

■ 論 文 ■

# 차로별 교통류 상호영향에 따른 고속도로 합류부 교통와해 특성 분석에 관한 연구

## Analysis of Breakdown Characteristics by Lane Interaction at Freeway Merging Area with a View of Time and Space

김 상 구

(전남대학교 교통물류학부 조교수)

김 영 춘

(전남대학교 교통물류학과 석사과정)

### 목 차

- I. 서론
  - II. 선행연구고찰
    - 1. 교통와해 현상
    - 2. 합류부 특성 및 영향권
  - III. 자료수집 및 합류부 정의
    - 1. 자료수집 및 가공
    - 2. 합류부 정의 및 영역결정
  - IV. 합류부 교통류 특성
    - 1. 합류전 구간(500ft)
    - 2. 합류 구간(100ft)
    - 3. 합류후 구간(1500ft)
  - V. 합류부 시공간도 분석
  - VI. 교통와해 현상 분석
    - 1. 시간에 따른 개별차량 속도변화추이
    - 2. 거리에 따른 개별차량 속도변화추이
- 참고문헌

Key Words : 고속도로-연결로 합류부, 교통와해, 시공간도, 전이과정, 동적용량  
ramp-freeway merge area, breakdown, time-space diagram, transition process, dynamic capacity

### 요 약

본 연구는 개별차량에 대한 미시적 분석이 가능한 고속도로의 실제 항공사진자료를 분석함으로써 고속도로-연결로 접속부를 포함한 합류구간의 교통류 특성을 차로별로 미시적으로 분석하여 기존 연구결과에서 찾아내지 못한 차로별 상호영향에 대한 기초연구를 수행함을 목적으로 한다. 본 연구에서는 고속도로-연결로 접속부에서 수집한 항공사진 원시 자료를 Matlab 프로그램을 사용하여 차로별 30초 단위의 교통량, 속도, 밀도자료를 생성하였고, 또한, 미시적 분석을 위하여 개별차량 차두시간(headway) 데이터를 차로별로 생성하였다. 연구수행 내용으로는 개별차량에 따른 속도, 점유율, 교통량, 차두시간 변화추이를 각각의 차로별로 비교하여 차로특성을 분석하였고 연결로 진입교통량으로 인한 본선 교통류의 정체과정을 분석하였고, 시간과 거리에 따른 시공간도를 작성하여 합류구간 교통류 특성에 대해 해석해보았다. 전체구간을 3개의 지점(합류전, 합류, 합류후)으로 구분하여 차로별 교통류 전이과정을 분석하였으며, 합류구간을 50ft 지점으로 세분화하여 교통와해(breakdown)가 발생하는 정확한 위치를 찾아내어 교통류 전과과정을 면밀히 관찰하였다. 본 연구는 혼잡교통류 상태의 연결로 교통류와 본선 교통류간의 관계에 대한 미시적 분석을 수행하여 교통와해현상에 대한 정밀한 분석과 합류구간의 교통와해에 대한 다양한 분석방법을 제시하였으며, 이는 교통와해의 동적변화로 인한 고속도로 동적용량 결정을 할 수 있는 기초이론을 제공한다는 데에 의의가 있다.

The purpose of this paper is to perform a basic study on the interaction between lanes, which can be achieved through analyzing traffic breakdown at the microscopic level. Using aerial photographic data for the microscopic analysis, this study analyzed the characteristics of traffic flow at a merging area. This research produced aggregated traffic data such as flows, speeds, and densities in 30 second intervals by lane for the macroscopic analysis and individual headway data by lane for the microscopic analysis. The paper contains an analysis of lane characteristics through flows, speeds, densities, and headway variations and also investigates the influence of ramp flows on mainline flows with space-time diagrams. Firstly, the merging area in this study is divided into three sections: before-merging, during-merging, and after-merging. The transition process was analyzed at each lane. Secondly, the breakdown was observed in detail with data divided in 50-foot units. The breakdown was checked through the relationships between ramp and freeway mainline flows, various techniques were proposed to analyze the breakdown, and the formation of breakdown was introduced as three stages in this study. In the near future, the findings of this study could contribute to determining the dynamic capacity on freeways by easily understanding changeable traffic breakdown patterns over time and space.

## I. 서론

고속도로 합류부는 대표적인 반복정체구간으로서 본선 교통류와 연결로 교통류가 서로 공간 확보를 위하여 상충되는 지점이므로 이 구간에 대한 집중적인 교통류 관리와 제어가 필요한 구간이다. 현재까지 연구는 간격 수락모형을 이용한 연결로 교통류와 본선 교통류간의 상호관계에 대한 수학적 이론연구와 지점검지기 자료를 바탕으로 교통류 분석에 대한 연구가 주로 이루어져 왔으며 교통와해에 대한 연구는 부족한 실정이고 기존의 20초 또는 30초 지점검지기 자료로는 교통와해 현상을 설명하는데 한계가 있다.

본 연구는 개별차량에 대한 미시적 분석이 가능한 고속도로의 실제 항공사진자료를 분석함으로써 고속도로-연결로 접속부를 포함한 합류구간의 교통류 특성을 차로별로 미시적으로 분석하여 기존 연구결과에서 찾아내지 못한 차로별 상호영향에 대한 기초연구 수행을 목적으로 한다.

본 연구에서는 고속도로-연결로 합류부에서 수집한 항공사진 원시 자료를 Matlab 프로그램을 사용하여 합류전, 합류, 합류후 구간으로 구분하여 차로별 30초 단위의 교통량, 속도, 밀도자료를 생성하고, 미시적 분석을 위하여 개별차량 차두시간(headway) 데이터를 차로별로 생성한다. 또한 합류구간의 교통와해 형성과정과 교통류 전이과정에 대한 세밀한 분석을 위하여 합류구간을 50ft 간격으로 교통량, 속도, 밀도, 차두시간 데이터를 생성한다. 연구수행 내용으로는 개별차로에 따른 속도, 점유율, 교통량, 차두시간 변화추이를 각각의 차로별로 비교하여 차로특성을 분석하고 연결로 진입교통량으로 인한 본선 교통류의 정체과정을 분석한다. 전체구간중 3개 지점(합류전, 합류, 합류후)의 차로별 교통류 전이과정을 분석하며, 합류구간을 여러 지점으로 세분화하여 교통와해(breakdown)가 발생하는 정확한 위치를 찾아내어 교통와해 발생 현상을 면밀히 관찰한다. 본 연구는 혼잡교통류 상태의 연결로 교통류와 본선 교통류간의 관계에 대한 미시적 분석을 수행하여 기존 교통류이론을 실제 자료를 토대로 확인하고, 고속도로 합류구간 혼잡교통류의 교통와해에 대한 다양한 분석방법을 제시하며, 혼잡교통류에 대한 기초이론을 제공한다는 데에 의의를 둔다.

## II. 선행연구 고찰

### 1. 교통와해(Breakdown) 현상

교통와해 현상이란 교통수요가 교통용량을 넘어서 교통류흐름이 무너진 상태 또는 차로를 바꾸지 못 할 정도로 혼잡스러운 불안정한 흐름을 나타내는 상태를 말한다. 즉, 도로 서비스 수준이 E에서 F로 낮아질 때에 발생한다.

합류구간의 교통와해는 두 개의 교통흐름이 서로 상충하면서 발생하는 외부적인 영향으로 인해 작용한다고 알려져 있다.(김상구와 박창호(1998))

Edie와 몇몇 연구자들은(1967) 속도, 밀도, 교통량 사이의 관계가 용량 근처에서 불연속적이고 대기행렬 상태에서 통과시킬 수 있는 최대 교통류율은 안정 교통류에서의 용량보다 적게 관찰되고 이러한 고속도로 대기행렬 출발교통류율의 다양한 관측에서 1,500~2,000승용차/시/차로 정도의 범위에 해당된다고 기술하고 있다. 이러한 용량감소에 미치는 주요한 원인으로는 운전특성이 있고 다른 요인에 의한 감소가 없는 경우에 있어서 용량과 비교하여 25% 범위까지 심각한 용량감소가 발생한다.

돌발상황이나 영구적인 병목으로 인한 대기행렬의 형성은 차로용량의 감소를 야기하고 대기행렬의 정도와 풀림은 용량감소의 중요한 요소이다. 따라서 고속도로에 대한 관리와 통제를 실시하게 되는데 이러한 관리와 통제의 목적은 교통와해를 피하거나(적절한 위치에서 진입교통량을 제한) 특정한 서비스 수준을 유지하기 위함이다.

용량에 근접한 상태 또는 용량상태에서는 도로를 유·출입하는 차량이나 같은 교통류 내 차량의 차로변경 등에 의해 심각한 혼잡이 발생하고, 이렇게 발생한 혼잡은 쉽게 해소되지 않는다. 즉 용량상태 또는 용량에 근접한 상태로 운행되는 도로의 경우, 대부분 상류 쪽에 대기행렬이 형성되며 불안정한 흐름 또는 교통와해 상태가 필연적으로 발생한다. 따라서 도로는 용량이하의 교통량으로 운행되도록 설계해야 한다.

J.Ringert와 T.Urbanik II(1993)는 차로별 교통류 분석에서 차로간 상호작용(Lane Interaction)으로 자유교통류 상태에서 최대 교통류율의 도달없이 대기행렬 풀림 상태로 미리 전이된다고 해석하고 있는데 이는 차로별 용량이 존재하더라도 모든 차로에서 자유 교통류

을 상태의 최대 교통류율이 관측되는 것이 아니라는 것이다.

Elefteriadou 외(1995)는 고속도로-연결로 접속부에서의 용량과 교통외해에 관하여 조사 자료를 바탕으로 다음과 같은 결론을 제시하였다.

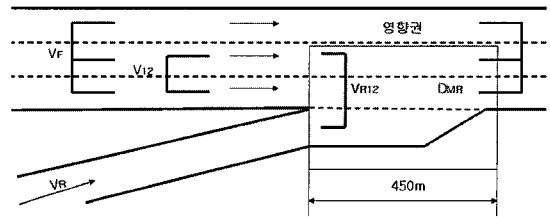
- 고속도로-연결로 접속부에서의 교통외해 발생은 결정론적이 아니고 확률론적인 변수이다. 즉, 조사 자료에 의하면 같은 교통량과 심지어 같은 장소에서도 교통외해는 항상 발생하지 않는다는 것이다.
- 용량은 반드시 교통외해 이전에 발생되지 않는다는 것이다. 즉, 용량이 교통외해의 전제조건이 아니고 교통외해 발생의 유일한 요인이 아니라는 것이 자료를 통하여 조사됐다.
- 교통외해의 원인은 연결로교통량에 의한 결과라기 보다는 연결로 차량의 군집수(Cluster) 때문이다. 비록 군집수가 연결로교통량의 함수일지라도 고속도로-연결로 접속부의 운영에 영향을 미치는 것은 군집수이다.

## 2. 합류특성 및 영향권

고속도로-연결로 접속부 중 합류부는 연결로를 통해 본선으로 진입하는 차량들이 접속차로의 차간간격을 찾아서 가속과 합류를 시도하는 공간으로서 본선교통류의 상태에 따라 연결로를 통해 진입하는 차량이 본선교통류에 서로 다른 영향을 미친다. 혼잡교통류에서 연결로를 통해 진입하는 차량이 본선교통류의 차량들과 갖는 상호작용은 자유교통류 상태에서 발생하는 상호작용보다 훨씬 크게 나타난다. 따라서 혼잡교통류에서 연결로 교통량이 본선교통류에 미치는 영향은 자유교통류 상태에서 관측되는 것과 다르게 분석되어야 할 것이다.

도로용량편람(2004)은 유입연결로에서 진입하는 연결로교통량에 의한 영향으로 본선 외측 2개 차로, 가속차로와 하류부 약 450m 구간을 영향권으로 설정하여 분석하도록 하고 있다(〈그림 1〉참조).

또한, 합류부의 운영상태를 분석하기 위하여 본선 전체차로에 대한 차로 1, 2의 교통량 비율( $P_{FM}$ )을 산출하여 영향권내 교통량을 구한 후 연결로교통량( $V_R$ )과 1, 2 차로 교통량( $V_{12}$ )을 가지고 영향권의 밀도( $D_{MR}$ )를 추정 한 후 서비스수준을 결정하게 된다.



출처 : 대한교통학회(2004) "도로용량편람"

〈그림 1〉 연결로 접속부 영향권의 정의

## III. 자료수집 및 합류구간 정의

### 1. 자료 수집 및 가공

본 연구에서는 정체교통류에서 교통류 변수(교통량, 속도, 밀도) 특성을 파악할 수 있고, 연결로 합류부를 포함한 일정 구간길이 이상의 지점들을 선정하여 분석하였다. 자료 기준으로는 연결로와 본선 개별차로의 교통변수 값을 포함하고 있어야 하며, 미세한 분석을 위하여 매우 짧은 시간간격 동안의 교통 변수 값을 제공하여야 한다.

본 연구에서는 고속도로 차량들간 상호작용을 분석하기 위하여 미국 FHWA(1985)에서 수행하였던 항공 촬영 영상사진으로부터 차량의 위치를 계수화(digitizing)한 자료를 본 연구의 목적에 맞게 일부 가공하여 사용하였다. 고속도로 교통자료가 수집된 18개 지점 중에서 본 연구의 대상구간인 연결로 합류부의 3개 지점을 대상으로 자료수집 및 변환을 수행하였다. 본 연구에서는 3개 지점 중 Santa Monica 구간의 자료만이 정체류 발생으로 분석대상 지점으로 선정하여 분석하였다.

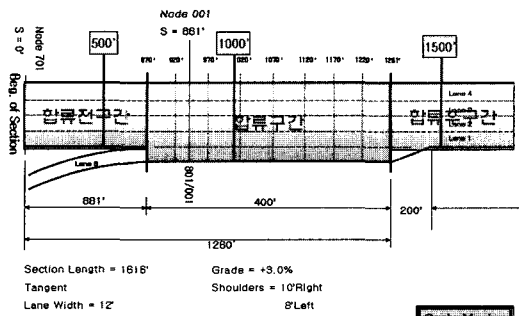
3개 대상지점의 기하구조 및 공간적 범위는 〈그림 2〉와 같다.

원시자료 파일은 합류부의 합류전 구간에서 합류후 구간까지 연속적인 순서에 따른 차량을 포함한 1초 프레임(frame) 순으로 정리되어 있다. 각 지점별 원시자료

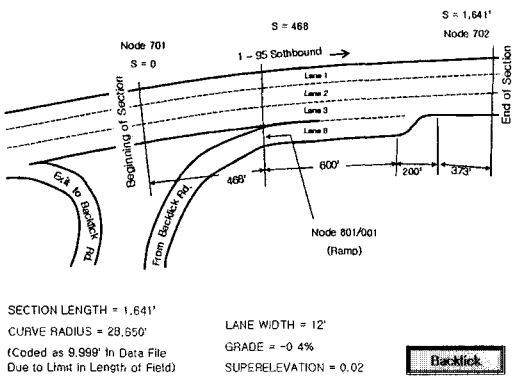
〈표 1〉 자료수집 지점 현황

지점	구간길이(ft)	차로수
Santa Monica Blvd.( I-405)	1,616	4/1
Roscoe Blvd.( I-405)	1,788	4/1
Backlick Rd.( I-95)	1,641	3/1

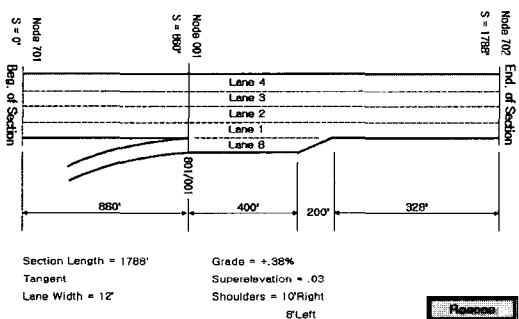
주 : 차로수는 본선/연결로 차로수임



a. Santa Monica



b. Backlick



c. Roscoe

(그림 2) 조사지점의 연결로 합류부의 기하구조

파일은 계수화된 1시간(약 3,600프레임) 정도가 포함되어 있으며, 차량ID, 차종, 차량길이, 주행속도, 차로위치 등 1초 단위로 항공촬영 영역내 모든 차량들의 움직임을 알아볼 수 있는 매우 유용한 자료이다.

원시자료는 1초 단위로 해당공간내 차량위치와 관련된 자료를 제공하므로, 일반적으로 교통분석에서 사용하는 지점별 교통변수로 변환하는 작업이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 해당 고속도로 구간을 세 구간(합류전, 합류,

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	SANTAMONICA 원시 DATA									
2	프레임 NO	차량 ID	차량 형식 CODE	차량 길이 (FEET)	차량 속도 (MPH)	시작점으로부터의 거리	시작점으로부터의 거리	길이개으로부터의 거리	차량색 CODE	차로 NO
3	5	8	1	17	42	1433		6	6	1
4	5	12	1	16	57	1420		29	4	3
5	5	14	1	16	55	1371		18	2	2
6	5	11	1	16	42	1371		6	8	1

(그림 3) 계수화된 항공사진 원시자료 파일

	E	F	G	H
1	2차로			
2	교통량(대/시)	속도(km/h)	밀도(대/km)	Headway(초)
3	2280	81.72	27.71	1.5508
4	1800	86.03	18.96	2.0559
5	2040	87.74	25.52	1.8099
6	2280	65.71	35.73	1.6352

(그림 4) 30초 단위 차로별 교통변수 생성 예

	F	G	H	I	J	K
headway						
개별차량 지점감시기 도착 순서	1070ft					
	1차로	2차로	3차로	4차로	5차로	
1	3,3967	4,7998	3,623	3,2622	5,16	
2	5,5769	6,6701	4,3698	4,6148	8,24	
3	10,799	10,322	6,2273	6,0568	9,12	
4	13,719	11,433	8,5525	7,6934	12,8	

(그림 5) 차로별 개별차량의 차두시간 생성 예

	A	B	C	D
1	시공간도			
2	프레임 No.	차량 ID	시작지점으로 부터의 거리(ft)	차로
3	2	2	1541	1
4	3	3	1612	1
5	2	6	1377	1
6	3	6	1447	1

(그림 6) 시공간도를 분석하기위한 개별차량 시간과 거리 자료 생성 예

합류후)으로 분할하여 원시자료를 일정 간격(500ft)과 수집간격(30초) 단위의 교통변수를 산출할 수 있는 프로그램을 작성하였으며 이를 이용하여 각 관측지점별 분석단위 동안 교통량, 속도, 밀도와 개별 차두시간을 생성하였다.

또한, 좀 더 미세한 분석을 수행하고자 연결로 가속차로 길이 구간 내에 해당되는 본선 및 연결로 합류구간을 50ft 간격으로 분할하여 50ft지점별 분석단위 동안 교통량, 속도, 밀도와 개별차두시간을 생성하였으며 시공간도를 분석하기위하여 개별차량의 시간과 거리자료를 생성하였다.

## 2. 합류부 정의 및 영역 결정

본 연구는 본선으로 진입하는 연결로 교통류로 인해

발생하는 혼잡에 대한 영향을 각 지점별 본선 각 차로의 교통변수와 연결로 교통류의 교통변수를 이용하여 시공간적으로 분석하고자 한다.

먼저, <그림 2>의 Santa Monica 기하구조와 같이 전체 합류구간을 세 구간 즉 합류전, 합류, 합류후 구간으로 구분하여 각 구간을 대표하는 지점을 선정하여 각 지점의 차로별 속도, 밀도, 교통량 변화추이를 분석하며 차로별 개별차량 차두시간의 변화추이를 분석한다. 합류구간의 미시적인 분석을 위하여 50ft간격의 속도, 밀도, 교통량의 시간에 따른 변화추이와 개별차량 차두시간을 분석하며 시간에 따른 개별차량 속도변화추이와 거리에 따른 개별차량 속도변화추이를 분석하여 교통와해 현상을 해석하고자 한다.

본 연구에서는 미국 FHWA의 자료를 그대로 사용하였기 때문에 미국 차로 구분에 따라 본선 외측차로부터 1차로로 시작되고, 연결로 가속차로는 8차로로 표시된다.

#### IV. 합류부 교통류 특성

##### 1. 합류전구간(500ft)

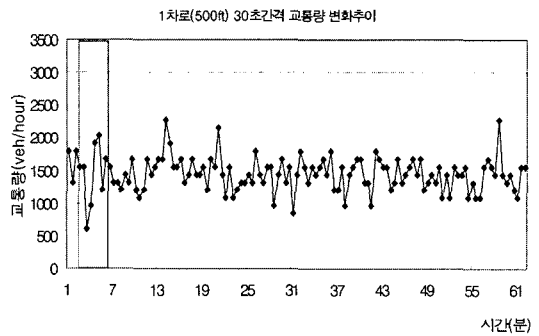
Santa Monica 1차로의 합류전 구간(500ft)의 교통류 특성을 살펴보면, 합류전 구간에 속한 500ft 지점의 교통량변화추이에서는 3~5분 사이에 교통량 감소 후 다시 회복되어 평균 2000대/시를 유지하고, 속도변화추이에서는 4분~6분 사이에 속도가 급격히 떨어지고(79km/h→18km/h) 떨어진 후에는 속도가 회복되지 않았고, 밀도변화추이에서는 5분~6분 사이에 밀도가 급격히 증가하고(40대/km→60대/km) 증가된 후에는 진동하는 패턴을 보이지만 평균적으로 일정 수준(80대/km)의 밀도를 유지하고 있는 것으로 보아 4분~6분 시간대에 교통와해(Breakdown)의 영향이 나타난 것으로 판단된다.

##### 2. 합류구간(1000ft)

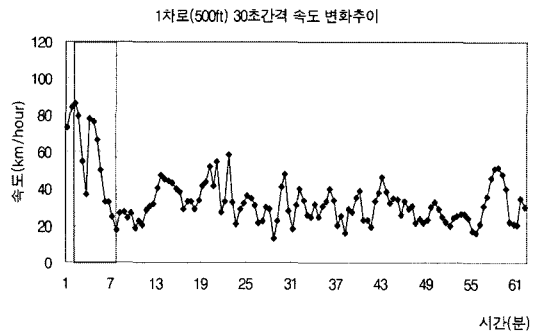
Santa Monica 1차로의 합류구간(1000ft)의 교통류 특성을 살펴보면, 합류 구간에 속한 1000ft 지점의 교통량변화추이에서는 1~3분 사이에 교통량 큰 폭으로 감소 후 다시 회복되어 진동하는 패턴을 보이다가 이 후 평균 2200대/h를 유지하고, 속도변화추이에서는 1

분~2분 사이에 속도가 급격히 떨어지고(79km/h→22km/h) 떨어진 후에는 속도가 회복되지 않았고, 밀도 변화추이에서는 1분~2분 사이에 밀도가 급격히 증가하고(30대/km→60대/km) 증가된 후에는 진동하는 패턴을 보이지만 평균적으로 일정 수준(60대/km)의 밀도를 유지하고 있는 것으로 보아 1분~3분 시간대에 교통와해(Breakdown)의 영향이 나타난 것으로 판단된다.

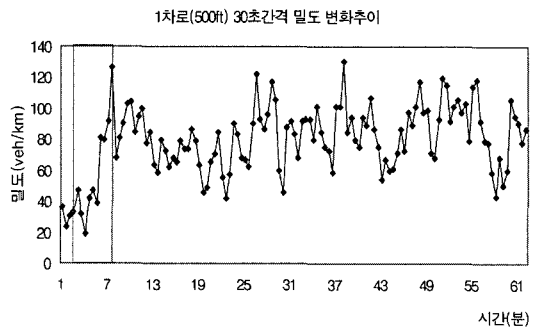
합류전구간보다 합류구간에서 더 빨리 교통와해 현상이 나타난 것은 합류구간에서 교통와해가 발생하여 정체



a. 교통량

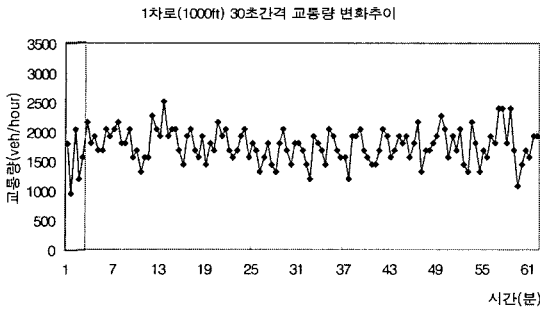


b. 속도

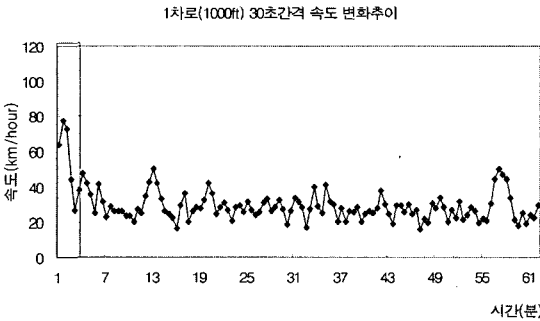


c. 밀도

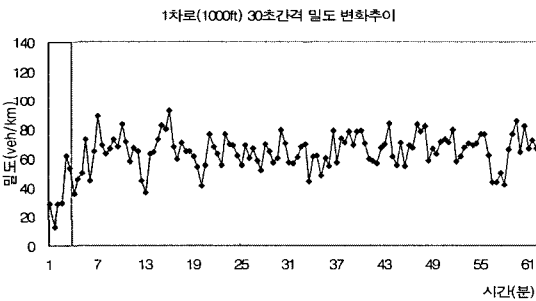
<그림 7> 30초 간격 교통량, 속도, 밀도변화추이(합류전구간)



a. 교통량

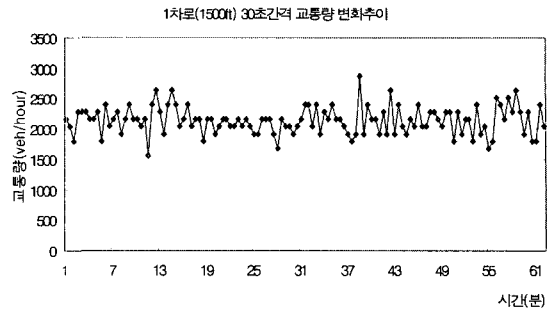


b. 속도



c. 밀도

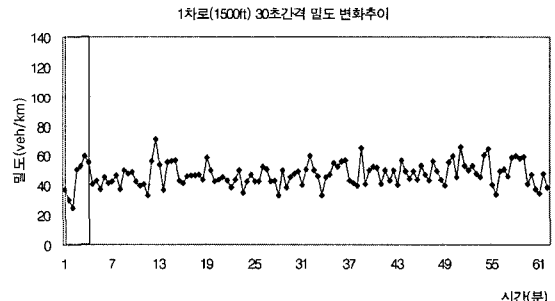
〈그림 8〉 30초 간격 교통량, 속도, 밀도변화추이(합류구간)



a. 교통량



b. 속도



c. 밀도

〈그림 9〉 30초 간격 교통량, 속도, 밀도변화추이(합류후구간)

가 합류전구간으로 전이된 것으로 판단된다.

### 3. 합류후구간(1500ft)

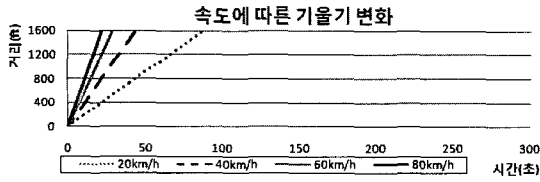
Santa Monica 1차로의 합류후 구간(1500ft)의 교통류 특성을 살펴보면, 합류후 구간에 속한 1500ft 지점의 교통량 변화추이에서는 특별한 변화 없이 평균 2200대/h를 유지하였고, 속도변화추이에서는 1분~3분 사이에 속도가 급격히 떨어지고(79km/h→40km/h) 떨어진 후에는 속도가 회복되지 않았고, 밀도변화추이에서는 뚜렷한 변화 없이 평균 50대/km대의 일정 수준의 밀도를 유지하는 것을 알 수 있다.

이러한 현상으로 보아 교통량과 밀도에서는 교통와해의

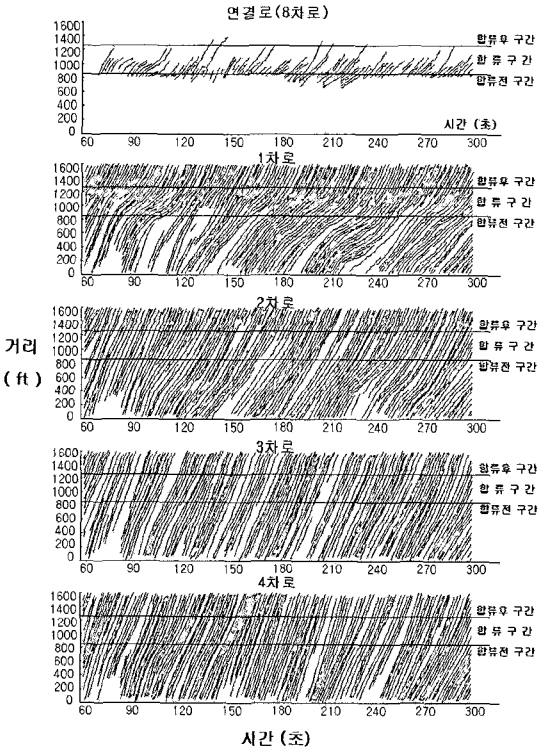
영향이 나타나지 않았고 속도에서만 교통와해의 영향이 나타났는데 이러한 현상은 합류 후 구간의 1500ft 지점이 교통와해 발생 지점과 근접해 있고 이 지점의 교통류는 교통와해 지점을 통과하여 가속하는 상태일 것으로 예상된다.

### V. 합류부 시공간도 분석

Santa Monica 구간의 합류 교통류에 따른 본선차로의 교통특성을 알아보기 위해 각 차로별 시공간도를 비교분석해 보았다. 〈그림 11〉은 교통류 특성 분석에서 1~3분 사이에 교통와해가 발생한 것으로 분석되었기 때문에 이 시간대를 포함하는 60~300초간의 시공간도를 작



〈그림 10〉 속도에 따른 기울기 변화



〈그림 11〉 Santa Monica의 차로별 시공간도

성하였다.

본선 1차로에서 4차로의 시공간도 기울기를 보면 3, 4차로는 기울기의 변화가 거의 없는 반면, 1, 2차로는 기울기가 변화하는 것으로 보아 속도의 변화가 있는 것으로 보여 진다. 각 차로 시공도의 개별차량 데이터를 보면 연결이 끊어진 데이터는 차로를 변경한 차량들인데, 이러한 차로변경 차량들을 보면 1차로에서 가장 많이 나타났으며 특히, 합류전, 합류, 합류후 구간 중 합류구간에서 가장 많은 차로 변경이 발생한 것으로 보인다. 이러한 이유는 합류구간이 연결로 가속차로구간에 해당되므로 본선 1차로에 진입하기 위하여 연결로 차량들이 차로 변경을 실시한 결과라고 해석된다.

전체 차로 중 대부분의 차로변경 데이터가 1, 2차로에 나타나고 기울기 변화 또한 1, 2차로에서 발생된 것은 연

결로 진입 교통량에 의한 영향이 3, 4차로에는 거의 전이 되지 않으며 대부분 1, 2차로에 머무는 것으로 판단된다. 각 차로의 합류전, 합류, 합류후 구간의 교통량을 비교하면 3, 4차로는 각 구간의 간격이 일정한 것으로 보아 교통량의 변화가 거의 없는 것을 볼 수 있고, 1차로의 경우, 합류구간에서 합류전 구간과 비교하여 데이터들의 간격이 좁아지는 것으로 보아 합류 구간에서 교통량이 증가하는 것으로 판단된다. 또한, 합류구간에서 기울기가 급격하게 변화하는 것으로 보아 이 구간에서 속도 감소가 나타나서 교통와해가 발생된 것으로 보인다. 이러한 현상들로 보아 교통와해는 합류구간의 1차로에서 발생했을 것으로 판단된다.

## VI. 교통와해 현상 분석

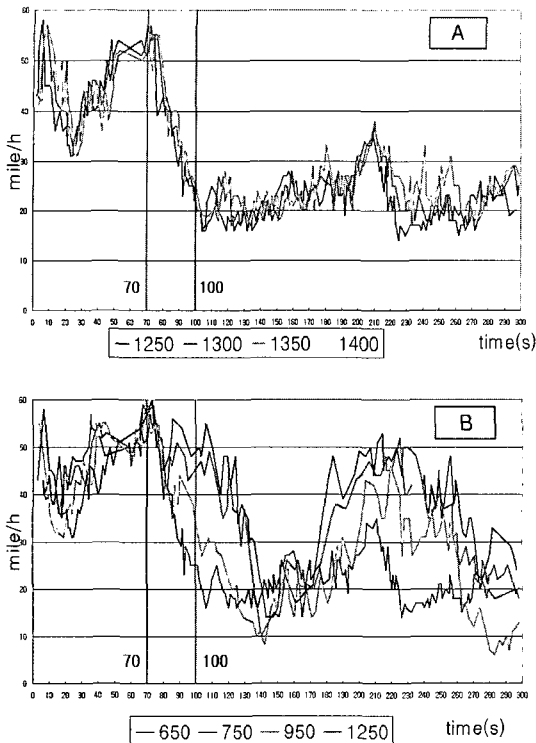
### 1. 시간에 따른 개별차량 속도변화추이

본 절에서는 Santa Monica, Backlick, Rescoe 등 세 구간 중 교통량이 가장 많고 교통류 혼잡의 영향이 나타나는 Santa Monica 구간을 대상으로 미시적인 관점에서 교통와해 현상을 분석해보았다.

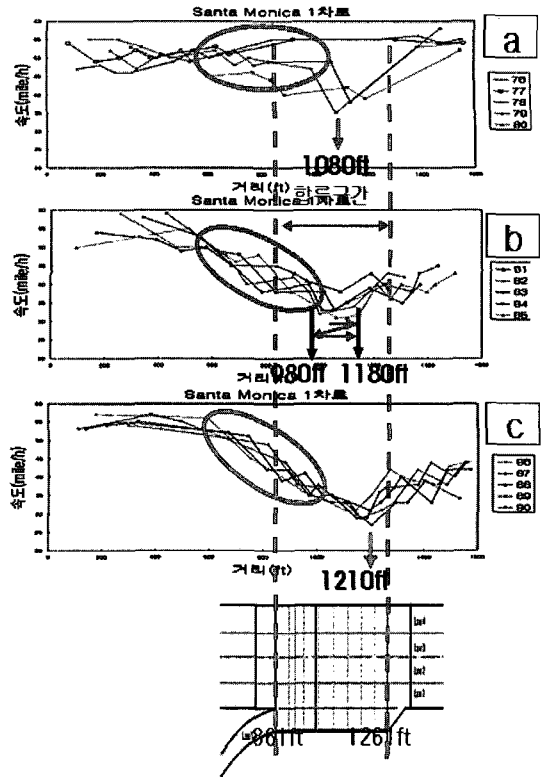
본 연구에서는 교통류 특성분석에서 교통와해가 발생한 구간과 시간이 합류구간과 1분~3분 사이에 발생했음을 거시적으로 확인하였고, 시공간도 분석을 통하여 교통와해가 발생한 차로가 1차로에서 발생했음을 확인할 수 있었다. 교통와해 발생 지점을 보다 더 정확히 찾기 위해서 먼저, 지점별 시간에 따른 개별차량의 속도변화추이를 분석하고자 한다. 분석 대상구간으로는 앞에서 결정된 Santa Monica 1차로의 합류구간을 50ft단위로 세분화하였고 각각의 지점을 비교분석하였다.

〈그림 12a〉를 보면 1250ft지점의 데이터가 1300ft, 1350ft, 1400ft지점의 데이터보다 일찍 속도가 떨어지는 것을 볼 수 있고 속도가 떨어지는 순서는 1250ft, 1300ft, 1350ft, 1400ft지점 순서이다. 〈그림 12b〉를 보면 1250ft, 950ft, 750ft, 650ft 순으로 속도가 급격히 떨어지며 구간 중에서 1250ft 지점이 속도 변화가 가장 빨랐으며 1250ft 지점과 간격이 벌어질수록 1250ft 지점에서 떨어져 있는 것을 알 수 있다. 즉 1250ft 지점 근처에서 교통와해가 발생했을 것으로 판단된다.

교통와해 발생시간은 속도가 급격히 떨어지는 시간대인 70초~100초 사이에 교통와해가 발생했을 것으로 추정된다.



〈그림 12〉 지점별 시간에 따른 개별차량 속도변화추이



〈그림 13〉 지점별 거리에 따른 개별차량 속도변화추이

## 2. 거리에 따른 개별차량 속도변화추이

시간에 따른 개별차량 속도변화추이의 분석을 통해서 1250ft 지점근처와 70초~100초 사이에 교통와해가 발생했을 것으로 판단되어 시간별 거리에 따른 개별차량 속도변화추이의 시간 상 분석범위는 70초 ~ 100초 사이로 결정하였다.

〈그림 13a〉는 76초에서 80초 사이에 있는 개별차량들의 거리에 따른 속도의 변화를 보여주는 그림으로써, 76초와 77초 데이터는 속도변화가 거의 없는 반면 78초 데이터에서 1080ft 지점에서 속도가 큰 폭으로 떨어지며 78초 후 시간의 데이터들 역시 속도가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상으로 보아 78초에 1080ft 지점에서 교통와해가 시작된 것으로 판단된다.

〈그림 13〉 b, c를 보면, 78초에 교통와해가 발생한 후 88초까지 최저속도 지점이 980ft 지점에서 1180ft 지점까지 약 200ft 간격으로 변화하면서 이동하는 패턴을 보였다. 그 후 89초에 1210ft 지점에서 최저 속도를 보였고 이후 시간에는 1210ft 지점 근처에서 지속적으로 머물러 있는 것으로 분석되었다. 〈그림 13〉 a, b, c에서 시

〈표 2〉 교통와해 발생시 고속도로 합류부 구간별 교통류 특성

구분	합류전구간	합류구간	합류후구간
교통와해 발생 시점 및 위치	미발생	78초에 1080ft 지점에서 발생	미발생
교통와해 발생 기간	3~6분	1~3분	2~4분
교통량	약 1000대/시 감소 후 회복	약 1000대/시 감소 후 회복	변화없음
속도	약 60km/h 감소	약 57km/h 감소	약 40km/h 감소
밀도	약 60대/km 증가	약 45대/km 증가	약 30km/h 감소

작부분 데이터들의 동일지점(타원형 구간)에서의 속도 편차를 비교하면 a와 b에 비해 c의 편차가 적은 것으로 보아 79초~88초 동안에 교통와해가 진행되는 단계인 것으로 판단되며 88초 이후 1210ft지점에서 교통와해가 완성되어 정체교통류로 전이되는 것으로 판단된다.

1210ft 지점 전 구간에서는 속도가 떨어지고 이후 구간에서는 속도가 높아지는 현상 또한 교통와해로 인해 나타나는 현상으로 보여 진다.



## V. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 개별차량에 대한 미시적 분석이 가능한 고속도로의 실제 항공사진자료를 분석함으로써 고속도로-연결로 접속부를 포함한 합류구간의 교통류 특성을 차로별로 분석하여 차로별 상호영향에 대한 기초연구를 수행함을 목적으로 하였다.

이를 위해 거시적 분석으로 교통량, 속도, 밀도 변화 추이를 통해 교통류 특성을 분석하였고, 미시적 분석으로 시공간도를 이용하여 시간과 공간적인 관점에서 교통류 자료들을 분석하였고, 개별차량데이터를 이용하여 교통와해 현상을 정밀하게 분석하였다.

기존 HCM 방법론에서 설명하고 있는 연결로 접속부의 영향권인 본선 바깥차로 1, 2차로가 본 연구의 차로별 영향권 분석결과와 동일함을 확인하였고, 연결로 합류구간에서 연결로 차량의 진입에 따른 본선 차량들의 차로변경과 가감속 행태들이 시공간도를 통하여 관측되었다. 개별차량 데이터 분석을 통하여 차로별 교통와해 현상의 발생시점 및 지점을 찾을 수 있는 방법론(시간, 거리에 따른 개별차량 속도변화추이 그래프 활용)을 제시하였으며 교통와해 발생 메커니즘을 3단계(시작, 진행, 완성)로 구분하여 설명하였다.

본 연구에서 분석한 Santa Monica 지점의 1차로 교통와해는 78초에 1,080ft지점에서 처음 발생하였으며(시작단계) 이후 10초간 980ft 지점에서 1,180ft지점까지 약 200ft 구간에서 변화하다가(진행단계) 88초 이후 1,210ft 지점에 머물러있는(완성단계) 현상을 보였다.

본 연구의 의의는 혼잡교통류 상태의 연결로 교통류와 본선 교통류간의 관계에 대한 미시적 분석을 수행하여 교통와해 현상에 대한 정밀한 분석과 합류구간의 교통와해에 대한 다양한 분석방법을 제시하였으며, 이는 교통와해의 동적변화로 인한 고속도로 동적용량을 결정할 수 있는 기초이론을 제공하는 데 있다. 그러나, 고속

도로 1개 지점의 데이터만을 분석하였으므로 분석결과에 대하여 일반화하기 어려운 한계성을 내포하고 있다.

향후에는 본 연구에서 사용한 분석방법론을 이용하여 고속도로 합류부, 분류부, 병목구간 등 교통와해가 발생하는 다양한 도로 및 교통조건에서의 분석이 추가로 필요하고, 한 개 차로에서의 교통와해로 인한 본선 차로간 상호영향에 대한 정밀분석과 이로 인한 고속도로 전체의 동적용량을 결정할 수 방법론 개발이 가능할 것으로 예상된다.

## 참고문헌

1. 대한교통학회(2004) "도로용량편람", p75.
2. 김상구, 박창호(1998), "고속도로 합류부의 교통와해 원인 분석", 대한교통학회, 제16권 제2호, 대한교통학회, pp 54-55.
3. Drew, D. R.(1968), "Traffic Flow Theory and Control", McGRAW-HILL, pp 217-218.
4. Elefteriadou, L. Roess, R.P., and McShane, W.R.(1995), "Probabilistic Nature of Breakdown at Freeway Merge Junctions", Transportation Research Record 1484, TRB, pp 80-89.
5. FHWA(1985), "Freeway Data Collection for Studying Vehicle Interactions (Technical Report)" FHWA/RD-85/108.
6. Hall, F.L. and Agyemand-Duah, K.(1991), "Freeway Capacity Drop and the Definition of Capacity", Transportation Research Record 1320, TRB, pp 91-98.
7. Ringert, J. and Urbanik, T.(1993), Study of Freeway Bottlenecks in Texas, Transportation Research Record 1398, TRB, pp 31-41.
8. TRB(2000), Highway Capacity Manual 2000.

✉ 주 작성자 : 김상구

✉ 교신저자 : 김상구

✉ 논문투고일 : 2006. 10. 28

✉ 논문심사일 : 2006. 12. 27 (1차)

2007. 1. 29 (2차)

2007. 2. 8 (3차)

✉ 심사판정일 : 2007. 2. 8

✉ 반론접수기한 : 2007. 6. 30