(user interface)을 통해 우선 출발지와 도착지를 입력받는다. 여기서 현재 위치와 출발지가 동일하다면 차량 항법 장치(car navigation device)에 의해 자동으로 입력되며, 그렇지 않을 경우에는 운전자에 의해 직접 입력된다. 이와 함께 운전자의 요구에 따라 선호/회피구간 및 희망경유구간, 출발시간, 도착희망시간 그리고 기타 최소화하고자 하는 목적변수(거리최소, 시간최소, 경로인식수준 등) 등을 입력 받는다. 이외에도 운전자의 운전속달정도, 직장 및 거주지 위치 등 기본정보가 내장치로서 사전에 입력된다.

이상의 입력 정보를 토대로 통합관리기(system manager)는 사전에 저장된 경로지식(knowledge base)과 경험지식(case base)에 대한 탐색 지시를 내린다. 경로지식 관리부에서는

최적 경유지를 설정하고(만약 주어진 출발/도착지간 경유지가 없다면 이 부분은 수행되지 않는다) 경로상식을 바탕으로 이를 포함한 유효 탐색영역을 설정한다. 그 다음 최적화 단계에서 설정된 영역내 탐색을 통해 최적경로를 결정한다.

또한, 경험지식 관리부에서는 사전에 학습된 경험정보를 바탕으로 현재 통행여건(시간대, 요일, 기상상태 등)을 고려하여 과거 유사한 통행여건하에서 평균적으로 최선의 결과를 얻었던 경로를 예상 통행소요시간과 함께 제안한다. 이는 또 하나의 대안경로로서 제공되어 운전자의 경로 선택의 폭을 넓혀준다. 만약 저장된 관련 경험정보가 없다면 이 부분은 수행되지 않는다.

실제로 시스템의 효율적인 구현을 위해서 유효 탐색영역 설정(network filter)은 노드확장 조

건으로서 최적화단계에 통합된다. 즉, 최적화단계에서 별도로 유효영역내의 교통망을 재구성하여 이를 대상으로 최적경로 탐색하는 대신, 최적경로를 탐색하는 과정에 적절한 탐색조건(설정된 유효영역내 현재 탐색대상 링크가 포함되는지의 여부)을 삽입함으로써 수행 성능을 높이도록 한다(그림 3 참조).

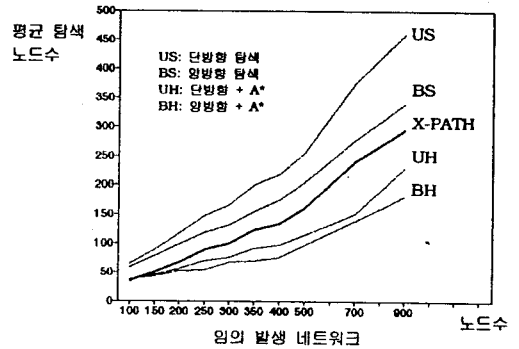
### V. X-PATH의 수행성능 평가

X-PATH의 가장 큰 특징은 탐색공간의 감소에 있다. X-PATH는 불필요한 노드 탐색을 억제하기 위해 기초적인 지리정보를 이용한다(이를 경로상식이라 하여 2장에서 설명한 바 있다). 이와 같은 방법은 탐색영역을 제한함으로써 프로그램의 초기종료를 가능케하여 실행시간과 소요 메모리의 용량을 줄일 수 있도록 한다. 여기에 최적 경유지에 관한 경로지식의 이용은 탐색의 개략적인 방향을 결정해 주어 탐색 영역은 보다 효과적으로 감소될 수 있다.

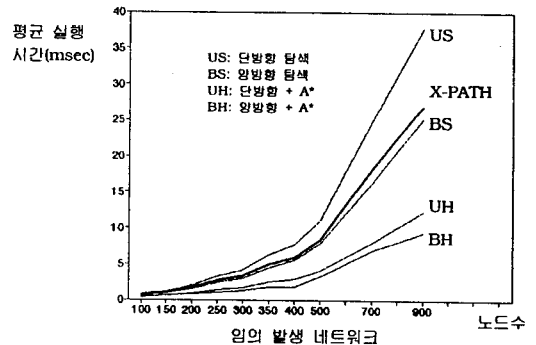
단방향 탐색 알고리즘과 이들 수정 알고리즘을 총 4가지(2장 참조)로 분류하여 임의 발생시킨 네트워크를 대상으로 탐색노드와 실행시간 측면에서 X-PATH와 비교한 결과는 <그림 4>, <그림 5>와 같다. 이는 출발/도착지간 거리에 따른 알고리즘간의 탐색효율을 살펴보기 위해 대각선상에 위치하는 모든 노드들간의 최적경로 탐색을 수행한 결과이며, 모든 탐색 알고리즘은 Dijkstra알고리즘을 기반으로 하였다. 여기서 X-PATH는 단방향 탐색에 경로상식에 의한 유효 탐색영역 설정 기법만을 적용한 결과이다.

한편, 알고리즘 비교를 위해 사용된 네트워크는 모든 노드의 유입, 유출차수가 각각 4인 장방 격자형으로서 각 노드의 좌표는 랜덤하게 발생시켰다. 여기서 각 노드를 연결하는 링크는

서로 겹치지 않도록 하였으며, 모든 링크는 양방으로 하였다.



<그림 5> 알고리즘간 평균 탐색 노드수 비교



<그림 6> 알고리즘간 평균 실행시간 비교

<그림 5>와 <그림 6>에서 보는 바와 같이 X-PATH는 평균 탐색노드수를 통해 살펴 본 탐색공간의 감소효과 측면에서 3번째, 그리고 평균 실행시간 측면에서는 4번째로 우수한 것으로 나타났다. 그러나 양방향 탐색 알고리즘과 A\*알고리즘의 경우, 앞서 2장에서 지적한 근본적인 한계로 실제 교통망에 적용하기가 현실적으로 어렵다는 점을 감안할 때, X-PATH의 수행성능은 우수한 것이라 할 수 있다. 특히, 교통망의 밀도가 동일하다고 할 때, X-PATH는 교통망의 규모가 커진다 하더라도 같은 기준점에 대해서 거의 일정한 수준의 계산량을 유지할 수 있다는 점은 주목해야 할 부분이다.

한편, 경로지식의 도입은 이와 같은 X-PATH의 수행성능을 보다 향상<sup>3)</sup> 시켜 줄 수 있을뿐만 아니라 풍부한 통행경험을 이용함으로써 경로선택의 실패를 최소화시켜 줄 수 있다.

이와 같은 탐색은 서울과 같이 한강을 가운데 두고 강남과 강북으로 나누어져 연결로가 명확하게 제한되어 있는 경우에 더욱 유용하게 활용될 수 있다. 즉, 강남과 강북간 통행시 전문가적인 경로지식을 토대로한 통과 교량의 적절한 선택은 최적경로 선택의 중요한 관건이 될 수 있을 뿐만 아니라 이를 사전에 결정할 수 있다면 경로의 탐색범위를 대폭 감소시킬 수 있기 때문이다. 서울과 주변 위성도시, 그리고 마산, 창원, 진해와 같이 서로 인접하여 하나의 대생활권내에 있는 도시간 통행에 있어서도 마찬가지로, 이는 인접 도시간 통행시 주로 이용하는 지역간 도로는 몇개로 제한되어 있기 때문이다.

## VI. 프로토타입 적용

### 1. 프로그램의 개발

#### 1) 프로그램 개발환경 및 구성

프로그램은 C언어로 작성하였으며 Borland C++ 3.0에서 컴파일 하였다. 사용자 환경은 보다 쉽고 편리한 이용을 위해 GUI(graphic user interface)를 채택하였으며, 586PC 100MHz에서 실행되었다.

3) 2500개의 노드, 9800개의 링크로 구성된 임의 발생 네트워크에서 대각(對角) 방향의 가장 끝에 있는 두 노드간(이는 장방형 네트워크에서 직선거리상 가장 먼 경우에 해당함) 최적경로를 탐색한 결과, 경로상식만을 이용하였을 경우에는 약 30%, 경로상식과 경로지식을 모두 이용하였을 경우에는 약 40%의 탐색노드 감소효과를 가져왔다. 실행시간 측면에서는 각각 26%, 38%의 개선이 있었다(부록 2 참조).

파일의 구성은 크게 자료파일과 실행파일(execution file)로 이루어지며 그 중 자료파일은 수치지도(digital map)파일, 경험정보(case-based information)파일, 경로지식(knowledge-based information)파일 3가지로 구성된다. 중앙센터로부터 실시간으로 수신되는 링크통행시간 및 유고 및 공사, 집회, 통제구간 등은 읽혀진 수치지도 파일의 각 링크정보에 자동으로 포함되며, 아울러 경험정보 파일에는 현재 시간대, 요일, 기상상태, 주행경로, 출발시간, 도착시간 및 주요구간(특히 경로지식 파일내 저장되어 있는 경우구간)별 주행시간 등이 기록된다. 한편, 경로지식파일에는 전문가적인 경험지식을 바탕으로 취득된 최선의 경유지 및 우회구간에 관한 정보를 저장하며, 이는 실시간으로 수신되는 통행정보를 토대로 갱신이 허용된다. 이와 같은 파일내 정보의 갱신, 추가, 입출력을 포함하여 외부로부터 수신되는 각종 통행정보의 처리 등은 자료관리자(data base maintainer)에 의해 총괄된다.

본 장에서는 앞서 제안한 최적경로 탐색 시스템의 실현 예를 가시적으로 보여주고자 하는데 그 목적을 두고 있으므로 프로그램의 표현범위를 메뉴와 수치지도의 표시, 그리고 경로지식과 경로상식을 이용한 최적경로 탐색의 예를 보여주는 것으로 한정한다.

개발된 프로그램은 다음과 같이 총 10개부분으로 구성된다.

- (1) 초기화면 및 메뉴 출력부
- (2) 전자지도의 출력 및 좌표인식부
- (3) 자료관리부
- (4) 링크통행비용 설정부
- (5) 이용자 입력부
- (6) 경험지식 관리부
- (7) 경로지식 관리부
- (8) 경로상식을 이용한 유효 탐색영역 설정부

- (9) 최적경로 탐색부
- (10) 최적경로 출력부

## 2) 도로망 구성 및 입력자료

대상 도로망은 305개의 노드와 992개의 링크로 이루어진 서울시 편도 2차선 이상의 간선도로망을 수치지도화하여 이용하였다.

한편, 전체구역을 48개의 대구역으로 나눈 다음, 이를 다시 192개의 소구역으로 분할하여 경로지식을 표현하는 데 이용하였으며, 각 구역별로 임의의 최적 경유지를 설정하였다. 최적 경유지는 시간대(오전첨두, 오후첨두, 비첨두 등)에 따라 다를 수도 있겠으나, 여기서는 단순히 출발지와 도착지간에 1개의 경유지만을 고려하였다. 여기서 경유지는 앞서 설명한대로 하나의 대표노드를 중심으로 하는 일정 반경의 원내영역을 말한다. 한편, 경험정보 지식은 동일한 통행여건을 가정하여 임의의 5개 구간(잠실-사당, 청량리-서울역, 청량리-신촌, 청량리-잠실, 한양대-상명여대)에 대해 방향별로 보편 타당한 경로를 완전하게 구성하여 활용하였다.

도로망 입력자료는 자료호환을 위해 교통 수요 분석 패키지인 TRANPLAN(transportation planning modelling software)의 입력형식과 유사한 구조를 취하였으며, 구성은 링크정보(출발노드, 도착노드, 거리, 평균속도, 링크그룹, 혼잡수준, 일방여부, 유-턴정보, 출발/도착노드 구역, 통행여부), 노드정보(노드번호, 노드 XY좌표, 신호등설치여부)를 비롯하여 회전금지 정보로 이루어진다. 여기서 링크그룹은 차선(1~4차선)별, 도로기능(지역간선, 주간선, 보조간선, 집분산도로)별, 도로이용형태(자동차 전용도로, 일반도로)별, 링크통행상태(정상, 공사, 정체, 통제상태)별 총 4개 그룹으로 구분하였다. 또한 혼잡수준은 센터로부터 수신되는 링크통행시간(본 논문에서는 링크거리로 하였음)을 말하며, 통행

여부 부분은 운전자의 경로인식수준을 나타내는 것으로 주행중 해당 링크를 통과한 경우 그때마다 이용횟수가 가산되어 기록되게 한다(이는 다음 경로계획시 하나의 경로선택 선호로서 고려된다).

## 2. 프로그램의 수행

프로그램의 초기화면에는 교통망과 메뉴가 나타나며, 출발지/도착지 및 선호/회피구간 등은 교통망위에 직접 입력되도록 한다. 또한 교통량의 증가, 유고발생, 공사, 집회/시위 등으로 극심한 정체가 발생하고 있거나 예상되는 구간은 색상이나 점멸 등의 방법으로 별도로 구분되어 표시되도록 한다. 항법장치(navigation device)가 지원되는 경우, 현재위치를 자동으로 표시함으로써 현재 위치를 중심으로 전체 개략적인 교통상황이 쉽게 파악되도록 한다.

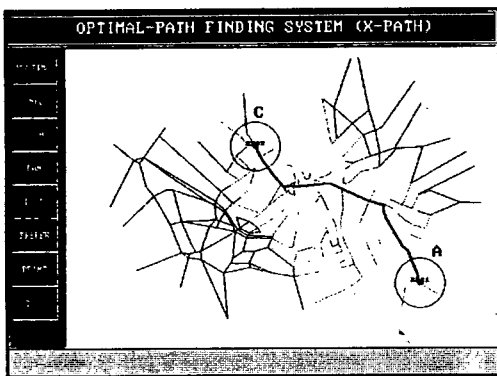
이용자에 의해 출발/도착지 위치(현재위치가 출발지라면 출발지 위치는 자동입력), 경로선택 선호, 선호/회피구간 등이 입력되면, 우선, 현재 통행여건(시간대, 요일, 기상상태)을 토대로 과거 경험지식을 검색한다. 입력된 출발지와 도착지간 경험지식이 발견되면 도착예상시간 및 최적 출발시간 등의 정보와 함께 최적경로를 출력한다. 만약 경로를 구성하고 있는 각 링크의 현재 통행비용(센터로부터 수신된 실시간 정보)과 경험정보내에 저장된 통행비용과의 차이가 한계치를 넘거나 경로상에 유고 및 공사, 시위/집회 등으로 극심한 정체가 발생하거나 예상되는 구간이 존재하면, 해당 구간에 대해 우회경로 탐색을 시도한다. 이는 경로지식에 의한 최적경로의 대안경로로서 제안된다.<sup>4)</sup>

4) 이와 같은 기능은 현재 개발된 프로토타입 프로그램에서 실행가능한 것이 아님.

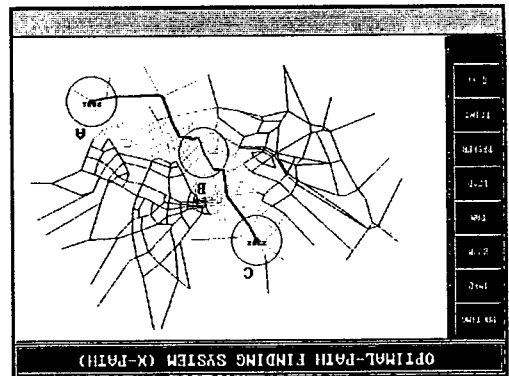
다음으로 경로지식을 바탕으로 출발지와 도착지간 최선의 경유지를 선정한 후, 출발지와 경유지간, 경유지와 경유지간, 경유지와 도착지간 유효 탐색영역을 설정한다. 유효 탐색영역은 출발지와 도착지, 그리고 경유지의 대표노드를 각각 중심으로 하는 일정 반경의 원내 영역과 이들 중심을 초점으로 하는 타원내 영역으로 설정한다. 한편, 순환도로 및 자동차 전용도로(강변도로, 도시내 고속도로 등), 지역간 주간선 등은 탐색영역의 설정과 상관없이 포함하도록 한다.

마지막으로 설정된 탐색영역내 도로망을 대상으로 최적경로 탐색 알고리즘을 수행한다.

〈그림 7〉은 경로지식에 의한 최적 경유지가 주어지지 않은 경우이며, 〈그림 8〉은 경로지식에 의해 최적 경유지가 주어진 경우이다. 특히, 〈그림 8〉은 경유지내에서 선택가능한 3개 교량 중에서 반포대교가 선택된 경우이다. 여기서 A는 출발지, C는 도착지 그리고 B는 경유지의 대표노드를 중심으로 하는 원내 영역을 나타낸다. X-PATH는 A, B, C를 중심으로 하는 원내 영역과 A와 C 그리고 B와 C를 양 초점으로 하는 일정범위의 타원내의 영역을 대상으로 최적 경로를 탐색한다.



〈그림 7〉 경로상식을 이용한 X-PATH의 최적경로 탐색



〈그림 8〉 경로상식과 경로지식을 이용한 X-PATH의 최적경로 탐색

## VII. 결 론

본 논문은 차량 탑재용 장치내 경로안내시스템 지원 최적경로 탐색 부분에 관한 것으로 경로의 최적성 및 탐색기능 향상에 목적을 두고 있다. 이를 위하여 전문가시스템을 도입, 경로지식, 경로상식, 경험지식 등 경로에 관한 직관적이고 경험적인 지식을 경로탐색에 응용함으로써 그 효과와 활용 가능성을 살펴보고, 아울러 이를 바탕으로 효율적인 최적경로탐색 시스템(X-PATH)을 개발하였다.

X-PATH의 가장 큰 특징은 탐색공간의 감소라고 할 수 있다. 이는 대규모의 복잡한 교통망에서의 실시간 탐색을 가능토록 해준다. 즉, 교통망의 규모가 커짐에 따라 출발지와 도착지의 상대적인 위치에 관계없이 계산량이 막대하게 증가하는 기존의 알고리즘과는 달리 X-PATH에 의한 경로탐색은 교통망의 밀도가 동일하다고 할 때, 교통망의 규모가 증가하여도 거의 일정한 수준의 계산량을 유지한다.

또한, 경로지식과 경험지식의 도입은 경로탐색에 있어 기존의 알고리즘의 최적경로 탐색 실

패의 문제를 개선한다. 최적경로 탐색 실패는 주로 시간에 따른 통행비용의 변화에 기인하는 것으로 아직까지 효율적인 해결책이 제시되어 있지 않은 실정이다. 이는 통행시간 예측의 근본적인 한계에서 그 원인을 찾아볼 수 있는 것으로, 본 논문에서는 이를 위해 그 접근방법을 달리하여 경로지식 및 과거 통행자료를 바탕으로 한 경험지식을 이용하는 방법을 제안하였다. 물론 본 논문에서 제안한 방법이 앞서 설명한 경로 탐색 실패의 문제를 완벽하게 개선할 수 있는 것은 아니지만, 현재의 여건하에서 경로탐색 실패를 가능한한 경감시킬 수 있는 효과적인 방법이라 판단된다. 또한 제안한 방법의 검증을 위해서는 운전자 경로선택 행태에 관한 구체적인 분석 및 규명이 수반되어야 하겠으나, 이는 본 논문의 범위를 벗어나는 것이므로 다만 관련 지식 및 자료의 구축 및 활용 방법에 관해서만 설명하였음을 다시 한 번 밝히는 바이다.

X-PATH의 주요 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 탐색공간의 감소: 경로상식을 이용하여 최적경로를 포함할 것으로 예상되는 영역만을 추출함으로써 불필요한 탐색을 최대한 억제한다.
- 최선의 경유지 구축 및 활용: 풍부한 통행 경험에 바탕을 둔 경로에 관한 지식을 토대로 구역간 최선의 경유지를 구축하고 이를 이용하여 경로의 최적 탐색 방향을 설정함으로써 경로탐색 실패의 문제를 개선하고 아울러 보다 효과적인 탐색공간 감소를 달성한다.
- 경로정보의 학습 및 활용: 통행결과(출발 시간, 도착시간, 요일, 기상 등)를 추적, 신경망을 이용하여 그 결과를 학습함으로써 과거 통행자료를 경로탐색에 적극 도입한다(연구진행중).

- 운전자의 다양한 경로선택 선호를 반영한다.

마지막으로, 본 논문에서 제안한 최적경로 탐색 시스템의 효율성 향상을 위해 앞으로 이루어져야 할 연구과제를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 본 논문에서 제안한 출발지와 도착지를 포함하는 탐색영역의 타원형 제한에 있어 통행거리에 따른 타원의 범위를 실증적으로 결정할 필요가 있다. 이는 출발지와 도착지까지의 직선거리와 실제 주행거리의 비고를 통하여 가능하다.

둘째, 경로지식에 의해 제공되는 경유지의 일반화에 관한 것으로 좀더 연구가 진행되어야 할 문제라고 생각된다. 여기에는 적절한 경유지의 선정과 도로신설 및 확폭 등과 같은 변화요인에 따른 갱신과 같은 문제가 포함된다. 이와 함께 경로지식의 저장을 위해 분할한 단위 구역의 크기를 결정하는 문제로서 이는 실제 현장실험을 통해 교통망의 규모와 밀도에 따른 적절한 기준이 마련되어야 할 것이다.

셋째, 본 논문에서는 경험지식의 활용에 있어 그 역할만을 언급하고 있는 데, 이 부분에 관해서는 앞으로 구체적인 연구가 이루어져야 할 것이다. 현실에서 운전자들의 경로탐색은 대부분 과거의 경험에 의존하며, 반복되는 통행을 바탕으로한 경험간의 비교를 통하여 최선의 대안을 선택해 나간다. 따라서 이를 경로안내시스템내에 자동 축적하여 활용할 수 있다면 최적 경로 탐색을 보다 효과적으로 할 수 있다. 본 논문에서는 경험지식에 관해서 전체 시스템내에서의 역할만을 언급하였는데, 구체적인 적용 방안은 현재 신경망을 이용하여 연구가 진행 중이다.

결론적으로, 본 논문에서 제안한 X-PATH가 실제 현장에서의 유용성을 갖추기 위해서는 아직도 해결해야 할 과제가 남아 있지만, 경로탐색에 전문가시스템을 이용한 직관적인 탐색과

정을 도입하여 그 가능성과 방향을 제시하였다는 점에서 연구의 의의가 있다 하겠다. 이는 효과적인 경로안내시스템 구축에 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

## 참고문헌

1. Barr A. and Feigenbaum E. A. (1981), The Handbook of Artificial Intelligent, vol 1., Los Altos Calif.:Wm. Kaufmann
2. de Champeaux B. and Sint L. (1977), "An improved bi-directional heuristic search algorithm", JACM 24, pp177-191
3. James B.H. Kwa (1989), "BS\*: An Admissible Bidirectional Staged Heuristic Search Algorithm", Artificial Intelligence, Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), pp95-109.
4. Larry Medsker, Jay Lieiwitz(1994), Design and Development of Expert Systems and Neural Networks, Macmillan College Publishing Company
5. Pohl I. (1971), "Bi-directional search", In Machine Intelligence 6, ed. B. Meltzer and D. Michie, pp127-140, New York: American Elsevier.
6. Robert I. Levine, Diane E. Drang, Barry Edelson(1991), AI and Expert Systems -A Comprehensive Guide, McGraw-Hill
7. R.K. Ahuja, T.L. Magnanti, J.B. Orlin(1993), Network Flows - Theory, algorithms and Applications, Prentice-Hall
8. Van Vuren T. and Jansen G. R. M. (1988), "Recent developments in path finding alorithms: a review" Transpn. Planning and Tech. 12, pp57-71
9. 강맹규, 네트워크와 알고리즘, 박영사, 1991
10. 김창호(1995), "차량경로 안내체계를 위한 동적 통행배정 모형", 자동차부품연구원
11. 김현숙(1993), 인공지능이란 무엇인가, 크라운출판사, pp41-44.
12. 노정현, 남궁성(1995), "도시가로망에 적합한 최단경로 탐색 기법의 개발", 대한국토도시계획학회, 제30권 제5호(통권 79호).



**(부록 1)**

r\*와 c는 경로선택 행태 분석을 통하여 실증적으로 규명되어야 할 것이지만, 알고리즘간의 상대적인 비교를 위하여 최대 주행거리는 직선거리의 1.8배를 넘지 않으며, 두 점간의 거리가 멀수록 그 만큼 r\*값은 작아진다는 규칙하에 다음

두점간 직선거리에 따른 r\*와 c의 결정 예

dmm	r*	c
≥600	1.10	3.0
≥500	1.15	2.9
≥400	1.20	2.8
≥300	1.25	2.6
≥200	1.35	2.4
≥100	1.45	2.2
100>	1.80	2.0

주 : 제 4장 수행성능 평가에서 X-PATH는 이 기준을 이용하였음.

**(부록 3)**

· 링크자료

출발 노드	도착 노드	거리	평균 속도	혼잡 수준	링크 그룹				유턴 노드	통행 여부	출발노드 구역번호	도착노드 구역번호	기타
					LG1	LG2	LG3	LG4					
2547	2670	563	60	1	4	3	2	0	2671	12	36	35	
2549	2552	68	40	1	4	3	2	1	0	3	31	41	
.													
.													
.													

· 노드자료

ID	노드번호	X좌표	Y좌표	노드속성
N	2503	3171	3639	1
N	2504	3092	3631	1
.				
.				
.				

과 같은 수치를 가상으로 설정하여 활용하였다. 여기서 교통망 밀도와의 관계는 고려하지 않았으며, 단지 주어진 두 점간의 거리(단위: pixel)만을 고려 하였다.

**(부록 2)**

경로상식과 경로지식을 이용한 X-PATH의 수행성능

		탐색노드수	실행시간(msec)
단방향 탐색		3,092	772
X-PATH	경로상식	2,229	575
	+경로지식	1,834	478

주 : 노드 2500, 링크 9800개의 이루어진 임의 발생 네트워크에서 최장거리 기종점간(대각방향 양 끝의 노드간)에 대해 10회 수행한 결과의 평균임.

· 경로지식 자료

출발구역	도착구역	경유지 중심노드		
		I	II	III
17	52	2772	0	0
57	14	2735	0	0
.				
.				
.				