

## AHP기법을 활용한 교통량조사 퍼지센서 알고리즘

진현수<sup>1\*</sup>

### Fuzzy Sensor Algorithm for Traffic Monitoring applied by the Analytic Hierachy Process

Hyun-Soo Jin<sup>1\*</sup>

**요 약** 교통량조사 방법은 루프검지기와 피에조센서를 주로 많이 사용하여 차량의 숫자만을 파악하여 교통주기를 계산하는 방법을 사용하나 교통량을 파악하는 방법은 단순한 교통량에만 국한되는 것이 아니라 다중교통특성인 진입로의 길이, 도로의 폭, 보행자의 수, 통과차량수, 지체차량수 등 관련되는 교통대안을 총 망라하여 새로운 교통량인 혼잡도라는 개념을 대표대안으로 선정하면 바로 교통주기에 적용할 수 있다. 본 논문에서는 서로 관련성이 없는 교통대안들을 AHP 방법을 사용하여 교통주기 계산에 즉시 사용할 수 있는 공통 분모인 새로운 교통대안을 찾아내는 알고리즘을 개발하고 이를 새로운 교통량 개념인 혼잡도라는 교통량을 찾아내는 퍼지센서 알고리즘을 구성하는데 적용한다. 시뮬레이션을 통해 타 교통제어방법과 비교하여 지체차량시간이 줄어듦을 보여준다.

**Abstract** Traffic monitoring method is mainly loop detector and piezo sensor. But this method is only detecting the number of vehicle. Monitoring traffic volume is not checking the number of vehicle but checking the length of access road, width of road, number of passing people, passing vehicle, delayed vehicle. The traffic signal control cycle is not fixed by only passing vehicle number but all related traffic proposal. This paper proposed selecting common characteristic out of each unrelated traffic proposal through Analytic Hierachy Process and this characteristic is applied to compose fuzzy sensor algorithm which find out new traffic volume concept of confusion degree. The accumulated delayed vehicle time is shorter in new fuzzy sensor algorithm applied by AHP than other traffic method

**Key Words** : Analytic Hierachy Process, Fuzzy sensor algorithm, Traffic proposal, Traffic control cycle, Confusion degree

#### 1. 서론

센서의 목적은 수집된 많은 정보로부터 특별한 물리적 양을 선택하는 것이라 할 수 있다. 일반적으로 물리적 현상에 대한 묘사는 그 객체에 대해 정확하고 단축적이고 객관적인 수치적 양을 부가함으로써 얻어지는데 이런 수치적 묘사는 복잡한 현상을 쉽게 설명할 수 있는 특정한 규칙이 설정되어야만 된다. 일반적으로 센서는 단일(single)센서와 다중(multi)센서로 구별할 수 있는데 단일 센서는 일반적인 물리량을 측정하는데 쓰이는 센서이고 다중센서는 여러 가지 물리량을 측정하여 퍼지측도 방법으로서 상징적인 양을 총괄 감지하여 추출하여 내는 방

법이랄 수 있다. 그러나 다중센서로서 여러 가지 물리량을 하나의 상징적 센서량으로 묶는데는 각 물리량별 특성이 서로 다른 관계로 서로 관련성을 가지고서 물리량을 묶는데 한계성을 두고 있다[7]. 진현수의 논문(1998)에서도 교통량 감지를 위한 퍼지센서알고리즘을 다루었는데 그 내용에서는 특성이 서로 비슷한 예를 들어 교통량을 감지하기 위한데 같은 특성인 통과차량수, 대기차량수, 이웃교차로의 통과차량수등을 다룸으로써 퍼지 측도인 방법으로서 상징적인 교통량인 혼잡도라는 개념을 표출하여 낼수 있었다[6]. 그러나 같은 다중센서로서 혼잡도라는 상징적인 교통량을 표출하여내는데 서로 관련성이 적어 보이는 교통대안들을 가지고서 퍼지측도로서

<sup>1</sup>백석대학교 정보통신학부  
접수일 08년 5월 29일

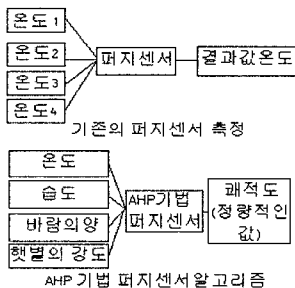
수정일 08년 8월 07일

\*교신저자: 진현수(jhs1020@bu.ac.kr)  
계재확정일 08년 8월 11일

무기에는 무리가 뒤따른다. 즉, 단순히 교통차량의 숫자가 아닌 다른 교통대안들도 교통제어 주기를 결정하는데 관여 되어진다. 따라서 진입로의 길이, 진입로의 폭, 건널목의 보행자의 수, 차량의 종류별 길이등을 융합하여 혼잡도라는 상징센서인 퍼지센서로 묶는데는 기존의 방법인 퍼지측도인 방법으로서만 묶을수가 없게 된다. 이럴때는 하위계층의 여러 대안들을 묶어서 상위 계층인 대안(여기에서는 퍼지센서 측정값인 혼잡도라는 상징적인 양)으로 결정하는데 AHP(Analytic Hierachy Process)방법을 사용하였다[4]. 그외의 퍼지센서 알고리즘도 실제적으로 물리적으로 측정 가능한 물리량이라 할지라도 상징적인 비유값인 안전도, 위험도, 쾌적도등의 형태를 띠는 경우 인간의 사고내지 인공지능요소(퍼지센서)로 부터 처리될수 있는데 이러한 값들도 서로 관련성이라는 제한적인 틀을 벗어날수가 없다.

단일센서로 측정할 수 없는 다중적이거나 정성적인 양을 구체적인 양으로서 측정할 수 있는 방법이 퍼지센서 알고리즘이라 할 수 있다. 기존의 방법은 같은 특성류의 양들을 묶어서 단일 방법으로서 결과값을 얻어낼 수 밖에 없었으나 AHP기법은 서로 다른 특성을 가져도 물리량을 묶는 쌍별 대안법으로서 목표로 하는 한가지의 결과값을 얻어낼수가 있다. 쌍별대안법은 서로다른 특성값이라도 같은 공통점을 갖는 특징점을 전문가의 판단값으로 정량적인 값으로 표현하여 목표로 하는 값을 얻어내는 방법으로 알고리즘에 대한 구체적인 기술을 2.2절에 자세하게 소개되었다.

아래그림은 AHP기법에 대한 방법과 기존의 퍼지센서의 의한 방법의 차이를 그림으로 설명한것이다.



[그림 1] AHP적용 퍼지센서알고리즘

## 2. 퍼지센서의 구성

### 2.1 퍼지센서의 기초

퍼지(상징) 센서는 정보량에 대한 수치적 표현에서 상

징적 표현으로 바꿔주는 것에 근거하는데 상징적 측정을 하기 위해서 상징기호와 수치사이의 관계를 정합하는것이 중요하다[8]. 보통 퍼지측도 방법으로서 상징 기호들을 묶는데 이에는 상관관계라는 제한적인 요소가 뒤따르게 된다. X를 대집합(support set)이라고 할 때 대집합 X에 속하는 측정량을 정하기 위해 L를 물리적 현상을 대표하는 명사의 집합이라고 하면 차량의 많고 적음을 표시하는 혼잡도라는 상징적인 량을 AHP를 적용하지 않은 상태에서 추출하게 된다면 L={소, 중, 밀}로 표시할수 있다. 집합 E의 퍼지 부분집합을F(E)로 표시하면 혼잡도라는 상징값의 퍼지사상(mapping)은  $\tau : L \rightarrow F(x)$ 로 표현된다. L에대한 퍼지집합을 상징기호 L로서 표시하면 결국 2개의 다른 상징기호는 같은 값을 갖는다. 상징기호 L의 퍼지값은 멤버쉽함수로 구할수 있다. 또 하나의 사상  $f : x \rightarrow F(L)$ 은 X에 대한 L의 측정을 퍼지로서 서술하기 위한 것인데 기호 L로서 표시되어지는 퍼지부분집합이다.  $L \subseteq L(x)$ 인 구간에서 퍼지기술(disdrpt)은  $\mu_1(x)$ 의 멤버쉽 함수로서 특징지워지므로 퍼지측도는 다음과 같이 기술 할수 있다.

$$\mu_1(x)(L) = \mu_r(L)(x) \tag{1}$$

따라서 퍼지측도를 통해 교통량 검지를 위한 수치-언어변환 메카니즘을 “교통량 검지 퍼지센서”라고 부른다면 교통량의 언어 수치량을 L이라 표시할 수 있고 E를 측정가능한 집합이라 한다면 표현값(meaning)이라 불리는 퍼지사상은 모든 퍼지측도 호출값으로 불리어질수 있다. 차량의 숫자와 도로의 형태에 대한 많은 언어명사의 퍼지사상값중 통과차량에 대한 지체차량의 퍼지사상값을 {대, 중, 소}로서  $\mu_1(2m)$  (L(통과차량))와  $\mu_1(30m)$  (L(지체차량))를 언어명사의 부분집합인 멤버쉽 값으로 표현하면  $\mu(\text{대, 중, 소})(2m)$ 와  $\mu_r(\text{길다, 중간, 짧다})(30m)$ 로서 표현할 수 있다. 이와 같은 경우 서로 다른 교통대안일 경우에는 같은 표현(meaning)을 쓸수가 없어 도로의 길이에 대한 통과차량의 퍼지사상 값은 광범위한 표현값인(많음, 보통, 적음)으로서만 표현할 수 있다[1]. 이같은 퍼지사상을 퍼지멤버쉽 값으로는 세부적인 규칙을 만들 수가 없어서 쌍별관계 행렬값으로서 구하는 AHP값으로 구하는것이 효과적이다[5]. 퍼지측도일경우 측정량 자체가 퍼지 부분집합(fuzzy subset)이므로 퍼지기술은 보통의 집합이론에 근거하여 일반 부분집합(crisp subset)의 정의로부터 구해진다. 언어명사의 집합을 L로 표시하고 측정가능한 물리량의 집합을 E라고 표시하면

퍼지사상은 기호 L의 퍼지량 값으로서  $\mu_r(l)(x)$ 로 표시되어지는 퍼지멤버십 함수로서 주어진다. 기본적으로 퍼지 표현과 퍼지사상과의 관계는  $\mu_l(x) = \mu(l)(x)$ 라는 퍼지센서의 기본지식의 값으로부터 측정값의 언어 표현을 얻을수가 있다[9].

### 2.2 AHP적용 퍼지센서의 기초

기존의 방법으로는 같은 정량적인 방법밖에는 센서로서 사용할 수 밖에 없었다고 할 수 있으나 AHP방법으로서는 서로다른 특성을 같은 물리량이라 할지라도 이를 정성적인 특성을 AHP대안법으로 바꾸어 하나의 정량적인 값으로 표출하여 낼 수가 있다는 것이 다른 퍼지센서들과의 차이점이라 할 수 있다. 즉 온도와 습도와와 다른 차이점을 같은 정성적인 AHP 방법으로 바꾸어서 결론적인 값으로 도출하여 낼수가 있다는 것이 차별성이고 우수한 본논문의 방법이라 할수 있다.

계층분석방법(AHP)은 정량적 분석법의 일종으로 1970년대 초에 Satty에 의해 개발되었다. 이 기법은 대안의 평가 및 채택을 위한 의사 결정기법의 하나로서 평가지표를 사용한다. 평가지표의 일대비교의 정합성이 서로 관련이 없는 대안일지라도 정합성이 좋으며 논리적인 대응력이 있고 다수의 일대비교가 가능하다고 하는 이점을 가지고 있다. 일대 비교로부터 얻어진 행렬A의 최대 고유치와 이것에 대한 고유벡터를 구해서 중요도로 한다. 중요도는 직접 상위 목적에 대한 하위 목적의 상대적 중요도(weight) 또는 직접 상위목적에 대한 대체안의 평가치이다. 교통평가치에 대한 교통량의 대안별 예시를 다음과 같이 전문가 시스템값으로서 서로 다른 대안에 대한 중요도 값을 구할수 있다.

교통혼잡을 정량화하는것은 교통요소를 종합 평가하는 함수를 설정하는 것이며 교통요소들의 정합평가에 있어서 구성되는 표현식은 다음과 같다.

$$U=f(w_i, h(x_i)) \tag{2}$$

중요도값은 각 대안별 평가값의 평균값을 구하여서 나타내진다.  $w_i$ 는 각각의 평가지표의 중요도이고  $h(x_i)$ 는 각 평가지표의 평가함수,  $f$ 는 종합화의 함수,  $U$ 는 종합평가를 나타내며 각 평가지표의 평가치는 퍼지추론에 의해서 구하고 중요도와 평가치에 대한 종합화는 퍼지적분을 이용한다.

퍼지센서로서 값을 구하기위해 10개의 퍼지규칙을 이용한다.

규칙 1 : 만약 상당히 많은 교통표본에 대해서 평가치

가 높으면 평가지표의 종합평가치는 상당히 높다.

규칙 2 : 만약 절반의 교통표본에 대해서 평가치가 1이고 나머지의 평가치가 높으면 평가지표의 종합평가치는 상당히 높다.

규칙 3 : 만약 많은 교통표본의 평가치가 높으면 평가지표의 종합평가치는 높다.

규칙 4 : 만약 절반의 교통표본에 대해 평가치가 상당히 높고 나머지 평가치가 상당히 높지않다면 평가자료의 종합 평가치는 높다.

규칙 5 : 만약 절반의 교통표본에 대해 평가치가 높고 나머지의 평가치가 높지 않다면 평가자료의 종합평가치는 약간 높다.

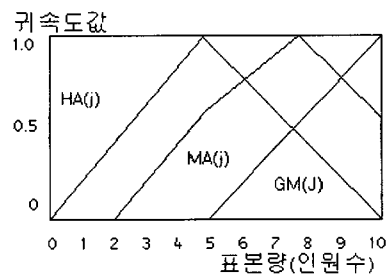
규칙 6 : 만약 절반의 교통표본에 대해 평가치가 낮고 나머지의 평가치가 낮지 않다면 평가자료의 종합평가치는 약간 낮다.

규칙 7 : 만약 많은 교통표본에 대해 평가치가 낮으면 평가자료의 종합평가치는 낮다.

규칙 8 : 만약 상당히 많은 표통표본에 대해 평가치가 낮으면 평가지표의 종합평가치는 상당히 낮다.

규칙 9 : 만약 절반의 교통표본에 대해 평가치가 상당히 낮고 나머지의 평가치가 상당히 낮지않으면 평가지표의 종합 평가치는 낮다.

규칙 10 : 만약 절반의 교통표본에 대해 평가치가 0 이고 나머지의 평가치가 0 아니면 평가자료의 종합평가치는 상당히 낮다.



GM(j): 매우 많은 교통표본, MA(j): 많은 교통표본  
HA(j): 절반의 교통표본

[그림 2] 교통표본수의 소속함수

위의 그림 1 과 그림 2로부터 각 규칙에 대해 퍼지화 및 퍼지추론 할수 있다. 규칙 1 의 경우 입력변수는 ‘표본이 상당히 많다’와 ‘평가치가 높다’가 되며 출력변수는 ‘평가지표의 종합 평가치는 상당히 높다’이다. 따라서 첫 번째 입력변수는 그림 1로부터  $GM(j)=1/10+0.8/9+0.6/8+0.4/7+0.2/6+0/5+0/4+0/3+0/2+1/1$ 으로 표현할수 있고 두 번째 입력변수는 그림 5로부터 표본수10개의 평가치  $S={$

0.82,0.76,0.74,0.9,0.70,0.67,0.61,0.58,0.53,0.48,0.45} 일때  $H(S_j)=0/0.45+0/0.48+0/0.53+0/0.58+0.07/0.61+0.47/0.67+0.72/0.70+0.93/0.76+0.53/0.82$ 로 표현할 수 있으며 출력 변수는 그림 2로부터 1/1.0이된다, 이와 같이 나머지 규칙들도 같은 방식으로 적용한 다음, 전체 규칙에 대한 max-min법으로 합성한후 무게 중심법으로 비퍼지화하여 평가지표별 평가치가 추론된다. 퍼지개념에 있어 요소에 대한 귀속도는 귀속도/요소로 나타낸다. 즉 퍼지개념  $A=\{(μ_A(u),u):u∈U\}=μ_A(u_1)/u_1+μ_A(u_2)/u_2+⋯+μ_A(u_n)/u_n=∑_{i=1}^n μ_A(u_i)/u_i, u_i∈U$ 로 표기된다.

### 3. AHP적용 교통량 퍼지센서알고리즘의 표현식

귀속도 함수로서 AHP대안값을 추출하여 평가치 원소값을 구하였으면 이값을 퍼지측도 범위내에서 사용하도록 상위집합과 하위집합의 범위를 결정하여야한다 AHP 적용 알고리즘을 구현하기 위해서는 측정값들의 서로 상관관계가 맺어져야 한다. 기존의 퍼지방법으로서는 서로 특성이 다른 값들끼리는 서로 관련이 있는 값들로 상관관계를 추출할 수가 없었으나 AHP방법의 쌍별 전문가행렬값들로 특징점들로만 뽑아내어 전체적인 값으로 표현할 수 있는 정량적인 식으로 표현하여 결과값을 얻어 낼 수가 있다. 집합 X의 부분집합의 특성함수는  $X_A : X \rightarrow \{0,1\}$ 로서  $x \in A$ 일 경우  $X_{A(x)}=1$ 이다. 퍼지확장을 위하여 부분집합 A의 특성함수를 통해 다시 쓰면 f와g의 사상만  $\{0,1\} \times \{0,1\} = \{0,1\}$ 관계를 통해 식 (1) (2)로 귀결될수있다. f와g의 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.

$$X_{l^+(A)}(L) = \bigvee_{x \in X} \wedge (X_{l(x)}(L), x_{A(x)}) \quad (3)$$

$$X_{l^-(A)}(L) = \bigwedge_{x \in X} \bigvee (x_{l(x)}(L), x_{A(x)}) \quad (4)$$

이를 일반 부분집합을 통해 기술하면 일반연산자를 퍼지 연산자로 대체하여 논리합관계(conjunction)는 삼각형의 노름(norm)으로 대체하고 논리곱관계(disjunction)는 삼각형의 코노름(conorm)으로 대체하면 된다. 이것들은

T, ⊥, →로 표시되어지고 일반 집합의 서술과 특성함수는 퍼지기술과 멤버십함수로 대체된다.

$$\mu_{l^+(A)}(L) = \perp X \subseteq X_T(\mu_{l(x)}(L), \mu_{A(x)}) \quad (5)$$

$$\mu_{l^-(A)}(L) = T_{X \subseteq X} \rightarrow (\mu_{l(x)}(L), \mu_{A(x)}) \quad (6)$$

이식을 통해 AHP 관계식을 통해 나온 결과치를 적용하여 퍼지 측도에 관련지어 보면 '차량의 혼잡정도가 중간이다'라는 사실을 알고서 '차량이 약 20대 일수 있는 가능성은 얼마정도나 될까'라는 문제를 유추하여 보면 '혼잡도가 중간이다'라는 사실은  $\Pi(A) = \text{Sup}_{x \subseteq X} \min(\mu_{A(x)}, \pi(x))$ 이라는 가능성의 분포로서 표시될수 있다. 애매함이 발생할때는 가능성의 분포를 정확하게 규정해야 하는데  $\Pi(A, \pi)$ 는 퍼지사건 A의 가능성을 나타낸다. 필요성 혹은 확실성은 가능성의 2가지 표시중 퍼지사건의 가능성의 정의를 가지고 식으로 표시하면 아래식과 같다.

$$N(A) = \inf_{x \subseteq X} \max(\mu_A(x), 1 - \pi(x)) \quad (7)$$

N(A)는 퍼지사건을 나타내는데 하위경계원소(inferior)와 상위경계원소(superior)의 퍼지해석 연산자를 통해 최소값(min)은 T-노름으로 최대값(max)는 T-코노름으로 교환되어지고 이를 통해 소속함수(membership function)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\mu_{l^+(A)}(L) = \text{Sup}_{x \subseteq X} \min(\mu_{L(x)}(L), \mu_{A(x)}) \quad (8)$$

퍼지관측 A의 상위기술의 멤버십 등급은 L의 추론의 가능성을 나타낸다 마찬가지로 퍼지관측의 하위기술은 추론 L의 퍼지관측 A의 필요성의 조건으로 서술된다.

$$\mu_{l^-(A)}(L) = \inf_{x \subseteq X} \min(\mu_{L(x)}, 1 - \mu_{A(x)}) \quad (9)$$

$$\mu_{L^-(A)}(L) = \inf_{x \subseteq X} \max(\mu_{l(x)}(L), 1 - \mu_{A(x)}) = N(l(L), A) \quad (10)$$

따라서 어떤 상징적 관측량의 유용한 등급을 얻는 효과적인 방법을 상위및 하위기술을 통해 표현할 수 있으며 식(10)을 통해 퍼지관측을 확정하는 가장 좋은 상징량으로 결정할 수가 있다.

교통량을 결정하는데는 위와 같이 퍼지센서를 사용하여 하는데 퍼지센서에는 퍼지적분과 퍼지측도를 가미

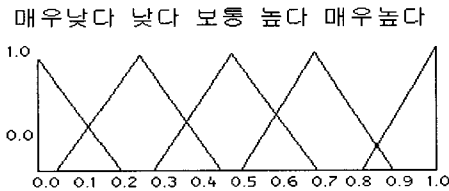
한 퍼지사상을 통해서 이루어진다.

### 4. AHP적용 교통량 혼잡도

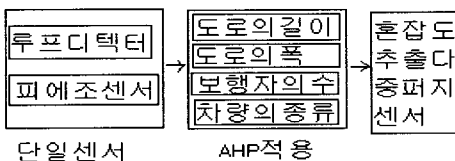
상징적 교통정보량으로 이제는 단일 정보량으로는 최종목표단계인 교통량주기를 결정할 수가 없게되어 혼잡도라는 다중 교통정보량을 얻어낼수가 있었다. 그러나 유사한 대안에서만 측정가능하게 되어 전혀 관련성이 없으나 꼭 필요한 정보량을 포함하게 될 때는 다단계 대안 관련 단일 대안 추출방법인 AHP방법을 적용하여 구하여 낼수가 있게 됨을 먼저 식을 구하고 퍼지센서에다 적용하는 단계를 구하였다. 그 단계를 그림 3으로 표시하였다.

먼저 단일센서에서 측정한 양들을 그림 4에서 추출하여 낼수가 있다. 교통주기를 계산하여 내는때는 지체차량수와 통과차량수만을 가지고서는 전체 교통주기를 계산하는데 적용할 교통대안들이 확정이 되었으면 교통대안을 계층적으로 제시하여 상위별 확정치를 선택하여 표 1에서 구한 일관성 비율 CR이 1이안되면 선택을 하여 퍼지측도값을 구하는데 사용된다. 표1에서 교통대안들을 서로 쌍별비교하여 중요도 값을 구하는데 그림 6에 나타나는 모든 교통대안들에 대해서 서로 비교를 하여야한다. 이와 같이 하위계층 비교를 한후 상위 계층으로 올라가 서로 쌍별 비교를 한 후 최종 혼잡도 값을 구하게 된다.

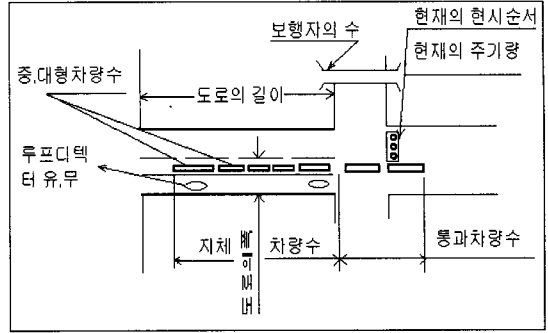
교통대안을 고려할 수가 없고 그 외의 교통대안들도 무시 못할 정도로 교통주기를 계산하는데 관여하고 있음을 알수있다[3].



[그림 3] 평가치의 소속함수



[그림 4] AHP적용퍼지센서의 구성도



[그림 5] 교차로상황의 교통대안



[그림 6] AHP적용퍼지센서 교통대안도

[표 1] 교통대안의 AHP행렬값

	통과 차량수	지체 차량수	중대형 차량비	도로 길이	보행자 수	중요도
통과 차량수	1	1/3	1/3	1/2	1	0.106
지체 차량수	3	1	3	2	1/3	0.450
중대형 차량비	3	1/3	1/3	2	1/2	0.259
도로 길이	2	1/2	1/2	1	1/2	0.185
보행자 수	1	1/3	1/3	1/2	1	0.149
$\lambda_{max} = 4.198$ $CR = 0.073$						

### 5. AHP적용 상징 정보량 추출

입력과 출력사이의 수학적인 관계가 없고 언어적인 규칙 베이스가 없을 경우 AHP적용 퍼지센서의 예를 구할

수 밖에 없다. 즉 입력명사와 출력명사를 연결하는 언어 그래프를 구성한 후 관련 교통대안을 퍼지측도를 연결시 길만한 대안으로 AHP를 적용하여 구성한후 조합과 투영의 원칙을 사용하여 구성된 그래프로 부터 새로운 입력을 계산하여 얻어내게 된다. 본 논문에서는 대기차량의 숫자, 차량의 형태, 진입로의 길이등을 언어적인 관계를 다음과 같은 함으로써 서술하였다. 즉 L(차량의 형태) = {대, 중, 소} ; l(q)={low,medium,high};L(진입로의 길이) = {low,medium,high};로 부터 새로운 AHP대안을 얻어내야 한다. 다음은 진입로당 차량의 대기숫자와 진입로의 길이, 차량의 형태등으로 새로운 차량의 혼잡도등을 얻어내는 AHP행렬을 표 2와 같이 표시하였다.

표 2와 같은 AHP행렬이 완성이 되었으면 퍼지규칙을 각각의 대안별 세우고 퍼지추론으로 들어가서 추종은 시뮬레이션을 통해 2초 간격으로 시행되어지며 V, ^ 은 각각 max,min값으로 실행되어진다. 이러한 언어규칙은 표 3과 같은 카테시안 곱인L(p)×L(q)×L(t)로써 표시된다.

코노름인 S와 노름인 T1을 이용 조합(combination)투영(projection)의 원리를 이용 퍼지 부집합의 L(T)×L(H)를 영상(image) F를 계산하면 식(11)과 같다.

$$\mu A(W) = S(V, V') \subseteq L(T) \times L(H) \\ \mu(E, E')(V, V') T1\mu(V, V', W) \quad (11)$$

여기에서  $\mu(E, E')(V, V')$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다. 여기에서 2개의 변수가 독립적이라 가정하면  $\mu(E, E')(V, V')$ 는 분리되어진다.

[표 2] AHP행렬을 생성하기위한예

대기차량 숫자	차량 형태	진입로 길이	혼잡도
0.75/medium +0.25/high (25대)	0.7/medium +0.3/high (대형차량)	0.75/medium +0.25/high (길이20미터)	0.8/원활 +0.2/보통
0.5/medium +0.5/high (36대)	0.25/medium +0.75/high (중형차량)	0.3/medium +0.7/high (길이40미터)	0.3/원활 +0.7/보통
0.8/low +0.2/medium (20대)	1/low (소형차량)	0.8/low +0.2/medium (길이60미터)	0.9/복잡 +0.1/원활

[표 3] 차량의 형태와 차량수의 관계 그래프

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

이식을 사용  $\mu F(\text{혼잡})$ 의 표현을 자세히 서술하면  $\mu T(V, V', W)$ 은 '0'이고  $(V, V')=(\text{medium,high})$ 와  $(V, V')=(\text{high,high})$ 이고  $\mu T(V, V', \text{혼잡}) = 1$ 이기 때문에  $\mu T(V, V', W)$ 은 '0'이 되지 않는다. 이를 퍼지측도 알고리즘의 과정으로 표현하면 다음과 같다. 각 요소에 대한 소속도(멤버십 함수)는  $A=\{U, \mu A(u)\}=\int u \mu A(ui)/u=\sum \mu A(\mu i)/\mu A(ui)/un, ui \subseteq U$ 로 되고 여기서 +,  $\int, \sum$ 은 가산은 아니고 조합을 나타낸다. 이를 AHP 결과식으로 표시하면 다음과 같다. 평가요소중 차량의 형태에 대한 표본수가 10개이고 크기순으로 구별하면  $S=(0.82,0.76,0.74,0.70,0.67,0.61,0.58,0.53,0.48,0.45)$ 이 되고 위에서 언급한 퍼지 추론률과의 관계로 부터 차량형태의 평가치를 구하여 l과 1과의 관계를 통해 '...' 교통표본에 대해 평가치가 높으면 평가자료의 종합평가치는 상당히 높다'에서 '높으면'의 퍼지개념은  $R(j)=0.1/1+0.3/2+0.5/3+0.5/4+0.7/5+0/6+0/7+0/8+0/9+0/10$ 이고 '크다'에서의 퍼지개념은 시간 초에서  $C_i(j)=1/1+0.8/2+0.7/3+0.6/4+0.5/5+0/6+0/7+0/8+0/9+0/10$ 이고 각 불과 평가요소의 평가치와의 관계에서 산출되는 l값은 행렬에 적용하면 차량형태 대안(proposal) 중심값은 0.6이고 도로의 길이의 대안 중심값도 0.6이다. 이를 통해 CR값으로 관계값을 추출한후 퍼지 합성 중심법에 적용하면 평가치는  $H(X_i)=(0.47 \times 0.8)+0.6 \times 0.6/(0.47+0.6)=0.69$ 로서 제어 값에 적용된다. 여기서 부터 "혼잡"명사의 의미은 이미제 시된 방법을 통해  $\lambda(a,b)=\min(a+b,1)$ 과  $T_1(a,b)=T_2(a,b)=a, b$ 와 AHP행렬식으로서 추출된 값으로서 표시된 의미를 가지고서 유추할 수가 있는 것이다.

## 6. 시뮬레이션에 의한 AHP퍼지센서 알고리즘의 성능평가

본연구에서 제안하는 AHP적용 퍼지센서방법을 교차로 네트워크에 적용 평가하기 위하여 시뮬레이션을 행하였다. 차량신호발생은 의사랜덤신호로 발생하여 1,0의유무로서 각 시간 마다 그리고 각 차선 마다의 평균차량발생빈도를 정하여 교차로마다 다른 분포의 차량신호를 발생시켜 많은 경우의 수를 실험하였고 모델을 통한 차량의 계수식은 식(12),(13)과 같다

이식을 통해 각각 1 시간동안 평균차량에 대해서 교통 차량의 유무를 판단하여 다음과 같은 모델식을 통하여 계산이 이루어지게 되는데 이 식들의 수치는 랜덤신호의

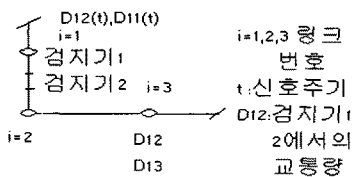
유무를 계수하여 모의실험식의 기본을 이루게 된다. 즉 1 사이클에서 녹색등시간에 차량이 완전소통되지 않고  $Q_G$ 라는 차량수가 남게 되면 적색등 시간에 적재차량  $Q_R$ 은 식(12)같이 된다.

$$Q_R = Q_G + \sum_{k=1}^n qn \quad (12)$$

여기서  $qn$ 은 남북도로상의 진입하는 차량수로서 좌회전 차량을 포함한다 그리고 적색등 기간의 차량에 대한 지연시간은 각각의 차량이 1초당의 유무로서 계수되어 지므로 그 차량수의 시간에 대한 누적으로서 지연시간을 다음과 같이 계산할 수 있다. 여기에서  $D_{R-R}$ 은 적색시간의 지체시간을 말한다.

$$D_{R-R} = \sum_{k=1}^n (Q_G + \sum_{k=1}^n qn) \quad (13)$$

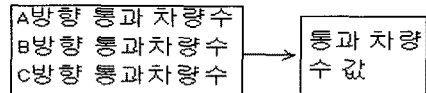
이 모델을 Time Scan방식으로 차의 상태를 주행아니면 정지의 상태로 취급하고있다. 이를 위하여 네트워크의 각 링크를 1 scan(2초) 에 이동 할 수 있는 이동거리에 상응하는 요소로 분할 하여 분할된 요소 각각에 대하여 대기행렬상태에서 수용할 수 있는 차량용량과 주행 상태에서 수용할 수 있는 차량용량이 정하여진다. 링크간의 이용은 각 링크별 교차로의 제어 방법의 식(13)에 기초한 녹색신호시간 배정을 통해 그림 6과 같은 네트워크를 통해 실험을 하였는데 각각의 센서검지기는 신호제어를 위한 대기행렬거리 위치에 관한 정보는 물론이고 유출량을 예측하기 위한 검지기(그림 6에서 검지기 2) 와 유입량을 링크 상류부에서 예측하기 위한 검지기(그림 6에서 검지기 1) 가 필요하다.



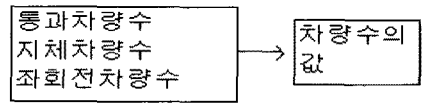
[그림 7] 검지기위치

기존의 방법으로는 차량의 구성요소에 따라 포화용량의 계산 및 진행 속도를 구하는 데에는 큰 어려움이 따른다. 즉 교차로 진입로 길이를 감안하면 소형차량은 3-4m,

중형차량은 5 - 6 m,대형차량은7-10m의 평균길이를 갖고 있다고 했을 때 차량이 10대만 대기행렬상태로 놓여 있다고 가정 한다면 소형차량은 40m,중형차량은 60m, 대형차량은 100m의 대기행렬길이가 되므로 이는 상위 교차로의 앞막힘 현상(spill back)을 일으키는 요인이 됨을 알수 있다.



단일 퍼지 센서



다중 퍼지 센서



AHP적용 퍼지 센서

[그림 8] 기존퍼지센서들과의 알고리즘비교

그림 8은 단일퍼지센서알고리즘과 다중퍼지센서알고리즘과 AHP적용 퍼지센서알고리즘과의 차이점을 도식화 한것이다. 그림에서와 같이 단일퍼지센서알고리즘은 측정값들의 물리적인 한계량을 벗어날수가 없고 다중퍼지센서또한 같은 단위량들의 물리적인 값들로 제한을 받는 특수한 경우라 할수 있으나 AHP적용 퍼지센서만이다른 정성적인 차원의 값들로 구성되어진 입력신호들이라 할지라도 공통점을 추출하여 목표로 하는 결과값을 추출하여 낼수 가 있는 것이다.

단일 퍼지센서는 같은 종류의 차량수밖에 측정할수 없으나 다중퍼지센서 알고리즘으로서는 같은 단위의 물리적인 양들을 측정할수 있다. 그러나 그런 제한적인 방법으로서는 다중 환경적인 물리량들을 종합하여 목표값인 정량적인 값으로 추출하여 낼수가 없으므로 AHP를 적용하여 기존에 설명한 방법으로 교통량의 목표치인 혼잡량을 추출하여 낼수가 있는 것이다.

기존퍼지제어기와의 비교분석하기위해 위의 모의실험식 (12)(13)식을 통하여 비교 검토한 표를 표 4에 표시하였다. 디텍터(차량검지기) 의 위치는 그림 7과 같이 설정하여 좌회전 차량을 고려할수 있게끔 하여 AHP적용 퍼지제어기의 성능을 실험할 수 있게 갖추었다. 1주기동안 이 4사이클로 이루어지므로 처음에는 제어기들끼리 지

체 차량수의 비교가 거의 같은 수준으로 나오나 AHP제어가 검지기의 입력값을 받아서 알고리즘을 시작하는 2주기 제어부터는 차이가 나기 시작하여 총 -11%의 지체시간 단축이 이루어 짐을 볼수 있었다.

[표 4] 기존센서와의 지체시간비교 단위 : 초

	단일퍼지 센서	다중퍼지 센서	AHP적용 퍼지센서	비교값 (%)
주기 1	24	22	21	-12
주기 2	34	32	31	-8
주기 3	36	33	32	-11
주기 4	34	29	27	-14
주기 5	24	23	20	-12
주기 6	34	32	31	-11
주기 7	25	24	22	-9

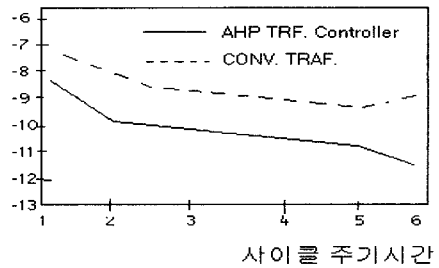
[표 5] 진입로길이와 폭을 고려한 AHP센서와 기존제어기(고정신호제어기)의 비교

도로폭 [m]	포화율 [%]	통과차량		AHP제어기		고정주기 제어기	
		좌	우	주기 시간	지체 시간	주기 시간	지체 시간
30	89	0	2	30	-20.0	25	-16.3
50	73	1	2	30	-18.1	25	-18.7
70	64	2	4	30	-11.0	30	-6.9
30	77	3	2	45	-14.5	30	-8.3
50	82	2	1	45	-19.6	30	-15.2
70	21	4	5	45	-12.0	45	-3.5
30	33	1	3	60	-11.5	45	-18.9
50	41	1	5	60	-12.0	66	-9.8
30	39	0	6	60	-17.5	70	-13.8
50	37	2	4	70	-11.0	70	-8.7

또 하나의 모의실험은 링크 양단 교차로의 신호주기를 식(13)으로 계산하여 두 신호제어기의 녹색신호시간의 다양한 조합(상류 녹색신호 60-75초, 하류녹색신호40-45초)와 포화 교통류율의 변동(0.48-0.62대/초)으로 인해 나타나는 진입로 유입 교통량 1,000-1,200대/시간의 조합및 신호 옵션의 각 조건에 대하여 행하여진 시뮬레이션 결과를 표5 및 그림9, 그림10을 통해 나타내었다.

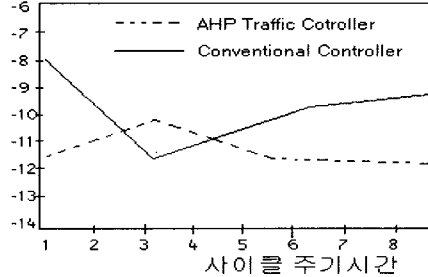
이표에서 알수 있듯이 미포화 상태에서는 정해진 시간대로 제어하는것이 좋은 효과를 보여주고 AHP센서는 미포화 상태에서 보다는 대기 차량이 상위 교차로에서부터 막힘이 시작되어 하위 교차로 까지 진행되어지는 앞막힘 현상이 일어나기 쉬운 과포화 상태에서 좋은 효과가 있음을 보여주고 있다. 또한 웹스터식의 주기시간과는 차량 혼잡량을 고려한 주기신호의 변화를 통한 지체시간의 비교가 AHP 제어가 나옴을 보여주고 있다[2].

지체시간



[그림 9] 과포화 상태에서의 지체시간

지체시간



[그림 10] 미포화상태에서의 지체시간

## 7. 결론

교통류의 제어방식의 계층은 기능적(operational),부분적(tactical), 전체적(strategic)으로 구분할 수 있는데 이러한 방식을 통한 효과적인 교통알고리즘이 많이 발표되었으나 이를 처리하기 위한 교통량을 산출하는 것은 차량수라는 가지적인 양으로 평가하는데 그 한계가 있음을 기존제어기의 비교를 통해 알수가 있었다. 따라서 종합적이고도 다각적인 현실적 교통량을 검지하는일은 교통제어를 하는데 있어 매우 시급한 일이라 할 수 있다. 이를 토대로 통과차량수와 지체차량수만을 가지고서 교통신호 주기량을 산출하여 내는일은 다양한 교차로의 교통상황 대안을 참고하지 않은 국소적인 일이라 할수 있다. 이를 토대로 기존의 교통주기식은 차량수 위주로 계산하여 통과 차량수와 지체차량수만을 가지고서 교통주기를 정하는 단일센서라 할 수 있었다. 이를 보완한 퍼지 센서 검지기는 이웃 교차로의 차량수등을 포함하여 이제껏 없었던 교통제어식을 산출하여 내는데 적합한 방식이라 할수 있으나 교통 제어 주기 산출에 관련된 교통대안이 차량수에만 국한된것이 아니기 때문에 주변의 여타 교통제어관련 대안을 적용시키는데는 한계가 있었다. 왜냐하면 관련성이 전혀 없는 대안들을 하나의 관련식으로 묶는다



는것이 한계가 있었기 때문이다. 이를 근거로 여러 교통 대안을 하나의 관련식으로 산출하기 위한 방법으로 여러 교통 대안을 하나의 교통 대안으로 산출하는데 쓰여지는 AHP추출값 들을 이제 퍼지측도센서 알고리즘식에다 적용할수 있는 근거를 마련한것이라 할수 있다. 앞으로는 교통 관련 혼잡도라는 센서값 뿐아니라 산업계 전반에 측정값들이 수식으로 산출되기 애매한 값들을 추출하여 내는데 AHP적용 퍼지센서 방법을 이용하면 많은 애매모호한 값들의 산출에 정량적으로 값들을 도출할수 있어 많은 산업계의 측량화에 도움이 되리라 믿는다.

### 참고문헌

[1] 도철용, 교통공학원론, 청문각, p448-598

[2] 진현수, 외“퍼지이론을 이용한 도시교통 신호등의 제어에 관한연구”, 대한전자공학회제어계측연구회 합동학술발표회 논문집, vol.15, no.2, pp93-96, 1991.

[3] 진현수, 외 “퍼지로직을 이용한 교통신호등의 최적 주기및 현시제어”, 대한전자공학회, 대한전기학회, 한국통신학회, 인공지능, 신경망및 퍼지시스템 종합합동 학술회의 논문집, vol12, no3, pp234-238, 1991.

[4] Satty,R,W., "The Analytic Hierachy Process-what it is and how it is used,"Mathematical Modeling, Journal of Fuzzy Logic, vol16, no4, pp.161-176, 1987.9.

[5] Zimmermann. P"Decision and Evaluation by Hierarchical Aggregation of Information", Fuzzy Sets and Systems Conf. pp31-36, 1983.

[6] 진현수, 김성환, “교통량검지를 위한 퍼지센서 알고리즘” 한국퍼지및 지능 시스템학회 논문지 8권, 제2호, pp. 134-141, 1998.

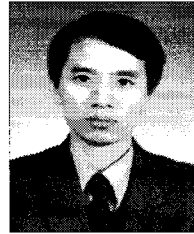
[7] Toshio Fukada, "Multi-Sensor Integration System with Fuzzy Inference and Neural Network",IEEE Fuzzy system Int.conf.vol13, no22, pp234-239, 1992.

[8] Gilles Mauris,"The aggregation of information by examples via fuzzy sensors",IEEE third Int.Conf. on Fuzzy System,Orlando,USA,pp.67-72,june 1994

[9] E.Benoit,L.Foulloy et.al,"Fuzzy sensor for the perception of Colour",Submitted to the Third IEEE Int.Conf. on Fuzzy,USA, pp.28-45, june 1994

진현수(Hyun-soo Jin)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울시립 대학교 전자공학과졸업
- 1993년 8월 : 서울시립대학교 전자공학과 석사 졸업
- 2000년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2000년 9월 ~ 2001년2월 : 한국과학기술원 박사후연구과정
- 2001년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 재임

<관심분야>

퍼지시스템, 메카트로닉스, 인터넷통신