

지방부 고속도로 기본구간의 차로별 교통류 특성 및 차로별 용량분석에 관한 연구

A Study of Traffic Flow Characteristics and Capacity Analysis by Lane on Rural Freeway

천호영

명지대학교 대학원
교통공학과 석사과정

이의은

명지대학교 SOC공학부
교통공학과 조교수

목 차

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 서론 <ul style="list-style-type: none"> 1. 연구의 목적 및 범위 2. 문헌연구 II. 자료수집 및 처리 <ul style="list-style-type: none"> 1. 자료수집 2. 자료처리 III. 차로별 교통류 특성분석 | <ul style="list-style-type: none"> 1. 차로별 교통변수의 분석 2. 차로별 교통량-속도 상관관계분석 IV. 교통류 모형의 추정 V. 고속도로 기본구간의 차로별 용량분석 <ul style="list-style-type: none"> 1. 고속도로 기본구간의 차로별 용량 2. 차로수에 따른 용량보정계수 산정 VI. 결론 및 향후연구과제 |
|--|--|

I. 서론

1. 연구의 목적 및 범위

현재 도로용량편람(1992)의 고속도로기본구간 용량은 2,200(승용차대/시/차로)로 정의되어 있다. 그러나 차로별 교통량 분담 등 차로별 교통류 특성을 고려하지 않은 용량으로써 일률적으로 용량분석에 적용시킨다는 것은 정확한 결과를 도출함에 있어 합당하지 않을 것이다. 또한 모든 고속도로에서 중차량의 차로이용제한으로 차로별로 중차량의 구성비가 상이함에도 불구하고 전체 차로에 대한 총량적인 접근 방법으로 인하여 현실과의 괴리현상이 발생하여 왔다. 1997년 5월 중차량의 차로이용제한이 완화되었다고 하나 중차량 비율이 높은 국내 실정을 감안할 때 차로별 용량 분석을 통하여 차로별 불균형에 대한 문제점을 해결해야 할 것이다. 이러한 상황에서 지방부 고속도로의 차로별 교통류 특성 분석 및 용량산정은 반드시 필요한 연구일 것이다.

이에 본 연구는 지방부 고속도로 기본구간의 편도 2, 3, 4차로 3지점에서 도로공사 FTMS 루프검지기 자료를 이용하여 교통변수(교통량, 속도, 밀도)의 상관관계를 통해 도로유형별, 차로별 교통류 모형의 재정립 및 교통류 특성을

밝히고, 그 결과를 이용하여 본 연구의 궁극적인 목적으로 도로유형별, 차로별 용량 산정 및 차로수 용량보정계수 산출에 있으며 보다 정확한 지방부 고속도로의 교통류 특성을 해석함에 있다.

2. 문헌연구

1) 도로용량편람

한국도로용량편람(KHCM, 1992)⁽²⁾의 용량산정방법론은 1985년 미국 HCM을 대부분 수용하였고 고속도로 용량산정절차는 다음과 같다.

$$SF_i = MSF_i \times N \times f_w \times f_{HV}$$

설계속도 120, 100(km/시)에 대한 교통량-속도 곡선 및 서비스 수준을 제시하고 있어 설계속도가 100(km/시)이하인 도로에서의 용량분석이 불가능하여 이러한 문제점을 해결하기 위해 도로용량편람을 개정중에 있다. 또한 차로폭 및 측방여유폭 보정계수 적용시 차로수별로 적용하고 있으나 차로수 보정에 대한 상이한 속도-교통량 곡선은 제시하지 못하고 있다.

미국도로용량편람(HCM, 1985, 1994)⁽⁷⁾⁽⁸⁾의 용량산정절차는 우리나라 도로용량편람과는 달리 관공 또는 도로에 익숙하지 않은 운전자 집단에 대한 보정계수(f_p)를 추가하여 적용시키고

있고 차로수에 따라 상이한 교통량-속도 곡선을 제시하였지만 차로별 용량의 표현과 차로별 교통류 특성을 반영할 수 있는 보정계수를 제시하지 못하고 있다. 물론 미국의 지방부 고속도로는 우리나라와는 달리 중차량의 비율이 상대적으로 적어 차로별 불균형의 영향을 무시하였다고 볼 수 있으나 국내와 같이 중차량의 비율이 높은 경우에는 고려대상이 되어야 한다.

미국도로용량편람(HCM, 1997)⁹⁾에서는 교통량-속도의 곡선, 자유속도의 결정, 차로폭 및 측방여유폭의 적용, 중차량 보정등 전반적으로 많은 개정이 이루어졌다. 교통량-속도 곡선은 1985년 미국 HCM에 비해 큰 차이를 보이는데, 우선 자유속도가 일정 교통량에 도달할 때까지 떨어지지 않으며, 이상용량도 1997년 미국 HCM이 큰 값(2,000 → 2,400pcphpl)을 가진다. 또, 용량상태에서 속도가 1985년 미국 HCM이 30mph인 것에 비해 1997년 미국 HCM에서는 50~55mph이므로 더 높은 속도에서 용량이 발생하는 최근 교통류 특성을 반영하고 있다.

2) 차로별 교통류 특성

고속도로 기본구간에서 기존 연구자들은 교통량-속도의 관점에서 해석하였다. 연구 결과들의 공통된 점에서 속도를 먼저 살펴보면 외측차로 보다는 내측차로가 속도가 높고, 내측차로일수록 속도의 편차가 크게 나타났다. 또한 교통량 분담율은 교통량이 적을 때에는 외측차로가 많은 교통량 분포를 보였고 최대교통량에 가까울수록 내측차로의 교통량 분포가 많음을 보였으며 외측차로는 교통량이 감소함을 보였다. 교통량은 전반적으로 내측차로가 많은 것으로 나타났다.

3) 교통량-속도 관계

최근 연구결과에 의하면 교통량-속도 관계에 의해서 다음과 같은 공통적인 결과를 얻어냈다.

- 속도가 교통량의 변화에 관계없이 일정한 구간이 존재
- 교통량이 최대교통류율(용량)에 근접할수록 속도가 급격히 감소

II. 자료수집 및 처리

1. 자료 수집

1) 자료수집 지점선정 및 도로의 기하구조

본 연구목적의 특성을 잘 반영할 수 있는 이상적인 도로조건에 근접한 지점을 선정하였는데, 선정된 지점과 기하구조는 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 자료수집지점 및 기하구조

구분	방향	지점	차로수	측방여유폭		비고
				내측	외측	
경부	하행	25.2km	4	1m	3.2m	서울 T/G 2.2km 후방
		89.0km	3	1m	4.0m	천안 I/C 5.5km 후방
영동	상행	5.6km	2	1m	3.0m	신갈 J/C 5.6km 후방

2) 자료수집의 기간 및 종류

본 연구를 수행하기 위해서 한국도로공사의 협조를 얻어, 이중 루프검지기를 통해서 총 3지점에 대하여 각각 1999. 9. 9. ~ 1999. 9. 30. 22일간 자료를 취득하였다. 수집자료의 형태는 각 지점에 대하여 차로별로 30초 단위의 교통량, 평균속도, 점유율, 평균차량길이를 루프검지기로부터 얻고 밀도는 교통량과 속도로부터 구해진다.

<표 2> 자료수집기간

구분	방향	지점	자료수집기간 ¹⁾
경부선	하행	25.2km	1999. 9. 9~1999. 9. 30
		89.0km	1999. 9. 9~1999. 9. 30
영동선	상행	5.6km	1999. 9. 9~1999. 9. 30

주) 1) 경부선의 경우, 주말과 공휴일은 버스전용차로제를 시행하므로 자료수집기간중 주말과 공휴일의 자료는 제외하였음.

2. 자료 처리

1) 자료의 가공

(1) 유효화

본 연구에서는 오감지 데이터를 제거하기 위해 다음과 같은 기준을 설정하여 이에 해당하는 자료는 30초 단위 자료전체를 포기하였다.

- 검지기 오류로 인한 자료포기
- 교통량과 속도, 점유율, 모두 0인 경우
- 교통량이 0이고 속도나 점유율이 0인 경우
- 속도 0이고 교통량, 점유율 0이 아닌 경우
- 가능범위를 초과하였을 때 (속도 180km/h, 교통량 3600승용차대/시/차로, 점유율 100%)

(2) 자료의 취합 및 변환

분석단위시간에 있어서, 일반적으로 계획단계

에서는 1시간 교통량을 이용하고, 운용단계에서는 1시간보다 적은 단위시간(예를 들면 5분, 15분)에 근거를 둔 교통류율을 이용한다. 대부분 용량분석에 사용되는 시간은 15분인데 이는 안정된 교통흐름을 유지할 수 있는 최소시간을 15분으로 보기 때문이다. 그러므로 본 연구에서도 15분 단위시간으로 자료를 취합 및 변환을 하였다.

2) 중차량의 보정⁽⁵⁾

한국건설기술연구원 '도로용량편람 개선연구, <고속도로 기본구간의 용량 최종보고서(안)>'의 연구결과를 적용하여, 차종구분은 중량대 마력비 및 차량길이를 기준으로 하여 기본교통류(승용차, 16인승 이하 다인승 차량), 소형(2.5톤 미만의 트럭), 중형(2.5톤 이상의 트럭, 버스), 대형(세미트레일러 및 풀트레일러)으로 분류하였고, 승용차 환산계수는, 소형은 1.0, 중형은 1.61, 대형은 2.04를 적용하였다. 본 연구에서 차종구성비의 산출은 루프검지기의 평균차량길이를 이용하여 기본교통류 및 소형은 5.908m 미만, 중형은 5.908m 이상 16.7m 미만, 대형은 16.7m 이상의 기준으로 지점별 및 차로별로 산출하였다. <표 3>은 분석대상지점의 지점별 및 차로별 차종구성비를 나타낸 것이다.

<표 3> 지점별 및 차로별 차종구성비

구분	차로	기본교통류 및 소형(%)	중형 (%)	대형 (%)
경부선 하행 25.2km	1차로	98.2	1.8	0.0
	2차로	80.4	19.4	0.2
	3차로	73.5	23.5	3.0
	4차로	71.3	25.5	3.2
	전차로	78.6	19.1	2.3
경부선 하행 89.0km	1차로	97.4	2.5	0.1
	2차로	72.9	23.7	3.4
	3차로	74.6	22.6	2.8
	전차로	79.6	18.0	2.4
영동선 상행 5.6km	1차로	97.9	2.1	0.0
	2차로	77.3	20.1	2.6
	전차로	83.8	14.1	2.1

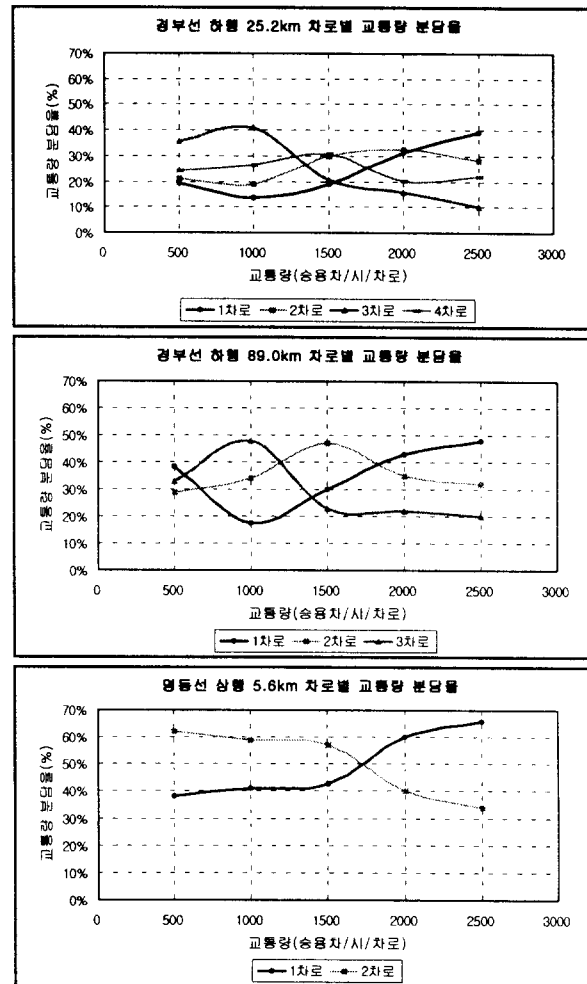
III. 차로별 교통류 특성분석

1. 차로별 교통변수의 분석

1) 차로별 교통량 분담율

교통량이 적을 때에는 외측차로의 이용이 많았고, 약 1,300~1,800(승용차대/시/차로)에서부터 용량에 가까워 질수록 내측차로의 교통량 분담율이 증가하였고, 외측차로의 교통량 분담율은

감소하였다. 그리고 편도 3차로 구간이 비교적 불균형이 큰 것으로 나타났다. <그림 1>은 차로별 교통량 분담율을 나타낸 것이다.



<그림 1> 차로별 교통량 분담율

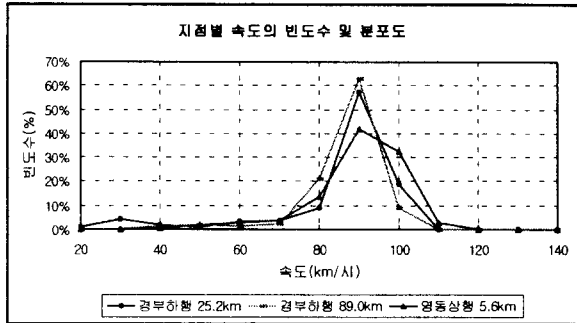
2) 차로별 속도와 밀도

전반적으로 내측차로가 외측차로보다 속도가 높게 나타났고 내측차로일수록 외측차로보다 속도의 편차가 큰 것으로 나타났다. 이러한 이유는 외측차로의 중차량비율이 상대적으로 높기때문으로 볼 수 있다. 지점별 속도를 비교해보면 편도 2차로 지점이 높은 속도와 큰 편차를 보였으며, 편도 3차로 지점이 가장 낮은 속도의 분포를 보였다.<그림 2>

자유속도의 분석결과는 <표 4>와 같으며, 내측차로가 외측차로보다 높게 나타났고, 지점별로 살펴보면 편도 2차로 지점이 115(km/시)로 가장 높게 나타났으며, 편도 3차로 지점이 109(km/시)로 가장 낮게 분석되었다.

<표 5>는 차로별 및 지점별 임계속도와 임계밀도를 나타낸것으로써 임계속도를 살펴보면

내측차로로일수록 임계속도가 높게 나타났다. 또한 임계밀도를 비교해보면 외측차로가 더 높게 분석되었다. 한국 도로용량편람(KHCM, 1992)과 미국 도로용량편람(HCM, 1994)의 임계속도와 임계밀도를 비교해보면 내측차로일수록 최근에 개정된 미국 도로용량편람(HCM, 1994)의 값과 유사하게 분석되었다.



<그림 2> 지점별 속도의 빈도수 및 범위

<표 4> 차로별 및 지점별 자유속도

구분	경부선 하행 25.2km				경부선 하행 89.0km				영동선 상행 5.6km			
	1	2	3	4	전	1	2	3	전	1	2	전
자유속도 (km/시)	137	119	109	103	110	125	109	96	109	127	107	115

<표 5> 차로별 및 지점별 임계속도와 임계밀도

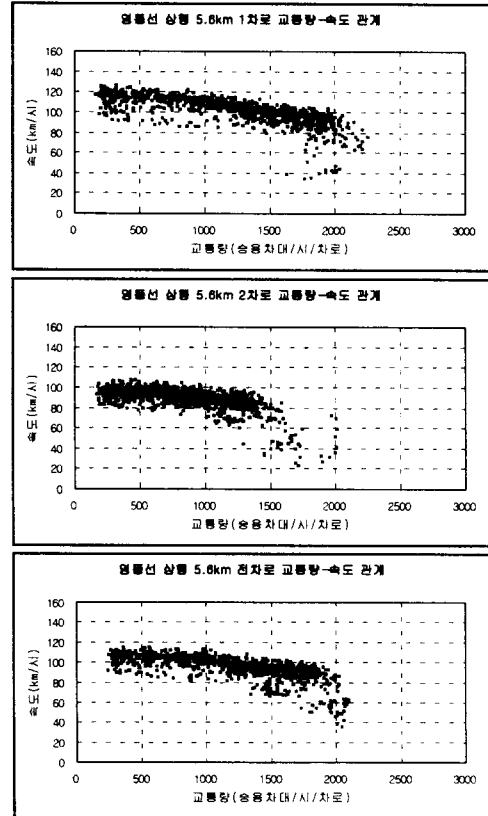
구분	차로	임계속도 (km/시)	임계밀도 (승용차대/차로)
경부선 하행 25.2km	1차로	85	27
	2차로	77	28
	3차로	68	30
	4차로	58	33
	전차로	67	32
경부선 하행 89.0km	1차로	92	23
	2차로	66	29
	3차로	57	32
	전차로	66	29
영동선 상행 5.6km	1차로	76	30
	2차로	59	34
	전차로	63	33
한국 도로용량편람 1992 (KHCM) ⁽²⁾		50	44
미국 도로용량편람 1994 (HCM) ⁽⁸⁾		4차로 : 85	4차로 : 26
		6~8차로 : 80	6~8차로 : 29

2. 차로별 교통량-속도 상관관계분석

차로별 교통량-속도 그래프를 이용한 두 변수 간 상관관계 분석결과, 다음과 같은 특징을 도출해 내었다.

- 내측차로일수록 교통량이 증가하면 속도도 같이 감소

- 외측차로일수록 교통량이 증가하여도 일정 교통량까지 속도는 일정하고, 최대교통류용(용량) 근처에서 속도가 급격히 감소
- 전차로에 대한 분석은 교통량이 증가하면 속도도 같이 감소 하지만, 그 변화의 폭은 극히 적음



<그림 3> 차로별 및 전차로 영동선 상행 5.6km 교통량-속도 관계그래프

IV. 교통류 모형의 추정

본 연구는 최대추정교통량을 산출하기 위하여 4가지 모형, 즉 Greenshields 모형, Greenberg 모형, Underwood 모형, Bell-Curve 모형을 적용시켜 지점별, 차로별로 밀도-속도 관계간 회귀분석을 실시하였다. 본 연구 가장 적합한 모형의 선정방법에 있어, 결정계수(R^2), 표준오차를 이용해 모형을 선정하고, 선정된 모형에 대하여 t 테스트를 통해 추정식들의 k (밀도)계수와 u (속도)절편이 유용한지를 판단하였다. 그 결과 Bell-Curve 모형이 가장 적합한 것으로 분석되었다. 모형의 선정시 지점별 또는 차로별로 다른 모형을 선정한다면 모형의 특성상 일관성 있는 분석이 불가능하므로 전반적으로 가장 적합한 하나의 모형을 선정하여 회귀식을

이용한 용량분석에 적용하였다.

<표 6> Bell-Curve 모형의 회귀분석결과

$$(u = u_f \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{k}{k_m} \right)^2})$$

지점	관측수 n	결정계수 R^2	표준오차 S	자유속도 u_f	임계속도 $u_m = u_f/\sqrt{e}$	혼잡밀도 k_j	임계밀도 k_m	
경부선 하행 25.5km	1차로	540	0.89	0.09	117.62	71.34	·	29.57
	2차로	642	0.94	0.08	107.85	65.41	·	31.48
	3차로	637	0.95	0.05	102.49	62.16	·	30.05
	4차로	616	0.93	0.08	96.43	58.49	·	33.23
	전차로	437	0.91	0.08	103.48	62.76	·	31.60
경부선 하행 89.0km	1차로	865	0.72	0.05	114.00	69.14	·	30.99
	2차로	930	0.85	0.08	98.09	59.49	·	34.57
	3차로	741	0.86	0.07	81.80	49.61	·	37.88
	전차로	679	0.82	0.06	101.68	61.67	·	31.01
영동선 상행 5.6km	1차로	1097	0.85	0.06	112.44	68.20	·	31.52
	2차로	1143	0.76	0.08	93.31	56.60	·	36.57
	전차로	1074	0.83	0.06	104.92	63.64	·	32.49

(속도 : km/시, 밀도 : 승용차대/km)

V. 고속도로 기본구간의 차로별 용량분석

본 연구에서는 교통량-속도 관계곡선에서 산출한 용량을 최대관측교통유율(q_m), 회귀식을 이용하여 산출한 용량을 최대추정교통량(q_e), 교통유율 누적곡선에서 산출한 용량을 최대반복교통유율(q_r)이라고 명하고, 이 세가지 값에 의하여 차로별 용량 및 차로수에 따른 용량보정계수를 산출하였다.

1. 고속도로 기본구간의 차로별 용량

1) 교통량과 속도 관계곡선을 이용한 용량분석

용량 산정시 교통량-속도 관계곡선을 이용한 방법은, 관계곡선에서 교통유율을 관측하여 최대관측교통유율(q_m)을 산출하였다.

2) 회귀식을 이용한 용량분석

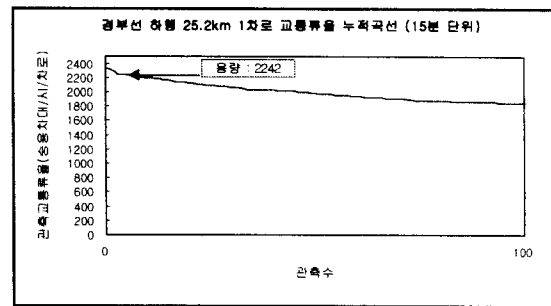
앞장에서 선정된 Bell-Curve 모형의 교통량-
<표 7> 차로별 및 지점별 용량분석결과

구분	경부선 하행 25.2km					경부선 하행 89.0km				영동선 상행 5.6km		
	1차로	2차로	3차로	4차로	전차로	1차로	2차로	3차로	전차로	1차로	2차로	전차로
최대관측 교통량	2329	2145	2009	1908	2116	2091	1916	1809	1901	2243	2005	2085
최대추정 교통량	2110	2059	1868	1944	1983	2143	2057	1879	1912	2150	2070	2068
최대반복 교통량 (이상용량)	2242	2087	1981	1908	2071	2064	1906	1782	1864	2202	1996	2071

속도 관계에서 추정된 최대추정교통량은 최대 관측교통유율의 결과와 유사한 수치로 분석되었다.

3) 교통유율 누적곡선을 이용한 용량분석⁽¹⁾

교통유율 누적곡선을 이용한 용량산정방법은 김상구 등(1998)이 주장한 방법으로써, 100개의 관측수까지 내림차순 교통유율 누적곡선을 도식화하여 일정기간 지속되는 교통유율을 최대반복교통유율(q_r)로 산출하였다. <그림 4>는 경부선 하행 25.2km 1차로의 교통유율 자료를 관측수별 내림차순으로 도식화한 것으로써, 이때 일정 수 이상 나타나는 값을 최대반복교통유율(q_r)로 구하였다.



<그림 4> 경부선 하행 25.2km 1차로 교통유율 누적곡선

분석결과 최대관측교통량은 몇 개 지점에서 관측된 교통유율은 정의된 시설용량을 초과할 수 있으나, 이러한 교통유율은 보통 지속되거나 반복적으로 관측할 수 없는 값들이다. 그리고 최대추정교통량은 비정체시의 자료에 영향을 받기때문에 최대교통유율 산출시 하나의 모형을 적용시킨다는 것은 무리가 따를 것이다. 그러므로 본 연구에서는 가장 합리적으로 기대되는 지방부 고속도로의 용량을 최대반복교통량으로 선정하였다.<표 7>

2. 차로수에 따른 용량보정계수 산정⁽¹⁾

차로수에 따른 용량보정계수를 산정하기 위하여, 본 연구는 1차로의 용량을 1.00으로 기준을 설정하여 나머지 차로의 상대계수를 구한후 평균값을 이용하여 보정계수를 산출하였다.<표 8>

<표 8> 차로수 용량보정계수(f_L)

구분	편도 4차로 구간	편도 3차로 구간	편도 2차로 구간
차로수 용량보정계수 (f_L)	0.917	0.929	0.953

현재 한국 도로용량편람(1992)의 고속도로 기본구간의 서비스교통류율 산정시 차로폭 및 측방여유폭 보정계수(f_w)와 중차량 보정계수(f_{HV})를 적용하고 있는 실정이다. 본 연구의 결과를 통해서 더욱더 명확해진 사실은 차로간 교통류특성이 틀리고 외측차로일수록 용량이 감소하여 결국 전체도로의 용량이 이론적인 수치와 같지 않다는 것이다. 또한 도로의 차로수가 많을수록 보정계수가 작았는데, 이러한 이유는 측면마찰에 의한 것으로 판단된다. 그러므로 차로수에 따른 도로유형별로 차로수 보정계수(f_L)의 적용을 본 연구는 제안한다. 또한, 다음과 같은 새로운 서비스교통류율 산정절차를 통해 보다 정확한 용량분석을 수행해야 할 것이다.

$$SF_i = MSF_i \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_L$$

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구의 특성 및 주요 연구결과는 다음과 같다.

- 기존의 연구들이 제한된 분석대상과 적은 자료수집기간, 중차량 보정의 결여 등을 보완하여, 지방부 고속도로의 도로유형별, 즉 편도 2차로, 3차로, 4차로 구간을 분석 대상으로 해서 차로별 및 지점별로 종합적인 분석을 수행하였다.

- 차로별 용량을 산정하였고, 차로수 용량보정계수(f_L)를 정량적으로 제시 하였으며, 새로운 서비스 교통류율 산정 절차를 제시하였다.

$$SF_i = MSF_i \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_L$$

- 교통량-속도 상관관계 분석의 수행을 통해서, 많은 기존의 연구들이 속도가 교통량의 변화에 관계없이 일정한 구간이 존재하고 교통량이 최대교통류율(용량)에 접근할수록 속도가 급격히 감소한다는 주장에 반하여, 본 연구에서의 결과는 외측차로는 기존의 연구결과에

따르지만, 내측차로는 교통량이 증가하면 속도도 같이 감소하는 차로별 특성을 밝혔다.

- 루프검지기의 평균차량길이를 이용한 중차량 보정의 새로운 방법을 제시하였다.

본 연구의 부족한 점을 보완하고 또한, 본 연구와 관련하여 지속적으로 연구되어야 할 부분들은 향후 연구과제로 남김으로써, 보다 정확하고 신뢰성있는 지방부 고속도로의 차로별 교통류 특성 연구가 수행되어야 할 것이다.

- 미시적인 분석을 통한 차로별 교통류 특성 및 차로별 용량분석이 수행되어야 할 것이다.
- 비혼잡류와 정체류의 정확한 구분을 통해 차로별 단절점 분석이 병행되어야 할 것이다.
- 교통류 모형의 적용시 본 연구는 단일 모형만을 적용했는데, 2영역 또는 3영역 모형의 적용을 통해서 비혼잡류와 정체류의 전이영역을 포함한 분석이 요구된다.
- 차로별 교통류 특성 분석을 통하여 FTMS의 적용방안, 즉 유고감지알고리즘, 검지기체계, 차로별 운영 및 제어에 적용될 기법에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김상구, 서영선, 「8차로 고속도로 기본구간 용량 분석에 관한 연구」, 대한교통학회지, pp. 87~96, 1999. 8.
2. 대한교통학회, 「도로용량편람」, 1992.
3. 이승준, 「도시고속도로 차로별 교통류특성에 관한 연구」, 서울대학교 공학석사학위 논문, 1998. 2.
4. 이의은, 「고속도로 교통류의 특성 분석과 그 응용에 관한 연구」, 서울대학교 공학박사학위 논문, 1995. 8.
5. 한국건설기술연구원, 「도로용량편람 개선연구, 고속도로 기본구간의 용량 최종보고서(안), 자문회의자료」, 1999. 8.
6. 한국건설기술연구원, 교통개발연구원, 「도로용량 편람 연구조사(제2, 3단계) 제3단계 중간보고서」, 1992. 1.
7. Special Report 209, 「Highway Capacity Manual (HCM)」, TRB, National Research Council, 1985.
8. Special Report 209, 「Highway Capacity Manual (HCM)」, TRB, National Research Council, 1994.
9. Special Report 209, 「Highway Capacity Manual (HCM)」, TRB, National Research Council, 1997.