

원곡선구간에 종곡선 설치 가능한 곡선반경에 관한 연구

A Study of Allowable Vertical Curve Radius on Horizontal Curved Section

이기승*
Lee, Ki-Seung

ABSTRACT

A vertical curve should be installed in straight section. In case, it be installed on horizontal curved section, safety factor go down. In this study, it is calculated that the deficiency of cant about vertical curve radius on horizontal curved section. The result of this study will be used on planning the tack layout of railroad and design the track construction.

1. 서론

국유철도 건설규칙 제11조 제2항에는 '종곡선은 직선구간에 두어야 한다'라고 규정되어있다. 그러나 선형설계를 시행하면서 최근에는 곡선반경을 가급적 크게하고 기울기도 완만하게 하며, 특히 일관수송을 위한 유효장 확보를 위하여 정거장길이를 길게 하는 등 선로의 제원을 고급화함에 따라 평면곡선과 종곡선이 경합되는 경우가 가끔 있다. 이 경합조건을 배제하다보면 무리하게 선형이 불리해 지는 경우가 있다. 따라서 본 연구는 원곡선과 종곡선의 경합을 무리하게 배제하는 것 보다는 이를 수용할 수 있는 한계를 검토 제시하는데 있다. 연구 방법은 캔트부족량과 승차감을 검토하고, 종곡선에서 보정캔트량의 허용범위를 설정하고, 이 때 종곡선설치가 가능한 곡선반경을 정량적으로 분석하였다. 본 연구에서는 종곡선이 원곡선의 캔트제감구간에 경합되지 않은 것으로 가정하였고, 궤도틀림에 대한 차량동요는 고려하지 아니하였다.

2. 원곡선과 캔트

열차가 어떠한 속도로 곡선을 통과하는 경우 원심력이 외측으로 작용하므로 다음과 같은 좋지 않은 영향을 미치게 된다.

- ① 차량이 곡선 외방으로 전복하려는 위험성이 있다
- ② 곡선의 외측 레일에 큰 률중이 작용하므로 차량이 방향을 전환하면서 큰 횡압이 발생한다.
- ③ 승객이 외측으로 쏠리며, 승차감이 좋지 않다.
- ④ 열차 저항이 커진다.

* (재)한국철도기술공사 연구소장, 공학박사, 정회원

이러한 원심력에 대한 좋지 않은 영향을 줄이기 위하여, 원심력과 중력의 합력을 궤도 중심방향으로 유도할 필요가 있다. 이를 위한 목적으로 궤도에 경사를 두는데 이것을 캔트라 한다. 경사의 정도는 경사각으로 표시하는 것이 바람직하지만 궤도는 궤간이 일정하므로 편의상 외측레일과 내측레일의 고저차를 캔트로 표시하고 있다.

캔트는

$$C = 11.8 \frac{V^2}{R} - C'$$

여기서

V : 열차의 운행속도(km/h)

R : 곡선반경(m)

C' : 조정치(mm)

캔트의 설정은 그 구간을 통과하는 열차의 종류가 다르고 열차의 속도가 일정하지 않은 경우, 최고속도를 설계속도로 하여 캔트량을 산정하고, 평균속도를 기본으로 하는 캔트량과 비교하여 실제 설정캔트를 결정하여야 한다.

평균속도 V_0 는 여러 가지 공식이 있으며, 주로 사용되는 공식은

$$V_0 = \sqrt{\frac{\sum L_i V_i}{\sum L_i}}$$

여기서

V_0 : 평균속도

L_i : 열차종별 1일당 통과톤수 (톤)

V_i : 열차종별 속도

이다.

그리고 그 곡선을 통과하는 열차의 최고속도에 대한 균형캔트로부터 위의 평균속도에 대한 설정캔트를 차인한 치수가 허용캔트 부족량을 넘지 않아야 한다.

허용 캔트 부족량의 한도는 차량이 곡선을 통과하는 경우 초과 원심력에 의해 승차감을 저해하지 않는 한도로 하되 차량의 진동 및 풍압에 의한 안전을 충분히 고려하여 결정한다.

허용캔트 부족량은 각국별로 달리 규정하고 있으며, 독일 100mm, 프랑스 150mm 미국 76mm, 일본 100mm이며, 우리나라에서도 100mm를 채택하여 적용하고 있다.

캔트 부족량이 발생하면 초과 원심력이 발생하고, 캔트부족량과 초과 원심력가속도와와의 관계는

$$C_d = \frac{\alpha_0}{g} G$$

이며, 캔트 부족량에 의한 승차감의 한도는 차내의 승객이 횡방향으로 이동하려는 가속도로 나타내며, 이를 횡방향가속도라 한다.

이 횡방향 가속도는 차량이 강제일 경우 초과원심력가속도는 일치할 것이나, 차체가 스프링으로 되어있으므로 차체는 궤도면과 일치하지 않고, 차체가 기울기는 캔트보다 작아지게 된다.

따라서 초과원심력 가속도와 차량의 좌우방향 가속도와의 관계는 차량의 종류, 중량 및 스프링계수에 따라 다르지만 통상 승차감의 기준은 횡방향가속도로 나타낸다.

캔트부족량에 따른 승차감의 한도를 나타내면 다음 표와 같다.

캔트부족량과 승차감과의 관계

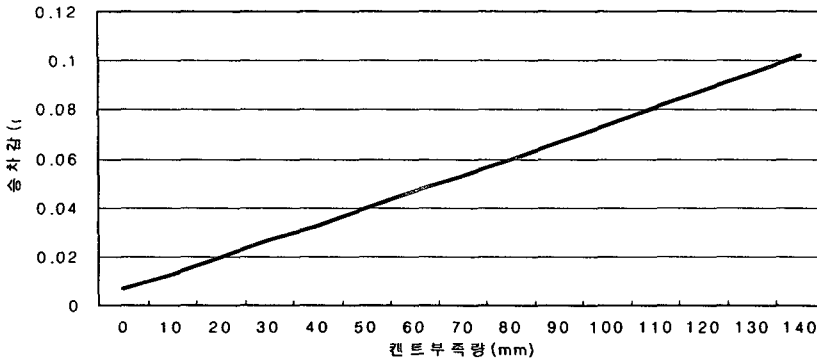


그림1. 캔트부족량과 승차감과의 관계

3 종곡선 반경

종곡선은 기울기가 서로 다른 선로가 접속하는 경우 열차 운전의 원활을 위하여 종곡선을 삽입한다. 그러나 종곡선을 통과하는 차량은 평면곡선에서와 같이 r곡선의 외측으로 원심력이 작용하게 되며, 곡선의 외측은 상향 또는 하향이 된다. 하향의 경우(凹형)는 중량이 커지는 결과가 되므로 하중이 증가하는 현상이 발생하지만, 상향의 경우(凸형)는 중량이 작아지므로 탈선계수에 영향을 미칠수 있으며, 승차감에 영향이 있다.

종곡선의 반경은 열차속도와 수직가속도를 고려하여 차량이 부상하지 않도록 하기 위하여

$$P_{\alpha} = \frac{1}{Rg} \left(\frac{V}{3.6} \right)^2$$

여기서 R : 종곡선 반경 (m)

V : 열차속도 (km/h)

g : 중력가속도 (9.8m/sec²)

이 식으로부터

$$R = \frac{P_{\alpha} \cdot V^2}{127 P_{\alpha}}$$

를 얻을 수 있다.

실용식은 허용하는 상하방향 가속도에 따라 일반적으로 R = KV²형식으로 표시하며, K는 프랑스 0.278(0.178), 독일 0.4, 이탈리아 0.32, 일본 0.222, 스페인 0.167을 사용하며, 우리나라는 제일 큰값인 0.4를 기준으로 하였다.

그러나 곡선 반경이 길어지면 승차감측면에서는 큰 차이가 없고 궤도부설 및 유지관리에서는 어려움이 있으므로, 속도 350km/h의 고속철도에서는 종곡선반경 25,000m를 표준으로 하였다.

4. 원곡선과 종곡선의 경합시 문제점

원곡선중에 캔트를 설치하였을 때 원심력과 중력의 합력은 궤도의 중심을 향하게 된다. 그러나 종곡선을 설치하게 되면 중력이 감소하게 된다. 이러한 관계를 나타내면 그림1과 같다.

그림에서 W인 중력은 종곡선에서 상방향 가속도의 발생으로 ΔW만큼 감소하여 발생중력은

($W - \Delta W$)가 된다.

따라서 합력은 $F+W$ 방향에서 $F+W-\Delta W$ 방향으로 이동되고 초과원심력이 발생한다. 이 초과원심력은 캔트부족량을 갖는 결과가 되고 만약 캔트부족량분의 캔트를 붙이면 균형캔트가 되며, 불균형 원심력이 되지 않는다.

국유철도 건설규칙에서는 기존선의 개량등으로 인하여 부득이한 경우에만 원의 중심이 1개인 곡선구간에 둘 수 있는 것으로 되어 있다.

원곡선에서는 캔트를 설치하게 되며, 캔트는 중력과 원심력과의 평형을 이루게 하기 위하여 외측 레일을 높게 하는 것이다. 그런데 종곡선에서는 중력 가속도가 작아지게 된다. 따라서 원곡선과 종곡선이 결합하게 되면 캔트량도 약간 크게 설치되어야 한다.

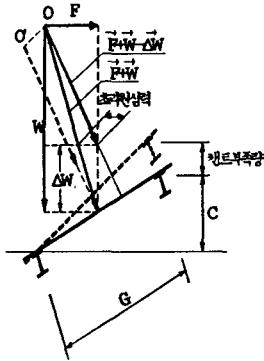


그림2. 불균형원심력과 캔트부족량

다. 그러나 유지관리상 캔트량을 달리 설치할 수는 없으므로 그 양을 계산한 값(보정캔트라 함)과 캔트 부족량을 합한 값이 허용 캔트 부족량보다 작아야 한다.

그러나 \cap 형의 종곡선에서는 이러한 문제가 없으므로 승차감만을 검토하여 문제가 없다면 결합되어도 좋을 것이다.

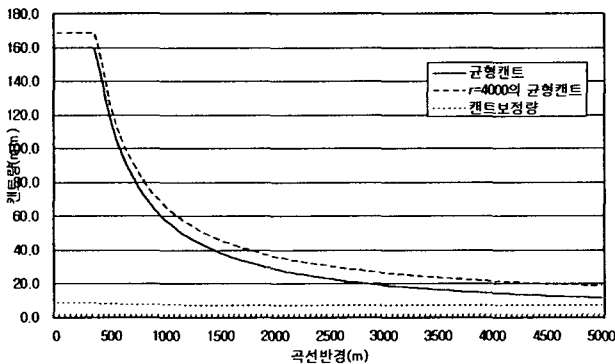
5. 보정캔트량의 검토

보정캔트량을 검토하기 위하여 국유철도건설규칙에서 규정하고 있는 선로등급에 따른 최고속도와 최급곡선반경을 적용하여 검토하였고, 종곡선의 반경도 이 규정을 따랐다.

국유철도 건설규칙에 정하고 있는 선로등급별 운전조건 및 선로조건은 다음과 같다.

표1. 선로등급별 운전 및 선로조건

선로등급	1급선	2급선	3급선	4급선
운전속도(km/h)	200	150	120	70
최급곡선반경(m)	2,000	1,200	800	400
종곡선반경 (m)	16,000	9,000	6,000	4,000



최대캔트량을 160mm로 제한하는 경우, 1급선에서 운전속도를 200km/h로 하는 경우 곡선반경 3,000m까지는 캔트 부족량이 발생하지 않는다.

이와같이 규정한 운전속도로 운전하는 경우 캔트부족량이 발생하지 않는 곡선반경은 2급선 1,700m, 3급선 1,100m, 4급선 400m로 나타났다.

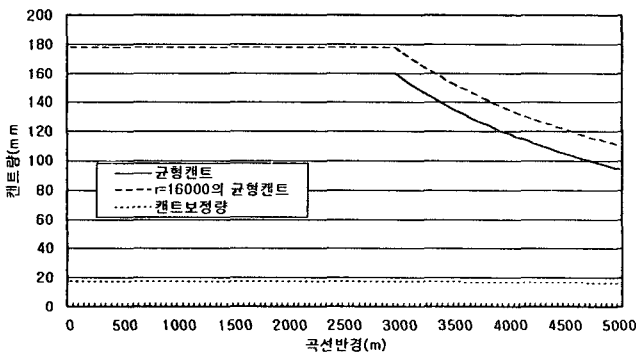
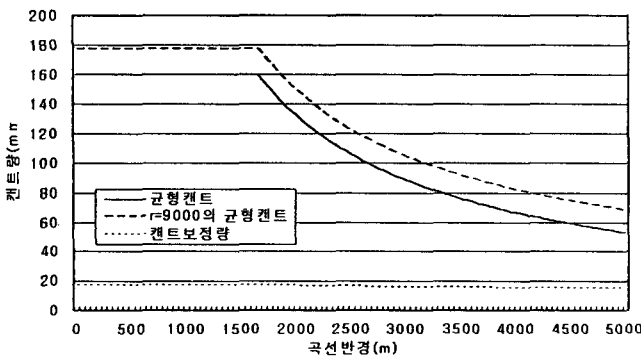
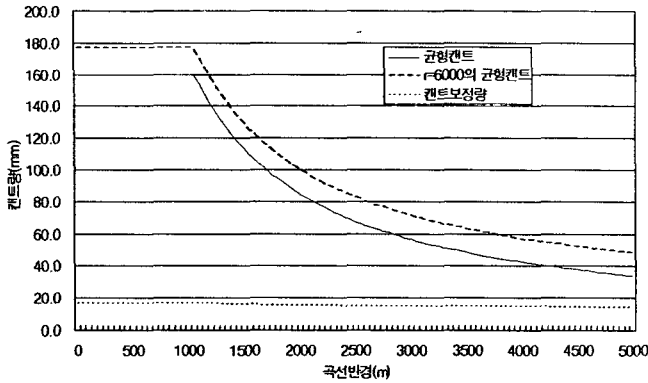


그림 3. 곡선반경과 켄트량과의 관계

것으로 판단된다. 그러나 선형설계가 국유철도 건설규칙에 적정하고, 켄트설정시 켄트공식에서 조 정치를 80mm 이내로 하는 경우는 원곡선중에 종곡선을 설치하여도 안전상 문제는 없을 것으로 판단되었다.

6. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 원곡선과凸형의 종곡선이 경합하는 경우에는 보정켄트의 설치가 필요하다.
- ③ 필요한 보정켄트의 량은 일반적으로 20mm(횡방향가속도 0.013g에 해당)이내이다.

이 한도내에서 규정한 반경의 종곡선을 설치하는 경우 켄트 부족량을 계산하면

1급선 16 ~ 18mm,

2급선 14 ~ 16mm,

3급선 14 ~ 16mm,

4급선 7 ~ 9mm이다.

이 켄트부족량은 승차감을 판단하는 횡방향 가속도로 표 시하면 모두 20mm이하로서 0.013g 이하로 나타났다.

원곡선의 일부분에 나타나 는 종곡선 경합구간에 켄트를 추가로 설치하는 경우 궤도관리에 미치는 영향을 고 려하지 않을 수 없으므로 켄트를 추가로 설정하는 것은 충분히 고려되어야 할 사항 이나, 일정한 차량이 통과하 여 통과열차의 운전속도가 일정한 전동차 전용선의 경 우 콘크리트도상궤도와 더불 어 켄트를 추가설치하여 승차 감을 향상시키고, 안전도를 확보 할 수 있을 것으로 판단 되었다.

그러나 수시로 보수를 하여야 하는 경우에는 일정기간에 대하여 켄트를 다르게 설치하 는 것이 어려우므로 종곡선이 없는 경우의 켄트부족량과 종 곡선이 있는 경우 켄트 부족 량을 판단하여 설치하여야 할

③ 원곡선과 종곡선은 경합하지 않는 것이 좋으나 부득이한 경우 다음과 같이 시행하는 것이 바람직함.

㉞ 유지관리가 불필요한 콘크리트도상 궤도인 경우 보정캔트를 고려한 캔트설치

㉟ 수시로 유지관리 작업이 필요한 궤도에서는 보정캔트를 합한 경우에도 100mm를 초과하지 않도록 캔트조정치를 80mm이하로 하여 캔트설치

참고문헌

1. VA Profillidis(2000), "Railway Engineering 2nd edition", Ashigate Publishing Limited
2. 須田征男외3(1997), "新しい線路", 日本鐵道施設協會
3. 이종득(2002), "철도공학", 노해출판사