



고속도로 VMS 정보를 활용한 지정체도 산출방안 개발

Development of Estimation Method for Degree of Congestion on Expressway Using VMS Information

이 승 준* 박 재 범** 김 수 희*** 복 기 찬****
Lee, Seung Jun Park, Jae Beom Kim, Soo Hee Bok, Ki Chan

Abstract

Everyday congestion length (distance) and duration (time) data are collected and recorded in Expressway Traffic Information Center. These records are based on the information that the operators watch CCTV and decide traffic condition in order to present information about congestion on VMS. Using VMS message has some merits like that it doesn't need a great lot of cost to construct hardware such like FTMS because operators can check traffic condition by watching CCTV only. Of cause in the aspect of accuracy, using VMS message has the limitation that it is based on subject decision compared with FTMS. However, it can be said that the value of using VMS message is very large. The object of this study is to use the VMS information record (log file) usefully to provide information of traffic condition on expressway for users (drivers) without keeping the VMS information record in dead storage. To do so, in this research, congestion calculation method able to understand traffic congestion condition on expressway was developed.

Keywords : *traffic information, VMS message, congestion, intensity, index*

요 지

고속도로 교통정보센터에서는 일자별 지정체 길이 및 지속시간 데이터를 수집하여 기록하고 있다. 이에 본 연구에서는 고속도로 이용자에게 제공되고 있는 VMS 정보기록(로그 파일)을 사장시키지 않고 유용하게 활용할 목적으로 도로의 교통혼잡상태를 파악할 수 있는 새로운 지정체도 산출방안을 개발하였다. 이를 통해 고속도로 교통소통상태가 과거로부터 현재까지 어떠한 추세로 변화되는지 파악할 수 있도록 구간, 노선 및 전체 고속도로망에 대한 혼잡상태를 시간적으로 비교·평가할 수 있는 방법론을 개발하였다. 한편 개발된 방법론의 검증은 위해서 경부고속도로와 영동고속도로를 대상으로 TCS 자료와의 비교를 통해 그 유용성을 확인하였으며, 이의 적용가능성을 검토하였다. 본 연구결과는 도로관리자의 입장에서 볼 때, 가장 문제가 되는 구간의 선정 및 대책 수립의 기초자료로 활용하기에 용이한 장점을 지니며, 효율적 도로관리를 위한 지표로서의 기능을 효과적으로 담당할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 교통정보, VMS 메시지, 혼잡, 혼잡강도, 혼잡지표

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구팀 책임연구원
 ** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구팀 책임연구원
 *** 정회원 · 아주대학교 교통연구센터 연구위원
 **** 비회원 · (주)홍익기술단 사장



1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

고속도로 교통정보센터에서는 일자별 지정체 길이 및 지속시간 데이터를 수집하여 기록하고 있다. 이는 고속도로 교통정보센터의 운영요원들이 VMS에 혼잡상태 정보를 입력하기 위해 CCTV를 통해 육안으로 파악한 소통상태 정보에 기초하고 있다. VMS 정보는 검지기 없이도 CCTV를 통해 운영자가 직접 확인하여 정보를 제공하기 때문에 FTMS와 같은 하드웨어 및 소프트웨어 개발 및 구축에 막대한 비용을 들이지 않고도 혼잡상태를 빠르고 손쉽게 파악할 수 있는 장점이 있다. 물론 FTMS의 구축을 통한 정확한 정보의 생산과 비교해 주관적 판단을 내린다는 한계점이 있으나, CCTV를 통해 매일매일 생산되는 VMS 정보의 활용가치는 매우 크다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 교통소통상태에 대해 고속도로 이용자에게 제공되고 있는 VMS 정보기록(로그 파일)을 사장시키지 않고 유용하게 활용할 목적으로 도로의 교통혼잡상태를 파악할 수 있는 새로운 지정체도 산출방안을 개발하였다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 VMS에 제공되는 지정체 정보를 토대로 고속도로 구간, 노선 및 전체 고속도로망에 대한 혼잡상태를 시공간적으로 비교·평가할 수 있는 방법론을 개발하였다. 이에 더하여, 혼잡수준을 구분할 수 있도록 혼잡강도를 반영한 새로운 지정체도 산출방안을 추가로 제시하였다.

한편 개발된 방법론의 검증을 위해서는 현장 데이터에 의한 평가를 실시하였고, 이의 적용가능성을 검토하였다. 적용대상 구간 및 시간대는 경부고속도로 서울 방향 전구간, 영동고속도로 강릉 방향 전구간에 대하여 2003년 6월 16일(월)~6월 20일(금)까지의 5일간 평일자료를 이용하였다.

2. 기존연구 고찰

2.1 혼잡의 구성요소

일반적으로 혼잡을 정의할 때에는 혼잡의 시·공간적 개념과 강도가 개별적 또는 복합적으로 사용된다. 따라서 혼잡을 측정할 경우에는 표 1에서 보는 바와 같이, 혼잡을 시간으로 표현한 혼잡의 지속시간(Duration), 공간적으로 표현한 혼잡구간의 영향범위(Extent), 혼잡의 심각성을 나타내는 혼잡의 강도(Intensity) 개념이 적용된다.

표 1. 혼잡의 구성요소

구성요소	내용
지속시간 (Duration)	- 특정지역에 혼잡이 발생하기 시작한 시점에서 서부터 종료된 시점까지의 시간적 범위
영향범위 (Extent)	- 혼잡상황에 의해 사람이나 차량이 영향을 받는 지리적 범위
혼잡강도 (Intensity)	- 혼잡의 수준과 심각성을 나타내는 변수

2.2 혼잡지표 특성 고찰

2.2.1 교통혼잡 측정기준

교통혼잡의 측정기준으로는 교통량기반 측정기준, 통행시간기반 측정기준, 통행밀도기반 측정기준의 세 유형이 있다.

1) 교통량기반 측정기준

교통량기반 측정기준으로는 표 2에 제시된 것처럼 V/C, VKT(Vehicle-Kilometer Travelled), VHT(Vehicle-Hour Travelled) 등이 있으며 V/C가 가장 대표적이다.

2) 통행시간기반 측정기준

통행시간기반 측정기준은 해외에서 많이 사용되어 왔던 대표적인 혼잡측정기준으로서 표 3에서 보는 바와 같이 통행시간, 통행률, 지체율, 지체비 등이 있다.



표 2. 교통량기반 측정기준

기준	내용	단위	비고
V/C	교통량대 용량 비	-	- 다른 측정기준과 비교해 상대적 자료 수집 용이 - 전형적인 혼잡측정 기준
VKT	각 도로 구간의 교통량에 구간 거리를 곱한 값	대·km	-
VHT	각 도로 구간의 교통량에 구간 평균통행시간을 곱한 값	대·시간	-

표 3. 통행시간기반 측정기준

기준	내용	단위	산출식	용도
통행시간 또는 통행시간 차이	출발지에서 목적지까지의 통행시간	분 (min)	-	교통수단간 혼잡수준 비교, 교통수단선택
통행률	단위거리 통행 시간	min/km	식 1	도로구간 상호 혼잡 수준 비교
지체율	단위거리 통행 시 지체시간	min/km	식 2	도로구간 상호 혼잡 수준 비교
총지체율	각 도로구간 지체시간의 합	vehicle-hours	식 3	교통축 혹은 도시의 혼잡수준비교, 경제성 분석
지체비	지체율대 통행률 비	-	식 4	도로구간 혼잡수준 비교

식 1 : 통행률 = $\frac{\text{통행시간(분)}}{\text{구간길이(km)}}$

식 2 : 지체율(min/km) = 실제통행률(min/km) - 허용통행률(min/km)

식 3 : 총지체율(vehicle-hours) = [실제통행률 - 허용통행시간] × 교통량(vehicle)

식 4 : 지체비(Delay Ratio) = 지체율/통행률

3) 통행밀도기반 측정기준

통행밀도기반 측정기준은 표 4에서 보는 바와 같이 대기행렬 길이, 지속시간, 차로점유도 등이 있다.

표 4. 통행밀도기반 측정기준

기준	내용	단위	특징
대기행렬 길이	혼잡발생 지점 (또는 구간)에서의 대기행렬 길이	km	- 자료수집 용이성 저하로 제한적이었으나, 첨단교통관리시스템의 도입으로 데이터의 구축가능성이 높아짐에 따라 그 활용범위가 점차 확대될 것으로 예상됨
지속시간	발생혼잡의 지속시간	시간	
차로점유도	각 차로 상의 차량점유율	%	

2.2.2 기준 혼잡지표 특성 고찰

그 동안 다양한 혼잡지표들이 개발되어 왔는데, 그 중 혼잡심각도지표 (Congestion Severity Index ; CSI), 도로혼잡지표(Roadway Congestion Index ; RCI), 도로차선연장 체류시간 지표(Lane-Mile Duration Index ; LMDI), 고속도로혼잡지표(Freeway Congestion Index ; FCI), 점유혼잡지표(Occupancy Congestion Index ; OCI) 등이 대표적이다. 각 혼잡지표별 특징 및 평가결과는 표 5에 제시된 바와 같다.

2.2.3 적정 혼잡 측정기준 설정

표 6에서 보는 바와 같이, 통행시간 또는 통행밀도기반의 혼잡지표들은 교통량기반 측정기준인 V/C비보다 혼잡을 일관되게 표현하는 능력이 높아 정확한 분석이 가능하지만 상대적으로 자료구득이 어려워 지금까지 이용이 활발하지 못하였다. 그러나 점차 교통정보수집시스템의 구축을 통해 통행속도 및 시간, 그리고 통행밀도와 관련된 자료의 구득이 용이해져 이를 통한 혼잡지표의 개발이 활성화 될 것으로 판단된다. 다만, 혼잡측정기준은 표 7에 제시된 적정성 판단기준과 같이 혼잡교통상황에 대한 정보제공, 이를 통한 고속도로 운영관리 및 이용이라는 측면에서 그 적정성이 평가되는 바, 본 연구에서는 고속도로 기본구간의 효과적도인 통행밀도를 기반으로 한 측정기준을 최적대안으로 선정하였다.



표 5. 국내외에서 개발된 혼잡지표의 특징 및 평가

지표	출처	특징	평가
CSI	Lindley, 1986	- 37개 미국 도시지역의 고속도로의 혼잡도를 비교하는데 사용됨 - 서비스수준 D(V/C 0.77이상)이상일 상태에서 발생하는 총 고속도로 지체시간(단위: Veh-Hours)을 고속도로 통행량(단위:백만Vehicle-Miles of Travel)으로 나눈 값을 사용함	- CSI는 시간적 범위가 1년이고 공간적범위가 도시 전체를 포괄하기 때문에 방대한 기초자료가 구축되어 있지 않을 경우 이용하기 어려움 - 혼잡기준은 V/C비가 0.77(LOS D)이상일 경우로 하고 V/C비가 1.0이상일 경우 일반적으로 통행속도를 32km/h로 하여 그 이하의 교통혼잡에 의한 지체시간이 반영되지 않음
RCI	Lomax, 1982	- 고속도로와 주간선도로의 혼잡상황을 함께 나타낸 혼잡지표 - 단위 도로연장 당 하루 교통량(Daily Vehicle-Miles of Travel)을 사용하여 산출함	- RCI는 개략적인 도시간 혼잡상태비교를 위해서는 유용한 혼잡지표이나 교통량을 혼잡측정기준으로 사용함에 따른 문제, 즉 혼잡이 심할수록 교통량은 오히려 감소하는 점으로 인해 지표로서의 정밀도가 낮은 문제점이 있음
LMDI	Cottrell, 1992	- 고속도로 혼잡의 지리적 범위와 체류시간을 함께 사용한 혼잡지표 - 각 도로구간별로 혼잡한 도로연장에 혼잡체류시간을 곱하여 합계를 낸 값으로 표현함	- LMDI는 혼잡의 크기를 나타내는 지표로 사용할 수 있으나 도로시설간의 상대적 혼잡도 비교가 불가능함
FCI	Thurgood, 1994	- LMDI가 고속도로 일정구간의 혼잡 크기를 나타낼 수는 있었으나 서로 다른 고속도로간의 상호비교가 불가능한 단점을 보완하기 위하여 LMDI를 전체도로연장으로 나눔으로써, 혼잡지표의 정규화를 시도함	- FCI는 LMDI의 단점을 보완하기 위해 개발된 혼잡도의 상대적 비교가 가능한 지표로써 서비스수준이 F인 혼잡의 시간적 범위와 공간적 범위를 감안하였으나, 혼잡강도가 고려되지 않음
OCI	국토연구원 1997	- 기존 혼잡지표의 단점을 보완하기 위하여 혼잡의 강도개념을 추가한 새로운 혼잡지표 - 혼잡의 강도를 나타내는 측정기준으로는 통행밀도(대/km)와 포화통행밀도(Jam Density)개념을 사용하며, 혼잡강도는 포화통행밀도의 역수에 100을 곱한 값인 α 에 실제 통행밀도를 곱하여 구함	- OCI는 혼잡의 시간적 범위와 공간적 범위만을 고려한 다른 혼잡지표와는 다르게 혼잡의 강도까지 함께 고려한 혼잡지표임 - 따라서, 기존에 개발된 혼잡지표의 비교에 있어서 OCI가 가장 우월적인 비교우위에 있다고 판단됨

표 6. 기존 혼잡 측정기준의 문제점

측정기준	문제점
교통량기반 측정기준	- 혼잡표현의 일관성 관점에서 보면 미흡한 점이 많아 포괄적인 개념으로만 사용 • 그 이유는 같은 교통량 대 용량비라 하더라도 교통 흐름의 상태에 따라 두 가지의 서로 다른 통행속도가 존재할 수 있기 때문에 교통량을 기준으로 도로의 혼잡상태를 일관성 있게 표현하기가 어려움 • 교통수요가 도로시설 용량을 초과하는 상태에서는 혼잡의 정도를 상세하게 표현할 수 없는 단점이 있음 - 또한 V/C비는 혼잡의 공간적인 범위를 표현하는 데도 특정도로구간 혹은 노선에 국한되어 지역 전체적인 혼잡도를 표현하는데 한계가 있음
통행밀도기반 측정기준	- 자료수집이 용이하지 않음
통행시간기반 측정기준	- 자료수집에 예산이 많이 소요됨

표 7. 적정성 판단기준

기준	내용
이해도	의사소통에 얼마나 용이한가? 특히 일반대중에 대한 이해의 난이도는 어떠한가?
응용성	적용 가능한 지역범위가 어느 정도인가? 특정구간에 국한되는가? 혹은 교통축이나 지역전체에 적용가능한가?
구체성	혼잡의 정도를 얼마나 상세하게 표현할 수 있는가?
측정기준 형태	이산형인가? 연속형인가?
자료수집 방법	직접조사를 해야하는가? 혹은 간접적으로 자료수집이 가능한가? 혹은 모델을 사용해서 추정해야 하는가?
활용성	교통수단간, 도로시설간 비교가 가능한가?



3. VMS 표출 메시지를 이용한 지정체도 산출방안 개발

3.1 VMS 정보 입력자료 현황

현재 고속도로 VMS에 제공하는 교통소통상황 보고자료는 표 8에서 보는 바와 같이, 지체구간, 지체 길이, 지체지속시간 등이 기록된다.

표 8. VMS 표출메시지를 이용한 고속도로 일일교통소통상황 보고 예

노선	방향	구 간	지체 길이 (km)	시 간
경부선	서울	판교(409km) - 한남대교	16	06:38-12:41
		양산부근(14km)	2	07:11-12:25
		철곡휴게소(157km) - 남구미부근	10	08:28-11:54
		인보 부근(54.0km)	5	09:21-10:51
		기흥부근(385km) - 기흥부근	3	11:01-11:35
		판교부근(413km) - 한남대교	13	14:10-20:13
		금호1교(130km) - 금호분기점부근	8	14:26-15:37
		양산부근(15km)	2	15:27-18:06
		외천교(137km) - 금호분기점	2	15:41-16:20
	부산	오산부근(381km) - 신갈	16	16:46-19:04
		판교(409km) - 서울요금소	3	06:47-08:44
		수원(395km) - 기흥	5	06:54-09:14
		판교(410km) - 서울요금소	4	10:10-11:21
		대전부근(277.0km)	3	11:18-12:17
		동대구(122km) - 대림육교부근	5	11:59-12:43
		판교(411km) - 서울요금소	5	12:00-12:41
		내원교부근(37km) - 양산부근	2	15:32-15:59
		황간부근(225.0km)	5	15:31-20:30
영동선	강릉	석계부근(22km) - 양산부근	7	17:39-19:41
		서창(1km) - 월곶	5	06:19-09:10
		부곡(28km) - 광교터널	6	06:37-09:02
		용인(52km) - 용인휴게소	3	10:55-13:10
	인천	북수원(30km) - 광교터널	4	11:06-11:28
		양지터널부근(57km) - 양지터널	4	14:13-15:20
		월곶(6km) - 서창	6	15:15-16:28
		양지부근(63km) - 용인휴게소	8	15:19-16:30
		군자요금소(11km) - 월곶	5	17:49-19:09

3.2 혼잡지표 적정성 비교 평가

표 7에 제시된 적정성 판단기준에 의거한 혼잡지표별 비교 평가를 수행하여 표 9에 제시하였다. 평가 결과 본 연구에서 제시된 VMS 교통소통상황 보고자료가 이해도, 응용성, 구체성, 측정기준 형태, 자료수집 방법 및 활용성 측면에서 다른 혼잡지표들과 비교해 우수한 것으로 평가되었다.

표 9. 혼잡지표 적정성 비교 평가

기준	CSI	RCI	LMDI	FCI	OCI	본연구
이해도	○	○	○	○	○	○
응용성	○	○	○	○	○	○
구체성	×	×	△	△	○	○
측정기준 형태	○	○	○	○	○	○
자료수집 방법	×	○	△	△	△	○
활용성	△	○	×	○	○	○

3.3 지정체도 산출식 개발

현재 VMS에 표출하고 있는 교통소통정보를 활용하여 전국 고속도로망에 대하여 교통소통상태를 평가할 수 있는 지표(평균지정체도)를 개발하였다.

본 연구에서 VMS 표출메시지를 이용하여 개발한 지정체도 산출식은 단위시간 및 구간당 평균지정체도로서 식(1)과 같은 형태로 표현된다.

$$\text{평균지정체도}(\%) = \sum_{i=1}^n \frac{D_i \cdot T_i}{D \cdot 24\text{시간}} \times 100 \quad (1)$$

여기서, D_i = 개별혼잡 i 의 지체영향범위(km)
 T_i = 개별혼잡 i 의 지체지속시간(시간)
 D = 고속도로 전체구간의 거리(km)

3.4 적용

본 연구에 의해 제안된 산출식의 현장적용성 평가



를 위해 고속도로 VMS에 표출하고 있는 교통소통정보자료를 적용하여 평균지정체도를 산정하여 평가하였으며, 고속도로 노선별, 구간별 비교평가를 수행하였다.

3.4.1 노선별 고속도로 지정체도 평가

평가대상구간 및 시간대는 경부고속도로 부산→서울 방향 전구간, 영동고속도로 인천→강릉 방향 전구간에 대하여 2003년 6월 16일(월)~6월 20일(금)의 5일 평일자료를 이용하였다.

경부고속도로 지정체도 산출결과, 요일별 지정체도가 월 2.76, 화 2.40, 수 1.96, 목 2.72, 금 5.36으로 산출되어 한 주를 시작하는 월요일이 다른 요일에 비해 다소 지체가 심하고 수요일의 지체가 가장 적으며, 주말을 시작하는 금요일의 지체가 가장 심각한 것으로 분석되었고 영동고속도로의 경우는 경부고속도로와 비교해 차이가 있으나 금요일의 혼잡이 가장 심각한 것으로 나타났다.

표 11. 경부고속도로 평균지정체도 산출 (화)

노선	방향	지체 구간	지체영향범위 D_i , (km)	지체지속시간 T_i , (시간)
경부 고속 도로 (425.5km)	서울	양재부근 - 한남대교	12	14.05
		양산	2	5.55
		인보부근	3	1.51
		금호1교 (북대구부근)	4	0.91
		낙동대교 (남구미부근)	4	3.01
		인보부근	2	1.56
		양산부근	2	0.90
		북대구 (신동재부근)	9	2.51
		수원 - 죽전	2	0.53
		의천교 - 금호분기점	2	0.53
		경산 - 대림육교	5	0.79
		기흥 - 수원	2	1.81
평균지정체도(%)			2.40	

표 10. 경부고속도로 평균지정체도 산출 (월)

노선	방향	지체 구간	지체영향범위 D_i , (km)	지체지속시간 T_i , (시간)
경부 고속 도로 (425.5km)	서울	판교 - 한남대교	16	6.05
		양산부근	2	5.23
		칠곡휴게소 - 남구미부근	10	3.43
		인보부근	5	1.50
		기흥부근 - 기흥부근	3	0.57
		판교부근 - 한남대교	13	6.05
		금호1교 - 금호분기점부근	8	1.18
		양산부근	2	2.67
		외천교	2	0.65
		오산부근 - 신갈	16	2.30
평균지정체도(%)			2.76	

표 12. 경부고속도로 평균지정체도 산출 (수)

노선	방향	지체 구간	지체영향범위 D_i , (km)	지체지속시간 T_i , (시간)
경부 고속 도로 (425.5km)	서울	양재부근 - 한남대교	12	5.20
		양산부근	2	5.55
		대전부근	5	5.06
		영천부근	3	2.47
		황간휴게소	3	2.03
		양산	2	3.19
		판교부근	4	0.83
		양재 - 한남대교	8	6.17
		경산 - 대림육교부근	4	0.92
		기흥 - 죽전	12	2.45
		경산 - 대림육교	4	0.87
		평균지정체도(%)		



표 13. 경부고속도로 평균지정체도 산출 (목)

노선	방향	지체 구간	지체영향범위 D_i , (km)	지체지속시간 T_i , (시간)
경부 고속 도로 (425.5km)	서울	양재- 한남대교	12	6.70
		양산	2	2.07
		봉산부근	2	2.47
		양재부근 - 한남대교	12	5.77
		통도사부근	7	2.83
		양산부근	2	1.37
		왜관	5	19.25
평균지정체도(%)			2.72	

표 14. 경부고속도로 평균지정체도 산출 (금)

노선	방향	지체 구간	지체영향범위 D_i , (km)	지체지속시간 T_i , (시간)
경부 고속 도로 (425.5km)	서울	왜관IC부근 - 칠곡휴게소	5	5.03
		양재부근 - 한남대교	11	3.95
		양산부근	2	1.05
		연화재 - 왜관	3	0.22
		서울요금소 - 한남대교	20	14.10
		양산	2	4.37
		광평교 - 구미	2	0.22
		영천 - 경산휴게소부근	11	4.43
		오산 - 죽전	20	5.03
		판교부근	4	0.73
영천IC - 평사휴게소부근	12	2.75		
평균지정체도(%)			5.36	

표 15. 영동고속도로 평균지정체도 산출 (월)

노선	방향	지체 구간	지체영향범위 D_i , (km)	지체지속시간 T_i , (시간)
영동 고속 도로 (234.4km)	강릉	서창 - 월곶	5	2.85
		부곡 - 광교터널	6	2.41
		용인 - 용인휴게소	3	2.25
		북수원 - 광교터널	4	0.37
평균지정체도(%)			0.66	

표 16. 영동고속도로 평균지정체도 산출 (화)

노선	방향	지체 구간	지체영향범위 D_i , (km)	지체지속시간 T_i , (시간)
영동 고속 도로 (234.4km)	강릉	서창 - 월곶	6	5.47
		마성 - 용인휴게소	7	2.25
		서창 - 월곶	6	1.34
평균지정체도(%)			1.01	

표 17. 영동고속도로 평균지정체도 산출 (수)

노선	방향	지체 구간	지체영향범위 D_i , (km)	지체지속시간 T_i , (시간)
영동 고속 도로 (234.4km)	강릉	서창 - 월곶	6	2.11
		마성 - 양지터널	11	3.67
		호법 - 이천	6	2.24
		북수원 - 광교터널	3	1.20
평균지정체도(%)			1.25	

표 18. 영동고속도로 평균지정체도 산출 (목)

노선	방향	지체 구간	지체영향범위 D_i , (km)	지체지속시간 T_i , (시간)
영동 고속도로 (234.4km)	강릉	마성 - 용인휴게소	7	2.73
		호법 - 이천	6	1.03
평균지정체도(%)			0.45	

표 19. 영동고속도로 평균지정체도 산출 (금)

노선	방향	지체 구간	지체영향범위 D_i , (km)	지체지속시간 T_i , (시간)
영동 고속 도로 (234.4km)	강릉	서창 - 월곶	6	0.51
		신갈 - 양지터널부근	16	3.47
		신갈 - 마성터널내	6	0.31
		북수원 - 광교터널	4	1.31
		덕평 - 이천부근	9	2.08
		문막부근 - 문막휴게소부근	4	0.97
평균지정체도(%)			1.57	



3.4.2 구간별 고속도로 지정제도 평가

본 평가에서는 현재 한국도로공사 인터넷 홈페이지 상에 제공되는 고속도로 노선소개에 나와 있는 구간분류를 적용하였다. 구간을 어떻게 분류하는가에 따라 구간별 지정제도 산출결과가 영향을 받게 되므로, 향후 본 방법론을 적용하기 위한 고속도로 구간분류는 통행패턴, 토지이용 등의 여러 고려요소를 감안하여 동질적인 구간들로 보다 세밀히 분류하여야 할 것으로 판단된다.

본 방법론을 통한 구간별 고속도로 지정제도의 비교를 위해, 경부고속도로 부산→서울 방향 및 영동고속도로 인천→강릉 방향에 대하여 구간별 지정제도 산출 및 비교를 수행하였다.

경부고속도로 및 영동고속도로의 각 구간별 지정제도 산출결과 실제로 파악된 고속도로 소통상태 및 교통정보의 내용(교통혼잡 구간과 소통원활 구간)을 제대로 반영하고 있는 것으로 판단되었다.

일반적으로 경부고속도로의 경우는 수원~서울 구간이 가장 혼잡하고 다음으로 오산~수원 구간, 그리고 대구~부산권의 혼잡이 대표적이다. 표 20은 이러한 경향을 잘 보여주고 있다.

또한 영동고속도로의 경우는 인천과 안산을 잇는 서창~안산구간이 가장 혼잡하고, 용인과 원주 사이를 포함한 신갈~새말구간이 혼잡한 구간인데 표 21은 이를 잘 보여주고 있다.

표 20. 경부고속도로 구간별 지정제도 산출 및 비교(2003년)

구 간	연장 (km)	평균지정제도 (%)					평균
		6.16 (월)	6.17 (화)	6.18 (수)	6.19 (목)	6.20 (금)	
부산-대구	122.7	0.79	0.78	0.84	0.91	3.24	1.31
대구-대전	151.8	1.24	1.08	0.17	2.78	0.72	1.20
대전-천안	68.1	-	-	1.55	-	-	0.31
천안-오산	38.1	-	-	-	-	-	-
오산-수원	15.6	10.29	0.97	7.85	-	26.87	9.20
수원-서울	29.2	25.04	25.28	16.42	21.35	46.86	26.99
총계 또는 평균	425.5	2.76	2.40	1.96	2.72	5.36	3.04

표 21. 영동고속도로 구간별 지정제도 산출 및 비교(2003년)

구 간	연장 (km)	평균지정제도 (%)					평균
		6.16 (월)	6.17 (화)	6.18 (수)	6.19 (목)	6.20 (금)	
서창-안산	18.0	3.30	9.46	2.93	-	0.71	3.28
안산-신갈	23.8	2.79	-	0.63	-	0.92	0.87
신갈-새말	101.1	0.28	0.65	2.22	1.04	3.30	1.50
새말-강릉	91.5	-	-	-	-	-	-
총계 또는 평균	234.4	0.66	1.01	1.25	0.45	1.57	0.99

3.4.3 고속도로간 지정제도 비교

고속도로간 지정제도의 비교에 있어서는, 경부고속도로 부산→서울 방향 및 영동고속도로 인천→강릉 방향에 대하여 고속도로간 지정제도 산출 및 비교를 수행하였다. 경부고속도로와 영동고속도로간의 지정제도 비교결과, 일반적으로 경부고속도로가 영동고속도로보다 지정제도가 심한 것으로 나타났다.

표 22. 고속도로 지정제도 비교(2003년)

구 간	연장 (km)	평균지정제도 (%)					평균
		6.16 (월)	6.17 (화)	6.18 (수)	6.19 (목)	6.20 (금)	
경부고속도로	서울	2.76	2.40	1.96	2.72	5.36	3.04
영동고속도로	강릉	0.66	1.01	1.25	0.45	1.57	0.99

3.4.4 실측자료와의 비교

본 연구에서 제시된 지정제도를 실측자료에 의한 평균통행속도와 비교하였다. 실측자료는 경부고속도로 및 영동고속도로 기종점간 통행시간을 TCS로부터 획득하여 산출한 기종점간 평균통행속도를 사용하였다. 분석시, VMS에 표출된 지정체구간과 TCS 설치구간이 상이하므로, 이를 보정하기위하여 TCS가 설치된 구간에 한정하여 지정제도를 재산정하였으며 그 결과는 표 23과 같다.

표 23에서 월요일을 제외한 다른 평일의 경우 본 연구에서 제시된 지정제도 산출결과와 TCS로부터 산출된 평균통행속도의 경향이 대체적으로 일치하는



표 23. FTMS 자료와 지정제도 산출결과 비교

		6/16 (월)	6/17 (화)	6/18 (수)	6/19 (목)	6/20 (금)
경부	평균속도 (km/h)	74.9	69.6	67.5	68.2	66.7
	지정제도 (본 연구)	1.05	0.74	0.84	1.25	2.15
영동	평균속도 (km/h)	76.4	74.8	72.8	73.3	70.6
	지정제도 (본 연구)	0.40	0.28	1.02	0.45	1.51

※ 지정제도 계산출시 제외된 구간으로는 기종점부의 요금소 전후에 존재하는 무료통행구간으로, 경부고속도로 서울TG - 한남 구간 및 영동고속도로 서창 - 군자TG 구간임

것을 볼 수 있다.

이상의 결과로부터 본 연구의 특징을 제시하면, VDS 및 TCS 등 FTMS가 설치되지 않아 교통소통 상태 자료의 획득이 불가능한 구간의 경우도 본 연구 결과를 활용할 경우 표 22에서 보는 바와 같이, 고속도로 전 구간에 대한 지정체도를 산출할 수 있다는 것이다.

3.4.5 분석종합

본 분석방법의 특징은 크게 다음과 같이 세 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 구간별 고속도로 지정체도의 산출을 통해 각 고속도로 구간간의 요일별/요일간 지정체수준 비교가 가능하다.

둘째, 노선별 고속도로 지정체도의 산출을 통해 각 고속도로 노선간의 지정체수준 비교가 가능하다.

셋째, 고속도로간 지정체도의 비교에 있어서는 고속도로간 요일별 또는 평균(주간/월간/연간) 지정체도 비교가 가능하다.

한편, 단점으로는 개별 혼잡구간에 대하여 지정체 수준이 반영되지 않고 모두 동일하게 지정체로 표현된다는 것이다. 즉, 지정체의 공간적 범위와 시간적 범위만 반영되고 지정체의 강도는 반영되지 않는 점을 들 수 있다.

4. 혼잡강도를 반영한 지정제도 산출방안 개발

앞서 VMS 표출 메시지를 이용하여 개발한 지정제도 산출방법의 경우 지정체도의 강도가 반영되지 않아, 이의 개선을 위해 보완적으로 지정체강도가 반영된 새로운 지정제도 산출 및 활용방안을 제시하였다.

4.1 혼잡강도 적용 방안

본 연구에서는 혼잡강도의 반영을 위해 국토연구원(1997)에서 기존 혼잡지표의 단점을 보완하기 위하여 혼잡의 강도개념을 추가하여 새로이 개발한 점유혼잡지표(OCI) 개념을 일부 도입하였다. 점유혼잡지표는 혼잡의 강도를 나타내는 측정기준으로 통행밀도와 포화통행밀도(Jam Density)를 적용하고 있다. 여기서 포화통행밀도란 단위 km내에 수용할 수 있는 최대차량대수를 말하는 것으로 통행속도와 통행량이 거의 0에 가까운 상태를 말하며, 포화통행밀도를 120 승용차대수/km로 가정하였다.

OCI의 적용을 위해서는 분석하고자 하는 모든 구간의 시간대별 소통상태 정보를 알아야 하는데, 이를 위해서는 검지체계의 구축을 통해 자료를 얻을 수 있어야 한다. 따라서 식 (2)에 제시된 항목 중 D_j 는 자료의 집계단위로서 1시간, 2시간 등으로 표현되고 또한 모든 구간에 동일하게 적용되며, T는 총 집계시간으로 하루(24시간) 또는 분석가가 정의한 총 집계시간으로 정의된다. 그러나 OCI를 적용하기 위해서는 FTMS와 같은 검지체계가 구축되어 있어야만 혼잡강도를 구할 수 있다.

$$OCI = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m D_j \times E_i \times I_{ij}}{T \times L} \quad (2)$$

$$Intensity(I) = \alpha \cdot \text{통행밀도}$$

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



- $i = 1, 2, \dots, m$ (도로구간 수)
- $j = 1, 2, \dots, n$ (시간간격 수)
- E_i = 도로구간 i 의 간격(km)
- D_j = 시간대 j 의 간격(Hour)
- I_{ij} = 도로구간 i 의 j 시간대 혼잡강도
- T = 총 시간간격의 합(Hour)
- L = 총 도로연장의 합(km)

Intensity by Traffic Density

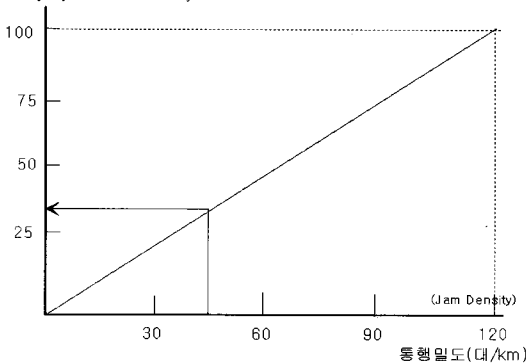


그림 1. 통행밀도에 의한 혼잡강도의 산출

4.2 혼잡강도 반영 지정제도 산출방안

통행밀도에 의한 지정제도 산출방안은 동일축 상의 고속도로 각 구간 또는 다른 지역의 고속도로에 대해서도 동일한 혼잡기준(단위시간 동안 단위구간의 지체로 환산하여 나타낸 백분율)을 적용하여 지체의 강도를 표현하는 장점이 있다.

4.2.1 혼잡구간 및 지속시간

앞서 VMS 메시지의 로그 파일을 활용하여 지정체 구간 및 지속시간 정보를 활용한다. 이는 도로전체에 FTMS와 같은 시스템이 설치되어 있어야만 모든 구간의 지정체를 알고리즘에 의해 분석할 수 있는 OCI와 비교해 매우 효율적인 방법이다. 즉, 모든 구간을 분석할 필요가 없고 혼잡이 발생한 구간만을 대상으로 하기 때문에 보다 수월하다. 이 때문에 혼잡강도를 반영하지 않을 경우에는 CCTV와 운영자만을 활용하여 혼잡도를 계량화할 수 있게 한 본 연구의 첫

번째 방법이 상당히 효율적인 방법이라 할 수 있다.

4.2.2 혼잡강도

본 연구에서는 VMS 메시지를 활용하여 점유혼잡 지표(OCI)에서 적용하고 있는 혼잡강도를 계산함으로써, 보다 쉽게 혼잡강도를 반영한 지정제도 산출이 가능하도록 하였다. 이 때, 본 연구에서 정의하는 혼잡강도 C_i 는 OCI의 Intensity(I)와 동일하다.

4.2.3 통행밀도 산출방법

점유율을 이용하는 방법은 고속도로 교통관리시스템(FTMS)을 통해 점유율 자료를 획득하여 통행밀도를 쉽게 산출할 수 있는 장점이 있다. 다음은 차량 길이에 따른 통행밀도 산출 방법이다.

1) 평균 차량길이를 알 경우

$$K = \frac{1000 \sum T_0}{L_e T} \quad (3)$$

$$\text{점유율} = \sum \frac{T_0}{T}$$

여기서, K = 통행밀도(대/km)

$$L_e = \bar{L}_v + L_D \text{ (m)}$$

$$\bar{L}_v = \text{평균차량길이(m)}$$

$$L_D = \text{검지구역길이(m)}$$

$$T_0 = \text{차량점유시간(초)}$$

$$T = \text{총검지기 작동시간(초)}$$

2) 차종구성이 복합적일 경우

$$K = \frac{1000N}{N_c(L_c + L_D) + N_l(L_l + L_D)} \left(\sum \frac{T_0}{T} \right) \quad (4)$$

여기서, L_c = 소형차평균차량 길이

$$L_l = \text{대형차평균차량 길이}$$

$$N_c = \text{소형차통과대수}$$

$$N_l = \text{대형차통과대수}$$

$$N = \text{총차량대수} = N_c + N_l$$



4.2.4 평균지정체도의 산출

혼잡강도를 반영한 지정체도 산출식은 식 (5)와 같다. 본 연구에서 제시한 혼잡강도를 반영한 지정체도 산출식 (5)는 OCI와 몇 가지 차이점을 보이는데, 첫 째로, OCI와 같이 집계주기가 정해져 있지 않고 혼잡이 발생한 경우에만 해당구간의 혼잡범위(거리) 및 지속시간 자료를 사용한다는 것이다. 따라서 OCI와 같이 혼잡이 발생하지 않은 경우에 대한 자료 분석과정이 생략된다. 둘째, 동일한 집계간격이 적용되지 않기 때문에 식 (5)에서 T_i 는 혼잡지속시간이 된다. OCI의 경우 D_i 는 혼잡의 유무와 관계없이 집계시간이 되므로, 해당 집계시간 내내 혼잡할 수도 있고, 집계시간 내에 혼잡지속 시간이 조금 포함될 수도 있고, 전혀 혼잡하지 않을 수도 있다.

$$\text{평균지정체도}(\%) = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot D_i \cdot T_i}{D \cdot 24\text{시간}} \quad (5)$$

여기서, C_i = 개별혼잡 i 의 혼잡강도(%)

4.3 혼잡강도를 반영한 지정체도의 산출 및 비교

앞에서 제시된 혼잡강도를 반영한 지정체도 산출방안을 적용하여 경부고속도로 부산방향에 대하여 평균지정체도를 산출한 결과가 표 24에 제시되어 있다. 또한 표 24에는 혼잡강도가 반영되지 않고 VMS 표출 메시지를 통해 산출된 평균지정체도가 함께 비교되어 있다.

비교결과에 의하면, 혼잡강도를 반영한 평균지정체도는 7.31(%)로서 혼잡강도를 반영하지 않고 VMS 표출메시지에 의해서만 산출된 평균지정체도 11.03(%) 보다 작게 산출되었다.

한편, 표 24에서 지체상황에 따른 혼잡강도의 구분은 실제 자료의 부재로 인해 가정치를 적용하였는데, 이는 VMS 표출 메시지에 의한 평균지정체도는 모든 지정체구간의 혼잡강도가 100%로 동일하다고 보는 결과이므로 혼잡강도가 다를 경우에 대한 이해를 높이기 위해 예시적으로 제시한 결과이다.

향후, 고속도로로 FTMS에 통행밀도 산출 알고리즘이 적용될 경우 VMS 표출 메시지와 함께 혼잡강도를 함께 반영한 지정체도가 보다 쉽게 산출될 수 있을 것이다.

표 24. 지체강도를 고려한 고속도로 전체구간의 평균지정체도 산출

노선	방향	구 간	혼잡강도 C_i (%)	지체영향범위 D_i (km)	지체지속시간 T_i (시간)
경부선 425.5km	부산	양재 - 한남대교	81	7	2
		외천교 - 금호분기점	35	2	1
		천안분기점	66	8	1.5
		신탄진 - 옥산휴게소	78	27	3
		회덕 - 청주	84	27	3
		비룡 - 한남대교	71	154	4
		천안휴게소 - 안성	56	37	2
		대전 - 천안	45	68	2
		구서IC - 영락공원	33	3.4	1
		영천 - 금호분기점	41	43	2
		양재 - 한남대교	89	7	3
24시간 평균 지정체도 (%)	$\{(81 \times 7 \times 2) + (35 \times 2 \times 1) + (66 \times 8 \times 1.5) + (78 \times 27 \times 3) + (84 \times 27 \times 3) + (71 \times 154 \times 4) + (56 \times 37 \times 2) + (45 \times 68 \times 2) + (33 \times 3.4 \times 1) + (41 \times 43 \times 2) + (89 \times 7 \times 3)\} / (425.5 \times 24) = 7.31$				
혼잡강도가 반영된 평균지정체도(%)			7.31		
VMS 표출 메시지에 의한 평균지정체도(%)			11.03		

* VMS 표출 메시지에 의한 평균지정체도는 혼잡강도를 반영한 평균 지정체도의 혼잡강도가 모두 100%인 경우와 같음.

4.4 혼잡강도를 반영한 지정체도 산출방안의 특징

혼잡강도를 반영한 지정체도 산출방안은 혼잡의 크기를 시간적 범위와 공간적 범위는 물론 혼잡의 강도도 함께 감안하여 표현하고 있다. 또한, 혼잡의 시간적 범위와 공간적 범위를 설정하기에 따라서 도로운영 목적 및 도로계획 목적으로 함께 사용할 수 있다.

본 연구에서 제시한 연구결과의 장점을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 동일구간에 대해서 요일별 및 시간대별 지체



강도의 변화를 인지할 수 있어 통근자의 경우 통근통행에 수반되는 지체 및 통행시간에 대한 이해가 쉬우며, 대안경로의 선택에 보조적 수단으로 활용될 수 있다. 예로서, 오전 출근시 경부고속도로 부산방향의 경우 수원IC 부근(상류부)의 VMS로부터 기흥진출로의 소통상황정보(주로 기흥진출로 정체 상황문구 표출)가 제공되는데, 기흥IC와 오산IC 사이의 지역으로 출근하는 통행자가 현재의 소통상태 정보로는 기흥IC와 오산IC 중 어느 IC를 이용할 것인지에 대한 판단근거가 빈약하여 경로선택 상의 어려움이 따른다고 볼 수 있다. 따라서 혼잡강도에 대한 정보를 제공한다면, 통행자가 소통상황에 대한 정확한 이해와 더불어 경로선택의 판단근거로 이용할 수 있으므로 고속도로의 운영과 이용에 있어 도움이 될 수 있다.

둘째, 동일구간에 대하여 요일 및 월별 비교가 가능하며, 연간 고속도로 평균지정체도 변화경향을 파악할 수 있다.

셋째, 서로 다른 고속도로에 대해서도 동일한 기준의 혼잡지표를 적용함으로써, 고속도로 운영자 및 이용자 모두 고속도로간 상호 교통소통상태의 비교이해가 가능하다.

따라서 운영측면에서 살펴보면 고속도로간 교통소통상의 문제점 파악 및 원인규명 그리고 이에 대한 대책마련이 수월해지는 장점이 있으며, 장거리 이용자의 경우에도 대안경로의 선택에 참조할 수 있는 장점이 있다.

5. 결론

현재 적용되고 있는 혼잡지표는 지정체의 강도를 반영하지 않고 있음으로 인해 제공되고 있는 지정체 정보는 다소 추상적인 개념으로 고속도로 운영자 및 이용자 모두 쉽고 정확하게 교통소통상태를 이해하기 힘든 단점이 있다. 따라서 지정체 수준에 대한 계량화 기준을 마련하여 보다 세밀한 지정체 정보의 제공이 요구된다.

본 연구에서는 VMS 표출 메시지 관련정보(지체

영향범위, 지체지속시간정보)와 혼잡강도의 개념을 활용한 고속도로 지정체도 산출식을 개발하였으며, 국내 고속도로를 대상으로 지정체도 산출 및 현장적용성 검토를 수행하였다. 이를 통해 고속도로의 소통상태가 과거로부터 현재까지 어떠한 추세로 변화되는지 알 수 있다. 즉, 공간적으로는 지점/구간/노선간 비교가 가능하고 시간적으로는 1시간/1일/1주/1달/1년 등의 비교가 가능하다. 따라서 도로관리자의 입장에서 볼 때, 가장 문제가 되는 구간의 선정 및 대책수립의 기초자료로 활용하기에 용이한 장점을 지닌다.

특히, 혼잡강도의 개념을 반영한 지정체도 산출방안은 보다 정확하고 세밀한 정보의 생성과 운영관리를 위한 지정체도 산출이 특징이다.

따라서 본 연구에서 제시된 지정체도 산출방안은 현재 국내 고속도로에 즉각적인 적용이 용이하며, 도로이용자의 정보욕구에 대한 서비스 제공, 도로관리자의 효율적 도로관리를 위한 지표로써의 기능을 효과적으로 담당할 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

도로용량편람(1992), 대한교통학회, 1992
 도로용량편람, 대한교통학회, 2001
 이상진 외, 도로교통 혼잡지표 개발에 관한 연구, 국토연구원, 1997
 이승준 외, 고속도로 운영관리 및 정보제공을 위한 지정체도 계량화 방안, 기술자문, 한국도로공사, 2004
 황상규 외, 교통혼잡 특별관리구역의 지정 및 관리방안에 관한 연구, 교통개발연구원, 2000
 황상규, 도시교통혼잡지표의 개발 및 활용방안(1단계), 교통개발연구원, 2002
 David Schrank, Shawn Turner and Tim Lomax, Estimation of Urban Roadway Congestion, Texas Transportation Institute, 1990
 Quantifying congestion, NCHRP Report 398 Vol 1, 1997

접 수 일 : 2008. 7. 8
 심 사 일 : 2008. 7. 8
 심사완료일 : 2009. 1. 20