

■ 論 文 ■

경로통행시간 분포비율 추정 알고리즘 개발

Development of Path Travel Time Distribution Estimation Algorithm

이 영 우

(울산광역시 교통기획과)

목 차

- I. 서론
 - II. 기연구 및 이론적 고찰
 - 1. 링크통행시간 분포비율 추정
 - 2. 교통시물레이션 분석모형 고찰
 - III. 자료수집 및 분석
 - 1. 현장조사
 - 2. 시물레이션에 의한 자료수집
 - 3. 경로통행시간 분포특성 분석
 - IV. 경로통행시간 분포비율 추정알고리즘 구축
 - 1. 링크통행시간과 경로통행시간 관계 분석
 - 2. 경로통행시간 분포비율 추정알고리즘
 - 3. 경로통행시간 분포비율 추정 결과
 - 4. 구축알고리즘의 신뢰성 검토
 - V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 링크통행시간, 차량주행특성, 경로통행시간, 통행시간 분포, 알고리즘 개발

요 약

본 논문에서는 수집된 데이터를 이용한 경로통행시간 추정에 관한 연구를 수행하였다. 교통정보 이용자들은 출발지에서 목적지까지 통행하는데 소요되는 경로통행시간에 대해 다양한 정보를 요구하고 있다. 그러나 지금까지 경로통행시간 정보는 평균링크통행시간의 단순한 조합에 의한 평균경로통행시간의 단조로운 형태로 제공되고 있어 정보이용자들의 다양한 경로통행시간 정보에 대한 요구를 충족시키지 못하고 있는 실정이다. 이러한 확실적인 경로통행시간 정보제공의 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 동일구간, 동일조건에서 여러 대표값으로 분포하는 경로통행시간에 대한 연구를 통하여 다양한 경로통행시간에 대한 정보를 제공함으로써 정보 이용자의 요구에 부응하기 위한 경로통행시간 추정에 관한 연구를 실시하였다. 본 연구에서는 링크통행시간의 조합을 통해 경로통행시간의 분포를 추정하기 위해 링크통행시간과 경로통행시간과의 관계를 분석하였다. 이러한 결과를 바탕으로 링크통행시간 분포비율을 조합하여 경로통행시간 분포비율을 추정하는 알고리즘을 구축하였으며, 알고리즘 적용결과 우수한 추정력을 가지는 것으로 분석되었다.

The objective of this research is to keep track of path travel time using methods of collecting traffic data. Users of traffic information are looking for extensive information on path travel time, which is referred to as the time taken for traveling from the origin to the destination. However, all the information available is the average path travel times, which is a simple sum of the average link travel times. The average path travel time services are not up to the expectation of traffic information consumers. To improve provide more accurate path travel time services, this research makes a number of different estimates of various path travel times on one path, assuming it will be under the same condition, and provides a range of estimates with their probabilities to the consumers, who are looking for detailed information. To estimate the distribution of the path travel times as a combination of link travel times, this research analyzes the relation between the link travel time and path travel time. Based on the result of the estimation, this research develops the algorithm that combines the distribution of link travel time and estimates the path travel time based on the link travel times. This algorithm was tested and proven to be highly reliable for estimating the path traffic time.

I. 서론

최근 운전자들은 교통정보에 대해 민감하게 반응하고 있으며, 보다 다양한 교통정보에 대한 요구가 증대되고 있는 실정이다.

특히, 통행시간 정보를 통해 목적지까지의 경로를 선택하고 우회를 판단하는 기준으로 활용하고 있다. 그러나 지금까지 연구되어온 경로통행시간에 대한 연구는 대부분 평균경로통행시간에 대한 추정과 예측에 집중되어 왔다.

경로통행시간은 많은 사람이 평균경로통행시간으로 통행하기를 하겠지만 하나의 값으로 대표될 수 있는 것이 아니다. 실제 경로통행시간은 다양한 값을 가지며 일부는 평균보다 빠른 통행시간을, 또 다른 일부는 평균보다 느린 통행시간을 가지게 된다.

운전자들은 동일 노선에서의 다양한 통행시간의 비율에 대한 정보를 요구할 수 있다. 획일적인 평균경로통행시간 정보의 제공이 아닌 다양한 분포를 나타내는 특성을 고려한 확률적 경로통행시간 정보의 제공을 위해서는 경로통행시간 조합의 기본 단위가 되는 링크통행시간의 분포에 대한 연구가 필수적일 것이다.

이영우(2004)에 의하면 첫 번째 녹색시간에 통과하는 차량과 적색시간 동안 대기를 경험하고 다음 주기의 녹색시간에 통과하는 차량의 비율을 추정함으로써 링크통행시간의 분포비율을 추정할 수 있음을 보여주고 있다.

경로통행시간은 링크통행시간의 조합으로 이루어진다. 따라서 경로통행시간의 분포는 링크통행시간 분포의 조합으로 추정이 가능할 것이다. 또한, 상·하류부 링크의 통행시간 분포비율은 상호 관련성을 가질 것으로 예상할 수 있으므로 링크통행시간 분포비율의 산술적인 조합으로는 경로통행시간 분포비율을 추정할 수 없을 것이다. 따라서, 상류부 링크와 하류부 링크의 링크통행시간 분포의 관계를 분석하고 이를 바탕으로 경로통행시간 분포비를 추정하기 위한 링크통행시간 분포비율의 조합 알고리즘을 구축하였다.

연구방법은 현장조사를 통해 경로를 통행하는 차량을 전수 조사하는 것은 불가능하므로 현재 실제 운영되고 있는 신호조건, 도로조건을 이용하여 프로그램을 구축하고 현장조사에 의한 교통량을 이용하여 시뮬레이션을 실시하여 현실과 유사한 분석이 되도록 노력하였으며, 이를 통해 여러 가지 제약조건으로 인해 어려움이 있는 현장조사의 단점을 극복하고자 하였다.

그리고, 경로통행시간 분포비를 추정 알고리즘의 적합

성을 검토하기 위해 링크통행시간 분포비율을 이용하여, 구축된 경로통행시간 분포비를 추정 알고리즘에 의해 조합을 실시하고 그 결과를 시뮬레이션 결과에 의한 경로통행시간 분포비를 조사값과 비교·검토를 실시하였다.

II. 기연구 및 이론적 고찰

1. 링크통행시간 분포비를 추정

단속류에서 교통조건, 신호운영조건, 도로조건 등 다양한 영향인자로 인한 통행시간 분포 특성에 대한 이영우(2004)의 연구에 의하면 지금까지의 단조로운 평균 링크통행시간 추정에서 벗어나 링크통행 특성을 좀 더 미시적으로 분석한 결과 일정한 속도로 링크구간을 주행한 차량이 교차로에서 신호운영에 의해 정지하였다가 통과하는 차량과 정지없이 통과하는 차량으로 구분되는 것을 확인할 수 있었으며 따라서, 링크통행시간은 신호운영에 영향을 받지 않는 링크주행시간과 신호에 의한 지체시간을 고려한 통행시간으로 구분하여 링크구간내의 교통상황을 이해할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

또한, GPS 장착차량의 주행실험을 통해 링크구간에서의 도로조건에 의해 속도가 잠시 줄었다가 회복되는 현상을 확인할 수 있었으며, 통행시간의 분포범위는 상·하류 신호운영에 의해 영향을 받는 것으로 나타나고 있으며, 일반적인 통행시간의 연구결과도 이를 뒷받침하고 있다. 그러나 신호운영에 의해 영향을 받긴 하지만 링크구간내의 차량의 운행거동에 대한 미시적인 분석결과 링크구간내의 도로조건 등 주변변건에 의한 주행속도의 변화로 인해 통행시간의 분포가 변화하는 것으로 분석되었다.

따라서, 지금까지의 신호운영에 의한 통행시간에 대한 연구뿐 아니라 링크구간내의 차량주행 조건에 의한 통행시간의 영향에 대한 분석이 필요한 것으로 제시하고 있으며, 링크통행시간의 분포비율을 추정하는 모형을 제시하고 있어, 본 연구에서는 링크통행시간의 분포비율의 조합을 통해 획일적인 평균경로통행시간에서 벗어나 다양한 경로통행시간의 분포비율을 추정하는 연구를 수행하였다.

2. 교통시뮬레이션 분석모형 고찰

본 연구에서는 미시적 모형으로서 현실을 가장 잘 나타낼 수 있을 것으로 기대되는 TSIS 프로그램 중 TRAF-NETSIM의 시뮬레이션을 이용하였다.

TRAF-NETSIM은 도로망의 신호 제어, 버스, 주차, 차선 폐쇄 등이 교통 흐름에 미치는 영향을 분석하는 미시적 모형으로 미국 연방 도로청(FHWA)에서 1971년 개발되어 세계적으로 폭넓게 사용되고 있다. NETSIM은 도로망과 고속도로를 미시적·거시적 수준으로 분석하는 TRAF 계열의 교통 시뮬레이션 모형 중의 하나이다. TRAF-NETSIM의 가장 큰 특징은 도로를 주행하는 차량의 거동을 미시적, 확률적으로 표현하고 있으며, 매초마다 개별 차량의 움직임을 표현해 준다. 또한, TRAFVU로 도로망을 이동하는 차량의 모습을 화면 위에 나타낼 수 있으며, 효과척도의 출력자료를 그림으로 보여줄 수 있다는 특징을 가지고 있으며, 네트워크를 미시적이며 확률적으로 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서 개별차량의 통행 데이터 수집의 방법으로 사용하고자 하는 TRAF-NETSIM은 주어진 도로조건, 신호운영조건, 교통조건에서 개별차량의 움직임을 시뮬레이션에 의해 현실화하는 것이 가능하다.

시뮬레이션에 의한 결과를 분석하는 것이 아니라 개별차량의 움직임이 TRAFVU에 의해 애니메이션 되기 때문에 현실에서 조사하기 어려운 개별차량의 통행정보를 현실과 마찬가지로 개별차량 단위로 조사하여 분석에 이용하는데 가장 적합한 방법 중에 하나라 할 수 있다.

III. 자료수집 및 분석

1. 현장조사

현장조사는 1차조사와 2차조사로 구분하여 실시하였으며, 1차 조사는 본 연구의 기본가정인 경로통행시간의 분포가 여러개의 대표값으로 구분되어 나타난다는 가정을 현장조사 자료를 분석하여 제시하고자 개별차량의 경로통행시간을 조사하였다.

2차조사는 시뮬레이션을 위한 기초자료의 수집을 위해 현장조사를 실시하였다.

1) 경로통행시간 분포특성 분석을 위한 현장조사

1차조사의 조사일시는 평일인 2002년 4월 3일에 실시하였으며 시간은 오전 10:00~11:30에 실시하였다.

조사지점은 일정한 교통축을 형성하고 있으면서 조사가 용이할 것으로 판단되는 대구광역시 안심로를 선정하였다.

조사경로는 제2울하교사거리 ⇒ 안일초교삼거리 ⇒ 안심주공사거리 ⇒ 안심중학삼거리 ⇒ 동호사거리 ⇒ 안일빌라삼거리 ⇒ 송정삼거리 구간으로 총 7개 교차로로 연결된 경로이다.

조사방법은 경로통행시간 조사를 위해 조사경로의 시점과 종점에서 비디오카메라 촬영과 더불어 차량번호판 조사를 병행하여 조사를 실시하였다.

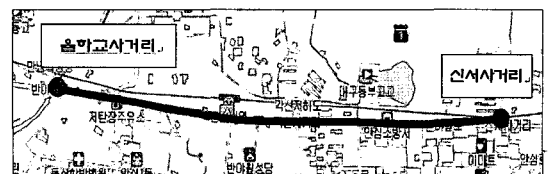
반야월로와 안심로가 분리되는 반야월 삼거리의 경우 교차로가 너무 넓어 비디오카메라 촬영에 어려움이 있어 제2울하교 교차로를 경로 유입교차로로 선정하여 비디오카메라 촬영을 실시하였으며, 조사 경로의 유출교차로는 반야월로와 안심로가 다시 만나는 송정삼거리를 선정하여 조사하였다.

2) 시뮬레이션 구축을 위한 기초자료 현장조사

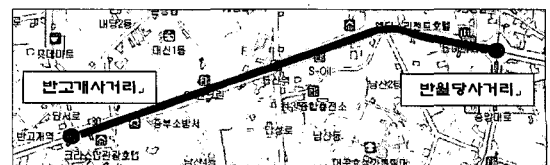
여러 개의 링크 조합으로 이루어진 경로의 경우 현장조사를 통한 분석을 실시하기 위해서는 많은 조사인력과 조사비용의 문제로 인해 다양한 조건들을 고려한 분석을 실시하기에 현실적으로 어려움이 많다.

따라서 시뮬레이션을 통하여 보다 다양한 조건에서의 링크 및 경로통행시간 분포특성을 분석하였으나, 시뮬레이션 구축시 현실성을 최대한 확보하기 위해 시뮬레이션의 기초자료를 현장조사를 통해 수집하였으며, 조사구간은 반야월로의 울하교사거리~신서사거리 구간, 달구벌로의 반고개사거리~반월당사거리 구간으로 대구광역시 외곽 주요 교통축이다. 달구벌로의 경우 대구광역시 1차 순환선 중심을 통과하는 대구광역시 주요 교통축이다.

조사구간은 <그림 1>, <그림 2>와 같으며, 조사항목은 기하구조조건, 신호운영조건, 교통량 등이며, 조사항목의 일부를 <표 1>에 나타내었다.



<그림 1> 반야월로(울하교사거리~신서사거리)



<그림 2> 달구벌로(반고개사거리~반월당사거리)

〈표 1〉 시물레이션을 위한 현장조사 항목

구분	상류부 교차점	하류부 교차점	구간 길이	차로	신호 주기
반야월로	울하교 사거리	저탄장 사거리	430	2	130초
	저탄장 사거리	안심1동 사무소	200		
	안심1동 사무소	각산 사거리	1,000		
	각산 사거리	신서 사거리	1,380		
달구벌로	반고개 사거리	중부소방서	213	4	170초
	중부소방서 사거리	신남 사거리	774		
	신남 사거리	계산 오거리	496		
	계산 오거리	반월당 사거리	566		

2. 시물레이션에 의한 자료수집

1) 시물레이션 프로그램 구축

시물레이션 프로그램으로는 TSIS 5.0을 사용하였으며, 현장조사 결과를 이용하여 실제 존재하는 기하구조, 신호운영조건을 기초로 프로그램을 구축하였다. 또한 교통량도 현실성 확보를 위해 실측된 자료를 적용하였다.

2) 자료수집 방법

구축된 시물레이션 프로그램을 실행하여 개별차량의 통행시간 데이터를 수집하였다. 시물레이션 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 현장 조사와 같은 방법으로 수집·분석하여 링크 및 경로 통행시간을 추정하고자 하였다.

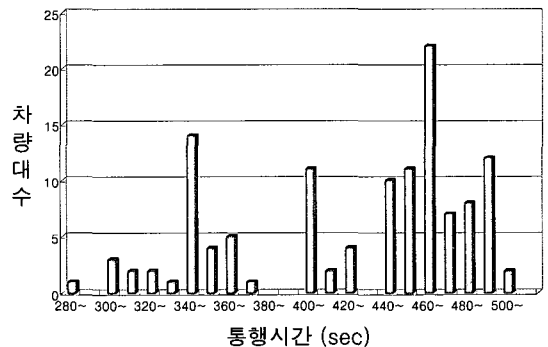
TSIS 5.0에서 제공하고 있는 애니메이션 프로그램인 TRAFVU를 이용하여 개별차량들의 움직임을 추적 조사하는 방법으로 상류부교차로를 통해 링크로 유입되는 시간과 하류부교차로로 유출되는 시간을 측정하여 각 링크의 통행시간을 측정하는 방법을 사용하였다.

이런 방법을 통해 개별차량의 링크통행시간과 경로 통행시간 데이터를 모두 추출하여 통행시간 특성에 대한 분석을 실시하였다.

3. 경로통행시간 분포특성 분석

1) 현장조사에 의한 분포특성 분석

현장조사 중 경로통행시간 특성분석을 위해 실시한 1차조사 결과를 바탕으로 경로통행시간의 분포특성 분석을 실시하였다. 분석결과 전체적으로 통행시간이 일정한 시간차를 두고 분리되어 군집을 이루는 형태의 분포를 나타내는 것으로 분석되었다. 최소통행시간은 280sec, 최대통행시간은 510sec로 나타났으며 최대와 최소통행시간의 차이는 230sec로 나타나 통행시간 간의 차이가 큰 것으로 조사되었다. 이러한 현장조사결과를 살펴볼 때 경로통행시간의 경우 다양한 통행시간이 존재하며 평균경로통행시간 하나가 전체 경로통행시간을 대표하기에는 문제가 있는 것으로 사료된다. 안심로의 경로통행시간 분포는 〈그림 3〉에 나타내었다.

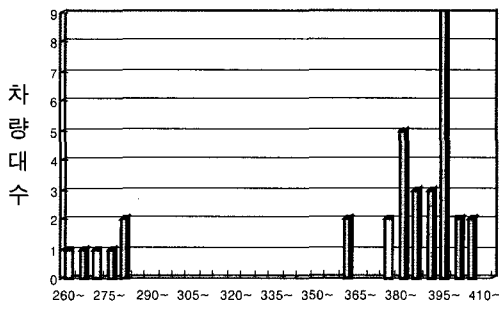


〈그림 3〉 경로통행시간 분포(제2울하교~송정삼거리)

2) 시물레이션 결과에 의한 분포특성 분석

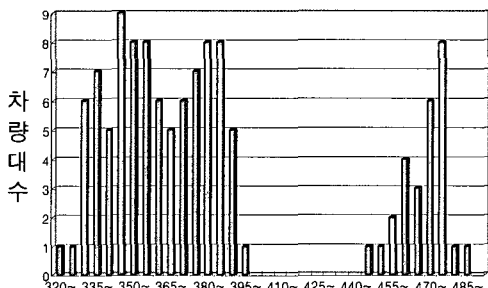
보다 다양한 조건에서의 통행시간 분포특성을 분석하기 위해 시물레이션에 의한 조사결과를 바탕으로 한 경로통행시간의 시물레이션 분석결과 분포특성을 〈그림 4〉~〈그림 7〉에서 살펴보면 현장 실측 조사자료를 이용한 분석결과와 거의 유사한 결과를 나타내고 있다.

먼저, 반야월로 울하교사거리⇒신서사거리 방향 경로와 달구벌로 반고개사거리⇒반월당사거리 방향 경로의 경우를 살펴보면 경로통행시간 분포가 일정한 경로통행시간 간격을 두고 양분된 분포를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.



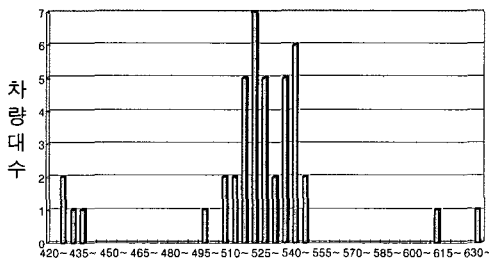
통행시간 (sec)

〈그림 4〉 반야월로(올하교사거리⇒신서사거리)



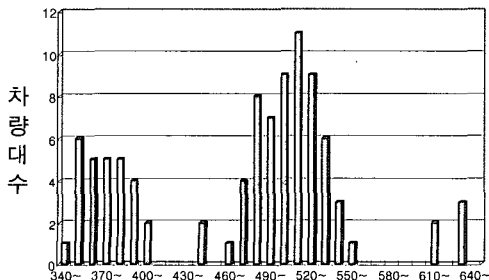
통행시간 (sec)

〈그림 5〉 달구벌로(반고개사거리⇒반월당사거리)



통행시간 (sec)

〈그림 6〉 반야월로(신서사거리⇒올하교사거리)



통행시간 (sec)

〈그림 7〉 달구벌로(반월당사거리⇒반고개사거리)

그리고, 반야월로 신서사거리⇒올하교사거리 방향 경로와 달구벌로 반월당사거리⇒반고개사거리 방향 경로의 경우 일정한 간격을 두고 3개의 분리된 통행시간 분포를 나타내고 있어 경로를 대표할 수 있는 통행시간은 3개로 가장 많은 시간이 걸리는 경우와 가장 짧은 시간이 걸리는 경우를 비교하면 반야월로의 경우 약 190sec의 시간차를 나타내고 있으며, 달구벌로의 경우에는 약 250sec의 경로통행시간 차를 나타내고 있다.

경로통행시간의 경우 통행시간 분포가 일정한 간격을 두고 분리되어 분포하는 것으로 나타났으며 이러한 분리 현상은 크게 양분되는 링크통행시간과 달리 여러 개의 대표적인 통행시간으로 분리되는 것으로 분석되었다.

전체적으로 살펴보면 동일 조건에서 통행시간도 상당히 큰 차이를 나타내는 것으로 분석되었다.

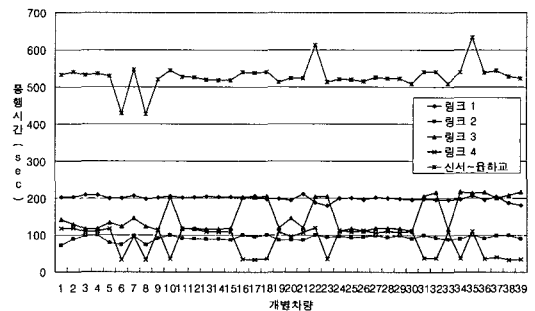
Ⅳ. 경로통행시간 분포비율 추정알고리즘 구축

1. 링크통행시간과 경로통행시간 관계 분석

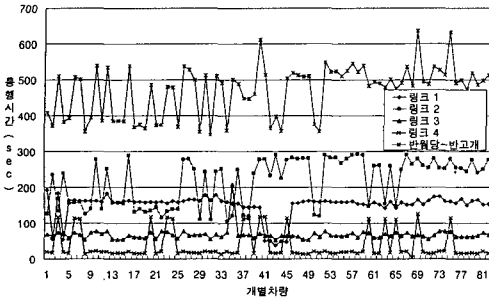
경로통행시간은 링크통행시간의 조합으로 이루어지기 때문에 링크통행시간의 분포가 경로통행시간의 분포에 깊은 관계를 가질 것으로 예상된다. 개별차량의 링크통행시간과 경로통행시간을 비교·검토하여 분석한 결과는 〈그림 8〉~〈그림 9〉에 나타내었다.

반야월로 신서사거리⇒올하교사거리 통행시간을 살펴보면 링크 3과 링크 4에서 통행시간 양분현상이 발생하며, 경로통행시간의 통행시간 분리현상은 결국 링크 3과 링크 4의 영향으로 인한 것임을 알 수 있다.

통행분리가 일어나는 상류부 링크인 링크 3과 하류부 링크인 링크 4의 경우를 〈그림 8〉에서 살펴보면 링크 3에서 통행시간이 긴 경우 링크 4에서 짧은 통행시간을 가짐을 알 수 있다.



〈그림 8〉 신서사거리⇒올하교사거리 개별차량 통행시간



〈그림 9〉 반월당 ⇒ 반고개구간 개별차량 통행시간

또한, 링크3에서 짧은 통행시간을 가지는 경우 링크 4에서 긴 통행시간을 가지는 것을 알 수 있다.

이것이 의미하는 것은 상류부 링크에서 첫 번째 주기에 바로 통과하는 경우에는 하류부 링크에서 적색신호에 대기를 경험하고 통과하며, 상류부 링크에서 적색신호 대기를 경험한 차량은 하류부 교차로에서 첫 번째 녹색시간에 바로 통과하는 현상을 나타내는 것으로 분석할 수 있다.

달구벌로 반월당⇒반고개 구간의 링크별 통행시간의 상관관계를 분석한 결과 통행시간 분리현상이 일어나는 링크는 링크 1, 2와 링크 4이다.

링크 1과 링크 2의 관계를 살펴보면 반야월로 신서사거리⇒우하교사거리 경로에서와 같이 링크 1의 통행시간과 링크 2의 통행시간은 서로 반비례하는 형태를 나타내고 있다. 통행시간 분리현상이 발생하는 링크 2와 링크 4의 경우를 살펴보면 링크 1과 링크 2의 관계와 같이 뚜렷하게 나타나지는 않으나 전체적으로 통행시간이 반비례하는 유사한 형태를 나타내고 있다. 통행시간 분리현상이 연속되어 있지 않은 링크의 경우 추월 기회가 상대적으로 많기 때문에 반비례 현상이 뚜렷하게 발생하지는 않는 것으로 판단된다.

경로통행시간의 분포비율은 통행시간 분리현상이 발생하는 링크의 통행시간 분포비율에 결정적인 영향을 받으며 각 링크의 통행시간 분포비율과 상·하류 링크간의 통행시간 상관관계에 의해 경로통행시간의 분포비율이 결정되는 것으로 나타났다. 따라서 각 링크의 통행시간 분포비율을 결정하고 이를 상·하류 링크간의 상관관계에 따라 조합을 실시하여 경로통행시간 분포를 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 경로통행시간 분포비율 추정알고리즘

상·하류 링크간 통행시간 분포비율의 상관관계를

분석한 결과 링크통행시간 분리현상이 발생하는 링크의 분포비율을 적절히 조합함으로써 경로통행시간의 분포비율을 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

통행시간 분리현상이 일어나는 링크가 연속해 있을 경우 상류부 링크에서 적색신호에 대기한 차량과 적색신호 대기없이 한번에 통과한 차량의 순서가 유지될 경우 적색신호를 대기한 차량은 하류부 링크에서는 녹색시간의 초기에 통과할 것이고 적색신호 대기차량이 모두 통과한 후 적색신호 대기없이 통과하는 차량이 나머지 녹색시간에 통과하게 될 것이다.

그러나, 상류부에서 적색신호시간 대기 후 통과한 차량을 대기 없이 한번에 통과한 차량이 추월을 실시하여 하류부에서 적색시간 대기 후 통과하는 차량보다 먼저 통과하고 그 뒤에 적색신호 후 통과한 차량이 하류부의 나머지 시간에 통과하게 될 경우 순서가 계속 유지된다는 가정은 틀린 것이 된다. 따라서, 가정에 의해 추정된 값은 오답이 될 것이고 이 오답은 차량의 추월에 의해 결정되는 것이다.

또한, 링크통행시간 분리현상이 발생하는 링크가 연속적으로 연결되어 있지 않은 경우 통행시간 분리현상이 발생하는 상류부 링크와 하류부 링크의 분포비율 조합은 차량의 통행 순서가 계속적으로 유지되는 것을 기대하기가 더욱 어려워진다. 따라서 차량의 순서가 바뀔 가능성이 더욱 커지게 되는 것이다. 따라서 추월 확률에 대한 검토를 통해 오답율을 산정하는 것이 필요할 것이다.

본 연구에서는 링크 구간에서의 추월 확률을 조사한 결과 평균적으로 11% 내외의 확률을 가지는 것으로 조사되어 이를 오답율로 사용하여 분석을 실시하였다. 링크통행시간 분포비율을 연속된 링크에서는 추월 기회가 1개의 링크에서만 가능하기 때문에 오답율 0.11을 적용하였으며, 불연속적으로 통행시간 분리현상이 일어나는 경우에는 1개의 링크를 통과하는데 0.11의 기회가 있기 때문에 상류와 하류의 링크 개수에 의해 오답율이 증가하는 것으로 가정하였다.

이러한 분석결과를 바탕으로 통행시간 분리현상이 일어나는 상·하류 링크통행시간 분포비율을 조합하는 과정을 정리하면 다음과 같다.

【Step 1】

상류부에서 대기 없이 통과 차량 중 하류부에서 대기 후 통과하는 비율 산정

$$P_{ns} = P_{inon}, P_{jstop} \text{ 중 작은 값}$$

상류부에서 대기 후 통과 차량 중 하류부에서 대기 없이 통과하는 비율 산정

$$P_{sn} = P_{istop}, P_{jnon} \text{ 중 작은 값}$$

[Step 2]

상류부에서 대기없이 통과한 차량이 하류부에서 대기 없이 통과하는 비율 산정

$$P_{inon} \geq P_{jnon} \text{ 이면, } P_{nn} = P_{inon} - P_{jstop}$$

$$P_{inon} < P_{jnon} \text{ 이면, } P_{nn} = 0$$

[Step 3]

상류부에서 대기 후 통과한 차량이 하류부에서 대기 후 통과하는 비율 산정

$$P_{istop} \geq P_{jstop} \text{ 이면, } P_{ss} = P_{istop} - P_{jnon}$$

$$P_{istop} < P_{jstop} \text{ 이면, } P_{ss} = 0$$

[Step 4]

예측 비율이 틀리게 추정될 확률을 고려한 산정
(오답율적용: $P_e = 0.11(1 + N_l)$, $P_h = 1 - P_e$)

$$P_{nn} = P_{nn} \times P_h + P_{ns} \times P_e$$

$$P_{ns} = P_{ns} \times P_h + P_{nn} \times P_e$$

$$P_{sn} = P_{sn} \times P_h + P_{ss} \times P_e$$

$$P_{ss} = P_{ss} \times P_h + P_{sn} \times P_e$$

[Step 5]

상·하류 링크통행분포를 조합한 예측비율 값끼리 조합을 실시한다.

예측값 1의 하류 통행형태와 예측값 2의 상류 통행 형태가 일치하는 값들을 매칭하여 다음과 같이 조합을 실시하여 조합한 예측비율을 계속 반복.

$P_{*n1}, P_{*n*2} \text{의 조합}$ $P_{nnn} = P_{nn1} \times \frac{P_{nn2}}{P_{nn2} + P_{ns2}}$ $P_{nns} = P_{nn1} \times \frac{P_{ns2}}{P_{nn2} + P_{ns2}}$ $P_{snn} = P_{sn1} \times \frac{P_{nn2}}{P_{nn2} + P_{ns2}}$ $P_{sns} = P_{sn1} \times \frac{P_{ns2}}{P_{nn2} + P_{ns2}}$	$P_{*s1}, P_{*s*2} \text{의 조합}$ $P_{nsn} = P_{ns1} \times \frac{P_{sn2}}{P_{sn2} + P_{ss2}}$ $P_{nss} = P_{ns1} \times \frac{P_{ss2}}{P_{sn2} + P_{ss2}}$ $P_{ssn} = P_{ss1} \times \frac{P_{sn2}}{P_{sn2} + P_{ss2}}$ $P_{sss} = P_{ss1} \times \frac{P_{ss2}}{P_{sn2} + P_{ss2}}$
---	---

여기서, P_{inon} : 상류부 링크 대기없이 통과차량 비율

P_{istop} : 상류부 링크 대기 후 통과차량 비율

P_{jnon} : 하류부 링크 대기없이 통과차량 비율

P_{jstop} : 하류부 링크 대기 후 통과차량 비율

P_{nn} : 상류부 대기없이 통과후 하류부 대기 없이 통과 차량비율

P_{ns} : 상류부 대기없이 통과후 하류부 대기 후 통과 차량비율

P_{sn} : 상류부 대기없이 통과후 하류부 대기 없이 통과 차량비율

P_{ss} : 상류부 대기없이 통과후 하류부 대기 후 통과 차량비율

P_h : 예측값의 정답율, P_e : 예측값의 오답율

P_{*n1} : 첫 번째 조합 중, 하류부 대기없이 통과한 차량비율

P_{*n*2} : 두 번째 조합 중, 상류부 대기없이 통과한 차량비율

N_l : 통행분리현상이 일어나는 상·하류 링크 사이의 링크 수

3. 경로통행시간 분포비율 추정 결과

반야월로와 달구벌로 시뮬레이션 결과를 이용하여 개별링크통행시간 분포비율 결과를 조합하여 추정한 경로통행시간 분포비율을 시뮬레이션을 실시하여 경로통행시간 분포비율과 비교·검토하였다.

1) 반야월로 하양⇒대구 방면 분포 비율 추정

반야월로 신서사거리⇒올하교사거리 구간 경로의 개별 링크의 통행시간 분포비율을 살펴보면 링크 3과 링크 4가 연속적으로 통행시간 분리현상이 발생하는 것으로 나타났다. 개별 링크의 통행시간 분포비율을 <표 2>에 나타내었으며, 링크통행시간 분포 비율을 이용하여 경로통행시간의 분포비율 추정알고리즘에 의한 추정결과를 <표 3>과 같다.

경로통행시간 2와 경로통행시간 3의 경우 시뮬레이션 조사값과의 비교를 위해 가중 평균을 실시하여 하나의 통행시간 값으로 산정한 후 비교·검토를 실시하였다. 추정결과와 시뮬레이션 조사값을 비교·검토 결과는 <표 4>와 같다.

〈표 2〉 링크별 통행시간 분포비율

구분	상류부	하류부	통행시간1		통행시간2		통행시간 분리
			평균 시간	비율	평균 시간	비율	
링크1	신서 사거리	각산 사거리	200	1			×
링크2	각산 사거리	안심1동 사거리	92	1			×
링크3	안심1동 사거리	저탄장 사거리	121	0.66	209	0.34	○
링크4	저탄장 사거리	울하교 사거리	35	0.36	110	0.64	○

〈표 3〉 링크통행시간 분포비율 조합

구분	상류부링크	하류부링크	추정값	
			비율	비율
반야월로 (신서⇒ 울하교)	$P_{nonstop}$	0.66	0.36	
	P_{stop}	0.34	0.64	
	P_{nn}			0.09
	P_{ns}			0.57
	P_{sn}			0.30
	P_{ss}			0.04

〈표 4〉 분포비율 추정결과 비교·검토

구분	통행시간	비율
경로통행시간 1	추정값	448sec 9%
	시뮬레이션값	431sec 9%
	오차	-17sec 0%
경로통행시간 2	추정값	523sec 57%
경로통행시간 3	추정값	536sec 30%
경로통행시간 2. 3 평균	추정값	528sec 87%
	시뮬레이션값	527sec 86%
	오차	1 sec 1%
경로통행시간 4	추정값	611sec 4%
	시뮬레이션값	622sec 5%
	오차	11sec -1%

경로통행시간 분포비율 추정결과를 시뮬레이션 조사값과 중첩시켜 표현한 그래프를 〈그림 10〉에 나타내었다.

시뮬레이션 조사값 그래프를 살펴보면 통행시간 500sec~550sec의 경우 하나의 군집을 이루는 것으로 보이지만 자세히 살펴보면 520sec와 540sec를 평균값으로 하는 군집을 이루는 것을 알 수 있다. 추정알고리즘을 적용한 결과 이러한 미시적인 분포상황까지도 잘 반영하는 것으로 나타났다.

2) 반야월로 대구⇒하양 방면 분포 비율 추정

반야월로 울하교사거리⇒신서사거리 구간의 개별링크의 통행시간 분포비율을 〈표 5〉에 나타내었다.

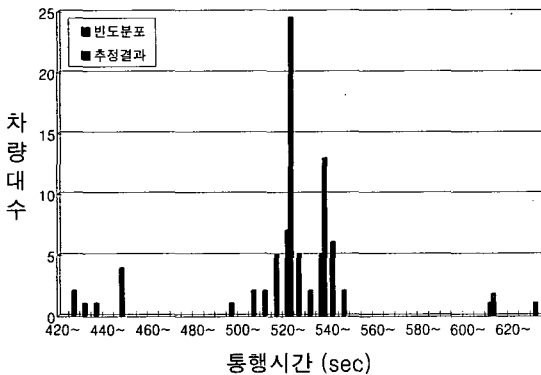
경로통행시간 분포 비율 추정결과는 〈표 6〉,〈그림 11〉과 같이 나타났다.

〈표 5〉 링크별 통행시간 분포비율

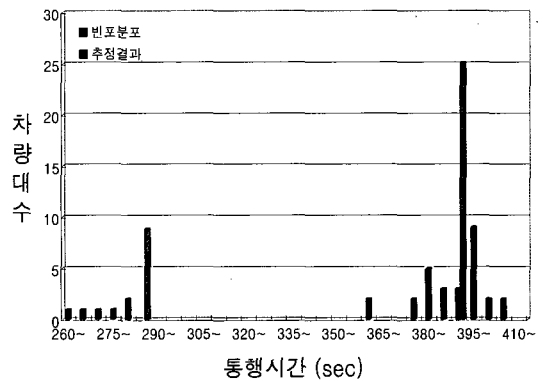
구분	상류부	하류부	통행시간1		통행시간2		통행시간 분리
			평균 시간	비율	평균 시간	비율	
링크1	울하교사거리	저탄장 사거리	47	1			×
링크2	저탄장 사거리	안심1동 사거리	17	1			×
링크3	안심1동 사거리	각산 사거리	123	1			×
링크4	각산 사거리	신서 사거리	99	0.25	204	0.75	○

〈표 6〉 분포비율 추정결과 비교·검토

구분	통행시간	비율
경로통행시간 1	추정값	286sec 25%
	시뮬레이션값	274sec 18%
	오차	-12sec 7%
경로통행시간 2	추정값	391sec 75%
	시뮬레이션값	390sec 82%
	오차	1sec -7%



〈그림 10〉 경로통행시간 분포비율 추정결과



〈그림 11〉 경로통행시간 분포비율 추정결과

3) 달구벌로 반월당⇒반고개 방면 분포 비율 추정

달구벌로 반월당⇒반고개 구간 경로의 개별 링크의 통행시간 분포비율을 살펴보면 링크 4가 통행시간 분리현상이 발생하지 않는 링크 1개를 사이에 두고 불연속적으로 통행시간 분리현상이 발생하였다. 개별 링크의 통행시간 분포비율을 <표 7>에 나타내었다.

달구벌로 반월당⇒반고개 경로구간 개별 링크통행시간 분포 비율을 살펴보면 링크 1과 링크 2가 연속적으로 통행시간 분리현상이 일어나기 때문에 오답율을 11%를 적용하였으며, 링크 4의 경우 통행시간 분리현상이 발생하지 않는 링크 한 개를 사이에 두고 불연속적으로 발생하기 때문에 오답율을 22% 적용하였다.

<표 7> 링크별 통행시간 분포비율

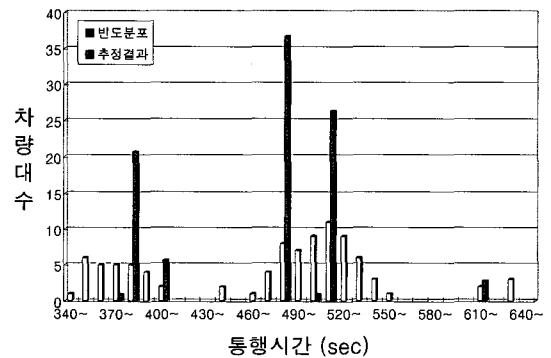
구분	상류부	하류부	통행시간1		통행시간2		통행시간 분리
			평균 시간	비율	평균 시간	비율	
링크1	반월당 사거리	계산 오거리	50	0.08	160	0.92	○
링크2	계산 오거리	신남 사거리	136	0.65	264	0.35	○
링크3	신남 사거리	중부소방서 사거리	66	1			×
링크4	중부소방서 사거리	반고개 사거리	17	0.81	116	0.19	○

<표 8> 링크통행시간 분포비율의 조합

구분	상류부링크	하류부링크	추정값
달구벌로 (반월당 ⇒반고개) 조합비율 2 $P_{nonstop}$ P_{stop} P_{nn} P_{ns} P_{sn} P_{ss}	0.32 0.68 	0.78 0.22 	 0.11 0.21 0.61 0.07

<표 9> 분포비율 추정결과와 비교·검토

구분	추정값	통행시간	비율
경로통행시간 2 경로통행시간 3 경로통행시간 5	추정값 추정값 추정값	397sec 379sec 368sec	6% 22% 1%
경로통행시간 2, 3, 5 평균 경로통행시간 4 경로통행시간 6 경로통행시간 7	추정값 추정값 추정값	384sec 507sec 496sec 478sec	29% 28% 1% 39%
경로통행시간 4, 6, 7 평균 경로통행시간 8	추정값 시물레이션값 오차 추정값 시물레이션값 오차	497sec 506sec 9sec 606sec 628sec 22sec	68% 65% 3% 3% 5% -2%



<그림 12> 경로통행시간 분포비율 추정결과

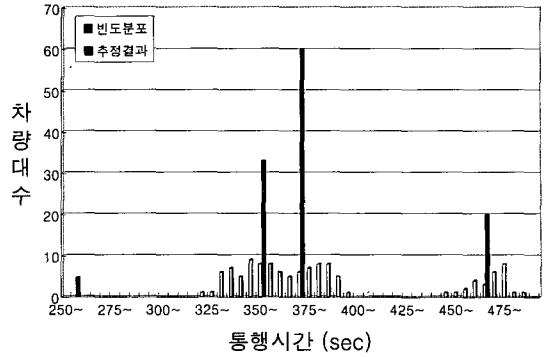
4) 달구벌로 반고개⇒반월당 방면 분포 비율 추정

달구벌로 반고개⇒반월당 방면 경로의 개별 링크의 통행시간 분포비율을 살펴보면 신남사거리⇒계산오거리 구간인 링크 3이 통행시간 분리현상이 발생하였으며, 계산오거리⇒반월당사거리 구간인 링크 4가 통행시간 분리현상이 발생하여 두 개의 링크가 연속적으로 통행시간 분리현상이 발생하는 것으로 나타났다.

개별 링크의 통행시간 분포비율은 <표 10>과 같다.

〈표 10〉 링크별 통행시간 분포비율

구분	상류부	하류부	통행시간1		통행시간2		통행시간 분리
			평균 시간	비율	평균 시간	비율	
링크1	반고개 사거리	중부소방서 사거리	19	1			×
링크2	중부소방서 사거리	신남 사거리	144	1			×
링크3	신남 사거리	계산 오거리	40	0.32	156	0.68	○
링크4	계산 오거리	반월당 사거리	53	0.56	148	0.44	○



〈그림 13〉 경로통행시간 분포비율 추정결과

〈표 11〉 링크 통행시간 분포비율의 조합

구분	상류부링크	하류부링크	추정값
달구벌로 (반고개 ⇒반월당)	$P_{nonstop}$	0.32	0.56
	P_{stop}	0.68	0.44
	P_{nn}		0.04
	P_{ns}		0.28
	P_{sn}		0.51
	P_{ss}		0.17

〈표 12〉 분포비율 추정결과 비교·검토

구분	통행시간	비율	
	경로통행시간 1	추정값: 256sec, 시물레이션값: sec, 오차: sec	4%, 0%, 4%
경로통행시간 2	추정값: 351sec	28%	
경로통행시간 3	추정값: 372sec	51%	
경로통행시간 2, 3 평균	추정값: 364sec, 시물레이션값: 361sec, 오차: 3sec	79%, 77%, 2%	
	경로통행시간 4	추정값: 467sec, 시물레이션값: 469sec, 오차: 2sec	17%, 23%, -6%

링크통행시간 분포 비율을 이용하여 경로통행시간의 분포비율 추정결과는 〈표 11〉과 같으며, 추정결과와 시물레이션 조사값을 비교·검토 결과는 〈표 12〉와 같다.

경로통행시간 분포비율 추정결과와 시물레이션 조사값을 중첩시켜 〈그림 13〉에 나타내었다.

〈그림 13〉을 살펴보면 실제 시물레이션 조사에서는 발생하지 않는 256sec의 최소통행시간이 추정알고리즘 적용결과 미소한 비율로 나타나는 것으로 분석되었다.

4. 구축 알고리즘의 신뢰성 검토

구축된 알고리즘의 적합성 즉, 예측값이 실측값을 얼마나 높은 정도로 재현할 수 있는지를 검토하기 위하여 평가지표로 일반적으로 널리 사용되고 있는 표준평균오차, 상관계수 등을 사용하였다.

구축된 경로통행시간 분포비율 추정 알고리즘을 적용하여 분포비율을 추정한 결과를 〈표 13〉과 〈그림 14〉에 나타내었다. 추정결과 모든 경로통행시간이 여러개의 값으로 분포되는 것으로 나타났다.

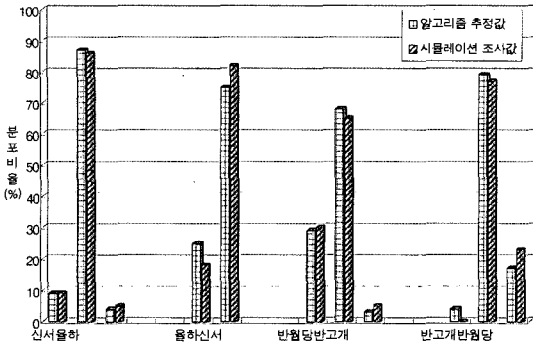
〈그림 14〉를 살펴보면 신서사거리 ⇒ 울하사거리 구간의 경우 오차가 1%로 나타나 가장 양호한 추정결과를 나타내었으며, 울하사거리 ⇒ 신서사거리 경로의 오차가 최대 7%로 나타나 가장 큰 오차가 발생하였다.

전체적으로 알고리즘에 의한 추정결과가 시물레이션 조사값과 비교적 일치하는 것으로 나타나 양호한 추정력을 가지는 것으로 분석되었다.

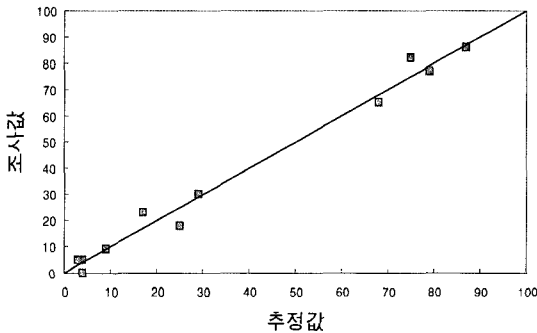
추정값과 조사값의 오차량 분석을 통해 경로통행시간 분포비율 추정 알고리즘의 신뢰성에 대한 검토를 실

〈표 13〉 추정 알고리즘에 의한 추정결과 비교·검토

구분	추정값	조사값	오차량	
	반야월로 신서사거리 ⇒ 울하사거리	통행시간1: 9, 통행시간2: 87, 통행시간3: 4	9, 86, 5	0, 1, -1
울하사거리 ⇒ 신서사거리		통행시간1: 25, 통행시간2: 75	18, 82	7, -7
		반월당사거리 ⇒ 반고개사거리	통행시간1: 29, 통행시간2: 68, 통행시간3: 3	30, 65, 5
	달구벌로 반고개사거리 ⇒ 반월당사거리		통행시간1: 4, 통행시간2: 79, 통행시간3: 17	0, 77, 23



〈그림 14〉 추정값과 조사값의 비교·검토



〈그림 15〉 추정결과와 오차량 분석

시하였으며 분석결과는 〈그림 15〉와 같다.

조사값과 추정값의 상관관계를 살펴보면 상관계수가 0.993으로 분석되어 $R^2=0.986$ 으로 분석되었다. 또한 표준편차 4.12%, 표준평균오차 1.243%로 나타나 전체적으로 추정알고리즘에 의한 추정결과는 높은 신뢰성을 가지는 것으로 분석되었다.

V. 결론

경로통행시간은 링크통행시간의 조합에 의해 결정된다. 따라서, 경로통행시간의 분포비율을 추정하기 위해서는 링크통행시간 분포비율의 적절한 조합이 필요할 것이다. 따라서, 본 연구에서는 상·하류 링크간의 관계를 분석하고 이를 바탕으로 링크통행시간 분포비율의 적절한 조합에의 경로통행시간 분포비율 추정을 알고리즘을 구축하였다.

연구결과 경로통행시간의 경우 여러 개의 링크통행시간의 조합으로 이루어지기 때문에 통행시간 분포가 여러 개의 통행시간으로 분리되는 현상을 나타내었으며 최소경로통행시간과 최대경로통행시간의 차이가 상당히

큰 것으로 나타났다. 따라서, 경로통행시간 정보를 하나의 평균통행시간으로 제공하는 것은 문제가 있을 것으로 판단되며, 다양한 경로통행시간의 확률적 제공으로 정보이용자가 선택할 수 있는 기회를 주는 것이 필요할 것으로 사료된다.

링크통행시간 분포비율의 적절한 조합을 통해 경로통행시간 분포비율 추정알고리즘을 구축하기 위해 상·하류 링크간의 통행시간 분포특성을 분석한 결과 차량의 통행순서가 유지될 경우 상·하류 링크의 통행시간은 반비례 현상이 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나 추월에 의해 차량의 순서가 유지되지 않을 경우에는 상·하류 링크의 통행시간이 반비례할 것이라는 가정은 성립되지 않는다. 통행시간 분리현상이 발생하는 링크가 연속적으로 나타날 경우 상·하류의 통행시간 반비례 현상이 뚜렷하게 나타났으며, 통행시간 분리현상이 발생하지 않는 링크가 통행시간 분리현상이 일어나는 상·하류 링크 사이에 많을수록 추월차량의 증가로 인해 반비례 현상이 악화되는 것으로 분석되었다.

통행시간 분리현상이 발생하는 상·하류 링크의 조합을 위해 링크 구간에서의 추월비율을 산정하여 오답율 11%를 적용하여 경로통행시간 분포비율 추정을 위한 알고리즘 적용결과 $R^2=0.986$, 표준오차평균 1.243%로 높은 추정력을 가지는 것으로 분석되었다.

향후 연구과제로는 링크의 각종 조건에 의해 변화할 것으로 예상되는 오답율에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 본 연구에서 제시된 알고리즘을 통해 산정된 통행시간 분포비율을 정보이용자의 요구에 부합한 제공방법에 대한 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

1. 김도경(1998), "루프점지기를 이용한 도시간선도로의 실시간 통행속도 추정방법론" 서울시립대학교 석사학위 청구논문.
2. 김태용(2001), "검지기자료 합성을 이용한 도시간선도로 실시간 통행시간 추정 모형개발", 서울시립대학교 석사학위 청구논문.
3. 박용진(1998), "교통류 모형을 이용한 도시 연동가로의 통행시간 모형개발", 대한교통학회지, 제16권 제2호, 대한교통학회, pp.145~155.
4. 이승준(2001), "GIS/GPS를 이용한 도시교통 정보체계의 개발에 관한 연구", 경일대학교 산업대학

- 원 석사학위 청구논문.
5. 이재훈(1998). "DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행", 서울대학교 석사학위 청구논문.
 6. 이정희(2001). "교통정보제공을 위한 구간통행시간 산출 방법론 연구", 서울시립대학교 석사학위 청구논문.
 7. 최기주·신치현(1998). "GPS와 GIS를 이용한 링크통행시간 예측기법", 대한교통학회지, 제16권 제2호, 대한교통학회, pp.197~207.
 8. Adolf D. May (1990), "Traffic flow fundamentals", pp.321~337.
 9. Benekohal, R. F (1986), "Development and Validation of A Car Following Model for Simulation of Traffic Flow and Traffic Wave Studies", Ohio State University.
 10. W. Lassalin (1990), "TRAF-NETSIM Source Code", Version 1.0.5.
 11. William. Mashane and Roger P. Roses (1990). "Traffic Engineering", New York, pp.51~69.

✉ 주 작 성 자 : 이영우

✉ 논문투고일 : 2005. 5. 16

논문심사일 : 2005. 6. 16 (1차)

2005. 7. 15 (2차)

2005. 9. 1 (3차)

심사관정일 : 2005. 9. 1

✉ 반론접수기한 : 2006. 2. 28