

□ 論 文 □

고속도로 구간 분석 연구  
 高速道路의 잇갈림 區間 分析에 關한 研究

A Study on Freeway Weaving Section Analysis

최승국  
 崔 乘 國

(韓國建設技術研究員)

정준희  
 鄭 俊 和

(韓國建設技術研究員)

目 次

- I. 序論
- II. 잇갈림 區間의 研究 方法論
  - 1. Leisch 方法
  - 2. HCM 方法
  - 3. 새로운 接近
- III. 資料 蒐集 및 分析
  - 1. 資料 蒐集 및 分析
- IV. 速度 豫測式의 開發과 分析 體系 構築
  - 1. 速度 豫測式의 開發과 서비스 水準
  - 2. 잇갈림 區間의 分析 體系 構築을 위한 提案
- V. 結論 및 向後 研究 課題
- 參考文獻

ABSTRACT

We examine primarily the existing study procedures for freeway weaving section by comparing speed estimates. Most methods have poor predictions because of neglecting the weaving vehicle influence.

In this study we develop the speed prediction equation considering the weaving influence area, i.e., weaving box. Assuming that speeds outside weaving box are similar to speeds in freeway basic sections, we develop speed equation in box based on the field data. Moreover level of service criteria and weaving analysis procedure are proposed under the new speed prediction equation.

### I. 序 論

高速道路(Freeway)는 교통 흐름에妨害를 받는 固定要素가 없는 대표적인 連續流 道路에 속하며, 高速道路 基本 區間, 엇갈림 區間(Weaving Section), 連結路 및 그 接續部(Ramp and Ramp Junction) 등은 그 構成 要素가 된다. 이 중에서 엇갈림 구간과 연결로 및 그 접속부는 다른 구간보다 通行의 制限 要素가 많기 때문에 高速道路 全體의 連行 서비스 水準을 決定할 만큼 設計 및 運營에 있어서 중요한 變數라고 할 수 있다.

특히 엇갈림 구간은 도로의 特定 幾何構造에 의해 발생하는 교통 흐름의 特殊한 形態, 즉 엇갈림(Weaving)이 발생하는 구간을 말하는데, 미국의 HCM에 따르면 '엇갈림이란 交通 統制 施設의 도움없이 상당히 긴 도로를 따라가면서 同一 方向의 둘 이상의 교통 흐름이 서로 交叉하는 것'으로 定義하고 있다. 엇갈림은 合流區間(merge area)에 이어 分岐 區間(deverge area)이 있거나, 流入連結路(entrance ramp) 바로 다음에 流出 連結路가 있고, 이 두 連結路가 補助 車線(auxiliary lane)으로 連結되어 있는 구간(그림 1 參照)에서 발생하므로 連行 特性上 다른 도로 구간에서 발생하는 混亂보다 더 過渡한 混亂이 생기기 쉬우며, 이는 곧 道路 全體 서비스 水準의 低下를 招來하게 된다.

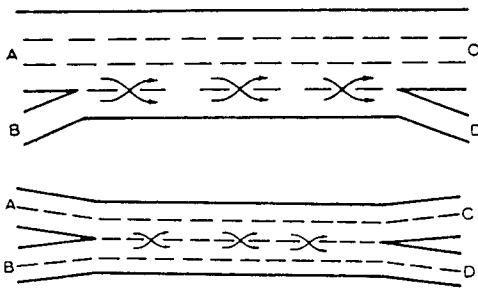


그림 1. 엇갈림 구간

따라서 이 구간의 交通 特性에 관한 研究는 高速道路의 計劃, 設計 및 連行 分析에 필요한 重要

한 基礎 資料를 提供할 것이며, 본 연구는 엇갈림 구간에 관한 既存 研究 方法論과 國內 現場 調查 資料들을 토대로 이 구간에서의 交通 特性을 分析하여 主要 效果 尺度(measure of effectiveness, MOE)로 사용되고 있는 速度를 검토한 후 새로운 엇갈림 區間 分析 技法을 定立하는 데 研究의 焦點을 두고 있다.

### II. 엇갈림 區間의 研究 方法論

엇갈림 구간에 대한 國內의 연구는 해당 구간의 複雜한 交通 特性으로 인해 다른 도로 시설물보다 未盡한 實情인데, 특히 이에 관한 國內의 연구는 도로용량편람 연구조사(1988. 6. ~ 1992. 10.)에서 처음 수행될만큼 資料의 蓄積이나 方法論의 開發이 全無하다 하겠다. 外國의 경우에는 미국의 HCM과 관련된 연구가 그 主從을 이루고 있는데, 세 번의 改訂(1950년 HCM, 1965년 HCM, 1985년 HCM)을 통하여 研究 方法論을 構築해 왔으나, 다소의 문제점을 여전히 드러내고 있다. 본 연구에서는 주로 미국에서 研究된 방법들을 중심으로 그 장단점을 檢討한 후 蒐集된 現場 資料를 토대로 새로운 分析 技法을 構築하였다.

엇갈림 구간의 設計와 連行 分析을 위한 研究는 1950년 미국의 도로 용량 편람(이하 1950년 HCM)에서 처음 開發되었다. 1963년 미국의 FHWA(Federal Highway Administration)의 前身인 BPR(Bureau of Public Roads)은 보다 많은 資料 蒐集을 통하여 改訂版인 1985년 HCM을 작성하였으며, 再 改訂版(1965년 HCM)이 나오기까지 약 20년 동안 엇갈림 구간의 設計 및 分析의 唯一한 指針書가 되었다. 이 개정판은 O.K. Normann이 만든 엇갈림 구간의 길이와 엇갈림 交通량의 관계 그 래프를 토대로 Leisch가 개발한 分析 方法論을 따르고 있으나, 사용된 자료의 한계로 Leisch는 境界 條件을 補間하여 그 래프를 作成, 獨自의인 分析 體系를 構築해오고 있다.

이에 副應하여 NCHRP Project 3-15에서 PINY는 미국 북동부 지역 17개 지점의 현장자료를蒐集, 엇갈림 구간의 連行 特性을 分析하였고, 이는 1985년 HCM의 中間 報告書格인 TR Circular 212 (1980)의 엇갈림 區間 分析 體系의 土臺가 되었다. 이와는 별도로 Leisch는 圖表를 통한 엇갈림 分析 體系를 1974년 처음 발표하였고, 1984년에 이를 개정하였다. 최근 미국의 FHWA는 위의 두 分析 體系-PINY 방법과 Leisch 방법-에 대한 評價를 JHK社에 依頼하였는데, 두 방법 모두 엇갈림 속도( $S_w$ )와 비엇갈림 속도( $S_m$ ) 推定에 正確度가 떨어지는 것으로 분석되어 새로운 分析 方法(Density method)을 提示하였다. 1985년 HCM은 이 JHK의 研究 結果(1984)를 토대로 PINY 방법을 改正하여 適用한 것이며, JHK와 Leisch의 개정판도 비슷한 시기에 발표되었다.

한편, Fazio는 그의 석사 논문에서 車線 變更 係數(lane shift variables)를 導入하여 기존 方法論의 速度 豫測力을 比較, 보다 나은 速度 推定式을 提示하였으나, PINY와 JHK 방법에서 크게 벗어나지 않는다.

PINY, JHK, HCM 및 Fazio 방법이 連行 分析에 焦點을 두고 있는 유사한 방법들인 반면, Leisch 방법이 이들과는 다른 設計者 爲主의 分析 體系임을 감안하여 본 연구에서는 HCM 방법과 Leisch 방법을 주로 검토하였다.

엇갈림 구간의 서비스 수준의 效果 尺度를 速度로 할 때 速度 豫測의 正確度는 研究 方法論을 比較하는 데 있어서 가장 중요한 基準임에 틀림없다. 각 分析 기법의 正確度 檢證은 資料 分析 過程에서 修行하며 여기서는 그 基本 概念들을 檢討, 評價하는 데에 重點을 둔다.

### 1. Leisch 方法

HCM과 관련된 研究 方法들이 주로 連行 分析 爲主라 하면, Leisch의 分析 方法은 設計者 爲主의 分析 體系라 할 수 있으며, 1965년 HCM은 Leisch

의 分析 體系를 따르고 있다. PINY와는 별도로 Leisch는 1963년과 1973년의 자료를 토대로 엇갈림 구간에 대한 獨自의인 研究를 遂行하였으며, 偏側(onesided)과 兩側(two-sided) 엇갈림에 따라 각각의 分析 圖表를 提示하였다.(TR Circular 212, 1980) 계속된 研究와 FHWA의 財政 支援으로 엇갈림 구간에 대한 分析 體系를 構築, 2개의 圖表를 添加하여 提示(1983)하였으며, 1985년에 이를 다시 補充하였다.

Leisch에 있어서 엇갈림의 形態 分類는 단순하다. 進入-進出 方向이 한쪽에 있는 偏側 엇갈림과 進入-進出 方向이 서로 반대쪽에 있는 兩側 엇갈림으로 구분해 놓고 있으며(그림 2 參照), 車線 均衡 概念을 導入하여 그에 따라 서비스 수준의 기준에 다소 차이를 두고 있다.

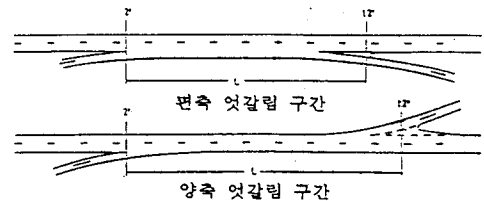


그림 2. Leisch의 엇갈림 形態 分類

분석에 포함되는 變數로는 엇갈림 交通量( $V_w$ ), 適用 範圍가 다소 넓은 엇갈림 길이( $L \leq 8,000ft$ ), 전체 交通量( $V = V_w + V_m$ ), 엇갈림 구간의 全體 車線數( $N$ ) 및 基本 車線數( $N_0$ ), 그리고 엇갈림比( $R$ ) 및 엇갈림 強度 係數(weaving intensity factor,  $k$ ) 등이 있으며, 여기에서 엇갈림 強度 係數는 車線數 決定 過程에 포함된 변수로서 적은 엇갈림 交通量( $V_w$ )과 관계가 있다.

$$N = \frac{V_m + (k-1)V_w}{SV}$$

$$k = 1 + \frac{1}{V_w} (SV \times N - V_m)$$

여기에서,  $k$ : 엇갈림 강도 계수( $1.0 \leq k \leq 3.0$ )

$N$ : 엇갈림 구간 차선수

$SV$ : 서비스 교통량

上記 變數를 고려한 Leisch의 엇갈림 구간 分析 體系는 分析 圖表(그림 3이나 그림 4)에 따라 다음과 같은 단계를 거친다.

- 1단계: 엇갈림 형태,  $V_w$ (pcph), 서비스 수준으로 엇갈림 구간 길이( $L$ ) 決定
- 2단계: 엇갈림 강도 계수( $k$ )와 엇갈림 비( $R$ )를 考慮
- 3단계: 적은 엇갈림 교통량( $V_w$ , 圖表에서는  $W_2$ )을 考慮
- 4단계: 전체 교통량( $V$ , pcph)을 考慮
- 5단계:  $N$ , LOS에 따른 計劃 엇갈림 區間의 車線數( $N$ ) 決定 또는  $N$ ,  $N$ 에 따라 기존 엇갈림 구간의 LOS 判定

그림 3의 適用 例는 車線 均衡을 유지하는 偏側 엇갈림 구간에 대해,  $N_b=4$ ,  $V=6$ , 400pcph,  $V_w=1$ , 650 pcph,  $V_w(W_2)=600$  pcph,  $R=0.37$ 일 때, 서비스 수준  $C$ 를 維持하기 위한 엇갈림 구간의 차선수 (약 5차선)를 決定하는 과정을 표시한 것이다.

또한, 엇갈림 구간의 서비스 수준은 速度와 交通量을 主要 變數로 設定하였는데 엇갈림 交通流 만의 경우 서비스 交通量을 從屬 變數로 하여 平均 엇갈림 速度를, 엇갈림 區間 全體의 경우 速度를 從屬 變數로 하고 서비스 交通量을 서비스 수준의 기준으로 提示하였다.(表 1 參照) 偏側 엇갈림의 速度 기준은 엇갈림 구간의 본선 速度보다 약 5mph 정도 낮고 서비스 交通량은 PHF를 고려한 값이며, 分析 過程에서 速度와 서비스 交通량 기준은 相互 關聯시켜 適用하여야 하나 실제 Leisch방법은 서비스 交通량에 依存하고 있다.

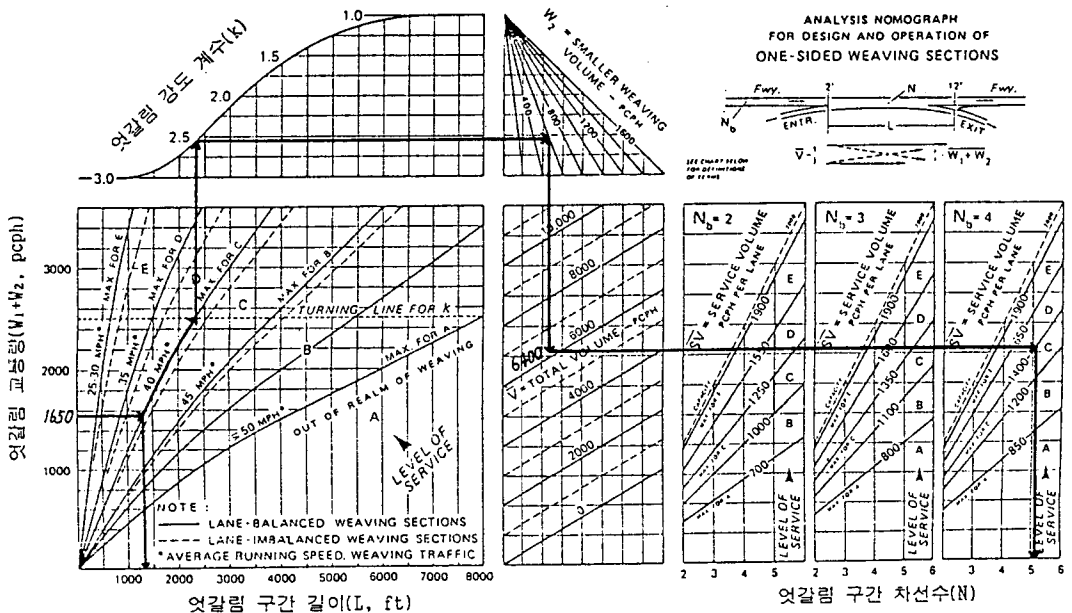


그림 3. Leisch의 偏側 엇갈림 分析 圖表

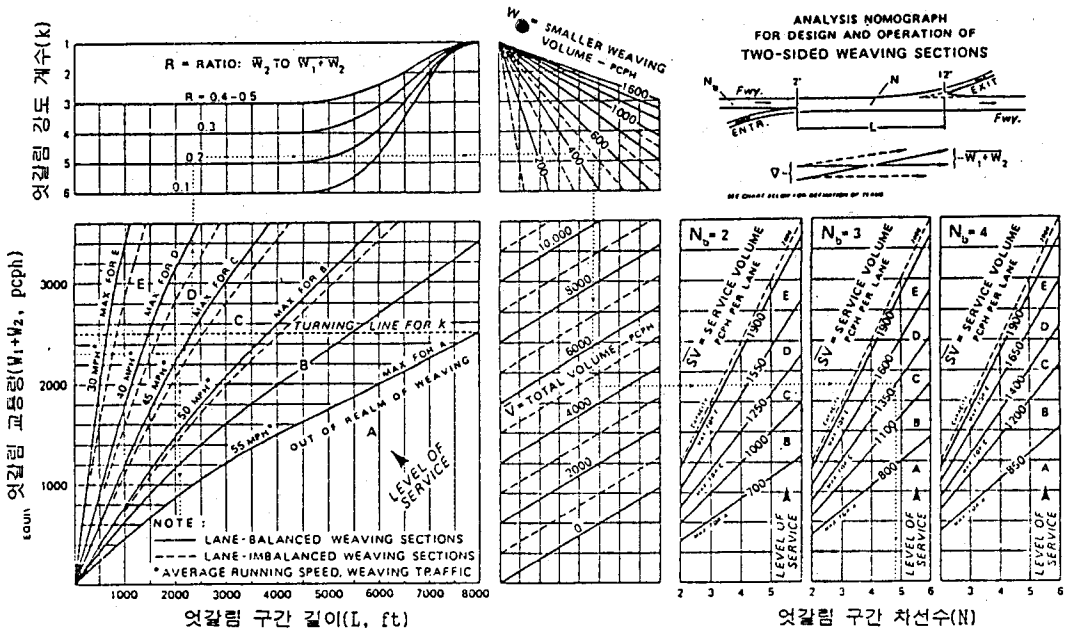


그림 4 Leisch의 兩側 엇갈림 分析 圖表

表 1. Leisch의 엇갈림 구간 서비스 수준

a. 速度 基準

서비스 水準	평균 주행 속도(mph)		
	본선 <sup>1)</sup>	편측 엇갈림 <sup>2)</sup>	양측 엇갈림 <sup>3)</sup>
A	55	50	55
B	50	45	50
C	45	40	45
D	40	35	40
E	30	25-30	30

b. 交通量 基準

서비스 水準	最大 서비스 交通量(pcphpl) <sup>4)</sup>		
	N <sub>b</sub> =2	N <sub>b</sub> =3	N <sub>b</sub> =4
A	750	800	850
B	1000	1100	1200
C	1250	1350	1450
D	1550	1600	1650
E	1900	1900	1900

1) 엇갈림 구간 前後의 本線 通過 車輛의 速度

는 LOS E를 제외하면 고속도로 기본 구간의 속도보다 약 5mph가 작음

2) 엇갈림 차량의 속도

3) 엇갈림 및 主 交通流의 평균 속도

4) 15분 교통량과 PHF(LOS A : 0.85, B : 0.90, C : 0.95)를 토대로 산출

2. 1985년 HCM 方法

엇갈림 區間에 대한 既存의 分析技法들은 直觀的으로 보아도 類似한 것으로 보이지는 않는다. 엇갈림 구간의 主 評價 項目인 速度를 豫測하는데 있어서도 서로 다른 조건들에 대하여 變化度나 變動幅이 一定한 傾向을 나타내지 않는다. 기존의 여거 가지 분석 기법들이 각각의 固有한 特性들을 가지고 있음에도 불구하고 이와 같은 多樣한 傾向을 보이는 것은 엇갈림 구간의 特性 分析에 介在되는 變수들의 複合性과 적절한 현장 자료의 不足 때문에 풀이할 수 있다.

1985년 HCM에서는 幾何 特性 概念과 制約, 非

制約 運營 概念이 다시 導入되었으며, 속도 추정 식의 기본 형태는 JHK의 연구 결과(1984)를 토대로 하였다. 결과적으로 3개의 기본 잇갈림 形態, 制約과 非制約 運營 狀態 그리고 잇갈림과 비잇갈림 등에 따라 12개의 속도 推定 方程式이 提示 되었다. 그림 5는 1985년 HCM이 分類한 세 가지 잇갈림 形態인데, 이들 형태는 잇갈림 차량의 最

少 車線 變更數와 關連하여 잇갈림 구간의 運行 特性 決定에 至大한 影響을 미치게 된다.

1985년 HCM의 單純 잇갈림 區間 分析 過程은 다음과 같으며, 複合 잇갈림 區間은 구간을 나누어 單純 잇갈림 구간으로 適用하면 된다.

1단계 : 道路 및 交通 條件 規定

2단계 : 이상 조건하에서 尖頭 交通量 換算 (pcph)

3단계 : 잇갈림 圖表 作成

4단계 : 制約없는 狀態에서 잇갈림과 비잇갈림 차량의 속도 計算

5단계 : 運行 狀態의 制約 與否 檢討

6단계 : 잇갈림 구간 適用 範圍의 適正性 檢討

7단계 : 서비스 수준의 決定

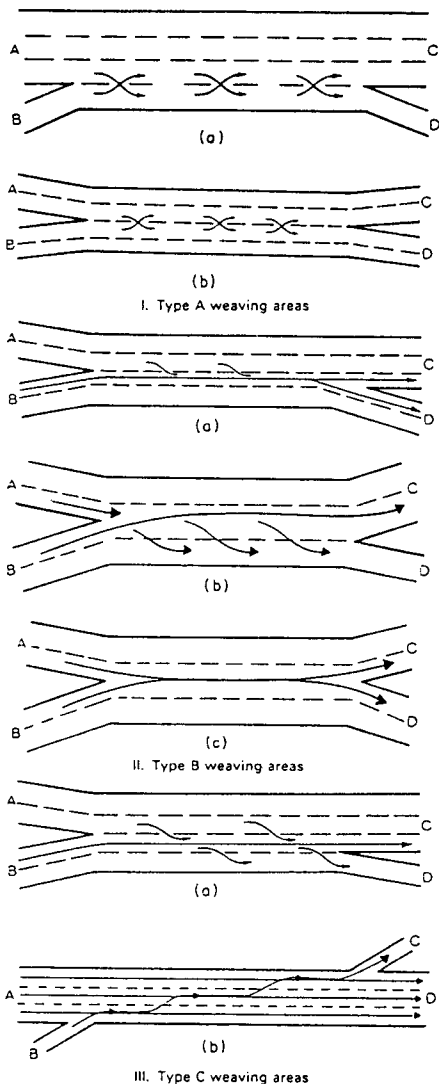


그림 5. 1985년 HCM의 잇갈림 形態 分類

여기서 잇갈림 구간의 走行 속도 豫測에 사용 되는 公式은 JHK의 形態와 類似한 다음 식과 같 으며, 推定式의 媒介 變數(a, b, c, d)는 表 2와 같 다.

$$S_w \text{ 또는 } S_{nw} = 15 + \frac{50}{1 + a(1+VR)^b(V/N)^c/L^d}$$

(mph)

네 번째 단계의 속도 예측 과정에서, 먼저 制約 받지 않는다고 假定하고 속도를 계산하였으므로 PINY와 유사하게 주어진 상태에서 잇갈림 차량이 사용하게 되는 最大 車線 數( $N_w(max)$ )와 制約받 지 않는 運行을 위해 잇갈림 차량이 사용해야 하는 車線數( $N_w$ )를 比較하여 制約 運行 與否를 檢 討해야 한다. 表 3은 현장 자료의 통계적인 분석 을 토대로 提示한 各 形態別 制約 運行 判定을 위 한 基準이다.

한편, 1985년 HCM은 이들 방정식을 適用하 는 데 있어서 포함된 변수들의 限界를 設定해 놓았 는데(表 4 參照), 現場 資料의 限界와 工學的인 判斷을 고려한 값들이다. 잇갈림 구간의 車線當 最大 交通量은 高速道路 基本 區間보다 작은 1,900pcphpl이 觀察되었고, VR과 R의 最大値도 이와 類似하게 決定되었는데, 두 잇갈림 交通량이 같을

表 2. 1985년 HCM의 速度 豫測式의 媒介 變數 값

形態		엇갈림 속도( $S_w$ )				비엇갈림 속도( $S_{nw}$ )			
		a	b	c	d	a	b	c	d
A	制約	0.226	2.2	1.00	0.90	0.020	4.0	1.30	1.00
	非制約	0.280	2.2	1.00	0.90	0.020	4.0	0.88	0.60
B	制約	0.100	1.2	0.77	0.50	0.020	2.0	1.42	0.95
	非制約	0.160	1.2	0.77	0.50	0.015	2.0	0.30	0.90
C	制約	0.100	1.8	0.80	0.50	0.015	1.8	1.10	0.50
	非制約	0.100	2.0	0.85	0.50	0.013	1.6	0.00	0.50

表 3. 制約, 非制約 運行 判定의 基準

形態	$N_w$	$N_w(max)$
A	$2.19N(VR)^{0.57}L_f^{0.23}/S_w^{0.48}$	1.4
B	$N[0.085+0.703VR+2348/L-0.018(S_{nw}-S_w)]$	3.5
C	$N[0.761-0.011L_f-0.005(S_{nw}-S_w)+0.047VR]$	3.0

表 4. 엇갈림 區間 容量 分析의 境界 條件

形態	엇갈림 容量 ( $V_w$ , pcph)	車線當 最大 交通量 ( $V/N$ , pcphpl)	最大 交通比 (VR)	最大 엇갈림比 (R)	最大 엇갈림 길이 (L, ft)
A	1,800	1,900	N VR	0.50	2,000 (610m)
			.....		
			2 1.00		
			3 0.45		
			4 0.35		
5 0.22					
B	3,000	1,900	0.80	0.50	2,500(762m)
C	3,000	1,900	0.50	0.40	2,500(762m)

때 R은 最大值(0.50)를 갖는다. 최대 엇갈림 길이는, Leisch의 경우 8,000ft인 반면, 2,000ft(A형태)~2,500ft(B, C 형태)를 설정해 놓고 있다. 이 上限値는 實際 觀測과 分析 方法論의 豫測力 比較에서 얻어진 것으로 이 範圍를 넘어서는 경우의 運營은 엇갈림이라기보다는 오히려 독립인 合流 또는 分岐로 볼 수 있다.

분석하고자 하는 엇갈림 구간이 上記의 境界 條件을 만족할 경우, 이 구간의 平均 走行 速度( $S_w, S_{nw}$ )에 따라 서비스 수준을 決定할 수 있다.(表 5 參照) 모든 서비스 수준에서 엇갈림 속도( $S_w$ )는 비엇갈림 속도( $S_{nw}$ )보다 작으며, 서비스 수준이 악화될수록 모든 차량들이 비슷한 混雜度에 영향을 받게 되므로, 두 速度의 差( $S_{nw}-S_w$ )는 줄어든다.

表 5. 1985년 HCM의 엇갈림 구간 서비스 수준

서비스 수준	$S_w(\text{mph})$	$S_{nw}(\text{mph})$	$\Delta S = S_{nw} - S_w$
A	$\geq 55$	$\geq 60$	5
B	$\geq 50$	$\geq 54$	4
C	$\geq 45$	$\geq 48$	3
D	$\geq 40$	$\geq 42$	2
E	$\geq 35/30$	$\geq 35/30$	-
F	$< 35/30$	$< 35/30$	-

3. 새로운 接近

前述한 바와 같이 엇갈림 구간의 交通 特性을 分析하는 方法에는 PINY, Leisch, JHK, 1985년 HCM 그리고 Fazio 등 여러 가지가 있다. 이들 方法론이 제시한 分析 과정에서 고려한 變수는 다소 相異하며 接近 方向 역시 劃一的이지는 않다. PINY와 1985년 HCM은 비슷한 分析 過程을 보이며, JHK와 Fazio는 變數 設定에서 약간의 차이를 보일 뿐 速度 豫測에 重點을 두고 있다. Leisch는 앞의 方法들과는 다소 다르게 접근하고 있는데, 交通量을 主要 變數로 上程, 分析 過程을 모두 圖表로 표시하였으며 설계자 위주로 되어 있다.

그럼에도 불구하고 이들 연구의 대부분이 엇갈림 구간의 서비스 수준 指標로 엇갈림 차량의 속도( $S_w$ )와 비엇갈림 차량의 속도( $S_{nw}$ )를 설정하고 있음은 주목할만하다. 높은 車線 變更 頻度 때문에 엇갈림 구간을 주행하는 차량이 겪는 混亂은 고속도로의 다른 구간에서보다 심하며, 運行 特性上 비엇갈림 차량( $V_{nw}$ )일지라도 엇갈림 차량( $V_w$ )의 影響을 받게 되어 있다. 따라서 이 구간을 주행하는 차량의 속도는 다른 구간에 비해 상대적으로 낮으며, 동일 구간에서도 車線別 速度 差異가 크다. HCM과 그 외 대부분의 方法들이 이 구간의 效果 尺度로 엇갈림 속도와 비엇갈림 속도를 다르게 提示한 것도 이 때문이다.

국내 고속도로상에 있는 엇갈림 형태는 모두 連結路 엇갈림(Ramp weave) 區間으로 조사된 바 있는데, 연결로 엇갈림 구간에서는 연결로 진입

후 다음 연결로로 진출하는 交通量( $V_i$ )이 거의 없으므로 실제 비엇갈림 交通量( $V_{nw}$ )은  $V_i$ 이 된다 (그림 6 參照).

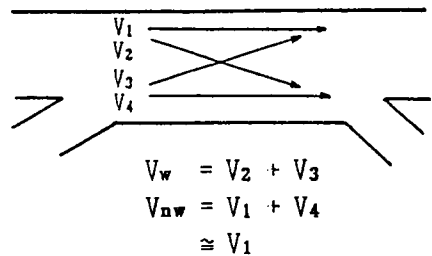


그림 6. 엇갈림 交通量과 비엇갈림 交通量

그러나 交通量이나 속도에 대한 이러한 理論的인 分類方式은 실제의 適用에 있어서는 큰 의미를 가지지 못한다. 즉, 비엇갈림 차량( $V_i$ 과  $V_i$ , 또는  $V_i$ )중에서 必須的인 車線 變更이 일어나는 부근(crown line)을 통과하는 차량은 반드시 엇갈림 차량에 影響을 받아 속도가 떨어지며, 이 부근에서 멀어질수록 엇갈림 交通流의 影響을 적게 받는다. 따라서 엇갈림 차량과 비엇갈림 차량을 엄격히 分離하는 것은 理論的일 뿐이며 運行 分析의 경우 適用이 불가능하다. 다시 말해서 必須的인 車線 變更線 附近을 지나는 비엇갈림 차량은 반드시 엇갈림 차량에 影響을 받아 엇갈림 交通流의 속도보다 조금 높거나 그와 비슷한 속도로 走行하게 되는데도, 여기에서 算出한 비엇갈림 차량의 속도를 주어진 엇갈림 구간의 비엇갈림 차량 서비스 수준에 適用시키는 것은 불합리하다.



보다 합리적인 방안은 속도를 엇갈림 구간 서비스 수준의 척도로 할 경우 엇갈림車輛의 影響圈(weaving box)을 設定하여 그 圈域 内部에 있는 차량의 평균 속도( $S_B$ )와 圈域 外部에 있는 차량의 평균 속도( $S_{OB}$ )를 서비스 수준 척도로 하는 방안이다. 물론 엇갈림車輛의 影響圈이 어느 정도인지는 분석을 통해 파악되겠지만, 본선 차선수( $N_b$ )가 많을수록 영향을 받는 정도는 약할 것이다. 그림 7은 국내 고속도로상에 있는 유일한 엇갈림 구간 형태인 연결로 엇갈림 구간의 영향권을 본선 두 차선까지로 보고 본선 차선수에 따라서 그 영향권을 표시한 것이다. 다만 본선이 편도 3차선인 경우의 국내 자료는 없다.

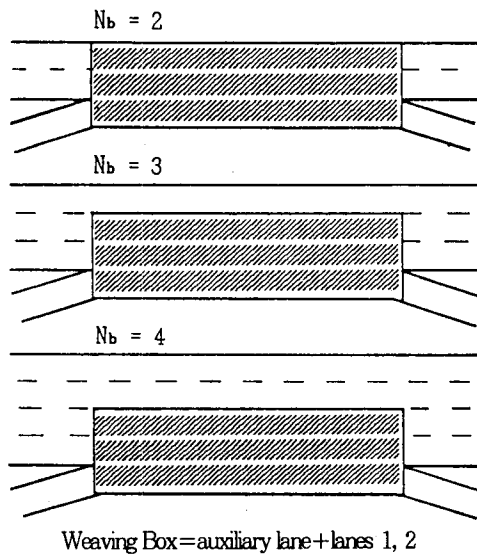


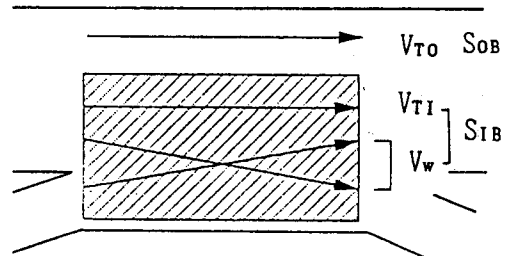
그림 7. 연결로 엇갈림 區間의 影響圈 設定

이 방안에 內包된 基本 概念을 整理하면 다음과 같으며, 그림 8은 이를 圖式化한 것이다.

- ① 비엇갈림과 엇갈림 속도( $S_m, S_w$ )보다는 엇갈림 차량의 影響圈 内部와 外部의 속도( $S_B, S_{OB}$ )를 이 구간의 效果 尺度로 제시하는 것이 실제적이다.
- ② 엇갈림 影響圈 内部 車輛의 속도( $S_B$ )는 엇갈림

구간 속도 추정식에 따라 推定하며, 影響圈 外部 車輛의 속도( $S_{OB}$ )는 엇갈림의 영향을 거의 받지 않으므로 고속도로 기본 구간과 비슷하다고 볼 수 있다.

- ③ 이 概念은 엇갈림 구간을 地點(point)보다는 領域(area)으로 본 것이다.
- ④ 미국 HCM에서와 같이, 승용차 환산 계수(PCE)는 국내 고속도로 기본 구간의 값을 사용한다.



- $S_{OB}$ =영향권 외부 차량들의 평균 주행속도(km/h)
- $S_B$ =영향권 내부 차량들의 평균 주행속도(km/h)
- $V_{TO}$ =영향권 외부의 통과 교통량(pcp/h)
- $V_{TI}$ =영향권 내부의 통과 교통량(pcp/h)
- $V_w$ =엇갈림 교통량( $V_{w1}+V_{w2}$  pcp/h)
- $V_m$ =비엇갈림 교통량( $V_{TO}+V_{TI}$  pcp/h)
- $VR \approx V_w/(V_w+V_{TI})$
- $VR = V_w/(V_w+V_{TI}+V_{TO})$

그림 8. 엇갈림 影響圈의 設定과 分析 概念의 圖式化

### Ⅲ. 資料 蒐集 및 分析

엇갈림 구간의 交通 特性 分析을 위해 국내 고속도로상에 있는 엇갈림 구간의 道路 및 交通 特性 資料를 蒐集하였으며, 이를 토대로 국내 엇갈림 구간의 運行 特性을 分析, 기존 방법의 速度 豫測力을 比較하였다.

#### 1. 資料 蒐集 및 分析

엇갈림 구간 분석을 위해 蒐集된 資料에는 엇

갈림 형태, 차선수, 엇갈림 구간의 길이(L), 유출 입부 경사도 등의 道路 特性 資料와 교통량, 밀도, 평균 주행 속도, 중차량 구성비 등의 交通 特性 資料가 있다. 주로 前者는 現場 調査를 통하여, 後者는 비디오 撮影을 통하여 수집하였으며, 엇갈림 구간이 비교적 긴 구간을 占有함으로써 두 대의 비디오 카메라로 重疊되게 촬영하여 분석하였다.

調査 結果 국내 고속도로상에 설치되어 있는 엇갈림 구간 형태는, HCM의 분류 방식을 따르면 모두 連結路 엇갈림(ramp weave) 형태를 띠고 있다. 연결로 엇갈림 구간은 대부분이 完全 또는 不完全 클로바형 立體 交叉路에서 流入 連結路의 車輛과 本線의 流出 車輛이 엇갈리면서 발생한다.

경부 고속도로의 서초 IC와 양재 IC, 경인고속도로의 신월 IC, 올림픽 대로의 한남 IC와 탄천 IC 등이 고속도로의 範圍에 포함시킬 수 있는 연결로 엇갈림 구간인데, 이 중에서 工事中이거나 撮影上의 制約으로 조사가 불가능한 것을 제외하면 촬영 및 분석이 가능한 지점은 서초 IC와 한남 IC뿐이다. 우리나라의 고속도로 또는 그에 準하는 도로상에 설치된 엇갈림 구간이 이만큼 적다는 것은 국내 道路網이 아직은 복잡하지 않은 이유도 있겠지만, 고속도로의 位階로 보아 安全 側面에서 設計 原則上 바람직하지 않기 때문이기도 하다.

表 6은 조사와 분석이 가능한 두 지점에 관련된

자료이다. 두 지점 모두 연결로 엇갈림 구간으로 한남 IC는 본선이 편도 4차선인 左側 連結路 엇갈림 區間이며, 서초 IC는 편도 2차선의 右側 連結路 엇갈림 區間이다.

分析은 속도 예측에 介在되는 변수들의 變動 幅을 고려하여 5분 단위로 하였으며, 비교적 긴 구간을 重複 撮影하여 分析하였기 때문에 이 구간의 速度 및 交通量 算出 過程이 다소 복잡하나 간편하게 두 지점의 平均 값을 適用하였다.

分析 結果, 速度-交通量 曲線에서 서초 IC의 경우 여러 가지 도로 및 교통 조건의 制約으로 일정한 傾向을 보이지 않는다. 반면 도시 고속도로인 올림픽 대로의 한남 IC의 경우 HCM 방식에 따른 엇갈림 속도와 비엇갈림 속도는 일정한 傾向을 보이고 있으며, 두 速度間의 差異는 10~25 km/h 정도로 서비스 수준이 惡化될수록 줄어든다. (그림 9 參照)

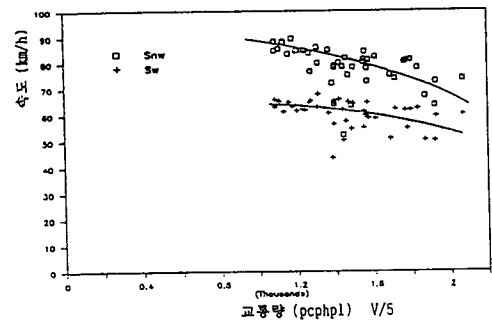


그림 9. 엇갈림 구간의 速度-交通量 曲線 (한남 IC)

表 6. 分析 地點의 關聯 資料

지점	엇갈림 형태	$N_b(N)$	$L(m)^*$	$VR^{**}$	$R^{**}$	$V(pcph)$	補助車線 幅
서초 IC (상행)	우측 연결로	2(3)	202.2	0.15~	0.25~	3,400~	4.0m
	엇갈림			0.35	0.50	4,900	
한남 IC	좌측 연결로	4(5)	319.0	0.20~	0.35~	5,000~	4.5m
	엇갈림			0.50	0.50	10,000	

\* 엇갈림 구간의 길이는 物理的인 노우즈 兩端間을 測定한 것이다.

\*\* 交通量 比( $VR$ ) =  $V_w/V$

엇갈림 比( $R$ ) =  $V_{w2}/V_w(V_{w2}$ : 엇갈림 交通량 중 작은 交通량)

또한 용량 상태의 속도는 서초 IC의 경우  $S_{nw}=50\sim55$  km/h,  $S_w=40\sim45$  km/h로 상당히 낮으며, 한남 IC의 경우  $S_{nw}=60\sim65$  km/h,  $S_w=50\sim55$  km/h로 다소 높은 값을 보여준다. 이때의 엇갈림 구간 車線當 最大 交通量은 前者가 1,600~1,650 pcphpl, 後者가 1,900~2,000pcphpl로 이 값은 高速 道路 基本 區間의 暫定 容量인 2,200pcphpl에 미치지 못하는 값이며, 이는 곧 엇갈림 구간이 고속도로의 병목구간으로 작용할 수 있음을 의미한다.

한편 密度-交通量 曲線도 서초 IC의 경우 뚜렷한 傾向을 읽기 어려우나, 한남 IC의 경우 一定한 傾向을 보이고 있다. 용량 상태의 平均 密度는 고속도로 기본구간의 값과 비슷한 35~40pc/km/차선이며, 용량上的 制約으로 서초 IC 曲線의 頂點이 한남 IC보다 다소 낮음을 알 수 있다.

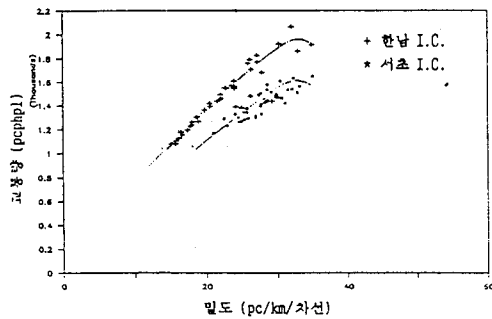


그림 10. 엇갈림 구간의 密度-交通量 曲線의 比較

表 7. 速度 豫測力의 比較

a. 서초 IC.

(속도 단위 : km/h)

變數	方法	HCM		JHK		Fazio		Leisch	
		$S_{nw}$	$S_w$	$S_{nw}$	$S_w$	$S_{nw}$	$S_w$	$S_{nw}$	$S_w$
a		92.91	57.09	84.75	58.31	72.78	80.19	99.02	68.44
標準偏差(Y)		4.50	3.08	5.26	2.97	4.89	6.82	6.55	6.06
$R^2$		0.06	0.00	0.04	0.01	0.02	0.02	0.08	0.01
資料數		41	41	41	41	41	41	41	41
自由度		39	39	39	39	39	39	39	39
b		-0.28	-0.08	-0.26	-0.11	-0.18	-0.45	-0.48	-0.27
標準偏差(b)		0.17	0.22	0.20	0.21	0.19	0.48	0.25	0.43
平均		76.4	53.2	69.8	53.2	62.6	58.8	71.4	55.5

## 2 既存 方法의 速度 豫測力 比較

앞에서 검토한 각 속도 예측식에 수집된 현장 자료를 適用시킨 結果는 다음 表 7과 같으며, 그림 11과 그림 12는 이를 그림으로 나타낸 것이다. 豫測式의 正確度는 觀測 速度와 推定 速度와의 관계를 一次式으로 表現했을 때 기울기가 1에 가깝고 절편이 0에 가깝거나 決定 係數가 클수록 높다.

車線 變更 變數가 고려된 Fazio 방법은 차선 변경이 制約되게 일어나는 서초 IC보다 차선 변경이 다소 選擇的일 수 있는 한남 IC에 대해 說明力이 더 높다. 다른 방법에 비해 Leisch 방법의 豫測力이 相對的으로 떨어지는 것은 이 방법이 連行 分析보다는 엇갈림 交通量을 初期值로 한 設計 爲主의 分析 體系이기 때문일 것이다. JHK와 HCM의 경우 두 지점 모두에 대해 다소 높은 豫測力을 보여 주는데, 엇갈림 속도보다는 비엇갈림 속도 推定의 正確度가 상당히 떨어지며, 추정된 엇갈림 속도는 50~62km/시로 비교적 좁은 變動幅을 보이고 있다.

全般的으로  $S_{nw}$ 의 豫測力은  $S_w$ 보다 떨어진다. 그 이유는 엇갈림 구간의 不安定한 交通流과 介在되는 變數의 複合性으로 인해 일반적인 傾向의 交通流 特性을 기대할 수 없으며, 模型 豫測의 焦點이  $S_w$ 에 주로 集中되어 있기 때문이다.

b. 한남 IC.

變數 \ 方法	HCM		JHK		Fazio		Leisch	
	$S_{TW}$	$S_W$	$S_{TW}$	$S_W$	$S_{TW}$	$S_W$	$S_{TW}$	$S_W$
a	61.66	12.11	69.06	17.71	37.92	-19.9	24.58	13.13
標準偏差(Y)	4.46	2.64	4.14	2.34	4.51	3.33	3.90	4.94
$R^2$	0.01	0.38	0.01	0.41	0.14	0.43	0.22	0.07
資料數	33	33	33	33	33	33	33	33
自由度	31	31	31	31	31	31	31	31
b	0.10	0.77	0.09	0.74	0.37	1.09	0.42	0.52
標準偏差(b)	0.16	0.18	0.15	0.16	0.16	0.23	0.14	0.33
平均 $\bar{y}$	69.5	61.4	76.3	64.9	68.1	49.2	58.6	46.1

\*  $Y=a+bX$ ( $R^2$ =決定係數, Y=推定速度, X=觀測速度)

\*\* 觀測速度的平均: 서초 IC의 경우  $S_{TW}=58.0, S_W=47.3$  한남 IC의 경우  $S_{TW}=80.7, S_W=63.7$

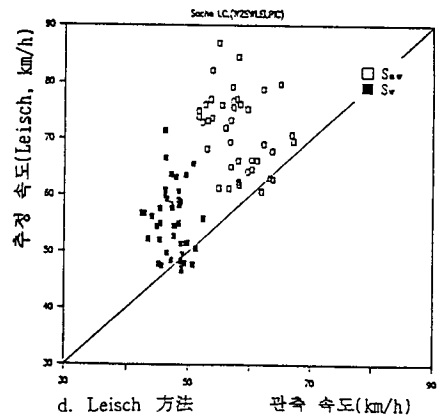
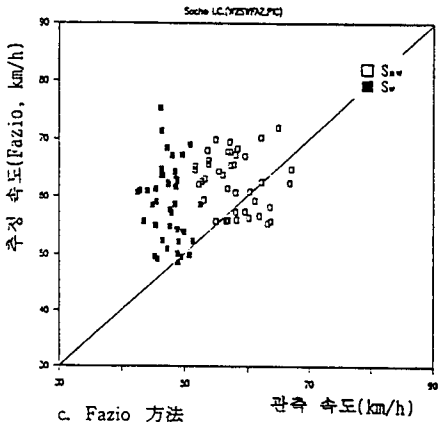
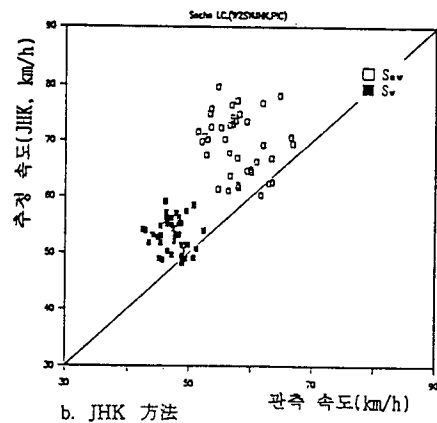
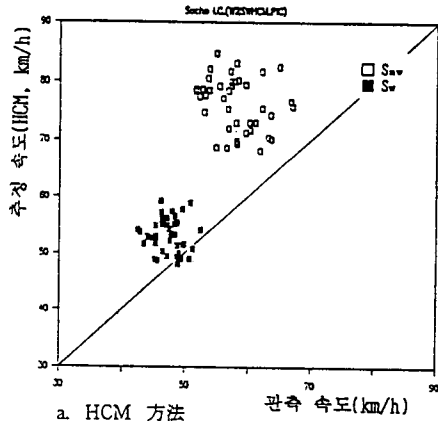


그림 11. 옛갈림 구간의 속도 豫測(서초 IC.)

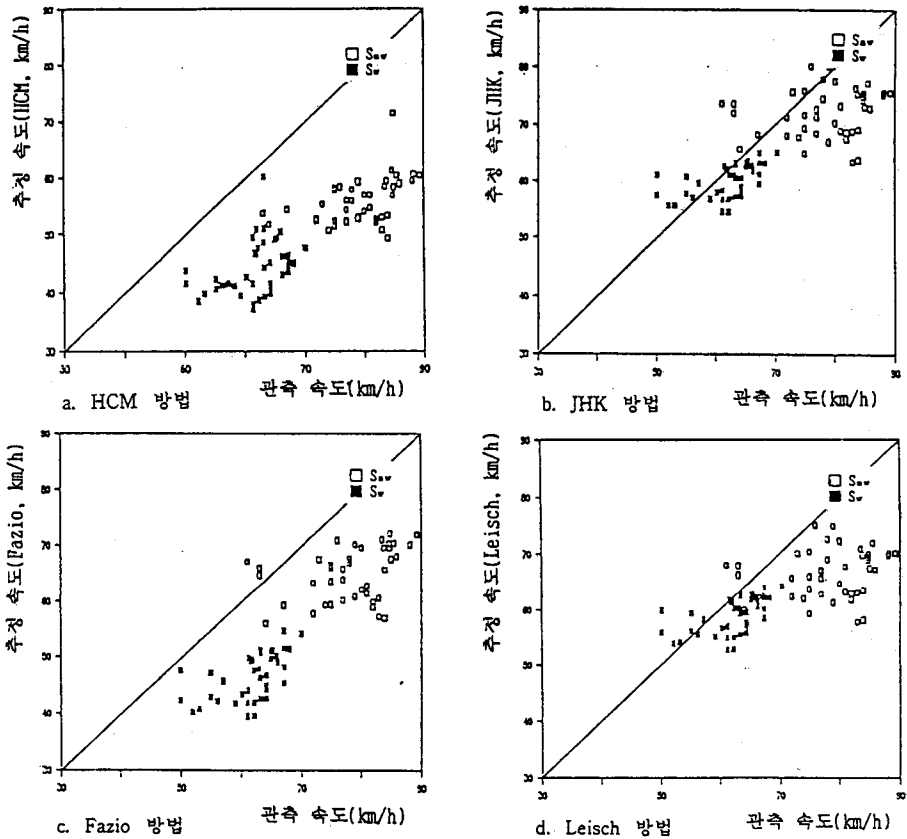


그림 12. 잇갈림 구간의 속도 豫測(한남 IC.)

速度 豫測力의 比較에서 우리는 다음과 같은 結論을 導出할 수 있다.

- ◇ 既存의 速度 推定式은 잇갈림 구간의 流域이 넓을수록 觀測 速度보다 낮게 推定하고 있으나 推定의 正確度는 아주 낮다.
- ◇ 잇갈림 速度보다 비잇갈림 速度의 豫測力이 相對的으로 떨어진다.
- ◇ JHK, HCM 방법의 速度 豫測力이 相對的으로 높다.
- ◇ Fazio 방법은 한남 IC에 대해서는 일정한 수준(약 15km/h)으로 낮게 豫測하고 回歸式 說明力이 뛰어나나 서초 IC에 대해서는 가장 낮은 說明力을 보이고 있다.
- ◇ Leisch의 速度 豫測力이 상대적으로 낮은 것은

細部的인 運行 分析보다는 概略的인 分析 水準을 要하는 設計에 焦點을 두고 있기 때문이다.

- ◇ 따라서 우리나라 연결로 잇갈림 區間의 效果 尺度를 速度로 할 경우 JHK나 HCM의 推定式을 補正하거나 이와 類似한 式을 開發하여 사용하는 것이 바람직하다.

#### IV. 速度 豫測式의 開發과 分析 體系 構築

앞서 살펴본 바와 같이 잇갈림 구간에 대한 既存의 速度 推定 方程式들은 모두 잇갈림 차량과 비잇갈림 차량으로 구분하여 速度를 推定, 이에 따라 서비스 수준의 기준을 서로 다르게 提示하

고 있다. 그러나 엇갈림 차량과 비엇갈림 차량을 엄격히 分離하여 속도를 算出하는 過程도 단순하지 않거니와 무엇보다도 이러한 理論的인 分類方式이 엇갈림 차량으로 인한 影響을 고려하지 않은 것이어서 速度 豫測에 誤差를 유발할 수밖에 없다.

本 研究에서는 이와 같은 사실을 고려하여 엇갈림 구간을 엇갈림 차량의 影響圈과 非影響圈으로 나누어 速度 豫測式을 開發하였고, 이를 토대로 엇갈림 구간의 서비스 수준 기준을 作成하였으며, 이와 더불어 이 구간의 分析 體系도 提案하였다.

1. 速度 豫測式의 開發과 서비스 水準

속도 예측식을 개발하는데 있어서 기본적으로 사용된 假定은 다음과 같다.

- ① 엇갈림 차량의 影響圈을 設定하여, 그 影響圈 内外部의 速度( $S_B, S_{OB}$ )를 推定한다.
- ② 影響圈은 車線別 速度 差異를 토대로 設定한다.
- ③ 엇갈림 影響圈 内部의 速度( $S_B$ )는 國內 資料를 토대로 미국 HCM의 추정식을 補正하여 사용한다.
- ④ 엇갈림 影響圈 外部의 速度( $S_{OB}$ )는 고속도로 본선과 같다.

엇갈림 차량의 影響圈은 本線 車線數에 따라 다소의 차이는 있을 수 있지만 車線別 速度 分布의 差異를 토대로 결정하였다. 본선이 편도 2차선인 서초 IC의 경우 交通量 資料의 範圍가 1200~1600poph 정도에서 影響圈 判別 與否가 어려우나, 분석시 안쪽 차선(lane 2)과 바깥 차선 및 보조 차선의 速度 差異가 5~10km/h로 크지 않음을 볼 수 있었다.

한남 IC의 경우 그림 13을 보면 엇갈림 차량의 影響이 補助 車線과 隣接하는 두 차선까지만 것을 알 수 있다. 2 車線의 경우 보조 차선과 1차선보다 영향을 적게 받으나, 엇갈림 차량을 피하기

위한 1차선으로부터의 車線 變更으로 3차선과 함께 交通量이 가장 많이 分布하며, 3, 4차선과의 速度 差도 5~10 km/h정도로 서비스 수준이 한 段階 낮다. 또한 3, 4차선의 速度 變化 추이는 고속도로 기본구간과 거의 비슷하다고 볼 수 있으므로, 실제 엇갈림 影響圈은 本線 두 車線까지로 볼 수 있다.

따라서, 본선 차선 수에 따라 엇갈림 차량의 영향권은 다소의 차이가 있을 수 있지만, 본 연구에서는 연결로 엇갈림 구간의 影響圈을 補助 車線과 本線 두 車線까지로 하였으나, 본선이 3차선인 경우 국내 자료가 없으므로 그 영향을 확인할 수는 없다.

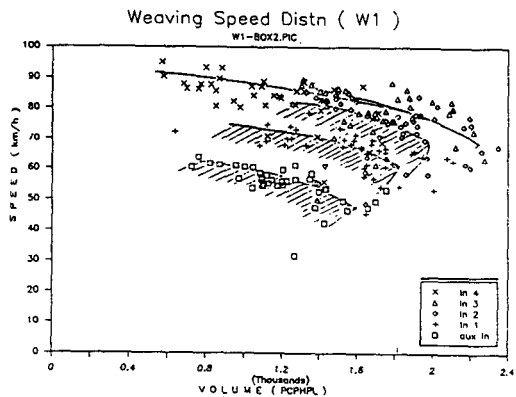


그림 13. 엇갈림 차량의 車線別 影響

미국 HCM의 速度 推定式 形態는 이미 제시한 바 있으며(Ⅱ장 2절), 엇갈림 影響圈 内部의 速度 推定式을 간단히 표현하면 다음과 같다.

$$S_B = 24 + \frac{S_D - 24}{1 + W}$$

$$W = a(1 + VR)^b (V/N)^c / L^d$$

여기서,

$S_B$  = 영향권 내부 차량들의 平均 走行 速度 (km/h)

$S_D$  = 본선의 設計 速度 또는 自由 速度 (km/h)

W= 엇갈림 係數(weaving factor)

위의 추정식과 국내 조사 자료(III장 1절)를 토대로 개발한 엇갈림 影響圈 内部의 推定式은 다음과 같으며, 豫測値와 實測値 間의 決定 係數(R<sup>2</sup>)=0.803으로 비교적 높다.(그림 14 參照)

$$S_B = 24 + \frac{S_0 - 24}{1 + W}$$

$$W = 0.156(1 + VR)^{0.47} (V/N)^{0.05} (L/0.3048)^{0.91}$$

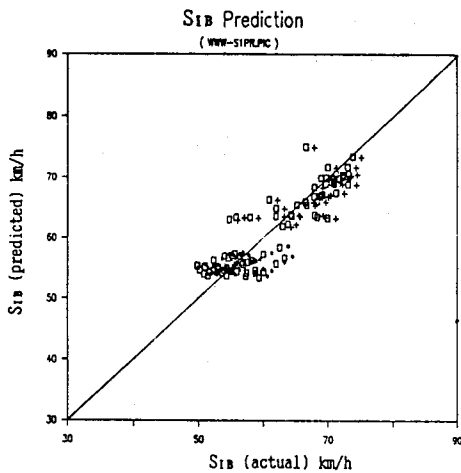


그림 14. 엇갈림 影響圈 内部 車輛의 速度 豫測

한편, 앞에서 엇갈림 影響圈 外部 車輛의 運行

狀態는 고속도로 본선과 類似할 것이라고 假定하였는데, 觀測 資料의 車線別 分布(그림 13 參照)도 이 假定이 合理的임을 보여주고 있다. 따라서 影響圈 外部 車輛의 서비스 水準은 고속도로 기본 구간의 서비스 수준과 同一하게 보고 이에 대응하는 影響圈 内部 車輛의 서비스 水準 基準表를 그림 15를 토대로 作成하였다.(表 8 參照) 그림 15는 서비스 수준이 C일 때 影響圈 外部 車輛의 速度 基準(83km/h)에 대해 影響圈 車輛의 速度 基準(66km/h)을 決定한 例이다. 이 서비스 수준 基準表를 보면 영향권 내부 차량의 서비스 수준은 영향권 외부보다 떨어지며, 서비스 수준이 惡化될수록 影響圈 内外부의 速度 差는 줄어든다. 본선이 편도 2차선인 경우는 影響圈이 本線 全體를 포괄하므로 影响권 내부의 기준만으로 이 구간의 서비스 수준을 判別한다.

表 8을 適用할 때에는 다음과 같은 한계 값을 고려하여야 하며, 이를 넘어서는 경우에는 適用上의 注意를 要한다.

- ① VR(max) = 0.80 ~ 0.60
- ② 影响권 내부의 최대 교통량(V<sub>B</sub>(max))=1, 900pcphpl 또는 5,700pcph/3차선
- ③ 최대 엇갈림 교통량(V<sub>w</sub>(max))= 2,800pcph~2,500pcph

表 8. 엇갈림 구간의 서비스 수준

LCS 서비스 수준	影響圈 外部 S <sub>0B</sub> (km/h)	影響圈 内部 S <sub>B</sub> (km/h)
A	≥ 98	≥ 80
B	≥ 93	≥ 75
C	≥ 83	≥ 66
E	≥ 70	≥ 55
D	≥ 53	≥ 42
F	< 53	< 42 또는 V <sub>w</sub> > 2,800 pcph 또는 V/3 > 1,900pcph

\* 고속도로 기본 구간의 기준과 같음(자료 : 참고문헌 2).

## 2 엇갈림 區間의 分析 體系 構築을 위한 提 案

### 1) 設計 分析 過程

設計時의 分析에 필요한 자료에는 설계 속도화 설계 서비스 수준, 기·종점 교통량, 기본 차선수, 엇갈림 구간의 길이 등이 있다. 이 중에서 영향권 내부의 交通量 比와 交通量 및 해당 서비스 수준에 따른 速度 등을 獨立 變數로 가지는 엇갈림 구간의 길이(L)는 가장 중요한 設計 變數이다. 이 길이는 影響圈 內部 車輛에 대한 速度 推定式을 逆算하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L = 0.3048 [0.156(1 + VR)^{0.47} (V/3)^{1.05} (S_B - 24) / (S_D - S_B)]^{-0.91} \text{ (m)}$$

그림 15. 影響圈 內外部 車輛의 서비스 水準 決定의 例

그림 16과 그림 17은, 設計 速度 100km/h인 경우에 設計 서비스 水準이 C와 D일 때 위 식을 토대로 影響圈 內部的 交通量 比에 따른 交通量과 엇갈림 길이 사이의 關係를 나타낸 것이며, 그림 18과 그림 19는 交通量 比가 0.4와 0.6일 때 設計 서비스 水準에 따른 交通量과 엇갈림 사이의 關係를 나타낸 것이다. 設計 速度나 交通量 比가 이 그림에서 提供한 例와 다를 경우에도 앞의 길이 算定式을 이용하여 두 變數間의 關係를 그림으로 表現할 수 있다.

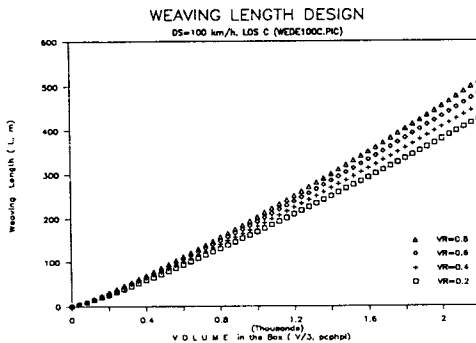


그림 16. 交通量 比에 따른 交通量과 엇갈림 길이 (設計 서비스 水準 C)

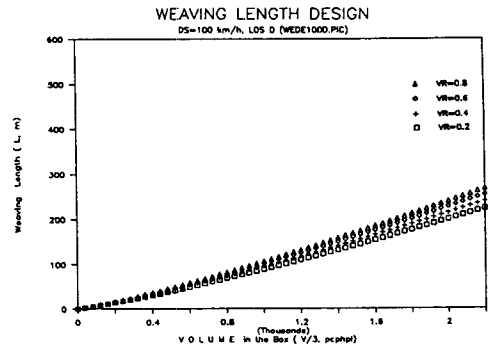


그림 17. 交通量 比에 따른 交通量과 엇갈림 길이 (設計 서비스 水準 D)

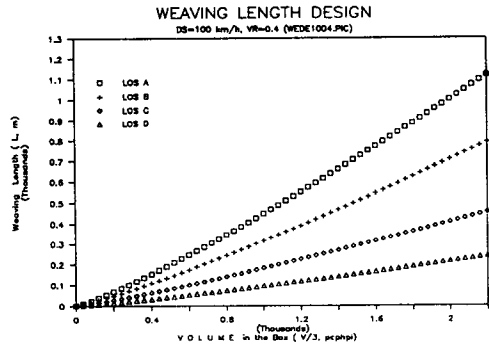


그림 18. 서비스 수준에 따른 교통량과 엇갈림 길이 (VR=0.4)

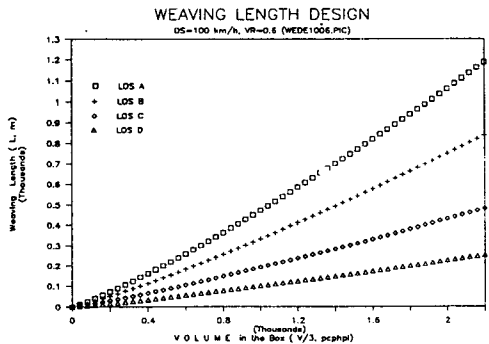


그림 19. 서비스 수준에 따른 교통량과 엇갈림 길이 (VR=0.6)

이과 같은 자료를 토대로 연결로 엇갈림 구간



을 설계할 경우 設計 方針이 되는 基準은 다음과 같다:

$$[\text{影響圈 内部의 차선당 교통량} = \text{影響圈 外部의 차선당 교통량}]$$

$$[V/3 = V_{T0}/N_{T0}]$$

설계속도 100km/h인 편도 4차선 고속도로의 연결로 잇갈림 구간을 設計할 경우 다음과 같은 過程을 밟는다.

1단계: 方向別 交通 需要의 圖式化와 設計 方針 設定.

$$V_{T0}$$

$$V_n$$

$$V_w$$

$$V_{T0}/N_{T0} = (V_n + V_w) / 3 \quad (N_{T0} = 2)$$

$$V_{T0} + V_n = V_w$$

2단계: 잇갈림 影響圈 内部의 通過 交通量( $\dot{V}_n$ )을 假定.

3단계: 影響圈 内部의 交通量 比(VR)를 計算.  
 $VR = V_w / (V_w + V_n)$

4단계: VR이 限界값을 넘을 경우  $V_{T0}$ 의 일부 값을  $V_n$ 에 더하여  $V_n$ 를 다시 計算.

5단계: 影響圈 外部의 交通量( $V_{T0}$ )을 計算.

6단계: 設計 方針에 어긋날 경우 2단계로 되돌아가 反復 計算.

7단계: 設計 方針에 맞을 경우 영향권 내부의 차선당 교통량과 설계 서비스 수준에 대해 잇갈림 길이 決定.

(그림 16~그림 19의 그래프 상의 잇갈림 길이 이상이어야 함)

## 2) 運行 分析 過程

設計時의 分析 過程과 類似하다.

1단계: 方向別 交通量의 圖式化

2단계: 잇갈림 影響圈 内部의 通過 交通量( $V_n$ )

을 計算.

3단계: 影響圈 内部의 交通量 比(VR)를 計算.

4단계: 필요한 경우  $V_n$ 와 VR를 다시 計算.

5단계: 影響圈 外部의 交通量( $V_{T0}$ )을 計算.

6단계: 影響圈 外部 車輛의 平均 走行 速度( $S_{OB}$ )를 計算하여 影響圈 外部의 서비스 수준을 決定(表 8).

7단계:  $S_{OB}$ 를 計算하여 잇갈림 影響圈 内部의 서비스 수준을 決定.

8단계: 影響圈 内外부의 두 서비스 수준이 다를 경우 나쁜 서비스 수준을 이 구간의 全體 서비스 水準으로 함.

## V. 結論 및 向後 研究 課題

本 研究에서는 고속도로의 一部 區間인 잇갈림 구간에 대한 國內의 調査 資料를 토대로 잇갈림 구간의 主要 效果 尺度인 速度와 기존 기법들의 速度 豫測力을 檢討하였는데 既存 速度 推定式의 대부분이 매우 낮은 豫測力을 보이고 있다. 이는 資料의 相異함과 分析 地點 數의 限界에도 그 原因이 있겠지만, 기존 분석 기법들이 잇갈림 차량의 影響圈을 고려하지 않았기 때문이라고 볼 수 있다.

이러한 判斷 아래 본 연구는 잇갈림 구간 중에서 국내 자료로 어느 정도 檢證이 가능한 連結路 잇갈림 區間에 대해 잇갈림 구간의 影響圈을 補助 車線에 隣接하는 두 차선까지로 하여 이 구간의 速度 豫測式을 開發하였다. 또한 이를 토대로 연결로 잇갈림 구간의 서비스 水準 基準을 提示하였으며, 아울러 잇갈림 구간의 分析 體系도 提案하였다.

다른 잇갈림 區間의 形態에 대해서도 잇갈림 차량의 影響圈을 고려한 本 研究 技法을 適用할 수 있으나, 국내 자료가 없으므로 資料 分析을 土 臺로 한 研究는 現在로서는 限界가 있을 수밖에 없다. 또한 向後 國內 道路網 體系가 補強, 整備될

경우를 위해 다른 엇갈림 區間 형태에 대한 연구도 繼續되어야 한다. 이와 함께 連結路 엇갈림 區間과 그 運行 特性이 類似한 連結路에 이 影響圈

概念을 適用할 경우, 고려되는 效果 尺度가 速度 이든 交通量이든 實際의인 效果 尺度 開發에 도움을 줄 수 있을 것이다.

### 參 考 文 獻

1. 한국건설기술연구원/교통개발연구원, 도로용량 편람 공동 연구회 결과 보고서, 1988.
2. 한국건설기술연구원/교통개발연구원, 도로용량 편람 연구조사(제3단계), 중간 보고서, 1992.
3. HRB, Highway Capacity Manual, 1965.
4. TRB, Highway Capacity Manual, 1985.
5. Pignataro et al., Weaving Area Operations Study, NCHRP Project 3-15 Final Report, PINY, 1971.
6. Pignataro et al., Weaving Areas-Design and Analysis, NCHRP Report 159, 1975.
7. Leisch, J., Capacity Analysis Techniques for Design and Operation of Freeway Facilities, FHWA, 1974.
8. Leisch, J., Completion of Procedures for Analysis and Design of Traffic Weaving Sections. Vol. 1-Final Report, Vol. 2-User's Guide, FHWA, 1983.
9. Kell et al., Weaving Analysis Procedures for the New Highway Capacity Manual, Final Report, FHWA, 1984.
10. Fazio, "Development and Testing for a Weaving Operational Analysis and Design Procedure", Master's Thesis, UIC, 1985.
11. Normann, O.K., "Operation of Weaving Areas", HRR Bull. 167, 1957, pp. 38-41.
12. TRB, Interim Materials on Highway Capacity, TR Circular 212, 1980.
13. Roess, R.P., Development of Weaving Area Analysis Procedures for the 1985 Highway Capacity Manual, TTTC, 1987.
14. M. Kuwahara et al., Capacity and Speed of Weaving Sections of the Tokyo Metropolitan Expressway, ITE Journal, March 1991.

### \* 用語의 정리

- $V_{w1}$  : 엇갈림 교통량( $V_w$ ) 중 많은 엇갈림 교통량(대/시)  
 $V_{w2}$  : 엇갈림 교통량( $V_w$ ) 중 적은 엇갈림 교통량(대/시)  
 $V_w$  : 엇갈림 교통량( $V_{w1} + V_{w2}$ , 대/시)  
 $V_{nw}$  : 비엇갈림 교통량(대/시)  
 $V$  : 엇갈림 구간의 전체 교통량( $V_w + V_{nw}$ , 대/시)  
 $V_{T0}$  : 영향권 외부의 통과 교통량(pcp/h)  
 $V_{T1}$  : 영향권 내부의 통과 교통량(pcp/h)  
 $VR$  : 交通量 比( $V_w/V = V_w/(V_w + V_{T1} + V_{T0})$ )  
 $VR'$  : 엇갈림 영향권 내부의 交通量 比( $V_w/(V_w + V_{T1})$ )  
 $R$  : 엇갈림 比( $V_{w2}/V_w$ )

- PHF : 尖頭 時間 係數(Peak Hour Factor)
- $f_{HV}$  : 重車輛 補正 係數
- $N_w$  : 制約 받지 않는 運行을 위하여 엇갈림 차량이 사용해야 하는 車線數
- $N_w(max)$  : 주어진 상태에서 엇갈림 차량이 사용하게 되는 最大 車線數
- $N_{T0}$  : 엇갈림 구간의 全體 車線數
- $L(L_H)$  : 영향권 외부의 차선 수
- $S_{TW}$  : 엇갈림 구간의 길이(m, ft,  $L_H=L/100$ )
- $S_W$  : 비엇갈림 차량의 평균 속도(mph, km/h)
- $S_{CB}$  : 엇갈림 차량의 평균 속도(mph, km/h)
- $S_B$  : 영향권 외부 차량들의 평균 주행속도(km/h)  
영향권 내부 차량들의 평균 주행속도(km/h)