

□ 論 文 □

# 퍼지근사추론을 이용한 교통수단 선택모형 구축

A Development of Transport Choice Models using Fuzzy Approximate Reasoning Methods

**원 제 무**

(한양대학교 도시공학과 교수)

**손 기 복**

(서울시정개발연구원 연구원)

목 차

I. 서론

II. 모형 구성

- 1. 퍼지근사추론모형의 기본 개념
- 2. 버스와 지하철간의 수단선택모형 설정
- 3. 모형의 조정

III. 모형의 타당성 검토

- 1. 조사 개요
- 2. 분석 결과

IV. 결론

참고문헌

요 약

본 연구에서는 인간의 판단과 유사한 구조를 갖는 퍼지근사추론모형(FARM)을 구축하여 교통수단 선택행태에 적용하고자 하였다. 이를 위해 먼저 근사추론모형의 이론적 배경을 살펴보고, 버스와 지하철간의 수단선택 모형을 구축하였다. 입력변수로는 버스와 지하철간의 총통행시간의 차이와 총통행비용의 차이를 선정하였으며, 출력변수로는 버스이용확률을 사용하였다. 각 변수에 대한 퍼지집합은 각각 5개씩의 언어적인 표현으로 구성하였으며, 규칙은 총 25개로 설정하였다.

구축된 모형의 현실적 타당성을 검토하기 위해서 실제 조사자료와 비교하였다. 분석결과 본 연구에서 구축된 퍼지근사추론모형이 통행자들의 수단선택 행태를 현실적으로 설명하는 것으로 나타났다.

## I. 서론

교통수요 추정과정에서 교통수단 선택 단계는 수단별 통행량을 추정해 내는 중요한 부분이다. 일반적으로 교통수단 선택을 예측하기 위해서는 보통 전환곡선(diversion curve)이나 로짓모형(logit model)이 사용된다. 그러나 전환곡선은 모든 지역에 대해 일률적으로 사용할 수 없으며, 로짓모형은 개인의 효용을 근거로 선택 확률을 계산하는 과정에서 다음과 같은 문제점을 내포하고 있다.

첫째, 개인마다 통행시간이나 통행비용에 대한 인식이나 민감도가 서로 다르지만 이를 동일한 것으로 가정한다.

둘째, 효용을 이루는 설명변수들이 명확한 수치로 구성되어 있으나 실제로 개인의 교통 수단선택 행태를 살펴보면 정확한 수치보다는 '크다' 혹은 '작다' 등과 같은 언어적인 판단이 더욱 크게 작용한다.

이와 같은 측면에서 본 연구는 교통수단 선택에 있어 인간의 추론이나 판단 과정과 유사성을 갖는 퍼지이론을 이용한 퍼지근사추론모형을 구축하고, 구축된 모형의 현실적 타당성에 대한 검토를 시도하고자 하였다. 또한 모형의 단순화를 위해 대상 교통수단은 버스와 지하철로 한정하였다.

연구의 주요 내용은 첫째, 퍼지근사추론의 기본적인 개념과 이론 검토 둘째, 버스와 지하철 간의 수단 선택을 설명할 수 있는 모형 설정 셋째, 구축된 모형의 현실적 타당성 검토 등이다.

## II. 모형 구성

### 1. 퍼지근사추론모형의 기본 개념

#### 1) 기본 개념

일반적으로 인간이 어떤 결정을 할 경우 수

치나 정확한 계산에 의해서가 아니라 개략적인 추론을 통해 결론에 도달한다. 이와 같은 과정을 퍼지이론을 이용하여 모형화한 것이 퍼지근사추론(fuzzy approximate reasoning)이다.

인간의 결정에는 항상 불확실성과 모호성이 내재되어 있다. 불확실성이나 모호성이 나타나는 원인은 각 개인마다 동일한 내용을 서로 다르기 인식하기 때문이다. 즉, 어떤 결정을 할때 특정 항목에 대한 수치를 모든 사람이 같다고 생각하지는 않는다. 예를 들면, 30분의 시간에 대해 어떤 사람은 '매우 크다'고 말하지만 다른 사람은 '별로 크지 않다'고 이야기하는 경우가 이에 해당한다.

특정한 숫자에 대해 처리할 때 인간의 판단이 내재되어 있는 경우, 이를 일률적으로 처리하면 오차발생 확률이 커지게 되어 정확한 결론에 도달할 가능성이 낮아지게 된다. 일반적인 모형에서는 추론과정에서 특정 사실과 규칙을 구성하는 조건부가 반드시 일치해야 한다. 즉, 규칙  $A \rightarrow B$ 가 미리 주어져야만, 사실 A에 대해서 B라는 결과가 도출될 수 있다.

그러나 실제 상황에서는 사실 A와 규칙의 조건부에 있는 A가 반드시 일치하지는 않는다. 사실 A와 규칙  $A \rightarrow B$ 가 주어졌을 때 근사적인 사실 A'에서 근사적인 결과 B'를 얻을 수 있는데, 이러한 과정을 근사추론(approximate reasoning)이라고 한다.

### 2) 퍼지근사추론모형의 구성 요소

퍼지근사추론모형은 멤버쉽함수(membership function)로 표현되는 퍼지집합(fuzzy set)과 퍼지관계(fuzzy relation), 퍼지논리(fuzzy logic)에 의한 근사추론(approximate reasoning)을 주요 구성요소로 한다. 멤버쉽함수는 퍼지집합에 속하는 각 원소(element)가 해당 집합에 속하는 정도를 나타내는 것으로서 소속도라고도 부르며, 0부터 1 사이의 값으로 표현된다. 즉, 멤버

집합수는 집합내의 특정 원소에 대해 개인이 갖는 만족도로 식 (1)과 같이 표현할때  $\mu_X(x)$ 를 의미한다.

$$X = \{(x, \mu_X(x)) : x \in U, \mu_X(x) \in [0,1]\} \quad (1)$$

여기서, X : 퍼지집합  
 x : 집합 X의 원소  
 U : 전체집합

퍼지관계(fuzzy relation)는 식 (2)에서와 같이 전체집합 U에 대해 연산자 \*를 만족시키는 X, Y 사이의 관계를 말한다.

$$R = \{(x,y, \mu_R(x,y)) | (x,y) \in X * Y\} \quad (2)$$

여기서,  $\mu_R(x,y)$  : 퍼지관계 R의 멤버쉽함수

이와 같은 퍼지관계의 확장을 통해 퍼지논리(fuzzy logic)를 구축할 수 있는데, 이는 조건부와 결론부로 구성되며 이들은 모두 퍼지집합이다. 퍼지논리는 식 (3)과 같은 구조를 가지며 앞부분이 조건부, 뒷부분이 결론부에 해당된다.

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B, \text{ then } z \text{ is } C \quad (3)$$

식 (3)과 같은 퍼지관계에서 조건부는 x, y로 표현되는 퍼지관계와 같다. 이 관계를 R이라고 하면, 퍼지관계 R의 멤버쉽함수는 식 (4)와 같다.

$$\mu_R(x,y) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\} \quad (4)$$

조건부와 결론부의 논리적인 관계 S에 대한

퍼지관계는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\mu_S(x,y,z) = \min\{\mu_R(x,y), \mu_C(z)\} \quad (5)$$

식 (5)와 같은 조건부와 결론부 간의 퍼지논리관계가 여러개 있을 경우 즉 퍼지논리관계가  $s_1$ 에서  $s_n$  까지 일때 이들 사이의 관계를 T라고 하면, 이에 대한 멤버쉽함수는 식 (6)과 같이 얻을 수 있다.

$$\mu_T = \max\{\mu_{S_1}(x,y,z), \mu_{S_2}(x,y,z), \dots, \mu_{S_n}(x,y,z)\} \quad (6)$$

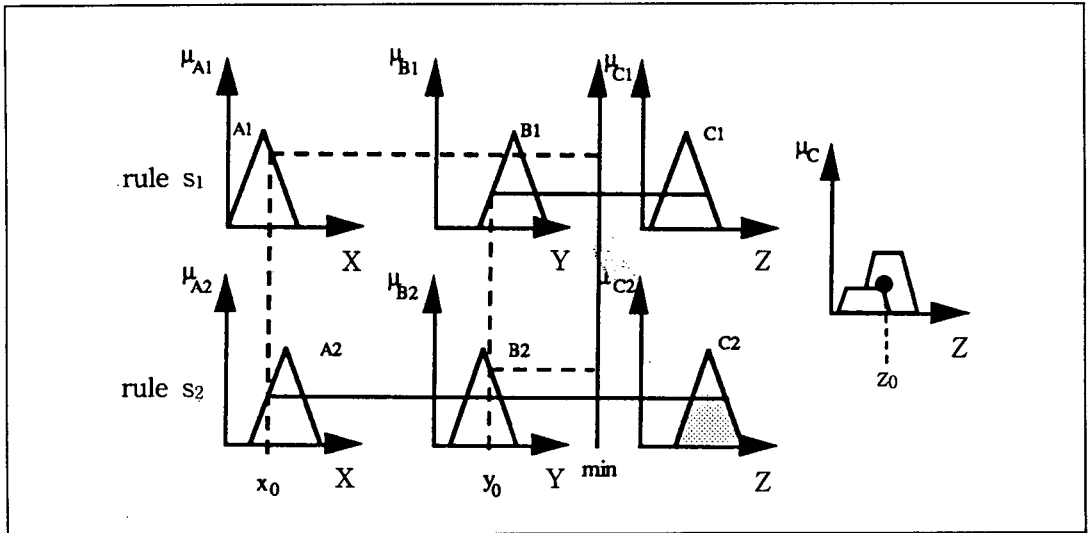
식 (4)에서 식 (6)까지의 근사추론 알고리즘을 이용하면 이미 알려져 있는 입력변수 A, B에 대한 출력변수 C의 멤버쉽함수값을 얻을 수 있다. 한편, 퍼지근사추론에 의한 추론결과를 다시 하나의 수치로 변환하기 위해서는 출력결과를 무게중심법(center of gravity method)으로 계산하는 방법이 일반적으로 사용된다.<sup>1)</sup> 무게중심법은 출력퍼지집합의 무게중심(center of gravity)을 구하여 이를 최종적인 출력값으로 하는 방법이다.

이상과 같은 퍼지근사추론과정을 간단히 표현하면 <그림 1>과 같다. 여기에서  $s_1, s_2$ 는 규칙, X, Y는 입력변수, Z는 출력변수를 의미한다, 또한  $x_0, y_0$ 는 각 입력변수의 입력값을,  $z_0$ 는 출력변수의 출력값을 의미한다. A1, B1, C1은 각 변수의 입력값에 관련된 퍼지집합이다. 그림의 첫 번째 줄은 첫 번째 규칙(rule  $s_1$ )에서 두 개의 입력변수 x, y로부터 출력변수 z의 값을 구하는 과정을 보여준다. 즉, 입력변수 X에 해당하는 입력값  $x_0$ 의 퍼지집합 A1과, 입력변수 Y의  $y_0$ 의 값에 해당되는 퍼지집합 B1으로부터

1) Dusan Teodorovic and Milica Kalic, "A Fuzzy Route Choice Model for Air Transportation Networks", Transportation Planning and Technology, 1995, vol. 19, p.115.

출력변수 Z의 퍼지집합 C1이 구해진다. 이때 출력퍼지집합 C1의 범위는 입력변수에 의한 퍼지 집합 A1, B1의 멤버십함수값 중 작은 값(식 (5) 참조)이 된다. 마찬가지로 두 번째 줄에서 동일한 입력값에 대해 두 번째 규칙을 통해

구해진 결과는 퍼지집합 C2이다. 이들 두 개의 퍼지집합 C1, C2를 합성한 출력퍼지집합은 맨 오른쪽과 같이 표현할 수 있으며, 이의 무게중심을 구하면 두 개의 입력값  $x_0, y_0$ 에 대한 퍼지 출력값  $z_0$ 를 얻을 수 있다.



〈그림 1〉 근사추론의 추론과정 (규칙이 2개일 경우)

## 2. 버스와 지하철 간의 수단선택모형 설정

### 1) 모형구축과 입력·출력변수 선정

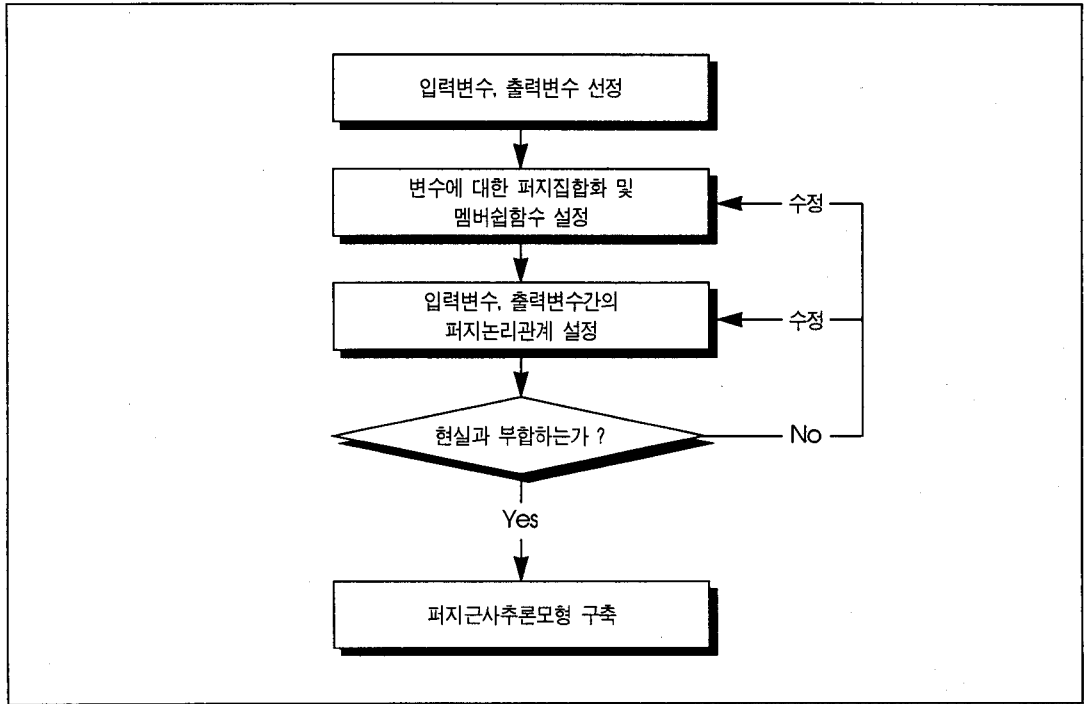
버스와 지하철 사이의 선택문제에 대한 퍼지 근사추론모형 구축과정은 〈그림 2〉와 같다.

일반적으로 교통수단 선택에 영향을 미치는 요인은 여러가지이다. 먼저, 교통수단에 대한 개인의 선호나 통행속도, 안락감, 신뢰성 등 교통수단이 갖는 특성이 수단선택에 영향을 준다. 또한 특정 수단 밖에 이용할 수 없는 개인의 경

제적 상황이나 교통수단의 서비스 제공범위 등에 따라서도 수단선택 행태가 달라질 수 있다.

따라서 교통수단 선택시 영향을 미치는 대표적인 항목을 선정하는 것은 상당히 어려운 일이다. 그러나 성별, 연령 등과 같은 개인적인 특성이나 어떤 교통수단에 대한 개인의 선호도, 또는 통행의 지리적 위치, 환승 등과 같은 요인들을 동일하다고 가정할 경우, 영향 요인을 크게 교통수단 간의 총통행시간 차이와 총통행비용 차이로 요약할 수 있다.<sup>2)</sup> 따라서 모형의 단

2) 로짓모형과 같은 기존의 수단선택모형에서는 흔히 통행시간과 통행비용이 효용에 영향을 미치는 중요한 항목으로 이용되고 있다. 물론 다른 요인으로써 개인적인 특성이나 교통수단 자체의 특성, 혹은 서비스제공 범위 등이 포함되는 경우도 있다. 본 연구에서는 모형의 단순화를 위해 개인의 경제적인 여건이나 선호, 지리적인 위치, 환승 등은 수단선택시에 통행시간과 통행비용에 내재되는 것으로 가정하였다.



〈그림 2〉 퍼지근사추론모형 구축과정

순화를 위해 본 연구에서는 입력변수로써 버스 이용시와 지하철 이용시의 총통행시간의 차이(TT : Total Time)와 총통행비용의 차이(TC : Total Cost) 등의 두가지를 대표적인 입력 변수로 선정하였다.

총통행시간의 차이(TT)는 특정 교통수단 이용시의 접근시간, 대기시간, 차내시간을 모두 포함할뿐 아니라 환승시간도 고려한 것이다. 여기서 접근시간, 대기시간, 차내시간 등은 각각에 있어 비중의 차이가 있으나, 본 연구에서는 모형의 단순화를 위해 이들을 구분하지 않고 특정수단 이용시의 총통행시간의 차이만을 고려하였다.

한편, 총통행비용(TC)의 차이는 교통수단 이용시에 지불하는 운임과 접근교통수단을 이용할 경우의 지불비용을 합한 비용 차이를 의미

한다. 물론 도보 혹은 자전거, 승용차가 접근교통수단인 경우도 있지만, 이들의 경우에는 직접적으로 지불되는 비용을 산출하기가 용이하지 않기 때문에 본 연구에서는 이를 고려하지 않았다.

비교대상이 되는 교통수단은 앞서 설명한 대로 버스와 지하철로만 한정하였다. 따라서 특정 구간 통행시에 지하철과 버스를 모두 이용할 수 있는 경우, 총통행시간의 차이는 출발지에서 목적지까지 가는데 지하철 이용시와 버스 이용시의 통행시간의 차이이며, 총통행비용의 차이는 지하철 이용시와 버스 이용시의 통행비용의 차이를 의미하게 된다.

한편, 출력 변수로는 버스이용확률(POB: Percent of Bus Usage)을 선정하였다. 또한, 분석을 단순화하기 위해 버스와 지하철 이외에

다른 수단으로의 통행 전환은 없는 것으로<sup>3)</sup>가 정하였다.

2) 입력변수, 출력변수의 퍼지집합화

선정된 입력변수와 출력변수를 퍼지근사추론 모형에 적용하기 위해서는 입력변수에 대한 언어적인 표현을 퍼지집합으로 정의해야 할 필요가 있다. 이는 특정 교통수단에 대해 통행시간이나 통행비용의 차이를 느끼는 정도가 개인마다 서로 다르기 때문이다. 예를 들면, 어떤 사람이 20분의 통행시간 차이를 '작다'고 느끼는 반면, 다른 사람은 '매우 크다'고 느낄 수 있으며, 이와 같은 판단상의 차이로 인해 수단선택은 서로 다르게 나타난다.

입력변수, 출력변수에 대한 언어적인 표현은 개인이 서로 다르다고 인식하는 내용을 표현할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 이와 같은 조건을 만족하도록 퍼지집합을 구성하였다. 이때 멤버십 함수는 일반적으로 사용하고 있는 삼각함수를 이용하였다.

먼저 입력변수인 총통행시간의 차이(TT)에 대해서는 퍼지집합을 다음과 같이 5개로 구분하였다.

- 지하철 이용시보다 버스 이용시 단축이 매우 크다 : PVL(Positive Very Large)
- 지하철 이용시보다 버스 이용시 단축이 크다 : PL(Positive Large)
- 지하철 이용시와 버스 이용시의 차이가 없다 : NN(None)
- 버스 이용시보다 지하철 이용시 단축이 크다 : NL(Negative Large)
- 버스 이용시보다 지하철 이용시 단축이 매우 크다 : NVL(Negative Very Large)

마찬가지로, 총통행비용의 차이(TC)에 대해서도 5개의 퍼지집합을 구성하였다.

- 지하철 이용시보다 버스 이용시 절감이 매우 크다 : PVL(Positive Very Large)
- 지하철 이용시보다 버스 이용시 절감이 크다 : PL(Positive Large)
- 지하철 이용시와 버스 이용시의 차이가 없다 : NN(None)
- 버스 이용시보다 지하철 이용시 절감이 크다 : NL(Negative Large)
- 버스 이용시보다 지하철 이용시 절감이 매우 크다 : NVL(Negative Very Large)

한편, 출력변수인 버스이용확률(POB)에 대해서도 아래와 같이 퍼지집합을 5개로 구성하였다.

- 버스이용확률이 매우 크다 : VL(Very Large)
- 버스이용확률이 크다 : L(Large)
- 버스이용확률이 중간 정도이다 : MD(Medium)
- 버스이용확률이 작다 : S(Small)
- 버스이용확률이 매우 작다 : VS(Very Small)

3) 퍼지논리관계 구축

퍼지논리관계도 입력변수, 출력변수의 경우와 마찬가지로 언어적인 표현으로 구성하였다. 본 연구에서 설정된 입력변수가 2개이고 각 변수

3) 다른 수단으로의 전환이 없다는 의미는 수단선택의 폭이 지하철과 버스로 한정되어 있다는 것을 말한다. 이는 현실적인 가정은 아니지만 모형의 단순화를 위해서 이와 같은 전제조건을 두었다.

에 대해 언어로 표현된 퍼지집합이 각각 5개씩  
이므로, 퍼지논리관계에서 조건부는 총 25개가  
된다. 이에 따라 퍼지논리관계도 총 25개로 구  
축하였다.

구축된 퍼지논리관계의 예를 들면 아래와 같다.

규칙 1 : if TT is PVL and TC is PVL, then POB is VL

규칙 2 : if TT is PVL and TC is VL, then POB is VL

⋮ ⋮ ⋮  
⋮ ⋮ ⋮

규칙25 : if TT is NVL and TC is NVL, then POB is VS

4) 비퍼지화

퍼지논리에 의한 추론결과는 언어적인 표현  
이므로 이를 버스이용확률이라는 수치로 변화  
시키기 위해서는 비퍼지화(defuzzification) 과정  
을 통해야 한다. 일반적으로 비퍼지화에 사용  
되는 방법으로는 합성된 출력퍼지집합의 최대  
값을 사용하는 방법(max criterion method), 최  
대값의 평균을 사용하는 방법(mean of max-  
imun method), 무게중심법(center of gravity  
method) 등이 있다. 이들 각각의 정의와 최종  
결과값을 얻기 위해 도식화한 결과를 보면 <표  
1>과 같다.

연구결과 일반적으로 무게중심법이 다른 방  
법들에 비해서 우월한 결과를 보이는 경향을

<표 1> 비퍼지화(defuzzification)방법의 비교

구 분	정의와 수식표현방법	도 식 화	비 고
최대값을 사용하는 방법	합성된 출력부 퍼지집합에서 소속함수 값이 가장 큰 부분에 해당하는 제어값을 사용하는 방식 $u_0 \in \{u: \mu(u) = \text{Max}_u \mu(u)\}$		여러개의 출력결과 중에서 최대값을 갖는 결과만을 고려하여 산출함. (단, 최대값의 평균을 이용하는 방법은 최대값의 중간을 최종결과값으로 선정)
최대값의 평균을 사용하는 방법	합성된 출력부 퍼지집합에서 소속함수가 최대값을 가지는 곳의 값들의 평균을 내는 방식 $u_0 = \frac{\sum_{j=1}^k u_j}{k}$ 여기서 $u_j$ : 소속도가 최대가 되는 제어값 $k$ : 최대값이 되는 제어값의 갯수		
무게 중심법	합성된 출력퍼지집합의 무게중심(center of gravity)을 구하여 이에 해당하는 값을 출력으로 결정하는 방식 $u_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(u_j) \cdot u_j}{\sum_{j=1}^k \mu(u_j)}$ 여기서 $n$ : 관련 규칙의 수 $u_j$ : 소속도가 최대가 되는 제어값 $\mu(u_j)$ : $u_j$ 의 소속도		여러개의 출력결과를 모두 고려하여 최종적인 결과를 산출함.

갖는 것으로 제시되고 있기 때문에<sup>4)</sup>, 본 연구에서는 비퍼지화방법으로써 무게중심법을 적용하였다.

### 3. 모형의 조정

설정된 퍼지근사추론모형의 설명력을 높이기 위해서는 퍼지집합의 멤버십함수나 퍼지논리관계가 현실과 부합되어야 한다. 이는 입력변수, 출력변수의 퍼지집합에 대한 멤버십함수값 및 변수 간의 논리적인 관계가 현실을 적절히 반영하도록 만드는 것을 의미한다.<sup>5)</sup>

이를 위해 입력변수 및 출력변수, 퍼지논리관계를 처음에 임의로 설정한 후, 일반인을 대상으로 한 조사결과<sup>6)</sup>를 바탕으로 입력변수, 출력변수의 퍼지집합에 대한 멤버십함수와 퍼지논리관계를 조정하였다. 조사대상으로 일반인을 선택한 이유는 실제 버스나 지하철을 이용하는 사람들이 인식하고 판단하는 논리적인 구조를 파악하기 위해서이다. 구체적으로 조사대상자는 출근통행수단으로 버스 혹은 지하철을 이용하는 직장인을 대상으로 하였으며, 오전 출근통행에 대해서 응답하도록 하였다. 한편, 설문조사시 특정수단에 대한 개인적인 선호는 무시하도록 하였다.

조사 내용은 언어적인 표현으로 설정된 bus와 지하철 이용시의 총통행비용의 차이, 총통행시간의 차이와, 이들 간의 25개 논리적인 조합에 대해 응답된 버스이용확률이다. 조사 자료가 모형의 설명력을 높이도록 먼저 입력변수인 총통행시간의 차이, 총통행비용의 차이를 구성하는 각각의 퍼지집합에 대해서 (즉, “매우 크다”,

“크다”, “차이가 없다” 등과 같은) 멤버십 함수를 조정하고, 출력변수인 버스이용확률을 구성하는 퍼지집합에 대해서 (즉, “매우 크다”, “크다”, “중간정도이다”, “작다”, “매우 작다” 등과 같은) 멤버십 함수를 조정하였다. 또한, 퍼지논리관계에 대해서도 설문조사결과를 근거를 마찬가지로 조정하였는데, 총 4차의 조정을 통해 최종적으로 모형을 구축하였다. 구체적인 조정과정은 부록에 수록하였다.

이와 같은 입력변수와 출력변수, 퍼지논리관계 등에 대한 조정 결과, 본 연구에서 최종적으로 설정된 퍼지근사추론모형을 도식화하면 <그림 3>과 같다.

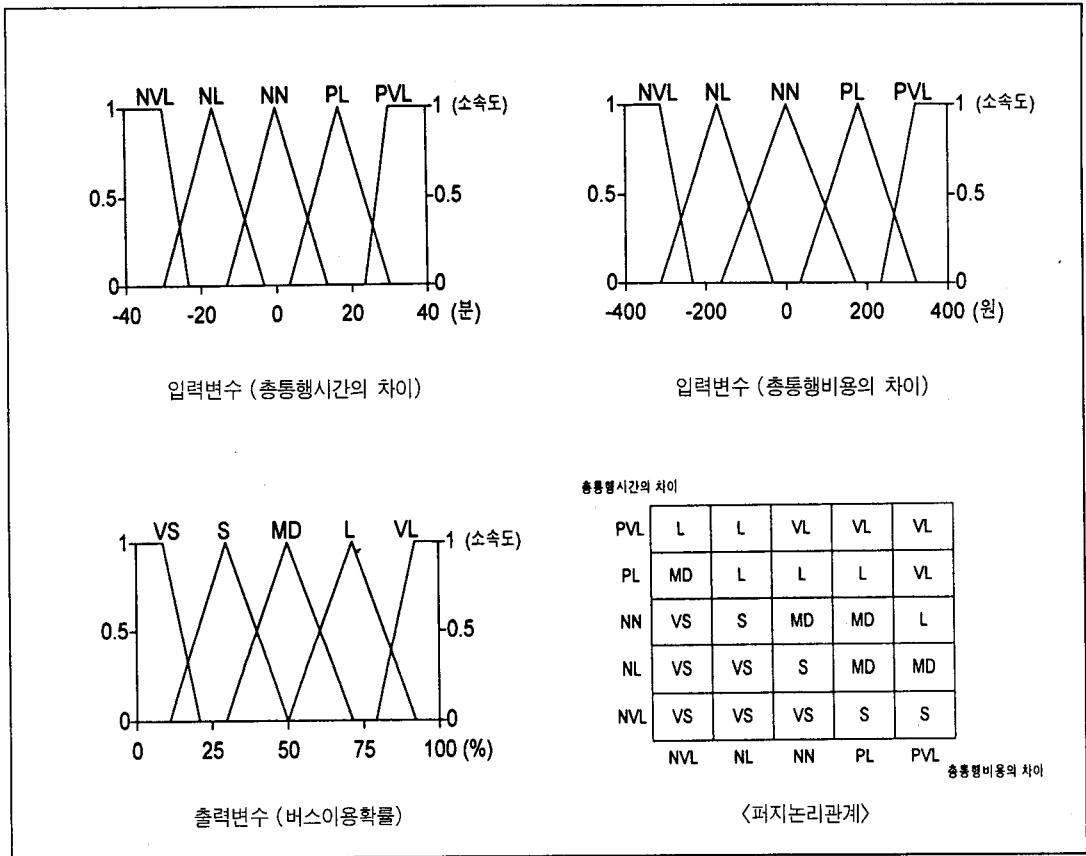
<그림 3>에서 윗 줄은 입력변수에 해당하는 두 변수에 대해 구성된 퍼지집합을 보여준다. 즉, 입력변수로서 총통행시간의 차이 및 총통행비용의 차이를 나타내는 X축의 값에 대해 언어 표현으로 정의된 5개의 퍼지집합(즉, NVL, NL, NN, PL, PVL 등)의 멤버십함수를 보여준다. 또한, 아랫 줄의 왼쪽은 출력변수인 버스이용확률을 구성하는 5개의 퍼지집합에 대해 최종적으로 구성된 멤버십함수를 나타낸다. 오른쪽의 표는 퍼지논리관계로서 입력변수인 총통행비용의 차이와 총통행시간의 차이에 대한 출력변수의 상관관계를 의미한다. 예를 들면, 여기서 총통행비용의 차이가 PVL(버스이용시 통행비용 절감이 매우 크다)이고, 총통행시간의 차이가 NN(버스이용시와 지하철 이용시 통행시간 차이가 없다)일 때 버스이용확률은 L(버스이용확률이 크다)로 표현된다.

4) 퍼지이론 및 응용(Ⅱ권:응용), 이광형·오길록 공저, 홍릉과학출판사, 1992, p5~70참조

5) 이 과정은 일반적으로 모형구축단계에서의 정산(calibration)과 동일한 개념이다.

6) 조사대상자는 총 44명이나 응답내용에 논리적인 결함을 갖는 4명을 제외하고 40명의 응답결과를 이용하였다. 응답자의 성별 분포는 남자 68%, 여자 32%이며, 연령별로는 20대 60%, 30대 25%, 40대이상 15% 등이다.





〈그림 3〉 최종적으로 구축된 퍼지근사추론모형

### III. 모형의 타당성 검토

#### 1. 조사 개요

설정된 퍼지근사추론모형이 현실적으로 타당한 결과를 도출하는가를 검토하기 위해 본 연구에서는 서울시 외곽지역에서 도심으로 향하는 통행을 대상으로 설문조사를 실시하였다.

설문조사는 현재 버스나 지하철을 이용하는 일반 사무직 종사자들을 대상으로 설문지를 배포한 후, 작성된 조사 용지를 회수하는 방법을 사용하였다. 설문 대상자는 총 120인으로 자료 기입에 문제가 있는 15인의 응답결과를 제외하

고 105인의 응답 내용을 분석에 활용하였다.

조사일시는 1997년 7월 14일~16일 사이의 평일이며, 사무실을 방문하여 버스나 지하철을 이용하여 출근한 사람만을 대상으로 택하였다. 또한 출근통행시에 버스나 지하철을 모두 이용할 수 있는 통행자를 대상으로 하였다. 설문조사 대상자에 대한 일반적인 사항은 부록에 수록하였다.

설문의 주요 항목은 버스이용시의 통행시간과 통행비용, 지하철 이용시의 통행시간과 통행비용이다. 조사대상자에게는 오전 출근통행을 기록하도록 하였다. 이때 통행시간은 환승시간을 포함하여 출발지에서 목적지까지의 총통행시

간으로, 통행비용은 환승에 따른 소요비용까지 포함하는 개념을 총통행비용으로 설정하였다.

출발지에서 목적지까지의 총통행시간의 차이와 총통행비용의 차이에 대한 조합에 대해 이용교통수단과 버스이용확률을 정리한 결과는

<표 2>와 같다. 여기서 이용교통수단은 조사당일 출근통행시 이용한 교통수단이며, 버스이용확률은 현재 통행조건 하에서 버스를 이용할 확률을 응답자의 경험을 바탕으로 기입하도록 한 것이다.

<표 2> 설문조사 결과 정리내용

구 분	버스이용시 통행비용(원)	버스이용시 통행시간(분)	지하철이용시 통행비용(원)	지하철이용시 통행시간(분)	이용교통수단	버스이용확률 (%)
응답자 1	430	35	450	55	1	70
응답자 2	430	45	450	53	1	64
응답자 3	430	55	550	30	0	46
응답자 4	430	35	750	55	1	87
응답자 5	730	61	750	31	0	36
응답자 6	850	69	750	40	0	8
응답자 7	430	42	500	30	1	58
응답자 8	730	30	500	40	0	52
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.

주) 응답자의 총수는 105인임. 이용교통수단의 경우 1은 버스, 0은 지하철을 의미함. 버스이용확률은 각각의 조건에서 버스를 이용할 확률을 기입한 것임.

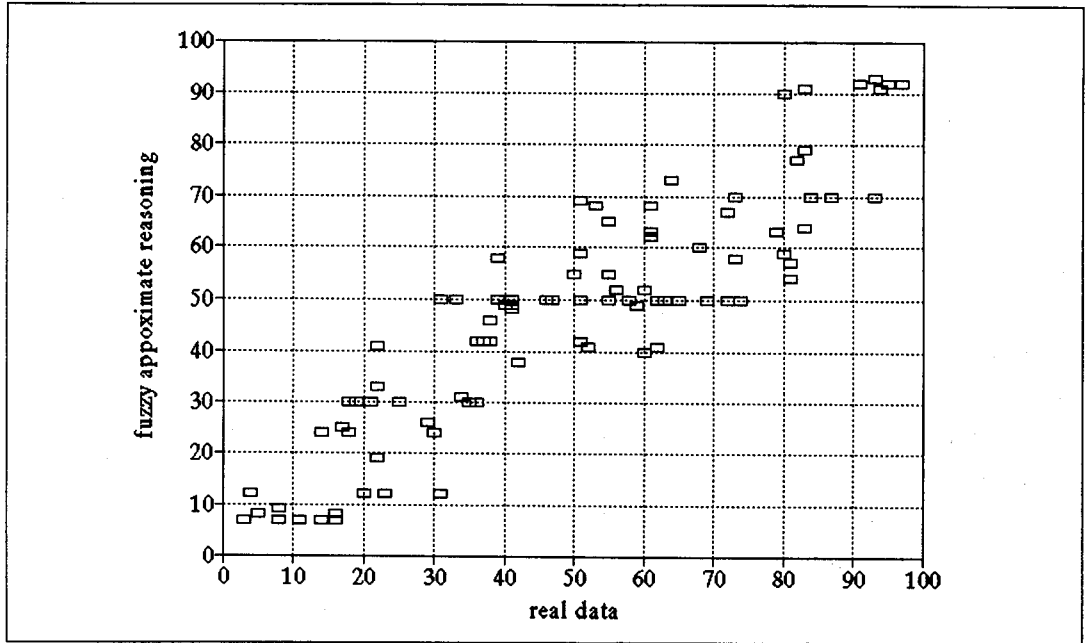
<표 3> 퍼지추론모형에 의한 버스선택확률 분석결과

구 분	버스와 지하철간의 통행비용차이(원)	버스와 지하철간의 통행시간 차이(분)	버스이용확률 (%)	
			설문결과	퍼지근사추론모형추정치
응답자 1	20	20	70	70
응답자 2	20	8	64	60
응답자 3	120	-25	46	41
응답자 4	320	20	87	91
응답자 5	20	-30	36	30
응답자 6	-100	-29	8	14
응답자 7	70	-12	58	52
응답자 8	-230	10	52	53
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

## 2. 분석 결과

설정된 모형의 타당성을 검토하기 위해서 먼저 설문조사 자료를 본 연구에서 구축된 퍼지 근사추론모형을 이용하여 추정한 결과를 비교

하였다. 퍼지근사추론모형에 의한 버스이용확률 추정치를 설문조사 자료와 비교한 결과는 <표 3>, <그림 4>와 같다. <표 3>에서 근사추론모형을 이용한 버스이용확률 추정과정의 예를 부록에 수록하였다.



<그림 4> 버스이용확률 조사자료와 모형에 의한 추정치 비교

<그림 4>의 x축은 설문조사 결과에 의한 버스이용확률을, y축은 퍼지근사추론모형을 이용하여 추정한 버스이용확률을 하나의 그래프로 나타낸 것이다. 여기서 퍼지근사추론에 의한 결과가 실제 데이터에 근접할수록 x-y축상의 대각선을 중심으로 분포하게 된다. 분석결과는 대체적으로 x-y축을 중심으로 약  $\pm 10\%$ 의 범위 내에 대부분의 추정치가 있는 것으로 나타났다.

추정모형의 현실적 타당성에 대해서 통계적 방법을 이용해서 분석한 결과는 다음과 같다.

먼저 실제 자료와 추정치 간의 적합성을 검토하기 위해 통계분석 패키지인 SPSS/PC를 이용하여 상관분석을 실시한 결과 상관계수(correlation efficient)가 0.9014로 상당히 높으며 0.01(1%) 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다. 또한 양자 간의 차이가 있는가를 분석하기 위하여 비모수적 통계방법의 하나인 Wilcoxon의 부호순위검정법을 이용하여<sup>7)</sup> 분석한 결과 Z 값은 -1.7452로 0.1(10%) 유의수준에서 유의한 결과를 보이는 것으로 나타났다.

7) 여기서 비모수적인 통계방법을 이용한 것은 데이터의 분포가 정규분포를 갖는가의 여부를 정확히 알수 없기 때문이다.

## VI. 결론

본 연구는 현재 널리 활용 중인 교통수단 선택모형인 로짓모형의 단점을 보완하고자 하는 시도로 수행되었다. 이를 위해 수단선택 행동에 있어 사람의 판단과 유사한 구조를 갖도록 퍼지근사추론모형을 구축하고, 구축된 모형의 현실적 타당성을 검토하는 것을 주요 목적으로 하였다.

연구대상은 버스와 지하철로 한정하였으며, 한 장소에서 다른 장소로 이동할때의 버스이용 확률에 초점을 맞추었다. 모형의 입력변수로는 버스와 지하철간의 총통행시간의 차이와 총통행 비용의 차이, 출력변수로는 버스이용확률을 선정하였고, 각 변수에 대해서 각각 5개씩의 언어로 표현된 퍼지집합을 구성하였다. 추론 수행을 위해 입력변수와 출력변수 간의 퍼지논리관계를 설정하였으며, 설정된 모형에 대해 사람들의 판단결과와 유사한 결과를 도출하도록 퍼지집합의 멤버쉽함수와 퍼지논리관계를 조정하였다.

한편, 구축된 모형의 현실적인 타당성을 검토하기 위해서 몇 개의 교통축 자료에 의한 설문 조사를 통해 이용자의 응답결과를 분석에 활용하였다. 퍼지근사추론모형의 추정결과를 실제 자료와 비교해 본 결과 퍼지근사추론모형이 현실을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

본 연구는 다양한 교통수단 가운데 버스와 지하철에만 한정하여 시행되었다. 따라서 다른 교통수단을 이용할 수 있는 경우에는 입력변수의 조정이 필요하다. 또한 여러 가지 다양한 통행여건에 퍼지근사추론모형을 적용해서 모형의 신뢰성과 정밀성을 검증해야할 필요성이 있다. 또한 본 연구에서는 총통행시간과 총통행비용을 세분화하지 않았다. 앞으로 이에 대한 세분화를

통해 모형의 정교화를 꾀하는 작업이 요구된다.

향후 연구과제로는 버스와 지하철 뿐 아니라 다른 교통수단까지 포함한 모형구축에 대한 연구가 추진되어야 한다. 또한 퍼지근사추론모형의 적용분야로서 교통수단 선택문제 뿐 아니라 통행분포, 노선배정 등 교통계획의 다양한 분야에 대한 적용연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. F.Martin McNeill, Ellen Thro저, 차용해 역, "Fuzzy Logic", 서울:도서출판 삼각형, 1995
2. 김도현 외역, "핵심 퍼지시스템", 서울:에드텍, 1994
3. 임정국, "퍼지이론-기초와 응용입문-", 서울:박영사, 1991
4. 임정국 원성현, "기초 응용 퍼지이론과 시스템", 서울:정보시대출판사, 1992
5. 이광영 오길록, "퍼지이론 및 응용 I 권, II 권", 서울:홍릉과학출판사, 1991
6. 水本雅晴, "ファジイ理論とその應用", 日本:サイエンス社, 1990
7. Asai, K. and Negoita, C.V., eds, "Introduction to Fuzzy Systems Theory", Torco:Ohmsha, 1978
8. Zadeh, L.A., "The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximation Reasoning-I", Information Sciences 8, 1975, pp.199~249. Applications 22, 1968, pp.421~427.
9. Dusan Teodorovic and Milica Kalic, "A Fuzzy Route Choice Model for Air Transportation Networks", Transportation Planning and Technology, 1995. vol.19, pp.109~119.