

철도차량의 비상제동거리 해석 시스템 Prediction System for Emergency Braking Distance of Railway Train

진 원 혁*, 이 성 창 (연세대학교 기계공학과 대학원),
최 경 진 (한국 철도 기술 연구원), 김 대 은 (연세대학교 기계공학과)
Won-Hyeog Jin*, Sung-Chang Lee (Graduate School, Yonsei Univ.),
Kyoung-Jin Choi (KRRRI), Dae-Eun Kim (Yonsei Univ.)

ABSTRACT

As railway trains run faster high performance braking systems are necessary because more energy needs to be dissipated due to increased kinetic energy. In this work a portable computer based prediction system for emergency braking distance has been developed. The algorithm for the system is based on braking theory and empirical results of actual braking test. The computer is connected to the sensors to measure the velocity and the braking pressure in real train. It is expected that this system will be utilized to predict emergency braking distance during actual operation of the train.

Key Words : Railway Train(철도차량), Emergent Braking Distance(비상제동거리),
Running Resistance(주행저항)

1. 서 론

현재 교통 수단에 큰 비중을 차지하고 있는 철도 차량은 기술의 발전으로 인해 300 km/h 대의 속도를 달성하기에 이르렀다. 열차가 고속화됨에 따라 열차 주행시의 운동에너지가 더욱 커졌고, 이를 소산하기 위한 제동 역시 그 중요성이 더욱 부각되고 있다. 특히 열차는 다른 운송 수단과 달리 한꺼번에 많은 승객을 운송하므로 신뢰성 있는 제동이 매우 중요하며, 위급한 상황에서 열차를 긴급히 정차시킬 때 필요한 비상제동거리는 열차신호체계, 방호체계 등을 수립하는 데 기초자료가 되며, 건널목 사고와 선로 상에서 발생하는 사고의 예방에도 깊은 관련이 있다.

철도 선진국의 경우 철도 차량의 가속속 성능과 차량의 공전·활주를 해석하기 위한 장치와 시스템을 개발하여 제동성능의 고정밀한 해석과 신속한 평가가 이루어지고 있다⁽¹⁾. 그렇지만, 우리 나라 철도 차량의 경우 최고 속도 상승, 전기·공기 제동 장치 등의 도입에 따른 제동장치의 다양화로 인하여 제동 거리 산출이

점점 복잡해지고 있으나, 아직은 주로 기관사들의 감각과 판단에 의존하여 제동이 이루어지고 있는 실정이다.

따라서, 안전한 제동을 보장하기 위해서는 제동거리에 영향을 미치는 제동장치와 주행조건에 대한 이해가 필요하며, 특히 유사시 비상제동거리에 관한 예측 시스템의 개발은 무엇보다도 필수적이라 할 수 있다.

이에 이론 및 실험적인 제동거리 식과 우리 나라 열차 제동장치 데이터베이스를 이용하여 제동거리를 예상할 수 있는 프로그램을 개발하고, 이 결과를 노트북을 사용하여 실차 실험에서 센서가 감지하는 제동변수의 값으로부터 직접 제동거리를 산출할 수 있는 시스템을 개발하여 우리 나라의 실정에 적합한 제동거리 예상 식을 유도한다. 또한, GUI (Graphic User Interface) 환경을 도입하여 실제 기관사들이 쉽게 사용하며 보다 과학적으로 열차를 제동할 수 있도록 도울 수 있다.

2. 열차 저항

2.1 주행저항

열차가 주행할 때 그 진행방향과 반대로 작용하는 모든 저항을 총칭하여 말하며 전동기의 입력 대 출력간의 손실, 치차의 전달손실등은 포함하지 않는다.

주행저항식은 운전속도에 영향받지 않는 기계부분의 저항과 속도에 비례하는 차륜담면과 궤조(軌條)간의 마찰저항과 충격으로 인한 저항 및 속도자승에 비례하는 공기저항과 차량동요저항 등으로 분류하며 실험식을 일반적으로 사용한다⁽²⁾.

국철 (KNR)에서 규정하고 있는 열차의 주행저항식들은 속도정수사정기준규정⁽³⁾에 정의되어 있으며, 열차의 종류별로 나누어 구별하고 있다.

2.1.1 디젤기관차

$$r_m = 1.30 + \frac{29}{w} + 0.030V + \frac{0.0024AV^2}{wN} \quad (1)$$

2.1.2 일반객차

$$\begin{aligned} \text{평측} : r_m &= 2.40 + 0.014V + 0.00035V^2 \\ \text{혼용} : r_m &= 1.74 + 0.0069V + 0.000313V^2 \quad (2) \\ \text{로라} : r_m &= 1.50 + 0.012V + 0.00040V^2 \end{aligned}$$

2.1.3 화차

$$\begin{aligned} \text{평측} : r_m &= 1.30 + 0.014V + 0.00035V^2 \\ \text{로라} : r_m &= 1.0 + 0.012V + 0.00040V^2 \quad (3) \end{aligned}$$

2.2 구배저항

열차가 구배선을 운전할 때에는 열차의 중량과 지구 중력의 영향으로 구배저항이 존재한다. 급구배선이 많은 구간에서는 그 구배저항의 값이 상당히 크기 때문에 열차의 운전에 영향을 주게 되는 값도 상당히 크게 된다⁽⁴⁾.

$$r_g = \pm i \quad (4)$$

2.3 곡선저항

곡선저항은 열차가 곡선인 선로를 따라서 주행할 때 차륜의 회전 마찰저항과 외측궤조와 내측궤조와의 길이 차에 의해 생기는 외측차륜의 미끄럼마찰 저항 그리고 원심력의 작용에 의한 플랜지와 외측궤조간의 마찰 저항 때문에 발생한다.

일반적으로 사용되는 곡선저항식으로는 Morrison의 공식이 있다.

$$r_c = \frac{1000\mu(L+G)}{2\rho} \quad (5)$$

$\mu \approx 0.222$: 차륜, Rail 간의 마찰계수

$G = 1.435m$: 궤간 (m)

$L = 4.6m$: 고정축거 (m)

ρ : 곡선반경 (m)

$$r_c \approx \frac{670}{\rho} \quad (6)$$

2.4 터널저항

열차의 전주부가 터널에 들어갈 때 터널입구의 공기를 압축하여 고압력파를 발생시킨다. 이 압력파는 열차의 운행과 함께 터널을 따라 소리의 속도로 전파되고 터널의 벽에 부딪힌 고압력파는 저압력파로 되돌아온다. 이런 파들이 서로 간섭될 때 압력의 변화를 일으키는데 이것을 터널저항이라고 한다.

$$\begin{aligned} \text{단선터널} : r_t &= 2 \\ \text{복선터널} : r_t &= 1 \quad (7) \end{aligned}$$

3. 평균마찰계수

제륜자 방식의 제동장치일 경우 차륜과 제륜자간의 마찰계수는 다음의 식 (8), 디스크 방식 제동장치일 경우 디스크와 라이너간의 마찰계수로 식 (9)와 같이 유도된 평균마찰계수를 사용한다⁽⁴⁾.

$$f_m = \frac{0.517CV^2}{2.5V^2 - 400V + 40000\ln(1+0.01V)} \quad (8)$$

$$f_m = \frac{0.952CV^2}{1.5V^2 - 100V + 5000\ln(1+0.02V)} \quad (9)$$

C : 날씨상수

4. 제동거리

제동 시작 후 열차가 정차할 때까지 열차가 진행한 거리를 제동거리라고 하며, 공주거리와 실제제동거리로 구성된다.

$$S = S_1 + S_2 \quad (10)$$

4.1 공주거리

제동을 시작하더라도 즉시 제동효과가 생기지 않고 제동장치 실린더 내부의 압력이 소요압력의 70%로

높아질 때까지 시간이 걸리게 된다. 이러한 시간을 공주시간이라 하고, 이 때 이동한 거리를 공주 거리라고 한다⁽⁵⁾.

$$S_1 = \frac{V}{3.6} t_1 \quad (11)$$

V : 제동 초속도 (km/h)

t_1 : 공주시간 (s)

4.2 실제동거리

공주시간 이후 열차의 제동력이 실제로 작용하기 시작한 뒤의 제동거리이다.

$$S_2 = \frac{4.17V^2}{\frac{P_i}{W}f_m + r_m \pm r_g + r_c + r_r} \quad (12)$$

P_i : 전제륜자 압력 (kg)

W : 열차중량 (ton)

5. 비상제동거리 해석 시스템

5.1 시스템의 흐름도

비상제동거리 해석 시스템은 데이터베이스를 이용한 모의 실험 결과와 실차 실험 결과, 실차실험에서 얻은 데이터로부터 추출한 제동 변수를 입력한 모의 실험 결과들을 서로 비교 분석하여 제동거리식을 개선한다. 이러한 시스템의 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다.

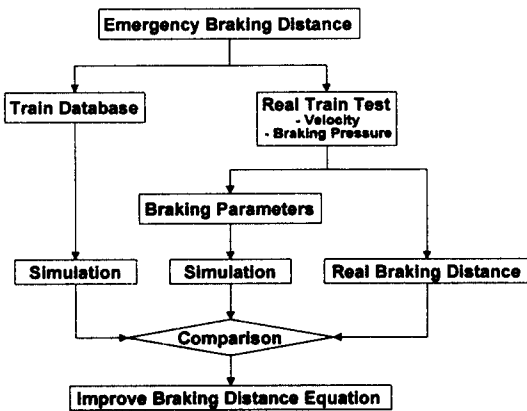


Fig. 1 Flowchart of the Emergency Braking Distance Prediction System

5.2 데이터베이스에서 제동 장치 정보 입력

열차의 종류에 상관없이 편성된 열차의 열차번호를 입력하면 모의실험을 위한 제동장치의 정보들이 입력

된다.

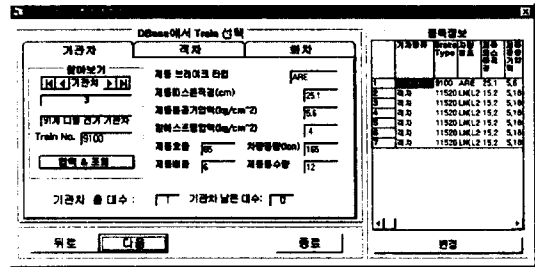


Fig. 2 Braking system information input from the database according to the train combination

5.3 모의 실험 결과

데이터베이스로부터 입력된 열차구성에 따라 제동 초속도별 비상제동거리가 그래프로 출력되며, 실제 실험 결과와 비교하여 주행저항, 구배저항, 마찰계수, 공주시간, 곡선저항 등의 항을 변경하여 비상제동거리 식을 수정할 수 있다.

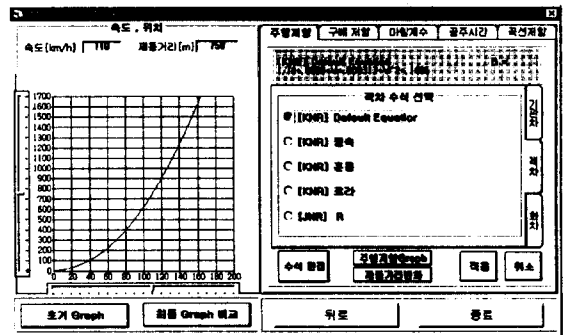


Fig. 3 Simulation results for given train combination

5.4 실차실험 데이터 입력

실차실험을 통한 제동 중의 열차 속도, 제동통 압력 변화를 직접 입력받아 실제동거리 및 제동변수 값을 도출한다.

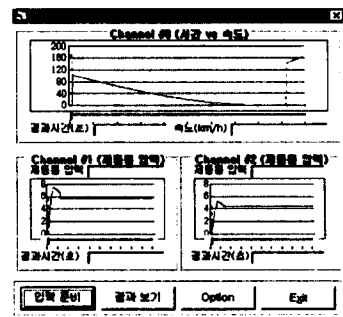


Fig. 4 Acquiring real train test data

5.5 실차 실험 결과와 비교

기관차 1량, ARE형 제동장치 객차 2량, ERE형 제동장치 객차 6량, 시험차 1량으로 편성된 실차 실험결과와 본 비상제동거리 해석 시스템의 모의 실험 결과의 비교 그래프는 다음의 Fig. 5 와 같으며, 이때 실차실험에 대한 모의 실험의 오차는 15% 이내로 나타났다.

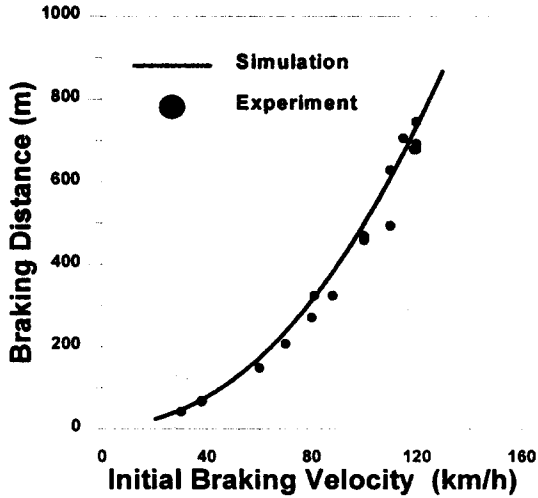


Fig. 5 Comparison between simulation results and real train test results

6. 결 론

(1) 제동거리 식과 우리 나라 열차 제동장치 데이터베이스를 이용하여 임의의 열차 편성에 따른 비상제동거리를 예상할 수 있는 프로그램을 개발했다.

(2) 실차 실험에서 센서가 감지하는 제동변수의 값을 직접 입력받아 비상제동거리를 산출하는 시스템을 개발했으며, 이를 이용하여 우리 나라의 실정에 적합한 제동거리 예상 식을 유도할 수 있으리라 예상된다.

후 기

본 연구는 한국 철도청의 후원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Braun, A. "Braking of High Speed Passenger Trains", IMechE C163, pp. 309~319, 1979.

2. 김길창 외, "열차의 주행저항에 관한 연구", 철도기술연구보, Vol. 26, pp. 138~157, 1992.
 3. "속도정수사정기준규정", 철도청훈령, 제5119호, 1981.
 4. 한국철도기술연구원, "전차운전이론", pp. 81~83, 1983.
 5. 한국철도기술연구원, "열차 제동거리 기준치 설정에 관한 연구", 1996.