

□ 論 文 □

고속도로 위빙 (Weaving) 구간
高速道路 위빙 (Weaving) 區間的

交通行態에 대한 經驗的 分析

교통행태 경험적 분석
An Empirical Analysis of the Behavior of Weaving Traffic

in a Freeway Weaving Section

류 경 수
柳 敬 洙

(現在 韓國道路公社 在職)

目 次

- I. 序 論
- II. 本 論

- III. 結 論

ABSTRACT

In this research, the behavior of weaving traffic is studied in terms of lane-changing behavior and gap acceptance characteristics. General trends in lane-changing behavior and gap acceptance characteristics are investigated by analyzing descriptive statistics and the factors affecting weaving behavior are determined by means of the multiple linear regression analysis.

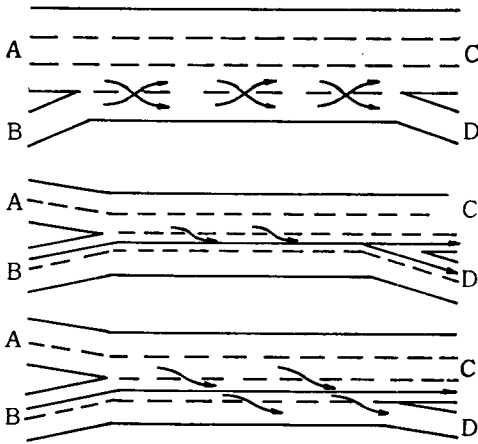
The results of analysis show that the behavior of weaving traffic is generally similar to that in a basic freeway section and an on- or off-ramp section. Traffic density and speed appear to be better parameters than traffic volume for explaining the behavior of weaving traffic. For the same purpose, using the traffic conditions of the origin and the destination lanes are found to be more effective than using the average traffic conditions of the freeway.

A detailed analysis of the gap acceptance characteristics of late merging vehicles shows that there is no significant difference between the size of gaps accepted by late merging vehicles and that accepted by early merging vehicles.

I. 序 論

가. 위빙구간의 정의

道路容量便覽(Highway Capacity Manual)¹⁾에 위빙은 “둘 이상의 交通流가 같은 방향으로 상당거리를 交通統制手段의 도움없이 走行하며 彼此 橫斷하는 現象”으로 정의되어 있다. 이와 같이 위빙은 道路上에서 上流에 位置한 合流點이 下流의 分기點과 근접해 있거나 上流의 進入램프가 근접한 進出램프와 補助車線으로 연결되어 있는 경우에 發生한다. <그림 - 1>이 위빙구간의 代表的인 例를 보여준다.



(그림 - 1) 위빙구간의 代表的인 例

위빙구간 내에서는 運轉者들이 자신들의 目的方向으로 進出하기 위한 적절한 車線으로 들어서는 爲하기 때문에 이 區間內에서 집중적인 車線變更行爲가 이루어지게 된다. 따라서 위빙구간내에서는 交通의 亂流現象이 심하게 發生하게 되므로 交通運營上 특수한 問題點이 대두되고 設計時 특별한 考慮가 要求된다.

이러한 위빙구간은 어떠한 種類의 道路上에서도 존재할 수 있으나 高速道路 體系의 一部分으로서 가장 흔하게 發生한다. 위빙구간은 高速道路上에서 자주 交通隘路 區間 또

는 반복적인 交通混雜 發生地點이 된다. 따라서, 위빙交通의 行態에 대한 보다 정확한 知識 및 理解는 1) 效率的인 交通運營, 2) 高速道路 交通安全의 向上, 3) 위빙구간의 效果적인 設計 등의 기초가 될 것이며, 위빙구간의 改善은 結果的으로 총체적인 高速道路 交通運營에 기여하게 될 것이다.

나. 연구동기와 목적

本 研究²⁾의 具體的인 동기를 간단히 要約하면 다음과 같다

1) 效率的인 交通運營, 交通安全의 向上 및 위빙구간의 效果적인 設計를 위한 위빙 交通행태의 정확한 理解의 必要性.

2) 위빙問題에 投入된 研究 努力, 특히 經驗的 研究의 缺如.

本 研究의 根本 目的은 高速道路 위빙區間에 있어서 위빙交通의 行태를 分析하는 데 있다.

車線變更이 위빙의 가장 重要한 要所이므로 위빙행태는 車線變更의 位置와 車線變更을 위해 채택된 갭의 크기에 의해 說明될 수 있을 것이다. 따라서 本 研究는 다음의 세부 目的을 達成하는데 주력할 것이다.

1) 위빙구간내에서 車線變更 地點의 分布 車線變更 地點에 영향을 미치는 要素 및 各 要素別 影響 등 위빙車輛 車線變更 패턴의 分析.

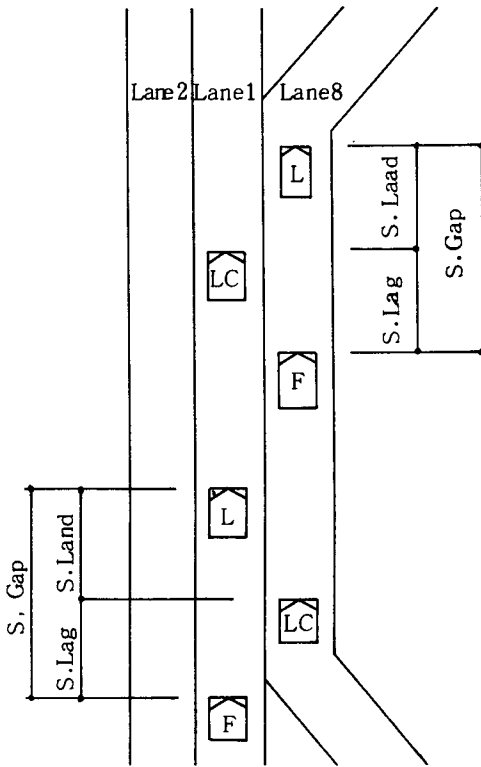
2) 채택된 리드(lead), 래그(lag) 및 갭(gap) 크기의 分布, 갭 채택 特性에 影響을 미치는 要素 및 各 要素別 影響 등 위빙車輛의 갭 採擇特性 分析(용어의 定義는 <그림-2> 및 <그림-3> 參照).

3) 車線變更 位置와 採擇된 갭의 크기간 에 상호 연관이 있는가의 決定.

4) 위빙交通의 行태를 說明함에 있어 交通量, 交通密度 및 交通速度間의 重要性 比較.

5) 위빙交通의 行태를 說明함에 있어 道路 全體의 平均交通條件과 시발 및 중착차선

의 교통조건간의 效率性 比較.



범례 : L : 先行車輛 LC : 車線變更車輛
F : 後行車輛

(그림-2) 空間리드, 래그, 갭

$$\text{Lead} = \frac{(X_l - X_{lc})}{V_{lc}} \times \frac{1}{1.47}$$

$$\text{Lag} = \frac{(X_{lc} - X_f)}{V_f} \times \frac{1}{1.47}$$

$$\text{Gap} = \frac{(X_l - X_f)}{V_f} \times \frac{1}{1.47}$$

X_l : 先行車輛의 縱方向 位置 (피트)
 X_{lc} : 車線變更 車輛의 縱方向 位置 (피트)
 V_{lc} : 車線變更 車輛의 速度 (mph)
 X_f : 後行車輛의 縱方向 位置 (피트)
 V_f : 後行車輛의 速度 (mph)

(그림-3) 時間 리드, 래그, 갭 算出式

本 研究는 高速道路 위빙區間內에서의 交通行態에 대한 깊이 있는 知識을 提供함으로써 위빙구간내에 존재하는 問題點들을 이해하는데 도움을 줄 것이다. 특히 本 研究의 結果는 模型을 利用한 交通分野의 研究 및 위빙區間內의 交通運營을 改善하기 위한 交通工學의 措置를 마련하는데 基本知識을 提供할 것이다.

다. 이용데이터에 대한 소개

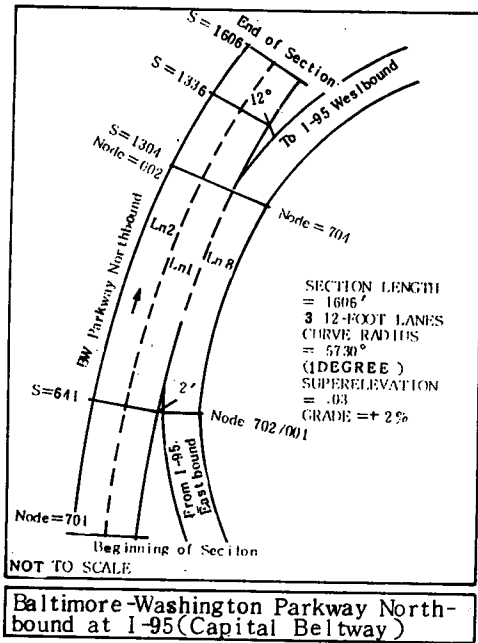
本 研究에 使用된 데이터는 “Freeway Data Collection for Studing Vehicle Interactions”³⁾ 라는 제목으로 美聯邦道路廳 (FHWA)가 實施한 研究課業에서 開發된 것이다. 이 研究課業의 目的은 램프 合流點, 위빙구간, 上向勾配區間, 路幅縮小區間, 車線減少區間 및 水平커브區間 등 高速道路上 特定 區間內에서의 米시적인 交通흐름에 관한 데이터를 수집하는데 있었다.

이 데이터는 일정 간격으로 찍은 航空寫眞으로부터 通過車輛들의 位置를 숫자와 해서 만들어낸 것이다.

本 研究에 使用된 위빙데이터는 美國 Maryland 주 Prince George's 카운티에 位置한 Baltimore Washington Parkway와 Capital Beltway (I-95) 간의 인터체인지에서 수집된 것이다. 完全 클로버형 인터체인의 일부인 이 調査區間은 總길이 1,606 피트로서 695 피트의 위빙區間을 包含하고 있다. 위빙구간은 幅 12 피트의 本線 2車線과 進入램프와 進出램프를 연결하는 幅 12 피트의 補助車線으로 이루어져 있다. (그림-4)에 調査區間の 제원이 간략히 나타나 있다.

이 위빙데이터는 1초간격으로 1時間동안 찍은 航空寫眞으로부터 抽出된 것이기 때문에 總 3,600 프레임으로 되어 있다. 이 데이터에 包含된 9個項의 情報는 다음과 같다.

- 1) 필름 프레임 번호 : 1 ~ 3,600
- 2) 通過車輛 固有 認識番號



(그림-4) 調査區間 諸元

- 3) 車輛種類 : 1. 乘用車
 2. 픽업트럭 또는 밴
 3. 트레일러 附着 乘用車, 픽업, 밴
 4. 보통트럭
 5. 트랙터와 트레일러의 조합
 6. 버스

4) 車輛 길이 (피트)

5) 車輛 速度 (mph)

6) 縱方向 位置 (피트) : 위빙區間 시작점 부터 自動車의 전면까지 測定

7) 橫方向 位置 (피트) :本線 우측연단으로부터 車輛의 전면 左測까지 測定

8) 車輛의 색깔

9) 車線番號

(그림-5)에 보여준 바와 같이 이 데이터는 調査期間동안 위빙구간 通過車輛의 行적을 完全하게 추적할 수 있도록 되어 있어 經驗的分析 研究에 適合하다. 이 데이터의

適合성이 本 研究의 強點의 하나이다.

데이터 分析에서 얻어진 結果나 모델은 사용된 데이터의 範圍를 벗어나면 有效하지 않을 수도 있기 때문에 데이터에 대해 정확히 把握하는 것이 중요하다. 本 研究 結果의 有效 適用範圍를 정의하기 위해 交通量, 交通密度 및 速度를 算定한 結果 각각 아래의 範圍에서 交通狀態가 變化하는 것으로 나타났다.

가. 交通量 3,780 ~ 4,770 臺 / 時間

나. 交通密度 82 ~ 134 臺 / 마일

다. 走行速度 33.7 ~ 44.6 마일 / 時間

서비스水準으로 表示하면 대략 C에서 E水準임을 알 수 있다.

II. 本 論

가. 車線變更點 分析

車線變更이 위빙의 基本要素이므로 위빙交通의 行態를 이해하기 위하여는 위빙車輛들의 車線變更點에 대해 分析하는 것이 必須的이다. 車線變更點은 위빙구간의 시작점으로부터 車輛이 측방위치를 한 車線에서 이웃車線으로 옮기는 地點까지의 距離를 말한다. 또 車線變更의 種類는 시발차선과 종착차선에 따라 LC1-2, LC2-1, LC1-8 및 LC8-1 네 種類로 區分되었다. 車線番號는 (그림-4)에 指定되어 있다.

本 研究에서는 總 2,550 件의 車線變更을 基本 데이터로부터 抽出하여 統計學的 方法으로 分析하였다. 統計的 分析은 車線變更點 分布分析 및 다원선형 回歸分析 (Multiple Linear Regression Analysis)을 包含한다. 전자는 위빙交通의 車線變更 行態에 관한 一般的인 傾向을 調査하기 위함이고 後者는 위빙交通의 車線變更點에 影響을 미치는 要素들을 決定하기 위함이다.

車線變更點 分布分析은 調査區間을 100 피트 길이의 小區間으로 나누어 각 小區間の 分布率을 車線變更 種類別로 分析하였다.(그

FIELD NUMBERS									KEY TO FIELD NUMBERS
1/	2/	3/	4/	5/	6/	7/	8/	9/	
200	11	1	16	0	442	10	3	1	1-Frame Number
200	12	1	19	0	356	10	7	1	
200	13	1	19	0	267	9	2	1	2-Vehicle ID
200	14	1	16	0	218	21	4	2	
200	15	1	18	0	108	10	4	1	3-Vehicle Type Code
201	1	1	14	58	1583	22	5	2	
201	2	1	14	57	1399	22	6	2	4-Vehicle Length(feet)
201	3	1	17	57	1216	17	1	2	
201	4	1	14	38	1165	-4	6	8	5-Speed(MPH)
201	5	1	14	48	1150	9	4	1	
201	6	1	16	54	983	20	7	2	6-Distance from Beginning of Section to Front of Vehicle
201	7	1	15	58	944	12	3	1	
201	17	1	15	0	870	2	2	8	
201	8	1	21	46	792	0	5	8	7-Distance from Right Edgeline to Middle Front of Vehicle
201	9	1	17	46	710	2	2	8	
201	10	1	17	58	665	21	1	2	
201	11	1	16	47	511	10	6	1	8-Vehicle Color Code
201	12	1	19	46	424	10	8	1	
201	13	1	19	48	338	9	7	1	9-Lane Number
201	14	1	16	55	229	21	3	2	
201	15	1	18	48	179	9	5	1	
202	2	1	14	57	1482	22	8	2	
202	3	1	17	55	1297	15	3	2	
202	5	1	14	49	1223	8	2	1	
202	4	1	14	36	1218	-4	6	8	

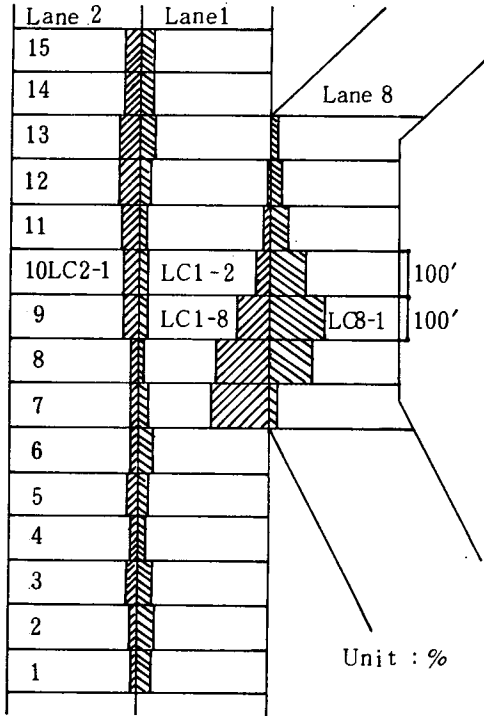
(그림-5) 데이터 파일의 샘플

림-6)에 車線變更點 分布度가 나타나 있다.

車線變更點 分布分析은 위빙區間內에서의 交通흐름의 一般의인 패턴은 獨立 進出入 램프에서의 交通흐름의 一般의인 패턴과 유사함을 보여 주고 있다. 細部의으로 말하자면 위빙區間을 들어오는 交通量 中 상당한 부분이 이미 위빙에 대비해 적절한 車線에 들어와 있으며 대부분의 위빙車輛들이 위빙區間的의 첫점부근에서 車線變更를 끝낸다. 그러나 本線에서 補助車線으로 가는 위빙車輛들이 一般의으로 램프에서 本線으로 가는車輛들보다 먼저 車線變更를 하는 경향을 볼 수

있다. 임의의 누적 百分位數에 있어 램프車輛의 車線變更點은 本線車輛의 車線變更點보다 대략 130피트 먼 것으로 나타났다. 그 뿐만아니라 램프交通의 경우 늦은 合流의數가 많았다. 이러한 경향은 本線의 交通量과 交通速度가 높는데 기인한 것으로 보인다. 중차차선의 많은 交通量은 큰 갭을 만날 수 있는 確率을 줄이고 높은 速度는 車線變更車輛이 중차차선 交通速度에 가깝게 速度를 調節할 必要를 느끼게 한다.

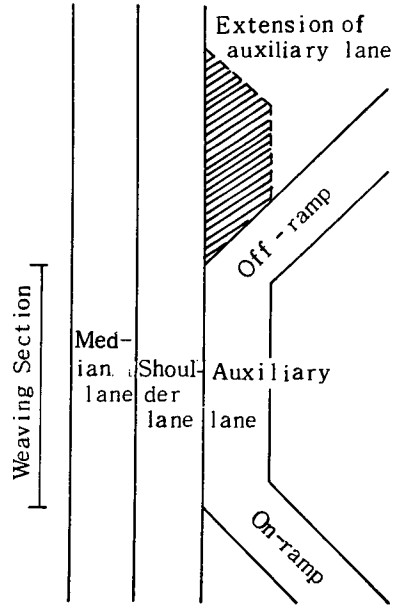
交通量과 速度가 낮은 램프交通의 車線變更點이 위빙구간의 첫점으로부터 멀어진



(그림-6) 車線變更點 分布圖

사실에 관련하여 위빙구간의 평면상 改良 方案이 한가지 提案되었다. 이 方案은 <그림-7>에 보여진 바와같이 車線變更車輛들이 적정한 크기의 겹을 採擇할 수 있을 때 까지 부가적인 時間과 空間을 줄 수 있도록 위빙구간의 終점부에 補助車線을 延長하는 것이다. 이 方案은 위빙구간의 길이 가 짧고 위빙交通流間의 交通條件이 差異가 커서 일부 위빙車輛들이 늦은 合流를 불가피하게 遂行하게 되는 位置에 適用할 수 있을 것이다. 이 方案의 適用性은 별도의 세부적인 研究를 통해서 立證되어야 할 것이다.

위빙交通의 車線變更點에 影響을 미치는 要因들을 찾아내고 그들이 어떠한 影響을 미치는가를 調査하기 위해 다원선형 回歸分析을 實施하였다. 回歸分析의 細部的인 目的은 다음과 같다.



(그림-7) 提案된 위빙구간의 改善

1) 交通流 척도의 3대 基本要素인 交通量, 交通密度 및 交通速度 中 위빙車輛의 車線變更點과 密接한 關係를 갖는 要素의 決定.

2) 각기 다른 위빙交通流에 影響을 미치는 要素들이 같은가의 檢證.

3) 데이터에서 抽出 可能한 모든 獨立變數를 使用하고 回歸模型의 適定性을 높이기 위하여 각 變數에 必要한 變換을 가했을 때 車線變更點과 密接한 關係를 갖는 要素의 決定.

4) 위빙交通의 車線變更點의 變化度를 說明함에 있어 시발차선과 終着차선의 交通狀態와 道路 全體의 平均 交通狀態間의 適合性 比較.

이상의 細部目的과 관련하여 回歸分析은 分岐交通(LC1-8)과 合流交通(LC8-1) 別로 3段階로 實施하였다. 즉 1段階에서는 交通量, 交通密度 그리고 交通速度의 3個 獨立變數만이 고려되었고 2段階에서는 1段階의 獨立變數外에 車線變更車輛과 終着車線 交通

의 平均速度間의 速度差異 (이하 “速度差異” 라고 稱함) 및 車線變更車輛이 워빙區間에 들어섰을 때 맨 처음 만나는 갭의 크기(이하 “초기갭 크기” 라고 稱함) 등 두 개의 獨立變數가 追加되었다. 마지막으로 3 段階에서는 데이터에서 抽出可能한 모든 獨立變數를 고려하였다. 또한 각 段階別로 始發車線과 終着車線の 交通狀態와 전 車線の 平均 交通狀態로 별도의 모델을 作成 分析하였다.

回歸모델은 적합한 獨立變數들의 組合을 선정하여 가장 우량한 모델을 찾아내기 위하여 段階回歸方法 (Stepwise Regression Procedure)을 使用하였다. 獨立變數 選定基準으로는 95 퍼센트의 유의수준을 채택하였다.

作成된 回歸모델의 代表的인 例로서 進出交通의 始發차선과 終着차선 交通狀態를

고려하였을 때의 3 段階의 模型을 예시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{LOGDST}_{1-8} = & 6.662525 + 0.001055 \\ & (\text{DEN1}) - 0.00095 (\text{DEN8}) + \\ & 0.00388 (\text{DIF8}) - 0.027832 \\ & (\text{XFLD}) - 0.005036 (\text{XFLDD}) \\ & \dots\dots\dots (式 1) \end{aligned}$$

- 여기서 LOGDST₁₋₈: 분기교통 車線變更 點의 log 變換變數
 DEN1 : 始發차선 (車線 1) 의 交通密度
 DEN8 : 終着차선 (車線 8) 의 交通密度
 XFLD : 초기갭 크기의 中央變換 變數
 XFLDD : (XFLD)²

이 모델에 대한 要約 統計值들은 <表-1>에 나타나 있다.

<表 - 1 >

式 1 의 要約 統計值

Analysis of Variance					
SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PROB > F
MODEL	5	3.75652085	0.75130417	41.802	0.0001
ERROR	1292	23.22123782	0.01797309		
C TOTAL	1297	26.97775867			
	ROOT MSE		0.1340638	R-SQUARE	0.1392
	DEP MEAN		6.680525	ADJ R-SQ	0.1359
	C.V.		2.006785		
Parameter Estimates					
VARIABLE	DF	PARAMETER ESTIMATE	STANDARD ERROR	T FOR HO: PARAMETER = 0	PROB > T
INTERCEP	1	6.662525	0.01578205	422.159	0.0001
DEN1	1	0.001055	0.000251234	4.200	0.0001
DEN8	1	-0.000950	0.000265034	-3.583	0.0004
DIF8	1	0.003880	0.000590401	6.572	0.0001
XFLD	1	-0.027832	0.002907601	-9.572	0.0001
XFLDD	1	0.005036	0.000618697	8.140	0.0001

위빙交通의 車線變更點에 대한 多元回歸分析結果가 <表-2>와 <表-3>에 要約되어 있다. 이 結果에 의하면,

1) 예상과는 달리 시발차선의 交通條件이 중착차선의 交通條件보다 車線變更點에 미치는 影響이 큰 것으로 나타났다. 다시 말해서 시발차선의 交通速度 및 交通密度가 增加함에 따라 車線變更點도 위빙구간의 식점에서 멀어지는 것으로 나타났다. 이 結果는 시발차선의 交通速度가 높으면 車線變更 車輛의 速度도 一般的으로 높을 것이고 따라서 車線變更 車輛이 車線變更를 準備하는 동안 走行하는 距離가 길어지는 것으로 解釋할 수 있다. 또한 시발차선의 交通密度가 높아지면 車輛의 走行性이 制限을 받게 되며 따라서 車線變更를 준비하는 時間이 길어짐을 초래한다. 분기교통에 대해서는 중착차선의 交通速度 및 交通密

度も 影響을 미치는 것으로 나타났으나 시발차선의 그것들보다는 미약하였다.

2) 車線變更 車輛과 중착차선 交通의 速度差異가 분기교통의 車線變更點과 매우 密接한 關係를 보여 주었다. 즉 速度差異가 클수록 車線變更點도 멀어진다. 이러한 경향은 速度 差異가 커지면 위빙車輛이 중착차선의 交通速度에 가깝게 速度를 調整하는데 걸리는 時間이 길어짐을 의미한다.

3) 초기리드 크기가 분기교통의 車線變更과 密接한 關係를 보여 주었다.豫想과 같이 초기리드 크기가 增加함에 따라 車線變更點이 짧아져 초기리드가 클수록 車線變更를 조기에 遂行한다는 사실을 證明하였다. 특히 초기리드 크기의 2次項을 고려했을 때 모델이 크게 향상되어 車線變更點과 초기 리드 크기 사이에 非線形의 關係가

<表-2> 車線變更點에 대한 多元線形回歸分析 結果 要約 (시발차선 및 중착차선의 交通狀態를 使用했을 때)

Dependent variable	Stage	Independent variable	P-value	R ²
LOGDST(LC1-8)	1	DEN1	0.0001	0.0407
		SPD1	0.0001	
		DEN8	0.0402	
		SPD8	0.0374	
	2	DEN1	0.0001	0.0923
		DEN8	0.0004	
		DIF8	0.0001	
		FLD	0.0001	
	3	DEN1	0.0001	0.1359
		DEN8	0.0004	
		DIF8	0.0001	
		XFLD	0.0001	
XFLDD		0.0001		
LOGDST(LC8-1)	1	DEN8	0.0472	0.0344
		SPD8	0.0001	
	2	DEN8	0.0472	0.0344
		SPD8	0.0001	
	3	SPD8	0.0001	0.0712
		FLAG	0.0001	

〈表 - 3〉 車線變更點에 대한 多元線形回歸分析 結果 要約 (道路 全體의 平均 交通狀態를 使用했을 때)

Dependent variable	Stage	Independent variable	P-value	R ²
LOGDST(LC1-8)	1	AVSPD	0.0032	0.0059
	2	DIF8	0.0001	0.0646
		FLD	0.0001	
	3	DIF8	0.0001	0.2242
		XFLD	0.0001	
		XFLDD	0.0001	
LOGDST(LC8-1)	1	AVDEN	0.0038	0.0374
		AVSPD	0.0001	
	2	AVDEN	0.0038	0.0374
		AVSPD	0.0001	
	3	AVSPD	0.0001	0.0764
		FLAG	0.0001	

존재함을 나타내었다. 合流交通에 대해서는 초기리드 크기 보다 초기래그 크기의 影響이 큰 것으로 나타났다.

나. 갭 채택 (Gap Acceptance) 行態 分析

위빙走行의 基本要素로서 車線變更이 관련되므로 위빙교통의 行態를 이해하는데 갭 採擇 特性이 또 하나의 중요한 要素이다. 위빙 차량의 갭 採擇特性은 위빙車輛에게 車線變更이 강제적이라는 點과 분기차량과 合流車輛들의 상호작용 때문에 道路基本區間이나 進出入램프에서의 車線變更과 다를 것이다.

갭 採擇特性의 統計的 分析은 採擇된 리드, 래그, 갭의 基本的 統計值 分析과 多元 回歸分析이 包含되었다. 基本的 統計值 分析은 위빙교통의 갭 採擇特性의 일반적 傾向을 把握하기 위함이며 百分率 累積曲線, 최소값, 중간값 등이 包含되었다 그리고 갭 採擇特性에 影響을 미치는 要素들을 찾아내기 위하여 實施한 多元回歸分析의 獨立變數로 交通流 척도외에 車線變更點과 車線變更車輛의 速度등이 考慮되었다.

이상의 統計的 分析은 데이터 상의 問題로 인해 分期交通의 래그 및 갭은 除外되었다.

基本的 統計值 分析 結果를 要約하면,

1) 採擇된 리드 크기의 分布는 空間 또는 時間적으로 분기교통과 合流交通間에 매우 근사한 것으로 나타나 두개의 다른 交通流의 갭 採擇特性上에 큰 차이가 없음을 암시하고 있다.

2) 위빙교통과 비위빙교통을 比較할 때 空間 리드, 래그, 갭은 뚜렷한 傾向을 보이지 않은 대신 時間리드, 래그, 갭은 위빙교통의 것이 모두 크게 나타났다. 이는 時間리드, 래그, 갭을 計算할 때 고려된 車輛의 速度의 影響인 것으로 나타났다. 다시 말해서 위빙교통의 車線變更에 대한 리드, 래그, 갭을 計算하는데 고려되는 車輛의 速度가 일반적으로 비위빙교통의 경우보다 낮다. 이러한 結果는 空間리드, 래그, 갭의 크기는 交通速度에 크게 左右되지 않고 있음을 암시한다.

3) 주어진 累積百分率에서 採擇된 래그의 크기가 採擇된 리드의 크기보다 一般的으로 큰 것으로 나타났다. 이 結果는 車線變更 車輛에게 리드가 래그보다 調節하기 쉽다는 것을 암시한다. 이 結果는 過去 道路의 基本區間에 대한 研究結果와 一致한다.

위빙교통의 갭 선택특성에 영향을 미치는 요소들을 결정하고 그들이 어떠한 영향을 미치는가를 분석하기 위하여多元線形回歸分析을實施하였다. 선택된 리드, 래그, 갭의 크기대獨立變數인交通條件,車線變更點, 그리고車線變更車輛의速度사이에回歸모델을作成하여分析하였다.多元線形回歸分析의細部目的은 다음과 같다.

1) 交通量, 交通密度, 交通速度中 어느 것이 위빙교통의 갭 선택특성에 현저한 영향을 미치는가?

2) 데이터에서抽出 가능한 모든獨立變數들을使用하고回歸模型의適定性을 높이기 위하여各變數에必要的變換을 가했을 때 선택된 리드, 래그, 갭의 크기와 밀접한 관계를 갖는要素의決定

3) 위빙교통의 갭 선택특성을說明함에 있어서시발차선과중착차선의交通狀態와道路全體의交通狀態間의適合性比較

이상의細部目的을 성취하기 위하여回歸分析은分岐交通(LC1-8)과合流交通(LC8-1)別로 2段階로實施하였다. 1段階에서는獨立變數로서交通量, 交通密度 및 交通速度만 包含되었고, 2段階에서는 3개 交通狀態의 척도이외의車線變更點 및 車線變更車輛의速度가追加되었다.車線變更點分析때와 마찬가지로適合한獨立變數들의 집합을 가려내어 가장 우량한回歸模型을選定하기 위하여段階回歸方法을使用하였으며,獨立變數의選定基準으로는 95%의 유의수준을採擇하였다.

作成된回歸모델의代表的인例로서進入交通의採擇된갭의크기를시발차선과중착차선交通狀態와의關係를 나타내는 2段階模型을 예시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{LOGAGP}_{8-1} = & 2.714496 - 0.021261(\text{DEN1}) \\ & - 0.026248(\text{SPD1}) + 0.00561 \\ & (\text{DEN8}) - 0.000318(\text{LCDIST}) \\ & + 0.016589(\text{CVSPD}) \dots\dots(\text{式 2}) \end{aligned}$$

여기서 LOGAGP₈₋₁: 進入交通이 採擇한 갭의 크기의 log 變換 變數

DEN1 : 중착차선(車線 1)의 交通密度

SPD1 : 중착차선(車線 1)의 交通速度

DEN8 : 시발차선(車線 8)의 交通密度

LCDIST : 車線の 變更點

CVSPD : 車線變更車輛의 速度

이 모델에 대한 要約統計值들은 <表-4>에 위빙교통의 갭 선택특성에 대한多元回歸分析結果는 <表-5>와 <表-6>에 要約되어 있다. 이 結果에 따르면,

1) 중착차선의 交通狀態가 위빙차량의 갭 선택특성에 큰 영향을 미친다. 예상했던 바와 같이 중착차선의 交通密度가 增加함에 따라 採擇된 리드, 래그, 갭의 크기가 작아졌다. 중착차선의 交通速度 역시 밀접한 關係를 나타내어 速度가 增加함에 따라 採擇된 리드와 갭의 크기가 작아지는 것으로 나타났다.

2) 車線變更點과 車線變更車輛의速度가 갭 선택특성에 미치는 影響은 一般的으로 미약하고 일정치 않은 것으로 나타났다. 車線變更點은 分岐 및 合流交通의 採擇된 리드와 合流車輛의 採擇된 갭과 關係가 있음을 나타냈으며, 반면 車線變更車輛의速度는 合流交通의 採擇된 리드 및 갭과만이 關係가 있음을 나타냈다. 그러나 이들 關係는豫想과 일치하였다. 즉 車線變更點이 위빙구간의 巔점에서 멀어짐에 따라 採擇된 리드 및 갭의 크기는 減少하였으며 車線變更車輛의速度가 增加함에 따라 採擇된 리드와 갭의 크기 또한 增加하였다. 一般的으로 이들 두變數의追加는 採擇된 리드, 래그 및 갭의 크기의變化度를說明하는데 큰 기여를 하지 않았다.

<表-4>

式 2 에 대한 要約 統計值

Analysis of Variance						
SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PROB > F	
MODEL	5	69.34423278	13.86884656	63.181	0.0001	
ERROR	644	141.36462	0.21951028			
C TOTAL	649	210.70885				
	ROOT MSE		0.4685192	R-SQUARE	0.3291	
	DEP MEAN		1.475018	ADJ R-SQ	0.3239	
	C.V.		31.76362			

Parameter Estimates					
VARIABLE	DF	PARAMETER ESTIMATE	STANDARD ERROR	T FOR HO : PARAMETER = 0	PROB > T
INTERCEP	1	2.714496	0.25420433	10.678	0.0001
DEN1	1	-0.021261	0.001402976	-15.154	0.0001
SPDI	1	-0.026248	0.004414830	-5.945	0.0001
DEN8	1	0.005610	0.001443492	3.887	0.0001
LCDIST	1	-0.000318	0.000147565	-2.155	0.0315
CVSPD	1	0.016589	0.003991044	4.156	0.0001

다. 多元回歸分析 結果의 綜合

車線變更點 및 갭 特性에 대한 多元回歸分析 結果를 綜合 要約하면 다음과 같다.

1) 車線變更點에 대한 回歸分析에서 交通速度가 車線變更點과 가장 밀접한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 交通密度도 또한 거의 모든 模型에서 影響을 미치는 要素로 選定되었다. 그러나 交通密度의 유의수준은 交通速度의 유의수준보다 낮은 경향을 보여 주었다. 특기할 事項은 交通量은 단 하나의 모형에도 選定되지 않았다는 사실이다. 한편 採擇된 리드, 래그 및 갭에 대한 回歸分析에서는 交通密度가 가장 強力한 관계를 나타냈다. 交通速度도 거의 모든 模型에 選定되었으나 유의수준이 交通密度보다 一般적으로 낮았다. 交通量은 한 경우에만 낮은 유의수준으로 選定되었다. 따라서 車線變更點의 變化度를 豫測 또는 說明하는데는 交通速度

가 가장 우수하고 採擇된 리드, 래그 및 갭의 크기와는 交通密度가 가장 관계가 밀접하다는 結論이다. 一般적으로 交通速度와 交通密度가 위빙交通의 特性을 說明하는데 交通量보다 우수하다고 結論지을 수 있겠다.

2) 車線變更點에 대한 回歸模型들에서 분기교통에 대한 模型은 시발차선과 縱軸차선의 交通狀態가 高速道路 全體의 平均 交通狀態보다 우수한 것으로 나타났고 合流交通에 대한 模型은 高速道路 全體의 平均 交通狀態를 使用했을 때의 경우가 약간 우수한 것으로 나타났다. 採擇된 리드, 래그 및 갭에 대한 回歸모형에서는 시발차선 및 縱軸차선의 交通狀態가 모든 경우에 高速道路 全體의 平均 交通狀態보다 훨씬 우수함을 보여 주었다. 따라서 위빙교통의 行태를 分析할 때 시발차선과 縱軸차선의 交通狀態를 使用하는 것이 高速道路 全體의 平均 交通

〈表-5〉 갭採擇特性에 대한 多元線型回歸分析 結果 要約 (시발차선 및 종착차선 交通狀態를 使用했을 때)

Dependent variable	Stage	Independent variable	P- value	R ²
LOGALD(LC1-8)	1	VOL1	0.0155	0.1664
		DEN1	0.0004	
		SPD1	0.0422	
		DEN8	0.0001	
		SPD8	0.0001	
	2	VOL1	0.0132	0.2135
		DEN1	0.0449	
		DEN8	0.0001	
		SPD8	0.0001	
		LCDIST	0.0001	
LOGALD(LC8-1)	1	DEN1	0.0001	0.1749
		SPD1	0.0001	
	2	DEN1	0.0001	0.1898
		SPD1	0.0001	
		LCDIST	0.0006	
		CVSPD	0.0070	
LOGALG(LC8-1)	1	DEN1	0.0001	0.1641
		DEN8	0.0113	
		SPD8	0.0127	
	2	DEN1	0.0001	0.1641
		DEN8	0.0113	
		SPD8	0.0127	
LOGAGP(LC8-1)	1	DEN1	0.0001	0.3076
		SPD1	0.0001	
		DEN8	0.0022	
	2	DEN1	0.0001	0.3239
		SPD1	0.0001	
		DEN8	0.0001	
		LCDIST	0.0315	
		CVSPD	0.0001	

狀態를 使用하는 것보다 더 效果的이라는 結論이다. 이 結果에 따르면 위빙區間의 交通 運營을 改善하기 위하여 高速道路 全體보다 시발차선 및 종착차선의 交通狀態를 改良하

는 것이 더 效果的일 것이라는 結論을 유 추할 수 있다.

3) 車線變更點과 採擇된 리드, 래그 및 갭의 크기에 影響을 미치는 要素들이 각기

〈表 - 6〉 잼 採擇特性에 대한 多元線形 回歸分析 結果 要約 (道路全體의 平均交通狀態를 使用했을 때)

Dependent variable	Stage	Independent variable	P-value	R ²
LOGALD(LC1-8)	1	AVVOL	0.0058	0.0509
		AVDEN	0.0001	
	2	AVVOL	0.0147	0.0841
		AVDEN LCDIST	0.0001 0.0001	
LOGALD(LC8-1)	1	AVDEN	0.0005	0.0172
	2	AVDEN	0.0003	0.0223
		LCDIST	0.0361	
LOGALG(LC8-1)	1	AVDEN	0.0001	0.0273
		AVSPD	0.0048	
	2	AVDEN	0.0001	0.0273
		AVSPD	0.0048	
LOGAGP(LC8-1)	1	AVDEN	0.0001	0.0296
		AVSPD	0.0058	
	2	AVDEN	0.0001	0.0491
		AVSPD CVSPD	0.0001 0.0002	

다른 위빙交通流間에 다른 경우가 상당히 있었다. 이는 위빙교통의 행태를 分析함에 있어 각 위빙교통류를 따로 取扱하는 것이 모든 위빙교통을 섞어 分析하는 것보다 더 좋은 結果를 얻을 수 있음을 말해 준다.

4) 交通狀態가 주로 관련된 本 分析에서 使用한 獨立變數에 대한 依存度가 一般的으로 낮았다. 과거의 研究 結果에 따르면 個人的인 취향이나 습관과 같은 人的要素가 高速道路 進入패턴 구간에서 車線變更 패턴 및 잼 採擇特性에 큰 影響을 미치는 것으로 밝혀졌다. 위빙交通의 행태에도 이러한 要素들이 影響을 미치는가를 추후 研究하여 調査할 必要가 있을 것이다.

라. 늦은 合流(Late merging) 車輛의 잼 採擇特性에 대한 細部分析

위빙車輛이 위빙구간의 마지막 부분에서

車線變更을 할 경우 時間的 空間的 제약 때문에 危險이 따르더라도 초기합류 車輛들보다 작은 잼을 採擇하리라는 가정이 成立된다. 이 가정을 검정하기 위하여 "Wilcoxon Rank Sum Test" 方法을 使用하여 늦은 合流交通이 採擇한 리드, 래그 및 잼의 크기와 초기 合流 車輛들의 採擇한 크기를 比較하였다. 이 검정은 合流交通에 대해서만 實施하였으며 그 結果가 〈表-7〉에 나타나 있다. 〈表-7〉에서 보는 바와같이 검정대상인 세 경우 모두에서 늦은 合流交通이 採擇한 리드, 래그 및 잼의 크기와 初期合流交通이 採擇한 크기 사이에 차이가 없다 라는 영의 가설이 採擇되었다. 이 검정결과는 늦은 合流交通이 더 작은 리드, 래그 및 잼을 採擇할 것이라는 가정을 뒷받침할 強力한 證據가 없음을 의미한다. 이 結果로 미루어 보아 대부분의 늦은 合流 車輛들이 위

방구간의 마지막 부분까지 進行하는 동안 적정한 크기의 갭을 찾을 수 있거나 先行 및 後行車輛의 協調로 적정한 크기의 갭으로 調整을 할 수 있는 것으로 추측된다

<表-7> 늦은 合流交通의 갭 採擇特性에 대한 Wilcoxon Rank Sum Test 結果

車線變更 種 類	變數	조기합류 경우 數	늦은합류 경우 數	W* 기	채택 또는 각
LC8-1	lead	642	23	-1.147	채택
	lag	645	23	-0.56	채택
	gap	641	22	-0.756	채택

W*가 $Z(0.05) = -1.645$ 보다 작으면 기각

III. 結 論

本 研究는 高速道路 위빙구간에서의 위빙 차량들의 車線變更 패턴과 갭 採擇特性을 分析함으로써 위빙교통의 행태를 調査하고자 하였다. 統計的인 分析結果에 근거하여 다음과 같이 結論을 내리고자 한다.

1) 위빙차량들이 車線變更 패턴과 갭 採擇特性은 道路의 基本區間이나 進出入램프 區間에서의 交通行態와 一般的으로 유사한 것으로 나타났다. 이 一般的인 경향은 가) 위빙구간 進入車輛의 사전 車線分離現象, 나) 상당부분의 위빙交通의 초기 車線變更, 다) 採擇된 래그의 크기가 採擇된 리드의 크기보다 큰 점 등이다. 그러나 採擇된 리드, 래그 및 갭의 최소치 등 위빙교통을 위해 얻어진 특정값들은 다른 種類의 道路區間의 값들과 差異가 있는 것으로 나타났다.

2) 위빙교통의 車線變更 패턴은 시발차선의 交通狀態와 아주 밀접한 관계를 나타냈으며 반면 갭 採擇特性은 중착차선의 交通狀態에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

3) 위빙교통의 행태를 說明하는 指標로서

交通密度와 交通速度가 交通量보다 좋은 結果를 보여 주었다.

4) 위빙교통의 행태를 說明하거나 豫測하는 지표로서 시발차선과 중착차선의 交通狀態를 使用하는 것이 道路全體의 平均交通狀態를 使用하는 것보다 效果的이었다.

5) 위빙교통 행태의 交通狀態만의 依存度는 一般的으로 낮았으며 人的要素와 같은 追加的인 要素를 고려함으로써 더 나은 分析結果를 얻을 수 있을 것이다.

6) 늦은 合流 車輛들이 採擇한 리드, 래그 및 갭의 크기와 초기합류 車輛들이 採擇한 값들 사이에는 별 차이가 없는 것으로 밝혀졌다.

本 研究는 高速道路의 램프위빙區間에서 수집된 데이터를 根據로 實施하였다. 데이터 蒐集當時 交通狀態는 C~E水準으로 分析되었으며, 따라서 本 研究의 結果는 C~E水準 이외의 交通狀態에는 適用性을 보장할 수 없다. 비록 本 研究의 結果가 데이터의 제약때문에 一般化될 수 없다고는 하지만 앞으로 위빙문제에 대해 研究할 분들에게 貴重한 資料가 될 것으로 믿는다.

本 研究는 현재 위빙에 관한 經驗的 研究실적이 혼치 않다는데 그 重要性이 더 해진다. 本 研究에서 얻어진 結果가 많은 사람들의 위빙에 대한 研究의 動機가 되기를 바란다.

參 考 文 獻

1. Highway Research Board. *Highway Capacity Manual*. National Research Council, NAS, 1985.
2. K. S. Yoo, "*An Empirical Analysis of the Behavior of Weaving Traffic in a Freeway Weaving Section*". Ph D. Dissertation, The Ohio State University, Columbus, Ohio, U. S. A.
3. Smith, Steven A, and Roskin Mark E, "*Creation of Data Set to Study Microscopic Traffic Flow in Freeway Bottleneck Sections*". Transportation Research Record, No. 1005 TRB, 1985, pp.121-128.