

■ 論 文 ■

고속도로 소통상태지수 개발에 관한 연구

Development of a Traffic Condition Index (TCI) on Expressways

복기찬

((주)홍익기술단 사장)

이승준

(한국도로공사 책임연구원)

최윤희

(한국도로공사 선임연구원)

강정규

(한국도로공사 연구위원)

이승환

(아주대학교 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 내용 및 방법
 - II. 이론적 고찰
 - 1. 혼잡의 정의
 - 2. 기존 혼잡지표 검토
 - 3. 기존 혼잡지표의 한계
 - III. 종합소통지수 개발
 - 1. 종합소통지수의 개요
 - 2. 종합소통지수 개발
 - IV. 현장 적용성 평가
 - 1. 자료수집 및 분석방법
 - 2. 평가 결과
 - 3. 평가 결과 종합
 - V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 혼잡, 소통상태 감시, 서비스수준, 혼잡지표, 소통상태지수
Congestion, Traffic Condition Monitoring, Level of Service, Congestion Index, Traffic Condition Index

요 약

지속적인 도로건설에도 불구하고 이용차량의 급증으로 인해 고속도로의 혼잡은 계속 커져 가고 있다. 이를 해결하기 위한 물리적 용량 확대 즉, 도로의 신설, 확장에는 막대한 비용뿐만 아니라 용지확보의 어려움 등으로 장기의 건설기간이 소요되어 혼잡 해소 시까지 상당기간 동안 혼잡의 지속이 불가피하다. 따라서 도로 관리주체는 소통상태가 악화되기 이전에 소통상태에 대한 지속적인 모니터링을 통해 혼잡원인 분석 및 해결대안을 제시하여 적극적으로 혼잡에 대처하는 것이 요구된다. 소통상태의 모니터링을 위해서는 소통상태를 계량적으로 표현할 수 있는 지표가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 등급(또는 설계속도)이 다른 도로에 대해 동일한 척도로 평가가 가능하고 소통원활, 혼잡 등의 상태를 구분할 수 있는 혼잡지표(종합소통지수, TCI)를 개발하였다. 또한 개발된 종합소통지수(TCI)는 고속도로 교통관리시스템(FTMS)과 같이 기 설치된 시스템으로부터 획득 가능한 교통데이터를 이용하여 혼잡도를 산출할 수 있기 때문에 기존의 FTMS를 기능적으로 보완할 수 있고 도로 관리주체가 혼잡관리에 쉽게 적용할 수 있는 장점을 지닌다. 한편, TCI의 적용성을 평가하기 위해 경부 및 서해안 고속도로에 적용하여 평균통행속도, TTI 및 TCI 결과 값을 비교하였는데, 활용도, 소통상태 표현 능력 등의 측면에서 TCI의 적용성이 우수한 것으로 나타났다.

Congestion on expressways is increasing in spite of continuous road construction. In enlargement of expressway capacity to lessen congestion, a long period is needed and in the case of traffic congestion, it would be impossible to avoid long periods of traffic congestion. So, it is necessary to cope with traffic congestion through continuous traffic condition monitoring, analysis of the causes of congestion and the development of alternatives before traffic conditions worsen. A congestion index that can express traffic operating conditions measurably is needed to monitor those conditions. Thus, in this research, a new congestion index, the Traffic Condition Index (TCI), is developed. TCI is able to evaluate roads that have different grades (or design speeds) and to judge traffic condition as good, fair and poor (congested). In addition, TCI has merits in that it can strengthen the function of existing Freeway Traffic Management Systems (FTMS) and can be applied to congestion management easily: TCI calculates congestion intensity and severity using data obtained from existing FTMS. In order to validate TCI, it was applied to the Kyungbu Expressway and the Seohaean Expressway. As a result, TCI shows a good performance in the aspect of applicability and ability of presentation of traffic conditions compared with travel speed and Travel Time Index (TTI).

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

지속적인 도로건설에도 불구하고 이용차량의 급증으로 인해 고속도로의 지·정체는 현재에도 반복적으로 발생하고 있으며, 이는 혼잡발생과 고속주행의 기능상실을 초래하는 주원인이 되고 있다. 용량 확대를 위한 도로의 신설, 확장에는 막대한 비용뿐만 아니라 용지확보의 어려움 등으로 장기의 건설기간이 소요되어 혼잡 해소시까지 상당기간 동안 혼잡의 지속이 불가피하므로, 소통상태가 악화되기 이전에 소통상태에 대한 지속적인 모니터링을 통해 사전 교통관리방안의 수립이 요구된다.

소통상태의 모니터링을 위해서는 혼잡에 대한 판단기준과 소통상태를 계량적으로 표현할 수 있는 지표가 필요하다. 일반적으로 혼잡을 판단하는 기준으로는 주로 통행속도가 사용되어왔으며, 혼잡을 표현하는 지표로는 TTI, RCI, FCI, OCI 등의 지표가 개발되었다. 그러나 대부분의 혼잡지표들은 등급(또는 설계속도)이 다른 도로에 대한 동일한 평가가 어렵고, 소통원활, 혼잡 등의 상태를 판단하는 기준이 제시되지 않아 쉽게 소통상태를 판단하기 어려운 단점이 있다.

한편, 한국도로공사와 같은 고속도로 관리주체는 도로에서의 교통소통상태를 상시적으로 모니터링하고 혼잡원인 분석 및 해결대안을 제시하여야 하는데, 이를 위해서는 고속도로 교통관리시스템(FTMS)과 같이 기 설치된 시스템으로부터 가용한 자료에 바탕을 둔 혼잡지표가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 현실적으로 가용한 데이터를 적용하여 기존의 FTMS를 보완할 수 있는 새로운 고속도로 소통상태 모니터링지표(종합소통지수, TCI)를 개발하였다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 혼잡의 정의, 혼잡관련 지표 및 적용사례의 검토와 더불어 새로운 소통상태 모니터링지표의 개발 필요성을 살펴보았다.

새로운 소통상태 모니터링지표(종합소통지수)의 개발에 있어서는 첫 제로, 지표가 지니고 표현하여야 할 기능을 정의하기 위해 운전자가 주행 중 느끼는 교통류의 질

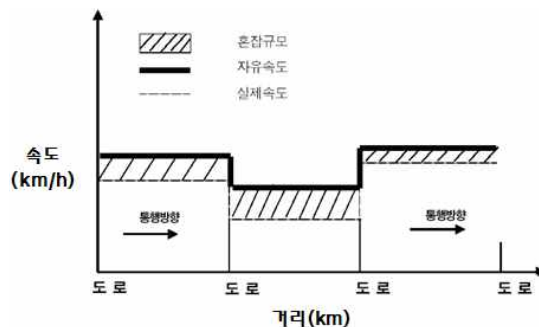
(質)을 세 종류로 구분하였다. 두 번째로는 세 종류의 교통류 질을 종합적으로 고려할 수 있는 소통상태 모니터링지표를 개발하였으며, 세 번째로는 개발된 지표에 대해 경부고속도로와 서해안고속도로를 대상으로 현장 적용성을 평가하였다.

II. 이론적 고찰

1. 혼잡의 정의

일반적으로 도로의 혼잡이란 용량을 초과하는 과도한 교통수요나 도로구조상의 문제, 그리고 교통사고 등의 다양한 원인에 의해서 발생하는 차량의 지·정체 및 대기행렬 현상을 말한다. 즉, 정상적인 자유흐름(Free Flow)의 통행상태에서 소요되는 통행시간과 정체상태에서 소요되는 통행시간을 비교했을 때 나타나는 통행시간이나 지체의 증분이 혼잡으로 설명된다(<그림 1>).

국내의 경우 <표 1>에서 보는 바와 같이 혼잡의 판단 척도로써 평균통행속도를 사용하고 있으며, 일반적으로



<그림 1> 혼잡의 정의¹⁾

<표 1> 국내 도로별 소통상태 판단기준

운영주체	소통상태	판단기준	지표
한국도로공사 (고속도로)	소통원활	70km/h 이상	속도
	서행	30~70km/h	
	정체	30km/h 미만	
서울도시고속도로 교통관리센터 (도시고속도로)	소통원활	50km/h 이상	속도
	서행	30~50km/h	
	정체	30km/h 미만	
한국건설기술연구원 (국도)	소통원활	40km/h 이상	속도
	서행	20~40km/h	
	정체	20km/h 미만	

1) Quantifying congestion: user's guide, pp 23~25, NCHRP Report 398 Vol 2, 1997

정체, 서행, 소통원활의 3단계로 소통상태를 구분하고 있다. 그러나 도로별로 각 소통상태에 대한 구분 기준이 상이하여 동일한 속도 값, 예를 들어 50km/h를 적용할 경우 각 도로별로 서로 다른 소통상태로 구분된다, 즉, 등급이 다른 도로에 대하여 동일한 지표 값으로 동일한 소통상태를 나타내지 못한다.

2. 기존 혼잡지표 검토

혼잡지표에 대한 연구는 오랫동안 지속되어 왔으며, 통행시간기반, 교통량기반, 혼잡시간기반 및 통행밀도기반의 네 가지 종류로 구분된다.

1) 통행시간 기반 혼잡지표

(1) TTI(Travel Time Index)

TTI(통행시간지표)는 자유류 통행시간과 첨두시 통행시간의 비율로 표현된다. TTI는 입력자료 획득이 용이하고 계산이 간단하며, 대상노선뿐 아니라 노선간 비교가 가능하기 때문에 활용성이 높은 장점이 있다.

$$TTI = \frac{Peak\ Period\ Travel\ Time}{Free\ Flow\ Travel\ Time} = \frac{Free\ Flow\ Travel\ Speed}{Peak\ Period\ Travel\ Speed}$$

(2) TRI(Travel Rate Index)

TRI(통행률지표)는 첨두시간동안 통행에 소요되는 추가적인 통행시간을 나타내는 지표로서, 첨두시간 통행률을 비첨두시간 통행률²⁾로 나눈 값으로 정의된다.

$$TRI = \frac{Freeway\ Peak\ Period\ Travel\ Rate}{Freeway\ Free\ flow\ Travel\ Rate}$$

단위 거리당 통행시간, 즉 통행속도의 역수인 통행률(Travel Rate)은 데이터 수집이 용이하고 통행속도보다 통계분석에 사용하기 용이한 장점이 있다. 또한 통행시간을 기반으로 하기 때문에 각기 다른 다양한 교통수단별 비교가 가능하며, 지역적 단위에서도 적용이 가능하다.

2) 교통량 기반 혼잡지표

(1) RCI(Roadway Congestion Index)

RCI(도로혼잡지표)는 Lomax(1982)에 의해서 개발된 혼잡지표로서 고속도로와 주간선도로의 혼잡상황을 함께 나타낸 혼잡지표이다. RCI는 교통혼잡 기간(Duration)과 강도(Intensity)를 반영하는 척도이다.

$$RCI = \frac{\frac{Freeway\ Peak\ Period\ Travel\ Rate}{Freeway\ Free\ flow\ Travel\ Rate} \times Freeway\ VMT + \frac{Prin.\ Art\ Peak\ Period\ Travel\ Rate}{Prin.\ Art\ Free\ flow\ Travel\ Rate} \times Prin.\ Art\ VMT}{14,000 \times Freeway\ VMT + 5,500 \times Prin.\ Art\ VMT}$$

<표 2> RCI에 의한 혼잡 분류

RCI 지수	혼잡기준
≤ 0.70	약간 혼잡
0.71~0.89	보통 혼잡
0.90~1.09	혼잡
≥ 1.10	매우 혼잡

위 식에서 고속도로의 일평균 통행거리(VMT)는 도로 길이에 평균 교통량을 곱해서 계산되며, 14,000과 5,500은 고속도로와 간선도로에서 교통정체가 시작되는 속도인 65km/h와 50km/h에서의 각 한계교통량이다.³⁾ RCI는 도시의 개략적인 혼잡상태 비교를 위해서 유용하나, 교통량을 기반으로 하기 때문에 혼잡이 심할수록 교통량이 작아지는 특성을 보이고, 이 때문에 정확히 혼잡상태를 표현하지 못하는 한계점을 갖는다.

(2) CSI(Congestion Severity Index)

CSI(혼잡심각도지표)는 Lindley(1986)에 의하여 처음 개발된 지표로서 37개 미국 도시지역의 고속도로 혼잡도를 비교하는데 사용되고 있다. 이 지표는 서비스 수준 D(V/C, 0.77) 이상인 상태에서 발생하는 고속도로 총지체시간(단위: Veh-hours)을 고속도로 통행량(단위: 백만 Vehicle-miles of Travel)으로 나눈 값으로 표현된다.

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

2) Travel Rate = $\frac{travel\ time\ (minutes)}{segment\ length\ (miles)} = \frac{60}{average\ speed\ (mph)}$

3) 이는 미국의 도로교통량 조사자료를 토대로 경험적으로 얻은 수치로 가변적임

3) 혼잡시간 기반 혼잡지표

(1) LMDI(Lane-Mile Duration Index)

Cottrel(1992)에 의해서 개발된 LMDI(차로연장 지속시간 지표)는 고속도로 혼잡의 지리적 범위와 지속시간을 함께 고려한 지표이다. 이 지표는 각 도로구간별 혼잡구간 도로연장에 혼잡 지속시간을 곱한 값으로 표현된다.

$$LMDI = \sum_{i=0}^m [congestion\ Lane \cdot Miles_i \times congestion\ Duration_i (hours)]$$

여기서, i : 고속도로의 각 구간
 m : 고속도로 구간의 합

(2) FCI(Freeway Congestion Index)

FCI(고속도로 혼잡지표)는 Thurgood(1994)에 의해 개발된 지표로서 LMDI가 고속도로 일정구간의 혼잡 크기를 나타낼 수 있으나, 서로 다른 고속도로의 상호비교가 불가능한 단점을 비교하기 위하여 LMDI를 전체 도로연장으로 나눔으로써, 혼잡지표의 정규화를 시도한 지표이다.

$$FCI = \frac{LMDI}{총도로연장}$$

4) 통행밀도 기반 혼잡지표

(1) OCI(Occupancy Congestion Index)

OCI는 혼잡의 크기를 시·공간적 범위와 혼잡의 강도를 감안하여 표현한 지표이다. 이 지표는 도로연장이 서로 다른 도로시설간의 상대적 혼잡 비교가 가능한 장점이 있으나, 혼잡강도를 산출하기 위해서는 도로의 실제 통행밀도 자료를 수집하여야 하는데, 이 비용이 너무 크다는 단점이 있다.

$$OCI = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m D_j \times E_i \times I_{ij}}{T \times L}$$

여기서, $\alpha = \frac{100}{\text{포화통행밀도}(Jam\ Density)}$
 $Intensity(I) = \alpha \times \text{통행밀도}$

3. 기존 혼잡지표의 한계

기존 혼잡지표는 전체 교통류의 흐름을 대변할 수 있는 종합적인 개념을 이용한 것이 아니라, 단순히 교통량, 속도, 통행시간 등 단일적도만을 사용했기 때문에, 소통상태를 정확히 표현한다고 말하기 어렵다.

예를 들어, 등급이 다른(또는 같은) 두 도로 혼잡구간의 평균통행속도가 40km/h로 동일할 경우, 두 도로의 소통상태가 동일하다고 볼 수 있겠는가? 이 때, 두 도로의 교통량이 서로 다르다면 즉, 한 도로의 교통량이 1,000대/시이고 다른 도로의 교통량은 1,200대/시라면 두 도로의 소통상태가 동일하다고 볼 수 없을 것이다.

예에서 보듯이, 서로 다른 구간의 통행속도가 동일할 지라도 혼잡의 강도 및 지속시간이 다를 수 있음에도 불구하고 기존 혼잡지표들은 이를 정확히 표현하지 못하는 한계점을 지니고 있는 경우가 많다. 또한 기존 혼잡지표들은 혼잡상태의 측정에만 초점을 맞추어 얼마나 혼잡한지에 대한 정도, 즉 혼잡정도만 파악할 뿐, 바람직한 소통상태에 대한 기준이 존재하지 않아 현재의 소통상태가 혼잡상태와 비교했을 때 어느 정도인지를 판단하기가 어려운 단점이 있다.

또한 기존 혼잡지표들은 많은 경우에 FTMS와 같이 기 설치된 시스템으로부터 가용한 자료를 사용할 수 없고 각 혼잡지표의 적용을 위해 저마다 요구되는 데이터를 생성해야하는 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 기존 혼잡지표의 적용상의 문제점을 보완하여 고속도로 교통소통상태를 모니터링하고 계량적으로 평가할 수 있는 지표를 개발하였다.

III. 종합소통지수 개발

1. 종합소통지수의 개요

1) 종합소통지수 정의

종합소통지수(Traffic Condition Index, TCI)는 고속도로의 교통소통상태를 계량화하여 종합적으로 평가하고 혼잡관리목표와 대비하여 대상구간(또는 노선)의 소통상태를 객관적으로 표현할 수 있는 지수로 정의된다. 종합소통지수는 기존 혼잡지표들과 달리, 도로 이용자들이 느끼는 세 가지 서비스 질(質) 즉, “얼마나 빨리 갈 수 있는가(이동성 또는 신속성)”, “얼마나 편하게 주행할

수 있는가(자유성 또는 쾌적성)”, 그리고 “얼마나 제 때 도착할 수 있는가(정시성)”을 동시에 종합적으로 고려한 소통지수이다. 이에 대해서는 “2. 종합소통지수 개발”에서 구체적으로 다루도록 한다.

2) 종합소통지수 활용

종합소통지수는 주요하게 도로운영관리측면에서 사용될 수 있으며, 부가적으로는 운전자에게 도로의 소통상태에 대한 정보제공용으로 사용될 수 있다.

먼저 도로관리측면에서 교통소통상태에 대한 상시적인 모니터링을 통해 혼잡구간의 파악 및 개선사업 시행 계획에 활용할 수 있다. 또한 운전자 정보제공측면에서 상습 혼잡구간 정보제공 및 주행 노선(또는 경로)에 대한 현재의 소통상태를 표출하여 운전자의 만족도를 향상시킬 수 있다.

2. 종합소통지수 개발

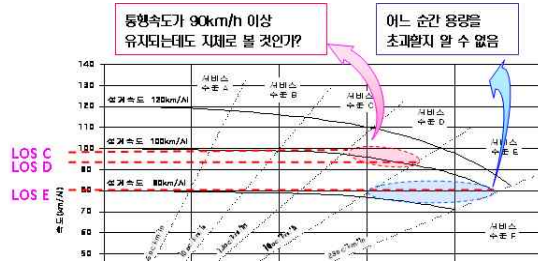
1) 개발 방향

기존 혼잡지표들은 혼잡의 정도를 계량화하여 혼잡의 심각도만을 나타내는데 그쳤지만, 종합소통지수는 소통 원활 및 혼잡상태를 포괄한 모든 소통상태를 표현할 수 있도록 개발되었다. 또한 종합소통지수는 등급(또는 설계속도)이 다른 도로 간에도 동일하게 적용되어 소통상태의 시·공간적 비교가 가능하도록 개발되었다.

2) 혼잡관리목표 기준 설정

혼잡관리를 위해서는 혼잡의 판단기준, 즉 혼잡관리 목표에 근거하여 객관적으로 소통상태를 나타내는 것이 필요하므로 혼잡관리목표 및 기준을 결정하는 것이 중요하다. 일반적으로 도로시설의 서비스수준을 평가하는 지침인 도로용량편람에서는 도로의 용량수준에 도달하는 상태를 LOS E로 설정하여 운영상태를 평가하고 있다. 그러나 이는 도로의 운영상태를 평가하는 기준으로 설계는 이보다 훨씬 더 강화되어, 설계서비스 수준 혹은 설계속도를 이용한다. 설계 서비스수준이란 설계 대상 도로의 서비스를 어떤 수준이상으로 제공할 것인가와 관련되어 있으며, 고속도로의 경우 도시부는 LOS D, 지방부는 LOS C 및 LOS D로 결정된다.

따라서 본 연구에서는 속도와 서비스수준 그래프를 통해 혼잡관리의 목표기준으로서 LOS C, D, E의 상태 및



<그림 2> 설계서비스수준 기준 검토

장단점을 비교하였다. <그림 2>에서 보는 바와 같이, LOS C를 기준으로 할 경우는 통행속도가 80~92 km/h로 유지되는 일부 구간을 지체로 판정하는 단점이 존재한다. 반면, LOS E를 기준으로 할 경우, 어느 순간 용량을 초과할지 알 수가 없는 불안정한 교통류를 포함하고 있어 교통류의 작은 변화에도 용량상태를 초과하는 상태가 빈번히 발생하여 혼잡상태의 구분이 어려운 단점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 지방부와 도시부를 포함하는 고속도로의 설계서비스수준이면서, LOS C와 LOS E의 단점을 극복할 수 있는 LOS D를 혼잡관리목표의 기준으로 삼고 LOS D의 밀도를 종합소통지수 개발시 설계밀도로 적용하였다.

3) 모형 개발

(1) 모형 개발

종합소통지수(TCI)는 개념적으로 볼 때, 이동성과 자유성 및 정시성을 동시에 고려하기 위해 속도와 밀도를 독립변수로 하는 함수의 형태로 개발되었다.

$$\begin{aligned}
 TCI &= f\left(\frac{\text{설계밀도}}{\text{통행밀도}} \times \frac{\text{통행속도}}{\text{설계속도}}\right) \\
 &= \frac{\text{설계밀도}}{\text{설계속도}} \times f\left(\frac{\text{통행속도}}{\text{통행밀도}}\right) = C \times f\left(U, \frac{1}{K}\right) \\
 &= \alpha(\text{상수}) \times f\left[U(\text{이동성}), \frac{1}{K}(\text{자유성, 정시성})\right]
 \end{aligned}$$

여기서, C : 등급(설계속도)이 다른 노선의 가중치

이는 동일한 속도로 주행하더라도 밀도가 다를 경우 운전자가 느낄 수 있는 자유성 및 정시성이 다를 수 있고, 또한 동일한 밀도로 주행하더라도 속도가 다를 경우 이동성이 다를 수 있기 때문이다. 따라서 속도 또는 밀도 하나만을 단일 변수로 적용하는 각각의 경우는 서로 상반된 결과를 도출할 수 있다.

<표 3> 소통상태 판정 예 (개념적 비교)

	A : 속도25, 밀도40 B : 속도30, 밀도40	A : 속도40, 밀도25 B : 속도40, 밀도30
속도기준	A < B	A = B
밀도기준	A = B	A > B
TCI기준	A < B	A > B

주) 등호(부등호)는 상대적 소통상태 양부(良否)를 표현함

예를 들어, 두 도로의 밀도가 40대/km로 같고 교통량이 각각 1,000대/시 및 1,200대/시라고 할 때, 교통량-속도-밀도 관계식에 의해 두 도로의 공간평균속도는 각각 25km/h와 30km/h로 산출되어 두 도로는 다른 소통상태임을 알 수 있다. 한편, 두 도로의 통행속도가 40km/h로 같고 교통량이 각각 1,000대/시 및 1,200대/시라고 한다면, 두 도로의 밀도는 각각 25대/km 및 30대/km로 산출되어 두 도로는 다른 소통상태로 판정됨을 알 수 있다. 이러한 결과는, 교통류의 속성이 거시적 교통량-속도-밀도 관계를 따른다고 하더라도, 중차량 및 승용차 등 차종구성 및 종단경사 등 도로 기하구조의 영향으로 얼마든지 현실적으로 발생 가능한 결과이다.

위의 예에 대해 속도, 밀도 및 TCI 기준으로 소통상태를 판정해 보면 <표 3>과 같고, TCI 기준의 소통상태 판정이 현실적으로 타당함을 알 수 있다.

(2) 시·공간범위 확장

단일 지점(또는 구간)에서 산출된 TCI의 시·공간적 적용범위 확대를 위해 거리 및 시간의 기준치를 반영하였다. 이를 통해 동일 노선의 구간 간의 비교뿐만 아니라 등급이 다른 노선과의 비교 또한 가능하다.

$$\text{종합소통지수(TCI)} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n d_i \times t_j \times \frac{TCI_i}{D \times T}$$

여기서, i : 도로구간 수(1, 2, 3, ... m)

j : 시간간격 수(1, 2, 3, ... n)

d_i : 도로구간 i 의 연장(km)

t_j : 시간대 j 의 간격(Hour)

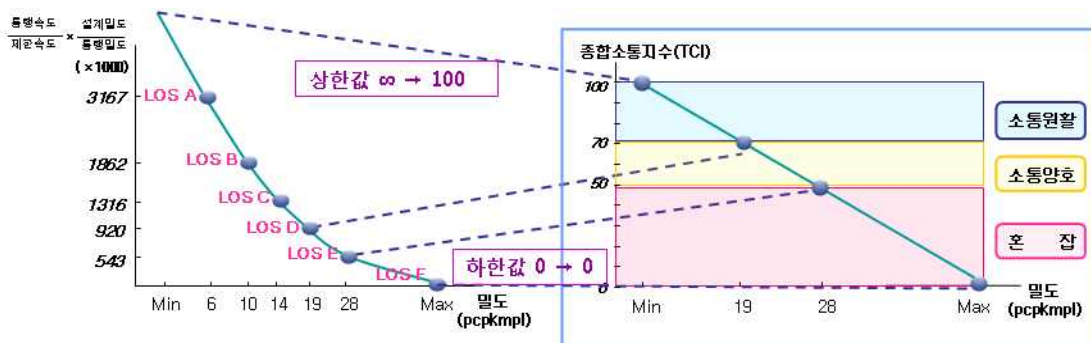
TCI_i : 도로구간 i 의 소통지수

D : 총 도로연장의 합(km)

T : 총 시간간격의 합(Hour)

4) 소통상태 구분 기준

TCI 값에 의한 소통상태 구분은 <그림 3> 및 <표 4>에서 보는 바와 같이, 혼잡(0~50), 소통양호(50~70), 소통원활(70~100)로 구분된다.



<그림 3> 소통상태 구분 개념도

<표 4> 소통상태 구분 기준

구분	소통상태 구분 기준	LOS	$X = \frac{\text{실계밀도}}{\text{통행밀도}} \times \frac{\text{통행속도}}{\text{실계속도}} \times 1,000$	소통지수 (TCI_i)
소통원활	$70 \leq TCI_i \leq 100$	A	$\geq 3,167$	$70 + (X - 920) \times \frac{30}{(\text{max} - 920)}$
		B	$\geq 1,862$	
		C	$\geq 1,316$	
		D	≥ 920	
소통양호	$50 \leq TCI_i < 70$	E	≥ 543	$50 + (X - 543) \times \frac{20}{(920 - 543)}$
혼잡	$0 < TCI_i < 50$	F	< 543	$X \times \frac{50}{(543 - 0)}$

IV. 현장 적용성 평가

1. 자료수집 및 분석방법

1) 분석 범위

경부고속도로 오산IC~서울TG 구간과 서해안고속도로 비봉IC~조남JC 구간에 대하여 2007년 10월 15일(월)~10월 21일(일) 1주일에 대하여 VDS 자료를 이용하여 종합소통지수 산출 및 분석을 실시하였다.

2) 평가 방법

종합소통지수(TCI)의 성능을 평가하기 위하여 혼잡 판단기준으로 적용되는 통행속도와 미국에서 혼잡지표로 가장 많이 사용되고 있는 TTI를 비교하였다.

2. 평가 결과

1) 시간대별 분석

(1) 경부고속도로 서울방향

2007년 10월 19일(금)의 시간대별 소통상태 및 종합소통지수(TCI)는 <그림 4>와 같다. 15시~21시 사이

의 시간대에서 오산~신갈 구간의 통행속도는 서행(소통양호) 상태이지만, 종합소통지수의 경우는 혼잡상태로 판정되었다. 한편, TTI는 자유류(free flow) 상태를 기준으로 1.0의 값에 대한 상대적 소통상태만을 보여줄 뿐 소통상태 구분 기준이 없어 현 상태가 소통원활 또는 소통양호인지 아니면 혼잡상태인지 판단할 수 없다.

그러나 종합소통지수는 통행속도 기준보다 현실적인 소통상태 구분 기준을 제시하고 있고, 또한 동일한 통행속도일지라도 교통량(밀도)이 다른 상황을 반영하여 소통상태를 표현하기 때문에 보다 합리적으로 교통 서비스 질(質)을 표현한다고 볼 수 있다.

(2) 서해안고속도로 서울방향

서해안고속도로 서울방향의 2007년 10월 19일(금)의 시간대별 소통상태 및 종합소통지수(TCI)는 <그림 5>와 같다. 19~21시 사이의 매송~팔곡 구간의 통행속도는 70km/h 이상을 유지하고 있어 통행속도 기준의 경우 소통원활로 판정하고 있는 반면, 종합소통지수의 경우는 소통양호로 판정하고 있다.

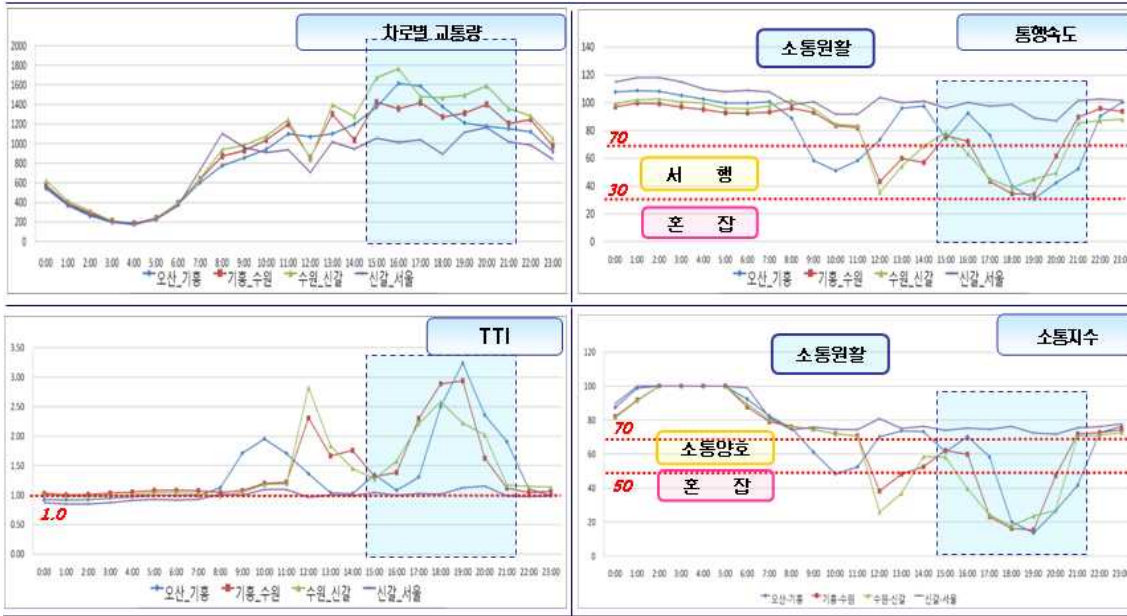
또한 16시~21시 사이 비봉~매송 구간의 경우 30~70 km/h 상태로, 통행속도 기준의 경우 서행(소통양호)으로 판정하고 있는 반면, 종합소통지수는 혼잡으로 판정을 하고 있다.

<표 5> 분석대상 구간 범위

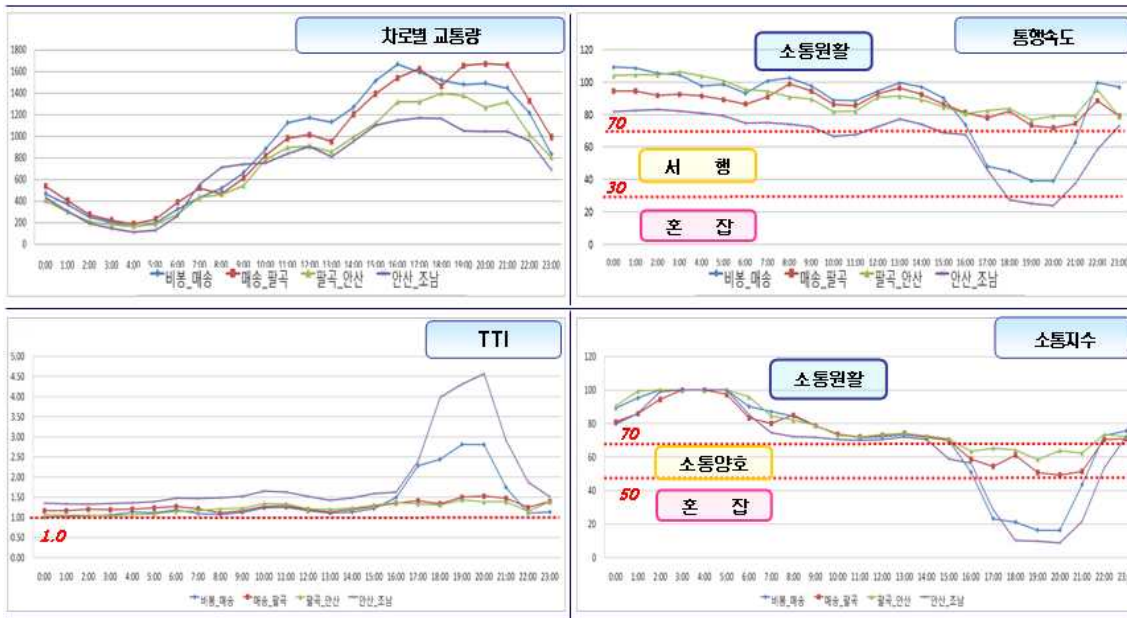
구분	경부고속도로	서해안고속도로
구간	오산 IC~서울 TG	비봉 IC~조남 JC
이정 및 구간길이	378.1~403.3km (25.2km)	312.70~328.10km (15.40km)
시간범위	2007년 10월 15일 ~ 21일 (1주일간)	

<표 6> 경부 및 서해안 고속도로 도로교통조건 현황

구분	경부축			서해안축		
구간	오산IC ⇄ 서울TG			비봉IC ⇄ 조남JC		
제한속도	100km/h			110km/h		
차로수	4~5차로			3~4차로		
	구간	차로수		구간	차로수	
	서울 - 신갈	4차로		조남 - 안산	4차로	
	신갈 - 수원	5차로		안산 - 팔곡	3차로	
	수원 - 기흥	4차로		팔곡 - 매송	3차로	
	기흥 - 오산	4차로		매송 - 비봉	3차로	
2007. 10. 19(금) 구간 하루 평균 통과교통량 (대/시)	구간	서울방향	부산방향	구간	서울방향	목포방향
	서울 - 신갈	3,884	3,822	조남 - 안산	2,874	3,052
	신갈 - 수원	3,990	4,203	안산 - 팔곡	2,320	1,829
	수원 - 기흥	3,635	3,608	팔곡 - 매송	2,772	2,545
	기흥 - 오산	3,558	3,292	매송 - 비봉	2,745	2,689
교통량, 속도 자료수집체계	영상검지기 18개			영상검지기 3개, 루프검지기 7개		
주요 분기점 개수	1지점(신갈JC)			2지점(안산JC, 팔곡JC)		



<그림 4> 경부고속도로로 서울방향(2007. 10. 19 금) 소통상황



<그림 5> 서해안고속도로로 서울방향(2007. 10. 19 금) 소통상황

2) 요일별(1주일) 분석

(1) 경부고속도로로 서울방향

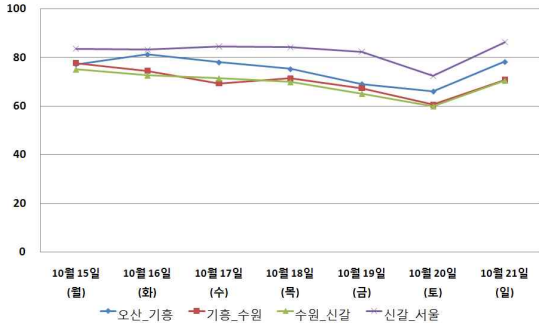
□ 종합소통지수(TCI)

1주일 동안의 종합소통지수 분석결과, 10월 20일

(토)의 TCI 값이 66으로 가장 낮게 분석되었다. 구간별 비교에서는 신갈~서울 구간의 TCI 값이 82로 가장 높아 다른 구간에 비해 소통상태가 가장 좋은 것으로 분석되었으며, 수원~신갈 구간의 TCI 값은 69로 나타나 소통상태가 가장 나쁜 것으로 분석되었다.

<표 7> 경부고속도로 서울방향 요일별 종합소통지수

구분	10.15 (월)	10.16 (화)	10.17 (수)	10.18 (목)	10.19 (금)	10.20 (토)	10.21 (일)	평균
오산-기흥	77	81	78	75	69	66	78	75
기흥-수원	78	75	69	71	67	61	71	70
수원-신갈	75	73	71	70	65	60	70	69
신갈-서울	84	83	84	84	82	72	86	82
평균	79	80	78	77	73	66	79	76



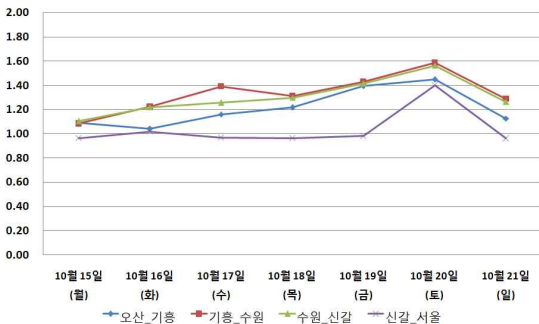
<그림 6> 경부고속도로 서울방향 요일별 종합소통지수

□ 통행시간지표(TTI)

TTI 분석 결과 역시 10월 20일(토)의 소통상태가 1

<표 8> 경부고속도로 서울방향 요일별 TTI

구분	10.15 (월)	10.16 (화)	10.17 (수)	10.18 (목)	10.19 (금)	10.20 (토)	10.21 (일)	평균
오산-기흥	1.09	1.04	1.16	1.22	1.40	1.45	1.13	1.21
기흥-수원	1.09	1.23	1.39	1.31	1.43	1.59	1.29	1.33
수원-신갈	1.10	1.22	1.26	1.30	1.41	1.57	1.27	1.30
신갈-서울	0.97	1.02	0.97	0.96	0.98	1.40	0.96	1.04
평균	1.05	1.09	1.15	1.16	1.27	1.47	1.12	1.19



<그림 7> 경부고속도로 서울방향 요일별 TTI

주일 중 가장 나쁜 것으로 분석되었다. 구간별 비교에 있어서는 TTI 값이 1.33인 기흥~수원 구간의 소통상태가 가장 나쁜 것으로 분석되어 종합소통지수(TCI)를 적용한 분석과는 대비되는 결과를 보였다. 한편, 가장 소통상태가 좋은 구간은 종합소통지수(TCI)를 적용한 분석과 동일한 신갈~서울 구간으로 나타났다.

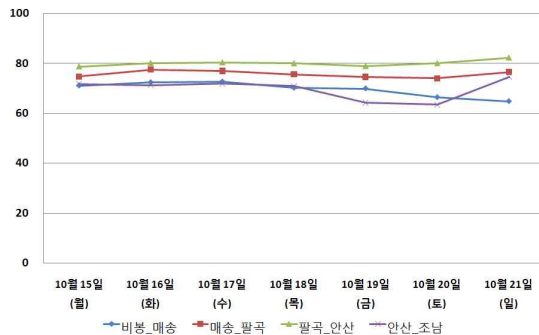
(2) 서해안고속도로 서울방향

□ 종합소통지수(TCI)

서해안고속도로에 대한 분석결과, 10월 20일(토)의 종합소통지수가 가장 낮게 분석되었다. 구간별로는 팔곡~안산 구간에서 소통지수가 가장 높게 분석되었으며, 비봉~매송구간과 안산~조남 구간이 가장 낮은 값을 나타내는 것으로 분석되었다.

<표 9> 서해안고속도로 서울방향 요일별 종합소통지수

구분	10.15 (월)	10.16 (화)	10.17 (수)	10.18 (목)	10.19 (금)	10.20 (토)	10.21 (일)	평균
비봉-매송	71	72	73	70	70	66	65	70
매송-팔곡	75	77	77	76	75	74	76	76
팔곡-안산	79	80	80	80	79	80	82	80
안산-조남	72	71	72	71	64	64	75	70
평균	74	76	76	74	73	72	75	74



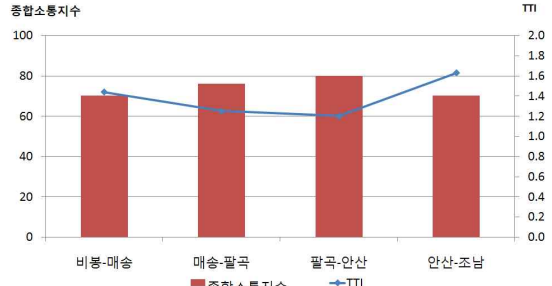
<그림 8> 서해안고속도로 서울방향 요일별 종합소통지수

□ 통행시간지표(TTI)

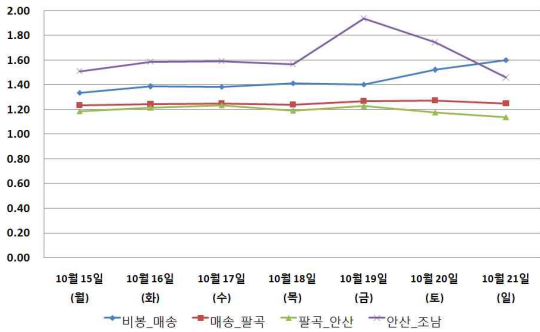
TTI 분석결과 10월 19일(금)의 TTI 값이 1.38로 가장 소통상태가 나쁜 날로 분석되어 종합소통지수(TCI) 분석 결과와 대비되는 결과를 보였다. 구간별로는 종합소통지수의 결과와 마찬가지로 안산~조남 구간에서 가장 소통상태가 나쁜 것으로 분석되었으며, 팔곡~안산 구간의 소통상태가 좋은 것으로 분석되었다.

<표 10> 서해안고속도로 서울방향 요일별 TTI

구분	10.15 (월)	10.16 (화)	10.17 (수)	10.18 (목)	10.19 (금)	10.20 (토)	10.21 (일)	평균
비봉-매송	1.34	1.39	1.39	1.42	1.41	1.52	1.60	1.44
매송-팔곡	1.24	1.25	1.25	1.24	1.27	1.27	1.25	1.25
팔곡-안산	1.19	1.22	1.24	1.19	1.23	1.18	1.14	1.20
안산-조남	1.51	1.59	1.59	1.57	1.94	1.74	1.46	1.63
평균	1.29	1.32	1.32	1.31	1.38	1.37	1.33	1.33



<그림 11> 서해안고속도로 1주일 TCI 및 TTI



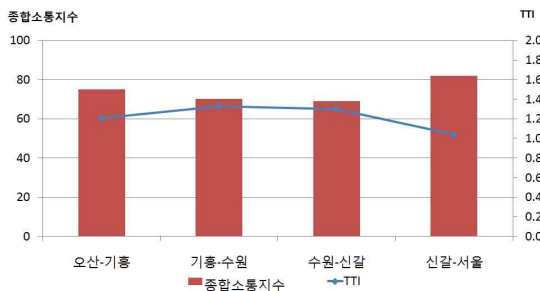
<그림 9> 서해안고속도로 서울방향 요일별 TTI

3) 1주일 분석 비교

종합소통지수(TCI)와 TTI 모두 경부고속도로에 비해 서해안고속도로의 일주일 소통지수가 낮게 분석되어 서해안고속도로의 소통상태가 더 좋지 못한 것으로 나타났다.

<표 11> 노선별 1주일 소통상태 비교(TCI 및 TTI)

경부고속도로			서해안고속도로		
구간	TCI	TTI	구간	TCI	TTI
오산-기흥	75	1.21	비봉-매송	70	1.44
기흥-수원	70	1.33	매송-팔곡	76	1.25
수원-신갈	69	1.30	팔곡-안산	80	1.20
신갈-서울	82	1.04	안산-조남	70	1.63
평균	76	1.19	평균	74	1.33



<그림 10> 경부고속도로 1주일 TCI 및 TTI



<그림 12> 시·공간적 범위의 확장

3. 평가 결과 종합

통행속도 기준에 의한 소통상태 판정은 30km/h 미만의 통행속도에 대해서만 혼잡으로 판정하고 30~50km/h 사이의 통행속도에 대해서는 혼잡으로 판정하지 않아 도로 이용자의 현실체감과 거리가 먼 단점이 있었다.

한편, TTI는 free flow speed, 즉 자유류 통행속도에 대비한 현재 통행속도의 상대적 비율만을 표현하고 소통원활, 소통양호, 혼잡 등의 소통상태 판단기준이 없어, TTI 값만으로 현재의 소통상태가 혼잡한 상태인지 아닌지를 쉽게 판단하기 힘든 단점이 있었다.

그러나 종합소통지수(TCI)는 혼잡을 판단하는 기준과 교통 서비스 질(質)에 대한 표현 능력에 근거하여 소통상태를 보다 현실적으로 표현할 수 있었다.

한편 종합소통지수(TCI)는 단일구간 소통지수에 거리와 시간의 가중평균을 통해 고속도로의 소통상태를 단위시간 동안 단위구간의 소통지수로 확대 적용할 수 있었다. 이로써 단일구간에 대한 분석과 함께 다양한 구간, 다양한 시간에 걸친 분석이 가능하여 서로 다른 도로시설간의 상대적 혼잡도의 비교도 가능하였다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 고속도로 관리기관에서 상시적인 교통소통상태에 대한 모니터링, 혼잡구간의 파악, 개선사업의 우

선순위 결정, 사업계획 수립 등의 일련의 업무에 유용하게 사용될 수 있는 종합소통지수(TCI)의 개발을 목적으로 수행되었다.

고속도로 관리기관에서는 고속도로 소통관리를 위해 1)소통상태의 파악, 2)문제구간 파악, 3)개선시급구간 파악 등을 충족시킬 수 있는 지표의 필요성이 인식되었으며, 기존의 많은 혼잡지표가 있음에도 불구하고 새로운 지표의 개발이 시도된 이유는 기존의 혼잡지표를 고속도로 교통관리시스템(FTMS)에 적용할 수 없다는 점 때문이었다. 즉, 기존 혼잡지표들은 그 유용성에도 불구하고 기 설치된 고속도로 교통관리시스템에 적용할 수 없기 때문에 기 설치된 시스템으로부터 생산되는 가용한 자료를 이용하여 적용할 수 있도록 새로운 소통상태 모니터링 지표를 개발하게 되었다. 따라서 새로이 개발된 지표는 기존 시스템의 데이터를 그대로 사용할 수 있는 장점을 지녔으며, 전산화를 통해 과거의 매시간, 매일, 매주, 매월 등 시간적 소통상태의 변화 및 여러 구간간의 비교가 가능하여 상시적으로 소통상태를 모니터링하고 소통상태의 추이 변화 및 문제구간을 파악하는데 도움이 될 수 있다.

한편, 고속도로 관리기관에서는 1)혼잡구간의 파악, 2)혼잡개선 사업 수립, 3)개선사업 우선순위 결정, 4)연차별 사업시행계획 수립(예산관련)과 같은 일련의 과정을 수행하여야 하는데, 본 연구에서 개발된 TCI는 이러한 혼잡개선 사업과 관련하여 초기 기초자료를 제공할 뿐만 아니라 혼잡구간 개선 우선순위 결정 등과 같은 의사결정에도 계량화된 자료를 제공할 수 있는 장점이 있다. 이처럼, 실제적인 교통소통관리 업무를 위해 적용 가능한 대안을 찾는 것이 본 연구수행의 주요한 배경으로 자리하였다.

개발된 소통상태지수의 효용성은, 개발 목적 상 고속도로의 기존 FTMS를 이용한 소통상태 모니터링 및 개선대책 수립에 활용할 수 있다는 것이며, 무엇보다도 개략적으로 전체 또는 원하는 특정 구간에 대한 소통상태 정보 및 상대적 비교(현재 및 과거, 비교노선 축간 등) 정보를 파악할 수 있다는 것이다. 이를 통해, 구체적인 문제점 분석 및 개선대안 수립은 소통상태지수(TCI)를 통해 도출된 문제구간에 대한 세부접근을 통해 이루어지게 된다.

이러한 특징을 지닌 종합소통지수는 고속도로에 국한하여 개발 및 적용되었으므로 타 도로에 즉각적으로 적용하기에는 무리가 따른다. 따라서 향후 확대 적용을 위

해서는 국도, 지방도 등에 구축된 교통자료 검지시스템과 연계될 수 있도록 추가적인 개발노력이 요구된다. 이러한 연구개발 노력을 통해 고속도로와 국도, 지방도 등에 대한 지속적인 교통소통상태의 모니터링 및 혼잡개선 노력이 이루어져야 할 것으로 판단한다.

참고문헌

1. 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(1992), 대한토목학회.
2. 도로용량편람(1992), 대한교통학회.
3. 도로용량편람(2001), 대한교통학회.
4. 이상건 외(1997), 도로교통 혼잡지표 개발에 관한 연구, 국토개발연구원.
5. 황상규 외(2000), 교통혼잡 특별관리구역의 지정 및 관리방안에 관한 연구, 교통개발연구원.
6. 황상규(2002), 도시교통혼잡지표의 개발 및 활용방안(1단계), 교통개발연구원.
7. Chao Chen(2001), Cause and Cures of Highway Congestion.
8. FHWA(2003), Freeway Management and Operations Handbook.
9. Pravin Varaiya(1997), How to measure Transportation system performance.
10. Quantifying congestion(1997), NCHRP Report 398 Vol 1.
11. Quantifying congestion: user's guide(1997), NCHRP Report 398 Vol 2.
12. Texas Transportation Institute(2005), 2005 Urban Mobility Report.

♣ 주 작성자 : 복기찬
 ♣ 교신저자 : 이승준
 ♣ 논문투고일 : 2008. 8. 4
 ♣ 논문심사일 : 2008. 9. 24 (1차)
 2009. 5. 6 (2차)
 2009. 7. 31 (3차)
 ♣ 심사판정일 : 2009. 7. 31
 ♣ 반론접수기한 : 2010. 2. 28
 ♣ 3인 익명 심사필
 ♣ 1인 abstract 교정필