

■ 論 文 ■

# 루프검지기 자기신호 패턴분석을 통한 차량재인식 알고리즘

## A Vehicle Reidentification Algorithm using Inductive Vehicle Signatures

**박 준 형**

(한양대학교 교통시스템공학과  
석사과정)

**오 철**

(한양대학교 교통시스템공학과  
교수)

**남 궁 성**

(한국도로공사 도로교통기술원  
수석연구원)

### 목 차

I. 서론	알고리즘
II. 관련문헌 및 국내의 사례조사	1. 구간통행시간 추정 알고리즘의 입력자료 구축과정
III. 연구범위 및 자료구축	2. 불량 IVS data 필터링
1. 검지기 자료 추출	3. IVS data를 이용한 구간통행시간 산출 알고리즘
2. 동영상 자료 구축	4. IVS data를 이용한 구간통행시간 추정 및 검증과정
IV. 개별차량고유특성	VI. 결론 및 향후연구과제 참고문헌
1. 차량의 검지기 통과시간	
2. 차량길이	
3. ESI	
V. 검지기자료를 이용한 구간통행시간 산출	

**Key Words :** 차량자기신호, 구간통행시간, 차량 재인식, 루프검지기, 교통정보  
Inductive Vehicle Signature, Link travel time, Vehicle reidentification, Inductive loop detector, Traffic Information

### 요 약

구간통행시간은 고속도로의 교통상황 모니터링을 위해 가장 효과적으로 사용될 수 있는 교통변수 중의 하나로 본 연구에서는 루프검지기를 이용하여 구간통행시간을 산출하는데 새로운 방법의 접근을 시도하였다. 국내에 가장 보편적으로 설치되어 있는 루프검지기에서 수집한 자기신호자료를 분석하여 각 차량을 구분할 수 있는 개별차량 고유특성을 산출하여 상류부를 통과한 차량을 하류부에서 재인식하는 알고리즘을 개발하였다. 개별차량특성으로는 차량의 검지기 통과시간, 차량길이, ESI값을 사용하였다. 검지기를 수집한 동일시간, 동일장소에서 동영상을 촬영 및 분석하여 실제통행시간을 산출하고 개발된 알고리즘의 성능평가를 위해 사용하였다. 매칭정확도를 최대로 하는 각 파라미터들의 최적값을 산정하기 위해 수집자료의 전반부를 training data로 설정하고 파라미터의 정산과정을 사용하였다. 산출된 최적 파라미터들을 이용하여 수집자료의 후반부인 test data에 적용하여 구간통행시간과 매칭정확도를 산출하였다. 차량재인식 결과 개발된 알고리즘에서는 매칭정확도가 약 48%로 산출되었으며, 구간통행시간은 34.14초로 실제 구간통행시간인 34초와 매우 유사하게 산출되었다. 그리고 본 연구에서 제시한 알고리즘의 교통상황에 따른 적용가능성 검토과정을 수행하였다.

Travel time is one of the most important traffic parameters to evaluate operational performance of freeways. A variety of methods have been proposed to estimate travel times. One feasible solution to estimating travel times is to utilize existing loop detector-based infrastructure since the loops are the most widely deployed detection system in the world. This study proposed a new approach to estimate travel times for freeways. Inductive vehicle signatures extracted from the loop detectors were used to match vehicles from upstream and downstream stations. Ground-truthing was also conducted to systematically evaluate the performance of the proposed algorithm by recognizing individual vehicles captured by video cameras placed at upstream and downstream detection stations. A lexicographic optimization method vehicle reidentification algorithm was developed. Vehicle features representing the characteristics of individual vehicles such as vehicle length and interpolations extracted from the signature were used as inputs of the algorithm. Parameters associated with the signature matching algorithm were calibrated in terms of maximizing correct matching rates. It is expected that the algorithm would be a useful method to estimate freeway link travel times.

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원에서 수행하는 「고속도로 통행시간 정보개선 및 활용기법 연구」 과제의 지원으로 수행되었음.

## I. 서론

루프검지기(Loop detector)는 고속도로의 포장 노면에 차로당 2개의 루프 코일센서를 매설하여 루프검지기가 루프 코일센서 위를 통과하는 차량에 의해 발생하는 미세한 루프 코일의 자기장 변화를 검지하고 이를 증폭하여 차량의 통과 유무 및 속도 등을 측정한다. 루프검지기는 현재 국내 고속도로에서 교통변수를 수집하는 대표적인 수단으로서 교통량, 점유율, 속도 등의 교통상황자료를 수집할 수 있다. 개별차량이 센서를 통과할 때 발생하는 인덕턴스의 변화를 보다 세밀하게 스캐닝(scanning)하는 능력을 지닌 검지기 카드를 이용하여 파형을 얻어 낼 수 있는데 수집한 파형은 개별차량의 외양, 속도 등에 따라 다양한 형태를 나타낸다. 본 연구에서는 차량이 검지기를 통과하는 시간동안 인덕턴스의 변화를 그래프화 했을 때 나타나는 곡선을 차량자기신호곡선(IVS: Inductive Vehicle Signature)이라 정의하였다.

교통자료 수집에 사용되는 검지기는 종류가 다양하고 각 검지기마다 장단점이 있다. 국내의 고속도로에는 루프검지기가 가장 많이 설치되어 있으며 다른 검지기들에 비해 비용, 검지성, 유지관리 측면에서 우수하다. 본 연구에서 제시하는 루프검지기를 이용한 차량재인식 기법은 타 검지체계와 달리 차량의 번호판, 운전자 정보 등의 개인정보를 수집하지 않고 차량을 재인식하여 구간통행 시간을 산출하므로 사생활침해 문제에서 자유로운 장점이 있다. 그리고 다른 검지체계의 도입 없이 고속도로에 설치된 루프검지기를 활용하여 구간통행 시간을 산출할 수 있다는 점에서 본 연구의 의의가 있다.

본 연구의 목적은 루프검지기 자료를 이용한 차량재인식 기법을 기반으로 구간통행 시간을 산출하는 방법을 개발하는 것이며 이를 위해 루프검지기에서 추출한 차량 자기신호곡선 자료를 이용하여 상류부 검지기에서 인식된 차량을 하류부 검지기를 통과할 때 재인식하여 구간통행 시간을 산출하는 기법을 제시하였다. 본 기법은 실제 도로를 주행한 차량의 통행 시간을 이용하여 구간통행 시간을 산출하여 보다 정확하고 도로상황이 반영된 구간통행 시간을 산출할 수 있을 것으로 판단된다.

## II. 관련 문헌 고찰

Bohnke and Pfannerstill(1986)은 루프검지기 파형자료를 분석하여 단순히 교통량, 속도, 점유율 등의 집계된 교통자료(aggregated measurements)뿐만 아니라

다 다양한 추가 응용을 최초로 제안하였다. 이후 독일의 Kuhne(1991)는 millimeter-wave radar sensor의 파형자료를 이용하여 구간의 교통상황을 예측하고 운영 및 제어에 응용하는 방안을 제시하였으며 Sun(1999)은 파형자료를 이용하여 차량을 매칭하고 통행 시간을 산출하기 위한 보다 체계적인 알고리즘을 렉시코 그래픽 최적화 기법을 응용하였다. Oh and Ritchie(2002)는 파형자료를 이용한 차량의 매칭을 시뮬레이션 상에서 평가할 수 있는 방법을 개발하였다. Cindy and Ritchie (2006)는 piecewise slope rate 기법을 적용하여 파형자료를 압축/변형하여 차량을 매칭하고 통행 시간을 산출하는 기법을 개발하였다. 오철(2005)은 Loop sensor와 Blade sensor를 통해 개별차량의 고유특성을 수집하고 차량재인식 기법을 통해 구간통행 시간을 산출하는 기법을 개발하였다.

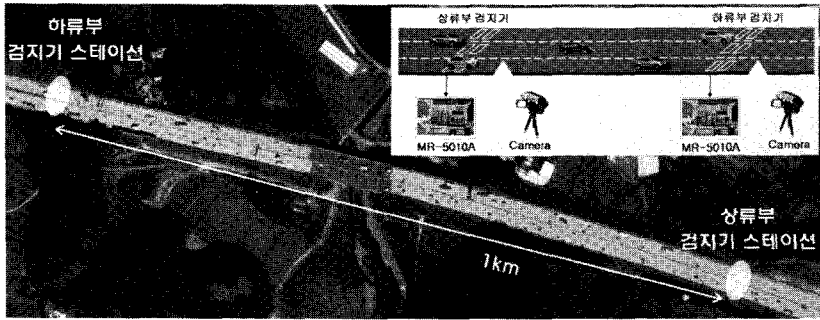
본 연구는 루프검지기를 통해 수집한 교통자료를 개별 차량특성으로 변수화하고 다른 두 지점에서 동일한 차량을 인식하여 구간통행 시간을 산출하는 것이 주목적이다. 본 연구는 국내의 도로를 대상으로 루프검지기를 이용한 구간통행 시간을 산출하는 최초의 시도이며 기존의 연구와는 다르게 차종에 따라 Time Window를 적용하고 내삽법(Interpolation)을 이용하여 산출한 ESI(Equally Spaced Interpolation)값을 개별차량 특성변수를 적용하였다. 또한 수집자료를 Training data와 Test data로 구분하여 최적 파라미터를 산출하여 적용하였다.

## III. 연구범위 및 자료구축

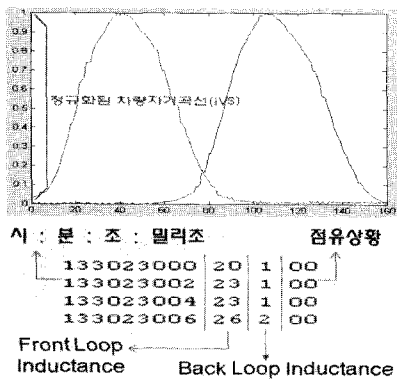
본 연구에서는 영동고속도로(인천방향) 1km 구간을 공간적 연구범위로 설정하고 루프검지기 자료를 추출하였다. 그리고 구축한 알고리즘의 정확도를 평가하는데 동 시간대 동일지점에서 촬영한 동영상자료를 이용하였다.

### 1. 검지기 자료 추출

한국도로공사 보유장비인 MR-5010A(Inductive Loop Detector)의 Loop Head에서 차량이 통과할 때 발생하는 원시 인덕턴스의 변화량을 정밀하게 Logging하기 위한 시스템을 활용하여 영동고속도로(인천방향) 상의 2개 루프검지기 스테이션(상류부 1개 스테이션, 하류부 1개 스테이션)을 선정하고 MR-5010A를 이용하여 자료를 1시간(13시 30분~14시 30분)동안 <그림 1>과 같이 수집하였다. 수집한 개별차량의 IVS data는



〈그림 1〉 검지기 자료 수집



〈그림 2〉 수집된 차량자기곡선과 IVS data

〈그림 2〉와 같이 구성되어 있으며 차량을 구분하는 변수를 산출하기에 앞서 IVS data내의 잡음을 제거하고 자기장의 변화값을 0에서 1사이의 값으로 표준화하였다. 수집된 1시간동안의 검지기자료에서 앞부분에 해당하는 30분자료를 Training data라 하여 매칭알고리즘의 파라미터 정산과정에 사용하였다. 그리고 전체 검지기자료 뒷부분의 30분 자료를 Test data라 하고 앞부분 30분 자료를 이용해 매칭정확도를 최대로 하는 파라미터 값을 적용하여 구간통행시간을 산출하였다.

## 2. 동영상 자료 구축

차량들이 상류부 및 하류부의 루프검지기를 통과하여 IVS data를 수집하는 동시에 카메라로 통과하는 차량들을 촬영하였다. 검지기 자료 수집시간과 같은 동일시간대 1시간 동안 촬영된 상류부와 하류부의 동영상 자료는 검지기자료로 구축된 통행시간 산출 알고리즘의 평가에 사용되었다. 촬영된 동영상의 개별차량에 ID를 부여하고 개별차량의 검지기 통과시간과 통과차로, 차종 등의 개별차량정보 자료를 구축하였다. 그리고 개별차량을 구분하기

위해 전체 차량을 승용차, 1톤트럭, SUV, VAN, 대형트럭, BUS, 트레일러 등 7가지 차종으로 구분하였다.

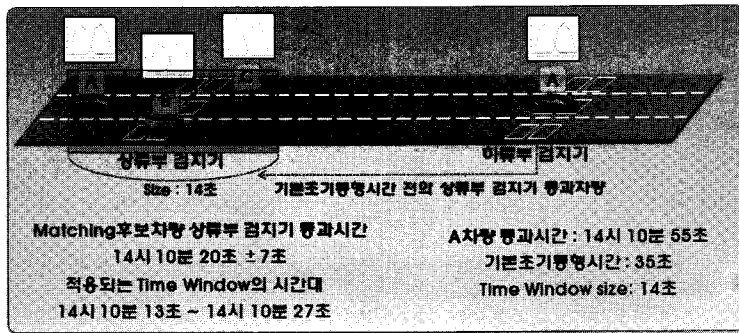
동영상자료와 개별차량정보 자료를 이용하여 상류부 지점 촬영 동영상과 하류부지점 촬영 동영상을 보고 동일한 차량들을 매칭시키고 동일한 ID를 부여하였다. 동영상자료 분석을 통해 부여된 ID를 GTID(Ground Truth ID)라 정의하고 검지기 자료의 개별차량 고유특성(vehicle feature)을 이용하여 매칭된 차량들을 확인하는 과정에 사용하였다.

## IV. 개별차량 고유특성

상류부를 통과한 차량들을 하류부에서 재인식하기 위해 IVS data를 이용하여 개별차량 고유특성(Vehicle feature)을 산출하였다. 본 연구에서는 개별차량 고유특성으로 통과시간, 차량길이, ESI값을 사용하였다.

### 1. 차량의 검지기 통과시간

차량이 상류부 검지기를 통과하여 하류부 검지기에 도착했을 때 소요될 것으로 추정되는 시간을 기본초기통행시간으로 정의하고 기본초기통행시간을 기준으로 5초 전과 5초 후의 범위와 같이 상한·하한값(±)으로 정의되는 Time window를 적용하여 최종으로 매칭되는 후보차량을 구성하였다. 〈그림 3〉에 기본초기통행시간과 Time window를 이용하여 매칭후보차량들을 선택하는 개념도를 제시하였다. 기본초기통행시간과 Time window값은 차량매칭과정을 반복하여 수행한 결과 가장 높은 매칭률을 보이는 값을 사용하였다. 하류부에서 검지된 A차량의 검지기 통과시간이 14시 10분 55초일 경우 기본초기통행시간으로 설정된 35초전의 시점에서 ±5초의 Time window시간 범위에 상류부 검지기를 통과한 차량들 A, B, C를 매칭후보차량으로 선택하였다.



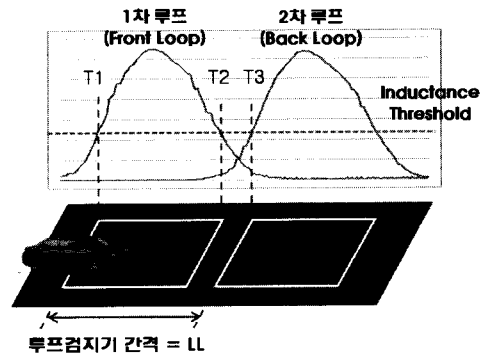
〈그림 3〉 기본초기통행시간과 Time Window의 적용

## 2. 차량길이(Vehicle Length)

도로를 주행하는 차량마다 차량길이(Length)가 다르며 차종에 따라서는 확연한 차이를 보인다. 본 연구에서는 자기장의 변화가 통과차량의 외양에 영향을 받는 것에 착안하여 차량길이를 개별차량고유 특성으로 이용하였다.

차량길이를 산출하기 위해 차량의 통과속도를 산출하였다. 차량의 검지기 통과속도는 차량이 1차 루프(Front Loop)에 진입 후 2차 루프(Back Loop)에 진입하는 순간까지의 시간(T3-T1)과 1차 루프(Front Loop)와 2차 루프(Back Loop)의 간격(LL)을 이용하여 산출하였다. 산출된 통과속도와 차량이 1차 루프(Front Loop)에 진입하고 완전히 1차 루프(Front Loop)에서 나가는 시간(T2-T1)을 이용하여 차량의 길이를 〈그림 4〉와 같이 산출하였다. 그리고 IVS data의 자기장 변화를 이용하여 침도와 왜도, 표준편차를 산출하여 〈그림 5〉와 같이 정리하였다. 자기장 변화곡선의 침도, 왜도, 표준편차값은 동일한 차량이라도 차량의 검지기 통과속도에 따라 변화하므로 개별차량을 구분하는데 적합하지 않아 개별차량고유특성으로 사용하지 않았다.

도로를 주행하는 차량들 중에는 유사한 차종의 차량들이 많으므로 상류부를 통과한 차량들 전체를 대상으로 매칭을 할 경우 구간통행시간을 산출하는데 많은 시간이 소요되며 이상치가 발생할 가능성도 커진다. 본 연구에서는 매칭오류 감소와 매칭시간 단축을 위해 기본초기통행시간과 Time Window size를 조정하여 차종에 따라 다른 값을 적용하였다. 버스나 트럭과 같은 대형 차량과 승용차는 가속 및 주행능력에 차이가 있으며 동일한 길이의 구간을 통과할 때 통행시간에 차이가 있는 것을 감안하여 IVS data에서 산출되는 차량길이에 따라 기본초기통행시간과 Time Window size를 다르게 적용하였



- 차량길이(L) = Speed × (T2-T1)
- 통과속도(Speed) = LL ÷ (T2-T1)

〈그림 4〉 차량길이 산출

차량	상류부 IVS	하류부 IVS	Vehicle Feature		
			침도	Up	Down
Passenger Car			차량길이	3.39 m	2.62 m
			침도	1.902	1.854
			왜도	-0.838	-0.447
			표준편차	0.254	0.242
1ton Truck			차량길이	5.56 m	4.34 m
			침도	2.193	2.257
			왜도	-0.868	-0.782
			표준편차	0.242	0.242
SUV			차량길이	4.69 m	4.26 m
			침도	2.012	2.154
			왜도	-0.673	-0.958
			표준편차	0.246	0.239
VAN			차량길이	4.783 m	4.907 m
			침도	2.504	2.226
			왜도	-0.742	-0.705
			표준편차	0.219	0.231
Truck			차량길이	4.992 m	5.007 m
			침도	2.806	2.006
			왜도	-0.799	-0.849
			표준편차	0.204	0.252
BUS			차량길이	10.208 m	12.631 m
			침도	1.748	1.758
			왜도	0.330	0.329
			표준편차	0.235	0.231
Trailer			차량길이	15.860 m	15.156 m
			침도	2.066	1.863
			왜도	-0.492	-0.156
			표준편차	0.184	0.207

〈그림 5〉 차종별 vehicle feature

〈표 1〉 차량길이에 따른 Time Window값의 설정 예시

차량 길이	기본초기통행시간	Time Window
14m 초과	40 sec	± 12 sec
14m 이하	35 sec	± 7 sec

다. 차종분류 시 소형차(승용차, VAN, SUV, 1톤트럭)와 대형차(Truck, BUS, Trailer)를 구분할 때 분류정확도를 최대로 하는 차종분류기준값(Lhv)을 차량재인식 알고리즘에 적용하였다. 적용된 차종분류기준값(Lhv)은 14m로 설정하였으며 〈표 1〉에서와 같이 기본초기통행시간과 Time Window Size를 다르게 적용하였다.

### 3. ESI(Equally Spaced Interpolation)

루프 검지기자료에서 자기장의 변화는 통과차량의 외양에 큰 영향을 받는다. 〈그림 6〉과 같이 본 연구에서 구분한 7개의 차종에 따라 차량자기곡선(IVS)의 개형이 다른 것을 볼 수 있다. 그리고 동일한 차종의 트럭이라도 짐을 적재할 경우와 그렇지 않을 경우 차량길이만으로는 구분하지 못하므로 차량이 검지기를 통과할 때의 외양을 변수화하기 위해 Equally spaced Interpolation기법을 사용하였다. ESI값은 내삽법(Interpolation)을 적용하여 두 점의 거리를 일정한 간격으로 나누고 각 간격에 해당하는 값을 보간

법으로 추정하는 방법이다. 본 연구에서 ESI값은 〈그림 7〉과 같이 IVS graph를 일정한 시간단위로 나누고 각 단위 시간에 해당하는 Inductance값을 행렬화한 값으로 개별 차량의 외양을 반영한 개별차량특성변수로 사용하였다. 본 연구에서는 IVS data를 9개 단위구간으로 나누어 ESI값 행렬을 이루는 10개의 값을 산출하였다.

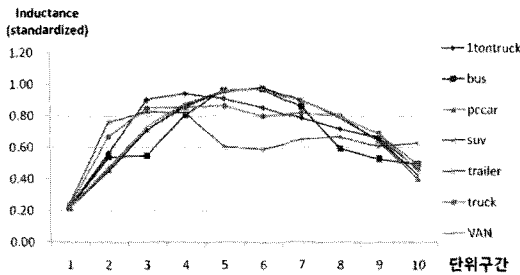
개별차량의 ESI값을 산출하여 차종별로 분석한 결과, 〈그림 6〉과 같이 차종별로 IVS의 개형이 다르며 ESI값도 다른 것을 확인할 수 있다. 개별차량의 ESI값은 하류부 검지기자료의 차량과 상류부 검지기자료의 매칭후보 차량들의 ESI값을 비교하고 최소의 차이값을 보이는 차량을 매칭시키는 작업에 사용되었다.

## V. IVS를 이용한 구간통행시간 산출 알고리즘 개발

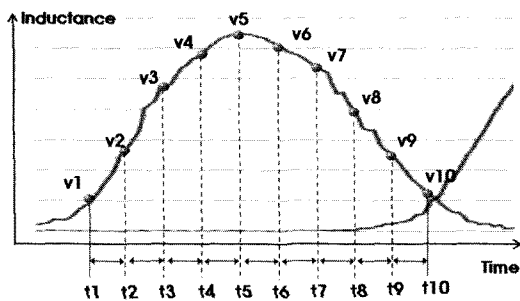
본 연구에서는 루프검지기에서 추출되는 IVS data를 이용하여 차량길이, 검지기 통과시간, Interpolation값, 침도, 왜도 등의 개별차량의 특성을 변수화 하였다. 그리고 이를 개별차량 고유특성(vehicle feature)으로 정의하고 상류부 검지기에서 인식한 차량이 도로구간을 주행하고 하류부의 검지기를 통과할 때 개별차량특성을 통해 다시 인식하여 구간통행시간을 산출하는 알고리즘을 개발하였다.

### 1. 구간통행시간 추정 알고리즘의 입력자료 구축과정

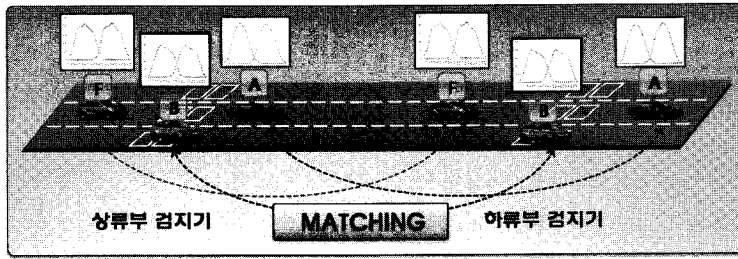
촬영한 동영상상을 분석하여 조사시간에 검지기를 통과한 모든 차량에 개별 ID를 부여하고 차종, 검지기 통과시간, 통과차로를 기록하였다. 그리고 동일시간 및 동일지점의 검지기에서 추출한 자료에서 개별차량의 검지기 통과시간과 개별차량특성을 산출하였다. 개별차량의 검지기 통과시간, 차량길이, 통과차로자료와 동영상 자료의 검지기 통과시간, 차종, 차로 자료들을 비교조건으로 동일차량의 자료거리 매칭시키는 작업을 수행하였다. 매칭시키는 과정에서 통과시간, 통과차로, 차종이 모두 일치하는 경우에 대해 "case 1"로 기록하고 비교조건 중 하나의 조건이 일치하지 않을 경우 "case 2"로 기록하였다. 그리고 비교조건이 일치하지 않으나 전후차량을 비교할 때 매칭되는 다른 차량이 없고 루프검지기 자료의 오류라고 간주되는 경우를 "case 3"으로 기록하였다. 알고리즘에 사용된 동영상자료와 검지기자료의 각 자료내의 상류부 및 하류부차량들끼리의 매칭작업의 개념도를



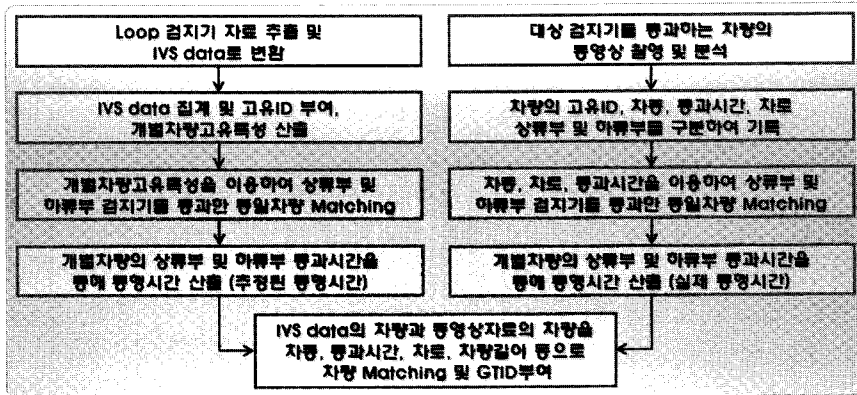
〈그림 6〉 차종별 Interpolation값 그래프 비교



〈그림 7〉 IVS graph상의 ESI값 행렬변수



〈그림 8〉 검지기자료와 동영상자료의 차량매칭 작업 개념도



〈그림 9〉 실제 구간통행시간 산출을 위한 동영상 및 검지기 자료처리과정

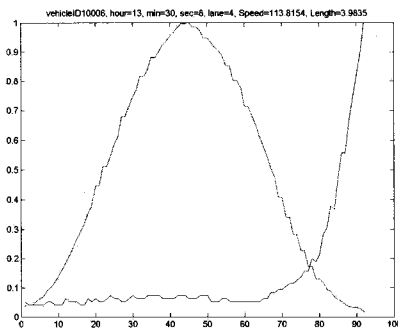
〈그림 8〉에 제시하였다. 매칭된 검지기자료의 각 차량에 동영상 자료의 동일차량의 GTID를 부여하여 IVS data를 이용한 차량 재인식 알고리즘의 정확도를 평가하는데 사용하였다. 알고리즘에 사용된 자료의 처리과정을 〈그림 9〉에 도식화 하였다.

## 2. 불량 IVS data 필터링

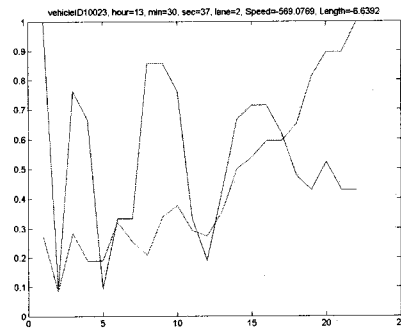
루프검지기의 설치하는 차량이 통과하는 도로의 노면에

매설하는 방식이므로 노면상황 및 기상상황, 검지상황에 따라 불량 IVS data가 생산될 수 있다. 불량 IVS data가 생산되는 경우는 주로 다음과 상황에서 발생한다.

- 노면이 마찰, 부식 등의 이유로 파손되어 검지기가 물리적으로 손상될 경우
- 도로기상환경의 변화로 정확한 자기장의 변화가 감지되지 않을 경우
- 차량이 검지기 통과 시 차로변경을 수행하여 차량의 외양이 완벽히 스캐닝되지 않을 경우



〈차로변경 시 IVS data〉



〈검지 실패한 IVS data〉

〈그림 10〉 불량 IVS data의 그래프

본 연구에서는 불량 IVS data를 제거하기 위해 차량자 기곡선의 개형을 검토하여 그래프가 무한대(infinity) 또는 0으로 수렴하는 <그림 10>과 같은 그래프의 IVS data를 제거하고 개별차량특성을 산출했을 때 속도나 차량길이가 0또는 음의값(-)을 가지는 경우 등의 논리적으로 상황에 맞지 않는 자료를 제거하는 작업을 수행하였다.

**3. IVS data를 이용한 구간통행시간 산출 알고리즘**

구간통행시간을 산출하는 알고리즘은 하류부 검지기 자료에서 한 대의 차량을 매칭대상차량으로 선택하고 상류부 검지기자료에서 선택한 매칭후보차량들 중에서 개별차량고유특성이 가장 유사한 차량을 3단계의 필터링 과정을 통해 매칭시키는 과정과 매칭된 차량의 검지기 통과시간 차이를 이용해 구간통행시간을 산출하는 과정으로 구성되어 있다. 따라서 구간통행시간 산출 알고리즘은 4단계로 구성되며 1단계로 상류부의 전체차량 중에서 매칭후보차량들을 추출하기 위해 차량의 검지기 통과시간을 기준으로 필터링하는 과정이다. 선택된 차량의 하류부 검지기 통과시간을 기준으로 기본초기통행시간 전의 과거시점에서 Time window의 범위시간 내에 상류부 검지기를 통과한 차량들을 매칭후보차량으로 설정하였다. 그리고 매칭대상차량의 차량길이가 차종분류기

준값(Lhv)인 14m이상일 경우 대형차(Truck, BUS, Trailer), 14m미만은 소형차(승용차, SUV, VAN, 1톤트럭)로 구분하여 소형차와 대형차별로 다른 기본초기통행시간 값과 Time window size를 적용하였다.

2단계로 매칭후보차량들과 매칭대상차량 간의 차량길이 차이값을 비교하여 차량길이의 차이값이 차량길이기준값(Ldiff)보다 클 경우 매칭후보차량에서 제외하였다. 본 연구에서는 차량길이기준값(Ldiff)을 변화시키면서 차량들을 매칭시킨 결과 차량길이기준값(Ldiff)이 5m로 설정하였을 때 가장 높은 매칭정확도 결과가 산출되었다.

3단계로 각 매칭후보차량의 ESI값을 매칭대상차량들과 비교하여 가장 차이가 적은 차량을 매칭대상차량과 동일한 차량으로 판단하고 대응시켰다.

4단계로 매칭된 각 차량들의 상류부 및 하류부 검지기 통과시간 차이를 이용하여 개별차량 구간통행시간을 산출하였다. 모든 하류부 차량을 대상으로 한 매칭작업을 완료하고 모든 개별차량의 구간통행시간을 평균하여 전체 통과차량들의 평균 구간통행시간을 산출하였다. 알고리즘의 구조도를 <그림 11>에 도식화 하고 구간통행시간 산출을 위한 차량매칭 알고리즘의 필터링과정을 다음과 같이 수식화하였다.

- 1st level: '시간대(Time window)'를 위한 목표

$$L_{dx}^i - L_{hv} = L_{h, diff}$$

$$\text{if } \begin{cases} L_{h, diff} > 0 \quad (dx^i = \text{heavy vehicle}) \\ B_{tt} = B_{tt}, \quad TW = TW_t \\ L_{h, diff} \leq 0 \quad (dx^i = \text{light vehicle}) \\ B_{tt} = B_{pct}, \quad TW = TW_{pc} \end{cases}$$

$$\text{if } PT_{ux}^j > (PT_{dx} - B_{tt} - TW) \text{ and } PT_{ux}^j \leq (PT_{dx} - B_{tt} + TW) \quad ux^j \in C, C \subset U$$

- 2nd level: '차량길이'를 위한 목표

$$L_{dx}^i - L_{u, C}^j = L_{diff}$$

$$\text{if } \begin{cases} L_{diff} \leq L_h, \quad ux^j \in C \\ L_{diff} > L_h, \quad ux^j \in C' \end{cases}$$

- 3rd level: '차량매칭'을 위한 목표

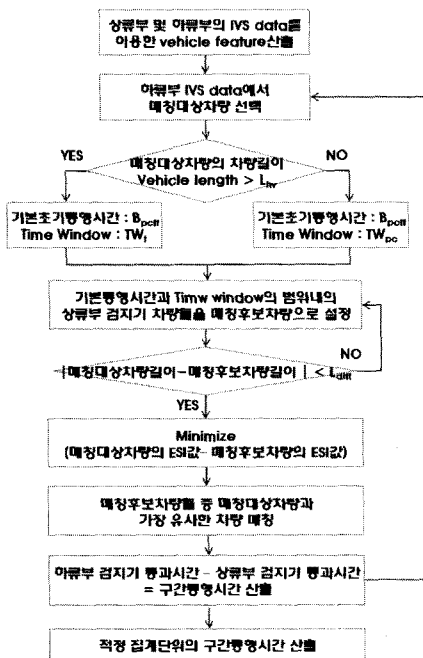
$$\text{Min}(|EST_{dx}^i - EST_{u, C}^j|)$$

$$ux^j \in M^k, dx^i \in M^k$$

- 4th level: '구간 통행시간 산출'을 위한 목표

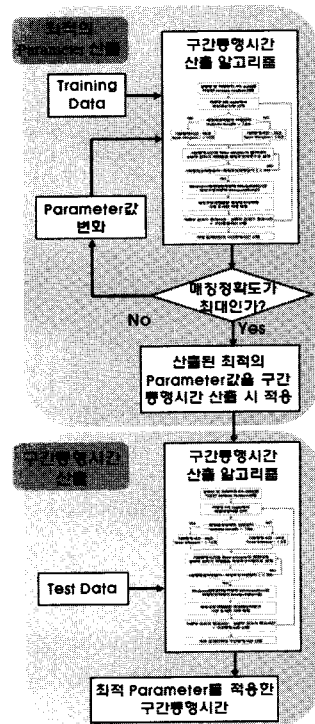
$$t(x) = PT_{dx, M^k}^i - PT_{u, M^k}^j$$

$$\frac{\sum_{i=1}^k t(x)}{k} = \text{Travel Time (sec)}$$



<그림 11> 구간통행시간 산출 알고리즘

- $ux^j$  : 상류부 검지기 차량 j
- $dx^i$  : 하류부 검지기 차량 i
- $L_{dx}^i$  : 하류부 차량 i의 차량길이
- $L_{hv}$  : 차종분류기준값
- $B_{tt}$  : 기본초기통행시간
- $B_{pctt}$  : 소형차 기본초기통행시간
- $B_{ttt}$  : 대형차 기본초기통행시간
- $TW$  : Time window
- $TW_{pc}$  : 소형차 Time window
- $TW_t$  : 대형차 Time window
- $PT$  : 차량의 검지기 통과시간
- $PT_{u.x, M^k}^j$  : k번째 Matching set내의 상류부차량 j의 검지기 통과시간
- $U$  : 상류부 차량 전체집합
- $D$  : 하류부 차량 전체집합
- $C$  : 매칭후보차량집합
- $L_{th}$  : 차량길이 threshold
- $ESI_{u.x, C}^j$  : 후보차량집합 C에 속한 상류부 차량 j의 ESI값
- $M^k$  : Matching된 상류부 및 하류부 차량의 단위set
- $t(x)$  : 구간통행시간 산출함수



〈그림 12〉 파라미터의 정산과 적용

#### 4. IVS data를 이용한 구간통행시간 추정 및 검증과정

구간통행시간을 산출하는 알고리즘의 매칭정확도와 산출된 구간통행시간의 신뢰도를 평가하기 위해 매칭된 차량들의 GTID를 확인하여 매칭된 차량이 실제로 동일한 차량과 매칭되었는가에 대한 평가를 실시하고 매칭된 차량의 GTID가 동일할 경우 "1", 그렇지 않은 경우를 "0"으로 기록하여 정확히 매칭된 차량 대수를 산출하였다. 전체 차량 중 매칭된 차량대수의 비율을 산출하여 매칭정확도(%)를 제시하였다.

#### 5. 구간통행시간 산출 알고리즘의 파라미터 정산

구간통행시간을 산출하는 알고리즘에서 차량매칭정확도(%)를 최대로 하는 파라미터 값을 찾기 위해 전체 검지기자료의 앞부분 30분자료인 Training data를 이용하여 파라미터를 정산하는 과정을 수행하였다. 기본초기통행시간, Time window size, 차량길이기준값(Ldiff)을 변화시키면서 차량들을 매칭시키고 구간통행시간을 산출한 결과 가장 매칭정확도가 높고 구간통행시간의 오차가 적은 파라미터 값을 산출하였다. 전체 검지기자료

〈표 2〉 파라미터 정산을 위한 파라미터값 입력범위

Parameter	범위	간격
기본초기통행시간	32초 ~ 44초	3초
Time Window size	5초 ~ 9초	2초
차량길이 기준값	2m ~ 5m	1m

의 뒷부분 30분자료인 Test data에 정산된 최적의 파라미터를 적용하여 구간통행시간을 산출하였다. 〈그림 12〉에 최적 파라미터의 정산과 구간통행시간 산출과정을 도식화하였다. 본 연구에서는 파라미터의 정산을 위해 알고리즘에 입력될 파라미터 값의 범위를 〈표 2〉와 같이 설정하였다. 기본초기통행시간은 32초에서 44초까지 3초간격으로, Time window size는 5초에서 9초까지 2초간격으로, 차량길이기준값(Ldiff)은 2m에서 5m까지 1m간격으로 변화시키면서 구간통행시간 산출 알고리즘을 수행하였다.

#### 6. 구간통행시간 산출 결과

IVS data를 이용하여 구간통행시간을 산출하는 알고리즘의 Performance test를 수행하고 파라미터 정산과정을 수행한 결과를 정리하였다. Training data로 파라



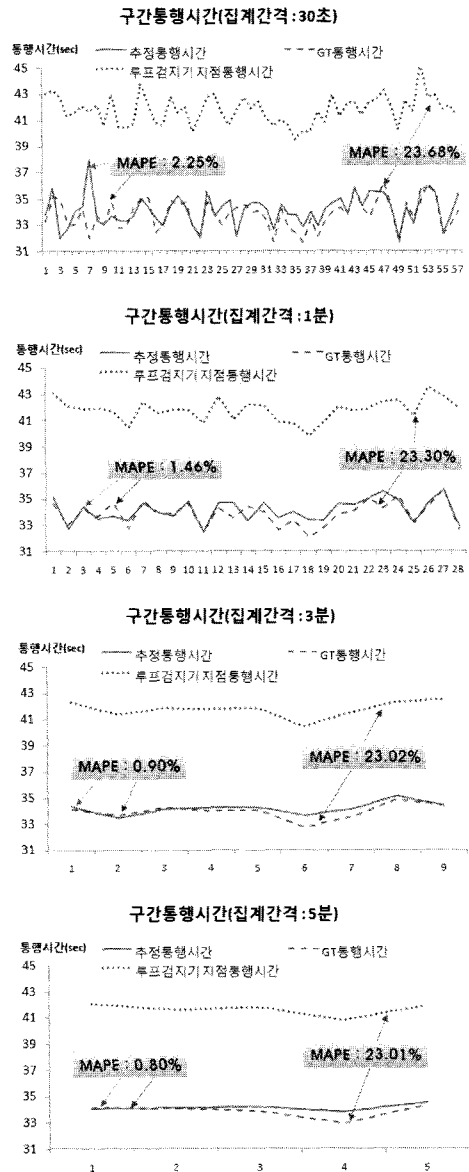
〈표 3〉 정산 결과 산출된 최적 Parameter값

Parameter		최적값
기본초기통행시간		35초
Time Window size		7초
차량길이 기준값		5.0m
전체차량대수	매칭된 차량대수	매칭정확도
1996대	1037대	51.95%

미터를 정산한 결과 〈표 3〉에서와 같이 기본초기통행시간은 35초, Time Window size는 7초, 차량길이기준값(Ldiff)은 5m일 때 매칭정확도가 51.95%로 최적의 결과가 산출되었다. 산출된 결과는 실제 동영상분석에 의해 산출된 구간통행시간값(34.09초)과 비교한 결과 매우 근사한 값이 산출된 것을 알 수 있었다. 정산과정을 수행한 결과로 산출된 파라미터 값들을 Test data에 적용하여 구간통행시간을 산출한 결과를 〈표 4〉에 제시하였다.

동영상 자료와 검지자료의 차량들을 매칭시킬 때 case2와 case3로 기록한 경우는 매칭오류의 가능성이 있으므로 모든 비교조건이 동일한 경우(case 1)에 의해 매칭된 차량들만을 이용한 매칭정확도를 산출하였다. 〈표 4〉에 매칭정확도와 구간통행시간 산출결과를 제시하였다. 평균 구간통행시간은 34.14초, 알고리즘의 매칭정확도는 48.36%로 산출되었다.

차량을 매칭시킨 결과, 차종별로 다른 매칭율을 보였다. 도로를 주행하는 차량들 중 가장 높은 비율을 차지하는 승용차의 매칭정확도가 가장 낮게 산출되었다. 승용차의 매칭정확도가 낮은 것은 차량길이나 외양이 비슷하기 때문인 것으로 분석되며 이에 반해 외양이 개별적이고 차량길이도 각기 다른 대형차의 매칭정확도는 매우 높게 나타났다. 그리고 대형차종의 구간통행시간이 소형차종보다 크게 산출된 것으로 보아 매칭후보차량을 구성할 때 Time window size를 소형차와 대형차를 구별하



〈그림 13〉 통행시간 정확도 비교

〈표 4〉 최종 구간통행시간과 매칭정확도

차종	전체 차량대수	매칭된 차량대수			매칭정확도(%) (Case1 only)	구간통행 시간(초)
		매칭된 차량대수 (case 1)	매칭된 차량대수 (case2, case3)	소계		
Car	670	262	5	267	39.10%	32.55
Van	286	143	6	149	50.00%	33.02
Truck	431	270	13	283	62.65%	33.90
lton truck	247	134	16	150	54.25%	33.54
Trailer	41	26	8	34	63.41%	36.62
SUV	262	92	5	97	35.11%	32.88
Bus	73	45	2	47	61.64%	36.10
합계	2010	972	55	1027	48.36%	34.14초

여 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

알고리즘을 통해 추정된 개별차량의 구간통행시간과 동영상 분석을 통해 수집한 실제 구간통행시간(GT통행시간), 그리고 상류부 및 하류부 루프검지기 속도자료를 교통량을 고려하여 조화평균한 후 통행시간으로 전환한 값을 비교하였다. 지점검지기에서 수집되는 지점의 교통자료를 이용하여 구간평균통행속도를 산출시에산술평균(시간평균속도)을 적용하면 산출된 속도가 과대추정되어 신뢰성이 떨어지게 된다. 따라서 본 연구에서는 구간통행시간을 산출하기 위해 구간평균속도를 산출할 때 거리, 교통량가중 조화평균을 적용하였다. 각 통행시간은 30초, 1분, 3분, 5분의 집계간격을 적용하여 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)와 그래프로 <그림 13>과 같이 비교하였다. 비교한 결과 루프검지기의 속도자료를 교통량가중 조화평균하여 산출한 통행시간이 GT통행시간과 본 연구에서 제시한 알고리즘을 통해 추정된 통행시간보다 과대추정되는 결과를 보였다. 집계간격이 30초 일 때, 추정통행시간은 GT통행시간과 비교하여 MAPE가 2.25%인 반면, 상류부 및 하류부 루프검지기 속도자료를 가중평균하여 산출한 통행시간은 GT통행시간과 비교할 때 MAPE가 23.21%로 산출되었다. 본 연구에서 제시한 차량자기신호를 이용하여 산출한 개별차량특성으로 차량을 재인식하는 알고리즘이 기존의 루프검지기 속도자료를 이용한 통행시간 산출 방법보다 높은 정확도를 보였다.

**7. 교통상황에 따른 알고리즘의 적용가능성 검토**

본 연구에서 제시한 구간통행시간 산출 알고리즘의 교통상황에 따른 적용가능성 여부를 검토하기 위해 교통상황이 혼잡해서 매칭후보차량목록에 평소보다 많은 차량들이 포함될 경우에 대해 매칭정확도를 산출하였다. 현재 알고리즘에 적용된 입력자료의 교통상황은 교통량이 평균 1177pcphpl로 LOS C에 해당한다. 그리고 차량재인식 알고리즘 수행 시에 매칭후보차량목록에 포함되는 상류부 검지기 차량은 약 16대의 차량들로 구성된다. 본 연구에서는 LOS E인 용량수준의 교통상황에서

의 알고리즘 성능평가를 위해 LOS E에 해당하는 교통량인 2300pcphpl으로 차두시간(headway)을 계산하였다. 차두시간이 1.56초일 경우 Time Window(±7초 = 14초)내에 약 8.97대의 차량이 존재한다고 보고 분석대상구간이 4차로인 점을 감안하여 매칭후보차량목록에 약 36대의 차량이 포함되도록 파라미터를 설정하여 차량재인식 알고리즘을 적용하여 분석하였다. 매칭후보차량 목록에 약 36대의 차량이 포함되기 위해서는 Time Window값이 ±15초로 설정되어야 하며, 알고리즘의 매칭정확도 산출결과를 <표 5>에 제시하였다. 교통류가 혼잡상황(LOS E)일 경우 매칭후보차량목록에 많은 차량이 포함될 때 상류부 및 하류부 검지기를 통과한 차량을 매칭한 결과 44.33%의 매칭정확도가 산출되었다.

**Ⅵ. 결론 및 향후 연구과제**

**1. 결론**

본 연구에서는 루프검지기에서 추출한 차량자기신호(IVS) 자료를 이용하여 각 차량을 구분할 수 있는 개별차량고유특성을 산출하고 상류부 검지기를 통과한 차량을 하류부에서 다시 인식하여 차량의 검지기 통과시간차를 계산하여 구간통행시간을 산출하였다. 그리고 산출된 구간통행시간은 동영상분석을 통해 산출한 실제구간통행시간 자료와 비교하여 매칭정확도를 산출하였다. 수집된 1시간동안의 검지기 자료를 반으로 나누어 앞부분의 30분 자료는 매칭정확도를 최대한으로 하는 파라미터를 정산하는데 사용하고 뒷부분 30분 자료는 정산된 파라미터를 적용하여 높은 신뢰도의 구간통행시간을 산출하는데 사용하였다. 개별차량고유특성은 차량의 검지기통과시간, 차량길이, 차량의 외양을 대표하는 ESI값을 사용하였다. 기존연구와 다르게 본 연구에서는 개별차량 고유특성으로 차량길이, 검지기통과시간, Time window 외에 ESI값을 개별차량고유특성으로 사용하였으며 차종별로 다른 Time window값을 적용하였다.

<표 5> 교통상황(LOS)에 따른 차량재인식 알고리즘의 매칭정확도

교통상황	Time Window size	전체차량대수	매칭된 차량대수	매칭정확도
LOS C (현재교통상황)	±7	2010대	1027대	51.09%
LOS E (혼잡교통상황)	±15	2010대	891대	44.33%

\*매칭된 차량대수와 매칭정확도는 case1, case2, case3를 모두 포함한 수치임

매칭정확도를 최대로 하는 파라미터를 정산한 결과 기본초기통행시간은 35초, Time window size는 7초이며 차량길이기준값(Ldiff)은 5m로 산출되었다. 정산된 파라미터를 적용하여 구간통행시간을 산출한 결과 2,010대의 차량 중에 972대를 정확하게 재인식하였으며 48.36%의 매칭정확도가 산출되었다. 예측된 평균구간통행시간은 34.14초로 실제 평균구간통행시간 값인 34초와 매우 근사하게 산출되었다.

**2. 향후연구과제**

본 연구에서 제시한 알고리즘이 실제 도로에 활용되기 위해서는 몇 가지의 기술적인 이슈들이 해결되어야 한다. 첫째, 기본초기통행시간과 Time window의 설정값에 따라 알고리즘의 매칭정확도가 변화한다. 기본초기통행시간과 Time window는 차량의 검지기 통과시간을 이용하여 차량을 추출하는 변수로 사용되므로 Incident에 의한 혼잡으로 구간의 통행시간이 급격히 증가할 경우 기본초기통행시간과 Time window값이 실제 교통류 상황에 맞게 재설정되지 못한다면 차량 재인식 알고리즘의 매칭정확도가 떨어지게 된다. 그러므로 실제 도로에 적용 시에는 적정한 시간간격으로 기본초기통행시간과 Time window size값을 교통상황에 맞게 재설정해야 할 것이다.

둘째, 매칭후보차량들과 매칭대상차량 간의 차량길이를 비교할 때 기준이 되는 차량길이기준값(Ldiff: 본 연구에서는 5m로 설정)의 설정이 매칭정확도에 영향을 줄 수 있다. 차량길이기준값(Ldiff)을 크게 설정하면 매칭후보차량들로 선택되는 차량대수가 많아지고 작은 값을 설정하면 선택되는 차량대수가 적어진다. 루프검지기에서 추출되는 raw data에서도 자료수집 시 발생하는 오차가 있기 때문에 동일한 차량의 IVS data로 차량길이를 산출해도 차이가 있을 수 있다. 루프검지기에서 수집되는 원시자료의 오류자료가 적어야 하며, 차량길이기준값을 더 작게 설정함으로써 정확한 매칭과정을 수행해야 할 것이다.

셋째, 구간통행시간의 집계간격은 통행시간 정보의 실시간성과 관련되므로 구간통행시간의 정확도가 떨어지지 않는 범위 내에서 실시간성이 확보되도록 적정 집계간격이 설정되어야 할 것이다.

넷째, 본 연구에서는 연구범위를 두 개의 검지기만을 대상으로 수행하였다. 장거리의 구간통행시간 정보를 제공하기 위해서는 향후 여러 검지기에 대한 자료를 수집 및 분석하고 구간통행시간을 산출하는 알고리즘 연구가

필요하다고 판단된다.

다섯째, 본 연구에서는 정상교통류인 교통상황의 루프검지기 자료를 사용하였다. 본 연구에서 제시한 알고리즘의 적용가능성을 보다 세밀하게 검토하기 위해 다양한 교통상황의 검지자료를 수집하여 알고리즘을 평가하는 과정이 향후 추진되어야 할 것으로 판단된다.

여섯째, 예측된 구간통행시간의 정확도를 평가하기 위해 구축한 동영상 자료와 같은 실제 통행시간 자료가 필요하다. 구간통행시간을 산출하는 알고리즘을 보조하는 성격의 실제 구간통행시간을 제시하는 보조시스템에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제59회 학술발표회(2008.10.24)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

**참고문헌**

1. 오철(2005), "개별차량의 고유특성을 이용한 구간통행시간 산출기법 개발", 대한교통학회지, 제24권 제1호, 대한교통학회, pp.83~91.
2. Oh, C., Ritchie, S.G., and Park, S(2002), "Development of a real-time probabilistic vehicle reidentification algorithm for signalized intersections", Working paper, Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine.
3. Sun, C., S.G. Ritchie, W. Tsai, R. Jayakrishnan. (1999). "Use of Vehicle Signature Analysis and Lexicographic Optimization for Vehicle Re-identification on Freeways", Transportation Research, Vol. 7C, pp.167~185.
4. Kühne, R.D.(1991), "Freeway control using a dynamic traffic flow model and vehicle reidentification techniques", Transportation Research Record Vol.20, pp.251~259.
5. Böhnke, P., Pfannerstill, E.(1986), A system for the automatic detection of traffic situations. ITE Journal, 56.
6. Jeng, C., S.G. Ritchie(2006), "New inductive signature data compression and transformation

method for online vehicle reidentification”, In  
Proceedings of the 85th Annual Meeting of the

Transportation Research Board, Washington,  
D.C.

- ☞ 주 작 성 자 : 박준형
- ☞ 교 신 저 자 : 오 철
- ☞ 논문투고일 : 2008. 10. 24
- ☞ 논문심사일 : 2009. 1. 6 (1차)  
2009. 2. 4 (2차)  
2009. 2. 18 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2009. 2. 18
- ☞ 반론접수기한 : 2009. 6. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필