

퍼지 교통 제어 전문가 시스템

진정애 · 김용기*

Fuzzy Traffic Control Expert System

Jeong-Ae Jin, Yong-Gi Kim**

요 약

본 논문에서는 추론엔진(inference engine)내에 퍼지정보 검색부(Fuzzy Information Retrieval part)를 갖는 교통신호 제어 전문가 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 다양하고 복잡한 도로 상황을 고려하여 그에 따른 적절한 주기를 각 도로별로 할당함으로써 원활한 교통 흐름을 제어한다. 추론엔진내의 퍼지정보 검색부는 퍼지 삼각 논리곱을 이용하여 도로의 상황을 분석한 후 각 도로에 맞는 가장 적절한 신호 주기를 생성한다.

keywords : 퍼지정보검색기법(Fuzzy Information Retrieval Technique), 교통신호제어 시스템(traffic signal control system), 전문가 시스템(expert system), 퍼지관계논리곱(fuzzy relational products)

I. 서 론

현대 사회의 심각한 문제점 중의 하나인 교통 문제를 해결하기 위한 여러 방안들이 제안되고 있는데 가장 큰 연구과제가 항상 변화하는 다양한 도로상황을 신호 주기에 적절히 반영하는 것이다. 본 논문에서는 퍼지 정보 검색 기법(Fuzzy Information Retrieval Technique)을 이용하여 적절한 신호 주기를

생성하는 전문가 시스템(expert system)을 제안한다. 제안된 전문가 시스템은 추론 엔진부(inference engine)에 퍼지 정보 검색을 위한 부분인 퍼지 정보 검색부를 가지며 전향 추론(forward chaining)을 하는 규칙 기반 시스템(rule-based system)이다. 퍼지 정보 검색부가 이용하는 퍼지 정보 검색 기법은 Kohout 와 Bandler에 의해 제안된 기법(Bandler and Kohout, 1981, 1986)으로써, 정보 검색 시스템에 퍼지 개념을 도입하여 기존의 자료 검색에서는 할 수 없었던 애

* 경상대학교 컴퓨터학과

** Dept. of Computer Science, Kyungsang National University

매한 성질을 갖는 정보의 검색이 가능하며, 이러한 특징은 실제 신호 제어에서 발생할 수 있는 복잡하고 애매한 상황들을 동시에 고려하여 현 상황에 대한 정보를 얻는다.

추론 엔진부의 퍼지 정보 검색부에서 각 도로별 상황에 대한 정보를 사용자로부터 입력 받아서 주어진 정보를 근거로 도로별 상황을 분석, 판단하여 그 상황정도에 따른 우선 순위를 결정하며 결정된 순위에 따라 각 도로별 주기를 적절히 연장, 조정한다. 도로의 우선 순위에 따른 신호 주기의 연장 또는 단축의 정도는 전문가 시스템의 추론 규칙으로써 결정한다.

2장에서는 먼저 기존의 신호 제어 시스템을 살펴보고 3장에서는 퍼지 정보 검색 기법을, 그리고 4장에서는 교통 제어 전문가 시스템의 전반적인 구조를 살펴본 후 시뮬레이션 프로그램인 TRANSYT-7F (Univ. of Florida, 1983)를 이용하여 시스템의 평가 및 실험을 하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 신호 제어 시스템

현재 이용되고 있거나 제안되어 있는 신호 제어 시스템의 운영방법은 고정시간 제어기, 교통감응식, 교통적응식 등 제어기의 종류와 사용되는 교통량의 자료, 신호시간을 선정하는 방법에 따라 달라진다. 사용되는 교통량의 자료는 여러가지의 감지기를 사용하여 즉시 자료를 수집하여 이용하기도 하고 정기적으로 조사한 역사자료나 감지기를 사용하여 감지된 현장자료를 이용하는 방법도 있다. 신호시간을 선정하는 방법은 시간에 따라 정해진 신호시간을 나타내는 시간제방식과 현장자료에 따라 수시로 변동되는 방식이 있다(도철웅, 1992).

시간제어기를 크게 두가지로 나누면 고정시간제

어기와 교통대응식 제어기 및 컴퓨터제어기로 나눌수 있다.

고정시간제어기에는 비연결 시스템, 시간기준 시스템, 연결 시스템, 교통대응 시스템 등이 있다. 교통대응식 제어기 및 컴퓨터제어기는 연결감응식 시스템, 교통적응 시스템, 컴퓨터 제어 시스템 등이 있는데 컴퓨터 제어 시스템은 중앙컴퓨터 설비, 통신설비, 현장설비와 같은 기본 설비로 구성된다.

다양한 신호 제어 시스템들은 각기 장단점들을 가지고 있다. 특히 고정시간 신호 제어기는 부적당한 교통량, 주차 및 승차차 행위로 인한 방해, 다현시 신호를 사용하는 복잡한 교차로, 많은 회전 교통량, 다양한 속도, 매우 짧은 교차로 간격 등과 같은 조건에서는 효율성이 매우 저하된다.

이에 비해 교통대응식 제어기나 컴퓨터제어기를 사용하는 시스템은 효율성 향상을 위한 여러 기법을 사용하나 이것 역시 각 도로의 종류별로 다른 체계를 갖는 시스템이 요구되고 도로의 현황을 재조사하는 등의 문제점이 따르게 되어 범용성을 갖는 능동적인 시스템은 되지 못한다. 이에, 퍼지 및 인공지능 기법을 이용하여 기존의 신호 제어 시스템을 개선하려는 노력이 시도되고 있으며(홍유식 과 박종국, 1994; 유준영 등, 1994), 본 논문에서 제안된 교통 제어 전문가 시스템은 이미 언급한 기존의 컴퓨터 제어 시스템의 기본 설비를 갖춘 환경하에서 운용 가능한 시스템으로써 도로의 종류에 제한받지 않도록 도로 상황 판단의 기준을 조정할 수 있는 능동적인 시스템이다.

III. 퍼지 정보 검색 기법

퍼지 정보 검색 기법은, 정보 검색시에 발생하는 애매한 정보들을 다루기 위해 정보 검색 기법에 퍼

지의 개념을 이용함으로써 효율적인 정보 검색을 한다. 이것은 이진논리(crisp logic)의 확장으로 다중논리(multiple valued logic)가 적용된다. 이의 응용은 정보 검색분야(Kohout 등, 1984; Kohout and Bandler, 1987)외에 의료분야의 진단 및 환자 관리(Bandler and Kohout, 1980a, 1980b, 1981, 1986, 1988), 수기 분류(Kohout and Kallala, 1986), 자동화된 추론(Kim and Kohout, 1991a, 1991b; Kohout and Kim 1993) 등 범위를 넓히고 있다.

퍼지 정보 검색 기법은 그림 1의 구조를 갖고 있다. 퍼지 검색 모델(model)의 입력으로는 자료(documents), 관계정도구조(thesaurus), 퍼지탐색요구(FS-request), 관계요구(R-request)등이 있다. 퍼지탐색요구는 자료에 관련된 것이고, 관계요구는 관계정도구조에 관련된 것이다. 입력으로서의 자료(documents)는 실제로 자료(documents)와 항목(terms) 사이의 관계되는 정도를 나타내는 퍼지 입력 행렬으로써, 그림2에 그 예를 보인다. 관계정도구조는 항목(terms)간의 관계되는 정도 또는 포함 관계를 나타낸다(Kohout 등, 1984; 김용기, 1993, 1994). 퍼지 정보 검색 모델의 출력은 각 입력에 대한 퍼지 탐색 출력(FS-out-

put)과 관계 출력(R-output)으로 구성된다.

3.1 퍼지 탐색 요구(FS-request)

퍼지 탐색 요구는 자료(document)에 관련된 요구이다. 사용자에 의한 퍼지 탐색 요구는 퍼지 논리 연결자(AND, OR, NOT) 및 관계 정도를 나타내는 %0, 1%의 숫자를 사용하여 구성된다. 퍼지 탐색요구의 간단한 예는 다음과 같다.

$$S = 0.5(t_1 \text{ AND } t_2) \text{ OR NOT } (t_3)$$

t_i : 항(term)

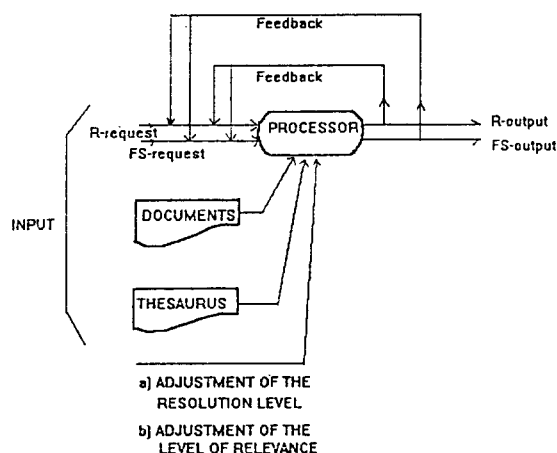
여기서 AND, OR 및 NOT의 값은 아래와 같이 적용한다.

$$a \text{ AND } b = \text{MIN}(a, b)$$

$$a \text{ OR } b = \text{MAX}(a, b)$$

$$\text{NOT } a = -a$$

그림 2의 퍼지 입력 행렬로부터의 퍼지 탐색요구의 출력은 그림 3과 같다.



Fuzzy Information Retrieval Model (from Kohout, Keravnou, and Bandler, 1984)

그림 1 퍼지 정보 검색 기법의 모델(model)

Documents \ Terms	t_1	t_2	t_3
d_1	0.5	0.7	0.9
d_2	0	0.4	0.5
d_3	0.7	0.4	0
d_4	0	0.5	0.6

그림 2 퍼지 입력 행렬

$$\{d_3\} = 1$$

$$\{d_2\} = .5$$

$$\{d_4\} = .4$$

$$\{d_1\} = .25$$

그림 3 퍼지 탐색 출력

출력값이 의미하는 것은 사용자의 요구에 대해 각 자료(document)의 관련 정도를 수치로써 보이는 것이다. 출력 값은 원하는 적정 수준의 값으로 한정시켜 선택할 수 있으며 이때 α -cut을 사용한다. 예를들어 그림 2의 출력에서 α -cut을 0.5로 정의하면 원하는 출력 값은 d_2, d_3 만으로 제한되어 선택된다.

3.2 관계 요구(R-request)

관계 요구는 관계정도구조(thesaurus)에 관련된 요구이다. 항목 사이의 계층 또는 포함 관계인 관계정도구조를 구축하기 위해 이용되는 연산은 퍼지 삼각 논리곱과 퍼지 사각 논리곱이다(Bandler and Kohout, 1980a, 1988). 퍼지 관계 논리곱에서 이용되는 퍼지 집합의 포함(fuzzy set containment)에서 퍼지 집합 A가 퍼지 집합 B의 부분집합이라는 것은

$$\mu_A \leq \mu_B \text{ 즉, } \forall x \in U, \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \text{을 의미한다.}$$

이진 집합론에서 집합 A가 집합 B의 부분집합이라는 것은 A가 B의 멱집합에 속한다는 것이다. 이것은 A가 B의 부분집합이라는 것이 B의 멱집합 δB 에 A가 소속되는 멤버십의 정도를 나타낸다. 만약 어떤문장 S의 가능성을 (S)로써 나타낸다면 부분 집합 정도의 가능성은 다음과 같다.

$$\pi(A \subset B)_{\mu_{\delta B} A}$$

위의 식에서 A가 B의 부분 집합일 정도는 $(\mu_A(x) \rightarrow \mu_B(x))$ 의 최소값이다. 즉 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu_{\delta B} A = \wedge (\mu_A(x) \rightarrow \mu_B(x))$$

정의에서 최소값을 사용함으로써 어떤 x에 대하여

$\mu_A(x) \rightarrow \mu_B(x) = 0$ 이면 다른값에 관계없이 항상 0 이 된다. 이에비해 아래의 평균값을 사용한 식

$$\mu_{\delta B} A = 1/|U| \sum (\mu_A(x) \rightarrow \mu_B(x))$$

은 퍼지집합 A가 퍼지집합 B에 포함된다는 평균등급을 나타내며 이진 집합(crisp set)에서의 최소치를 선택하는 것 보다 정보 검색의 개념에 적합하므로, 퍼지 정보 검색 기법에서는 이 값을 사용한다.

A에서 B로의 관계 R과 B에서 C로의 관계 S의 논리곱은 A에서 C로의 관계 $(T=R * S)$ 이고 행렬의 곱과 유사하게 연산된다.

$$(R * S)_{ik} = \& (R_{ij} @ S_{jk})$$

$$@ : \rightarrow \text{ or } \leftarrow \text{ or } \leftrightarrow$$

R과 S가 퍼지 관계일 경우에서, & 는 $1/|B| \sum (R_{ij} \rightarrow S_{jk})$ 로 연산한다. A에서 B로의 퍼지 관계 R과 B에서 C로의 퍼지 관계 S에 대하여 A에서 C로의 삼각 논리곱과 사각 논리곱은 다음과 같이 정의되며 이를 이용하여 관계정도구조를 추출한다.

- (1) $(R \triangleleft S)_{ik} = \mu_{R \triangleleft S}(a_i, c_k) = \pi(a_i R \subseteq S c_k)$
 $= 1/|B| \sum (R_{ij} \rightarrow S_{jk})$
- (2) $(R \triangleright S)_{ik} = \mu_{R \triangleright S}(a_i, c_k) = \pi(a_i R \supseteq S c_k)$
 $= 1/|B| \sum (R_{ij} \leftarrow S_{jk})$
- (3) $(R \square S)_{ik} = \mu_{R \square S}(a_i, c_k) = \pi(a_i R = S c_k)$
 $= 1/|B| \sum (R_{ij} \leftrightarrow S_{jk})$

여기서 $(R \triangleleft S)_{ik}$ 는 $a_i R$ 의 퍼지 afterset이 $S c_k$ 의 퍼지 foreset에 포함될 평균 등급을 나타낸다.

삼각 서브 관계 논리곱(triangle sub-product relation)인 $(R \triangleleft S)$ 는, 퍼지 관계 R은 A에서 B로의 관계이고 퍼지 관계 S는 B에서 C로의 관계라 할 때

a_i 가 b_j 로의 R관계 정도가 b_j 가 c_k 로의 관계 정도인 S를 포함(imply)하는 정도를 의미하는 것이다. 이 연산의 결과로 X에서 Z로의 관련 정도를 알 수 있게 한다.

이와 유사한 삼각 수퍼 관계 논리곱(triangle super-product relation)은 함축(implication)을 역으로 해석하며, 이에 비해 사각 관계 논리곱(square product relation)은 동일성의 정도를 의미한다.

관계정도구조를 구축하기 위해서 논리곱으로 연산을 하며 연산은 퍼지 입력 행렬과 그 전치 행렬을 이용한다. R이 자료(document)에서 항목(term)으로의 관계 ($D \rightarrow T$)라면 R^T 는 항목에서 자료로의 관계인 ($T \rightarrow D$)가 된다. 그러므로 ($R^T \triangleleft R$)은 항목에서 항목으로의 새로운 관계가 된다. 즉, 다음과 같이 요약할 수 있다.

$$D_{ik} = d_i \text{에 대한 } t_k \text{의 관계 정도} \\ = D_{ki}^T$$

D^T 와 D 에 대한 삼각논리곱과 사각논리곱의 각각의 의미는 다음과 같다.

$$(D^T \triangleleft D)_{ik} = 1/N_j \sum (D_{ij}^T \rightarrow D_{jk}) \\ \text{: } t_i \text{가 } t_k \text{보다 더 구체적인 정도의 평균 등급}$$

$$(D^T \triangleright D)_{ik} = 1/N_j \sum (D_{ij}^T \leftarrow D_{jk}) \\ \text{: } t_i \text{가 } t_k \text{보다 더 일반적인 정도의 평균 등급}$$

$$(D^T \square D)_{ik} = 1/N_j \sum (D_{ij}^T \leftrightarrow D_{jk}) \\ \text{단, } a \leftrightarrow b = \text{MIN}(a \rightarrow b, a \leftarrow b) \\ \text{: } t_i \text{와 } t_k \text{가 유사한 정도의 평균 등급}$$

관계 요구의 출력은 위의 퍼지 관계곱을 이용하여 추출한, 각 항목 간의 포함 관계를 나타내는 관계 정도 구조로 부터 얻는다.

IV. 교통 제어 전문가 시스템

제안한 교통 제어 전문가 시스템은 3장에서 설명한 퍼지정보검색 기법의 관계 요구(R-request)를 이용하는 퍼지정보검색부를 추론엔진 내에 가진다. 퍼지 정보검색부에서 도로의 상황을 분석하고 그에 따른 적정 주기는 규칙을 이용해서 추론 생성한다. 본 장에서는 전반적인 시스템의 구성을 보이고 가상의 도로를 설정하여 그 추론과정을 보인다.

4.1 시스템의 구조

제안된 교통 제어 전문가 시스템은 지식 베이스(knowledge base), 추론 엔진(inference engine), 작업 메모리(working memory), 사용자 인터페이스(user interface)로 이루어진다. 그 구조도는 그림 4와 같다 (Waterman, 1986; Giarratano and Rilley, 1987).

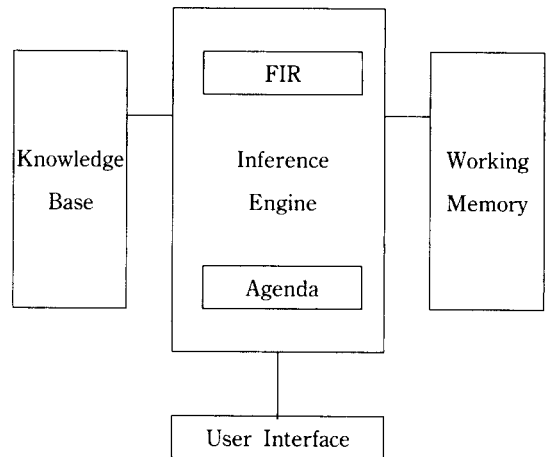


그림 4 시스템 구조

- 지식 기반(Knowledge Base)
도로 상황에 따른 각 주기 조정 정도를 결정하는

규칙(rule)로써 구성된다. 이 규칙들을 이용하여서 신호의 주기가 결정된다.

● 추론엔진(Inference Engine)

전향 추론(forward chaining)을 하는 규칙기반 시스템(rule-based)으로 세 단계의 작업을 하게 된다. 먼저 퍼지 정보 검색부에서 도로 상황 정도에 따른 계층을 구하고 다음 단계로 규칙을 이용하여 주기 조정 정도를 추론하게 된다. 마지막으로 조정된 신호 주기에 대해 간략히 설명한다. 이러한 추론 엔진은 입력된 도로의 상황 정도를 분석하는 퍼지 정보 검색부(FIR)와 지식베이스의 규칙들 중에서 추론 가능한 것들을 가져와서 임시 저장하는 어젠다(Agenda)를 포함한다.

● 작업 메모리(Working Memory)

사용자로 부터 입력 받은 사실과 추론으로 얻어진 새로운 사실을 보관한다.

● 사용자 인터페이스

사용자로 부터 질문에 대한 응답을 받아들이고 불확실 정도의 값은 4.3에서 정의할 5단계의 퍼지 값으로 입력 받는다. 신호 주기의 조정 정도가 결정 되면 그에 대한 조정 사항을 간단히 사용자에게 설명명한다.

4.2 지식의 표현

제안되는 시스템의 지식 표현은 규칙(rule)을 이용한다. 이 시스템의 지식 표현을 위한 규칙에 적용된 기본 원리는 다음과 같다.

- 인간의 제어 동작을 이용한다.
- 주기의 조정치는 관계정도구조의 분포에 의존한다. 분포가 다양하면 조정치를 많이 줄 수 있으나 그렇지 않으면 조정치를 적게한다.
- 관계정도구조 간의 차등정도를 고려하기 위해 사용자가 선택한 도로 상황 판단 기준을 이용한다.

- 전체 주기는 160 초를 넘기지 않도록 조정한다.
- 주기의 최소치는 보행자의 시간에 따라 조정한다.
- 각 도로의 주기 조정에 대한 퍼지 언어 변수는 다음의 그림 5와 같이 정의한다.

언어 변수	조정치(sec)
매우 많이 연장	30
많이 연장	20
조금 연장	10
약간 연장	5
보통(현재 주기 유지)	0
약간 단축	-5
조금 단축	-10
많이 단축	-20
매우 많이 단축	-30

그림 5 언어 변수 정의

이러한 규칙들은 도로 상황에 대한 관계 정도의 계층을 분석하여 그에 따른 적절한 주기를 조정하기 위한 규칙으로써 그 예는 다음과 같다.

RULE 1)

IF (계층 분포가 다양하다) \wedge (도로 X_i의 대기 차량 수가 매우 많다) \wedge (도로 X_i의 보행자수가 매우 많다)

THEN 도로 X_i의 주기를 매우 많이 연장하라.

RULE 2)

IF (계층 분포가 다양하다) \wedge (도로 X_i의 대기 차량 수가 매우 많다) \wedge (도로 X_i의 보행자수가 많다)

THEN 도로 X_i의 주기를 많이 연장하라.

RULE 3)

IF (계층 분포가 다양하다) \wedge (도로 X_i의 폭이 적다)

\wedge (도로 X_i 의 대기 차량수가 매우 많다) \wedge (도로 X_i 의 보행자수가 매우 많다)
 THEN 도로 X_i 의 주기를 많이 연장하라.

RULE 4)

IF (계층 분포가 다양하다) \wedge (도로 X_i 의 폭 매우 적다)
 \wedge (도로 X_i 의 대기 차량수가 매우 많다) \wedge (도로 X_i 의 보행자수가 매우 많다)
 THEN 도로 X_i 의 주기를 많이 연장하라.

RULE 5)

IF (계층 분포가 다양하다) \wedge (도로 X_i 의 폭이 적다)
 \wedge (도로 X_i 의 대기 차량수가 매우 적다) \wedge (도로 X_i 의 보행자수가 적다)
 THEN 도로 X_i 의 주기를 조금 단축하라.

RULE 6)

IF (계층 분포가 다양하다) \wedge (도로 X_i 의 폭이 적다)
 \wedge (도로 X_i 의 대기 차량수가 많다) \wedge (도로 X_i 의 보행자수가 적다)
 THEN 도로 X_i 의 주기를 조금 연장하라.

RULE 7)

IF (계층 분포가 다양하다) \wedge (도로 X_i 의 폭이 적다)
 \wedge (도로 X_i 의 대기 차량수가 매우 적다) \wedge (도로 X_i 의 보행자수가 적다)
 THEN 도로 X_i 의 주기를 조금 단축하라.

RULE 8)

IF (계층 분포가 다양하다) \wedge (도로 X_i 의 폭 매우 적다)
 \wedge (도로 X_i 의 보행자수가 많다)
 THEN 도로 X_i 의 주기를 약간 연장하라.

RULE 9)

IF (계층 분포가 다양하다) \wedge (도로 X_i 의 폭 적다)
 \wedge (도로 X_i 의 대기 차량수가 적다)
 THEN 도로 X_i 의 주기를 조금 연장하라.

RULE 10)

IF (계층 분포가 다양하다) \wedge (도로 X_i 의 폭 매우 적다)
 \wedge (도로 X_i 의 보행자수가 많다)
 THEN 도로 X_i 의 주기를 약간 연장하라.

RULE 11)

IF $(Y_i + Y_{i+1} + \dots + Y_n) > (160 + n)$
 THEN 각 도로의 주기 $-Z$
 단, $Y_i =$ 도로의 주기
 $Z = ((Y_i + Y_{i+1} + \dots + Y_n) - 160) / n$

RULE 12)

IF 도로 X_i 의 주기가 보행자 신호 시간보다 적다
 THEN 도로 X_i 의 주기 = 보행자 신호 시간

RULE 13)

IF 보행자 거리가 W 이다
 THEN 보행자 신호 시간은 $(3 + W/1.2)$ 이다.

4.3 시스템의 활동 구조 및 지식 처리

추론 엔진의 퍼지 정보 검색부는 필요한 정보를 사용자로부터 입력 받아서 각 도로의 상황 정도에 따른 관계정도구조를 구한다. 도로 종류와 상황 정도에 따라 추출된 관계정도구조는 도로상황의 양호한 정도를 나타내는 우선순위를 결정한다. 관계정도구조의 추출에 쓰이는 용어의 정의는 다음과 같다.

Document(d) = 각 도로 상황을 체크 할 기준

Term(t) = 각 도로의 phase 표시

D_{ik} = d_i 에 대한 t_k 의 속성의 관련 정도

관계정도구조를 구하기 위해서는 document에 대한 term의 관련성 정도를 나타내는 퍼지 입력 행렬을 구성한다. 퍼지 입력 행렬은 각 기준을 고려했을 때의 각 도로 상황의 조건이 좋을수록 높은 퍼지 값을 갖도록 구성하며, 도로 상황의 양호성 정도가 위에서 정의한 term의 속성의 관련성이 된다. 그러므로 앞 절에서 정의했던 퍼지 관계 논리곱 중 삼각 서브 논리곱을 이용하여 퍼지 입력 행렬을 연산한 결과는 다음의 의미로 재정의 된다.

$(D^T \triangleleft D)_{ik} = t_i$ 가 t_k 보다 좋은 도로상황에 관한 관련 정도가 덜함을 의미

이것의 의미는 document에 제시된 기준으로 고려했을 때, 도로 t_i 가 t_k 보다 도로 상황이 나쁘다는 것을 의미한다. 즉 t_k 의 도로 상황이 더 양호함을 말하므로 관계정도구조는 도로 상황이 양호한 정도의 계층이 된다.

관계정도구조를 구하는 과정은 다음과 같다. 먼저 각 도로상황의 기준이 된 document들을 고려하여 적절한 관계정도의 퍼지 값으로 퍼지 입력 행렬을 구성하고, 조건연산자를 택하여 삼각 서브 논리곱으로 연산하고 그 결과를 분석한다. 분석한 결과를 토대로 가장 적정치의 α -cut을 선택하여 퍼지 입력 행렬의 연산 값을 다시 이진(crisp)값으로 바꾼 후, 신속 퍼지 알고리즘(Fast Fuzzy Algorithm)(Bandler and Kohout, 1980a)을 적용하여 하세 다이어그램(Hasse diagram)을 그린다(Bandler and Kohout, 1980a). 이것으로 부터 현재 제시된 판단 기준인 document 들을 고려하여 도로상황이 가장 양호한 순으로 관계정도구조를 얻게 된다.

즉, 도로의 교통량이 가장 잘 소통되고 있는 도로

순으로 도로상황 정도를 보이므로 이의 역순으로 신호주기의 연장에 대한 우선순위를 결정하므로써 교통상황에 따라 도로의 신호주기를 연장, 조정한다.

퍼지 정보 검색을 이용한 교통 제어 전문가 시스템의 활동 구조는 다음과 같다.

첫 단계는 도로상황을 체크할 기준이 되는 여덟 항목을 선정하여 입력 행렬의 document로, 도로의 phase를 term으로 설정한다. 각 phase의 주신호만을 고려 대상으로한다. 다음은 document로 선정된 기준의 예이다.

- ① d_1 : 도로의 폭
- ② d_2 : 사고 또는 공사로 인한 도로 상황
- ③ d_3 : 대기 차량수
- ④ d_4 : 노면 상태
- ⑤ d_5 : 보행자수
- ⑥ d_6 : 도로의 경사정도
- ⑦ d_7 : 통과 차량수
- ⑧ d_8 : 주위상황을 고려한 속도 (도로의 종류, 학교 부근의 횡단보도 등을 고려)

퍼지입력 행렬의 term 으로 설정된 도로의 각 phase의 예는 그림 11, 12, 13, 14에 나타나 있다.

두 번째 단계는 퍼지 입력 행렬의 구성이다. 각 document에 대한 term들의 관련성 정도를 퍼지 값으로 나타내는데, 입력 행렬의 초기치는 묵시적(default)으로 0.5로써초기 퍼지 입력 행렬을 구성한다. 입력 행렬의 각 요소의 값은 다음의 절차를 거쳐서 결정 된다.

- ① 신호주기의 조정여부를 판단한다.
- ② 정이 필요하면 document와 term을 선택하여 입력한다. 조정이 필요하지 않다고 판단되었을 때는 초기 상태의 행렬을 그대로 유지하여 신호 주기의 변화가 없다.

③ 선택된 document에 대한 각 term들의 관련성 여부를 5단계로 나누어 그 단계 내에서 상황정도를 판단하여 퍼지 입력 행렬을 재구성한다. 각 선택 사항별 퍼지 입력 값은 그림 6과 같이 결정하는데, 상황에 대한 퍼지 입력값과 수치에 대한 퍼지 입력값으로 구별하여 입력한다. 수치 중 도로상황을 악화시키는 요소는 역으로 값을 배정한다. 즉, 대기 차량수나 보행자수는 그 수치가 높을수록 도로의 상황은 악화된다. 이러한 요소는 퍼지 값을 다음 정의의 역으로 배정한다. 예를들어, 노면 상태가 “매우 좋다” 이면 퍼지 입력값은 “0.9”가 되고, 대기 차량수가 “매우 많다” 이면 퍼지 입력 값은 “0.1” 이 할당된다.

퍼지 값	수치에 대한 입력	상황에 대한 입력
0.9	매우 많다	매우 좋다
0.7	많다	좋다
0.5	보통이다	보통이다
0.3	적다	나쁘다
0.1	매우 적다	매우 나쁘다

그림 6 퍼지 값의 결정

④ 선택된 document가 d_1, d_3, d_5 이고 각 term의 상태가 아래와 같다고 가정하였을 때 퍼지 입력 행렬이 그림 7에 나타나 있다. 선택되지 않은 경우는 상황이 보통인 정도로 초기 묵시값인 0.5가 유지된다. 각 퍼지값은 도로 상황을 양호하게 유지하는 정도에 따라 값이 높아지고 그 반대 상황일수록 낮아진다. 따라서 대기 차량수와 보행자수는 그림 6에서 정의한 값의 역으로 할당된다.

- d_1 (도로의 폭) ● d_3 (대기 차량수)
- t_2 : 적다(0.3). t_1 : 매우 많다(0.1).
- t_3 : 적다(0.3). t_2 : 매우 적다(0.9).
- t_4 : 적다(0.3). t_3 : 많다(0.3).

- d_5 (보행자수)
- t_1 : 매우 많다(0.1).
- t_2 : 적다(0.7).
- t_4 : 많다(0.3).

Document	Term	t_1	t_2	t_3	t_4
d_1		0.5	0.3	0.3	0.3
d_2		0.5	0.5	0.5	0.5
d_3		0.1	0.9	0.3	0.5
d_4		0.5	0.5	0.5	0.5
d_5		0.1	0.7	0.5	0.3
d_6		0.5	0.5	0.5	0.5
d_7		0.5	0.5	0.5	0.5
d_8		0.5	0.5	0.5	0.5

그림 7 퍼지 입력 행렬

세 번째 단계에서는 3장에서 설명한 삼각 서브 논리곱을 사용하여 그림 7의 퍼지 입력 행렬을 연산한다. 삼각 서브 논리곱과 사용한 조건 연산자는 Lukasiewicz(Kim and Kohout, 1992)이다.

삼각 서브 논리곱 : $(D^T \triangleleft D)_{jk} = 1/N_j \sum (D^T_{ij} \rightarrow D_{jk})$
 Lukasiewicz : $(a \rightarrow b) = \min(1, 1 - a + b)$

그림 8은 연산된 결과에, α cut 0.97을 적용시킨 경우이다. 여기서 D가 document에서 term으로의

Term	Term	t_1	t_2	t_3	t_4
t_1		1	1	1	1
t_2		0	1	0	0
t_3		0	1	1	1
t_4		0	1	0	1

그림 8 Term간의 관련성

관계 ($D \rightarrow T$)이고 D^T 는 term에서 document로의 관계인 ($T \rightarrow D$) 이므로 ($D^T \triangleleft D$)는 ($T \rightarrow T$)의 관계인 term에서 term으로의 새로운 관계가 된다. 이것은 도로 상호간의 관계가 되는 것을 의미한다. 그러므로 각 도로들간의 상황정도에 따른 관계 값을 얻게된다.

네 번째 단계에서는 관계정도구조를 구축한다. term간의 관계에 대한 행렬의 값 그림 8을 분석하기 위해 신속 퍼지 알고리즘을 적용하여 하세 다이어그램(Hasse diagram)으로 각 term 간의 관계정도구조를 구한다. 그림 9는 하세 다이어그램으로 구축한 관계정도구조이다.

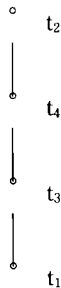


그림 9 관계정도구조

다섯 번째 단계는, 구축된 관계정도구조를 검색하여 도로 상황이 양호한 순의 계층을 분석한다. 상위 계층에서 하위 계층으로 갈수록 도로의 상황이 좋지 않으므로 계층의 역순으로, 즉 적체가 심한 도로순으로 신호주기에 대한 우선순위를 부여한다. 그러나, 관계정도구조 만으로는 각 계층간의 차등정도를 알 수가 없다. 차등정도를 이용해서 도로별로 적정 주기를 주고자 하므로 규칙을 이용하여 그 차등정도를 구한다. 차등정도에 따라 신호의 주기를 연장, 조정시켜 줌으로써 적체된 도로의 교통체증을 완화시킨다.

이상의 각 단계의 기본 알고리즘은 다음의 그림 10과 같다.

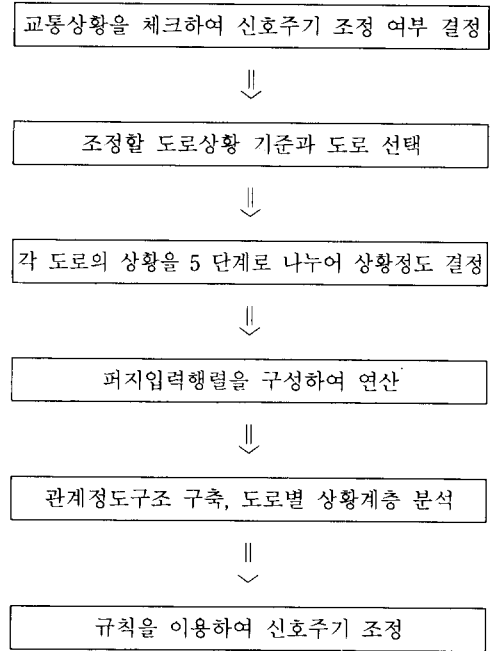


그림 10 시스템의 활동 구조 알고리즘

4.4 시스템의 적용 예

다음 그림과 같은 4개의 phase로 구성된 가상의 도로를 설정하여 간단한 예를 보인다. phase 내의 신호를 표시하는 번호는 교통공학에서 이용되는 방식을 그대로 적용한다. 각 phase별로 4개의 신호는 동시에 신호가 되나 주신호에 부가적으로 동작할 수 있는 부신호가 있다. 그림 10에서 101, 102가 주 신호이며 110, 111는 주 신호시에 함께 동작할 수 있는 방향으로 부신호가 된다. 교통 흐름을 파악하는데는 크게 영향을 미치지 않으므로 부신호는 주기 할당에서 고려하지 않는다. 그림의 phase에서 주신호는 다음과 같으며 이들 신호만을 고려한다.

Phase1 : 101, 102

Phase2 : 103, 104

Phase3 : 105, 106

Phase4 : 107, 108

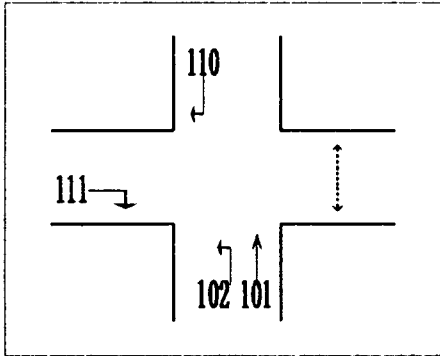


그림 11 Phase 1

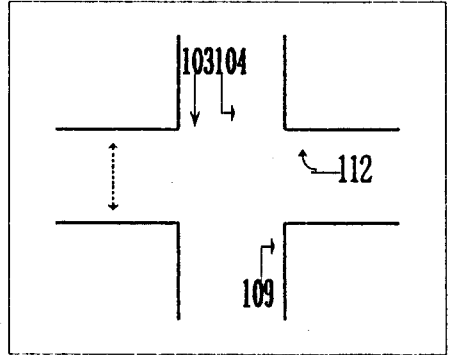


그림 12 Phase 2

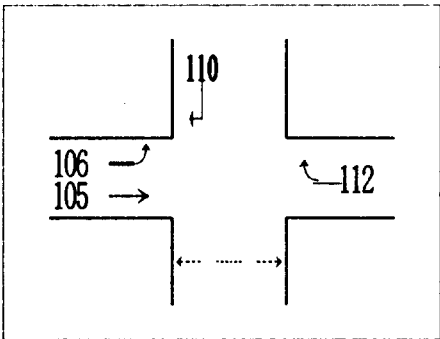


그림 13 Phase 3

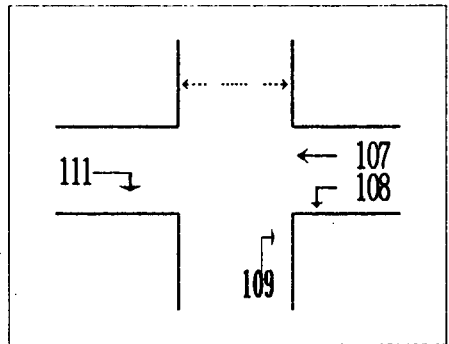


그림 14 Phase 4

- 1) 신호 주기를 조정하겠는가(y/n)? y
- 2) 교차로의 phase는 몇 개인가(Term 입력)? 4
- 3) 교차로의 각 도로별 보행자 거리를 입력하라.
 - ▷ Phase1 : 25
 - ▷ Phase2 : 13
 - ▷ Phase3 : 13
 - ▷ Phase4 : 13
- 4) 다음의 도로 상황 판단 기준 사항 중 원하는 항목을 선택하라(document 입력). d₁, d₃, d₅
 - ① d₁ : 도로의 폭

- ② d₂ : 사고 또는 공사로 인한 도로 상황
- ③ d₃ : 대기 차량수
- ④ d₄ : 노면 상태
- ⑤ d₅ : 보행자수
- ⑥ d₆ : 도로의 경사정도
- ⑦ d₇ : 통과 차량수
- ⑧ d₈ : 주위상황을 고려한 속도(도로의 종류, 학교 부근의 횡단보도 등을 고려)

- 5) 설정한 도로 상황 판단 기준(d)에 대한 각 도로의 phase(t)별 상황을 아래 보기 항목 중 선택 입력하라.
 - <보기1> 수치에 대한 입력일 경우

매우 많다.
 많다.
 보통이다.
 적다.
 매우 적다.

〈보기2〉 상황정도에 대한 입력
 매우 좋다.
 좋다.
 보통이다.
 나쁘다.
 매우 나쁘다.

● d₁ (도로의 폭)

Phase2 : 적다.
 Phase3 : 적다.
 Phase4 : 적다.

● d₃ (대기 차량수)

Phase1 : 매우 많다.
 Phase2 : 매우 적다.
 Phase3 : 많다.

● d₅ (보행자수)

Phase1 : 많다.
 Phase2 : 적다.
 Phase3 : 많다.

※ 현재 도로 상황은 Phase2 도로의 상황이 가장 좋으며 Phase4, Phase3 순으로 상황이 양호하다. 도로 상황의 계층은 다음 그림과 같다.

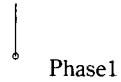
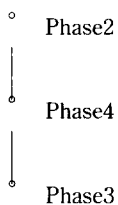


그림 15 도로상황의 관계정도구조

6) 도로의 상황에 대한 관계정도구조의 계층이 다양하게 분포되었는가(다양하다/보통이다/다양하지 않다)? 다양하다.

7) 현재 각 도로의 신호 주기를 입력하라.

Phase1 : 23
 Phase2 : 24
 Phase3 : 31
 Phase4 : 27

※ Phase1의 도로는 상황이 나쁘므로 주기를 연장하는 것이 좋다. 연장 정도는 20초 정도가 적당하다. Phase3 도로의 경우는 약 10초 정도 연장하는 것이 좋다. Phase4는 현재 상황을 유지하고 Phase2는 주기를 단축한다. 그러므로 교통신호 제어의 주기는 다음과 같다.

Phase1 : 43
 Phase2 : 14
 Phase3 : 41
 Phase4 : 27

4.5 시스템의 실험 및 평가

제안된 시스템의 평가를 위하여 교통 시뮬레이션과 신호 최적화를 위한 프로그램(traffic simulation and signal timing optimization program)인 TRANSYT-7F를 이용한다. TRANSYT-7F는 특정 도로의 교통량을 일정 주기로 관찰하여 그 평균치와 주변의 상황을 입력하면 그에 따른 적정 주기와 평가 속도로서

도로 포화도, 평균 지체 시간, 최대 지체 시간등을 제시한다. 본 실험에서는 임의의 교통량을 주고 그에 따른 상황 평가로 생성된 주기를 이용했을 때의 도로 상황을 관찰하기 위해 평가 지표인 도로의 포화도와 지체시간을 측정한다. 도로 상황의 조정치는 교통량만 이용하였다. 측정값은 TRANSYT-7F의 출력값이다.

실험에서는 4.4의 적용 예를 평가한다. 실험의 단계는 다음과 같다.

① 4.4의 예에서 초기의 각 phase의 신호 시간은 다음과 같다.

- Phase1 : 23
- Phase2 : 24
- Phase3 : 31
- Phase4 : 27

② Phase1, Phase3의 도로의 교통량이 급격히 증가한 상황이라고 가정하고 다음의 교통량을 준다. 수치는 차량수를 의미하며 괄호 안의 번호는 신호 번호이다.

- Phase1 : 868(101)
20(102)
- Phase2 : 134(103)
123(104)
- Phase3 : 305(105)
916(106)
- Phase4 : 344(107)
4(108)

③ 가정된 상황에 대한 FIR부의 출력은 그림 16과 같다.

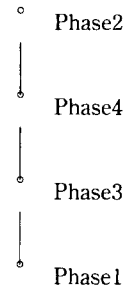


그림 16 도로상황의 관계정도구조

④ 출력된 관계정도구조를 분석하여 추론 규칙으로써 적정 주기를 다음과 같이 생성한다. 본 주기는 TRANSYT-7F에 가정한 교통량을 입력하였을 때의 제시된 주기를 이용하였다.

- Phase1 : 43
- Phase2 : 14
- Phase3 : 41
- Phase4 : 27

⑤ 생성한 주기를 주었을 때의 도로 상황을 평가한다. 각 phase와 phase의 신호별 가상의 교통량, 추론된 신호 시간, 도로 포화도, 평균지체시간은 그림 17과 같다. 시간의 단위는 초(sec)이며 교통량은 차량의 수이다. 도로 포화도는 100을 적정치의 기준으로 한다. 평균지체시간은 2 내지 3분 정도가 최대치가 된다. 실험에서 제안된 신호 주기를 활용하면 도로 포화도와 평균지체 시간이 비교적 양호함을 알 수 있다.

제안된 시스템의 효유성을 입증하는 또 하나의 실험은 4개의 phase로 구성된 도로이면서, 전체적인 도로 상황이 양호하나 교통량이 너무 적어 도로 이용율이 낮은 경우로 판단하여 오히려 주기를 줄인 경우이다. Phase1, Phase3의 가상의 교통량이 적어 도로 이용율이 낮으므로 신호를 단축하였다. FIR 부의

	가상 교통량	신호 시간	도로 포화도(%)	평균지체 시간(sec)
Phase1	868	43	66	25.2
	20		6	19.1
Phase2	134	14	49	54.9
	123		49	54.9
Phase3	305	41	73	39.6
	916		73	39.6
Phase4	344	27	87	24.0
	574		87	25.5

도로포화도는 100%가 적정치이며, 평균 지체 시간은 2~3분이 최대치이다.

그림 17 실험의 결과

출력은 그림 18과 같고 그림 19는 초기 신호와 추론에서 얻은 제안된 신호 시간을 표기하였다. 그림 19 나타난 상황은 제안된 신호 시간시의 도로 상황이며 도로 포화도와 평균지체시간이 양호하며 도로 이용율을 증가 시킬 수 있었다.

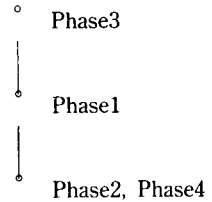


그림 18 도로상황의 관계정도구조

	교통량	신호 시간	도로 포화도(%)	평균지체 시간(sec)
Phase1	154	32 → 12	77	52
	73		6	19.1
Phase2	973	30 → 30	82	23.3
	941		79	19.3
Phase3	115	30 → 10	72	48.1
	82		51	39.4
Phase4	886	28 → 28	80	27.3
	658		60	23.3

도로포화도는 100%가 적정치이며, 평균 지체 시간은 2 3분이 최대치이다.

그림 19 실험2의 결과

V. 결 론

퍼지 정보 검색을 이용한 추론 엔진인 퍼지 정보 검색부를 갖는 교통 제어 전문가 시스템을 제안하였다. 인간의 제어 동작을 그대로 이용함으로써 기존의 신호 제어 시스템에서 가장 큰 과제였던 도로 상황의 신속한 판단과 그에 따른 적절한 신호 주기의 반영이 가능하다. 또한 도로 상황의 판단 기준을 사용자 임의로 설정하므로 범용성을 가지며, 상황 정도를 퍼지 값으로 나타내므로 다양한 도로의 종류와 복잡한 도로 상황을 표현하기에 적절하다. 도로의 상황이 양호한 경우는 초기 시스템의 주기를 유지하고 상황 변동시 그에 따른 적절한 신호를 할당하여 정체된 도로의 교통체증 완화와 한적한 도로의 이용율을 증가시킨다.

제안하는 시스템의 문제점으로서, 실시간으로 변하는 교통 상황을 사람이 판단하여 입력하여야 하는 점이며, 이는 자동차 통행량의 자동 감응 장치에로의 연결등을 통하여 개선 될 수 있을 것이다. 교통 상황의 실시간 자동 입력과 함께, 연동되는 도로상에서의 본 시스템의 적용을 위한 개선 문제도 향후 풀어야 할 연구 과제이다.

참 고 문 헌

1. Bandler, W. and Kohout, L.J., "Semantics of implication operators and fuzzy relational products", *Int. J. Man-Machine Studies*, 12, 89-116, 1980a.
2. Bandler, W. and Kohout, L.J. "Fuzzy power sets and fuzzy implication operators", In Wang, P.P. and Chang, S.K., editors, *Fuzzy sets and systems*, pages 13-30, plenum press, New York and London, 1980b.
3. Bandler, W. and Kohout, L.J. "Hierachies in symptoms and patients through computation of fuzzy triangle products and closures", In Parslow, editor, *BST'81 Information technology for the eighties*, Heyden & Son LTD., 1981.
4. Bandler, W. and Kohout, L.J. "A survey of fuzzy relational products in their applicability to medicine and clinical psychology", In Kohout, L.J. and Bandler, W., editors, *Knowledge Representation in Medicine and Clinical Behavioural Science*, Abacus Press, Cambridge MA, USA, and Tunbridge Wells, UK., 1986.
5. Bandler, W. and Kohout, L.J. "Special properties, closures and interiors of crisp and fuzzy relations." In *Fuzzy Sets and Systems*, pages 26(3) : 317-332, June 1988.
6. Donald A. Waterman, *Expert Systems*, Addison-Wesley, 1986.
7. Giarratano / Riley, *Expert Systems Principles and Programmings*, PWS-KENT, 1987.
8. Kim, Yong-Gi and Kohout, L.J., "Use of Fuzzy Relational Products and Algorithms for generating Control strategies in resolution based Automated Reasoning", *Proceedings of the fourth International Fuzzy System Association (IFSA) world congress*, (Brussels, Belgium), July 7-12, 1991a.
9. Kim, Yong-Gi and Kohout, L.J., "An Improvement of Weighting Strategy in Resolution Based Automated Reasoning", *Proceedings of the sixth International Symposium on Methodologies for intelligent Systems (ISMIS'91)* Published by Oak Ridge National Laboratory (12 pages), Charlotte, NC, October 16-19, 1991b.
10. Kim, Yong-Gi and Kohout, L.J., "Comparision of

- Fuzzy Implication Operators by means of Weighting Strategy in Resolution Based Automated Reasoning", *Proceedings of the ACM 1992 Symposium on Applied Computing (SAC'92)*, Kansas City, March 1-3, 1992.
11. Kohout, L.J. and Bandler, W., "The use of information retrieval technique in construction of multi-center knowledge based systems." In Bouchon, B. and Yager, R.R., editors, *Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
 12. Kohout, L.J. and Kallala, M. "Evaluator of neurological patients' dexterity based on relational fuzzy products", in Proc. of Second Expert Systems International Conference (London, October 1986), page 1-12, Learned Information Inc., New Jersey, USA and Oxford, UK, 1986.
 13. Kohout, L.J., Keravnou E. and Bandler, W., "Information retrieval system using fuzzy relational products for thesaurus construction", In Sanchez, E. and Gupta, M.M., editors, *Fuzzy Information, Knowledge Representation and Decision Analysis*, pages 7-14, Pergamon Press, Oxford and New York, 1983.
 14. Kohout, L.J., Keravnou E. and Bandler, W., "Automatic documentary information retrieval by means of fuzzy relational products". In Gaines, B.R., Zadeh L.A. and Zimmermann, H.-J., editors, *Fuzzy Sets in Decision Analysis*, pages 308-404, North-Holland, Amsterdam, 1984.
 15. Kohout and Y-G. Kim, Generating Control Strategies for Relational-Based Theorem Provers by Means of Fuzzy Triangle Products and Relational Closures, *Fuzzy Logic*, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 1993.
 16. University of Florida Transportation Research Center, University of Florida, Gainesville, *TRANSYT-7F USER'S MANUAL*, 1983. 2.
 17. 김용기, 퍼지 정보 검색 기법 및 그 응용, 한국 퍼지 시스템 학회 추계학술강연회 논문집, 한국 퍼지 시스템 학회, 1993, 12.
 18. 김용기, "퍼지 기법을 이용한 자동화된 추론의 가치 부여 기법 개선", *정보과학회논문지*, 한국정보과학회, 1994, 10.
 19. 도철웅, *교통공학원론(상)*, 청문각, 1992
 20. 유준영, 조성원, 최경삼, "연동되는 도로상에서의 퍼지를 이용한 교통제어기에 관한 연구", *퍼지시스템학회 학술대회 논문집*, Vol. 4, No. 2, 한국퍼지시스템학회, 1994.
 21. 홍유식, 박종국, "승용차 환산계수를 고려한 퍼지 교통신호등의 연구", *퍼지시스템학회 학술대회 논문집*, Vol. 4, No. 2, 한국퍼지시스템학회, 1994.