

연구논문

교통정보제공을 위한 GPS/GIS기반의 실시간 혼잡지표개발 Development of a GPS/GIS based Real-time Congestion Index for Traffic Information

최기주* · 장정아** · 정재영*** · 심상우****

Choi, Keechoo · Jang, Jeongah · Jeong, Jaeyoung · Shim, Sangwoo

요 旨

혼잡지표는 혼잡발생지역을 계량적으로 평가하기 위해 필요하다. 지금까지의 혼잡지표의 구축은 방법론상 해당분석 시간 동안 통과하는 다수의 차량에 대한 데이터 수집을 근간으로 하는 비경제적인 실측치조사기반이라 어려움이 있었다. 이렇게 비교적 고비용으로 산정된 혼잡지표 역시 혼잡정보의 제공이라기보다는 교통운영, 교통정책의 평가 및 개발을 위해 주로 활용되어져 왔다. 본 연구는 단일 GPS Probe 차량을 이용하여 실시간으로 간선도로상의 혼잡 유무를 가릴 수 있는 모형을 개발하여 이를 통해 교통상황에 대한 정보를 (1)링크혼잡정보와 (2)링크통행속도정보를 동시에 구하여 도로이용자에게 정보를 제공함은 물론 진출한 전통적 교통영역에서도 이용이 가능하도록 하였다. 또한 간선도로상에서 신호의 영향을 고려한 모형을 구축하기 위해, 기존의 혼잡모형에 새로운 항목을 추가하여 실시간 혼잡지표 모형을 개발하였다. 이후 현장실험을 통해 모형을 검증하였으며 결론적으로 본 연구에서 제시한 실시간 혼잡모형의 현실적인 적용가능성을 확인할 수 있었다. 본 연구는 단일 Probe 차량을 이용하여 경제적으로 혼잡의 유무를 가릴 수 있는 모형을 통해 실시간적인 혼잡지표를 개발하여 교통정보제공의 내용에 다양화를 추구하였다는 것에 학술적 의미가 있다.

핵심용어 : 혼잡지표, Probe 차량, 교통정보, 실시간 교통지표

Abstract

Congestion index is needed for quantifying congestion level for various areas. So far, the index has been calculated based on multiple vehicle data for specified time interval. Such being the case, it was costly to build it and the usage of it was focused on policy development and evaluation rather than on traffic information provision. This study focuses on a development on a single vehicle based congestion index which can be a representative value for link congestion level and link speed information at the same time for dual purposes of traditional usages and information provision. A new term has been added for representing real time based arterial congestion level and it has been verified on a real time basis. The index was based on single vehicle GPS data and seemed to be cost effective in deriving the index. With the help of the index, the traffic information contents can be diversified in a constructive way in providing real time traffic information for ITS area and in using congestion level determination for traditional transportation areas.

Keywords : GPS Congestion Index, Probe Vehicle, Traffic Information, Real-time Traffic Index

1. 서 론

현대에는 인간이 살아가기 위한 기본조건으로 의, 식, 주 외 한 가지를 더불어 논한다. 그것은 바로 이동성(mobility)으로서 이동성은 매우 중요한 사회적 특성이자 필수적 조건이 되었다. 지속적인 경제 성장과 함께 자동

차수의 증대는 교통 혼잡이라는 사회문제를 발생시켰다. 일반적으로 교통 혼잡이란 교통류의 소통상태가 이용자가 허용할 수 있는 수준 이하로 운영되는 도로의 상태라고 정의할 수 있다. 이러한 혼잡의 개념은 정량적이라기보다는 다분히 정성적인 개념이기 때문에 정량적으로 표현해주는 지표가 요구된다. 대표적인 정략적 지표로 도로의 LOS

2004년 9월 21일 접수, 2004년 11월 26일 채택

* 주저자, 정희원, 아주대학교 환경건설교통공학부 교수 (keechoo@ajou.ac.kr)

** 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 박사수료 (azang@ajou.ac.kr)

*** 만도맵앤소프트 기술연구소 대리 (jjv76@mandomap.co.kr)

**** 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 박사과정 (artmania@ajou.ac.kr)

(Level of Service)가 있다. 이러한 지표는 도로계획 및 운영을 위해 주로 사용이 되었고, 주로 교통량 대 용량비율(Volume/Capacity Ratio)을 기준으로 사용되어 왔다. 그러나 이 혼잡측정기준은 거시적이고, 도로교통 혼잡상황을 상세하게 표현하기 어려우며, 한계용량 이후에는 혼잡상황 자체를 파악하기가 힘든 단점이 있다. 또한 기존에 개발된 혼잡지표는 혼잡관리 전략이나 혼잡 관련 정책에 많은 도움을 줄 수 있으나, 도로를 이용하는 통행자에게는 별 도움을 주지 못한다. 비록 특정 지역에서 혼잡에 대한 지표를 구축했다고 하여도 그 동안의 방식은 통행자에게 제공되는 정보로서의 가치가 다소 떨어지는 게 현실이었다.

따라서 교통 혼잡 상황을 보다 미시적이고 정밀하게 표현할 수 있으며, 일반인 및 전문가들이 이해하고 적용하기 쉬운 혼잡지표의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 현실을 보완하고자 실시간으로 도로의 혼잡지표를 구축함으로써 도로의 이용자에게 보다 가치 있는 혼잡 정보를 제공하고자 하였다. 즉, 발생된 특정 혼잡의 수준을 판정하는 것이 아니고 현재 상황에 대한 혼잡지표를 구축하는 것이다. 본 논문은 이를 위해 Probe 차량과 혼잡에 대한 개념을 알아보고, GPS/GIS를 이용하여 링크를 통과하는 개별 차량의 정지지체를 산정하는 기준을 만들어 보았다. 또한 실시간 정보제공을 위한 혼잡지표 모형을 만들기 위해 그 동안 개발된 몇 가지 혼잡지표구축 모형을 소개한다. 새롭게 개발된 혼잡지표 모형은 그 타당성을 알아보기 위해 간선도로 상에서 구축한 자료를 적용하며, 그 결과와 혼잡지표의 적용방안 그리고, 향후 이 분야에 대한 개발 방안을 기술하였다.

2. 배경 이론 및 개념

2.1 GPS/GIS기법-GPS Probe 차량과 도로데이터를 활용하여 교통정보수집기법

GPS/GIS기법은 GIS 도로데이터와 GPS Probe 차량을 활용하여 교통정보를 수집하는 방법이다. Probe 차량기법은 ITS에서 실시간으로 자료를 수집하기 위해 고안된 방식으로, 통행시간 자료 수집이외에도 실시간 교통운영 상태의 모니터링, 유도검지, 경로안내 등과 같은 분야에도 사용된다. 그리고 GPS는 미 국방성에서 자국의 군사 목적을 위하여 개발한 것으로 지구상 어디에서나 기후에 구애 받지 않고 표준 좌표계에서의 위치, 속도, 시간측정을 가능하게 해주는 인공위성을 이용한 첨단 항법 시스템이다. GPS Probe 차량은 GPS 수신기를 장착하여 운행함에 따라 1초단위로 차량의 위치(x, y좌표), (순간)속도, 방향 등의 정보를 센터 혹은 단말에 수집되게 된다.

이를 통해 산출된 데이터를 기반으로 GIS 지도에 매칭하여(즉 도로구간 혹은 경로별 통행시간을 추출하여) 교통정보로서 가공이 된다.

2.2 정지지체

일반적으로 신호교차로나 단속류 형태의 간선도로에서 서비스 수준을 결정하기 위해 사용되는 중요한 지표는 차량들의 평균 지체이다. 이러한 평균 지체는 교차로의 교통량, 신호조건, 용량, V/C비 등을 파악하여 산정하게 된다. 신호교차로의 경우 정지지체 자체의 데이터로 혼잡지표를 나타내고 있으며, 간선도로의 경우 링크 통행 시간 중 지체 시간과 관련되는 것을 감안할 때, 본 연구의 GPS Probe 차량을 이용한 개별 차량의 정지지체 산정에 관한 연구는 기존의 검지기 방식과는 다른 형태로 개별 차량 정보를 수집할 수 있다.

2.3 혼잡의 측정

교통 혼잡은 교통류의 소통상태가 이용자가 허용할 수 있는 수준 이하로 운영되는 도로의 상태라고 정의할 수 있다. 일반적으로 혼잡을 측정하기 위해서는 시간적인 개념과 공간적인 개념이 개별 적으로 혹은 동시에 사용된다. 그래서 혼잡을 측정할 경우에는 혼잡을 시간으로 표현한 혼잡의 기간(duration), 공간적으로 표현한 혼잡 구간의 길이(length), 혼잡의 심각성을 나타내는 혼잡의 강도(intensity) 그리고 이들 세 가지 요소에 대한 변동을 나타내는 신뢰성(reliability)의 개념이 적용된다. 이중 신뢰성은 비반복적인 혼잡을 측정할 경우에 주로 적용되는 개념으로 다른 3가지 요소와는 구분된다. GPS Probe 차량을

표 1. 혼잡지표와 GPS Probe 차량으로 수집가능성

구 분	도로의 유형		GPS Probe의 수집가능성
	단일 노선	교통 축	
기간 (duration)	임계속도 혼잡을 정의한 속도 이하로 운행된 시간	임계속도 이하로 운행된 시간	가능
길이 (length)	혼잡된 구간의 거리(Km) 혹은 구간의 비율(%)	혼잡된 구간의 거리(Km) 혹은 구간의 비율(%)	가능 (단 링크구간 정보필요)
강도 (intensity)	통행율, 지체율, 시간당 이동거리	평균 속도(통행률), 지체비율, 통행거리당 지체	가능
신뢰성 (reliability)	평균 통행률 (속도, 지체) 표준편차	평균 통행률(속도, 지체) 표준편차	가능

활용할 경우 4가지 혼잡측정 방법에서는 모두 수집이 가능하다. 여기서 문제는 개별 Probe차량의 정보를 일정시간 및 거리동안 운행한 모든 차량들을 대표할 수 있는 대표치로서 일반화 가능하다는 문제가 있다.

2.4 기존의 혼잡지표

(1) LOS(Level of Service)

도로용량편람에서는 도로의 운영상태를 통행속도, 통행밀도, 교통량 대 용량비 등의 기준으로 A~F의 6단계로 표현하여 도로의 서비스 수준(Level of Service; LOS)이라 하였다. 전술한 바와 같이 신호교차로나 단속류 형태의 간선도로에서 서비스 수준을 결정하기 위한 LOS는 차량들의 평균 지체이다

(2) CSI(Congestion Severity Index)

혼잡심각도지표(CSI)는 Lindley(1986)에 의해서 처음 개발된 지표로서 37개 미국 도시지역 고속도로의 혼잡도를 비교하는데 사용되었다. 이 지표는 서비스수준 D(V/C, 0.77이상)이상인 상태에서 발생하는 총 고속도로 지체시간(단위; Veh-Hours)을 고속도로 통행량(단위: 백만 Vehicle-Miles of Travel)으로 나눈 값을 사용하였다.

$$CSI = \frac{Total\ Freeway\ Delay\ (Veh-Hrs.)}{Freeway\ (Million\ VMT)}$$

(3) RCI(Road Congestion Index)

도로혼잡지표(RCI)는 Lomax(1982)에 의해서 개발된 혼잡지표로서 고속도로와 주간선도로의 혼잡상황을 함께 나타낸 혼잡지표이다. 이는 단위 도로연장 당 하루 교통량(Daily Vehicle-Miles of Travel)이다.

$$RCI = \frac{[Freeway\ DVMT / lane-mile \times Freeway\ DVMT]}{[13,000 \times Freeway\ DVMT] + [5,000 \times Principal\ Arterial\ DVMT]} + \frac{[Principal\ Arterial\ DVMT / lane-mile \times Principal\ Arterial\ DVMT]}{[13,000 \times Freeway\ DVMT] + [5,000 \times Principal\ Arterial\ DVMT]}$$

(4) LMDI(Lane Mile Duration Index)

Cottrell(1992)에 의해서 개발된 도로차선연장 체류시간 지표는 고속도로 혼잡의 지리적 범위와 체류시간을 함께 사용한 혼잡지표이다. 즉 이 지표는 각 도로구간별 혼잡한 도로연장에 혼잡체류시간을 곱하여 합계를 낸 값이다.

$$LMDI_F = \sum_{i=0}^m [Congested\ Lane - Miles_i \times Congestion\ Duration_i (Hours)]$$

i = 고속도로 각 구간
m = 총 고속도로 구간의 합

(5) FCI(Freeway Congestion Index)

Thurgood(1994)는 LMDI가 고속도로 일정구간의 혼잡 크기를 나타낼 수는 있었으나 서로 다른 고속도로간의 상호 비교가 불가능한 단점을 보완하기 위하여 LMDI를 전체도로연장으로 나눔으로써, 혼잡지표의 정규화(Normalization)를 시도하였다.

$$FCI = \frac{LMDI}{총도로연장}$$

(6) 혼잡지표개발의 필요성

지금까지 개발된 여타 혼잡지표들은 통행자들에게 정보로 제공을 위한 정보라기보다는 교통 혼잡 관리나 전략에 필요한 전문가들에게 주로 사용되었다. 즉, 이들 대부분의 정보는 혼잡이 발생한 특정 구역에 대한 평가를 위해 혼잡이 발생된 시점부터 종료시점까지의 혼잡 정보(혼잡 구간의 길이, 혼잡 구간의 지속 시간 등)를 구하여 지역간 혹은 도로간 혼잡정도의 비교에 주로 적용되었다. 그러나 이러한 정보는 일반 이용자에게는 절실하게 요구되는 교통정보는 아니다. 일반 이용자는 이러한 과거의 정적 정보보다는 현재의 실시간 정보를 원한다. 특히, 간선도로를 이용하는 통행자들에게 가장 절실한 교통정보 중의 하나는 구간통행시간/통행속도 이다. 그러나 간선도로에는 교통신호라는 특별한 환경으로 인해 통행시간 정보를 제공하는데 많은 위험요소가 발생한다. 예를 들어, 특정 링크의 길이는 500미터이고 신호주기가 180초라고 한다면, 신호에 영향을 받은 통행자는 혼잡되지 않은 상황에서도 200초 이상의 통행시간이 소요된다. 반면에 신호에 영향을 받지 않은 통행자는 60Km/h의 속도로 30초면 이 링크를 통행하게 된다. 이 두 통행자는 혼잡된 구간을 통행하지는 않았지만, 170초라는 많은 시간적인 차이를 보이고 있다. 만일 전자나 후자의 통행시간 자료가 수집되었을 경우 그 링크에 대한 통행시간 정보는 실시간 정보임에도 불구하고 매우 위험하다. 그러나 이 경우에 혼잡지표에 대한 정보도 같이 제공한다면 상황은 달라진다. 다시 말해서, 실시간 통행시간 정보와 실시간 혼잡지표에 대한 정보를 공동으로 제공한다면, 이용자들의 혼란은 줄어들 것이다.

3. 혼잡지표의 개발

3.1 혼잡지표의 개발시 고려사항

혼잡의 지표는 혼잡의 수준을 이용자가 쉽게 구분할 수 있도록 표현하는 방식이다. 그래서 혼잡지표는 혼잡 수준에 따른 구역별 등고선, 혼잡 시간대별 혼잡도를 구분하는 혼잡 시계와 같이 도형이나 그래프를 이용하여

쉽게 인식할 수 있도록 표현하였다. 앞에서 살펴본바와 같이 혼잡지표는 주로 통행량, 통행시간/통행속도, 밀도 등의 개념이 사용되어 왔다. 즉, 교통류가 설정된 기준 이하 혹은 그 이상으로 변화된 경우 혼잡으로 인식하며, 이러한 혼잡의 수준을 정량화함으로써 혼잡의 지표를 구축하는 것이다. 혼잡지표를 구축하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- 이해도 : 지표에 대한 이론적 타당성
- 응용성 : 적용에 대한 시간적/공간적 범위의 다양성 및 통행수단/도로시설간의 비교가능성
- 구체성 : 세부적인 표현 정도
- 측정기준의 형태 : 이산형/연속형 문제
- 자료수집 방법 : 직접적용/간접적용 문제

3.2 GPS Probe 차량을 이용한 통행시간지체 산정

그림 1과 그림 2는 GPS Probe 차량이 간선도로를 운행할 전체차량의 시공도(가로:시간, 세로:거리)와 단일 Probe차량의 시간(순간)속도의 그림이다. 그림 1에서 ①-⑩의 차량들이 특정 간선도로를 운행할 경우 신호 혹은 교통혼잡에 의하여 차량이 지속적으로 운행하지 못할 경우 지체를 경험하게 된다. 개별 차량한대를 살펴보면 그림 2와 같이 특정 속도 이하의 운행시간이 산출 ($T_n - T_0$)이 되며 이 경우를 통행시간 지체라 한다. 이러한 통행시간 지체는 교차로에서 정지 없이 통행한 링크의 통행시간과 신호나 혼잡에 의해 발생된 지체 시간과의 차이를 말한다(McShane, 1998). 이러한 통행시간 지체는 그림 2에서와 같이 각 Probe 차량별로 GPS수신 신호를 통해 정량화할 수 있다. 또한 고속도로와 같은 연속류의 경우 만일 혼잡한 구간에 대한 속도 자료를 시간 대별 표현할 경우도 아래와 같을 것이다.

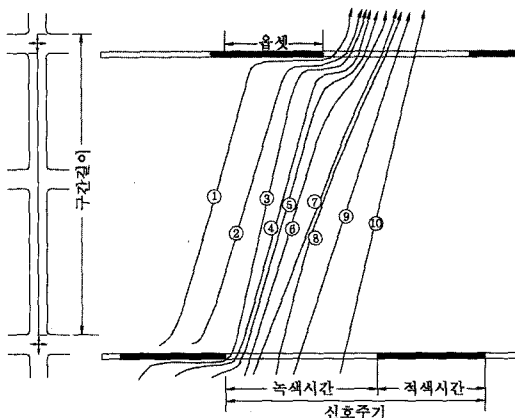


그림 1. 간선도로에서의 일반적인 시공도

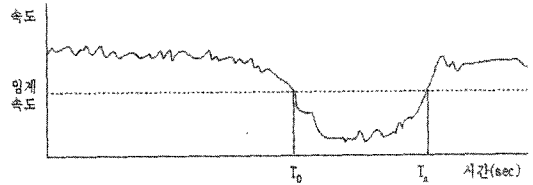


그림 2. GPS Probe의 운행데이터(RAW data)

3.3 혼잡지표의 개발

본 연구에서는 먼저 일반적인 고속도로에서 제시하고 있는 실시간 고속도로 혼잡지표(RFCI; Real-time Freeway Congestion Index)로 다음 (1)의 식으로 간선도로의 혼잡지표를 제시할 경우의 문제를 확인하였다.

$$RFCI = \frac{LTT_i}{\frac{3600 \times D_i}{CS_i}} \tag{1}$$

이 경우 신호의 간섭에 의한 혼잡정보와 실제 혼잡상황에 의한 혼잡정보의 차이를 구분할 수 없다. 따라서 GPS Probe에 의해 쉽게 통행시간정보를 활용하기 위해 다음과 같은 혼잡지표를 제시하였다.

$$RACI = \frac{LTT_i}{\frac{3600 \times D_i}{CS_i} - (C_i - g_i)} \tag{2}$$

LTT_i = 링크 I의 통행시간(sec)

D_i = 링크 I의 거리(Km)

CS_i = 링크 I의 혼잡속도(LOS F 기준 속도)

C_i = 해당 교차로 I의 cycle length(sec)

g_i = 해당 교차로 I의 Probe 차량 진행방향의 녹색시간(sec)

RACI = Real-time Arterial Congestion Index, (개발된)혼잡지표(1보다 큰 경우 혼잡)

이러한 혼잡지표 식은 통행시간의 개념을 적용하여 신호교차로가 설치된 간선도로에서 실시간으로 혼잡의 여부를 알아내기에 매우 효과적이다. 즉, 간선도로의 경우 단순히 속도가 감소했다고 해서 혼잡이 발생하였다고 판단할 수 없기 때문에 신호 주기와 정지 지체를 고려한 통행시간 자료는 간선도로의 혼잡지표 구축에 적절하다고 판단된다. 단 여기서 “간선도로에서의 혼잡은 통행자가 신호교차로에서 2번 이상 신호를 대기하는 경우와 차량의 통행속도가 LOS F이하로 주행하는 경우”로 정의하였다.

4. 평가

4.1 사례분석지역

사례분석지역은 수원시에 위치한 1번 국도중 동수원 사거리 부분을 공간적 범위로 하였다. 해당 지역은 편도 4차선에 좌회전 포켓이 있으며, 대상 링크는 신호가 운영되고 첨두시간대에 혼잡현상이 발생하는 지역이다. 본 연 그림 2 GPS Probe의 운행데이터(RAW data)구의 실험을 위한 대상지역은 지역범주로는 도심지역으로 도로 여건 범주는 링크 편도 4차선 이상으로 양호에 속한다. 따라서 도로용량편람에서 제시하는 간선도로의 유형에서는 유형 II에 속한다.

4.2 자료의 구축

실험은 크게 현장조사와 실험실내 분석으로 이루어졌다. 현장조사의 경우 GPS Probe 차량 운행, 캡코더를 이용한 실제교통상황 측정을 하였다. 먼저 Probe 차량에 Trimble 사의 GPS수신기를 설치하였으며 자료의 실측 분석을 위해 Probe 차량이 해당 링크를 통과하는 동안 16m 캡코더 두 대를 조사 지역의 링크가 모두 보이는 빌딩 위에 설치한 뒤 실험시간동안 녹화하였다. Probe 차량의 주행시간은 오후 2시30분부터 오후 5시 30분까지 첨두와 비첨두를 포함하는 시간으로 설정하여 조사를 하였다.

이후 실험실내 분석을 하였는데, 비디오 분석은 분석 주기 동안 대상 링크를 직진 통과하는 모든 차량에 대하여 통행시간을 관측하고 이를 기존의 KHCM의 간선도로 분석부분의 혼잡기준과 비교하기 위해 링크 평균 통행속도로 환산하였다. 개별 차량의 링크 통행 속도는 스톱워치(Stop Watch)와 비디오 분석용 VCR의 프레임 디스플레이를 이용하였다.

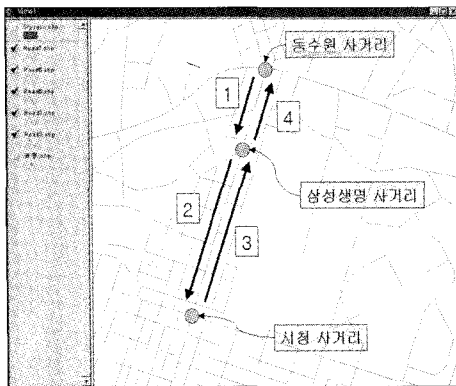


그림 3. 사례분석지역(수원시 동수원사거리~시청사거리)

4.3 혼잡지표의 평가

(1) 실험결과

표 2는 각 링크별로, 실험주기별로 적용된 모형과 실측 데이터를 비교하고 있는 표의 일부이다. RACI값과 실제 혼잡수준을 비교하여 혼잡해질 경우(혼잡지표가 1 이상) LOS의 추세도 이러한 추세가 반영되는 것을 볼 수 있다. 그러나 이 경우 Probe 차량의 통행속도 정보만을 볼 경우 표 2에서 음영으로 표시된 부분과 같이 혼잡이 아닌 상황에서 혼잡으로 오판단 하게 될 가능성(이 경우 신호에 의해 차량의 흐름에 간섭이 생겼음)이 있다. 즉 실제로 다른 도로 이용자들에게 교통정보로 통행속도 정보만 제공한다면 실제 교통 상황과는 판이하게 다른 거짓정보를 제공할 수 있다. 여기서 LOS에 의한 판별은 2000년 도로용량편람의 기준을 따라 판정하였다.

(2) RACI 모형에 대한 검증

표 2에서 살펴본 모형의 RACI값과 혼잡의 판정결과가 동일하게 판정하고 있는지에 대하여 검증하였다. GPS Probe 차량로부터 얻은 데이터와 분석주기 동안 링크를 통과한 차량들의 데이터가 어느 정도 차이가 있는지, 혹은 종속성이 있는지의 여부에 대한 평가를 위해 비모수 통계의 한 종류인 부호 검정법으로 검증하였다. 부호 검정법은 가장 단순하고 오래되었으며 잘 알려진 검정법의 하나이다.

$T^+ = \sum_{i=1}^n \phi(D_i)$ 로 정의할 수 있는 부호 검정법은 결국 양의 D_i 를 갖는 관측치의 수임을 알 수 있다. 그리고 검정 통계량 T^+ 의 귀무가설 H_0 하에서의 기대값과 분산은 다음 식 3과 같다(정규화 모형으로 이용가능).

$$E(T^+) = \sum_{i=1}^n E[\phi(D_i)] = \frac{n}{2} \tag{3}$$

$$Var(T^+) = \sum_{i=1}^n Var[\phi(D_i)] = \frac{n}{4}$$

표 3은 단일 Probe 차량의 통행속도를 가지고 혼잡을 판단한 형태와 혼잡모형을 사용하여 판단한 형태, 두 가지를 나타낸 것이다. 변량 X는 실험을 통하여 얻은 데이터이고 Y는 실측치를 나타내고 있다. 실험치와 실측치의 표현은 혼잡의 경우 1, 혼잡이 아닌 경우 0으로 나타내었다. D_i 는 두 실험치와 실측치를 비교하여 가설에 일치하면 1 일치하지 못하면 0으로 나타내었다.

부호검정법으로 단일 Probe 차량에 의해 산출된 실시간 혼잡지표의 RACI와 LOS와의 관계를 검증하면,

표 2. 혼잡지표 적용결과 및 실측값

링크 번호	구분 주기	GPS 실험값과 RACI 산출값					실측값		
		링크통행 시간(sec)	정지지체 (sec)	링크길이 (Km)	C-g (sec)	통행속도 (Km/h)	RACI (모형결과)	평균통행 속도(Km/h)	서비스 수준(LOS)
1	1	31	0	0.35	78	40.65	0.44	37.06	C
	2	32	0	0.35	78	39.38	0.45	28.24	D
	3	75	21	0.35	78	16.80	0.50	36.51	C
	4	86	25	0.35	78	14.65	0.58	33.98	C
	5	59	14	0.35	78	21.36	0.40	24.04	E
... 생략									
2	1	169	43	0.65	114	13.85	0.69	36.18	C
	2	126	28	0.65	114	17.54	0.52	26.57	D
	3	47	0	0.65	114	49.79	0.36	33.09	C
	4	171	44	0.65	114	13.68	0.70	23.16	E
	5	58	0	0.65	114	40.34	0.45	39.66	C
... 생략									
3	1	58	0	0.65	78	40.34	0.28	46.35	B
	2	223	49	0.65	78	10.49	1.07	15.75	F
	3	108	16	0.65	78	21.67	0.52	20.30	E
	4	64	0	0.65	78	36.56	0.44	35.56	C
	5	224	53	0.65	78	10.45	1.08	13.21	F
... 생략									
4	1	247	180	0.35	130	5.10	1.24	9.30	F
	2	203	121	0.35	130	6.21	1.02	10.54	F
	3	236	144	0.35	130	5.34	1.18	9.68	F
	4	208	102	0.35	130	6.06	1.04	11.28	F
	5	244	117	0.35	130	5.16	1.22	9.67	F
... 생략									

표 3. RACI 모형에 대한 검정결과

링크번호	구분 주기	RACI 산출값			실측값		
		x	y	D	x	y	D
1	1	0	0	1	0	0	1
	2	0	0	1	0	0	1
	3	0	0	1	1	0	0
	4	0	0	1	1	0	0
	5	0	0	1	0	0	1
...							
2	1	0	0	1	1	0	0
	2	0	0	1	0	0	1
	3	0	0	1	0	0	1
	4	0	0	1	1	0	0
	5	0	0	1	0	0	1
...							
3	1	0	0	1	0	0	1
	2	1	1	1	1	1	1
	3	0	0	1	0	0	1
	4	0	0	1	0	0	1
	5	1	1	1	1	1	1
...							
4	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1
	4	1	1	1	1	1	1
	5	1	1	1	1	1	1
...							

$$\frac{T^+ - ET^+}{\sqrt{VarT^+}} = \frac{T^+ - \frac{n}{2}}{\sqrt{\frac{n}{4}}} = \frac{144 - \frac{144}{2}}{\sqrt{\frac{144}{4}}} = 12$$

(4)

$12.0 > x_{0.99} = 2.3263$

귀무가설을 기각하므로 RACI 값을 따라서 Probe 차량 한 대의 주행 데이터로 해당 링크의 혼잡 여부를 추정할 때, 유의수준 1%에서 혼잡의 유무를 가릴 수 있다고 볼 수 있다.

5. 결론 및 향후과제

본 연구는 GPS/GIS기반¹⁾으로 각 GPS Probe 차량이 도로의 구간을 통과하면서 겪게 되는 정지 지체를 현실에 가깝게 추출하고자 하는 방안과 이를 바탕으로 도로의 이용자에게 통행시간 정보는 물론 혼잡의 수준에 대한 정보를 동시에 제공하기 위해 실시간으로 혼잡지표(RACI)를 구축하였다. 고속도로와는 달리 간선도로에서는 신호의 운영이라는 특성 때문에 도로의 이용자에게 단순히 실시간 통행시간 정보만을 제공하는 것은 자칫 이용자들로 하여 혼란을 초래할 수 있다. 이 경우 통행시간 정보와 혼잡수준에 대한 정보를 동시에 제공한다면, 이용자들은 통행시간 정보를 보다 신뢰할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 제시한 실시간 혼잡지표 구축 모형은 통행시간을 이용하여 도로의 유형, 구간의 길이 등과 같은 요소에 지장을 받지 않고 전 지역에서 적용할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서 제시된 모형은 교통전문가의 도로 시설물 운영 및 분석을 위한 혼잡지표가 아닌 실제로 도로를 운행하는 운전자들을 위한 실시간 혼잡지표라는 것을 감안할 때 상당히 의미가 있다고 본다. 더욱이 기존의 연구 형태는 다수의 Probe 차량이 분석 대상의 링크를 주행한다고 가정하여 현실성이 떨어지는 경우가 종종 발생하였다. 그러나 본 연구는 비록 혼잡에 대한 정확하고 세분된 정량화는 아니지만 단일 Probe 차량을 이용하여 혼잡의 유무를 가릴 수 있는 부가적인 정보를 실시간으로 제공할 수 있다는 것에 커다란 의미를 두고 있다.

본 연구는 혼잡에 대한 이해를 돕기 위해 혼잡을 정량적으로 구현하는 지표를 구축하는 것이었다. 그러나 이러한 지표를 이용자들이 쉽게 이해하기 위해서는 다시 정성적인 정보로의 변환이 요구된다. 즉, 혼잡지표를 1.0

~1.3, 1.3~1.6, 1.6~1.9와 같은 등급으로 나누어 다시 정성적인 표현으로 구현하는 과정에 대한 연구가 요구된다. 또한, 각 링크별로 혹은 구간별로 이러한 실시간 자료가 지속적으로 수집되어 데이터베이스로 관리된다면, 지역별, 도로별 혼잡관리 및 혼잡에 대한 전략의 구축에 필요한 혼잡도의 비교 분석에도 적절히 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. 건설교통부, 2000, 도로용량편람 2000, 사단법인 대한교통학회.
2. 정재영, 2000, "GPS Probe를 이용한 정지지체 산정 및 링크 혼잡지표 개발", 아주대학교석사학위논문.
3. 최영훈, 1997, 비모수통계학.
4. Bullock, Darcy, 1996, "Data Collection and Reporting for Congestion Management Systems", *National Traffic Data Acquisition Conference NATDAC '96 Proceedings*, Vol. 1.
5. Cottrell W.D, "Measurement of the extent and duration of freeway congestion in urbanized areas", In *Compendium of Technical Papers, 61st Annual Meeting, Institute of Transportation Engineers*, Washington D.C., 1991, pp. 427~432.
6. Gallagher, Jim, 1996, "Travel Time Data Collection Using GPS", *National Traffic Data Acquisition Conference NATDAC '96 Proceedings*, Vol. 1.
7. H. Douglas Robertson, Joseph E. Hummer, Donna C. Neison, 1994, "Manual of transportation engineering studies", Prentice-Hall.
8. Ligas, Joseph F, 1995, *ADVANCE Development*, ITS Program Manager, Illinois Department of Transportation.
9. Laird, Doug, 1996, "Emerging Issues in the Use of GPS for Travel Time Data Collection", *National Traffic Data Acquisition Conference NATDAC '96 Proceedings*, Vol. 1.
10. Roden, David, 1996, "Travel Time Data Collection Using GPS Technology", *National Traffic Data Acquisition Conference NATDAC '96 Proceedings*, Vol. 1.
11. Salwin, Arthur, 1996, "GPS Application for Traffic Engineering Studies", *National Traffic Data Acquisition Conference NATDAC '96 Proceedings*, Vol. 1.
12. Saricks, Christopher, Joseph L. Schofer, Sim SOOT, and Paul A. Bella, 1997, "Evaluating Effectiveness of Real-time Advanced Traveler Information Systems Using a Small Test Vehicle Fleet", *Transportation Research Record*, 1589.

1) GPS/GIS기반으로 제시한 것은 본 알고리즘의 사용할 경우 반드시 두 가지 데이터가 요구되기 때문이다. 하나는 GPS 차량 추위정보이며, 다른 하나는 지도데이터이며, 이를 실시간적으로 매칭 가능해야 함.

13. Schofer, Joseph L, Frank S. Koppelman, and William A. Charlton, 1997, "Perspective on Driver Preferences for Dynamic Route Guidance Systems", *Transportation Research Record* 1588.
14. Special Report 209 3rd edition: Highway capacity manual, 1994, TRB, *National Research Council*, Washington, D.C.