

■ 論 文 ■

각국 도로용량편람의 고속도로 기본구간 용량 및 서비스수준 분석방법론 비교 연구

Comparison of Freeway Capacity and Level of Service of Each Country HCM

최 병 국

(인천발전연구원 부연구위원)

목 차

I. 서론	1. 교통류율 결정
1. 1985년 미국 도로용량편람	2. 자유속도 결정
2. 호주의 용량 분석	3. 서비스 수준 결정
3. 대만의 용량 분석	IV. 각국 편람의 이상조건 및 보정계수 비교
4. 일본의 용량 분석	1. 이상조건
5. 한국의 용량 분석	2. 이상 용량
6. 캐나다의 용량 분석	3. 중차량 보정
7. 독일의 용량 분석	4. 특정구배 구간의 정의 및 분석
II. 분석방법론	V. 1992 KHCM의 문제점 및 개선방안
III. 1985년 및 1997년 미국 도로용량편람 비교	참고문헌

요 약

우리 나라는 1992년 KHCM을 발간하였고, 현재 2000KHCM을 위해 1992KHCM 개정연구를 진행 중이다. 또한 세계 각국 HCM의 모태인 1985년 USHCM이 현재 2000년 목표로 대대적으로 수정되고 있다. 본 논문에서는 2000KHCM 고속도로 기본구간 연구의 기초작업으로, 세계 각국HCM의 고속도로 기본구간의 연구 결과들을 비교·분석하여 2000년 KHCM 고속도로 기본구간 연구의 기본 방향을 모색하기 위함이다. 본 연구를 위해 1997년 USHCM, 1985년 USHCM, 1992년 KHCM 및 일본, 대만, 호주, 캐나다, 독일 등의 도로용량편람을 검토하였으며, 유일하게도 USHCM 분석 방법론과 차이가 많은 독일 도로용량편람을 자세히 검토하였다. 마지막으로 1992년 KHCM고속도로 기본구간의 문제점 및 개선방안을 제시하였다.

I. 서론

도로용량편람은 1950년, 1965년, 1985년 미국에서 세 차례 개정되었으며, 1985년 미국 도로용량편람을 근간으로 세계 각국이 자기 나라 특성을 반영한 용량 및 보정계수 값들을 수정하여 사용하여 왔다. 우리나라도 1985년 미국 도로용량편람 분석 방법론을 기본으로 하여 우리 나라 자료에 의한 한국형 도로용량편람을 1992년에 작성하여 학계 및 업계에서 사용되고 있다. 세계 각국의 도로용량편람의 모태인 1985년 미국 도로용량편람이 2000년 목표로 대대적으로 수정되고 있으며, 대부분의 "chapter"가 연구 완료되었으며, 연구가 완료된 chapter들만으로 구성된 1997년 USHCM이 1998년 발간되었다.

현재 우리 나라, 독일, 일본 등도 각국의 2000년 도로용량편람을 위해 연구 작업에 들어간 상태이다. 본 논문에서는 2000년 KHCM 고속도로 기본구간 연구의 기초 작업으로, 세계 각국 고속도로 기본구간의 연구결과들을 비교·분석하여 2000년 KHCM 고속도로 기본구간 연구의 기본 방향을 모색하기 위함이다.

본 연구를 위해 1985년 USHCM, 1992년 KHCM 및 일본, 대만, 호주, 캐나다, 독일 등의 도로용량편람을 검토하였으며, 특히 1985년 USHCM과 1997년 USHCM의 분석 방법론을 비교하였으며, 유일하게 USHCM 분석 방법론과 차이가 많은 독일 도로용량편람을 분석하였다. 마지막으로 1992년 KHCM 고속도로 기본구간의 문제점 및 개선방안을 제시하였다.

II. 분석방법론

1. 1985년 미국 도로용량편람¹⁾

1985년 미국 HCM(Highway Capacity Manual)에서 고속도로 기본구간의 용량 산정 절차는 차로당 최대 서비스 교통류율 및 서비스 수준별 교통류율 산정에 바탕을 두고 있다. 서비스 교통류율(Service Flow Rate)을 구하는 식은 다음과 같다.

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

여기서,

SF_i : 주어진 도로 및 교통 조건에서 편도 N개

의 차로에 대한 서비스 수준 i에서의 서비스 교통류율(vph)

MSF_i : 이상적인 도로 및 교통 조건에서 서비스 수준 i를 유지하면서 통과할 수 있는 최대 교통류율(승용차대수/시/차선)

N : 편도차로수

f_w : 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

f_{HV} : 중차량 보정계수

f_p : 관광 또는 도로에 익숙하지 않은 운전자 집단에 대한 보정계수

MSF_i (Maximum Service Flow Rate)란 이상적인 도로 및 교통 조건에서 서비스 수준 i를 유지하면서 통과할 수 있는 최대 교통류율이며, 다음 식으로 표현된다.

$$MSF_i = c_j \times (v/c)_i$$

여기서, $(v/c)_i$ 는 서비스 수준 i에 대한 최대 교통량대 용량의 비 (v/c) 이다. c_j 는 이상용량으로써 설계속도와 차로수에 따라 2,000pcphpl 또는 1,900pcphpl을 사용한다. 기본구간 서비스수준 분석에 가장 기본적인 속도-교통량 곡선 및 밀도-교통량곡선은 설계속도에 따라 다른 곡선을 사용한다.

서비스 수준을 결정하는 효과적도는 밀도이며, 서비스 수준 E는 주어진 도로 및 교통조건에서 통과할 수 있는 최대 교통류율을 의미한다.

기본구간의 분석은 구배 및 지형에 따라 일반구간과 특정구배 구간 분석으로 나누어진다. 특정구배 구간 분석의 적용은 3% 미만의 중단구배가 0.5마일(805m) 이상 이거나 3% 이상의 중단구배가 0.25마일(402m) 이상인 경우이다.

2. 호주의 용량 분석²⁾

1985년 미국 HCM의 분석 방법론과 동일하고, 각종 보정계수도 동일하다. 그러나, 호주의 도로 특성에 따라 이상 조건은 다르다. 이상 조건의 용량은 설계속도가 100km/h 이상에서 2,000pcphpl로 제시하고 있으며, 3% 미만의 구배가 1.6km 이하이거나, 3% 이상의 구배가 0.8km를 초과하지 않는 지형에 대해서는 일반 구간의 분석 방법을 적용한다.

3. 대만의 용량 분석³⁾

1985년 미국 HCM의 분석 방법론과 동일하며, 대만의 도로 특성에 따라 이상 조건 및 각종 보정계수는 자체적으로 개발하여 사용하고 있다. 특정구배 구간을 별도로 구분하지 않으나 보정계수를 통해 구배에 따른 중차량의 영향을 고려한다. 이상 조건의 용량을 2,400pcphpl로 제시하고 있다.

4. 일본의 용량 분석⁴⁾

기본적으로 1985년 미국 HCM과 유사하며, 다차로 도로와 고속도로를 구분하지 않고 분석한다. 특정구배 구간에 대해서도 별도의 분석은 없으나, 구배에 따른 중차량 보정으로 이를 대신하고 있다. 이상적인 조건에서 용량은 2,200pcphpl이다.

5. 한국의 용량 분석⁵⁾

우리 나라 도로용량편람은 1985년 미국 HCM의 분석 방법론을 따르고 있으며, 이상 조건 및 각종 보정계수는 국내의 현실에 맞도록 조정하여 사용하고 있다. 이상 조건에서 용량은 2,200pcphpl이며, 특정구배 구간 분석은 중단구배가 3%이상이고 구배 길이가 500m를 넘는 경우에 적용한다.

6. 캐나다의 용량 분석⁶⁾

기본적으로 1985년 미국 HCM의 분석 방법을 따르고 있으며, 실무자의 분석 편의를 돕기 위해 수식에 의한 용량 및 서비스 수준 결정보다는 Nomograph에 의한 모든 결정이 가능하도록 한 것이 특징이다. 서비스 수준을 결정하는 밀도를 효과적으로 직접 사용하지 않으며 속도를 주요 기준으로 한다.

7. 독일의 용량 분석⁷⁾

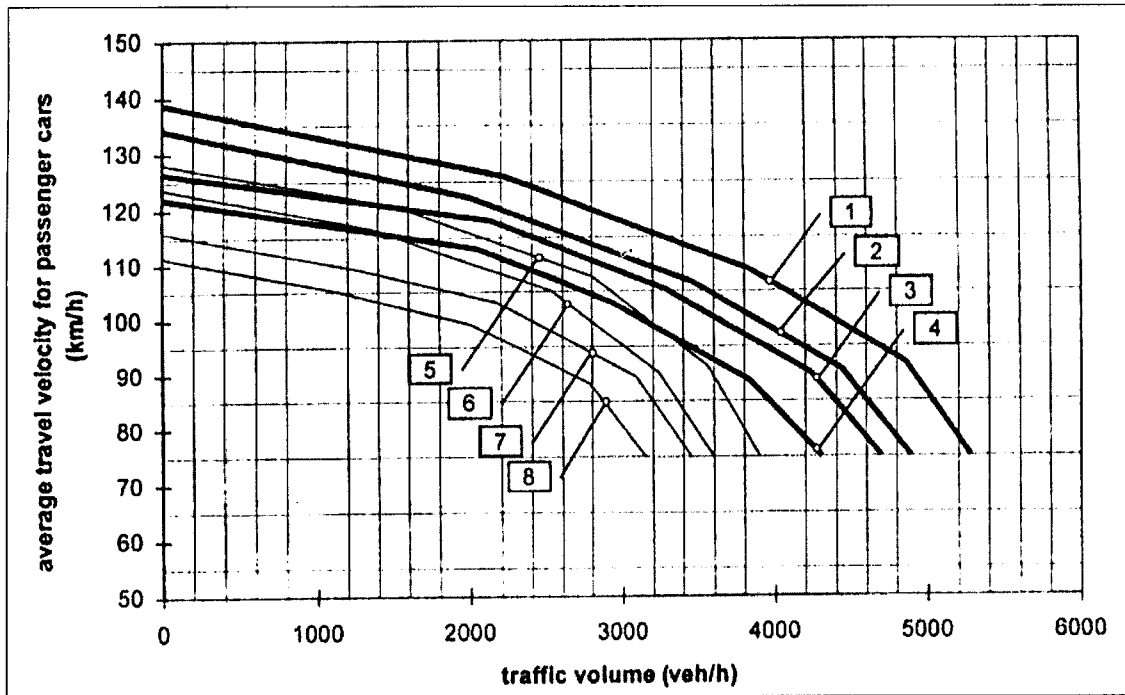
이상에서 살펴본 바와 같이 모든 나라가 미국 도로용량편람의 분석 방법을 모태로 자기 나라 특성에 맞도록 계수들을 수정하여 사용하고 있다. 그러나 독일은 미국의 분석 방법과 차이가 있어 자세히 살펴 볼 필요가 있다. 기술한 내용은 2000년 독일 도로용량편람 고

속도로 기본구간의 보고서를 중심으로 한 연구결과들이다. 미국 도로용량편람과의 차이점은 첫째, 승용차환산 교통량이 아닌 트럭의 비율에 따른 실제교통량을 직접 사용하였고 둘째, 서비스수준의 효과적도는 승용차의 평균운행 속도를 사용하였다. 이는 속도제한이 없기 때문에 미국의 도로용량편람과는 달리 교통량 변화에 따라 속도변화가 분명한다는 것이다. 그런데 승용차와 트럭의 속도차이가 분명하므로 승용차만의 평균운행속도를 사용하였다. 셋째, 15분 교통량을 1시간으로 환산한 교통류율을 사용하지 않고 1시간 교통량을 사용한다는 것이다. 넷째, 용량 및 속도-교통량 곡선에서 교통량을 차로단위로 표시하지 않고 방향별로 정의하였다. 다섯째, 트럭은 속도제한이 있고, 우측차로를 이용하기 때문에 승용차와 트럭의 속도차이가 뚜렷하다. 이는 트럭 교통량이 많고 트럭 속도 제한, 트럭 차로 제한이 엄격한 우리 나라의 경우와 비슷하다. 따라서 독일의 분석방법을 눈여겨 볼 만하다.

독일은 1994년 최초로 HCM을 완성하였으며, 최근 고속도로, 2차로 도로 및 비신호 교차로의 분석 방법이 수정되었다. 독일의 고속도로는 두 가지 특징을 가진다. 첫째, 속도 제한이 없으며(No General Speed Limit) 둘째, 우측 통행 실시와 우측 차로를 통한 추월을 금지하고 있다(Command of Drive on Right and Prohibition of Overtaking on Right). 독일의 고속도로 총 통행의 30% 이상은 130km/h 이상의 속도로 운행되며, 트럭에 대한 속도 제한은 80km/h이다. 독일에서는 위에서 설명한 두 번째 특징으로 인하여 교통류가 고속도로에 모든 차로에 균일하게 분포하지 않는다. 따라서, 독일에서는 이러한 차로별 교통량의 불균형을 고려하기 위해서 고속도로의 유형(차로수와 운전자 행태)과 기상조건(노면 건조 및 습윤 상태) 및 주야(晝夜)에 의해 모든 차로의 용량(방향별 용량)을 하나의 값으로 제시하고 있으며, 이때의 방향별 용량은 트럭의 혼입율에 따라 다르다. <표 1>은 이상적인 상태(노면 건조 및 주간)에서 독일의 이론적인 용량이며, <그림 1>은 독일 도로용량편람의 속도-교통량 곡

<표 1> 독일의 이론적 용량

트럭 비율	6차로 고속도로 (vph/방향)	4차로 고속도로(vph/방향)	
		도시부	지방부
0%	5,470	4,150	3,630
5%	5,340	4,020	3,580
10%	5,200	3,890	3,530
15%	5,070	3,750	3,480



- ① 6차로, 지방, 주, 맑음 ② 6차로, 지방, 야, 맑음 ③ 6차로, 지방, 주, 비 ④ 6차로, 지방, 야, 비
- ⑤ 4차로, 도시, 주, 맑음 ⑥ 4차로, 도시, 야, 맑음 ⑦ 4차로, 도시, 주, 비 ⑧ 4차로, 도시, 야, 비

〈그림 1〉 독일의 속도-교통량 곡선(10% 트럭 포함)

선이다. 그림에서 1~4는 편도 3차로 지방지역의 주야 및 기상 조건에 따른 속도-교통량 곡선이며, 5~8은 도시 지역의 편도 2차로 구간에 대한 주야 및 기상 조건에 따른 속도-교통량 곡선이다.

〈표 2〉는 기상 조건 및 주야 조건에 따르는 용량의 감소를 나타낸다.

〈표 2〉 기타 조건에 따른 용량의 감소 (단위:vph)

기상 및 주야	6차로 고속도로	4차로 고속도로	
		도시	지방
Dark	-360	-380	-210
Wet	-540	-380	-350
Dark and Wet	-880	-730	-550

서비스 수준의 결정의 효과척도는 승용차 평균운행 속도이며, 〈표 3〉은 속도에 따르는 서비스 수준의 결정 기준을 나타낸다.

〈표 3〉 서비스 수준의 결정 기준 (단위:Km/h)

LOS	A	B	C	D	E	F
승용차 평균운행속도	≥130	≥115	≥100	≥85	≥75	<75

III. 1985년 및 1997년 미국 도로 용량편람 비교

II장에서 살펴본 바와 같이 세계 모든 나라가 1985년 미국 도로용량편람 분석 방법론을 따르고 있다. 다만, 독일이 조금 상이한 방법론 및 결과를 제시하고 있으므로 II장에서 독일 편람을 자세히 설명하였다. III장에서는 1985년 미국 도로용량편람분석 방법론과 1997년 미국 도로용량편람 분석 방법론을 비교 설명하였다.

1985년과 1997년 미국 도로용량편람의 가장 큰 차이점은 속도-교통량 관계 곡선이다. 1985년 HCM에서는 설계속도(Design Speed) 70, 60, 50mph을 기준으로 3가지 곡선을 제시한 반면에 1997년 미국 도로용량편람에서는 자유속도(Free Flow Speed) 70, 60, 50mph을 기준으로 4가지 곡선을 제시하였다. 1985년 미국 도로용량편람의 속도-교통량 곡선을 보면 교통량이 늘어나면서 속도가 조금씩 감소하고 있으나 1997년 곡선에서는 어느 정도까지의 교통량(Free Flow Speed 70mph : 1300pcph, Free Flow

Speed 55mph : 1750pcph)수준까지 늘어나도 속도가 전혀 감소함이 없이 동일한 속도를 유지한다는 것이다. 즉 Free Flow Speed 70mph를 예를 들면 교통량이 전혀 없을 때나 교통량이 점점 늘어나 1300pcph가 될 때까지는 승용차의 평균운행속도는 70mph를 유지한다는 것이며, 이를 자유속도라 하였다. 수식에 의해 추정할 수 있도록 식을 제시하였다(2. 자유속도 결정 참조). 속도-교통량에서 도로의 구분이 1985년의 설계속도에서 1997년의 자유속도로 바뀌었다는 의미는 실지로 주행하는 차량들이 설계속도 보다는 운전자들이 그 도로를 느끼는 데로 주행한다는 것이다. 이때의 승용차의 주행속도를 자유속도라 한다. 물론 자유속도를 결정하는 가장 중요한 요소는 설계속도이며 차선폭, 측방여유폭, 차로수, 인터체인지 밀도 등의 도로기하구조가 자유속도를 결정하는 요인이 된다. 1985년의 편람에서는 그 도로의 설계속도가 주어지면 하나의 속도-교통량 곡선이 결정되지만 1997년 편람에서는 동일한 설계속도라도 그 도로의 기하구조 변화에 따라서 운전자들이 실지로 다른 속도로 주행하면 상이한 자유속도에 따라 다른 속도-교통량 곡선을 선택할 수 있다. 즉 설계속도보다는 실제 주행하는 속도를 더 중요시 한다는 것이다. 따라서 운전자들이 설계속도보다 높은 속도로 주행한다면 설계속도보다 높은 자유속도의 속도- 교통량 곡선을 선택하여 분석할 수 있다. 또 하나의 중요한 변화는 차선폭 및 측방여유폭 보정계수가 1985년 미국 도로용량편람에서는 교통류율을 보정하는 계수로 사용하였으나, 1997년 도로용량편람에서는 자유속도를 보정하는 계수로 바뀐 점이다.

1997년 미국 HCM의 분석 방법론에서 가장 큰 특징은 자유속도를 먼저 결정후, 자유속도에 따라 용량을 2,400pcphpl에서 2,250pcphpl까지로 제시하고 있다는 것이다. 여기서 용량 분석의 목적은 서비스 수준을 결정하는 과정이라고 설명하고 있으며, 다음과 같은 3가지 요소를 포함한다.

- 교통류율 결정 : 15분 승용차 환산교통류율 계산
- 자유속도(Free-Flow Speed) 결정 : 분석구간의 자유속도 결정
- 서비스 수준 결정 : 교통류율과 이 때의 속도를 이용하여 결정

1. 교통류율 결정

이 단계에서는 산정된 자유속도에 따라 속도-교통량 곡선을 선택하고 교통류율을 산정한다. 시간 교통류율(hourly flow rate)은 중차량, 1시간 동안의 교통류의 일시적 변동과 운전자 집단의 특성(characteristics of the driver population)을 반드시 반영하여야 한다. 승용차 환산 교통류율은 중차량과 첨두시간계수(peak hour adjustment factors, PHF)에 의해서 계산되며, 차로별 또는, pcphpl로 기록된다. 다음 식은 승용차 환산 교통류율을 계산하기 위해 사용된다.

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

여기서,

- v_p : 15분 승용차 환산 교통류율(pcphpl)
- V : 시간 교통량(vph)
- PHF : 첨두시간계수
- N : 차로수
- f_{HV} : 중차량 보정계수
- f_p : 운전자 집단 계수(driver population factor)

1985년 미국 도로용량편람에서는 차선폭 및 측방여유폭을 교통류율을 결정하는 보정계수로 사용하였으나 1997년 미국 도로용량편람에서는 차선폭 및 측방여유폭 보정계수를 교통류율을 결정하는데 사용하지 않고, 자유속도를 결정하는 보정계수로 사용한 점이 큰 차이점이다.

1) 중차량 보정

교통류에서 중차량에 대한 보정은 3가지 차종(트럭, 버스, 관광 차량(recreational vehicles))에 대해 적용된다. 1985년 미국 HCM이 3가지 종류의 트럭 성능에 대한 각각의 보정계수를 적용하고 있는 반면, 1997년 HCM에서는 하나의 대표 트럭에 대한 보정계수만 적용한다. 또, 고속도로에서 트럭과 버스간의 성능의 차이를 입증하는 근거는 없다고 설명하고 있으며, 따라서 트럭과 버스는 동일하게 취급된다.

2) 일반지형의 승용차 환산계수

상향구배, 하향구배와 평지구간을 포함하는 고속도

로의 연속된 구간을 단일한 하나의 구간(평지, 구릉지, 산지)으로 고려하는 고속도로 용량 분석이다. 이 방법은 전체적인 구간의 운영에서 길거나 급한 구배가 유의한 영향을 주지 않는 곳에 적용한다. 일반지형 분석은 3% 이상의 구배가 400m 이상이 아닌 경우, 또는 3% 미만의 구배가 800m 이상이 아닌 경우에 적용 가능하다. 이러한 기준은 1985년 미국 HCM과 동일하다. 일반지형 분석에 사용되는 승용차 환산계수를 1985년 미국 HCM을 비교하면 <표 4>와 같다. 표에서 보는 바와 같이 1997년 미국 도로 용량편람이 1985년 미국 도로용량편람보다 낮은 승용차 환산계수를 제시하고 있다.

<표 4> 미국의 일반지형 분석의 승용차 환산계수 비교

구분	차종	지형구분		
		평지	구릉지	산지
1985년 미국 HCM	트럭	1.7	4.0	8.0
	버스	1.5	3.0	5.0
	관광차량	1.6	3.0	4.0
1997년 미국 HCM	트럭 및 버스	1.5	3.0	6.0
	관광차량	1.2	2.0	4.0

3) 특정 상향구배의 승용차 환산계수

구배 길이가 800m 이상이고 3% 미만인 경우, 3% 이상이고 구배 길이가 400m 이상인 경우는 교통류에 대한 영향이 크기 때문에 일반지형에서 별도로 분리하여 분석한다. <표 5>와 <표 6>은 특정 상향구배 구간에 대한 1985년 미국 HCM과 1997년 미국 HCM에서 트럭의 승용차 환산계수(ET)와 관광 차량의 승용차 환산계수(ER) 값을 비교한 것이다. 이러한 환산계수는 구배, 구배 길이와 중차량의 비율에 따라 다르다. 같은 구배에서 이들 환산계수의 값은 중차량의 혼입율이 적을 때 가장 크며, 중차량이 많아짐에 따라 감소한다. 이러한 차량들은 차량군을 형성하는 경향이 있기 때문이다.

1985년 미국 HCM이 표준 트럭을 200lb/hp로 정하고, 100과 300lb/hp에 대해 각각 다른 환산계수를 제시한 반면, 1997년 미국 HCM은 표준트럭을 125~150lb/hp 한가지만을 제시하여 분석을 간단하게 하였다.

특정 상향구배 구간에서 1985년 미국 HCM과 1997년 미국 HCM의 승용차 환산계수를 직접 비교하는 것은 표준 트럭이 조정되었기 때문에 불가능하다. 왜냐하면, 1985년 미국 HCM에서는 승용

<표 5> 특정 상향구배 구간에 대한 트럭의 승용차 환산계수 비교

구배(%)	길이(mi)	승용차 환산계수							
		트럭 비율(%)	2	4	5	6	8	10	15
3	0-1/4	'85HCM	4.5	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.5
		'95HCM	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	1/4-1/2	'85HCM	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0
		'95HCM	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0
4	0-1/4	'85HCM	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5
		'95HCM	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	1/4-1/2	'85HCM	7.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.5	4.5
		'95HCM	5.5	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
	≥1	'85HCM	9.0	7.0	7.0	6.5	5.5	5.0	5.0
		'95HCM	11.0	8.0	7.5	7.0	6.0	6.0	5.0
5	0-1/4	'85HCM	7.0	5.5	5.5	5.5	4.5	4.5	4.5
		'95HCM	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	≥1	'85HCM	10.0	8.5	8.0	7.0	6.0	6.0	6.0
		'95HCM	13.0	9.5	9.0	8.0	7.5	7.0	6.5
6	0-1/4	'85HCM	8.0	6.0	6.0	5.5	4.5	4.5	4.0
		'95HCM	4.5	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5

차환산계수가 분석 구간의 차로수에 따라 2개로 구분되어 있으며, 구배 길이에 대한 구분도 각 트럭(100, 200, 300lb/hp)마다 상이하기 때문이다. 그러나, 1997년 미국 HCM에서는 차로수를 구분하지 않으며, 트럭과 버스의 성능을 구분하지 않는다.

따라서, 비교를 위해 1985년 미국 HCM에서 6~8차로의 승용차환산계수와 100과 200lb/hp 트럭의 승용차환산계수를 보간법을 이용하여 150lb/hp에 대한 승용차환산계수로 재구성하였으며, <표 5>는 이 값과 1997년 미국 HCM의 승용차환산계수를 비교한 것이다.

<표 5>에서 살펴보면 구배 길이가 짧을 때는 1985년 미국 HCM이, 구배 길이가 아주 길어질수록 1997년 미국 HCM이 큰 보정계수를 가지며, 현장 설계 조건을 고려하면 전체적으로 1997년 미국 HCM이 작은 보정계수 값을 적용하도록 하고 있다. 특이한 점은 1997년 미국 HCM에서 구배 3%, 4%에서 구배길이가 1/2mile까지는 승용차환산계수를 평지와 같은 1.5로 제시하였다는 점이다. 또, 1997년 미국 HCM에서는 트럭 및 버스의 혼입율이 25%까지 분석 가능하도록 되어 있어, 혼입율이 20%일 때까지만 분석이 가능하도록 한 1985년 미국 HCM과 비교할 때 적용폭이 넓어진 면을 보인다. 이러한 사실로 미국에서도 고속도로의 중차량 혼입율이 커졌음을 알 수 있다.

<표 6>은 관광 차량에 대한 특정 상향구배의 승용차환산계수이다. 전체적으로 1997년 미국 HCM에서 작은 값을 적용하고 있으며, 관광 차량의 개선된 성능을 반영하고 있다. 이 표도 직접 비교를 위해서 구배 길이와 구배 정도가 비교 가능한 것에 대해서만 정리한 것이다.

4) 특정하향구배에 대한 승용차환산계수

특정 하향구배에 대한 승용차 환산은 1985년 미국 HCM과 비교할 때 큰 향상이 이루어진 부분으로, 1985년 미국 HCM에서는 일반지형의 승용차환산계수를 사용하도록 하고 있다. 그러나, 1997년 미국 HCM에서는 하향구배에 대한 별도의 승용차환산계수를 제시하고 있다.

하향구배에서 중차량이 교통류에 미치는 영향에 대한 특별한 연구 결과는 적다. 일반적으로, 하향구배는 트럭이 낮은 기어로 전환하도록 할만큼 심각하지 않다. 이때 트럭은 평지 구간에 있는 것처럼 취급할 것이며, 이에 따라 승용차환산계수가 선정된다. 좀더 급한 하향구배에서, 트럭은 과속하거나 제어 불가능한 상태를 피하기 위해 종종 낮은 기어를 사용할 것이다. 이러한 경우, 트럭의 영향은 평지에서 보다 클 것이다. <표 7>은 특정 하향구배에서 트럭과 버스의 승용차환산계수를 나타낸 것이다. 관광차량에 대해서는 하향구배의 영향을 별도로 고려하지 않고 있다.

<표 6> 특정 상향구배 구간에 대한 관광차량의 승용차환산계수 비교

구배(%)	길이(mi)	승용차환산계수								
		관광차량비율(%)	2	4	5	6	8	10	15	20
2	All	'85HCM	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
		'97HCM	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
3	0~1/2	'85HCM	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
		'97HCM	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	> 1/2	'85HCM	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
		'97HCM	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
4	0~1/4	'85HCM	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
		'97HCM	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
5	0~1/4	'85HCM	4.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0
		'97HCM	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5
6	0~1/4	'85HCM	5.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
		'97HCM	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0

〈표 7〉 특정 하향구배에 대한 승용차환산계수

구배(%)	길이(mi)	트럭/버스의 비율			
		5	10	15	20
<4	All	1.5	1.5	1.5	1.5
4	≤4	1.5	1.5	1.5	1.5
4	>4	2.0	2.0	2.0	1.5
5	≤4	1.5	1.5	1.5	1.5
5	>4	5.5	4.0	4.0	3.0
≥6	≤4	1.5	1.5	1.5	1.5
>6	>4	7.5	6.0	5.5	4.5

5) 운전자 집단 보정계수

해당 도로 구간에 대한 운전자의 친숙도에 따른 용량의 차이를 반영하기 위한 운전자 집단 보정계수는 1985년 미국 HCM에서와 마찬가지로 분석자의 판단에 의존하는 경향이 있으며, 주중(weekday)이거나 통근자의 통행에 대한 경우에는 보정계수를 1.0으로 취하여 보정하지 않는다.

이러한 운전자 집단 보정계수의 값은 1985년 미국 HCM에서는 0.75~1.0으로, 1997년 미국 HCM에서는 0.85~1.0으로 각각 제시하고 있다.

f_{LW} : 차로폭에 대한 보정계수(mph)

f_{LC} : 우측 갓길 측방여유폭에 대한 보정계수(mph)

f_N : 차로수에 대한 보정계수(mph)

f_{ID} : 인터체인지 밀도에 대한 보정계수(mph)

이상적인 조건의 자유속도는 70mph와 75mph를 분석자가 선택하도록 하고 있으며, 각각에 대해서 도시부 및 교외 고속도로, 지방부 고속도로에 적용할 것을 권장하고 있다. 〈표 8〉, 〈표 9〉, 〈표 10〉, 〈표 11〉은 위에서 설명한 각 보정계수의 값이다.

2. 자유속도 결정(Determination of Free-Flow Speed)

자유속도를 결정하는 과정은 1997년 미국 HCM에서 추가된 것으로 1985년 미국 HCM에서는 존재하지 않는다. 이상적인 조건의 자유속도(ideal free-flow speed) 보정을 통한 자유속도(free-flow speed)의 결정 방법은 직접 관측하거나 수식에 의해 추정하는 방법이 있다. 자유속도는 고속도로의 물리적인 특성에 의하여 간접 추정할 수 있다. 이러한 물리적 특성은 차로폭, 차로수, 우측 갓길 측방여유폭과 인터체인지 밀도(interchange density) 등이다. 여기서, 인터체인지란 유입연결로를 하나 이상 가지는 접속부를 말한다. 다음 식은 고속도로 기본구간의 자유 속도를 추정하기 위해 사용된다.

$$FFS = FFS_i - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID}$$

여기서,

FFS : 자유속도(mph)

FFS_i : 이상적인 조건의 자유속도(70 또는 75mph)

〈표 8〉 차로폭 보정계수

차로폭(ft)	자유속도의 감소(mph)
≥12	0.0
11	2.0
10	6.5

〈표 9〉 우측 측방여유폭 보정계수

우측 측방여유폭(ft)	자유속도의 감소(mph)		
	편도 차로수		
	2	3	4
≥6	0.0	0.0	0.0
5	0.6	0.4	0.2
4	1.2	0.8	0.4
3	1.8	1.2	0.6
2	2.4	1.6	0.8
1	3.0	2.0	1.0
0	3.6	2.4	1.2

〈표 10〉 차로수 보정계수

차로수(편도)	자유속도의 감소(mph)
≥5	0.0
4	1.5
3	3.0
2	4.5

〈표 11〉 인터체인지 밀도 보정계수

인터체인지 밀도(개/마일)	자유속도 감소(mph)
≤0.50	0.0
0.75	1.3
1.00	2.5
1.25	3.7
1.50	5.0
1.75	6.3
2.00	7.5

3. 서비스 수준 결정(Determination of Level of Service)

서비스 수준 결정의 주요 기준은 밀도이다. 밀도는 기본적인 교통량-속도-밀도의 관계식에서 산출한다. 우선, 〈그림 2〉와 같이 주어진 기본 교통류 관계도와 비슷한 유형으로 위에서 산출된 자유속도에 따른 속도-교통량 곡선을 그린다. 새로 그려진 속도-교통량 곡선에 기초하여, 주어진 교통류율(V_P , X축)에 대한 평균 승용차 속도(S)를 y축에서 읽는다. 이에 따른 밀도는 다음과 같이 계산한다.

$$D = V_P / S$$

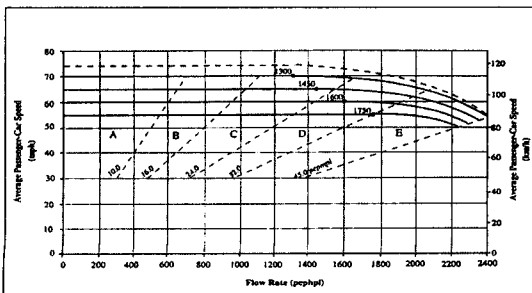
여기서,

D : 밀도(pc/mi/ln)

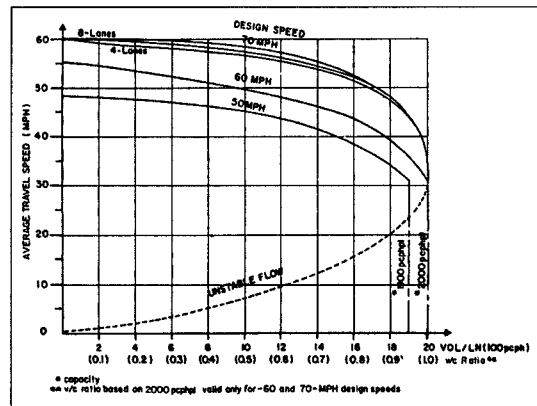
V_P : 교통류율(pcphpl)

S : 평균 승용차 속도(mi/h)

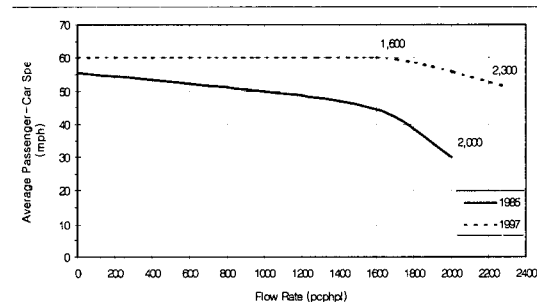
속도-교통량 곡선은 1985년 미국 HCM에 비해 큰 차이를 보인다. 우선 자유속도가 일정 교통량에 도달할 때까지 떨어지지 않으며, 이상 용량도 1997년 미국 HCM이 큰 값(2,000→2,400pcphpl)을 가진다. 또,



〈그림 2〉 속도-교통량 곡선(1997년 미국 HCM)



〈그림 3〉 속도-교통량 곡선(1985년 미국 HCM)



〈그림 4〉 1985년과 1997년 미국 HCM의 속도-교통량 곡선

용량 상태에서 속도가 1985년 미국 HCM이 30mph인 것에 비해 1997년 미국 HCM에서는 50~55mph이므로 더 높은 속도에서 용량이 발생하는 최근 교통류 특성을 반영하고 있다. 〈그림 3〉은 1985년 미국 HCM의 속도-교통량 곡선이며, 〈그림 4〉는 1985년 미국 HCM과 1997년 미국 HCM의 속도-교통량 곡선을 비교한 것이다.

IV. 각국 편람의 이상조건 및 보정계수 비교

1. 이상조건

각국에서는 1985년 미국 HCM과 유사한 분석 방법론을 가지고 있으나, 나름대로의 다른 이상적인 조건(ideal conditions)을 제시하고, 이에 따른 이상 용량(ideal capacity)을 제시하고 있다. 〈표 12〉는 각국의 이상 조건을 정리한 것이다.

〈표 12〉 각국의 이상 조건

구분	1985 미국 HCM	1977 미국 HCM	호주(1988)	대만	일본 (1984)	한국 (1992)	캐나다 (1986)
차로폭	3.66m	3.6m	3.7m	3.75m	3.5m	3.5m	3.75m
측방 여유폭	1.8m	1.8m	2.0m	1.8m	1.75m	1.5m	2.0m
교통류 구성	승용차로 구성된 교통류						
운전자 특성	주중 통근자						
기타		좌측(중앙분리대)여유폭 0.6m이상, 편도 5차로 이상, 인터체인지 간격 3km 이상			용량에 영향을 주는 속도제한이 없을 것	설계속도 100km/h이상	
지형	평지	중단구배 2% 미만의 평지	평지	평지	중단구배, 곡선반경, 시거 등이 용량시의 속도에 영향을 주지 않을 정도로 양호하여야 함.	평지	평지
이상 용량 (pcphpl)	설계속도 97kph 이상에서 2,000	자유속도 100kph에서 2,300	설계속도 100kph에서 2,000	설계속도 100kph이상에서 2,400	2,200	설계속도 100kph 이상에서 2,200	2,000

1997년 미국 HCM이 이상 조건의 항목이 가장 많으며, 정교한 조건을 제시하고 있다. 비교를 위해 설계속도 또는 자유속도에 따른 이상 용량을 제시하고 있는 국가에 대해서는 100km/h의 속도를 기준으로 하였다. 독일의 경우에는 이상 조건을 주간이며, 노면이 건조한 상태라고 제시하고 있으며, 차로별 용량은 1800vph로 정의하고 있다. 그러나, 이상 용량은 불균등한 차로별 교통량 분포로 인하여, 〈표 1〉과 같이 트럭 혼입율에 따른 방향별(편도) 용량을 제시하는 것이 특징이다.

2. 이상 용량

다음 〈표 13〉은 각국의 이상 용량이다. 1997년 미국 HCM과 대만이 가장 큰 이상 용량을 제시하고 있다. 특히, 독일의 경우는 가장 낮은 이상 용량과 방향별 용량을 제시하고 있다.

독일을 제외한 모든 국가가 고속도로 기본구간에 대한 효과적으로 밀도를 채택하고 있으며, 밀도값에 따르는 서비스 수준의 값은 국가별로 상이하다. 〈표 14〉는 국가별 서비스 수준의 값을 비교한 것이다.

〈표 13〉 각국의 이상 조건

구분	1985 미국HCM	1997미국 HCM	호주(1988)	대만	일본 (1984)	한국 (1992)	캐나다 (1986)	독일 (2000)
조건	설계속도 60mph이상	자유속도 70mph이상	설계속도 100mph이상	설계속도 100mph이상		설계속도 100mph이상		노면건조 및 주간
이상 용량	2,000 pcphpl	2,400 pcphpl	2,000 pcphpl	2,400 pcphpl	2,200 pcphpl	2,200 pcphpl	2,000 pcphpl	1,800 pcphpl

〈표 14〉 각국의 서비스 수준 비교

(단위:밀도, pcu/km/lane)

LOS	1985 미국 HCM	1997 미국 HCM	호주(1988)	대만	한국(1992)
A	≤7.5	≤6.2	≤7.5	≤10	≤8
B	≤12.4	≤9.9	≤12.5	≤18	≤13
C	≤18.6	≤14.9	≤18.8	≤31	≤19
D	≤26.1	≤19.9	≤26.3	≤43	≤27
E	≤41.6	≤28.0	≤41.9	≤52	≤44

1985년 미국 HCM에 비해 1997년 미국 HCM은 서비스 수준이 나빠질수록 상대적으로 작은 밀도값을 보이는 것이 특징이다. 이것은 1985년 미국 HCM에 비해 높아진 속도 곡선으로 인한 결과로 판단된다. 대만은 용량 상태(서비스 수준 E)에서 가장 큰 밀도값을 제시하고 있다. 또, 호주와 한국은 1985년 미국 HCM과 거의 유사한 기준을 가지고 있다. 독일의 경우에는 밀도를 효과적으로 사용하지 않고 속도를 사용하기 때문에 직접 비교할 수 없다. <표 3> 참조)

3. 중차량 보정

고속도로 기본구간 일반지형의 승용차환산계수는 <표 15>와 같다. 대만과 캐나다의 경우는 <표 15>와 같은 일반지형에 대한 승용차환산계수는 제시하지 않고, 종단구배와 혼입율에 의한 보정을 하고 있으므로 직접 비교하지는 않았다.

1985년 미국 HCM에서 중차량에 대한 승용차환산계수가 가장 큰 값을 보이며, 1997년 개정판에서는 이를 하향조정하였다. 또, 1997년 미국 HCM에서는 1985년 미국 HCM과는 달리 트럭과 버스에 대한 성능에 차이가 없다고 보고 동일한 승용차환산계수를 적용하였다. 일본의 경우도 트럭과 버스를 구분하지 않으며,

가장 작은 승용차환산계수를 적용하는 것이 특징이다. 우리 나라 도로용량편람의 승용차환산계수는 1997년 미국 HCM과 비슷한 값을 보이고 있다.

4. 특정구배 구간의 정의 및 분석

각국의 용량 분석에는 일반지형에 의한 승용차환산계수 적용 및 보정을 통한 분석보다 종단구배에 대한 정확한 분석을 수행하기 위해서 특정구배 구간 분석을 포함하고 있다. 이러한 분석을 별도로 취급하지 않는 경우도 있지만, 실질적인 내용에는 특정구배 및 그에 따르는 중차량 보정을 포함하고 있다. 특정구배 구간에 대한 각국의 정의는 <표 16>과 같다.

복합구배 구간에 대한 특정구배 구간 분석은 표고차와 구배 길이를 이용한 간략화된 방법과 복합구배를 구성하고 있는 각 구배에 대해서 별도로 분석하는 정밀 분석이 있다. 미국과 한국 이외의 국가에서는 이와같은 정밀 분석 방법을 제시하지 않고 있다.

<표 17>은 특정구배 구간에 대한 승용차환산계수를 국가별로 비교한 것이다. 여기서는 일관된 비교를 위해서 4차로(편도 2차로), 중차량 구성비 10%, 종단구배 3%, 구배 길이 2km에 대한 승용차환산계수를 비교하였다.

<표 15> 고속도로 기본구간 일반지형의 승용차환산계수

구분	1985 미국HCM	1997미국 HCM	호주(1988)	일본	우리 나라(1992)
	트럭/버스/관광차량	트럭, 버스/관광차량	트럭/버스	대형차	트럭/버스
평지	1.7/1.5/1.6	1.5/1.2	1.7/1.5	2	1.5/1.3
구릉지	4.0/3.0/3.0	3.0/2.0	4.0/3.0	2	3.0/3.0
산지	8.0/5.0/4.0	6.0/4.0	8.0/5.0	3	5.0/5.0

<표 16> 특정구배 구간의 정의

구분	1985미국 HCM	1997 미국 HCM	호주(1988)	대만	일본 (1984)	캐나다 (1986)	한국 (1992)
정의	3% 미만의 종단구배가 805m이상이거나 3% 이상의 종단구배가 402m 이상인 경우		3% 미만의 구배가 1.6km이상이거나 3%이상의 구배가 0.8km이상인 경우	특별히 정의하지 않음			종단구배가 3%이상이며 길이가 500m이상인 경우

<표 17> 특정구배 구간에서 승용차환산계수의 비교

구분	1985 미국 HCM	1997 미국 HCM	호주(1988)	대만	일본 (1984)	캐나다 (1986)	한국 (1992)
	표준트럭 (200lb/hp)	트럭 및 버스	표준트럭	버스/트럭/연결차량	대형차	중차량	트럭
환산 계수	6	4	6	2.27/2.84/4.54	2.4	3.6	7

일본의 경우 구배가 3% 이하인 경우는 구배 길이와는 관계없이 중차량 혼입율에 의해서만 승용차환산계수를 선택하도록 하고 있으며, 4% 이상인 경우에 대해서는 구배 길이를 고려하고 있다. 일본과 대만의 경우는 혼입율이 각각 90%와 100%에 대해서도 분석할 수 있도록 제시하고 있어, 1985년 미국 HCM, 1997년 미국 HCM, 한국 도로용량편람에서 각각 제시하고 있는 중차량 혼입율의 최대값 20%, 25%, 40%에 비해 폭넓은 분석 범위를 가지는 것이 특징이다. 특히, 대만과 1985년 미국 HCM에서는 차종(트럭, 버스, 관광 차량) 및 성능(100, 200, 300lb/hp)에 따라 별도의 구분을 수행하고 있는 것이 특징이다. 한국 도로용량편람에서는 비교적 적은 승용차환산계수를 사용한다.

V. 1992년 KMCM의 문제점 및 개선 방향

II장에서 살펴 본 바와 같이 독일을 제외한 세계 각국의 도로용량편람 고속도로 기본구간의 용량 및 서비스분석 방법론은 1985년 USHCM을 똑같이 모방하였으며, 자기나라 자료에 의한 수정한 용량 및 보정계수 값만을 제시하였다. 1992 KHCM의 고속도로 기본구간 분석 방법론도 1985년 USHCM 분석 방법론과 똑 같고 우리 나라 자료에 의한 용량 및 보정계수 값을 사용하고 있다. 그런데 III장의 설명에서와 같이 1997년 USHCM에서는 1985년 USHCM과 다른 분석방법론을 제시하고 있다. 따라서 고속도로 기본구간의 편람개선 연구에서는 독일의 도로용량편람, 1985년 USHCM, 1997 USHCM의 분석방법론 중 우리 나라는 어느 분석 방법론을 따를 것인지를 충분히 검토해야 된다.

미국 편람에 비해 독일 편람의 특징은 용량을 승용차 환산대수가 아닌 실제 자동차대수로 표시하고 차로별 용량이 아닌 방향별 용량을 제시한다는 점이다. 즉 미국편람에서 가장 중요시하는 중차량을 승용차대수로 환산하지 않고 트럭비율에 따라서 실제 자동차대수를 용량으로 제시하고 있다. 그리고 차로별이 아닌 방향별 용량을 제시하므로써 차로별 불균형 문제점을 해소하였다.

종합해 보면 미국은 micro한 분석이 가능한 운영 분석에 가깝다면 독일은 개략적인 계획분석에 가깝다고 볼 수 있다. 그렇다면 우리 나라의 분석방법론의 방향은 어디로 가야 할 것인가? 1992 KHCM이 이

미 1985년 USHCM 방법론을 따르고 있으므로 미국의 분석방법론을 크게 벗어나기 힘들 것으로 보이지만, 중차량의 영향이 우리와 비슷한 독일의 방향별 용량 등은 고려할 만하다. 아니면 차로별 보정계수를 추가하는 것은 어떨지? 또한 1997년 USHCM의 자유속도 개념이 우리 나라 교통여건에 적합한지는 충분한 자료의 수집·분석 후에 결정되어야 하겠다. 어느 방법론을 따르더라도 1992년 KHCM의 다음과 같은 문제점은 수정 또는 보완 할 필요가 있다.

① 설계속도가 100km/h 이하인 도로에 대한 용량 분석을 수행할 수 없다.

도로용량편람에는 설계속도가 120km/h와 100km/h에 대한 속도-교통량 곡선 및 서비스 수준을 제시하고 있으므로, 도시고속도로(서울의 올림픽대로 등)와 같이 설계속도가 80km/h 전후인 시설에 대한 용량 분석을 수행할 수 있다.

② 노면이 습윤 상태이거나 야간인 경우 등 정상적인 기후 조건이 아닌 경우를 고려하지 않고 있다.

독일의 경우는 이상적인 조건으로 노면이 건조하고 주간이며 정상적인 일기 상태를 제시하고 있으며, 이러한 조건을 만족시키지 않는 조건에 대한 용량을 별도로 제시하고 있다. 대한교통학회지 제17권 제1호의 "기상 조건에 따른 도시고속도로 교통류변화 분석"에 의하면 비가 올 경우 맑은 날에 비해 고속도로의 서비스 교통류율은 약 16%정도 감소하는 것으로 제시하고 있다.

③ 평지, 구릉지 및 산지에 대한 판단 기준과 설명이 미비하다.

고속도로라 하더라도 어느 정도의 종단구배를 가지는 것이 국내의 여건임에도 불구하고, 몇 % 이하를 평지로 구분하고, 어떠한 지형을 구릉지 또는 산지로 분석해야 한다는 계량적인 설명이 제시되어 있지 않다. 도로용량편람에서는 평지, 구릉지, 산지에 대한 승용차환산계수를 다르게 제시하고 있으므로, 평지, 구릉지, 산지에 대한 정의 내지는 설명이 필요하다.

④ 특정구배 구간 구분 기준이 모호하다.

도로용량편람에서는 종단구배 3%이상이며 구배 길이가 500m를 넘는 경우에 특정구배 구간으로 분석하도록 되어 있으나, 실제로는 2%에 해당하는 경

우도 특정구배 구간의 승용차환산계수를 제시하고 있어 분석자의 혼란을 유발할 수 있다. 따라서 특정구배를 2%이상이며 구배길이가 500m이상인 경우로 수정해야 된다.

⑤ 중차량 구성비가 상이하고 낮게 설정되어 있다.

일반지형 분석의경우는 중차량 보정계수 산정 수식으로부터 중차량 구성비가 높은 (40% 이상)에 대해서도 분석이 가능하나, 특정구배 구간에서는 40% 이하의 중차량 구성비에 대해서만 분석 가능하도록 되어 있다. 그러나 우리나라 고속도로의 중차량(버스+트럭) 구성비가 50~60%가 되는 경우가 있으므로 특정구배 승용차환산계수표의 중차량구성비를 50, 60%까지 확대하던지 40%를 "40% 이상"이라고 수정해야 한다. 그리고 현재의 편람에서는 중차량에 대한 정의가 없으므로 어떤 트럭 까지가 중차량인지를 판단할 수 가 없다.

⑥ 트럭과 트레일러의 승용차환산계수가 동일하다.

트레일러는 트럭보다 성능이 떨어지고, 차량 길이도 상당히 차이 남에도 불구하고 현재의 편람에 의하면 동일한 승용차환산계수를 적용해야 한다. 그러나 트레일러의 비율이 적은 고속도로는 트레일러의 영향이 적지만 부산, 인천, 광양 등과 같이 항만에 인접한 고속도로는 트레일러의 비율이 높으므로 트레일러의 영향을 고려해야 한다. 도로용량편람 개선연구에 의하면 트레일러의 차두간격은 일반트럭의 차두간격보다 1.5~2배 정도가 크다.

⑦ 과포화상태시 용량 및 교통 분석이 불가능하다.

우리나라는 거의 매일 과포화상태가 반복되므로 과

포화상태의 용량 및 교통류 분석 연구가 필요하지만 KHCM에서는 과포화상태의 용량 및 교통분석에 대한 언급이 전혀 없다. 1985년 USHCM에서도 과포화상태의 교통류에 대한 언급이 없었지만 1997년 USHCM에서는 과포화상태의 교통류 현상을 첨가하였다.

참고문헌

1. Special Report 209 : Highway Capacity Manual 1985, TRB, National research Council, Washington D.C., 1985.
2. Austroads, Guide to Traffic Engineering Practice Part-2 Roadway Capacity, Sydney, 1988.
3. 交通部運輸研究所, 臺灣地區公路容量手冊, 中華民國 79년 10월.
4. 日本道路協會, 道路の交通容量, 昭和59年 9月, 1984.
5. 건설부, 도로용량편람, 1992.
6. Roads and Transportation Association of Canada, Manual of Geometric Design Standards for Canadian Roads, 1986.
7. Ning Wu, The Proposed New Version of German Highway Capacity Manual, Traffic and Transportation Studies Proceeding of ICTTS '98, 1998, pp.538~547.
8. Schoen, J., "Speed-Flow Relationships for Basic Freeway Section", NCHRP 3-45 Final Report, JHK Associates, 1995.
9. B.S. Kerner, "Anaysis of Congested Traffic Flow", 제5회 ITS World Congress, 1998.