

■ 論 文 ■

퍼지 추론을 이용한 최단 경로 탐색 알고리즘의 개발

Development of the Shortest Route Search Algorithm Using Fuzzy Theory

정 영 근

(서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정)

박 창 호

(서울대학교 지구환경시스템공학부 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
 - II. 이론적 배경 및 관련연구검토
 - 1. 이론적 배경
 - 2. 관련연구검토
 - III. 알고리즘의 구현
 - 1. 멤버십 함수의 정의
 - 2. 퍼지추론의 설정
 - IV. 알고리즘의 개발
 - 1. 예제 네트워크의 적용
 - V. 결론 및 향후 연구 과제
- 참고문헌

Key Words : 퍼지 추론, 최단 경로, 되추적 기법(Backtracking), 멤버십 함수, 우회 경로

요 약

본 연구에서는 퍼지 추론을 이용하여 여러 가지 상황 변화에 따른 링크 속도를 예측, 이를 경로 탐색 시 고려하는 알고리즘을 구현하였다. 도로 상황의 변화에 영향을 미치는 요소들로는 시간대, 강수 정보, 차로 통제 정보의 세 가지를 고려하였으며, 이에 따라 달라지는 통행링크 속도를 해당 링크의 통행비용으로 전환하여, 최단경로를 탐색하는 알고리즘을 구현하였다. 본 연구는 크게 세 부분으로 구성되어 있다. 첫째, 퍼지 변수를 설정하고, 퍼지이론을 이용하여 시간과 도로 상황에 따라 변화하는 링크속도를 예측한다. 이를 위해 각각의 퍼지 변수들에 대한 퍼지 멤버십 함수를 구축하고, 이를 링크 속도와 연결하기 위한 퍼지 추론 관계들을 설정한다. 둘째, 되추적(backtracking) 기법을 이용하여 위의 퍼지추론에 의해 변화되는 통행 속도를 반영한 최단 경로 탐색을 한다. 셋째, 본 연구의 알고리즘을 가상 네트워크에 적용하여 최단 경로를 도출한다. 결과로서 본 연구의 알고리즘을 이용한 통행경로는 변수의 변화에 따라 적절하게 우회경로를 선택하는 것으로 나타났다.

This paper presents the algorithm using fuzzy inference that preestimates each link speed changed by different kinds of road situations. The elements we are considered are time zone, rainfall probability information and lane control information. This paper is consists of three parts. First of all, we set up the fuzzy variables, and preestimate link speed changed by various road situations. For this process, we build the membership functions for each fuzzy variable and establish the fuzzy inference relations to find how fuzzy variables influence on link speed. Second, using backtracking method, we search the shortest route influenced by link speed changed by fuzzy inference. Third, we apply this algorithm to hypothetical network and find the shortest path. As a result, it is shown that this algorithm choose appropriate roundabout path according to the changing road situations.

본 연구는 서울대학교 공학연구소의 지원 하에 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

오늘날 퍼지이론은 공학 분야 전반에 걸쳐 활발한 연구가 진행되고 있을 뿐 아니라 전기·전자제품, 금융·증권, 자동차 산업, 자동화 공장, 스포츠, 건강 관련분야 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 퍼지이론은 정확한 역학이 부분적으로 알려져 있거나 수치화시키기 어려운 애매한 아이디어들과 전문가적 지식의 쓰임새가 있는 모델의 개발에 이상적이다. 교통공학에 있어서 인간의 불확실한 결정 과정들과 현상들의 복잡성 등을 고려할 때, 퍼지이론은 이러한 부분들에 대한 훌륭한 해결책이 될 수 있다.

현재 사용되고 있는 최단 경로 탐색 알고리즘들은 각 링크에 부여된 통행비용이 거리로 산정되어 있거나, 링크의 평균 속도를 이용하여 계산된다. 하지만 도로의 상황 변화에 따라 링크의 통행비용은 달라질 수 있으며, 이러한 변화된 통행비용은 이미 정해진 최단 경로에 반영되기 어렵다.

본 연구에서는 퍼지 추론을 이용하여 여러 가지 상황 변화에 따라 각 링크별 속도를 예측하여 이를 경로 탐색 시 고려하는 알고리즘을 구현하였다. 각 링크들의 상황 변화에 영향을 미치는 요소들을 설정하고, 이러한 요소들이 변화할 때 달라지는 통행링크 속도를 퍼지 추론을 통해 예측하여 최단경로를 탐색하는 알고리즘을 구현하도록 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위

본 연구에서는 링크의 속도에 영향을 주는 변수들의 변화를 퍼지추론을 이용하여 어떠한 방식으로 최단 경로 탐색에 반영할 수 있는가에 대한 방법론을 제시한다.

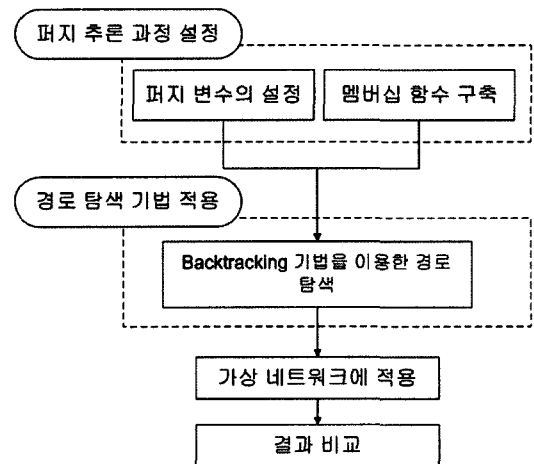
여기서는 속도의 분포를 가정하고, 모든 링크에 대해 같은 속도의 이력분포를 적용하기로 한다. 이러한 속도 분포를 기반으로 시간에 따른 속도의 변화가 퍼지 추론을 통해 어떠한 방법으로 변화하고, 본 연구의 경로탐색 알고리즘에 의해 어떻게 경로의 선택이 변화하는지에 대해 연구하도록 한다.

2) 연구의 방법

본 연구는 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 첫째, 퍼지 변수를 설정하고, 퍼지이론을 이용하여 시간과 도로 상황에 따라 변화하는 링크속도를 예측한다. 이를 위해 각각의 퍼지 변수들에 대한 퍼지 멤버십 함수를 구축하는 방법을 제시하고, 이를 링크 속도와 연결하기 위한 퍼지 추론 관계들을 설정한다.

둘째, 되추적 기법(Backtracking 기법)을 이용하여 위의 퍼지추론에 의해 변화되는 통행 속도를 반영한 최단 경로 탐색을 한다.

셋째, 본 연구의 알고리즘을 가상 네트워크에 적용하여 최단 경로를 도출하고, 도로 상황의 변화에 따라 최종 경로 선택이 어떻게 변화하는지 살펴본다.



〈그림 1〉 본 논문의 연구 방법

II. 이론적 배경 및 관련연구 검토

1. 이론적 배경

1) 퍼지이론

퍼지이론은 1965년, 미국 UC 버클리 대학의 Lofti A. Zadeh교수가 발표한 'Fuzzy Sets'라는 논문이 그 시초이다. 퍼지 이론은 현실 세계에서 일어나고, 나타나는 것들을 정확하게 표현하기 어렵다는 데에서 출발한다. 즉, 교통 분야를 예로 들면, '교통 체증'이 정확히 속도 '20km/h' 이하를 말하는 것인지가 불분명하다는 것이다. "출퇴근 시간대"의 경우도 정확히 오전 7

에서 9시 사이를 말하는 것인지가 애매하다. 퍼지집합에서는 이를 '소속도(degree of membership)'라는 개념으로 표현한다. '길이 막힌다.'에 대한 소속도는 100km/h의 경우 0, 60km/h는 0.2, 30km/h는 0.6 등으로 나타낸다. 이러한 소속도를 함수로 나타낸 것이 멤버십 함수이다. 멤버십 함수는 어떠한 퍼지 변수(x)가 어떠한 집합 A 에 속하는 정도인 소속도($\mu_A(x)$)로 나타나는 함수로써, 소속도가 1에 가까우면 x 가 A 에 속하는 정도가 높다는 것을 나타내며, 반대로 0에 가까우면 낮다는 것을 나타낸다.

특정 사안에 대한 퍼지 개념이 주어졌을 때, 이를 어떠한 방법으로 멤버십 함수로 표현하는가는 매우 중요한 문제이다. 하지만, 퍼지 개념을 나타내는 멤버십 함수를 결정하는 일반적인 방법은 아직까지 나와 있지 않다. 멤버십 함수의 값(소속도) $\mu_A(x)$ 는 x 가 A 에 속할 확률이 아니고, 기본적으로 개인의 주관에 의해 정해지는 것이기 때문이다. 하지만 이러한 주관의 배후에는 일종의 객관성, 공통성이 존재한다. 실제로 겨울에는 누구나 춥고, 농구 선수는 누구의 주관에서도 분명히 키가 크다고 생각되기 때문이다. 즉, 퍼지 개념은 주관적인 부분이 많지만, 또한 객관적인 개념 또한 포함된다고 말할 수 있다. 퍼지 이론에서도 객관성의 역할은 매우 크며, 이러한 객관적 부분들을 이용하여 멤버십 함수를 구성하게 된다.

멤버십 함수의 종류로는 가장 많이 쓰이면서도 간단한 멤버십 함수는 삼각형 멤버십 함수(triangular fuzzy number: T.F.N.)이며, 이 외에도 좌우의 부분이 각각 다른 형의 함수로 주어지는 L-R퍼지수, 사다리꼴 멤버십 함수, 지수형 멤버십 함수가 있다.

퍼지 추론인 If-then rule(퍼지 상태 식)은 'If A Then B'의 형태로 표현된다. 퍼지추론은 애매한 상황, 불확실한 상황에서 결정을 내릴 때, 필수적인 역할을 한다. 여기서 A항은 조건항(antecedent part), B항은 결과항(consequent part)이라 한다. 퍼지 추론에서 A와 B는 모두 수치가 아닌 언어로 표현된다. 따라서 현실을 자연스럽게 묘사할 수 있으며, 이는 결국 조건항의 멤버십 함수($\mu_A(x)$)와 결과항의 멤버십 함수($\mu_B(x)$)를 연결시켜주는 역할을 하게 된다.

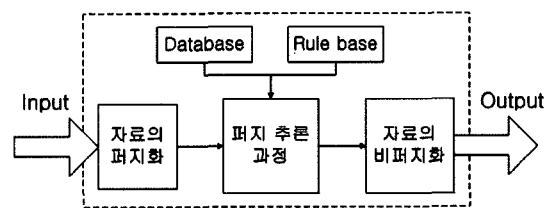
퍼지 시스템의 설계는 다음의 일반적인 과정을 따라 이루어진다. (Hoogendoorn et al., 1999)

(1) 시스템의 경계 정의

- (2) 입력, 출력 관계 변수들의 정의
- (3) 변수들의 퍼지화(fuzzification)
- (4) 정의된 변수들의 관계 정의
- (5) 변수들의 비퍼지화(defuzzification)
- (6) 모형의 정산
- (7) 모형의 평가

위의 과정을 그림으로 나타내면 <그림 2>과 같다. <그림 2>에서 Rule base는 퍼지 추론 규칙(if-then)을 포함하고 있으며, database는 퍼지 집합을 멤버십 함수로 표현해 놓은 것을 말한다.

2) 되추적기법(Backtracking) 기법



<그림 2> 퍼지 시스템의 과정

Backtracking 기법은 되추적기법 혹은 퇴각 검색이라고도 불리는 기법이다. 깊이우선탐색 기법(Depth-first search algorithm)과 비슷하지만, 깊이우선탐색 기법이 최적을 고려하지 않은 각 노드에 다다른 경로만을 찾는 데 비해, 되추적 기법은 최적해를 찾는 알고리즘이다. 되추적 기법의 과정을 보면 다음과 같다.

기점(s)에서 출발하여 종점(t)에 이르는 경로를 깊이우선탐색 기법을 통하여 찾아낸다. 종점까지 드는 통행 비용(C_k)을 기록한 뒤, 종점 바로 전 노드에서 다시 탐색을 시작하여 종점에 이르는 경로를 찾아 나간다. 종점까지 도착하지 못했을 경우에도 마찬가지로 바로 전 노드에서 탐색 가능한 링크로 연결하여 종점노드를 탐색해 나간다. 한 노드씩 후퇴하면서 종점에 이르는 경로를 탐색하다가 시점에서 도달하게 되면, 시점에서 다시 다른 링크로 깊이우선탐색 기법을 통해 종점을 찾아 나가면서 같은 방법을 되풀이한다.

되추적 기법의 기본 아이디어는 "가능성이 있는 해를 전부 탐색한다"는 것이다. 하지만 이러한 모든 가능성의 탐색은 알고리즘의 속도를 느리게 한다. 따라서 경로 탐색 중 이 전의 종점까지의 통행비용(C_k)보다 높은 비용이 나올 경우 그 노드 이후의 링크들은 모두 검색하지 않는다. 이로써 알고리즘의 수행시간을 단축시킬 수 있다.

본 연구에서 되추적 기법을 사용한 이유는 Dijkstra 기법의 경우는 노드마다 한 노드까지 도달할 수 있는 최단시간 하나의 값만을 가질 수 있기 때문에 시점에서 종점까지 이르는 경로 당 하나의 최단 시간 밖에 없다. 본 연구의 알고리즘은 종점까지 다다른 중간 노드까지 도달하는 시간이 최단 시간이 아니더라도 도로의 상황 변화에 따라 그 이후의 링크들을 거치면서 최종 경로까지는 최단 시간에 도달할 수도 있기 때문에 그 노드를 지나가는 경로들에 대한 그 이전 경로 시간들을 모두 가지고 있어야 한다. 즉, 한 노드 당 하나의 최단 경로 시간을 가져서는 안 된다. 따라서 본 연구에서는 Dijkstra 기법이 아닌 기점에서 종점까지의 모든 가능해를 구하는 되추적 기법을 사용하여 최단 경로를 탐색하였다.

2. 관련 연구 검토

1) 국내 관련연구 검토

국내에서 퍼지 이론을 교통 분야에 응용한 사례는 그리 많지 않다. 경로 탐색과 관련한 대부분의 연구가 퍼지측도와 계층분석법(AHP: analytic hierarchy process)을 이용하였으며, 미리 주어진 후보경로들 중, 운전자 속성이나 링크의 속성, 전문가적 견해를 반영하여 경로를 선택하는 모형을 구축하였다.(이상훈 외, 2002; 이상훈 외, 2003) 또한, 퍼지추론을 이용한 경로 선택의 문제에서 비퍼지화의 방법을 여러 가지로 변화시키면서 적중률을 비교해보거나(남궁문 외, 1995), 멤버십 함수가 중첩되는 비율에 따라 어떠한 방법의 중첩이 가장 높은 적중률을 나타내는 지에 대한 연구가 진행되었다.(오성권, 1996) 이 외에 국내에서 퍼지이론을 이용하여 교통과 관련한 연구로는 김원철 등(2002)에 의한 교통상충 기법에 관한 연구나 오기도 등(2000)의 단속류 퍼지 통행시간 추정기의 개발에 관한 연구 등이 진행된 바 있다.

2) 해외 관련연구 검토

퍼지를 이용한 통행배정, 그리고 그와 관련한 경로 탐색에 관한 연구는 해외의 경우 활발히 진행 중이다. 퍼지 관련 통행배정 및 경로 선택에 관한 연구는 크게

두 가지로 분류할 수 있다.(Henn, 2005)

(1) 퍼지 규칙 기반 모형(Fuzzy rule-based models)

퍼지 추론은 Zadeh 교수에 의해 소개된 퍼지 집합의 개념을 기본으로 하여 멤버십 함수의 개념으로 일반화한 것이다. 퍼지 집합이 고전적으로 사용된 예들 중 하나는 전문가의 지식으로부터 몇 개의 언어적인 규칙들을 만들고, 이러한 규칙들을 수치적으로 표현하고 나타낼 수 있는 퍼지 규칙들을 디자인하는 것이다. 이러한 모형에 관한 첫 시도는 Teodorovic and Kikuchi(1990)이며, 이후로 많은 비슷한 모형들이 제안되었다.¹⁾ 이러한 모형들의 기초는 "만약 경로 1의 통행시간이 '매우 짧다(very short)'이고, 경로 2의 통행시간이 '중간 정도(intermediate)'라면, 나는 경로 1을 '확실히(certainly)' 선택할 것이다."와 같은 퍼지 언어 규칙들을 사용했다는 점이다(여기서 very short와 intermediate는 전문가 지식을 기초로 한 것이다).

(2) 퍼지 비용 기반 모형(Fuzzy costs-based models)

퍼지 비용에 근거한 모형들은 possibility theory (가능성 이론)로 퍼지 비용을 비교한 좀 더 계산적인 측면에서의 접근방법이라고 볼 수 있다. 이러한 아이디어는 운전자들의 예지나 인지가 정확하다기 보다는 다소 fuzzy(애매)하다는 것과 퍼지 집합은 이러한 불명확함(imprecision)을 나타내기에 좋은 방법이라는 점에서 출발한다.²⁾

III. 알고리즘의 구현

1. 멤버십 함수의 정의

멤버십 함수를 정의하기 위해서는 먼저 퍼지 변수를 정해야 하며, 퍼지 변수를 정한 후에 각각의 조건항과 결과항에 해당하는 퍼지 변수의 멤버십 함수의 형태를 결정하게 된다.

먼저 퍼지 변수를 정해 보면, 각 링크의 속도에 영향을 주는 인자로서 '주행시간대', '강수정보', '차로 통제 정보'의 세 가지를 조건항의 퍼지 변수로 설정한다. 결과항의 퍼지

1) Lotan and Koutsopoulos, 1993; Teodorovic and Kalic, 1995; Holland, 1998, 1999; Peeta and Yu, 2002

2) Bierlaire et al., 1993; Akiyama, 1999; Chen and Chang, 1998; Okada and Soper, 2000; Dell'Orco et al., 2000; Henn, 2000, 2002, 2003; Ottomanelli et al., 2003

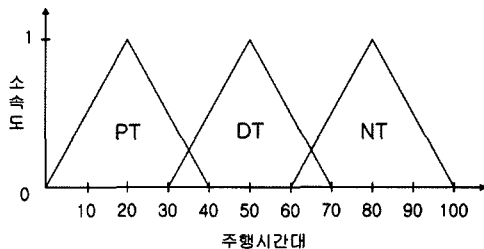
변수는 링크의 '속도'로 한다. 이 모형의 멤버십 함수는 기본적으로는 가장 많이 쓰이는 T.F.N.(triangular fuzzy number)을 사용하며, 경우에 따라서는 사다리꼴로 한다.

주행시간대는 전체 네트워크에서 기본적으로 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. Peak hour의 경우는 교통량이 집중되어 속도가 크게 감소하고, 심야의 경우는 속도가 올라가게 된다. 시간에 따른 주행시간대는 각 시간대별 교통량을 고려하여 <표 1>과 같이 나타내었다³⁾. 여기서 주행시간대는 0~100의 값을 가지며, 출퇴근시간대(PT = Peak Time), 낮 시간대(DT = Day Time), 심야시간대(NT = Night Time)는 각각 0~40, 30~70, 60~100의 값을 가진다.

<표 1> 시간에 따른 주행시간대 값

시간	주행시간대	시간	주행시간대
00:00	78	12:00	40
01:00	81	13:00	45
02:00	85	14:00	50
03:00	89	15:00	57
04:00	93	16:00	63
05:00	98	17:00	70
06:00	10	18:00	75
07:00	15	19:00	80
08:00	20	20:00	85
09:00	25	21:00	90
10:00	30	22:00	95
11:00	35	23:00	100

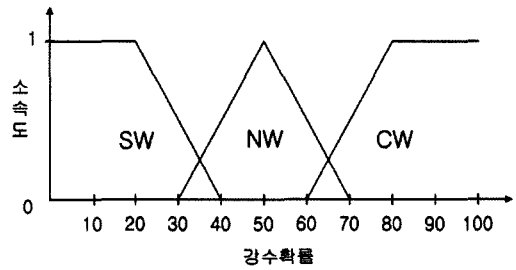
시간대의 멤버십 함수는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 주행시간대 멤버십 함수

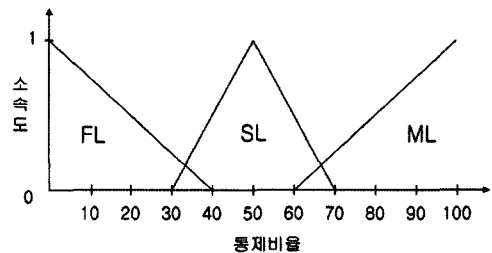
강수정보의 경우, 강수확률을 변수로 한다. 강수확률 0%~40%, 30%~70%, 60%~100%을 각각 맑음(SW

= Sunny Weather), 보통(NW = Normal Weather), 흐림(CW = Cloudy Weather)으로 나눈다. 강수확률이 20% 미만인 경우는 모두 '흐림'에 소속도 1을, 80% 이상인 경우는 모두 '맑음'의 소속도를 1로 한다. 강수정보에 따른 멤버십 함수는 <그림 4>과 같다.



<그림 4> 강수정보 멤버십 함수

공사, 집회, 사고 등에 따른 통제정보는 통제 차로 수가 전체 차로 수의 영향을 받으므로 통제정보에 따른 멤버십 함수의 x축은 (통제하는 차로 수)/(전체 차로 수)인 '도로의 통제 비율'로 한다. 그리고 통제의 비율에 따라 FL(Few Lanes Restricted), SL(Some Lanes Restricted), ML(Many Lanes Restricted)로 나눈다.

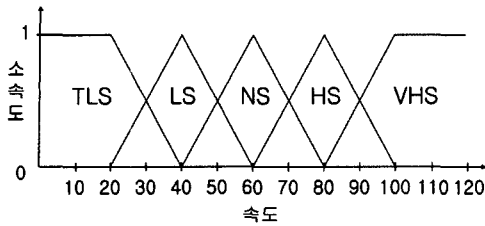


<그림 5> 차로통제정보 멤버십 함수

앞에서 살펴본 시간대와 강수정보, 통제정보는 퍼지추론에 의해 속도 멤버십 함수와 연결된다. 속도 멤버십 함수는 앞의 세 가지 변수의 조합에 따라 다변화할 수 있으므로, 퍼지 변수 5 개로 하며⁴⁾, 0~40km/h는 아주느림(TLS = Too Low Speed), 20~60km/h는 느림(LS = Low Speed), 40~80km/h는 보통(NS = Normal Speed), 60~100km/h는 빠름(HS = High Speed), 80~120km/h는 아주빠름(VHS = Very High Speed)으로 설정하였다.

3) 이기정, 2003

4) 퍼지 변수의 개수를 늘릴수록 대상 시스템에 대한 미세한 제어 및 정확한 모사가 가능하다.



〈그림 6〉 속도 멤버십 함수

2. 퍼지추론의 설정

퍼지추론은 'If A Then B'을 사용하되, 조건항 A가 시간대, 강수정보, 통제정보의 세 가지로 구성이 되고, 결과항 B는 속도로 나타나게 되므로 다음의 형태를 나타낸다.

"If 출퇴근시간대(PT) and 흐림(CW) and 조금 통제(SL), then 아주느림(TLS)"

이와 같은 퍼지추론은 조건항이 모두 세 가지의 퍼지변수를 가지므로, 총 27가지의 퍼지추론이 나온다. 본 연구에서의 퍼지추론을 정리해보면, 〈표 2〉와 같다.

퍼지추론의 결과는 무게중심법을 통하여 비퍼지화하였다.

〈표 2〉 퍼지추론의 과정

If			then
시간대	강수정보	통제정보	속도
PT	SW	FL	VHS
PT	SW	SL	LS
PT	SW	ML	TLS
PT	NW	FL	VHS
PT	NW	SL	NS
PT	NW	ML	TLS
PT	CW	FL	LS
PT	CW	SL	LS
PT	CW	ML	TLS
⋮	⋮	⋮	⋮
NT	CW	SL	TLS
NT	CW	ML	TLS

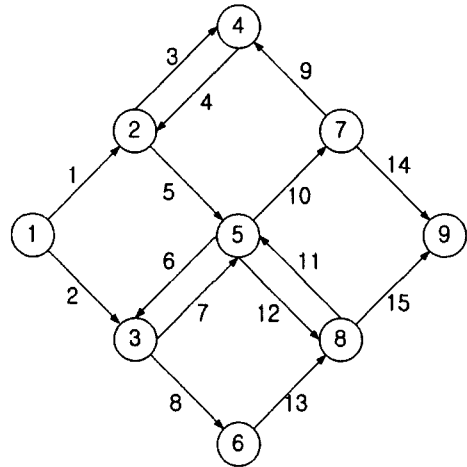
IV. 알고리즘의 적용

출발시간에 따라 퍼지이론의 적용으로 링크의 통행비용은 변화하게 된다. 여기서는 뒤추적 기법을 이용하

여 모형을 가상 네트워크에 적용해 보고 그 결과를 통행비용이 고정된 경우의 결과와 비교해 보았다.

1. 예제 네트워크로의 적용

모형을 적용할 네트워크는 〈그림 7〉과 같으며, 번호는 각각 노드 번호와 링크 번호이다.



〈그림 7〉 가상 네트워크

짧은 거리에서는 속도의 큰 변화를 기대할 수 없으므로, 그에 따른 경로선택의 변화를 비교하기 힘들다. 따라서 본 알고리즘의 효과를 보여주기 어려우므로, 여기서는 각 링크의 길이를 15~60km 사이의 값을 쓰기로 한다. 또한 통행비용은 통행시간(hr)으로 나타내기로 한다. 각 링크의 길이는 〈표 3〉과 같이 주어진다.

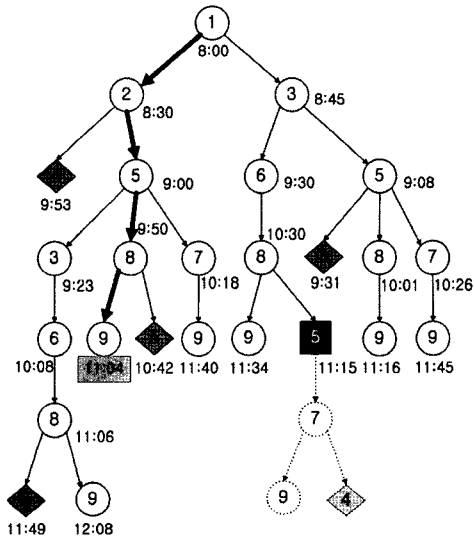
본 연구의 알고리즘은 출발시간이 정해지고 난 후에 링크별로 비용을 계산하면서 나아간다. 예제에서는 출발시간을 오전 8:00로 하여 시점 1번 노드에서 종점 9번 노드까지의 최단경로를 탐색해 보기로 한다.

알고리즘의 진행은 〈그림 8〉의 왼쪽에서 오른쪽으로

〈표 3〉 가상 네트워크의 링크 길이 (단위 : km)

링크 번호	링크 길이	링크 번호	링크 길이
1	20	9	42
2	30	10	52
3	55	11	35
4	55	12	35
5	20	13	40
6	15	14	60
7	15	15	50
8	30		

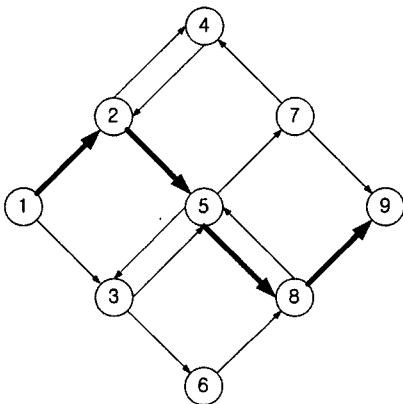
진행되며, 각 노드로 진행될 때마다 그 노드로의 도착 시간이 정해지게 된다.(각 노드로의 도착시간은(각 링크의 길이)/(각 링크의 속도)의 합을 이용하여 구한다.) 출발시각을 8시로 했을 때의 예상 최단 경로는 <그림 9>와 같이 나온다. 최단 경로는 1-2-5-8-9이며, 예상도착시각은 오전 11시 4분이다.



<그림 8> 퍼지를 이용한 탐색 알고리즘의 결과

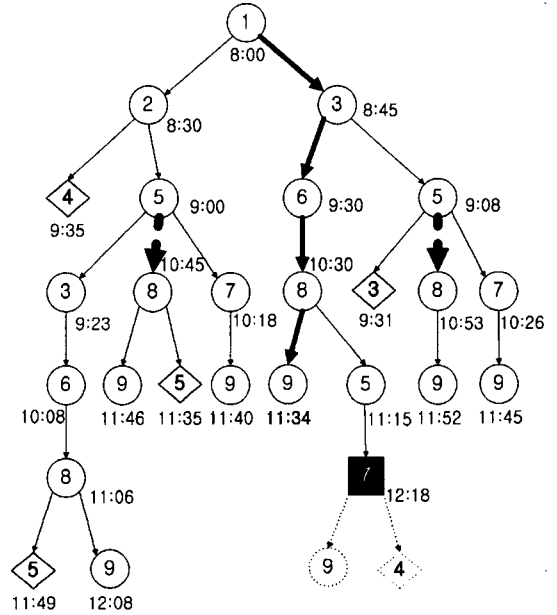
N : 최단 통행시간을 넘어버린 경우(위의 예에서는 11:15 > 11:04)
이 경우 하위 링크는 검색하지 않는다.
- 위 그림의 점선 부분

M : 종점까지 가는 링크가 끊겨있거나 이미 지난 노드로 돌아가는 경우(더 이상 검색하지 않는다.)



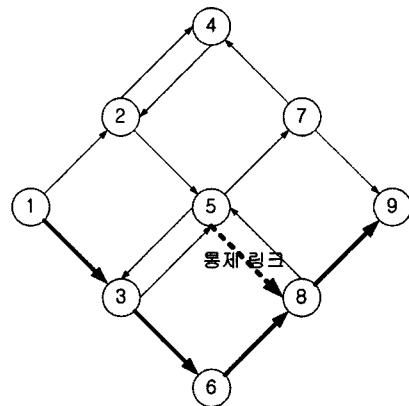
<그림 9> 오전 8시 출발 최단 경로

5번에서 8번 노드로 가는 12번 링크에 오전 9시부터 정오까지 공사가 있어 2차로 중 한 차로를 통제한다고 가정하자. 퍼지를 이용한 최단경로 검색 알고리즘을 통해 얻은 경로는 다음과 같다.



<그림 10> 12번 링크(5-8노드) 통제 시 퍼지를 이용한 알고리즘의 결과

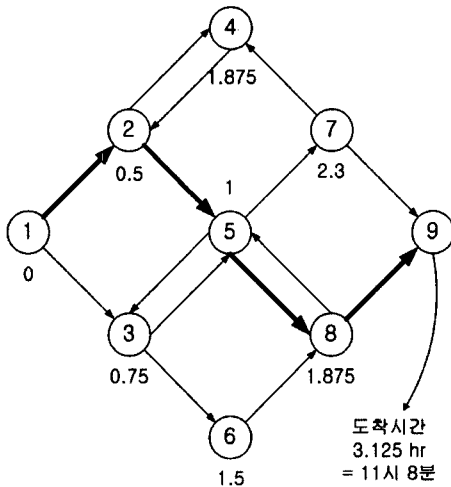
↓ : 통제 되는 링크



<그림 11> 12번 링크(5-8노드) 통제 시 퍼지를 이용한 알고리즘의 최단 경로

12번 링크가 통제되었을 때에는 이전의 경로의 통행 비용이 올라가기 때문에 결과적으로 다른 경로를 통해

우회하는 것을 볼 수 있다. 만약 이 경우 이전의 경로를 그대로 따라가는 경우 도착시간은 오전 11시 46분이 되고, <그림 11>과 같이 우회경로를 이용할 경우 도착시간은 오전 11시 34분이 된다.



<그림 12> 통행 비용이 고정되어 있는 경우

위의 <그림 12>와 같이 통행 비용이 고정되어 있는 경우, 즉 출발 시각(여기서는 오전 8시)에 정해진 전체 링크 통행 속도를 기반으로 경로를 선택해서 나가는 경우, 5번 노드에서 8번노드로 가는 링크 12번이 통제되어 있음에도 불구하고, 그 경로를 이용한 도착시간은 11시 8분으로 나타난다. 하지만 통제의 영향을 고려했을 때, <그림10>을 보면 1-2-5-8-9의 경로는 11시 35분에 도착하게 됨으로써, 통행 비용이 고정되어 있는 경우는 도로 상황의 변화를 반영하지 못함을 볼 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구 과제

인간은 자신의 경험과 지식을 토대로 미래의 상황을 예측하고, 이에 따라 행동한다. 하지만, 인간의 사고체계는 컴퓨터나 모형으로 해석하기에는 때로 너무 복잡하거나 불확실하고, 애매한 경우가 많으며, 본 연구에서는 이러한 불확실함을 수치화시켜 현실에 효과적으로 적용시킬 수 있는 퍼지 추론을 이용하여, 상황에 따라 변하는 통행시간의 변화를 예측하여 이를 경로 탐색에 반영하였다. 이 알고리즘은 Dijkstra 기법과 비교하여, 예측가능한 도로 상황의 변화를 경로 선택 과정에 반영

할 수 있다는 점에서 대안 경로 제시의 한 방법으로 사용될 수 있다.

본 연구에서 퍼지 변수의 선정 및 개수, 멤버십 함수의 형태 설정 등과 관련한 퍼지 모형의 정산은 문제로 남으며, 이는 현실 자료의 구득이 가능할 때 비교, 정산이 가능할 것이다.

본 연구의 현실로의 적용문제에 있어서는 다음의 향후 연구들이 이루어져야 한다.

- ① 작은 시간 단위(예: 매 5분)로 수집되는 링크 속도 이력자료의 구득
- ② 수집된 자료를 통해 강우나 시간대 등의 변수들의 변화에 따른 링크 속도 변화 여부 확인
- ③ 특성이 있는 링크들에 대한 멤버십 함수를 개별적으로 정의
- ④ 실제 자료가 수집된 네트워크에서의 경로 탐색 알고리즘 적용

이상이 현실적용에 대한 방안이 될 수 있으며, 이는 후에 작은 시간단위 마다의 링크별 속도 이력자료의 구득이 가능한 시기에 분석이 가능 할 것이다.

참고문헌

1. 김원철 · 이수범 · 남궁문 · 今田寛典(2002), "퍼지추론을 적용한 교통상충기법(TCT) 개발", 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.55~63.
2. 남궁문 · 성수련 · 김경태 · 서승환(1995), "퍼지추론을 이용한 도로경로선택 모델화 수법", 한국 퍼지 및 지능시스템학회, Vol.5, No.3, pp.92~100.
3. 오기도 · 김영찬(2000), "단속류 퍼지 통행시간 추정기의 개발", 대한교통학회지, 제18권 제5호, 대한교통학회, pp.57~67.
4. 오성권 · 남궁문 · 안태권(1996), "퍼지 동정에 의한 교통경로선택", 한국 퍼지 및 지능시스템학회, Vol.6, No.2, pp.81~89.
5. 이기정(2003), "퍼지를 이용한 빠른 경로 탐색 알고리즘에 관한 연구", 경원대학교 석사학위논문.
6. 이상훈 · 김덕영 · 김성환(2002), "퍼지평가방법을 이용한 교통노선 결정", 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.65~76.
7. 이상훈 · 김성환(2003), "퍼지 비가법 제어를 이용

- 한 도시 교통망의 경로 탐색”, 대한교통학회지, 제 21권 제1호, 대한교통학회, pp.103~113.
8. 向殿政男(1991), “알기 쉬운 퍼지 이론”, 电子新闻社
 9. A. Shaout, A. Cherri, and J. Cotner(1993), “Fuzzy Route Choice: An Enhancement to Future Automotive Navigation Systems”, Circuits and Systems, pp.212~215.
 10. Andre de Palma, Nathalie Picard(2005), “Route choice decision under travel time uncertainty”, Transportation Research, Vol.39, Issue 4, pp.295~324.
 11. Bart A. Kosko(1993), “Fuzzy Thinking”, Hyperion/Disney Books, p.187~238, pp.239~303.
 12. Dusan Teodorovic, Shinya Kikuchi(1990), “Transportation Route Choice Model Using Fuzzy Inference Technique”, Uncertainty Modeling and Analysis, pp.140~145.
 13. Lotan, T, koutsopoulos, H.N.(1993), “Models for route choice behavior in the presence of information using concept from fuzzy set theory and approximate reasoning”. Transportation 20(2), pp.129~155.
 14. M. Ridwan(2004), “Fuzzy preference based traffic assignment problem”, Transportation Research, Vol.12, Issue 3-4, pp.209~233.
 15. Serge Hoogendoorn, Sascha Hoogendoorn-Lanser, Henk Schuurman(1999), “Fuzzy Perspectives in Traffic Engineering”, ERUDIT Workshop/Session on Traffic.
 16. Turan Arslan, C. Jotin Khisty(2005), “A rational reasoning method from fuzzy perceptions in route choice”, Fuzzy Sets and Systems, Vol.150, Issue3, pp.419~435.
 17. Vincent Henn(2000), “Fuzzy route choice model for traffic assignment”, Fuzzy Sets and Systems, Vol.116, Issue1, pp.77~101.
 18. Vincent Henn(2005), “What is the meaning of fuzzy costs in fuzzy traffic assignment models?”, Transportation Research, Vol.13, Issue2, pp.107~119.
 19. Vincent Henn, Michele Ottomanelli(2005), “Handling Uncertainty in route choice models: From probabilistic to possibilistic approaches”, European Journal of Operational Research, In Press, Corrected Proof.
- ♣ 주 작 성 자 : 정영근
 ♣ 논문투고일 : 2005. 10. 29
 ♣ 논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)
 2005. 12. 15 (2차)
 ♣ 심사관정일 : 2005. 12. 15
 ♣ 반론접수기한 : 2006. 4. 30