

실시간 교통상충 분석 알고리즘 개선

Improvement of Real-time Traffic Conflict Analysis Algorithm

김태진

(한양대학교 교통공학과
석사과정)

오 철

(한양대학교 교통공학과 교수)

오주택

(한국교통연구원 도로교통연구실
연구위원)

Key Words : SSM, 교통상충, 교통안전, 사고 심각도, 경고정보

목 차

- I. 서론
- II. 고속도로 실시간 경고정보시스템
 - 1. 실시간 교통안전 경고정보 제공전략
 - 2. SSM(Surrogate Safety Measure)
- III. 상충위험도 알고리즘
- IV. 상충위험도 구분
- V. 알고리즘의 생성
- VI. 알고리즘의 개선
- VII. 상충심각도 분석
- VIII. 결론 및 향후 연구 과제
- 참고문헌

I. 서론

최근 각종 센서 및 통신기술의 발달은 보다 미시적이고 비 집계(disaggregated)된 교통자료의 취득을 가능하도록 하였으며, 대표적인 사례로서 차량추적을 통한 개별차량의 주행궤적 자료(vehicle trajectory)를 들 수 있다. 개별차량의 주행궤적 자료는 현재의 기술수준으로 개별차량에 GPS 수신 장치 및 관련 시스템을 장착하여 추출하는 방법과 인프라 기반으로 차량의 영상 이미지를 Tracking하여 추출하는 두 가지 방안이 제시되고 있으며, 이러한 개별차량의 주행궤적 자료는 교통운영 및 관리를 위한 전략 및 알고리즘 개발을 위한 입력 자료로서의 활용성이 다각적으로 검토되고 있다.

도로를 주행하는 모든 차량들은 끊임없이 차량추종 및 차로변경 등의 미시적 교통이벤트들로 구성된 상호작용을 지속적으로 수행하며 목적지까지 주행하고 있으며, 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.

교통사고 예방을 위한 경고정보 제공을 위해서는 위험상황을 실시간으로 모니터링하고 분석할 수 있는 검지시스템이 필요하다. 교통사고예방을 위하여 다양한 유형의 경고정보시스템 개발 및 평가가 수행되었다. 교차로에서 충돌사고 예방을 위한 딜레마존 경고시스템 (Moon, 2003),공사구간에 대한 경고 (McCoy et al., 2002), 후미추돌 경고를 위한 첨단차량의 차내 경고시스템 설계 및 평가 (Ksishnan et al., 2002), 속도

경고정보 (Ritchie, 1997), 도로 기상정보 (Knight et al, 2008), SSM (Surrogate Safety Measure) 기반의 경고정보시스템 설계 및 평가(오철 외, 2009) 등이 있다. 최신의 센서기술과 유무선 통신기술의 발달은 교통류의 안전도를 실시간으로 평가할 수 있는 환경을 구현해 주고 있으며, 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 환경 하에서 교통 안전도를 평가할 수 있는 방법론을 개선하는 연구를 수행하였으며, 교통안전도 평가를 위해서는 교통상충을 차량의 영상이미지로부터 추출된 개별차량의 주행궤적 자료를 활용하는 방안을 제안하였다.

II. 고속도로 실시간 경고정보시스템

1. 실시간 교통안전 경고정보 제공전략

본 연구에서는 개별차량의 영상이미지 추적을 통해 주행궤적을 추출하고 경고정보제공을 위한 SSM을 도출한다. 본 연구에서 제안하는 경고정보제공시스템을 구현을 위한 검지시스템은 선형연구(Oh et al. 2009)를 통해 개발하였다.

시스템구현을 위해서는 차량을 추적하여 일정 도로구간을 주행하는 차량의 주행궤적을 추출하여 실시간 상충모니터링을 할 수 있는 시스템과, 이 시스템을 통해 수집된 상충자료를 운전자의 안전운전으로 유도할 수 있는 경고정보로서 가

공하기 위한 지역제어기와 교통정보센터가 필요하다. 또한 가공된 경고정보를 운전자에게 전달해주는 장치로, 인프라 기반의 정보제공 수단인 가변전광표지(VMS: Variable Message Sign)와 차내단말기(in-vehicle device)가 있다. 실시간 상충 모니터링 시스템을 통해 임계값 이상의 SSM값이 관찰되는 경우 지역제어기와 교통정보센터를 통해 경고정보를 처리 및 가공한 후 VMS나 in-vehicle장비 등을 통해 운전자에게 경고정보를 제공하여 안전운전을 유도할 수 있다.

경고정보는 지역제어기를 통해 실시간으로 경고정보가 제공되는 긴급영향권과, 현장에서 수집한 SSM자료를 교통정보센터에서 해당 도로구간의 교통류에 대한 위험도를 추가 가공하여 일반영향권(긴급영향권의 상류부)에 나누어서 제공한다.

2. SSM(Surrogate Safety Measure)

최신의 교통정보수집체계를 이용한 교통안전도 평가를 위해서 대두되는 중요이슈는 교통안전도평가를 위한 Surrogate Safety measure(SSM)의 개념 정립이다. SSM은 교통류의 특성을 미시적 및 거시적인 관점에서 다각적인 분석을 통해 얻어질 수 있으며, 교통사고 발생을 암시할 수 있거나 교통사고 발생을 유도하는 변수로서 정의될 수 있다.

1) SDI(Stop Distance Index)

선·후행 차량의 최소정지거리를 각각 산출하여 선행차량의 정지거리가 후행차량의 정지거리 보다 길 경우 안전(safe, 0)으로 나타내며, 그 반대의 경우 불안전(unsafe, 1)으로 나타내는 안전도평가지표를 SDI라고 한다.

2) TTC(Time to Collision)

선·후행 차량의 길이와 간격, 속도차이를 이용하여 식(1)을 통해 산출하며 임계치와의 비교를 통해 상충심각도 수준을 결정하는 지표로 이용한다.

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

$\Delta d(t)$: $P_L - P_F(m)$

P_L : 선행차량의 위치

P_F : 후행차량의 위치

$V_i(t)$: 후행차량의 t 시간일때의 속도

$V_{i-1}(t)$: 선행차량의 t 시간일때의 속도

3) RSI(Real-time Safety Index)

실시간 안전성지표로서, 누적된 안전도평가지표(SDD)값을 식(2)와 같이 검지영역을 주행하는데 걸린 총 주행시간에 대한 누적된 SDI의 비율이다.

$$RSI = \frac{\text{관찰영역의 총 Unsafe 시간}}{\text{관찰영역의 총 주행 시간}} = \frac{\sum SDI}{T_k^{\text{진출}} - T_k^{\text{진입}}} \dots (2)$$

III. 상충위험도 알고리즘

1. 상충위험도 구분

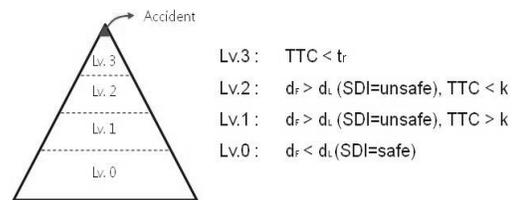
교통상황의 안전도를 평가하는 전통적인 방법은 실제 도로에서 발생한 교통사고 자료를 기반으로 교통사고발생원인 및 교통사고 피해심각도 등을 분석하는 기법이 있으나, 이러한 기법은 장기간에 걸쳐 누적된 교통사고 및 교통 관련 자료와 같은 이력자료를 활용해야 하므로 실시간 모니터링 환경에서의 안전도평가에는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로 본 연구에서는 기존의 차량 영상 이미지 트래킹을 통해 추출되는 개별차량의 주행정보와 기존의 교통상충분석기법을 응용하여 교통 안전도를 평가할 수 있는 방법론을 제시하였으며, 본 연구에서는 차량의 영상이미지 트래킹 시스템으로부터 실제 주행궤적 자료의 수집이 가능하다는 전제하에 연구를 수행하였다.

최신의 surveillance infrastructure를 이용한 교통안전도 평가를 위해서 대두되는 중요이슈는 교통안전도평가를 위한 surrogate measure의 개념 정립으로, 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.

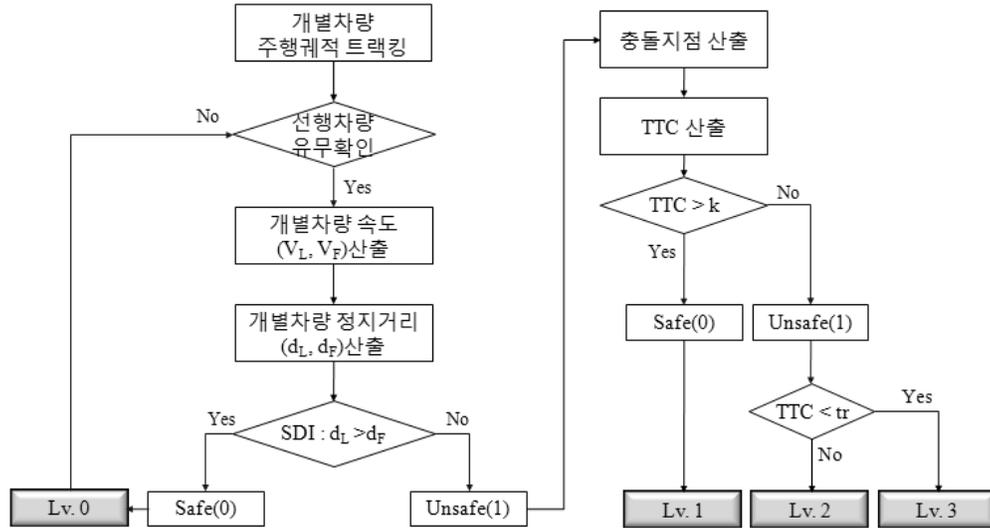
현재 및 장래의 traffic surveillance capability는 실시간으로 위험한 교통상황을 검지할 수 있도록 개별차량의 주행정보와 같은 세밀한 자료를 제공해 줄 수 있으므로, 이러한 자료를 활용하여 교통 안전도를 평가할 수 있는 방법론 개발의 필요성이 크게 대두된다고 할 수 있다. 이를 위해 surrogate measure의 정의 및 활용은 교통안전도 평가를 실시간으로 가능하게 하는 기반 작업이라고 할 수 있는데, 실시간 환경에서 수집 및 분석이 가능한 surrogate measure는 real-time surrogate measure (RSSM)로 불러 질 수 있으며, 교통안전도 평가 및 분석 시스템의 입력 자료로 사용될 수 있다. 이렇게 정의된 RSSM은 결국 실시간 모니터링환경에서 교통상충과 같은 개념으로 해석될 수 있고, 따라서 실시간 환경에서 적용 가능하도록 기존의 교통상충분석 기법을 응용할 수 있어야 한다.

2. 알고리즘의 생성

선행 연구(오철 외, 2009)에서는 <그림 1>과 같이 상충의 심각도를 SDI와 TTC를 이용하여 정량적으로 구분한 단계를



<그림 1> 심각도에 따른 상충 분류



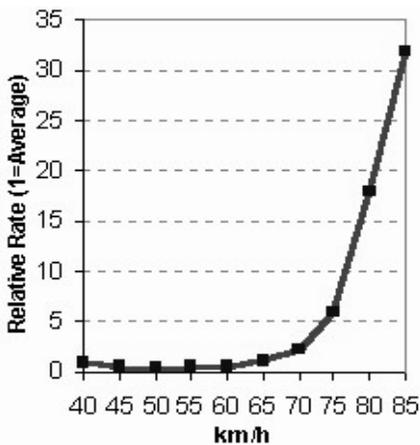
<그림 2> 상충위험도를 고려한 SDI 및 TTC 산출 알고리즘

상충심각도 Lv로 정의하고 Lv.0~3으로 분류하였다. Lv.0은 차량추종/차로변경 이벤트 없이 단독으로 검지영역을 통과하거나, 이벤트가 발생한 경우에도 SDI 값이 안전한 상황(safe, 0)인 경우를 의미한다. Lv.1은 SDI 분석으로는 불안정한 상황(unsafe, 1)이 검지되었으나 TTC가 임계값 보다 높게 나타나는 경우로 정의하였다. Lv.2는 SDI 판단결과 불안정한 상황(unsafe, 1)이 도출되고 TTC가 임계TTC 'K'보다 작은 상태를 의미한다. Lv.3는 산출된 TTC가 운전자 반응시간보다 짧은 상태를 의미하며 가장 위험한 상황을 나타낸다.

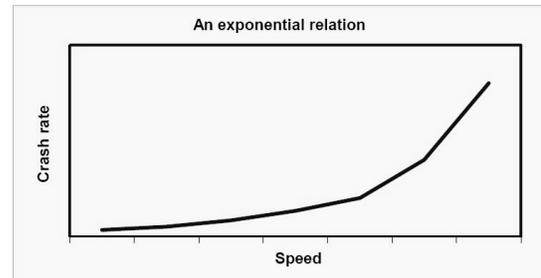
선행 연구(오철 외 2009)에서는 RSSM에 상충심각도를 고려하여 연속류 상충 알고리즘을 <그림2>와 같이 제시하였다. 수집된 개별차량의 주행궤적 자료를 분석하여 상충 심각도를 판단하고, 실시간으로 제공함으로써, SDI와 TTC를 분석한 결과를 누적하여 상류부에서 접근 중인 차량을 위한 경고정보 가공에 활용하는 알고리즘을 개발하였다.

3. 알고리즘의 개선

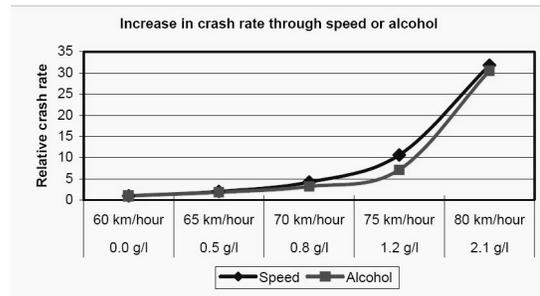
기존 알고리즘에서는 모든 차량의 조건을 동일 시 하여 상



<그림 3> 속도에 따른 위험도 비



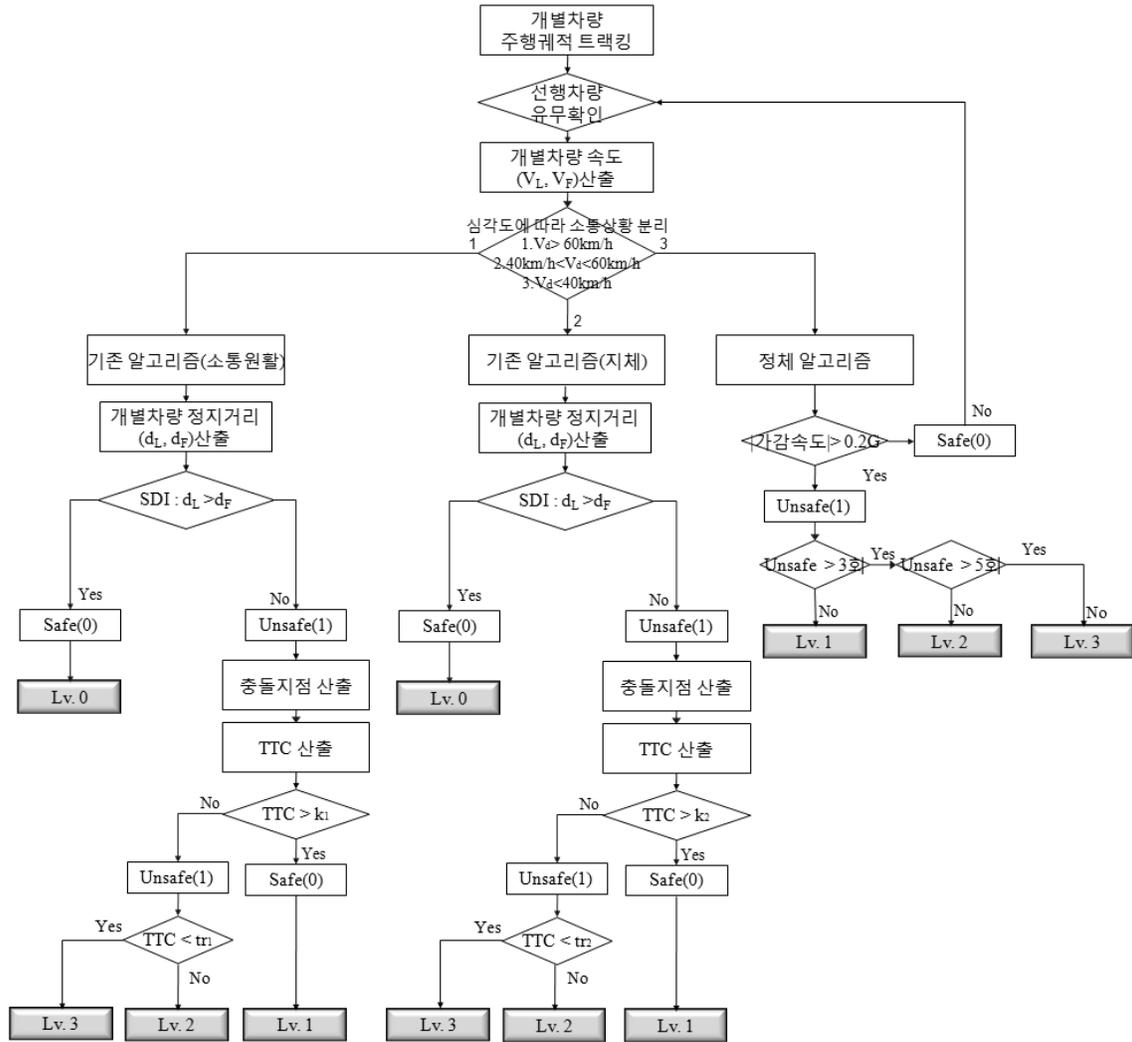
<그림 4(a)> 속도변화에 대한 충돌비율



<그림 4(b)> 속도에 따른 충돌비율

충 심각도를 분석하기 때문에, 개별차량의 상황에 따라 차등된 알고리즘의 개발이 필요하다. 개별차량의 주행속도를 반영하지 못하는 기존 알고리즘의 한계점을 개선하기 위하여 충돌 심각도에 따라 알고리즘을 분류하는 방법을 연구하였다. 속도는 충돌 심각도 및 충돌 비율과 밀접한 관계가 있다. 따라서 소통상황을 분류하기 위하여 속도에 따른 충돌 비율 및 심각도를 고려하였다. 소통상황을 충돌 비율 및 심각도에 따라 3단계로 분류하고 각각의 알고리즘에 따라 상충 심각도를 평가하였다.

교통사고 발생 시 사고 심각도는 속도와 밀접한 관련이 있다. 따라서 속도에 의한 소통상태를 심각도의 분류 기준으로 제시할 수 있다. Kloeden(1997)의 연구에서는 <그림 3>과 같이 속도와 사상자 사고의 위험도 관계를 제시하였다. 60km/h에서의 사상자 사고 위험도를 1로 지정하였을 때 속도가 증가함에 따라 사고 위험도가 증가하기 시작하며, 70~80km/h



<그림 5> 충돌 심각도를 고려한 개선된 알고리즘

에서 급증하는 것으로 나타났다.

SWOV(2007)에서는 속도와 충돌사이의 관계에서 <그림 4(a)>과 같이 속도에 따른 충돌비율이 지수 분포 형태를 이루고 있다는 것을 제시하였다. 또한 <그림 4(b)>에서는 음주와 속도가 충돌에 미치는 영향을 나타내었다. 속도가 70~80km/h일 경우 충돌 비율이 증가하는 것을 알 수 있다.

Woolley(2005)는 제한속도가 60km/h인 도로에서, 자유통행 속도가 60km/h에서 5km/h씩 증가할 때마다 사고위험도가 약 두 배씩 증가한다고 분석하였다.

문헌고찰을 통하여 제시된 분석 결과 충돌위험은 70~80km/h에서 급격하게 증가하는 것으로 판단되었으며 또한, 60km/h부터 충돌위험이 지수 분포의 형태를 보이며 증가하는 것으로 분석되었다.

따라서, 충돌위험에 따른 알고리즘 분류는 60km/h이상일 경우 소통상태 (위험), 40~60km/h일 경우 지체상태, 40km/h 미만을 정체로 분류하여 기존 알고리즘을 개선을 제시하였다.

소통상태 분류기준에 의해 분류된 정체 상황의 경우 속도가 낮아 대부분의 사고 상황은 심각하지 않은 것으로 나타나며, 따라서 심각한 상황을 구분하기 보다는 사고 발생 가능성에 대해 Level을 분류하여 제시 하였다. 정체 상황에서는 가속과 감속이 지속적으로 반복되기 때문에 급가속 및 감속이

연속적으로 발생할 경우 사고 발생 가능성이 증가함 가감속도의 절대값이 0.2G (1G=9.806m/s², 0.2G=1.9612) 이상일 경우 상충이 발생하였다고 하여 실시간 교통안전도를 평가하는 알고리즘을 개발하였다. 각각의 속도에 따른 충돌 비율 및 심각도를 고려하여 소통상황을 3분류하고 각각의 알고리즘에 따라 실시간 안전도를 평가할 수 있다. 정체상황의 경우 가감속도의 절대값을 이용하여 임계치 이상의 값이 연속으로 발생하는 빈도에 따라 상충 심각도를 결정한다.

4. 상충심각도 분석

개선된 알고리즘을 이용하여 실시간으로 수집되고 있는 영상검지기의 개별차량 주행궤적 데이터를 통해 상충심각도를 분석하였다. 현재 자유로 문산 방향의 신평IC, 장항IC, 킨텍스 IC 및 이산포IC에서 영상검지기를 통한 자료수집이 이루어지고 있으며, 본 연구에서는 개선한 알고리즘을 이용하여 장항IC의 24시간 개별차량 주행궤적 데이터를 이용하여 <표 1>과 같이 상충심각도를 분석하였다. 장항IC에서 2009년 11월 22일 00:00~24:00 동안 수집한 개별차량 주행궤적 자료이며, 1/10초 단위로 수집된 자료의 상충 이벤트를 분석하였다.

<표 1> 장항C 24시간 상충심각도 분석

24시간	Total	Lv 0	Lv 1	Lv 2	Lv 3
Total	251538	51319	195499	4568	152
Lane 1	2200	309	1794	95	2
Lane 2	40384	8979	30539	816	50
Lane 3	95739	20517	73602	1559	61
Lane 4	72148	12245	58660	1209	34
Lane 5	41067	9269	30904	889	5

수집된 자료를 이용하여 Lv2와 Lv3의 발생 빈도에 따라 운전자에게 경고정보를 제공할 수 있다. 시스템 운영적 측면에서 경고정보를 제공하고자 하는 비율에 따라 임계값을 조정하여 경고정보 제공 빈도를 조절할 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 선행 연구에서 제시한 상충 위험도 알고리즘을 개선하여 사고 심각도를 고려한 상충 위험도 알고리즘을 제시하였다. 속도에 따라 사고 심각도가 달라지는 것을 고려하여, 알고리즘을 3단계로 구분하여 소통상황에 따라 상충 위험도를 차등 적용할 수 있도록 구성하였다.

본 연구에서 제시한 상충심각도 구분 알고리즘은 실제 도로에서 발생한 교통사고 자료를 기반으로 교통사고발생원인 및 교통사고 피해심각도 등을 분석하는 기법을 대신하여, 실시간 모니터링 환경에서의 안전도평가를 하는데 활용할 수 있다.

그러나 현장에서 신뢰성 있는 시스템으로 운영되기 위해서는 다음과 같은 향후 연구가 추진되어야 할 것이다. 첫째, 교통사고 발생과 관련성이 높은 다양한 형태의 SSM을 추가로 도출하고 분석해야 한다. 적용되는SSM에 따라 제공되는 경고정보의 정확도가 달라 질수 있다. 따라서 본 연구에 적용한 SDI, TTC등의 파라미터 이외에 다양한 SSM을 통합하여 교통류의 안전성을 계량화할 수 있는 종합적인 새로운 지표를 추가로 개발하는 연구가 필요하다. 둘째, 적경고정보 제공 시간과 직접적으로 연관되는 임계값의 설정 방안에 대해 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다. 임계값은 경고정보제공 시스템의 오보율(False Alarm Rate)과 연관되며, 교통사고와 개연성이 높은 교통상황만을 검지할 수 있는 임계값 설정방법을 지속적으로 연구해야 한다. 셋째, 정확한 차량의 주행 궤적자료를 수집하기 위해 영상검지기의 정확한 트래킹 성능이 향상되어야 하며, 수집되는 영상자료에 존재하는 이상치를 보정하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 모든 검지체계에서 수집된 자료에는 이상치가 존재하며 이를 효과적으로 제거 및 보정하여 신뢰도 높은 SSM을 추출하는 방안이 연구되어야 할 것이다.

본 연구에서 제시한 알고리즘의 현장 운영 시 운전자 및 운영자의 피드백을 통해 시스템의 지속적인 성능개선이 수반되어야 할 것이며, 본 연구의 결과물은 교통사고 예방을 위한 경고정보 시스템의 현장 적용 시 이론적 배경, 자료처리 및 가공 알고리즘, 정보제공전략으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Y. J. Moon, J. Lee, and Y. Park(2003), "System integration and field tests for developing in-vehicle dilemma zone warning system," in Transportation Research Record 1826. Washington, DC: Transportation Res. Board(TRB), Nat. Res. Council, pp.53~59.
2. P. McCoy, G. Pesti, and V. Kannan(2002), "Evaluation of active advance warning signs and advance detection dilemma zone protection on high-speed signalized intersection approaches", presented at the 81st Transportation Research Board Annu. Meeting, Washington, DC,
3. H. Krishnan, S. Gibb, A. Steinfeld, and S. E. Shladover(2001), "Rear end collision warning system: Design and evaluation via simulation," in Transportation Research Record 1759. Washington, DC: Transportation Res. Board (TRB), Nat. Res. Council, pp.52~60.
4. N. S. Ritchie(1997), "Motorway automatic speed restriction warning system and vehicle spacing equipment", Eng. Des., vol. 23, no. 5, pp.10~13.
5. Knight, Paul G; Aguero-Valverde, Jonathan ; Jovanis, Paul P(2008), "Advanced Road Safety and Weather Warning System", Fourth National Conference on Surface Transportation Weather; Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, pp 140~154, Indianapolis Indiana, United States.
6. 오철, 오주택, 송태진, 박재홍, 김태진(2009), "Surrogate Safety Measures(SSM)기반 고속도로 교통안전 경고정보 처리 및 가공기법", 대한교통학회지, 제27권, 제3호, pp.59-70.
7. C. N. Kloeden, J. J. McLean, V. M. Moore and G. Ponte, "Travelling Speed and the Risk of Crash Involvement," Report No. CR 172, Federal Office of Road Safety, Canberra, Australia, 1997.
8. "The relation between speed and crashes" SWOV, Leidschendam, the Netherlands January 2007.
9. Jeremy WOOLLEY(2005), "Recent Advantages of lower speed limits in Australia", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp.3562-3573.