

실시간 연속류 교통상충 검지 및 분석 시스템 개발

김준형, 송태진, 오철, 오주택, 민준영

I. 서론

도로위의 모든 차량들은 차량추종 및 차로변경 등의 상호작용을 가지고, 끊임없이 상충을 발생시키며 주행한다. 이런 상호작용으로 인한 상충과 교통사고와의 연관성은 기존의 다양한 연구 결과(reference)가 충분히 입증하고 있다. 따라서 개별차량의 주행궤적을 모니터링하고 차량추종 이벤트와 차로변경 이벤트 진행 중의 차량간 상호작용의 안전성을 평가하고 분석하는 것은, 사고의 원인 분석 및 예방의 시작이라고 할 수 있다.

최근 각종 센서 및 통신기술의 발달은 과거에 비해 보다 미시적이고 폭넓은 교통자료의 취득을 가능하도록 하였다. 이러한 기술력은 현재의 교통상황과 정보를 바로 수집할 수 있는 실시간 모니터링 시스템 환경을 제공할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 다양한 상용기술 개발이 활발히 진행되고 있는 차량 영상 이미지 분석 시스템의 개별차량의 주행궤적자료를 이용하여 실시간 교통모니터링 환경에서 적용 가능한 연속류 교통상충 검지 및 분석 시스템을 제안하고자 한다. 선행연구에서 개별차량의 주행궤적 자료를 이용하여 차량추종 및 차로변경 이벤트 진행 중 각 차량간 상충을 분석하여 교통안전도를 분석할 수 있는 기법을 제안 하였다. 본 연구에서는 상기 교통상충 분석 기법을 바탕으로 시스템 개발을 위한 요구사항을 분석하고, 실시간 연속류 교통상충 검지 및 분석 시스템을 제안한다.

김준형 : 한양대학교 교통공학과, wingman@hanyang.ac.kr, 직장전화:031-415-8078, 직장팩스:031-406-6290

송태진 : 한양대학교 교통공학과, tjs1717@hanyang.ac.kr, 직장전화:031-415-8078, 직장팩스:031-406-6290

오 철 : 한양대학교 교통공학과, cheolo@hanyang.ac.kr, 직장전화:031-400-5158, 직장팩스:031-406-6290

오주택 : 한국교통연구원 육상교통연구본부, jutaek@koti.re.kr, 직장전화:031-910-3114, 직장팩스:031-910-3222

민준영 : 상지영서대학 게임프로듀서과, wmjy@paran.com 직장전화:033-730-0780 직장팩스:033-730-0767

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

II. 국내외 관련 연구 고찰

1. 교통상충 관련 연구

이기영(2006)은 엇갈림구간에서 발생하는 상충유형을 추정하여 교통조건과 상충과의 연관성을 고려한 상충추정모형을 개발 하였다. 오철 등(2007)은 영상 이미지 트래킹을 통해 추출되는 개별차량의 주행정보와 기존 교통상충분석기법을 응용한 실시간 교통안전평가 방법론을 제시하였다. 오주택 등(2007)은 Tripwire기반의 영상검지 알고리즘과 Tracking 기반의 개별차량 추적기술을 통하여 기본 교통정보를 산출하고 성능을 비교하였다. 김준형 등(2008)은 개별차량의 주행패턴을 차량추종 이벤트와 차로변경 이벤트로 구분하고, 개별차량의 주행정보와 기존 교통상충 분석기법을 응용한 교통사고 위험도 분석 기법을 제안하였다.

Perkins 등(1968)은 교통상충을 잠재적 사고 상황으로 정의하여 교차로 사고형태에 따라 20가지 이상의 객관적인 교통상충 기준들을 제시하였다. Hyden(1996)에 의하면 교통상충분석 기법의 일종으로 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 보고 하였다. TTC와 유사한 안전성 지표(safety indicator)로서 충격과 건수(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 논문에서는 루프검지기에서 수집된 개별차량의 자기신호자료를 이용하여 후미추돌가능성을 정량화하는 방법론을 제안하였다.

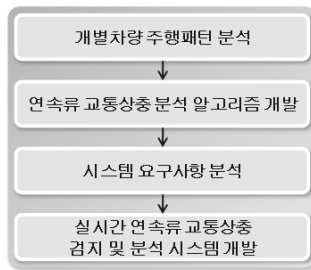
2. 영상검지기 기술 관련 연구

미국버지니아 대학에서는 CCTV로 주요 관찰지점을 Preset으로 설정한 다음 각 지점에 설정한 ROI(Region of Interest)를 비교하여 CCTV

Repositioning 방법으로 교통정보를 수집하는 PTZ에 따른 검지영역 자동 설정 기술을 개발하였다. Eero Pasanen(1993)은 헬싱키시의 주요한 교차로에 비디오 카메라를 설치하고 이것에 의한 영상을 기초로 사고발생 메카니즘을 개발하였다. 미국미네소타 대학 Michalopoulos 교수 연구팀(Hourdos, 2006)에서는 사고다발지점에 비디오 카메라를 설치하고 개별 차량 Image Processing을 통해 교통사고를 유발하는 교통상황을 감지하기 위한 기술 개발을 개발하였고 현장에서 다양한 테스트를 통한 업그레이드를 수행 중에 있다.

3. 본 연구의 의의

본 연구는 개별 차량의 미시적 주행궤적 자료를 실시간으로 수집할 수 있는, 교통상황의 실시간 모니터링 환경에서 적용 가능한 실시간 연속류 교통상충 검지 및 분석 시스템을 개발하는데 의의를 둔다. 선행 연구에서 제시한 차량 주행 패턴 분석을 통한 연속류 교통상충 분석 알고리즘을 바탕으로, 시스템 개발을 위한 요구사항을 분석하고 실시간 연속류 교통상충 검지 및 분석 시스템을 제시하고자 한다. 연구과정은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구 흐름도

III. 실시간 연속류 교통상충 검지 및 분석 시스템

1. 시스템 개발의 의의

실시간 연속류 교통상충 검지 및 분석 시스템은 실시간 모니터링 환경에

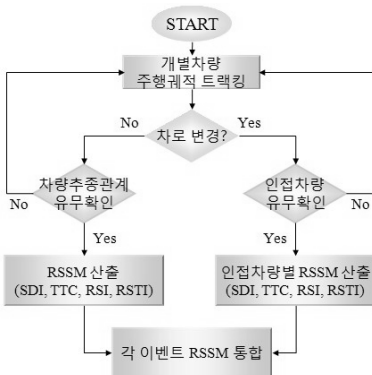
서 적용 가능한 교통안전 분석 시스템이다. 본 시스템은 실시간으로 교통류를 모니터링하고 안전도를 분석하여, 교통상황의 급박한 변화와 돌발상황 등에 신속하게 대응할 수 있다. 또한, 이력자료 조회 및 분석을 통해 해당 구간에 대한 사고예방 대책 및 교통 운영 전략 개발을 지원할 수 있다. 본 시스템 개발에 앞서 후에 기술할 차량패턴 분석 및 교통상충 분석 알고리즘의 정립이 선행되어야 한다. 이 부분은 선행연구(오철, 2007., 김준형, 2008)의 자세한 내용을 참조하며, 본문에서는 간략히 서술하도록 한다.

2. 차량 주행 패턴 분석

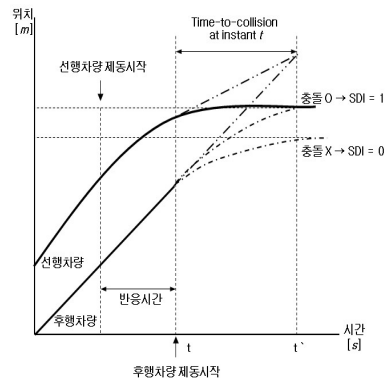
차량주행패턴 분석은 차량추종 이벤트 분석과 차로변경 이벤트 분석으로 구분된다. 차량추종 이벤트는 검지영역내 동일 차로에서 주행하고 있는 선·후행 차량의 주행궤적자료를 이용하여 안전거리와 차두시간을 산정하고, 이를 통해 안전도를 분석한다. 차로변경 이벤트는 검지영역내 주행하고 있는 차량이 인접차로로 차로변경을 수행할 경우, 주행차로와 목적차로에서 주행 중인 인접차량과의 안전도를 분석한다.

3. 연속류 교통상충 분석 알고리즘

차량주행패턴 분석을 통해 추출된 주행궤적자료를 이용하여 각 이벤트별



<그림 2> 연속류 교통상충 분석 알고리즘



<그림 3> SDI와 TTC 개념도

상충을 분석하여 <그림 2>와 같이 RSSM(Real-time Safety Surrogate Measure)을 산출한다. RSSM은 실시간 안전성을 평가하기 위한 지표로, SDI, TTC, RSI, RSTI 등이 이에 포함된다. <그림 3>에 SDI 와 TTC의 개념을 도식화하였으며 자세한 내용은 다음과 같다.

SDI(Stopping Distance Index)는 선·후행 차량간의 정지거리를 분석하여, 두 차량의 최종 정지시 충돌여부를 판단한다. <그림 3>의 1점 파선부분과 같이 선행차량의 급제동 시 각 차량의 정지거리를 비교하여, 충돌여부에 따라 안전(safe, 0), 불안전(unsafe, 1)을 표출한다. 제동 이후 차량의 감속운동을 분석한다.

RSI(Real-time Safety Insex)는 대상차량이 검지영역을 통과하는 동안 SDI가 불안전(unsafe, 1)한 시간의 비율을 나타낸다. 불안정한 시간의 비율이 높을수록 사고 잠재율이 높다고 할 수 있다.

TTC(Time-to-Collision)는 첨단안전차량의 성능 및 효과 등의 평가에 사용되어 오고 있는 TTC(Time-to-Collision)는 다음과 같이 정의 한다. '개별차량의 차량추종 이벤트 상에서 선·후행차량이 속도변화가 없이 현재의 속도를 유지할 경우, 후행차량의 속도가 빠르다면 충돌이 발생하게 된다. 이때 현재시점(t)과 충돌시점($t+\alpha$)간의 시간차이 α 를 TTC라 한다.' TTC값이 작을수록 불안정한 상태라고 할 수 있다. <그림 3>의 2점 파선부분과 같이 t 시점 이후 두 차량이 등속운동을 할 경우, t 시점부터 충돌까지의 시간을 산정한다. 산정결과 설정된 임계 TTC보다 클 경우는 안전(safe, 0), 작을 경우는 불안전(unsafe, 1)을 표출한다.

RSTI(Real-time Safety Index)는 RSI와 같이 대상차량이 검지영역을 통과하는 동안 TTC가 불안전(unsafe, 1)한 시간의 비율을 나타낸다. 불안정한 시간의 비율이 높을수록 연쇄추돌사고의 발생 가능성이 높다고 할 수 있다.

Ⅳ. 시스템 요구사항 분석 및 개발

1. 시스템 요구사항 분석

상기 기술한 연속류 교통상충 분석 기법을 바탕으로 효과적인 실시간 연

속류 교통상충 검지 및 분석 시스템을 개발하기 위한 요구사항을 분석하여, <표 1>에 정리하였다. 요구사항은 연구진 및 관련 전문가의 의견수렴과 이미지 프로세싱을 통한 차량추적 기술수준 등을 고려하여 도출되었다.

요구사항 분석은 분석항목에 따라 영상 이미지 트래킹, 상충분석, GUI(Graphic User Interface)로 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 영상 이미지 트래킹 부분은 검지대상영역을 통과하는 개별차량 주행궤적의 시스템을 통한 산출가능 여부에 대한 요구사항을 포함한다. 검지영역내 통과차량의 주행궤적 자료를 수집할 수 있어야 하며, 통과차량 중 일정수준 이상의 차량을 검지할 수 있어야 한다. 수집된 개별차량 주행궤적 자료는 일정수준 이상의 정확성을 보장할 수 있어야 한다. 또한, 모든 개별차량 주행궤적자료 및 분석 자료는 단위시간 마다 저장 및 분석되어야 한다. 본 연구에서는 상충분석의 신뢰성을 고려하여 95%의 차량 검지 및 정확성, 0.1초의 단위시간을 요구사항으로 설정하였다.

<표 1> 시스템 요구사항 분석

| 분석항목 | 기능 | 내용 | 요구사항 |
|------------------|----------------|---|----------------------------|
| 영상 이미지 트래킹 | 개별차량 영상검지 | 검지영역 내 통과차량의 주행궤적 자료를 수집 | 검지율 : 95% 이상 |
| | | 수집한 주행궤적자료(위치, 속도)의 정확성 | 정확도 : 95% 이상 |
| | | 모든 주행 궤적자료 및 분석 자료는 동일한 단위시간으로 저장 및 분석 | 단위시간 : 0.1 sec |
| 상충분석 | 차량추종 검지 | 검지영역내 동일차로에서 주행 중인 선·후행 차량과의 차량추종관계를 분석 | 차량추종 이벤트 분석결과 별도저장 |
| | 차로변경 검지 | 차로변경 이벤트 발생시 인접차량 4대와의 안전도를 평가 | 차로변경 이벤트 분석결과 별도저장 |
| | 차종구분 | 검지영역내 통과차량의 차종을 구분 | 소형, 중형, 대형 |
| | 임계 TTC | TTC 산출시 임계값에 따른 안전도 평가 | 2~3초 (0.1초 간격) |
| | 처리 속도 및 부하 | 상충분석 처리 속도 | 집계자료범위 미만 (1분, 3분) |
| G U I | 자료 집계 주기 | 상충 분석에 사용되는 실시간 주행궤적자료의 data 집계주기 차등 적용 | 집계주기 : 1분, 3분, 5분 |
| | | 상충 분석에 사용되는 이력 자료의 data 집계주기 차등 적용 | 집계주기 : 3분, 5분, 15분, 1시간 |
| | 이력자료 조회 범위 | 이력자료 database 구축 범위 | 1년, 2년 |

상충분석 부분은 시스템을 통해 산출된 개별차량 주행궤적 자료의 교통 상충분석 기법을 통한 상충분석 가능 여부에 대한 요구사항을 포함한다. 차량 주행패턴 분석에 있어, 차량추종 이벤트의 경우 검지영역내 동일차로에서 주행 중인 선후행 차량의 추종관계를 분석하고 저장할 수 있어야 한다. 차로변경 이벤트의 경우 차로변경 차량의 인접한 최대 4대의 차량과의 상충분석 결과가 저장되어야하며, 각 이벤트의 분석결과는 각각 구분되어 저장되어야 한다. 차종은 소형, 중형, 대형 3종류로 구분한다. 상충분석에 있어, 설정된 임계 TTC가 적용되어 분석되어야 하며, 임계 TTC는 2~3초 사이에서 0.1초 간격으로 설정 가능해야 한다. 상충분석 처리속도는 최소한 실시간 모니터링 집계간격 미만이어야 한다.

GUI 부분은 상충분석 결과의 조회 가능여부에 대한 요구사항을 포함한다. 실시간 모니터링에서 상충분석에 필요한 주행궤적 자료의 집계간격과 이력 자료 조회에서 상충분석에 필요한 주행궤적 자료의 집계간격은 차등적용한다. 실시간 모니터링의 경우 5분 이내의 집계간격을 요구하지만, 이력자료 조회의 경우 최대 1시간 까지 가능하다. database 구축 규모는 1년 이상의 연단위로 구축한다.

2. Tracking 기반의 개별차량 추적기술

본 연구에서는 영상이미지 트래킹을 위하여, 배경영상 차영상 방법을 이용하였다. 배경영상 차영상법은 배경영상과 현재영상의 차이를 비교하여 차량영상을 추출하는 방법이다. 영상추출과정은 <그림 4>와 같다.

차량영상추출은 <그림 5>와 같이 미리 저장된 배경영상(A)과 현재 영상(B)의 grey level을 비교하여 차량영상(B-A)을 추출한다. 단, 차량영상의 최적화를 위해 grey level 27~255 부분만 취득한다.

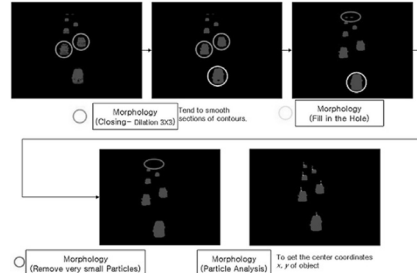
추출된 차량영상은 완전한 개별차량의 형태를 가지고 있지 않기 때문에 <그림 6>과 같이 보정작업이 필요하다. 개별차량의 윤곽과 내부의빈 공간을 채우기 위해, 개별차량으로 인식된 픽셀은 3×3 사이즈로 확대한다. 차량의 윤곽이 잡히지만, 아직 내부의 빈공간이 많기 때문에, 차량 윤곽선 내부를 채워서 완전한 형태를 만든다. 완성된 개별차량 이외의 아주 작은 부



〈그림 4〉 배경영상 차영상법 과정



〈그림 5〉 차량영상 추출



〈그림 6〉 Morphology 과정

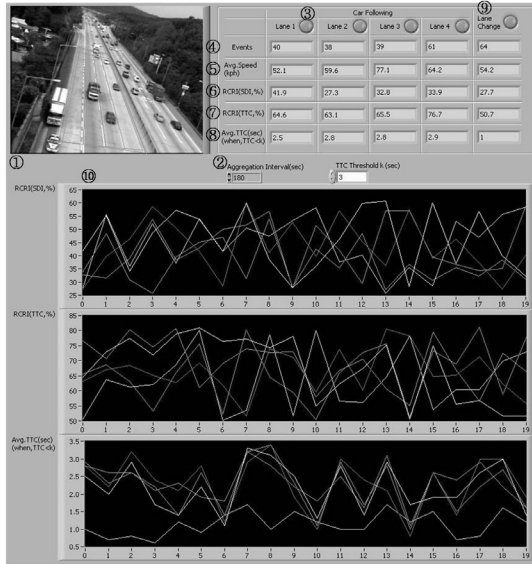
분은 제거하여 노이즈를 제거 한다.

추출된 개별차량의 중심좌표를 추출하여 부여된 개별차량 ID와 함께 저장된다. 개별차량의 트래킹은 이전 프레임에서 추출된 개별차량의 중심좌표가 현재 프레임에서 추출된 개별차량의 영역에 포함되었는지 여부에 의해 이루어진다. 현재 프레임의 개별차량 영역내에 이전 프레임 개별차량의 중심좌표가 포함된다면 동일차량으로 판단하여, 동일 ID를 부여하고 주행 궤적 자료를 저장한다.

3. 시스템 개발

본 연구에서 제안하는 시스템은 검지대상 영역의 현재 교통류의 상충을 분석하는 ‘실시간 모니터링’ 부분과 이력자료를 이용하여 분석 및 조회 가능한 ‘이력자료 분석 및 조회’ 부분으로 구분된다.

실시간 모니터링 화면은 검지영역의 현재 교통소통상황을 모니터링하고 분석한다. 화면구성은 〈그림 7〉과 같다. 실시간 모니터링 조회 화면에서는 각 RSSM의 결과값이 제공되고, 시스템 내의 산출내역은 〈그림 8〉와 같다. 프로그램의 주요부분에 대한 자세한 내용 및 산출과정은 다음과 같다.



〈그림 7〉 실시간 모니터링 화면

| 시간 | 선행차량 | | | | 후행차량 | | | | h | FF | dL(m) | dF(m) | SDI | VL(kph) | VF(kph) | TTC(sec) | TTCI | |
|-------------|---------|-------|----|---------|-------|----|-------|--------|--------|--------|-------|-------|------|---------|---------|----------|------|--|
| | ID | 위치(m) | 차종 | ID | 위치(m) | 차종 | | | | | | | | | | | | |
| 09:30:14:01 | 9301203 | 47.5 | 1 | 9301300 | 27.7 | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 09:30:14:02 | 9301203 | 50.0 | 1 | 9301300 | 30.5 | 2 | 0.696 | 0.2870 | 133.21 | 186.96 | 1 | | 90.0 | 100.8 | 4.93 | 0 | | |
| 09:30:14:03 | 9301203 | 52.5 | 1 | 9301300 | 33.4 | 2 | 0.659 | 0.2838 | 133.52 | 200.49 | 1 | | 90.0 | 104.4 | 3.60 | 0 | | |
| 09:30:14:04 | 9301203 | 55.0 | 1 | 9301300 | 36.7 | 2 | 0.561 | 0.2729 | 135.57 | 255.01 | 1 | | 90.0 | 117.6 | 1.78 | 1 | | |
| 09:30:14:05 | 9301203 | 57.5 | 1 | 9301300 | 40.0 | 2 | 0.525 | 0.2711 | 135.46 | 265.79 | 1 | | 90.0 | 120.0 | 1.54 | 1 | | |
| 09:30:14:06 | 9301203 | 60.0 | 1 | 9301300 | 43.0 | 2 | 0.567 | 0.2807 | 132.46 | 214.58 | 1 | | 90.0 | 108.0 | 2.46 | 1 | | |
| 09:30:14:07 | 9301203 | 62.5 | 1 | 9301300 | 46.0 | 2 | 0.550 | 0.2807 | 132.05 | 214.58 | 1 | | 90.0 | 108.0 | 2.36 | 1 | | |
| 09:30:14:08 | 9301203 | 65.0 | 1 | 9301300 | 48.8 | 2 | 0.579 | 0.2870 | 130.26 | 186.96 | 1 | | 90.0 | 100.8 | 3.83 | 0 | | |
| 09:30:14:09 | 9301203 | 67.5 | 1 | 9301300 | 51.8 | 2 | 0.523 | 0.2807 | 131.38 | 214.58 | 1 | | 90.0 | 108.0 | 2.20 | 0 | | |
| 09:30:14:10 | 9301203 | 70.0 | 1 | 9301300 | 53.3 | 2 | 0.550 | 0.2870 | 129.55 | 186.96 | 1 | | 90.0 | 100.8 | 3.57 | 0 | | |

〈그림 8〉 시스템 내 산출내역

① 영상

분석구간의 현재 교통소통상황을 보여주고, 분석구간의 검지영역을 실선으로 나타내준다.

② 집계간격 및 임계 TTC

상층분석시 data의 집계간격 및 임계 TTC 값을 설정한다. 기본값으로는 집계간격 3분, 임계 TTC 3.0초로 설정되어있다. 집계 간격은 1분단위, 임계 TTC는 0.1초 단위로 설정 가능하다.

③ 검지영역 선택 버튼

하단의 그래프에서 나타낼 검지영역을 선택한다.

④ 이벤트수

집계간격동안 발생한 이벤트 수로 차량추종 이벤트의 경우 차로별 통과차량 수, 차로변경 이벤트의 경우 차로변경 이벤트 발생 건수를 나타낸다.

⑤ 평균속도

집계간격동안 검지영역을 통과한 차량들의 산술 평균 속도(kph)를 나타낸다. 우선 검지영역 설정시 검지대상 영역의 실제거리를 측정하여, 비디오 이미지의 픽셀당 실제거리를 설정한다. 단, 원근 정도에 따라 픽셀당 실제거리를 차등 적용한다. 0.1초 단위로 차량의 비디오 이미지상 이동거리(픽셀/0.1초)를 검지하여 개별차량의 주행속도를 산출하고, 이를 산술 평균한다.

⑥ RSI

a. 주행궤적 수집

0.1초 단위로 수집된 주행궤적자료를 분석한다. 개별차량의 ID는 검지영역에 진입한 시간을 부여한다. 차량이 검지영역에 진입한 시간이 09:30:12.3 라면 차량의 ID는 '9301203'로 부여된다. 개별차량의 위치는 검지영역 시작점으로 부터의 위치이다. 검지영역 설정시 검지대상 영역의 실제거리를 측정하여, 비디오 이미지의 픽셀당 실제거리를 설정한다. 단, 원근 정도에 따라 픽셀당 실제거리를 차등 적용한다. 영상 이미지상의 픽셀 이동거리를 측정하여 위치를 산정한다. 차종은 소형(1), 중형(2), 대형(3)으로 구분한다.

b. 개별차량의 속도 산출

0.1초 단위로 차량의 비디오 이미지상 이동거리(픽셀/0.1초)를 검지하여 개별차량의 주행속도를 산출한다.

$$V = \frac{\text{이동거리}(m)}{0.1(\text{sec})} = \frac{50 - 47.5}{0.1} \times 3.6 = 90(kph)$$

c. Headway와 Friction Factor 산출

산출된 후행차량의 속도와 차량 간격을 통해 Headway가 산출된다.

$$h = \frac{\text{차량간격}(m)}{\text{후행차량속도}(m/s)} = \frac{50 - 30.5}{100.8/3.6} = 0.696(\text{sec})$$

Friction Factor는 Roess et al. (2004)에서 제시된 마찰계수와 속도와의 관계를 단순회귀분석을 이용하여 수식화 한다.

$$F = -0.0914 \ln(100.8/3.6) + 0.5916 = 0.287$$

d. 정지거리 산출

위에서 산출된 교통변수를 이용하여 선행차량과 후행차량의 정지거리를 산출한다.

$$d_L = \frac{V_L}{3.6} \times h + \frac{V_L^2}{254(F \pm G)} + l_L = \left(\frac{90}{3.6}\right) \times 0.696 + \frac{(90)^2}{254(0.287)} + 4.7 = 133.21(m)$$

$$d_F = \frac{V_F}{3.6} \times t_R + \frac{V_F^2}{254(F \pm G)} = \left(\frac{100.8}{3.6}\right) \times 1.7 + \frac{(108.5)^2}{254(0.287)} = 186.96(m)$$

e. SDI 및 RSI 산출

선행차량의 정지거리가 산출되면, 두차량의 정지거리를 비교하여 충돌여부를 확인 할 수 있다. 후행차량의 정지거리가 더 길 경우 두 차량은 충돌하게 되므로, SDI(Stop Distance Index)는 unsafe 한 상황이므로, "1"을 산출한다. RSI는 차량이 검지영역을 통과하는 동안 SDI가 unsafe한 시간의 비율을 나타낸다. 검지영역 총 주행시간이 37프레임, SDI가 "1"인 경우가 9프레임 이라면,

$$RSI = \frac{\text{관찰영역의 총 Unsafe시간}}{\text{관찰영역의 총주행시간}} = \frac{\sum SDI}{T_k^{\text{전출}} - T_k^{\text{전입}}} = \frac{9}{37} = 24.3\%$$

⑦ RSTI

• 교통변수 산출

주행계적 수집, 속도 산출의 과정의 위의 RSI에서의 과정과 동일하다.

- TTC 산출

선행 차량의 속도가 산출되면, 두 차량의 간격과 후행차량의 속도를 통해 TTC를 산출 한다.

$$TTC_i = \frac{\Delta d(t)}{V_i(t) - V_{i-1}(t)} = \frac{50 - 30.5}{\frac{100.8}{3.6}} = 4.93(\text{sec})$$

- TTCI 산출

임계 TTC “k”보다 작은 TTC를 나타낼 경우, TTCI(Time to Collision Index)는 unsafe한 상황인 “1”을 나타낸다. 임계 TTC “k”는 기본값으로 3.0초로 설정되어있다.

- RSTI 산출

RSTI는 RSI와 마찬가지로, 차량이 검지영역을 통과하는 동안 TTCI가 unsafe한 시간의 비율을 나타낸다. 검지영역 총 주행시간이 37프레임 이고 SDI가 “1”인 경우가 4프레임 이라면,

$$RSTI = \frac{\text{관찰영역의 총 Unsafe시간}}{\text{관찰영역의 총주행시간}} = \frac{\sum TTCI}{T_k^{\text{전출}} - T_k^{\text{전입}}} = \frac{4}{37} = 10.8(\%)$$

⑧ 평균 TTC

평균 TTC는 집계간격 동안 임계 TTC “k” 보다 작은 TTC 값들의 평균을 나타낸다. TTC가 unsafe한 상황에서의 평균 TTC 값을 나타낸다.

⑨ 차로변경 이벤트의 RSI, RSTI, 평균 TTC

차량추종 이벤트는 선행차량 2대만의 상관관계이지만, 차로변경 이벤트는 차로변경 차량(K0)과 인접차량(K1~K4)의 최대 5대 차량의 상관관계를 통합하여 분석한다. 차로변경 차량(K0)과 각각의 인접차량(K1~K4)의 상관관계 분석은 차량추종 이벤트와 동일한 과정으로 이루어지며, <표 2>와 같이 각각의 분석결과를 나타낼 수 있다.

<표 2> 차로변경이벤트 분석 예시

| | K1 | K2 | K3 | K4 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|
| RSI(%) | 16 | 13 | 24 | 20 |
| RSTI(%) | 21 | 15 | 28 | 26 |
| 평균 TTC(sec) | 2.7 | 2.6 | 1.9 | 2.1 |

$$RSI_{all} = \frac{\sum RSI_{Ki}}{\sum n} = \frac{16+13+24+20}{4} = 18.25(\%)$$

$$RSTI_{all} = \frac{\sum RSTI_{Ki}}{\sum n} = \frac{21+15+28+26}{4} = 22.5(\%)$$

$$\text{평균 TTC} = \frac{(2.7+2.6+1.9+2.1)}{4} = 2.325(\text{sec})$$

차로변경 이벤트 1건의 분석은 차로변경 차량(K0)이 검지영역을 통과한 시간이 모두 동일하므로, 위와 같이 각 인접차량과의 분석결과를 평균하여 산출 할 수 있다. 그러나, 설정된 집계간격 동안 발생한 여러 차로변경 이벤트를 통합하여 분석할 경우, <표 3>과 같이 집계간격 동안 존재하는 unsafe한 SDI와 TTC를 통합하여 분석한다.

<표 3> 통합 차로변경 이벤트 분석 예시

| KO 차량 주행시간(frame) | 차로변경 이벤트 1 | | | | 차로변경 이벤트 2 | | | |
|----------------------|------------|----|----|----|------------|----|----|----|
| | 46 | | | | 38 | | | |
| | K1 | K2 | K3 | K4 | K1 | K2 | K3 | K4 |
| unsafe SDI 수(frame) | 13 | 12 | 18 | 11 | 9 | x | 12 | 7 |
| unsafe TTC 수(frame) | 11 | 13 | 15 | 12 | 8 | x | 12 | 9 |

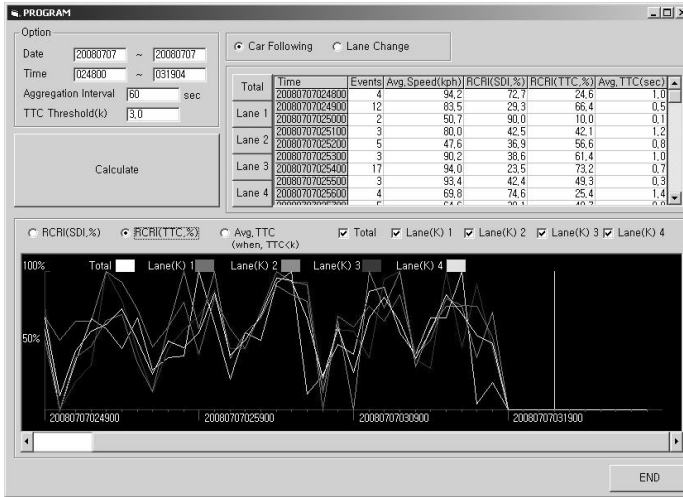
$$RSI_{all} = \frac{\sum RSI_{Ki}}{\sum n} = \frac{13+12+18+11+9+12+7}{46 \times 4 + 38 \times 3} = 27.5(\%)$$

$$RSTI_{all} = \frac{\sum RSTI_{Ki}}{\sum n} = \frac{11+13+15+12+8+12+9}{46 \times 4 + 38 \times 3} = 26.8(\%)$$

평균 TTC는 집계간격동안 발생한 임계 TTC “k” 이하의 TTC를 산술평균한다.

⑩ 그래프

선택된 검지영역의 그래프 표출한다. 기본값으로 3분간격, 임계 TTC 3.0초의 분석결과를 2시간분량, 40 point를 보여준다. 가장 최근 기록이 오른쪽에 위치하여 집계간격마다 과거자료를 지워내고 그래프를 새로 보여준다. 집계간격 설정에 따라 도식화할 수 있는 범위가 다르지만, 최대 40 point 까지 도식화할 수 있다.



〈그림 9〉 이력자료 조회 화면

2) 이력자료 분석 및 조회

〈그림 9〉는 이력자료를 이용한 상충 분석 및 조회 화면이다. 이력자료 조회 부분은 database의 자료를 이용하여 상충을 분석하는 것 이외에 실시간 모니터링 부분과 크게 다른 점이 없다. 조회기간을 설정하는 것 이외의 다른 입력 설정내용은 실시간 모니터링 부분과 동일하다.

V. 결론

본 연구는 교통류의 실시간 모니터링 환경에서 적용 가능한 실시간 연속류 교통상충 검지 및 분석 시스템을 제시하는데 목적을 두고 있다. 이를 위해 개별차량의 주행패턴을 분석하여 교통상충 분석 기법을 제시하고, 시스템 요구사항 분석을 통해 개발된 시스템을 제안하였다. 개별차량 주행패턴은 차량추종 이벤트와 차로변경 이벤트로 구분하여, 각 이벤트와 직접 관련된 개별차량의 주행궤적을 통해 차량간 상충을 분석한다. 영상 이미지 트래킹, 상충분석, GUI 각 부분의 시스템 개발을 위한 요구사항을 분석하였고,

이를 통해 교통상충 검지 및 분석 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 제안한 교통상충 검지 및 분석 시스템은 교통류의 실시간 모니터링과 이력자료 조회 및 분석이 가능하다. 이를 통해 교통운영자 및 이용자가 사고 예방을 위해 보다 능동적으로 대응할 수 있도록 다양하게 활용될 것으로 기대된다. 개발된 시스템은 사고 다발구간 및 상습 정체구간, 공사구간 등에서 교통안전을 고려한 가변속도제어, 램프미터링, 경고정보제공 등의 교통운영전략 적용에 활용할 수 있다. 이력자료 분석 및 조회 기능은 대상 영역 내 장기간의 통행특성 및 안전도를 분석하여, 해당영역에 적합한 교통사고 예방전략 및 정책 수립을 지원하게 될 것이다. 향후, 다양한 교통류 검지 시스템 및 정보 제공 시스템과 연계하여 연속류의 교통안전 증진을 위해 본 시스템이 효과적으로 활용될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 김준형·송태진·오철(2008), “개별차량 주행패턴 분석을 통한 교통사고 위험도 분석기법”, 제58회 학술발표회 발표집, 대한교통학회, pp.468~477.
2. 오주택·민준영·김승우·허병도·김명섭(2007), “Tripwire 및 Tracking 기반의 영상검지시스템개발을 위한 성능비교 및 분석”, 제57회 학술발표회, 대한교통학회, pp.907~914.
3. 오철·조정일·김준형·오주택(2007), “영상기반 실시간 후미추돌 위험도 분석기법 개발” 대한교통학회지, 제25권 제5호, 대한교통학회, pp.173~182.
4. 이기영(2006), “교통상충 및 사고분석에 의한 엇갈림구간의 안전도평가기준개발”, 한양대학교대학원 박사학위논문.
5. Hirst, S, Graham, R.(1997), “The format and presentation of collision warnings.” In: Noy, N.I.(Ed), Ergonomics and safety of intelligent Driver Interfaces.
6. Hourdos, John N; Garg, Vishnu; Michalopoulos, Panos G; Davis, Gary(2006), “Real time detection of crash prone conditions at freeway high-crash locations”, Transportation Research Record 1968, pp.83~91.
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. Perkins, S. R.(1968), "Traffic Conflict Characteristic-Accident Potential at Intersections", HIGHWAY RESEARCH RECORD Number 225, Traffic Safety and Accident Research 6 Report.
11. Roess R. P., Prass, E., and Mcshane, W. (2004), Traffic Engineering, Pearson Education, Inc.
12. 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.



김준형



송태진



오철



오주택



민준영