

■ 論 文 ■

개별차량 추적기법을 이용한 신호교차로 교통상충 판단기준 정립 및 적용

Application of Traffic Conflict Decision Criteria for Signalized Intersections Using an Individual Vehicle Tracking Technique

김 명 섭

(한국교통연구원 육상교통연구본부 연구원)

오 주 택

(한국교통연구원 육상교통연구본부 책임연구원)

김 응 철

(인천대학교 토목환경시스템공학과 조교수)

정 동 우

(인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
- II. 문헌조사
 - 1. 영상처리기법 관련 문헌조사
 - 2. 교통상충기법 관련 문헌조사
 - 3. 문헌조사를 통한 시사점 도출
- III. 신호교차로 교통상충 판단기준 정립
 - 1. 대향좌회전 상충 판단기준 정립
 - 2. 교차교통 상충 판단기준 정립
- IV. 신호교차로 교통상충 판단기준 적용 및 분석
 - 1. 자료수집
 - 2. 대향좌회전 상충 판단기준 적용 및 분석
 - 3. 교차교통 상충 판단기준 적용 및 분석
- V. 결론
참고문헌

Key Words : 교통상충판단기준, 대향좌회전 상충, 교차교통 상충, 개별차량 추적기법, 신호교차로
Traffic Conflict Decision Criteria, Opposing Left-Turn Conflict, Cross Traffic Conflict, Individual Vehicle Tracking Technology, Signalized Intersections

요 약

교통사고자료를 기반으로 한 사고예측모형의 개발은 사고 발생 후의 처리 측면이 보다 강하며, 교통사고 이력자료(historical data)의 취득이 쉽지 않고, 경찰에 보고된 교통사고 건수와 실제 발생한 교통사고 건수와는 불일치하는 경우가 빈번히 발생한다. 또한, 교통사고 이력자료는 운전자의 인적측면이나 현장상황을 보다 현실적으로 고려하기에 어려운 단점이 있다. 근본적인 교차로에서의 안전도 향상을 위해서는 사고발생 이전에 처리할 수 있는 방법의 개발이 필요하다. 교통상충 판단기법은 적은 시간과 한정된 공간에서 조사를 통해 자료를 획득하고 분석할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 기존에 이루어지던 수동적인 분석방법은 분석자의 주관에 반영되기 쉬운 측면이 존재하기 때문에 보다 정밀하고 정확한 교차로의 안전도를 판단하는 지표로 교통상충기법을 이용하기에는 한계가 있음을 확인하였다. 또한, 기존의 교통상충기법은 사고 및 상충이 가지는 심각도에 대한 고려가 부족한 측면이 중요한 단점으로 분석되었다.

이에 본 연구에서는 교통상충을 분석하는데 있어 각 유형별로 상충 심각도를 고려하여 상충을 판단할 수 있는 판단기준을 제시하고, 조사자의 주관에 개입됨으로써 발생할 수 있는 분석의 오류를 제거하기 위하여 영상처리기법의 개별차량 추적기법을 이용하였다. 영상처리기법의 개별차량 추적기법을 이용하여 신호교차로에서 신호위반시 주로 발생하는 대향좌회전 상충과 교차교통 상충에 대한 상충판단알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 교통상충 판단기준의 적용을 위하여 경기도 성남시의 2개 교차로와 파주시의 1개 교차로의 영상을 취득하여 각각 30분간 분석을 수행하였다. 분석결과, 3개 교차로에서 총 343건의 1단계 상충(신호위반) 상황이 검지되었으며, 이 중 총 25건이 3단계 상충(심각한 상충)으로 발전된 것을 확인하였다. 이를 통하여, 사고발생 이전에 발생하게 되는 상충상황의 분석을 통하여 사고다발지점 등 교차로의 안전도를 평가할 수 있는 대안으로 사용이 가능함을 확인하였다.

Development of an accident estimation model based on accident data can be made after accident occurrences. However, the taking of historical accident data is not easy, and there have been differences between real accident data and police-reported accident data. Also, another difficult shortcoming is that historical traffic accident data better consider driver behavior or intersection characteristics. A new method needs to be developed that can predict accident occurrences for traffic safety improvement in black spots. Traffic conflict decision techniques can acquire and analyze data in time and space, requiring less data collection through investigation. However, there are shortcomings: as existing traffic conflict techniques do not operate automatically, the analyst's opinion could easily affect the study results. Also, existing methods do not consider the severity of traffic conflicts.

In this study, the authors presented traffic conflict decision criteria which consider conflict severity, including opposing left turn traffic conflict and cross traffic conflict decision criteria. In order to test these criteria, the authors acquired three signalized intersection images (two intersections in Sungnam city and one intersection in Paju) and analyzed the acquired images using image processing techniques based on individual vehicle tracking technology. Within the analyzed images, level 1 conflicts occurred 343 times over three intersections. Some of these traffic conflicts resulted in level 3 conflict situations. Level 3 traffic conflicts occurred 25 times. From the study results, the authors found that traffic conflict decision techniques can be an alternative to evaluate traffic safety in black spots.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업(06교통핵심C01)의 연구비지원으로 수행되었습니다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도로교통안전관리공단(2007)이 발표한 자료에 의하면 2006년 총 교통사고 건수는 213,745건이며, 사망자는 6,327명으로 조사되었으며, 부상자는 340,229명으로 집계되었다. 이중 교차로에서의 사고가 90,657건 발생하여 약 42%를 상회하는 등 교차로 교통사고는 통행 특성상 단일로에 비하여 많은 상충점을 가지고 있어 사고의 잠재성이 높은 것이 사실이다.

교차로의 안전성 향상을 위한 연구들을 살펴보면, 교통사고에 영향을 미치는 독립변수들을 이용하여 대상교차로의 사고예측모형을 개발하고, 이를 통하여 교차로의 안전도를 평가하고 있다(하오근, 2005). 그러나 교통사고자료를 기반으로 한 사고예측모형의 개발은 사고 발생 후의 처리 측면이 보다 강하며, 사고 자료를 이용한 연구는 다음과 같은 단점을 가지고 있다. 교통사고 이력자료(historical data)의 취득이 쉽지 않고, 경찰에 보고된 교통사고 건수와 실제 발생한 교통사고 건수와는 불일치하는 경우가 빈번히 발생한다. 또한, 교통사고 이력자료는 운전자의 인적측면이나 현장 상황을 보다 현실적으로 고려하기에 어려운 단점이 있다.

근본적인 교차로에서의 안전도 향상을 위해서는 사고 발생 이전에 처리할 수 있는 방법의 개발이 필요하다. 이러한 방법으로 교통상충 판단기법이 거론되고 있다. 교통상충 판단기법은 상충수를 측정함으로써 교통안전 변화의 효율성을 결정하기 위한 비교적 빠른 방법이다(원동욱, 2006). 특히 교통상충 판단기법은 적은 시간과 한정된 공간에서 조사를 통해 자료를 취득하고 분석할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 교통상충 판단기법은 다양한 측면에서 기존의 교통사고 자료를 활용한 분석 방법보다 그 활용도가 높으며, 보다 많은 필요성이 제기되고 있다.

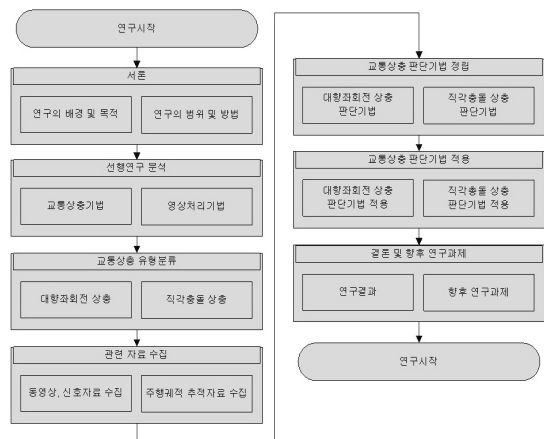
본 연구에서는 신호교차로에서 발생할 수 있는 다양한 상충유형에 대한 기존의 연구를 분석하여 선행연구가 가지는 한계를 고찰하고자 한다. 또한, 그 한계를 극복하기 위하여 영상처리를 통하여 신호교차로에서의 교통상충을 자동으로 판단할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 적용하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 내용적 범위로는 신호교차로에서 발생하는

다양한 상충의 유형 중 신호위반시 발생하는 대향좌회전 상충과 직각충돌 상충의 유형에 대한 상충판단기준을 정립하는 것이다. 신호위반시 발생하는 상충의 유형은 보다 위험한 사고의 가능성을 내재하고 있기 때문에 우선적으로 고려되어야 하는 유형이다. 한편, 본 연구에서 정립한 교통상충 판단알고리즘의 적용을 위하여 현장조사를 통하여 경기도 성남시의 2개 교차로와 경기도 파주시의 1개 교차로에 대한 동영상 및 관련자료를 수집하였다. 수집된 자료를 바탕으로 각각의 교차로에 대하여 1시간씩 분석을 수행함으로써 본 연구에서 정립한 교통상충판단 기준이 사고발생이 많은 교차로에 적용함으로써 교차로의 안전성을 나타낼 수 있는 지표로 사용이 가능한지 확인하고자 한다.

구체적인 연구의 흐름도를 나타내면 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구의 흐름도

II. 문헌조사

1. 영상처리기법 관련 문헌조사

영상처리를 이용하여 도로, 차량 등 이동물체를 추적하는 기법에 대한 연구는 다양하게 수행되어 왔다(고현민, 정준익, 최성구, 노도환, 1997; 채영무, 박영, 1998; 서창진, 양황규, 1998; 하동문, 이종민, 김용득, 2001; 이응주, 손연선, 김성진, 2002; 송효신, 지창호, 배종일, 이만형, 2002; 가칠오, 변영기, 유기윤, 김용일, 2005; 이기영, 장명순, 2005).

이 중 대표적인 연구로는 김지영(2000)에 의하여, 영상처리에 의한 버스전용차로 위반차량의 검출방법, 항공

사진 및 지상사진 등 다양한 형태의 영상자료를 이용하여 도로시설물 정보를 추출하는 방법(손덕재, 유환희, 이해진, 2002), 영상처리를 이용한 주차장 관리방법에 관한 연구도 수행되었다(권중장, 1998). 장진환, 박창수, 백남철, 이미영(2005)에 의하여 차량속도별 영상검지기의 성능분석이 연구되었다. 영상검지기의 성능저하를 방지하기 위한 최적의 설치높이는 현실적인 여건을 감안하여 17m~21m로 제안하였다.

2. 교통상충기법 관련 문헌조사

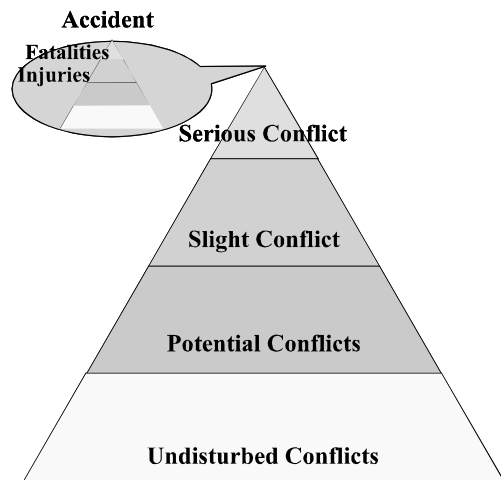
1) 선행연구

교통상충 판단기법(Traffic Conflict Technique: TCT)은 교차로에서의 잠재적인 교통사고를 측정하기 위한 방법으로 개발되었으며, 교통상충은 한 운전자가 다른 차량과의 충돌을 피하기 위해 제동이나 엇갈림에 의한 회피행동을 할 때 발생하는데, S. R. Perkins and J. I. Harris(1968)에 의하면 교통상충을 다음과 같이 정의하고 있다.

“교통상충(traffic conflict)이란 둘 또는 그 이상의 도로 이용자 사이의 상호작용으로써 도로 이용자들이 사고에 임박한 상황을 피하기 위한 회피행동을 발생시키는 사건이다”

즉, 교통상충은 사고를 유발시킬 수 있는 차량 간의 상호작용이며, 도로이용자들은 “같은 시점에 같은 지점을 점유하려는 시도”를 함으로써 상충을 포함한 충돌의 과정에 놓이게 된다(이용택 외1인, 2001)고 설명하고 있다. 이에 따르면, 사고는 도로사용자와 도로환경, 차량 사이의 상호작용의 실패로 인해 발생하는 것으로 사고와 같은 방식으로 발생한다. 상충과 사고발생과정의 유사성 때문에 사고는 상충을 연구함으로써 개선할 수 있음을 의미하고 있다.

Chister Hyden(1987)은 주행 중 발생하는 상충을 무방해 주행(Undisturbed Passages), 잠재적인 상충(Potential Conflicts), 가벼운 상충(Slight Conflict), 심각한 상충(Serious Conflict)의 4단계로 구분하였다. 그리고 주행시 발생하는 심각한 상충의 정점은 사고로 이어지고 그 정점에는 사망과 중상 등 치명적인 사고가 위치하는 것으로 설명하였다.



〈그림 2〉 운전자간의 반응을 나타내는 입체 피라미드 (Chister Hyden, 1987)

국내에서는 강승규, 박해찬(1999), 이수범, 강인숙(1999), 김현상(1997) 등에 의하여 1990년대 말에 교통상충기법에 대한 연구가 수행되기 시작되었다고 볼 수 있다. 일반적으로 사고의 유형이 크게 후미추돌, 측면충돌, 직각충돌, 대향좌회전충돌 등으로 구분되기 때문에, 상충의 유형을 구분하는데 있어서도 후미추돌, 측면충돌, 직각충돌, 대향좌회전 충돌 상충의 유형으로 구분하여 상충을 판단하였다. 자료의 분석 방법으로서, 과거 사고자료와 수집된 상충자료와의 상관성 분석을 위해 스피어만(Spearman) 순위상관계수를 이용하였다. 관측치들이 기수가 아닌 서수로 되어 있는 2변량 모집단으로부터 n개의 짝으로 된 표본들이 선정된 경우에는 두 변수간의 상관관계, 즉 모수적 상관관계는 측정할 수 없기 때문에, 이러한 경우에 순위를 사용한 두 변수간의 관련도 측정이 스피어만 순위상관계수(Spearman rank correlation coefficient)이다.

2000년대 초반에 들어서면서, 국내에서도 교통상충기법에 대한 관심이 점차적으로 증가하였으며, 국내에서는 이수범, 강인숙(1999), 이용택, 이재석(2001) 등에 의하여 스웨덴식 교통상충분석기법이 소개되었고, 최근의 교통상충기법에 대한 국내 연구현황으로는 원동욱(2006)에 의한 연구와 이기영(2006b)에 의한 연구가 있다.

원동욱(2006)의 연구는 일반적으로 교차로의 안전도를 평가하기 위하여 개발하던 사고예측모형에 상충수를 독립변수로 고려한 것이다. 사고 이력자료의 수집과 현

장조사를 통하여 관련 기하구조를 수집하여 사고예측모형을 개발하는 기존의 일반적인 과정에 사고와 상충이 밀접한 관계를 가질 것이라는 판단 하에 교통상충기법에 의하여 조사된 상충수를 조사하고, 총교통량, 교차로면적, 횡단보도폭 등을 조사하여 각 변수들 간의 상관분석을 실시하였다. 이러한 변수들을 대상으로 중회귀분석을 실시하여 최종적으로 4지교차로에서의 사고위험도 예측모형을 개발하였으며, 교통사고에 가장 밀접한 영향을 미치는 변수로 상충수가 선정되었다. 또한, 교통량 군집에 따른 상충수 변수의 적용효과를 평가하기 위하여 군집분석을 실시하여 사고위험도 예측모형을 구분하였다. 하지만, 연구의 한계로서, 교통량이 많은 곳에 상충수가 많이 발생하게 되므로 차로당 평균교통량이 많은 교차로에서 상충조사를 통한 교통사고의 위험성을 평가하는 것이 개발된 모형의 측면에서 보다 효과적이라는 한계가 발견되었다.

고속도로 엇갈림구간의 안전도를 평가할 수 있는 새로운 기준으로 이기영(2006a)의하여 교통상충 판단기준이 제시되었다. 특히, 차량간 혼재현상이 빈번하게 발생하는 엇갈림구간에 대해 교통상충기법을 통하여 안전도를 평가하는 것은 매우 유용하게 적용될 수 있기 때문에, 엇갈림구간의 실제사고와 후행 차간시간(Lead Gap)과의 상관관계를 분석하여, 엇갈림구간에서의 교통상충의 정의 및 판단기준을 제시하였다. 엇갈림구간에서 발생하는 상충과 사고는 상호 순위적 상관관계가 있음을 Spearman 순위 상관계수를 이용하여 증명하였으며, 이를 통해 후행차간시간이 1.2초 이하에서 차로를 변경하는 차량의 수(상충수)와 실제 사고와 유사한 관계를 가짐을 증명하였다.

또한, 본 연구를 수행하는데 있어 참고자료로서 신호교차로에서의 상충을 연구함에 있어 좌회전 차량이 2차포물선의 궤적을 따라 주행할 것으로 가정하여 대향좌회전 상충을 연구하기도 하였다(김응철 외3인, 2007).

국외에서 수행된 관련 선행연구로는 다음과 같다.

Glauz et. al(1985)에 의하여 사고와 상충과의 상관관계가 연구되었으며, 연구를 통하여 특정유형의 교통사고는 과거사고자료에 의한 예측보다 교통상충에 의해서 보다 정확하게 예측할 수 있으며, 사고예측을 위한 과거 교통사고자료가 부족할 경우 교통상충기법이 매우 유용한 대안으로 이용된다고 분석하였다.

Fazio et. al(1993)은 위빙구간에 대한 교통상충을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 고속도로의 위험도 분석에 있어서, 교통사고 자료를 이용하는 것은 사고발생으로 보고되는 자료와 실제 보고된 자료와의 차이가 발생하는 등 여러 가지 단점을 가지고 있음을 지적하고 교통상충을 이용하고자 하였다. INTRAS(Integrated Traffic Simulation)라는 프로그램을 통하여 위빙구간을 시뮬레이션 하였다. 연구결과, 상충율은 위빙구간의 위험도를 판단할 수 있는 지표로 사용이 가능함을 확인하였으며, 사고와 상충율과의 관계가 통계적으로 검증되었다.

Parker and Zegeer(1989)에 의하면, 상충조사는 조사원의 주관적인 판단이 중요한 부분을 차지하기 때문에 조사원을 교육시키는 것이 중요한 부분 중의 하나이며, 교차로 교통상충조사 양식지를 제시하였다.

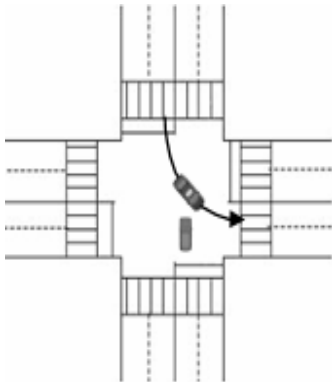
2) 교통상충의 유형구분

신호교차로에서는 신호현시에 따라 직진-직진, 좌회전-좌회전, 직진-좌회전의 상충점이 감소될 수 있으나, 신호현시에 의해서 적색신호에서의 각 접근로별 정지에 의한 상충이 추가됨으로써, 교차, 합류, 분류, 정지에 대한 총 24개의 상충점을 갖는다(Tae-Jun Ha et al., 1995). 또한, 교차로에서 일반적으로 발생하는 교통상충 유형은 packer and Zegeer(1989)의 연구와 Hummer(1994)의 연구에서 16가지로 구분되었으며, U-turn으로 인하여 발생하는 상충을 추가하여 재분류하면 7개의 대분류에 총 20가지로 구분된다.

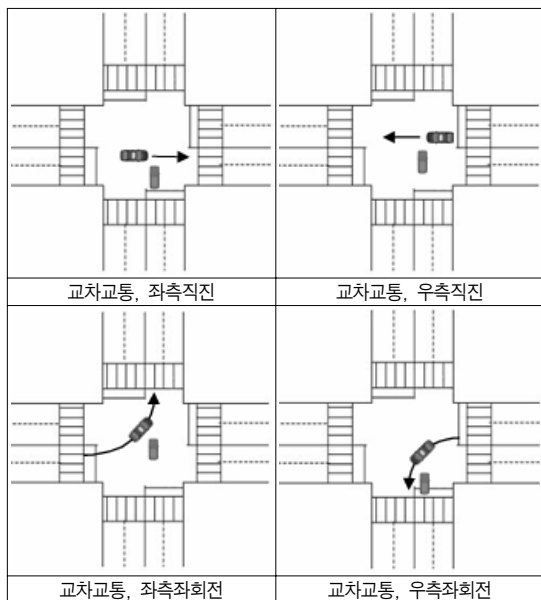
- 동일방향(Same-direction)
- 대향좌회전(Opposing left-turn)
- 교차교통(Cross traffic)
- RTOR(Right-Turn-On-Red)
- 보행자(Pedestrian)
- 2차(Secondary)
- U-턴(U-turn)

이 중 신호위반에 의하여 발생하는 상충유형으로는 위의 사고유형에 따른 상충유형에 분류 중에서 교차교통 상충유형과 대향좌회전 상충유형이 있으며, 이러한 유형에서는 차량이 신호를 위반하여 교차로에 진입을 시도하게 된다. 이로 인하여 정상적인 신호를 받고 주행하려는 차량에게 회피행동 내지는 선행차량이 교차로를 통과하기까지 대기하게 되는 상황을 유발하게 된다. 대향좌회

전 상충의 유형은 <그림 3>와 같이 발생하게 되며, 교차교통으로 인하여 발생하는 상충의 유형은 <그림 4>에서 확인할 수 있듯이 총 4가지의 작은 유형으로 구분이 가능하다. 이 네 가지의 상충유형은 선행차량이 좌측에서 직진 또는 좌회전 하는 경우와 선행차량이 우측에서 직진 또는 좌회전 하는 경우로 구분할 수 있다.



<그림 3> 신호위반시 대향좌회전 상충



<그림 4> 신호위반시 교차교통 상충유형

3. 선행연구 분석을 통한 시사점 도출

국외에서 수행된 교통상충에 관련된 문헌들에 대한 고찰 결과, 대부분 조사원을 통하여 주관적으로 교통상충을 판단하는 방법을 이용하였으며, 이를 위하여 Observer's

manual, 현장조사 양식지, 조사원 교육 방법 등에 대한 연구가 두드러지는 것을 확인할 수 있었다.

국내에서도 2000년을 전·후로 하여 교통상충기법을 이용하여 교차로의 안전도를 평가하고자 하는 다양한 연구가 수행되었다. 사고자료와 상충수와의 연관성을 확인 하는 부분은 국외의 경우에서와 마찬가지로 Spearman Rank Colleration을 이용하였으며, 사고자료가 후미추돌, 측면충돌, 직각충돌, 대향좌회전 충돌 등으로 대분류 되는 상황에 적용하기 위하여 상충의 발생유형도 이에 맞도록 재분류하여 연구를 진행하였다.

후미추돌상충과 측면충돌상충의 경우에는 신호교차로 뿐 아니라 연속류에서도 발생할 수 있는 유형의 상충이기 때문에, 상충의 판단에 있어서 비교적 다양하게 연구가 수행된 것을 확인할 수 있었다. 그러나 교차교통 상충 및 대향좌회전 상충 등 신호교차로에서 발생할 수 있는 위험한 상충의 유형에 대하여는 구체적인 상충판단의 기준을 제시하기 보다는 회피행동을 보이는 건수를 조사하여 상충건수가 사고건수와 얼마나 밀접한 관계를 가지는지를 확인하는 차원에서 주로 접근하였다.

분석을 수행하는데 있어, 국내에서도 조사원을 이용하여 직접 상충을 조사하거나, 비디오 촬영을 통하여 분석을 수행하였다. 그러나 궁극적으로는 분석자의 주관에 반영되기 쉬운 측면이 존재하기 때문에 보다 정밀하고 정확한 교차로의 안전도를 판단하는 지표로 교통상충기법을 이용하기에는 한계가 있음을 확인하였다. 또한, 기존의 교통상충기법은 사고 및 상충이 가지는 심각도에 대한 고려가 부족한 측면이 중요한 단점으로 분석되었다.

이에 본 연구에서 고려하고자 하는 대향좌회전 상충 유형과 교차교통 상충유형에 대한 상충 심각도를 고려하여 상충을 판단할 수 있는 판단기준을 새롭게 정립하고, 조사자의 주관에 개입됨으로써 발생할 수 있는 분석의 정확도를 확보하기 위하여 영상처리기법을 이용하고자 한다. 영상처리를 통하여 상충을 판단할 수 있는 알고리즘을 개발한다면, 교차로의 안전도(위험도)를 평가할 수 있는 대안으로서 중요한 의미가 있을 것으로 기대된다.

III. 신호교차로 교통상충 판단기준 정립

1. 대향좌회전 상충 판단기준 정립

기존의 선행연구에서 수행된 대향좌회전 상충 판단 기준은 신호위반 차량만을 카운트하여 그 수를 누적하는

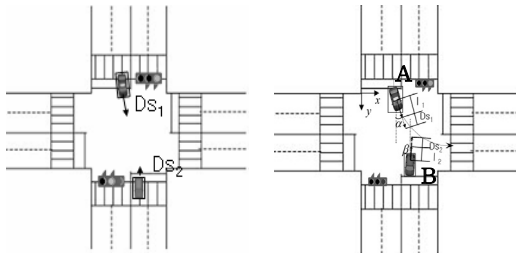
것이였다. 이것은 실제로 차량과 차량사이의 제동거리, 회피반응 등을 고려하지 않은 것이므로 실제 발생한 상충과 비교하였을 때 더 많은 수가 측정되어 정확도가 결여된다. 이러한 선행연구의 한계를 극복하기 위하여 대향좌회전 상충의 발생시, 보다 정확한 상충의 판단기준을 세우기 위해서 단계를 두어 그 정도를 세분화하였으며, 각 단계별로 구체적으로 설명하고자 한다.

〈표 1〉 상충판단의 세분화

| 단계 | 특징 |
|-----|------------|
| 1단계 | 신호위반 |
| 2단계 | 약한 상충 |
| 3단계 | 위험한 상충 |
| 4단계 | 심각한 상충(사고) |

1) 신호위반(1단계)

영상처리기반으로 각 차량들의 시간에 따른 위치자료와 교차로 신호현시를 이용하여 각 차량이 교차로 안으로 진입한 시간과 그 때의 신호현시를 확인하여 신호위반 건수를 측정한다. 이에 대한 설명은 〈그림 5와 같으며, 파란 차량이 선행차량으로써 황색신호가 점등되었을 때 교차로에 진입한 경우를 나타낸다.



〈그림 5〉 신호위반(1단계 상충) 상황 〈그림 6〉 약한 상충(2단계) 상황

2) 약한 상충(2단계)

2단계 상황에서는 전 신호의 차량이 신호위반을 하였을 때 다음신호의 차량이 교차로 내로 진입하였을 경우, 두 차량 간의 제동거리를 계산하여 상충의 판단을 할 수 있다.

영상처리를 통하여 획득한 차량 간의 좌표를 통하여 두 차량의 제동거리를 계산한다. 두 차량 간에 대한 제동거리를 계산한 뒤, 실시간으로 반영된 좌표에 두 차량의 제동지점을 표시하면 두 차량이 제동하는 지점의 좌표를 확인할 수 있게 된다.

이때, 표시된 두 차량 간의 제동지점까지의 연장선상으로 만나거나, 상호교차하지 않는다면, 심각하지 않은 약한 상충으로 판단한다.

구체적인 상충판단기준의 정립절차는 다음과 같다.

(x_{t-1}^a, y_{t-1}^a) : t-1 frame에서 신호위반 차량(A)의 좌표
 (x_t^a, y_t^a) : t frame에서 신호위반 차량(A)의 좌표

t-1 frame에서 t frame 동안 A차량의 좌표를 이용하여 이동거리를 계산한다.

$$l_1^a = \sqrt{(x_t^a - x_{t-1}^a)^2 + (y_t^a - y_{t-1}^a)^2}$$

$T_t^a - T_{t-1}^a$: t-1 frame에서 t frame 동안 A차량의 이동시간

t-1 frame에서 t frame 동안 A차량의 이동거리 l_1^a 와 이동시간을 이용하여 A차량의 속도를 계산한다.

$$v^a = \frac{l_1^a}{T_t^a - T_{t-1}^a} = \text{t-1 frame에서 t frame 동안 A 차량의 속도}$$

차량의 속도(v^a)와 종방향 마찰계수(f)를 이용하여 A차량의 제동정지거리를 계산한다.

$$Ds^a = \frac{v^{a^2}}{254f}, \quad Ds^a : \text{선행차량의 제동정지거리}$$

여기서, 종방향 마찰계수 f 는 설계속도 80kph에서의 노면건조상태의 값인 0.58을 사용하였다.

제동정지거리는 t-1 frame에서 t frame 동안 A차량이 진행한 연장선상에 있다고 가정한다. 따라서 α 를 계산한다.

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{x_t^a - x_{t-1}^a}{y_t^a - y_{t-1}^a} \right)$$

α 가 계산되면, 제동정지거리를 좌표화 할 수 있게 된다.

$$x_{t+1}^a = x_t^a + Ds^a \times \sin \alpha$$

$$y_{t+1}^a = y_t^a + Ds^a \times \cos \alpha$$

(x_{t+1}^a, y_{t+1}^a) : t frame에서 계산된 신호위반 차량(A)의 제동정지거리 좌표

위와 같은 방법으로 차량(B)의 주행궤적을 추적한다. 차량(B)는 정상적인 주행권을 가진 차량이다.

(x_{t-1}^b, y_{t-1}^b) : t-1 frame에서 차량(B)의 좌표

(x_t^b, y_t^b) : t frame에서 차량(B)의 좌표

t-1 frame에서 t frame 동안 B차량의 좌표를 이용하여 이동거리를 계산한다.

$$l_2^b = \sqrt{(x_t^b - x_{t-1}^b)^2 + (y_t^b - y_{t-1}^b)^2}$$

$T_t^b - T_{t-1}^b$: t-1 frame에서 t frame 동안 B차량의 이동시간

t-1 frame에서 t frame 동안 B차량의 이동거리(l_2^b)와 이동시간을 이용하여 B차량의 속도를 계산한다.

$$v^b = \frac{l_2^b}{T_t^b - T_{t-1}^b} = \text{t-1 frame에서 t frame 동안 B 차량의 속도}$$

차량의 속도(v^b)와 종방향 마찰계수(f)를 이용하여 B차량의 제동정지거리를 계산한다.

$$Ds^b = \frac{v^{b2}}{254f}, \quad Ds^b: \text{후행차량(B)의 제동정지거리}$$

여기서, 종방향 마찰계수 f 는 설계속도 80kph에서의 노면건조 상태의 값인 0.58을 사용하였다.

제동정지거리는 t-1 frame에서 t frame 동안 B차량이 진행한 연장선상에 있다고 가정한다. 따라서 β 를 계산한다.

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{x_t^b - x_{t-1}^b}{y_t^b - y_{t-1}^b} \right)$$

β 가 계산되면, 제동정지거리를 좌표화 할 수 있게 된다.

$$x_{t+1}^b = x_t^b + Ds^b \times \sin\beta,$$

$$y_{t+1}^b = y_t^b - Ds^b \times \cos\beta$$

(x_{t+1}^b, y_{t+1}^b) : t frame에서 계산된 후행차량(B)의 제동정지거리 좌표

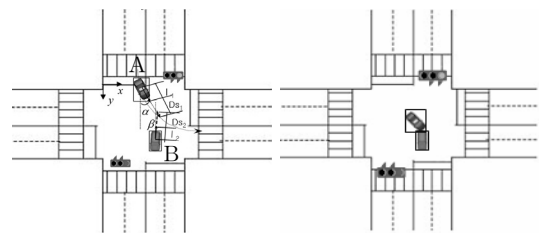
선행차량(A)와 후행차량(B)의 제동정지 거리 좌표가 계산되면, 이를 바탕으로 두 차량의 충돌할 것으로 예상되는 교차점을 계산한다. t 프레임에서의 선행차량(A)의 좌표(x_t^a, y_t^a)와 t 프레임에서 계산된 제동정지 거리 좌표(x_{t+1}^a, y_{t+1}^a)를 이루는 하나의 직선과, t 프레임에서 후행차량(B)의 좌표(x_t^b, y_t^b)와 t 프레임에서 계산된 제동정지 거리의 좌표(x_{t+1}^b, y_{t+1}^b)를 이루는 직선을 통하여 교차점을 계산할 수 있게 된다.

만일, 두 직선이 교차점을 형성하지 않는다면 두 차량의 충돌하지 않는 상황으로 판단할 수 있으므로 약한 상충이다.

3) 위험한 상충(3단계)

2단계에서는 신호를 위반한 상황이지만, 두 차량의 제동정지거리 내에서 주행한다고 할 수 있다. 3단계에서는 두 차량의 제동정지거리를 계산하고 좌표화 하였을 때, 두 차량의 주행궤적이 상호 교차하는 상황이다.

구체적으로, t 프레임에서의 선행차량(A)의 좌표(x_t^a, y_t^a)와 t 프레임에서 계산된 제동정지 거리 좌표(x_{t+1}^a, y_{t+1}^a)를 이루는 하나의 직선과, t 프레임에서 후행차량(B)의 좌표(x_t^b, y_t^b)와 t 프레임에서 계산된 제동정지 거리의 좌표(x_{t+1}^b, y_{t+1}^b)를 이루는 직선을 통하여 교차점이 형성되면 충돌하는 상황으로 예상할 수 있으므로 위험한 상충(제3 단계) 상황이다.



〈그림 7〉 위험한 상충(3단계) 상황 〈그림 8〉 심각한 상충(4단계: 사고)상황

4) 심각한 상충(3단계 : 사고)

영상처리기반으로 수집한 두 차량의 좌표에서 각각 차량의 범위를 나타내는 부분이 만나거나 겹치게 되었을 때 사고로 판단 즉, 두 차량간의 최소거리 $D \leq 0$ 이면 사고로 판단한다.

2. 교차교통 상충 판단기준 정립

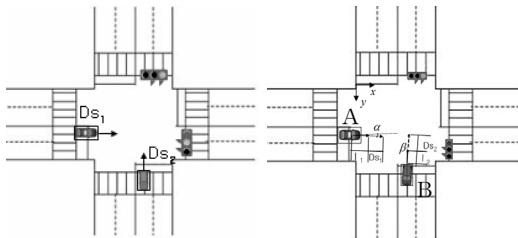
교차교통 상충의 판단기준 역시, 신호위반 차량만을 카운트하여 그 수를 누적하는 것이었다. 이것은 실제로 차량과 차량 사이에 거리나 회피반응 등을 전혀 고려하지 않은 것이므로 위와 같은 신호위반 차량을 기준으로 상충을 판단하였을 경우 실제 발생한 상충과 비교하였을 때 더 많은 수가 측정되어 정확도가 결여된다. 상충판단의 구분은 <표 1>과 동일한 기준을 적용하였다.

기본적으로 차량의 이동궤적을 추적하여 매 프레임별로 화면상의 위치정보를 추적하는 방법은 앞에서 설명한 대향좌회전 상충의 판단기준 정립절차와 동일하다.

1) 신호위반(1단계)

기준에 교차로에서 상충을 판단하기 위하여 사용함 방법으로 선행 차량이 황색신호에 무리하게 교차로 내로 진입하여 신호위반을 한 경우를 카운트한다

교차로 영상 트래킹을 이용한 각 차량들의 시간에 따른 위치자료와 교차로 신호현시를 연결하여 각 차량이 교차로 안으로 진입한 시간과 밖으로 진출한 시간을 신호시간과 비교함으로써 신호위반 건수를 측정한다.



<그림 9> 신호위반(1단계) 상황 <그림 10> 약한 상충(2단계) 상황

2) 약한 상충(2단계)

전 신호의 차량이 신호위반을 하였을 때 다음신호의 차량이 교차로 내로 진입하였을 경우, 두 차량 간의 제동 거리를 계산하여 상충의 판단을 할 수 있다.

영상트래킹으로 얻은 차량 간의 좌표를 통하여 두 차량의 제동거리를 계산한다. 두 차량 간에 대한 제동거리를 계산한 뒤, 실시간으로 반영된 좌표에 두 차량의 제동 지점을 표시하면 두 차량이 제동하는 지점의 좌표를 확인할 수 있게 된다.

이때, 표시된 두 차량 간의 제동지점까지의 연장선이 서

로 만나거나, 상호교차하지 않는다면, 심각하지 않은 약한 상충으로 판단한다. 구체적인 상충판단기준의 정립절차는 앞 절의 대향좌회전 상충 판단기준 정립 부분에서 자세하게 설명하였던 부분이므로 간단하게 설명하도록 하겠다.

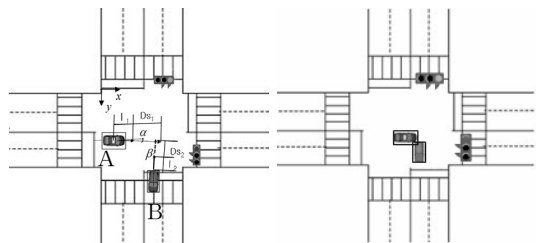
t 프레임에서의 선행차량(A)의 좌표(x_t^a, y_t^a)와 t 프레임에서 계산된 제동정지 거리 좌표(x_{t+1}^a, y_{t+1}^a)를 이루는 하나의 직선과, t 프레임에서 후행차량(B)의 좌표(x_t^b, y_t^b)와 t 프레임에서 계산된 제동정지 거리의 좌표(x_{t+1}^b, y_{t+1}^b)를 이루는 직선을 통하여 교차점을 계산할 수 있게 된다.

만일, 두 직선이 교차점을 형성하지 않는다면 두 차량의 충돌하지 않는 상황으로 판단할 수 있으므로 약한 상충이다.

3) 위험한 상충(3단계)

2단계에서는 신호를 위반한 상황이지만, 두 차량의 제동정지거리 내에서 주행한다고 할 수 있다. 3단계에서는 두 차량의 제동정지거리를 계산하고 좌표화 하였을 때, 두 차량의 주행궤적이 상호 교차하는 상황이다.

t 프레임에서의 선행차량(A)의 좌표(x_t^a, y_t^a)와 t 프레임에서 계산된 제동정지 거리 좌표(x_{t+1}^a, y_{t+1}^a)를 이루는 하나의 직선과, t 프레임에서 후행차량(B)의 좌표(x_t^b, y_t^b)와 t 프레임에서 계산된 제동정지 거리의 좌표(x_{t+1}^b, y_{t+1}^b)를 이루는 직선을 통하여 교차점이 형성되면 충돌하는 상황으로 예상할 수 있으므로 위험한 상충(제3 단계) 상황이다.



<그림 11> 위험한 상충(3단계) 상황 <그림 12> 심각한 상충(4단계: 사고)

4) 심각한 상충(3단계 : 사고)

영상트래킹을 통하여 얻은 두 차량의 좌표에서 각각 차량의 범위를 나타내는 부분이 만나거나 겹치게 되었을 때 사고로 판단 즉, 두 차량간의 최소거리 $D \leq 0$ 이면 사고로 판단한다.

IV. 신호교차로 교통상충 판단기준 적용 및 분석

1. 자료수집

1) 영상 및 신호자료 수집

본 연구에서 새롭게 정립하고자 하였던 대향좌회전 상충과 교차교통 상충유형의 판단기준을 적용하기 위하여 경기도 성남시에 소재한 정자사거리와 내정사거리의 영상과 경기도 파주시에 위치한 말레이시아교 사거리의 영상을 수집하였다. 이들 지점들은 모두 교통사고 발생이 많이 발생하는 영향으로 교차로 안전감시 카메라가 설치되어 있는 장소이다.

본 연구의 분석을 위하여 총 3개소의 영상을 수집하는 것과 동시에 현재 운영되고 있는 교차로의 신호현시를 조사하였다.

영상수집은 2008년 4월 24일~30일 동안 수집되었으며, 분석시간은 12시부터 12시 30분까지 각 교차로당 30분 분량의 영상을 분석하여 본 연구에서 정립한 알고리즘의 적용성을 확인하고자 하였다. 또한, 실제 운영되고 있는 현시의 구성은 <표 2, 3, 4>와 같다.



<그림 13> 정자사거리 촬영영상



<그림 14> 내정사거리 촬영영상



<그림 15> 말레이시아교 촬영영상

<표 2> 정자사거리 신호운영 현황 (오전10시~오후4시)

| 구분 | Phase 1 | Phase 2 | Phase 3 | Phase 4 | Phase 5 | Phase 6 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | ↖ | ↕ | ↘ | ↙ | ↔ | ↗ |
| 신호시간 | 20(4) | 40(4) | 24(4) | 20(4) | 26(4) | 24(4) |

<표 3> 내정사거리 신호운영 현황(오전10시~오후4시)

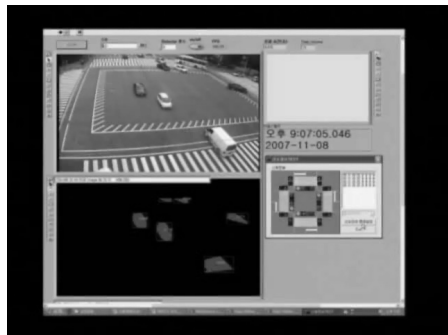
| 구분 | Phase 1 | Phase 2 | Phase 3 | Phase 4 |
|------|---------|---------|---------|---------|
| | ↙ | ↗ | ↖ | ↘ |
| 신호시간 | 37(3) | 47(3) | 47(3) | 37(3) |

<표 4> 말레이시아교 사거리 신호운영 현황(오전10시~오후4시)

| 구분 | Phase 1 | Phase 2 | Phase 3 | Phase 4 |
|------|---------|---------|---------|---------|
| | ↗ | ↔ | ↙ | ↕ |
| 신호시간 | 37(3) | 47(3) | 47(3) | 37(3) |

2) 주행궤적 추적자료 수집

본 연구에서 정립한 교통상충 판단기준의 적용을 위하여 정자사거리와 내정사거리의 주행궤적 추적을 통하여 기초자료를 수집하였다. <그림 16>은 정자사거리의 트래킹 화면을 나타낸 것이다.



<그림 16> 정자사거리의 트래킹 화면

〈표 5〉 상충프로그램으로 취득한 상황데이터(일부)

| 날짜 | 시간 | ID | 신호위반 여부 | 출발 방향 | 이동 방향 | 제동거리 좌표X | 제동거리 좌표Y | 상충 심각도 | 대상차량 ID | conflict type |
|------------|---------|-------|------------|----------|----------|-------------|-------------|-----------|------------|------------------|
| 2008-05-22 | 8:15:33 | 49947 | 1 | 4 | 2 | 77.358 | 264.104 | 3 | 37557 | 6 |
| 2008-05-22 | 8:06:57 | 50217 | 1 | 4 | 3 | 2.091 | 103.372 | 3 | 93674 | 5 |
| 2008-05-22 | 8:09:49 | 77360 | 1 | 1 | 4 | 319.701 | 217.527 | 3 | 98182 | 8 |
| 2008-05-22 | 8:07:07 | 94188 | 1 | 3 | 4 | 476.176 | 185.259 | 3 | 19273 | 2 |
| 2008-05-22 | 8:17:11 | 95032 | 1 | 3 | 4 | 333.41 | 191.825 | 3 | 86527 | 3 |
| 2008-05-22 | 7:58:26 | 95173 | 1 | 1 | 4 | 114.378 | 179.581 | 3 | 54734 | 9 |
| 2008-05-22 | 8:09:49 | 98182 | 1 | 3 | 4 | 339.336 | 260.89 | 3 | 77360 | 2 |
| : | : | : | : | : | : | : | : | : | : | : |

〈그림 15〉에서 보면, 좌측 상단의 교차로 그림은 정자 사거리를 나타낸 것이고, 좌측하단의 그림은 각 차량이 통과하게 될 때, 발생하는 개별차량의 ID와 주행궤적을 나타내는 것이다. 또한, 우측하단의 그림은 현재 정자사거리에서 운영하고 있는 신호체계를 보여주는 그림이다. 이를 바탕으로 정자사거리에 대한 트래킹 작업을 수행하면, 상충분석 data를 얻게 된다. 본 연구를 통하여 획득한 상충분석 data의 일부를 표현하면, 〈표 5〉와 같다.

내정사거리 및 말레이시아교 사거리에 대해서도 정자 사거리의 분석절차와 동일하게 상충분석 data를 취득하였다.

2. 교통 상충 판단기준 적용 및 분석

성남의 내정사거리와 정자사거리, 그리고 파주의 말레이시아교 사거리의 영상을 이용하여 본 연구에서 정립한 대향 좌회전 상충 및 교차교통 상충의 판단기준을 적용하였다.

분석을 수행한 3개 교차로에서 신호를 위반하여 상충 1단계로 분석된 차량은 파주 말레이시아교 사거리에서 265대, 성남의 내정사거리에서 162대, 정자사거리에서 66대가 발생하여 분석시간 동안 3개 교차로에서 총 343대가 신호를 위반한 것으로 나타났으며, 이들 차량들로 인하여 상충의 심각도가 3단계까지 진행된 건수는 총 25건으로 확인되었다. 파주 말레이시아교 사거리에서는 3단계까지 진행된 상충은 14건이 검지되었으며, 이중 3건은 대향좌회전 상충, 그리고 11건은 교차교통상충으로 분석되었다. 성남의 내정사거리에서는 총 2건이 상충 3단계 까지 진행되었으며, 대향좌회전 상충 1건, 교차교통 상충 1건이 발생하였다. 정자사거리에서는 9건의 3단계 상충발생 건 수 중에서 교차교통 상충만이 9건 검지된 것으로 확인되었다.

각 교차로 당 30분의 분석시간 동안 상당히 많은 차량이 신호를 위반하는 것을 확인할 수 있으며, 상충의 개연성은 곧 사고로 이어질 수 있음을 가만하였을 때 사고 다발지점의 안전도를 평가하는 새로운 지표로 교통사고 이력자료와 함께 사용이 가능할 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구는 기존의 교통상충기법의 한계인 신호위반 건수만을 단순히 분석자가 주관적으로 Counting 하던 점에서 착안하여, 신호위반시 발생 가능한 교통상충의 유형을 구분하고 각 유형별로 상충의 심각도를 고려한 교통상충 판단기법을 정립하였다. 이를 적용하기 위하여 분단의 정자사거리, 내정사거리, 말레이시아교사거리의 교차로 영상, 현시운영상황 등을 수집하였으며, 영상처리기법을 이용하여 트래킹을 실시한 데이터를 이용하여 분석을 실시하였다.

분석결과, 총 4단계로 구분된 상충상황 중에서 대부분의 1단계(신호위반)상황으로 3개 교차로에서 총 343건이 발생하는 것으로 분석되었으며, 2단계 상충상황을 거쳐, 두 차량이 제동정지거리 내에서 검지되는 상충의 3단계로 발전된 경우의 수는 총 25건으로 검지되었다.

또한, 본 연구에서 정립한 상충의 심각도 중 가장 높은 단계인 4단계(위험한 상충: 사고)상황은 확인되지 않았다.

결론적으로, 본 연구는 다음과 같은 의의를 가진다고 판단한다. 첫째, 기존에 신호위반시 발생하는 회피행동을 단순히 Counting하는 것에서 한단계 나아가서, 발생할 수 있는 상충의 구분(Level of Conflict)을 시도하고 그 판단기준을 정립하였다. 둘째, 기존의 교통상충기법이 가지는 한계인 조사자의 주관적 오류를 배제하기 위하여 영상처리기법을 이용하였으며, 미소시간단위의 Microscopic

한 분석을 통하여 분석의 신뢰도를 향상시켰다. 또한, 이로 인하여 조사자로 인하여 발생할 수 있는 오차를 제거하였다. 본 연구에서 정립한 교통상충기법은 사고다발 교차로의 안전도를 분석하고 감시하는데 유용한 하나의 지표로 사용이 가능할 것으로 기대된다. 사고가 빈번하게 발생하는 교차로 등에 설치되어 실시간 교통안전을 감시하기 위한 수단으로 사용이 가능할 것으로 판단되며, 사고이력 자료와 함께 사용된다면, 위험한 상충상황에 이어서 발생하는 사고상황에 대한 발생패턴이나 이동패턴 등에 대한 추가연구가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 정립한 영상처리를 이용한 교통상충 자동판단 알고리즘을 통하여 분석된 결과와 사고이력자료와의 비교에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이는 기존 상충연구의 한계점인 조사자 및 분석가의 오류가 배제된 상태에서 분석이 가능하기 때문에 보다 사고와 유의미한 결과를 도출할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 가칠오·변영기·유기운·김용일(2005), 영상처리 기술을 이용한 도로 및 차량 추출 기법에 관한 연구, 한국지형공간정보학회논문집, 제13권 제4호, pp.3~9.
2. 강승규·박해찬(1999), 교차로에서의 교통상충과 사고의 상관성평가, 계명대학교 논문집, 제22-1권, pp.1~10.
3. 고현민·정준익·최성구·노도환(1997), 노면표시 및 교통신호등 인식을 위한 영상처리 알고리즘, 공업연구, 제28권, 전북대학교 공업기술연구소 논문집, pp.67~76.
4. 권중장(1998), 영상처리기술을 이용한 주차장 관리 방법에 관한 연구, 경성대학교 논문집, pp.91~100.
5. 김응철·박지형·오주택·노정현(2007), 신호교차로 대향좌회전 상충심각도 구분에 관한 연구, 한국도로학회 논문집, 제9권 제4호, 한국도로학회.
6. 김지영(2000), 영상처리에 의한 버스전용차로 위반차량의 검출방법, 응용과학연구, 제10권, 제1호, 서원대학교 응용과학연구소, pp.1~7.
7. 김현상(1997), 신호교차로 교통상충 측정방법의 개발과 평가, 한양대학교 석사학위 청구논문.
8. 도로교통안전관리공단(2007), 교통사고 통계분석
9. 서창진·양황규(1998), 영상처리를 이용한 교통량측정 시스템에 관한 연구, 동서대학교 논문집, 제6집,

pp.370~383.

10. 손덕재·유환희·이혜진(2002), 다중영상을 이용한 도로시설물 정보추출, 한국지형공간정보학회, 제10권 제1호, pp.91~100.
11. 송효신·지창호·배종일·이만형(2002), 길안내 시스템에서의 영상처리와 칼만필터 이용한 물체추적, 한국공작기계학회 2002 춘계학술대회 논문집, pp.500~504.
12. 원동욱(2006), 교통상충기법(TCT)을 이용한 신호교차로 사고위험도 예측에 관한 연구, 명지대학교 공학석사 학위논문.
13. 이기영(2006), 고속도로 엇갈림구간에서의 교통상충 판단기준 정립, 도로교통, 제104호, 여름호, 한국도로교통협회, pp.40~51.
14. 이기영·장명순(2005), 미시적 교통정보자료의 취득을 위한 영상기반 차량추적기술 개발, 대한교통학회지, 제23권 제7호, 대한교통학회, pp.137~148.
15. 이수범·강인숙(1999), 상충기법을 이용한 교차로 안전진단에 관한 연구, 대한교통학회지, 제17권 제4호, 대한교통학회, pp.9~17.
16. 이용택·이재석(2001), 스웨덴식 교통상충분석기법(STCT)의 개발방향, 대한토목학회지, Vol.49, No.3, 대한토목학회, pp.48~53.
17. 이용주·손영선·김성진(2002), 영상처리 기법을 이용한 차량 분류 및 인식 알고리즘, 동명정보대학교 정보공학기술연구소 논문집, 제1호, pp.185~192.
18. 이청원·송영화(2007), 이분산성을 고려한 영상검지기 정확도 추정, 대한교통학회지, 제25권 제2호, 대한교통학회, pp.7~15.
19. 장진환·박창수·백남철·이미영(2005), 차량 속도별 영상검지기 성능분석, 대한교통학회지, 제23권 제5호, 대한교통학회, pp.105~112.
20. 채영무·박영(1998), 3차원 영상처리 시스템을 이용한 이동물체의 움직임 추정, 산업과학기술연구소 논문집, 제6권, pp.195~201.
21. 하동문·이종민·김용득(2001), 영상기반 교통정보 추출 알고리즘에 관한 연구, 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.161~170.
22. 하오근(2005), 국도면 신호교차로 안정성 향상을 위한 사고예측모형 개발과 심각도 분석, 한양대학교 공학석사 학위논문.

23. Crister Hyden(1987), The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflict Technique, Lund Institute of Technology, Dept. of Traffic Planning & Engineering.
24. Joseph E. Hummer(1994), Manual of Transportation Engineering Studies, Chapter 12. Traffic Conflict Studies, ITE.
25. Joseph Fazio, Janet Holden, and Nagui M. Roupail(1993), Use of Freeway Conflict Rates as an Alternative to Crash Rates in Weaving Section Safety Analyses, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Record, No. 1401, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.61~69.
26. Parker, M. R. and C. V. Zegeer(1989), Traffic Conflict Techniques for safety and operations : Engineer's guide, FHWA-IP-88-026.
27. S. R. Perkins and J. I. Harris(1968), Traffic Conflict Characteristics-Accident Potential at Intersections, HIGHWAY RESEARCH RECORD Number 225, Traffic Safety and Accident Research 6 Reports.
28. Tae-Jun, Ha et. al(1995), Development of Safety-based Level-of-Service Criteria for Isolated Signalized Intersections, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Record, No. 1484, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.98~104.
29. W. D. Glauz, K. M. Bauer and D. J. Migletz(1985), Expected Traffic Conflict Rates and Their Use in Predicting Accidents, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Record, No. 1026, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.1~12.

✻ 주 작성자 : 김명섭

✻ 교신저자 : 김명섭

✻ 논문투고일 : 2008. 2. 12

✻ 논문심사일 : 2008. 4. 4 (1차)

2008. 7. 16 (2차)

2008. 7. 28 (3차)

✻ 심사판정일 : 2008. 7. 28

✻ 반론접수기한 : 2008. 12. 31

✻ 3인 익명 심사필

✻ 1인 abstract 교정필