

AVI 수집 자료 분석에 근거한 최적 통행속도 산출에 관한 고찰

정연탁* · 정헌영**

Jeong, Yeon Tak*, Jung, Hun Young**

The Consideration on Calculation of Optimal Travel Speeds based on Analysis of AVI Data

ABSTRACT

This study aims to calculate optimal travel speeds based on analysis of the AVI data collected in the uninterrupted traffic flow, and the results are as follows. Firstly, we looked into the distribution of the sectional travel times of each probe vehicle and compared the difference in the sectional travel speeds of each probe vehicle. As a result, it is shown that outliers should be removed for the distribution of the sectional travel times. Secondly, there were differences among type 1(passenger automobiles) & type 2(automobiles for passengers and freight) and type 4(special automobiles) in the non-congestion section. thus it was revealed that there is a necessity to remove type 4(special automobiles) when calculating the sectional travel speeds. Thirdly, Based on the results of these, the optimal outlier removal procedures were applied to this study. As a result, it showed that the MAPE was between 0.3% and 2.0% and RMSE was between 0.3 and 2.3 which are very similar figures to the actual average traffic speed. Also, the minimum sample size was satisfied at the confidence level of 95%. The result of study is expected to serve as a useful basis for the local government to build the AVI. In the future, it will be necessary to study to integrate AVI data and other data for more accurate traffic information.

Key words : Automatic vehicle identification, Uninterrupted traffic flow, Outlier, Probe data, Traffic information

초 록

본 연구는 연속류에서 수집된 AVI 자료 분석에 근거한 최적의 통행속도 산출을 목표로 하고 있으며, 그 결과는 다음과 같다. 첫째, 개별 프로브 차량의 구간 통행시간 분포를 살펴보고, 개별 프로브 차량별 구간 통행속도의 차이를 비교하였다. 그 결과, 구간 통행시간의 분포는 이상치를 제거하여야 하는 것으로 나타났다. 둘째, 비 혼잡구간에서는 1종(승용자동차)와 2종(승합자동차)는 4종(특수자동차) 간에는 차이가 있었다. 따라서, 구간 통행속도 산출시 4종(특수자동차)를 제거할 필요가 있는 것으로 나타났다. 셋째, 이러한 결과를 바탕으로 최적의 이상치 제거 절차를 본 연구에 적용하였다. 그 결과, 평균절대오차백분율(MAPE)은 0.3~2.0%이고, 평균제곱근오차(RMSE)는 0.3~2.3로 분석되어, 실제 평균 통행속도와 매우 유사한 값으로 나타났다. 또한 최소 표본수도 신뢰수준 95%에서 만족하였다. 본 연구의 결과는 AVI를 구축하고자 하는 지방자치단체를 위한 유용한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 향후에는 보다 정확한 교통정보를 위하여 AVI 자료와 다른 자료와의 통합 연구가 필요할 것이다.

검색어 : 자동차량인식, 연속류, 이상치, 프로브 자료, 교통정보

* 정회원·부산광역시 교통정보서비스센터 주무관 (Busan Metropolitan City Transportation Information Center · spulse@korea.kr)

** 정회원·교신저자·부산대학교 도시공학과 교수 (Corresponding Author · Pusan National University · huyjung@pusan.ac.kr)

Received March 24, 2015/ revised April 13, 2015/ accepted April 20, 2015

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

다양한 도시교통문제 해결과 교통운영의 효율성을 도모하기 위하여 부산광역시는 1998년 교통카드시스템 도입을 시작으로 교통정보전광판 시스템, 버스정보관리시스템, 자동요금징수시스템 등을 구축하였다. 특히 2010년부터 부산광역시 교통정보서비스 센터를 운영하여 부산교통권역에 대한 도로소통정보, CCTV (Closed-Circuit Television) 영상정보, 돌발사고정보를 수집, 다양한 매체를 통하여 대 시민 교통정보서비스를 제공하고 있다.

최근에는 첨단교통관리시스템(ATMS: Advanced Traffic Management System)구축사업을 통하여 자동차량인식(AVI: Automatic Vehicle Identification) 시스템을 도입하였다.

AVI는 해당 지점을 통과하는 개별 차량의 등록번호판을 인식하여 차량번호와 통과시간을 수집하는 교통정보 수집시스템으로, DSRC(Dedicated Short Range Communication)처럼 특정 차량만을 수집하는 기존 교통정보수집시스템과 비교하여 많은 프로프 차량의 수집이 가능하다는 장점이 있다.

반면, 차로당 하나의 카메라만 설치가 가능하고 고가의 장비인 이유로 차로수가 많은 단속류 도로에서 구간 통행속도를 목적으로 설치하기에는 어려움이 있기 때문에 부산광역시에서는 도시고속도로의 구간 통행속도와 교통량은 물론 기중점 자료의 수집을 위하여 동서고속도로와 번영로에 우선적으로 설치하였다.

한편, 부산광역시는 지속적으로 물리적인 하드웨어 확충 중심의 지능형교통시스템 구축사업을 추진하였으나 수집된 자료에 대한 제대로 된 정확성 평가나 연구가 이루어지지 않았고, 특히 AVI 시스템 구축에서는 지점 검지율에 대한 성능평가만 시행한 것이 전부이다.

그러나 AVI 수집 자료에는 시간 처짐 현상과 휴게시설, 고장, 과속 등으로 인하여 평균통행시간보다 작거나 큰 이상치가 존재하고, 특히 화물자동차와 특수자동차의 비율이 25.13%¹⁾로 매우 높은 동서고속도로는 차종별 구간 통행시간의 차이가 발생할 수 있다.

따라서 이와 같은 이상치와 차종별 구간 통행시간의 차이로 인하여 산출된 교통정보는 다수의 운전자가 느끼는 것과 다를 수 있는 우려가 있다.

이에 본 연구에서는 부산광역시 일반도로 중 연속류인 동서고속도로를 대상으로 AVI를 통하여 수집된 프로브 차량의 현황과 특성, 그리고 차종별 구간 통행속도를 비교 분석하여 제기될 수 있는 문제점을 파악하고, 이를 기반으로 이상치 제거 방안과 구간 통행속도 산출 절차를 도출, 적용하여 최적 통행속도를 산출하고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 부산광역시의 대표적 도시고속도로인 동서고속도로를 대상으로 하였다.

연구방법은 먼저 AVI와 이상치 제거 알고리즘에 관한 연구 사례를 살펴보고, 기존 연구의 한계와 시사점을 도출하였다.

다음으로는 AVI 수집 자료의 현황과 특성을 분석하여 문제점을 도출하고, 일원배치분산분석을 통해 차종별 구간 통행시간의 차이를 검정하였다.

이러한 결과를 토대로 이상치 제거와 구간 통행속도 산출 절차를 적용하여 최적 통행속도를 산출하였다. 아울러 최종 생성된 구간 통행속도에 대하여 정확성과 신뢰수준별 최소 표본수의 만족 여부를 평가하였다.

이 때, 정확성 평가의 지표는 평균절대오차백분율(MAPE: Mean Absolute Percentage Error)과 평균제곱근오차(RMSE: Root Mean Square Error)를 사용하였으며, 최소 표본수는 신뢰수준 95%와 90%에서 만족 여부를 평가하였다.

2. 이론적 고찰 및 사례 연구

2.1 AVI 관련 연구

Moon et al.(2003)은 국도 1호선 구간을 대상으로 AVI의 현장 시험 적용과 평가에 관한 실험연구를 통하여 비접촉 방식의 차량검출과 수집된 자료를 활용하여 구간 통행시간을 산출하는 방식을 제안하였다.

또한 단속류의 교통특성에서는 충분한 표본차량 수집, AVI 설치 간격 축소, 지점 검지기 자료 활용 등을 보완사항으로 제시하였다.

Park et al.(2012)은 안양시 간선도로를 대상으로 방범용 AVI와 교통정보 수집용 AVI의 수집 자료를 통합하여 생성된 DB의 활용 가능성을 평가하였고, 통행속도 신뢰성을 높이기 위한 목적으로 구간검지체계의 도입방안을 제시하였다.

그 결과, 교통정보 수집 구간이 증가하는 것으로 확인되었고, MAPE 또한 감소하는 것으로 나타나 기 구축된 AVI의 보완용으로 방법 AVI의 활용이 가능하다고 밝혔다.

Jang et al.(2004)은 국도 1호선에 10km 간격으로 설치된 2개의 AVI에서 수집된 자료를 사용하여 이상치로 분류된 값을 제거한 후 수집주기별(5분, 10분, 15분, 30분) 통행시간을 예측하였다.

Lee(2005)는 국도 42호선 구간에서 설치된 VDS와 AVI로부터 수집된 자료를 이용하여 수집 장비별 구간 통행시간 추정 모형을 개발하고, 이들 구간 통행시간과 과거 이력 구간 통행시간을 융합한 실시간 교통정보제공용 최적 구간통행시간을 도출하는 모형을 개발하였다.

그 결과, 각 장비를 단독으로 사용하여 통행시간을 추정한 것보다

1) 2013년도 부산광역시 교통조사(I) 차량교통량 조사결과인

융합하여 추정하는 것이 실시간 교통정보 제공용으로 보다 적합하다는 결론을 도출하였다.

2.2 이상치 제거 알고리즘 관련 연구

TransGuide는 Southwest Research Institute(SwRI)에서 개발된 알고리즘으로서 사용자가 정의한 값을 초과하는 모든 통행시간 자료를 자동적으로 필터링한 후 이동평균 알고리즘을 사용하여 AVI간 구간 통행시간을 예측하는 알고리즘이다.

TranStar는 TransGuide와 동일하게 SwRI에서 개발된 알고리즘으로 TransGuide와 가장 큰 차이는 이상치 제거의 기준이 되는 통행시간 값이 주기적으로 갱신이 된다는 점이다.

Transmit 알고리즘도 TransGuide, TranStar 알고리즘과 비슷하지만, AVI 검지기간 현재 통행시간을 예측하기 위하여 이동평균을 사용하는 대신에 이상치 제거 과정이 없이 15분 수집주기의 자료를 이용, 평균통행시간을 구한 후 과거 자료의 평활화(Smooth)된 통행시간과 갱신된 평균통행시간을 통해 현재 수집주기의 평균 통행시간을 산출한다.

Jang et al.(2005)은 기존 이상치 제거 알고리즘이 일반국도와 같이 단속류 유형의 도로에는 효과적으로 작용하지 못하고 있는 문제점을 도출하고, TransGuide 알고리즘에 통행시간의 급격한 변화를 방지하기 위해 평활화된 평균통행시간을 이용하여 이상치 제거 알고리즘을 개발하였다.

Do et al.(2008)는 한국도로공사의 TCS(Toll Collection System) 데이터에 적합한 이상치 제거 및 결측 보정 알고리즘을 개발하였다.

먼저 TCS자료를 이용하여 정확하고 신뢰성 있는 교통 정보를 제공하기 위해 Off-line 알고리즘을 개발하였으며, 거리에 따라 분산이 다르다는 점을 고려하여, 이상치 제거 유효범위 산정 시 거리에 따라 상이한 파라미터 값을 적용하는 방법을 제시하였다.

그 결과, 기존 알고리즘의 단점을 보완하면서 고속도로에 적합한 알고리즘을 제안하였다고 밝혔다.

Shin et al.(2013)은 일반국도에 설치된 상시조사 장비(Permanent Traffic Counter)인 AVC(Automatic Vehicle Classifier)를 통하여 수집된 교통량 자료에 대해 요일별 교통량 변동 패턴 기반의 평활화법을 활용하여 정량적 이상치 판정 알고리즘을 개발하였다.

2.3 기존 연구의 한계 및 시사점

기존 AVI 연구는 일반국도 위주로 다양한 연구가 진행되었으며, 특히 시간 처짐이나 신호의 영향에 따른 이상치 제거, 그리고 AVI 구간내 프로브 차량의 유출입에 따른 표본수 감소를 보완할 수 있는 방안을 모색하는 연구가 주를 이루었다.

그러나 AVI는 해당 지점을 통행하는 모든 차량의 등록번호판을 인식하여 차량번호와 통과시간을 수집한 후 구간 통행시간과 통행속도를 산출하는 시스템임에도 불구하고 차종별 구간 통행시간에 대한 검토는 전무한 실정이었다.

반면, 본 연구의 범위인 동서고속도로는 화물자동차와 특수자동차의 비율이 높은 도로임을 고려할 때, 차종별 구간 통행시간에 대한 검토 및 분석이 필수적으로 선행된 이후 최적 통행속도를 산출할 필요가 있다.

아울러 이상치 관련 연구에서 알 수 있듯이 해당 도로에 가장 적합한 이상치 제거 방안을 모색하여 적용할 필요가 있음을 알았다.

3. AVI 교통정보 수집 자료 분석

3.1 AVI 교통정보 수집 현황

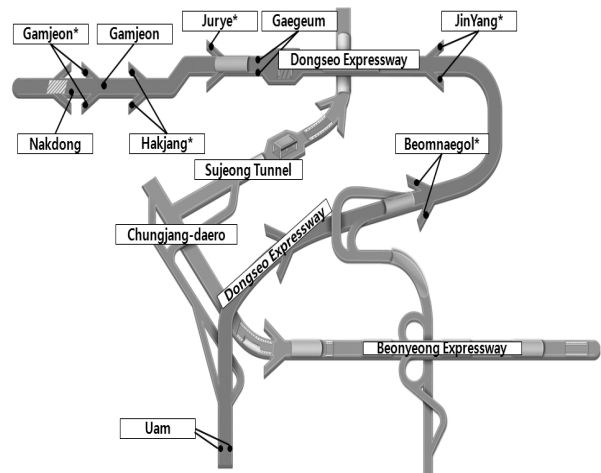
현재 동서고속도로 양방향에는 Fig. 1과 같이 총 15개소의 AVI가 설치·운영되고 있다.

먼저 서측(우암→감전IC) 방향의 경우에는 본선 3개소(우암, 개금, 감전IC), 진입램프 2개소(범내골, 진양), 진출램프 3개소(주례, 학장, 감전램프)로 총 8개소가 설치되어 있고, 동측(낙동램프→우암) 방향의 경우에는 본선 3개소(낙동램프, 개금, 우암), 진입램프 2개소(감전, 학장), 진출램프 2개소(진양, 범내골)에 총 7개소가 설치되어 있다.

아울러 본선 2차로에는 2대, 진출입 램프에는 1대의 AVI 카메라가 각각 설치되어 있다.

본 연구에서는 AVI 수집 자료의 현황과 특성을 분석하기 위하여 2014.12.26.(금) 수집된 자료를 활용하였다.

Table 1은 AVI 검지기별 차량 수집대수이다.



* is AVI detector installed to On or Off-Ramp

Fig. 1. Location of AVI

Table 1. Counts of Collected Vehicles for Each Detector

Classification		7AM~9AM		12PM~2PM		6PM~8PM		24H	
		Total	5min	Total	5min	Total	5min	Total	5min
Westbound	Uam	2,906	121	1,683	70	1,604	67	16,915	59
	Beomnaegol*	851	35	747	31	575	24	6,327	22
	JinYang*	1,287	54	1,253	52	1,290	54	14,816	51
	Gaegeum	5,769	240	5,046	210	5,125	214	53,329	185
	Jurye*	461	19	774	32	1,135	47	8,715	30
	Hakjang*	838	35	508	21	573	24	6,291	22
	Gamjeon	4,577	191	3,605	150	3,436	143	37,945	132
	Gamjeon*	964	40	827	34	943	39	9,143	32
Average		2,207	92	1,805	75	1,835	77	19,185	67
Eastbound	Nakdong	2,134	89	2,821	118	2,433	101	21,660	75
	Gamjeon*	1,198	50	915	38	724	30	8,304	29
	Hakjang*	977	41	1,161	48	1,226	51	10,262	36
	Gaegeum	5,737	239	6,020	251	5,218	217	52,479	182
	JinYang*	1,729	72	2,026	84	1,847	77	17,525	61
	Beomnaegol*	634	26	482	20	203	8	3,917	14
	Uam	1,596	67	1,736	72	2,145	89	16,374	57
Average		2,001	83	2,166	90	1,971	82	18,646	65

* is AVI detector installed to On or Off-Ramp

Table 2. Counts of Collected Vehicles for Each Vehicle Type

Classification		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Omission	Total
Westbound	Uam	8,333	378	2,205	2,499	3,500	16,915
	Beomnaegol*	4,421	196	1,105	13	592	6,327
	JinYang*	10,476	446	2,187	43	1,664	14,816
	Gaegeum	36,083	1,472	9,137	2,199	4,438	53,329
	Jurye*	6,511	277	1,369	32	526	8,715
	Hakjang*	4,566	195	1,199	26	305	6,291
	Gamjeon	25,550	1,039	6,798	2,218	2,340	37,945
	Gamjeon*	6,210	253	2,253	81	346	9,143
Average		12,769	532	3,282	889	1,714	19,185
Eastbound	Nakdong	13,120	506	3,135	1,724	3,175	21,660
	Gamjeon*	5,441	212	2,011	97	543	8,304
	Hakjang*	7,180	323	2,045	89	625	10,262
	Gaegeum	36,169	1,557	9,730	2,259	2,764	52,479
	JinYang*	12,489	547	2,937	42	1,510	17,525
	Beomnaegol*	2,916	115	672	5	209	3,917
	Uam	7,516	352	2,858	4,166	1,482	16,374
Average		12,119	516	3,341	1,197	1,473	18,646

* is AVI detector installed to On or Off-Ramp

Table 3. Counts of Travel Times for Each Section

	Orgin	Destination	Orgin Counts (A)	Destination Counts (B)	Matching Counts (C)	Matching Rate (C/A or B)	Note
Westbound	Uam	Gaegeum	13,415	48,891	3,171	23.6	C/A
	Beomnaegol*	Gaegeum	5,735	48,891	5,308	92.6	
	JinYang*	Gaegeum	13,152	48,891	12,239	93.1	
	Gaegeum	Jurye*	48,891	8,189	7,653	93.5	C/B
	Gaegeum	Hakjang*	48,891	5,986	5,612	93.8	
	Gaegeum	Gamjeon	48,891	35,605	33,320	93.6	
	Gamjeon	Gamjeon*	35,605	8,797	8,503	96.7	
Eastbound	Nakdong	Gaegeum	18,485	49,715	17,525	94.8	C/A
	Gamjeon*	Gaegeum	7,761	49,715	7,457	96.1	
	Hakjang*	Gaegeum	9,637	49,715	9,217	95.6	
	Gaegeum	JinYang*	49,715	16,015	15,214	95.0	C/B
	Gaegeum	Beomnaegol*	49,715	3,708	3,577	96.5	
	Gaegeum	Uam	49,715	14,892	4,033	27.1	

* is AVI detector installed to On or Off-Ramp

서측(우암→감전IC) 방향의 경우, 오전 침두/비침두/오후 침두 시간대에 5분 수집 주기 동안 평균 92대, 75대, 77대의 프로브가 수집되었으며, 전일동인의 5분 수집 주기에서는 평균 67대가 수집되었다.

또한 동측(낙동램프→우암) 방향의 경우에는 오전 침두/비침두/오후 침두시간대에 5분 수집 주기 동안 평균 83대, 90대, 82대의 프로브가 수집되었으며, 전일동인의 5분 수집 주기에서는 평균 65대가 수집되었다.

Table 2는 AVI 검지기에 대한 차종별) 수집 현황이며, 서측(우암→감전IC) 구간은 1종 66.6%(12,769대), 2종 2.8%(532대), 3종 17.1%(3,282대), 4종 4.6%(889대), 동측(낙동램프→우암) 구간의 차종별 수집 현황은 1종 65.0%(12,119대), 2종 2.8%(516대), 3종 17.9%(3,341대), 4종 6.4%(1,197대)로 나타나 3종과 4종의 비율이 20% 이상으로 매우 높은 것을 알 수 있다.

여기에서 누락이란 AVI 검지기가 검지영역을 통과한 차량은 인식하였으나, 등록번호판의 차량번호를 정확하게 촬영하지 못한 경우이다.³⁾ 특히 3종과 4종 차량의 검지대수가 많은 우암, 개금,

감전IC에서 누락건수가 많이 발생하였다.

Table 3은 AVI 구간별 프로브 차량을 통하여 생성된 구간 통행시간의 건수로서, 누락을 제외한 정상적으로 등록번호판이 수집된 차량만을 활용한 것이다.

구간 통행시간의 생성건수를 살펴보면, 총 13개 구간 중 11개 구간에서 90% 이상의 매칭율을 보이고 있으며, 우암→개금 양방향에서는 매칭율이 30% 이하이었다.

여기에서, 매칭이 되지 않는 비율은 동일 차종이 AVI 구간을 통행하면서 하나의 지점에서 누락 되었거나, 구간 내에서 유입 또는 유출되었기 때문이다.

이를 토대로 서측(우암→감전IC) 방향에 대한 통행 패턴을 살펴 보면, 개금(48,891대)을 경유하여 감전IC 방향으로 향하는 차량이 약 70%(33,320대)로 이들 차량은 낙동강대교 방향으로 통행하고 있으며, 동측(낙동램프→우암) 방향의 경우에는 개금(49,715대)을 지나 진양램프로 약 30%의 차량(15,214대)이 진출하고 있음을 알 수 있다.

Table 4에서 Table 7은 차종별 구간 통행시간의 생성 건수로서 앞서 살펴본 전 차종과 유사한 결과를 나타냈다.

특히 서측(우암→감전IC) 방향의 경우에는 우암에서 검지된 1종 16.8%, 2종 18.0%, 3종 32.6%과 4종 39.6%만 개금 방향으로 통행하고 나머지는 우암을 지나 충장대로 또는 수정터널 방향으로 통행하고 있음을 알 수 있다.

반면, 동측(낙동램프→우암) 방향의 경우에는 우암에서 검지된 1종 18.7%, 2종 18.5%, 3종 36.5%과 4종 36.5%의 차량만이 개금을 경유하여 우암으로 통행하였고, 그 밖의 차량은 충장대로

2) 「자동차관리법 시행규칙」 제6조에 따라 “자동차 등록번호판 등의 기준에 관한 고시”(국토해양부 고시 제2013-30호)에 따른 등록번호판의 차종 분류체계에 따라 1종 승용자동차(01-69), 2종 승합자동차(70-79), 3종 화물자동차(80-97), 4종 특수자동차(98,99)로 분류하고 있다.
3) 누락은 ① 해당 차량이 앞차에 매우 근접하게 운행하거나 또는 차선 중간으로 주행한 경우, ② 등록번호판이 일부만 찌그러졌거나 역광으로 인한 반사가 발생한 차량의 경우, ③ AVI 조명장치 장애로 인하여 촬영 이미지가 겹게 나온 경우, 등록번호판을 인식하지 못하여 발생한다.

Table 4. Counts of Travel Times for Each Section(Type 1)

	Orgin	Destination	Orgin Counts (A)	Destination Counts (B)	Matching Counts (C)	Matching Rate (C/A or B)	Note
Westbound	Uam	Gaegeum	8,333	36,083	1,396	16.8	C/A
	Beomnaegol*	Gaegeum	4,421	36,083	4,114	93.1	
	JinYang*	Gaegeum	10,476	36,083	9,780	93.4	
	Gaegeum	Jurye*	36,083	6,511	6,108	93.8	C/B
	Gaegeum	Hakjang*	36,083	4,566	4,311	94.4	
	Gaegeum	Gamjeon	36,083	25,550	23,989	93.9	
	Gamjeon	Gamjeon*	25,550	6,210	6,018	96.9	
Eastbound	Nakdong	Gaegeum	13,120	36,169	12,420	94.7	C/A
	Gamjeon*	Gaegeum	5,441	36,169	5,232	96.2	
	Hakjang*	Gaegeum	7,180	36,169	6,876	95.8	
	Gaegeum	JinYang*	36,169	12,489	11,886	95.2	C/B
	Gaegeum	Beomnaegol*	36,169	2,916	2,812	96.4	
	Gaegeum	Uam	36,169	7,516	1,402	18.7	

* is AVI detector installed to On or Off-Ramp

Table 5. Counts of Travel Times for Each Section(Type 2)

	Orgin	Destination	Orgin Counts (A)	Destination Counts (B)	Matching Counts (C)	Matching Rate (C/A or B)	Note
Westbound	Uam	Gaegeum	378	1,472	68	18.0	C/A
	Beomnaegol*	Gaegeum	196	1,472	169	86.2	
	JinYang*	Gaegeum	446	1,472	416	93.3	
	Gaegeum	Jurye*	1,472	277	259	93.5	C/B
	Gaegeum	Hakjang*	1,472	195	183	93.8	
	Gaegeum	Gamjeon	1,472	1,039	963	92.7	
	Gamjeon	Gamjeon*	1,039	253	239	94.5	
Eastbound	Nakdong	Gaegeum	506	1,557	479	94.7	C/A
	Gamjeon*	Gaegeum	212	1,557	206	97.2	
	Hakjang*	Gaegeum	323	1,557	314	97.2	
	Gaegeum	JinYang*	1,557	547	522	95.4	C/B
	Gaegeum	Beomnaegol*	1,557	115	109	94.8	
	Gaegeum	Uam	1,557	352	65	18.5	

* is AVI detector installed to On or Off-Ramp

또는 수정터널 방면에서 우암으로 통행한 차량인 것을 알 수 있다.

비 혼잡구간(개금→우암)을 선정하여 차종별 구간 통행시간의 분포를 살펴보았다.

3.2 AVI 원시 데이터 특성 분석 및 문제점

앞서 살펴본 바와 같이 동서고가는 높은 화물자동차와 특수자동차의 통행비율을 보이는 도로임을 고려할 때 차종별 구간 통행시간의 분포를 살펴볼 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 동서고가의 혼잡구간(낙동램프→개금)과

$$T_{abi} = T_{bi} - T_{ai} \tag{1}$$

여기서, T_{abi} : 차량 i 의 a, b 구간에 대한 구간 통행시간
 T_{ai} : 차량 i 가 a 지점의 AVI 검지기를 통과한 시각
 T_{bi} : 차량 i 가 b 지점의 AVI 검지기를 통과한 시각

Table 6. Counts of Travel Times for Each Section(Type 3)

	Orgin	Destination	Orgin Counts (A)	Destination Counts (B)	Matching Counts (C)	Matching Rate (C/A or B)	Note
Westbound	Uam	Gaegeum	2,205	9,137	718	32.6	C/A
	Beomnaegol*	Gaegeum	1,105	9,137	1,014	91.8	
	JinYang*	Gaegeum	2,187	9,137	2,005	91.7	
	Gaegeum	Jurye*	9,137	1,369	1,257	91.8	C/B
	Gaegeum	Hakjang*	9,137	1,199	1,093	91.2	
	Gaegeum	Gamjeon	9,137	6,798	6,312	92.9	
	Gamjeon	Gamjeon*	6,798	2,253	2,167	96.2	
Eastbound	Nakdong	Gaegeum	3,135	9,730	2,963	94.5	C/A
	Gamjeon*	Gaegeum	2,011	9,730	1,926	95.8	
	Hakjang*	Gaegeum	2,045	9,730	1,944	95.1	
	Gaegeum	JinYang*	9,730	2,937	2,766	94.2	C/B
	Gaegeum	Beomnaegol*	9,730	672	650	96.7	
	Gaegeum	Uam	9,730	2,858	1,044	36.5	

* is AVI detector installed to On or Off-Ramp

Table 7. Counts of Travel Times for Each Section(Type 4)

	Orgin	Destination	Orgin Counts (A)	Destination Counts (B)	Matching Counts (C)	Matching Rate (C/A or B)	Note
Westbound	Uam	Gaegeum	2,499	2,199	989	39.6	C/A
	Beomnaegol*	Gaegeum	13	2,199	11	84.6	
	JinYang*	Gaegeum	43	2,199	38	88.4	
	Gaegeum	Jurye*	2,199	32	29	90.6	C/B
	Gaegeum	Hakjang*	2,199	26	25	96.2	
	Gaegeum	Gamjeon	2,199	2,218	2,056	92.7	
	Gamjeon	Gamjeon*	2,218	81	79	97.5	
Eastbound	Nakdong	Gaegeum	1,724	2,259	1,663	96.5	C/A
	Gamjeon*	Gaegeum	97	2,259	93	95.9	
	Hakjang*	Gaegeum	89	2,259	83	93.3	
	Gaegeum	JinYang*	2,259	42	40	95.2	C/B
	Gaegeum	Beomnaegol*	2,259	5	5	100.0	
	Gaegeum	Uam	2,259	4,166	1,522	36.5	

* is AVI detector installed to On or Off-Ramp

Fig. 2는 본선 2차로인 혼잡구간(낙동램프→개금)에서 수집된 차종별 구간 통행시간의 분포로서, 해당 구간 내에는 진입램프 3곳(감진, 학장, 주례)이 존재하고 있어 합류 차량으로 인하여 구간 시간대에는 전반적으로 구간 통행시간이 높은 편임을 알 수 있다.

또한 해당 구간 내에 임시정차대가 없는 이유로 차종에 관계없이 일정한 분포를 나타내고 있으며, 지연차량도 매우 적은 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 본선 2차로인 비 혼잡구간(개금→우암)에서 수집된

차종별 구간 통행시간의 분포이다.

해당 구간 내에는 진출램프 4곳(진양, 범내골, 황령, 문현)이 존재하고 있어 램프로 진출하는 차량으로 인하여 해당 구간은 전 시간대에 걸쳐 짧은 구간 통행시간의 분포를 보이고 있다.

그러나 앞서 살펴본 혼잡구간과 달리 비 혼잡구간에서는 전 시간대에 걸쳐 지연차량이 매우 많이 분포해 있음을 알 수 있다.

이를 확인하기 위하여 해당 도로에 설치된 CCTV를 모니터링한 결과, 해당 구간 내에 설치된 임시 정차대에 장시간 주차하는 차량이

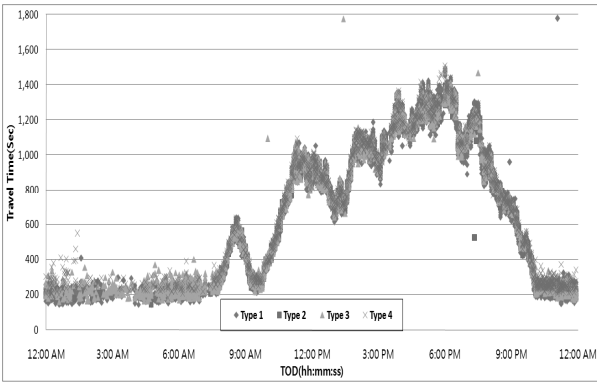


Fig. 2. Distribution of Sectional Travel Times (Congestion Section)

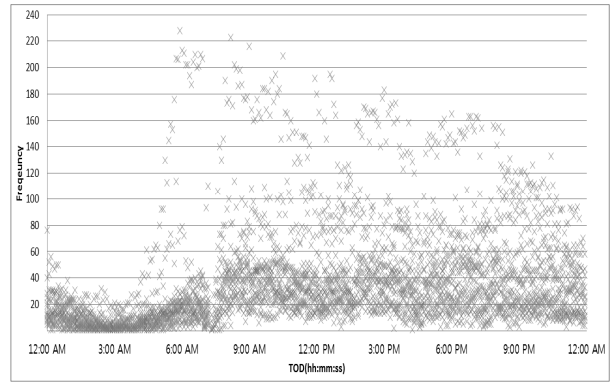


Fig. 4. Distribution of Probe Counts for 5min Collection Period

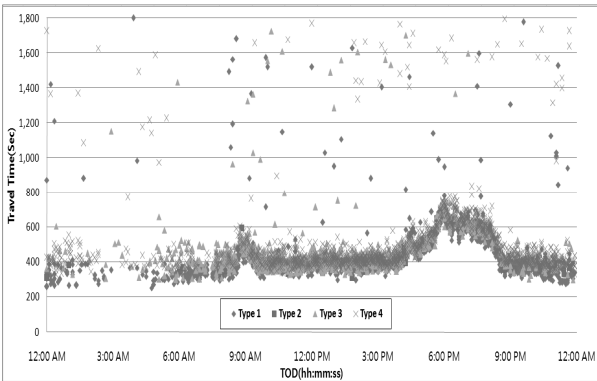


Fig. 3. Distribution of Sectional Travel Times (Non-Congestion Section)

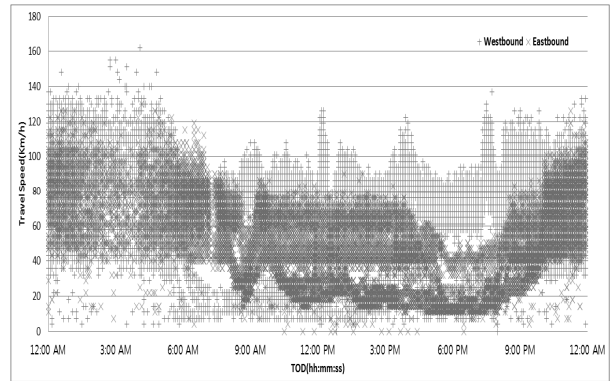


Fig. 5. Distribution of Sectional Travel Speeds

매우 많은 것으로 확인되었으며, 이들 차량이 지연 차량으로 파악되었다.

따라서 이러한 차량은 정상적으로 운행한 차량이 아니므로 이상치로 분류하여 제거하여야 하며, 아울러 차종별 구간 통행시간의 차이를 통계적 검정을 통하여 비교 분석할 필요가 있다.

Fig. 4는 동서고가로 전체 13개 구간에 대한 5분 수집주기별 표본수의 분포이다.

전체 3,744개의 수집주기 동안 평균 35대의 표본수가 수집되었으나, 358개 수집주기(9.6%)에서 3대 이하의 표본수가 수집되었다.

특히 3대 이하의 표본수는 0시~4시에 집중되어 있는 것으로 나타났으며, 통행량이 많은 주간 시간대에서도 일부 나타났다. 이는 앞서 Table 2에서 언급한 누락에 의한 결과와 AVI 도입 초기의 시스템 오류(일부 카메라의 조명장치 장애 등)가 발생하였기 때문이다.

이처럼 표본수가 충분하지 않은 경우에는 잔후 수집주기의 대푯값 간 편차가 커질 수 있고, 교통흐름이 급변하는 형태로 나타날 수 있으므로 이에 대한 보완책이 필요하다.

Fig. 5는 동서고가로 전체 13개 구간에서 수집된 개별 프로브

차량의 구간 통행속도 분포이다.

개별 프로브 차량의 구간 통행속도 중 최고값은 오전 4시 6분에 개금→주례IC 램프에서 162km/h이었으며, 일부 140km/h 이상의 차량도 나타났다. 그러나 이때의 5분 수집주기에 대한 평균 통행속도가 108km/h임을 고려할 때 최고값은 비정상적인 과속차량으로서 이상치로 분류하여 제거되어야 한다.

반면, 최소값은 거의 0km/h에 가까운 값들이 전 시간대에 걸쳐 분포해 있었으며, 그 다음으로 낮은 값은 4km/h로 나타났으나, 이러한 값은 동측 방향의 개금 AVI와 연결되는 구간에서 대부분 분포해 있었다.

따라서 구간 통행속도의 분포 특성을 고려한 최대값과 최소값을 설정하여 정상치와 이상치를 구분할 필요가 있다.

3.3 차종별 통계적 차이 검정

앞서 선행에서 살펴본 바와 같이 AVI 관련 연구에서는 차종별 구간 통행속도에 대한 비교검토가 전무한 실정이었다.

그러나, 본 연구의 범위인 동서고가로는 화물자동차와 특수자동차의 비율이 매우 높은 도로임을 고려해 볼 때, 차종별 구간 통행속도

에 대한 차이를 통계적 방법을 통하여 검증한 이후 최적 통행속도를 산출할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 5분 수집주기의 차종별 구간 통행시간에 차이가 있는지를 검증하기 위하여 유의확률 0.05에서 일원배치분산분석(One way ANOVA) 검정을 수행하였다.

이때의 가설은 다음과 같으며, 여기에서 1종(승용자동차)과 2종(승합자동차)은 동일한 그룹으로 분류하였다.

$$\text{귀무가설 } H_0 : \mu_{1\text{종},2\text{종}} = \mu_{3\text{종}} = \mu_{4\text{종}} \quad (2)$$

$$\text{대립가설 } H_1 : \mu_{1\text{종},2\text{종}} \neq \mu_{3\text{종}} \neq \mu_{4\text{종}} \quad (3)$$

여기서, $\mu_{1\text{종},2\text{종},3\text{종},4\text{종}}$: 5분 수집주기의 차종별 구간 통행속도

Table 8은 혼잡구간(낙동램프→개금)에 대한 일원배치분산분석 검정 결과이다.

분산분석 결과를 살펴보면, 유의확률이 0.893으로 유의수준 0.05보다 크게 나타나, 차종별 구간 통행속도는 거의 차이가 없다는 귀무가설 H_0 가 채택되었다.

아울러 사후검정(Post Hoc)을 통하여 차종별 구간 통행시간의 차이를 살펴보았다.

Table 8. Result of ANOVA (Congestion Section)

Source of variation	SS	df	MS	F	P-value
Between Groups	76.771	2	38.385	.113	.893
Within Groups	68424.384	201	340.420		
Total	68501.155	203			

Table 9. Result of Post-Hoc Test (Congestion Section)

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
						Tukey HSD	Type 1,2
		Type 4	1.49853	3.16423	.884	-5.9729	8.9699
	Type 3	Type 1,2	-.84559	3.16423	.961	-8.3170	6.6258
		Type 4	.65294	3.16423	.977	-6.8185	8.1243
	Type 4	Type 1,2	-1.49853	3.16423	.884	-8.9699	5.9729
		Type 3	-.65294	3.16423	.977	-8.1243	6.8185
Scheffe	Type 1,2	Type 3	.84559	3.16423	.965	-6.9577	8.6489
		Type 4	1.49853	3.16423	.894	-6.3048	9.3018
	Type 3	Type 1,2	-.84559	3.16423	.965	-8.6489	6.9577
		Type 4	.65294	3.16423	.979	-7.1504	8.4563
	Type 4	Type 1,2	-1.49853	3.16423	.894	-9.3018	6.3048
		Type 3	-.65294	3.16423	.979	-8.4563	7.1504

Table 9는 혼잡구간에 대한 사후검정 결과로서, Scheffe를 보면 1, 2종과 3종, 3종과 4종, 4종과 1,2종간의 유의확률이 각각 0.965, 0.979, 0.894로 유의수준 0.05보다 크게 나타나 귀무가설 H_0 가 채택되었다.

즉, 혼잡구간에서 차종별 구간 통행속도는 차이가 없다는 결론을 얻을 수 있었다.

Table 10은 비 혼잡구간(개금→우암)에 대한 일원배치분산분석 검정 결과이다.

분산분석 결과를 살펴보면, 유의확률이 0.05보다 작게 나타나, 차종별 구간 통행속도는 모두 같지 않다는 대립가설 H_1 가 채택되었다.

따라서 사후검정(Post Hoc)을 통하여 어떤 차종 간에 차이가 발생했는지를 살펴보았다.

Table 11은 비 혼잡구간에 대한 사후검정 결과로서 Scheffe를 보면 혼잡구간과 마찬가지로 1, 2종과 3종, 3종과 4종의 유의확률이 각각 0.084, 0.938로 유의수준 0.05보다 크게 나타나 귀무가설 H_0 가 채택되었다.

그러나 4종과 1, 2종의 유의확률은 0.036로 유의수준 0.05보다 작게 나타나 대립가설 H_1 가 채택되었다.

Table 10. Result of ANOVA (Non-Congestion Section)

Source of variation	SS	df	MS	F	P-value
Between Groups	1214.192	2	607.096	3.961	.021
Within Groups	28510.186	186	153.281		
Total	29724.378	188			

Table 11. Result of Post-Hoc Test (Non-Congestion Section)

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
						Tukey HSD	Type 1,2
		Type 4	5.72698	2.20591	.027	.5152	10.9387
	Type 3	Type 1,2	-4.93968	2.20591	.067	-10.1514	.2721
		Type 4	.78730	2.20591	.932	-4.4245	5.9991
	Type 4	Type 1,2	-5.72698	2.20591	.027	-10.9387	-.5152
		Type 3	-.78730	2.20591	.932	-5.9991	4.4245
Scheffe	Type 1,2	Type 3	4.93968	2.20591	.084	-.5036	10.3830
		Type 4	5.72698	2.20591	.036	.2837	11.1703
	Type 3	Type 1,2	-4.93968	2.20591	.084	-10.3830	.5036
		Type 4	.78730	2.20591	.938	-4.6560	6.2306
	Type 4	Type 1,2	-5.72698	2.20591	.036	-11.1703	-.2837
		Type 3	-.78730	2.20591	.938	-6.2306	4.6560

즉, 비 혼잡구간에서 차종별 구간 통행속도는 차이가 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

따라서 AVI를 통하여 수집된 자료 중 4종을 제외한 후에도 최소 표본수가 확보된다면, 최적 통행속도를 생성하기 위해서는 4종을 제외할 필요가 있음을 알았다.

4. 최적 통행속도 산출

4.1 구간 통행속도 산출 절차 도출

지금까지 AVI를 통하여 수집된 자료를 분석한 결과, 평균통행시간보다 작거나 큰 이상치가 발생하고, 차종별 구간 통행속도의 차이로 인하여 원시 자료를 이용하여 교통정보로 제공할 경우에는 다수의 운전자가 느끼는 속도와 많은 차이가 발생할 수 있음을 알았다.

이에 본 연구에서는 동서고가로를 주행하는 다수의 운전자가 실제 체감하는 속도와 유사한 최적 통행속도를 산출하기 위하여 다음과 같이 제안하고자 한다.

첫째, AVI 검지기를 통하여 수집된 프로브 차량 중 4종(특수자동차)은 제외하고 구간 통행속도를 산출하여야 한다.

이는 앞서 통계적 검정을 통하여 살펴본 결과와 같이 비 혼잡시간대에 차종간 평균차가 매우 크게 나타났기 때문이다.

따라서 보다 신뢰성 있는 교통정보를 생성하기 위해서는 4종(특수자동차)을 제외할 필요가 있다.

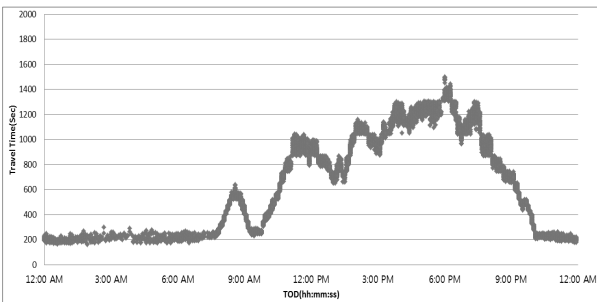


Fig. 6. Distribution of Normal Data (Congestion Section)

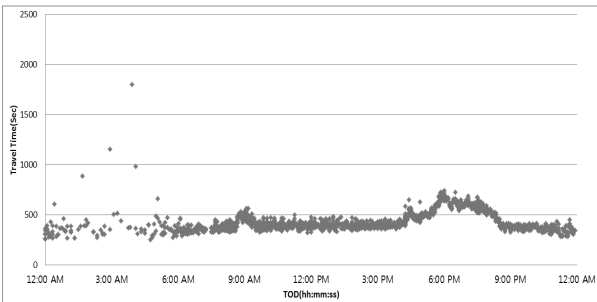


Fig. 7. Distribution of Normal Data (Non-Congestion Section)

둘째, AVI를 통하여 수집된 자료 중 휴게시설, 고장, 과속 등으로 인하여 평균통행시간보다 작거나 큰 이상치를 제거하는 방안이다.

앞서 다수의 이상치 제거 방안이 있으나, 본 연구에서는 동서고가로에서 수집된 프로브의 특성과 유사한 부산광역시 도시고속도로인 변영로를 대상으로 한 저자 등(Jeong and Jung, 2014)이 제안한 이상치 제거 절차를 적용하고자 한다.

즉, 구간 통행속도의 최대값과 최소값을 설정하여 1차적으로 정상치와 이상치를 판단한다.

이에 본 연구에서는 앞서 동서고가로를 통행하는 개별 차량의 특성을 고려하여 최대값 140km/h, 최소값 5km/h로 설정하여 1차적으로 이상치를 제거한다.

그 다음으로 평균과 표준편차를 고려하여 신뢰구간을 설정한 후 그 범위를 벗어난 값은 이상치로 제거하고 나머지 자료를 정상치로 판정하여 구간 통행속도를 산출하는 것이다.

이상의 도출된 결과를 혼잡구간(낙동램프→개금)과 비 혼잡구간(개금→우암)에 적용하였으며, 이는 Figs. 6 and 7이다.

앞서 살펴본 Figs. 2 and 3과 비교했을 때, 이상치로 보여진 자연차량이 효과적으로 제거되었고, 교통 정체를 확연히 확인할 수 있다.

그러나 새벽시간대에는 일부 자연차량이 정상치로 판정된 것을 알 수 있다.

4.2 원시 자료와 정상치 자료 간 비교분석

지금까지 AVI 자료 분석을 통하여 문제점을 파악하고 이를 해결하기 위한 방안을 도출, 적용하여 정상치를 판정하는 절차를 수행하였다.

이에 본 절에서는 원시 자료와 정상치로 판정된 자료를 활용하여 생성된 구간 통행속도가 동일하지 여부를 확인하기 위해 대응표본 T 검정(Paired Sample T-test)을 수행하였으며, 이때의 가설은 다음과 같다.

$$\text{귀무가설 } H_0 : \mu_{\text{raw-data}} = \mu_{\text{filtering-data}} \quad (4)$$

$$\text{대립가설 } H_1 : \mu_{\text{raw-data}} \neq \mu_{\text{filtering-data}} \quad (5)$$

여기서, $\mu_{\text{raw-data}}$: 원시 자료로 산출된 구간 통행속도

$\mu_{\text{filtering-data}}$: 정상치 자료로 산출된 구간 통행속도

Table 12는 대응표본 T 검정 결과로서, 총 13개 구간 중 8개 구간에서 유의수준 0.05보다 작아 귀무가설 H_0 를 기각하게 되어 이상치 제거로 인하여 새로운 구간 통행속도가 생성되었음을 알 수 있다.

특히 4종의 통행 비율이 높은 구간에서 귀무가설 H_0 를 기각하였다.

Table 12. Result of Paired Sample T-Test

Section	Paired Difference				t	df	Sig
	Mean	Std. Deviation	95% Confidence Interval of the Difference				
			Lower	Upper			
Uam → Gaegeum	2.05	3.99	1.57	2.53	8.35	264	.000
Beomnaegol* → Gaegeum	0.06	1.58	-0.13	0.25	0.64	276	.521
JinYang* → Gaegeum	0.01	0.93	-0.10	0.12	0.17	284	.869
Gaegeum → Jurye*	-0.43	2.32	-0.70	-0.15	-3.07	279	.002
Gaegeum → Hakjang*	-0.09	2.69	-0.42	0.24	-0.54	263	.589
Gaegeum → Gamjeon	1.38	1.99	1.15	1.61	11.73	285	.000
Gamjeon → Gamjeon*	-0.57	1.68	-0.77	-0.37	-5.72	283	.000
Nakdong → Gaegeum	0.86	2.41	0.58	1.14	6.02	285	.000
Gamjeon* → Gaegeum	0.44	2.37	0.16	0.72	3.12	280	.002
Hakjang* → Gaegeum	0.10	1.69	-0.10	0.30	0.99	279	.325
Gaegeum → JinYang*	-0.21	1.30	-0.36	-0.06	-2.70	281	.007
Gaegeum → Beomnaegol*	-0.09	2.24	-0.36	0.18	-0.65	263	.515
Gaegeum → Uam	4.33	6.58	3.54	5.12	10.76	266	.000

* is AVI detector installed to On or Off-Ramp

Table 13. Result of MAPE(%) and RMSE

Section	Distance(km)	MAPE(%)	RMSE
Uam → Gaegeum	7.5	0.3	0.3
Gaegeum → Gamjeon	4.2	2.0	2.3
Nakdong → Gaegeum	5.2	0.4	0.6
Gaegeum → Uam	7.5	1.9	1.7
Average	6.1	1.2	1.2

이는 앞서 본 연구에서 밝혀낸 차종별 구간 통행속도의 차이가 있다는 결론에 기인한 것으로써 4종을 제거함으로 인하여 새로운 값이 생성되었음을 증명하는 결과이다.

4.3 정확성 평가

정상치 자료를 활용하여 새로이 생성된 구간 통행속도에 대한 정확성 평가를 수행하였다.

그러나 동서고가로 상에서 주행차량시험을 시행하는 것은 현장 여건상 충분한 표본수를 수집하기가 어려움으로 인하여 본 연구에서는 기준값이 되는 참값을 다음과 같이 정의하였다.

즉, 동서고가로의 동서측 구간 중 본선에 설치된 모든 AVI 검지기를 통과한 차량은 평균속도로 주행하였다고 가정하고, 이들 차량에 대한 5분 수집주기 동안의 평균값을 참값으로 정의하였다.

아울러 정확성 평가의 대상구간도 참값으로 설정된 구간과 동일하게 총 4개 구간으로 설정하였다.

이때, 정확성 평가의 지표는 오차의 정도를 백분율로 비교하기 위하여 MAPE, 오차의 정량적 정도를 평가하기 위하여 RMSE를 이용하였다.

Table 13은 정확성 평가의 결과로서, MAPE는 최소 0.3%, 최대 2.0%, 평균 1.2%이었고, RMSE는 최소 0.3, 최대 2.3, 평균 1.2로 나타나, ITS 사업수행지침⁴⁾에 제시된 차량검지기 성능평가의 척도를 준용하면 최상급으로 평가되었다.

4.4 최소 표본수 산정

본 연구에서는 최적 통행속도를 산출하기 위하여 우선적으로 4종(특수자동차) 자료는 제외하였고, 이상치 제거 절차에 따라 이상치 제거하였다.

이러한 일련의 과정 후, 정상치로 판정된 수집주기 동안의 표본수가 적정함을 평가하기 위하여 중심극한정리를 이용, 신뢰수준별 최소 표본수를 산정하였다.

Table 14는 AVI 구간별 최소 표본수의 산정 결과이며, 전체 13개 구간 중 12개 구간에서 신뢰수준 95%에서 매우 적정한 것으로 분석되었다.

따라서 AVI를 통하여 수집된 자료 중 4종(특수자동차)를 제외한 후에도 최소 표본수가 확보되었기 때문에 최적 통행속도를 산출하

4) 국토교통부 고시 제2013-255호 「ITS 사업시행지침」에 제시된 차량검지기 성능평가 기준 : 최상급 ≥ 95 %, 상급 ≥ 90 % 중급 ≥ 80 % 중하급 < 80 %

Table 14. Result of Minimum Sample Size Calculation

Section			AM Peak			Off-Peak			PM Peak		
			vol	95%	90%	vol	95%	90%	vol	95%	90%
Uam	→	Gaegeum	10	1	1	6	3	3	9	1	1
Beomnaegol*	→	Gaegeum	19	1	1	22	3	2	18	1	1
JinYang*	→	Gaegeum	32	1	1	36	1	1	46	1	1
Gaegeum	→	Jurye*	12	2	2	21	11	8	31	4	3
Gaegeum	→	Hakjang*	22	2	2	16	4	3	15	5	3
Gaegeum	→	Gamjeon	116	3	2	99	5	4	95	3	2
Gamjeon	→	Gamjeon*	28	5	4	22	9	6	27	5	4
Nakdong	→	Gaegeum	48	3	2	66	1	1	61	1	1
Gamjeon*	→	Gaegeum	31	3	2	25	1	1	25	1	1
Hakjang*	→	Gaegeum	21	3	2	34	2	1	38	2	2
Gaegeum	→	JinYang*	32	5	4	61	3	2	60	2	2
Gaegeum	→	Beomnaegol*	17	3	2	13	3	2	6	17	12
Gaegeum	→	Uam	10	6	4	8	9	6	9	3	2
Average			31	3	2	33	4	3	34	4	3

* is AVI detector installed to On or Off-Ramp

기 위해서는 4종(특수자동차)를 제외해도 무방함을 알 수 있다.

다만, 오후 첨두시간대에 개금→범내골 구간에서 신뢰수준 90%에서도 최소 표본수를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

이는 해당 구간의 오후 첨두시간대에는 차로별 혼잡 정도가 다른 이유로(1차로 본선 주행로 원활, 2차로 램프 진출로 정체) 1차로에서 2차로로 끼어들기 하는 차량으로 인하여 개별차량 간 편차가 발생하여 많은 표본수가 필요한 것으로 분석되었다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 진출램프에 차선 분리시설의 확대 설치와 끼어들기 위반차량 단속시스템을 설치할 필요가 있다.

5. 결론 및 향후과제

도시교통문제는 많은 대도시에서 공통적으로 안고 있는 문제이나, 이를 해결하기 위한 대규모의 도로건설 정책은 한정된 예산으로 인하여 더 이상 해결책이 되고 있지 않다.

이에 부산광역시를 비롯한 많은 지방자치단체에서 지능형교통시스템을 통하여 도시교통문제를 해결하고자 노력하고 있다.

그러나 지금까지 부산광역시는 연차별로 지능형교통시스템 구축사업을 추진하면서도 수집된 자료에 대한 제대로 된 정확성 평가나 연구가 이루어지지 않았고, 특히 AVI 시스템이 구간 통행속도를 수집하는 시스템임에도 불구하고 지점 검지율에 대한 성능평가만 시행한 것이 전부이다.

이에 본 연구에서는 부산광역시 일반도로 중 연속류인 동서고가로를 대상으로 AVI를 통해 수집된 자료를 분석하여 최적 통행속도

를 산출하고자 하였다.

지금까지의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 동서고가로의 혼잡구간과 비 혼잡구간을 비교한 결과, 혼잡 구간에서는 이상치가 거의 없었으나, 비 혼잡구간에서는 전체 구간 통행시간과 달리 지연차량이 다수 발견되었다.

특히 임시정차대가 존재하는 구간에서는 장시간 주차하는 차량이 매우 많은 것으로 파악되어, 이들 차량은 이상치로 분류하여 제거할 필요가 있었다.

둘째, 개별 프로브 차량에 대한 구간 통행속도의 분포를 살펴본 결과, 평균통행속도와 달리 140km/h 이상의 과속 차량도 분포해 있음을 알았다.

이는 앞서 언급한 지연차량과 마찬가지로 이상치로 분류하여 제거할 필요가 있었다.

셋째, 동서고가로를 통행하는 화물자동차와 특수자동차의 비율이 높은 점을 고려하여 차종별 구간 통행속도의 차이를 통계적 검정을 통해 분석한 결과, 혼잡구간에서는 거의 차이가 없었으나, 비 혼잡구간에서는 차이가 존재함을 밝혀냈다.

특히 비 혼잡구간에 대한 사후검정 결과, 1종(승용자동차), 2종(승합자동차)과 4종(특수자동차)간 유의확률은 0.036로 유의수준 0.05보다 작게 나타나, 차종별 구간 통행속도에 차이가 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

따라서 AVI를 통하여 수집된 자료 중 4종(특수자동차)을 제외하여 시민이 체감할 수 있는 최적 통행속도를 산출할 필요가 있음을 알았다.

넷째, 이상의 과정에서 도출된 결과와 구간 통행속도 절차를 적용해 본 결과, 정확성 평가와 최소 표본수 산정에서 매우 적절한 것으로 나타나 최적 통행속도가 산출되었음을 알 수 있었다.

다섯째, 개금→범내골 구간에서처럼 끼어들기로 인한 개별 차량 간 편차를 줄이기 위해서는 진출램프에 차선 분리시설의 확대 설치와 끼어들기 위반차량 단속시스템을 설치할 필요가 있었다.

끝으로 Table 2에서 살펴본 누락건수를 줄이기 위해서는 지속적인 AVI 수집 자료에 대한 모니터링과 장비 점검을 시행하여야 할 것이다.

이울러 선행연구와 본 연구에서 살펴본 바와 같이, 최적 통행속도를 산출하기 위해서는 해당 도로와 수집된 자료의 특성에 대한 분석이 필수적으로 선행되어야 하며, 지속적인 자료 분석과 연구를 통하여 개선해 나갈 필요가 있다.

본 연구가 일반도로의 연속류에서 AVI를 통하여 수집된 자료를 분석하여 문제점을 도출하고, 차종별 구간 통행속도의 차이를 밝혀 내어 최적 통행속도를 산출하고자 시도한 것은 기존 AVI 관련 연구에서 전무한 실정임을 감안할 때 본 연구의 의의가 매우 크다고 하겠다.

이울러 본 연구의 결과는 AVI를 구축하고자 하는 지방자치단체를 위한 유용한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

향후 연구 과제로는 보다 정확한 교통정보를 산출하기 위해서는 AVI 자료뿐만 아니라 다른 교통정보수집시스템을 통하여 수집된 자료와의 통합에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

- Dion, F. and Rakha, H. (2003). "Estimating spatial travel times using automatic vehicle identification data." *Proceedings of 83rd TRB Annual Meeting*, Washington D.C.
- Dion, F. and Rakha, H. (2006). "Estimating dynamic roadway travel times using automatic vehicle identification data for low sampling rates." *Elsevier, Transportation Research Part B*, Vol. 40, No. 9, pp. 745-766.
- Do, M. S., Lee, H. M. and Namkoong, S. (2008). "Outlier filtering and missing data imputation algorithm using TCS data." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 26, No. 4, pp. 241-250 (in Korean).
- Jang, J. H., Baik, N. C., Kim, S. H. and Byun, S. C. (2004). "Dynamic travel time prediction using AVI data." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 22, No. 7, pp. 169-175 (in Korean).
- Jang, J. H., Byun, S. C., Baik, N. C. and Kim, S. H. (2005). "A data processing algorithm for AVI equipment." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 25, No. 2, pp. 233-240 (in Korean).
- Jeong, Y. T. and Jung, H. Y. (2014). "A study on improving the reliability of DSRC traffic information considering traffic and road characteristics." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 34, No. 5, pp. 1535-1545 (in Korean).
- Kwon, H. J. (2009). *The traffic information processing system using dedicated short range communication*, Ph.D. Dissertation, AJOU University (in Korean).
- Lee, H. J. (2005). *An optimal travel time estimation model based on VDS/AVI*, Ph.D. Dissertation, AJOU University (in Korean).
- Lee, Y. I. and Lee, J. H. (2002). "A study on link travel time estimating methodology for traffic information service." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 20, No. 3, pp. 55-67 (in Korean).
- Moon, H. R., Ryu, S. G., Kim, S. H. and Park, H. S. (2003). "Calculation of travel time using automatic vehicle identification systems." *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 2, No. 2, pp. 23-29 (in Korean).
- Mouskos, K. C., Niver, E., Pignataro, L. J. and Lee, S. (1998). *TRANSMIT system evaluation*, Final Report, Institute for Transportation, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ.
- Park, H. Y., Kim, K. S. and Gang, S. J. (2012). "A study on reliability improvement of traffic information by integrating security and traffic AVI data." *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 11, No. 5, pp. 78-88 (in Korean).
- Shin, J. M., Lee, S. H. and Kim, H. S. (2013). "The outlier-filtering algorithm for national highway continuous traffic counts data." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, The Korean Society of Civil Engineers, Vol. 33, No. 2, pp. 691-702 (in Korean).
- Song, H. J. (2010). *Traffic information processing algorithm using Electronic Toll Collection System*, Master's Thesis, AJOU University (in Korean).
- The Korea Institute of Intelligent Transport Systems (2008). *Traffic Information Engineering*, Cheongmoongak (in Korean).