

다단계 속도제어에 의한 폐색구간 분할에 대한 최적화에 관한 연구 (II)

論 文

52B-8-6

A Study on Optimization of Block Sectioning for Step Speed Control (II)

李 鍾 宇*
(Jongwoo LEE)

Abstract - In part I, we studied only step speed control for train, the second part extended to beacon signaling system and moving block system. With the calculated braking distance in part I, part II showed how to reduce headway using the beacon signaling system and moving block system, revealed that the beacon system has a braking distance advantage for sighting allowance with compared to step speed control, proposed beacon installation interval and revealed the braking distance with moving block system being nearly approached to train pure braking distance. We compared three different train control system to decide the best signaling system for a given condition and obtained the result that three systems have a same headway near 10~13 steps speed control.

Key Words :Step speed control, beacon signaling system, moving block, beacon installation interval

1. 서 론

신호시스템에서의 선로용량을 증대시키기 위한 방안으로 얼마만큼 열차제동거리에 근접하게 열차속도를 제어할 것인가에 있다[1]. 열차의 속도제어는 기술의 발전에 따라서 열차제어에 지능을 부여하는 방식으로 발전되고 있다. 열차의 제동거리를 다단계로 제어 하든가, 또는 선행열차의 위치에 따라 후속열차의 속도를 제어하는 방법들이 제안되었다. 과거의 방법은 열차를 지상에서 감지하고, 지상에서 속도를 제어하는 방법이 주종을 이루었으나, 점진적으로 지상장치위주에서 차상장치로 변경 되어가고 있다. 열차제어 방법의 개량의 최종목표는 선로용량을 증대시에 있다[2].

운전시격을 단축하기 위해서는 폐색길이를 작게 하는 것이 필요하다. 그러나 궤도회로를 사용하는 폐색방식에서 폐색길이를 작게 하면 궤도회로 수가 늘어나 설치비용의 증가와 함께 유지보수 비용이 증가를 한다[3][4]. 두 번째 제약사항으로 속도명령이 너무 자주 바뀌면 운전자가 속도를 제대로 수용할 수가 없다. 운전시격을 단축하기 위해서는 여러 가지 방법이 있으나 현실적으로 실현 가능한 방법은 몇 가지 방법으로 요약된다. 가장 이상적인 방법은 제동력을 향상시켜 제동거리를 단축하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 승객의 승차감을 허용하는 한도 내에서만 제동력을 향상시킬 수 있으며, 비상제동의 경우에는 차륜-레일간의 접촉력에 의해서 결정된다[1].

운전시격을 단축시키기 위해서는 주로 3가지 방법을 사용하고 있다. 첫 번째는 제동거리를 여러 단계로 나누어 속도를 제어하는 방법이 있다[1]. 이 방법은 제동거리를 단축보다는 열차속도제한을 가능한 빨리 인지하도록 하여 운전시격을 단축을 한다. 두 번째는 열차의 속도를 열차에 제동능력에 따라 제동시점을 결정하는 것으로 첫 번째 방법보다는 운전시격의 단축효과가 크다[2][3]. 세 번째 방법으로는 이동폐색 방식에 의해서 열차의 속도를 제어하는 방식이다. 이 방법은 운전시격을 가장 많이 단축할 수 있다고 알려져 있다[2].

본 논문에서는 임의의 열차에 대해서 폐색방식, 차상속도 제어방식 및 이동폐색 방식에 대해서 신호 시스템에 의해서 점유되는 제동거리 및 각각의 시스템의 비교를 한 후, 각각의 시스템에 대한 운전시격을 계산하여, 열차제어 시스템에 대한 비교 값을 제시함으로써, 최적의 시스템을 선택할 수 있도록 하였다.

2. 열차속도제어방법

속도 v_{max} 로 주행하는 열차의 제동거리는 식(1)와 같고, 열차길이, 공주거리 및 과주여유를 고려하면은 식(2)와 같이 된다[5].

$$D(v_{max}) = t, v_{max} + \frac{a_s}{2J} v_{max} + \frac{1}{2a_s} v_{max}^2 \quad (1)$$

$$D_{brake} = s + D_{max} + o + L \quad (2)$$

제동력이 일정한 경우에 운전시격을 최소화하기 위해서는 공주거리 s 및 열차의 길이 $L = l_t + l_m$ 를 최소화하는 것으로 [6], 폐색방식, 차상속도제어방식 및 이동폐색방식은 공주거

* 正 會 員 : 韓 國 鐵 道 技 術 研 究 院 責 任 研 究 員 · 工 博

接 受 日 字 : 2003年 5月 8日

最 終 完 了 : 2003年 6月 15日

리와 열차길이를 최소화하는 방식이다.

2.1 열차검지와 열차속도제어방식

연속적으로 주행하는 열차의 속도를 제어하기 위해서는 2개의 열차에서, 선행열차의 위치와 후속열차의 제동능력에 따라서 후속열차의 속도가 결정된다. 열차의 검지방식과 후속열차의 허용속도의 결정은 표1과 같이 3가지 방법이 존재한다.

표 1 열차검지 및 속도계산방법
Table 1 Train Detection and Train Speed Control Method

열차검지 속도제어	지상	차상
지상	궤도회로 등을 이용하여 열차검지와 지상장치에서 열차의 허용속도계산	-
차상	궤도회로 등을 이용하여 열차위치 검지하여, 열차에 전송하고 열차에서 허용속도연산	차상의 장치를 활용하여 열차위치의 계산 무선장치를 이용하여 선행열차의 위치를 검지하여 열차 허용속도를 계산

지상-지상방식은 열차검지와 열차속도제어를 지상에서 수행하여, 선로변 신호등이나 혹은 레일과 열차와의 magnetic coupling에 의해서 관련정보를 차상에 전달하는 방식이다. 열차검지를 위해서 궤도의 일정구간을 전기적으로 구분하여 열차의 위치를 검지하고, 지상 장치는 궤도 회로로부터 얻어진 정보를 이용하여 각 폐색에 해당하는 선로변 신호등이나 궤도회로에 허용속도를 전송한다. 후속열차는 선로변의 신호나 궤도회로로부터 허용속도를 얻어내어 열차속도를 제어한다. 각 폐색의 진입속도와 진출속도는 제동거리와 제어속도 단계 수에 비례한다[1].

지상-차상방식에서의 열차의 검지는 지상-지상방식과 같이 궤도회로 혹은 차측 검지 등을 이용하여 열차를 검지한다. 열차의 속도제어는 지상에 beacon을 설치하여, 선행열차의 위치를 열차에 전송하여, 열차의 제동성능에 따라서 차상에서 제동체결위치를 결정할 수 있다. 지상-지상장치에서 비해서 식(2)의 가시거리(s)를 최소화시킬 수 있다.

차상-차상방식은 열차검지와 열차속도제어를 차상에서 수행을 한다. 선행열차의 위치를 후속열차에 무선으로 전송하여, 최소의 안전제동거리를 확보하는 것이며, 이것을 이동 폐색방식이라 한다. 가시거리(s)와 열차길이(L)를 최소화할 수 있으므로 최대의 선로용량을 증대시킬 수 있다.

3. 각 시스템별 열차의 제동거리

3.1 지상-지상제어 방법 n 단계 속도제어

지상-지상제어 방법에서의 n현시 신호에서의 열차제동거

리는 식(3)와 같다[1][6].

$$D_{nstage} = s + D + \frac{D}{n} + o + L = s + \frac{n+1}{n} \cdot D + o + L \quad (3)$$

3.2 차상속도제어를 이용한 방법

3.2.1 열차속도의 차상제어방법

폐색분할에 의한 열차제어방식은 열차의 제동성능과 관계 없이, 선행열차의 위치에 따라 후속열차의 주행속도가 결정되었다. 이 방식은 궤도회로 혹은 차측 계수기(axle counter)에 의해서 열차위치를 검지한다. 열차위치의 해상도는 차측 계수기 사이의 거리만큼 열차가 점유된 것으로 취급된다. 점유정보는 레일에 설치된 beacon을 통하여 차상에 전달이 되고, 열차는 열차제동력을 고려하여 제동체결 위치를 결정한다. 제동체결 위치는 필요한 곳에서 하기 때문에 다단계 신호에서와 같은 제동체결 이전에 필요로하는 폐색은 사용하지 않는다.

그림 1에서와 같이 후속열차는 선행열차의 위치와 후속열차의 제동성능에 따라 제동거리가 결정이 된다. 차상장치는 제동거리를 산출하여 안전한 제동거리까지 선행열차에 접근을 해서 제동을 체결하는 방법이다. 그림 1에는 폐색신호기를 이용하는 경우 점 "A"가 제동시점이 되지만 Beacon을 이용한 차상신호장치 경우는 제동시점 "B"에서 제동이 시작된다. 점 A와 B사이의 거리는 지상-차상방식을 이용했을 때 제동이득을 나타내고 있다.

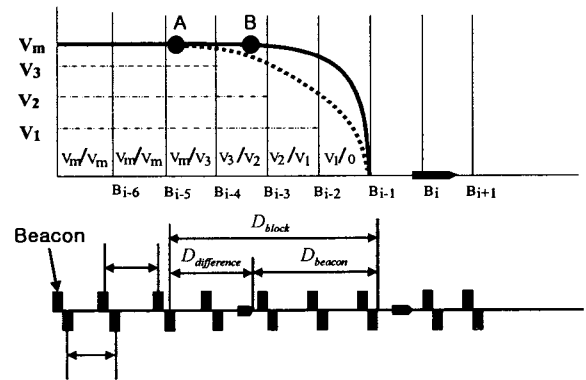


그림 1 열차제동성능에 따른 제동방식 : 폐색신호를 이용한 제동거리는 D_block의 제동거리가 필요하고, Beacon에서 선행열차 위치정보를 이용한 제동거리는 D_beacon이다. 제동거리의 이득은 D_difference이 된다.

Fig. 1 Braking type to train braking performance : Braking distance D_block for block, braking distance D_beacon for beacon system and the gain of braking distance being D_difference

Beacon을 이용한 제동거리는 그림 2에 나타난 것과 같다. Beacon을 이용하고 제동방식은 n(n>0)단계의 속도제어 제동방식에 비해서 D/n의 제동거리 단축효과가 있다.

$$D_{beacon} = s + D + o + L \quad (4)$$

3.2.2 beacon설치간격의 제안

그림 2에서 후속열차 T_a 가 beacon B_1 으로부터 선행열차 T_b 의 위치정보를 수신하여 각각 a점에서 제동을 체결하여 c점에 정지를 하도록 되어있으며, beacon B_3 에서 새로운 정보를 수신하여, 열차 주행여부를 결정한다. Beacon의 설치간격은 원칙적으로 하나의 열차검지 구간에 하나의 beacon을 설치한다. Beacon을 이용한 제어방식은 열차검지 구간 tc_a 과 tc_b 사이에서 몇 개의 beacon을 설치하는 것이 최적인가를 결정하는 것이다.

정리1 : 열차검지 구간에서 주어진 시간 t 에 대한 주행열차의 위치는 열차검지구간에 균일 분포의 형태를 갖는다.

증명 : 열차 T_b 을 중심으로 후속열차 T_a 및 선행열차 T_x 가 있고, 3개의 열차는 정상적인 상태로서 서로 속도가 연동되지 않는다고 가정할 경우 일반적으로 정상적인 주행상태라 함은 선행열차와 후속열차의 속도가 서로 연동되지 않는 상태를 말한다. 열차 T_b 의 속도는 선행 및 후속열차에 연동되지 않고 독립적으로 주행을 하여, t_a ($t_a = \frac{\text{distance}(B_1, a)}{T_a \text{의 주행속도}}$)의 시간동안 열차가 최고속도 중심으로 일정량의 편차를 가지고 주행하고 하고 있기 때문에 l_m 의 위치는 주행시간에 따라 선형적으로 증가한다. 따라서 시간 $t_1 + t_a$ 에 열차 후미의 위치 l_m 는 랜덤한 형태를 가지므로, l_m 의 위치는 주어진 구간 내에 임의의 위치에 있기 때문에 위치분포확률은 유니폼 분포확률이다.

열차 T_a 는 임의의 시간 t_1 에 있어서 beacon B_1 에서 선행열차 T_b 에 대한 정보를 수신하며, t_a 후 열차 T_a 는 a지점에서 제동 체결을 시작하여 B_2 에서 정지를 한다. 열차 T_a 가 B_1 에서 선행열차의 위치정보를 받아 a 지점에 제동을 체결하기 전에 선행열차가 tc_b 의 열차검지구간을 벗어나는 경우가 있다. 이 경우에는 B_a 를 설치하여 T_b 의 위치를 열차 T_a 에 열차 T_c 위치정보를 전달하여, 열차 T_a 가 B_3 에 정지할 수 있도록 할 수 있다. 따라서 그림 2에서 제동거리 D ($t_c = \frac{D}{T_c \text{의 주행속도}}$)만큼을 이득을 얻을 수 있다. B_a 에서 새로운 정보를 얻을 확률은 B_1 에서 멀리 떨어질수록 새로운 얻을 확률이 높다. 정리 2에 따라 선행열차 T_c 후미는 tc_b 구간 아무 곳에 위치할 수 있으므로, 열차 T_c 의 후미가 열차검지구간 tc_b 을 벗어난 것을 검지할 확률은 B_a 가 B_2 에 가까워질수록 높아진다.

정리 2 : Beacon의 설치간격은 열차검지 간격과 일치시키

는 조건 하에서, 선로용량을 늘리기 위해서 설치되는 beacon의 위치는 두 개의 beacon 사이의 1/2에 설치하는 것이 최대의 효과를 얻는다.

증명 : 그림 2의 "a"에 beacon을 설치하면 제동거리 $s+D$ 만큼의 이득을 얻으므로 beacon의 위치는 B_1 에 가까울수록 $s+D$ 가 커지므로, 이득이 크다. Beacon의 설치위치 l_B 가 B_2 에 가까워질수록 선행열차의 후미가 열차검지구간 벗어날 확률이 높다. 제동거리 $s+D$ 와 beacon의 설치위치 l_B 는 선형적으로 역 비례하기 때문에 1/2지점에서 만난다. 따라서 1/2지점에서 선로용량 증대의 최대효과를 얻을 수 있다.

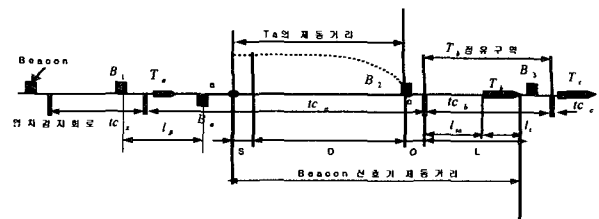


그림 2 Beacon을 이용한 열차제어시스템의 제동거리
Fig. 2 Braking Distance for type to train speed and braking performance : D_{beacon} for beacon signaling system

3.2.3 열차검지간격의 제안

$$D_{beacon} = s + D + o + L \quad (5)$$

열차검지간격의 최적화는 식 (4)의 L 을 최소화하는 것이다 그림 3로부터 L 은 $l_m + l_t$ 에 해당한다. 열차길이 l_t 는 불변이므로, l_m 의 간격을 최적화해야한다.

정리 3 : 열차검지간격에서 제동거리의 최적화는 L 의 길이를 최소화하는 것이며, 최소화된 길이는 l_t 이다.

증명 : 정리 1으로부터 열차검지간격의 최적화는 식 (5)의 L 을 최소화하는 것으로, 그림 2로부터 L 은 $l_m + l_t$ 이고, 열차길이 l_t 는 불변이므로, l_m 를 0으로 하면은 최적의 제동거리를 얻을 수 있다.

운행되는 열차길이 l_t 가 일정할 경우, 열차검지구간은 $\frac{l_t}{2}$ 이하로 하는 경우에 운전시각 단축효과가 열차길이를 작게 하면 할수록 l_m 은 작아지고, 따라서 열차의 제동거리는 단축된다.

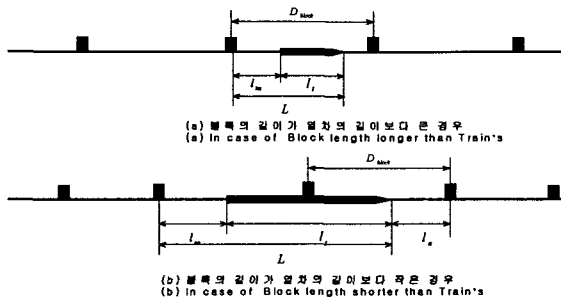


그림 3 (a) 열차의 길이가 폐색의 길이가 짧은 경우 (b) 열차의 길이가 폐색의 길이보다 길은 경우 (b)의 경우는 (a)의 경우보다 운전시격을 단축할 수 있다.

Fig. 3 (a) train length shorter than block length (b) train length longer than block length. Case (b) can reduce headway than case (a)

제안 1 : 최소간격은 열차가 검지구간을 통과할 때, 검지장치가 반응하여 열차가 점유하고 있다는 것을 인지하는 시간 t_{tr} 보다 커야하므로, 열차검지구간의 최소간격은 $l_{min} = v_{max} \times t_{tr}$ 보다 같거나 커야 한다. 따라서 $l_{ta} \geq l_{min}$ 이어야 한다.

증명 : 열차가 열차검지구간을 통과할 때 열차점유를 검지하기 전에 통과할 경우에는 열차가 점유되지 않은 것으로 간주하여 선행열차 존재유무를 검지할 수 없다. 그러므로 l_{ta} 의 최소 값은 열차검지구간의 최소간격과 동일하다. L 의 최소 값은 $L = l_{ta}(v_{max} \times t_{tr}) + l_t$ 이 된다.

3.2.4 차상열차속도의 제동거리

차상제어장치의 제동거리는 식(5)와 같이 표시된다. 그림(3)에서 열차의 길이 L 과 열차검지구간의 길이 D_{block} 의 관계를 $k = L/D_{block}$ 의 값으로 나타낼 수 있다. k 의 값이 1보다 크면 열차검지구간이 그림(3)에서의 열차검지구간이 세분화된 경우이다.

제동시점에서 선행열차가 존재하고 있어 제동을 체결하는 할 확률은 경우는 정리 1에 의해서 평균으로 1/2이므로 Beacon의 제동거리에 $D_{block}/2$ 를 추가한다. m 개의 beacon을 설치할 경우는 $D_{block}/2m$ 이 된다.

차상속도제어장치의 제동거리는 다음과 같다.

$$D_{beacon} = t_r v_{max} + \frac{v_{max}^2}{2a_s} + \frac{a_s}{2f} v_{max} + \left(k + \frac{1}{2m}\right) D_{block} \quad (6)$$

3.3 Moving Block 시스템

3.3.1 Moving Block에 의한 제어방법

Moving Block(이동폐색) 시스템은 지상에 설치되는 신호설비를 모두 제거한 시스템이다. 선행열차위치는 열차자체에서 계산을 하여, 열차속도를 관리하는 중앙센터에 통보를 하여 후속열차에 알려주고, 후속열차는 선행열차의 위치를

무선으로 통보를 받아 자기의 속도를 제어하는 방식이다. 이 방식은 무선에 의지하므로, 무선통신의 높은 신뢰성과 안전성이 요구된다.

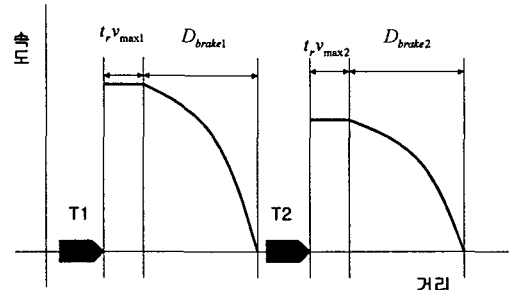


그림 4 이동폐색을 이용한 열차제어
Fig. 4 Train Speed Control using Moving Block

그림 4에서는 각기 다른 속도를 가진 열차가 이동폐색을 이용하여 주행하는 방법을 나타내고 있다. 이동폐색은 그림에서와 같이 지상부분에서 열차검지부분을 필요하지 않는다. 따라서 그 부분에 대해서는 운전시격을 단축할 수 있다. 이동폐색의 장점은 지상에 설비가 없기 때문에 유지보수비용이 절감된다.

3.3.2 Moving Block의 제동거리

이동폐색에서 제동거리는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_{moving} = s + D + o + L \quad (7)$$

정리 1로부터 공주거리 s 와 L 를 최적화 한 것으로서, $s = t_r \times v_{max}$ 이고, 열차길이 $L = l_t$ (열차길이)이다. 응답시간 t_r 은 차상장치가 지상과 통신을 하는 시간간격과 차상장치에서 속도정보의 해독과 제동장치에 명령을 인가하기까지의 시간이다. 따라서 가장 적은 운전시격을 확보할 수 있다. 통신간격은 이론적으로 제동장치가 최대제동력을 도달하는 시간과 제동완해 시간을 합한 값 이내에서 이루어져야 한다.

3.4 각 시스템간의 비교

각각의 신호시스템의 제동거리에 대해서 계산하였다. 운전시격은 열차의 제동성능에 비례한다. 고정폐색 시스템에서는 제동거리를 중심으로 양쪽부분에 폐색이 필요하며, 이것이 운전시격을 단축하는데 저해하는 원인이 되면, 성능이 각기 다른 열차들을 혼합운용을 할 때에는 제동력이 가장 낮은 열차를 중심으로 폐색을 나누어야 한다.

차상속도제어 방식은 제동전과 제동 후의 거리가 서로 다르다. 따라서 Beacon의 간격과 열차검지 장치의 해상도를 조절을 함으로써 운전시격을 단축할 수 있다.

이동폐색은 제동의 앞뒤에 열차가 확보해야하는 거리를 필요로 하지 않는다. 결과적으로 제동거리는 열차성능 즉 제동력과 기기의 응답속도에 비례하며, 신호기는 열차검지와 속도제어를 위한 해상도를 높이는 것이 운전시격을 단축시

키는 방안이다. 각 방식을 요약하면은 다음의 표와 같다.

표 2 각 신호시스템 사이의 신호기 제동거리 비교표
Table 2 Braking distance comparison table for different signaling system

구분	제동기능	기기용동	제동초기	제동 끝
고정폐색	$\frac{v_{max}^2}{2a_s} + t_j v_{max}$	$t_j v_{max}$	$\frac{D}{n}$	$\frac{D}{n}$
차상속도 제어방식	$\frac{v_{max}^2}{2a_s} + t_j v_{max}$	$t_j v_{max}$	-	$l_a + l_b$
이동폐색	$\frac{v_{max}^2}{2a_s} + t_j v_{max}$	$t_j v_{max}$	-	-

4. 시뮬레이션결과 및 비교

위에서 얻어진 제동거리 식을 이용하여 폐색을 이용한 제어는 폐색분할을 위한 최적 n값, beacon을 이용한 시스템에서는 beacon의 간격 및 열차검지간격, 이동폐색은 통신간격 최적 값을 설정을 시도하였다. 최적 값을 설정하기 위해서 시간당 몇 대의 열차가 운행할 수 있는 가를 의미하는 운행빈도 f_{train} 를 이용하여 최적 값 판단기준으로 삼았다. 운행빈도는 다음과 같이 정의된다.

$$f_{train} = \frac{3600v_{max}}{D} \tag{8}$$

열차의 제동거리가 늘어나면 운전시격 H_m 도 늘어난다. 열차가 주행하기 위해서는 항상 충분한 제동거리를 확보해야한다. 간략화된 운전시격의 정의는 다음과 같이 된다.

$$H_m = \frac{L+D}{v_{max}} \tag{9}$$

따라서 제동거리가 증가하면은 자동적으로 운전시격은 증가하게 되어 있다. 열차의 최소운전시격은 열차제동거리 L 와 열차길이 D 및 열차의 최고운행속도 v_{max} 에 따라 결정되며, H_m 이하로 단축할 수는 없다.

4.1 n 폐색분할에 대한 최적 값

각 폐색 수와 운전속도를 대한 선로용량을 계산하였다. 선로용량을 계산하기 위해서는 n폐색에 해당되는 제동거리를 이용하였다.

$$f_{train} = \frac{3600v_{max}}{n+2 \left(\sum_{i=1}^n t_i v_i + \frac{v_i^2 - v_{i-1}^2}{2a} + \frac{a_s}{2f} (v_i + v_{i+1}) \right) + l_i} \tag{10}$$

선로용량과 폐색 수의 관계를 그림 5, 그림 6 및 표 3에 나타내었다. 폐색 수가 5개 이상인 경우는 선로용량의 증가는 완만하게 된다. 그림 5는 속도별, 폐색 수에 대한 선로용량을 나타낸다.

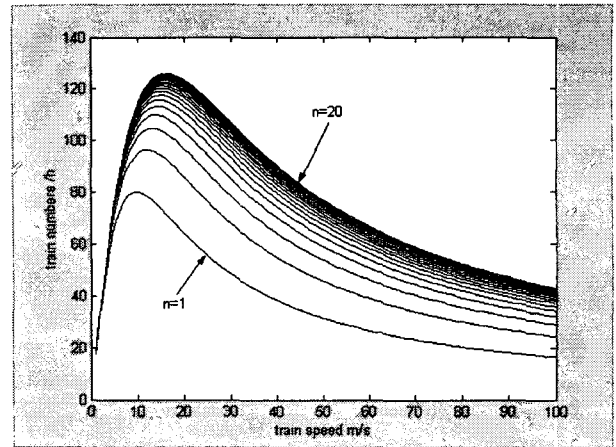


그림 5 폐색 수와 운행빈도와 관계 : 주행속도가 낮으면 운행빈도는 증가하며, 속도가 증가함에 따라 운행빈도는 낮아진다. 폐색수가 증가하면 운전시격은 증가하나 증가율은 급격히 감소한다.

Fig. 5 Relation between block number vs frequency : The lower speed is, the frequency is increased and the higher speed the frequency is decreased. The frequency is increased with increment of block number, but increment rate is decreased rapidly.

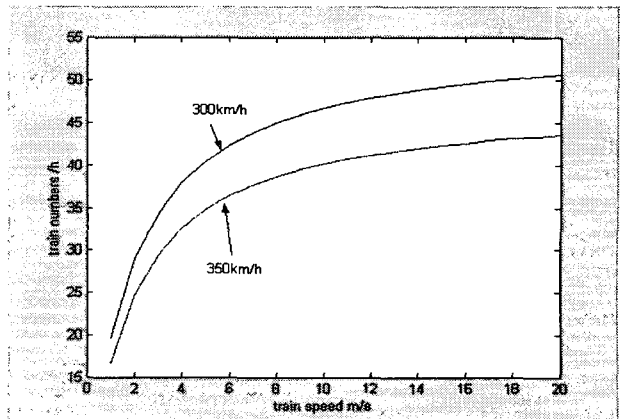


그림 6 폐색 수 증가에 따른 열차 운행빈도 증가 수
Fig. 6 Train frequency increment for block number increment

표 3 300km/h와 350km/h의 폐색 수에 따른 운행빈도수
Table 3 Operational frequency to block number for 300 and 350 km/h

폐색수 \ 속도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
300km/h	9	8	7	6	5	4	4	4	4	4	4	4
350km/h	6	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2

4.2 beacon 및 열차검지 장치의 설치의 최적 값

Beacon사이의 길이와 열차검지장치 간격을 설정하는 것이 중요한 문제가 된다. 식(6)에서 순수한 열차의 제동거리를 분할하여 열차검지장치의 간격(k)과 beacon의 간격(m)을

결정하였다.

제동거리는 식(6)으로 표시되며, 이에 따른 f_{min} 의 값을 구하여보면 그림 7과 같이 된다.

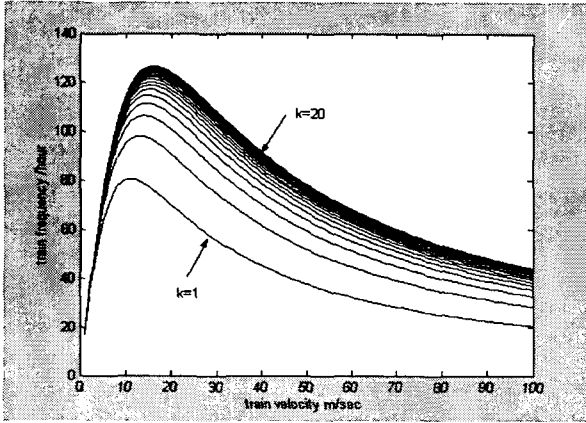


그림 7 beacon 및 $k=[1,20]$, $m=4$ 을 이용할 때의 운전시격과 속도의 관계. k 와 m 은 제동거리에서 폐색의 수와 beacon 수를 표시한다.

Fig. 7 Relation between train frequency and train speed for beacon signaling system with $k=[1,20]$ and $m=4$. k , m represent block numbers and beacon number in braking distance.

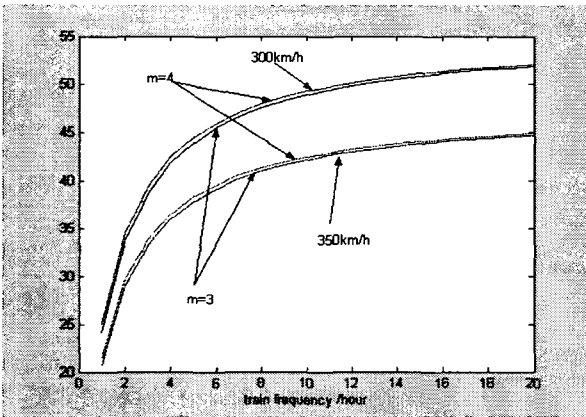


그림 8 $k=[1,20]$ 이고, $m=3$ 와 4인 경우에 300km/h와 350km/h에서의 운전빈도 수

Fig. 8 Train frequency of beacon signaling system with $k=[1,20]$ and $m=3$ represented for 300km/h와 350km/h

표 4 beacon $k=4$, $m=3$ 일 때의 300km/h와 350km/h의 폐색 수에 따른 운행빈도 수

Table 4 Train frequency of beacon signaling system with $k=[1,20]$ and $m=3$ represented for 300km/h와 350km/h

속도 \ 폐색수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
300km/h	24	33	38	41	43	45	46	47	48	48	49	49
350km/h	20	28	33	35	37	39	40	41	41	42	42	43

표 5 beacon $k=4$, $m=4$ 일 때의 300km/h와 350km/h의 폐색 수에 따른 운행빈도 수

Table 5 Train frequency of beacon signaling system with $k=[1,20]$ and $m=4$ represented for 300km/h와 350km/h

속도 \ 폐색수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
300km/h	25	34	39	42	44	45	47	47	48	49	49	50
350km/h	21	29	33	36	38	39	40	41	41	42	42	43

4.3 이동폐색의 통신간격

이동폐색은 식(7) 과 식(8)을 이용하여 운전시격을 구할 수 있다.

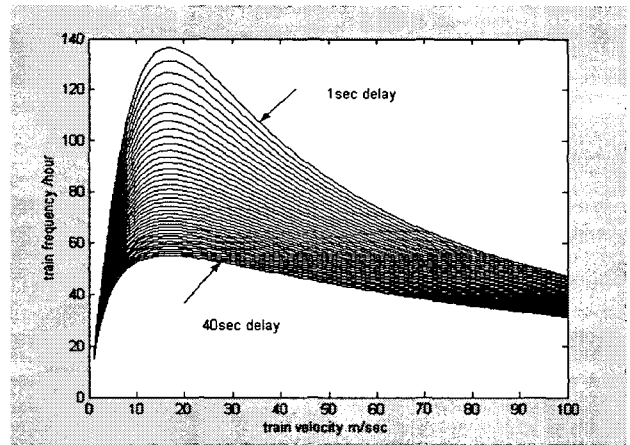


그림 9 이동폐색에서 통신시간 및 응답시간을 포함해서 [1,40]초까지 지연시간을 고려해서 운전빈도를 표시하였다.

Fig. 9 Train Frequency is represented between 1 to 40 seconds with communication delay and response times in moving block system.

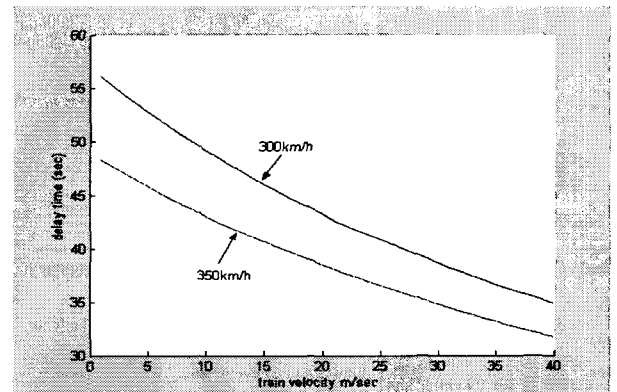


그림 10 300km/h와 350km/h에 대한 지연시간에 따른 운전 빈도 수를 표시하였다.

Fig. 10 Train Frequency is represented with communication delay and response times for 300 and 350 km/h.

표 6 moving block에서 통신을 포함한 응답시간을 1~40초에 운전빈도를 계산하였다.

Table 6 Train Frequency is represented between 1 to 40 seconds with communication delay and response times in moving block system.

지연시간 속도	.15	20	25	29	30	31	32	33	34	35	36	37
300km/h	46	43	40	39	38	38	37	37	37	36	36	35
350km/h	40	38	36	35	34	34	34	33	33	33	32	32

4.4 각 시스템간의 비교

각 시스템에 대한 비교를 그림 11에 표시하였다. 폐색 수의 증가와 통신지연의 시간은 300km/h에서 각각 13개 및 13초에서 일치하였다. 신호시스템은 운전시격 증가는 다단계 속도제어 보다는 beacon과 moving block 시스템이 유리하다. 각 시스템의 비교는 그림 11을 참조함으로써 쉽게 알 수 있다.

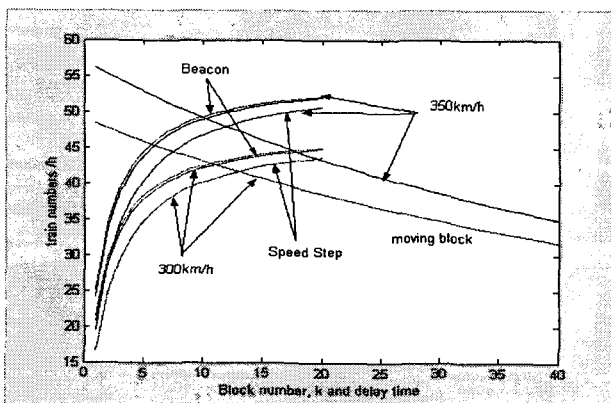


그림 11 3개 종류의 신호제어 방식에 대해서 운전빈도의 관계 : 다단계속도제어와 beacon 제어방식은 제동거리의 분할 방식으로 표시하였으며, moving block은 통신지연시간으로 표시하였다.

Fig. 11 Train frequency relation for three different signaling systems : speed step and beacon train control systems are compared with braking distance dividing mean and communication delay time for moving block

5. 결 론

신호시스템의 폐색 수의 증가는 운전시격을 단축시킬 수 있으나 폐색 수의 증가에 따라서 운전빈도의 증가는 급격히 감소한다. 따라서 폐색 수는 4~5개로 제한하는 것이 바람직하다. Beacon 방식과 moving block 방식은 다단계방식 보다는 운전빈도를 증가시킬 수 있다. 그림 9, 11, 13에서 보듯이 최고속도를 감소시킴으로써 운전시격을 증가시킬 수 있다. 따라서 철도의 투자 시에는 최고운행 속도를 줄이는 방법에 유연성이 있는 beacon 방식과 moving block 방식이 유리하다.

이 결론은 이론 및 신호설치 입장에서 고려한 것으로서, 운용에서는 위에서 제시된 것보다 열차운행빈도 수는 감소한다. 왜냐하면, 열차운용을 고려할 때는 운전시격에 여유를 주어, 지연열차의 회복, 사고 시의 복구시간 예비 등 신호이외의 여러 가지 변수를 고려하여 운전빈도를 결정하기 때문이다.

<기호>

- a : 감가속도
- a_s : 대표 감가속도의 값
- B_x : Beacon의 위치
- D : 상용제동거리
- $D_{naspect}$: n 현시 신호기의 제동거리
- D_{beacon} : 차상속도제어장치의 제동거리
- D_{moving} : Moving block 장치의 제동거리
- H_m : 열차운전시격
- f_{train} : 열차의 시간당 운행빈도
- k : 열차길이 대 열차점지구간의 비
- L : 폐색에서 열차의 선두까지의 길이
- l_t : 순수열차길이
- l_{ta} : $L - l_t$
- m : 열차점지구간 내에 beacon의 설치 수
- o : 과주거리
- s : 공주거리
- T_a : 후속열차
- T_b : 선행열차
- T_x : 임의의열차
- t_a : beacon에서 임의의 지점 "a"까지 주행한 시간
- t_{ca} : 열차점지용 궤도회로
- t_n : 임의의 시간
- t_r : 기기 응답시간
- v : 차량속도

감사의 글

본 연구는 1996년도~2002년도 G7 고속철도개발사업에 의해서 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] O.S. NOCK, 'Railway Signalling', A & C Black, London
- [2] UIC/ERRI, 'ETCS System Requirements Specification voll~vol6', 1996
- [3] 吉村寛, et al, '信號', 交友社, 1958, 東京, pp1~29
- [4] 山口欽一, 電氣鐵道要覽, 社團法人, 鐵道電化協會, 日本, 1972, pp10~18

- [5] D.C. GILL, et al, ' Computer Based Optimization Techniques For Mass Transit Railway Signalling Design, IEE Proceeding-B, Vol. 139, No. 3, May 1992 pp 261-275
- [6] LEE Jongwoo, et al 'A Study on Railway Block Sectioning and Speed Allocations', KRRI, Internal Report
-

저 자 소 개



이 증 우(李 鍾 宇)

1959년 3월 20일생. 1983년 한양대학교 공과대학 기계설계과 졸업, 1986 Ecole Centrale de Nantes 석사, 1993 Universite de Paris VI 공학박사, 1994년~현재 한국철도기술연구원 전기신호본부 책임연구원

Tel : 031-460-5433

Fax : 031-460-5459

E-mail : jwlee@krri.re.kr