

개별차량 추적을 통한 고속도로 엇갈림구간 교통와해 발생과정 분석

A Study on Breakdown Process at Freeway Weaving Area using the Trace of Individual Vehicle

김 상 구

(전남대학교 교통물류학부 교수 kim-sg@chonnam.ac.kr)

김 영 춘

(전남대학교 교통물류학과 석사과정 k10321196@hanmail.net)

목 차

I. 서론	
II. 자료수집 및 분석방법	IV. 교통와해 발생 특성분석
1. 자료수집 및 가공	1. 교통와해 현상분석
3. 엇갈림구간 분석방법	2. 차로별 교통류 전파과정 분석
III. 엇갈림 구간 교통류 특성분석	V. 결론 및 향후 연구방향
1. 교통류 특성	참고문헌
2. 시공간도	

I. 서론

엇갈림 현상은 고속도로에서 동일 방향을 진행하는 두 교통류가 연결로에 의해 다른 도로와 연결됨으로써 교통류간에 합류 또는 분류가 일어남에 따라 발생하는 교차현상을 말한다. 엇갈림 현상은 짧은 구간에서 집중적으로 발생하는 운영특성 때문에 다른 도로구간에서 발생하는 교통혼란보다 더 과도한 혼란이 생기기 쉬우며 이는 도로 전체 서비스수준 저하를 초래하는 원인이 되기도 한다.

본 연구에서는 엇갈림구간의 진출입교통량으로 인한 본선 교통류의 정체과정을 분석하기 위해 고속도로의 엇갈림구간에서 수집한 항공사진 원시 자료를 차로별 30초 단위의 교통량, 속도, 밀도자료로 생성하고, 이 자료를 토대로 차로별 안정류에서 정체류로 변화하는 시간대와 구간을 파악하여 교통와해 특성을 분석하며, 또한, 개별차량데이터를 이용하여 시간과 거리

에 따른 시공간도를 작성하여 엇갈림구간의 특성에 대해 해석하여 교통와해 발생 특성을 분석하고 차로별 교통류 전파과정을 면밀히 관찰한다.

본 연구는 혼잡교통류 상태의 고속도로 엇갈림 구간에 대한 미시적 분석을 수행하여 교통와해 현상을 실제 자료를 토대로 확인하고, 혼잡교통류에 대한 기초이론을 제공한다는 데에 의의가 있다.

교통와해 현상이란 교통수요가 교통용량을 넘어서 교통류흐름이 무너진 상태 또는 차로를 바꾸지 못 할 정도로 혼잡스러운 불안정한 흐름을 나타내는 상태를 말한다. 즉 도로 서비스수준이 E에서 F로 낮아질 때를 말한다.

J.Ringert와 T.Urbanik II(1993)는 차로별 교통류 분석에서 차로간 상호작용(Lane Interaction)으로 자유교통류 상태에서 최대 교통류용의 도달없이 대기행렬 풀림 상태로 미리전이된다고 해석하고 있는데 이는 차로별 용량

이 존재하더라도 모든 차로에서 자유 교통류 상태를 최대 교통류율이 관측되는 것이 아니라는 것이다.

엇갈림구간의 교통류 특성에 영향을 미치는 도로 기하구조 요소에는 다음 3가지가 있다.

- 엇갈림구간의 형태
- 엇갈림구간의 길이
- 엇갈림구간의 폭(차로수)

엇갈림구간의 형태는 엇갈림을 하는 차량이 차로를 변경해야 하는 최소 횡수와 출입지점의 위치에 따라 여러 가지 형태가 생긴다. 차로 변경 횡수는 진입 차로와 진출 차로의 위치와 차로수에 따라 결정 되는데, 이들은 차로변경을 포함한 엇갈림 구간의 운행특성에 큰 영향을 미치기 때문에 엇갈림구간의 설계에서 매우 중요하다.

엇갈림 차량들은 진입로와 본선이 만나는 지점에서 진출로 시작 부분까지의 엇갈림 구간 내에서 필요한 차로 변경을 수행해야 하기 때문에, 엇갈림구간의 길이는 운전자가 엇갈림에 필요한 차로를 변경하는 데 드는 시간과 공간을 제한한다. 따라서, 다른 요인은 일정하다고 가정할 때, 엇갈림 구간 길이가 짧을수록 운전자가 차로를 변경하기가 어려우며, 그로 인한 혼란의 정도는 높아진다.

엇갈림 구간의 폭은 엇갈림 구간의 운영 상태에 큰 영향을 미치는 요소이다. 엇갈림 구간의 폭이 넓을수록 엇갈림 교통류가 이 구간에 미치는 영향은 작으며, 통행속도도 그만큼 덜 제약받는다.

김상구와 김영춘(2007)은 고속도로 합류부를 대상으로 교통와해 발생, 진행, 완성단계로 구분하여 교통와해 발생시점과 지점을 찾을 수 있는 방법론을 제시하였다.

본 연구는 합류구간에 수행하였던 분석방법론을 이용하여 교통와해 발생시 고속도로 엇갈림구간의 교통류 특성을 차로별로 미시적인 방법을 통하여 관찰하는 것을 목적으로 한다.

II. 자료수집 및 분석방법

1. 자료수집 및 가공

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

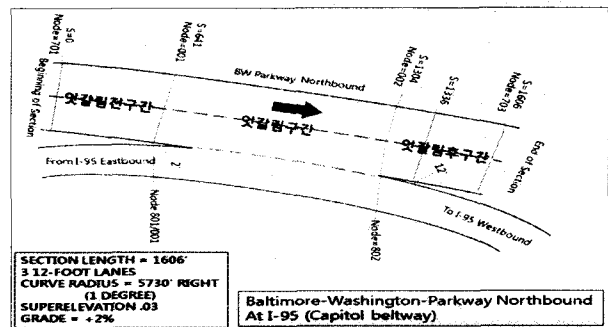
본 연구에서는 고속도로 차량들간 상호작용을 분석하기 위하여 미국 FHWA(1985)에서 수행하였던 항공 촬영사진으로부터 차량의 위치를 계수화(digitizing)한 자료를 본 연구의 목적에 맞게 일부 가공하여 사용하였다. 고속도로 교통자료가 수집된 18개 지점 중에서 본 연구의 대상구간인 엇갈림구간의 4개 지점을 대상으로 자료수집 및 변환을 수행하였다. 본 연구에서는 4개 지점 중 Baltimore Washington 구간의 자료만이 정체류 발생으로 분석대상 지점으로 선정하여 분석하였다.

본 연구에서 수집한 4개의 엇갈림 구간의 내용은 <표 1>과 같고, 이 중 본 연구에서 다루고자 하는 교통와해가 발생한 1개 지점에 대한 기하구조 및 공간적 범위는 <그림 1>과 같다.

<표 1> 엇갈림구간 자료현황

지점	구간길이(ft)	차로수
Santa Monica (I-10)	1,831	3/2
Washington, DC (I-295)	1,802	3/2
Topanga Canyon (U.S. 101)	1,268	3/1

주 : 차로수는 본선/연결로 차로수임



<그림 1> 분석대상구간의 기하구조(Baltimore Washington(I-95))

원시자료 파일은 엇갈림구간의 합류전 구간에서 합류후 구간까지 연속적인 순서에 따른 차량을 포함한 1초 프레임(frame) 순으로 정리

되어 있다. 각 지점별 원시자료 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 해당 공간내 차량위치와 관련된 자료를 제공하므로, 일반적으로 교통분석에서 사용하는 지점별 교통변수로 변환하는 작업이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 해당 고속도로 구간을 세 구간(엇갈림전, 엇갈림, 엇갈림후)으로 분할하여 원시자료를 일정한 간격과 수집간격(30초) 단위의 교통변수를 산출할 수 있는 프로그램을 작성하였으며 이를 이용하여 각 관측지점별 분석단위 동안 교통량, 속도, 밀도 데이터를 생성하였다. 또한, 좀 더 미세한 분석을 수행하고자 차로별 시간대별 시공간도를 작성하기 위한 시간과 거리 데이터를 생성하였다.

파일(F)	관측(O)	차종(C)	보기(V)	도움말(H)					
283	3	1	17	57	1381	11	1	1	
284	3	1	17	56	1463	18	1	1	
285	3	1	17	57	1548	8	1	1	
288	5	1	14	8	1888	9	1	1	
281	5	1	14	48	1150	9	1	1	
282	5	1	14	49	1223	8	1	1	
283	5	1	14	48	1294	18	1	1	
284	5	1	14	47	1363	18	1	1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

1: 프레임 번호	5: 속도(mile/hour)
2: 차량 ID	6: 시점으로부터의 거리(feet)
3: 차종 코드	7: 길어깨부터의 거리(feet)
4: 차량 길이(feet)	8: 차량 색상 코드
	9: 차로 번호

<그림 2> 항공사진 원시자료 파일

2. 엇갈림구간 분석방법

본 연구는 본선으로 진입 또는 연결로로 진출하는 교통류로 인해 발생하는 혼잡에 대한 영향을 각 지점별 본선 각 차로의 교통변수와 연결로 교통류의 교통변수를 이용하여 시공간적으로 분석하고자 한다.

먼저, <그림 1>의 Baltimore Washington 기하구조와 같이 전체 엇갈림구간을 세 구간 즉

엇갈림전, 엇갈림, 엇갈림후 구간으로 구분하여 각 구간을 대표하는 지점을 선정하여 각 지점의 차로별 속도, 밀도, 교통량 변화추이를 분석하며 차로별 개별차량 차두시간의 변화추이를 분석한다. 엇갈림구간의 미시적인 분석을 위하여 100ft간격의 속도, 밀도, 교통량의 시간에 따른 변화추이를 분석하며 시간에 따른 개별차량 속도변화추이와 거리에 따른 개별차량 속도변화추이를 분석하여 교통와해 발생 여건 및 현상을 해석하고자 한다.

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

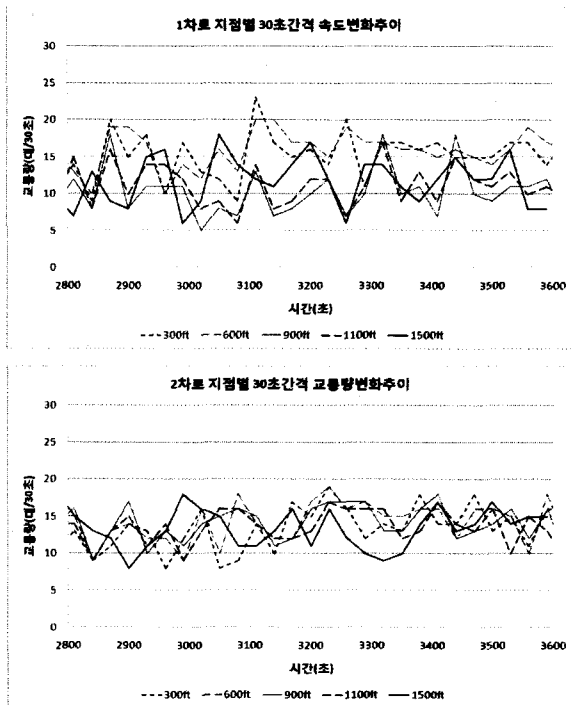
III. 엇갈림구간 교통류 특성분석

1. 교통류 특성

본 연구에서는 Baltimore Washington 구간의 교통류 특성을 분석하기 위하여 엇갈림전구간인 300ft지점, 엇갈림전구간과 엇갈림구간 사이에 위치한 600ft지점, 엇갈림구간 중심에 가까운 900ft지점, 엇갈림구간 끝부분에 가까운 1,100ft지점, 엇갈림후구간인 1,500ft지점 등 5 곳을 분석지점으로 설정하였으며 각각의 지점의 차로별 30초간격 속도, 교통량, 밀도변화추이를 그래프로 나타내었다.

1) 교통량변화추이

Baltimore Washington 1차로의 교통량변화추이에 따른 교통류 특성을 살펴보면, 전반적으로 1차로와 2차로 데이터 모두 300ft와 600ft지점의 데이터가 900ft, 1,100ft, 1,500ft지점보다 높은 교통량을 나타냈으며 1차로의 교통량분포가 2차로의 교통량분포보다 더 넓은 분포를 보였지만 이러한 특성만으로 교통와해의 영향을 판단하기는 어려울 것으로 분석된다.



<그림 3> 1, 2차로 지점별 30초간격 교통량변화추이

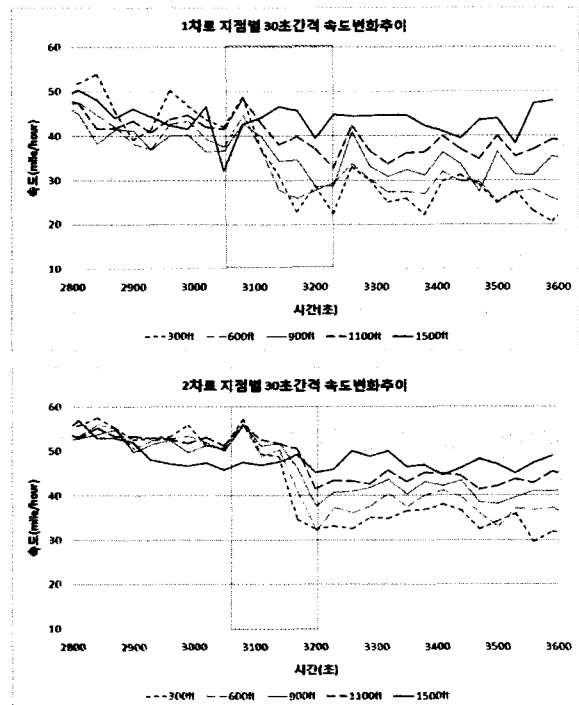
2) 속도변화추이

Baltimore Washington 1차로의 속도변화추이에 따른 교통류 특성을 살펴보면, 1,500ft지점을 제외한 4지점의 데이터가 3,080초 후에 속도가 감소하는 것으로 나타났으며 속도감소 후 속도가 회복되지 않은 것으로 보아 3,080초-3,170초 사이에 교통와해(Breakdown)가 발생한 것으로 판단되며 600ft-300ft-900ft-1,100ft 순서로 속도가 떨어지는 것으로 분석되었다. 그리고 3,080초와 3,170초 사이에는 600ft지점에서 가장 낮은 속도를 나타내지만 3,170초 이후에는 300ft지점에서 가장 낮은 속도를 나타내는 것으로 보아 300ft지점과 600ft지점 사이에 교통류 특성의 변화가 있을 것으로 생각된다.

2차로의 속도변화추이를 분석하면, 1,500ft지점을 제외한 4지점의 데이터에서 3,080초 후에 속도가 감소하고 회복되지 않지만 3,080초에서 3,110초 사이에 소폭 감소(4-8mile/h)하다가 3,140초까지 평균 50mile/h로 유지한 후 다시 큰폭의 속도감소(9-18mile/h)가 나타나는 패턴으로 보아 3,080초에서 3,140초 사이에 교통와해(Breakdown)가 발생한 것으로 분석된다. 3110초 이후 그래프에서는 300ft지점에서 가장

낮은 속도를 나타내며 300ft-600ft-900ft-1,100ft 순서로 속도가 떨어지는 것으로 판단된다.

1차로와 2차로의 그래프를 비교하면, 교통와해 발생시 교통류의 패턴이 다르게 나타났으며 1차로의 속도가 2차로의 속도보다 평균 5-10mile/h의 낮은 속도를 나타냈으며 이러한 현상으로 보아 1차로에서 교통와해가 발생하여 교통와해의 영향이 2차로로 전이됐을 가능성이 높은 것으로 생각된다.



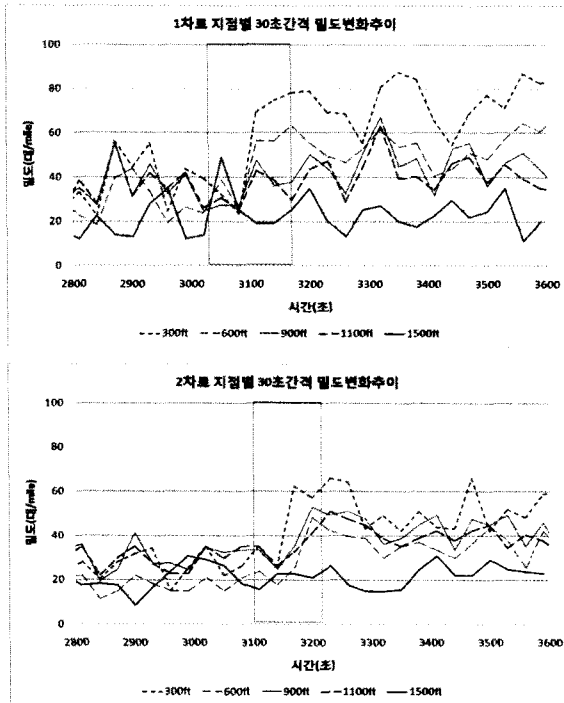
<그림 4> 1, 2차로 지점별 30초간격 속도변화추이

3) 밀도변화추이

Baltimore Washington 1차로의 교통량변화추이에 따른 교통류 특성을 살펴보면, 3,080초 이후에 1,500ft지점을 제외한 4지점에서 밀도가 증가하지만 3,080초전 데이터와 비교하면 300ft(25대/mile→70대/mile)와 600ft(25대/mile→56대/mile)지점만이 증가하였고 900ft, 1,100ft 지점은 비슷한 수준을 보였으며 이러한 특성으로 보아 3,080초-3,100초 사이에 교통와해가 발생했으며 교통와해가 300ft와 600ft지점에 영향을 주었을 것으로 판단된다.

2차로의 밀도변화추이를 보면 1,500ft지점을 제외하고 4지점에서 3,140초 이후에 밀도가 증가하였고, 3,140초 전과 비교하면 4지점 모두

밀도가 증가하였다. 2차로의 밀도데이터의 증가 시점이 1차로에 비해 60초정도 늦게 나타났으며 밀도증가 폭 또한 2차로가 1차로보다 작은 것으로 보아 1차로에서 발생된 교통와해가 60초 뒤에 2차로로 전이되어 영향을 끼친 것으로 분석된다.



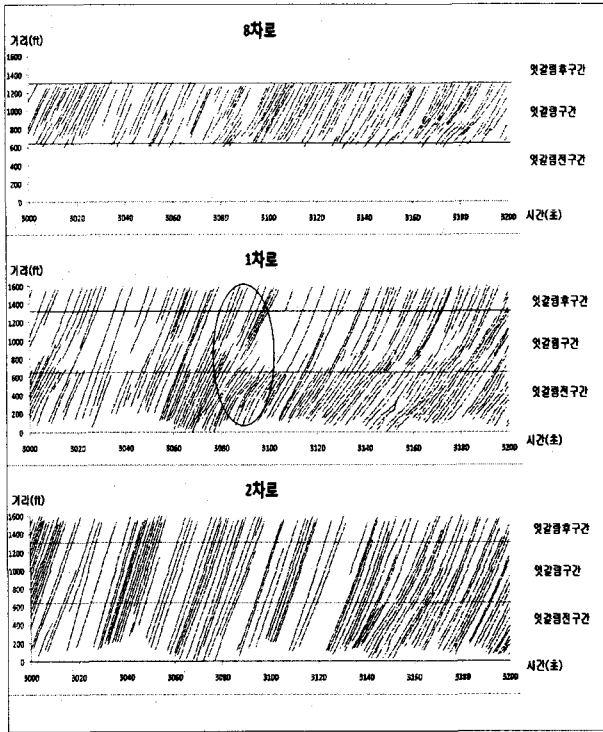
<그림 5> 1, 2차로 지점별 30초간격 밀도변화추이

2. 시공간도

Baltimore Washington 구간의 엇갈림 교통류에 따른 본선차로의 교통특성을 알아보기 위해 각 차로별 시공간도를 비교분석해 보았다. <그림 6>은 교통류 특성 분석에서 3,080초-3,170초 사이에 교통와해가 발생한 것으로 분석되었기 때문에 이 시간대를 포함한 3,000초-3,200초 사이의 시공간도를 작성하였다. 본선 1차로와 2차로의 시공간도 기울기를 보면 1차로는 3,080초 이후에 기울기의 변화가 있는 것으로 보아 속도의 변화가 있는 것으로 보이는 반면, 2차로는 기울기의 변화가 거의 없다가 3,150초 이후에 기울기가 변화하여 속도의 변화가 나타났다. 각 차로 시공간도의 개별차량 데이터를 보면 연결이 끊어진 데이터는 차로를 변경한 차량들인데,

이러한 차로변경 차량들을 보면 1차로에서 가장 많이 나타났으며 특히, 엇갈림전, 엇갈림, 엇갈림후 구간 중 엇갈림구간에서 가장 많은 차로 변경이 발생한 것으로 보인다. 이러한 이유는 엇갈림구간이 연결로인 8차로에서 본선 1차로에 진입하기 위한 연결로 차량들과 본선 1차로에서 연결로로 진출하기 위해 본선 차량들이 차로변경을 실시한 결과라고 해석된다. 전체 차로 중 대부분의 차로변경 데이터가 1차로에서 나타나고 기울기 변화 또한 1차로에서 명확히 나타났으며 연결로 진입 또는 진출 교통량에 의한 영향이 2차로에는 60초 후인 3,140초에 나타난 것으로 보여진다. 1차로의 시공간도를 살펴보면 엇갈림전구간에서 시작되어 엇갈림구간에서 끊어진 데이터는 2차로의 차로변경 데이터가 거의 없는 것으로 보아 본선 1차로에서 연결로 8차로로 차로변경하여 진출한 차량들이고, 엇갈림구간에서 시작되어 엇갈림후구간으로 이어지는 데이터는 대부분 연결로 8차로에서 본선 1차로로 진입하는 차량들이며 Baltimore Washington 구간에서는 진출하는 차량들이 진입하는 차량들보다 많은 것으로 판단된다. 그리고 본선 1차로의 3,080초에서 600ft-800ft 구간의 데이터와 같이 진출하는 교통류와 진입하는 교통류사이의 엇갈림 현상이 발생했을 때 본선 1차로의 교통량이 연결로로 진출하기 위하여 속도를 감속하면서 교통와해가 발생했을 것으로 판단된다. 즉, 본 연구의 분석대상 구간인 Baltimore Washington 구간의 교통와해 현상은 진입하는 차량들로 인해 진출하는 차량이 진출하지 못하고 본선 1차로에서 감속하면서 교통와해가 시작된 것으로 보여진다. 또한, 교통와해 발생 후 통과 또는 진입교통량보다 진출하는 교통량이 많아 엇갈림전구간으로 교통와해의 영향이 전이되는 것으로 판단된다.

각각의 차로의 교통류의 진행방향 특성을 보면, 엇갈림구간의 본선 1차로는 대부분 본선으로 진입하거나 연결로로 진출하는 차량들이며 직진하는 통과차량은 진출하거나 진입하는 차량들에 비해 확연히 적은 것으로 나타나는 반면, 본선 2차로 차량들의 진행방향 특성은 대부분이 직진하는 통과차량들이며 이러한 결과는 시공간도를 통해 알 수 있다.



<그림 6> 분석대상구간의 차로별 시공간도

IV. 교통와해 발생 특성 분석

1. 교통와해 현상 분석

1) 시간에 따른 개별차량 속도변화추이

본 연구에서는 교통류 특성분석에서 교통와해가 발생한 구간과 시간이 엇갈림구간과 3,000초-3,200초 사이에 발생했음을 거시적으로 확인하였고, 시공간도 분석을 통하여 교통와해가 발생한 차로가 1차로에서 발생했음을 거시적으로 확인할 수 있었다. 교통와해 발생지점을 더 정확히 찾기 위해서 먼저, 지점별 시간에 따른 개별차량 속도변화추이를 분석하고자 한다. 분석대상구간은 Baltimore Washington 1차로 엇갈림구간을 100ft 단위로 세분화하였고 각각의 지점을 비교분석하였다.

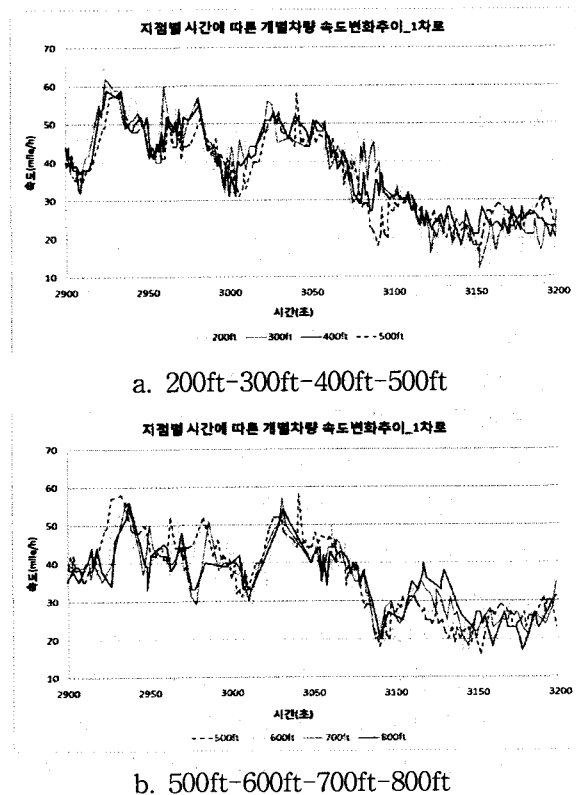
1차로의 데이터를 분석하면 <그림 7a>의 400ft와 500ft지점에서는 3,050초 이후에 속도가 감소하는 것을 볼 수 있고 200ft와 300ft지점에서는 3080초 이후에 속도가 감소하는 것으로 보이며 500ft, 400ft, 300ft, 200ft지점 중 500ft지점에서 가장 급격한 속도변화가 나타났으며, 이러한 현상으로 보아 네 지점 중 500ft지점에서

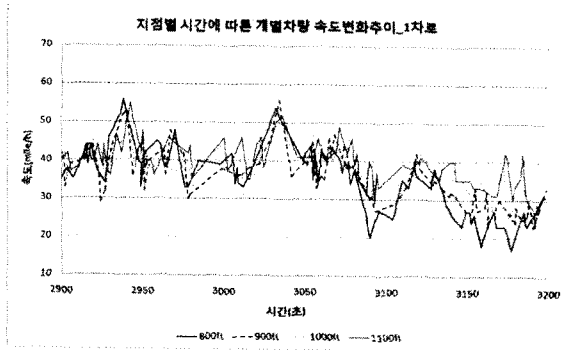
교통와해의 영향이 가장 먼저 나타난 것으로 판단된다.

<그림 7b>에서는 500ft를 제외한 600ft, 700ft, 800ft지점에서 3,030초에 속도가 감소하는 것으로 나타났으며 3,050초에서 3,070초사이 약 20초 동안 40mile/h를 기준으로 진동하다가 다시 감소하는 패턴을 나타냈다. 교통와해의 정확한 지점을 찾기 위해서 네 지점의 속도변화를 비교해 보았지만 500ft, 600ft, 700ft, 800ft지점의 데이터가 혼재해 있어서 정확한 지점을 판단하기에는 어려움이 있는 것으로 분석되었다.

<그림 7c>를 보면 3,030초 이후 속도가 감소하여 회복되지 않았고 3,050초에서 3,070초사이 약 20초 동안 진동하는 패턴을 볼 수 있고 800ft, 900ft, 1,000ft, 1,100ft지점 중 800ft지점에서 가장 큰 폭의 속도변화를 보였으며 이러한 현상으로 보아 네 지점 중 800ft지점에서 교통와해의 영향이 가장 먼저 나타난 것으로 판단된다.

1차로의 지점별 시간에 따른 개별차량 속도 변화추이 분석 결과 1차로의 교통와해 발생 지점은 500ft지점에 800ft지점 사이에 발생하였으며 교통와해 발생 시점은 3,030초에서 3,070초 사이에 발생했을 것으로 추정되었다.





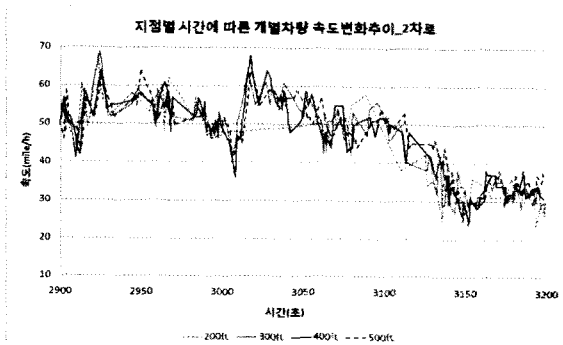
c. 900ft-1000ft-1100ft-1200ft

<그림 7> 1차로 지점별 시간에 따른 개별차량 속도변화추이

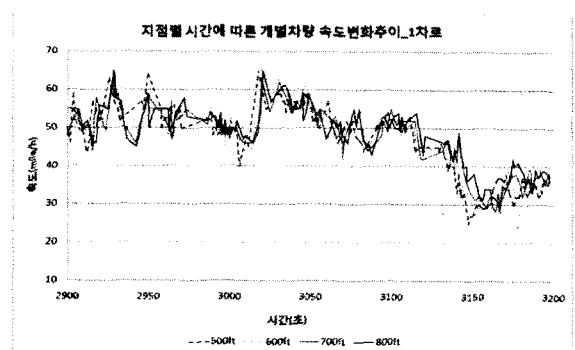
2차로의 지점별 시간에 따른 개별차량 속도 변화추이를 보면 <그림 8a>에서는 3,020초 이후 속도가 감소하여 회복되지 않는 것으로 나타났으며 3,020초에서 3,100초까지는 비교적 천천히 속도가 줄어들다가 3,100초 이후 3,150초까지 빠르게 속도가 변화하는 것으로 나타났으며 3100초 이후의 200ft, 300ft, 400ft, 500ft 지점 순으로 속도가 떨어졌다.

<그림 8b> 역시 3,020초 이후 속도가 떨어져 회복되지 않았고 3,130초에서 3,160초 사이에 속도가 급격히 줄어들었으며 500ft, 600ft, 700ft, 800ft 순으로 속도가 떨어졌다.

2차로의 지점별 시간에 따른 개별차량 속도 변화추이 분석 결과, 2차로는 속도가 급격히 떨어지는 3,100초에서 3,160초 사이에 교통와해의 영향이 나타났으며 200ft 지점에서 가장 먼저 속도 변화가 나타났으므로 교통와해의 영향이 처음 나타난 지점은 200ft 지점 전 구간에서 나타났을 것으로 추정되었다.



a. 200ft-300ft-400ft-500ft



b. 500ft-600ft-700ft-800ft

<그림 8> 2차로 지점별 시간에 따른 개별차량 속도변화추이

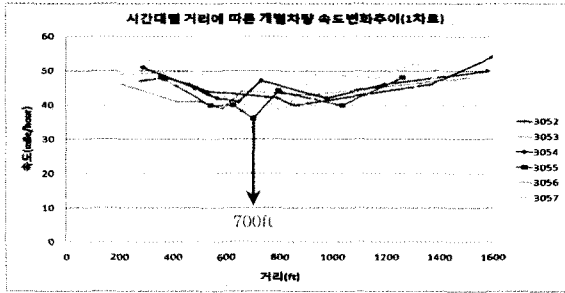
2) 거리에 따른 개별차량 속도변화추이

1차로의 지점별 시간에 따른 개별차량 속도 변화추이의 분석을 통해서 500ft와 800ft 사이와 3,030초~3,070초 사이에 교통와해가 발생했을 것으로 판단되어 시간별 거리에 따른 개별차량 속도변화추이의 시간 상 분석범위는 3,000초 ~ 3,100초 사이로 결정하였다.

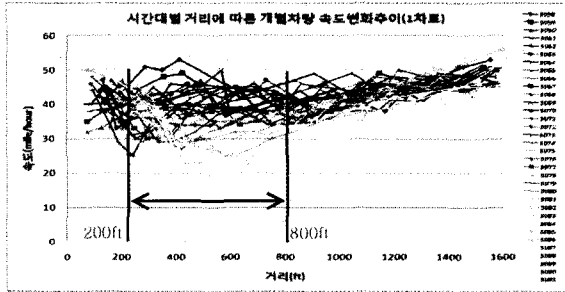
<그림 9a>는 3,052초에서 3,057초 사이에 있는 개별차량들의 거리에 따른 속도의 변화를 보여주는 그림으로써, 3,052초에서 3,054초 데이터는 40mile/h 이상의 속도로 변화가 적은 반면 3,055초 데이터에서 700ft 지점에서 속도가 큰 폭(49mile/h→35mile/h)으로 떨어지며 3,055초 후 시간의 데이터들 역시 속도가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상으로 보아 3,055초에 700ft 지점에서 교통와해가 시작된 것으로 판단된다.

<그림 9> b, c를 보면, 3,055초에 교통와해가 발생한 후 3,091초까지 최저 속도 지점이 200ft 지점에서 800ft 지점까지 약 600ft 간격으로 변화하면서 이동하는 패턴을 보였다. 그 후 3,092초에 500ft 지점에서 최저 속도를 보였고 이 후 시간에는 500ft 지점 근처에서 지속적으로 머물러 있는 것으로 분석되었다. 3,056초에서 3,091초까지의 데이터들은 교통와해가 진행되는 단계인 것으로 판단되며 3,092초 이후 500ft 지점에서 교통와해가 완성되어 정체교통류로 전이 되는 것으로 판단된다.

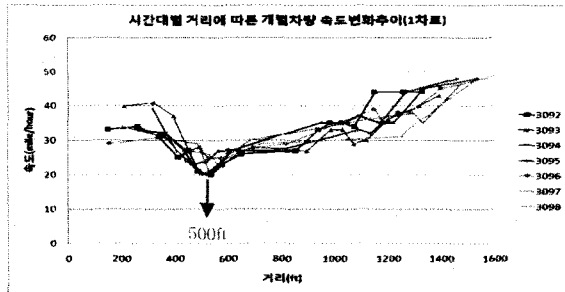
500ft 지점 전 구간에서는 속도가 떨어지고 이후 구간에서는 속도가 높아지는 현상 또한 교통와해로 인해 나타나는 현상으로 보여 진다.



a. 3052초~3057초



b. 3058초~3091초



c. 3092초~3098초

<그림 9> 시간대별 거리에 따른 개별차량 속도변화추이(1차로)

2차로의 지점별 시간에 따른 개별차량 속도 변화추이의 분석을 통해서 200ft 전구간과 3,130초~3,160초 사이에 교통와해가 발생했을 것으로 판단되어 시간별 거리에 따른 개별차량 속도변화추이의 시간 상 분석범위는 3,100초 ~ 3,190초 사이로 결정하였다.

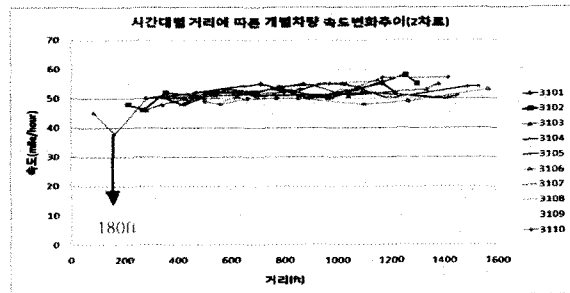
<그림 10a>의 3,101초에서 3,109초 데이터는 40mile/h 이상의 속도로 변화가 적은 반면 3,110초 데이터에서 180ft 지점에서 속도가 40mile/h이하로 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상으로 보아 3,110초에 180ft 지점에서 교통와해가 시작된 것으로 판단된다.

<그림 10b>를 보면, 3,110초에 교통와해가 발생한 후 3,135초까지 최저 속도 지점이 모두 200ft 전 구간에서 나타나는 패턴을 보였다. 이

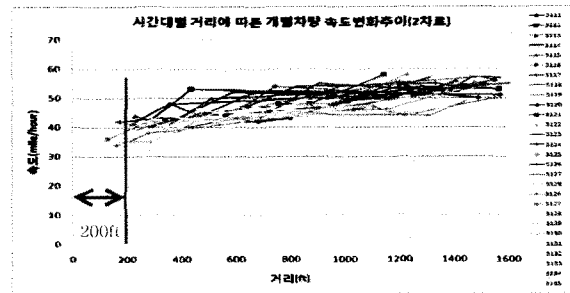
는 2차로의 교통와해 진행단계가 200ft 전구간에서 이루어진 것으로 추정되며 200ft 전구간의 데이터 부족으로 인해 1차로와 같은 구체적인 진행 범위는 확인하지 못하였다.

<그림 10c>의 3,136초에서 3,143초 사이의 데이터는 3,136초에 200ft 지점에서 최저 속도를 보였고 이후 시간에는 200ft-300ft 지점 사이에 지속적으로 머물러 있는 것으로 분석되었다. 3,136초 이후 200ft-300ft 지점 사이에 교통와해가 완성되어 정체교통류로 전이되는 것으로 판단된다.

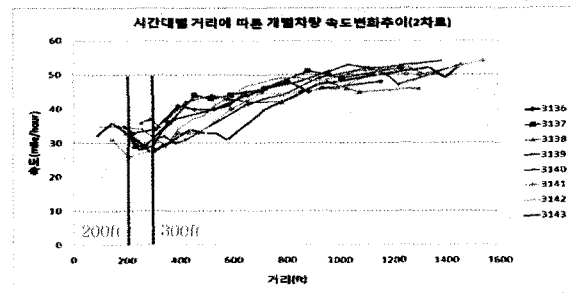
200ft 전 구간에서는 속도가 떨어지고 이후 구간에서는 속도가 높아지는 현상 또한 교통와해로 인해 나타나는 현상으로 보여 진다.



a. 3101초~3110초



b. 3111초~3135초



c. 3136초~3143초

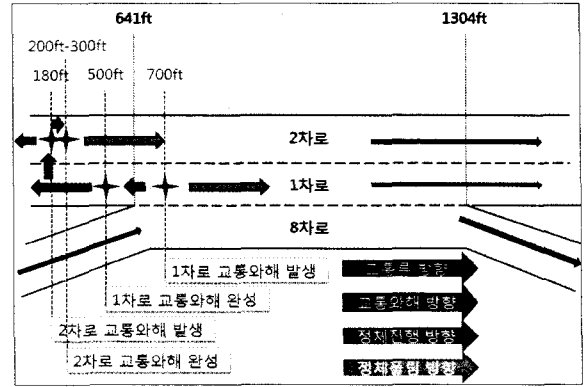
<그림 10> 시간대별 거리에 따른 개별차량 속도변화추이(2차로)

2. 차로별 교통류 전파과정 분석

본 연구에서는 거리에 따른 개별차량 속도변화추이 분석에서 1차로는 3,055초에 700ft지점에서 처음 교통와해가 발생되어 3,056초에서 3,091초까지 진행과정을 거치면서 3,092초 500ft 지점에서 교통와해가 완성된 것을 확인 하였고, 2차로는 3,110초에 180ft지점에서 교통와해가 발생하여 3,111초에서 3,135초까지 진행과정을 거치면서 3,136초에 200ft에서 300ft지점에서 교통와해가 완성됨을 미시적으로 확인할 수 있었다. 2차로의 교통와해는 1차로의 교통와해보다 55초 뒤에 발생하였으며 발생지점 또한 1차로의 교통와해 발생지점 상류부 방향으로 520ft 뒤에 발생하였으며 교통와해의 완성 또한 2차로가 1차로보다 44초 후와 200ft 뒤에 완성되었다. 이러한 결과는 1차로 700ft지점에서 먼저 발생한 교통와해로 인해 1차로 200ft지점까지 정체가 진행되어 1차로 정체교통류에 속한 차량들이 200ft지점 근처에서 2차로로 차로변경을 하여 2차로의 교통류에 영향을 주어 2차로의 교통와해가 발생한 것으로 추정된다. 1차로의 교통와해와 2차로의 교통와해 모두 세 단계(발생-진행-완성)의 과정을 거쳐 나타났지만 1차로는 교통와해 발생지점 상류부에 교통와해가 완성되었지만 2차로는 교통와해 발생지점 하류부에 교통와해가 완성된 것과 교통와해 완성지점이 이 1차로에서는 500ft 근처로 비교적 정확한 지점을 나타내었지만 2차로 교통와해의 완성은 200ft에서 300ft지점 사이로 100ft 간격의 구간으로 나타난 것이 1차로와 2차로 교통와해의 차이점으로 판단된다.

<표 2> 엇갈림 구간의 교통와해 발생과정

구 분		엇갈림전 구간	엇갈림 구간	엇갈림후 구간
교통와해 발생 시점 및 위치	1차로	미발생	3,055초에 700ft 지점에서 발생	미발생
	2차로	3,110초에 180ft 지점에서 발생	미발생	미발생
교통와해 완성 시점 및 위치	1차로	3,092초에 500ft 지점에서 완성	미발생	미발생
	2차로	3,136초에 200ft-300ft 지점에서 완성	미발생	미발생



<그림 11> 시간대별 거리에 따른 개별차량 속도변화추이(2차로)

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구는 개별차량에 대한 미시적 분석이 가능한 고속도로의 실제 항공사진자료를 분석함으로써 교통와해 발생시 고속도로-엇갈림구간의 교통류 특성을 차로별로 분석하여 교통와해에 대한 정확한 이해와 발생과정을 제시하였다.

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

엇갈림구간에서 연결로 차량의 진입에 따른 본선 차량들의 차로변경과 가감속 행태들이 시공간도를 통하여 관측되었다. 개별차량 데이터 분석을 통하여 차로별 교통와해 현상의 발생시점 및 지점을 시간, 거리에 따른 개별차량 속도변화추이 그래프 활용하여 제시하였으며 교통와해 발생 메커니즘이 김상구와 김영춘(2007) 연구에서 제시한 합류구간 교통와해 특성과 같은 3단계(시작, 진행, 완성)로 구분됨을 확인하였다.

본 연구에서 분석한 Baltimore Washington 지점의 1차로 교통와해는 3,055초에 700ft지점에서 처음 발생하였으며(시작단계) 이후 37초간 200ft 지점에서 800ft지점까지 약 600ft 구간에서 변화하다가(진행단계) 3,092초 이후 500ft 지점에 머물러있는(완성단계) 현상을 보였으며, 2

차로의 교통와해는 3,100초에 180ft지점에서 처음 발생하였으며(시작단계) 이후 26초간 200ft 지점 전까지 변화하다가(진행단계) 3,136초 이후 200ft-300ft 구간에 머물러있는(완성단계) 현상을 보였다. 또한 1차로에서 발생한 교통와해로 인한 정체교통류가 2차로로 차로변경을 하면서 1차로에서 2차로로 교통와해가 전이되는 현상을 확인하였다. 또한, 2차로의 교통와해 현상은 1차로와 같은 3단계(발생-진행-완성)를 거쳐 이루어지지만 발생에서 완성되는 위치의 방향이 서로 다른 것으로 확인되었으며 완성단계의 지점 역시 1차로는 500ft 지점, 2차로는 200ft-300ft 구간으로 다른 특성을 나타냄을 확인하였다.

본 연구는 혼잡교통류 상태의 엇갈림구간에 대한 미시적 분석을 수행하여 교통와해 발생 현상에 대한 정밀한 분석과 차로별 교통류 전과과정을 면밀히 분석하였으며, 이는 연속류 엇갈림구간의 반복정체로 인한 개별차량의 미시적인 교통류 특성을 제시함으로써 유비쿼터스 환경하에서 구현 가능한 교통정체 형성 알고리즘을 개발할 수 있는 기초이론을 제공하는데 그 의의가 있다.

향후에는 본 연구에서 사용한 분석방법론을 이용하여 고속도로 교통와해가 발생하는 다양한 도로 및 교통조건에서의 분석이 추가로 필요하고, 이로 인해 유비쿼터스 환경에서 구현 가능한 고속도로의 정체 메카니즘을 구현하는 알고리즘 개발이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 2006년 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 현재 수행중인 “u-연속류 운영관리 알고리즘개발”의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

1. 대한교통학회(2004) “도로용량편람”, p49-55.
2. 유경수(1988), “고속도로 위빙 구간의 교통행태에 대한 경험적 분석”, 대한교통학회지, 제6권 제1호, p17-31.

3. 이승준, 이정도, 최재성(1999), “확률모형을 이용한 엇갈림 구간의 교통류분석”, 대한교통학회지 제17권 제5호, p137-149.
4. 김상구, 김영춘(2007), “차로별 교통류 상호영향에 따른 고속도로 합류부 교통와해 특성분석에 관한 연구”, 대한교통학회지 제25권 제2호, p73-81.
5. Drew, D. R.(1968) “Traffic Flow Theory and Control”, McGRAW-HILL, pp 217-218.
6. FHWA(1985) “Freeway Data Collection for Studying Vehicle Interactions (Technical Report)” FHWA/RD-85/108.
7. Hall, F.L., and Agyemang-Duah, K.(1991), “Freeway Capacity Drop and the Definition of Capacity,” Transportation Research Record 1320, TRB, pp.91-98.
8. TRB(2000), Highway Capacity Manual, Fourth Edition.