

Multi-Regime에 의한 돌발상황 시 교통류 분석

A Study of Traffic Incident Flow Characteristics on Korean Highway Using Multi-Regime

이 선 하*
(Seon-Ha Lee)

강 희 찬**
(Hee-Chan Kang)

요 약

본 연구는 점유율, 교통량, 속도 등의 실시간 교통자료의 시계열 분석, 교통기초도 상 실측자료의 통계적 모형화와 교통류의 다영역 구분에 의한 교통정체의 전개 양상을 규명하였다.

천안-논산고속도로의 교통사고와 행사로 인한 교통정체 시의 검지기 자료를 바탕으로 시계열 분석을 수행한 결과 교통사고와 같이 급격히 도로용량이 감소하는 경우 사고 직후 점유율의 변화로부터 용이하게 추정할 수 있었다. 행사와 같은 교통량 증가로 인한 교통정체의 경우 점유율과 평균속도의 변화 폭이 완만하며, 충격파의 형태가 다양하여 단순한 교통지표들의 시계열적 분석에 의한 검지의 신속성과 정확성에는 어려움이 있는 것으로 나타났다.

실측자료의 통계적 모형화에 있어서 안정교통류일 경우 점유율과 교통량 관계는 1차 선형식으로 매우 높은 신뢰도로 설명되었다. 그러나 속도와 점유율간의 관계에 있어서는 운전자들의 희망속도에 대한 넓은 폭원으로 인하여 나타나는 군집형태가 통계적 모형으로 표현되기에는 어려운 것으로 나타났다. 그러나 이 경우 점유율 6-8%대를 중심으로 속도가 급격히 떨어지는 현상이 발생하였다. 불안정 교통류 상황의 경우 교통정체의 형성과 해소과정이 각기 하나의 영역 내에서 분석됨에 따라 전반적으로 통계적 모형의 적용이 어려운 것으로 나타났다.

안정과 불안정 2영역 구분에 의한 교통정체 형성과 해소과정의 해석이 어려운 점을 감안하여 다영역 구분에 의한 교통류를 시계열에 의하여 분석한 결과 사고시의 교통류는 바로 정지단계(stopped flow)로 전이되며 점유율이 급격히 증가하였으며, 교통류가 stopped flow에서 free flow로 회복될 때 급격히 증가된 점유율이 점진적으로 감소하면서 교통량이 증가하는 추세를 나타냈다. 교통혼잡시의 교통류는 "impeded free flow" 상황에서 "congested flow" 상황을 거쳐 "jammed flow" 상황으로 전개되는 등 사고에 의한 정체 형성 및 해소과정보다 매우 복잡하며, 동일한 점유율에 대하여 교통상태별로 교통량의 차이가 큰 현상이 명확하게 발생하였다.

본 연구는 교통류 분석 시 다영역 구분의 필요성을 제시하였으며, 향후 개별 교통영역에 대한 정량적 구분 및 모형화가 이루어져야 할 것을 제기하였다.

Abstract

This research has examined a time series analysis(TSA) of an every hour traffic information such as occupancy, a traffic flow, and a speed, a statistical model of a surveyed data on the traffic fundamental diagram and an expand aspect of a traffic jam by many parts of the traffic flow.

Based on the detected data from traffic accidents on the Cheonan-Nonsan high way and events when the road volume decreases dramatically like traffic accidents it can be estimated from the change of occupancy right after accidents.

* 주저자 : 공주대학교 건설환경공학부 교수(회원)

** 공저자 : 국토연구원 SOC건설경제연구실 연구원(비회원)

† 논문접수일 : 2004년 12월 29일

When it comes to a traffic jam like events the changing gap of the occupancy and the mean speed is gentle, in addition to a quickness and an accuracy of a detection by the time series analyse of simple traffic index is weak.

When it is a stable flow a relationship between the occupancy and a flow is a linear, which explain a very high reliability. In contrast, a platoon form presented by a wide deviation about an ideal speed of drivers is difficult to express by a statical model in a relationship between the speed and occupancy. In this case the speed drops sharply at 6~8% occupancy.

In case of an unstable flow, it is difficult to adopt a statistical model because the formation-clearance process of a traffic jam is analyzed in each parts.

Taken the formation-clearance process of a traffic jam by 2 parts division into consideration the flow having an accident is transferred to a stopped flow and the occupancy increases dramatically. When the flow recovers from a stoped flow to a free flow the occupancy which has increased dramatically decrease gradually and then traffic flow increases according as the result analysed traffic flow by the multi regime as time series.

When it is on the traffic jam the traffic flow transfers from an impeded free flow to a congested flow and then a jammed flow which is complicated more than on the accidents and the gap of traffic volume in each traffic conditions about a same occupancy is generated huge.

This research presents a need of a multi-regime division when analyzing a traffic flow and for the future it needs a fixed quantity division and model about each traffic regimes.

Key Words : Time Service Analysis(TSA), State_Diagram, Fundamental Diagram, Multi regime

I. 서 론

FTMS 사업이 본격화되면서 검지기를 통한 실시간 교통자료의 취득이 용이하다. 교통량, 평균속도, 점유율 등의 개별 교통자료나 이들 지표간의 상관관계를 시계열에 의하여 분석하면 교통류의 특성을 파악할 수 있다. 이러한 과정은 기존의 교통량-평균속도-밀도 간의 상관관계를 off-line 교통자료로 분석한 교통기초도에 의하여 설명되고 있다.

고속도로와 같은 연속류 도로의 교통류 특성을 분석할 때 실시간의 점유율-속도-교통량 자료의 시계열 분석을 통하여 돌발상황을 판정하는 기법은 보편화되고 있다. 그러나 이는 돌발상황의 발생과 해소 여부만을 판정할 수 있을 뿐 상황의 발생에서부터 정상교통류의 회복과정의 매우 다양한 형태로 나타나는 교통류의 특성을 파악할 수는 없다. 교통기초도의 교통류를 안정과 불안정 영역으로 단순히 구분하는 것만으로는 상당히 오랜 기간 지속되는 돌발상황 시의 정체형성과 해소 시의 여러 교통상황에 대한 분석이 어렵다.

본 연구는 돌발상황 시의 국내 연속류 도로의 교통류 변화 특성을 파악하기 위하여 천안-논산고속도로에서 수집한 교통사고와 행사(어린이날)로

인한 교통정체 시의 검지기 자료를 바탕으로 분석을 수행하였다.

먼저, 점유율, 교통량, 속도 등의 실시간 교통자료를 시계열에 의하여 분석하여 실증자료가 수집된 도로구간에 대한 개략적인 최대 교통량, 적정 점유율, 자유교통류를 구분하는 점유율 등을 추정토록 한다.

다음은 교통기초도 상의 실측자료를 바탕으로 교통류 영역별로 통계적 모형식에 의한 표현 가능성의 신뢰도를 검증한다.

아울러 돌발상황 시 교통정체의 전개 양상을 시계열에 의한 다영역(Multi-regime)으로 구분하여 정체발생에서부터 해소단계까지의 교통류를 규명토록 한다.

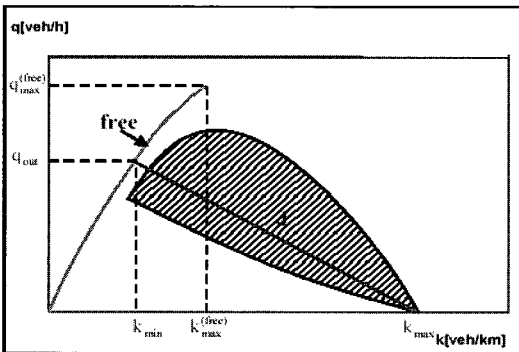
II. 기존 연구사례

Greenshields가 평균속도와 밀도의 실측치 7개를 바탕으로 선형방정식을 제안[1]한 이후 교통량-평균속도-밀도간의 관계를 활용하여 교통류 특성을 설명하기 위한 기존의 국외와 국내의 주요연구사례는 다음과 같다.

May와 Keller는 일반화된 차량추종모형에 기초

한 2영역(Two-Regime) 교통류 모형에서 포물선(parabolic)보다 쌍곡선(hyperbolic)형태를 제안하였다 [2,3]. Koshi et. al은 도쿄 고속도로의 자료를 바탕으로 안정교통류에서 불안정교통류로의 형태는 아래로 향하는 볼록형 곡선이 아닌 역 λ형의 형태가 더욱 적합하다고 제안하였다[4].

Kerner는 교통류를 자유교통류, 동기화(synchronized)교통류와 교통정체의 3가지 상황으로 분류하고 교통정체의 형성과 교통상황간의 전이과정을 분석하였다[5]. 이때의 동기화 교통류는 모든 차선에서 거의 일정한 낮은 속도를 유지할 때이며 교통량은 자유교통류 수준보다는 낮으나 비교적 높은 상황이다. 동기화 교통류는 <그림 1>의 음영부분으로서 교통량-밀도간의 관계에 있어서 매우 광범위하게 분포되어 있다.

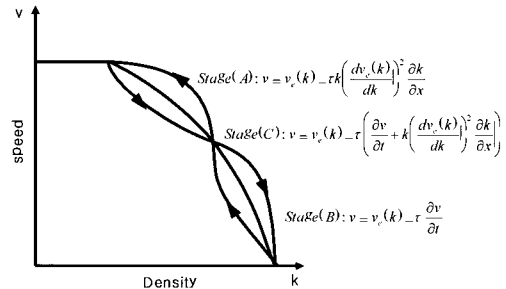


<그림 1> Kerner의 교통량-밀도관계
 <Fig. 1> A relationship between volume and density by Kerner

Treiterer와 Myers는 차량군의 공간적 분석을 통하여 감속과정과 가속과정에서 비대칭적인 행태를 보이고 있다는 것을 제시하였으며[6], 이러한 현상에 대하여 Daganzo는 차선변경의 결과라고 설명하고 있다[7]. 그러나 Zhang에 의하면 차량군은 모든 차선에서 거의 동시에 확산되지 않은 상태로 가속을 하여 차선별 속도 증가의 양상이 차종 구성에 따라 약간 상이할 수는 있으나 평균속도와 교통량은 급속히 증가한다고 분석하였다[8].

Zhang은 이러한 혼잡교통류를 운전자의 반응에 따라 (A) anticipation dominant stage, (B) relaxation do-

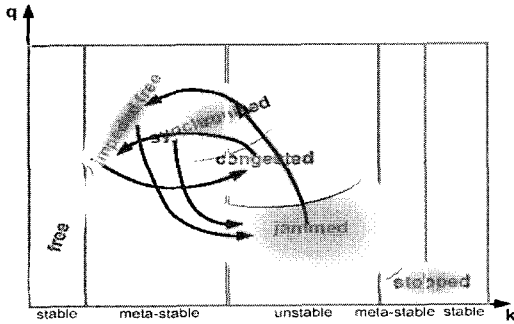
inant stage, (C) balanced anticipation and relaxation stage 등의 3가지 단계로 구분하였다. (A)단계에서는 가속과정의 속도가 감속과정의 속도보다 더 높다. (B)단계에서는 가속과정의 속도가 감속과정의 속도보다 낮다. 따라서 가속과 감속시 속도가 동일한 점이 최소한 1개 이상 발생하게 되며, 이를 (C) 단계로 규정한다. <그림 2>는 이러한 속도-밀도관계의 현상을 나타내고 있다.



<그림 2> Zhang의 속도-밀도 상태 (1999)
 <Fig. 2> A condition between speed and density by Zhang

Y. Kim 은 기존의 연구사례들을 종합하여 돌발상황 시 정체가 형성되고 해소되는 과정을 교통량-밀도관계의 시계열 분석을 통하여 효율적으로 제시하였다[9]. <그림 3>에서 교통량이 적을 경우 “free flow” 상황은 안정적이며 이 경우 충격파는 하류부로 이동된다. “Impeded free flow”는 차량 간의 간섭작용이 심해지나 차선 별 속도 차이는 심한 수준이며 충격파는 일반적으로 하류부로 발생하나 운전자의 극단적인 행태에 따라서는 우연스럽게 상류부로 이동할 수도 있는 “meta-stable” 단계이다. 교통량이 도로용량을 초과하는 과정에서 차량들은 충격파에 대하여 감속으로 초기 대응한 후 일정시간 지체 후에 가속하는 교통량이 매우 높고 속도의 변화폭이 큰 “congested flow” 상황으로 전이된다. “Jammed flow” 상황에서는 교통량이 많고 하류부의 정체로 인하여 충격파가 상류부로 이동할 때 발생하며 매우 작은 파장도 교통류에 큰 영향을 미치게 된다. “Stopped flow” 상황은 최대밀도 k_{max} 인 하류부의 정체로 인하여 일정기간 동안 발생하는 정지상황을 의미한다. “Synchronized

flow”의 속도는 “impeded free flow” 상황보다 약간 낮으나 아직까지 높은 수준이며 교통량은 평균적으로 “impede free flow” 수준으로 높으나 약간의 편차를 나타낸다.



<그림 3> Y. Kim의 교통상황의 분류 및 전이과정
 <Fig. 3> Classification and a transfer process of a traffic condition by Y. Kim

연속류 도로의 교통류 분석과 관련한 국내연구 중 이의은은 경부고속도로상의 정체자료를 바탕으로 교통량-속도-점유율에 관한 3-D Diagram을 통하여 반복적 지체와 사고 등 원인별 교통변수의 시공간적 변화를 분석하고 이를 기초로 속도-밀도 관계를 정체영역, 비정체영역, 대기행렬폴립영역으로 구분하였다[10]. 김상구는 고속도로 기본구간 및 합류부의 검지기 자료를 이용하여 기본적인 교통량-밀도-속도를 각 차로별, 지점별로 분석하여 혼잡에서 비혼잡으로의 전이는 시계방향으로 hysteresis 현상이 발생하며, 안정에서 불안정 영역으로 전이될 때 속도 변화가 크다는 것을 분석하였다 [11]. 박상조는 충격과 이론을 적용한 교통류의 시·공간적 전개과정을 분석함으로써 가·감속에 따라 그리고 점유율, 교통류용 수준에 따라 충격과가 어떻게 변하는지 분석하였다. 이를 위해 검지기의 점유율-교통량 자료의 도수분포로부터 누적상대도수분포곡선을 추정하였다[12]. 임재혁은 내부순환도시고속도로의 자료를 활용하여 N-Curve를 이용한 교통량누적감상과 T-Curve를 이용한 점유율자료를 분석하여 혼잡발생시점을 효율적으로 파악할 수 있음을 증명하였다[13].

Ⅲ. 분석자료

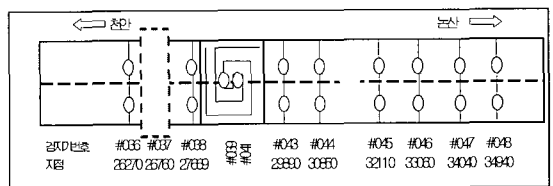
고속도로 교통류의 특성을 분석하기 위하여 본 연구는 천안-논산고속도로의 교통사고와 행사(어린이날)로 인한 교통정체시 등 두 종류의 교통자료를 활용하였다. 천안-논산고속도로에는 81km 연장에 총 94개의 루프검지기와 영상검지기가 설치되어 매 30초 단위로 교통량, 평균속도, 점유율, 차종에 대한 자료가 수집되고 있다. 돌발상황시의 교통류 특성 분석을 위하여 서울 기점 논산 방향 269km 지점에서 2003년 3월30일 16시07분에 발생한 3중 추돌로 인한 1차로 차단 시의 사고 상황 전후 4시간에 대한 교통자료를 분석하였다. 이때의 사고처리 완료 시간은 17시00분이었으며 사고여파는 17시 40분까지 지속되었다.

행사로 인한 교통정체시의 상황은 2003년 5월 3일부터 시작된 어린이날 연휴기간 동안 호남고속도로의 정체가 천안-논산고속도로 연부대 분기점을 거쳐 천안-논산고속도로 본선구간에 까지 영향을 미친 상황을 분석하였다.

분석 자료가 수집된 검지기의 위치와 사고발생 지점은 <그림 4>와 같으며 자료 수집시의 상황은 <표 1>과 같다.

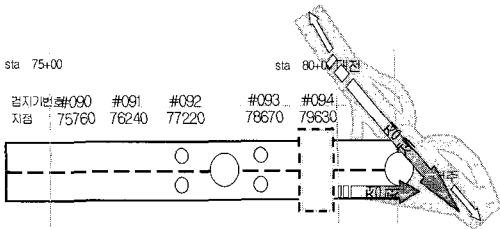
<표 1> 분석자료 수집시 교통여건
 <Table 1> A traffic condition at collecting analyzed data

	천안-논산	천안-논산
분석시간	2003년 3월 30일 15:00~20:00	2003년 5월 3일 21:00~03:00
발생장소	서울기점 논산방향 269Km 지점	목포기점 서울방향 196.5Km
교통여건	3중 추돌사고로 1차로 차단	연휴 기간 호남고속도로 하행 정체 여파



<그림 4> 교통사고 상황 시 검지기 위치
 <Fig. 4> A detector location at a traffic accident

사고 발생시 교통자료가 수집된 검지기는 사고 지점 직후에 위치한 것으로 사고여파가 검지기에 바로 도달하는 상황이었다. 교통 혼잡시 분석에 활용된 검지기의 위치는 호남 분기점과 인접해 있어 호남고속도로의 교통정체로 인한 연결로로부터의 정체여파를 반영할 수 있었다.



<그림 5> 정체상황 시 검지기 위치
<Fig. 5> A detector location at congestion

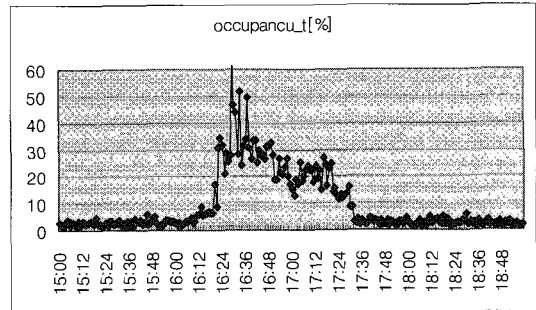
IV. 교통류의 시계열 분석

앞에서의 교통자료를 바탕으로 사고 시의 시계열에 의한 교통량, 점유율과 평균속도 등의 교통자료를 분석한다. 이를 통하여 검지기가 위치한 해당 구간의 개략적인 최대 교통량 수준과 이때의 적정 점유율, 자유속도를 유지하는 점유율의 한계를 파악하도록 한다. 아울러 사고상황을 가장 잘 인지할 수 있는 교통지표가 무엇인지, 교통량 증가로 인한 정체와 사고로 인한 정체시의 교통지표의 변화추세를 파악 할 수 있다.

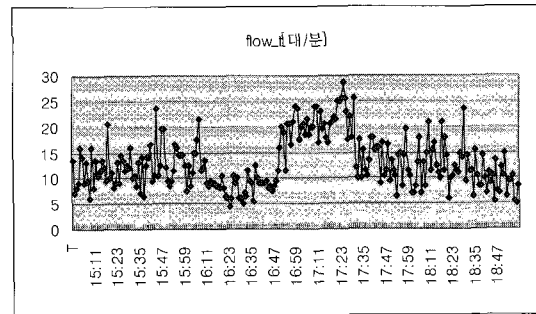
<그림 6>은 천안-논산고속도로에서 발생한 3중 추돌사고로 인하여 1개 차선 전체가 폐쇄되었으며, 사고가 완전히 처리될 때까지 소요시간이 53분일 경우의 점유율, 교통량과 평균속도에 대한 시계열 변화를 나타낸 것이다. 16시07분에 사고가 발생 한 직후 6% 미만 수준이던 점유율이 22분간에 걸쳐 60%까지 급격히 증가하였으며, 이때 평균속도는 110-140km/h 범위의 자유속도 수준에서 심한 정체인 10km/h 미만으로 급속히 감소하였다. 16시29분부터 점유율은 다시 감소하기 시작하여 점유율 20-35% 범위 내에서 약 30분간에 걸쳐 조금씩 감소하다가 17시00분 사고처리 완료 이후 정상 수준을 회복하는 것으로 나타났다. 전반적으로 점유율

과 평균속도는 반비례 관계를 유지하며 교통상황을 잘 묘사하는 것으로 나타났다.

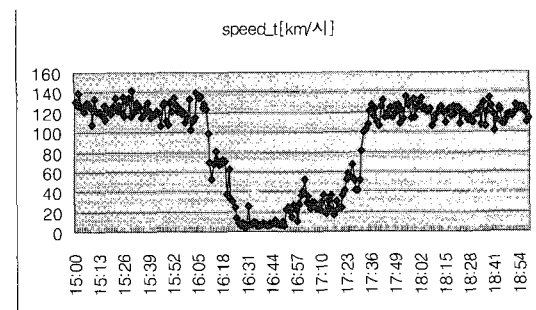
본 측정구간에서의 개략적인 최대 교통량 수준은 정체가 해소되면서 기록한 차로당 50대/분 수준이며 이때의 점유율은 약 15% 수준이고 평균속도는 50km/h 수준인 것으로 추정된다.



<그림 6-1> 사고 시 점유율의 시계열 분석
<Fig. 6-1> Time series analysis of occupancy at an accident

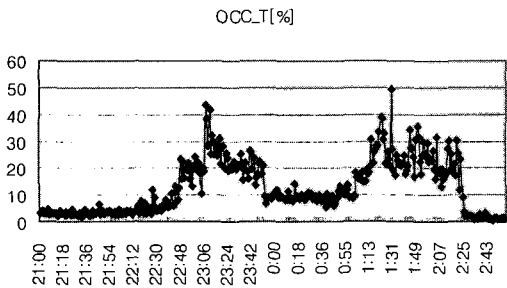


<그림 6-2> 사고 시 교통량의 시계열 분석
<Fig. 6-2> Time series analysis of volume at an accident

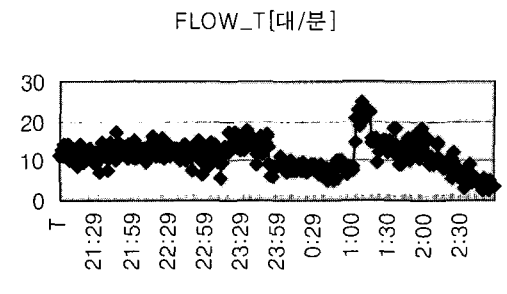


<그림 6-3> 사고 시 속도의 시계열 분석
<Fig. 6-3> Time series analysis of speed at an accident

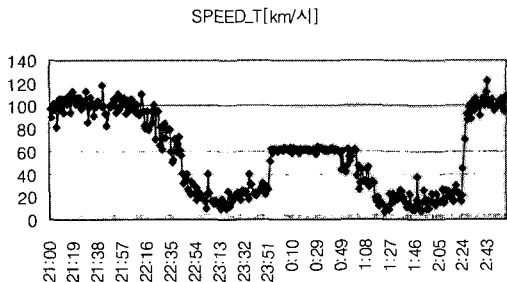
<그림 7>은 천안-논산고속도로의 교통량 증가로 인한 정체상황에 대한 시계열 분석이다. 사고로 인한 전차선 폐쇄의 경우와 비교할 때 점유율과 평균속도의 변화 폭이 상당히 완만하다. 22시12분 경까지 5% 수준의 점유율에서 평균 90-110km/h 수준을 유지하던 교통상황이 54분간에 걸쳐 점유율 40%까지 증가하였고, 평균속도도 10km/h 수준으로 하락하였으나 그 추세는 비교적 완만하였다.



<그림 7-1> 정체 시 점유율의 시계열 분석
<Fig. 7-1> Time series analysis of occupancy at congestion



<그림 7-2> 정체 시 교통량의 시계열 분석
<Fig. 7-2> Time series analysis of volume at congestion



<그림 7-3> 정체 시 속도의 시계열 분석
<Fig. 7-3> Time series analysis of speed at congestion

위에서 살펴본 교통사고와 교통정체로 인한 돌발상황 시의 교통류를 분석하면 교통사고와 같이 급격히 도로용량이 감소하는 경우 사고 직후에 점유율의 증가폭이 매우 높아 사고가 발생한 것으로 추정할 수 있다. 그러나 이 경우 사고로 인하여 1개 차선이 폐쇄되고 옆 차선의 용량이 감소된 경우이며 예를 들어 차선 중 일부가 차량통과가 가능한 상황일 때에는 점유율의 감소폭이 그리 높게 나타나지 않을 수도 있다. 그러나 국내 고속도로 대부분이 2개 차선으로 운영되며 극히 경미한 사고를 제외하고는 차로 전체에 미치는 영향이 크다는 점도 고려될 수 있다.

교통량 증가로 인한 교통정체의 경우 점유율과 평균속도의 변화 폭이 완만하며, 충격과의 형태가 다양하여 단순한 교통지표들의 시계열적 분석에 의한 검지의 신속성과 정확성에는 어려움이 있을 것이다.

그러나 교통사고와 같은 일시적인 용량감소나 교통량 증가로 인한 정체상황 구분 자체는 점유율과 속도의 변화폭을 확인하여 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

천안-논산고속도로의 최대 교통량 수준은 차로당 약 50대/분, 점유율은 15% 수준이나 이때의 평균속도는 50km/h로서 이는 고속도로를 운행하는 운전자들이 수용하기 어려운 속도이다.

V. 교통류 영역별 통계적 모형화

교통량, 평균속도와 점유율간의 실측자료를 바탕으로 한 실시간 교통관리를 위해서는 우연적인 특성을 갖는 교통자료를 통계적 모형으로 분석하는 것이 필요하다. 교통기초도 상에서 나타나는 자료들은 하나의 교통류를 나타내며, 유사한 교통류를 영역별로 구분할 수 있다. 이러한 영역은 연속 또는 불연속모델로 구분되며, 각 영역별 자료들은 선형 또는 비선형방정식에 의하여 해석될 수 있다.

본 장에서는 앞서의 교통사고와 교통량 증가에 따른 2개 돌발상황 시의 교통류를 안정과 불안정 교통류의 2개영역으로 구분하고 각 영역을 가장

잘 설명하는 통계적 모형과 이때의 신뢰도를 분석한다. 안정과 불안정 영역의 구분 기준으로는 교통자료의 시계열 분석에 의하여 차량간의 간섭작용이 심화되어 자유속도에서 속도가 급격히 하락하기 시작하는 8-10%대의 점유율로 설정하였다.

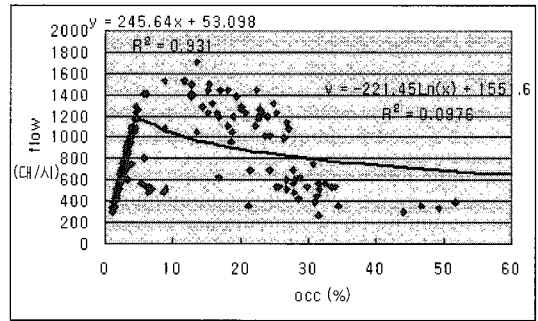
1. 안정 교통류의 통계적 모형

안정 교통류일 경우 교통량과 점유율간의 상관관계는 <그림 8>, <그림 11>에서 볼 수 있듯이 돌발이나 혼잡에 상관없이 1차선형식에 의하여 R^2 가 0.8 - 0.9 수준으로 매우 높게 나타났다. 특이할 만한 사항으로는 돌발 상황의 경우 교통 혼잡 시 보다 1차선형방정식의 기울기가 높게 나타났다. <그림 9>와 <그림 12>의 속도와 점유율간의 관계에 있어서는 점유율이 낮을 경우 속도 분포는 군집의 형태를 이루고 있으나 운전자들의 자유속도에 대한 희망 폭원이 매우 넓어 선형 방정식으로 표현하는 데에는 무리가 있는 것으로 나타났다. 속도와 교통량간의 관계에 있어서는 안정 교통류일 경우 최대교통량 직전 수준까지 자유속도를 유지하며 교통량과는 무관하게 분포하고 있어 <그림 10>에서 볼 수 있듯이 \ln 함수 등 적절한 방정식으로 표현하기는 어려울 것으로 나타났다.

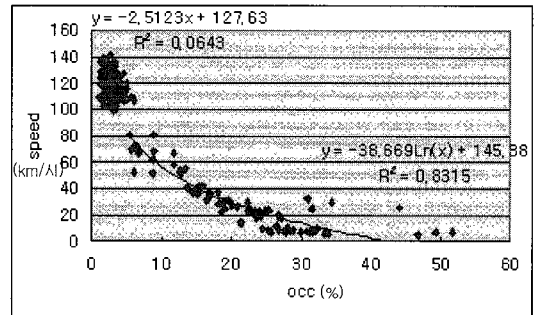
2. 불안정 교통류의 통계적 모형

불안정 교통류일 경우 점유율-교통량 간 관계는 <그림 8> <그림 11>에서 볼 수 있듯이 통계적 모형으로 나타내기가 어렵다. 이는 정체의 형성과 해소에 이르기까지 교통류가 매우 다양한 특성으로 변화하는데 기인한다. 점유율-속도의 경우 <그림 9>와 <그림 12>에서 볼 수 있듯이 불안정 교통류 상황에서도 \ln 방정식으로 R^2 수준 0.7 - 0.85로 잘 표현되는 것으로 나타났다. 이는 속도가 운전자의 희망속도에 의한 것이 아니라 강제 교통류 상황에서 차량 상호간의 간섭작용이 심하기 때문이다. 또한 이 경우 2개의 교통영역으로 비교적 명확하게 구분될 수 있는 것으로 나타났다. 속도와 교통량간의 불안정 교통류의 경

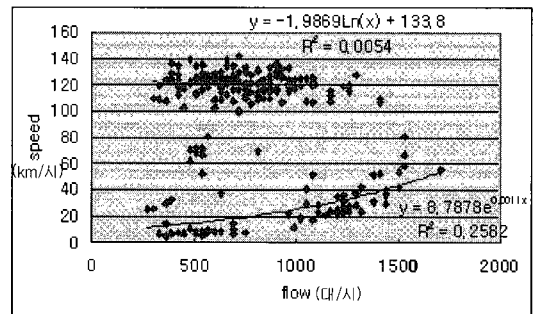
우 <그림 10>와 <그림 13>에서와 같이 정체가 해소되어 속도가 증가하기 시작하면 교통량도 증가하며, 미세한 속도변화에도 교통량이 민감하게 반응하는 양지수 함수의 형태가 비교적 적합한 것으로 나타났다. 이 경우 R^2 는 최대 0.6 수준으로 나타났다.



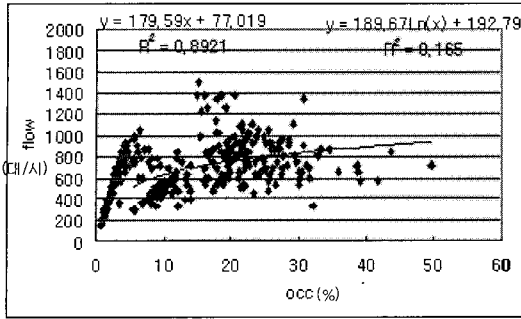
<그림 8> 사고 시 교통영역별 교통량-점유율 통계적 모형
<Fig. 8> A statistical model of volume-occupancy by traffic regime at an accident



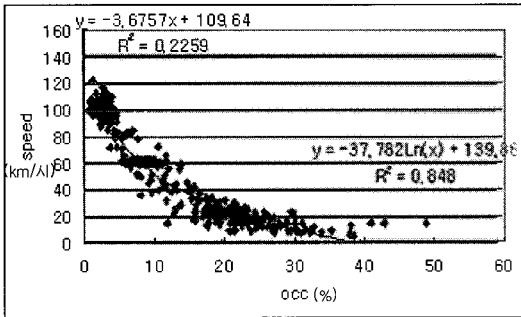
<그림 9> 사고 시 속도-점유율 통계적 모형
<Fig. 9> A statistical model of speed-occupancy by traffic regime at an accident



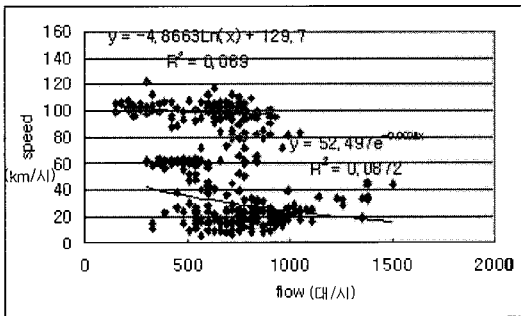
<그림 10> 사고 시 속도-교통량 통계적 모형
<Fig. 10> A statistical model of speed-volume by traffic regime at an accident



<그림 11> 정체시 교통영역별 교통량-점유율 통계적 모형
 <Fig. 11> A statistical model of olume-occupancy by traffic regime at congestion



<그림 12> 정체시 속도-점유율 통계적 모형
 <Fig. 12> A statistical model of speed-occupancy by traffic regime at congestion



<그림 13> 정체시 속도-교통량 통계적 모형
 <Fig. 13> A statistical model of speed-volume by traffic regime at congestion

종합적으로 설명하면 안정교통류일 경우 점유율과 교통량 관계는 1차 선형방정식으로 매우 높은 신뢰도로 설명되고, 속도와 점유율간의 관계에 있어서는 운전자들의 희망속도에 대한 넓은 폭원으로 인하여 나타나는 군집형태가 통계적 모형으로 표

현되기에는 어려운 것으로 나타났다. 그러나 이 경우 점유율 6-8%대를 중심으로 속도가 급격히 떨어지는 낙차가 발생하게 되므로 이를 활용한 실시간 교통관리가 유효할 것으로 판단된다. 불안정 교통류 상황의 경우 교통정체의 형성과 해소과정이 하나의 영역 내에서 분석됨에 따라 전반적으로 통계적 모형식의 적용이 어려운 것으로 보이나 다만 점유율과 속도관계에 있어서는 ln함수에 의하여 비교적 높은 신뢰도를 갖는 모형을 도출 할 수 있다. 교통량-속도 관계에서는 안정과 불안정 상황 모두 신뢰도가 낮지만 정체 심화 이후 해소 시에는 높은 신뢰도를 얻을 수 있다. 또한 교통량과 속도가 지수 관계로 정비례하기 때문에 적은 교통량의 변화에도 큰 속도의 증가를 볼 수 있어 교통해소를 설명하는데 상당히 유용할 것으로 보인다.

VI. 교통류의 다영역 분석

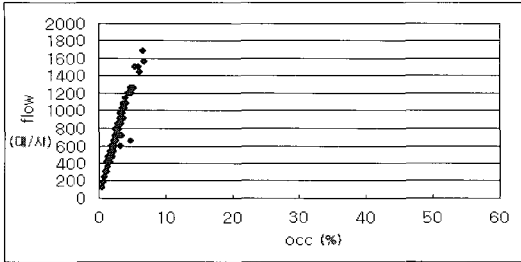
교통기초도는 점유율, 교통량과 평균속도간의 관계를 나타내는 것으로 일반적으로 장시간 누적된 실측치를 표시함으로써 교통류의 시간적인 변화 특성을 표현하지 못하고 있다. 그러나 돌발상황시 교통류는 정체 형성 초기단계에서부터 해소단계에 이르기 까지 매우 다양한 양상으로 전개된다. 교통기초도 상의 실측치들을 시계열에 의하여 나타낼 경우 교통류의 변화 양상을 보다 정확히 살펴볼 수 있다. 따라서 지금까지의 일반적인 교통기초도의 구분영역인 안정과 불안정 교통류를 보다 세분화할 필요성이 있다.

본 장에서는 앞에서의 천안-논산고속도로의 실측치들을 시계열하여 유사한 교통류를 나타내는 다양한 교통영역으로 구분하여 분석한다.

1. 교통사고 시 교통류

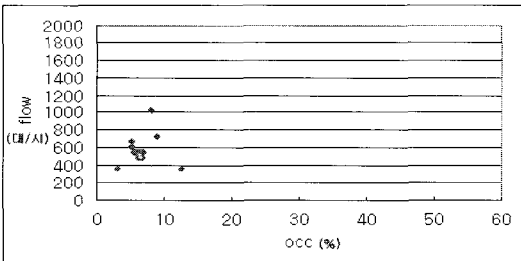
앞에서 분석한 천안-논산고속도로의 3중 추돌로 인하여 1차로가 차단된 경우의 교통류를 교통량과 점유율간의 상관관계를 나타내는 교통기초도의 다영역 분류에 따라 시간적인 변화추세를 분석한다.

- 사고 이전 상황(free flow): 점유율 6% 미만, 속도는 100km/h, 교통량은 최대 1,700대/시 수준을 유지

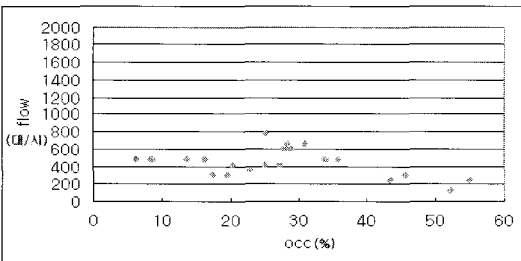


<그림 14-1> 사고 이전 상황
<Fig. 14-1> A previous condition of an accident

- 정체초기 단계 (free - stopped transition): 사고 발생 직후 교통량은 600-700대/시 수준으로 감소하며, 이후 22분 동안 점유율은 60%로 급격히 증가하고 평균속도는 10km/h 미만으로 급격히 감소



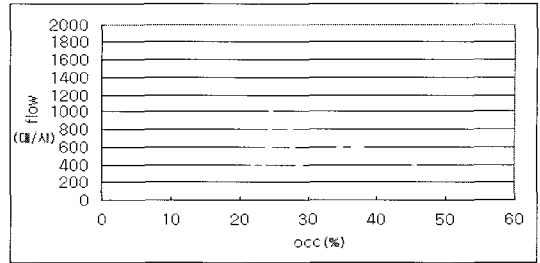
<그림 14-2> 정체초기 단계
<Fig. 14-2> An early congestion stage



<그림 14-3> 정체초기 지속 단계
<Fig. 14-3> An early congestion duration stage

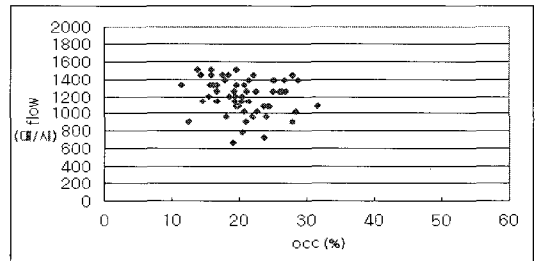
- 정체 단계(stopped - jammed transition): 18분 간에 걸쳐 속도는 “가다 서다” 상황이며, 점유율은 20% - 50% 범위, 교통량은 200-800대/

시 수준에서 증가와 감소를 반복



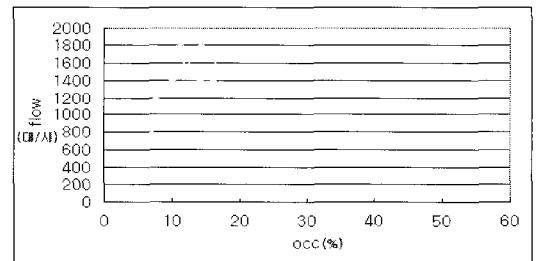
<그림 14-4> 정체 단계
<Fig. 14-4> A congestion stage

- 정체 해소단계(jammed-congested transition): 31분간 정체가 해소되는 단계로 점유율이 10%-30% 수준에서 변화 폭이 감소하고, 교통량은 700-1,500대/시 수준으로 회복하며, 속도는 15km/h -50km/h를 유지



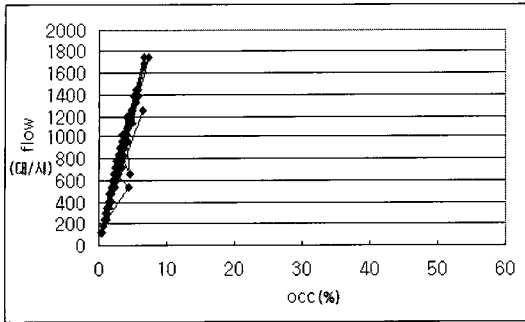
<그림 14-5> 정체 해소단계
<Fig. 14-5> A jammed - congested transition stage

- 혼잡회복 단계(congested-synchronized transition): 다음은 11분간에 걸쳐 교통량은 800- 1,800대/시로 거의 정상수준으로 회복하며, 점유율은 5%-20%로, 평균속도는 20km/h - 80km/h 수준으로 복귀



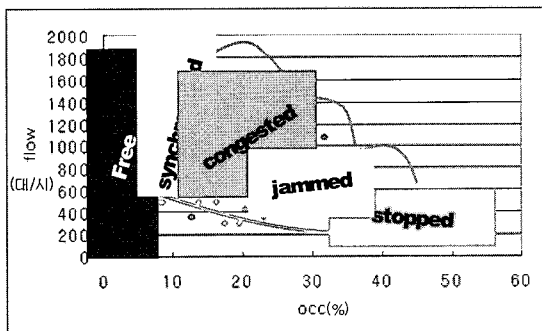
<그림 14-6> 혼잡회복 단계
<Fig. 14-6> A congestion recovery stage

- 정상 단계 (synchronized - free transition) : 사고여파가 완전히 사라진 정상 교통류 상황



<그림 14-7> 정상 단계
<Fig. 14-7> A regularity stage

앞에서 제시된 교통사고로 인한 1차로 차단시의 교통류를 교통량과 점유율간의 교통기초도에 종합적으로 제시하면 <그림 15>와 같다. 분석 상황과 같이 사고로 인하여 차로가 차단된 경우 교통류는 바로 정지단계로 전이되었다가 점진적으로 점유율이 감소하면서 교통량이 증가하는 추세(free flow → stopped flow → jammed flow → congested flow → synchronized flow → free flow)를 보이고 있다. 그러나 이 경우 분석 자료의 검지기 위치가 사고발생 지점 바로 후방에 위치하여 사고여파가 즉시 영향을 미치게 된 경우로서, 만일 검지기 위치가 사고지점에서 이격되어 있을 경우는 충격파의 도달 시간에 따라 다른 교통류를 나타내게 될 것이다.

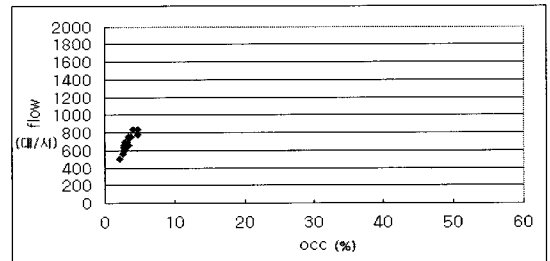


<그림 15> 돌발상황 시 교통류 변화
<Fig. 15> A change of traffic flow at an accident

2. 교통혼잡 시 교통류

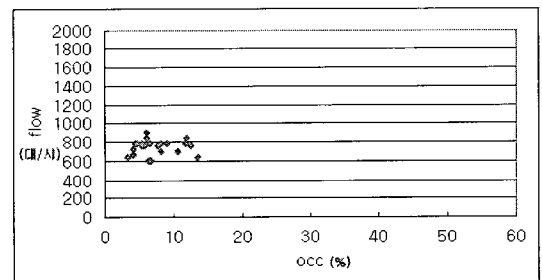
천안-논산고속도로의 2003년도 어린이날 연휴에 교통량 증가로 인한 혼잡상황시의 교통량과 점유율간의 관계를 시간적인 흐름에 따라 분석하면 다음과 같다.

- 사고 이전 상황(free flow): 점유율은 6% 미만이고 속도는 80km/h이며 교통량은 최대 1,000대/시 수준으로 약간의 혼잡 상태를 유지



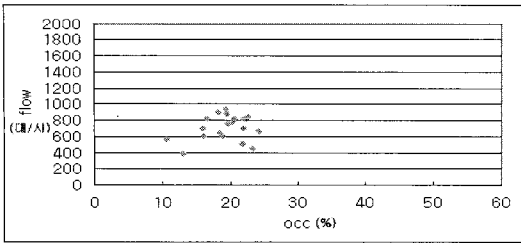
<그림 16-1> 사고 이전 상황
<Fig. 16-1> A previous condition of an accident

- 정체초기 단계(free - synchronized transition): 이후 21분간 교통량은 500-1,000대/시 범위를 유지하면서 속도는 90km/h -30km/h로 하강, 사고 상황과 같은 급격한 감소가 아닌 비교적 완만한 변화추세를 유지



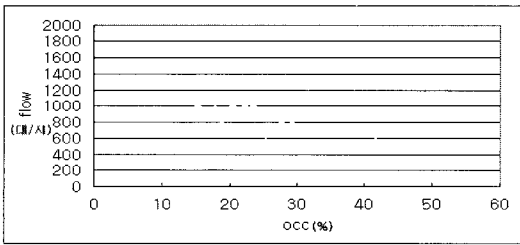
<그림 16-2> 정체초기 단계
<Fig. 16-2> An early congestion stage

- 정체진행 단계(synchronized - congested transition): 18분간에 걸쳐 속도는 40km/h 이하로 감소하고, 점유율은 10%-30% 범위에서 불안정하게 변화하며, 교통량은 500-1,000대/시 수준에서 증감을 반복



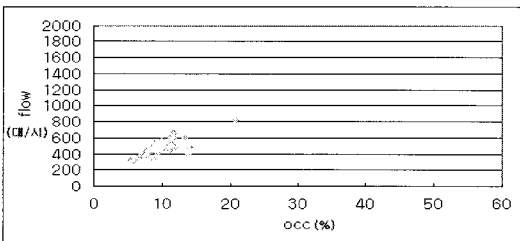
<그림 16-3> 정체진행 단계
<Fig. 16-3> A congestion progress stage

- 정체심화 단계(congested -jammed transition): 44분간 교통정체가 심화된 단계로서 점유율이 15%-50%범위에서 변화폭이 크며, 교통량의 변화폭도 600-1,100대/시 수준으로 넓으며 평균속도는 10km/h -30km/h 수준으로 여전히 낮은 상태



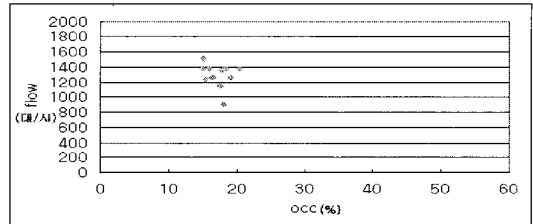
<그림 16-4> 정체심화 단계
<Fig. 16-4> A congestion intensify stage

- 혼잡 중 안정 단계 : 다음은 71분간에 걸쳐 교통량은 300대-800대/시 수준, 속도는 60km/h 수준을 유지하면서 조정영역이나 안정 교통류 상태로 돌아가는 것이 아닌 거의 자유 교통류와 유사한 특성을 갖는 안정적인 상황으로 이는 정체가 풀리는 도중 다시 충격과에 의해 새로운 상태로 변환 된 것으로 추정



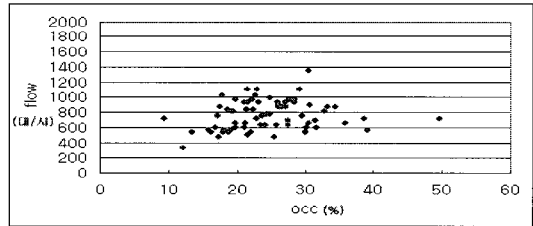
<그림 16-5> 혼잡 중 안정 단계
<Fig. 16-5> A stability stage during

- 혼잡 회복단계(-Synchronized) : 10분간 교통량은 1,700대/시 수준까지 증가하고, 속도는 30km/h-50km/h 범위를 유지하며 점유율은 15%-30%로 회복



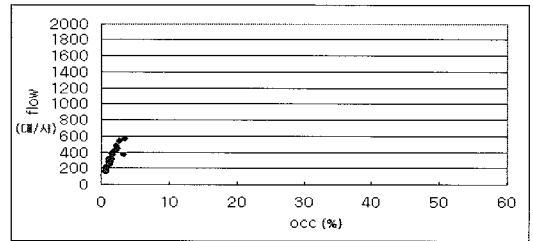
<그림 16-6> 혼잡 회복단계
<Fig. 16-6> A congestion recovery stage

- 혼잡 단계 (Synchronized - congested transition) : 60분간 교통량은 500-1,100대/시 수준, 속도는 40km/h 이하, 점유율은 15-35%인 혼잡한 교통상태



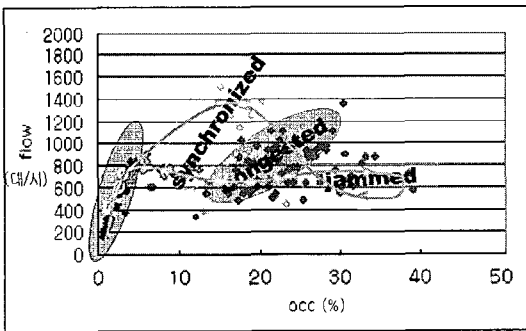
<그림 16-7> 혼잡 단계
<Fig. 16-7> A congestion stage

- 정상 단계 (congested-free transition) : 다시 안정적인 상태에 도달하며 분석 초기의 약간의 강제성이 있는 자유교통류(Impeded free) 상황에서 속도가 100km/h를 초과하는 완전 정상 교통류를 회복



<그림 16-8> 정상 단계
<Fig. 16-8> A regularity stage

교통량 증가로 인한 혼잡상황 시의 교통류를 종합적인 교통량-점유율 관계를 시간적인 흐름에 따라 나타내면 <그림 17>과 같다. 교통량 증가시의 교통류는 “impeded free flow” 상태에서 “congested flow” 상황을 거쳐 “jammed flow” 상황으로 전개된다. 이후 교통여건이 개선되면서 “congested flow” 상태에서 “synchronized flow” 상황으로 변하며, 이때 동일한 점유율에 대한 교통량의 차이가 큰 현상이 명확하게 발생한다. 이는 Treiterer, Myers와 Zhang이 제시한 교통량-밀도관계에 있어서의 hysteresis 현상과 같은 양상이다. 교통량 증가시의 다영역에 의한 교통류는 사고에 의한 정체 형성 및 해소과정보다 매우 복잡한 양상으로 전개되었다[6,8].



<그림 17> 교통혼잡 시 교통류 변화

<Fig. 17> A change of traffic flow at congestion

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 국내 고속도로의 돌발상황 시 교통류를 파악하기 위하여 점유율, 교통량, 속도 등의 실시간 교통자료의 시계열 분석, 교통기초도 상 실측자료의 통계적 모형화와 다영역에 의한 교통정체의 전개 양상을 규명하였다.

교통자료의 시계열 분석에 의하면 교통사고와 같이 급격히 도로용량이 감소하는 경우 사고 직후의 점유율 증가폭으로부터 비교적 용이하게 돌발이 발생한 것으로 추정할 수 있다. 교통량 증가로 인한 교통정체의 경우 점유율과 평균속도의 변화 폭이 완만하며, 충격파의 형태가 다양하여 단순한 교통지

표들의 시계열적 분석에 의한 검지의 신속성과 정확성에는 어려움이 있는 것으로 나타났다.

실측자료의 통계적 모형화에 있어서 안정교통류 일 경우 점유율과 교통량 관계는 1차 선형방정식으로 매우 높은 신뢰도로 설명되었다. 그러나 속도와 점유율간의 관계에 있어서는 운전자들의 희망속도에 대한 넓은 폭원으로 인하여 나타나는 군집형태가 통계적 모형으로 표현되기에는 어려운 것으로 나타났다. 그러나 이 경우 점유율 6-8%대를 중심으로 속도가 급격히 떨어지는 현상이 발생하였다. 불안정 교통류 상황의 경우 교통정체의 형성과 해소과정이 하나의 영역 내에서 분석됨에 따라 전반적으로 통계적 모형식의 적용이 어려운 것으로 나타났다.

안정과 불안정 2영역 구분에 의한 교통정체 형성과 해소과정의 해석이 어려운 점을 감안하여 다영역 구분에 의한 교통류를 시계열로 분석한 결과 사고로 인하여 1개 차로가 차단된 경우 교통류는 바로 정지단계(stopped flow)로 전이되며 점유율이 급격히 증가하였으며, 교통류가 stopped flow에서 free flow로 회복될 때 급격히 증가된 점유율이 점진적으로 감소하면서 교통량이 증가하는 추세를 나타냈다. 교통량 증가시의 교통류는 “impeded free flow” 상태에서 “congested flow” 상황을 거쳐 “jammed flow” 상황으로 전개되는 등 사고에 의한 정체 형성 및 해소과정보다 매우 복잡하며, 동일한 점유율에 대한 교통량의 차이가 큰 현상이 명확하게 발생하였다.

본 연구는 천안-논산고속도로의 단지 2개의 돌발상황에 대한 각각 1개의 검지기에서 수집된 자료를 바탕으로 교통류를 분석하였다는 한계가 있다. 고속도로의 돌발상황은 매우 다양한 원인에 의하여 발생하며 도로의 입지적 특성 및 돌발의 심각도에 따라 교통정체의 양상도 상이하게 전개될 것이다. 따라서 우리나라 고속도로의 돌발상황 시의 교통류의 특성을 결정짓기 위하여는 매우 광범위한 자료의 취득 및 분석이 향후 요구된다.

향후 연구과제로서 또한 교통류의 분석 시 시계열에 의한 다영역분류 방법이 매우 유용하나, 이번 연구에서는 다영역에 대한 정성적 기준만이 제시

되었으므로 앞으로는 개별 교통영역의 기준을 정량적으로 구분할 수 있는 연구가 지속적으로 진행될 필요성이 있다.

참 고 문 헌

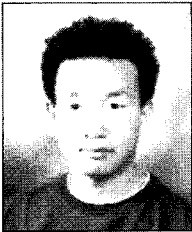
- [1] B. D. Greenshields, "A Study of Traffic Capacity", Proc. Highway Research Board, vol. 14, pp. 448-477, 1935.
- [2] A. D. May and H. M. Keller, "Non Integer Car-Following Models", Highway Research Record, vol. 199, pp. 19-32, Washington D. C. 1967.
- [3] A. D. May and H. M. Keller, "Evaluation of Single- and Two-Regime Traffic Flow Models", Proc. 3rd Int. Symp. Transportation and Traffic Theory, Karlsruhe, Germany, pp. 37-47, 1968.
- [4] M. Koshi, M. Iwasaki, and I. Ohkura, "Some Findings and an Overview on Vehicular Flow Characteristics", Proc. 8th Int. Symp. Transportation and Traffic Theory, Toronto, Canada, 1983.
- [5] B. S. Kerner, "Theory of Congested Traffic Flow: Self-Organization without Bottlenecks", Proc. 14th Int. Symp. Transportation and Traffic Theory, Jerusalem, Israel, pp. 147-171, 1999.
- [6] J. Treiterer and J. A. Myers, "The Hysteresis Phenomenon in Traffic Flow", Proc. 6th Int. Symp. Transportation and Traffic Theory, Sydney, Australia, pp. 13-38, 1974.
- [7] F. C. Daganzo, "A Behavioral Theory of Multi-Lane Traffic Flow Part I: Long Homogeneous Freeway Sections", Research Report University of California Berkeley-ITS-RR-99-5, 1999.
- [8] H. M. Zhang, "A Mathematical Theory of Traffic Hysteresis", Transportation Research, vol. B, no. 33, pp. 1-23, 1999.
- [9] Y. Kim, Online Traffic Flow Model Applying Dynamic Flow-Density Relations. Ph. D. Thesis, Technische Universitaet Muenchen, Fachgebiet Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, 2002.
- [10] 이의은, 고속도로 교통류의 특성분석과 그 응용에 관한 연구, 서울대학교 대학원, 박사학위논문, 1996.
- [11] 김상구, 고속도로 합류구간 교통특성 및 용량 모형식 개발연구, 서울대학교 대학원, 박사학위논문, 1997.
- [12] 박상조, 교통류 시·공간 분석을 통한 혼잡교통류 해석, 서울대학교 대학원, 박사학위논문, 2001.
- [13] 임재혁, 검지기 데이터를 활용한 연속교통류 특성분석, 목원대학교 대학원, 석사학위논문2003.

〈저자 소개〉



이 선 하 (Seon ha Lee)

1982년 3월~1986년 2월 : 고려대학교 공과대학 토목공학과 졸업
1986년 10월~1990년 8월 : 독일 베를린공과대학 토목공학과 졸업 Dipl.-Ing. (공학석사)
1996년 11월~1998년 11월 : 독일 칼스루헤 대학토목공학과 교통연구소 Dr.-Ing. (공학박사)
1990년 10월~1991년 1월 : 베를린 Hoffmann Leichter 교통건설팅사
1991년 8월~1996년 10월 : 교통개발연구원 교통계획실 교통안전실 도로철도 연구실 도로교통연구실
1998년 11월~1999년 11월 : 건설교통부 대도시권광역교통기획단 전문위원
1999년 11월~2000년 2월 : LG-EDS, ITS팀장 (부장)
2000년 3월~현재 : 공주대학교 건설환경공학부 교수



강 회 찬 (Hee chan Kang)

1996년 3월~2003년 2월 : 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 도시및교통전공 졸업
2003년 3월~2005년 2월 : 공주대학교 건설환경공학과 교통공학전공 공학석사
2005년 4월~현재 : 국토연구원 SOC건설경제연구실 연구원