

迅速交通信號制御를 爲한 그 最適周期에 있어서의 外亂의 影響

“Influence of Disturbances in Optimal Period Establishment for
the Rapid Traffic Signal Control”

梁 興 錫* · 金 浩 允**
(Heung suk Yang) · (Ho Yoon Kim)

要 約

많은 檢知方式中 어떠한 방식에 依하든 間に 交通流에 關한 情報收集이 先行되어야 하고, 그 다음에 正常周期方式이든 戰術制御等 非定期方式이든 間に 交通信號燈의 迅速制御時에 그 最適信號周期設定을 前題로 하고서 信號周期에 包含되어 있는 發進遲延現象에 關하여 分析檢討치 않으면 안된다. 線上에서 車의 速度別 및 앞뒤車間의 間隙等으로 分布交通量의 個個가 一律的인 因子라 볼 수 없는 것은 事實이나 좀더 具體的으로 그 要因을 制御工學의 解析方法으로써 分析하여 이들을 各各 外亂들로 看做하고 나아가 合成外亂을 入力과 出力의 差인 誤差로 看做했다. 外亂은 時間의 函數이므로 첫째 環境條件으로써 道路의 狀態 및 氣候, 둘째 車輛自體의 構造 및 性能으로부터 오는것. 셋째 運轉者(人間)의 精神의 身體的條件等으로 區分하여 檢討하고 本論文은 既存環境條件을 最大로 活用하는 見地에서 첫째의 경우를 一定하다고 보고, 다만 車와 運轉者에 對한것만 要因으로 取하였다. 安定化 對策으로써 誤差要素別 最少化를 試圖했으며, 그 結果 迅速最適制御周期設定을 爲한 方案이 具體的으로 提示되었고, 主로 外亂의 要因을 除去하므로써 最適制御가 可能케됨을 立證해주고 있다.

Abstract

The most important thing in locating disturbances in optimal rapid traffic signal control is to collect information concerning traffic flow by means of a detection method.

In order to set up an optimal traffic signal period, the analysis of a delay time phenomena in the signal period must also be considered. In fact, each of the distributed traffic quantities on the road are not similar factors in view of speeds and distances of succeeding cars. The causing factors are analyzed by the method of control engineering analysis, and they are coincident with disturbance. Thus disturbances cause errors.

Disturbances are functions of time, and are classified into three conditions; Natural road state and weather are the first. The second is structures and function of vehicles, and the third is induced by drivers.

This thesis deals with the last two cases except the first one for maximum utilization of the existing road state and weather conditions. The first condition remains constant, and then there exist some relations between vehicles and drivers.

In the long run, it can be shown that the scheme for minimizing whole errors in the optimal traffic signal time setting is definitely presented.

* 서울工大 電氣工學科

** 檀國大工大

1. 서 론

超音波法, 環狀線輪法, 펄스법(Pulse method), 마이크로파 FM-CW法⁴⁾ 등 어느 檢知方法에 依하든지 間に 交通流에 關한 情報收集이 先行되어야겠고, 이에 依據하여 正常定周期制御 或은 戰術制御(非定周期) 方式¹⁾이든 間に 그 制御에 있어서 信號燈의 最適周期設定이 重要的 것이다. 여기서 가장 問題視되는 것은 信號周期間에 介在하는 發進遲延^{1,2)} (time delay) 現象이다. 路線上에서 車의 速度別, 앞뒤 車間의 間隙等으로 分布交通量의 個個가 一律의인 因子라 볼 수 없기 때문에 全然 避치는 못한다. 그러므로 制御工學的 解析을 通하여 이 要因을 外亂(Disturbance)으로 보고 細密히 分析하고, 또 數值解析上 이들을 다시 綜合誤差(Error)로 놓았다. 外亂은 時間函數이므로 먼저 速度를 分類檢討하였다. 다만 速度解析에 있어서 環境條件으로서 道路의 狀態 및 氣候, 車輛自體의 構造 및 性能, 運轉者等에 關해서 分析考察할 수 있으나 本論文은 既存環境條件을 最大로 活用하는 見地에서 이를 一定하다고 看做하고 車와 運轉者를 變數로 展開하였다. 또 安定化對策으로서 分析된 外亂을 考慮하므로써 誤差의 最小化를 試圖했으며, 따라서 實用的 最適制御周期設定에 있어서 理想值에 가까운 結果를 얻을 수 있다.

2. 速度와 外亂

外亂解析은 速度解析을 通하여 可能하다고 보

므로 道路, 車輛, 運轉者別로 區分하여 速度, 外亂의 順으로 論한다.

(a) 道路狀態

道路에서의 一般의 速度解析을 하면, 一定區間內 車輛平均速度는

$$V=Q/N \text{ [m/s]} \dots\dots\dots(1)$$

로 나타내며 여기서 Q 는 交通流量, N 는 交通密度이다. 前後車의 時間差를 D 라 할때

$$Q=Nv=1/D \text{ [臺/s]} \dots\dots\dots(2)$$

이 된다. 道路狀態는 空間에서 任意의 어느 한點을 基準으로 3次元配置로 解析하면 直線 및 曲線狀으로 되어 있다. 여기서는 다만 後者에 關해서만 前述한 基準點을 中心으로 平面道路의 見地에서 左, 右 그리고 道路面의 狀態에서 上, 下移動別로 分析하는데 이중 그림 1은 平面道路의 左右移動만을 考慮할 경우이다. 道路曲率 η_0 의 程度에 따라 나타나는 變位의 狀態變數 $\Delta s_1, \Delta s_2, \Delta s_3$ 등은 速度를 v 라 할때,

$$\alpha = \int \eta_0 v dt, \quad \beta = k \int \eta v dt \dots\dots\dots(3)$$

$$\Delta s_1 = \frac{1}{k} \int v \sin \alpha dt, \quad \Delta s_2 = (\Delta s_1 - \Delta s_3) \sin \alpha$$

$$\Delta s_3 = \frac{1}{\eta_0} (1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots(4)$$

(단. 여기서 η 는 Handle 操向角, k 는 曲率과 的 變換定數).

이는 道路狀態가 速度의 係數로써 큰 比重을 차지한다는 事實을 立證해 주고 있다. 다음에 曲狀道路와 車의 關係를 보면, Scalar 函數 $\rho(x, y, z)$ 는 曲狀道路函數로써 空間領域 R 內에서 一價連

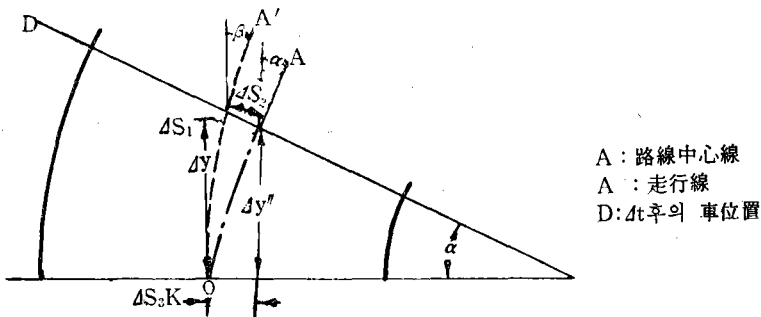


그림 1. 同一等高線上에서의 曲線道路
Fig. 1. A Curved Road on the Contour Line

續函數일 때 이 領域內의 空限曲線 C 를 따라서 點 P 에서 Q 까지 $\nabla\rho$ 의 線積分을 求하면 다음과 같다.

$$\nabla\rho \cdot ds = -\frac{\partial\rho}{\partial x}dx + \frac{\partial\rho}{\partial y}dy + \frac{\partial\rho}{\partial z}dz = d\rho \dots\dots(5)$$

(단, $ds = i dx + j dy + k dz$)

$$\therefore \int_P^Q \nabla\rho \cdot ds = \int_P^Q d\rho = \rho(Q) - \rho(P) \dots\dots(6)$$

即 ρ 가 空間에 있는 領域 R 內 一價連續函數일 때 $\int_P^Q \nabla\rho \cdot ds$ 는 P 와 Q 를 잇는 經路 C 에는 無關하다. 그러나 $\phi \cdot \nabla\rho \cdot ds = 0$ 를 가상하고 이때 最小의 領域 R 에 車가 位置한다고 본다. 따라서 移動車輛이 어떤 曲面上에 놓이고 이한車輛이 占有한 曲面을 領域 R 라 가정하여,

$$R \epsilon \rho \dots\dots(7)$$

로 놓고, 微少面積 ds 의 各平面에 對한 正射影軌跡을 取하여 表示하면 다음과 같다.

$$\rho(x, y, z) = i\rho_x + j\rho_y + k\rho_z \dots\dots(8)$$

여기서 車輛이 一定速度로 移動하는 狀態表示方式은 다음과 같다. 即

$i \cdot \rho(x, y, z) = \rho_x$ 는 車의 走行方向으로의 屈曲 狀態로써 $\pm\rho_x$ 는 左右移動

$i \cdot \rho(x, y, z) = \rho_y$ 는 上, 下向移動 $k \cdot \rho(x, y, z) = \rho_z$ 는 道路面의 起伏狀態로써 $\pm\rho_z$ 는 高低를 뜻한다 走行方向으로의 道路의 屈曲, 路面의 起伏狀態를 同時에 共有하는 領域 R 에 있어서 車輛의 位置에 關하여 Green⁵⁾의 定理를 適用할 수 있다.

$\rho(x, y, z)$ 및 $\phi(x, y, z)$ 는 閉曲面 s 또는 領域 R 內部에서 다음과 같이 表示된다. (式 9, 10참고) 단, n 는 閉曲面 s 上 任意의 點의 外向法線이다. $\frac{\partial\rho}{\partial n}$ 는 法線方向으로의 ρ, ϕ 의 方向微分係數이다.

$$\int_R (\phi \nabla^2 \rho + \nabla\phi \cdot \nabla\rho) dR = \int_s \phi \frac{\partial\rho}{\partial n} ds \dots\dots(9)$$

$$\int_R (\phi \nabla^2 \rho - \rho \nabla^2 \phi) dR = \int_s (\phi \frac{\partial\rho}{\partial n} - \rho \frac{\partial\phi}{\partial n}) ds \dots\dots(10)$$

이 以外에 球座標式解析으로 表示하여도 마찬가지이다.

다음 車輛, 人間(運轉者), 道路別 速度의 函數를 分析해보면;

- ① 車輛自體의 速度 :

$$J_2(t) = f(r(t), c(t), m(t)) \dots\dots(11)$$

r 는 車의 構造, C 는 氣候, m 는 傳達機能.

- ② 人間의 速度 : $J_1(t) = f(O(t), N(t)) \dots\dots(12)$

O 는 五官, N 는 腦의 機能

- ③ 道路狀態에 따르는 速度 :

$$J_3(t) = f(\rho_x(t), \rho_y(t), \rho_z(t)) \dots\dots(13)$$

따라서 車輛速度의 一般式 :

$$v = g(J_1, J_2, J_3) \dots\dots(14)$$

여기서는 既存道路를 最大限 活用하는 方案을 搜索하는 故로

$$v = kg(J_1, J_2) |_{J_1-K} \dots\dots(15)$$

가 된다.

(b) 車輛自體의 構造 및 性能

車輛의 直徑 D [m], 回轉數 N [rpm], 後車軸 減速化 γ_R , 傳動效率 γ 인 경우, 走行速度⁶⁾ V 는

$$V = \frac{\pi D N 60}{\gamma \gamma_R \cdot 1000} \text{ [km/h]} \dots\dots(16)$$

環境係數(溫度, 濕度) C , 機關回轉力 T [$T-m$] 車輛의 總重量 W [kg], 傳動抵抗係數 μ , 機關傳動效率 η , 車輛有效半徑 R , 登坂勾配角을 α 라하면, 車輛傳動效率 γ 는 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{WR(\mu + \sin \alpha)}{T \eta \gamma_R C} \dots\dots(17)$$

여기서 μ 는 鋪裝, 非鋪裝別 道路條件에 따라 여러값을 갖는 것이지만 本論文은 既存環境下에서 論하므로 μ, C 는 一定이고 보면, 車輛(新, 老朽別) 自身도 速度決定의 係數로써 特히 老朽車輛은 速度遲延因子이다. 이밖에 車에 따라서 走行速度의 어떤 區間에 걸쳐 驅動力과 走行速度關係를 두가지 경우로 表示하면, 첫째, 變速比를 變化시키지 않을때 機關速度變化對 走行速度變化는

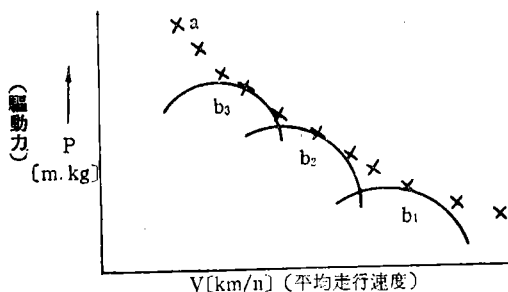


그림 2. 變速機速度特性

Fig. 2. Transmission Speed characteristics

그림 2.a와 같다. 둘째, 速度比가 不連續의 變化 하는 變速機의 경우 그림 2의 b_1, b_2, b_3 와 같다

(C) 運轉者의 條件

人間은 精神과 肉體로 形成되었다고 보면, 大體로 制御工學의 解析을 爲해 다시 腦(Brain)를 中心으로 視, 聽, 臭覺, 壓力, 溫度等의 觸覺과 四肢로 나눌 수 있다. 人間自體의 變位를 $x(t)$ 라 하고, 어떤 入力에 對한 應答⁶⁾ $\theta_{01}(t)$ 는 다음과 같이 表示된다.

$$\theta_{01}(t) = A_1 + A_2 \frac{dx(t)}{dt} + A_3 \frac{d^2x(t)}{dt^2} \dots \dots \dots (18)$$

여기서 係數들은 身體의 形態, 年齡, 筋肉 및 神經組織等에 따라서 決定된다. 이러한 相異程度差가 速度에 影響을 미친다. 앞서 論한 多種의 速度 考察로부터 外亂問題만 誘導해보면, 맨먼저 道路狀態에서 左右 및 高低의 樣相으로 解析된 曲狀道路로부터의 速度에 隨伴되는 加速度分을 外亂으로 看做한다. 그다음에 老朽車輛은 新車輛에 對하여 時遲延을 誘導하므로 外亂이며, 運轉者의 精神의 肉體의 條件에서 時遲延을 招來하므로 이

것도 外亂으로 볼 수 있다. 그러므로 이들 綜合 時遲延現象은 그림 3에 보인바와 같다.

3. 外亂으로 因한 誤差의 解析

人間一車一道路로 全體시스템을 構成하고 各各에 對한 外亂을 $U_1(s), U_2(s), U_3(s)$ 라 하면, 이미 論한바와 같이 $U_3(s)$ 는 一定하다고 본다.

그림 4에서 入力은 目標量으로서 V 라 하고 出力은 制御量 X 라 하여 이 System에 對한 方程式을 다음과같이 쓸수있다.

$$X = \frac{G}{1+G} V + \frac{N}{1+G} U$$

단, $G = G_1 \cdot G_2$ 이고, $U = U_1 + U_2 \dots \dots \dots (19)$
 G_1 을 運轉者에 關한式(傳達要素)이라 할때 이때 運轉者의 利得을 K_1 , 그리고 車에 關한 System式(傳達要素)을 G_2 라 하고 이의 利得을 K_2 라 놓는다. 利得 K_1 은 運轉者의 優劣에 依해서 決定되는 것으로서 例를 들면, 男女, 少老, 健康者와 虛弱者, 熟達者와 未熟者別 등으로 區分됨으로써 運轉者에 따라 各各 그 값이 달라진다. 또한 K_2 의 값도 亦時 車의 種類別, 例로써 貨物車와 乘用車, 大型乘用車와 小型乘用車, 新車와 舊車別 등에 따라 여러값으로 나타난다. 運轉者와 車의 相互關係로부터 入力에 對한 出力間 誤差를 E 라 하면 다음式으로 表示된다.

$$E = V - X \dots \dots \dots (20)$$

이와같이 運轉者에 限한것만의 出力을 H 라 하면,

$$H = K_1 E \dots \dots \dots (21)$$

로서 앞에서 이미 論한 人間에 對한 出力式 (18)은 同一視되는 것으로 (18)式을 라프라스(Laplace)變換하여 다음과같이 쓸수 있다.

$$H = K_1 E = H_{01}(S) \dots \dots \dots (22)$$

車의 驅動力(出力)을 M 라 하면,

$$M = K_2 H \dots \dots \dots (23)$$

따라서 運轉者와 車間에 成立하는 全體出力式은

$$M = K_2 H = K_1 K_2 E \dots \dots \dots (24)$$

이 된다. 이제 外亂문제를 考慮하여 보면, 車의 貫性을 L , 運轉者와 車間의 傳達係數를 R 라 할때 (環境條件을 一定이라 看做함) 外亂은,

$$U = U(L, R) \dots \dots \dots (25)$$

와같은 關係式이 된다. 반동력을 驅動力과 같다고

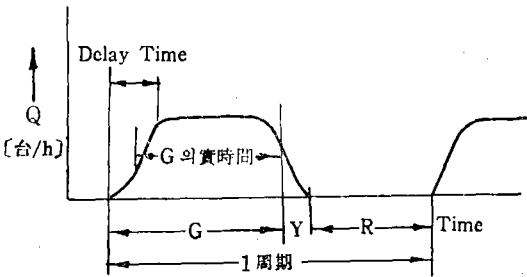


그림 3. 遲延時
Fig. 3. Delay Time

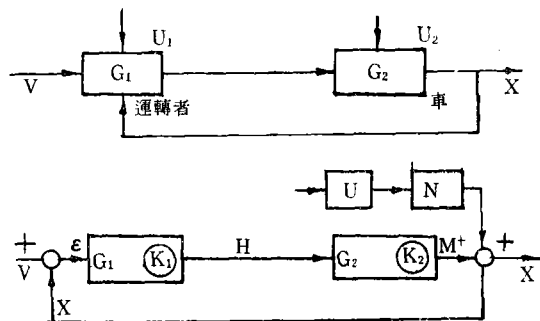


그림 4. 系統의 '블럭' 線圖
Fig. 4. System Block Diagram

보면,

$$L^{-1}[K_2H]_{H=K_1E_s} = L\ddot{v} + R\dot{v} \dots\dots\dots(26)$$

여기서 v, x 는 V 및 X 에 對한 逆‘라프라스’變換이다. 오차량

$$\varepsilon = v - x \dots\dots\dots(27)$$

따라서 (27)식은 前述한 (29)式과 ‘라프라스’變換關係以外에는 같은式이다. 全系統의 微分方程式은 誤差量 또는 出力量으로 다음과 같이 表示된다.

$$L\ddot{\varepsilon} + R\dot{\varepsilon} + K_1K_2\varepsilon = \ddot{v}L + R\dot{v} \dots\dots\dots(28)$$

$$L\ddot{x} + R\dot{x} + K_1K_2x = K_1K_2v \dots\dots\dots(29)$$

다만 誤差에 關한式만 生覺하여 式(28)을 利用한다. 이때 初期條件으로서 $t=(0+)$ 에서 計算한다.

$$\begin{cases} v(0+) = 0, & \dot{v}(0+) = \omega_R \\ \varepsilon(0+) = 0, & \dot{\varepsilon}(0+) = \omega_R \end{cases} \dots\dots\dots(30)$$

이 初期條件((30)式을 式(28)의 各項別 ‘라프라스’變換式에 代入정리하여 다음과같은 式을 求할 수가 있다.

$$E(s) = \frac{(LS^2 + RS) V(S)}{LS^2 + RS + K_1K_2} \dots\dots\dots(31)$$

$$V(S) = \omega_R / S^2 \text{ 이므로}$$

$$\therefore E(S) = \frac{(LS + R)\omega_R}{S(LS^2 + RS + K_1K_2)} \dots\dots\dots(32)$$

誤差의 程度를 把握하기 爲하여 定常誤差인 E_s 만 考慮하면 다음의 結果式을 얻게된다.

$$E_s = \frac{R\omega_R}{K_1K_2} \dots\dots\dots(33)$$

그러므로 E_s 는 $R\omega_R$ 에 比例하고 K_1K_2 에 反比例한다. 앞서 그림 3에서 보면, 迅速制御는 周期를 短縮함에 依해서 可能하므로 여기서 最適制御라함은 交通流의 침체가없는 狀態에서 가장 理想的인 짧은 信號周期라 設定하고 이것을 基準으로 잡고, 이 基準周期에 對한 任意的 周期의 差(Difference)를 E_s 로 본다. 따라서 信號周期를 T 라 하면,

$$T\alpha E_s \dots\dots\dots(34)$$

인것으로 誤差가 적을때 가장 理想的인 信號周期에 接近해감으로 最適이 되는것이다. 따라서 最終綜合結果는 發進遲延時間도 最小가된다.

4. 결 론

情報收集을 爲하여 마이크로 波-FM-CW 檢知方式을 擇하였고, 信號燈制御 實時間設定을 爲한 交通量 迅速制御를 試圖했을때 外亂은 時間의 函數이고 全시스템 構成에서 各시스템別로 外亂을 考慮했으나 다만 運轉者와 車間에 限해서만의 시스템이었다. 速度爲主의 解析을 通하여 볼때 車에 關해서는 (11)式과 (16)式, 運轉者의 경우는 (12)式과 (18)式을 各各 同一視하였다. 信號의 最適周期設定을 爲해서는 外亂을 最小로하면 되는것으로 結果式은 運轉者와 車의 各 利得을 크게하므로써 可能함을 보여준故로 노련하고 優秀한 運轉者, 最新型의 車에 依해서 K_1 및 K_2 를 크게하여 E_s 를 最小로 할수있다. 다만 이때에 傳達係數 R 및 入力이 時間에 無關하게 一定하다. 故로 最小의 E_s 가 얻어질때에 發進遲延時間이 最小가되고 同時에 最適信號周期가 設定되어 迅速한 信號燈制御를 할수가 있다.

참 고 문 헌

- (1) 尾崎省太郎, 交通信號制御工學, Vol. 9, No. 3, 1965, pp. 113/120
- (2) F.V. Webster, Traffic Signal Settings, Road Research Technical paper, No. 39, 1958.
- (3) 崑山重信, 自動車工學, 理工學社, 東京, 1969, pp. 3~8/4~14
- (4) 梁興錫, 金浩允, 交通信號의 自動最適點制御를 爲한 마이크로波-FM-CW檢知系統에 關한 研究, 大韓電氣學會誌, Vol.22, No. 1. 1973.
- (5) F.B. Hildbrand, Advanced Calculus for Applications, Prentice-Hall, Inc, p. 293, 1962
- (6) 中路幸謙, 小畑耕郎, 醫學と 電子工學, OH M, 48卷, 第2號, pp. 53/57, 1962.