고속철도 증속에 따른 폐색 표준 속도 수립에 대한 연구

A Study on the Speed-instructions for Increasing Speed of the Train in High Speed Railway

방융† 김현민* 조신영** 조용기***

Yung Bang Hyun-Min Kim Shin-Young Cho Yong-Gi Cho

ABSTRACT

The TVM 430 system manufactured by Ansaldo STS in France is currently used in ground signalling system for Kyungbu HSR. It transmits the speed information to the on-board signalling system in the form of continuous signal via the track, and the rolling stock in Kyungbu HSR runs with 300km/h max. operating speed by using the corresponding information.

Looking from the recent international trends in HSR, reducing the travelling time and increasing of the line capacity is promoting via the improvement of train speed. In case of TGV Est, they are realizing the normal operation with 320km/h max. operating speed by using TVM SEI signalling system, which is similar to TVM 430. Furthermore, in case Honam HSL, which is under construction, is looking over faster speed than the limited one of Kyungbu HSR(i.e. over 300km/h).

In this paper, it is assumed that the existing TVM 430 ground signalling system is used and train speed is improved, therefore the number of block section to be increased depending on the increase of train speed and the standard speed to be used in this case is drawn via the simulation of the train model and described the method accordingly.

1. 서론

현재 경부고속철도에서 사용하는 지상 신호시스템은 프랑스 Ansaldo STS 사의 TVM 430 시스템이다. TVM 430 신호시스템은 차상에서 준수해야 할 속도 정보를 궤도를 통해 연속 신호의 형태로 차상 신호시스템으로 전송하며, 경부고속철도의 차량은 해당 정보를 이용하여 최고 운행속도 300km/h로 운행한다.

최근 고속철도의 세계적인 추세를 보았을 때, 차량의 운행 속도 향상을 통해 이동 시간의 단축 및 선로 용량의 증가를 도모하고 있다. TGV 동선의 경우 TVM 430과 유사한 TVM SEI 신호시스템을 이용하여 최고 운행속도 320km/h로 상용 운전을 실현하고 있다. 또한 현재 건설 중인 호남 고속선의 경우 경부 고속선의 제한 속도인 300km/h를 넘어서는 운행 속도를 검토하고 있다.

본 논문에서는 기존 TVM 430 지상 신호시스템을 사용하여 차량 운행 속도를 향상 시킬 경우를 가정하여, 연속 신호의 관점에서 차량 속도 증가에 따라 늘어날 폐색 구간의 개수와 이 경우 사용되어야 하는 표준 속도를 열차 모델의 시뮬레이션을 통하여 도출하고 이에 대한 방법을 설명한다.

2. 본론

† 비회원, LS산전(주), 철도시스템기술팀, 대리
E-mail : ybang@lsis.biz
TEL : (02)2034-4524 FAX : (02)2034-4817
* 비회원, LS산전(주), 철도시스템기술팀, 과장
** 비회원, LS산전(주), 철도시스템기술팀, 차장
*** 비회원, LS산전(주), 중앙연구소 Smart Rail 연구팀, 수석연구원

2.1 경부고속선의 신호체계

현재 경부고속선에 사용되는 신호체계는 ATC(Automatic Train Control)로 통칭되는 신호 시스템과 SSI로 통칭되는 연동장치로 구성되며 ATC의 경우 Ansaldo STS 사의 TVM 430 신호 설비를 통해 구현되었다. ATC는 일련의 단계별 감속 신호를 이용하여 열차 간격을 제어하며 궤도회로를 통해 현재 폐색의 제한 속도 및 폐색의 길이와 궤도 조건(구배) 등을 차상 신호설비에 알려주면 이를 바탕으로 속도 곡선을 계산하여 차량의 과속 여부를 판단하여 제동을 투입하는 방식으로 동작한다.

경부고속선의 최고 운행속도는 300km/h로 ATC 신호 시스템에서는 300km/h에서 열차를 정지시키기 위해 아래의 그림에 나타난 바와 같이 4개의 폐색구간(상용제동에 의한 정지거리)을 필요로 한다.

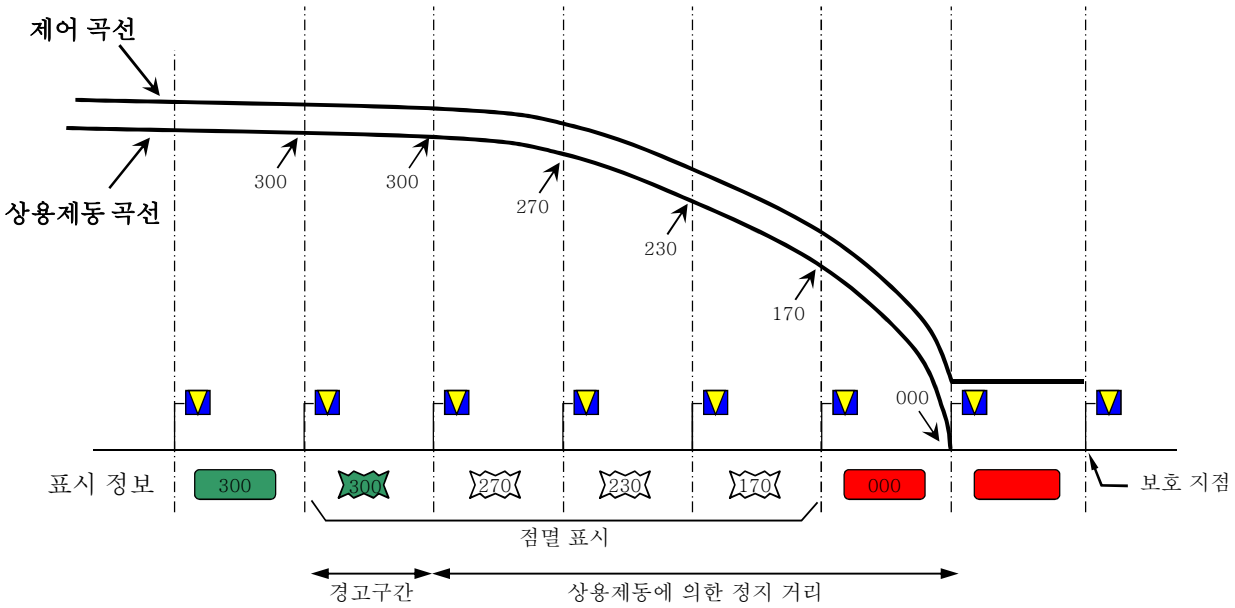

그림 1. 경부고속선의 신호체계

2.2 경부고속선의 표준 속도 결정 및 기존 데이터와의 비교

표준 속도는 각 폐색 구간에서 허용되는 일련의 제한 속도들을 말하며, 이를 구하기 위해서는 먼저 중간 속도가 계산 되어야 한다.

중간 속도는 정지 시퀀스를 도출하기 위해 계산되어야 하는 속도로 가상의 표준 열차를 이용하여 정지 거리를 계산한 후 동일한 길이의 폐색 구간 별 진입 속도와 진출 속도를 계산하여 이 속도 값을 중간 속도라고 한다. 중간 속도를 계산하기 위해서는 열차의 감속도 모델 및 주행 저항 모델이 필요하며, 구배에 의한 영향은 무시한다. 경부고속선에서 사용되는 열차의 모델은 상용 제동을 이용한 정지 거리 6,000m의 모델로 16량(대차 14량), 18량(대차 16량), 20량(대차 18량)에 대해 계산을 수행하여 각각 중간 속도 값을 구하여 이중 더 큰 값을 사용하여 표준 속도를 구하게 된다. 현재 경부고속선에서 사용 중인 표준 속도는 000 - 170 - 230 - 270 - 300 이며 표준 폐색 길이는 1,500m로 300km/h에서 4개의 폐색 구간을 거쳐 정지하게 된다.

2.2.1 표준 속도 결정

경부고속선의 표준 속도는 다음과 같은 순서에 의해 결정된다.

(1) 열차 데이터 결정
(2) 열차 모델 결정
(3) 모델 및 속도에 따른 중간 속도 계산
(4) 표준 속도 결정

본 논문에서는 경부고속선에 운행 중인 KTX 열차의 데이터와 폐색분할에 사용하였던 열차 모델로 Matlab을 이용하여 중간 속도를 계산하고 이를 바탕으로 표준 속도를 결정하여 현재의 표준 속도와 비교하여 보았다.

2.2.1.1 열차 데이터

폐색분할에서 사용된 KTX의 열차 데이터는 다음과 같다.

표 1. 열차 중량

열차 구성	16량(대차 14량)	18량(대차 16량)	20량(대차 18량)
정적 중량 (ton)	631.0	698.7	766.3
회전 관성 등가값 (ton)	22.1	24.0	25.9

표 2. 20량(대차 18량) 구성 시 6,000m 제동 거리를 위한 상용 제동력

속도 (km/h)	제동력 (N)			전체 힘 (N)	보간법
	전기	슈	디스크		
0.00	0	99,600	224,325	323,925	선형
8.00	0	99,600	224,325	323,925	선형
11.98	99,600	0	224,325	323,925	선형
18.80	270,000	0	224,325	494,325	선형
160.50	270,000	0	224,325	494,325	쌍곡선
215.00	201,558	0	224,325	425,883	쌍곡선
215.00	201,558	0	168,244	369,802	쌍곡선
330.00	131,318	0	168,244	299,562	쌍곡선

표 3. 18량(대차 16량) 구성 시 6,000m 제동 거리를 위한 상용 제동력

속도 (km/h)	제동력 (N)			전체 힘 (N)	보간법
	전기	슈	디스크		
0.00	0	99,600	183,464	283,064	선형
8.00	0	99,600	183,464	283,064	선형
11.98	99,600	0	183,464	283,064	선형
18.80	270,000	0	183,464	453,464	선형
160.50	270,000	0	183,464	453,464	쌍곡선
215.00	201,558	0	183,464	385,022	쌍곡선
215.00	201,558	0	137,598	339,156	쌍곡선
330.00	131,318	0	137,598	268,916	쌍곡선

표 4. 16량(대차 14량) 구성 시 6,000m 제동 거리를 위한 상용 제동력

속도 (km/h)	제동력 (N)			전체 힘 (N)	보간법
	전기	슈	디스크		
0.00	0	99,600	142,652	242,252	선형
8.00	0	99,600	142,652	242,252	선형
11.98	99,600	0	142,652	242,252	선형
18.80	270,000	0	142,652	412,652	선형
160.50	270,000	0	142,652	412,652	쌍곡선
215.00	201,558	0	142,652	344,211	쌍곡선
215.00	201,558	0	106,989	308,547	쌍곡선
330.00	131,318	0	106,989	238,307	쌍곡선

표 5. 이동 저항 계수

계수	열차 구성		
	16량(대차 14량)	18량(대차 16량)	20량(대차 18량)
A	4,580	4,200	3,800
B	61.5	56.6	51.2
C	0.856	0.786	0.716

위의 표에서 각 항목들의 의미는 “2.2.1.2 열차 모델”에서 자세히 다룬다.

2.2.1.2 열차 모델

열차 모델은 열차에 가해지는 힘에 대한 방정식으로 나타내어지며 포준 속도 결정을 위한 모델에 사용되는 열차에 가해지는 힘은 다음과 같다.

열차의 제동 시스템에 의한 제동력(*EffortBrake*)은 표 2 ~ 표 4에 의해 결정되며 열차의 속도(*Vt*)를 변수로 한 보간법에 따른 식은 다음과 같다.

(1) 선형 보간법

$$EffortBrake = AA + BB \times Vt$$

$$BB = \frac{EffortBrake_{(1)} - EffortBrake_{(0)}}{Vt_{(1)} - Vt_{(0)}}$$

$$AA = EffortBrake_{(0)} - BB \times Vt_{(0)}$$

(2) 쌍곡선 보간법

$$EffortBrake = AA \times Vt^{-BB}$$

$$\Delta = Log\left[\frac{Vt_{(0)}}{Vt_{(1)}}\right]$$

$$BB = Log\left[\frac{EffortBrake_{(1)}}{EffortBrake_{(0)}}\right] \times \frac{1}{\Delta}$$

$$AA = EffortBrake_{(0)} \times Vt_{(0)}^{BB}$$

열차의 이동에 따른 이동 저항(*EffortRAV*)은 표 5의 계수와 다음 이동 저항에 대한 방정식으로 결정된다.

$$EffortRAV = A + B \times Vt + C \times Vt^2$$

이 밖의 견인력, 구배에 의한 중력 그리고 바람에 의한 힘은 본 모델에서는 무시한다. 이러한 힘들은 표준 속도 산출 이후에 실제 폐색 분할 및 검증 단계에서 고려되어 열차 운행의 안전을 보장한다.

위의 내용에 따라 속도 v에 따른 힘의 합 *Effort*는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$Effort(v) = EffortBrake(v) + EffortRAV(v)$$

이 식은 시간 *t*와 열차의 속도 *Vt*에 대한 아래의 관계식에서 일련의 과정을 거쳐 열차의 위치 s에 대한 미분 방정식의 형태로 변형 된다 (*Md*는 정적 중량과 회전 관성 등가값을 더한 열차의 중량).

$$\frac{dVt}{dt} = \frac{Effort_{(v)}}{Md}$$

$dt = \frac{ds}{Vt}$ 이므로,

$$Vt \times \frac{dVt}{ds} = \frac{Effort_{(v)}}{Md}$$

$U = Vt^2$으로 놓으면, 위의 식은

$\frac{dU}{ds} = 2 \times \frac{Effort_{(v)}}{Md}$ 와 같은 미분 방정식의 형태로 나타낼 수 있다.

위의 미분 방정식을 풀면 열차가 감속할 경우 위치에 대한 속도를 알 수 있게 되며 이를 바탕으로 열차의 중간 속도를 계산할 수 있다.

2.2.1.3 모델 및 속도에 따른 중간 속도 계산

Matlab을 이용하여 Runge-Kutta 해법으로 위의 미분 방정식을 풀면 각각의 열차에 대해 다음과 같은 정지 곡선 및 중간 속도를 얻을 수 있다. 이 때 0.1m의 간격으로 미분 방정식을 계산하였다.

2.2.1.3.1 300km/h에서 정지

2.2.1.3.1.1 KTX 16량 (대차 14량)

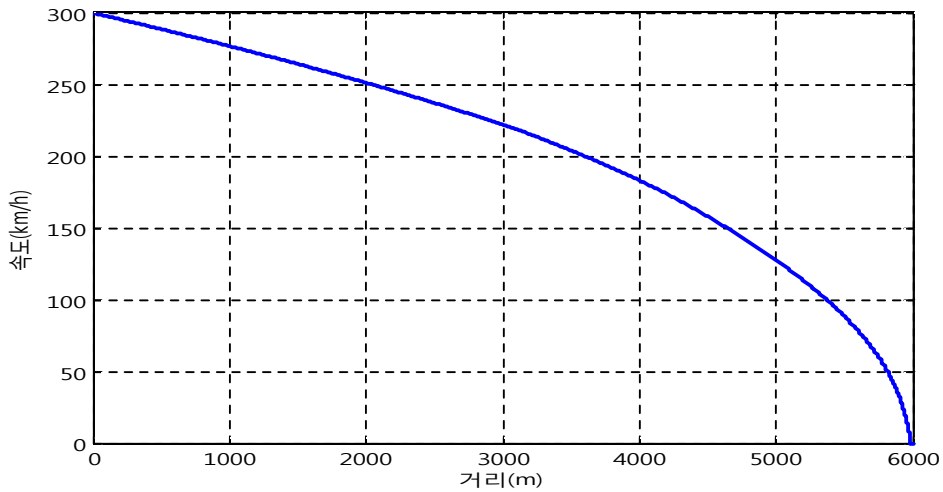

그림 2. 300km/h에서 정지 그래프 (KTX 16량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 6. 300km/h에서 중간 속도 (KTX 16량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)	기존에 계산된 중간 속도(km/h)
1	0.00	0.00
2	159.22	159.49
3	222.57	222.38
4	264.55	264.50
경고 폐색 구간	300.00	300.00

2.2.1.3.1.2 KTX 18량 (대차 16량)

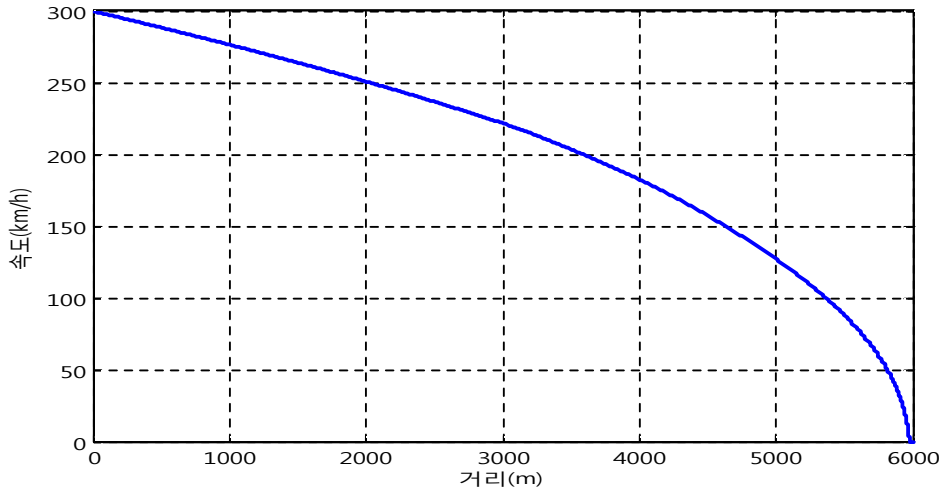

그림 3. 300km/h에서 정지 그래프 (KTX 18량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 7. 300km/h에서 중간 속도 (KTX 18량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)	기존에 계산된 중간 속도(km/h)
1	0.00	0.00
2	158.84	158.97
3	222.36	222.11
4	264.34	264.27
경고 폐색 구간	300.00	300.00

2.2.1.3.1.3 KTX 20량 (대차 18량)

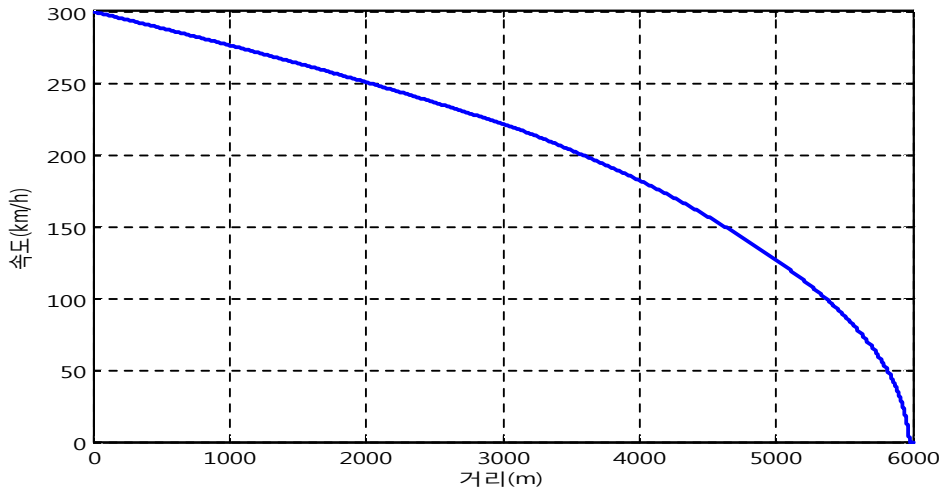

그림 4. 300km/h에서 정지 그래프 (KTX 20량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 8. 300km/h에서 중간 속도 (KTX 20량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)	기존에 계산된 중간 속도(km/h)
1	0.00	0.00
2	158.42	158.57
3	222.16	221.90
4	264.15	264.08
경고 폐색 구간	300.00	300.00

폐색 번호 4에서 계산된 중간 속도 값(264.55, 264.34, 264.15)을 보았을 때 표준 속도는 270km/h로 결정할 수 있다. 따라서 270km/h에서 정지할 때의 중간 속도를 다시 계산한다.

2.2.1.3.2 270km/h에서 정지

2.2.1.3.2.1 KTX 16량 (대차 14량)

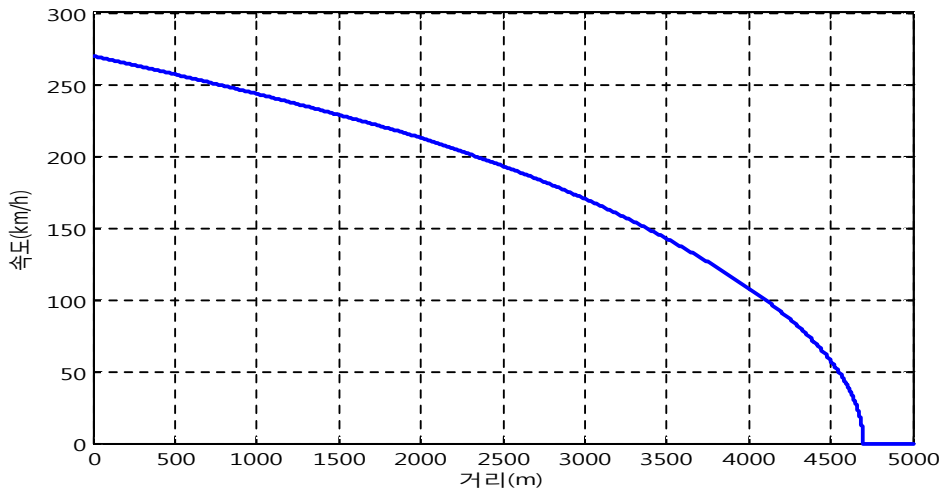

그림 5. 270km/h에서 정지 그래프 (KTX 16량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 9. 270km/h에서 중간 속도 (KTX 16량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)	기존에 계산된 중간 속도(km/h)
1	0.00	0.00
2	163.76	163.44
3	227.01	226.91
경고 폐색 구간	270.00	270.00

2.2.1.3.2.2 KTX 18량 (대차 16량)

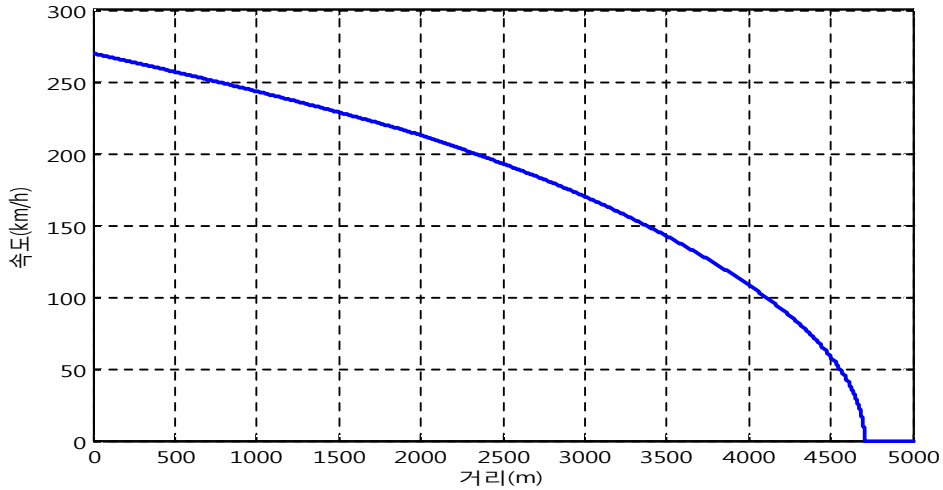

그림 6. 270km/h에서 정지 그래프 (KTX 18량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 10. 270km/h에서 중간 속도 (KTX 18량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)	기존에 계산된 중간 속도(km/h)
1	0.00	0.00
2	163.33	163.06
3	226.88	226.79
경고 폐색 구간	270.00	270.00

2.2.1.3.2.3 KTX 20량 (대차 18량)

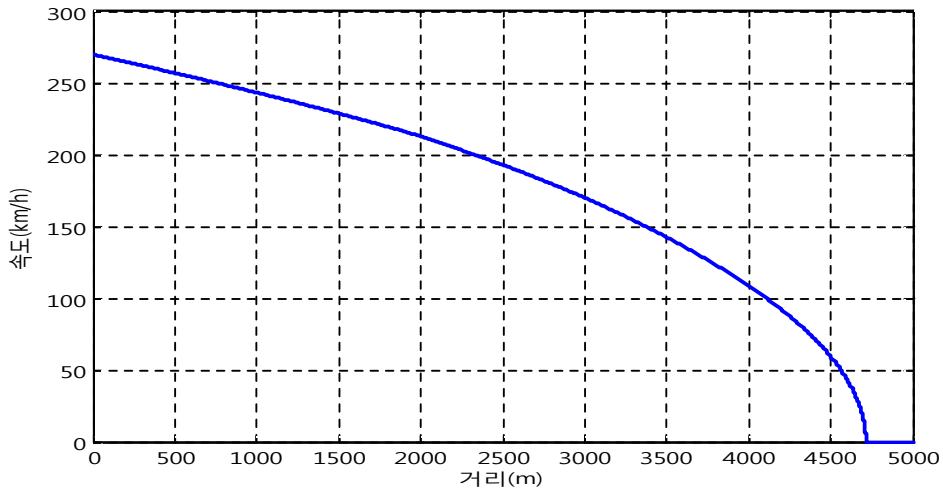

그림 7. 270km/h에서 정지 그래프 (KTX 20량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 11. 270km/h에서 중간 속도 (KTX 20량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)	기존에 계산된 중간 속도(km/h)
1	0.00	0.00
2	163.00	162.76
3	226.79	226.71
경고 폐색 구간	270.00	270.00

폐색 번호 3에서 계산된 중간 속도 값(227.01, 226.88, 226.79)을 보았을 때 표준 속도는 230km/h로 결정할 수 있다. 따라서 230km/h에서 정지할 때의 중간 속도를 다시 계산한다.

2.2.1.3.3 230km/h에서 정지

2.2.1.3.3.1 KTX 16량 (대차 14량)

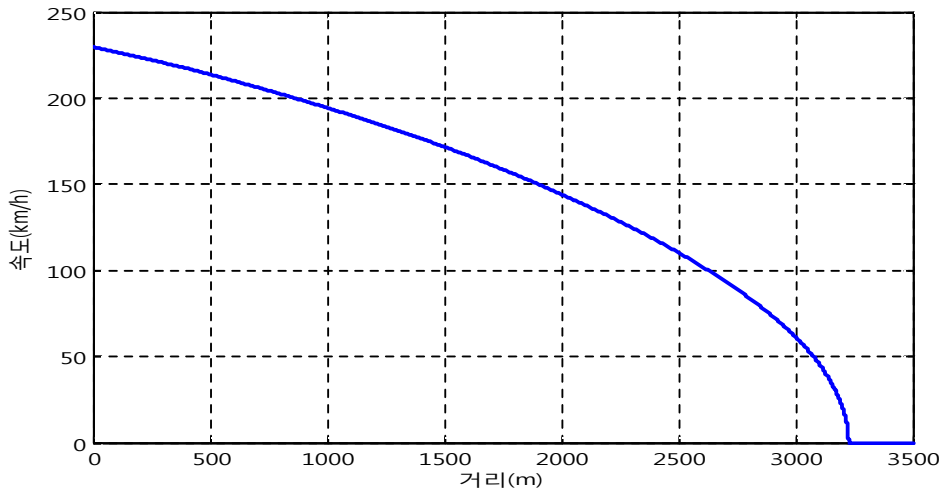

그림 8. 230km/h에서 정지 그래프 (KTX 16량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 12. 230km/h에서 중간 속도 (KTX 16량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)	기존에 계산된 중간 속도(km/h)
1	0.00	0.00
2	166.25	166.12
경고 폐색 구간	230.00	230.00

2.2.1.3.1.1 KTX 18량 (대차 16량)

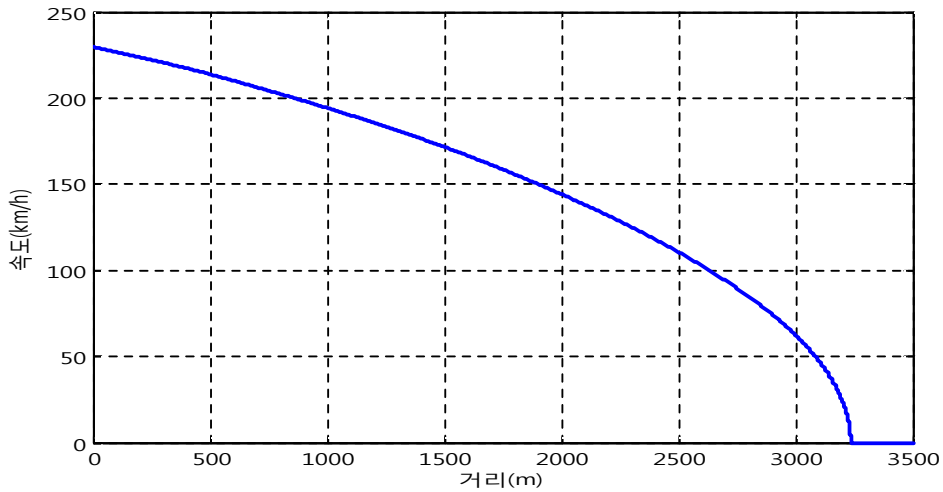

그림 9. 230km/h에서 정지 그래프 (KTX 18량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 13. 230km/h에서 중간 속도 (KTX 18량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)	기존에 계산된 중간 속도(km/h)
1	0.00	0.00
2	165.92	165.84
경고 폐색 구간	230.00	230.00

2.2.1.3.1.3 KTX 20량 (대차 18량)

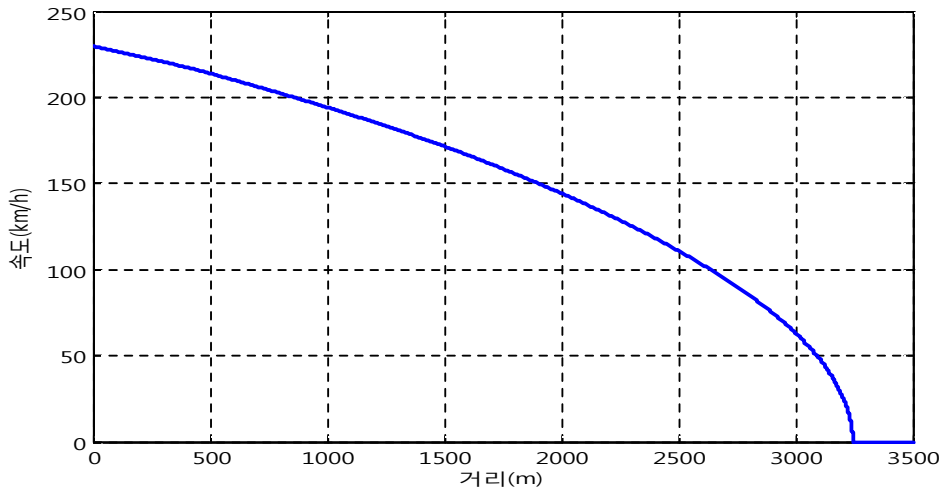

그림 10. 230km/h에서 정지 그래프 (KTX 20량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 14. 230km/h에서 중간 속도 (KTX 20량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)	기존에 계산된 중간 속도(km/h)
1	0.00	0.00
2	165.60	165.61
경고 폐색 구간	230.00	230.00

폐색 번호 2에서 계산된 중간 속도 값(166.25, 165.92, 165.60)을 보았을 때 표준 속도는 170km/h로 결정할 수 있다.

따라서 최고 운행속도 300km/h에서 정지할 경우 170km/h - 230km/h - 270km/h - 300km/h의 표준 속도 시퀀스를 얻는다.

2.3 최고 운행속도 350km/h에서의 표준 속도 결정

최고 운행속도 350km/h에서의 표준 속도 결정은 위의 경부고속선의 표준 속도 결정과 동일한 절차를 거치며 현재 350km/h로 상용 운전이 가능한 열차의 데이터를 확보하기 힘든 관계로 KTX의 열차 데이터를 이용하여 계산한다. 단지 현재 KTX의 제동 테이블은 330km/h까지만 산출되어 있으므로, 330km/h를 넘는 제동력은 외삽법에 의해 계산하였다. 외삽법은 위에서 설명한 쌍곡선 보간법과 동일한 식을 사용하였다.

또한 열차의 정지 거리가 약 8,500m로 길어지므로 폐색 구간의 개수를 6개로 증가시켰다.

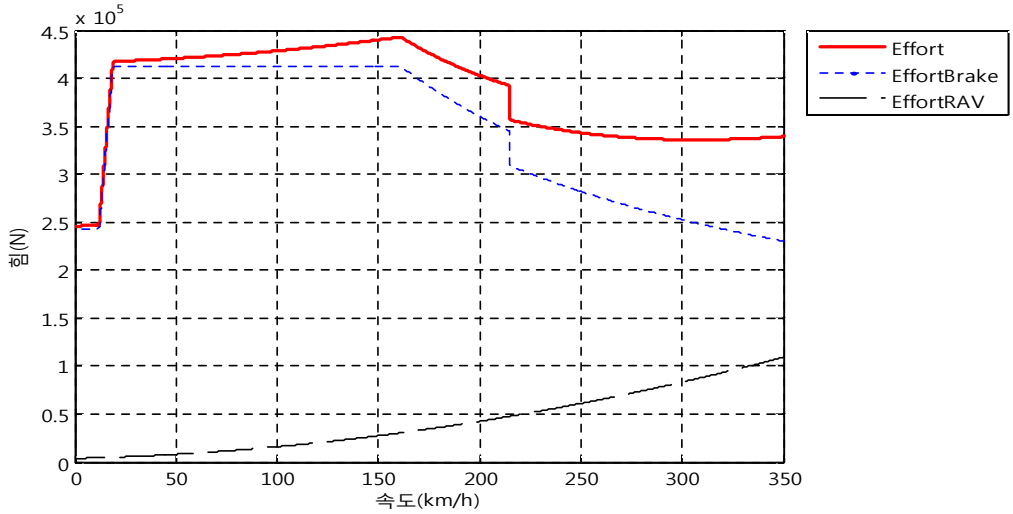

그림 11. 최고 운행속도 350km/h에서 정지 시 열차에 가해지는 힘 (KTX 16량)

2.3.1 350km/h에서 정지

2.3.1.1 KTX 16량 (대차 14량)

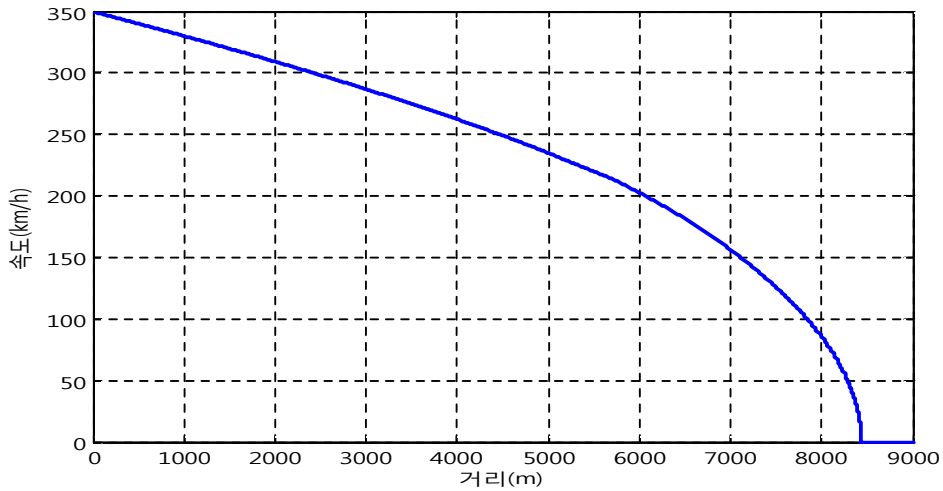

그림 12. 350km/h에서 정지 그래프 (KTX 16량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 15. 350km/h에서 중간 속도 (KTX 16량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)
1	0.00
2	154.93
3	216.53
4	256.94
5	291.38
6	321.95
경고 폐색 구간	350.00

2.3.1.2 KTX 18량 (대차 16량)

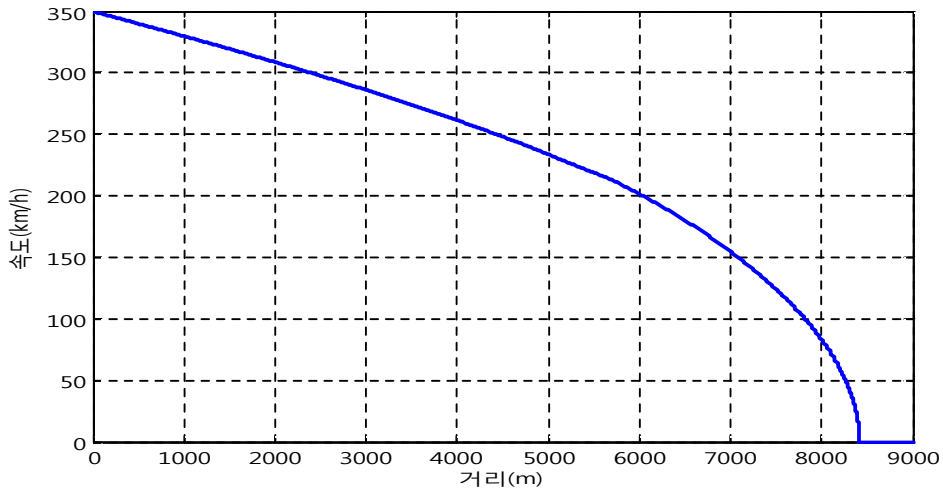

그림 13. 350km/h에서 정지 그래프 (KTX 18량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 16. 350km/h에서 중간 속도 (KTX 18량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)
1	0.00
2	154.21
3	215.85
4	256.20
5	290.82
6	321.66
경고 폐색 구간	350.00

2.3.1.3 KTX 20량 (대차 18량)

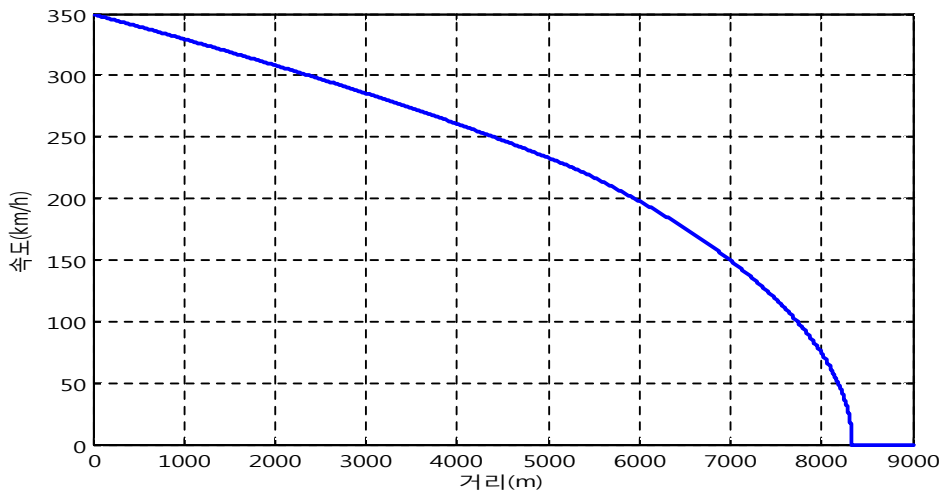

그림 14. 350km/h에서 정지 그래프 (KTX 20량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 17. 350km/h에서 중간 속도 (KTX 20량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)
1	0.00
2	152.97
3	215.35
4	256.47
5	290.87
6	321.65
경고 폐색 구간	350.00

폐색 번호 6에서 계산된 중간 속도 값(321.95, 321.66, 321.65)을 보았을 때 표준 속도는 330km/h로 결정할 수 있다. 따라서 330km/h에서 정지할 때의 중간 속도를 다시 계산한다.

2.3.2 330km/h에서 정지

2.3.2.1 KTX 16량 (대차 14량)

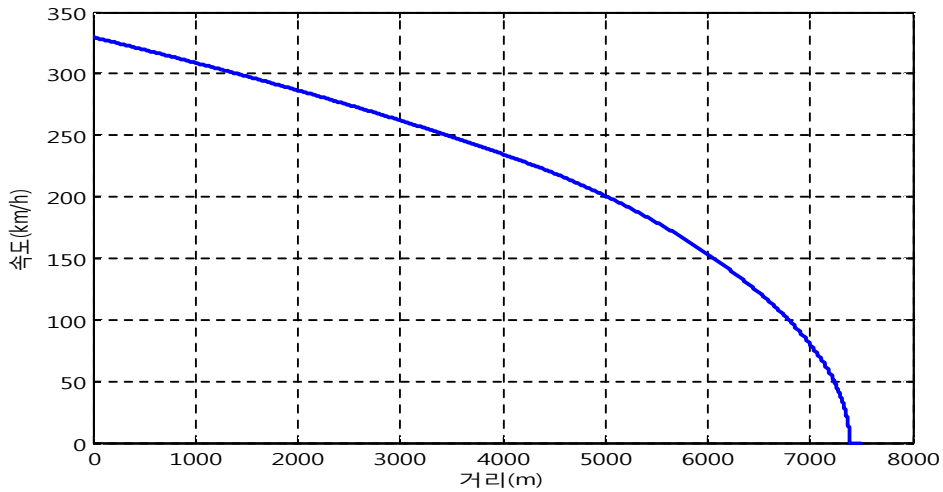

그림 15. 330km/h에서 정지 그래프 (KTX 16량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 18. 330km/h에서 중간 속도 (KTX 16량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)
1	0.00
2	158.93
3	221.80
4	263.47
5	298.65
경고 폐색 구간	330.00

2.3.2.2 KTX 18량 (대차 16량)

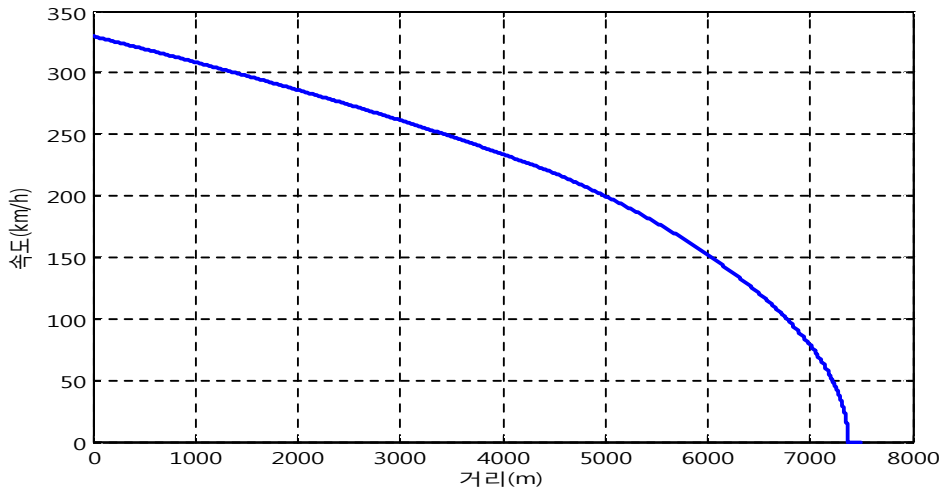

그림 16. 330km/h에서 정지 그래프 (KTX 18량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 19. 330km/h에서 중간 속도 (KTX 18량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)
1	0.00
2	158.23
3	221.32
4	262.98
5	298.37
경고 폐색 구간	330.00

2.2.1.3.2.3 KTX 20량 (대차 18량)

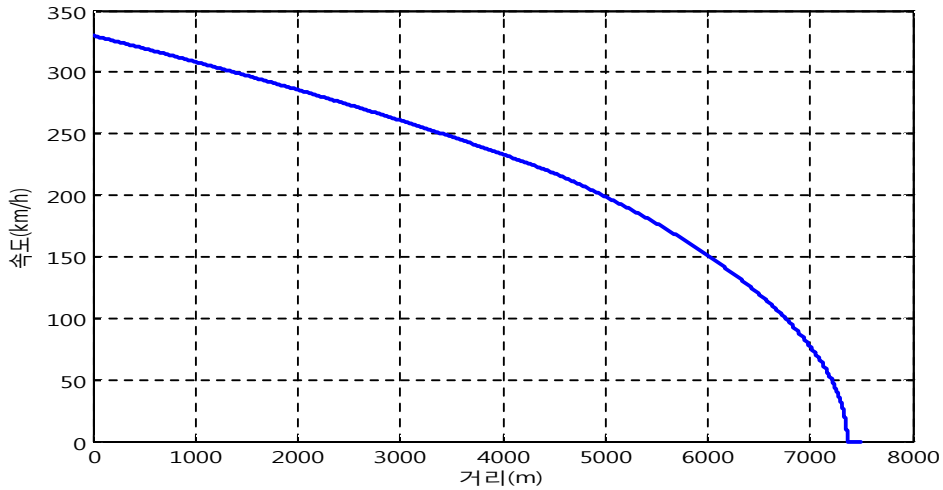

그림 17. 330km/h에서 정지 그래프 (KTX 20량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 20. 330km/h에서 중간 속도 (KTX 20량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)
1	0.00
2	157.67
3	220.93
4	262.58
5	298.14
경고 폐색 구간	330.00

폐색 번호 5에서 계산된 중간 속도 값(298.55, 298.37, 298.14)을 보았을 때 표준 속도는 300km/h로 결정 할 수 있다. 300km/h 이하의 표준 속도는 2.2.1.3에서 계산한 표준 속도와 동일하다.

따라서 최고 운행속도 350km/h에서 정지할 경우 170km/h - 230km/h - 270km/h - 300km/h - 330km/h - 350km/h의 표준 속도 시퀀스를 얻는다.

2.4 최고 운행속도 370km/h에서의 표준 속도 결정

최고 운행속도 370km/h에서의 표준 속도 결정은 위의 경부고속선의 표준 속도 결정과 동일한 절차를 거치며 현재 370km/h로 상용 운전이 가능한 열차의 데이터를 확보하기 힘든 관계로 KTX의 열차 데이터를 이용하여 계산한다. 최고 운행속도 350km/h에서와 동일하게 현재 KTX의 제동 테이블은 330km/h까지만 산출되어 있으므로, 330km/h를 넘는 제동력은 쌍곡선 보간법에 의한 외삽법에 의해 계산하였다.

또한 열차의 정지 거리가 약 9,500m로 길어지므로 폐색 구간의 개수를 7개로 증가시켰다.

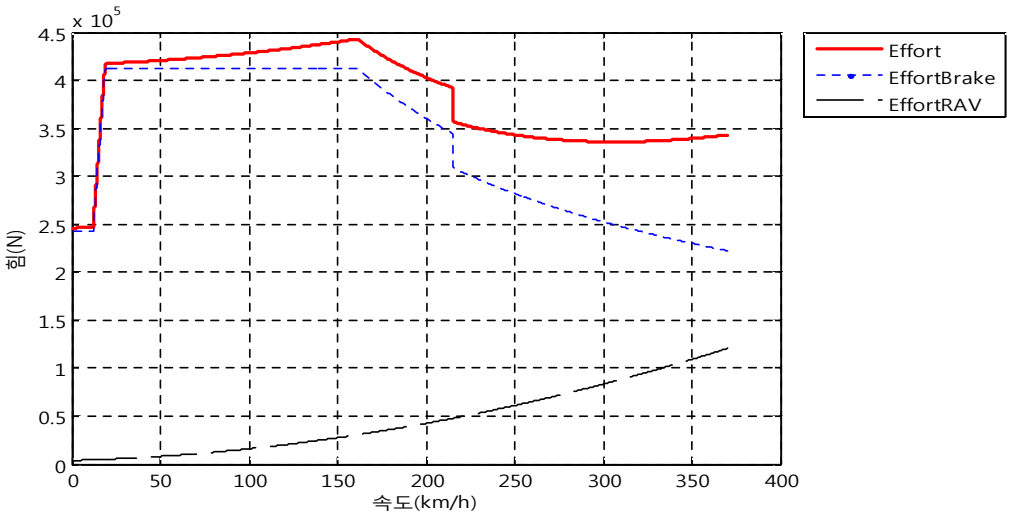

그림 18. 최고 운행속도 370km/h에서 정지 시 열차에 가해지는 힘 (KTX 16량)

2.4.1 370km/h에서 정지

2.4.1.1 KTX 16량 (대차 14량)

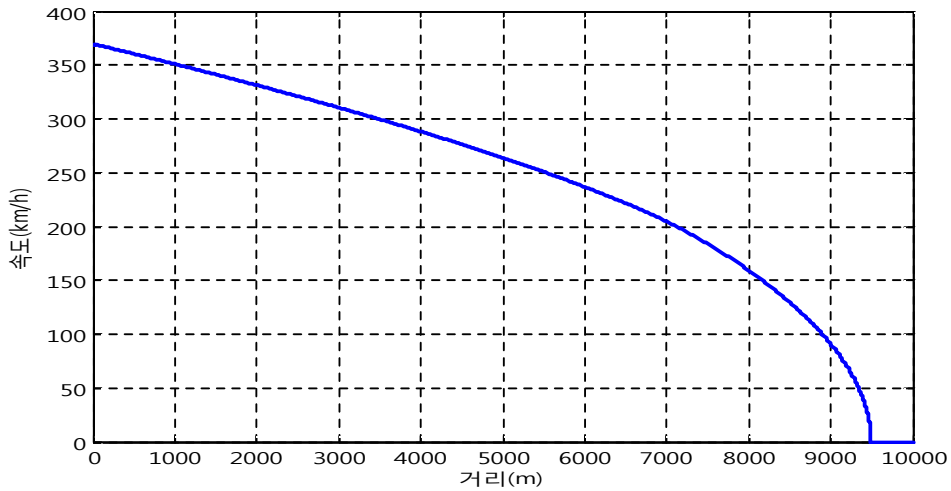

그림 19. 370km/h에서 정지 그래프 (KTX 16량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 21. 370km/h에서 중간 속도 (KTX 16량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)
1	0.00
2	152.14
3	212.97
4	253.15
5	286.93
6	316.88
7	344.33
경고 폐색 구간	370.00

2.4.1.2 KTX 18량 (대차 16량)

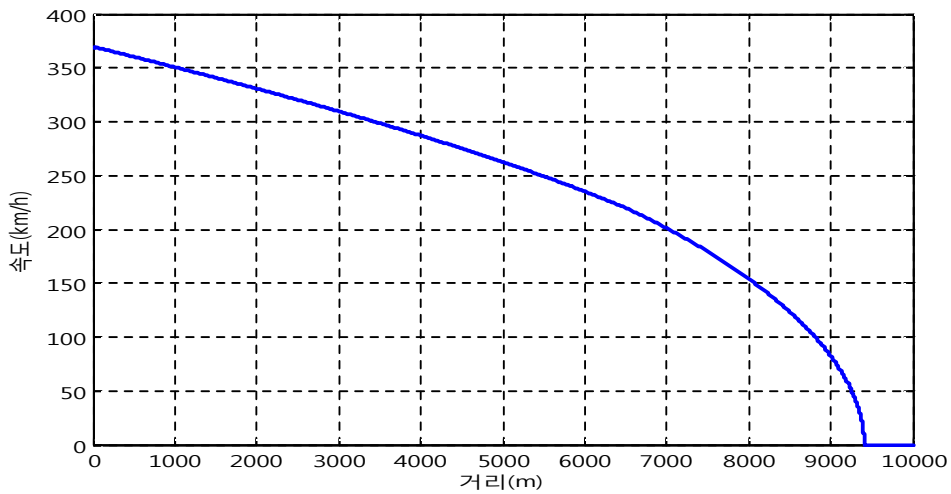

그림 20. 370km/h에서 정지 그래프 (KTX 18량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 21. 370km/h에서 중간 속도 (KTX 18량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)
1	0.00
2	150.87
3	212.36
4	253.00
5	286.66
6	316.64
7	344.19
경고 폐색 구간	370.00

2.4.1.3 KTX 20량 (대차 18량)

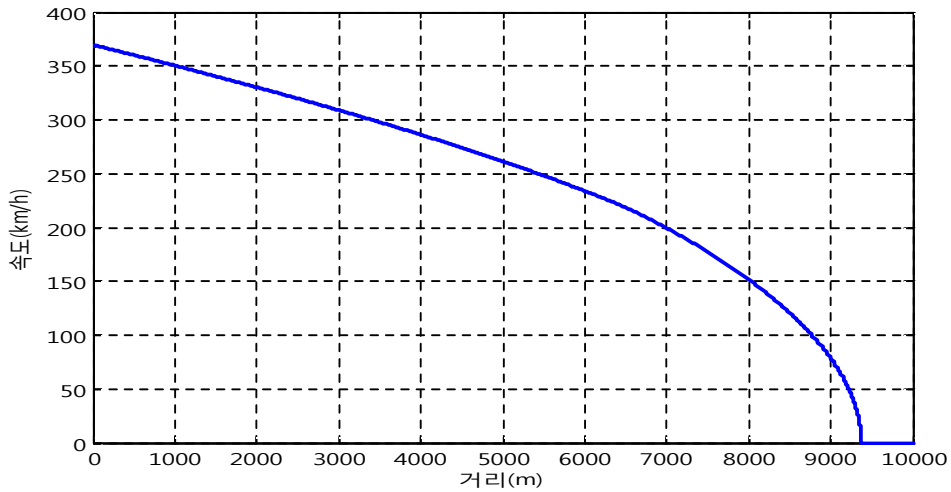

그림 21. 370km/h에서 정지 그래프 (KTX 20량)

이 경우 중간 속도는 다음과 같이 계산된다.

표 22. 370km/h에서 중간 속도 (KTX 20량)

폐색 번호	중간 속도(km/h)
1	0.00
2	150.15
3	211.93
4	252.40
5	286.13
6	316.26
7	343.99
경고 폐색 구간	370.00

폐색 번호 7에서 계산된 중간 속도 값(344.33, 344.19, 343.99)을 보았을 때 표준 속도는 350km/h로 결정 할 수 있다. 350km/h 이하의 표준 속도는 2.3에서 계산한 표준 속도와 동일하다.

따라서 최고 운행속도 370km/h에서 정지할 경우 170km/h - 230km/h - 270km/h - 300km/h - 330km/h - 350km/h - 370km/h의 표준 속도 시퀀스를 얻는다.

3 결론

"2.2.1.3 모델 및 속도에 따른 중간 속도 계산"에서 볼 수 있듯이 Matlab을 통해 구현한 열차 모델은

기존 경부고속선의 데이터와 거의 동일한 결과를 보여 주고 있으며 이를 통해 모델의 구현이 정확함을 확인할 수 있다.

이렇게 확인된 모델을 통해 계산한 결과 최고 운행속도 350km/h의 경우 표준 속도 시퀀스를 000 - 170 - 230 - 270 - 300 - 330 - 350으로 결정하고, 최고 운행속도 370km/h의 경우 표준 속도 시퀀스를 000 - 170 - 230 - 270 - 300 - 330 - 350 - 370으로 결정하는 것이 타당하다는 결론을 도출하였다.

참고문헌

1. 김용규, “유럽의 차상신호방식(ATC,ATP,ATO) 정의 및 기술동향 상세분석”, 고속철도운행을 위한 철도시설정비사업 및 기존선전철화사업 기술자문보고서, pp.119～p150, 2000.
2. 김용규, “최근의 프랑스 TGV 고속선 열차제어시스템 관련 기술 검토”, 한국철도기술, 2007.03
3. “Block Sectioning Functional Description", CSEE Transport, 2003
4. "Interface Specification IAN09 RS Characteristics for Signalling", Alstom France S.A., 2002