

□ 論 文 □

고속도로 연결로 분석 기법에 대한 평가
 高速道路 連結路 分析 技法에 對한 評價

Evaluation of Analysis Methodologies for Freeway Ramp Areas

이 정 유
李 貞 壽

(韓國建設技術研究院 研究員)

윤 치 환
尹 汝 煥

(韓國建設技術研究院 研究員)

김 은 언
金 恩 廷

(韓國建設技術研究院 研究員)

. 目 次 .

| | |
|--|---|
| <p>I. 序論</p> <p>1. 研究目的</p> <p>2. 研究範圍</p> <p>3. 研究接近方法</p> <p>II. 連結路 分析 理論</p> <p>1. 間隔 受諾 模型</p> <p>2. 미국 HCM 方法論</p> <p>III. 資料 蒐集 및 分析 概要</p> <p>1. 資料 蒐集 概要</p> <p>2. 資料 分析 概要</p> | <p>IV. 間隔 受諾 模型의 評價</p> <p>1. 本線 接續 車線의 車頭 間隔 分布</p> <p>2. 臨界 間隔과 合流 容量 分析</p> <p>V. 美國 HCM 模型의 評價</p> <p>1. 流入 連結路</p> <p>2. 流出 連結路</p> <p>3. 回歸式의 修正</p> <p>4. 連結路의 容量</p> <p>VI. 結論 및 向後 研究 課題</p> <p>參考文獻</p> |
|--|---|

ABSTRACT

Even though the types of ramp facilities in Korea are not various like other countries, operations in these sections are very important because ramp merging and/or diverging flow affects freeway overall sections.

In this study, existing methodologies, especially the gap acceptance model and the regression model in USHCM, are evaluated with our field data.

By gap acceptance model, the merging capacity is founded 2,360 pcph, which is increased by 7% than the capacity of freeway basic section. And in comparison of actual lane 1 volume to the estimation volume by HCM model, the model slightly overestimates the actual volume.

I. 序論

1. 研究 目的

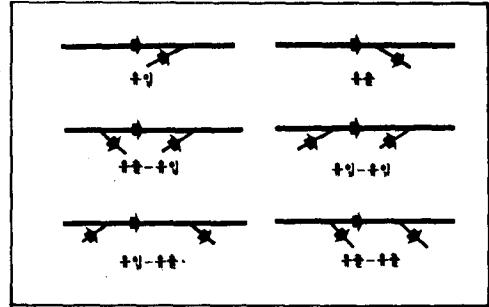
連結路-高速道路 接續部(ramp-freeway junctions)는 道路面에 대한 두 개 交通 需要의 競爭의 相衡이 發生하는 連續流 道路 區間의 한 부분이다. 특히, 이 구간에서는 高速道路 基本 區間보다 현저히 많은 車線 變更이 發生, 전체적으로 不安定한 交通流域을 形成하며, 그로 인한 事故 發生의 危險이 큰 구간이다. 기능적으로 이 接續部는 관련된 交通流間의 相互 作用으로 인한 交通流 質의 低下를 최소화하도록 설계되어야 하나, 시설 지역의 幾何構造의 制限 要素나 設計 및 施工上의 어려움 때문에 이상적으로 설치되어 운영되지 못하고 있다.

비록 이러한 시설의 國內 例가 많지 않고, 접속부들의 형태가 歐美에서 처럼 다양하지 않으나, 이 구간에서의 運營 狀態가 전체 시설물의 운영 상태에 큰 영향을 끼친다는 점을 감안할 때, 이 구간의 國內 자료를 토대로 한 交通流 分析은 중요한 의미를 가진다. 또한 既存의 分析 方法과 設定된 基準에 대한 檢討는 우리나라의 도로와 교통 그리고 운전 환경 여건에 견주어 제기되었던 分析 模型의 適合性에 관한 많은 의문들에 관한 해결의 실마리를 제공하는바, 本 稿에서 그에 대한 評價를 시도하게 되었다.

2. 研究 範圍

본 연구에서는 고속도로의 運營에 가장 큰 영향을 주는 連結路-高速道路 接續部만을 分析 대상으로 삼았다. 連結路-高速道路의 接續部는 형태상 合流 地域과 分岐 地域으로 분류될 수 있으며, 일반적인 형태 및 배열은 <그림 1>과 같다.

연결로를 형태별로 분류하는 가장 큰 이유는 連結路에 接續되는 車線(대부분의 연결로가 본선 우측에 접속되기 때문에 이하 '차선 1' 또는 '접속 차선'이라 칭한다)의 交通량을 합리적으로 예측하



<그림 1> 일반적인 연결로의 형태 및 배열

는데 있다. 다시 말해 車線 1의 交通量 혹은 交通量의 車線別 分布는 隣接 連結路들의 位置와 交通量에 의해 크게 변화한다고 볼 수 있다. 사실 차선 1의 交通량을 효과적으로 예측하기 위해서는 대상 연결로와 근접 上下部의 연결로를 하나의 시설로 보는, 3 개의 連續된 연결로를 연구 대상으로 해야겠으나, 한국의 실정상 연속된 3 개의 연결로가 하나의 影響圈 내에서 운영되는 예가 극히 드물고, 연결로의 전형적인 배치 형태가 운영 특성상 독립적인 유출-유입 연결로의 모양을 띠고 있기 때문에 본 연구에서는 이를 독립된 유출 연결로 또는 독립된 유입 연결로로 간주하여 분석하였다.

3. 研究 接近 方法

본 연구에서는 연결로 분석을 위하여 간격 수락 모형과 미국 HCM 모형을 검토하였는데, 그 이유는 간격 수락 모형이 容量 算定에 크게 의미를 부여하고 있는 반면에, 미국 HCM 모형은 運營 狀態를 평가하는 데 치중하고 있기 때문이다. 통상 연결로에서는 고속도로 交通량과 연결로 交通량을 入力 變數로 하여 서비스 수준을 결정하는 방식이 일반적이거나 주어진 조건에서 最大 交通량을 산정하고 있지 않기 때문에 이 두 방법론의 比較는 필수적이라 생각된다.

본 연구에의 접근을 위한 分析 方法論의 適用 및 評價 段階에서는 다음과 같은 관계들을 분석

한 후, 기존 두 방법론들의 結果値와 實測値를 比較·檢討하여 이를 토대로 각 방법론이 가지는 限界와 長短點을 논하였다.

- 본선의 接續 車線의 車頭 間隔 分布
- 교통량에 따른 Erlang 係數의 변화
- 臨界 間隔 算定을 위한 자료 분석
- 실제 차선 1 교통량과 미국 HCM 계산치의 比較
- 미국 HCM 회귀식의 修正
- 연결로의 용량

사실 위와 같은 관계를 검토하는 것은 간격 수 락 모형과 미국 HCM의 운영 분석이 얼마나 한국의 교통류 상황에 잘 맞는가를 조사하는 데 중점을 둔 것으로 결국 얼마만큼의 교통량이 합류 또는 분기되었나를 분석하는, 교통량을 주로 기본으로 한 서비스 수준 모형을 검증하는 데 지나지 않는다. 그러나 이러한 검증이 연결로의 容量 分析 模型을 적절히 개발하는 데 반드시 수반되어야 할 과업이고 보면 분명 의미있는 일이다.

II. 連結路 分析 理論

일반적으로 연결로의 분석에 관한 연구는 영미 학자들에 의해서 제시된 방법론들이 그 주류를 이루고 있는데, 이들은 間隔 受諾 模型과 미국 HCM의 回歸 模型을 體系化하는 데 기여하였다.

Drew(1967)에 의해 체계화된 間隔 受諾 模型은 주어진 교통 조건 아래에서 연결로의 最大 許容 交通量을 예측하고 이에 관련된 연결로 차량의 遲滯 時間 및 遲滯 길이를 算定할 수 있다는 점 때문에 크게 부각되었는데, 사용된 確率 模型이 너무 간략화된 가정들에서 출발된 이론이어서 복잡한 合流 特性과 本線 交通流의 狀態를 변화있게 설명하지 못하는 단점도 있다.

현재 1985년 미국 HCM의 방법론은 1965년 미국 HCM을 수정 보완한 것으로, 차선 1의 교통량

을 추정하는 回歸式을 각 형태별로 제시하고 있으며, 예외의 형태에 대해서는 近似值 方法(Approximate Method, 一名 California Method)을 병용하는 방식으로 구성되어 있다. 기본적인 방법론은 Hess(1965)에 의해 개발된 것으로 현재 영국, 호주 및 스웨덴의 분석 방법의 토대가 되고 있다.

다음은 연결로 접속부에 대한 두 개의 대별된 방법론을 설명한 후 우리나라 연결로의 자료로 이를 비교한 것이다.

1. 間隔 受諾 模型

Drew(1966)에 의한 합류 지점의 연구는, Raff(1950)의 임계 간격(critical gap) 개념이 그 근간을 이루는데, 다음과 같이 설명할 수 있다. 연결로에서 본선으로 流入될 수 있는 最大 車輛 臺數는 본선 차량이 제공하는 車頭 間隔의 分布 및 그 크기에 따라 결정된다. 또한 실제 차두 간격(시간, t 초)의 분포가 교통량의 변화에 따라 분포 모양이 달라지는 것을 감안하여 Drew는 차두 간격 분포에 감마 분포를 적용, 본선 교통량에 따른 매개 변수 값(Erlang 계수 a)을 제시하였다.

일반적인 감마 분포의 確率 密度 函數는 다음과 같다.

$$f(t) = \frac{(at)^a}{(a-1)!} (t)^{a-1} e^{-at} \dots\dots (식 1)$$

여기서, q는 초당 평균 본선 차선 1 교통량이며, a는 매개변수이다.

Drew(1966)는 여러 實測 資料를 바탕으로 교통량과 Erlang 계수(a)와의 관계를 다음과 같이 제시하였다.

$$a = 0.95e^{3.6q} \dots\dots\dots (식 2)$$

여기서 q는 차선 1의 秒當 平均 交通流率이다. 적절한 a의 값은 계산값의 가장 가까운 定數를 사용하도록 제안하고 있는데, Drew는 교통량에 따른 Erlang 계수값을 다음 (表 1)과 같이 제시하고 있다.

〈表 1〉 Erlang 계수와 차선당 교통량

| | | | | | | |
|--------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Erlang 계수(a) | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 교통량(대/시) | 800 | 1,000 | 1,200 | 1,400 | 1,600 | 1,800 |

한편 고속도로 연결로 부근의 보다 효율적이고 안전한 運行 水準을 기대하기 위해서는 連結路의 合流 容量(merging capacity)이라고 하는 連結路 接續部의 精確한 容量 算定을 전제로 한다.

합류시 연결로의 접속 차선이 수용할 수 있는 최대 연결로 교통량은 그 접속 차선의 차두 간격 분포와 밀접한 관련이 있음은 이미 언급한 바 있다. 접속 차선 차량의 도착 형태가 無作爲의이고, 연결로 차량의 수요가 繼續的일 때, 특정 시점에서 접속 차선의 앞뒤 차량이 제공하는 車頭 間隔이 特定 間隔(臨界 間隔: IV장 2절 참조) T보다 작으면 이론적으로 연결로 차량의 합류는 불가능하다.

그러나 $T < (T + T)$ 는 T보다 작으나 T에 거의 가까운 임의의 값이면 연결로 차량 한 대가 접속 차선에 진입할 수 있을 것이며, $T + T < (T + 2T)$ 이면 두 대의 연결로 차량이 합류할 수 있다. 이때에 연결로 접속 차선이 연결로 차량을 단위 시간당 수용할 수 있는 양, q로 표시하면 다음과 같다.

$$q = q \sum_{i=0}^{\infty} (i+1) P [T + iT \{t(T + (i+1)T)\}] \dots \dots \dots (식 3)$$

여기서, q는 연결로 접속 차선의 교통류율이며, P는 진입할 수 있는 확률이다.

q의 간격 분포가 Erlang 분포의 a=1 즉, 음의

지수 분포이면 (식 1)의 확률 밀도 함수는

$$f(t) = qe^{-qt} \dots \dots \dots (식 4)$$

이고, (식 3)은 다음과 같이 표현된다.

$$q = q [e^{-qt} - e^{-q(T+T)}] + 2q [e^{-q(T+T)} - e^{-q(T+2T)}] + \dots \dots \dots = \frac{qe^{-qt}}{1 - e^{-qT}} \dots \dots \dots (식 5)$$

여기서 單一 合流보다 多重 合流는 간격 크기에 다른 間隔 受諾 累積 曲線의 기울기가 급하므로 간격 크기의 차이에 더 민감하다. 간격 수락 누적곡선은 50% 受諾 水準에서 T와 T는 거의 같으므로 (식 5)는 다음과 같이 표현된다.

$$q = \frac{qe^{-qt}}{1 - e^{-qT}} \dots \dots \dots (식 6)$$

또한 a=2이면

$$f(t) = 4qt^2 e^{-4t} \dots \dots \dots (식 7)$$

$$q = \frac{q[(2qT+1)e^{-2qT} - e^{-4T}]}{(1 - e^{-2qT})^2} \dots \dots \dots (식 8)$$

이고, a=3이면

$$f(t) = \frac{27}{2} q^3 t^2 e^{-3t} \dots \dots \dots (식 9)$$

$$q = q [e^{-3qT} (\frac{9}{2} q^2 T^2 - 3qT - 2)e^{-6qT} + (\frac{9}{2} q^2 T^2 + 3qT + 1)e^{-3qT}] / (1 - e^{-3qT})^3 \dots \dots \dots (식 10)$$

과 같이 표현된다.

뿐만 아니라 Drew는 연결로 접속부의 幾何 條件이 임계 간격에 영향을 주는 것을 감안하여 合流 角, 加速 車線의 길이 및 接續 形態 등을 포함한 임계 간격의 추정식을 제시하였다.

$$T = 5.547 + 0.828\theta - 1.043L_{41} + 0.045L_{41}^2 - 0.042\theta^2 - 0.874S \dots \dots \dots (식 11)$$

〈표 2〉 연결로 운영의 유형

| 상대 속도=본선 속도-연결로 속도(노우즈 부근) | | | | | | | | | 합류각(도) |
|----------------------------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------|---------|-------|--------|
| < 5mph | | | 5mph~20mph | | | > 20mph | | | |
| 가속차선 길이(ft) | | | 가속차선 길이(ft) | | | 가속차선 길이(ft) | | | |
| <300 | 300~600 | > 600 | < 300 | 300~600 | > 600 | < 300 | 300~600 | > 600 | |
| I | H | H | I | H | H | L | I | H | 0~6 |
| I | H | H | L | I | H | L | L | I | 6~12 |
| L | I | I | L | L | I | L | L | I | > 12 |

여기서,

θ : 본선과 연결로의 합류 각

L_{Hi} : 가속 차선의 길이(ft)/100

S : 접속 형태 $\begin{cases} 1(\text{테이퍼인 경우}) \\ 0(\text{평행식인 경우}) \end{cases}$

H=1등급, I=2등급, L=3등급

또한 여러 기하 조건에 따라 운영되는 연결로의 유형을 3등급으로 나누어 각 등급에 속한 연결로의 임계 간격(T)을 분석, (표 2)와 같이 제시하였다.

2. 美國 HCM 方法論

가장 널리 쓰이고 있는 1985년판 미국 HCM은 연결로의 운영에 관한 분석 절차를 다음과 같이 설정하였다.

- 1) 모든 幾何學的 條件과 고려될 경우의 교통량을 조사 혹은 추정
(近接한 上下流 連結路의 位置 및 交通量도 포함)
- 2) 각 경우에 대해 13 개의 分析 圖表(nomograph) 또는 回歸式 중에서 택하여 차선 1 교통량(V_1)을 계산(예가 없는 경우 近似值 방법을 사용)
- 3) 분석 도표를 이용하여 차선 1에서의 트럭 구성비를 계산
- 4) 본선 교통량(V_i), 연결로 교통량(V_e) 그리고 V_i 를 첨두 교통류율로 전환
(승용차 환산 계수와 PHF를 사용)
- 5) 체크점 교통량 : 합류 후 교통량($V_m = V_i + V_e$) 혹은 분기 전 교통량($V_d = V_i$)을 계산
- 6) V_b , V_m (혹은 V_d)을 기준과 비교하여 서비스 수준을 결정

여기서 가장 중요한 부분이 바로 연결로의 종류와 배열에 따른 차선 1의 교통량을 추정하는 일인데, 미국 HCM은 13가지의 예에 대한 분석 도표

및 회귀식(1985 미국 HCM 5-25~5-35 參照)과 예가 없는 경우에 대한 분석 방법(근사치 방법)을 제공하고 있다.

13가지 외의 경우에 대한 근사치 방법의 절차도 다음과 같이 설명할 수 있다.

- 1) 우선 본선 교통류율과 차선 수에 따라 차선

1등급 : $T=3.0$ 초

2등급 : $T=3.5$ 초

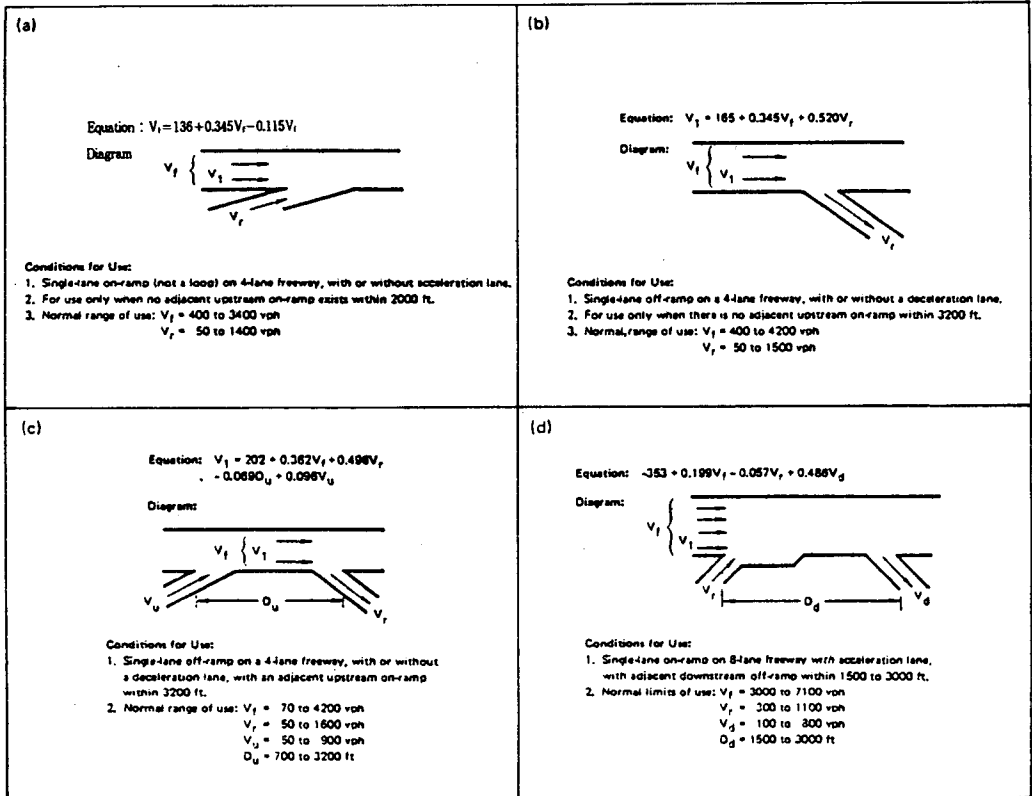
3등급 : $T=4.0$ 초

- 1에 남아 있을 직전 차량의 비율을 구하고,
- 2) 분석 지점에서 연결로 이용 차량의 비율을 얻은 다음,
- 3) 직진 차량 대수와 연결로 차량 대수를 더해서 체크점 교통량을 구한다.
- 4) V_b , V_m (V_d)을 기준 표와 비교하여 서비스 수준을 결정한다.

상기 방법에 의해서 차선 1의 교통량을 구한 후 이 교통량을 PHF와 트럭의 승용차 환산계수를 이용, 尖頭時 승용차 대수로 환산하여야 한다. 이와 같이 차선 1에서의 교통량을 승용차 대수로 환산한 다음, V_m 이나 V_d 를 계산하여 서비스 수준을 결정한다.

HCM은 V_b 와 V_m (혹은 V_d)을 본선의 설계 속도에 따라 교통류율을 비교하여 결정하도록 하고 있다. 이는 통상 고속도로 기본 구간에서 서비스 수준의 결정에 쓰이는 매개 변수인 密度와는 거리가 먼데, 1965년판 HCM이 설명하듯, 연결로의 合流 및 分岐의 특성상 중점이 교통량의 추정에 있고 고속도로 기본 구간과는 달리 운전자의 自由度가 훨씬 떨어지는 연결로 지역에서는 밀도나 속도와 관련된 설명 변수가 좋은 기준을 제공하지 못하기 때문인 것으로 알려지고 있다.

운영상 分岐 地域이 合流 地域보다 상대적으로 적은 마찰을 보유하고 있으므로, 같은 서비스 수



(그림 2) 미국 HCM의 차선 1 교통량 算出을 위한 回歸式의 例

준에 대해 분기 지역이 합류 지역보다 서비스 교통량이 많음을 알 수 있다. 서비스 수준의 구분은 고속도로 기본 구간에 대한 서비스 수준 구분 체계와 一貫性을 갖도록 구분되어 있으나, 구분 간격 자체가 자료에서 오는 현상의 차이를 구분했다기보다는 이론적 판단에 근거한 것이라 할 수 있다.

III. 資料 蒐集 및 分析 概要

1. 資料 蒐集 概要

連絡路의 容量과 運營 狀態 分析을 위해서는 여러 가지의 交通 및 道路 條件에 관한 資料가 필요하나, 본 단계에서는 간격-수락 모형과 미국

HCM 방법론을 평가하는 데 그 목적을 두고 있으므로 조사 항목들을 다음과 같이 제한하여 조사 하였다.

- 연결로의 교통량 및 본선의 교통량
- 近接 上下流의 교통량 및 거리
- 加速(減速) 車線의 길이 및 형태
- 合流 및 分岐 角度
- 연결로와 본선의 相對 傾斜
- 차선 1에서의 車頭 間隔 分布

위 항목 중 마지막 것은 간격의 크기에 따른 확률적 분포를 검증하기 위해 추가되었다. 앞서 설명한 바와 같이 한국의 도로 현황에서 조사된 연결로 형태는 流出-流入 順의 연결로이며 극소수

의 유입-유출 형태가 대체적으로 왕복 4차선 도로에서 관측되므로 본 단계에서는 그 기본이 되는 독립된 連結路(유출-유입 형태의 경우 분리된 연결로로 보는 것이 일반적임)를 분석의 대상으로 삼았다.

유입 및 유출 연결로의 경우를 왕복 4차선 고속도로에서 각각 3~4개 지점을, 8차선 고속도로에서 각 1~2개 지점을 選定하였다. 여기서 8차선 고속도로는 도시 고속도로인 올림픽대로를 대상으로 하였는데, 이는 교통 특성상 트럭 교통량이 많은 지방부 고속도로와 混合 交通量の 변화가 심한 도시 고속도로가 낱게 될지 모르는 상이한 분석 결과를 비교하거나 종합하기 위해서이다. <表 3>은 본 단계에의 조사 지점과 그들의 運營 및 幾何構造上的 특징들이다.

<表 3> 연결로 조사 지점 및 관계 자료

| 구 분 | | 4차선 고속도로 | | | | 8차선 고속도로 | |
|-----|-----------------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 수원 LC | 호법 LC | 곶지암 LC | 중부 휴게소 | 잠실 LC | 한남 LC |
| 유입 | · 교통 상태 ¹⁾ | C-F | A-D | A-D | A-D | B-F | C-F |
| | · 고속차선의 형태, 길이 | 직접식 | 평행식 (360m) | 평행식 (250m) | 평행식 (250m) | 평행식 (130m) | 평행식 (130m) |
| | · 합류 각도 | 12° | 6° | 10° | 5° | 4° | 5° |
| | · 상대 경사 ²⁾ | -4% | -4% | -0.1% | -0.5% | -1% | 3% |
| 유출 | · 교통 상태 ¹⁾ | C-F | | C-E | A-D | A-D | |
| | · 고속차선의 형태, 길이 | 직접식 | - | 직접식 (100m) | 평행식 (150m) | 평행식 (112m) | - |
| | · 합류 각도 | 1° | | 11° | 5° | 6° | |
| | · 상대 경사 | 15% | | -0.6% | -0.5% | 0.5% | |

1) 連結路 合流 地域의 概略의인 서비스 수준 2) 本線 傾斜 - 連結路 傾斜

2 資料 分析 概要

앞서 언급한 바와 같이 본 연구 단계에서 分析 對象으로 한 연결로 형태는 독립된 流入 및 流出 連結路이며, 우선적으로 수집 및 분석된 자료는 편도 2차선 고속도로와 4차선 고속도로의 자료이

다. 수집된 자료를 각 방법론에 맞게 체계적으로 분석하여 정리함으로써 間隔 受諾 模型의 기본이 되는 차두 간격의 분포와 Erlang 계수를 검토하였고, 임계 간격을 도출하였으며, 實測値와 미국 HCM 回歸式에 의한 計算値를 비교하였다.

다음은 본 단계에서 도출된 여러 가지 분석 결과인데, 간격 수락 모형과 HCM 모형을 비교 평가하였으며, 아울러 연결로의 運行 特性和 容量 問題를 부분적으로 검토하였다.

IV. 間隔 受諾 模型의 評價

間隔 受諾은 高速道路 合流部 즉, 流入 連結路의 運行 特性을 가장 잘 설명해 주므로 流出 連結路는 적용 대상에서 제외된다. 주로 서비스 수준

D~E에서 좋은 說明力을 갖는 이 모형은, 本線의 連結路, 接續 車線(車線 1)의 車輛 到着 형태를 보여주는 車頭 間隔 分布와 합류 차량의 본선 진입 여부와 관계되는 臨界 間隔에 의해 규정된다. 따라서 차선 1의 차두 간격 분포와 연결로 차량의 間隔 受諾 特性을 파악하는 작업으로 이 모형에

대한 評價를 대신할 수 있을 것이다.

1. 本線 接續車線의 車頭 間隔 分布

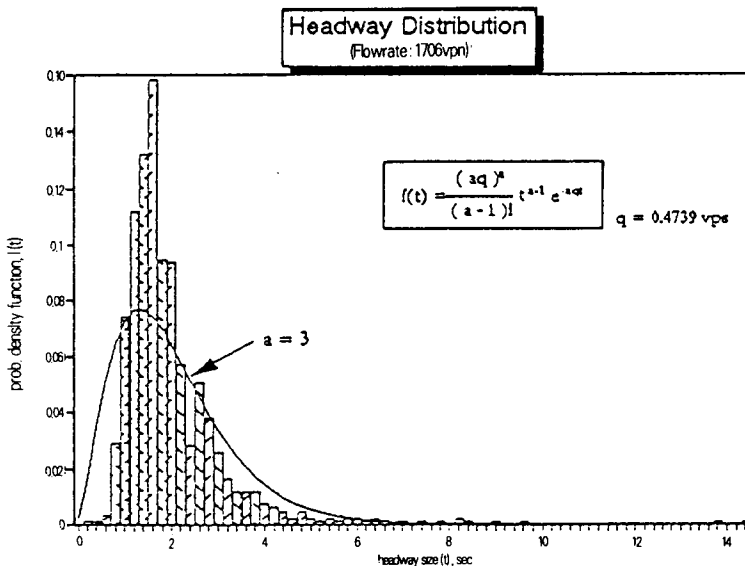
일반적으로 차량의 도착 형태 즉, 車頭 間隔 分布는 교통량에 따라 다소의 變動幅을 가진다. 교통량이 적을 때의 차량 도착은 無作為性(randomness)을 보이므로 Poisson 분포 또는 음의 지수 분포에 가까우며, 용량 상태에 가까와질수록 차두 간격은 일정한 범위 내에 있어 정규 분포에 가깝다. Pearson II 형 분포의 특수한 형태인 Erlang 분포는 다소 넓은 서비스 수준 영역을 포함하며, Erlang 계수(a)는 도착 형태의 무작위성을 나타내는 定數形 指標인데, 이 값이 클수록 무작위성을 잃게 된다.

본 연구에서는 접속 차선의 이론적인 차두 간격 분포로 기존의 간격 수락 모형과 같이 Erlang 분포를 사용하였는데, 이 분포를 검증하기 위해 소개된 변수인 Erlang 계수를 검토하였다. Erlang 계수는 도로의 平面 및 縱斷 線形, 傾斜 등에 의

해서도 영향을 받지만 주로 交通量에 가장 큰 영향을 받는다. 따라서 실측된 본선의 接續 車線 交通量(q)에 Erlang 係數(a)의 變化 推移를 파악하는 것이 가장 중요하다.

본 연구에서는 고속도로 流入 連結路 接續 車線의 上流部에서 조사된 교통량에 따른 차두 간격 분포를 검토하였으며, Drew의 관계식도 아울러 검증하였다. 교통량에 따른 차두 간격의 분포에는 <그림 3>에 나타내었으며, 이 실측 자료에 따른 Erlang 계수와 Drew의 관계식에서의 Erlang 계수를 비교한 것은 <表 4>에 정리하였다.

이 표는 Drew의 관계식이 우리 나라의 실제 상황과는 다소 차이를 보여 주는데, 실측한 Erlang 계수가 전반적으로 교통량에 따라 큰 변동폭을 보이지 않고 있다. 이는 곧 車頭 間隔 分布의 交通量에 대한 敏感度가 낮다는 것을 의미하며, 우리나라 운전자들이 교통량과는 무관하게 차두 간격을 좁혀 車輛群을 형성하여 운행하기 때문으로



(그림 3) 連結路 接續 車線의 車頭 間隔 分布(교통량 1,706대/시)

〈表 4〉 Erlang 係數의 比較

| 구분 | 교통량(vph) (vps) | 347 | 507 | 714 | 926 | 1191 | 1485 | 1706 |
|-----------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 실 측 자 료 | | 0.839 | 0.952 | 0.979 | 0.901 | 1.164 | 2.910 | 3.029 |
| Erlang 계수 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| Drew 回歸式 | | 1.342 | 1.578 | 1.938 | 2.396 | 3.128 | 4.202 | 5.234 |
| Erlang 계수 | | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 推定式* | | 0.650 | 0.772 | 0.961 | 1.204 | 1.599 | 2.189 | 2.765 |
| Erlang 계수 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |

* 실 측 자료의 추정식 : $a=0.45e^{3.8a}(R^2=0.75)$

풀이할 수 있다.

실 측 자료의 추정식으로부터 교통량의 範圍와 Erlang 계수와의 關係를 다음 〈表 5〉에 정리하였다.

〈表 5〉 교통량에 따른 Erlang 계수

| 교통량(q 대/시) | Erlang 계수(a) |
|------------------------|--------------|
| $q < 1,132$ | 1 |
| $1,132 \leq q < 1,612$ | 2 |
| $q \geq 1,612$ | 3 |

결론적으로 한국의 교통 상황에 대해서 〈表 5〉에서와 같이 Erlang 계수는 3을 넘지 않으며, 대부분 1 또는 2의 값을 가진다고 볼 수 있다.

2 臨界 間隔과 合流 容量 分析

臨界 間隔의 決定은 間隔 受諾 模型을 통한 容量 算定 過程 중에서 가장 중요한 부분을 차지한다. 임계 간격은 본선 접속 차선의 차량들이 제공하는 車頭 間隔 分布와 밀접한 關係를 가지며, 주어진 간격들에 대해 연결로 합류 차량이 어떠한 반응을 보이느냐에 좌우된다.

이 간격은, 일반적으로 Raff의 정의대로, 본선 접속 차선의 車頭 間隔을 t 라 하고, 연결로 차량이 접속 차선에 合流하는 데 걸리는 시간을 t 라 할 때, t 인 크기의 간격을 受諾(accept)하지 않을 차

량 수와 t (인 크기의 간격을 수락하는 차량 수가 같게 되는 임의의 값($t=T$))으로 결정한다. 본 연구에서는 크기가 t 인 간격보다 짧은 간격을 수락한 차량 수를 累積시킨 曲線과 t 보다 긴 간격에도 수락하지 않은 차량 수를 累積시킨 曲線의 交叉點을 臨界 間隔으로 하였다.

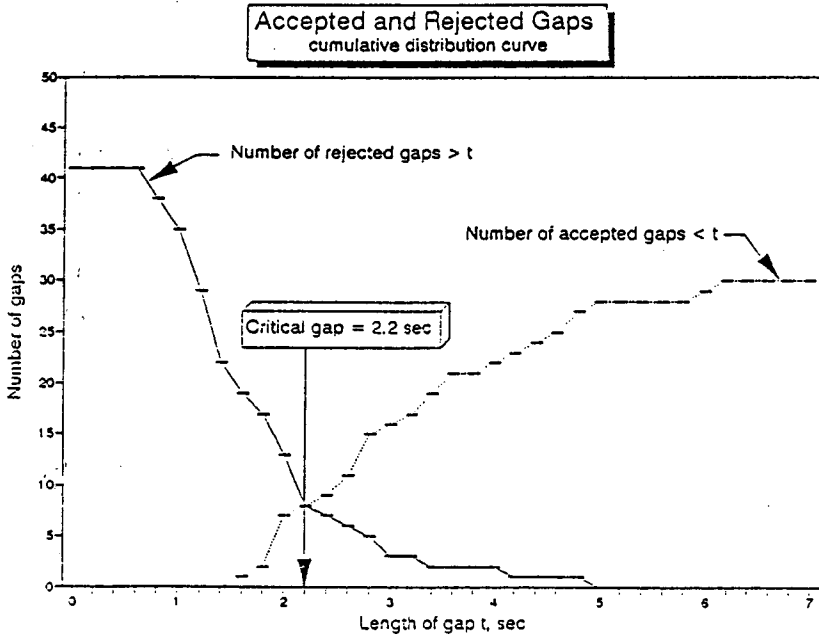
〈그림 4〉는 이러한 방법에 의해 중부 고속도로 호법 인터체인지의 자료를 분석한 결과인데, 본선의 접속 차선 교통량이 1,413 대/시($q=0.3925$ 대/초)일 때 임계 간격은 2.2초로 算出되었다.

또한 Drew에 의한 臨界 間隔 算定式(식 11)으로 계산하면, $\theta=6^\circ$, $L_1=10.5ft(L=1,050ft)$, $S=0$ (평행식)이므로

$$T = 5.547 + 0.828\theta - 1.043L_1 + 0.045L_1^2 - 0.042\theta^2 - 0.874S = 3.0초$$

로 관찰 값보다 다소 높게 추정하고 있다. 관측된 결과 역시 외국의 3~5초보다 작은 값을 보이는 것은 우리나라 運轉者의 特性이 反映된 結果라 할 수 있다.

앞의 간격 수락 모형에 관측 결과를 적용한 결과 連結路의 流入 容量(q)은, $T=2.2초$, Erlang 계수= $2(q=0.3925$ 대/초)이므로 (식 8)에서 947대/시가 된다. 따라서 連結路 合流部의 容量은 HCM 방식대로 계산하면, $V_r=947$ 대/시, $V_l=1,413$ 대/시



(그림 4) 臨界 間隔의 決定

이므로 $V_m=2,360$ 대/시가 된다. 이 값은 HCM의 값보다 상당히 큰 값인데, 그 이유로는 다음과 같은 사항을 들 수 있다.

- 1) 간격 수락 모형 자체가 重車輛을 고려하지 않은 모형인 점
- 2) 연결로 접속 차선의 차간 간격이 특정 값 사이에 있을 경우 多重 合流의 가정을 그대로 적용한 점(식 3) 參照)
- 3) 임계 간격 설정 방법 자체가 통계적인 평균 이상의 의미는 가지지 못하는 점
- 4) 간격 수락 모형의 主要 考慮 對象이 合流部(merging area)보다는 合流 地點(merging point) 또는 連結路의 合流 車輛에 있기 때 문인 점
- 5) 본선의 연결로 접속 차선 교통량은 차두 간격 분포로부터 算定한 것이므로 실제로 加速 車線 部分에서나 노즈부 진입 직전에서의 車線 變更 車輛을 看過하고 있는 점

V. 美國 HCM 模型의 評價

본 연구 단계에서 우선적으로 設定한 연결로의 형태는 앞의 <表 3>과 같이 편도 2차선 및 4차선 도로에 접속된 獨立 流出 및 流入 連結路이다.

미국 HCM 連結路 分析 體系 中에서 본선의 연결로 접속 차선(차선 1)의 교통량을 추정하는 것이 가장 중요한데, 차선 1 교통량 예측 공식을 <그림 2>에서 본 연구 대상별로 정리하면 <表 6>과 같다.

다음은 이를 流入 連結路와 流出 連結路로 대별하여 정리한 것이며, 부분적으로 연결로 접속 차선 교통량을 예측하는 회귀식을 수정, 제안하였다.

1. 流入 連結路

먼저 본선이 편도 2차선인 경우 分析된 地點은

(表 6) HCM의 回歸式(獨立 流出入 連結路)

(단위 : 대/시)

| 구분 | | 차선수 | 편도 2차선 | 편도 4차선 |
|----|-------|-----|---|--|
| 유입 | 회귀식 | | $V_i = 136 + 0.345 V_r - 0.115 V_r$ | $V_i = -312 + 0.201 V_r + 0.127 V_r$ |
| | 적용 범위 | | $400 \leq V_r \leq 3,400$ $50 \leq V_r \leq 1,400$ | $3,000 \leq V_r \leq 7,700$ $300 \leq V_r \leq 1,300$ |
| 유출 | 회귀식 | | $V_i = 165 + 0.345 V_r + 0.520 V_r$ | 근사치 방법 |
| | 적용 범위 | | $400 \leq V_r \leq 4,200$ $50 \leq V_r \leq 1,500$ | |

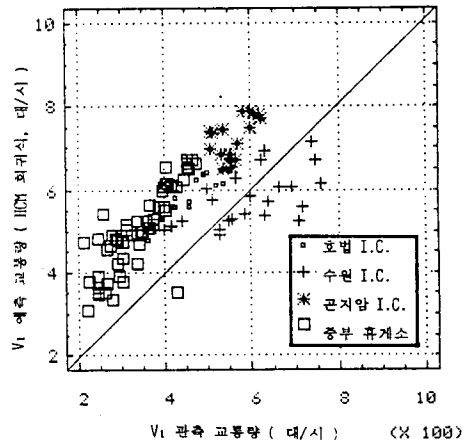
호법 인터체인지(이천→서울), 수원 인터체인지(수원→서울), 곤지암 인터체인지(곤지암→호법), 중부 휴게소(하행선) 4개소이다. (그림 5)는 이들 지점에서 관측된 길어깨측 차선의 교통량과 미국 HCM이 예측한 결과를 그림으로 나타낸 것이다.

全般的인 傾向은 미국 HCM 모형이 현장 자료보다 다소 높게 豫測하고 있음을 볼 수 있다. 또한 중부고속도로에 속해 있으면서 비교적 양호한 서비스 수준을 유지하고 있는 3개 지점에서는 경부고속도로의 수원 인터체인지보다 약 50~100대/시 정도 높게 길어깨측 차선 교통량을 예측하고 있다. 그 이유로는 局地的으로 중부 고속도로의 경우 本線 設計 速度가 상대적으로 높아 연결로 지역을 접근하는 본선 차량이 연결로 진입 차량과의 摩擦을 피해 미리 車線 變更을 하였기 때문으로 볼 수 있다. 수원 인터체인지의 경우 常時 遲滯로 模型의 說明力을 다소 상실하고 있으며, 차선 변경 경향도 상대적으로 적응을 관측할 수 있었다.

전반적으로 미국 HCM 모형은 국내 현장 자료와 비교하였을 때 다소 높게 연결로 접속 차선의 교통량을 예측하고 있는데, 이는 국내의 경우 연결로를 접근하는 차량의 先行 車線 變更 傾向이 미국보다 두드러진 결과일 수 있으며, 車線 利用 率도 豫測力에 차이를 가져온 要因일 수 있다. 실제로 연결로 접속부를 접근하는 본선의 접속 차선 교통량 중 5~30%가 차선을 변경하는 것으로

조사되었다.

(X 100)

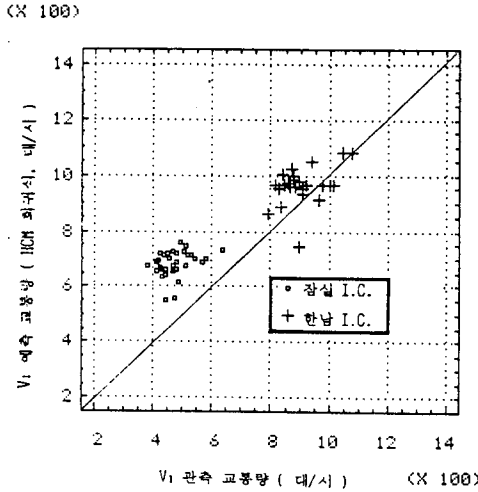


(그림 5) 유입 연결로 접속 차선의 교통량 예측 (본선 2차선)

본선이 편도 4차선인 경우 분석 지점은 올림픽대로의 한남 인터체인지(신사동→잠실)와 잠실 인터체인지(잠실→영동대교) 등 2개소인데, 편도 2차선인 경우와 마찬가지로 接續 車線의 交通量 豫測에서 모형이 실제보다 100~150대/시 정도 높게 예측하고 있다. ((그림 6) 參照)

두 지점이 약간의 차이를 보이는 것은 본선 교통량에 대한 길어깨측 차선 교통량의 比率(V_i/V_r) 이 차이가 나기 때문으로 볼 수 있으며, 실제로

잠실 인터체인지는 10~12%이나, 한남 인터체인지는 15~17%로 약간의 차이를 보이고 있다.



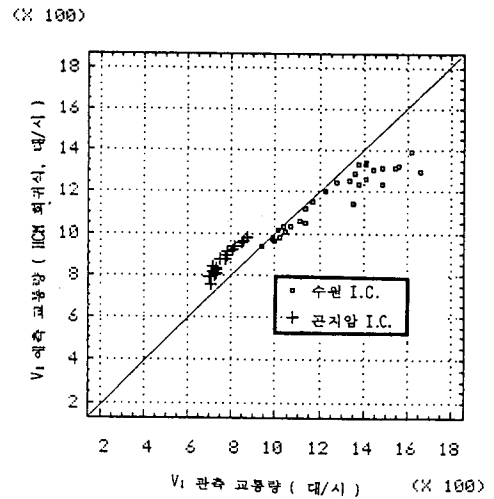
(그림 6) 유입 연결로 접속 차선의 교통량 예측 (본선 4차선)

2. 流出 連結路

流出 連結路에서 미국 HCM은 본선이 편도 2차선인 경우 回歸式을 사용하도록 提案하고 있으나, 편도 4차선인 경우는 近似值 方法을 推薦하고 있다.

편도 2차선인 경우 (그림 7)과 같이 비교적 一定한 傾向을 보여주고 있다. 본선이 2차선인 유입 연결로와 마찬가지로 미국 HCM 모형은 경부고속도로의 수원 인터체인지(서울→수원)보다 중부고속도로의 곤지암 인터체인지(서울→곤지암)에서 더 높은 차선 1 교통량을 예측하고 있다. 물론 豫測 誤差는 유입 연결로보다 크지 않는데, 곤지암 인터체인지가 40~50대/시, 수원 인터체인지가 혼합 자료를 제외하면 10~70대/시로 비교적 높은 예측력을 보이고 있다.

본선이 편도 4차선인 유출 연결로의 경우 올림 꺾대로의 잠실 인터체인지(영동대교→잠실)에서 조사된 자료와 근사치 방법을 토대로 접속 차선



(그림 7) 유출 연결로 접속 차선의 교통량 예측 (본선 2차선)

의 교통량을 算出한 結果는 (表 7)에 정리되어 있다.

이 표에서 보는 바와 같이 近似值 方法 역시 연결로의 다른 경우에서와 같이 약 50~100대/시로 높게 예측하고 있음을 볼 수 있다. 물론 이 자료는 잠실 인터체인지의 경우만의 적은 자료를 토대로 하였기 때문에 向後 補強할 필요가 있으며, 細部 段階에서의 比較 研究가 필요하다.

3. 回歸式의 修正

앞에서 살펴본 바와 같이 미국 HCM의 회귀식은 연결로 접속 차선의 교통량을 예측하는 데 있어서 국내 현장 자료에 비해 전반적으로 높게 예측하고 있으나, 비교적 일정한 경향을 보이고 있다. 그 차이의 主要 要因으로는 미국 HCM 자료의 落後性, 연결로 부근을 접근하는 접속 차선의 차량의 다소 많은 車線 變更 또는 연결로 부근의 본선 차량의 車線 利用率의 差異 등으로 볼 수 있다. 다음 (表 8)은 獨立 流入 連結路 및 流出 連結路의 現場 資料를 토대로 미국 HCM의 回歸式을 修正한 것이다.

〈表 7〉 유출 연결로 접속 차선 교통량의 近似的 豫測

(단위 : 대/시)

| 觀測 資料 | | | | 近似值 方法 | | |
|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| V_i | V_r | V_r' | V_i | V_r' | V_i | V_i |
| 5652 | 1393 | 312 | 1704 | 1392 | 341 | 1733 |
| 5052 | 1380 | 192 | 1572 | 1380 | 294 | 1674 |
| 5112 | 1404 | 156 | 1560 | 1404 | 297 | 1701 |
| 4740 | 1410 | 192 | 1602 | 1410 | 267 | 1677 |
| 4764 | 1152 | 372 | 1524 | 1152 | 289 | 1441 |
| 5700 | 1668 | 276 | 1944 | 1668 | 323 | 1991 |
| 5016 | 1476 | 300 | 1776 | 1476 | 283 | 1759 |
| 4188 | 1152 | 156 | 1308 | 1152 | 243 | 1395 |

* V_i = 접속 차선의 통과 교통량 (= $V_i - V_r$)

〈表 8〉 미국 HCM 회귀식의 수정

| 구 분 | 미국 HCM 회귀식 | 수정된 회귀식 |
|------------|-------------------------------------|--|
| 유입(본선 2차선) | $V_i = 136 + 0.345V_r - 0.115V_r'$ | $V_i = -2 + 0.351V_r - 0.099V_r' (R^2 = 0.60)$ |
| 유입(본선 4차선) | $V_i = -312 + 0.201V_r + 0.127V_r'$ | $V_i = -421 + 0.249V_r - 0.057V_r' (R^2 = 0.93)$ |
| 유출(본선 2차선) | $V_i = 165 + 0.345V_r + 0.520V_r'$ | $V_i = -104 + 0.397V_r + 0.861V_r' (R^2 = 0.96)$ |

수정된 회귀식은 HCM의 회귀식보다 다소 낮게 추정하고 있는데, 이는 〈그림 5〉~〈그림 7〉에서 HCM 모형이 현장 자료보다 다소 높게 추정하고 있음이 反映된 것이며, 전반적으로 회귀식의 설명력은 높다. 유출 연결로의 경우 常數값이 큰 차를 보이고 있지만, V_r 와 V_r' 의 계수가 상대적으로 커 그 차를 다소 緩和시키고 있다. 본선 4차선인 유입 연결로의 경우 HCM 회귀식은 V_r 과 V_r' 의 관계를 正相關(+0.127)으로 표현하고 있어 合理的이지 못하나 수정된 회귀식은 逆相關(-0.057)으로 표현, 合理性을 確保하고 있다.

4. 連結路의 容量

連結路의 容量은 크게 連結路 本體의 容量(ramp proper capacity)과 連結路 合流部의 容量(merging capacity) 그리고 分岐部의 容量(diverging capacity)으로 나눌 수 있다. 앞서 살펴본 間隔受

諸 模型은 合流部의 流入 容量 算定에 焦點을 두고 있으며 HCM 模型은 連結路 接續 車線 交通量(V_i) 豫測을 통해 合流 交通量(V_m) 算定에 重點을 두고 있다.

需要에 制限을 받지 않을 경우 일반적으로 연결로 본체의 용량은 연결로의 曲線 半徑, 傾斜 또는 本線과의 傾斜差, 길이개幅, 連結路의 形態 및 이들의 綜合 概念인 연결로의 設計 速度 등에 影響을 받는다. 그러나 고속도로 體系의 한 構成 要素로서의 연결로를 獨立的인 施設 形態로 看做할 수 없기 때문에 연결로 본체의 용량은 간격 수락 모형에서 導出한 용량과 함께 큰 의미를 가질 수 없으며, 유입 및 유출 연결로 上流部의 本線 交通流가 겪는 遲滯나 混亂을 勘案한다면 더욱 그러하다. 또한 연결로 합류부 上流에서 合류시 발생 하는 摩擦을 피하기 위한 본선 차량의 車線 變更은, 연결로 접속 차선의 교통량 예측에 초점을 둔

HCM 방법론에 의문을 제기할 수도 있다.

부분적이긴 하지만 車線 變更은, 체크점 교통량을 기준으로 한 合流 容量이 실제적인 값보다 충분히 크게 산출되게 할 수도 있다. 간격 수락 모형에서 合流 交通量이 2,360 대/시로 산출된 것이 이 모형이, 본선의 접속 차선 차량이 合流部 進入 直前이나 加速 車線 區間에서 試圖하는 車線 變更을 고려하지 않았기 때문으로 볼 수 있다.

〈表 9〉는 올림픽대로의 한남 인터체인지(신사동→잠실)의 유입 연결로에서 수집한 용량 상태의 자료로서, 합류 영향권 또는 차선 변경을 고려하지 않는 HCM 방법론의 한계를 잘 설명해 주고 있다.

이 표에서 볼 수 있듯이, HCM 방법론이 제공하는 합류부의 최대 교통량은 대부분이 2,300대/시 이상으로 고속도로 기본 구간의 잠정 용량인 2,200 승용차 대수/시/차선보다 훨씬 큰 값이다. 반면 합류부의 영향권을 본선 2차선까지로 상정한 결과 1,900~1,950대/시로 계산되었으며, 합류부 전체를 평균한 값은 1,750~1,830대/시로 산출되었다. 후자의 경우 HCM 3段階 中間 報告書 中 多車線道路 조사 대상 지점인 반포 대교→한남 대교 구간에서 분석된 차선당 최대 평균 교통량이 약

2,000대/시임을 감안한다면 합류부의 용량 감소는 편도 4차선에서는 약 10% 정도로 추산할 수 있다.

따라서 高速道路를 하나의 體系로 보고 連結路를 그 構成 要素로 본다면, 局地的인 容量 算定은 다소 의미를 상실할 수 있다. 오히려 같은 연결로 접속 차선의 차선 변경 빈도를 고려하여 합류 또는 분기 구역 용량(area capacity) 개념이 강한 분석 체계가 필요하다. 즉 합류부의 경우 접속 차선 교통량과 연결로 교통량의 합(V_1+V_2)을 합류 교통량(V_m)으로 하기보다는, 합류 차량이 본선에 미치는 영향권을 고려하여 합류 교통량을 산정하는 것이 바람직하다.

IV. 結論 및 向後 研究 課題

本 研究에서는 連結路를 分析하기 위한 模型인 間隔 受諾 模型과 미국 HCM 模型의 適合性을 검토하였다. 합류 지역에서만 적용이 가능한 간격 수락 모형은 본선 접속 차선의 차두 간격 분포만을 분석하는데, 이 모형에 의한 차선 1의 교통량 및 합류 교통량은 近接 連結路의 形態와 位置에 따라 影響을 받은 실측 결과와 큰 차이를 보였다.

〈表 9〉 합류 교통량의 산정(한남 인터체인지)

(단위 : 대/시)

| V_4 | V_3 | V_2 | V_1 | V_r | V_l | V_m | V_m^a | $V/4^b$ | $P_{IV}(\%)$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|--------------|
| 1,532 | 1,500 | 1,416 | 912 | 1,460 | 5,360 | 2,372 | 1,894 | 1,705 | 22.7 |
| 1,832 | 1,648 | 1,484 | 940 | 1,400 | 5,904 | 2,340 | 1,912 | 1,826 | 23.1 |
| 1,792 | 1,548 | 1,504 | 872 | 1,468 | 5,716 | 2,340 | 1,922 | 1,796 | 21.1 |
| 1,708 | 1,496 | 1,392 | 876 | 1,648 | 5,472 | 2,524 | 1,958 | 1,780 | 21.8 |
| 1,752 | 1,536 | 1,300 | 860 | 1,500 | 5,448 | 2,360 | 1,830 | 1,737 | 19.9 |
| 1,736 | 1,508 | 1,652 | 880 | 1,528 | 5,476 | 2,408 | 1,880 | 1,751 | 22.2 |
| 1,724 | 1,488 | 1,356 | 864 | 1,396 | 5,432 | 2,260 | 1,808 | 1,707 | 22.8 |
| 1,672 | 1,524 | 1,408 | 908 | 1,424 | 5,512 | 2,332 | 1,870 | 1,734 | 22.1 |

- a. 합류 차량의 영향권을 연결로 접속 차선을 포함한 2차선까지라고 가정하여 평균한 값($V_m = (V_2 + V_1 + V_r)/2$)
- b. 합류부의 전체 교통량($V = V_r + V_l$)을 평균한 값

또한 미국 HCM은 차선 1 교통량을 推定하기 위한 回歸式을 提示하였으나 회귀식에 사용한 자료가 30여 년 전의 것이고, 加減速 車線 길이, 合流 및 分岐 角度 등 幾何 條件들을 고려하지 않았으므로 이 모형의 결과도 實測値와 잘 맞지 않음이 나타났다. 두 方法論의 評價에서 나타난 사항들을 정리하면 다음과 같은 結論과 向後 研究 課題를 얻을 수 있다.

- 1) 間隔 受諾 模型은 이론적인 배경이나 기본 가정 및 적용 범위의 한계성 때문에 그 사용 범위가 流入 連結路의 設計나 高速道路 管制 分野에 制限될 수밖에 없다.
- 2) 連結路 交通流의 影響은 본선 접속 차선의 특정 부근만이 아닌 연결로 전체에 미치므로, 連結路 流域의 交通流 분석이나 서비스 수준의 결정 과정에서 연결로 접속 차선(V_1)의 교통량만을 고려하여 분석하는 것은 합리적이지 않다.

- 3) 오히려 連結路 分析은, 연결로 교통류가 본선에 미치는 影響圈(上下流 方向에 미치는 縱方向 影響圈이나 接續部의 橫方向 影響圈)을 設定하여 이를 중심으로 한 分析 概念이 필요하다. 연결로의 영향권을 본선 상하류 얼마까지로 할 것인지, 본선 전체 또는 본선 차선 수에 無關하게 連結路 隣接 두 차선으로 할 것인지는 분기부 및 연결로 주변의 車線別 分布와 함께 本線 車線數別로 追後 分析을 要하는 問題이다.
- 4) 본선이 편도 3차선인 경우나 국내에는 없는 다른 連結路 配列 形態에 대한 HCM 모형의 평가, 보정 작업도 필요하다.
- 5) 連結路 合流 및 分岐部도 高速道路의 한 構成 要素이므로, 向後 研究 段階에서는 連結路 接續部의 容量 算定 問題와 함께 效果 尺度 역시 高速道路 全體의 一貫性을 維持할 수 있게 결정되어야 한다.

參 考 文 獻

1. 韓國建設技術研究院/交通開發研究院(1992), “道路容量便覽 研究調查 第3段階 中間報告書”, 建設部
2. HRB, “Highway Capacity Manual”, HRB Special Report No. 87, Washington, D.C., 1965.
3. TRB, “Highway Capacity Manual”, TRB Special Report No. 209, Washington, D.C., 1985.
4. TTRC, “Capacity of Ramp-Freeway Junction : NCHRP Project 3-37 Interim Report”, Polytechnic Univ., 1991.
5. Drew, D.(1965), “Deterministic Aspects of Freeway Operation and Control”, HRR 99, HRB, Washington, D.C., pp. 48-58.
6. Warrall, R. and et. al (1967), “Merging Behavior at Freeway Entrance Ramps : Some Elementary Empirical Consideration”, HRR 157, HRB, Washington, D.C., pp. 77-107.
7. Drew, D. (1967), “Gap Acceptance Characteristics for Ramp-Freeway Surveillance and Control”, HRR 157, HRB, Washington, D.C., pp. 108-143.
8. Hess, J. W.(1965), “Ramp-Freeway Terminal Operation as Related to Freeway lane Volume Distribution and Adjacent Ramp Influence”, HRR 99, FRB, Washington, D.C., pp. 81-116.

9. Drew, D. and Wattleworth, J. (1966), "Gap Acceptance and Traffic Interaction in the Freeway Merging Process", Texas A.&M University, Report No. HS000 452.
10. Raff, M. (1950), "A Volume Warrant for Urban Stop Sign", ENO Foundation, Saugatuck, CN
11. Tolle, J. (1976), "Vehicular Headway Distribution : Testing and Results", TRR 567, TRB, Washington, D.C., pp. 56-64.
12. Roess, R. (1980), "Development of Modified Procedure for Analysis of Ramp Capacity", TRR 772, TRB, Washington, D.C., pp. 66-72.

주요 용어의 정리

- q : 연결로에 접속되는 본선 차선(차선 1)의 교통류율(V_1 , 대/초, 대/시)
- q_0 : 연결로의 진입 교통류율(V_0 , 대/초, 대/시)
- T : 입제 간격(초)
- L : 가속 차선의 길이(ft, $L_{ft}=L/100$)
- V_f : 연결로 상류부의 본선 교통류율(대/시)
- V_m : 연결로의 합류 후 교통류율($=V_f+V_1$, 대/시)
- V_0 : 연결로의 분기 전 교통류율($=V_1$, 대/시)