

## VDS 자료 기반 고속도로 교통혼잡비용 산정 방법론 연구

### Estimation of the Expressway Traffic Congestion Cost Using Vehicle Detection System Data

김 상 구	Kim, Sang Gu	전남대학교 물류교통학전공 교수 (E-mail : kim-sg@jnu.ac.kr)
윤 일 수	Yun, Ilsoo	정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr)
박 재 범	Park, Jae Beom	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 (E-mail : jbpark@ex.co.kr)
박 인 기	Park, In Ki	정회원 · 한국교통연구원 국가교통DB센터 연구위원 (E-mail : ikpark@koti.re.kr)
천 승 훈	Cheon, Seung Hoon	정회원 · 한국교통연구원 국가교통DB센터 부연구위원 (E-mail : sh1000@koti.re.kr)
김 경 현	Kim, Kyung Hyun	아주대학교 건설교통공학과 박사과정 (E-mail : kk6661@ajou.ac.kr)
안 현 경	Ahn, Hyun Kyung	용인시청 대중교통과 실무관 (E-mail : hkahn87@korea.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** This study was initiated to estimate expressway traffic congestion costs by using Vehicle Detection System (VDS) data.

**METHODS :** The overall methodology for estimating expressway traffic congestion costs is based on the methodology used in a study conducted by a study team from the Korea Transport Institute (KOTI). However, this study uses VDS data, including conzone speeds and volumes, instead of the volume delay function for estimating travel times.

**RESULTS :** The expressway traffic congestion costs estimated in this study are generally lower than those observed in KOTI's method. The expressway lines that ranked highest for traffic congestion costs are the Seoul Ring Expressway, Gyeongbu Expressway, and the Youngdong Expressway. Those lines account for 64.54% of the entire expressway traffic congestion costs. In addition, this study estimates the daily traffic congestion costs. The traffic congestion cost on Saturdays is the highest.

**CONCLUSIONS :** This study can be thought of as a new trial to estimate expressway traffic congestion costs by using actual traffic data collected from an entire expressway system in order to overcome the limitations of associated studies. In the future, the methodology for estimating traffic congestion cost is expected to be improved by utilizing associated big-data gathered from other ITS facilities and car navigation systems.

#### Keywords

traffic congestion costs, vehicle detection system, expressway

Corresponding Author : Yun, Ilsoo, Associate Professor  
Department of Transportation System Engineering, Ajou University,  
206 Worldcup-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, 16499, Korea  
Tel : +82.31.219.3610 Fax : +82.31.215.7604  
E-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Jul, 23, 2015 Revised Jul, 23, 2015 Accepted Dec, 15, 2015

## 1. 서론

### 1.1. 배경 및 목적

도로를 주행하는 차량이 정상적인 속도 또는 기준이 되는 속도 이하로 운행할 때, 시간 및 비용 손실이 발생

한다. 교통혼잡비용이란 혼잡으로 인해 추가적으로 발생하는 시간가치의 손실과 차량운행비의 증가를 나타내는 지표이다(Do, 2004).

한국교통연구원(The Korea Transport Institute,

KOTI에서는 『전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석』 연구를 통해 국내 도로위계 및 차종별 교통혼잡비용을 제시하고 있다. 이때 도로 구간별 통행시간 및 통행속도를 산출하기 위하여 일명 BPR(Bureau of Public Road) 공식으로 불리는 교통량지체함수(volume delay function, VDF)를 사용하고 있다(Cho et al., 2014).

한국도로공사는 차량검지기(Vehicle Detection System, VDS)를 이용하여 구간 통행속도 및 구간 교통량을 수집하고 수집된 VDS 자료를 ‘고속도로 공공데이터 포털’(www.data.ex.co.kr)을 통해 제공하고 있다. 기존에 VDF를 이용하여 통행속도를 추정하는 대신에, 한국도로공사가 수집 및 제공하고 있는 VDS 기반 실측 통행속도를 사용한다면 보다 신뢰성 있는 고속도로 교통혼잡비용 추정이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 고속도로 혼잡통행료 산출을 위하여 기존 KOTI에서 사용하는 방법론에 한국도로공사의 VDS 기반 구간 교통량과 통행속도를 접목하고자 한다. VDS 기반 고속도로의 실측 교통자료를 토대로 교통혼잡비용을 산정함으로써 보다 현장지향적인 지표를 산정할 수 있을 것으로 기대된다.

## 1.2. 연구의 범위

### 1.2.1. 시간적 범위

본 연구의 시간적 범위는 2013년으로 한다. 공공기관이 발표하는 통계자료 중 일부는 현재 시점을 기준으로 2년 전 자료인 경우도 존재한다. 따라서 고속도로 교통혼잡비용 추정을 위해 필요한 통계자료의 확보를 위하여 2015년인 현재를 기준으로 2년 전인 2013년을 분석의 기준년도로 설정하고자 한다.

### 1.2.2. 공간적 범위

본 연구의 공간적 범위는 한국도로공사에서 건설 및 운영하는 고속도로 노선을 대상으로 하며 Table 1과 같다.

Table 1. List of Expressway Lines

No.	Names	Two-way distance (km)	No. of sections	Note
1	Gyeongbu	845.9	116	
10	Namhae	549.6	90	
12	88Olympic	366.1	32	
12	Muan-Gwangju	81.9	16	
15	Seohaean	683.3	82	

16	Ulsan	26.0	6	
20	Iksan-Pohang	260.0	22	
25	Honam	389.1	62	
27	Suncheon-Wanju	236.0	26	
30	Dangjin-Yeongdeok	343.5	38	
35	Tongyeong-Daejeon	427.7	42	
35	Jungbu	234.4	32	
37	2 <sup>nd</sup> Jungbu	60.5	10	
40	Pyeongtaek-Jecheon	172.8	24	Daeso IC~Chungju JC 2013.08.12. open Geumwang-Kkotdongnae IC 2013.11.28. open
45	Jungbu Naeryuk	602.2	58	S.Yeosu JC 2013.06.27. open
50	Yeongdong	473.0	66	Wolgot JC~Gunja JC 2013.03.28. open
55	Jungang	577.0	56	
60	Seoul-Yangyang	33.4	2	
65	Donghae	170.2	18	
100	Seoul Ring	187.7	64	
102	Namhae 1st Branch	35.0	10	
104	Namhae 2nd Branch	40.0	10	
110	2 <sup>nd</sup> Gyeongin	50.9	20	
120	Gyeongin	49.4	18	
151	Seochen-Gongju	119.7	12	
251	Honam Branch	107.8	14	
253	Gochang-Damyang	84.6	12	
300	Daejeon Southern	26.6	6	
451	Jungbu Naeryuk Branch	58.9	18	
551	Jungang Branch	13.3	6	
Total		7,306.5	988	

## 1.3. 연구의 방법

본 연구에서 적용한 교통혼잡비용 산정 방법론은 기본적으로 KOTI에서 교통혼잡비용을 산정하는데 사용하는 방법론을 따른다(Cho et al., 2014). 하지만, 기존 KOTI에서 통행시간 및 통행속도 산정 시 교통량지체함수(VDF)를 사용하는데 반하여 본 연구에서는 한국도로공사 VDS 기반 통행속도를 사용한다.

## 2. 관련 이론 및 기존 연구 고찰

### 2.1. 관련 이론 고찰

KOTI는 대표적인 사회적 비용 중 하나인 교통혼잡비용을 1992년부터 매년 산정하여 보고서를 발간하고 있다(KOTI, 1992; Cho et al., 2014). 교통혼잡비용은 대상 범위에 따라 크게 지역 간 도로 및 도시부 도로로 분류할 수 있는데 지역 간 도로의 교통혼잡비용 산정은

위해 Eq. (1)을 사용하고 있다.

$$DTCC = \sum_i^3 \sum_j^n \sum_k^{24} LV_{ijk} \times [FP_{ijk} \times (FC_{ijk} - SFC_{ijk}) + (TC_{ijk} + NP_{ijk} \times TV_{ijk}) \times (TT_{ijk} - STT_{ijk})] \quad (1)$$

where,

*DTCC*: Daily Traffic Congestion Cost

*LV*: Link Volume

*FP*: Fuel Price

*FC*: Fuel Consumption

*SFC*: Standard Fuel Consumption

*TC*: Travel Cost

*NP*: Number of People in vehicle

*TV*: Time Value

*TT*: Travel Time

*STT*: Standard Travel Time

*i*: vehicle category

(1: passenger car, 2: bus, 3: truck)

*j*: section of link(1 ~ *n*)

*k*: hour(1 ~ 24)

KOTI의 교통혼잡비용 산정방법론은 기본적으로 수요예측모형 또는 실측된 구간 교통량과 VDF를 사용한다. 즉, 구간별 교통량이 증가함에 따라 통행시간이 증가하고 이때 기존 통행시간에 추가적으로 증가하는 통행시간에 대해 교통혼잡비용이 발생한다는 개념이다.

## 2.2. 기존 연구 고찰

### 2.2.1. 국내 연구 고찰

KOTI(1992)는 교통혼잡비용 산정에 있어 기준이 되는 속도 결정이 매우 중요한 사안이며 지역 간 도로의 경우 LOS C를 근거로 적정 속도를 결정하는 것이 바람직하다고 주장하였다. LOS C를 적용한 결과, 기준속도가 왕복 4차로 이상 고속도로는 80km/h, 왕복 2차로 이상 고속도로는 70km/h로 산출되었다. 또한 상기 연구는 인건비, 차량감가상각비, 보험료, 제세공과금으로 구성된 고정비와 연료비로 구성된 변동비, 그리고 시간 가치비 등을 고려함으로써 현재 KOTI에서 교통혼잡비용을 산정하는데 사용하는 방법론에 적용된 기본적인 사항들을 결정하였다.

KOTI(2007)는 기존 교통혼잡비용 추정방법론 개선을 위해 기존 문제점을 언급하고 그에 대한 해결방안을 제시하였다. 예를 들어, 기존 일교통량을 사용함으로써 첨두시간 패턴이 반영되지 않던 문제점을 해결하기 위해 1시간 교통량을 사용하는 것으로 방법론을 수정하였다. 그리고 왕복 4차로 이상 고속도로의 기준속도를 80km/h에서 90km/h로 조정하였다. 마지막으로 VDF

적용 시 사용하는 파라메타인  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 값을 국가교통DB 센터에서 보정한 VDF의 값으로 사용하였다. 개선된 2007년 KOTI 방법론은 현재까지 교통혼잡비용을 산정하는데 사용되고 있다.

Cho et al.(2010)은 지역 간 도로 교통혼잡비용을 추정하는데 있어서 교통량 조사자료를 사용하고 있는데 1년에 1회 조사하는 교통량을 기준으로 추정하기 때문에 정확성에 문제가 발생할 수 있다고 언급하였다.

Cheon et al.(2014)은 기존 교통혼잡비용 추정 방법론을 개선하기 위해 차량 내비게이션에서 추출된 속도 자료를 활용하는 방안을 개발하였다. VDF는 시간대별 교통량 증감을 토대로 통행시간을 산정하는 한계를 갖고 있기 때문에 실측 자료인 내비게이션 자료를 활용할 것을 제안하고 있다. 또한 알고리즘 구축을 토대로 교통혼잡비용의 산정, DB화, 그리고 표출 등을 토대로 교통혼잡비용의 활용가능성을 높이는 방안을 제시하였다.

### 2.2.2. 국외 연구 고찰

Transport Canada(2006)는 수요예측모형의 결과로 각 구간에 배정된 교통량을 활용하여 교통혼잡비용을 산정하였다. 고려요소는 크게 세 가지로서 시간손실비용(delay costs), 연료소모비용(fuel costs), 그리고 온실가스배출에 따른 비용(imputed cost for green house gas emission)이다. 전반적으로 국내에서 사용하는 방법론과 유사한 형태를 지니고 있는 것이 특징이다.

Texas A&M Transportation Institute(2012)는 지역별 교통혼잡비용(total congestion cost)을 산정하였다. 세부항목으로서 승용차 지체비용(passenger vehicle delay cost), 승용차 연료소모 비용(passenger vehicle fuel cost), 상용차 지체비용(commercial vehicle delay cost), 그리고 상용차 연료소모 비용(commercial vehicle fuel cost)로 구성되어 있다. 크게 시간가치비용과 연료소모비를 바탕으로 산정하기 때문에 환경비용적인 측면을 다루지 못하는 한계점을 갖고 있다.

## 2.3. 기존 연구와의 차별성

본 연구와 기존 연구들과의 가장 큰 차이점은 수요예측모형의 사용여부이다. 대부분의 교통혼잡비용 산정 방법론들이 구간 통행시간을 추정하는데 수요예측모형에서 추정된 교통량과 VDF를 사용했던 것과 대조적으로 본 연구에서는 한국도로공사가 운영 중인 “고속도로

공공데이터 포털”의 VDS에서 집계하는 실제 구간 교통량과 통행속도를 사용한다. 구간 통행속도와 구간 연장을 바탕으로 구간 통행시간을 활용하는 개념으로서 통행시간 추정이 아닌 실제 차량검지기 자료를 활용한다는 점에서 적절한 방법론을 제시할 경우 높은 신뢰성을 가질 것으로 판단된다.

### 3. 자료 수집 및 가공

#### 3.1. 교통혼잡비용 추정을 위한 원단위 수집

본 연구에서 교통혼잡비용 추정을 위하여 사용하는 원단위는 크게 차량운행비용과 시간가치비용으로 구분할 수 있으며 각 세부항목은 Table 2와 같다. 변동비에 있어 유지정비비, 엔진오일비, 타이어마모비 등을 고려하는 경우도 있으나 연료소모비에 비해 측정의 어려움이 있기 때문에 본 연구에서는 고려하지 않는다(KOTI, 2014).

Table 2. List of Basic Unit for Traffic Congestion Costs

Categories	Sub categories	Parameters
Vehicle operation costs	Fixed costs	Labor cost
		Depreciation cost
		Insurance
		Tax
	Variable costs	Fuel cost
Values of time		Time value cost

##### 3.1.1. 인건비

시간당 인건비는 각 차종에 대한 월평균 임금을 월평균 근로시간으로 나누어 추정한다. 이때, 고용노동부의 『고용노동통계연감』(고용노동부, 2015)을 기준, 그리고 대형버스의 경우는 통계청의 『운수업조사보고서』(통계청, 2014)를 기준으로 작성하였다. 차종별 세부사항은 KOTI의 방법론을 준용하였다(Cho et al., 2014).

##### 3.1.2. 감가상각비

시간당 감가상각비는 각 차종별 대표차량을 설정하고 차량 판매가격과 월평균 가동시간을 바탕으로 추정하였다(현대자동차, 2013). 여기서, 월평균 가동시간은 차종별 월평균 근로시간에 차량 한 대당 운전기사 소요인원을 곱한 값이며 대표차량은 Table 3과 같다. 본 연구에서는 공간적 범위가 고속도로인 것을 고려하여 대형버스는 고속버스로 한정지어 KOTI의 방법론과 차별성을 두었다(Cho et al., 2014).

Table 3. Representative Brand of Vehicle Types

Vehicle types	Brand
Passenger car	The New Avante 1.6GDi Style M/T
Taxi	Sonate Taxi A/T
Small size bus	Grand Starex CVX Deluxe M/T
Large size bus (Express bus)	Universe Noble
Small size truck	Mighty 2.5ton
Medium size truck	New Power Truck 8ton
Large size truck	Trago Xcient 19ton

시간당 감가상각비는 Eq. (2)와 같이 정리할 수 있다.

$$DC = (VP + ATax) \times 0.9 \div SL \div 12 \div OT \quad (2)$$

where,

*DC*: Depreciation Cost per hour

*VP*: Vehicle Price

*ATax*: Acquisition Tax

*SL*: Service Life

*OT*: Operating Time per month

##### 3.1.3. 보험료

시간당 보험료는 신차, 운전자 연령 26세 이상, 5년 무사고 경력을 기준으로 산정하였다(Cho et al., 2014). 시간당 보험료를 산정하기 위해 필요한 차종별 연간 보험료의 경우 확보에 어려움이 따라 KOTI에서 2012년 교통혼잡비용 산정 시 활용한 보험료를 보정하여 사용하였다(Cho et al., 2014). 이때, 한국은행 경제통계시스템의 소비자물가지수를 활용하여 보정하였고, 앞서 보정한 연간 보험료를 월단위로 산정한 뒤 월평균 가동시간을 나누어 시간당 보험료를 산정하였다.

##### 3.1.4. 제세공과금

시간당 제세공과금은 크게 세 가지 항목으로서 각각 자동차세, 면허세 그리고 환경개선부담금이다. 자동차세는 ‘지방세법 제127조’를 근거로 산정하였고 이때, 승용차를 제외한 차종은 영업용으로 간주하여 자동차세를 산정하였다. 면허세는 ‘지방세법 제34조’를 근거로 산정하였다. 마지막으로 환경개선부담금은 경유 차량만을 대상으로 하기 때문에 승용차, 택시를 제외하였으며 ‘환경개선비용 부담법 제9조와 제10조’를 근거로 산정하였다. 시간당 제세공과금을 산정하는데 있어 Eq. (3)을 사용하였다.

$$Tax = (AMTax + LTax + ERTax) \div 12 \div OT \quad (3)$$

where,

*Tax* : Tax per hour  
*AMTax* : AutoMobile Tax  
*LTax* : License Tax  
*ERTax* : Tax for Environmental Reform  
*OT* : Operating Time per month

### 3.1.5. 고정비 종합

앞서 산정한 고정비를 종합하면 Table 4에서 제시된 값과 같다. 이때, 승용차(승용차, 택시 포함)는 자동차등록대수를 이용하여 가중평균하였다. 버스(소형버스, 대형버스 포함)와 화물차(소형화물차, 중형화물차, 대형화물차 포함)는 산술평균하였다(Cho et al., 2014).

Table 4. Summary of Fixed Cost

(unit : won/hour)			
Vehicle types	Categories	Costs	Total costs
Passenger car	Labor cost	18,024.29	19,440.64
	Depreciation cost	1,074.57	
	Insurance	309.45	
	Tax	107.54	
Taxi	Labor cost	15,363.36	24,846.42
	Depreciation cost	1,575.06	
	Insurance	621.96	
	Tax	43.98	
Small size bus	Labor cost	18,024.29	21,115.18
	Depreciation cost	1,579.91	
	Insurance	2,624.51	
	Tax	52.56	
Large size bus(express bus)	Labor cost	19,484.92	21,115.18
	Depreciation cost	7,261.66	
	Insurance	592.35	
	Tax	72.64	
Truck	Labor cost	15,571.17	21,115.18
	Depreciation cost	4,955.39	
	Insurance	518.64	
	Tax	69.97	

### 3.1.6. 유류비

유류비는 한국석유공사 포털(www.patronet.or.kr, www.opinet.co.kr)에서 유종별 세전가를 기준으로 결정하였으며 승용차(승용차, 택시 포함)의 경우 『국토교통 통계연보』(국토교통부, 2014)의 차량등록대수 기준 가중평균을 토대로 대표 유류비를 결정하였다. 결정된 차종별 유류비는 Table 5와 같다.

Table 5. Summary of Fuel Cost

(unit : won/liter)

Vehicle types	Fuel types	Costs	Total costs
Passenger car	Gasoline	886.95	881.48
Taxi	LPG	747.81	
Bus	Diesel	933.66	933.66
Truck	Diesel	933.66	933.66

### 3.1.7. 시간가치비

시간가치비는 교통혼잡에 따라 추가적으로 발생하는 경제활동의 손실을 금전으로 환산한 값이다. 『도로·철도 부분 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』(한국개발연구원, 2008)의 업무통행 시간가치 및 비업무통행 시간가치 비율을 이용하여 2007년 기준 값으로 작성한 후, 소비자물가지수를 적용하여 2013년 기준 값으로 보정을 하였다. 한국도로공사의 『합리적인 휴게시설 설치 및 규모 산정기준 연구』(한국도로공사, 2014)에 따르면 2013년 182개 휴게소에서 조사한 고속도로 버스 평균재차인원은 29.3인/대이고, 본 연구에서 2015년에 20개 휴게소를 대상으로 조사한 고속도로 버스 평균재차인원은 22.4인/대로 나타났다. 하지만, 조사 시 탑승자의 업무 및 비업무 비율을 조사하지 않았기 때문에 본 연구에서 직접 사용할 수는 없다.

따라서 본 연구에서는 버스의 시간가치비를 산정하기 위하여 예비타당성조사 지침상에서 제시된 버스 평균재차인원을 사용하였다. 먼저, 『도로·철도 부분 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』(한국개발연구원, 2008)에서는 전국권 공로(고속도로 포함) 버스 평균 재차인원을 9.98인/대로 제시하고 있고, 이 값이 실제 고속도로에서 조사된 값에 비하여 상당히 작은 것을 알 수 있다. 때문에 본 연구에서는 고속도로의 특성을 반영하기 위하여 『도로부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제3판)』(한국개발연구원, 2001)에서 제시하는 값인 버스 22인/대를 사용하였다. 참고로, 『도로부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제3판)』(한국개발연구원, 2001)에서는 승용차의 평균 재차인원을 2인/대로 제시하고 있다.

버스 시간가치비의 경우, 기존 KOTI의 방법론은 버스 비업무통행비율을 25%로 가정하여 추정하였는데, 본 연구에서는 도로·철도 부분 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』(한국개발연구원, 2008)에서 제시하고 있는 16.3%를 적용하였다. 다른 차종의 경우에는 기존 KOTI의 방법론에서 제시하고 있는 수치를 적용하기에 큰 무리가 없다고 판단되어 기존

수치를 그대로 적용하였다.

이렇게 산정한 차량 당 시간가치비는 승용차, 버스, 화물차 각각 20,353원/대/시, 136,693원/대/시, 그리고 19,758원/대/시이다. 버스 비업무통행비율을 25% 가정한 KOTI 방법론을 사용할 경우 2013년 기준 버스 시간가치는 148,875원/대/시로 본 연구에서 산출한 값보다 높은 것으로 나타났다.

### 3.2. 자료 가공

#### 3.2.1. 원시자료 가공

한국도로공사는 고속도로 구간을 콘존(Conzone)의 개념으로 분류하고 있다. 콘존이란 IC, JC, 그리고 TG 등 통행하는 차량수가 일정한 고속도로 구간(segment)을 말한다. 본 연구에서는 한국도로공사가 건설 및 운영하는 고속도로를 대상으로 하는 988개 콘존을 공간적 범위로 설정하여 VDS 자료를 가공하였다.

구간 교통량 및 구간 통행속도의 경우 5분, 15분, 1시간, 1일의 다양한 집계주기를 갖고 있는데 본 연구에서는 계산의 편의를 위하여 1시간 단위의 집계 자료를 사용하였다. VDS 자료는 텍스트파일(\*.txt) 형태로 제공되며 Table 6과 같이 구성되어 있다.

Table 6. Example of Data Transformation

Data format	Example						
Raw data (text file)	20130514   16   0010CZE010   1   90.01						
	YYYYMMDD Hour ConzoneID BusLaneType Speed						
	20130514   16   0010CZE010   1   1264						
Transformed data (matrix file)	YYYYMMDD Hour ConzoneID BusLaneType Volume						
	ConzoneID	MM	DD	Day	Hour	Speed	Volume
	0010CZE010	05	14	1	17	90.01	1264

Table 6에서 ‘|’는 구분자, Day는 요일을 의미하며 요일은 화요일을 1로, 월요일을 0으로 배정하였다. 그래서 각 구간마다 구간 ID, 월, 일, 요일, 시간, 속도, 교통량의 구조로 자료가 제공된다. 또한 7시부터 21시까지 시행하는 버스전용차로제 시행(평일 기준)을 구분하기 위해 일반차로와 버스전용차로로 자료를 이원화하여 가공하였다.

#### 3.2.2. 버스전용차로 정보 통합

앞선 단계에서 일반차로와 버스전용차로로 각각 가공한 VDS 자료를 통합하였다. 통행속도의 경우 해당 구간의 버스전용차로제 유무에 따른 교통량 가중평균, 교

통량은 단순히 합산하는 방식으로 통합하였다. 버스전용차로제 시행 여부로 구분된 통행속도와 교통량을 통합하는 이유는 VDS 자체적으로 차종구분을 하기 보다는 추후 한국도로공사의 『고속도로교통량』(한국도로공사, 2014)을 이용하여 차종별 교통량을 추정하기 위함이다. 차종별 교통량 추정은 Eq. (4)와 같이 산출하였다. 이때, 『고속도로교통량』(한국도로공사, 2014)은 자동 차종분류 조사 장비(이하, Automatic Vehicle Classification, AVC) 기반 12종 차종구분을 하기 때문에 승용차 1종, 버스 2종, 그리고 화물차는 3~12종으로 간주하였다(한국건설기술연구원, 2009).

$$LV_i = LV \times VR_i \quad (4)$$

where,

*LV*: Linked Volume  
*VR*: Vehicle Ratio  
*i*: Vehicle Type  
 (1: passenger car, 2: bus, 3: truck)

#### 3.2.3. 결측자료 보정

자료 가공의 마지막 단계는 결측자료를 보정하는 것이다. 기술적, 상황적 한계로 구간 통행속도 또는 교통량이 집계되지 못하는 경우가 존재한다. 이러한 상황을 고려하여 결측자료를 보정하였으며, 결측자료를 보정하는 방법은 크게 두 가지로 구분하였다.

첫 번째 방법은 일시적인 오류로 자료가 집계되지 않는 경우에 대한 방법으로 이를 1차 결측보정이라 칭한다. 이때, 일시적인 오류란 특정 구간에서 특정 1시간만 결측이 발생하는 경우를 말한다. 특정 구간에서 1시간의 결측만 발생하는 경우 해당 구간 전후 1시간씩의 통행속도와 교통량을 산술평균하여 결측값을 채웠다. 이렇게 1차 결측보정을 수행한 결과, 2,666개의 시간 값이 채워져서 구간 통행속도와 통행시간을 갖고 있는 시간의 개수가 1,098,057개에서 1,095,391개로 늘어났다.

본 연구에서는 2시간 이상 자료가 집계되지 않는 경우 별도의 보정을 수행하지 않는데 이는 원시자료의 패턴적인 측면을 무시할 수 있기 때문이다.

1차 결측보정을 통해 보정한 뒤에도 2시간 이상 결측은 보정하지 않기 때문에 전체적인 교통혼잡비용이 과소 추정될 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 2차 결측보정을 제시하며 이는 구간 전체의 결측보정계수를 만들어 교통혼잡비용에 곱하는 방법이다. 결측보정계수를 산정하는 산식은 Eq. (5)와 같다.

$$CF = \frac{(365 \times 24 \times NS \times L)}{\div (365 \times 24 \times NS \times L - \sum N \times L)} \quad (5)$$

where,

*CF*: Correction Factor  
*NS*: Number of Sections  
*L*: Section Length  
*N*: Number of Missing Datas

Eq. (5)을 토대로 산출된 결측보정계수는 1.00007이다. 즉, 본 연구에서는 결측이 존재하는 구간의 결측 시간빈도와 구간 연장을 고려하여 1차 결측보정계수를 산정하였으며, 그 값을 1차 보정을 통해 추정된 교통혼잡비용에 곱하여 전체 구간의 365일 동안의 교통혼잡비용을 추정하였다.

결측 자료의 수가 전체 자료 수에 비해 적고, 또한 결측이 주로 발생하는 구간들의 연장이 짧아서 결측보정계수 값이 그렇게 크지 않은 것으로 분석되었다.

본 논문에서 제안하는 방법론에 따른 교통혼잡비용 산출 값은 VDS 자료의 신뢰도에 영향을 받는다. 따라서 VDS 자료의 전처리하는 매우 중요한 문제이다. 이와 관련하여 VDS 자료 자체의 전처리 과정은 다음 논문을 참조할 수 있다(Lee et al. 2013).

#### 4. 교통혼잡비용 산정 및 비교

교통혼잡 기준속도를 2012년 KOTI에서 사용한 값과 동일한 값(편도 2차로 이상 90km/h, 편도 2차로 미만 75km/h)으로 설정한 뒤 산정한 교통혼잡비용은 Table 7과 같다(Cho et al., 2014). 기본적으로 1일 단위의 교통혼잡비용을 산정한 후 필요 시 합산하였다. 예를 들어 요일 단위의 교통혼잡비용을 산정할 때에는 1일 단위의 교통혼잡비용을 각 요일별로 합산하여 산정하였다.

Table 7. Comparison of Annual Traffic Congestion Cost of Expressways

(unit : one hundred million won/year)

Temporal scope	Spatial scope	New method			KOTI's method		
		passenger car	bus	truck	passenger car	bus	truck
2012		-			15,822	7,948	7,931
		12,505	2,281	4,428	-		
2013		-			-		

본 연구의 방법론을 토대로 산정된 교통혼잡비용을 결측보정계수를 사용하여 보정한 결과 승용차 12,505억원/년, 버스 2,271억원/년, 그리고 화물차 4,428억원/년이다.

Table 7에서 제시된 혼잡비용 값은 방법론의 차이, 공간적 범위의 차이, 추정 년도의 차이 등으로 직접비교하기는 어렵다. 하지만, 전체적으로 새로운 방법론을 이용하여 산출한 값이 기존 방법론을 이용한 방법보다 다소 낮은 것으로 나타났다.

Table 7에서 보면, 버스의 교통혼잡비용이 크게 감소하였는데 버스의 비업무통행비용 적용에 차이가 있기 때문이다. 기존 KOTI에서 이 비율을 25%로 가정해서 사용을 하였는데 본 연구에서는 『도로·철도 부분 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』(한국개발연구원, 2008)의 16.3%를 기준으로 적용하였기 때문에 버스의 해당 시간가치비가 감소하였고 교통혼잡비용 산정 결과에 반영된 것으로 판단된다.

본 연구에서는 노선별 교통혼잡비용을 제시함으로써 교통혼잡비용이 많은 노선을 확인하였으며 그 결과는 Table 8과 같다. 고속도로 노선 중 교통혼잡비용이 가장 큰 노선은 서울외곽순환선, 경부선, 영동선, 서해안선, 그리고 경인선 순으로 나타났으며 상위 5개 노선의 교통혼잡비용은 전체 노선의 78.62%, 상위 3개 노선은 64.54% 수준으로 나타났다.

Table 8. Annual Traffic Congestion Costs by Expressway Lines

(unit : one hundred million won/year)

Express lines	Traffic congestion costs				Rank
	passenger car	bus	truck	Total	
Gyeongbu	2,500.7	908.1	728.6	4,137.4	2
Namhae	223.4	42.6	136.5	402.4	9
88Olympic	42.0	13.6	26.3	81.9	17
Muan-Gwangju	13.6	1.5	5.0	20.1	24
Seohaean	1,287.6	153.2	451.0	1,891.8	4
Ulsan	48.8	9.8	18.4	77.0	19
Iksan-Pohang	248.7	37.8	100.9	387.4	10
Honam	219.9	34.7	86.5	341.2	11
Suncheon-Wanju	17.5	3.9	13.5	34.9	23
Dangjin-Yeongdeok	37.2	5.8	38.7	81.7	18
Tongyeong-Daejeon	43.1	13.1	30.1	86.3	16
Jungbu	434.1	96.3	208.0	738.4	6
2nd Jungbu	79.5	12.0	23.2	114.7	13
Pyeongtaek-Jecheon	33.7	8.6	31.3	73.6	20
Jungbu Naeryuk	292.5	99.0	213.4	604.9	7
Yeongdong	2,199.8	431.6	839.4	3,470.8	3
Jungang	260.3	48.1	144.2	452.6	8

(Table Continued)

Seoul-Yangyang	12.2	2.9	1.7	16.8	27
Donghae	20.7	7.3	9.5	37.6	22
Seoul Ring	3,522.3	287.3	992.5	4,802.1	1
Namhae 1st Branch	62.4	8.7	18.0	89.1	15
Namhae 2nd Branch	39.5	7.3	22.4	69.1	21
2nd Gyeongin	162.2	11.8	69.5	243.5	12
Gyeongin	622.9	23.3	170.1	816.3	5
Seochen-Gongju	6.1	1.8	4.9	12.8	29
Honam Branch	55.0	8.4	27.9	91.3	14
Gochang-Damyang	10.3	1.5	7.6	19.4	26
Daejeon Southern	8.7	0.9	3.9	13.4	28
Jungbu Naeryuk Branch	9.8	1.5	8.7	20.0	25
Jungang Branch	0.0	0.0	0.0	0.0	30

또한, 교통 혼잡에 있어 요일이 주요 변수로 작용할 수 있기 때문에 각 요일별로 교통혼잡비용도 산정하였다. Table 9에서 확인할 수 있듯이 1주일 중 가장 높은 교통혼잡비용을 보이는 요일은 토요일이고 평일 중 가장 큰 교통혼잡비용을 나타내는 요일은 금요일로 나타났다. 평일의 경우 월요일부터 목요일까지는 대체로 교통혼잡비용이 유사한 편이나 금요일의 경우 토요일과 함께 교통혼잡비용이 높게 산정되었다. 일요일의 경우 오히려 평일과 유사한 수준의 교통혼잡비용을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

Table 9. Daily Traffic Congestion Costs by Day Types

(unit : one hundred million won/year)

Day	Traffic congestion cost				Rank
	passenger car	bus	truck	Sub total	
Monday	27.24	4.37	9.33	40.95	7
Tuesday	29.12	4.82	10.10	44.04	5
Wednesday	28.83	4.96	10.16	43.94	6
Thursday	34.44	6.02	12.02	52.48	3
Friday	44.28	7.78	15.39	67.45	2
Weekday	163.91	27.94	57.00	248.85	-
Saturday	47.51	9.43	16.55	73.50	1
Sunday	28.49	6.39	11.40	46.28	4
Weekend	76.00	15.83	27.95	119.78	-
Total	239.91	43.77	84.95	368.63	-

## 5. 결론 및 향후 연구방향

### 5.1. 결론

2012년 GDP 대비 지역 간 도로 및 7대 도시의 교통 혼잡비용이 2.2%에 해당할 만큼 사회적으로도 관심있게 살펴봐야 할 사회적 지표 중 하나이다(KOTI, 2014).

본 연구에서는 기존 VDF를 이용하여 추정하던 교통혼잡비용에 실제 VDS에서 수집된 교통량과 통행속도를 접목하여 고속도로 교통혼잡비용을 추정하였다.

전체적인 교통혼잡비용 추정 방법론은 KOTI에서 기존에 산정하던 방법론을 준용하되 고속도로 VDS 자료를 적용함으로써 보다 현실적인 추정이 가능하다고 판단된다. 또한, 방법론을 고속도로 특성에 맞게 부분적으로 수정함으로써 고속도로의 특성을 잘 반영할 수 있도록 차별성을 두었다. 이렇게 산정된 고속도로 차종별 교통혼잡비용은 승용차 12,505억원/년, 버스 2,281억원/년, 그리고 화물차 4,428억원/년으로 추정되었다.

본 연구결과와 기존 KOTI 추정결과를 간접적으로 비교 수행하여 제시하였고 본 연구의 결과가 무조건적으로 옳다고 언급하기는 어려우나 차량의 통행시간 추정에 있어 단순히 VDF를 사용하는 것이 아니고 실질적으로 집계되는 VDS 통행속도를 사용했다는 점에서 본 연구의 의의가 있다.

본 연구에서 제시하는 방법론의 신뢰성을 향상시키기 위한 방법으로서 두 가지를 제시하고자 한다. 첫 번째는 한국도로공사가 운영하는 고속도로의 교통혼잡비용을 직접 산정할 경우 유관기관과 협의를 토대로 자료를 공유하는 방안을 강구해야 한다. 원단위를 확보하지 못함에 따라 과거 원단위를 보정하는 경우 연구의 신뢰성을 하향시킬 수 있다. 두 번째는 VDS 구간과 『고속도로교통량』의 구간이 일치하지 않는데서 발생하는 분석가의 주관이 개입하는 문제이다(한국도로공사, 2014). 예를 들어 경부고속도로 구서나들목~노포나들목의 경우 VDS에서는 구서IC~영락IC, 영락IC~부산TG, 부산TG~노포IC로 세분화하여 구분하는데 반해, 『고속도로교통량』에서는 구서IC~노포IC로 묶여 있다는 점이다(한국도로공사, 2014). 향후에는 구간의 일치를 토대로 추정결과의 신뢰성뿐만 아니라 편의성까지 증진시킬 필요가 있다고 판단된다.

### 5.2. 향후 연구방향

본 연구의 방법론에서는 2시간 이상의 결측을 보정하지 않았다. 이는 보정을 했을 때 보정근거가 부족할 뿐만 아니라 원시자료의 패턴을 무시할 수 있기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 향후 연구에서는 고속도로 VDS 자료에 대한 패턴이력을 구축할 것을 제안한다. 고속도로 통행속도 및 교통량의 패턴은 짧은 기간에 구축할 수 없는 작업이다. 우리나라의 경우 명절의 날짜가 해마다 변하게 되고 각 명절도 일반적인 휴일과는 다른 현



상적 추세를 보이게 된다. 때문에 이러한 명절의 특성을 고려하기 위해서 단정적으로 언급하기는 어렵지만 3년 이상의 패턴자료가 필요할 것으로 판단된다. VDS의 기술적 또는 기타 오류로 발생하는 결측을 보완하는 방법으로서 차량 내비게이션 또는 DSRC(Dedicated Short Range Communication)로부터 수집하는 차량 통행속도를 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 기존연구에서 기준통행속도를 80km/h에서 90km/h로 수정한 사례가 있기 때문에 본 연구에서도 고속도로 왕복 4차로 이상 90km/h, 왕복 2차로 이상 75km/h를 적용하여 교통혼잡비용을 산정하였으나 고속도로의 경우 노선마다 제한속도가 다르기 때문에 적절한 기준통행속도를 결정하여 교통혼잡비용을 추정하는 것이 중요하다고 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2015학년도 아주대학교 일반연구비와 2010년도 및 2015년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행된 것임(NRF-2010-0028693, 2015R1A1A1A05028008).

### REFERENCES

Cheon, S. et al., 2014. Improving Estimation for Road Traffic Congestion Cost Using Car Navigation Information, The Korea Transport Institute.

Cho, H. S., Lee, H., and Kim, Y. C., 2014. 2011, 2012 Traffic Congestion Costs: Estimation and Trend Analysis, The Korea Transport Institute.

Cho, H. et al., 2007. Improvement of the Estimation Method for Traffic Congestion Costs, The Korea Transport Institute.

Cho, J. et al., 2010. Improving the Estimation Method of Traffic

Congestion Costs, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 28, No. 1. pp. 63-74.

Do, C. W., 2004. Traffic Engineering Principle, Cheongmoongak.

Korea Development Institute, 2001. A Study on Standard Guidelines for Pre-feasibility Study on Road Projects(Third Ed.), Korea Development Institute.

Korea Development Institute, 2008. A Study on Standard Guidelines for Pre-feasibility Study on Road Projects(Fifth Ed.), Korea Development Institute.

Korea Expressway Corporation, 2014. A Study on Reasonable Guidelines for Construction and Size of Expressway Rest Areas, Korea Expressway Corporation.

Korea Expressway Corporation, 2014. 2013 Expressway Traffic Volume, Korea Expressway Corporation.

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2009. Guide for 12 Vehicle Types for Traffic Counts, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.

Lee, H., Namkoong, S., Kim, S., and Kim, J., 2013. Improvement of A Preprocessing of Archived Traffic Data Collected by Expressway Vehicle Detection System, the Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 12, No. 1. pp. 15-27.

Ministry of Employment and Labor, 2015. Yearbook of Employment and Labor Statistics, Ministry of Employment and Labor.

Statistics Korea, 2014. Report on the Transportation Survey, Statistics Korea.

Texas A&M Transportation Institute, 2012. Urban Mobility Report, Texas A&M Transportation Institute.

The Korea Transport Institute, 1992. Study on the Estimation of Traffic Congestion Costs, The Korea Transport Institute.

Transport Canada Environmental Affairs, 2006. The Cost of Urban Congestion in Canada, Transport Canada.