

## 도시부도로 정성적 소통상황 판단 알고리즘 개발

### Development Of Qualitative Traffic Condition Decision Algorithm On Urban Streets

조 준 한\*  
(Jun-Han Cho)

김 진 수\*\*  
(Jin-Soo Kim)

김 성 호\*\*\*  
(Seong-Ho Kim)

강 원 의\*\*\*\*  
(Weon-Eui Kang)

#### 요 약

최근 지능형교통체계(ITS)는 다기능 검지기, 도시교통정보시스템, 단거리 전용 통신 등 첨단 검지장비가 도입되면서 교통정보의 신뢰성이 중요하게 대두되고 있다. 이 연구는 구간교통정보 산정과 같은 정량적 연구와 다르게 교통류 안정성을 반영한 정성적 소통상황 판단 알고리즘을 개발하였다. 이를 위해서 제한속도별 정성적 소통상황 분류기준을 재정립하고, 실시간 소통상황 판단 유형과 판단지표를 새롭게 제시하였다. 실시간 소통상황 판단 유형은 정성적 소통상황에서 속도추이의 상승, 진동, 하락에 따라 크게 9가지 유형으로 세분화하였다. 소통상황 판단지표는 속도변화추이를 파악하기 위해 과거 5주기 2분 단위 속도, 가속도를 나타내는 값과 부호로 정의한 3개 지표와 시간대별, 속도대별 불안정법위를 설정한 영역으로 정의하였다. 이 연구에서 개발된 소통상황 판단 알고리즘의 성능평가는 실제 검지자료를 이용하여 현장 적용성을 검증하였으며, 교통정보가공체계, 상황판 운영모니터링, 과거이력자료 활용 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

#### Abstract

This paper develops a traffic condition decision algorithm to improve the reliability of traffic information on urban streets. This research is reestablished the criteria of qualitative traffic condition categorization and proposed a new qualitative traffic condition decision types and decision measures. The developed algorithm can be classified into 9 types for qualitative traffic condition in consideration of historical time series of speed changes and traffic patterns. The performance of the algorithm is verified through individual matching analysis using the radar detector data in Ansan city. The results of this paper is expected to help promotion of the traffic information processing system, real-time traffic flow monitoring and management, use of historical traffic information, etc.

**Key words** : Traffic information processing, qualitative traffic condition, traffic condition decision algorithm, unstable flow region, forced flow region

† 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(07-교통체계-지능08)에 의해 수행되었습니다.

\* 주저자 : 교통안전공단 녹색교통안전연구원 선임연구원

\*\* 공저자 : 한양대학교 교통공학과 석사과정

\*\*\* 공저자 및 교신저자 : 한양대학교 교통공학과 교수

\*\*\*\* 공저자 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구실 연구위원

† 논문접수일 : 2011년 8월 26일

† 논문심사일 : 2011년 10월 6일

† 게재확정일 : 2011년 11월 3일

# I. 서 론

## 1. 연구의 배경 및 목적

최근 지능형교통체계(ITS)는 루프검지기, 영상검지기, 레이더검지기 등과 같은 지점검지체계와 차량번호인식장치(AVI), 다기능 검지기, 도시교통정보시스템(UTIS), 단거리 전용 통신(DSRC) 등 첨단 검지장비가 도입되면서 교통정보의 신뢰성이 중요하게 대두되고 있다. 특히, 기운영증인 정보가공체계는 지점검지기기반 구간교통정보의 한계점, 구간검지자료의 대표성, 지점검지체계와 구간검지체계의 융합 알고리즘 개선방안, 과거이력자료를 이용한 정보가공 알고리즘 등의 필요성을 인식하고 있다. 하지만, 현재 교통정보 신뢰성 향상을 위한 정보수집·가공체계의 현장검증 및 개선방안, 기존 지점검지체계의 활용방안, 과거이력자료를 활용한 정보가공 알고리즘 개발 등의 세부 연구가 지속적으로 연구가 진행될 필요가 있다.

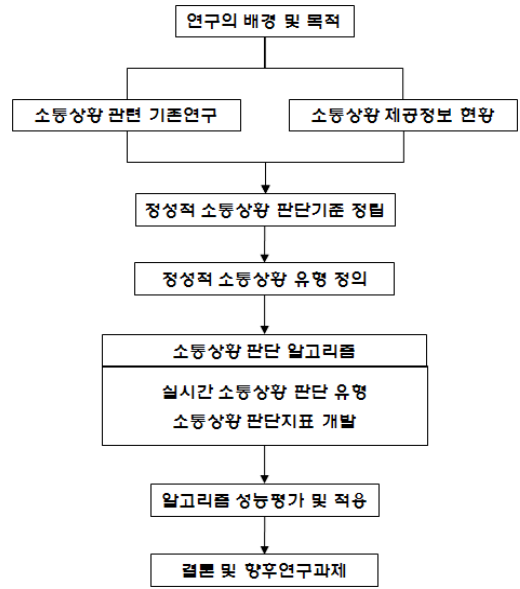
도시부도로에서 교통정보의 신뢰성에 영향을 주는 요소는 차량검지수집체계, 정보가공체계, 정보제공체계에서 다양하게 존재한다. 하지만, 무선통신기반 검지체계 개발, 모바일기반 정보제공기술 개발 등 정보수집·제공체계는 활발한 연구가 수행되고 있으나, 정보가공체계는 기존 운영시스템에서 발전된 연구성과가 현장에 적용되는 것은 상대적으로 미흡한 실정이다.

이 연구에서는 기운영증인 정보가공체계를 개선하는 방안 중에 하나로 정성적인 소통상황 판단 알고리즘을 개발한다. 이를 위해서 정성적 소통상황 분류기준을 재정립하고, 소통상황 판단 유형과 지표를 새롭게 정의한다. 정성적인 소통상황 판단 알고리즘은 교통류 안정성을 판단하여 교통정보의 신뢰성을 향상시키는데 그 목적이 있다.

## 2. 연구의 내용 및 방법

이 연구는 기존문헌고찰과 운영현황분석을 통하여 소통상황 판단 유형을 살펴보고, 정성적 소통상황 판단 방법론을 정립하여 연구결과의 적용방안을

논의한다. 이 연구는 도시부도로에서 정성적 소통상황 판단 알고리즘을 개발하기 위해 소통상황 분류기준, 유형, 판단지표, 판단 알고리즘을 제시하였고, 구체적인 연구수행과정은 <그림 1>과 같다.



(그림 1) 연구수행과정  
(Fig. 1) Flow chart of research process

# II. 기존연구고찰 및 현황

## 1. 기존 연구 고찰

소통상황 판단과 관련된 기존 연구를 살펴보면, 정성적 연구보다는 통행속도 또는 통행시간 산정 및 예측 등 정량적 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이는 교통정보를 제공하는데 정량적인 교통소통정보(통행속도, 통행시간 등)를 산출하는 것이 운영관리전략 수립에 중요한 요소로 활용되기 때문으로 분석된다[1-7].

정성적 소통상황 관련 연구를 살펴보면, Ko and Guensler[8]는 고속도로 구간에서 가우시안 혼합 모델(Gaussian mixture model)을 사용하여 혼잡수준을 분류하고 특성을 제시하였다. 이 연구는 속도분포를 정규분포로 가정하였으며, 분포의 파라미터, 평

균, 분산, 혼잡 가중치에 따른 혼잡 심각도, 혼잡 변동폭과 지속기간을 도출하였다. Lee et al[9]은 신호 교차로 루프검지기를 기반으로 혼잡상황을 비포화, 포화, 과포화 상태로 분류하는 휴리스틱 알고리즘을 개발하였다. 이 연구는 차두시간과 유효녹색시간간의 관계를 분석하여 점유시간비율(percent occupancy time)을 기초로 혼잡상황을 분류하였다. Lao et al[10]은 신호교차로에 설치된 루프검지기를 기반으로 교통수요(traffic demand)와 교통공급(traffic supply)을 고려하는 방법으로 혼잡수준을 제시하였다. 교통수요요소는 교차로에 접근하는 교통량으로, 교통공급요소는 주기, 녹색시간, 포화교통유율에 의해 계산되는 용량으로 정의하였다. 혼잡수준은 차로그 룩별, 접근로별, 교차로 전체로 나누어 산출할 수 있도록 구분하여 제시하였다. 기존연구에서는 혼잡수준(level of congestion)을 혼잡/비혼잡 또는 비포화/포화/과포화상태로 분류하였으며, 실시간 정보제공 단계에서 필요한 정성적 소통상황 정보(예: 원활/서행/정체)와 연계된 연구는 수행되지 않았다.

## 2. 소통상황 판단 운영현황

현재 지능형교통시스템에서 소통상황은 크게 원활, 서행, 정체로 구분하여 도로전광표지, 인터넷, 스마트폰 등에 정보를 제공하고 있다. 이러한 정성적인 소통상황 판단은 지점 및 구간검지체계에서 수집되는 통행속도를 근거로 결정한다. 도시부도로의 경우 서행영역을 살펴보면, 지자체별로 상이하게 적용되고 있으나 일반적으로 20~35kph 해당범위를 제시하고 있다. 서행영역을 기준으로 속도가 그 이상인 경우는 소통원활, 그 이하인 경우는 정체로 판단하고 있다. 하지만, 이러한 소통상황 판단의 근거가 과학적으로 제시된 것이 아니라 대부분 경험에 의해 설정된 기준이다.

실시간 소통상황을 정량적 수치가 아닌 정성적 지표로 제공하는 것은 또 하나의 중요한 정보가 된다. 실제로, 운전자 입장에서 통행시간이 30분이든 35분이든 혼잡정도 측면에서 큰 차이를 느끼지 못한다. 달리 표현하면, 운전자에게 정량적 교통정보제공도

중요한 요소이지만, 혼잡상태의 완화 또는 악화 여부를 판단하여 우회경로, 수단선택 변경, 출발시간 지연 등의 교통정보를 제공하는 것이 도로용량 효율성 측면에서 훨씬 더 중요하다. 이는 정성적 소통상황을 판단하면 단기 소통상황 예측과 과거이력자료 가중치 부여 등 통행특성을 반영한 패턴기반 정보제공 및 제공이 가능하다. 또한, 도로망의 정성적 교통흐름을 실시간으로 모니터링하고 교통운영관리를 위한 소통정보를 운전자에게 제공할 수 있어서 정보의 일관성과 신뢰성을 모두 충족시킬 수 있다.

실제 교통정보를 제공받는 도형식 도로전광표지, 교통정보 홈페이지, 스마트폰 교통정보 애플리케이션에서는 정성적인 소통정보가 색상을 통해 우선적으로 표출된다. 이용자 입장에서도 가장 먼저 확인하는 것이 정량적인 교통정보보다 정성적인 소통상황 정보이기 때문에 이에 대한 가공·제공 방안 연구도 수반되어야 한다. 예를 들어, 단속류/연속류 유형, 제한속도, 차로수 등에 따라 정성적 소통상황 분류 기준속도를 차별적으로 적용해야 한다. 또한, 소통상황이 서행이라고 하더라도 교통류 안정성(traffic flow stability) 수준에 따라 교통류가 완화, 지속, 악화 등으로 변화될 수 있기 때문에 이에 대한 판단 및 예측이 필요하다. 따라서 이 연구는 정성적 소통상황 분류 유형 정립, 소통상황 판단지표 및 알고리즘 개발과 적용성에 초점을 맞추어 수행한다.

## III. 정성적 소통상황 판단 알고리즘

### 1. 정성적 소통상황 분류기준 정립

정성적 소통상황 분류기준 및 유형을 정의하기에 앞서 도시부도로의 교통류 안정성을 판단하는 기준을 정립할 필요가 있다. Zhanget al[6]은 속도-점유율 관계를 토대로 교통류 이력현상(hysteresis phenomenon)을 크게 free, impeded free, synchronized, congested, jammed, stopped 등 6가지 유형으로 분류하였다. 이러한 접근방법은 차량행태 모형을 개발하거나 동적 교통량-속도-점유율 관계를 분석하는

데 활용은 가능하지만, 정보가공 및 제공체계에서의 교통류 안정성 분류기준으로는 적합하지 않다. 교통정보센터 운영자나 운전자에게 단순하면서 실제 교통상황을 정확하게 가공·제공할 수 있는 교통류 안정성 분류기준이 필요하다. 이 연구에서는 도로용량편람에서 제시하고 있는 간선도로 또는 도시부도로의 서비스수준 기준과 실제 검지자료의 교통량-속도 관계를 토대로 교통류 안정성 분류기준을 정립하였다.

<표 1> 간선도로 서비스수준 (한국도로용량편람)(11)  
 <Table 1> LOS of arterial street (KHCM)

자유속도(kph)	80	70	60
서비스수준	평균통행속도(kph)		
A	≥ 67	≥ 60	≥ 49
B	≥ 51	≥ 46	≥ 39
C	≥ 37	≥ 33	≥ 29
D	≥ 28	≥ 25	≥ 20
E	≥ 21	≥ 18	≥ 12
F	≥ 10	≥ 10	≥ 8
FF	≥ 6	≥ 6	≥ 5
FFF	< 6	< 6	< 5

<표 2> 도시부도로 서비스수준 (미국도로용량편람)(12)  
 <Table 2> LOS of urban street (HCM)

자유속도(kph)	80	65	55	45
서비스수준	평균통행속도(kph)			
A	> 72	> 59	> 50	> 41
B	≥ 57	≥ 47	≥ 40	≥ 33
C	≥ 41	≥ 34	≥ 29	≥ 24
D	≥ 33	≥ 27	≥ 23	≥ 19
E	≥ 27	≥ 22	≥ 18	≥ 15
F	< 27	< 22	< 18	< 15

도로용량편람의 서비스수준은 통행속도, 통행시간, 통행 자유도, 안락감 그리고 교통안전 등의 교통운영 상태를 설명하는 질적인 개념이다. 일반적으로 LOS E는 매우 불안정한 교통류로서, 교통류 내의 방향조작 자유도가 매우 제한되고 교통류 방해(충격파)를 상류로 전파하기 때문에 용량상태가 발생하는 등급이다. 반면에, LOS C 또는 D는 교통류내의 다른 차량과의 상호작용으로 교통량이 조금만 증가하더라도 서비스 질이 크게 떨어지는 범위에 접근한 교통류 상태이다. 즉, 자유 통행 상태

에 해당하는 LOS A 또는 B와 도로용량 및 와해 상태에 해당하는 LOS E 또는 F 사이의 전이영역에 해당한다. 따라서, 도로용량편람 기준으로 교통류 안정성 분류를 크게 3가지 형태로 나누었다. 즉, LOS A~B, C~D, E~F로 분류하였다. <표 1>, <표 2>는 간선도로 또는 도시부도로에 대해 우리나라와 미국 도로용량편람의 서비스수준 기준을 나타낸 것이다. 자유속도 80 kph에서 교통류 안정성의 전이 영역인 LOS C, D의 속도를 살펴보면 최소 28, 최대 56kph로 나타났다.

또한, 이론적인 교통운영 지침인 도로용량편람과 더불어 실제 교통검지자료를 근거로 교통량-속도 관계를 살펴보았다. 분석자료의 통행속도는 현재 지자체에서 적용하고 있는 연동을 적용식을 이용하여 도출하였다. 연동을 적용식은 식(1)과 같다.

$$TT = \frac{L}{u_d} + RT * (1 - CR) \quad (1)$$

여기서, *TT*: 연동을 적용한 통행시간

*L*: 링크길이

*u<sub>d</sub>*: 검지기 속도

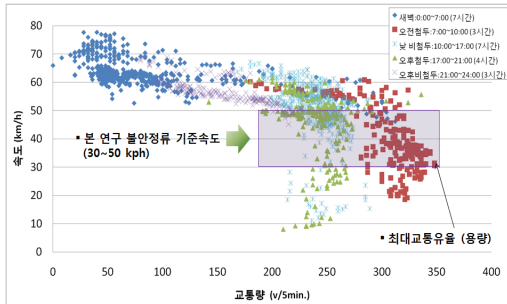
*RT*: 하류부 교차로 적색시간

*CR*: 연동율 (0~1)

<그림 2>는 안산시 중앙로 한양빌딩사거리~터미널사거리 구간에 설치된 레이더검지기 2008년 월요일 1년치 속도자료로서, 이 구간은 제한속도가 80kph이다. 용량상태에 도달하는 속도는 대략 30kph 부근으로 LOS D의 최소값에 해당한다. 또한, 속도 30~55kph 사이는 첨두/비첨두 교통류가 혼재되어 있는 영역으로, 차량간의 방해가 없는 자유 통행 상태와 용량에 도달한 혼잡상태 사이에 발생하는 불안정한 교통류를 나타내는 영역이다. 불안정류를 운영분석 관점에서 살펴보면, 대략적으로 도로용량 편람 LOS C, D 기준과 유사하게 나타났다.

도로용량편람 서비스수준과 실제 검지자료의 교통량-속도 관계를 종합하여, 교통류 안정성 분류기준을 정립하였다. 교통류 안정성 분류 유형은 크게 자유류 영역(free flow region), 불안정류(unstable flow

region, transition flow region), 강제류(forced flow region)로 나누었다.



〈그림 2〉 레이더검지기 속도-교통량 곡선  
(Fig. 2) Speed-volume curve of radar detector

이 연구에서는 교통류 안정성 분류 유형을 기초로 정성적인 소통상황 분류 기준을 재정립하였다. 즉, 자유류 영역은 원활, 불안정류 영역은 서행, 강제류 영역은 정체로 해석하였다. 즉, 서행영역은 자유류와 강제류 사이의 전이영역으로 표현하였으며, 이는 실제 정보제공 운영에서도 동일한 접근방법으로 적용하고 있다. 따라서, 도시부도로의 정성적 소통상황 분류기준은 <표 3>과 같이 정립하였으며, 여기에 제시한 기준속도는 HCM, KHCM 제시값을 보간법으로 계산한 후 정보제공 운영상의 편의를 위해 5kph 단위로 보정하였다.

〈표 3〉 도시부 정성적 소통상황 분류 기준  
(Table 3) Criteria of qualitative traffic condition classification in urban street

통행속도 (kph)			
자유속도	원활	서행	정체
80	> 50	30 ~ 50	< 30
70	> 45	25 ~ 45	< 25
60	> 40	20 ~ 40	< 20

## 2. 정성적 소통상황 유형 정의

### 1) 시간대별 소통상황 판단 유형

소통상황 판단 유형은 차량행태, 통행패턴과 밀접한 관계가 있다. 검지자료에서 수집되는 교통량,

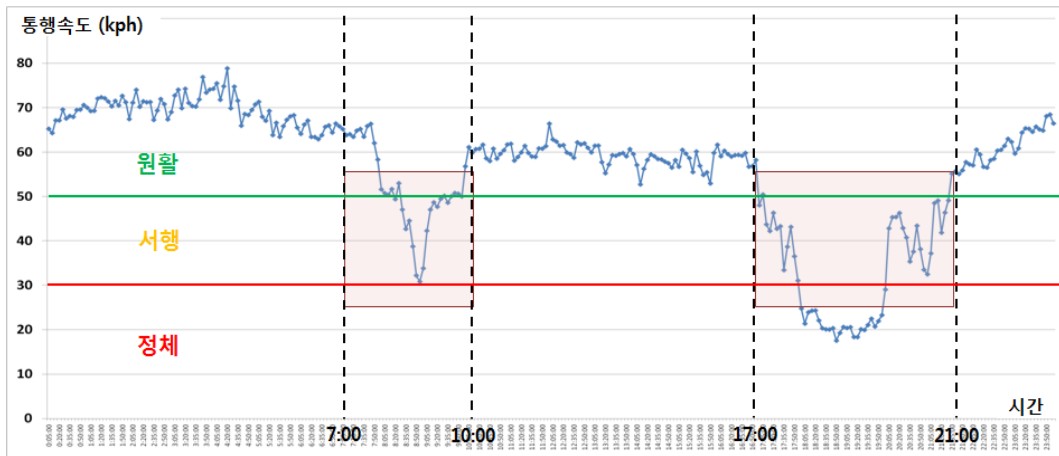
속도, 점유율을 토대로 계절별, 월별, 요일별, 시간대별 등으로 분류가 가능하다[13]. 이 연구에서는 실시간 제공주기별 소통상황 판단 유형을 정립하기 전에 시간대별 속도변화추이를 파악하여 일반적인 소통상황 통행패턴을 도출하고자 한다.

<그림 3>은 안산시 중앙로 안산역사거리~협성연립삼거리 구간의 검지기에서 수집된 2008년 5월 21일 24시간 속도자료이다. 이 검지자료는 첨두/비첨두 시간이 뚜렷하게 발생하는 도시부도로의 전형적인 통행패턴을 보인다. 하루동안 속도변화 추이를 살펴보면, 출근시간대인 오전 7시를 지나면서 서서히 속도가 불안정한 추이를 형성하고 오전 8시~9시 사이에 급격한 속도하락과 상승을 한다. 오전 10시 이후에는 원활상태가 나타나다가 퇴근시간대인 오후 5시부터 속도가 급격히 하락하면서 오후 6시~8시 사이는 정체가 발생하고 오후 9시에 원활상태로 회복되는 속도추이를 보인다. 그 외 시간대는 원활상태를 나타낸다.

<그림 3>과 같은 속도변화 추이는 일반적인 출퇴근 도시부도로에서 나타나는 형태로서, 시간대별 정성적 소통상황 변화패턴을 파악하는데 도움을 준다. 원활과 정체상태는 연속적인 작은 폭의 진동형태를 나타내고, 서행상태는 간헐적인 큰 폭의 진동과 더불어 속도가 급격하게 상승, 하락하는 형태를 나타낸다. 즉, 교통혼잡시간대(7:00~10:00, 17:00~21:00)의 속도는 대부분 급격히 상승 혹은 하락하는 패턴을 보이며 이때 속도는 원활과 정체 사이의 전이구간 속도인 25~55kph 범위를 항상 형성한다. 이러한 속도변화패턴과 소통상황에 따른 속도범위는 실시간 제공주기별 소통상황 판단 지표 및 알고리즘 개발에 하나의 판단기준으로 적용하게 된다.

### 2) 정성적 소통상황 판단 유형

앞에서 언급한 시간대별 소통상황 판단 유형에서 속도범위 30kph, 50kph를 기준으로 원활, 서행, 정체를 구분하였으며, 속도변화곡선 형태를 파악하였다. 시간대별 소통상황 판단 유형과 달리, 정성적 소통상황 판단 유형을 분류하기 위해서는 정보수집주기, 정보제공주기, 속도, 가속도, 차량간격(gap),



〈그림 3〉 시간대별 속도패턴 변화 추이  
 〈Fig. 3〉 Time of day variations for speed pattern

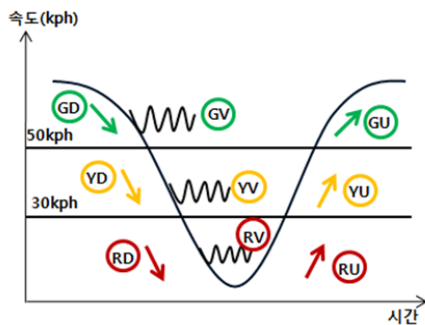
차두간격(headway) 등을 고려해야 한다. 이 연구는 이 중에서 지점감지체계에서 수집이 가능한 정보제공주기(5분)와 속도, 가속도를 통해서 실시간 제공주기별 소통상황 판단 유형을 정립하였으며, 그 유형을 기존보다 더 세분화하였다.

기본적으로 교통류에서 원활, 서행, 정체영역 안에는 안정교통류(stable traffic flow)와 불안정교통류(unstable traffic flow)가 항상 존재한다. 이러한 교통류만의 특성 때문에 실제 소통상황을 판단하기가 쉽지 않다. <그림 4>는 이러한 한계점을 개선하기 위해 정성적 소통판단 유형을 9가지 형태로 제시하였다. 이 연구는 소통상황을 원활(G), 서행(Y), 정체(R)로 분류한 기존과 달리, 이를 더 세분화하여 속도추세가 증가(U), 진동(V), 감소(D) 여부를 추가적으로 적용하였다. 예를 들어, 유형 YU, YV, YD는 같은 서행영역에 포함되지만, 유형 YU는 정체→원활로 가기 위한 서행이고, 유형 YD는 원활→정체로 가기 위한 서행이며, 유형 YV는 작은 폭의 진동형태를 띄지만 지속적인 서행을 나타낸다. 이러한 유형 분류는 같은 서행영역이라고 하더라도 교통흐름이 완화되는지, 악화되는지, 현 상태를 지속하는지 판단할 수 있기 때문에 교통정보센터 운영자가 효율적인 교통운영관리 및 정책을 수립할 수 있다. 이 연구에서 이러한 교통류의 상태를 세부적으로 파악

하기 위해 9가지 정성적 소통판단 유형으로 분류하여 각각 특성을 소통상황 판단지표의 부호 또는 값을 통해 파악한다.

### 3. 소통상황 판단 지표 개발

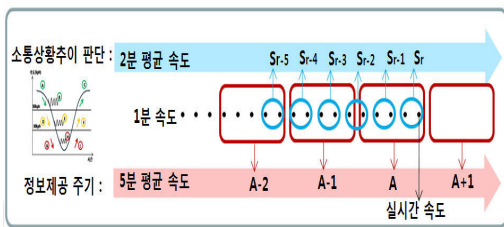
실시간 소통상황에서 <그림 4>의 9가지 유형을 명확하게 판단하기 위해 속도, 가속도를 토대로 판단지표를 개발하였다. 실시간 속도자료가 어떤 소통상황 흐름을 형성하는지 판단하기 위해서는 실시간 제공주기 전, 후 속도 값을 알아야 한다. 그러나 실제 교통정보가공체계에서 실시간 다음 주기의 속도는 알 수 없기 때문에 실시간 이전 주기의 적용 범위를 정의하는 것이 중요하다.



〈그림 4〉 정성적 소통상황 판단 유형  
 〈Fig. 4〉 Types of qualitative traffic condition decision

이 연구에서는 검지기 자체에서 수집되는 1분주기 원시자료를 정보제공주기 5분 단위로 집계하는 과정에서 생성되는 2분 단위 집계자료를 최종적인 소통상황 판단지표에 활용하였다.

이는 과거이력자료에서 1분, 2분, 3분, 5분, 10분 집계자료를 산출하여 실제 소통상황과 비교분석한 결과, 정보의 신뢰성과 시스템의 효율성을 고루 만족하는 적정 집계단위는 2분으로 분석되었다. <그림 5>는 정보제공주기 5분 단위와 소통상황 판단주기 2분 단위의 관계를 도식화한 것이다.



<그림 5> 소통상황 판단 기준  
(Fig. 5) Criteria of traffic condition decision

2분 단위 집계자료에서 실시간 이전 1주기~5주기 자료를 토대로 4개의 소통상황 판단지표를 개발하였으며, 세부지표는 <표 4>에 정의하였다.

<표 4> 소통상황 판단지표  
(Table 4) Measures of traffic condition decision

지표	수식	판단 기준	판단결과
1	$S_{r-i} - S_{r-(i+1)}$ $i= 0\sim 4$ (2분 단위)	값, 부호	진동여부 및 개수 판단
2	$S_r - \frac{1}{5} \sum_{i=r-1}^{r-5} S_i$	값, 부호	-: 속도 하락패턴 판단 +: 속도 상승패턴 판단
3	$S_r - S_{r-5}$	값, 부호	-: 속도 하락패턴 판단 +: 속도 상승패턴 판단
4	시간대별, 속도대별	범위	Sr의 불안정범위에 포함 판단

판단지표 1은  $S_r$ 과 이전주기 5개 (2, 4, 6, 8, 10분전 속도자료) 개별 속도자료와의 차이 값과 부호로 정의한다. 이 지표는 상반된 부호의 개수, 값의 차이를 토대로 진동여부와 교통류 안정성 유무를 판단한다. 예를 들어, 개별 속도차의 부호 5개가 일관된 양수이면 급격히 속도가 상승하게 되며, 반대

인 경우는 급격한 속도 하락을 하게 된다. 또한 이 부호들이 양수와 음수가 반복적으로 나타나면서 정량적인 속도 값이 주어지면 교통흐름의 진동패턴 여부를 판단하게 된다.

판단지표 2는 2분으로 집계된 실시간 속도자료  $S_r$ 에 이전주기 5개 (2, 4, 6, 8, 10분전 속도자료) 속도자료의 평균으로 뺀 값과 부호로 정의한다.

판단지표 3은  $S_r$ 에서 10분전 주기 속도인  $S_{r-5}$ 을 뺀 값과 부호로 정의한다. 판단지표 2, 3은 부호가 음수이면 속도가 감소하고, 양수이면 상승할 가능성이 높다는 것을 의미한다.

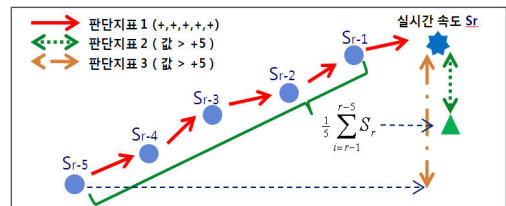
판단지표 4는 교통류의 흐름이 불안정한 경우 일반적인 통행특성 또는 패턴에 의해 판단하는 보조지표로 사용한다. 즉, 앞 절에서 제시한 시간대별 소통상황 판단유형을 기초로 일정 시간대와 속도범위를 설정한다.

이 연구에서는 판단지표 1~3의 과정을 거치고 난 후에 시간대가 7:00~10:00, 17:00~21:00이고 속도범위가 25~55kph이면 불안정한 교통영역으로 속도가 상승 또는 하락을 하게 된다.

#### 4. 알고리즘 개발

위에서 제시한 소통상황 판단지표를 토대로 일반적인 속도패턴을 크게 3가지 형태로 나타낼 수 있다.

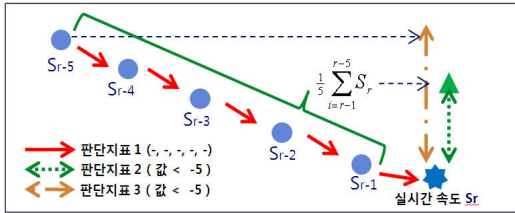
<그림 6>은 속도추이가 연속적으로 상승하는 패턴을 나타내는 것으로, 판단지표 1에서 도출된 5개 값 중 4개 이상이 양수이고, 판단지표 2, 3의 부호가 +5초과 양수인 경우 속도추이가 상승패턴을 나타나게 된다. 또한 판단지표 4에서는 시간대별, 속도별 일정범위 안에 포함되면 연속적인 속도상승 패턴으로 정의한다.



<그림 6> 연속적인 상승 속도패턴 예  
(Fig. 6) Continuous upward speed pattern



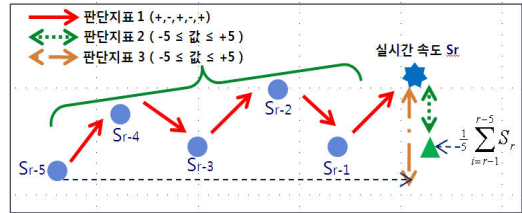
<그림 7>은 속도추이가 연속적으로 하락하는 패턴을 나타내는 것으로, 판단지표 1에서 도출된 5개 값 중 4개 이상이 음수이고, 판단지표 2, 3의 부호가 -5 미만 음수인 경우 속도추이가 하락패턴을 보인다. 추가적으로 판단지표 4의 일정범위 포함여부를 통해 보다 명확한 속도하락 추이를 판단하게 된다.



<그림 7> 연속적인 하락 속도패턴 예  
(Fig. 7) Continuous downward speed pattern

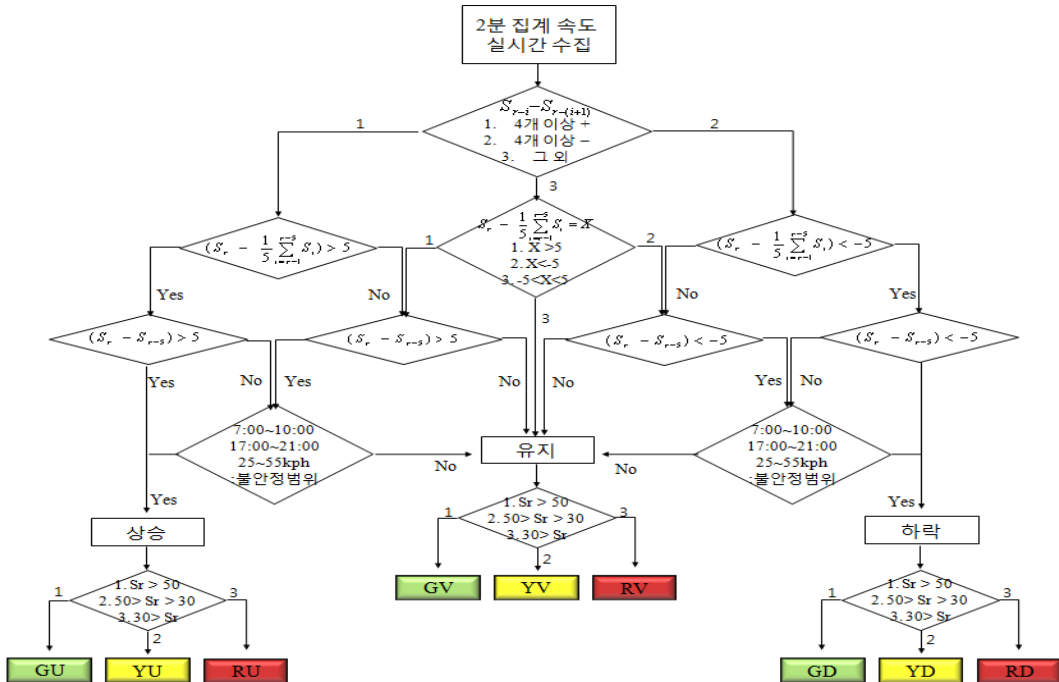
<그림 8>은 속도추이가 일정한 진폭을 보이면서 전반적으로 평탄한 곡선 형태를 나타내는 것으로, 판단지표 1에서 도출된 5개 값이 상대적으로 작으면서도 양수와 음수가 번갈아 나타나고, 판단지표

2, 3이 일정주기 동안 양수 또는 음수를 반복하며 이 값이 -5이상, +5이하 범위에 포함하는 경우이다. 이러한 소통상황을 이 연구에서는 진동패턴이라 정의하였다.



<그림 8> 진동하는 패턴 예  
(Fig. 8) Repetitive fluctuation in speed pattern

앞 절에서 언급한 소통상황 판단유형과 판단지표, 대표적인 속도변화 패턴 세 가지(상승, 하락, 진동)를 기초로 실시간 소통판단 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘은 <그림 4>에서 제시한 9가지 소통상황 유형을 판단한다. 이 연구에서 재정립한 정성적 소통상황 분류(원활, 서행, 정체)를 미시적인 속도패턴



<그림 9> 정성적 소통상황 판단 알고리즘  
(Fig. 9) Algorithm of qualitative traffic condition decision



을 토대로 유형GD~유형RU로 판단한다. 이 연구에서 개발한 소통상황 판단 알고리즘은 실시간으로 수집되는 2분 집계 속도자료를 기본적으로 활용한다. <그림 9>에서 알 수 있듯이, 소통상황 판단은 판단지표 1, 2, 3, 4 순서로 단계적으로 적용한다.

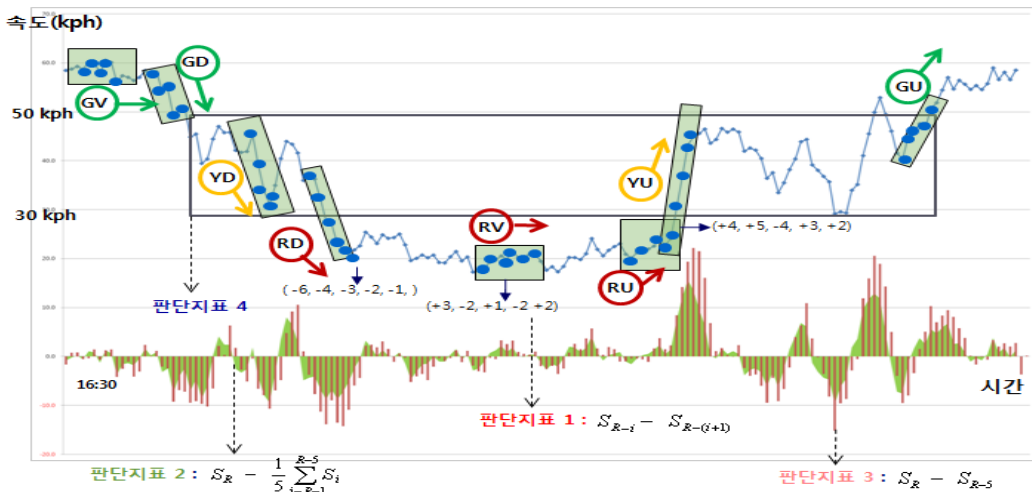
판단지표 1에서 도출된 5개의 값 중에서 4개 이상이 양수이고, 판단지표 2, 3를 통한 값이 임계치인 +5 이상이면, 속도가 상승하는 패턴을 갖는다. 그리고 판단지표 2, 3의 임계치를 하나만 만족하여도 판단지표 4에서 제시한 특정시간대 7:00~10:00 혹은 17:00~21:00이고, 속도범위가 25~55kph이면 속도가 상승하게 된다. 미시적인 속도유형을 판단하기 위해 2분 집계 실시간 속도자료인  $s_r$ 이 50kph 이상이면 ‘속도가 상승하는 원활’인 유형 GU,  $s_r$ 이 30~50kph 범위 내에 존재하면 ‘속도가 상승하는 서행’인 유형 YU,  $s_r$ 이 30kph이하이면 ‘속도가 상승하는 정체’인 유형 RU로 판단되는 정보가 생성한다. 반면에, 속도가 하락하는 유형인 GD, YD, RD는 속도가 상승하는 판단기준과 반대인 경우에 해당한다. 또 하나의 경우인 진동유무 판단근거를 살펴보면, 판단지표 1을 통한 5개 값의 부호가 양수와 음수로 반복되고 판단지표 2, 3의 값이 임계치  $\pm 5$  내

에 존재하면 속도추이가 작은 진폭으로 진동하며 W형태의 곡선 형태를 유지하는 패턴을 갖는다. 그리고  $s_r$ 의 속도에 따라 자유류, 불안정류, 강제류영역이 포함되고 그 판단결과에 따라 유형 GV, YV, RV가 결정된다.

#### IV. 알고리즘 성능평가 및 적용

##### 1. 알고리즘 성능평가

이 연구에서 개발된 알고리즘의 성능평가 및 적용성 검토를 위해 2010년 5월 26일 안산시 중앙로 안산역사거리~협성연립사거리 레이더검지기 수집 자료를 이용하였다. 분석시간은 퇴근시간대인 오후 5시~오후 10시 사이로서, 교통량 증가와 신호대기 시간에 따른 소통상황을 반영하였다. 즉, 소통상황은 ‘원활→서행→정체→서행→원활’이 연속적으로 발생하는 지점을 선정하였다. <그림 10>은 소통상황 판단 알고리즘이 적용된 분석과정과 결과를 도식화한 것이다. <그림 10>에서 알고리즘의 성능평가 및 적용성 검토에 대해 세부적인 내용을 설명하면 다음과 같다.



<그림 10> 정성적 소통상황 판단 알고리즘 성능평가 및 적용성 검토  
(2010년 5월 26일 안산시 중앙로 안산역사거리~연수원사거리 레이더검지기 자료)

<Fig. 10> Performance evaluation and feasibility of qualitative traffic condition decision

시간흐름(오후 5시 기준)에 근거하여 수집된 2분 집계단위 5개의 속도자료는 작은 진폭이 반복되는 진동상태로 유지되는 원활상태인 유형 GV에 해당한다. 그 후 속도는 50kph 이상에서 점차적으로 하락하는 원활상태인 유형 GD로 판단된다. 시간이 지날수록 속도는 50kph이하로 떨어지면서 판단지표 1에서 도출되는 5개 속도 중 4개 부호가 음수를 나타내고, 판단지표 2, 3도 임계치가 -5보다 작아지면서 속도가 급격히 하락하는 서행상태인 유형 YD로 판단되다가 곧바로 속도가 30kph 이하로 떨어지면서 정체상태인 유형 RD로 판단되었다. 이때 판단지표 1에서 도출되는 5개 속도 모두 부호가 음수를 나타내고, 판단지표 2, 3도 임계치가 -5보다 작다. 정체상태 유형 RD에서 잦은 진동이 발생하는 정체상태인 유형 RV로 변화되었다가 판단지표 1에서 도출된 5개 속도 중 4개 부호가 양수를 나타내면서 속도가 상승하는 정체상태인 유형 RU로 판단하였다. 그 이후에는 서서히 교통혼잡이 해소되면서 판단지표 1에서 도출된 5개의 속도 부호가 모두 양수이고, 판단지표 2, 3 값이 임계치 +5보다 커짐에 따라 속도가 상승하는 서행상태인 유형 YU로 나타났다. 그 이후 서행상태의 진동형태를 띠다가 서행상태가 완전히 해소되는 유형 GU로 판단되었다. 이 연구에서 개발한 소통상황 판단 알고리즘을 실제 검지자료에 적용해 본 결과, 2분단위의 속도 변화를 실시간으로 판단하는데 우수한 결과를 도출하였다.

## 2. 알고리즘 적용

이 연구에서 개발한 소통상황 판단 알고리즘은 과거 5주기의 2분 단위 평균속도 추이(상승, 하락, 진동)를 근거로 개발하였다. 이 알고리즘은 실시간 소통상황을 판단하는 것으로서, 과거 속도변화 패턴을 반영하여 기존의 정성적 소통상황 정보(원활, 서행, 정체)가 보다 세분화되어 교통정보가공체계, 상황관 운영모니터링, 과거이력자료 활용 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

### 1) 실시간 통행속도 예측

이 연구에서 개발된 소통상황 판단 알고리즘은 실시간 자료수집시간의 통행속도를 기초로 소통상황 판단상태를 결정한다. 하지만, 실제 교통정보를 제공하는 경우에는 다음 제공주기의 소통상황과 통행속도를 예측하여야 한다. 이 연구에서 제시한 소통상황 판단지표의 값과 부호는 아주 짧은 기간인 다음 주기의 소통상황을 예측하는데 활용이 가능하다. 즉, 이 연구에서 개발한 소통상황 판단 알고리즘은 실시간 통행속도 산정(estimation)과 단기예측(short-term prediction)를 하는데 활용이 가능하다.

### 2) 실시간 교통류 안정성 판단

교통정보센터 운영자 입장에서 도로망의 교통류 안정성(traffic flow stability) 모니터링은 중요한 교통 운영관리요소이다. 일반적인 실시간 교통흐름은 <그림 4>에서 정의한 실시간 소통상황 판단 유형에서 알 수 있듯이 동일한 서행상태라 하더라도 유형 YD, YV, YU로 나눌 수 있다. 이 연구에서 개발한 알고리즘은 이렇게 세분화된 소통상황 유형 분류가 가능하며, 소통상황 판단의 단기예측을 통해 사전에 혼잡을 예방할 수 있는 운영전략 수립이 가능하다. 그러나 현재 교통정보센터에서 적용하고 있는 정보가공 알고리즘에서 생성되는 통행속도 혹은 통행시간은 이 연구에서 제시한 정성적 소통상황 판단 유형을 분류하기 어렵다. 또한, CCTV를 이용한 소통상황 판단은 현시점의 교통류가 안정성(stability)한지, 불안정성(unstability)를 가지는지 판단하는데 어려움이 있다. 따라서 이 연구에서 개발한 소통상황 판단 알고리즘은 침두시, 비침두시, 돌발상황 발생시 등의 교통류 안정성 평가 및 모니터링에 활용이 가능하다.

### 3) 과거이력자료 활용한 정보가공

실시간 교통정보가공체계에서 과거이력자료 활용여부는 월별, 계절별, 요일별, 시간대별 소통상황 패턴에 크게 의존한다. 예를 들면, 과거이력자료를 활용한 실시간 통행속도를 산정할 때, 과거 통행패

턴을 파악하고 규칙(rule)을 생성해야 가중치를 얼마나 부여하는 것이 적정인지 판단할 수 있다. 과거 이력자료 가중치를 반영한 일반적인 실시간 통행속도 산정식은 식 (2)과 같다.

$$U_{t+1}^{pre} = \alpha U_t^{est} + \beta U_{t+1}^{his} \quad (2)$$

여기서,  $U_{t+1}^{pre}$ : 실시간  $t$ 의 다음 주기 예측 통행속도

$U_t^{est}$ : 실시간  $t$ 에서 산정한 통행속도

$U_{t+1}^{his}$ : 실시간  $t$ 의 다음 주기 과거 통행속도

$\alpha, \beta$ : 가중치 파라미터 ( $\alpha + \beta = 1$ )

식(2)에서  $\alpha$ 는 실시간  $t$ 에서 산정한 통행속도에 대한 가중치이며,  $\beta$ 는  $t$ 시간의 소통상황 및 교통류 안정성을 근거로 한  $t+1$ 시간의 과거 통행속도의 가중치를 나타내는 것이다. 가중치 파라미터  $\alpha, \beta$ 의 적정값을 결정하기 위해서는 월별, 계절별, 요일별, 시간대별 소통상황 패턴분석이 선행되어야 한다. 이 연구에서 개발한 소통상황 판단 알고리즘은 다양한 시계열분석을 통해서 적정  $\alpha, \beta$  범위를 산출하는 데 활용이 가능하다.

## V. 결론 및 향후연구과제

이 연구는 교통정보의 신뢰성을 향상시키기 위해 정보가공체계를 개선하는 방안 중에 하나로 실시간 소통상황 판단 알고리즘을 개발하였다. 세부 연구내용은 정성적인 소통상황 분류기준을 재정립하였고, 실시간 교통류 안정성을 파악할 수 있는 소통상황 판단 유형과 지표를 정의하였다. 이러한 소통상황 판단 요소를 근거로 알고리즘을 개발하였으며, 실제 검지자료를 이용하여 알고리즘의 성능평가를 수행하여 현장 적용성을 검증하였다.

이 연구결과는 신호제어가 수반된 도시부도로에 적용이 가능하며, 침투·비침투시간이 존재하여 교통류 안정성(traffic flow stability)을 정성적인 소통상

황으로 판단하는데 유용하다. 이는 현재 운영중인 교통정보가공 알고리즘을 토대로 제공되는 교통정보와 실측치(ground truth)와의 차이를 최소화할 수 있는 방안에 활용이 가능하다. 특히, 과거이력자료를 활용한 지점검지기 기반 교통정보가공 알고리즘 개발에 용이하며, 교통정보센터 운영자 측면에서 도로망 교통류 안정성 모니터링 및 이에 따른 운영관리전략 수립에 도움이 될 것으로 판단된다.

향후 연구과제로는 이 연구에서 개발된 알고리즘을 토대로 다음 주기의 소통상황을 예측하는 알고리즘으로 확장할 필요가 있다. 또한, 향후에는 단속류와 연속류의 교통특성, 도로등급, 토지이용에 따른 차별성을 고려한 추가연구가 수반될 필요가 있다. 마지막으로 지점검지기 이외에 AVI, UTIS, DSRC 방식의 구간검지기를 기초로 한 소통상황 판단 알고리즘을 개발하여 지점검지체제와 구간검지체제의 융합 가공 알고리즘 개발 연구로 발전하면 교통정보의 신뢰성을 한 단계 더 높일 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김영찬, 최기수, 김도경, 오기도, “단일루프검지기를 이용한 간선도로 실시간 통행속도 추정 방법론,” *대한교통학회지*, 제15권, 제4호, pp.53-71, 1997.
- [2] 이영인, 이정희, “교통정보제공을 위한 구간통행시간 산출 방법론 연구 (적정표본수 결정방법을 중심으로),” *대한교통학회지*, 제20권, 제3호, pp.55-67, 2002.
- [3] 김성현, 임강원, 이영인, “일반국도의 지점 및 구간검지기 자료의 융합을 통한 통행시간 추정 알고리즘 개발,” *대한교통학회지*, 제23권, 제5호, pp.135-146, 2005.
- [4] 여태동, 한경수, 배상훈, “히스토리컬 프로파일 구축과 시·공간 자료합성에 의한 단속류 통행시간 예측,” *대한교통학회지*, 제27권 제2호, pp.133-144, 2009.
- [5] Van Lint, J. W. C. and Van der Zijpp, N. J, “An

- improved travel time estimation algorithm using dual loop detectors,” *Proc., 82nd Transportation Research Board Annual Meeting CD-ROM, Transportation Research Board*, Washington D.C., 2003.
- [6] Zhang He-sheng, Zhang Yi and Hu Dong-cheng, “Estimation method of average travel time for road sections,” *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 8(1). pp.89-96, 2008.
- [7] Coifman, B, “Improved velocity estimation using single loop detectors,” *Transportation Research Part B*, 35, pp.863-880, 2001.
- [8] Ko, J. and R. Guensler, “Characterization of Congestion Based on Speed Distribution: A Statistical Approach Using Gaussian Mixture Model,” *Published in CD-ROM of the Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., 2005.
- [9] Lingras and P, “Traffic Volume Time-Series Analysis According to the Type of Road Use,” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 15, pp.365-373, 2000.
- [10] Lao, Y. T., Yang X. G., Wu and Z, “Quantification of Congestion in Signalized Intersection Based on Loop Detector Data,” *Proc. of the 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, pp.904-909, 2007.
- [11] 도로용량편람, 국토해양부, 2001.
- [12] Highway Capacity Manual, TRB, National Research Council, Washington, D.C, 2000.
- [13] Sangsoo Lee, Sei-Chang Oh and Bongsoo Son (2005), Heuristic Algorithm for Traffic Condition Classification with Loop Detector Data, *Computational Science and Its Applications - ICCSA 2005, Lecture Notes in Computer Science*, 2005, vol. 3481/2005, pp.269-284.

저자소개



조 준 한 (Cho, Jun-Han)

2011년 9월 ~ 현 재 : 교통안전공단 녹색교통안전연구원 선임연구원  
2009년 4월 ~ 2011년 9월 : 한양대학교 공학기술연구소 연구조교수  
2008년 3월 ~ 2009년 3월 : 한양대학교 공학기술연구소 연구원  
2007년 3월 ~ 2008년 2월 : 한양대학교 산업과학연구소 연구원  
2004년 10월 ~ 2007년 2월 : (주)극동엔지니어링 기술연구소 연구원  
2002년 3월 ~ 2009년 2월 : 한양대학교 일반대학원 교통공학과 공학박사  
2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 한양대학교 일반대학원 교통공학과 공학석사  
1996년 3월 ~ 2000년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사



김 진 수 (Kim, Jin-Soo)

2005년 3월 ~ 2010년 8월 : 한양대학교 교통시스템공학과 공학사  
2010년 9월 ~ 현 재 : 한양대학교 일반대학원 교통공학과 석사과정



김 성 호 (Kim, Seong-Ho)

1995년 3월 ~ 현 재 : 한양대학교 교통공학과 교수  
1993년 11월 ~ 1995년 2월 : 삼성전자 선임연구원  
1993년 8월 : Polytechnic university 공학박사  
1990년 1월 : Polytechnic university 공학석사  
1986년 1월 : Columbia university 공학사



강 원 의 (Kang, Weon-Eui)

1994년 4월 ~ 현 재 : 한국건설기술연구원 연구위원  
1993년 3월 : 큐슈대학 공학박사(교통공학전공)