

퍼지추론을 이용한 링크통행시간 분포비율 추정모형 구축

Establish for Link Travel Time Distribution Estimation Model Using Fuzzy

이영우*
Lee, Young Woo

Abstract

Most research for until at now link travel time were research for mean link travel time calculate or estimate which uses the average of the individual vehicle. however, the link travel time distribution is divided caused by with the impact factor which is various traffic condition, signal operation condition and the road conditional etc. preceding study result for link travel time distribution characteristic showed that the patterns of going through traffic were divided up to 2 in the link travel times. therefore, it will be more accurate to divide up the link travel time into the one involving delay and the other without delay, rather than using the average link travel time in terms of assessing the traffic situation. this study is it analyzed transit hour distribution characteristic and a cause using examine to the variables which give an effect at link travel time distribute using simulation program and determinate link travel time distribute ratio estimation model. to assess the distribution of the link travel times, this research develops the regression model and the fuzzy model. the variables that have high level of correlations in both estimation models are the rest time of green ball and the delay vehicles. these variables were used to construct the methods in the estimation models. The comparison of the two estimation models-fuzzy and regression model- showed that fuzzy model out-competed the regression model in terms of reliability and applicability.

Keywords : Fuzzy, simulation, link travel time, distribution, regression analysis

요 지

지금까지의 링크통행시간에 대한 연구는 개별 차량의 평균을 통한 평균링크통행시간 산정 및 추정의 제한적인 연구가 대부분이었다. 그러나, 링크통행시간은 교통조건, 신호운영조건, 도로조건 등 다양한 영향인자로 인해 통행시간 분포가 구분되는 특성을 나타낸다. 링크통행시간 분포특성에 대한 선행연구결과 통행시간이 양분되어 분포하는 것으로 나타났으며 따라서, 링크통행시간의 경우 평균통행시간에 의한 결과보다 신호지체가 발생하지 않는 통행시간과 신호지체가 발생하는 통행시간으로 구분하는 것이 교통상황을 인식하는데 바람직할 것이다. 본 연구에서는 통행시간 분포특성 및 원인을 분석하였으며, 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 통해 보다 다양한 조건을 부여하여 링크통행시간분포비율에 영향을 주는 변수들에 대한 검토하고 통행시간 분포비율을 추정할 수 있는 모형을 구축하였다. 먼저 링크통행시간 분포비율을 추정하는 회귀모형과 퍼지근사추론 모형을 구축하였다. 추정 모형을 구축하기 위한 변수를 분석한 결과 잔류녹색시간과 대기행렬 대수가 높은 상관성을 가지는 것으로 분석되었으며, 따라서 이를 이용하여 추정모형을 구축하였다. 구축결과를 비교·검토한 결과 퍼지근사추론 모형이 회귀모형에 비해 추정의 신뢰성 및 적용성에서 더욱 우수한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 퍼지이론, 시뮬레이션, 링크통행시간, 분포, 회귀분석

1. 서 론

지금까지 통행시간에 대한 연구는 교통특성을 나타내는 대표적인 요소로서의 중요성으로 인해 꾸준히 진행되어 왔다. 특히, 단속류의 교통흐름을 파악하기 위한 링크통행시간에 대한 연구는 통행시간 측정, 추정, 예측의 분야별로 다양한 연구가 진행되었다.

그러나, 대부분의 연구는 신호교차로로 연결되어 있는 링크통행시간의 특성인 하류부 교차로에서 녹색신호에 정지없이 통행하는 차량과 적색신호에 의해 정지하였다가 통과하

는 차량의 통행시간으로 구분되어 통행시간 차이가 뚜렷하게 발현하는 현상을 반영하지 못하였다.

지금까지 링크통행시간의 주요 연구대상은 평균통행시간이었으며, 도착분포가 일정한 연속류에서는 유용한 효과적도가 될 수 있었으나, 하류부 교차로 신호에 의해 통행시간의 양분현상이 발생하는 단속류에서는 유용한 효과적도가 될 수 없다. 따라서, 양분되어 나타나는 통행시간과 그 비율을 동시에 고려한 연구가 필요하며 이영우(2004)에 의해 링크통행시간 분포특성 분석에 대한 연구가 이루어진 바 있다.

*정희원 · 울산광역시 교통기획과 교통전문직 · 공학박사 (E-mail : lyw0209@korea.com)

양분되어 나타나는 링크통행시간과 그 분포비율에 대한 연구는 링크통행시간 개선을 위해 신호운영개선이 필요한지 또는 도로기하구조의 불량, 불법주·정차, 버스정류장 등의 영향 등 링크구간에서 마찰요인의 개선이 필요한지에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

그리고, 최근 운전자들의 요구가 증대되고 있는 경로통행시간 정보의 경우에도 획일적인 평균경로통행시간 정보의 제공이 아닌 다양한 분포를 나타내는 특성을 고려한 확률적 경로통행시간 정보의 제공을 위해서는 경로통행시간 조합의 기본 단위가 되는 링크통행시간의 분포에 대한 연구가 필수적인 것이다.

따라서, 본 연구에서는 링크통행시간 분포비율에 대한 연구를 수행하는 것을 목적으로 하였다.

연구방법은 현재 실제 운영되고 있는 신호조건, 도로조건을 이용하여 프로그램을 구축하고 현장조사에 의한 교통량을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였으며, 이를 통해 여러 가지 제약조건으로 인해 어려움이 있는 현장조사의 단점을 극복하고자 하였다.

다양한 조건에서의 링크통행시간 데이터를 이용하여 먼저, 다중회귀분석에 의한 링크통행시간 분포비율 추정모형을 구축하였으나 다중회귀모형은 한정된 설명변수에 의해 목적변수가 결정되어 현실에서 애매하게 발생하는 여러 가지 현상들을 반영하기에는 부족함이 있을 것으로 판단되어, 퍼지근사추론을 이용한 분포비율 추정모형을 구축하였으며, 구축된 두 모형의 통계적 분석을 통해 적합성 및 적용성에 대한 비교·분석을 실시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 퍼지제어 이론

퍼지(fuzzy)이론은 애매한 것의 존재를 인정하고 이것을 합리적으로 표현하고자 하는 이론으로 미국 버클리 대학의 L. A. Zadeh 교수가 퍼지집합(fuzzy sets)이란 논문을 발표하면서 시작되었다. 불확정성이 존재하는 경우 0과 1의 논리를 이용하여 설명하고자 하면 오히려 더욱 복잡해져 본질과 멀어지는 결과를 도출하는 경우가 발생하게 된다. 이러한 경우 애매성을 인정하고 이를 적극적으로 끌어들이어 이론을 정립할 필요가 있는데 이러한 경우 퍼지이론은 훌륭한 도구로 이용될 수 있다. 특히 제어공학이나 인공지능을 중심으로 한 공학분야에서 퍼지이론은 중요한 연구기법으로 정착해 나가고 있다.

이러한 퍼지이론의 구현과정은 먼저, 퍼지규칙(fuzzy rule)의 설정이 필요한데 이는 추론 대상의 여러 가지 경험에 의한 규칙으로 이루어진다. 퍼지규칙이 성립되면 제어기에 의한 추론을 통해 출력결과를 얻게 된다.

일반적인 추론모형에서는 추론을 위한 명확한 조건이 제시되어야만 결과를 추론할 수 있다. 그러나 현실상황에서는 추론을 위해 반드시 명확한 조건부가 제시되지는 않는다. 따라서 근사적인 사실과 추론규칙이 주어졌을 때 A에서 근사적인 B를 추론할 수 있는데 이를 근사추론이라고 한다.

퍼지근사추론 모형은 퍼지집합, 퍼지관계, 퍼지논리에 의한 근사추론으로 구성된다.

2.2 링크통행시간 분포특성 분석

링크통행시간 분리현상에 대한 연구는 이영우(2004)에 의해 이미 수행되었으며, 그 결과를 살펴보면 현장여건에 따라 다양한 링크통행시간 분포비율이 나타나는 것으로 분석되었다.

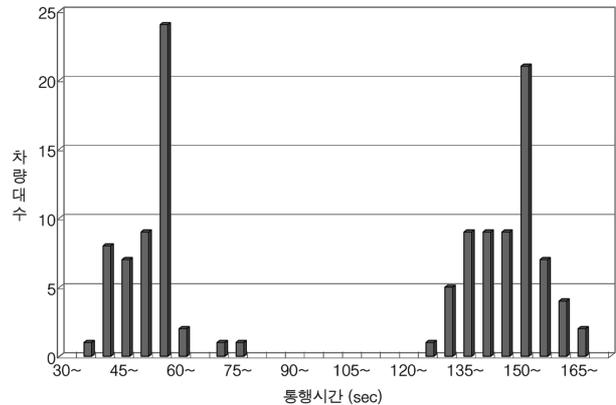


그림 1. 계산오거리 => 반월당사거리

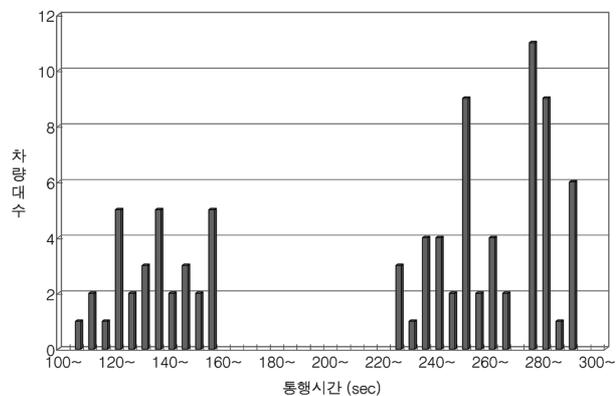


그림 2. 계산오거리 => 신남사거리

링크통행시간 분포를 나타낸 그림 1~그림 2를 살펴보면 링크에 유입되어 첫 번째 주기 녹색시간에 통과하는 차량의 통행시간과 적색신호시간동안 대기하였다가 통과하는 차량의 통행시간으로 양분되는 현상을 나타내고 있다.

통행시간 분리현상이 발생하지 않는 경우도 조사되었는데 이것은 모든 차량이 하류부 교차로의 적색신호 시작 시점에 하류부 교차로에 도착하여 적색시간동안 신호대기 하였다가 통과하는 경우와 신호대기 없이 동일 녹색시간에 모든 차량

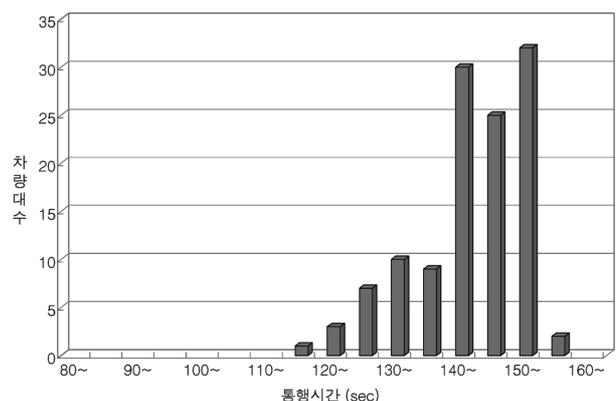


그림 3. 중부소방서사거리 => 신남사거리

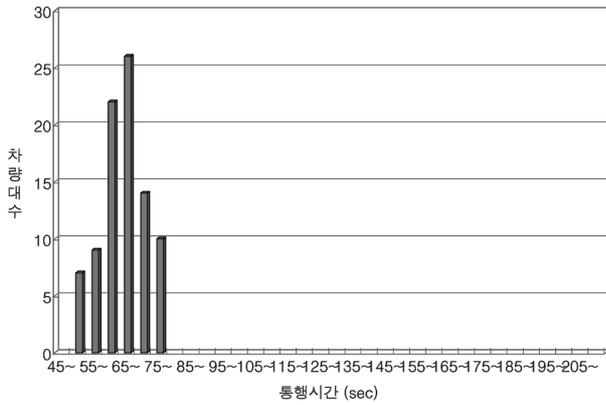


그림 4. 신남사거리 ⇒ 중부소방서사거리

이 하류부 교차로를 통과하는 경우에 통행시간 분리현상이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

그림 3~그림 4를 살펴보면 동일 주기의 녹색시간동안 모든 차량이 통행하는 경우를 나타내고 있다.

연구결과 통행시간의 분포특성 분석을 통해 신호운영조건과 더불어 도로조건의 개선을 통해 합리적인 링크통행 개선이 가능한 것으로 제시되었다. 본 연구에서는 이러한 기존연구결과를 바탕으로 분리현상이 발생하는 통행시간 분포비율을 추정코자 하였다.

3. 자료수집

3.1 개요

다수의 다양한 조건의 링크를 대상으로 한 현장조사는 많은 조사인력과 조사비용의 문제로 인해 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 보다 다양한 조건의 링크를 분석하고 연구하기 위해서 최근에 부각되고 있는 방법이 컴퓨터 프로그램에 의한 시뮬레이션을 이용한 방법이다.

본 연구에서는 교통분석 시뮬레이션 프로그램으로 TSIS 5.0을 사용하였으며, 현실성을 확보하기 위해 현재 존재하는 신호교차로의 기하구조 및 신호조건을 바탕으로 프로그램을 구축하였고, 또한 교통량도 실측된 자료를 사용하였다. 이렇게 최대한 현실에 부합하는 시뮬레이션을 실시하여 자료를 수집하였다.

신호주기는 130sec~170sec로 구축하였으며, 대상지역도 도시외곽 교통축과 도심지내 교통축을 선정하여 다양화 하였다.

3.2 자료수집 방법

구축된 시뮬레이션 프로그램을 실행하여 개별차량의 통행시간 데이터를 수집하였다. 시뮬레이션 프로그램의 실행에 의해 제시되는 결과는 평균링크통행시간 뿐이다. 따라서 이러한 링크별 평균통행시간을 산술적으로 합하여 경로통행시간을 계산할 수 있다. 그러나 이렇게 산술 계산된 값은 다양한 경로통행시간에 대한 추정이 불가능하다. 따라서, 개별차량들의 링크통행시간 데이터를 현장조사와 같은 방법으로 수집·분석하여 링크통행시간을 분석하였다.

본 연구에서는 TSIS 5.0 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 실시하고 TSIS 5.0에서 제공하고 있는 애니메이션 프로그램인 TRAFVU를 이용하여 개별차량들의 움직임을 추적하

는 방법으로 상류부교차로를 통해 링크로 유입되는 시간과 하류부교차로로 유출되는 시간을 측정하여 각 링크의 통행시간을 측정하는 방법을 사용하였다. 이런 방법을 통해 개별차량의 링크통행시간 데이터를 모두 추출하여 통행시간 분포특성에 대한 분석을 실시하고 모형을 구축하였다.

4. 분포비율 추정모형 구축

4.1 개요

기존연구 고찰에서도 살펴보았듯이 통행시간의 분포는 일정한 시간차를 두고 분리되는 형태를 나타내고 있는데, 이것은 신호대기 없이 통과하는 차량과 신호대기로 인해 다음 주기의 녹색시간에 통과하는 차량의 구분 때문이다.

이러한 결과로 미루어 주행차량이 교차로에 접근하였을 때 첫 번째 녹색시간에 교차로를 통과하는 차량과 신호대기를 경험하고 다음 녹색시간에 교차로를 통과하는 차량의 비율을 추정함으로써 통행시간 분포비율을 추정할 수 있을 것이다.

먼저, 링크통행시간 분포비율에 영향을 주는 변수들에 대한 검토를 실시하고 사용 가능한 변수들을 이용하여 링크통행시간 분포비율 추정을 위한 회귀모형식과 퍼지근사추론을 이용한 모형을 구축하였다.

4.2 통행시간 분포 영향변수 검토

기존의 각 국의 연구들을 살펴보면 링크 통행에 영향을 주는 변수들로 교통량, 좌회전, 우회전율과 같은 교통조건과 차로수, 구간길이 등으로 대표되는 도로조건 마지막으로 주기, 현시, g/C와 같은 신호조건으로 분류할 수 있다.

링크 통행에 영향을 주는 변수들을 살펴보면 도로조건의 경우는 차량이 링크를 주행하는데 영향을 주는 변수들로써 대부분 링크를 주행하는 순행시간 변수로 대변될 수 있다.

경로통행의 경우 교차로에서의 모든 방향에 대한 고려가 아니라 경로에 의해 교차로에서의 진행방향이 결정되기 때문에 진행방향의 녹색시간이 가장 큰 영향을 줄 것으로 예상할 수 있다. 또한 경로통행에서는 상류부 교차로와 하류부의 교차로의 상호관계에 의한 영향이 크게 나타난다. 따라서 분석시 상·하류부 교차로를 모두 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 링크통행 분석을 위한 변수로서 도로조건의 모든 변수들을 포함할 수 있는 순행시간을 변수로 선택하였으며, 교통조건에서는 교통량을 변수로 선택하였다. 또한 신호조건에서는 상·하류부 신호 조건을 모두 고려할 수 있는 방법으로 상류부 녹색시간과 하류부 녹색시간의 비를 변수로 사용하였다.

상·하류부 신호운영 결과 링크의 통행에 결정적인 영향을 미치는 변수가 offset이다. offset은 링크의 연동에 영향을 미치기 때문이다.

교차로의 통과와 정지는 연동에 의한 영향이라고 할 수 있다. 연동은 offset과 더불어 순행시간과의 관계에 의해 결정되는 것이다. 따라서 링크통행시간 분석에 도입변수는 offset과 순행시간의 비를 변수로 사용하였다.

4.3 시뮬레이션 수행시나리오

통행시간 분포비율에 영향을 미치는 변수를 검토한 결과에

따라 변수들의 변화에 따른 통행시간 분포비율을 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구에서는 미시적 모형으로서 다양한 조건부여가 가능하며 교통망 구성이 가능하여 시뮬레이션 프로그램 중 현실적인 표현이 가장 용이한 TSIS 프로그램 중 TRAFNETSIM을 사용하였으며, 데이터 조사방법은 실제 차량주행 조사와 동일하게 애니메이션 화면상에서 각각 개별차량의 교차로 통과시간을 측정하여 현실과 부합되는 데이터 조사를 위해 노력하였다.

변수들의 다양한 변화를 위해서는 앞에서 살펴본 교통조건, 신호운영조건, 도로조건에 대한 변화가 필요하다. 도로조건인 경우 시뮬레이션의 한계로 인해 조건부여가 어려운 실정이다. 그러나 도로조건 변화는 순행시간의 변화로 나타나기 때문에 순행시간을 변화시킴으로써 도로조건 변화를 고려하였다.

v/c와 상·하류교차로 녹색시간비(UpG/DownG)는 상류부를 기준으로 결정하였다. 상류부의 녹색시간을 고정하고 교통량을 부여하여 v/c를 결정하였으며, 하류부 녹색시간을 조정하여 상·하류부 녹색시간비를 결정하였다. 상·하류 녹색시간비를 조정함으로써 상·하류의 다양한 신호조건을 부여하기 위해 노력하였다. 이러한 변수들을 변화시켜 다양한 조건들에 의한 시뮬레이션이 가능하도록 노력하면서 시뮬레이션 시나리오를 작성하였으며 그림 5와 같다.

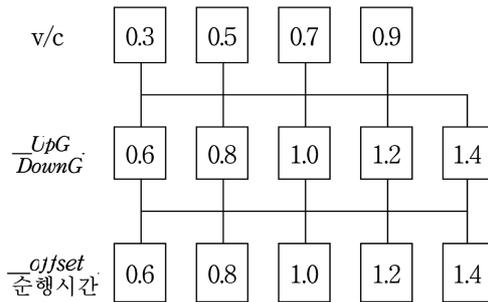


그림 5. 시뮬레이션 시나리오

4.4 분포비율 추정 회귀모형 구축

시뮬레이션 결과 v/c와 상·하류부 녹색시간비를 상류부 교차로를 기준으로 결정하였기 때문에 동일한 v/c에서 상류부에서 유입되는 교통량은 일정하지만 하류부 녹색시간이 변화함에 따라 v/c가 1.0이상인 경우가 발생하여 Spill Back 현상이 발생하였다. 이러한 Spill Back 현상은 본 분석에서는 고려하지 않고 제외시켰다.

시뮬레이션 결과를 이용하여 통과비율과 변수들과의 상관분석을 실시한 결과 표 1과 같다.

신호대기 없이 첫 번째 녹색시간에 통과하는 차량의 비율과 변수들과의 상관분석결과 상관성이 가장 높게 나타난 것은 잔류녹색시간으로 상관관계수 $R = 0.653$ 으로 분석되었다.

여기서, 잔류녹색시간은 차량이 상류부 교차로로 유입하여 순행시간동안 주행하여 하류부 교차로에 도착했을 때 남아 있는 녹색시간이다. 이것은 하류부의 녹색시간과 링크의 offset과 순행시간의 관계로 산정할 수 있다.

$$\text{잔류녹색시간} = \text{하류부녹색시간} - (\text{순행시간} - \text{offset})$$

표 1. 통과비율과 변수의 상관관계 분석

변수명	v/c	$\frac{UpG}{DownG}$	$\frac{offset}{\text{순행시간}}$	잔류녹색시간	대기행렬	통과비율
v/c	1					
$\frac{UpG}{DownG}$	-0.575	1				
$\frac{offset}{\text{순행시간}}$	0.403	0.001	1			
잔류녹색시간	0.595	-0.359	0.930	1		
대기행렬	0.535	-0.052	-0.139	-0.115	1	
통과비율	0.154	-0.313	0.569	0.653	-0.629	1

잔류녹색시간은 링크의 도로조건을 반영하는 순행시간과 상·하류부 교차로의 신호조건을 대표하는 offset과 녹색시간을 모두 반영하는 설명변수로서 목적변수와 높은 상관성을 가지는 것으로 분석되었다. 다음으로 높은 상관성을 가지는 설명변수는 대기행렬로서 $R = -0.629$ 의 상관성을 나타내어 목적변수와 반비례의 관계를 가지는 것으로 분석되었다. offset/순행시간 변수는 $R = 0.569$ 의 상관성을 나타내고 있다.

그러나, 이 변수는 잔류녹색시간과 상관성이 매우 높은 것으로 분석되어 공선성의 문제를 발생시킨다. 따라서 회귀분석을 위한 도입변수로서 상관성이 더 큰 것으로 분석된 잔류녹색시간을 선택하고 offset/순행시간은 도입변수로 사용하지 않았다. 상관분석결과를 살펴보다더라도 통행시간의 분포비율에 결정적인 영향을 주는 것은 역시 링크의 연동에 의한 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 바탕으로 교차로 통과비율 추정다중회귀모형을 구축한 결과 식 (1)과 같다.

$$P_{non} = 1.047 \times (GT_{down} - CT + OFF) - 2.51 \times DV + 73$$

$$P_{stop} = 1 - P_{non} \quad (R^2 = 0.792) \quad (1)$$

(단, IF $P_{non} > 100$ THEN $P_{non} = 100$,

(단, IF $P_{non} < 0$ THEN $P_{non} = 0$)

여기서,

P_{non} : 첫 번째 녹색시간에 통과차량비

P_{stop} : 적색신호 대기 후 다음 녹색시간에 통과하는 차량비

DV: 대기행렬 차량대수

CT: 링크 순행시간

GT_{down} : 하류부 교차로의 녹색시간

OFF: 상류부와 하류부 교차로의 offset

5. 분포비율 추정 퍼지제어 모형 구축

최근에 퍼지논리를 교통분야에 적용시키려는 많은 연구가 진행되어 왔다. 그 중에 대표적인 것이 링크통행시간을 추정하려는 노력이었다. 최초로 퍼지논리를 이용하여 통행시간을 추정하려는 시도는 Sisiopiku et al.(1994)에 의해서이다. 이 연구에서는 교통량과 점유율에 퍼지규칙을 적용하여 통행시간 추정의 가능성을 보여주었다.

본 연구에서는 교차로를 한 주기에 통과하는 차량과 정지

하였다가 다음주기에 통과하는 차량을 구분하여 통행시간의 분포를 나타내려고 시도하고 있다. 그러나 이러한 두 가지 형태로 통과하는 차량의 구분이 여러 가지 변수에 의해 애매하게 결정된다. 퍼지근사추론의 특성상 이러한 애매한 두 집합을 구분하는 탁월한 도구로 사용이 가능할 것이다.

5.1 추정변수

퍼지근사추론 모형을 구축하기 위해 먼저 어떤 변수들을 사용할 것인지 결정하여야 한다.

변수 분석결과 통과비율과 가장 상관성이 높은 변수는 잔류녹색시간과 대기행렬대수인 것으로 분석되었다.

표 2. 설명변수와 목적변수의 상관분석결과

변수	통과비율	잔류녹색시간	대기행렬
통과비율	1		
잔류녹색시간	0.653224	1	
대기행렬	-0.62946	-0.11491	1

설명변수와 목적변수의 상관관계를 분석한 결과 잔류녹색시간의 경우 $R = 0.653$ 의 값으로 나타났으며, 대기행렬의 경우 $R = -0.629$ 의 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 통과 확률은 잔류녹색시간과는 비례의 관계를, 대기행렬과는 반비례의 관계를 가지면서 상관성은 높은 것으로 나타났다.

5.2 퍼지집합(Fuzzy Sets)

일반적으로 퍼지집합을 결정하는 방식은 전문가들의 경험에 따라 설정하고 이를 반복적으로 적용하여 결과를 분석하여 재결정하는 시행착오에 의한 방법을 사용한다.

본 논문에서의 퍼지집합은 퍼지집합간의 충분한 중복이 이루어질 수 있도록 구축하였으며 좌·우측 개방형의 퍼지집합을 가지도록 하였다.

5.2.1 잔류녹색시간 퍼지집합의 결정

잔류녹색시간과 통과확률과의 관계를 분석한 결과 선형관계를 가지는 것으로 나타났다. 따라서 퍼지집합의 결정은 각 영역에서 선형 분할하여 적용할 수 있다. 이러한 분석결과를 이용하여 잔류녹색시간의 퍼지집합을 구축한 결과는 표 3, 그림 6과 같다.

표 3. 잔류녹색시간의 퍼지집합

잔류녹색시간의 언어값	좌측값	중앙값	우측값
RVL	25	35	-
RL	15	25	35
RM	10	15	20
RS	5	10	15
RVS	-	5	10

5.2.2 대기행렬 퍼지집합의 결정

대기행렬대수와 통과확률과의 관계도 선형관계를 가지는 것으로 나타났으며, 따라서 대기행렬대수의 퍼지집합 결정 또한 각 영역에서 선형 균등 분할하여 적용할 수 있다. 이러한 분석결과를 이용하여 대기행렬대수 퍼지집합을 구축한

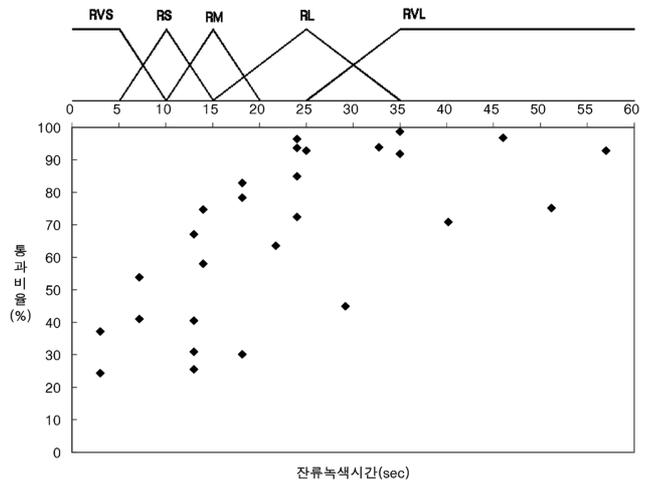


그림 6. 잔류녹색시간의 퍼지집합

표 4. 대기행렬대수의 퍼지집합

대기행렬대수의 언어값	좌측값	중앙값	우측값
DVS	-	2	7
DS	2	7	12
DM	7	12	17
DL	12	17	22
DVL	17	22	-

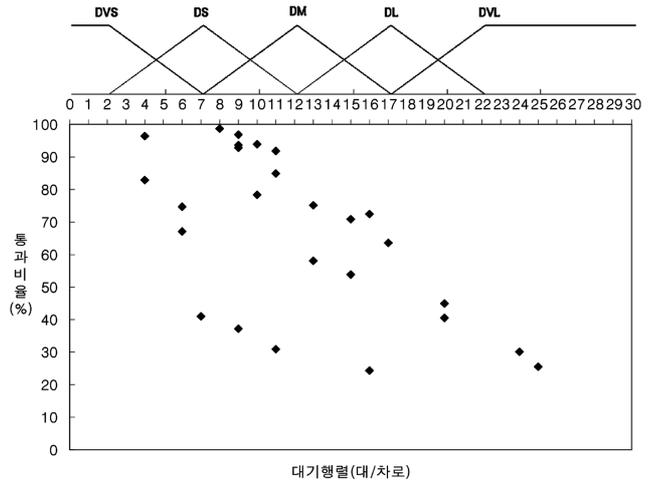


그림 7. 대기행렬대수의 퍼지집합

결과는 표 4, 그림 7과 같다.

5.2.3 통과비율 퍼지집합의 결정

퍼지근사추론을 이용한 최종적인 결과가 되는 통과비율 퍼지집합의 결정은 퍼지집합들 중 가장 중요한 퍼지집합이다. 따라서 퍼지집합의 결정에 신중을 기하여야 한다. 본 연구에서는 통과비율의 퍼지집합을 5개로 구분하였다. 이러한 퍼지집합을 구분하기 위해서 먼저 최소값과 최대값을 결정하여 퍼지집합의 범위를 설정하는 것이 필요하다.

퍼지집합의 범위를 설정하는 것은 현장조사와 더불어 풍부한 경험적인 판단이 필요하다. 그러나 본 연구에서의 통과비율의 경우 모든 차량이 통과하는 100%에서 모든 차량이 정지를 경험하는 0%가 범위가 되는 것이 너무나 당연한 것으로 퍼지집합의 범위를 설정하기 위한 노력은 불필요한 것이

다. 퍼지집합의 범위에서 퍼지 언어표현에 대한 세부적인 값을 결정한 결과는 표 5와 같다.

표 5. 통과비율의 퍼지집합

통과확률의 언어값	좌측값	중앙값	우측값
VG	90	95	100
G	55	70	95
M	30	50	70
B	10	30	50
VB	0	15	30

5.2.4 퍼지집합의 언어변수

잔류녹색시간, 대기행렬 대수, 통과비율의 퍼지집합의 언어변수를 정리하면 표 6과 같다.

표 6. 퍼지집합의 언어변수

구분	언어변수				
잔류녹색시간	RVL	RL	RM	RS	RVS
	매우길다	길다	보통이다	짧다	매우짧다
대기행렬	DVS	DS	DM	DL	DVL
	매우적다	적다	보통이다	많다	매우많다
통과비율	VG	G	M	B	VB
	매우높다	높다	보통이다	낮다	매우낮다

5.3 퍼지규칙(Fuzzy Rules)

퍼지규칙을 설계하기 위해서는 입력값과 출력값에 대한 퍼지집합의 개수를 먼저 결정하여야 한다. 설명변수로 도입이 결정된 잔류녹색시간과 대기행렬대수를 각각 5개의 퍼지 집합으로 분류하였다.

전 절에서 분석된 잔류녹색시간과 대기행렬대수가 통과비율과 가지는 관계를 이용하여 퍼지 규칙을 작성하였다. 따라서 최대 퍼지규칙의 수는 25개이며 이를 모두 사용하며 최종적인 통과비율에 대한 퍼지규칙은 5개이다. 25개로 작성된 퍼지 규칙은 표 7과 같다.

규칙 1) IF RT is RVL and DV is DVS THEN $P_{nonstop}$ is VG

규칙 2) IF RT is RVB and DV is DS THEN $P_{nonstop}$ is VG

⋮

규칙 24) IF RT is RVS and DV is DL THEN $P_{nonstop}$ is B

규칙 25) IF RT is RVS and DV is DVL THEN $P_{nonstop}$ is VB

여기서, RT : 잔류녹색시간

여기서, DV : 대기행렬 차량대수

표 7. 퍼지규칙

RT \ DV	RVL	RL	RM	RS	RVS
DVS	VG	VG	G	G	M
DS	VG	VG	G	M	B
DM	VG	G	M	B	B
DL	G	M	B	B	B
DVL	M	B	B	VB	VB

5.4 퍼지추론

본 연구에서 통행시간 분포비율 추정을 위한 모형의 퍼지화기로는 설명변수와 목적변수의 관계가 선형관계를 나타내고 있으므로 삼각 함수를 사용하였으며, 추론 엔진으로는 기존 연구고찰에서 언급한 Max-Min 연산을 사용하였다. 비퍼지화기는 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 무게중심법을 사용하였다.

6. 구축모형의 적용

6.1 적용결과

구축된 다중회귀모형과 퍼지모형을 적용하여 링크통행시간 분포비율을 추정하였으며, 추정모형의 적용결과는 그림 8과 같이 나타났다.

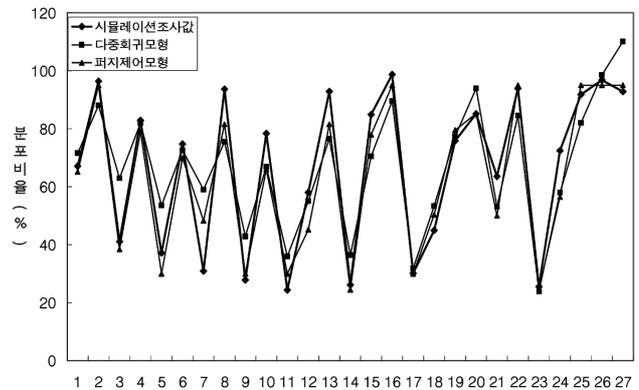


그림 8. 구축모형의 적용결과

구축모형의 추정결과 대체적으로 퍼지모형을 이용한 추정이 양호한 결과를 나타내는 것으로 분석되었다.

6.2 통계적 검증

추정모형의 통계적 검정을 위해 통계패키지인 SPSS 11.0을 사용하여 T-test를 실시하였다. 시뮬레이션 조사값과 구축된 모형의 추정값의 연구가설에 따른 귀무가설과 대립가설을 설정은 다음과 같이 표현할 수 있다.

연구가설 : 시뮬레이션 조사값과 다중회귀모형의 추정값은 차이가 있을 것이다.

귀무가설(H_0) : $\mu_1 = \mu_2$

대립가설(H_0) : $\mu_1 \neq \mu_2$

여기서, μ_1 : 시뮬레이션 조사값

여기서, μ_2 : 구축된 모형의 추정값

T-test를 실시한 결과를 살펴보면, 두 추정모형 모두 p-value가 $\alpha=0.05$ 보다 큰 것으로 분석되어 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 나타났다. 즉, 시뮬레이션 조사값과 구축된 모형의 추정값은 차이가 있다고 할 수 없다. 따라서 95% 신뢰수준에서 추정값은 적합한 것으로 분석되었다.

분석결과를 전체적으로 살펴보면 구축된 모형 모두 높은 추정력을 가지는 것으로 나타내었으나 표준오차의 크기나 상관계수를 살펴볼 때 퍼지근사추론 모형이 더욱 높은 추정력

을 가지는 것으로 분석되었다. T-test 결과는 표 8~표 10에 나타내었다.

표 8. 표본의 상태

구분		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	조사값	66.2285	27	26.94788	5.18612
	회귀모형	66.8792	27	21.55222	4.14773
Pair 2	조사값	66.2285	27	26.94788	5.18612
	퍼지모형	63.4613	27	25.54300	4.91575

표 9. 표본의 상관관계

구분		N	Correlation	Sig.
Pair 1	조사값 & 회귀모형	27	.890	.000
Pair 2	조사값 & 퍼지모형	27	.962	.000

표 10. T-test 결과

구분	Paired Differences	Std. Deviation	Std. Error Mean	t	Sig. (2-tailed)
Pair 2	조사값 & 퍼지모형	7.33200	1.41104	1.961	.061

7. 결 론

링크통행시간 분포비율을 추정하기 위해 설명변수와 목적 변수의 관계를 분석하고 이를 바탕으로 다중회귀모형과 퍼지근사추론 모형에 의한 추정 모형을 구축하였다.

모형의 분포비율 추정결과를 살펴보면 다중회귀모형의 경우는 시뮬레이션 결과와 전체적으로는 유사한 형태를 가지는 것으로 나타났지만 분포비율이 높은 경우에는 100%보다 큰 값이 산정되고, 분포비율이 낮은 경우에는 0%보다 작은 값이 나타나 현실성이 떨어지는 것으로 분석되었다.

그러나 퍼지근사추론에 의해 구축된 퍼지모형은 0~100% 범위에서 분포비율이 결정되어 현실 반영이 더욱 우수한 것으로 분석되었다.

모형 구축결과를 요약하면 링크통행시간 분포비율에 큰 영향을 미치는 설명변수로는 대기대수와 잔류녹색시간인 것으

로 분석되었으며, 설명변수와 목적변수인 분포비율은 선형의 관계를 가지는 것으로 나타났다.

설명변수인 대기대수와 잔류녹색시간을 이용하여 다중회귀 모형과 퍼지근사추론 모형에 의한 추정결과는 퍼지모형이 신뢰성 및 적용성에서 다중회귀모형에 비해 우수한 결과를 나타내었다.

따라서, 퍼지모형 의해 링크통행시간 분포비율 추정이 가능할 것이며, 링크통행시간 분포비율을 이용하여 신호운영 또는 링크구간에서의 교통마찰 요인에 대한 분석을 통한 소통개선의 기초자료로 사용될 수 있을 것이며, 향후 경로통행 시간 분포비율 추정의 기본단위로 활용이 가능할 것이다.

참고문헌

- 김성민(1997) 양방향 2차선도로의 교통류분석 지표설정 및 지체시간백분율 산정알고리즘 개발. 석사학위논문, 서울시립대학교 대학원.
- 박용진(1998) 교통류 모형을 이용한 도시 연동가로의 통행시간 모형개발. 대한교통학회지. 대한교통학회, 제16권 제2호, pp. 145-155.
- 최병국(1998) 2차로 고속도로 양보차로 설계기준. 대한교통학회지. 대한교통학회, 제16권 제3호, pp. 73-79.
- 최재성(1996) 양방향 2차선 도로의 추월금지 모형개발 및 교통류특성 분석 연구. 대한교통학회지. 대한교통학회, 제14권 제2호, pp. 173-189.
- 한국건설기술연구원(1994) 연속류 도로의 한국형 모의시험 프로그램 개발(I).
- 한국건설기술연구원(1995) 연속류 도로의 한국형 모의시험 프로그램 개발(II).
- 한상진(1998) 양방향 2차선 도로에서의 지체시간 산정 모형에 관한 연구. 석사학위논문, 서울대학교.
- 황경수(1996) 양방향 2차선도로의 지체시간산정모형개발에 관한 연구. 박사학위논문, 서울시립대학교.
- Hoban, C.J. (1994) *Alternative Level of Service Measure for Two-Lane Highways*. TRR Committee on Highway Capacity and Quality of Service Two-Lane Roads Subcommittee.
- McClean, J.R. (1989) *Two-lane Highway Traffic Operations - Theory and Practice*. Gordon and Breach Science Publishers.
- Transportation Research Board (2000) *Highway Capacity Manual*. Special Report 209.

(접수일: 2005.5.16/심사일: 2005.8.5/심사완료일: 2005.9.21)