

V2I 데이터 Online 고속도로 휴게소 이용률 추정 방법

The Method for Online Estimating Utilization Rate of Motorway Service Area Under the V2I Data Condition

장현호¹ · 이진수^{2*} · 윤병조³Hyunho Chang¹, Jinsoo Lee^{2*}, Byoungjo Yoon³¹General researcher, Urban Science Institute, College of Urban Science, Incheon National University, Incheon, Republic of Korea²Researcher, Urban Science Institute, College of Urban Science, Incheon National University, Incheon, Republic of Korea³Professor, College of Urban Science, Incheon National University, Incheon, Republic of Korea

*Corresponding author: Jinsoo Lee, iamjinsoolee@gmail.com

ABSTRACT

Purpose: Analysis method of V2I data driven motorway service area usage behavior to cope with manpower survey. **Method:** Segmentation of traveling state group and boundary using the distribution characteristics of traveling speed data of individual vehicles. **Result:** As a result of the verification, the use rate of resting places in lunchtime surged, and the boundary between the distribution status of the traffic speed data was clearly or unclear. **Conclusion:** The effect of the cost reduction is big because it can cope with the use of rest area survey by manpower and there is no limit in the time and space range of investigation. The dynamic utilization rate of each time sequence, such as a service area/drowsiness shelter/simple service area, with a V2I system, can be calculated. Identify illegal parking on highway section. Identify the unexpected situation in the road section. Identify the real-time service area utilization rate and congestion information.

Keywords: V2I (Vehicle to Infrastructure), Service area, Service area utilization, Traffic state segmentation, Boundary speed

요약

연구목적: 인력에 의한 조사를 대체할 수 있는 V2I 데이터 기반의 고속도로 휴게소 이용행태 분석. **연구방법:** 휴게소 구간 개별차량의 통행속도 자료 분포 특성을 활용하여 통행상태 그룹 분할 및 휴게소 이용 경계(Boundary) 설정. **연구결과:** 검증 결과 점심시간 휴게소 이용률이 급증, 통행속도 자료 분포 상태 간 경계가 명확하거나 불명확한 모든 경우 휴게소 이용경계를 정교하게 산정. **결론:** 인력에 의한 휴게소 이용실태 조사를 대체할 수 있어 비용절감의 효과가 크며 조사의 시공간적 범위에 제한이 없음. V2I 시스템이 구축된 휴게소/졸음쉼터/간이 휴게소 등 각 시간대별 동적 이용률 산정이 가능. 단시간/중시간/장시간 이용의 구분이 가능. 차종별 이용실태 도출 가능. 도로구간 불법 주정차 여부 파악 가능. 도로구간 내 돌발상황 검지 가능. 실시간 휴게소 이용률 및 혼잡도 정보 제공 등 다양한 분석과 운영전략 수립 가능.

핵심용어: V2I(Vehicle to Infrastructure), 휴게소, 휴게소 이용률, 통행상태 분할, 경계속도

Received | 29 August, 2019

Revised | 4 September, 2019

Accepted | 18 December, 2019

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

서론

고속도로 및 지역 간 도로 교통사고의 주된 요인은 피로와 졸음이다. 따라서 고속도로 휴게소(Service area, 이하 SA)의 이용행태 분석은 교통사고 방지 및 SA 서비스 개선에 매우 중요하며, 이를 위한 SA 이용실태조사가 정기적으로 수행되고 있다. 한국도로공사의 경우, 정기적(2~4년)으로 고속도로 SA 이용실태조사(약 3,000여 명의 조사원이 투입되어 평일은 10월 셋째 주 수요일 또는 목요일 주말은 동월 토요일에 24시간 전수조사)를 시행하고 있다.

인력에 의한 SA 이용실태조사의 한계는 다음과 같다. ①지속적인 조사가 불가능하며, 고속도로 신규개통 등으로 노선 체계 변화하는 경우 2~4년 동안 서비스지표가 고정된다. ②막대한 비용대비 조사의 시간적 적용범위는 2일(평일, 주말)에 불과하다. 따라서 관광, 휴가철, 특별수송 등 계절적/요일적 특성, 교통류 상태(혼잡, 비혼잡) 특성, 그리고 미시적인 시간적 특성(월/일/시간대)을 알 수 없다. ③고속도로 SA 이용특성을 고려한 실시간 고속도로 SA 이용정보 제공 신뢰성이 저하된다. ④졸음휴게소, 기타 간이 SA를 대체하는 공간에서 이용행태에 대한 조사는 전무한 실정이다. 추가로 한국도로공사의 단거리 전용 통신 방식(Dedicated short range communication, 이하 DSRC) 시스템을 이용하기 위하여 SA에 RSE(노변 기지국, Road-side equipment)를 설치하여 운영 중이나 일부 SA에 한정되고 있으며, 신뢰성에 관한 연구가 필요한 실정이다.

현재 한국도로공사의 Hi-Pass 보급률(Penetration rate)은 75% 이상이며, 이중 RSE와 통신을 수행하는 IR-RF 단말기는 35% 수준에 달하고 있으며, 중대형 화물차에 대한 단말기 보급률은 급속히 증가하고 있다. 주요한 사실로서, IR-RF 단말기의 보급률 측면에서 고속도로 SA 이용 차량 중 3대 중 1대 이상이 IR-RF 단말기를 설치한 차량이다. 이것은 학술적 실용적 측면에서(DSRC 시스템을 통해 수집되는) 고속도로 본선의 IR-RF 단말기 구간 검지 정보는 고속도로 SA의 이용행태 분석을 위한 충분한 여건을 갖추었다는 의미이다. 이러한 시스템 및 자료 환경에도 불구하고 DSRC 시스템에서 수집되는 Hi-Pass 경로정보를 이용한 고속도로 SA 이용률 관련 연구는 보고되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 V2I(차대 시설통신, Vehicle to infrastructure) 데이터 환경에서 SA 이용실태를 실시간으로 모니터링하기 위한 방법론을 제시하고, 그 가능성을 실제 자료를 이용하여 검증하였다. 검증결과, SA 이용률의 검지 정확도는 99%에 도달하는 것으로 분석되었다. 추가로, 분석결과에 기초하여 졸음 휴게소, 국도 SA 등에 적용 여부 및 향후 연구에 대하여 기술하였다.

선행 연구 및 시사점

V2I 자료 기반 자료의 특성을 이용하여 동적으로 휴게소 이용률을 추정하는 방법론에 관한 연구는 제시되지 않고 있으며 휴게소 이용실태조사 결과를 기반으로 한 장래 휴게소 이용특성(이용률, 이용수요) 분석이 대부분인 실정이다.

Kim et al. (2006)은 고속도로 휴게소의 시설현황조사, 이용실태 조사 결과의 야간 이용률을 입력변수로 회귀분석을 이용하여 야간 화물자동차 주차 수요를 추정하였다. Baek et al. (2006)은 휴게소 주차수요의 적정성 판단, Choi et al. (2010)은 고속도로 휴게소 이용특성 변화 분석을 위해 이용실태 조사 자료를 활용하여 장래 휴게소 이용률, 회전율, 혼잡 비율을 회귀모형을 이용하여 추정하였다. 추가로 Lim et al.(2009)은 한국도로공사의 전자요금징수시스템인 TCS(Toll Collection System)의 차량 통행시간 자료와 운전자의 피로도를 이용한 지표기반 적정 휴게소 위치와 이용수요를 추정하는 방법론을 제시하였다.

고속도로 SA 이용률은 ①SA 서비스 품질, ②소통상황(혼잡, 비혼잡, 교통사고), ③차량 운전자의 운전 피로도 및 생리적

상태, ④날씨상태(맑음, 폭우, 폭설 등), ⑤계절, 월, 요일, 특정일, 특별수송 등 시간변수에 따른 통행거리 변화 등이 복합적으로 작용한다. 따라서 일별 시간대별 SA 이용률은 동적으로 변화한다. 이러한 동적 SA 이용률은 실시간 SA 서비스 향상 및 SA 잠재 이용자에게 매우 중요한 정보로 활용되며, 정적정보가 아닌 시간 임계적(Time-critical) 정보이다. 이러한 SA 이용 특성에 대한 실시간 정보의 중요성에도 불구하고 이에 대한 Online 추정기술은 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 신뢰성 있는 SA 이용행태 및 실시간 모니터링이 가능한 방법론을 제시하였다. 추가로, 실시간 교통정보 및 운영시스템에 개발 기술을 적용하기 위하여 빠른 연산 수행속도로 시스템 연산요구수준을 충족하도록 설계하였다.

방법론

휴게소 설치 본선구간의 통행속도 특성

SA 구간 개별 통행속도 분포 특성은 크게 Fig. 1과 같이 소통상황이 양호한 경우(a : Seq 200)와 양호하지 않은 경우(b : Seq 111)로 구분된다. 소통상황이 양호한 경우 Fig. 2(a)와 같이 군집된 상태 간 이격이 커 상태 간 구분이 명확히 나타난다. 반면 소통상황이 양호하지 못한 경우 Fig. 2(b)와 같이 군집된 상태 수가 2개 이상이며 그 이격이 좁아 SA를 이용한 대상을 선정하기가 어렵다. 본 연구의 방법론은 크게 실시간성, 신뢰성 두 가지 측면에서 설계하였다. 첫째, 반복연산이 최소 수준으로 유지되며 기존의 클러스터링 기법을 대체할 만한 방법론을 개발하여 실시간 적용이 가능하도록 설계하였다. 둘째, 소통상황이 양호하지 못한 상태 즉, 상태의 구분이 모호한 상황에서도 SA 이용 대상을 보다 정교하게 선정할 수 있는 방법론을 개발하였다.

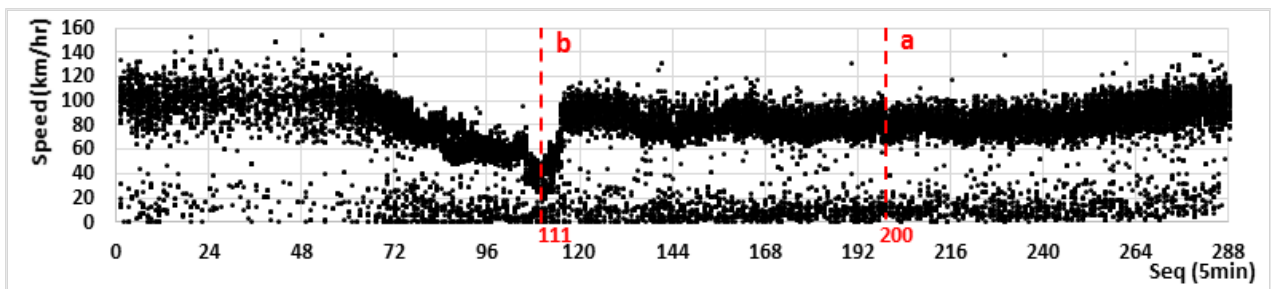


Fig. 1. SA section vehicle speed by time sequence

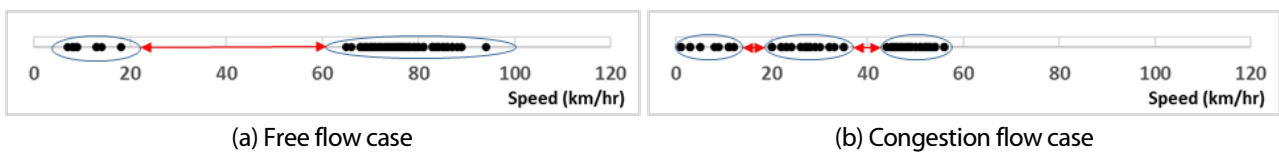


Fig. 2. Each vehicle speed distribution by traffic flow condition

방법론의 체계

본 연구의 방법론은 Fig. 3과 같이 통행상태 분할 알고리즘, 휴게소 이용률 산정 알고리즘으로 구분된다. 상태분할 알고리

증의 자료가공 단계는 시스템의 검지 오류나 과도한 통행속도에 기인한 이상치 제거가 목적이다. 실시간 적용을 위해 반복연산이 최소 $n_i \times n_i$ ($n_i = i$ 시간대 개별차량 속도기록 개수) 회가 필요한 기존 클러스터링 기법 대신 통행속도 요소별 간격 (Gap) 기반의 상태 분할 알고리즘(n_i 회 소요)을 개발 및 적용하였다. 상태 분할 알고리즘은 구간의 소통상황이 양호한 경우 두 가지 상태로 구분되어 SA 이용 대상 선정이 가능하다. 반면 소통상황이 양호하지 못한 경우 여러 상태로 구분되며, 이는 어느 방법론을 적용해도 동일한 문제가 발생한다. 따라서 본 방법론의 신뢰성을 확보하기 위해 휴게소 이용률 산정 알고리즘을 추가로 개발 및 적용하였다.

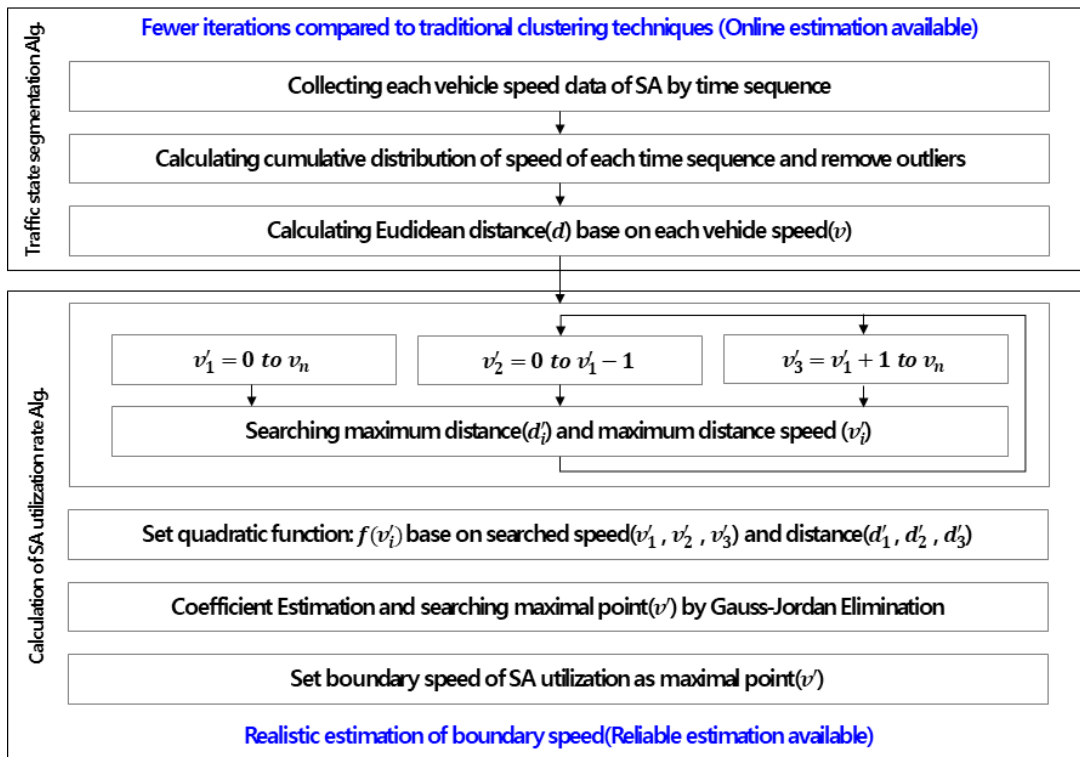


Fig. 3. Methodology flow

통행상태 분할 알고리즘

자료 수집 및 가공

본 연구는 V2I 환경에서 수집되는 모든 자료에 적용할 수 있도록 설계하였다. 기본적으로 본 연구의 입력 자료는 SA 구간 기준 시간대별 통행속도 자료로 어느 형태든 적용할 수 있다. 통행속도 자료는 시스템의 검지 오류나 과도한 통행속도에 기인한 이상치가 존재한다. 이상치 제거를 위한 방법론은 다양하게 보고되고 있으며, 그 기능이 정교할수록 연산시간은 증가하게 된다. 본 방법론은 SA 이용 대상을 보다 합리적이고 효율적으로 선정하는 것이 목적으로 통행속도 누적분포(Cumulative Distribution 이하 CD)에 따른 제한치를 Fig. 4(a)와 같이 설정하여 이상치를 제거하였다. 일정 수준 이상 상위 속도분포의 자료를 배제하는 것은 Fig. 4(b)와 같이 SA 이용 대상의 구분을 명확하게 할 뿐만 아니라 연산횟수의 감소 효과를 도모할 수 있다. 본 연구에서는 기준 시간대를 5분으로 제한하였으며 CD는 85%로 설정하였다.

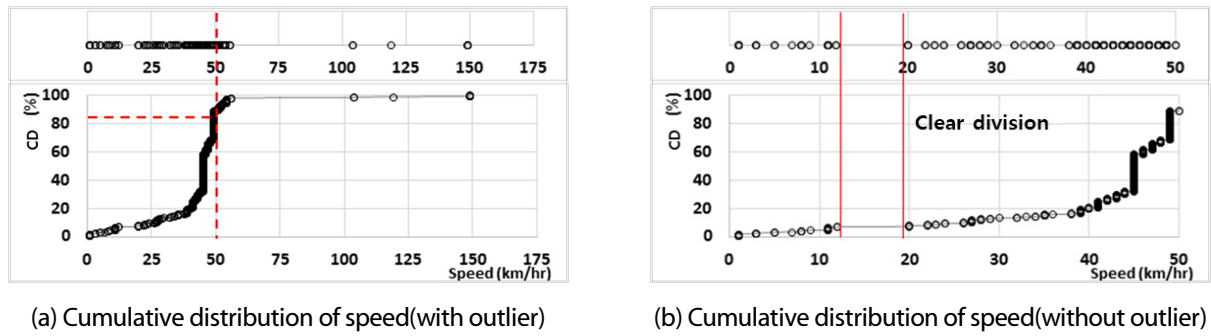


Fig. 4. Cumulative distribution of speed

통행속도 요소별 간격 산출

통행상태 분할 알고리즘은 이상치를 제거한 개별 차량의 통행속도기록 요소간격(Gap)을 구축하는 과정으로 시작한다. 여기에서 요소간격은 Eq. (1)과 같이 오름차순으로 정렬된 개별 통행속도 이전 기록된 통행속도와 이후 기록된 통행속도 간의 상태거리(해당 통행속도 이후, 이전 속도의 차이)로 Eq. (2)의 조건에 따라 구축된 집합 Eq. (3)과 같이 정의한다. 개별차량 통행속도 요소간격과 속도의 관계는 요소간격의 크기와 분포에 따라 다양한 형태로 나타난다.

$$V_i = [v_1, v_2, v_3, \dots, v_n] \quad (v_1 \leq v_2 \leq v_3) \tag{1}$$

$$d_i = \begin{cases} V_2 - V_1 & i = 1 \\ V_n - V_{n-1} & i = n \\ V_{i+1} - V_{i-1} & else \end{cases} \tag{2}$$

$$D_i = [d_1, d_2, d_3, \dots, d_n] \tag{3}$$

Where,

V : Each vehicle speed array after removal outlier at single time sequence(288 seq)

d_i : i th euclidean distance of each vehicle speed

D : Euclidean distance array at single time sequence(288 seq)

Fig. 5(a)와 같이 개별차량 통행속도 최대 요소간격의 규모(약 60)가 클수록 상태 간 경계가 명확하다. 반면 Fig. 5(b)와 같이 그 규모(약 20)가 작을수록 상태 간 경계는 불명확하다. 경계가 명확한 경우 통행속도가 낮은 상태를 SA 이용 대상으로 선정할 수 있으며 SA 이용률을 추정하는 데 무리가 없다. 하지만 경계가 불명확한 경우 SA 이용대상을 명확히 선정할 수 없다. 단순히 요소간격이 가장 큰 통행속도 이하를 SA 이용 대상으로 산정하게 된다면, Fig. 5 (b)의 경우 약 55km/hr 이하로 주행한 차량은 모두 SA를 이용한 것으로 결정된다. 구간의 연장이 3km인 경우, 상위 통행속도 90km/hr와 결정된 55km/hr는 약 76초 정도의 격차가 발생한다. 차량의 가·감속을 고려하지 않더라도 1분 남짓한 지연시간은 SA 이용이 아닌 저속운행으로

인한 지연시간으로 판단하는 것이 더 합리적이다. 따라서 보다 현실적이며 신뢰성 있는 SA 이용 대상 차량을 선정하기 위해서는 통행속도 요소별 간격 특성을 활용하여 SA 이용 경계를 산정하는 방법론이 필요하다.

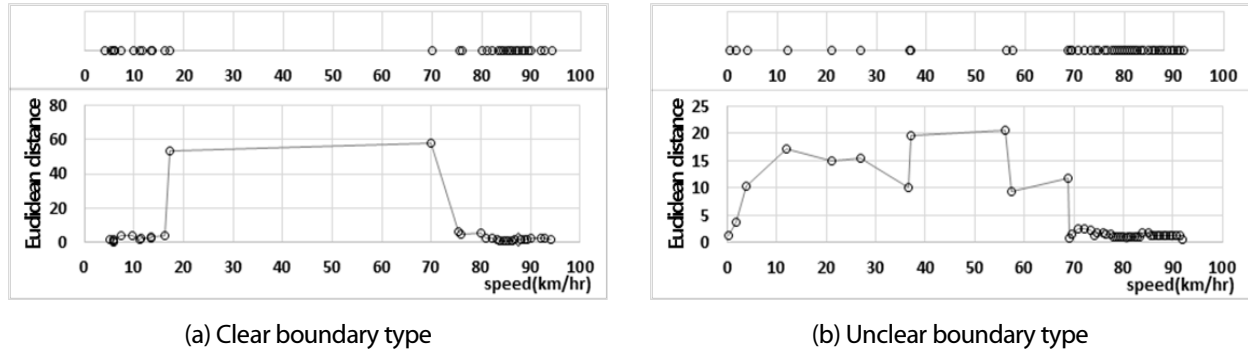


Fig. 5. Euclidean distance of speed

휴게소 이용률 산정 알고리즘

휴게소 이용률 산정 알고리즘의 개념

전술한 바와 같이 최대 요소간격의 규모가 작아 경계가 불명확한 경우 단순히 요소간격이 가장 큰(최대 마루) 통행속도를 경계속도로 산정할 수 없다. 따라서 상태 간 경계를 현실적으로 결정하기 위해 각 통행속도 요소별 간격의 분포 특성을 고려하였다. 분포는 연산 수행 속도를 고려하여 2차 함수의 형태로 변환하여 극대점에 해당하는 지점을 경계점으로 설정하였다. 최대 요소간격의 규모가 커 경계가 명확한 경우 2차 함수의 형태를 적용하면, 어느 경우라도 Fig. 6(a)와 같이 명확한 경계 범위 내에 극대점이 위치하게 된다.

상태 간 경계가 명확한 경우와 불명확한 경우, 모든 경우에 적용 가능한 SA 이용률 산정 알고리즘은 Fig. 6(b)와 같이 크게 3가지 과정으로 구분된다. 첫째, 통행속도별 요소간격의 최대 마루(Maximum ridge)와 해당 요소간격 기준 좌·우 마루(Sub-Maximum ridge) 총 3개의 점 (v_1, d_1) , (v_2, d_2) , (v_3, d_3) 을 산출한다. 둘째, 경계 속도를 추정하기 위해 2차 함수의 분포를 가정하였으며 산출된 3개의 점을 이용해 각 계수를 도출한다. 계수를 도출하는 과정은 가우스-조던 소거법을 활용하였다. (Gauss-Jordan Elimination) 마지막으로, 해당 시간대 총 통행량 대비 추정된 경계속도 기준 이하의 차량의 비율로 SA 이용률을 산정하였다.

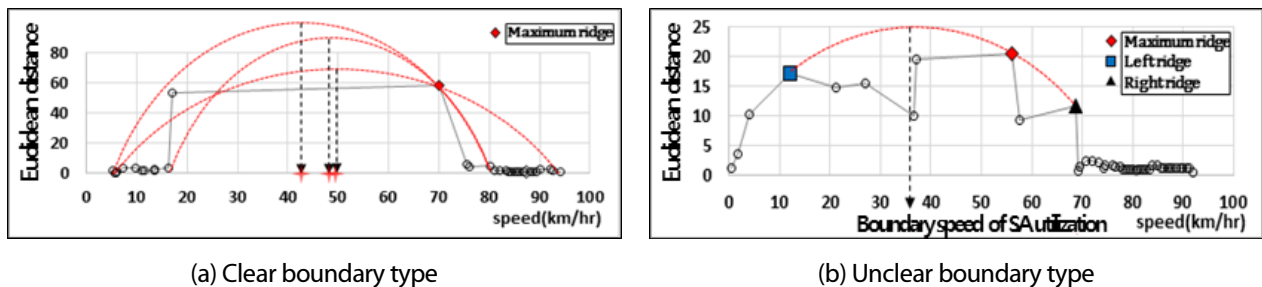


Fig. 6. Determination of boundary speed between states

최대 마루 및 좌·우 마루 탐색

최대 마루 탐색을 먼저 수행한 후 최대 마루 기준 좌·우 마루 탐색을 수행한다(연산속도의 극대화를 위해서 ‘3. 통행상태 분할 알고리즘’ 과정 내 통행속도별 요소간격 계산과정에서 산출한다.). 최대 마루 Fig. 7(a)는 요소간격 배열(D) 내 2 번째에서 $n-1$ 번째 까지 전역 탐색을 수행한다. i 번째 요소간격이 마루($d_{i-1} < d_i < d_{i+1}$)의 형태를 보이며 그 값이 현재까지 최대 마루(d_i)로 기록된 값보다 클 때마다 값을 갱신해준다. 갱신 값은 i 번째 요소간격, i 번째 통행속도, i 값으로 i 값은 최대 마루 요소간격 기준 좌·우 마루 Fig. 7(b), Fig. 7(c) 탐색 시 사용한다. 탐색이 종료되면 $(v_1, d_1), (v_2, d_2), (v_3, d_3)$ 세 지점 마루의 좌표를 산출하게 되며 본 과정은 Eq. (4)와 같다.

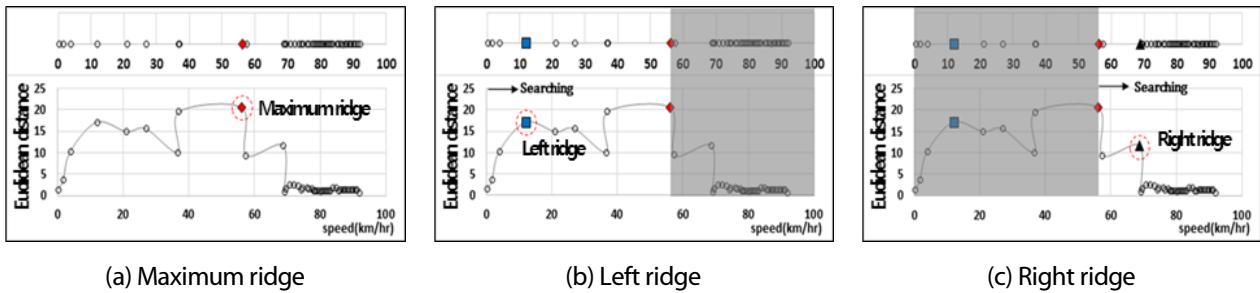


Fig. 7. Searching result of ridge

$$\begin{cases}
 D_{i=2}^{n-1} & \left\{ \begin{array}{ll} d_1 = d_i, v_1 = v_i, m = i & d_1 < d_i, d_{i-1} < d_i < d_{i+1} \\
 D_{i=2}^{m-1} & \left\{ \begin{array}{ll} d_2 = d_i, v_2 = v_i & d_2 < d_i, d_{i-1} < d_i < d_{i+1} \\
 D_{i=m+1}^{n-1} & \left\{ \begin{array}{ll} d_3 = d_i, v_3 = v_i & d_3 < d_i, d_{i-1} < d_i < d_{i+1}
 \end{array} \right. \right. \right. \quad (4)$$

Where,

$D_{i=2}^{n-1}$: Searching euclidean distance array(D) from $i = 2$ to $n-1$

m : Point(i) at maximum euclidean distance(d_i)

각 마루 좌표 기반 2차 함수의 계수 도출

각 시간대별 통행속도에 따른 요소간격의 관계를 Eq. (5)와 같이 2차 함수 형태로 가정한다. 그 후 $(v_1, d_1), (v_2, d_2), (v_3, d_3)$ 세 지점 마루의 좌표기반 2차 함수의 각 계수를 가우스-조던 소거법을 통해 도출하기 위해 통행속도 계수행렬(A)을 마루의 통행속도 값(v_1, v_2, v_3)으로 Eq. (6)과 같이 구축한다. 구축된 계수행렬에 해당 요소간격(d_1, d_2, d_3) 열벡터(b)를 첨가하여 Eq. (7)과 동일한 형태로 첨가행렬(\tilde{A})을 생성한다. 최종 구축된 첨가행렬은 Eq. (8)과 같다. 첨가행렬(\tilde{A})의 각 행·열에 위치한 자료는 총 3개의 좌표로 구성된 2차 함수 3개를 의미한다.

계수추정을 위한 가우스-조던 소거법의 개념은 다음과 같다. 우선 첨가행렬(\tilde{A})을 이루는 계수행렬(A)을 단위행렬(I_3)의 형태로 치환한다. 치환과정에서 요소간격 열벡터(b)의 값은 갱신 및 연산 되고, 최종적으로 열벡터(b)에 위치한 각 행의 값은

각 계수의 값인 솔루션 벡터(x)가 된다.

Eq. (9)와 같이 우선 첨가행렬(\tilde{A})의 1행1열을 1로 치환하기 위해 1행 모든 열값을 1행1열로 나누어 준다. ($\tilde{A}_{1n}/\tilde{A}_{11}$) 그 후 Eq. (10), Eq. (11)과 같이 2행1열과 3행1열을 0으로 치환하기 위해 1로 치환이 완료된 1행1열값에 각 행 1열값을 곱하여 행 별로 빼준다. ($\tilde{A}_{2n} - \tilde{A}_{21} \times \tilde{A}_{1n}$, $\tilde{A}_{3n} - \tilde{A}_{31} \times \tilde{A}_{1n}$) 이후 2행2열을 1로 치환하며 반복과정을 통해 Eq. (12)와 같이 단위행렬 (I_3) 형태가 될 때까지 반복한다. 모든 과정이 종료되면 Eq. (13)의 요소간격 열벡터는 Eq. (14)와 같이 솔루션벡터(x)가 되며 1행은 계수 a , 2행은 계수 b , 3행은 계수 c 가 된다. Eq. (15)와 같이 통행속도(v)에 대한 미분을 통해 Eq. (16)과 같이 극대점을 산출하고 해당 속도를 SA 이용 경계속도(상태 간 경계속도)로 산정한다.

$$\begin{aligned} f(x) &= \alpha x^2 + \beta x + \gamma \\ f(v_i) &= d_i = \alpha v_i^2 + \beta v_i + \gamma \quad (i = 1, 2, 3) \end{aligned} \tag{5}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (v_1)^2 & v_1 & 1 \\ (v_2)^2 & v_2 & 1 \\ (v_3)^2 & v_3 & 1 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\text{let, } \tilde{A} = A \diamond b = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & | & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & | & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & | & b_3 \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (v_1)^2 & v_1 & 1 & | & d_1 & av_1^2 + bv_1 + c = d_1 \\ (v_2)^2 & v_2 & 1 & | & d_2 & av_2^2 + bv_2 + c = d_2 \\ (v_3)^2 & v_3 & 1 & | & d_3 & av_3^2 + bv_3 + c = d_3 \end{bmatrix} \tag{8}$$

Do : Gauss Elimination(\tilde{A})

$$\tilde{A}_{1n} / \tilde{A}_{11} = \left[\begin{array}{ccc|c} 1 & \frac{1}{v_1} & \frac{1}{(v_1)^2} & \frac{d_1}{(v_1)^2} \end{array} \right] \tag{9}$$

$$\tilde{A}_{2n} - \tilde{A}_{21} \times \tilde{A}_{1n} = \left[\begin{array}{ccc|c} 0 & \frac{v_1 v_2 - (v_2)^3}{v_1} & \frac{(v_1)^2 - (v_2)^2}{(v_1)^2} & \frac{d_2 (v_1)^2 - d_1 (v_2)^2}{(v_1)^2} \end{array} \right] \tag{10}$$

$$\tilde{A}_{3n} - \tilde{A}_{31} \times \tilde{A}_{1n} = \left[\begin{array}{ccc|c} 0 & \frac{v_1 v_3 - (v_3)^3}{v_1} & \frac{(v_1)^2 - (v_3)^2}{(v_1)^2} & \frac{d_3 (v_1)^2 - d_1 (v_3)^2}{(v_1)^2} \end{array} \right] \tag{11}$$

$$\text{Until } A \Rightarrow I_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{12}$$

$$\tilde{A} = I_3 \diamond x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & | & x_1 \\ 0 & 1 & 0 & | & x_2 \\ 0 & 0 & 1 & | & x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & | & \alpha \\ 0 & 1 & 0 & | & \beta \\ 0 & 0 & 1 & | & \gamma \end{bmatrix} \tag{13}$$

$$x(\text{Solution Vector}) = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} \tag{14}$$

$$f'(v) = 0 ; v = \text{Maximize} \tag{15}$$

$$\text{Max}(v) = -\beta / 2\alpha \tag{16}$$

휴게소 이용률 산출

Eq. (17) 과 같이 오름차순으로 정렬된 개별 통행속도 집합을 대상으로 SA 이용 경계속도 기준 해당 시간대 총 검지 차량 대수 대비 기준 속도 이하를 기록한 차량 대수로 휴게소 이용률을 산출하며 해당 과정은 Eq. (18)과 같다.

$$V = [v_1, v_2, \dots, v_n], (v_1 \leq v_2 \leq v_n) \tag{17}$$

$$u = \sum_{i=1}^n m_i \begin{cases} v_i < \text{Max}(v) & m_i = 1 \\ v_i \geq \text{Max}(v) & m_i = 0 \end{cases} \tag{18}$$

$$C.O.U = \frac{u}{n} \times 100$$

Where,

V : Each vehicle speed array after removal outlier at single time sequence(288 seq)

u : SA utilization vehicle in target sequence time

C.O.U : SA utilization ratio in target sequence time

적용 및 검증

본 연구에서 제시된 방법론의 적용을 위해 한국도로공사의 DSRC 시스템에서 수집되는 경로통행시간을 이용하였다. 자료는 차량 ID, 검지기 ID 별 검지 시각으로 구성되어 있으며 검지 시각은 1일 86,400초 기준으로 표기되어 있다.

분석의 시간적 범위는 2015년 10월 셋째 주(월, 수, 금, 토)로 설정하였으며 분석 대상은 경부고속도로 하행(부산방향) 기흥휴게소로 선정하였다. 기흥 휴게소 전·후 인접 검지기 간의 연장은 3.4km로 해당 구간의 통행시간을 시간대별로 구분하여 통행속도로 산출하였다. 검증을 위해 산출된 시간대별 개별 통행속도 자료를 입력 값으로 본 연구의 방법론을 적용하였다.

적용결과는 Table 1과 같으며 대상 SA의 일평균 이용률은 10% 이내로 나타났다. 분석결과 Figs. 8-10과 같이 대부분 오후 점심시간에 휴게소 이용률이 급증하는 것으로 분석되었으며 이후 감소하는 형태를 보였다. 특히 1시간 기준 최대 이용률은

Fig. 10과 같이 금요일 13시경으로 분석되었으며 이때, 15.15%의 이용률을 기록하였다. 5분 기준(288개 시간대) 관측치와 추정치의 결정계수는 대부분 0.99로 높게 나타났다. 추정결과 혼잡상태에 가까워 최대 요소간격의 규모가 작을수록 휴게소 이용 경계는 정교하게 발현되며 소통상황이 양호해 최대 요소간격의 규모가 클수록 휴게소 이용 경계속도는 보다 유연하게 발현되는 것으로 나타났다.

검증결과 상태 간 경계가 명확하거나 불명확한 모든 경우에서 경계를 정교하게 산정하는 것으로 나타났다. 이는 통행시간 증분으로 인해 휴게소 이용 차량의 통행속도 감소가 명확히 나타나며 통행속도 요소별 간격의 특성을 고려해 상태의 경계를 합리적으로 선정한 결과로 판단된다. 본 방법론은 주어진 연산환경[Desk-top, Intel Core i5-7400 (CPU 3.00GHz)]에서 1일 288개 시간대의 연산 수행에 0.596초가 소요되었다. 따라서 각 시간대별 동적 이용률 산정에 0.002초의 빠른 연산성능으로 실시간 교통정보 시스템의 연산 요구조건을 만족한다고 판단된다.

Table 1. SA utilization rate result(summary)

	Average utilization rate (day)	Maximum utilization rate (hour)	Standard deviation (hour)	R2 (5 min)
Monday	8.06 %	14.44 %	2.03 %	0.9930
Wednesday	8.07 %	11.77 %	1.86 %	0.9923
Friday	7.76 %	15.15 %	2.38 %	0.9901
Saturday	8.56 %	12.88 %	1.88 %	0.9904

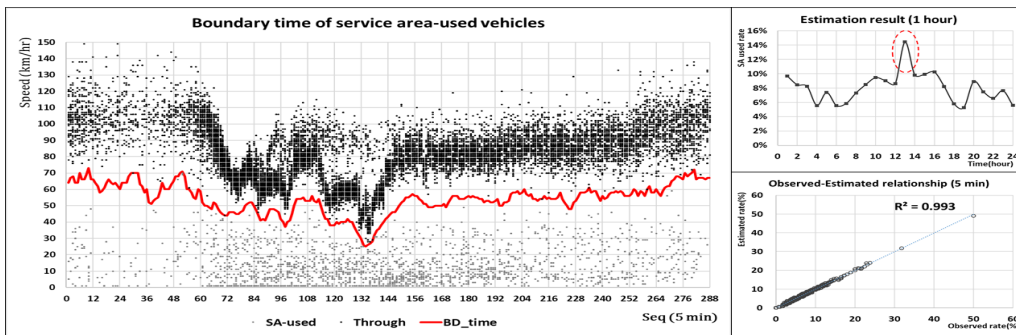


Fig. 8. Estimation result(2015. 10. 05_Mon)

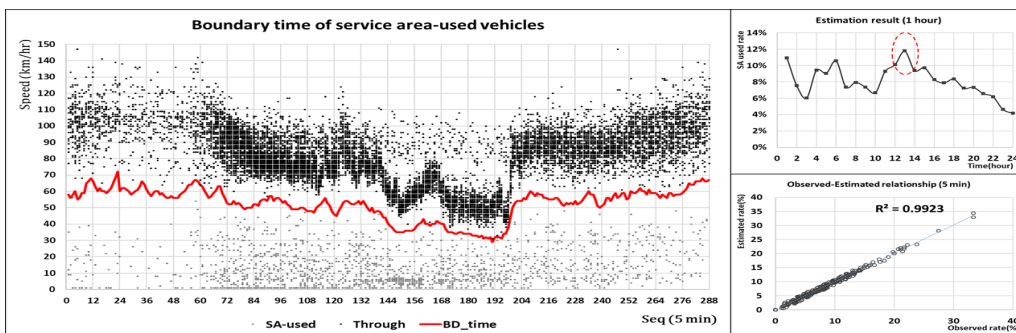


Fig. 9. Estimation result(2015. 10. 07_Wed)

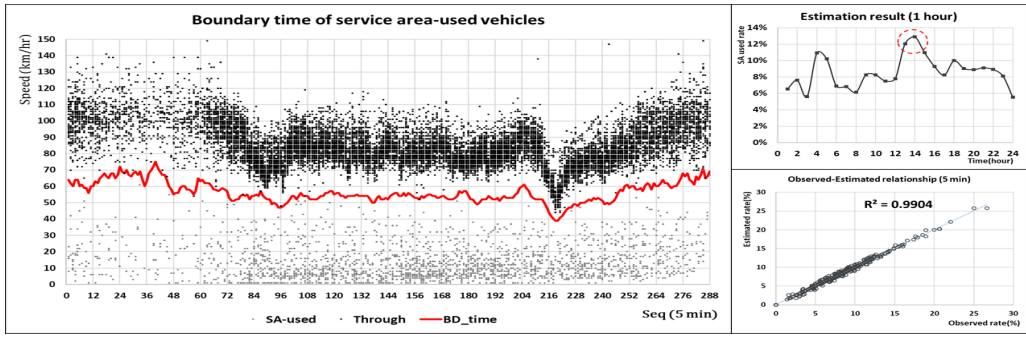


Fig. 10. Estimation result(2015. 10. 10_Sat)

결론

본 연구는 인력에 의한 휴게소 이용실태조사의 한계를 대체하기 위해 수행되었다. 인력에 의한 조사는 지속적인 조사가 불가능하며 막대한 비용대비 조사의 시간적 적용범위는 2일(평일, 주말)에 불과하다. 또한, 실시간 고속도로 휴게소 이용정보의 제공에 있어서 신뢰성이 저하되며 졸음휴게소 및 기타 간이 휴게소를 대체하는 공간에서 이용행태에 대한 조사는 전무하다. 이 같은 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 휴게소 구간 V2I 데이터 특성 기반의 휴게소 이용률 추정 방법론을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 핵심 알고리즘은 통행상태 분할 알고리즘, 휴게소 이용률 산정 알고리즘으로 구분된다. 상태 분할 알고리즘은 개별 통행속도 요소 간 간격(Gap)을 산출해 요소 간격 기반으로 상태를 분할하게 된다. 소통상황이 양호해 통행속도 상태 간 구분이 명확한 경우 상태 분할 알고리즘으로 휴게소 이용률을 산정하는 데 무리가 없다. 하지만 혼잡시와 같이 구분이 불명확한 경우 그 경계를 명확히 선정할 수 없어 신뢰성 있는 이용률 산정이 어렵다. 따라서 구분이 명확하거나 불명확한 모든 경우에 합리적인 경계를 설정할 수 있도록 통행속도 요소별 간격의 분포를 고려한 휴게소 이용률 산정 알고리즘을 개발 및 적용하였다.

적용결과 기흥휴게소의 일평균 이용률은 10% 이내로 나타났다. 1시간 기준 최대 이용률은 금요일 13시경으로 분석되었으며 이때, 15.15%의 이용률을 기록하였다. 분석 대상일 모두 대부분 오후 점심시간에 휴게소 이용률이 급증하는 것으로 분석되었으며 이후 감소하는 형태를 보였다. 5분 기준(288개 시간대) 관측치와 추정치의 결정계수는 대부분 0.99로 높게 나타났다. 추정결과 혼잡상태의 휴게소 이용 경계는 정교하게 발견되며 소통상황이 양호할 때 휴게소 이용 경계속도는 보다 유연하게 발견되는 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발한 방법론은 상태 간 경계가 명확하거나 불명확한 모든 경우에서 경계를 현실적이고 정교하게 설정하는 것으로 나타났다. 이는 통행시간 증분으로 인해 휴게소 이용 차량의 통행속도 감소가 명확히 나타나며 통행속도 요소간격의 상태를 고려해 상태의 경계를 합리적으로 선정한 결과로 판단된다. 본 방법론은 주어진 연산 환경[Desk-top, Intel Core i5-7400 (CPU 3.00GHz)]에서 1일 288개 시간대의 연산 수행에 0.596초가 소요되었다. 따라서 각 시간대별 동적 이용률 산정에 0.002초의 빠른 연산성능으로 실시간 교통정보 시스템의 연산 요구조건을 만족한다고 판단된다.

본 연구는 차량 경로자료 기반의 휴게소 이용행태 분석이라는 점에서 그 의미가 크다. 향후 본 방법론을 통해 ①V2I 시스템이 구축된 도로구간 휴게소, 졸음 쉼터, 간이 휴게소 등의 각 시간대별 동적 이용률 산정 ②단시간 이용(주유, 생리적 상태 해결), 중 시간 이용(식사, 관광), 장시간 이용(졸음방지를 위한 수면)의 구분 ③차종별 휴게소 이용실태 도출 ④V2I 시스템

이 구축된 도로구간 불법 주정차여부 파악 ⑤V2I 시스템이 구축된 도로구간의 돌발상황 검지 ⑥실시간 휴게소 이용률 및 혼잡도 정보제공 등 다양한 분석과 운영전략을 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgment

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비지원(19TLRP-B148682-02)에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] Baek, S.G., Kim, C.H. (2006). "A research on parking demand of freeway service area" Korean Society of Civil Engineers 2006 Conference, Gwangju, KR, pp. 3573-3576.
- [2] Choi, Y.H., Baek, S.G., Kang, J.G. (2010). "Characteristics Analysis for Rest Areas on Expressways" Korean Society of Civil Engineers 2010 Conference, Incheon, KR, pp. 1772-1775
- [3] Kim, T.H., Won, J.M., Kang, H.I., Kim, K.D. (2006). "The development of parking space demand estimation models for freight vehicles in freeway rest areas" Journal of the Korea Planning Association, Vol. 41, No. 3, pp. 243-253.
- [4] Lim, H.S., Chang, H.H., Lee, Y.I., Baek, S.G. (2009). "Estimation of use of rest area with freeway drivers individual behavior." Korean Society of Transportation Conference, Vol. 60, pp. 255-260.