

□ 論 文 □

過飽和交通狀態에서의 SPLIT COORDINATION信號制御戰略

Green-Split Coordination Strategy in Oversaturated
Signal System

李 光 勳

(서울市政廳研究院)

目	次
I. 序言	IV. 시뮬레이션에 의한 split coordination制御의 평가
II. split coordination制御의 概念	V. split coordination制御機能의 考察
III. Feedback 制御과 파라메타와 검지기의 要件	VI. 結論 및 課題

ABSTRACT

The subject this paper is the signal control strategy under oversaturated conditions. The nature of traffic control for oversaturation is essentially different from the standard control modes. While under non-saturated situation traffic control is needed for the sake of safety and efficiency, the throughput is essential under oversaturated conditions. Therefore both objective and strategies differ. For an oversaturated stream the cycle time and the signal offset are thought to be of rather secondary importance. For this case the green split may well be the most important control variable to serve the excessive demand. Up to now, however, most efforts have concentrated on the strategy with the concept which lies just on the extension of Webster's.

"Green-split Coordination Strategy for Over-Saturated Networks", presents newly contrived three types of strategies named Forward-coordination, Backward-coordination and Network-coordination respectively and describes the algorithms with the evaluations.

The forward coordination strategy treats the forward wave of flow between two signals. The aim is to prevent the outbreak of queue due to the accumulation of temporary excess of demand in near-saturation or saturation flow.

The backward coordination strategy treats the backward wave of flow between two signals. The goal is to prevent the waste of green time caused by the exit block at the upstream signal. for this

purpose a feedback regulation is provided of the upstream green-split so that the inflow-outflow balance is kept zero. The resultant surplus of green time is allotted to other signal stages. Also here the examination is made of the appropriate value of the feedback control parameter.

The network coordination strategy is operated to maximize the network throughput in a specific direction applying a bang-bang control at the bottleneck intersection. This is a type of intervenient control for policy reasons.

For this strategy the green-split coordinations, particularly the backward coordination, are essential as the tactical elements.

In order to evaluate the proposed strategies those are compared with the latest existing strategy called saturation-degree-ratio control by the simulation experiments in an assumed 4×4 grid network.

The results are satisfactory showing a 10--15% reduction in delays and a 15% increase in network capacity.

I. 序論

過飽和交通流 상태에서의 信號制御目標은 크게 두가지로 그 하나는 停滯始作時點을 가능한한 遲延시키는 것과, 또 하나는 待機行列의 신장으로 인해 상류부교차로에서 발생하는 spillback(교차로내 막힘현상)으로 인한 진행방향의 綠色信號時間損失이라는 2차 장애의 방지이며, 더 나아가서는 네트워크 총출력의 최대화에 제어목표를 들 수 있다.

기존의 신호제어방법의 대부분은 非飽和交通流을 전제로 한 것으로 논리적인 면에서 과포화상태에 그대로 적용될 수는 없다. 또 기존에 발표된 몇편의 過飽和制御方法 研究도 이론에 너무 치우친 나머지 실제로 적용하는 데에는 한계가 있다.

이론적으로는 Gazis(1964)에 의해 중요(critical)교차로의 현시문제를 bang bang 制御原理를 적용하여 총지체의 최소화를 추구한 시도가 있었다. 또 이 방법을 Linear programming에 의해 구하는 방법도 d'Ans Gazis(1976), Church

Revelle(1978)에 의해 제시되어졌다. 그렇지만 이들 방법은 需要(Demand) 函數를 이미 알고 있다는 전제하에서의 해법으로 직접 실용화된 예는 없다.

과포화를 피할 수 없는 경우에 상류 중요교차로에서의 정체의 파급을 지체시킬 목적의 제어이론이 Gordon(1969), Longley(1968)에 의해 제안되었다. Longley의 예를 보면 주종도로의 대기행렬길이를 각 도로 상류의 중요교차로까지의 길이에 비례시켜 Split(신호주기중 녹색 신호시간이 차지하는 비율)를 제어하고 있다. 이를 위해 特定行列길이比의 희망치와의 편차를 0으로 유지하는 것을 목적으로 하는 sample值制體系를 제안하고 있다. 過飽和狀態制御에서는 이러한 cycle-base의 sample值制御가 효과적이라 하겠다.

Michalopoulos(1978)는 neck교차로의 off-line 제어이론을 전개하면서 한편으로는 그개념을 근사적으로 실현하는 適應(Adapted)制御手法를 제안하고 있다. micro-processor의 발달은 이것을 가능하게 하였으며, 실제로 적용된 예가 일본의 ATICS모델이라 하겠다.

이상의 기존 연구결과를 토대로 본 논문에서는 네트워크의 split coordination라고 하는 개념에 입각한 信號制御方法에 대하여 시뮬레이션 실험 결과를 제시하면서 논하고자 한다.

II. split coordination制御의 概念

1. split coordination의 概念

過飽和 信號制御方法에 있어서 가장 중요한 제어 파라미터는 split이다. 일반적으로 현시에 대해서는 교차로별로 독립적으로 결정되어 진다. 그러나 과포화로 인해 정체가 발생되면, 대기행렬이 항상 링크를 꽉 메우고 있으므로, 하류 교차로의 녹색시간길이에 의거 빠져나간 교통량 만큼만 상류 교차로로부터 유입될 수 있다. 이러한 관점에서 과포화신호제어에 있어 split는 신호주기(cycle)와 오프셋(offset)과 마찬가지로 인접되는 信號와 連繫(coordination)되어야 한다고 판단된다.

이를 위해 본 연구에서는, Forward Coordination, Backward Coordination 및 Network Coordination이라고 하는 3종류의 split連繫制御方法을 다루도록 한다. (그림 1)은 이하 설명할 split coordination制御의 概念을 설명하기 위한 구성을 나타낸 것이다.

Forward Coordination은 交通流의 前向波(Forward shockwave)를 제어대상으로 하여 近飽和狀態나 飽和時의 到着交通流率 변동으로 인한 일시적인 초과수요의 누적으로 인한 정체발생의 방지를 목적으로 하면서, Bottleneck 교차로에서의 유입량과 유출량의 균형을 제어목적으로 하는 이른바 Bottleneck 교차로(하류교차로)의 녹색신호시간을 Feedback 제어함을 기본적 목표로 한다.

이 경우에 제어를 주도로, 중도로의 각 유입부에서 독립적으로 하는것은 불가능함으로, 주도로,

중도로의 조작량(녹색신호 시간의 증감량)은 절대값이 똑같음과 동시에 플러스, 마이너스가 상반된다고 하는 조건이 부여되어진다. 이것을 만족하는 比例制御(조작량을 목표치와 제어량의 차에 비례시키는 feedback제어)를 행한다고 할때, 목표치 혹은 제어량에 주도로, 중도로의 각 critical 유입부의 누적 대기행렬 대수의 평균치를 고려해야될 필요가 있다.

이를 위해 본 논문에서는 주도로 유입부의 累積待機行列臺數 M_i 와 중도로 유입부의 累積待機行列臺數 M_j 와의 평균치를 M 이라고 하고, M_i/M 혹은 M_j/M 을 제어량으로, 또 그 목표치를 1.0으로 하는 방법을 취하였다.

그 알고리즘은 식(1)과 같다.

$$G_i(t+1) = G_i(t) + b \times \left\{ \frac{2M_i(t)}{M_i(t) + M_j(t)} - 1 \right\} \dots\dots\dots (1)$$

여기서

b : forward 제어 파라미터(비례제어의 gain 파라미터)

$M_i(t)$: 유입부 i 의 신호주기 t 에서의 누적 대기행렬 대수 = $\sum_t \left\{ D_{it}(t) - S_i \times G_i(t) \right\}$

Backward Coordination은 交通流의 後向波(Backward shockwave)를 제어대상으로 하여, 過飽和狀態에서 상류교차로에서의 Spillback 방지를 목적으로 한다. 제어는 유출량과 유입량의 균형을 목표로 하면서 상류교차로의 綠色信號時間을 feedback제어하며, 그 결과 생기는 여분의 녹색신호시간을 교차도로측의 현시에 배분하는 방법을 취한다.

Backward Coordination제어는, 대기행렬이 그림 1에서의 검지기2에 도달된 시점에서 시작되어진다. 따라서 이 경우에 검지기 2에서 측정된 교통량은 하류교차로에서의 交通容量變化를 反映하고 있다.

제어는 검지기 1에서 측정된 交通流量과 검지기 2에서 측정된 유량과의 차로 인해 발생하는

累積存在臺數가 항상 0을 유지할 수 있도록(유입량을 하류교차로의 용량변동에 따라 조절한다)상류교차로의 G_{i+1} 의 feedback제어를 싸이클 배이스로 한다.

또, G_{i+1} 의 급격한 변동을 막기 위하여, 조절메이스가 되는 綠色信號時間의 값은 指數平滑法을 적용한다.

알고리즘은 식(2)와 같다.

$$G_{i+1}(t+1) = \alpha \times G_{i+1}(t) + (1-\alpha) \times G_{i+1}(t-1) - k \times N_i(t) \dots\dots\dots (2)$$

여기서

k : backward 제어 파라메타(비례제어의 gain 파라메타)

α : 指數平滑係數($\alpha=0.5$)

$$N_i(t) : \text{누적존재대수(대)} = \sum_t (D_{in}(t) - D_{out}(t))$$

단, $N_i(t) < 0$ 인 경우는 $N_i(t) = 0$

Network Coordination은 정체의 발생원이 되고 있는 교차로를 대상으로, 주도로, 종도로 어느 쪽엔가에 녹색신호를 최대로 부여함으로써, 정체네트워크의 특정 방향 출력최대화를 도모하는 것으로, 정책적 개입제어를 목적으로 한다.

이 경우, 앞서 언급한 backward 連繫制御는 각각의 교차로에서 spillback으로 인한 綠色信號時間의 손실을 방지하는 역할을 함으로서 네트워크 내부로부터 외부의 각 출력 링크에로의 최대한 입력을 시키는 작용을 하게 됨으로 Network coordination制御를 위한 전술적 요소로서 각 교차로에서 실시되어야 한다.

또, Network coordination에서는 특별히 정책적인 개입제어를 행하지 않을 경우에 다음과 같은 제어를 bottleneck교차로에서 실행함으로써, 네트워크의 출력 최대화를 도모하게 된다.

즉, 한쪽방향에만 긴대기행렬이 존재할 경우에는 그 방향에 최대 녹색신호를 부여하고, 양쪽방향 모두 대기행렬이 길게 뻗어 있을 경우에는 飽

和交通流率이 높은 쪽에 최대 녹색신호를 부여하는 이른바 Michalopoulos가 주장하는 bang-bang制御를 행한다.

이러한 네트워크의 總出力最大化에 대해서는 앞으로 좀더 연구되어야 될 과제로 본 논문의 마지막 장에서 설명하기로 한다.

이러한 3종류의 split coordination 概念을 도입한 본 연구에서는 그 평가를 위해 그림 2에서 제시하고 있는 제어시스템을 대상으로 하고 있다.

그림 2는 그 대상 네트워크의 구성을 나타내고 있으며, 제어의 기본적 거동을 살펴보기 위하여 각 링크는 한방향만을 취급하고 있다.

입력 링크를 링크번호 1~8, 출력 링크를 링크번호 33~40으로 하고, 8개의 각 노선마다 하류로부터 상류를 향하여 링크번호가 작아지도록 설정되어졌다.

본 논문에서 적용하는 제어시스템을 종합하면 그림 3과 같다.

2. 비교制御評價方法으로서의 飽和度比制御

본 연구의 split coordination制御와 비교하기 위한 기존의 制御方法으로서 日本의 신호통관제 시스템에서 도입하고 있는 飽和度非制御方法을 채택하였다.

여기서 말하는 飽和度라고 함은 교차로 정지선에서의 포화도가 아니라 交通需要를 의미하는 것으로 정지선에서의 流出交通量에 녹색신호시작시점에서의 링크내 待機行列臺數를 더한 개념이다.

이 제어개념은 식(3)과 같다.

$$G_{i+1} = \text{신호주기길이} \times \frac{H_{i+1}}{H_{i+1} + H_{j+2}} \dots\dots\dots (3)$$

여기서

$$H : \text{포화도} = \frac{\text{유출교통량} + \text{대기행렬대수}}{\text{포화교통류율}}$$

Ⅲ. feedback制御 파라메타와 檢知器의 要件

1. feedback제어 파라메타

1) forward 連繫 制御 파라메타

식(1)의 連繫制御 파라메타 'b'를 결정하기 위하여 일정한 飽和交通流率과 단순증가의 流入交通量의 조건하에서 다양한 b값에 대한 시물레이션을 행하였다.

그 결과, b값을 1부터 증가시킨 경우에 5이상에서는 spillback발생시각이 거의 일정 값에 收束하는 것으로부터, b값은 5~10사이가 좋다는 것을 알았다.

그림 4는 값이 1, 5, 10의 경우를 예시한 것으로서 주도로, 종도로의 待機行列의 움직임과 주도로측의 綠色信號時間 움직임을 각각 나타낸 것이다.

또 bottleneck교차로의 飽和交通流率 S_i, S_j 와 流入交通量 D_{i1}, D_{j1} 각각을 일정 레벨로 변동시키면서 forward 連繫制御의 가능성을 시물레이션(b=8)로 검토하였다.

한편 현장에서 실측된 飽和交通流率과 到着交通量의 매신호주기마다 변동의 표준편차는 각각 약 0.04대/초와 약 5대/신호주기였기 때문에 이값을 중심으로 몇개의 케이스에 대하여 시물레이션을 설정하였다.

그림 5는 그중 한 케이스의 결과를 나타낸 것으로 전체제어시간대에 있어서 주, 종도로 모두 상류교차로에서 spillback현상은 일어나지 않았다. 그러나 녹색신호 시간을 제어하지 않은 경우(정주기의 경우)에는 약 28번째 신호주기에서 종도로측에 spillback이 발생하는 결과를 보였다.

한편, 변동이 심한 케이스에 있어서는 綠色信號時間을 forward連繫制御시켜도 spillback이 발생하는 신호주기가 보였다.

이것은 식(1)에서 알수 있듯이 주종도로의 殘

留存在臺數가 많으면 많을수록 feedback制御效果가 감소되는 성질을 갖게 됨으로, 飽和交通流率과 流入交通量의 변동이 주,종도로모두 클수록 그 같은 조건이 발생되기 쉬움에 따른 것이다.

2) Backward 연계제어 파라메타

식(2)의 파라메타 'k'의 검토를 위해 계산 시물레이션을 행하였다.

현장실측결과, 제어대상유입부의 飽和交通流率과 하류측 流出交通量의 매신호 주기 마다의 변동으로 인한 표준편차는 각각 0.03대/초와 5대/신호주기였기 때문에 이 값을 중심으로 몇개의 시물레이션 케이스를 설정했다. 이 경우에 계산에 쓰여진 k값은 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 5.0, 의 7가지 였다.

그림 6은 그중의 한 케이스에 대하여 k=1.0, 1.5, 2.0의 경우의 결과를 예시한 것이다.

그림에서 待機行列 꼬리부분의 움직임 변화를 점지기2의 위치를 기준으로 하여 차량대수로 나타내고 있다.

점지기1과 점지기2사이의 간격은 90m인데 이에 대하여는 뒤에서 설명하기로 한다.

Backward連繫制御에서 추구하는 것은 待機行列의 꼬리가 항상 양 점지기 사이를 유지하도록 하는 것이다.

왜냐하면, 待機行列이 점지기1을 넘으면 流入交通需要計測이 불가능해지며 동시에 spillback현상도 발생하게 됨으로서 제어부족을 의미하고, 또 대기행렬의 꼬리가 점지기2에 도달하지 않으면 流出容量의 計測이 불가능함과 동시에 링크의 유효이용면 측면에서 손실이 크다는 관점에서 제어 과잉을 의미하게 된다.

계산 시물레이션의 결과는, k값이 작을수록 제어 부족을, k값이 클수록 制御過剩의 결과를 보였다.

그림 6에서는 적정한 k값에 대하여 몇개의 케이스를 제시하고 있으나 이 역시 k값의 대소에 따른 차이가 나타나고 있다.

이러한 결과로부터 k값의 바람직한 범위는 1.5~2.0으로 사료된다.

또 k값의 실제최적값에 대해서도 제어계의 定常特性, 安定性, 迅速性이라는 제어목표에 입각한 검토는 좀더 연구되어야 할 것이다.

2. 檢知器의 要件

본 연구에서 제안하고 있는 split coordination 制御方法은 信號周期 베이스의 實時間(real time) 制御로 행하여 진다.

따라서, split결정을 위해서는 매 신호주기마다 필요한 정보를 검지기로부터 입수하지 않으면 안된다.

forward 連繫制御를 위한 流出量計測은 링크하류부의 정지선 부근에서 流入量計測은 링크 상류부 끝부분에서 행해져야 될 필요가 있다.

backward 連繫制御에서는 제어동작을 on, off 시키기 위한 대기행렬포리 위치에 관한 정보는 물론이고 유출량을 계측하기 위한 검지기(그림 1에서 검지기2)와 유입량을 링크 상류부에서 계측하기 위한 검지기(그림 1에서 검지기1)가 필요하다. 특히, 전자의 요건은 중요함으로 이에 대하여 자세히 설명하도록 한다.

검지기2의 위치는 하류교차로의 용량변화가 반영되어지는 위치에 있어야 하며 또한 하류교차로에서 한 신호주기에 빠져나가는 대기행렬 길이보다는 상류에 위치하지 않으면 안된다.

또, 대기행렬을 검출한 신호주기에서 대기행렬이 검지기1까지 신장된 경우에는 제어기능이 상실됨으로 검지기2의 위치는 검지기1의 위치에서 볼 때 신호주기단위의 待機行列伸長量 보다 하류측에 있지 않으면 안된다.

信號周期單位の 待機行列伸長量에 대해서는 Lewis의 시뮬레이션 모델에 의한 시뮬레이션으로 검토를 하였다.

Lewis모델은 마이크로모델로 차량 한대 한대

의 움직임을 취급하는 추종모델(car following model)을 사용하며, 그 판단 기준은 다음과 같다. 앞차가 뒤차보다 빠른 경우는 브레이크 반응시간으로 인한 空走距離에 유효차량길이를 더하여 最小車頭距離로 하며, 뒷차가 앞차보다 빠른 경우는 감속을 시작하여 앞차와 등속이 될 때까지 필요한 주행거리를 전자의 케이스에 더한 것을 最小車頭距離로 가정하여 1초 scan에서 이동거리를 산출하는 것이다.

이 모델에 의한 飽和交通流率의 特性 및 密度, 速度特性의 妥當性에 대해서 여러 케이스에 대하여 검증을 행하였다.

시뮬레이션은 링크 양단 교차로의 신호주기를 100초로 하여 두 신호의 綠色信號時間의 다양한 조합(상류녹색신호 60~75초, 하류녹색신호 40~45초)과 브레이크 반응시간으로 인한 飽和交通流率이 변동(0.48~0.62대/초)으로 인해 나타나는 流入交通量 1,000~1,200대/시간과 流出交通量 700~1,200/시간의 조합 및 신호 offset 5수준(0~80%)의 각 조건에 대하여 행하여 졌다.

시뮬레이션 결과에 따르면 신호주기 단위의 待機行列伸長量의 95% 값은 90m였다. 또 대기행렬 포리가 검지기2에 도달되어 있을 경우의 占有率(occupancy)은 검지기2와 하류교차로의 거리에 관계 없이 거의 일정한 특성을 보였다.

이러한 점에서 검지기2의 위치는 링크상류부 끝에서 부터 하류측 90m정도가 바람직 함을 알았다. 다만 하류교차로에서의 한 신호주기 대기행렬 신장길이를 고려한다면 해당 링크의 길이는 적어도 250m 이상이 되어야 한다.

IV. 시뮬레이션에 의한 split coordination 制御의 評價

1. 시뮬레이션 모델 概要

본 연구에서 제안하는 split coordination 制御

方法을 네트워크에 적용, 평가하기 위하여 시뮬레이션을 행하였다. 사용된 시뮬레이션 모델은 日本科學警察研究所에서 개발된 MACSTARN을 모체로하여 지금까지 언급한 제어요소가 기능이 발휘될 수 있도록 별도의 제어시스템을 부가시켰다.

이 모델은 Time scan 방식으로 차의 상태를 주행 아니면 정지의 상태로 취급하고 있다. 이를 위하여 네트워크의 각 링크를 1 scan(2초)에 이동할 수 있는 이동거리에 상응하는 element로 분할하여 분할된 element 각각에 대하여 待機行列狀態에서 수용할 수 있는 車輛容量(저류용량)과 주행상태에서 수용할 수 있는 車輛容量(동차용량)이 정하여 진다.

각 scan에서 바로 앞 element의 용량에 상태에 따라 뒤 element차량의 이동 혹은 정지가 정하여지고 정지상태에 해당되었던 總車輛臺數 scan이 링크 혹은 네트워크의 總遲滯로서 계산되어 진다.

링크간의 이동은 信號顯示, 飽和交通流率(입력값으로 설정) 및 하류링크 제일뒤 끝 element의 存在臺數에 의거 집계되어 진다.

또 element 존재대수가 동차용량 이상인 element중에서 최상류 element의 위치가 대기행렬 꼬리로 간주되어진다.

2. split coordination 制御方法의 評價

평가를 위한 시뮬레이션 케이스는 (표 1)과 같다.

각 케이스 모두 시뮬레이션 시간은 2,000 scan (4,000초)으로, 信號周期는 모두 100초, k값 2.0, b값 0.8로 하였다. 또 각 링크의 길이는 300m로 동일하게 하였다.

流入交通量의 시간변동에 대해서는 여러 케이스를 적용하였으나 여기에서는 표 1에 제시한대로 유입교통을 시작시점부터 2,000까지 계속증가시킨 뒤 4,000초 시점에서 400대/시간까지 일정한 비

율로 감소시킨 경우에 대하여 논하기로 한다.

1) 1臺當 平均 遲滯

표 2는, 각 케이스별 시뮬레이션에 의한 한대당 평균지체를 본 연구에서 채택하고 있는 split coordination 制御方法과 日本의 信號統制시스템에서 채택하고 있는 飽和度比 制御方法 別로 종합한 것이다.

split coordination 制御方法이 飽和度比 制御方法보다 좋은 결과를 나타냄을 알 수 있다.

2) 네트워크 포화링크의 수

split coordination 制御와 飽和度比 制御에 따른 네트워크내의 포화링크수를 매 신호주기마다 조사했다. 여기서 포화링크라 함은 대기행렬꼬리가 링크의 2/3이상 위치까지 도달한 상태를 의미한다.

그림 7은 케이스 1의 예로 split coordination 制御方法이 포화링크수가 적고 또 정체시작의 시점이 늦음은 물론 정체 해소도 빠름을 알 수 있다.

3) 링크별 流出臺數와 綠色信號時間 利用率

split coordination 制御와 飽和度比 制御의 차이를 좀 더 상세히 조사하기 위하여 링크별로 流出臺數와 그때의 綠色信號時間 利用率(累積流出臺數/(飽和交通流率 * 累積綠色信號時間))을 구했다.

이경우 시뮬레이션 초기의 filltime과 流入交通量의 변동을 고려하여, 안정된 과포화상태가 지속되는 1,000초부터 2,000초까지의 출력을 이용하였다.

그림 8, 9는 케이스1의 링크별 流出臺數와 綠色信號時間 利用率을 飽和度比 制御와 비교한 것이다. split coordination 制御方法에서 流出臺數는 평균 228대로 飽和度比 制御의 204대를 상회하고 있다.

또 split coordination 制御에서의 綠色信號時間 利用率도 90.6%로 飽和度比 制御의 평균 79%를 역시 상회하고 있다.

4) 네트워크 方向別 流出臺數

2장에서 설명하였지만 한개의 bottleneck교차로를 중심으로 퍼져있는 정체지역의 각 교차로에서 backward coordination제어가 행해짐으로서, 각 교차로의 신호는 유기적인 연계작용을 하게 된다.

따라서 bottleneck교차로에서, 예를 들면 남북방향 綠色信號時間의 증가는 거의 모든 동서방향 링크의 綠色信號時間 감소현상을 유발시키고 더 나가 거의 모든 남북방향 링크의 녹색신호시간 증가로 이어지게 된다.

이러한 논리에 의거하여 특정방향의 出力最大化制御의 가능성을 확인하기 위하여 bottleneck 교차로의 링크번호 32 녹색신호시간(G_{32})을 최대(70초)로한 시뮬레이션을 행하였다.

그림 10은 G_{32} 에 最大綠色信號時間을 부여하여 남북방향유출대수의 최대화를 시도한 경우의 split coordination制御方法과 飽和度比制御方法에서의 링크별 유출대수를 나타낸 것이다. split coordination制御의 결과를 보면 링크 33, 34, 35, 36 즉 북쪽방향이 약 25% 더 많이 유출되고 있음을 알 수 있다.

또, 동쪽방면 유출대수도 飽和度比制御보다 좋은 결과를 보여, split coordination制御方法에서는 bottleneck 교차로에서 綠色信號時間을 특정방향에 부여하는 政策的介入制御에 의거 타방향 처리능력을 유지하면서도 특정방향의 처리능력을 약 25% 향상시킬수 있다는 결론에 이른다.

링크 37의 출력저하는 이 제어목적에 따라 녹색신호시간을 최소로 한 것에 의한 것이다.

V. split coordination制御機能의 考察

forward 連繫制御가 bottleneck 교차로만을 대상으로 하는 것에 반하여 backward 連繫制御는 bottleneck 교차를 제외한 모든 교차로를 대상으로 한다.

따라서 본 연구에서 제안하고 있는 split coordination制御方法의 제어효과 대부분은 backward 連繫制御에 의한 것이다.

그림 11은 split coordination制御의 制御效果를 더욱 상세히 알아보기 위하여 네트워크 바깥 쪽으로의 유출대수를 split coordination制御方法과 飽和度比制御方法을 비교한 것이다. 양쪽방향 모두 飽和度比制御보다 좋은 결과를 나타냈다. 여기서 북쪽방향 유출대수를 예로 backward 連繫制御의 효과를 조사하면 다음과 같다.

그림 12는 링크 1, 9, 10과 각각 직교하는 링크 14, 20, 26의 平均綠色信號時間과 그때의 平均綠色信號時間 利用率을 나타낸 것이다.

서로 교차되는 링크의 綠色信號時間 利用率 합계를 보면 split coordination制御方法이 약 10% 높고, 이것은 링크 1, 9, 10의 綠色信號時間 利用率의 향상에 의한 것임을 알 수 있다.

하지만 링크 1, 9, 10의 綠色信號時間은 split coordination制御쪽이 짧다는 것으로부터 이러한 綠色信號時間 利用率의 전체적인 향상은 링크 1, 9, 10의 spillback으로 인하여 사용되어지지 못하는 綠色信號時間을 배제한 것에 의한 것임을 의미하고 있다.

배제되어서 사용되어지지 못한 綠色信號時間의 여분이 교차하는 링크 14, 20, 26에 부여되어진다는 것은 링크 14, 20, 26의 綠色信號時間이 split coordination制御方法에서 飽和度比制御方法보다 약 15초정도 길다는 것으로부터 확인할 수 있다.

그리고 이들 링크들은 어느것이나 네트워크의 출력링크와 연결되어 지는 링크이다. 더우기 그림 13에서 제시하는 시뮬레이션 출력결과는 Hang-up회수로 spillback현상으로 차량이 앞쪽 링크로 진행하지 못한 회수를 나타내고 있다.

MACSTRAN에서는 Hang-up의 원인별 회수를 출력데이터로 제시하고 있다.

split coordination制御方法에서 링크 1, 9, 10

에서의 spillback에 의한 Hang-up회수는 飽和度比制御方法의 약 20% 정도에 지나지 않는다.

VI. 結論 및 課題

1. 制御方法의 評價

본 연구에서는, 過飽和狀態의 네트워크에서 隣接信號間의 split coordination를 시도함으로써, 綠色信號時間의 高度利用을 달성한다고 하는 새로운 제어개념에 의한 시스템을 논하였다.

시뮬레이션에 의한 시스템 평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 過飽和交通流狀態에 있어서 현시의 forward coordination, backward coordination을 중심으로한 split coordination制御方法이 일본의 신호통제시스템에서 채택하고 있는 포화도비제어보다 지체도면에서 약 15% 감소시키는 결과를 보였다.

2) 과포화시의 중요한 평가항목인 네트워크 總流出臺數(productivity)에 대해서도 split coordination制御方法쪽이 飽和度比制御方法보다 최대 15% 정도의 증가를 보였다.

3) 과포화시 정책개입제어의 필요성이 높아지는 가운데, 본연구에 의한 제어시스템에서 네트워크의 특정방향 우선제어를 실행한 결과 과포화 네트워크에서 우선방향 교통처리 능력을 유지하면서도 飽和度比制御보다 약 25% 출력이 높음을 알았다.

4) 다양한 케이스에 대해서 split coordination制御가 우수성을 보였으나 입력조건에 따라서는 약간의 편차를 보였다.

2. 制御方法의 理論的 位相

본 연구의 시스템에서는 하나의 bottleneck 교차로부터 발생한 정체로 인하여 容量(여기서

용량은 변동을 고려함)이 정해져 있는 노선상의 교차로에서의 綠色信號時間 有效配分을 행하여, bottleneck 교차로와 관계없는 방향으로의 처리 능력증대를 노린다고 하는 제어가 기본이 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 네트워크의 總出力最大化를 목적으로 하는 최적화를 목적으로 하는 最適制御를 취급하고 있다고 볼 수는 없다.

그렇지만 본 연구에서 제시하고 있는 split coordination制御의 有用성에 입각하여 다음과 같은 절차에 의거하여 總出力最大化를 생각할 수 있다.

그림 14에서 critical교차로 x를 중심으로 하여 교차로 A, B, P, Q가 과포화상태에 있다고 할 때,

有效綠色信號時間의 信號周期에 대한 비율 λ_1 , λ_2 로 하고, 또 간략화를 위해 손실시간을 고려하지 않는다면 $\lambda_1 + \lambda_2 = 1.0$ 이 된다.

飽和交通流率은 S로 나타내면 이경우 총출력 T는 식(4)와 같이 된다.

$$T = \lambda_{x1}S_{x1} + (1 - \lambda_{a1})S_{a2} + (1 - \lambda_{b1})S_{b2} + (1 - \lambda_{x1})S_{x2} + (1 - \lambda_{p2})S_{p1} + (1 - \lambda_{q2})S_{q1}$$

backward coordination제어에 따라 실현되는 교차로 A, B, P, Q의 현시(split)가 교차로 X의 split와 연계되어지는 성질에 의거, $\lambda_{a1} = K_a \lambda_{x1}$, $\lambda_{b1} = K_b \lambda_{x1} \dots$ 와 같이 어떤 일정한 비례관계가 얻어진다고 한다면 식(4)는 식(5)로 표현 할 수 있다.

$$T = \lambda_{x1}[(S_{x1} + S_{p1}K_p + S_{q1}K_q) - (S_{x2} + S_{a2}K_a + S_{b2}K_b)] + C(S_{x2}, S_{a2}, S_{b2}, S_{p1}, S_{q1}, K_p, K_q) \dots (5)$$

여기서 C : 정수

이것은 식(5) 우측변 제1항의 값이 마이너스(-)나 플러스(+)나에 따라 λ_{x1} 을 최대 혹은 최소로 함으로서 總出力의 最大化가 실현된다는 것을 의미한다.

이와 같은 λ_{x1} 과 네트워크 출력을 연동시키는 가능성은, 본연구에서 제시한 네트워크 특정방향 우선제어가 네트워크의 bottleneck교차로의 λ 제

어에 따라 달성되었다는 점에서 시사되어진다.

3. 향후과제

앞으로 더욱 검토되어야 될 사항은 다음과 같다.

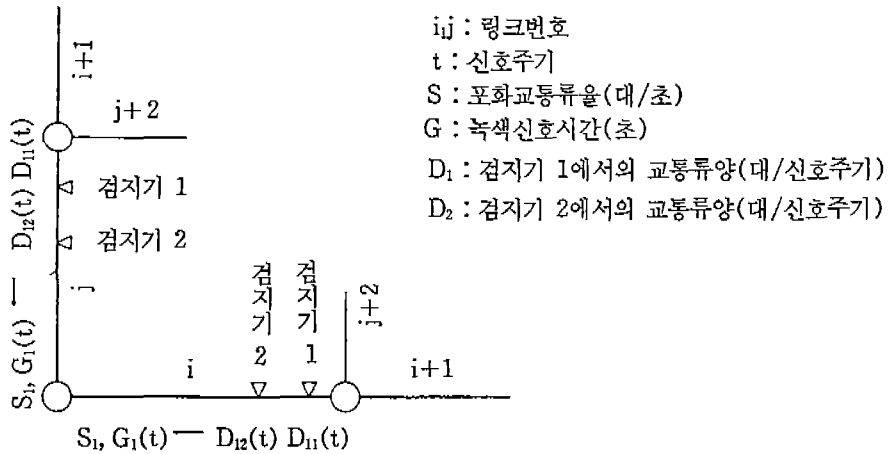
- 1) 제어효과의 편차에 대하여 그 이유를 규명
- 2) 제어의 기본적 움직임을 보기위하여 한 방향의 교통류를 취급하였으나, 좌우회전 교통류, 양방향 교통류라고 하는 실조건으로 확대 검토

3) feedback제어의 파라메타에 대하여 실현상에서의 최적값 및 검지기의 요건에 대하여 실현상을 대상으로한 검토

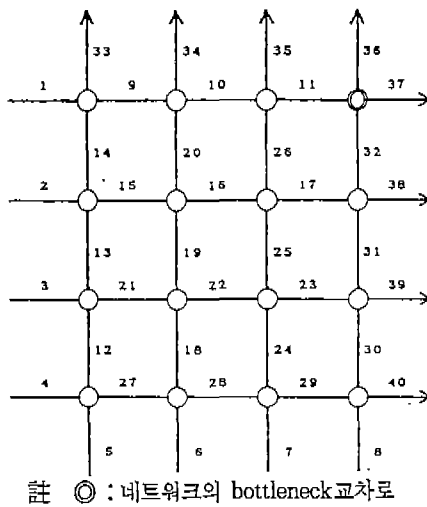
4) backward coordination을 전술제어로 더나가 네트워크 coordination을 전략제어로 하는 제어가능성의 취급

끝으로 본 연구를 지도하여 주신 日本大學 理工學部 教授 이케노우에 케이치로先生과 함께 연구한 同 야스이先生, 후가이 氏에게 감사드린다.

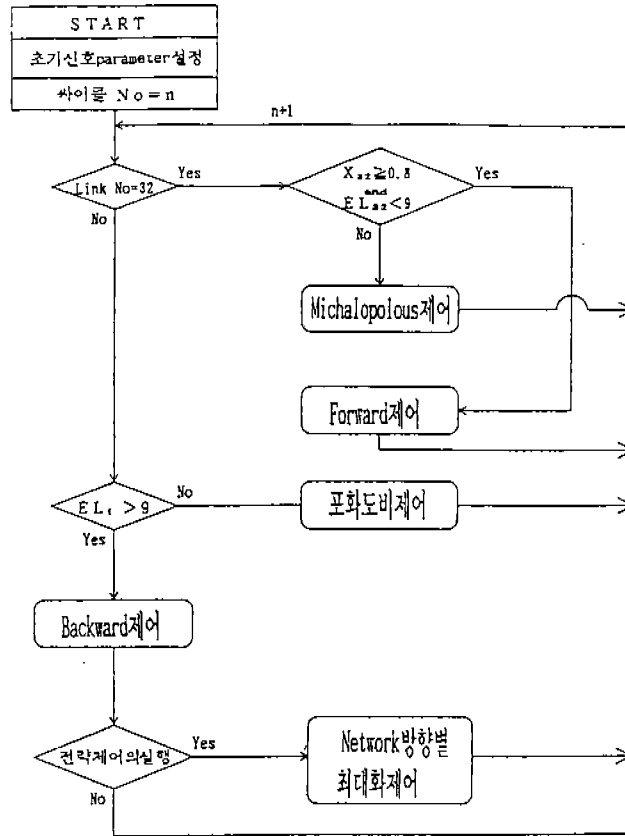
〈그림 1〉 split연계제어 개념의 구성



〈그림 2〉 네트워크 구성과 링크번호

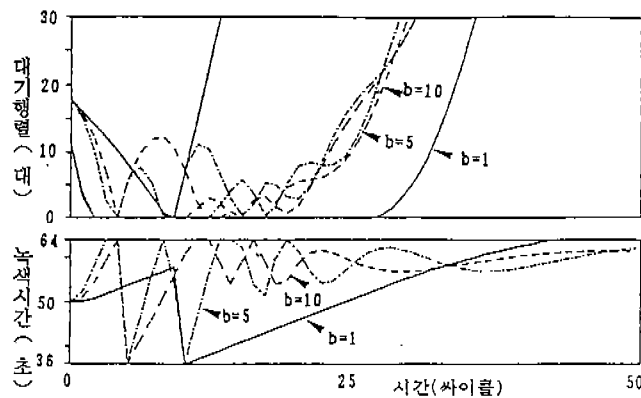


(그림 3) split 연계 제어시스템의 구성

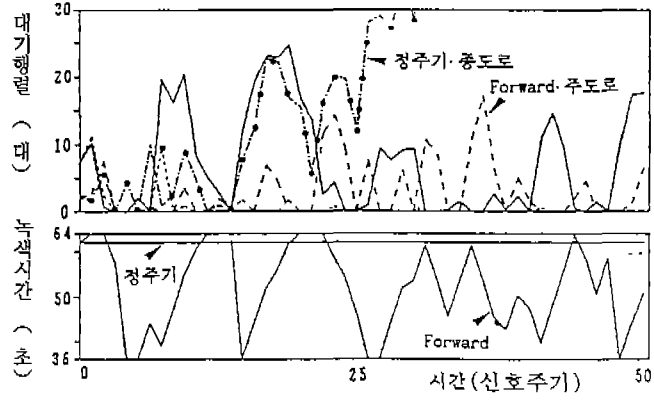


註) EL_i : i 링크의 대기행렬 최후미위치 제어는 1사이클마다 실행
(링크를 구성하는 element번호로 나타냄)
 X_i : i 링크의 포화도

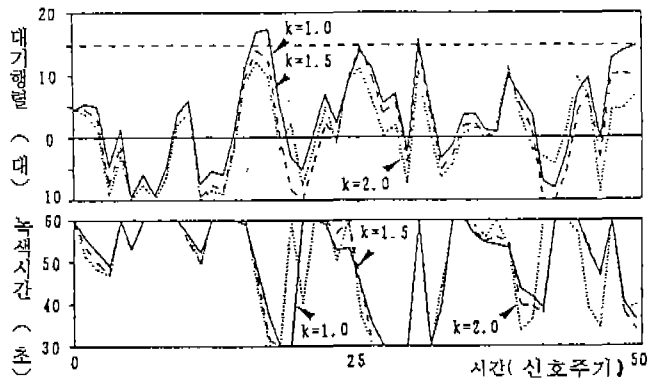
(그림 4) 'b' parameter 평가(유입교통량비 주도로 1, 종도로 0.8)



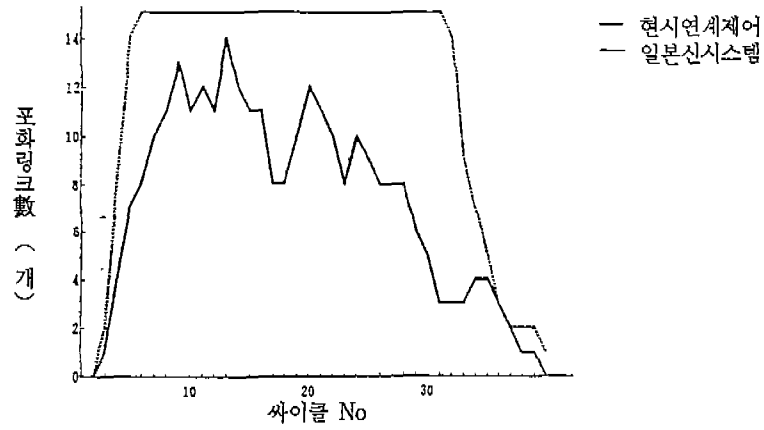
(그림 5) forward 연계제어의 평가



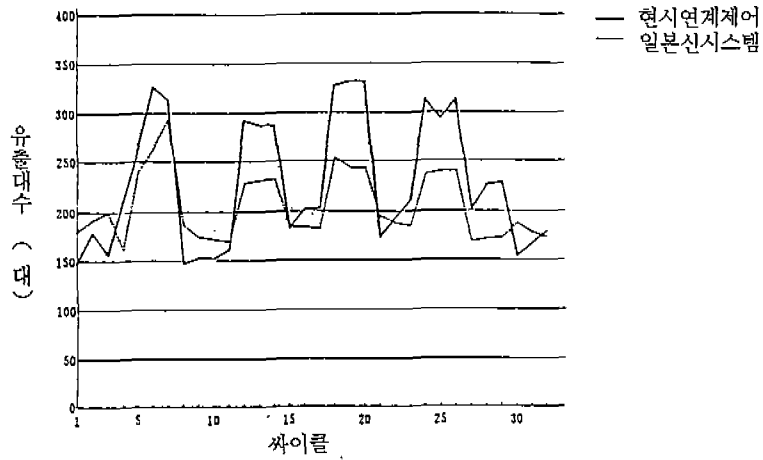
(그림 6) 'k'파라메타의 평가



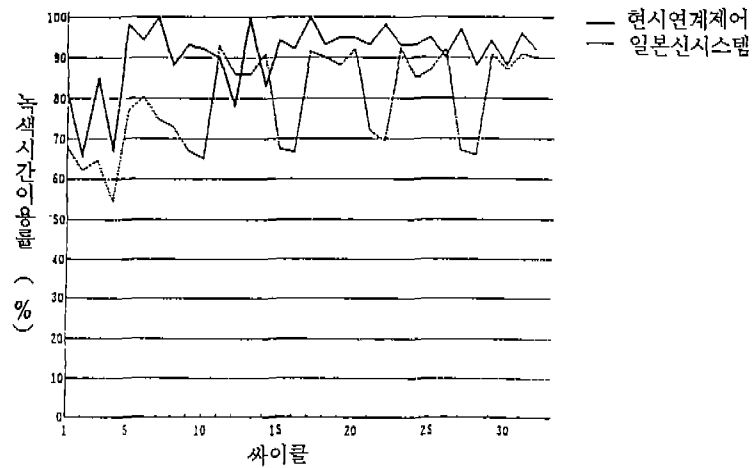
(그림 7) split coordination제어와 일본신시스템의 포화링크수비교(케이스 1)



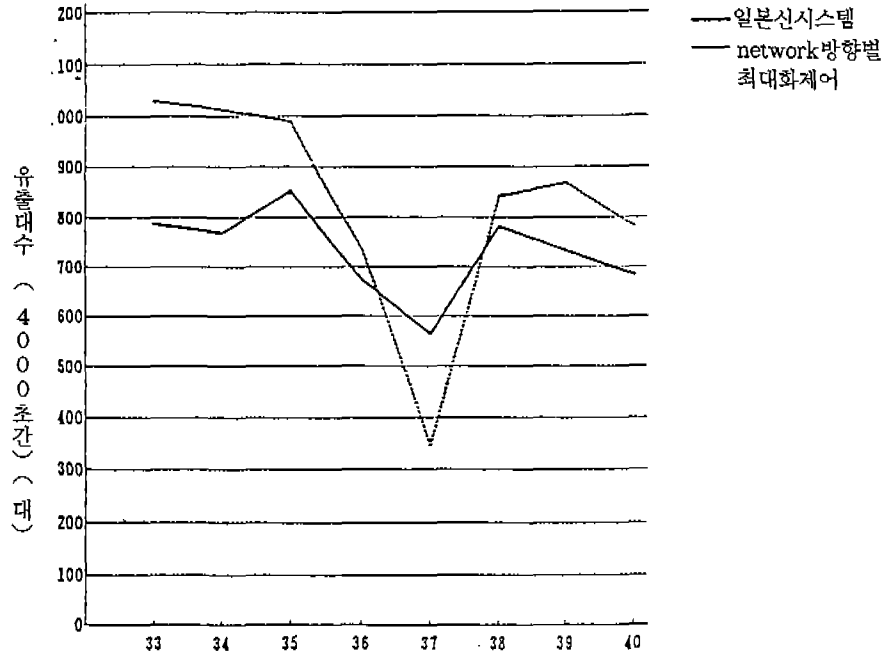
(그림 8) split coordination제어와 일본신시스템의 링크별 유출대수의 비교(케이스 1)



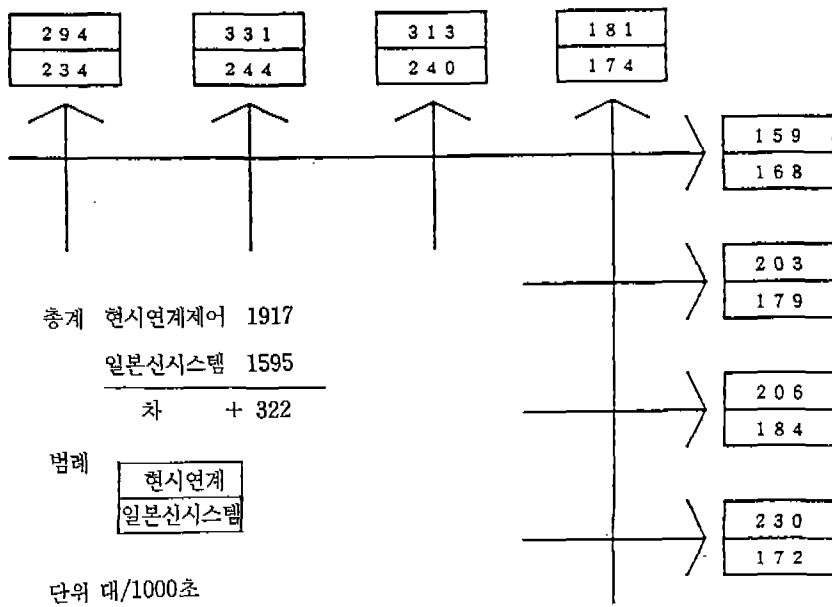
(그림 9) split coordination제어와 일본신시스템의 링크별 녹색신호시간 이용률의 비교(케이스 1)



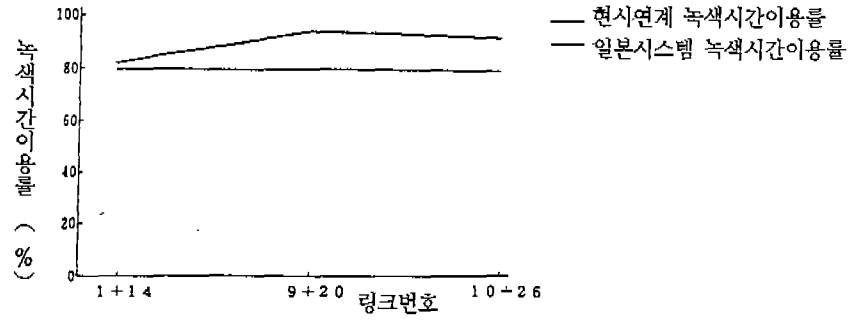
(그림 10) 유출링크별 유출대수



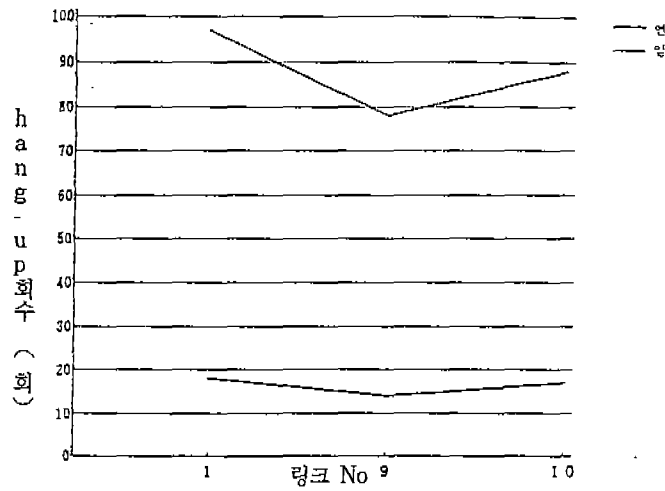
(그림 11) 制御方法별 network 바깥쪽에서의 총 유출대수비교(경우 1)



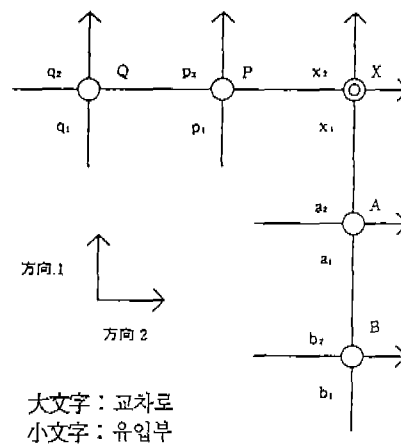
(그림 12) 양방향 링크의 평균녹색시간이용률



(그림 13) 링크 1, 9, 10에서의 hang-up횟수



(그림 14) 과포화 네트워크의 출력계열도



〈표 1〉 시뮬레이션 작업 케이스

단위 : 초/대

Gmin -Gmax (초)	경우	일본신시스템	연시연계제어	차	율(%)
30 70	경우 1	831.3	689.4	-141.9	-17.1
	경우 2	795.9	618.8	-177.1	-22.3
	경우 3	437.0	436.0	-1.0	-0.2
	경우 4	44.5	494.0	+49.5	+11.1
	경우 5	684.9	586.6	-102.3	-14.9
	경우 6	616.0	525.0	-91.0	-14.8
38 62	경우 7	807.6	718.4	-89.2	-11.0
	경우 8	787.1	655.3	-181.8	-16.7
	경우 9	454.8	565.6	+110.8	+24.4
	경우 10	491.2	551.2	+60.0	+12.2
	경우 11	663.6	599.3	-64.3	-9.7
	경우 12	574.4	483.5	-90.9	-15.8

〈표 2〉 시뮬레이션 결과(차량 1대당 지체)

내용 경우	Gmax-Gmin(초)	飽和流率패턴	유입교통량(대/시)
경우 1	70-30	1	1200 ↑ 1200 →
경우 2		2	
경우 3		1	1200 ↑ 800 →
경우 4		2	
경우 5		1	800 ↑ 1200 →
경우 6		2	
경우 7	62-38	1	1200 ↑ 1200 →
경우 8		2	
경우 9		1	1200 ↑ 800 →
경우 10		2	
경우 11		1	800 ↑ 1200 →
경우 12		2	

參考文獻

- 1) Gazis D. C. : Optimal Control of Oversaturated Intersections, Operations Research, Vol. 12, pp. 185-831, 1964
- 2) Church R., Revelle C. : Modelling an Oversaturated Intersections, Transpn Res., Vol. 12, pp. 185-189, 1978
- 3) Michalopoulos P. G., Stephanopoulos P. G. : Oversaturated Signal Systems with Queue Length Constraints - II, Transpn Res., Vol. 11, pp. 423-428, 1977
- 4) Michalopoulos P. G., Stephanopoulos P. G. : Optimal Control of Oversaturated Intersections, Traffic Engineering & Control, 19, pp. 216-221, 1978
- 5) Michalopoulos P. G., Stephanopoulos P. G. : An Algorithm for Real-Time Control of Critical Intersections, Traffic Engineering & Control, 20, pp. 9-15, 1979
- 6) 日本交通管理技術協會 : 自動車交通情報化システムの研究開発(Ⅱ), 1985
- 7) Koshi M. : A New Method of Traffic-Responsive Control of Traffic Signals, Int. Symp. on Traffic Control Systems, 2A, pp. 59-73, 1979
- 8) Ikenoue K., Nakamura K. and Miyasako T. : Experiments with an Adaptive Control Policy for Oversaturated Critical Intersections, Compendium of Technical Papers, ITE 53rd Annual Meeting, pp. 10, 14, 10, 18, 1984
- 9) 斧林義嗣 : 交差点先づまりの制御のための交通流感知について, 日本大學大学院理工學研究科交通土木學專攻修士論文, 1992
- 10) Lewis R. M. : Simulation of Traffic Flow to Obtain Volume Warrants for Intersection Control, Highway Research Record, 15, pp. 489-499, 1963
- 11) 池之上慶一郎 : 街路における自動車交通流の微視的シミュレーション・モデルに関する研究, 學位論文, 1984