Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 10 pp. 26-32, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.10.26
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

기존선 속도 향상을 위한 완화곡선 변경 방안 연구

김재복
태조엔지니어링 철도본부

Study on The Modification of The Transition Curve to Increase Operating Speed of Existing Line

Jae-Bok Kim
Division of Railway Engineering, TESO Engineering

요 약 곡선선로의 주행 속도를 향상하기 위한 가장 효과적인 방안은 차량성능 개선과 곡선 반경 증가이나, 많은 비용이 필요하므로 일반적으로 궤도 강화, 캔트량 변경의 방법을 적용한다. 본 논문은 기존선에 부설된 작은 반경의 곡선구간에서 효과적으로 주행속도를 향상하는 방법에 대한 연구이다. 연구방법으로 국내외 기준에 의한 곡선 반경별 주행속도 향상 한계치를 규정하고, 기 부설된 곡선을 변경하는 몇 가지 방안을 정립하여 완화곡선 연장 길이와 수평방향 이동량, 허용속도를 산정하였다. 그 결과 방법이 같으면 곡선반경이 커질수록 완화곡선 연장, 수평방향 이동량이 증가하는 경향을 보였다. 완화곡선 연장 증가치는 원곡선 반경을 고정하여 연장하는 방법이 가장 적고, 수평방향 이동량은 원곡선 반경 고정하고 사인반파장으로 변경하는 방법이 가장 적은 것으로 분석되었다. 향상된 주행속도를 경부선에 적용한 결과 원곡선 반경은 고정하고 완화곡선을 사인반파장으로 변경시 자갈도상 9.4%, 콘크리트도상 11.6%의 시간 단축과 표정속도 상승효과가 확인되었다. 기존선 주행속도 향상을 위한 우수한 방법은 완화곡선을 사인반파장으로 변경하는 C법이나, 평면 비틀림이 커져 유지보수가 불리해 지므로 도상을 콘크리트로 변경하면 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract The purpose of this study is to improve the running speed on a small-radius curved section on an existing train line. When the transition curve was extended, and the amount of movement in the horizontal direction tended to increase as the curve radius increased. The amount of increase in the transition curve extension was lowest when extending the curve radius, and the amount of horizontal movement was the lowest when changing the curve radius to a cosinusoidal curve. As a result of applying the pass rate after improvement to the Kyeongbu line, there was a time-shortening effect of 9.4 to 11.6% and a facial expression speed increasing effect when the curve radius was fixed and the transition curve was changed to a sinusoidal curve. In conclusion, the most effective way to improve the running speed on an existing train route is to change the image to concrete and to change the relaxation curve to a cosinusoidal curve. The amount of horizontal movement of the track is small, and the speed improvement effect is excellent.

Keywords : Transition Curve, Cubic Parabola, Cosinusoidal Curve, Lateral Movement, Speed Increasing

1. 서론

철도의 소요시간 단축은 차량성능 개선, 선형개량, 궤도 강화, 궤도 정비도 향상, 선로 안전설비 강화의 직접적인 방안과 정차시분을 단축하는 간접적인 방법이 있으며 소요 비용과 효과를 비교하여 최적의 방법을 선택하는

*Corresponding Author : Jae-Bok Kim(TESO Engineering)
email: dobest2025@gmail.com
Received July 11, 2019 Revised August 26, 2019
Accepted October 4, 2019 Published October 31, 2019

것이 바람직하다.

속도향상 방안으로 완화곡선을 변경하는 연구는 지장물 위치를 고려한 곡선반경과 완화곡선의 상관관계 분석[1], 완화곡선 길이 부족에 대한 완화곡선 연신 및 제한속도 산정[2] 및 곡선부 성능평가[3], 완화곡선 형상별 차량 주행 안정성 및 승차감 분석[4] 등에 관한 검토는 일부 수행되었으나, 곡선구간의 속도향상 방안과 허용속도 증가량 및 궤도 중심 이동량에 대한 심도 있는 연구는 부족하였다.

본 논문은 기존선에 부설된 작은 반경의 곡선 구간에서 주행속도를 향상하는 방법에 대한 연구이다. 연구방법으로 국내외 기준에 의한 곡선 반경별 주행속도 향상 한계치를 규정하고, 기존선에 부설된 완화곡선과 원곡선을 변경하는 여러 가지 방법을 비교하고, 완화곡선 연장 길이와 수평방향 이동량, 허용속도를 각각 산정하였다. 그리고 고속열차가 운행 중인 경부선 동대구 ~ 밀양 구간에 적용하여 그 효과를 정량적으로 분석하였다.

2. 열차운행속도 향상을 위한 방법

2.1 속도향상에 영향을 미치는 요소

철도 곡선선형은 운행속도에 큰 영향을 미치며, 곡선부의 완화곡선 형상과 길이는 곡선구간 선형의 적합성을 평가하는데 중요한 요소이다. 곡선선형의 특징을 결정하는 가장 큰 지표는 반경이며, 레일에 작용하는 횡압, 차량에 작용하는 원심력, 레일 중심과 차량 중심의 차이는 곡선반경에 의해 결정된다.

곡선 구간에서 속도향상을 위해서는 전복, 횡압 및 탈선에 대한 안전, 승차감, 궤도파괴에 안전, 완화곡선부 3점 지지에 의한 탈선방지, 궤도틀림의 관리 등이 요구된다.

2.2 철도 곡선과 운행속도

2.2.1 곡선과 캔트

직선으로부터 원곡선으로 이어지거나 서로 다른 반경의 곡선이 이어질 때에는 캔트의 차이가 발생하게 되고, 속도에 비례하여 캔트와 곡률이 규칙적으로 변화하므로 캔트의 변화에 따라 곡률도 동시에 변화하는 특수한 곡선이 완화곡선(transition curve)이다.

원곡선의 반경에 따른 열차주행 최고 허용속도는 최고캔트량 및 허용 부족캔트량에 의하여 결정되며, 콘크리트도상은 최고 캔트량 20mm, 허용 부족캔트량 30mm 기준이 커서 속도향상 효과가 있으므로 본 연구에서는 콘크리트도상으로 변경하는 방안도 포함하여 검토하였다.

2.2.2 완화곡선의 종류

완화곡선은 3차포물선(cubic parabola), 사인반파장체감곡선(cosinusoidal curve), 클로소이드곡선(clothoid curve), 렘니스케이트곡선(lemmiscate spiral), AREA 나선(AREA tenchord spiral) 등이 있으며, 3차포물선, 클로소이드 등은 완화곡선 내에서 곡률을 직선체감하고 사인반파장은 곡선체감을 채용한다. 선형특성은 차량 주행성능에 영향을 미치며, 완화곡선장이 짧은 일반철도에서는 사인반파장을 사용하면 중앙부의 평면 비틀림이 커져 선형보수가 곤란함 등의 사유로 3차포물선을 사용하나[5], 일본은 속도향상 목적으로 완화곡선 연장을 늘리는 경우에는 사인반파장의 곡선체감을 적용하는 경우도 있다.

2.2.3 곡선관련 국내외 설계기준

(1) 국유철도건설규칙(기존선)

국유철도건설규칙은 2005.7월 이전까지 수회 개정 되었으며, 설계속도에 따라 선로의 등급을 1~4급선으로 구분하고 최대설정캔트 160mm와 최대부족캔트 100mm를 기준으로 최고속도를 정하였다.

완화곡선 길이는 차량이 3점지지 현상으로 차륜 플랜지의 최소높이 25mm까지 부상하여도 탈선하지 않는 기울기의 캔트체감거리 이상이어야 하고, 주행 시 속도에 따라 1초에 1.25"씩 높이로 변하기에 캔트량의 급변화로 인하여 단위시간에 경사되는 정도와 열차가 받는 원심가속도의 변화 등으로 승차감이 나빠지지 않도록 Eq. (1)과 같이 정하였다.

$$L = \frac{V}{C_0} \cdot C \qquad (1)$$

Where, L denotes length of the transition curve, V denotes speed(Km/h), C denotes cant, Co denotes coefficient of change of cant(1.25"/sec=0.1143km/hr)

(2) 철도건설규칙 개정(안)

보수적인 현행 철도건설기준의 선형 기준을 완화하기 위해 "기존선 고속화를 위한 철도건설기준 합리화 연구"를 시행하여 한국철도시설공단이 "선형관련 기준 개정(안)"을 제시한 바, 기존선 고속화 사업비 절감이 기대되고 공사기간 단축으로 사회적 비용 감소가 기대된다. 주

요 내용은 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1. Design speed and minimum curve radius (Proposal)

Design speed V (km/h)	Curve radius (m)	
	Current	Amendment proposal
250	24,000	23,100
200	12,000	11,800
150	5,000	4,700
120	2,500	2,500
70	600	600

Table 2. Design speed and coefficient of change of cant

Design speed V (km/h)	Coefficient of change of cant		Coefficient of change of cant deficiency	
	Current	Proposal	Current	Proposal
350	2.50	2.56	2.20	2.17
300	2.20	2.20	1.85	1.86
250	1.85	1.83	1.55	1.55
200	1.50	1.47	1.30	1.24
150	1.10	1.10	1.00	0.93
120	0.90	0.88	0.75	0.75
$V_{\leq 70}$	0.60	0.52	0.45	0.44

(3) 국외 기준

유럽표준기준(EN: European Standard, 이하 EN)은 기존 일반철도 개량 최고속도를 220km/h로 규정하며, 캔트변화율 한계치는 일반적으로 30mm/sec이나 기존선 고속화 개량인 경우 예외적으로 50mm/ sec를 허용하며 주요 내용은 Table 3과 같다[6][7].

Table 3. Maximum Cant Deficiency

	EN 13803-1:2010		EN 13803-1:2017	
	Normal	Extra	Normal	Extra
Max. Cant Deficiency (I, mm)	V≤250 130 250〈V≤300 100	V≤200 183 220〈V≤230 168 230〈V≤250 153 250〈V≤300 130	V≤220 153 220〈V≤300 153 300〈V≤360 100	V≤220 180 220〈V≤300 153 300〈V≤360 100

부족캔트 국외 기준을 검토하면 프랑스 국유철도 (SNCF: Société Nationale des Chemins de fer Français, 이하 SNCF)는 열차속도 230〈V≤270km/h인 경우 표준 Cd≤100mm이고 부득이한 경우 Cd≤130mm를 적용한다. 신간선은 건설시기와 노선에 따라 다르며 동해도신간선, 산양신간선은 110mm, 동북신간선과 상월신간선은 90mm이며 내용은 Table 4와 같다[8].

Table 4. Maximum cant deficiency(SNCF, Shinkansen)

	SNCF		Shinkansen
	Normal	Extra	
Max. cant deficiency (I, mm)	V≤220 110 220〈V≤230 110 230〈V≤270 100 270〈V≤300 80	V≤220 130 220〈V≤230 140 230〈V≤270 130 270〈V≤300 100	Tokaido,Sanyo 110 Tōhoku, Jōetsu 90

최대 캔트변화율에 대하여 EN규정은 일반적인 경우 50mm/sec이고 예외규정은 속도에 따라 60mm/sec~70mm/sec를 적용하고 SNCF는 속도에 따라 28mm/sec~50mm/sec(부득이 한 경우 60mm/sec)이며, 신간선은 29mm/sec~45mm/sec를 적용한다.

부족캔트변화율에 대하여 EN규정은 일반적인 경우 55mm/sec이고 예외규정은 속도에 따라 75mm/sec~100mm/sec를 적용한다.

SNCF는 속도에 따라 일반적인 경우 30mm/sec~75mm/sec, 부득이 한 경우 50mm/sec~90mm/sec로 규정하고 있으며, 일본 신간선은 24mmm/sec~37mm/sec를 적용한다. 기존선 고속화를 위한 국내외 철도건설 기준을 비교하면 국내 철도건설 기준이 유럽, 일본 등 철도선진국에 비해 보수적임을 알 수 있으며 주요 내용을 비교하면 Table 5와 같다.

Table 5. Maximum rate of change of cant

	Korea	Overseas		
		Europe	France	Japan
Cant deficiency(mm)	80	100	100	110
Min. curve length(m)	0.5V	0.4V	0.5V	100
Distance between centers of lines	4.3	4.0	4.0	4.2

3. 완화곡선 길이의 연장 방안

3.1 기본방향

완화곡선을 주행하는 열차는 캔트가 급변할 경우 승차감이 악화되므로 시간당 캔트 변화율 또는 부족캔트 변화율을 제한하고 있으며 최고 허용속도는 캔트 한계치와 부족캔트량에 의하여 결정된다.

따라서, 운행열차 종류와 통과속도를 기준으로 설치된 곡선구간에서 적정한 변경 없이 증속 운행하면 캔트 변

화량이 기준 값 이상이 되어 주행성과 승차감이 나빠지게 되므로 허용속도를 향상시킬 경우 완화곡선 길이를 연장하여야 한다. 완화곡선 길이 연장의 가능 여부는 종거도를 활용한다. 즉, 완화곡선 길이를 연장할 경우 종거도가 이루는 전체 면적이 이전의 면적과 같아야 하며, 종거 차이에 의한 모멘트의 총합이 "0"이어야 한다는 것이 기본 이론이다[9].

3.2 완화곡선 길이 연장 방법

완화곡선 길이를 시종점 완화곡선과 원곡선의 곡선 전체 구간에서 연장하는 방법과 시점 또는 종점의 완화곡선과 원곡선의 편측구간에서 연장하는 방법으로 구분할 수 있다[9][10].

3.2.1 원곡선 반경 고정법(A법)

연장전·후의 원곡선 반경이 변하지 않으나 완화곡선을 직선부와 원곡선부에서 연장하므로 원곡선 전체가 균등하게 평행이동 된다. 완화곡선 연장 전·후 종거와 선로의 평면 이동량 변화는 Fig. 1과 같다.

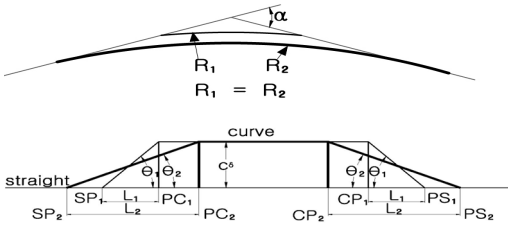

Fig. 1. Transition curve shapes(A type)

3.2.2 원곡선 반경 변경법(B법)

(1) 반경 확대 및 완화곡선 종점 고정(B-1법)

원곡선 반경을 확대하고 완화곡선을 직선부에서 연장하므로 속도향상 효과가 크나 원곡선 전체가 이동되며 원곡선 중심부의 이동량이 가장 크다.

이 방법에 의한 이동량 변화는 Fig. 2와 같다.

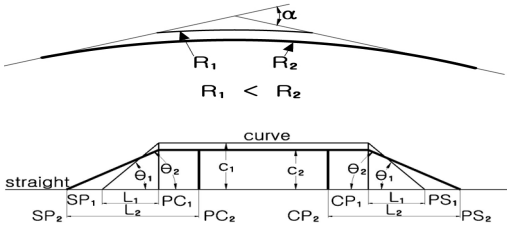

Fig. 2. Transition curve shapes(B-1 type)

(2) 반경 축소 및 완화곡선 시점 고정(B-2법)

원곡선의 곡선반경을 축소하고 완화곡선을 원곡선부에서만 연장하므로 원곡선 전체가 이동된다. 직선구간의 이동량은 점진적으로 커지고 원곡선 중심부의 이동량이 가장 크다.

이 방법에 의한 이동량 변화는 Fig. 3과 같다.

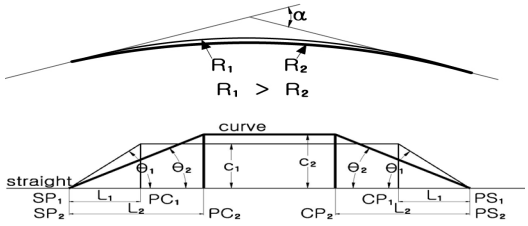

Fig. 3. transition curve shapes(B-2 type)

3.2.3 완화곡선 형상을 변경(C법)

직선과 완화곡선 및 원곡선과 완화곡선 접점에서 곡률 변화율이 작게 되도록 사인반파장으로 형상을 변경한다. 완화곡선 중점을 직선축 중심으로 하는 반향곡선의 완화곡선이 설치되고, 길이가 길어지며 종점 부근에서 경사각이 3차포물선 보다 급하게 된다.

이 방법에 의한 이동량 변화는 Fig. 4와 같다.

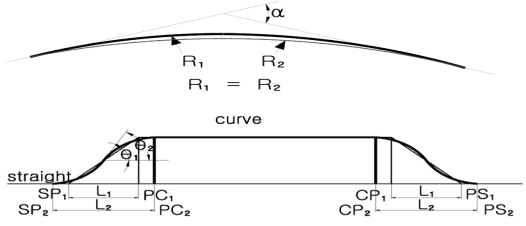

Fig. 4. Transition curve shapes(C type)

4. 결과 및 분석

4.1 완화곡선 길이와 수평방향 이동량

4.1.1 곡선반경 600m의 경우

교각이 25°이며 반경 600m인 곡선의 경우 연장방법에 따라 완화곡선 길이는 0 ~ 20.152m 길어지며, 수평방향 이동량(shift)은 0mm ~ 1,790.8mm로 분석되었다. 완화곡선 길이와 원곡선 반경 변화는 Table 6이며, 수평방향 궤도중심 이동량은 Table 7, 위치에 따른 수평 이동량의 형상은 Fig. 5~8과 같다.

Table 6. Length of transition curve(R=600m, IA=25)

R=600m	Ballasted track		Concrete track	
	Length (m)	Curve radius(m)	Length (m)	Curve radius(m)
A type	3.566	600	10.209	600
B-1 type	7.026	611.0	20.078	631.4
B-2 type	0	588.7	0	567.5
C type	20.152	600	28.775	600

Table 7. Length of the shift (R=600m, IA=25)

Length of shift(mm)	Ballasted track		Concrete track	
	Max.	at center	Max.	at center
A type	-103.4	-100.9	-316.4	-309.4
B-1 type	-623.5	-332.0	-1,790.8	-968.8
B-2 type	432.0	156.0	1,203.7	794.2
C type	-92.7	-91.0	-284.3	-279.8

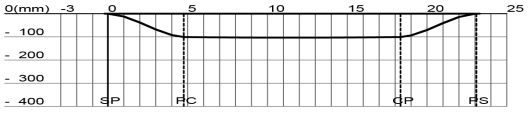

Fig. 5. Shift of tracks (R=600m, A type, Ballasted Track)

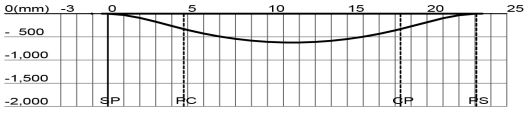

Fig. 6. Shift of tracks (R=600m, B-1 type, Ballasted Track)

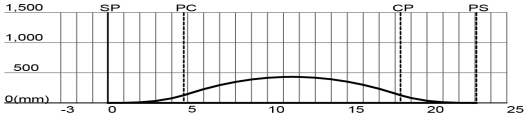

Fig. 7. Shift of tracks (R=600m, B-2 type, Ballasted Track)

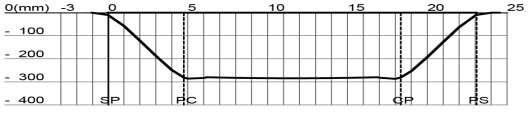

Fig. 8. Shift of tracks (R=600m, C type, Concrete Track)

4.1.2 곡선반경 800m의 경우

교각이 25°이며 반경 800m인 곡선의 완화곡선은 연장방법에 따라 길이는 0~50.109m 길어지며, 수평방향 이동량(shift)은 0mm~4,378.9mm로 분석되었다. 완화곡선 길이와 원곡선 반경 변화는 Table 8, 수평방향 궤도중심 이동량은 Table 9와 같다.

Table 8. Length of transition curve(R=800m, IA=25)

R=800m	Ballasted track		Concrete track	
	Length (m)	Curve radius(m)	Length (m)	Curve radius(m)
A type	11.658	800	25.656	800
B-1 type	23.048	836.2	50.109	878.6
B-2 type	0	762.9	0	719.1
C type	30.765	800	48.673	800

Table 9. Length of the shift (R=800m, IA=25)

Length of shift(mm)	Ballasted track		Concrete track	
	Max.	at center	Max.	at center
A type	-272.9	-261.6	-681.2	-665.6
B-1 type	-1,195.6	-896.2	-4,378.9	-2,111.0
B-2 type	1,487.2	535.0	3,118.7	1,542.4
C type	-254.7	-249.2	-616.4	-585.8

4.1.3 곡선반경 1,200m의 경우

교각이 25°이며 반경 1,200m인 곡선의 완화곡선은 연장 방법에 따라 0~78.109m 길어지며, 수평방향 이동량(shift)은 0mm~6,600.4mm로 분석되었다. 완화곡선 길이와 원곡선 반경 변화는 Table 10, 수평방향 궤도중심 이동량은 Table 11과 같다.

Table 10. Length of transition curve(R=1,200m, IA=25)

R=1,200m	Ballasted track		Concrete track	
	Length (m)	Curve radius(m)	Length (m)	Curve radius(m)
A type	22.711	1,200	39.442	1,200
B-1 type	45.057	1,271	78.109	1,323
B-2 type	0	1,128	0	1,076
C type	46.173	1,200	68.060	1,200

Table 11. Length of the shift (R=1,200m, IA=25)

Length of shift(mm)	Ballasted track		Concrete track	
	Max.	at center	Max.	at center
A type	-406.2	-394.1	-797.1	-780.9
B-1 type	-3,350.8	-1,369.2	-6,600.4	-2,604.3
B-2 type	3,044	1,001.5	5,143.9	2,263.7
C type	-387.3	-377.5	-754.2	-738.1

4.1.4 곡선반경 2,000m의 경우

교각이 25°이며 반경 2,000m인 곡선이 경우 완화곡

선은 연장 방법에 따라 0~88.331m 길어지며, 수평방향 이동량(shift)은 0mm~9,829.2mm로 분석되었다. 완화곡선 길이와 원곡선 반경 변화는 Table 12, 수평방향 궤도중심 이동량은 Table 13과 같다.

Table 12. Length of transition curve(R=2,000m, IA=25)

R=2,000m	Ballasted track		Concrete track	
	Length (m)	Curve radius(m)	Length (m)	Curve radius(m)
A type	59.117	2,000	66.653	2,000
B-1 type	-	-	-	-
B-2 type	0	1,812	0	1,789
C type	78.382	2,000	88.331	2,000

Table 13. Length of the shift (R=2,000m, IA=25)

Length of shift(mm)	Ballasted track		Concrete track	
	Max.	at center	Max.	at center
A type	-304.8	-293.2	-387.4	-373.1
B-1 type	-	-	-	-
B-2 type	8,764.9	2,199.8	9,829.2	2,772.6
C type	-304.6	-293.9	-385.5	-372.4

4.2 해석 결과

개량범위, 지장물 저촉 여부와 직접적으로 연관 있는 궤도의 수평방향 이동량은 곡선반경이 클수록 커지며, 콘크리트 도상으로 변경하면 더 커진다. 이는 설계속도가 증가되면서 캔트량 확대치도 더 커진 사유이다. 완화곡선 길이 증가치는 A법이 적고, 수평방향 이동량은 C법이 적다. 구조물 구축한계 여유를 약간 벗어나는 경우 캔트량으로 조정하는 방법을 택할 수도 있다.

본 논문은 기존선의 속도향상을 위해 곡선과 완화곡선을 개량하는 방안을 수치적으로 해석하였다. 그 결과 완화곡선 형상을 사인반파장으로 변경하고, 사인반파장의 유지관리에 취약한 단점을 보완하기 위해 도상을 콘크리트로 변경하는 방안이 가장 우수한 방법으로 분석되었다.

5. 효과 분석

5.1 기존선 현황

경부선 동대구~밀양 구간은 경부고속철도 1단계 개통을 위해 2회 개량하였고, 2단계 개통 후 현재까지 운행중이다. 그러나 반경이 작은 평면곡선 개소가 많은 영향으로 고속열차 운행효율이 낮아 선형개량을 포함한 고속화를 현재 검토 중이다.

본 연구에서는 경부선 동대구~밀양구간의 완화곡선 개선시 효과를 분석하였다. 경부선 동대구~밀양구간의 평면선형 현황은 Table 14와 같다.

Table 14. Horizontal curves of the Gyeongbu line

Curve Raidius (m)	Dongdaegu~ Kyeongsan	Kyeongsan- Cheongdo	Cheongdo~ Milyang
~600	4	9	6
601~800	1	7	3
801~1000	1	4	3
1001~1200	3	0	-
1201~	2	3	2
Total	11	23	14

5.2 완화곡선 개선 효과 분석

본 논문에서는 완화곡선 길이 연장 방법과 도상 형식을 구분하여 열차운행 시뮬레이션(TPS: Train Performance Simulation)을 시행하고 소요시간 단축 효과를 분석하였다. 분석 결과 Table. 15와 같이 9.4% ~ 11.6%의 시간 단축 효과가 있으며 표정속도도 비슷하게 상승하였다. 현재 운전선도는 Fig. 9, 연장 방법별 주요 운전선도는 Fig. 10~12와 같다.

Table 15. Time required of the Gyeongbu line

Station	Dis. [km]	Curr-ent	Ballasted				Concrete	
			A	B-1	B-2	C	A	C
Dongdaegu -Kyeongsan	12.3	7.0	6.5	6.5	6.5	6.6	6.4	6.5
Kyeongsan- Milyang	43.0	22.3	19.8	19.8	19.7	19.8	19.3	19.3
Time req.(sec)	55.3	30.8	27.8	27.9	27.8	27.9	27.2	27.3

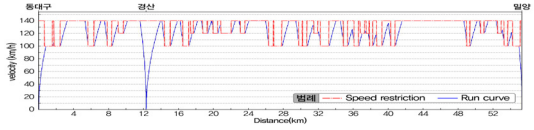

Fig. 9. Run Curve (Current, Ballasted Track)

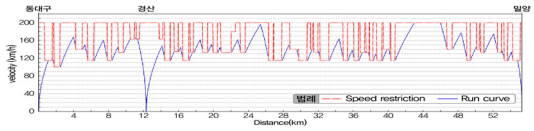

Fig. 10. Run Curve (A type, Ballasted Track)

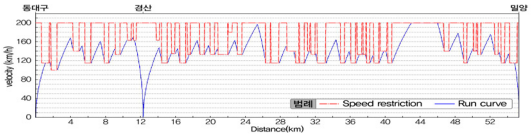

Fig. 11. Run Curve (C type, Ballasted Track)

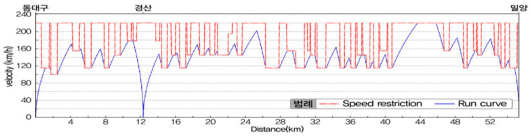

Fig. 12. Run Curve (C type, Concrete Track)

6. 결론

기존선 곡선구간의 주행속도 향상을 위한 완화곡선과 원곡선 변경 방법을 비교하고, 완화곡선 길이와 수평방향 이동량, 허용속도를 산정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 곡선반경이 커질수록 완화곡선 길이와 수평방향 이동량이 증가하는 경향을 보였다. 완화곡선 길이 증가량은 A법이 가장 적고, 수평방향 이동량은 C법이 가장 적은 것으로 분석되었다.
2) 고속철도가 운행 중인 경부선 동대구~밀양 구간에 적용한 결과 현재 소요시간 28.83분 보다 2.89~3.58분(9.4%~11.6%)의 단축 효과가 있으며 C법이 가장 큰 것으로 분석되었다.

사인반파장을 완화곡선장이 짧은 일반철도에 적용하면 중앙부의 평면 비틀림이 커져 선형 보수가 불리하여 국내에서는 적용하지 않고 있다. 철도 선진국에서는 속도향상 목적으로 완화곡선 연장을 늘리고 콘크리트도상으로 변경하는 경우에는 사인반파장의 곡선체감을 적용하는 경우도 있다. 속도향상을 위한 개량시 수평방향 이동량이 적고, 속도 향상 효과가 가장 우수한 콘크리트 도상화 및 사인반파장으로 변경하는 방법을 적극 도입할 필요가 있다고 판단된다.

References

[1] Ju-Hwan Um, Eun-Kyum Kim Sin-Chu Yang, “A Study on Determination Method of Radius and Transition Curve Length for Optimum Design in Curve”, *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 12, No. 2, pp.199-204, 2009
DOI: http://www.riss.kr/link?id=A76368793

[2] Ju-Hwan Um, Ki-Young Eum, In-Ho Yeo, Young-Hwa You, “Evaluation of Tilting Trains Speed in Conventional Railways Curves considering Passenger’s Comfort in Transition Area”, *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 7, No. 4, pp.153-159, 2004
DOI: http://www.riss.kr/link?id=A104917054

[3] Ju-Hwan Um , Sin-Chu Yang, Eun-Kyum Kim, “A Study on Optimum Design for Railway Alignment in Curve”, *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 12, No. 4, pp.597-603, 2009
DOI: http://www.riss.kr/link?id=A76534385

[4] Il-Yoon Choi, Ju-Hwan Um, Man-Cheol Kim, Chan-Kyoung Park, “Analysis of Running Safety and Ride comfort according to the shape of transition curve”, *Journal of the Kor*ean Society for Railway, Vol. 13, No. 1, pp.597-603, 2010
DOI: http://www.riss.kr/link?id=A82428047

[5] Railway construction standard, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Japan, 2009

[6] EN13803, “Railway applications-Track-Track alignment design parameters-Track gauges 1435 mm and wider”, *British Standards*, pp.11-15, 2010

[7] EN13803:2017, “Railway applications-Track-Track alignment design parameters-Track gauges 1435 mm and wider”, British Standards, pp.13-16, 2017

[8] Technical Regulatory Standards on Japanese Railways, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan, 2012

[9] Keiko Kaneko, “Transition curve stretching”, Kaneko keisoku kabushikigaisha, Japan, 1983

[10] Eui-Hwan Jeong, “A Study on the Application of Extension Method in Railway Transition Curved Zone Considering Field Status”, *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartograohy*, Vol. 22, No. 4, pp.391-400, 2004
DOI: http://www.riss.kr/link?id=A100136212

김 재 복(Jae-Bok Kim) [정회원]

- 2009년 2월 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원 (공학석사)
- 2017년 9월 : 우송대학교 철도시스템학과 (공학박사 수료)
- 2002년 6월 ~ 2010년 8월 : ㈜삼안 전무
- 2010년 8월 ~ 현재 : ㈜태조엔지니어링 부사장

〈관심분야〉
철도건설, 철도시스템, 철도운영