

V2X 환경에서 위험운전이벤트 감지 및 분석을 통한 교통안전 모니터링기법 개발

Development of Traffic Safety Monitoring Technique by Detection and Analysis of Hazardous Driving Events in V2X Environment

정은비*
(Eunbi Jeong)

오철**
(Cheol Oh)

강경표***
(Kyeongpyo Kang)

강연수****
(Younsoo Kang)

요약

개별차량의 주행체적을 모니터링하고 개별차량의 위험운전행태를 감지하여 도로의 안전성을 평가하고 분석하는 것은 사고의 원인 분석 및 예방의 시작이라 할 수 있다. 최근 각종 센서 및 통신기술의 발달은 과거에 비해 보다 미시적이고 폭넓은 교통자료의 취득을 가능하도록 하였다. 이러한 발달된 기술력을 통해 사고 이력자료를 이용할 수밖에 없던 과거와 달리 개별차량의 주행체적자료를 실시간으로 가공하여 교통상황과 정보를 바로 수집할 수 있는 실시간 모니터링 시스템 환경을 제공할 수 있다. 본 연구에서는 개별차량 주행자료 수집 및 차량-차량간, 차량-인프라간 무선통신이 가능한 차량 내 센서로부터 수집되는 자료를 이용하여 위험운전이벤트를 감지하였다. V2X 통신을 통해 생성된 위험운전 정보를 교통관리센터로 전달하고 도로의 위험도를 산출함으로써 실시간 유비쿼터스 환경에서의 교통안전 모니터링을 통해 도로의 안전성을 평가할 수 있는 기법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 교통안전 모니터링 기법은 실제 테스트베드에 구현되어 테스트 중에 있으며, 실제 구현된 교통안전 모니터링의 적용 사례 및 활용방안에 대하여 소개하고자 한다. 본 연구에서 제시한 교통안전 모니터링 기법은 도로의 전반적인 안전성을 검토함으로써 교통류 관리전략 수립을 위한 기초자료로써 활용될 수 있을 것이며 교통안전증진을 위한 다양한 정책개발 및 평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

Traffic management centers (TMC) collect real-time traffic data from the field and have powerful databases for analysing, recording, and archiving the data. Recent advanced sensor and communication technologies have been widely applied to intelligent transportation systems (ITS). Regarding sensors, various in-vehicle sensors, in addition to global positioning system (GPS) receiver, are capable of providing high resolution data representing vehicle maneuverings. Regarding communication technologies, advanced wireless communication technologies including vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-vehicle infrastructure (V2I), which are generally referred to as V2X, have been widely used for traffic information and operations (references). The V2X environment considers the transportation system as a network in which each element, such as the vehicles, infrastructure, and drivers, communicates and reacts systematically to acquire information without any time and/or place restrictions. This study is motivated by needs of exploiting aforementioned cutting-edge technologies for developing smarter transportation services. The proposed system has been implemented in the field and discussed in this study. The proposed system is expected to be used effectively to support the development of various traffic information control strategies for the purpose of enhancing traffic safety on highways.

Key words : V2X 무선통신, 교통안전 모니터링, 위험운전, 위험운전지표, 교통관리센터, V2X wireless communication, traffic safety monitoring, hazardous driving, unsafe driving index, transportation management center

* 주저자 : 한양대학교 교통공학과 박사과정

** 교신저자 : 한양대학교 교통·물류공학과 교수

*** 공저자 : 한국교통연구원 첨단교통 올림픽수송연구센터 부연구위원

**** 공저자 : 한국교통연구원 첨단교통 올림픽수송연구센터 선임연구위원

† 논문접수일 : 2012년 2월 29일

† 논문심사일 : 2012년 10월 24일

† 게재확정일 : 2012년 10월 31일

I. 서론

2009년 도로교통공단 사고통계자료에서 기타, 미분류 사고를 제외한 총 303,444건의 사고 중 그 원인을 정확히 파악할 수 없는 안전운전 불이행 사고가 143,283건으로 약 47.2%에 해당하고 있다[1]. 상충이 빈번히 발생하는 도로에서 안전운전 불이행은 사고 발생 개연성을 높이게 되며, 자칫 대형사고로 이어질 수가 있다. 따라서 개별차량의 주행궤적을 모니터링하고 개별차량의 위험운전행태를 검지하여 도로의 안전성을 평가하고 분석하는 것은 사고의 원인 분석 및 예방의 시작이라 할 수 있다. 최근 각종 센서 및 통신기술의 발달은 과거에 비해 보다 미시적이고 폭넓은 교통자료의 취득을 가능하도록 하였다. 특히 차량-차량 간(V2V, Vehicle to Vehicle), 차량-인프라 간(V2I, Vehicle to Infrastructure) 무선통신을 포함하는 V2X 무선통신은 실시간으로 수집된 자료를 처리하여 인접차량이나 센터로 정보를 전달함으로써 개별 차량의 주행정보를 더욱 수월하게 수집할 수 있는 환경을 제공한다. 따라서 발달된 기술력을 통해 사고 이력자료를 이용할 수밖에 없던 과거와 달리 개별차량의 주행궤적자료를 실시간으로 가공하여 교통상황과 정보를 바로 수집할 수 있는 실시간 모니터링 시스템 환경을 제공할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 개별차량 주행자료 수집 및 무선통신이 가능한 OBU(On-Board Unit)로부터 수집되는 자료를 이용하여 위험운전이벤트를 검지하고, 검지된 위험운전이벤트 자료를 이용하여 교통안전 모니터링 지표를 개발함으로써 실시간 유비쿼터스 환경하에서의 교통안전 모니터링을 통해 도로의 안전성을 평가할 수 있는 기법을 제시하였다. 즉, 교통안전 모니터링 지표를 통해 모니터링 하고자하는 도로구간에서 얼마나 많은 위험운전이 발생하고 있는지, 어떤 위험운전이벤트가 자주 발생하는지 분석하여 도로구간의 특성 및 위험도를 간접적으로 파악할 수 있는 기법을 제시하였다. 본 연구에서 제시하는 교통안전 모니터링 기법은 네 부분으로 구성된다. 첫째, V2V, V2I 무선통신이 가능하며 GPS(Global Positioning System)수신기, 관성측정센서(IMU, Inertial Measurement Unit)가 탑재

되어 있는 OBU로부터 수집되는 개별차량의 가속도 및 각속도 자료를 이용하여 개별차량의 위험운전을 검지하였다. 둘째, 계층화분석법(AHP, Analytical Hierarchical Method)을 통해 교통사고 위험도에 따른 위험운전이벤트 별 가중치를 산정하고, 검지된 개별차량의 위험운전을 이용하여 위험운전 지표(UDI, Unsafe Driving Index)를 산출하여 도로의 교통 안전도를 평가하는 교통안전 모니터링 지표로써 활용하였다. 셋째, 산출된 교통안전 모니터링 지표를 이용하여 운영자가 실시간으로 도로의 구간을 모니터링 하고 운전자에게 도로의 위험정보 및 돌발상황 정보 등의 경고정보를 제공할 수 있도록 교통안전 모니터링 센터를 구축하였다. 마지막으로, 실제 테스트베드에서 수집된 자료를 이용하여 시스템성능 및 서비스구현 검증을 수행하였다. 교통안전 모니터링 센터는 실제 테스트베드에 구현되어 테스트 중에 있으며, 본 논문에서는 제안된 교통안전 모니터링의 적용 사례 및 활용방안에 대하여 소개하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 위험운전 및 교통 모니터링과 관련된 기존 문헌을 고찰하였고, 3장에서는 교통안전 모니터링 시스템에 대한 전반적인 내용을 제시하였다. 4장에서는 교통안전 모니터링 센터 구축현황을 소개하였으며, 5장에는 결론을 제시하였다.

II. 기존문헌 고찰

본 연구에서는 위험운전 검지관련 연구와 교통안전 모니터링 관련 연구를 위주로 기존문헌을 고찰하였다.

1. 위험운전 검지관련

한인환(2007)은 차량용 블랙박스를 활용하여 주행데이터 특성 분석과 위험운전 인지 체계 구축을 목적으로 위험운전 인지 알고리즘을 구성하였다[2]. Beck et al.(2007)은 휴대폰을 사용하는 운전자와 사용하지 않는 운전자의 운전행태를 비교하였다. 그 결과 휴대폰 사용 운전자는 졸음운전과 같은 운전

행태를 보였으며, 신호위반, 과속 등의 범규를 지키지 않는 경향을 보이는 것으로 나타났다[3]. 오주택(2008)은 운전자로부터 발생할 수 있는 위험운전 유형을 7가지의 대분류와 이를 좀 더 구체화한 16가지의 소분류로 재정의 하였으며, 정의된 위험운전 유형에 대한 분석을 위하여 차량거동상태에 따른 모든 차량데이터를 취득·분석할 수 있는 Data-logger를 개발하였다[4]. Vanlaar et al(2008)은 음주운전, 과속, 주의산만, 휴대폰사용, 졸음운전, 환각상태운전 6가지 위험운전 행태에 대해 로지스틱 회귀분석을 이용하여 운전자의 주의 정도에 따른 위험운전 행태를 모형화 하였다[5]. 오주택(2009)은 디지털 주행기록계, 차량용 블랙박스 등의 안전운전관리 시스템의 업그레이드가 가능할 뿐만 아니라, 운전자의 위험운전 정도를 분석할 수 있는 임계값을 도출하였다[6].

2. 교통안전 모니터링 관련

Wouters et al.(2000)은 차량정보기록(Vehicle Data Recorder)을 통해 운전자의 운전행태를 모니터링 하여 피드백을 제공하는 시스템을 제안하였으며, 현장실험을 통해 개별차량의 주행정보를 수집하고 사고자료와의 분석을 통해 약 20%의 사고감소효과를 추정하였다[7]. 김준형 등(2008)은 차량 간 안전거리와 충돌에너지 개념을 이용하여 실시간 모니터링 환경에서 차량추종 및 차로변경 이벤트 발생 시 안전도를 평가할 수 있는 방법론을 개발하였다[8]. 배기만 등(2008)은 운전상태 및 차량의 상태를 모니터링하기 위한 센서시스템과 차량 내 컴퓨터와 중앙관제 시스템의 연계에 관하여 연구를 수행하였으며, 탱크로리 운행에 관한 안전 모니터링 시스템을 제안하였다[9]. Andrew et al.(2010)은 프로브차량으로부터 수집된 자료를 이용한 동적 교통혼잡 및 돌발상황 모니터링 기법을 제시하였다[10]. Wang et al.(2010)은 다양한 센서로부터 수집되는 차량관련 파라미터, 운전자의 생체적인 자료, 운전자의 행동특성을 입력자료로 사용하여 통계적인 모델링을 통해 운전 위험을 예측함으로써 실시간 운전 위험도를 예측하는 시스템을 개발하였다[11].

3. 기존연구와의 차별성

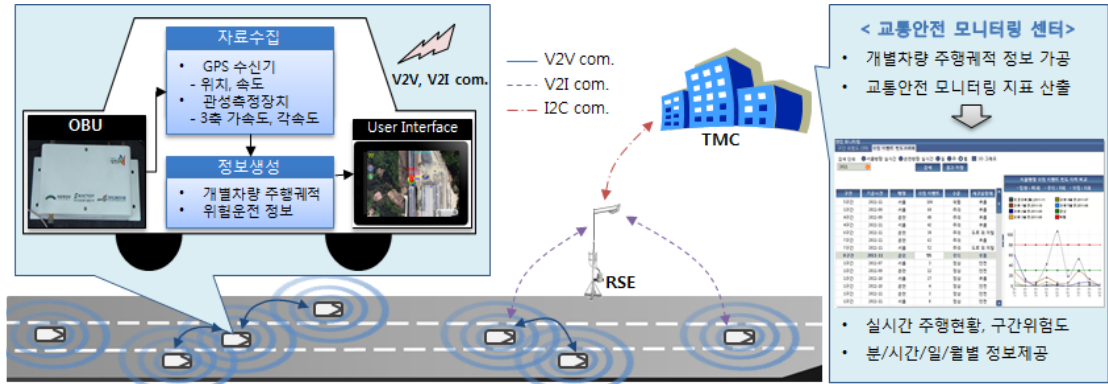
기존 연구에서는 위험운전의 행태를 분석하고 감지하는 방법에 대한 연구를 주로 수행하였다. 기존 연구에서는 단순히 위험운전의 행태를 분석하고 감지하였다면, 본 연구에서는 위험운전의 행태를 분석하고 감지할 뿐만 아니라, 차량-차량 간, 차량-인프라 간 무선통신을 통해 이용자 및 운영자에게 정보를 제공한다. 제공된 정보를 이용하여 실시간으로 도로 구간을 모니터링 함으로써, 기존의 이력 자료를 이용한 모니터링보다 신속하고 정확한 정보를 개별운전자들에게 제공함으로써 서비스의 수준을 극대화 할 수 있을 것이다. 또한 기존에는 도로의 모니터링 정보를 불특정 다수를 대상으로 서비스를 제공하였지만, 본 연구에서 제시한 방법론은 모니터링 정보를 인프라-차량 간 무선통신을 통해 기기의 제약에 관계없이 개인이 소유한 여러 기기를 기반으로 서비스를 제공할 수 있을 것이다.

기존에 여러 지자체구에서 교통관리센터를 구축하여 운영하고 있지만, 교통안전에 대한 모니터링은 시행되고 있지 않다. 따라서 본 연구에서 제시한 교통안전 모니터링 시스템은 기존에 구축되어 있는 교통관리센터에 추가 적용하여 추가 비용 없이 도로의 전반적인 안전성을 검토함으로써 교통류 관리 전략 수립을 위한 기초자료로써 활용될 수 있을 것이며 교통안전증진을 위한 다양한 정책개발 및 평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅲ. 교통안전 모니터링 시스템

1. 교통안전 모니터링 시스템 개요

본 연구에서 제안하는 교통안전 모니터링 시스템은 개별차량의 주행행태 자료를 실시간으로 수집하고 분석하여 대상구간의 안전도를 평가하고 도로의 돌발상황 등의 경고정보를 제공하기 위한 교통안전 관리시스템이다. 교통안전 모니터링 시스템은 자료수집 및 분석, 정보전달, 센터표출의 세 부분으로 구성되어 있으며 시스템에 대한 개념도를 <그림



〈그림 1〉 교통안전 모니터링 시스템 개념도
 〈Fig. 1〉 Framework of proposed system

〈표 1〉 교통안전 모니터링 구성요소 기능 및 특성
 〈Table 1〉 Components of traffic safety monitoring system

구성요소	수집(생성)자료	통신	기능
OBU	<ul style="list-style-type: none"> GPS수신기 - 개별차량 속도, 위치 관성측정장치 - 3축 가속도 및 각속도 위험운전 정보 생성 	<ul style="list-style-type: none"> V2V (Vehicle to Vehicle) V2I (Vehicle to Infrastructure) 	<ul style="list-style-type: none"> 0.1초 단위 자료수집 위험운전이벤트 검지
RSE	-	<ul style="list-style-type: none"> V2I (Vehicle to Infrastructure) I2C (Infrastructure to Center) 	<ul style="list-style-type: none"> 정보 전달
TMC	<ul style="list-style-type: none"> 교통안전 모니터링 지표 산출 (분/시간/일/월) 	<ul style="list-style-type: none"> I2C (Infrastructure to Center) 	<ul style="list-style-type: none"> 교통안전 모니터링

1>에 제시하였다. 시스템 구성요소에는 GPS수신기와 관성측정장치가 탑재되어있는 OBU, 차량-인프라간 무선통신이 가능한 도로변 장치(RSE, Roadside Equipment), 교통안전을 모니터링하기 위한 교통관리센터(TMC, Transportation Management Center)가 있다. 각 구성요소에 대한 기능 및 특성은 <표 1>에 제시하였다.

OBU는 GPS수신기를 이용한 위도, 경도, 속도와 자이로센서를 이용한 3축 가속도, 3축 각속도 자료를 1/10초 간격으로 수집한다. 수집되는 속도, 가속도 및 각속도 자료를 이용하여 위험운전이벤트를 검지 할 수 있다. 또한 V2X (V2V, V2I) 무선통신이 가능하여 차량의 위험운전 검지 시 V2I 무선통신을 이용하여 RSE로 개별차량 주행궤적 자료와 위험운

전 정보를 전달한다. 만약 RSE 통신반경 내에 위험운전 차량이 존재하지 않는 경우 V2V 통신을 통해 인접차량에 정보를 전달하고 인접차량이 V2I 통신을 이용하여 인접 RSE에 정보를 전달하게 된다. 위험운전 정보를 수신한 RSE는 I2C 무선통신을 통해 전달받은 정보를 센터로 전달한다. 센터로 수집된 개별차량 주행궤적 자료 및 위험운전 정보는 차량의 위치정보 및 교통안전 모니터링 지표로써 센터 상황판에 표출되어 다양한 집계단위별(분/시간/일/월)로 조회할 수 있다. 이는 교통류의 안전도를 실시간으로 모니터링 하여 도로의 안전도평가를 지원하는 새로운 도구로 사용가능하며, 안전도 향상을 위한 실시간 교통류 관리전략 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

2. 위험운전 검지

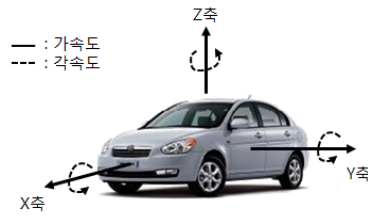
1) 위험운전 유형분류

위험운전이란 사고로 이어질 수 있는 운전자의 운전행태로, 본 연구에서는 위험운전과 교통사고의 연관성을 고려하여 위험운전 유형을 선정하여 <표 2>에 위험운전 유형과 차량거동 및 운전행태를 제시하였다.

<표 2> 위험운전 유형 분류
<Table 2> Selection of hazardous driving events

위험운전 유형	차량거동 및 운전행태
급가속(급출발)	주행 중(정지 중)인 차량이 갑작스럽게 속도증가
급감속(급정지)	주행 중인 차량이 갑작스럽게 속도감소(정지)
급차로변경	주행속도에 비해 차량의 조향 핸들을 급격하게 조작
급선회	좌/우회전시 조향 핸들을 급격하게 조작
1차로 사행운전	한 차선 내에서 지그재그 형태로 주행
2차로 사행운전	한 차로의 범위를 벗어나 인접차로까지 침범하여 주행

안전거리가 확보되지 않은 상태에서 급가속 또는 급감속을 하게 되면 운전자가 충분히 반응할 시간이 부족하기 때문에 추돌사고가 발생할 위험이 크다. 또한 주행 중 차량이 급차로변경 또는 급선회를 통해 갑자기 끼어들게 되면 주행상황에 대한 판단이 미흡해지기 때문에 측면 충돌사고가 발생할 위험이 크다. 사행운전은 운전자가 졸음운전, 음주

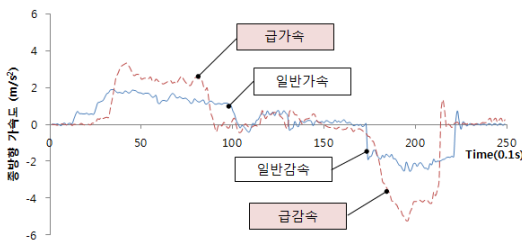


<그림 2> 3축 가속도 및 각속도
<Fig. 2> 3-axis acc. and angular velocity

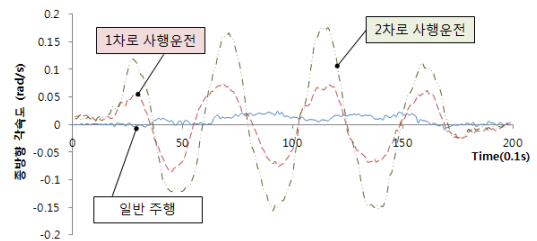
운전 및 휴대폰 조작 등의 운전자 부주의에 의해 발생하는 운전행태로 후방차량에 대한 급감속, 인접차량에 대한 측면 충돌 등의 위험상황을 유발할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 위험운전을 급가속, 급감속, 급차로변경, 급선회, 1차로 사행운전, 2차로 사행운전으로 분류하여 연구를 수행하였다.

2) 위험운전 검지 알고리즘

본 연구에서는 OBU로부터 수집되는 가속도와 각속도를 이용하여 차량의 위험운전을 검지하였다. 수집되는 가속도와 각속도는 <그림 2>와 같이 3개의 축을 기준으로 수집된다. 종방향 가속도를 이용하여 급가속과 급감속을 검지하였으며, 횡방향 각속도를 이용하여 급차로변경, 급선회, 1차로 사행운전과 2차로 사행운전을 검지하였다. <그림 3-a>는 일반적인 가·감속과 급가·감속 시 차량의 종방향가속도 변화 패턴을 제시하였으며, <그림 3-b>는 직선 구간 정상주행과 사행운전 시 차량의 횡방향각속도 변화 패턴을 제시하였다. 종방향가속도 및 횡방향각속도의 변화가 클수록 위험도가 높은 위험운전 행태를 나타내며, 본 연구에서는 이러한 가속도와

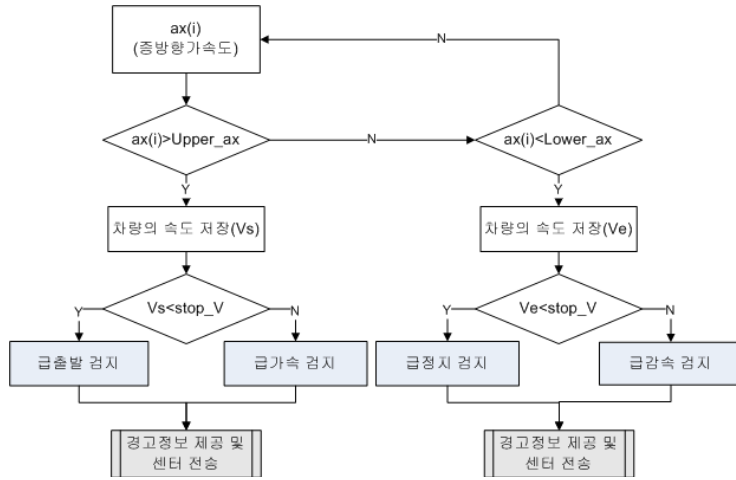


(a) 급가감속

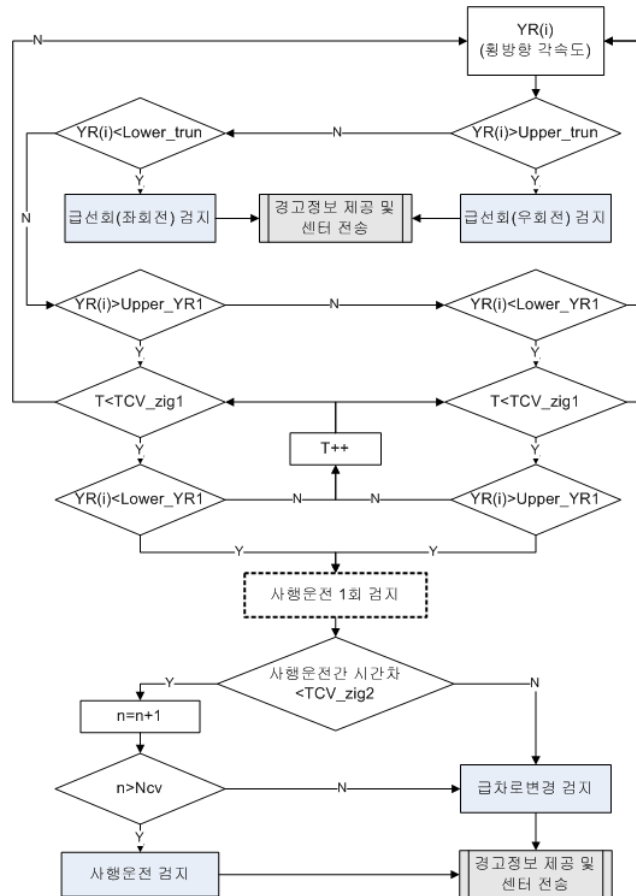


(b) 사행운전

<그림 3> 위험운전에 대한 수집자료 패턴 분석
<Fig. 3> Collected data pattern for hazardous driving events



(a) 종방향가속도를 이용한 위험운전 검지 알고리즘



(b) 횡방향각속도를 이용한 위험운전 검지 알고리즘

〈그림 4〉 위험운전 검지 알고리즘
 (Fig. 4) Detection algorithm for hazardous driving maneuver

각속도의 특성을 이용하여 위험운전을 검지하였다. 위험운전 검지 알고리즘은 종방향가속도를 이용한 위험운전 검지와 횡방향가속도를 이용한 위험운전 검지로 분류된다.

<그림 4>에 위험운전 검지 알고리즘을 제시하였다. <그림 4-a>는 종방향가속도를 이용한 위험운전 검지 알고리즘으로 급출발, 급정지, 급가속, 급감속을 검지한다. 종방향가속도가 기 설정된 상한임계값(Upper_ax) 이상의 값을 나타내거나 하한임계값(Lower_ax) 이하의 값을 나타내면 급가 감속으로 판단하게 된다. 이 때, 검지 시점의 차량의 속도를 이용하여 급출발/급정지를 판단하게 된다. 급가속 검지시 급가속 검지 시점의 속도가 0인 경우 급출발로 판단을 하게 되며 그렇지 않은 경우 급가속으로 판단하게 된다. 마찬가지로 급감속 시점의 속도가 0인 경우 급정지로 판단하며 그렇지 않은 경우 급감속으로 판단하게 된다.

<그림 4-b>는 횡방향가속도를 이용한 위험운전 검지 알고리즘으로 급선회, 급차로변경, 사행운전을 검지한다. 횡방향가속도가 급선회판단을 위한 임계값인 Upper_turn, Lower_turn의 범위를 벗어나게 되면 급선회로 검지하고, 그렇지 않은 경우 사행운전 및 급차로변경을 판단하기 위해 알고리즘이 계속 진행된다. 사행운전 검지를 위한 임계값인 Upper_YR1, Lower_YR1의 범위를 벗어나게 되면 사행운전 1회로 검지하게 된다. 사행운전과 급차로변경은 횡방향가속도의 패턴이 <그림 3-b>와 같은 패턴 (사행운전 패턴)으로 나타나게 되며, 사행운전 패턴이 1회만 발생하면 급차로변경으로 판단하고, 1회 이상 검지되면 사행운전으로 판단한다. 알고리즘을 통해 위험운전이벤트가 검지되면 V2X 통신을 통해 인접차량에 경고정보를 제공하고 센터로 위험운전 발생 정보(위험운전 종류, 위치, 시간 등)를 전달한다.

기존 연구에 임계값 설정방법 및 횡방향가속도를 이용한 위험운전 검지 알고리즘 등 위험운전 검지 알고리즘에 관련된 보다 자세한 내용이 제시되어 있다[12].

3. 교통안전 모니터링지표

1) 위험운전 지표

본 연구에서는 도로 구간의 위험운전을 모니터

링하기 위해 위험운전 지표(Unsafe Driving Index, UDI)를 개발하였다. 위험운전 지표를 이용한 위험운전 모니터링의 경우 차량의 센서장착비율에 관계없이 모니터링에 사용될 수 있는 지표로, 차량운행시 나타나는 개별차량의 차량주행 거동분석을 통해 위험운전행태 변수를 도출하고 지표화하여 안전도를 평가하는 방법이다. 개별차량의 위험운전 지표에 대한 일반식은 식 (1)과 같다.

$$UDI = \sum_{i=1}^n UE_i w_i \quad \text{식 (1)}$$

$$= UE_1 w_1 + UE_2 w_2 + \dots + UE_i w_i$$

UDI: 위험운전지표, w_i : 위험운전 유형별 가중치
 UE_i : 위험운전 유형별 발생건수 (Unsafe Event)
i: 위험운전 유형

식 (1)에서 위험운전 유형별 가중치 w_i 는 AHP (계층화분석법: Analytic Hierarchy Process)를 이용하여 산출하였다.

2) AHP를 이용한 가중치 산정

본 연구에서는 위험운전 유형별 가중치를 산출하기 위하여 AHP에서 사용되는 쌍대비교를 통한 설문조사 방법을 이용하였다. 쌍대비교 과정에는 평가자의 판단을 어의적인 표현으로 나타내고 이에 상응하는 적절한 수치를 부여하는 수량화 과정이 포함된다. AHP기법에서는 Miller(1956)에서 제시한 “인간은 7±2개의 대상을 혼동이 없이 동시에 비교 가능하다”는 실험결과를 기초로 9점 척도를 이용하여 쌍대비교를 실시한다[13-14]. 한 계층 내에서 비교 대상이 되는 *n*개 요소의 상대적인 중요도를 $w_i (i=1,2,\dots,n)$ 라 하면, 가중치를 산출하기 위한 쌍대비교행렬 A는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

행렬 A에 평가항목 간 상대적 중요도를 나타내는 가중치인 열벡터 **w**를 곱하게 되면 식 (2)의 판

〈표 3〉 위험운전이벤트 별 가중치 산출 결과
 (Table 3) Results of AHP for deriving weight value for hazardous driving events

평가지표	급가속	급감속	급차로 변경	급선회	1차로 사행운전	2차로 사행운전	기하평균	가중치
급가속	1.000	0.096	0.051	0.079	0.384	0.048	0.139	0.014
급감속	10.405	1.000	0.333	1.127	3.584	0.348	1.302	0.129
급차로 변경	19.755	3.002	1.000	2.869	9.356	1.081	3.462	0.342
급선회	12.675	0.887	0.349	1.000	2.484	0.277	1.180	0.117
1차로 사행운전	2.603	0.279	0.107	0.403	1.000	0.081	0.369	0.036
2차로 사행운전	20.677	2.872	0.925	3.606	12.383	1.000	3.673	0.363

계를 갖는다.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} \quad \text{식 (2)}$$

이것은 선형대수론 에서의 고유치방법에 의하여,

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \quad \text{식 (3)}$$

$$w = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$$

λ_{\max} : 행렬 A의 최대 고유치

n개의 연립방정식 체계에서 non-zero해를 구하는 고유치 문제가 된다. 이 작업은 $|A - \lambda I| = 0$ 을 만족시키는 λ_{\max} 의 값을 구하는 특성방정식을 푸는 과정이다. AHP에서는 일반적으로 고유벡터를 통해 얻어지는 가중치(우선순위 벡터: priority vector)를 기하평균법이나 승수법을 사용하여 계산한다. n의 크기가 3 이하인 경우에는 기하평균법을 이용하여 우선순위벡터를 간단하게 구할 수 있으며 그 결과는 승수법을 이용한 방법과 동일하다. λ_{\max} 는 항상 n보다 크거나 같기 때문에 계산된 λ_{\max} 가 n에 근접하는 값일수록 쌍대비교행렬 A의 수치들이 일관성을 가진다고 말할 수 있다. 이러한 일관성의 정도는 다음과 같이 일관성지수(Consistency index : CI, 식(4))와 일관성 비율(Consistency Ratio : CR, 식 (5))을 통해

여 구할 수 있다. 일관성 비율의 수식에 있는 RI는 난수지수(Random Index)를 의미하며, 임의로 설정한 역수행렬의 평균 일관성지수를 산출한 값으로 일관성의 허용한도를 나타낸다. 일관성 지수를 통해 산출된 일관성 비율이 10% 이내에 들 경우, 응답자의 설문조사 수치, 즉 해당 쌍대비교행렬은 일관성이 있다고 할 수 있다.

$$\text{일관성 지수 (CI)} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad \text{식 (4)}$$

$$\text{일관성 비율 (CR)} = (CI / RI) \times 100\% \quad \text{식 (5)}$$

3) 가중치 산출

본 연구에서는 위험운전 유형별 가중치를 산출하기 위하여 설문조사를 통해 가중치를 산출하는 AHP기법을 사용하였으며, 이를 위하여 운전면허를 소지하고 있는 일반인 남자 45명, 여자 15명, 총 60명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. AHP기법은 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하는 방법이지만, 본 연구에서는 위험운전 판단에 있어서 전문적인 지식이 필요 없다고 판단하여 일반인을 대상으로 설문조사를 수행하였다. 설문조사는 6가지의 위험운전 유형을 쌍대비교 형식을 통해 9점 척도로 조사하였고, 각 응답자의 응답일관성 검증을 하기 위해 10% 미만의 CR 값이 산출된 응답의견을 반영하여 가중치를 산출하였다. CR값이 10% 이상인 응



(a) OBU (On-Board Unit)



(b) RSE (Road Side Equipment) 설치

〈그림 5〉 테스트베드 설치 장비

〈Fig. 5〉 Testbed facility

답자는 60명 중 34명으로 나타났으며, 나머지 26명의 응답자료를 기하평균법으로 계산하여 가중치를 산정하였다. 계산된 각 항목의 수치는 <표 3>의 각 평가지표의 행렬을 구성하며, 각 행 별로 기하평균하여 그 비율에 따라 가중치를 산출하였다.

가중치 산출 결과 2차로 사행운전이 0.363으로 가장 높은 위험도를 가지는 것으로 나타났으며, 급차로변경이 0.342로 두 번째로 높은 위험도를 가지는 것으로 나타났다. 급가속의 경우는 0.014의 가중치가 산출되어 6가지 위험운전 유형 중 위험도가 가장 낮은 것으로 산출되었다.

AHP를 이용하여 산출한 가중치를 위험운전 지표에 적용한 결과 최종적인 위험운전 지표는 식(6)과 같이 나타났다.

$$UDI = 0.014 UE_1 + 0.129 UE_2 + 0.342 UE_3 \quad \text{식 (6)} \\ + 0.117 UE_4 + 0.036 UE_5 + 0.363 UE_6$$

UDI: 위험운전지표

UE_i : 위험운전유형별 발생건수 (Unsafe Event)

(1: 급가속, 2: 급감속, 3: 급차로변경, 4: 급선회, 5: 1차로사행운전, 6: 2차로사행운전)

IV. 현장 적용

1. 테스트 베드 구현

본 연구에서 제안한 교통안전 모니터링 시스템은 실제 테스트 베드에 적용하여 시범사업으로 테스트하고 있다. 2011년 6월 20일부터 남양주시 호평IC~사능IC까지의 약 4.5km 구간에 6대의 RSE 시



- ① 검색단위를 선택하여 실시간 조회 및 이력조회
- ② 검색단위에 맞는 날짜를 선택할 수 있는 컨트롤을 통해 원하는 검색단위 선택
- ③ 원하는 검색단위를 선택한 후 검색버튼을 누르면 하단의 표와 그래프가 변경
- ④ 결과저장 버튼을 누르면 조회된 표가 엑셀로 저장
- ⑤ 검색 조건에 맞는 이력정보가 표로 표시
 - a. 구간 표시 b. 기준 시간 표시 c. 방향 표시
 - d. 위험이벤트 발생 빈도 e. 임계값에 따른 위험수준 표시 f. 발생 가능성이 높은 사고유형 표시
- ⑥ 기준 시간과 과거 이력을 범례로 표시하여 그래프로 표출함
- ⑦ 이력정보를 그래프로 표출

〈그림 6〉 교통안전 모니터링 센터 구축현황
 〈Fig. 6〉 Application of traffic safety monitoring system

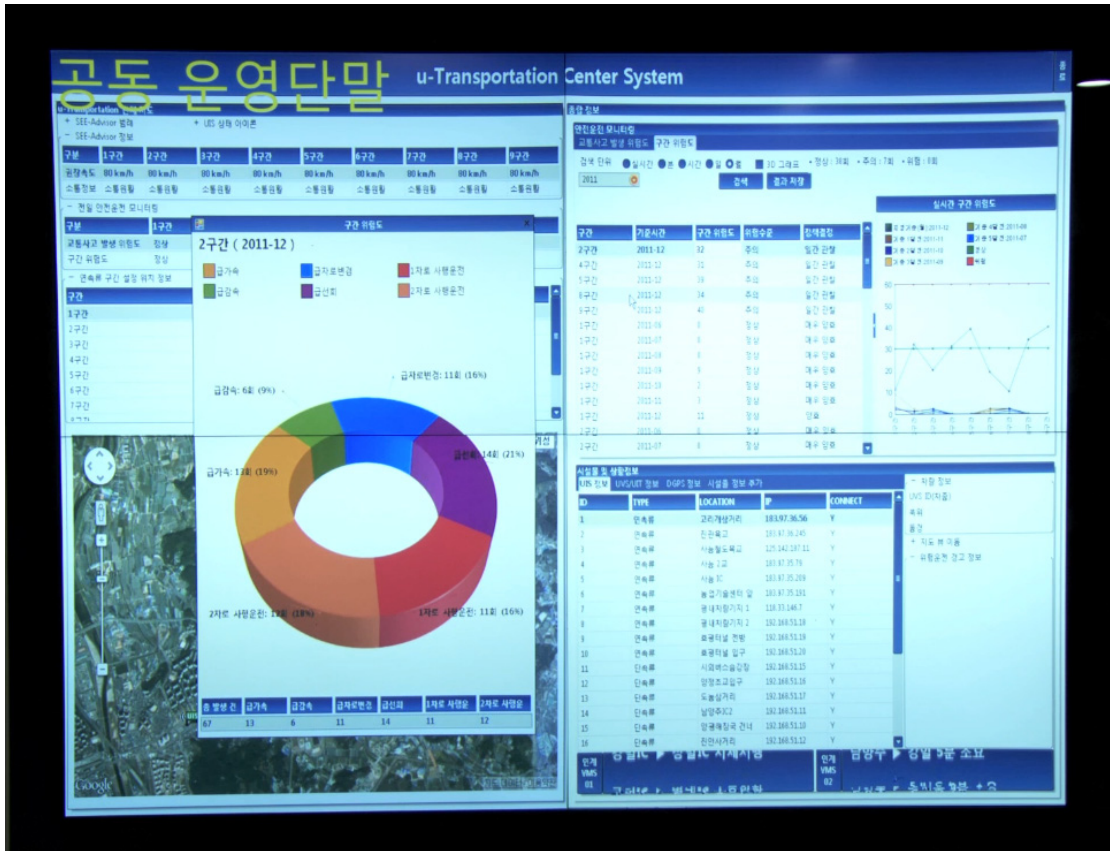
설물을 설치하였으며, OBU를 탑재한 50대의 관용 차량을 통해 자료를 수집하고 있다. <그림 5>에 실제 테스트를 위해 설치된 장비들을 제시하였다. <그림 5-a>에 OBU를 나타내며, <그림 5-b>는 테스트베드에 설치되어 있는 RSE의 위치 및 설치 현황을 나타낸다.

2. 교통안전 모니터링 센터

테스트 베드에서 OBU를 탑재한 차량이 주행하게 되면 개별차량의 주행정보를 수집하여 센터로 전송하게 된다. 센터로 전송된 개별차량의 주행계획 정보는 센터 화면에 실시간으로 차량의 주행현황을 표출

하여 운영자가 도로의 소통상황을 검토할 수 있도록 한다. 또한 위험운전 정보는 구간별로 집계되어 실시간(분/시간/일/월) 별로 각 구간에서 발생한 위험운전 정보를 조회할 수 있도록 구축되어 있으며 센터 구축현황 및 표출정보를 <그림 6>에 제시하였다. 교통안전 모니터링 센터에 관련된 사항은 기존 연구결과에 제시되어있다[15].

<그림 7>은 실제 구축된 교통관리센터(TMC, Transportation Management Center) 상황판을 나타내며 교통관리센터에서는 교통안전 모니터링 외에 폐쇄회로(CCTV, Closed Circuit Television)를 통한 실시간 현장 교통상황 점검이 가능하다. 또한 시설물 정보, 도로의 소통정보 등의 교통정보도 표출하여 운영자가



〈그림 7〉 통합 교통관리센터
 〈Fig. 7〉 Transportation Management Center

도로의 모든 정보를 한눈에 검토할 수 있도록 구축되어 있다[16].

3. 시스템성능 및 서비스구현 검증

본 연구에서는 실제 구축된 교통안전 모니터링 센터에서의 시스템성능 및 서비스 구현정도를 검증하기 위한 로그분석을 수행하였다. 서비스가 안정화된 이후인 2011년 12월부터 2012년 2월까지 수집된 데이터를 이용하여 로그 분석을 수행하였으며, 로그분석은 정보생성, 정보수송, 정보제공, 운영관리의 4가지 측면에 대하여 수행하였다. 로그분석의 평가기준은 DSRC를 이용한 교통정보시스템 표준 성능시험방법 부문에서 통신정확도 95%이상, 검지정확도 90%이상, 정보제공 정확도 90%이상으로

설정된 기준에 준하여 평가기준을 설정하였다[17].

본 연구에서는 보다 신뢰성 있는 로그분석 결과를 제시하기 위하여 T검정을 이용하여 평가기준과 로그분석의 결과를 비교하여 분석을 수행하였다. 로그분석을 위한 평가항목에 따른 평가기준 및 평가결과를 <표 4>에 제시하였다.

개별차량 정보 생성주기는 개별차량에서 생성되는 차량주행궤적 자료의 시간차를 산출하여 평가하였으며, 위험운전이벤트 검지 정확도는 실제 위험운전이벤트와 검지된 위험운전이벤트를 비교하여 검증하였다. 개별차량과 센터간의 정보 송수신 관련 평가지표는 개별차량에서 생성된 정보와 센터에서 수신한 정보를 비교하여 분석하였다. 또한 교통안전 모니터링 지표의 업데이트 주기는 최소 1분으로 설정하여 운전자 조희하고자 하는 검색단위

〈표 4〉 로그분석 평가기준 및 평가결과
 (Table 4) Results of log data analysis

시험목적		평가방법	평가기준	평가결과
정보생성	서비스 제공을 위해 생성되는 개별차량 주행궤적 자료 및 위험운전 감지 성능 검증	개별차량 정보 생성주기 점검	0.1s	0.1s
		위험운전이벤트 감지 정확도 점검	95%	95.32%
정보 송수신	서비스 제공을 위해 송수신되는 정보의 정확성, 지연상태 및 연속성 평가	개별차량과 센터간 정보 전송률 점검	95%	100%
		개별차량과 센터간 정보 전송지연 점검	10s	6.73s
		개별차량과 센터간 정보 송수신주기 점검	0.1s	6.38ms
정보제공	교통안전 모니터링 지표의 센터 표출 검증	센터에 표출되는 교통안전 모니터링 지표의 업데이트 주기 점검	1min	OK
운영관리	교통관리센터에서의 효율적인 자료 운영관리 검증	자료 저장가능 용량 점검	1-year	OK
		검색한 자료 다운로드 가능 여부 점검	Doable	OK

(분/시간/일/월)를 선택하여 조회할 수 있도록 센터를 구축하였다. 센터로 수집된 교통안전 모니터링 지표는 1년동안 저장이 가능하도록 하였으며, 검색 결과를 다운로드 할 수 있도록 구축하였다. 로그분석결과, 모든 항목이 평가기준에 부합하는 것으로 나타났으며, 향후 교통안전 모니터링 센터 운영의 활용 및 적용을 기대할 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 차량의 유비쿼터스 환경에서 개별차량의 주행궤적 및 차량거동을 실시간으로 모니터링하여 대상구간의 안전도를 평가하는 기법을 개발하였다.

무선통신이 가능한 OBU가 장착된 차량, 도로변 장치인 RSE를 이용하여 차량-차량 간, 차량-인프라 간, 인프라-센터 간 무선통신을 통해 도로 운전자들의 운전행태, 즉, 위험운전을 감지하여 모니터링 하는 방법론을 소개하였다. 위험운전 유형을 급가속, 급감속, 급차로변경, 급선회, 1차로 사행운전, 2차로 사행운전으로 분류한 후, OBU가 장착된 차량으로부터 수집되는 종방향가속도와 횡방향가속도를 이용하여 차량의 위험운전을 감지하였다. 위험운전을

감지하게 되면 차량-차량 간, 차량-인프라 간, 인프라-센터 간 무선통신을 통해 대상차량의 위험운전 정보가 센터로 전송이 되며, 센터에서는 위험운전 지표를 산출하게 된다.

위험운전 지표란 대상 구간의 위험도를 모니터링 하기 위해 개별차량들의 위험운전 정보를 집계하여 수치적으로 나타낸 값으로, 각 위험운전 유형 별로 가중치를 부여하여 모니터링 지표를 개발하였다. 위험운전 유형 별 가중치는 AHP기법을 이용하여 산출하였으며, 그 결과 6가지 위험운전 유형 중 2차로 사행운전이 0.363으로 가장 높은 위험도를 가지는 것으로 나타났으며, 급차로변경이 0.342로 두 번째로 높은 위험도를 가지는 것으로 나타났다. 급가속의 경우는 0.014의 가중치가 산출되어 6가지 위험운전 유형 중 위험도가 가장 낮은 것으로 산출되었다. 개발된 위험운전 지표는 실제 현장에서 발생하는 위험운전 정보를 센터에서 집계하여 구간 별, 시간대 별로 대상 구간의 위험도를 산출하여 실시간으로 대상구간의 안전도를 평가한다.

이렇게 개발된 위험운전이벤트 감지 알고리즘과 교통안전 모니터링 지표는 실제 테스트베드에 구현되어 구축이 되어 있으며, 실제 수집된 자료를 이용하여

시스템성능 및 서비스구현 정도를 분석한 결과, 총 8가지의 평가지표를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시한 교통안전 모니터링 기법을 발전시키고, 일반화하여 적용하기 위해서는 아래와 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 보다 신뢰성 있는 정보제공을 위하여 1년 이상의 센터 자료를 이용한 추가적인 분석을 수행해야 할 것이며, 현재 50대로 적용중인 테스트베드에 프로브차량을 추가적으로 적용하여 본 연구결과의 일반화를 위한 노력이 필요하다. 둘째, 다양한 위험운전이벤트에 대한 분석을 통해 위험운전이벤트 감지 알고리즘의 보완이 필요하다. 셋째, 위험운전 지표와 사고데이터 및 추종이론(Car-following), 차로변경이론(Lane-change model) 등의 교통류 이론을 기반으로 한 추가분석이 수행되어야 할 것이다. 마지막으로, 교통안전 모니터링 지표와 도로 기하구조 및 교통소통상황을 통합적으로 고려하여 적용할 수 있는 새로운 모니터링 지표 개발을 통해 통합 모니터링을 가능하도록 할 수 있을 것이다.

본 연구에서 제시한 교통안전 모니터링기법은 실시간으로 도로의 상황을 모니터링 할 수 있기 때문에 운영관리자 측면에서 교통안전 기본계획 및 수립, 관련 정책의 평가에 효과적으로 활용될 수 있다. 또한 교통 상황의 지속적인 모니터링 및 분석·평가를 통해 이용자 및 운영자에게 유용한 정보를 제공할 수 있으며, 위험운전 지표를 이용하여 도로의 안전성 평가 시 새로운 기준으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 개별차량의 위험운전 정보를 센터에서 집계하여 대상구간을 모니터링 하는 기법이기에 때문에, 개별차량의 운전행태를 모니터링 할 수 있다. 따라서 버스 운전자들의 안전운전을 유도하여 대중교통 서비스의 질을 향상시키며, 사고를 미연에 방지하고, 위험구간을 파악하여 대중교통 노선 수립 시 유용하게 활용 될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 모니터링 정보를 인프라-차량 간 무선통신을 통해 개별차량에게 도로의 상황을 전달함으로써 보다 정밀한 도로의 위험운전 상황이나 돌발상황 정보제공을 통해 대형 연쇄추돌 사고 및 이로 인한 정체 예방에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 도로교통공단, 교통사고 통계자료, 2009.
URL: <http://www.road.re.kr/>
- [2] 한인환, 양경수, “차량용 블랙박스를 활용한 위험운전인지,” 대한교통학회, *대한교통학회지*, 제 25권, 제 5호, pp.149-160, October 2007.
- [3] K. H. Beck, F. Yan and M. Q. Wang, “Cell phone users, reported crash risk, unsafe driving behaviors and dispositions: A survey of motorists in Maryland,” *Journal of Safety Research* 38 (2007) 683-688, 2007
- [4] 오주택, 조준희, 이상용, 김영삼, “위험운전 유형 분류 및 데이터 로거 개발,” 한국ITS학회, *한국ITS학회 논문지*, 제 7권, 제 3호, pp.15-28, June 2008.
- [5] W. Valaar, H. Simpson and R. Robertson, “A perceptual map for understanding concern about unsafe driving behaviours,” *Accident Analysis and Prevention* 40(2008), pp.1667-1673, June 2008.
- [6] 오주택, 조준희, 이상용, 김영삼, “위험운전 유형에 따른 임계값 개발,” 한국도로학회, *한국도로학회 논문집*, 제 11권, 제 1호, pp.69-83, March 2009.
- [7] Peter I.J. Wouters and John M.J. Bos, “Traffic accident reduction by monitoring driver behaviour with in-car data recorders,” *Accident Analysis and Prevent* 32 (2000), pp.643-650, September 2000.
- [8] 김준형, 송태진, 오철, 성낙문, “개별차량 주행 패턴 분석을 통한 교통사고 위험도 분석 기법,” 대한교통학회, *대한교통학회지*, 제26권, 제5호, pp.51-62, October 2008.
- [9] 배기만, 박근영, 이동진, 임정식, 이상룡, 이춘영, “지능형 단말기를 사용한 탱크로리 운행 안전 모니터링 시스템 개발,” 한국가스학회, *한국가스학회지*, 제12권, 제2호, pp.42-47, June 2008.
- [10] A. S. Lund and M. L. Pack, “Dynamic Wide-Area Congestion and Incident Monitoring Using Probe Data,” *Transportation Research Record*, no. 1876, pp.1-9, 2010.
- [11] J. Wang, W. Xu and Y. Gong, “Real-time driving danger-level prediction,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 23, issue 8, pp.1247-1254. December 2010.

- [12] C. Oh, E. Jung, H. Rim, K. Kang and Y. Kang, "Inter-vehicle Safety Warning Information System for Unsafe Driving Events: Methodology and Prototypical Implementation," *Transportation Research Board annual meeting*, January 2012.
- [13] G. A. Miller, "The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information," *Psychological Rev*, vol. 63, pp.61-97, March 1956.
- [14] T. L. Saaty and E. Ervener, "A new approach to performance measurement - the analytic hierarchy process," *Design Methods and Theories*, vol. 13, no. 2, pp.64-72, 1979.
- [15] *u-Transportation 체계종합기술 개발 최종보고서 (u-T 기반 교통안전서비스 구현 지원 및 검증)*, 한국건설교통기술평가원, 2012.
- [16] 남양주시 통합교통정보센터, 남양주시청
URL: <http://traffic.nyj.go.kr/service/index.htm>
- [17] *DSRC를 이용한 교통정보시스템 표준, Part. 4. 성능 시험방법 부문*, ITS Korea, 2008.

저자소개



정 은 비 (Jeong, Eunbi)

2007년 3월 ~ 2010년 8월 : 한양대학교 교통시스템공학과 공학사
2010년 8월 ~ 현 재 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석·박사통합과정



오 철 (Oh, Cheol)

1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사
1993년 3월 ~ 1997년 8월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사
1999년 9월 ~ 2003년 12월 : University of California, Irvine, 토목환경공학과 공학박사
1998년 9월 ~ 1999년 8월 : 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원
2004년 1월 ~ 2004년 3월 : Post-Doctorate Researcher, Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine, CA, USA
2004년 4월 ~ 2006년 2월 : 한국교통연구원 첨단교통기술연구실 책임연구원
2006년 3월 ~ 현 재 : 한양대학교 교통·물류공학과 교수

강 경 표 (Kang, Kyeongpyo)



1989년 3월 ~ 1996년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사
1996년 ~ 1997년 : 도로설계 삼보기술단 근무
1997년 ~ 1998년 : 서울대 환경대학원 교통관리 석사
1998년 ~ 2001년 : 서울시정개발연구원 근무
2002년 ~ 2006년 : University of Maryland 교통공학 박사
2006년 : 서울시정개발연구원 근무
2006년 ~ 현 재 : 한국교통연구원 근무

강 연 수 (Kang, Younsoo)



1984년 8월 ~ 1987년 12월 : Roger Williams University 이학사
(Computer science and Mathematics 전공)
1988년 1월 ~ 1990년 12월 : University of Connecticut 이학석사(응용수학 전공)
1993년 8월 ~ 1997년 12월 : Virginia Polytechnic Institute and State University
산업공학과 박사과정 수료(Operations Research 전공)
1998년 1월 ~ 2000년 5월 : Virginia Polytechnic Institute and State University
토목 및 환경공학과 졸업 - 공학박사(교통공학 전공)
2000년 8월 ~ 2005년 2월 : 교통개발연구원 근무
2005년 3월 ~ 현 재 : 한국교통연구원 근무