

# 교통카드자료를 이용한 버스 사고 시 운행지연비용 산정 방법론에 관한 연구

## A Study on the Estimation Method of Operational Delay Cost in Bus Accidents using Transportation Card Data

서 지 현\* · 이 상 수\*\* · 남 두 희\*\*\*

\* 주저자 : 한국교통안전공단 대리

\*\* 교신저자 : 아주대학교 교통공학과 교수

\*\*\* 공저자 : 한성대학교 사회과학부 교수

Ji-Hyeon Seo\* · Sang-Soo Lee\*\* · Doohee Nam\*\*\*

\* Korea Transportation Safety Authority

\*\* Dept. of Transportation Eng., Ajou Univ.

\*\*\* Professor, School of Social Science., Hansung Univ.

† Corresponding author : Lee Sangsoo, sslee@ajou.ac.kr

Vol.17 No.5(2018)

October, 2018

pp.29~38

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.5.29)

2018.17.5.29

Received 16 October 2018

Revised 22 October 2018

Accepted 22 October 2018

© 2018. The Korea Institute of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요 약

본 연구에서는 버스사고 발생 시 교통카드자료를 이용한 운행지연비용을 추정하는 방법을 제안하였다. 12개 버스회사를 대상으로 설문조사를 통하여 사고 시 평균 운행지연시간을 조사하였고, 실제 교통사고자료와 교통카드자료를 기반으로 운행지연비용을 추정하였다. 조사결과 버스사고시 운행지연으로 평균 45분의 손실시간이 발생하는 것으로 파악되었다. 교통카드자료 분석결과 사고가 발생한 노선의 재차인원의 총 합은 659명으로 추정되었고, 이에 따른 손실시간은 총 494.25시간으로 계산되었다. 본 방법론으로 추정된 운행지연 비용은 약 186.9천원/건이며, 이는 사회적기관비용의 6.37%에 해당하는 값으로 나타나 운행지연비용이 도로교통사고 비용에 유의한 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

핵심어 : 교통카드, 면접조사, 사고비용, 버스사고, 운행지연

### ABSTRACT

This study aims to propose a method for the estimation of operational delay cost using transportation card data in bus accidents. Average operational delay time from bus accidents was surveyed among 12 bus companies through an interview method. Then, the operational delay cost was estimated using actual traffic accident data and transportation card data. Results showed that average loss time per bus accident was found to be 45 minutes. In addition, total occupancy of 659 was estimated for the accidents investigated using transportation card data, resulting a total loss time of 494.25 hours. An estimated operational delay cost was 186.9 thousand won per accident, which was 6.37% of social agency cost. The magnitude of this number implied that operational delay cost may have a significant impact on traffic accident cost if included.

Key words : Transportation card, Interview, Accident cost, Bus accident, Operational delay

## I. 서론

대중교통수단은 승용차에 비하여 교통 혼잡과 에너지 소비, 오염물질 배출 등 부정적인 영향을 최소화하고, 삶의 질과 환경의 지속가능성을 향상시킬 수 있다. 또한 대중교통의 확충은 저소득층과 교통약자를 위한 사회복지 차원에서도 중요하다. 국내 대중교통 수송분담율은 2003년 36.8%에서 2015년 41.3%로 지난 10년간 4.5% 포인트 증가하였다. 이러한 변화는 대중교통망의 확충과 같은 양적 공급 확대와 더불어 버스중앙차로제와 통합요금제 등 서비스 측면에서의 질적 개선에 따른 것으로 보인다.<sup>1)</sup>

한 번에 많은 인원을 수송하는 대중교통은 사고 발생 시 그 피해규모도 함께 커진다는 특성이 있다. 특히 노선버스는 다른 도로교통수단에 비해 운행거리 및 운행시간이 길어 사고발생확률이 높다는 특성을 가지고 있다. 철도의 경우 국가 차원에서 철도안전관리지표를 개발하여 적용하고 있으며, 사고비용 지표에 철도교통 사고비용 항목과 산정방법을 지정하여 매년 철도교통사고비용을 추계하고 있다. 그러나 도로교통수단에 포함되는 버스의 경우 별도로 사고비용 항목이 지정되어 있지 않으며 이와 관련된 연구도 미미한 실정이다. 매년 도로교통사고비용의 추계가 이루어지고 있지만 버스와 관련된 사고비용은 따로 관리되고 있지 않다.

교통사고비용은 크게 인적피해비용, 물적피해비용, 사회기관비용, 사회·심리적 비용으로 분류할 수 있다. 사회·심리적비용은 객관적으로 계량화가 어렵다는 이유로 과거의 교통사고비용의 추계대상에서 제외되곤 했지만 최근에는 교통사고 당사자의 심리적 비용을 추정하여 합산하고 있다. 또한 미국·일본 등 선진국에서는 도로교통사고비용에 사고로 인한 지체에 따른 시간손실비용을 포함시키고 있는 추세이다. 특히, 불특정 다수를 대량으로 수송하는 대중교통 수단의 경우 사고 발생 시 운행 지연으로 인한 이용객의 손실 시간의 규모가 매우 크다. 철도교통사고비용에 국내를 비롯한 영국·호주 등 여러 국가에서 운행지연으로 인한 여러 손실비용을 포함하여 사고비용을 추계하는 것도 이러한 이유 때문일 것이다. 따라서 국내에서도 사고 손실비용을 추정하여 비용에 반영하는 방법에 관한 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 버스사고 발생 시 교통사고비용 항목에 운행지연비용을 포함하는 당위성을 검토하고, 교통카드 자료를 활용하여 운행지연비용을 추정하는 방법론을 제시하는 것이다. 또한 본 연구에서 제시한 방법론에 대하여 실제 자료를 적용하여 평가한 결과를 분석하고 의미를 도출하였다. 이를 위하여 실제 교통사고자료와 교통카드자료를 기반으로 경기도에서 발생한 노선버스 교통사고에 대한 운행지연비용을 추정하였으며 이를 현재 추계하고 있는 도로교통사고비용의 다른 항목과 비교하여 평가하였다.

## II. 선행연구 고찰

Miller et al.,(1984)은 교통사고를 사회적 비용으로 정의하고 인적피해비용, 물적피해비용, 사회기관비용, 사회·심리적 비용으로 분류하였으며, 사회·심리적 비용에 차량지정체로 인한 시간과 연료손실, 문병을 위한 시간·교통비용과 정신적 피해 등 사회 심리적 약화를 포함하였으나 객관적으로 계량화가 어려워 추계대상에서 제외하였다.

Lee and Shim(1998)은 총생산손실법을 이용하여 교통사고 등급별로 교통사고비용을 산출하였으며 교통사고비용 항목으로는 사고로 인한 생산손실비용, 의료비용, 차량수리비용, 행정비용 및 PGS(Pain, Grief and Suffering)비용을 사용하였다. 제3자 손실은 고려치 않는 범위에서 교통사고 비용을 산출하였지만 국내에서는

1) 통계청 국가주요지표, 대중교통 수송분담률, 2018.05.16.

처음으로 PGS 비용을 도입하여 국내 최초로 교통사고로 인한 피해자 및 가족의 정신적 고통의 계량화를 시도하였다.

Miller et al.(1998)은 사고비용을 물적 비용과 의료비용, 구급비용, 생산손실비용, 삶의 질적 비용으로 구분하였다. 특히 삶의 질적 비용에는 시간손실비용을 제외한 가계손실비용, 피해자 가족 및 친지들이 겪을 정신적 비용 등으로 구성했다. 이러한 사고비용을 차량의 유형에 따라 최적으로 분배하는 방법을 제시하였다.

Shim et al.(2013)은 도로, 철도, 해운, 항공 등 각 분야에서 교통사고로 인해 발생하는 사회적 비용을 추정하였다. 도로교통사고의 경우 선진국의 교통사고비용 항목과 비교할 때, 교통사고로 인한 지체손실비용, 구급수송비, 사업주체의 손실 추정은 추후 연구가 필요하다고 제안하였다.

Lee(2014)은 교통카드데이터의 이용의 활성화 저해 요소를 교통카드데이터 공공성에 대한 인식부족, 관련 주체간의 역할 정립 미흡, 교통카드 데이터 수집항목 문제점으로 분석하였다. 그 중 수집항목 문제점을 중심으로 표준화 방향을 제시하였으며, 개인정보 및 개인위치정보 보호를 위한 장치가 필요하며, 정부차원의 표준화에 대한 관리가 필요하다고 연구결과를 도출하였다. 궁극적으로는 정부의 교통카드데이터 이용 활성화 정책 시행 시 필요한 항목을 제시하였다.

Jeon and Bae(2015)은 부산광역시 교통카드데이터를 이용하여 시내버스 내 재차인원 추정과 혼잡도를 표출하고자 하였다. 하차 시 교통카드를 접촉하지 않는 부산시 버스 교통카드시스템의 특수성을 반영하여 현장조사를 통해 파악된 정류장별 하차인원 비율에 따라 버스의 재차인원을 추정하였으며 추정된 버스 내 재차인원에 따라 혼잡도 수준을 3가지 등급으로 분류하여 제시하였다. 추정된 결과의 정확성은 80% 이상으로 나타났으며 버스의 정시성이 향상될 경우 정확도가 개선될 것으로 제안하였다.

Jeon et al.(2016)은 교통카드자료에 기반하여 대구광역시 대중교통 이용실태 및 현황을 파악하고자 하였다. 대중교통 이용자의 통행패턴, 수단 전환 특성 변화, 혼잡구간이나 환승역에 대해 2015년도 도시철도 3호선 개통과 버스 노선개편에 따른 변화를 살펴보고 향후 교통카드 빅데이터에 대해 대중교통정책의 활용성과 한계점에 대해 논의하였다. 교통카드 데이터의 공유를 활성화하여 통행행태 자료의 분석 뿐 아니라 사회경제 지표와의 연계 분석을 향후 연구 과제로 제시하였다.

교통사고비용에 관련된 초기 연구들은 교통사고비용을 구성하는 항목 및 산정 방법 등을 주로 다루었으나 최근에는 교통사고비용을 사회적 비용으로 정의하고 교통사고 당사자가 아닌 제3자의 손실편해 등을 교통사고비용에 포함시키기 위한 연구가 수행되고 있다. 그리고 최근에는 교통카드자료를 활용하여 통행 특성을 분석하는 연구가 독립적으로 진행되었다. 본 연구에서는 교통사고자료와 교통카드자료를 결합하여 사고비용 분석을 수행함으로써 버스 사고로 인한 운행지연비용을 추정하고자 하였다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 재차인원과 사고 발생 시 운행지연시간에 관한 대표값을 추정하여 이를 정량화하는 과정이 필요하다. 상이한 두 자료를 융합하여 사고 비용을 추정하는 측면에서 기존 연구와 차별화된다.

### III. 운행지연비용 추정 방법론

본 연구에서는 버스 교통사고 발생 시 운행지연으로 인해 발생하는 손실시간의 사회적 비용을 추계하고 평가하였다. 자가용 등 타 수단 역시 운전자와 사상자를 제외한 탑승객의 시간손실 피해가 발생하지만, 불특정 다수를 대량 수송하는 버스의 경우 운행지연으로 인한 손실 시간의 규모가 비교적 크다. 이를 위하여 본 연구에서 정의한 손실시간에 관한 공간적·시간적 범위를 다음과 같다.

공간적 범위는 사고 차량 즉, 버스에 탑승하고 있던 승객으로 한정하였다. 실제 버스 교통사고가 발생하면

버스 승객뿐만 아니라 사고지점을 통과하거나 같은 도로를 이용하는 다른 차량의 탑승객에게도 지체로 인한 시간손실이 발생할 수 있지만 이를 추정하는 것은 범위가 크게 확대되므로 탑승 승객으로 한정하였다. 시간적 범위는 교통사고가 발생한 직후부터 사고처리가 끝나고 버스에 탑승하고 있던 승객들이 다른 대체 차량(같은 노선의 버스)에 탑승하기 전까지 운행지연으로 인한 승객의 대기시간으로 정의하였다.

## 1. 재차인원의 추정

본 연구에서 정의한 운행지연으로 인한 손실시간은 교통사고 발생 시 사고차량(버스)에 탑승하고 있는 승객이 교통사고 발생 직후부터 대체 차량에 탑승하기 전까지 대기하는 시간이다. 즉, 1건의 사고로 발생한 총 손실시간은 사고차량에 탑승하고 있던 승객의 수와 대기시간의 곱이며, 손실시간의 추정을 위해서는 버스에 탑승하고 있던 재차인원을 추정하여야 한다. 본 연구에서는 교통카드자료를 이용하여 사고노선의 평균재차인원을 계산하였다. 교통카드자료는 버스 승·하차 시 운임을 지불한 교통카드거래내역으로 이용자 정보, 버스 노선정보, 통행정보, 승·하차정보, 요금정보로 구성되어 있으며, 분석수행을 위해 승·하차정보 및 이용자 정보를 추출하여 사용하였다.

재차인원의 계산은 차량별로 각 노선이 경유하는 정류장정보와 승·하차인원으로 구성된 데이터필드의 정류장ID와 승·하차정보 및 이용객정보로 구성된 교통카드자료의 승·하차정류장ID를 비교해가며 이용객을 카운트하여 데이터필드의 승·하차인원을 입력하는 방식으로 수행되었다. 승·하차인원이 입력된 데이터필드를 기반으로 재차인원을 계산하였다. 데이터필드를 구성하여 재차인원을 계산한 이유는 교통카드자료의 특성에 있다. 본 연구에서 사용한 교통카드자료는 교통카드거래내역으로 승·하차가 이루어지지 않은 정류장의 정보가 저장되지 않는다. 하지만 평균재차인원은 정류장과 정류장사이 즉, 구간을 기준으로 계산되기 때문에 승·하차가 이루어지지 않은 정류장의 정보가 필요하다. 따라서 경유하는 모든 정류장의 정보를 포함하는 데이터필드를 구성함으로써 교통카드자료가 존재하지 않는 정류장의 재차인원도 계산할 수 있다.

### 1) 데이터필드의 구성

교통카드자료는 승·하차가 이루어지지 않은 정류장의 정보가 저장되지 않지만 평균재차인원은 정류장간 구간을 기준으로 계산하므로 모든 정류장에 대한 재차인원이 필요하다. 따라서 버스가 경유하는 정류장 순서를 기준으로 노선별 차량별 데이터필드를 생성하였다. 데이터필드는 순번, 정류장ID, 승차인원, 하차인원으로 구성된다. 순번은 버스가 경유하는 정류장 순서에 따른 것이다.

정류장ID만 비교하여 승·하차인원을 입력하면 동일한 정류장을 두 번 이상 경유하는 노선의 경우 정류장ID가 같아 승·하차인원이 반복되어 카운트되기 때문에 버스가 경유하는 순서대로 순번을 부여하였다. 순서대로 정류장ID를 비교함으로써 동일한 정류장ID라 할지라도 한번만 승·하차인원이 카운트될 수 있도록 하였다.

### 2) 승차인원의 계산

데이터필드에 승차인원을 입력하기에 앞서 승차 교통카드자료를 분류하여 새 데이터로 생성하였다. 승차 교통카드자료는 교통카드자료에서 승차일시, 승차정류장ID, 이용객수를 추출하여 구성하였으며, 동일한 정류장을 두 번 이상 경유하는 노선의 경우 승차인원이 반복되어 카운트되지 않도록 승차일시를 기준으로 자료를 정렬한 후 각 자료에 순번을 부여하였다.

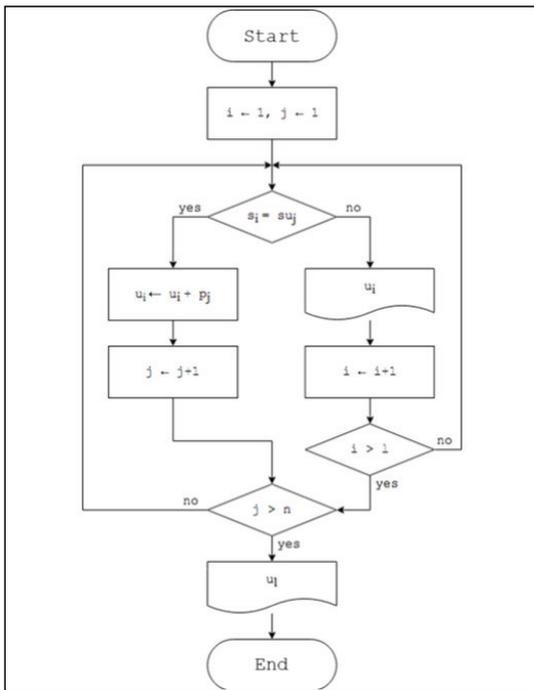
승·하차자료를 따로 분류하여 새 데이터로 생성한 것은 승·하차일시를 기준으로 각각의 자료를 정렬하기 위해서이다. 승차를 먼저 한 승객이라 하더라도 하차를 나중에 할 수 있으며, 이런 경우 승차일시만을 기준으로 자료를 정렬하면 하차정보는 순서와 상관없이 순번이 부여된다. 따라서 승·하차정보를 따로 분류하여

각각의 데이터를 생성해 주었다.

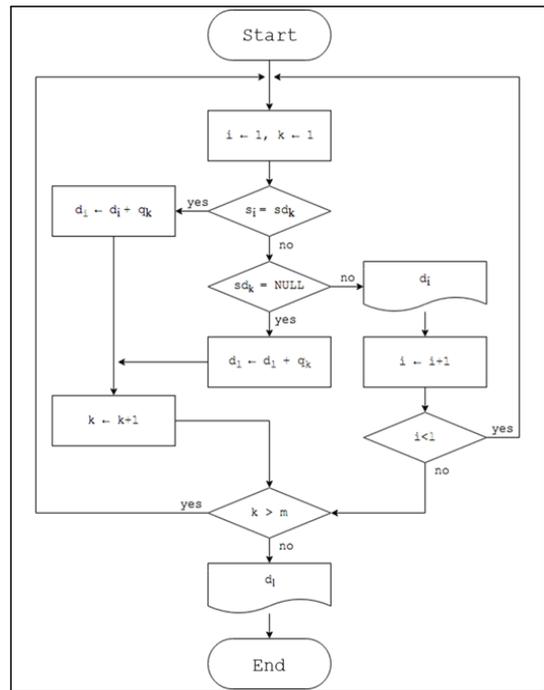
승차인원 계산 순서도는 <Fig. 1>과 같다. 데이터필드에 있는 정류장ID와 승차 교통카드자료에 있는 승차 정류장ID를 순서대로 비교하며 이용객수를 더해가는 방식으로, 데이터필드에 승차인원을 계산하여 입력하였다. 계산과정은 다음과 같다.

데이터필드의 첫 번째 정류장( $s_1$ )과 승차 교통카드자료의 첫 번째 정류장( $su_1$ )을 비교한다. 만약  $s_1$ 과  $su_1$ 이 같다면, 해당 정류장( $s_1$ )에서 1번에 해당되는 승객이 탑승한 것이므로 승차인원( $u_1$ )에 이용객수( $p_1$ )를 더해준다. 이 경우, 승차 교통카드자료는 다음 순번으로 넘어간다. 승차 교통카드자료의 순번( $j$ )이 마지막 순번( $n$ )보다 작거나 같다면, 다시 앞의 과정을 반복한다. 즉, 데이터필드의 정류장( $s_1$ )과 승차 교통카드자료의 정류장( $su_j$ )을 비교한다. 만약 이가 같지 않다면, 데이터필드에 승차인원( $u_1$ )을 인쇄하고 데이터필드의 다음 순번으로 넘어간다. 데이터필드의 순번( $i$ )이 마지막 순번( $l$ )보다 작거나 같다면, 다시 앞의 과정을 반복한다. 즉 데이터필드의 정류장( $s_i$ )과 승차 교통카드자료의 정류장( $su_j$ )이 같은지 확인한다.

만약 데이터필드의 순번( $i$ )이 마지막 순번( $l$ )보다 크다면 승차 교통카드자료의 순번( $j$ )이 마지막 순번( $n$ )보다 작을지 확인한다. 만약 승차 교통카드자료의 순번( $j$ )이 마지막 순번( $n$ )보다 크다면, 데이터필드의 마지막 정류장의 승차인원( $u_l$ )을 인쇄하고 계산을 끝낸다.



<Fig. 1> Counting the number of people getting in



<Fig. 2> Counting the number of people getting off

### 3) 하차인원의 계산

하차 교통카드자료도 승차 교통카드자료와 같은 방식으로 구성하였으며, 하차일시 기준으로 자료를 정렬한 후 각 자료에 순번을 부여하였다. 하차 교통카드자료의 경우 하차 시 교통카드를 태그하지 않아 하차일시와 하차정류장ID의 값이 없는 경우가 있었으며, 이러한 경우 'NULL'로 표시하였다. 하차정류장ID의 데이터

가 'NULL'인 경우 마지막 정류장에서 모두 하차하였다고 가정하고 하차인원을 계산하였다.

하차인원 계산을 위한 순서도는 <Fig. 2>와 같다. 계산 방식은 승차인원 계산과 유사하다. 데이터필드에 있는 정류장 ID와 하차 교통카드자료에 있는 하차정류장ID를 순서대로 비교하며 이용객수를 더해가는 방식으로, 데이터필드에 하차인원을 계산하여 입력하였다. 다만, 하차정류장ID의 정보가 없는 경우 마지막 정류장에서 하차한 것으로 계산하였다.

데이터필드의 첫 번째 정류장( $s_1$ )과 하차 교통카드자료의 첫 번째 정류장( $sd_1$ )을 비교한다. 만약  $s_1$ 과  $sd_1$ 이 같다면, 해당 정류장( $s_1$ )에서 1번에 해당되는 승객이 하차한 것이므로 하차인원( $d_1$ )에 이용객수( $q_k$ )를 더해준다. 이 경우, 하차 교통카드자료는 다음 순번으로 넘어간다. 하차 교통카드자료의 순번( $k$ )이 마지막 순번( $m$ )보다 작거나 같다면, 다시 앞의 과정을 반복한다. 즉, 데이터필드의 정류장( $s_1$ )과 하차 교통카드자료의 정류장( $sd_k$ )을 비교한다. 만약 이가 같지 않다면, 하차 교통카드자료의 정류장( $sd_k$ )의 값이 NULL인지 확인한다. 만약 NULL이 아니라면, 즉 정류장ID가 있다면 데이터필드에 하차인원( $d_1$ )을 인쇄하고 데이터필드의 다음 순번으로 넘어간다. 데이터필드의 순번( $i$ )이 마지막 순번( $l$ )보다 작거나 같다면, 다시 앞의 과정을 반복한다. 만약 데이터필드의 순번( $i$ )이 마지막 순번( $l$ )보다 크다면 순번( $k$ )이 마지막 순번( $m$ )보다 큰지 확인한다.

만약 하차 교통카드자료의 정류장( $sd_k$ )의 값이 NULL이라면 데이터필드의 마지막 정류장의 하차인원( $d_l$ )에 이용객수( $q_k$ )를 더한다. 이 경우 하차 교통카드자료는 다음 순번으로 넘어가고 순번( $k$ )이 마지막 순번( $m$ )보다 큰지 확인한다. 하차 교통카드자료의 순번( $k$ )이 마지막 순번( $m$ )보다 크다면 데이터필드의 마지막 정류장의 하차인원( $d_l$ )을 인쇄하고 계산을 끝낸다.

#### 4) 평균재차인원 계산

노선별 차량별로 구성하여 승·하차인원을 입력한 데이터필드를 이용하여 재차인원을 계산하였다. 재차인원의 계산 방법은 다음과 같다.

$$o_i = o_{i-1} + u_i - d_i$$

여기서,  $o_i$  :  $i$ 번째 구간의 재차인원

$u_i$  :  $i$ 번째 정류장 승차인원

$d_i$  :  $i$ 번째 정류장 하차인원

승·하차인원은 정류장을 기준으로 하는 반면 재차인원은 구간을 기준으로 한다. 여기서  $i$ 번째 구간의 재차인원( $o_i$ )이란  $i$ 번째 정류장에서 출발하여  $i+1$ 번째 정류장에 도착하기까지 탑승하고 있던 승객의 수를 의미한다. 차량별 재차인원 계산결과를 이용하여 차량별 평균재차인원을 계산하였다. 평균재차인원의 계산 방법은 다음과 같다. 재차인원은 구간을 기준으로 하기 때문에 평균을 계산하기 위해서는 각 구간의 재차인원의 합을 노선이 경유하는 정류장의 수( $l$ )에서 1을 빼준 값으로 나뉜다.

$$o_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^l o_i}{l-1}$$

여기서,  $o_{ave}$  : 평균 재차인원

$o_i$  :  $i$ 번째 구간의 재차인원

$l$  : 노선이 경유하는 정류장의 수

마지막으로 노선의 평균재차인원은 해당 노선을 운행하는 차량별 평균재차인원의 평균으로 계산한다.

## 2. 운행지연시간 추정

버스사고 발생 시 현장에서의 사고처리는 일반 사고와 유사한 과정을 거쳐 이루어진다. 사고발생 즉시 운전자는 피해자에 대한 조치를 취한 후 필요시 승객을 대피시켜야하며, 이 후 운수회사 또는 경찰에 사고사실을 알린다. 운수회사 또는 경찰은 사고현장을 정리하고 승객의 사상여부 조사 및 간단한 사고조사와 필요 시 목격자 진술조사 등을 실시한다. 운수회사는 긴급한 사고처리가 끝나는 대로 대체차량을 준비하여 승객의 손실시간을 최소화하도록 노력한다.

본 연구에서 운행지연시간은 교통사고가 발생한 시점부터 사고처리과정을 거쳐 승객이 같은 노선을 운행하는 다른 버스 즉, 대체차량에 탑승하기까지의 시간으로 정의하였다. 이 경우 승객이 다른 수단을 이용하는 경우가 있는 것으로 나타났으나 본 연구에서는 모든 승객이 운수회사에서 제공하는 대체차량을 탑승한다고 가정하였다. 사고차량에 탑승하고 있던 승객들은 대체 차량 탑승 시 교통카드를 태그하지 않기 때문에 교통카드자료를 통하여 운행지연시간을 추정할 수 없다. 따라서 버스회사의 사고 시 지연시간에 관한 실제 자료를 수집하거나 설문조사를 통하여 평균 운행지연시간을 추정하여 사용할 수 있다.

## 3. 손실시간의 화폐가치화

매년 도로교통사고 비용의 추계와 평가 보고서를 발간하는 도로교통공단에서는 교통사고로 인한 각종 시간손실을 화폐가치로 나타내기 위해 1인당 국민총소득(GNI; General National Income)을 활용하고 있다. 국민총소득(GNI)은 한 나라의 국민이 생산 활동에 참여한 대가로 받은 소득의 합계로서, 1인당 국민소득, 국가경제규모 등을 파악되는데 이용되는 지표이다.<sup>2)</sup> 본 연구에서도 승객의 손실시간을 화폐가치화하기 위해 1인당 1시간의 국민총소득(GNI)를 적용하였고, 이를 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$GNI_F = \frac{GNI_{2017}}{WH_{2017} \times 12}$$

여기서,  $GNI_F$  : 1인당 1시간의 국민총소득(GNI)

$GNI_{2017}$  : 2017년 국민총소득(GNI)

$WH_{2017}$  : 2017년 월평균 근로시간

## 4. 운영지연비용의 추정

운행지연비용은 운행지연으로 인한 승객의 손실시간을 화폐가치로 나타낸 것이다. 버스사고 발생 시 사고차량(버스)에 탑승하고 있는 모든 승객은 운행지연으로 인한 시간손실을 겪기 때문에 총 손실시간은 운행지연시간과 재차인원의 곱으로 계산할 수 있다. 이에 따른 운행지연비용의 계산방법은 다음과 같다.

$$DC_i = A_i \times LT \times GNI_F$$

여기서,  $DC_i$  : 노선(i)의 운행지연비용

$A_i$  : 노선(i)의 평균재차인원, 명

$LT$  : 평균운행지연시간, 시간

2) [네이버 지식백과] GNI (시사상식사전, 박문각)

## IV. 방법론 적용 및 평가

### 1. 데이터 수집

본 연구에서는 버스 교통사고로 인한 운행지연시간을 추정하기 위하여 2017년 한 해 동안 경기도에서 발생한 시내·마을버스 사고통계 자료와 각 전국 156개 시·군의 11,111개 노선에 대한 각 요일별 일주일의 교통카드자료와 강우·강설시의 교통카드자료를 수집하여 활용하였다.

교통사고자료는 경찰에서 전수 관리하고 있는 사망자가 발생한 교통사고로 한정하였으며, 노선버스(시내버스, 농어촌버스, 마을버스, 시외버스 고속버스) 중 시내버스, 마을버스의 사고만으로 범위를 한정하였다. 교통카드자료로 사고노선의 재차인원을 추정하기 때문에 교통카드 운임 지불비율이 낮은 시외버스, 고속버스는 분석대상에서 제외하였으며, 농어촌버스에 의한 교통사고는 발생하지 않아 분석대상에서 제외되었다.

한국교통안전공단에서 대중교통 현황조사를 위해 수집하는 교통카드자료를 가공하여 제공받았으며, 전국 156개 시·군의 11,111개 노선으로 일부 노선의 자료는 수집되고 있지 않지만 수도권(서울, 경기, 인천)의 모든 노선자료를 포함하고 있다. 교통카드자료는 크게 이용자 정보, 버스 노선정보, 통행정보, 승·하차정보, 요금정보로 구분된다. 본 자료는 교통카드거래내역 자료로 1건의 거래내역에 해당하는 정보가 저장되어 있으며, 버스노선, 정류장 등 각 항목에 부여된 ID는 교통카드정산 사업자가 부여한 것이다. 교통카드자료에는 운수회사에서의 미 입력 등을 이유로 일부 누락된 내용이 있는 항목이 있었으며, 이러한 항목은 제외하고 사용하였다. 하지만, 버스에서 하차할 때 교통카드를 태그하지 않아 하차정보가 누락된 경우는 마지막 정류장에서 하차한 것으로 가정하고 분석을 수행하였다.

수집한 교통사고자료를 기반으로 사고차량의 운수회사명, 버스의 노선번호 등을 조사하여 분석대상을 선정하였고, 교통카드자료를 이용하여 분석대상의 자료를 추출하고 노선의 평균재차인원을 계산하였다. 그리고 버스 회사 설문조사를 통하여 승객의 평균 운행지연시간을 조사하였고, 시간당 국민총소득을 계산하여 운영지연비용을 추정하였다.

### 2. 재차인원의 추정

2017년 경기도에서 발생한 노선버스(시내버스, 농어촌버스, 마을버스, 시외버스, 고속버스)의 교통사망사고 51건 중 시내버스, 마을버스의 사고건수는 46건이었으며 2개의 사고는 노선의 폐지 등의 이유로 교통카드자료를 추출할 수 없어 분석대상에서 제외하였다. 최종적으로 44건의 사고를 분석대상으로 선정하였다.

가해·피해자 연령 등 일부 누락된 내용이 있어 사용이 불가능한 항목은 제거하였고, 운수회사에 유선조사를 통해 노선번호 등을 조사하여 운수회사명, 차량번호, 노선번호 등의 정보를 수집하여 자료를 보완하여 사용하였다. 교통카드자료의 경우 전국을 대상으로 자료가 수집되기 때문에 버스의 노선 명(노선번호)은 중복될 수 있으며 이러한 문제의 해결을 위해 카드사에서는 각 노선별로 버스노선ID를 부여하여 관리하고 있다. 이러한 이유로 특정 노선의 교통카드자료를 추출하기 위해서는 버스의 노선ID가 필요하며 수집된 교통사고자료의 운수회사명, 구분(시내·마을버스), 노선번호를 이용하여 카드사에서 제공받은 기반정보를 활용, 버스의 노선ID를 조사하였다.

운행지연비용 산정을 위한 총 손실시간 추정을 위해서는 사고차량에 탑승하고 있던 재차인원의 추정이 선행되어야 한다. 사고 노선의 평균재차인원 추정은 승·하차인원이 입력된 노선별 차량별 데이터필드를 이용하여 차량별 재차인원 계산, 차량별 평균재차인원 계산, 노선별 평균재차인원 계산의 순서로 수행되었다.

예를 들어, 노선 1에 관한 차량별 재차인원과 노선별 평균재차인원의 계산 과정 및 결과는 <Table 1>과 <Table 2>에 제시되어 있다. 이와 같이 본 연구에서는 재차인원의 추정을 위해 2017년 경기도 노선버스 교통사고가 발생 한 전체 44개 노선을 운행하는 총 699대의 차량에 대한 310,537건의 교통카드 자료를 앞장에서 제시된 절차를 적용하여 분석하였다. 분석결과 전체 44개 노선에 발생한 사고차량에 대한 재차인원의 총 합은 659명으로 나타났다.

<Table 1> Occupancy calculation for one bus

No.	Station ID	Getting in	Getting off	Occupancy
$i$	$s_i$	$u_i$	$d_i$	$o_i$
1	40000001	3	0	3
2	40000002	0	1	2
...	...	...	...	...
$i$	40000015	0	0	28
...	...	...	...	...
1	40000099	0	7	0

<Table 2> Occupancy calculation for one route

No.	Bus ID	No. of passengers	Average occupancy
1	200000001	554	12.86
2	200000002	425	11.26
...	...	...	...
44	200000044	431	12.82
45	200000045	451	9.45
Route 1		23,233	13.52

### 3. 운행지연비용의 추정 및 평가

사고차량에 탑승하고 있던 승객들은 대체 차량 탑승 시에는 운임지불을 하지 않아 교통카드를 태그하지 않는다. 또한 운행지연시간에 대한 관련된 자료도 버스회사에서 얻을 수 없었다. 따라서 버스회사에 대한 설문조사를 통하여 운행지연시간을 추정하였다. 설문조사는 경기도내 12개 버스회사 담당자를 대상으로 하며, 조사방법은 면접조사(4개사)와 유선조사(8개사)를 병행하였고, 사고 발생 시 현장에서의 사고처리과정과 운행지연시간에 관한 내용을 수집하였다. 조사결과 사고 발생 시 평균적인 운행지연시간은 약 45분 인 것으로 나타났다. 따라서 노선버스 교통사고 44건에 대하여 계산된 총 손실시간은 총 494.25시간이다. 2017년 국민총소득( $GNI_{2017}$ )은 3,363.6만원<sup>3)</sup>이고, 2017년 월평균 근로시간( $WH_{2017}$ )은 168.5시간<sup>4)</sup>으로 파악되어, 승객 1인당 1시간의 국민총소득( $GNI_f$ )은 16,635원으로 계산되었다. 따라서 사회적 비용은 총 8,211.8천원으로 나타났다. 평균적으로 1건의 교통사고 발생 시 운행지연으로 인하여 11.25시간이 손실되었으며, 손실시간의 가치는 186.9천원으로 분석되었다.

운행지연비용은 사회·심리적 비용에 해당되지만 국내에서는 도로교통사고로 인한 사회·심리적 비용을 추계하고 있지 않아 사회기관비용과 비교해보았다. 도로교통공단에서 추정한 1건의 사망사고로 인한 사회기관비용은 총 2934.1천원/건이다. 본 연구에서 산정된 운행지연비용은 186.9천원/건으로 사회기관비용의 약 6.37%에 해당한다. 특히 교통사고 발생 현장에서 발생하는 사회기관비용으로는 교통경찰의 초동조사비용, 119구조대의 긴급구호비용이 있으며, 이를 사고발생에 따른 시간손실비용과 비교해보면 초동조사비용의 58.6%, 긴급구호 비용의 130%에 달하는 수준이다. 현재 도로교통사고비용의 다른 항목과 비교하였을 때 운행지연비용이 도로교통사고비용에 큰 영향을 줄 수 있다고 평가할 수 있다.

3) 한국은행, 『2016년 국민계정(확정) 및 2017년 국민계정(잠정)』, 2017

4) 통계청 국가통계포털(고용·노동·임금>고용>고용형태별근로실태조사>고용형태별통계>임금및근로시간)

## V. 결론

본 연구에서는 교통카드 자료를 이용하여 버스사고 발생 시 운행지연비용을 추정하는 방법을 제안하였다. 특히, 실제 교통사고 및 교통카드 자료를 기반으로 경기도에서 2017년 발생한 노선버스 교통사고 44건에 대한 운행지연비용을 추정하였으며 이를 현재 추계하고 있는 도로교통사고비용의 다른 항목과 비교하여 평가하였다.

조사결과 버스 사고 시 운행지연으로 인해 평균적으로 45분의 손실시간이 발생하는 것으로 나타났다. 교통카드자료 분석결과 사고가 발생한 노선의 재차인원의 총 합은 659명으로 추정되었고, 이에 따른 손실시간은 총 494.25시간으로 계산되었다. 따라서 본 방법론으로 추정된 버스사고로 인한 운행지연비용은 약 186.9천원/건으로 1건의 교통사고로 인해 발생하는 사회적기관비용의 6.37%에 달하는 것으로 나타나 운행지연비용이 도로교통사고비용에 유의미한 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 노선버스로 인해 사망자가 발생한 교통사고에 대한 운행지연비용만을 고려하여 비용을 추정하였다. 하지만 가해·피해여부나 사고의 피해정도에 따라 시간손실의 차이가 발생할 수 있으므로 이에 관한 세분화된 자료를 수집하여 사회적 비용을 추정하는 것이 필요하다. 또한 본 연구에서는 운행지연시간 추정을 위해 운수회사 안전담당자에 설문조사를 실시한 결과 값을 적용하였으나, 실제 사고조사 또는 승객을 대상으로 한 조사를 통하여 보다 정확한 운행지연시간을 추정할 필요가 있다.

## REFERENCES

- Jeon S., Kim H. and Jeon S.(2016), “Current State of Public Transportation and Usage Analysis based on Public Transportation Card Data,” *Conference of The Korean Society for Railway*.
- Jeon Y. and Bae S.(2015) “Estimation of Bus Passenger Occupancy and Degree of Congestion by Using Bus Card Data in Busan,” *Journal of Transport Research*, vol. 22, no. 3, pp.13-24.
- Lee I.(2014), “Reseach on Standards for Smart Card Data for the Public Transportation Information,” *Conference of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, pp.391-393.
- Lee S. and Shim J.(1998), “Estimation of Accident Costs for Each Accident Severity,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 16, no. 1, pp.59-71.
- Miller T., Levy D., Spicer R. and Lestina D.(1998), “Allocating the Costs of Motor Vehicle Crashes Between Vehicle Types,” *TRR*. 1635, TRB, pp.81-87.
- Miller T., Reinert K. and Whiting B.(1984), *Alternative Approaches to Accident Cost Concepts*, Federal Highway Administration.
- Shim J., Sung N., Yu J., Park J., Cho H., Shim G., Yu G., Kang S. and Kim S.(2013), *Estimation of Transport Accident Costs in Korea*, The Korea Transport Institute.