

# 에너지 절약을 위한 선두열차群의 구원에 의한 지연회복

## (A Study on the Recovery of Delay Time According to the Relief of Precedent Trains for Energy Savings)

金 良 模\*

(Yang Mo Kim)

### 要 約

열차운행시 발생하는 지연에 대한 회복은 최단시간 운전을 통해 회복수립시간을 단축시키는 것이 일반적이지만 이때의 소비에너지는 최대가 된다. 이러한 최단시간 운전영역에서는 운전시간에 따라 소비에너지는 급격한 감소를 나타내므로 열차의 운전에 극히 적은 시간적 여유를 부여함으로써 커다란 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 열차운행시 발생하는 지연과 그의 증대현상을 모델화 하였고 선두열차群의 抑止에 의한 구원으로 지연을 회복하여 가는 구원패턴을 정식화 하였으며 상기의 소비에너지 특성으로부터 소비에너지가 최소인 구원열차가 존재함을 보였고 이를 단순화한 열차운행모델에 적용하여 계산된 결과를 나타냈다.

### Abstract

The reduction of recovery time for delay, in the train movements, is generally realized through train operations in the shortest running time and it leads to maximum energy consumption. At the region of this shortest running time, the amount of energy consumption is sharply reduced according to the running time. So the effect for the energy savings can be largely obtained by furnishing a little spare time on train operations.

In this paper, it has been modeled the delay and its enlargement phenomena and formulated the relief patterns in order to restore the delay by restraint and relief of precedent trains. Also it has been proved the number of relief trains for minimum energy consumption exists and then represented one example of relief patterns.

### I. 서 론

철도는 열차운행계획에 의해 미리 정해진 시각표 및 차량편성에 따라 운행되는 것으로 타 수송기관에 비해 신뢰도가 높은 수송기관이다. 그러나 한정된 선

로밖에 주행할 수 없다는 특수성 때문에 타 수송기관보다도 열차다이어상에 발생하는 지연에 약하고 이 지연으로 인해 승객이 증가함으로 인해 지연이 더욱 증대하는 지연증대현상이 발생한다. 지연에 대한 대책은 열차다이어의 종류, 지연의 크기에 따라 서로 다른데 지연시간이 클 경우에는 다이어의 일부 변경, 운휴등의 운전정리가 행해지고 지연시간이 작을 경우에는 지연열차 전후의 열차에 지연정보를 기

\*正會員, 忠南大學校 電氣工學科  
(Dept. of Electrical Eng., Chungnam Nat'l Univ.)  
接受日字 : 1988年 1月 29日

초로 한 단축운전시간을 지령하여 열차의 지연의 확대를 막고 있다.

그런데 최근 역업무에 컴퓨터가 도입되어 지식공학에 기초를 둔 Expert 운전정리시스템의 개발<sup>11)</sup> 등 운전정리를 컴퓨터에 의해 행하고자 하는 연구가 진행되고 있고 통근열차운행에 있어서도 지연회복에 대한 연구로서 운행빈도가 낮은 시간대에 자주 사용되는 것으로 적극적으로 열차운행을 다이어에 일치시키도록 하는 다이어운행의 해석,<sup>14)</sup> 운행빈도가 높은 시간대에 사용하는 방법으로 선두열차에 지연시간을 분담시켜 지연의 균일화를 꾀한 시간간격제어에 관한 연구,<sup>15)</sup> 열차의 역정차시간의 여유를 이용, 정차시간을 제어변수로 취급하여 지연회복을 꾀한 연구<sup>15)</sup>도 있다.

그런데 이들 연구의 평가로 사용된 것은 어느것이 나 지연과 직접적인 관계가 있는 회복수령시간, 승강객의 이동소요시간등으로 이들의 최단화 및 최소화를 꾀하고 있다. 이러한 목적을 위하여는 모든 열차는 운전가능 최단시간으로 운전되므로 그에 따른 소비에너지는 극대가 된다. 그러나 최단운전시간 근방에서는 운전시간의 시간적 변화에 대한 소비에너지의 변화는 급준한 감소를 나타내고 있으며 이러한 특성으로부터 모든 열차를 최단운전시간으로 달리게 할 필요 없이 지극히 적은 시간적 여유를 준다면 시간적인 약간의 고려에 의해 보다 커다란 에너지절약 효과를 얻을 수 있다.

본 논문은 먼저 운행상의 지연을 선두열차의 구원에 의해 회복하는 경우의 특성을 정식화한 후 지연증대현상과 회복특성으로부터 소비에너지가 최소인 구원패턴을 구하는데 구원열차의 운전시간 단축패턴을 2변수 함수로 단순화하고 소비에너지가 최소로 되는 두개의 변수값을 몬테칼로법에 의해 구함으로써 각 구원열차의 단축운전시간을 구하고 이로부터 구원열차수에 따른 소비에너지의 변화를 구하기로 한다.

## II. 지연열차의 구원과 소비에너지

### 1. 지연증가율

그림1(a)는 지연증대현상을 나타낸 개략도로 어떤 열차(예를 들어 m열차라 부름)가 어떤 역에서  $\delta_0$  만큼 정상다이어로부터 지연되어 출발되었다고 하면 그 다음 역에서는  $\delta_1$ , 둘째 역에서는  $\delta_2$  ( $\delta_2 > \delta_1 > \delta_0$ )가 되어 지연시간이 점점 증가되고 있음을 보이고 있다. 이 다이어개략도를 다이어로부터의 지연만을 나타내 다시 그리면 그림1(b)와 같이 나타낼 수 있는

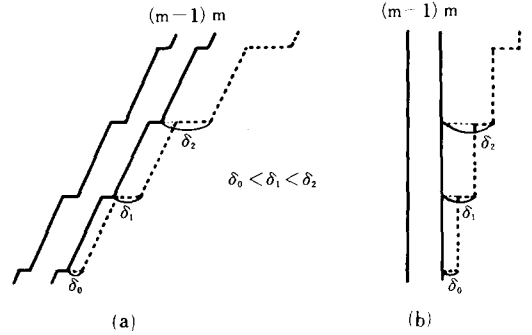


그림 1. 지연증대현상을 나타내는 개략도  
Fig. 1. Diagram represented the enlargement phenomena of delay.

데 직선은 다이어상의 운전시간과 역정차시간이 포함되어 있음을 의미한다.

여기에서 지연증가율  $\eta$ 를 다음과 같이 정의한다. 즉,

$$\eta = \frac{\zeta_m^a - \zeta_m^a}{\zeta_m^a - \zeta_{m-1}^a} \quad (1)$$

이것을 나타내면 그림2와 같은데 m열차의 어떤 역에서의 지연시간의 증가에 영향을 미치는 것은 선행 (m-1)열차의 출발지연시간  $\zeta_{m-1}^a$  이고 그림에서  $\zeta_m^a$ ,  $\zeta_m^a$ 는 각각 m열차의 역도착 및 출발지연시간을 나타낸다.

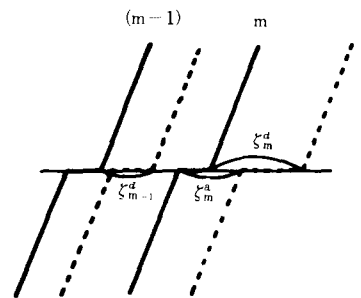


그림 2. 지연증가율 모델  
Fig. 2. A Model of the rate of rate.

### 2. 회복특성의 정식화

회복특성의 정식화의 복잡함을 줄이기 위하여 각 역간 거리, 각 역에서의 정차시간등 각 역에서의 운행조건이 같은 평행다이어만을 다루기로 한다. 이러한 평행다이어에 대해 지연열차가 단독으로 회복해

가는 경우를 생각해 보자. 열차다이어에는 각 역간 운전시간에 어느 정도의 여유시간이 포함되어 있어 이 여유시간을 줄여 운전함으로써 지연을 회복하여 갈 수 있다. 지연열차만의 회복은 선두열차의 지연(혹은 후술하는 抑止)의 영향이 없는 것으로 회복을 위한 각 역간 단축운전시간을  $\sigma_0$ ,  $(n-1)$  역에서의 출발지연시간을  $\delta_{n-1}$  이라 하면  $n$ 역에서의 출발지연시간  $\delta_n$ 은 지연증가율  $\eta$ 를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_n = \frac{\delta_{n-1} - \sigma_0}{1 - \eta} \quad (2)$$

(2)식으로부터 회복가능( $\delta_n$ 이 단조감소)일 때의 초기지연시간  $\delta_0$ 는

$$\delta_0 < \frac{\sigma_0}{\eta} \quad (\delta_1 < \delta_0) \quad (3)$$

으로 이 범위내에서만 회복가능하다. 여기에서  $\sigma_0$ 가 취할 수 있는 값이란 정상다이어에 포함되어 있는 여유시간으로 지연열차단독의 회복가능범위를 결정해 준다. 또한 지연발생역으로부터  $N$ 역째에 회복될 조건 ( $\delta_N \leq 0$ )은

$$\delta_0 \leq N \sigma_0 \quad (\eta=0)$$

$$\delta_0 \leq \frac{\sigma_0}{\eta} \{1 - (1-\eta)^N\} \quad (0 < \eta < 1) \quad (4)$$

으로 각각  $\eta$ 의 값에 따라 상기와 같은 초기지연시간의 회복가능범위가 주어진다.

### 3. 선두열차의 구원특성

어떤 한 열차에 지연이 발생한 경우 후속열차에 영향을 주는 것은 당연하지만 선두열차의 정상적인 운행은 지연열차로서는 선두열차와의 상대적 시간간격이 커져 지연이 심화되고 경우에 따라서는 회복불가능 상태에 빠지게 된다. 그러나 선두열차가 정상적인 운행이 가능하다 하더라도 역에서의 정차시간을 강제로 연장(이것을 抑止시간이라 부르기로 함)시킴으로써 지연열차와의 상대적 간격을 줄여서 지연증대를 둔화시켜 회복불가능 상태에서부터 회복가능 상태가 되게 할 수 있다. 이러한 것을 지연열차에 대한 선두열차의 구원이라고 한다.

지연열차를 포함한 구원열차들의 임의의  $m$ 열차의  $n$ 역에서의 출발지연시간(역지시간을 포함)을  $\delta_n(m)$ 의 함수로 나타낼 수 있다면  $\delta_n(m)$ 은

$$\delta_n(m) = \delta_{n-1}(m) - \sigma_m + \eta \{ \delta_n(m) - \delta_n(m-1) \} \quad (5)$$

단,  $\sigma_m$ :  $m$ 열차의 각 역간 단축운전시간

와 같이 된다.  $\delta_n(m)$ 의 함수는 초기지연이 발생한 시점(지연시간의 정보전달가능시점) 이전은 0이 되고 선두열차의 지연시간에 의해 결정된다. 식(5)에 있어서 회복가능조건인 단조감소를 생각하면  $m$ 열차의 초기지연의 범위는

$$\delta_0(m) \leq \sigma_m / \eta + \delta_1(m-1) + (1-\eta) \delta_2(m-1) \quad (6)$$

이 되고 임의의  $N$ 역에서의 지연회복을 생각하면

$$\begin{aligned} \delta_0(m) &\leq N \sigma_m \quad (\eta=0) \\ \delta_0(m) &\leq \sigma_m \{1 - (1-\eta)^N\} / \eta + u_{m-1}^* \quad (0 < \eta < 1) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{단, } u_{m-1}^* = \eta \sum_{i=0}^{N-1} (1-\eta)^{i-1} \delta_i(m-1)$$

와 같은 회복영역을 얻을 수 있다. 여기에서  $u_{m-1}^*$ 은  $(m-1)$  열차의 역지시간을 나타내는 것으로 구제에 의해 회복가능영역이 넓어짐을 말해줌과 동시에 선두열차가 역지시간을 많이 취할수록 회복영역이 더욱 넓어짐을 나타내 준다.

### Ⅲ. 구원에 의한 에너지효과

지연열차를 선두열차의 역지에 의해 구원하는 경우 지연열차를 포함한 구원열차 전부가 각 역간을 최단운전시간으로 운전한다면 가장 빨리 회복상태에 이르는 것은 당연하나 그 반면 열차가 소비하는 에너지 또한 극대가 된다. 그런데 회복수령에 약간의 여유만을 주는 경우 즉, 회복종료 지점을 멀리 잡던가 아니면 역지에 의한 구원열차수를 늘리던가의 방법을 취하면 에너지면에서 볼 때 소비에너지가 최소인 구원열차수가 존재함을 추측할 수 있다. 이것을 다음과 같이 설명할 수 있다. 어떤 지연에 대한 구원열차의 역지시간은 열차群으로부터 보아 불필요한 지연시간이 되어 이들을 회복하는데는 여분의 소비에너지가 필요한 것처럼 보인다. 이를 겉보기 지연시간이라 하자. 한편 초기지연열차의 경우에는 선두열차의 역지에 의해 선두열차와의 실질적 시간간격이 줄어들어 시간적으로 여유운전이 가능하므로 똑같은 회복조건을 가정할 때 에너지면에서 득이 될 수도 있다. 이것을 나타내는 개략도를 그림 3, 그림 4에 보았다. 그림 3은 초기지연열차(0열차)만의 회복에 의한 경우와 초기지연열차를 포함한 4개의 구원열차(0열차로부터 순서적으로 -1, -2, -3열차)의 구제에 의한 경우의 겉보기 지연시간과 구원열차群의 구원을 위한 단축운전으로 인한 여분의 소비에너지량을 비교하여 함께 나타내었다. 그림 3에서 좌측의 짧은 선이 정상다이어 운전때의 운전시간과 그때

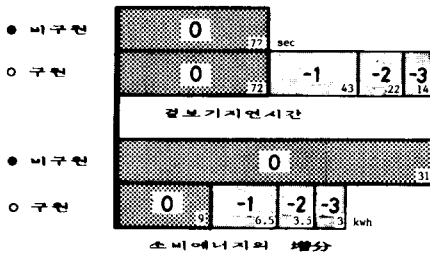


그림 3. 지연 및 억지에 의한 구원과 소비에너지  
 Fig. 3. Delay, relief based on the restraint and consumption energy.

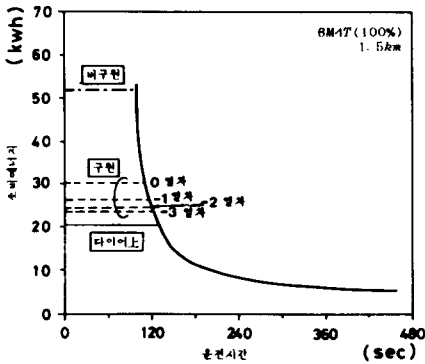


그림 4. 구원과 소비에너지와의 관계  
 Fig. 4. A relationship of relief and consumption energy.

의 소비에너지를 나타낸 것이라 할때 도표상의 부분은 회복해야 할 지연 또는 억지시간과 단축운전에 의한 여분의 소비에너지량을 나타낸 것이다. 결보기 지연시간은 지연열차를 구원하지 않는 경우가 작은 반면 소비에너지는 구원에 의한 쪽이 더 적어짐을 나타내고 있다. 이들을 실제로 계산된 열차의 운전시간과 소비에너지와의 관계로 표시한 것이 그림 4이다. 그림 4는 직류전동기구동 저항제어차(6M4T, 100%승차율)가 1.5km 운전되었을 때의 운전시간과 소비에너지와의 관계를 나타낸 계산(계산방법 및 대상열차특성은 부록참조)로 그림 3에 대한 지연열차를 구원할 때와 구원하지 않을 때의 소비에너지관계를 나타내었고 이들의 소비에너지량을 지연시간과 함께 그림 3의 도표 우측하단에 나타내었다. 구원에 의하지 않는 경우 최단시간의 운전으로 인해 여분의

소비에너지가 큰 반면 구원에 의하는 경우 여분의 소비에너지가 크게 줄어 구원 열차들의 소비에너지의 합이 구원하지 않는 경우보다 적어짐을 보여준다.

IV. 계산방법 및 계산에

지연 회복에 있어 계산상의 복잡함을 피하기 위하여 다음과 같은 제약조건을 설정하였다.

- (1) 선두열차의 구원개시는 지연에 대한 정보를 받은 후 최초의 역에서 시작되는 것으로 한다.
- (2) 각 열차가 회복이 시작된 이후의 각 역간 운전시간의 단축시간은 최단운전시간에 대한 일정비율로 하였다. 이것은 회복개시역에서의 운전지령원과 운전원과의 간단한 정보교환을 전제로 했기 때문이다.
- (3) 구원을 위한 억지시간은 회복개시 이후에는 변경하지 않는 것으로 한다.

위의 제약조건하에서 그림 1(b)에서, 처럼 다이어로부터의 벗어남을 중요시하여 회복의 개략도를 나타내면 그림 5와 같고 초기지연  $\tau_0$ 를 일으킨 열차를 0으로 하여 순서대로  $-1, -2, \dots, -(M-1)$ 의 선두구원열차와 그들의 억지시간을  $\tau_{-1}, \tau_{-2}, \dots, \tau_{-(M-1)}$ 로 표시하고 있다. 지연이 발생한 역번호를 0으로 하고 N역에서 모든 열차가 정상으로 돌아 옴을 보이고 있고 그림에서 사선의 밑부분은 0열차의  $\tau_0$ 의 지연에 대한 정보가 얻어지지 않는 시각과 거리를 나타내며 이 영역에서는 정상다이어대로 운행됨을 보이고 있다.

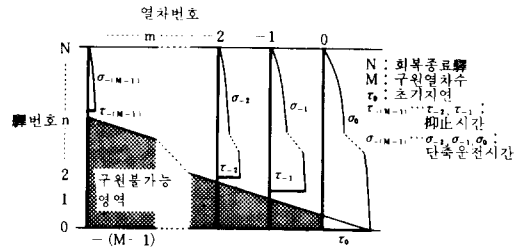


그림 5. 지연 및 억지시간의 회복개략도  
 Fig. 5. Diagram of delay and restraint time restoring.

1. 계산방법

구원에 의한 회복특성을 구하기 위하여 주어지는 변수로는 열차다이어(평행다이어의 경우 열차간격), 초기지연시간, 지연증가율 등을 들 수 있고 또한 초기지연 발생역에서부터 지연회복 종료역까지의 역의 수 등으로 주어진다. 지연에 대하여 선두열차가 구

원하여 가는 경우 선두열차의 구원 가능역으로 부터의 역지시간과 각 열차, 각 역사에서의 단축 운전시간을 지령해야 하지만 이것을 결정할 때 다수의 변수와 조건이 존재함으로 인해 회복패턴을 일률적으로 정하기가 곤란하다. 여기에서 어떤 주어진 회복조건하에서 다변수에 일련의 연관성을 주어 의논하는 것은 계산시간의 절약과 계산결과의 해석상의 용이함을 제공하여 주는 방법으로 자주 채택된다.

본 논문에서는 소비에너지를 취급하고 있으므로 이에 가장 밀접한 변수인 운전시간 특히 각 열차의 단축운전시간을 택하여 이들의 양을 결정하면 선두열차와의 관계로부터 각 열차의 역지시간은 자동적으로 정해진다.

구원열차의 각 역간 단축운전시간을 일정하게 유지하면 구원열차들의 단축운전시간  $\sigma_0, \sigma_{-1}, \dots, \sigma_{-(M-1)}$ 로 나타내어 이들 값들을 함수  $g_\sigma(m)$ 에 의해 연관성을 부여할 수 있으며 역지에 의한 영향은 선두열차로부터 차례로 후속열차에 미치기 때문에  $g_\sigma(m)$ 은 최선두열차에 절대값을 주고 후속열차에는  $g_\sigma(m)$ 에 따라 상대적인 값을 주어 0열차의 0역에서의 지연시간이 초기지연시간이 되도록 하여 이를 환산하면 된다.  $g_\sigma(m)$ 은 지수  $k$ , 상수  $a$ 의 두 변수의 함수로 하여 다음과 같이 정하고 이로부터 각 구원열차의 단축운전시간을 정하도록 하였다. 즉,

$$g_\sigma(m) = \frac{1-a}{(M-1)^k} m^k + a \quad (8)$$

이고 상기의 식에서  $M$ 은 구제열차수(지연열차포함)이고 이  $g_\sigma(m)$  함수를 그림 6에 나타내었다.  $k, a$ 를 변화시켜 구원열차群이 소비하는 에너지가 최소인  $k, a$  값을 구할 수 있는데 이로부터 소비에너지가 최소인 상태의 각 구원열차의 구원패턴이 결정된다. 두 변수 값을 구하는 방법으로서 몬테칼로법을 사용하였고 소비에너지가 적게되는  $k, a$ 를 찾아 그 범위를 줄여 계산하는 근방탐색법을 적용하였고 이 계산알고리즘을 그림 7에 보였다. 그림 7에서  $a$ 에 대해  $A_L \sim A_U$ ,  $k$ 에 대해  $K_L \sim K_U$ 의 범위에서 난수를 발생시켜 소비에너지가 최소로 되는  $a, k$  값  $A_0, K_0$ 를 찾아 그 값을 중심으로 난수발생범위를 1/2로 줄여 가며 그 계산과정을 되풀이하여 소기의  $a, k$  값을 찾았다.

2. 계산결과의 일례

열차간격  $T_H = 2$  분, 초기지연시간  $\tau_0 = 2$  분, 지연 증가율  $\eta = 1/3$ , 1/2에 대하여 지연발생역으로부터 16 구간을 주행한 역에서 지연이 완전 회복되는 경우의 계산결과를 그림 8 ~ 그림 10에 보였다. 다이어상의 운전시간에 20%의 여유시간(즉, 역간운전시간 = 1.2 ×

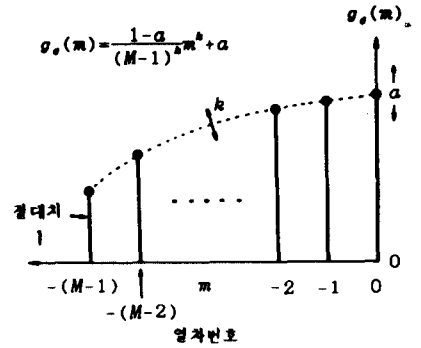


그림 6.  $g_\sigma(m)$  함수  
Fig. 6. Function of  $g_\sigma(m)$

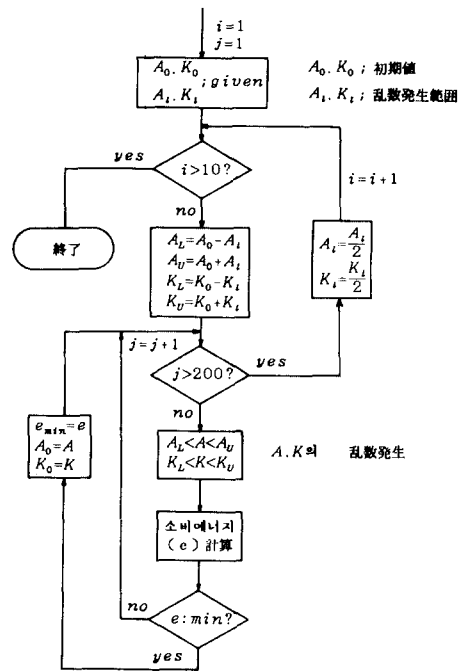


그림 7. 계산 알고리즘  
Fig. 7. Algorithm for the computation.

운전가능최단시간)이 주어진 경우 상기의 조건하에서는 지연발생열차만으로는 회복불가능 상태이다. 구원열차 수에 따른 소비에너지의 변화를 구하기 위하여 먼저 회복가능한 최소구원 열차수  $M_{(min)}$ 을 몬테칼로법에 의해  $M = 1$ 로부터 계산상의 충분한 시간을 주어 구원패턴을 찾고 이 시간내에 찾지 못하면 순차적으로  $M$ 을 증가시켜  $M_{(min)}$ 을 결정하였다. 이  $M_{(min)}$

에 대해 대해 소비에너지가 최소인 구원패턴을 구하여 구원열차에서 소비되는 에너지를 구하였고 임의의  $M \{ \geq M_{(min)} \}$ 에 대하여 같은 방법으로 구원열차의 소비에너지를 구하였다.

이와 같이 구한 구원열차에서의 소비에너지는 다이어대로 운행되었을 때 보다 증가하는데 임의의  $M$ 에 대한 소비에너지를 다이어운행시의 소비에너지와의 차로써 나타내되 회복가능 최소구원열차수  $M_{(min)}$ 에 의한 운행과 다이어운행시의 소비에너지의 차에 대한 비로써 나타내면 그림 8과 같다. 그림 8의 결과에서  $\eta=1/3$ 의 경우  $M_{(min)}=3$ 이고  $M=6$ 에서 최소소비에너지를 나타내고 있으며 이때의  $M$ 값을  $M^E$ 로 나타내고  $\eta=1/2$ 인 때는  $M_{(min)}=6$ 이고  $M^E=8$ 임을 나타내고 있다.

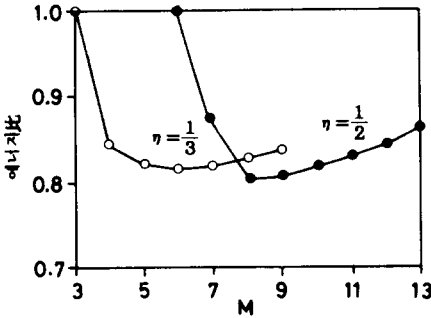


그림 8. 구원열차수에 따른 소비에너지의 변화  
Fig. 8. Change of consumption energy by the number of relief trains.

그림 9는 그림 8에서  $\eta=1/3$ 인 경우  $M_{(min)}$ 과  $M^E$ 일때 각 열차가 지연 또는 억지시간을 회복하여 가는 모양을 나타내었는데 초기지연시간을 1로 하고 각 열차의 각 역에서의 지연 또는 억지시간을 초기 지연시간의 비로써 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 에너지절약을 위한 선두구원열차의 억지시간은 조건에 따라서는 초기지연시간보다 더 큰 경우도 있음을 보여 준다.

그림 10(a)는 그림 9에서의 각 열차의 지연 또는 억지시간을 초기지연시간의 비로 나타내었고 그림 10(b)에서는 지연회복을 위한 단축운전시간을 역간운전에 부여된 운전여유시간에 대한 비로써 나타내었다. 각 역간 운전 포함된 열차다이어상의 운전여유시간을 1로 하여 단축된 운전시간의 비율을 빗금으로 나타내었다. 따라서 빗금이 그려져 있지 않은 부분이 각

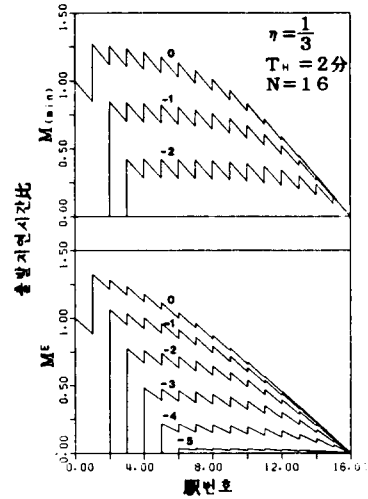


그림 9.  $\eta=1/3$ 인 때의 회복의 그림  
Fig. 9. Figure of restoring delay or restraint time in  $\eta=1/3$

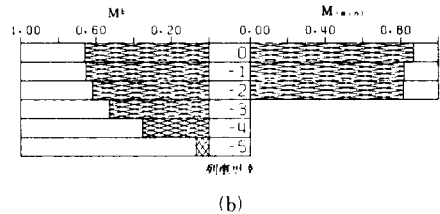
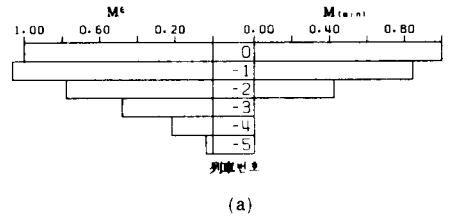


그림 10.  $M_{(min)}$ 과  $M^E$ 인 때의 지연 또는 억지시간과 단축운전시간비  
(a) 지연 또는 억지시간비  
(b) 단축운전시간비

Fig. 10. Ratio of delay or restraint time and running time shortened for  $M_{(min)}$  and  $M^E$ .  
(a) Delay or restraint time.  
(b) Running time shortened.

열차의 각 역 운전시간에 부여된 여유시간의 비율을 표시하고 있다.

### 3. 계산결과와 고찰

구원열차수에 대한 에너지비 계산결과를 살펴보면

소비에너지가 최소로 되는 구원열차수가 존재함을 알 수 있다. 이 결과에 의하면 적절한 구원열차수를 선택함으로써 회복종료역에서의 회복가능한 최소의 구원열차의 단축운전으로 인한 여분의 에너지의 약 20%에 가까운 에너지절약효과를 얻을 수 있음을 보여 준다. 본 연구에서는 각 열차의 단축운전시간에 연관성을 부여하여 계산상의 단순화를 꾀하였으나 변수선택에 보다 높은 자유도를 부여하여 구원패턴을 논한다면 본 연구에서 구한 계산결과보다 더 큰 에너지절약효과를 얻을 수 있으리라고 본다. 또한 본 연구에서는 특정한 조건하에서 구원에 참가하는 열차수를 논하였지만 다양한 변수의 변화에 대한 소비에너지 최소의 구원패턴을 구할 수 있고 이를 통해 시간적인 제약을 고려하면서 과도한 에너지 소비를 억제할 수 있는 열차운전정리를 실현시킬 수 있으리라 본다.

V. 결 론

본 논문에서는 열차운행상 발생하는 지연과 지연 증대현상을 모델화하였고 선두열차의 억지와 지연열차를 포함한 선두의 억지된 열차가 각 열차 운행시간에 포함되어 있는 운전여유시간의 단축을 통해 지연을 회복하여 가는 구원패턴을 정식화하였다.

지연 및 억지시간의 회복과 운전시간의 단축이라고 하는 소비에너지면에서의 상반된 특성으로부터 소비에너지가 최소인 구원열차수가 존재함을 논하였고 실제로 직류전동기 구동차를 예로 들어 구원열차수에 대한 소비에너지의 변화를 구하였는데 구원시의 각 열차의 운전단축시간을 2개의 변수로 압축시켜 의논하였고 이들로부터 소비에너지가 최소로 되는 두 변수값을 몬테카를로법을 적용함으로써 구원패턴에 따른 에너지절약효과를 구하여 보았다.

附 錄

열차의 운동은 powering, coasting, braking의 3개의 운전상태로 나타낼 수 있고 이의 운동방정식은 열차의 운전거리를 s, 운전시간을 t라 하면

$$mv \frac{dv}{ds} = F(v) - R(v) - B(v)$$

$$\frac{dt}{ds} = \frac{1}{v}$$

- 단, v : 열차속도
- m : 열차의 질량
- F(v) : 견인력함수
- R(v) : 열차저항
- B(v) : Braking 함수

로 나타낼 수 있는데 F(v)의 경우 열차에는 다수의 notch를 두어 견인력을 변화시키도록 되어 있지만 역거리가 짧은 경우에는 최대견인력으로 견인됨으로 여기에서는 최대견인력을 가정하였고 열차저항 R(v)는 열차의 출발저항, 주행저항, 곡선저항, 비탈저항 등으로 구분되어 선로위치의 함수라고 할 수 있지만 여기에서는 평탄선을 가정하여 속도만의 함수로 취급하였으며 또한 B(v)의 경우도 비상시와 평상시의 계통을 설비하여 놓고 있지만 여기에서는 평상시의 등감속함수로 하였다. 3개의 운전상태에 대한 계산은 powering의 경우 B(v)=0, coasting의 경우 F(v)=0으로, braking의 경우 F(v)=R(v)=0이라 놓고 구할 수 있다. 대상열차의 제원은 다음과 같다.

- 열차편성 : 6M4T (100% 승차율)
- 열차중량 : 460ton
- 전동기환류치 : 320A/unit
- 견인력 : 9000kg/unit
- 전차선전압 : 1500V
- 열차저항 : 주행저항  $R(v) = 1.32 + 0.0164v + (0.028 + 0.0078(N_c - 1))v^2/W$   
 단,  $N_c$ 는 차량수, W는 열차의 중량을 나타내며 출발저항은 출발시 3.0kg/ton에서 속도 10km/h에서 열차의 주행저항 R(v)와 일치하도록 작은 선으로 근사시켰다. (참고문헌 6 참조)
- 감 속 도 : 2.7km/h/sec

열차의 운전은 운전거리가 짧은 경우 1회의 powering → coasting → braking에 의하는 경우가 보다 일반적이므로 열차의 운전거리 및 운전시간이 정해지면 상기의 두 식으로 부터 정거리, 정시간 운전을 위한 powering 종료의 notch off 속도와 braking 초기 속도를 구할 수 있다.

한편 열차의 운전시 소비되는 에너지양은 보조기계의 소비전력을 고려하지 않는다면 notch off 속도  $V_{off}$ 까지의 powering시의 에너지로 간주할 수 있으므로 전차의 속도에 대한 전류특성과 전차선전압의 곱으로 표시되는 전력함수 p(v)로부터

$$e = \int_0^{V_{off}} p(v) v dv$$

에 의하여 소비에너지양을 구하면 된다.

參 考 文 獻

[1] 福森, 佐野, 上田, 道下, “人工知能を應用した列車ダイヤ作成システムの研究,” 近畿鐵道技報, vol. 16, pp. 34-39, 1985.

- [2] 鶴田, 鬼塚, 宮本, “列車ダイヤ作成 運転整理 エキスパートシステムへのオブジェクト指向アプローチ,” 第22回日本國內サイバネ, 719, pp. 574-578, 1985. 11.
- [3] 金, 曾根, 笠井, “省エネルギーを考慮した 列車遅延回復,” 日本電氣學會全國大會, 891, p. 1065, 1985. 4.
- [4] 半田, “都市交通システムにおける 車輛群制御の一手法,” 日本電氣學會論文誌, vol. 97, no. 4, 52-C1, pp. 1-6, 1, 1977.
- [5] 荒野, 曾根, “都市系軌道輸送システムの 列車群制御とシミュレーションによる特性解析,” 日本電氣學會論文誌, vol. 101, no. 4, 56-C14, pp. 97-104, 1981. 4.
- [6] 日本國鐵技術開發室編, “技術要覽,” p. 35, 1984. 3.