

■ 論 文 ■

지방부 고속도로-유출부 구간의 정상류 교통특성 규명 및 교통분포 모형식의 개발

Analysis of stable flow traffic characteristics to develop spatial distribution models for freeway-diverging sections

최 재 성

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

김 병 성

(서울시립대학교 교통공학과 석사)

목 차

I. 서론	1. 실측치와 예측치의 비교
1. 연구의 배경 및 목적	2. 실측치와 예측치의 유의성 검토
2. 연구의 범위 및 연구수행 방법	3. 시뮬레이션의 검증
II. 기존 연구 및 관련문헌 고찰	V. 서비스 수준 분석
1. 연결로의 분석 방법론	1. 차로별 교통량 분포 모형식
2. 연결로 구간의 교통류 특성	2. 기존 분석방법과의 서비스 수준비교
III. 교통류 특성 및 상호작용 규명	VI. 결론 및 향후 연구과제
1. 자료수집 및 방법	1. 결론
2. 유출부 구간의 교통 특성 규명	2. 논문의 한계점
3. 유출 연결로 구간의 교통량 분포	3. 향후 연구과제
IV. 교통분포 모형식 개발	참고문헌

Key Words : 유출부 구간, 미시적인방법, 교통특성 규명, 교통분포 모형식, 서비스 수준

요 약

고속도로-연결로는 두 개의 교통흐름이 서로 상충되는 지점으로서 복잡한 교통행태를 나타내고 고속도로 구간 중 용량저하 및 교통와해현상, 난류현상이 일어나는 구간으로서 운영상 문제점이 많이 일어나고 있는 상태이다. 이 구간에서의 운영상태가 전체 시설물의 운영상태에 큰 영향을 끼친다는 점을 감안할 때, 이 구간의 국내 자료를 토대로 한 교통류 분석은 중요한 의미를 가진다. 따라서, 교통행태에 대한 미시적인 분석이 이루어지지 않은 상태로 기존의 HCM 모형과 같은 거시적인 분석 방법만을 가지고는 분류구간 교통현상을 규명하기 어렵다. 본 연구에서는 기존 연구들 분석방법의 문제점을 해결하기 위해, 고속도로-연결로 구간 중 유출부 구간을 대상으로 현장조사를 실시하였고, 지점(구간)과 차로로 세분하여 미시적인 방법으로 교통특성을 규명하였다. 또한 유출부 구간의 여러 지점에서 지점 및 차로별 교통량을 예측할 수 있는 교통분포 모형식을 개발하였다. 정립된 교통분포 모형식을 적용해 본 결과 유출부 구간의 분석 및 서비스 수준의 평가는 연결로 접속차로(V1)의 교통량만을 고려하여 분석하는 것은 합리적이지 않고, 연결로나 본선 모두와 진입부를 포함한 연결로 전체를 다 고려해야 한다는 것을 알 수 있었다.

미시적인 분석방법을 통한 차로별 교통분포 모형식은 기존 분석방법과 비교하여 더 정확하게 그리고 폭 넓은 분석 및 적용하기에 손쉬운 모형이라는 점에서 상당히 효과적인 분석방법이라고 할 수 있다. 하지만, 본 연구의 결과는 한 조사지점에 대한 적은 자료를 토대로 하였기 때문에 실제적용 가능성에서 향후 보강할 필요가 있으며, 다른 지점의 현장조사와 세밀한 비교연구가 필요하다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

연결로 구간은 교통 상충이 극심한 지역으로서 교통행태에 대한 미시적인 분석이 이루어지지 않은 상태로 기존의 HCM 모형과 같은 거시적인 분석 방법만을 가지고는 교통현상을 규명하기 어렵다. 왜냐하면, 연결로 교통류의 영향은 본선 접속 차로의 특정 부근만이 아닌 연결로 전체에 미치므로, 연결로 구간의 교통류 분석이나 서비스 수준의 결정 과정에서 연결로 접속차로(V_1)의 교통량만을 고려하여 분석하는 것은 합리적이지 않다.

본 연구에서는, 유출부 구간을 지점 및 차로로 세분하여 미시적인 방법으로 유출차량으로 인한 본선 교통특성을 규명하고, 교통분포 모형을 개발하였다. 또한 유출부 구간 교통류 행태의 모형성립을 위한 분석적인 기법을 제공하고, 개별차량에 대한 공간적인 분포와 차로변경 행태를 예측하여 유출부 구간의 운영상태 및 여유용량을 알아보고, 더불어 이 구간의 교통류 서비스 수준을 평가하는데 이 연구의 목적이 있다.

2. 연구의 범위 및 연구수행 방법

본 연구의 수행범위 및 접근방법은 다음과 같다.

- 연구 대상

고속도로-연결로 구간 중 유출연결로 구간을 대상으로 하였다. 일반적으로 유출연결로 구간은 평행식과 직접식이 있는데, 본 연구의 범위는 직접식구간을 대상으로 하였다.

- 기존 연구의 검토

고속도로-연결로 구간에 대한 분석방법론 중 한국도로용량편람, USHCM 2000, 캘리포니아 근사해법에 대해 살펴보고 연결로 구간의 교통류 특성을 살펴보았다.

- 유출연결로 구간의 교통류 특성 규명

유출연결로 구간에서 차량들의 차로변경이나 속도변화 등으로 인해 발생하는 교통행태의 특성분석을 모색하였다.

- 교통분포 모형식 개발

현장조사를 통해 구간별 교통 분포비율을 알아보고, 이에 따른 차량들의 공간적 분포를 예측할 수 있는 교통분포 모형식을 개발하였다. 여기서 제시하는 모형은 미시적인 방법으로 본선-본선 교통량과 본선-유출부 교통량으로 교통흐름을 구분하고(O-D 구분), 각각의 교통흐름을 차로와 거리당으로 구분하여 교통량의 분포를 알아보았다. 또한, 교통 분포를 통해서 차로변경 비율도 계산하였다. 모형식은 적용하기 편리하고 쉽게 이해할 수 있도록 하였다.

- 서비스 수준 분석 및 기존 방법과의 비교

유출부 구간을 차로 및 구간별로 세밀하게 구분하여, 차로별 용량 산정 및 연결로 구간의 서비스 수준을 분석하였다. 또한, 기존 방법과의 비교를 통해서 연결로 구간의 운영상태를 가장 잘 표현 할 수 있고, 사용자가 쉽게 적용할 수 있는 효과적도를 알아보았다.

II. 기존 연구 및 관련문헌 고찰

1. 연결로의 분석 방법론

1) USHCM 2000

USHCM 2000에서의 분석방법론은 세 가지 단계로 하고 있다. 첫째로, 합류영향지역(V_{12}) 상류부 또는 유출부의 감속차로의 시작지점에 즉시 진입하는 차로 1, 2의 교통량을 결정한다. 둘째로, 임계 용량값을 결정하고 교통와해의 가능성을 결정하기 위해 기존 또는 예상되는 교통량과 비교한다. 마지막으로, 영향권 안에서의 교통 밀도(D_R)와 서비스 수준(S_R)을 결정한다. 여기서, USHCM은 그 이전이나 한국도로용량편람('92 KHCM)과 비교할 때 여러 가지 차이점이 있는데 접합부를 지점이 아닌 공간상의 합류·분류로 인식하고 합류·분류에 의한 접합부 영향권을 설정했다는 것이다. 또한 서비스 수준의 판정에 교통량 대신 밀도 및 속도변수를 채택했다는 것이 다른 점이다.

2) 한국도로용량편람('92 KHCM)

한국도로용량편람은 운영상태를 분석하기 위해서 분석대상 구간의 확인점에서 조사된 15분 교통량을 토대로 침두시간 교통량을 파악한다. 이때 승용차 환

산계수(PCE)는 고속도로 기본구간의 값을 사용하며, 환산된 첨두시간 승용차 교통량을 바탕으로 서비스 수준을 판정한다. 한국도로용량편람은 가·감속차로의 유무를 따지지 않으며, 지점에서 접속으로 인한 식을 적용하고 본선 외측 1개 차로의 교통량(V_1)만을 고려한다.

3) 캘리포니아 근사해법(California Method)

이 기법은 주어진 지점에서의 각 램프교통량 움직임과 직진 교통량이 차로 1의 교통량에 포함되는 양을 추적하여 분석하는 방법이다. 이 근사해법은 1960년대 초에 캘리포니아에서 개발되고 검증된 방법이며 서비스 수준 D 부근의 교통량에서 가장 잘 적용되며 그 밖의 서비스 수준에서는 부정확한 결과를 보인다고 알려져 있다.

4) 한국도로용량편람(2001 KHCM)

USHCM 2000과 동일하게 합류·분류에 의한 접합부 영향권의 밀도 예측식으로 산출된 값을 이용하여 서비스수준 분석한다. 또한, 개정된 고속도로 기본구간의 용량과 동일하나 제시되어 있지 않은 자유속도 90kph와 110kph에 대해서는 보간법을 적용하여 제시하고 있다.

2. 연결로 구간의 교통류 특성

1) 차로변경

연결로를 진출입하는 차량에 대한 본선 주행 차량의 반응은 크게 감속과 차로변경이 있다. 차로변경의 대부분은 본선의 고속차량이 연결로의 저속차량과의 마찰을 피하기 위한 것인데, 차로변경을 하지 않으면 감속이 불가피해지기 때문이다. 연결로 합류부나 유출부에서 발생하는 마찰을 피하기 위한 본선 차량의 차로변경은 그 정도에 있어서 일반적으로 고속도로 기본구간의 차로변경보다 더 잦다고 할 수 있다.

2) 난류현상

교통류의 상태변화가 급격하게 발생하는 구간 중 하나가 연결로 접속구간이라 할 수 있다. 연결로 접속구간은 차량의 합·분류로 인해 차로변경 및 가·감속행태가 발생되고 이러한 불규칙적인 행태는 교통

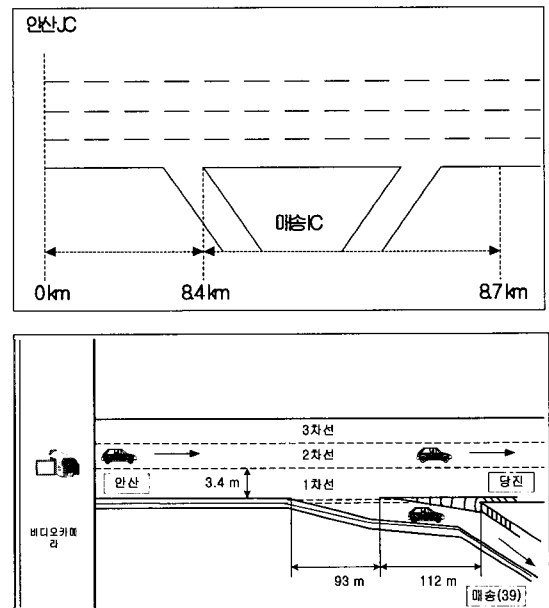
류의 난류현상을 발생시키는데 난류는 차량간의 상호작용으로 발생하는 연속류의 상충이다.

III. 교통류 특성 및 상호작용 규명

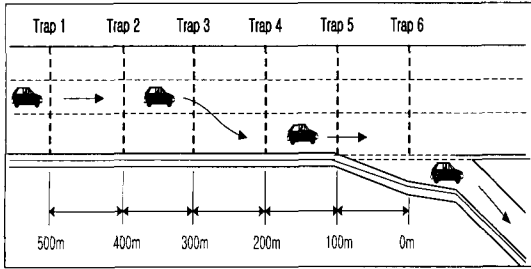
1. 자료수집 및 방법

1) 조사구간 선정 및 조사방법

본 연구에서 유출부 구간의 교통류 특성 및 차량들의 공간적 분포를 파악하기 위해서 실측 자료가 필수적이다. 조사대상지는 서해안고속도로 매송 I.C 구간으로 선정하였다. 이 구간은 본선 3차로와 연결로 1차로로 되어있는 구간이다. 현장조사방법은 검지기(NC-97) 설치의 어려움으로 인해 비디오 촬영을 하였다. 감속차로 변이구간이 시작하는 구간으로부터 100m간격으로 구간을 나누어서 상류부 500m까지 범위로 잡았다. <그림 1>과 <그림 2>은 현장조사 지점과 조사방법을 보여주고 있다. 촬영은 11:00 am 부터 1:00 pm 까지 2시간동안 하고 비디오 분석을 용이하게 하기 위해 100m 간격으로 도로 위에 노면표시를 하였다. 하지만, 이러한 조사방법으로 수집된 자료는 수집지점수 상의 한계와 짧은 시간동안 수집한 자료수의 부족은 논문의 취약점으로 나타나고 있다.



<그림 1> 현장 조사 지점 기하구조



〈그림 2〉 조사구간의 관찰지점 구분도

2) 자료수집 내용

현장조사를 통해서 수집한 자료를 열거해 보면 다음과 같다.

- 고속도로 교통량, 램프 교통량(5분 교통량)
- 속도, 속도 표준편차
- 개인차량들의 궤적
- 차로변경, 밀도

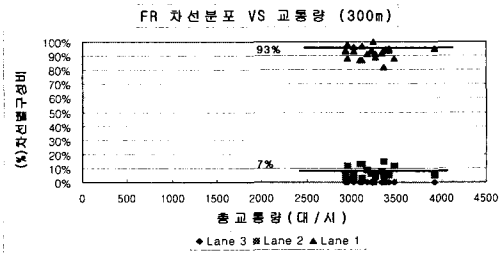
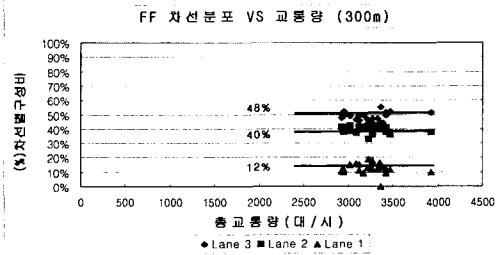
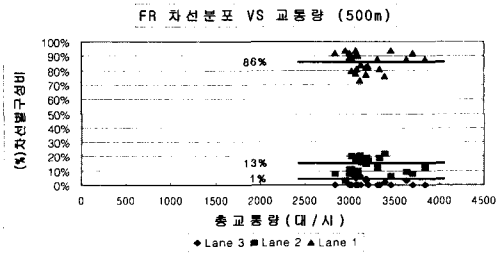
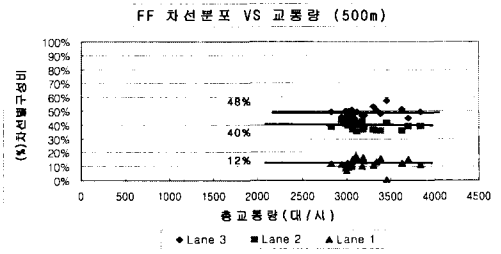
2. 유출부 구간의 교통 특성 규명

현장조사를 통해서 얻어진 자료들을 바탕으로 유출부 구간의 교통특성을 규명하고 각각의 변수에 대한 상호관계를 살펴보았다.

1) 총교통량 - 교통량 분포 관계

차로별과 각 구간별 교통량 분포를 알아보기 위해서 전체교통량에 대한 관계를 살펴보았다. 본선 교통량은 유출차량으로 인한 행동제약을 피하기 위해 길어깨 차로보다는 중앙분리대쪽 차로를 많이 이용하는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 대부분의 구간에서 거의 변하지 않는다. 반대로, 유출 교통량은 차로1을 더 많이 이용하는 것을 알 수가 있다. 전체적인 교통량을 살펴보면 1차로¹⁾의 경우 매우 낮은 교통량 수준을 보이는데 이는 연결로 차량의 분류를 예상하여 분류차로인 1차로를 기피하기 때문인 것으로 보여진다. 〈그림 3〉은 지점 500m²⁾ 300m 지점을 나타낸 그림이다. 이 그림을 통해서 총교통량을 안다면 각 차로별로 본선 및 유출 교통량의 대략적인 (%)을 알 수가 있다. 이는 뒤에서 언급할 〈그림 6〉의 거리별 교통량의 분포와 밀접한 관련이 있음을 보여준다.

1) 길어깨에 인접한 차로를 차로1로 가정. 차로번호는 길어깨로부터 순차적으로 매김.
 2) 유출부 감속차로 변이구간이 시작되는 지점으로부터 상류부까지의 거리.



〈그림 3〉 총교통량에 대한 교통량 분포비율(%)

2) 교통량-차로변경 관계

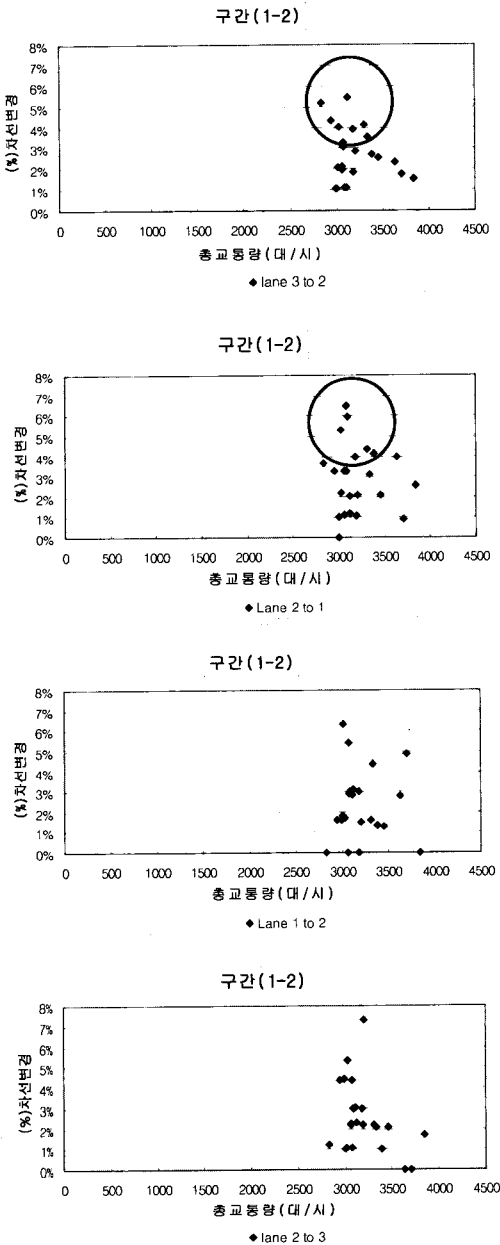
교통량 분포비율에서처럼 특정차로로부터 변경하는 차로변경 횟수를 전체교통량에 대해 알아보았다. 차로변경 행태는 lane 3to2, lane 2to1, lane 1to2, lane 2to3으로 구분하였다. 〈그림 4〉는 구간 1-2(500m-400m)에서의 차로변경 비율(%)을 나타낸다. 전체적으로 차로3에서 차로2, 차로2에서 차로1로 차로변경을 하는 차량이 많은 것을 알 수가 있다. 이는 차량

들이 길어깨 방향으로 움직이는 경향이 높다는 것을 나타낸다. 반면에 차로1에서 차로2로 차로변경을 하는 차량의 수는 다른 차로변경의 횟수에 비해 작은 데, 유출부로부터 멀리 떨어진 구간내에서 차로변경 하는 차량들은 본선차량들이 대부분 1차로를 회피하는 현상과 유출차량들이 미리 길어깨와 인접한 차로로 진입한 후 자기 차로를 유지하여 직선주행하기 때

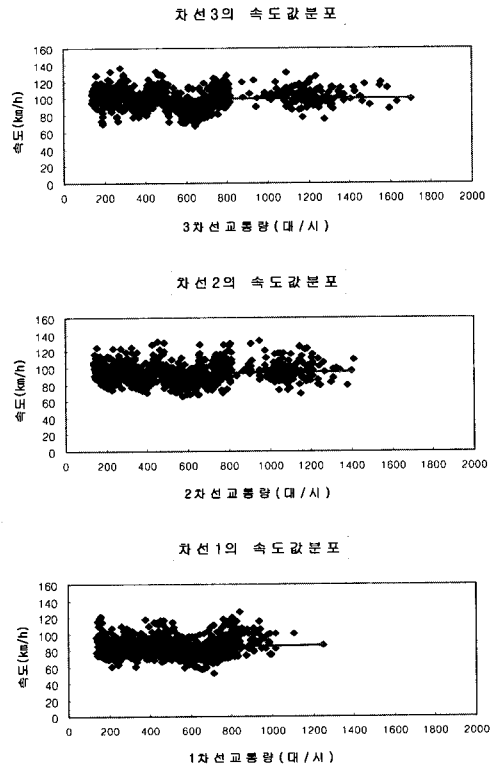
문에 적은 것으로 판단된다. 그림에서 보는 바와 같이, 차로변경이 일정한 규칙이 아닌 산발적으로 발생하고 있다. 이는 차로변경의 횟수가 교통량의 수준과는 관계없이 상당히 불규칙적으로 나타남을 알 수가 있다. 전반적으로 예외의 값이 있기는 하지만, 차로변경의 비율이 6%이하로 나오는 것을 볼 수가 있다. 이러한 차로변경 비율은 교통량분포 그래프와 연관하여 사용하면 전체교통량에 대한 대략적인 차로변경 횟수를 예측할 수 있다.

3) 교통량-속도 관계

속도 또한 미시적인 방법으로 구간별 및 차로별로 나누어서 조사했다. <그림 5>을 살펴보면 차로와 상관없이 교통량 증가에 따른 속도 감소량이 그다지 크지 않은 점이 두드러진다. 이러한 결과를 통해서 평균속도는 유출부 구간의 효과적도로써는 부적절하다는 것을 알 수가 있다. 3차로의 경우 교통량의 범위가 넓게 퍼져있고 자유속도가 높은 관계로 전반적으로 속도가 크게 나타나고, 1차로는 한정된 교통량의 수준과 중차량의 영향으로 속도가 감소한 형태로 나



<그림 4> 총교통량에 대한 차로변경 비율(%)



<그림 5> 차로별 교통량 대 평균속도

타고 있다. 차로별 평균속도값은, 3차로 100km/h, 2차로 90km/h, 1차로 80km/h로 나타난다.

4) 구간별 차로변경 횟수 및 속도 표준편차

차량들의 상충작용이 많이 일어나는 구간을 알아보기 위해서, 차로변경 횟수 및 속도표준편차를 살펴 보았다. 속도에 대한 분산은 교통류의 효율성과 안정성을 나타내는 지표이다. 즉, 표준편차가 크면 한 교통류 내에 속도의 범위가 넓으므로 추월, 따라잡음, 차로변경 등의 빈도수가 많아진다.

이는 짧은 구간에서 공간에 대한 수요증가로 인해 차로변경 집중으로 혼란이 발생하고 본선차량들은 유출하기 위해서 움직이는 유출차량으로 인하여 속도에 영향을 받고 이는 속도표준편차가 구간별로 다르게 나타난다. 따라서, 이러한 조사는 차량간의 상호작용으로 발생하는 연속류의 상충작용을 분석하는데 중요한 지표라고 할 수가 있다.

속도표준편차를 분석하기 위한 과정은 다양한 유출부 구간 중에서 높은 난류가 발생하는 구간의 확인과 이를 차로변경과 상호비교를 통해 유출부 구간의 상하류 특정지점으로서의 교통류 불안정 전도현상을 추적한다.

<표 1>과 <표 2>에서 볼 수 있듯이, 유출부로부터 먼 구간인 구간1-2와 2-3에서 차로변경의 횟수와 속도편차가 크게 나타나는데, 이 분석결과를 대체로 연결로의 상류에서 운전자들이 일찌감치 차로변경을 하

며, 본선차량들의 경우는 차로변경을 하고 나서, 진출차량이 본선을 떠나 유출램프로 진입하자마자 다시 자기 자리로 돌아온다는 것이 나타났다. 이러한 결과는 유출램프 근처가 교통류의 혼란과 무질서가 극심한 지역으로 상충작용이 많이 발생할 것이라는 생각과는 달리 차로변경 횟수가 연결로의 상류에서 많이 발생함으로써, 연결로 상류지역 구간이 불안정한 교통류의 상태 및 차량들의 마찰이 크다는 것을 알 수가 있다. 또한, 유출램프 진입구간(구간 5-6)에서의 차로변경횟수와 속도편차가 증가하는데, 이는 미처 1차로로 진입하지 못한 유출차량이 램프로 빠져나가려고 차로변경 및 비교적 짧은 거리에서 순간적인 감속 현상으로 인해 다른 차량들의 속도에 영향을 주거나 본선차량들이 유출부 구간을 벗어났다고 판단하여 가속을 한 결과로 보여진다. 이와 같은 현상은 <표 1>에서 차로2에서 1로 차로변경 횟수(80)가 다른 특정차로의 변경횟수보다 큰 값으로 나타나는 것을 통해 알 수가 있다. 따라서, 이 구간에서 다시 유출차량으로 인해 교통류가 불안정해 진다는 사실을 알 수가 있다.

이러한 구간별 차로변경과 속도편차 특성을 살펴볼 때 기본구간보다는 현저한 차로변경 발생은 교통류 불안정 상태인 혼란 및 난류현상의 주요원인으로 작용함을 알 수 있고 유출 차량으로 인한 난류현상은 모든 차선에 커다란 영향을 미치고 있다. 즉, 유출부 구간의 운영상태가 오직 1차로에서만 좌우되는 것이 아니라 2, 3차로도 어느 정도 영향을 준다는 사실을 통해 유출부 구간의 운영상태 분석 시 1차로만을 고려하는 것이 아니라, 나머지 차로도 함께 고려해야 한다는 것을 알 수가 있다.

5) 밀도

밀도 측정은 각 구간(100m간격)내에 존재하는 차량 수를 세어서 평균을 내었다. 밀도는 유출부 구간으로 가까워질수록 점차 증가하는 형태로 나타났

<표 1> 각 구간별 특정차로변경 횟수

차로별 구간	Lane 3 to 2	Lane 2 to 1	Lane 2 to 3	Lane 1 to 2	구간별 총합계
구간 1-2	66	64	54	35	219
구간 2-3	51	77	52	36	216
구간 3-4	57	55	47	36	195
구간 4-5	62	61	52	33	208
구간 5-6	64	80	35	46	225

<표 2> 구간 및 차로별 평균속도와 표준편차

(단위:km/h)

차선	구간(거리)	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
		(500m-400m)	(400m-300m)	(300m-200m)	(200m-100m)	(100m-0m)
차로1	평균속도	92.6	84.2	85.9	79.8	82.7
	표준편차	11.71	10.33	9.65	9.50	10.73
차로2	평균속도	98.3	95.2	94.6	86.0	94.7
	표준편차	10.46	10.01	9.85	9.31	10.71
차로3	평균속도	103.2	103.4	99.8	90.7	98.7
	표준편차	9.08	9.93	8.8	8.8	9.7

〈표 3〉 구간 및 차로별 평균밀도

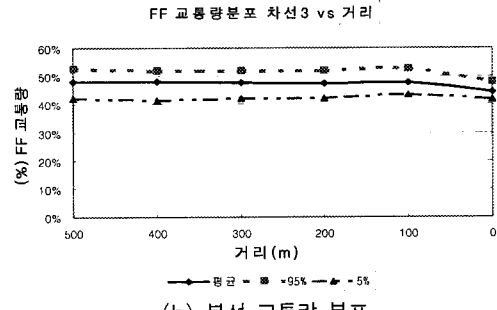
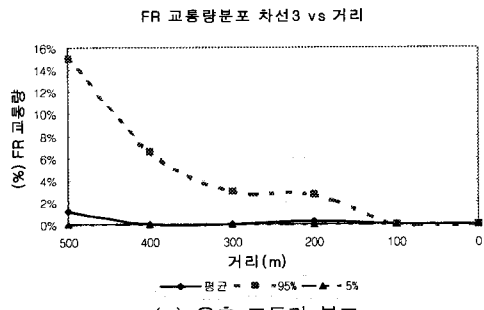
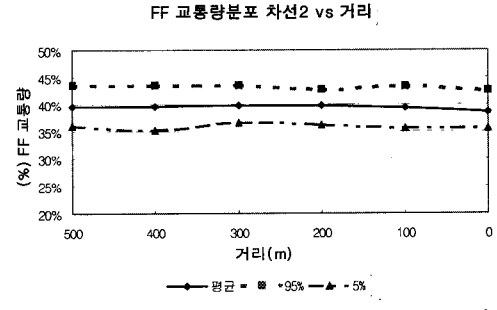
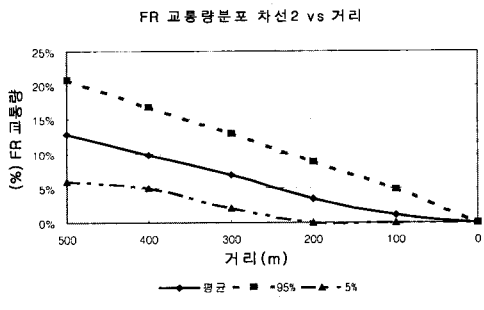
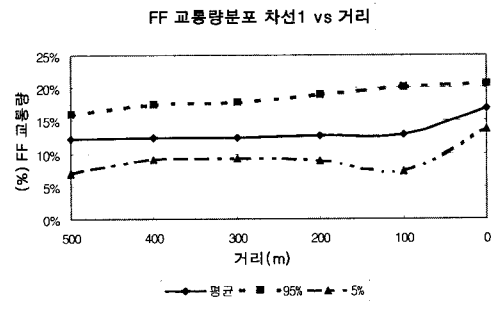
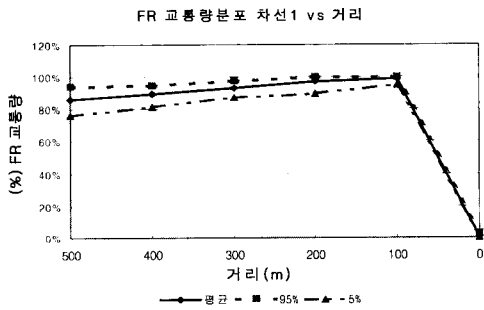
(단위:대/km/차로)

구간(거리)	1-2(500m-400m)	2-3(400m-300m)	3-4(300m-200m)	4-5(200m-100m)	5-6(100m-0m)
차로1	8.7	9.8	9.8	10.9	10.6
차로2	11.7	12.0	12.0	12.9	11.3
차로3	12.1	12.2	12.4	13.4	12.2

데 구간 5-6에서는 대부분 유출차량이 빠져나간 상태이므로, 본선차량들의 속도 증가로 밀도가 회복하는 것으로 나타났다. 특히 차로 중에서도 3차로 밀도는 다른 차로 보다 높게 관측됨을 볼 수가 있다. 이는 총교통량 중 본선교통량이 대부분을 차지하고 본선교통량의 분포가 3차로에 집중하므로 3차로의 밀도가 크게 나타난 결과로 분석될 수 있다.

3. 유출 연결로 구간의 교통량 분포

교통량 분포를 알아보기 위해서 평균 분포비율(%)을 유출부의 변속차로 고어로부터 거리별 및 차로별로 〈그림 6〉과 같이 표시를 하였다. 교통량 분포는 2가지 교통 흐름으로 구분하였고(본선, 유출교통량), 95%³⁾, 평균, 5%으로 세분화 시켰다. 이러한 그림은 차로



(a) 유출 교통량 분포

(b) 본선 교통량 분포

〈그림 6〉 FR(유출), FF(본선) 교통량의 분포

3) %는 percentile을 의미함.

및 특정구간에 따른 교통량의 분포변화 및 그 구간을 움직이는 차량의 대수를 예측할 수가 있다.

1) 시뮬레이션 및 타 모형과의 비교

현장조사 자료와 시뮬레이션 결과간 비교를 위해 <그림 6>의 교통량 분포비율(%) 실측치와 시뮬레이션 및 Level D Method 확장모형과 비교하였다. 시뮬레이션 및 타 모형과의 비교 목적은 현장자료의 검증 및 민감도 분석을 하기 위해서이다. 우선 시뮬레이션은 미시적 모델인 FRESIM을 사용하여 현장조사를 통해 얻어진 본선 및 램프구간의 자유속도, 도로조건(도로의 기하구조)과 교통조건(교통량, 중차량비율)을 프로그램에 입력하였다. 무엇보다도 개별차량들의 공간적 분포비율을 알기 위해서 현장조사에서 조사한 방법처럼 100m 간격으로 구분을 하고 지점별로 검지기(detector stations)를 사용하여 결과를 도출하였다.

Level D Method 확장모형은 Cassidy(1989)의 3명이 수행한 연구로써, 캘리포니아 지역 고속도로-위빙구간에 대해서 교통량의 분포비율을 알아본 것이다. 즉, 고속도로-위빙구간의 운영상태 분석 및 설계방법을 향상시키기 위해 수행된 작업으로, 제안된 분석방법은 위빙구간 차량들의 공간적 분포를 거리에 따라 예측한다. 따라서, 본 모형에서 제시한 개별차량

들의 공간적 분포와 Level D Method 확장모형과 비교를 하였다.

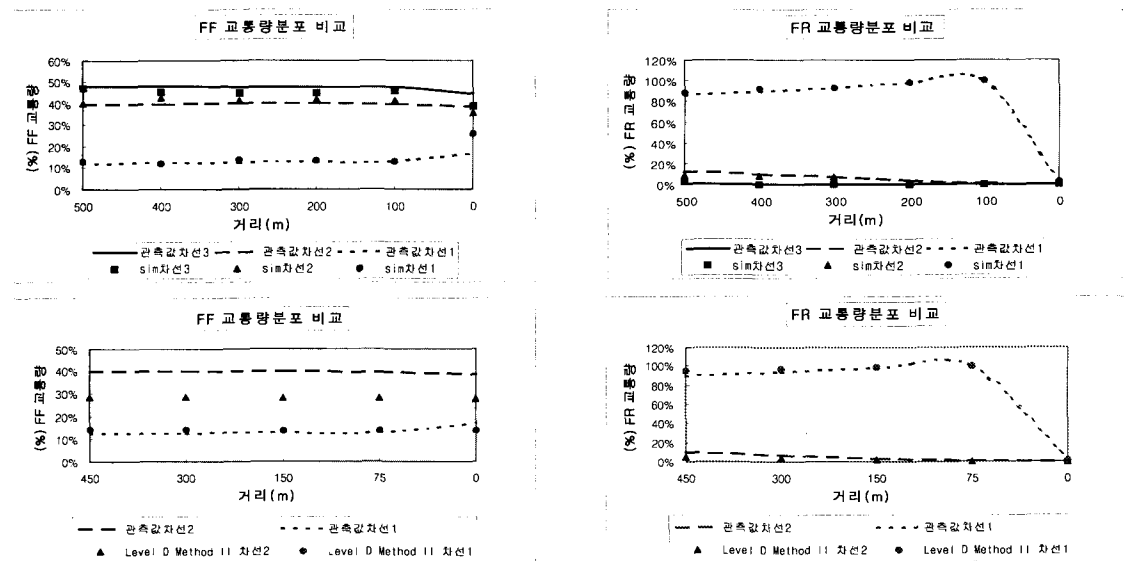
전체적으로 시뮬레이션 결과는 현장조사 결과와 유사한 값을 보이고 있다.

다만, 시뮬레이션 결과 중 0m 지점에서 차로1의 교통량이 증가하는데 이는 유출교통량이 빠져나갈 때 커지는 차두간격을 통해 시뮬레이션 모델 특성상 본선차량들이 차로1로 차로변경을 한 결과로 보여진다. 또한, Level D Method 확장모형에서 차로2의 본선 교통량이 약 10%정도 차이가 나는데, 이 모형은 길어깨에 인접한 두 개의 차로(차로1, 2)만을 고려하고 나머지 차로에 대해서는 고려하지 않았기 때문이다.

IV. 교통분포 모형식 개발

구간별 및 차로별 교통량을 추정하기 위해서 식(1)과 같은 회귀모형을 개발하였다. 회귀모형식의 매개변수를 추정하기 위해서 SPSS, SAS 등 통계프로그램을 이용하여 분석하였다.

차로별 교통량(V_{lane})을 종속변수로 하고 본선교통량(FI), 유출교통량(FR)을 독립변수로 하여 <표 4>와 같은 유출부 구간의 지점별 교통량 예측 모형식이 추정되었다.



<그림 7> 실측치와 교통량 분포비율(%) 비교

〈표 4〉 유출부 구간의 교통량 예측 모형식

■ 차로 1 (Lane 1)

지점 (m)	상수 (a)	b (FR의 계수)	c (FF의 계수)	R ² (R-square)
500	0	0.35	0.25	0.98
400	0	0.43	0.24	0.98
300	0	0.38	0.26	0.98
200	0	0.41	0.27	0.98
100	0	0.42	0.27	0.97
0	0	0.24	0.15	0.96

■ 차로 2 (Lane 2)

지점 (m)	상수 (a)	b (FR의 계수)	c (FF의 계수)	R ² (R-square)
500	0	0.30	0.39	0.98
400	0	0.35	0.38	0.99
300	0	0.46	0.36	0.99
200	0	0.38	0.37	0.98
100	0	0.23	0.39	0.99
0	0	-0.27	0.46	0.97

■ 차로 3 (Lane 3)

지점 (m)	상수 (a)	b (FR의 계수)	c (FF의 계수)	R ² (R-square)
500	0	0.40	0.42	0.99
400	0	0.38	0.42	0.99
300	0	0.34	0.42	0.98
200	0	0.34	0.42	0.98
100	0	0.42	0.40	0.98
0	0	0.09	0.43	0.96

적용범위 : 본선교통량(차로별) : 1550-3476 대/시/차로
 유출교통량 : 300-964 대/시

[거리당(m) 차로별(lane) 교통량(flow)]

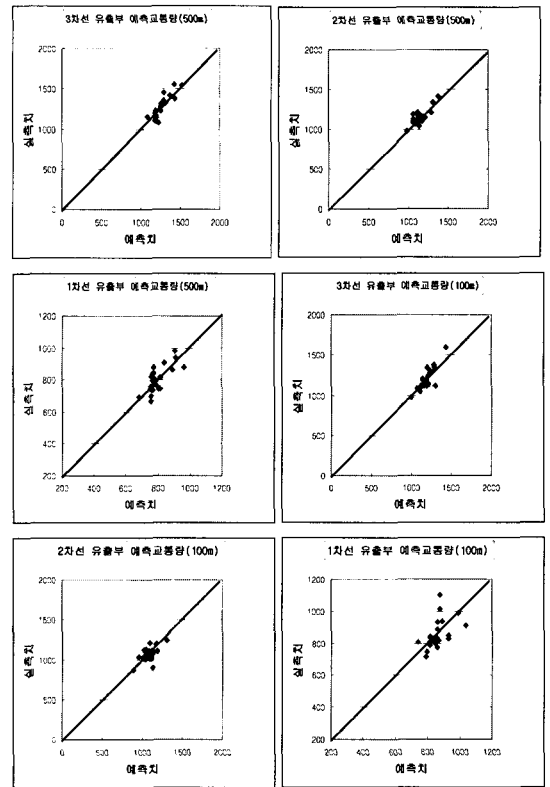
$$V_{lane} = a + bFR + cFF \quad (1)$$

여기서, (FR : 유출교통량, FF : 본선교통량)

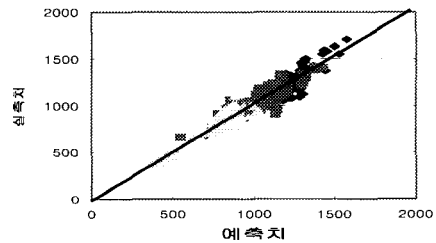
위의 상수값은 모두 0으로 되어있는데, 이는 상수(절편)가 있을 때, t 통계량을 이용한 모수(a)의 유의도 검정 시 Pr > |t|가 0.05 보다 큰 값을 나타내, 종속변수에 미치는 영향이 없으므로 절편값(y절편)은 삭제하였다.

1. 실측치와 예측치의 비교

앞에서 추정한 지점별 및 차로별 교통량의 예측치와 실측치의 비교는 〈그림 8〉와 같으며, 예측치가 실측치에 매우 근접하게 나타났다. 〈그림 8〉은 500m, 100m 지점에 대한 비교이다.



전 지점 예측치와 실측치 비교



〈그림 8〉 예측치와 실측치의 비교

2. 실측치와 예측식의 유의성 검토

예측치와 실측치를 비교하기 위해, 독립된 두 개의 표본집단간의 평균차이를 검정하는 분석방법인 T-test

<표 5> 유의성 검토 결과(유의수준 5%)

■ 구간 500m

통계값	3차로		2차로		1차로	
	예측치	실측치	예측치	실측치	예측치	실측치
평균	1256.57	1251.92	1134.99	1147.04	797.82	805.04
분산	10098.3	20538.4	8294.7	8550.5	4203.4	6423.2
관측수	23	23	23	23	23	23
가설 평균차	0		0		0	
t 통계량	0.1275		-0.445		-0.336	
t 기각치 단측 검정	1.68		1.68		1.68	

■ 구간 100m

통계값	3차로		2차로		1차로	
	예측치	실측치	예측치	실측치	예측치	실측치
평균	1191.59	1204.17	1081.82	1074.52	865.14	873.65
분산	8340.2	17968.7	7335.1	8135.7	4538.4	14821.3
관측수	23	23	23	23	23	23
가설 평균차	0		0		0	
t 통계량	-0.372		0.281		-0.293	
t 기각치 단측 검정	1.68		1.68		1.68	

를 사용하였다. 모든 지점에 통계적 검정을 한 결과 통계값이 기각 상한값보다 작기 때문에 유의수준 5% 내에서 차이가 없음을 나타낸다. 따라서 차로분포 모형식에 의한 결과값이 실측치를 잘 반영한다.

3. 시뮬레이션의 검증

모형식을 통해 추정한 교통량과 다른 구간과의 비교를 위해서 시뮬레이션을 통해 검증 하였다. 시뮬레이션의 교통량은 본선교통량(1000-4000대/시), 유

출교통량(500-1200대/시)을 입력변수로 하여 모든 지점의 예측치와 시뮬레이션 교통량을 비교해 본 결과 거의 근접한 결과를 보였다.

V. 서비스 수준 분석

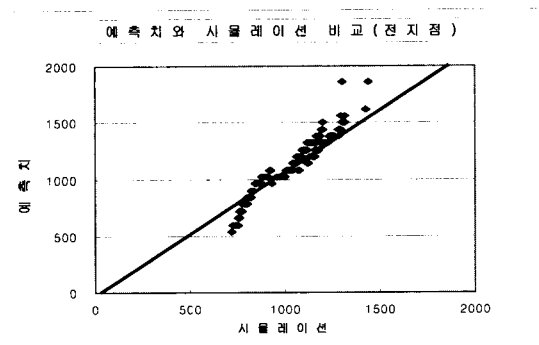
1. 차로별 교통량 분포 모형식

본 연구는 유출부 구간의 분석방법을 향상시키기 위해 새로운 분석기술을 개발하였다. 따라서, 새로 산출된 교통분포 모형식을 실제 유출부 구간에 적용하는 방법에 대해서 알아보기로 한다.

1) 교통분포 모형식의 적용방법

[단계 1] 연결로와 본선의 기하구조 파악

본 모형식은 유출부 구간에 대해서 적용할 수 있는 식이다. 또한 직접식구간만을 대상으로 한다. 유출부 구간 중에서도 램프의 간격은 500m 그리고 차로로는 2차로와 3차로로 된 구간을 분석할 수 있다.



<그림 9> 예측치와 시뮬레이션과 비교

[단계 2] 관측지점의 구분

유출부 구간을 선정한 후에 영향권범위 안에서 관측지점을 결정한다. 본 식에서는 100m 간격으로 지점을 구분하였으므로, 램프 교어로부터 100m 씩 구분하여 교통량 계산 지점을 찾는다.

[단계 3] 교통수요의 파악 및 확인점 교통량 파악

입력변수인 교통량의 흐름에 따른 실제 O-D 교통량을 조사한다. 본 식에서는 입력변수로 본선교통량과 유출교통량으로 나누어져 있으므로, 이 두 가지의 교통량을 알아낸 후 각각의 회귀식을 통해 모든 지점에서의 차로별 교통량을 계산할 수 있다.

[단계 4] 개별 O-D 교통량의 분포 계산

각 지점별 및 차로별에 대한 개별 O-D 교통량의 분포를 계산한다. 교통량의 분포의 계산은 현장 자료를 토대로 구축된 <그림 6>에서 제시한 거리 및 차로별 교통 분포비율(%)을 곱해서 산출할 수가 있다. 우선 유출 교통량의 분포비율에 따른 유출 교통량을 계산한 다음 예측된 유출교통량을 전체 교통량으로부터 빼면 손쉽게 본선 교통량을 구할 수가 있다.

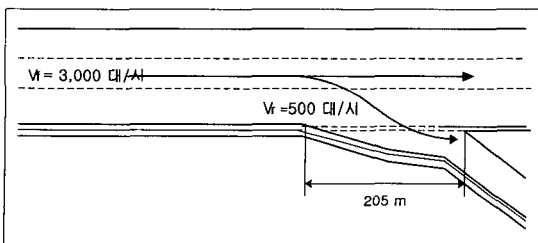
[단계 5] 차로변경 횟수 예측

지점별 및 차로별 교통량 분포가 모두 계산이 되면 연속적인 구간에서 교통량 분포 변화값에 따른 특정 차로별로 차로변경 횟수를 예측 할 수가 있다.

위에서 제시한 것처럼 아래에 회귀식에 입력 변수 값인 본선교통량 3000대/시와 유출 교통량 500대/시를 넣어서 <그림 10>과 같은 지점에서 차로별 교통량 분포를 계산한다.

[거리당(m) 차로별(lane) 교통량(flow)]

$$V_{lane} = a + bFR + cFF$$



<그림 10> 분석구간의 기하구조 및 교통수요

• 차로 1

- 500m : $0 + 0.35 \times 500 + 0.25 \times 3000 = 925$ 대/시
- 400m : $0 + 0.43 \times 500 + 0.24 \times 3000 = 935$ 대/시
- 300m : $0 + 0.38 \times 500 + 0.26 \times 3000 = 970$ 대/시
- 200m : $0 + 0.41 \times 500 + 0.27 \times 3000 = 1015$ 대/시
- 100m : $0 + 0.42 \times 500 + 0.27 \times 3000 = 1020$ 대/시
- 0m : $0 + 0.24 \times 500 + 0.15 \times 3000 = 570$ 대/시

• 차로 2

- 500m : $0 + 0.30 \times 500 + 0.39 \times 3000 = 1320$ 대/시
- 400m : $0 + 0.35 \times 500 + 0.38 \times 3000 = 1315$ 대/시
- 300m : $0 + 0.46 \times 500 + 0.36 \times 3000 = 1310$ 대/시
- 200m : $0 + 0.38 \times 500 + 0.37 \times 3000 = 1300$ 대/시
- 100m : $0 + 0.23 \times 500 + 0.39 \times 3000 = 1285$ 대/시
- 0m : $0 - 0.27 \times 500 + 0.46 \times 3000 = 1245$ 대/시

• 차로 3

- 500m : $0 + 0.40 \times 500 + 0.42 \times 3000 = 1460$ 대/시
- 400m : $0 + 0.38 \times 500 + 0.42 \times 3000 = 1450$ 대/시
- 300m : $0 + 0.34 \times 500 + 0.42 \times 3000 = 1430$ 대/시
- 200m : $0 + 0.34 \times 500 + 0.42 \times 3000 = 1430$ 대/시
- 100m : $0 + 0.42 \times 500 + 0.40 \times 3000 = 1410$ 대/시
- 0m : $0 + 0.09 \times 500 + 0.43 \times 3000 = 1335$ 대/시

따라서, 모든 지점별과 차로별로 교통량의 분포를 나타내면 <그림 11>과 같고, 아래의 상수는 유출교통량(본선교통량)의 값을 나타낸다.

또한, 교통량이 구해지면 연속적인 구간 내에서의 일어나는 차로변경 횟수를 교통량의 변화값으로 계산할 수가 있다. 예를 들어, 300m지점의 유출교통량 차로변경 횟수를 구하면 차로 2에서 1로 차로변경 횟수는 $291 - 279 = 12$ 회, 차로 3에서 2로 차로변경 횟수는 $9 - (21 - 12) = 0$ 회로 계산할 수 있다.

2. 기존 분석방법과의 서비스 수준비교

1) 한국도로용량편람

한국도로용량편람은 연결로 확인점의 접속차로 교통량 예측식을 사용하고 있다. 따라서, <그림 10>와 같은 분석구간에 대해 편도 3차로 회귀식을 사용하여 구하면,

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 0.215V_f + 0.692V_r \\
 &= 0.215 \times 3000 + 0.692 \times 500 = 991 \text{ 대/시} \\
 V_D &= V_1 = 991 \text{ 대/시}, V_f = 3,000 \text{ 대/시 LOS B} \\
 &\text{(한국도로용량편람기준)로 계산되어진다.}
 \end{aligned}$$

<표 6> 본선 및 유출 교통량의 분포

■ 차로 1(Lane 1)

관측지점	유출교통량 비율(%)	유출교통량	본선교통량
500m	0.86	258*	667**
400m	0.9	270	665
300m	0.93	279	691
200m	0.97	291	724
100m	0.99	297	723
0m	0.01	3	567

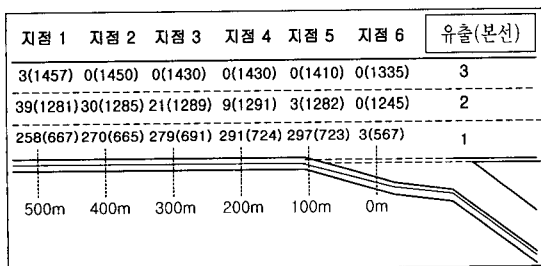
* : 300(유출교통량)×0.86입.
 ** : 925(관측지점교통량)-258입.

■ 차로 2(Lane 2)

관측지점	유출교통량 비율(%)	유출교통량	본선교통량
500m	0.13	39	1281
400m	0.1	30	1285
300m	0.07	21	1289
200m	0.03	9	1291
100m	0.01	3	1282
0m	0	0	1245

■ 차로 3(Lane 3)

관측지점	유출교통량 비율(%)	유출교통량	본선교통량
500m	0.01	3	1457
400m	0	0	1450
300m	0	0	1430
200m	0	0	1430
100m	0	0	1410
0m	0	0	1335



<그림 11> 본선 및 유출 교통량의 분포

2) USHCM 2000

USHCM에서는 합류부와 유출부에서 서비스 수준에 대한 기준을 밀도로 정하고 있는 것이 현 한국도로용량편람과의 가장 큰 차이라 할 수 있다. 따라서

유출부에 대한 밀도 모형식을 통해 서비스 수준을 분석하면 다음과 같다.

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R)P_{FD}$$

$$V_{12} = 500 + (3000 - 500) \times 0.662 = 2155 \text{대/시}$$

$$(P_{FD} = 0.760 - 0.000025(3000) - 0.000046(500))$$

$$= 0.662 \text{ (USHCM 2000 } P_{FD} \text{ 산출식 5)}$$

$$D_R = 2.642 + 0.0053V_{12} - 0.0183L_D$$

$$= 2.642 + 0.0053 \times 2155 - 0.0183 \times 205$$

$$= 10.312 \text{대/km/차로 LOS B}$$

(USHCM 2000기준)로 계산되어진다

3) 캘리포니아 근사해법

본 연구과 비슷한 차로분포 모형인 캘리포니아 근사해법과 비교를 해보았다. <그림 10>과 같이 본선 교통량이 3000대/시, 유출교통량이 500대/시 일 때, 램프로부터의 거리에 따라 변화량비율(%)을 계산하면, 차로 1에 존재하는 직진차량 비율은 6%⁵⁾이고, 유출교통량의 경우는 100%로 나온다. 따라서, 500ft 지점의 차로 1의 전체 교통량을 계산하면, 3000×0.06+500=680 대/시로 계산되어진다. 계산 결과 근사해법의 추정치 교통량이 적게 나오는 것을 볼 수가 있는데, 이는 캘리포니아 근사해법의 경우 서비스 수준D 부근의 교통량에서 가장 잘 적용되며 그 밖의 서비스 수준에서는 부정확한 결과를 보이고 있기 때문이다.

4) KHCM 2001

새로이 바뀐 한국도로용량은 미국의 USHCM과 동일하게 서비스 수준을 평가하기 위한 효과적도는 영향권의 밀도로 하고 있다. 위의 방법과 동일하게 서비스 수준을 분석하면 다음과 같다.

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R)P_{FD}$$

$$V_{12} = 500 + (3000 - 500) \times 0.5328 = 1832 \text{대/시}$$

$$(P_{FD} = 0.609 - 0.0000004(3000) - 0.00015(500))$$

$$= 0.5328 \text{ (KHCM 2001 } P_{FD} \text{ 산출식)}$$

산출식 : 독립유출부 본선편도3차로)

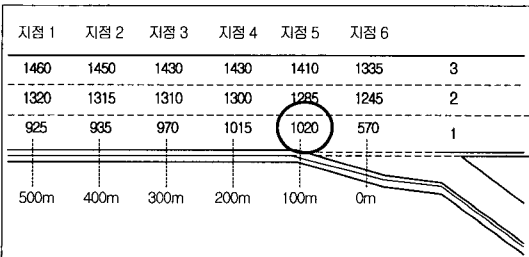
5) 한국도로용량편람, pp.222~223.

$$\begin{aligned}
 D_R &= 0.5108 + 0.00589V_{12} - 0.0043L_D \\
 &= 0.5108 + 0.00589 \times 1832 - 0.0043 \times 205 \\
 &= 10.42 \text{대/km/차로 LOS B} \\
 &\text{(KHCM 2001기준)로 계산되어진다}
 \end{aligned}$$

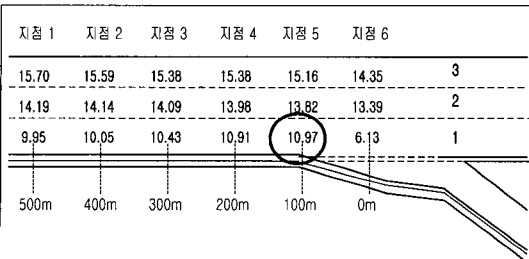
5) 본 모형의 평가

교통분포 모형식을 통해서 교통량을 추정해 본 결과 <그림 12>와 같이 모든 차로별 및 지점별로 표시하였다. <그림 13>에서 보는 바와 같이 도로용량편람의 평가방법과 마찬가지로 감속차로 바로 직전 지점에서 차로 1의 교통량을 예측하면 1020대/시로 나온다. 따라서 개발된 교통분포 모형식을 통해서 서비스 수준을 예측해도 LOS가 B가 나온다. 또한, 한국도로용량편람 방법으로 계산된 교통량 991대/시와 거의 근접한 결과값을 나타내고 있다. 하지만, 교통량을 미시적인 방법으로 LOS를 분석하면 다른 차로의 교통량이 상당히 크게 나오므로, 1차로를 제외한 2, 3차로의 LOS는 C가 나오는 것을 볼 수가 있다.

USHCM 2000 및 KHCM 2001과 비교를 위해서 밀도를 산출해야하는데, 밀도의 계산은 교통류의 특성을 나타내는 변수들의 상관관계($q = u \cdot k$)를 통해 계산을 하였다. 평균속도를 구하기 위해서 본 조사 대상지에서 속도자료를 총 2410개를 구하고 그 값을 평균해 본 결과 93km/h로 구해졌다. 즉, 밀도



<그림 12> 모형식을 통한 교통량의 분포



<그림 13> 지점과 차로별 밀도의 분포

의 계산은 교통분포 모형식을 통해 교통량을 예측하고 평균속도로 나누어주면 된다. 그 결과 감속차로의 시작지점 밀도값은 USHCM 2000(KHCM 2001)의 계산값 10.31(10.42)와 근접한 10.97이 나왔다. 하지만, 본 모형을 통해 나머지 차로 및 지점의 밀도를 고려해본 결과 2,3차로의 밀도값이 크므로 서비스 수준은 LOS C로 분석되어진다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 기존 연구들 분석방법의 문제점을 해결하기 위해, 유출부 구간을 지점 및 차로로 세분하여 미시적인 방법으로 분류차량으로 인한 본선 교통특성을 규명하고, 교통분포 모형식을 개발하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 연결로 교통류의 영향은 본선 접속 차로의 특정 부근만이 아닌 연결로 전체에 미친다는 것을 알 수가 있다.
- 2) 따라서, 유출부 구간의 분석 및 서비스 수준의 평가는 기존의 거시적인 방법으로 감속차로 시작지점만을 고려하여 분석하는 것은 합리적이지 않고, 연결로나 본선 모두와 진입부를 포함한 연결로 전체를 다 고려해서 분석해야 한다는 사실을 알 수가 있었다. 즉, 기존의 방법은 하나의 확인점 교통량이나 밀도를 구하지만, 본 연구에서는 유출부 영향권의 모든 지점 및 차로별 교통량 및 밀도를 구할 수 있다.
- 3) 본 연구에서의 미시적인 분석방법을 통한 차로별 교통분포 모형식은 기존 분석방법과 비교하여 더 정확한 그리고 폭 넓은 분석 및 적용하기에 손쉬운 모형이라는 점에서 상당히 효과적인 분석방법이라고 할 수 있다.

2. 논문의 한계점

본 연구를 통해 얻어진 분석방법은 효과적이기 하지만 조사자료의 영역 때문에 발생하는 문제점으로 인해 모형의 한계와 취약점이 나타난다. 그 취약점을 살펴보면, 현장조사를 통해 얻어진 모형식은 자료수

집의 어려움이 상당히 따르지만 부족한 자료수와 지점수로 인해 실제적용 가능성에서 향후 보강할 필요가 있다. 물론 보완적인 방법으로 시뮬레이션을 통해 민감도 분석을 했지만 시뮬레이션 자체한계 및 다양한 경험적인 자료를 바탕으로 한 타 모형과의 비교는 다소 무리라고 할 수가 있다. 따라서, 다른 지점의 현장조사와 세밀한 비교연구가 무엇보다도 필요하다. 하지만 이러한 미시적인 방법을 통한 새로운 분석은 향후 추가 연구 시 연결로 구간의 운영분석에 적극 활용될 수 있다고 본다.

3. 향후 연구과제

본 연구에서는 미시적인 분석을 통해 유출부 구간의 새로운 교통분포 모형을 통한 분석방법을 제시하였다.

그러나 본 연구에서 수행한 조사대상지역이 한 지점으로 한정되었으나 향후는 보다 조사대상 지점수의 확대와 충분한 자료수들을 고려한 정량적인 분석이 이루어져야 할 것이다. 본 연구에 있어서 나타난 사항들을 정리하면 다음과 같은 향후 연구 과제를 얻을 수 있다.

첫째, 부족한 자료 보충을 위해서 본선 3차로외의 본선 2차로 및 4차로에 대한 조사가 필요하다.

둘째, 동일한 차로수에 대해서도 최소 두 개 이상의 지점을 선정하고 수집시간도 확대하여 다양한 본선교통량조건과 램프교통량조건을 만족하는 자료를 확보하여 완성된 모형을 만들어야 할 것이다.

셋째, 좀더 자세한 개별차량의 추적을 위한 상류부로 관찰지점 확장을 통해 연결로 영향권을 규명할 필요가 있다.

참고문헌

1. 건설부(1992), 도로용량편람, 대한교통학회.
2. 김상구(1997), "고속도로 합류구간 교통특성 및 용량모형식 개발 연구", 서울대학교 대학원 박사학위논문.
3. Thephilopoulos, Nikos.(1986), "A turbulence approach at ramp junctions", ph.D Dissertation, Polytechnic University.
4. Cassidy M., Chung E., Skabardonis A., & May A.D.(1989), "Operation of major freeway weaving sections", Institute of Transportation Studies, University of Berkeley, UCB-ITS-WP-89-DRAFT.
5. TTRC(1991), "Capacity of ramp-freeway junction : NCHRP project 3-37 Interim report", Polytechnic Univ.
6. Transportation Research Board(1985), Highway Capacity Manual, Special Report 209.
7. Transportation Research Board(2000), Highway Capacity Manual, Special Report 209.
8. William R. Mcshane & Roger P. Roess(1990), Traffic Engineering, Prentice Hall.

- ☞ 주 작 성 자 : 최재성
- ☞ 논문투고일 : 2002. 1. 29
- 논문심사일 : 2002. 4. 11 (1차)
- 2002. 5. 10 (2차)
- 2002. 9. 9 (3차)
- 2002. 10. 4 (4차)
- 2002. 10. 14 (5차)
- 심사판정일 : 2002. 10. 14
- ☞ 반론접수기간 : 2003. 2. 28