

TPS 검증에 대한 고찰

A consideration of TPS verification

남기전* 우성원** 박종원*** 박성익****
Nam, Ki-jun Woo, Sung-won Park, Jong-won Park, Seong-ik

ABSTRACT

To overcome bad conditions of surroundings, construction cost is increased and environmental issues are sometimes rising. Because railway alignment have to be designed to improve efficiency of train performance. The efficiency of train performance is affected by train ability, railway condition, system condition etc. Among these factors, deceleration and acceleration are main factors that determine the capability of train performance. Designed railway alignment is currently verified by TPS(running time, average velocity, Input energy), however, there is no obvious criterion for applicability of deceleration and acceleration. Moreover, results due to changes of deceleration and acceleration tend to be derived irregularly in process of programming. Therefore in this study, problem of applied program is considered by investigating the results for modelled alignment. And efficiency for train performance is also examined by increasing the velocity limit of downward slope which is prescribed by Train Operation Manual.

1. 서론

철도의 선형은 열차운전의 효율성을 향상하도록 계획되어야 하므로 주변지형의 악조건을 극복하고자 공사비가 증가하고 환경문제가 대두되기도 한다. 열차운전효율성은 차량성능, 선로조건, system 조건 등의 영향을 받는데 이중 차량의 감·가속도는 열차운전성능을 규정하는 주요인자이다. 현재 계획된 철도의 선형은 열차운전성능시험(TPS : Train Performance Simulation)에 의해 주행시간, 주행속도, 소모에너지 등의 항목으로 검증되어지고 있으나 감·가속도의 적용에 대한 명확한 기준이 없으며, 사용 Program상에서 감·가속도의 변화에 따른 결과치가 일정하지 않게 나타나는 문제점이 있다. 그러므로 모델화된 선형에 대하여 감·가속도를 변화적용시켜 결과를 검토함으로써 적용 Program의 문제를 고찰하고자 한다. 아울러 현 열차운전시행절차에 의해 규정되어 있는 하향기울기 제한속도를 향상시켜 열차운전의 효율성을 살펴보았다.

* (주)태조엔지니어링 철도사업부 부사장, 정회원
** (주)태조엔지니어링 철도사업부 이사, 정회원
*** (주)태조엔지니어링 철도사업부 대리, 정회원
**** (주)태조엔지니어링 철도사업부 대리, 정회원

2. 본론

2.1 관련기준

(1) TPS 검증시의 현 사용 감가속도

도표 1. 현 사용 감가속도

구 분	가속도(km/h/s)	감속도(km/h/s)
여객열차	2.5	3.0
화물열차	1.5	2.0

(2) 열차운전시행절차에 의한 하기울기 속도제한은 다음과 같다.

도표 2. 하기울기 속도제한

구 분	하기울기 (%)	5~9	9~13	13~16	16~19	19~23	23~28	28~33	33~36
		미만	미만	미만	미만	미만	미만	미만	미만
새마을호	속도	125	120	-	-	-	-	-	-
여객열차	(km/h)	110	105	90	85	80	75	70	65

2.2 Simulation 조건

철도의 중단기울기 계획 시에는 열차의 수송능력, 선로조건, 지형형태, 배수 등을 고려하여야하나 해석결과의 비교를 위하여 다음과 같은 조건하에 Simulation을 시행한다.

(1) 적용차량 및 열차편성은 여객열차(새마을호)로 설정하였다.

도표 3. 적용차량 및 편성

구 분	여객열차(새마을호)	
	전기기관차(EL8100)	디젤기관차(DL7100)
편 성	9량 1편성	9량 1편성
	동력1+ 객차7+ 발전차1	동력1+ 객차7+ 발전차1
최고속도	150 km/h	150 km/h
무 게	438.1 ton	482.1 ton

(2) 전기기관차(EL8100)와 디젤기관차(DL7100)의 견인력은 각각 5,000HP, 3,000HP으로 전기기관차가 더 우수하다. 이를 고려하여 적용 감가속도를 설정하였다.

도표 4. 적용 감가속도

전기기관차(EL8100)			디젤기관차(DL7100)		
가속도 (km/h/s)	감속도 (km/h/s)	비 고	가속도 (km/h/s)	감속도 (km/h/s)	비 고
1	1	설정 최저치	1	1	설정 최저치
2	2	평균치 적용	0.83	2.12	한국철도공사 운영자료
3.5	3.1	한국철도공사 운영자료	3	3	설정 최고치

(3) 선로등급은 철도건설규칙에서 정하는 2급선을 기준으로 하며, 시점역과 종점역의 종단고는 동일하게 적용하였다.

(4) 선로의 형상은 다음과 같이 조건화 한다.

도표 5. 선로형상

역간거리	15km	터널 / 교량	없음
기울기	1% ~ 12.5%	정거장	없음
평면곡선	없음	전력사구간	없음

(5) Program의 열차운행방법은 All-out 방식을 적용한다.

(6) 모델링

1개 종단기울기 연장은 1km ~ 7km, 기울기변화 횟수는 3회 ~ 6회를 적용한 10가지 case를 모델링하여 Simulation 하였다.

도표 6. 모델링

구분	개요도	구분	개요도
CASE 1		CASE 6	
CASE 2		CASE 7	
CASE 3		CASE 8	
CASE 4		CASE 9	
CASE 5		CASE 10	

2.3 열차운전성능시험(TPS : Train Performance Simulation) 결과

도표 7. TPS 결과

구 분	감가속도(km/h/s)		순위	시간 (min)	평균속도 (km/h)	소요에너지 (kwh)	회생에너지 (kwh)	
	가속도	감속도						
EL8100	case1	1.00	1.00	3	8.88	101.35	285.72	117.68
		2.00	2.00	1	7.81	115.17	309.76	86.36
		3.50	3.10	1	7.57	118.95	317.59	58.92
	case2	1.00	1.00	2	8.87	101.50	263.53	93.45
		2.00	2.00	3	7.99	112.60	292.78	110.60
		3.50	3.10	3	7.86	114.50	293.28	111.30
	case3	1.00	1.00	6	9.01	99.87	239.73	79.65
		2.00	2.00	5	8.09	111.19	275.22	101.78
		3.50	3.10	4	8.00	112.56	276.68	103.20
	case4	1.00	1.00	4	8.90	101.13	230.20	66.12
		2.00	2.00	2	7.91	113.82	272.99	94.58
		3.50	3.10	2	7.81	115.20	274.00	95.67
	case5	1.00	1.00	10	9.25	97.29	220.13	71.16
		2.00	2.00	9	8.23	109.41	282.25	116.29
		3.50	3.10	8	8.11	110.97	284.18	117.13
	case6	1.00	1.00	8	9.13	98.57	231.73	74.52
		2.00	2.00	6	8.16	110.26	284.20	113.75
		3.50	3.10	6	8.02	112.21	285.27	115.37
	case7	1.00	1.00	1	8.84	101.78	293.53	118.53
		2.00	2.00	4	8.06	111.60	306.24	123.15
		3.50	3.10	5	8.00	112.55	306.80	123.09
	case8	1.00	1.00	5	8.91	100.97	256.07	86.98
		2.00	2.00	7	8.19	109.87	272.03	95.74
		3.50	3.10	8	8.11	110.97	271.99	96.07
	case9	1.00	1.00	7	9.03	99.69	280.98	114.05
		2.00	2.00	8	8.20	109.77	306.61	127.95
		3.50	3.10	7	8.06	111.70	307.30	127.93
	case10	1.00	1.00	9	9.20	97.81	250.39	97.13
		2.00	2.00	10	8.28	108.64	299.66	130.56
		3.50	3.10	10	8.19	109.87	301.28	130.62
DL7100	case1	1.00	1.00	6	9.63	93.43	239.88	
		0.83	2.12	5	9.24	97.42	243.73	
		3.00	3.00	7	8.75	102.89	245.23	
	case2	1.00	1.00	2	9.30	96.75	227.63	
		0.83	2.12	1	8.88	101.31	250.49	
		3.00	3.00	1	8.26	108.90	258.12	
	case3	1.00	1.00	9	9.71	92.67	201.53	
		0.83	2.12	8	9.29	96.88	221.69	
		3.00	3.00	10	8.79	102.43	228.40	
	case4	1.00	1.00	3	9.45	95.22	203.05	
		0.83	2.12	3	9.03	99.70	227.23	
		3.00	3.00	3	8.51	105.77	235.15	
	case5	1.00	1.00	8	9.67	93.08	185.95	
		0.83	2.12	10	9.32	96.57	207.75	
		3.00	3.00	8	8.75	102.82	215.14	
	case6	1.00	1.00	5	9.62	93.53	197.10	
		0.83	2.12	9	9.31	96.72	218.30	
		3.00	3.00	4	8.57	104.99	228.61	
	case7	1.00	1.00	4	9.61	93.64	248.85	
		0.83	2.12	4	9.09	98.98	272.18	
		3.00	3.00	6	8.66	103.91	279.97	
	case8	1.00	1.00	1	9.29	96.83	242.86	
		0.83	2.12	2	8.89	101.22	248.63	
		3.00	3.00	2	8.48	106.10	250.45	
	case9	1.00	1.00	7	9.64	93.37	231.68	
		0.83	2.12	6	9.26	97.20	235.00	
		3.00	3.00	5	8.66	103.93	238.50	
	case10	1.00	1.00	9	9.71	92.67	212.74	
		0.83	2.12	7	9.27	97.07	233.28	
		3.00	3.00	9	8.78	102.53	241.06	

(1) 모델링한 선형으로 감가속도를 변화적용 시켜 본 결과 평균속도를 기준으로 보았을 때 각 감가속도마다 항상 같은 우선순위 결과를 보이지는 않으며 우선순위가 바뀌는 것으로 나타났다.

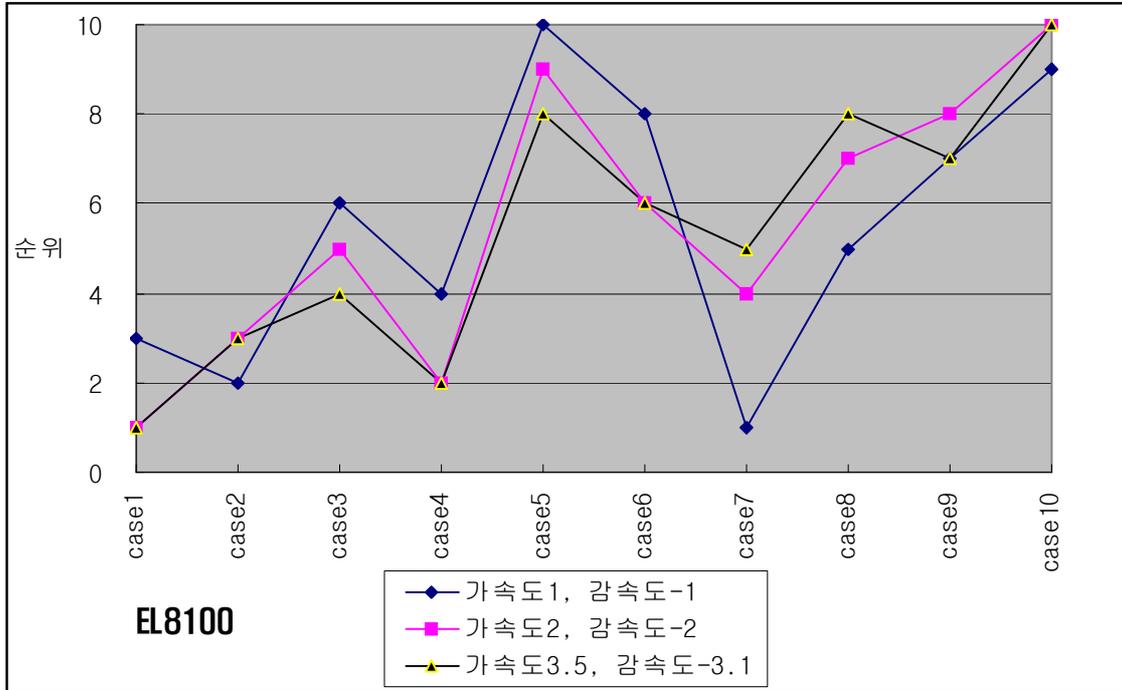


그림 1. 감가속도에 따른 평균속도 우선순위 변화(EL8100)

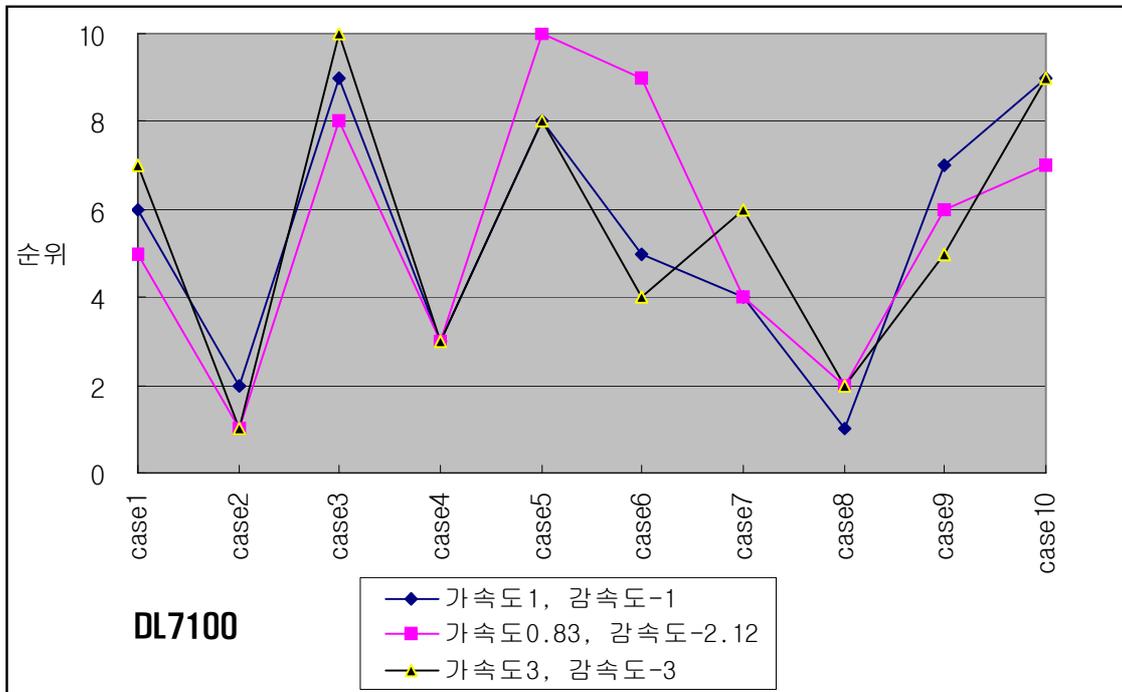


그림 2. 감가속도에 따른 평균속도 우선순위 변화(DL7100)

2.4 하기울기 제한속도를 없앤 경우의 Simulation

하기울기 속도제한은 주행의 안전성을 위하여 열차운전시행절차상에서 차량 및 선로기울기에 따라 규정하고 있으나, 철도건설규칙의 개정에 따라 2급선의 경우 설계속도가 120km/h에서 150km/h로 상향되었음에도 불구하고 하기울기 속도제한에 의해 불합리한 운행이 야기되므로 속도상향에 따른 운전성능의 향상결과를 알아본다

simulation 조건에서 하기울기 속도제한을 150km/h로 상향하여 TPS를 시행한 결과는 다음과 같다.

도표 8. TPS 결과(속도제한 상향적용:150km/h)

구분	감가속도(km/h/s)		시간 (min)	평균속도 (km/h)	소요에너지 (kwh)	희생에너지 (kwh)	
	가속도	감속도					
EL8100	case1	3.50	3.10	7.09	126.87	309.38	45.50
	case2	3.50	3.10	7.45	120.75	284.16	88.08
	case3	3.50	3.10	7.51	119.83	277.52	84.50
	case4	3.50	3.10	7.41	121.40	270.12	76.52
	case5	3.50	3.10	7.35	122.51	268.67	72.87
	case6	3.50	3.10	7.23	124.54	274.18	75.66
	case7	3.50	3.10	7.72	116.60	287.74	96.66
	case8	3.50	3.10	7.76	115.93	292.59	102.65
	case9	3.50	3.10	7.61	118.24	297.01	101.77
	case10	3.50	3.10	7.52	119.61	278.12	85.29
DL7100	case1	0.83	2.12	8.87	101.43	280.58	
	case2	0.83	2.12	8.67	103.86	265.30	
	case3	0.83	2.12	8.87	101.45	262.25	
	case4	0.83	2.12	8.65	104.01	256.75	
	case5	0.83	2.12	8.65	104.09	245.61	
	case6	0.83	2.12	8.78	102.48	243.29	
	case7	0.83	2.12	8.84	101.83	278.16	
	case8	0.83	2.12	8.64	104.11	275.79	
	case9	0.83	2.12	8.81	102.12	273.30	
	case10	0.83	2.12	8.74	102.93	266.86	

하기울기 속도제한을 150km/h로 적용한 경우와 현 기준으로 적용한 결과의 비교는 다음과 같다.

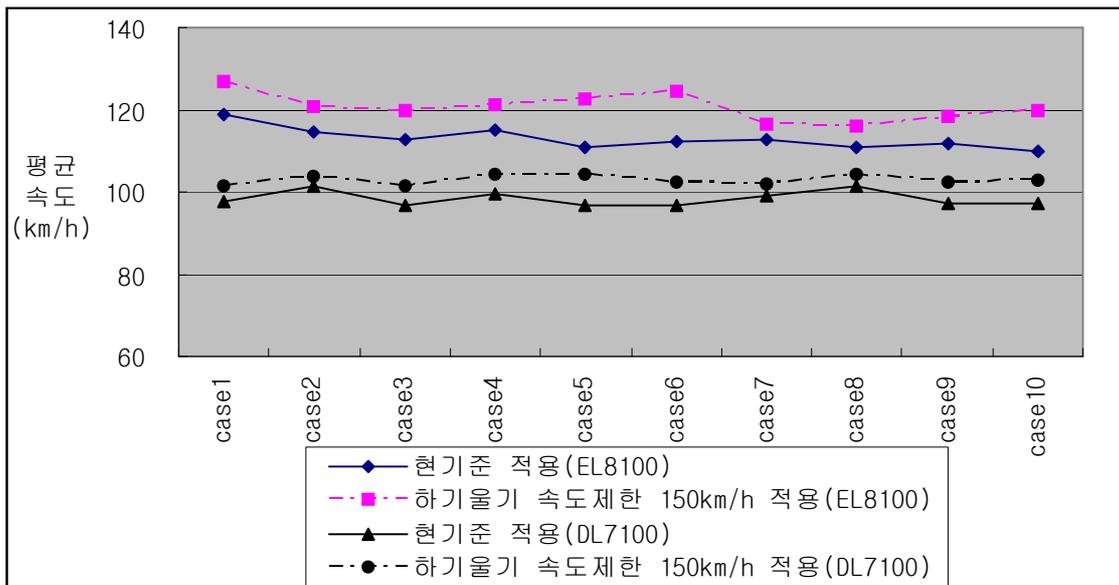


그림 3. 하기울기 속도제한에 따른 평균속도의 변화

3. 결론 및 추후연구

본 연구에서는 중단선형 감가속도와 하기울기 속도제한이 열차운전성능에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 범용프로그램인 TPS로 Simulation 하여 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

- (1) 감가속도 값의 적용에 따라 모델링 case별로 운전성능의 우선순위가 바뀌게 되는 결과가 나타났다. 이는 최적선형 선정에 있어 적용감가속에 의해 최적안이 뒤바뀌게 되는 경우가 나타날 수도 있겠다.
- (2) 운행에 따른 차량의 감가속도는 차량동력, 열차편성, 제동방식에 따라 다르다. 그러나 선형결정을 위한 TPS Simulation시 적용값은 명확한 기준없이 적용되어지고 있는 현실이므로 운행에 부합되는 값의 적용이 요구되며 다음의 값을 제안한다.

도표 9. TPS 감가속도 제안

편 성	여 객 (9량1편성)		화 물 (20량1편성)	
	최대가속도 (km/h/s)	최대감속도 (km/h/s)	최대가속도 (km/h/s)	최대감속도 (km/h/s)
DL7100~7500	0.83	-2.12	0.6~0.7	-0.78
EL8000~8100	3.50	-3.10	2.50	-2.10

- (3) 하기울기 속도제한을 150km/h로 상향한 경우 전기기관차(EL8100)는 평균속도가 112.9km/h에서 120.6km/h로, 디젤기관차(DL7100)는 평균속도 98.3km/h에서 102.8km/h로 각각 6.8%, 4.6% 증가하였다.
- (4) 또한, 하기울기 속도제한의 영향이 큰 급기울기 구간이 상대적으로 많은 구간은 전기기관차에서는 8.2%~9.9%, 디젤기관차의 경우에는 5.7%~7.2%까지 속도가 향상된 것으로 나타났다.
- (5) 향후 차량운행의 감가속도에 대한 한국철도공사의 명확한 지침이 설정되고 전파되어 노선선정 시 오류를 최소화함이 요구된다.

참고문헌

1. 열차운전시행절차(2004), 철도청
2. 철도건설규칙(2005), 건교부
3. TPS-ONC Ver2.0 (User manual), 정설시스템