

# 계층 분석방법을 이용한 교통량검지를 위한 퍼지센서알고리즘

## Fuzzy Sensor Algorithm for Measuring Traffic Information using Analytic Hierarchy Process

진현수

Hyun Soo Jin

천안대학교 정보통신학부

### 요 약

교통의 혼잡량이라든가 공기의 쾌적도등을 측정할 때는 상징적인 정보량을 이용한 퍼지 센서 알고리즘을 사용한다. 그런데 퍼지센서를 구현할 경우 몇 개의 상징적인 정보량을 퍼지 규칙으로서 종합하여 출력을 산출하는데 상징적인 정보량을 퍼지 규칙이라는 막연한 방법을 사용하므로서 정확하지 못한 결과를 산출 할 수 밖에 없다. 따라서 본 논문에서는 퍼지 규칙으로 퍼지센서를 구현하는 방법이 아닌 계층분석 방법이라는 분석적인 방법을 이용하여 퍼지센서를 구현하였고 이를 검증하기 위하여 퍼지 규칙방법의 퍼지센서와 계층분석방법의 퍼지센서를 교통량 제어에 적용하여 많은 통과차량수의 검증을 통하여 비교하여 보았다.

### Abstract

For measuring a traffic symbolic confusion quantity and symbolic air pleasantness, we use fuzzy sensor algorithm maded by symbolic information quantity. But for implementation of fuzzy sensor, we use some symbolic information item, this method cannot produce precise output because we use vague fuzzy rule method and we cannot abundance fuzzy for precision of fuzzy rule method. For this reason, this paper introduce new fuzzy sensor algorithm composed of not fuzzy rule method but using Analytic Hierachy Process. To prove that new method is good, two type of fuzzy sensor applied to traffic signal controller and through much passing vehicle, two fuzzy sensor compared each other.

key words : Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Sensor, Fuzzy Measurement, Traffic confusion Degree

### 1. 서 론

일반적으로 센서는 단일센서와 다중센서로 구별되어 질수 있고 다중센서는 입력체의 관계가 수치적 관계로 연결되어졌는가와 퍼지적인 관계로 연결되어졌는가에 따라서 일반 다중센서와 퍼지 센서로 이루어져 있다고 볼 수 있다.[1] 퍼지(상징)센서는 정보량을 수치적 표현에서 상징적 표현으로 바뀌주는 역할을 하는데 센서의 목적인 많은 정보로부터 특별한 물리적 양을 선택하는것에 대해서는 배치된다고 할 수 있다. 일반적으로 물리적 현상에 대한 묘사는 그 객체에 대해 정확하고 단축적이고 객관적인 수치적 양을 부과하는 것이라 할 수 있는데 수치적 묘사는 복잡한 현상을 쉽게 설명할 수 있는 특정한 규칙이 설정 되어야만 가능하다, 그러나 정보 수집에 어려움이 있다거나 물리적 특성을 분석하는데 단일 특성이 아닌 다중 특성으로 설명 할 때와 인간 행동 속성에 관하여 서술 할 때는 수치적 서술이 적절치 않게 된다. 이런 경우 관측된 현상을 자연 언어를 통한 상징적 묘사를 통해 실질적 묘사를 이끌어 내야 한다. 그러나 일반적으로 이러한 상징적 언어 묘사량은 수치적 묘사량보다 덜 쓰

이는데 관측자로부터 종속적이라서 객관화 작업 과정이 어렵고 실험적으로 기록될수 없어 부정확하고 주관적이라는 점 때문이다.[2] 본 논문에서는 이러한 언어적인 묘사를 객관화 시키는데 계층 분석방법이라는 논리적인 방법을 통하여 실현을 하였다. 일반센서를 통한 물리적인 양의 도출은 선형적 수치적 관계를 통하여 얻어질수가 있는데 상징센서에서도 이와 같은 방법으로 물리적인 양을 도출하는 과정이 선행 되어져야 하는데 보통의 방법으로는 이루어 질수가 없고 상징적인 정보량의 관계를 수치적인 방법으로 선형화 객관화 시키는 방법으로 이루어져야만 한다. 보통 퍼지센서에서는 센서이념에 입각한 퍼지 규칙을 사용하므로서 퍼지센서를 구현하는데 무한정 늘어나는 퍼지 규칙의 수뿐 아니라 전문성의 결여로 구현하는데 많은 애로점이 있게 마련인데 이때 사용하여 주는 방법이 계층분석방법(Analytic Hierachy Process)이라 할 수 있다. 즉 관계성이 서로 없는 물리적인 양들로부터 전혀 새로운 물리적 혹은 상징적 양의 출력을 얻어 내려면 좀더 객관적이고 수치적인 방법이 모색이 되어져야만 한다. 예를 들어 공기의 쾌적도를 얻고자 할 때 온도 습도의 관계를 수치적인 관계로서 얻을수가 없어서 퍼지 규칙을 사용하여 관계를 정리하였는데 이때의 퍼지 규칙의 수는 무한정 늘어난다고 할 수 있다. 퍼지 규칙의 수를 줄이는 방법으로 계층 분석방법을 사용하는데 서로 직관적인 관계를 수치로서 정립하여 일정 한도내의

접수일자 : 2001년 7월 16일  
완료일자 : 2002년 5월 2일

범위내에 있으면 그 관계의 규칙을 사용하는 방법이다. 계층분석 방법은 정량적 분석법의 일종으로 1970년대 초에 Satty에 의해 개발된 방법으로 서로 상관성이 없는 물리적인 양을 일대 비교의 정합성이 있으며 논리적인 대응력이 있고 다수의 일대비교가 가능한 잇점을 이용하여 관계성을 정립하는 방법이다. 즉, 다중센서의 여러 입력들의 관계를 퍼지 규칙이라는 많은 규칙으로서가 아니라 수치적이고 객관적인 방법으로서 관련성을 찾는 방법으로서 정합성이 좋으며 논리적인 대응력이 있고 다수의 일대비교가 가능하다고 하는 잇점을 가지고 있다.

본논문에서는 퍼지센서를 구현함에 있어 상정센서의 알고리즘을 구축하는데 퍼지 규칙을 사용하는 것이 아니고 퍼지 센서의 입력체를 일대 정합 비교를 행함에 있어 계층분석방법(AHP:Analytic Hierarchy Process)이라는 일대 비교 방법을 사용하여 퍼지규칙을 정하는데 들어나는 규칙의 수와 비 전문성으로 인하여 잘못 짜여진 퍼지 규칙으로 인하여 비효율성의 퍼지센서를 제작하는 것을 막는데 있다.

퍼지 센서를 구현하는 목적은 단일센서가 얻지 못하는 상징적 묘사량을 정량화 한다는가 특별한 환경과 높은 수준의 정보 수집의 분야에서는 물리적,기술적,경제적 제한 요소 때문에 서로 보완적인 정보를 제시하여 주는데 한계있는 단일센서 때문에 정확도와 감지범위의 증가 등 개개의 센서들이 할 수 없는 임무를 수행 하려면 다중센서(multi sensor)가 쓰이고 있다. 다중센서 또한 상징적인 정보량을 산출하지 못한다는 단점을 갖고 있기 때문에 퍼지센서방법이 쓰여지고 있다. 따라서 입력은 비록 물리적으로 측정 가능한 실제물에 해당된다 할지라도 출력은 안전도,위험도,혼잡도,패적도등의 형태이고 서로 상관관계가 없거나 언어 형태일 경우 인간의 사고 내지 인공지능 요소(퍼지 센서)로부터 처리되어 왔다.[1]

그러나 퍼지센서를 규칙화 하는 작업이 각 입력체들 간의 관계를 전문성으로 알아야 하는 제한성이 있고 퍼지 규칙을 효과적으로 짜야만 하는 단점이 있다. 그리하여 본논문에서는 퍼지 규칙대신에 계층 분석 방법이라는 각 퍼지 센서 입력체들 대안간에 관련성을 주계끔 하여 주는 알고리즘을 사용하여 교통신호 제어 효과에 적용하여 같은 시간내에 교차로를 통과하는 차량의 수의 비교를 통하여 계층 분석방법의 우월성을 입증하였다. 기존의 교차로 교통 신호제어에 있어서는 신호 주기 산출을 접근로의 차량수만을 가지고서 Webster 주기식에 이용하므로 접근로의 길이가 짧든지 대기 차량의 형태가 대,중,소로 불규칙 할 경우에는 정확한 주기를 산출할 수가 없었다.[2] 그러므로 교차로 주기신호에 실제 쓰이는 교차로의 교통 포화량을 측정하여야 하므로 진입로의 차선넓이와 차량의 속도와 수량을 모두 포함하여 새로운 상징적인 정보량인 혼잡도(Confusion Degree)로 수량화 하여 교차로 신호 주기를 제어하는데 직접쓰면 유용하다.

본 논문에서는 기존의 차량 감지 센서인 루프디텍터가 통과 차량의 숫자만 파악하는데 쓰이나 교차로 신호 처리에 최종적으로 쓰이는 궁극적인 정보량인 도로에 대한 포화율을 진입로의 길이 및 차량의 대소 정도와 대기(queueing)차량수를 통해 교통 혼잡도로 표시하여 새롭게 교차로 신호 주기 제어에 적용함으로써 기존의 방법보다 더 효과적인 교통 신호 처리 제어 방법을 보여 주었고, 이를 퍼지센서 알고리즘(fuzzy sensor algorithm)으로 구현하여 몇 개의 물리적인 정보량을 통해서도 교통

시스템에 출력에 가장 적합한 상징적 정보량인 혼잡도를 구할 수 있고 이를 통해 교통신호 입력인 교통 데이터량을 정량화하여 교통신호 처리제어에 응용하여 실제 쓰일 수 있음을 검증하였는데 이는 퍼지센서의 알고리즘으로 쓰이는 퍼지규칙방법의 비전문성으로 인하여 이와 대신하여 쓰여진 계층 분석 방법의 비교를 통해 계층 분석 방법의 효과적인 유효함을 입증하였다. 본 논문의 2장에서는 어떤 물리량의 값을 도출하여 내는데 선형적인 값으로 도출하기 어려운 상징적인 값으로 이루어진 물리량일 경우, 퍼지센서값으로 도출하여 낼수 있는 기초 근거이론을 제시하는 동시에 퍼지 센서의 존재의 타당성을 제시하여 주는 기초이론을 제시하였다. 3장에서는 퍼지 규칙으로 짜여진 퍼지센서의 불합리한 점을 제시하고 극복할 수 있는 방법인 계층분석방법을 사용하여 퍼지센서를 구성하는 방법을 제시하였고 또한 계층 분석방법의 이론과 사용방법, 퍼지규칙과의 차이점등을 제시하였고 AHP로 구성된 퍼지센서기의 유효성을 입증하기 위한 실제 교차로에의 적용을 도입하였다. 4장에서는 결론부로 AHP센서기의 효과성을 실제 교차로의 적용 결과를 가지고 입증한 결과치를 제시하였다.

## 2. 퍼지규칙에 의한 교통량 검지 퍼지센서

### 2.1 교통량 검지 퍼지센서의 기초

퍼지(상징)센서는 정보량에 대한 수치적 표현에서 상징적 표현으로 바뀌는것에 근거 하는데 상징적 측정을 하기 위해서 상징기호와 수치사이의 관계를 정립하는 것이 중요하다. X를 특정 물리적 양을 서술하기위한 대집합(support set)이라고 할 때 x는 하나의 원소이다 대집합 X에 속하는 측정량을 정하기 위해 L를 물리적 현상을 대표하는 명사의 집합이라하면 차량의 많고 적음을 표시하는 혼잡도에 적용하면 L={소,중,밀}로 표시할 수가 있다. 집합 E의 퍼지 부분 집합을 F(E)로 표시하면 상징값의 퍼지 사상(mapping)은  $\tau: L \rightarrow F(x)$ 로 표현된다. L에 대한 퍼지집합을 상징기호 L로서 표시하면 결국 2개의 다른 상징 기호는 같은값을 갖는다. 상징기호 L의 퍼지값은  $x \in X$ 인 구간에서  $\mu_{\tau(L)}(x)$ 로 표시되어지는 멤버쉽 함수로 구할 수 있다. E 하나의 사상  $\tau: x \rightarrow F(L)$ 은 X에 대한 L의 측정을 퍼지로서 서술하기 위한 것인데 기호 L로서 표시되어지는 퍼지 부분 집합이다.  $L \in L(x)$ 인 구간에서 퍼지 기술은  $\mu_l(x)$ 의 멤버쉽 함수로서 특징 지워지므로 퍼지 측정은 다음과 같이 기술 할 수 있다.

$$\mu_{L(x)}(L) = \mu_{\tau(L)}(x) \quad (1)$$

기본적으로 퍼지 표현과 퍼지 사상과의 관계는  $\mu_l(x) = \mu(l)(x)$ 라는 퍼지센서의 기본 지식의 값으로부터 측정값의 언어 표현을 얻을 수가 있고 그에 대한 멤버쉽 값은 그림 1과 같다.

### 2.2 퍼지 규칙 퍼지센서 알고리즘의 표현

교통량 측정에 있어 퍼지센서의 다음과 같은 수식으로 정립된다. 일반 집합 X의 부분집합 A로 규정할 경우 일반 부분집합 L의 원소군인  $l(x), x \in A$ 는 집합 A의 원소를 말한다. 한편 이 원소군의 슈프리멈(superimum)은 A내

에 있는 어떤 원소로 묘사 될 수 있는 모든 기호들의 부분집합이다. 반대로 원소군의 가장 큰 아래 경계인 인피니엄(infimum)은 A내의 원소를 기술하는 공통 기호들의 부분 집합이다. 이를 기호로서 표시하면 각각 다음과 같다, 원소군의 슈프리멈은  $I_{+A} = \bigcup_{x \in A} K(x)$ 이고 인피니엄

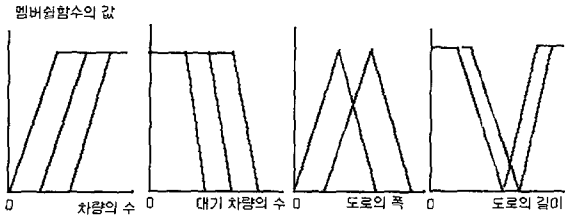


그림 1. 교통대안들에 대한 퍼지 멤버쉽함수 값  
Fig.1. Membership function value of traffic proposal element

은  $I(A) = \bigcap_{x \in A} K(x)$ 로서 표시되어 질수 있다.  $X \times L$ 로 정의되어지는 그래프 관계로 생각하여 부분집합을 기술하면  $X \times L$ 관계의 위와 아래 상으로 축소 되어질수 있다. 집합 X의 부분집합의 특성 함수는  $X_A: X \rightarrow \{0,1\}$ 로서  $x \in A$ 일 경우  $X_A(x)=1$ 이다. 특성 함수를 이용하여 윗식을 다시 쓰면  $X_{I+(A)}(L) = \bigvee_{x \in A} X_A(x)$ 이다. 퍼지 경우의 확장을 위하여 부분 집합 A의 특성 함수를 통해 다시 쓰면 f와 g의 사상인  $\{0,1\} \times \{0,1\} = \{0,1\}$ 관계를 통해 다음식으로 다시 쓸수가 있다. 즉,  $X_{I+(A)}(L) = \bigvee_{x \in X} (X_A(x) \wedge X_A(x))$  와  $X_{I-(x)}(L) = \bigwedge_{x \in X} (X_A(x) \wedge X_A(x))$ 이다. f와 g의 성격은  $\forall a \in \{0,1\} f(a,0)=0, g(a,0)=1$  와  $f(a,1)=a, g(a,1)=a$  이다. 여기서 f와 g는 다음과 같은 특성을 갖는 논리합관계(conjunction)와 연관관계(implication)이다.

$$X_{I+(A)}(L) = \bigvee_{x \in X} (X_A(x) \wedge X_A(x)) \quad (2)$$

$$X_{I-(x)}(L) = \bigwedge_{x \in X} (X_A(x) \wedge X_A(x)) \quad (3)$$

입과 출력사이의 수학적인 관계가 없고 언어적인 규칙베이스가 없을 경우 퍼지센서에 의한 몇가지 언어 예를 통할 수 밖에 없다. 즉 입력 명사와 출력 명사를 연결하는 언어 그래프를 구성한후 조합과 투영의 원칙을 사용하여 구성된 그래프로부터 새로운 입력을 계산하여 얻어내게 된다. 본 논문에서는 자동차의 통과 차량수와 대기 차량수와 시간까지의 언어적인 관계를 다음과 같은 함으로서 서술하였다. 즉,  $L(\text{차량의 형태}) = \{\text{대, 중, 소}\}; L(q) = \{\text{low, medium, high}\}; L(\text{진입로의 길이}) = \{\text{low, medium, high}\}$ ;로 부터 새로운 퍼지 규칙을 얻어내어야 한다. 여기에서 규칙을 생성해내기 위하여 입력과 출력의 등급값이 가장 큰값의 명사만을 추출하여 내본다. 이를 통해 측정값에 가장 근접한 유일한 출력값을 추출하여 낼 수가 있다. IF 부분과 다른 THEN 부분이 있을 경우 가장 큰 값을 정한다. 이는 조건절의 전반부와 후반부의 가장 큰 값에 관한 명사의 멤버쉽 값을 생성해냄으로서 정의 된다. 이를 통해 약간의 정보를 잃게되나 규칙의 수는 줄어들게 된다. 따라서 위에서 기술된 예를 통해 다음과 같은 4가지의 규칙을 얻을수가 있다. 왜냐하면 2번째 예는 2가지 규칙을 이끌어 내기 때문이다.

1) 대기차량의 수가 중간이고 차량의 형태가 중간크기

이면 혼잡도는 중간이다.

- 2) 대기차량의 수가 중간이고 차량의 형태가 크면 혼잡도는 원활하다.
- 3) 대기차량의 수가 많고 차량의 형태가 크면 혼잡도는 복잡하다.
- 4) 대기차량의 수가 적고 차량의 형태가 작으면 혼잡도는 복잡하다.

이와같은 규칙이 이루어져서 퍼지추론으로 들어가고 추론은 시뮬레이션을 통해 2초 간격으로 시행되어지며  $V, \Lambda$ 은 각각 max,min값으로 실행되어지고 이러한 언어 규칙은 카테시안 곱인  $L(p) \times L(q) \times L(t)$  로서 표시된다.

표 1. 차량의 형태와 차량수의 관계 그래프  
Table 1. Relation graph of type and number of car

	차량형태	small	medium	large
대기차량수				
a few		원활		
medium			보통	
many			복잡	복잡

코노름인 S와 노름인 T1 을 이용 조합(combination)/투영(projection)의 원리를 이용 퍼지 부집합  $L(T) \times L(H)$ 를 영상(image)F를 계산 하면 식 (4)와 같다[11].

$$\mu A(W) = S(V, V') \subseteq L(T) \times L(H) \quad \mu(E, E')(V, V') T_1 \mu F(V, V', W) \quad (4)$$

여기에서  $\mu(E, E')(V, V')$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다. 여기에서 2개의 변수가 독립적이라 가정하면  $\mu(E, E')(V, V')$ 는 분리되어지고  $T_2(t\text{-노름})$ 를 가지고서 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\mu(E, E')(V, V') = \mu E(V) T_2 \mu E'(V') \quad (5)$$

### 3. 계층 분석 방법에 의한 교통량 검지 퍼지센서

#### 3.1 계층 분석 방법

퍼지규칙의 객관적 다속성 평가방법의 미흡으로 이에 대체할만한 방법으로 계층분석 방법을 쓰는데 이는 정량적 분석법의 일종으로 1970년대 초에 Satty에 의해 개발되었다.[6] 이 기법은 대안의 평가 및 채택을 위한 의사결정기법의 하나로서 이미 이 기법에 대하여 많은 연구가 진행된바 있다. 일반적인 대안 평가방법인 다속성 가치방법(multi-attribute value method)은 각 대안들이 가지는 속성의 범주를 추출하여 각 속성의 값을 구하고, 소정의 과정을 통하여 각 속성의 가중치를 가정한 후에, 각 속성 값을 가중치로 보완한 총합계를 기준으로 대안을 평가하는 의사 결정기법이다. 그러나 이 기법은 가중치의 부여과정에 객관성을 부여하기가 어렵고 오차가 클수 있다는 데에 단점이 있다. 이러한 약점을 보완할수 있는 방법이 계층화 분석 방법이다. 이것은 다속성 가치방법과 기본적인 분석과정은 같으나, 전체의 대안을 동시에 평가하는 것이 아니라, 두 대안씩 조를 만들어 상대적인 비교를 하는 과정을 거치게 된다.

AHP는 다수의 목표, 다수의 평가기준, 다수의 의사결정 문제를 계층화하여 상위 계층에 있는 한 요소의 관점에서 직계 하위 계층에 있는 요소들의 상대적 중요도 (weight : 행렬식에서는 가중치)를 쌍별 비교(pairwise comparison)에 의해 평가한 후, 궁극적으로 최하위 계층에 있는 대안들의 중요도를 구하는 것이다.[7]

AHP 기법은 의사결정자의 오랜 경험이나 직관 등을 평가의 바탕으로 하고 있기 때문에 수치로 표현할 수 있는 객관적 평가기준은 물론, 흔히 의사결정 문제에서 다루기 힘든 주관적인 평가기준들도 비교적 쉽게 처리할 수 있다.

3.1.1 AHP의 적용 절차

AHP를 이용하여 의사 결정 문제를 해결하고자 할 경우에는 일반적으로 다음과 같은 4단계를 갖는다.

- (단계 1) 주어진 의사결정 문제를 계층 구조로 분해한다.
- (단계 2) 같은 계층 구조에 있는 요소를 대상으로 쌍별 비교를 한다.
- (단계 3) 계층의 고유치(eigenvalue)를 구하고, 쌍별 비교된 요소들의 중요도를 추정한다.
- (단계 4) 최하위 계층에 있는 대체안들의 중요도를 구하기 위하여 설문조사를 비롯한 교통대안들의 평가치를 구한한 각 계층에서 구해진 평가 요소들의 중요도를 종합한다.

3.1.2 의사결정 문제의 계층화

AHP의 적용 절차 중 가장 중요한 단계인 계층화 단계는 주어진 의사 결정 문제를 상호 관련된 의사 결정 요소들로 계층화하여 문제를 분석하는 과정으로, 최상위 계층에는 가장 포괄적인 의사 결정의 목표가 놓여지고, 최하위 계층에는 선택의 대상인 대안들로 구성되며, 하위 계층으로 갈수록 평가요소가 구체적이어야 한다. 계층화 분석을 위한 계층 구조의 일례는 그림 2와 같다.

3.1.3 평가 기준의 쌍별 비교

AHP에서 쌍별 비교는 어떤 계층에 있는 한 기준의 관점에서 직계 하위 계층에 있는 기준들의 상대적 중요도를 추정하기 위하여 평가 요소들간에 서로 비교하는 것으로 행렬로 나타낼 수 있다. 예를 들어, 어떤 계층의 비교기준을  $c_1, c_2, \dots, c_n$ 이라 하고,  $c_j$ 에 비해  $c_i$ 의 중요한 정도를  $a_{ij}$ 라는 수치로 표현할 때, 이들  $n$ 개의 기준들 간 쌍별 비교 결과는 다음과 같이  $n \times n$  행렬로 나타낼 수 있다.

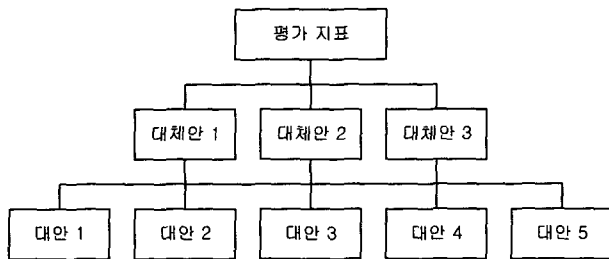


그림 2. 계층화 분석을 위한 계층구조  
Fig. 2. Hierarchy layer for AHP

$$A = (a_{ij}) \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

여기서, 행렬  $A$ 의 성분  $a_{ij}$ 는 다음과 같은 규칙을 따른다.

- 규칙1.  $a_{ij} = \beta$  이면  $a_{ji} = 1/\beta$  단,  $\beta \neq 0$
- 규칙2.  $c_i$ 와  $c_j$ 가 똑같은 중요한 정도로 중요하다면  $a_{ij} = a_{ji} = 1$  이 된다. 특히 모든  $i$ 에 대해  $a_{ii} = 1$ 이다. 따라서 행렬  $A$ 는 다음과 같이 정리될 수 있다.

표 3 Satty의 9점 척도  
Table 3 Nine point scale of Satty

어의 비교	정 수	역 수
Equal (동등)	1	9/9=1.00
-	2	9/8=1.13
Moderate (약간차이)	3	9/7=1.29
-	4	9/6=1.50
Strong (큰차이)	5	9/5=1.80
-	6	9/4=2.25
Very Strong (매우 큰차이)	7	9/3=3.00
-	8	9/2=4.50
Extreme (절대적차이)	9	9/1=9.00

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

쌍별 비교의 과정에는 평가기준들에 대한 의사결정자의 선호 정도를 어의적인 표현에 의해 나타내고, 이에 상응하는 적절한 수치를 부여하는 수량화 과정이 포함되는데, Satty가 제안한 9점 척도가 기준이 되며, 표 3과 같다.

최하위 계층의 평가대안들은 실시간 제어용으로 실시간용으로 조사를 해야하나 상위계층의 평가대안을 결정하는 데는 결정된 대안을 제어과정이 끝날 때 까지 사용해야 하므로 설문조사에 의하여 대안들을 결정할 수가 있다.

3.1.4 평가 가중치의 추정

쌍별 비교를 행한 후에는 각 계층에 대하여 비교대상 평가 기준들이 갖는 상대적 가중치를 추정하는데, 앞 단계에서 쌍별 비교를 통해 얻은  $a_{ij}$ 값을 이용하여 평가 기준  $c_1, c_2, \dots, c_n$ 이 갖는 영향도 또는 선호도를 나

타내는 수치  $w_1, w_2, \dots, w_n$ 을 추정하는 것이다. 여기서 다음과 같은 식이 성립한다.

$$a_{ij} = w_i / w_j (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

$$a_{ij} \cdot w_j = w_i \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j = n w_i, \quad i=1, 2, \dots, n$$

이 식을 행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \tag{8}$$

위 행렬식에서 다음과 같은 식이 성립된다.

$$Aw = nw \tag{9}$$

그리고,  $w$ 는 실제 가중치인 4개의 교통 파라미터의 개별적 상대비교를 말하며 상태방정식  $(A - \lambda I)X = 0$ ( $A$ :중요도 매트릭스,  $\lambda$ :고유값,  $I$ :단위행렬,  $X$ :상태변수)에서 상태변수의 계수값을 통해 구하며  $n$ 은 요소의 수이다.

다시, 식 (10)은 고유치와 고유벡터와의 관계를 나타내는 일반적인 방정식

$$Aw = \lambda w \tag{10}$$

로 나타낼 수 있다.

식 (10)을 다시 쓰면,

$$Aw = \lambda Iw \quad (I \text{는 단위행렬})$$

또는

$$(A - \lambda I)w = 0 \tag{11}$$

식(11)에서  $\lambda$ 를 구하면

$$|A - \lambda I| = 0 \tag{12}$$

이 되며, 이 때  $\lambda$ 의 값은 다음과 같은 성질을 갖는다.

일반적으로  $A$ 가  $n$ 차 행렬인 경우  $n$ 개의  $\lambda$ 값  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 이 존재하며, 모든  $i$ 에 대해  $a_{ii} = 1$ 이면,

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n \tag{13}$$

이 성립하며,  $n$ 개의  $\lambda$ 값 중에서 가장 큰  $\lambda$ 값을  $\lambda_{\max}$ 라 할 때 판단의 일관성(consistency)이 완벽한 경우  $\lambda_{\max} = n$ 이 되고, 나머지  $\lambda$ 값들은 모두 0이 된다.

결국 식(13)은 다음과 같이 된다.

$$Aw = \lambda_{\max} w \tag{14}$$

위 식에서 가중치  $w$ 를 추정할 수 있으며,  $\lambda_{\max}$ 의 값이  $n$ 에 근접하면 쌍별 비교 행렬  $A$ 가 일관성을 갖는 것으로 해석한다.

일관성 정도는 다음 식으로 나타낸다.

$$CR = CI/RI \tag{15}$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1) \tag{16}$$

여기서,  $CR$ (consistency ratio)은 일관성 비율이며,  $CI$ (consistency index)는 일관성 지수,  $RI$ (random index)는 난수지수의 약자이다.

Satty는 경험적으로 볼 때  $CR \leq 0.1$ 인 경우에 판단의 일관성을 인정하고  $CR > 0.1$ 이면 판단을 다시 하거나 수정 할 필요가 있다고 하였다.[8]

### 3.1.5 가중치의 종합

AHP의 마지막 단계는 최하위 계층에 있는 대안들의 우선순위를 구하기 위해 각 계층에서 계산된 평가기준들의 상대적 가중치를 종합하는 과정으로 최상위 계층에 있는 의사 결정 문제의 가장 일반적 목표를 달성함에 있어서, 최하위 계층에 있는 대안들이 어느 정도 영향을 미치는지를 알아보기 위해 대안들의 종합 가중치를 구하는 단계이다.

대안의 종합 가중치는 아래의 식을 통해 구할 수 있다.[9]

$$W = \sum_j (w_j)(u_j^i) \tag{17}$$

여기서

$W$ 는  $i$ 번째 대안의 종합 가중치

$w_j$ 는 평가 기준  $j$ 의 상대적 가중치

$u_j^i$ 는 평가기준  $j$ 에 대한  $i$ 번째 대안의 가중치

## 4. 계층 분석 방법을 통한 퍼지센서의 구현

### 4.1 설문조사에 의한 센서항목비교

교차로 교통 요소의 최종 측정항목인 혼잡도라는 측정량을 산출하기 위해서는 그보다 하위계층인 센서항목을 선정하여야하고 임의의 센서평가 항목은 객관성을 고려하기 위하여 설문조사에 의한 특정 교차로의 측정 항목을 선정하는데 계층분석기법의 중요한 특징으로서 상위계층의 속성을 평가지표선정을 하였으면 하위계층의 속성을 평가하는데 있어서, 두 속성씩 짝을 지어 상대적인 비교를 한다. 즉,  $n$ 개의 속성을 이원 비교한다면 비교의 횟수는  $nC_2$ 가 되고, 이를 정리한다면 표 4와 같은 하나의 행렬 구조가 된다.

실제의 조사에서는 일반적으로 설문조사의 방법을 이용하며, 이원비교의 기준으로는 1 ~ 9의 가중치를 사용한다.

설문조사의 내용은 많은 대체자료 대안 중 설정자료를 선정하기 위하여 자료분류별 비교하게 되는데, 이를 위해 그룹단위별 계층분석법이 필요하게 된다. 따라서 설문조사에 의하여 대체안 선정을 해야할 요소는 같은 그룹으로 비교를 하게 되고, 실시간 표본에 의하여 비교를 해야할 요소는 다른 그룹으로 묶어서 비교를 하는 것이 일반적이다. 설문조사에 의한 대체 안은 설비요소 혹은 환경적 요소의 평가에 사용되는데, 여기에는 교통시

설, 주거시설, 인간의 행태적 측정 연구 등을 비교하게 된다. 설문조사에 의한 자료들을 표본치 자료들과 계층 분석의 단계별 자료분류 방법론으로 분류하면 표 4와 같이 정리할 수 있다. 본논문의 설문 조사에서는 통과 차량수, 대기차량수, 차량의 형태, 도로의 길이를 선정하여 상위그룹 평가대안으로 선정 하여서 혼잡도라는 센서평가치의 평가 항목으로 선정하였다.

표 4. 평가지표에 대한 각 문제점들의 영향도  
Table 4. Influences of each problems According to performance index

	대체안 1	대체안 2	대체안 3	...
대체안 1	A11	A12	A13	...
대체안 2	A21	A22	A23	...
대체안 3	A31	A32	A33	...
...	...	...	...	...

표 5. 자료의 분류와 단계별 방법론  
Table 5. Data grouping and grading method

자료 분류		연구 진행 단계와 방법론		
표본수 (설문자수)	주기번호	평가지표별 중요도	평가지표별 평가치	시간별종합 평가치
0-20	A1	$w_1$	$h(x_1)$	$U_1$
21-40	A2	$w_2$	$h(x_2)$	$U_2$
41-60	A3	$w_3$	$h(x_3)$	$U_3$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
181-200	A10	$w_n$		$U_{10}$
		설문조사의 가중치평균	퍼지규칙	퍼지측도와 퍼지적분

표 6. 교차로 교통 기록표  
Table 6. Recording table of intersection parameter

	통과 차량수	대기 차량수	중대형 차량비	도로길이	중요도
통과 차량수	17/17	17/19	①17.4/12.1	③95/201	⑥0.126
대기 차량수	19/17	19/19	②19/12.1	④96/301	0.091
중대형 차량비	12.1/17	17.4/19	12.1/12.1 (17.4/17.4)	⑤17/201	0.114
도로 길이	201/17	301/19	201/17	201/201	0.669

4.2 교통요소별 센서 항목인 혼잡중요도 행렬 구하기

센서의 평가 항목인 상위 교통대안을 구하기 위해 설문평가자 10명을 20초마다의 육안 기록을 실시하도록 하게 되면 1초에 차량 1대가 통과하는 수를 기준으로 20초

에 최대 통과수가 20대가 통과하게 되며 이때의 상황은 전방 후방 직진을 각각 3명씩 육안 기록하게 되며 좌측 우측 대기는 각각 2명씩 육안 기록하게 된다.

대기행렬시 차량의 형태별 환산계수와 AHP중요도 매트릭스 수치는 표 4에서 발췌하여 6개항으로 풀이하여 나타내었다. 대형차량은 소형 차량에 비해 0.5로 길이를 환산을 시행하고 중형차는 소형차에 비해 0.7로 환산한다. 도로의 길이는 진입로의 점유차량 길이를 실제 길이에서 빼고 대기차량의 도로의 길이는 좌,우 방향 도로의 길이를 합산하여 나타내어 점유차량길이를 통과차량수와 동일하게 구한다. 이렇게 구한 행렬식은 식(18)과 같다. 행렬식의 각 원소들의 수치는 표 6의 각 원소들의 수치를 간략히 하여 행렬식으로 구성한 것인데 정밀하게 구성하고자 할 때는 아래 행렬에 대한 설명으로 나온 수치로 구성하나 행렬식이 빠른 시간내에 추출되어야 할 때는 시각적인 비교량으로 식(18)의 행렬식을 구성하게 된다.

즉, 통과차량수, 대기차량수, 차량의 형태와 도로의 길이에 대한 각각의 일대일 대응의 상대적인 비교량을 식(17)에서 구한것과 같이 행렬 A의 원소로 정하게 된다.

$$A = \begin{bmatrix} 9/9 & 1/3 & 1/3 & 1/2 \\ 3/1 & 9/9 & 3/1 & 2/1 \\ 3/1 & 1/3 & 1/3 & 2/1 \\ 2/1 & 1/2 & 1/2 & 1/1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

(1) 행렬에 대한 설명

- a. 차량의 형태 : 대(0.5)+중(0.7)+소(1)
  - ① 통과차량 :  $5 \times 0.5 + 8 \times 0.7 + 4 \times 1 = 12.1(\text{대})$
  - ② 대기차량 :  $3 \times 0.5 + 7 \times 0.7 + 11 \times 1 = 17.4(\text{대})$
- b. 도로의 길이: (차선길이-차량의 점유길이)/3m  
 차량의 점유길이 = 대형차량  $\times (3/7)m$  + 중형차량  $\times (6/7)m$  + 소형차량  $\times 3m$ 
  - ③ 통과차량 :  $[(\text{전}(500m) + \text{후}(200m)) - (\text{대형차수} \times 7 + \text{중형차수} \times 6 + \text{소형차수} \times 3)] / 3 = (700 - 95) / 3 = 201(\text{대})$
  - ④ 대기차량 : 도로의 길이 = 좌 + 우 = 1000[m]  
 차량의 점유길이 =  $3 \times 7 + 7 \times 6 + 11 \times 3 = 96[m]$   
 $(1000 - 96) / 3 = 301 [m]$
  - ⑤ 차량의 형태와 도로의 길이의 절대비는 양방향의 차선중 차량수가 큰 방향의 차량수를 합하여서 구함.
  - ⑥ 중요도는 세로로 합하여 1이 나오게 된다.

이값을 토대로 센서측정치가 정해지게 된다. 즉 퍼지 규칙에서 구해졌던 센서 측정치가 중요도 행렬값에 의하여 하나하나의 센서측정치로 구해지게 된다.여기에서 말하는 센서 측정치란 상징적인 혼잡도 계산값을 말하게 된다[10].

4.3 고유치 및 고유벡터 구하기

센서 측정치의 행렬식에서의 고유치 및 고유벡터는 식(14)로부터  $Aw = nw$  (혹은  $Av = \lambda v$ )  $n = \lambda$  이므로  $\lambda$ 의 정확한 수치를 구한다.  $n$ 와  $\lambda$ 의 정합도는 식(16)로부터  $CI = (\lambda - n) / (n - 1) \leq 0.1 \sim 0.15$  이내이면 정합적이고 그렇지 않으면 새로이 산출한다.[11]

4.3.1 혼잡도 매트릭스의 중요도 산정값과 고유치

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/2 \\ 3 & 1 & 1 & 2 \\ 3 & 1/3 & 1/3 & 2 \\ 2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.106 \\ 0.450 \\ 0.259 \\ 0.185 \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} 0.106 \\ 0.450 \\ 0.259 \\ 0.185 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} 0.106 \\ 0.450 \\ 0.259 \\ 0.185 \end{bmatrix}$$

여기서  $\lambda_{max}$ 가 4.0107이므로  $n$ 값인 4와 오차가 0.0107이므로 거의 정합적이라고 보고 이를 혼잡도로 선정하고 퍼지규칙에 의한 혼잡도와 비교를 하게 된다.

4.4 안산시청 교차로 성능 평가 결과

이와같은 방법으로 1개 구간에 대한 평가결과를 안산시청 사거리에다 적용하여 각 방향별 혼잡도를 측정하였다. 사거리에 대한 개략도는 그림 3과 같다. 사거리에 대한 대안별 계층분석법 혼잡도는 그림 주기별로 살펴보면 표 6과 같다. 매 10초마다 선형 센서측정 평가치는 차선의 점유율의 비로서 나타내었고 그 결과를 혼잡도로 계산하여 2개의 평균값으로 나타내었는데, 선형 평가치의 평균치가 가장 높고, 퍼지 추론치 값이 중간값을 나타내고 있다. 이는 각 주기값이 같은 차량 대수당 낮은 시간을 표시하므로 같은 시간에 많은 차량수를 보내 주는 것을 보여주고 있다. 즉, 통과차량 1대당 해당시간이 짧음을 보여주고 있다. 통과 차량수가 많다 하더라도 허용 통과 시간만 비례하여 많이 주면은 혼잡도는 그리 크지가 않음을 알수 있는데 통과 차량수, 대기 차량수, 허용 통과시간을 이렇게 퍼지 규칙으로서 전문가 시스템 양식으로 짜여진 모양의 결과가 표 6의 퍼지 추론 센서치 값으로 나타내어지고 있다. 그러나 이보다 더 좋은 결과를 나타내주기위해서 더욱더 자세한 규칙들들을 한계 없이 찾아야만 되어지는 딜레마에 빠지게 된다. 이와 같은 점을 해소하기 위해서 계층 분석법을 사용하는 이유가 되 어진다. 한번 보게된 Satty의 즉흥적인 안목이 몇번의 혼잡도 행렬식을 발생하게 되고 이와같은 행렬식 가운데 정합도 이내에 들어가는 행렬식을 혼잡도로서 선정하게 된다.

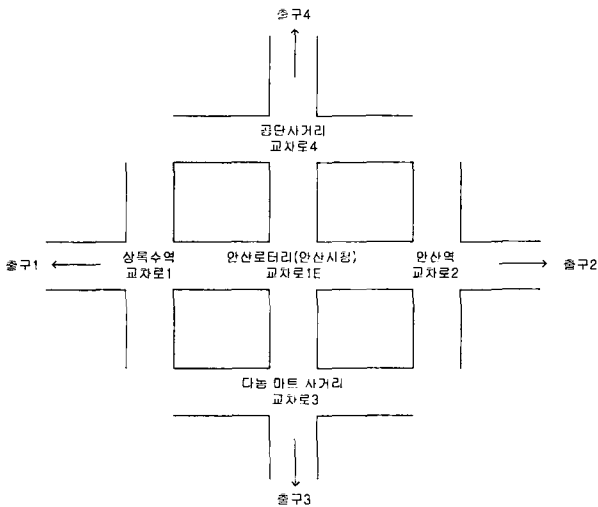


그림 3. 안산시청 교차로 주변 지역  
Fig. 3. Peripheral region of Ansan City Hall intersection

혼잡도로서 구해진 행렬 원소들은 중요도 값으로서 혼잡치 비교값으로 선형평가치와 퍼지추론치와의 객관적 비교 평가 방법으로 쓰이기 위해 선형 평가치, 퍼지추론치, 계층 분석법 값으로 나온 비교값들은 서로 비슷한 값들을 가지고 있어서 비교값 계산에 그리 차이가 나지가 않지만 평균값을 계산하여 내면 계층 분석값이 10~15%차이가 남을 알수가 있다.

이를 토대로 같은 차량수에 대하여 혼잡도가 작다는 것은 실제 차량 측정수를 정밀하게 측정하였다는 표현으로서 그만큼 허용 소비 시간이 없이 차량수를 측정하였다는 말로서 그만큼 차량수를 많이 보내줄수 있다는 제어 능력을 보여 주는 것으로 계층 분석에 의한 통과차량수의 양이 가장 많음을 표 6을 토대로 유추할 수가 있다. 각 주기별 혼잡도가 가장 작게 나타나고 있으므로 그림 4에서는 계층 분석 제어기에 의한 통과 차량수가 가장 많음을 보여 주고 있는 것이다. 통과 허용차량시간을 고정시켜놓은 고정신호제어기(Fixed controller)와 통과차량수, 대기 차량수 및 통과시간등을 퍼지 규칙으로 만들어 통과 차량신호 시간을 허용한 퍼지규칙제어기(Fuzzy controller)와 통과 차량수, 대기차량수, 통과시간등을 Satty의 9점 척도로서 측정한 계층 분석 알고리즘과의 비교 결과를 놓고 혼잡도를 측정한 결과를 가지고 허용 통과차량수를 비교한 결과 그림이 그림 4에 나타내었다. 같은 통과차량수와 대기 차량수를 가지고 혼잡 허용도를 비교한 결과 계층 분석 방법을 사용한 것이 혼잡도가 적다고 나타내어 같은 주기 시간대에 많은 차량수를 통과시킬수 있음을 보여주고 있다. 이와 같은 점은 같은 차량 밀도이지만 혼잡함에 계층분석법이 더욱 민감하게 반응하고 있음을 보여 주고 있는 결과이다. 퍼지 추론치와의 같은 방식으로 센서 입력을 한것이지만, 즉, 퍼지 추론치의 전문가 시스템식으로 교통량을 측정했거나 계층 분석법에서 한번 관측한 결과를 가지고서 그리고 상위 평가대안으로서는 설문 조사에 의한 방법으로 한것이나 같은 결과값이 나올것으로 생각되어지나 값에서 차이가 나는 것은 퍼지 추론에 의한 퍼지규칙의 의외의 착오성을 말하여 주는 것으로 퍼지 추론에 의한 퍼지규칙방법이 아주 전문가 시스템에 의한 세부적이고도 전문가 적이지 못하면 매우 착오성이 높은 결과가 나올수 알려주는 결과를 말해 주고 있다.

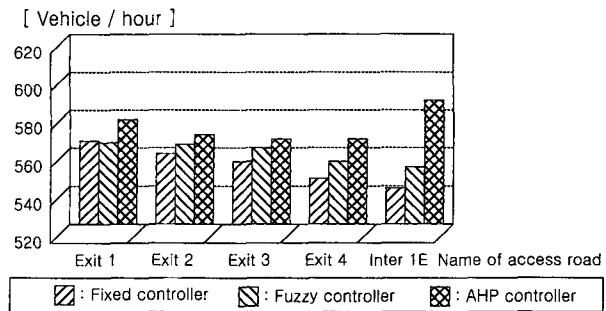


그림 4. 각교차로별 통과시 통과 차량대수  
Fig. 4. Passed vehicle number at each intersection, when straight passing condition

주기별 번호 A1~A20은 각 4가지 번호별로 새로운 주기의 회귀를 나타내어 4주기가 1사이클이 반복되는 시

간을 나타내고 있다. 평가 지표치  $h(x_i)$ 가 계산이 되어 지면 나열된 지표치를 평균치, 퍼지 추론치, 퍼지 적분 평가치로 혼잡도를 계산하여 4가지 현시 단위별로 혼잡도를 계산하게된다.

주기별 혼잡도가 높은 값을 선정하여 이전 주기값에 대한 비율로서 현재 현시의 주기 시간값을 계산하게 된다. 평균치, 퍼지추론치보다 퍼지 적분 평가치의 혼잡도 값이 대체로 10~20% 이내의 높음을 보여주고 있는데 차량수의 많음에 긴 주기를 배정하고, 차량수가 적을 경우 상대적 중요도가 적은 수치를 배정하고 있음을 나타내고 이 값을 통해 전 주기의 주기 시간을 늘려주게 된다. 결과치의 수치가 작음이 좋은 효과를 나타내는데 이는 고정시간 주기를 기준 같은 통과 차량대비 주기 시간이 짧으므로 허용 통과 차량수가 많음을 보여주고 있다.

표 7. 교통주기별 혼잡도 계산 결과  
Table 7. Result of traffic parameter confusion degreecalculation of each cycle time

주기번호	선형평가치		계층분석센서 평가치
	가중평균센서 평가치	퍼지추론센서 평가치	
A1	0.52	0.61	0.55
A2	0.56	0.55	0.55
A3	0.59	0.60	0.61
A4	0.69	0.70	0.68
A5	0.61	0.61	0.59
A6	0.62	0.62	0.62
A7	0.59	0.70	0.71
A8	0.55	0.57	0.51
A9	0.48	0.59	0.60
A10	0.65	0.47	0.44
A11	0.54	0.67	0.64
A12	0.47	0.56	0.59
A13	0.58	0.56	0.53
A14	0.51	0.49	0.53
A15	0.54	0.58	0.55
A16	0.65	0.52	0.53
A17	0.55	0.54	0.53
A18	0.46	0.68	0.61
A19	0.58	0.52	0.42
A20	0.65	0.62	0.52

5. 결론

일반 물리량 측정 센서가 아닌 상징량 측정 센서를 구현할때는 다단 측정 항목의 유기적인 관계를 밝혀내어야만 최종 센서측정량이 나오게 된다.이때 서로 관련이 있는 항목이라면 선형적인 방법으로 최종 측정량값에 대한 평가치들간의 평가값을 계산해 낼수 있으나 그렇지 못할

경우에는 퍼지 관계나 전문가 시스템식 방식으로 측정치를 계산해 내어야 한다.그러나 이때는 이분야에 정통한 지식을 가진 평가자가 아니고서는 정확한 측정값을 계산하여 낼수가 없게 된다. 다단 센서에서도 같은 이치이다. 본 논문에서는 다단센서의 명칭을 퍼지센서라 하였으나 정확한 의미로서는 다단센서가 맞는 명칭이라는 것을 뒤늦게나마 밝혀 둔다. 다단 센서의 유기적인 관계를 지금 까지로서는 퍼지 관계 규칙으로서만 센서 측정값을 도출해 낼수가 없다. 기타의 선형평가 방법이나 통계적인 방법으로서의 한계에 부딪힐 수 밖에 없다.이를 보완한 것이 계층 분석 방법을 사용한 퍼지센서 하위 평가치들간의 관계값을 계산하여 내는 방식이라 할 수 있다. 관측자들에 의한 정확한 수치 적용값을 평가 행렬값으로 변환하여 정합값 계산식에 적용하여 정합값이 나오면 평가치로서 사용을 하고 그렇지 않을 경우에는 배제하여 버리는 방식이므로 절대적 관계값에 근접한 값을 도출하여 낼수가 있다는 장점이 있게 마련이다.실제 선형평가치로 계산하여 낸값과 퍼지 관계 규칙값으로 계산하여 낸값보다 최종 센서측정치인 교통 혼잡량 계산값에 있어 계층 분석값이 작아 같은 시간대에 많은 통과 차량수를 보낼수 있다는 장점을 가지고 있음을 알수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Toshio Fukada, Koji Shimojima, "Multi-Sensor Integration System with Fuzzy Inference and Neural Network", IEEE Fuzzy system Int. Conf. 1992
- [2] Gilles Mauris, "The aggregation of information by examples via fuzzy sensors", IEEE third Int. Conf. on Fuzzy System, Orlando, USA, pp.1867-1872,june 1994
- [3] E.Benoit, L.Foulloy et. al, "Fuzzy sensor for the perception of Colour", Submitted to the Third IEEE Int. Conf. on Fuzzy system, orlando, USA, pp.2008-2013, June 1994
- [4] Wang Ley, Volker Hans, "Improving Dynamic Performance of Temperature sensors with Fuzzy Control Technique", IEEE Fuzzy system Int. Conf, 1993
- [5] 진현수, 김성환, "교통량검지를 위한 퍼지센서 알고리즘," 한국퍼지 및 지능 시스템학회 논문지, 제8권, 제2호, pp. 134-141, 1998.
- [6] Satty, R. W., "The Analytic Hierarchy Process -what it is and How It is Used" , Mathematical Modeling, pp.161-176, 1987.
- [7] H. J. Zimmermann and P. Zysno, "Decision and Evaluation by Hierarchical Aggregation of Information", Fuzzy Sets and Systems Vol. 10, pp. 31-36, 1983.
- [8] Iran Pereira, "An Analytic Hierarchy Process Approach to the Analysis of Quality in Telecommunication Systems", IEEE Global Telecommunications Conference, pp. 1684-1688, 1992.
- [9] G. J. Klir, "Fuzzy Sets Uncertainty and Information" Prentice-Hall Inc, pp. 69-93, 1993.



- [10] R. Bellman and L. A. Zadeh, "Decision-Making in Fuzzy Environment", Management Science, Vol. 17, pp. 146-164, 1970.
- [11] L. A. Zadeh, "Outline of A New Approach to The Analysis Complex Systems and Decision Processes", IEEE Trans. Syst. Man Cybern, Vol. SMC-3, pp. 28-44, 1973.
- 

## 저 자 소개



진현수

1986년 : 서울시립대학교(학사)

1994년 : 서울시립대학교(석사)

2001년 : 서울시립대학교(박사)

1995년 3월 ~ 2001년 2월 : 안산공과대학  
재임

2001년 3월 ~ 현재 : 천안대학교 조교수  
재임

관심분야: 인공지능 시스템, 인공 생체 면역 시스템 , ITS,  
GPS,

Phone : 041-620-9479