

표정속도 향상에 따른 열차제동거리 확보방안 연구

이훈구\*, 김진철\*, 이수환\*, 이부현\*, 엄기영\*\*  
(주)에이알텍\*, 한국철도기술연구원\*\*

Study on Securing Train Braking Distances according to the Schedule Speed Improvement

Lee, Hoon-Koo\*, Kim, Jin-Chuol\*, Lee, Soo-Hwan\*, Lee, Boo-Hyum\*, Eum, Ki-Young\*\*,

**Abstract** - For the domestic railways, we carry out the speed-up project for the maximum speed, came out of the plan on the schedule speed improvement, such as the Gyeongbu HSR 1st and 2nd step project and the speed-up project of the major trunk railways. As the speed increase, we shall review the conventional calculation methods for braking distances and identify the increase of braking distances. In this way, we shall secure the safe braking distances.

1. 서 론

국내 철도는 표정속도 향상을 위한 방안 중 최고속도의 향상 즉, 경부 고속철도 1단계 및 2단계, 주요 간선철도의 고속화 사업 등을 통하여 속도 향상을 추진하고 있다. 속도 향상에 따라 기존에 사용하던 제동거리 산출방식에 대해 검토하고 제동거리 증가사항을 파악하여 안전 제동거리를 확보하여야 한다.

2. 본 론

국내 철도의 속도 향상에 따른 제동거리의 계산은 열차의 안전운행에 제일 중요한 요소라 볼 수 있다. 따라서 적용되는 차량의 성능과 운행할 노선의 특성 등의 다양한 정보를 확보하고 이를 근거로 작성하여야 한다. 따라서 본 논문에서 검토하는 내용은 국내 및 국외에서 적용하고 있는 고속화 선로의 제동거리를 산출하는 방식 및 설계에서의 적용하는 방안을 검토하였다.

2.1 국내 적용 계산식

제동거리는 열차가 정지할 때까지의 거리를 말하며, 이는 공주시분에 의한 공주거리와 실제제동에 의한 실제제동거리로 분류된다. 그러나 여기서의 제동거리라 함은 거리의 합을 전제로 한다.

$$S_0 = S_1 + S_2 = \frac{V}{3.6} t + \frac{4.17V^2}{P/w \cdot f_m + r_r + r_g + r_c + r_t} \text{ (m)}$$

단, S<sub>0</sub> = 전제동거리 (m), S<sub>1</sub> = 공주거리 (m), S<sub>2</sub> = 실제제동거리 (m)  
다음 표는 이상과 같은 조건을 기준으로 하여, 상용 및 비상제동에 대한 속도별 열차별 제동거리를 산출한 것이다.

<표 1> 속도별 열차별 제동거리 (단위 : m)

차종별 속도별	새마을 7500호	우 등 7500호	특 급 7500호	화 물 (유개차)	화 물 (유조차)	화 물 (유개차)
110(90)km/h →비상제동	591 652	636 710	610 677	1046 1395	1032 1367	1067 1437
110(90)km/h →비상제동	704 771	815 918	787 879	1208 1568	1193 1540	1230 1613
110(90)km/h →65km/h 감속	552 566	596 661	576 636	747 920	740 906	758 941
65km/h → 45km/h로 감속	190 199	208 221	203 215	470 563	465 554	476 575
45km/h → 0제동	141 148	156 167	152 172	362 433	359 426	368 444
110(90)km/h →45km/h까지 감속	617 673	710 795	686 763	987 1252	976 1236	1004 1291
45km/h →비상제동	102 107	107 114	104 110	284 353	281 364	290 363

주 1. 여객열차의 최고속도 기준 : 110km/h  
2. 화물열차의 최고속도 기준 : 90km/h  
3. 표의 계산값은 여유거리를 제외한 값이다.

2.2 국외 적용 계산식

2.2.1 프랑스 적용 계산식

1) 화물열차 (V<70[km/h]) :

$$S(m) = \frac{4.24 V^2(km/h)}{1000\phi\lambda + 0.0006 V^2 + 3 - g}$$

2) 객차 (V=70~140 km/h) :

$$S(m) = \frac{\phi V^2(km/h)}{1.09375\lambda + 0.127 - 0.235g\phi}$$

3) 디젤전기 객차 :

$$S(m) = \frac{0.0386 V^2}{\gamma - \frac{g}{100}}$$

위 식에서 g = 선로구배 (%), 하구배이면 양이고, 상구배이면 음이다.

φ = 구배에 의존하는 마찰계수, a = 차량중량

g < 15(%) 이면, φ = 0.10

g > 15(%) 이면 φ = 0.10-0.00133(g-15)

γ = 감속도 (m/s<sup>2</sup>)

λ = 제동률 =  $\frac{\text{제동력}}{\text{차량중량}}$

상용제동	λ
건인차량, 축중=15~20 톤	0.80~0.95
피건인차량, 축중=15~20 톤	0.65~0.90
비상제동	λ
건인차량	1.60~2.20
피건인차량	1.30~2.20

본 연구보고서에서 적용한 제동감속도는 상용감속도에 강성 여유 25[%]를 고려한 상용감속도의 75[%] 값을 적용하였다.(예, 프랑스 철도청에서는 적용하는 감속도는 0.62[m/sec<sup>2</sup>]를 적용하고, 그 값은 실제 상용감속도 0.83[m/sec<sup>2</sup>]보다 적음.)

2.2.2 독일 적용 계산식

1) 객차

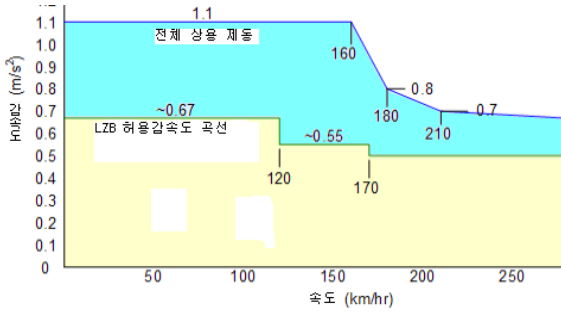
$$S(m) = \frac{3.85 V^2(km/h)}{\left[ 6.1\Psi\left(1 + \frac{\lambda}{10}\right) \right] + g}$$

2) 화차

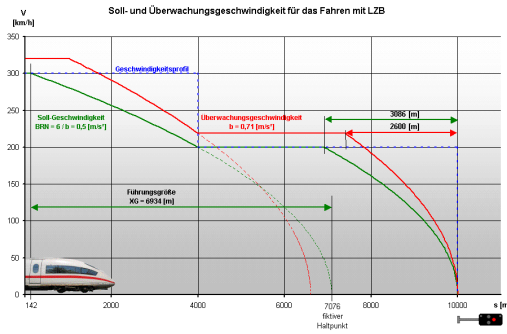
$$S(m) = \frac{3.85 V^2(km/h)}{\left[ 5.1\Psi\sqrt{\lambda-5} \right] + g}$$

여기서 Ψ는 제동형식에 의존하는 상수로 Ψ = 0.5~1.25의 값이다.

독일 철도 ICE에서 적용하고 있는 LZB 차상신호시스템에서 제동감속도에 의한 제동곡선은 [그림1]과 같이 실제 상용감속도는 1.1[m/sec<sup>2</sup>]이나 열차 안전운행을 위해 LZB 차상신호시스템에서 적용하는 허용 감속도는 0.67[m/sec<sup>2</sup>]이며, 열차운행속도 230[km/h]에서 비상제동거리가 2,600[m]이고 적용하는 200[km/h]에서 적용하는 제동거리는 3,086[m]이다.



〈그림 1〉 독일 철도의 LRB 시스템의 제동감속도



〈그림 2〉 독일 철도의 LRB 시스템의 허용 및 감시 속도곡선

### 2.2.4 유럽의 고속철도 열차 제동거리

ERTMS-사용자 그룹 모델 버전 6K의 제동 백분율 전환 모델은 최대 200 [km/h]속도로 제한된다. 고속선로의 최고 속도는 300[km/h]이다. 따라서 제동 백분율전환 모델은 사용할 수 없다. 열차 편성의 경우, 계단 함수로서 속도에 따라 다른 감속도가 존재한다. 여기서 상용 제동(SBD) 및 비상 제동(EBD)에 대한 단계별 ICE 3차량 감속도를 고속 선로에 사용한다.

〈표 2〉 ICE 3의 열차 속도별 감속도

상용 제동(SBD)		비상 제동(EBD)	
v [km/h]	a [m/s <sup>2</sup> ]	v [km/h]	a [m/s <sup>2</sup> ]
0 - 160	1.1	0 - 56	1.24
160 - 165	1.025	56 - 110	1.54
165 - 175	0.875	110 - 130	1.56
175 - 180	0.8	130 - 165	1.47
180 - 210	0.7	165 - 170	1.35
210 - 300	0.6625	> 170	1.07
> 300	0.65		

상용 제동을 이용할 수 있는 경우에는 보정계수를 고려한 고속선로에는 다음 값이 유도된다.

〈표 3〉 고속 선로의 제동거리(상용제동 이용시)

이용 가능한 상용제동					
열차	속도 [km/h]	SBI 1 (중복 유)		SBI 2 (중복 무)	
		l [m]	ab [m/s <sup>2</sup> ]	l [m]	ab [m/s <sup>2</sup> ]
HST	300	5,729.0	0.606	6,636.9	0,523
EC	200	2,402.9	0.642	2,680.6	0,576

각 열차와 관련된 것은 SBI 2이다. 표시 점과 주(主)신호 사이의 거리는 최대 6,637[m]이다.

### 2.3 분석 및 검토사항

유럽표준의 ERTMS/ETCS 차상신호시스템의 시스템 요구 사양에 의하면 열차속도 500[km/h]에서 적용 가능한 시스템이므로 열차속도에 따라 다른 시스템을 설치하는 것은 아니다.

다만, 철도건설선 고속화 대상선구의 선로 특성과 폐색설계(폐색분할)

환경에 따라 시스템의 구축 방안이 달라질 수 있으나, 기본적인 ERTMS/ETCS 차상신호시스템의 구성은 같다.

열차 종별, 운행속도, 열차 가·감속 특성에 따라 열차 제동거리가 상이하므로 기존 지상신호방식의 신호기간 거리(폐색구간 거리)에 따라 고속열차의 안전제동거리를 확보할 수 있도록 ERTMS/ETCS 차상신호시스템 지상설비(LEU, 발리스)를 설치하여야 한다.

### 3. 결 론

표정속도 향상에 따른 열차 제동거리 계산식은 현재 고속철도 및 고속화 사업의 각 노선에 적용되는 열차의 특성을 고려하고 노선의 환경을 고려하여 적용되어야 하고, 무엇보다도 열차의 안전을 위한 제동거리 확보가 중요하다. 또한 열차의 운전효율을 위하여 안전제동거리에 대한 여유거리의 확보방안은 보다 많은 연구를 통하여 검토되어야 하며, 이는 국내 철도운영에 대한 검토가 함께 이루어져야 할 것이다.

**감사의 글** : 이 논문은 국토해양부에서 지원한 "400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발" 과제에 의해 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 철도청, "열차제동거리 기준치 설정에 관한 연구", 연구보고서, 1997.
- [2] 한국철도시설공단, "철도건설선 고속화에 따른 단계별 신호시스템 구축방안", 연구용역 중간보고서, P275~P291, 2010. 06
- [3] 한국철도기술연구원, "ATS장치의 기능 향상에 관한 연구", 연구보고서, P214~P220, 1998. 12.
- [4] Eurail press, "COMPENDIUM on ERTMS edited UIC under the coordination of Peter Winter", 2009.
- [5] International Union of Railways(UIC), "Influence of ETCS on the line capacity", Verkehrswissenschaftliches Institut, P23~P29, 2008. 03. 21.