

가변속도제한시스템의 제한속도 결정을 위한 UTIS 정보와 기상정보 연계방안

Integration of UTIS and WIS information for Determining Speed Limits of Variable Speed Limit System

손 현 호*
(Hyun-Ho Son)

이 철 기**
(Choul-Ki Lee)

이 상 수***
(Sang-Soo Lee)

윤 일 수****
(Il-Soo Yun)

요 약

교통관련 시스템의 다변화로 기존 ITS시스템을 활용하여 다양한 응용 서비스를 제공하기 위한 필요성이 대두되고 있으며 그 중 UTIS를 활용한 다양한 부가 서비스를 제공하기 위한 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 UTIS의 실시간 교통정보와 기상정보 수집 시스템을 활용한 가변속도제한 시스템 연계방안에 관한 연구를 하였다. 본 시스템을 연계 운영하는 방안으로 기상정보 데이터를 이용하여 적절한 가변속도를 산출하는 방법, UTIS 정보를 이용하여 산출하는 방법 그리고 기상정보와 UTIS의 소통정보에 기상에 따른 가중치를 부여하여 감속도를 산출하는 3가지의 방법에 관하여 연구 하였다. 가장 적합한 감속도를 구하기 위해 통행속도와 노면마찰계수, 종방향 편경사를 이용해 조건에 따라서 변화되는 자동차의 최소정지거리를 산정하는 방법을 이용하였으며 최소정지거리와 운행속도의 관계를 이용하여 최종적으로 필요한 속도를 산출하였다.

핵심어 : 도시교통정보시스템, 가변속도제한, 무선통신, 정지거리, 기상정보

Abstract

There has been a strong demand for providing diverse services to drivers utilizing existing ITS infrastructure. To this end, this study is aiming at improving the accuracy of a variable speed limit system by determining recommended speeds for the system utilizing the information from Urban Traffic Information System(UTIS) and Weather Information System(WIS). In order to determine appropriate speed limits under inclement weather conditions for the variable speed limit system, this study examined three methods: i) the method utilizing the information from WIS, ii) the method utilizing the information from UTIS, and iii) the method which combines the information from WIS and UTIS using different weights for diverse weather conditions. Finally, this study selected the third method which determines an appropriate speed limit using the relationship between the vehicle operating speed and the minimum stopping distance which is estimated using the existing speed limit, surface coefficient of friction and superelevation.

Key words : Variable Speed Limit System, Urban Traffic Information System, Weather Information System, Automatic Weather System, minimum stopping distance

† 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029450 및 NRF-2010-0029451)

* 주저자 : 아주대학교 교통·ITS대학원 석사과정

** 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수

*** 공동저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

**** 공동저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 조교수

† 논문접수일 : 2012년 10월 8일

† 논문심사일 : 2012년 10월 26일

† 게재확정일 : 2012년 11월 27일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 경찰청과 도로교통공단이 추진하고 있는 도시교통정보시스템(Urban Traffic Information System: UTIS)은 전국으로 확산할 계획이며 서울을 비롯한 경기도 도시에 22개소의 교통정보센터가 구축되어 교통정보가 수집·제공되고 있다. UTIS의 특성은 도시 내 가로축을 기준으로 주요 도로의 구간별 교통정보 생성이 가능하며 무선 랜(IEEE 802.11a)기반의 실시간 교통정보를 수집·제공하는 시스템이다. UTIS에서 사용하는 무선통신의 통신반경은 500m를 기준으로 하고 있으며, UTIS의 무선통신을 활용하여 다른 시스템과의 연계 응용이 가능하다.

가변속도제한(Variable Speed Limit: VSL) 기술은 교통정보 수집 장치와 기상수집 시스템을 활용하여 수집된 정보를 기반으로 제한속도를 도로의 현재 상황에 적절하게 가변시켜 줌으로써 도로 사용에 있어 서비스 수준을 높이고 안전운전과 경제운전을 유도하는 기능을 가지고 있다. 선진국에서는 이미 오래 전부터 사용해 오고 있는 시스템으로서 적용 후 효과성이 검증되었다. VSL은 가변속도만 표시해 주는 것이 아니라 차로제한, 차로허용, 도로주변의 환경(기상, 노면의 정보, 가시거리 정보)등 운전자에게 필요한 다양한 정보를 제공해 주는 기능도 가지고 있다. 예를 들면 안개가 발생하여 운전자의 가시거리가 줄어들거나 전방시계가 열악한 경우, 눈이 내려 도로의 결빙이 예상되는 경우, 또는 우천시 기준치 이상의 강수량으로 차량의 속도를 제한하고자 할 때, 교통 혼잡이 발생하였을 때 진입 차량에게 순차적으로 속도를 감속할 수 있도록 속도 제한을 조절하는 등 상황에 맞는 정보를 표출함으로써 도로 이용자에게 최적의 도로이용과 안전운행을 할 수 있도록 상황을 표출, 경고, 제한한다.

본 논문에서는 UTIS에서 수집·분석되는 구간소통정보와 도로 위의 기상센서에서 수집되는 기상정보(도로주변 대기의 온도, 습도, 강수량, 강설량, 시정거리 등) 및 노면센서를 통해 수집되는 정보(도로

노면의 온도, 마찰계수, 빙설정도, 적설량, 강우량 등)를 바탕으로 도로 이용자에게 안전운전을 유도하고 도로상황에 대한 서비스를 제공하여 도로의 서비스 수준을 높일 수 있도록 가변속도제한 시스템을 연계·구성하고자 한다. 기상센서에서 수집되는 데이터는 무선통신을 이용하여 기존 UTIS의 RSE로 전송이 되고 이 정보는 UTIS의 광통신망을 이용하여 교통정보센터로 전송되는 방식으로 구성하였다. UTIS RSE와의 무선통신이 가능한 지점은 기존에 설치된 고정식 무인 과속단속 카메라 시스템과 다기능 무인단속 시스템의 구조물 설치 지점 등이 있다.

본 연구는 현장 상황에 맞는 적절한 가변속도를 결정하기 위하여 기상센서 정보를 이용하는 방법, UTIS의 소통정보를 이용하여 감속의 기준을 정하는 방법 그리고 기상센서와 UTIS의 소통정보의 두 데이터를 기상 상황에 따라 각기 다른 가중치를 부여하여 적절한 제한속도를 산출하는 방법 3 가지로 운영방안을 정리 하고자 한다.

II. 이론적 고찰

UTIS의 무선인프라를 활용한 연구와 해외에서 운영 중인 VLS에 관한 이론적 고찰을 수행하였다.

1. UTIS 기반 ITS 시스템 연구 고찰

홍경식 등(2011)은 ‘UTIS를 활용한 수요 기반의 능동형 버스우선 신호제어 알고리즘에 관한 연구’에서 수도권을 중심으로 구축·운영 중인 도시교통정보시스템(UTIS)을 활용한 버스 수요 기반의 능동형 TSP제어 시스템을 개발 하였으며, 이를 위해 버스 우선권 제공으로 인한 부도로의 지체 증가를 막기 위해 부도로의 포화도에 따른 우선권 강도를 조정하는 보상 알고리즘을 제안하였다.

이봉근(2011)은 ‘도시교통정보시스템(UTIS)기반 버스 우선 신호 시스템개발에서 현장적용시험을 통해 버스정보수신시험, 신호제어기 운영정보 방송시험, 버스우선 신호 알고리즘 적용시험으로 나누어

수행하였으며, 현장시험 적용결과 1현시 조기종결, 2현시 조기종결, 3현시 연장에 대한 모든 알고리즘이 정상적으로 운영되는 것을 확인하였고, 기 정의된 UTIS 통신규격을 준용하면서 실시간 우선 신호 적용에 필요한 1초 단위 버스위치정보 수집기능과 1초단위 신호운영정보제공이 원활이 수행됨을 확인하였다.

유성준 등(2011)은 ‘무인 교통 단속 장비에 대한 UTIS 통신망 활용방안 연구’에서 수도권을 중심으로 도시부의 중요 교차로에 설치되어 있는 UTIS 무선 자가망을 활용하여 무인교통단속장비 UTIS 통신망 연계서비스 구현 방안을 제시하고 구체적으로는 UTIS의 IP 기능을 활용하는 방안, UTIS의 프로토콜 중 외부연계서비스를 활용하는 방안, RSE의 Multi-SSID를 활용하는 방안을 제시하여 각 방식에 대한 장·단점을 분석하였으며, 상기 대안 중 Multi-SSID를 활용하는 방안에 대한 현장 시험운행을 통해 UTIS 서비스 및 무인 교통 단속 장비 영상 전송에 대한 망 운영의 안정성을 검증하였다.

2. VSL 관련 연구 고찰

황상호 등(2010)은 ‘가변속도제한 시스템개발’에서 기상검지 센서에서 도로현장의 위험상황을 감지·판단하여 적정 최고 제한속도 또는 권장속도(안전속도)를 가변 표출하여 제공함으로써, 운전자의 속도선택의 용이성을 제공하여 각 차량의 적정속도 유지와 차량 간 속도분산을 줄여 교통안전성을 향상시키기 위한 가변속도제한시스템을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다.

조영태 등(2010)은 ‘도시고속도로를 위한 실시간 가변속도제한’에서 다수의 스테이션들 사이의 연계를 통해 VSL로 얻을 수 있는 효과를 높이는 알고리즘을 제안하였으며 제안한 알고리즘은 30초 단위의 VSL 변화로 도로 상황에 빠르게 반응 할 수 있다. 알고리즘은 교통 혼잡을 유발하는 스테이션 검색 루틴과 교통 혼잡의 크기 산출 루틴, VSL컨트롤 스테이션 개수 계산 루틴, VSL 계산루틴의 총 4단계로 구성된다. 제안하는 알고리즘은 도로의 안전성 향상과 이동시간 변화량에 최소화를 목적으로

하고 실험을 통하여 각 스테이션 간 속도 분산이 감소됨을 확인하였고 스테이션 간 속도 차이도 감소됨을 확인 하였다.

Jiang 등(2011)은 가변속도제한은 교통안전을 강화하고 교통의 효율에 기여하는 잠재력을 가진 지능형 교통시스템이며 호주의 퀸즐랜드 고속도로를 중심으로 가변속도제한의 효과를 교통 혼잡, 날씨에 따른 대기열 조건 등으로 분석하였다. VSL의 운전환경은 교통 혼잡, 사고 또는 기상악화로 인한 날씨 환경에 운전자에게 보다 현실적인 속도제한을 제공함으로써 높은 밀도와 차량의 충돌을 줄일 수 있다고 검증하였다.

Allaby 등(2006)은 토론토, 캐나다의 도시고속도로에 대한 시스템 도입의 평가를 시뮬레이션을 이용하여 입증하였다. 실험 결과 충돌가능성이 크게 감소하였고, 소요기간의 감소와 여행의 효율성이 개선되었다고 평가하고 있다.

3. 시사점

국내 관련연구 검토 결과 UTIS활용 방안에 관한 연구가 논의 되고 있으며 VSL을 도입하여 시행하기 위한 연구 사례도 있다. 하지만, 기상정보를 활용한 시스템을 운영 중인 곳이 있으나 도로기상 종합정보를 반영한 시스템의 도입은 그 사례가 없다.

Ⅲ. VSL과 기상정보 시스템

1. VSL 시스템의 개념

VSL은 운행하는 차량의 속도 및 교통량 검지자료, 현재 기상정보, 노면상태 정보 등을 활용하여 운전자에게 시간대별로 또는 일시적으로 운영하거나 도로 주변의 기상상태에 따라 운전자가 운행 할 수 있는 가장 적합한 속도를 결정하며, 적정한 주행 속도를 유지하게 하여 도로의 효율성을 높여준다. 반영된 속도를 도로에 설치된 시스템 (VMS나 기타 가변정보 표출이 가능한 표지판에 설치)에 제공하여 운전자에게 알려주는 시스템이다.

2. VSL 시스템의 하드웨어 구성

1) 센서부와 영상부

현장의 기상상황을 감지 할 수 있는 각종 센서로 구성되며 노면 감지계, 이슬점 온도 측정계, 풍향, 풍속측정, 온도습도센서, 강우량센서, 적설량센서, 지중온도계, 시정계, 광학 노면온도 센서, 광학 노면상태감시 센서 등이 있다.

영상부는 위반차량의 영상을 촬영하여 제어기로 보내며 구성은 CCTV Camera, Lenz, Housing, 조명장치, Pan/Tilt 등이 있다.

2) 검지부와 주제어부

도로 노면에 검지기를 매설하여 각종 교통정보를 제어기로 전송하고 단속된 영상정보를 센터로 전송하며 각종 센서에서 수집되는 정보를 무선통신 또는 유선통신을 이용하여 센터에 전송한다.

3) 지주와 광전송장비

지주는 단주식, 편지식, 문형식 등이 있으며 현장 상황과 도로 선형에 맞는 구조물로 선택한다. 본 연구에서는 기 설치된 구조물을 활용하는 방안을 제시 한다.

광 전송장비는 현장에서 수집된 각종 데이터를 광 전송신호로 변조하여 센터로 전송한다.

4) 가변전광판

가변전광판은 경찰청 규격 「조명식 및 발광형 교통안전표지 표준지침」(경찰청, 2010)을 준수하며, 「도로교통법 시행규칙(제19조)」에서 규정한 속도를 표시 할 수 있는 기능이 있어야 한다.

내 용	표출예시
정보 안내 표지판	

〈그림 1〉 VMS 사용 예시
〈Fig. 1〉 Example of VMS display

내 용	표출예시		
속도 제한			
차선 유도			

〈그림 2〉 가변속도제한 표지의 다양한 표출방법
〈Fig. 2〉 Diverse variable speed limit signs

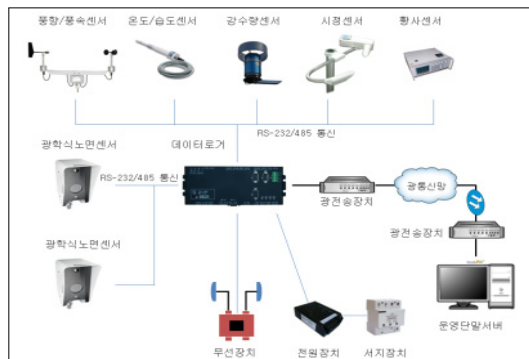
표지판은 속도를 나타내는 표지판과 가변속도제한 시스템의 실행여부를 나타내고 기상정보를 표출하는 정보안내 VMS로 구성된다.

3. 기상정보 시스템의 구성

국내 기상관련 안전 시스템은 안개 잦은 지역에서 안개에 대한 대책은 있으나 우천 시, 도로결빙 등 다양한 도로환경에 대한 구성은 없는 것으로 조사 되었다.

터널, 교량, 고지대, 고속도로 상습안개구역에는 안개관련 시설과 노면결빙센서 등이 설치되어 운영 중인 장소가 있으나 도심지의 주요 가로망에 적용한 사례는 없는 것으로 조사 되었다.

따라서 본 연구에서는 도심지내에서도 다양한 기상 환경을 고려하여 적용할 수 있는 시스템을 구성 하였다. 도로 기상정보 시스템(Weather Information System: WIS)은 각종 기상센서와 기상자료 수집 장치 및 전원장치, 낙뢰장치 등으로 구성하였다.



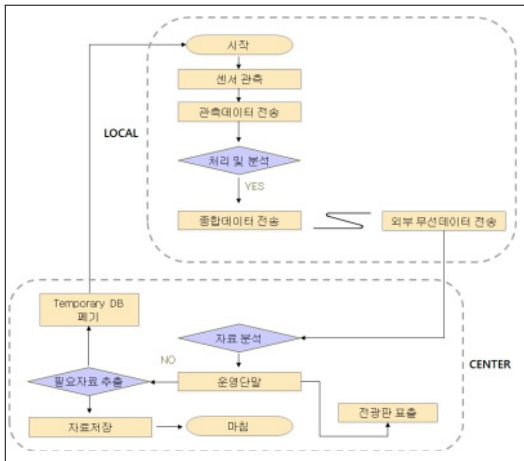
〈그림 3〉 현장 기상정보 수집 시스템 구성
〈Fig. 3〉 Configuration of Weather Information System

1) 기상정보 통신절차

기상정보 수집 시스템의 순서도는 <그림 4>와 같다. 센터에서 보내진 시작 명령에 의해 기상센서는 도로 및 주변 환경에서 발생하는 기상상태와 노면상태를 감지하고 수집된 관측 데이터를 데이터 로거에 보낸다.

데이터 로거의 각 채널은 해당 기상센서에 맞게 설정하여 운영하고 아날로그 혹은 디지털로 입력된 데이터를 프로그래밍하며 수집된 기상자료를 물리 데이터로 변환하여 무선 랜, 와이파이, CDMA, 유선망 등의 다양한 전송경로를 통하여 1분 간격으로 전송한다.

현장 기상 정보 수집 장치에서 수집된 데이터는 UTIS RSE의 무선통신망을 이용하여 데이터를 교환하며 기 구축된 UTIS 통신망을 이용하여 교통정보 센터로 전송한다. 센터에 전송된 자료는 가공·분석 등의 과정을 통하여 필요자료를 추출하고 운영 서버에서는 외부연계서버(UTIS 서버)나 내부 디스플레이 장치에 표출 할 데이터를 생성한다.



<그림 4> 기상정보 수집 시스템 통신절차
(Fig. 4) Communication Procedures for Weather Information

2) 무선통신 영역의 검증

UTIS의 무선통신 반경과 기 설치된 고정식 무인 교통 단속 시스템의 위치를 나타내어 통신반경에 대한 포함 가능 여부를 서울시 강남경찰서와 수서

경찰서 관할을 중심으로 구성하여 가능 비율을 산정해 보았다.

현재 설치된 고정식 무인교통 단속 시스템(과속 단속용)의 대수는 30대이며 UTIS RSE의 대수는 37대로 조사되었다. RSE 추가 예상지점을 임의로 13개소를 선정하였으며, RSE의 무선통신 반경 기준은 UTIS 규격서에 명시되어 있는 500m를 기준으로 하여 기존 고정식 무인교통 단속 시스템과의 무선통신 가능영역을 분석해 본 결과 UTIS RSE와 약 60%정도가 통신가능 영역에 포함되는 것으로 분석되었고 추가 예상지점을 포함한 UTIS RSE와의 통신가능 영역은 73%로 분석되었다. UTIS RSE의 지향성 안테나는 통신에 장애를 주는 지장물이 없으면 통신거리가 1km이상도 가능하다.

이를 감안하여 RSE와 통신을 하기 위한 무선통신 장비의 위치를 조정하여 설치하면 UTIS의 무선통신을 활용 할 수 있는 VSL설치 지점은 더 증가할 것으로 판단된다.

IV. UTIS 정보와 기상정보를 활용한 가변속도제한 시스템 연계방안

본 시스템은 UTIS에서 수집되는 속도정보와 기상정보 수집 시스템에서 수집되는 기상정보와의 연계하여 가변속도제한 시스템 운영에 필요한 제한속도 산정방법을 제시한다. 즉, 성질이 다른 두 정보를 분석하여 도로이용자에게 제공 할 수 있는 최적의 가변속도제한을 제공함에 목적이 있다. 도로이용자는 VMS와 차량 네비게이션을 통하여 정보를 이용 할 수 있고 보다 정확한 자료를 바탕으로 가변속도제한 시스템을 운영하기 위해 UTIS에서 수집되는 링크별 소통정보와 속도정보를 분석한 후 기상정보와 연계하여 적절한 가변 제한 속도를 알려주는 시스템이다.

1. 기상청 AWS의 적용에 대한 고찰

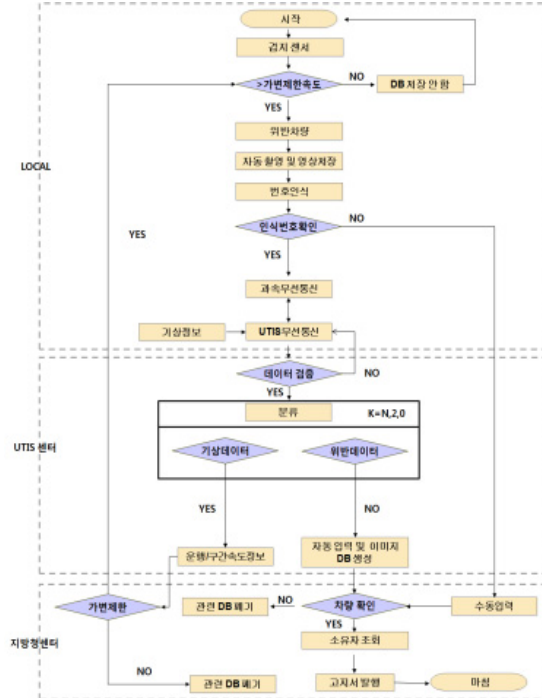
기상청 Automatic Weather System(AWS)에서 제공하는 자료를 가변속도시스템에 적용하기 위해서는

기상상황의 국지적 변동을 고려하여야 한다. 예를 들어, 2009년 6월 4일의 기상자료에는 관악구 신림동의 강수량이 45.5mm로 집계 되었고 동대문구 전농동은 1mm로 기록 되었다. 즉, 대기관련 전문가들은 10km범위 내에 지역적인 강수량 편차가 30mm 이상 나는 국지성 호우일 경우 정확한 예측이 불가능하다고 판단하고 있다. 따라서 같은 서울지역에서도 강남구는 비가 오지만 인접한 관악구나 서초구는 비가오지 않을 수도 있다. 서울시는 25개의 구로 행정구역이 분리 되어 있으며 중심간 거리는 직선거리 10km 이내이다. 강남구와 서초구의 중심간 거리는 5km 이내이며 도로상 거리는 7.5km 정도이다. 대기관련 전문가들이 말하는 범위 10km 이내에 서울의 모든 구가 포함된다. 이는 서울시내에 설치되어 있는 AWS에서 제공하는 기상정보는 도로의 링크단위별 또는 구간 단위별로 발생하는 기상정보에 적용하기는 무리가 있는 것으로 판단 하였고, 시내 주요 축 도로는 신호제어기와 교차로로 인한 단속류 형태를 가지고 있기 때문에 구간별 길이가 10km 이상 되는 곳이 없다.

기상청에서 제공하는 정보는 본 연구에서 제안하고자 하는 정보 중 가장 필요한 정보라고 할 수 있는 도로의 노면상태, 온도상태, 습도상태, 결빙상태 등 안전운전과 사고율을 증가시키는 요인이 되는 정보는 제공하지 않는다.

2. UTIS정보와 기상정보를 활용한 VSL연계방안

기상정보 시스템(WIS)에 의해 수집된 정보는 UTIS의 RSE를 거쳐 UTIS 광 통신망을 통해 교통정보센터로 전송한다. 교통정보센터에서는 RSE에서 수집된 정보와 기상정보수집 시스템에서 수집된 정보를 분석하고 가공하여 RSE에서 수집한 속도 정보만을 사용 할 것 인지 기상정보와 연계하여 사용할 것인지에 대한 판단을 수행 한다. 판단된 정보는 해당 구간에 대한 평균통행속도, 과속차량 비율, 노면상태 등 운전자에게 필요한 정보를 제공 매개체인 VMS, 정보안내 VMS, CNS 등으로 전송한다. 차량의 흐름이 원활할 때 과속이 자주 발생 하므로



〈그림 5〉 UTIS와 기상정보 시스템의 정보교환 절차
(Fig. 5) Information exchange procedure between UTIS and WIS

규정 속도 이상으로 주행하는 차량의 비율이 증가하면 해당 도로의 규정 속도를 조절하여 과속에 의한 교통사고를 미연에 방지 한다.

과속에 대한 단속은 기존 무인단속에서 행해지던 기준 속도 초과 시 단속을 수행하는 기능은 유지되며 기상상태 정보와 UTIS의 정보를 반영한 가변속도제한 시스템의 적용이 필요 하다고 판단되면 가변된 속도로 단속을 수행한다. 도로주행 여건이 변화함에 따라 단속속도를 조절하여 안전운행을 유도하고 규정 속도위반 차량 비율을 제공하여 위반 차량이 많음을 알려주는 기능 등 안전운전과 사고 예방에 도움이 되는 정보를 실시간 제공한다.

V. VSL 운영방안

기상정보 수집 장치에 의해 수집된 데이터와 UTIS의 정보는 각각 가변속도제한 시스템에 감속

을 정하는 기준으로 사용 할 수 있지만 각각의 장·단점이 있다. 기상센서는 과속의 비율을 알 수 없으며 UTIS 정보는 기상과 노면의 상태를 알 수 없다. 따라서 두 시스템의 데이터를 조합하여 사용 할 필요성이 있다고 판단하고 기상상태가 열악한 경우는 기상정보에 의한 가중치를 높이고 기상상태가 좋은 경우는 UTIS 정보의 가중치를 높게 하여 가변속도를 산출하는 방법으로 운영한다.

1. 기상정보 수집 데이터 활용 방안

본 연구에서 정의된 노면상태 측정 센서에서 측정 할 수 있는 마찰계수(f) 측정값은 0~1의 값이며, 센서의 분해능은 0.01단위까지 가능하다. 0은 노면이 완전히 얼어붙은 상태로 매우 위험한 상태를 나타내며, 1은 노면이 완전 건조되어 있는 상태를 나타낸다. 그러나 0.01의 분해능을 적용 할 경우 속도에 의한 정지거리 편차에 큰 차이가 없으므로 0.1단위로 수집되는 정보를 사용한다. 여기서 사용된 마찰계수(f)는 측정방법과 장비, 장비 종류에 따라 편차가 있으므로 마찰계수(f)의 값은 노면이 완전히 얼어붙은 상태를 0.1, 노면이 완전히 건조된 상태의 최대 마찰계수(f)를 0.8로 정의 하였다.

가변속도를 결정하기 위해 노면 상태에 따른 최소정지거리와 마찰계수(f)의 변화에 따른 정지거리를 산정하였다. 가변속도제한 시스템의 적용 중단 경사(s)는 국토해양부 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에 정의된 종 방향 경사를 적용 하고, 인지 반응 시간은 2.5초를 적용 하였다[8].

1) 노면 상태에 따른 최소정지거리 산정

노면상태에 대한 최소 정지거리를 운전자에게 제공 하고 가변제한속도를 적용하기 위해 아래와 같은 조건의 식을 사용 하였다[9].

$$d = \frac{V^2}{254(f+s)} + 0.278 \times t_r \times V$$

d : 최소정지거리(m), V : 속도(kph),

f : 마찰계수 s : 경사, t_r : 인지반응시간

〈표 1〉 마찰계수를 고려한 최소정지거리
(Table 1) Minimum stopping distance calculation

규정 속도	최소정지거리(m)				
	건조(f_{dry})	습윤(f_{wet})			빙판(f_{ice})
		0.8	0.4	0.3	
100	116.37	158.98	185.29	233.54	350.71
90	100.51	135.03	156.34	195.42	290.33
80	85.60	112.87	129.71	160.59	235.58
70	71.62	92.49	105.39	129.03	186.45
60	58.57	73.91	83.39	100.76	142.94
50	46.47	57.12	63.70	75.76	105.05
건조($f=0.8$)와 습윤($f=0.3$)의 최소정지거리 차이(m)					
100	185.29 - 116.37 = 68.92				
90	156.34 - 100.51 = 55.83				
80	129.71 - 85.60 = 44.11				
70	105.39 - 71.62 = 33.77				
60	83.39 - 58.57 = 24.81				
50	63.70 - 46.47 = 17.23				

2) 노면 상태에 따른 가변속도 산정

VSL용 제한속도를 산정하기 위한 감속도를 구하였다. 습윤 노면, 완전히 얼어붙은 노면이 건조한 상태의 노면과 같은 정지거리를 갖기 위한 가변속도를 산정하였다. 습윤, 빙판 상태에서 건조 상태와 같은 정지거리로 정지하기 위한 속도는 다음식을 이용하여 산정하였다.

$$254(f+s)d_{(dry)} = V^2 + 0.695 \times 254 \times (f+s) \times V$$

$$V = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$f = 0.4, d = 116.3m, s = 0.04$$

$$116.3 = V^2 + 0.695 \times 254 \times (0.44) \times V$$

$$\therefore V = 81.63$$

위 결과에서 얻어진 V 는 습윤 상태 $f=0.4$ 일 때 건조 상태 $f=0.8$ 의 조건과 같은 정지 길이를 갖기 위한 속도이며, 제한속도에서 V 의 값을 감하면 가변속도제한 시스템을 적용 할 때 필요한 속도를 산정 할 수 있다.

〈표 2〉 노면 상태에 따른 가변속도 산정
(Table 2) Variable Speed calculation according to road surface conditions

규정 속도	가변제한 속도			
	습윤(f_{wet})			빙판(f_{ice})
	0.4	0.3	0.2	0.1
100	81.63	74.63	59.40	40.97
90	74.04	67.87	53.82	36.88
80	66.40	61.05	48.21	32.79
70	58.70	54.16	42.56	28.70
60	50.91	47.18	36.86	24.61
50	43.02	40.07	31.09	20.51
가변제한속도에 필요한 감속도($f=0.4$)기준				
100	100 - 81.63 = 18.37			
90	90 - 74.04 = 15.96			
80	80 - 66.40 = 13.6			
70	70 - 58.70 = 11.3			
60	60 - 50.91 = 9.09			
50	50 - 43.02 = 6.98			

2. UTIS정보를 활용한 방안

UTIS의 교통정보 가공 알고리즘은 교통정보 수집자료 처리 과정과 교통정보 생성과정으로 나뉘며, 각 과정을 통해 가공된 정보는 교통정보 DB에서 관리하며 패턴자료로 활용된다. OBE를 장착한 차량은 현재위치정보와 링크정보를 올려주며 수집된 자료는 표준S/W를 통하여 구간소통정보와 지역소통정보로 처리된다. 이때 생성되는 하향교통정보 DB는 구간소통정보→5분 통계자료→15분 통계자료→1시간 통계자료→일별 통계자료→월별 통계자료로 저장되며 이들을 종합하여 해당구간의 패턴자료를 생성하게 된다. 이렇게 수집된 자료는 해당 지역의 교통 자료로 활용 된다.

가변속도제한을 산정하는 방법으로는 5분단위의 통계자료를 이용하는 방안을 선택하였다. 기상상황을 고려 할 때 15분 자료나 1시간 자료를 활용하면 기상의 변화에 따른 차량의 소통변화에 민감하게 작용 할 수 없다고 판단하였다.

UTIS의 소통상태 판정은 지체, 서행, 원활 등으로

표출된다. 해당 구간의 규정 속도를 초과하여 과속으로 주행하는 차량의 비율이 높아져도 소통 상태는 원활로 표시된다. 엄밀히 구분하자면 소통 원활이 아닌 과속 비율이 높은 도로가 된다. 교통서비스수준(LOS : Level of Service)을 평가하는 척도는 속도 및 통행시간, 밀도, 지체도, 교통량, 부하지수 등 여러 척도가 있으나 간선도로와 고속도로는 평균통행속도 등을 이용하여 산정한다. $V/C=1.0$ 에 서 멀어 질수록 서비스 수준은 A 등급으로 판정되고 주행속도는 증가한다고 판단하고 있으나 과속차량에 대한 등급은 없다. 과속은 사망사고의 비율이 높은 만큼 과속흐름에 대한 속도 조절이 필요하다. UTIS정보를 이용한 가변속도제한은 서비스 수준이 A이상의 과속 영역에서 감속에 대한 정보도 제공 할 수 있다.



〈그림 6〉 UTIS 소통통계 정보
(Fig. 6) UTIS communication statistic information

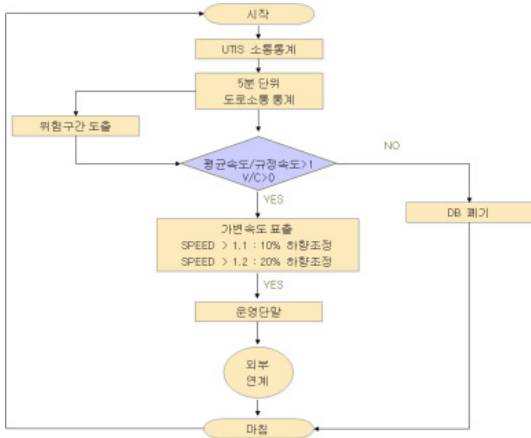
〈그림 6〉은 UTIS교통정보센터의 운영단말에서 분석한 소통통계정보를 나타낸다. 아차산길의 경우 제한속도는 60km/h로 규정되어 있는 도로이다. 284년의 정보를 보면 5분 단위 평균 속도는 99km/h로 규정 속도보다 39km/h를 초과한 것으로 수집되었다.

운전 중 위험을 감지하고 정지하는 최소 정지 길이로 산정하면 시속 99km/h로 주행하는 차량의 최소정지거리 $d = \frac{99^2}{254(0.8)} + 0.278 \times 2.5 \times 99 = 117.038m$

이고 시속60km/h로 주행하는 차량의 최소정지거리 $d = \frac{60^2}{254(0.8)} + 0.278 \times 2.5 \times 60 = 59.416m$ 로 그 차이

는 57.622m로 두 배에 가까운 수치로 나타난다. 이는 돌발 상황 시 교통사고로 이어질 잠재성이 크다고 볼 수 있다. 이와 같은 구간에 대해 UTIS가변속도 알고리즘은 과속이 일어나고 있는 위험구간으로 판단하고 평균 속도와 규정 속도의 분석을 통해 과속 비율에 대한 조절이 가능한 가변속도를 제공한

다. 이러한 과속 비율에 대한 조절을 통해서 전체적인 도로의 안전성을 높일 수 있을 것으로 사료되다.



〈그림 7〉 UTIS 정보를 활용한 가변속도제한 정보교환절차
 〈Fig. 7〉 Information exchange procedure for variable speed limit system using UTIS information

3. UTIS 정보와 기상정보를 활용한 데이터 퓨전

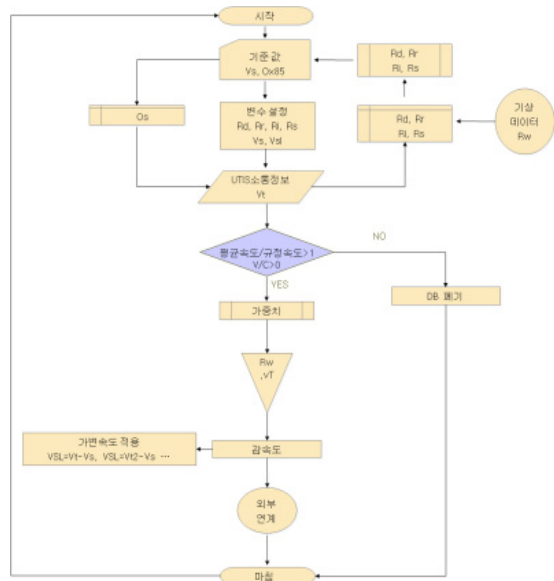
기상정보센서와 UTIS에 의해 수집되는 정보는 데이터의 형태가 다르고 신뢰성도 다른 성질을 갖는다. 이러한 정보를 종합하여 가변제한 속도를 산출하기 위해 결과 값에 대한 가중치 산정이 필요하다. 기상센서에 의한 정보는 강우량의 경우 0.2~1mm, 노면센서의 경우 마찰계수는 0.01, 적설은 1mm 단위의 분해능으로 정확하고 세밀한 정보수집이 가능하다.

UTIS는 노드매칭에 의해 속도를 산출하는 경우 노드좌표를 사용하게 되면 노드매칭을 위한 영역 거리에 의해 실제 계측시간에 해당하는 거리가 더 길어지거나 짧아지게 되어 속도의 오차가 나타날 수 있고 이 속도의 오차는 링크의 거리가 특정길이(임계 길이)보다 작을수록 더욱 크게 나타날 수 있다. 이 오차를 보정하기 위해 노드 간 거리가 임계거리 이하인 경우는 노드 좌표에 의한 거리 기준으로 속도를 만들기 보다는 실제 GPS 좌표에 의한 기준으로 거리를 계산하여 속도를 구하는 방법이 있다.

UTIS는 일반적으로 노드 반경으로 사용되는 값을 노드 속성에 포함하여 속도 계산에 보정할 수 있도록 하고, 링크 컨트롤 정보에 GPS기반으로 계

〈표 3〉 기상상태에 따른 가중치 부여 방안
 〈Table 3〉 Weighting method according to weather conditions

구 분		가중치 부여	
		기상	UTIS
맑음	노면건조 f=0.8	0.1	0.9
눈 (mm/h)	20이상	0.8	0.2
	20~10	0.7	0.3
	10이하	0.6	0.4
비 (mm/h)	15~20 이상	0.7	0.3
	5~15	0.6	0.4
	5이하	0.5	0.5
빙설	마찰계수 f=0.1이하	0.9	0.1
안개시정거리 (m)	100미만	0.9	0.1
	200~100	0.8	0.2
	500~200	0.7	0.3
	500~1000	0.1	0.9



〈그림 8〉 UTIS 정보와 기상정보의 데이터 퓨전에 의한 가속도 산출 정보교환 절차

〈Fig. 8〉 Information exchange procedure for speed reduction calculation through data fusion using UTIS and WMS information

산 할 것을 지정하는 필드를 부여하고 있다. 그러나 곡선이 심한 도로는 GPS의 오차 정보가 커질 수 있으므로 정점정보를 부여하고 있다.

따라서 가변속도를 정하는 가중치를 둘 필요가 있다고 판단하여 기상에 따른 가중치와 UTIS에 의한 가중치의 적용을 달리 하는 방안을 제시한다.

첫 번째로 기상상황에 따라 기상센서와 UTIS의 가중치를 임의로 선정 해 보았다.

두 번째로 기상 악화 시 기상센서에 대한 의존도를 높게 구성하였다.

세 번째로 기상상황이 좋은 맑은 날에는 해당 구간의 과속 비율을 파악 할 수 있는 UTIS의 소통정보에 의존도를 높게 구성하였다.

4. 결측 보정

1) 기상자료

결측의 유형은 기상센서의 경우 기기의 고장, 전원 이상, 통신 이상 등의 요인이 있을 수 있다. 기상정보의 일시적 결측인 경우, 즉 통신이상으로 인한 결측은 통신망 자동복구 명령을 통해 원격 Reset을 시행한다. 또한 손실된 정보는 결측된 기기의 최근 정보를 반영하도록 한다. 기상정보의 장기적 결측의 경우는 해당 지역의 패턴 데이터를 이용하여 결측 지역의 예측정보 생성한다.

2) UTIS 자료

UTIS의 결측은 OBE와 RSE의 통신 장애로 인한 결측, 프로브 카의 부재로 인한 단기간 결측, 기기의 장애로 인한 장기간 결측이 있을 수 있다. 결측에 대한 해결 방안은 다음과 같다.

- 일시적 결측(UTIS정보)
 - 결측된 링크의 최근 수집정보가 존재하는 경우 최근 수집정보를 반영한다.
 - 15분전까지의 정보가 존재할 경우 데이터 속도 변화율을 이용하여 예측정보생성 한다.
- 장기적 결측(UTIS정보)
 - 해당 구간의 패턴 데이터를 활용하여 결측 구간의 예측 정보를 생성한다.

〈표 4〉 일시적 결측 보정 방안
(Table 4) Compensation plan for short-term data missing

일시적 결측	
보정식	$EV_T = V_{15} \times VR_{15}$
설명	EV_T : 결측 정보의 예측속도
	V_{15} : 15분전 결측 링크 수집 속도
	VR_{15} : 15분전 정보의 속도 변화율

〈표 5〉 장기적 결측 보정 방안
(Table 5) Compensation plan for long-term data missing

장기적 결측	
보정식	$EV_T = V_p \times VR_p$
설명	EV_T : 결측 정보의 예측속도
	V_p : 결측 링크의 과거 패턴 속도
	VR_p : 패턴 정보를 이용한 속도 변화율

VI. 결론 및 향후연구 과제

교통관련 ITS 시스템은 많은 종류가 있다. 본 연구에서는 UTIS의 교통정보와 기상정보 수집 시스템을 활용하여 가변속도 제한 시스템을 구성하고 연계하는 방안을 제시 하였다.

규정 속도를 위반하는 차량을 단속하는 것과 달리 기상정보와 실시간 소통정보를 활용하여 가변속도제한 시스템을 연계하는 방안에 관한 연구를 하였다.

연계 방안으로는 첫 번째, 기상 변화에 대한 자료를 수집하기 위해 도로변 기상관리 시스템을 구성하였다. 눈, 비, 안개, 도로온도, 노면마찰계수, 도로위의 적설량, 물과 얼음의 함유도등을 파악할 수 있는 장비로 시스템 하드웨어를 구성하였다.

두 번째로 RSE를 통한 무선수집 방식에 대해 무선통신이 가능한지의 여부를 알아보기 위해 기존문헌을 고찰하였다. 기존 문헌 고찰에서 무인단속장비의 영상을 RSE를 통해 연계가 가능한 것으로 실험 결과 입증되었다.

세 번째로 가변속도를 산출하기 위한 시스템의 연계 운영 방안으로 한 종류의 데이터에 의존 할 경우 필요 속도를 산출하는데 제약이 따르기 때문에 기상정보와 UTIS의 소통정보를 활용하여 가변속도제한에 필요한 적정 속도를 산출하기 위한 방안으로 두 데이터를 퓨전하여 가중치를 부여 하는 방식으로 필요한 감 속도를 구하는 방안을 제시 하였다.

본 연구를 하면서 현장 하드웨어를 설치하고 센터 소프트웨어를 개발하여 현장과 센터연계 실험운 영을 해보지 못 하였다. 향후 본 시스템을 도입하고 운영하기 위해서는 시험운영 장소를 선정하여 장비를 설치하고 관련소프트웨어를 개발하여 보다 구체적인 진행을 한 후 본 연구에서 제안하는 시스템 연계방안의 타당성 및 효과를 검증할 필요가 있다.

참고문헌

[1] 홍경식, 정준하, 안계형, 이영인 “UTIS를 활용한 수요기반의 능동형 버스우선 신호제어 알고리즘에 관한 연구,” 대한교통학회지, 29권 제6호, pp.107-116, 2011.

[2] 이봉근, “도시교통정보시스템(UTIS)기반 버스우 선신호시스템 개발,” 석사학위논문, 아주대학교

교통·ITS대학원, 2011.

- [3] 유성준, 정준하, 안계형, 홍경식, 전옥희 “무인교 통단속장비에 대한 UTIS 통신망 활용방안 연구,” 교통안전연구논집, 제30집, pp.87, 2011.
- [4] 황상호 외, “가변 속도제한시스템 개발,” 교통과 학연구원, 2009.
- [5] 조영태, 정인범, “도시고속도로를 위한 실시간 가변속도 제한,” 정보과학논문지, 16권 제10호, pp.962-973, 2010.
- [6] Rui Jiang, Edward Chung, Jinwoo (Brian) Lee “Variable Speed Limits: Conceptual Design for Queensland Practice,” Australasian Transport Research Forum 2011 Proceedings, Adelaide, Australia, 1P, 2011
- [7] P. Allaby, B. Hellinga, M. Bullock, “Variable Speed Limits: Safety and Operational Impacts of a Candidate Control Strategy for Freeway Applications”, 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 2006.
- [8] 국토해양부, “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙,” 2009.
- [9] 도철웅, “교통공학원론(상),” 청문각, pp.222-239, 2005년

저자소개



손 현 호 (Son, Hyun-Ho)
2010년 8월 : 아주대학교 공학석사(ITS전공)
2006년 ~ 현 재 : 도로교통공단 연구원



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)
1998년 : 아주대학교 대학원(교통공학박사)
현 재 : 아주대학교 교통연구센터 부센터장
아주대학교 건설교통공학부 교수
2004년 : 서울지방경찰청 교통개선 기획실장 및 COSMOS 추진 기획단장
2000년 : 미국 Texas A&M University TTI(Texas Transportation Institute) Visiting Scholar 과정
1991년 : 아주대학교 대학원(석사)



이 상 수 (Lee, Sang-Soo)
2000년 : Texas A&M University 박사(교통공학 전공)
2002년 ~ 현 재 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수
2001년 ~ 2002년 : 한국건설기술연구원 선임연구원



윤 일 수 (Yun, Il-Soo)
2006년 1월 : University of Virginia 박사(교통공학 전공)
2009년 ~ 현 재 : 아주대학교 교통시스템공학과 조교수
2008년 ~ 2009년 : 한국교통연구원 교통투자분석센터 책임연구원