

계층분석법을 이용한 교차로망의 신호 제어

진현수
백석대학교 정보통신학부
jhs1020@bu.ac.kr

A Study on Control of Traffic Network Signal Control using Analytic Hierachy Process

Hyun Soo Jin
Division of Information & Communication Engineering, Baekseok University

要 約

본 논문은 퍼지 계층분석법을 이용하여 교통신호의 교차로망에서의 적합성에 대해서 논의한다. 교차로망에서의 교통신호는 현시, 주기등이 단일 교차로망의 교통신호 대안이 라고 한다면 교차로 망에서의 교통신호 대안은 앞에있는 교차로의 통행차량수와 지체 차량수등 2개 이상의 교차로망의 상대적인 대안을 제시하여야 하므로 단일교차로의 교통신호 대안과는 다른 모습을 띠고 있다. 교통신호체계는 고정신호체계, 최적신호체계, 퍼지응용신호체계를 구별하여 응용단계가 높은 신호체계가 적합성이 틀음을 퍼지계 층분석법을 이용하여 밝히고 이를 이용 새로운 체계의 교통신호 체계도 제시한다.

Abstract

This paper discusses a fitness of the control on intersection network using fuzzy analytic hierachy process. The validity of control of traffic signal on intersection is phase, cycle of intersection. But the aigent of traffic intersection network is relative of intersection article. Therefor the aigent of traffic network intersection is before intersection passing vechile number, delayed vechile number. Fuzzy analytic hierachy process clears the grade of validity of the fixed cycle time controller and adaptive fixed cycle time and fuzzy traffic controller and proposes a new control type a traffic signal by this fuzzy analytic hierachy process.

1. 서 론

교차로 교통신호체계가 적합하지 않아 교차로 상에서 상대쪽의 지체차량은 적어서 차량이 비어 있는 상태가 되어있는 반면 반대편의 지체차량은 차량이 많아서 길게 늘어서 있는 모습이 자주 눈에 띈다. 이는 차량의 상대방의 차선에서의 신호시간을 무시하고 신호시간을 많이 준 영향이다. 단일 교차로에서도 이러한 상황이 벌어지고 있는데 교차로망 상태에서의 지체 차량 현황은 더욱더 심하다. 차량의 신호시간 안배에 영향을 주는 교통요소들은 교차로 통과차량수, 반대편 지체차량수, 건너야할 보행자수등이다 [1]

이와 같은 현상은 고정시간 제어기. 최적 신호 제어기, 퍼지신호제어기등 교통신호제어기가 업-그 레이드 (up grade)될수록 반비례하여 나타나는 현상 들이다 [2]

교통신호제어에 쓰이는 교통요소들은 교통신호의 주기와 교통현시등이다. 교통량을 투프디텍터 센서를 사용하여 고정신호제어기의 주기를 변화시켜 주는 제어기가 최적 신호제어기이다 [1]. 이에 더욱 발전하여 현시까지를 제어하는 퍼지제어기가 나타나게 되었다 [3]. 고정 신호제어기는 신호 체계를 설계할 때 설계자가 통과차량, 반대편 통과차량 (지체차량), 보행자수들을 고려하여 현시를 설계하고 각 현시별 주기를 지체차량의 지체시간 을 가장 최소화 하는 시간을 결정한다. 설계된 교통체계가 잘 설계되어있는지를 결정하는 것은 현

시가 잘 결정 되었는가와 결정된 현시별 주기가 잘 결정되었는가를 판단하면 된다. 최적 신호 주기는 현시는 결정된대로 사용을 하고 있느냐 주기신호를 차량수의 지체시간을 최소한으로 줄이는 방향으로 결정하는 것이다. 계층 분석기법은 비교하기 힘든 대안을 쌍별 비교함으로써 서로 대안이 틀린 종목별 비교를 평가치 지표를 사용하여 구체화할 수 있다 [5].

계층분석기법의 대안으로 쓸수 있는 항목은 통과차량수, 대기차량수, 중대형 차량수, 현재의 현시 순서, 현재의 주기량, 도로의 폭 (차선수), 도로의 길이, 보행자 통행로의 유/무, 차량 감지센서 (루프디텍터)의 유/무등이다. 이와같은 항목을 대안으로 삼아서 현재의 신호체계가 적용되고 있는 교차로에 적합한가를 판정하는 것이다.

기능이 업-그레이트(up grade)된 교통신호제어기 일수록 적합성이 높아지는것을 볼수 있다. 또한 기능이 업-그레이트(up grade)된 제어기 일수록 대안항목을 많이 고려한 것을 볼수 있다. 퍼지계층분석법을 적용하는 방식은 평가 항목을 직접적으로 비교할 수가 없으므로 쌍별 비교를 하기 위해 퍼지측도를 도입하여 쌍별 비교에 이르게 된다 [6]

2. 교통신호 제어기

보편적인 교통신호제어기가 적용되고 있는 교차로 상황은 그림1과 같다.

교차로상황에 고려될수 있는 대안들은 중/대형차량수, 도로의길이, 보행자통로유무, 도로의길이, 루프 디텍터(차량감지기) 현재의 현시순서, 현재의 주기량, 지체차량수, 도로의폭,통과차량수등이다. 고정주기 제어기는 년도별, 날짜별 정해져 있는 주기와 현시를 나타내는 것이고 최적신호주기 제어기는 루프 디텍터가 있어 차량을 감지한후 현재의 주기량을 변화시켜 주어 차량을 제어하는 것이고 도로의 길이 보행자 통로의 유무 등을 대변하는 제어기는 퍼지신호 제어기로서 각각을 퍼지신호의 감지량으로 사용을 하는 것이다[7].

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

그림2는 각 제어기별로 평가대안을 선정하여 단계별 평가 대안을 비교하여 나가는 과정을 대안별 큰순서로 설정하였다. 제어기의 업-그레이트

(up grade)순위가 낮을수록 해당하는 대안의 수가 적어짐을 알수 있다. 제어기의 순위가 낮더라도 평가지표가 잘 선택되었는가가 우선 순위가 되므로 해당 교차로에서 그에 맞는 평가지표들이 잘 선정되었는지를 알필요가 있다. 평가지표들이 많이 선정되었다고 최적 주기값이 나오는것은 아니라는 것을 평가 대안들의 평가지표를 보고 판단할 수 있다. [8]

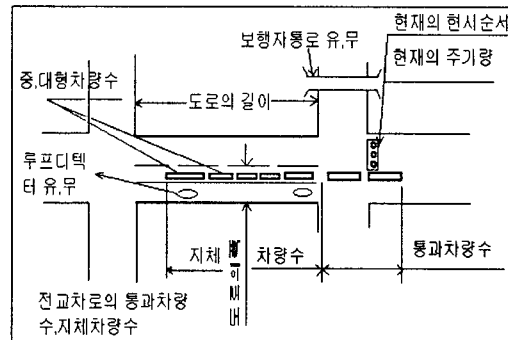
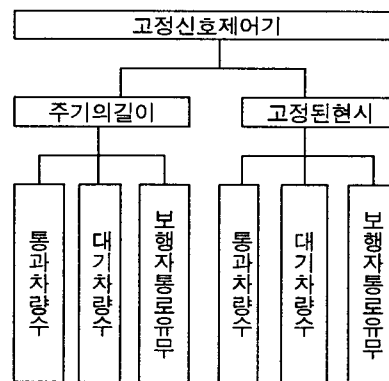
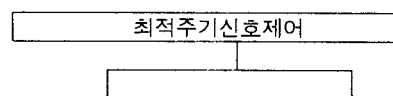
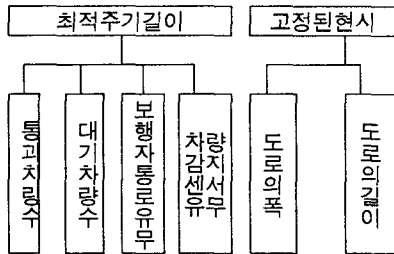


그림 1. 교차로망의 AHP대안

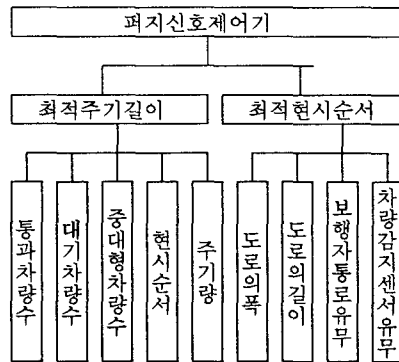


그림a.고정신호제어기 대안





그림b. 최적신호제어기 대안



그림c. 퍼지교통신호제어기 대안
그림 2. 제어기별 대안제시도

교통신호기가 업-그라이드 될수록 교통신호기 대안이 많아짐을 알 수 있다. 교통대안이 많아짐은 좋은 현상이라고 볼 수가 있는데 과연 이러한 대안들이 잘 선택이 되었는가는 그다음의 문제라고 할 수 있다.

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

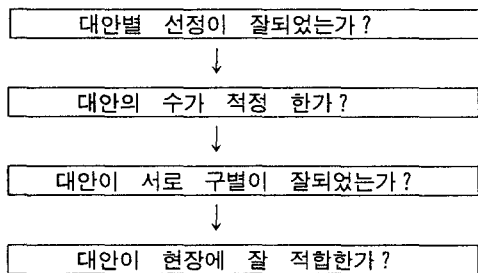


그림 3. 대안의 적합성여부 계층도

3. 계층분석방법을 이용한 교통신호대안의 적합성여부

본 연구에서는 평가지표에 대한 중요성의 분석방

법으로서 계층분석법을 적용하였다. 이것은 평가 지표의 이해도가 높고, 일대비교의 정합성이 좋으며 논리적인 대응력이 있고 다수의 일대비교가 가능하다고 하는 잇점을 가지고 있으므로 의사결정자의 가치관에 따른 주관적 평가에 의행 복잡한 문제의 해결을 도모하는 방법이다. 의사결정자가 생각하고 있지만 형태화 할 수 없는 주관적인 수치를 요소 상호의 절대비교에 의해서 나타낼 수 있다. [9]

AHP의 잇점은 사용하기가 쉽다는 것, 판단에 모순을 허용하는것, 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 w_1, w_2, \dots, w_n 은 모두 양의 수로 합은 1이다. 다음으로 두가지의 하위목적 C_i, C_j 를 "직접 상위목적에 대해서 어느쪽이 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

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

를 λ 와 ω 에 관해서 풀면 그 최대고유치

λ_{max} 는 n 고 이것에 대한 고유벡터가 ω 로 된다. 다음으로 A가 어느정도 정합적인가를 나타내는 지표로 정합도CI(consistency index)를 사용한다. CI는 정합성이 있는 정도에 따라 작게, 정합성이 없게 됨에 따라 크게된다.

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

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

여기서, CR(consistency ratio) 은 일관성 비율이며, CI(consistency index)는 일관성 지수, RI(random index) 난수지수의 약자이다. [10]

4. 교통대안의 교차로 적합성 여부

교통대안이 각 제어기별로 적합하게 선정되었는가를 판별하는 기준은 각 대안별로 쌍별 비교를 하여 중요도를 얻어내는 일이다. 아래표는 각 제어기별 중요도 쌍별비교 중요도 선정치값이다.

표1 교통평가기준 중요도 예시

표a.고정주기제어기 중요도예시

	상대통과 차량수	대기 차량수	보행자 통로유무	중요도
상대통과 차량수	1	1/3	1/2	0.106
상대대기 차량수	3	1	3	0.450
보행자 통로유무	2	1/2	1/2	0.185
$\lambda_{max} = 4.198$		CR=0.975		

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=0.980			

표c.퍼지교통신호제어기 중요도예시

	통과 차량수	대기 차량수	중대형 차량수	현시순서	중요도
주기량	1/2	1/3	1/4	1/2	0.21

도로폭	1/3	1/5	1/3	1/3	0.32
도로의 길이	1/4	1/3	1/2	1/4	0.24
보행자 통로유무	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=0.986			

표1은 계층 분석방법의 최대고유치, 중요도, 일관성 비율등을 구한 예로 그방법은 먼저, 최대고유치는 위표의 비교행렬은 A라 할 때 $|A - \lambda I| = 0$ (여기서 I는 단위행렬) 이 성립되어. 최대 고유치가 산출되며, 그리고 $A\omega = \lambda_{max}\omega$ (여기서 ω 는 중요도)에서 각각의 중요도가 구해지며 일관성비율(CR)은 $CR=CI/RI$, $CI=(\lambda-n)(n-1)$ 등에 의해 도출된다. 대안의 값이 많을수록 일관성비율CR의 값이 1에 가까워 짐을 알 수있고 또 1에 가까워져야만 대안의 선정이 잘되어음을 알 수 있다. 왜냐하면 평가치별 평가치가 CI값이 많은 평가치를 가질수록 1에 근접하게 되고, 평가치가 잘선정이 되었는가를 따지는 난수지수 RI값이 1에 가까워지는 이유로 전체 일관성비율값이 1에 가까워 지게 된다.

6. 퍼지에 의한 계층분석법 적용

계층분석법에 의하여 교통대안의 중요도가 구해지면 대안 대 대안별 상관관계를 구하기 위하여 퍼지측도를 이용한 교통대안 정량화 작업이 필요하게 된다. 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.

$$U=f(\omega_i, h(x_i)) \quad (5)$$

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 평가치에 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 4로부터 각 규칙에 대해 퍼지화 및 퍼지추론할 수 있다 규칙1의 경우 입력 변수는 평가대안을 설정하기위한 설문지로부터 “표본이 상당히 많다”와 “평가치가 높다”가 되며 출력 변수는 평가지표의 “종합 평가치는 상당히 높다”이다

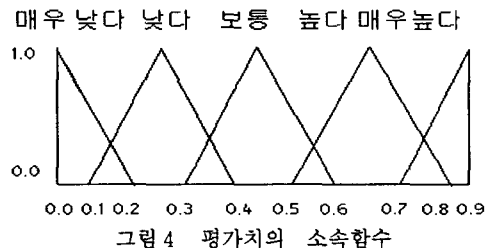


그림 4 평가치의 소속함수

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 $H(S_j) = 0/0.45 + 0/0.48 + 0/0.53 + 0/0.58 + 0.07/0.61 + 0.47/0.67 + 0.72/0.70 + 0.93/0.74 + 0.93/0.76 + 0.53/0.82$ 로 표현할수 있으며 출력 변수는 그림 4로부터 $1/1.0$ 이 된다. 이와 같이 나머지 규칙들도 같은 방식으로 적용한 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 나올수 있다. 평가지표별 평가치는 CI값이 1에 근접할 수 록 대안별 설정치가 좋음을 보여준다 [4].

CI값이 1에 근접할 수록 퍼지측도에서 쓰여지는 비교값이 최상치로 올라가짐에 따라 대안별 상관관계를 쉽게 퍼지 관계를 통하여 얻을수가 있다. 계층별 상관계수를 적합도를 사용하여 개별적인 상호 관계만 얻을수가 있었는데 교통신호 최적치라는 현시의 순서관계와 주기의 최적치 관계라는 목적을 두고서 상관계수를 구하는 방법은 퍼지 측도를 통한 퍼지 상관계수라 할 수 있다. 퍼지측도용 관계 그래프는 아래 그림 5를 통해 구하여 볼수 있다. 5개 항목을 정하여서 관련별 퍼지 멤버십 값을 얻어내도록 관련 퍼지값을 대입한다.

매우많은 교통표본 중간임 적음

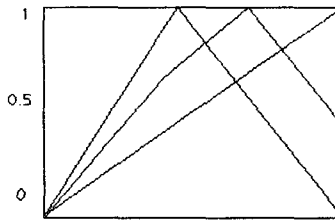


그림5.교통표본수의 퍼지레벨

교통 표본수를 통하여 퍼지대안의 종류별 관련지수를 구할수 있다. 교통대안이많은 표본수를 취득하였을때 좀더 일찍정합도 1에 가까운 접근을 하고 있음을 알 수 있다.

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
중대형차량수	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

표 2에서는 등급이 높을수록 평가치의 대안 적합도가 1에 근접함을 알수 있다. 이를근거로 계층 분석법이 제어기의 구성을 나타내는 대안의 적합성을 비교할수 있어 서로 관계가 없는 대안을 서로 비교하여 설정 정도를 구별할 수 있는 가능성을 만들어 준다는데 있어 많은 다른 비교방법을 설정해야될 제어기의 구성도를 알아볼수가 있어 매우 구체적이다라는 것을 판별할 수 있다.

8. 대안의 대치제어기 비교구성

각 제어기별 적합도를 가지고서 각대안의 선정 적합도를 쌍별비교기를 통해 살펴보았다. 이를 근거로 대치된 대안이 더 적합한가를 비교하여 적합도의 신빙성을 판별할 수 있다. 고정주기제어기

는 이미 대안을 통과차량수, 대기차량수, 보행자통로유무, 현시제어유무를 꼽았다. 이를 통과차량수, 대기차량수, 도로의 폭, 도로의 길이등으로 대체안을 삼으면 적합도가 얼마가 나오는 가를 구별할 수 있다.

표 3. 대체안 고정주기제어기 적합도

표 3a.대체안 적합도 1

	통과차량수	대기차량수	보행자통로유무	현시제어유무
통과차량수	1	1/2	1/2	1/3
대기차량수	1/3	1	1/3	1/3
보행자통로유무	1/2	1/3	1	1/2
현시제어유무	1/3	1/2	1/2	1
CI/RI합계	0.89	0.87	0.91	0.90

표 3a.에서 표본치를 설문조사에서 가중치별로 등급값을 설정한 것이다. 대체안별로 관계값을 그림 5에 견주어서 값을 설정 한후에 난수지수RI값을 나누어 합계를 낸다. CI/RI값의 평균치가 0.89나왔다. 이것을 대체안을 바꾸어서 계산을 하면 표 3b처럼 나온다.

표 3b.대체안 적합도 2

	통과차량수	대기차량수	도로의 길이	도로의 폭
통과차량수	1	1/2	1/3	1/3
대기차량수	1/3	1	1/3	1/3
도로의 길이	1/3	1/3	1	1/4
도로의 폭	1/3	1/4	1/4	1
CI/RI합계	0.94	0.92	0.95	0.96

평균 CI/RI합계는 0.94이어서 표 3a보다 선정이 잘되었음을 볼 수 있다.

선정이 잘된 제어기별로 차량의 누계 지체시간을 계산함으로써 제어기의 성능을 비교할 수가 있다.

지체시간 계산은 모의실험으로 차량의 대수를 난

수로 발생하여 $\sum_{i=1}^n (q_i + d)s$ 로서 계산을 하는데

q_i 차량의 유무상태, d 는 현재까지의 지체차량수, s 는 차량의 지체차량시간으로 계산되어질수 있다.

q_i 는 차량이 있을 경우 1, 없을 경우 0를 나타낸다. s 는 소형차량일 경우 1초, 중대형차량일경우1.5초를 나타낸다.

차량이 붉은신호에 걸렸을 경우 차량1대당 지체시간이 처음으로 시작이 되거나 녹색시간에도 교차로를 빠져나가지 못하였을 경우에는 이전의 녹색시간과 적색시간의 신호시간을 차량 1대당 다 걸리는 결과로서 나타나기 때문에 차량수가 적색시간에 많이 밀려 있을 경우에도 지체시간은 누적으로 많은 시간이 쌓이게 된다.

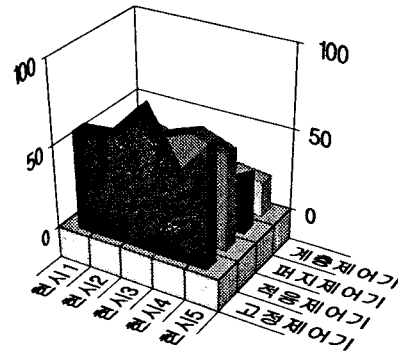


그림 6 a.제어기별현시지체시간

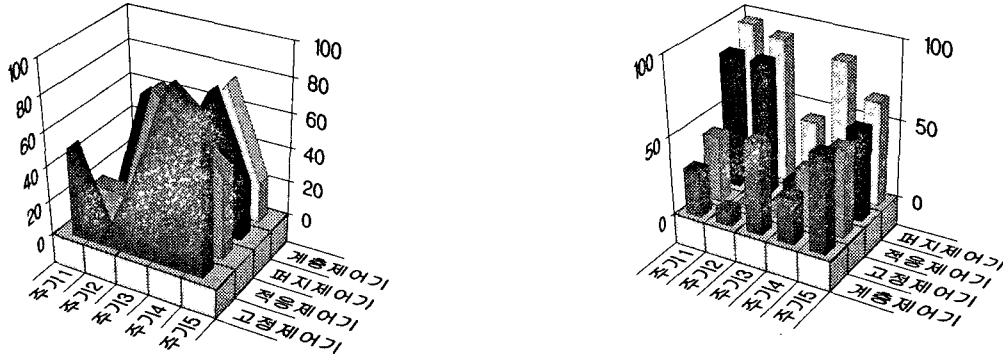


그림 6 b. 주기별 제어기 지체시간

그림 6을 비교하여보면 세로축의 단위가 초단위인데 현시별 지체시간 단위가 계층제어기가 가장 적은 지체시간을 나타내고 주기별 지체시간단위별로도 현시별 지체시간보다는 차이가 덜하더라도 지체시간이 계층제어기 (그림 6부터 이하 계층분석을 이용한 제어기를 계층제어기라 함)가 가장 적은 시간을 보여주고 있음을 알 수 있다. 이것은 대안을 가장 잘 적용한 사례를 계층제어기는 이용을 할 수 있어서 지체시간을 줄일 수 있었으나 그 외의 제어기는 주기와 현시의 차량별 민감도를 높더라도 적용한 대안에서 차이가 남으로 누적 지체시간이 계층제어기와 차이가남을 알 수가 있다.

따라서 주기와 현시의 운용을 현재 제어기와 비교가 되어지는 운용상태의 제어기를 제작한다면 계층 분석법을 이용한 제어기도 교통지체시간을 줄이는데 큰역할을 하는 제어기로 쓰일수 있다는 것을 보여주는 것이다. 계층제어기를 사용하여 지체시간을 역으로 환산한 주기별 통과차량수를 계산하여 계층제어기의 효용성을 살펴본 결과 그림이 그림 6c이다. 계층제어기의 통과차량수대비 소요 주기 시간을 비교한 결과가 세로축의 단위이다. 각 주기별로 누적차이가 가장 적게 남을 그림 6c를 보고서 알수가 있다

9. 결론

서로 비교대상이 되지 않는 각 구성별 대안들 그림 6c 통과차량수 대비 효용성비교

을 서로 비교할 수 있다는게 AHP의 장점이라 할 수 있다. 고정주기 제어기, 최적 주기 제어기, 퍼지제어기등의 제어 대상이라 할수 있는 종목별 대안을 쌍별 비교함으로써 각 구성원이 잘 선택이 되었는가를 비교할 수 있는것이 본 연구의 취지라 할 수 있다. 각 제어기의 보편적인 제어대상을 평가대상으로 비교를 해보았고 비교별 수치를 직접적으로 전주어 볼수 있는 근거를 제시하였다. 각 제어기의 지체시간을 통하여 적합성을 적용한 제어기를 비교한 결과 지체시간을 누적시간별로 비교한 것이라든지 주기별 차량수의 비교 시간차를 변화량으로 구분한것 등에서 계층제어기, 그다음에 퍼지제어기, 적응제어기, 고정제어기등으로 제어대상이 높을수록 비교 대상을 잘 선택 하였음을 볼수 있다. 계층분석법을 이와 같이 제어 대상을 비교할 수 있는 장점을 갖고 있으므로 이를 대상으로 실시간용 제어 방법으로 직접 이용하는 방법을 모색한다면 간접적으로 비교 대상을 비교하는 것만으로 만족하지 않고 직접적으로 좋은 제어대상의 제어기를 설계할수 있는 기반을 마련할수 있을 것이다. 앞으로 이를 직접적으로 구현하는 제어기를 만드는 연구가 시행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] 도철용, 교통공학원론, 청문각, p448-598
 [2]진현수, 외"퍼지이론을 이용한 도시교통신호등의 제어에 관한 연구", 대한전자공학회 제어계측연구회 합동학술발표회 논문집, p93-96,1991
 [3]진현수, 외"퍼지로직을 이용한 교통신호등의 최적 주기 및 현시제어", 대한전자공학회, 대한전기학회,

- 한국 통신학회, 인공지능, 신경망및 퍼지시스템
종합합동 학술회의 논문집, 1991
- [4]Satty,R.W.,"The Analytic Hierachy Process-what
it is and how it is used,"Mathematical Modeling,
pp.161-176,1987.9.
- [5]H.J.Zimmermann and P.Zysno,"Decision and
Evaluation by Hierarchical Aggregation of
Information",Fuzzy Sets and Systems
vol.10,pp31-36,1983
- [6]진현수, 김성환, "교통량검지를 위한 퍼지센서 알고리즘" 한국퍼지및 지능시스템학회 논문지, 제 8권, 제 2 호, pp. 134-141, 1998
- [7]진현수, 김순기, "퍼지록업 테이블 방식을 이용한 최적 신호주기 산출" 안산공과대학 논문지, 제 5권 제 1 호. pp.101-110,1997.10.1
- [8]진현수, 이상훈, 김성환, "교통량 검지용 록업테이블 방식 퍼지하드웨어 구현", 한국 퍼지및 지능시스템학회 학술대회, pp1001-1006,1997.11.29
- [9]진현수, 김성환, "교통량 검지를 위한 퍼지센서 알고리즘", 한국퍼지및 지능시스템학회 논문지, 제 9권 제 1 호, pp.99-106,1998.4.1
- [10]진현수, 이상훈, 송진호, 김성환, "AHP를 이용한 퍼지교통신호기 설계", 한국퍼지및 지능시스템 학회 논문지, 제0권 1 호, pp79-83,2000.4