

# 영상검지기를 이용한 교통류 안정화 및 교통류 관리 적용

## VDS Based Traffic Flow Stability and Management Application

김기수

(한국건설기술연구원, 연구원)

문학룡

(한국건설기술연구원, 선임연구원)

이청원

(서울시립대학교, 교수)

Key Words : 인지반응시간, 사고위험도, 차간거리, 안전거리, ACC, MANET

### 목 차

#### I. 서론

1. 배경 및 목적
2. 연구 내용 및 범위

#### II. 기존 연구 고찰

1. 교통류 이론
2. 교통특성 연구

#### III. 교통류 관리방안

1. 영상검지기 적용방안
2. 터널부 교통류 관리방안

#### IV. 결론

참고문헌

## I. 서론

### 1. 배경 및 목적

생활수준의 향상과 생활권 확대에 따른 교통수요는 날로 증가하고 있으며, 이에 대응하기 위한 도로공급도 꾸준히 이루어져 왔다. 하지만 도로건설과 같은 SOC 사업은 막대한 재원이 소요되기 때문에 재원상의 이유로 교통수요를 모두 수용할 수 없는 것이 현실이다.

한정된 도로에 유입되는 교통량은 도로정체를 가져와 혼잡 비용<sup>1)</sup>, 대기오염도, 교통사고<sup>2)</sup> 등의 증가와 같은 많은 교통문제를 발생시키고 있다.

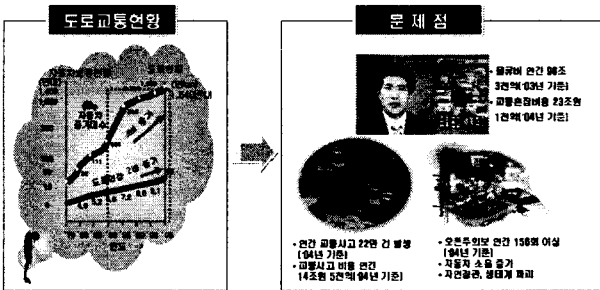
의 국도에 ITS를 구축할 예정이다.

하지만 현재 우리나라의 ITS는 기반 인프라 구축을 중점으로 하는 초기단계이며, 운영에 있어서도 직접적인 교통류 관리보다는 우회정보 제공 등 교통량 분산을 통한 혼잡해소에 머무르고 있다.

또한 교통량 분산은 대체할 우회도로가 없으면 그 실효성이 없으며, 자칫하다가는 통행거리의 증가는 물론 통행시간의 증가와 같은 역효과를 가져올 수 있다.

물론 도로용량을 넘어선 교통수요에 대한 관리방안은 우회를 통한 교통량의 분산 이외에는 다른 방안이 없으나, 터널부에서와 같이 도로이용자 통행행태에 의하여 용량이 감소하는 교통류 특성 제어를 통한 해결은 가능하리라 판단된다.

따라서 본 연구에서는 영상검지기를 이용한 교통류 관리방안을 정립하고 터널부 교통특성에 맞는 교통류 안정화 및 교통류 관리 방안을 제시하고자 한다.



<그림 1> 교통현황 및 문제점

한편 우리나라는 앞서 기술한 전반적인 교통문제를 해결하고자 1997년부터 국도를 대상으로 ITS 구축하기 시작하여 2005년 현재 전국적으로 확대 구축하고 있으며, 향후 대부분

### 2. 연구 내용 및 범위

교통류 관리방안의 개념을 정립하기 위하여 먼저, 교통류 이론과 관련 연구를 고찰하여 교통량, 속도, 밀도가 가지는 교통류 특성을 검토하였다.

또한 본 연구에서 적용할 터널부 교통특성 연구를 고찰하여 그 특성을 파악하였다.

마지막으로 본 연구의 결과를 정리하여 교통류 안정화 및 교통류 관리방안을 정립하고 향후 자동도로주행시스템으로의 발전방향을 모색하였다.

1) 2004년 전국 교통혼잡 비용은 23조 1000억원에 달했다.(한국교통연구원, 2004년 전국 교통혼잡비용 산출과 추이 분석, 2005)  
2) 2004년 220,755건의 교통사고로 교통사고에 따른 사회적 비용이 8조원 이상 발생되었다.(도로교통안전관리공단, 2005년판 교통통계, 2005)

## II. 기존 연구 고찰

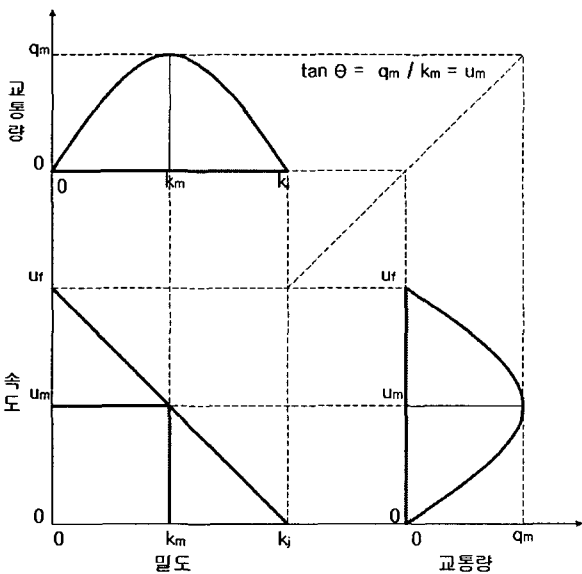
### 1. 교통류 연구

교통류에 대한 기존 이론은 교통량, 속도, 밀도 세 가지 변수의 관계로서 1935년 Greenshields가 선형적인 관계를 수치적 모델로 표현함으로써 주목되어 현재까지 많은 연구가 이루어져 왔으며, Adolf D. May(1990)는 다음의 <표 1>과 같이 교통류를 분석하는 기법을 미시적 기법과 거시적 기법으로 나누어 설명하였다.

<표 1> 교통류 특성 분석기법

구분	미시적 특성 (차량 단위)	거시적 특성 (차량군 단위)
교통류관계	time-space diagram (시공간도)	flow-speed-density (교통량-속도-밀도)
유체역학모형	time-space diagram (시공간도)	shock wave analysis (충격파분석)
차량추종분석	Car following analysis (차량추종분석)	-
대기행렬분석	discrete analysis (이산분석)	continuous analysis (연속분석)
수요공급분석	minimum time headway (최소 차두시간)	capacity analysis (용량분석)

일반적인 교통량, 속도, 밀도의 관계는 <그림 2>와 같이 밀도가 증가하면 속도는 감소하고, 밀도와 속도가 증가하면 교통량은 증가하다가 다시 0으로 감소한다는 것이다.



<그림 2> 교통량-속도-밀도 관계

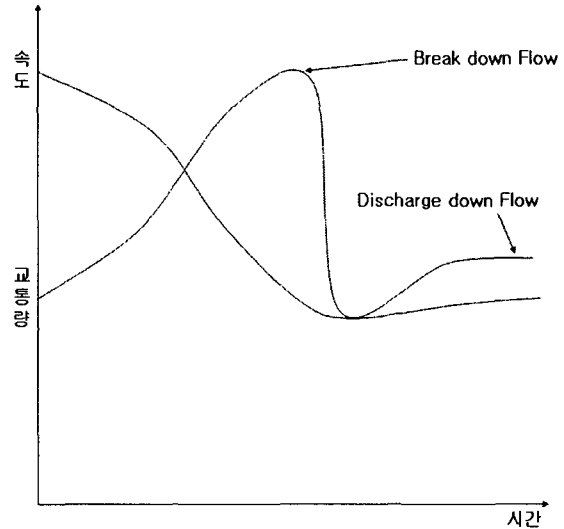
### 2. 교통특성 연구

Hall 외(1992)는 교통량-속도 관계에서 혼잡하지 않은 상태에서 혼잡한 상태로 되는 단계에 사이에는 대기행렬이 발생

하는 상태가 존재하는 3가지 교통류 형태를 관측결과로 도출하였다.

이는 이론상의 교통류-속도 관계와는 다소 차이가 있음을 규명한 것으로 실제 교통상황은 보다 복잡한 관계를 가지고 변화함을 발견한 것이다.

또한 국내외 연구를 보면 다음 <그림 3>과 같이 교통량이 증가하다가 혼잡이 발생하면 교통량은 급속히 감소하며 안정류상태로 회복이 어려워지는 교통류에 대한 연구를 주로 다루고 있다.



<그림 3> 교통량-속도 특성

위 그림에서 밀도 그래프를 명시하지 않았지만, 교통량과 함께 밀도는 증가할 것이며, break down flow가 발생하는 시점에서 혼잡밀도가 되어 안정류 교통상태로 회복될 때까지 유지될 것이다.

또한 이러한 상태가 발생하는 원인은 개별차량에서 시작한 어떠한 차량군이 가지고 있는 특성이 하류부 차량군에게 영향을 주는 충격파와 관계가 있다.

한편, 장현봉(1998, 2000)은 터널부에서의 용량이 2차로 도로는 약 6%가 감소하고, 4차로 도로에서는 약 10% 감소함을 보였다.

## III. 교통류 관리방안

### 1. 영상검지기 적용방안

현재 교통관리는 현장에서 수집된 정보를 센터에서 분석하여 대응하고 있는데, 이러한 운영은 실시간으로 변화하는 교통류 상황에 대응하기에는 한계가 있다.

따라서 도로상의 교통 상황을 즉각적으로 도로 이용자에게 전달하여 전체적인 교통시스템을 안정화한다면 교통의 편리성과 효율성을 증대할 수 있다.

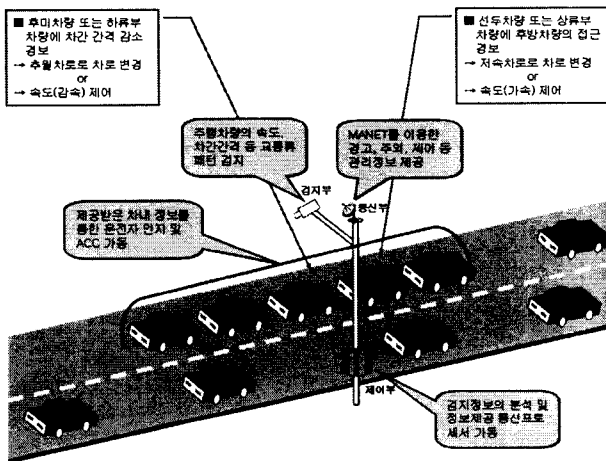
즉, 개별 차량의 차두간격을 조정하여 차량군 밀도를 평균

화합으로서 안정류 교통상태가 와해되는 break down flow이 발생하지 않도록 하는 교통류를 제어하는 것이다.

미국이나 일본에서는 차량에 장착된 레이더나 레이저를 이용한 자동주행시스템(ACC : Automatic Cruise Control System)을 통하여 운전자 안전은 물론 도로용량의 극대화를 꾀하고 있는 실정이다.

한편 우리나라는 교통정보 수집을 위하여 구축된 영상검지기로부터 점유율과 차두간격을 산출할 수 있어 현장에서 실시간으로 분석된 정보를 통하여 개별 차량에 제공하는 방식으로 ACC를 구성하여 차량군을 제어할 수 있다.

물론 현장에서 운전자에게 정보를 제공하기 위해서는 통신 기술이 필요한데, 이는 막대한 추가투자비용 없이도 인접망을 이용하여 통신망을 구성할 수 있는 이동 애드혹 네트워크(MANET : Mobile Ad-hoc Network)<sup>3)</sup>를 접목함으로써 다음의 <그림 4>와 같이 구현할 수 있다.



<그림 4> 실시간 교통관리 개념도

그림에서 보이는 바와 같이 영상검지기로 수집된 정보는 실시간으로 현장장비의 제어기에서 분석되며 이를 통한 정보는 MANET에 의한 통신망을 통하여 차내 단말기<sup>4)</sup>를 통하여 운전자에게 제공된다.

제공된 정보는 우선 운전자에게 주의, 경고 등으로 인지시키며, ACC의 제어정보로 사용되어 안전 관리 및 교통 흐름 제어에 사용된다.

위와 같은 영상검지기와 MANET의 접목을 통한 ACC는 레이저나 레이더의 별도 차량 장착이 필요 없으며, 무엇보다도 개별 차량뿐만 아니라 교통 흐름(차량군)의 전반적인 관리를 통하여 교통효율 증대가 가능하다는 장점이 있다.

## 2. 터널부 교통류 관리방안

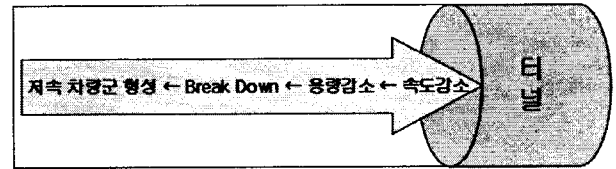
3) 도로와 차량간 또는 차량 상호간 무선 신호의 송수신은 현재의 자료 연결 기술을 활용하고, 라우터 기능은 이동 애드혹 네트워크의 이동 단말기가 호스트와 라우터 역할을 동시에 하도록 하는데, 여기에 라우터 프로토콜의 개발과 무선 신호의 보안 문제 해결 기술 등이 필요하다.

4) 통신용으로는 호스트와 라우터 역할을 하는 MANET 이동 단말기를 의미하며, 차량에 장착된 ACC의 제어정보를 전달한다.

수요가 용량을 넘어서는 경우 발생하는 혼잡에 대해서는 본선 내에서 해결할 방법은 없으며, 사전에 도로로 유입되는 접근로를 통제한다거나 우회도로로 분산하여 수요를 감소시키는 방법을 고려할 수 있다.

하지만 수요가 용량을 넘지 않는 경우에 발생하는 터널이나 오르막 등의 혼잡은 개별차량과 차량군의 밀도를 조정함으로써 조정할 수 있다.

기존 연구에서 터널부 용량은 일반도로의 용량보다 감소하는 특성을 보였는데, 이는 다음 <그림 5>와 같은 교통류 상태 변화에서 발생하는 것으로 볼 수 있다.



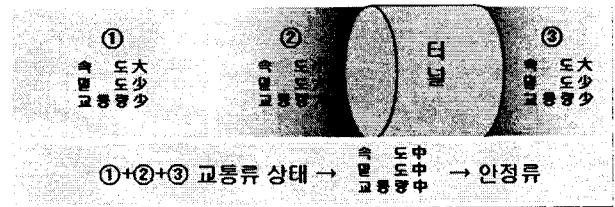
<그림 5> 터널부 교통류 특성

이러한 교통류 상태는 곧 상류부에서 진입하는 고속 차량군에 충격파를 주어 와해된 교통류 길이를 증가시켜 전체적인 교통시스템의 효율을 저하시킨다.

이는 영상검지기를 이용한 교통관리 방안을 적용하여 상류부 차량군의 속도를 감소시켜 터널부의 저속 차량군이 안정류로 회복한 후에 도착하도록 제어함으로써 해결할 수 있을 것이다.

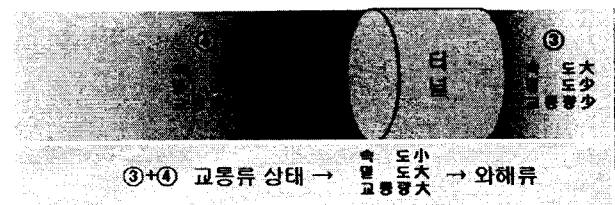
또한 터널에 진입하는 차량군의 선두차량 속도가 저하되지 않도록 최저속도 제한 정보를 주의하여 저속 차량군 형성을 억제하는 것도 고려할 수 있다.

초기 터널부 주변의 교통량 상태는 다음의 <그림 6>과 같이 ②차량군은 터널 진입부에서 속도가 감소하며 밀도와 교통량은 증가하게 된다는 증가하게 되어 와해교통류 상태에 있고, 전·후 ①③차량군은 자유교통류 상태에 있게 된다.



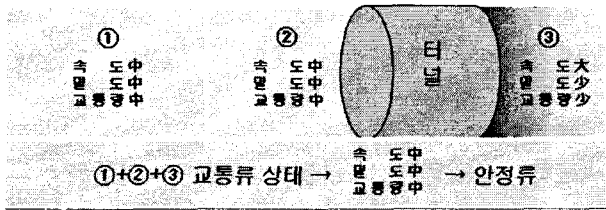
<그림 6> 초기 교통류 상태

별도의 교통류 관리 없이 <그림 6>의 교통류 상태가 지속되면 ①차량군이 ②차량군에 접근하여 <그림 7>과 같이 보다 큰 와해 교통류 ④차량군을 형성하게 된다.



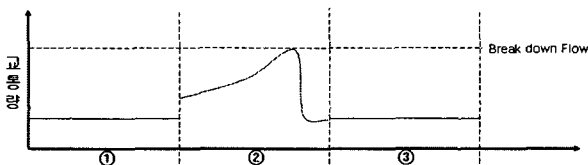
<그림 7> 확대된 와해 교통류 상태

하지만 본 연구에서 제시한 실시간 교통류 관리방안을 적용하게 되면 ②차량군의 교통류 상태를 안정화시키고, ①차량군의 교통류 상태를 약간은 악화시켜 <그림 8>과 같이 전체적인 교통류를 안정화할 수 있다.

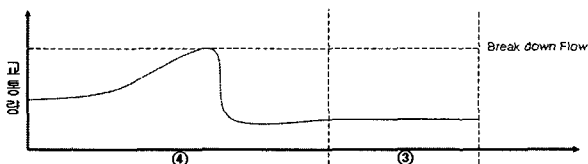


<그림 8> 교통류 관리방안 적용시 교통류 상태

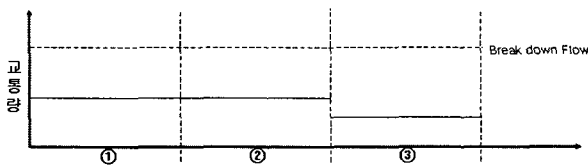
이러한 교통류 상태 변화는 다음의 <그림 9>, <그림 10>, <그림 11>과 같이 앞서 살펴본 Break down Flow를 기준으로 도식화 할 수 있다.



<그림 9> 초기 교통류 상태



<그림 10> 확대된 와해 교통류 상태



<그림 11> 교통류 관리방안 적용시 교통류 상태

<그림 9>와 같이 터널 진입부에 형성된 ②차량군은 Break down Flow 상태가 되어 안정류로 회복되지 못하고 상류부 ①차량군이 진입하여 종단에는 <그림 10>과 같이 와해 교통류가 확대된다.

또한 확대된 와해교통류는 안정류로의 회복시간이 더욱 증가되며, 초기 ①차량군 상류부에 차량군이 존재하여 진입한다면 와해교통류는 더욱 길어질 것이다.

반면에 현장에서 검지된 자료를 통한 개별 차량과 차량군에 대한 가·감속 제어를 하게 되면, <그림 11>과 같이 안정된 교통류가 유지되어 속도저하에 따른 상대적인 용량 감소를 방지할 수 있다.

## IV. 결론

본 연구는 현장에 설치된 영상검지기에 이동 애드혹 네트워크 기술을 접목하여 자동주행시스템에 융합함으로써 개념적인 실시간 교통류 안정화 및 교통류 관리를 위한 방안을 모색하였다.

또한 터널의 진입부에서 발생하는 충격파로 인한 특정 구간에서의 교통량 증가 및 밀도 증가에 따른 교통류 와해와 이에 따르는 차량군의 충격파에 의한 급속한 교통효율의 감소문제를 본 연구에서 제시한 교통류 관리방안으로 분석하여 교통류 변화를 예상해 보았다.

이는 영상검지기의 개별차량 정보를 이용하여 1차, 2차 충격파에 따른 교통류 변화를 현장에서 실시간으로 주행차량의 운전자에게 제공하여 차간간격을 조정함으로써 사고위험도를 감소하고 구간 내 교통량을 보다 대(大)구간으로 완화하여 밀도를 감소시킴으로써 교통효율을 증대시킬 방안으로 활용될 수 있다.

또한 특정 구간에서의 혼잡밀도 상태를 임계밀도로 분포시켜 교통류 와해 상태를 예방한다면, 차간간격 확보를 통한 잠재적 사고위험도는 감소시키며, 안정된 정상 교통류를 유지하여 교통효율을 증대시킬 것으로 기대된다.

마지막으로 본 연구에서 교통류 관리를 위해 적용한 영상검지기의 활용 방안은 향후 앞 차량과의 간격을 자동으로 제어하는 지능형 도로주행제어시스템(IHCC : Intelligent Highway Cruise Control System), 차량의 추돌을 감지해 피해를 최소화하는 충돌 충돌방지시스템(CMS : Collision Mitigation brake System) 등 안전 및 자동운전지원을 위한 자동주행시스템(ACC : Automatic Cruise Control System)을 통한 첨단도로를 구현할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 “서울시 산학연 협력사업” (Seoul Industry-University-Research Cooperation)에서 일부 지원을 받았습다.

## 참고문헌

1. 김현덕(2002), “고속도로에서의 대기길이 예측에 관한 연구”, 산업기술연구원 논문집 제21호.
2. 남상우(2002), “Mobile Ad Hoc Network 연구 동향 및 무선 접속 기술”, 전파, 제108호.
3. 도로교통안전관리공단(2005), “2005년판 교통통계”
4. 장현봉(1998), “터널부 교통류 특성 및 용량산정에 관한 연구”, 대한교통학회지 제16권 제3호.
5. 장현봉(2004), “4차로 고속도로 터널구간의 교통류 특성에 관한 연구”, 건축·도시환경연구 제8호.

6. 한국교통연구원(2005), "2004년 전국 교통혼잡비용 산출과 추이 분석"
7. D. Sun · R. F. Benekohal(2003), "Analysis of Car Following Characteristics for Estimating Work Zone Safety", Annul Meeting of the Transportation Research Board.
8. G. J. Andersen(2003), "Visual Information for Car Following by Drivers: The role of Scene Information", Annul Meeting of the Transportation Research Board.
9. K. Selçuk Öüt(2005), "Stability of Freeway Bottleneck Flow Phenomena", Annul Meeting of the Transportation Research Board.
10. Paul G.(2000), "Headway on urban streets : observational data and an intervention to decrease tailgating", Transportation Research Part F.
11. Prakash Ranjitkar(2005), "Experimental Analysis of Car Following Dynamics and Traffic Stability", Annul Meeting of the Transportation Research Board.
12. Shy Bassan(2005), "Experimental Investigation of Spatial Breakdown Evolution on Congested Freeways", Annul Meeting of the Transportation Research Board.
13. U.S. DOT(2003), "Freeway Management and Operatiös Handbook"