

■ 論 文 ■

퍼지평가방법을 이용한 교통노선 결정

A Fuzzy Evaluation Method of Traveler's Path Choice in Transportation Network

이 상 훈

(서울시립대학교 전자전기
컴퓨터공학부 박사과정)

김 덕 영

(부천대학 전자과 교수)

김 성 환

(서울시립대학교 전자전기
컴퓨터공학부 교수)

목 차

- | | |
|----------------------|----------|
| I. 서론 | IV. 모의실험 |
| II. 퍼지평가방법 | V. 결론 |
| III. 최적경로탐색 알고리즘의 제안 | 참고문헌 |

Key Words : 최적 경로 탐색, 계층 분석법, 중요도, 퍼지척도, 퍼지적분

요 약

오늘날의 교통현실은 전체적인 교통망을 분산화시켜 임의의 교통환경, 즉, 교통사고, 병목 구간, 긴급공사 등에 기치 못한 상황에 실시간적으로 대응할 수 있는 교통추론이 필요하다. 이러한 역할에 영향을 미치는 것 중 하나가 도로의 운전자 경로탐색 과정이다. 본래, 인간의 차량운전에 대한 경로선택 문제는 여러가지 환경변수가 많은데, 그 중 대표적인 변수요소가 주행시간, 주행거리, 주행비용 등을 고려할 수가 있으며, 그 외 운전자의 심리(기분)상태도 많이 좌우한다. 그리고, 가상의 우위경로 채택의 미묘성도 잠재되어 실제적 탐색에 어려움을 주고 있다. 따라서, 인간의 심리와 관련된 인공지능 분야의 알고리즘과 의사제어기법 등이 필요한데, 본 연구는 교통경로의 최적탐색을 위해, 기존의 경로탐색과는 달리, 인간의 사고과정에 착안하여, 퍼지평가 및 계층분석법을 사용하여 구현하였으며, 애매한 주관적 판단을 정량적으로 분석·평가하였다. 그리고 경로에 대한 평가요소 및 중요도, 평가치를 운전 전문가로부터 의견 수렴한 것을 기초로 도출하였으며, 실제 효용성을 진단하고자 경로모델의 예를 사용하였다. 모델평가는 평가요소에 대한 속성소속함수화 및 평가치 규정, 계층분석법에 의한 중요도 결정, λ -퍼지척도에 의한 중요도의 비가법적 표현, Choquet 퍼지적분 등으로 수행하였다. 결국, 퍼지 척도치와 평가치를 퍼지 적분(fuzzy integral)으로 종합평가하고, 최종 판단 추론하는 알고리즘을 제안하여 최적의 경로를 선택함을 보여 주었다.

I. 서론

현대의 도시교통은 예전의 교통에 비하여 대단히 복잡한 것이 현실이다. 이에 여러가지 요인이 있는데 교통망에 많은 영향을 주어 지속적인 교통흐름의 연속성에 장애가 되고있다. 그리고, 교통망의 특성은 매우 다양하여, 미래의 교통류 예측을 하기가 어렵다. 특히 도심 교통상황은 고정적인 성향을 가진 것이 아니라, 가변적인 성향을 띄어 현실적인 교통관리 측면에 있어 효과적인 방안이 대두되고 있는 형편이다. 최근 들어, 연구에 박차를 가하고 있는 지능형 교통시스템(ITS: Intelligent Transportation System)이 좋은 예이다. 이 시스템은 도로 교통망의 이용 효율을 극대화하고 차량의 흐름을 좋게 한다. 그래서, 교통의 정체현상을 완화시켜 한정된 도로율을 활성화 하는데 기여하는 것으로, 실제의 교통류와 어느정도로 부합되는가가 관건이 되고 있다. 이러한 역할에 영향을 미치는 것 중 하나가 도로의 운전자 경로탐색 과정이다.¹⁾

차량의 경로 탐색 과정은 교통신호 제어 등 교통류 흐름과 밀접한 관계를 갖는 것으로 도시의 교통을 모델링하는데 있어, 필수적인 구성요소이다. 그것은 교통예측을 하여 교통계획을 하는데 참고함으로써 차량의 흐름을 효율적으로 제어할 수 있다. 또, 전체적인 교통망을 분산화시켜 임의의 교통환경, 즉, 교통사고, 병목구간, 긴급공사 등 예기치 못한 상황에 실 시간적으로 대응할 수 있는 교통 추론으로 볼 수 있다. 따라서, 가장 최적적인 경로 선택을 유도하여야 한다. 그리고, 가장 효율적인 경로 선택을 위해서는 불확실한 상황에 대해 타당성있는 판단이 있어야 하는데, 경험많은 운전자의 경로 탐색과정과 유사한 판단 과정이 필요하다. 그것은 경험적 데이터로부터 실제의 행동 특성으로 유추해내는 의사결정 과정이라고 볼 수 있고, 기반지식에 대한 정보 제어방식을 도출시키는 것이 된다.²⁾

일반적으로, 교통경로에 대한 예측은 수학적 그래프 이론에 기초한 최단경로 탐색이 주류를 이루고 있으나, 최근들어, 인간의 사고를 고려한 퍼지 및 신경 망 등을 이용하여 최적경로 탐색을 하는 연구가 종종 수행되고 있음을 알 수 있다. Teodorovic³⁾은 경로모델 중 단순 경로인 기종점(OD: Origin Destination) 구간 인 두 경로의 탐색기법을 퍼지추론을 이용하여 제안

하였다. 그리고, 차량의 흐름이 양 경로에 대해 동등하다고 할 때, 각 각의 경로를 통과하는데 걸리는 통행시간에 대해 5가지의 퍼지규칙을 적용하여 경로 선택을 판단하였다. Shaout⁴⁾은 실제의 경로구간에 대해 퍼지추론을 사용하여 자동 경로 탐색 지도를 구상하였다. 여기서, 퍼지입력 변수를 도로 유형, 도로의 혼잡도, 평균 주행속도, 날씨조건, 주행시간대 등 여러가지 상황을 고려하였다. 그리고, 이들 변수에 대해 3가지 유형으로 나누어 각 유형별 규칙들을 생성하여 추론하고, 각 경로에 대해 비교하였다. Pang¹⁾은 최적의 경로 탐색을 동적 경로 안내(DRG: Dynamic Route Guidance)의 모델링으로 정하였다. 그리고, 기·종점 사이의 여러경로를 가정하고, 6가지 입력 변수(거리, 시간, 혼잡도, 통행료, 나쁜 도로 환경, 경치)를 기초로 퍼지 신경망(FNN: Fuzzy Neural Network)을 이용하였다. 즉, 퍼지화 블록과 비퍼지화 블록으로 나누어 각각의 블록에 대해 학습을 시켰으며, 예로, 5가지 경로에 대해 6가지 입력변수를 인가하여 경로 선택을 보였다.

이상과 같이 기존연구의 특징은 실제의 교통성향을 반영하는 면에서 미흡한 점이 있다. 이것은 운전자들의 경로선택 성향에 대한 우위성을 고려하지 않은 종합적인 평가가 이루어지지 않은 것으로, 의사 수렴을 통한 주관적이고 객관성있는 판단방법이 필요한 것이다.

본 논문에서는 제안하는 알고리즘을 특성상 비교할 경우, 기존의 최단경로 탐색 및 퍼지신경망을 이용한 최적경로 탐색과는 달리 종합적인 교통환경 평가를 고려하여 고전적인 가법화된 종합평가에 대해 새로운 방법을 검토하였다. 이를 위하여, 교통경로 선택의 환경변수를 정량화 하기 위해 계층분석법이라는 개념을 도입하였다. 그리고, 계층 분석 방법의 결과를 퍼지척도화하였다. 결국, 퍼지척도치와 평가치를 퍼지 적분으로 종합평가하고, 최종판단 추론하는 알고리즘을 제안하여, 최적의 경로 선택을 보여 주었다.

II. 퍼지평가방법

일반적으로, 최근까지의 교통경로탐색에 대한 최적 경로 연구는 도로망에 대한 기·종점을 기준으로 주행시간, 비용 등을 고려한 것이 대부분으로 최단 거

리, 최소비용에 구현 목표를 두었으며, 이를 기초로 다양한 알고리즘 등이 소개되었다. 하지만, 이들 알고리즘들은 수학적 배경을 기초로 한 계산량 등을 바탕으로 경로를 추적하였다.

그것은 경로에 대한 단편적 성향이 많고, 우회 경로에 대한 선정이 확실성이 있다. 본 연구에서는 이들 알고리즘들의 단점을 개선하고자, 다음과 같은 사항에 역점을 두었다. 본래, 인간의 차량운전에 대한 경로선택 문제는 여러가지 환경변수가 많은데, 그 중 대표적인 변수요소가 주행시간, 주행거리, 주행비용 등을 고려할 수가 있다. 그 외 운전자의 심리(기분) 상태도 많이 좌우한다.

그리고, 가상의 우위경로 채택의 미묘성도 잠재되어 실제적 탐색에 어려움을 주고 있다. 따라서, 인간의 심리와 관련된 인공지능 분야의 알고리즘과 의사제어기법 등이 필요한데, 이에 적합한 것으로 퍼지평가방법이 사용 가능하다.⁵⁾

퍼지평가방법은 의사결정문제 기법인 계층분석법과 의사결정에 대한 평가요소의 평가치를 고려한 퍼지척도 및 퍼지적분을 사용하여 계층분석법에서 얻은 중요도와 평가치를 종합평가 하는 것이다. 이 방법론에 대해 살펴보면, 계층의사분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)은 1970년대 초에 Saaty에 의해 개발된 알고리즘으로 인간의 의사결정을 정성, 정량적으로 판단하며, 다수의 목표, 다수의 평가 기준, 다수의 의사결정 문제를 계층화한다. 그리고, 상위 계층의 한 요소의 관점에서 직계 하위계층에 있는 요소들의 상대적 중요도를 쌍별 비교(pairwise comparison)에 의해 평가한 후, 궁극적으로 최상위계층에 있는 대안들의 중요도를 구하는 것이다. 그리고, 퍼지척도는 중요도의 모호성을 계량화하는 것으로 다음과 같은 성질들을 만족하여야한다. 여기서, g 는 퍼지 척도, X 는 전체집합, $P(X)$ 는 전체 집합 X 의 멱집합, A_1, A_2, \dots 는 $P(X)$ 의 부분집합을 표시한다.

(공리1) 경계조건(boundary condition)

$$g(\phi) = 0, g(x) = 1$$

(공리2) 단조성(monotonicity)

$$\forall A, B \in P(X)$$

$A \subseteq B$ 이면 $g(A) \leq g(B)$ 이다.

(공리3) 연속성(continuity)

부분집합의 연속 $A \in P(X), i \in N$ 에 대하여,

$$A_1 \subseteq A_2 \subseteq \dots \text{ 이거나 } A_1 \supseteq A_2 \supseteq \dots \text{ 이면}$$

$$\lim_{i \rightarrow \infty} g(A_i) = g(\lim_{i \rightarrow \infty} A_i) = 1$$

여기서, 퍼지척도는 확률척도의 덧셈조건을 완화한 Sugeno에 의해 제안된 λ -퍼지척도를 사용하였다. 즉, 전체 집합 X 에 대해 부분 집합 A, B 가 존재하며, $g(\cdot)$ 가 퍼지 척도일 때, $A \subseteq B, g(A) \leq g(B), A \cap B = \phi, g(\phi) = 0, g(X) = 1$ 의 조건에서,

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A)g_\lambda(B) \quad (-1 < \lambda < \infty) \quad (1)$$

가 되며, λ 는 매개 변수로 척도의 가법성 및 비 가법성에 영향을 주는 역할을 한다. 다음과 같이 λ 값에 따라 퍼지 척도의 특성이 달라진다.

- (1) $\lambda = 0$ 이면, λ -퍼지척도는 확률척도가 된다.
- (2) $\lambda \geq 0$ 이면, λ -퍼지척도는 믿음척도가 된다.
- (3) $-1 < \lambda < 0$ 이면, λ -퍼지척도는 근사척도가 된다.

식(1)에서 A, B 를 2가지 평가 요소라고 할 때, 3가지 평가요소에 대한 λ -퍼지척도는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$g_\lambda(A \cup B \cup C) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + g_\lambda(C) + \lambda [g_\lambda(A)g_\lambda(B) + g_\lambda(A)g_\lambda(C) + g_\lambda(B)g_\lambda(C)] + \lambda^2 g_\lambda(A)g_\lambda(B)g_\lambda(C) \quad (2)$$

가 된다. 또한 4 가지 평가요소에 대한 λ -퍼지척도도 같은 방법에 의해 표현이 가능하며, 그것에 대한 결과 식은 다음과 같다.

$$g_\lambda(A \cup B \cup C \cup D) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + g_\lambda(C) + g_\lambda(D) + \lambda [g_\lambda(A)g_\lambda(B) + g_\lambda(A)g_\lambda(C) + g_\lambda(A)g_\lambda(D) + g_\lambda(B)g_\lambda(C) + g_\lambda(B)g_\lambda(D) + g_\lambda(C)g_\lambda(D)] + \lambda^2 [g_\lambda(A)g_\lambda(B)g_\lambda(C) + g_\lambda(A)g_\lambda(B)g_\lambda(D) + g_\lambda(B)g_\lambda(C)g_\lambda(D)] + \lambda^3 g_\lambda(A)g_\lambda(B)g_\lambda(C)g_\lambda(D) \quad (3)$$

식(3)에서 λ -퍼지척도 $g_\lambda(\{x_i\}), i=1,2,\dots$ 이 주어질 때, 퍼지 척도의 조건인 $g(X) = 1$ 을 고려하면 다음과 같다.

$$g_{\lambda}(X) = g_{\lambda}(\{x_1, x_2, x_3, x_4\}) = 1$$

(4 평가요소의 예) (4)

다음으로 퍼지적분은 퍼지평가방법에서 문제를 최종평가하는 것으로, 계층분석법의 평가지표별 중요도와 평가치를 비 가법적으로 종합판단하며, 본 연구에서는 Choquet 퍼지 적분을 사용하였다. 만일, 어떤 평가모델에 대해, 평가항목이 x_1, x_2, \dots, x_n , 그 중요도가 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ 퍼지척도 함수를 $g(\cdot)$, 평가치 함수를 $h(\cdot)$ 라 하고, $h(x_1) \geq h(x_2) \geq \dots \geq h(x_n)$ 로 가정한다면, 항목의 중요도가 비 가법적일 때는 다음과 같은 식으로 종합 평가 할 수 있다.^{6,7)}

$$\int h dg = h(x_n)g(H_n) + [h(x_{n-1}) - h(x_n)]g(H_{n-1}) + \dots + [h(x_1) - h(x_2)]g(H_1)$$

단, $H_i = \{x_1, x_2, \dots, x_i\}$ $i = 1, 2, \dots, n$ (5)

III. 최적경로탐색 알고리즘의 제안

오늘날의 복잡한 교통현실은 운전자의 교통 순응을 더욱 어렵게 하고 있으며, 이로 인한 손실성의 부가적 요소들이 점점 증가되고 있는데, 이중 하나가 최적교통경로탐색의 장애이다. 보통 최적경로탐색이라 하면 여러 경로들 중 가장 마음에 드는 경로라고 단언 할 수가 있다. 이러한 경로를 찾기에는 다중적인 환경을 객관화하는 방법론이 필요하며, 주관적인 요소를 정량화하고, 정성 화하는 것을 포함한다. 이것은 다 기준 의사결정문제를 해결하는 인간의 사고와 닮은 분석기법을 이용함과 동시에 한층 더 경로를 최적적으로 선택하는 것이다. 이에 따른 대안 경로도 찾아내어 도로의 혼잡량을 분산시켜 궁극적으로 최적의 교통망을 구축하는데 기여가 되어야 한다. 그러면, 제안된 알고리즘이 어떤 유형으로 적용되어야 하는 것이 중요한데, 다른 경로탐색기법과 확연한 차이점은 다음과 같다.

- 인간의 다양한 사항 고려 후 최선의 선택 사고 방식과 비슷
- 교통 경로의 최적성은 최고의 종합평가라는 성향

기존의 최적 경로는 최소 주행거리, 최소 주행시간 등의 확연한 경제성이 있는 교통요소 등에 주안점을

두어, 그래프 이론에 기초한 평면적인 이웃노드 탐색 등이 대부분이다. 그러나, 퍼지평가방법은 경로 선택의 기본자료를 공간적인 사상으로 매핑 시켜 최적해를 구하고, 주관적 판단을 객관화시켜, 기계적 탐색에서 적응적 탐색으로 복잡한 문제를 단순화 한다. 그리고, 기중 점간의 단일 최적 경로만을 나타내던 정적인 경로상태에서 벗어나 실시간상태를 감지한 동적인 우회(대체)경로 탐색이 가능하여 도로 교통망계획을 하면서 장기 계획안을 구성하는데 우수성을 발휘한다.

한편, 계층 분석을 하면서 전문가의 의견 수렴을 조사하게되는데, 이것은 심리상태를 그대로 교통망에 투사시켜 지능적인 교통체제를 자연화하고, 상승 작용을 갖게되어 기타 관련 산업분야에 발전을 도모시킨다. 또한 최선해라는 어떤 경로선택에 잠재적인 성향이 표출 할 수가 있는데, 이것이 바로 타 알고리즘보다 본 방법론에서 부각 될 수 있는 것으로 선호성이다.

즉, 선호 성이란 개개인 운전자마다 경로선택 기준이 다를 수가 있다. 이것은 선택요건의 다양성을 시스템에 입력하고 기억된 평가요소들을 단계적으로 중요도를 측정하여 각 평가요소의 평가치와 함께 종합적으로 정량화한다. 그리고, 그것 중 가장 높이 평가된 대안을 선택하는 것을 말하는 것으로, 평균적인 시각에서 벗어난 편협적인 차원의 문제이며, 교통의 여러가지 상황을 심도있게 다룰 수 있는 가치를 얻어한다.

그리고, 본 연구에서는 퍼지 평가방법으로 최적화된 경로를 탐색하는데 있어, 기존의 방법들과는 달리 실제적 운전자의 경로 선택과 같은 접근형태를 기본으로 하며, 종점 확인후 우선, 여러 경로들 가운데 어느 한 경로를 선택하는 거시경로모델을 고려한다. 즉, 거시 경로는 몇 가지 심적으로 예상한 대안 경로 중 여러 평가요소를 비교하여 최적의 대안을 선택하는 경로이다. 이것은 단순히 여러 대안 중 하나의 대안을 선택하는 의사 수렴 제안이 아니라, 기존의 최적 교통경로 탐색방식과 다른 인간의 사고과정에 기초한 종합평가방식을 제안하는 것이다. 즉, 평가대상의 속성에 기초하여, 기점과 종점에 대해 가장 선호되는 경로(최적경로)를 찾는 것이다. 한편, 제안된 알고리즘에서, 평가 과정은 평가기준 및 개개 평가기준에 대한 일대 비교를 위한 그것의 속성별 중요도 비율을

〈표 1〉 Saaty의 9점 척도

어의 비교	Equal (동등)	-	Moderate (약간차이)	-	Strong (큰차이)	-	Very Strong (매우큰차이)	-	Extreme (절대적차이)
중요도	1	2	3	4	5	6	7	8	9

선정해야 한다. 그리고, 산정된 값들을 통해 각 경로 별 평가 기준에 해당하는 값들을 평가요소 쌍별비교에 이용되는 Saaty의 9점 척도화하여 관계행렬을 구성하고, 개개의 평가기준별 중요도를 구한다.

〈표 1〉은 Saaty의 9점 척도기준을 나타낸 것으로, 평가 요소와 평가요소의 중요도를 비교할 때 사용하는 척도 기준을 9단계로 분류한 것이다.

또한 각 평가기준을 기초로 퍼지화된 평가치를 부여하고, 최종적으로 개개의 중요도와 평가치를 퍼지 척도 및 퍼지적분에 의해 경로 별로 종합 평가하여 최적의 경로를 선택하는 것이다.

결국, 본 연구에서 제안된 알고리즘의 특성은 다음과 같다.

첫째, 다 기준의 물리적인 속성을 반영하고 있다. 즉, 통행시간, 통행거리, 통행속도 등의 육안적으로 식별 가능한 평가요소 등이다.

둘째, 물리적 속성의 교통환경데이터에 기초하여, 최적의 경로 탐색하는 것이다.

셋째, 인간의 사고과정과 매우 비슷한 경로 탐색이다. 이를 위해, 제안된 알고리즘은 기존의 퍼지 추론과는 달리, 계층 분석법(AHP)과 퍼지척도, 퍼지 적분 등을 사용하여 구현하였다.

넷째, 기존연구에서는 평가속성을 물리적 속성을 위주로 하였으나, 본 연구에서는 심리적인 요소도 고려하였다. 운전자의 경로 경험 등이 해당된다.

다섯째, 기존 연구는 가법성의 평가이나, 본 연구는 비 가법적인 평가이다.

일반적으로, 최적 경로를 탐색하는 것은 가장 양호한 구간을 선택하는 경우로 고려할 수 있으며, 이것은 가능성이 가장 높은 확률로 표현할 수 있고, 도로 주행에 대한 최우선적인 장점의 결집 성이 된다.⁸⁾ 즉, 어떤 최적의 경로 j^* 가 존재한다면, 이것은 가장 좋은 가능성을 가진 경로가 되며, 운전자가 지불하는 비용(cost)이 가장 작은 값으로 볼 수 있다.(단, 여기서의 비용은 효용성의 비용으로 간주한다.) 그리고, 경로상의 가중치의 비용은 선택가능성의 소속함수로 볼 수

있으며, 노드 N 으로부터 x 되는 거리까지의 운전자가 지불하는 비용은 $\mu_{C(N)}(x)$ 가 된다. 또, $C(N)_j$ 의 비용이 예측되면, $I(C(N)_j)$ 의 가능성이 선택되는 것이며, 다음과 같이 표현 가능하다.

j 경로 선택 후 기점으로부터 x 비용에 대한 가능성 : $\min\{\mu_{C(N)_j}(x); I(C(N)_j)\}$

이 표현을 전체 경로 집합에 대해 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Poss}\{C(N)_j=x\} &= \max_{j=1, \dots, n} \min\{\mu_{C(N)_j}(x); I(C(N)_j)\} \\
 &= \bigvee_{j=1, \dots, n} I(C(N)_j) \wedge \mu_{C(N)_j}(x) \quad (6)
 \end{aligned}$$

이상과 같이 최적의 경로는 선택가능성의 최대 값으로 결정할 수 있으며, 확률로 표현되어 대안경로를 구별할 수 있다. 따라서, 교통망에 대해 다수 고정의 경로를 인가하여 경로선택 확률모델링기법이 적용된다.

경로선정은 교통정보 시스템에 기 종점 구간을 입력하면 다수의 경로가 설정되며, 이때, 경로들은 우회, 직선 경로를 포함하며, 교통중심 망 혹은 주변의 외부망에 링크 될 수가 있고, 주로 동적이 아닌 정적인 경로로 운전자가 주행 전 초기 탐색하여 최종 탐색으로 이어지는 일관적인 경로 탐색이다. 그리고, 최적경로탐색의 적절성은 다년간 운전한 운전자의 보편적이고 전문성을 기초로 하는 것을 전제로 한다.

본 연구에서는 이러한 성향을 기초로 노련한 운전자의 설문조사를 통하여 평가기준을 마련하였으며, 그 기준은 최적경로를 선택하는데 필수적인 요소로 작용하는 역할을 하고, 교통의 기타분야의 해석에 적용이 가능하다. 그리고, 계층분석법 평가항목의 중요도를 결정하기 위하여, 택시운전자와 일반운전자로 나누어 설문 조사를 하였으며, 일관성 평가에 의해 신뢰도를 높였다.

이중 택시운전자는 3회에 걸쳐, 서울 시내 10개의 택시회사를 탐방하여, 설문을 하였으며, 일반운전자는 운전경력이 2년 이상인 사람을 대상으로 하였다.

그리고, 표본 수는 100명, 78명으로 하였으며, 설문은 교통경로 탐색유형 별, 즉, 거시경로 탐색, 우회경로탐색, 전역경로탐색 등으로 구성되었다.

설문을 기초로 한 응답자 평균 평가항목별 일대 비교 값은 기하평균을 이용하여 산출하였다.

평가기준은 경로선택시 인간의 심리적 요구를 사상적으로 표현 나열한 것으로 기준범위를 두어 현재의 교통 상황이 어느 부분에 속한 가를 구분하여 계층 분석기의 어의비교 입력대상이 된다. 따라서, 거시 경로를 탐색하기 위해, 운전 전문가(다년간 운전한 운전자)로부터 교통 경로에 대한 의견 수렴을 받은 후 다음과 같은 항목에 대해 평가기준을 설정하였다.

〈표 3〉에 나타난 바와 같이 평가기준을 설정하기 위한 의식평가 조사에서 평가기준으로 교통환경 요소 측면이 고려되었으며, 이는 주 환경요소와 부 환경요소로 구분할 수 있고, 주 환경 요소는 교통통행 비용, 교통 혼잡도, 도로의 익숙성이며, 부 환경요소는 전체 링크거리, 기존 평균 O/D시간, 전체링크 평균 속도, 경로의 경험 등으로 결정되었다. 여기서, 링크거리,

OD 시간, 평균속도등은 일반적인 중장거리(링크거리가 평균 15km이상)인 시내 도로주행의 기점과 종점 사이의 경로 평가요소가 되며, 경로경험은 평균 10회~12회이상 그 경로를 주행한 경험을 최상의 주행경험으로 하여 0,3,6,9,12회의 5가지로 균등 퍼지 변수화하였다. 그리고, 최적경로를 추정하기 위해 부환경 요소의 4가지 평가기준이 경로 평가의 일대 비교 대상이 된다.

〈그림 1〉은 교통경로 탐색에 대해 계층분석법을 적용하는 체계를 나타낸 것으로 최하위 5개 경로의 대안으로부터 최상위의 목표인 최적 경로 선택을 하기 위해 4 요소의 평가기준을 두었다. 이들 평가기준을 평가하여 각각의 요소별 중요도를 구하기 위해 설문 평가된 결과로부터 구하였으며, Saaty의 9점 척도와 관련된다. 그리고, 평가치는 전문 운전자들로부터 자문받은 결과치로부터 얻었으며, 그 값의 평가는 소속함수로 정의하였고, 구성요소 중 물리적 계량 요소는 전체 링크에 대한 평균 속성값의 ±편차 값으로 대별하여, 평균값과 경로상의 측정된 계량값을 비교한 것을 편차로 하였다.

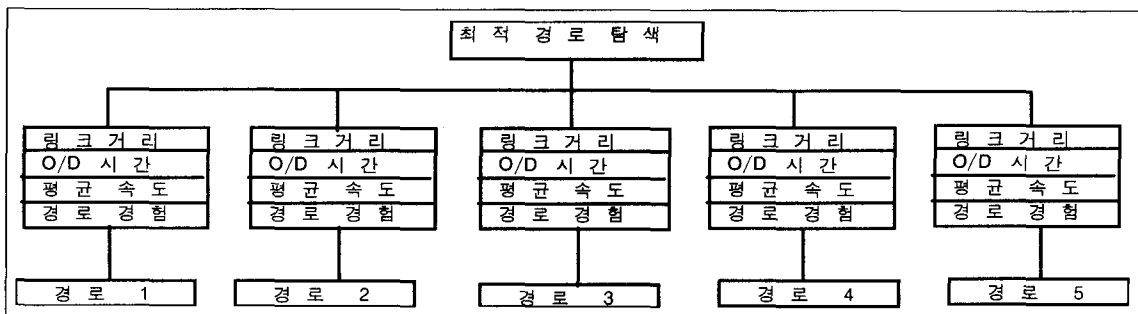
〈표 4〉는 평가 요소별로 교통환경 데이터에 대한 평가치를 퍼지 소속함수를 적용한것이다. 〈표 3〉을 이원 비교하여 중요도 행렬을 구하기 위해 설문조사로부터 Saaty의 9점 척도에 의해 부환경 요소를 수치화 하였다. 여기서 중요도는 최적경로를 탐색함에

〈표 2〉 교통 경로 설문 조사 현황

	설문 시기	산출 내용	표본수
택시운전자	2001.5월중순	중요도 일대 비교 조사	100
일반운전자	2001.5월중순	중요도 일대 비교 조사	78

〈표 3〉 교통 거시경로 탐색에 대한 평가 기준

주환경 요소	부환경 요소	요소 속성
교통 통행 비용	전체 링크 거리	경로별 전체평균 링크거리(±3km편차)
	기존 평균 O/D 시간	경로별 전체 평균 O/D시간(±5분 편차)
교통 혼잡도	전체 링크 평균 속도	경로별 전체 평균 속도(±10km 편차)
도로의 익숙성	경로의 경험	경로의 과거 통행 경험(0,3,6,9,12 회)



〈그림 1〉 교통 경로 탐색에 대한 계층 분석도

〈표 4〉 평가 요소별 평가치의 소속함수 적용

평가요소 \ 소속함수	NB(0.1)	NS(0.3)	ZE(0.5)	PS(0.7)	PB(0.9)
링크거리	편차+6Km	편차+3Km	편차0Km	편차-3Km	편차-6Km
O/D시간	편차+10분	편차+5분	편차0분	편차-5분	편차-10분
평균속도	편차-20Km	편차-10Km	편차0Km	편차+10Km	편차+20Km
경로 경험	0회	3회	6회	9회	12회

〈표 5〉 경로별 교통 환경 요소의 Saaty 척도 적용 값

택시운전자군					일반운전자군				
	링크거리	O/D시간	링크속도	경로경험		링크거리	O/D시간	링크속도	경로경험
링크거리	1	0.832	1.080	0.250	링크거리	1	1.33	0.487	0.350
O/D시간	1.202	1	1.250	0.318	O/D시간	2.142	1	4.777	0.940
링크속도	0.926	0.800	1	0.211	링크속도	0.750	0.209	1	0.198
경로경험	3.995	3.148	4.735	1	경로경험	2.857	1.064	5.050	1

있어 기여하는 상대적 가중치가 된다. 즉, 〈표 5〉의 의미를 고려하면, 택시운전자의 경우, 링크거리와 O/D 시간을 쌍별 비교한 결과 O/D시간과 링크거리의 중요도 비가 1: 0.832 로 평가되어, O/D 시간이 더 중요도가 높은 것으로 조사 되었다. 이때, 쌍별비교된 중요도는 교통혼잡등의 유동적환경과는 독립적이다.

그리고, 〈표 5〉는 정량 성을 가지고 평가한 것이 아니므로, 판단의 일관성이 비 완벽 할 때 적용되는 방법으로 각 평가요소의 중요도를 구하며, 다음과 같은 절차를 갖는다(이하, 산출 예시는 택시 운전자의 일례를 보여 준다.).

- (1) 일대 비교하여 행렬 A를 결정한다.
- (2) A의 열별로 합계를 구한다.
- (3) 열의 합계로 나누어 각 원소의 열별 합계가 1 이 되게 한다.
- (4) (3)의 결과를 가지고 행별로 평균값을 구하여 개개의 중요도로 취한다.

위의 방법으로 평가요소별 중요도를 추론하면

- (1) 일대 비교된 행렬

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0.832 & 1.080 & 0.250 \\ 1.202 & 1 & 1.250 & 0.318 \\ 0.926 & 0.800 & 1 & 0.211 \\ 3.995 & 3.148 & 4.735 & 1 \end{bmatrix}$$

- (2) 제1열의 합계는 7.123, 제2열의 합계는 5.780,

제3열의 합계는 8.665, 제4열의 합계는 2.779 이다.

- (3) 각 열을 그 합계로 나눈다.

$$\begin{bmatrix} 0.140 & 0.144 & 0.134 & 0.090 \\ 0.169 & 0.173 & 0.155 & 0.114 \\ 0.130 & 0.138 & 0.124 & 0.076 \\ 0.561 & 0.545 & 0.587 & 0.720 \end{bmatrix}$$

- (4) (3)의 결과에서 행의 평균값을 구한다.

행별로 평균값을 구하면 제1행의 평균은 0.127 제2행의 평균은 0.153, 제3행의 평균은 0.117, 제4행의 평균은 0.603이 된다. 이 행별 평균값들이 중요도 이다.

여기서, 구해진 중요도를 최적의 중요도로 정하기 전에, 구해진 일대비교 행렬식이 일관성이 있는지를 검토해야 한다. 즉, 행렬식 A가 n차 행렬인 경우 $Aw = nw$ 가 정의되는데, w는 실제 가중치이며, 행렬, X:상태변수)에서 상태변수의 계수 값을 통해 구하며 n은 평가요소의 수이다. n개의 λ 값 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 이 존재하며, 모든 i에 대해 $a_{ii} = 1$ 이면,

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n \tag{7}$$

이 성립하며, n개의 λ 값 중에서 가장 큰 λ 값을 λ_{max} 라 할 때 판단의 일관성(consistency)이 완벽한 경

우 $\lambda_{\max} = n$ 이 되고, 나머지 λ 값들은 모두 0이 된다. 결국 식(7)은 다음과 같이 된다.

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (8)$$

식(8)에서 가중치 w 를 추정할 수 있으며, λ_{\max} 의 값이 n 에 근접하면 쌍별 비교 행렬 A 가 일관성을 갖는 것으로 해석한다. 일관성 정도는 다음 식으로 나타낸다.

$$CR = CI/RI \quad (9)$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1) \quad (10)$$

여기서, CR (consistency ratio)은 일관성 비율이며, CI (consistency index)는 일관성 지수, RI (random index)는 난수지수의 약자이다. Saaty는 경험적으로 볼 때 $CR \leq 0.1$ 인 경우에 판단의 일관성을 인정하고 이면 $CR > 0.1$ 판단을 다시 하거나 수정 할 필요가 있다고 하였다. 따라서, 식(8)의 $Aw = \lambda_{\max} w$ 에서 λ_{\max} 값을 구하면 다음과 같다.

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & 0.832 & 1.080 & 0.250 \\ 1.202 & 1 & 1.250 & 0.318 \\ 0.926 & 0.800 & 1 & 0.211 \\ 3.995 & 3.148 & 4.735 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.127 \\ 0.153 \\ 0.117 \\ 0.603 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.531 \\ 0.644 \\ 0.484 \\ 2.369 \end{bmatrix}$$

식(8)로부터

$$\lambda_{\max} w = \lambda_{\max} \begin{bmatrix} 0.127 \\ 0.153 \\ 0.117 \\ 0.603 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.531 \\ 0.644 \\ 0.484 \\ 2.369 \end{bmatrix}$$

따라서, λ_{\max} 는 우변 행렬 원소 값들을 대응되는 가중치 값으로 나누어 구할 수 있는데, $0.531/w_1=4.182$,

$0.644/w_2=4.212$, $0.484/w_3=4.136$, $2.369/w_4=3.928$ 가 되며, 이들 값들의 평균값이 λ_{\max} 로 근사치 4.115이다.

그리고, $CR = CI/RI$, $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$ 이므로, $\lambda_{\max} = 4.115$, $n=4$, $RI=0.9$ 에 대해 CR 은 0.042가 산출되고 이 값은 $CR \leq 0.1$ 을 만족하므로 판단의 일관성이 인정된다. 결국, 앞에서 구한 중요도가 최적으로 성립된다.

<표 6> 거시 교통 경로 탐색의 평가 요소별 중요도

	링크거리	O/D시간	링크속도	경로경험
택시운전자군	0.127	0.153	0.117	0.603
일반운전자군	0.175	0.349	0.084	0.392

V. 모의 실험

본 연구의 최적 경로 탐색을 위해 다음과 같은 경로 모델을 가정한다. 즉, 시스템이 동작되면, 기점과 종점이 입력되고, 다수의 경로가 설정된다. 그리고, 지리정보시스템 으로부터 본 연구 알고리즘의 경로 평가요소 중 링크거리 및 O/D시간, 링크속도 등의 교통 정보가 제공된다. 또한, 운전자는 각 경로에 대한 자신의 경로경험을 입력한다. 이러한 정보를 토대로 하여, 본 연구 알고리즘의 프로그램이 있는 시뮬레이터는 최적교통경로를 도출하게 된다. 이것은 운전자가 기점과 종점을 확인하고, 기·종점 사이의 대안 경로를 주지하여, 최적의 경로를 선택하는 과정이 포함된 것으로, 전체 경로의 평가요소 속성평균치와 개개의 경로별로 현재의 평가요소별 속성이 실시간 측정되어 나타나고 측정된 값들은 제어기의 입력이 된다. 예를 들어 <표 7>과 같은 경우를 고려할 수 있다. 즉, 어떤 실제지역에 대한 교통환경이 아니고, 제안된 알고리즘을 평가하기 위해 임의 적용되는 교통현황이 설명된 형태로 중요도와 평가치가 적용된다. 여기서, 중요도와 평가치는 각각 계층분석법의 일관성평가와 전문가 의견산술 평가치 통계에 의해 검증된 것을 기초로 한다.

<표 7>에서 최적 경로를 탐색하는데 있어 선택의 의지에 영향을 주는 평가요소의 중요도 순서가 경로 경험, O/D 시간, 링크거리, 링크속도의 순위임을 알 수 있다. 이것은 운전자의 전문적 성향을 나타내는 것으로, 1차적 내면동조이며, 정적인 요소

라고 할 수 있다. 한편, 중요도에 의해 경로들을 검토 한 후, 2차적으로 동적인 측면인 개개 경로의 현 상황을 판단하는 요소인 평가요소의 평가치를 고려해야 한다. <표 4>와 <표 7>로부터 개개 평가요소의 평가치를 산출할 수 있다. 예를들어, 경로1의 전체 링크거리의 경우 21km이며, 이것은 최저치 경로 4의 12km와 최고치 경로 5의 24km의 분포를 고려할 때, 평균 링크거리 18km 보다 3km 더 길은 거리이며, 소속함수값 0.3에 해당된다.

<표 8>은 각 경로별 평가항목 평가치를 나타낸 것으로 운전자가 기. 중점을 확인한 후 실시간 경로 상황을 퍼지 기법의 소속함수로 변환하여, 경로 환경을 보여주고 있다.

여기서, 대안 경로들의 각 평가치를 보면, 경로 5의 경우 평균속도가 가장 높고, 경로 2는 경로의 경험치가 낮은 반면, 경로 3은 O/D 시간이 가장 높고, 경로 4는 링크거리가 가장 높으며, 경로 5는 평균 속도와 경로경험치가 높게 표현되어 있다.

한편, 평가 요소의 수가 4가지 일 경우 $g_{\lambda}(\{x_i\}) = \omega_i c(i=1,2,\dots)$ 및 식(3)으로부터 다음과 같은 식이 성립된다.

$$g_{\lambda}(X) = c(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) + \lambda c^2\{(\omega_1 \cdot \omega_2) + (\omega_1 \cdot \omega_3) + (\omega_1 \cdot \omega_4) + (\omega_2 \cdot \omega_3) + (\omega_2 \cdot \omega_4) + (\omega_3 \cdot \omega_4)\} + \lambda^2 c^3\{(\omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \omega_3) + (\omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \omega_4) + (\omega_1 \cdot \omega_3 \cdot \omega_4) + (\omega_2 \cdot \omega_3 \cdot \omega_4)\} + \lambda^3 c^4\{(\omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \omega_3 \cdot \omega_4)\} = 1 \quad (11)$$

식(11)에 대하여, 앞에서 구한 평가요소의 중요도 $\omega_1=0.127, \omega_2=0.153, \omega_3=0.117, \omega_4=0.603$ 과 구하는 평가척도에 균등성이 있다고 보아 $\lambda=3$ 이라고 하면, 대입하여 결과 식을 얻는다.

$$g_{\lambda}(X) = 1.0c + 0.875c^2 + 0.304c^3 + 0.037c^4 = 1 \quad (12)$$

식(12)로 부터 c의 값을 구할 수 있으며, 근사치 0.606에 수렴한다.

따라서, 전체 평가항목에 대한 λ -퍼지척도를 도출할 수 있다.

그리고, <표 9>를 토대로, 최적경로 선택에 대한

<표 7> 경로 별 교통 환경 요소 측정 값

주환경 요소	부환경 요소	경로1	경로2	경로3	경로4	경로5
교통 통행 비용	전체 링크 거리	21km	15km	18km	12km	24km
	기존 평균 O/D 시간	50분	45분	40분	55분	60분
교통 혼잡도	전체 링크 평균 속도	70km/h	60km/h	50km/h	40km/h	80km/h
도로의 익숙성	경로의 경험	0회	3회	6회	9회	12회

<표 8> 각 경로에 대한 평가 요소별 평가치

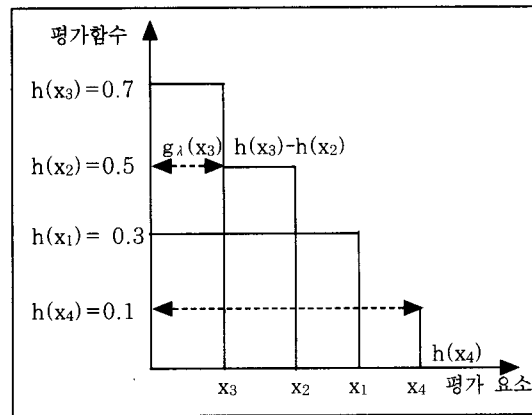
주환경 요소	부환경 요소	경로1	경로2	경로3	경로4	경로5
교통 통행 비용	전체 링크 거리	0.3	0.7	0.5	0.9	0.1
	기존 평균 O/D 시간	0.5	0.7	0.9	0.3	0.1
교통 혼잡도	전체 링크 평균 속도	0.7	0.5	0.3	0.1	0.9
도로의 익숙성	경로의 경험	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9

<표 9> λ -퍼지 척도

	{x ₁ }	{x ₂ }	{x ₃ }	{x ₄ }	{x ₁ ,x ₂ }	{x ₁ ,x ₃ }	{x ₁ ,x ₄ }	{x ₂ ,x ₃ }	{x ₂ ,x ₄ }	{x ₃ ,x ₄ }
택시운전자군	0.077	0.093	0.071	0.365	0.191	0.164	0.527	0.183	0.56	0.514
일반운전자군	0.1	0.2	0.048	0.225	0.361	0.163	0.393	0.278	0.561	0.306
	{x ₁ ,x ₂ ,x ₃ }	{x ₁ ,x ₂ ,x ₄ }	{x ₁ ,x ₃ ,x ₄ }	{x ₂ ,x ₃ ,x ₄ }						
택시운전자군	0.405	0.766	0.71	0.75						
일반운전자군	0.593	0.83	0.498	0.69						

최종 종합평가는 Choquet 퍼지 적분을 통하여 구할 수 있으며, 예로 경로 1에 대한 도출과정은 다음과 같다.

- (1) 평가항목요소(링크거리, O/D 시간, 링크 속도, 경로 경험)를 $\{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_4\}$ 로 표현한다.
- (2) 경로 1에 대한 평가치를 정의한다. (<표 7> 참조)
경로1의 평가치 : $h(x_1)=0.3, h(x_2)=0.5, h(x_3)=0.7, h(x_4)=0.1$
- (3) 경로1에 대한 평가치를 큰 순서대로 나열한다.
 $h(x_3) > h(x_2) > h(x_1) > h(x_4)$
- (4) 퍼지 척도 값을 정의한다. (<표 8> 참조)
- (5) Choquet 퍼지 적분 식을 사용한다.
- (6) Choquet 퍼지 적분 그림을 고려한다.



<그림 2> 경로1에 대한 Choquet 퍼지 적분

<그림 2>를 참조하여 경로1에 대해 퍼지 적분하면, 다음과 같다.

$$\int h dg = h(x_n)g(H_n) + [h(x_{n-1})-h(x_n)]g(H_{n-1}) + \dots + [h(x_1)-h(x_2)]g(H_1)$$

단, $H_i = \{x_1, x_2, \dots, x_i\} \quad i=1, 2, \dots, n$

정의 식으로부터, 경로1의 종합 평가

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 0.1 \times g_\lambda(X) + [0.3-0.1] \times g_\lambda(\{x_1, x_2, x_3\}) \\ &\quad + [0.5-0.3] \times g_\lambda(\{x_2, x_3\}) \\ &\quad + [0.7-0.5] \times g_\lambda(\{x_3\}) \\ &= 0.1 \times 1 + 0.2 \times 0.405 + 0.2 \times 0.183 + 0.2 \\ &\quad \times 0.071 \approx 0.232 \end{aligned}$$

그리고, 다른 경로에 대해서도 같은 방법으로 종합 평가를 하였으며, 각 경로의 최종분석 결과가 <표 10>에 나타나 있다.

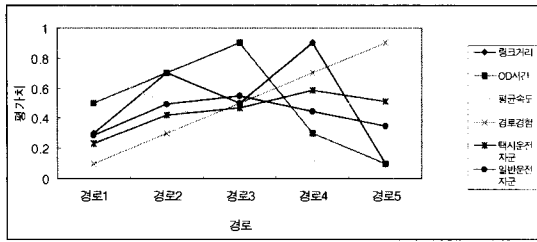
<표 10>에 나타난 바와 같이, 퍼지평가방법에 의한 최적 경로는 퍼지적분 평가치가 가장 높은 경로4로 평가되었고, 경로4에 대한 대안 경로로 두 번째로 퍼지적분 평가치가 높은 경로5로 나타났다. 경로4의 특징은 택시 운전자의 중요도 평가에서 나타났듯이, 운전경험을 중요시하며, 시간, 거리를 부가적으로 선택한 경로로 평가된다. 반면, 가장 부적절한 경로는 경로1로 평가되었는데, 경험에 대한 낮은 평가치 등 평가 항목들의 중요도 차이에 기인한 것으로 본다. 그리고, 평가에서, 교통혼잡량(평균 링크속도)은 평가치 중의 일부가 되며, 중요도들에 영향을 받음을 알 수 있다.

<표 10> 각 경로에 대한 최종 분석(택시운전자의 경우)

주환경 요소	부환경 요소	경로1	경로2	경로3	경로4	경로5
교통 통행 비용	전체 링크 거리	0.3	0.7	0.5	0.9	0.1
	기존 평균 O/D 시간	0.5	0.7	0.9	0.3	0.1
교통 혼잡도	전체 링크 평균 속도	0.7	0.5	0.3	0.1	0.9
도로의 익숙성	경로의 경험	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
퍼지 적분 평가치		0.232	0.419	0.472	0.584	0.511

<표 11> 각 경로에 대한 최종 분석(일반운전자의 경우)

주환경 요소	부환경 요소	경로1	경로2	경로3	경로4	경로5
교통 통행 비용	전체 링크 거리	0.3	0.7	0.5	0.9	0.1
	기존 평균 O/D 시간	0.5	0.7	0.9	0.3	0.1
교통 혼잡도	전체 링크 평균 속도	0.7	0.5	0.3	0.1	0.9
도로의 익숙성	경로의 경험	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
퍼지 적분 평가치		0.285	0.491	0.546	0.443	0.345



〈그림 3〉 경로별 특성 비교

즉, 평가요소에 대한 평가치가 동일할 때, 퍼지 적분값의 변화를 알 수 있다. 여기서, 평가치가 비교그룹별로 똑같은 환경이므로, 퍼지척도 치에 따라, 경로 선택이 달라 질 수가 있다. 본 연구에서, 택시 운전자의 경우, 경로 경험의 중요도가 <표 6>에 나타난 바와 같이 다른 평가요소보다 월등히 높았다. 그리고, 일반운전자의 경우도 경로 경험이 가장 높은 중요도를 보였으나, 경로 경험의 중요도가 택시 운전자의 중요도 특성처럼 다른 평가 요소와 격차를 보여주지 않고 있다. 이와 같은 특성은 최적경로 선택에 영향을 주어 비교 군이 서로 다른 최적경로 선택을 보여주고 있다.

V. 결론

본 연구에서는 인간의 기본적 사고방식에 착안하여, 교통경로를 탐색함에 있어, 운전전문가의 의견을 수렴하고, 경로선택의 분별력을 높여, 기존의 수학적 배경을 갖는 경로탐색 알고리즘과는 달리 한층 더 실제적이고, 종합적인 새로운 평가 방법인 퍼지 계층법을 사용하여 실용성이 있는 경로제어를 하였으며, 이를 위해 모의 경로모델에 평가요소를 적용하여 최적의 심적비용을 갖는 값을 도출하였다. 중간단계로서, 경험의 전문성을 고려하기 위해, 다년간 운전한 운전자로부터 설문조사로부터 평가항목을 설정하고, 설정된 평가항목에 대해, 일대비교를 하여 중요도를 산출하여, 정량성을 꾀하였고, 중요도의 모호성을 퍼지 척도 화하여, 그 소속성을 높였으며, 복합적인 결정을 하는 시스템에 절충되는 퍼지 적분 이론을 사용하여 최선의 판단을 구하였다. 그래서, 제안된 연구는 지금까지의 다른 연구에 비해 특이한 장점을 보여주고 있다.

1. 기존의 그래프 이론을 전제로 한 연구는 단순히

최단경로탐색이 주력인데 반해, 수행된 연구는 최적의 경로 탐색에 대한 연구이다.

2. 기존의 여타 연구는 인간의 사고과정이 없거나, 단순화하였으나, 수행된 연구는 다면적인 고찰이다.
3. 기존의 퍼지 알고리즘보다 주관성을 보다 더 정량화 하여 객관성을 높였다.
4. 기존의 유전자 알고리즘은 최적의 경로비용 산정에 있어 물리적인 관측 자료만을 산정하였으나, 수행된 연구는 심리적인 경험 비용도 고려하였다.
5. 기존의 알고리즘은 대안경로나 경로선호도 연구에 자연스러움이 부족하나, 수행된 연구는 구현 성이 좋다.

이와 같이 본 연구는 최적경로 탐색을 하는데 뛰어난 예측 시스템이 될 것으로 보이며, 앞으로 더 효율성을 높이려면, 평가요소를 많이 생성하고, 경로의 특성을 세분화, 분리하여, 미묘하고, 잠재된 경로 선택 가능성을 개척, 미래의 교통상황을 예견하는 형태가 되어 할 것이다.

참고문헌

1. Grantham K. H. Pang, K. Takahashi, T. Yokota, H. Takenaga "Adaptive Route Selection for Dynamic Route Guidance System Based on Fuzzy-Neural Approaches," IEEE Trans. on Veh. Tec., Vol. 48, No. 6, pp.2028~2039, 1999.
2. Grantham K. H. Pang, K. Takahashi, T. Yokota, H. Takenaga "Drivers Route Selection : A Philosophical Consideration and User-Interface," IEEE, 0-7803-2587-7, 1995.
3. D. Teodorovic and S. Kikuchi, "Transportation Route Choice Model Using Fuzzy Inference Technic," IEEE, TH-0334-3, pp.140~145, 1990.
4. A. Shaout, A. Cherri, and J. Cotner, "Fuzzy Route Choice: An Enhancement to Future Automotive Navigation Systems," IEEE, CH3381-1, pp.212~215, 1993.
5. 진현수·이상훈·송준호·김성환 "계층분석 방법을 이용한 퍼지 교통신호제어에 관한 연구", 한국 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, Vol. 10, No. 2,

- pp.83~93, 2000.
6. Asai, K.Aschmann, Charles "Fuzzy Systems for Management," Ohmsha, 1995.
 7. 김정만·이상도, " λ -퍼지 척도를 사용한 질적, 양적 혼합 품질특성을 가진 부품의 군집화", 품질경영학회지, 제24권 제1호, pp.126~132, 1996.
 8. Vincent Henn, "Fuzzy route choice model for traffic assignment," Fuzzy and systems, 116, pp.77~101, 2000.
 9. P. Klungboonkrong and M. A. P. Taylor, "A Microcomputer-Based for Multicriteria Environmental Impacts Evaluation of Urban Road Networks," Comput., Environ. and Urban Systems, Vol. 22, No. 5, pp.425~446, 1998.

✉ 주 작 성 자 : 이상훈

✉ 논문투고일 : 2001. 9. 27

논문심사일 : 2001. 12. 5 (1차)

2002. 2. 1 (2차)

2002. 2. 7 (3차)

심사관정일 : 2002. 2. 7