

# 퍼지 동정에 의한 교통경로선택

## Traffic Route Choice by means of Fuzzy Identification

오 성 권\*, 남 궁 문\*\*, 안 태 천\*\*\*  
Sung-Kwun Oh\*, Gung-Moon Nam\*\*, Tae-Chon Ahn\*\*\*

이 논문은 1996년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 연구됨

### 요 약

퍼지모델링의 설계 방법을 교통경로선택의 모델동정을 위하여 제안한다. 제안된 퍼지모델은 최적화이론, 퍼지 구현규칙을 사용하여 "IF..., THEN..."의 효율적인 형태로 시스템구조와 파라미터 동정을 시행한다. 이 논문에서 간략추론, 선형추론, 변형된 선형추론의 3가지종류의 퍼지모델링 방법을 제시한다. 이 퍼지추론 방법은 인간의 교통행동의 정확한 추정과 정밀한 묘사를 위해 교통경로선택 모델을 개발하기 위해 이용된다. 퍼지규칙의 전반부 구조와 파라미터를 동정하기 위해 개선된 콤플렉스법을 사용하고, 최적 후반부 파라미터를 동정하기 위해 최소자승법이 사용된다. 교통경로선택 데이터가 제안된 퍼지모델 성능을 평가하기 위해 사용된다. 제안된 방법이 기존의 다른 연구들 - 즉 BL, PS, FL, NN, FNNs 모델 등 - 보다 더 높은 정확도를 가진 퍼지모델을 생성함을 보인다.

### ABSTRACT

A design method of fuzzy modeling is presented for the model identification of route choice of traffic problems. The proposed fuzzy modeling implements system structure and parameter identification in the efficient form of "IF..., THEN...", using the theories of optimization theory, linguistic fuzzy implication rules. Three kinds of method for fuzzy modeling presented in this paper include simplified inference (type 1), linear inference (type 2), and proposed modified-linear inference (type 3). The fuzzy inference method are utilized to develop the route choice model in terms of accurate estimation and precise description of human travel behavior. In order to identify premise structure and parameter of fuzzy implication rules, improved complex method is used and the least square method is utilized for the identification of optimum consequence parameters. Data for route choice of traffic problems are used to evaluate the performance of the proposed fuzzy modeling. The results show that the proposed method can produce the fuzzy model with higher accuracy than previous other studies - BL(binary logic) model, PS(production system) model, FL(fuzzy logic) model, NN(neural network) model, and FNNs (fuzzy-neural networks) model -.

\*원광대학교 공과대학 제어계측공학과 조교수

\*\*원광대학교 공과대학 토목환경공학과 조교수

\*\*\*원광대학교 공과대학 제어계측공학과 교수

## I. 서 론

도로망에 대한 교통량배분은 종래부터 교통운영 및 관리에 있어서 실무자 및 연구자의 관심을 불러 일으키고 있는 분야중의 하나이다. 이에 대한 연구는 1950년대부터 산업경제의 발전에 따라 미국, 유럽, 일본 등 선진국을 중심으로 사람 및 화물수송을 위해 수많은 고속도로가 계획 설계 건설되게 되어, 경쟁관계에 있는 도로간 즉 2개 경로 또는 다수 경로간에 어떻게 적절하게 교통량배분하여 원활한 수송시스템을 구축할 것인가가 교통계획에 있어 큰 문제로 대두되어 일반도로에서 고속도로로, 또는 고속도로에서 일반도로로의 교통량전환 모델에 대한 연구가 진행되게 되었다. 이것에 대한 기본개념은 all or nothing과 전환률곡선에 의한 방법이다[1][2].

일반적으로 도로교통이용자의 경로선택에 관해서는 경로선택에 영향을 주는 요인을 검토할 필요가 있다. 그 요인으로서 소요시간, 통행요금, 편이성, 가로경관, 쾌적성, 안전성, 노면형상 등을 생각할 수 있다. 이 전환률에 의한 방법은 고속도로의 전환량을 이러한 요인함수에 대한 경험적인 데이터 해석에 의해 구한다. 그 대표적인 것에는 시간비를 이용한 미국연방도로국의 전환률곡선, 소요시간차를 이용한 켈리포니아 전환률곡선 등이 있다[2].

교통량 배분 이론으로서 최초로 제안된 것은 J. G. wardrop[1]에 의한 교통균형원칙이다. 그후 수송계획법으로 해석한 佐佐木[2], 연립방정식법에 의한 星野[3]과 동시간원칙이론[3] 등이 정식화되면서 발전이 진행되어 왔다. 그후 계산기의 발달에 따라 실제의 도로를 대상으로 한 simulation모델, 등분할법[4] 등이 개발되었다. 그리고, 최근에는 도로 이용자의 선택행동에 대한 현실적인 의사결정에 바탕한 행동모델로의 접근이 이루어지고 있다.

이와같은 경로선택문제에 있어서는 도로 이용자가 어떠한 요인으로 어떠한 의사결정을하여 경로를 선택하는가를 검토하여 최종적으로는 장래의 도로경로별 교통량을 예측하여 교통계획은 물론 운영과 관리에 이용하려는 것이다. 이때문에 각종 조사데이터를 이용해서 경로선택의 추계모델이 작성되고 있다[5][6][7]. 최근에는 비집계형태의 모델이 작성되고 있는 경우가 많지만 비집계모델이란 인간의 선택행동을 개

개의 사람에게 주어진 조건과 그 선택결과를 결합하는 것이다. 이것은 사회경제적 속성 및 교통환경이 유사한 인간의 교통행동은 장소나 시각에 의하지 않고 일정한 범위 안에서 정해진다는 것을 전제로 하고 있다.

그런데 경로선택행동은 본래 인간의 판단에 바탕하는 것이므로 경로선택행동 추계모델에 의한 행동결정을 위해 각 요인이 막연한 인식하에 있고, 또한 모델의 구조 결정요인으로부터 끄집어 나온 평가 등은 여러가지의 애매성을 포함하고 있으므로 이것을 고려할 필요가 있다[5]. 또한 의사결정과정은 도로이용자의 그간의 경험과 지식을 바탕으로 이루어지는 복잡한 과정이다.

이러한 배경으로부터 본 연구에서는 현실의 교통시스템에 있어서의 교통이용자의 경로선택행동시 존재하는 선택행동 지식과 그것에 존재하는 퍼지성을 1)모델의 입력 데이터의 퍼지성, 2)연전자의 의식 퍼지성, 3)인간의 판단구조 애매성을 근간으로하여 교통흐름 상에서의 경로선택 행동모델화를 시도하였다.

이러한 접근은 기존의 통계적인 데이터처리를 기본으로하는 함수 모델화과는 구조적 또는 기능적으로 다른 관점에서의 시도이다. 경로선택의 모델화는 교통수단 및 교통로의 상이, 그리고 경쟁 경로수 등에 의해 다양하게 전개되어진다. 본 논문에서는 제안된 간략추론(구조 1), 선형추론(구조 2)과 변형된 선형추론(구조 3)의 세가지 퍼지추론 방식에 의한 퍼지모델을, 위에서 언급한 경로선택에 대한 여러가지 요인 중에서 우선 [교통비용]의 효용효과를 고려한 경로선택의 전형적인 모델인 Logit Model[8][9] 및 기존 모델[10][11]과 동정오차 및 적응률면에서 비교하였다.

## II. 모델화 수법의 개요

여기서는, 모델화의 각 방법의 비교를 시도하기 위해 간단한 예제를 이용한다. 일반적으로 경로선택의 문제는 광범위하게 정의되어진다. 즉, 도로망과 철도시스템의 분담, 일반도로와 고속도로 등 성질이 다른 교통시스템 상호간 경로선택의 문제 등이 그것이다.

그림 1은 가장 단순한 OD(기종점)간 경로구성을 생각하는 예를 들었다. 일반화하기 위해, 각 경로의 구체적인 평가요인 결정문제가 있지만, 여기서는 시

간비용으로 일반화된 교통비용 을 생각했다.

여기서는 이러한 경로선택문제를 대상으로 한다. 이는 전형적인 2항로짓트모델이다. 따라서, 여기서는 대상을 운전자(이용자)로 생각했고 개인수준의 교통 행동 표현이 어떻게 모델화 되는 가에 주목하였다.

표 1은 기존에 연구된 BL모델을 추계용 Sample의 예를 나타내었다.

이러한 데이터의 형태는 각 경로모델 작성시 같은 형태로 쓰여지며 이에 따라 선택되는 결과 역시 같은 형태로 나타난다.

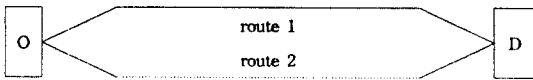


그림 1. 경로선택의 간단한 예  
Fig. 1. Simple Example of Route Choice

표 1. BL모델에 대한 샘플 데이터  
Table 1. Example Data For Logit Model

No	route	T1	T2	No	route	T1	T2
1	2	52.9	4.4	12	1	18.5	84.0
2	2	4.1	28.5	13	1	82.0	38.0
3	1	4.1	86.9	14	2	8.6	1.6
4	2	56.2	31.6	15	1	22.5	74.1
5	2	51.8	20.2	16	1	51.4	83.8
6	1	0.2	91.2	17	2	81.0	19.2
7	1	27.6	79.7	18	1	51.0	85.0
8	2	89.9	2.2	19	1	62.2	90.1
9	2	41.5	24.5	20	2	95.1	22.2
10	2	95.0	43.5	21	1	41.6	91.5
11	2	99.1	8.4				

### III. 지식모델화 방법

기존의 통계적 처리를 바탕으로 하는 2항로짓트모델(BL모델)[8][9][12]과는 달리 지식베이스(Knowledge Base: KB)를 이용한 모델화는, 기본적으로 AI수법(인공지능, Expert System) 방법에 바탕한 것이다[14][15]. 그러므로, 현실의 연구분야에서는 기존의 Production System (PS), 퍼지공학 등의 방법론을 사용한다. 본 연구에서는 Logit모델의 유효성 지표인 적합도인 PI 값을 바탕으로 제안된 방법간을 비교하였다.

#### 3.1 Production System(PS모델)에 의한 모델화

일반적으로 Expert System이라고 칭하는 방법은 전문가의 지식을 획득·정리·보존하고, 또한 구축하는 기능을 계산기 상으로 실현하는 것으로 생각된다. 여기서는, 그 중에서도 구조적으로 rule base를 이용하고 이것을 Production System(PS)모델이라 부른다.

일반적으로 교통행동을 분석하기 위한 지식 Base 작성에는 부가적인 정보에 관한 지식도 중요하다. 특히 상당히 복잡한 지식베이스를 작성하기 위해서는 의사결정구조를 파악하는 방법이 필요하다.

이 경우에는, 경로선택에 관한 지식으로서 일반화 비용에 대한 간단한 추론(인간이 일상적으로 이용하고 있는 판단)을 이용했다. 즉 경로 1의 선택에 대해서 「교통비용 T1이 다른 비용보다도 작으면, 경로 1을 선택한다」 또는 「교통비용이 그리 다르지 않으면 선택을 결정적으로 행하지 않는다」등으로 생각한다.

지금 교통비용 및 경로 1의 선택에 대해 3종류의 인식언어(대·중·소)를 생각한다면, 이러한 지식 모두를 IF/THEN형의 rule군으로 표현할 수가 있다.

경로선택에 대한 PS모델의 규칙은 표 2와 같이 작성하였다.

표 2. 경로선택에 대한 PS규칙  
Table 2. PS rules for route choice

Rule 1) IF T1 is Small and T2 is Small THEN Choice is Medium
Rule 2) IF T1 is Small and T2 is Medium THEN Choice is Large
Rule 3) IF T1 is Small and T2 is Large THEN Choice is Large
Rule 4) IF T1 is Medium and T2 is Small THEN Choice is Small
Rule 5) IF T1 is Medium and T2 is Medium THEN Choice is Medium
Rule 6) IF T1 is Medium and T2 is Large THEN Choice is Large
Rule 7) IF T1 is Large and T2 is Small THEN Choice is Small
Rule 8) IF T1 is Large and T2 is Medium THEN Choice is Small
Rule 9) IF T1 is Large and T2 is Large THEN Choice is Medium

경로선택모델은 9개의 Rule으로 구성하였다. 이것은 각 변수가 crisp수이다. 이는 경로선택 이용자를 9개의 카테고리로 분류한 것과 일치한다.

모델의 추론결과로서 얻어진 Label인 SMALL, MEDIUM, LARGE는 경로선택을 값 1.0, 0.5, 0.0에 대응한다. 여기서 MEDIUM부분은 선택확률이 0.5로 확실히 확정할 수 없는 것을 나타낸다. 이러한 구체적인 계산 결과와 BL모델 그리고 다음에 설명하는 퍼

지 추론법과 비교한다.

3.2 퍼지추론에 의한 모델화(FM모델)[15][16]

지식베이스형 모델에 있어 규칙형 기술이 이용되는 경우에는 용어변수에 의한 추론구성을 이용하는 것에 의해 퍼지추론모델을 작성할 수 있다. 퍼지모델은 IF/THEN 규칙을 이용해서 이용자 판단을 기술한다는 점에서 전술의 PS모델과 동일하다. 따라서 모델화 순서도 거의 같게 행해질 수 있다. 퍼지추론에서는 인간의 판단을 특정의 폭을 가진 언어변수로 표현하고 있다. 그러므로 PS모델에서 이용한 9개의 규칙 표현을 그대로 이용할 수 있다. 다른점은 각 규칙의 용어변수가 특정의 폭과 변수를 가진 퍼지수인 것이다. 이 결과 통상의 PS결과에서 모든 경우를 설명하는데도 다수의 규칙을 필요로 하지만 FS모델에서는 규칙수의 간략화가 가능하다. 본 연구에서는 3가지 퍼지추론 방법을 이용하여 선택률 및 동정오차를 비교하였다.

3.2.1 퍼지 모델의 전반부 동정

기존의 전반부 구조 동정은 변수증가법에 따라 각 변수 선택에 의해 퍼지분할수의 증가에 의한 경험적인 추적방법[17]을 사용하여 구조동정을 행한다. 전반부 파라미터 동정은 컴플렉스 개념에 기존의 최적화 이론인 심플렉스 개념을 확장, 융합함으로써 다음과 같은 수정된 컴플렉스법을 제안한다. 이 수정된 컴플렉스법은 교통비용에 관련된 선택률의 목적함수를 최소화시키는 방법인 심플렉스법에 제약조건이 주어지는 경우로 식 (1)의 형태의 수식을 풀기위한 방법으로 반사, 확장, 축소 방법의 각 단계를 반복 수행함으로써 수렴성을 보다 향상시킨다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } f(X) && (1) \\ & \text{Subject to } g_j(X) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m \\ & x_i^{(l)} \leq x_i \leq x_i^{(u)} \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

여기서, l은 하한(lower bound), u는 상한(upper bound)을 나타낸다.

멤버쉽 함수로 본 동조 알고리즘 적용시 우수한 특성을 가지는 삼각형 함수를 사용한다. 삼각형 형태인 멤버쉽함수를 갖는 퍼지변수가 2종류 및 3종류의 경

우에 2가지 구조의 형태를 제안한다. 그림 2는 멤버쉽함수의 각 퍼지 변수의 정점이 고정인 상태에서 조정되는 경우를 나타내고, 그림 3은 멤버쉽 함수의 각 퍼지변수의 정점이 달리 조정되는 경우를 나타낸다.

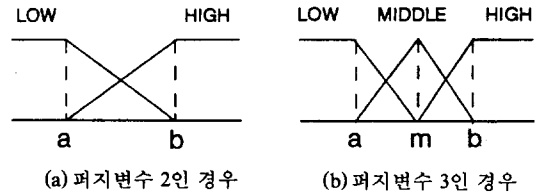


그림 2. 튜닝하기 위한 퍼지변수들의 파라미터 a, m, b(구조 a)  
Fig. 2. Parameters a,m,b for tuning in the fuzzy variables (Type a)

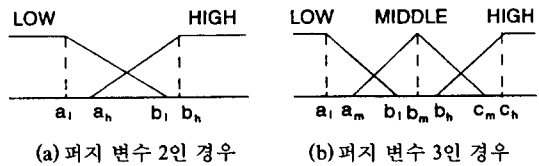


그림 3. 튜닝하기 위한 퍼지변수들의 파라미터 a1, bm, am, bm, cm, ah, bh, ch(구조 b)  
Fig. 3. Parameter a1, bm, am, bm, cm, ah, bh, ch for tuning in the fuzzy variables (Type b)

퍼지모델링을 하기 위해 구조 a, 구조 b의 선택은 시스템의 입출력관계, 입출력 변수의 수, 비선형성등을 고려하여 선택하도록 한다.

3.2.2 퍼지 모델의 후반부 동정

퍼지모델의 구조동정에서 후반부 구조로는 서로 다른 3가지의 퍼지추론에 의해 구별되는 구조 1, 2, 3을 사용한다. 3가지 구조에 의한 퍼지규칙추론과 파라미터동정을 위한 매개변수 추정은 다음과 같다.

구조 1(후반부:상수)

후반부가 단일의 상수항만을 가지는 것으로 이와 같은 추론법을 간략추론법이라한다. 이 퍼지모델은 식 (2)의 형태를 가지는 구현규칙들로 구성된다.

$$R^i: \text{If } x_1 \text{ is } A_{i1}, \dots, \text{ and } x_k \text{ is } A_{ik}, \text{ then } y = a_i$$

$$y^o = \frac{\sum_{i=0}^n w_i a_i}{\sum_{i=0}^n w_i} \quad (2)$$

여기서  $R^i$ 는  $i(i=1, \dots, n)$ 번째 규칙,  $x_j(j=1, \dots, k)$ 는 입력변수,  $A_{ij}(i=1, \dots, n; j=1, \dots, k)$ 는 퍼지집합의 멤버쉽 함수,  $a_i$ 는 상수이고,  $n$ 은 퍼지규칙수, 그리고  $y^o$ 는 추론된 값이다. 후반부 파라미터동정에서 전반부 입력변수 및 파라미터가 주어지면, PI(Performance index)를 최소화하는 최적 후반부 파라미터를 결정할 수 있다. 이 PI는 성능지수로 식 (3)로 정의된다.

$$PI = \sum_{i=1}^m \frac{(y_i - y_i^o)^2}{m} \quad (3)$$

여기서  $y_i^o (= \sum_{i=1}^m w_i a_i / \sum_{i=1}^m w_i)$ 는 입력  $X^o(x_1^o, x_2^o, \dots, x_k^o)$

일때의 출력이며  $w_i = \prod_{j=1}^k A_{ij}^i(x_j^o)$ ,  $n$ 은 구현규칙 수,  $k$ 는 입력변수의 수,  $m$ 은 데이터 수이다.

후반부의 파라미터는  $a_i$ 로서 입력출력 데이터가  $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}, y_i (i=1, 2, \dots, m)$ 의 집합으로 주어졌을때 최소자승법에 의해 구해진다. 구조 1의 퍼지모델에 있어서 최소자승법에 의한 매개변수 추정은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} V(a, m) &= 1/2 \cdot \sum_{i=1}^m \epsilon_i^2 = 1/2 \cdot \sum_{i=1}^m (y_i - y^o)^2 \\ &= 1/2 \cdot \sum_{i=1}^m [y_i - \sum_{j=1}^m a_j w_{ji}]^2 \\ &= 1/2 \cdot \sum_{i=1}^m [y_i - x_i^T a]^2 = 1/2 \cdot \|E\|^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{여기서 } w_{ji} = \frac{A_{ji}(x_{1i}) * \dots * A_{jk}(x_{ki})}{\sum_{j=1}^m A_{ji}(x_{1i}) * \dots * A_{jk}(x_{ki})}$$

$j$ : 규칙수  $i$ : 데이터수  $m$ : 데이터 총수  $n$ : 규칙 총수이다.

그리고,  $x_i^T = [w_{1i}, \dots, w_{mi}]$ ,  $a^T = [a_1, \dots, a_n]$ ,  $Y = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T$ ,

$$E = [\epsilon_1, \dots, \epsilon_m]^T,$$

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m]^T$$

식 (12)에서  $E = Y - Xa$  이므로 최소자승법에 의한 최소값은 식 (5)에 의해 구해진다.

$$\hat{a} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (5)$$

### 구조 2(후반부: 일차 선형식)

후반부가 일차 선형식인 경우의 추론법을 선형추론법 혹은 복합추론법이라 한다. 이 퍼지 모델은 식 (6)의 형태를 가지는 구현규칙들로 구성된다.

$R^i$ : If  $x_1$  is  $A_{i1}, \dots,$  and  $x_k$  is  $A_{ik}$ , then  $y = f_i(x_1, \dots, x_k)$  (6)

$$f_i(x_1, \dots, x_k) = a_{i0} + a_{i1} x_1 + \dots + a_{ik} x_k$$

$$y^o = \frac{w_1 f_1(x_1^o, \dots, x_k^o) + \dots + w_n f_n(x_1^o, \dots, x_k^o)}{w_1 + w_2 + \dots + w_n}$$

여기서  $R^i$ 는  $i$ 번째 규칙,  $x_j$ 는 입력변수,  $A_{ij}$ 는 퍼지집합의 멤버쉽함수, 그리고  $a_{ij}(i=1, \dots, n; j=0, \dots, k)$ 는 후반부의 파라미터  $y^o$ 는 추론된 값이다. 후반부 파라미터는 최소자승법에 의한 최소값으로 식 (7)로 구해진다.

$$\hat{a} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (7)$$

여기서,  $x_i^T = [w_{1i}, \dots, w_{ni}, x_{1i} w_{1i}, \dots, x_{ki} w_{ki}, \dots, w_{ki} w_{ni}]$

$$\hat{a}^T = [a_{10}, \dots, a_{n0}, a_{11}, \dots, a_{n1}, \dots, a_{1k}, \dots, a_{nk}]$$

$$Y = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T$$

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m]^T$$

### 구조 3 (후반부: 변형된 일차선형식)

후반부가 전반부 적합도의 함수로 표현되는 일차 선형식인 경우, 이와같은 추론법을 변형된 선형추론법이라 한다. 이 퍼지모델은 식 (8)의 형태를 가지는 구현규칙들로 구성된다.

$R^i$ : If  $x_1$  is  $A_{i1}, \dots,$  and  $x_k$  is  $A_{ik}$ , then  $y = f_i(w_i)$  (8)

$$f_i(w_i) = a_{i0} + a_{i1} w_i$$

여기서,  $R^i$ 는  $i$ 번째 규칙,  $x_j$ 는 입력변수,  $A_{ij}$ 는 퍼지집합의 멤버쉽함수, 그리고  $a_{ij}(i=1, \dots, n; j=0, 1)$ 는 후반부의 파라미터이다. 식 (16)의 입력  $x_1^o, x_2^o, \dots, x_k^o$ 에 대한 전반부 적합도  $w_1, w_2, \dots, w_n$ 은 대수곱에 의해 구해진다. 후반부의 출력  $f_i(w_i)$ 는 입력이  $w_i$ 인 후반부 선형식에 의해 결정되며 전체의 추론결과는 식 (9)과 같다.

$$y^o = \frac{w_1 f_1(w_1) + \dots + w_n f_n(w_n)}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad (9)$$

$$= \frac{w_1 f_1(a_{10} + a_{11} w_1) + \dots + w_n (a_{n0} + a_{n1} w_n)}{w_1 + w_2 + \dots + w_n}$$

후반부 파라미터는 최소사승법에 의해 식 (10)에 의해 구해진다.

$$\hat{a} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (10)$$

여기서,

$$X_i^T = [w_{1i}, \dots, w_{ni}, w_{1i} \cdot w_{1i}, \dots, w_{ni} \cdot w_{ni}]$$

$$\hat{a}^T = [a_{10}, \dots, a_{n0}, a_{11}, \dots, a_{n1}]$$

$$Y = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T$$

$$X = [x_1 \ x_2 \ x_m]^T$$

#### IV. 시뮬레이션 및 결과고찰

##### 1) PS모델과 언어함수의 최적영역의 동정

경로선택에 대한 변수인 교통비용 및 선택률에 대한 이용자의 언어를 [Small], [Medium], [Large]로 설정하였다. 이때 각각의 영역에 대한 범위를 어떻게 정하는가에 따라 경로선택률 추정에 영향을 미친다. 그래서 본 연구에서는 PS모델을 사용하여 언어영역에 대한 감도분석을 실시하여 최적의 영역을 동정하였다. 감도의 척도는 실제데이터의 비적중율을 척도로 사용하였다. 경로 1에 대한 교통비용과 경로 2에 대한 교통비용의 영역차와 비적중도와와의 관계를 그림 4에 나타내었다.

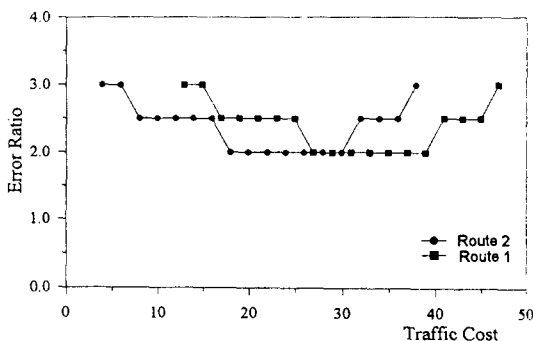


그림 4. 함수영역과 비적중도  
Fig. 4. Function region and error ratio

그 결과 경로 1에 대한 중정도비용은 27~39로, 경로 2에 대한 중정도 비용은 18~30의 폭을 가지는 경우가 현상을 잘 추정하고 있음을 알았다.

그림 5에는 최적의 폭을 가지고 계산한 BL모델값과 PS모델값을 나타내었다. 그 결과 PS모델의 적중률은 85.7%로 BL모델의 90.47%보다는 낮으나 PI값은 PS모델이 0.101로 높게 나타나 지식모델의 적용가능성을 말해주고 있다.

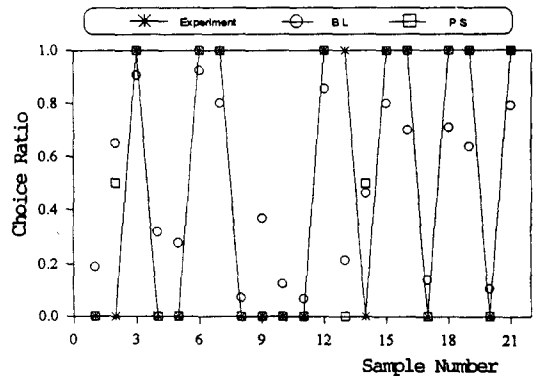


그림 5. BL모델과 PS모델의 비교  
Fig. 5. Comparison of identification error between BL model and PS model

##### 2) 퍼지추론모델

퍼지추론모델을 사용하는 경우 각 언어함수의 중복영역에 따라 값이 차이가 있어 최적의 Membership Function의 영역을 동정하는 것도 중요하다. 또한, 퍼지추론모델에서 사용한 3개의 Membership Function의 형태를 그림 6에 나타냈다.

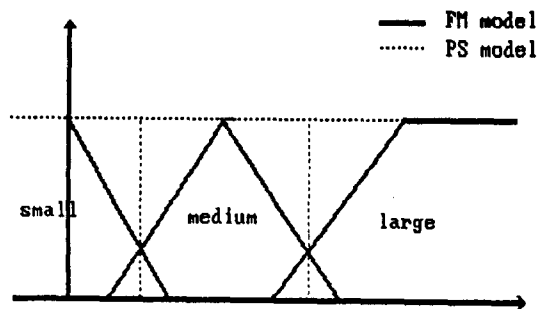


그림 6. PS모델과 FM모델에 대한 Membership function  
Fig. 6. Membership function for PS model and FM model with 3-fuzzy variables

여기서 퍼지추론은 기존의 간략추론, 선형추론 및 이 논문에서 제안한 변형된 선형추론의 3가지의 퍼지 추론 방식을 이용한다. 전반부 퍼지변수는 PS모델과 성능과 규칙수의 측면에서 서로 비교하기 위해 2개 및 3개의 퍼지규칙 구조를 사용하고, 각 퍼지변수의 멤버쉽형태는 그림 2-3에서 나타난 것과 같이 구조 a 및 구조 b의 2개의 구조형태를 제안하여 각 멤버쉽함수의 파라미터를 튜닝하였다. 멤버쉽함수의 파라미터 초기치는 그림 6에서의 PS모델의 중심값 혹은 각 입력데이터의 최대, 최소값을 사용한다. 이 들 파라미터를 동정하기 위한 개선된 콤플렉스법의 투영, 확장, 축소방법의 파라미터 초기값  $\alpha=1.0$ ,  $\beta=0.5$ ,  $\gamma=2.0$  을 사용한다. 구조 a의 원리는 삼각형태인 멤버쉽함수의 성능은 일반적으로 겹침도가 0.5인 경우가 가장 우수하므로 이 원리를 이용하여 겹침이 있는 두 개의 퍼지변수의 멤버쉽 함수를 동시에 동정하는 것

이다. 구조 b의 원리는 각 입력변수의 비선형성, 상호 독립성 등을 고려하여 각각의 퍼지변수의 멤버쉽함수를 별개로 동정하는 것이다.

표 3은 후반부구조 1, 2, 3과 전반부구조 a, b로 구성된 각 모델에 대하여 퍼지동정으로 얻어진 최적 구현규칙들의 성능지수를 나타낸다. 구조 1에서 최적 퍼지모델은 Model 5로 성능지수 0.000059이고, 구조 2에서 최적 퍼지모델은 Model 12로 성능지수 0.000048이고, 구조 3에서 최적 퍼지모델은 Model 17로 성능지수 0.000306이다. 이상에서 구한 각구조의 최적 퍼지규칙 중에서 가장 우수한 성능 특성은 후반부가 선형식인 구조 2인 Model 12이다. 이 Model 12의 출력데이터와 실 데이터의 비교는 그림 7과 같다.

표 3. 구조 1, 2, 3을 가지는 각 모델에 대한 최적 성능지수  
Table 3. Optimal performance index for each model with type 1, 2, 3

Model No.	후반부 구조	전반부 구조	규칙수	PI
1	Type 1	Type a	4	1.482232
2	Type 1	Type b	4	1.619195
3	Type 1	Type a	6	1.433675
4	Type 1	Type b	6	1.753902
5	Type 1	Type a	9	0.000059
6	Type 1	Type b	9	0.386550
7	Type 2	Type a	4	1.119645
8	Type 2	Type b	4	0.315139
9	Type 2	Type a	6	0.128806
10	Type 2	Type b	6	0.019823
11	Type 2	Type a	9	0.000095
12	Type 2	Type b	9	0.000048
13	Type 3	Type a	4	2.177777
14	Type 3	Type b	4	2.800489
15	Type 3	Type a	6	1.477489
16	Type 3	Type b	6	2.207813
17	Type 3	Type a	9	0.000306
18	Type 3	Type b	9	0.000491

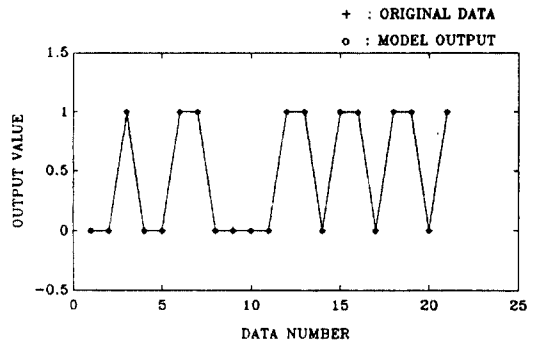


그림 7. 실데이터와 모델 12의 출력데이터의 비교  
Fig. 7. Comparison of original data and output data for model 12

표 4. 기존의 모델링 방법과 동정오차 비교  
Table 4. Comparison of identification error with conventional fuzzy modeling methods

모델 Type	평가 지수	적중률(%)
1) BL(Binary Logit)모델[9]	5.452	90.47
2) PS(Production System)모델[10]	2.0	85.7
3) 뉴럴네트워크 모델링[10]	0.497	95.2
4) 퍼지-뉴럴네트워크 모델링[10]	1.178	90.47
5) 퍼지모델링(our model: Type 1)	0.000059	100.
6) 퍼지모델링(our model: Type 2)	0.000048	100.
7) 퍼지모델링(our model: Type 3)	0.000306	100.

이상과 같이 본 논문에서 구한 동정오차(혹은 평가 지수)를 표 4에서 다른 기준에 연구된 모델과의 동정 오차와 적중률면에서 비교하여 우수한 동정특성을 나타낸다.

## V. 결 론

본 연구에서는 교통경로선택 문제에 대해서 기존의 확률론적인 BL 모델이 아닌 이용자의 의식척도와 지식을 바탕으로 모델화를 퍼지추론을 사용하여 실시하였다. 그 결과 퍼지추론을 사용한 모델화를 통해 경로선택 현상을 설명할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 제안된 3가지 퍼지추론 방법에 의한 모델의 성능 지수와 적중률이 기존의 모델인 BL, PS, FL, NN 및 FNNs 모델보다 매우 우수함을 보였다.

본 연구는 다양한 변화하는 다양한 교통속성의 변화에 대응하는 모델화를 가능하게 하며, 교통정보 그리고 제어기술 등에 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구는 교통현상에 이용자의 지식과 애매성을 도입하는 기본연구로서의 위치를 점하고 있다. 이 모델방법을 다양한 교통정보 이용에 의한 실 공정에 적용시킴으로, 도심도로의 심각한 교통체증 완화를 위한 그 대체경로로 교통량을 분산 유도하고자 자동차의 탑재기 또는 노측의 정보판에 정확한 교통정보를 제공할 수 있으며, 또한 이 퍼지동정 수법을 이용하여 정보의 종류, 교통목적, 운전자의 하루 운전시간, 예상 여행시간의 지각폭 및 예상 여행시간차(여행속도차) 등에 따라 경로선택모델을 구축하여 보다 효과적인 교통정보를 제공하는데 도움이 될 것이다.

## 참 고 문 헌

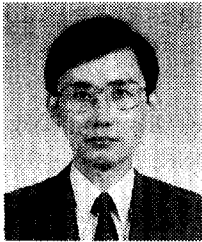
1. Wardrop, J, G.: Some Theoretical Aspect of Road Traffic Research, Proc. of the Institution of Civil Engineers, Part I, Vol. 1, pp. 325~378, 1952
2. 佐左木 綱: 道路網における輸送計劃について, 第4回日本道路會議論文集, pp. 43~46, 1957
3. 星野 哲三: 道路網における交通量配分の理論, 제5회日本道路會議論文集 pp. 68 sim 70, 1959
4. Martin, B. V. and Manheim, M. L.: A Research Program for Comparison of Traffic Assignment

- Techniques, Highway Research Record 88, pp. 69~84, 1965
5. Moshe Ben-Akiva, Discret Choice Analysis, MIT, 1985
6. Dobson, R., F. Dunber, C. Smith, D. Reibstein and C. Lovelock, Structural Models for the Analysis of Traveler Attitude-Behavior Relationships, Transportation, Vol. 7, No. 4, pp. 351~364, 1978
7. Pas, E., Is Travel Demand Analysis and Modeling in the Doldrums?, In Developments in Dynamic and Activity-based Approach to Travel Analysis, edited by P. Jones, Avebury, pp. 3~ 27, 1990
8. やさしい非集計分析, 交通工學研究會, 199412. 第15回 土木學會講習會テキスト, 非集計行動モデルの理論と實際, 日本土木學會, 1984
9. 森彬壽旁, “非集計モデルの推定と検定”, 日本土木計劃講習會テキスト15, PP. JSCE, 1984.
10. 秋山孝正, “知識利用型の 経路選擇 モデル化手法”, 日本土木計劃學研究論文集, JSCE, No. 11, PP. 65-72, 1993.
11. 秋山孝正, “阪神高速道路の交通制御エキスパートシステム”, 人工知能學會研究會資料集18, pp. 115-124, 199113. 飯田恭敬, 土木計劃システム分析, 森北出版, pp. 113~143, 1993
12. 第15回 土木學會講習會テキスト, 非集計行動モデルの理論と實際, 日本土木學會, 198414. 水本雅晴, わかりやすいファジイ理論II, ファジイ推論とファジイ制御コンピュータ, No. 28, pp. 32~45, 1989
13. 飯田恭敬, 土木計劃システム分析, 森北出版, pp. 113~143, 199315. 坂和正敏, ファジイ理論の基礎と應用, 森北出版, pp. 44~57, 1992
14. 水本雅晴, わかりやすいファジイ理論II, ファジイ推論とファジイ制御コンピュータ, No. 28, pp. 32~45, 1989
15. 坂和正敏, ファジイ理論の基礎と應用, 森北出版, pp. 44~57, 1992
16. 菅野道夫, ファジイ制御, 日刊工業新聞社
17. T. Takagi and M. Sugeno, “Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control”, IEEE Trans. Syst. Cybern., Vol.



SMC-15, No. 1, pp. 116-132, 1985.

18. Ben-Akiva, M., Bergman, M. J., Daly, A. J. and Ramaswamy R.: Modeling Inter Urban Route Choice Behaviour, Proc. of Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, VNU Science Press. pp. 299~330, 1984



오 성 권(Sung-Kwun Oh) 정회원  
 1957년 2월 13일생.  
 1981년: 연세대학교 전기공학과 졸업.  
 1983년~1989년: 금성산전연구소 (선임연구원).  
 1993년: 연세대 대학원 전기공학과 졸업(공학박).

현재: 원광대 공대 제어계측공학과 조교수.  
 ※주관심분야: 시스템자동화, 퍼지논리 및 신경회로 망 응용, 모델링 및 지능형제어 등임.



남 궁 문(Gung-Moon Nam) 정회원  
 1961년 10월 25일생.  
 1984년: 원광대학교 토목공학과 졸업  
 1986년: 전북대 대학원 토목공학과 졸업(석사)  
 1988~1989년: 히로시마대학 공학부 연구생

1992년: 히로시마대학 대학원 토목환경공학과 졸업(공학박)

현재: 원광대 공대 토목환경공학과 조교수  
 ※주관심분야: 첨단교통정보제공(ITS), 운전자의 경로선택행동, 교통행동모델, 지능형교통현상모델화 등임



안 태 천(Tae-Chon Ahn) 정회원  
 1955년 10월 11일생.  
 1978년: 연세대학교 전기공학과 졸업.  
 1980년: 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).  
 1986년: 동 대학원 졸업(공학박).  
 1987~1988년: Uppsala Univ. Post-Doc.

1994~현재: Georgia Institute of Technology Visiting Prof.

현재: 원광대 공대 제어계측공학과 교수.  
 ※주관심분야: 적응제어, 신호처리, 지능형 모델링 및 제어 등임.