

열차 감속도 결정 알고리즘의 시뮬레이션 연구

The Study of Simulation for Train Deceleration Determination Algorithm

백중현* 김용규**
Baek, Jong-Hyen Kim, Yong-Kyu

ABSTRACT

Communication based train control system is applied regularly worldwide. And this system may be used in domestic soon. Communication based train control system does not depend on conventional track circuit. Therefore, position and distance control of train to prevent collision with leading train may become important safety factor. This paper developed collision avoidance algorithm to control trains of several units efficiently for this.

In developing a collision avoidance algorithm, it is desirable to avoid the need for additional system. Additional system restricts the development of the algorithm by limiting the effectiveness of the algorithm to only those areas where the additional system can be afforded and has been installed.

1. 서 론

통신을 이용한 열차제어시스템에서 차상장치는 운행되는 모든 열차에 설치되어 있으며, 선로를 따라 운행할 때 열차 안전운행에 필요한 데이터들이 인접한 열차나 지상장치와의 통신을 통하여 송수신될 수 있다. 열차에 설치된 각각의 차상장치는 인접한 열차의 위치, 속도, 가속도 등의 정보를 통신을 통하여 지속적으로 알 수 있기 때문에 선행열차와의 안전거리 침범을 피하기 위한 감속도가 결정될 수 있다. 이러한 감속도는 두 편성의 열차운행시에 대한 알고리즘을 통해 결정되며, 이러한 알고리즘은 여러 편성의 열차운행에도 적용할 수 있도록 확장하여야 한다.

본 논문에서 개발된 알고리즘은 선행열차와의 안전거리 침범을 피하기 위해 요구되는 감속도를 산출하는 것에서부터 시작하였다. 이것은 선행열차와의 안전거리를 침범하지 않기 위한 후행열차의 동작을 결정하기 위함이며, 특히 선행열차가 그 것의 선행열차와의 안전거리를 침범하지 않기 위한 동작을 고려하여야 한다. 어떤 특정 시간에서 열차 T_i 는 선로를 따라 운행되는 거리 $s_i(t)$, 속도 $v_i(t)$ 및 가속도 $a_i(t)$ 에 의해 특성이 부여된다. 그림 1에서는 가속도가 없는 두 편성의 열차를 보여주고 있다. 시간이 0인 수직축에서 다르게 표시된 선행열차 T_2 와 후행열차 T_1 은 두 개의 직선으로 표현되고 있으며 후행열차가 선행열차보다 더 큰 속도(기울기)를 가지고 있으므로 안전거리를 침범하는 시간에 후행열차는 정지하여야 한다. 그림 2에서는 일정한 감속도를 가지는 한 편성의 열차를 표현하였다. 이 열차는 감속이 시작되는 시간 b 까지는 일정한 속도로 운행한다.

* 한국철도기술연구원 연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

이러한 감속은 열차가 초기 속도보다 낮은 일정한 속도로 계속되어지는 시간 e 까지 계속된다.

본 논문에서는 우선 두 편성의 열차운행 상황을 고려하여 선행열차가 보다 앞서있는 다른 열차와의 상황에 맞추어 감속 또는 가속할 때 후행열차가 어떻게 동작되어야 하는 지를 결정하였다. 또한 이를 기반으로 여러 편성의 열차운행 상황을 고려한 후행열차의 동작 상태를 결정하였다.

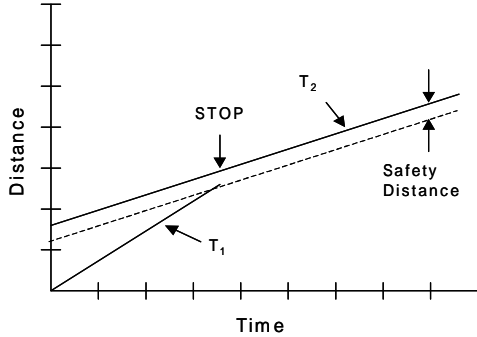


그림 1. 가속이 없는 두 편성의 열차

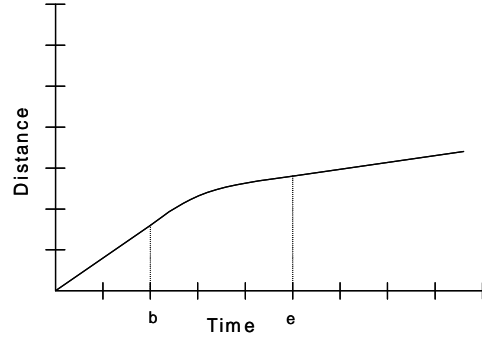


그림 2. 감속되는 한 편성의 열차

2. 두 편성 열차운행시의 감속도 계산

선행열차와의 안전거리를 침범하지 않기 위해 필요한 후행열차의 감속도를 결정하기 위해서는 후행열차 시스템의 반응 및 동작시간이 고려되어야 한다. 기본적으로 열차는 어느 정도의 동작시간을 가지기 때문에, 다음과 같은 두 가지 경우를 생각해볼 수 있다. 첫 번째로, 선행열차의 급격한 감속으로 인하여 후행열차가 감속하기 전에 선행열차와의 안전거리를 침범하는 것이다. 다른 경우는, 후행열차가 선행열차와의 안전거리를 침범하기 전에 동작하여 충분한 제동력으로 안전거리를 침범하지 않는 것이다.

2.1 후행열차 반응 전 발생하는 안전거리 침범

후행열차의 반응 전에 선행열차와의 안전거리를 침범하는 경우에 대해서는 세 가지의 안전거리 침범 시나리오를 예상할 수 있다. 이러한 세 가지의 시나리오는 후행열차가 선행열차를 따라 잡았기 때문에 안전거리를 침범하는 경우, T_2 가 보다 앞서 있는 다른 열차와의 안전거리를 침범하지 않기 위해 감속하는 동안 T_1 이 T_2 와의 안전거리를 침범하는 경우 그리고 마지막으로 T_2 가 앞서 있는 열차에 대한 안전거리 침범 회피 동작을 끝냈을 때, T_1 이 T_2 와의 안전거리를 침범하는 경우이다. 여기에서 선행열차 T_2 의 위치와 속도는 시간 0과 b_2 사이에서의 $a_2(0)$, 그리고 시간 b_2 와 e_2 사이에서의 일정한 가속도 $a_2(b_2)$, 시간 e_2 후의 일정한 가속도 $a_2(e_2)$ 등의 변수를 가지는 식 (1), (2)처럼 표현하거나 식 (3), (4)처럼 표현할 수 있다. 위의 경우와 비슷하게 시간 t 의 함수로서 T_1 의 속도와 위치는 식 (6)과 (7)과 같이 표현될 수 있다.

$$v_2(t) = \begin{cases} v_2(0) + a_2(0) \cdot t, & t \leq b_2 \\ v_2(b_2) + a_2(b_2) \cdot (t - b_2), & b_2 < t \leq e_2 \\ v_2(e_2) + a_2(e_2) \cdot (t - e_2), & t > e_2 \end{cases} \quad \text{----- (1)}$$

$$s_2(t) = \begin{cases} s_2(0) + v_2(0) \cdot t + \frac{1}{2} a_2(0) \cdot t^2, & t \leq b_2 \\ s_2(b_2) + v_2(b_2) \cdot (t - b_2) + \frac{1}{2} a_2(b_2) \cdot (t - b_2)^2, & b_2 < t \leq e_2 \\ s_2(e_2) + v_2(e_2) \cdot (t - e_2) + \frac{1}{2} a_2(e_2) \cdot (t - e_2)^2, & t > e_2 \end{cases} \quad \text{----- (2)}$$

$$v_2(t) = v_2(\tau_2) + a_2(\tau_2) \cdot (t - \tau_2) \quad \text{----- (3)}$$

$$s_2(t) = s_2(\tau_2) + v_2(\tau_2) \cdot (t - \tau_2) + \frac{1}{2} a_2(\tau_2) \cdot (t - \tau_2)^2 \quad \text{----- (4)}$$

$$\text{여기에서 } \tau_2 = \begin{cases} 0, & t \leq b_2 \\ b_2, & b_2 < t \leq e_2 \\ e_2, & t > e_2 \end{cases} \text{----- (5)}$$

$$v_1(t) = v_1(0) + a_1(0) \cdot t \text{----- (6)}$$

$$s_1(t) = s_1(0) + v_1(0) \cdot t + \frac{1}{2} a_1(0) \cdot t^2 \text{----- (7)}$$

열차가 감속하기 전에 안전거리를 침범하기 때문에, 비상제동에 의한 급격한 제동은 돌이킬 수 없지만, 최소한 선행열차와의 충돌은 피할 수 있어야 한다. L_2 는 열차 T_2 의 길이에 열차사이에서 절대적으로 유지되어야 하는 안전거리를 합한 값에다 위치 데이터에서 예상되는 오차까지 고려한 값이어야 한다.

식 (4)와 (7)로부터 $s_2(t_i) - s_1(t_i) = L_2$ 는 식 (8) 또는 (9)와 같이 표현된다.

$$[s_2(\tau_2) + v_2(\tau_2) \cdot (t_i - \tau_2) + \frac{1}{2} a_2(\tau_2) \cdot (t_i - \tau_2)^2] - [s_1(0) + v_1(0) \cdot t_i + \frac{1}{2} a_1(0) \cdot t_i^2] = L_2 \text{----- (8)}$$

$$\frac{1}{2} [a_2(\tau_2) + a_1(0)] \cdot t_i^2 + [v_2(\tau_2) - a_2(\tau_2) \cdot \tau_2 + v_1(0)] \cdot t_i + [s_2(\tau_2) - v_2(\tau_2) \cdot \tau_2 + \frac{1}{2} a_2(\tau_2) \cdot \tau_2^2 - s_1(0) - L_2] = 0 \text{----- (9)}$$

식 (9)는 2차 방정식으로 표현되므로 두 가지의 해가 도출될 것이다. 두 가지의 해 중에서 t_i 를 위해 보다 작은 값이 앞으로 설명하는 조건에 적합할 것이다. t_i 를 위한 표현식에서 $\tau_2=0$ 라고 한다면, 시간 0과 b_2 사이에서 안전거리 침범이 발생한다고 가정할 수 있다. 만약 식 (9)로부터 t_i 에 대한 해가 시간 0과 b_2 사이에 있다면, 안전거리 침범은 t_i 의 계산된 값에서 발생할 것이다. 그리고 안전거리 침범시 속도의 차이는 식 (3)과 (6)에서 t 대신에 t_i 를 대입하여 얻어낼 수 있다. 만약, t_i 에 대한 해가 시간 0과 b_2 사이에 없고, 안전거리 침범이 발생한다면, 시간 b_2 후에 일어날 것이다. $\tau_2 = b_2$ 라고 하면, 안전거리 침범은 시간 b_2 와 e_2 사이에서 발생한다고 가정할 수 있다. 이 때 t_i 의 해를 구하고 그것이 b_2 와 e_2 사이에 있는 지를 확인한다. 여기에서 얻어진 t_i 의 해가 b_2 와 e_2 사이에 있다면, 안전거리 침범시의 속도 차이는 위에서 설명한 것과 같이 구할 수 있을 것이다. 만약 그 사이에 없다면, 안전거리 침범은 시간 e_2 이후에 발생한 것으로 가정할 수 있다. 그렇다면 $\tau_2 = e_2$ 라고 놓고 위의 과정을 반복하여야 한다.

2.2 후행열차 반응 후에 요구되는 감속도

두 번째 경우에는, 후행열차의 일반적인 제동성능이 충분하다고 가정한다면, 안전거리 침범은 피할 수 있다. 따라서 선행열차와의 안전거리 침범을 피하기 위해 필요한 감속의 양을 결정하여야 한다. 일단 필요한 감속량을 알게 되면, 정해진 열차의 최대 허용 감속도와 비교하여야 하며, 이것이 열차의 제동특성 내에 있다면 안전거리 침범은 발생하지 않을 수 있다.

선행열차와 후행열차의 거리가 아무리 가깝더라도 후행열차의 속도가 선행열차의 속도와 같거나 작다면 안전거리 침범은 발생하지 않을 것이다.

$$v_1(t) \leq v_2(t) \text{ and } s_2(t) - s_1(t) = L_2 \text{----- (10)}$$

선행열차는 또한 보다 앞에 있는 다른 열차에 반응하여 감속할 수도 있는데, 이에 대해서도 앞의 경우와 같이 세 가지의 안전거리 침범 회피 시나리오가 있다. 각각의 경우에서 식 (10)의 조건은 두 개의 곡선이 교차할 때 충족된다.

여기에서 선행열차 T_2 는 시간 0과 b_2 사이에서의 일정한 가속율 $a_2(0)$, 시간 b_2 와 e_2 사이에서의 감속율 $a_2(b_2)$, 그리고 시간 e_2 후의 일정한 가속율 $a_2(e_2)$ 을 유지한다고 가정하면, 시간 t 에서의 선행열차 T_2 의 위치와 속도는 식 (11)과 (12)처럼 표현된다.

$$v_2(t) = v_2(\tau_2) + a_2(\tau_2) \cdot (t - \tau_2) \quad \text{-----} \quad (11)$$

$$s_2(t) = s_2(\tau_2) + v_2(\tau_2) \cdot (t - \tau_2) + \frac{1}{2} a_2(\tau_2) \cdot (t - \tau_2)^2 \quad \text{-----} \quad (12)$$

$$\text{여기에서, } \tau_2 = \begin{cases} 0, & t \leq b_2 \\ b_2, & b_2 < t \leq e_2 \\ e_2, & t > e_2 \end{cases} \quad \text{-----} \quad (13)$$

이러한 경우에, 후행열차 V_1 는 선행열차와의 충돌을 피하기 위해 제동장치를 동작시킬 것이므로, 시간 t 의 함수인 후행열차 V_1 의 속도와 위치는 $t > b_1$ 일 때, 식 (14)와 (15)에 의해 얻을 수 있다.

$$v_1(t) = v_1(b_1) + a_1(b_1) \cdot (t - b_1) \quad \text{-----} \quad (14)$$

$$s_1(t) = s_1(b_1) + v_1(b_1) \cdot (t - b_1) + \frac{1}{2} a_1(b_1) \cdot (t - b_1)^2 \quad \text{-----} \quad (15)$$

시간 b_1 에서 감속을 시작할 때, 후행열차 V_1 에 의해 요구되는 감속도는 위의 식에서 $a_1(b_1)$ 으로 표현되어 있다. 식 (11), (12), (14), 그리고 (15)를 이용하여 $a_1(b_1)$ 과 e_1 에 대해 정리하면 다음과 같은 식 (16)과 (17)이 도출된다.

$$a_1(b_1) = \frac{-[v_2(\tau_2) + a_2(\tau_2) \cdot (b_1 - \tau_2) - v_1(b_1)]^2}{2 \cdot [s_2(\tau_2) + v_2(\tau_2) \cdot (b_1 - \tau_2) + \frac{1}{2} a_2(\tau_2) \cdot (b_1 - \tau_2)^2 - s_1(b_1) - L_2]} + a_2(\tau_2) \quad \text{-----} \quad (16)$$

$$e_1 = \frac{-2 \cdot [s_2(\tau_2) + v_2(\tau_2) \cdot (b_1 - \tau_2) + \frac{1}{2} a_2(\tau_2) \cdot (b_1 - \tau_2)^2 - s_1(b_1) - L_2]}{v_2(\tau_2) + a_2(\tau_2) \cdot (b_1 - \tau_2) - v_1(b_1)} + b_1 \quad \text{-----} \quad (17)$$

그리고, 열차 V_1 과 V_2 사이의 속도와 거리의 차이를 각각 ΔV_{12} 와 ΔS_{12} 라고 정의하면,

$$\Delta V_{12}(\tau_2) = v_2(\tau_2) + a_2(\tau_2) \cdot (b_1 - \tau_2) - v_1(b_1) \quad \text{-----} \quad (18)$$

$$\Delta S_{12}(\tau_2) = s_2(\tau_2) + v_2(\tau_2) \cdot (b_1 - \tau_2) + \frac{1}{2} a_2(\tau_2) \cdot (b_1 - \tau_2)^2 - s_1(b_1) - L_2 \quad \text{-----} \quad (19)$$

식 (18)과 (19)를 이용하여 식 (16)과 (17)을 다시 표현하면 다음과 같은 식이 된다.

$$a_1(b_1) = \frac{-[\Delta V_{12}(\tau_2)]^2}{2 \cdot \Delta S_{12}(\tau_2)} + a_2(\tau_2) \quad \text{-----} \quad (20)$$

$$e_1 = \frac{-2 \cdot \Delta S_{12}(\tau_2)}{\Delta V_{12}(\tau_2)} + b_1 \quad \text{-----} \quad (21)$$

2.3 두 편성 열차운행시의 열차 감속도 결정 알고리즘

후행열차가 선행열차와의 충돌을 피하기 위해 본 논문에서 제시하는 알고리즘은 $a_1(b_1)$, e_1 , $a_1(e_1)$ 을 결정하기 위한 절차로서, 아래와 같은 알고리즘으로 표현된다. 이러한 알고리즘은 선행열차를 위한 거리-시간 파라미터 성분($s_2(0)$, $v_2(0)$, $a_2(0)$, b_2 , $a_2(b_2)$, e_2 , $a_2(e_2)$), 선행열차의 길이 L_2 , 그리고 후행열차의 현재 상태($s_1(0)$, $v_1(0)$, $a_1(0)$, b_1) 등이다.

$$\text{if } \left(0 \leq \frac{-2 \cdot \Delta S_{12}(0)}{\Delta V_{12}(0)} + b_1 \leq b_2 \right) \text{ then } a_1(b_1) = \frac{-[\Delta V_{12}(0)]^2}{2 \cdot \Delta S_{12}(0)} + a_2(0) ;$$

$$e_1 = \frac{-2 \cdot \Delta S_{12}(0)}{\Delta V_{12}(0)} + b_1 ; \quad a_1(e_1) = 0 ;$$

$$\text{else if } \left(b_2 < \frac{-2 \cdot \Delta S_{12}(b_2)}{\Delta V_{12}(b_2)} + b_1 \leq e_2 \right) \text{ then } a_1(b_1) = \frac{-[\Delta V_{12}(b_2)]^2}{2 \cdot \Delta S_{12}(b_2)} + a_2(b_2) ;$$

$$e_1 = \frac{-2 \cdot \Delta S_{12}(b_2)}{\Delta V_{12}(b_2)} + b_1 ; \quad a_1(e_1) = 0 ;$$

$$\begin{aligned}
& \text{else if } \left(e_2 < \frac{-2 \cdot \Delta S_{12}(e_2)}{\Delta V_{12}(e_2)} + b_1 \right) \text{ then } \quad a_1(b_1) = \frac{-[\Delta V_{12}(e_2)]^2}{2 \cdot \Delta S_{12}(e_2)} + a_2(e_2); \\
& e_1 = \frac{-2 \cdot \Delta S_{12}(e_2)}{\Delta V_{12}(e_2)} + b_1; \quad a_1(e_1) = 0; \\
& \text{else } a_1(b_1) = a_1(0); \quad e_1 = \infty; \quad a_1(e_1) = 0;
\end{aligned}$$

3. 다편성 열차운행시의 알고리즘

앞 절에서 사용된 알고리즘은 후행열차가 선행열차와의 안전거리를 침범하는 것을 피하기 위해 적합한 거리-시간 곡선을 결정하는 것이었다. 이것은 어떤 선행열차 T_{i+1} 에 대한 후행열차 T_i 에서 요구되는 감속이 결정되는 것으로 간단하게 일반화시킬 수 있다. 현재의 위치, 속도, 가속도 및 각각의 열차 길이는 열차간 통신을 통해 알 수 있기 때문에 앞 절에서의 연산과정 결과를 이용하면 구하고자 하는 결과인 $a_i(b_i)$, e_i , $a_i(e_i)$ 를 구할 수 있다.

이러한 과정을 바탕으로 다음의 식 (22)와 같이 12개의 입력요소를 가진 순환함수 Φ 를 정의할 수 있다. 이러한 식 (22)에서의 순환함수 Φ 는 12개 입력요소 중 마지막 세 입력요소인 $a_{i+1}(b_{i+1})$, e_{i+1} 및 $a_{i+1}(e_{i+1})$ 는 열차 T_{i+1} 과 T_{i+2} 의 연산과정에서 나오는 결과를 사용하여야 한다. 따라서 순환함수 Φ 를 정의하려면 이러한 순환을 중지시키기 위한 조건, 즉 $a_n(b_n)$, e_n 및 $a_n(e_n)$ 에 대한 값들이 필요하다.

$$(a_i(b_i), e_i, a_i(e_i)) = \Phi(s_i(0), v_i(0), a_i(0), b_i, L_{i+1}, s_{i+1}(0), v_{i+1}(0), a_{i+1}(0), b_{i+1}, a_{i+1}(b_{i+1}), e_{i+1}, a_{i+1}(e_{i+1})) \quad i=1, \dots, n-1 \quad (22)$$

열차 T_1 에서는 T_n 까지의 열차까지만 데이터통신이 가능하지만, T_2 에서는 T_{n+1} 까지의 열차까지 가능하다. 따라서 $a_n(b_n)$, e_n 및 $a_n(e_n)$ 의 정보는 앞에서 설명하였듯이 T_n 과 T_{n+1} 열차의 연산과정을 통해 구할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 열차 T_n 이 초기가속 상태($a_n(0)$)를 유지한다고 가정한다. 따라서 $a_n(b_n) = a_n(0)$ 이고, $e_n = \infty$ 로 열차가 등속운전을 한다고 보면 다음의 식(23)과 같이 수식을 확장시킬 수 있다.

$$\begin{aligned}
& (a_1(b_1), e_1, a_1(e_1)) = \\
& \Phi(s_1(0), v_1(0), a_1(0), b_1, L_2, s_2(0), v_2(0), a_2(0), b_2, \\
& \Phi(s_2(0), v_2(0), a_2(0), b_2, L_3, s_3(0), v_3(0), a_3(0), b_3, \\
& \Phi(s_3(0), v_3(0), a_3(0), b_3, L_4, s_4(0), v_4(0), a_4(0), b_4, \\
& \cdot \\
& \cdot \\
& \Phi(s_{n-3}(0), v_{n-3}(0), a_{n-3}(0), b_{n-3}, L_{n-2}, s_{n-2}(0), v_{n-2}(0), a_{n-2}(0), b_{n-2}, \\
& \Phi(s_{n-2}(0), v_{n-2}(0), a_{n-2}(0), b_{n-2}, L_{n-1}, s_{n-1}(0), v_{n-1}(0), a_{n-1}(0), b_{n-1}, \\
& \Phi(s_{n-1}(0), v_{n-1}(0), a_{n-1}(0), b_{n-1}, L_n, s_n(0), v_n(0), a_n(0), b_n, a_n(0), \infty, a_n(0) \dots)) \\
& (a_i(b_i), e_i, a_i(e_i)) = \\
& \begin{cases} (a_n(0), \infty, a_n(0)), & i = n \\ \Phi(s_i(0), v_i(0), a_i(0), b_i, L_{i+1}, s_{i+1}(0), v_{i+1}(0), a_{i+1}(0), b_{i+1}, a_{i+1}(b_{i+1}), e_{i+1}, a_{i+1}(e_{i+1})), & i < n \end{cases} \\
& \text{-----} \quad (23)
\end{aligned}$$

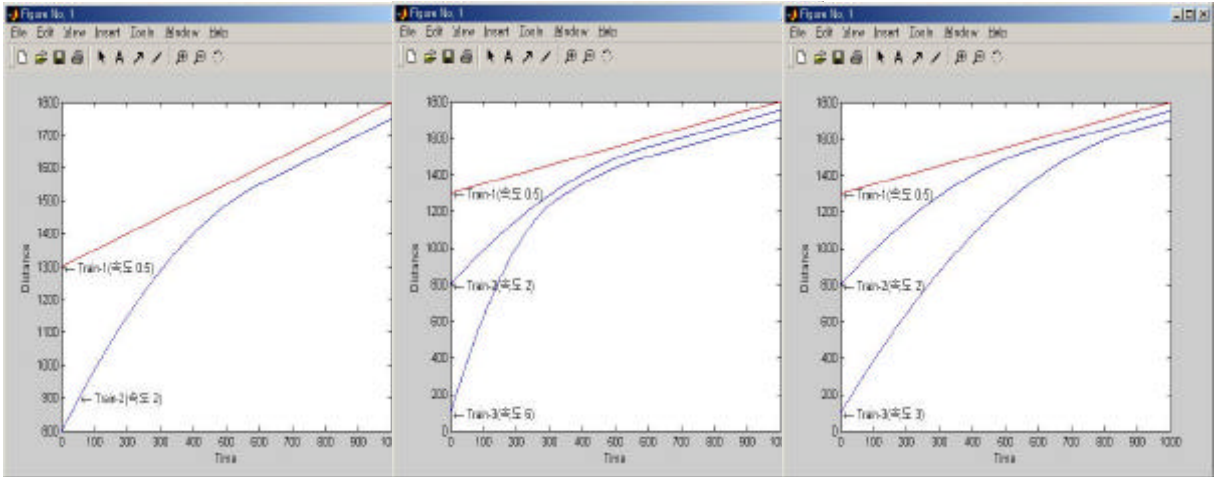
3. 시뮬레이션

앞에서 제시한 알고리즘의 성능을 알아보기 위하여 다음과 같은 세 가지 경우에 대해 Matlab을 이용하여 시뮬레이션하였다.

- ① 시간 0 ~ b_2 사이에 선행열차가 감속을 수행하기 전에 후행열차에 의해 안전거리를 침범당하는 경우 : 선행열차가 처음부터 일정한 속도로 운행 중일 때 후행열차의 현재 속도와 거리

차를 이용해서, 안전거리를 침범하는 시간을 연산하고 선행 열차와 비슷한 속도에 이르는 위치를 예상한 후 감속도를 정한 다음 일정한 감속도로 일정시간 동안 운행한 후 선행 열차와 속도를 맞춰 가는 과정을 보여 주고 있다.

- ② 시간 $b_2 \sim e_2$ 사이에 안전거리를 침범당하는 경우 : 위의 첫번째 시뮬레이션에서 T1에 의해 T2가 감속을 하고 그 다음 열차 T3가 T2에 의해 감속도를 결정하는 시뮬레이션이다.
- ③ 시간 $e_2 \sim \infty$ 사이에 안전거리를 침범당하는 경우 : 두 번째 시뮬레이션과 같은 상황에서 T3의 속도가 T2의 속도보다 약간 빠를 경우 T2의 감속이 끝난 후에 T2의 안전거리에 침범하는 경우에 대한 시뮬레이션이다.



시뮬레이션 ①

시뮬레이션 ②

시뮬레이션 ③

4. 결론

본 논문에서는 궤도회로가 없는 통신기반 열차제어시스템에서 여러 편성의 열차들의 충돌을 회피하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 인접한 열차의 정보는 통신을 통하여 지속적으로 송수신되고 이에 선행열차와의 충돌을 피하기 위한 감속도를 결정하여야 한다. 이러한 감속도는 선행열차와의 충돌뿐만 아니라 뒤따라오는 열차를 포함한 여러 열차의 연쇄적인 충돌을 피하기 위해 고려되어야 한다. 본 논문에서는 우선 두 편성의 열차 운행에 대한 기본적인 알고리즘을 제시하고, 이를 다편성 열차 운행시에도 적용할 수 있도록 확장하였다. 또한 제시된 알고리즘의 성능을 시험하기 위해 Matlab을 이용하여 세 가지 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과 앞 절의 그림에서 알 수 있듯이 상당한 효과를 가지고 있음을 알 수 있었다. 그러나 본 논문에서 제시한 알고리즘은 선행열차의 감속시점 및 감속종점의 시간을 알고 있어야 하는 등 여러 문제점 등을 가지고 있는 것도 사실이다. 추후 이러한 문제점들을 해결하기 위해 알고리즘의 보완 및 수정이 필요할 것이다.

※ 참고문헌

1. Aoki, M., H. Fujii, Y.Ishii & H. Wakata, "Applications of Inter-Vehicle Communication & their Effects for Road Traffic Improvement", Proceedings of the 26th International Symposium on Automotive Technology and Automation, pp. 761-768, 1993
2. Kawai, M., "Collision Avoidance Technologies", Proceedings of the 1994 International Congress on Transportation Electronics, pp. 305-316, 1994
3. 백중현, "통신을 이용한 열차제어시스템에서의 간격제어를 위한 알고리즘 개발", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 412-414p, 2003
4. 백중현외, "Smart Rail 기술개발", 한국철도기술연구원 기본사업 연구보고서, 2003