

■ 論 文 ■

영상기반 실시간 후미추돌 위험도 분석기법 개발

Methodology for Evaluating Real-time Rear-end Collision Risks based on Vehicle Trajectory Data Extracted from Video Image Tracking

오 철

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

조정일

(한양대학교 교통시스템공학과 석사과정)

김 준 형

(한양대학교 교통시스템공학과 석사과정)

오 주 택

(한국교통연구원 책임연구원)

목 차

- | | |
|--|---|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 국내외 관련 연구 고찰</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 국외 상충관련 연구고찰</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 국내 상충관련 연구고찰</p> <p style="padding-left: 20px;">3. Research Opportunity</p> <p>III. 방법론</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 배경</p> <p style="padding-left: 20px;">2. SDI 도출 및 응용</p> | <p style="padding-left: 20px;">3. TTC 도출 및 응용</p> <p>IV. 방법론 적용</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 자료수집</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 자료분석</p> <p style="padding-left: 20px;">3. Discussion</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|--|---|

Key Words : 교통안전, 후미추돌 위험도, 주행궤적, 차량이미지추적, 안전도 평가
 Traffic Safety, Rear-end Collision Risk, Vehicle Trajectory, Vehicle Image Tracking, Safety Evaluation

요 약

기존의 교통안전도 평가 방법은 이력자료에 대한 의존도가 높았기 때문에, 실시간 모니터링 환경에서는 교통안전 평가에 한계가 있었다. 그러나 최근 급속한 센서 및 통신기술의 발달은 개별차량의 주행궤적과 같은 미시적 자료 수집이 가능한 환경을 제공하게 되었다. 이런 미시적 자료수집이 가능한 환경을 최대한 반영하기위해, 본 연구에서는 영상 이미지 트래킹을 통해 추출되는 개별차량의 주행정보와 기존 교통상충분석기법을 응용한 실시간 교통안전 평가 방법론을 제시하였다. 차량 간 안전거리 개념을 반영한 RSI(Real-time Safety Index)와 첨단안전차량의 효과 및 성능평가 등에 주로 사용되는 TTC(Time-To-Collision) 개념을 추출된 차량 주행정보에 적용한 실시간 교통안전 평가 방법론을 개발하였다. 본 연구에서 제시된 방법론은 향후 교통사고 분석 및 실시간 안전평가를 위한 자료수집이 가능한 검지시스템의 개발과 평가 등에 효과적으로 활용될 것으로 기대된다.

An innovative feature of this study is to propose a methodology for evaluating safety performance in real time based on vehicle trajectory data extracted from video images. The essence of evaluating safety performance is to capture unsafe car-following events between individual vehicles traveling surveillance area. The proposed methodology applied two indices including real-time safety index (RSI) based on the concept of safe stopping distance and time-to-collision (TTC) to the evaluation of safety performance. It is believed that outcomes would be greatly utilized in developing a new generation of video images processing (VIP) based traffic detection systems capable of producing safety performance measurements. Relevant technical challenges for such detection systems are also discussed.

본 연구는 건설교통부 국가교통핵심기술개발 사업(2006) 『U-Safety 교통사고감시 및 분석시스템 기술 개발』과제의 지원으로 수행되었음.

I. 서론

최근 각종 센서 및 통신기술의 발달은 보다 미시적이고 비집계(disaggregated)된 교통자료의 취득을 가능하도록 하였다. 대표적인 사례로서 차량추적을 통한 개별차량의 주행궤적자료(vehicle trajectory)를 들 수 있다. 개별차량의 주행궤적 자료는 현재의 기술수준으로 개별차량에 GPS 수신장치 및 관련 시스템을 장착하여 추출하는 방법과 인프라 기반으로 차량의 영상 이미지를 트랙킹하여 추출하는 두 가지 방안이 제시되고 있다. 이러한 개별차량의 주행궤적 자료는 교통운영 및 관리를 위한 전략 및 알고리즘 개발을 위한 입력자료로서의 활용성이 다각적으로 검토되고 있다.

교통사고를 예방하고 사고발생으로 인한 심각도를 최소화하기 위한 교통안전분야의 관련 연구는 교통운영 및 제어분야에 비해 최신의 교통모니터링 시스템을 응용하는 사례가 상대적으로 많지 않다. 이는 기존의 안전관련 연구들이 기술적인 콘텐츠보다는 정책적 및 제도적 의사결정을 지원하는 내용위주로 진행되면서 이러한 최신의 검지기술을 통해 얻어지는 실시간의 미시적 교통자료보다는 거시적인 이력자료의 활용에 초점을 맞춰왔기 때문이라고 볼 수 있다.

도로를 주행하는 모든 차량들은 끊임없이 차량추종 및 차로변경 등의 미시적 교통이벤트들로 구성된 상호작용을 지속적으로 수행하며 목적지까지 주행한다. 교통사고는 이러한 상호작용이 차량의 내적인 또는 외적인 영향요소로 인해 불안정해지고, 운전자의 차량통제가 불가능해지는 일정수준 이상의 불안정성하에서 발생하는 대단히 랜덤하고 순간적인 이벤트라고 할 수 있다. 따라서 개별차량의 주행궤적을 모니터링하면서 차량 간의 상호작용의 안전성 여부를 분석하는 것은 교통사고의 원인을 분석하고 대응책을 도출하기 위한 기초 작업이라고 할 수 있다.

최신의 센서기술과 유무선 통신기술의 발달은 교통류의 안전도를 실시간으로 평가할 수 있는 환경을 구현해 주고 있다. 이러한 환경을 적극 활용하여 보다 신뢰성 있는 안전도 평가를 실시간으로 수행할 수 있게 되면, 평가된 안전도를 추가 가공하여 운전자의 안전운전을 유도할 수 있도록 새로운 유형의 교통정보 콘텐츠의 개발이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 다양한 상용기술의 개발이 활발히 진행되고 있는 차량의 영상이미지 분석(VIP: Video Image Processing) 시스템의 출력자료를 이용하여 실시간 교통모니터링 환경하에서 교통안

전도를 평가할 수 있는 방법론을 정립하는 연구를 수행하였다. 교통안전도 평가를 위해서는 교통상충을 차량의 영상이미지로부터 추출된 개별차량의 주행궤적 자료를 활용하는 방안을 새로이 제안하였다.

국내외 발표된 기존의 교통상충 관련 연구를 고찰하여, 본 연구의 목적에 부합하는 상충을 도출하고, 이를 실시간 환경에서 분석 가능하도록 새롭게 정의하였다. 본 연구에서 제안하는 방법론은 향후 교통사고의 원인 및 영향 분석, 운전자에게 적정한 교통안전 관련 정보를 제공하기 위한 시스템 개발, 사고다발지점 및 위험지역 분석 등을 위한 기초자료로 유용하게 사용될 것으로 기대된다. 2장에서는 국내외 관련 연구 고찰, 3장에서는 본 연구에서 제안하는 방법론에 대한 보다 깊이 있는 설명, 4장에서는 제안된 방법론을 실제 영상자료로부터 추출한 개별차량 자료를 이용하여 평가해 보고 관련된 기술적 이슈를 정리하였다. 마지막 5장에서는 본 연구의 결과 요약과 함께 실시간 모니터링 환경에서 교통안전도 평가를 위해 수반되어야 할 추가연구를 정리하였다.

II. 국내외 관련 연구 고찰

국내외 관련 연구고찰은 교통상충분석과 관련된 내용 위주로 수행하였다. 국내외 관련 연구고찰의 주요 목적은 본 연구에서 제안하는 방법론에 적용될 수 있는 교통상충을 도출하기 위한 것이다.

1. 국외 상충관련 연구고찰

Perkins 등(1968)은 교통상충지표라고 하는 것은 교통사고 가능성의 척도라고 정의하면서, 교통상충을 잠재적 사고상황으로 정의하여 교차로 사고형태에 따라 20가지 이상의 객관적인 교통상충 기준들을 제시하였다. 이러한 교통상충들은 급제동이나 엇갈림과 같은 교통사고 예방을 위한 필수적인 회피행동의 발생으로 정의되며, 임박한 사고 상황 또는 교통위반 등의 이벤트에서 운전자에 의해 나타난다고 기술하였다. Paddock(1974)은 Ohio州에서 220개 신호교차로와 391개의 비신호교차로를 대상으로 교통상충기법을 적용하여 안전도평가를 수행하고 결과를 보고한 바 있다. Trantonio et al.(2005)은 보행자와 차량 간의 상충분석 기법을 최초로 제안하였다.

Hyden (1996)에 의하면 교통상충분석 기법의 일종

으로 1971년 미국의 Hayward가 처음으로 차량추종상황에서 선행 및 후행차량의 속도가 현 상태를 유지하는 경우 충돌이 발생할 수 있는 시간간격을 time-to-collision (TTC)으로서 정의한 것으로 보고하였다. TTC는 주로 충돌방지 및 감속순항제어(ACC: automatic cruise control) 기술의 성능평가를 위해 사용되어 왔다. TTC와 유사한 safety indicator로서 충격파 진수 (VanArem and DeVos, 1997), time to- accident (TTA), post-encroachment-time(PET), deceleration-to- safety-time (DTS) 등이 관련연구 (Hyden, 1996; Topp, 1998)에서 발표되었다. 한편, Oh et al (2006) 등에 의해 발표된 최근의 논문에서는 기존의 접근방법과는 차별화되는 기법을 소개하였는데, 루프검지기에서 수집된 개별차량의 자기신호자료를 이용하여 후미추돌가능성을 정량화하는 방법론을 제안하였다.

2. 국내 상충관련 연구고찰

하태준 등(1998)은 교통상충기법을 사용하면 신호교차로에서 사고위험정도를 효과적으로 예측하고 평가할 수 있기 때문에 교통사고가 잦은 지점의 선정이나 교통사고 감소대책을 위한 도로개선 우선순위를 정할 때 객관적이며 효과적으로 계산할 수 있다고 제시하였다. 김현상 (1997)은 추돌유형상충은 선행차량의 제동에 대하여 추종차량 급제동이 요구되는 상황으로서 안전차두시간을 1.30초 이하를 기준으로 할 때, 상충수와 교통사고 발생의 빈도수가 높게 나타나는 것으로 보고하였다. 이수범 등 (1999)은 교차로 및 짧은 도로구간에서 이용할 수 있는 상충조사기법과 분석방법을 소개하고, 상충진수별로 위험순위 결정하는 방법을 국내 교통환경에 부합하도록 응용하고, 사례연구로서 심각한 상충진수와 사고진수간의 관계성을 규명하였다. 김원철 등(2002)은 퍼지추론을 상충 분석 기법에 응용하는 방법론을 제시하였다. 한편 최근의 연구로 이기영(2006)은 총 7개의 엇갈림구간에서 발생하는 상충유형과 그 빈도수를 추정하기 위해 현장조사를 실시하고, 해당구간의 기하구조 및 교통조건과 상충과의 연관성을 고려한 일반화된 상충추정모형을 개발하였다.

3. Research Opportunity

상충기법에 관한 연구는 교통류 간에 상충이 생길 가

능성이 많은 지점인 교차로, 엇갈림구간, 횡단보도 등에서의 사고가능성 예측과 각각의 구간의 안전도 평가를 위해서 수행되어왔다. 기존 상충해석에 의한 도로의 안전성을 분석하는 방법은 주로 단속류인 평면교차로에서의 연구가 대부분이었다. 반면에 연속류인 고속도로에서는 조사구간이 넓고 현장 조사를 수행하기가 어려운 단점이 있어 이에 대한 적용사례는 많지 않다. 또한 기존의 연구는 상충측정 시 훈련된 조사원이나 비디오 촬영을 통한 사람에 의한 분석으로 주관적인 견해에 따라 상충을 구분하였기 때문에, 상충자료의 신뢰성에 문제점이 제시되고 있다. 이에 따라 객관적인 상충측정기준이 필요하다.

최근의 연구 (Oh et al (2006), Malkhamah (2005))를 살펴보면 관찰자에 의한 관찰이 아닌 검지기를 이용한 데이터를 수집하여 이를 상충의 지표로 사용하는 연구들을 볼 수 있다. 그러나 루프검지기과 같은 지점검지체계를 이용한 분석에 그쳐, 도로구간을 주행하는 차량간의 상호작용의 분석에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 이기영 (2006)의 연구는 차량의 영상이미지를 이용한다는 측면에서 본 연구와 가장 유사한 접근방법을 적용한 것으로 판단되나, 강제적인 차로변경이 요구되는 엇갈림구간에서의 상충분석에 연구의 초점이 맞추어져 있다. 따라서, 개별차량의 주행궤적을 이용하여 교통안전도를 평가하기 위한 방법 개발을 위해서 기존의 교통상충기법이 효과적으로 활용될 수 있다. 또한, 실시간 환경에 적용 가능한 차량간 상충 이벤트를 정의하고 이를 이용하여 교통안전도를 계량화 할 수 있는 방법론의 개발이 필요하다고 하겠다.

III. 방법론

1. 배경

교통상황의 안전도를 평가하는 전통적인 방법은 실제 도로에서 발생한 교통사고 자료를 기반으로 교통사고발생원인 및 교통사고 피해심각도 등을 분석하는 기법이다. 그러나 이러한 기법은 장기간에 걸쳐 누적된 교통사고 및 교통 관련 자료와 같은 이력자료를 활용해야 하므로, 본 연구의 주요 목적인 실시간 모니터링 환경에서의 안전도평가에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로 본 연구에서는 기존의 차량 영상 이미지 트랙킹을 통해 추출되는 개별차량의 주행정보와 기존의 교통상충분석기법을 응용하여 교통안전도를 평가할 수 있

는 방법론을 제시하였다. 본 연구에서는 차량의 영상이 미지 트래킹 시스템으로부터 실제 주행궤적 자료의 수집이 가능하다는 전제하에 연구를 수행하였다.

최신의 surveillance infrastructure를 이용한 교통안전도 평가를 위해서 대두되는 중요이슈는 교통안전도 평가를 위한 surrogate measure의 개념 정립이다. surrogate measure는 교통류의 특성을 미시적 및 거시적인 관점에서 다각적인 분석을 통해 얻어질 수 있으며, 교통사고 발생을 암시할 수 있는 또는 교통사고발생을 유도하는 변수로서 정의될 수 있다. 과거에 교통변수의 이력 자료 분석에 기반을 둔 연구에서는 자료 분석의 resolution 상 교통사고와 교통자료의 맵핑이 비교적 손쉽게 이루어질 수 있었다. 또한 거시적 교통이력자료의 분석에서는 이러한 surrogate measure에 대한 개념 및 분석의 필요성이 크게 대두되지 못하였다. 그러나 현재 및 장래의 traffic surveillance capability는 실시간으로 위험한 교통상황을 검지할 수 있도록 개별차량의 주행정보와 같은 세밀한 자료를 제공해 줄 수 있으므로, 이러한 자료를 활용하여 교통안전도를 평가할 수 있는 방법론 개발의 필요성이 크게 대두된다고 할 수 있다. 이를 위해 surrogate measure의 정의 및 활용은 교통안전도 평가를 실시간으로 가능하게 하는 기반 작업이라고 할 수 있다. 실시간 환경에서 수집 및 분석이 가능한 surrogate measure는 real-time surrogate measure(RSSM)로 불려질 수 있으며, 교통안전도 평가 및 분석 시스템의 입력자료로 사용될 수 있다. 이렇게 정의된 RSSM은 결국 실시간 모니터링환경에서 교통상충과 같은 개념으로 해석될 수 있다. 따라서 실시간 환경에서 적용 가능하도록 기존의 교통상충분석 기법을 응용할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 차량 간의 안전거리 개념을 반영한 후미추돌상충 기반 RSSM 과 첨단안전차량의 효과 및 성능 평가 등에 주로 사용되어온 Time-To-Collision(TTC)를 이용한 RSSM을 제시하였다. 차량의 영상 추적을 통한 개별차량의 주행궤적 자료를 활용하여 두 가지 RSSM을 효과적으로 관측 및 분석하는 기법을 제시하였다는 데 본 연구의 의의가 있다고 하겠다.

2. SDI 도출 및 응용

차량추종 이벤트 상에서 선행차량(leading vehicle)이 급정거를 하는 경우 후행차량(following vehicle)이 충분한 안전이격거리를 확보하지 않은 경우 최대 감속속

로 감속을 한다고 가정하더라도 선행차량과의 물리적인 충돌을 회피할 수 없게 된다. 본 연구에서는 이러한 차량추종상황을 불안정한 이벤트로 정의한다. 각 차량의 차량추종상황을 실시간으로 모니터링하여 안전도를 평가한다. 이를 위해서는 개별차량의 속도, 위치, 선행 및 후행차량간의 이격거리를 지속적으로 수집할 수 있는 모니터링할 수 있어야 하는데, 이는 영상기반 차량추적으로 인해 달성 가능하다.

영상기반 차량추적을 수행하는 경우 비디오 카메라로 동시에 관측 가능한 도로구간이 존재하며, 이 도로구간을 주행하는 모든 차량에 대해 안전거리 기반의 RSSM을 산출한다. 특정 차량이 영상모니터링 구간내에 진입하는 시점부터 모니터링 구간을 진출하는 시간 동안 후행차량과의 차량추종관계를 지속적으로 분석한다. 일반적으로 도로구간을 동영상 촬영하는 경우 실제로 수집되는 자료는 짧은 시간 간격 동안의 사진자료로서 (예를 들어 30frame/1sec), 특정차량이 모니터링 구간을 통과하는 데 소요된 통행시간이 10초라면 300 frame의 사진 자료의 이미지 프로세싱을 통한 차량의 위치 및 위치별 시간을 추출하여 분석한다. 각 frame별로 안전거리에 따른 안전성 여부를 판단하고 관찰영역내 총주행시간에 대해 집계한다. 이러한 절차를 의해 분석된 각 차량의 자료는 분석가의 요구에 의해 주어진 집계간격으로 (예를 들어, 1분, 5분 등) 추가 집계될 수 있다. <그림 1>에 분석절차를 도식화하였다.

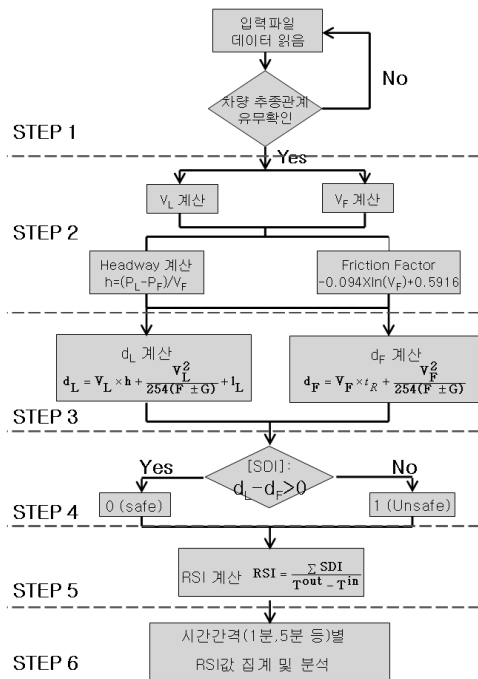
1) STEP 1 : 관찰영역의 차량존재여부 확인

관찰영역 내의 각각 차로별로 두 차량 이상이 존재해야 추종관계가 성립하므로 각각 차로별로 두 차량이상이 관찰되고 있는지 여부를 확인한다.

2) STEP 2 : 교통변수 산출

실시간 영상검지기에서 1/m초 단위로 차량의 위치변화를 감지할 수 있으므로, 선행차량 속도(V_L) 및 후행차량의 속도(V_F)는 식(1)과 식(2)와 같이 위치와 시간차이를 이용하여 산출한다.

그리고 수집된 선·후행차량의 위치, 이격거리 자료를 이용하여 식(4)와 식(5)를 각각 이용하여 Headway(h)와 Friction factor(F)를 산출한다. 여기서 식(4)는 관련문헌(Roess et al, 2004)에서 제시된 마찰계수와 속도와의 관계를 단순회귀분석을 이용하여 수식화한 것이다.



〈그림 1〉 RSI산출을 위한 알고리즘

$$V_L = \frac{\text{선행 차량의 위치변화}}{1/m\text{초}} \quad (1)$$

$$V_F = \frac{\text{후행 차량의 위치변화}}{1/m\text{초}} \quad (2)$$

$$h = \frac{\text{차간간격}}{V_F} \quad (3)$$

$$F = -0.0914 \ln(V_F) + 0.5916 \quad (4)$$

V_F : 후행차량속도(km/h)

V_L : 선행차량속도(km/h)

3) STEP 3 : 정지거리 계산

STEP 2에서 계산된 교통변수(속도, Headway, Friction factor)를 이용하여 식(5)와 식(6)을 이용하여 선행차량의 정지거리(d_L) 및 후행차량의 정지거리(d_F)를 각각 산출한다.

$$d_L = V_L \times h + \frac{V_L^2}{254(F \pm G)} + l_L \quad (5)$$

$$d_F = V_F \times t_R + \frac{V_F^2}{254(F \pm G)} \quad (6)$$

t_R : 인지반응시간(1.7s)

l_L : 선행차량의 길이(m)

4) STEP 4 : 안전성 판단

산출된 선·후행 차량의 정지거리 (d_L , d_F)를 이용하여 실시간으로 분석대상 차량추종이벤트의 교통안전도(안전 or 불안전)를 평가한다. 안전도 평가를 위해 본 연구에서는 안전도평가지표(SDI: Safety Distance Index)를 식(7)과 같이 정의한다. SDI는 각각의 차량추종 이벤트에 대해 time frame별로 판단되어 개별차량의 모니터링 구간을 주행하는 동안 누적된다.

$$SDI = \begin{cases} 0 \text{ (safe)}, & \text{if } d_L - d_F > 0 \\ 1 \text{ (unsafe)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

5) STEP 5 : 개별차량의 RSI 산출

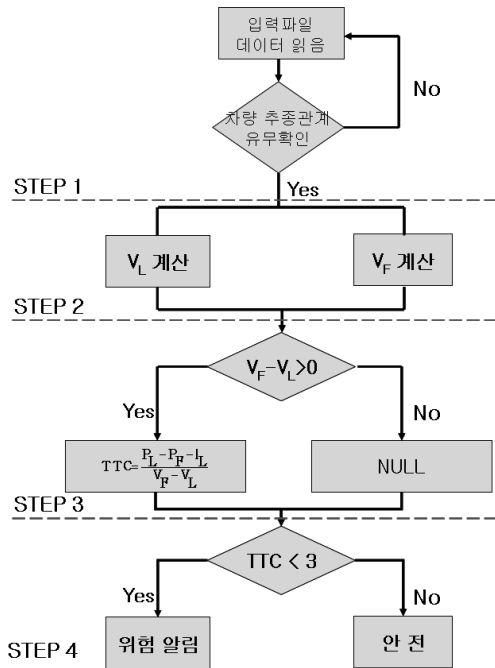
STEP 4의 매시간 누적합산된 SDI 값을 식(8)에서와 같이 전체 관찰영역을 주행하는데 걸린 총시간에 대한 누적 SDI값의 비율로서 나타내고, 이를 관찰차량 k 에 대한 실시간 안전성지표 (RSI: Real-time Safety Index)로 정의한다. 여기서 관찰영역의 총주행시간은 매 1/30초 프레임의 동영상을 분석하여 차량의 진입과 진출을 인식한 후 산출한다. 따라서 누적 SDI 값을 분자로 총주행시간을 분모로 하는 RSI는 관찰영역을 주행한 차량이 불안정한 상황에 노출되는 시간의 비율을 의미한다.

$$RSI_k = \frac{\text{관찰영역의 총 Unsafe 시간}}{\text{관찰영역의 총주행시간}} = \frac{\sum SDI_i}{T_k^{\text{진출}} - T_k^{\text{진입}}} \quad (8)$$

3. TTC 도출 및 응용

TTC(Time-To-Collision)는 1971년 미국의 Hayward 에 의해 최초 정의된 개념으로 다음과 같이 정의된다. '개별차량의 차량추종 이벤트 상에서 following vehicle과 leading vehicle이 속도변화가 없이 현재의 속도를 유지할 경우 following vehicle의 속도가 빠르다면 충돌이 발생하게 된다. 이때 현재시점(t)와 충돌시점($t+\alpha$)간의 시간차이 α 를 TTC로 정의한다.' 정의상 TTC 값이 클수록

안전한 상태라고 할 수 있다. 한편 TTC는 일순간의 추종이벤트만을 대상으로 TTC 산출 당시의 leading vehicle과 following vehicle의 속도차이가 지속될 것이라는 가정을 가지고 있다. 본 연구에서는 TTC를 영상기반 차량추적에 적용하는 방법론을 도출하여 <그림 2>에 도식화하였다.



<그림 2> TTC 산출을 위한 알고리즘

1) STEP 1 : 관찰영역의 차량존재여부 확인

관찰영역 내의 각각 차로별로 두 차량 이상이 존재하는 경우 차량추종관계가 성립하므로 각각 차로별로 두 차량 이상이 관찰되고 있는지 여부를 확인한다.

2) STEP 2 : 교통변수 산출

선·후행차량의 속도(VL, VF)는 실시간으로 영상기반 차량추적을 통해 1/m초 단위로 차량의 위치변화를 검지하여 선·후행 차량의 각각의 속도를 산출한다.

$$V_L = \frac{\text{선행 차량의 위치변화}}{1/m\text{초}} \quad (9)$$

$$V_F = \frac{\text{후행 차량의 위치변화}}{1/m\text{초}} \quad (10)$$

3) STEP 3 : TTC 분석

TTC 분석을 위해서는 STEP 2에서 계산된 속도 중 VF가 더 클 경우에만 TTC 값을 산출한다. TTC의 값은 두 차량의 간격과 선행 차량의 길이, 두 차량의 속도차이를 이용하여 식 (11)을 적용하여 산출한다.

$$TTC_i = \frac{\Delta d(t)}{V_i(t) - V_{i-1}(t)}, \forall V_i(t) > V_{i-1}(t) \quad (11)$$

Δd : 양차량사이의 거리(m)

Δd : PL-PR(m)

PL : 선행차량의 위치

4) STEP 4 : TTC 기반 안전성 판단

사전에 지정된(Pre-defined) TTC에 대한 임계값(K)을 적용하여 안전성을 판단한다. 안전도 평가를 위해 본 연구에서는 TTC평가지표(TTCI: TTC Index)를 식 (12)과 같이 정의한다. TTCI는 각각의 차량추종 이벤트에 대해 time frame별로 판단되어 개별차량의 모니터링 구간을 수행하는 동안 누적된다. 참고로 기존의 관련연구(Hirst and Graham, 1997)연구에서는 임계값(K)을 3초로 제시한 바 있다.

$$TTCI = \begin{cases} 0 \text{ (safe)}, & \text{if } TTC > K \\ 1 \text{ (unsafe)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

추가적인 집계 및 분석은 진술한 RSI를 활용하여 같은 방식으로 수행가능하다.

IV. 방법론 적용

III장에서 제시한 방법론의 적용을 위해서는 실제 차량영상 이미지 트래킹 자료가 필요하다. 실제 현장에서 운영되는 검지시스템의 자료를 활용하는 것이 이상적인 접근이라고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 현실적인 한계로 인해 제안된 방법론의 타당성 및 추가적인 RSSM 도출을 위해 연구실에서 off-line으로 차량의 주행궤적 자료를 추출하여 적용하였다.

1. 자료수집

본 연구에서는 월곶 IC-안산 구간에서 15분간의 교통

상황을 디지털 캠코더를 이용하여 촬영하였다. 대상구간은 3차로 직선도로로서, 개별차량의 자료추출을 위해 필요한 육안식별 범위를 3차로 70m 구간으로 한정하였다.

〈그림 3〉과 같이 디지털 캠코더로 촬영한 자료를 동영상 편집기인 Premiere Pro 2.0에서 1/30초 프레임 단위로 재생 및 정지 작업을 거쳐서 자료를 추출하였다. 차선의 길이가 10m이므로 이 기준선을 토대로 개별 차량에 대한 시간별 위치 자료를 수집하였다. 아울러 영상 자료로부터 관찰영역내의 교통량과 통행시간의 총합과 통행한 구간의 총 길이를 수집하였다. (〈표 1〉참조)

〈표 1〉 차로별 자료 수집 결과

	Lane1	Lane2	Lane3
총 통행 구간 길이 (차량대수*70m) (m)	27020	25620	19140
총 통행 시간 (sec)	1111.60	1172.45	945.41
통행량 (대/15min)	386	366	272

▶ 총 통행시간 : 각 차량 당 70m 구간을 통행한 시간을 모두 합한 값



〈그림 3〉 동영상 편집 프로그램 Adobe Premiere Pro 2.0

2. 자료분석

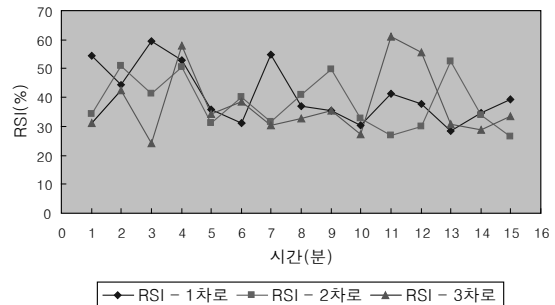
Premiere Pro 2.0을 이용하여 얻은 개별차량의 위치와 시간 데이터를 JAVA프로그램의 코딩 작업을 거쳐 개별차량의 속도와 가속도, 선후행차량의 headway, 정지거리 등의 데이터를 추출하고, SDI 및 TTC를 이용한 RSI 분석을 수행하였다. 〈표 2〉에 제시한 바와 같이 데이터분석 결과 1차로에서의 평균속도가 가장 높게 나타났고, headway는 가장 짧은 것으로 분석되었다.

SDI를 기반으로 하는 차로별 시간별 평균 RSI값을

〈표 2〉 차로별 분석 결과

	Lane1	Lane2	Lane3
평균속도 (m/s)	24.31	21.85	20.25
평균headway (sec)	2.33	2.46	3.31
교통량 Q (v/h)	4096		

정리하여 〈표 3〉에 제시하였다. SDI를 기반으로 하는 RSI는 식(8)에서 정의한 바와 같이 관찰영역을 주행한 총시간에 대한 정지거리가 충분하지 못한 상황의 시간합의 비율이다. 이를 백분율로 나타낼 수 있으며, 전체 15분 동안 대상구간의 각 차로별 1분간 평균 RSI를 도출하고 평균속도와 간격 및 headway를 〈표 3〉에 정리하였다. 분석결과에 따르면, 1차로의 경우 2-3분간의 RSI가 59.42%로서 가장 높게 나타나 다른 1분간의 시간간격 보다 교통사고 발생의 위험도가 높은 교통상황인 것으로 나타났다. 즉 이 시간 동안 1차로를 주행하던 차량이 급정거를 하게 되는 경우 교통사고 발생 개연성이 상대적으로 높게 나타남을 의미한다. 2차로와 3차로의 경우에는 각각 12-13분, 3-4분의 시간대에 RSI가 가장 높게 나타났다. 산출된 차로별 RSI의 변화 패턴을 〈그림 4〉에 도식화하였다.



〈그림 4〉 차로별 RSI 패턴 비교

TTC 를 기반으로 하는 안전도 분석을 위해서는 임계값 K를 기존의 연구(Hirst and Graham, 1997)에서 제시하고 있는 3초를 적용하였다. 3초 이하의 임계값을 나타내는 차량추종이벤트를 분석하여 〈표 4〉에 제시하였다.

분석결과 3초 이하의 TTC는 각 차로별로 전체 분석건수 대비 약 1.5% (1차로), 1.2% (2차로), 그리고 0.7% (3차로)가 발생한 것으로 나타났다. 한편, 1초 간격으로 집계한 경우 〈표 5〉에 제시한 바와 같이 각 차로에서 TTC

〈표 3〉 차로별 시간별 평균 RSI값

시간(분)	1차로				2차로				3차로			
	RSI (%)	평균 속도 (m/s)	간격 (m)	head-way (초)	RSI (%)	평균 속도 (m/s)	간격 (m)	head-way (초)	RSI (%)	평균 속도 (m/s)	간격 (m)	head-way (초)
0~1	54.29	22.44	31.32	1.65	34.12	19.71	31.58	1.94	31.2	19.58	32.58	1.94
1~2	44.35	23.4	35.16	1.75	50.91	22.31	29.08	1.58	42.44	21.82	31.8	1.78
2~3	59.42	22.86	27.13	1.45	41.09	21.62	31.43	1.79	24.13	18.75	32.98	2.1
3~4	52.88	23.74	30.06	1.51	50.46	20.33	23.95	1.45	57.9	18.88	21.51	1.43
4~5	35.64	22.62	26.87	1.39	31.18	21.2	26.09	1.52	34.25	20.05	31.98	1.9
5~6	31.23	25.37	32.16	1.47	39.93	20.51	24.94	1.45	38.4	20.12	31.82	1.82
6~7	55.0	24.09	28.94	1.38	31.46	21.46	29.01	1.6	30.23	21.17	40.86	2.13
7~8	37.1	24.6	31.93	1.49	40.92	22.07	28.64	1.52	32.6	20.4	29.46	1.73
8~9	35.46	20.79	33.82	1.87	49.66	20.34	23.74	1.41	35.38	17.44	19.9	1.54
9~10	30.49	25.36	37.21	1.64	32.83	24.56	30.31	1.52	27.07	21.53	21.78	1.3
10~11	41.05	26.58	29.03	1.28	26.64	24.84	33.95	1.54	60.9	20.76	27.36	1.55
11~12	37.75	25.49	34.5	1.54	29.81	22.54	28.93	1.56	55.75	19.19	21.81	1.41
12~13	28.41	24.62	33.84	1.6	52.65	21.14	22.91	1.31	30.79	20.66	29.31	1.68
13~14	34.44	26.92	30.65	1.29	33.82	23.57	35.85	1.79	28.7	22.13	32.94	1.71
14~15	39.12	26.81	33.12	1.43	26.5	23.54	30.18	1.57	33.62	21.27	31.41	1.77

〈표 4〉 차로별 3초이하의 TTC 발생건수

차로	0~3초 TTC발생건수	0~3초 TTC 발생비율	15분간 분석 시행 횟수
1차로	419건	1.47%	28522건
2차로	362건	1.23%	29497건
3차로	197건	0.70%	28171건

〈표 6〉 TTC=3초 전후 차량의 특성비교

요소	1차로		2차로		3차로	
	A군	B군	A군	B군	A군	B군
발생건수	419	3751	362	3894	197	2410
속도차이 (m/s)	9.9	2.86	9.21	1.92	8.49	2.06
gap(m)	18.95	27.92	18.41	25.64	18.02	27.24

*A군 (TTC 0~3초) B군(TTC 3초 이상)

〈표 5〉 차로별 시간별 TTC분포

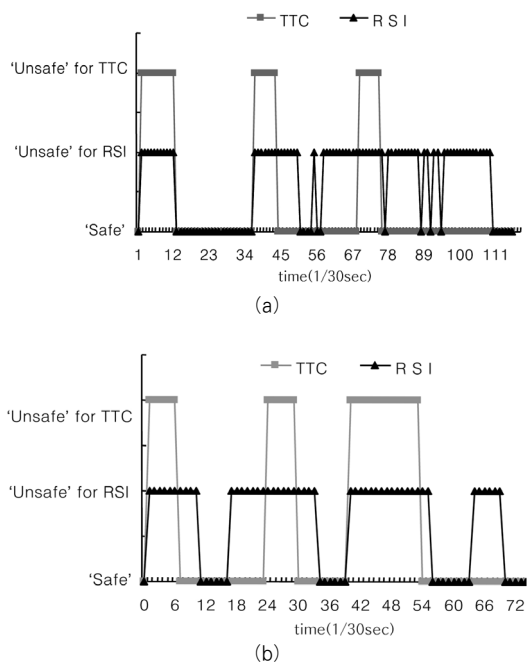
TTC분포	1 LANE		2 LANE		3 LANE	
	발생건	비율 (%)	발생건	비율 (%)	발생건	비율 (%)
0~1초	18	0.43	26	0.61	27	1.04
1~2초	172	4.12	115	2.70	21	0.81
2~3초	229	5.49	221	5.19	149	5.72
3~4초	230	5.52	107	2.51	129	4.95
4~5초	292	7.00	157	3.69	77	2.95
5~6초	438	10.50	178	4.18	148	5.68
6~7초	285	6.83	191	4.49	107	4.10
7~8초	185	4.44	217	5.10	91	3.49
8~9초	160	3.84	230	5.40	93	3.57
9~10초	140	3.36	147	3.45	136	5.22
10~11초	114	2.73	152	3.57	96	3.68
11~12초	122	2.93	211	4.96	92	3.53
12~13초	133	3.19	206	4.84	93	3.57
13~14초	115	2.76	147	3.45	72	2.76
14~15초	133	3.19	149	3.50	105	4.03
15초이상	1404	33.67	1802	42.34	1171	44.92
총계	4170	100	4256	100	2607	100

가 3초 이하인 경우는 약10% (1차로), 8%(2차로), 7.5%(3차로)인 것으로 분석되었다.

한편 TTC가 3초 이하인 차량군과 3초 이상인 차량군의 차량 간 속도차이와 gap을 살펴본 결과, TTC가 3초 이하인 차량군에서는 속도차이가 약 9.2m/s이고 3초 이상인 차량군의 속도차이의 평균은 약 2.2m/s로서 속도차이가 7m/s(약 25km/h)정도 TTC가 3초 이하인 차량군이 더 크며, 차량간격은 TTC가 3초 이하인 차량군은 약 18.4m이고 3초 이상인 경우는 약 27m 정도로 TTC가 3초 이하인 차량군의 간격이 8.6m 정도 짧은 것으로 분석되었다.(<표 6>참조)

TTC 및 RSI 기반의 안전도 평가를 개별차량에 적용하여 비교해 보기 위해 TTC가 3초 이하인 차량추종 이벤트를 unsafe한 경우로 설정하여 각 1/30초마다 safe와 unsafe를 판정하고, RSI와 비교하여 <그림 5>

에 도식화 하였다 (Y축은 시간의 변화에 따른 '안전'과 '불안전'의 binary classification을 의미할 뿐 TTC의 unsafe 정도가 더 큼을 의미하는 것은 아님). 첫 번째 차량(a)의 경우 관찰영역 주행 중 unsafe한 시간의 비율이 TTC를 기준으로 21.5%, RSI를 기준으로 63.8%로 나타났다. 한편 두 번째 샘플차량(b)의 경우 역시 TTC를 기준으로 22.4%, RSI를 기준으로 42.4%로 나타났다. 본 샘플 비교에서는 RSI에 의한 평가가 보다 많은 차로변경이벤트를 unsafe한 것으로 판정한 결과를 얻었으나, TTC의 임계값에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서 제안한 기법이 보다 신뢰성 있는 안전도 평가기법으로 발전되기 위해서는 광범위한 자료를 대상으로 다양한 분석이 추가되어야 할 것이다.



〈그림 5〉 개별차량의 TTC 및 RSI 기반 안전도 평가 비교 예

3. Discussions

본 연구에서는 차량의 영상 이미지 프로세싱을 통해 추출되는 개별차량의 주행궤적 자료를 이용하여 SDI 와 TTC 기반의 교통안전 분석방법론을 처음으로 제안하였다. 제안된 방법론은 실시간 교통 모니터링 환경에서 안전도를 평가할 수 있는 유용한 tool로 사용될 수 있을 것

으로 기대된다. 그러나 다음과 같은 가정 및 기술적인 한계로 인해 추가연구 및 개발이 필요할 것으로 판단된다.

1) RSSM 정의 및 도출

SDI의 경우 차량추종 이벤트 상에서 선행차량이 최대 감속도로 급정거한 경우를 기본가정으로 하고 있으나, 실제 상황에서 운전자는 신속한 차로변경으로 충분한 안전거리가 확보되지 않은 상황에서도 선행차량과의 물리적인 충돌을 회피할 수 있다. 따라서 인접차로에서 주행하는 차량들과의 상호작용, 즉 차로변경 이벤트를 함께 고려한 보다 발전된 RSSM의 도출이 필요할 것으로 판단된다.

TTC의 경우 SDI에서와 같은 기본전제는 필요하지 않지만, 위험상황판단을 위해 임계값의 설정이 필요하며, 이를 위해서는 또 다른 깊이 있는 연구가 수행되어야 한다.

2) RSSM의 검증

본 연구에서 시도하고 있는 교통상충기법 기반의 교통안전도평가의 경우 도출된 교통상충이 교통사고 발생과 상관관계가 있음을 검증해야 한다. 비록 기존의 다양한 연구에서 교통상충과 교통사고가 상관관계가 있음을 입증해 왔으나, 본 연구에서 제시하는 RSSM에 대한 추가적인 검증작업이 수행되어야 할 것이다. 이를 위해 실제 교통사고가 포함된 교통상황 영상자료의 분석이 고려될 수 있다.

V. 결론

최근의 급속한 센서 및 통신기술 발달은 교통공학 연구자에게 과거에는 자료수집이 어려웠던 개별차량의 미시적 주행정보 자료를 수집할 수 있는 환경을 제공하게 되었다. 따라서 이러한 미시적 자료 수집이 가능한 상황을 최대한 반영한 새로운 교통안전도 평가방법론을 제시하고자 하는 것이 본 연구의 주요 목적이다.

본 연구는 기존의 교통상충기법을 실시간 온라인 환경에서 적용 가능하도록 응용한 독창적인 연구로서, 차량추종이벤트 상에서 선행차량과 후행차량간의 상호작용을 연속적으로 분석할 수 있도록 안전거리 및 TTC 기반의 RSSM을 도출하였다. 연속적인 안전도 평가를 위해 영상 기반 차량추적 기법을 적용한 상황을 전제로 안전거리 및 TTC 분석 알고리즘을 제시하였다.

본 연구에서 제안하는 방법론은 향후 교통사고분석, 안전운전 지원을 위한 경고정보 생산 및 가공, 교통안전 관련 파라미터의 수집이 가능한 검지시스템의 개발 등에 효과적으로 활용될 것으로 기대된다. 그러나 IV 장의 Discussion에서 자세히 설명한 바와 같이 향후 보다 심도 있는 다양한 연구가 수행되어야 할 것이다. 아울러 영상이미지 분석기술을 활용하는 제안된 방법론을 현장에 적용하기 위해서는 다양한 도로 및 교통, 주변 환경요인의 변화에 따른 차량주적 성능에 대한 충분한 평가가 선행되어야 함을 밝혀둔다.

참고문헌

1. 김원철 · 이수범 · 남궁문 · 今田寛典(2002), "퍼지추론을 적용한 교통상충기법(TCT) 개발", 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.55~63.
2. 김현상(1997), "신호교차로 교통상충 측정방법의 개발과 평가" 한양대학교 대학원 석사학위논문.
3. 이기영(2006), "교통상충 및 사고분석에 의한 엇갈림구간의 안전도평가기준개발", 한양대학교대학원 박사학위논문.
4. 이수범 · 강인숙(1999), "상충기법을 이용한 교차로 안전진단에 관한 연구", 대한교통학회지, 제17권 제4호, 대한교통학회, pp.9~17.
5. 하태준 · 김진현(1998), "신호교차로 교통상충 측정방법의 적용성 평가" 교통안전연구논집, 제17권.
6. Hirst. S, Graham. R.(1997), "The format and presentation of collision warnings". In: Noy, N.I.(Ed), Ergonomics and safety of intelligent Driver Interfaces.
7. Hyden, C. (1987), "The development of a method for Traffic Safety Evaluation", Lund Institute of Technology.
8. Hyden, C. (1996) "Traffic conflict technique: state of the art". In: Topp, H.H.(Ed.), Traffic safety work with video processing. University Kaisersautern, Transportation Department, 1996, Green Series No. 37, pp.3~14.
9. Oh, C., Park, S., and Ritchie, S.(2006), "A method for Identifying rear-end collision risks using inductive loop detectors" Accident Analysis Prevention 38 pp.291~301.
10. Paddock, R.D. (1974), "The Traffic Conflicts Technique: An accident Prediction Method" TRR 486.
11. Perkins, S. R(1968), "Traffic Conflict Characteristic-Accident Potential at Intersections", HIGHWAY RESEARCH RECORD Number 225, Traffic Safety and Accident Research 6 Report.
12. Roess R. P., Prass, E., and Mcshane, W. (2004), Traffic Engineering, Pearson Education, Inc.
13. Trantonio, H. , Tourinho, L. F. B (2005), "Parameters for evaluating pedestrian safety problem in signalized intersection using the traffic conflict analysis technique - A study in Sao Paulo, Brazil" TRB 2005 Annual Meeting.
14. VanArem, B., and Devos, A.P. (1997), "The effect of a special lane for intelligent vehicles on traffic flows". TNO-INRO Reprt 1997-02a. Delft, The Netherlands.

- ✉ 주 작성자 : 오 철
- ✉ 교신저자 : 오 철
- ✉ 논문투고일 : 2007. 5. 19
- ✉ 논문심사일 : 2007. 7. 19 (1차)
2007. 8. 7 (2차)
- ✉ 심사판정일 : 2007. 8. 7
- ✉ 반론접수기한 : 2008. 2. 29