

2.

2.1 곡선궤도 수정법의 개요 및 효과

열차가 곡선부를 주행할 때에는 원심력에 의하여 열차가 곡선의 외측으로 튀어 나가도록 하는 힘이 발생한다. 곡선궤도의 시점(B.C) 및 종점(E.C)점에서 외궤에 돌연 캔트량에 상당하는 단차가 발생하게 되는데, 이때 차량에 큰 충격이 가해질 뿐만 아니라, 탈선이나 전복의 우려가 있다. 또한 그 레일을 주행하는 열차에서는 캔트량에 상당하는 원심력이 발생, 승차감을 악화시키며, 선로에서는 횡압이나 횡방향 요동이 증가하게 된다. 이를 시정하기 위해 캔트의 완만한 변화에 부합하는 새로운 곡선인 완화곡선이 삽입된다. 하지만 이러한 국내선로에 부설된 낙후된 완화곡선은 날로 발전하는 고속열차의 성능을 수용할 수 없을뿐더러, 경제적 효율성 저하의 단점을 안고 있다. 본 연구는 국내열차의 곡선부 주행 목표속도를 최저 100km/h로 정하고 기존의 캔트를 유지하면서, 곡선반경의 수정 및 완화곡선 길이를 연장해주는 방식을 택하여 열차의 속도를 13%~18% 시키는데 필요한 이론적인 적용을 하고자 한다.

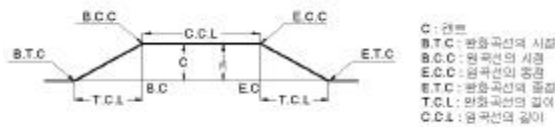


그림1. 곡선궤도의 구성

2.2 완화곡선 궤도수정법의 종류

(1) 완화곡선의 궤도수정법을 곡선의 전장에 걸쳐 행하는 방법

□ 수정 A법

- 곡선반경은 변하지 않는다.
- 직선궤도 위치는 변하지 않는다.
- 원곡선이 내측으로 평행이동하기 때문에 이동량은 곡선 전장에 걸쳐 발생한다.

□ 수정 B-1법

- 곡선반경은 보다 크게 변한다.
- 직선궤도 위치는 변하지 않는다.
- 원곡선이 내측으로 이동하게 때문에 곡선중앙에서 이동량은 최대가 된다.

□ 수정 B-2법

- 연신 B-1법과 동일하나 곡선반경이 종래보다 작게 변한다.

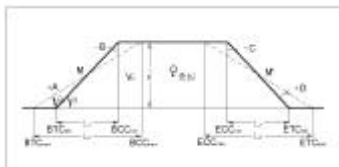


그림2. 수정 A법

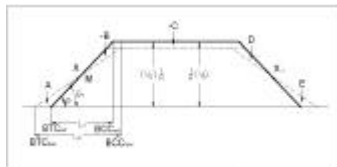


그림3. 수정 B-1법

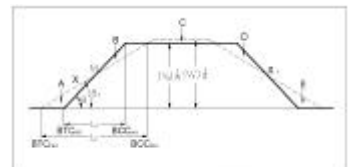


그림4. 수정 B-2법

(2) 완화곡선의 궤도수정법을 곡선의 한쪽에서 행하는 방법

□ 수정 C법

- 곡선 반경은 일부 기존보다 작게 변한다.
- 이동량은 내측에서 비교적 작다.

□ 수정 D법

- 직선부에 반향곡선이 들어간다.
- 이동량은 외측에서 비교적 작다.

□ 수정 E법

- 완화곡선 시·종점부의 변화 부분을 완만하게 하는 방법이며, 총 이동량은 작다.
- sine 반파장 저감곡선 파형으로 한다.(※ 국유철도건설규칙에서는 3차포물선을 채택하여 배제한다.)

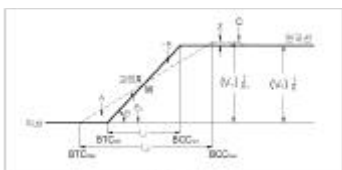


그림6. 연신 C법

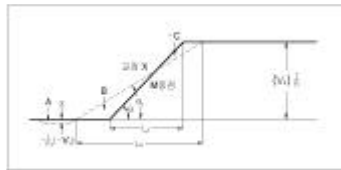


그림7. 연신 D법

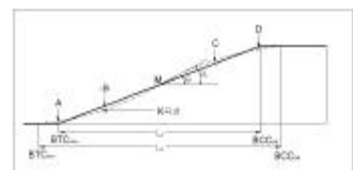


그림8. 연신 E법

3. 궤도수정법 현장노선 기술적용

3.1 수정 A법(곡선부 전장에 걸쳐 궤도수정법 적용)

대상: 중앙선 유곡~반곡(116km159.74 ~ 116km410.81) 구간

구곡선반경 : $R = 500$

신곡선반경 : $R_1 = 500$

구완화곡선장 : $T.C.L = 70m$

신완화곡선장 : $T.C.L_1 = 95m$

① 완화곡선 소요길이 : $\quad \quad \quad = 25m$

② 측점간격 : $5m$ 완화곡선 정시 $V = \frac{l^2}{2R} = \frac{5^2}{2 \times 500} = 25.00mm$

③ 완화곡선정시의 증감계수 : $D = \frac{25mm}{14} = 1.786mm$

No.0측점을 "0"으로 하고 증감계수 1.786mm만큼 (+)해서 V=25mm인 No.14측점까지 계산한다.

④ 신완화곡선 정시의 증감계수 : $D_1 = \frac{25mm}{19} = 1.316mm$

No.-3측점부터 증감계수 1.316mm만큼 (+)해서 V=25mm인 No.17측점까지 계산한다.

연신A법은 좌·우 연신 소요길이가 같다는 조건이 성립하여야 한다.

⑤ B.C~E.C(원곡선장) = $190m$ $190 = \pi \cdot R \times \frac{\angle \alpha}{180}$

$\angle \alpha = \frac{190 \times 180}{\pi R} = 21.772^\circ$

$\sum \frac{1}{R} \approx 0.190$

$\sum V = 500(l) \times 0.190 = 950mm$

\uparrow
 $\frac{\pi}{360} \times 21.772$

⑥ 또는 $\sum V = 43.63323 \times 21.772 \approx 950mm$

⑦ 정시에서 $\sum V = \frac{12500}{500} \times \frac{190}{5} = 950mm$

⑧ 최대이동량 = $\frac{2 - \quad^2}{24 \times R} = \frac{95^2 - 70^2}{24 \times 500} = 343.75mm$

이동량은 $\sum \Sigma d$ 를 2배 한 값으로 $-250mm$ 가 최대값이 되며, 원곡선 중앙부에서 발생한다.

도표1. 정시차에 의한 곡선전장의 이동량 관계(수정A법)

No	V_1	V_2	$d(V_1 - V_2)$	Σd	$\Sigma \Sigma d$	
-3		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-2		0.658	-0.658	-0.658	-0.658	0.000
-1		1.974	-1.974	-2.632	-3.289	-1.316
0	0.000	3.289	-3.289	-5.921	-9.211	-6.579
1	1.786	4.605	-2.820	-8.741	-17.951	-18.421
2	3.571	5.921	-2.350	-11.090	-29.041	-35.902
3	5.357	7.237	-1.880	-12.970	-42.011	-58.083
4	7.143	8.553	-1.410	-14.380	-56.391	-84.023
5	8.929	9.868	-0.940	-15.320	-71.711	-112.782
6	10.714	11.184	-0.470	-15.789	-87.500	-143.421
7	12.500	12.500	0.000	-15.789	-103.289	-175.000
8	14.286	13.816	0.470	-15.320	-118.609	-206.579
9	16.071	15.132	0.940	-14.380	-132.989	-237.218
10	17.857	16.447	1.410	-12.970	-145.959	-265.977
11	19.643	17.763	1.880	-11.090	-157.049	-291.917
12	21.429	19.079	2.350	-8.741	-165.789	-314.098
13	23.214	20.395	2.820	-5.921	-171.711	-331.579
14	25.000	21.711	3.289	-2.632	-174.342	-343.421
15	25.000	23.026	1.974	-0.658	-175.000	-348.684
16	25.000	24.342	0.658	0.000	-175.000	-350.000
17	25.000	25.000	0.000	0.000	-175.000	-350.000
18	25.000	25.000	0.000	0.000	-175.000	-350.000
19	25.000	25.000	0.000	0.000	-175.000	-350.000

< 이하 원곡선부분은 동일치로 생략. >

3.2 수정 C법(곡선부중 한쪽에 궤도수정법 적용)

대상: 중앙선 유교~반곡(116km159.74 ~ 116km410.81)구간

곡선반경 $R = 500$

$$R = 500 \quad d(V_1 - V_2) = 1.0mm$$

구 완화곡선장 $70m$

신 완화곡선장 $95m$

- ① 구완화곡선의 증감계수는 D_1 으로 그 크기만큼 No.0측점부터 No.14측점까지 증가한다.

$$\text{구완화곡선 정시 } V = \frac{f^2}{2R} = \frac{5^2}{2 \times 500} \times 1,000 = 25mm$$

$$\text{증감계수 } D_1 = \frac{V}{\frac{L_1}{l}} = \frac{25}{\frac{70}{5}} = 1.78571mm$$

- ② 수정 C법은 신완화곡선과 구완화곡선의 가상교점이 직선부분으로 이동하는 것으로 적정값 No.5측점에서 $d(V_1 - V_2) = 0$ 을 만든다.

- ③ 신완화곡선의 증감계수 역시 D_2 로 그 크기만큼 No.-2측점부터 No.18측점까지 증가한다.

$$\text{증감계수 } D_2 = \frac{V}{\frac{L_2}{l}} = \frac{25}{\frac{95}{5}} = 1.31579mm$$

- ④ 표에서 $\sum d$ 가 원곡선부분에서 (+)양의 (-)음의 값으로 변하는 지점을 찾아 "0"을 만든다.

- ⑤ 수정정시 f 의 값을 이용하여 V_2' 로 신완화곡선을 수정한다.

No.35의 $\sum \Sigma d$ 166.643 .

$$\text{No.0} \sim \text{35} \text{까지는 } 36 \text{측점 } (36+1) \times \frac{36}{2} = 666$$

No.18~35사이의 계획정시변경 불가 그 측점수는 18측점

$$(18+1) \times \frac{18}{2} = 171 \quad 666 - 171 = 495$$

$$166.643 \div 495 = 0.33665$$

변경구간은 19측점

$$0.33665 \times 19 = 6.39635$$

No.35: -0.857, No.34: -1.000, No.33: -1.000, No.32: -1.000,

No.31: -1.000, No.30: -1.000, $\rightarrow \sum = -5.857$

따라서, 상기 6측점을 줄임

$$-1 \sim 29 : (31+1) \times \frac{31}{2} = 496$$

$$496 - 78 = 418$$

$$18 \sim 29 : (12+1) \times \frac{12}{2} = 78$$

No.29의 $\sum \Sigma d$ 152.357 .

$$152.357 \div 418 = 0.36449 \quad 19 \text{배해서 } 6.92531$$

$$-1 \sim 28 : (30+1) \times \frac{30}{2} = 465$$

$$496 - 78 = 418$$

$$18 \sim 28 : (11+1) \times \frac{11}{2} = 66$$

No.28의 $\sum \Sigma d$ 146.500 .

$$146.500 \div 399 = 0.36591 \quad 19 \text{배해서 } 6.95229$$

$$-1 \sim 27 : (29+1) \times \frac{29}{2} = 435$$

$$435 - 55 = 380$$

$$18 \sim 27 : (10+1) \times \frac{10}{2} = 55$$

No.27의 $\sum \Sigma d$ 139.643 .

$$139.643 \div 380 = 0.36748 \quad 19 \text{배해서 } 6.98212$$

NO	V_1	V_2	$d(V_1 - V_2)$	Σd	Σdd	V_2'	$d(V_1 - V_2)$	$\Sigma d'$	$\Sigma \Sigma d'$	
25	25.000	26.000	-1.000	9.857	122.929	26.000	-1.000	2.875	-2.750	-11.250
26	25.000	26.000	-1.000	8.857	131.786	26.000	-1.000	1.875	0.875	-5.500
27	25.000	26.000	-1.000	7.857	139.643	26.000	-1.000	0.875	0.000	-1.750
28	25.000	26.000	-1.000	6.857	146.500	26.000	-1.000	-0.125	-0.125	0.000
29	25.000	26.000	-1.000	5.857	152.357					
30	25.000	26.000	-1.000	4.857	157.214					
31	25.000	26.000	-1.000	3.857	161.071					
32	25.000	26.000	-1.000	2.857	163.929					
33	25.000	26.000	-1.000	1.857	165.786					
34	25.000	26.000	-1.000	0.857	166.643					
35	25.000	25.857	-0.857	0.000	166.643					
∞	< 이하 원곡선부 반복 생략 >									

4. 결론

4.1 중앙선 적용 결과

본 연구목적은 서론에서 전술한 바와 같이 기존노선으로 향상되어져 가는 열차의 속도를 감당함에 있어서 궤도의 이정을 최소로 함에 기초로 하고 있다. 때문에 노선의 직선부를 유지하면서 완화곡선과 원곡선의 형상을 바꾸어 줌으로써 열차의 속도향상을 도모하는 것이다. 연구대상 노선인 중앙선을 보면 유교에서 반곡까지의 구간 (116km159.74 ~ 116km410.81) 251.07m에서 장래 틸팅차량의 도입후 기존차량보다 약 15%향상된 속도로 하려면 완화곡선은 최소 95m 이상이 부설되어야 하기 때문에, 기존 완화곡선 70m에서 그 차인 25m를 길이를 수정길이로 보았다. 적용 궤도수정법은 A ~ E법 중에 원곡선을 중심으로 하는 양 완화곡선을 모두 수정하는 A법과, 지형지물 및 구조물의 신축비용을 고려해 한쪽방향 완화곡선의 수정만을 고려한 C법을 적용하였다. 이는 두 가지 궤도수정법을 고려한 후 이정량이 최소가 되는 방법을 선택하여 현장에 적용하며, 계산되어지는 이정량은 궤도수정에 연계되는 공사비의 추정으로 이어져 적은 비용으로 장래 도입될 틸팅차량 운행속도에 대한 판단근거를 마련할 수 있을 것으로 사료된다..

참고문헌

1. (2002), “ ”, .
2. (1998), “ ”, .
3. (2001), “ ”, .
4. 金子慶尙(59年), “緩和曲線の 延伸”,計測工業株式會社.
5. (2003), “ ”, .