

■ 論 文 ■

Surrogate Safety Measures(SSM)기반 고속도로 교통안전 경고정보 처리 및 가공기법

Advanced Freeway Traffic Safety Warning Information System based on Surrogate Safety Measures (SSM): Information Processing Methods

오 철

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

송 태 진

(한양대학교 교통시스템공학과 석사과정)

오 주 택

(한국교통연구원 도로교통연구실 책임연구원)

박 재 흥

(한양대학교 교통시스템공학과 석사과정)

김 태 진

(한양대학교 교통시스템공학과 학석사연계과정)

목 차

- I. 서론
 - II. SSM기반 고속도로 경고정보시스템
 - 1. 실시간 교통안전 경고정보 제공전략
 - 2. SSM(Surrogate Safety Measure)
 - 3. 실시간 상충분석 기반 경고정보 생산 알고리즘
 - 4. 경고정보 콘텐츠
 - III. 임계값 결정 방법론 및 평가
 - 1. 자료수집
 - 2. 상충심각도수준 임계값 결정방법(K_2^c, K_3^c)
 - 3. 교통류위험도수준 임계값
 - IV. 시스템 운영 및 기술적 이슈
 - V. 결론 및 향후 연구
- 참고문헌

Key Words : 교통안전, 경고정보, 교통상충, 자료처리, 군집분석
traffic safety, warning information, traffic conflict, data processing, clustering

요 약

본 연구는 실시간 주행환경에서 교통사고를 유발할 수 있는 위험한 교통상황을 검지하고 경고정보를 운전자에게 제공하여 운전자의 회피 행동을 효율적으로 유도할 수 있는 경고정보시스템을 제안하였다. 교통사고 개연성을 계량화해서 나타낼 수 있는 Surrogate Safety Measure(SSM)를 도출하여 제안한 시스템의 구현을 위한 정보처리 및 가공기법을 개발하였다. 제안된 알고리즘을 통해 생성된 경고정보는 긴급영향권과 일반영향권으로 구분되어 제공 될 수 있다. 각 영향권에서 차별화된 경고정보 제공이 가능하도록 하는 임계값 결정 방법론을 제시하였다. 본 연구에서 새롭게 제안하는 경고정보시스템은 고속도로 교통사고 예방을 위한 교통류 관리를 위해 효과적으로 활용될 것으로 기대된다.

This study presents a novel traffic information system which is capable of detecting unsafe traffic events leading to accident occurrence and providing warning information to drivers for safer driving. Unsafe traffic events are captured by a vehicle image processing-based detection system in real time. Surrogate safety measures (SSM) representing quantitative accident potentials were derived, and further utilized to develop a data processing algorithm and analysis techniques in the proposed system. This study also defined 'emergency warning area' and 'general warning area' for more effective provision of warning information. In addition, methodologies for determining thresholds to trigger warning information were presented. Technical issues and further studies to fully exploit the benefits of the proposed system were discussed. It is expected that the proposed system would be effective for better management of traffic flow to prevent traffic accidents on freeways.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(06-교통핵심-C01)에 의해 수행되었습니다.

I. 서론

교통사고는 도로구간을 주행하는 운전자가 차량의 내적 또는 외적 영향요인에 적절히 반응하지 못할 때 순간적으로 발생하는 임의적 사건(random event)이다. 내적요인으로는 운전자의 부주의, 졸음운전, 음주운전, 차량결함 등이 대표적인 예라고 말할 수 있다. 한편, 외적요인으로는 도로선형, 기상, 교통상황 등이 포함될 수 있다. 교통사고는 이러한 다양한 요인이 복합적으로 작용하여 발생하게 된다.

교통안전분야의 연구자 및 엔지니어는 교통사고 예방을 위해 보다 능동적(proactive)이고 효과적인 대응책(countermeasures)개발을 위한 다양한 노력을 기울이고 있다. 특히 실시간 주행환경에서 교통사고를 유발할 수 있는 전방의 위험요소에 대한 정보제공을 통해 운전자의 회피행동을 효과적으로 유도할 수 있는 경고정보시스템이 대표적인 예이다. 경고정보는 운전자에게 필요한 시점과 지점/공간에서 적절히 제공 될 때 시스템의 신뢰성 및 성능이 극대화 될 수 있다.

교통사고 예방을 위한 경고정보 제공을 위해서는 위험상황을 실시간으로 모니터링하고 분석할 수 있는 검지시스템이 필요하다. 센서 및 통신기술의 발달과 더불어 교통사고예방을 위한 다양한 유형의 경고정보시스템 개발 및 평가가 수행되었다. 교차로에서 충돌사고 예방을 위한 딜레마존 경고시스템 (Moon et al., 2003), 공사구간에 대한 경고 (McCoy et al., 2002), 후미추돌 경고를 위한 첨단차량의 차내 경고시스템 설계 및 평가 (Ksishnan et al., 2002), 속도경고정보 (Ritchie, 1997), 도로 기상정보 (Knight et al., 2008) 등이 좋은 사례이다. 본 연구에서는 차량의 영상 이미지를 실시간으로 추적하고 교통사고 발생 개연성이 높은 위험상황을 검지한 후 경고정보로 처리·가공하는 기법을 제안하였다.

교통상충기법을 응용하여 차량추종 및 차로변경 이벤트를 분석하여 교통사고 개연성을 계량화해서 나타낼 수 있는 Surrogate Safety Measure (SSM)를 도출하였다. 최근 SSM은 교통류 관리전략의 안전성 평가를 위해 다양하게 응용되고 있다.(Gousios and Garber, 2009 Cunto et al., 2009) 본 연구에서는 안전정지거리, Time To Collision(TTC), 속도변동(SV: Speed Variation), 가속소음(AN: Acceleration Noise)을 주요 SSM으로 설정하였다.

신뢰성 있는 경고정보 제공을 위해서는 경고정보를 triggering하는 적정 수준의 임계값을 결정해야 한다. 이를 위해 군집분석을 SSM에 적용하는 방법론을 제안하였다. 또한, 정보시스템의 성능평가를 위해 경고정보지수 (WII: Warning Information Index)를 새롭게 제안하고 분석 사례를 제시하였다. 이와 함께 실효성 있는 경고정보 제공을 위한 다양한 기술적 이슈를 도출하고 향후 연구과제로 논의하였다.

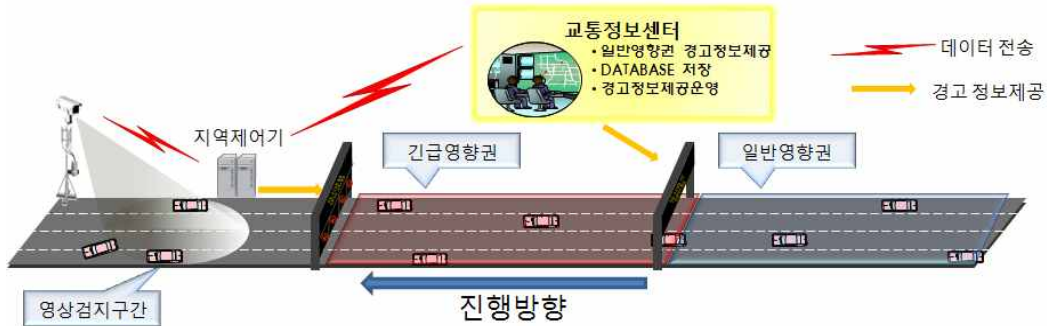
II. SSM기반 고속도로 경고정보시스템

본 연구에서 구상한 시스템은 SSM을 실시간으로 검지하고 일정수준 이상으로 관찰되는 경우 경고정보를 제공하여 교통사고를 예방하고자 하는 교통안전 경고정보시스템이다. 경고정보시스템 구현을 위해서 필요한 4가지 주요 구성요소를 다음 각 절에서 설명하였다.

1. 실시간 교통안전 경고정보 제공전략

실시간 교통안전 경고정보는 2단계에 걸쳐 제공된다. 1단계에서는 <그림 1>에서 도식화한 바와 같이 영상기반 모니터링 구간의 상류부에 해당하는 긴급영향권을 수행하는 차량에게 모니터링 구간에서 관측된 교통사고 위험성을 반영한 경고정보를 제공한다. VMS를 통해 경고정보를 제공하는 경우, 표출되는 경고정보 문자크기에 따른 판독거리를 긴급영향권 설정에 활용할 수 있다. 참고로 기존 연구(오철 등, 2007)에 의하면 VMS 정보의 문자높이가 60cm인 경우 약 250m의 판독거리가 필요한 것으로 알려져 있다. (250m가 <그림 1-a>의 2개의 VMS간의 간격을 의미하는 것은 아님). 1단계에서 제공되는 경고정보는 모니터링 구간을 진입하는 후행차량들에게 신속히 전달되어야 하며, 지역제어기에서 경고정보 제공을 위한 알고리즘이 수행되어야 한다.

2단계에서는 현장에서 수집된 SSM 자료가 교통정보센터(TMC)에서 추가 가공되며, 해당 도로구간의 교통류에 대한 집계된 위험도(level of risk)로 긴급영향권 상류부(본 연구에서는 일반영향권으로 정의함)에 경고정보를 제공한다. 시스템 구현을 위해서는 실시간으로 위험상황을 검지할 수 있는 모니터링 시스템이 필요하며, 이러한 시스템은 기존연구(Oh et al., 2009)에 구체적으로 기술되어 있다.



(a) VMS를 통한 경고정보 제공



(b) 차내단말기를 통한 경고정보 제공

<그림 1> 경고정보제공 개념도

2. SSM(Surrogate Safety Measure)

본 연구에서는 교통사고 개연성을 계량화해서 나타내는 지표인 Surrogate Safety Measure(SSM)을 정의하고 경고정보 가공방안에 적용하였다. SSM은 교통사고 발생을 암시하거나 유도하는 교통류 상태를 나타내는 변수로 정의된다. 보다 자세한 내용은 기존연구(오철 등, 2007)에 구체적으로 기술되어 있다. 본 연구에서는 SSM을 Disaggregated SSM과 Aggregated SSM으로 구분하였다.

1) Disaggregated SSM

• SDI(Stopping Distance Index)

선·후행 차량의 속도를 이용하여 식(1)과 식(2)를 통해 선·후행 차량의 최소정지거리를 각각 산출한다. 산출된 최소정지거리를 이용하여 선행차량의 정지거리가 긴 경우 안전(safe, 0)으로 나타내며, 후행차량보다 정지거리가 짧은 경우 충돌한다고 판단하여 불안전(unsafe, 1)으로 나타내는 안전도평가지표 SDI를 정의한다.

$$d_L = V_L \times h + \frac{V_L^2}{254(F \pm G)} + l_L \tag{1}$$

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

$$SDI = \begin{cases} 0(\text{safe}), & \text{if } d_L - d_F > 0 \\ 1(\text{unsafe}), & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3}$$

d_L : 선행차량의 정지거리(m)

d_F : 후행차량의 정지거리(m)

V_L : 선행차량의 속도(kph)

V_F : 후행차량의 속도(kph)

F : 타이어-노면의 마찰계수

G : 종단경사

t_R : 인지반응시간(0.82sec)

h : 차두시간

l_L : 선행차량의 길이

• TTC(Time to Collision)

선·후행 차량의 속도를 산출하여 후행차량의 속도가 더 크고 gap이 0보다 큰 경우에만 Time To Collision

(TTC)를 산출한다. TTC값은 두 차량의 간격과 선행 차량의 길이, 두 차량의 속도차이를 이용하여 식(4)를 통해 산출하며 임계치(K)와의 비교를 통해 안전(safe, 0), 불안전(unsafe, 1)으로 나타내는 안전도지표 TTCI를 정의한다.

$$TTC_i = \frac{\Delta d(t)}{V_i(t) - V_{i-1}(t)}, \forall V_i(t) > V_{i-1}(t) \quad (4)$$

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

P_L : 선행차량의 위치

P_F : 후행차량의 위치

$V_i(t)$: 후행차량의 t시간일 때의 속도

$V_{i-1}(t)$: 선행차량의 t시간일 때의 속도

$$TTCI = \begin{cases} 0 (safe), & \text{if } TTC > K \\ 1 (unsafe), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

2) Aggregated SSM

• RSI(Real-time Safety Index)

누적된 안전도평가지표(SDI)값을 식(6)과 같이 검지영역을 주행하는데 걸린 총 주행시간에 대한 누적 안전도 평가지표값의 비율로서 나타낸다. 이것을 실시간 안전도지표 RSI로 정의한다.

$$RSI = \frac{\text{관찰영역의 총 } Unsafe \text{ 시간}}{\text{관찰영역의 총 주행시간}} = \frac{\sum SDI}{T_k^{\text{전출}} - T_k^{\text{전입}}} \quad (6)$$

• RSTI(Real-time Safety TTC Index)

SDI와 마찬가지로 누적 TTCI값을 이용하여 검지영역을 주행하는데 걸린 총 주행시간동안 차량의 TTCI가 불안전(unsafe, 1)한 상황에 노출되는 시간의 비율을 RSTI라고 정의한다.

$$RSTI = \frac{\text{관찰영역의 총 } Unsafe \text{ 시간}}{\text{관찰영역의 총 주행시간}} = \frac{\sum TTCI}{T_k^{\text{전출}} - T_k^{\text{전입}}} \quad (7)$$

• SV(Speed Variation)

검지영역의 주어진 분석주기 동안 주행한 개별차량 속도자료의 표준편차를 의미한다.

• AN(Acceleration Noise)

검지영역의 주어진 분석주기 동안 주행한 개별차량

가속도자료의 표준편차를 의미한다.

본 연구에서 도출한 SSM 이외에 Deceleration Rate to Avoid the Crash(DRAC)(Cunto et al., 2008), Crash Potential Index(CPI)(Cunto et al., 2009) 등도 제안된 알고리즘에 적용하여 경고정보제공을 위해 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

3. 실시간 상충분석 기반 경고정보 생산 알고리즘

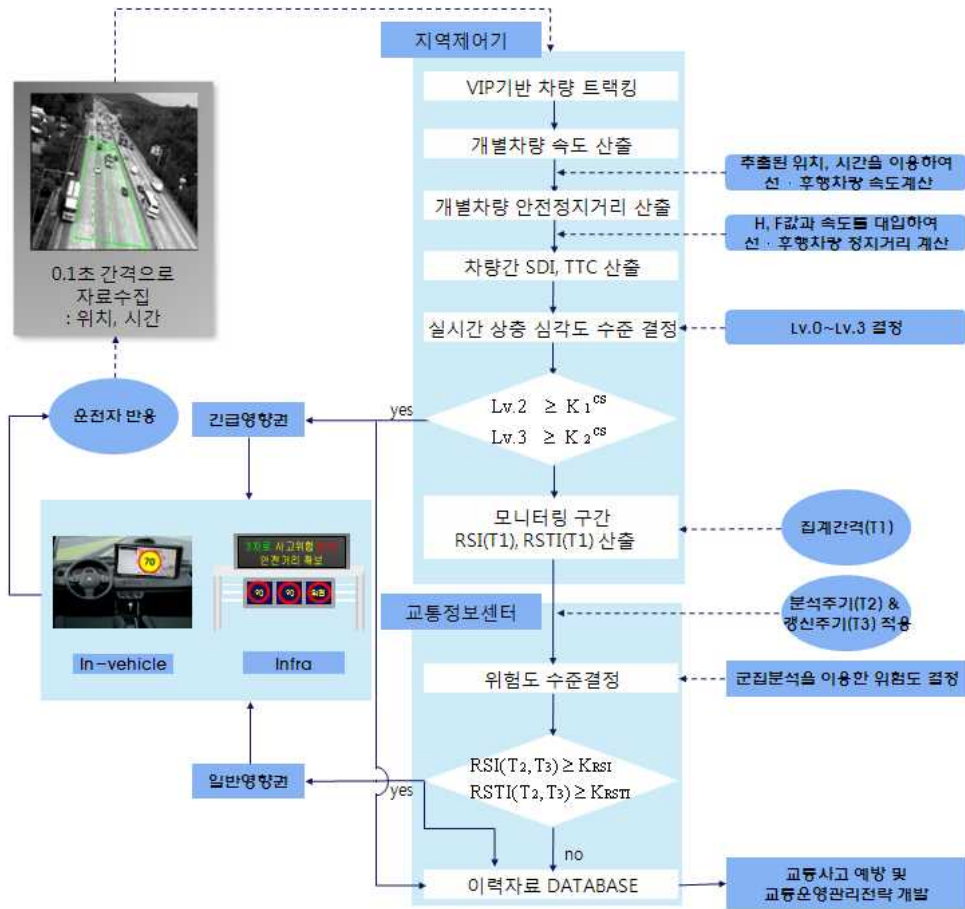
경고정보시스템의 구현을 위한 자료처리과정을 지역 제어기와 교통정보센터로 구분하여 제시하였다. 개별차량 주행궤적을 수집한 후 수행되는 자료처리 및 경고정보 생성과정을 <그림 2>에 도식화하였다.

1) 로컬자료처리

지역제어기에서 수행되는 자료처리과정은 선행연구(김준형 등, 2008)에서 개발된 내용이므로, 본 논문에서 자세한 설명은 생략하도록 한다. 본 연구에서는 상충의 심각도를 SDI와 TTC를 이용하여 정량적으로 구분한 단계를 상충심각도 Lv로 정의하고 Lv.0~3으로 분류하였다. Lv.0은 차량추종/차로변경 이벤트 없이 단독으로 검지영역을 통과하거나, 이벤트가 발생한 경우에도 SDI값이 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 반응시간(0.82초)보다 짧은 상태를 의미하며 가장 위험한 상황을 나타낸다.

지역제어기에서 추출된 상충자료는 상충심각도에 따라 4단계(Lv.0~3)로 분류되어 경고정보제공 유무를 결정하는 임계값(K_1^s, K_2^s)과 비교되어 1차 경고정보 제공이 이루어진다. <그림 3>에 상충심각도 수준을 결정하는 알고리즘을 제시하였다.

상충심각도에 따른 경고정보제공 결정 후, 사전에 정의된 집계간격(T_1)으로 RSI 및 RSTI가 산출되어 교통정보센터로 전송된다. RSI와 RSTI는 불안정한 교통 이벤트를 집계한 지표로서, 모니터링 구간내의 교통류의 안정도(traffic flow stability)를 계량화 해주는 척도이다. 이는 도로구간의 교통안전성능(traffic safety performance)을 평가하는 역할을 수행하며, 모니터링 구간 상류부를 주



<그림 2> 경고정보생성 알고리즘

행 중인 차량들에게 전방의 교통류 위험도 수준을 알려주는 데 활용될 수 있다.

2) 센터자료처리

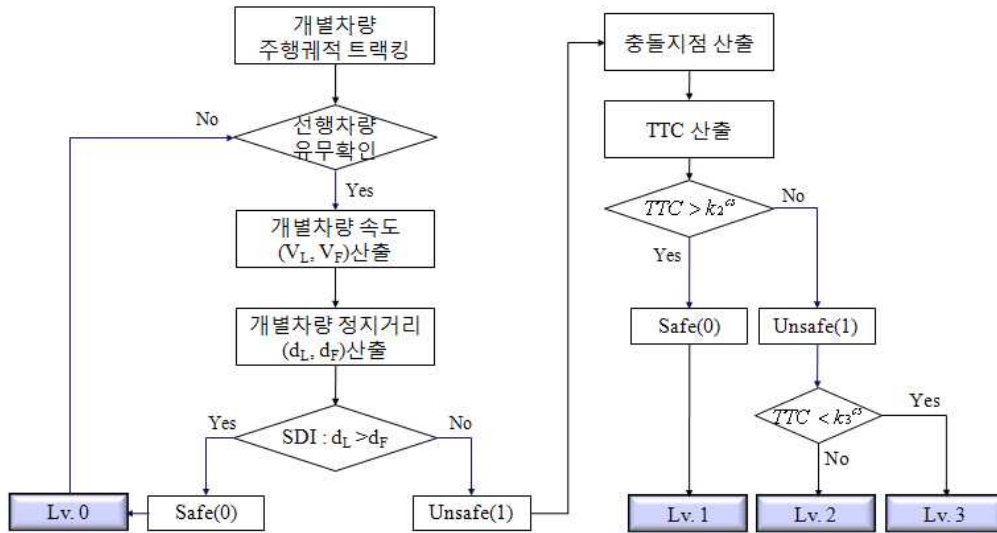
교통정보센터는 현장에서 수집된 RSI와 RSTI의 추가 집계 및 가공을 실시하여 2차 경고정보 제공 및 패턴화 작업을 통한 이력정보를 생성한다. 이때, 실시간 경고정보로 가공되기 위해서는 분석주기(T_2)와 갱신주기(T_3)가 설정되어야 한다. T_2 는 경고정보생산을 위한 SSM의 분석간격(analysis interval)을 의미하며, T_3 는 경고정보제공을 위해 새로운 값의 SSM을 산출하는 시간간격을 의미한다. 교통정보센터에 의한 2차 경고정보 제공을 위해서는 RSI와 RSTI에 대한 임계값(k_{RSI}, k_{RSTI})이 결정되어야 한다. 교통정보센터 데이터베이스는 패턴화 처리된 RSI 및 RSTI를 저장한다. 교통운영자, 엔지니어 및 연구자는 교통사고 예

방을 위한 다양한 교통안전 전략 및 정책 수립을 위해 저장된 자료를 archive하여 추가 활용할 수 있다.

4. 경고정보 컨텐츠

SSM 자료의 처리절차에 따라 다양한 유형의 경고정보가 생성될 수 있으므로 운전자에게 제공되는 경고정보의 컨텐츠는 긴급영향권과 일반영향권에서 차별화하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 긴급영향권은 사고위험이 감지된 모니터링 구간의 바로 이전 상류부로서 지역제어기에서 SSM을 처리하여 정보제공수단으로 직접 정보를 전달하는 것이 교통사고 예방을 위해 효과적이다.

Disaggregated SSM은 차로별로 산출되므로 각 차로마다 위험을 알리는 경고정보를 제공해 줄 수 있다. <그림 4-(a)>에 경고정보 문자, 차로별 위험 경고, 가변속도제

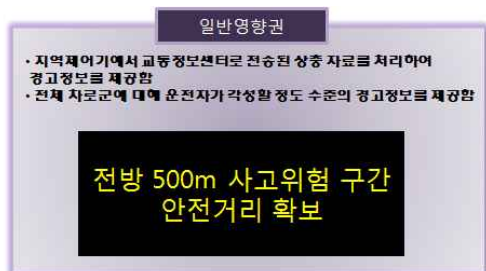


<그림 3> 상충심각도수준 결정 알고리즘

한 등의 정보를 VMS를 통해 표출 예를 제시하였다. 한편, 일반영향권(<그림 4-(b)>)에서는 긴급영향권에서와 같은 정보를 제공할 경우 정보를 받은 차량이 실제 위험구간에 진입할 당시에는 위험상황이 종료될 가능성이 높으므로 운전자가 단순히 각성할 정도의 전체 차로군에 대한 경고정보를 제공하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



(a) 긴급영향권 경고정보 콘텐츠 예시



(b) 일반영향권 경고정보 콘텐츠 예시

<그림 4> 경고정보 콘텐츠 예시

III. 임계값 결정 방법론 및 평가

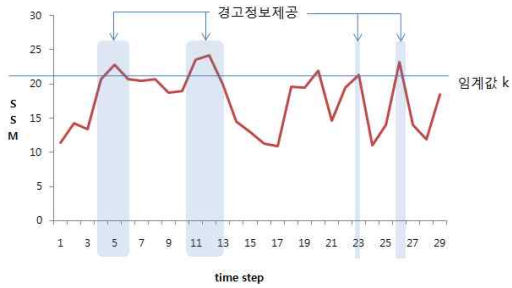
1. 자료수집

본 연구에서 알고리즘의 개발 및 평가를 위해 사용한 주행궤적 자료는 동영상 편집 프로그램 Adobe Premiere Pro 2.0을 이용하여 추출하였다. 각 1개 차선의 길이가 20m라는 가정하에 1/30초 단위로 개별차량의 주행궤적을 수집했다. 동영상 자료수집은 서해안고속도로 매송 IC 3차로 80m 구간으로 1시간동안의 교통류의 개별차량 주행궤적을 분석하였다.

신뢰성 있는 경고정보 제공을 위해서는 경고정보를 triggering하게 되는 적정수준의 임계값 결정이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 상충심각도 수준(Level of Conflict Severity)에 의한 긴급영향권 경고정보 제공을 위한 임계값과 교통류위험도수준(Level of Traffic Flow Stability)에 의한 일반영향권 경고정보 제공을 위한 임계값 결정 방법론을 구분하여 제시하였다.

2. 상충심각도수준 임계값 결정 방법(k_2^{cs}, k_3^{cs})

상충심각도수준 Lv.2와 Lv.3에 해당하는 위험 이벤트가 연속적으로 반복되는 횟수가 임계값 이상인 경우 경고정보를 제공할 수 있다. 예를 들어, Lv.3인 경우가 Lv.2보다 위험한 상황임을 고려하여 Lv.3이 5회 이상 즉, 0.5초 이상 검지되는 경우와 Lv.2가 10회 이상 검



<그림 5> 임계값(k)에 따른 경고정보제공 예시

<표 1> 임계값에 따른 상충이벤트 빈도

		k_2^{CS}								
		2초			3초			4초		
		Lv.1	Lv.2	Lv.3	Lv.1	Lv.2	Lv.3	Lv.1	Lv.2	Lv.3
k_3^{CS}	0.2초	19,125	291	0	18,444	972	0	17,379	2,037	0
	0.4초	19,125	284	7	18,444	965	7	17,379	2,030	7
	0.6초	19,125	271	20	18,444	952	20	17,379	2,017	20
	0.8초	19,125	259	32	18,444	940	32	17,379	2,005	32
	1.0초	19,125	247	44	18,444	928	44	17,379	1,988	44

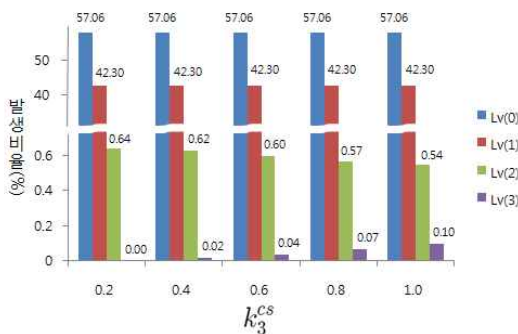
지되는 경우에 경고정보를 제공할 수 있다. Lv.2와 Lv.3을 위한 임계값은 k_2^{CS} 와 k_3^{CS} 으로 정의하였다. 빈번한 경고정보의 제공은 정보신뢰도를 떨어뜨리게 되므로, 적정수준의 경고정보가 제공될 수 있도록 임계값이 결정되어야 한다. <그림 5>에 임계값에 따른 경고정보예시를 도식화하였다.

본 연구에서는 검지구간 1개 차로에서 한 시간 동안 발생한 이벤트(분석대상이벤트: 총 45,213건)의 자료를 이용하여, Lv의 임계값 k_2^{CS} 와 k_3^{CS} 의 변화에 따른 각 수준의 발생빈도를 분석하여 <표 1>에 제시하였다. Lv.1과 Lv.2를 구분하는 k_2^{CS} 가 2, 3, 4초로 1초씩 증가함에 따라 Lv.1의

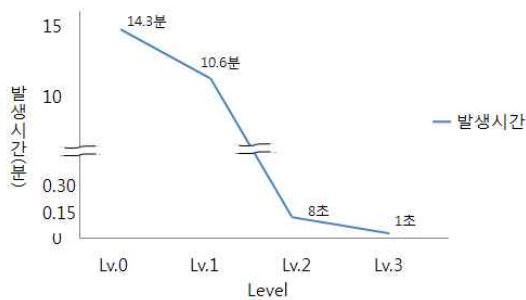
발생 빈도는 19,125에서 17,379로 9.1% 감소하고, Lv.2는 평균적으로 270에서 2,016으로 증가하는 것으로 나타났다. 한편, Lv.2와 Lv.3을 구분하는 k_3^{CS} 를 0.2~1.0초까지 0.2초씩 증가시킴에 따라 수준 Lv.3의 발생빈도가 0에서 44로 증가하는 것으로 나타났다. <그림 6-a>는 임계값 k_2^{CS} 를 2초로 고정했을 때, k_3^{CS} 의 변화에 따른 경고정보 발생빈도를 백분율로 제시하였다. k_3^{CS} 가 0.2~1.0초로 증가함에 따라서 Lv.3의 발생비율이 약 0.02%씩 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 <표 1>의 분석결과를 바탕으로 1시간에 대한 경고정보 제공시간비율을 <그림 6-b>에 도식화 하였다. k_2^{CS} 를 2초, k_3^{CS} 를 1초로 고정했을 때, 1시간 중 Lv.2는 8초, Lv.3는 1초의 경고정보가 생성 되는 것으로 분석되었다.

3. 교통류위험도수준 임계값

교통소통상황을 실시간으로 정확히 운전자에게 전달하고 경고정보에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서는 경고정보제공단계간의 교통소통상황은 최대한 이질적(heterogeneous)이며, 같은 단계 내의 교통소통상황은 최대한 동질적(homogeneous)이어야 한다. 동적이고 변화가 심한 교통소통상황을 실효성 있는 경고정보로 가공하기 위해 본 연구에서는 군집분석 기법을 응용하였다. 군집분석은 자료의 특성이 유사한 자료들을 그룹화하여 각 그룹에 해당되는 자료가 갖는 의미를 추가 분석할 수 있도록 해주는 자료분석 기법이다. 군집분석은 각 개체들을 각 그룹의 중심과 가장 가까운 거리(예, euclidean distance)에 있는 그룹에 분배하는 과정을 모든 그룹에 대하여 기존의 중심과 새로운 중심의 차이가 없을 때까지 반복 수행한다. 군집분석을 위해서는 군집의 수를 결



(a) k_3^{CS} 변화에 따른 경고정보발생 비율($k_2^{CS} = 2$)



(b) 경고정보발생 시간비율($k_2^{CS} = 2, k_3^{CS} = 1$)

<그림 6> 경고정보 발생 시간 비율

정해야 하는데, 본 연구에서와 같이 SSM을 그룹핑하는 경우에는 그룹의 수가 SSM을 기반으로 하는 위험도의 단계를 표출해 주는 것으로 해석할 수 있다. 예를 들어 군집수를 6개로 설정하고 군집분석을 수행한 후 각 그룹의 최소 및 최대값에 해당되는 SSM값을 이용하면 각 그룹을 구분하는 임계값을 도출할 수 있다. 가장 큰 SSM값들이 소속된 그룹의 최소값을 경고정보 제공을 위한 임계값(K)으로 적용하는 활용방안을 고려해 볼 수 있다.

- 위험도 수준(Level of Risk): 위험도의 단계를 나타내며 군집분석 시 그룹수에 해당
- 위험도 결정 임계값 (Risk Threshold): 경고정보를 triggering하는 일정수준 이상의 SSM 값을 나타내며 군집분석을 통해 도출 가능

본 연구에서는 각 개체에 단 하나의 그룹을 지정해 주는 k-means 군집분석 기법을 위험도 수준 결정단계에 적용하였다. 객체 i 를 그룹 j 에 배정하는 k-means 군집분석을 거리에 의한 비유사성(dissimilarity)을 최소화하는 문제로 정식화하면 다음과 같다.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k d(x_i, c_j) a_{ij} \quad (8)$$

$$\text{subject to } c_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_i a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, j = 1, \dots, k \quad (9)$$

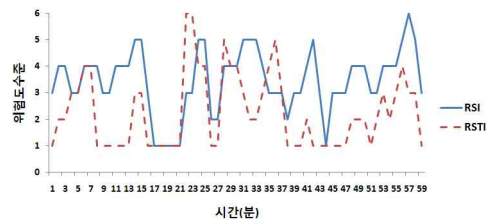
- a_{ij} : 1(객체 i 가 군집 j 에 배정될 때) 또는 0(otherwise)
- x_i : 객체 j 의 vector식 표현
- n : 총 개체수
- d : 거리

본 연구에서는 경고정보시스템의 다양한 운영조건과 경고정보의 신뢰도 향상을 위해 분석주기를 1, 2, 3, 4, 5분, 갱신주기를 1분으로 설정하여 SSM값을 산출하였다. 다양한 분석주기를 통해 산출된 SSM값을 2, 3, 4, 5, 6의 위험도수준으로 구분하여 군집분석을 실시하였으며, 위험도수준 6으로 구분된 위험도수준 임계값을 <표 2>에 제시하였다. 군집수를 6개로 설정하고 군집분석을 수행한 후 각 그룹의 최소 및 최대값에 해당되는 SSM값을 이용하면 각 그룹을 구분하는 임계값을 도출할 수 있

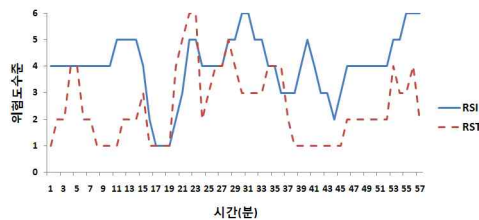
<표 2> 군집분석 결과 예

SSM	위험도수준	min	max	위험도수준 임계값
RSI	1	0.00	13.85	1/2수준:14.55
	2	15.24	27.78	2/3수준:28.11
	3	28.44	39.96	3/4수준:40.73
	4	41.50	51.61	4/5수준:51.96
	5	52.31	60.89	5/6수준:61.99
	6	63.08	71.65	
RSTI	1	0.00	1.34	1/2수준:1.38
	2	1.42	4.18	2/3수준:4.25
	3	4.31	7.49	3/4수준:7.91
	4	8.33	12.86	4/5수준:15.20
	5	17.53	17.53	5/6수준:23.17
	6	28.81	28.81	
SV	1	5.15	7.08	1/2수준:7.25
	2	7.41	9.34	2/3수준:9.38
	3	9.42	11.42	3/4수준:11.45
	4	11.48	13.97	4/5수준:14.05
	5	14.13	16.54	5/6수준:16.68
	6	16.81	19.02	
AN	1	4.77	9.35	1/2수준:9.43
	2	9.50	13.52	2/3수준:13.55
	3	13.58	18.00	3/4수준:18.13
	4	18.25	23.54	4/5수준:23.97
	5	24.39	30.96	5/6수준:32.45
	6	33.93	36.40	

다. 4개의 SSM중 RSI에 대한 결과 예로서, 가장 큰 SSM값들이 소속된 위험도수준 6의 최소값 63.08을 경고정보 제공을 위한 임계값(K)으로 적용하기 위해, SSM이 동일한 위험도수준 5의 최대값 60.89와 위험도수준 6의 최소값 63.08의 평균 값 61.99를 위험도수준 임계값으로 결정하였다.



(a) 2분 분석주기, 1분 갱신주기



(b) 4분 분석주기, 1분 갱신주기

<그림 7> 군집분석 결과를 이용한 SSM 패턴 예시

본 연구의 분석을 위해 추출한 1시간 자료에 대해 2분, 4분의 분석주기와 1분의 갱신주기를 적용하여 산출된 SSM을 위험도 수준 6으로 군집분석한 결과를 도식화하면 <그림 7>과 같다. 위험도수준 임계값을 기준으로 SSM의 위험도수준이 결정되며, 4분의 분석주기 그래프를 2분의 분석주기 그래프와 비교해보면 시간의 변화에 따른 그래프의 변화가 단순해지는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 도로용량편람(대한교통학회, 2001)의 교통운영 분석을 위한 서비스수준(LOS) 6단계의 개념을 적용하여 6개 군집을 경고정보 제공을 위한 위험도수준으로 결정하였다. 도로용량편람에서는 고속도로의 교통운영 상태를 평가할 수 있는 서비스수준을 자유 통행상태인 LOS A에서 통행이 와해된 상태의 LOS F까지의 6단계로 구분하고 있다. 본 연구에서의 경고정보 제공수준은 차량간의 추종관계는 존재하지만 상충이 발생하지 않는 상태인 제 1단계로부터, 심각도가 높은 상충이 발생하여 사고위험성이 매우 높은 상태를 제 6단계로 정의하였다.

경고정보시스템의 평가를 위해 식(10)과 같이 경고정보시스템 운영시간 중 경고정보가 제공되는 시간의 비율을 '경고정보지수 (WII: Warning Information Index)'라고 정의하였다.

$$WII(\%) = \frac{\text{경고정보 제공 시간}}{\text{시스템 운영 시간}} \times 100 \quad (10)$$

임계수준을 높게 설정하는 경우 주어진 분석주기 내에서 SSM 값이 클 경우에 경고정보가 제공되며 이 때 WII는 작은 값을 나타내게 된다. 반대로 임계수준을 낮게 설정하는 경우 SSM 값이 작을 경우에도 경고정보가 제공되며 이 때 WII는 큰 값을 가진다. 임계수준을 높게 설정하면 교통사고발생 개연성이 매우 높은 교통상황에

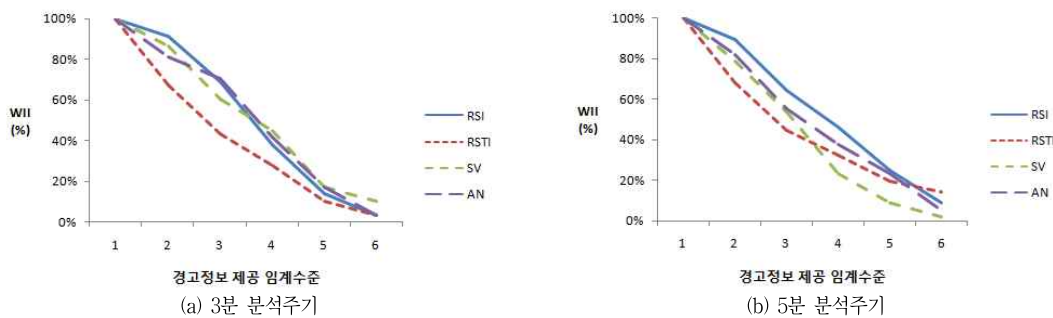
서만 운전자에게 경고정보를 제공하여 경고정보의 신뢰도를 높일 수 있다. 그러나 교통사고를 유발하는 교통상황을 모두 감지할 수 없는 경우가 발생하게 된다. 한편, 임계수준을 낮게 설정하면 경고정보가 빈번히 또는 장기간 표출되어 조금이라도 위험한 상황을 모두 감지할 수 있는 가능성을 증가시키는 동시에 다량의 오보(false alarm)를 통해 정보의 신뢰도를 감소시키게 된다.

본 연구에서는 신뢰도가 높은 경고정보에 대한 임계수준 결정 방안으로써 WII 평가결과를 <그림 8>에 제시하였다. 예를 들어 설명하면, 3분의 분석주기(<그림 8-a>)로 SSM을 추출하고 임계수준을 '6'으로 설정한 경우 전체 경고정보의 3~10%의 경고정보가 제공되며, 경고정보가 제공되는 비율을 1시간 단위로 환산하면 약 1.5~6분의 경고정보가 표출되는 것으로 분석되었다.

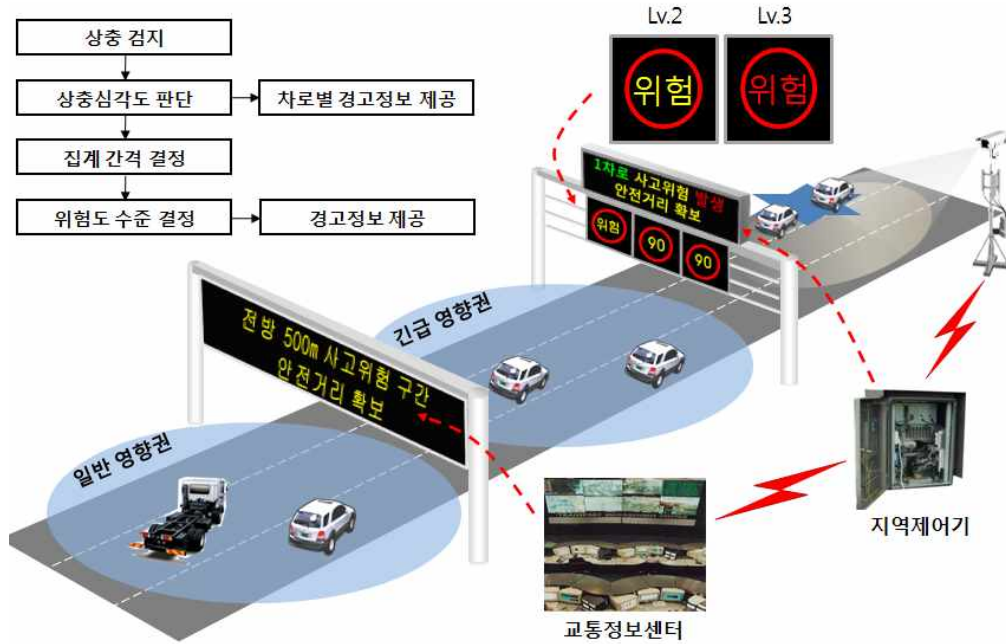
IV. 시스템 운영 및 기술적 이슈

본 연구에서 제시한 방법론을 적용한 시스템 운영방안은 다음과 같다. 긴급영향권에서는 검지영역내 주행차량의 주행궤적을 분석하여 상충심각도 수준을 결정한다. 지역제어기에서 분석되는 상충은 각각의 차로별로 분석되어 경고정보 메시지가 제공되며, 상충분석 심각도 수준이 높아짐에 따라(Lv.2, Lv.3) 제한속도 90을 나타내는 VMS 기호가 위험을 나타내는 경고메시지로 전환되어 운전자에게 경고정보를 제공하는 예시를 <그림 9>에 제시하였다. 또한, 일반영향권에서는 시스템에서 지정된 분석주기와 갱신주기에 의해 결정된 2차 경고정보가 VMS등을 통해 제공되며 운전자가 각성할 수 있는 수준의 경고 메시지를 제공한다.

본 연구에서 제시한 SSM기반 경고정보시스템을 발전



<그림 8> 임계수준에 따른 WII 분석



<그림 9> 시스템 운영을 통한 경고정보제공 예시

시키기 위해서는 차량 주행궤적이 정확하게 수집되어야 한다. 또한, 영상자료를 수집하는 검지기의 성능과 수집된 영상자료를 처리하는 기법이 개선되어야 하며 영상 검지기의 차량추적 성능(vehicle tracking performance)에 따라 SSM을 선별적으로 활용해야 한다. 차량추적 성능이 우수한 경우, 차로변경 또는 차량추종 이벤트를 구체적으로 분석하는 SDI, TTC 등을 이용한 SSM을 활용할 수 있다. 한편, 차량추적 성능이 미흡한 경우에는 가속소음이나 속도의 변동을 활용 하는 것이 바람직 할 것이다.

정확한 상충분석으로 신뢰도 있는 경고정보를 제공하는 임계값(K)을 결정하는 방안과 실시간으로 검지영역에서 수집된 자료를 처리할 때 발생할 수 있는 이상치(outlier)에 대한 보정방법, 교통정보센터에서 처리되는 상충 이력자료의 평활화방법 등의 다양한 적용과 평가가 수행되어야 한다. 또한, 본 연구에서 제안한 경고정보시스템이 효과적으로 적용될 수 있는 고속도로 구간 선정과 경고정보를 효율적으로 운전자에게 제공하기 위한 VMS의 최적 설치 위치가 결정되어야 한다.

경고정보시스템의 현장 구현을 위해서는 VMS등의 Infra 구성요소, 차내 단말기, 영상수집장치와 같은 다양한 장비가 필요하다. 따라서 도로의 모든 구간에 경고정보시스템을 운영하기에는 한계가 있으므로 교통사고 다발지점에 선별적으로 설치하여 운영하는 것이 바람직하다.

V. 결론 및 향후 연구

교통사고의 발생과 연관되는 요인을 도출하고 이를 계량화하여 사전에 교통사고를 유발시키는 상황을 검지할 수 있다면 교통사고의 발생 및 심각도를 감소시킬 수 있다. 이를 위해서는 실시간으로 위험상황을 검지하고 운전자에게 효과적으로 위험상황정보를 전달해주어야 한다. 경고정보시스템은 이러한 요구사항을 만족시킬 수 있는 대표적인 기술이다. 본 연구에서는 교통사고를 유발할 수 있는 위험한 교통상황을 SSM(Surrogate Safety Measure)을 통해 계량화하고, 이를 운전자에게 경고정보로서 제공하기 위한 가공방법을 제시하고 평가하였다. 신뢰도 높은 경고정보제공을 위한 임계수준을 결정하는 방법으로 군집분석을 적용하는 방안을 제안하였다. 군집분석 결과, 차량추종 이벤트의 상충위험도 수준을 6단계로 적용하여 경고정보를 제공하는 것이 적절한 것으로 나타났다. 전체 분석시간 중에서 경고정보 제공시간이 차지하는 비율인 WII(Warning Information Index)를 정확한 경고정보 제공을 위한 임계값 설정지표로 적용하여 10%이하의 WII값을 얻기 위해서는 임계수준 6을 적용하는 것이 적정하다는 결과를 얻었다.

차량추종이벤트와 이력자료에서 SSM을 실시간으로 추출하여 교통사고 예방을 위해 경고정보를 운전자에게

제공한다는 새로운 개념의 교통안전 경고정보시스템을 구상하고 평가한 것이 본 연구의 의의라고 할 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. 적용되는 SSM에 따라 제공되는 경고정보의 정확도가 달라 질 수 있다. 따라서 본 연구에 적용한 RSI, RSTI 등의 파라미터 이외에 다양한 SSM을 통합하여 교통류의 안전성을 계량화할 수 있는 종합적인 새로운 지표를 추가로 개발하는 연구가 필요하다. 둘째, 적절한 갱신주기와 분석주기가 설정되어야 한다. 갱신주기와 분석주기는 SSM의 평활화 정도와 제공되는 정보의 실시간성에 영향을 미치므로 자료수집을 위한 모니터링 구간, 정보제공 영역, 통신 및 자료처리 능력 등을 함께 분석하는 연구가 필요하다. 셋째, 정확한 차량의 주행궤적자료를 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. 넷째, 경고정보 제공 시간과 직접적으로 연관되는 임계값의 설정 방법에 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. 또한, 경고정보 콘텐츠는 주행차량이 일반영향권에 진입하여 긴급영향권에서 진출할 때까지 지속적으로 제공되어야 하며, 이러한 경고정보를 제공하기 위한 집계단위 및 경고정보 갱신주기 설정에 대한 향후 연구가 필요하다. 아울러 현장 운영 시 운전자 및 운영자의 피드백을 통해 시스템의 지속적인 성능개선이 수반되어야 할 것이다.

본 연구의 결과물은 교통사고 예방을 위한 경고정보 시스템의 현장 적용 시 이론적 배경, 자료처리 및 가공 알고리즘, 정보제공전략으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 김준형·송태진·오철·오주택·민준영(2008), “실시간 연속류 교통상층 검지 및 분석 시스템 개발”, 교통기술과 정책, 제6권 제4호, 대한교통학회, pp.117~132.
2. 김준형·송태진·오철·성낙문(2008), “개별차량 주행패턴 분석을 통한 교통사고 위험도 분석 기법”, 대한교통학회지, 제26권 제5호, 대한교통학회, pp.51~62.
3. 대한교통학회(2001), “도로용량편람”, 건설교통부제정.
4. 오철·김원기·이수범·이정원·김정완(2007), “DGPS를 이용한 VMS 메시지 판독거리 모형개발”, 대한교통학회지, 제25권 제5호, 대한교통학회, pp.23~32.
5. 오철·조정일·김준형·오주택(2007), “영상기반 실시간 후미추돌 위험도 분석기법 개발”, 대한교통학회지, 제25권 제5호, 대한교통학회, pp.173~182.
6. Cunto, Flavio, Duong, David, and Saccomanno, Frank F. (2009), “Comparison of Simulated Freeway Safety Performance to Observed Crashes” presented at the 88th Transportation Research Board Annu. Meeting, Washington, DC.
7. Cunto, Flavio, Saccomanno, and Frank F.(2008), “Calibration and validation of simulated vehicle safety performance at signalized intersections”, Accident Analysis and Prevention.
8. Gousios, Stergios, Garber, and Nicholas J.(2009), “Relationship Between Time to Collision Conflicts and Crashes on Interstate Highways Subjected to Truck Lane Restrictions”, presented at the 88st Transportation Research Board Annu. Meeting, Washington, DC.
9. Knight, Paul G., Jonathan, Aguerro-Valverde, and 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.
10. Krishnan, H., S. Gibb, Steinfeld, A., and Shladover, S. E.(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.
11. McCoy, P., Pesti, G., and Kannan, V.(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.
 12. Moon, Y. J., Lee, J., and Park, Y.(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.
 13. Oh, C., Oh, J., and Min, J.(2009), “Real-time Detection of Hazardous Traffic Events on Freeways: Methodology and Prototypical Implementation”, presented at the 88th Transportation Research Board Annu. Meeting, Washington, DC.
 14. Perkins, S. R.(1968), “Traffic Conflict Characteristic-Accident Potential at Intersections”, HIGHWAY RESEARCH RECORD Number 225, Traffic Safety and Accident Research 6 Report.
 15. Ritchie, N. S.(1997), “Motorway automatic speed restriction warning system and vehicle spacing equipment”, Eng. Des., vol. 23, no. 5, pp.10~13.

✉ 주 작성자 : 오 철

✉ 교신처자 : 오 철

✉ 논문투고일 : 2009. 3. 12

✉ 논문심사일 : 2009. 4. 23 (1차)

2009. 5. 18 (2차)

2009. 5. 21 (3차)

✉ 심사판정일 : 2009. 5. 21

✉ 반론접수기한 : 2009. 10. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필