

## 차량간 상대속도에 따른 차두거리 분포에 관한 연구

-연속류 교통흐름을 중심으로-

### A Study on the Spacing Distrubution based on Relative Speeds between Vehicles

-Focused on Uninterrupted Traffic Flow-

마 창 영	Ma, Chang Young	정회원 · 한국건설기술연구원 첨단교통연구실 연구원 (E-mail : supermaking@kict.re.kr)
윤 태 관	Yoon, Taekwan	University of Tennessee · Research Assistant (E-mail : yoon0204@gmail.com)
김 병 관	Kim, Byung Kwan	한국철도공사연구원 책임연구원 (E-mail : cameron01@hanmail.net)

#### ABSTRACT

This study analyzes traffic data which are collected by VDS(Vehicle Detection System) to research the relationship between spacing distribution and vehicles' relative speed. The collected data are relative speed between preceding and following vehicles, passing time and speed. They are also classified by lane and direction. For the result of the analysis, in the same platoon, we figure out that mean of spacing is 40m, which can be a value to determine section A to D. To compare spacing according to time interval, this study splits time intervals to peak hour and non-peak hour by peak hour traffic volume. In conclusion, vehicles in peak hour are in car following because most drive similar speed as preceding vehicle and they have relatively small spacing. On the other hand, non-peak hour's spacing between vehicles is bigger than that of peak hour. This implies driver's behaviors that the less spacing, the more aggressive and want to reduce their travel time in peak hour, whereas most drive easily in non-peak hour and recreational trip purpose because of less time pressure.

#### KEYWORDS

*relative speed, spacing, vehicle detection system, peak hour traffic volume, platoon*

#### 요지

선행 차량과의 상대속도에 따른 차두거리 분포에 관한 연구를 위해 연속류 도로 중 국도에 설치된 차량검지기(VDS, Vehicle Detection System)의 교통정보 수집자료를 분석하였다. 수집자료를 차선별, 방향별로 정렬하여 선행 차량과 후행 차량 사이의 속도차이인 상대속도와 검지기 통과시간 및 차량의 속도를 이용하여 차두거리를 산출하였다. 모든 시간대를 대상으로 산출된 상대속도와 차두거리의 분석을 통해 두 변수간의 관계를 분석한 결과 고르게 분포하고 있는 것으로 나타났고 동일 차량군 주행에서 차두거리의 중간값은 약 40m이며, 이는 자료구축 및 분석부분에서 언급한 A~D영역을 분류함에 있어 기준이 될 수 있었다. 시간대에 따른 차두거리 분포에 대한 분석을 위해 수집된 모든 자료의 교통량을 통해 첨두교통량을 산정하고 이를 기준으로 첨두시간과 비첨두시간을 분류하여 차두거리 분포의 차이를 분석하였다. 첨두시간은 비첨두시간에 비해 상대적으로 앞 차량과의 속도 차이가 적고 차두거리가 좁은 것으로 나타났기 때문에 선행차량과 같은 주행 패턴으로 추종한다고 할 수 있고 비첨두시간은 차두거리가 상대적으로 넓은 것으로 나타났다. 이는 운전자의 행태를 나타낼 수도 있는 것으로 차두거리가 좁을수록 공격적인 운전을 하며 본인의 총 통행시간을 줄이고자 하는 욕구가 크다고 미루어 짐작할 수 있겠다. 하지만 여가통행과 비첨두시간의 경우는 첨두시간에 비해 차두거리가 넓은 것으로 미루어보아 시간적 압박이 적어 상대적으로 여유로운 운전행태를 보인다고 할 수 있겠다.

#### 핵심용어

상대속도, 차두거리, 차량검지기(VDS), 첨두시간교통량, 차량군

# 1. 서론

## 1.1. 연구배경 및 목적

2008년 도로교통안전관리공단의 각 시군구별 교통사고 분석 자료에서 안전거리 미확보로 일어난 교통사고가 전체 교통사고의 약 15~30%를 나타내고 있음을 보여주고 있다. 안전거리 미확보는 일반국도에서 사고 당사자의 법규 위반별 사고를 나타내는 항목 중에 각 시군구별로 상위를 나타낸 사고의 원인으로 분석된다.

주행차량 간의 거리와 관련된 도로의 차량추종모형에 대한 연구는 활발하게 진행되고 있고 추종이론도 확립되어있지만 안전거리 확보에 대한 규정을 명시하는데 기반이 되는 기초연구는 미흡한 편이다. 현재 명시되어 있는 안전거리 기준은 기준차량과 상대차량의 상대속도를 고려하지 않고 기준차량의 속도와 감속을 위해 필요한 거리만을 이용하여 제시하고 있다.

또한 안전을 유지하는 범위 내에서 한정된 도로에 늘어나는 차량대수를 효율적으로 조절하기 위해서는 고밀도의 최적속도 산출, 즉 용량의 극대화가 가장 좋은 방법이라고 생각된다. 현재 주행안전을 유지하면서 도로 용량의 최적 활용을 위해 국외를 비롯한 국내 차종 중에 앞 차량과의 거리를 레이저로 측정하여 일정 속도를 가속페달 조작 없이 일정하게 유지할 수 있는 스마트 크루즈 컨트롤(Smart Cruise Control) 기능이 장착된 차량이 출시되고 있다.

미래의 차량 기술개발과 도로의 효율적인 사용을 위해 본 연구에서는 선행차량의 상대속도에 따른 차두거리 분포에 관한 연구를 진행하여 현재 통행패턴을 분석하고자 한다.

## 1.2. 연구의 방법 및 구성

본 연구에서는 차량간의 상대속도에 따른 차두거리 분포를 연구하기 위해서 연속류 도로 중 국도에 설치된 차량검지기(VDS, Vehicle Detection System)의 교통정보 수집자료를 이용하여 분석하였다.

연구의 신뢰성을 위해 서울지방국토관리청, 부산지방국토관리청 등 구간의 약 30개로 영상검지기로부터 2009년도 정기검사 및 준공전검사 결과 90% 이상 성적을 가진 수집된 자료를 이용하였다.

연구의 정확성을 위해 차두시간이 일정시간(7초) 이상으로 발생할 경우 차량군 이탈로 판단하여 연구하였으며, 이를 위해 같은 차량군 주행이라고 판단되는 차량들을 대상으로 차두거리 분포를 분석하였다.

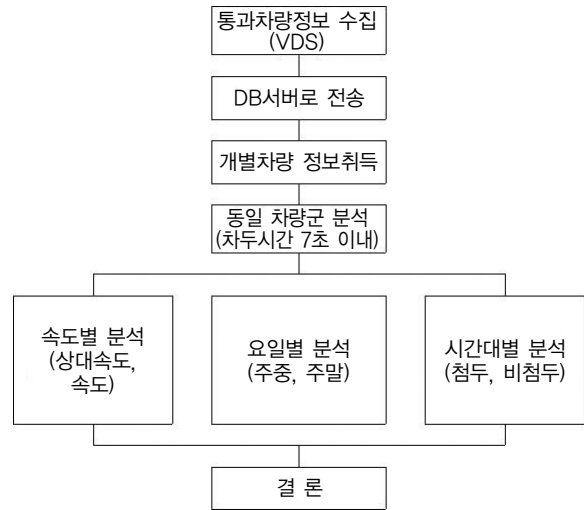


그림 1. 연구개요

## 2. 관련이론 및 선행연구 고찰

### 2.1. 관련이론 고찰

#### 2.1.1. 교통량과 차두거리

교통량은 단위시간당 도로의 한 지점 또는 한 구간을 통과한 차량대수로 나타낼 수 있으며, 차두거리는 연속하는 두 대 차량이 한 지점을 통과하는 차체의 앞 또는 뒤를 기준으로 한 거리 차이를 말하며 이는 두 차량의 통과시간 차이를 의미하는 차두시간(Headway), 선행차량의 끝과 후행차량의 앞의 시간차이 차간간격(Gap)과는 다르다.

차두거리에 대한 분포로는 기존의 May A.D.(1990)의 연구에서 교통류율의 증가에 따라 변화하며, 아주 적은 교통량에서는 차량 사이의 간섭이 거의 없고 차두거리는 어느 정도 임의적으로 나타나지만, 교통량 증가에 따라 차량간섭이 증가하면서 차두거리가 일정해지며 차량추종관계가 형성된다. 결국 교통류율이 용량에 가까워지면 모든 차두거리는 차량추종관계(Car Following Theory)를 따르면서 일정해진다.

#### 2.1.2. 상대속도

상대속도란 예를 들어 100km/h로 주행 중인 차량의 내부에서 같은 속도로 선행하고 있는 차량을 봤을 경우 0km/h이다. 본 연구에서는 관찰 차량의 속도에 대한 피관찰 차량의 속도를 의미한다. 이는 곧 후행차량에서 관찰한 선행차량의 속도로, 선행차량의 속도가 후행차량의 속도보다 빠를 경우 양수 값을 나타내고, 역의 경우 음수 값을 나타내게 되며, 같은 속도의 경우는 상대

속도 0을 나타낸다.

상대속도를 이용하여 선행차량과 후행차량의 관계에 따른 차두거리에 대한 분포를 연구하고 관계를 분석할 것이다.

## 2.2. 선행연구 고찰

남궁문(1995)은 도로상의 관측 차두거리 정보에 의한 차간거리 인지추정법의 연구에서 차간거리 분포가 대수 정규분포를 따른다는 가정 하에 차간거리 인지분포의 밀도함수를 추정하였다. 이는 교통류현상 해석 및 모델화에 운전자의 인지로 얻어진 차두거리의 관계가 설명된 것이다.

김재석(2001)은 GPS를 이용하여 연속류에 있어서 선행차량과 추종차량의 속도차이와 차두거리와의 변화는 용량 및 안전과 관련된 중요한 변수임을 인지하고 이를 분석하였는데 일반주행 시와 가감속의 경우 속도차이를 실험차량을 이용하여 연구하였다.

김점산(2006)은 개별차량의 차두시간분포 분석을 통해 고속도로 설계용량 산정모형을 개발하였다. 논문에서 속도별 차두시간의 통계적 분포는 Pearson type V 분포의 형태로 추정하였을 경우 통계적 검정값이 가장 우수한 것으로 나타났다.

배상훈(2007)은 추종거동 모형 중 논문고찰을 통해 GMT모형을 제어의 기본 모델로 산정하고, 시뮬레이션을 하여 운전자의 쾌적성을 유지할 수 있는 최적의 안전거리를 속도별로 산정하였다. 그 결과 100km/h의 속도에서 15m의 안전거리를 확보하여 약 85%의 안전거리에 대한 감소효과가 발생하는 것으로 파악되었으며 민감도를 변화시켜 속도별 최적 파라미터를 분석한 결과 100km/h의 속도에서 8m의 안전거리를 확보하여 추종거동 모형을 적용한 안전거리에 비해 약 50%의 안전거리 효과가 발생하는 것으로 파악되었다. 연구에서 현재의 안전거리를 효율적으로 감소시킴으로 도로의 용량을 극대화하고 운전자의 쾌적성 및 안전을 도모하는데 도움이 될 것이라고 결론지었다.

Othman Che Puan(2004)은 차량추종모형이 도로의 용량을 효율적으로 사용할 수 있는 기본이라 가정하고 주변으로부터 방해받는 차량과 자동차 전용도로의 차량 사이의 차두거리에 대한 연구를 하였다. 비디오카메라를 이용하여 말레이시아의 8,000여대 이상의 자료를 촬영 분석하였고 차두거리와 차량속도와의 관계는 차종과 관계가 있고 차량별 속도분포와 관계가 있다고 하였다. Lognormal 분포가 차량속도에 대한 차량 차

두간격에 대한 변수를 적절히 대변할 수 있었으며 선형 회귀모형이 차량 차두거리와 속도사이의 관계를 설명할 수 있었다. 또한 말레이시아 운전자는 일반적으로 선행차량을 좁은 간격으로 추종하는 것을 알 수 있었고 이로 인해 빠르게 차량군이 형성된다는 결론을 내렸다.

## 3. 연구방법론

검지기로부터 획득한 개별 차량 정보는 차선별 개별 차량의 속도, 차량길이, 점유율, 통과시간 등의 속성을 가진다. 이 자료를 이용하여 각 차선, 방향별로 정렬하여 선행차량과 후행차량 사이의 속도차이를 이용하여 상대속도를 산출할 수 있으며 검지기 통과시간과 차량의 속도를 이용하여 차두거리를 산출할 수 있다.

산출된 상대속도와 차두거리의 분석을 통해 두 변수간의 관계를 분석하고자 한다. 후행차량이 선행차량에 비해 상대적으로 속도가 빠른 경우, 그 반대의 경우에 있어서 차두거리의 분포와 침두시간과 비침두 시간에 따른 차이를 분석할 것이다.

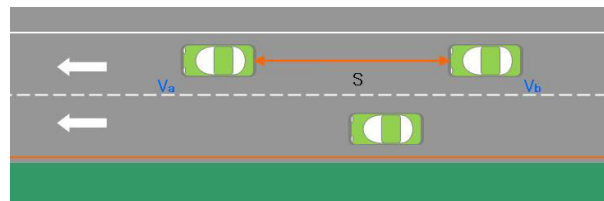


그림 2. 상대속도와 차두거리 산출 방법

$$A차량에 대한 B차량의 상대속도 = Va - Vb \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{차두거리 } S = \\ (B차량 검지시간 - A차량 검지시간) \times Vb \end{aligned} \quad (2)$$

## 4. 자료구축 및 분석

5. 결과부분의 5.3, 5.4 침두시, 비침두시 분석을 위해 침두시간은 조사된 자료를 바탕으로 침두시간 교통량을 산출하였다.

상대속도에 따른 차두거리의 분포를 나타내는 그래프는 그림 4와 같이 A~D까지의 크게 4가지 영역으로 나누어 분석할 수 있다. A 구역은 상대속도가 음수값을 나타내는 경우 즉, 기준차량이 상대차량에 비해 빠르게 차두거리가 넓은 간격을 나타내고 있는 경우이다. B의

경우는 A와는 달리 상대속도가 (+)로 기준차량이 상대차량(선행차량)에 비해서 느리며 차두거리가 넓은 경우이다.

C의 경우는 상대속도가 (-)로 A와 같이 기준차량의 속도가 상대차량에 비해 빠르며 차두거리가 좁은 경우이고 D는 상대속도는 (+)로 후행차량의 속도가 선행차량의 속도에 비해 느리고 차두거리가 좁은 경우를 나타낸다.

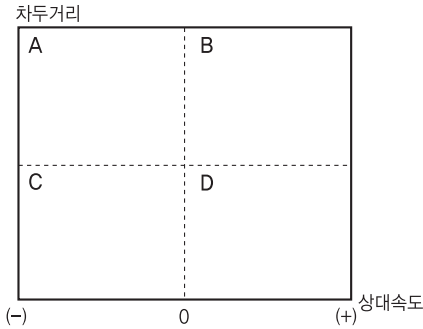


그림 3. 상대속도에 따른 차두거리의 분포영역

차두시간이 7초 이상의 차이로 나타난 데이터는 차량군을 벗어난 주행(이기영, 2008)으로 간주하여 동일한 차량군 내의 차두거리 분포를 분석하였다.

## 5. 결과

### 5.1. 속도에 따른 차두거리의 분포

그림 4는 속도 범위에 따른 차량의 평균차두거리를 첨두와 비첨두시간과 무관하게 임의의 데이터를 대상으로 분석한 것으로 모든 구간에서 대부분 빠른 속도로 주행하는 차량의 경우 느린 속도로 주행하는 차량에 비해 상대적으로 긴 차두거리를 가지는 것으로 분석되었으며  $R^2=0.879(Y=7.551 X-146.0)$ 로 높은 선형관계를 나타내고 있다( $X$ : 속도,  $Y$ : 차두거리).

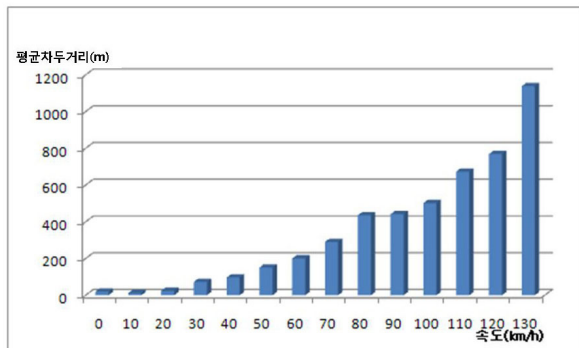


그림 4. 속도에 따른 차두거리의 분포

이는 운전자가 앞 차량과의 추돌을 피하기 위해 안전거리를 유지하는 행태를 나타내는 것으로 느린 속도로 주행하는 경우의 정지거리보다 빠른 속도로 주행 시의 정지거리가 더 길다고 판단하여 돌발상황 발생 시 정지를 위해 유지하는 거리라고 할 수 있다.

공학적으로 차량이 장애물을 발견하고 인지·반응하여 정지하기 위해 필요한 정지시거는 마찰계수, 종단구배 및 운전자의 반응시간을 모두 고려하여 산정하며 다음과 같이 계산한다.

$$D_s = 0.278VT + \frac{V^2}{254(f \pm g)} \quad (3)$$

여기서,  $D_s$ : 최소정지시거(m)

$V$ : 속도(kph)

$f$ : 마찰계수(0.1~0.4)

$g$ : 종단구배(%)

\*A Policy on Geometric Design of Highways and streets, AASHTO, 2004

하지만, 대부분의 운전자의 경우 본인의 직감과 100km/h로 주행 시 100m 이상의 안전거리를 유지하여야 한다는 권고사항에 의존하여 차간 안전거리를 유지하고 있다.

### 5.2. 상대속도에 따른 차두거리의 분포

운전 중인 차량의 속도만 고려하는 것이 아닌 앞 차량과의 상대속도를 고려하여 운전자가 어떠한 특성의 차두거리를 유지하는지를 분석하기 위해 그림 5는 상대속도에 따른 차두거리 분포를 나타내었다.

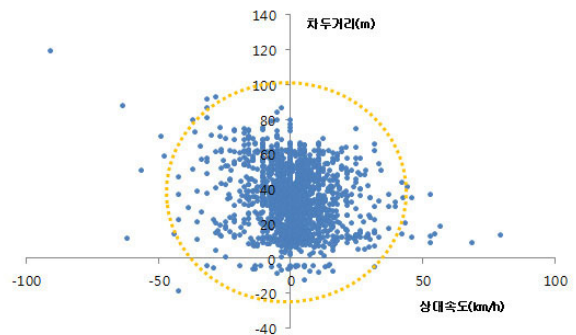


그림 5. 상대속도에 따른 차두거리(m) 분포

상대속도에 따른 차두거리의 분포는 모든 시간대를 대상으로 분석한 결과 고르게 분포하고 있는 것으로 나

타났으며 차두거리가 음수값(-)을 나타내는 등의 이상치(Outlier)는 영상식 VDS의 경우 영상겹침, 그림자 현상, 루프식 VDS의 경우 차종의 잘못된 검지 등의 검지기 오류로 판단되어 삭제 후 분석하였다.

전체 자료를 분석한 결과 동일 차량군 주행에서 차두거리의 중간값은 약 40m이며, 이는 자료구축 및 분석 부분에서 언급한 A~D 영역을 분류함에 있어 기준이 될 수 있다.

시간대에 따른 차두거리 분포에 대한 분석을 위해 수집된 모든 자료의 교통량을 이용하여 침두시간 교통량을 산정하고 이를 기준으로 침두시간과 비침두시간을 분류하여 차두거리 분포의 차이를 분석하고자 하였다.

### 5.3. 침두 시 상대속도에 따른 차두거리의 분포

그림 6은 침두 시 차두거리의 분포를 나타낸 것으로 A, B영역보다 C와 D영역에 분포하는 것으로 미루어 보아 대부분의 차량이 앞 차량에 대해 넓지 않은 차두거리를 유지하려는 것으로 보이고 B, D보다 A, C영역에 차량이 많이 존재하는 것으로 보아 선행차량보다 상대적으로 빠른 속도로 주행하려는 경향이 많았으나 전체적인 편차로 보아 상대속도에는 차량 간 큰 차이 없이 -10km/h에서 +10km/h로 고르게 분포하는 것으로 추측할 수 있다.

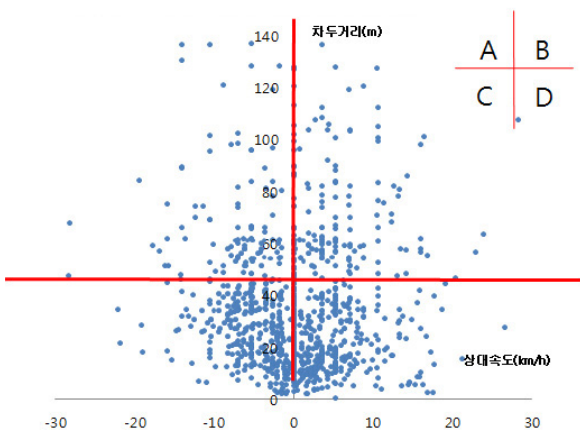


그림 6. 침두 시 상대속도에 따른 차두거리(m) 분포

하지만 주중 침두와 주말 침두의 통행목적에 따른 교통류의 특성이 다를 것이라는 가설로 주중과 주말의 전체 시간대 차두거리에 대한 분포를 분석해 본 결과 그림 7과 같이 주중에 비해 주말이 동일한 차량군 내에서 차두거리가 약 231% 더 넓게 나타나는 것으로 분석되었다.

이러한 이유로 주중과 주말 침두 시 사이의 관계를 밝

히기 위해 침두시를 주중과 주말에 따라 분석하였고 그 결과는 그림 8과 같다.

그 결과 주중 침두의 경우 출퇴근 통행시간이 침두 시의 대부분인 반면 주말 침두는 출퇴근 시간과는 무관한 시간대에 침두가 발생하는 경우가 있다. 이는 출퇴근 통행의 목적이 아닌 여가통행과 기타 통행의 이유이며 이런 목적의 통행에 있어서 운전자의 차두거리 유지 행태

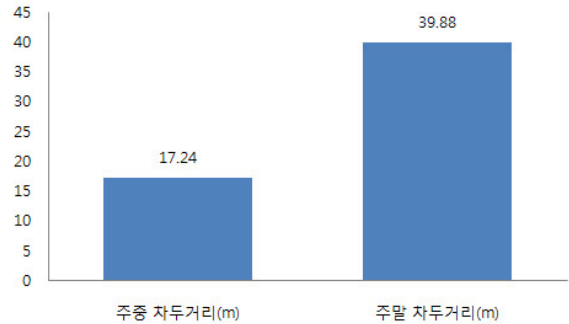


그림 7. 침두 시 주중과 주말의 차두거리(m) 평균 비교

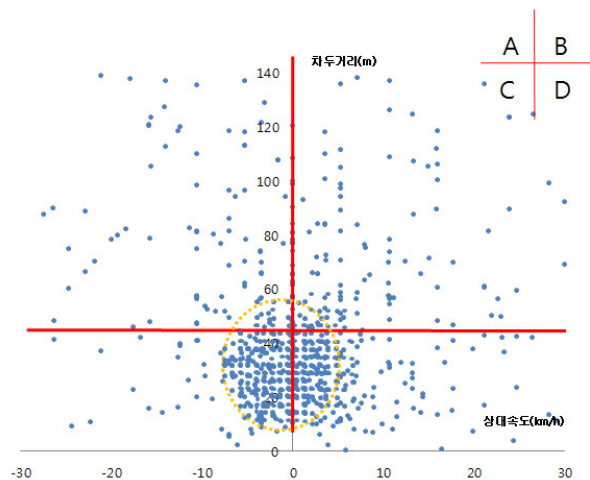


그림 8. 주중 침두 시 상대속도에 따른 차두거리(m) 분포

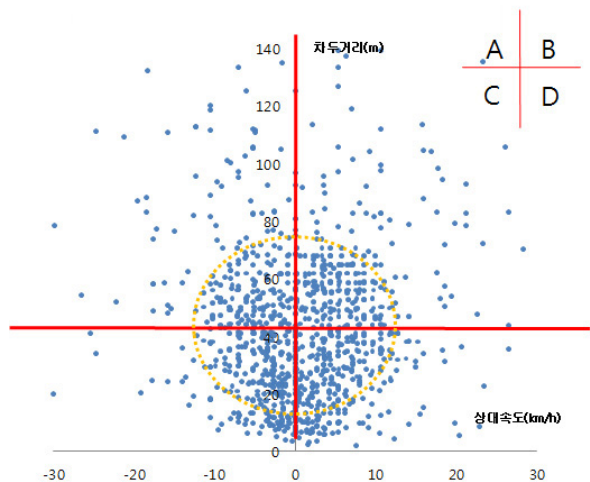


그림 9. 주말 침두 시 상대속도에 따른 차두거리(m) 분포



에 있어 차이를 나타냈다.

그 차이는 주중의 출퇴근 통행을 위한 첨두 시에는 도로에 익숙한 운전자가 공격적으로 앞 차량과의 짧은 차두거리를 유지하며 자신의 총 통행시간을 줄이려 노력한다고 짐작되지만 주말의 경우는 선행차량에 대한 상대속도는 주중의 출퇴근 첨두통행과 비슷하나 차두거리의 경우 상대적으로 넓은 간격을 유지하려는 결과가 나타났다. 그 원인으로서는 여가통행, 즉 가족이나 연인과 동반한 여행이므로 여유로운 운전행태를 나타낸다고 추측할 수 있으며 기타 통행의 경우 출퇴근 통행보다 통행시간의 압박이 적을 것으로 추측되어진다.

#### 5.4. 비첨두 시 상대속도에 따른 차두거리의 분포

첨두시간을 제외한 비첨두시간을 분석하면 그림 10과 같이 나타나며, 그 결과는 확연하게 첨두 시의 차두거리 분포와는 다르다. 상대속도의 경우 앞차보다 느린 경우, 빠른 경우 모두 고르게 분포하지만 상대적으로 앞 차량보다 상대속도가 느린 경우가 많이 존재하는 현상이 발견되었으며 차두거리의 경우 첨두시간과 비교하여 봤을 때 비첨두시간의 차두거리가 상대적으로 넓은 것으로 나타났다. 이는 통행시간의 압박이 적어 보다 안전한 차두거리를 유지하려는 운전자의 심리적 행태로 보인다.

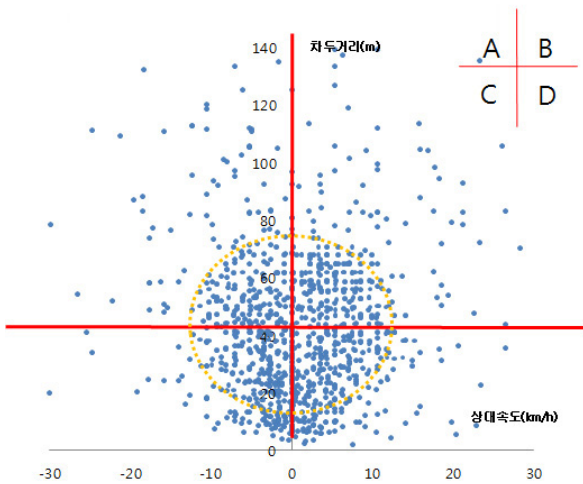


그림 10. 비첨두 시 상대속도에 따른 차두거리(m) 분포

주중 첨두 시와 비첨두 시의 차두거리에 대한 비교는 그림 11과 같으며 비첨두 시의 차두거리가 첨두 시보다 216% 가량 더 큰 것으로 나타났다. 첨두 시 주중과 주말의 차두거리 차이가 비첨두와 첨두의 차두거리 차이보다 더 크게 나타났다.

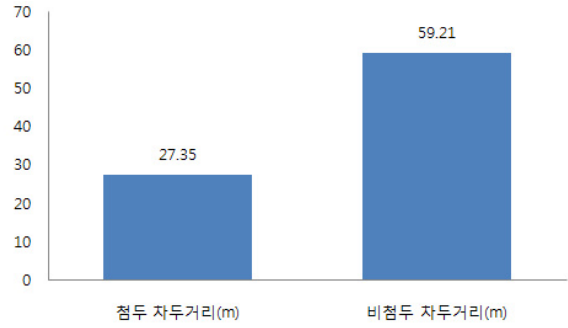


그림 11. 첨두와 비첨두의 차두거리(m) 평균 비교

#### 6. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 현재까지 단순히 차량의 주행속도만으로 연구가 진행된 것에 비해 상대속도라는 새로운 개념을 이용하여 차두거리 분포에 대한 연구를 하였다. 차두거리란 도로를 효율적으로 사용하는데 있어서 중요한 요소이지만 안전이라는 상충요소 때문에 신중을 기해야 할 요소이다.

첨두 시가 비첨두 시에 비해 상대적으로 앞 차량과의 속도 차이가 적고 차두거리가 좁은 것으로 나타났기 때문에 선행차량과 같은 주행 패턴으로 추종한다고 할 수 있고 비첨두시간은 첨두시간과 비교하여 봤을 때 비첨두시간의 차두거리가 상대적으로 넓은 것으로 나타났다.

이는 운전자의 행태를 나타낼 수도 있는 것으로 차두거리가 좁을수록 공격적인 운전을 하며 본인의 총 통행시간을 줄이고자 하는 욕구가 크다고 미루어 짐작할 수 있다. 하지만 여가통행과 비첨두시간의 경우는 첨두시간에 비해 차두거리가 넓은 것으로 미루어보아 시간적 압박이 적어 상대적으로 여유로운 운전행태를 보인다고 추측할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 개별 행태와 통행목적에 관한 분석이 부족하였기 때문에 추측만 내릴 수 있을 뿐 이와 관련된 결론을 내리기에는 부족하다.

향후 도로의 검지기에서 수집되는 교통자료를 이용하여 차두거리 분석에 있어 차선별 교통류의 특성과 날씨에 따른 차이 등의 추가 분석이 필요하다.

본 연구를 통해 첨두와 비첨두 시간의 상대속도를 이용한 결과를 도출한 결과 명확한 차이를 발견할 수 있었다. 이는 향후 첨두와 비첨두 교통량을 고려한 도로 설계에 적용이 가능하며 운전자의 행태 및 심리 연구를 위한 연구자료로 활용될 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- 김점산, 『차두시간분포 분석을 통한 고속도로 설계용량 산정모형의 개발』, *대한토목학회 논문집*, 26(2D), pp.251~258, 2006
- 김재석, 『GPS를 이용한 연속류 통행차량의 속도차와 차두간격 변화에 대한 해석』, *한국지리정보학회*, 4(3), pp.51~60, 2001
- 남궁문, 『도로상의 관측 차두간격 정보에 의한 차간거리 인지 추정법』, *대한토목학회 논문집*, 15(1), pp.1~8, 1995
- 도로교통안전관리공단, 『교통사고 분석자료집』, pp.15~168, 2008
- 배상훈, 『첨단제어차량의 추종거동을 위한 최적 안전거리 산정』, *대한토목학회 논문집 27(1D)*, pp.1~7, 2007
- 이기영, 『연속류 차량군 분류기준 정립 및 분석모형 개발』, *한국 ITS학회 제7회 추계학술대회 및 정기총회*, 2008
- 이수일 외, 『안전측면의 도로선형 설계일관성 평가기준 개발에 대한 연구』, *대한토목학회지* 27(3), pp.269~274., 2007
- Jianlong Zhang, 『Adaptive Vehicle Following Control System with Variable Time Headways』, *44th IEEE Conference.*, 2005
- Mark Brackstone, 『Determinants of Following Headway in Congested Traffic』, *Transportation Research Part F 12(2)*, pp.131-142., 2008
- Othman Che Puan, 『Driver's car following headway on single carriageway roads』, *Journal Kejuruteraan Awam 16(2)*, pp.15~27., 2004
- Yusria Darma, 『Headway and Speed Characteristics on Urban Arterials』, *Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol 4., 2003
- (접수일 : 2011. 9. 21 / 심사일 : 2011. 10. 5 / 심사완료일 : 2012. 2. 28)