

■ 論 文 ■

## 퍼지 비가법 제어를 이용한 도시 교통망의 경로 탐색

A Route Search of Urban Traffic Network using Fuzzy Non-Additive Control

이 상 훈

(서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 박사과정)

김 성 환

(서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수)

### 목 차

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>I. 서론</li> <li>II. 기존 연구 고찰</li> <li>III. 퍼지 비가법 제어                         <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 계층 분석법</li> <li>2. 퍼지 척도</li> <li>3. 퍼지 적분</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>IV. 도시 교통망의 다면적 경로 탐색                         <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 우회 경로 탐색</li> <li>2. 선호 경로 탐색</li> </ul> </li> <li>V. 모의실험</li> <li>VI. 결론</li> <li>참고문헌</li> </ul> |
|--|--|

Key Words : 우회경로탐색, 선호경로탐색, 계층 분석법, 중요도, 퍼지척도, 퍼지적분

### 요 약

본 연구는 교통 경로 탐색 가운데, 우회 경로 탐색과 선호 경로 탐색을 하였으며, 계층 분석법을 적용한 퍼지 비가법 제어기 사용을 제안한다. 이것은 기존의 경로 탐색과는 달리, 인간의 사고과정에 착안한 것으로, 애매한 주관적 판단을 정량적으로 분석, 평가하였다. 그리고 중요도를 운전 전문가로부터 의견 수렴한 것을 기초로 도출하였으며, 실제효용성을 진단하고자 경로 모델의 예를 사용하였다. 모델 평가는 평가 요소에 대한 속성 소속 함수화 및 평가치 규정, 계층 분석법에 의한 중요도 결정,  $\lambda$ -퍼지 척도에 의한 중요도의 비 가법적 표현, Choquet 퍼지 적분 등으로 수행하였다. 결국, 우회 경로 탐색 결과, 시시각각 변하는 교통환경에 적용할 수 있는 실 시간적인 교통 경로 제어가 가능하였으며, 선호 경로 탐색 결과, 본 연구의 알고리즘이 운전자 개인의 교통 경로 선택 성향을 잘 반영함을 보여 주었다. 논문은 5 가지의 중요한 의미가 있다. (1) 제안된 접근 방법은 운전자의 경로 선택 결정 과정과 유사하다. (2) 제안된 접근 방법은 다 속성의 경로 평가 기준을 제어 할 수 있다. (3) 제안된 접근 방법은 운전자의 주관적 판단을 비가법적으로 객관화 할 수 있다. (4) 제안된 접근 방법은 우회 경로 탐색에서 동적인 경로 탐색을 보여주고 있다. (5) 제안된 접근 방법은 선호 경로 탐색에서 개개 운전자 속성을 고려할 수 있다.

## I. 서론

도시 교통은 여러 가지 관련 요소들이 많다. 즉, 대표적인 것으로, 차량의 경로 선택, 교차로 신호 체계, 도로 용적률, 도로의 기하학적 구조, 도로의 지역성 등 다양하다. 그런데, 이들 요소들은 최적의 교통류를 형성하기 위해서는 독립된 형태로 있는 것이 아니라 서로 연결 고리가 맞물려서 연동된 특징을 가져야 한다. 이중, 차량의 경로 선택 요소는 교통량 분산 등에 영향을 미칠 수 있다. 즉, 이것은 운전자의 경로 선택에 대한 여러 가지 속성 변화를 고려한 운전 형태의 반응을 고려한 것으로, 도시 도로망의 예측 및 계획 등과 관련되며, 현대의 세분화되고 있는 교통환경을 이해하기 위한 중간 해석 단계로서 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 관점에 맞추어 연구를 진행하였다. 본디, 차량의 경로 선택은 최단 경로 탐색에서 시작되었으며, 그것이 점차 최적 경로 탐색으로 연구 경향이 바뀌어 가고 있는 추세이다. 이처럼 경향이 변하면서, 경로 비용을 종래의 거리 비용뿐만 아니라, 시간비용 및 기타 심리비용 등도 경로 선택에 중요한 변수로 포함되고 있다.<sup>1-3)</sup> 여기서, 최적 경로 탐색은 거시 경로 탐색(macroscopic route search), 우회 경로 탐색(alternative route search), 선호 경로 탐색(preference route search), 전역 경로 탐색(global route search) 등으로 구분할 수가 있는데, 본 논문에서는 우회 경로 탐색과 선호 경로 탐색을 논의한다. 먼저, 우회 경로 탐색은 최적의 기·종점 경로 주행중 도로망의 혼잡 등의 불완전한 정체 등으로 인해, 주변의 다른 길로 우회하여, 최단 경로를 약간 벗어나 빠른 주행을 도모하는 것이다. 즉, 링크 속도, 신호대기시간, 목적지와의 방향성 등의 평가 속성을 고려하여 현재의 교차로에서 다음 진행해야 할 도로 구간을 결정한다. 그리고, 선호 경로 탐색은 대부분의 운전자의 상식적인 경로 선택을 보이는 일반 최적 경로 선택과는 달리, 운전자 각 개인의 특이한 경로 선택 성향에 주안점을 두는 것이다. 예를 들어, 운전자가 주행시, 도로의 경치(심리적 비용)에 의미를 가장 부여한다면, 도로의 경치가 가장 중요한 경로 선택 요소가 된다. 이와 같이, 운전자의 어느 한정된 심리적 비용을 가장 큰 중요도가 되어, 전체 최적 경로 탐색에 영향을 미치는 것이 선호 경로 탐색이다. 본 논문에서는 다음사항을 기초로 구현

하였다.

첫째, 교통 경로 선택에 대한 인간의 사고과정을 고려해야 한다. 경로 선택을 할 때, 인간의 내면적 사고 과정에 부합된 알고리즘이 필요하다. 즉, 주관적 판단을 정량화하고, 평가하는 과정이 기존의 경로 선택 방법보다 정합된 계산 순서가 요구된다. 본 연구에서는 당 항목의 대안 알고리즘으로 퍼지 비가법 제어 방법을 제안하였다.

둘째, 교통 경로의 최적 경로 탐색은 동적이어야 한다. 기존의 최단 경로 알고리즘, 최근의 퍼지 신경망 등의 연구는 정적인 경우로 출발지에서 선택하는 경로 탐색이다. 하지만 실제적으로는 교통량은 교통량 변화가 많으므로 선택된 최적 경로가 수정될 가능성이 많다. 따라서, 우회 경로 탐색이 필요하다.

셋째, 교통 경로의 운전자 선호성에 대한 고려이다.

운전자의 보통 생각인 출발지로부터 목적지까지 짧은 시간에 지름길로 가는 것이 항상 경로 선택에 적용되는 것은 아니다. 어떤 경우는 운전자의 특별한 생각으로 일반적인 최적 경로가 아닌 다른 경로를 선택할 수가 있다. 즉, 경로 선택의 개인 성향에 대한 경로 선택이 가능해야 한다.

이상과 같이 본 연구에서는 이를 위해, 중요도를 구하는 계층 분석법 및 중요도의 객관화와 관련된 퍼지척도와 중요도와 평가치를 종합적으로 판단하는 퍼지적분 등을 이용한 퍼지 비가법 제어 방식의 경로탐색을 제안하였다. 아울러, 운전 전문가에 대한 설문조사를 통해 중요도 산출하였으며, 평가요소 속성의 주관적 특성에 대해 퍼지이론을 적용하여 평가치를 산출하였다.

## II. 기존 연구 고찰

한편, 이와 관련된 연구사례를 살펴보면 다음과 같다. Kanoh<sup>4)</sup>는 일본의 실제 지역에 대해 유전자 알고리즘을 적용하여, 우회 경로 탐색을 시도하였으며, Dijkstra 경로 탐색 알고리즘과 비교하였다. 본 논문에서는 차량 주행 안내시스템에서 교통량의 분산을 위한 최적 경로 및 대체 경로 탐색 기법을 제안하였으며, 탐색을 성능을 높이기 위하여, 교배와 병원체 침투법을 사용하였다. 6076개 및 13171개의 2가지 노드로 구성된 실제의 디지털도로망을 대상 도로망으로 하여, 제안된 알고리즘을 수행한 결과, 교통 혼잡을

피하면서 시간측면에서 최소 비용을 갖는 최적 경로를 효과적으로 탐색하였다.

그리고, Pang<sup>1)</sup>은 기점과 종점 사이의 여러 경로를 가정하고, 6가지 입력 변수(거리, 시간, 혼잡도, 통행료, 나쁜 도로환경, 경치)를 기초로 퍼지 신경망(FNN: fuzzy neural network)을 이용하여, 선호 경로 탐색을 하였다. 즉, 퍼지화 블록과 비 퍼지화 블록으로 나누어 각각의 블록에 대하여 학습 시켰으며, 예로, 5가지 경로에 대해 6가지 입력 변수를 인가하여 경로 선택을 보였다.

그러나 Kanoh의 연구는 다양한 심리적 비용적용에 어려움이 있으며, Pang의 연구는 주관성의 정량화와 빠른 연산 시간, 실시간 경로 탐색 등에 어려움을 가지고 있다. 이와같이 기존 연구의 특징은 실제의 교통성향을 반영하는 면에서 미흡한 점이 있다. 이것은 운전자들의 심리적 경로 선택 성향에 대한 우위성을 고려하지 않은 종합적인 평가가 이루어지지 않은 것으로, 의사 수렴을 통한 주관적이고 객관성이 있는 판단 방법이 필요한 것이다. 다시 말해, 기존의 연구가 명확한 물리적 속성에 의존하는 것과는 달리, 본 연구는 애매 모호한 인간의 심리를 퍼지 수학적으로 모델링 한 틀에 적용하는 것이다.

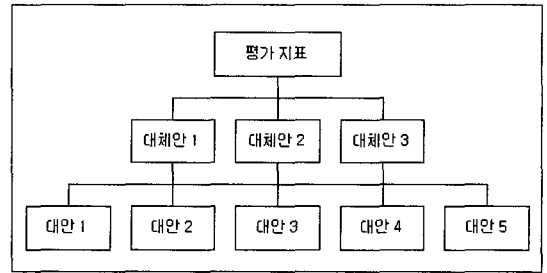
### III. 퍼지 비가법 제어

#### 1. 계층 분석법

계층분석법(AHP:analytic hierarchy process)은 1970년대 초에 Saaty에 의해 개발된 알고리즘이다. 이것은 인간의 의사 결정을 정성, 정량적으로 판단하며, 다수의 목표, 다수의 평가기준, 다수의 의사결정 문제를 계층화하였다. 즉, 상위 계층의 한 요소의 관점에서 직계 하위 계층에 있는 요소들의 상대적 중요도를 쌍별 비교(pairwise comparison)에 의해 평가한 후, 궁극적으로 최하위 계층에 있는 대안들의 중요도를 구하는 것이다.

AHP를 이용하여 의사결정 문제를 해결하고자 할 경우에는 일반적으로 다음과 같은 4단계를 갖는다.<sup>5,6)</sup>

(단계 1) 주어진 의사결정 문제를 계층 구조로 분해한다.



(그림 1) 계층화 분석을 위한 계층구조

(단계2) 같은 계층 구조에 있는 요소를 대상으로 쌍별 비교를 한다.

AHP에서 쌍별 비교는 어떤 계층에 있는 한 기준의 관점에서 직계 하위 계층에 있는 기준들의 상대적 중요도를 추정하기 위하여 평가 요소들간에 서로 비교하는 것으로 행렬로 나타낼 수 있다. 예를 들어, 어떤 계층의 비교기준을  $c_1, c_2, \dots, c_n$ 이라 하고,  $c_j$ 에 비해  $c_i$ 의 중요한 정도를  $a_{ij}$ 라는 수치로 표현할 때, 이들  $n$ 개의 기준들간 쌍별 비교 결과는 다음과 같이  $n \times n$  행렬로 나타낼 수 있다.

$$A = (a_{ij}) \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

여기서, 행렬  $A$ 의 성분  $a_{ij}$ 는 다음과 같은 규칙을 따른다.

규칙1.  $a_{ij} = \beta$  이면  $a_{ji} = 1/\beta$  단,  $\beta \neq 0$

규칙2.  $c_i$ 와  $c_j$ 가 똑같은 중요한 정도로 중요하다면  $a_{ij} = a_{ji} = 1$ 이 된다. 특히 모든  $i$ 에 대해  $a_{ii} = 1$ 이다. 따라서, 행렬  $A$ 는 식(1)과 같이 정리될 수 있으며, 이것은 평가기준들에 대한 의사결정자의 선호 정도를 어의적인 표현에 의해 나타내고, 이에 상응하는 적절한 수치를 부여하는 수량화 과정이 포함되는데, Saaty가 제안한 9점 척도가 기준이 된다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

(단계 3) 계층의 고유치(eigenvalue)를 구하고, 쌍별 비교된 요소들의 중요도 및 최대 고유치를 추정한다.

(1) 쌍별 비교의 일관성이 완전한 경우

행렬식  $A$ 가  $n$ 차 행렬인 경우  $Aw = nw$ 가 정의되는데,  $w$ 는 실제 가중치이며,  $n$ 은

평가요소의 수이다.  $Aw = nw$ 에서 평가요소들의 중요도를 구할 수 있다.

(2) 쌍별 비교의 일관성이 불완전한 경우

(가) 일대 비교하여 행렬  $A$ 를 결정한다.

(나)  $A$ 의 열별로 합계를 구한다.

(다) 열의 합계로 나누어 각 원소의 열별 합계가 1이 되게 한다.

(라) (다)의 결과를 가지고 행렬로 평균값을 구하여 개개의 중요도로 취한다.

(마) 행렬  $A$ 와 중요도 행렬을 곱한 후, 그 결과 행렬 값을 대응되는 중요도로 나누어 값을 산출하고, 그 값들을 평균하면, 최대 고유치의 근사 값을 얻게 된다.

(단계 4) 일대 비교 행렬의 정합성을 판단한다.

$$CR = CI/RI \tag{2}$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1) \tag{3}$$

여기서,  $CR$ (consistency ratio)은 일관성 비율이며,  $CI$ (consistency index)는 일관성 지수,  $RI$ (random index)는 난수지수의 약자이다. Satty는 경험적으로 볼 때  $CR \leq 0.1$ 인 경우에 판단의 일관성을 인정하고  $CR > 0.1$  이면 판단을 다시 하거나 수정할 필요가 있다.

## 2. 퍼지 척도

전체집합  $X$  내의 여러개의 부분집합  $A_1, A_2, \dots$  등이 있다. 그리고, 어느 원소  $a$ 를 가정하자. 원소  $a$ 는 집합  $A_1, A_2, \dots$ 에 속할 가능성이 고려 될 수 있다. 이 때, 가능성은 주관적 판단에 의하여 결정될 수 있으며, 애매 모호한 값으로, 퍼지 값으로 표현될 수 있다. 이와같이, 어느 원소  $a$ 가 집합  $A_1, A_2, \dots$ 에

소속될 가능성을 나타낼 때, 사용되는 척도를 퍼지 척도(fuzzy measure)라 한다. 퍼지 척도는 다음과 같은 성질들을 만족하여야 한다. 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.<sup>7-9)</sup>

(공리1) 경계조건(boundary condition)

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

(공리2) 단조성(monotonicity)

$$\forall A, B \in P(X), A \subseteq B \text{ 이면 } g(A) \leq g(B) \text{이다.}$$

(공리3) 연속성(continuity)

부분집합의 연속  $A \in P(X)$ ,  $i \in \mathbb{N}$ 에 대하여,

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

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

퍼지 척도 중 Sugeno에 의해 제안된  $\lambda$ -퍼지척도는 확률척도의 덧셈 조건을 완화한 것이며,  $\forall A, B \in P(X)$ ,  $A \cap B = \phi$  일 때  $-1 < \lambda$ 에 대하여 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A)g_\lambda(B) \tag{4}$$

$\lambda$ 는 매개 변수로 척도의 가법성 및 비가법성에 영향을 주는 역할을 한다. 다음과 같이  $\lambda$ 값에 따라 퍼지 척도의 특성이 달라진다.

(1)  $\lambda = 0$  이면,  $\lambda$ -퍼지척도는 확률척도가 된다.

(2)  $\lambda \geq 0$  이면,  $\lambda$ -퍼지척도는 믿음척도가 된다.

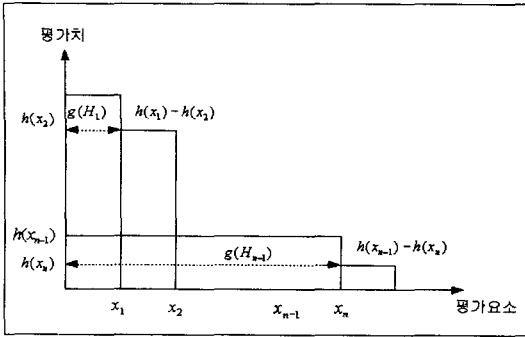
(3)  $-1 < \lambda < 0$  이면,  $\lambda$ -퍼지척도는 근사척도가 된다.

식(4)에서  $A, B$ 를 2가지 평가요소라고 할 때, 3가지 평가요소에 대한  $\lambda$ -퍼지척도는 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

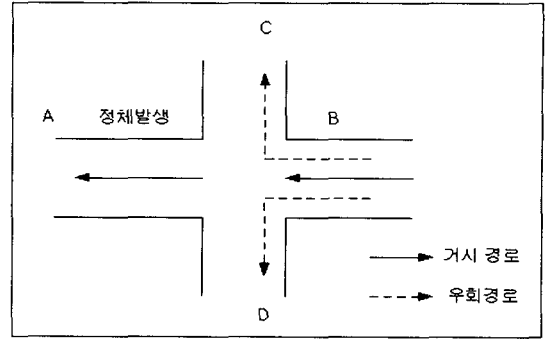
$$\begin{aligned} g_\lambda(A \cup B \cup C) &= g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + g_\lambda(C) + \lambda [g_\lambda(A)g_\lambda(B) \\ &\quad + g_\lambda(A)g_\lambda(C) + g_\lambda(B)g_\lambda(C)] \\ &\quad + \lambda^2 g_\lambda(A)g_\lambda(B)g_\lambda(C) \end{aligned} \tag{5}$$

## 3. 퍼지 적분

퍼지적분은 어떤 대상을 여러 관점에 대해서 평가



〈그림 2〉 Choquet 퍼지 적분



〈그림 3〉 우회 경로 탐색 발생 상황

할 때, 주관적인 판단에 대해 유용하게 사용될 수 있다. 즉, 퍼지적분은 퍼지 계층분석법에서 문제를 최종 평가하는 것으로, 계층분석법의 평가지표별 중요도와 평가치를 비가법적으로 종합 판단하며, 본 연구에서는 Choquet 퍼지 적분을 사용하였다. 만일, 어떤 평가 모델에 대해, 평가 항목이  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 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 비가법적일 때는 다음과 같은 식으로 종합 평가 할 수 있다.<sup>7~9)</sup>

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

단,  $H_i = \{x_1, x_2, \dots, x_i\} \quad i=1, 2, \dots, n$  (6)

## N. 도시 교통망의 다면적 경로 탐색

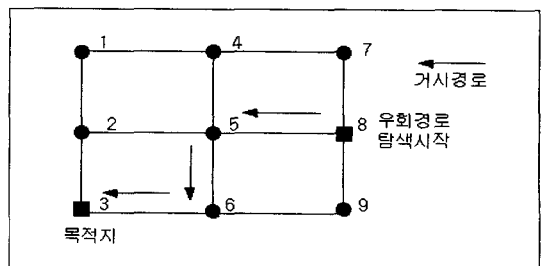
### 1. 우회 경로 탐색

우회(대체) 경로 탐색은 최적의 거시 경로 주행 중 교통망의 불완전한 상태를 만나, 정체 등이 발생되어 계속적이며, 원활한 도로 주행상태가 불안정한 상태이다. 이런 경우, 현재 도로 구간(링크)에서, 어느 방향의 도로구간으로 이동이 진행되느냐 하는 것이 주관적이 된다. 그리고, 제안하는 본 경로 탐색 모델은 도로의 교차로(노드) 지점을 중심으로 다음 링크 찾기를 하는 방법으로 목적지까지의 여러 노드에서 반복 탐색 과정을 거쳐 대체 경로들을 안내한다. 이때, 우회 경로는 링크속도, 신호 대기시간, 방향성(종점 접근도) 등의 3가지 우회 링크 평가요소를 기초로 대체 경로를 선정하며, 이것은 통행거리만을 고려하지 아

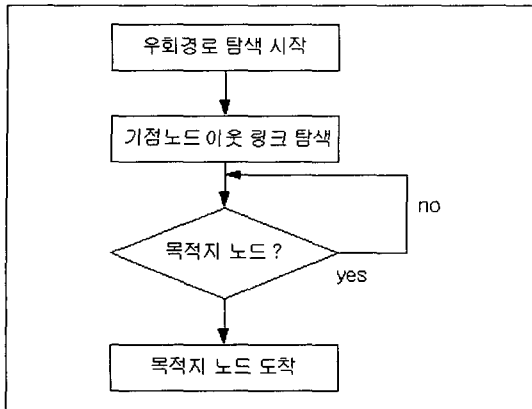
니한 다 속성의 경로 선택이 되는 것이다. 〈그림 3〉은 우회 경로 탐색 발생 상황을 나타낸 것이다.

원래, 주행경로는 B링크에서 A 링크 방향으로 진행(거시 경로)되고 있으나, 교차로를 지나 A 링크에서 정체가 발생되어, C방향이나, D 방향으로 경로를 우회하는 것을 보여 주고 있다. 결국, 탐색 경로는 2 경로로, 이들 경로를 서로 비교하여, 더 최적인 링크를 선택하는 것이다. 그리고, 보기와 같은 경우의 우회 경로의 속성은 출발지와 목적지 사이의 거시 경로는 최단 거리가 될 수가 있으나, 경로를 바꾸어 대체 경로로 주행을 하면, 전체 링크 상의 거리가 더 길어질 수 있는 면이 있다. 한편, 다른 형편의 우회경로도 있을 수가 있는데, 특별한 경우이지만, 통행 시간과 별개의 개인적 용무 혹은 성향의 경로 변경도 있을 수 있다. 〈그림 4〉는 우회 경로 탐색 도로망을 표현한 것으로 전체 9개의 노드와 12개의 링크로 이루어진 도로망이다.

예상 거시 경로는 8-5 링크 및 5-6 링크, 6-3 링크를 지나 목적지에 도착하는 것이나, 8-5 링크에서 교통 혼잡의 정체가 있어, 8번 노드를 중심으로 대체 경로 탐색이 시작되고 있는 현황이다. 그러면, 8번 노드를 지나기 전에 운전자는 교통의 여러 상황을 중



〈그림 4〉 우회 경로 탐색 도로망



〈그림 5〉 우회 경로 탐색 순서도

합하여, 최적의 경로 변경을 고려해야한다. 따라서, 처음 노드에서, 8-5노드를 제외한, 8-7 링크 또는 8-9 링크를 탐색하여야 한다. 〈그림 5〉는 링크 탐색 과정을 순서도로 나타낸 것이다.

〈그림 4〉에 대한 우회 경로 탐색을 위해, 숙련 운전자로부터 의견 수렴을 받고 〈표 1〉과 같은 항목에 대해 평가 기준을 설정하였다. 그리고, 본 탐색은 실시간 동적 교통 상황(실시간, 동적인 경로 선택)을 기초로 하는 것이다. 그래서, 평균 적으로 2노드 앞에서 최적 경로 시스템 단말기를 통하여, 경로 안내를 해주면, 운전자가 직접 눈으로 확인하고 그에 대응하는 것을 전제로 한다. 따라서, 경로가 임의적으로 갑자기 변환하여, 운전하는 것을 방해할 수 있는 요소를 미연에 방지한다. 또한, 평가 기준의 항목들의

〈표 1〉 우회 경로 탐색에 대한 평가 기준

우회평가요소	요소속성
링크의 속도	비교될 개별 링크의 속도
링크 구간 내 전체 신호대기 소요 시간	비교될 개별 링크의 전체신호대기 소요 시간
링크의 목적지와 방향성	목적지와의 경로 방향성 분석

〈표 2〉 우회 경로 탐색에서의 평가 요소에 대한 소속함수 적용

소속함수	NB(0.1)	NS(0.3)	ZE(0.5)	PS(0.7)	PB(0.9)	※ 여기서, 비교링크는 3비교를 기준 한 것이며, 2 비교는 대,소 분류임.
평가 요소						
링크속도	-	소	중	대	-	
신호 대기시간	-	대	중	소	-	
방향성(중점 접근도)	-	소	중	대	-	

(NB : 음의 큰값, NS : 음의 작은값, ZE : 영, PS : 양의 작은값, PB : 양의 큰값)

속성 값은 시스템이 자동적으로 교통 현황을 감지하고, 입력으로 대치된다. 여기서, 우회 경로 탐색의 기준은 운전자들의 일반적인 사고과정을 닮은 전체 경로 거리가 약간 길어지더라도, 도로의 혼잡을 피해, 원활하게 빨리 가는 것이다.

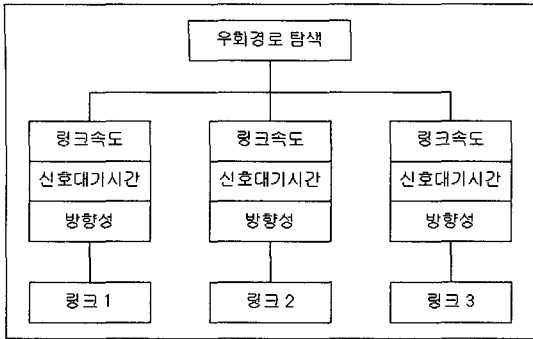
〈표 1〉에 나타난 바와 같이 평가 요소로, 링크의 속도, 신호 대기시간, 링크의 목적지와 방향성 등의 3가지 평가 기준을 설정하였으며, 경로 평가의 중요도 도출 및 평가치를 얻는데 기초가 된다.

〈표 2〉는 평가치 판단 기준을 나타낸 것으로, 평가 요소속성의 주관적 특성에 대해 퍼지이론을 적용하였으며, 이중에, 링크의 속도 및 교차로 주기 시간은 대상 링크들의 평가 요소 속성의 크기를 서로 비교하였으며, 소속 함수로 정의하였다. 여기서, 소속함수는 계산이 용이하고 데이터 기억용량의 크기를 줄일수 있는 이산적인 삼각 퍼지 함수를 사용하였으며, 3비교 링크를 기준으로 대, 중, 소의 3가지로 균등 퍼지 변수화 하였다. 〈표 3〉은 기준 노드 및 비교 대상 링크를 나타낸 것으로, 이 관계를 고려하여, 〈그림 6〉과 같은 계층 분석도를 표시할 수 있다.

계층 분석도의 평가대상은 기준 노드에 따라 바뀐다. 그리고, 평가대상의 링크의 수는 1개의 링크, 2개의 링크, 3개의 링크 별로 분류된다.

〈표 3〉 우회 경로 탐색의 기준 노드 및 비교 대상링크

기준 노드	비교 대상 링크
1 번 노드	(1 ↔ 4) (1 ↔ 2)
2 번 노드	(1 ↔ 2) (2 ↔ 5) (2 ↔ 3)
3 번 노드	(2 ↔ 3) (3 ↔ 6)
4 번 노드	(1 ↔ 4) (4 ↔ 5) (4 ↔ 7)
5 번 노드	(2 ↔ 5) (5 ↔ 6) (5 ↔ 8) (4 ↔ 5)
6 번 노드	(5 ↔ 6) (6 ↔ 9) (3 ↔ 6)
7 번 노드	(4 ↔ 7) (7 ↔ 8)
8 번 노드	(7 ↔ 8) (5 ↔ 8) (8 ↔ 9)
9 번 노드	(8 ↔ 9) (6 ↔ 9)



〈그림 6〉 우회 경로 탐색에 대한 계층 분석도

〈표 1〉을 이원 비교하여, 중요도를 도출할 수 있으며, 숙련운전자의 설문 조사된 자료를 기초로 한다. 즉, 본 연구에서는 계층 분석법 평가 항목의 중요도를 결정하기 위하여, 택시 운전자와 일반 운전자로 나누어 설문 조사를 하였다. 그리고, 충실한 답변을 위하여, 방문조사 및 설문서의 설명, 다 집단의 조사를 하였으며, 설문지는 사전의 여러 택시 운전자의 의견을 종합한 것을 토대로 작성하였다. 이중 택시 운전자는 3회에 걸쳐, 서울 시내 10개의 택시 회사를 탐방하여, 설문을 하였으며, 일반운전자는 운전경력이 2년 이상인 사람을 대상으로 하였다. 그리고, 표본 수는 각각 100명, 78명으로 하였다. 〈표 4〉는 각 평가요소를 쌍별 비교한 것이며, 주관적 요소가 강하다고 볼 수 있으므로, 일관성이 완벽하지 않을 때의 방법으로 평가 요소별 중요도를 구한다. 〈표 5〉를 고려하면, 택시 운전자 군은 우회 경로를 탐색함에 있어, 방향성을 가장 중요시하였다. 그리고, 일반인 운전자는

〈표 4〉 우회 경로 탐색의 링크별 교통 환경 요소의 Saaty 척도 적용 값

(a) 택시운전자의 경우

	링크 속도	신호 대기시간	방향성
링크속도	1	1.646	0.611
신호 대기시간	0.608	1	0.330
방향성	1.637	3.028	1

(b) 일반인의 경우

	링크 속도	신호 대기시간	방향성
링크속도	1	1.105	1.289
신호 대기시간	0.333	1	0.871
방향성	0.333	3.000	1

〈표 5〉 우회 경로 탐색의 평가 요소별 중요도

	링크속도	신호 대기시간	방향성	$\lambda_{max}$	CR
택시 운전자	0.304	0.178	0.518	3.0016	0.001
일반인 운전자	0.408	0.224	0.368	3.0004	0.0004

속도를 우선으로 중요시하였다. 이것은 두 집단 간의 우회성 경로에 대한 이해력의 차이라 생각되며, 중요도 분포로 보아 일반인 운전자가 목적지 접근도를 높이기 위한 우회성이 더 큰 것을 알 수 있다.

## 2. 선호 경로 탐색

선호(preference) 경로 탐색은 거시 경로 탐색의 특별한 경우로, 일반적인 경로 탐색은 대부분의 운전자의 상식적인 경로 선택 성향을 보이지만, 선호 경로 탐색은 각 집단(group) 및 개인의 성향을 반영하는 것이다. 먼저, 집단의 경우, 통행의 목적에 따라 적용에 상당한 차이가 있을수 있는데, 도시의 일상통행인 통근, 통학 등의 경우 선호 경로는 반복적인 학습을 통한 친근한 노선이 주변 환경보다 더욱 중요한 환경 요인이 될 수 있다. 그러나 비 일상적인 통행인 쇼핑, 여가 등의 경우, 시간 및 비용의 제약이 일상적인 통행보다 적다고 판단되므로 주변환경 요소가 중요한 의사 결정 기준이 될 수 있다. 그러나 비 일상적인 통행인 쇼핑, 여가 등의 경우, 시간 및 비용의 제약이 일상적인 통행보다 적다고 판단되므로 주변환경 요소가 중요한 의사 결정 기준이 될 수 있다. 또, 통행 주체에 따라도 적용에 상당한 차이가 있을수 있는데, 택시의 경우, 개인 승용차 보다 주변환경(경치 등)에 비교적 덜 영향을 받을 수 있다. 이와같이, 집단에 대한 선호 경로 탐색은 노선의 친밀도와 관련될 수 있다. 한편, 개인에 대한 선호 경로 탐색은 각 개인 성향 별 선호 경로 탐색이며, 상황에 따라, 여러 가지 환경에 대한 심적상태를 대변하는 선호 경로 탐색이다. 이 경우, 경로 선택 선호 평가 요소 등을 종합 평가하여 최적 선택되므로, 집단에 비해 경로가 다양하게 선택될 수 있다. 예를 들어, 일상적으로, 도로 경로 선택 속성이 빠른 길로, 빨리 가는 것에 인식이 맞추어졌다면, 이와는 달리, 다른 특성에 경향을 가질 수도 있다. 즉, 운전자가 도로의 경치(심리적 비용)를 경로 선택에 우선적으로 고려한다면, 도로의 경치

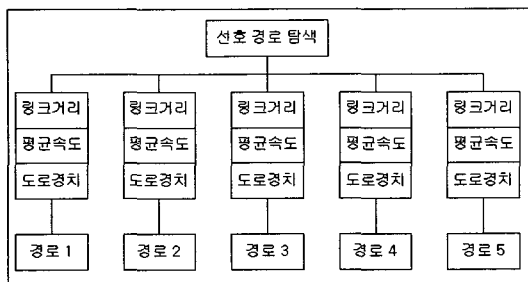
〈표 6〉 선호 경로 탐색에 대한 평가치 기준

소속함수 평가 요소	NB(0.1)	NS(0.3)	ZE(0.5)	PS(0.7)	PB(0.9)
전체링크거리	편차+6Km	편차+3Km	편차0Km	편차-3Km	편차-6Km
전체링크 평균속도	편차-20Km	편차-10Km	편차0Km	편차+10Km	편차+20Km
도로 주변의 경치	-	나쁨	보통	좋음	-

( NB : 음의 큰값, NS : 음의 작은값, ZE : 영, PS : 양의 작은값, PB : 양의 큰값)

가 가장 중요한 경로 선택의 요소가 된다. 이때, 경치라는 것은 도로 부근의 환경 등도 포함될 수 있다. 서울시 같은 경우, 도로의 경치는 강변 도로와 같은 풍경도 생각할 수 있고, 청계천 및 종로 같은 도심의 도로 주변 환경도 비교 할 수가 있다. 그리고, 선호 경로 탐색은 날씨, 시간 등의 요소와도 관련성이 있다. 즉, 겨울철 일 때, 도로에 빙판이 생기는 곳이 빈번히 있는데, 이때, 운전자는 결빙이 잘되는 곳을 피해서, 갈 수 가있다. 그리고, 야간에 어두워, 길가의 가로등을 의식하여, 주위가 밝은 경로를 선호 할 수도 있다.

〈표 6〉은 선호 교통 경로에 대한 평가요소 및 평가치 기준을 나타낸 것으로, 전체 링크 거리와 전체 링크 평균속도는 거시 경로 탐색의 설문 조사된 내용을 이용하였다. 그리고, 경로의 경치는 운전자에 따라 성향이 틀리며, 이것은 각 개인이 전문가가 되어 평가를 하게되는 것이다. 그래서, 〈표 6〉의 경로의 경치는 평가 속성의 기준이 없으며, 평가치도 유동적이다. 여기서, 평가요소속성의 주관적 특성에 대해 퍼지 이론을 적용하였으며, 소속함수는 삼각 퍼지 함수를 사용하여, 전체링크거리는 변수 범위 편차 ±6km에 대해, 전체 링크 평균속도는 변수 범위편차 ±20km에 대해, 도로 주변의 경치는 개인 성향을 3 가지의 균등 퍼지 변수로 퍼지화하였다. 그리고, 〈그림 7〉은 교통 경로 탐색에 대해 계층 분석법을 적용하는 체계



〈그림 7〉 선호 교통 경로 탐색에 대한 계층 분석도

〈표 7〉 선호 경로 탐색의 Saaty 척도 적용 값

(a) 링크 거리가 1순위일 때

	링크거리	링크속도	도로경치
링크거리	1	3	5
링크속도	1/3	1	2
도로경치	1/5	1/2	1

(b) 도로 경치가 1순위 일 때

	링크거리	링크속도	도로경치
링크거리	1	1/3	1/5
링크속도	3	1	1/2
도로경치	5	2	1

〈표 8〉 선호 경로 탐색의 평가 요소별 중요도

	거리	속도	경치
거리가 1 순위일 때	0.648	0.23	0.122
경치가 1 순위일 때	0.11	0.309	0.581
$\lambda_{max}$	3.0037		
CR	0.003		

를 나타낸 것으로 최하위 5개 경로의 대안과 3 요소의 평가 기준을 두었다.

그리고, 본 탐색과정은 경로의 평가 기준에 대한 중요도를 1인의 운전자가 자신만의 경로 선호도를 고려하여, 〈표 7〉과 같이 독자적으로 Saaty의 9점 척도를 적용하는 것을 가정하며, 개개의 경로 선호도에 대한 평가 요소의 쌍별 비교값을 기초로 한 중요도를 결정하기 위해 판단이 비일관성일 때의 방법을 적용하여 〈표 8〉을 산출한다.

### V. 모의 실험

본 연구의 우회 경로 탐색을 위해 〈표 9〉와 같은 링크 모델을 가정한다. 개개의 링크별로 현재의 평가 요소별 속성이 실시간 측정되어 나타나고 측정된 값들은



〈표 9〉 우회 경로 탐색의 링크 별 교통 환경 요소 측정 값

평가요소 \ 링크	(1,2)	(1,4)	(2,5)	(3,6)	(4,5)	(4,7)	(5,6)	(5,8)	(6,9)	(7,8)	(8,9)
링크속도(km/h)	50	30	60	80	40	80	50	70	60	50	80
신호대기 시간(초)	130	150	170	160	180	200	220	190	160	140	210

〈표 10〉 우회 경로 탐색의 전체 λ-퍼지 척도

	{x <sub>1</sub> }	{x <sub>2</sub> }	{x <sub>3</sub> }	{x <sub>1</sub> , x <sub>2</sub> }	{x <sub>1</sub> , x <sub>3</sub> }	{x <sub>2</sub> , x <sub>3</sub> }	c	λ
택시 운전자	0.185	0.108	0.314	0.352	0.673	0.524	0.607	3
일반인	0.242	0.133	0.219	0.472	0.62	0.439	0.594	3

〈표 11〉 우회 경로 탐색의 링크 (7,8), (8,9) 비교 평가치

평가요소 \ 링크	(7,8)		(8,9)	
	속성값	평가치	속성값	평가치
링크속도(km/h)	50	0.3	80	0.7
신호대기시간(초)	140	0.7	210	0.3
방향성	원점근	0.3	근점근	0.7

제어기의 입력이 된다. 〈표 5〉를 토대로, 〈표 10〉과 같은 λ-퍼지 척도를 도출할 수 있다.

그리고, 〈표 10〉을 기초로, 최적 경로 선택에 대한 최종 종합평가는 Choquet 퍼지 적분을 통하여 구할 수 있다. 우선, 퍼지 적분하기 전에 링크 비교 대상을 선정하고, 각 링크에 대해, 평가치를 결정한다. 택시 운전자의 경우에 대한 일례는 다음과 같다.

제1단계로, 〈그림 4〉를 참조하여, 8번 노드에 대해, 비교 대상 링크를 정의 할 수 있으며, 〈표 2〉 및 〈표 9〉를 고려하여, 〈표 11〉과 같은 평가치를 산출할 수 있다.

제2단계로, 〈표 11〉에 따라, 각 링크의 평가치 크기를 정의 할 수 있다.

(7,8) 링크는 평가항목 요소를 링크속도, 신호대기 시간, 방향성일 때, {x<sub>1</sub>}, {x<sub>2</sub>}, {x<sub>3</sub>}로 표현 할 수 있다. 따라서, (7,8) 링크의 평가치는 h(x<sub>1</sub>)=0.3, h(x<sub>2</sub>)=0.7, h(x<sub>3</sub>)=0.3이며, 평가치를 큰 순서대로 나열하면, h(x<sub>2</sub>) > h(x<sub>1</sub>)=h(x<sub>3</sub>) 이다.

제3단계로, Choquet 퍼지 적분 식을 사용하여 링크(7,8)에 대해 퍼지 적분하면, 다음과 같다.

$$\lambda(7,8) = 0.3 \times g_{\lambda}(X) + [0.7 - 0.3] \times g_{\lambda}(\{x_2\}) = 0.3 \times 1 + 0.4 \times 0.185 = 0.374$$

그리고, (8,9) 링크에 대해 종합 평가하면 다음과 같다.

(8,9) 링크의 평가치는 h(x<sub>1</sub>)=0.7, h(x<sub>2</sub>)=0.3, h(x<sub>3</sub>)=0.7이며, 평가치를 큰 순서대로 나열하면, h(x<sub>1</sub>)=h(x<sub>3</sub>) > h(x<sub>2</sub>) 이다.

Choquet 퍼지 적분식을 사용하여 링크(7,8)에 대해 퍼지 적분하면, 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mu(8,9) &= 0.3 \times g_{\lambda}(X) + [0.7 - 0.3] \times g_{\lambda}(\{x_1, x_3\}) \\ &= 0.3 \times 1 + 0.4 \times 0.673 \\ &= 0.5692 \end{aligned}$$

따라서, (7,8) 링크와 (8,9) 링크 중의 최적 링크는 퍼지 계층 분석법에 의해 (8,9) 링크로 분석되었다.

그리고, 이후 경로에 대해서도 같은 방법으로 경로를 탐색할 수 있다. 결국, 우회 경로는 (8,9) (6,9) (3,6)으로 분석되었다. 이와 같이, 우회 경로 탐색한 결과가 〈표 12〉에 나타나 있다.

한편, 본 연구의 선호 경로 탐색을 위해 다음과 같은 링크 모델을 가정한다. 〈표 13〉은 선호 경로 탐색의 경로별 교통환경 요소 측정값으로, 이들 값은 평가치가 되며, 전체 링크 거리와 전체 링크 평균 속도는

〈표 12〉 우회 경로 탐색 결과

기준 노드	비교 링크	퍼지 적분 값		비고
		택시 운전자	일반인	
노드 8	(8,7) 링크	0.374	0.3532	(8,9) 링크 선택
	(8,9) 링크	0.5692	0.548	
노드 9	(9,6) 링크	-	-	단일 링크
노드 6	(6,5) 링크	0.3	0.3	(6,3) 링크 선택
	(6,3) 링크	0.7	0.7	

〈표 13〉 선호 경로 탐색의 경로 별 교통 환경 요소 측정 값

경로	경로1	경로2	경로3	경로4	경로5
전체 링크 거리	21km	15km	18km	12km	24km
전체 링크 평균 속도	70km/h	60km/h	50km/h	40km/h	80km/h
도로 주변의 경치	좋음	보통	나쁨	보통	보통

경로 탐색 시스템에서 실시간 처리되며, 경로의 경치는 운전자가 직접 판단 입력한다. 그리고, 〈표 6〉과 〈표 13〉으로부터 〈표 14〉와 같은 개개 평가요소의 평가치를 산출할 수 있다. 다음, 중요도를 기초로 〈표 15〉의  $\lambda$ -퍼지 척도를 도출한다. 〈표 15〉는 링크거리 선호 및 도로 경치 선호에 대해, 부류 별로 퍼지척도를 나타낸 것으로, 각각의 선호 평가 요소에 대해, 높은 척도 값을 보여주고 있다. 그리고, 기타 평가요소들이 이들 평가요소와 결합 시, 그 합성 퍼지척도치가 선호 평가 요소와 쌍을 갖지 않은 다른 평가요소들의 합성 퍼지척도치 보다 높게 평가되고 있다. 결국, 〈표 14〉와 〈표 15〉를 토대로, 최적 경로 선택에 대한 최종

〈표 14〉 선호 경로 탐색의 개별 경로에 대한 평가 요소 별 평가치

경로	경로1	경로2	경로3	경로4	경로5
전체 링크 거리	0.3	0.7	0.5	0.9	0.1
전체 링크 평균 속도	0.7	0.5	0.3	0.1	0.9
도로 주변의 경치	0.7	0.5	0.3	0.5	0.5

〈표 15〉 선호 경로 탐색의 전체  $\lambda$ -퍼지 척도

	{x <sub>1</sub> }	{x <sub>2</sub> }	{x <sub>3</sub> }	{x <sub>1</sub> , x <sub>2</sub> }	{x <sub>1</sub> , x <sub>3</sub> }	{x <sub>2</sub> , x <sub>3</sub> }	c	$\lambda$
링크거리가 1순위일때	0.415	0.147	0.078	0.747	0.591	0.26	0.641	3
도로경치가 1순위일때	0.069	0.194	0.365	0.263	0.434	0.559	0.628	3

〈표 16〉 선호 경로 탐색의 각 경로에 대한 최종 평가

경로	경로1	경로2	경로3	경로4	경로5
전체 링크 거리	0.3	0.7	0.5	0.9	0.1
전체 링크 평균 속도	0.7	0.5	0.3	0.1	0.9
도로주변의 경치	0.7	0.5	0.3	0.5	0.5
링크거리가 1순위일 때 퍼지적분 평가치 및 선호 경로 순위	0.5364 (2)	0.583 (1)	0.383 (5)	0.4194 (3)	0.3952 (4)
도로경치가 1순위일 때 퍼지적분 평가치 및 선호 경로 순위	0.5236 (1)	0.5138 (2)	0.3138 (4)	0.1874 (5)	0.4112 (3)

종합평가는 Choquet 퍼지 적분을 통하여 〈표 16〉과 같이 구할 수 있다. 〈표 16〉에서 알 수 있듯이, 선호 경로 선택 시, 개별 경로의 평가치가 중요한 작용을 하여, 링크 거리 선호일 때 및 도로 경치 선호 일 때 모두 선호 평가 요소의 평가치가 대체로 큰 쪽의 경로가 선택되었다. 그것은 평가 요소 중 가장 선호되는 평가 요소의 중요도와 더불어 상승 작용을 하고 있는 것이다.

## VI. 결론

본 연구는 기존의 이론에 비해, 물리 관측 측면뿐만 아니라, 심리적 요소도 고려한, 다 측면의 정성적이고, 정량적인 퍼지 평가 방법을 사용한 교통 경로 탐색 알고리즘을 제안하였다. 즉, 이것은 인간의 사고 과정과 비슷한 경로 탐색이며, 심리적 속성도 고려되었으며, 주관적 판단을 고려한 비 가법성 평가인 것이다. 알고리즘의 유용성을 우회 경로 탐색 및 선호 경로 탐색 등에서 고찰하였다. 경로 탐색 방법으로, 우회 경로 탐색은 교차로를 중심으로 최적의 링크 도로 구간을 찾아 최종 목적지까지 반복 탐색하는 과정을 거쳤으며, 선호 경로 탐색은 몇 가지 경로 선호 평가 요소에 대한 개개인의 중요도와 평가치를 기초로 최적 경로를 탐색하였다. 이러한 탐색 과정으로부터 우회 경로 탐색은 전체 경로 거리가 약간 길어지더라도, 도로의 혼잡을 피해 원활히 빨리 갈 수가 있었으며, 선호 경로 탐색은 중요도와 평가치가 서로 상승 작용을 하여 선호 평가 요소의 평가치가 가장 큰 쪽의 경로가 선택되어졌다.

본 연구에서 얻은 결과를 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 우회 경로 탐색 결과, 시시각각 변하는 교통환경에 적용할 수 있는 실 시간적인 교통 경로제어가 가능하였다.
- 선호 경로 탐색 결과, 본 연구의 알고리즘이 운전자 개인의 교통 경로 선택 성향을 잘 반영함을 보여 주었다.

앞으로, 향후, 가시화된 연구로서, 평가 항목, 속성의 세분화, 중요도 및 퍼지 척도의 신뢰도 상승을 위한 조사 표본의 확대와 고유치 조정 등이 필요하다. 그리고, 전체적인 교통망 흐름과 관련하여, 교차로 신호와 연동된 연구도 아울러 요구된다.

**참고문헌**

1. Grantham K. H. Pang, K. Takahashi, T. Yokota, H. Takenaga(1999). "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.
2. Grantham K. H. Pang, K. Takahashi, T. Yokota, H. Takenaga(1995), "Drivers route selection : a philosophical consideration and user-interface", IEEE,0-7803-2587-7.

3. R. Konig, A. Saffran, H.Breckle(1994), "Modelling of drivers behavior", IEEE, Vehicle Navigation and Information Systems Conference, pp.371~376.
4. H. Kanoh, T. Nakamura(2000), "Knowledge based genetic algorithm for dynamic route selection", IEEE, Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems & Allied Technologies Conference, pp.616~619.
5. N. Vinod Kumar, L .S. Ganesh(1996), "An empirical analysis of the use of the analytic hierarchy process for estimating membership values in a fuzzy set", Fuzzy sets and systems, 82, pp.1~16.
6. J. W. Ra(1991), "Hierarchical decision process", IEEE, 0-7803-0161-7, pp.595~599.
7. Asai, K. Aschmann(1995), Charles, "Fuzzy systems for management", Ohmsha.
8. R. R. Yager(2001), "Measuring the information and character of a fuzzy measure", IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference, Joint 9th, Vol.3, pp.1718~1722.
9. Y. Narukawa, T. Murofushi, M. Sugeno(2001), "Space of fuzzy measures and representation of Choquet integral", IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference, Joint 9th, Vol.1, pp.167~172.

✉ 주 작 성 자 : 이상훈  
 ✉ 논문투고일 : 2002. 10. 5  
     논문심사일 : 2002. 11. 27 (1차)  
                   2003. 1. 28 (2차)  
     심사판정일 : 2003. 1. 28  
 ✉ 반론접수기한 : 2003. 6. 30

which drivers' route choice was influenced by uncertain information. In particular, this paper investigates the effect of qualitative information on route choice when drivers face a choice with different degrees of uncertain information. The SP survey was conducted and route choice logit models were estimated. We also applied Prospect Theory to the analysis of drivers' decision making under uncertain information.

The main findings are firstly, drivers tend to prefer a route with information than(to) one without information. This indicated that providing charge information encouraged drivers to choose the routes for which information is provided in preference to those for which it is not provided. Secondly, drivers also prefer a route with a certain and precise information over one with uncertain and imprecise information. Thirdly, when the information is given as a range, the size of the range of the information influenced route choice slightly and as the range of the charge increases, the route becomes slightly less unattractive. Fourthly, when the information is given as a range, drivers' route choices are influenced more by the median value of the ranges than by the size of the overall ranges of the information.

Application of Prospect Theory to the results explains the way drivers may be interpreting the choice situation and how they make a route choice in response to uncertain information. The results of this paper implicate that drivers' decision making under uncertainty seem to be very complicated and flexible, depending on the way drivers interpret the choice situation. Therefore, it is recommended to apply wider related theories to the analysis of the drivers' behaviour.

#### A Study on Link Travel Time Prediction by Short Term Simulation Based on CA

LEE, Seungjae · CHANG, Hyunho

There are two goals in this paper. The one is

development of existing CA(Cellular Automata) model to explain more realistic deceleration process to stop. The other is the application of the updated CA model to forecasting simulation to predict short term link travel time that takes a key rule in finding the shortest path of route guidance system of ITS.

Car following theory of CA models don't makes not response to leading vehicle's velocity but gap or distance between leading vehicles and following vehicles. So a following vehicle running at free flow speed must meet steeply sudden deceleration to avoid back collision within unrealistic braking distance. To tackle above unrealistic deceleration rule, "Slow-to-stop" rule is integrated into NaSch model. For application to interrupted traffic flow, this paper applies "Slow-to-stop" rule to both normal traffic light and random traffic light. And vehicle packet method is used to simulate a large-scale network on the desktop.

Generally, time series data analysis methods such as neural network, ARIMA, and Kalman filtering are used for short term link travel time prediction that is crucial to find an optimal dynamic shortest path. But those methods have time-lag problems and are hard to capture traffic flow mechanism such as spill over and spill back etc. To address above problems, the CA model built in this study is used for forecasting simulation to predict short term link travel time in Kangnam district network. And it's turned out that short term prediction simulation method generates novel results, taking a crack of time lag problems and considering interrupted traffic flow mechanism.

#### A Route Search of Urban Traffic Network using Fuzzy Non-Additive Control

LEE, Sang Hoon · KIM, Sung Hwan

This paper shows alternative route search and preference route search for the traffic route search,

and proposes the use of the fuzzy non-additive controller by the application of AHP(analytic hierarchy process). It is different from classical route search and notices thinking method of human. Appraisal element, weight of route is extracted from basic of the opinion gathering for the driving expert and example of route model was used for the finding of practice utility. Model evaluation was performed attribute membership function making of estimate element, estimate value setting, weight define by the AHP, non additive presentation of weight according to  $\lambda$ -fuzzy measure and Choquet fuzzy integral. Finally, alternative route search was possible to real time traffic route search for the well variable traffic environment, and preference route search showed reflection of traffic route search disposition for the driver individual. This paper has five important meaning.

(1)The approach is similar to the driver's route selection decision process. (2)The approach is able to control of route appraisal criteria for the multiple attribute. (3)The approach makes subjective judgement objective by a non additive. (4)The approach shows dynamic route search for the alternative route search. (5)The approach is able to consider characteristics of individual drivers attributed for the preference route search.

#### **A Comparison of Concrete Median Barriers in terms of Safety Performance using Computer Simulation**

CHUNG, Bong Jo · CHANG, Myungsoon

The concrete median barriers are the most popular safety appurtenance that can be installed on narrow medians and are effective in keeping uncontrolled vehicles from crossing into opposing lanes of traffic. It is necessary to install and maintain median barriers because it is very difficult to reserve enough room required for medians in KOREA. Also, concrete median barriers are accepted as the actual alternatives for median barriers, mostly because

they require almost no maintenance even after serious collisions.

Typical concrete median barriers are 810mm high and have 596mm high glare screens on top of them. However, we have experienced a number of "climb" and "roll-over" accidents of heavy vehicles and most of all, there have been some serious accidents caused by the part of broken glare screens. So the improvement study of concrete median barriers started.

Prior to this study, a new type of concrete median barrier was suggested which is 1,270mm high and has no glare screens on top of it. So it was required to compare the properties of various types of concrete median barriers including the new type to find the optimal type of concrete median barrier.

In this study, we have evaluated the characteristics of four types of concrete median barriers (New Jersey type, F type, constant slope type, and wall type). We have performed many computer simulations for the evaluation of the crashworthiness of them, and through the simulations we have tried to find a proper type of concrete median barrier.

Through the computer simulations, we evaluated the structural stability and safety of the four types of concrete median barriers. We confirmed the structural stability and safety of them But in regard to the probability of "roll-over" of heavy vehicles, the higher concrete median barriers showed better performances than the lower.

As the result of this study, a new type of concrete median barrier was recommended.

#### **Development of Highway Safety Evaluation Considering Design Consistency using Acceleration**

HA, Tae Jun · PARK, Je Jin · KIM, Yu Chul

Road safety is defined under the minimum design standard and design examination process is consisted of the standard according to current road design. However, road safety in practical way is