

고속도로 루프검지기를 이용한 차종분류 기법 평가

Evaluation of Technical Feasibility for Vehicle Classification Using Inductive Loop Detectors on Freeways

박 준 형* 김 태 진** 오 철***
(Joon-Hyeong Park) (Tae-Jin Kim) (Cheol Oh)

요 약

첨단교통체계(ITS: Intelligent Transportation Systems)는 효과적인 교통제어 및 안전증진을 추구하기 위하여 많은 연구와 사업이 진행 중이다. 이를 위하여 실시간으로 교통상황을 제어하는데 필요한 신뢰성 있는 교통정보를 얻기 위해 가장 많이 설치되어 있는 루프검지기를 통하여 기본적으로 교통량, 속도, 점유율 등의 자료를 수집할 수 있다.

본 연구에서는 국내에 가장 보편적으로 설치된 루프검지기에서 추출한 차량자기신호곡선(IVS: Inductive Vehicle Signature) 자료를 이용하여 차량길이 및 속도 등을 산출하고 이를 이용하여 차종을 구분하는 알고리즘을 개발하였다. 본 연구는 세가지 Case(소형-대형, 소형-중형-대형, 소형-중형-대형-특대형)로 구성되어 있으며, 각 Case에서 전체차량을 각 Class로 분류하는 기준이 되는 차량길이 기준값을 산출하였다. 일반적인 도로구간에서의 적용을 위해 시-공간적 이식성 Test를 하여 분석대상구간 외의 다른 구간에서 차량길이 기준값의 적용가능성을 검토하였다. 본 연구의 결과는 차종구분을 통해 세부적인 교통량 정보를 수집하고 도로를 통과하는 차량들의 차종구성을 파악하여 교통운영 및 전략수립 시에 활용자료로 이용 가능할 것으로 판단된다.

Abstract

This study presents a useful heuristic algorithm to classify vehicle classes using vehicle length information, which is extracted from inductive loop vehicle signatures. A high-speed scanning equipment was used to extract more detailed change of inductance magnitude for individual vehicles. Vehicle detection time and individual vehicle speeds were used to derive vehicle length information that is an input of the proposed algorithm. The spatial and temporal transferability tests were further conducted to evaluate algorithm. The spatial and temporal transferability tests were further conducted to evaluate algorithm performance more systematically. It is expected that the proposed method would be useful for obtaining vehicle classification information from wide-spread existing loop infrastructure.

Key words: Vehicle classification, intelligent transportation systems, loop detector, inductive vehicle signature, vehicle length

† 본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원에서 수행하는 『고속도로 통행시간 정보개선 및 활용기법 연구』 과제의 지원으로 수행되었음.

* 주저자 : 한양대학교 교통공학과 석사과정

** 공저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 학석사연계과정

*** 공저자 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수(교신저자)

† 논문접수일 : 2009년 1월 19일

† 논문심사일 : 2009년 2월 9일

† 게재확정일 : 2009년 2월 10일

I. 서 론

실시간 교통상황을 정확하게 관측할 수 있는 검지시스템의 개발은 첨단교통체계(ITS: Intelligent Transportation Systems)의 성공적인 현장 구현을 위해 근간이 되는 연구 분야이다. 더불어 통신 및 전자, 제어 기술의 급속한 발달과 더불어, 효과적인 교통제어 및 안전증진을 추구하는 첨단교통체계의 수립을 위한 많은 연구와 사업이 진행 중이다. 현재의 교통체계 상에서 다이내믹하게 변화하고 있는 교통상황(Traffic Conditions)을 어떻게 정확하게 관측하느냐 하는 문제는 교통제어전략이 제 기능을 수행하기 위하여 선결되어야 한다. 이는 신뢰성 있는 교통 관측 자료가 교통제어전략의 입력 자료로 사용될 뿐만 아니라 교통정보의 생산 및 가공에도 응용되어 운전자의 의사결정을 돕는 중요한 역할을 수행하기 때문이다. 교통정보를 얻기 위해 기본적으로 가장 많이 설치되어있는 검지기는 루프검지기 이고, 루프검지기는 기본적으로 교통량, 속도, 점유율 등의 자료를 수집할 수 있다. 루프검지기를 통해 기존에 얻을 수 있었던 자료들 이외에도 다른 자료들을 추가적으로 얻을 수 있다면 교통상황의 변화를 보다 효과적으로 반영하여 교통제어전략을 수립하는데 활용자료로 이용이 가능할 것이다.

본 연구에서는 차량이 검지기를 통과하는 시간동안의 자기장 변화를 차량자기신호곡선(IVS: Inductive Vehicle Signature)이라하고 루프검지기에서 수집한 차량자기신호자료를 이용하여 차량길이 및 속도 등을 산출하고 이를 이용하여 차종을 구분하는 알고리즘을 개발하였다. 차종은 세 가지 Case(소형-대형, 소형-중형-대형, 소형-중형-대형-특대형)로 구분하여 각 Class를 분류하는 기준이 되는 차량길이 기준값을 산출하였고, 본 연구에서 산출한 최적의 차량길이 기준값을 이용하여 시·공간적 범위에서의 이식성을 테스트하여 일반적인 도로구간에서의 적용성 여부를 검토하였다. 개발된 알고리즘의 차종구분 결과는 해당 고속도로를 주행하는 교통류의 구성을 파악하는데 사용되어 교통운영 및 전략 수립에 활용될 것으로 기대된다.

본 연구는 영동고속도로(인천방향)의 1개 검지기에서 추출한 IVS data를 이용하여 차량길이를 산출하고 전체 차량을 소형, 중형, 대형, 특대형 등의 Case로 분류하는 알고리즘을 개발하였다.

II. 기존 연구 고찰

1. 국내 연구

이승환 외(1996)은 고속도로에 설치된 단일 루프검지기를 이용하여 heuristic한 차종분류 알고리즘을 개발하였다 [1]. 조형기, 오영태 (1996)는 루프검지기에서 수집한 자료에 Hybrid General Learning Vector Quantization Unsupervisor 신경망을 적용하여 차종을 구분하는 기법을 제시하였다 [2]. 김수희 외(1999)는 단일 자석검지기를 이용한 차종구분 알고리즘을 제시하였는데 개별차량에 대한 자속밀도의 변화에 따른 수치를 개별차량의 특성으로 반영하여 Template matching 기법과 인공신경망 기법을 복합적으로 적용한 차종분류 기법을 제시하였다 [3]. 오철(2005)은 루프검지기와 Blade Sensor를 이용하여 개별차량이 지닌 고유한 특성을 추출하여 주어진 구간에서 차량을 재인식 하는 알고리즘을 개발하였다 [4].

2. 국외 연구

Lu et. al (1992)은 적외선 검지기로 k-nearest neighbor 기법을 적용하여 4개 차종을 분류하는 연구를 수행하였으며 [5], Yuan et. al (1994)은 6개의 차종을 계층별분류가 가능한 알고리즘을 제시하였다 [6]. Wei et. al (1996)은 촬영한 동영상 자료의 차량을 인공신경망을 이용하여 3개 차종으로 분류하는 알고리즘을 제시하였다 [7]. Nooralahiyani et. al (1997)은 음파와 인공신경망을 이용하여 4개 차종으로 분류하는 기법을 제시하였다 [8]. Sun and Ritchie (2000)은 루프검지기에서 수집되는 차량자기신호를 이용하여 차종을 구분하는 경험적 판별 알고리즘을 제시하였다 [9]. 또한 Ritchie et. al (2001)은 교통자료 수집 및 교통상황 감시에 차량자기신호를 이용하는

방법을 제시하였다 [10]. Zhu and Sheng (2002)은 차량의 차종분류를 위해 인공신경망을 이용한 동영상 처리 알고리즘을 제시하였다 [11]. Cheung et. al (2005)은 Magnetic sensor를 이용한 6개 차종분류가 가능한 차종분류 알고리즘을 제시하였다 [12]. Oh and Ritchie (2007)은 Blade Sensor의 신호를 이용하여 차종을 인식하는 방법을 제시하였다 [13].

Ⅲ. 자료수집 및 가공

1. 자료수집 및 입력자료 구축

차종구분 알고리즘에 사용된 입력자료는 영동고속도로의 인천방향으로 39.9km지점 루프검지기에서 1시간동안 수집한 data이다. 루프검지기는 국내에서 가장 많이 설치된 검지기이며, 타 검지기에 비해 설치비용, 검지성에서 우수한 장점이 있다. 그리고 영상처리기술 기반의 검지기에 비해 날씨, 사생활침해 등의 문제에서 자유롭다. 루프검지기는 도로의 노면에 설치되어 차량이 검지기 상부를 통과할 때 발생하는 자기장의 변화를 감지하여 차량의 통과량, 통과속도, 점유율 자료를 생성한다. 자기장의 변화를 세밀하게 읽어낼 수 있는 MR-5010A장비를 이용하여 개별차량이 검지기자료를 통과할 때 발생한 자기장의 변화 파형자료를 <그림 1>과 같이 수집하였다. 수집된 파형자료는 통과차량의 외관, 통과속도 등의 영향을 받으며, 이를 본 연구에서는 차량이 검지기



<그림 1> MR-5010A를 이용한 IVS data 수집
<Fig. 1> IVS data collection

<표 1> 전체 차종별 대수
<Table 1> Number of vehicle each vehicle types

차종	대수
pcar	1330
SUV	502
VAN	626
1 ton truck	484
Truck	822
BUS	118
Trailer	96
합계	3978

를 통과하는 동안의 자기장의 변화 그래프를 차량자 기신호곡선 (IVS : Inductive Vehicle Signature)이라 정의하였다.

통과한 차량의 실제 차종자료를 구축하기 위해 동일지점, 동일시간대에서 동영상을 촬영하였다. 루프검지기에서 추출한 개별차량의 IVS data와 동영상자료의 검지기 통과차량을 검지기 통과시간, IVS의 파형, 차량길이 등으로 매칭을 시켜 각 IVS data에 실제 차종정보를 기록하였다. 동영상 분석을 통한 실제 차종자료를 구축할 때 차종은 승용차, SUV, VAN, 1톤 트럭, 트럭, 버스, 트레일러 등의 7개 로 구분하였으며, 본 알고리즘에 사용된 전체 차량은 3978대이며, 차종별 차량대수는 <표 1>과 같다.

Ⅳ. 차량길이를 이용한 차종분류기법

1. 기존의 교통자료 수집 시의 차종분류

도로용량편람에서는 도로설계 시 차로수 산정이나 LOS산정을 위해 중차량의 승용차환산계수를 산출할 때 소형(2.5톤 미만 트럭, 16인승 미만 승합차), 중형(2.5톤 이상 트럭, 16인승 이상 버스), 대형(트레일러)으로 차량을 구분하여 적용하고 있다. 고속도로 톨게이트에서는 통행요금을 차종에 따라 차등부과하기 위해 차량높이, 바퀴 수, 축간거리, 차폭 등을 측정하여 5개의 차종으로 차량을 분류한다. 5개의 차종에 해당하는 차량은 <표 2>와 같다. 교통량 통계

〈표 2〉 고속도로 통행요금 징수 시 차종분류
 <Table 2> Vehicle classification for freeway toll collection

차종	해당차량	비고
1종	• 승용차, 16인승 이하 승합차 • 2.5톤 미만 화물차(2축, 율폭 279.4mm이하)	소형차
2종	• 17인승 이상 32인승 이하 승합차 • 2.5톤 이상 5.5톤 이하 화물차(2축, 율폭 279.4mm초과, 윤거 1,800mm이하)	중형차
3종	• 33인승 이상 승합차 • 5.5톤 초과 10톤 미만 화물차(2축, 율폭 279.4mm초과, 윤거 1,800mm초과)	대형차
4종	• 10톤 이상 20톤 미만 화물차(3축 차량)	대형화물차
5종	• 20톤 이상 화물차(4축 이상)	특수화물차

※ 고속도로 운행차종 구분, 규정 제 9조

〈표 3〉 도로 교통량 통계연보의 차종분류
 <Table 3> Vehicle classification by national road traffic statistics

종별	분류기준		해당차량
	축수	단위	
1 승용차, 미니트럭	2	1	• 16인승 미만의 여객 수송용 차량, 미니 트럭 등 2축 1단위 차량
2 버스	2	1	• 16인승 이상의 여객 수송용 버스 형식으로 2축 1단위 차량
3 소형화물차A	2	1	• 화물수송용 트럭으로 2축의 최대 적재량 1~2.5톤 미만의 1단위 차량
4 소형화물차B	2	1	• 화물수송용 트럭으로 2축의 최대 적재량 2.5톤 이상의 1단위 차량
5 중형화물차A	3	1	• 화물수송용 트럭으로 3축 1단위 차량
6 중형화물차B	4	1	• 화물수송용 트럭 형식으로 4축의 1단위 차량
7 중형화물차C	5	1	• 화물수송용 트럭 형식으로 5축의 1단위 차량
8 대형화물차A	4	2	• 화물수송용 세미 트레일러 형식으로 4축의 2단위(견인차, 피견인차) 차량
9 대형화물차B	4	2	• 화물수송용 풀 트레일러 형식으로 4축의 2단위(견인차, 피견인차) 차량
10 대형화물차C	5	2	• 화물수송용 세미 트레일러 형식으로 5축의 2단위(견인차, 피견인차) 차량
11 대형화물차D	5	2	• 화물수송용 풀 트레일러 형식으로 5축의 2단위(견인차, 피견인차) 차량
12 대형화물차E	6	2	• 화물수송용 세미 트레일러 형식으로 6축 이상 2단위(견인차, 피견인차) 차량

※ 2007 도로 교통량 통계연보 제 1권 고속국도·일반국도·지방도 교통량, 국토해양부(2008)

연보에서는 전체 차량을 승용차, 미니트럭, 버스, 소형화물차A, 소형화물차B, 중형화물차A, 중형화물차B, 중형화물차C, 대형화물차A, 대형화물차B, 대형화물차C, 대형화물차D, 대형화물차E로 차종을 <표 3>과 같이 분류한다. 전국의 수집된 교통자료를 Database화하는 국가교통DB센터에서는 승용차, 택시, 승합차, 소형버스, 중형버스, 대형버스, 소형화물,

중형화물, 대형화물, 트레일러 등의 차종별로 교통량을 이력자료화하고 있다. 본 연구에서는 기존의 교통자료 수집 시 차종분류 사례를 참고하여 루프검지기에서 수집된 IVS data로 분류할 차종을 설정하였다. 차종분류기법의 평가에 사용된 실제 차종자료에서 제시한 7개 차종을 기존의차종분류 사례와 비교하여 <표 4>에 제시하였다.

<표 4> 본 연구의 차종분류와 기존의 차종분류 사례
 <Table 4> Comparison of vehicle classification schemes

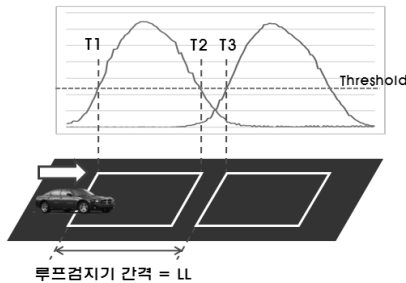
통행요금 징수기준	도로용량 편람	국가교통 DB센터	교통량 통계연보	본 연구
1종	소형	택시	승용차, 미니트럭	pcar
		승용차		SUV
		승합차		VAN
		소형화물	소형화물차A	1-ton Truck
2종	중형	중형버스	버스	BUS
3종		대형버스		
4종		중형화물	소형화물차B	Truck
		중형화물차A		
5종	대형	대형화물	중형화물차B	Trailer
			중형화물차C	
		트레일러	대형화물차A	
			대형화물차B	
			대형화물차D	
	대형화물차E			

2. 차량길이의 산출

루프검지기를 통과하는 차량의 차종을 구분하기 위해 IVS data를 이용하여 <그림 2>와 같은 방법으로 차량길이를 산출하였다. 차량길이를 산출하기 위해 먼저 검지기 설치간격과 검지기 진입시간차를 이용하여 차량의 검지기 통과속도를 산출하고 통과속도와 검지기 진입·진출시간차를 이용하여 차량길이를 산출하였다. 산출된 차량길이의 통계량을 <표 5>에 제시하였다.

3. 차종분류 방법 및 결과

본 연구에서는 루프검지기를 통과한 개별차량을 소형, 중형, 대형, 특대형 등의 Class로 분류하는 알고리즘을 <그림 3>과 같이 제시하였다. 그리고 차량을 구분하는 Class의 개수에 따른 차량길이 기준값을 산출하기 위해 세 가지 Case를 적용하여 차종을 분류



차량속도 산출

- $(T3 - T1)$: 차량이 Front Loop에 진입 후 Back Loop에 진입할 때까지 걸린 시간
- LL : Front Loop와 Back Loop의 설치간격
- SPEED : $LL / (T2 - T1)$

차량길이 산출

- $(T2 - T1)$: 차량이 Front Loop에 진입하고 완전히 Front Loop에서 나가는 시간
- SPEED : 차량이 Loop 검지기를 통과하는 속도
- 차량길이(L) : $SPEED \times (T2 - T1)$

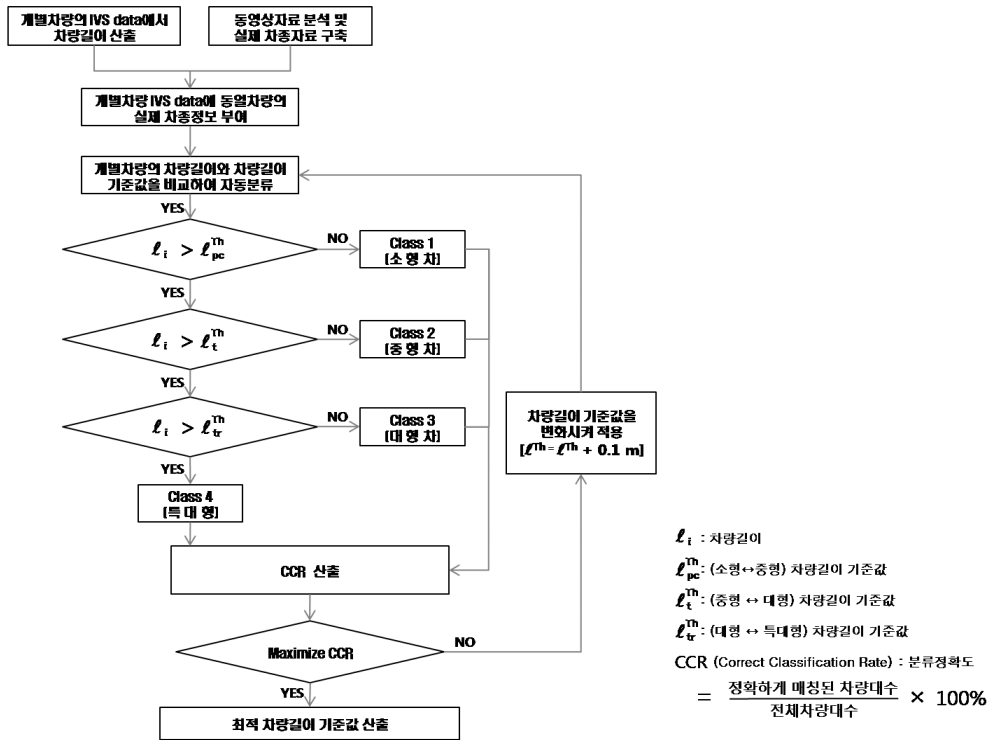
<그림 2> IVS data를 이용한 차량길이 산출 방법

<Fig. 2> Methodology for calculation of vehicle length using IVS data

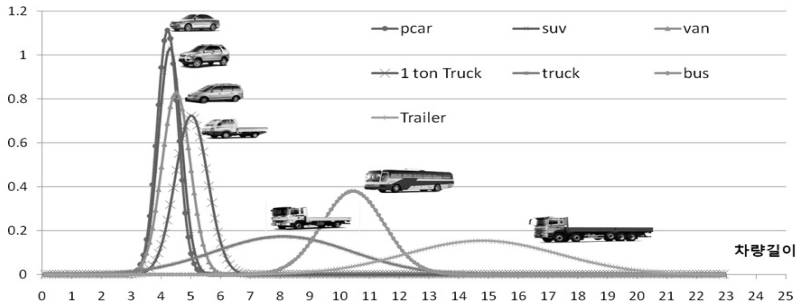
<표 5> 차종별 차량길이 통계량

<Table 5> Statistics of vehicle length

차종	평균	표준편차	MIN	MAX	MEDIAN	85 Percentile
pcar	4.206	0.358	3.408	8.807	4.200	4.447
suv	4.284	0.386	3.584	8.813	4.245	4.491
van	4.492	0.480	3.463	8.590	4.484	4.878
1tontruck	5.005	0.551	3.580	9.067	4.924	5.254
truck	8.087	2.300	4.017	13.734	8.012	11.181
bus	10.440	1.050	6.756	16.139	10.496	10.676
trailer	14.778	2.585	9.896	32.564	15.229	15.841



<그림 3> IVS data를 이용한 차종분류
 <Fig. 3> Algorithm for vehicle classification using IVS data



<그림 4> Class에 포함시킬 차종의 차량길이 정규분포함수
 <Fig. 4> Distributions for each vehicle types

하였다. 적용된 세 가지 Case는 소형-대형(Case1), 소형-중형-대형(Case2), 소형-중형-대형-특대형(Case3)으로 각 Class를 분류하는 기준이 되는 차량길이 기준값을 산출하였다. 차종분류 정확도가 가장 높은 차량길이 기준값을 산출하기 위해 차량길이 기준값을 변화시키면서 알고리즘을 수행하였다.

본 연구에서 제시한 세 가지 Case별로 각 차종 Class에 해당하는 차종을 설정하기 위해 각 차종별 차량길이의 분포함수는 정규분포를 가진다고 가정하고 <그림 4>와 같이 분포함수를 도식하여 유사한 차량길이를 갖는 차종끼리 Class에 포함시켰다. <그림 4>에서 승용차, SUV, VAN, 1톤 트럭의 차량길이가

<표 6> 차량분류 Case에 따른 Class 구분
 <Table 6> Vehicle classification Scheme

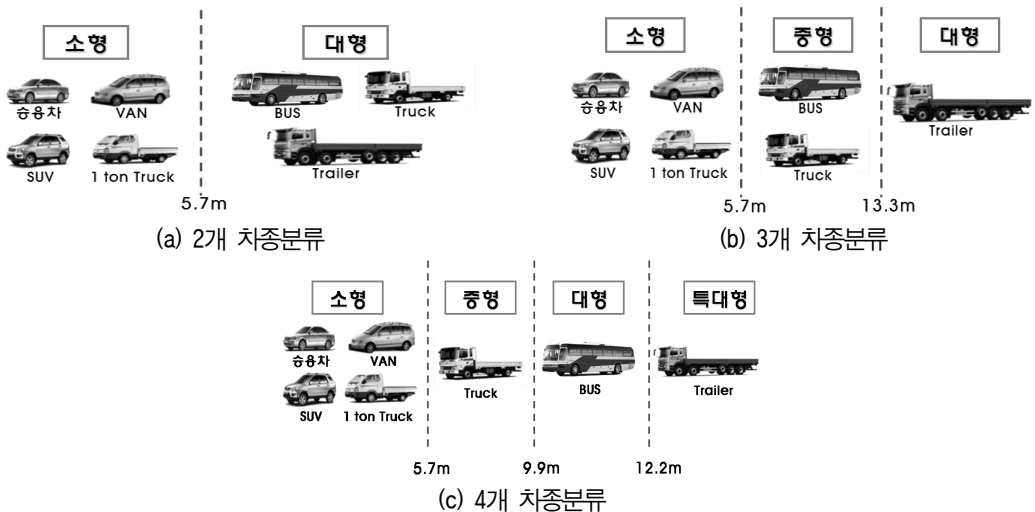
차종	차량대수	소형-대형	소형-중형-대형	소형-중형-대형-특대형
Car	1330	1	1	1
SUV	502	1	1	1
VAN	626	1	1	1
1 ton Truck	484	1	1	1
Truck	822	2	2	2
BUS	118	2	2	3
Trailer	96	2	3	4
합계	3978	2개 차종으로 분류	3개 차종으로 분류	4개 차종으로 분류

3m 이상 7m 이하의 범위로 하나의 Class로 분류될 수 있다. 그리고 트럭과 버스, 트레일러 차종은 각기 다른 범위의 차량길이 분포함수를 보여 다른 Class로 차량을 분류할 수 있는 것을 알 수 있다.

차종별로 차량의 분포함수에 따라 Class를 구분하여 <표 6>과 같이 Coding하였다. 첫 번째 Case로 전체 차종을 2개 차종으로 분류할 때에는 소형차량을 승용차, SUV, VAN, 1톤 트럭으로 정의하고 대형 차량을 트럭, 버스, 트레일러로 정의하였다. 두 번째 Case로 전체 차종을 3개 차종으로 분류할 때는 소형

차량을 승용차, SUV, VAN, 1톤 트럭으로 정의하고 중형차량은 트럭과 버스, 대형차량은 트레일러로 정의하였다. 세 번째 Case로 전체 차종을 4개 차종으로 분류할 때는 소형차량을 승용차, SUV, VAN, 1톤 트럭으로 정의하고 중형차량은 트럭, 대형차량은 버스, 특대형 차량은 트레일러로 정의하였다.

차량길이 기준값을 변화시키면서 각 Class에 해당하는 차종을 가장 정확하게 분류하는 차량길이 기준값을 산출한 결과를 <그림 5>에 제시하였다. 첫 번째 Case로 전체 차종을 2개의 차종(소형 및 대형)으로



<그림 5> 차종분류 Case별 최적 차량길이 기준값
 <Fig. 5> Vehicle length thresholds

분류할 경우 차량을 가장 정확하게 소형 및 대형으로 분류하는 차량길이 기준값은 5.7m, 분류정확도는 95.45%로 산출되었다. <표 4>의 2개 차종분류 결과에서와 같이 정확히 소형으로 분류된 차량이 전체 소형 차량의 98.57%, 정확히 대형으로 분류된 차량이 전체 대형차량의 86.58%로 높은 분류정확도를 보였다.

두 번째 Case로 전체 차종을 3개의 차종(소형, 중형, 대형)으로 분류할 경우 차량을 가장 정확하게 소형-중형-대형으로 분류하는 차량길이 기준값은 소형

(-5.7m)-중형(-13.3m)-대형으로, 분류정확도는 94.90%로 산출되었다. <표 7>의 3개 차종분류 결과에서 정확히 소형으로 분류된 차량이 전체 소형차량의 98.57%, 정확히 중형으로 분류된 차량이 전체 중형 차량의 84.68%, 대형차량의 경우는 82.29%의 결과가 산출되었다.

세 번째 Case로 전체 차종을 4개의 차종(소형, 중형, 대형, 특대형)으로 분류할 경우 차량을 가장 정확하게 소형-중형-대형-특대형으로 분류하는 차량길이 기준값

<표 7-1> 차종분류 정확도(2개 차종분류) 평가 결과
<Table 7-1> Evaluation of vehicle classification (2 vehicle classes)

		추정된 차종		
실제 차종	차종	소형 (대 / %)	대형 (대 / %)	계
	소형	2900대 (98.57%)	42대 (1.43%)	2942대
	대형	139대 (13.42%)	897대 (86.58%)	1036대
	계	3039대	939대	3797/3978대 (95.45%)

<표 7-2> 차종분류 정확도(3개 차종분류) 평가 결과
<Table 7-2> Evaluation of vehicle classification (3 vehicle classes)

		추정된 차종			
실제 차종	차종	소형 (대 / %)	중형 (대 / %)	대형 (대 / %)	계
	소형	2900대 (98.57%)	42대 (1.43%)	0대 (0%)	2942대
	중형	139대 (13.42%)	796대 (84.68%)	5대 (0.53%)	940대
	대형	0대 (0%)	17대 (17.71%)	79대 (82.29%)	96대
	계	3039대	855대	84대	3775/3978대 (94.90%)

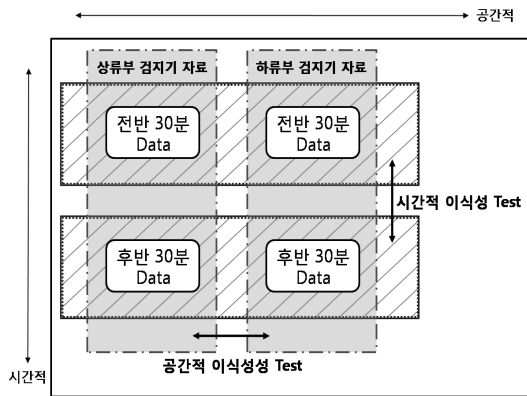
<표 7-3> 차종분류 정확도(4개 차종분류) 평가 결과
<Table 7-3> Evaluation of vehicle classification (4 vehicle classes)

		추정된 차종				
실제 차종	차종	소형 (대 / %)	중형 (대 / %)	대형 (대 / %)	특대형 (대 / %)	계
	소형	2900대 (98.57%)	42대 (1.43%)	0대 (0%)	0대 (0%)	2942대
	중형	139대 (16.91%)	467대 (56.81%)	206대 (25.06%)	10대 (1.22%)	822대
	대형	0대 (0%)	8대 (6.78%)	107대 (90.68%)	3대 (2.54%)	118대
	특대형	0대 (0%)	1대 (1.04%)	13대 (13.54%)	82대 (85.42%)	96대
	계	3039대	518대	326대	95대	3556/3978대 (89.39%)

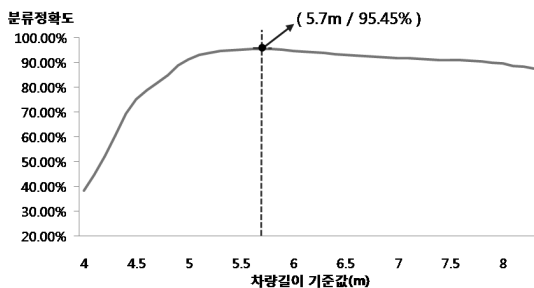
은 소형-(5.7m)-중형-(9.9m)-대형-(12.2m)-특대형으로 분류정확도는 89.39%로 산출되었다. <표 7>의 4개 차종분류에서 정확히 소형으로 분류된 차량이 전체 소형 차량의 98.57%, 정확히 중형으로 분류된 차량이 전체 중형차량의 56.81%, 대형차량의 경우는 90.68%, 특대형의 경우는 85.42%의 결과가 산출되었다. 이는 본 연구에서 제시한 알고리즘이 대부분의 차량을 정확하게 분류할 수 있다는 결과를 얻을 수 있다.

4. 차종구분 기법의 시·공간적 이식성 TEST

본 연구에서는 앞에서 제시한 차종분류 기법의 시간적, 공간적 이식성을 Test하였다. 차종분류 기법의 이식성 Test를 수행하여 본 연구의 기법이 분석대상



<그림 6> 차종구분 기법의 시·공간적 이식성 Test
<Fig. 6> Concept of spatial and temporal transferability test



<그림 7> 분류정확도를 최대로 하는 차량길이 기준값
<Fig. 7> Relationship between length threshold and classification accuracy

구간 이외 일반적인 검지구간에서의 적용가능성 여부에 대해 검토하였다. 이식성 Test에서는 차종분류 기법을 개발하기 위해 사용된 검지기 자료와 이를 수집한 검지기과 인접한 상류부 검지기에서 수집한 1시간 동안의 IVS data를 사용하였다.

차종구분 기법의 시·공간적 이식성 Test는 <그림 6>과 같이 하류부 및 후반30분 검지기 IVS data에서 차종 분류정확도를 최대로 하는 최적 Parameter를 산출하고 이를 상류부 및 전반 30분 검지기 IVS data에 적용하여 차종분류기법의 이식성을 검토하였다. 분류정확도를 최대로 하는 Parameter를 산출하는 개념을 <그림 7>에 첫 번째 Case(2개 차종분류)에서의 차량길이 기준값을 산출하는 예로 제시하였다. <그림 7>에서 차량길이 기준값이 5.7m일 때 분류정확도의 값이 최대치인 94.5%로 가장 높은 것을 알 수 있다.

공간적 이식성 Test의 결과는 <표 8-1>, <표 8-2>, <표 8-3>에서와 같이 첫 번째 Case에서 하류부 data의 분류정확도 95.45%에서 상류부 data의 분류정확도 92.51%로 2.94% 감소하였고, 두 번째 Case에서는 하류부의 분류정확도 94.90%에서 상류부의 분류정확도 91.84%로 3.06% 감소하였으며, 세 번째 Case에서는 89.39%에서 86.57%로 분류정확도가 2.82% 감소하였다.

시간적 이식성 Test의 결과는 <표 9-1>, <표 9-2>, <표 9-3>과 같다. 첫 번째 Case (소형/대형 분류)에서는 전반30분 data의 분류정확도는 95.51%, 후반30분 data의 분류정확도는 92.30%로 3.22% 감소하였다. 두 번째 Case(소형/중형/대형 분류)에서는 전 30분의 분류정확도 94.89%에서 후 30분의 분류정확도 91.65%로 3.24% 감소하였으며, 세 번째 Case(소형/중형/대형/특대형 분류)에서는 89.78%에서 86.06%로 3.71% 감소하였다.

공간적 이식성 Test에서 같은 Parameter를 적용시킨 두 자료의 분류정확도 차이가 약 2.9%로 나타났으며, 시간적 이식성 Test에서는 분류정확도 차이가 약 3.4%로 나타났다. 이에 따라 시·공간적 차량길이 기준값을 정하여 다른 구간에 적용시킬 경우에도 차종분류정확도가 크게 변하지 않는 것으로 산출되었다.

<표 8-1> 차종분류 정확도 (2개 차종분류, 공간적 이식성) 평가 결과
 <Table 8-1> Spatial Transferability Test of vehicle classification algorithm (2 vehicle classes)

		추정된 차종				
차종	적용구간	소형 (대 / %)	대형 (대 / %)	계		
실제 차종	소형	하류부	2905대 (98.74%)	37대 (1.26%)	2942대	
		상류부	2954대 (94.80%)	162대 (5.20%)	3116대	
	대형	하류부	146대 (14.09%)	890대 (85.91%)	1036대	
		상류부	140대 (15.09%)	788대 (84.91%)	928대	
	계	하류부	3051대	927대	3795/3978대 (95.40%)	
		상류부	3094대	950대	3742/4044대 (92.53%)	

<표 8-2> 차종분류 정확도 (3개 차종분류, 공간적 이식성) 평가 결과
 <Table 8-2> Spatial Transferability Test of vehicle classification algorithm (3 vehicle classes)

		추정된 차종				
차종	적용구간	소형 (대 / %)	중형 (대 / %)	대형 (대 / %)	계	
실제 차종	소형	하류부	2905대 (98.74%)	37대 (1.26%)	0대 (0%)	2942대
		상류부	2954대 (94.80%)	155대 (4.97%)	7대 (0.22%)	3116대
	중형	하류부	146대 (15.53%)	791대 (84.15%)	3대 (0.32%)	940대
		상류부	140대 (16.53%)	691대 (81.58%)	16대 (1.89%)	847대
	대형	하류부	0대 (0%)	24대 (25%)	72대 (75%)	96대
		상류부	0대 (0%)	12대 (14.81%)	69대 (85.19%)	81대
계	하류부	3051대	852대	75대	3768/3978대 (94.72%)	
	상류부	3094대	858대	92대	3714/4044대 (91.84%)	

<표 8-3> 차종분류 정확도 (4개 차종분류, 공간적 이식성) 평가 결과
 <Table 8-3> Spatial Transferability Test of vehicle classification algorithm (4 vehicle classes)

		추정된 차종					
차종	적용구간	소형 (대 / %)	중형 (대 / %)	대형 (대 / %)	특대형 (대 / %)	계	
실제 차종	소형	하류부	2905대 (98.74%)	37대 (1.26%)	0대 (0%)	0대 (0%)	2942대
		상류부	2954대 (94.80%)	102대 (3.27%)	52대 (1.67%)	8대 (0.26%)	3116대
	중형	하류부	146대 (17.76%)	461대 (56.08%)	210대 (25.55%)	5대 (0.61%)	822대
		상류부	140대 (18.74%)	388대 (51.94%)	194대 (25.97%)	25대 (3.35%)	747대
	대형	하류부	0대 (0%)	11대 (9.32%)	104대 (88.14%)	3대 (2.54%)	118대
		상류부	0대 (0%)	8대 (8%)	90대 (90%)	2대 (2%)	100대
특대형	하류부	0대 (0%)	1대 (1.04%)	13대 (13.54%)	82대 (85.42%)	96대	
	상류부	0대 (0%)	2대 (2.47%)	6대 (7.41%)	73대 (90.12%)	81대	
계	하류부	3081대	502대	346대	82대	3552/3978대 (89.29%)	
	상류부	3094대	500대	342대	108대	3505/4044대 (86.67%)	

<표 9-1> 차종분류 정확도 (2개 차종분류, 시간적 이식성) 평가 결과
 <Table 9-1> Temporal Transferability Test of vehicle classification algorithm (2 vehicle classes)

		추정된 차종				
실제 차종	차종	적용구간	소형 (대 / %)	대형 (대 / %)	계	
	소형	후반30분		2957대 (98.01%)	60대 (1.99%)	3017대
		전반30분		2902대 (95.43%)	139대 (4.57%)	3041대
	대형	후반30분		124대 (12.47%)	870대 (87.53%)	994대
		전반30분		162대 (16.70%)	808대 (83.30%)	970대
	계	후반30분		3081대	930대	3827/4011대 (95.41%)
전반30분			3064대	947대	3710/4011대 (92.50%)	

<표 9-2> 차종분류 정확도 (3개 차종분류, 시간적 이식성) 평가 결과
 <Table 9-2> Temporal Transferability Test of vehicle classification algorithm (3 vehicle classes)

		추정된 차종					
실제 차종	차종	적용구간	소형 (대 / %)	중형 (대 / %)	대형 (대 / %)	계	
	소형	후반30분		2957대 (98.01%)	59대 (1.96%)	1대 (0.03%)	3017대
		전반30분		2902대 (95.43%)	133대 (4.37%)	6대 (0.20%)	3041대
	중형	후반30분		124대 (13.52%)	784대 (85.50%)	9대 (0.98%)	917대
		전반30분		162대 (18.62%)	694대 (79.77%)	14대 (1.61%)	870대
	대형	후반30분		0대 (0%)	17대 (22.08%)	60대 (77.92%)	77대
		전반30분		0대 (0%)	10대 (10%)	90대 (90%)	100대
	계	후반30분		3081대	860대	70대	3801/4011대 (94.76%)
전반30분			3064대	837대	110대	3686/4011대 (91.90%)	

<표 9-3> 차종분류 정확도 (4개 차종분류, 시간적 이식성) 평가 결과
 <Table 9-3> Temporal Transferability Test of vehicle classification algorithm (4 vehicle classes)

		추정된 차종						
실제 차종	차종	적용구간	소형 (대 / %)	중형 (대 / %)	대형 (대 / %)	특대형 (대 / %)	계	
	소형	후반30분		2957대 (98.01%)	41대 (1.36%)	17대 (0.56%)	2대 (0.07%)	3017대
		전반30분		2902대 (98.01%)	96대 (1.36%)	37대 (0.56%)	6대 (0.07%)	3041대
	중형	후반30분		124대 (15.78%)	452대 (57.51%)	195대 (24.81%)	15대 (1.91%)	786대
		전반30분		162대 (15.78%)	391대 (57.51%)	215대 (24.81%)	15대 (1.91%)	783대
	대형	후반30분		0대 (0%)	8대 (6.11%)	122대 (93.13%)	1대 (0.76%)	131대
		전반30분		0대 (0%)	6대 (6.11%)	77대 (93.13%)	4대 (0.76%)	87대
	특대형	후반30분		0대 (0%)	1대 (1.30%)	12대 (13.58%)	64대 (83.12%)	77대
		전반30분		0대 (0%)	2대 (1.30%)	7대 (13.58%)	91대 (83.12%)	100대
	계	후반30분		3081대	502대	346대	82대	3595/4011대 (89.63%)
전반30분			3064대	495대	336대	116대	3595/4011대 (89.63%)	

IV. 결 론

본 연구에서는 차량이 루프검지기를 통과할 때 발생하는 자기장의 변화를 세밀하게 기록한 차량자기 신호자료(IVS data)를 수집하여 개별차량의 차량길이를 산출하였다. 산출된 차량길이를 이용하여 소형, 중형, 대형, 특대형의 차종을 구분하는 알고리즘을 개발하였다. 그리고 전체 차종을 분류하는 차량길이 기준값을 변화시키면서 알고리즘을 수행한 결과 가장 높은 분류정확도를 보이는 차량길이 기준값을 산출하였다. 전체 3978대의 차량에서 95%이상의 차량을 정확하게 분류 하는 결과를 산출하였으며, 전체 차량을 분류하는 Class의 개수가 많아질수록 분류정확도가 감소하는 경향을 보였다. 대형차량에 속하는 트럭, 버스, 트레일러 등의 차종은 전체 교통류에서 차지하는 비율이 적고 차량의 외양이나 차량길이 면에서 다른 차종과 비교해 차종특성이 명확히 나타나므로 차량길이정보와 개별차량에 대한 추가정보를 이용한다면 개별차량에 대한 구분도 가능할 것으로 판단된다. 차종구분 기법의 시공간적 이식성 Test에서는 2개의 검지기에서 수집한 IVS data를 시공간적으로 구분하여 하루부 및 후 30분 자료에서 분류정확도를 최적으로 하는 Parameter를 산출하고 이를 상류부 및 전 30분 자료에 적용하였다. 최적 Parameter를 산출 및 이식한 결과 분류정확도에서 큰 차이가 발생하지 않아 제시한 기법의 시공간적 이식성이 유의하다고 판단된다. 그러나 본 연구에서 사용한 data는 분석대상 구간의 두 개의 검지기에서 발생한 IVS data만을 연구 자료로 이용하였으므로 다른 교통환경에서 본 연구에서 제시한 차종구분 기법을 적용한 연구가 향후에 추진되어야 할 것이다. 또한 차종의 구분을 위하여 차량의 길이만을 Parameter로 선정하였기 때문에, 향후 연구에서는 다양한 교통상황에서 3개 이상의 검지기 자료를 이용하여 개별차량의 차종을 구분할 수 있는 차종구분 기법의 적용 및 평가 과정이 수행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 루프검지기에서 교통량, 속도, 점유율 등의 자료만을 수집할 수 있는 한계점을 극복하고 루프검지기를 통과하는 차량들의 차종을 구분

하는 기법을 제시하였다. 차종을 구분함으로써 세부적인 교통량 정보를 수집하고 도로를 통과하는 차량들의 차종구성을 파악하여 교통운영 및 전략수립 시에 활용자료로 이용 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 이승환, 조한선, 최기주, “단일 루프 검지기를 이용한 차종분류 알고리즘 개발,” *대한교통학회지*, 제14권, 제1호, pp. 135-154, 1996. 3.
- [2] 조형기, 오영태, “복합형 GLVQ 신경망을 이용한 차종분류 모형개발,” *대한교통학회지*, 제14권, 제4호, pp. 49-76, 1996. 12.
- [3] 김수희, 오영태, 조형기, 이철기, “자석검지기를 이용한 차종인식 알고리즘 개발,” *대한교통학회지*, 제17권, 제4호, pp. 111-124, 1999. 10.
- [4] 오철, “개별차량의 고유특성을 이용한 구간통행 시간 산출기법,” *대한교통학회지*, 제23권, 제1호, pp. 83-92, 2005. 1.
- [5] Y. J. Lu, H. Y. Hsu, and X. Maldague, “Vehicle classification using infrared image analysis,” *J. Transportation Engineering*, vol. 118, no. 2, pp. 223-240, March/April 1992.
- [6] X. Yuan, Y. J. Lu, and S. Sarraf, “Computer vision system for automatic vehicle classification,” *J. Transportation Engineering*, vol. 120, no. 6, pp. 861-876, Nov./Dec. 1994.
- [7] C. H. Wei, C. C. Chang, and S. S. Wang, “Vehicle classification using advanced technologies,” *Transportation Research Record 1551*, TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 45-50, 1996.
- [8] Y. A. Nooralahiyan, M. Dougherty, D. Mckeown, and R. H. Kirby, “A field trial of acoustic signature analysis for vehicle classification,” *Transportation Research Part. C: Emerging Technology*, vol. 5, no. 3-4, pp.165-177, Aug. 1997.
- [9] C. Sun and G. S. Ritchie, “Heuristic vehicle classification using inductive signature on freeways,”

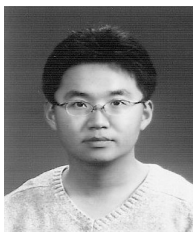
- Transportation Research Record 1717*, TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 130-136, 2000.
- [10] G. S. Ritchie, S. Park, C. Oh, and C. Sun, *Field investigation of advanced vehicle reidentification techniques and detector technologies*, MOU 3008, Partners for Advanced Transit and highways: Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine, 2001.
- [11] Q. Y. Zhu and Z. Q. Sheng, "Study on image processing for video-based traffic measurements and vehicle classification," *Road Transport Research*, vol. 11, no. 2, pp. 42-49, Aug. 2002.
- [12] Y. S. Cheung, S. Coleri, B. Dunder, S. Ganesh, C. Tan, and P. Varaiya, "Traffic measurement and vehicle classification with a single magnetic sensor," *TRB Annual Meeting*, Washington D.C., Jan. 2005.
- [13] C. Oh and S. G. Ritchie, "Recognizing vehicle classification information from blade sensor signature," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 28, no. 9, pp. 1041-1049, July 2007.

저자소개



박 준 형 (Park, Junhyung)

2008년 8월 : 한양대학교 교통시스템공학과 학사
 2008년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 교통시스템공학과 석사과정



김 태 진 (Kim, Taejin)

2004년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 교통시스템공학과 학석사연계과정



오 철 (Oh, Cheol)

1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한양대학교 교통공학과 학사
 1993년 3월 ~ 1997년 8월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사
 1999년 9월 ~ 2003년 12월 : University of California, Irvine, 토목환경공학과 공학박사(교통시스템전공)
 1998년 9월 ~ 1999년 8월 : 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원
 2004년 1월 ~ 2004년 3월 : Post-Doctorate Researcher, Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine, CA, USA
 2004년 4월 ~ 2006년 2월 : 한국교통연구원 첨단교통기술연구실 책임연구원
 2006년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수