

□ 論 文 □

# 交通信號의 페이스순서 및 페이스간격을 고려한 信號最適化

Optimum signal setting based on phase sequence and  
interval in an isolated intersection.

金 敬 喆

(서울市政開發研究院)

林 岡 源

(서울대학교 환경대학원)

목 차

- I. 序論
- II. 基本用語 再整理
- III. 유효페이스간격의 概念設定
- IV. 顯示代案 順序의 評價
- V. 過飽和時 交叉路內의 꼬리물림現狀을 반영한 페이스始終點調整
- VI. 信號時間 決定技法
- VII. 맺는말

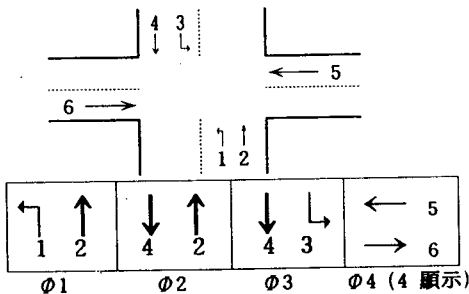
ABSTRACT

In a large signal intersection, it is the most important to set phase sequences and phase intervals of traffic signal in order to improve the efficiency of the capacity as well as safety. These setting allows to select the best sequence of signal phase among several alternatives, and thus to rearrange the starting and ending points of the individual phase using an effective interphase periods(EIP). The EIP is a gap between previous and current traffic movements at a potential collision point in an intersection. Each of traffic movements has an equality for safety and efficiency at the balanced condition of EIP. This paper presents how to set optimally the phase sequences and intervals of traffic signal in an intersection using phase based approach. And in the second part, we applied the theory developed in the first part. In particular, a numerical example of phase base signal setting is presented using a matrix computation method in order to select the best sequence among several alternatives, and thus to rearrange the starting and ending points of the individual phase using the EIP. This method also allows to apply to optimum signal setting even in five-lag or staggered-type intersection.

### I. 序論

信號交叉路에서 信號周期(Cycle), 顯示分割(Split), 오프셋(Offset)를 交通信號 最適化3變數라고 부른다. 그 중 顯示分割을 수행할 때, 同時に 通行權이 부여되는 交通移動流(Traffic Movement)의 交通量(Volume)이 대개 동일하다고 가정하여, 혹은 相對적으로 큰 交通移動流에 對하여 靑時間을 부여한다면 交叉路에 접근하는 交通移動流를 처리 할 수 있다는 가정 아래 顯示分割을 행하고 있다.

그러나 실제 交叉路에서는 접근로 각각의 交通移動流가 시시각각 變化하고 있기 때문에, 交通移動流에 정확히 對應해서 交通信號의 페이스스프리트(Phase Split)을 정하는 것은 어려운 일이며 과제이다. 그리고 최적의 페이스순서를 결정하는 것도 交通信號制御 연구에서 많이 다루고 있지 않는 課題이다. 이의 해결을 위한 한 방안으로 圖-1과 같은 페이스오버랩(Phase overlap) 技法이 登場하였다. 그러나 페이스오버랩을 한 顯示體系의 信號最適化에 있어서도 상기의 問題點을 완전히 解決하는데는 어려움이 있다. 그 외에도 최근 자주 發生하고 있는 過飽和狀況에서의 交叉路 交通處理能力 低下를 어떻게 克服할 것인가가 交叉路 信號制御의 重要な 課題로 떠오르고 있다.



(圖-1) 페이스 오버랩의 例

以上の 세가지 점에 착안하여 그 해결을 위한 새로운 접근방안으로 페이스베이스 신호제어 기법이 시작되었다. 이와 관련된 기존연구를 보면, Zuzarte Tully(1968)는 그의 박사학위 논문에서 그래프이론을 이용하여 교통이동류간 상충을 최소화하는 페이스순서발생모델을 개발하여 제시하였고, Gallivan(1984)는 선형계획법을 이용하여 지체시간을 최소화시키고 페이스별 최대용량을 가지도록 페이스의 조합인 스테이지(Stage)를 최소로 하는 최적화기법을 제안하였다. Akcelik(1986), Heydecker (1992) 는 개별 교통이동류에 대한 제어의 관점에서 기존 현시에 대한 개념을 세분화시켜 생성된 신호현시체계내에서 임계페이스 개념을 이용하여 신호주기를 결정하는 방안을 제시하였다. 그러나 이들 연구는 신호현시순서를 결정하는 원칙이 불분명하며, 우리나라처럼 광로중심의 교차로에서 쉽게 볼 수 있는, 과포화시 교차로 내부의 꼬리물림(Spill Back)현상으로 인한 용량감소현상을 일부 완화할 수 있는 페이스시스템 내부조정기법이 언급되어 있지 않다. 즉 신호를 받아 움직이는 교통이동류가 교차로 내부에서 어떤 모습으로 거동을 하는지를 검토하여, 교차로의 안전성과 효율성을 개선코자하는 방안보다는 수학적인 모델과 알고리즘개발에 중점을 둔 연구였다.

本 논문에서는 독립교차로를 대상으로 교통이동류의 교차로 내부거동을 조사하여 설정한 유효페이스간격이란 개념을 활용하여, 교차로내의 상충가능성을 최소화시키면서 페이스를 최적화하는 방안을 제시하였다. 특히 最適페이스順序를 決定하는 方法과 광로중심의 交叉路에서 過飽和에 對應해서 交通處理能力低下 문제를 완화하기 위한 각 페이스간 시점조정에 관한 개념적 방법론을 설명하였다. 또 이와 같은 이론적 틀 속에서 청시간 결정에 대한 새로운

기법, 즉 페이스별 요구청시간행렬과 페이스간 양립성행렬의 중첩을 통한 현시체계구축기법을 실례를 들어 설명하였다

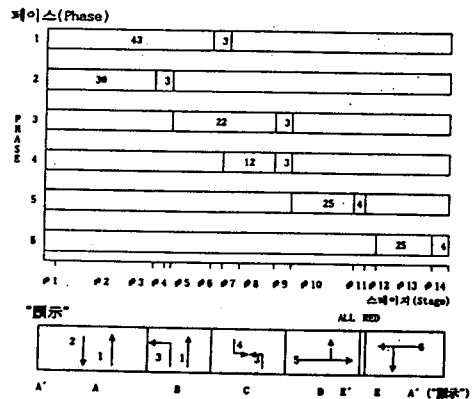
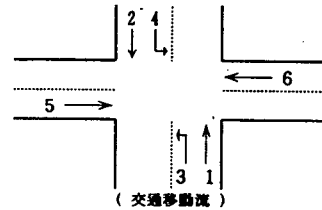
## II. 基本用語 再整理

신호현시와 차량거동을 미시적으로 분석하고자 하는 본 연구에서 사용하는 용어는 일반적으로 통용되는 顯示의 개념만으로는 혼동을 야기할 수 있다고 판단되어 본 글에서는 顯示, 페이스(Phase), 스테이지(Stage)등을 편의상 다음과 같이 정의하고 사용하고자 한다.

1) 일반적으로 통용되는 '顯示'는 (圖-2)의 "顯示", 스테이지, 페이스의 比較 例示圖에서와 같이 交叉路의 접근부에 있어서 交通移動流(혹은 交通移動流의 조합)에 대하여 同時に 부여되는 通行權, 또는 그 通行權이 割當되어 있는 時間帶라고 定義되어지고 있다. 혹은 同時に 通行權이 부여되는 交通移動流의 一群을 말하기도 한다. 通行權이 부여된 交通移動流을 화살표로 표현하고, 各 顯示에 割當되는 時間의 길이를 '顯示스프릿(Split)'라고 한다.

그러나 본 논문에서 사용하고자 하는 페이스制御의 특징적 요소인 2) 페이스(Phase)는 상기의 '顯示'와 달리, 各 交通移動流에 一定한 燈火指示에 의해서 移動機會(通行權: Right of way)를 附與 또는 取消하는 것으로서, 通行權을 부여하는 時間(Green Time)과 轉移時間(Clearance = Amber + All Red), 그리고 通行權을 부여 받지 못한 時間(Red Time)으로 構成되어 있다. 그 分割時間을 페이스스프릿(Phase Split)이라고 한다. 페이스의 갯수는 교통이동류의 수와 일치하며, 또 교통제어 방법과 시간을 표현하는 페이스-스테이지圖(Phase-Stage Diagram)의 從軸을 구성한다. 교통이동류

(Traffic Movements)는 교통류의 흐름속성을 가진 용어로서 어떤방향으로, 얼마만큼, 어떤속도로 통과하느냐를 분석할때 사용되는 용어인데 이에 대응하는 페이스는 그 이동류에 대하여 어느정도로, 어떤형태로 제어 할것인가를 정하는 요소로서 제어의 속성을 가진 용어이다. 지금까지 통상적인 顯示는 페이스-스테이지 圖의 Stage축에서 바라본 어느 시점에서의 페이스 조합이라 볼 수 있다.



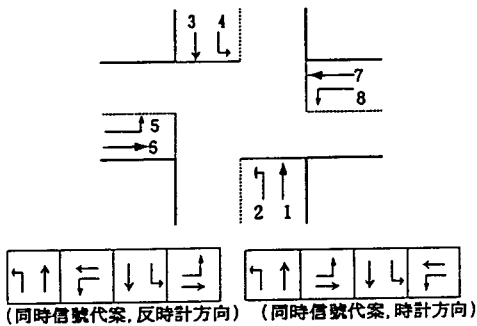
(圖-2) "顯示", 스테이지, 페이스의 比較

3) 交通信號스테이지(Stage)는 페이스(Phases)의 特定 組合의 信號狀態를 意味하는 것으로, 交叉路에 있어서 信號表示 變換의 最小 單位이다. 日本에서의 스텝(Step; 階梯)과 유사한 개념이다. 페이스-스테이지 圖의 橫軸을 구성하며, 信號페이스가 하나라도 끝나거나 시작하는 時點을 基準으로 결정한다.

### Ⅲ. 유효페이스간격의 概念設定

#### 1) 개념설정의 필요성

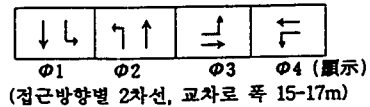
교통신호의 顯示順序를 決定하는 基準는 對象街路 혹은 地域의 信號體系의 統一性 (Uniformity), 連動化, 幾何構造 및 車線 利用性, 方向別 交通量比(直進, 右左回轉交通量) 등이 기본적으로 고려되고 있다. 그러나 類似한 顯示順序代案 中에서 最適代案을 決定하기 위한 評價指標(MOE)에 대한 연구는 아직 많지 않고 통상적으로 그 지역에서 초기에 설정된 패턴을 그대로 따르고 있다. 現在 신호제어 평가에 자주 이용되는 最適化프로그램 (例, TRANSYT - 7F 等)에 있어서도 형편은 마찬가지이다. (圖-3)와 같이 類似한 顯示代案을 프로그램에 入力한 후, 수행시키면 同一한 解를 提供하게 되는데, 實際 교차로에 있어서 차량의 움직임은 큰 差異를 보여준다.



(圖-3) 유사한 顯示順序代案의 例

국내 조사로서 서울시 강남구 개포고교앞 교차로의 예를 들면, (圖-4)과같이 직좌동시신호를 사용하고 있는데, 顯示 $\phi 4$ 이후 顯示 $\phi 1$  사이의 잠재교착점에서 발생하는 상충의 시간적 간격이 평균 3.7초로서 顯示 $\phi 2$ 와 顯示 $\phi 3$  사이의 7.5초보다 짧게 조사되었다. 이의 차이는 차선당

2대 정도의 차량을 더 통과시킬 수 있는 시간이다. 이를 조정하면 1주기에 4대, 과포화시 시간당 100대 이상을 더 통과시킬 수 있다는 의미와 같다. 반대로 顯示 $\phi 2$ 와 顯示 $\phi 3$  사이보다 顯示 $\phi 4$ 와 顯示 $\phi 1$  사이가 짧아 안전성 측면에서도 동일한 한 조건이 아닌 것을 알 수 있다. 이와같이 교차로내부에서 차량거동을 고려한 교통신호순서평가 및 페이스 조정 등이 유효페이스간격에 대한 개념설정의 이유이다.



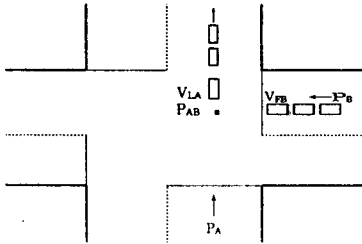
(圖-4) 개포고교 교차로 현시체계의 例

#### 2) 分析을 爲한 페이스間隔의 概念設定

교차로에서 생기는 潛在交錯點(Potential Collision Points)은 車輛軌跡을 交叉路의 内部에 假想해서 延長한 線의 交點을 말한다. 이는 신호현시 순서대안 평가의 지표 및 페이스시점 조정의 기준점으로 활용된다. 有效페이스間隔(Effective Interphase Period : EIP)은 先行페이스와 後行페이스의 交通移動流의 車輛 사이에서 發生한다. 先行페이스 제어에 의하여 통과하는 交通移動流의 最後車輛이 交叉路를 通過하고 그 뒤를 後行페이스에 대응하는 交通移動流의 最初車輛이 出發해서 進行할 때, 이들 交叉移動流(Cross Traffic Movement)의 潛在交錯點에서 發生하는 通過時點의 時間間隔을 有效페이스間隔(EIP)이라고 한다.

이 값은 接近車線이 複數存在할 경우, 接近車線別로 차이가 나기 때문에 그중 가장 작은값을 이용하여 분석한다. 交叉移動流의 車輛舉動을 그림으로 나타낸 (圖-5)에서 EIP<sub>AB</sub>는 페이스<sub>A</sub>以後, 페이스<sub>B</sub>가 제어 될 때, P<sub>A</sub>時의 最後

車輛  $V_{LA}$ 가 交錯點  $P_{AB}$ 를 통과하는 時点과  $P_B$ 페이스의 最初車輛  $V_{FB}$ 가 交錯點  $P_{AB}$ 를 통과하는 時点과의 時間間隔이다.



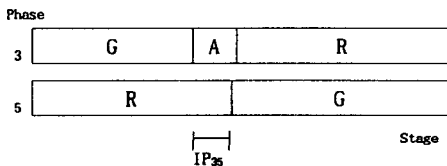
$$EIP_{AB} = Ft(V_{LA}) - Ft(V_{FB})$$

$Ft(V_{LA})$  = 交通移動流  $MA$ 의 최종차량이 潛在交錯點  $P_{AB}$ 를 통과하는 時점.

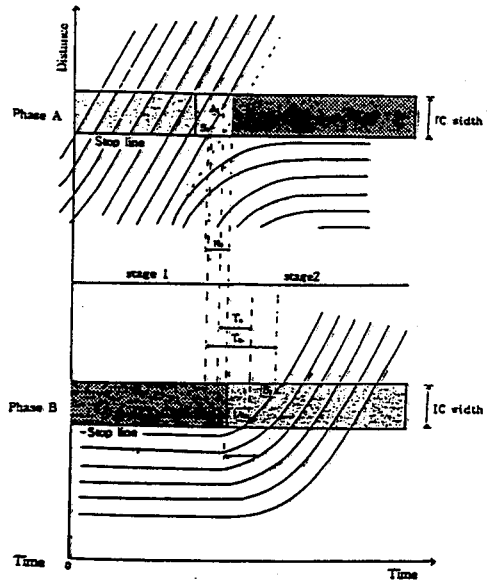
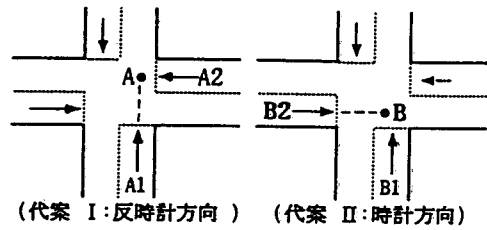
$Ft(V_{FB})$  = 交通移動流  $MB$ 의 최초차량이 潛在交錯點  $P_{AB}$ 를 통과하는 時점.

(圖-5) 交叉移動流의 車輛舉動과 有效페이스間隔

페이스間隔( $IP_{ij}$  : Interphase Period)은 交叉移動流 $ij$  (Cross Traffic Movement, $ij$ )가 潛在交錯點을 통과하는 時점을 기준으로 계산한 潛在相衝時間 間隔, 즉 有效페이스間격을 調整한 후의 페이스-스테이지 圖 위에서 볼수 있는 페이스의 終点과 페이스의 始点間의 時間間隔을 말한다(圖-6 참조). 유사한 개념인 소거시간 혹은 轉移時間(Clearance)는 交叉路內部로부터 車輛을 一掃하기 위하여 필요로하는 時間으로서, 交叉路의 幅( $W$ : 對向流入部의 停止線間 距離)과 車輛速度( $S$ )의 函數로서 表現된다. 따라서 페이스순서를 고려한 交叉移動流와는 相關이 없는 개념이다.



(圖-6) 페이스間隔  $IP_{35}$ 의 例



$$T_a \ll T_b$$

$T_a$  = 交通移動流  $A_1$ 과  $A_2$ 의 潛在交錯點  $A$ 에서 發生하는 有效페이스間隔.

$T_b$  = 交通移動流  $B_1$ 과  $B_2$ 의 潛在交錯點  $B$ 에서 發生하는 有效페이스間隔.

(圖-7) 交錯點과 有效페이스間隔의 差異例

위에서 설정한 有效페이스間隔의 差異를 보기 위해, 交通流理論을 利用해서 各 페이스에 對應한 交通移動流의 舉動을 時空圖(Time-Distance Diagram)위에 作圖하고, 作圖한 時空圖에서 페이스가 變하는 部分의 車輛軌跡이 潛在交錯點을 지나는 時점으로부터  $EIP$ 를 計算한다.

(圖-7)는 同時信號代案의 交錯點과 有效페이스間隔의 차이를 예시한 것이다. 대안 I의 경우, 페이스  $P_A$ 時(↑)의 交通移動流 中 最後의 차량  $A_1$ 이 交錯點  $A$ 를 통과하는 時점  $a_1$ 과, 페이스



(2) 潛在交錯點 A(X1, Y1)의 座標 計算

EIP 계산 즉 潛在交錯點 A(X1, Y1)의 座標 計算 및 經過時間 計算은 다음과 같은 순서로 한다. 1) 선행페이스의 황색신호 시점을 기준으로 선행페이스의 최종차량이 황색신호 등화 이후 정지선을 통과할때까지의 시간(TE: 최종차량의 진행연장시간)에 상충점까지 달려간 시간(TL)을 합한 시간(T1)을 우선 계산한다. 2) 후행페이스의 최초차량측면에서, 기준시점이 선행페이스의 황색신호시점이므로 황색신호시간(Ta)과, 녹색신호등화 이후 최초차량이 정지선을 통과할때까지 걸리는 시간(TS: 최초차량의 출발지연시간), 그리고 최초차량이 상충점까지 달려간 시간(TL)을 합한 시간(T2)을 계산한다. 이렇게 구한 T2와 T1의 차이가 EIP이다.

그러므로, 직진차량이 最右側車線의 1/2地點 線上에 位置하고, 좌회전차량의 궤적을 橢圓(ellipsoid)의 形態라고 假定할 때, X1, Y1는

$$X_1 = W_x / 2L_x \quad (式 3)$$

$$Y_1 = Y_b * \sqrt{(1 - (X_1)^2 / (X_1)^2)} \quad (式 4)$$

또 左回轉車輛의 出發點(Xa)에서 潛在相衝點 A(X1, Y1)까지의 距離는

$$X_a - Y_b = C [\theta = 0時, r = X_a; \theta = \pi/2時, r = Y_b] \text{ 이므로 } r = X_a - 2 \frac{C}{\pi} * \theta \text{ 이다.}$$

따라서 車輛走行位置는  $\Delta l = \theta * r$

$$\begin{aligned} l &= \int_0^{\theta_0} [ X_a - 2 \frac{C}{\pi} * \theta ] \delta \theta \\ &= [ X_a * \theta - 2 \frac{C}{\pi} * \frac{\theta^2}{2} ] \\ &= [ X_a * x_0 - \frac{C}{\pi} * x_0^2 ] \end{aligned} \quad (式 5)$$

그러므로 主道路의 左回轉最終車輛이 出發點 (Xa)에서 潛在相衝點 A(X1, Y1)까지 걸리는 時間은

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Y_1}{X_1} \right), \text{ 走行距離 } l_L \text{ 가}$$

$l_L = X_a * \theta - \frac{X_a - Y_b}{\pi} * \theta^2$  이므로 經過時間은 距離를 速度로 나누면 되므로 다음과 같다.

$$T_L = T [ (X_a, 0) \rightarrow (X_1, Y_1) ] = l_L / v_u$$

Vtl = 最初車輛 速度函數

그러므로 황색신호시간(Amber)始點基準에서 經過時間은 T1 = TL + TE (TE = 最終차량의 進行延長時間)가 된다.

(3) 直進最初車輛이 出發點(S)에서 潛在相衝點 A(X1, Y1)까지 걸리는 時間은 주행거리가  $l_F / W_y - Y_1$ 이기 때문에 經過時間은 距離를 速度로 나누면 되므로 다음식과 같다.

$$T_F = T [ (X_1, W_y) \rightarrow (X_1, Y_1) ] = \sqrt{(2l_F/a)} \quad (式 6)$$

a = 最初車輛 출발가속도

황색시간(Amber)始點基準 經過時間은 다음과 같다.

$$T_2 = T_F + TS + Ta \quad (式 7)$$

(TS = 最初차량 出發損失時間, Ta = 황색시간)

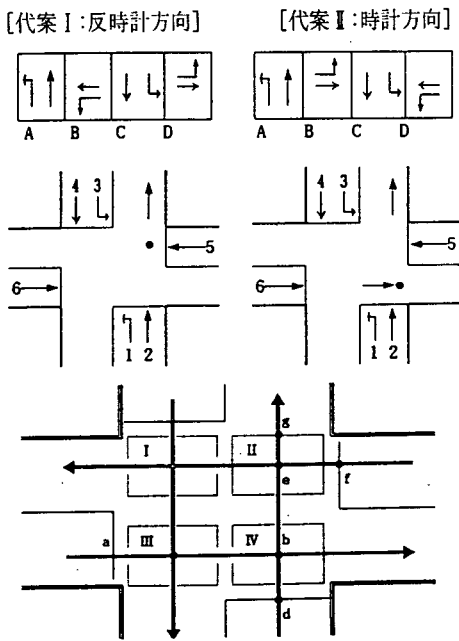
(4) 潛在交錯點 A(X1, Y1)에서 發生하는 時間差 즉 有效페이스間隔(EIP : Teip)는 T1과 T2의 차이를 計算하여 구하므로 다음과 같다.

$$T_{eip} = T_2 - T_1 \quad (式 8)$$

IV. 顯示代案 順序의 評價

(圖-10)과 같이 直左同時信號의 경우, 先行顯

示A 뒤에 後行顯示B가 燈火될 때, 代案 I 과 代案 II 의 潛在交錯點의 位置 및 EIP의 差異가 發生하게 되는데, 代案 I (反時計方向)의 경우 보다 代案 II (時計方向)의 경우가 交차點에서의 交叉移動流間 時間的餘裕가 있다. 대안간 交차點에서 發生하는 유효페이스간격의 시간적차이는  $[(bg+ab) - (eg+fe)]$ 만큼이다.



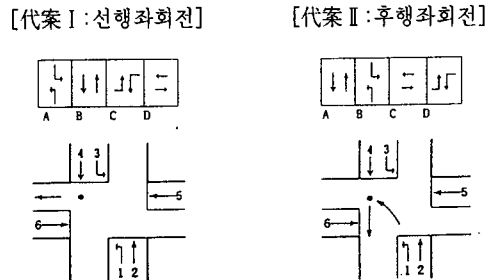
☞ 時間的餘裕 =  $[(bg+ab) - (eg+fe)]$   
 (圖-10) 顯示代案 順序評價의 例(동시신호)

또 (圖-11)과 같이, 전용 좌회전차선이 있고 分離信號의 경우, 先行顯示A 뒤에 後行顯示B가 燈火될 때, 代案 I 과 代案 II 의 潛在交錯點 位置는 같은 지점이나 EIP는 差異가 發生하게 되는데, 代案 I (선행좌회전)의 경우 보다 代案 II (후행좌회전)의 경우가 交차點에서의 交叉移動流間 時間的餘裕가 있다. 대안간 交차點에서 發生하는 유효페이스간격의 시간적차이는  $[(de+ad) - (db+cd)]$ 만큼이다.

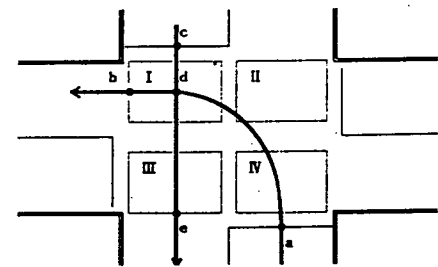
즉 그림에서처럼 後發車輛의 바로 앞에서 交

叉路交錯面(II)과 交錯點이 發生하는 顯示代案보다, 後發차량의 진행방향 그 다음의 面(IV)에서 交錯點이 發生하는 顯示代案의 경우가 시간적 여유가 있어 安全性 面에서 우수하다고 말할 수 있다. 또 그 여유시간을 차량이 이용할 수 있도록 조정하는 경우에는 차량을 통과시키는데 主안점을 둔 效率性 面에서도 우수하다고 말할 수 있다.

따라서 潛在交錯點에서 볼수 있는 交通이동류간 페이스間隔은 信號의 페이스計劃時에 다음과 같은 의미를 가진다. 페이스順序가 다른 各各의 顯示體系代案들 중에서, 綠色燈火를 부여받은 交通移動流가 交叉路를 通過한 後, 다음의 綠色燈火를 부여받은 交通移動流가 交叉路를 通過할 때, 그 後發交通移動流의 바로 앞 交叉路 交錯面에서 交錯點이 자주 發生하는 顯示代案보다 그 다음 面에서 交錯點이 發生하는 顯示代案이 우수하다고 말할 수 있다.



(1번이 지나가고 4번 출발)      (4번지나가고 1번 출발)



☞ 時間的餘裕 =  $[(de+ad) - (db+cd)]$   
 (圖-11) 顯示代案 順序評價의 例(분리신호)



즉 페이스가 變化할 때, 潛在交錯點에서의 先發交通移動流와 後發交通移動流의 各各 時間的 間隔(有效페이스間隔(EIP))을 모두 더한 總합이 큰 대안이 여유로운 운행이 가능하므로, 交通安全側面에서 교통이동류간 상충의 가능성이 적으면서, 보다 많은 移動機會를 가진 交通信號 顯示代案이라고 말 할 수 있다.

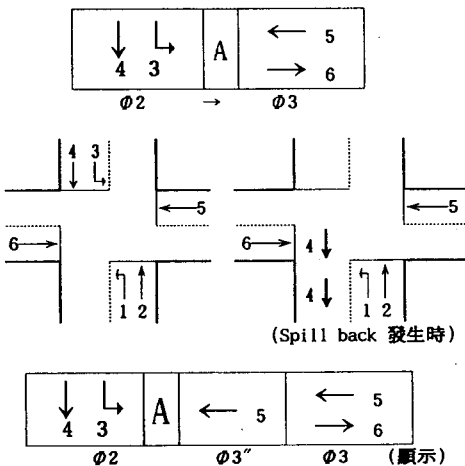
이는 交通信號의 유사한 페이스順序代案의 선정 및 신호의 最適化原則의 하나로 고려될 수 있다.

신호페이스 順序代案의 代案選定係數(PS)의 最適化  

$$\text{Opt. PS} = \text{Max} (\sum \text{EIP}_{ijk})$$

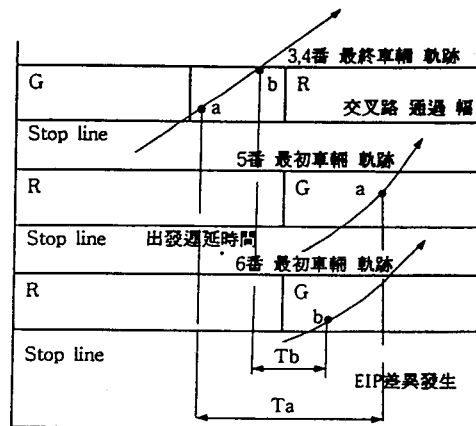
### V. 過飽和時 交叉路內의 꼬리물림現狀을 반영한 페이스始終點調整

교차로에서 過飽和에 의한 차량의 꼬리물림 (Spill-Back)現狀이 發生하면 차량소거를 위한 손실시간(Clearance Loss Time)이 增加하여 교



차로 交通처리 能力이 떨어지게 된다. 이를 완화하는 한가지 방안으로 페이스제어기법에서는 交通이동류에 청시간을 부여하는 페이스의 時點, 終點을 調整하여 일부 克服한다. 이 방안은 페이스제어기법에 의한 交叉路의 交通信號制御의 또 다른 특징적 요소이다.

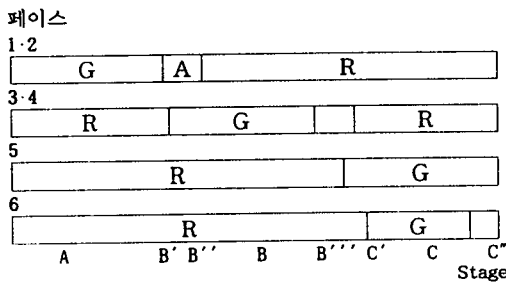
(圖-12)은 페이스시스템의 內部調整에 대한 例를 보인 것이다. 만약 3, 4番의 交通移動流에 Spill back現狀이 發生하여(交叉路通過速度 低下) 交通이동류의 대기행렬 끝부분이 교차로 내부에 일정시간 머물러 있을 때, 5番의 交通移動流가 6番 交通이동류보다 비교적 여유있는 移動機會를 가질 수 있다.



(圖13) 時空間 車輛進行軌跡上의 有效페이스間隔 差

우리나라처럼 폭이 넓은 交叉路에 있어서 이 꼬리물림(Spill-back)現狀은 교차로에서 交通移動流의 移動機會에 대한 時間的 差異를 더욱 크게 한다. 이와같은 의미에서 페이스시스템의 內部에 대한 시점과 종점의 調整이 必要하다. 최근 교차로 상부에 설치된 화상검지기 기술의 발달은 교차로 내부 차량거동을 보다 정교하게 파악할 수 있게 하여, 본 연구에서 제시한 꼬리물림現狀의 극복을 위한 제어에도 사용되고 있다.

페이스시스템内部에서 교통이동류가 움직임에 따라 볼 수 있는 有效페이스間隔은 (圖-12)에서와 같이 顯示Ø2 以後, 顯示Ø3이 등화 될 때, 有效페이스間隔의 差異를 計算하여 적절하게 페이스간 시점과 종점을 조정할 수 있다. 이는 페이스순서 평가에서와 같은 방법으로 交錯點에서 교통류의 거동을 時空圖 上에 나타내고 각 페이스間 시간간격을 계산한다. 이와같이 계산된 각 페이스間 시간간격은 (圖-14)에서와 같이 페이스-스테이지 圖에서 페이스의 時點과 終點을 調整하는데 사용한다. 즉 그림에서처럼 페이스 3, 4번 制御이후 5, 6번 페이스가 제어될 때, 교차로가 적고 全赤時間이 없는 경우에는 5번 페이스를 기준으로 하여 6번 페이스의 시점을 뒤로 늦추고, 교차로가 넓고 全赤時間이 있는 경우에는 6번 페이스를 기준으로 하여 5번 페이스의 시점을 앞으로 당겨 제어한다. 즉 페이스간 유효현시간격을 일정하게 유지하도록 조정한다.



$$\left[ IP_{35} \neq IP_{56}, \quad EIP_{35} = EIP_{56} \right]$$

(圖 14) 페이스·스테이지 調整圖

이는 (圖-14)에서 처럼 페이스-스테이지 圖 上에서 페이스간 시종점을 페이스간격은 다르더라도( $IP_{35} \neq IP_{56}$ ) 유효페이스간격은 동일하게 유지시키는 것 ( $EIP_{35} = EIP_{56}$ )을 의미한다. 즉

효율성과 안전성을 동시에 고려한 조정이라 볼 수 있다. 이와같이 選定되어진 페이스시스템의 内部에서 有效페이스間隔을 조정하여 신호를 最適化하는 것은 다음과 같은 두가지 의미를 가진다. 첫째, 통행권을 받아 이동하는 모든 交通移動流에 대하여 상층에 대한 交叉路 安全性을 동일하게 한다. 둘째, 交叉路 效率性 측면에서 통과에 대한 이동기회를 보다많이 확보하기 위하여 남아있는 여유시간을 이용하되, 접근해오는 모든 교통이동류에 均等性(equity)을 부여하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 通行權을 부여받아 連續해서 移動하는 交叉交通流(Cross Traffic Movement)의 潛在交錯을 考慮해서 구한 時空間 車輛 軌跡上의 有效페이스間隔(EIP)이 각 페이스間에 同一한 값( $EIP_{ij,s} = EIP_{ij,s+1}$ )을 가지면서 可能한한 最小의 값을 취할 때 보다 우수한 信號時間設計라고 말할 수 있다.

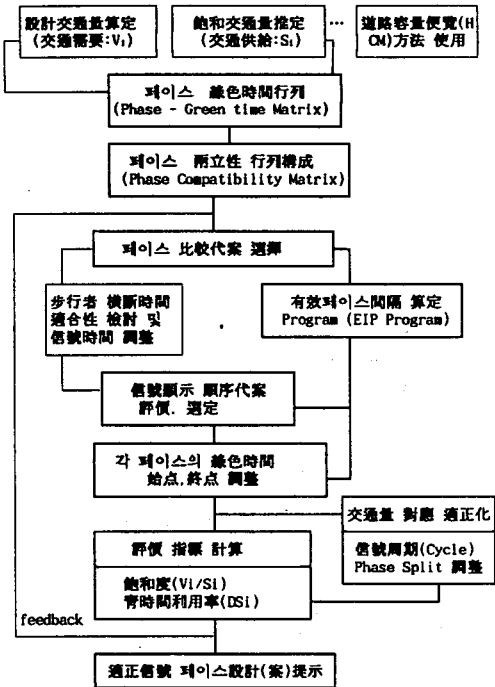
選定되어진 페이스體系内の 페이스調整變數(IA)의 最適化

$$Opt. IA = Min EIP_{ij,s}$$

## VI. 信號時間 決定技法

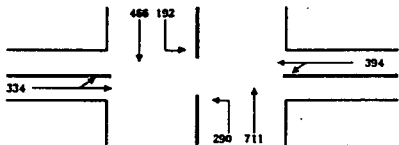
### 1) 決定技法의 틀

信號時間 決定을 위해서, 각각의 交通移動流에 대응한 각 페이스를 기본으로 제어하기 때문에 페이스제어기법이라고 부르기도 하는데, 우선 交通需要인 設計交通量(圖-16)과 交通供給인 飽和交通量(圖-17)을 HCM기법에 의하여 추정하고, 이를 이용하여 각 페이스별 顯示率(圖-18)을 계산한다.



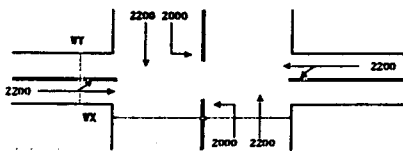
(圖-15) 信號時間 決定技法의 틀

이렇게 계산된 顯示率을 이용하여 페이스別 綠色時間行列(Phase - Green time Matrix, 圖-20)을 작성한다. 이 행렬은 각 交通移動流의 交通량에 대응한 페이스의 必要靑時間을 상대적 으로 나타낸 행렬이다.



交差路 幅: WX = 15 m(往復 4車線), WY = 8 m(往復 2車線)

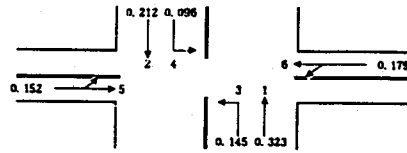
(圖-16) 設計交通量 例



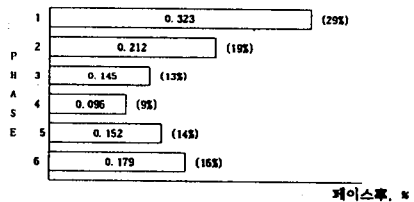
交差路 幅: WX = 15 m, WY = 8 m

(圖-17) 飽和交通量 例

다음은 페이스兩立性行列(Phase Compatibility Matrix 圖-21)의 구성이다. 페이스兩立性行列은 각각의 交通이동류가 동시에 교차로를 통과할 수 있는지 없는지를 구분한 행렬이다. 즉 동시에 통과할 수 있으면 1, 없으면 0로 표현한다. 즉 페이스1번은 2번, 3번과 동시에 교차로를 통과할 수 있기 때문에 "1"로 표현되어 있다.



(圖-18) 各 페이스別 顯示率 例



(圖-19) 페이스別 相對 要求綠色時間

Phase	Phase 率
1	29
2	19
3	13
4	9
5	14
6	16
합	100 %

(圖-20) 페이스別 相對 要求綠色時間行列

세제, 양립성행렬은 요구녹색시간행렬의 페이스를 상충되지 않도록 배열시켜 현시체계를 구축하는데 사용된다. 즉 두 Matrix을 이용하여 페이스-스테이지 圖를 생성(Generate)하는데 사용되는 것이다. 두 행렬을 顯示率이 가장 큰 기준페이스(Prime Phase)를 중심으로, 페이스要求綠色時間과 페이스兩立性行列을 이용하여 配列시키면 페이스-스테이지圖( Phase - Stage Diagram, 圖-22)가 구성되는데, 이는 자동적으로 페이스중첩(Phase overlap)이 이루어진 상태이

다. 이때 기준페이스 이외의 페이스에 대하여 순번을 바꾸어가며 페이스순서 평가모듈을 이용 유효페이스간격의 총합을 체크한다. 유효페이스간격의 총합이 가장 큰 페이스 시스템이 최적의 페이스순서가 된다.

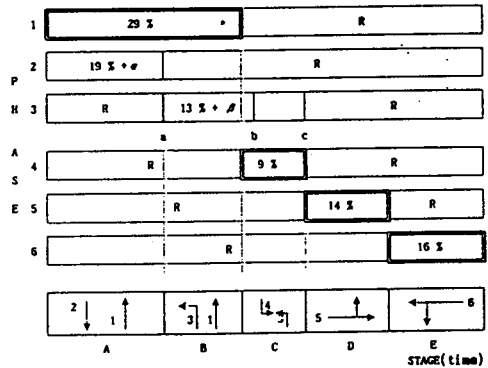
P1	PJ	Phase					
		1	2	3	4	5	6
P h a s e	1	1	1	1	0	0	0
	2	1	1	0	1	0	0
	3	1	0	1	1	0	0
	4	0	1	1	1	0	0
	5	0	0	0	0	1	0
	6	0	0	0	0	0	1

(圖-21) 페이스別 兩立性行列

즉 각 페이스가 變化할 때, 潛在交錯點에서의 先發交通移動流와 後發交通移動流의 各 時間的 間隔(有效페이스間隔(EIP))의 總和가 큰 것이 效率,安全側面에서도 교통이동류간 상충의 可能性이 적으면서 보다 많은 移動機會를 가진 교통 신호 顯示代案이라고 말 수 있다는 원칙을 이용하여 最適現시대안을 선정한다. 여기서 선정된 現시대안이 美國 NEMA( National Electrical Manufacturers Association)에서 제시한 이중고리(Dual-Ring)기법에서 도출된 現시대안과 몇가지 다른 점이 있다. 이중고리기법은 최근 자주 사용되는 페이스오버랩기법이다. 그러나 이 기법은 일정 패턴을 가진 것을 기본으로 하기 때문에, 본 연구에서 제시한 매트릭스기법에서 도출되는 現시대안 중 기준페이스를 고정시켰을 때 생성되는 결과와 마찬가지로 결과만을 생성한다. 또한 이중고리기법에는 페이스내부 調整에 대한 개념이 포함되어 있지 않다.

최적페이스 시스템이 선정되면, 양립성이 없는 페이스群 중에서 顯示率합이 가장 큰 페이스 경로 즉 臨界페이스經路(Critical Phase Path)를 구하고, 이의 顯示率합을 이용 信號周期를 결정한다. 이 臨界페이스經路의 顯示率합이 대

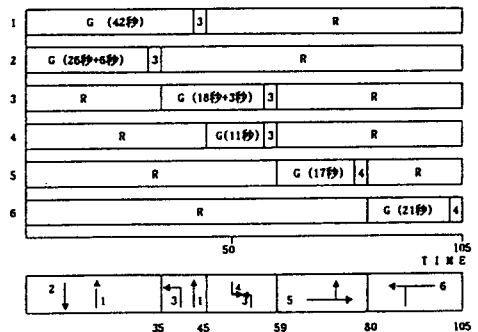
상교차로의 飽和度이다. 그러나 기존의 “顯示”를 기본으로 한 信號設計技法의 경우, 同一한 顯示內에서 움직이는 各 交通移動流의 顯示率이 큰 값을 선택하여, 이를 必要顯示率(혹은 顯示의 飽和度)라 하고, 各顯示의 必要顯示率의 總和가 交差點의 飽和度가 되며 信號주기를 결정하는 기준이 된다.



(圖-22) 信號페이싱체계 구성 例

그러나 페이스를 기본으로 한 設計法의 경우는 臨界페이스經路(Critical Phase-Path:CPP)의 페이스顯示率이 페이스設計의 基準이 되고, 그 페이스顯示率의 總和이 交差點의 飽和度가 된다.

이때 信號周기는 Webster방법을 이용하여 계산하고, 임계페이스경로에 信號周기의 시간을 분할한다(圖-23). 또한 臨界經路에 속하지 않은 페이스는 양립성행렬를 基準으로 청시간을 연

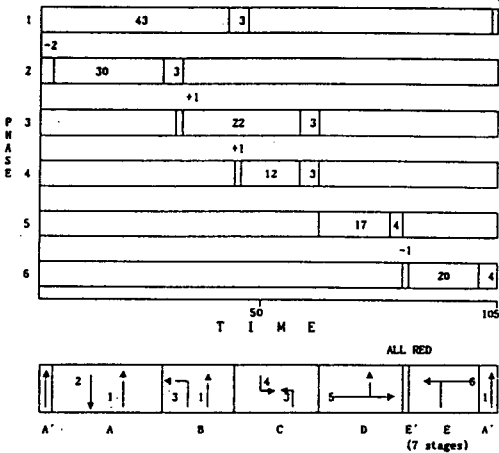


(圖-23) 信號時間 分割 例

장하고, 비임계경로의 페이스가 둘이상인 경우 (페이스 2번과 3번)는 加重分割値로 청시간을 정한다.

이렇게하여 선정된 페이스시스템에 대하여 페이스간 유효페이스간격을 계산하여 시점과 종점을 조정(圖-24)하는데, 조정이 필요한 경우, 靑時間利用率(Degree of Saturation)이 최대가 되도록 臨界經路의 페이스(Critical Phase)는 청시간을 늘리는 방향으로 하고, 임계경로와 非臨界經路의 페이스 사이를 조정할 경우 비임계경로의 페이스는 청시간을 일부 줄여도 상관이 없으므로 페이스 청시간을 줄여 조정한다. 이와같은 방법으로 임계페이스의 청시간을 가능한 최대로 늘릴수 있기 때문에 임계교차로의 교차로용량을 높이고 연동화시엔 통과폭을 크게 할 수 있으며, 보행신호가 임계페이스가 되는 경우에도 이와같은 시간설계기법이 적용될 수가 있다.

(-) : 綠色時間 減음  
(+) : 綠色時間 增음



(圖-24) 신호페이스체계 内部調整 例

청시간의 시점과 종점의 조정이 끝나면, 임계페이스경로의 청시간이 늘어나게 되어 靑時間利用率(Degree of Saturation)이 떨어져, 신호주기 조정의 여유가 생기므로 신호주기도 단축시킬 수 있다.

損失時間의 길이는 交差点의 交通處理能力을 左右하는 중요한 요소이다. 기존 “顯示”를 기본으로 한 設計技法의 경우, 損失時間은 顯示가 다음 顯示로 변할 때 轉移時間(CT)에 의해 發生하는 것으로 계산한다. Phase-Based Approach에 의한 技法의 경우는 臨界페이스經路(Critical Phase-Path: CPP)의 페이스間隔(Interphase Period: IPij)을 基準으로 손실시간을 계산한다. 여기서 有效페이스間隔(EIPij)을 調整한 페이스體系의 페이스間隔(IPij)의 總合은 기존방법에 의한 경우의 損失時間보다 항상 같거나 작은 값을 갖는다.

$$LT_s = \sum [SD + (CT - EL)]_i$$

$$LT_p = \sum [(SD - EL)_i + IP_{ij}]$$

$$\sum IP_{ij} \leq \sum CT_{ij}$$

$$LT_p \leq LT_s$$

C : 신호주기(EG + LT) EG : 유효청시간  
LT : 손실시간 SD : 출발손실시간  
CT : 소거시간 EL : 주행연장시간  
LTp : 페이스를 기본으로 한 損失時間  
LTs : “顯示”를 기본으로 한 損失時間

### VII. 맺는 말

本 研究는 신호등의 페이스를 기본으로 하여 交叉路에서의 交通信號를 最適化시키는 방법에 대하여 論한 것이다. 우선, 交通信號에서 주로 사용하는 기본용어(“顯示”, 交通移動流, 페이스 및 스테이지 등)의 概念을 再整理하고, 有效페이스間隔의 概念設定을 통하여 信號制御時 유사한 現시체계대안의 最適페이스順序를 決定하는 기법과, 交叉路 過飽和時 스피백현상에 對應하여 페이스간 청시간 시점 종점의 조정기법을 提示하였다. 페이스순서대안 평가선정과 페이스체계 내부조정기법을 개발하여 제시함으로써, 交叉路의 信號에 대한 最適化時 사용되는 制御變數를 信號周期(Cycle), 페이스分割(Phase

Split, '顯示스프릿'이 아님), 오프셋(Offset) 외에, 페이스順序의 調整變數(Phase Sequence Variable(PS)) 및 페이스內部 調整變數(Interphase Adjustment Variable(IA))가 필요함을 예시하였다. 그리고 신호시간 결정에 있어 교통이동류와 페이스를 보다 정확히 일치시키기 위한 기법으로 매트릭스 중첩방식에 의하여 청신호시간을 결정하는 페이스제어기법을 개발하여 제시하였다. 이는 임계교차로의 임계페이스(Critical Phase)를 조금이라도 크게 하려고 페이스순서와 페이스체계 내부를 조정하는 기법을 논한 것이다. 또 매트릭스 중첩방식에 의한 페이스제어기법은 이중고리기법(Dual ring)의 현시중첩방법을 내재한 기법임을 보였다. 임계교차로의 임계페이스(Critical Phase)는 연동화 신호계획시 통과폭을 결정하는 가장 중요한 요소이며, 교차로 용량을 결정한다. 따라서 최근 임계페이스의 청신호시간을 조금이라도 길게 설정할 목적으로 많은 연구가 계속되고 있는데 유효페이스간격을 이용한 설계기법도 그중 하나로 볼수 있다.

交通信號制御의 目標은 交通流를 可能한 한 安全 하고 그리고 效率 좋게 교차점을 통과시키는 것이다. 그러나 交叉路의 效率性을 높이면 교차이동류의 상충에 따른 安全性이 떨어지며, 反對로 安全性을 너무 고려하면 效率性이 떨어진 다. 이것은 本 研究에서 提示한 有效페이스間隔의 最適設定과 密接한 關係가 있다. 따라서 最適의 有效페이스間隔의 設定에 관한 교차로 특성별 調査研究가 必要하다. 이는 今後課題로 남긴다.

## [參 考 文 獻]

- 원제무, 교통공학용어사전, 녹원출판사, 1988
- 도철웅, 교통공학원론(상), 청문각, 1991
- 交通工學研究會 : 交通信號の手引, 1994
- 交通工學研究會: 平面交差の計劃と設計-基礎編, 1984
- 藤田大二: 交通現象と交通容量, 交通工學研究會, 1987
- 岡本博之: 道路交通の管理と運營, 交通工學研究會, 1987
- FHWA, Traffic Control System Handbook, DOT, Washington DC, USA, 1985
- FHWA, Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highway, DOT, Washington DC, USA, 1985
- Gallivan, S. The Number of Constraints required for phase-based optimization of signal settings, University College London, London, 1984
- Gartner N.M. etc., A multiband approach to arterial traffic signal optimization, Transp. Res., 25, 1991
- R. Akcelik, Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, ARR123, Research Report, ARRB, 1986
- SteerDavies & Gleave Ltd, Advanced Optimisation of Traffic Signal Timings, London, 1992
- TRB, Highway Capacity Manual, TRB Special Report 209, Washington DC, USA, 1985
- Webster, F.V. and Cobbe, B.M., Traffic Signals, RRL Technical Paper 56, HMSO, London, 1966
- Zuzarte Tully, I.M. Synthesis of sequences for Traffic Signal Controllers Using Techiques of the Theory of Graphs, University of Oxford, 1968