

□ 論 文 □

^{절약} 에너지節約을 위한 ^{반보호 좌회전} 半保護 左廻轉

交叉路의 信號時間設計

^{교차로} Traffic Signal Timing at Semi-Protected Left-Turn Intersections ^{신호시간 설계}

for Energy Saving

김 경 환
金 京 煥

(慶尚大 土木工學科 教授)

目 次

- | | |
|--|---------------------------------------|
| I. 序 論
II. 關聯研究의 考察
III. 模型의 開發
IV. 停止·出發과 待機時의 에너지消耗 | V. 電算프로그램의 開發
VI. 比較評價
VII. 結 論 |
|--|---------------------------------------|

ABSTRACT

Transportation energy saving is a national concern because all national petroleum energy is imported. A number of intersections are operating as semi-protected intersections, which have left-turn signal but not exclusive left-turn lanes, because of limited roadways in urban areas. Since the traffic signal methods for the intersections having left-turn signal/lanes cannot be applied to the semi-protected intersection, it is needed to develop a new technique.

The purpose of this study was to develop a traffic signal timing method at semi-protected intersections for energy saving and to computerize the method for the practical use.

A probability model which could estimate left-turn utilization factors of through traffic during green signal was developed based on field studies. Employing the factors, macro-models to estimate vehicular average delay and proportions of vehicles stopped at the semiprotected intersections were developed. The calculated values of the delay model agreed well with the simulated values of a simulation model using SLAM II, a simulation language. Using the two models and the idling fuel consumption rate and the excess fuel consumption per stop-go speed change of vehicles, a traffic signal timing method at semi-protected intersections for energy saving was developed and computerized. The method can be used for other measures of effectiveness such as minimum delay, minimum stop ratio, etc.

I. 序 論

交通이 混雜한 交叉路에서 各 交通流에 通行優先權을 配定하는 交通信號燈은 交叉路에서의 容量增加, 交通事故의 減少와 豫防, 主街路의 造成 및 保護를 위한 一般道路에서의 交叉路 交通統制手段中 가장 積極인 方法이다. 適切히 設計된 信號燈은 交叉路에서의 車輛의 安全하고 圓滑한 疏通과 함께 車輛의 遲滯時間 最小, 停止率 最小, 에너지消耗 最小 또는 交通容量 最大의 效果를 얻을 수 있다. 그러나, 國內 특히 中小都市에서는 大部分의 左廻轉交叉路가 道路의 興件上 半保護 左廻轉交叉路(左廻轉信號는 있으나 左廻轉車線은 없는 交叉路)로 運營되고 있으나 信號時間設計는 外國의 保護 左廻轉交叉路의 信號時間 設計法을 適用하고 있다. 既存道路의 車線幅에 餘裕가 있는 경우 既存車線을 縮小하여 左廻轉車線을 設置하고 있으나 既存道路에 餘裕가 없는 경우는 都市地域에서의 道路의 擴張에 따르는 莫大한 投資費로 인하여 保護 左廻轉 交叉路로의 轉換이 어려운 實情이다. 이에 새로운 信號時間設計技法의 開發이 要請된다.

參考文獻(1)은 半保護 左廻轉交叉路에서 直進車輛의 左廻轉車線 利用率을 推定하여 서비스水準을 考慮한 交通需要 充足과 遲滯時間을 最小化하는 信號時間設計法을 開發하였다. 그러나, 直進交通의 左廻轉車線 利用率 推定을 위한 確率模型의 實測資料에 의한 檢定이 必要하며, 中小都市와 같이 交叉路의 混雜度가 그렇게 높지 않는 경우 國家經濟的 次元에서 에너지消耗을 最小化하는 信號時間設計가 바람직하다.

本 研究의 目的은 國內 半保護 左廻轉 交叉路에서 에너지消耗을 最小化하는 信號時間設計法을 開發하는 데 있다.

이 目的을 위하여 아래의 目標들이 設定되었다.

가. 半保護 左廻轉交叉路에서의 直進車輛의 左廻轉車線 利用率 推定을 위한 模型開發

나. 半保護 左廻轉 獨立交叉路에서의 車輛의 平均待機時間, 停止率을 推定할 수 있는 巨視的 수리모형의 開發

다. 車輛의 信號待機時的 燃料消耗率과 停止/出發의 速度變化에 따른 燃料消耗量算出이다. 實際의 交通量에 대한 에너지消耗을 最小化하는 信號時間設計를 위한 電算 프로그램의 開發

本 研究을 위하여 晋州市內의 한 半保護 左廻轉 交叉路가 研究交叉路로 選定되었다. 既存 研究結果를 利用하여 各種 車輛의 信號待機時的 燃料消耗率과 停止/出發의 速度變化에 따른 燃料消耗量의 資料가 蒐集되었으며, 交通의 車種 構成比를 考慮하여 信號待機時的 平均燃料消耗率과 停止/出發의 速度變化에 따른 平均燃料消耗量이 算出되었다.

SOAP²⁾, 獨立交叉路 最適信號時間設計 電算프로그램을 修正하여 에너지節約을 위한 半保護 左廻轉交叉路의 信號時間設計 電算프로그램을 開發하였다.

本 研究에서는 4 接近路 以下の 半保護 左廻轉 獨立 정주신호가 研究되었다.

II. 關聯研究의 考察

1. 信號時間設計法

定週信號 信號時間設計의 代表的 技法은 交叉路에서의 車輛의 遲滯를 最小化하는 Webster³⁾ 法과 交叉路의 모든 接近路 車線들의 交通서비스를 非飽和狀態를 維持토록 하는 最大車線 交通量法(critical lane method)⁴⁾이다. Webster 法은 交叉路에서의 車輛의 遲滯를 最小화하도록 週期를 決定한 후, 各 顯示의 最大交通量 接近路들의 有效綠色時間比가 飽和度(交通量/飽和交通量)比와 同一하도록 全體 有效綠色時間을 各 顯示에 配分한다. 最大車線交通量法은 交叉路의 모든 接近路 車線들의 交通서비스가 非飽和狀態를 維持하도록 週期를 決定한 후 全體 有效綠色時間을 各 顯示의 最大交通量車線들의 交通需要에 比例하여 配分한다. 最大車線 交通量法

은 특히 半保護 左廻轉交叉路의 경우, 最大 車線交通量의 推定에 어려움이 있으며 本 研究에서와 같이 交叉路에서의 車輛의 遲滯와 停止率을 考慮하여 에너지消耗을 最小化하는 信號時間設計를 위하여서는 Webster 法의 使用이 바람직하다.

Webster 는 定週信號 交叉路에서의 車輛의 遲滯에 대한 다음 式을 開發하였다.

$$d = \frac{c(1-f)^2}{2(1-fx)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65 \left(\frac{c}{q}\right)^{\frac{1}{2}} X^{(2+5f)} \dots\dots\dots (1)$$

여기에서

d = 한 接近路에서의 車輛 臺當 平均遲滯
 f = 그 接近路 顯示에서의 有效 綠色時間에 대한 比 (g/c)
 x = 飽和度 (q/fs)

c, g, q와 s는 각각 週期, 有效 綠色時間, 交通量, 飽和交通量을 나타낸다. c가 秒單位이면 秒單位 d를 얻기 위하여 q와 s는 臺/秒의 單位를 가져야 한다.

(式1)은 다음과 같이 나타낼 수 있으며

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \dots\dots\dots (2)$$

여기에서 d₁은 均一한 車輛到着에 대한 遲滯이며 d₂는 任意到着에 대한 遲滯이다. d₃는 調整要素로서 이 要素는 理論的 曲線을 實測值에 보다 接近시키기 위하여 半經驗的으로 開發되었다.

(그림 1)은 飽和度 x와 遲滯時間과의 關係를 나타내고 있다. 이 關係에서 Webster의 式은 交叉路의 交通量이 過飽和狀態일 때는 適用될 수 없음을 알 수 있다. x의 有效上限値는 一般的으로 0.975附近이다.

높은 飽和度에서의 이러한 問題를 解決하기 위하여, Robertson은 Transyt 交通信號體系 設計 및 分析프로그램에 使用하기 위하여 Webster의 遲滯模型을 修正하였다.

Robertson⁵⁾은 Webster의 均一한 車輛到着에 대한 遲滯 d₁은 그대로 두고 任意到着에 대한 遲滯 및 調整要素는 다음의 하나의 式으로 代치하였다.

分析期間을 60分으로 假定하면,

$$D_r = q(d_2 + d_3) = \left[\left(\frac{B_n}{B_d}\right)^2 + \frac{X^2}{B_d} \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{B_n}{B_d} \dots\dots\dots (3)$$

여기에서

D_r = 分析期間의 總遲滯 (車輛 - 時間)

B_n = 2(1-x) + xz

B_d = 4z - z²

Z = (2x/v) * (60/T)

V = 交通量 (臺/時間)

T = 分析期間 (分: 一般的으로 60分)

x = 飽和度

q = 交通量 (臺/秒)

그러므로, Robertson의 式에 의한 定週信號 交叉路에서의 車輛의 臺當 平均遲滯時間 d_r는 다음과 같다.

$$d_{ro} = \frac{c(1-f)^2}{2(1-fx)} + D_r/q \dots\dots\dots (4)$$

Robertson의 模型이 Webster의 模型에 비하여 飽和度가 높은 경우 보다 信賴할 수 있는 結果를 얻을 수 있었다. 넓은 範圍의 接近交通量에 대한 두 方法의 比較 結果는 (그림 1)과 같다.

2. 半保護 左廻轉交叉路의 信號時間設計 參考文獻 (1)은 解釋的 研究에 의한 直進交通의 左廻轉車線 利用率 (UF: Utilization Factor)을 구하였으며, 이를 利用하여 서비스水準을 考慮한 交通需要 充足 및 遲滯時間 最小化를 위한 半保護 左廻轉交叉路의 信號時間設計法을 開發하였다. 한 直進信號時間 동안의 直進交通의 左廻轉車線 利用率 UF는 그 直進信號의 始作時點에서 左

廻轉車線에 待機中인 左廻轉車輛이 한 臺도 없을 確率 Q_1 에다 그 直進信號時間 동안 左廻轉車輛의 到着臺數가 n 일 때의 平均利用率 Q_2 를 곱하여 다음과 같이 推定하였다.

$$UF = Q_1 * Q_2 \dots\dots\dots (5)$$

한 左廻轉交叉路에서 左廻轉交通이 많아 그 直進信號의 先行 左廻轉信號 동안에 左廻轉交通을 全部 通過시킬 수 없을 경우(즉 左廻轉 cycle failure 가 일어난다) 直進交通이 左廻轉車線을 전혀 利用하지 못하게 된다. 그러므로, 한 直進信號동안 直進車輛이 左廻轉車線을 利用하는 경우는 그 直進信號의 先行 左廻轉 顯示의 cycle failure 가 일어나지 않을 경우에 한하며 이 確率을 Q_1 이라 한다. 이는 한 直進信號의 始作時點(K時點)에서 左廻轉車輛이 한 臺도 남아 있지 않을 確率이다. 左廻轉信號동안 最大限 通過할 수 있는 車輛臺數를 s 라 하고 K時點 以前 첫째, 둘째, 셋째 週期동안 左廻轉 到着臺數를 $i, j, k \dots\dots$ 가 될 確率을 각각 $R_i, R_j, R_k \dots\dots$ 라 하면 Q_1 은 다음과 같다.

$$Q_1 = \sum_{i=0}^s R_i [\sum_{j=0}^{2s-i} R_j (\sum_{k=0}^{3s-i-j} R_k)] \dots\dots\dots (6)$$

$$R_i = \frac{u^i e^{-u}}{i!}$$

여기에서 u 는 한 週期當 平均左廻轉車輛 到着臺數로 하였다.

Q_2 는 左廻轉信號 동안 左廻轉車輛이 全部 通過하였을 경우 直進信號동안 直進車輛의 左廻轉車線 利用率(UF)이다. 이 利用率은 한 直進信號동안 左廻轉 待機車輛이 없는 左廻轉車線을 直進車輛이 利用하는 利用率을 나타낸다. K時點에 左廻轉車輛이 한 臺도 없을 경우 그 直進信號동안 左廻轉車輛이 m 臺 到着하고 左廻轉車輛의 到着間隔이 一定하다고 하면, 그 直進信號동안의 直進車輛의 左廻轉車線 利用率은 $1 / (m+1)$ 이다. 左廻

轉車輛이 m 臺 到着할 確率을 P_m 이라 하면 Q_2 는 다음 式과 같다.

$$Q_2 = \sum_{m=0}^{\infty} P_m [1 / (m+1)] \dots\dots\dots (7)$$

P_m 은 Poisson 分布로 가정하였다. 參考文獻(1)에서는 左廻轉交通量과 直進 顯示時間에 따른 Q_2 의 값을 表로 나타내었다.

그러나, 利用率 UF의 實測資料에 의한 檢定이 必要하다. 또한 半保護 左廻轉交叉路에서의 車輛의 遲滯 및 停止比率은 保護 左廻轉交叉路에서의 이들과 相異하므로 半保護 左廻轉交叉路에서의 遲滯 및 停止 比率算定을 위한 수리적 模型의 開發이 要請되며 交通에 너지를 100% 外國에 依存하고 있는 國內實情으로는 에너지節約을 위한 交通信號時間設計가 바람직하다.

III. 模型의 開發

1. 檢定資料 蒐集

馬山市와 晋州市內 信號交叉路의 豫備調査를 實施하여 晋州市 驛前派出所 앞에 位置한 4車線 街路上的 半保護 左廻轉交叉路가 研究交叉路로 選定되었다. 研究交叉路는 他信號交叉路로부터 500m의 距離를 維持하였으며, 그 區間內에 交通流의 頻繁한 離合이 있으므로 獨立交叉路로 假定하였다. 이 研究交叉路에서 초시계, 계수기 및 포켓컴퓨터를 이용하여 信號週期, 有效 直進信號時間, 有效 左廻轉 信號時間, 直進 및 左廻轉交通量, 直進車輛의 左廻轉 車線利用率, 車輛의 平均遲滯時間, 停止率 등의 資料가 蒐集되었다.

2. 左廻轉車線 利用率

直進車輛의 左廻轉車線 利用率 추정을 위하여 두 類型의 模型이 檢定되었다. 左廻轉의 信號方式은 그 效率性이 證明되었으며¹⁾ 國內에서 일반적으로 採擇되고 있는 左廻轉-直進(leading left-turn)으로 하였다. 첫째 模型은 第2章 第2節에서 한 直進信號의 始作

時點 (K時點)에서 左廻轉車輛이 한 臺도 없
는 確率 Q_1 이 1이라 假定하면, 그 直進信
號 동안의 直進交通의 左廻轉車線 利用率
UF는 同一 直進信號 동안의 左廻轉 到着臺
數가 m 일 때의 平均利用率 Q_2 에 의하여 決
定된다. (式 7)의 Q_2 의 해석적 解를 구
하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= \sum_{m=0}^{\infty} \frac{e^{-u} u^m}{m!} \left(\frac{1}{m+1} \right) \dots\dots\dots (8) \\
 &= e^{-u} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{u^m}{(m+1)!} \\
 &= \frac{e^{-u}}{u} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{u^{m+1}}{(m+1)!} \\
 &= \frac{e^{-u}}{u} \left(\sum_{m=0}^{\infty} \frac{u^{m+1}}{(m+1)!} + 1 - 1 \right) \\
 &= \frac{e^{-u}}{u} (e^u - 1) \\
 &= \frac{1}{u} (1 - e^{-u})
 \end{aligned}$$

여기에서 u 는 그 直進信號 동안의 左廻轉車
輛의 平均到着臺數이다.

模型 II는 한 直進信號 동안의 左廻轉車輛
到着을 Poisson 分布로 가정할 때 그 車頭間
隔은 음지수 分布이다. 한 直進信號 동안 最初
의 左廻轉車輛이 到着할 때까지의 時間이 x
일 때

$$\begin{aligned}
 1 - F(x) &= 1 - P [X \leq x] \\
 &= 1 - (1 - e^{-ux}) \\
 &= e^{-ux}
 \end{aligned}$$

이다. u 가 한 直進信號 동안의 左廻轉車輛
의 平均到着率이면 x 는 그 直進信號 時間을
單位로 한 時間이며, 또한 주어진 $1 - F(x)$
에서 算出된 x 는 그 直進信號 동안의 直進
車輛의 左廻轉車線 利用率이다. 그 確率
이 50%인 x 를 利用率로 推定하면 각 u 에 따

른 利用率 x 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 e^{-ux} &= 0.5 \\
 -ux &= \ln 0.5 \\
 x &= -\ln 0.5 / u \dots\dots\dots (9)
 \end{aligned}$$

각 u 에 따른 模型 I과 II의 左廻轉車線
利用率을 比較하면 다음의 (表 1)과 같다.

<表 1> Comparison of
Left-Turn Utilization Factors
(UF) Between Two Models

Left-Turn Volumes in a Green Signal	Model I	Model II
1	0.632	0.693
2	0.432	0.347
3	0.316	0.231
4	0.245	0.173
5	0.199	0.139
6	0.166	0.116

u 가 1일 때를 除外하고 模型 I의 利用率이
模型 II에서 보다 큰 값을 보이고 있다.

信號의 週期 88秒, 直進信號 35秒, 左廻
轉信號 14秒, 각각의 黃色信號 4秒인 晋州
市內 驛前派出所 앞 交叉路에서의 週期當 左
廻轉車輛 臺數에 따른 左廻轉車線 利用率의
51個 實測値와 두 模型에 의한 推定値의 比
較는 (그림 2)와 같다. 模型 II에서 左廻轉
車輛 臺數가 0.693 以下일 때는 1로 하였다.

(그림 2)에서 보는 바와 같이 模型 I이
보다 實測値에 가깝다. Q_1 은 1보다 작거나
같으므로 Q_1 을 考慮할 경우 模型 I의 曲線
은 下向 移動하게 된다. 그 曲線을 下向 이
동하면 利用率을 과소평가하게 되며, 參考文
獻(1)의 研究에서 Q_1 은 左廻轉信號 동안의
左廻轉 飽和交通量이 8臺일 때 週期 100秒
에서 週期當 5.3臺 以下の 左廻轉交通量의
경우 0.9 以上の 값을 갖는다. 또한, 現場觀
測에서 左廻轉車輛들은 左廻轉信號時 하나의

대열을 이루어 大型車輛들을 다소 遲滯시키더라도 通過함을 볼 수 있었다. 또한 本 研究에서의 交通流는 非飽和狀態의 正常交通流를 가정하므로, 本 研究에서는 다음 式을 直進信號 동안의 直進車輛의 左廻轉車線 利用率 UF의 模型으로 利用한다.

$$UF = (1 - e^{-u}) / u \dots\dots\dots (10)$$

3. 車輛의 遲滯 및 停止率

直進車輛의 到着率이 一定하고 交通需要가 交叉路의 容量 以內일 때 片道 2車線 道路에서 左廻轉車線 利用率을 考慮한 直進車輛의 遲滯는 (그림 3)과 같다. (그림 3)에서

- q = 直進車輛의 到着率(臺/秒),
- s₁ = 接近路 2個 車線의 飽和交通量(臺/秒),
- s₂ = 接近路 1個 車線의 飽和交通量(臺/秒),
- g₁ = 左廻轉車線의 利用時間(秒),
- g₂ = 待機車輛隊列이 없어질 때까지 所要되는 時間(使用된 綠色番號)(秒),
- r = 有效 赤色信號時間(秒),
- c = 週期(秒),
- s₀ = s₁ 과 s₂ 의 平均飽和交通量이다.
- s₀ 과 g₂ 는 다음과 같이 計算된다.

$$s_0 = [s_1 g_1 + s_2 (g_2 - g_1)] / g_2 \dots (11)$$

$$g_2 = [g_1 (s_1 - s_2) - qr] (q - s_2) \dots (12)$$

여기에서 g₁ = g * UF 이다. 均一한 車輛到着에 대한 總 遲滯 D₁은 사각형 ABCD의 面積이므로

$$D_1 = [q(r + g_2)(r + g_2)/2] - [g_1 \cdot s_1 g_1 + (g_2 - g_1)(s_1 g_1 + q(r + g_2)) / 2 \dots\dots\dots (13)$$

$$= [q(r + g_2) - s_1 g_1 - s_1 g_1 g_2 - qg_2 (r + g_2) + s_1 g_1 + qg_1 (r + g_2)] / 2$$

$$= [q(r + g_2)(r + g_1) - s_1 g_1 g_2] / 2$$

$$= \frac{c(1-f)^2}{2(1-fx)}$$

$$\left[\frac{(1-fx)[q(r+g_1)(r+g_2)-s_1g_1g_2]}{c(1-f)^2} \right]$$

車輛 臺當 平均遲滯 d₁은

$$d_1 = \frac{D_1}{qc} = \frac{c(1-f)^2}{2(1-fx)}$$

$$\left[\frac{(1-fx)[(r+g_1)(r+g_2)-s_1g_1g_2/g]}{(c-g)^2} \right] \dots (14)$$

$$= \frac{c(1-f)^2}{2(1-fx)} H$$

$$H = \frac{(1-fx)[(r+g_1)(r+g_2)-s_1g_1g_2/q]}{(c-g)^2}$$

(式 13, 14)에서의 x, g는 (式 1)에서 定義되었다. (式 14)는 (式 2)의 d₁ 즉 均一한 車輛到着에 대한 성분에 한 계수 H를 곱한 것과 같다. s₁, s₂ 대신 平均飽和交通量 s₀를 사용한 때의 d₁은

$$d_1 = \frac{c(1-f)^2}{2(1-fx_0)} \dots\dots\dots (15)$$

여기에서

$$x_0 = \frac{qc}{gs_0}$$

遲滯의 임의의 성분은 (式 3)을 따른다 고 가정하고 (式 3)의 x 대신 (式 15)의 平均飽和度 x₀를 사용하여 算出한 車輛 臺當 平均 總遲滯 d_{uf}는

$$d_{uf} = \frac{c(1-f)^2}{2(1-fx)} H + D_r / q \dots\dots\dots (16)$$

$$D_r = \left[\left(\frac{B_n}{B_d} \right)^2 + \frac{x_0^2}{B_d} \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{B_n}{B_d}$$

$$B_n = 2(1 - x_0) + x_0 z$$

$$B_d = 4z - z^2$$

$$z = (2x_0/v) * (60/T)$$

와 같다. (式 16)의 d_{uf}는 半保護 左廻轉 交叉路에서 直進車輛의 左廻轉車線 利用率을

考慮한 直進車輛의 臺當 平均總遲滯이다. (式 16)의 H는 접근로의 車線數에 따라 계산을 달리하므로 均一한 車輛到着에 대한 성분계산에 (式 16)의 임의의 성분계산에서 사용한 平均飽和度 x_0 를 사용한 平均總遲滯 d_{uf-av} 는 다음과 같다.

$$d_{uf-av} = \frac{c(1-f)^2}{2(1-fx_0)} + D_r/q \dots\dots\dots (17)$$

(그림 3)에서 삼각형 ABD는 사각형 ABCD보다 크므로 d_{uf} 보다 d_{uf-av} 가 다소 큰 값을 가질 것으로 豫想된다. 左廻轉交通量이 200臺/時間, 2車線 接近路에서 車線當 飽和交通量 2,200臺/時間, 週期 88秒, 有效 綠色時間 35秒, 有效 左廻轉 信號時間 14秒일 때 交通量 臺 d_{uf} , d_{uf-av} 는 (그림 4)와 같다. 交通量 1,000臺/時間과 1,200臺/時間에서 근소한 差를 보이고 있다. 直進交通量 1,150臺, 週期 100秒, f 0.4일 때 左廻轉交通量에 따른 d_{uf} 와 d_{uf-av} 의 비교는 (表 2)와 같다. 左廻轉交通量이 200臺/時間일 때 d_{uf} 에 대한 d_{uf-av} 가 108.2%로 가장 큰 값을 보이고 있다.

d_{uf} 와 d_{uf-av} 를 비교할 때 遲滯의 임의의 성분 算出과의 理論의 一致(平均 飽和度 x_0 의 사용) 및 實用的인 面에서 半保護 左廻轉交叉路의 車輛 遲滯算出을 위한 模型으로 d_{uf-av} 가 選好된다. 週期 88秒, f 0.4일 때 한 綠色信號 동안의 左廻轉車輛의 平均 到着臺數 (NLTV : Number of Left - Turn Vehicle per Green Signal)에 따른 交通量別 平均遲滯時間의 (式 17)에 의한 計算値와 SLAM II의 태 컴퓨터어⁹⁾를 利用한 的태치가 (그림 5)에 圖示되었다. 計算値와 的태치가 잘 一致함을 볼 수 있다. 本 研究에서는 (式 17)의 d_{uf-av} 를 半保護 左廻轉交叉路에서의 車輛 平均遲滯時間 算出模型으로 사용한다.

한 2車線 接近路에서 左廻轉交通量 195臺/時間 車線當 飽和交通量 2,200臺/時間⁷⁾

週期 88秒, f 0.42일 때 Robertson의 式에 의한 車輛 臺當 平均遲滯 d_{ro} (式 4)와 d_{uf-av} 를 비교하면 (그림 6)과 같다. 交通量 1,000臺/時間까지는 d_{ro} , d_{uf-av} 가 同一한 값을 보이거나 交通量 1,200臺/時間 附近에서 d_{ro} 는 서서히 增加하나 d_{uf-av} 는 急激히 增加하고 있다. (그림 7)은 直進交通量 1,200臺/時間, 左廻轉交通量 200臺/時間, f 0.4일 경우 週期에 대한 d_{ro} 와 d_{uf-av} 의 關係를 나타낸다. d_{ro} 는 週期에 比例하여 增加하나, d_{uf-av} 는 週期の 增加에 대한 直進車輛의 左廻轉車線 利用時間 增加率의 鈍化로 d_{ro} 보다 높은 比率로 增加하고 있다.

<表 2> Comparison of Average Delay per Vehicle for d_{uf} and d_{uf-av}

Through Traffic (Veh./hour)	Left - Turn Traffic (Veh./hour)	Average Delay (d _{uf-av})			/(d _{uf})*
		d _{uf}	d _{uf-av}		
1,150	50	24.3	24.3	100	
1,150	100	25.3	25.3	100	
1,150	150	25.9	26.8	103.5	
1,150	200	29.2	31.6	108.2	
1,150	250	38.7	41.8	108.0	
1,150	300	77.4	80.7	104.3	
1,150	350	138.3	141.6	102.4	
1,150	400	187.2	190.4	101.7	

(그림 8)은 飽和度가 0.7로 一定하고 週期가 85秒, 左廻轉交通量이 200臺/時間일 경우 f 에 대한 d_{uf-av} 와 d_{ro} 의 關係를 나타낸다. f 의 增加에 따라 d_{ro} 는 減少하나 d_{uf-av} 는 0.4以上에서 急激히 增加하고 있다. 이는 飽和度가 一定하므로 f 의 增加에 따라 交通量도 같은 比率로 增加하나 直進車輛의 左廻轉車線 利用率의 增加가 鈍化되는 데 基因한다.

研究交叉路에서 大型車의 混合率이 25%일 때 實際의 交通量 250~800 臺/時間의 範圍에서의 d_{uf-av} 와 포켓 컴퓨터를 利用한 實測 遲滯時間⁸⁾과의 關係는 (그림 9)와 같다. 市內버스 以上の 버스와 4.5 ton 以上の 트럭은 大型車로 分類하였으며 大型車의 乘用車 換算計數는 1.9로⁷⁾ 하였다.

交叉路에서의 停止한 車輛의 比率은 綠色信號 始作時의 待機車輛들과 待機車輛이 없어질 때까지의 到着한 車輛을 그 週期 동안의 全體 到着車輛으로 나눈 값이나 1 以下 이어야 한다. 즉, Webster³⁾의 式에 의한 停止率 P_s 는

$$P_s = r / [c(1-x)] \dots\dots\dots (18)$$

이다. 半保護 左廻轉交叉路에서 直進車輛의 左廻轉車線 利用率을 考慮할 경우의 車輛停止率 P_{uf} 는 다음과 같다.

$$P_{uf} = \min \{ (q(r+g_2)/qc) 1 \} \dots\dots\dots (19)$$

$$g_2 = [g_1(s_1 - s_2) - qr] 1 / (q - s_2)$$

여기에서 $q, s_1, s_2, g_1, g_2, r, c$ 는 (그림 3)에 定義되었다. p_{uf} 에 의한 계산치는 實測值보다 다소 큰 값을 보였으나 本 研究에서와 같이 각 信號時間에 따른 停止率의 差의 計算에는 심각한 誤差가 없을 것으로 看做된다.

實用目的에서 綠色信號 始作時點에서의 平均待機車輛 N 은 參考文獻(3)의 (式 26)을 利用하여 推定할 수 있다.

$$N = (qr/2 + qd) \text{ or } qr \dots\dots\dots (20)$$

위 두개의 값 중 큰 값으로 한다. 여기에서 r 은 赤色信號時間이며, q 는 交通量, d 는 車輛臺當 平均遲滯時間이다.

(그림 7)과 같은 條件에서 週期에 대한 P_s 와 P_{uf} 의 關係를 圖示하면 (그림 10)과 같다. P_s 는 週期에 대하여 一定하나 P_{uf} 는 週期 55秒 以上에서 週期에 比例하여 增加하고 있다. (그림 11)은 (그림 8)과 같은 條件에서 f 에 대한 P_s 와 P_{uf} 의 關係를 나타낸다. f 의 增加에 따라 P_s 는 減少하나 P_{uf} 는 增加하고 있다. 이 結果들은 週期나 f 의 增加에 따른 有效 綠色時間의 增加率보다 直進車輛의 左廻轉車線 利用率의 增加가 鈍化되는 데 基因한다.

IV. 停止 / 出發, 待機時의 에너지消耗

Claffey⁹⁾가 蒐集한 資料에 의한 美國 標準 乘用車의 停止 / 出發의 速度變化에 따른 燃料消耗量과 Claffey와 Winfrey¹⁰⁾의 停止車輛의 公회전에 의한 각 車輛의 燃料消耗率은 각각 (表 3) 및 (表 4)와 같다.

<表 3> EXCESS GALLONS OF GASOLINE CONSUMED PER STOP-GO SPEED CHANGE CYCLE-AUTOMOBILE

SPEED (MPH)	EXCESS GASOLINE CONSUMED (GAL) BY DURATION OF STOPPED DELAY (SEC)						
	0	30	60	90	120	150	180
10	0.0016	0.0021	0.0026	0.0031	0.0035	0.0040	0.0045
20	0.0066	0.0071	0.0076	0.0081	0.0085	0.0090	0.0095
30	0.0097	0.0102	0.0107	0.0112	0.0116	0.0121	0.0126
40	0.0128	0.0133	0.0138	0.0143	0.0147	0.0152	0.0157
50	0.0168	0.0173	0.0178	0.0183	0.0187	0.0192	0.0197
60	0.0208	0.0213	0.0218	0.0223	0.0228	0.0233	0.0238
70	0.0243	0.0248	0.0253	0.0258	0.0263	0.0268	0.0273

Source : Reference 9

<表 4> IDLING FUEL CONSUMPTION RATES WITH VEHICLES STATIONARY

VEHICLE	CYLINDERS		TRASMISSION		ENGINE SPEED (RPH)	FUEL CONSUMED (GPH)
	NO	DISPL. (CU IN.)	TYPE	POSITION		
(a) Automobiles						
Composite	-	-	-	Neutral Drive	-	0.63 0.58
Chrysler	8	400	Auto.	Neutral Drive	580 530	0.67 0.61
Chevrolet	8	283	Auto.	Neutral Drive	650 500	0.65 0.61
Falcon	6	200	Auto.	Neutral Drive	780 630	0.57 0.52
Volkswagen	4	72	Man.	Engaged	550	0.34
(b) Trucks - gasoline						
Pick up	6	250	Man.	Engaged	500	0.45
Two-axle six tire	6	351	Man.	Engaged	600	0.65
2-S2 combination	6	386	Man.	Engaged	600	0.80
2-S2 combination	6	503	Man.	Engaged	650	0.79
3-S2 combination	6	501	Man.	Engaged	650	0.89
(c) Trucks - diesel						
Two-axle six-tire	6	477	Man.	Engaged	-	0.38
2-S2 combination	6	672	Man.	Engaged	600	0.45
(d) Bus - gasoline						
Transit	6	260	Auto.	Drive	-	0.55
Transit	6	404	Auto.	Neutral	-	0.72
(e) Winfrey's						
1.8-ton Passenger car (gas)						0.368
2.3-ton Commercial Delivery (gas)						0.420
5.4-ton Single-Unit Truck (gas)						0.650
18.1-ton 2-S2 (gas)						0.800
22.7-ton 3-S2 (diesel)						0.400

Source : Reference 9 and 10.

Winfrey의 자료에 의한 각車輛의 停止出發의 速度變化에 따른 超過 燃料消耗量은 (表 5)와 같다.

研究交叉路의 平均走行速度는 50 km/hr 로 30mph의 값을 利用할 때, 乘用車의 경우

Claffey와 Winfrey의 값을 比較하면, 停止/出發 速度變化時의 燃料消耗는 Claffey의 2.0-ton Chevrolet sedan으로 代表되는 美國 標準 乘用車가 0.0097, Winfrey의 1.8-ton 乘用車가 0.0080로 Winfrey의 값이

<表 5> Excess Gallons of Fuel Consumed per Stop-Go Speed Change Cycle

Speed (MPH)	Excess Gasoline or Diesel Consumed (gal)				
	1.8-ton Automobile (gas)	2.3-ton Commercial Delivery (gas)	5.4-ton Single Unit truck (gas)	18.1-ton 2-S2 Gasoline	22.7-ton 3-S2 Diesel
10	0.0010	0.0012	0.0033	0.0110	0.0057
20	0.0040	0.0037	0.0118	0.0348	0.0265
30	0.0080	0.0070	0.0203	0.0708	0.0485
40	0.0118	0.0109	0.0287	0.1160	0.0725
50	0.0165	0.0151	0.0372	0.1667	0.0993
60	0.0232	0.0195	0.0456	0.2198	0.1294
70	0.0338	0.0240	-	-	-

Source : Reference 10.

적은 값을 보인다. 乘用車의 공회전시의 燃料消耗率은 Winfrey 의 1.8-ton 이 0.368로 Claffey 의 最小型 乘用車 Volkswagen 의 0.34 보다 다소 크며, 標準 乘用車의 0.58 보다 적은 값을 보인다. 디젤엔진의 경우 停止 / 出發의 速度變化의 에너지消耗量은 Winfrey 의 表에서만 利用 可能하다. 國內의 標準 乘用車가 美國의 것에 비하여 小型인 점, 資料의 利用 可能性 등을 考慮할 때 本 研究에서 Winfrey 의 값을 이용하는 것이 適合한 것으로 判斷된다.

全體車輛의 時間當 遲滯(臺/時)가 D, 秒當 停止回數를 s 라 할 때 時間當 燃料消耗量 FC는

$$FC = f(D + KS) \dots\dots\dots (21)$$

여기에서 K는

$$K = \frac{3,600 * (1\text{回의 停止 / 出發速度變化時的 燃料消耗量})}{\text{遲滯의 臺} - \text{時間當 燃料消耗量}}$$

이다. Winfrey 의 값으로부터 乘用車, 2.3-

ton 小型貨物, 5.4-ton 短縮트럭, 1.8-ton 및 22.7-ton 트레일러의 K값은 각각 78.3, 60.0, 112.4, 318.6, 436.5이다. 1.8-ton 乘用車와 2.3-ton 小型貨物車를 同一 車種으로 볼 때, 車輛 總重量이 增加함에 따라 K값은 增加함을 알 수 있다. 研究交叉路에서의 車輛分布는 乘用車가 84%, 市內버스 以上の 버스와 4.5-ton 以上の 大型車가 16% 이었다. 위의 資料로부터 本 研究에서의 버스와 트럭의 K값으로는 5.4-ton 短縮트럭의 112.4가, 공회전시의 燃料消耗量은 Claffey 의 디젤트럭의 0.38 gallon/hour 가 가장 가깝다. 그러므로, 本 研究에서는 이들 값들을 사용한다. 乘用車를 揮發油엔진, 버스와 트럭을 디젤엔진으로 가정할 때 乘用車와 디젤엔진의 遲滯時間(臺/時)을 각각 D₁, D₂ 라 하고 秒當 停止回數를 각각 S₁, S₂ 라 하면, 稅金을 除外한 揮發油와 디젤油의 價格比는 1.35이므로 價格比에 의한 揮發油 換算 油類消耗量 F.C는

$$FC = 0.368 (D_1 + 78S_1) + (0.380 / 1.35) (D_2 + 112S_2) \dots\dots\dots (22)$$

乘用車와 디젤엔진의 遲滯時間 및 停止回數는 車輛構成比에 比例하므로 大型車의 乘用車 換算計數 1.9를 考慮한 다음의 關係式이 成立한다.

$$D_1 = 0.73 D, \quad D_2 = (0.27D/1.9) \dots (23)$$

$$S_1 = 0.73 S, \quad S_2 = (0.27S/1.9)$$

여기에서 D는 한 交叉路에서의 全體 遲滯時間 臺/時이며 S는 全體 秒當 停止回數이다.

(式 23)의 계수 0.73과 0.27은 다음과 같이 算出되었다.

研究交叉路에서의 車輛分布는 乘用車가 84%, 大型車가 16%이므로 交通量이 100臺라면 電算模型에서는 大型車의 乘用車 換算係數 1.9를 使用하여 114.4臺의 乘用車로 換算한다. 114.4臺의 車輛에 대한 車輛 臺當 遲滯時間과 車輛 臺當 停止率이 算出되고 이에 基礎하여 114.4臺의 車輛의 全體遲滯時間 D와 全體 秒當 停止回數 S가 計算되므로, D와 S에서의 乘用車와 大型車의 比率는 각각 73%와 27%이다. 또한 實際의 大型車의 全體遲滯時間 및 秒當 停止回數는 乘用車 換算係數를 考慮하여 決定된다.

(式 23)을 (式 22)에 代입하면

$$FC = 0.368(0.73D + 78 * 0.73S) + 0.281(0.14D + 112 * 0.14S) \dots (24)$$

$$= 0.368[(0.73D + 57S) + 0.764(0.14D + 16S)]$$

$$= 0.368[(0.73 + 0.11)D + (57 + 12)S]$$

$$= 0.368(0.84D + 69S)$$

$$= 0.309(D + 82S)$$

이다. 위의 結果로부터 臺/時 遲滯時間當 燃料消耗量은 0.309를 使用하였으며 K값은 82를 使用하였다. (式 24)에서 K값을 變更시킴으로써 信號時間設計의 遲滯와 停止率의 比重을 調節할 수 있다.

V. 電算프로그램의 開發

本 研究에서는 SOAP (Signal Operations Analysis Package)²⁾를 修正하여 半保護 左廻轉 獨立交叉路 信號時間設計 電算프로그램을 開發하였다. SOAP은 獨立信號 交叉路에서의 交通運營의 設計 및 評價를 위하여 開發되어 美 聯邦道路廳 (FHWA)에서 普及하고 있다.

本 研究에서 開發된 電算프로그램의 略式 흐름圖는 (그림 12)와 같다. 信號時間 設計技法은 Webster 法을 使用하였으나, 車輛의 遲滯時間 算出을 위하여서는 保護左廻轉의 경우는 (式 4)를 半保護 左廻轉의 경우는 (式 17)을 使用하였다. 停止率 算出을 위하여서는 保護左廻轉과 半保護左廻轉 각각 (式 18)과 (式 19)를 使用하였다. 本 프로그램의 遂行測定值 (performance measure)로는 (式 24)의 FC가 使用되었다.

本 프로그램에서는 여러 交通信號統制代案들의 比較를 위하여 다음의 效率測定值(MOE)들의 利用이 可能하다.

飽 和 度
遲 滯
停 止 數
過油類消耗量
左廻轉容量

本 프로그램의 入力과 出力의 한 例를 附錄에 收錄하였다. 入力の 첫째 카드에 Volume 카드의 交通量 入力順序에 따라 各 接近路가 半保護左廻轉이면 "1"을, 保護左廻轉이면 "0"을 入力한다. 仔細한 事項은 參考文獻(2)를 參照하기 바란다.

VI. 比較評價

晋州市 驛前派出所 앞 研究交叉路에서의 3時부터 한 時間 동안의 交通量은 다음과 같았다.

남쪽 接近路의 直進交通 (NBT) : 659臺 / 時間 (大型車 混合率 : 15%)

남쪽 接近路의 左廻轉交通 (NBL) : 89臺 /

時間 (大型車 混合率: 9%)
 북쪽 接近路의 直進交通 (SBT): 676 臺 /
 時間 (大型車 混合率: 20%)
 북쪽 接近路의 左廻轉交通 (SBL): 18 臺 /
 時間 (大型車 混合率: 5%)
 서쪽 接近路의 直進交通 (EBT): 139 臺 /
 時間 (大型車 混合率: 13%)
 서쪽 接近路의 左廻轉交通 (EBL): 17 臺 /
 時間 (大型車 混合率: 18%)
 동쪽 接近路의 直進交通 (WBT): 32 臺 /
 時間 (大型車 混合率: 16%)
 동쪽 接近路의 左廻轉交通 (WBL): 6 臺 /
 時間 (大型車 混合率: 0%)

信號順序 및 時間은 (그림 13)과 같다.

本 研究에서 開發된 電算프로그램의 入力은 各 顯示의 最小時間은 直進의 경우 步行者 信號時間을 考慮 14 秒로 하였으며 左廻轉은 7 秒로 하였다. 各 顯示의 損失時間은 現場 觀察에 의거 2 秒로 하였다. 이는 直進의 경우 運轉者들이 信號體系에 익숙하므로 先行 左廻轉 信號의 黃色信號가 豫備信號로 利用되며 左廻轉의 경우는 左廻轉 黃色信號가 100% 利用되는 데 基礎하였다.

大型車의 比率 16%와 交叉路에서의 大型車의 乘用車換算係數 1.9를 考慮하여 乘用車 臺數로 換算하였으며 直進 및 左廻轉의 車線當 飽和交通量은, 2,200 臺 / 時間²⁾으로 하였다.

위의 交通量이 주어졌을 때 本 研究에서 開發된 電算프로그램을 利用한 週期에 따른 燃料消耗 및 遲滯時間은 (그림 14)와 같다.

이 計算에서 信號順序는 (그림 13)과 같다. (그림 14)에서 보는 바와 같이 燃料消耗의 最小와 遲滯를 最小化하는 週期間에는 相當한 差異가 있다. 遲滯는 週期 65 秒 附近에서 最小化하는 반면 燃料消耗는 週期 150 秒 까지 減少하고 있다. 現在의 週期가 88 秒인 점을 勘案 週期를 120 秒로 하고 各 顯示時間이 다음과 같을 때 燃料消耗는 8.2

gal / hour (31.0 lit / hour) 이다.

南北左廻轉: 9 秒
 南北直進: 90 秒
 東西左廻轉: 7 秒
 東西直進: 14 秒

이에 대하여 (그림 13)의 信號時間을 사용하였을 경우 燃料消耗는 12.9 gal / hour (48.8 lit / hour)로 週期를 120 秒로 各 顯示時間을 最適化할 경우 現在 燃料消耗量의 36.5%인 時間當 17.8 lit의 燃料를 節約할 수 있다. 위의 交通量을 1日 15時間으로 推定하고 이의 80%를 推算할 때 1日 214 lit (1.1 드럼)의 揮發油를 節約할 수 있으며, 年 77,900 lit (390 드럼)의 揮發油를 節約할 수 있다. 現在 週期 88 秒에서 各 顯示時間을 最適化할 경우 燃料消耗는 時間當 8.7 gal (32.6 lit)로 現在 燃料消耗量의 32.6%인 時間當 15.9 lit, 年 69,600 lit (348 드럼)의 揮發油를 節約할 수 있다. 現在 晋州市內에는 6 個所의 信號交叉路가 半保護 左廻轉 交叉路로 運行되고 있으며 他交叉路의 信號時間 最適化로 節約할 수 있는 燃料를 研究交叉路의 50%로 가정할 때 年 273,000 lit (1,370 드럼)의 揮發油의 節約이 豫想된다. 現在 全國의으로 많은 數의 信號交叉路가 半保護 左廻轉交叉路로 運行되고 있다. 이들을 最適化할 경우 莫大한 量의 에너지를 節約할 수 있을 것으로 期待된다.

VII. 結 論

(1) 半保護 左廻轉交叉路 (左廻轉信號는 있으나 左廻轉車線은 없는 交叉路)에서의 直進車輛의 左廻轉車線 利用率 推定을 위한 수리模型이 現場 實測資料에 基礎하여 設定되었다. 直進車輛의 左廻轉車線 利用率 UF 는 $(1 - e^{-u}) / u$ 로 計算되며, 여기에서 u 는 한 直進信號 동안의 左廻轉車輛의 平均到着率數이다. 但, 左廻轉 需要가 過飽和狀態일 경우

는 (式 6)이 考慮되어야 한다.

(2) 直進車輛의 左廻轉 車線利用率 UF를 利用한 半保護 左廻轉 交叉路에서의 車輛의 平均待機時間 推定을 위한 (式 17)과 停止率 推定을 위한 (式 19)의 巨視的 수리모형이 開發되었다. (式 17)은 시시적 의태치와 잘 一致하였다.

(3) 위의 수리모형과 車輛의 待機 公회전시의 燃料消耗率과 停止 / 出發의 速度變化時의 燃料消耗量을 利用하여 에너지消耗를 最小化하는 半保護 左廻轉 交叉路의 信號時間 設計를 위한 電算프로그램이 開發되었다. 本研究에서 開發된 電算프로그램은 에너지 最小化뿐만 아니라 遲滯時間 및 停止率最小化를 위한 信號時間設計에도 利用될 수 있다. 研究交叉路의 信號時間을 最適化할 경우 年 390 千 噸의 揮發油를 節約할 수 있을 것으로 豫想된다.

감사의 말

本 論文은 韓國科學財團의 支援에 의한 것임을 밝히며 同 財團에 感謝드립니다.

引用文獻

1. 都哲雄, “直進交通의 左廻轉車線 利用率을 考慮한 새로운 信號燈 時間計劃”, 交通安全研究總論, Vol. 3, 1984, p. 3~70.
2. Federal Highway Administration,

- “Signal Operations Analysis Package User’s Manual”, Federal Highway Administration, 1984.
3. Webster, F.V. and Cobbe, B.M., Traffic Signals, Road Research Technical Paper No. 56, Road Research Laboratory, 1966.
4. Federal Highway Administration, Traffic Control Systems Handbook, Federal Highway Administration, 1976, pp. 59-63.
5. Robertson, D.I. and P. Gower, User Guide to TRANSYT Version 6, TRRL Supplementary Report 255, Transport and Road Research Laboratory, 1977.
6. Pritsker, A.A., Introduction to Simulation and SLAM II, John Wiley & Sons, New York, 1984.
7. 오익수, “信號交叉點의 飽和交通量에 관한 研究”, 大韓土木學會 學術發表會(1983) 1983. p.29 ~ 39.
8. Kim, K-W, “The Gap-Acceptance of Left-Turn Drivers”, Journal of the Transportation Reseach Society of Korea, Vol. 4, No. 1 1986, pp. 72-87.
9. Claffey, P.T., Running Costs of Motor Vehicles as Affected by Road Design and Traffic, NCHRP Report No. 111, Highway Reseach Board, 1971.
10. Winfrey, R., Economic Analysis for Highways, International Textbook Company, 1969, pp. 679-727.

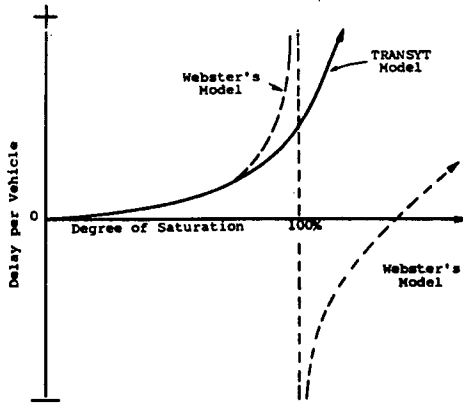


Figure 1. Delay Comparison - Webster's vs. TRANSYT Model (2)

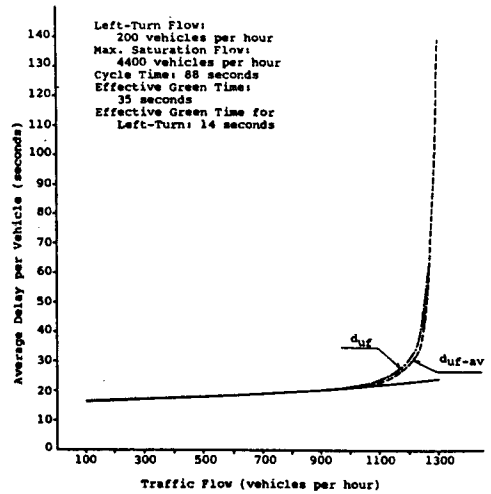


Figure 4. Comparison of Average Delay for d_{qf} and d_{qf-av}

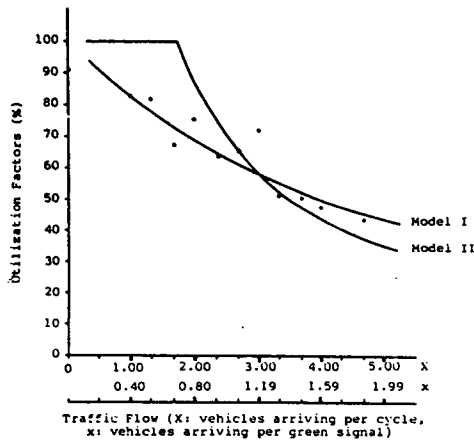


Figure 2. Comparison of Observed and Calculated Left-Turn Utilization Factors

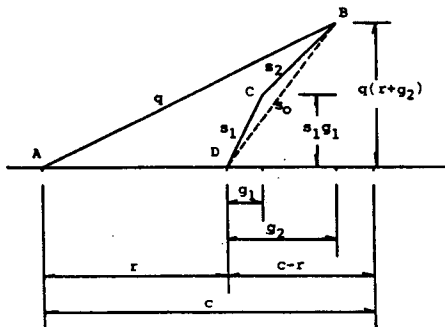


Figure 3. Queue Formation Model of a Semi-Protected and 2-Approach-Lane Intersection (Unsaturated Cycle)

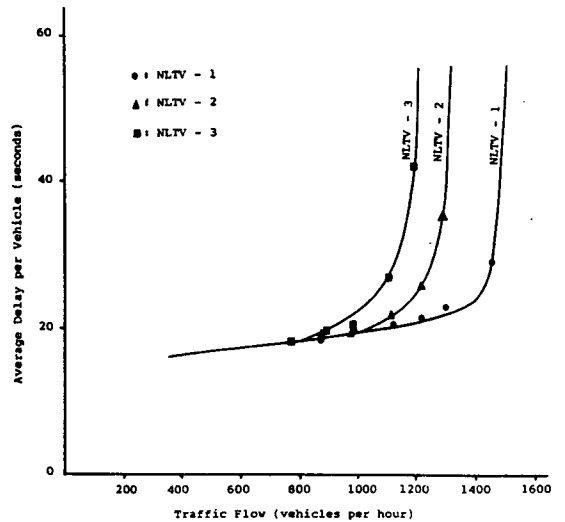


Figure 5. Average Delay vs. Traffic Flow by Number of Left-Turn Vehicles (NLTV) per Green Signal

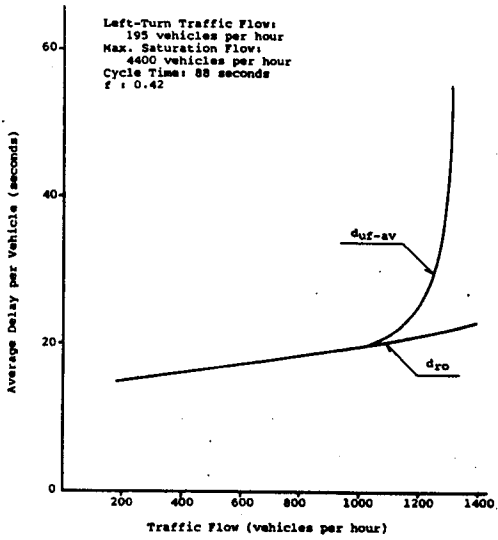


Figure 6. Comparison for d_{ro} and d_{uf-av} .

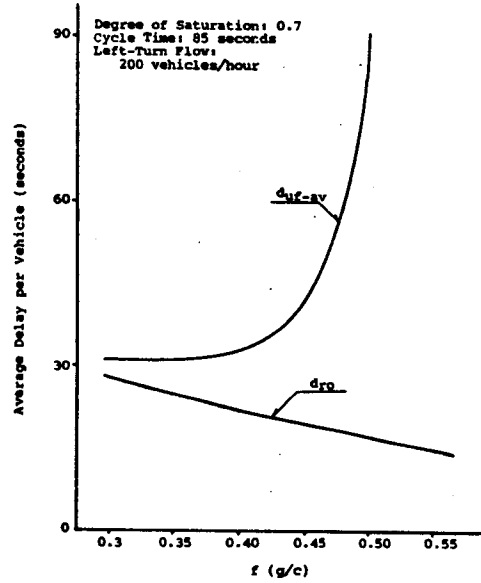


Figure 8. Average Delay vs. Ratio of the Effective Green Time (f)

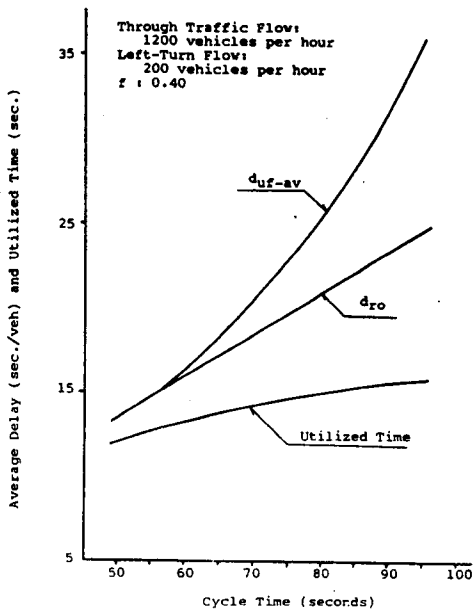


Figure 7. Average Delay and Utilized Time vs. Cycle Time

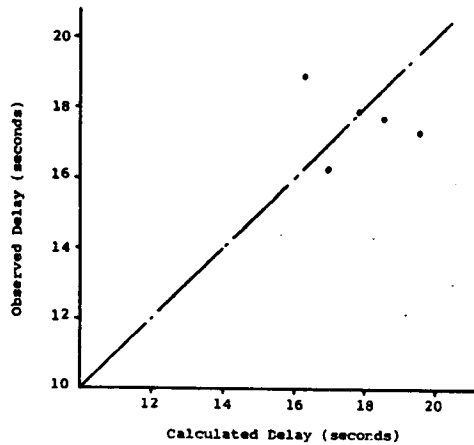


Figure 9. Observed vs. Calculated Average Delays

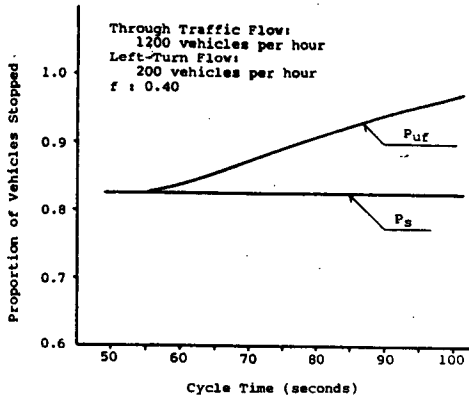


Figure 10. Proportion of Vehicles Stopped vs. Cycle Time

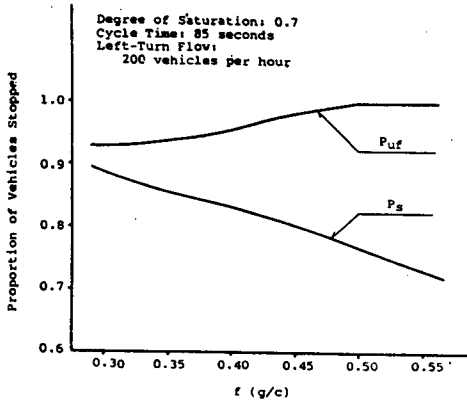


Figure 11. Proportion of Vehicles Stopped vs. Ratio of the Effective Green Time (f)

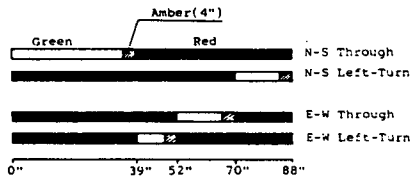


Figure 13. Signal Timing of the Study Intersection

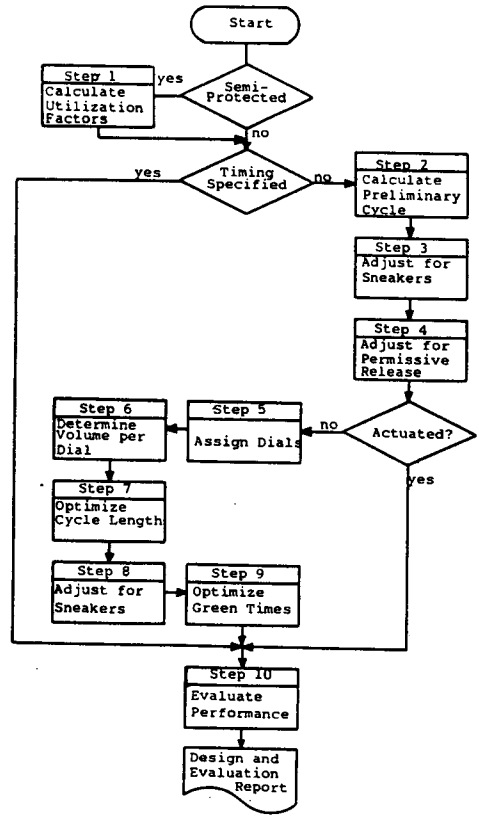


Figure 12. Simplified Block Diagram

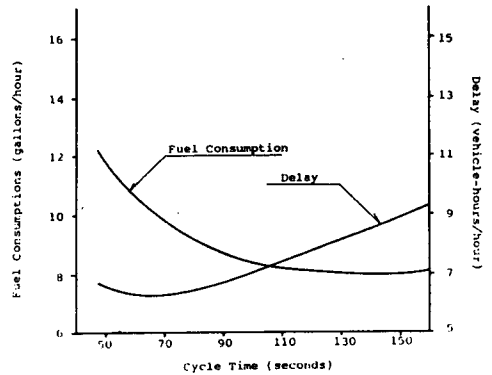


Figure 14. Fuel Consumption and Delay vs. Cycle Time

(부록 1) 전산프로그램의 입력

```

SEMI-PROTECTED 1 1 1 1
REGIN 700 800 40 2 82 99 1
CONTROL 1 700 1 30 150 0
VOLUME 1 700 699 89 674 18 139 17 32 6
TRUCKS 1 700 15 9 20 6 13 18 16 0
CAPACITY 1 700 2 1 2 1 2 1 2 1
LEFT SEQUENCE
DIABRAM HEADWAY 2 1.64 1.64 1.64 1.64 1.64 1.64 1.64 1.64
MINOR GREEN 14 7 14 7 14 7 14 7
RUN 1
END
ENC

```

(부록 2) 전산프로그램의 출력

SIGNAL OPERATIONS ANALYSIS PAGE

PAGE - 3

DESIGN AND EVALUATION SUMMARY

INTERSECTION NAME	RIN TITLE	CONTROLLER TYPE	SEQUENCE M/S	PHASES	LOST TIME /PH	STEP SIZE	STID PENALTY
		PRETIMED	1 LT LT	4	0.0 8.0	2.0	0.0

MEASURES OF EFFECTIVENESS

MOVEMENTS:	DELAY (VEH-HRS)	STOPS (%)	EXC. FUEL (GAL)	EXC. LEFT (VEH)	MAXIMUM QUEUE	V/C RATIO	LEFT TURN PROTECTION	TREATMENT VEH./CYC	SEQUENCE						
									PH 1	PH 2	PH 3	PH 4	PH 5	PH 6	
NB THRU	1.20	36.7	2.29		7.8	0.24									
LEFT	1.80	90.5	1.22	0.0	7.7	0.75	REST	0.0	XXXX						
SB THRU	1.30	37.2	2.48		8.4	0.26									
LEFT	0.25	95.0	0.20	0.0	0.5	0.15	REST	0.0	XXXX	XXXX					
EB THRU	1.80	91.4	1.75		4.0	0.30									
LEFT	0.27	96.0	0.21	0.0	0.5	0.18	REST	0.0		XXXX	XXXX				
WB THRU	0.41	88.9	0.35		0.9	0.07									
LEFT	0.08	95.4	0.06	0.0	0.0	0.06	REST	0.0		XXXX	XXXX				

ANALYSIS PERIOD	DELAY (VEH-HRS)	STOPS (%)	EX. FUEL (GAL)	EX. LEFT (VEH)	MAXIMUM QUEUE	V/C RATIO	ALL RED (SEC)	DIAL CYCLE (SEC)	PH 1 (2)	PH 2 (2)	PH 3 (2)	PH 4 (2)	PH 5 (2)	PH 6 (2)
700-800	7.10	47.0	8.37	0.0	8.4	0.75	0.0	1	102.0	7.8	21.0	6.9	13.8	
TOTAL/MAX	7.10	47.0	8.37	0.0	8.4	0.75								

PERFORMANCE IMPROVED 13.9% BY TIERING OPTIMIZATION