

## 지능적 정보처리를 위한 퍼지추론기관의 구축

송 영 배\*

# Development of Fuzzy Inference Mechanism for Intelligent Data and Information Processing

Youngbae Song\*

### 요 약

공간과 관련된 의사결정문제 해결에 필요한 취득 가능한 자료나 정보는 불완전하거나 부정확하며, 많은 부분 자연언어(natural language)로 기술되어 있다. 이 같은 정보들을 컴퓨터를 이용하여 처리하기 위해서는 결국 컴퓨터로 하여금 인간이 사용하는 자연어를 이해할 수 있도록 애매한 특성의 언어값(Linguistic value)을 정량적으로 기술할 필요가 있다. 이를 위해 퍼지집합(fuzzy set)이론과 퍼지논리(fuzzy logic)가 대표적인 방법론으로 이용되고 있다. 본 논문에서는 부정확하거나 불명확한 자료 및 정보를 기반으로 의사결정문제를 지능적으로 처리하기 위해 사용자가 가장 이해하기 쉬운 자연어로 「언어모델」을 구축하고, 평가사안이나 의사결정 문제가 불명확하게 서술될 경우 컴퓨터를 이용한 구조화 및 추론을 통한 문제해결이 가능하도록 퍼지추론기관 구축을 위한 일련의 논리적 개념과 구축과정을 연구하였다.

**ABSTRACT:** Data and information necessary for solving the spatial decision making problems are imperfect or inaccurate and most are described by natural language. In order to process these arts of information by the computer, the obscure linguistic value need to be described quantitatively to let the computer understand natural language used by humans. For this, the fuzzy set theory and the fuzzy logic are used representative methodology. So this paper describes the construction of the language model by the natural language that user easily can understand and the logical concepts and construction process for building the fuzzy inference mechanism. It makes possible to solve the space related decision making problems intellectually through structuring and inference used by the computer, in case of the evaluation concern or decision making problems are described inaccurate, based on the inaccurate or indistinct data and information.

### 1. 머리말

인간의 지식에는 불완전하거나 애매한 정보, 잘

못된 정보 등으로 인해 필연적으로 불확실성(uncertainty)이 내포되어 있다. 결과적으로 인간의 판단이나 의사결정시 불확실성이 증대되며, 지식기

\* 국토연구원 GIS연구센터 초빙연구원 (431-712 경기도 안양시 동안구 관양동 1591-6)  
(Korea Research Institute for Human Settlements, 1591-6, Kwanyang-dong, Dongan-Gu, Anyang-Shi, Kyonggi-do, 431-712, Korea)

반사회에서는 다량의 자료와 정보처리 뿐만 아니라 불가피하게 제기되는 지식의 불확실성조차도 컴퓨터를 이용하여 표현하고 처리할 필요성이 크게 강조되고 있다. 특히 도시계획이나 환경계획 등 공간과 관련된 의사결정문제 해결에 필요한 자료나 정보는 많은 부분 자연언어(natural language)로 기술되어 있는데, 이를 컴퓨터를 활용하여 처리하기 위해서는 먼저 컴퓨터로 하여금 인간이 사용하는 자연어를 이해할 수 있도록 애매한 특성의 언어값(Linguistic value)을 정량적으로 기술할 필요가 있다. 이를 위해 퍼지집합이론과 퍼지논리가 대표적인 방법론으로 이용되고 있는데, 그 이유는 '많다', '적다' 등과 같이 불명확한 특성을 갖는 평가요소들의 언어값을 퍼지집합이론을 이용하여 정량적으로 기술하고, 애매한 상황에서의 의사결정과정을 퍼지논리를 도입하여 설명함으로써 컴퓨터를 이용한 정보의 처리와 추론을 통한 의사결정지원이 가능하기 때문이다.

### 1.1 연구의 목적

퍼지집합이론을 지식표현 및 추론에 도입하여 지식의 불확실성(이재규 외 1996, p. 324) 중에서 지식표현의 애매성(vagueness)이나 다의성(ambiguity)에서 발생하는 불확실성을 해결하고, 부정확하거나 불명확한 정보들을 컴퓨터를 이용하여 처리하기 위한 기반을 마련할 수 있다. 그 이유는 퍼지집합이론이 사용자가 가장 이해하기 쉬운 자연어로 '언어모델'의 구축과 지식표현을 가능하게 함으로써 평가사안이나 의사결정문제가 불명확한 경우에도 컴퓨터를 이용한 구조화 및 문제해결이 가능하기 때문이다.

본 논문의 중점은 현실적으로 방대한 양의 퍼지식 자료와 정보의 컴퓨터처리가 요구되고 있기 때문에 다치논리에 근거한 「인간의 판단능력」을 컴퓨터시스템에서 구현하여 공간계획분야, 예를 들어 환경영향평가나 자연환경수용력분석 [Shelby et al. 1986] 등과 같이 애매하거나 불명확한 자료와 정보

를 이용하여 평가나 의사결정을 수행하는 분야에서 이용하는데 있다. 따라서 퍼지집합이론과 퍼지논리를 도입하여 정보를 지능적으로 처리하기 할 수 있는 퍼지추론기관 구축을 위한 논리적 개념과 일련의 과정 제시를 연구의 범위로 설정하였다.

### 1.2 논문의 구성

본 논문은 크게 세부분으로 구성되어 있다.

첫째는 퍼지추론기관 구축에 필요한 이론으로서 퍼지집합이론과 퍼지논리에 대해 간략하게 기술하였으며, 두 번째 부분에서는 구축된 논리적 모델을 기반으로 퍼지추론기관을 컴퓨터시스템으로 구축하기 위한 기술적 방법으로서 전문가시스템에 대한 고찰과 퍼지추론기관과의 연계방안을 서술하였다. 세 번째 부분에서는 퍼지추론기관을 구축하기 위한 7단계 구축과정에 대한 설명과 예시를 들었으며, 끝으로 퍼지추론기관을 이용한 의사결정 및 추론의 문제점을 제시하였다.

## II. 퍼지추론기관과 전문가시스템

퍼지집합이론의 응용은 크게 지식베이스적 이용과 알고리즘적 이용으로 구분할 수가 있다; 지식베이스적 이용방법은 수학적 모델로 구축하기에 매우 복잡하거나 어려운 문제 또는 알고리즘으로 구축되어 있지 않는 의사결정문제를 해결하기 위해 인간의 문제해결능력을 컴퓨터시스템에서 구현하는데 있다. 퍼지집합이론의 알고리즘적인 응용방법은 문제의 성격이 수학적인 모델로서 구축가능해야 하지만 입력값으로 퍼지값(Fuzzy value)을 적용시킬 경우 문제가 발생한다 [Zimmermann 1993a, p. 92].

퍼지집합이론의 실제 적용분야로는 퍼지제어, 퍼지자료분석(표본인식), 퍼지의사결정지원 등이 있다; 퍼지자료분석은 퍼지이론의 알고리즘적인 응용이며, 퍼지의사결정지원이나 전문가시스템은 퍼지집합이론의 지식베이스적인 응용방법이다. 본 논문에서는 퍼지집합이론의 지식베이스적인 이용과 이

에 근거한 퍼지추론기관의 구축 및 향후 퍼지전문가시스템으로의 발전에 중점을 두고 있다.

## 2. 퍼지집합이론 (Fuzzy Set Theory)

퍼지집합이론은 인간의 사고방식을 지향하고 자연어를 기반으로 서술된 용어들을 이용하여 문제를 기술하고 해결하기 위한 접근방법으로서 Zadeh [Zadeh 1965]에 의해 처음으로 제시되었으며, 퍼지명제나 규칙을 다루기 위한 퍼지논리로 발전해 왔다. 퍼지집합이론의 대표적인 특징은 언어변수의 이용과 퍼지화 및 비퍼지화이다.

### 2.1 언어변수

언어변수[Zadeh 1975]는 정량적으로 정확히 규정할 수 없는 정성적 형태의 의사결정문제나 평가요소들의 연관성을 수학적으로 모델링할 수 있는 가능성을 제공하기 때문에 퍼지추론기관 구축을 위한 필요요소이다.

보통집합과는 달리 퍼지집합의 특이한 형태는 「언어변수(linguistic variable)」[Zadeh 1973]로서, 흔히 사용되는 수치변수(numerical variable)는 변수값이 수치(number)이나 언어변수의 값은 자연어나 인공언어의 단어나 문장으로 구성되어 있다. 일반적으로 단어(word)는 수치보다는 덜 명확하기 때문에 퍼지집합이론의 언어변수를 이용하면 기존의 정량적 방법으로는 서술이 불가능했던 복잡하고 잘

정의되지 않는 현상과 구조화가 난해한 문제들을 근사적으로 기술할 수 있다 [Mayer et al. 1993, p. 62; 채석 외 1995, p. 163]. 따라서 자연어로 서술된 지식들을 형식적인 언어로 변환하여 지식베이스에 저장하고 컴퓨터를 이용한 지식의 전산처리가 가능하며, 제반 의사결정문제 해결을 위해 언어가 갖고 있는 장점을 최대한 살릴 수 있다. 그러나 현재까지 이론적으로 해결하지 못한 점은 퍼지집합값을 정성적 내용을 포함하는 자연어로의 변환이다.

### 2.2 퍼지화와 비퍼지화

퍼지시스템에서 추론을 위한 자료의 조작은 퍼지집합론을 기반으로 하므로 정량적 항목(평가요소)들의 수치적인 입력 값을 퍼지화하는 과정이 필수적이다. 퍼지화를 위해서 [그림 1]과 같이 정량적 항목의 기본변수(base variable)에 상응하는 인공적인 기본변수를 정의함으로써 기계적인 단위 값이나 실수 값을 퍼지집합의 언어변수 값으로 변환할 수 있으며 (퍼지화), 추론된 결과를 수치나 단위값으로 다시 변환할 수 있다 (비퍼지화).

### 3. 전문가시스템(Expert System)

인공지능분야의 일부 영역인 전문가시스템은 「지식처리 원칙」에 근거하여 구축된 컴퓨터시스템으로서 지능(intelligence)을 이용하여 사물간의 관계성이나 가치척도에 대한 지식을 처리하며

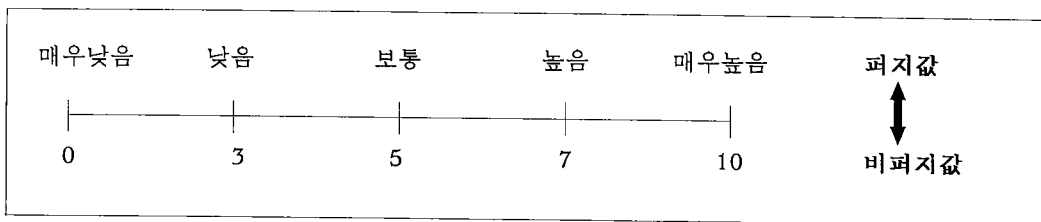


그림 1. 퍼지화 및 비퍼지화 과정

1) 의사결정지원시스템과 전문가시스템의 명확한 구분은 현실적으로 불가능하다. 의사결정지원시스템, 즉 「intelligent decision support system」이나 「knowledge-based decision support system」은 전문가시스템으로서의 추론기능이 결여되어 있지만 시스템이 제공하는 의사결정지원은 전문가시스템에 대해서 상당히 보완적인 특징을 지니고 있다 [Mechler 1995, p. 43].

[Winston 1987, p. 21], 이용자에게 지식을 제공함으로써 문제해결을 위한 의사결정지원시스템<sup>1)</sup>으로 인식되고 있다.

전문가시스템의 구축목적은 의사결정문제를 완벽하게 해결하고자 하는 것으로서 특정사안에 대한 의사결정문제, 즉 「예/아니오」 방식의 2치 논리로 의사결정이 내려질 수 없는 문제들을 자연어를 이용하여 모델링하고 규칙으로 서술할 수 있기 때문이다. 방법론의 관점에서는 지식기반시스템이 전문가시스템과 동의어로 사용되나 지식기반시스템이 지식기반(knowledge base)에만 국한된 시스템인 반면 전문가시스템은 지식기반시스템의 핵심요소들을 포함하면서도 지식기반을 이용한 추론뿐만 아니라 계량분석기법을 포괄하는 분석기능이 갖추어져 있다 [이재규 외 1996, p. 18].

### 3.1 지식의 추론

지식의 처리 및 추론과 생산을 위해서는 먼저 자료, 정보, 지식에 대한 정의가 필요하나 각 개념의 차이점을 명확하게 구분하기가 불가능하다. 일반적으로 [그림 2]에서 보여지는 바와 같이 각 단계에서 가치(value)들이 덧붙여지면서 자료가 정보로, 정보가 지식이라는 보다 유용한 형태로 발전하게 된다.

일반적으로 「자료」는 개별 측정치와 같이 「단편

적인 사실」을 나타내며, 그 자체로는 아무런 의미를 갖지 못하나 일련의 문맥상에서 비로소 의미를 갖게된다 (예: 10, 1.56, 노랑). 정보는 숫자나 문자와 같은 기호로 구성되며, 다른 기호와 연관될 때 약간의 유용성이나 가치를 지니게 된다 (예: 10°C, 1.56m, 노랑색). 지식은 정보에 문맥이 추가되면서 보다 많은 의미가 부여되고 훨씬 더 큰 유용성과 가치를 지닌 발전단계로서 “기호, 기호간의 관계성 및 그 관계성을 조작하기 위한 제반 과정이나 규칙” [Smith 1996] 등으로 구성된다. 따라서 지식은 속성상 학습을 통해 끊임없이 추가되고 시간이 지나면서 변화하게 되며, 규칙으로부터 새로운 지식들이 추론된다.

### 3.2 불명확한 지식(fuzzy knowledge)의 처리

컴퓨터시스템을 이용하여 사물의 연관성과 같은 다양하고 불명확한 형태의 지식(fuzzy knowledge)을 처리하기 위해서는 먼저 「지식(knowledge)」에 대한 명확한 정의와 함께 「불명확한 지식」에 대한 고찰이 필요하다.

Kemke는 지식을 「부정확한 지식」, 「불완전한 지식」, 「대략적인 지식」 및 「완전한 지식」으로 구분하고 있다 [Kemke 1991, p. 12]<sup>2)</sup>. 이 같이 지식에 대한 분류와 정의를 내리기 위해서는 먼저 관련 학문의 이론적 및 철학적인 원칙 [Kruse et al.

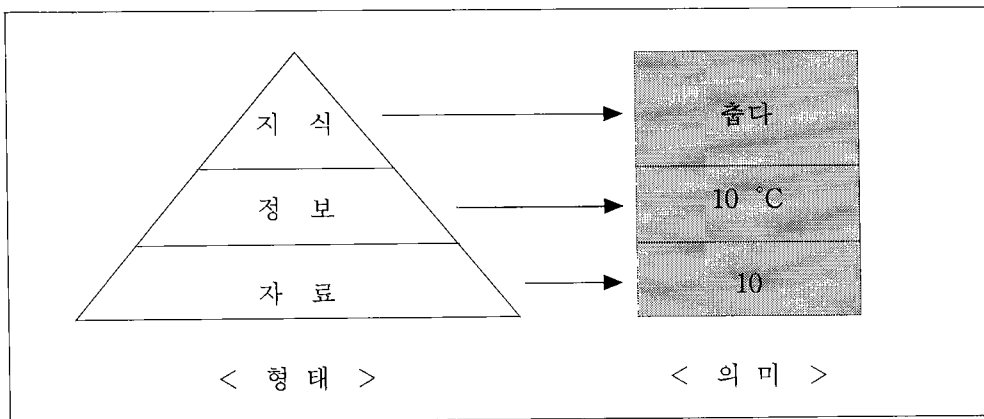


그림 2. 자료, 정보, 지식의 형태 및 의미의 발전 (Smith 1996, p. 2 재구성)

1993]에 근거하여 어떤 현상들이 불명확성을 유발 시키는가 하는 점과 어떤 종류의 불명확성이 구분 될 수 있는가 하는 점이 고찰되어야만 한다. 예를 들어 불명확성이 유발되는 이유 중의 하나로서 「측정의 부정확성」을 들 수가 있는데, 이는 인간이 사용하는 언어의 부정확성이나 정보의 과다와 혼재 때문에 발생한다. 이와 함께 Zimmermann [Zimmermann 1993a]은 불명확성을 우연적, 언어적 및 정보의 불명확성 등 3가지의 유형으로 구분하고 있다.

본 논문에서는 위에서 언급한 지식의 불명확성 중에서 세 번째 범주인 「정보의 과다로 인한 지식의 불명확성」을 고찰하였다. 정보의 과다로 인한 지식의 불명확성이란 특정 개념을 설명하기 위해서는 많은 수의 記述子(descriptor) 또는 인자(Indicator)가 필요한데 개개의 인자가 지닌 고유의 정보들이 종합과정(synthesis process)에서 손실됨으로서 지식의 왜곡된 추론이나 오류가 발생한다. 이와 같은 이유에서 본 논문에서는 정보의 과다로 발생하는 불명확한 지식을 모델링하기 위해 퍼지집합

이론이 제공하는 언어변수를 이용하였다.

### 3.3 전문가시스템의 구조

전문가시스템의 일반적인 구조는 [그림 3]에서 보여지는 바와 같이 다양한 모듈들의 집합체로 구성되어 있는데, 핵심요소는 추론기관과 지식베이스이다. 전문가시스템의 가장 두드러진 특징은 문제 해결을 위한 지식을 저장하는 지식베이스(knowledge base)와 추론기관(Inference mechanism)이 엄격하게 구분되어 있다는 점인데, 추론기관은 이용자가 입력한 지식과 시스템에 저장되어 있는 전문가 지식을 이용하여 결론을 도출한다.

전문가시스템을 구축하기 위한 지식표현(knowledge representation) 형식은 매우 다양하나 logic oriented method, procedural method, object oriented method [Gottlob et al. 1990, p. 27] 등으로 분류할 수가 있다. 본 논문에서는 위에서 제시한 3가지 형태의 지식표현방법 중 논리지향형 방법을 이용하였다. 그 이유는 규칙지향형 서술이 전문가시스템 구축시 이용하기가 비교적 수월하며 퍼지

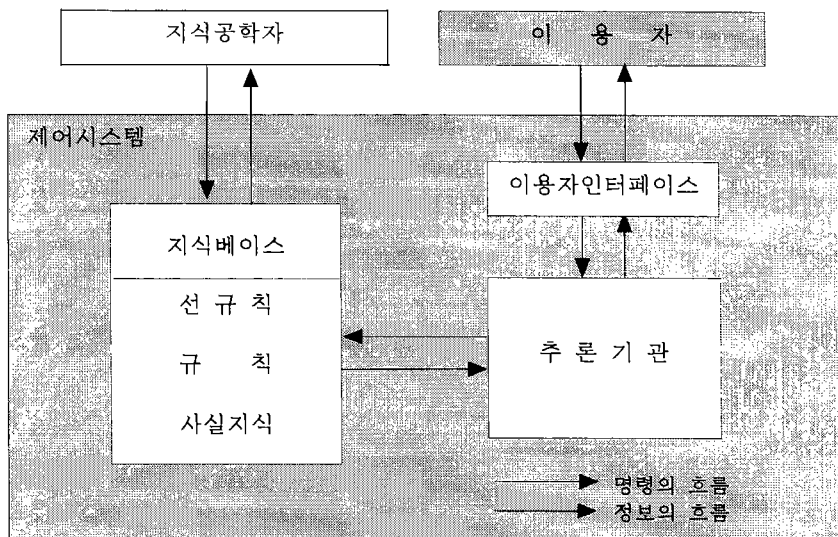


그림 3. 전문가시스템의 구성 및 흐름도<sup>3)</sup>

3) 자료: Heikkila et al. 1990; Puppe 1991; Hoeffmann 1993; Song 1998, 재구성

논리와 유사한 구조를 갖고 있기 때문이다.

위한 새로운 추론방법론의 개발이 필요하다.

### 3.4 퍼지집합이론과 전문가시스템의 연계

퍼지집합이론을 전문가시스템의 지식표현 및 추론에 도입하여 지식베이스와 추론기관을 구축하고자 하는 이유를 열거하면 다음과 같다.

- 이용자와 컴퓨터시스템 사이에 자연언어에 의한 의사소통이 이루어질 경우 언어변수를 이용하여 복잡한 의사결정문제의 모델링과 해결이 가능하다.
- 부정확하거나 불명확한 인간지식의 집합체인 지식베이스는 퍼지집합이론에 의해 보다 잘 기술될 수 있으므로 지식의 전산처리가 가능하며, 지식베이스의 구축과 확장이 용이하다.
- 불명확한 지식을 이용한 추론은 항상 부정확한 결과를 도출한다. 따라서 전문가시스템의 추론기관이 퍼지식 결론을 도출할 수 있는 능력을 갖추므로서 결정사안에 대한 보다 현실적인 판단이 가능해지며 인공지능 개발능력이 향상된다.

이와 같은 이유에서 퍼지집합이론 및 퍼지논리는 퍼지제어와 퍼지자료분석 분야에서도 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 위의 이론을 기반으로 전문가시스템을 구축할 경우 다음과 같은 문제점들이 제기된다 [Zimmermann 1993, p. 93].

- 전문가시스템에서 진행되는 일련의 처리과정에는 지식이나 규칙베이스를 검증하거나 계속 발전시킬 수 있는 가능성이 결여되어 있다.
- 전문가시스템이나 의사결정지원시스템의 입력 및 출력형태를 자연언어로 전환하기 위한이용자인터페이스와 시스템 구축시 추가적인 문제가 발생한다.
- 구조화가 어려운 지식을 획득하기 위한 방법의 개선과 완벽하게 해결되지 않는 문제들을

## III. 퍼지추론기관의 구축

### 4. 퍼지추론기관의 구축과정

앞에서 제시한 퍼지집합이론과 전문가시스템 구조를 기반으로 퍼지추론기관을 구축하기 위한 7단계 작업과정을 살펴보면 [그림 4]와 같다.

- 1) 1단계: 퍼지집합이론에 근거한 퍼지전문가시스템을 구축하여 의사결정문제를 해결하기 위해서는 먼저 과제의 목적, 범위, 주변조건 등 제반사항에 대한 상세한 기술과 문제제기를 통해 평가사안을 구조화시켜야 한다. 이와 함께 지식기반시스템이나 전문가시스템이 앞서 제기된 문제들을 해결하는데 적당한 문제 해결 방법인가 하는 적정성 검토가 이루어짐으로서 문제해결과정이 비로소 시작된다.
- 2) 2단계: 특정사안에 대한 문제를 해결하기 위해서는 먼저 설정된 과제와 관련하여 목적체계를 구축하고, 평가항목과 판단기준 등을 도출한다.
- 3) 3단계: 문제해결을 위해 2단계에서 도출된 평가항목과 판단기준 간의 논리적 연관관계를 파악하여 구조화를 위한 체계를 정립한다.
- 4) 4단계: 개별 평가항목별로 소속함수를 도출하고, 언어변수를 이용하여 퍼지화 작업을 수행한다.
- 5) 5단계: 규칙베이스 구축을 위해 판단기준의 논리적 연관관계를 구조화한다.
- 6) 6단계: 도출된 규칙을 이용하여 지식베이스를 구축하기 위해서는 매트릭스가 이용되며, 규칙은 「IF-THEN」의 문장으로 구성된다. 선규칙(meta rule)을 도출하기 위해 규칙 간의 연관관계를 구조화하는 작업이 진행되는 동안 각각의 판단기준 및 결과를 종합하고 추론하기 위해 퍼지연산자를 선택한다. 이때 전문가

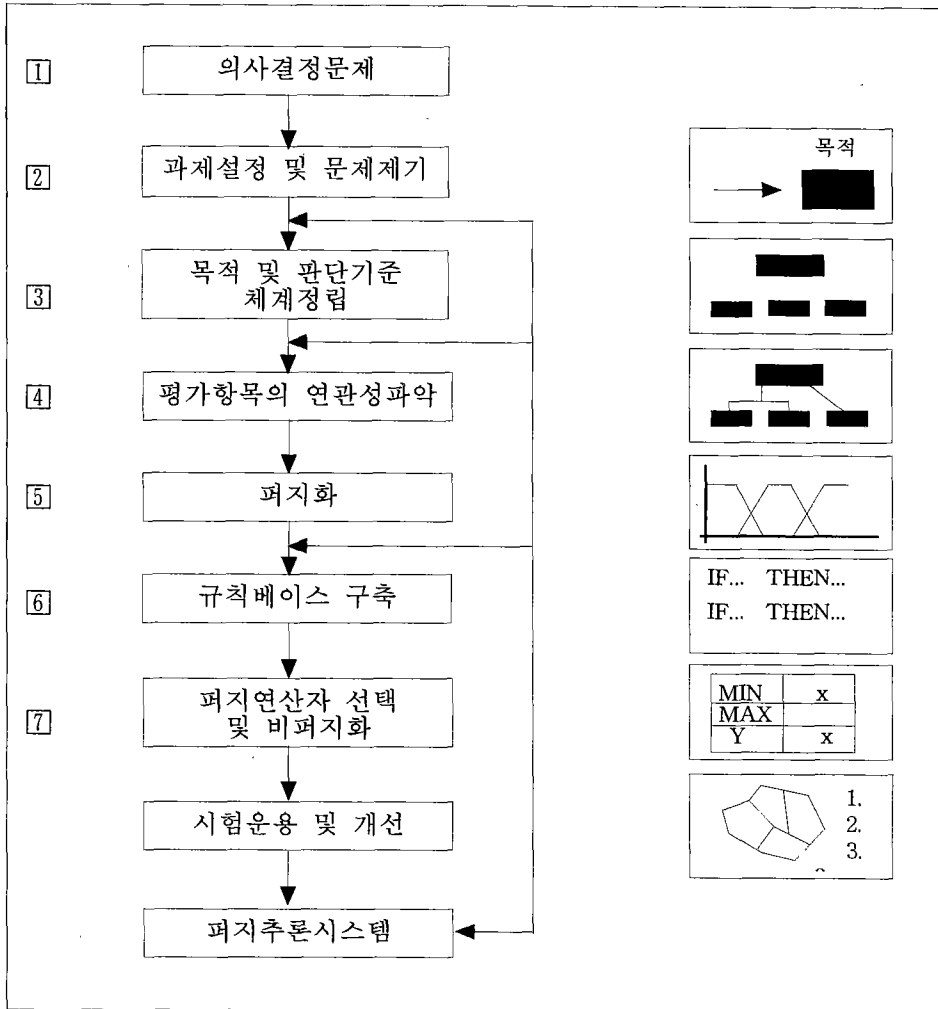


그림 4. 퍼지추론기관의 구축과정

시스템의 퍼지추론기관에서 이용되는 연산자는 "and"와 "or"로 한정된다.

- 7) 7단계: 구축된 퍼지추론기관을 시험운영하여 출력된 결과와 규칙베이스 및 퍼지연산자를 비교검토한다; 환경영향평가와 같은 의사결정 과정에서 중요한 점은 추론을 위한 일련의 진행과정에서 설정된 가정과 불확실성 요소들이 퍼지식 추론시 올바르게 반영되었는가를 점검의 확인이다. 또한 제기된 문제를 정확하게 해결하기 위해서 이용자나 의사결정

자는 전문가시스템 엔지니어의 도움을 받아 학문적인 근거제시와 함께 시스템을 최적화하기 위한 튜닝작업이 필요하며, 결과검증을 위해 필요할 경우 변경된 규칙이나 연산자에 대한 민감성분석(Sensitive Analysis)을 실시할 수 있다.

다음 절에서는 앞에서 제시한 7단계 퍼지추론시스템 구축개념을 이용하여 교통소음에 의한 환경영향을 평가할 수 있는 퍼지추론기관 구축을 위한 예

시를 단계적으로 기술하였다.

#### 4.1 평가체계의 구축

복잡한 문제들은 평가과정에서 단위평가대상물로서 직접 평가될 수 없기 때문에 여러 단계에 걸친 체계적인 세분을 통하여 세부평가항목으로 도출되어야 하며, 추론 및 결과도출을 위해서 개별 세부평가항목들의 nominal 또는 ordinal 한 결과값들을 논리적으로 연결하여 종합(synthesis)할 필요가 있다. 도출된 세부평가항목 간의 복잡한 논리적 연관관계들을 명확하게 규명하기 위해서 수형도와 같은 평가체계를 구축함으로써 복잡한 문제들의 체계적 분석을 통한 이해의 확대와 문제의 단순화를 유도한다.

평가체계의 구축방법은 인간의 사고과정을 모방하여 평가범주(evaluation category)를 일정한 체계 하에서 단계적으로 하위평가기준(subcriteria)으로 세분함으로써 이루어진다 [Rommelfanger 1994, p. 146]. [그림 5]는 「항목 K」를 여러 단계로 구성된 기준으로 세분화한 수형도이다.

#### 4.2 언어변수(linguistic variable)의 이용

정성적 형태로 제시된 속성들이 인위적인 기본

변수값으로 이용되기 위해서는 먼저 숫자로 변환되어야만 한다. 그러나 정성적 변수값을 수치값으로의 변환은 어려우며 상당히 주관적이다. 예를 들면 [그림 1]와 같이 Zimmermann은 10단계 스칼라를 이용하여 변환을 하고 있다 [Zimmermann 1991, p. 36 f.]. 이 같이 kardinal 형태의 변수값을 ordinal 형태의 변수값으로 변환은 퍼지화과정에서 반드시 필요한 단계로서 차별적인 평가가 불가능하다. 기본변수와 소속함수의 도출은 평가과정에 큰 영향을 미치기 때문에 전문가나 전문가집단에 의해 매우 조심스럽게 다루어져야만 한다. 또한 전문 학술분야의 이론을 기반으로 명확한 근거가 제시되어야만 하며, 경험적으로 검증된 자료를 중요 참고 자료로서 이용하거나 보편타당하게 인정되는 기준을 따라야만 한다.

#### 4.3 소속함수의 도출: 교통소음

소속함수의 도출은 의사결정지원시스템을 모델링하는 과정에서 매우 중요한 의미를 갖는데 그 이유는 소속함수의 변화는 곧 의사결정이나 평가에 결정적인 영향을 미치기 때문이다. 따라서 소속함수 모델링시 퍼지집합이론이 적당한 모델언어로서 응용가능성에 대한 결정이 내려져야 한다.

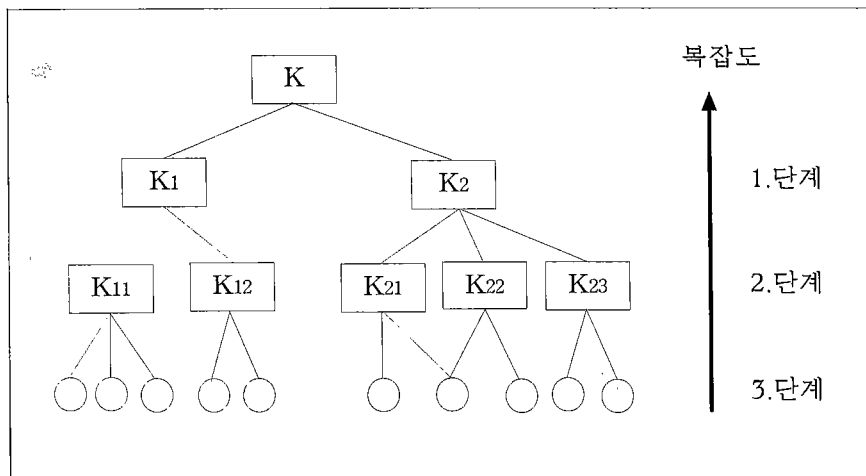


그림 5. 평가체계와 수형도



환경이나 계획분야에서는 특히 정신적·창조적 과정으로서 규칙의 행태에 대한 결과검증이 불가능하다. 따라서 퍼지제어와 같은 기계적 응용분야 이외의 경우 결과검증을 위한 기준으로서 논리적·순차적으로 정렬된 자연어에 의한 서술을 이용하여야만 한다. 이에 덧붙여 「매우」, 「약」과 같은 부사를 이용할 수도 있는데 그 결과를 재구성하기 위해서는 사전에 그 의미가 전문성있고 명확하게 정의되어져 있어야만 한다<sup>4)</sup>.

일반적으로 교통, 도시 및 환경계획 분야에서 소속함수의 도출은 보편타당한 법규정에 근거한다. 만약 법적 근거가 제시되어 있지 않거나 구체적으로 명시되어 있지 않을 경우 관련학문이 제공하는 기준이나 표준을 이용해야만 한다.

본 논문에서는 관련분야 전문가의 지식이나 경험을 수집하고 소속함수를 도출하여 규칙체계(rule system)를 구축하기 위해 다음의 근거자료를 이용

하였다.

- 법규정
- 학문적으로 공인된 표준이나 기준
- 전문서적
- 특정 프로젝트와 관련된 목적이나 명제사항

위에서 제시한 유형의 근거자료를 이용하여 순수·일반주거지역의 교통에 의해 유발되는 소음공해의 소속함수 도출과정을 살펴보면 다음과 같다.

현행 법규정에 의하면 교통소음이 허용치를 초과할 경우 소음공해로 간주된다. 예를 들어 주거지역의 최대 소음허용치는 주간 68dB (야간은 58dB) [소음·진동규제법 시행규칙 제 37조]이기 때문에 주거지역의 교통소음이 허용치인 68dB일 경우 소속함수값을 1.0으로, 언어변수값을 「높음」으로 설정한다. 소음·진동규제법 시행규칙 이외에 법적 근거로서 「독일공업규격 소음방지규정」의 허용권고치

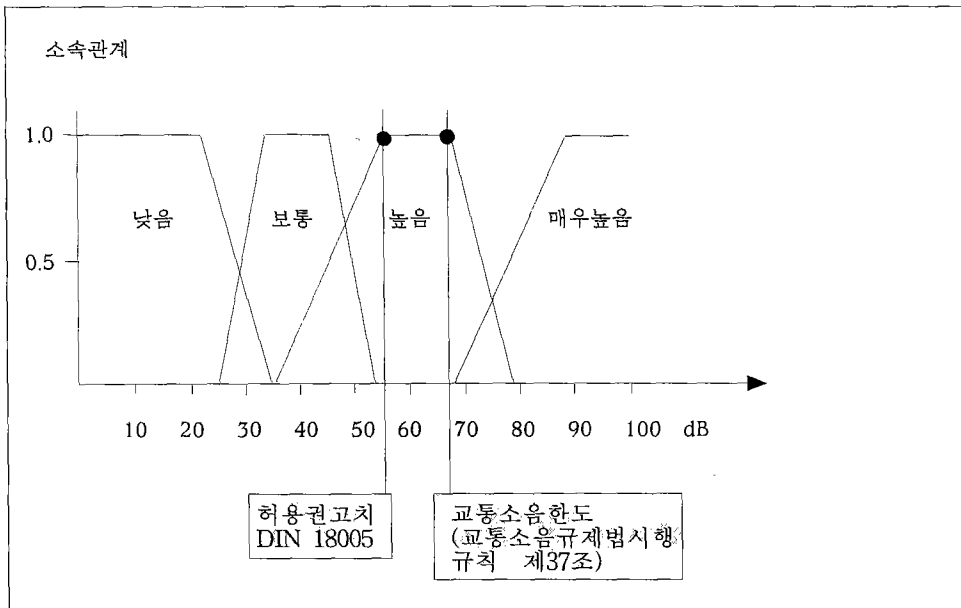


그림 6. 소속함수: 순수·일반주거지역의 교통소음공해/주간

4) Dubios나 Prade [Dubios et al. 1982]는 위에서 언급한 소속함수의 실제 응용시 제기되는 문제와 접근방법에 대해 상세히 기술하고 있다.

인 55dB(A) 규정을 이용하면 발생예상 교통소음이 55dB(A)일 경우 언어변수값을 「높음」으로 설정할 수 있다.

법규정 이외의 근거자료로서 소음이 85dB 이상 일 경우 청각장애가 발생하며, 청각기관이 손상될 수 있다는 연구결과 [BMU 1986, p. 20]를 이용할 수 있다. 따라서 소음의 최대허용치를 85dB로 규정하고 소속함수의 언어변수값을 「대단히 높음」으로 설정한다. 또한 주거지역의 최저소음 권고치를 35dB(A)로 규정하여 [Steinbach 1987, p. 40; Fleischer 1990, p. 117], 소속함수값을 「낮음」으로 설정하고, 그 이외의 소속함수는 위에서 제시한 변수값을 직선으로 연결하여 도출한다. [그림 6은 위에서 언급한 법적 및 학문적 연구결과를 근거로 도출된 소속함수이다.

**4.4 퍼지집합 연산자 (Fuzzy Set Operator) 선택**

보통집합 연산개념을 확장한 Zadeh의 퍼지집합 연산자는 소속함수의 종합과정에서 퍼지집합 간의 특별한 연결관계성을 나타내 준다<sup>5)</sup>. 일반적으로 두 가지 유형의 변수값을 하나의 값으로 종합하기 위

해서는 「교집합」이나 「합집합」이 이용되는데, 이때 연산자는 논리적 연결인 「and (∩)」와 「or (∪)」, 「not (¬)」을 이용한다. 그러나 퍼지집합은 소속함수에 의해 표현되어지므로 2치 논리적 연산이 적당하지 않기 때문에 3치 또는 다치논리가 필요하다. 따라서 Zadeh는 소속함수를 갖는 퍼지합집합과 퍼지교집합을 「Minimum-/Maximum-연산자」를 이용하여 <표 1>과 같이 정의하였으며 [Rommelfanger 1994, p. 18 f; Zimmermann 1993, p. 15 ff], <표 2>는 집합연산자와 논리연산자의 연관관계를 나타낸다.

**4.5 규칙베이스(rule base)의 구축**

불명확한 정보를 처리하기 위한 퍼지집합이론의 또 다른 요소로서 규칙베이스를 들 수가 있다. 규칙베이스의 구조는 “IF- (조건)” 부분과 “THEN- (결론)” 부분으로 구성되어 있다. 퍼지시스템의 규칙집합은 n 개의 입력값 X1 ... Xn 과 출력값 y 가 있다. 이때 모든 변수들은 언어변수에 의해 표현되며, 언어변수값 A<sub>mi</sub> 와 B<sub>j</sub>를 근거로 한 규칙베이스는

표 1. 퍼지집합과 퍼지연산자

퍼지 합집합	$\mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}, \forall x \in U$
퍼지 교집합	$\mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}, \forall x \in U$

표 2. 집합연산자와 논리연산자의 관계

집합이론	논리	수학적 서술
교집합	logical and	Minimum
합집합	inclusive or	Maximum

5) [그림 5]는 하위 K<sub>j</sub>를 상위 K로 종합하여 결과를 도출하는 평가과정을 나타낸다. 이용가치분석법(Use Value Analysis)나 비용가치분석법(Cost Value Analysis)의 종합화과정은 수학적으로 잘 구축되어 있다. 평가자의 직관적 판단에 의한 결과의 종합을 방지하기 위해서 퍼지집합과 관련된 소속함수의 종합화 메카니즘은 「퍼지연산자(Fuzzy Operator)」를 이용하여 실행되는데, 이는 「생태학적 위험성분석(Ecological Risk Analysis)」이 제공하는 종합화 방법과 유사하다.

표 3. 규칙의 서술식 표현

만약 (IF)	민감성이	“매우높음” 이고
그리고 (AND)	소음공해가	“매우심함” 이고,
그러면 (THEN)	환경영향은	“매우크다” 이다

표 4. 「Max-Min-추론스키마」를 위한 연산자

AND-연결	Min-연산자
OR -연결	Max-연산자
IF ... THEN ...-연결	Min-연산자

자료 : Kahlert et al. 1993, p. 165

$$R_m = IF \ x_1 = A_{m1} \ AND \ x_2 = A_{m2} \ \dots \ AND \ x_n = A_{mn} \ THEN \ y_m = B_m$$

과 같이 표현된다. 추론기관은 위의 규칙베이스를 이용하여 모든 입력값  $A_i$ 를 주어진 규칙과 사실에 적용시켜 여러 단계의 「IF-THEN-」 추론과정 [modus ponens]을 거쳐 결론  $y$ 를 도출한다. 위의 연결규칙을 서술식으로 표현하면 <표 3>와 같다.

#### 4.6 추론스키마 (inference schema)의 도출

추론모듈의 역할은 미리 정의된 규칙이나 사실과 입력자료를 바탕으로 특정사안에 대한 추론에 있다.6) 추론모듈을 구축하기 위해서는 먼저 많은 연산자를 다양한 형태로 조합하여 추론스키마를 도출해야 하는데, 일반적으로 퍼지제어시스템의 추론스키마는 Zadeh와 Mamdani [Kahlert et al. 1993, p. 165]에 의거한 「Max-Min-추론스키마」가 보편적으로 이용된다. 본 논문에서도 추론모듈구축을 위해 <표 4>의 「Max-Min-추론스키마」를 이용하였는데, 그 이유는 「Max-Min-추론스키마」에 대한 특성이 광범위하게 연구되어졌을 뿐만 아니라 유일하게

상업용 추론스키마로 이용되고 있기 때문이다.

#### 5. 교통소음에 의한 위험성 추론 : 사례연구

퍼지추론기관 구축의 사례로서 교통소음이 주변 환경에 미치는 영향의 결과인 환경영향 민감도와 위험성을 추론하기 위해 앞 절에서 제시한 7단계의 퍼지추론기관 구축과정에 따라 전개하면 다음과 같다.

먼저 퍼지집합을 이용하여 교통소음에 의한 위험성을 추론하기 위해 이와 관련된 평가항목으로서 환경영향(B), 민감도(E), 위험성(R)을 <표 6>과 같이 도출하였으며, 개별 평가항목별로 [그림 7]과 같이 소속함수를 도출하였다.

표 5. 「민감도-환경영향-위험성」관계의 예

민감도 E	(인구밀도)
환경영향 B	(소음측정치)
위험성 R	(언어변수)

[그림 7]의 소속함수의 도출은 평가항목인 “이용 민감도”는 단일요소인 단위면적당 주거인구수에 의해 결정된다고 가정하여 0~50명/ha (낮음), 25~100명/ha (보통), 70 명/ha 이상 (높음)으로 설정하였으며, 소음에 의한 환경영향의 소속함수는 0~40 dB (약함), 35~60 dB (보통), 45 dB 이상 (높음)으로 설정하였다 (Institut für Stadtbauwesen 1994, p. 44 ff).

위에서 제시된 소속함수를 이용하여 「민감도」와 「환경영향」에 대해 각 3개씩의 언어항 (linguistic term)이 정의하였고, 9개의 규칙이 도출되어 규칙베이스를 구성하였다. 도출된 규칙을 매트릭스를 이용하여 나타내면 <표 6>과 같다.

6) 지식기반시스템과 퍼지집합이론의 지식서술방식은 유사하나 지식처리방식은 매우 상이하다. 지식기반시스템(KBS)에서는 지식처리전략으로 Modus-Ponens를 이용함으로써 입력된 사실이 규칙의 조건과 정확하게 일치될 때 결과가 도출된다. 따라서 위의 시스템은 결과가 사실(true) 아니면 거짓(false) (0과 1의 값)으로 출력되기 때문에 입력 지식의 불명확성이나 부정확성이 도출된 결과에 반영되지 못한다. 이때 Modus-Ponens는 “A” 및 “A는 B이다” 라는 두 문장이 참일 때 문장 B를 생성하는 추론방법이다.

송영배

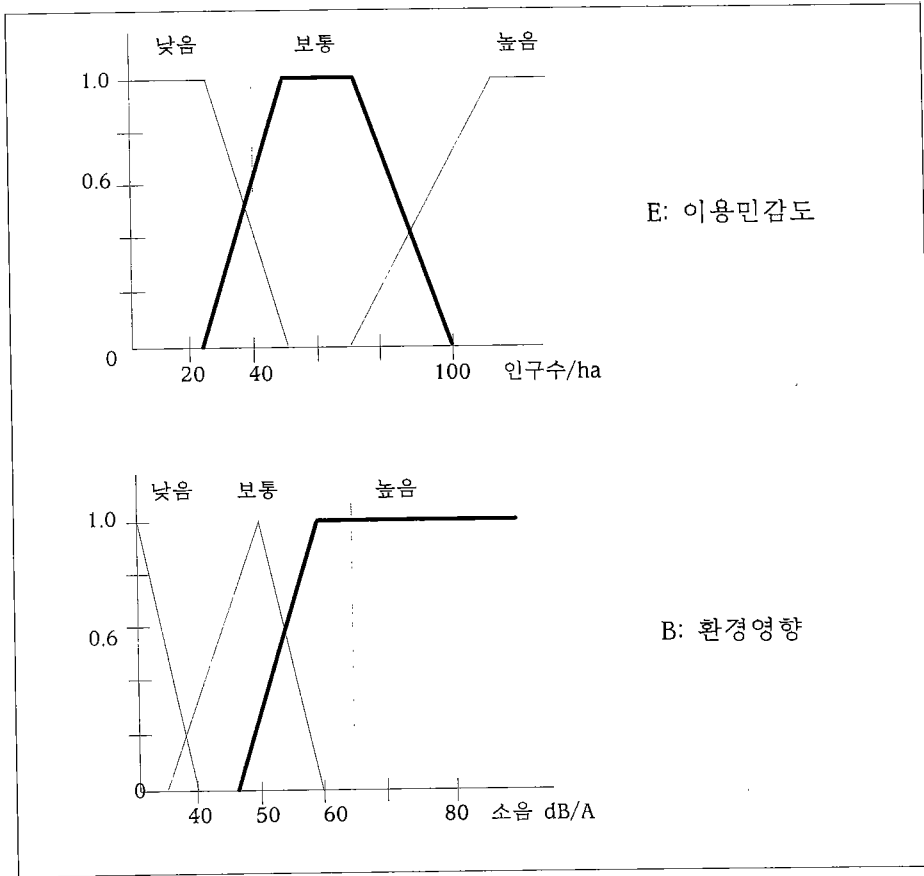


그림 7. 소속함수의 예

예시를 위한 입력값으로 E = 40 (명/ha)과 B = 65 (dB(A))를 [그림 8]의 소속함수에 적용하면 <표 7>과 같은 퍼지값을 구할수 있으며, 위의 퍼지값을 근거로 <표 8>와 같은 두 가지의 규칙이 도출된다.

AND로 연결된 규칙 <표 8>에 입력값 <표 7>을 적용하여 도출되는 개개의 퍼지값을 「Min-연산자」

표 6. 규칙베이스의 도출

구 분		환경영향강도		
		강함	보통	약함
민	높음	높음	높음	보통
감	보통	높음	높음	보통
도	낮음	보통	높음	낮음

표 7. 퍼지값의 도출

$E^* = (0.4, 0.6, 0.0)$
$B^* = (0.0, 0.0, 1.0)$

표 8. 규칙의 도출

규칙1: IF E = 보통 AND B = 강함 THEN R = 높음
규칙2: IF E = 낮음 AND B = 강함 THEN R = 보통

를 이용하여 종합(EGI)하면 <표 9>과 같으며, [그림 9]는 위의 규칙에 상응하는 비퍼지 입력값을 「Max-Min-추론」을 이용하여 처리하기 위한 소속함수를 나타낸다.

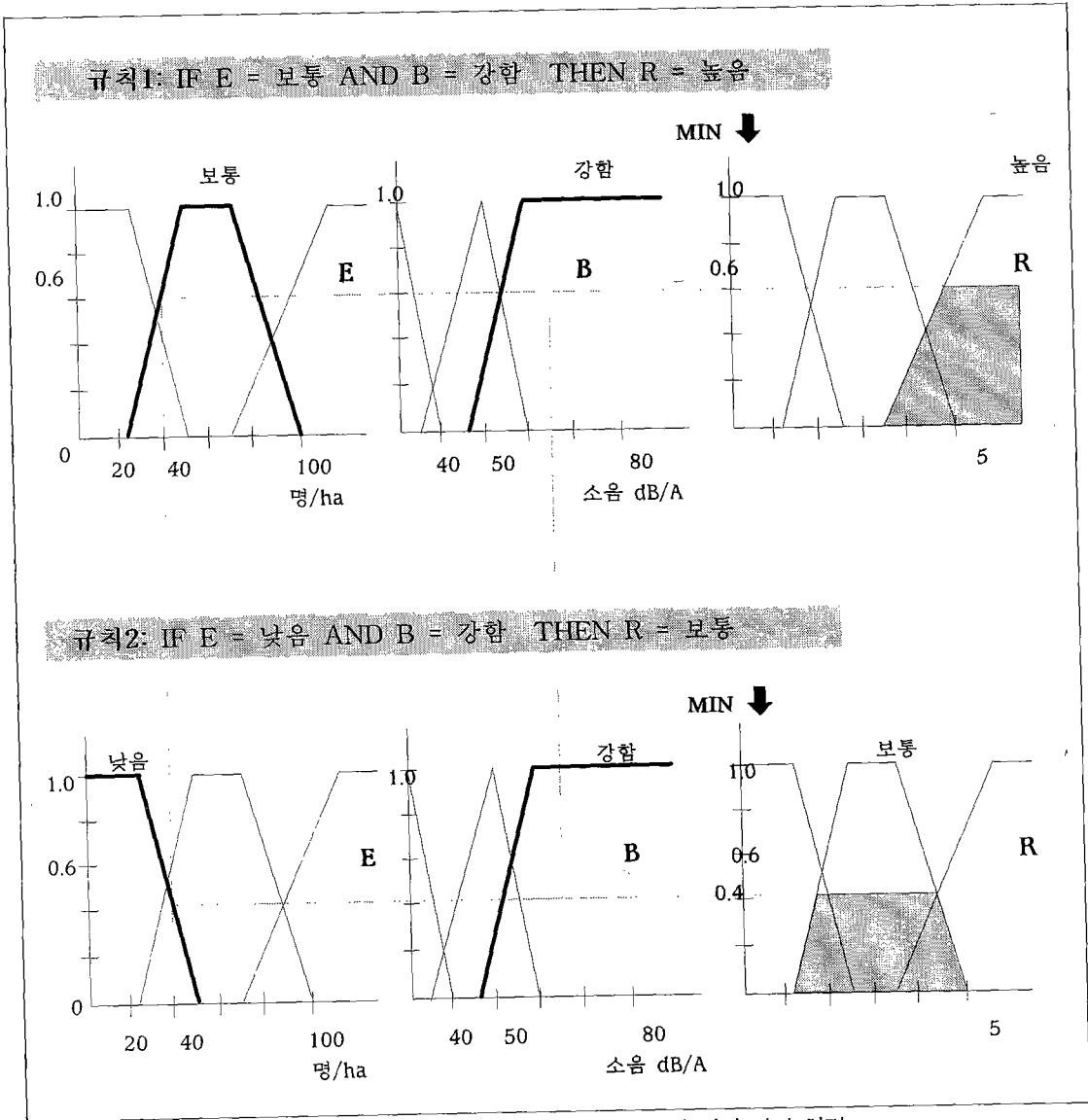


그림 8. 「MAX-MIN-추론」을 이용한 비퍼지 입력 값의 처리

표 9. 도출된 퍼지값의 종합

$EG_1 = \text{MIN} (\mu_E \text{ 보통} (40 \text{ 명/ha}), (\mu_E \text{ 강함} (65 \text{ dB(A)})) = \text{MIN} (0.6, 1.0) = 0.6$ $EG_2 = \text{MIN} (\mu_E \text{ 낮음} (40 \text{ 명/ha}), (\mu_E \text{ 강함} (65 \text{ dB(A)})) = \text{MIN} (0.4, 1.0) = 0.4$
---

[그림 8]의 소속함수에서 보여지는 바와 같이 도출된 위험도(R)은 우선 추상적인 크기의 값이기 때문에 결과의 직접적인 해석이 불가능하다. 따라서

인공적인 변환척도(base variable)의 구축과 「언어근사」를 이용한 해석이 필요하다. 예를 들면 「위험도」는 [그림 1]와 같이 0 - 10 단계의 척도와 3가지

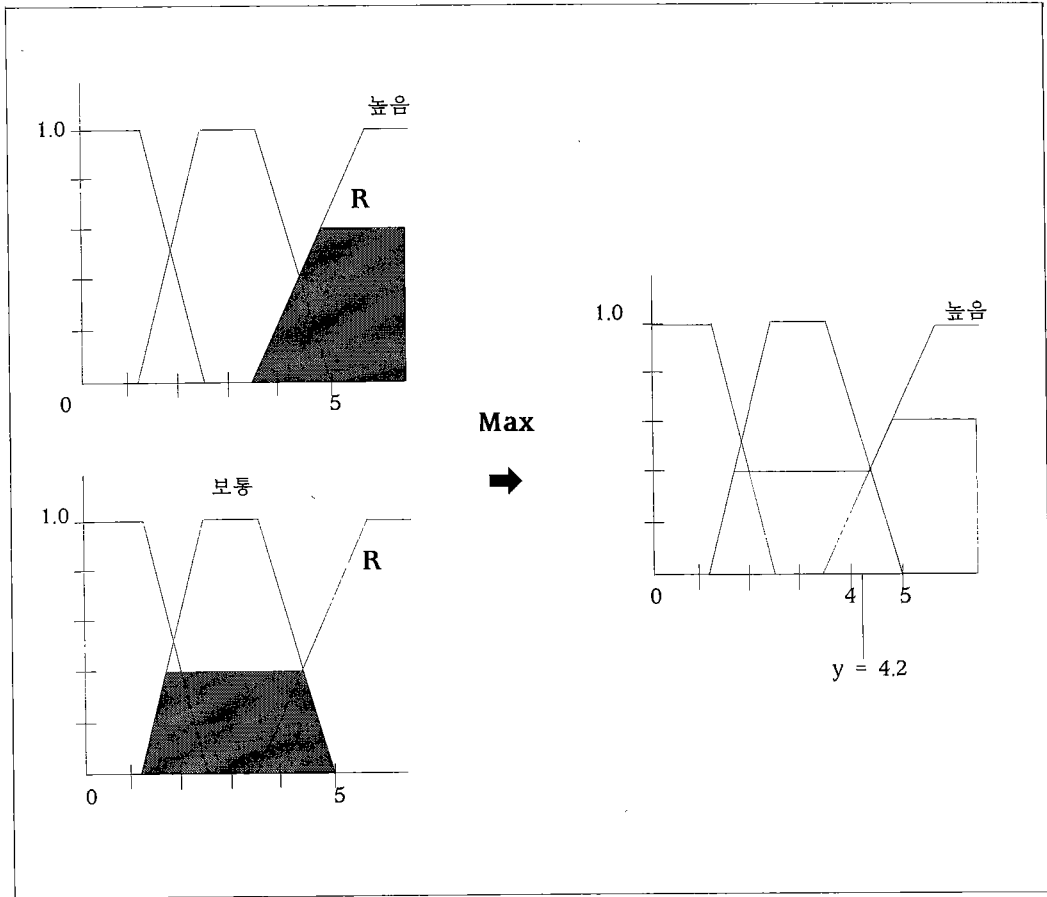


그림 9. 「Center-of-Area」 방법을 이용한 비퍼지화

의 함수기능으로 구분할 수가 있다. 문제는 이와 같은 구분이 의사결정자에게 수용될 수 있는가 하는 점인데 결과적으로 개개의 평가상황이 고려된 경험적인 방법에 의존하여 타당성과 합리성을 제시하는 수밖에 없다.

적용가능성 측면에서 고찰할 때 위와 같은 결과 추론은 의사결정지원을 위해 수용가능하다. 문제는 평가목적물의 수가 많지 않아야만 하는데, 그 이유는 평가목적물의 수가 많아 질 경우 구조화가 복잡해지며, 그 구조 및 평가과정에 대한 신뢰성이 감소되기 때문이다.

퍼지추론기관을 이용하여 환경영향평가나 이용 민감성 분석 등과 같이 공간과 연계된 분석을 효과

적으로 수행하기 위해서는 지리정보시스템과의 연계가 필요하며, 그 결과를 도면이나 그래픽으로 제시하기 위해서는 도출된 퍼지값이 비퍼지 값으로 변환되어야만 한다. 이를 위해 퍼지추론시스템에서는 도출된 퍼지값이 정확한 수치자료로 전환되도록 비퍼지화 과정을 거친다.

비퍼지화를 위한 처리과정은 매우 다양하나 간단한 방법은 「Maximum-Method」로서 제시된 결과치의 최대값을 그 결과값으로 취하면 된다. 그러나 위의 방법을 이용할 경우 결과에 대한 단순화가 너무 심하게 이루어짐으로서 결과를 재해석하는 과정에서 큰 오류가 발생하기 때문에 본 연구에서 이용하기에 부적당하다. 대안으로서 현재 널리 활용되

고 있는 「Center-of-Area」방법이나 「Mean-of-Maximum」방법을 이용할 수가 있다 (Kahlert et al. 1993, p. 93 ff).

본 논문에서는 「Center-of-Area」 비퍼지화 방법을 이용하였으며, [그림 9]과 같이 두 개의 퍼지집합의 면적중심값(Center of Area)인  $y = 4.2$ 를 그 결과값으로 도출하였으며, 0-5 단계, 즉 「없음, 매우낮음, 낮음, 보통, 높음, 매우높음」 등의 인공적인 변환척도 및 언어근사를 이용하여 위험성 (R)을 자연언어로 변환하면 그 결과치는 「높음」으로 나타난다.

#### IV. 결 론

인간은 학습을 통해 습득한 경험적 지식을 바탕으로 동일하지는 않지만 유사한 상황이 주어질 때 판단과 의사결정을 할 수 있다. 퍼지집합이론을 응용한 퍼지추론시스템 역시 정량적으로 기술된 인간의 지식과 인위적으로 구현된 의사결정 매커니즘을 바탕으로 인간이 복잡하고 애매한 상황에 처해 있을 때 합리적인 의사결정을 가능하도록 제한된 범위 내에서 의사결정지원을 할 수 있다.

이와 같은 맥락에서 본 논문이 갖는 의미는 기존의 퍼지제어시스템이나 지식기반시스템에서 응용되었던 추론매커니즘이 규칙의 구성과 변형가능성에 있어서 많은 제약이 있었으나 퍼지집합이론을 이용하여 퍼지추론시스템을 구축함으로써

- 소속함수의 도출
- 규칙베이스의 구축
- 추론전략과 연산자의 선택
- 비퍼지화방법

등의 과정에서 매우 높은 유연성이 확보되며, 따라서 합리적이고 현실적으로 보다 이용가능한 추론시스템을 구축할 수 있는 방법을 제시했다는 점이다.

그러나 퍼지추론시스템이 의사결정 및 추론과정을 현실과 매우 유사하게 구조화할 수 있는 다양한 가능성을 제시해 주는 반면 지적되는 문제점은 결

과의 조작가능성을 배제할 수 없다는 점이다. 또한 시스템구조나 전체시스템에 대한 지식이 없는 일반 이용자들에게는 제시된 결과물이 시스템의 구조적 문제로 인해 단지 제한된 범위 내에서만 활용 가능하다. 따라서 이용자 개개인의 요구를 수용할 수 있고, 설정된 상황에 적합한 의사결정지원을 가능하게 하기 위해서는 퍼지추론시스템에 대한 미세한 튜닝작업이 절대적으로 요구된다.

특히 간과하지 말아야 할 점은 특정 사안의 문제해결을 위해 퍼지추론시스템의 특정 규칙만을 삭제하는 방식의 튜닝작업을 수행해서는 안되며, 항상 전체 추론시스템의 일관성이 유지되도록 시스템 튜닝작업이 이루어져야만 한다는 사실이다. 시스템 튜닝작업은 아날로그 방식에 의거 전체시스템에 대한 단계적인 평가논리의 검토가 선행되어야 하며, 튜닝작업이 불가능할 경우에는 추론시스템을 재구축해야하는 경우가 발생할 수도 있다.

시스템 튜닝의 간단한 예시로서 이용자는 소속함수를 변경할 수가 있는데, 이를 위해서는 먼저 변경을 위한 합리적인 근거제시가 필요하며, 만약 소속함수의 변경에도 불구하고 만족할 만한 결과가 도출되지 않을 경우에는 규칙을 규칙베이스에 추가하거나 규칙의 조건을 변경 또는 확장시키면서 만족할 만한 결과가 도출될 때까지 튜닝작업을 반복한다. 이외에도 퍼지연산자를 교환한다거나 재조합을 통한 시스템 튜닝이 가능하다.

결론적으로 퍼지추론방식을 자료나 정보처리분야에 도입함으로써 기존의 선형 알고리즘에 근거한 2차 논리식 분석방식에서 탈피함으로써 애매하거나 불명확한 자료와 정보까지도 문제해결과 의사결정에 이용할 수 있으며, 인간의 문제해결과정을 모방한 지능적 추론시스템을 통한 정보의 처리와 추론을 통한 지식의 생성 및 지식기반을 활용한 현실적인 의사결정지원이 가능하다.

그러나 현재 퍼지집합이론을 응용한 퍼지제어시스템 관련 연구는 활발하게 진행되고 있으나 퍼지집합이론을 지리정보시스템과 연계 또는 통합시켜

공간분석에 활용하려는 연구는 아직도 미흡하다. 또한 문제해결안을 이용자에게 자연언어로 제시해 줄 수 있는 전문가시스템의 「설명구성요소 (explanation component)」의 구축은 인간과 컴퓨터 사이에 자연언어에 의한 원활한 의사소통을 가능하게 하는 인공지능의 중요한 요소로서 이와 관련된 연구개발이 매우 중요한 의미를 갖는다.

## 참 고 문 헌

- 소음·진동규제법 시행규칙 제 37조 “교통소음의 한도”
- 이재규, 송용욱, 권순범, 김우주, 김민용 (1996): UNIK을 이용한 전문가시스템의 개발, 법문사, 서울
- 채석, 오영석 (1995): 퍼지이론과 제어, 청문각, 서울
- BMU(Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1986): Was Sie schon immer über Lärm wissen wollten, 2. Auflage, Kohlhammer Verlag, Belrin
- Dubios, D.; Prade, H. (1980): Towards Fuzzy Differential Calculus, Part 1: Integration of Fuzzy Mappings, Fuzzy Sets and Systems: Band 8, North-Holland
- Fleicher, G. (1990): Lärm-der tägliche Terror, Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Gottlob, G (Hrsg.): Expertensysteme, Springer Verlag, Wien
- Heikkila, E.J.; Moore, J.E.; Kim, T.J. (1990): Future directions for EGIS - Applications to land use and transportation planning, in: Kim, T.J.; Wiggins, L.L.; Wright, J.R. (1990) (Eds.): Expert systems - Applicaitons to urban planning, p. 225-240, Springer Verlag, New York
- Institut für Stadtbauwesen, RWTH Aachen (1994): “Raumverträglichkeit grossräumig bedeutsamer Verkehrsachen, Ressortforschung BMBau Projekt 92.06, Schlußbericht, Aachen, 1994.
- Kahlert, J.; Frank, H. (1993): Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control, Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden
- Kemke, C. (1991): Die Darstellung von ungenauem Wissen in taxonomischen Wissensbasen, KI-Künstliche Intelligenz, Organ des Fachbereich der Gesellschaft für Informatik, 2/1991, Baden-Baden
- Kruse, R; Gebhardt, J.; Klawonn, F. (1993): Fuzzy-Systeme, Tübnner Verlang, Stuttgart
- Mayer, A; Mechler, B; Schlindwein, A; Wolke, R. (1993): Fuzzy Logic - Einrichtung und Leitfaden zur pracktischen Anwendung mit Fuzzy-Shell in C++, Addison Wesley, Bonn
- Mechler, B. (1995): Intelligente Informationssysteme, Addison-Wesley, Bonn; Paris: Reading (u.a.)
- Puppe, F. (1991): Einführung in Exertsysteme, 2. Aufl., Springer Verlag, Berlin
- Rommelfanger, H. (1994): Fuzzy Decision Support -Systeme, Springer Verlag, Heidelberg
- Shelby, B; Heberlein T.A. (1986): Carrying Capacity in Recreation Settings, Oregon State University Press, Corvallis, Oregon
- Smith, P. (1996): An Introduction to Knowledge Engineering, School of Computing and Information Systems, University of Suderland, Oxford
- Song, Y.B. (1998): Geographic Expert System (GES)-Based on example of the internal development of a knowledge based geographic decision support system for environmental sustationable Land Use Planning and Management, University of Dortmund, Germany



- Spies, M. (1993): Unsicheres Wissen, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Steinbach, G. (1987): Lärm-und Luftgrenzwerte, Werner-Verlag, Düsseldorf
- Winston, P. H. (1987): Künstliche Intelligenz im Verkehrswesen, in: Forschungsgesellschaft für Strassen-und Verkehrswesen(Hrsg.), Heureka 93 - Optimierung in Verkehr und Transport, Tagungsbericht, Tagung Heureka 93, 18./19. März 1993, Köln
- Witte, A. (1997): Integration von Fuzzy Sets und wissensbasierten Systemen in die EDV-gestützte Bearbeitung von Umweltverträglichkeitsuntersuchungen in der Verkehrsplanung, Institut für Stadtbauwesen RWTH Aachen, Aachen
- Zadeh L. A. (1965): Fuzzy Sets, Information and Control 8, p. 338-353
- Zadeh L. A. (1973): Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, IEEE Transactions on Systems, Man and cybernetics, 1/1973
- Zadeh L. A. (1975): The concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Resoning I, information Sciences, Vol. 8, 199-249
- Zimmermann, H-J. (1991): Fuzzy Set Theorie and its Applications, Second Revised Edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Zimmermann, H-J. (1993): Fuzzy Technologien, Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale, VDI Verlag, Düsseldorf
- Zimmermann, H-J. (1993a): Prinzipien der Fuzzy Logic, Spektrum der Wissenschaft, 3/93