

개별차량의 운전지속시간을 고려한 고속도로 휴게시설의 적정위치 선정방법 연구

A Study on the Optimal Location Estimation of Highway Shelter Considering the Driving Duration of Individual Vehicles

조 황 영* · 이 상 조**

* 주저자 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사과정

** 교신저자 : 한국교통연구원 도로교통 연구본부 교통안전·방재연구센터 연구원

Hwang young Cho* · Sang jo Lee**

* Dept. of Environmental planning, Seoul National University(Graduate school of environmental studies)

** Korea Transport Institute(KOTI)

† Corresponding author : Sang jo Lee, sjlee88@koti.re.kr

Vol.18 No.4(2019)

August, 2019

pp.16~30

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.4.16)

2019.18.4.16

Received 16 July 2019

Revised 2 August 2019

Accepted 28 August 2019

© 2019. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

본 연구에서는 휴게시설 이용여부에 따른 개별차량의 운전지속시간을 산정하였으며, 개별 링크의 운전지속시간별 차량 수를 바탕으로 가중치를 적용한 장시간 운전에 따른 잠재적 사고 위험도를 나타내는 지표를 제안하였다. 이를 바탕으로 개별차량의 운전지속시간을 고려한 고속도로 휴게시설의 적정위치를 산정하는 방법론을 제시하였다. 고속도로에서 수집된 DSRC 개별 차량자료를 활용하여 경부고속도로를 대상으로 주중과 주말을 구분하여 운전지속시간을 고려한 휴게시설 적정위치를 산정하였다. 분석결과 주중과 주말의 위험지표가 높은 구간이 상이한 것으로 나타났다. 주중의 경우 경부고속도로 부산방면 김천JC~금호JC 구간의 위험지표가 높게 나타났으며, 주말의 경우 서울방면 안성JC~동탄JC 구간과 부산방면 안성IC~북천안IC 구간의 위험지표가 높게 나타났다. 본 연구는 개별차량단위의 비집계자료를 활용하여 링크단위의 상세한 분석을 수행할 수 있는 틀을 제공하였다는 점에서 큰 의미를 가진다. 또한 휴게시설 이용여부 분석을 통하여 개별차량의 행태를 반영한 합리적인 운전지속시간을 산정하였다는 점에서 의의가 있다.

핵심어 : 운전지속시간, 고속도로, DSRC, 줄임쉼터, 휴게소, 휴게시설

ABSTRACT

In this study, we calculated the driving duration of individual vehicles according to the availability of rest facility on highway, and suggested indicators indicating the potential risk of accidents caused by long-term driving with weights based on the number of vehicles by driving duration of individual links. Based on this, the methodology for estimating the appropriate location of the highway rest facility considering the driving duration of individual vehicles was presented. Using the DSRC individual vehicle data collected from the highways, the appropriate location of the rest facility was calculated by considering the driving duration by classifying weekdays and weekends for the Gyeongbu Expressway. The results showed that the weekly and weekend high risk indicators were different. In the case of weekdays, the risk indicators of Gimchun JC to Kumho JC for Busan were high, while for weekends, the risk indicators of Ansong JC to Dongtan JC for Seoul and Ansong IC to Bukchunan IC for Busan were high. This study has great significance in that it provides a

framework for detailed analysis of link units by using non-aggregated data of individual vehicle units. In addition, it is significant that the reasonable driving duration reflecting the behavior of individual vehicles was calculated by analyzing the use of rest facilities.

Key words : Driving Duration, Expressway, DSRC, Shelter, Service Area, Rest Facilities

I. 서론

졸음운전으로 인한 사고는 전체 고속도로 사고의 21.4%를 차지하며, 졸음운전 사고의 치사율은 30~50%에 이를 정도로 졸음운전은 심각한 사고를 야기한다. 운전지속시간이 증가함에 따라 사고 위험도는 급격하게 증가하므로, 고속도로상에 휴게시설을 적절한 위치에 설치하여 졸음운전 및 피로도 누적에 따른 안전운전 불이행으로 인한 사고를 예방하도록 하는 방안이 필요하다. 현재 우리나라 고속도로의 경우 휴게소와 휴게소의 간격이 25km를 넘지 않도록 규정하고 있다. 그러나 고속도로 이용차량의 증가에 따른 휴게소 및 도로 혼잡이 증가함에 따라 휴게시설 확충과 고속도로 이용자의 편의와 안전 증진을 위하여 휴게소 외에도 노변에 졸음쉼터가 지속적으로 설치되고 있다. 국토교통부의 보도자료(2014.11.27)에 따르면 졸음쉼터 설치 후 교통사고 발생건수가 663건에서 353건으로 약 47% 감소하였고 이용자 만족도가 향상되는 효과가 나타났다. 이와 같은 결과는 적절한 휴게시설의 제공은 졸음운전으로 인한 사고예방에 효과가 있음을 실증적으로 보여주고 있다.

앞에서 살펴본 바와 같이 적절한 휴게시설(이하 휴게시설, 휴게소와 졸음쉼터 포함)은 졸음운전으로 인한 사고를 예방하는 효과가 충분하며 적절한 휴게시설의 제공은 교통안전 증진의 측면에서 꼭 필요하다. 그러나 휴게시설의 설치 위치에 관한 세부적인 규칙이 확립되어있지 않으며, 휴게시설 설치에 필요한 토지 확보 등 현실적인 제약이 따르게 되어 휴게시설의 설치위치를 적절하게 산정할 필요성이 있다. 본 연구에서는 장시간 운전을 지속하는 경우 피로도가 누적되고 집중력이 저하된다는 점에서 착안하여 차량의 운전지속시간을 분석하고 이를 바탕으로 휴게시설의 적정 위치를 산정하는 방법론을 제시하고자 한다. 차량의 운전지속시간이 증가할수록 졸음운전이 발생할 확률도 증가할 것으로 예상할 수 있다. 개별차량의 운전지속시간 산정을 위하여 개별차량의 통행경로 자료를 활용하였다. 휴게시설의 적정 설치 위치는 운전지속시간이 긴 차량의 수가 많은 도로구간으로, 졸음운전 발생 확률이 높은 운전자들의 많은 수가 지나는 구간이라고 할 수 있다. 따라서 이와 같은 도로구간이 휴게시설의 설치 필요성이 높은 구간이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 위와 같은 기본 아이디어를 바탕으로 개별차량의 운전지속시간을 분석하고 잠재적 사고위험도를 나타내는 지표를 설정하여 고속도로 휴게시설의 적정 위치를 제안하는 것이다. 고속도로에서 수집된 DSRC 자료를 활용하여 개별차량의 운전지속시간을 분석하고, 운전지속시간이 긴 차량이 많이 통행하는 링크를 휴게시설의 설치가 필요한 위치로 선정하였다.

II. 관련 이론 및 연구 고찰

운전자의 휴식과 사고발생 위험성에 관한 연구를 고찰하였다. McArthur et al.(2013)에서는 미시간의 고속도로를 대상으로 휴게소 간격에 따른 차량의 사고율을 분석하였는데, 휴게소의 간격이 줄어드는 경우 사고 발생이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 휴식의 기회가 많이 제공되는 경우 사고 감소에 긍정적인 영향을 미치는 것을 의미한다. Wang and Pei(2014)의 연구에서는 상용차량 운전자를 대상으로 운전지속시간에 따른 운

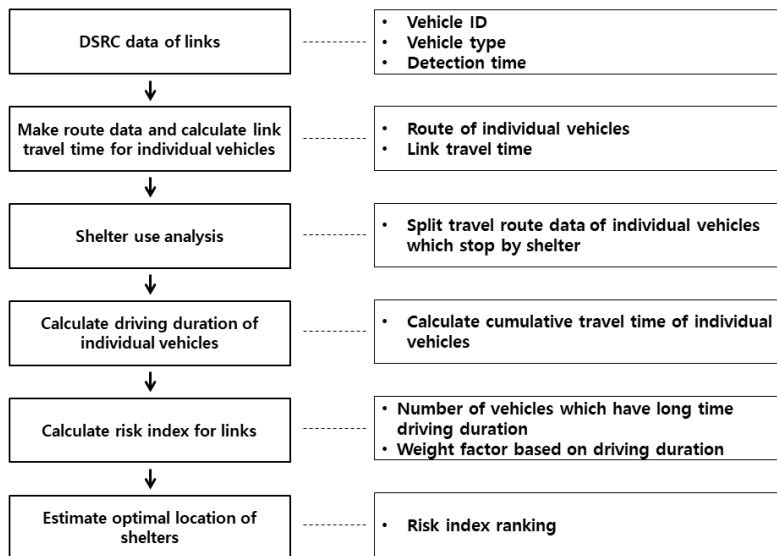
전능력을 분석하였다. 운전지속시간이 2시간을 초과하는 경우 운전능력이 악화되었다. 운전능력을 회복하는데 최소 15분 이상의 휴식이 필요하다는 결론을 도출하였다. Cummings et al.(2001)의 연구에서는 고속도로에서 피로를 느끼는 운전자의 사고발생 위험이 일반 운전자의 14배로 나타났으며, 휴게소에서 휴식을 취한 경우 사고위험율이 50%감소하는 것으로 나타났다.

한편, 운전지속시간과 사고위험도에 관한 연구 중 개별차량의 자료를 사용한 Lee(2014)의 연구는 택시의 DTG자료를 활용하여 운전지속시간에 따른 감가속도의 변동계수를 산정하여 사고 발생 위험도 별로 운전자를 구분하였다. 운전지속시간이 증가하는 경우 잠재적인 사고발생확률이 증가하는 것으로 나타났다. 다수의 선행연구에서 장시간 운전을 지속하는 경우 사고위험성이 크게 증가한다는 연구결과를 제시하고 있으며, 적절한 휴식의 필요성을 시사하고 있다(Kwon et al., 2010; Choi et al., 2010). 집계적인 지표 또는 자료를 이용한 연구에서는 휴게소의 간격과 사고율의 관계가 비례관계에 있다는 결과가 나타났으며, 개별차량의 감가속 행태를 분석한 연구에서도 운전지속시간이 증가함에 따라 위험한 운전행태를 보이는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 개별차량의 고속도로 링크 통행이력자료를 활용하여 개별차량단위의 운전지속시간을 산정하고, 이를 다시 개별 링크단위로 집계하여 링크별 운전지속에 따른 잠재적 사고위험도를 측정하는 지표를 산정한다. 이는 개별차량의 행태와 개별 링크의 특성을 고려하였다는 점에서 기존의 연구와는 차별성이 있다.

Ⅲ. 고속도로 휴게시설 적정위치 선정방법론

1. 개요

본 연구에서는 제시하는 휴게시설 적정위치 분석과정은 <Fig. 1>의 과정을 따르는데, 이를 크게 두 부분으로 개별차량의 운전지속시간을 산정하는 과정과 개별링크의 위험지표를 산정하는 과정으로 구분할 수 있다. 첫 번째로 개별차량의 경로와 링크 통행시간을 추출하여 차량별 운전지속시간을 산정한다. 개별차량의 운전



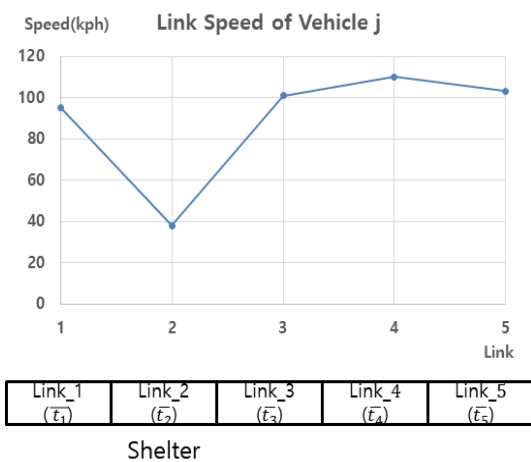
<Fig. 1> Analysis process

지속시간은 고속도로에 진입하여 고속도로를 진출할 때까지 주행을 계속한 시간으로 정의한다. 그러나 휴게 시설을 경유하는 경우 운전을 지속하였다고 할 수 없으므로 휴식을 마친 시점부터 운전지속시간을 산정한다. 두 번째로 개별차량의 운전지속시간을 산정한 뒤 각 링크단위로 해당 링크를 통행하는 차량의 운전지속 시간을 분석한다. 링크별로 해당 링크를 통행하는 차량의 운전지속시간을 분석하여 운전지속시간이 긴 차량이 많은 링크를 휴게시설의 적정 위치로 제시한다. 이때, 운전지속시간이 증가함에 따른 위험도의 증가를 고려하기 위하여 운전지속시간별 가중치를 부여한 잠재적 사고 위험도를 나타내는 지표를 설정하였다. 각 링크별 위험지표를 기반으로 휴게시설의 적정 위치를 제시한다.

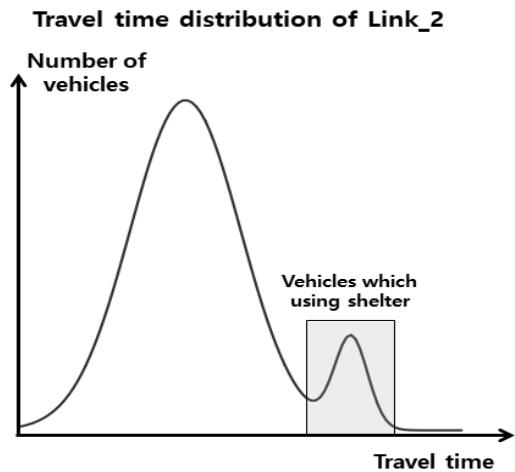
2. 휴게시설 이용여부 분석방법론

본 연구에서는 운전지속시간을 고속도로에 진입하여 고속도로를 진출하기까지 주행을 지속하는 시간으로 정의하였다. 그러나 고속도로 상에는 일시적으로 휴식을 취할 수 있는 휴게시설이 존재한다. 휴게시설을 이용하는 경우 운전자는 휴식을 취하게 되며, 주행을 지속한 것으로 간주하기 어렵다. 이러한 차량을 구분하지 않고 운전지속시간을 산정하는 경우 운전지속시간이 과다하게 산정되는 결과를 초래한다. 따라서 개별차량의 행태를 합리적으로 고려한 운전지속시간을 산정하기 위하여 휴게시설 이용 차량을 구분하는 과정은 매우 중요하다.

개별링크의 통행시간 특성은 휴게시설의 유무에 따라 다르게 나타난다. 이를 개념적으로 설명하고자 <Fig. 2>에서 제시하는 예시와 같이 고속도로구간이 5개의 링크로 구성되어있고 링크 2에 휴게시설이 위치한다고 가정한다. 차량 j 가 전체경로를 통행하는 동안 링크 2에 위치한 휴게시설을 이용한 경우 차량 j 의 링크별 통행속도는 <Fig. 2>의 그래프와 같이 나타난다. 휴게시설이 위치한 링크 2의 평균 통행속도가 매우 낮게 나타나게 된다. 특정링크에서 통행속도가 낮은 경우 동일 시간대에 해당 링크를 통행하는 다른 차량에 비하여 통행시간이 길게 나타나게 된다. 링크 2를 지나는 개별차량(차량 j 를 포함)의 통행시간 분포 특성은 개념적으로 <Fig. 3>과 같이 나타난다. 개별차량의 통행시간 특성이 서로 다른 두 집단이 혼재되어있는 두 개의 최빈값을 가지는 분포가 나타난다. 이 중 통행시간이 길게 나타나는 차량은 휴게시설에서 휴식을 취한 차량으로 간주할 수 있고, 휴게시설을 이용하지 않고 통과한 차량은 더 짧은 통행시간이 나타난다.



<Fig. 2> Conceptual example of link speed

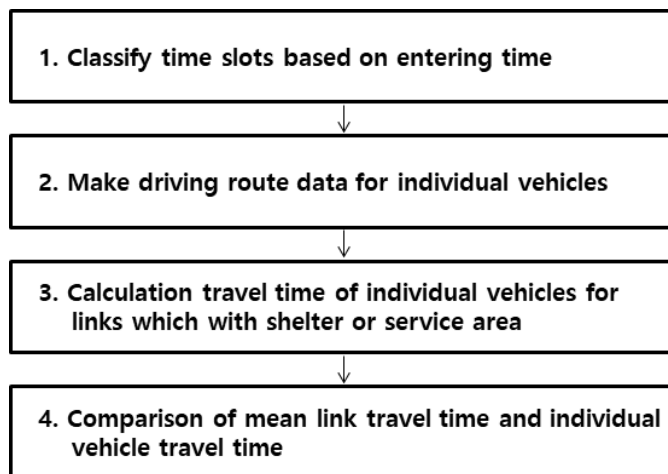


<Fig. 3> An example of the travel time distribution of Link 2 where the shelter is located

본 연구에서는 휴게시설을 이용한 차량은 개별차량의 링크 통행시간을 분석하여 구분하였다. 해당 링크를 이용한 전체 차량의 평균 통행시간과 개별차량의 통행시간을 비교하여 휴게시설 이용여부를 분석하였다. 또한 고속도로 링크의 통행속도는 시간대 별로 상이하게 나타나므로 시간대를 구분하여 분석한다. 그러나 <Fig. 3>과 같은 형태의 이봉분포(bimodal distribution)를 통계적으로 분석하기에는 어려움이 존재하여 전체 차량의 통행속도가 정규분포를 따른다고 가정하고, 평균보다 표준편차의 2배 이상($\mu + 2\sigma$)의 통행시간이 나타나는 차량은 휴게시설을 이용한 것으로 간주하였다.

구간의 시점과 종점의 통과시간을 이용하여 구간 내에서 차량의 정차 여부를 판별하는 방법론에 관한 연구는 거의 없었으며, 본 연구에서 사용한 방법론과 유사한 방법론을 이용하여 개별차량의 고속도로 궤적자료를 활용한 휴게소 이용확률을 추정한 Bang et al.(2018)의 연구에서는 개별차량의 구간 통행속도를 이용하여 휴게소 이용여부를 판단하는 방법론을 제시하고 있다. 이 연구에서는 구간 평균 통행시간의 90%를 초과하는 차량을 휴게소 이용차량으로 분류하였다. 이 연구에서는 경부고속도로 안성 IC~오산IC 상행(서울방면) 구간에 위치한 안성휴게소를 대상으로 평일(2015년 5월 20일 수요일)과 주말(2015년 5월 24일 일요일)로 구분하여 휴게소 이용률을 제시하고 있다. 휴게소 이용률 분석결과 평일의 경우 5.15%, 주말의 경우 8.19%로 나타났다. 이 연구에서 제시한 방법론은 본 연구에서 적용한 휴게시설 이용여부 분석방법론과 임계값(threshold)을 설정하는 방법만 다를 뿐 통행시간이 길게 나타나는 차량을 사실상 동일한 방법론이라고 할 수 있다. 이외에도 휴게시설의 이용목적과 이용행태에 따라 휴게시설 이용시간이 상이하게 나타나므로 이를 고려한 분석방법론을 적용하는 것이 바람직 하나 본 연구의 주된 목적은 운전지속시간을 고려한 휴게시설의 적정위치 선정방법론을 제시하는 것이므로 휴게시설의 이용 여부는 위와 같이 가정하였다.

본 연구에서 휴게시설을 이용한 차량을 구분하는 과정은 <Fig. 4>에서 제시하는 바와 같다. 가장 먼저 통행시간대를 구분한다. 고속도로의 통행속도는 시간대별로 다르게 나타나기 때문이다. 통행시간을 이용하여 휴게소이용여부를 판단하는 방법론을 적용하기 위해서는 동질적인 소통상황이 나타나는 시간대에 통행한 차량들을 구분하는 것이 중요하다. 따라서 적절한 간격으로 분석 시간대를 구분해야 한다. 다음으로 적절한 통행시간대를 구분한 뒤 차량의 경로를 추출하고, 경로 상에 위치한 개별 링크의 통행시간을 산정한다. 이때, 휴게시설이 위치한 링크에 대해서는 해당 시간대에 통행한 전체 차량을 대상으로 평균통행시간을 산출하고, 이를 개별차량의 통행시간과 비교하여 휴게시설 이용여부를 판단한다.



<Fig. 4> Shelter use analysis process

개별차량의 휴게시설 이용여부를 나타내는 지표($SA_{i,j,k}$)는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 휴게시설을 이용한 경우 이 지표는 1이 되며, 휴게시설을 이용하지 않고 통행한 차량의 경우 이 값은 0이 된다.

$$SA_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & \text{if } t_{i,j,k} > (\bar{t}_{i,k} + 2\sigma_{i,k}) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서,

$SA_{i,j,k}$ = 휴게시설 이용여부

$t_{i,j,k}$ = 시간대 k 의 차량 j 의 링크 i 통행시간

$\bar{t}_{i,k}$ = 시간대 k 의 링크 i 의 평균통행시간

$\sigma_{i,k}$ = 시간대 k 의 링크 i 의 평균통행시간의 표준편차

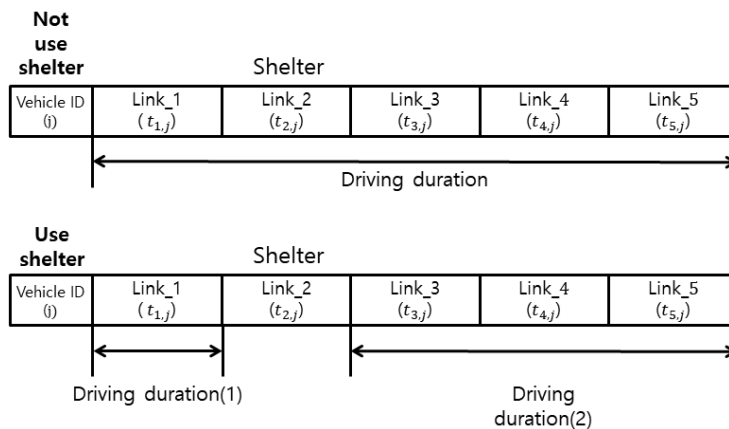
i = 링크번호

j = 차량번호

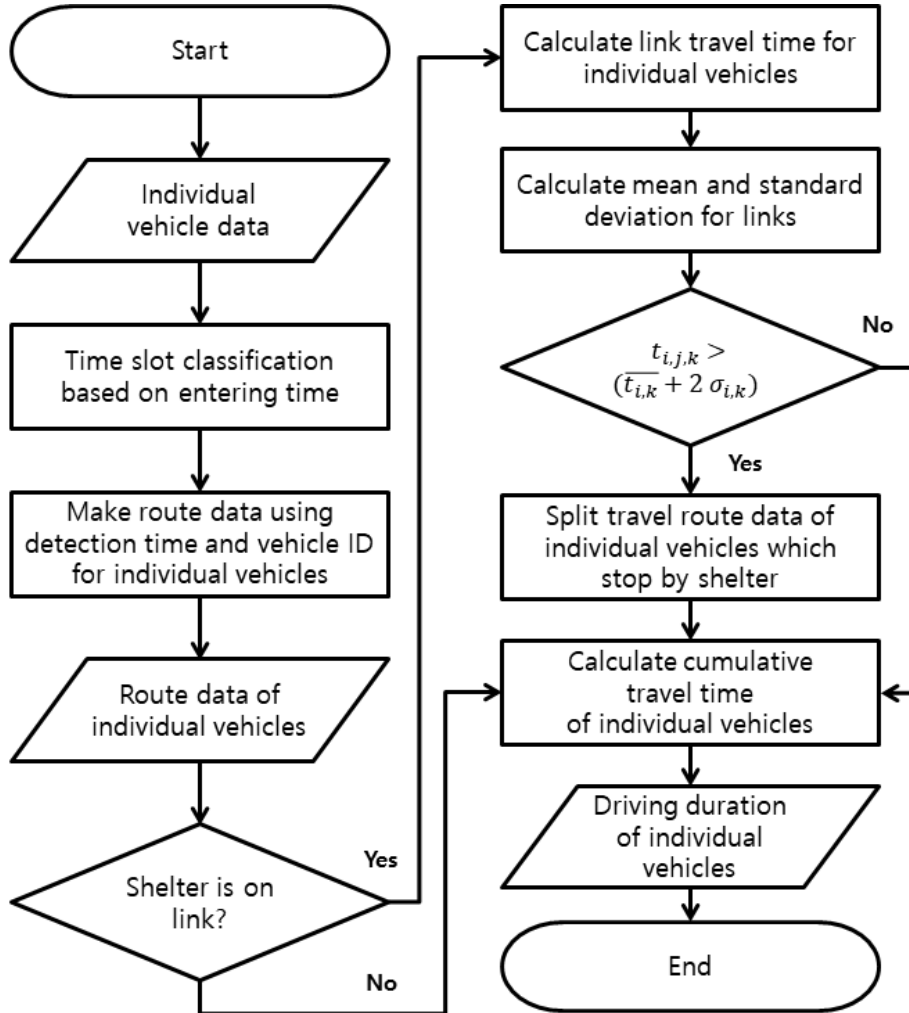
k = 통행 시간대

3. 개별차량의 운전지속시간 산정 방법론

개별차량의 운전지속시간은 차량의 경로에 위치한 링크의 통행시간의 합으로 산정된다. 휴게시설을 이용한 차량의 경우 개별차량의 경로 상에 위치한 링크 중 휴식을 취한 휴게시설을 포함하는 링크를 기준으로 경로를 분할하여 휴식 전과 휴식 후의 운전지속시간을 각각 산정한다. 즉, 휴식을 취한 경우 경유한 휴게시설이 새로운 출발지가 되는 것이다. 반면, 휴게시설을 이용하지 않은 차량의 경우 통행시간의 누계를 이용하여 운전지속시간을 산정한다. 한 차량이 휴게시설을 2회 이상 이용하는 경우도 마찬가지로 경로를 재분할하여 운전지속시간을 산정한다. 이를 개념적으로 설명하면 아래 <Fig. 5>와 같다. 휴게시설을 이용하지 않은 차량의 운전지속시간은 경로에 위치한 링크의 통행시간의 합으로 산정한다. <Fig. 5>의 상단의 차량은 휴게시설을 이용하지 않은 차량으로 운전지속시간의 단절은 발생하지 않으며, 하단의 차량은 휴게시설을 이용한 차량으로 이용한 휴게시설 직전 링크까지의 통행시간 합(1)과 휴게시설 직후부터 통행을 종료하거나 중단한 링크까지의 통행시간 합(2)으로 구분하여 운전지속시간을 산정한다.



<Fig. 5> Concept of driving duration of a individual vehicles



<Fig. 6> Algorithm for estimating driving duration of individual vehicles

아래의 식(2)는 앞에서 설명한 개념을 바탕으로 휴게시설 이용여부에 따른 운전지속시간을 산정하는 식이다. 휴게시설 이용여부(개별차량의 SA)에 따라 통행시간의 누계를 산정하는 대상 링크가 상이하다.

$$CT_j = \begin{cases} \sum_i^i t_{i,j} & \text{for } SA_{i,j,k} = 0 \\ \begin{cases} \sum_{i=1}^{(i|SA=1)-1} t_{i,j} & (\text{휴게시설 이용전}) \\ \sum_{(i|SA=1)+1}^i t_{i,j} & (\text{휴게시설 이용후}) \end{cases} & \text{for } SA_{i,j,k} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

여기서,

$t_{i,j}$ = 차량 j 의 링크 i 통행시간

CT_j = 차량 j 의 운전지속시간

휴게시설 이용여부를 고려한 개별차량의 운전지속시간을 산정하는 알고리즘은 <Fig. 6>과 같다. 개별차량의 검지자료를 통행시간대로 구분한 뒤 차량별 경로자료를 생성한다. 여기서, 경로자료를 생성하는 과정과 통행시간대를 구분하는 과정은 실행 순서를 바꾸는 것이 가능하다. 그러나 중요한 점은 시간대가 바뀌는 경우 시간대 변경의 경계(이전 시간대에 진입하여 이후 시간대에 진출)에 대한 처리 기준을 명확하게 설정해야 한다. 즉, 링크의 진입/진출시간 중 한 기준으로 시간대를 구분해야 한다. 본 연구에서는 링크의 진입시간을 기준으로 통행시간대를 구분하였다.

다음과정은 개별차량의 경로를 구성하는 링크 중 휴게시설이 위치한 링크를 통행한 차량의 링크통행시간을 산정한다. 해당 시간대에 해당 링크를 통행한 차량 전체의 통행시간에 대한 평균과 표준편차를 산정하고, 이를 개별차량의 통행시간과 비교하여 휴게시설 이용여부를 판단한다. 휴게시설을 이용한 경우 휴게시설이 위치한 링크를 기준으로 경로를 분할하고, 휴게시설을 이용하지 않은 경우 개별차량의 경로에 위치한 링크 통행시간의 합으로 운전지속시간을 산정한다.

4. 개별링크의 위험지표 산정방법론

운전지속시간이 긴 차량이 많이 통행하는 링크의 경우 졸음운전에 의한 잠재적인 사고위험이 높은 링크로 간주할 수 있다. 따라서 휴게시설의 적정 위치를 설정하기 위해서는 링크를 통행한 차량들의 운전지속시간 분석이 필요하다. 본 연구에서는 운전지속에 따른 위험지표를 설정하였고, 이를 휴게시설의 적정 위치 선정에 활용한다. 본 연구에서는 Lee(2014)의 연구 결과와 같이 운전지속시간과 사고위험이 비례한다는 점을 고려하였다. 따라서 위험지표는 운전지속시간이 증가함에 따른 사고위험도 증가를 반영한 지표로, 운전지속시간을 일정 간격으로 구분하여 링크를 통행한 개별차량의 대수를 산정하고 장시간 운전에 대하여 가중치를 부여하여 산정한다. 이 지표가 높은 링크의 경우 운전을 장시간 지속한 차량이 많은 링크로 휴게시설의 설치 또는 확장이 필요한 링크이다. 각 링크의 위험지표(W_i)는 식(3)에서 제시하는 식을 이용하여 산정한다. 위험지표의 경우 전체 교통량의 영향을 받으므로 절대적인 값은 큰 의미를 가지지 못하며, 분석기간 내의 다른 링크와의 서수적인 비교에 사용하는 것이 바람직하다.

$$W^i = \sum_{m=1}^m (w_m N_m^i) \tag{3}$$

여기서,

W^i = 링크*i*의 잠재적 사고위험도 지표(대)

w_m = m 시간동안 운전을 지속하는 차량의 위험도 가중치

N_m^i = 링크*i*의 m 시간동안 운전을 지속한 차량 수(대)

본 연구에서는 위험지표 산정 시 운전지속시간 별 사고위험도 증가를 반영하는 가중치를 Lee(2014)의 연구 결과를 활용하여 설정하였다. Lee(2014)의 연구에서는 가속도의 변동계수를 기준으로 산정한 운전지속시간에 따른 사고 발생 고 위험행태가 나타나는 비율을 제시하고 있다. 2시간 이상 운전을 지속하는 경우 사고 위험이 커지는 것으로 가정하였으며, 2시간 이상 3시간미만 운전을 지속하는 경우를 1로 하여 1시간 단위로 사고 발생 고 위험행태의 비율을 가중치로 산정하였다. Lee(2014)의 연구에서 제시한 고 위험수준의 비율과 본 연구에서 제안하는 지표 산정 시 적용한 가중치는 <Table 1>에서 제시하는 바와 같다. 운전지속시간이 2시간~3시간인 경우 고 위험행태 비율은 약 2.6%이나 운전지속시간이 4시간 이상인 경우 이 비율은 6.2% 이

상으로 약 2.4배가량 증가한다. 따라서 이 비율을 이용하여 가중치를 적용하였다. 본 연구에서는 4시간 이상 운전을 지속하는 차량의 비율이 낮아 4시간 이상의 경우 4시간 이상~5시간 미만과 동일한 가중치를 적용하였다.

<Table 1> Probability of high-risk acceleration(Lee Jin-geol, 2014) and weight factor

Driving duration	Number of samples	μ (%)	95%		Weight factor of this study
			min(%)	max(%)	
2~3	39	2.5772	1.8272	3.3271	1.00
3~4	38	2.6866	1.7269	3.6462	1.04
4~5	35	6.2263	5.4387	7.0138	2.42
5~	33	7.3448	6.5821	8.1075	2.42
Total	145	4.5717	4.0445	5.0989	-

IV. 고속도로 휴게시설 적정 위치 산정 방법론의 적용 및 결과

1. 분석대상 및 범위

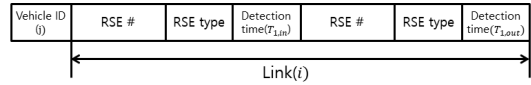
고속도로 개별차량 통행 자료인 DSRC 자료에 본 연구에서 제안하는 방법론을 적용하여 고속도로의 휴게 시설 적정 위치를 분석하였다. 고속도로망이 서로 연결되어있기 때문에 고속도로 DSRC 자료가 수집되는 고속도로 43개 노선 전체를 통행하는 차량 전수를 분석하였다. DSRC를 이용하여 차량을 검지하는 RSE는 총 909개이며, RES를 비롯하여 고속도로의 유출입지점과 분기점 등으로 구성되는 링크는 총 7,251개이다. 자료의 수집기간은 2015년 4월 1일(수요일)~4월 7일(화요일)까지 총 7일이다. 7,251개 링크 전체에 대하여 휴게시설 이용여부를 고려한 운전지속시간을 산정하였고, 휴게시설 적정 위치 선정을 위한 위험지표는 경부고속도로 본선구간 (양재IC~구서IC, 417km)의 링크 772개에 한정하여 분석하였다. 위험지표 산정을 위하여 개별 링크의 운전지속시간 집계 시 급간을 1시간 단위로 설정하였다. 시간대에 따라 교통수요가 변동하기 때문에 교통류 특성이 시간대에 따라 다르게 나타난다. 고속도로의 경우 통상적으로 15분 단위로 시간대를 구분하지만, 본 연구에서 사용한 자료의 경우 전수조사가 아닌 교통류의 일부 차량의 검지자료를 사용하기 때문에 적절한 표본수 확보를 위하여 20분 간격으로 시간대를 구분하였다. 또한 평일과 주말의 통행패턴이 상이하게 나타날 것으로 예상되어 월요일~목요일까지를 평일, 금요일~일요일을 주말로 구분하여 분석하였다.

2. 사용자료의 특성

DSRC의 검지자료는 고속도로의 노변에 위치한 RSE에서 차량의 하이패스 단말기를 검지한 자료이다. 차량의 하이패스정보를 바탕으로 차종, 차량 ID등을 생성하고 차량이 해당 RSE 부근을 지날 때 검지된 시각이 수집된다. 각 항목의 구성요소는 <Fig. 7>과 같다. 차량 ID는 개별차량에 부여되는 ID로 이를 이용하여 각 RSE의 검지자료에서 경로자료를 자료를 추출한다. 검지 RSE 번호는 본선에 위치한 RSE와 본선의 유출입지점으로 유형별로 구분되며, 검지시각은 1초단위로 수집된다. 각 검지기별 자료를 가공하여 생성한 개별차량의 경로자료는 <Fig. 8>과 같이 개별차량이 검지된 RSE에 대한 정보와 차량이 검지된 시각으로 구성되어있다.

Range of RSE #	RSE types	detection time interval
<ul style="list-style-type: none"> • RSE : 1001 ~ 3000 • IC : 3001 ~ 6000 • JC : 6001 ~ 7000 • TG : 7001 ~ 8000 • Endpoint : 8001 ~ 9000 • JC(Private) : 9001 ~ 9999 	<ul style="list-style-type: none"> • RSE : 1001 ~ 1901 • IC : 3001 ~ 5031 • JC : 6001 ~ 6828 • TG : 7001 ~ 7683 • Endpoint : 8001 ~ 8920 • JC(Private) : 9001 ~ 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Second

<Fig. 7> Configuration items of DSRC data



<Fig. 8> Concept of route data and definition of link

본 연구에서는 <Fig. 8>에서 제시하는 바와 같이 DSRC 검지기 간의 도로구간을 링크로 정의하며, 개별차량의 링크 통행시간은 아래 식과 같이 링크를 구성하는 두 검지기에 검지된 시각의 차이로 정의한다.

$$t_{i,j} = T_{i,out} - T_{i,in} \tag{4}$$

여기서,

$t_{i,j}$ = 차량 j 의 링크 i 통행시간

$T_{i,in}$ = 차량 j 가 링크 i 에 진입한 시각

$T_{i,out}$ = 차량 j 가 링크 i 를 벗어난 시각

본 연구에서 사용한 DSRC를 이용한 개별차량 검지자료는 고속도로의 전 구간에 대하여 개별차량에 대한 정보와 통행시각을 수집하는 자료이다. 차량단위의 통행경로를 상세하게 분석할 수 있는 비집계적인 자료로 매 초 자료가 수집되므로 시간적, 공간적으로도 자유롭게 분석이 가능한 자유도가 높은 자료이다. 본 연구와 같이 개별차량의 행태와 개별링크단위의 분석에 적합한 자료라고 할 수 있다. 하지만 무선 노변검지시스템의 한계로 인하여 검지자료의 누락이나 오류등이 발생한다는 점과 하이패스 장차량만 검지한다는 점에서 차량의 성능, 운전자의 연령대, 차량(車齡), 차종, 주행보조시스템 등의 편의(bias)가 발생할 여지가 존재한다.

3. 고속도로 휴게시설 적정 위치 분석결과

경부고속도로 본선링크를 통행한 차량의 검지자료를 분석한 결과 <Table 2>에서 제시하는 바와 같이 전체 검지차량 수는 약 3,800만 대로 나타났으며 이 중 평일은 약 2,211만 대(일 평균 약 550만 대)로 전체의 약 58%, 주말은 약 1,582만 대(일 평균 527만 대)로 전체의 약 42%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 본 연구에서 제안하는 휴게시설 이용여부 분석방법론을 적용한 결과 휴게시설을 이용한 차량의 비율은 전체 분석기간에서 약 98만대로 전체 검지 차량수의 약 2.58%로 나타났다. 주말의 휴게시설 이용차량의 비율은 약 2.61%로 평일 2.56%에 비해 약간 높게 나타났다. 본 연구에서 추정한 안성(서울방향)휴게소의 이용율은 평일 2.0%, 주말 3.2%로 Bang et al.(2018)의 연구 결과(평일 5.15%, 주말 8.19%)보다 다소 낮은 비율로 산정되었으며, 이 연구에서는 한국도로공사에서 제공한 2010년 안성(서울방향)휴게소의 이용률을 6.56%로 제시하고 있다. 한국도로공사에서 제시한 휴게소 이용률 자료의 경우 줄음선택터의 본격적인 보급이 이루어지기 이전 시점의 조사자료인 점과 본 연구에서 사용한 자료가 전체차량이 아닌 검지된 표본만 사용된 점을 감안하면 합리적인 결과로 판단된다.

전체 검지차량 수를 기준 상위 5개의 링크의 검지교통량과 휴게시설 이용차량, 운전지속시간은 <Table 3>에서 제시하는 바와 같다. 검지차량이 가장 많은 링크인 판교IC~신갈JC 구간을 1주일간 약 74만대가 통과하였고, 이어서 동일링크의 역방향에서 이와 비슷한 약 71만대가 통행한 것으로 나타났다. 해당 구간은 경부고속도로의 시점부에 해당하며 서울요금소가 존재한다. 따라서 검지교통량이 가장 많이 나타난 결과는 합리적인 결과로 볼 수 있다. 해당 링크의 운전지속시간을 비교해보면, 판교IC~신갈JC의 경우 경부고속도로의 시점

부에 가까운 구간으로 모든 차량의 운전지속시간이 1시간으로 나타난 반면, 반대방향의 경우 서울로 진입하는 차량을 대상으로 분석하였기 때문에 2시간 이상 운전을 지속한 차량이 상당 수 존재하는 것으로 나타났다. 또한 판교IC~신갈JC구간의 경우 시점부에 위치함에도 불구하고 휴게시설 이용차량이 약 1.9% 존재하는 것으로 나타났는데, 이는 서울요금소에 위치한 간이휴게시설과 광역버스정류소의 영향으로 추론할 수 있다.

<Table 2> Detected traffic volume of target section and number of vehicles which stop by shelter

Index	Weekdays	Weekend	Total
Number of total detected vehicles (vehicle/7day)	22,113,680	15,817,686	37,931,366
Number of daily average detected vehicles (vehicle/1day)	5,528,420	5,272,562	5,418,767
Number of vehicles which stop by shelter (vehicle/7day)	566,902	413,131	980,033
Number of daily average vehicles which stop by shelter (vehicle/1day)	141,726	137,710	140,005
Utilization rate of shelter	2.56%	2.61%	2.58%

<Table 3> Detected traffic volume top5 links(All days)

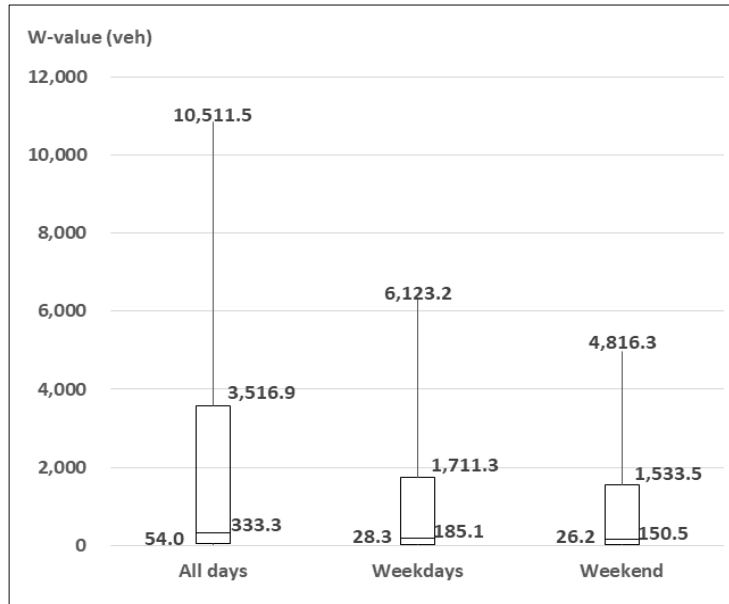
Index	Section	Number(percent) of vehicle which stop by shelter(vehicle/7day)	Number of vehicles by driving duration (vehicle/7day)					Total (vehicle /7day)
			~1 hour	~2 hours	~3 hours	~4 hours	over 4 hours	
1	PangyoIC ~ SingalJC	13,714(1.9%)	739,013	0	0	0	0	739,013
2	SingalJC ~ PangyoIC	14,122(2.0%)	685,446	20,175	3,536	1,524	527	711,208
3	SuwonIC ~ GiheungIC	10,116(1.6%)	637,988	1,600	232	30	15	639,865
4	GiheungIC ~ SuwonIC	N/A	582,775	21,868	3,012	1,210	412	609,277
5	OsanIC ~ DongtanJC	N/A	532,083	647	137	10	3	532,880

운전지속시간별 가중치를 적용하여 위험지표를 산정하여 분석한 결과 사고 위험이 높은 링크가 평일과 주말이 상이하게 나타났다. 본 연구에서 제안한 위험지표(W)는 교통량과 밀접한 연관성이 있으므로 <Table 4>와 같이 전체표본의 값이 전체적으로 크게 나타났으며, 주중(4일)과 주말(3일)의 순서로 크게 나타났다. 전체표본의 경우 0.0대 ~ 10,511.5대의 범위에서 평균값은 2,095.1대로 나타났으며, 주중의 경우 0.0대 ~ 6,123.2대의 범위에서 평균값은 1,040.0대로 나타났다. 주말의 경우 0.0대 ~ 4,816.3대의 범위에서 평균값은 1,055.2대로 나타났다. 이를 1일 평균값으로 환산하여 비교해보면 주말의 경우 주중보다 위험지표 값이 높게 나타났다. 이는 주말에 여가통행 등의 주중에 비하여 고속도로를 이용한 장거리 통행이 많은 행태가 반영된 결과로 추론할 수 있다.

<Table 4> Statistics of W-value

Index	All days		Weekdays		Weekend	
	(vehicle/7day)	(vehicle/day)	(vehicle/4day)	(vehicle/day)	(vehicle/3day)	(vehicle/day)
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Max	10,511.5	1,501.6	6,123.2	1,530.8	4,816.3	1,605.4
Median	333.3	-	185.1	-	150.5	-
Mean	2,095.1	299.3	1,040.0	260.0	1,055.2	351.7
SD	2,931.1	-	1,528.3	-	1,479.0	-

본 연구에서 산정한 위험지표를 boxplot으로 도식화하여 살펴보면 <Fig. 9>와 같이 대부분의 값이 중간값보다 큰 값을 가지며, 링크별 위험지표의 편차가 매우 큰 것으로 나타났다. 위험지표가 매우 낮은 링크의 경우 대부분 고속도로의 시점부에 인접한 링크로써 본 연구에서 운전지속시간은 고속도로 진입시점부터 산정하기 때문에 운전지속시간이 2시간 미만인 경우 위험지표는 0으로 산정되기 때문이다.



<Fig. 9> Statistics of W-value

운전지속시간 별 가중치를 적용하여 사고 위험도를 나타내는 지표를 기준으로 <Table 5>~<Table 7>에서 상위 5개 링크를 각각 제시하였다.

<Table 5> Risk index top5 links(All days)

Index	Section	Number(percent) of vehicle which stop by shelter(vehicle/7day)	Number of vehicles by driving duration (vehicle/7day)					Total (vehicle /7day)	W^i (vehicle /7day)
			~1 hour	~2 hours	~3 hours	~4 hours	over 4 hours		
1	NamgumiIC ~ WaegwanIC(1)	N/A	201,029	18,274	10,271	215	7	229,796	10,512
2	ChilgokmulryuIC ~ KumhoJC	N/A	245,105	14,467	9,588	423	14	269,597	10,062
3	NamgumiIC ~ WaegwanIC(2)	N/A	201,666	18,116	9,852	174	7	229,815	10,050
4	WaegwanIC ~ ChilgokmulryuIC	N/A	236,863	14,338	9,433	363	12	261,009	9,840
5	GumiIC ~ NamgumiIC	N/A	109,609	17,816	9,385	133	6	136,949	9,538

*(1) and (2) : sub-section numbers

일주일 전체를 대상으로 위험지표를 설정하여 분석한 결과는 <Table 5>에서 제시하는 바와 같다. 남구미 IC~왜관IC의 위험지표가 10,512대로 가장 높게 나타났고, 이어서 칠곡물류IC~금호JC구간이 10,062대로 높게

나타났다. 위험지표가 높게 나타난 상위 5개 링크가 모두 공간적으로 인접해있는 경부고속도로 하행선링크로 나타났다. 누적 운전지속시간이 긴 차량의 통행량이 많다는 의미로 대규모 휴게시설 확보의 필요성을 시사하고 있다고 할 수 있다.

<Table 6> Risk index top5 links(Weekdays)

Index	Section	Number(percent) of vehicle which stop by shelter(vehicle/4day)	Number of vehicles by driving duration (vehicle/4day)					Total (vehicle /4day)	W ² (vehicle /4day)
			~1 hour	~2 hours	~3 hours	~4 hours	over 4 hours		
1	NamgumiIC ~ WaegwanIC(1)	N/A	118,651	10,178	5,979	127	5	134,940	6,123
2	NamgumiIC ~ WaegwanIC(2)	N/A	118,981	10,135	5,731	107	5	134,959	5,854
3	ChilgokmulryuIC ~ KumhoJC	N/A	146,182	7,941	5,551	244	11	159,929	5,831
4	WaegwanIC ~ ChilgokmulryuIC	N/A	140,855	7,871	5,465	208	10	154,409	5,706
5	GimchunJC ~ GumiIC	979(1.7%)	42,115	11,244	5,488	63	3	58,913	5,561

*(1) and (2) : sub-section numbers

평일의 경우 <Table 6>에서 제시하는 바와 같이 남구미IC~왜관JC 구간의 위험지표가 6,123대로 높게 나타났고 인접한 구간인 칠곡물류IC~금호JC에서도 사고지표가 5,831대로 높게 나타났다. 이외에도 인접한 링크의 위험지표가 높게 나타났다. 해당 5개 링크의 운전지속시간이 2시간 이상인 차량의 수가 많은 것으로 나타나 휴게시설의 필요성이 높다고 할 수 있다. 한편, 주말의 경우 <Table 7>에서 제시하는 분석결과와 같이 안성IC~오산IC구간의 위험지표가 4,816대로 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 해당 구간과 인접한 구간인 안성IC~북천안IC와 오산IC~동탄JC에서 위험지표가 각각 4,642대와 4,528대로 안성IC~오산IC구간에 이어 높게 나타났다. 해당 구간의 경우운전지속시간이 4시간 이상인 차량의 수가 많은 것으로 나타났다. 주말의 경우 교통혼잡으로 인하여 운전지속시간이 높게 나타나는 것으로 추론된다.

<Table 7> Risk index top5 links(Weekend)

Index	Section	Number(percent) of vehicle which stop by shelter(vehicle/3day)	Number of vehicles by driving duration (vehicle/3day)					Total (vehicle /3day)	W ² (vehicle /3day)
			~1 hour	~2 hours	~3 hours	~4 hours	over 4 hours		
1	AnsungJC ~ OsanIC(1)	N/A	149,972	19,187	2,589	1,027	479	173,254	4,816
2	AnsungIC ~ BukchunanIC	N/A	111,412	13,158	2,876	888	348	128,682	4,642
3	OsanIC ~ DongtanJC	N/A	169,737	17,869	2,391	977	463	191,437	4,528
4	AnsungJC ~ OsanIC(2)	5,526(3.2%)	151,702	17,504	2,458	963	418	173,045	4,471
5	AnsungJC~ OsanIC(3)	N/A	126,383	17,524	2,349	954	459	147,669	4,452

*(1)~(3) : sub-section numbers

제안방법론을 적용하여 분석한 결과 평일의 경우 김천JC~금호JC구간에 위치하는 링크의 위험지표가 분석기간 동안 높게 나타났다. 해당 구간의 경우 인근에 산업단지과 물류시설이 위치하여 화물자동차의 통행량이 많은 구간으로 장시간 운전을 지속한 차량은 화물자동차로 추론할 수 있다. 반면, 주말의 경우 오산IC~북

천안IC 구간에 위치한 링크의 잠재적 사고위험도가 높은 것으로 나타났다. 이는 해당 구간의 교통 혼잡으로 인하여 통행시간이 길게 나타나는 차량이 많았기 때문이다. 또한, 교통 혼잡이 심한 경우 휴게시설을 이용하기 어려우므로 저속으로 앞 차량을 추종하는 차량의 졸음운전에 대한 위험도를 구분하여 분석할 필요성이 있음을 시사한다.

V. 결론 및 제언

본 연구에서는 DSRC의 개별차량 검지자료를 이용하여 개별차량의 운전지속시간을 분석하고 운전지속시간이 증가함에 따라 가중치를 부여하여 위험지표를 산정하여 휴게시설의 적정 위치를 산정하였다. 그 결과 누적운전시간이 증가함에 따라 운전을 지속하는 차량의 수가 감소하였으며, 4시간 이상의 아주 긴 운전지속시간은 거의 나타나지 않았다. 이는 운전자가 장시간 운전 시 고속도로 곳곳에 위치한 휴게시설을 이용하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 긴 시간동안 운전을 지속하는 운전자가 일부 존재한다는 것은 졸음으로 인한 사고위험도가 높다고 간주할 수 있기 때문에 이러한 운전자가 많은 곳에 휴게시설을 추가적으로 설치하거나 휴식을 유도할 수 있는 정책 또는 시설물을 설치해야 할 것이다. 한편, 휴게시설 이용여부 분석 시 전체 차량의 통행시간이 정규분포를 따른다고 가정하고 일정 통행시간 이상의 차량을 휴게시설 이용차량으로 분석하였다. 그러나 실제로는 휴게시설 이용차량과 휴게시설을 이용하지 않은 차량의 통행시간이 bimodal distribution의 형태로 나타나므로, 휴게시설 이용차량의 비율이 높은 경우 본 연구에서 적용한 평균통행시간이 다소 길게 산정될 가능성이 있다. 그리고 휴게시설 이용시간의 분산이 큰 경우 평균 통행시간의 표준편차가 증가하는 문제가 발생한다. 이 점은 연구의 한계점이라 할 수 있다. 그리고 차종별 통행속도가 상이하게 나타나는 점을 고려하지 못한 점과 링크의 통행시간의 차이만으로 졸음쉼터를 이용하였다고 가정한 것도 역시 본 연구의 한계점이라 할 수 있다. 따라서 휴게시설 이용여부를 정교하게 판단할 수 있는 방법론의 보완이 필요하다.

본 연구는 개별차량의 통행이력자료인 DSRC자료를 이용하여 개별차량, 개별링크 단위의 비 집계적인 접근방법을 이용하여 휴게시설의 적정 위치를 분석하였다. 분석 예시로 사용한 DSRC자료의 경우 검지기별 개별차량의 검지정보를 제공하기 때문에 상세한 통행이력자료를 분석할 수 있는 장점이 있으며, 1초 단위로 수집되기 때문에 연구목적에 맞추어 시간적 범위를 자유롭게 설정할 수 있다는 점에서 활용도가 매우 높았다. 장래에 자율협력주행 등이 도입되는 경우 DSRC가 아닌 다른 유형의 더 상세한 개별차량 자료가 수집될 것이며, 이 경우 본 연구에서 제시하는 분석 틀을 보다 정교하고 다양한 영역에 적용할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Bang D. H., Lee Y. I., Chang H. H. and Han D. H.(2018), "The Utilization Probability Model of Expressway Service Area based on Individual Travel Behaviors Using Vehicle Trajectory Data," *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 4, pp.63-75.
- Choi Y. H., Baek S. K. and Kang J. G.(2010), "Characteristics analysis for rest area on expressways," Proc. of 36th Conf. of Korean society of civil engineers., *KSCE*, pp.709-724.
- Cummings P., Koepsell T. D., Moffat J. M. and Rivara F. P.(2001), "Drowsiness, counter-measures

- to drowsiness, and the risk of a motor vehicle crash,” *Injury Prevention*, vol. 7, no. 3, pp.194-199.
- Kwon Y. I., Lee C. W., Lim J. H. and Jung B. D.(2010), “A Study of User’s Characteristics and Selection Factors of Highway Service Area,” *Journal of transport research*, vol. 17, no. 4, pp.75-84.
- Lee J. G.(2014), *A study on deceleration and acceleration behavior according to the driving duration of the corporation taxi*, M.S. Dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- McArthur A., Kay J., Savolainen P. and Gates T.(2013), “Effects of public rest areas on fatigue-related crashes,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2386, no. 1, pp.16-25.
- Wang L. and Pei Y.(2014), “The impact of continuous driving time and rest time on commercial drivers’ driving performance and recovery,” *Journal of safety research*, vol. 50, pp.11-15.