

퍼지AHP를 이용한 교통신호제어 적합성에 관한 연구

진현수

백석대학교 정보통신학부

jhs1020@bu.ac.kr

A Study on a Validity of Traffic Signal Control using Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Hyun Soo Jin

Division of Communication & Information, Baekseok Univ.

요 약

본 논문은 퍼지 계층분석법을 이용하여 교통신호의 교차로에서의 적합성에 대해서 논의한다. 교차로에서의 교통신호는 현시, 주기 등이 현재의 교차로 상황에 적합한가를 구별하여 판별할 수 있다. 교통신호의 적합성 여부는 현시, 주기를 따로 구별한 신호체계에서의 지체차량의 지체시간을 비교하여 구별한다. 교통신호체계는 고정신호체계, 최적신호체계, 퍼지응용신호체계를 구별하여 응용단계가 높은 신호체계가 적합성이 높음을 퍼지계층분석법을 이용하여 밝히고 이를 이용 새로운 체계의 교통신호 체계도 제시한다.

1. 서 론

교차로 교통신호체계가 적합하지 않아 교차로 상에서 상대 쪽의 지체차량은 적어서 차량이 비어있는 상태가 되어있는 반면 반대편의 지체차량은 차량이 많아서 길게 늘어서 있는 모습이 자주 눈에 띈다. 이는 차량의 상대방의 차선에서의 신호시간을 무시하고 신호시간을 많이 준 영향이다. 차량의 신호시간 안배에 영향을 주는 교통요소들은 교차로 통과차량수, 반대편 지체차량수, 건너야할 보행자수 등이다 [1]

이와 같은 현상은 고정시간제어기, 최적신호제어기, 퍼지신호제어기등 교통신호제어기가 업-그레이드(up grade) 될수록 반비례하여 나타나는 현상들이다[2].

교통 신호 제어에 쓰이는 교통요소들은 교통신호의 주기와 교통현시 등이다. 교통량을 루프디텍터센

서를 사용하여 고정신호제어기의 주기를 변화시켜 주는 제어기가 최적신호제어기이다[1]. 이에 더욱 발전하여 현시까지를 제어하는 퍼지제어기가 나타나게 되었다[3]. 고정신호제어기는 신호체계를 설계할 때 설계자가 통과차량, 반대편 통과차량(지체차량), 보행자수 등을 고려하여 현시를 설계하고 각 현시별 주기를 지체차량의 지체시간을 가장 최소화하는 시간을 결정한다. 설계된 교통체계가 잘 설계되었는지를 결정하는 것은 현시가 잘 결정되었는가와 결정된 현시별 주기가 잘 결정되었는가를 판단하면 된다. 최적신호 주기는 현시는 결정된 대로 사용을 하고 있으나 주기신호를 차량수의 지체시간을 최소한으로 줄이는 방향으로 결정하는 것이다. 계층분석기법은 비교하기 힘든 대안을 쌍별 비교함으로써 서로 대안이 틀린 종목별 비교를 평가치 지표를 사용하여 구체화할 수 있다.

계층분석기법의 대안으로 쓸 수 있는 항목은 통과

차량수, 대기차량수, 중대형 차량수, 현재의 현시순서, 현재의 주기량, 도로의 폭(차선수), 도로의 길이, 보행자 통로의 유·무, 차량감지센서(루프 디텍터)의 유·무등이다. 이와 같은 항목을 대안으로 삼아서 현재의 신호체계가 적용되고 있는 교차로에 적합한가를 판정하는 것이다.

기능이 업-그레이드(up grade)된 교통신호제어기일수록 적합성이 높아지는 것을 볼 수 있다. 또한 기능이 업-그레이드(up grade)된 제어기 일수록 대안 항목을 많이 고려한 것을 볼 수 있다. 퍼지계층분석법을 적용하는 방식은 평가 항목을 직접적으로 비교할 수가 없으므로 쌍별비교를 하기 위해 퍼지측도를 도입하여 쌍별비교에 이르게 된다.

2. 교통신호 제어기

보편적인 교통신호제어기가 적용되고 있는 교차로 상황은 그림 1 과 같다.

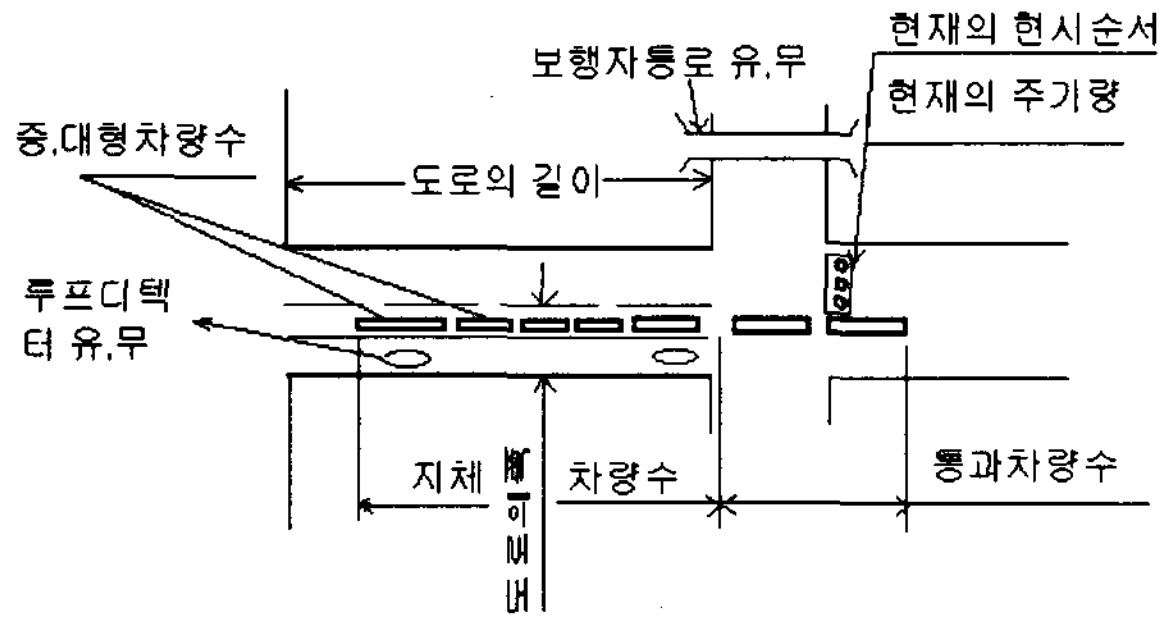


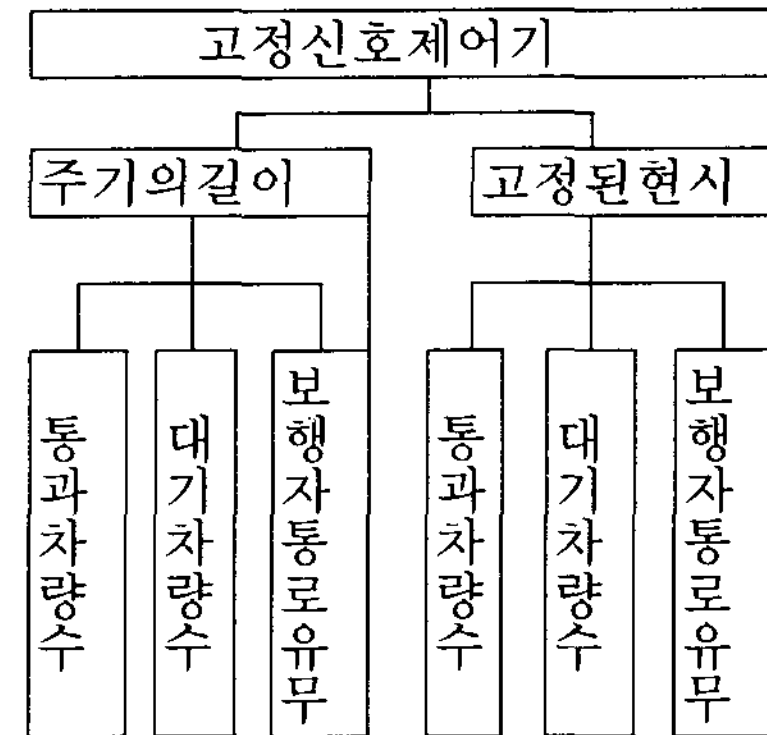
그림 1. AHP대안

고정주기제어기는 년도별, 날짜별 정해져 있는 주기와 현시를 나타내는 것이고 최적신호주기 제어기는 루프디텍터가 있어 차량을 감지한 후 현재의 주기량을 변화시켜 주어 차량을 제어하는 것이고 도로의 길이 보행자 통로의 유무 등을 대변하는 제어기는 퍼지신호 제어기로서 각각을 퍼지신호의 감지량으로 사용을 하는 것이다.

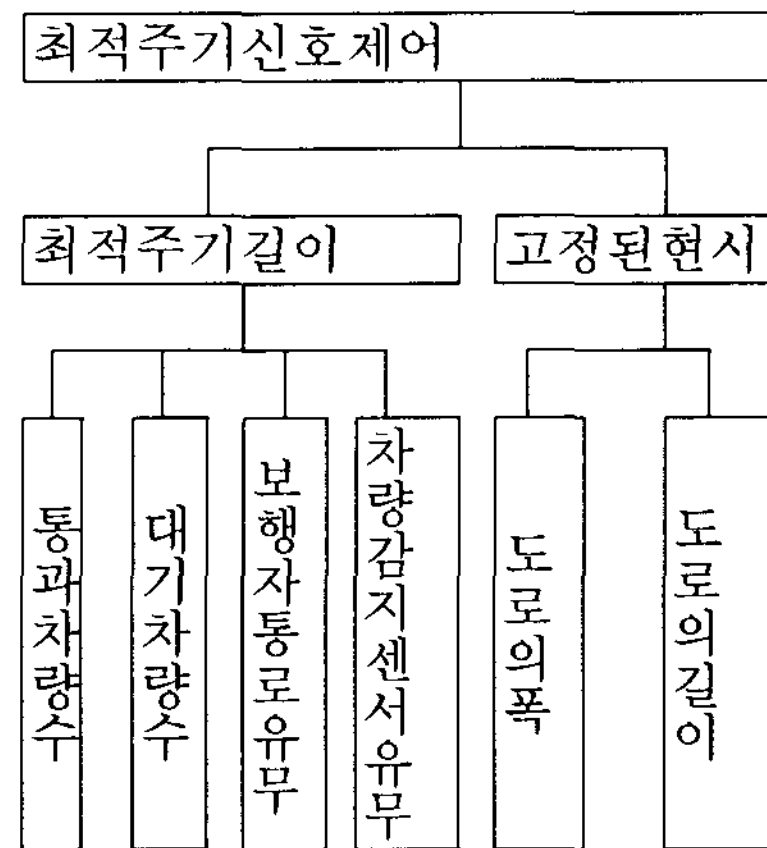
교차로 상황에 맞게끔 위의 신호를 각각의 신호제어기에 적용하였는가를 파악하여 쌍별 비교란에 대안으로 잘 선택하였는가를 평가치 지표로서 비교한다.

그림 2는 각 제어기별로 평가대안을 선정하여 단계별 평가 대안을 비교하여 나가는 과정을 대안별

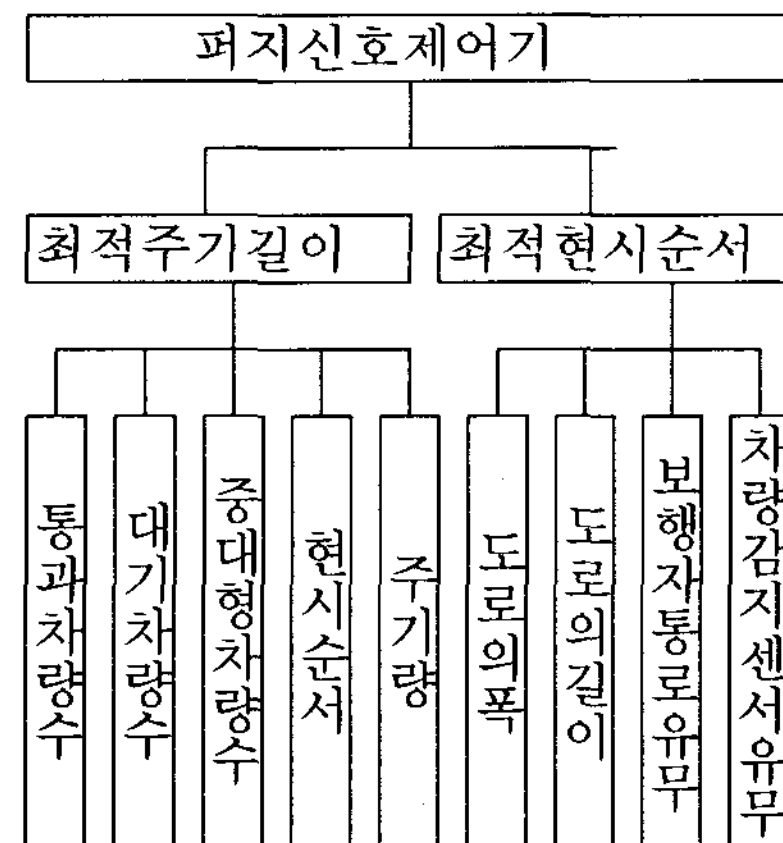
큰순서로 설정하였다. 제어기의 업-그레이드(up grade)순위가 낮을수록 해당하는 대안의 수가 적어 짐을 알 수 있다. 제어기의 순위가 낮더라도 평가지표가 잘 선택되었는가가 우선 순위가 되므로 해당 교차로에서 그에 맞는 평가지표들이 잘 선정되었는지를 알 필요가 있다. 평가지표들이 많이 선정되어다고 최적 주기값이 나오는 것은 아니라는 것을 평가대안들의 평가지표를 보고 판단할 수 있다.



그림a. 고정신호제어기 대안



그림b. 최적신호제어기 대안



그림c. 퍼지교통신호제어기 대안

그림 2. 제어기별 대안제시도

교통신호기가 업-그레이드 될 수록 교통신호기 대안이 많아짐을 알 수 있다. 교통대안이 많아짐은 좋은 현상이라고 볼 수가 있는데 과연 이러한 대안들이 잘 선택이 되었는가는 그 다음의 문제라고 할 수 있다.

이러한 현상성 대안을 가지고 총체적인 적합성 대응도를 계산해내는 파라메타별 계층 대안은 그림 3과 같다.

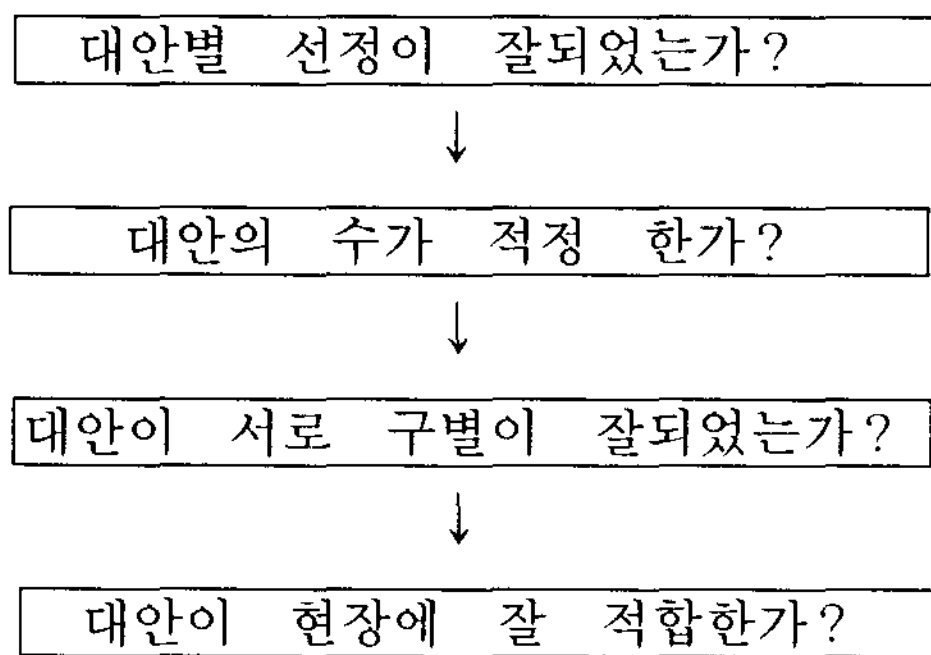


그림 3. 대안의 적합성여부 계층도

3. 계층분석방법을 이용한 교통신호 대안의 적합성여부

본 연구에서는 평가지표에 대한 중요성의 분석방법으로서 계층분석법을 적용하였다. 이것은 평가지표의 애해도가 높고, 일대비교의 정합성이 좋으며 논리적인 대응력이 있고 다수의 일대비교가 가능하다고 하는 이점을 가지고 있으므로 의사 결정자의 가치관에 따른 주관적 평가에 의해 복잡한 문제의 해결도모하는 방법이다. 의사결정자가 생각하고 있지만 형태화할 수 없는 주관적인 수치를 요소 상호의 절대비교에 의해서 나타낼 수 있다.

AHP의 잇점은 사용하기가 쉽다는 것, 판단에 모순을 허용하는 것, 판단에 포함된 모순의 정도를 나타내는 지표가 잘 준비되어 있다는 것 등이다. 일대비교로부터 얻어진 행렬 A의 최대 고유치와 이것에 대한 고유벡터를 구해서 중요도로 한다. 중요도(weight)는 직접 상위목적에 대한 하위목적의 상대적 중요도 또는 직접상위목적에 대한 대체 안의 평가치이다. 결과적으로 계층에 따라서 집계하여 대체 안의 종합 평가를 행한다. 일대비교과 중요도 산정방법은 직접상위목적에 대한 하위목적 또는 대체 안을 C_1, C_2, \dots, C_n 으로 표시하고 그 중요도 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ 은 모두 양의 수로 합은 1이다.

다음으로 두 가지의 하위목적 C_i, C_j 를 “직접 상위 목적에 대해서 어느 쪽이 어느 정도 더 중요한가”라는 방법으로 일대비교를 행한다. 이때 AHP의 특징으로 중요도의 비율을 수치가 아닌 언어적 표현을 사용하여 표현한다는 것이다. 중요도 표시로 Satty[4]의 9점 척도를 사용한다는 것이다.

$$A \omega = \begin{pmatrix} 1 & \omega_1/\omega_2 & \dots & \omega_1/\omega_n \\ \omega_2/\omega_1 & 1 & \dots & \omega_2/\omega_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_n/\omega_1 & \omega_n/\omega_2 & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 역으로 고유치 문제

$$A \omega = \lambda_{\max} \omega \quad (2)$$

를 λ 와 ω 에 관해서 풀면 그 최대고유치 $\lambda_{\max} \approx n$ 고 이것에 대한 고유벡터가 ω 로 된다. 다음으로 A가 어느 정도 정합적인가를 나타내는 지표로 정합도CI(consistency index)를 사용한다. CI는 정합성이 있는 정도에 따라 작게, 정합성이 없게 됨에 따라 크게 된다.

$$CR = CI/RI \quad (3)$$

$$CI = (\lambda - n)/(n - 1) \quad (4)$$

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

4. 교통대안의 교차로 적합성 여부

교통대안이 각 제어기별로 적합하게 선정되었는가

를 판별하는 기준은 각 대안별로 쌍별 비교를 하여 중요도를 얻어내는 일이다. 아래표는 각 제어기별 중요도 쌍별비교 중요도 선정치값이다.

표 1 교통평가기준 중요도 예시

표a. 고정주기제어기 중요도예시

	통과 차량수	대기 차량수	보행자 통로유무	중요도
통과 차량수	1	1/3	1/2	0.106
대기 차량수	3	1	3	0.450
보행자통로유무	2	1/2	1/2	0.185
$\lambda_{max} = 4.198$				CR=0.073

표b. 최적주기제어기 중요도예시

	통과 차량수	대기 차량수	보행자 통로유무	차량감지 센서유무	중요도
도로의폭	1/3	1/2	1/3	1/2	0.34
도로길이	1/4	1/3	1/4	1/2	0.23
$\lambda_{max} = 3.231$				CR=0.068	

표c. 퍼지교통신호제어기 중요도예시

	통과 차량수	대기 차량수	중대형 차량수	현시 순서	중요도
주기량	1/2	1/3	1/4	1/2	0.21
도로폭	1/3	1/5	1/3	1/3	0.32
도로길이	1/4	1/3	1/2	1/4	0.24
보행자통로유모	1/3	1/4	1/4	1/3	0.23
차량감지 센서유무	1/2	1/3	1/2	1/2	0.34
$\lambda_{max} = 3.356$				CR=0.079	

표 1은 계층 분석방법의 최대고유치, 중요도, 일관성 비율 등을 구한 예로 그 방법은 먼저, 최대고유치는 위표의 비교행렬은 A라 할 때 $|A - \lambda I| = 0$ (여기서 I는 단위행렬)이 성립되어, 최대 고유치가 산출

되며, 그리고 $A \omega = \lambda_{max} \omega$ (여기서 ω 는 중요도)에서 각각의 중요도가 구해지며 일관성 비율(CR)은 $CR = CI/RI$, $CI = (\lambda - n)/(n - 1)$ 등에 의해 도출된다.

6. 퍼지에 의한 계층분석법 적용

교통혼잡을 정량화하는 것은 교통요소를 종합 평가 하는 함수를 설정하는 것이며, 교통요소 등의 종합평가에 있어서, 함수는 각각의 속성평가와 각 속성간의 중요도에 의해서 구성되는데 표현식은 다음과 같다.

$$U = f(\omega; h(x_i)) \tag{5}$$

여기서 ω_i 각각의 평가 지표의 중요도이고 $h(x_i)$ 는 각 평가지표의 평가함수, f는 종합화의 함수, U는 종합평가를 나타내며, 각 평가지표의 평가치는 퍼지추론에 의해서 구하고, 중요도와 평가채에 대한 종합화는 퍼지적분을 이용한다. 이를 수행하기 위해 본연구에서는 주관적 평가를 퍼지이론에 있어서의 귀속도함수(membership function)로 정한다. 이것은 정량화수법에 퍼지적분을 이용하는 것으로 평가치가 [0,1] 표시되며, 표준화할 필요가 없다고 하는 편리성 때문이다.

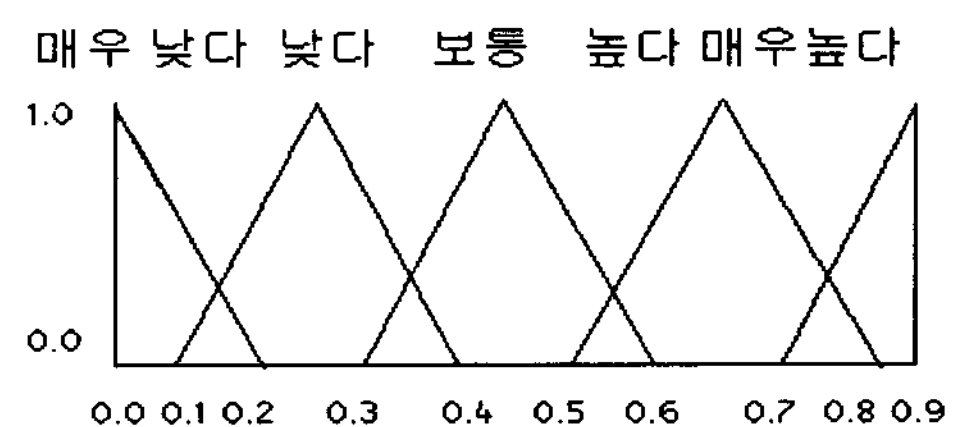


그림 4. 평가치의 소속함수

위의 그림 4로부터 각 규칙에 대해 퍼지화 및 퍼지추론 할 수 있다. 규칙 1의 경우 입력 변수는 설문지로부터 “표본이 상당히 많다”와 “평가지가 높다”가 되며 출력 변수는 평가지표의 “종합 평가치는 상당히 높다”이다. 따라서 첫 번째 입력변수는 그림 4로부터 표본수 10개의 평가치 $s = \{0.82 \ 0.76 \ 0.74 \ 0.70 \ 0.67 \ 0.61 \ 0.58 \ 0.53 \ 0.48 \ 0.45\}$ 일때 $H(S_i) = 0/0.45 + 0/0.48 + 0/0.53 + 0/0.58 + 0.07/0.61 +$

0.47/0.67+0.72/0.70+0.93/0.74+0.93/0.76+0.53/0.82로 표현할 수 있으며 출력 변수는 그림 4로부터 1/1.0이 된다. 이와 같이 나머지 규칙들도 같은 방식으로 적요한 다음, 전체 규칙에 대해 max-min법으로 합성한 후, 무게 중심법으로 비퍼지화하여 평가지표별 평가치가 추론된다.

7. 적합도 평가

고정주기제어기는 아래 표와 같이 교통대안을 많이 첨가할수록 평가지표의 평가치가 높게 나옴을 알 수 있다. 평가지표별 평가치는 CI값이 1에 근접할수록 대안별 설정치가 좋음을 여준다[4].

표 2. 제어기별 대안 적합도

	평가치 적합도 (정합도)		
	고정주기	최적주기	퍼지주기
통과차량수	0.91	0.93	0.95
대기차량수	0.92	0.94	0.97
중대형 차량수	0.91	0.93	0.95
현시순서	0.93	0.95	0.98
주기량	0.92	0.96	0.98
도로 폭	0.97	0.98	1.00
도로길이	1.23	1.21	1.01
보행자통로유무	1.25	1.09	1.07
차량감지센서유무	1.09	1.05	1.04
평균치	1.01	1.001	1.00

등급이 높을수록 평가치의 대안 적합도가 1에 근접함을 알 수 있다. 이를 근거로 계층 분석법이 제어기의 구성을 나타내는 대안의 정합성을 비교할 수 있어 서로 관계가 없는 대안을 서로 비교하여 설정 정도를 구별할 수 있는 가능성을 만들어 준다는데 있어 많은 다른 비교방법을 설정해야 될 제어기의 구성도를 알아볼 수가 있어 매우 구체적이다라는 것을 판별할 수 있다.

8. 결론

서로 비교대상이 되지 않는 각 구성별 대안들을 서로 비교할 수 있다는 게 AHP의 장점이라 할 수 있다. 고정주기 제어기, 최적 주기 제어기, 퍼지제어기 등의 제어 대상이라 할 수 있는 종목별 대안을

쌍별 비교함으로써 각 구성원이 잘 선택이 되었는가를 비교할 수 있는 것이 본 연구의 취지라 할 수 있다. 각 제어기의 보편적인 제어대상을 평가대상으로 비교를 해보았고 비교별 수치를 직접적으로 견주어 볼 수 있는 근거를 제시하였다. 각 등급이 높을수록 비교 대상을 잘 선택하였음을 볼 수 있다. 계층분석법을 이와 같이 제어 대상을 비교할 수 있는 장점을 갖고 있으므로 이를 대상으로 실시간용 제어 방법으로 직접 운용하는 방법을 모색한다면 간접적으로 비교 대상을 비교하는 것만으로 만족하지 않고 직접적으로 좋은 제어대상의 제어기를 설계할 수 있는 기반을 마련한 것이라 할 수 있다. 앞으로 이를 직접적으로 구현하는 제어기를 만드는 연구가 시행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 도철웅, 교통공학 원론, 청문각, pp.448-598
- [2] 진현수, 외 “퍼지이론을 이용한 도시교통신호등의 제어에 관한 연구”, 대한전자공학회 제어계측 연구회 합동학술발표회 논문집, pp.93-96, 1991.
- [3] 진현수, 외 “퍼지로직을 이용한 교통신호 등의 최적 주기 및 현시제어”, 대한전자공학회, 대한전기학회, 한국 통신학회, 인공지능, 신경망 및 퍼지시스템 종합합동 학술회의 논문집, 1991.
- [4] Satty,R,W., "The Analytic Hierachy Process-what it is and how it is used," Mathematical Modeling, pp.161-176, 1987.