

■ 論 文 ■

차량 주행궤적을 이용한 후미추돌 가능성 예측 모형

Prediction of Rear-end Crash Potential using Vehicle Trajectory Data

김 태 진

(교통안전공단 안전진단처 연구원)

오 철

(한양대학교 교통공학과 교수)

강 경 표

(한국교통연구원 도로연구실
부연구위원)

목 차

- I. 서론
- II. 기존문헌고찰
- III. 분석 방법론
 - 1. 주행궤적 예측
- 2. 후미추돌 확률 추정
- IV. 분석결과
- V. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : 개별차량 주행궤적, 후미추돌, 차로변경 모형, 칼만 필터링, Time-to-Collision Vehicle Trajectory, Rear-end Crash, Lane Changing Model, Kalman Filtering, Time-to-collision

요 약

최근 교통상황을 정확하게 관측할 수 있는 교통류 감지에 관한 기술개발과 더불어 개별차량 주행궤적을 이용한 교통안전도 평가기법에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구에서는 개별차량의 주행궤적을 이용하여 다음시점(t+1)의 후미추돌 확률을 산출하는 방법론을 제시하였다. 신뢰성 있는 예측 기법인 칼만 필터링(Kalman Filtering)을 이용하여 주행궤적을 예측하고, 예측된 시점에 대한 개별차량의 후미추돌 확률을 산출하였다. 안전도를 평가하는 확률모형을 수립하기 위해서 서해안 고속도로의 동영상 자료로부터 개별차량의 주행궤적을 추출하였다. 추출한 개별차량의 주행궤적 자료를 이항 로지스틱 회귀분석(Binary logistic regression)을 이용하여 차량의 차로변경 결정 확률 모형을 생성하였고, exponential decay function을 이용하여 surrogate safety measure(SSM)의 하나인 time-to-collision(TTC)기반의 추돌확률 모형을 생성하였다. 미시적 교통류 시뮬레이터인 VISSIM에서 추출한 개별차량의 주행궤적 데이터를 이용하여 제안된 방법론을 평가하였다. 본 연구의 결과는 교통류 감시, 제어 및 정보 시스템에 효과적으로 적용될 수 있으며, 나아가 교통사고 예방에 효율적인 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Recent advancement in traffic surveillance systems has allowed the researchers to obtain more detailed vehicular movement such as individual vehicle trajectory data. Understanding the characteristics of interactions between leading and following vehicles in the traffic flow stream is a backbone for designing and evaluating more sophisticated traffic and vehicle control strategies. This study proposes a methodology for estimating rear-end crash potential, as a probabilistic measure, in real-time based on the analysis of vehicular movements. The methodology presented in this study consists of three components. The first predicts vehicle position and speed every second using a Kalman filtering technique. The second estimates the probability for the vehicle's trajectory to belong to either 'changing lane' or 'going straight'. A binary logistic regression (BLR) is used to model the lane-changing decision of the subject vehicle. The other component calculates crash probability by employing an exponential decay function that uses time-to-collision (TTC) between the subject vehicle and the front vehicle. The result of this study is expected to be adapted in developing traffic control and information systems, in particular, for crash prevention.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(O6-교통핵심-A01-01)에 의해 수행되었습니다.

I. 서론

최근 각종 센서 및 통신기술의 발달은 과거에 비해 보다 미시적인 교통자료의 취득을 가능하도록 하였다. 대표적으로 차량추적을 통한 개별차량의 주행궤적자료(vehicle trajectory)의 수집이 가능해졌다. 도로 위의 모든 차량들은 차량추종 및 차로변경 등의 주행패턴을 통해 끊임없는 상호작용을 가지게 된다. 개별차량의 주행궤적 자료는 미시적 교통류 분석을 통해 교통 상충 잠재성 평가에 활용될 수 있으며, 차량을 추적하고 개별 차량의 주행궤적을 추출하여 불안정한 미시적 교통상황을 식별할 수 있다. 선행차량과 후행차량의 충돌 잠재성을 분석하는 것은 실시간 교통 운영 전략을 설계하고 평가하는데 중요한 요소로 활용될 수 있다.

개별차량의 주행궤적을 이용하여 실시간 교통 운영 전략을 수립하는 것은 효과적인 정보수집 및 제공으로 인하여 교통안전의 질을 향상시킬 수 있게 된다. 그러나 실시간으로 현재시점의 교통상황을 모니터링 하여 정보 제공을 하여도 정보 수집을 한 시점에서 이미 교통사고나 교통상충이 발생하였다면 이 정보를 받게 되는 운전자는 늦은 대처를 하게 된다. 마찬가지로 운전자에게 위험상황이 발생하지 않은 현재시점의 자료를 수집하여 정보를 제공하는 것은 교통 운영적 측면에서 도움이 되지 못한다. 따라서 본 연구에서는 현재시점에서 수집할 수 있는 자료를 기반으로 다음시점의 교통류의 상황을 추정하여 교통사고 및 상충의 발생을 한 단계 먼저 예측하는 효율적인 정보제공을 위한 자료처리 과정과 개별차량 주행궤적자료를 이용한 연속류 교통상충검지 기반 후미추돌 확률 예측 모델을 개발하였다.

도로를 주행하는 차량들의 후미추돌 확률을 산출하기 위해서는 분석 대상인 subject vehicle을 중심으로 주변 차량들에 대한 주행궤적 정보가 매우 중요하다. 만약 선행차량(front vehicle)과의 후미추종 상황에서 선행차량이 차로변경을 실시하여 더 이상 subject vehicle의 전방에 있지 않게 되는 경우에는 더 이상 후미추돌 확률을 산출할 필요가 없게 된다. Subject vehicle 역시 front vehicle과 추종관계에서 벗어나 옆 차선으로 차로변경을 실시한다면 더 이상 front vehicle과 추종관계에 놓이지 않게 되므로 후미추돌의 개연성이 사라지게 된다. 따라서 본 연구에서는 차량이 차로변경을 하지 않을 확률(non-lane changing probability)을 산출하여 차량이 현재 주행차로를 유지할 경우 다음시점에서 개별차

량의 후미추돌 발생확률을 추정하였다.

본 연구에서는 개별차량의 주행궤적에서 얻을 수 있는 속도, 위치정보를 다음시점의 상황으로 추정하기 위하여 시계열 분석 방법 중 단기 정보 예측에 유용한 분석방법이라고 알려져 있는 칼만 필터링(Kalman Filtering)을 이용하였다. 칼만 필터링 기법으로 예측한 차량 주행궤적의 정확도를 분석하였으며, 추정된 값을 안전성 지표에 적용하여 다음시점에서의 후미추돌 확률을 예측하는 기법을 제시하였다.

II. 기존문헌고찰

최근 차량 이미지 분석 기술이 발달함에 따라 개별차량의 주행궤적 기반의 위험한 교통상황에 대한 연구가 진행되고 있다. Oh et al.(2009)는 차량 추종과 차로변경 이벤트 상황에서 불안정한 교통류 상황을 검지하는 시스템을 제안하였다. 김준형 외(2008)은 개별차량의 미시적 주행궤적 자료와 교통상황을 수집할 수 있는 실시간 모니터링 환경에서 적용 가능한 교통안전도 평가 기법을 제시하였다. Saunier and Sayed(2008)은 영상 기반 차량 추적 시스템을 이용하여 교차로에서 두 차량 간의 충돌 확률을 추정하는 방법론을 제안하였다. 오철 외(2007)은 영상 이미지 트랙킹을 통해 추출되는 개별차량의 주행정보와 기존 교통상충분석기법을 응용한 실시간 교통안전 평가 방법론을 제시하였다. Hourdos et al.(2006)은 미네소타의 고속도로에서 개별차량의 속도와 차두시간을 이용하여 충돌이 일어나기 쉬운 교통상황을 연구하였다. 이 연구에서는 비디오 감시 시스템을 이용하여 추출한 110건의 사고자료와 parameter를 이용하여 연구를 수행하였다. Hu et al.(2004)은 주행궤적 패턴에 fuzzy-self-organizing neural network를 적용하여, 교통사고를 예측하는 감시 시스템을 제안하였다.

후미추돌 확률과 관련된 연구들도 많이 수행되었다. Kim et al.(2007)은 수정된 음이항 회귀분석을 통해 워싱턴 주의 후미추돌 위험을 추정하는 모델을 개발하였다. Wang and Abdel-Aty(2006)은 generalized estimation equations(GEM)을 이용하여 신호교차로에서의 후미 추돌 빈도 모델을 생성하였다. Pande and Abdel-Aty(2006)은 루프검지기 자료를 이용하여 후미 추돌 잠재성을 추정하는 연구를 시도하였다. 정성봉 외(2004)는 불안정한 추종으로 인해 발생할 수 있는 교통

류 위험을 후미추돌위험의 관점에서 파악하였다. Abdel-Aty and Abdelwanhab(2003)은 사고 이력자료에 General Estimates System(GES)를 이용하여 차종에 따른 후미 추돌 특성을 분석하였다. Krishnan et al.(2001)은 후미 추돌 경고 시스템을 설계하고 시뮬레이션 환경에서 성능 평가를 실시하였다. 다른 후미 추돌 관련 연구에서는 surrogate safety measures를 이용하여 후미추돌 위험 상황을 평가하였다. (Ozbay et al., 2008; Saccomanno et al., 2008; Oh et al., 2006).

차로변경 모형과 관련된 선행연구들은 다음과 같다. 최지은 외(2009)는 고속차로에서 저속차로로 차로변경하는 상황과 저속차로에서 고속차로로 차로변경하는 상황에서 안전거리를 계산하여 추돌하지 않고 안전하게 차로변경 할 수 있도록 차로변경모형을 개발하였다. Takashi Wakasugi(2005)는 차로변경 시 운전자 특성에 따른 적합한 LCDAS(Lane Change Decision Aid Systems)의 경고시간을 산출하였다. Jose L. Bascunana(1995)는 차로변경 시 목표차로의 후행차량을 고려하여 추돌여부에 대한 모형을 개발하였다.

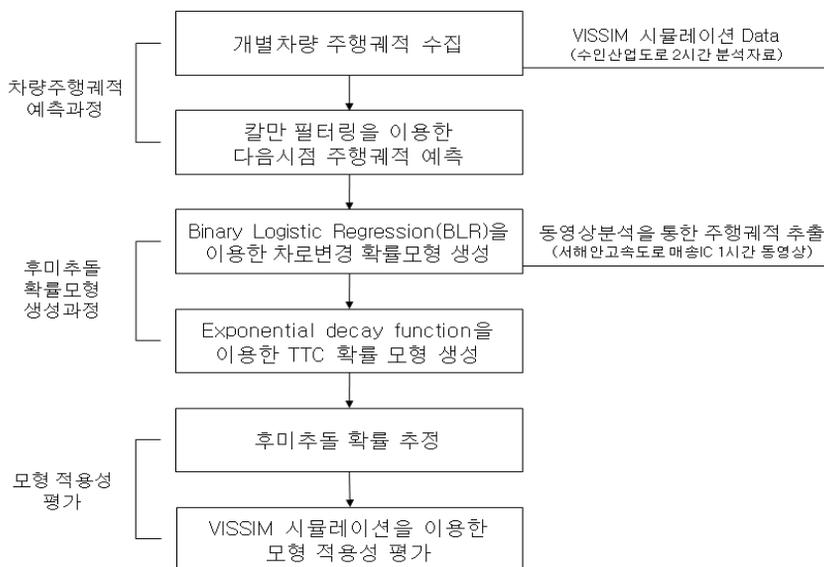
차량의 주행궤적 추출 및 후미추돌 사고에 관한 많은 연구가 진행되었지만, 실시간 주행궤적 자료를 이용하여 후미추돌의 잠재성을 추정하는 연구는 수행된 바 없으며, 이력자료만을 이용한 단편적인 분석이 진행되어 왔다. 또한 실시간으로 자료를 취득 및 분석하여서 현재시

점의 교통상황을 모니터링 및 분석을 실시한다고 하여도, 분석이 완료된 시점에서의 정보는 이미 과거에 발생한 사건의 정보로 사용되어진다. 본 연구에서는 기존 연구에서 나아가 실시간으로 얻을 수 있는 개별차량의 주행궤적 자료를 가공하여 현재시점이 아닌 다음시점의 교통상황을 예측하였다. 예측된 시점에서의 주행궤적 자료를 본 연구에서 생성한 안전도 지표에 적용하여 후미추돌 확률을 예측하는 방법을 제시하였다.

III. 분석 방법론

본 연구에서 제안하고자 하는 주행궤적 예측을 통한 후미추돌 확률 예측을 위해서는 우선 신뢰성 있는 추정 기법을 이용하여 주행궤적을 예측하고, 예측된 주행궤적 기반의 후미추돌 확률 계산이 필요하다. 현재시점(t)에서 다음시점(t+1)의 주행궤적을 예측하기 위해서 칼만 필터링을 이용하여 교통변수를 추정하였고, 이 추정된 주행궤적을 본 연구에서 개발한 후미추돌 확률 모형에 적용하였다.

본 연구의 수행 절차는 <그림 1>과 같이 차량주행궤적 예측과정, 후미추돌 확률모형 생성과정, 후미추돌 확률 추정의 단계로 구분되어진다. 차량 주행궤적을 예측하기 위해서 미시적 교통류 시뮬레이터인 VISSIM에서 추출한 개별차량의 주행정보를 이용하였으며, 이 주행궤적 자료에 칼만 필터링 기법을 적용하였다. 또한 후미추



<그림 1> 연구 수행 흐름도

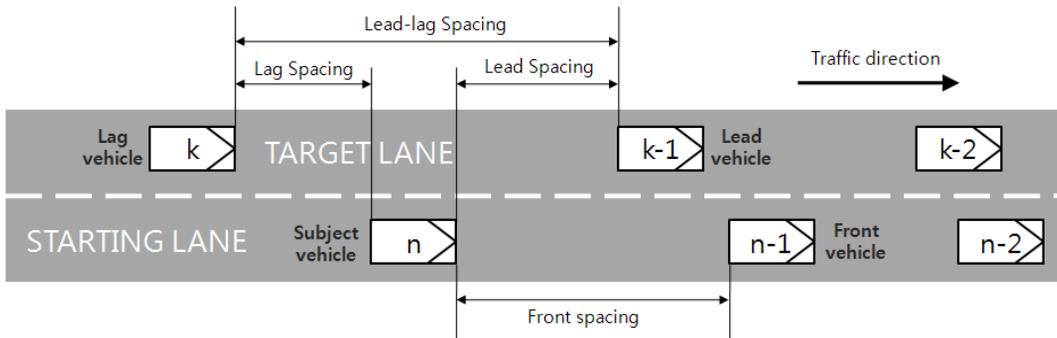
둘 가능성 예측 모델을 생성하기 위하여 서해안고속도로에서 수집한 동영상 자료를 분석하여 개별차량의 주행궤적을 추출하였다. 칼만 필터링을 통해 예측된 주행궤적을 동영상 분석을 이용하여 생성한 추돌확률 모델을 이용하여 추돌 확률을 추정하였다.

1. 주행궤적 예측

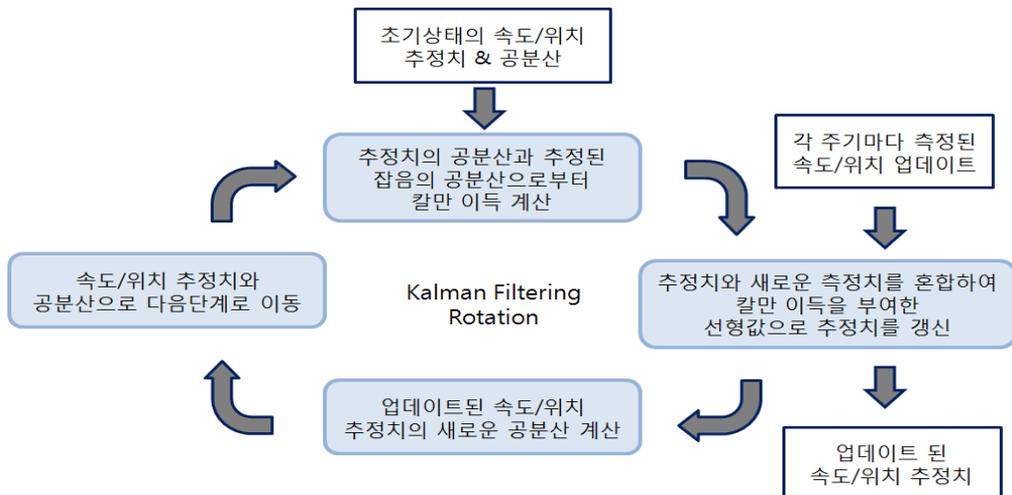
본 연구에서는 개별차량의 주행궤적을 효율적으로 활용하기 위하여 각 차량 및 그에 따른 변수를 <그림 2>와 같이 정의하였다. 분석 대상이 되는 Subject vehicle을 중심으로 하여, 그 선행차량을 Front vehicle이라고 정의하고 두 차량 사이의 간격을 Front spacing이라고 정의하였다. 또한 Subject vehicle의 옆 차선을 Target lane으로 정의하고, Target lane을 주행하는 차량을 Lead vehicle과 Lag vehicle로 정의하였다. Lead

vehicle과 Lag vehicle의 간격은 Lead-lag spacing으로 정의하였다. 이렇게 정의된 각 차량들의 위치와 속도를 기반으로 하여 개별차량의 주행궤적을 예측하였다.

현재시점에서 아직 일어나지 않은 상황을 예측하기 위해서는 신뢰성 있는 추정 기법이 필요하다. 현재시점에서 다음시점의 상태를 예측하는 방법에는 신경망 모형, 칼만 필터링 모형, ARIMA모형, 확률과정 모형, 다중회귀분석을 이용한 방법들이 있으며, 이중 단기 예측에는 칼만 필터링 모형이 높은 정확도를 보인다. 칼만 필터링 모형은 <그림 3>과 같은 형태로 반복적인 계산을 통해 예측값을 산출하며, 본 연구에서는 현재시점에서 추출한 개별차량의 주행궤적을 칼만 필터링을 이용하여 다음시점의 개별차량 주행궤적의 값을 추정하였다. 일반적으로 칼만 필터 모형은 다음과 같은 생성 구조로 만들어진다.



<그림 2> Subject vehicle과 주변 차량에 대한 정의



<그림 3> 칼만 필터링을 통한 속도/위치 추정과정

- 1) 초기치가 필요하다.
- 2) 주어진 상태방정식(state equation)에 의하여 전 상태에서부터 내적오차와 합하여 현 상태 값이 결정되며,
- 3) 주어진 출력방정식(output equation)에 의하여 고려된 입력 변수 값과 동적회귀계수 역할을 하는 현 상태의 내적과 출력오차의 합 형태로 관측치가 생성된다는 가정 하에 구성된 모형으로,
- 4) 새로운 관측치가 얻어지면, 모형이 최신화 되도록 알고리즘이 주어져야 한다.

칼만 필터링 모형은 상태방정식과 관측방정식으로 구성되어 있으며, 그에 대한 추정 식은 다음과 같다.

상태방정식(state equation)

$$x_k = A_{k-1}x_{k-1} + w_{k-1} \tag{1}$$

관측방정식(observation equation)

$$z_k = H_k x_k + v_k \tag{2}$$

여기서, x_k : k 시점에서의 시스템의 상태
 z_k : k 시점에서의 관측치
 A_k : k 시점에서 다음 시점에서의 전이행렬
 H_k : 관측벡터와 상태벡터와의 관계 행렬
 w_k, v_k : 오차 벡터

본 연구에서는 차량의 위치와 속도를 칼만 필터링으로 예측하기 위하여 식(1)과 식(2)에 속도와 위치에 따른 운동방정식을 적용하여 사용하였다. 칼만 필터링의 사용을 위하여 칼만 필터링 소스를 제공하고 있는 MATLAB 프로그램을 이용하였다.

본 연구에서는 미시적 교통류 시뮬레이터인 VISSIM에서 개별차량의 주행궤적을 수집하였다. 경기도의 수인 산업도로(42번 국도)의 일부 구간을 시뮬레이션 하여 자료를 수집하였으며, 2시간 동안 차량 20대의 속도를 추정하여 칼만 필터링을 이용한 예측 값과 실제 참 값을 비교하기 위하여 절대백분율오차평균(MAPE : Mean Absolute Percentage Error)을 이용하였다. <표 1>과 같이 MAPE의 값은 최저 0.791부터 최대 1.501까지 계산 되었으며 평균적으로 1퍼센트 정도의 오차를 가지는 것으로 분석되었다. 또한 칼만 필터링을 이용하여 개

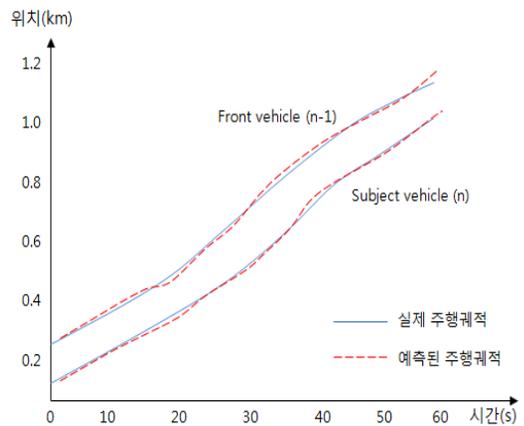
<표 1> 칼만 필터링을 이용한 속도예측 사례 결과

차량 ID	MAPE	차량 ID	MAPE
1	1.501	11	1.336
2	0.828	12	0.916
3	1.110	13	0.804
4	0.819	14	0.846
5	0.805	15	0.791
6	1.038	16	1.270
7	0.797	17	1.024
8	1.465	18	0.945
9	1.114	19	1.280
10	0.895	20	1.406
		평균	1.050

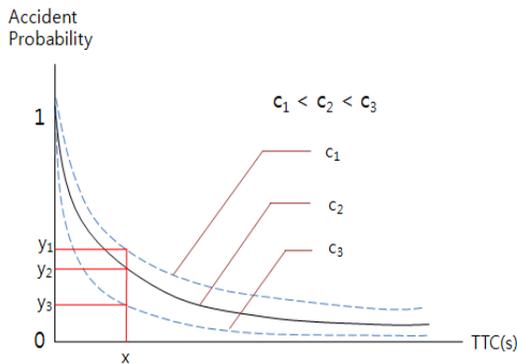
별차량 주행궤적의 위치를 예측한 결과는 <그림 4>와 같이 나타났다.

2. 후미추돌 확률 추정

도로 위를 주행하는 차량은 현재 주행 중인 차선과 이웃한 차선을 주행하는 차량들과의 차량추종과 차로변경에 의하여 상호작용이 계속적으로 발생한다. Subject vehicle(n)은 front vehicle(n-1)을 front spacing(S_n^{n-1})간격으로 따라간다. Subject vehicle은 front vehicle과의 충돌을 피하기 위하여 차선을 변경하거나 속도를 감소시킬 수 있다. 또한, front vehicle은 subject vehicle과의 충돌을 피하기 위하여 차선을 변경하거나 속도를 가속할 수 있다. 그러므로 후미추돌 사고는 subject vehicle과 front vehicle이 현재 주행 차로와 주행 속도를 유지할 경우에 발생한다. Subject



<그림 4> 칼만 필터링을 통한 주행궤적 예측



〈그림 6〉 Exponential decay function의 예

$$Pr^{(t)}(C_{n-1}^n | TTC_{n-1}^n) = \exp\left(-\frac{1}{c} \left(\frac{S_n^{n-1}(t)}{V_n(t) - V_{n-1}(t)}\right)\right) \quad (6)$$

모니터링하는 구간의 특성에 따라 식(6)의 c 값을 변경하여 사용할 수 있다. 예를 들면 사고의 빈도가 높게 나타나는 구간에서는 낮은 값의 c 를 사용하는 것이 바람직할 것이다.

$$Pr^{(t)}(Crash_{n-1}^n) = \left[\frac{\exp[f(X_n, \beta)]}{1 + \exp[f(X_n, \beta)]} \right] \times \left[\frac{\exp[f(X_{n-1}, \beta)]}{1 + \exp[f(X_{n-1}, \beta)]} \right] \times \left[\exp\left(-\frac{1}{c} \left(\frac{S_n^{n-1}(t)}{V_n(t) - V_{n-1}(t)}\right)\right) \right] \quad (7)$$

〈표 2〉 차로변경 모형 로지스틱 회귀분석 결과

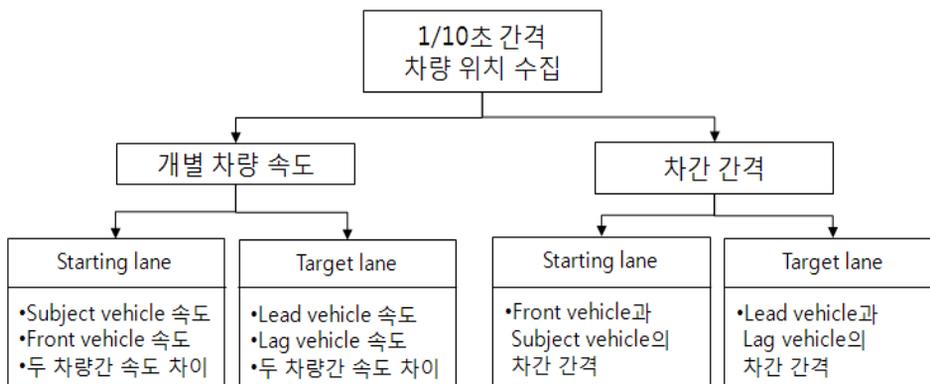
변수	β	표준오차	Wald 통계량	유의확률	Exp(β)
V_{n-1}	0.045	0.021	4.499	0.034	1.046
S_n^{n-1}	0.046	0.017	7.356	0.007	1.047
V_k	0.083	0.028	8.722	0.003	1.086
S_k^{k-1}	-0.023	0.010	4.879	0.027	0.977
Constant	-11.475	2.992	14.713	0.000	0.000

• Model Chi-square: 42.024 • -2 log potential: 93.833 • 유의확률 : 0.000
 • Nagellerke R-square: 0.465 • 분류정확도: 78.6 %

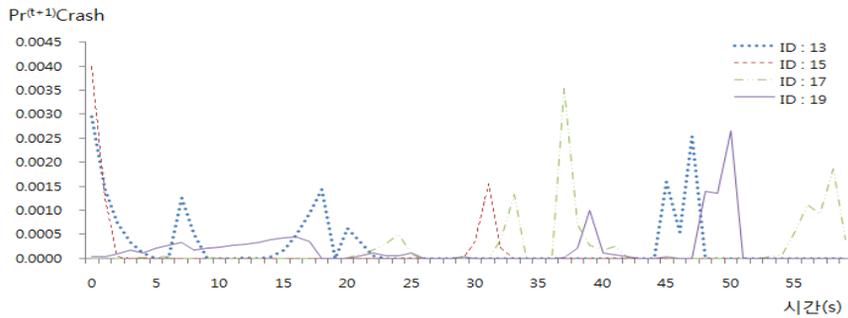
Subject vehicle과 front vehicle의 차로변경과 두 차량 사이의 상충이 독립적이라고 가정하면, 현재시점 t 에서 후미추돌이 발생할 잠재성은 식(4)와 식(6)에 의해서 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

본 연구에서는 위의 방법론을 적용하기 위하여 서해안고속도로 매송 IC 구간 1시간의 교통상황 동영상을 이용하였다. 직선 3차로 구간의 자료를 수집하였으며, 영상 편집프로그램인 Premier Pro 2.0을 이용하여 1/10초 단위로 개별차량의 주행궤적 자료를 수집하였다. 개별차량의 위치, 속도와 차간간격은 〈그림 7〉의 과정으로 추출되었다.

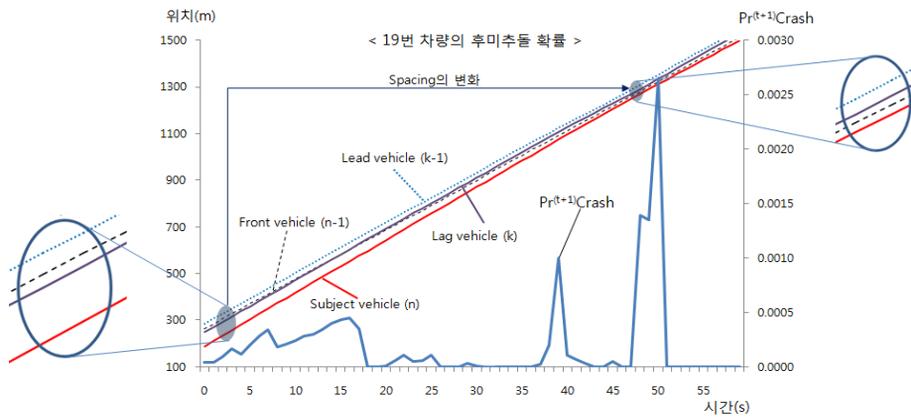
통계 소프트웨어인 SPSS를 이용하여 개별차량의 주행궤적을 분석하였다. subject vehicle의 차로변경 모형을 생성하기 위하여 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 분류정확도를 0.5로 하여 분석한 결과 〈표 2〉와 같이 나타났다. 모형의 Chi-square 통계량은 42.024로 높게 나타났으며 R^2 통계량은 0.465로 나타났다. 또한 유의확률은 0.000으로 모형이 통계적으로 유의성을 가지는 것으로 나타났다. 산출한 모형식에 유의한 변수는 front



〈그림 7〉 동영상 분석을 통한 개별차량 주행궤적 자료 처리 순서



〈그림 8〉 주행궤적 예측을 통한 후미추돌 확률 추정



〈그림 9〉 Spacing 변화에 따른 후미추돌 확률

$$Pr(NZC_n|X) = \frac{1}{1 + \exp(-0.045 V_{n-1} - 0.083 V_k - 0.046 S_n^{n-1} + 0.023 S_k^{k-1} + 11.475)} \tag{8}$$

vehicle의 속도(V_{n-1}), front spacing (S_n^{n-1}), lag vehicle의 속도(V_k), lead-lag spacing (S_k^{k-1})이 유의 수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다. 차로변경을 하지 않을 모형(Non-Lane Changing Model)에서 V_{n-1} , V_k , S_n^{n-1} 의 계수는 음수로 나타났으며, 이는 front spacing이 좁고 front vehicle의 속도가 느릴수록 subject vehicle의 차로변경을 할 개연성이 높아진다는 것을 의미한다. 또한, lag vehicle의 속도가 느리고 lead-lag spacing이 클 경우 차로변경을 할 확률이 높아지게 된다는 것을 의미한다. 이항 로지스틱 회귀분석에 따른 Non-Lane Changing 확률 모형은 식(8)과 같다.

IV. 분석결과

본 연구에서 제시한 차량 주행궤적 예측을 통한 후미

추돌 확률기법의 적용성을 평가하기 위하여, 미시적 교통시뮬레이터인 VISSIM에서 시뮬레이션을 통하여 수집한 개별차량의 주행궤적 데이터를 적용하였다. 시뮬레이션을 통해 추출한 개별차량의 주행궤적을 칼만 필터링을 이용하여 다음시점의 위치와 속도를 예측하였으며, 예측된 위치와 속도를 본 연구에서 제시한 후미추돌 확률 모형에 대입하여 〈그림 8〉과 같이 시간에 따른 후미추돌 확률을 산출하였다.

본 연구에서 제시한 후미추돌 확률 모형은 차로변경을 하지 않을 확률과 TTC에 의한 추돌 확률 모형으로 구성되어있다. 그러므로 후미추돌 확률에 유의미하게 적용되는 변수는 개별차량의 속도와 각 차간 간격이다. 따라서 front vehicle과 lag vehicle의 속도, 그리고 각 차량 간격들에 따라 후미추돌 확률의 값이 달라지게 된다. 〈그림 9〉는 spacing에 따른 후미추돌 확률의 변화를 보여준다. 시간이 지나면서 subject vehicle이 front

vehicle에 접근함에 따라 front spacing이 줄어들게 되어 후미추돌의 확률이 증가하는 현상을 보여주고 있다. 마찬가지로 lead vehicle과 lag vehicle의 차간 간격이 좁아짐에 따라 후미추돌의 확률이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 subject vehicle, front vehicle, lag vehicle 각각의 속도에 따라서도 후미추돌의 확률은 변하는 것으로 확인되었다.

IV. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 현재시점(t)의 차량의 주행궤적을 이용하여 다음시점(t+1)의 주행궤적을 예측함으로써 차량의 후미추돌 확률을 계산하는 방법을 제시하였다. Non-lane changing 확률모형과 TTC를 이용한 확률모형을 이용하여 개별차량의 후미추돌 확률 모형을 생성하였고, 이를 VISSIM 시뮬레이션 결과를 이용하여 적용시켰다. 분석결과 subject vehicle, front vehicle, lag vehicle의 속도와 각 차간 간격이 후미추돌 확률 모형에 유의미하게 작용하는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 제시한 방법론은 현재가 아닌 다음시점의 교통상황을 추정하여 안전도 지표를 계산한다는 방법을 제시하였다는 것에 그 의의를 둘 수 있다.

본 연구에서는 서해안고속도로에서 수집한 동영상 자료를 이용하여 차로변경 모형을 생성하였다. 그러나 연구에 사용한 동영상 자료는 특정 구간 및 특정시간에 수집한 자료로써 연속류 도로 전체에 대한 대표성을 가지기에는 어려움이 있다. 또한 TTC로 인한 후미추돌 확률을 생성하기 위하여 사용한 exponential decay function에서 이용된 c값에 대한 연구도 추가적으로 수행하여, 각 구간 특성에 맞는 신뢰성 있는 모형의 구축이 필요하다.

본 연구에서는 개별차량 주행궤적의 예측을 위하여 칼만 필터링 모형을 적용하였다. 그러나 한 단계의 미래 시점만을 예측하여 후미추돌 확률을 산출하였으므로 현실에 적용하는데 어려움이 따를 수 있다. 따라서 좀 더 신뢰성 있는 예측모형을 생성하기 위한 예측기법 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 연구에서 제시한 후미추돌 확률 모형을 평가하기 위하여 적용한 VISSIM 시뮬레이션 데이터는 실제상황이 아닌 가상의 데이터이기 때문에 현실과는 다른 결과를 나타낼 수도 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 방법론의 검토를 위해 실제 사고 자료의 전후 주행궤적 자료를

이용하여 제시한 기법의 적절성에 대한 평가가 이루어져야 한다.

본 연구의 결과는 교통류 감시, 제어 및 정보 시스템에 효과적으로 적용될 수 있으며, 나아가 교통사고 예방에 효율적인 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제63회 학술발표회 (2010.10.29)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 김준형 · 송태진 · 오철 · 성낙문(2008), “개별차량 주행패턴 분석을 통한 교통사고 위험도 분석 기법”, 대한교통학회지, 제26권 제5호, 대한교통학회, pp.51~62.
2. 오철 · 조정일 · 김준형 · 오주택(2007), “영상기반 실시간 후미추돌 위험도 분석기법 개발”, 대한교통학회지, 제25권 제5호, 대한교통학회, pp.173~182.
3. 정성봉 · 송기환 · 박창호 · 전경수 · 고승영(2004), “미시적 주행행태를 반영한 후미추돌위험 평가모형 개발”, 대한교통학회지, 제22권 제6호, 대한교통학회, pp.133~144.
4. 최지은 · 류병용 · 배상훈 · 강승필(2009), “차량간 안전거리를 고려한 차로변경 모형개발”, 대한교통학회지, 제27권 제6호, 대한교통학회, pp.109~118.
5. Abdel-Aty, M., Abdelwahab, H.T.(2003), “Configuration analysis of two vehicle rear-end crashes”, Transportation Research Record 1840, pp.140~147.
6. Hourdos, J., Garg, V., Michalopoulos, P.G., Davis, G.A.(2006), “Real-time detection of crash-prone conditions at freeway high-crash locations”, Transportation Research Record 1968, pp.83~91.
7. Hu, W., Xiao, X., Xie, D., Tan, T.(2004), “Traffic accident prediction using 3-D model-based vehicle tracking”, IEEE Transactions on Vehicular Technology 53(3), pp.677~694.
8. Jose L. Bascunana(1995), “Analysis of Lane Change Crash Avoidance”, Systems and

- issues in ITS, pp.34~44.
9. Kim, J., Wang, Y., Ulfarsson, G.F.(2007), "Modeling the probability of freeway rear-end crash occurrence", *Journal of Transportation Engineering* 133(1), pp.11~19.
 10. Krishnan, H.m., Gibb, S., Steinfeld, A., Shladover, S.(2001), "Rear-end collision warning system", *Transportation Research Record* 1759, pp.52~60.
 11. Oh, C., Oh, J., Min, J.(2009), "Real-time detection of hazardous traffic events on freeways", *Transportation Research Record* 2129, pp.35~44.
 12. Oh, C., Park, S., Ritchie, S.G.(2006), "A method for identifying rear-end collision risks using inductive loop detectors", *Accident Analysis and Prevention* 38, pp.295~301.
 13. Ozbay, K., Yang, H., Bartin, B., Mudigonda, S.(2008), "Derivation and validation of new simulation-based surrogate safety measure", *Transportation Research Record* 2083, pp.105~113.
 14. Pande, A., Abdel-Aty, M.(2006), "Comprehensive analysis of the relationship between real-time traffic surveillance data and rear-end crashes on freeways", *Transportation Research Record* 1953, pp.31~40.
 15. Saccomanno, F.F., Cunto, F., Guido, G., Vitale, A.(2008), "Comparing safety at signalized intersections and roundabouts using simulated rear-end conflicts", *Transportation Research Record* 2078, pp.90~95.
 16. Saunier, N., Sayed, T.(2008), "Probabilistic framework for automated analysis of exposure to road collisions", *Transportation Research Record* 2083, pp.96~104.
 17. Takashi Wakasugi(2005), "A study on warning timing for lane change decision aid systems based on driver's lane change maneuver", *Japan Automobile Research Institute*, pp.1~7.
 18. Wang, X., Abdel-Aty, M.(2006), "Temporal and spatial analysis of rear-end crashes at signalized intersections", *Accident Analysis and Prevention* 38, pp.1137~1150.

✉ 주 작성자 : 김태진

✉ 교신저자 : 오철

✉ 논문투고일 : 2010. 11. 10

✉ 논문심사일 : 2011. 2. 25 (1차)

2011. 4. 13 (2차)

2011. 4. 25 (3차)

✉ 심사판정일 : 2011. 4. 25

✉ 반론접수기한 : 2011. 10. 30

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필